

別紙4 地震応答解析に用いる鉄筋コンクリート造部の
減衰定数に関する検討

目 次

1. 概要	別紙4-1
1.1 検討概要	別紙4-1
1.2 検討方針	別紙4-2
2. 地震応答解析モデルに用いる減衰特性	別紙4-3
2.1 地震応答解析モデルにおける減衰特性の取扱い	別紙4-3
2.2 建物・構築物の減衰定数の設定	別紙4-4
2.3 地盤の逸散減衰の設定	別紙4-5
2.4 減衰マトリクスの設定	別紙4-7
2.5 履歴減衰（復元力特性）の設定	別紙4-9
3. 減衰定数に関する既往の知見の整理	別紙4-10
3.1 RC耐震壁の多方向同時入力振動台試験	別紙4-10
3.2 実構造物の振動試験	別紙4-12
3.3 実構造物の地震観測	別紙4-15
3.3.1 原子炉建屋（BWR）での地震観測（RC造部）	別紙4-15
3.3.2 原子炉建屋（PWR）での地震観測（新規制基準施行前）	別紙4-23
3.3.3 原子炉建屋（PWR）での地震観測（新規制基準施行後）	別紙4-24
4. 減衰定数の検討	別紙4-40
4.1 地盤への逸散減衰の検討	別紙4-40
4.2 地震観測記録を用いたシミュレーション解析	別紙4-43
5. 建屋の最大応答せん断ひずみ	別紙4-51
5.1 基準地震動 S_s 応答レベル	別紙4-51
5.2 弾性設計用地震動 S_d 応答レベル	別紙4-51
6. 地震応答解析モデルにおける減衰定数の設定についての考察	別紙4-52
6.1 実現象における減衰	別紙4-53
6.1.1 応答レベルごとの減衰定数と振幅依存性	別紙4-53
6.1.2 構造の複雑さによる減衰効果	別紙4-54
6.2 地震応答解析モデルにおける減衰	別紙4-55
6.2.1 地盤への逸散減衰	別紙4-55
6.2.2 履歴減衰	別紙4-55
6.2.3 建物・構築物の減衰	別紙4-56
6.3 地震応答解析モデルに設定する減衰定数の考察	別紙4-57
6.4 まとめ	別紙4-59
7. 引用文献	別紙4-60

- 別紙4-1 原子炉建屋の基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する最大応答せん断ひずみ
- 別紙4-2 各建物・構築物の図面集
- 別紙4-3 6号機原子炉建屋の観測記録を用いたシミュレーション解析

1. 概要

1.1 検討概要

本資料は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」において設定している、建物・構築物の地震応答解析に用いる鉄筋コンクリート造部（以下「RC造部」という。）の減衰定数の設定の妥当性について説明するものである。

地震応答解析に用いるRC造部の減衰定数について、既往の知見に加え、施設の地震観測記録による検討を行ったうえで、入力地震動及び建物・構築物の構造と形状を踏まえた考察を加えて、妥当性を確認する。

1.2 検討方針

一般に建物・構築物の減衰作用としては、材料減衰（内部摩擦減衰，外部摩擦減衰及びすべり摩擦減衰），履歴減衰及び地盤への逸散減衰が考えられる。「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）」（以下「J E A G 4 6 0 1 -1987」という。）及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）」（以下「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」という。）では、建物・構築物の地震応答解析における減衰特性を、建物・構築物の材料減衰，履歴減衰（復元力特性）及び地盤への逸散減衰の組合せとしてモデル化することが提案されており，建物・構築物の地震応答解析においても，この提案に従いモデル化している。

また，「J E A G 4 6 0 1 -1987」には，建物・構築物のRC造部に対して5%が慣用的に使用されている値として示されている。今回工認の建物・構築物の地震応答解析においても，RC造部の減衰定数を5%としている。

本資料では，既往の知見に加え，原子炉建屋による検討から，入力地震動及び建物・構築物の構造と形状に応じ，RC造部に減衰定数5%を用いることについての妥当性を考察する。減衰定数の設定根拠の検討フローを図1-1に示す。

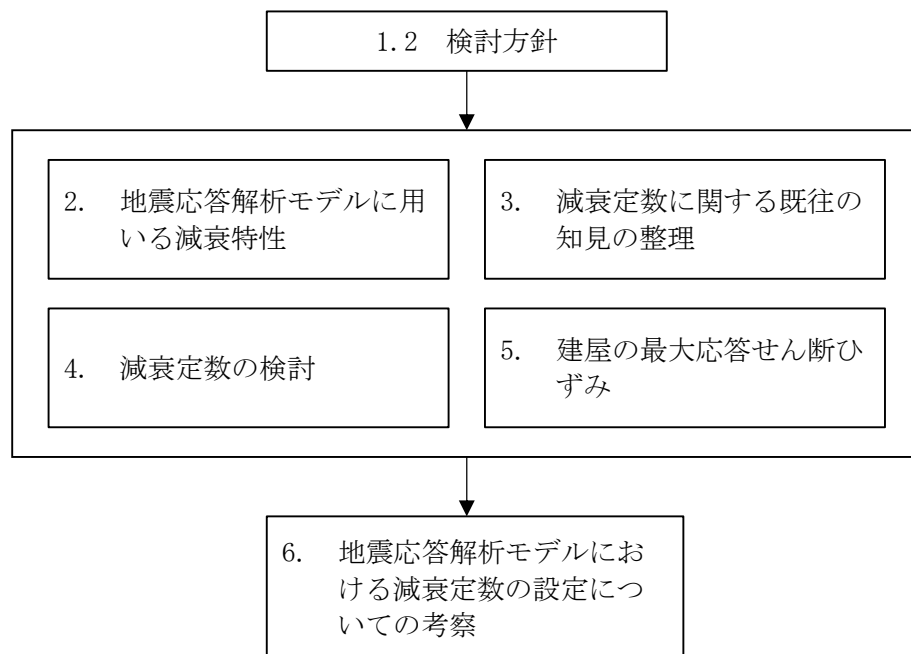


図1-1 減衰定数の設定根拠の検討フロー

2. 地震応答解析モデルに用いる減衰特性

2.1 地震応答解析モデルにおける減衰特性の取扱い

地震応答解析モデルにおける減衰特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1987」及び「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、材料減衰、履歴減衰（復元力特性）及び地盤への逸散減衰の組合せとしてモデル化している。この中で、材料減衰が減衰定数に対応する。地震応答解析モデルに用いる減衰特性の設定フローを図2-1に示す。

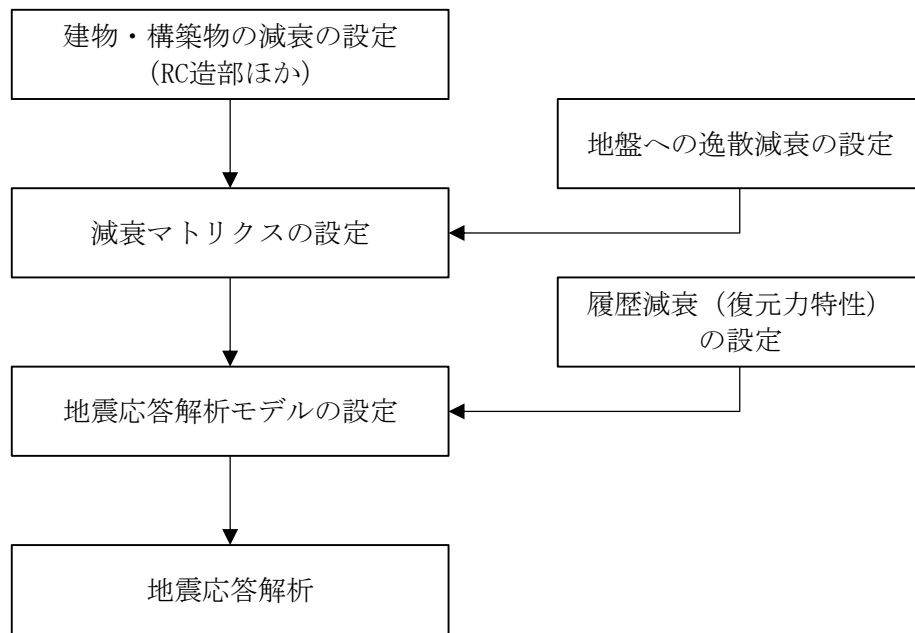


図2-1 地震応答解析モデルに用いる減衰特性の設定フロー

2.2 建物・構築物の減衰定数の設定

建物・構築物の地震応答解析モデルにおいて、減衰定数は「J E A G 4 6 0 1 - 1987」に基づき、RC造部を5%としている。建物・構築物の減衰定数の設定状況を表2-1に示す。

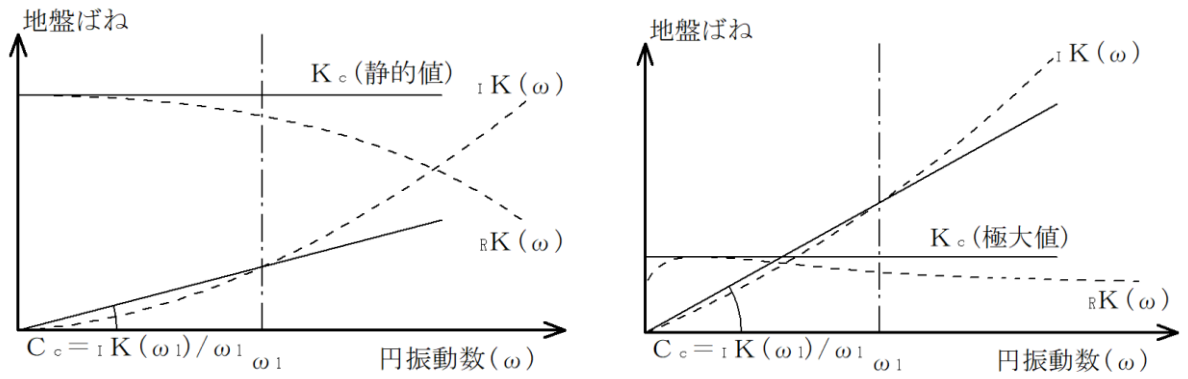
表2-1 建物・構築物の減衰定数の設定状況

建物・構築物	構造種別	減衰定数
原子炉建屋	RC造	5 %
	鉄骨造	2 %
コントロール建屋	RC造	5 %
タービン建屋	RC造	5 %
	鉄骨造	2 %
緊急時対策所	RC造	5 %
	鉄骨造	2 %
廃棄物処理建屋	RC造	5 %
	鉄骨造	2 %
格納容器圧力逃がし装置基礎	RC造	5 %

2.3 地盤の逸散減衰の設定

建物・構築物は、「J E A G 4 6 0 1-1987」及び「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき建屋-地盤連成系としてモデル化し、地盤連成の効果は、地盤ばねとしてモデル化し評価している。地盤ばねについては、地盤条件、基礎形状等を基に剛性及び減衰係数をモデル化している。減衰係数は振動系全体のうち、地盤の影響が卓越する最初の固有振動数 (ω_1) に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾き (C_0) により算定している。地盤ばねの剛性及び減衰定数の算定の概念図を図2-2に示す。

基礎底面地盤の回転ばねについては、接地率が75%を下回る場合は、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき、基礎浮上りによる幾何学的非線形を考慮する。基礎浮上りによる地盤の回転ばねの剛性の非線形特性を図2-3に示す。なお、基礎浮上りによる回転ばねの減衰係数の低下率は、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき、地震応答解析の各時刻における回転ばねの剛性と同じ低下率としている。



K_c : 地盤ばねの剛性

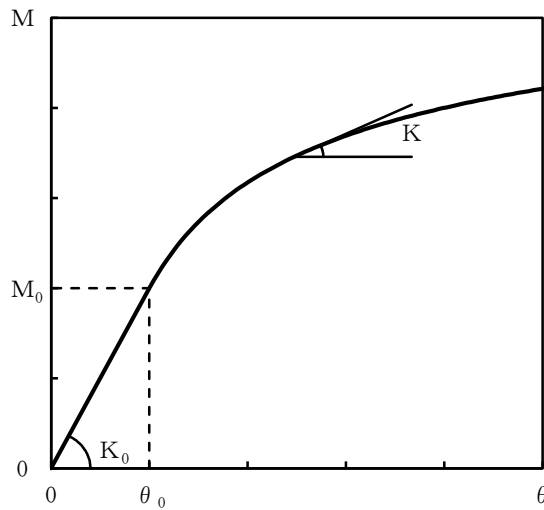
C_c : 地盤ばねの減衰係数

ω_1 : 地盤の影響が卓越する最初の固有振動数

(a) 底面地盤ばね

(b) 側面地盤ばね

図2-2 地盤ばねの剛性及び減衰係数の算定の概念図



M_0 : 転倒モーメント

M : 浮上り限界転倒モーメント

θ : 回転角

θ_0 : 浮上り限界回転角

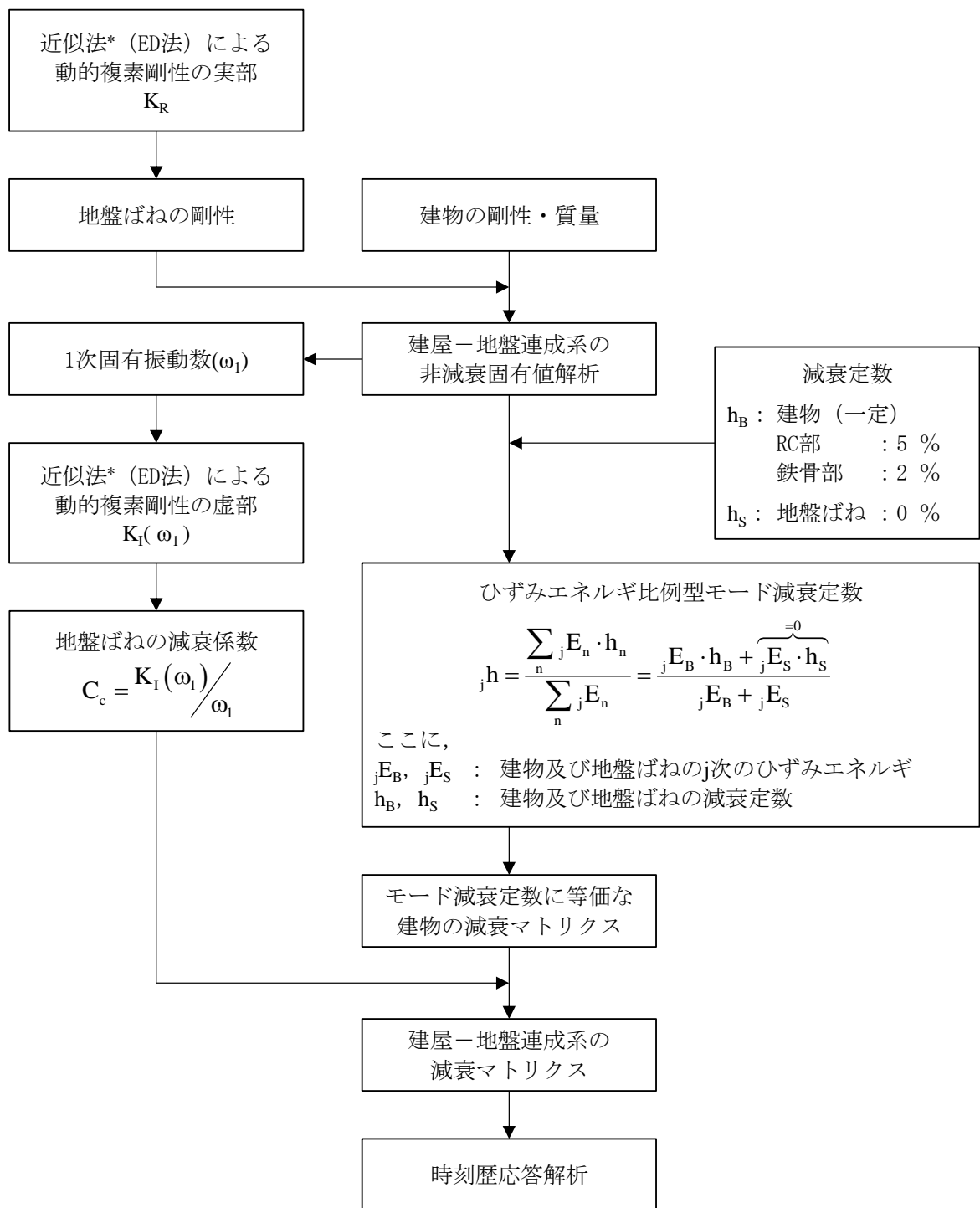
K_0 : 回転ばねの初期剛性

K : 回転角 θ の時の回転ばねの剛性

図2-3 基礎浮上りによる地盤の回転ばねの剛性の非線形特性

2.4 減衰マトリクスの設定

建屋－地盤連成系の減衰マトリクスは，減衰定数に基づいてひずみエネルギー比例型モード減衰定数を算定し，近似法により算定した地盤ばねの減衰定数と組み合わせて算定する。建屋－地盤連成系の減衰マトリクスの算定フローを図2-4に示す。



注記* : 近似法は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づく。

図2-4 建屋—地盤連成系の減衰マトリクスの算定フロー

2.5 履歴減衰（復元力特性）の設定

履歴減衰として設定しているRC造部の復元力特性は、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づき、 $\tau - \gamma$ 関係においては、安定ループにおける履歴吸収エネルギーによる減衰効果を期待しない設定とした最大点指向型モデルを用いており、 $M - \phi$ 関係においては、ディグレイディングモデルを用いている。地震応答解析に用いたRC造部の復元力特性を表2-2に示す。

表2-2 RC造部の復元力特性

	$\tau - \gamma$ 関係 (せん断応力度-せん断ひずみ関係)	$M - \phi$ 関係 (曲げモーメント-曲率関係)
スケルトン ン曲線	トリリニア	トリリニア
履歴特性	<ul style="list-style-type: none"> 最大点指向型履歴ループ 安定ループは面積を持たず、履歴吸収エネルギーがない 	<ul style="list-style-type: none"> (第2剛性域内) 最大点指向型履歴ループ 安定ループは面積を持たず、履歴吸収エネルギーがない (第3剛性域内) ディグレイディングトリリニア型 安定ループは面積があり、履歴吸収エネルギーがある
モデル図	<p><最大点指向型モデル></p> <p>The graph shows shear stress τ on the vertical axis and shear strain γ on the horizontal axis. The origin is marked 0. The loading path (A-B-C) starts at the origin, goes to point A (shear stress τ_1, strain γ_1), then to point B (shear stress τ_2, strain γ_2), and finally to point C (shear stress τ_3, strain γ_3). The unloading path (A'-B'-C') starts at point A', goes to B', and then to C'. The area between the loading and unloading paths is zero, indicating no energy dissipation.</p>	<p><ディグレイディングモデル></p> <p>The graph shows bending moment M on the vertical axis and curvature ϕ on the horizontal axis. The origin is marked 0. The loading path (A-B-C) starts at the origin, goes to point A (moment M_1, curvature ϕ_1), then to point B (moment M_2, curvature ϕ_2), and finally to point C (moment M_3, curvature ϕ_3). The unloading path (A'-B'-C') starts at point A', goes to B', and then to C'. The area between the loading and unloading paths is non-zero, indicating energy dissipation. A vertical double-headed arrow between points C and C' is labeled $2 \cdot M_1$.</p>

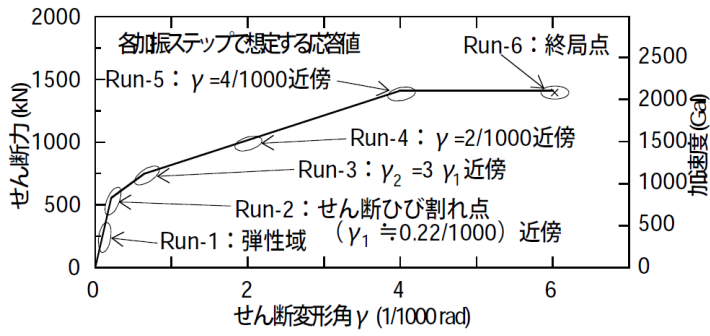
3. 減衰定数に関する既往の知見の整理

本章では、応答レベルに応じた減衰定数を検討する観点から、既往の知見や観測記録の整理を行う。整理に当たっては、地盤への逸散減衰や履歴減衰を含むものかどうかにも着目する。

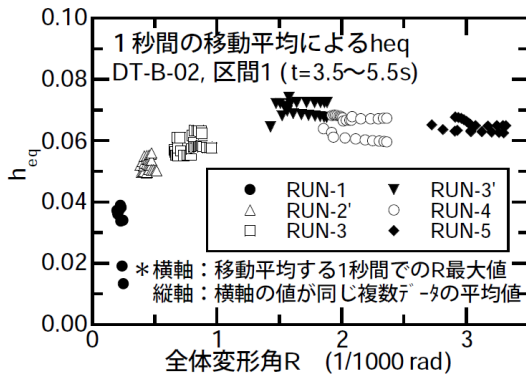
3.1 RC耐震壁の多方向同時入力振動台試験

(財)原子力発電技術機構^{3.1)}において、「原子炉建屋の多入力試験分科会」の審議の下、ボックス型RC耐震壁が多方向から同時に地震力を受ける際の動的挙動の調査を目的として、三次元振動台を用いた加振試験（以下「RC耐震壁試験」という。）を実施している。RC耐震壁の多方向同時入力振動台試験結果より算定した減衰定数を図3-1に、RC耐震壁試験による等価粘性減衰の評価を表3-1示す。

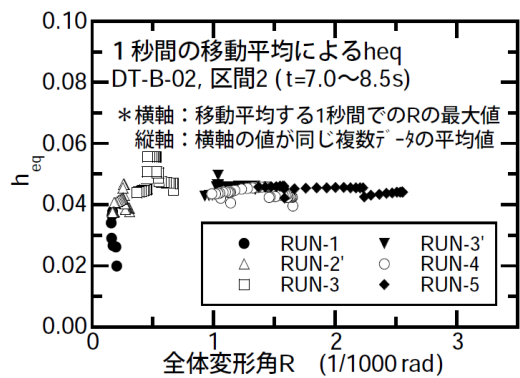
表3-1によると、等価粘性減衰定数（ h_{eq} ）は、履歴減衰を含む場合の弾性域で1%～4%程度、第1折点付近で5%程度、第2折点付近で6%～7%程度となっている。この値は、履歴減衰をあまり含まない場合の等価粘性減衰定数よりも、第1折点付近で1%程度大きい値となっている。更に、第2折点以降では2%程度大きくなっており、応答レベルが大きくなり非線形化するにつれて履歴減衰は大きくなる傾向がある。また、等価粘性減衰定数には、第1折点付近までは応答レベルに応じて大きくなる傾向（振幅依存性）がみられる。



(a) 応答レベルと復元力特性の対応



(b) 履歴減衰を含む場合



(c) 履歴減衰をあまり含まない場合

図3-1 RC耐震壁の多方向同時入力振動台試験結果より算定した減衰定数^{3.1)}

表3-1 RC耐震壁試験による等価粘性減衰の評価

応答レベル	弾性域	第1折点 付近	第2折点 付近	許容限界 $\gamma = 2/1000$	終局点付近 $\gamma = 4/1000$
履歴減衰 を含む場合	1 % ~ 4 % 程度	5 % 程度	6 % ~ 7 % 程度	6 % ~ 7 % 程度	6 % ~ 7 % 程度
履歴減衰 をあまり 含まない場合	2 % ~ 4 % 程度	4 % 程度	4 % ~ 5 % 程度	4 % ~ 5 % 程度	4 % ~ 5 % 程度

3.2 実構造物の振動試験

「原子炉施設の実機試験・観測と評価」に関する調査報告書（日本建築学会構造委員会，2001）^{3.2)}によると，原子炉建屋（BWR）での起振機による振動試験結果において，弾性域（微小振幅レベル）での減衰定数は，5%～54%程度となっており，原子炉建屋（PWR）では，PCCVで2%～3%程度，RC造部で2%～7%程度となっている。ここで，柏崎刈羽原子力発電所6号機原子炉建屋の振動試験結果も含まれており，減衰定数は54%となっている。柏崎刈羽原子力発電所の減衰が大きくなっているのは，軟質岩盤に立地しており，地盤への逸散減衰を多く含んでいるためと考えられる。地盤逸散減衰が大きいことについては，後述の「4.1 地盤への逸散減衰の検討」にて分析した「表4-2 建屋及び地盤の減衰定数並びにひずみエネルギーの比率」と整合している。

原子炉施設の振動試験と解析評価比較一覧を表3-2に，地盤剛性（ V_s ）と試験結果の減衰定数の関係を図3-2に示す。

表3-2 原子炉施設の振動試験と解析評価比較一覧

(a) BWR

項目	文献B(V)-1	文献B(V)-2~4	文献B(V)-5	文献B(V)-6	文献B(V)-7, 8	文献B(V)-9	文献B(V)-10	文献B(V)-11	文献B(V)-12~14
サイト	女川1	福島1-1	福島2-1	東海2	柏崎6	浜岡2(1)	浜岡3	浜岡4	島根1
建屋【炉型】	原子炉建屋 [BWR Mark-I]	原子炉建屋 [BWR Mark-I]	原子炉建屋 [BWR Mark-II]	原子炉建屋 [BWR Mark-II]	原子炉建屋 [ABWR]	原子炉建屋 [BWR Mark-I]	原子炉建屋 [BWR Mark-I改]	原子炉建屋 [BWR Mark-I改]	原子炉建屋 [BWR Mark-I]
起振機【加振力】	電中研大型起振機 [20t x 2]	大型起振機 [3t]	-	電中研大型起振機 [150t x 2]	大型起振機 [20t x 2]	電中研大型起振機 [150t x 2]	大型起振機 [10t x 2]	大型起振機 [10t x 2]	起振機 [3t]
測定箇所	・ 屋根 ・ クレーン階 ・ オペフロ ・ 基礎 等	・ 鉄骨屋根 ・ 建屋各階床 ・ 基礎 ・ 機器 等	・ 鉄骨屋根 ・ 建屋各階床 ・ 基礎	・ 建屋各階床	・ 建屋各階床 (端部・中央部)	・ 建屋各階床 (端部・中央部)	・ 建屋各階床 (端部・中央部)	・ 建屋各階床 (端部・中央部)	・ 建屋各階床 (端部・中央部) ・ 機器 等
地盤条件	Vs=1620m/s	E=45t/cm ²	Vs=550m/s	Vs=470m/s	(Vs≒500m/s)	(Vs≒700m/s)	Vs≒700m/s	Vs≒700m/s	Vs=1800m/s
固有振動数 (1次)	試験 5.55Hz 解析 5.55Hz	0.25s	3Hz	2.7Hz	3.5Hz	4.8Hz	3.8Hz	4.1Hz	0.19s
減衰定数	試験 1次: 5.1% 解析 FEM建屋: 5% 質点系: 7.5%	-	約3Hz 1次: 33% 建屋: 3% 地盤: 5%	1次: 20% 1次: 15%	1次: 54% 建屋: 3% 地盤: 波動論	1次: 19~20%	1次: 41% 建屋: 5% 地盤: 格子型	1次: 36% 建屋: 5% 地盤: 格子型	建屋: (0.00064s) 地盤: (0.012s)
建屋材料定数 (ヤング率)	設計 210t/cm ² 解析 325t/cm ²	設計 210t/cm ² 解析 520t/cm ²	設計 210t/cm ² 解析 360t/cm ²	設計 210t/cm ² 解析 235t/cm ²	設計 270t/cm ² 解析 432t/cm ²	設計 210t/cm ² 解析 -	設計 210t/cm ² 解析 420t/cm ²	設計 260t/cm ² 解析 440t/cm ²	設計 210t/cm ² 解析 520t/cm ²
解析モデル	設計 SRモデル 解析 FEMモデル ・ SRモデル	設計 SRモデル 解析 SRモデル	設計 SRモデル 解析 SRモデル (地盤: FEM/BEM M7リット)	設計 SRモデル 解析 SRモデル	設計 埋込みSRモデル 解析 埋込みSRモデル	設計 - 解析 -	設計 格子型モデル 解析 格子型モデル	設計 格子型モデル 解析 格子型モデル	設計 SRモデル 解析 SRモデル
評価方法 評価項目	試験・解析比較 ・ 共振曲線 ・ 位相曲線 ・ 振動モード	試験・解析比較 ・ 共振曲線 ・ 振動モード	試験・解析比較 ・ 共振曲線 ・ 位相曲線 ・ 振動モード	試験・解析比較 ・ 共振曲線 ・ 位相曲線 ・ 振動モード	試験・解析比較 ・ 共振曲線 ・ 位相曲線	試験結果 ・ 共振曲線 ・ 位相曲線	試験・解析比較 ・ 共振曲線 ・ 位相曲線 ・ 振動モード	試験・解析比較 ・ 共振曲線 ・ 位相曲線 ・ 振動モード	試験・解析比較 ・ 共振曲線 ・ 振動モード
備考						本文献は試験結果のみを示している			解析の減衰は内部粘性減衰で評価。

(b) PWR

項目	文献P(V)-1~3	文献P(V)-4~6	文献P(V)-7,8	文献P(V)-9,103	文献P(V)-11	文献P(V)-12	文献P(V)-13	
サイト	敦賀2	玄海3	大飯3	川内1	泊1	伊方2	もんじゅ	
建屋【炉型】	原子炉建屋 [4-loop]	原子炉建屋 [4-loop]	原子炉建屋 [4-loop]	原子炉建屋 [3-loop]	原子炉建屋 [2-loop]	原子炉建屋 [2-loop]	原子炉建屋 [FB]	
起振機【加振力】	大型起振機 [150tx2] 小型起振機 [3t]	大型起振機 [10t] 小型起振機 [3t]	大型起振機 [10tx2] 小型起振機 [3t]	大型起振機 [50t], [10t]	大型起振機 [50t], [10t]	大型起振機 [50t], [10t]	大型起振機[10tx2]	
測定箇所	・ I/C ・ PCCV(θ-N)振動測定も含む ・ REB ・ E/B	・ I/C ・ PCCV(θ-N)振動測定も含む ・ REB	・ I/C ・ PCCV(θ-N)振動測定も含む ・ REB	・ O/S(θ-N)振動測定も含む ・ I/C	・ O/S(θ-N)振動測定も含む ・ I/C ・ C/V	・ O/S(θ-N)振動測定も含む ・ I/C ・ C/V	・ O/S(θ-N)振動測定も含む ・ I/C ・ C/V	
地盤条件	Vs=1600m/s	Vs=1350m/s	Vs=2230m/s	Vs=1500m/s	Vs=1400m/s	Vs=2300m/s	Vs=1900m/s	
固有振動数 (1次)	試験 PCCV: 4.86 Hz I/C: 7.57 Hz E/B: 3.15 Hz 解析 PCCV: 4.92 Hz I/C: 7.66 Hz	試験 PCCV: 4.97Hz (NS) I/C: 9.62Hz (NS) 9.71Hz (EW) 解析 -	試験 PCCV: 5.01Hz (NS) 4.97Hz (EW) I/C: 9.78Hz (NS) 10.62Hz (EW) 解析 PCCV: 5.5(NS) 5.5(EW) I/C: 9.4(NS)	試験 O/S: 4.7Hz I/C: 9.4Hz (X) 10.6Hz (Y) 解析 O/S: 4.1Hz I/C: 9.6Hz (X) 10.2Hz (Y)	試験 O/S: 5.4Hz (X) 5.8Hz (Y) I/C: 11.9Hz (X) 12.9Hz (Y) 解析 O/S: 5.1Hz (X) 5.9Hz (Y) I/C: 11.9Hz (X) 11.8Hz (Y)	試験 O/S: 6.9~7.19Hz I/C: 13.7~13.9Hz (X) 11.3~11.8Hz (Y) C/V: 8.1Hz 解析 O/S: 6.81Hz I/C: 13.17Hz (X) 11.87Hz (Y)	試験 I/C: 9.03Hz (NS) 9.11Hz (EW) A/B: 5.44Hz (NS) 5.50Hz (EW) 解析 I/C: 9.18Hz (NS) 9.01Hz (EW) A/B: 5.99Hz (NS) 5.93Hz (EW)	
減衰定数	試験 PCCV: 2.2% I/C: 3.4% E/B: 2.2% (NS) 解析 PCCV: 2.0% I/C: 4.0%	試験 PCCV: 2.6%(NS) I/C: 3.0%(NS) 3.8%(EW) 解析 PCCV: 2.0% I/C: 3.0%	試験 PCCV: 1.7%(NS) 1.9%(EW) I/C: 3.0%(NS) 2.0%(EW) 解析 PCCV: 2.0% I/C: 3.0%(NS) 3.0%(EW)	試験 O/S: 3.6% I/C: 2.6%(X) 2.0%(Y) 解析 試験値と同じ値を採用	試験 O/S: 17.0%(X) 5.8%(Y) I/C: 4.6%(X) 2.8%(Y) 解析 O/S: 5.6%(X) 8.3%(Y) I/C: 4.4%(X) 3.1%(Y)	試験 O/S: 3.3% I/C: 2.8%(X) 3.1%(Y) 解析 試験値と同じ値を採用	試験 I/C: 5.29%(NS) 5.44%(EW) A/B: 7.74%(NS) 9.13%(EW) 解析 I/C: 4.27%(NS) 4.14%(EW) A/B: 9.85%(NS) 9.53%(EW)	
建屋材料定数 (ヤング率)	設計 I/C: 230 t/cm ² PCCV: 304 t/cm ² 解析 I/C: 270 t/cm ² PCCV: 400 t/cm ²	設計 I/C: 230 t/cm ² PCCV: 304 t/cm ² 解析 I/C: 380 t/cm ² PCCV: 380 t/cm ²	設計 I/C: 257 t/cm ² PCCV: 315 t/cm ² 解析 I/C: 370 t/cm ² PCCV: 430 t/cm ²	設計 RC: 223 t/cm ² 解析 RC: 380 t/cm ²	設計 RC: 230 t/cm ² 解析 RC: 340 t/cm ²	設計 RC: 210 t/cm ² 解析 RC: 390 t/cm ²	設計 RC: 230 t/cm ² 解析 RC: 310 t/cm ²	
解析モデル	設計 S-R モデル 解析 全体建屋 3次元質点系行* ・ PCCV: 3DFEM	設計 S-R モデル 解析 I/C 部分を有限要素行*とした質点系行* ・ 3DFEM(上下)	設計 S-R モデル 解析 I/C 部分を有限要素行*とした質点系モデル	設計 S-R モデル 解析 上部構造曲げせん断質点系の S-R 行*	設計 S-R モデル 解析 上部構造曲げせん断質点系の S-R 行*	設計 S-R モデル 解析 上部構造曲げせん断質点系の S-R 行*	設計 S-R モデル 解析 上部構造曲げせん断質点系の S-R 行*	
評価方法 評価項目	一質点系同帰分析により各モードの固有振動数、減衰定数を評価 ・ 共振曲線 ・ モード図	一質点系同帰分析により各モードの固有振動数、減衰定数を評価 ・ 共振曲線 ・ モード図	一質点系同帰分析により各モードの固有振動数、減衰定数を評価 ・ 共振曲線 ・ モード図 ・ 伝達関数	ハーフパワー法 ・ 固有振動数 ・ 振動形 ・ 共振曲線	多自由度同帰分析のモード同定法 ・ 固有振動数 ・ モード図 ・ 共振曲線	ハーフパワー法 ・ 固有振動数 ・ 振動形 ・ 共振曲線	一質点系同帰分析により各モードの固有振動数、減衰定数を評価 ・ 共振曲線 ・ モード図	
備考								

注: 「原子炉施設の実機試験・観測と評価」に関する調査報告書(日本建築学会構造委員会, 2001) 3.2) に加筆

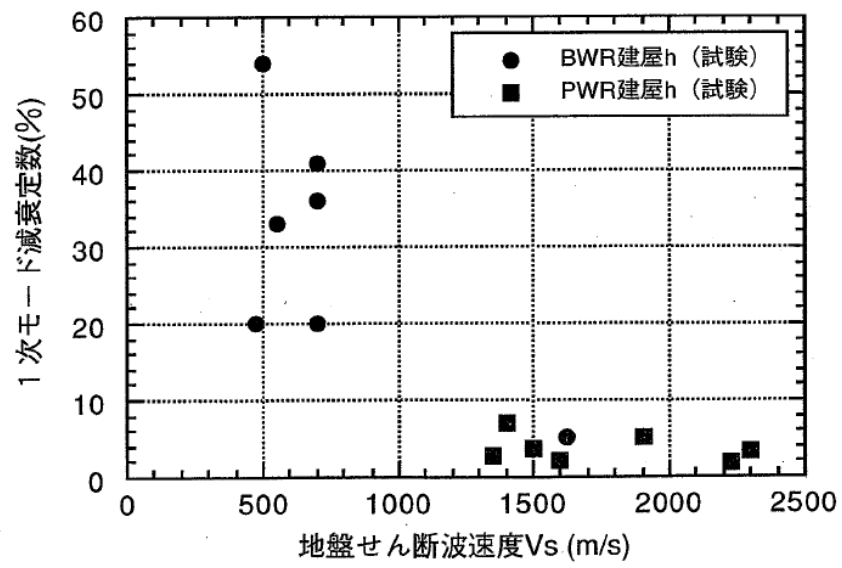


図 3-2 地盤剛性 (Vs) と試験結果の減衰定数の関係^{3.2)}

3.3 実建造物の地震観測

3.3.1 原子炉建屋（BWR）での地震観測（RC造部）

(1) 女川2号機及び3号機の地震観測

東北電力（株）女川2号機及び3号機原子炉建屋のシミュレーション解析結果^{3.3)}を表3-3に示す。この解析では、基礎版上端と上部構造の観測記録を用いているため、解析結果に対する地盤への逸散減衰の影響は小さいと考えられるが、建屋が地盤に埋め込まれていることによる減衰への影響が考えられる。地震による累積的影響が小さいと考えられる、東北地方太平洋沖地震（2011年3月11日）以前の地震観測記録の分析結果によると、減衰定数 h は1%～8%程度となっている。

表3-3のうち、減衰定数と加速度レベルの関係を図3-3に示す。基礎版上加速度が 500cm/s^2 程度までは、加速度レベルに応じて大きくなる傾向がある。

表3-3 東北電力（株）女川2号機及び3号機原子炉建屋のシミュレーション解析結果
 (a) 女川2号機原子炉建屋 固有振動数と減衰定数の傾向

地震名	NS方向			EW方向		
	基礎版上加速度 2RB-6(cm/s ²)	振動数(Hz) 減衰定数(%)	比率※ -	基礎版上加速度 2RB-6(cm/s ²)	振動数(Hz) 減衰定数(%)	比率※ -
1994.10.04 22:22 北海道東方沖 マグニチュード8.2 震央距離758km	15	6.74	1.40	15	6.50	1.32
		1.31	-		3.73	-
2003.05.26 18:24 宮城県沖 マグニチュード7.1 震央距離48km	112	5.55	1.15	168	5.29	1.08
		7.77	-		4.01	-
2005.08.16 11:46 宮城県沖 マグニチュード7.2 震央距離73km	230	5.44	1.13	206	5.24	1.07
		6.30	-		4.63	-
2011.03.11 14:46 東北地方太平洋沖 マグニチュード9.0 震央距離123km	501	4.42	0.92	461	4.43	0.90
		6.88	-		5.87	-
2011.04.07 23:32 宮城県沖 マグニチュード7.1 震央距離43km	358	4.31	0.89	367	4.36	0.89
		8.08	-		7.19	-

(b) 女川3号機原子炉建屋 固有振動数と減衰定数の傾向

地震名	NS方向			EW方向		
	基礎版上加速度 3RB-1(cm/s ²)	振動数(Hz) 減衰定数(%)	比率※ -	基礎版上加速度 3RB-1(cm/s ²)	振動数(Hz) 減衰定数(%)	比率※ -
2001.12.02 22:02 岩手県内陸南部 マグニチュード6.4 震央距離112km	33	6.23	1.25	35	5.75	1.17
		4.29	-		5.25	-
2003.05.26 18:24 宮城県沖 マグニチュード7.1 震央距離48km	129	5.78	1.16	189	5.31	1.08
		3.95	-		4.51	-
2005.08.16 11:46 宮城県沖 マグニチュード7.2 震央距離73km	222	5.55	1.11	188	5.20	1.06
		3.78	-		5.57	-
2011.03.11 14:46 東北地方太平洋沖 マグニチュード9.0 震央距離123km	545	4.72	0.94	458	4.58	0.93
		6.03	-		7.00	-
2011.04.07 23:32 宮城県沖 マグニチュード7.1 震央距離43km	373	4.57	0.91	398	4.48	0.91
		5.27	-		7.66	-

注：東北電力（株）女川2号機及び3号機原子炉建屋シミュレーション解析について
 (コメント回答) [建築物・構造6-3-2 (2012)]^{3.3)} に加筆

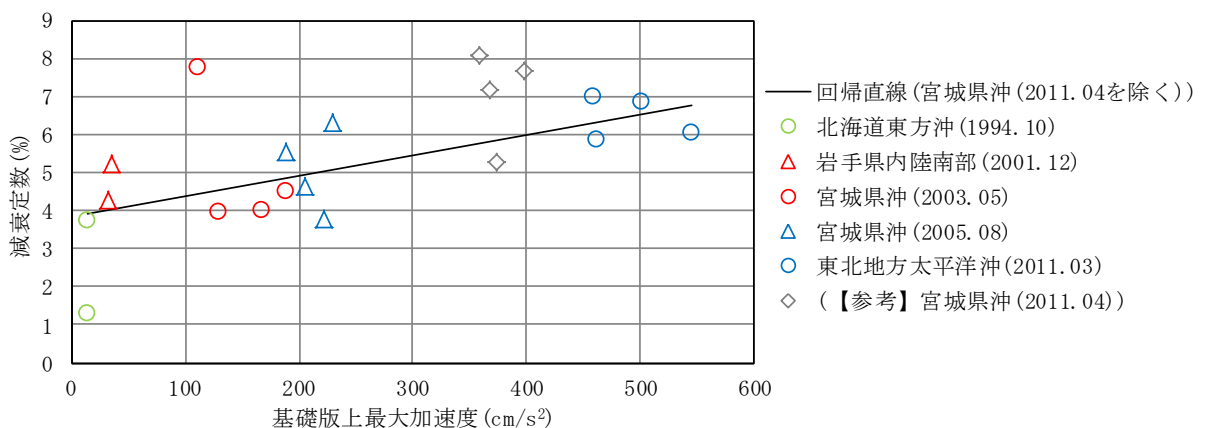


図3-3 減衰定数と入力加速度レベルの関係

(2) 福島第二・2号機での地震観測

東京電力（株）福島第二・2号機原子炉建屋の東北地方太平洋沖地震を対象としたシミュレーション解析^{3,4)}では、設計モデルを基本として、実情を踏まえた建屋及び地盤条件を考慮した埋込みSRモデルにより、基礎版上の観測記録を用いたシミュレーション解析を実施している。この際、建屋RC造部の材料減衰は5%とし、ひずみエネルギー比例型減衰として解析モデルに考慮している。東京電力（株）福島第二・2号機原子炉建屋のシミュレーション解析結果を図3-4に示す。

図3-4より、地上2階の加速度応答スペクトルは、観測記録の傾向をおおむね捉えていることが確認できる。なお、シミュレーション解析結果の各階の最大せん断ひずみは、最大でも 0.1×10^{-3} 程度であるとしている。

減衰定数5%を設定した地震観測シミュレーション解析により、観測記録をおおむね再現できることが確認された。

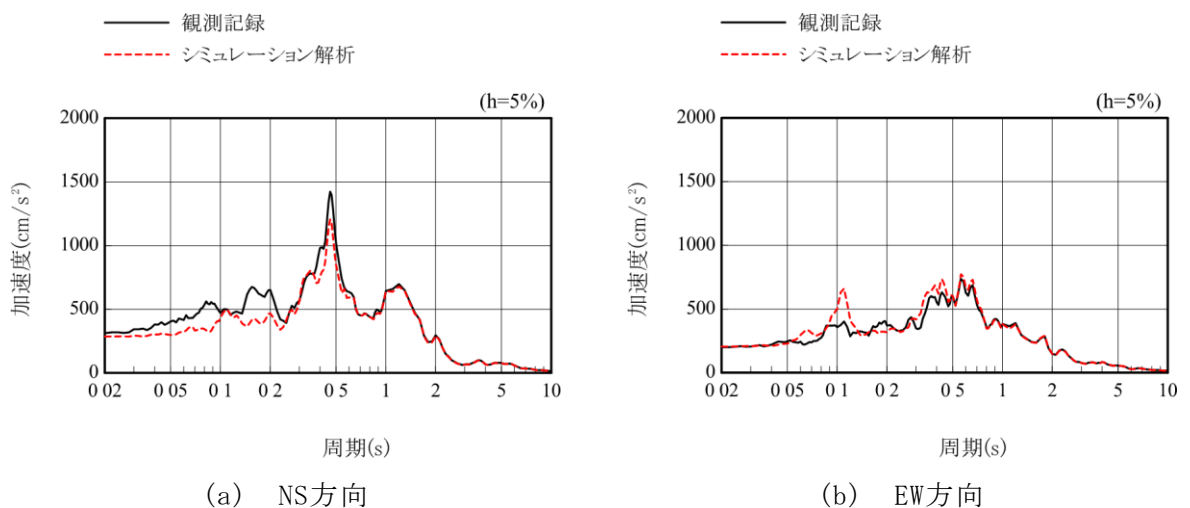


図3-4 東京電力（株）福島第二・2号機原子炉建屋のシミュレーション解析結果^{3,4)}

(3) 東通1号機での地震観測

東北電力（株）東通原子力発電所1号機原子炉建屋の2008年7月24日に発生した岩手県沿岸北部の地震を対象としたシミュレーション解析^{3.5)}では、地盤との相互作用を考慮した多軸多質点系の解析モデルにより、基礎版上端質点の観測記録を用いたシミュレーション解析を実施している。この際、建屋RC造部の材料減衰は5%としている。東北電力（株）東通原子力発電所1号機原子炉建屋のシミュレーション解析結果を図3-5に示す。

図3-5より、1階、3階及び屋根の加速度応答スペクトルは、観測記録をおおむね再現していることが確認できる。

減衰定数5%を設定した地震観測シミュレーション解析により、観測記録をおおむね再現できることが確認された。

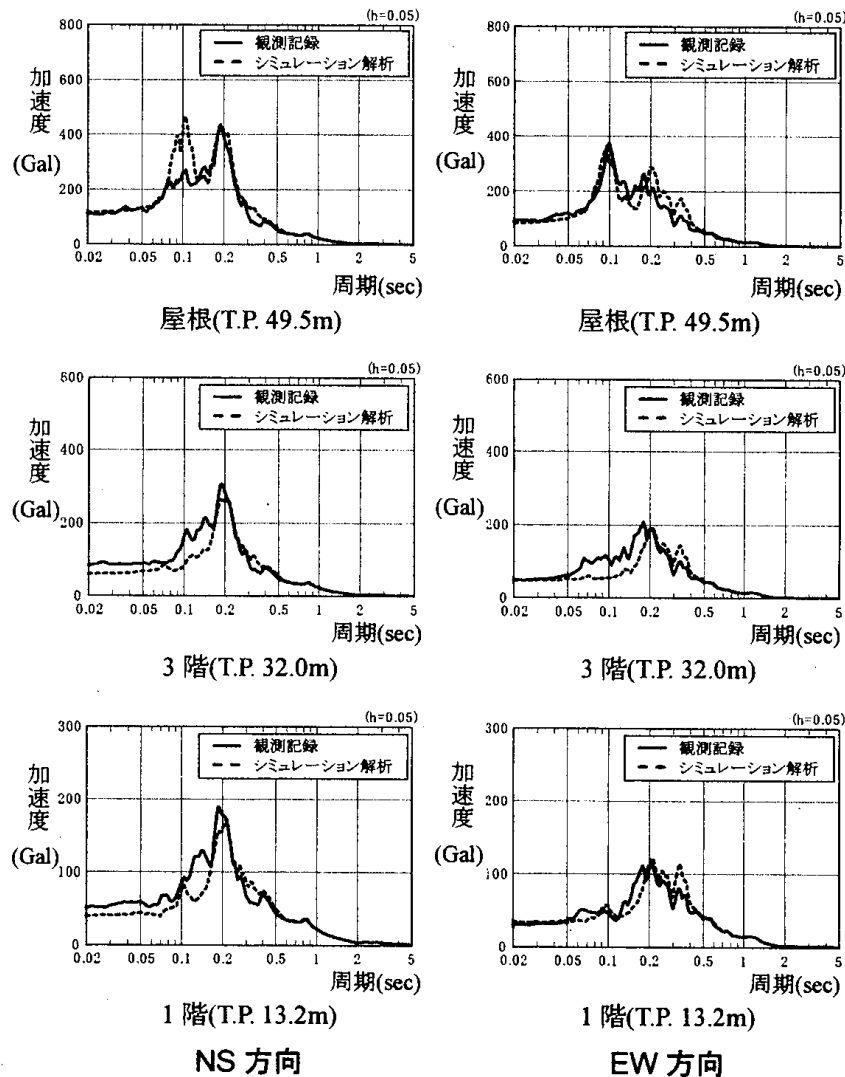


図3-5 東北電力（株）東通原子力発電所1号機原子炉建屋のシミュレーション解析結果^{3.5)}

(4) 柏崎刈羽 1 号機の地震観測

東京電力（株）柏崎刈羽原子力発電所1号機原子炉建屋の新潟県中越沖地震を対象としたシミュレーション解析^{3,6)}では、設計時のモデルに実情を踏まえた建屋及び地盤条件を考慮した埋込みSRモデルにより、基礎版上の観測記録を用いたシミュレーション解析を実施している。この際、建屋RC増部の材料減衰は5%とし、解析モデルへはひずみエネルギー比例減衰として与えている。東京電力（株）柏崎刈羽原子力発電所1号機原子炉建屋のシミュレーション解析結果を図3-6に示す。

図3-6より、1号機地上2階の加速度応答スペクトルは、観測記録を比較的良好に再現できることが示されたとしている。なお、シミュレーション解析結果の各階の最大せん断ひずみは、最大でも1号機 0.2×10^{-3} 程度となつたとしている。

減衰定数5%を設定した地震観測シミュレーション解析により、観測記録をおおむね再現できることが確認された。

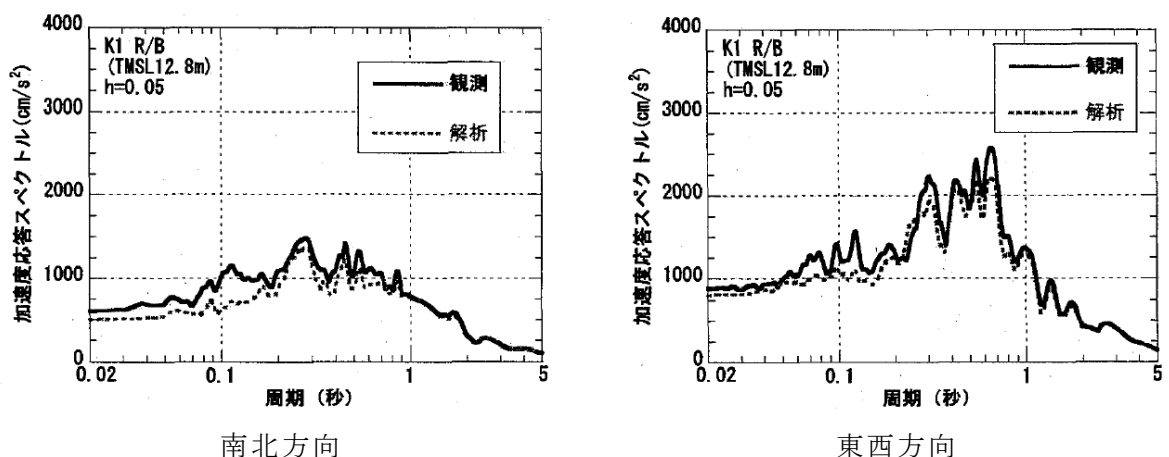


図 3-6 東京電力（株）柏崎刈羽原子力発電所 1 号機原子炉建屋
のシミュレーション解析結果^{3,6)}

(5) 浜岡3号機の地震観測

中部電力（株）浜岡原子力発電所3号機原子炉建屋の上下動シミュレーション解析^{3.7)}では、静岡県南部地震（1988年6月1日）を対象として、建屋を多質点系モデルで評価した解析モデルにより、基礎版上端における上下動観測波を入力としたシミュレーション解析を実施している。この際、建屋RC造部の材料減衰は5%としている。中部電力（株）浜岡原子力発電所3号機原子炉建屋のシミュレーション解析結果を図3-7に示す。

図3-7より、屋根端部及び中央部の加速度応答スペクトルは、観測記録にみられる卓越振動数及び増幅特性をおおむね捉えていることが確認できる。

減衰定数5%を設定した上下動地震観測シミュレーション解析により、観測記録と比較的良好な対応を示すことが確認された。

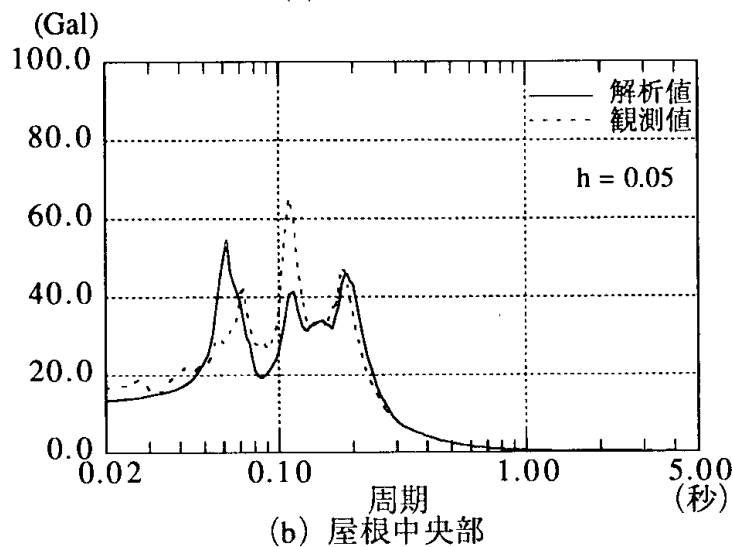
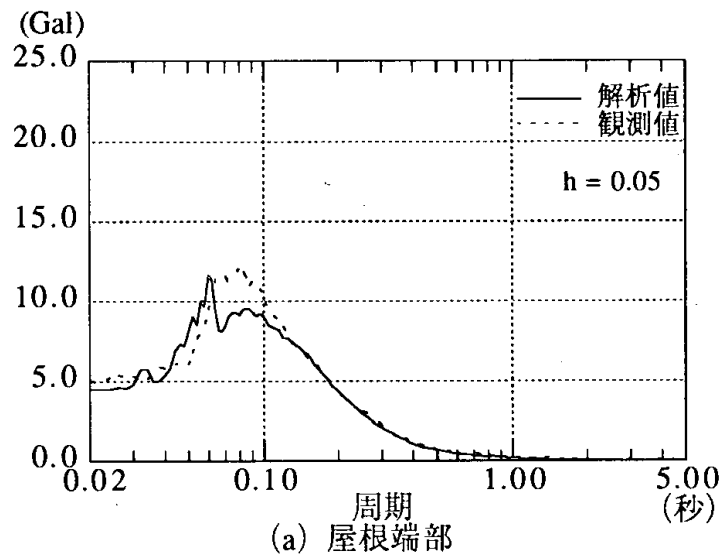


図3-7 中部電力（株）浜岡原子力発電所3号機原子炉建屋のシミュレーション解析結果^{3.7)}

(6) 浜岡4号機の地震観測

中部電力（株）浜岡原子力発電所4号機原子炉建屋と周辺地盤を含めた建屋—地盤連成系のシミュレーション解析^{3,8)}では、建屋を質点系、地盤を多質点系並列地盤モデルで評価した解析モデルにより、自由地盤のGL-20mの3地震の観測波を入力としたシミュレーション解析を実施している。この際、建屋RC造部の材料減衰は5%としている。中部電力（株）浜岡原子力発電所4号機原子炉建屋のシミュレーション解析結果を図3-8に示す。

図3-8より、屋根階中央部、4階及び1階の加速度応答スペクトルは、観測記録とおおむね良い対応を示していることが確認できる。

減衰定数5%を設定した地震観測シミュレーション解析により、観測記録をおおむね良く対応できることが確認された。

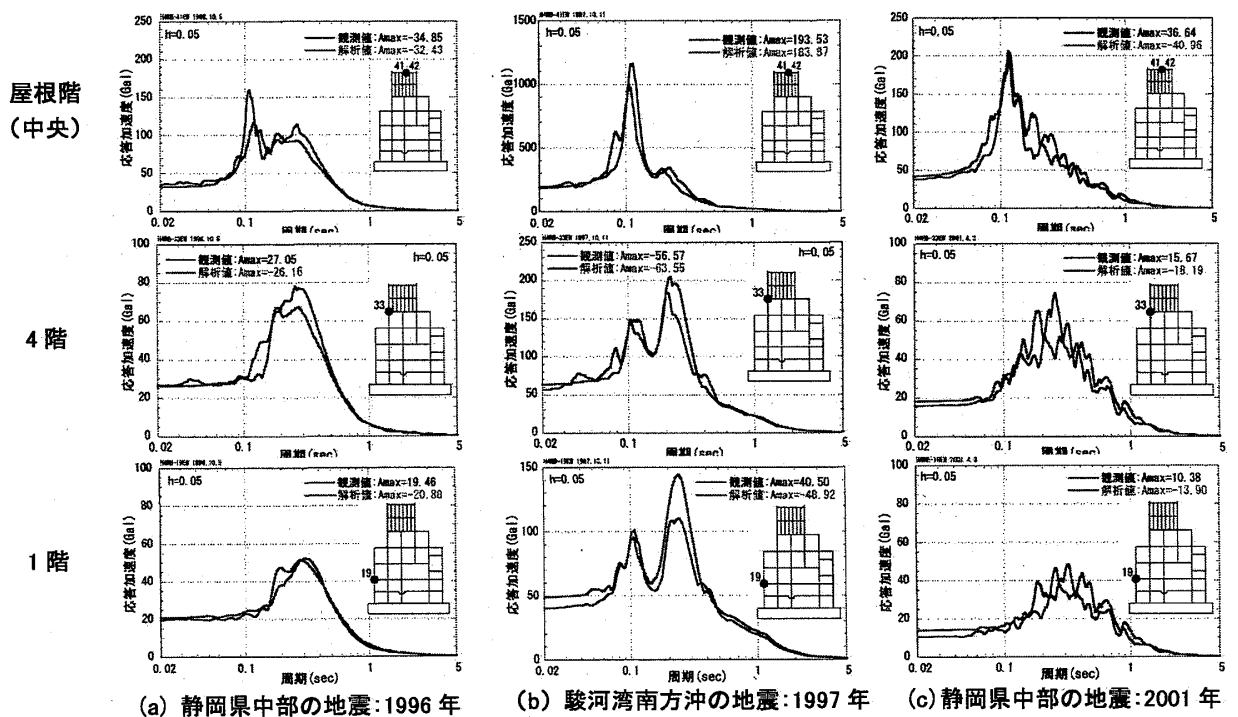


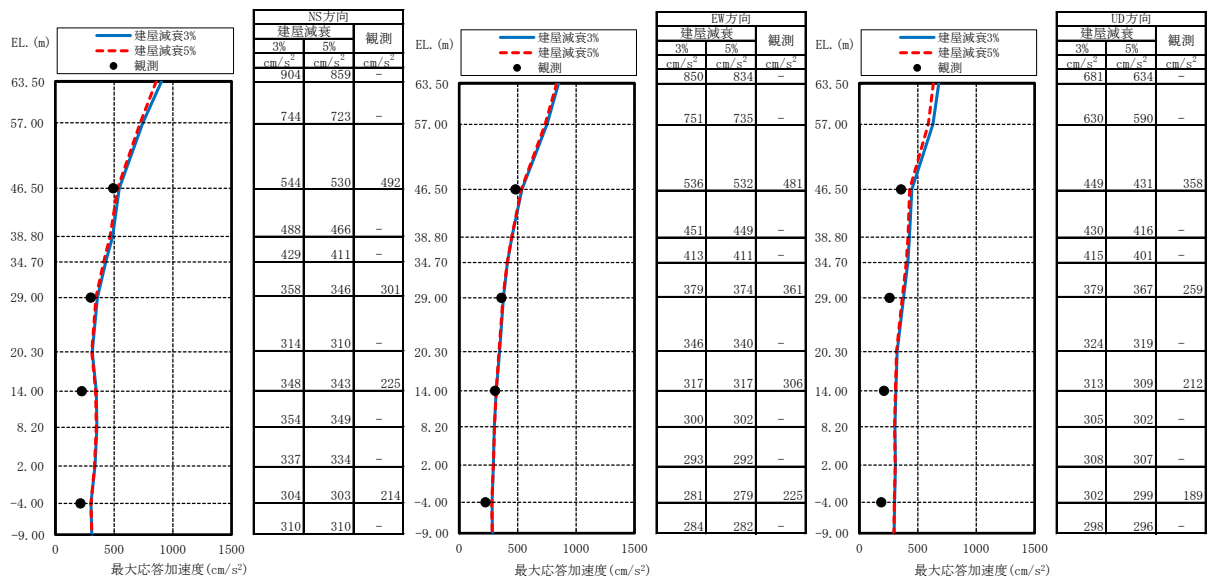
図3-8 中部電力（株）浜岡原子力発電所4号機原子炉建屋のシミュレーション解析結果^{3,8)}

(7) 東海第二発電所の地震観測

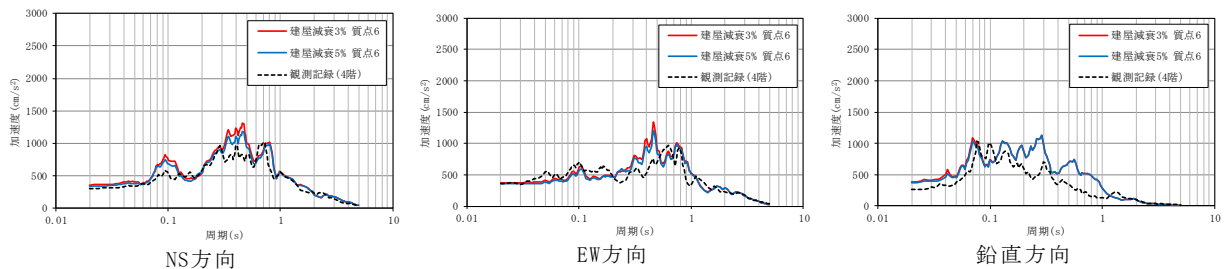
日本原子力発電（株）東海第二発電所原子炉建屋のシミュレーション解析^{3.9)}では、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震時の観測記録を用いて建屋を多質点系モデルで評価した解析モデルにより、シミュレーション解析を実施している。この際、建屋RC造部の材料減衰として、3%の場合と5%の場合の2種類を実施している。日本原子力発電（株）東海第二発電所原子炉建屋のシミュレーション解析結果を図3-9に示す。

図3-9より、RC造部の減衰3%と5%の両者とも観測記録に対して保守的な値となっているが、観測記録とおおむね対応しており、また、減衰5%の結果のほうがより観測記録と対応していることが確認できる。

上記シミュレーション解析により、RC造部の減衰5%が観測記録とより良い対応を示すことが確認された。



(a) 最大応答加速度分布の比較



(b) 加速度応答スペクトルの比較 (4F, EL. 29.0m, h = 5%)

図3-9 日本原子力発電（株）東海第二発電所原子炉建屋のシミュレーション解析結果^{3.9)}

3.3.2 原子炉建屋（PWR）での地震観測（新規制基準施行前）

原子炉建屋（PWR）における地震観測記録の分析結果を表3-4に整理する。整理に当たっては、地盤への逸散減衰の影響が小さいと考えられる上部構造物と基礎上端の記録に基づく文献を選定している。得られた観測記録レベルでの減衰定数は1%～4%程度となっている。

また、九州電力（株）では、1997年鹿児島県北西部地震の本震及び余震等の観測記録を用いて、川内原子力発電所1号機（以下「川内1号機」という。）の外部遮蔽建屋における基礎上端最大加速度と減衰定数の関係性を評価している。外部遮蔽建屋の基礎上端最大加速度と減衰定数の関係を図3-10に示す。加速度レベルが大きくなるにつれ、減衰定数は大きくなる傾向が見られるとしている。

表3-4 原子炉建屋（PWR）での地震観測記録の分析結果

	基礎上端最大加速度 (推定される応答レベル)	減衰定数	備考
伊方1号機 ^{3.10)}	約25cm/s ² (弾性域)	内部コンクリート：3% 外周コンクリート：3.5%	1979年7月13日 周防灘の地震
泊1号機 ^{3.11)}	約40cm/s ² (弾性域)	外部遮蔽建屋， 内部コンクリート， 周辺補機棟の平均：4.1%	1993年7月12日 北海道南西沖地震
川内1号機 ^{3.12)}	1cm/s ² ～68cm/s ² 程度 (弾性域)	外部遮蔽建屋：1%～4%程度	1997年3月26日， 5月13日 鹿児島県北西部地震 (余震を含む24地震)

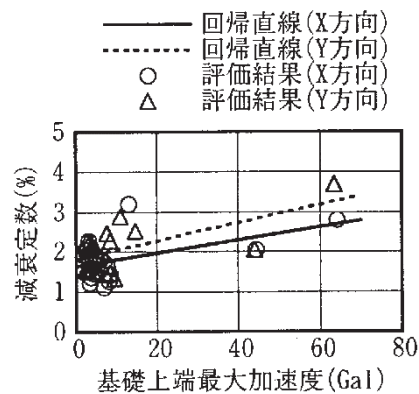


図3-10 川内1号機 外部遮蔽建屋の基礎上端最大加速度と減衰定数の関係^{3.12)}

3.3.3 原子炉建屋（PWR）での地震観測（新規制基準施行後）

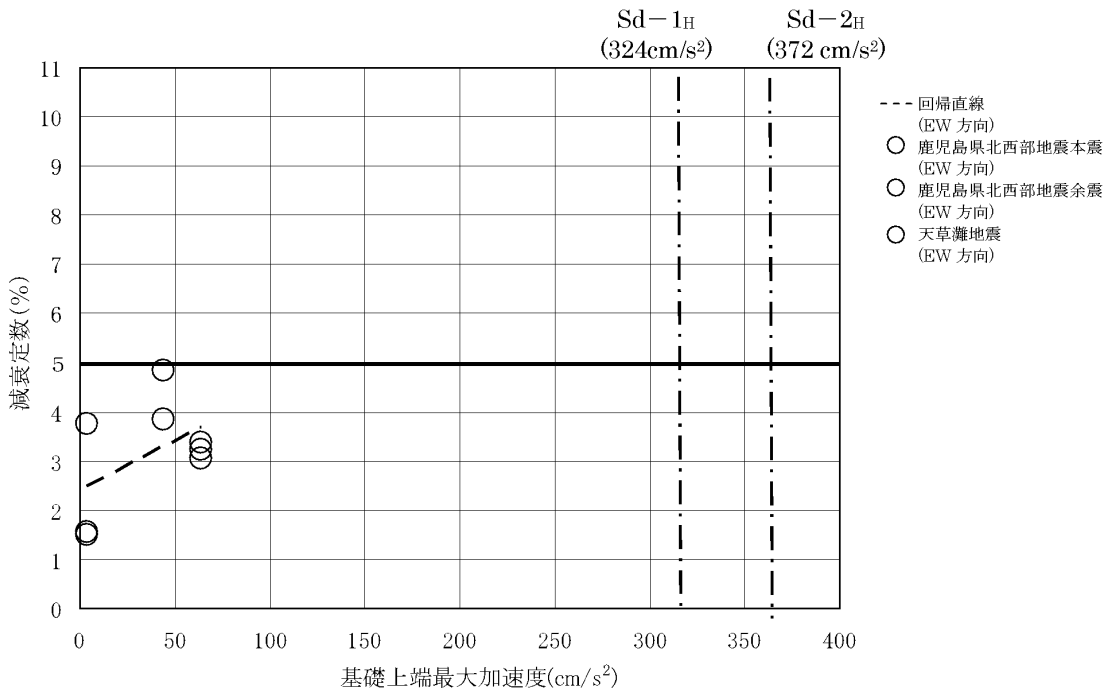
(1) 川内1号機での地震観測（RC造部）

九州電力（株）は、川内1号機の減衰定数に関する検討^{3.13)}において、複数の地震観測記録を用いた詳細な検討を行い、川内1号機の外部遮蔽建屋、内部コンクリート及び原子炉補助建屋における減衰定数 h について、構造及び形状による考察並びに基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d 応答レベルでの減衰定数 h の考察を実施している。

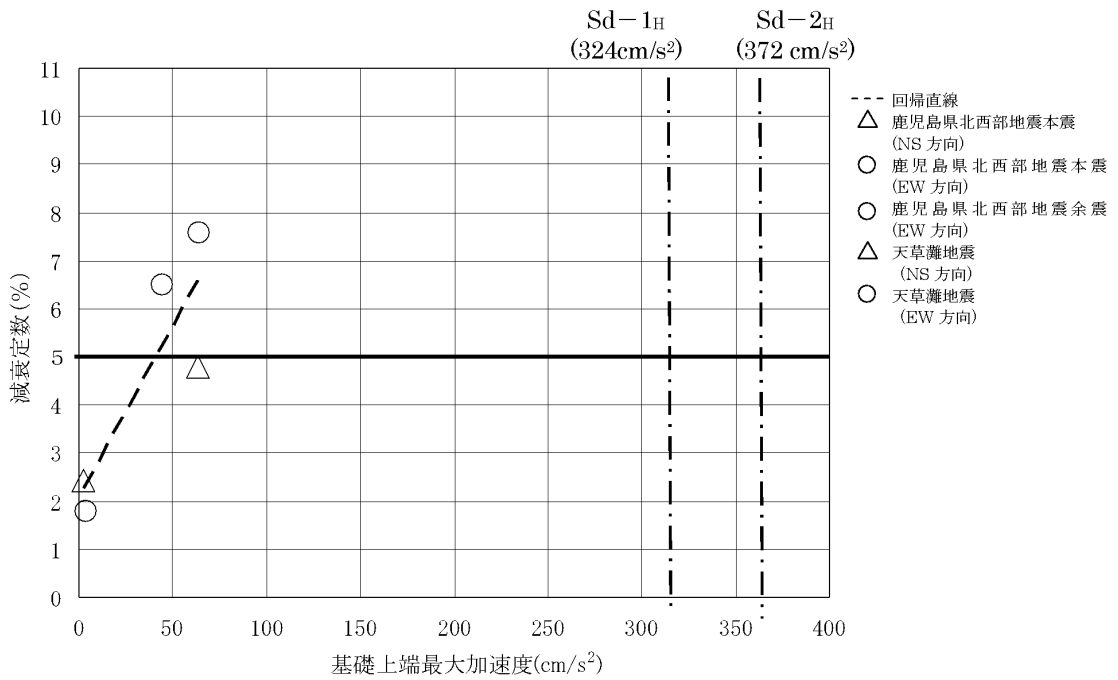
① システム同定による減衰定数 h の評価

九州電力（株）は、鹿児島県北西部地震の本震、同地震の余震及び天草灘地震の地震観測記録を用いて、システム同定により減衰定数 h を評価した結果、水平方向は、外部遮蔽建屋で2%～5%程度、内部コンクリートで2%～8%程度、原子炉補助建屋で2%～10%程度、鉛直方向は、各建屋で2%～5%程度であるとしている。減衰定数 h と基礎上端最大加速度を比較した結果を図3-11に示す。

これらの結果を踏まえ、九州電力（株）は、川内1号機について、システム同定により評価した減衰定数は、入力地点の加速度レベルに応じて大きくなる傾向を示しており、検討に用いた地震観測記録の入力地点の加速度よりも大きいレベルでは、更に大きな減衰が推定できるとしている。

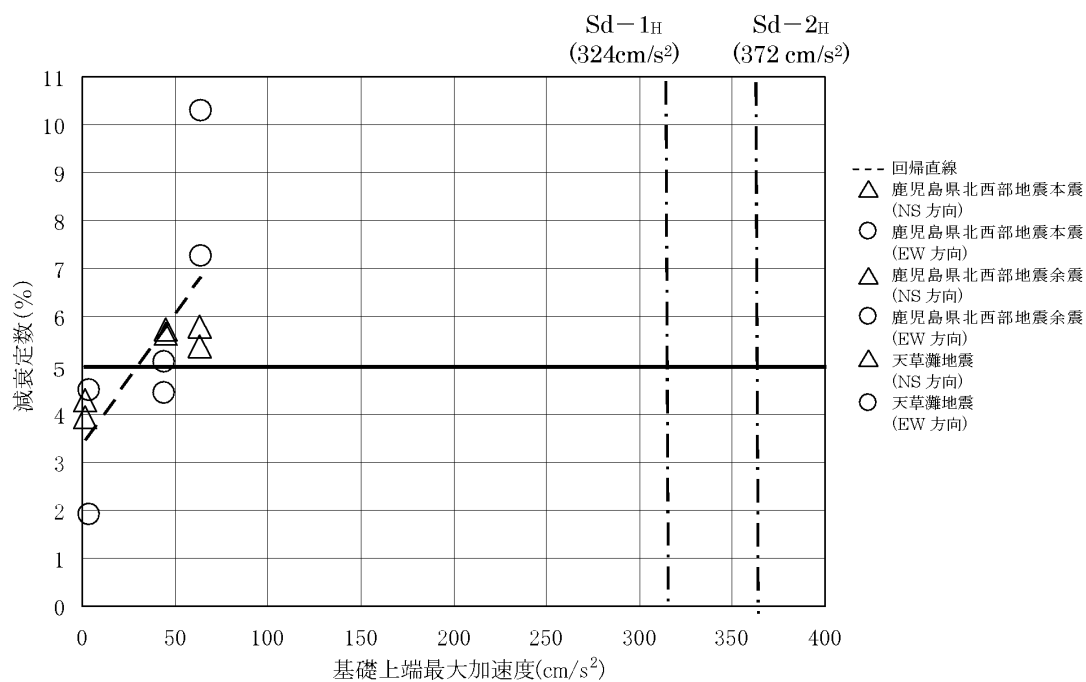


(a) 外部遮蔽建屋 (水平方向)

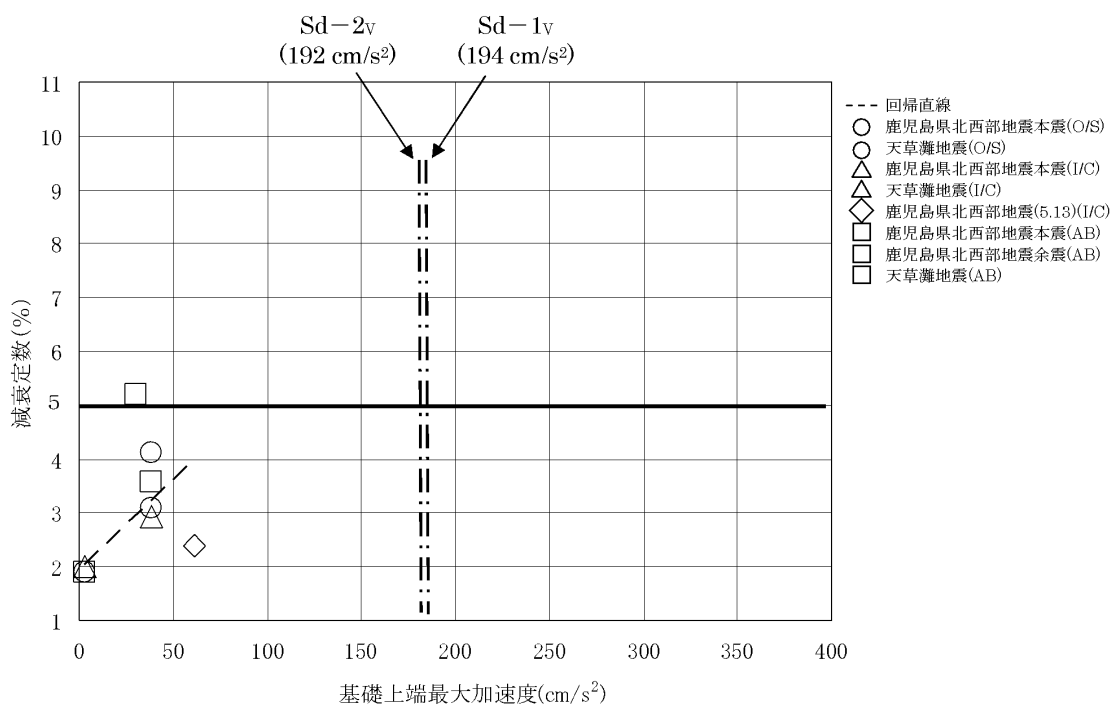


(b) 内部コンクリート (水平方向)

図3-11 川内1号機の基礎上端最大加速度と減衰定数の関係^{3.13)} (1/2)



(c) 原子炉補助建屋 (水平方向)



(d) 外部遮蔽建屋、内部コンクリート、原子炉補助建屋 (鉛直方向)

図3-11 川内1号機の基礎上端最大加速度と減衰定数の関係^{3.13)} (2/2)

② 構造及び形状による考察

九州電力（株）はRC造の建物・構築物の減衰定数 h について、構造及び形状により、以下のように考察している。

RC耐震壁試験と比較して、減衰効果が期待できる要因に着目し、単純な構造体と多数の耐震壁及び構造床から構成された3次元的な広がりを持つ複雑な構造体に分類して考察を行う。

単純な構造体は、外部遮蔽建屋が該当し、トップドーム部を除き、高さ方向に構造床がなく、耐震壁に取り付くはり及び耐震壁がないような構造で、直交する接合部が少ないことが特徴といえる。

複雑な構造体は、直交部材との接合部を複数有する構造体とし、内部コンクリート及び原子炉補助建屋が該当する。内部コンクリートは、構造床を有し、耐震壁は3次元的に複雑な形状となっている。また、原子炉補助建屋は、複数の層にそれぞれ構造床があり、耐震壁も多数の区画を形成している。

これらの複雑な構造体は、水平方向及び鉛直方向の地震力に対し、耐震壁及び構造床に加え、接合部を介した挙動及び加力方向と直交する構造部材の挙動から、減衰効果が得られると考えられる。これらは、内部コンクリート及び原子炉補助建屋の水平方向については、システム同定による減衰定数の評価結果において、単純なRC耐震壁と比較して、減衰効果が特に大きい傾向が得られていること、また、鉛直方向については、地震応答解析モデルによる検討結果において、鉛直方向の観測記録で減衰効果が解析結果以上に得られていることから推察できる。

③ 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する応答レベルでの減衰定数の考察

九州電力（株）は、川内1号機の基準地震動 S_s による耐震壁の最大せん断ひずみは、スケルトン曲線においておおむね第1折点付近であり、弾性設計用地震動 S_d による耐震壁の最大せん断ひずみは、スケルトン曲線においておおむね第1折点付近以下であるとしている。

既往の実験・観測結果に加え、川内1号機におけるシステム同定による減衰定数 h の評価結果からも、減衰定数 h には振幅依存特性が確認されることから、基準地震動 S_s レベル（水平方向 540cm/s^2 以上、鉛直方向 320cm/s^2 以上）及び弾性設計用地震動 S_d レベル（水平方向 320cm/s^2 以上、鉛直方向 190cm/s^2 以上）では、観測記録レベル（ $1\text{cm/s}^2 \sim 60\text{cm/s}^2$ 程度）で得られた減衰定数 h よりも大きいと考えられ、基準地震動 S_s レベル及び弾性設計用地震動 S_d レベルの解析に用いる減衰定数 h は、水平方向及び鉛直方向とも5%程度以上と考えら

れるとしている。

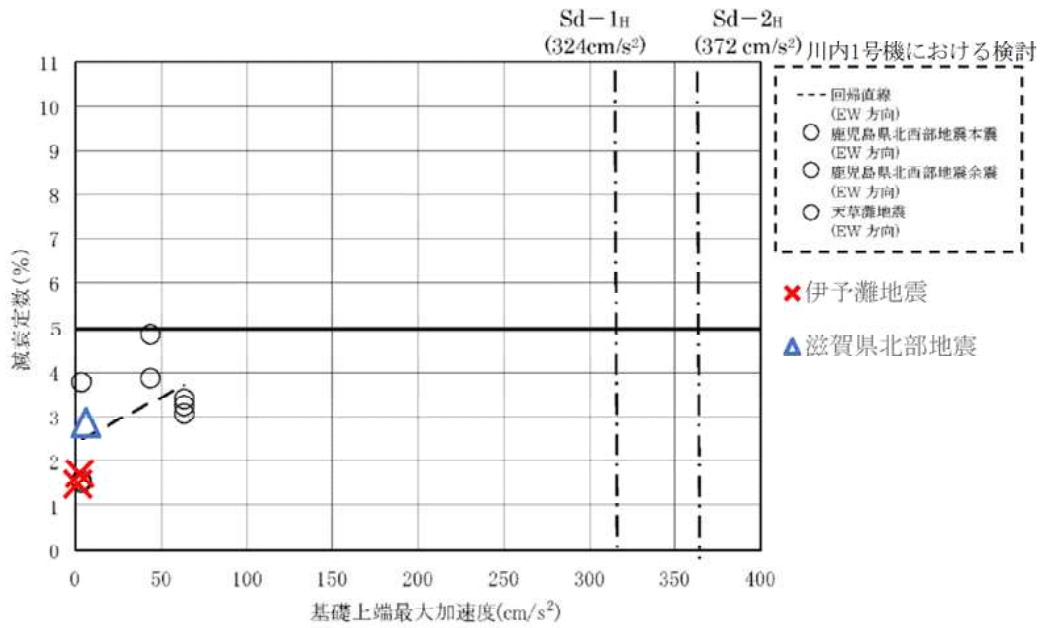
ここで、複雑な構造体である内部コンクリート及び原子炉補助建屋については、観測記録地震動レベル（ $1\text{cm/s}^2 \sim 60\text{cm/s}^2$ 程度）で5%を超える減衰定数 h が得られているが、単純な構造体である外部遮蔽建屋は最大で約5%と、構造の複雑さによる減衰効果の違いがみられることから、九州電力（株）は、単純な構造体である外部遮蔽建屋については、観測記録より得られた減衰定数 h に加え、振幅依存性を踏まえると、弾性設計用地震動 S_d レベルにおいても5%程度以上とできるものと考えられるが、構造の複雑さによる減衰効果が期待しにくいことから、弾性設計用地震動 S_d を用いた評価では、減衰定数を3%とした場合についても考慮するとしている。

(2) 高浜3号機の地震観測（RC造部）

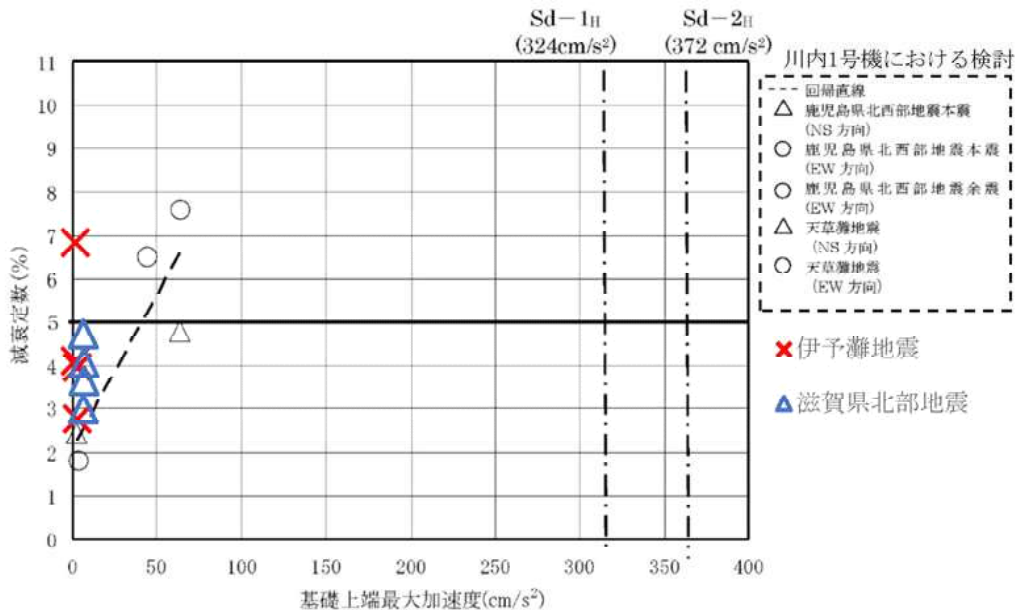
関西電力（株）は、高浜発電所3号機（以下「高浜3号機」という。）における減衰定数に関する検討^{3.14)}では、地震観測記録を用いて建屋の減衰定数 h の考察を実施している。

システム同定により減衰定数 h を評価した結果、水平方向は外部遮蔽建屋で1.6%～2.9%程度、内部コンクリートで2.8%～6.8%程度、外周建屋で2.2%～5.2%程度、鉛直方向は各建屋で1.4%～7.3%程度であるとしている。高浜3号機のシステム同定結果を図3-12に示す。

また、高浜3号機と川内1号機は、建物・構築物の配置やその構造的特徴には共通点が見られることから、川内1号機の観測記録及びそれに基づく検討内容の結果を高浜3号機に適用できるとしている。

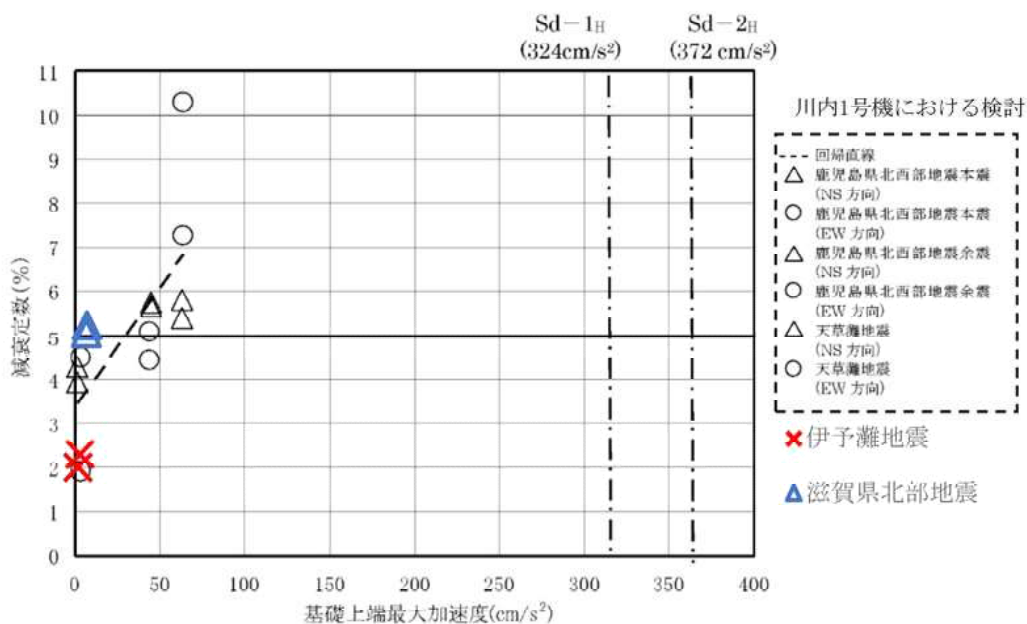


(1) 外部しゃへい建屋 (水平方向)

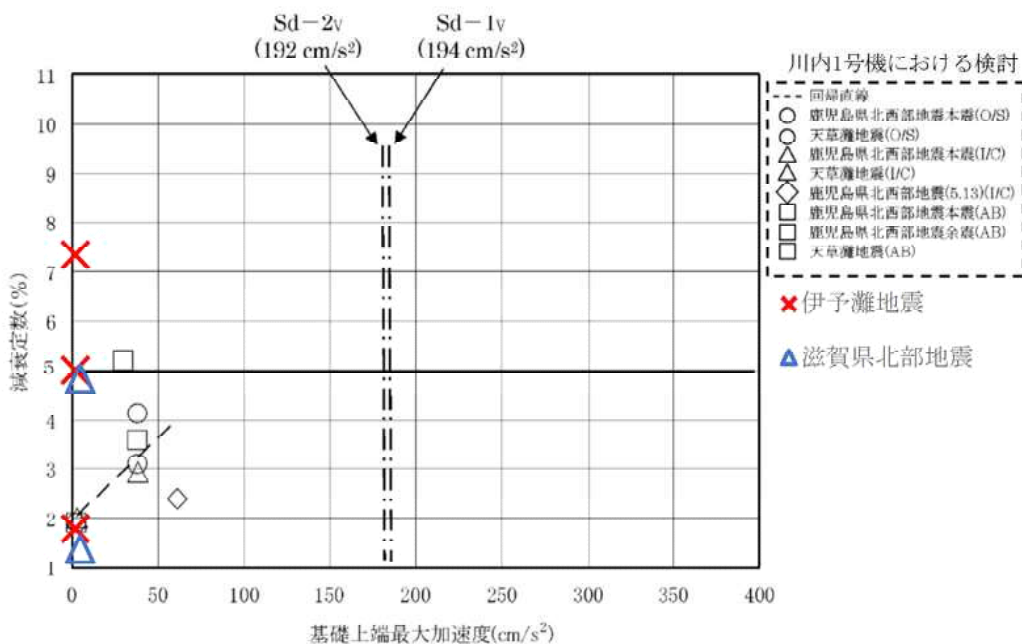


(2) 内部コンクリート (水平方向)

図3-12 川内1号機における鹿児島県北西部地震の本震及び余震等を含むシステム同定結果と高浜3号機の伊予灘地震によるシステム同定結果^{3,14)} (1/2)



(3) 外周建屋 (川内：原子炉補助建屋) (水平方向)



(4) 外部しゃへい建屋、内部部コンクリート、外周建屋 (川内：原子炉補助建屋) (鉛直方向)

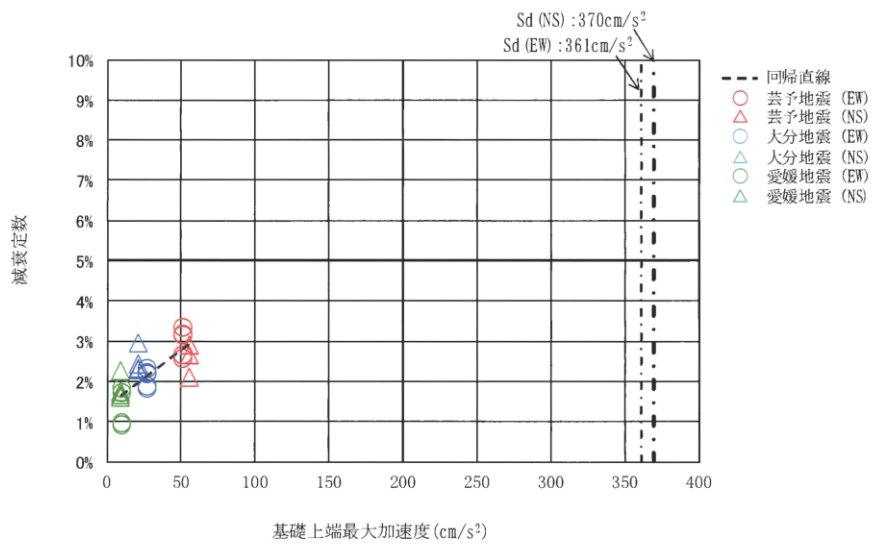
図3-12 川内1号機における鹿児島県北西部地震の本震及び余震等を含むシステム同定結果と高浜3号機の伊予灘地震によるシステム同定結果^{3,14)} (2/2)

(3) 伊方3号機の地震観測（RC造部）

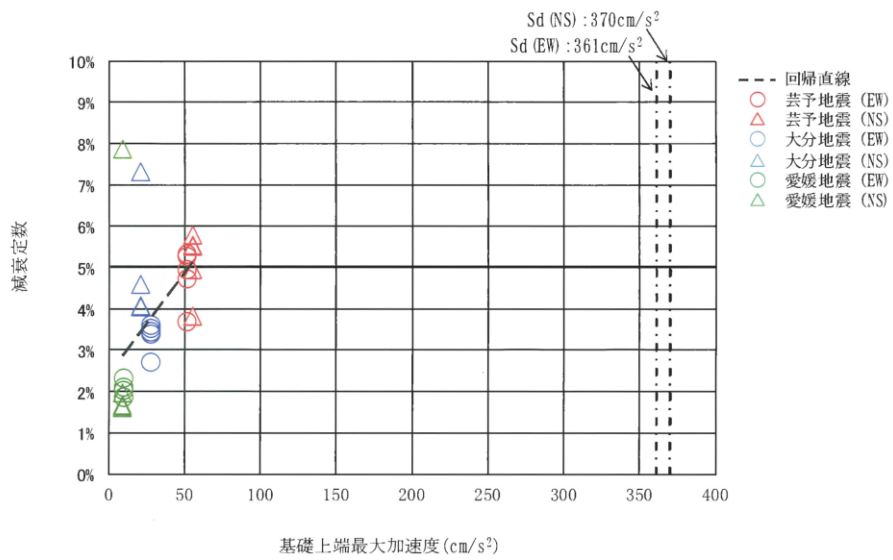
四国電力（株）は、伊方発電所3号機（以下「以下3号機」という。）における減衰定数に関する検討^{3.15)}では、地震観測記録を用いて建屋の減衰定数 h の考察を実施している。

システム同定により減衰定数 h を評価した結果、水平方向は外周コンクリート壁で3%程度、内部コンクリートで5%程度であるとしている。鉛直方向は、外周コンクリート壁、内部コンクリートともに5%程度であるとしている。伊方3号機のシステム同定結果を図3-13に示す。

また、伊方3号機と川内1号機は、類似の構造をもつ建物・構築物であり、川内1号機の観測記録及びそれに基づく検討内容を伊方3号機に適用できるとしている。



(a) 外周コンクリート壁（水平方向）



(b) 内部コンクリート（水平方向）

図3-13 伊方3号機の芸予地震等によるシステム同定結果^{3.15)} (1/2)

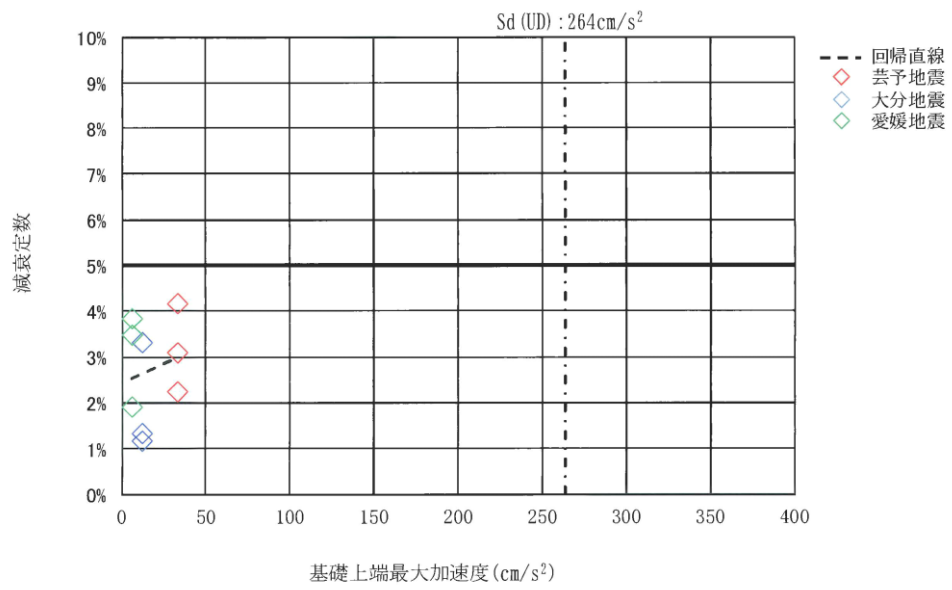
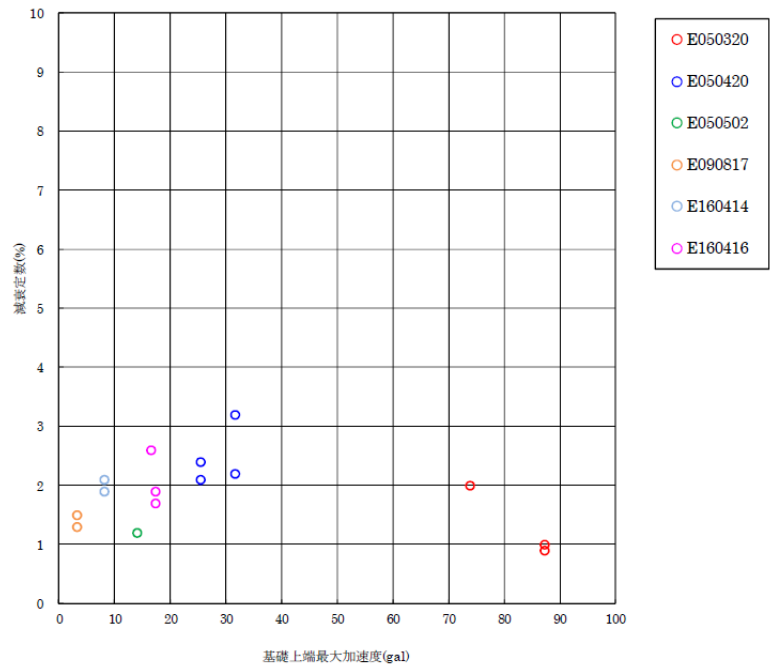


図3-13 伊方3号機の芸予地震等によるシステム同定結果^{3.15)} (2/2)

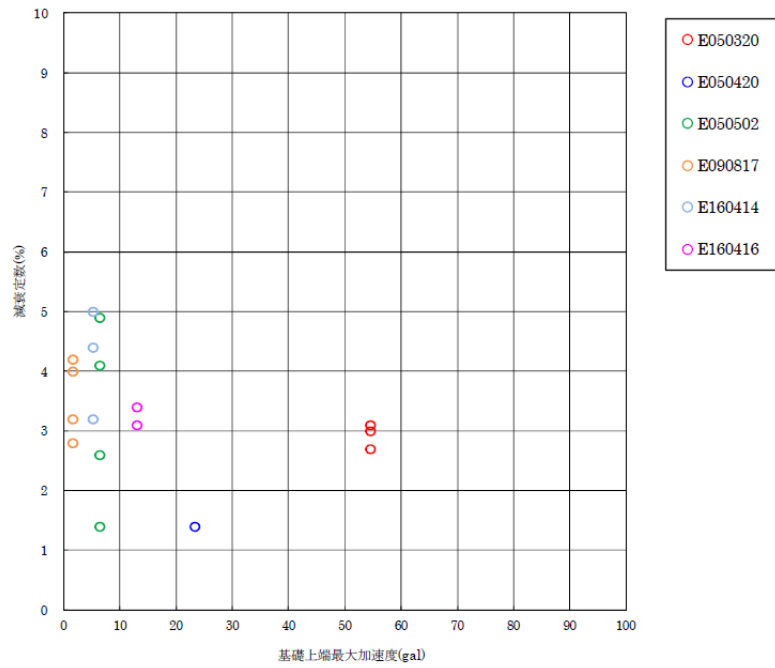
(4) 玄海3号機の地震観測（PCCV）

① 玄海3号機における地震観測記録を用いた減衰定数の検討

玄海発電所3号機（以下「玄海3号機」という。）における減衰定数に関する検討^{3.16)}では、地震観測記録を用いたシステム同定を実施し、PCCVでは減衰定数が低振幅の観測記録レベルでも、水平方向では2%程度以上であり、最大では3%を超える減衰定数が得られ、鉛直方向では、2%程度以上の結果であり、最大では5%程度の減衰定数が得られたとしている。玄海3号機のシステム同定結果を図3-14に示す。



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図3-14 玄海3号機の観測記録によるシステム同定結果^{3.16)}

② 3次元FEMモデルを用いた動的線形解析による検討

玄海3号機では、減衰定数が地震応答解析モデルに与える影響を確認する観点から、3次元FEMモデルを用いた動的線形解析による検討を実施している。この検討では、PCCVの減衰定数3%、RC造部の減衰定数を5%とした解析ケース（以下「基本ケース」という。）及びPCCVの減衰定数を2%、RC造部の減衰定数を3%とした解析ケース（以下「減衰定数の不確かさ考慮ケース」という。）による地震応答解析を行い、観測記録との比較検討を行っている。

上記によると、3次元FEMモデルによる解析結果は、おおむね観測記録と同等又は保守的な評価となっており、保守的な解析結果が得られる場合においても、基本ケースのほうが観測記録と比較的よく整合するとしている。

③ 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する応答レベル

九州電力（株）によると、玄海3号機のPCCVの基準地震動 S_s による耐震壁の最大応答せん断ひずみは、スケルトン曲線の第1折点を超える程度となり、弾性設計用地震動 S_d による耐震壁の最大応答せん断ひずみは、スケルトン曲線の第1折点未満であるとしている。

④ 減衰定数の考察

玄海3号機における基準地震動 S_s に対するPCCVの応答レベルは、スケルトン曲線の第1折点を超える程度であり、第1折点付近の減衰定数について考察している。玄海3号機の観測記録を用いたシステム同定結果は、水平方向で2%～3%程度、鉛直方向で2%～5%程度であり、第1折点付近の減衰定数としては、このシステム同定結果に既往の実験結果による減衰定数の振幅依存性を考慮できるとしている。また、3次元FEMモデルの動的線形解析により観測記録レベルにおいて、減衰定数3%の妥当性を確認しており、第1折点付近におけるPCCVの減衰定数は3%程度以上となることが推定されたとしている。

また、弾性設計用地震動 S_d レベルでのPCCVの減衰定数については、観測記録の地震動レベルと S_d 地震動レベルとの振幅レベルの違いによる減衰定数の振幅依存性を踏まえると、基準地震動 S_s と同様にPCCVで3%を基本とするとしている。これは、3次元FEMモデルを用いた動的線形解析による検討において、観測記録レベルの床応答スペクトルは、PCCVの減衰定数を3%とした基本ケース及びPCCVの減衰定数を2%とした減衰定数の不確かさ考慮ケースともに、観測記録と同等又は保守的な結果を示すこと、基本ケースのほうが観測記録と同等又は保守的な結果を示すこと、基本ケースのほうが観測記録と整合する傾向があることから、3%が妥当な設定であるとしている。

なお、単純な構造体のPCCVについては、構造の複雑さによる減衰効果が期待

しにくく低振幅である観測記録レベルにおいても、水平方向、鉛直方向ともに2%程度以上の減衰定数が得られていることを踏まえ、弾性設計用地震動S_dに対する評価において、減衰定数の設定に起因するばらつきとして2%を考慮するとしている。

(5) 大飯3号機の地震観測

大飯発電所3号機（以下「大飯3号機」という。）における減衰定数に関する検討^{3.17)}では、2つの地震観測記録を用いたシステム同定を実施し、RC造部及びPCCVの減衰定数を評価している。RC造部では水平方向7.1%～9.7%程度の減衰定数が得られ、鉛直方向では、6.1%～8.2%程度の減衰定数が得られたとしている。PCCVでは水平方向で1.7%～2.4%程度、鉛直方向で1.6%～4.2%程度の減衰定数が得られたとしている。

また、大飯3号機、高浜3号機及び伊方3号機は、原子炉格納施設の構造的特徴の類似性が確認され、高浜3号機及び伊方3号機における減衰定数に関する既往の知見を大飯3号機のRC造部の減衰定数の検討に適用することは可能であるとしている。更に、大飯3号機と玄海3号機については、原子炉格納施設及びPCCVの構造的特徴の類似性が確認され、玄海3号機におけるPCCVの減衰定数に関する既往の知見を大飯3号機のPCCVの減衰定数の検討に適用することは可能であるとしている。

4. 減衰定数の検討

4.1 地盤への逸散減衰の検討

「2.4 減衰マトリクスの設定」に示したひずみエネルギー比例型モード減衰定数を用いて、建屋全体の減衰量に対する地盤への逸散減衰の影響を検討する。

原子炉建屋のひずみエネルギー比例型モード減衰定数の算定結果を表4-1に示す。また、算定に用いた建屋及び地盤の減衰定数並びにひずみエネルギーの比率を表4-2に示す。

水平方向では、NS方向及びEW方向ともに1次、2次が建屋-地盤連成モード、3次が建屋単独モードとなっている。水平方向のモード減衰定数は、刺激係数の大きな1次では、NS方向は20.5%のうち19.4%が、EW方向は21.3%のうち20.3%が、2次でもNS方向は37.7%のうち36.7%が、EW方向は37.6%のうち36.7%が地盤減衰の影響であり、全体に占める割合が大きい。建屋単独モードである3次では、NS方向は5.4%のうち0.4%が、EW方向は5.6%のうち0.7%が地盤減衰の影響であり、1次、2次に比較して地盤減衰の影響が小さいが、刺激係数も小さいため、建屋の減衰が地震応答に与える影響は小さい。

また、鉛直方向では、1次、3次が屋根トラスのモード、2次が建屋-地盤連成モードとなっている。モード減衰定数は、建屋-地盤連成のモードである2次では36.4%のうち35.5%が地盤減衰の影響であり、全体に占める割合が大きい。屋根トラスの振動モードのうち、1次では12.9%のうち10.7%が地盤減衰の影響であり、全体に占める割合が大きく、3次では地盤減衰の割合が0.0%であるが、鉄骨部材の減衰の影響が主である。

以上より、原子炉建屋の地震応答解析モデルにおいては、地盤への逸散減衰の影響が建屋の減衰よりもかなり大きいと言える。

表4-1 ひずみエネルギー比例型モード減衰定数の算定結果

(a) NS方向, Ss-1

次数	固有振動数 (Hz)	モード減衰定数 (%)	刺激係数*	備考
1	2.28	20.5	1.585	建屋-地盤連成1次
2	5.20	37.7	-0.697	
3	11.03	5.4	0.068	

(b) EW方向, Ss-1

次数	固有振動数 (Hz)	モード減衰定数 (%)	刺激係数*	備考
1	2.33	21.3	1.547	建屋-地盤連成1次
2	5.23	37.6	-0.617	
3	12.16	5.6	0.028	

(c) 鉛直方向, Ss-1

次数	固有振動数 (Hz)	モード減衰定数 (%)	刺激係数*	備考
1	3.58	12.9	9.356	屋根トラス1次
2	3.87	36.4	-8.417	建屋-地盤連成1次
3	12.95	2.1	0.092	

注記* : モードごとに固有ベクトルの最大値を1に規準化して得られる刺激係数を示す。

表4-2 建屋及び地盤の減衰定数並びにひずみエネルギーの比率

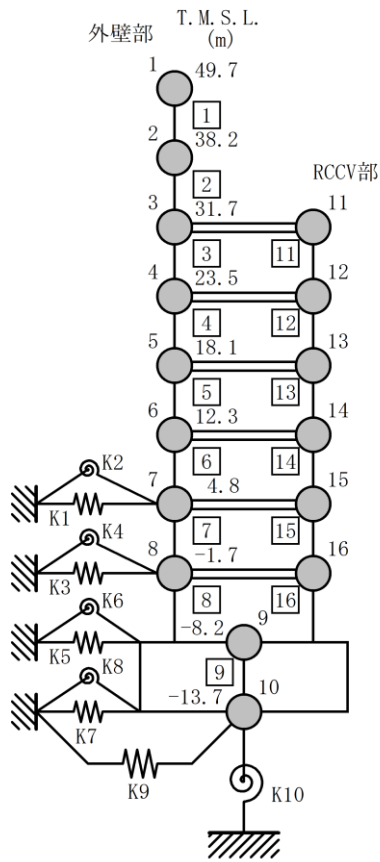
方向	部材			1次			2次			3次			
				① 各部材 の 減衰定数	② ひずみ エネルギー の比率	①×②	① 各部材 の 減衰定数	② ひずみ エネルギー の比率	①×②	① 各部材 の 減衰定数	② ひずみ エネルギー の比率	①×②	
NS 方向	建屋			5.0%	21.5%	1.1%	5.0%	19.1%	1.0%	5.0%	99.5%	5.0%	
	地盤 ばね	側面	4.80	並進	83.9%	1.5%	1.3%	92.6%	0.3%	0.3%	96.4%	0.0%	0.0%
			4.80	回転	58.9%	0.6%	0.4%	78.6%	0.4%	0.3%	89.2%	0.0%	0.0%
			-1.70	並進	83.9%	2.5%	2.1%	92.6%	1.2%	1.1%	96.4%	0.0%	0.0%
			-1.70	回転	59.0%	1.3%	0.8%	78.7%	0.8%	0.6%	89.3%	0.0%	0.0%
		-8.20	並進	71.3%	4.4%	3.1%	86.0%	4.5%	3.9%	93.1%	0.1%	0.1%	
		-8.20	回転	36.6%	3.5%	1.3%	60.8%	1.9%	1.2%	78.5%	0.0%	0.0%	
		-13.70	並進	69.8%	1.6%	1.1%	85.2%	3.0%	2.6%	92.7%	0.0%	0.0%	
		-13.70	回転	34.8%	1.8%	0.6%	59.0%	1.0%	0.6%	77.3%	0.0%	0.0%	
	底面	-13.70	並進	25.9%	25.1%	6.5%	48.4%	48.3%	23.4%	69.5%	0.4%	0.3%	
		-13.70	回転	6.1%	36.2%	2.2%	13.7%	19.5%	2.7%	27.3%	0.0%	0.0%	
合計(モード減衰定数)						20.5%		37.7%			5.4%		
EW 方向	建屋			5.0%	19.5%	1.0%	5.0%	17.1%	0.9%	5.0%	98.4%	4.9%	
	地盤 ばね	側面	4.80	並進	84.3%	1.5%	1.3%	92.7%	0.3%	0.3%	96.8%	0.0%	0.0%
			4.80	回転	59.8%	0.5%	0.3%	78.9%	0.3%	0.2%	90.2%	0.0%	0.0%
			-1.70	並進	84.2%	2.6%	2.2%	92.6%	1.1%	1.0%	96.8%	0.0%	0.0%
			-1.70	回転	59.8%	1.2%	0.7%	78.9%	0.8%	0.6%	90.2%	0.1%	0.1%
		-8.20	並進	71.8%	4.6%	3.3%	86.1%	4.4%	3.8%	93.8%	0.0%	0.0%	
		-8.20	回転	37.4%	3.3%	1.2%	61.2%	2.1%	1.3%	80.4%	0.1%	0.1%	
		-13.70	並進	70.4%	1.7%	1.2%	85.3%	2.9%	2.5%	93.4%	0.0%	0.0%	
		-13.70	回転	35.6%	1.7%	0.6%	59.3%	1.1%	0.7%	79.2%	0.1%	0.1%	
	底面	-13.70	並進	26.3%	26.9%	7.1%	48.5%	47.2%	22.9%	71.7%	0.2%	0.1%	
		-13.70	回転	6.7%	36.5%	2.4%	14.8%	22.7%	3.4%	31.7%	1.1%	0.3%	
合計(モード減衰定数)						21.3%		37.6%			5.6%		
鉛直 方向	建屋		RC	5.0%	22.1%	1.1%	5.0%	10.4%	0.5%	5.0%	3.0%	0.2%	
			鉄骨	2.0%	55.2%	1.1%	2.0%	17.9%	0.4%	2.0%	97.0%	1.9%	
	地盤ばね	-13.70	底面 鉛直	47.1%	22.7%	10.7%	49.5%	71.7%	35.5%	79.7%	0.0%	0.0%	
	合計(モード減衰定数)						12.9%		36.4%			2.1%	

4.2 地震観測記録を用いたシミュレーション解析

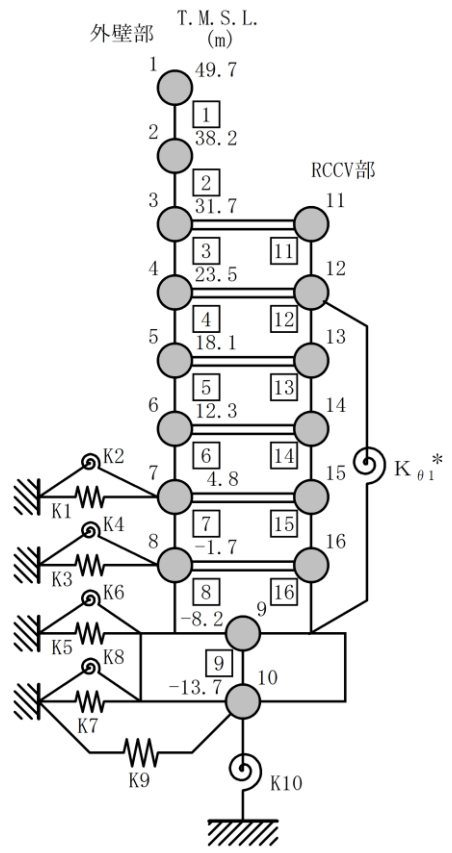
原子炉建屋を対象に、2007年7月16日新潟県中越沖地震（以下「中越沖地震」という。）時の観測記録を用いて、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答解析」に示す解析モデルによるシミュレーション解析を実施した。解析モデルを図4-1及び図4-2に、解析に用いた使用材料の物性値を表4-3に示す。

減衰定数は、「3.3.1 原子炉建屋（BWR）での地震観測（RC造部）」で示されている減衰定数と入力加速度レベルの関係を踏まえて、RC造部を3%と5%の2種類の場合について検討する。最大応答加速度分布を図4-3に、加速度応答スペクトルを図4-4に解析結果と観測記録を比較して示す。

最大応答加速度分布では、RC造部の減衰3%と5%のケースともに、観測記録に対して保守的な値となったが、減衰5%の結果のほうが減衰3%の結果よりも観測記録により整合する結果となっている。また、加速度応答スペクトルにおいても、RC造部の減衰3%と5%のケースともに、観測記録との整合性はほぼ同等であるが、最大応答加速度分布と同様に、減衰5%の結果のほうが減衰3%の結果よりも観測記録に整合する傾向にある。



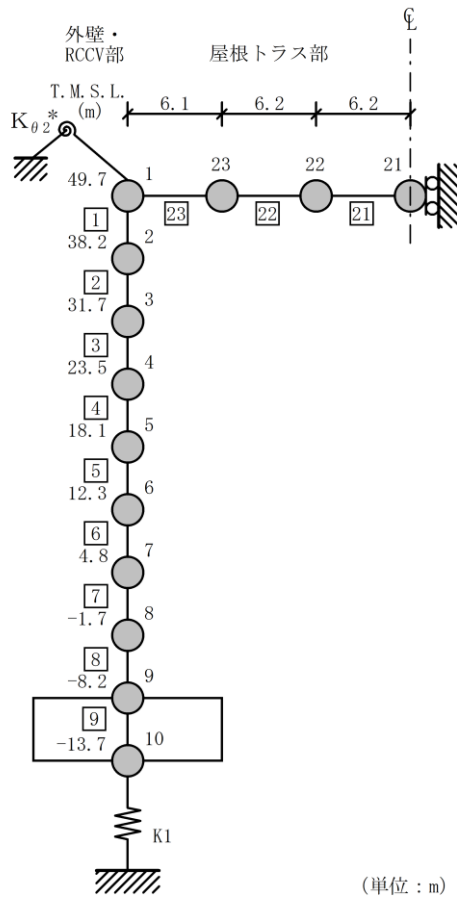
NS方向



EW方向

注記* : RCCV回転ばね

図4-1 地震応答解析モデル (水平方向)



(単位 : m)

注記* : 屋根トラス端部回転拘束ばね

図4-2 地震応答解析モデル (鉛直方向)

表4-3 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 (N/mm ²)	せん断 弾性係数 (N/mm ²)	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート コンクリート : Fc=43.1 (N/mm ²) (Fc=440 (kgf/cm ²))	2.88 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁴	3, 5

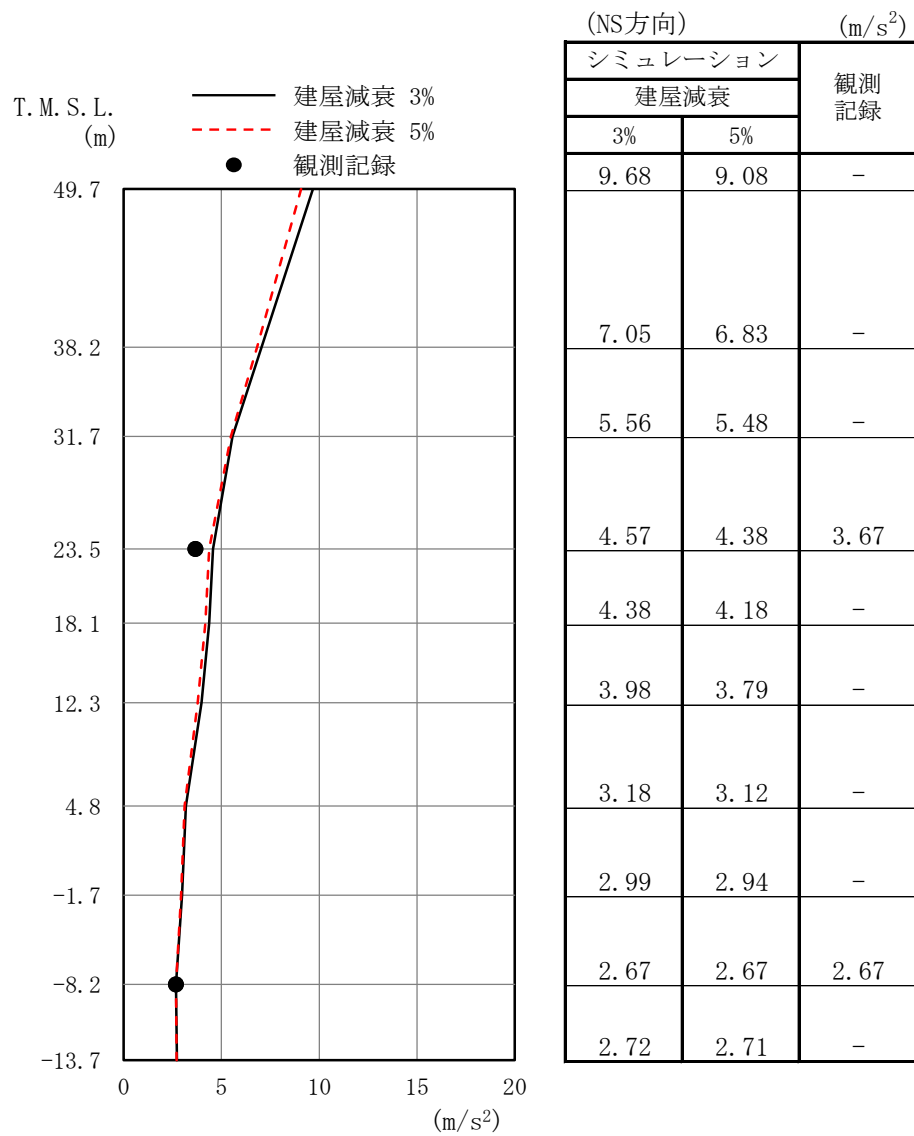


図4-3 最大応答加速度分布の比較 (NS方向) : 中越沖地震 (1/3)

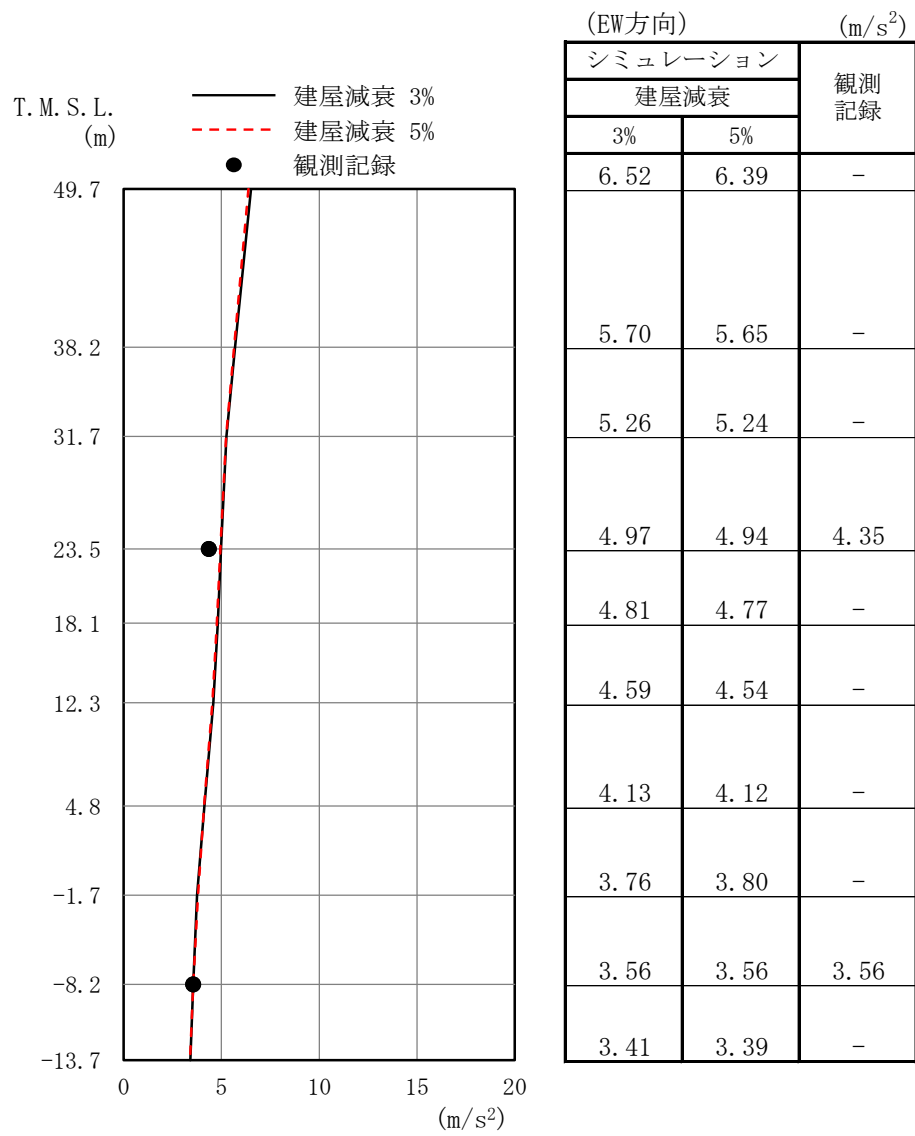


図4-3 最大応答加速度分布の比較 (EW方向) : 中越沖地震 (2/3)

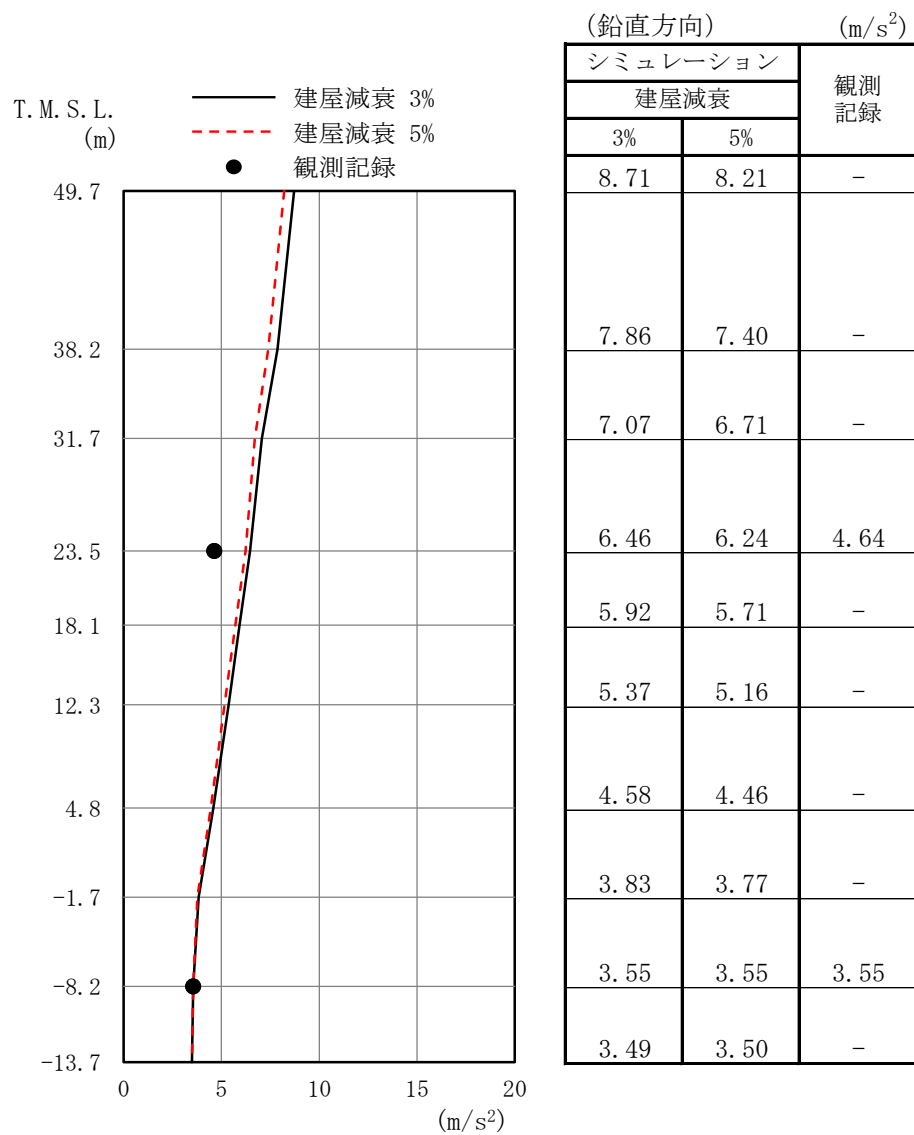
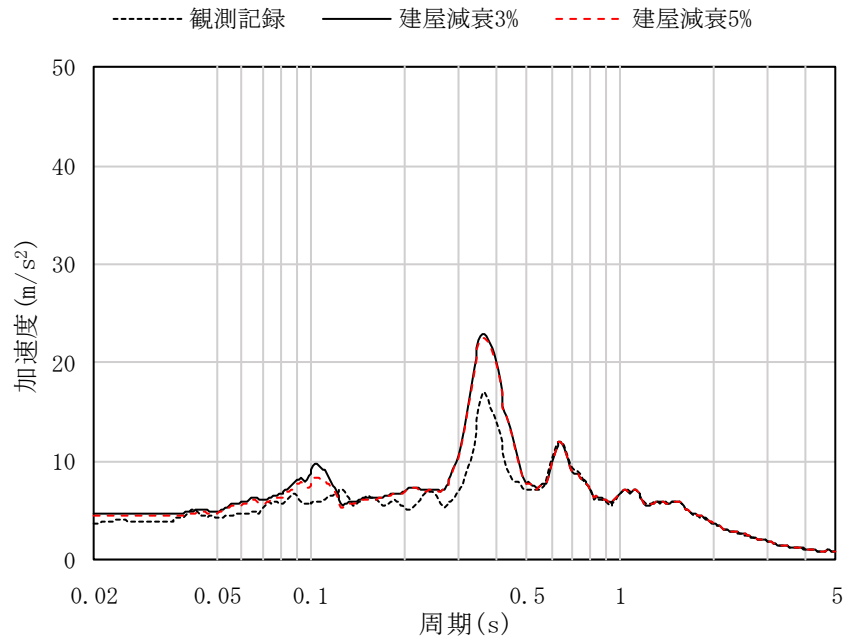
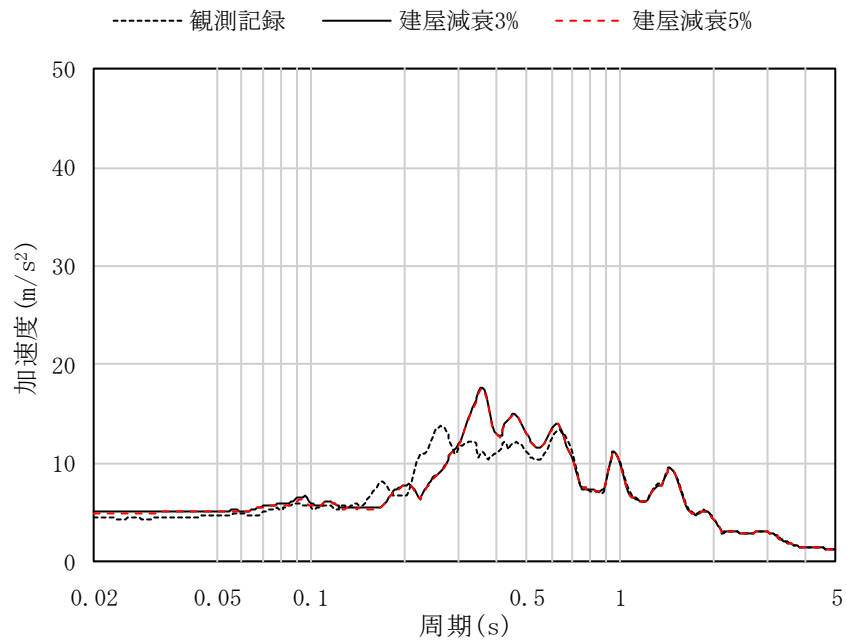


図4-3 最大応答加速度分布の比較（鉛直方向）：中越沖地震（3/3）

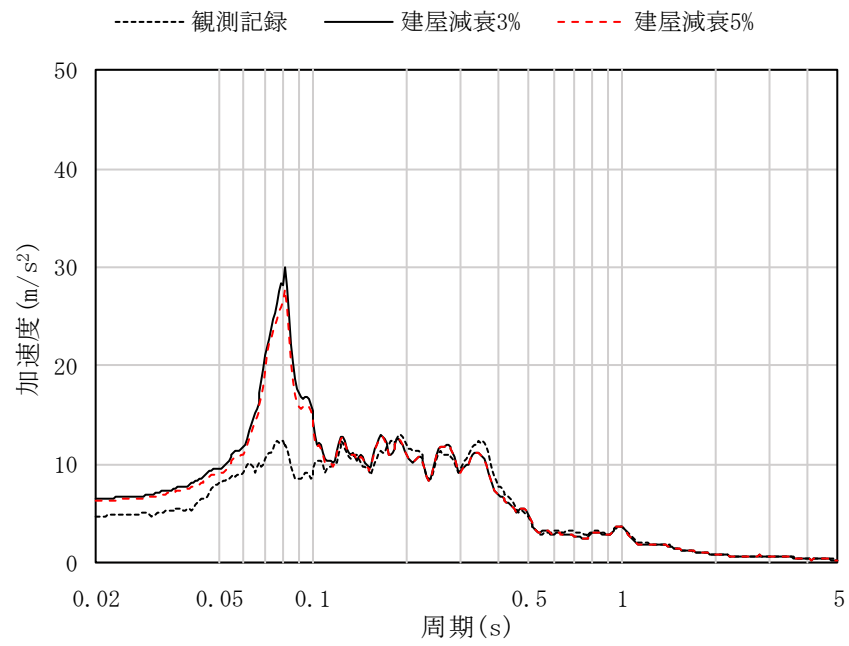


(a) NS方向 3F (T.M.S.L. 23.5m, h = 5%)



(b) EW方向 3F (T.M.S.L. 23.5m, h = 5%)

図4-4 加速度応答スペクトルの比較：中越沖地震 (1/2)



(c) 鉛直方向 3F (T. M. S. L. 23.5m, h = 5%)

図4-4 加速度応答スペクトルの比較：中越沖地震 (2/2)

5. 建屋の最大応答せん断ひずみ

5.1 基準地震動 S_s 応答レベル

原子炉建屋の基準地震動 S_s による耐震壁の最大応答せん断ひずみを別紙4-1「原子炉建屋の基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する最大応答せん断ひずみ」に示す。耐震壁の最大応答せん断ひずみは、スケルトン曲線の第1折点を超過する部位もあるが、全部位で第2折点を下回っている。

5.2 弾性設計用地震動 S_d 応答レベル

原子炉建屋の弾性設計用地震動 S_d による耐震壁の最大応答せん断ひずみを別紙4-1「原子炉建屋の基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する最大応答せん断ひずみ」に示す。耐震壁の最大応答せん断ひずみは、スケルトン曲線の第1折点以下となっている。

6. 地震応答解析モデルにおける減衰定数の設定についての考察

2章～5章で述べた内容について整理を行い，質点系モデルによる地震応答解析において，RC造部の減衰定数5%を用いることの妥当性を検討する。考察のフローを図6-1に示す。

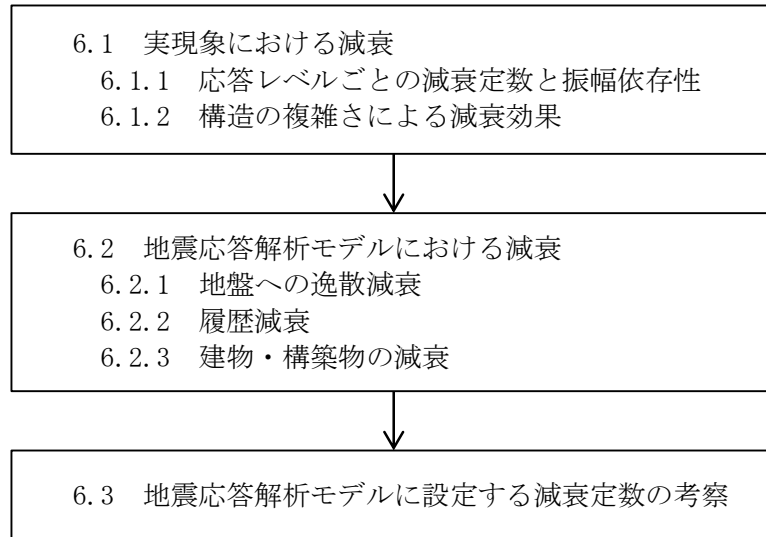


図6-1 RC造部の減衰定数5%を用いることの妥当性についての考察フロー

6.1 実現象における減衰

6.1.1 応答レベルごとの減衰定数と振幅依存性

3.1節～3.3節に示した既往の実験結果・観測結果を表6-1に整理する。

「3.1 RC耐震壁の多方向同時入力振動台試験」の結果に着目すると、RC造部の減衰定数は応答レベルが第1折点付近までで1%～5%程度、それを越えた付近で6%～7%である。また、原子力発電所における観測記録による減衰定数は、応答レベルが弾性域で1%～10%程度である。

また、「3.1 RC耐震壁の多方向同時入力振動台試験」結果より、弾性域において応答レベルと減衰の間に振幅依存性がみられ、また、「3.3.2 原子炉建屋（PWR）での地震観測（新規制基準施行前）」及び「3.3.3 原子炉建屋（PWR）での地震観測（新規制基準施行後）」の実機の地震観測記録を用いた検討結果においても基礎スラブ上最大加速度と減衰の間に振幅依存性がみられる。

実機の地震観測記録を用いたシステム同定結果によれば、BWRのRC造部で水平方向1%～8%程度、PWRのRC造部（外部遮蔽建屋、原子炉補助建屋、外周建屋等）では水平方向1%～10%程度、鉛直方向1%～8%程度である。なお、鉛直方向の減衰定数については、PWRのPCCVに比べて、RC造部は大きな値が得られており、水平方向と同程度の値となっている。

表6-1 既往の実験結果・観測結果の整理

応答レベル		線形 / 非線形				備考
		弾性域	第1折点 付近	第2折点 付近	許容限界	
RC耐震壁実験		1%～4% 程度	5%程度	6%～7% 程度	6%～7% 程度	履歴減衰を含む
		2%～4% 程度	4%程度	4%～5% 程度	4%～5% 程度	履歴減衰を あまり含まない
実構造物の 振動実験	BWR	5%～54% 程度	—	—	—	地盤への逸散減衰 を含む
	PWR	2%～7% 程度	—	—	—	地盤への逸散減衰 を含む
実機の 地震観測 記録	BWR 水平	1%～8%程度		—	—	履歴減衰等を含む
	PWR 水平	1%～10% 程度	—	—	—	地盤への逸散減衰 をあまり含まない
	PWR 鉛直	1%～8% 程度	—	—	—	地盤への逸散減衰 をあまり含まない

6.1.2 構造の複雑さによる減衰効果

「3.1 RC耐震壁の多方向同時入力振動台試験」結果のうち、履歴減衰を含むRC耐震壁の加振試験結果に着目すると、RC部の減衰定数は弾性域で1%～4%程度、それを越えた付近で5%～7%程度である。一方で、原子力発電所の振動試験及び地震観測記録に基づく減衰定数は、弾性域の非常に小さい応答レベルでも1%～10%程度の減衰が得られている。これは、RC耐震壁実験が、ボックス型RC耐震壁を用いた試験であるのに対し、原子力発電所は加力方向と直交する構造床や構造壁との接合部を複数有する複雑な構造であり、これらの部材の挙動及び接合部を介した挙動から、減衰効果が得られたものと考えられる。

また、「3.3.3 原子炉建屋（PWR）での地震観測（新規制基準施行後）」においても、PWR型原子力発電所の構造壁や構造床の少ない単純な構造物である外部遮蔽建屋やPCCVは、複雑な構造である内部コンクリート等に比べて減衰定数が小さい傾向がある。このことから、構造の複雑さによる減衰効果が存在すると考えられる。

6.2 地震応答解析モデルにおける減衰

「1.2 検討方針」に示したとおり、一般に建物・構築物の減衰作用には、材料減衰（内部摩擦減衰、外部摩擦減衰及びすべり摩擦減衰）、復元力特性による履歴減衰及び地盤への逸散減衰が考えられるが、「J E A G 4 6 0 1 -1987」及び「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づく建屋の地震応答解析モデルである質点系モデルでは、これらの減衰作用を整理し、材料減衰、履歴減衰及び地盤への逸散減衰の組合せとして設定している。ここで、材料減衰は減衰定数として設定している。

6.2.1 地盤への逸散減衰

「4.1 地盤への逸散減衰の検討」に示した原子炉建屋のひずみエネルギー比例型モード減衰定数の算定結果より、各次固有周期におけるモード減衰定数が、その主たるモードをなす建屋に設定した減衰定数に対して非常に大きく、地盤部分のひずみエネルギーの比率が大きくなっていることから、原子炉建屋においては、地盤への逸散減衰の影響が建屋の減衰よりも非常に大きい。

6.2.2 履歴減衰

「2.5 履歴減衰（復元力特性）の設定」に示したとおり、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づく履歴減衰の設定による。この設定では、 $\tau - \gamma$ 関係の履歴特性の安定ループにおいて履歴吸収エネルギーによる減衰効果を期待していない。

一方で、「3.1 RC耐震壁の多方向同時入力振動台試験」に示したRC耐震壁試験において、履歴減衰を含む場合の等価粘性減衰定数は、履歴減衰をあまり含まない場合よりも、第1折点付近で1%程度、更に第2折点以降で2%程度大きくなるという結果が得られている。

以上より、「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づく履歴減衰は、保守的に設定されているといえる。

6.2.3 建物・構築物の減衰

「1.2 検討方針」に示したとおり，一般に建物・構築物の減衰作用には，材料減衰（内部摩擦減衰，外部摩擦減衰及びすべり摩擦減衰），履歴減衰及び地盤への逸散減衰が考えられるが，「J E A G 4 6 0 1 -1987」及び「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づく地震応答解析では，これらの減衰を整理し，建物・構築物の減衰，地盤への逸散減衰及び復元力特性（履歴減衰）の組合せとして減衰特性をモデル化している。このことから，「J E A G 4 6 0 1 -1987」に記載されている地震応答解析モデルに設定する建物・構築物の減衰定数は材料減衰として与えられていると考えられる。また，「6.2.2 履歴減衰」に示したとおり，「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に基づく履歴減衰が保守的に設定されていることを踏まえると，J E A Gのモデル化では，材料減衰に応答レベルに応じて実際の履歴減衰の一部も含まれているものと考えられる。

6.3 地震応答解析モデルに設定する減衰定数の考察

地震応答解析モデルに設定する減衰定数の考察に当たっての整理を表6-2に示す。

原子炉建屋については、中越沖地震の観測記録の建屋減衰を3%、5%とした水平方向及び鉛直方向のシミュレーションを行っており、その結果は3%、5%ともに観測記録に対して保守的な値となった。また、6号機原子炉建屋において、2004年新潟県中越地震の最大余震（以下「中越地震（余震）」という。）の観測記録の建屋減衰を3%、5%とした水平方向及び鉛直方向のシミュレーションを行っており（別紙4-3「6号機原子炉建屋の観測記録を用いたシミュレーション解析」）、その結果は3%、5%ともに観測記録に対して保守的な値となった。

ここで、原子炉建屋における中越沖地震及び中越地震（余震）の観測記録は弾性設計用地震動 S_d 相当の地震レベルである。RC耐震壁試験結果よりも2%程度大きな減衰定数となっているが、RC耐震壁試験は耐震壁そのものを用いた単純な構造体に対する減衰を評価しているのに対し、原子炉建屋は多数の耐震壁から構成された3次元的な広がりをもつ複雑な構造体であるためと考えられる。鉛直方向についても、複数の壁と床により構成される複雑な構造をもつ部位については、構造の複雑さによる減衰効果があると考えられる。原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋、緊急時対策所、廃棄物処理建屋及び格納容器圧力逃がし装置基礎は平面図・断面図（別紙4-2「各建物・構築物の図面集」）から判断し、多数の構造床や構造壁で構成されており、複雑な構造体に分類できる。

以上より、実現象においては、RC耐震壁試験から得られた5%程度の減衰定数に対し、構造の複雑さによる減衰の増加により2%程度以上減衰は増加し、第1折点付近では7%程度以上、第2折点付近では8%程度以上の減衰定数となることが推定される。ここで、「J E A G 4 6 0 1-1987」及び「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づく地震応答解析モデルは、「2. 地震応答解析モデルに用いる減衰特性」に示したとおり、減衰を材料減衰、履歴減衰及び地盤への逸散減衰の3つの組合せにより減衰特性をモデル化しているが、履歴減衰は保守的に設定されている。また、「4.1 地盤への逸散減衰の検討」に示したとおり、柏崎刈羽原子力発電所においては、地盤への逸散減衰が非常に大きく、3つの組合せの減衰特性のうち、応答に与える支配的な要因となっている。

以上より、「J E A G 4 6 0 1-1987」及び「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」に基づき設定した柏崎刈羽原子力発電所の建物・構築物における地震応答解析モデルでは、実現象におけるRC造部の減衰として第1折点付近では7%程度以上、第1折点未満でも5%程度以上であることから、設計に用いるRC造部の減衰として5%を設定することは妥当であると考えられる。

入力地震動並びに構造及び形状による整理を踏まえた減衰定数の整理を表6-3に示す。

表6-2 地震応答解析モデルに設定する減衰定数の考察に当たっての整理

	応答レベル	線形 / 非線形			
		第1折点 未満	第1折点 付近	第2折点 付近	許容限界 付近
実現象	柏崎刈羽原子力 発電所 における地震動	弾性設計用地震動 S _d		基準地震動 S _s	
	RC耐震実験 (履歴減衰を含む)	1%~4%程度 ↓ 構造の複雑さによる減衰の増加 2%程度以上	5%程度	6%~7% 程度	6%~7% 程度
	柏崎刈羽原子力 発電所	5%程度以上 ↑	7%程度 以上	8%程度 以上	8%程度 以上
解析	質点系モデル (柏崎刈羽原子力 発電所)	5%程度以上 3%, 5%で 中越沖地震の観測記録を シミュレーション (水平・鉛直)			

表6-3 入力地震動並びに構造及び形状による整理を踏まえた減衰定数の整理

建物・構築物		原子炉 建屋	コント ロール 建屋	タービン 建屋	緊急時 対策所	廃棄物 処理 建屋	格納容器 圧力逃がし 装置基礎	
構造及び形状		複雑な 構造体	複雑な 構造体	複雑な 構造体	複雑な 構造体	複雑な 構造体	複雑な 構造体	
入力地震動	S _s	水平	5%	5%	5%	5%	5%	
		鉛直	5%	5%	5%	5%	5%	
	S _d	水平	5%	5%	5%	—	—	—
		鉛直	5%	5%	5%	—	—	—

6.4 まとめ

6.1節～6.3節を踏まえ、建物・構築物の基準地震動 S_s レベル及び弾性設計用地震動 S_d レベルの地震応答解析に用いるRC造部の減衰定数は、水平及び鉛直とも5%程度以上と考えられる。

7. 引用文献

- 3.1) 松本ほか：論文RC耐震壁の多方向同時入力振動台試験（コンクリート工学年次論文集Vol.25, No.2, 2003）
- 3.2) 「原子炉施設の実機試験・観測と評価」に関する調査報告書（日本建築学会構造委員会, 2001）
- 3.3) 東北電力（株）女川2号機及び3号機原子炉建屋シミュレーション解析について（コメント回答）（建築物・構造6-3-2）, 2012）
- 3.4) 菊地ほか：東北地方太平洋沖地震による福島第一・第二原子力発電所原子炉建屋のシミュレーション解析（その1）,（その2）（日本建築学会大会学術講演梗概集（2012））
- 3.5) 相澤ほか：2008年岩手県沿岸北部の地震による東通原子力発電所のシミュレーション解析（日本建築学会大会学術講演梗概集, 2009）
- 3.6) 菊地ほか：中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所原子炉建屋のシミュレーション解析（その1）～（その3）（日本建築学会大会学術講演梗概集（2008））
- 3.7) 久野ほか：原子力発電所における地震観測記録の上下動シミュレーション解析（その1）,（その2）（日本建築学会大会学術講演梗概集, 1994）
- 3.8) 立花ほか：原子力発電所における地震観測記録のシミュレーション解析（その1）,（その2）（日本建築学会大会学術講演梗概集, 2005）
- 3.9) 東海第二原子力発電所 工事計画認可申請書 工事計画に係る補足説明資料（日本原子力発電（株）, 2018）
- 3.10) 宇都宮ほか：原子力発電所の地震動観測とその解析（その1）,（その2）（日本建築学会大会学術講演梗概集, 1981）
- 3.11) 藤田ほか：泊発電所の地震動とシミュレーション解析（その1）,（その2）（日本建築学会大会学術講演梗概集, 1996）
- 3.12) 木下ほか：鹿児島県北西部地震による川内原子力発電所の地震動観測とシミュレーション解析（その1）～（その3）（日本建築学会大会学術講演梗概集, 1998）
- 3.13) 川内原子力発電所1号機 工事計画認可申請書 工事計画に係る補足説明資料（九州電力（株）, 2015）
- 3.14) 高浜発電所3号機 工事計画認可申請書 工事計画に係る補足説明資料（関西電力（株）, 2015）
- 3.15) 伊方発電所3号機 工事計画認可申請書 工事計画に係る補足説明資料（四国電力（株）, 2016）
- 3.16) 玄海原子力発電所3号機 工事計画認可申請書 工事計画に係る補足説明資料（九州電力（株）, 2017）
- 3.17) 大飯発電所3号機 工事計画認可申請書 工事計画に係る補足説明資料（関西電力（株）, 2017）

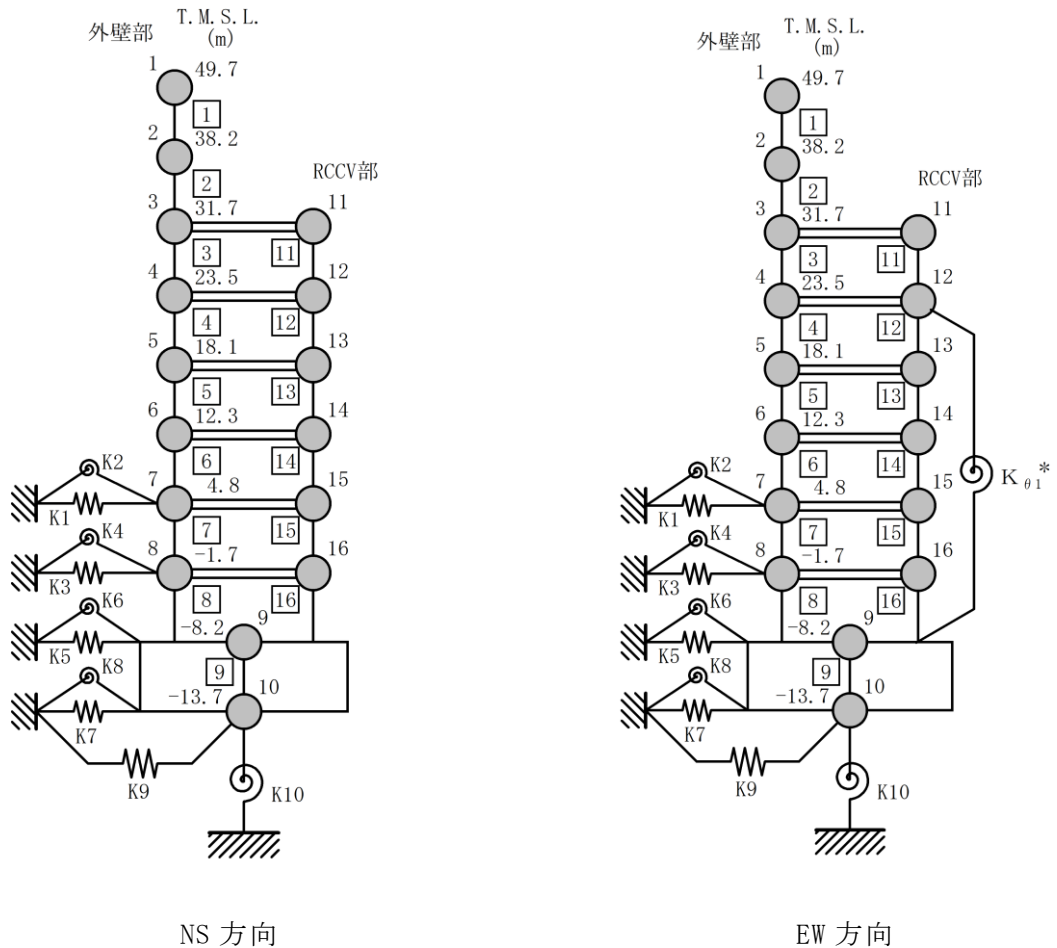
別紙4-1 原子炉建屋の基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d
に対する最大応答せん断ひずみ

目 次

1. 地震応答解析モデルの概要 別紙4-1-1
2. 基準地震動 S_s に対する最大応答せん断ひずみ 別紙4-1-2
3. 弾性設計用地震動 S_d に対する最大応答せん断ひずみ 別紙4-1-9

1. 地震応答解析モデルの概要

原子炉建屋の地震応答解析モデルを図 1-1 に示す。



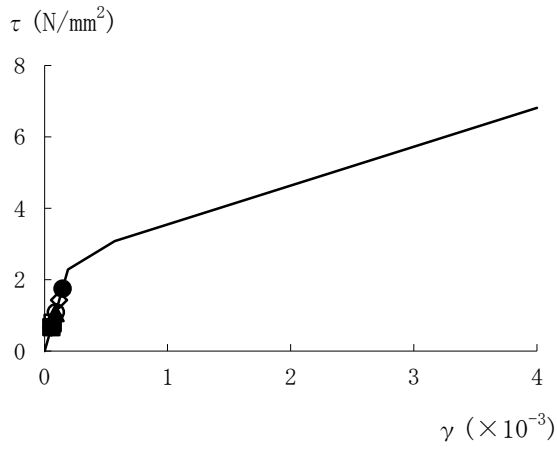
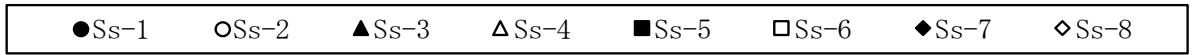
- 注 1 : 数字は質点番号を示す。
- 注 2 : □内は部材番号を示す。
- 注記* : RCCV 回転ばね

図 1-1 地震応答解析モデル (水平方向)

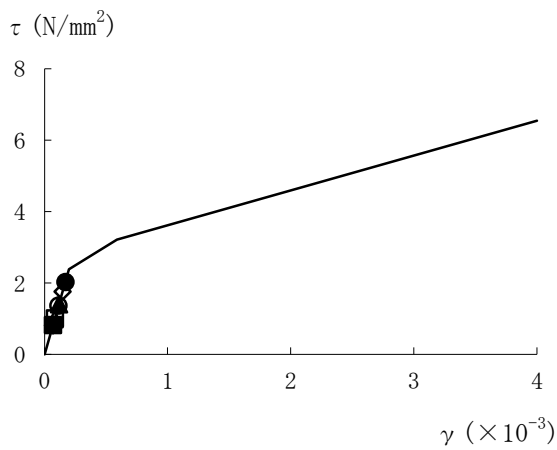
2. 基準地震動 S_s に対する最大応答せん断ひずみ

原子炉建屋の基準地震動 S_s に対する最大応答せん断ひずみを図 2-1 及び図 2-2 に示す。

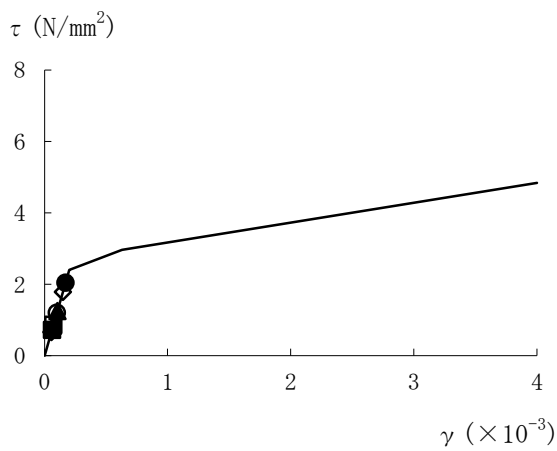
なお、最大応答せん断ひずみは、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」の「3.4.4 材料物性の不確かさ等」に示しているケース 1（工認モデル）について示す。



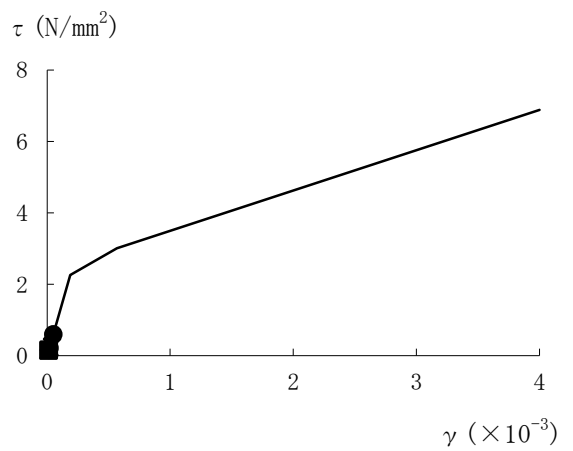
部材番号 1



部材番号 2

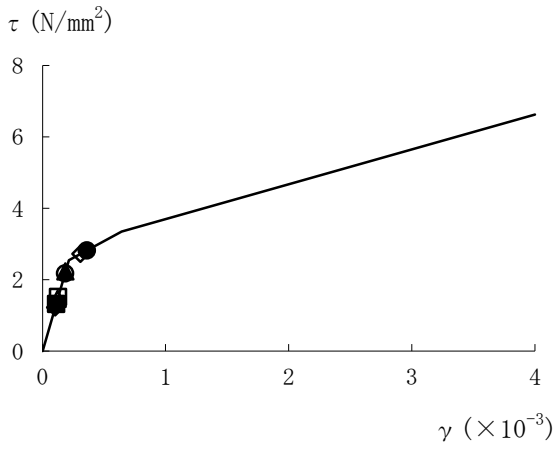


部材番号 3

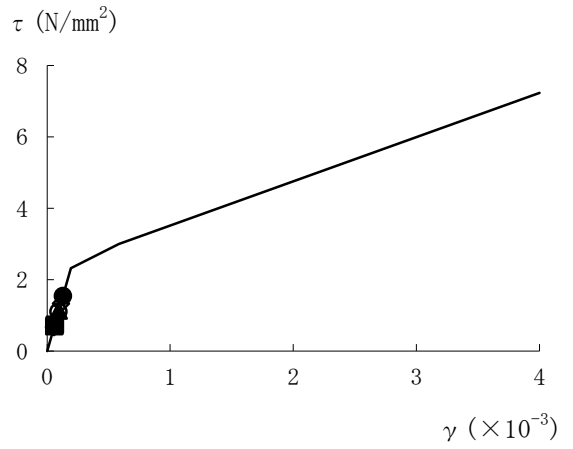


部材番号 11

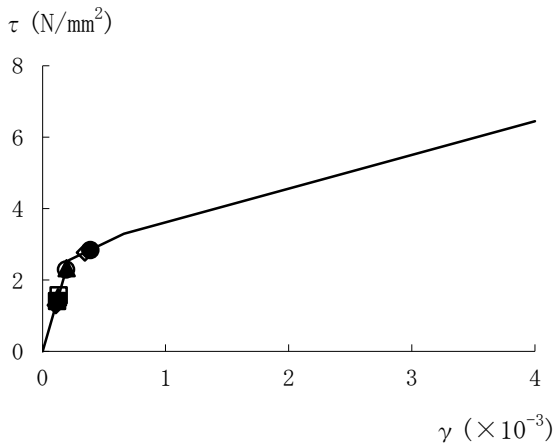
図 2-1 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss ケース 1, NS 方向) (1/3)



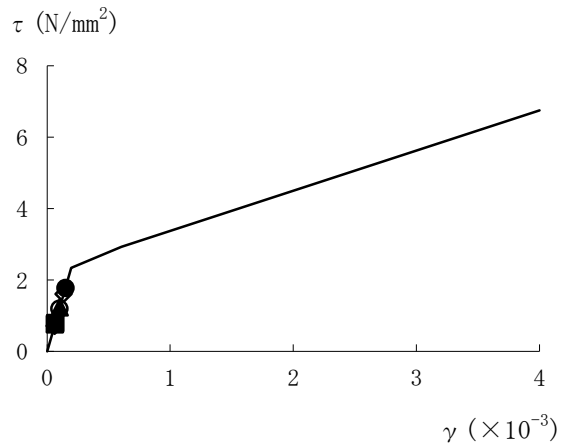
部材番号 4



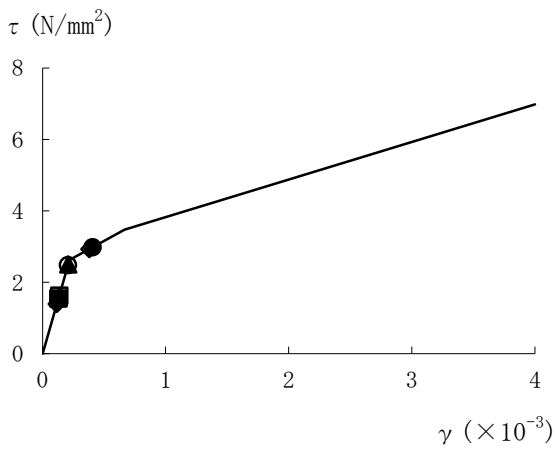
部材番号 12



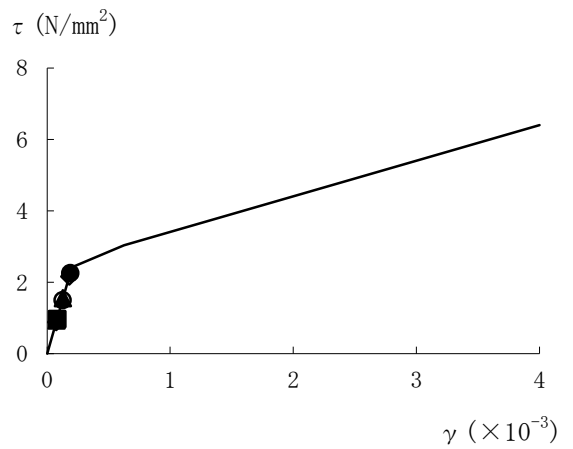
部材番号 5



部材番号 13

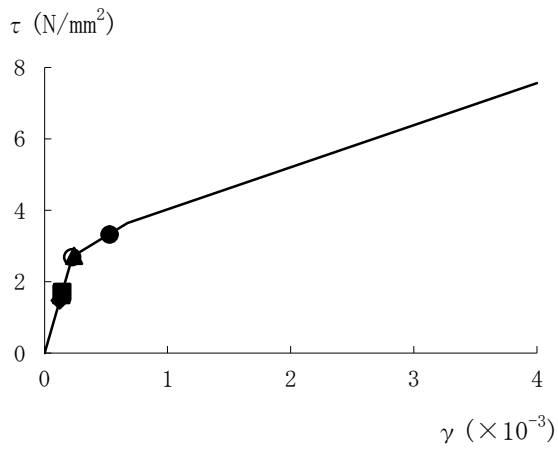
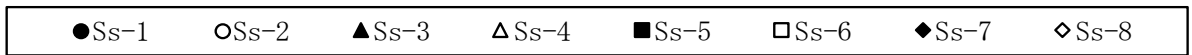


部材番号 6

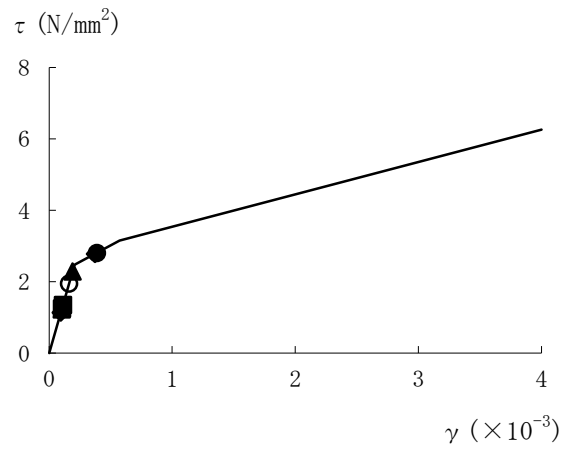


部材番号 14

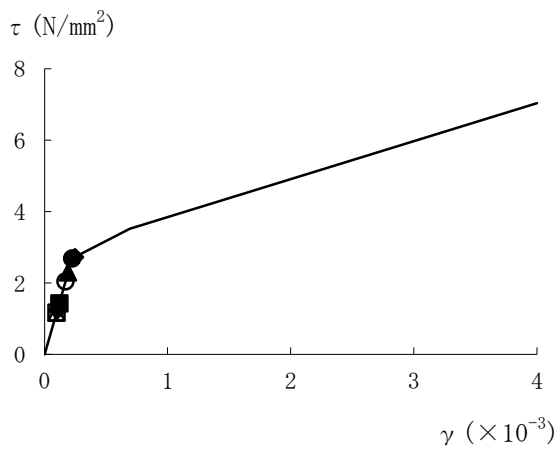
図 2-1 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss ケース 1, NS 方向) (2/3)



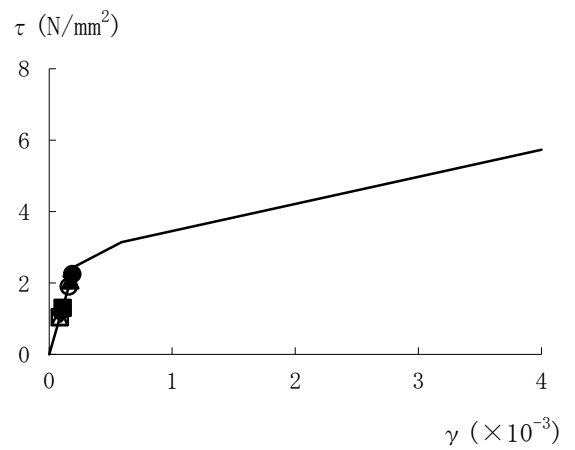
部材番号 7



部材番号 15

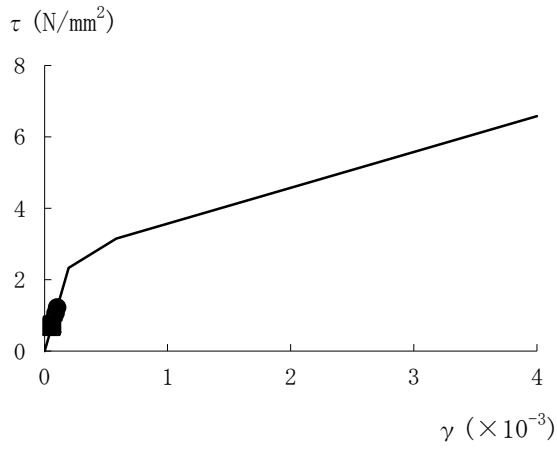


部材番号 8

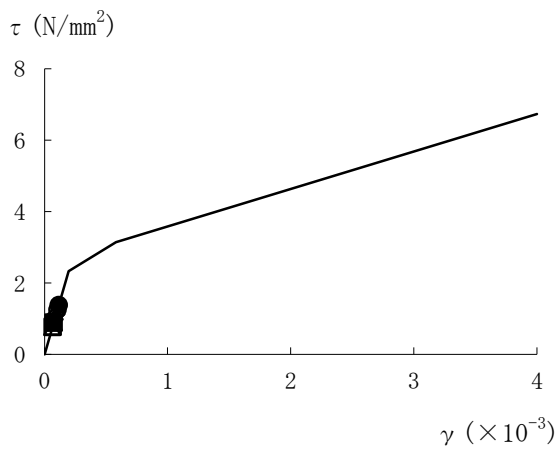


部材番号 16

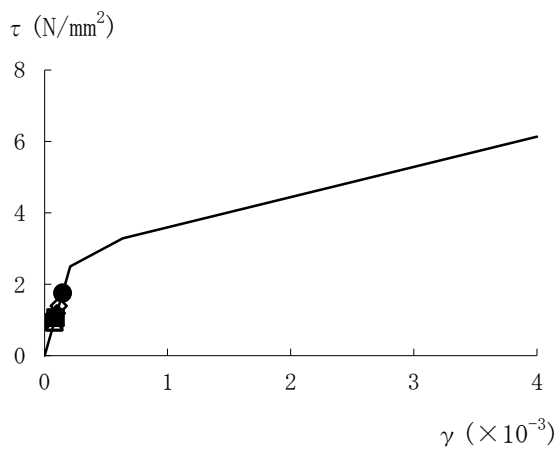
図 2-1 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss ケース 1, NS 方向) (3/3)



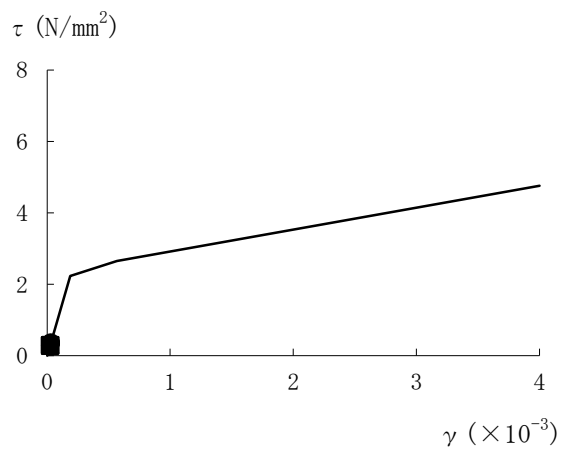
部材番号 1



部材番号 2

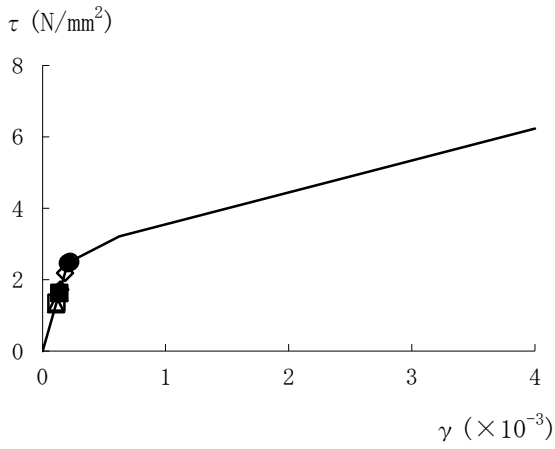


部材番号 3

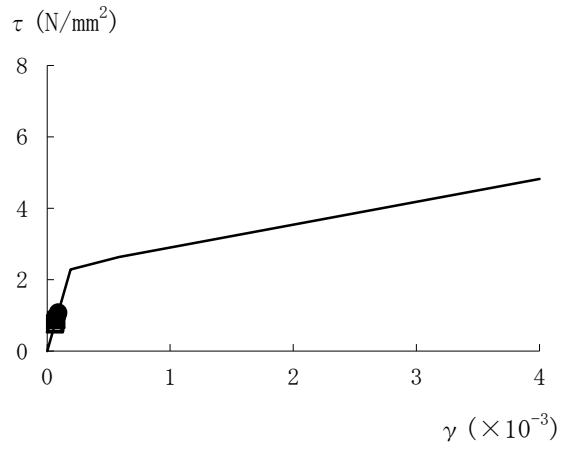


部材番号 11

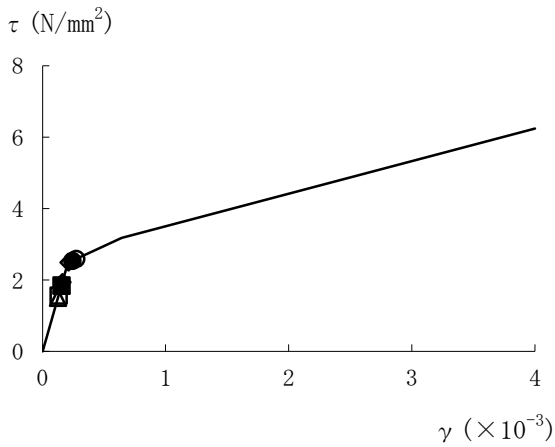
図 2-2 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss ケース 1, EW 方向) (1/3)



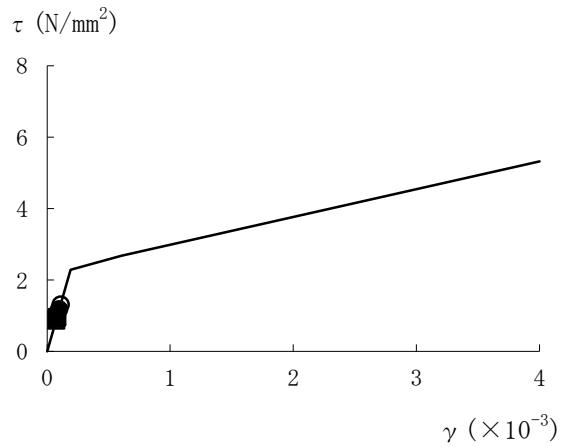
部材番号 4



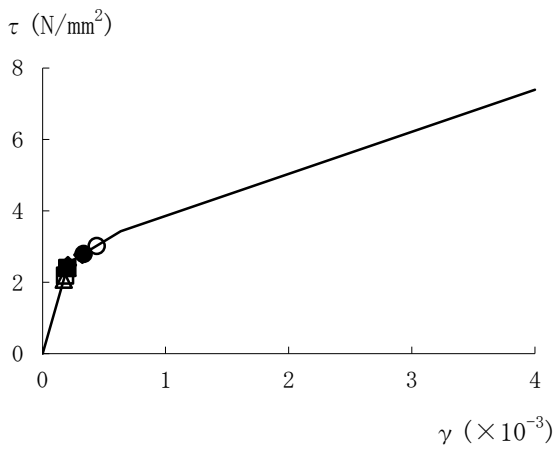
部材番号 12



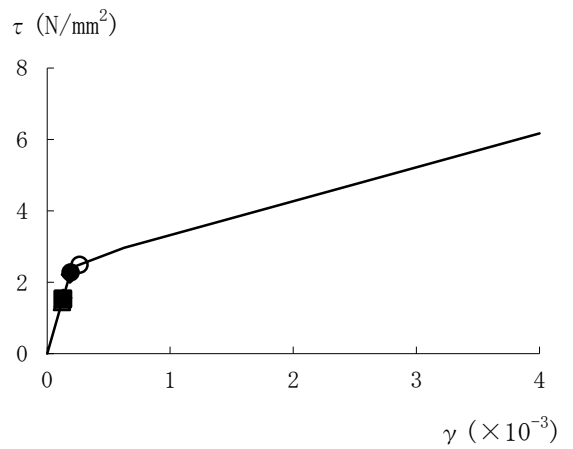
部材番号 5



部材番号 13

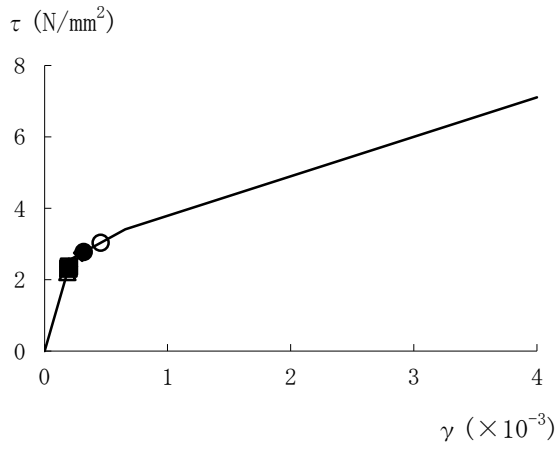


部材番号 6

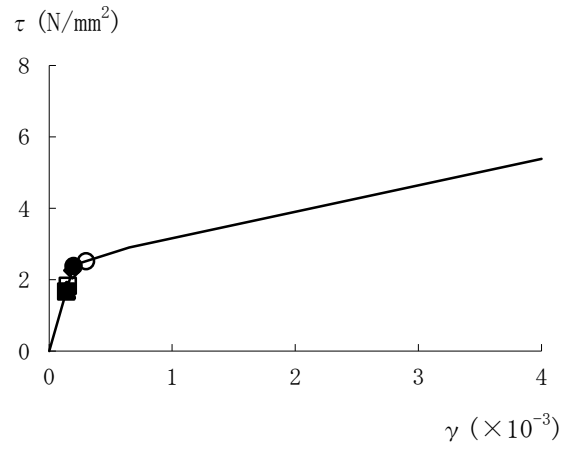


部材番号 14

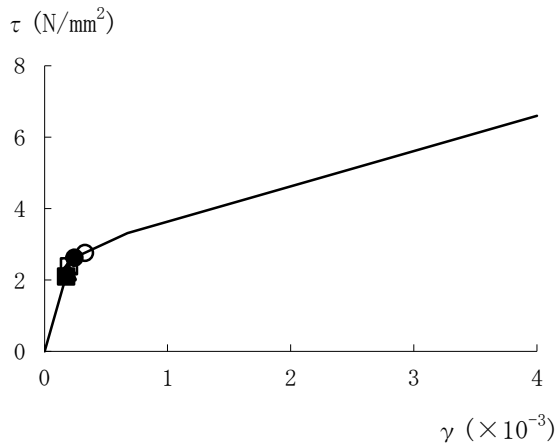
図 2-2 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss ケース 1, EW 方向) (2/3)



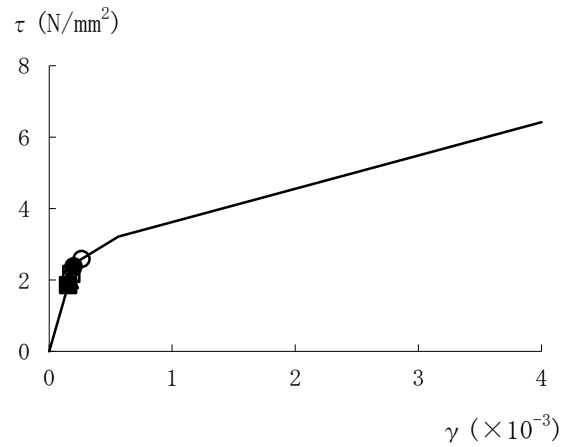
部材番号 7



部材番号 15



部材番号 8



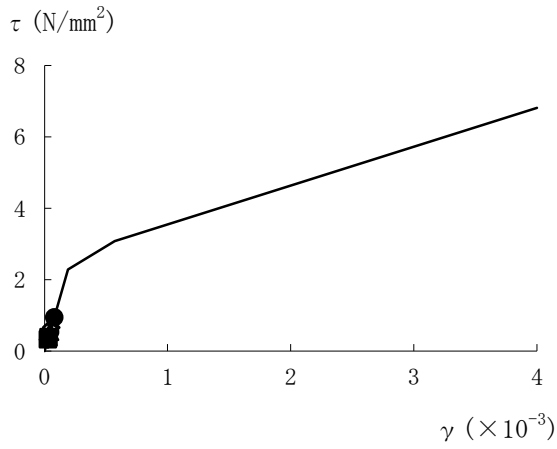
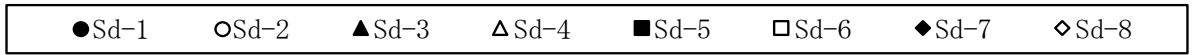
部材番号 16

図 2-2 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss ケース 1, EW 方向) (3/3)

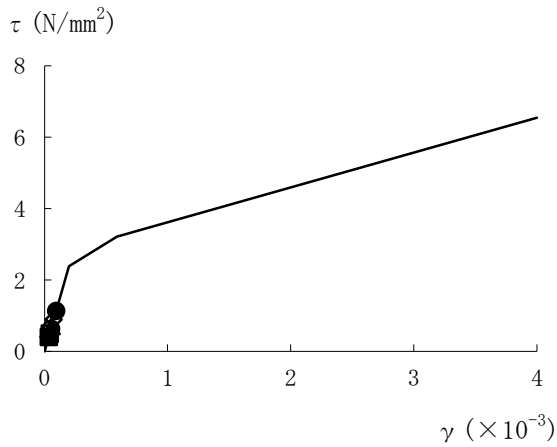
3. 弾性設計用地震動 S_d に対する最大応答せん断ひずみ

原子炉建屋の弾性設計用地震動 S_d に対する最大応答せん断ひずみを図 3-1 及び図 3-2 に示す。

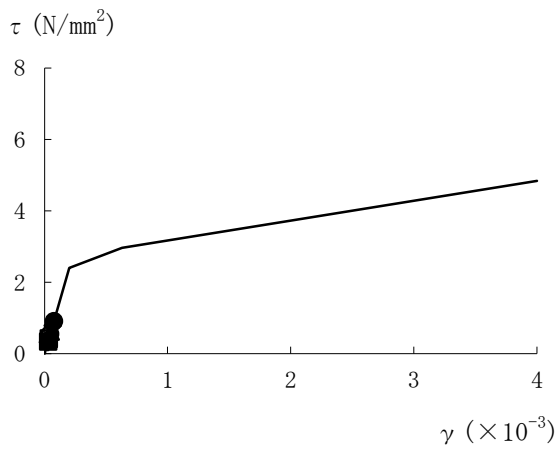
なお、最大応答せん断ひずみは、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」の「3.4.4 材料物性の不確かさ等」に示しているケース 1（工認モデル）について示す。



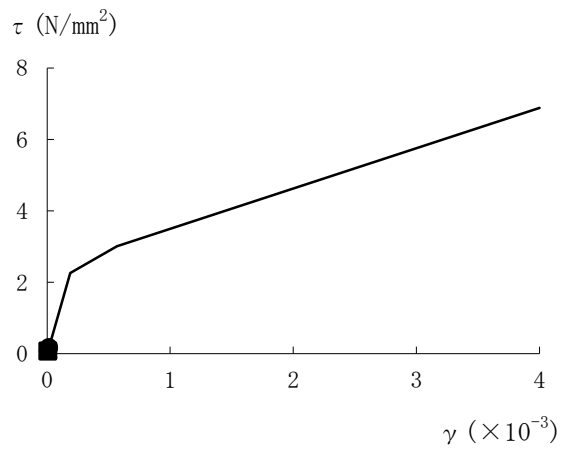
部材番号 1



部材番号 2



部材番号 3



部材番号 11

図 3-1 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Sd ケース 1, NS 方向) (1/3)

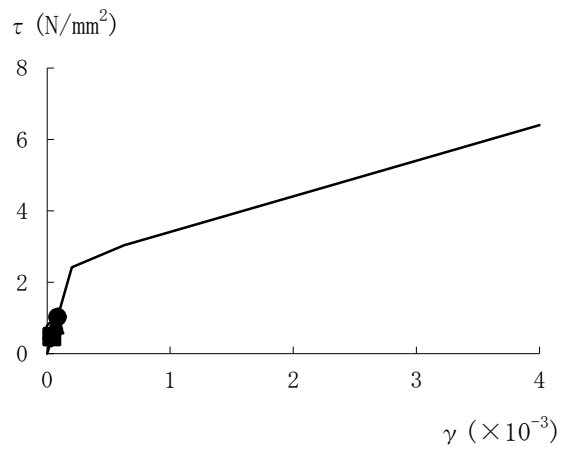
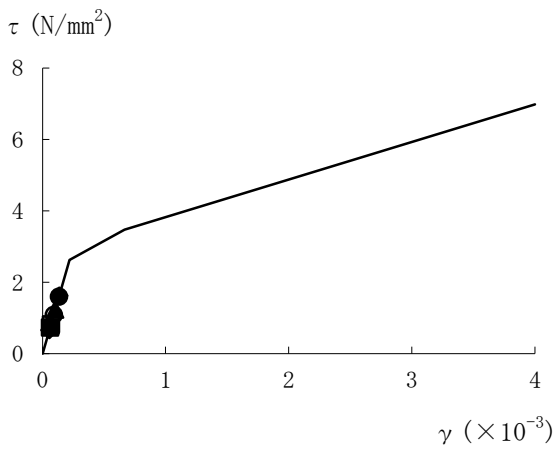
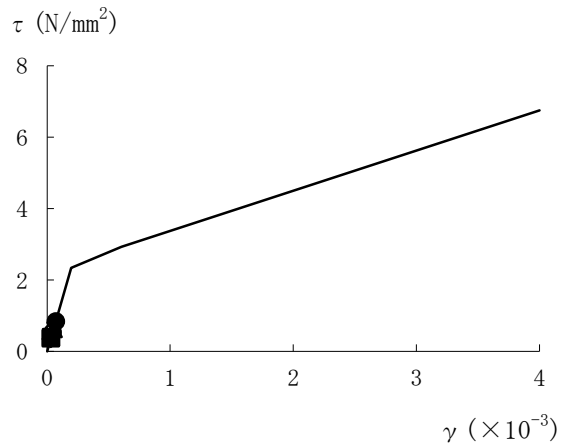
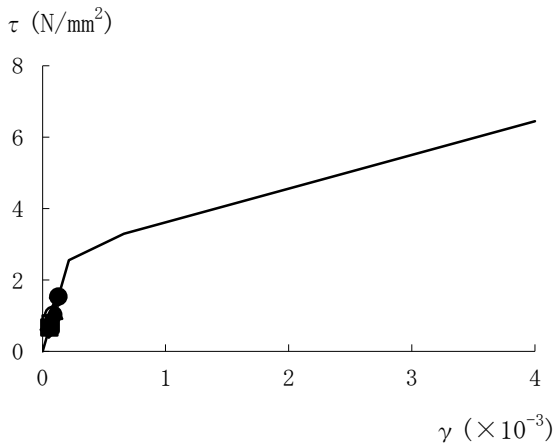
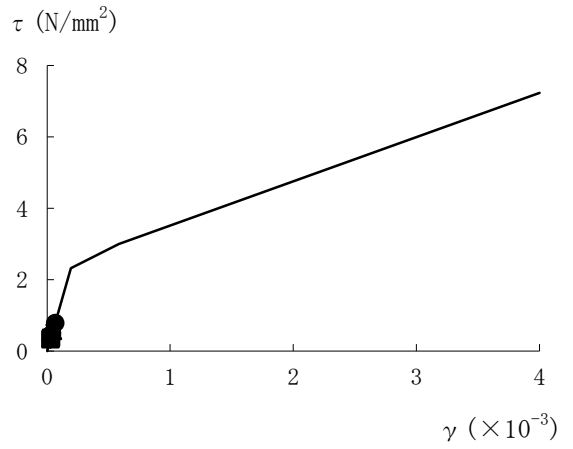
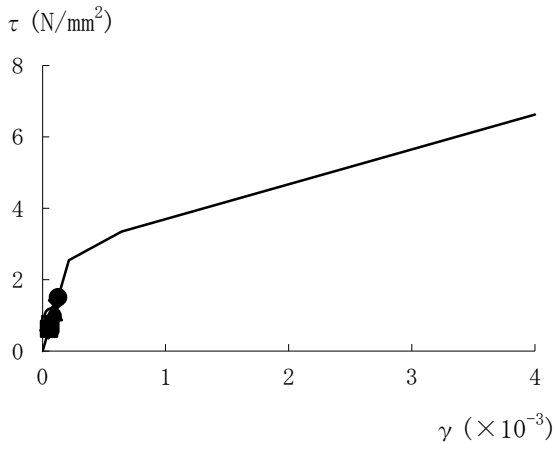
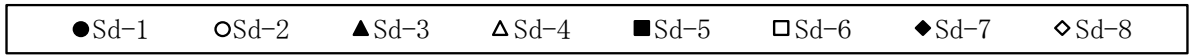
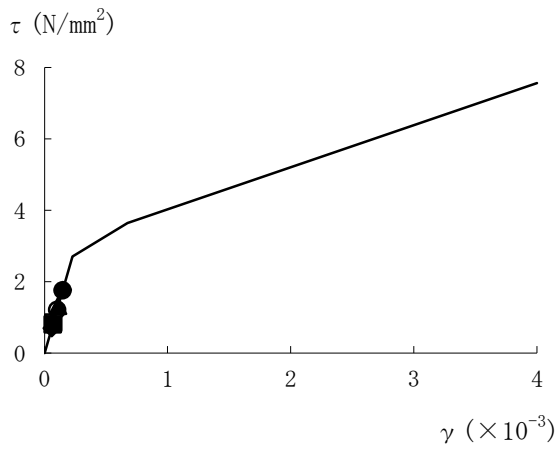
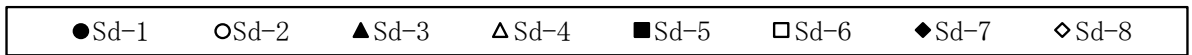
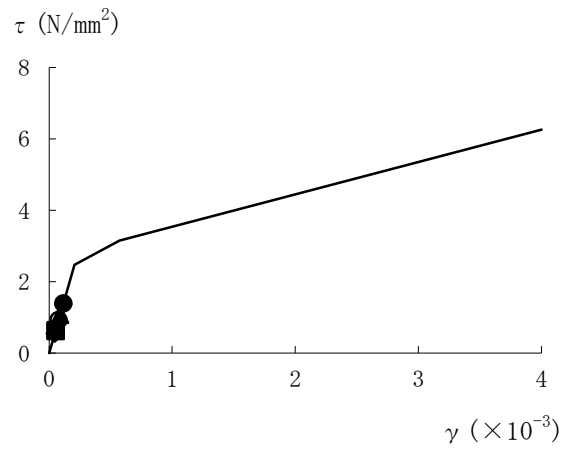


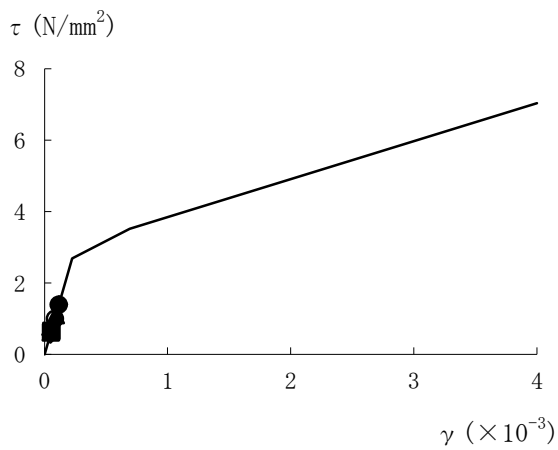
図 3-1 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Sd ケース 1, NS 方向) (2/3)



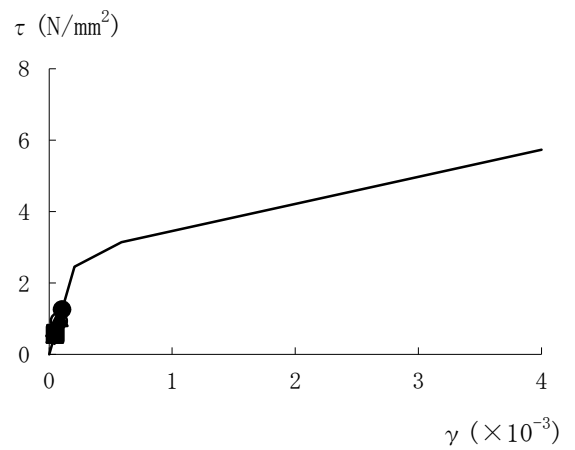
部材番号 7



部材番号 15

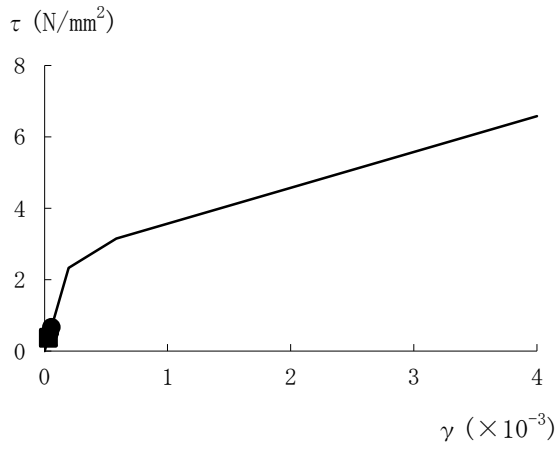
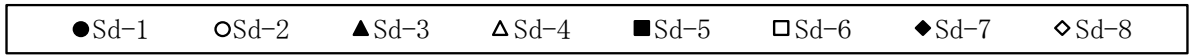


部材番号 8

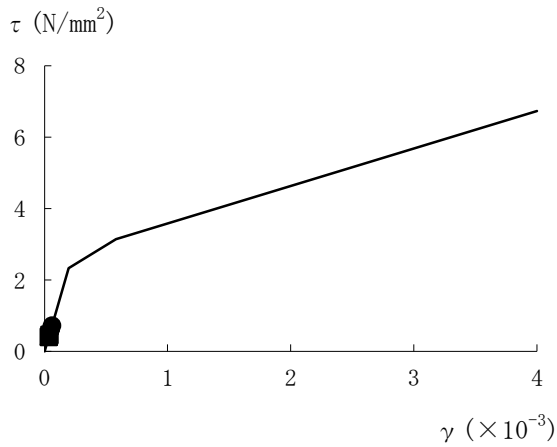


部材番号 16

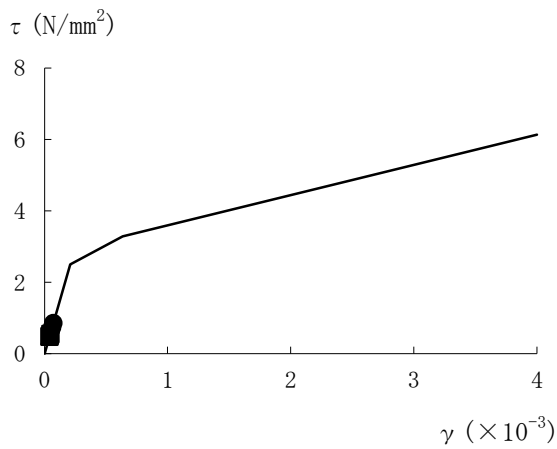
図 3-1 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Sd ケース 1, NS 方向) (3/3)



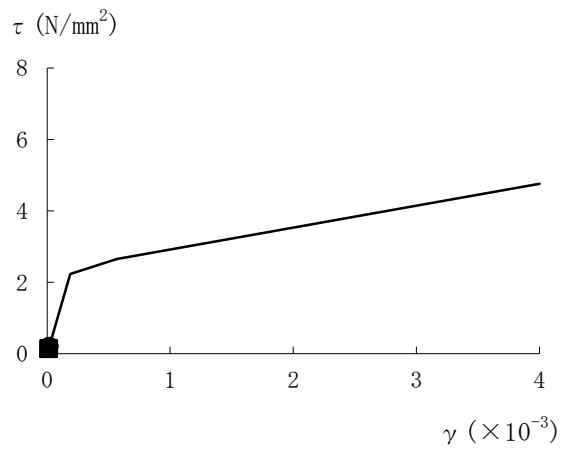
部材番号 1



部材番号 2

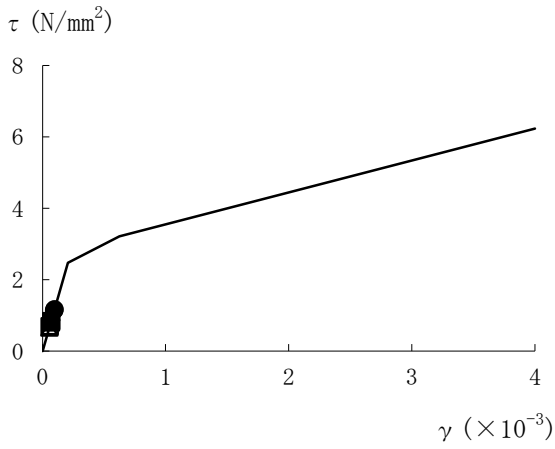


部材番号 3

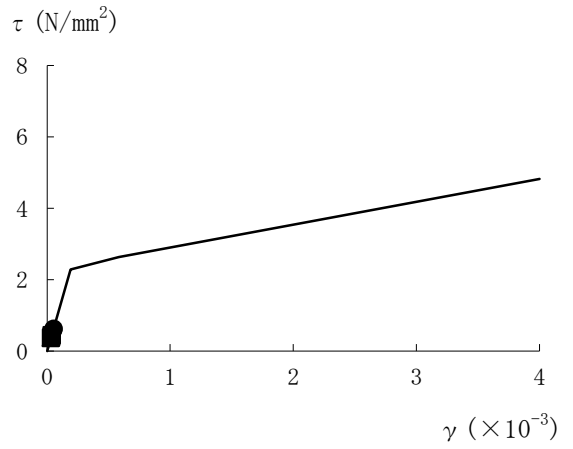


部材番号 11

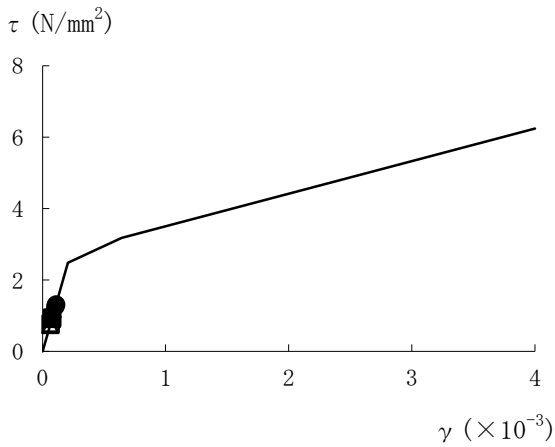
図 3-2 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Sd ケース 1, EW 方向) (1/3)



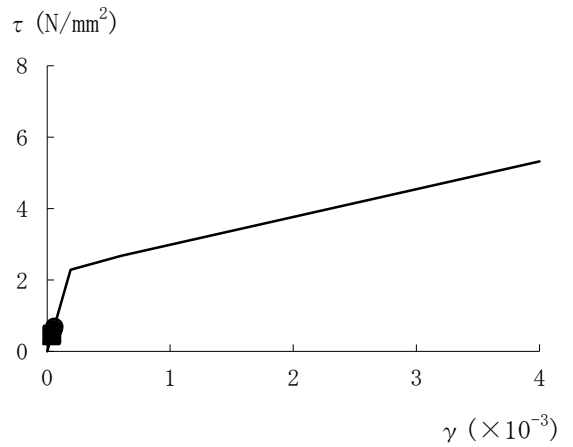
部材番号 4



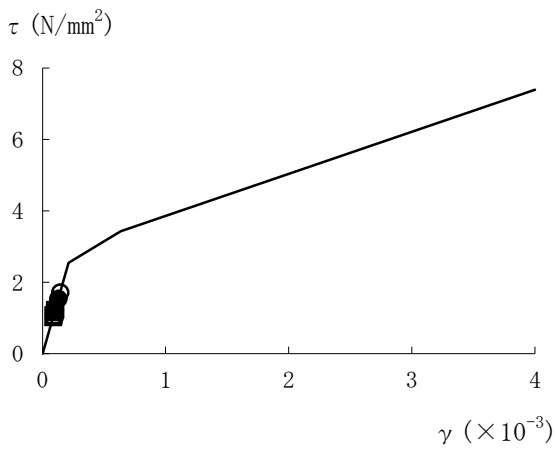
部材番号 12



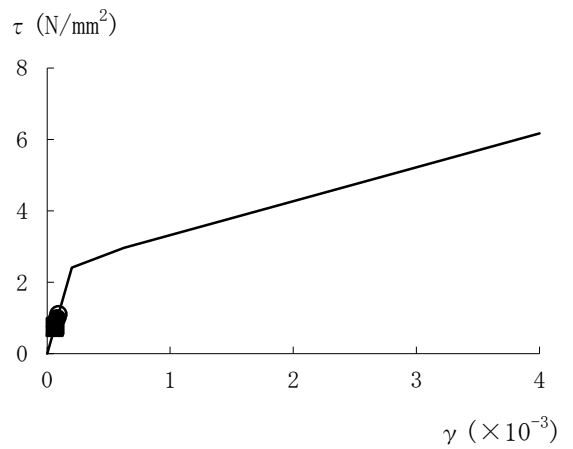
部材番号 5



部材番号 13

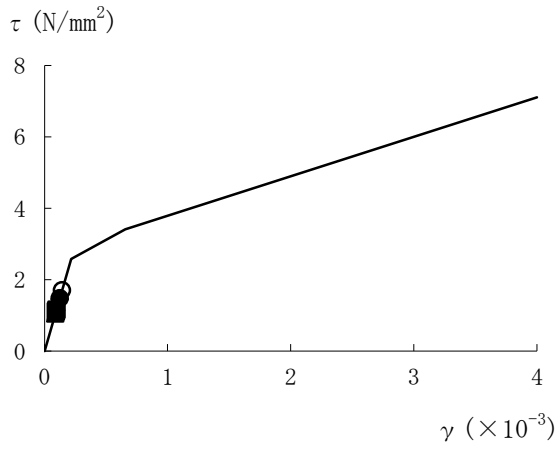
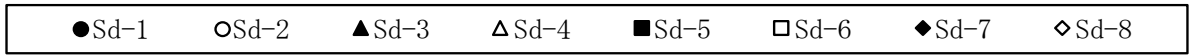


部材番号 6

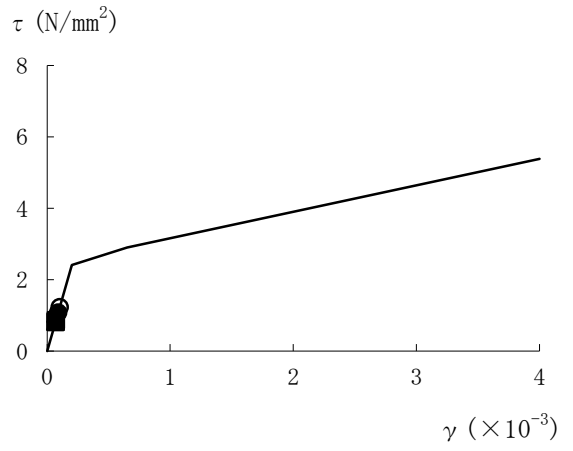


部材番号 14

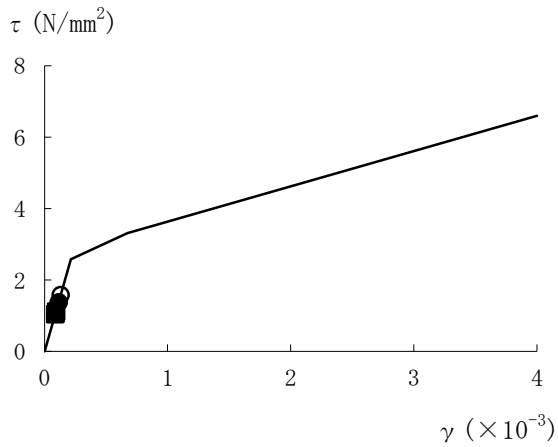
図 3-2 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Sd ケース 1, EW 方向方向) (2/3)



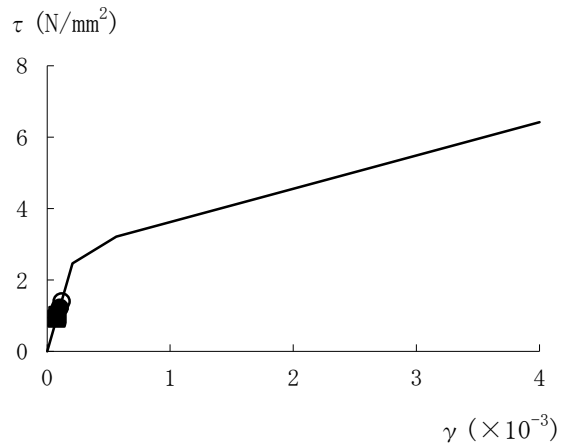
部材番号 7



部材番号 15



部材番号 8



部材番号 16

図 3-2 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Sd ケース 1, EW 方向) (3/3)

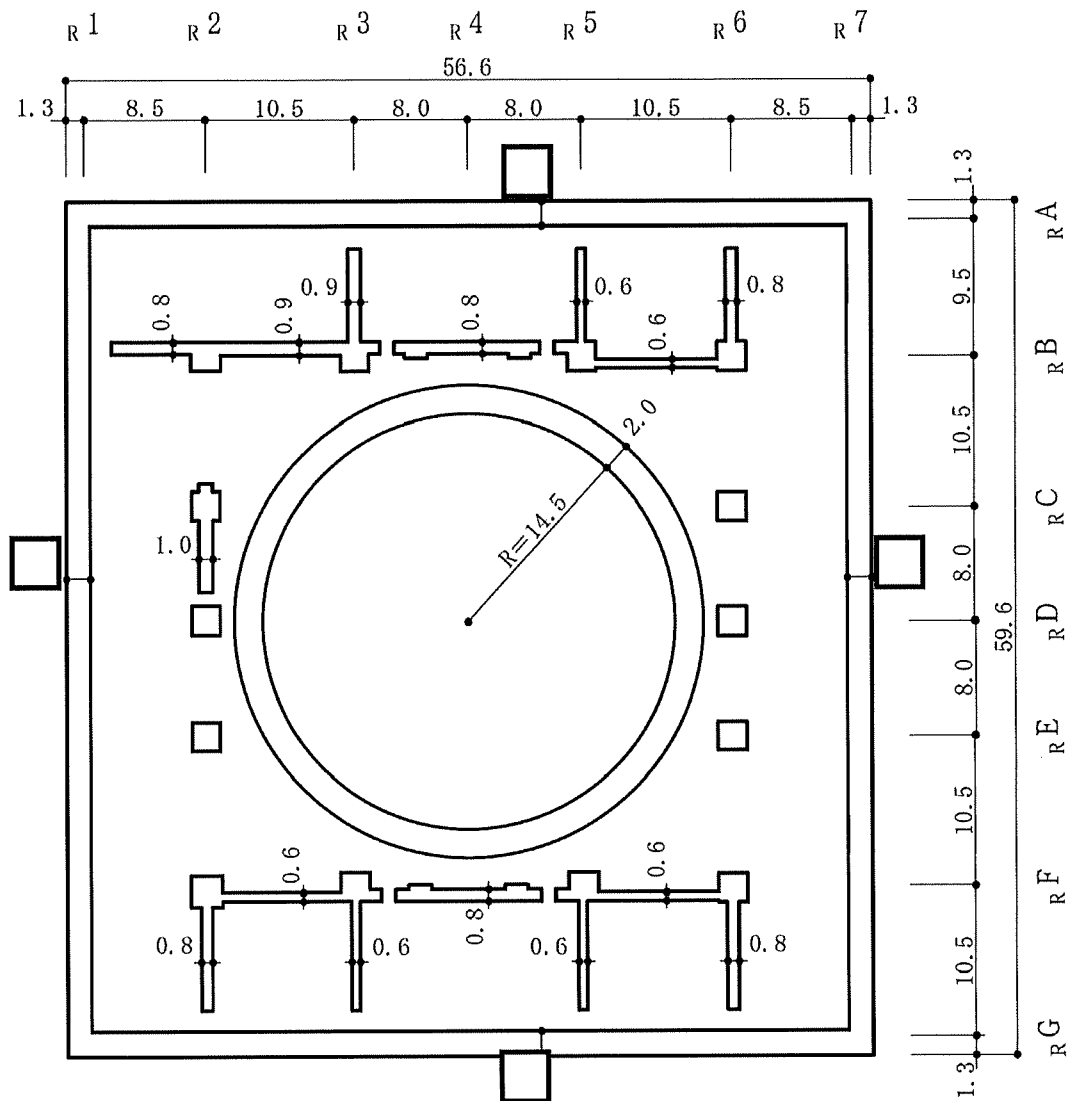
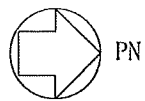
別紙4-2 各建物・構築物の図面集

目 次

1. 原子炉建屋の概略図	別紙4-2-1
2. コントロール建屋の概略図	別紙4-2-13
3. タービン建屋の概略図	別紙4-2-21
4. 緊急時対策所の概略図	別紙4-2-26
5. 廃棄物処理建屋の概略図	別紙4-2-39
6. 格納容器圧力逃がし装置基礎	別紙4-2-49

1. 原子炉建屋の概略図

原子炉建屋の概略平面図を図 1-1 に，概略断面図を図 1-2 に示す。



(単位：m)

注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (B3F, T.M.S.L. -8.2m) (1/9)

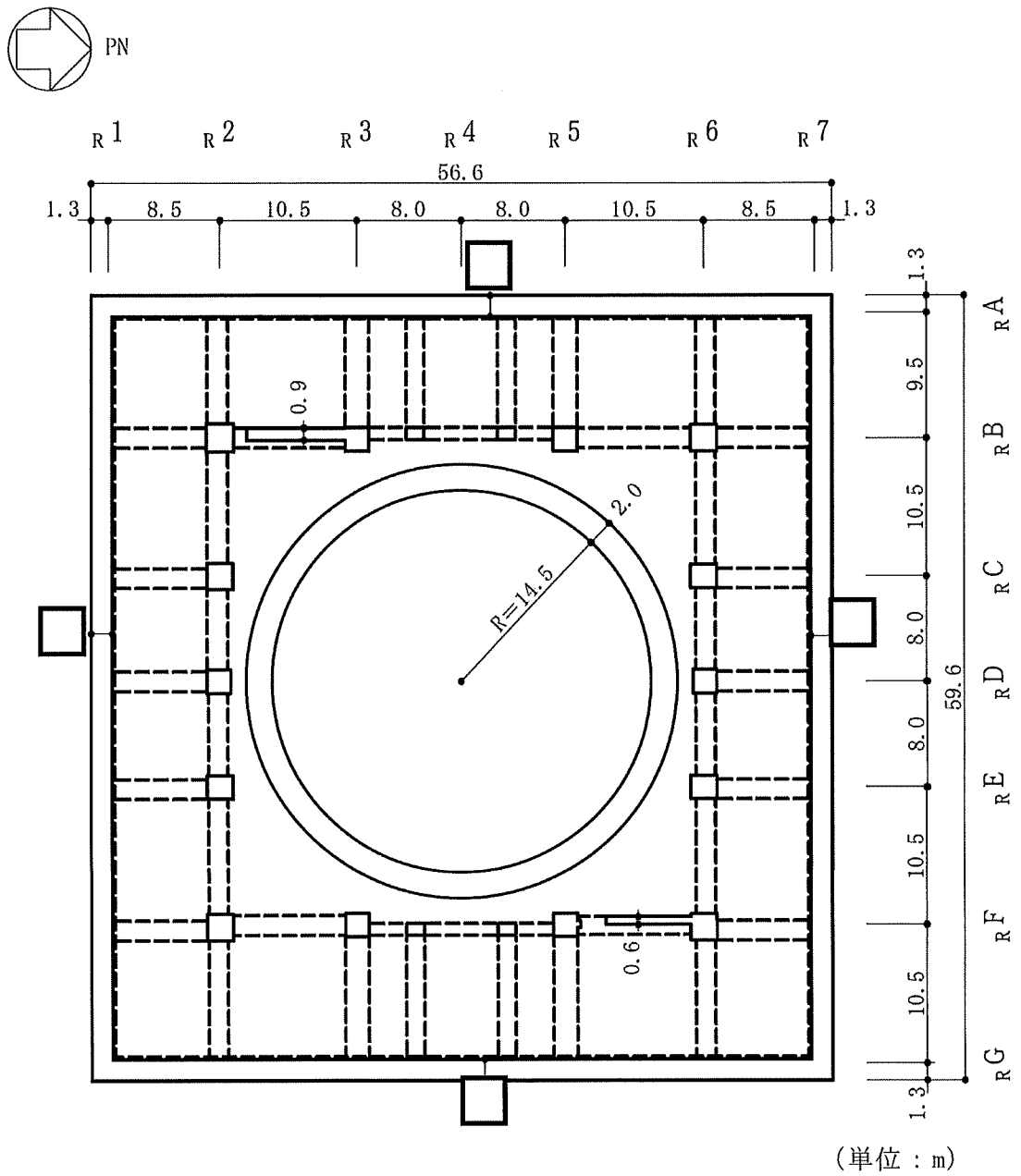


図1-1 原子炉建屋の概略平面図 (B2F, T. M. S. L. -1.7m) (2/9)

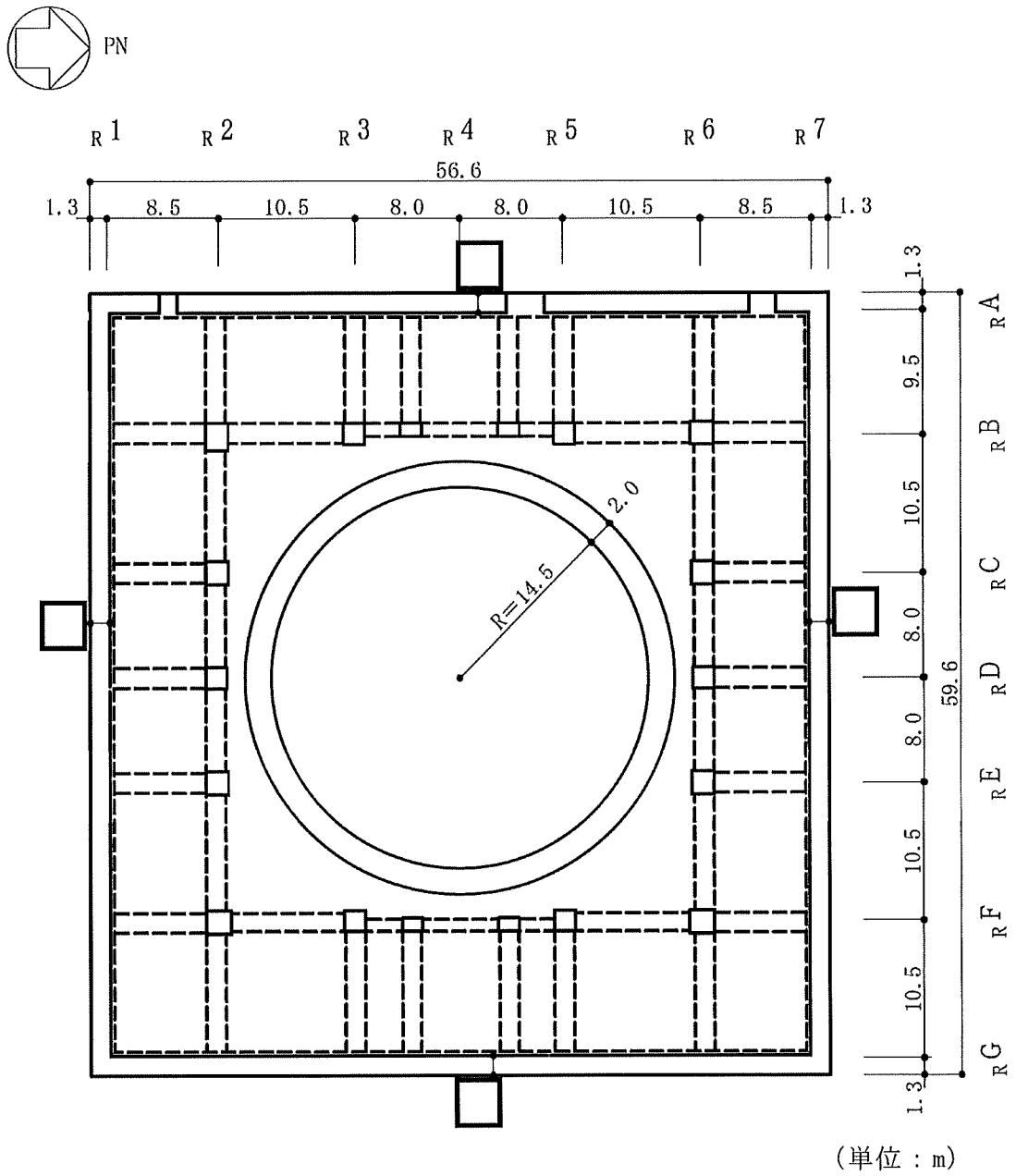


図1-1 原子炉建屋の概略平面図 (B1F, T.M.S.L. 4.8m) (3/9)

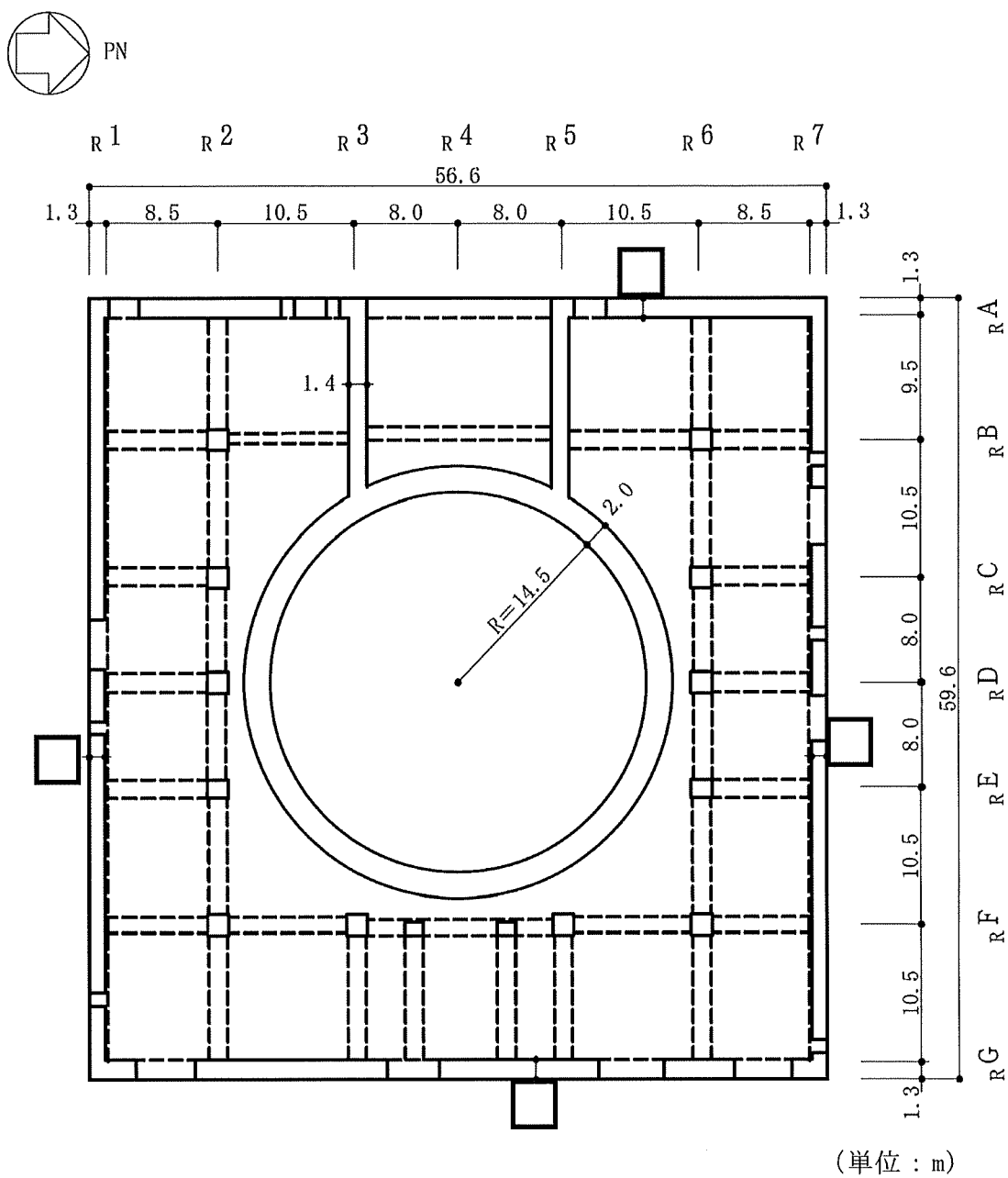
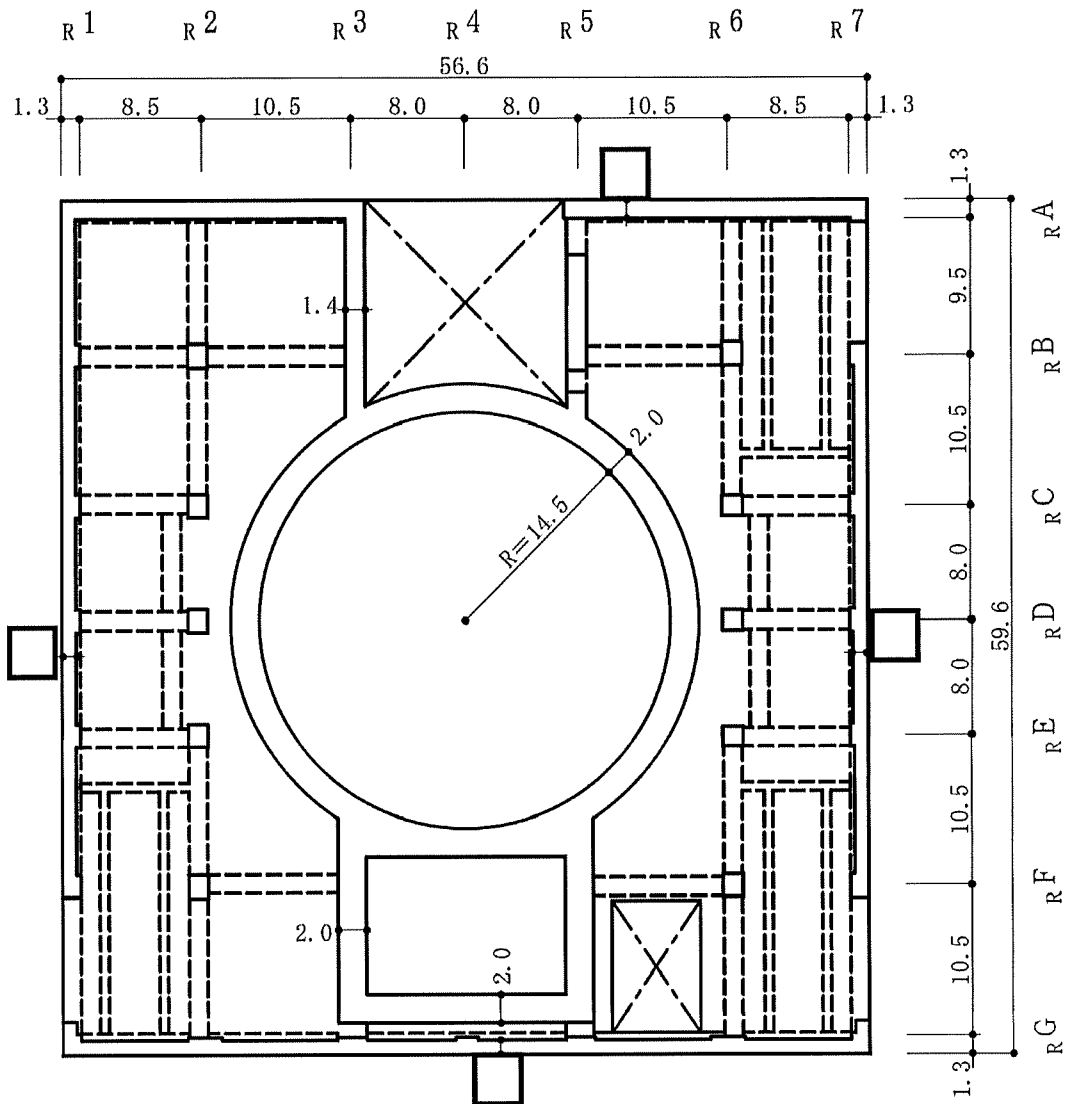
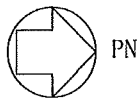
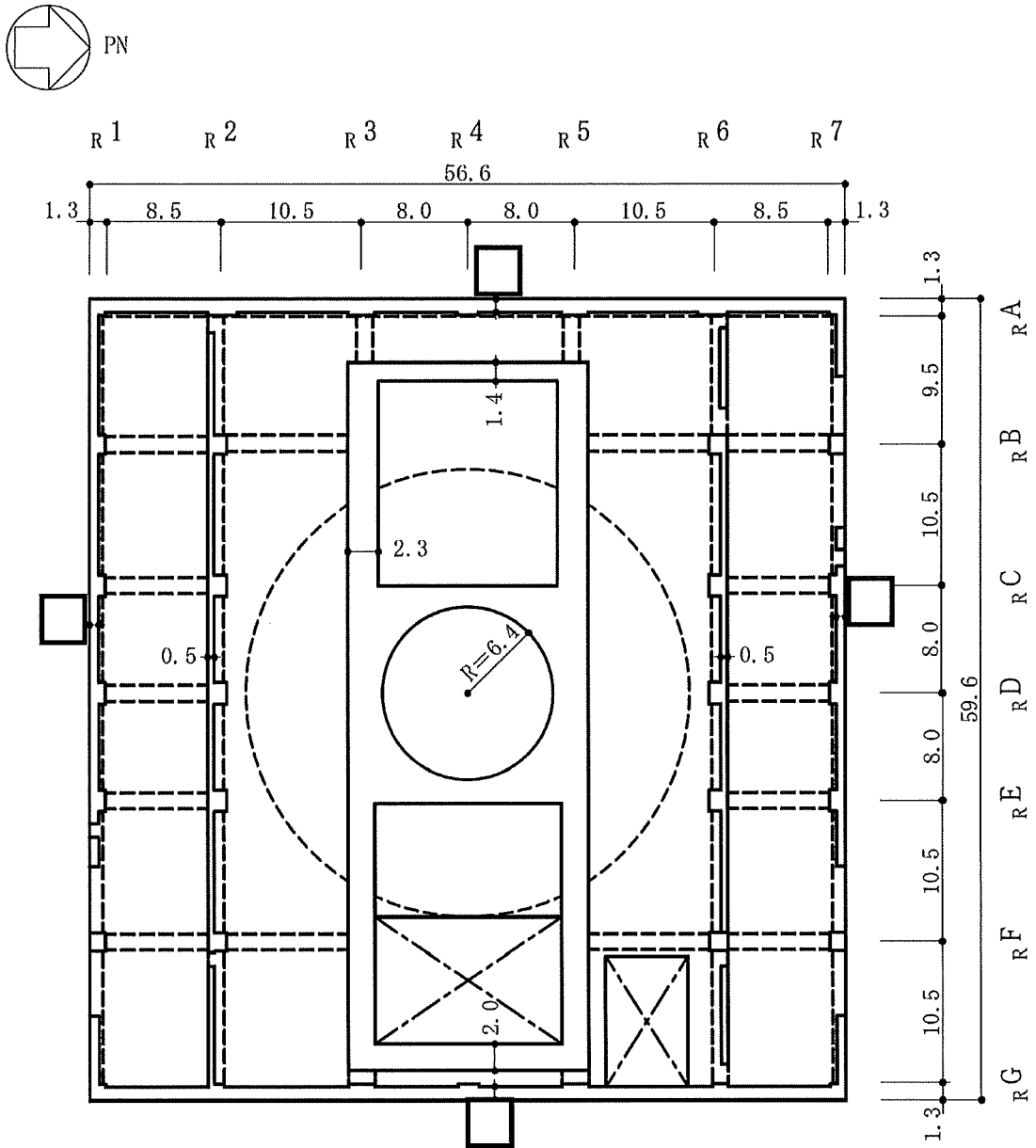


図1-1 原子炉建屋の概略平面図 (1F, T.M.S.L. 12.3m) (4/9)



(単位 : m)

図1-1 原子炉建屋の概略平面図 (2F, T.M.S.L. 18.1m) (5/9)



(単位 : m)

図1-1 原子炉建屋の概略平面図 (3F, T.M.S.L. 23.5m) (6/9)

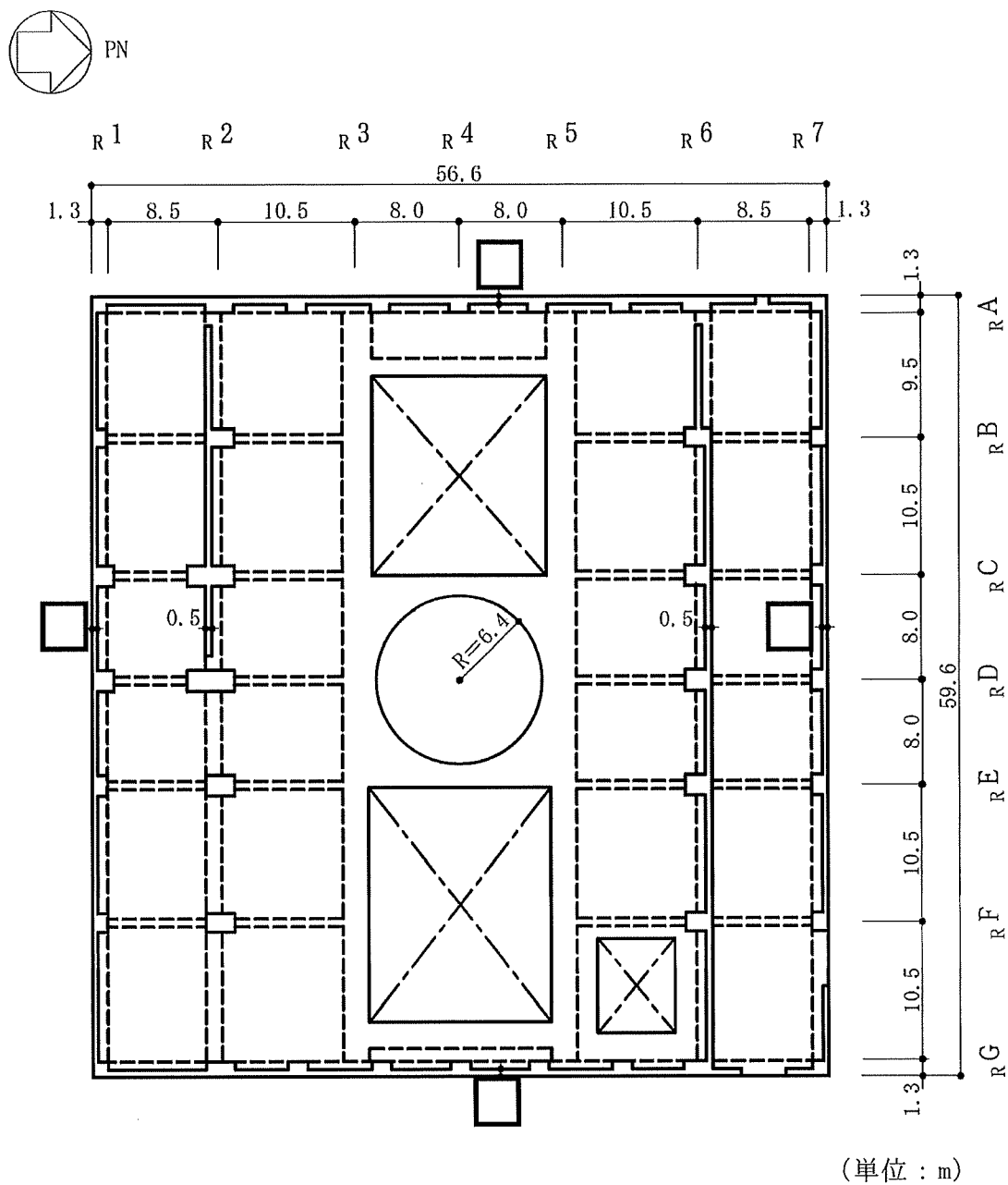


図1-1 原子炉建屋の概略平面図 (4F, T.M.S.L. 31.7m) (7/9)

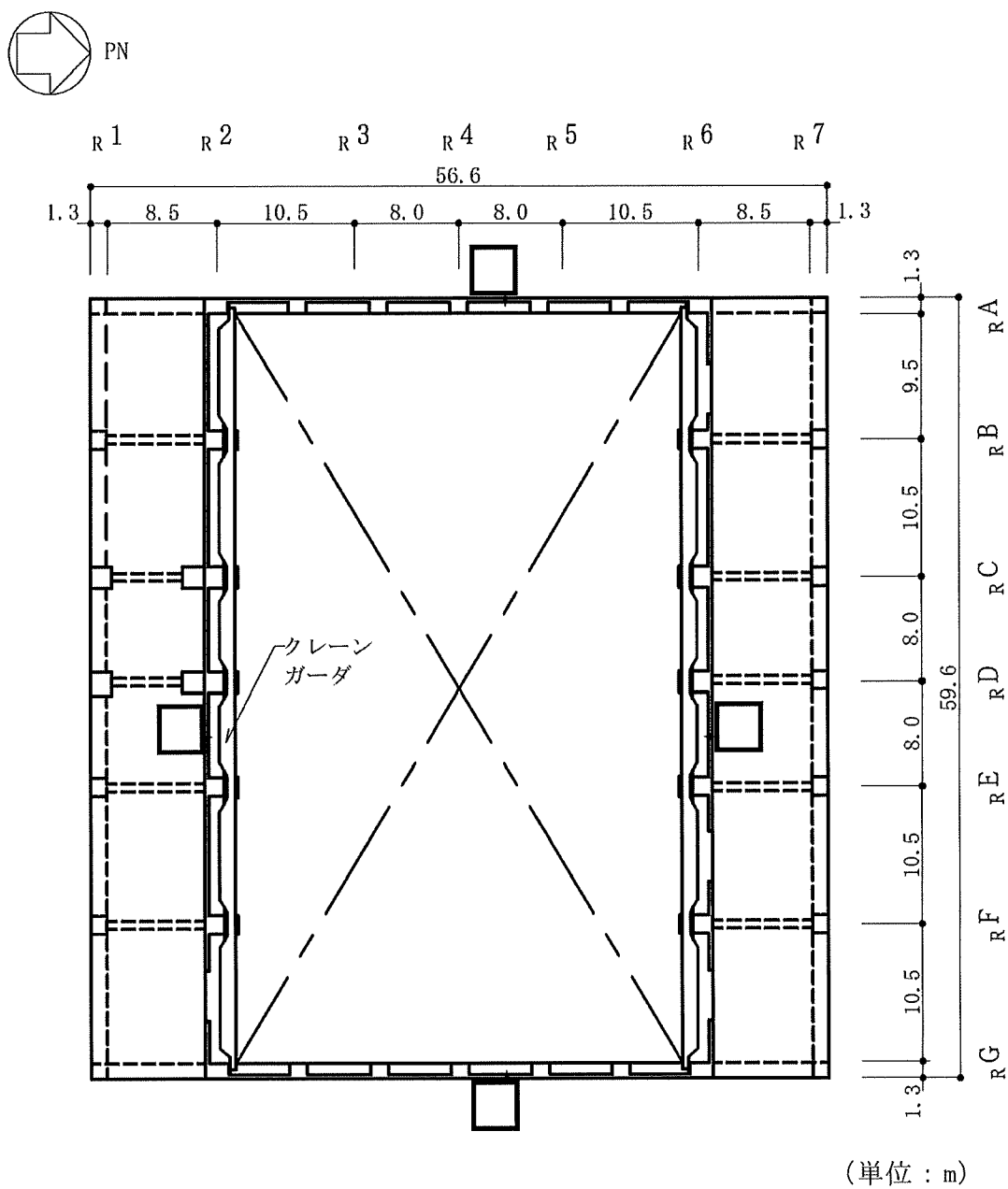
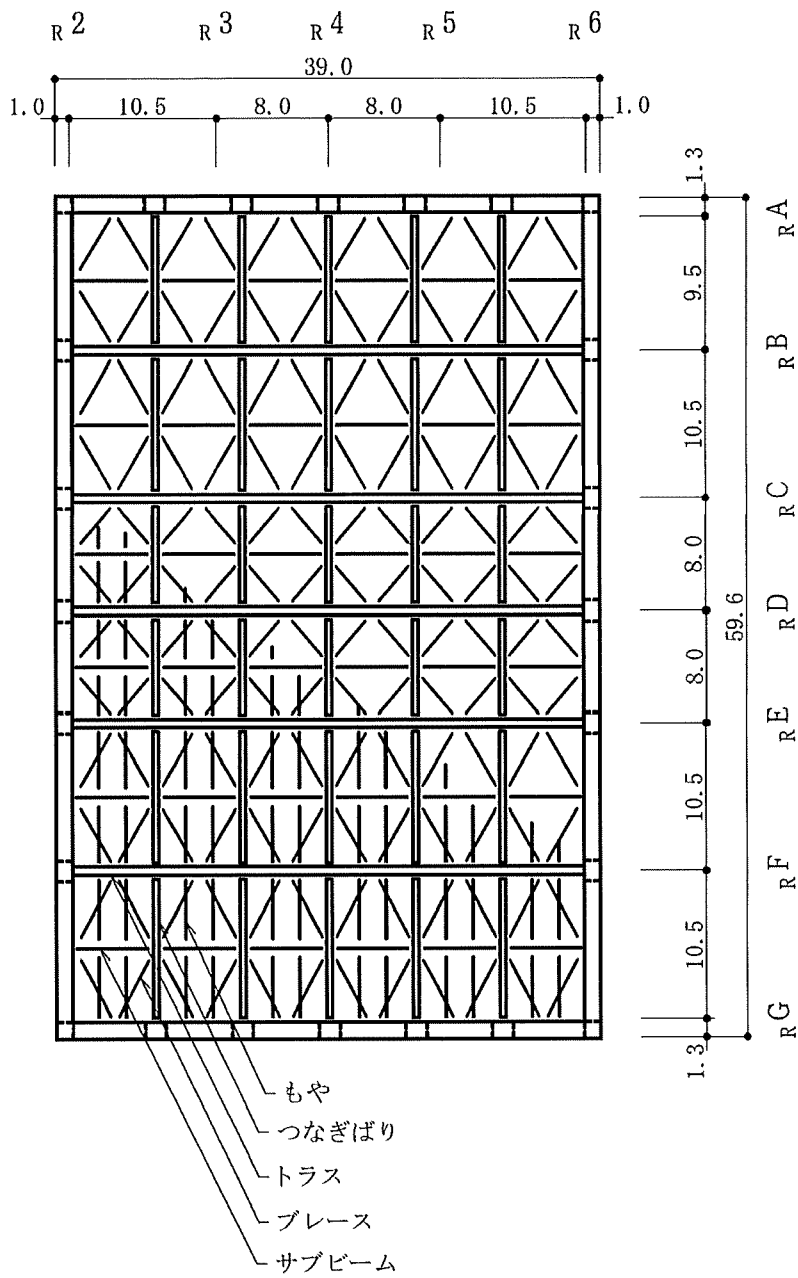
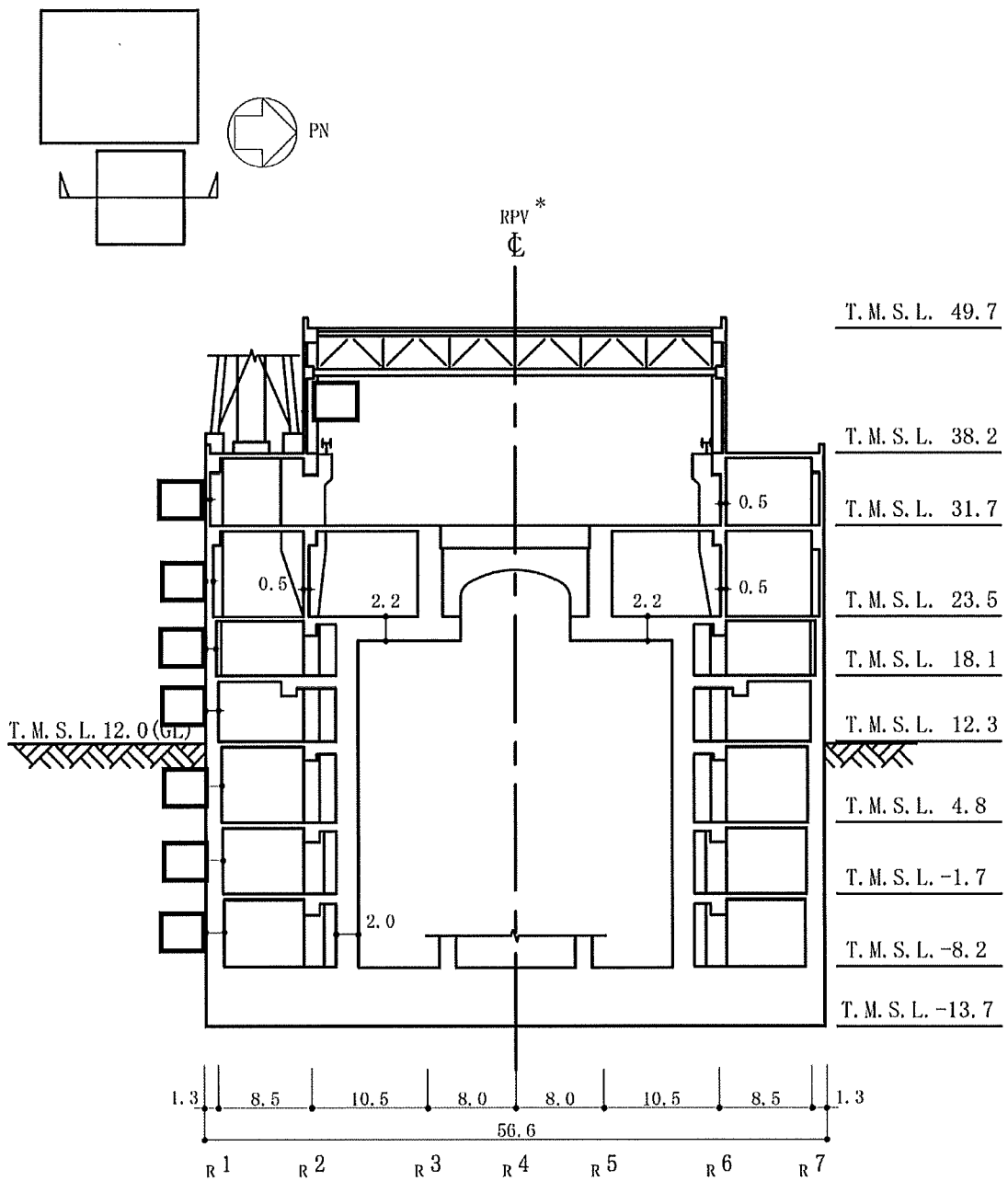


図1-1 原子炉建屋の概略平面図 (CRF, T.M.S.L. 38.2m) (8/9)



(単位 : m)

図1-1 原子炉建屋の概略平面図 (RF, T.M.S.L. 49.7m) (9/9)



(単位：m)

注記*：原子炉圧力容器（以下「RPV」という。）

図1-2 原子炉建屋の概略断面図（NS方向）（1/2）

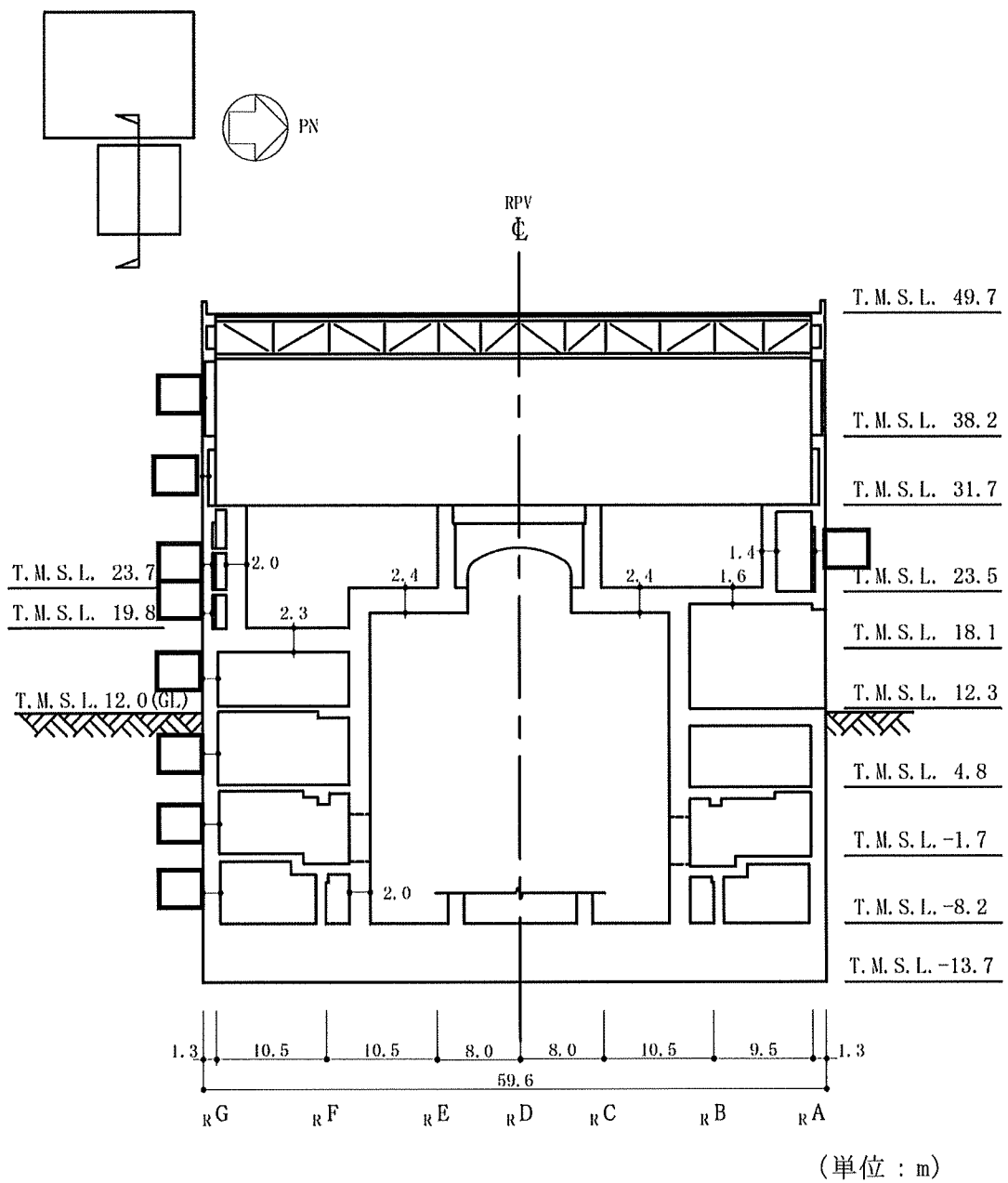


図1-2 原子炉建屋の概略断面図 (EW方向) (2/2)

2. コントロール建屋の概略図

コントロール建屋の概略平面図を図 2-1 に，概略断面図を図 2-2 に示す。

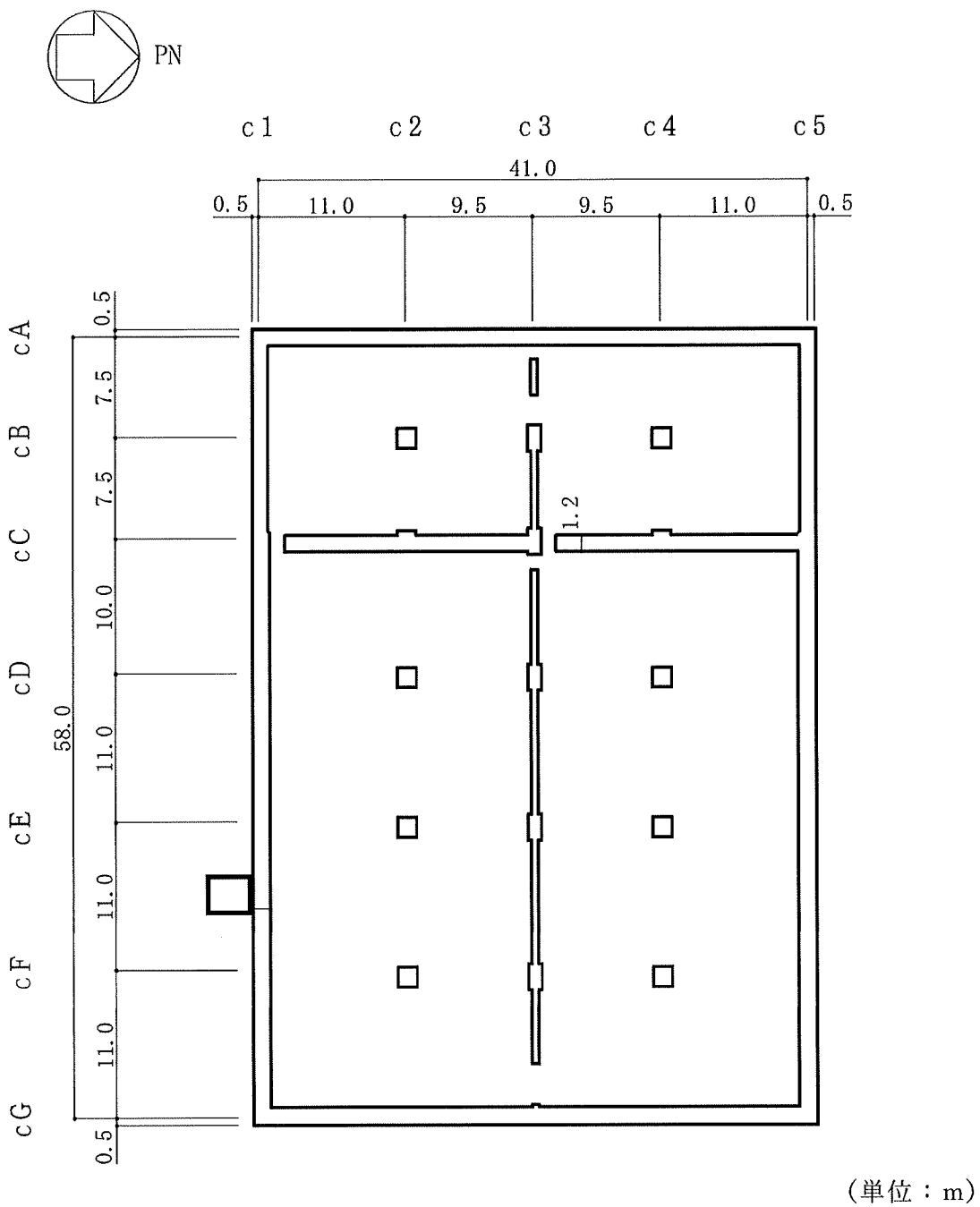


図 2-1 コントロール建屋の概略平面図 (B2F, T.M.S.L. -2.7m) (1/5)

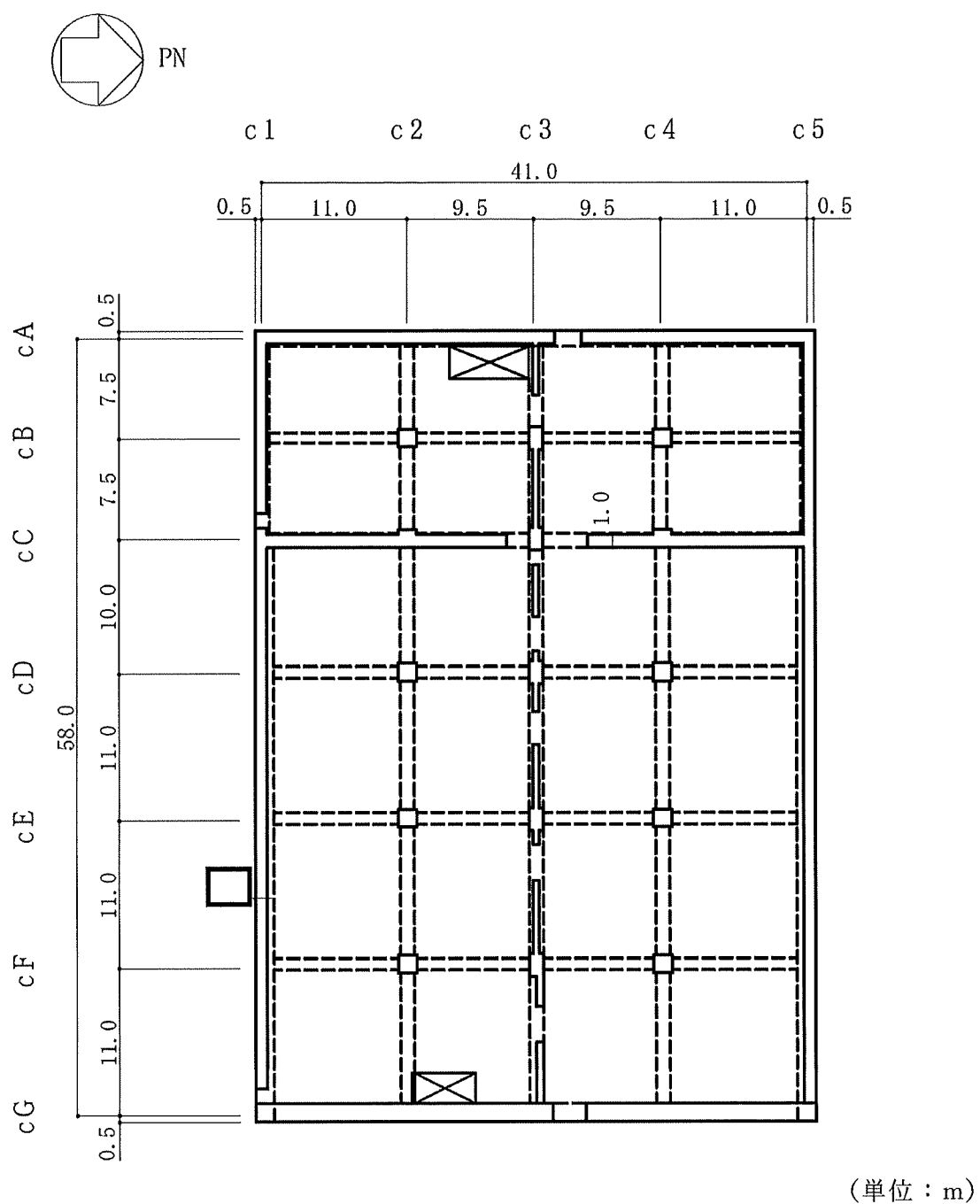


図 2-1 コントロール建屋の概略平面図 (B1F, T. M. S. L. 6.5m) (2/5)

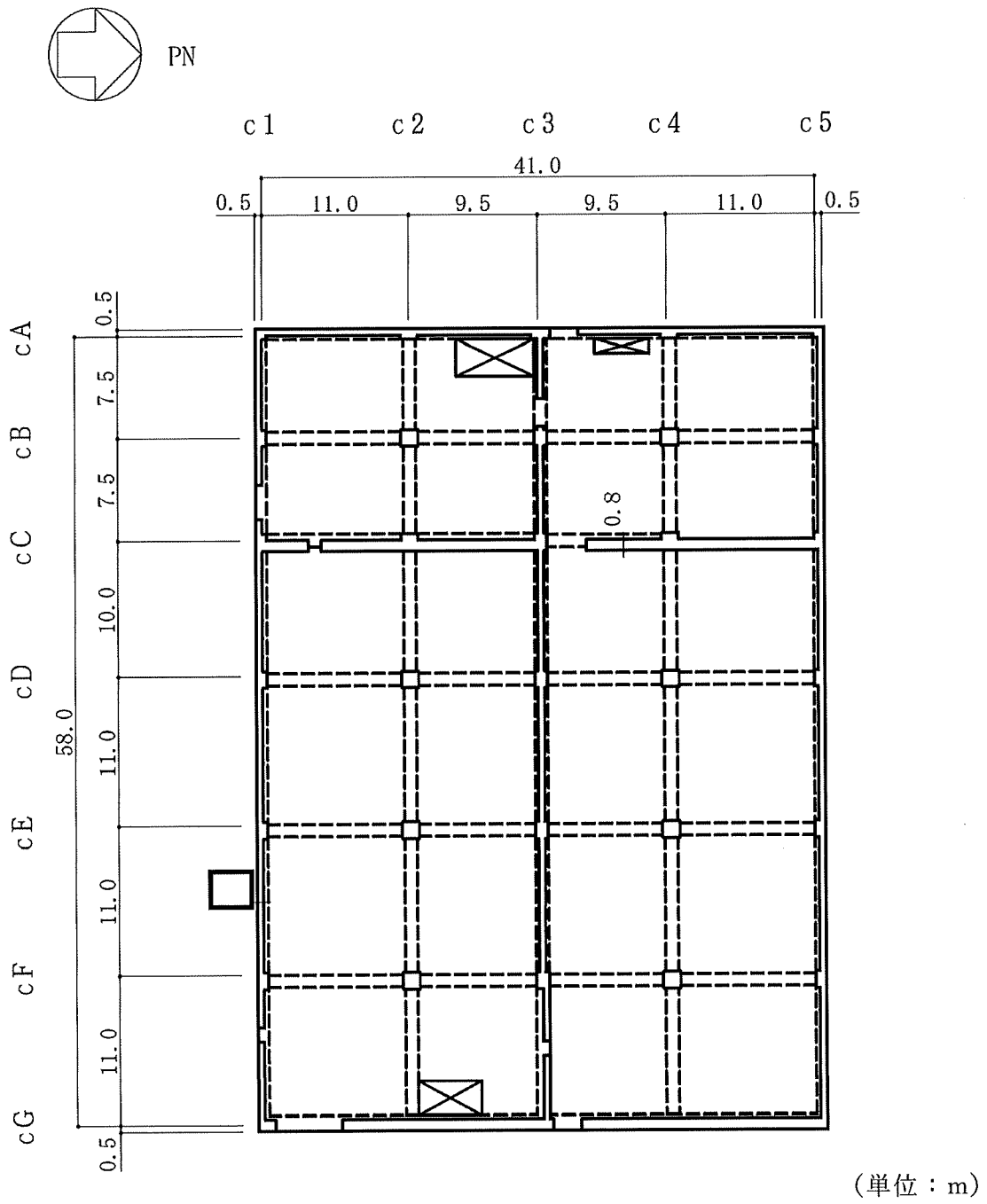


図 2-1 コントロール建屋の概略平面図 (1F, T. M. S. L. 12. 3m) (3/5)

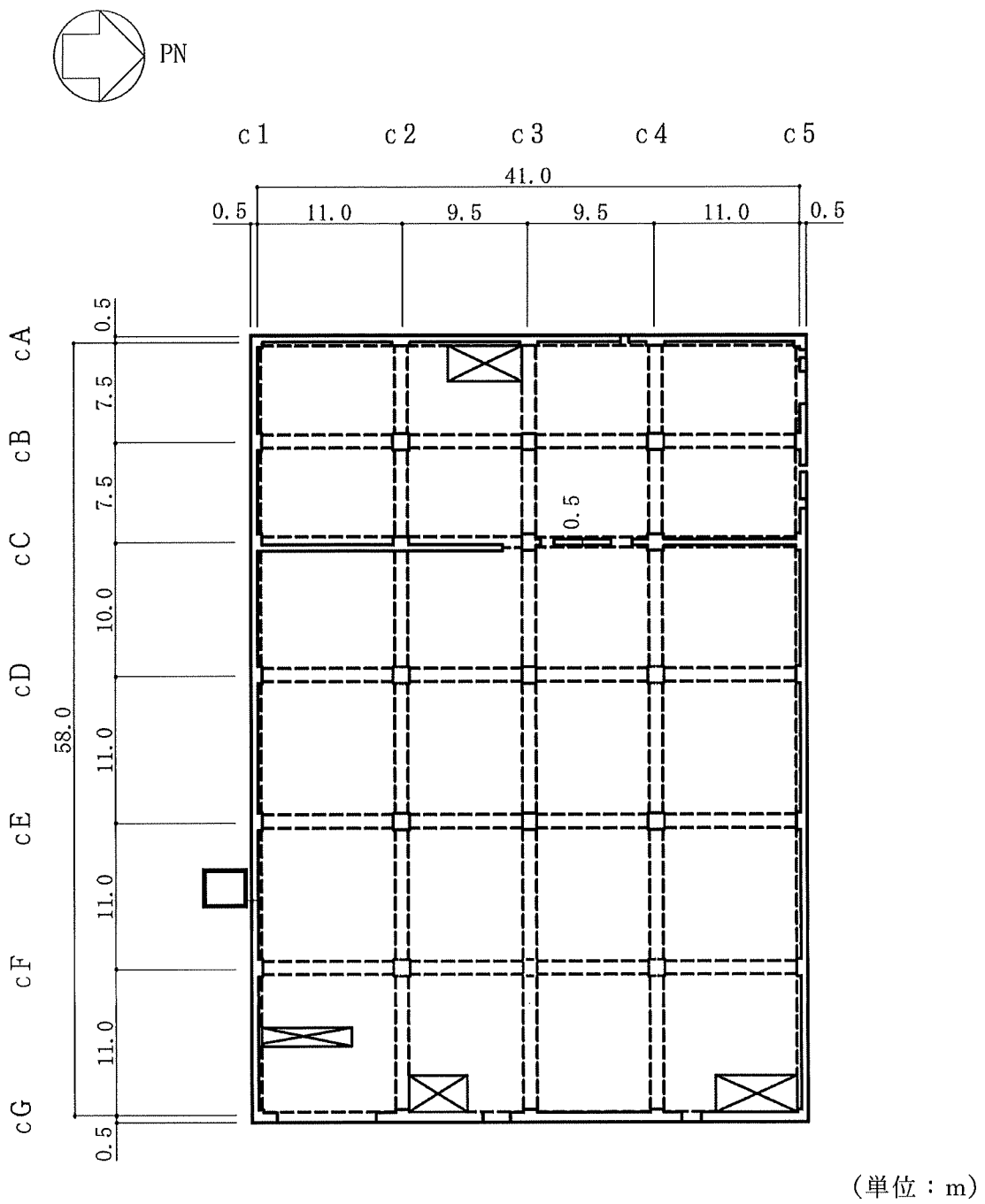
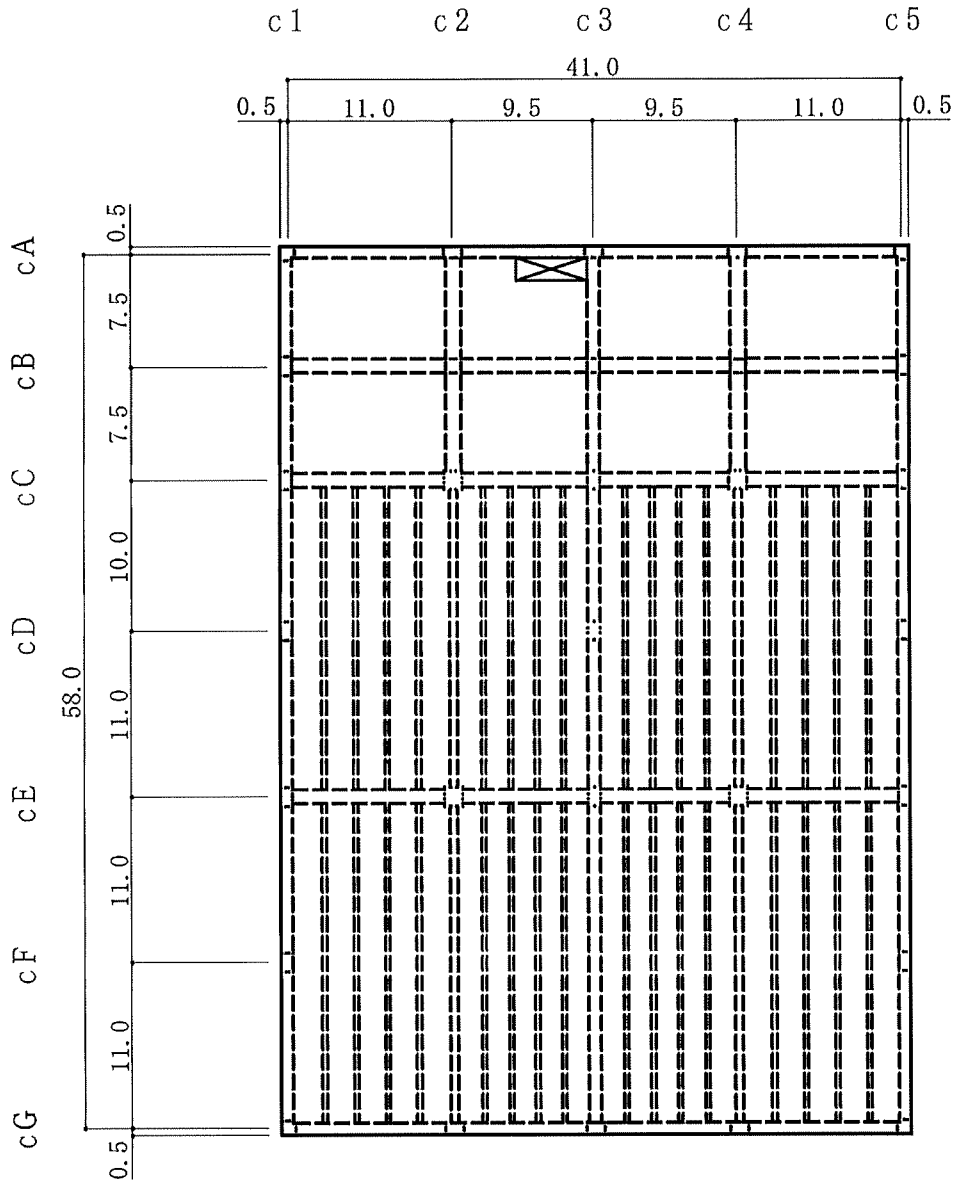
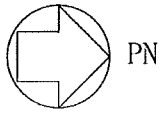


図 2-1 コントロール建屋の概略平面図 (2F, T.M.S.L. 17.3m) (4/5)



(単位：m)

図 2-1 コントロール建屋の概略平面図 (RF, T.M.S.L. 24.1m) (5/5)

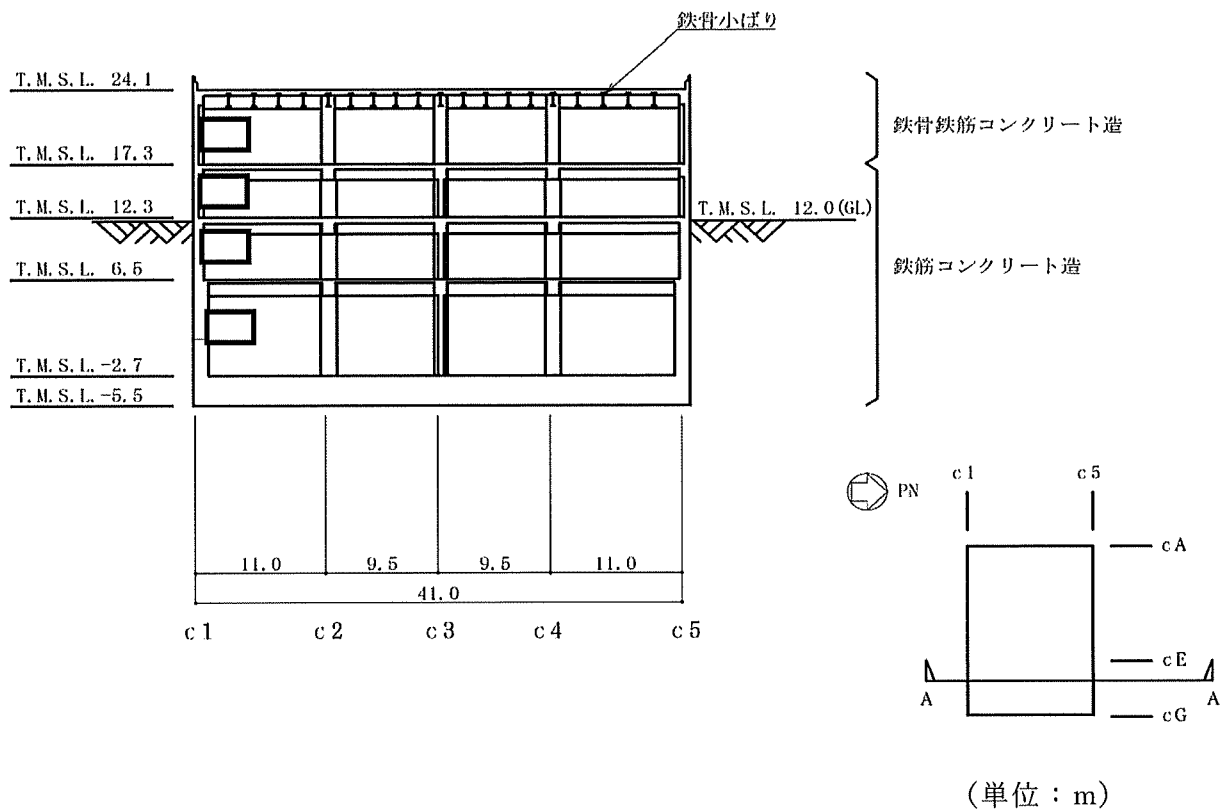


図 2-2 コントロール建屋の概略断面図 (NS 方向) (1/2)

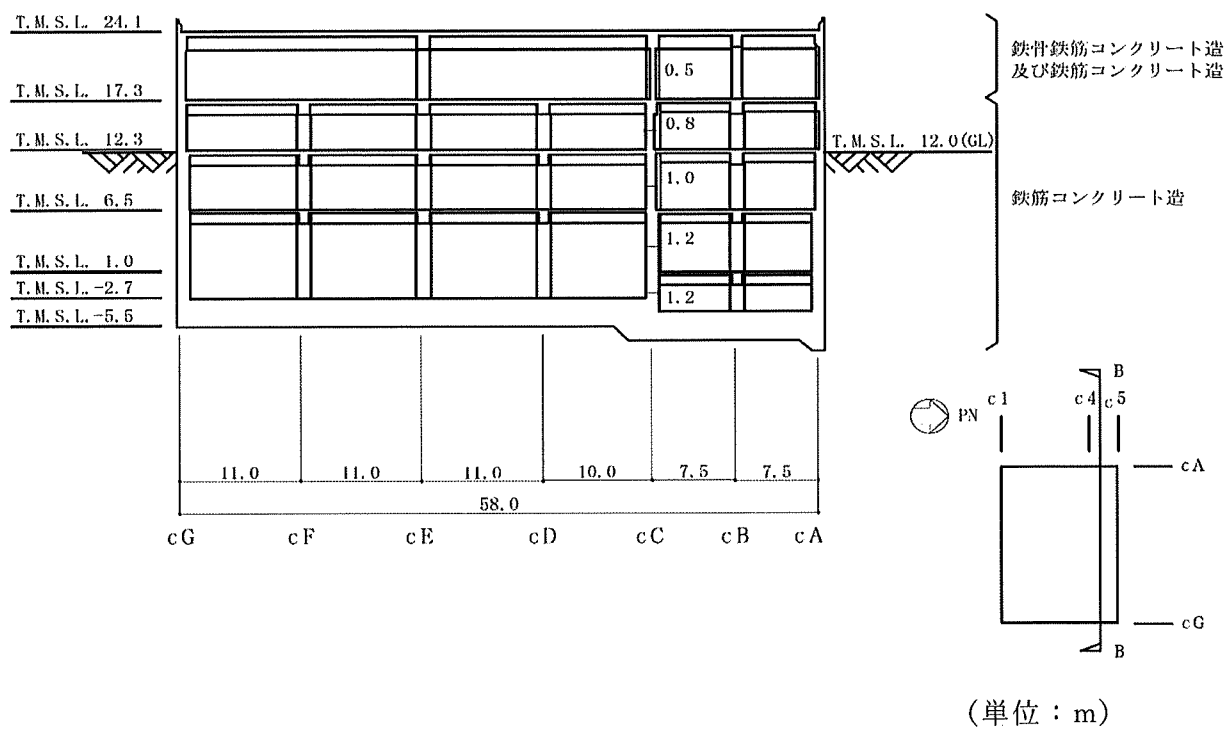


図 2-2 コントロール建屋の概略断面図 (EW 方向) (2/2)

3. タービン建屋の概略図

タービン建屋の概略平面図を図 3-1 に，概略断面図を図 3-2 に示す。

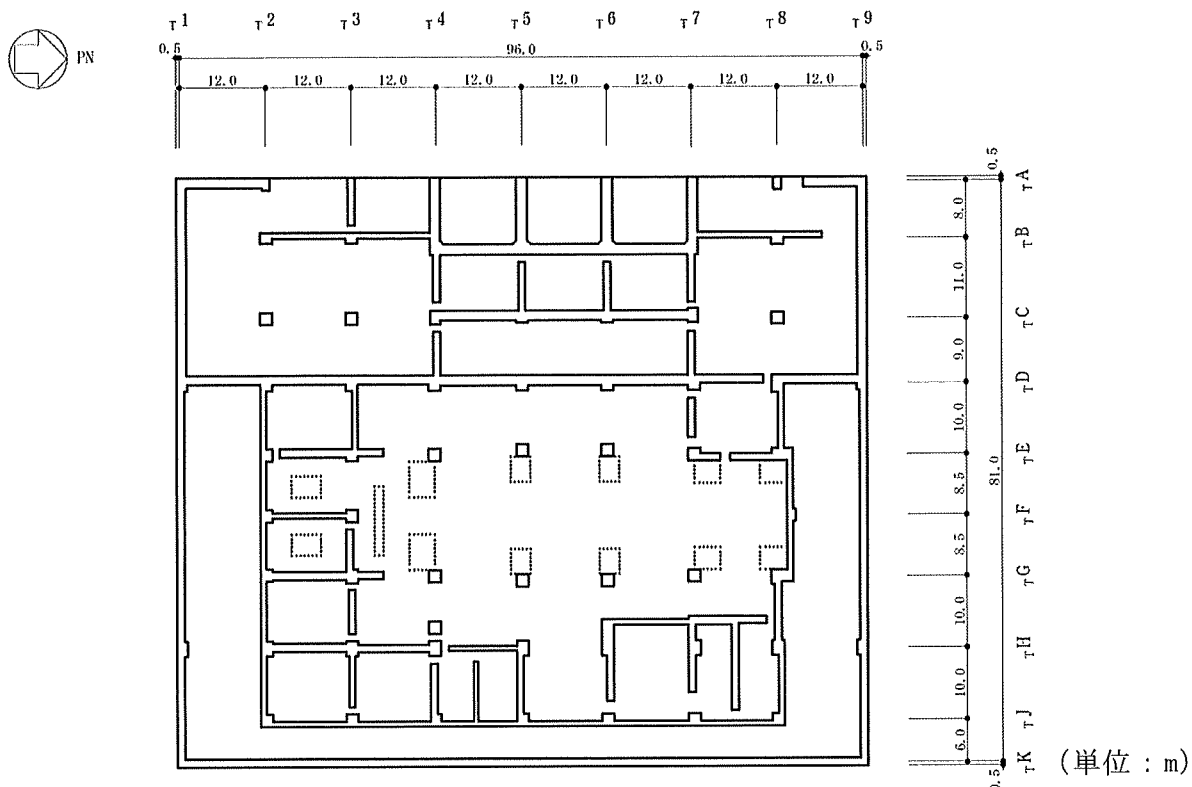


図 3-1 タービン建屋の概略平面図 (B2F, T.M.S.L. -5.1m) (1/6)

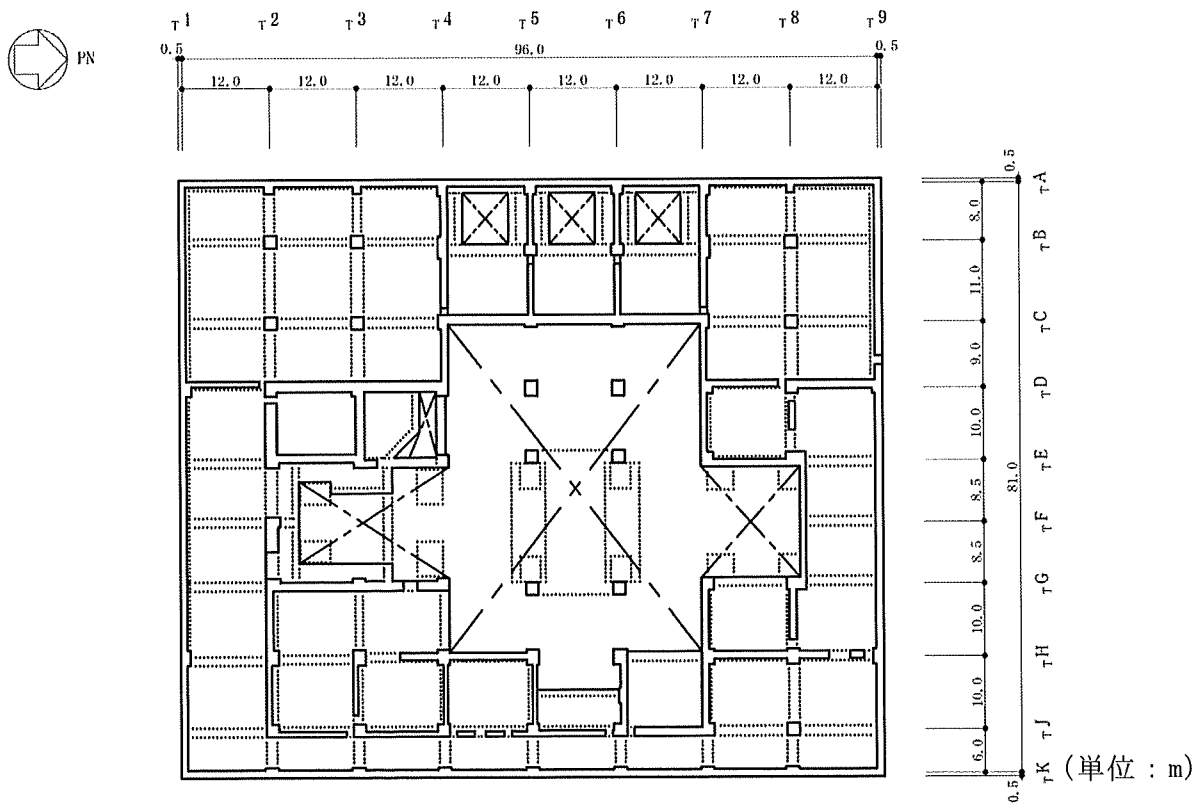
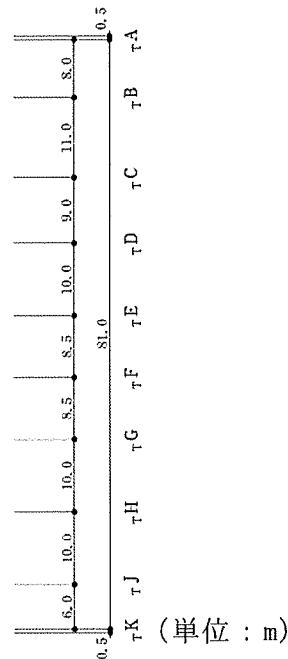
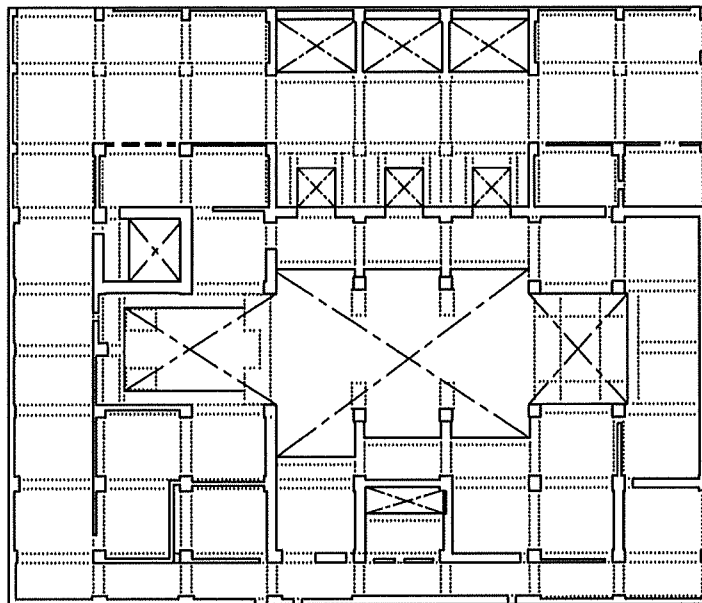
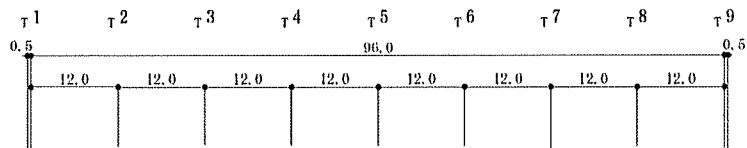
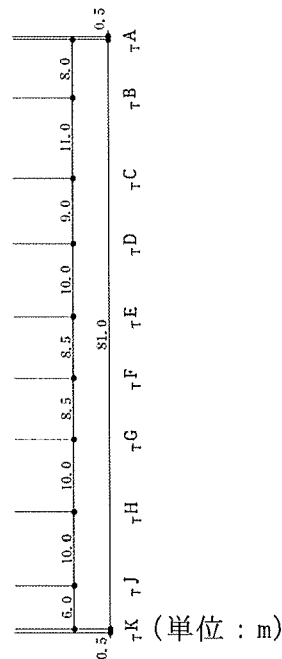
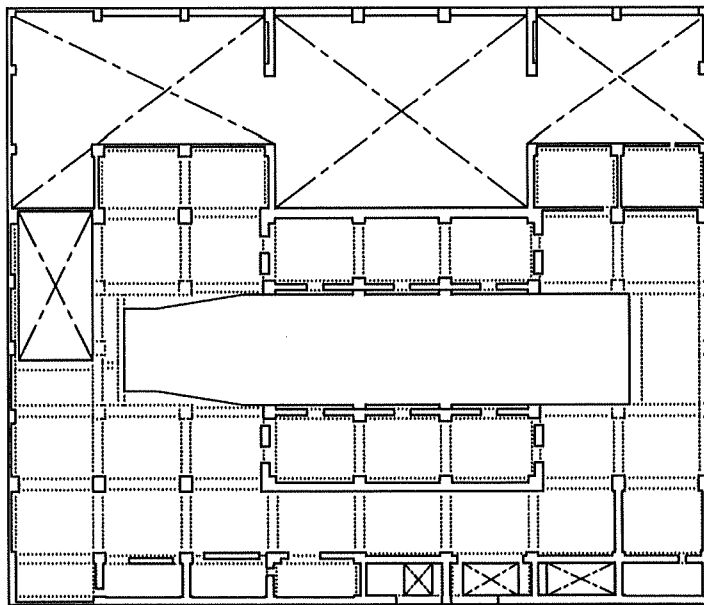
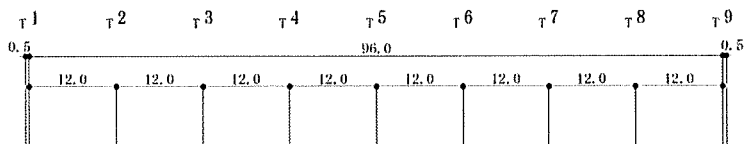


図 3-1 タービン建屋の概略平面図 (B1F, T.M.S.L. 4.9m) (2/6)



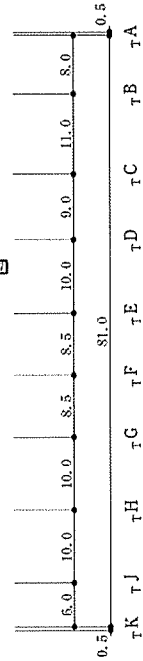
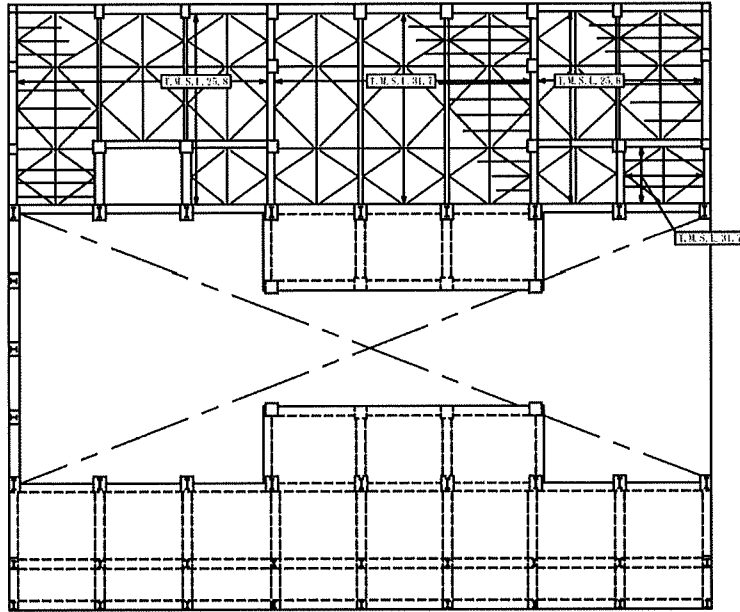
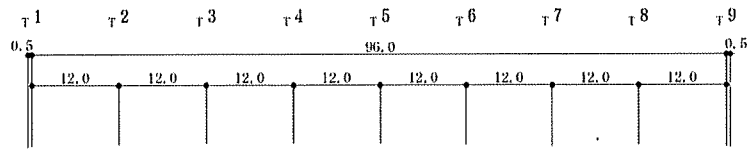
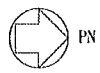
(単位 : m)

図 3-1 タービン建屋の概略平面図 (1F, T. M. S. L. 12.3m) (3/6)



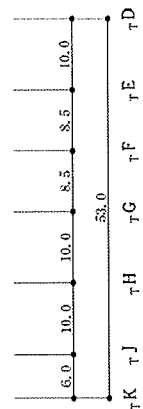
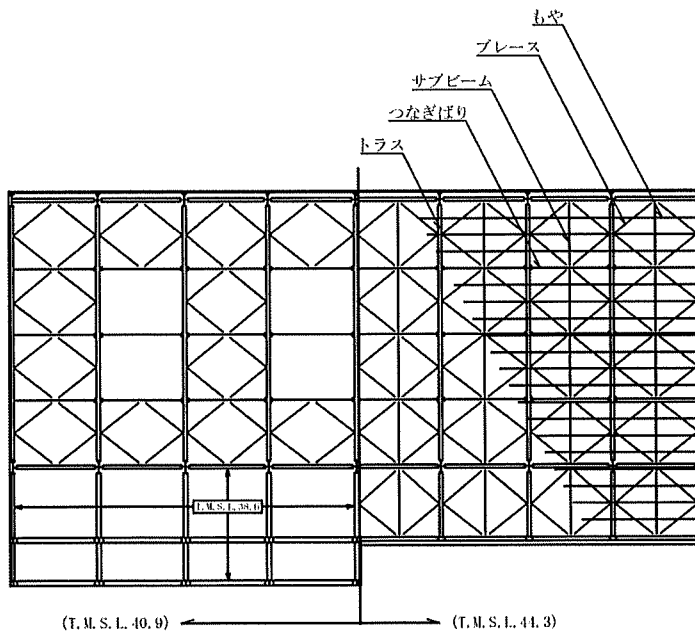
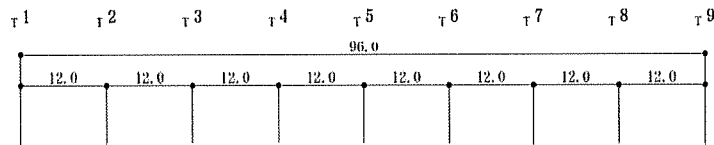
(単位 : m)

図 3-1 タービン建屋の概略平面図 (2F, T. M. S. L. 20.4m) (4/6)



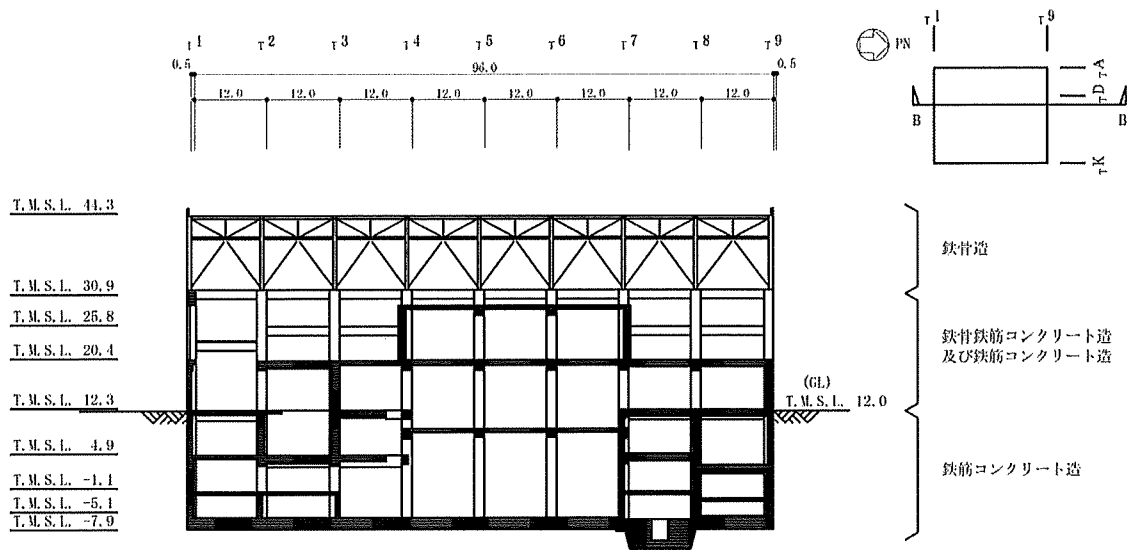
(単位 : m)

図 3-1 タービン建屋の概略平面図 (3F, T. M. S. L. 30.9m) (5/6)



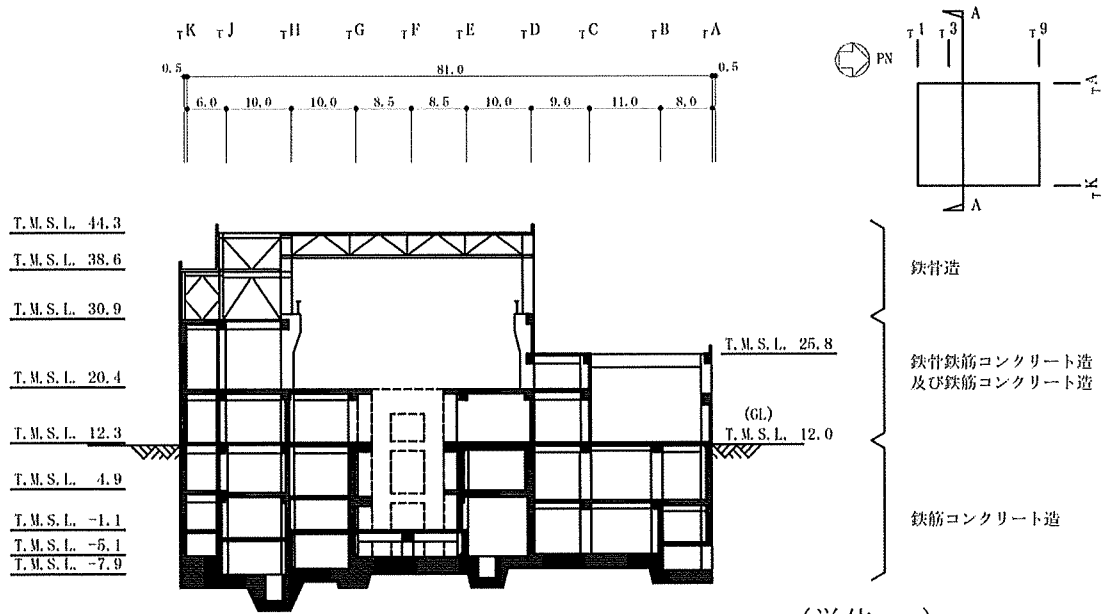
(単位 : m)

図 3-1 タービン建屋の概略平面図 (RF, T. M. S. L. 44.3m) (6/6)



(単位：m)

NS 方向断面



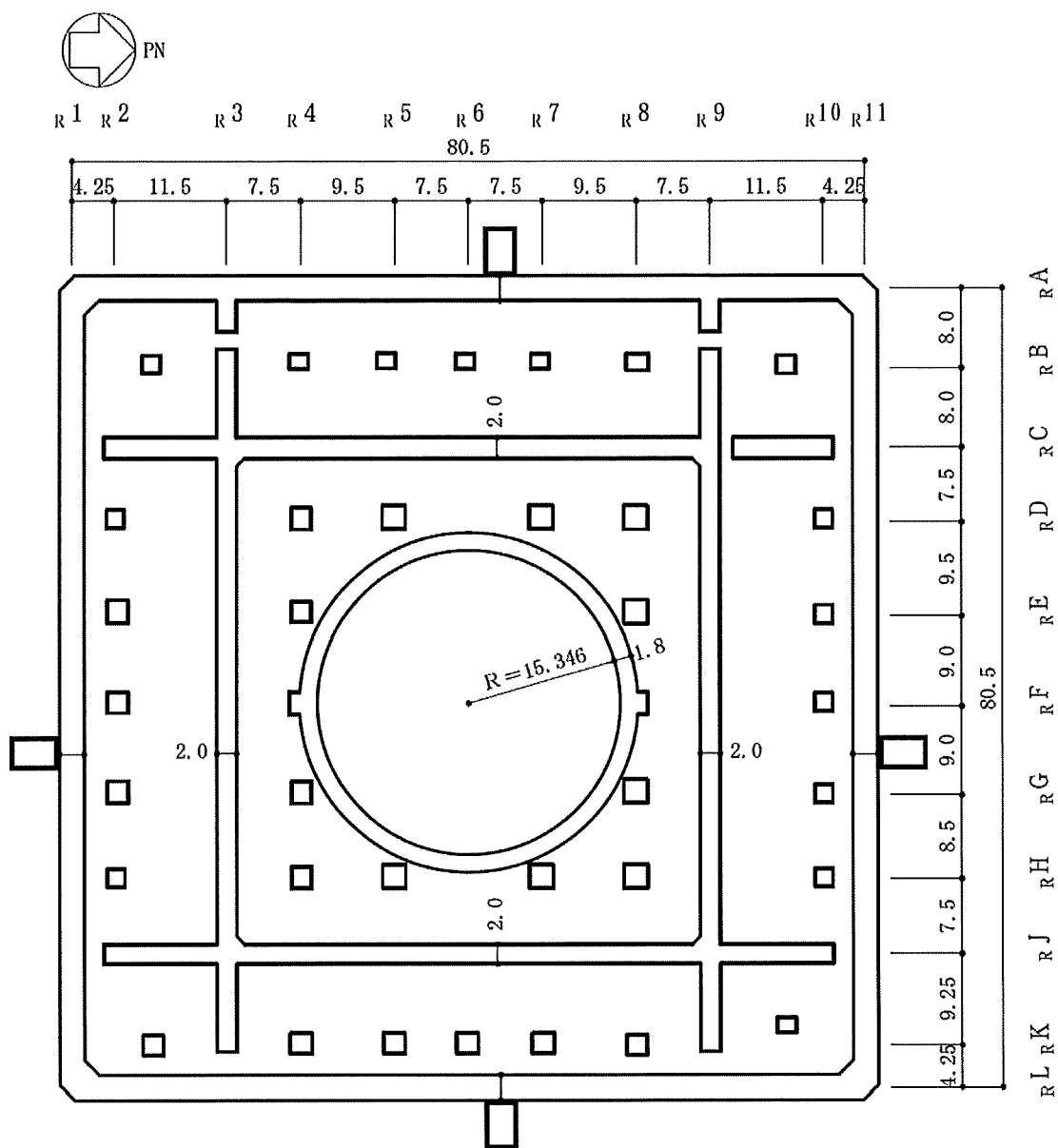
(単位：m)

EW 方向断面

図 3-2 タービン建屋の概略断面図

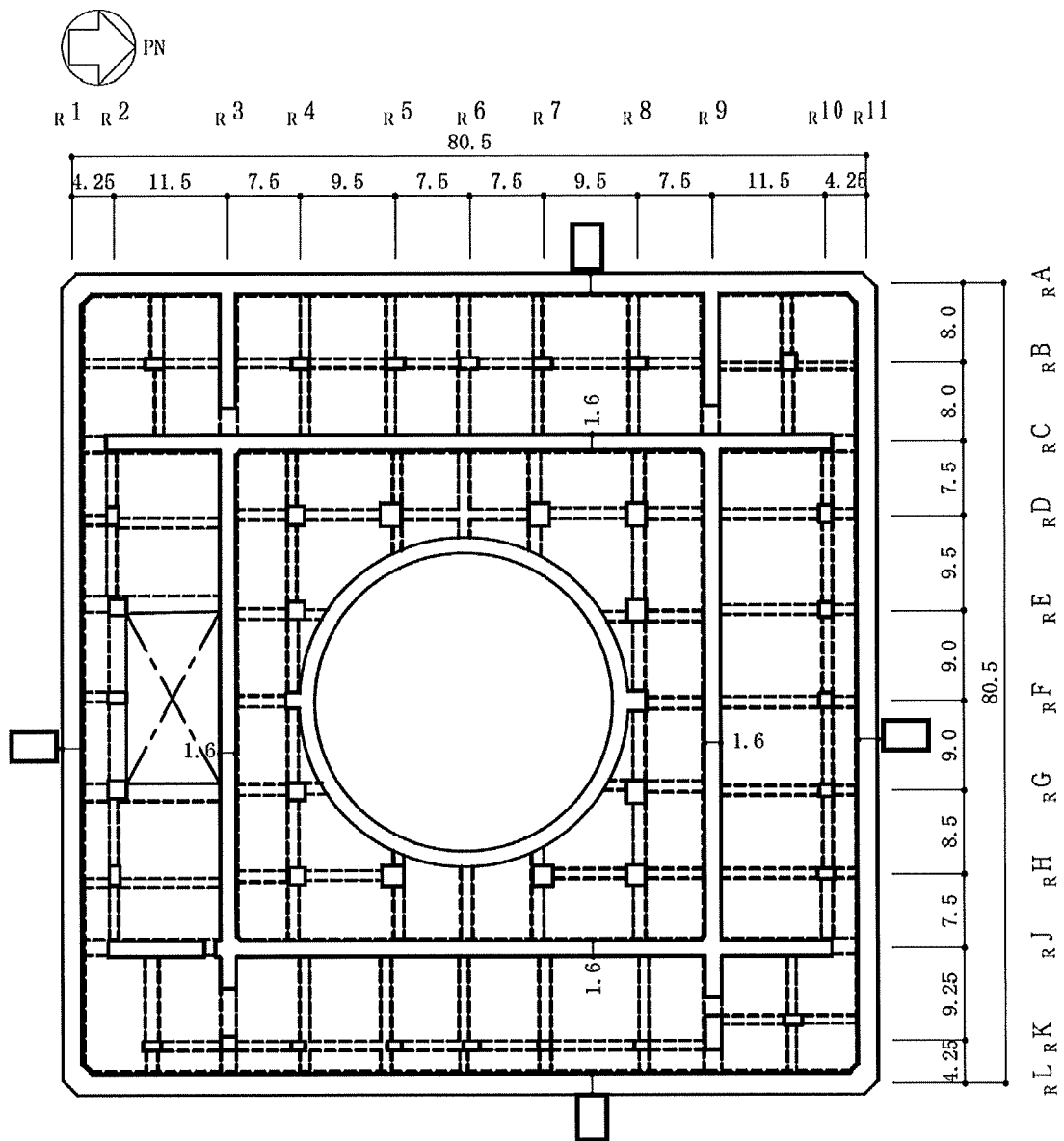
4. 緊急時対策所の概略図

緊急時対策所が設置される 5 号機原子炉建屋の概略平面図を図 4-1 に、概略断面図を図 4-2 に示す。



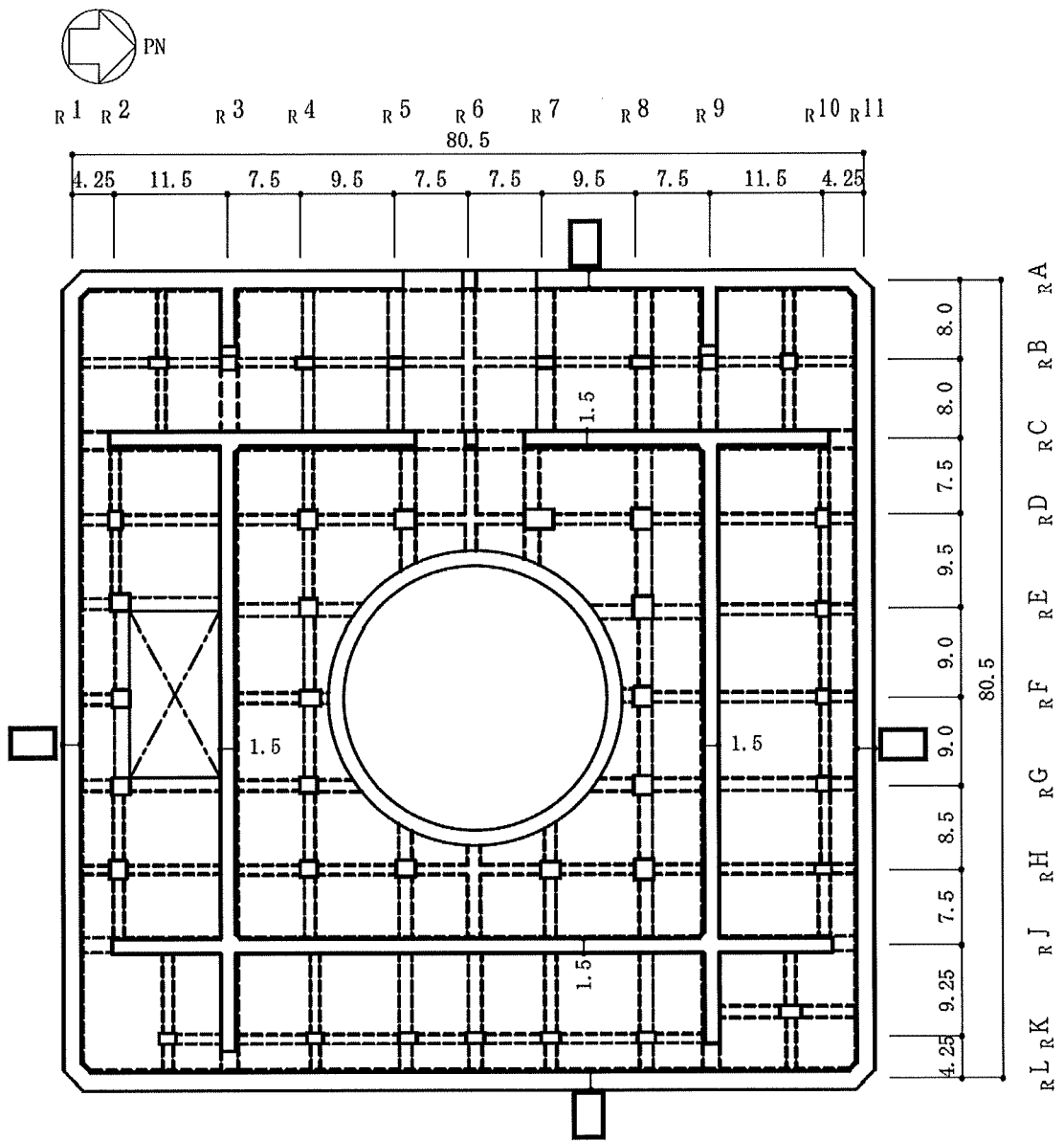
(単位 : m)

図 4-1 5号機原子炉建屋の概略平面図 (B4F, T.M.S.L. -17.5m) (1/10)



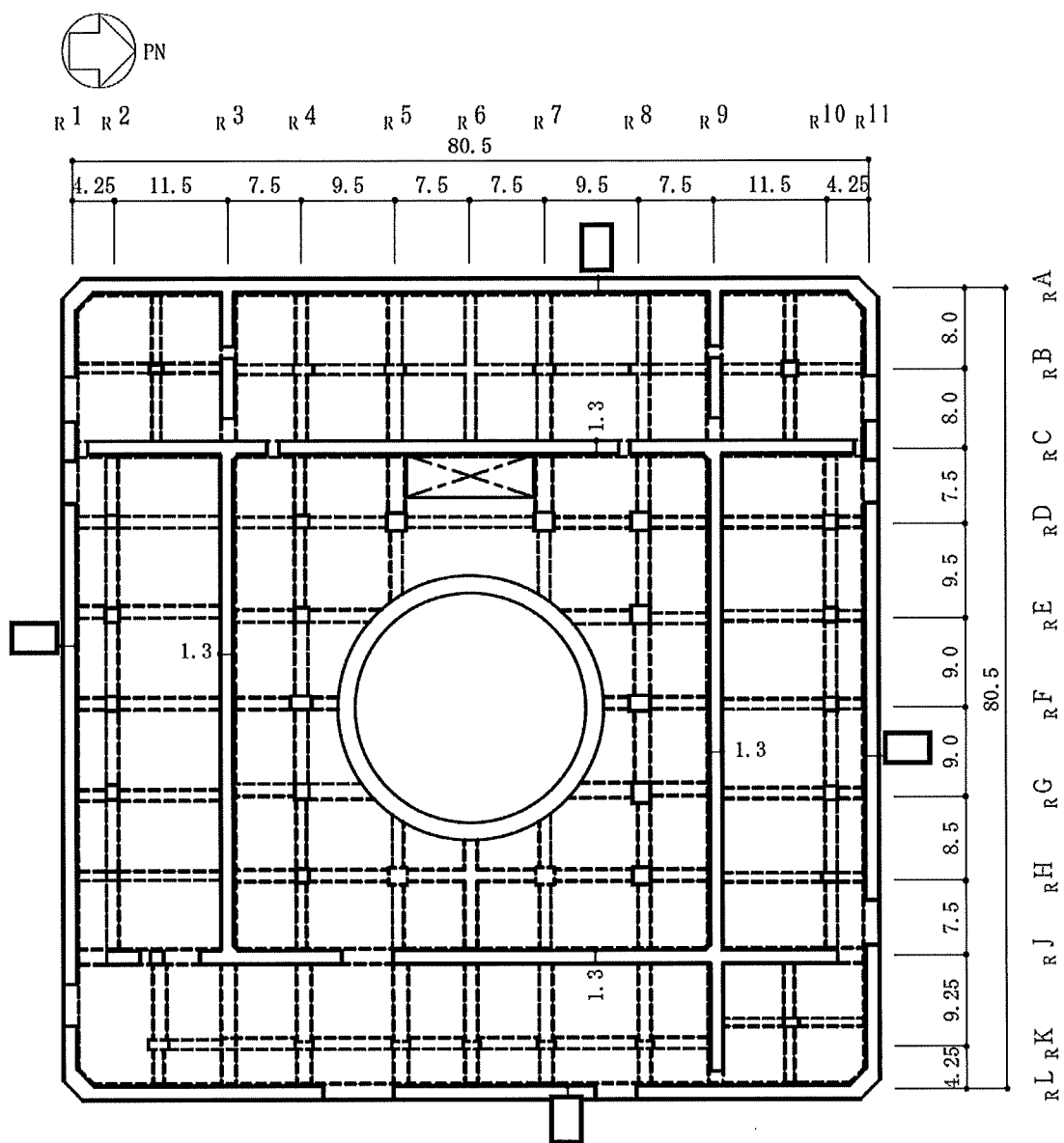
(単位 : m)

図 4-1 5号機原子炉建屋の概略平面図 (B2F, T.M.S.L. -1.1m) (3/10)



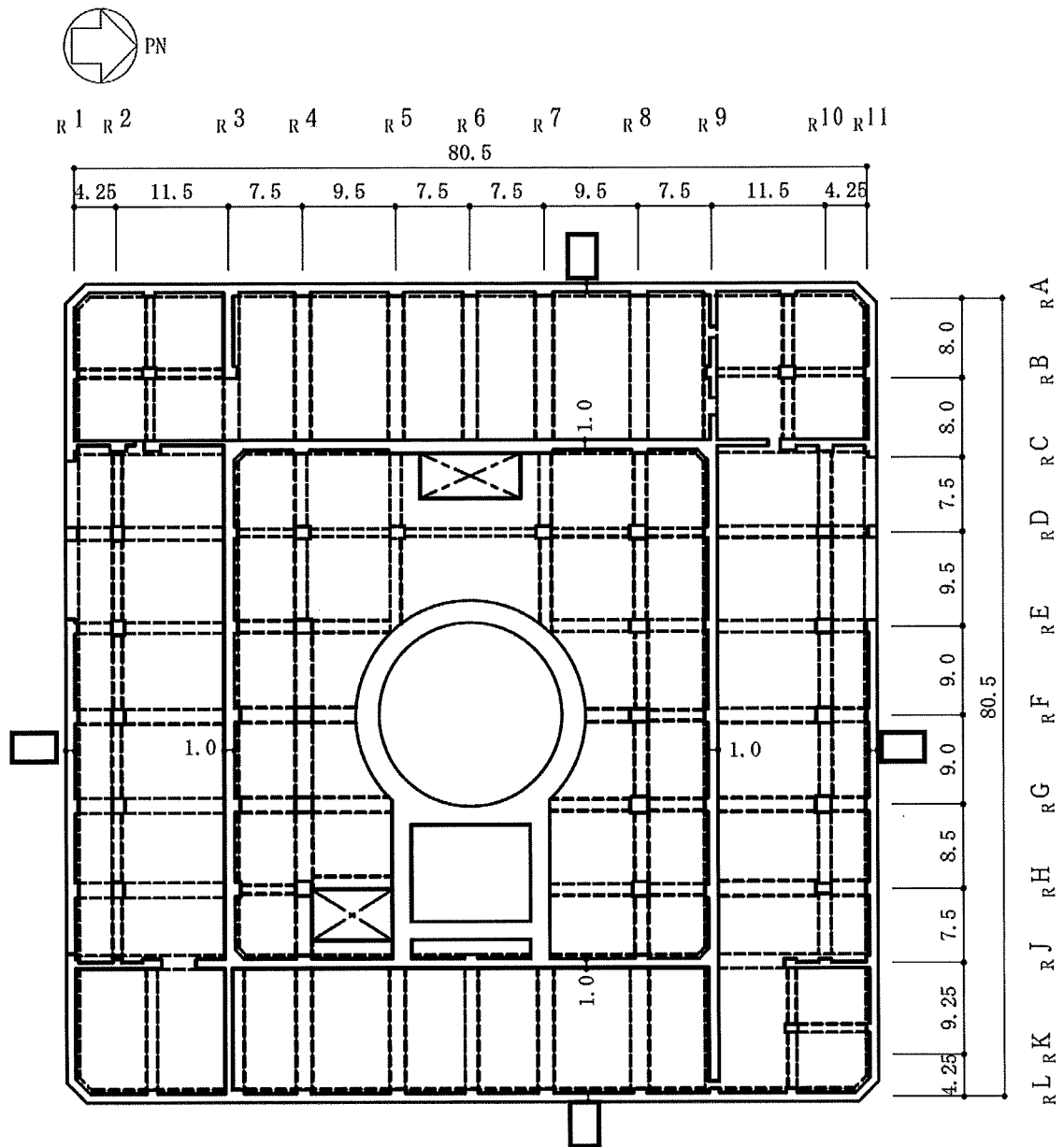
(単位 : m)

図 4-1 5号機原子炉建屋の概略平面図 (B1F, T.M.S.L. 5.3m) (4/10)



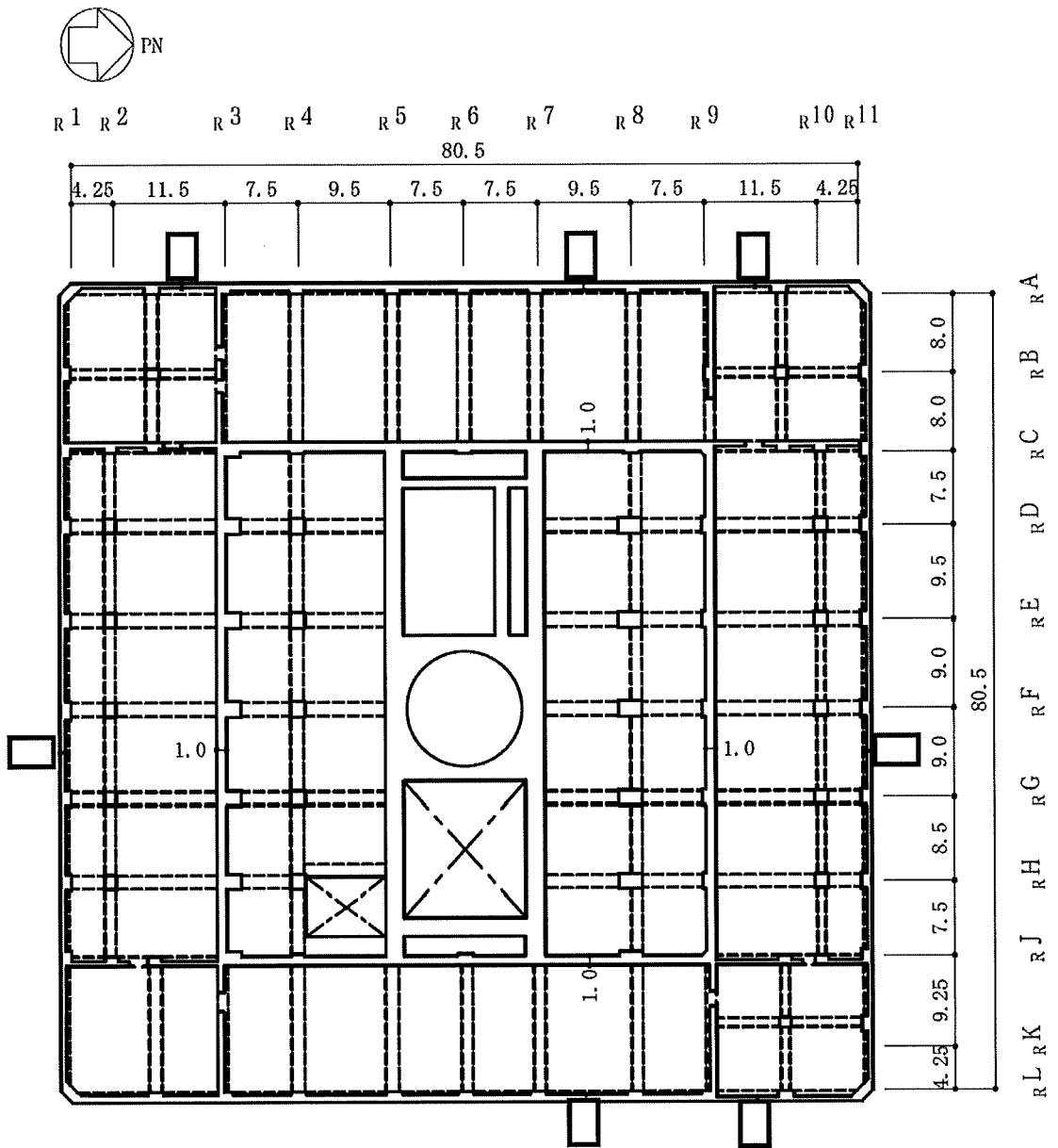
(単位 : m)

図 4-1 5号機原子炉建屋の概略平面図 (1F, T.M.S.L. 12.3m) (5/10)



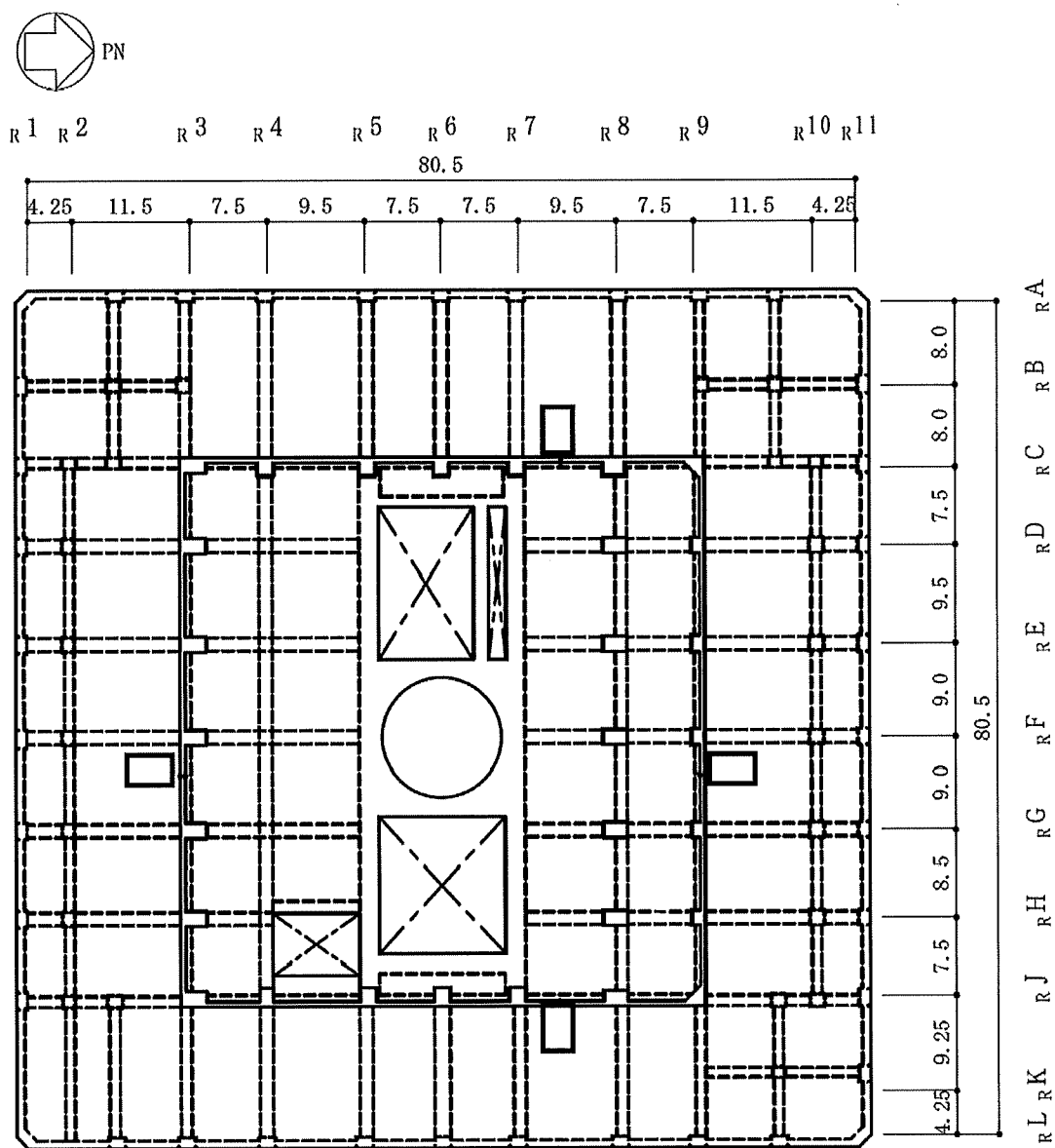
(単位：m)

図 4-1 5号機原子炉建屋の概略平面図 (2F, T.M.S.L. 20.3m) (6/10)



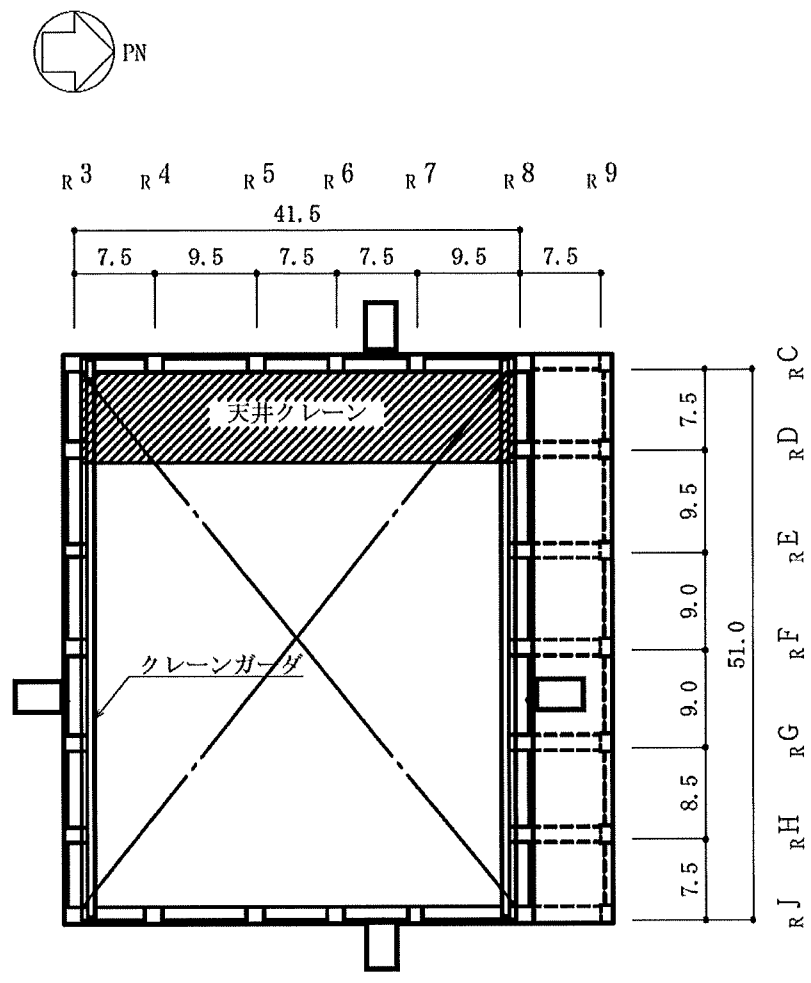
(単位 : m)

図 4-1 5号機原子炉建屋の概略平面図 (3F, T.M.S.L. 27.8m) (7/10)



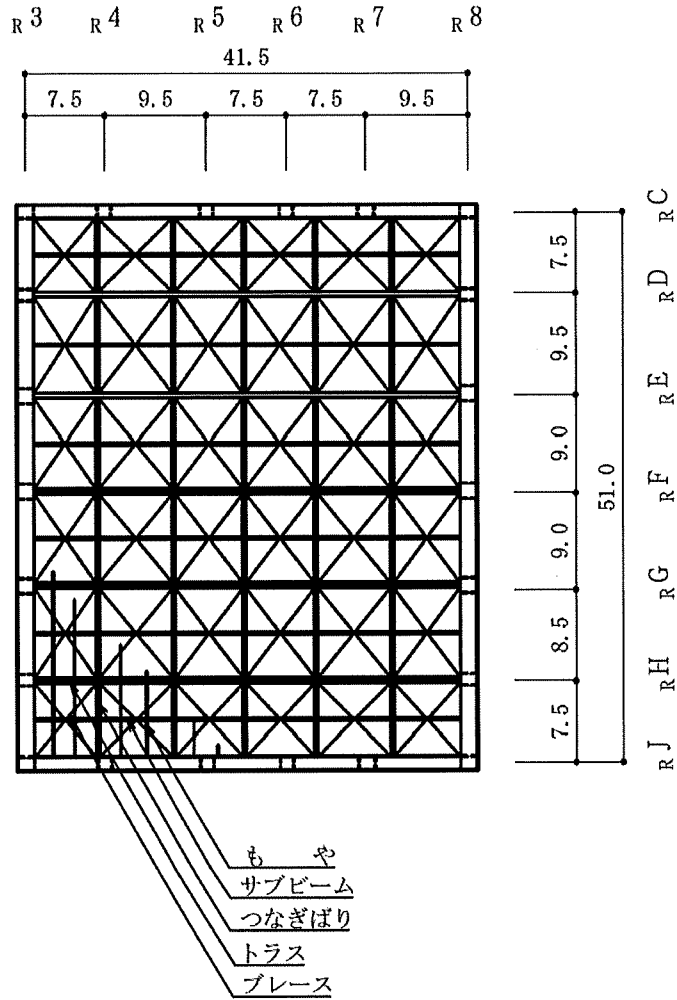
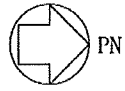
(単位 : m)

図 4-1 5号機原子炉建屋の概略平面図 (4F, T.M.S.L. 33.0m) (8/10)



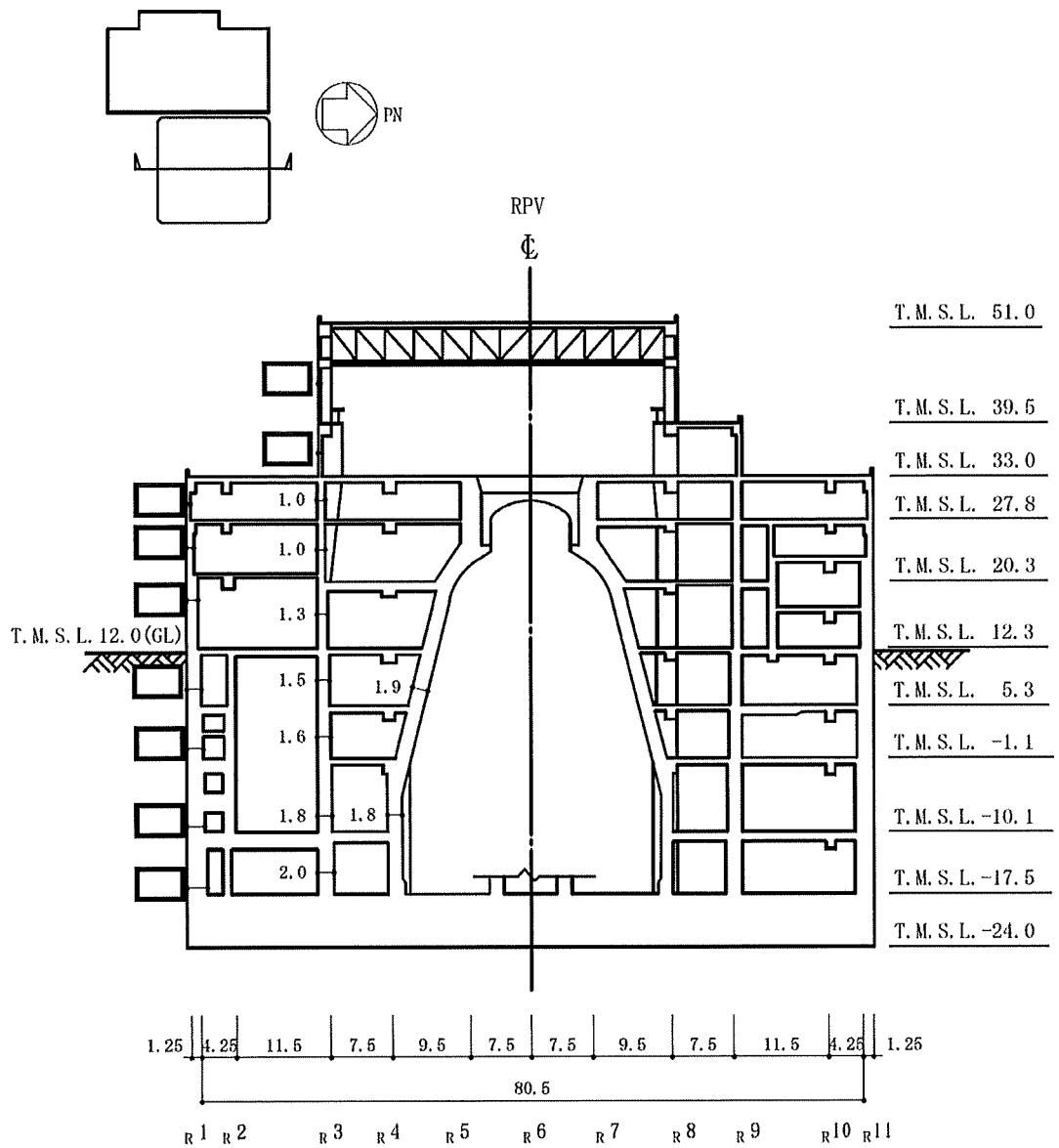
(単位 : m)

図 4-1 5号機原子炉建屋の概略平面図 (CRF, T.M.S.L. 39.5m) (9/10)



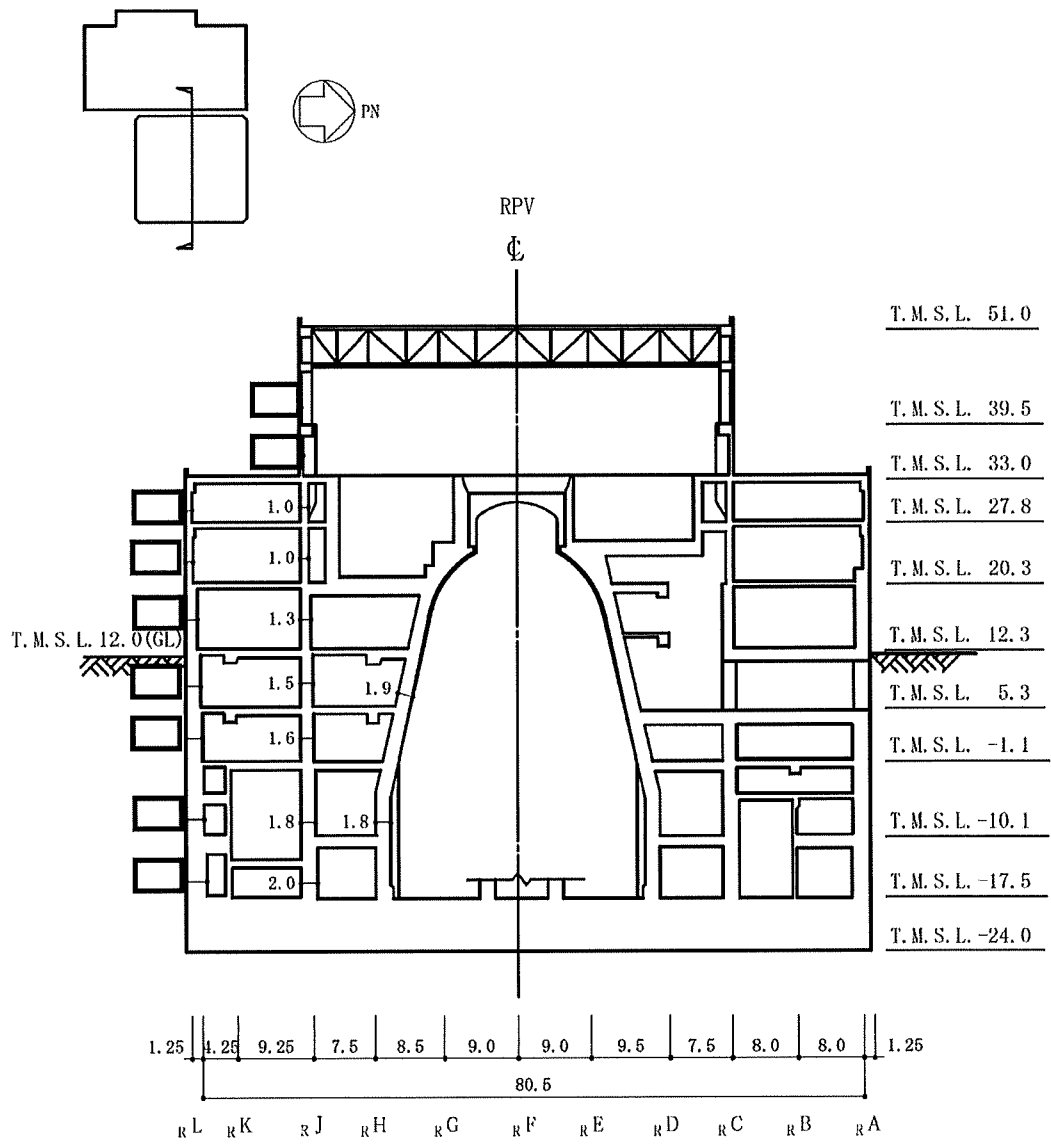
(単位 : m)

図 4-1 5号機原子炉建屋の概略平面図 (RF, T.M.S.L. 51.0m) (10/10)



(単位 : m)

図 4-2 5号機原子炉建屋の概略断面図 (NS 方向) (1/2)

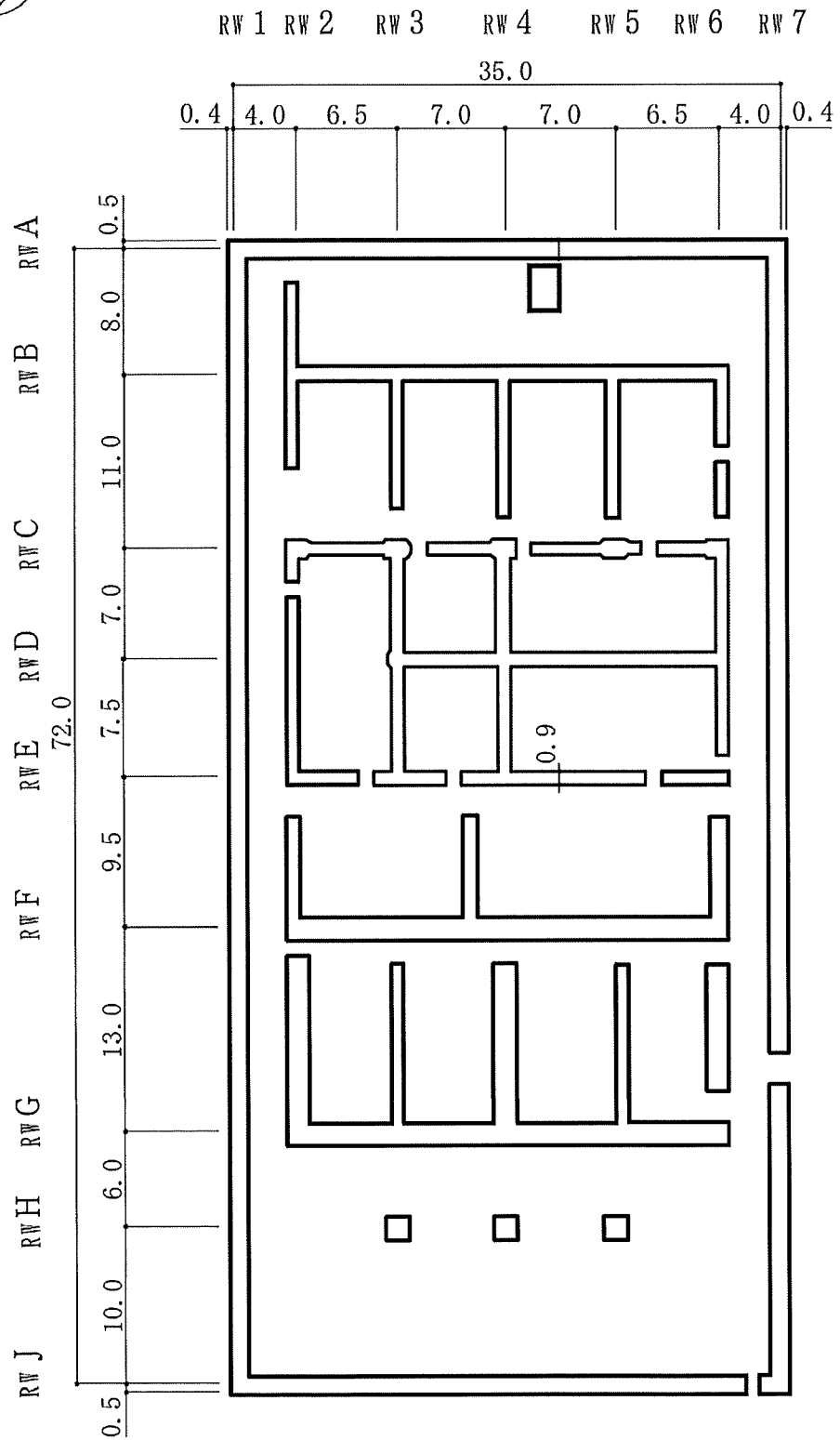
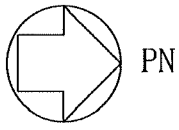


(単位 : m)

図 4-2 5号機原子炉建屋の概略断面図 (EW 方向) (2/2)

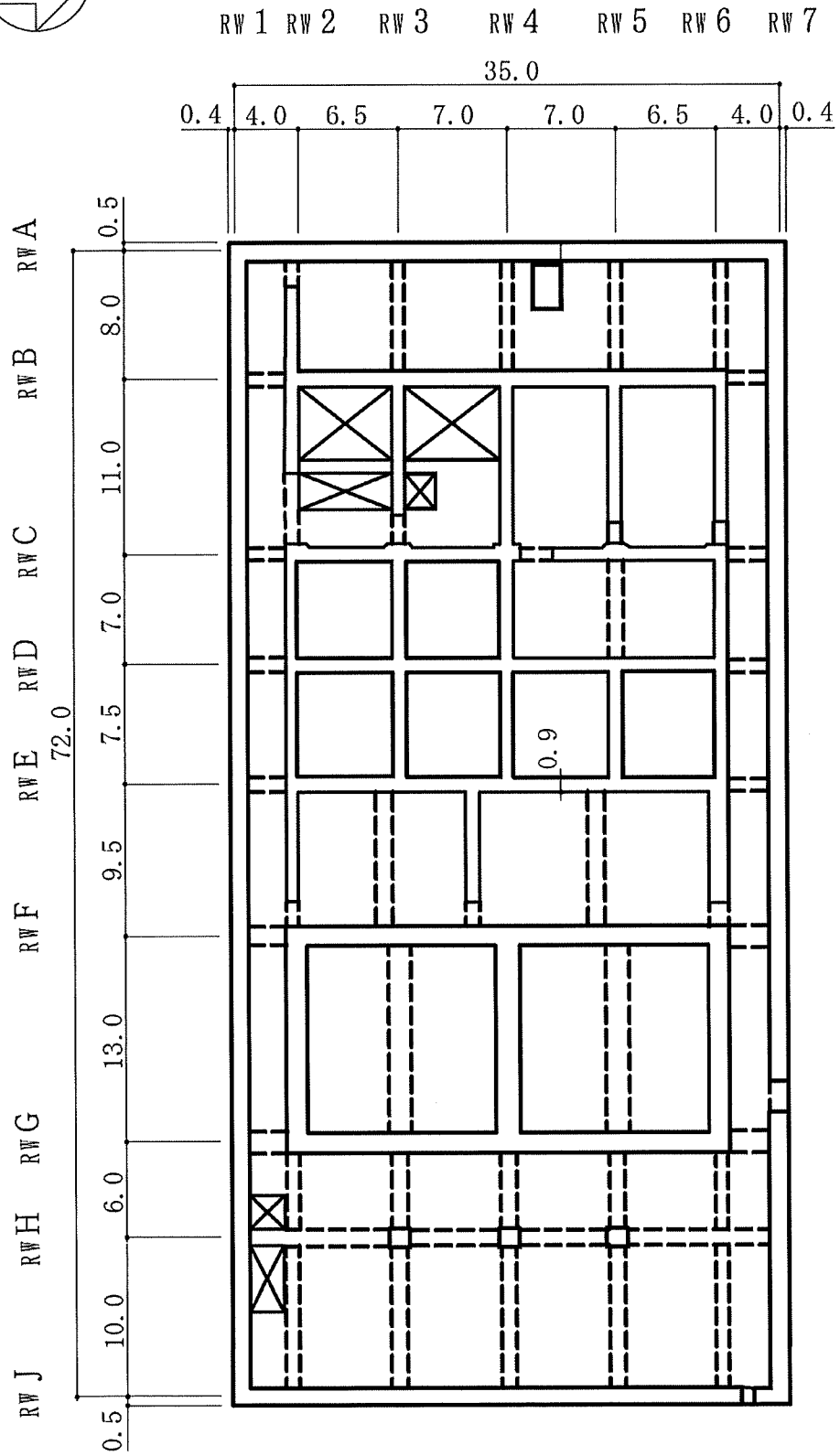
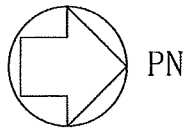
5. 廃棄物処理建屋の概略図

廃棄物処理建屋の概略平面図を図 5-1 に，概略断面図を図 5-2 に示す。



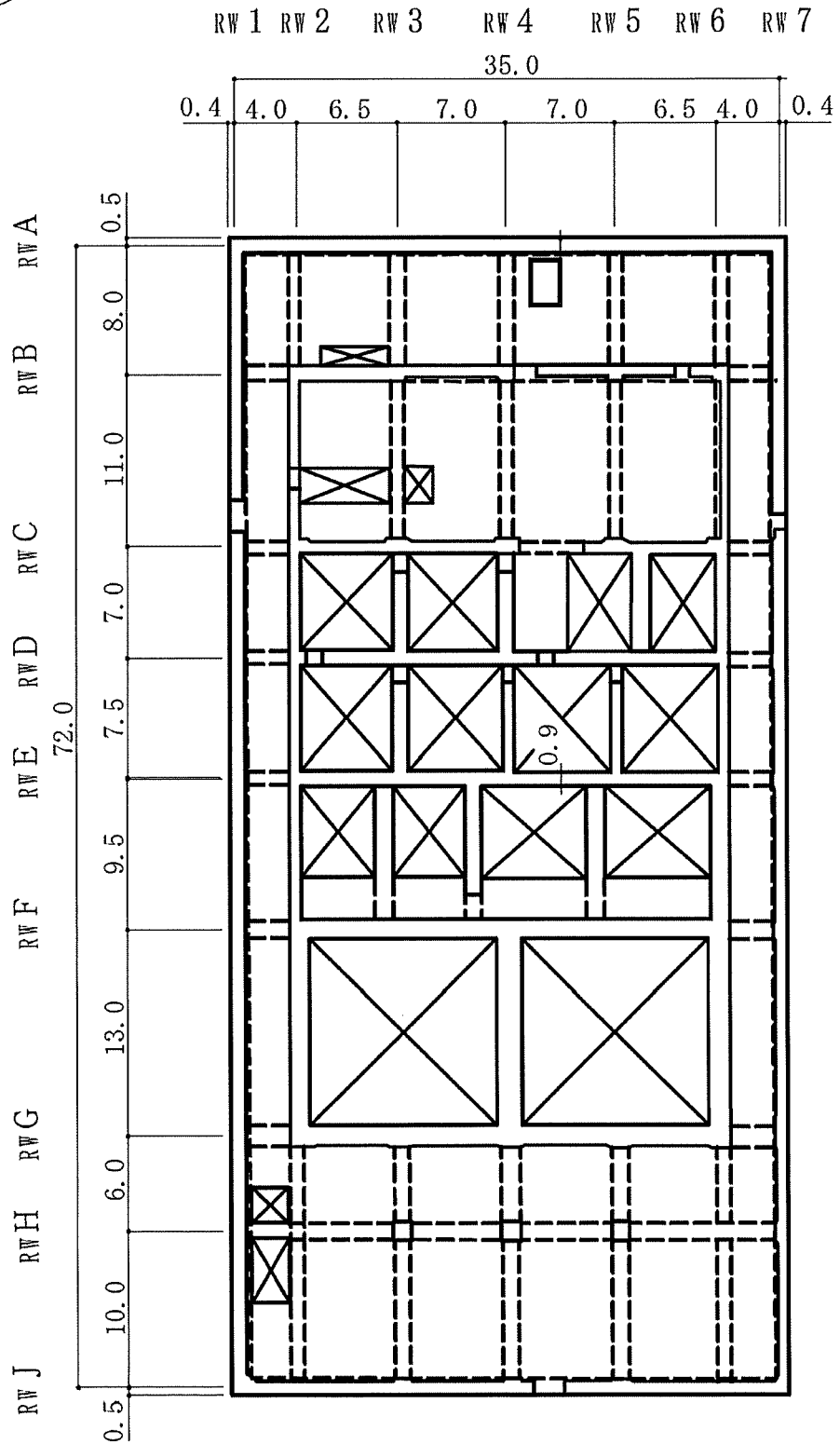
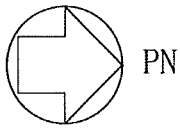
(単位：m)

図 5-1 廃棄物処理建屋の概略平面図 (B3F, T. M. S. L. -6.1m) (1/8)



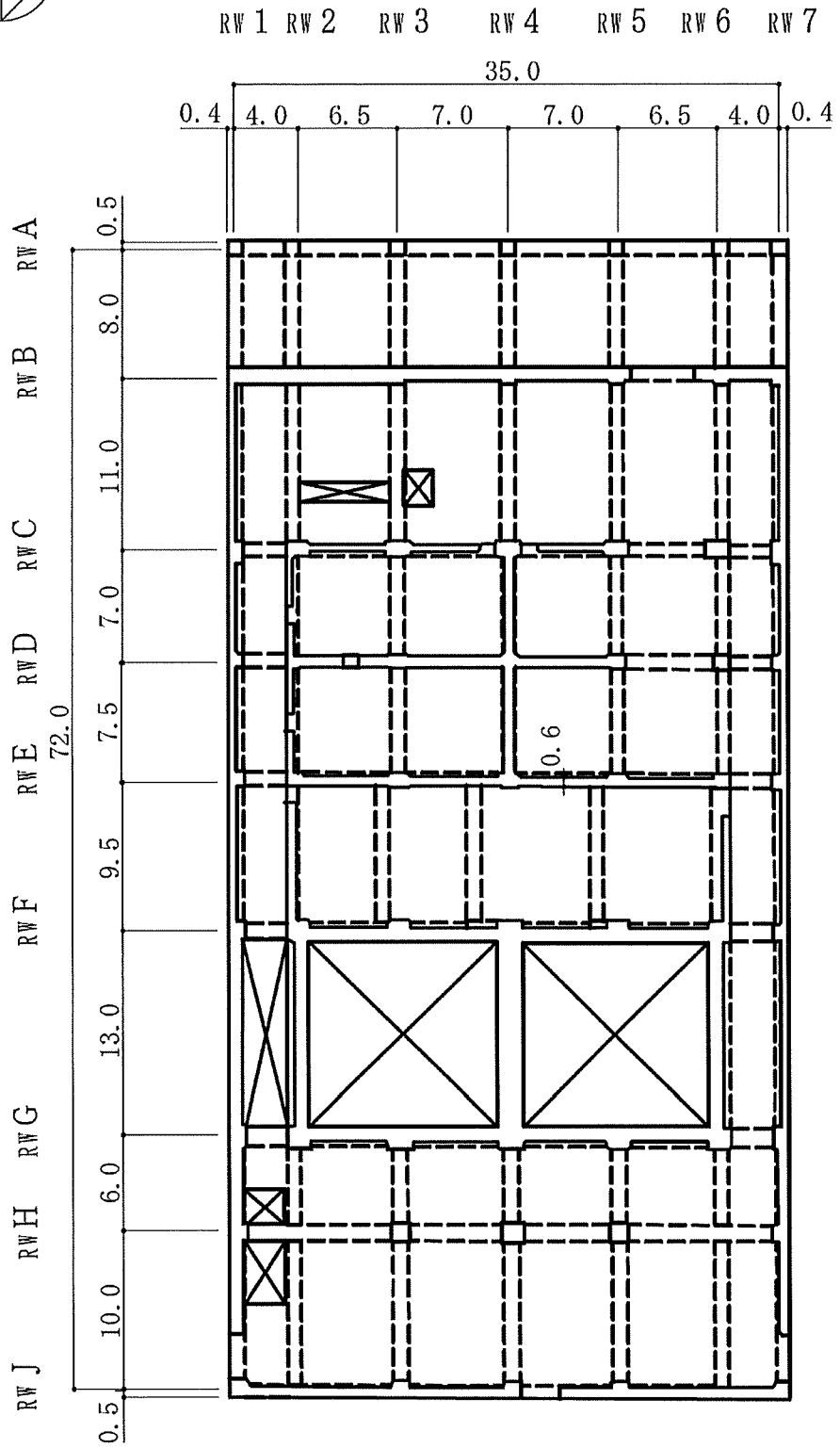
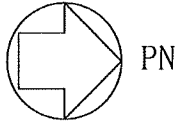
(単位 : m)

図 5-1 廃棄物処理建屋の概略平面図 (B2F, T.M.S.L. -1.1m) (2/8)



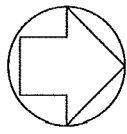
(単位 : m)

図 5-1 廃棄物処理建屋の概略平面図 (B1F, T.M.S.L. 6.5m) (3/8)

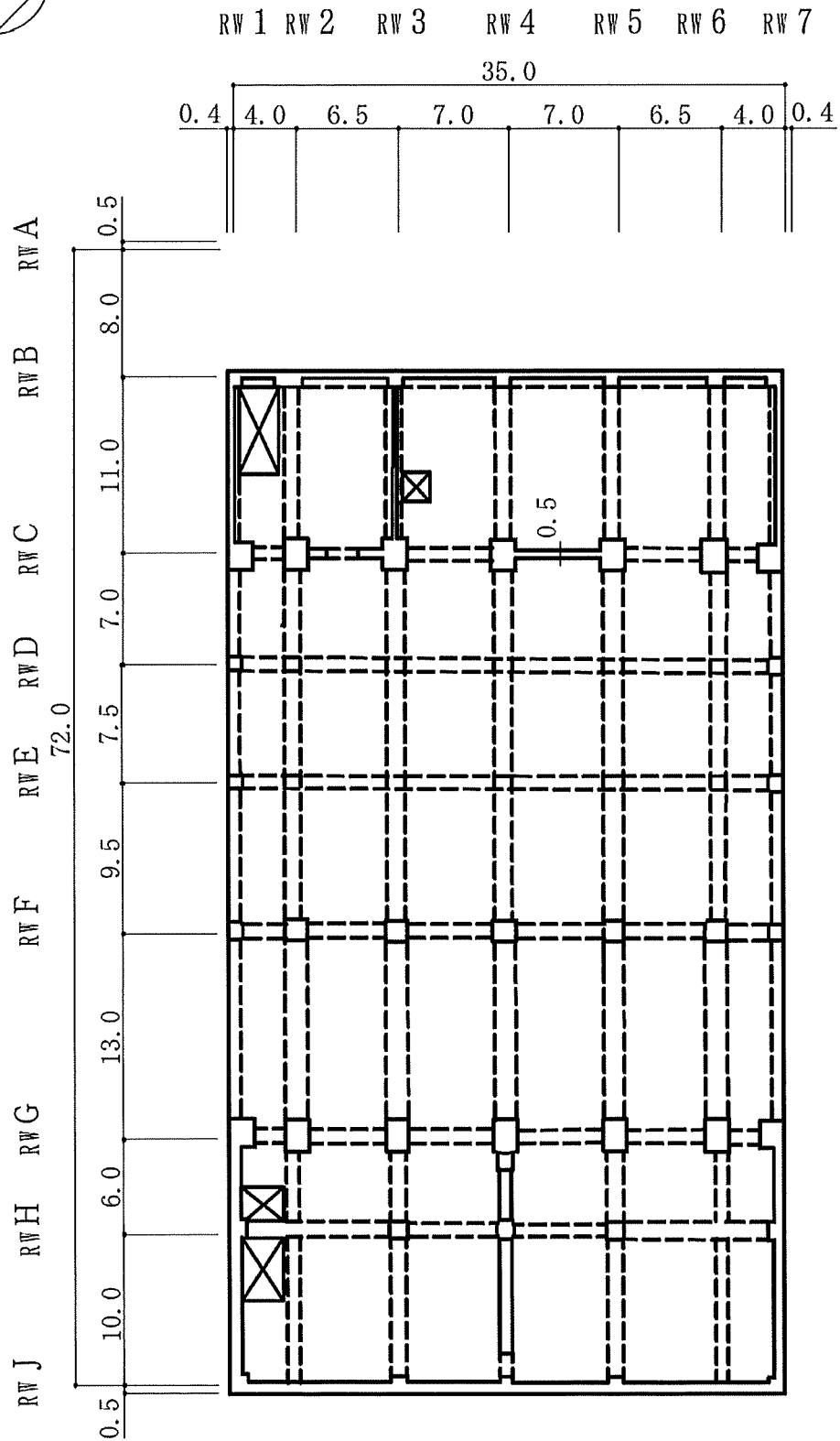


(単位 : m)

図 5-1 廃棄物処理建屋の概略平面図 (1F, T.M.S.L. 12.3m) (4/8)

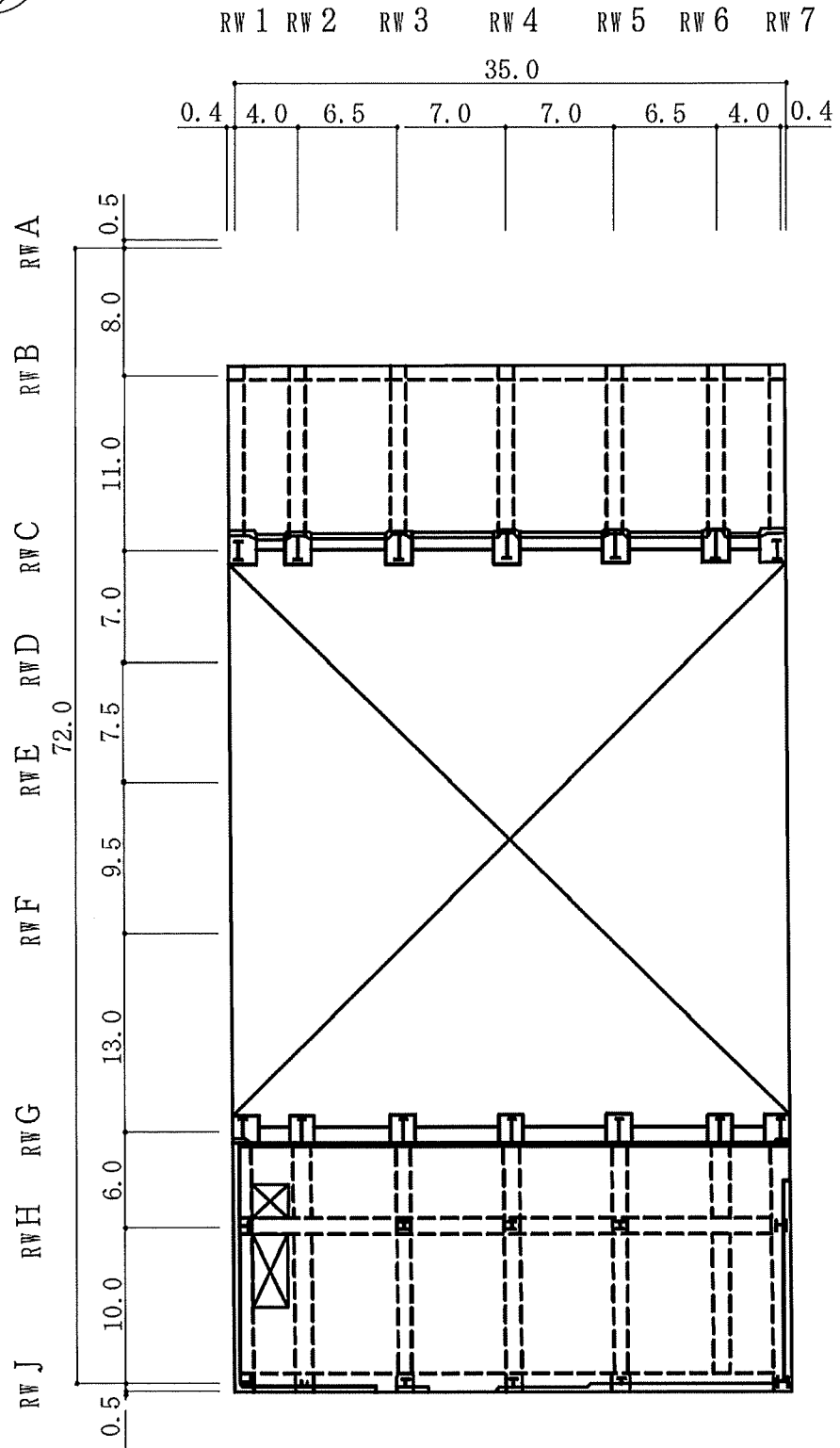
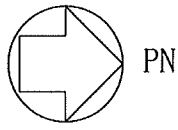


PN



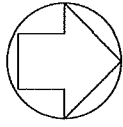
(単位 : m)

図 5-1 廃棄物処理建屋の概略平面図 (2F, T.M.S.L. 20.4m) (5/8)

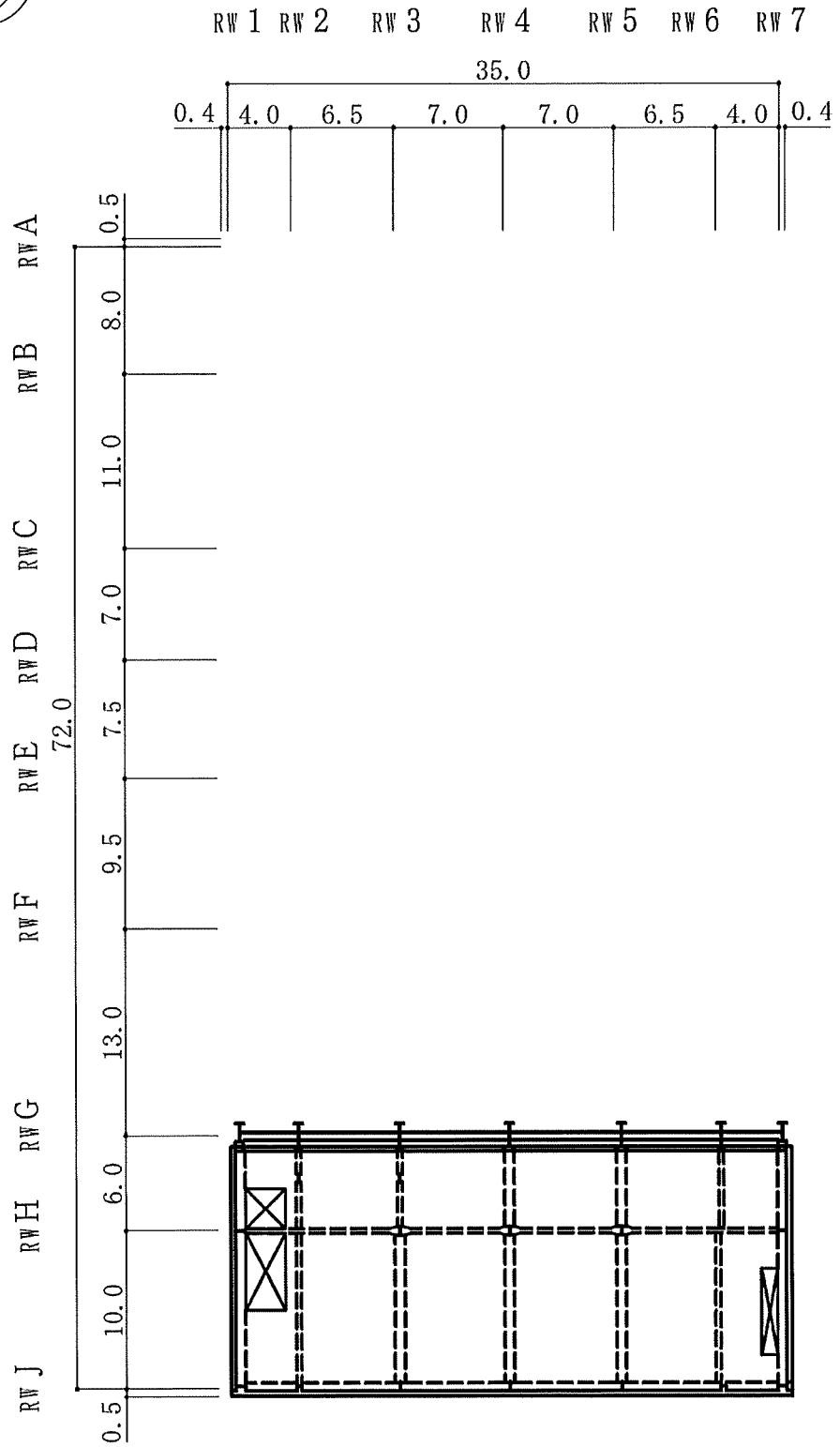


(単位：m)

図 5-1 廃棄物処理建屋の概略平面図 (3F, T.M.S.L. 30.9m) (6/8)

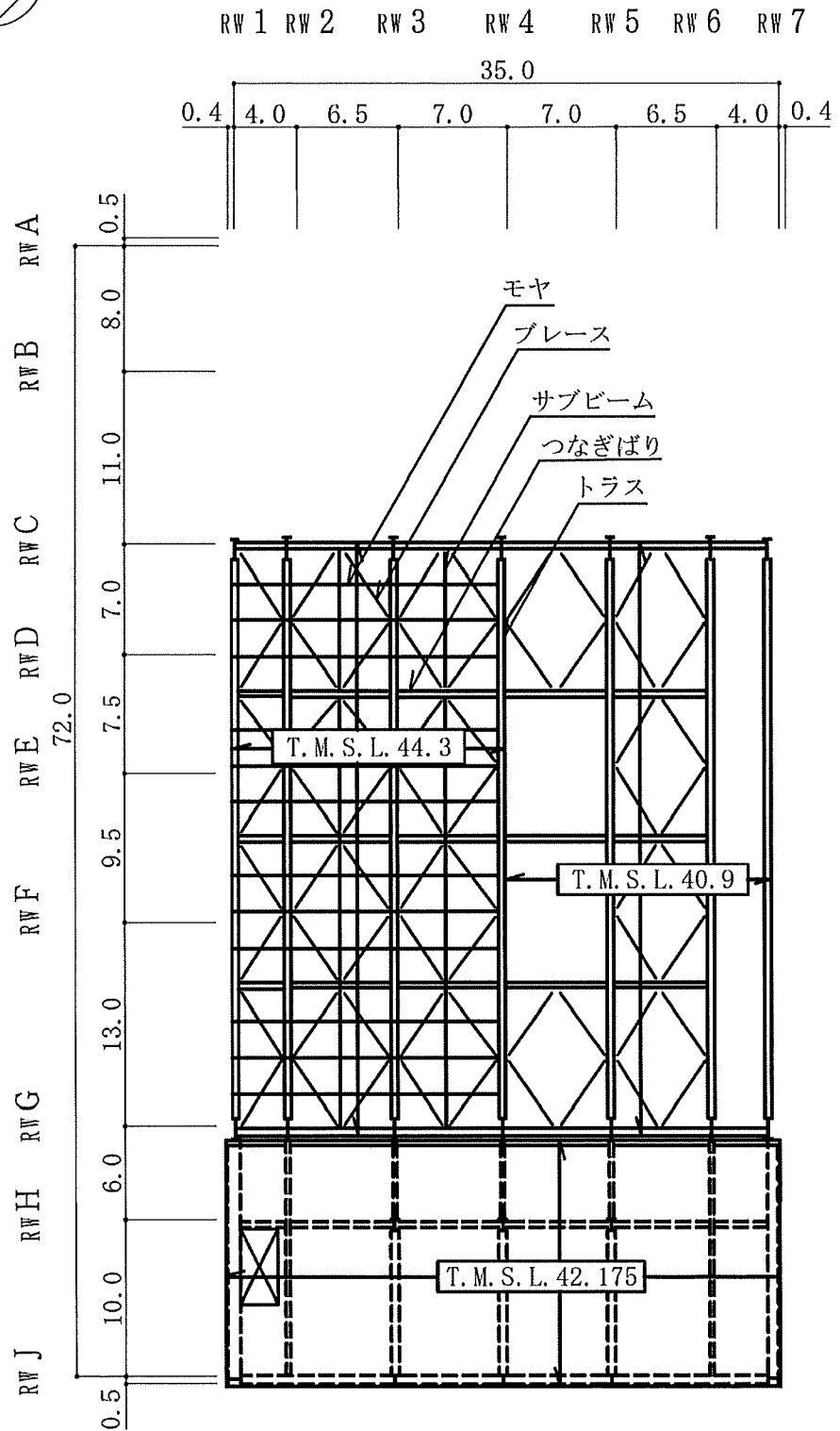
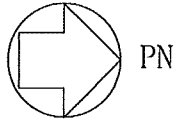


PN



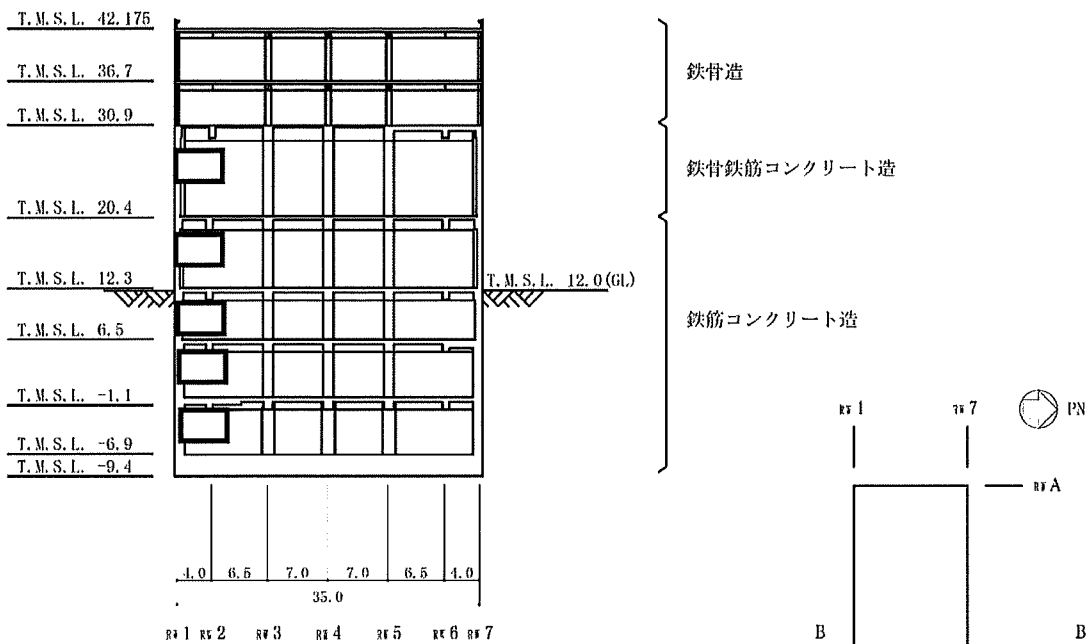
(単位 : m)

図 5-1 廃棄物処理建屋の概略平面図 (4F, T.M.S.L. 36.7m) (7/8)

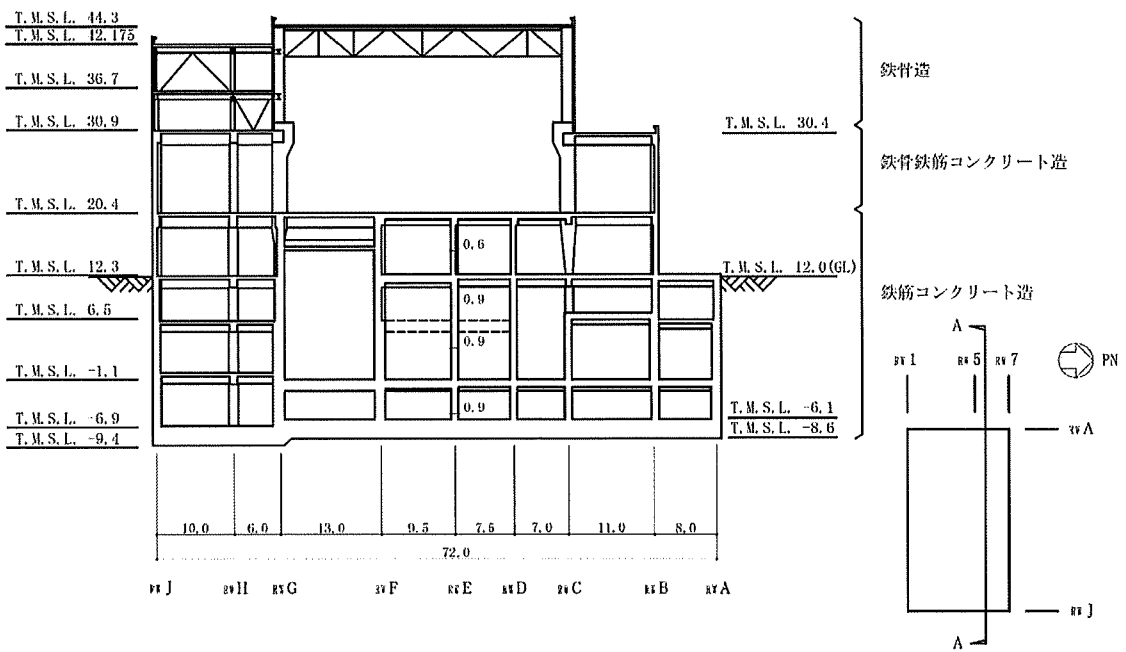


(単位 : m)

図 5-1 廃棄物処理建屋の概略平面図 (RF, T.M.S.L. 44.3m) (8/8)



NS 方向断面



EW 方向断面

図 5-2 廃棄物処理建屋の概略断面図

6. 格納容器圧力逃がし装置基礎

格納容器圧力逃がし装置基礎の概略平面図を図 6-1 に、概略断面図を図 6-2 に示す。

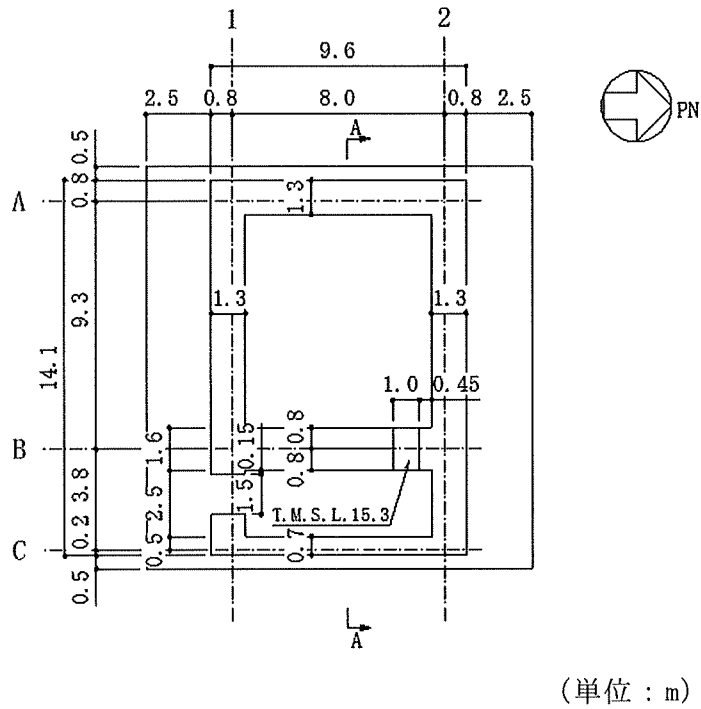
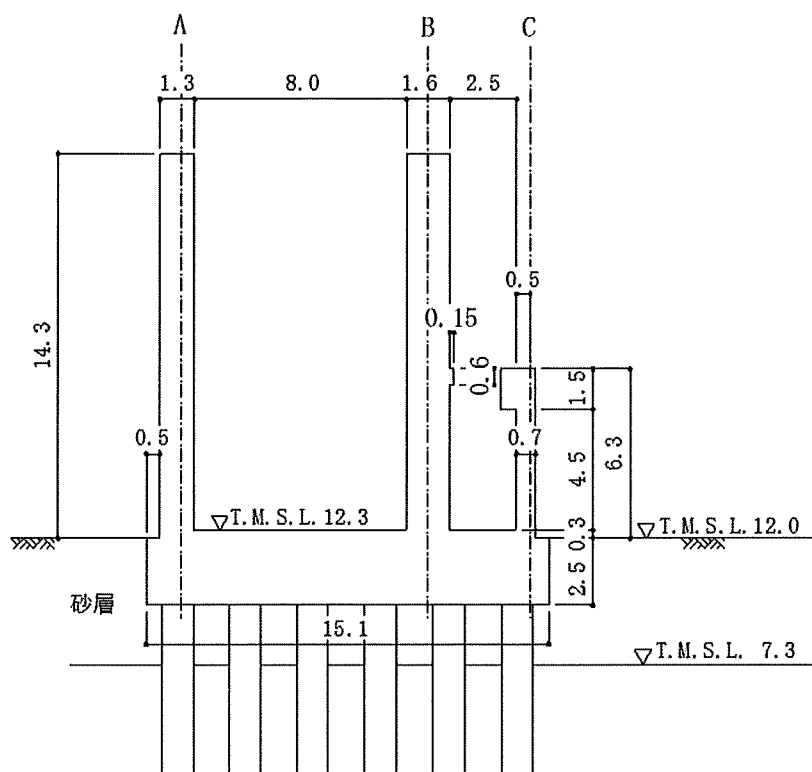


図 6-1 格納容器圧力逃がし装置基礎の概略平面図 (T.M.S.L. 12.3m)



(単位：m)

図 6-2 格納容器圧力逃がし装置基礎の概略断面図 (A-A 断面)

別紙 4-3 6号機原子炉建屋の観測記録を用いた
シミュレーション解析

目 次

1. 検討概要	別紙 4-3-1
1.1 構造概要	別紙 4-3-1
1.2 解析モデル	別紙 4-3-13
2. 解析結果	別紙 4-3-16
3. まとめ	別紙 4-3-22

1. 検討概要

別紙 4 において、7 号機原子炉建屋について、2007 年新潟県中越沖地震（以下「中越沖地震」という。）に対して、建屋減衰を 3%、5%としたシミュレーション解析を実施し、その結果は 3%、5%ともに観測記録に対して保守的な値であることを確認した。

中越沖地震の観測記録は弾性設計用地震動 S_d 相当の地震レベルであるが、一部の弾性設計用地震動 S_d については、中越沖地震より小さな地震レベルである。そのため、本資料において中越沖地震よりも小さな観測記録に対して、建屋減衰を 3%、5%としたシミュレーション解析を実施し、観測記録との比較を行うこととした。

具体的には、6 号機原子炉建屋と 7 号機原子炉建屋の高さ及び平面形状が共通であることを踏まえ、代表として 6 号機原子炉建屋で地震観測を行ってきたことから、6 号機原子炉建屋について 2004 年新潟県中越地震の最大余震（以下「中越地震（余震）」という。）に対して建屋減衰を 3%、5%としたシミュレーション解析を実施し、観測記録との比較を行った。

1.1 構造概要

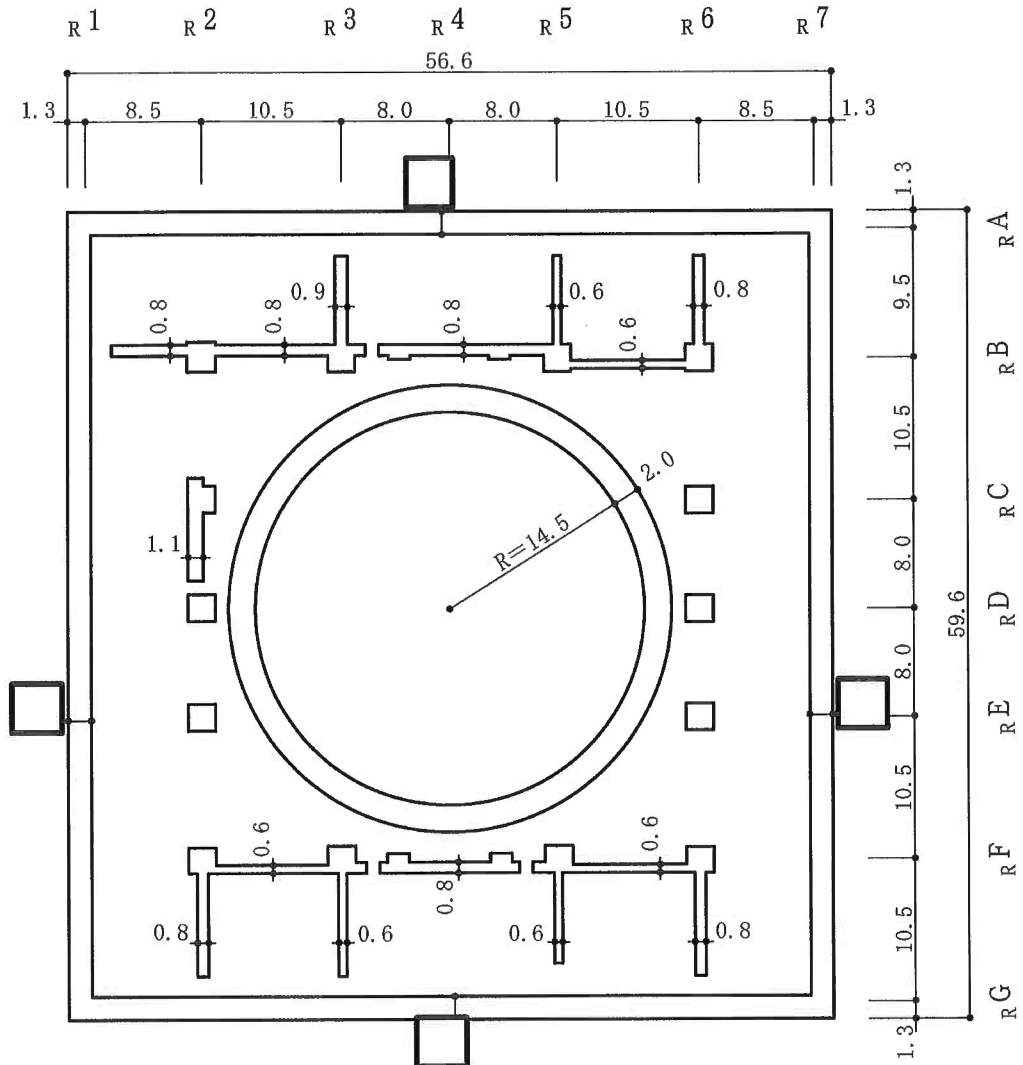
6 号機原子炉建屋は、地上 4 階、地下 3 階建ての鉄筋コンクリート造を主体とした建物で、屋根部分が鉄骨造（トラス構造）となっている。6 号機原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 1-1 及び図 1-2 に示す。

6 号機原子炉建屋の平面は、下部では 56.6m（NS 方向）×59.6m（EW 方向）、最上階は 39.0m（NS 方向）×59.6m（EW 方向）である。基礎スラブ底面からの高さは 63.4m であり、地上高さは 37.7m である。なお、6 号機原子炉建屋の屋根部分には主排気筒が設置されている。また、6 号機原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離している。

6 号機原子炉建屋の基礎は厚さ 5.5m のべた基礎で、支持地盤である泥岩上に直接設置している。

6 号機原子炉建屋の中央部には原子炉圧力容器を収容している鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）がある。RCCV は円筒形で基礎スラブ上から立ち上がり、床スラブによって 6 号機原子炉建屋と一体構造になっている。この RCCV の高さは底部上端からトップスラブ部下端まで 29.5m、内径は 29.0m であり、壁厚は 2.0m である。

6 号機原子炉建屋の主な耐震壁は、RCCV と外壁である。主要な耐震壁は建屋の中心に対してほぼ対称に配置しており、開口部も少なく、建屋は全体として非常に剛性の高い構造となっている。



(単位 : m)

注 : 東京湾平均海面 (以下, 「T.M.S.L.」 という。)

図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (B3F, T.M.S.L. -8.2m) (1/9)

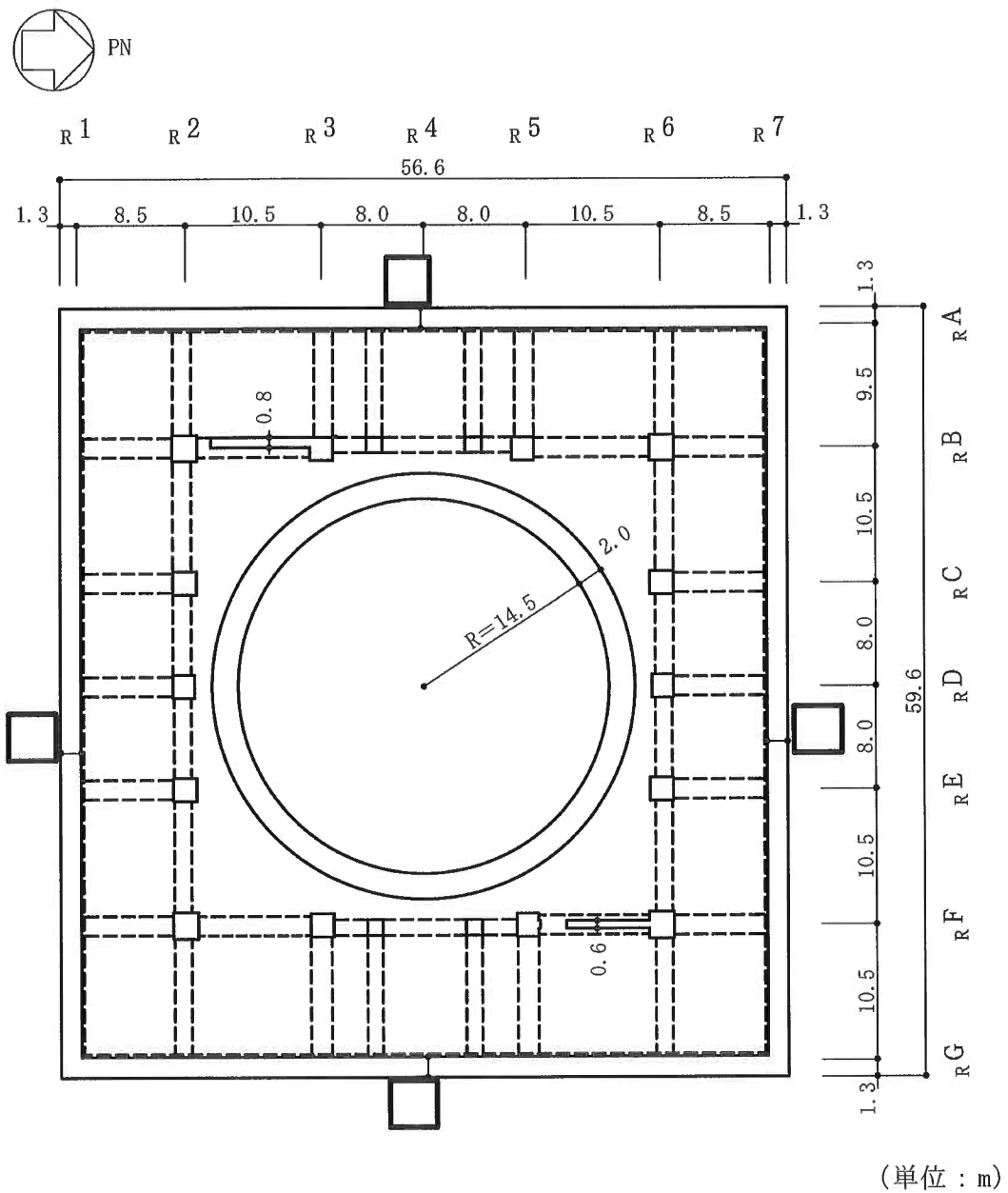
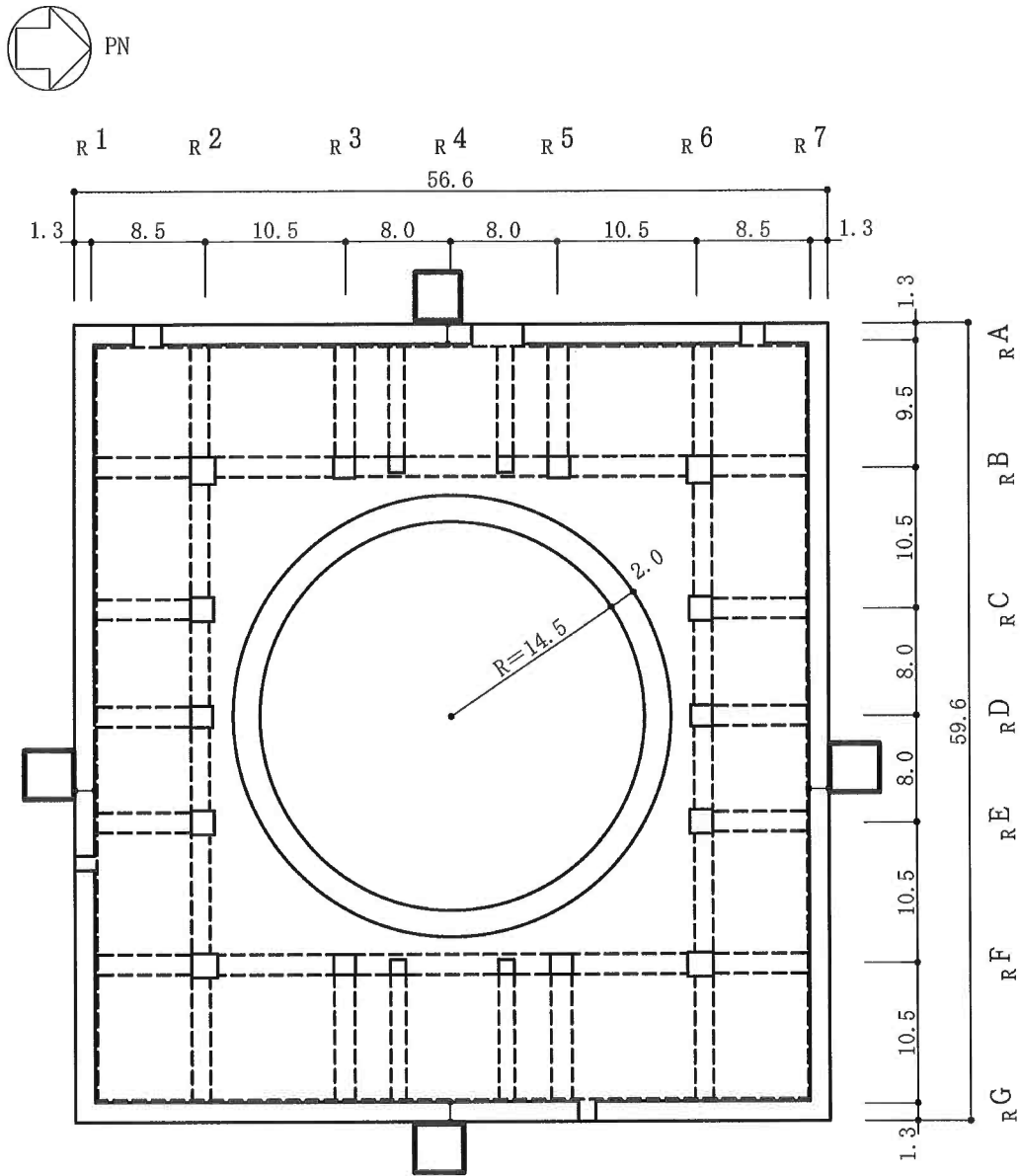


図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (B2F, T.M.S.L. -1.7m) (2/9)



(単位 : m)

図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (B1F, T.M.S.L. 4.8m) (3/9)

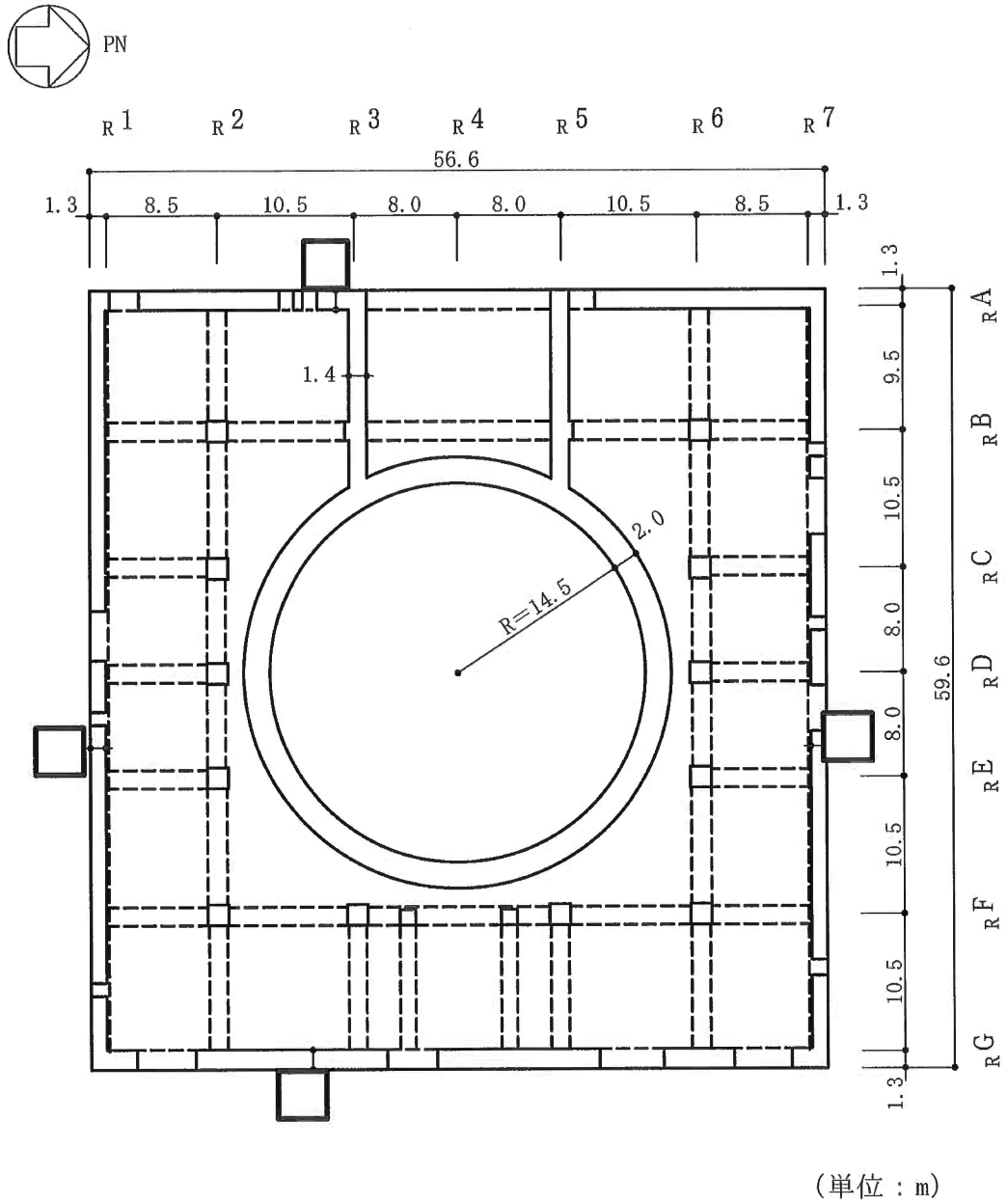


図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (1F, T.M.S.L. 12.3m) (4/9)

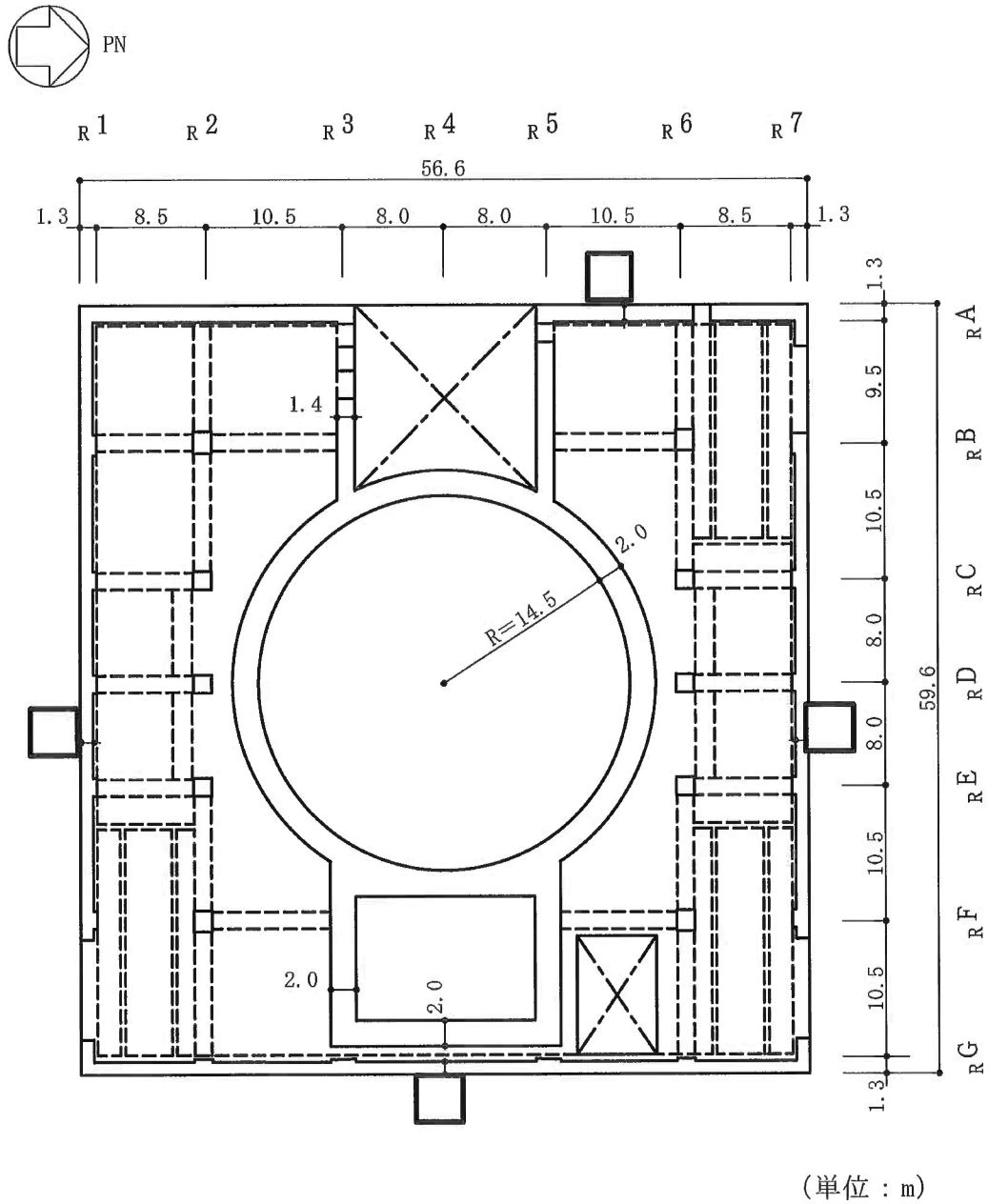


図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (2F, T.M.S.L. 18.1m) (5/9)

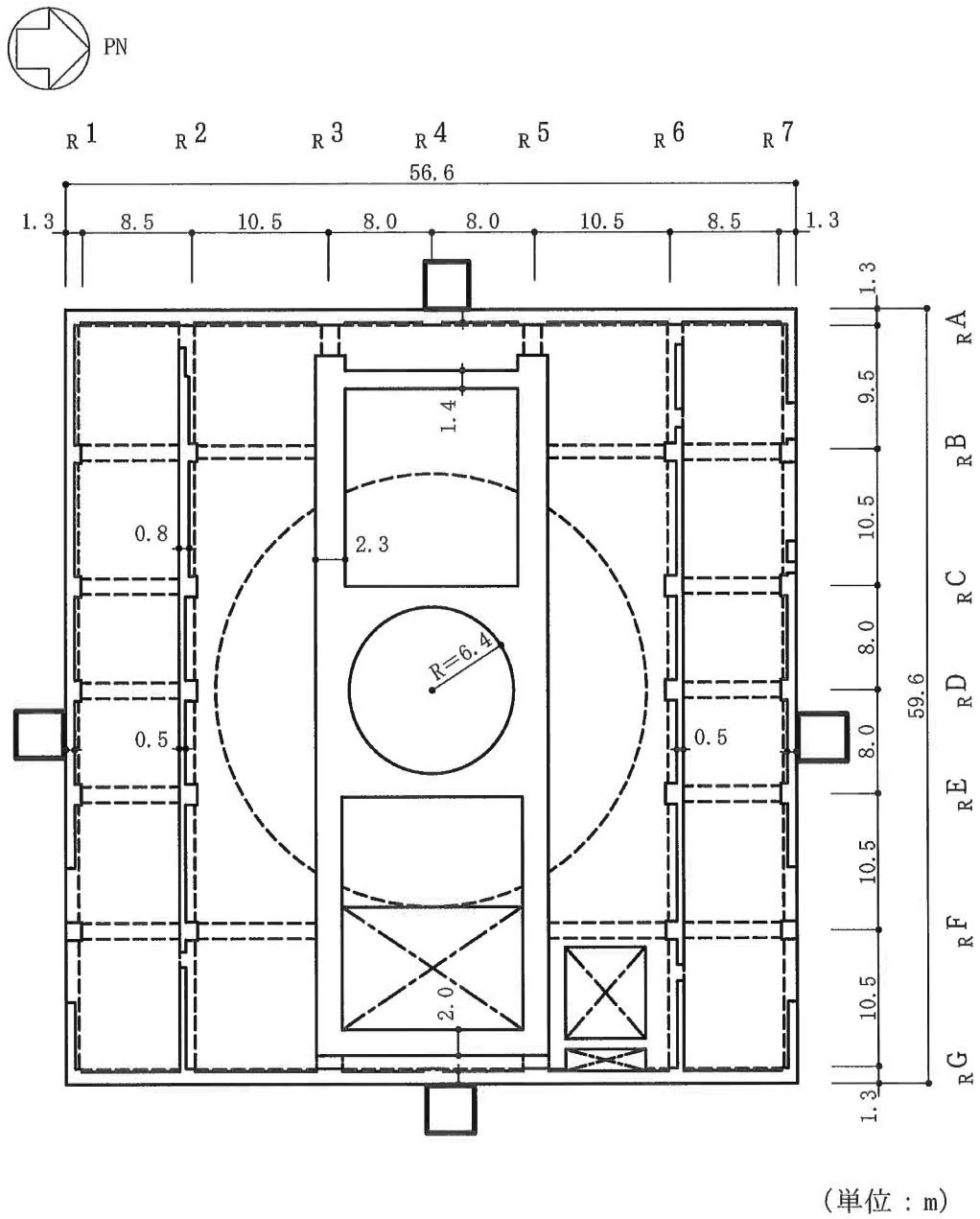
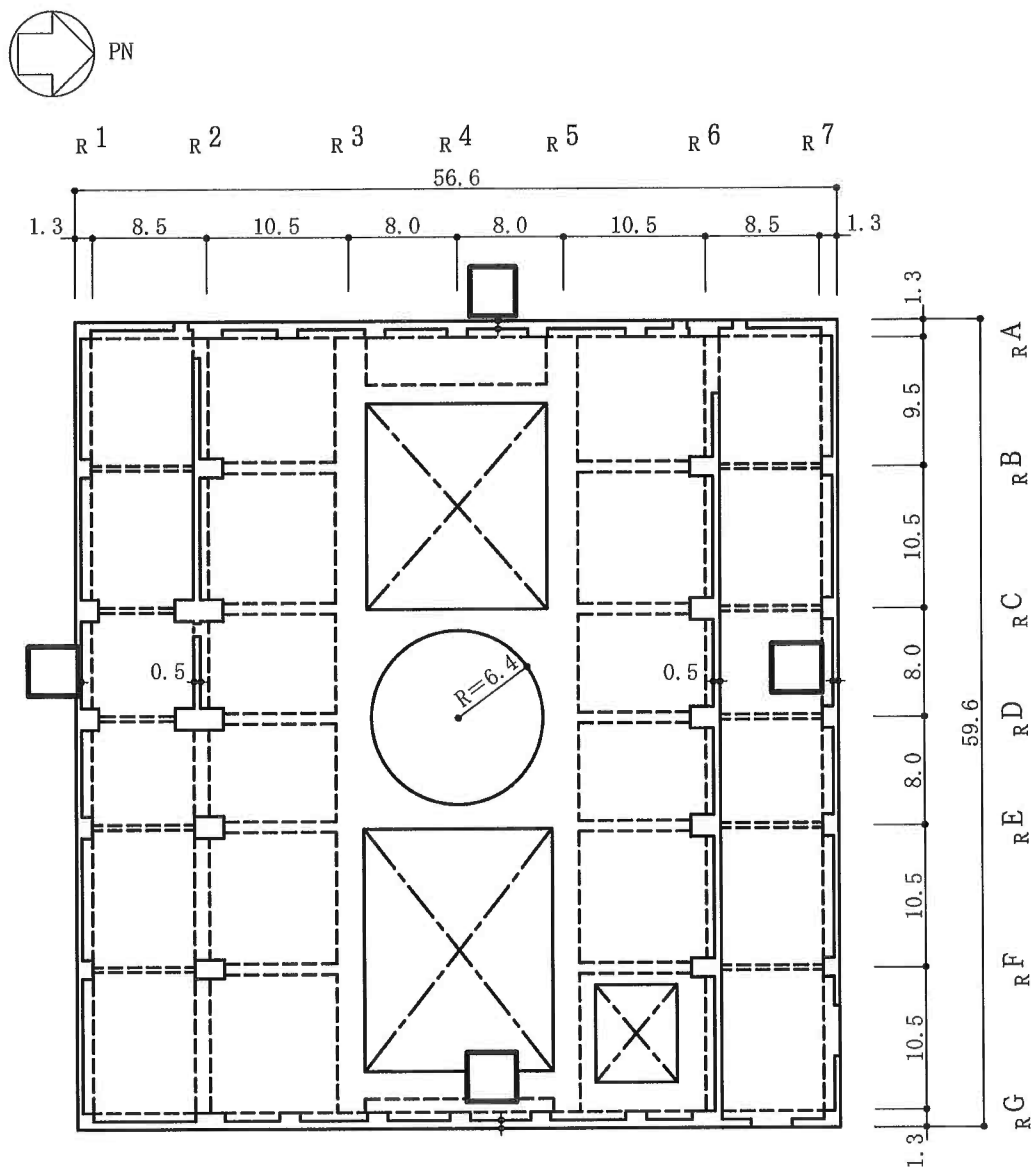
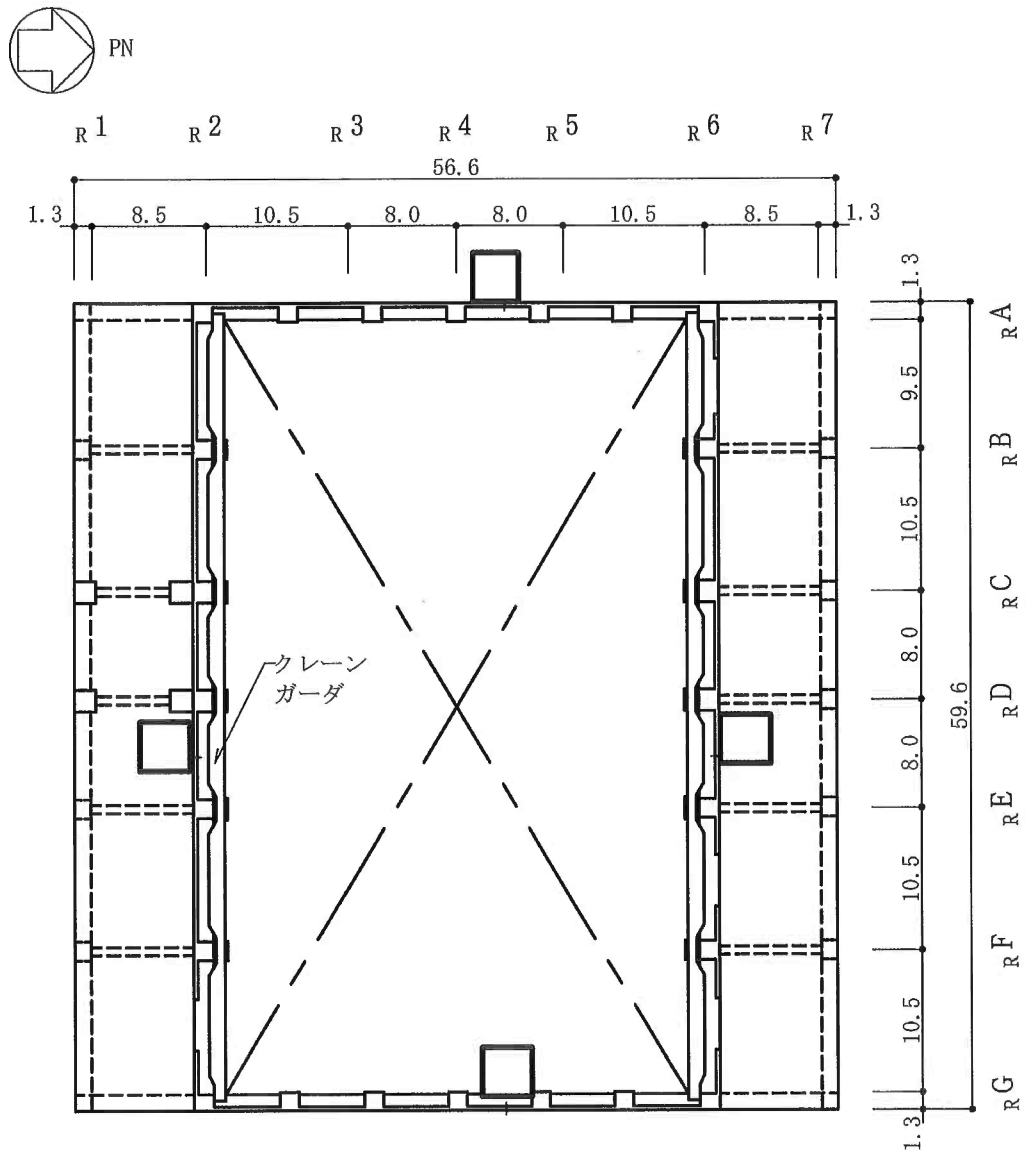


図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (3F, T.M.S.L. 23.5m) (6/9)



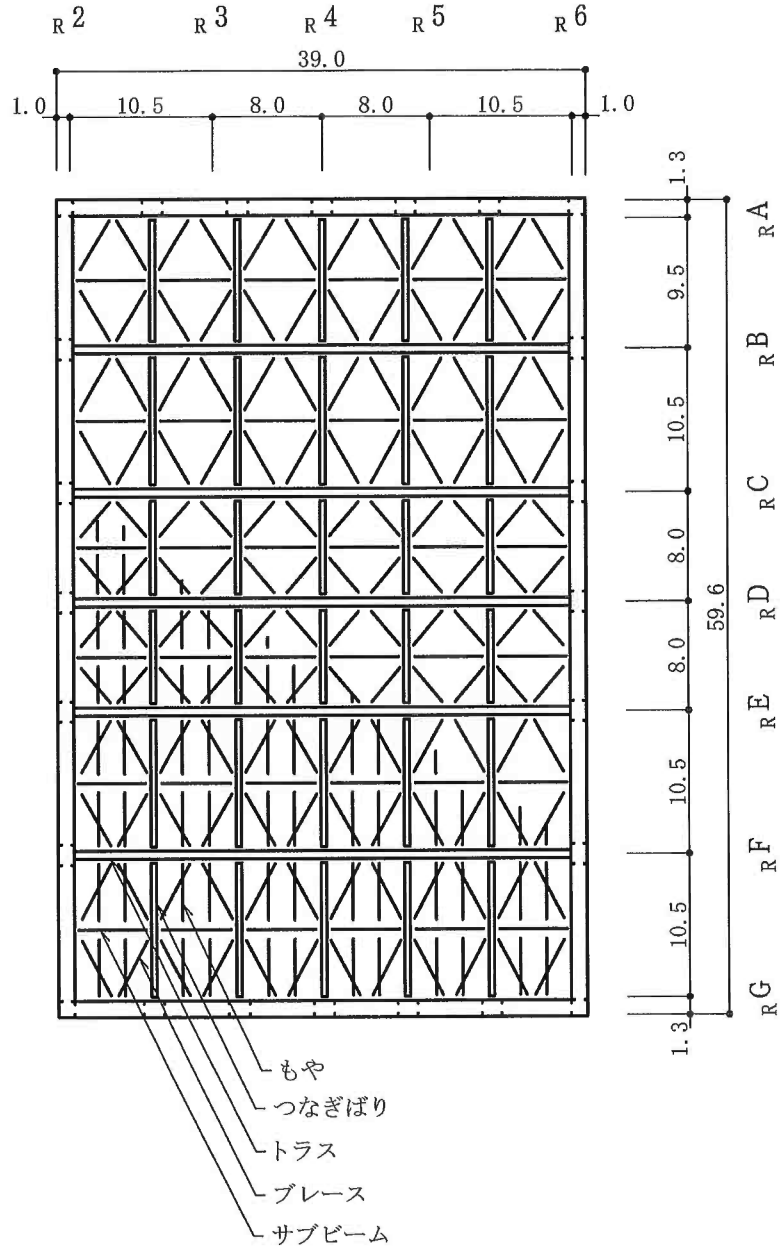
(単位 : m)

図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (4F, T.M.S.L. 31.7m) (7/9)



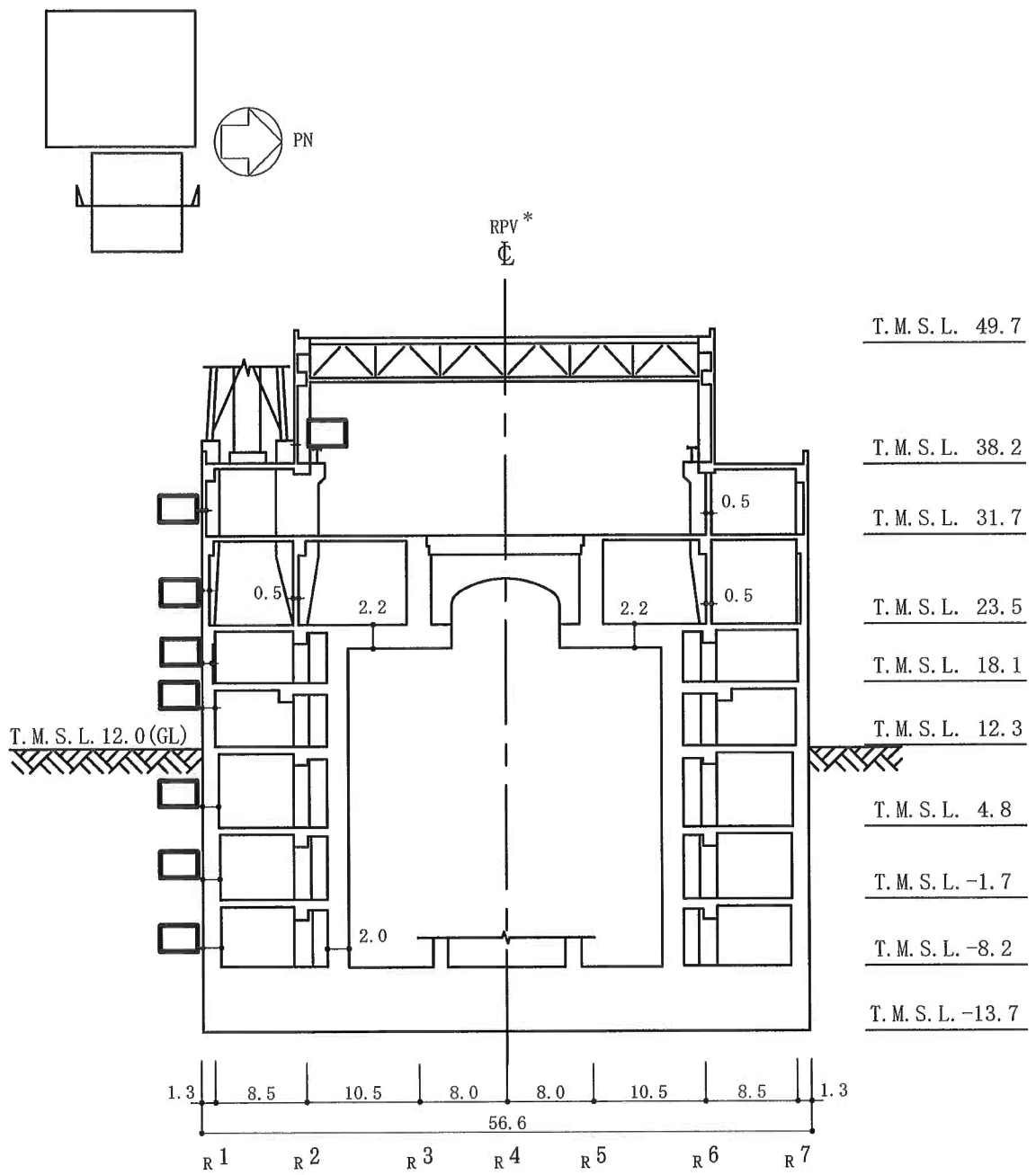
(単位 : m)

図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (CRF, T.M.S.L. 38.2m) (8/9)



(単位 : m)

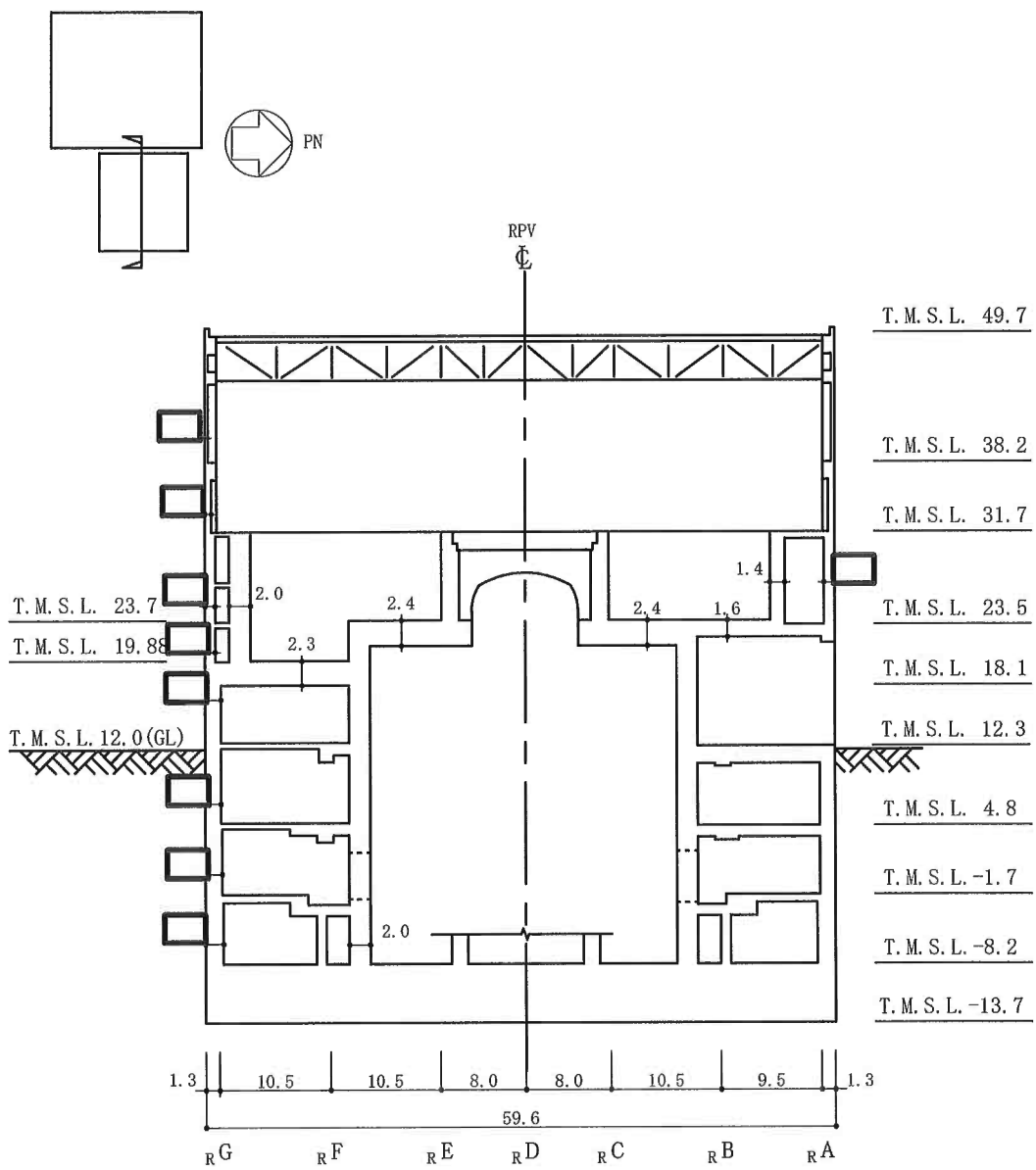
図 1-1 6号機原子炉建屋の概略平面図 (RF, T.M.S.L. 49.7m) (9/9)



(単位 : m)

注記* : 原子炉圧力容器 (以下「RPV」という。)

図1-2 6号機原子炉建屋の概略断面図 (NS方向) (1/2)

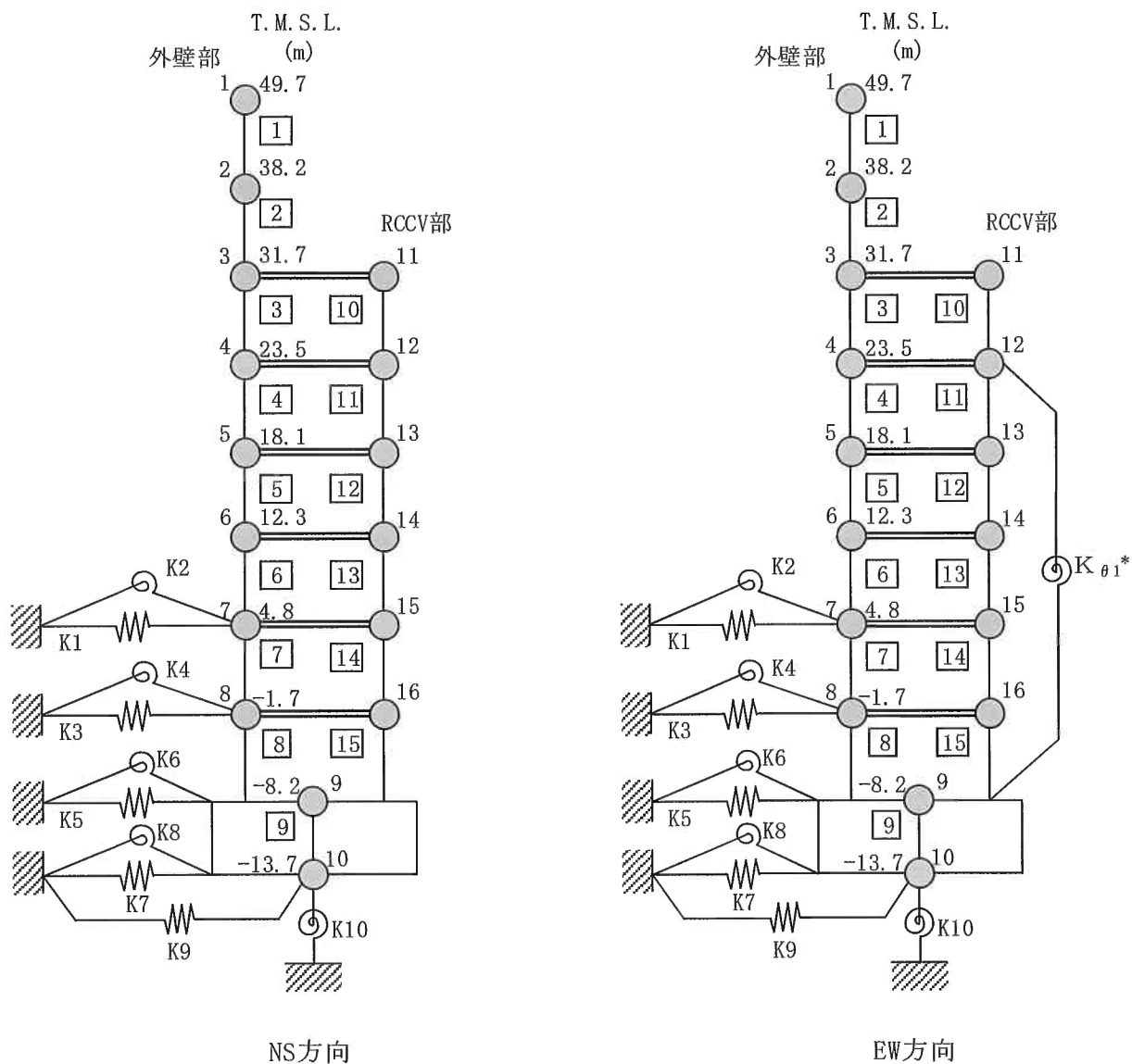


(単位 : m)

図 1-2 6号機原子炉建屋の概略断面図 (EW 方向) (2/2)

1.2 解析モデル

6号機原子炉建屋の解析モデルを図1-3及び図1-4に、解析に用いた使用材料の物性値を表1-1表1-に示す。



注記* : RCCV 回転ばね

図1-3 地震応答解析モデル (水平方向)

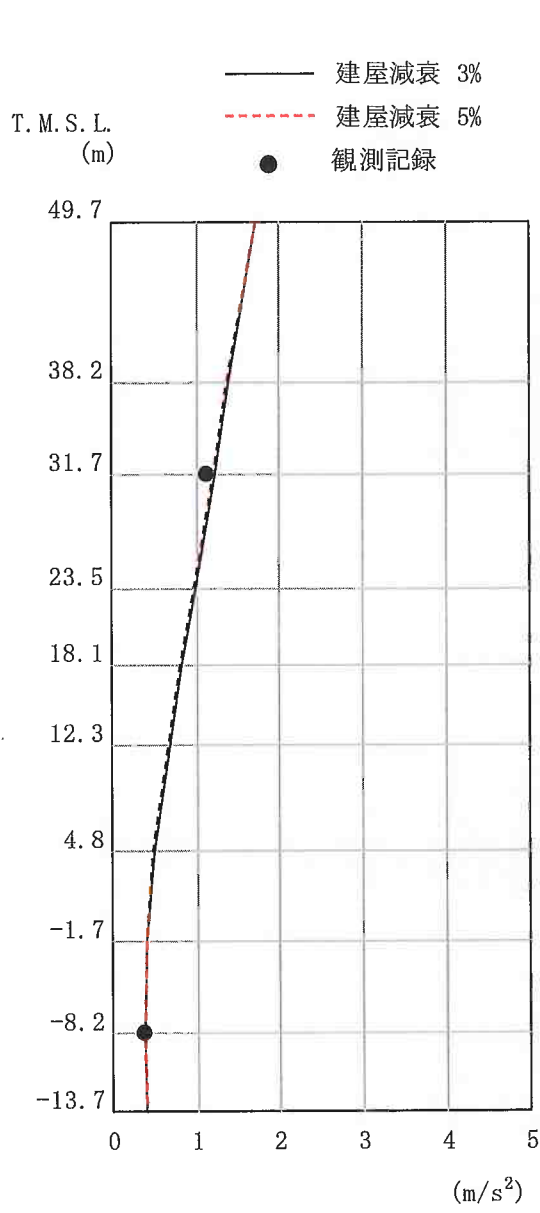
表1-1 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 (N/mm ²)	せん断 弾性係数 (N/mm ²)	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート コンクリート: Fc=43.1 (N/mm ²) (Fc=440 (kgf/cm ²))	2.88×10 ⁴	1.20×10 ⁴	3, 5

2. 解析結果

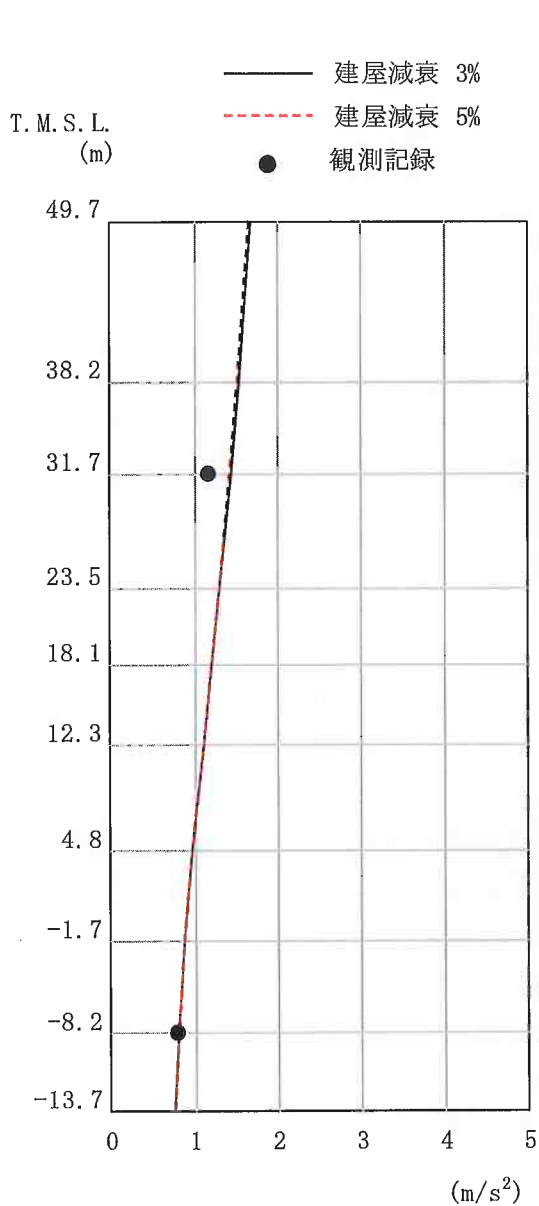
最大応答加速度分布を図2-1に、加速度応答スペクトルを図2-2に解析結果と観測記録を比較して示す。

最大応答加速度分布では、RC造部の減衰3%と5%のケースともに、観測記録に対して保守的な値となったが、減衰5%の結果のほうが減衰3%の結果よりも観測記録により整合する結果となっている。また、加速度応答スペクトルにおいても、RC造部の減衰3%と5%のケースともに、観測記録との整合性はほぼ同等であるが、最大応答加速度分布と同様に、減衰5%の結果のほうが減衰3%の結果よりも観測記録に整合する傾向にある。



(NS方向)		観測記録
シミュレーション		
建屋減衰		
3%	5%	
1.73	1.71	-
1.40	1.37	-
1.22	1.19	1.12
0.994	0.963	-
0.830	0.804	-
0.670	0.649	-
0.479	0.467	-
0.393	0.389	-
0.365	0.365	0.365
0.398	0.397	-

図 2-1 最大応答加速度分布の比較 (NS 方向) : 中越地震 (余震) 観測記録 (1/3)



(EW方向)		(m/s ²)
シミュレーション		観測記録
建屋減衰		
3%	5%	
1.67	1.65	-
1.52	1.50	-
1.43	1.41	1.16
1.30	1.29	-
1.21	1.21	-
1.11	1.11	-
0.969	0.969	-
0.867	0.867	-
0.790	0.790	0.790
0.737	0.738	-

図 2-1 最大応答加速度分布の比較 (EW 方向) : 中越地震 (余震) 観測記録 (2/3)

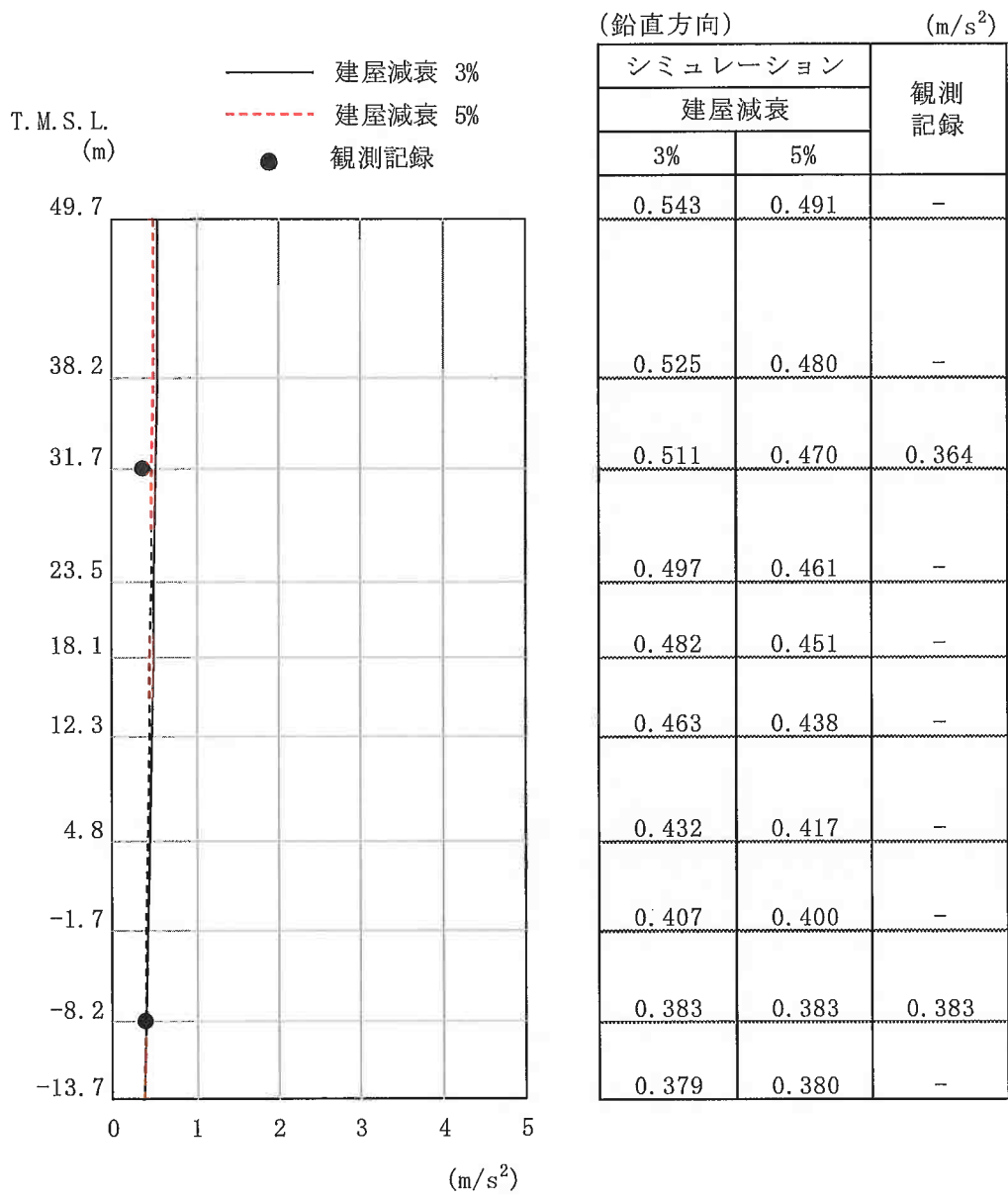
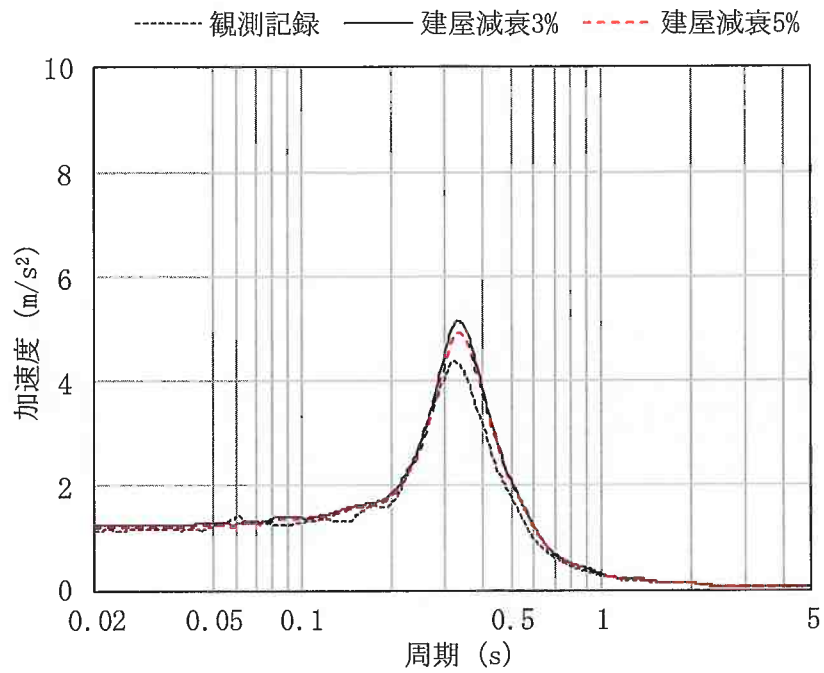
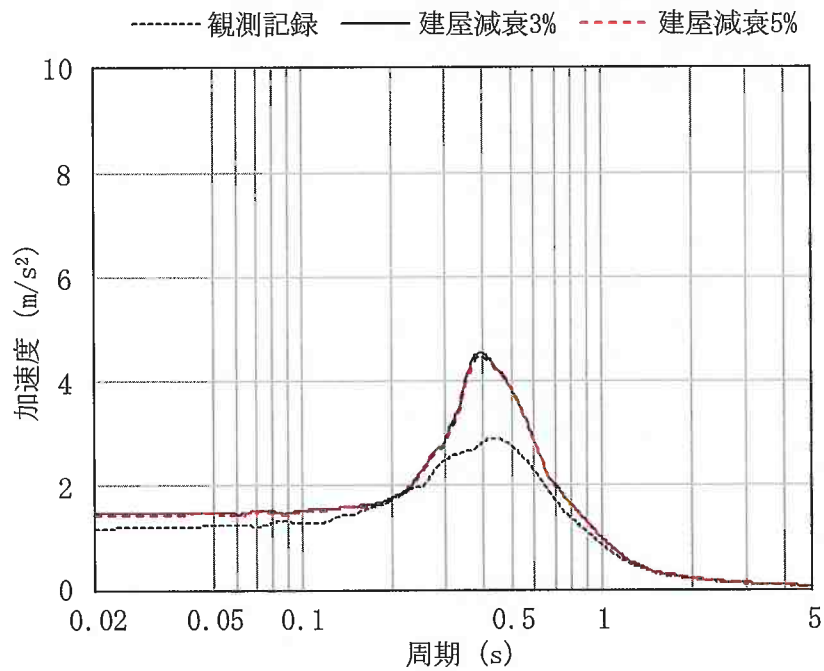


図 2-1 最大応答加速度分布の比較 (鉛直方向) : 中越地震 (余震) 観測記録 (3/3)

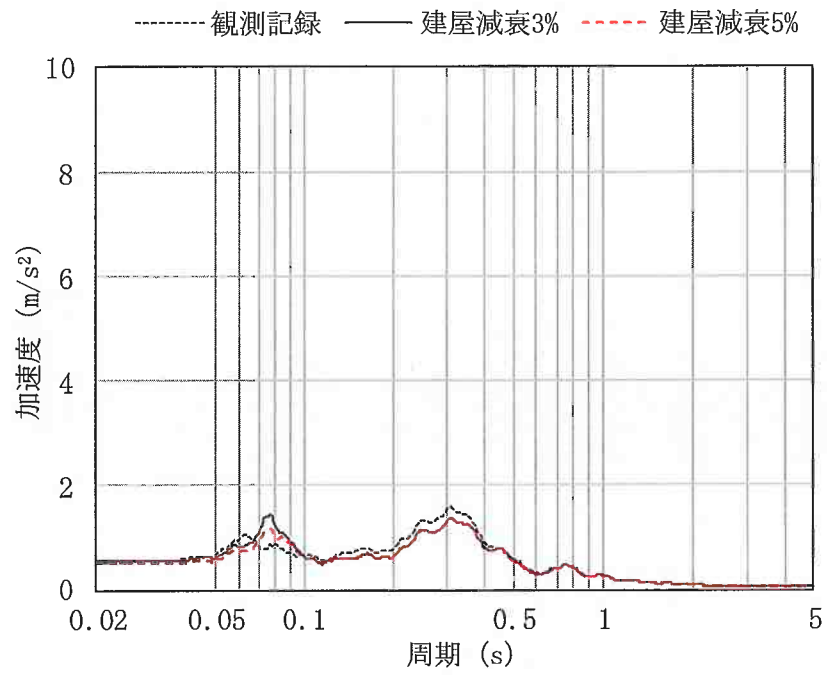


(a) NS方向 4F (T.M.S.L. 31.7m, $h = 5\%$)



(b) EW方向 4F (T.M.S.L. 31.7m, $h = 5\%$)

図 2-2 加速度応答スペクトルの比較：中越地震（余震）観測記録（1/2）



(c) 鉛直方向 4F (T. M. S. L. 31.7m, h = 5%)

図 2-2 加速度応答スペクトルの比較：中越地震（余震）観測記録（2/2）

3. まとめ

本資料では、6号機原子炉建屋について、中越地震（余震）に対して、建屋減衰を3%、5%としたシミュレーション解析を実施し、観測記録との比較を行った。

その結果、建屋減衰を3%、5%としたシミュレーション解析による最大応答加速度及び加速度応答スペクトルは観測記録に対して保守的な値であることを確認した。

別紙5 地震応答解析における原子炉建屋の重大事故等時の高温による影響

目 次

1. 概要	別紙 5-1
2. 原子炉建屋の構造概要	別紙 5-2
3. 重大事故等時の温度による影響について	別紙 5-6
3.1 検討方針	別紙 5-6
3.2 重大事故等時の高温による影響を考慮した 原子炉建屋の地震応答解析	別紙 5-7
3.2.1 解析条件	別紙 5-7
3.2.2 地震応答解析結果	別紙 5-23
3.3 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響	別紙 5-44
3.3.1 検討方法	別紙 5-44
3.3.2 検討結果	別紙 5-44
4. 機器・配管系の評価に与える影響	別紙 5-56
4.1 原子炉建屋の地震応答解析結果による影響	別紙 5-56
4.1.1 検討方針	別紙 5-56
4.1.2 検討結果	別紙 5-58
4.2 大型機器系の地震応答解析結果による影響	別紙 5-68
4.2.1 検討方針	別紙 5-68
4.2.2 「SA 時環境考慮連成モデル」のモデル化	別紙 5-68
4.2.3 解析結果	別紙 5-75
5. まとめ	別紙 5-130
5.1 「原子炉建屋の地震応答解析による評価」に与える影響	別紙 5-130
5.2 「機器・配管系の評価」に与える影響	別紙 5-130

別紙 5-1 コンクリートの高温特性の考え方

別紙 5-2 重大事故等時の環境を考慮した建屋－機器連成地震応答解析モデルの
設定について

1. 概要

本資料は、原子炉格納容器を内包する原子炉建屋において、重大事故等により高温状態が一定期間継続することを踏まえ、熱によるコンクリート部材の剛性低下を考慮した地震応答解析を実施し、「原子炉建屋の地震応答解析による評価」及び「機器・配管系の評価」に与える影響について確認するものである。

2. 原子炉建屋の構造概要

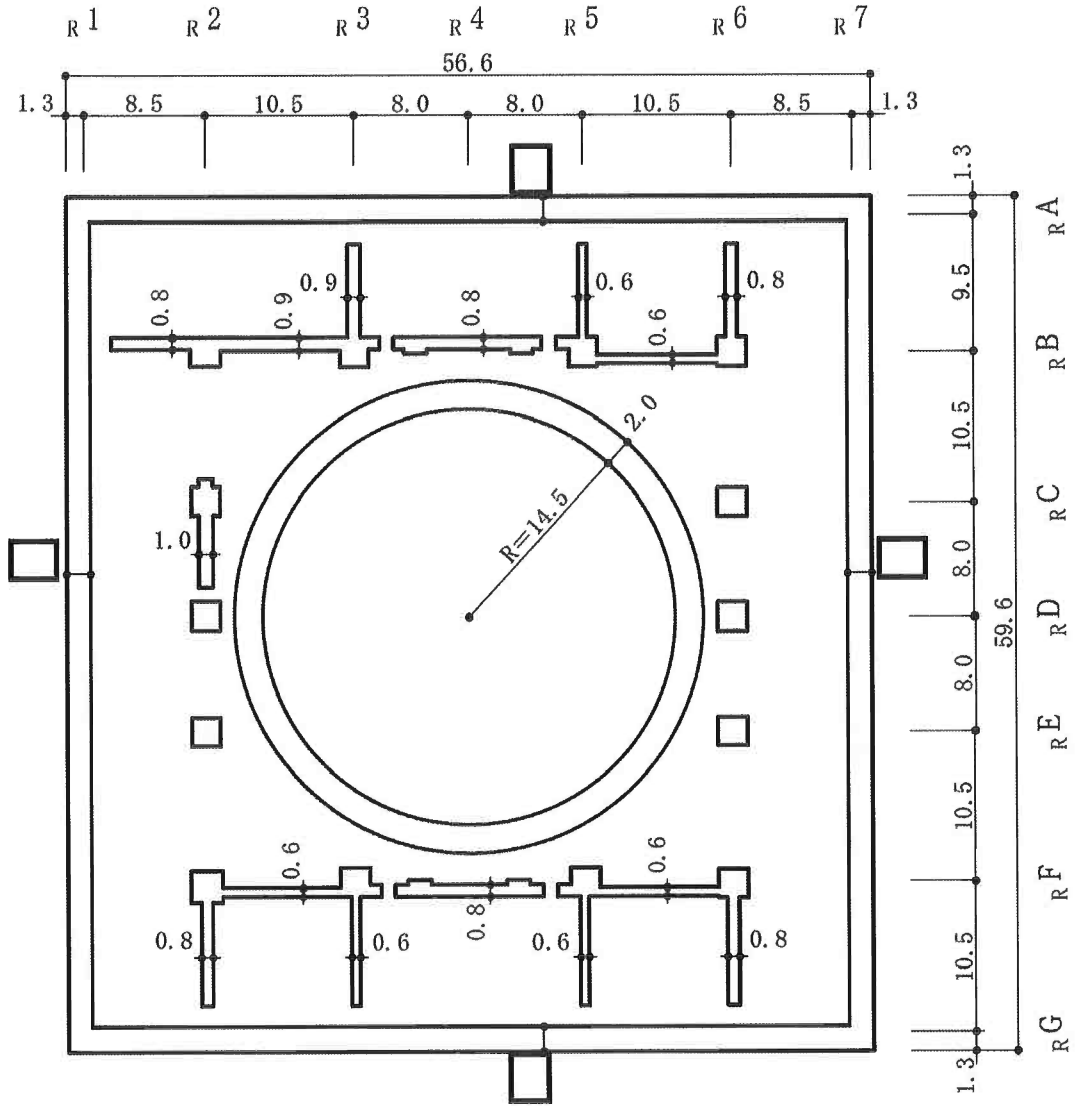
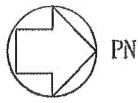
原子炉建屋は、地上4階、地下3階建ての鉄筋コンクリート造を主体とした建物で、屋根部分が鉄骨造（トラス構造）となっている。原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図2-1及び図2-2に示す。

原子炉建屋の平面は、地下部分では56.6m（NS方向）×59.6m（EW方向）、最上階は39.0m（NS方向）×59.6m（EW方向）である。基礎スラブ底面からの高さは63.4mであり、地上高さは37.7mである。なお、原子炉建屋の屋根部分には主排気筒が設置されている。また、原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離している。

原子炉建屋の基礎は厚さ5.5mのべた基礎で、支持地盤である泥岩上にマンメイドロックを介して設置している。

原子炉建屋の中央部には原子炉圧力容器を収容している鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）がある。RCCVは円筒形で基礎スラブ上から立ち上がり、床スラブによって原子炉建屋と一体構造になっている。このRCCVの高さは底部上端からトップスラブ部下端まで29.5m、内径は29.0mであり、壁厚は2.0mである。

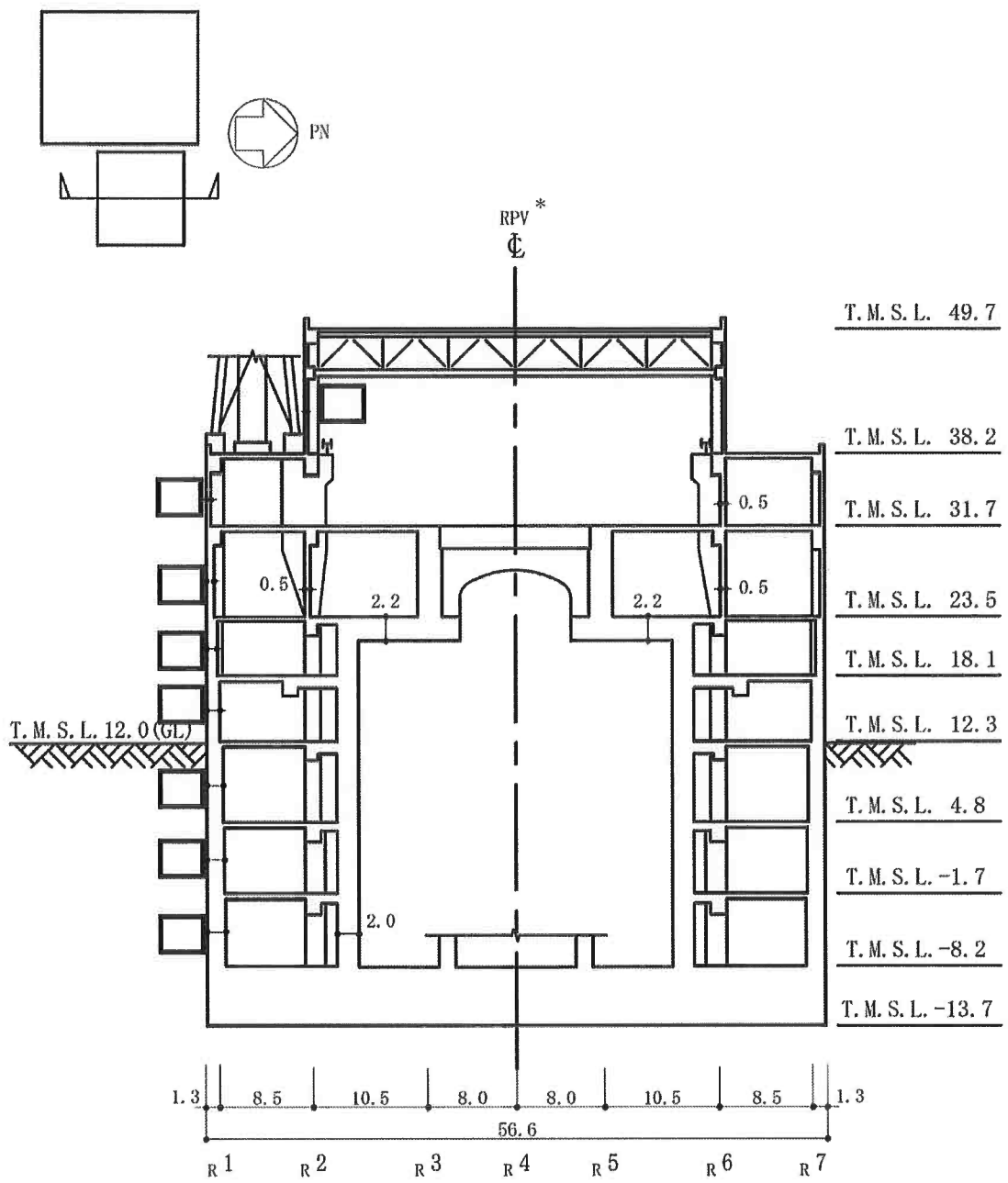
原子炉建屋の主な耐震壁は、RCCVと外壁である。主要な耐震壁は建屋の中心に対してほぼ対称に配置しており、開口部も少なく、建屋は全体として剛性の高い構造となっている。



(単位 : m)

注 : 東京湾平均海面 (以下「T.M.S.L.」という。)

図 2-1 原子炉建屋の概略平面図 (B3F, T.M.S.L. - 8.2m)



(単位 : m)

注記* : 原子炉压力容器 (以下「RPV」という。)

図 2-2 原子炉建屋の概略断面図 (NS 方向) (1/2)

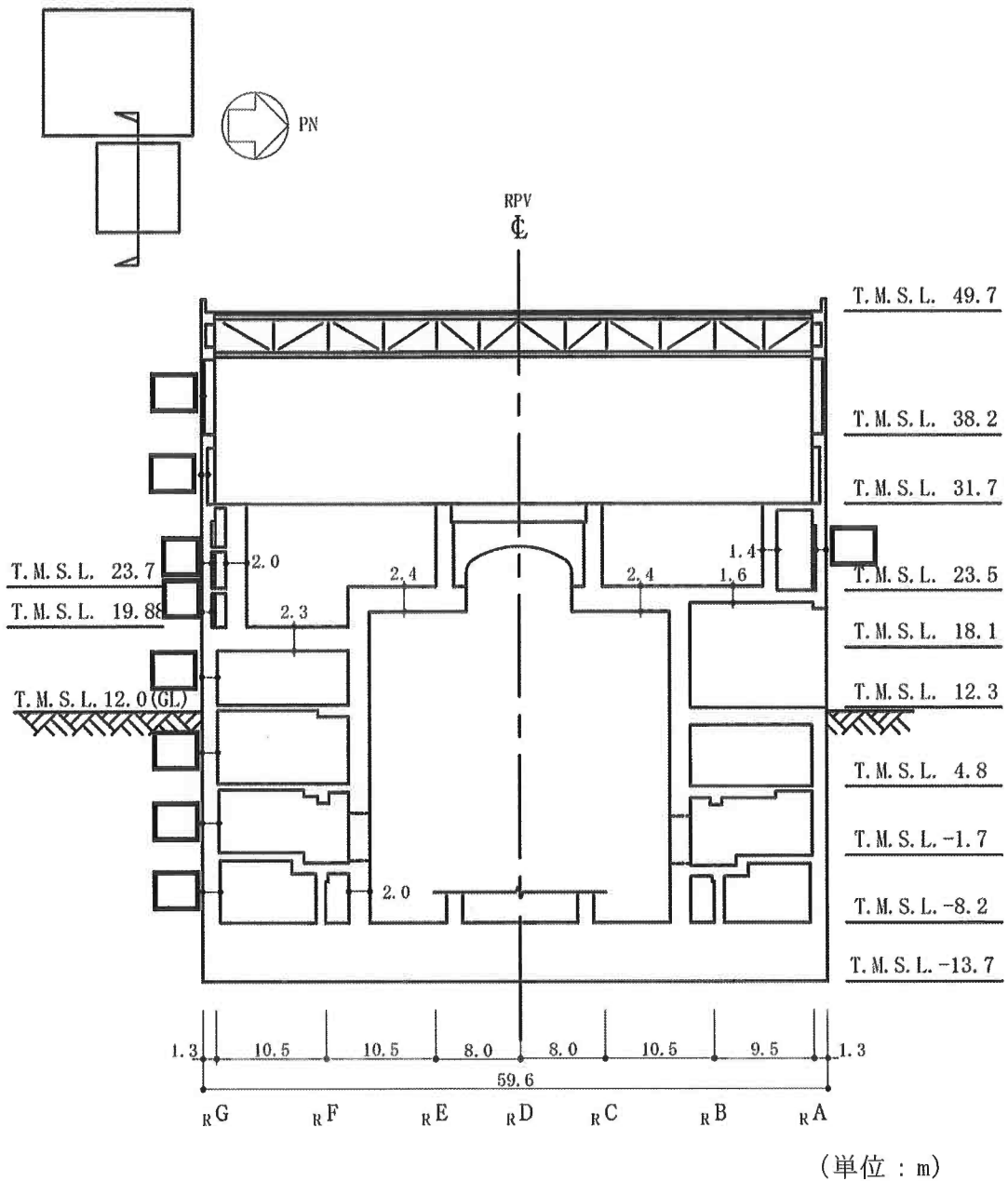


図 2-2 原子炉建屋の概略断面図 (EW 方向) (2/2)

3. 重大事故等時の温度による影響について

3.1 検討方針

RCCV を内包する原子炉建屋において、重大事故等により高温状態が一定時間継続することを踏まえ、熱によるコンクリート部材の剛性低下及び圧縮強度低下を考慮した地震応答解析を実施し、原子炉建屋の地震応答解析による評価及び機器・配管系の評価に与える影響について確認する。

具体的には、重大事故等における熱の影響を考慮し、原子炉建屋のコンクリート部材の剛性及び圧縮強度を低減させた地震応答解析モデル（以下「剛性低下考慮モデル」という。）を用いて地震応答解析を実施し、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデル（以下「工認モデル」という。）を用いた結果との比較を行う。

更に、「剛性低下考慮モデル」の地震応答解析結果が、原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響を、「3.3 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響」において確認することとする。

なお、上述の影響検討は、応答倍率を用いた手法により行うことから、応答倍率の算出のための「剛性低下考慮モデル」を用いた地震応答解析は、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 S_s-1 に対して実施することとする。

3.2 重大事故等時の高温による影響を考慮した原子炉建屋の地震応答解析

3.2.1 解析条件

(1) 剛性低下率及び圧縮強度低下率

剛性低下率及び圧縮強度低下率の評価対象部位は、RCCV 壁、原子炉ウェル、プールガード及び 4F 内部耐震壁とする。

RCCV については、RCCV 内を高温状態とし、その温度を「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）」のうち「重大事故等対処施設の耐震設計における重大事故と地震の組合せについて」の「5.2.2 PCVバウンダリ」に基づく重大事故等時の有効性評価の「格納容器過圧・過温破損（代替循環冷却系を使用しない場合）」における最高温度である 168℃に設定した。

RCCV 外の建屋内については、V-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」の「2.3 環境条件等」に基づく原子炉建屋原子炉区域内での重大事故等対処設備の環境温度より、使用済燃料貯蔵プール、機器仮置ピット及び 4F 以上を 77℃に、3F～B3F を 66℃に設定した。原子炉ウェルについては、4F 以上と同じ 77℃に設定した。

外気温については、V-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」の「2.3 環境条件等」に基づく屋外の重大事故等対処設備の環境温度より 40℃に設定した。

また、剛性低下率の算出に用いる評価対象部位の温度は、定常状態を仮定し、内側と外側の雰囲気温度の平均値とすることにより保守的に設定した。なお、表面温度は環境温度と同一とする。

ここで、100℃以上のコンクリート部材における剛性低下率及び圧縮強度低下率は、「Eurocode 2*1」に基づき、剛性低下率は 100℃の剛性残存比 0.63 及び 200℃の剛性残存比 0.43 より、圧縮強度低下率は 100℃の強度残存比 1.00 及び 200℃の強度残存比 0.95 より、それぞれ線形補間により算出する。また、65℃以下の場合、「CCV 規格*2」の温度制限値に基づき剛性低下しないものとする。65～100℃の場合、「Eurocode 2」と「CCV 規格」のそれぞれ定める値を線形補間により算定する。「Eurocode 2」の適用性については別紙 5-1 に示す。

本検討に用いたコンクリート部材の温度を表 3-1 に、剛性低下率を表 3-2 に、圧縮強度低下率を表 3-3 に示す。なお、基礎スラブについては、図 3-1 に示す重大事故等時の温度分布のとおり、ドライウェル部及びサプレッションプール部において、表面付近の温度が 100℃を超えるものの、基礎スラブ全体の平均温度としては 65℃を下回ることで、さらに、基礎スラブ内部の温度分布について、65℃を下回る領域の割合が大きいことから、剛性低下は考慮しないこととした。

注記*1: European Committee for Standardization: “Eurocode 2: Design of

concrete structures” , 2004

*2 : (社) 日本機械学会 : 「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 JSME S NE 1-2003」

表 3-1 本検討に用いたコンクリート部材の温度

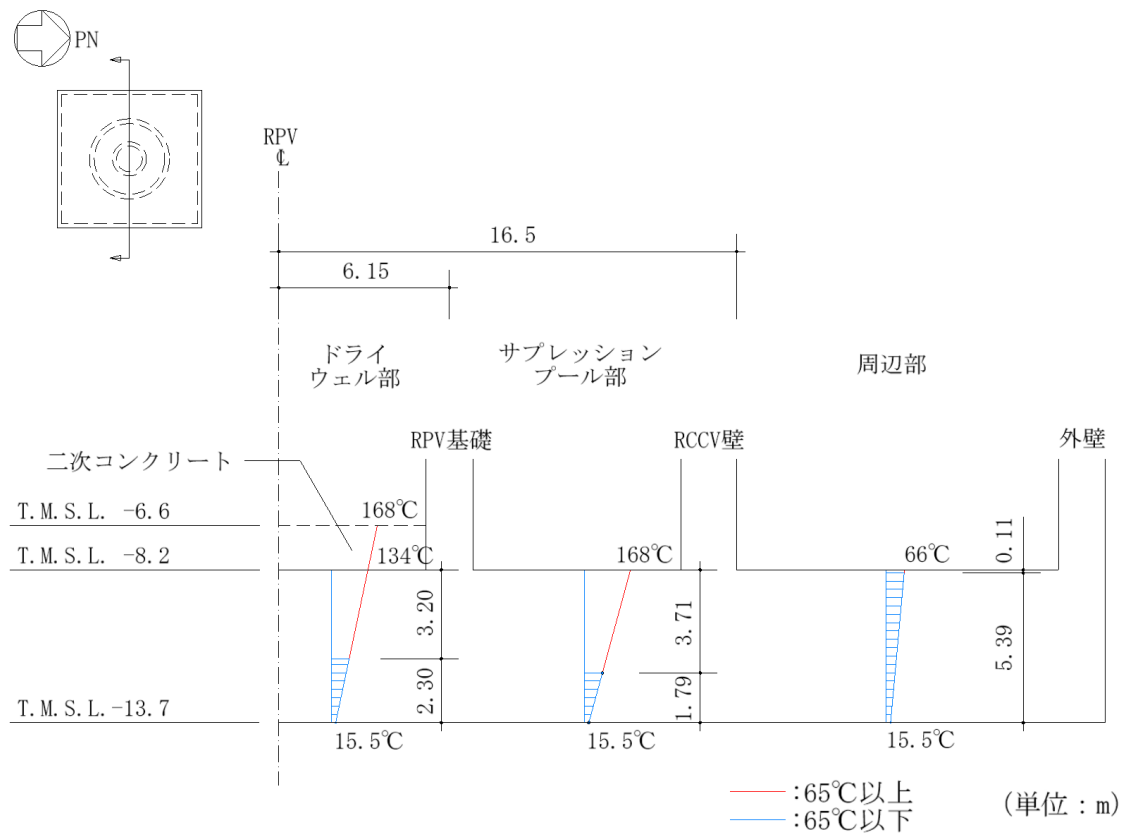
部位	標高 T. M. S. L. (m)	表面温度		平均温度 (°C)
		内側(°C)	外側(°C)	
RCCV 壁	-8.2~23.5	168	66	117
原子炉ウェル	23.5~31.7	77	77	77
プールガード	18.1~31.7	77	66	71.5
4F 内部耐震壁	31.7~38.2	77	77	77

表 3-2 本検討に用いたコンクリート部材の剛性低下率

		コンクリート 温度 (°C)	剛性 低下率	解析用諸元	
				ヤング係数 (N/mm ²)	せん断弾性係数 (N/mm ²)
工認モデル		/	1.0	2.88×10^4	1.20×10^4
剛性低下 考慮モデル	RCCV 壁	117	0.60	1.73×10^4	7.21×10^3
	原子炉ウェル	77	0.87	2.51×10^4	1.05×10^4
	プールガード	71.5	0.93	2.68×10^4	1.12×10^4
	4F 内部耐震壁	77	0.87	2.51×10^4	1.05×10^4
	上記以外	/	1.0	2.88×10^4	1.20×10^4

表 3-3 本検討に用いたコンクリート部材の圧縮強度低下率

		コンクリート 温度 (°C)	圧縮強度 低下率	解析用諸元
				圧縮強度 (N/mm ²)
工認モデル		/	1.0	43.1
剛性低下 考慮モデル	RCCV 壁	117	0.99	42.7
	RCCV 壁以外	/	1.0	43.1



位置	面積 A_i (m ²)	表面温度 (°C)		平均温度 T_i (°C)	重み付け値 $A_i \times T_i$ (m ² ·°C)	基礎スラブ全体の 平均温度 $\Sigma(A_i \times T_i) / \Sigma A_i$ (°C)
		上面	下面			
ドライ ウェル部	119	上面	134	74.6	8860	—
		下面	15.5			
サプレッション プール部	736	上面	168	91.8	67572	
		下面	15.5			
周辺部	2518	上面	66	40.8	102611	
		下面	15.5			
全体	3373	—		—	179043	53.1

図 3-1 重大事故等時における基礎スラブの温度分布

(2) 解析モデル

RCCV 壁，原子炉ウェル，プールガーダ及び 4F 内部耐震壁については剛性低下率及び圧縮強度低下率を考慮したことにより，「工認モデル」に対して諸元を変更した。重大事故等時の温度による剛性低下及び圧縮強度低下を考慮した建物・構築物の物性値を表 3-4 に，水平方向の地震応答解析モデルを図 3-2 に，諸元を表 3-5 に，地盤ばね定数を表 3-6 に，せん断スケルトン曲線の諸数値を表 3-7 及び表 3-8 に示す。ここで，剛性低下及び圧縮強度低下を考慮したスケルトン曲線の算定においては，第 2 勾配が第 3 勾配を下回る場合がある。その場合は，第 2 勾配が第 3 勾配と同一となるように補正することで，保守的にスケルトン曲線の第 1 折点を低減している。スケルトン曲線の補正方法概略図を図 3-3 に示す。また，鉛直方向の地震応答解析モデルを図 3-4 に，諸元を表 3-9 に，地盤ばね定数を表 3-10 に示す。

表 3-4 建物・構築物の物性値（剛性低下考慮モデル）（1/3）

(a) 鉄筋コンクリート NS 方向

T. M. S. L. (m)	外壁軸		RCCV 軸		減衰定数 (%)
	ヤング係数 ^{*1} (N/mm ²)	せん断弾性係数 ^{*2} (N/mm ²)	ヤング係数 ^{*1} (N/mm ²)	せん断弾性係数 ^{*2} (N/mm ²)	
49.7					5
38.2	2.88 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁴			
31.7	2.88 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁴			
23.5	2.88 × 10 ⁴	1.17 × 10 ⁴	2.68 × 10 ⁴	1.12 × 10 ⁴	
18.1	2.88 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁴	1.73 × 10 ⁴	7.92 × 10 ³	
12.3	2.88 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁴	1.73 × 10 ⁴	8.64 × 10 ³	
4.8	2.88 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁴	1.73 × 10 ⁴	8.63 × 10 ³	
-1.7	2.88 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁴	1.74 × 10 ⁴	8.79 × 10 ³	
-8.2	2.88 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁴	1.97 × 10 ⁴	9.46 × 10 ³	
-13.7	2.79 × 10 ⁴	1.16 × 10 ⁴			

注記*1：耐震要素ごとに剛性低下率が異なることを考慮し，各耐震要素の断面二次モーメントの比率に応じて算定。

*2：耐震要素ごとに剛性低下率が異なることを考慮し，各耐震要素のせん断断面積の比率に応じて算定。

表 3-4 建物・構築物の物性値（剛性低下考慮モデル）（2/3）

(b) 鉄筋コンクリート EW 方向

T. M. S. L. (m)	外壁軸		RCCV 軸		減衰定数 (%)
	ヤング係数 ^{*1} (N/mm ²)	せん断弾性係数 ^{*2} (N/mm ²)	ヤング係数 ^{*1} (N/mm ²)	せん断弾性係数 ^{*2} (N/mm ²)	
49.7					5
38.2	2.88 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁴			
31.7	2.70 × 10 ⁴	1.12 × 10 ⁴			
23.5	2.88 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁴	2.68 × 10 ⁴	1.12 × 10 ⁴	
18.1	2.88 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁴	1.73 × 10 ⁴	9.71 × 10 ³	
12.3	2.88 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁴	1.73 × 10 ⁴	9.72 × 10 ³	
4.8	2.88 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁴	1.73 × 10 ⁴	8.91 × 10 ³	
-1.7	2.88 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁴	1.73 × 10 ⁴	9.38 × 10 ³	
-8.2	2.88 × 10 ⁴	1.20 × 10 ⁴	1.75 × 10 ⁴	9.13 × 10 ³	
-13.7	2.79 × 10 ⁴	1.16 × 10 ⁴			

注記*1：耐震要素ごとに剛性低下率が異なることを考慮し，各耐震要素の断面二次モーメントの比率に応じて算定。

*2：耐震要素ごとに剛性低下率が異なることを考慮し，各耐震要素のせん断断面積の比率に応じて算定。

表 3-4 建物・構築物の物性値（剛性低下考慮モデル）（3/3）

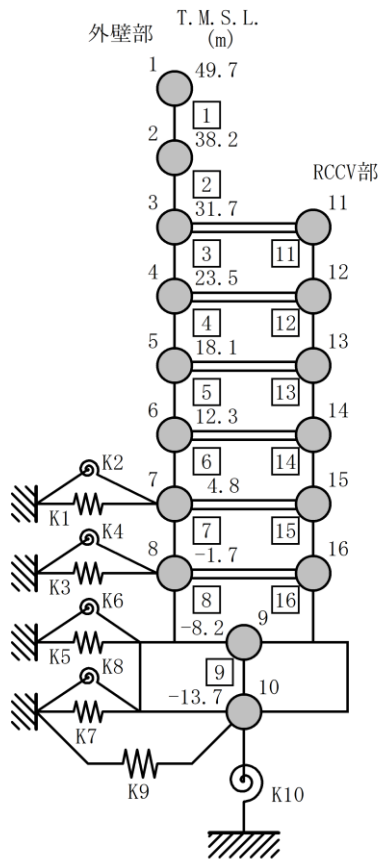
(c) 鉄筋コンクリート 鉛直方向

T. M. S. L. (m)	ヤング係数* (N/mm ²)	減衰定数 (%)
49.7		5
	2.88×10^4	
38.2		
	2.76×10^4	
31.7		
	2.78×10^4	
23.5		
	2.50×10^4	
18.1		
	2.55×10^4	
12.3		
	2.55×10^4	
4.8		
	2.57×10^4	
-1.7		
	2.61×10^4	
-8.2		
	2.79×10^4	
-13.7		

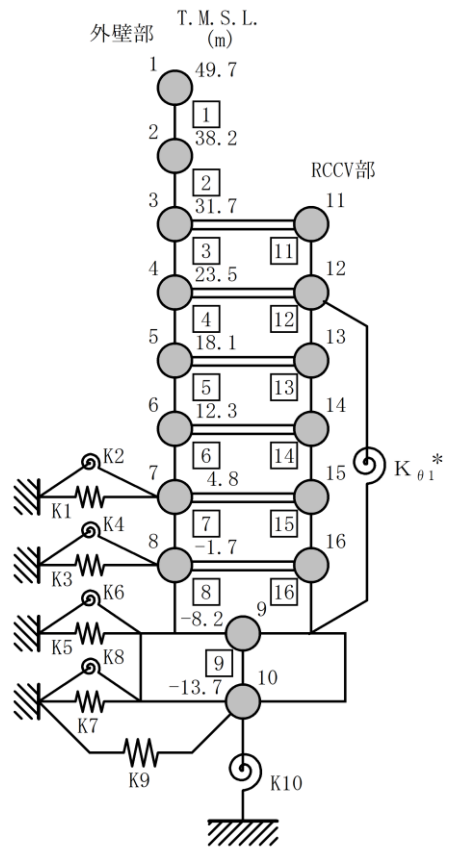
注記*：耐震要素ごとに剛性低下率が異なることを考慮し，各耐震要素の軸断面積の比率に応じて算定。

(d) 鉄骨

ヤング係数 (N/mm ²)	せん断弾性係数 (N/mm ²)	減衰定数 (%)
2.05×10^5	7.90×10^4	2



NS 方向



EW 方向

注記* : RCCV 回転ばね

図 3-2 地震応答解析モデル (水平方向, 剛性低下考慮モデル)

表 3-5 地震応答解析モデルの諸元 (水平方向, 剛性低下考慮モデル)

(a) NS 方向

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	部材 番号	せん断 断面積 A_s (m ²)	断面二次 モーメント I (m ⁴)	質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	部材 番号	せん断 断面積 A_s (m ²)	断面二次 モーメント I (m ⁴)				
1	39490	70.6	[1]	41.0	13700	11	91400	32.4	[11]	119.6	7200				
2	80520	410.9		[2]	83.0							51100	[12]	113.0	23300
3	84470	473.7		[3]	188.0							70600	[13]	137.6	23500
4	84770	293.2		[4]	132.5							69000	[14]	139.2	23400
5	55380	198.1		[5]	149.4							84700	[15]	132.4	23600
6	81140	289.3		[6]	180.5							105000	[16]	186.4	29600
7	80120	296.2		[7]	183.2							112800			
8	81300	298.1		[8]	223.5							119000			
9	342450	945.4		[9]	3373.4							900600			
10	216040	581.5													
合計	1955110														

(b) EW 方向

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	部材 番号	せん断 断面積 A_s (m ²)	断面二次 モーメント I (m ⁴)	質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	部材 番号	せん断 断面積 A_s (m ²)	断面二次 モーメント I (m ⁴)				
1	39490	147.1	[1]	54.7	30000	11	86300	267.7	[11]	219.0	6700				
2	80520	300.1		[2]	122.9							62600	[12]	222.8	23300
3	89570	299.1		[3]	172.7							87900	[13]	207.4	23100
4	67270	275.6		[4]	131.8							81900	[14]	152.1	23400
5	50210	210.8		[5]	166.7							92800	[15]	180.1	21200
6	78630	320.7		[6]	179.3							114600	[16]	164.4	23800
7	76690	316.8		[7]	211.5							124000			
8	79240	324.6		[8]	259.5							131000			
9	342450	1039.5		[9]	3373.4							998600			
10	216040	644.3													
合計	1955110														

回転ばね $K_{\theta 1} 1.83 \times 10^{10}$ (kN·m/rad)

注: 回転ばね $K_{\theta 1}$ は, プールガーダが RCCV の曲げ変形を拘束する影響を考慮した回転ばねであるため, 表 3-2 におけるプールガーダの剛性低下率を考慮して算定。

表 3-6 地盤のばね定数と減衰係数 (Ss-1, 剛性低下考慮モデル)

(a) NS 方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.24×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.05×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.12×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.79×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	3.96×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.63×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.95×10^8
K9	10	底面・並進	7.28×10^7	2.82×10^6
K10	10	底面・回転	7.06×10^{10}	5.92×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

(b) EW 方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.25×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.06×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	3.99×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.97×10^8
K9	10	底面・並進	7.25×10^7	2.80×10^6
K10	10	底面・回転	7.60×10^{10}	6.94×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

表 3-7 せん断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向)

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.28	0.191	3.08	0.569	6.81	4.00
4F	2.38	0.199	3.21	0.588	6.54	4.00
3F	2.40	0.206	2.96	0.618	4.84	4.00
2F	2.54	0.213	3.35	0.644	6.62	4.00
1F	2.55	0.213	3.29	0.660	6.44	4.00
B1F	2.62	0.219	3.47	0.665	6.98	4.00
B2F	2.70	0.226	3.64	0.674	7.56	4.00
B3F	2.69	0.224	3.52	0.691	7.03	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.26	0.202	3.01	0.606	6.88	4.00
2F	1.86	0.235	2.62	0.768	7.21	4.00
1F	1.81	0.210	2.43	0.685	6.73	4.00
B1F	2.12	0.246	2.70	0.758	6.39	4.00
B2F	2.32	0.264	2.95	0.792	6.25	4.00
B3F	2.36	0.249	3.01	0.747	5.73	4.00

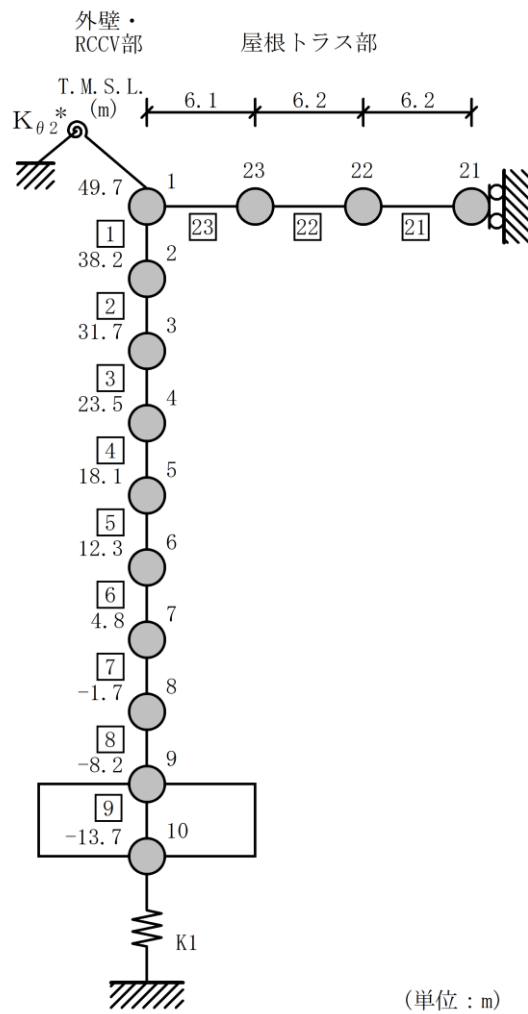
表 3-8 せん断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW 方向)

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.33	0.195	3.15	0.582	6.58	4.00
4F	2.33	0.208	3.14	0.625	6.73	4.00
3F	2.50	0.209	3.28	0.634	6.13	4.00
2F	2.47	0.206	3.21	0.626	6.23	4.00
1F	2.48	0.207	3.18	0.642	6.24	4.00
B1F	2.54	0.212	3.43	0.636	7.39	4.00
B2F	2.58	0.216	3.41	0.656	7.10	4.00
B3F	2.58	0.215	3.31	0.673	6.60	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.23	0.200	2.65	0.599	4.76	4.00
2F	2.10	0.216	2.42	0.656	4.81	4.00
1F	1.95	0.201	2.32	0.623	5.31	4.00
B1F	2.09	0.234	2.62	0.723	6.15	4.00
B2F	2.25	0.240	2.68	0.719	5.37	4.00
B3F	2.31	0.253	3.02	0.760	6.41	4.00



注記*：屋根トラス端部回転拘束ばね

図 3-4 地震応答解析モデル（鉛直方向，剛性低下考慮モデル）

表 3-9 地震応答解析モデルの諸元（鉛直方向，剛性低下考慮モデル）

外壁・RCCV部				屋根トラス部				
質点番号	質点重量 W (kN)	部材番号	軸断面積 A_N (m ²)	質点番号	質点重量 W (kN)	部材番号	せん断断面積 A_s ($\times 10^{-2}$ m ²)	断面二次モーメント I (m ⁴)
1	30640			1	—			
		1	89.0			23	21.25	2.00
2	80520	2	200.1	23	3540			
		3	581.5			22	16.82	2.00
3	175870			22	3540			
		4	611.6			21	7.94	2.00
4	239810	5	674.3	21	1770			
		6	681.3					
5	158250	7	719.6					
		8	833.7					
6	280410	9	3373.4					
7	204170							
8	218100							
9	342450							
10	216040							
合計	1955110							

屋根トラス端部回転拘束ばね $K_{\theta 2} = 3.90 \times 10^7$ (kN・m/rad)

表 3-10 地盤のばね定数と減衰係数（鉛直方向，Ss-1，剛性低下考慮モデル）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
K1	10	底面・鉛直	1.20×10^8	6.45×10^6

3.2.2 地震応答解析結果

(1) 固有値解析結果

「工認モデル」と「剛性低下考慮モデル」の固有値解析結果（固有周期及び固有振動数）の比較を表 3-11 に示す。また、「剛性低下考慮モデル」の刺激関数図を図 3-5 に示す。

「剛性低下考慮モデル」の固有周期は、コンクリート剛性を低減させた影響により「工認モデル」の結果に比べて僅かに大きくなるものの、ほぼ同程度となることを確認した。建屋と地盤の相互作用を考慮したモデルとなっていることから、地盤の変形が支配的となる低次のモードでは、建屋は剛体的な挙動を示すため、建屋の剛性変化が固有値に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

表 3-11 固有値解析結果 (Ss-1)

(a) NS 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	工認モデル	剛性低下 考慮モデル	工認モデル	剛性低下 考慮モデル
1	0.439	0.445	2.28	2.25
2	0.192	0.196	5.20	5.11
3	0.091	0.100	11.03	10.03
4	0.078	0.084	12.88	11.89
5	0.077	0.080	12.98	12.48

(b) EW 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	工認モデル	剛性低下 考慮モデル	工認モデル	剛性低下 考慮モデル
1	0.429	0.434	2.33	2.31
2	0.191	0.193	5.23	5.17
3	0.082	0.088	12.16	11.31
4	0.077	0.081	12.97	12.34
5	0.071	0.075	14.02	13.41

(c) 鉛直方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	工認モデル	剛性低下 考慮モデル	工認モデル	剛性低下 考慮モデル
1	0.279	0.280	3.58	3.58
2	0.258	0.259	3.87	3.86
3	0.077	0.077	12.95	12.95
4	0.051	0.052	19.45	19.40
5	0.047	0.049	21.32	20.31

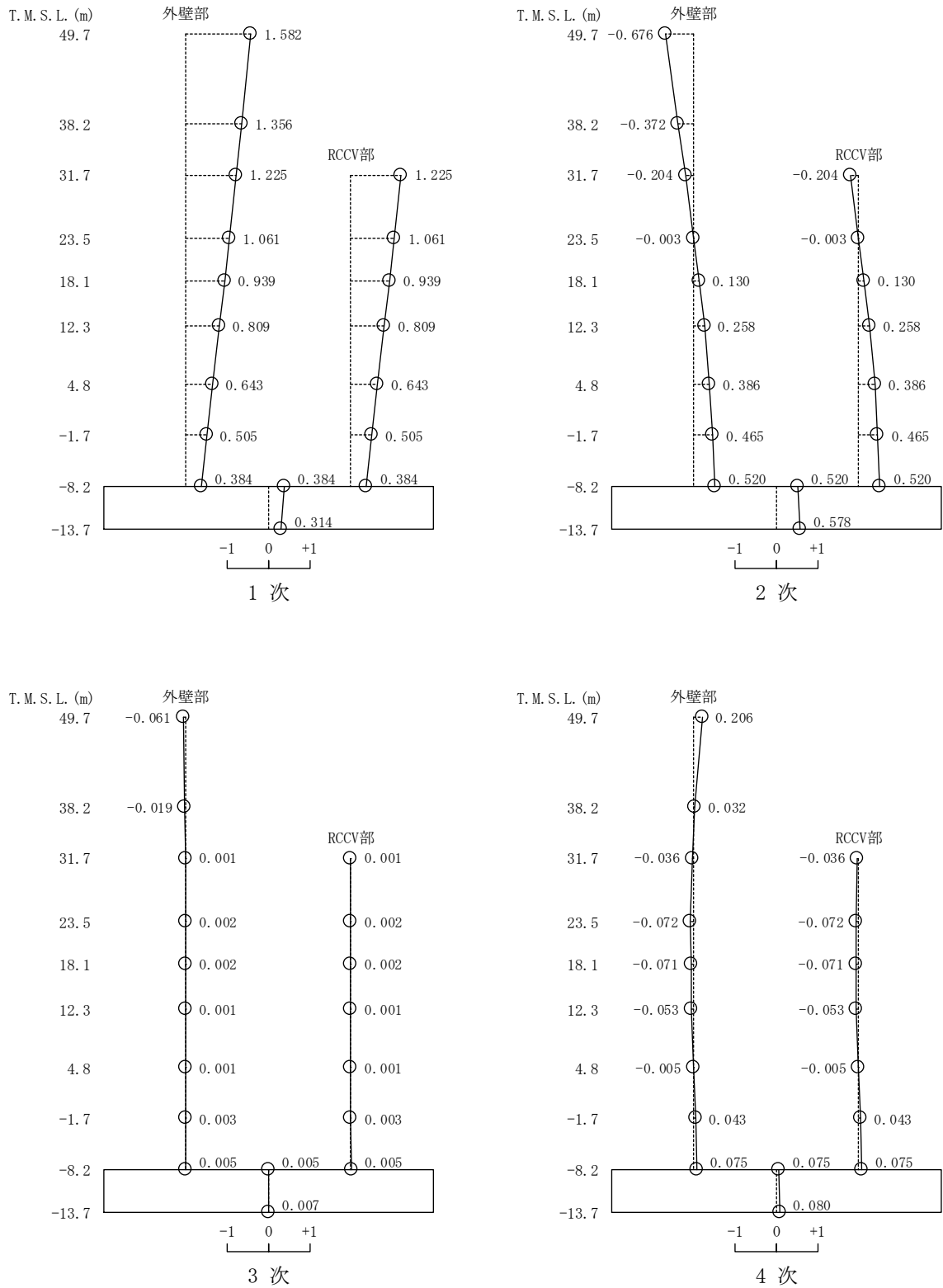


図 3-5 刺激関数図 (Ss-1, NS 方向, 剛性低下考慮モデル) (1/3)

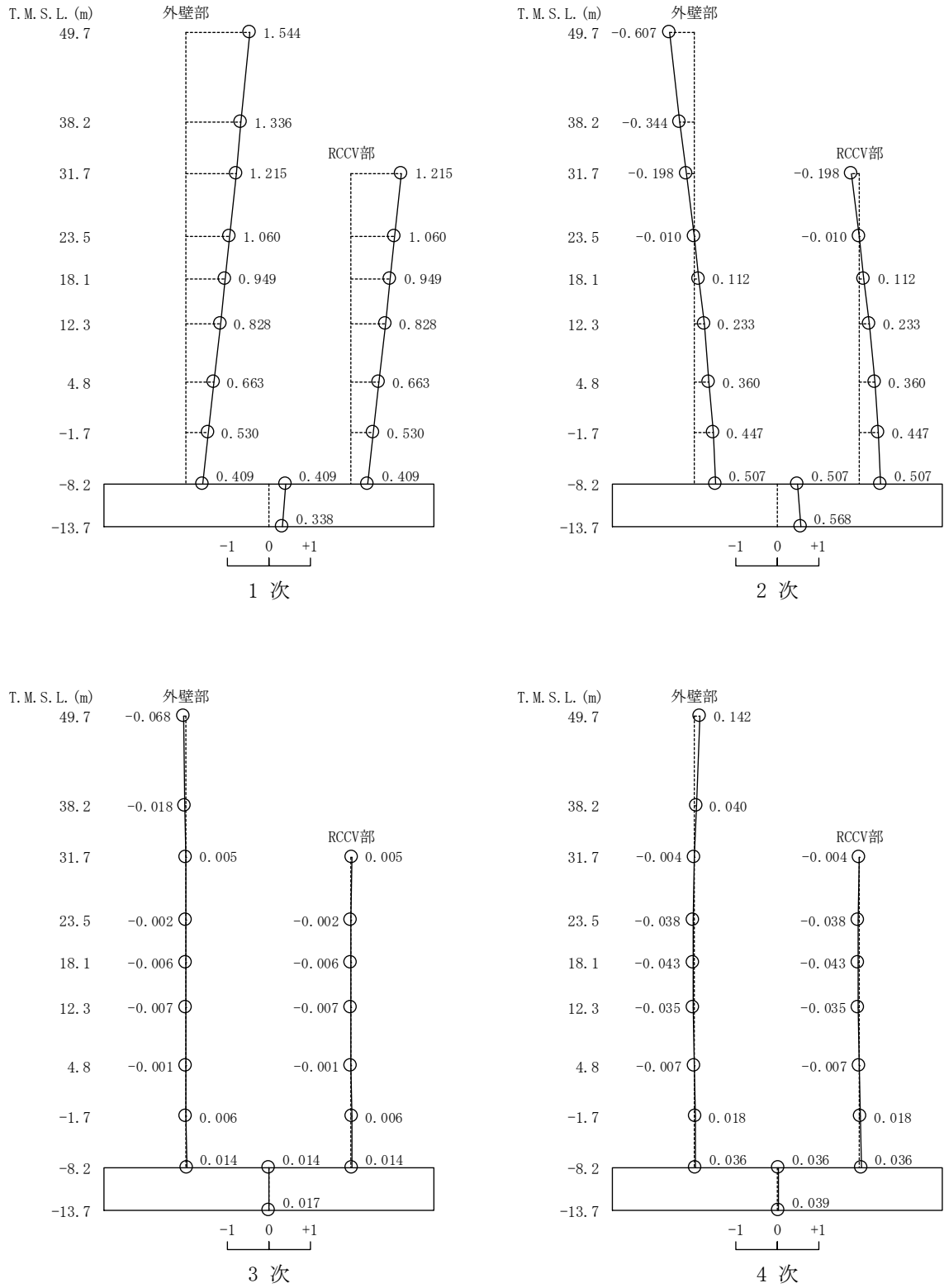
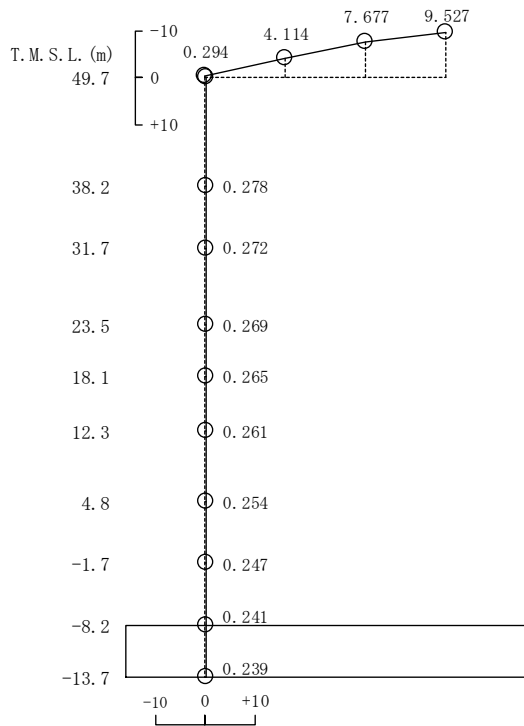
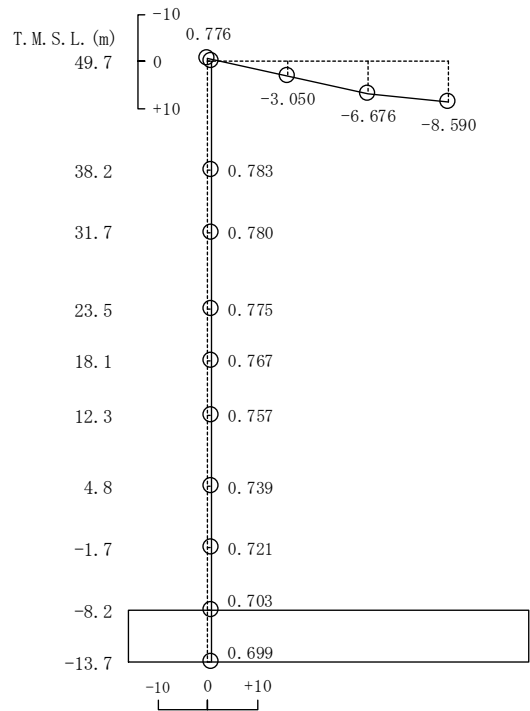


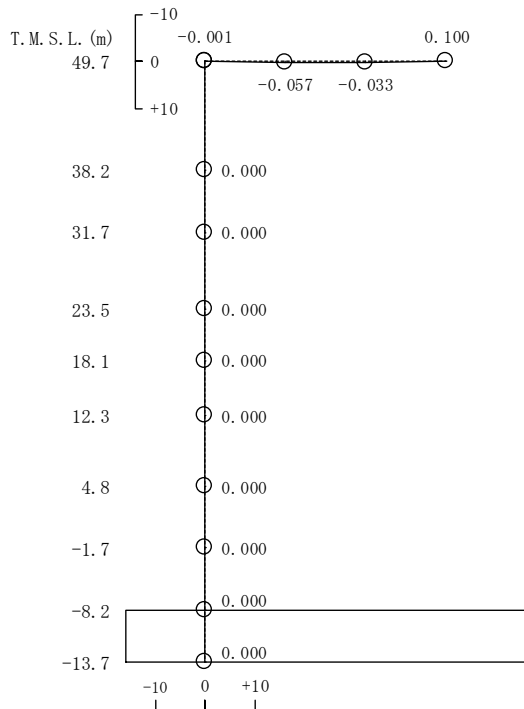
図 3-5 刺激関数図 (Ss-1, EW 方向, 剛性低下考慮モデル) (2/3)



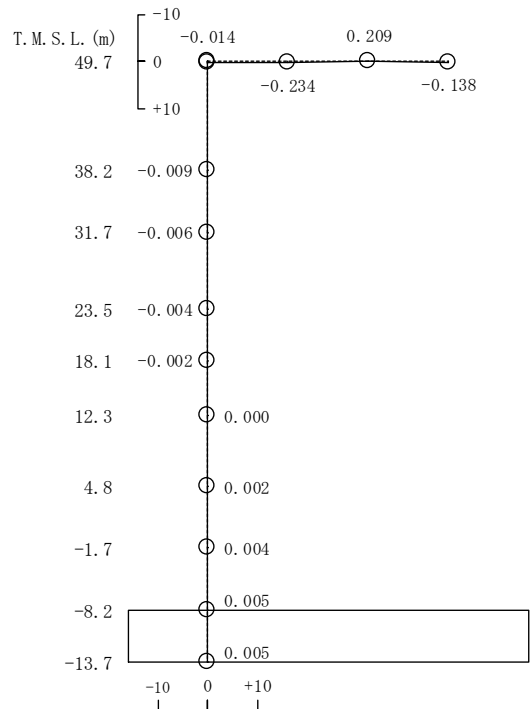
1 次



2 次



3 次



4 次

図 3-5 刺激関数図 (Ss-1, 鉛直方向, 剛性低下考慮モデル) (3/3)

(2) 最大応答値及び最大接地圧

Ss-1 による最大応答値を図 3-6～図 3-16 に、最大せん断ひずみを表 3-12 に、せん断スケルトン曲線上に最大応答値をプロットしたものを図 3-17 及び図 3-18 に、最大接地圧を表 3-13 に示す。「剛性低下考慮モデル」の最大応答値及び最大接地圧は、「工認モデル」の結果とおおむね整合することを確認した。

ここで、「剛性低下考慮モデル」の RCCV 部における最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントについては、低減する傾向が確認できる。一方、外壁部における最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントについては、若干増加する傾向にある。これは、外壁部がほとんど剛性低下しておらず RCCV 部の剛性低下が大きいため、応力の分配率が「工認モデル」に比べて外壁部が大きく、RCCV 部が小さくなったためと考えられる。

また、RCCV 部における最大せん断ひずみについては、RCCV 部の剛性低下率が大きいため、全体的にせん断ひずみが増加する傾向である。外壁部における最大せん断ひずみについては、2F～B3F でせん断スケルトン曲線上の最大応答値が第 1 折点を超過していることから、せん断力の増加に対するせん断ひずみの増加が大きくなり、せん断ひずみの比率として算定している応答比の値が大きくなったものと考えられる。

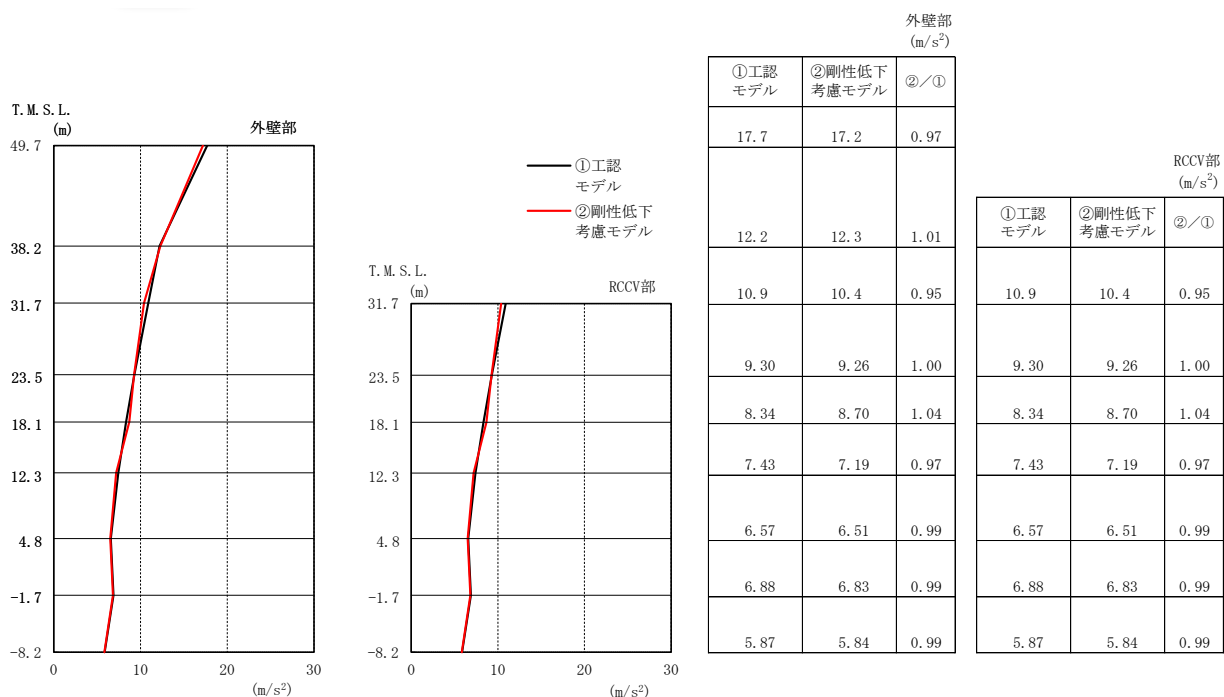


図 3-6 最大応答加速度 (Ss-1, NS 方向)

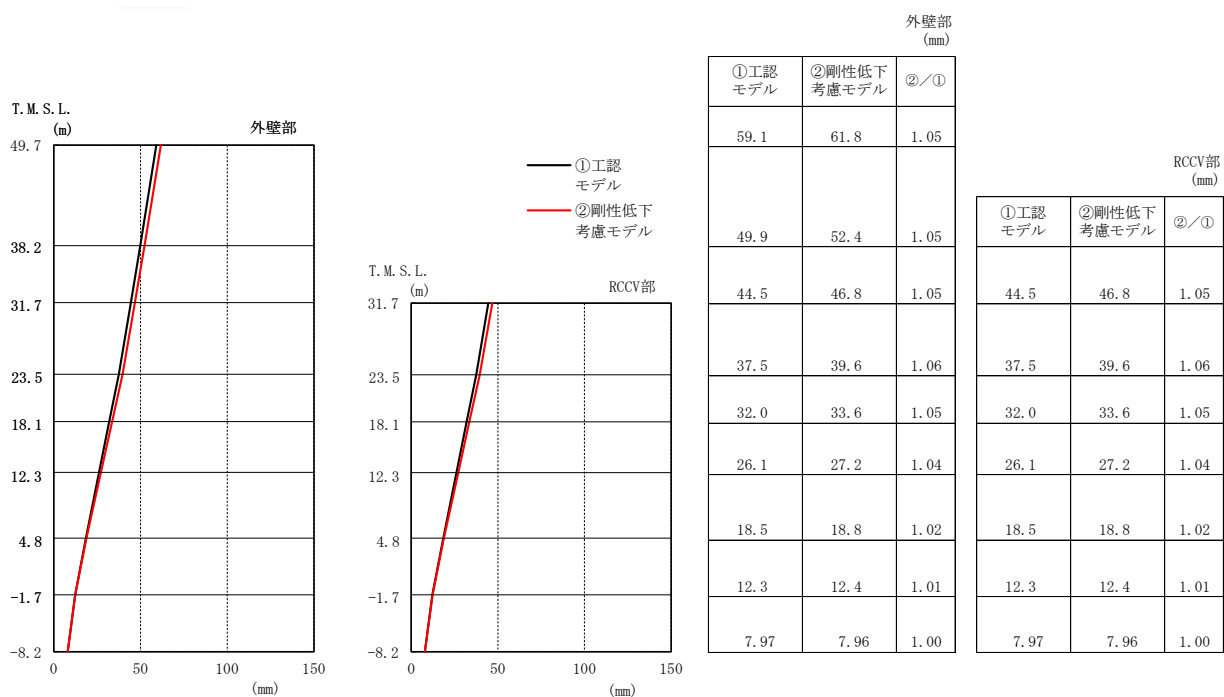


図 3-7 最大応答変位 (Ss-1, NS 方向)

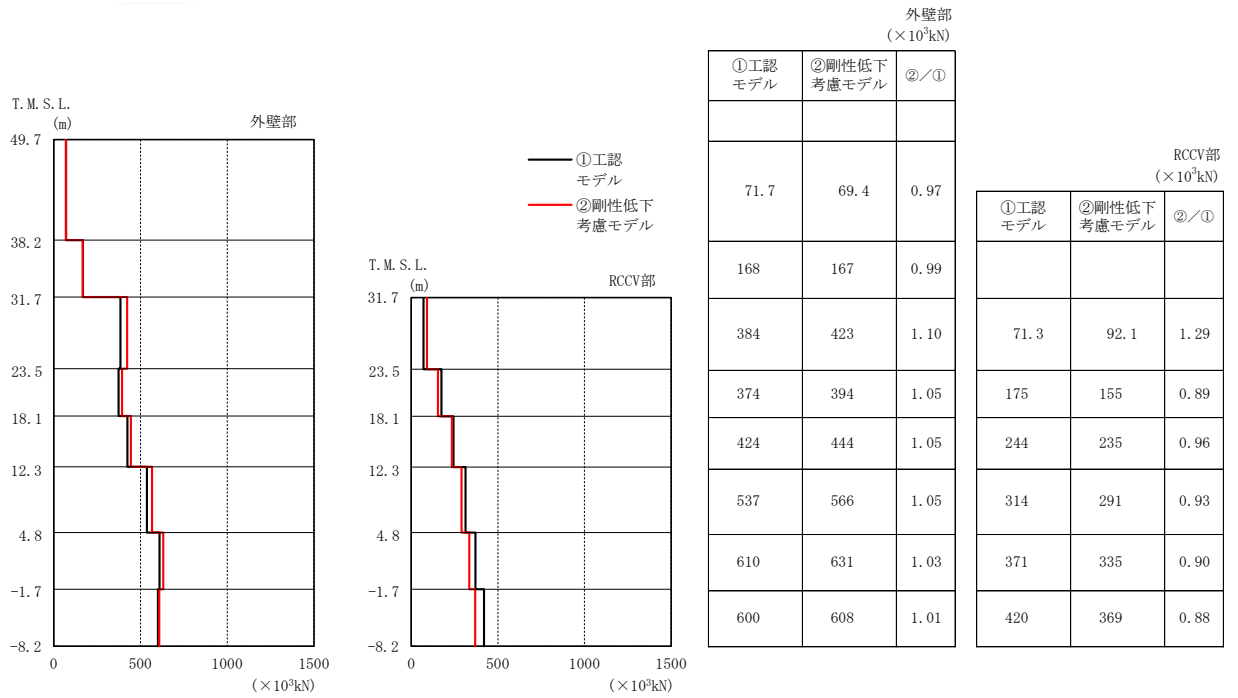


図 3-8 最大応答せん断力 (Ss-1, NS 方向)

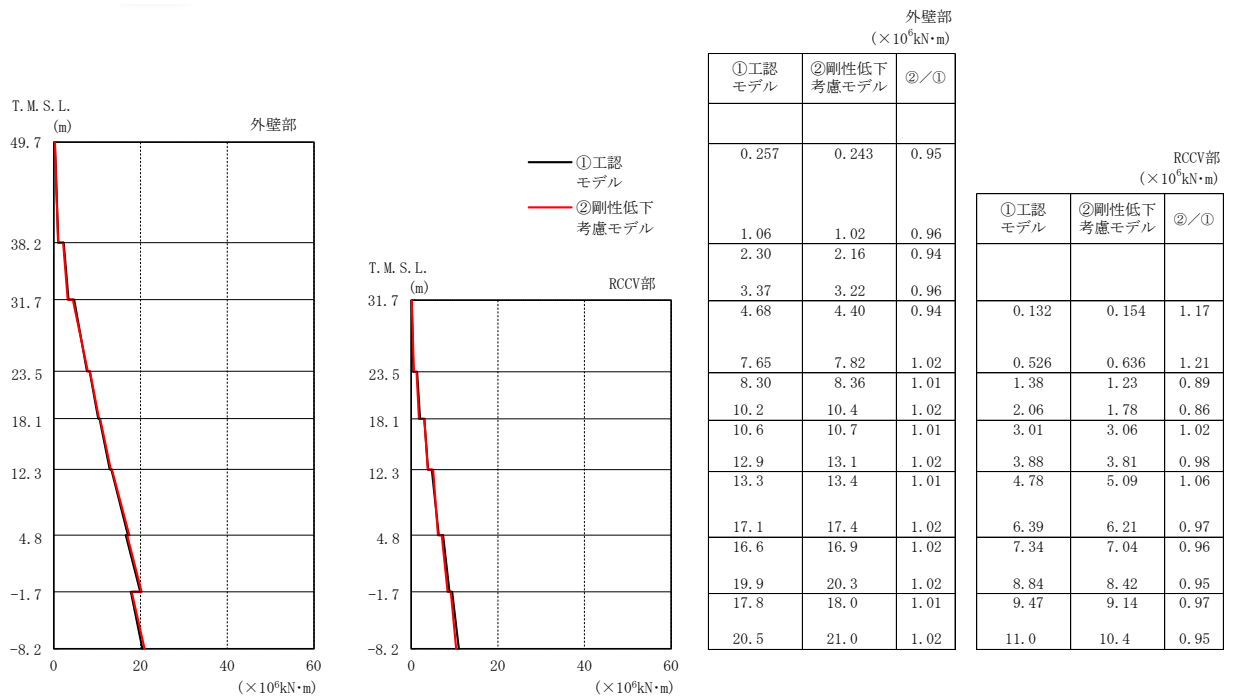


図 3-9 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS 方向)

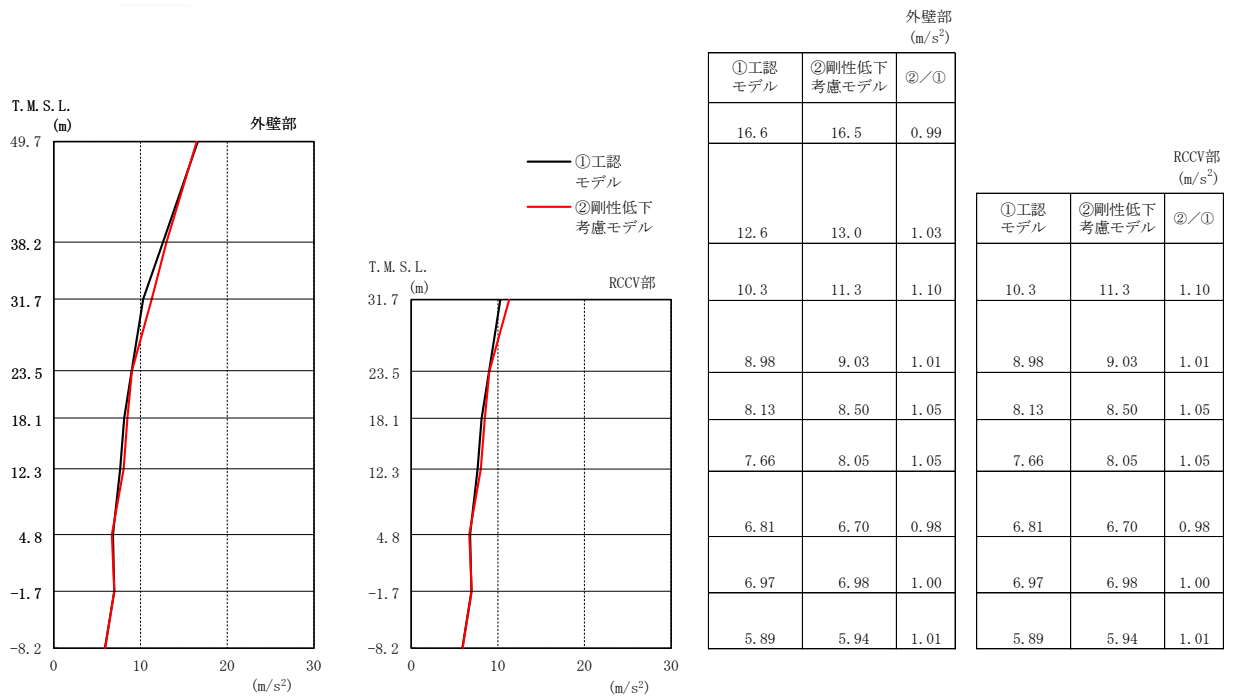


図 3-10 最大応答加速度 (Ss-1, EW 方向)

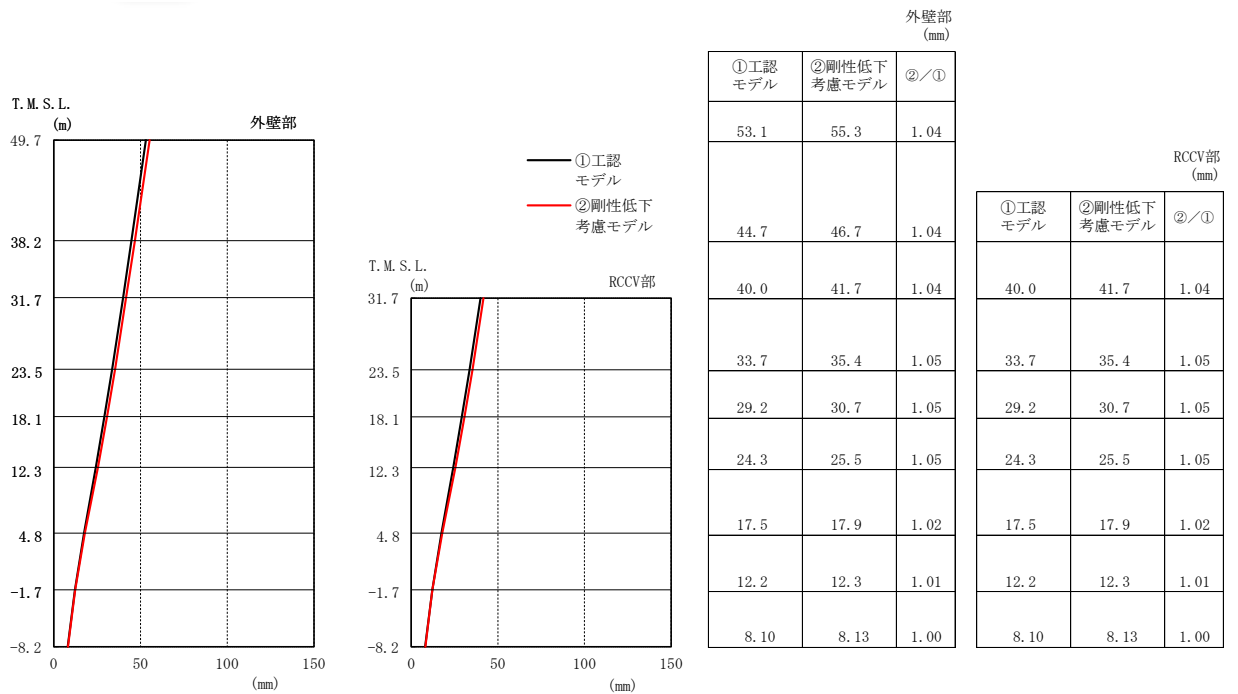


図 3-11 最大応答変位 (Ss-1, EW 方向)

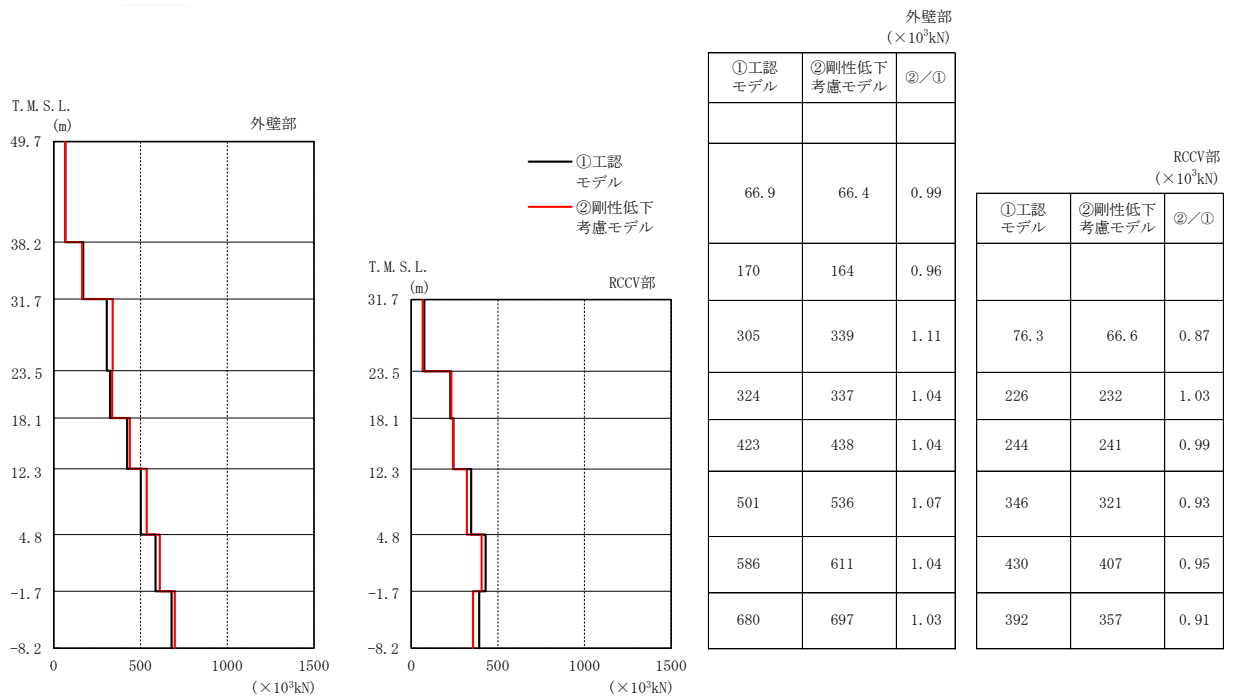


図 3-12 最大応答せん断力 (Ss-1, EW 方向)

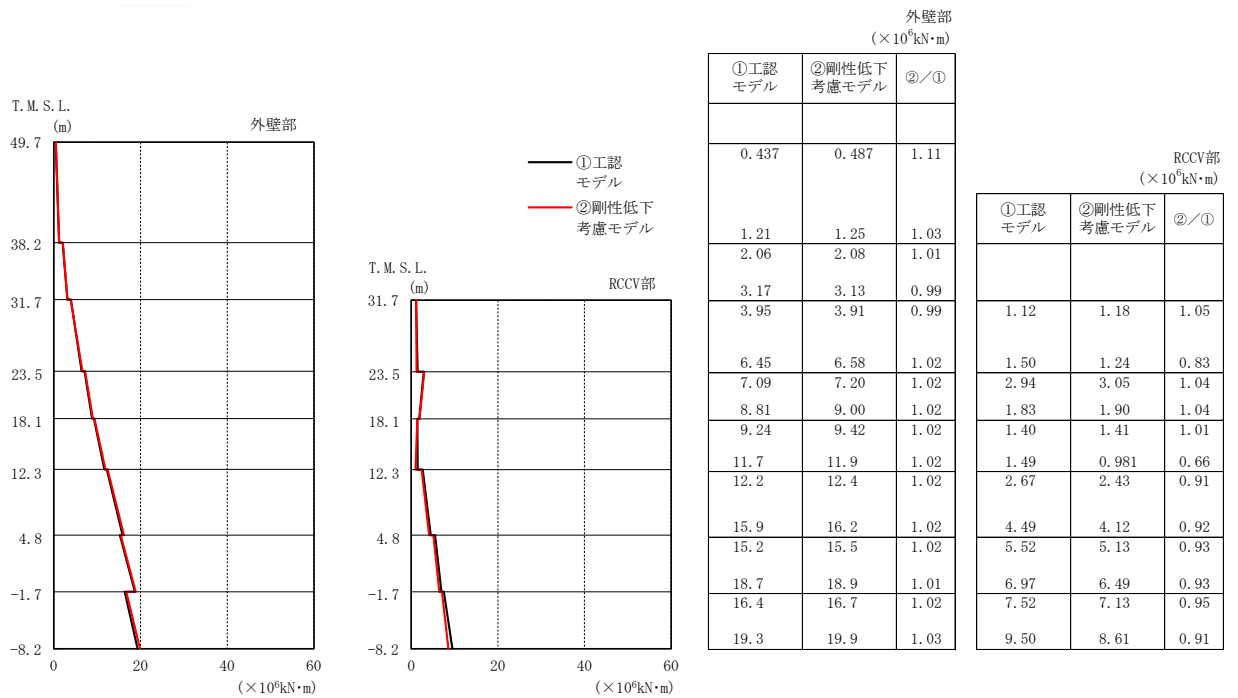


図 3-13 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW 方向)

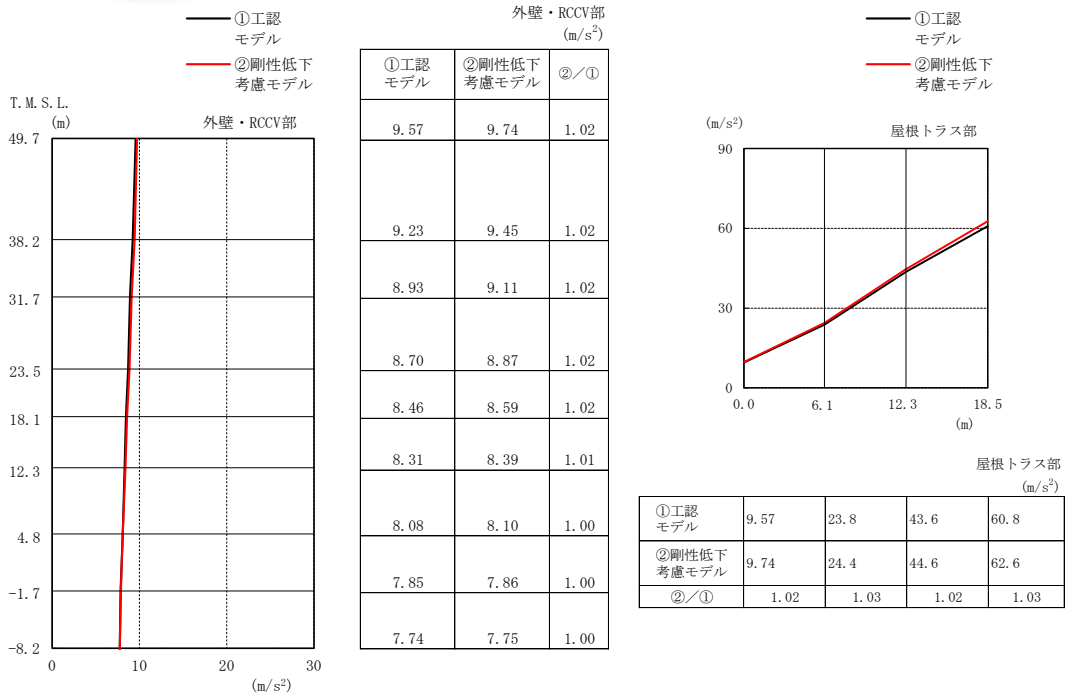


図 3-14 最大応答加速度 (Ss-1, 鉛直方向)

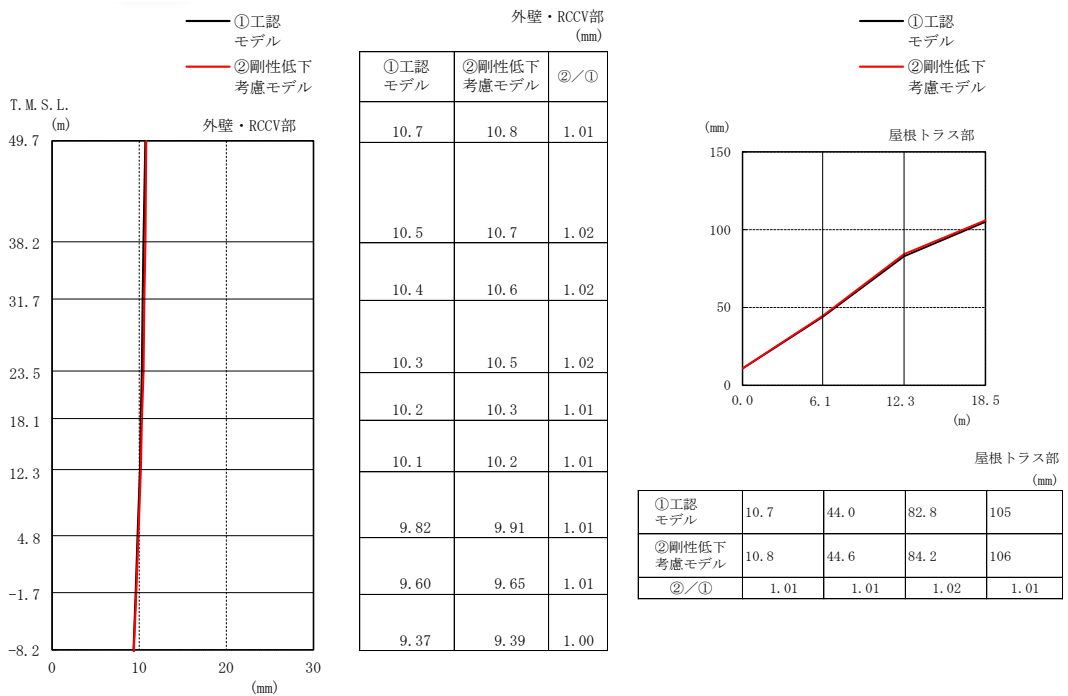


図 3-15 最大応答変位 (Ss-1, 鉛直方向)

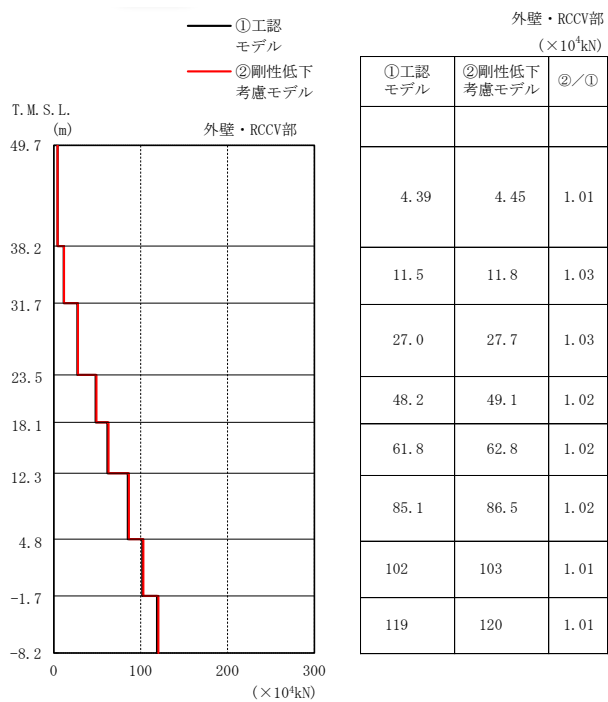


図 3-16 最大応答軸力 (S_s-1, 鉛直方向)

表 3-12 最大せん断ひずみ (1/2)

(a) NS 方向

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)		③応答比 (②/①)
	①工認モデル	②剛性低下 考慮モデル	
1	0.147	0.142	0.97
2	0.170	0.169	1.00
3	0.171	0.193	1.13
4	0.361	0.444	1.23
5	0.388	0.469	1.21
6	0.406	0.489	1.21
7	0.528	0.583	1.11
8	0.225	0.244	1.09
11	0.0499	0.0689	1.39
12	0.130	0.173	1.34
13	0.149	0.198	1.33
14	0.189	0.243	1.29
15	0.388	0.440	1.14
16	0.189	0.210	1.12

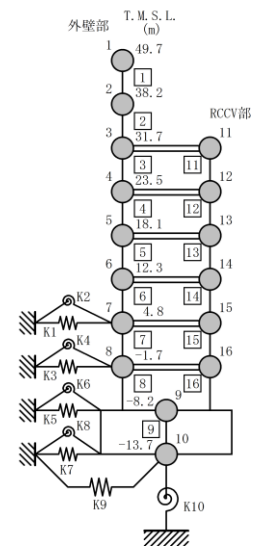
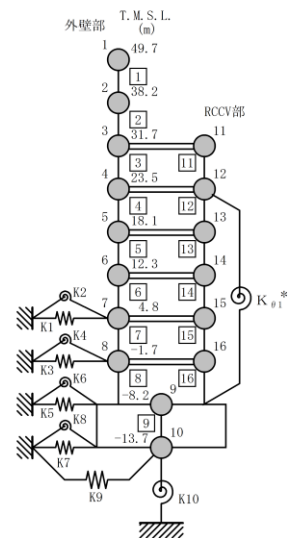
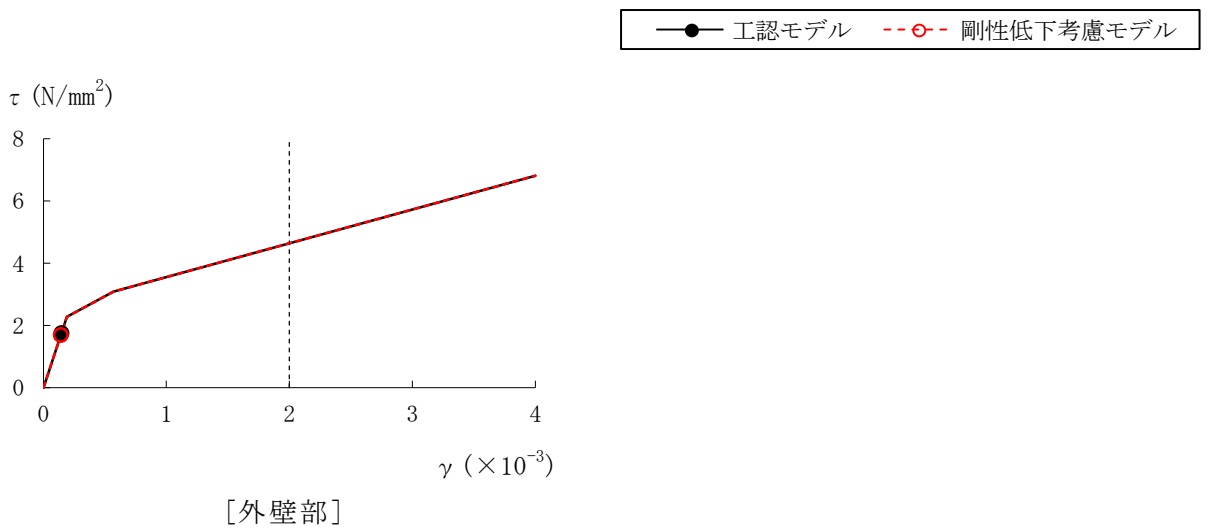


表 3-12 最大せん断ひずみ (2/2)

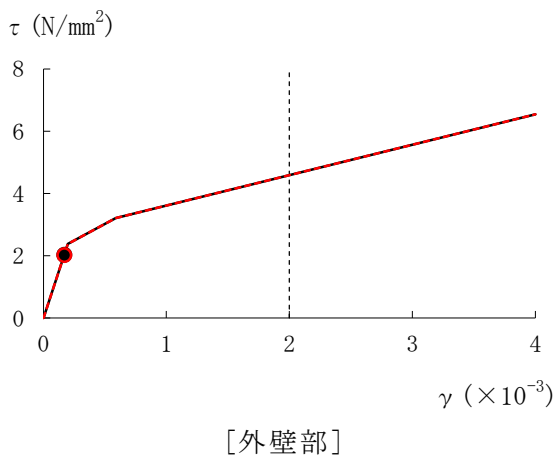
(b) EW 方向

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)		③応答比 (②/①)
	①工認モデル	②剛性低下 考慮モデル	
1	0.103	0.102	1.00
2	0.116	0.120	1.04
3	0.148	0.164	1.11
4	0.206	0.259	1.26
5	0.243	0.299	1.24
6	0.334	0.428	1.29
7	0.318	0.381	1.20
8	0.244	0.284	1.17
11	0.0292	0.0272	0.94
12	0.0848	0.108	1.28
13	0.0982	0.120	1.23
14	0.191	0.255	1.34
15	0.200	0.252	1.26
16	0.200	0.238	1.19

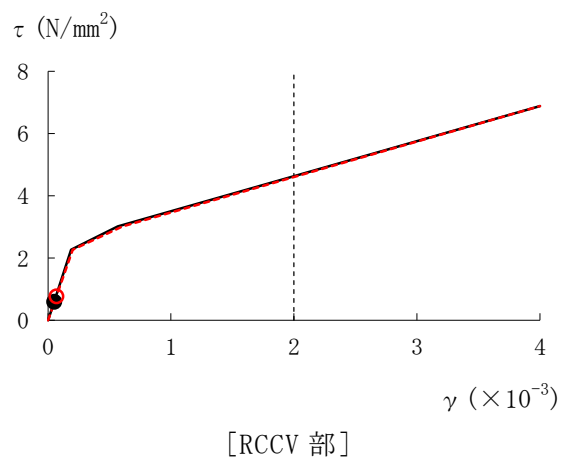
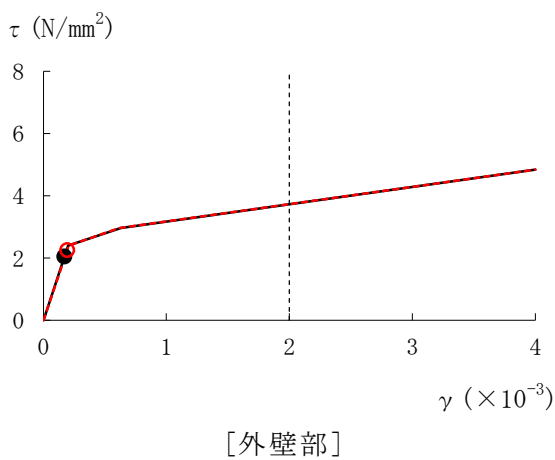




(a) CRF

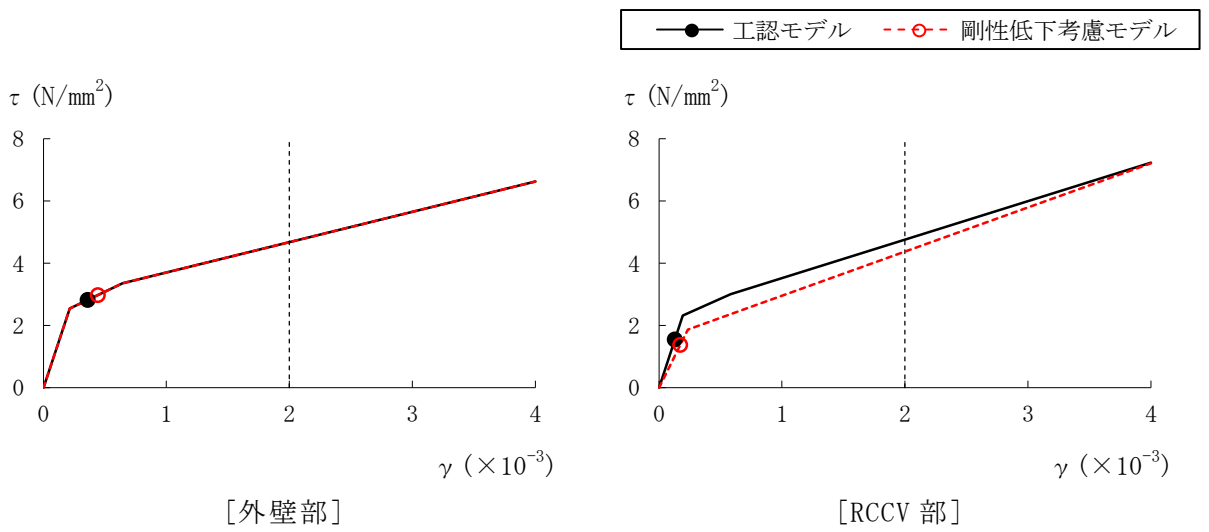


(b) 4F

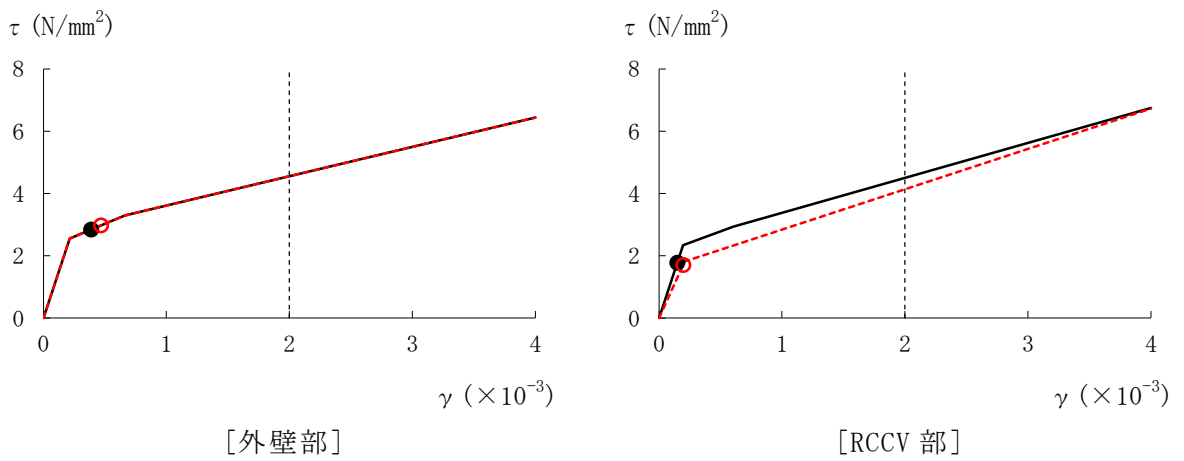


(c) 3F

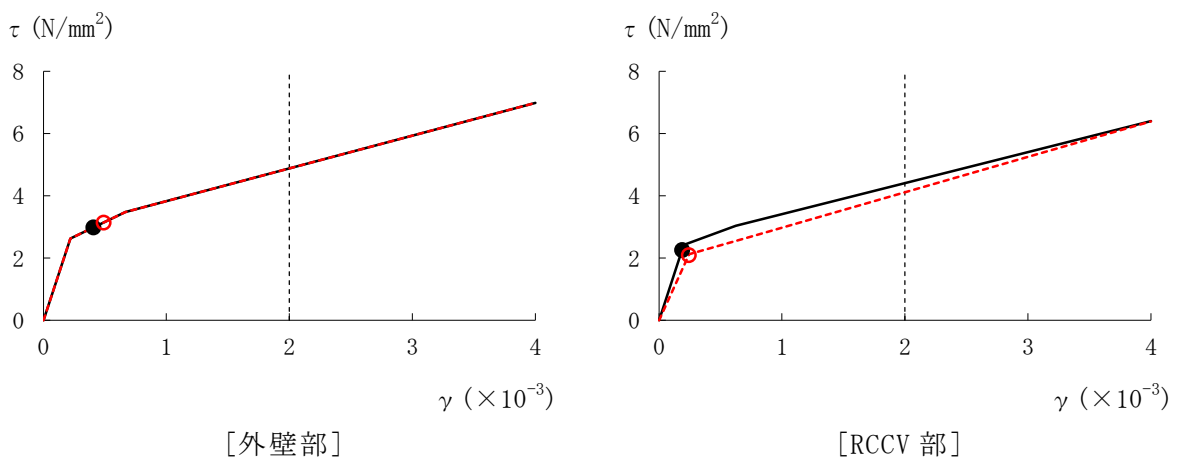
図 3-17 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1, NS 方向) (1/3)



(d) 2F

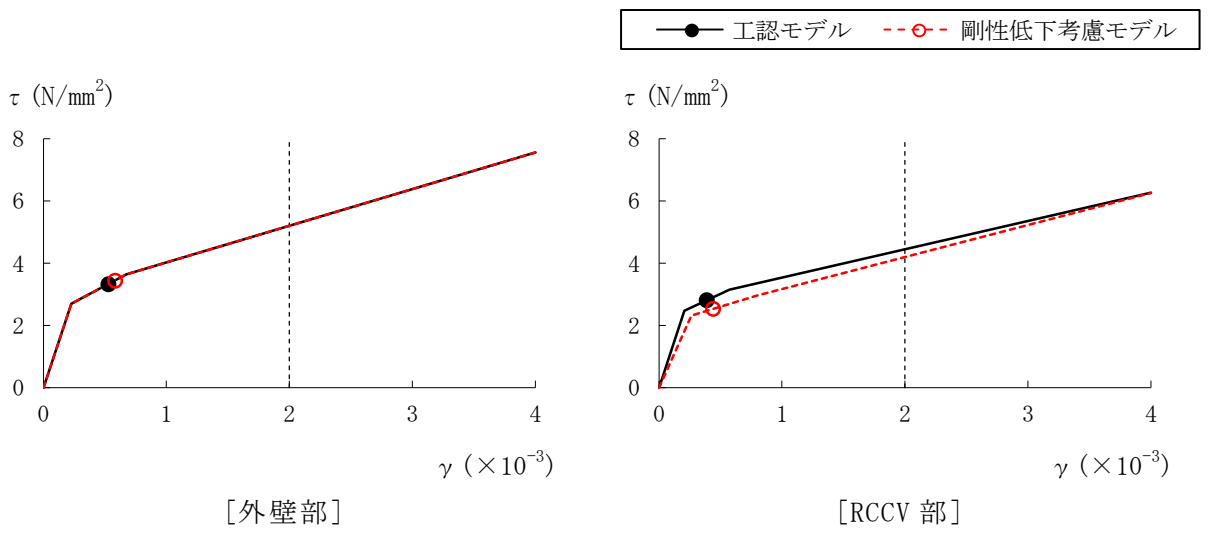


(e) 1F

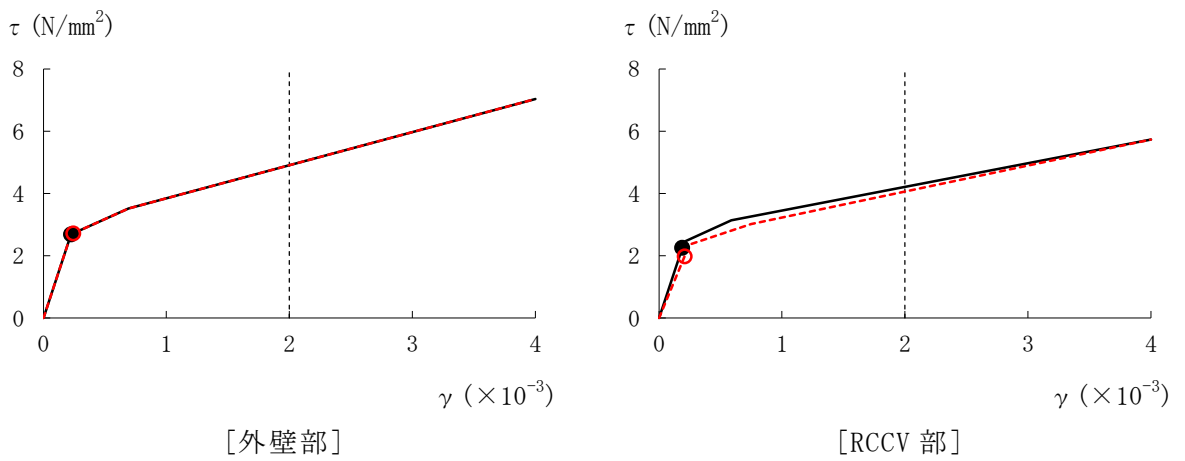


(f) B1F

図 3-17 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1, NS 方向) (2/3)

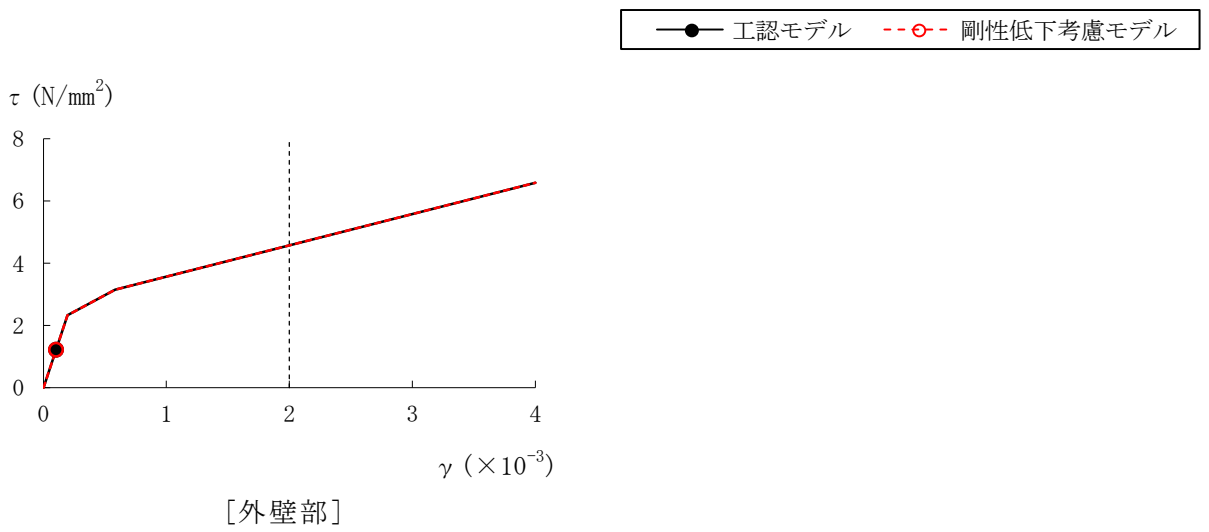


(g) B2F

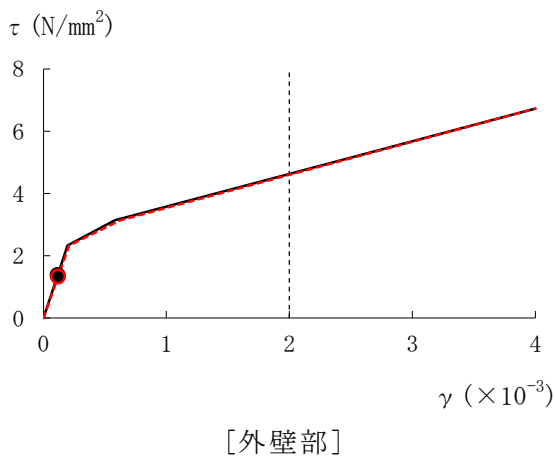


(h) B3F

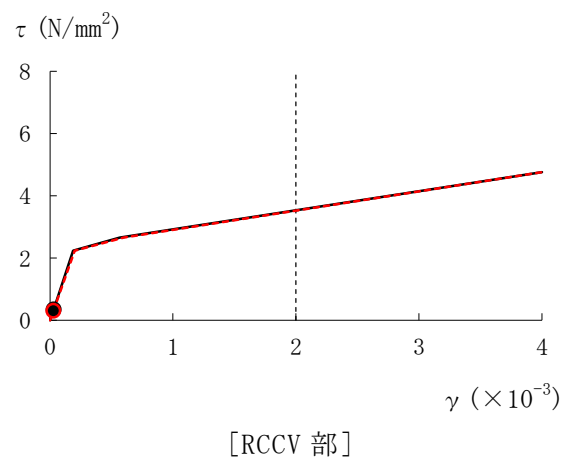
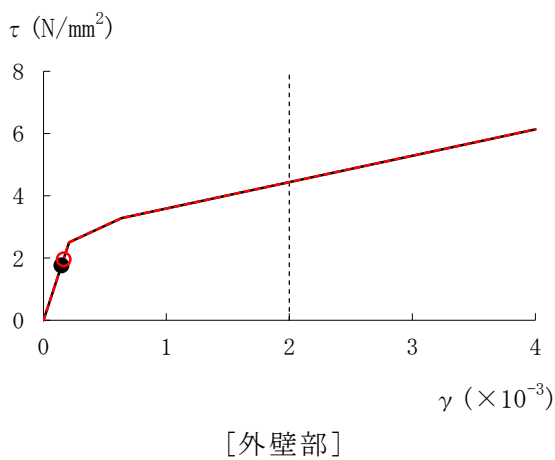
図 3-17 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1, NS 方向) (3/3)



(a) CRF



(b) 4F



(c) 3F

図 3-18 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1, EW 方向) (1/3)

表 3-13 最大接地圧

(単位：kN/m²)

地震動	最大接地圧				極限 支持力度
	NS 方向		EW 方向		
	工認モデル	剛性低下 考慮モデル	工認モデル	剛性低下 考慮モデル	
Ss-1	1890	1900 (1.01)	1890	1890 (1.00)	6170

注：（ ）内の数値は，剛性低下考慮モデル／工認モデルの比率を示す。

3.3 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響

「3.2 重大事故等時の高温による影響を考慮した原子炉建屋の地震応答解析」の地震応答解析結果を踏まえ、重大事故等時の熱によるコンクリート部材の剛性低下が、原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響について確認する。

3.3.1 検討方法

検討は、以下のとおり、保守的な評価とする。

せん断ひずみの検討では、材料物性の不確かさを考慮した基準地震動 Ss-1～Ss-8 に対する最大せん断ひずみの包絡値に、基準地震動 Ss-1 に対する「工認モデル」と「剛性低下考慮モデル」の応答比（「剛性低下考慮モデル」／「工認モデル」）を乗じた値が許容限界を超えないことを確認する。

接地圧の検討では、材料物性の不確かさを考慮した基準地震動 Ss-1～Ss-8 に対する最大接地圧の包絡値に、基準地震動 Ss-1 に対する「工認モデル」と「剛性低下考慮モデル」の応答比（「剛性低下考慮モデル」／「工認モデル」）の最大値を乗じた値が許容限界を超えないことを確認する。

また、基準地震動 Ss-1 に対する床応答スペクトルについて、「工認モデル」と「剛性低下考慮モデル」の比較を行う。

3.3.2 検討結果

(1) せん断ひずみの検討結果

最大せん断ひずみの検討における原子炉建屋の応答比及び応答比を乗じた最大せん断ひずみを表 3-14 に示す。

表 3-14 より、最大せん断ひずみに最大応答比を乗じた値が許容限界（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認した。

表 3-14 原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみに最大応答比を乗じた値

(a) NS 方向

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)		③応答比 (②/①)	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	①工認モデル	②剛性低下 考慮モデル		④材料物性の 不確かさ考慮 モデル	応答比を 乗じた値 (③ \times ④)
1	0.147	0.142	0.97	0.155	0.151
2	0.170	0.169	1.00	0.182	0.182
3	0.171	0.193	1.13	0.185	0.210
4	0.361	0.444	1.23	0.404	0.497
5	0.388	0.469	1.21	0.437	0.529
6	0.406	0.489	1.21	0.525	0.636
7	0.528	0.583	1.11	0.679	0.754
8	0.225	0.244	1.09	0.278	0.304
11	0.0499	0.0689	1.39	0.0633	0.0880
12	0.130	0.173	1.34	0.145	0.195
13	0.149	0.198	1.33	0.167	0.223
14	0.189	0.243	1.29	0.267	0.345
15	0.388	0.440	1.14	0.475	0.542
16	0.189	0.210	1.12	0.213	0.239

(b) EW 方向

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)		③応答比 (②/①)	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	①工認モデル	②剛性低下 考慮モデル		④材料物性の 不確かさ考慮 モデル	応答比を 乗じた値 (③ \times ④)
1	0.103	0.102	1.00	0.110	0.110
2	0.116	0.120	1.04	0.120	0.125
3	0.148	0.164	1.11	0.159	0.177
4	0.206	0.259	1.26	0.249	0.314
5	0.243	0.299	1.24	0.305	0.379
6	0.334	0.428	1.29	0.570	0.736
7	0.318	0.381	1.20	0.554	0.665
8	0.244	0.284	1.17	0.390	0.457
11	0.0292	0.0272	0.94	0.0326	0.0307
12	0.0848	0.108	1.28	0.103	0.132
13	0.0982	0.120	1.23	0.129	0.159
14	0.191	0.255	1.34	0.381	0.511
15	0.200	0.252	1.26	0.390	0.492
16	0.200	0.238	1.19	0.327	0.390

(2) 接地圧の検討結果

材料物性の不確かさを考慮した基準地震動 Ss-1～Ss-8 に対する最大接地圧の包絡値に、最大応答比を乗じた値を表 3-15 に示す。

表 3-15 より、最大接地圧の包絡値に最大応答比を乗じた値が、地盤の極限支持力 (6170kN/m²) を超えないことを確認した。

表 3-15 最大接地圧の包絡値に最大応答比を乗じた値

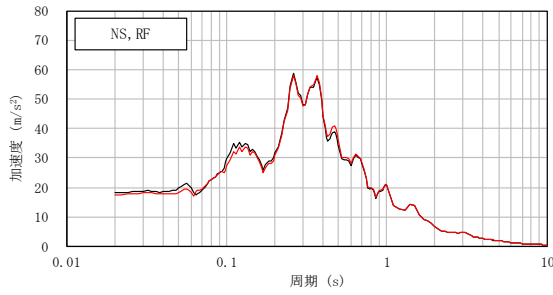
材料物性の不確かさ考慮モデル			基準地震動Ss-1に対する応答比 (「剛性低下考慮モデル」 / 「工認モデル」)	確認結果 ①×②
地震動	方向	最大接地圧①	最大応答比②	
Ss-2	EW方向	2620 kN/m ²	1.01	2650 kN/m ²

(3) 床応答スペクトルの検討結果

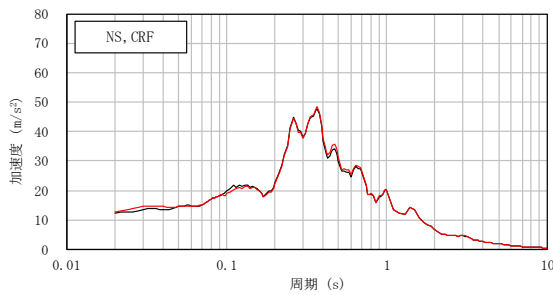
地震応答解析モデルの全質点の床応答スペクトルについて、「剛性低下考慮モデル」と「工認モデル」の比較結果を図 3-19～図 3-21 に示す。

床応答スペクトルの比較を行った結果、全体的な傾向として、「剛性低下考慮モデル」の応答と「工認モデル」の応答がおおむね同等であることを確認した。

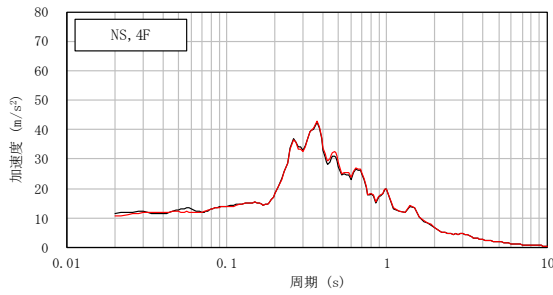
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



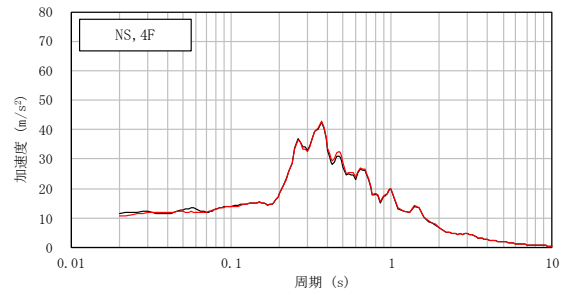
質点 1



質点 2



質点 3



質点 11

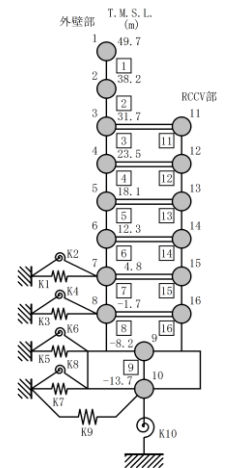
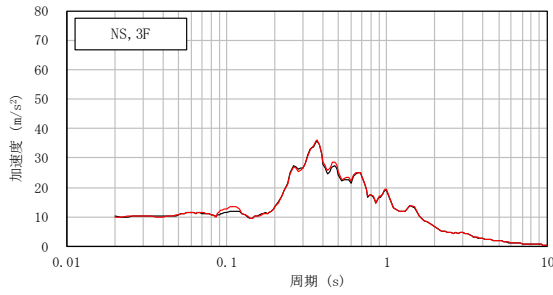
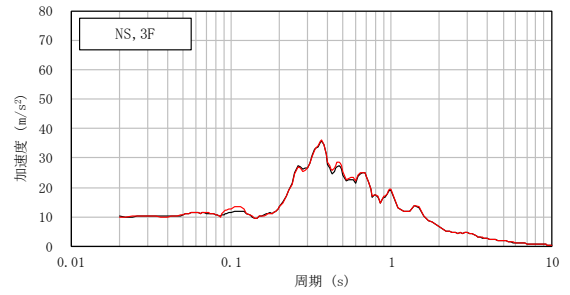


図 3-19 床応答スペクトルの比較 (Ss-1, NS 方向, 減衰 5%) (1/3)

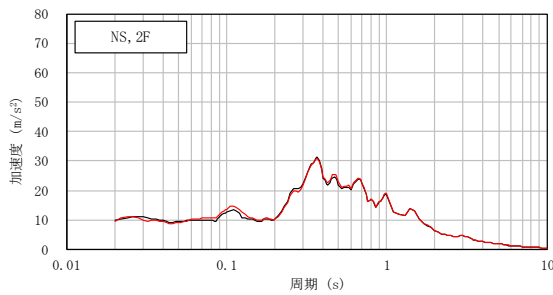
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



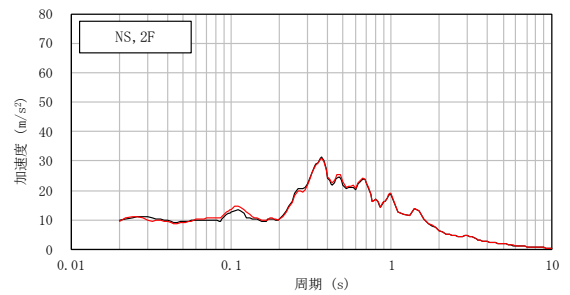
質点 4



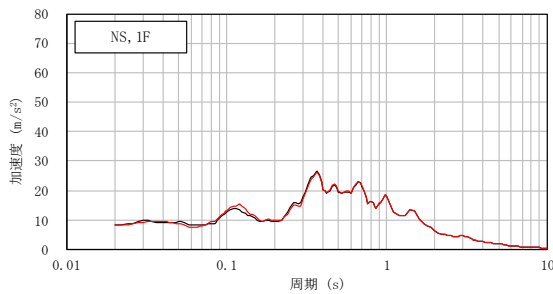
質点 12



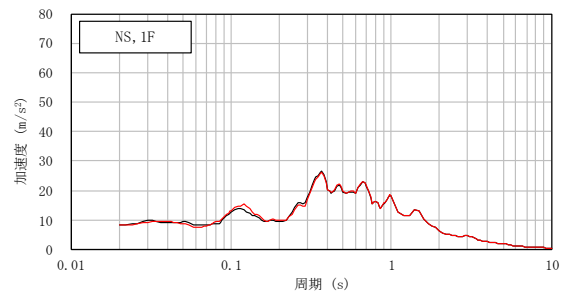
質点 5



質点 13



質点 6



質点 14

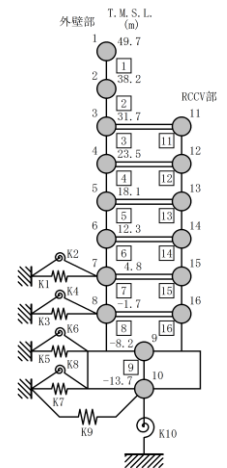
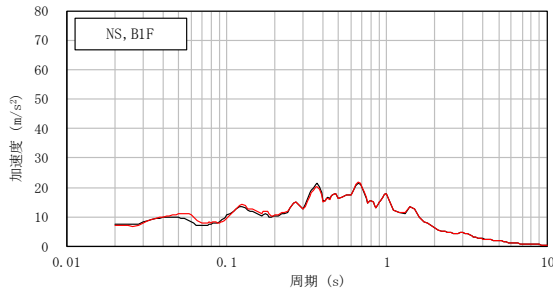
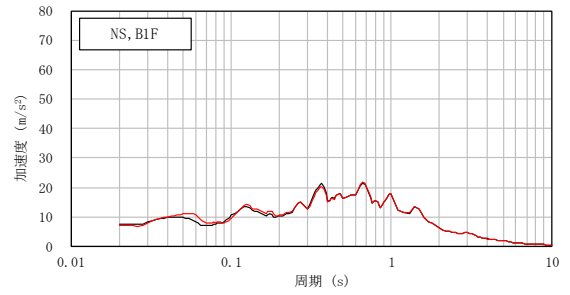


図 3-19 床応答スペクトルの比較 (S_s-1, NS 方向, 減衰 5%) (2/3)

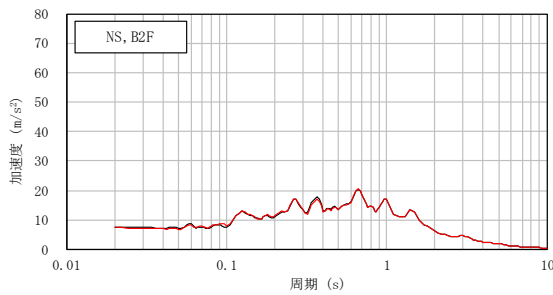
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



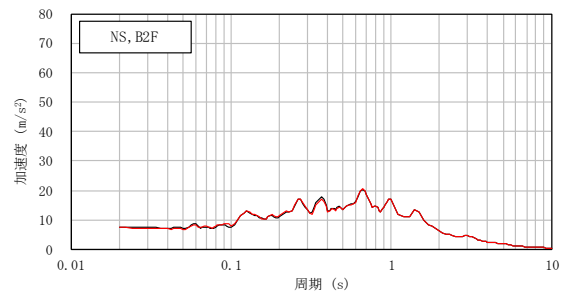
質点 7



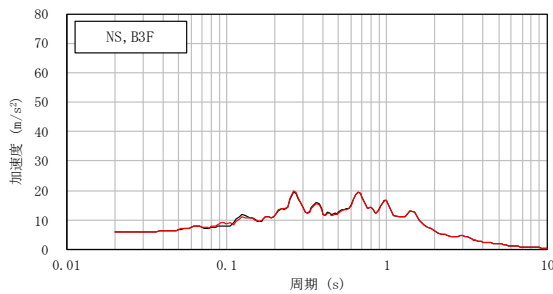
質点 15



質点 8



質点 16



質点 9

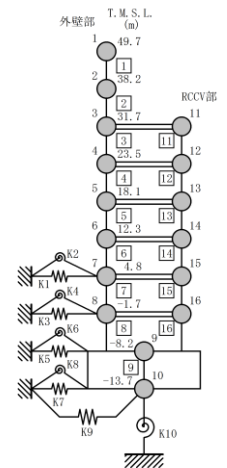
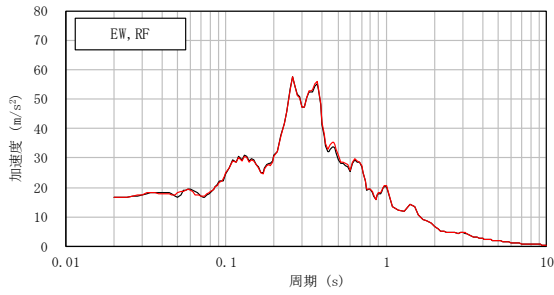
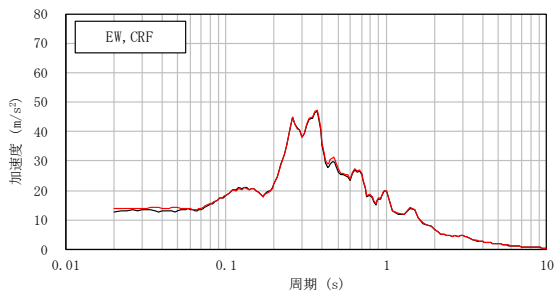


図 3-19 床応答スペクトルの比較 (Ss-1, NS 方向, 減衰 5%) (3/3)

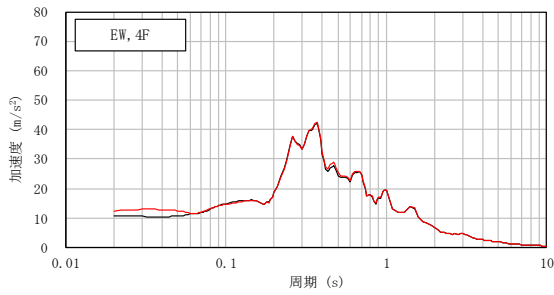
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



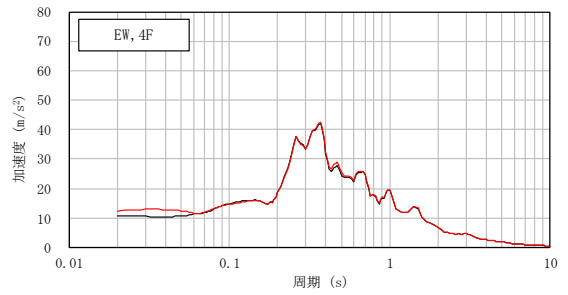
質点 1



質点 2



質点 3



質点 11

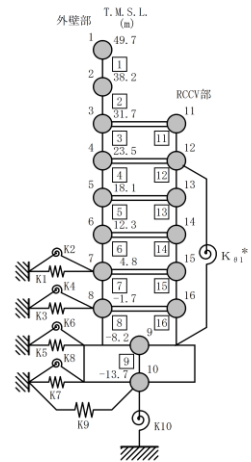
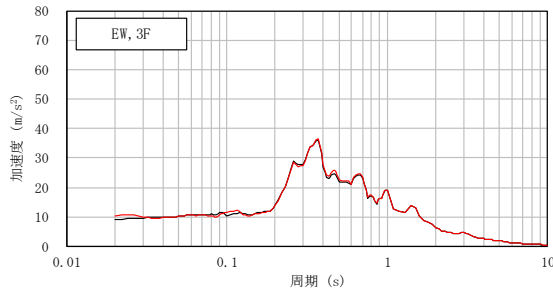
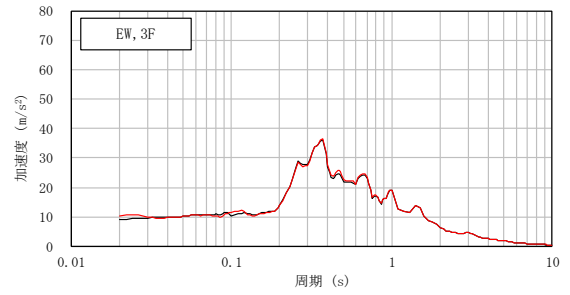


図 3-20 床応答スペクトルの比較 (Ss-1, EW 方向, 減衰 5%) (1/3)

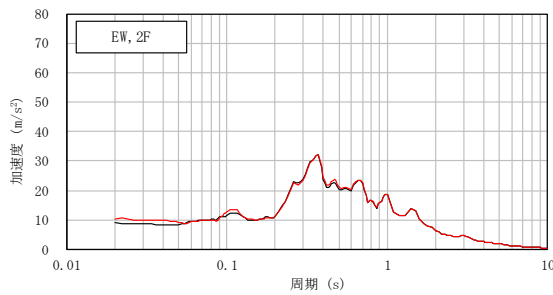
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



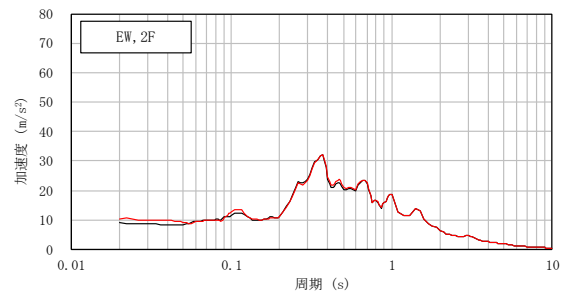
質点 4



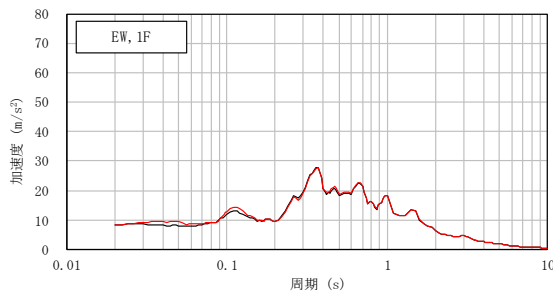
質点 12



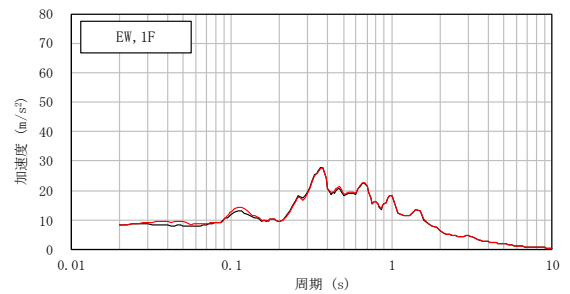
質点 5



質点 13



質点 6



質点 14

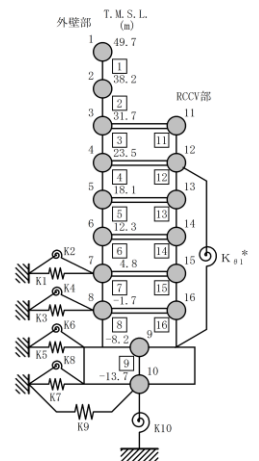
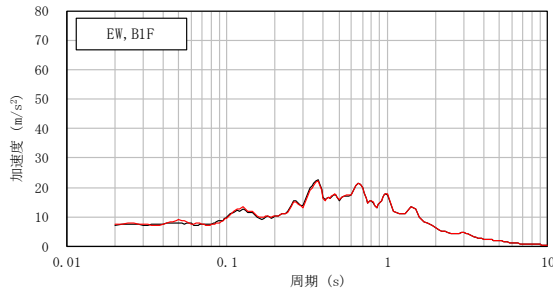
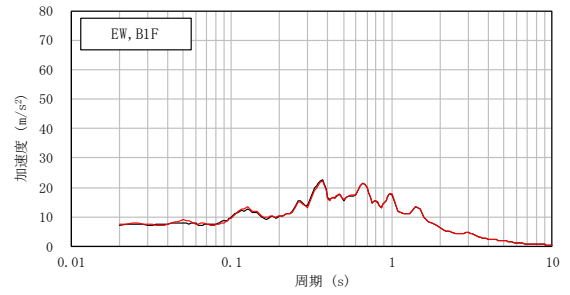


図 3-20 床応答スペクトルの比較 (Ss-1, EW 方向, 減衰 5%) (2/3)

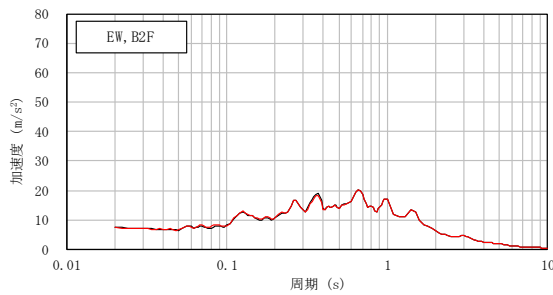
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



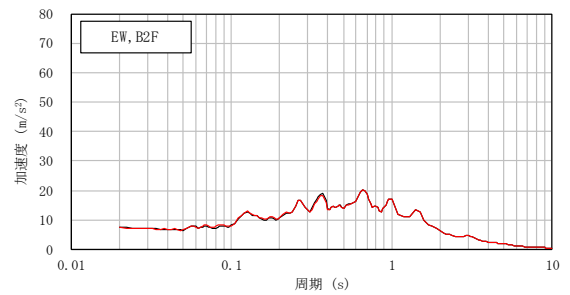
質点 7



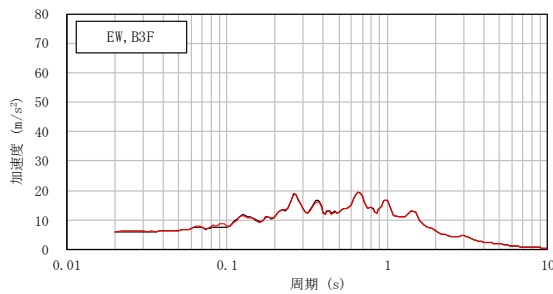
質点 15



質点 8



質点 16



質点 9

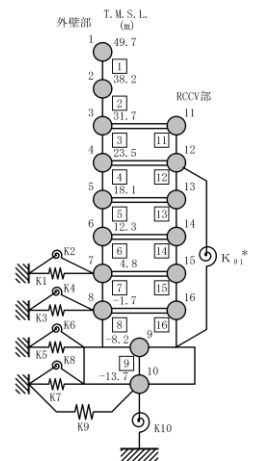
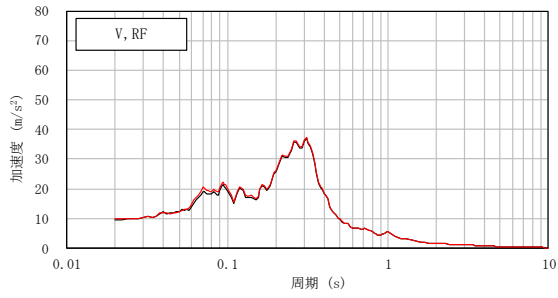
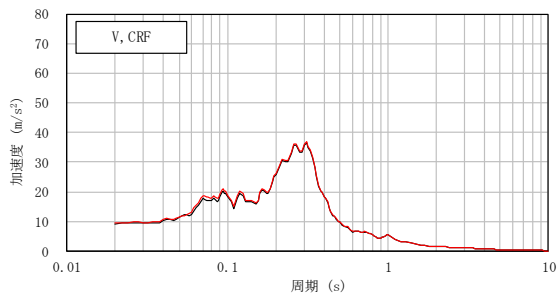


図 3-20 床応答スペクトルの比較 (Ss-1, EW 方向, 減衰 5%) (3/3)

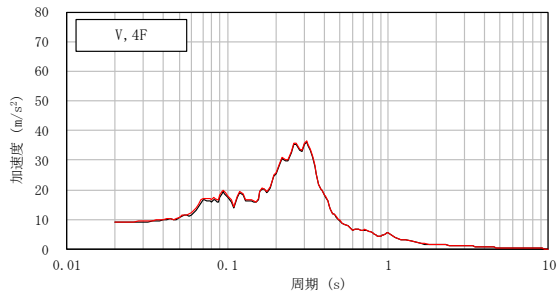
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



質点 1



質点 2



質点 3

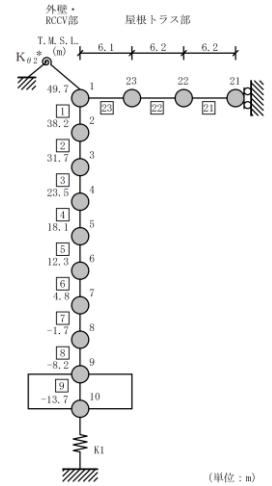
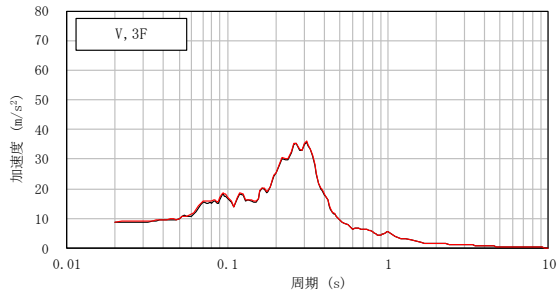
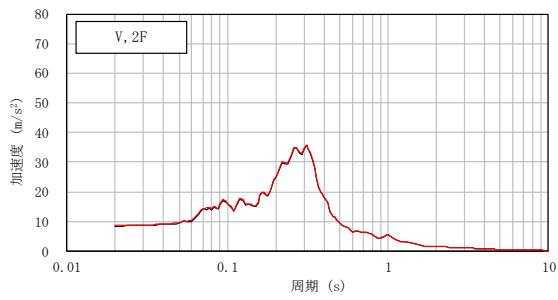


図 3-21 床応答スペクトルの比較 (Ss-1, 鉛直方向, 減衰 5%) (1/3)

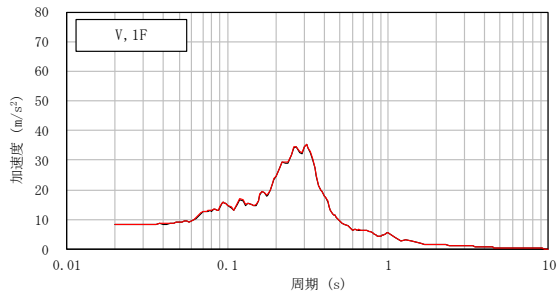
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



質点 4



質点 5



質点 6

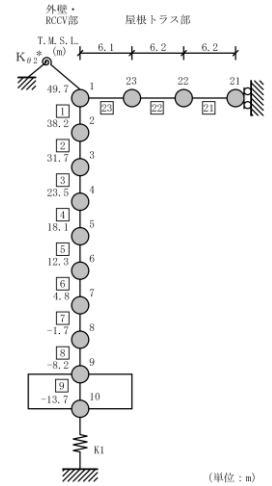
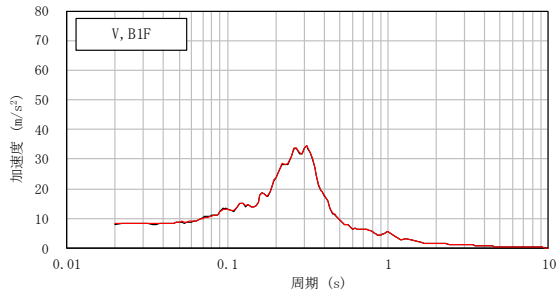
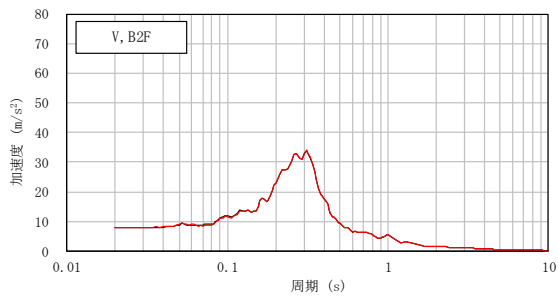


図 3-21 床応答スペクトルの比較 (Ss-1, 鉛直方向, 減衰 5%) (2/3)

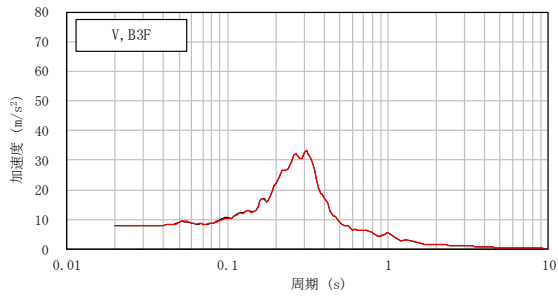
— 工認モデル — 剛性低下考慮モデル



質点 7



質点 8



質点 9

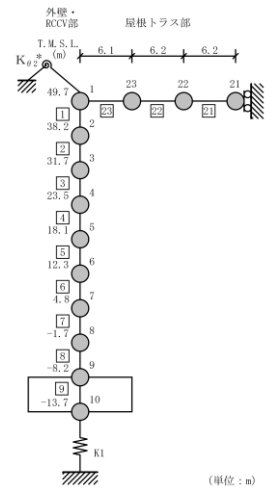


図 3-21 床応答スペクトルの比較 (Ss-1, 鉛直方向, 減衰 5%) (3/3)

4. 機器・配管系の評価に与える影響

重大事故等時の高温による影響に対して設備の評価に与える影響確認を行う。影響確認はV-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルである「工認モデル」の地震応答解析結果、又は、V-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示す原子炉圧力容器、原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎等（以下「大型機器系」という。）の地震応答解析モデル（以下「大型機器系の地震応答解析モデル」という。）の地震応答解析結果を耐震評価に用いる常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に対して行う。

4.1 原子炉建屋の地震応答解析結果による影響

4.1.1 検討方針

機器・配管系への重大事故等時の高温による影響の考慮にあたり、「3.2.1 解析条件」の「剛性低下考慮モデル」の温度条件に加えてさらに重大事故等時の水位条件を考慮した原子炉建屋の地震応答解析モデル（以下「SA時環境考慮モデル」という。）の応答を求め「工認モデル」の地震応答解析結果と比較する。「SA時環境考慮モデル」の温度、水位条件を表4-1に記載する。また、「SA時環境考慮モデル」のモデル諸元を別紙5-2(6)に示す。

影響確認は「SA時環境考慮モデル」による最大応答加速度及び床応答スペクトルと、「工認モデル」による設計用最大応答加速度及び床応答スペクトルの比較により行う。

比較に用いる地震動は「3.1 検討方針」に記載される基準地震動 S_s-1 に加え、機器・配管系への重大事故等時の高温の影響を確認する観点からV-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」の結果より原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎等で地震荷重が大きくなる傾向となる基準地震動 S_s-2 を選定する。また、「工認モデル」による設計用最大応答加速度及び床応答スペクトルとの比較には、「SA時環境考慮モデル」での基準地震動 S_s-1 及び S_s-2 の地震応答解析結果を包絡したものをを用いる。

表 4-1 「SA 時環境考慮モデル」に適用する解析条件

項目		工認モデル	SA 時環境考慮モデル	SA 時環境考慮モデル設定の考え方
温度	RCCV 内温度 (°C)	—	168	重大事故等時の有効性評価の「格納容器過圧・過温破損（代替循環冷却系を使用しない場合）」における最高温度* ¹ を設定した。
	RCCV 外の原子炉建屋内温度 (使用済燃料貯蔵プール, 機器仮置ピット及び 4F 以上) (°C)	—	77	原子炉建屋原子炉区域内での重大事故等対処設備の環境温度* ² より設定した。
	RCCV 外の原子炉建屋内温度 (3F~B3F) (°C)	—	66	
	外気温 (°C)	—	40	屋外の重大事故等対処設備の環境温度* ² より設定した。
水位	サプレッションプール 水位 (m)	7.10 (T. M. S. L. -1.10)	17.15 (T. M. S. L. 8.95)	重大事故等時の格納容器スプレイは格納容器ベントライン水没防止のため、水位がベントライン-1mを超えないように格納容器スプレイを停止するが、保守性を考慮して格納容器ベントライン下端までの水位を設定した。* ³
	下部ドライウエル 水位 (m)	—	14.00 (T. M. S. L. 7.40)	重大事故等時の有効性評価の「格納容器過圧・過温破損（代替循環冷却系を使用しない場合）」において最大となる水位を設定した。* ³

注記* 1 : 補足説明資料「重大事故等対処施設の耐震設計における重大事故と地震の組合せについて」(KK7 補足-024-6)

* 2 : V-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」

* 3 : V-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」

4.1.2 検討結果

最大応答加速度と床応答スペクトルの比較結果（水平方向（NS，EW 方向包絡）及び鉛直方向）を，表 4-2 及び図 4-1 に示す。なお，床応答スペクトルは代表減衰 1.0%にて比較した。「SA 時環境考慮モデル」の応答は，「工認モデル」の設計用最大応答加速度及び床応答スペクトル（V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示す設計用最大応答加速度Ⅰ，設計用最大応答加速度Ⅱ，設計用床応答曲線Ⅰ及び設計用床応答曲線Ⅱ）の結果に比べ，僅かに大きくなるフロア，周期帯があるものの，概ね下回ることを確認した。このため，「工認モデル」の地震応答解析結果を耐震評価に用いる常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備への影響は小さいものとする。

表 4-2 最大応答加速度の比較（水平方向）（1/2）

構造物名	質点番号	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度(9.80665m/s ²)×1.2				
			S _s (S _s -1,2包絡)	S _s			
			①SA時環境 考慮モデル	②設計用最大 応答加速度Ⅰ	比率(①/②)	③設計用最大 応答加速度Ⅱ	比率(①/③)
原子炉建屋	1	49.700	2.06	2.27	0.91	2.73	0.76
	2	38.200	1.59	1.63	0.98	2.03	0.79
	3	31.700	1.37	1.38	1.00	1.71	0.81
	4	23.500	1.23	1.21	1.02	1.51	0.82
	5	18.100	1.13	1.13	1.00	1.45	0.78
	6	12.300	1.04	1.07	0.98	1.40	0.75
	7	4.800	0.99	0.99	1.00	1.27	0.78
	8	-1.700	1.04	1.03	1.01	1.30	0.80
	9	-8.200	0.83	0.89	0.94	1.19	0.70
	10	-13.700	0.80	0.85	0.95	1.14	0.71

表 4-2 最大応答加速度の比較（鉛直方向）（2/2）

構造物名	質点番号	標高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度(9.80665m/s ²)×1.2				
			S _s (S _s -1,2包絡)	S _s			
			①SA時環境 考慮モデル	②設計用最大 応答加速度Ⅰ	比率(①/②)	③設計用最大 応答加速度Ⅱ	比率(①/③)
原子炉建屋	1	49.700	1.19	1.23	0.97	1.50	0.80
	2	38.200	1.15	1.18	0.98	1.45	0.80
	3	31.700	1.11	1.15	0.97	1.41	0.79
	4	23.500	1.08	1.12	0.97	1.38	0.79
	5	18.100	1.05	1.08	0.98	1.34	0.79
	6	12.300	1.03	1.05	0.98	1.33	0.78
	7	4.800	1.00	1.00	1.00	1.29	0.78
	8	-1.700	0.97	1.00	0.97	1.27	0.77
	9	-8.200	0.96	1.00	0.96	1.24	0.78
	10	-13.700	0.96	1.00	0.96	1.24	0.78

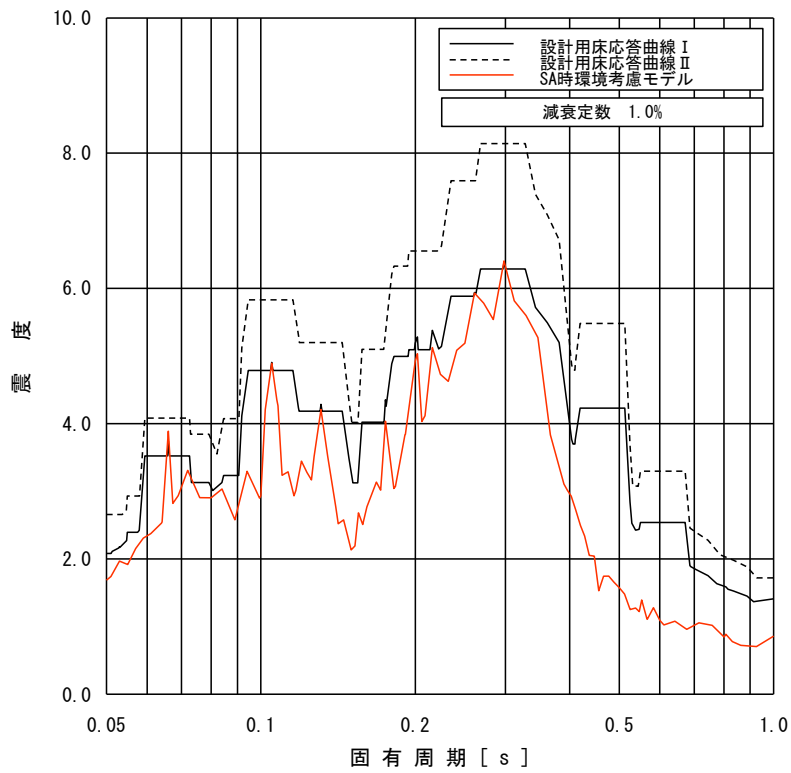
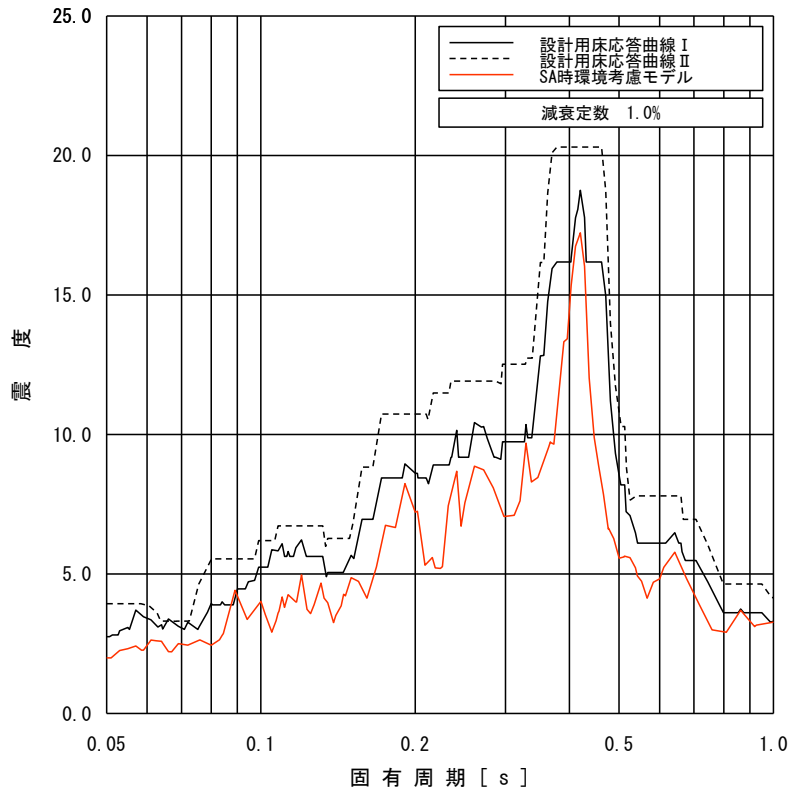


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (1/9)

(原子炉建屋, T.M.S.L. 49.7m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

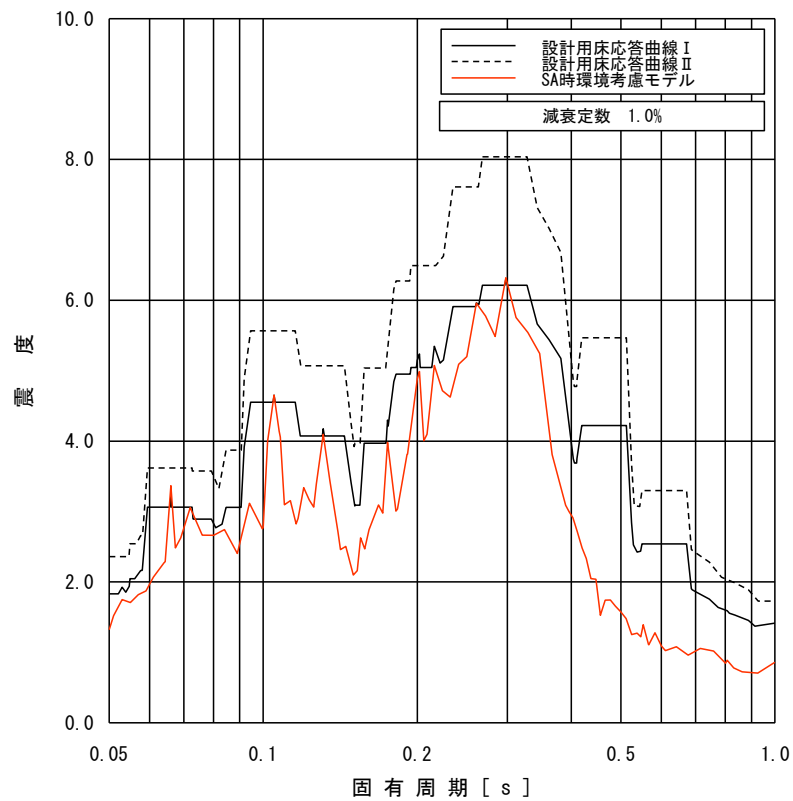
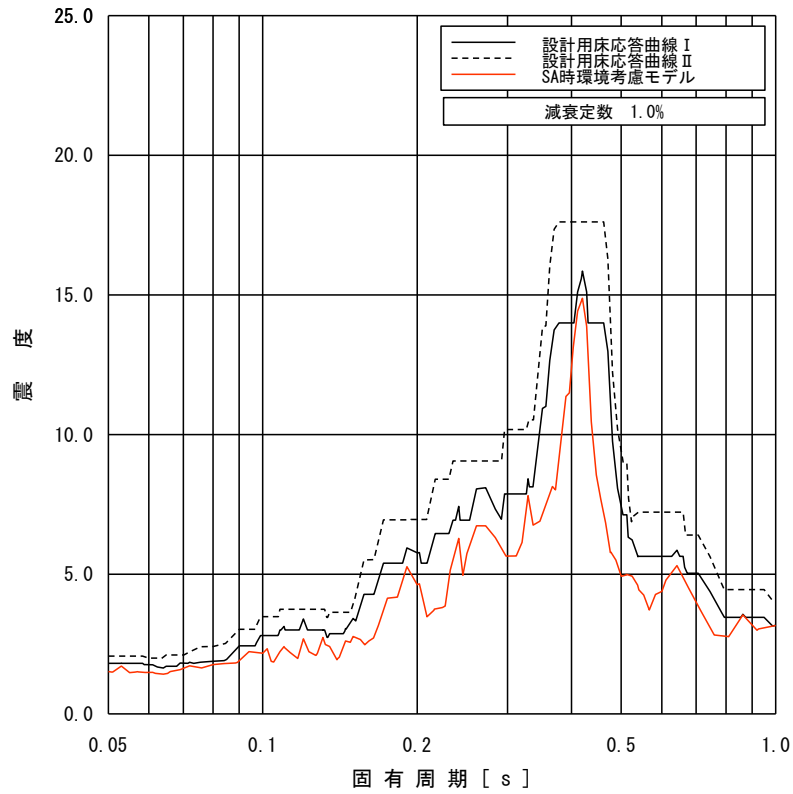


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (2/9)

(原子炉建屋, T.M.S.L. 38.2m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

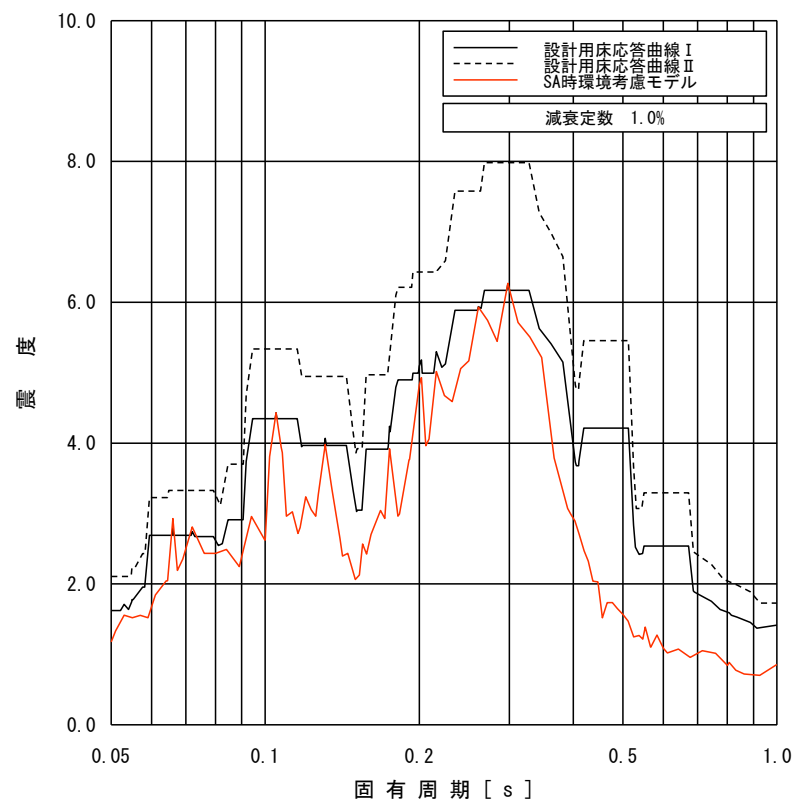
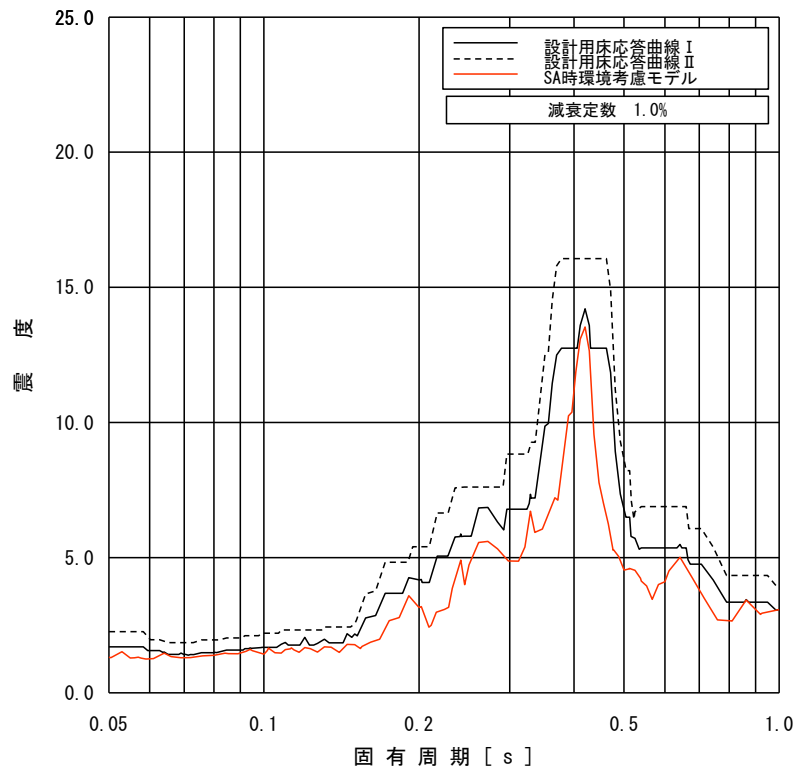


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (3/9)

(原子炉建屋, T.M.S.L. 31.7m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

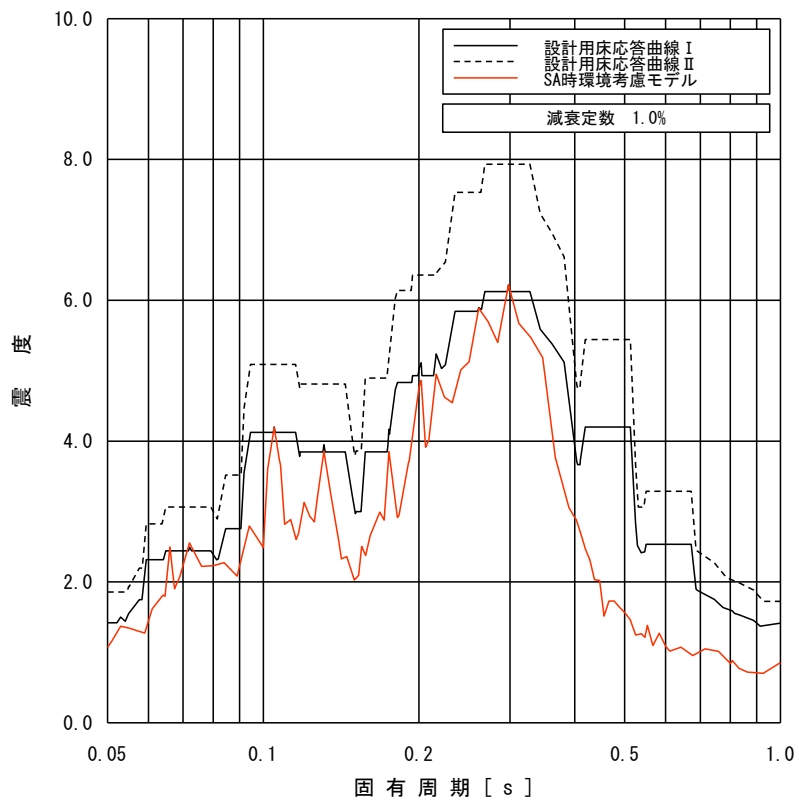
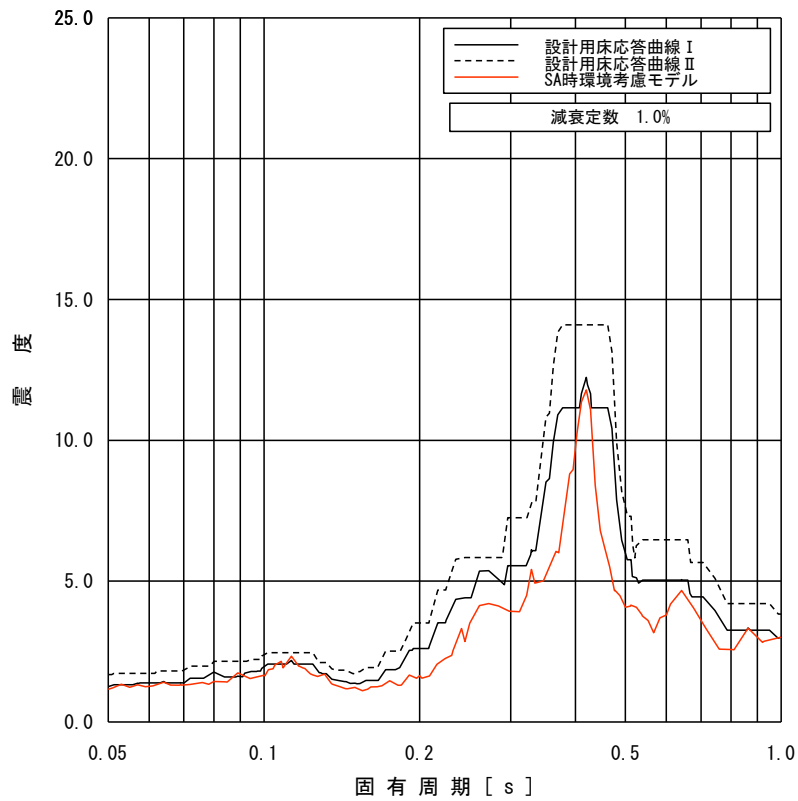


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (4/9)

(原子炉建屋, T.M.S.L. 23.5m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

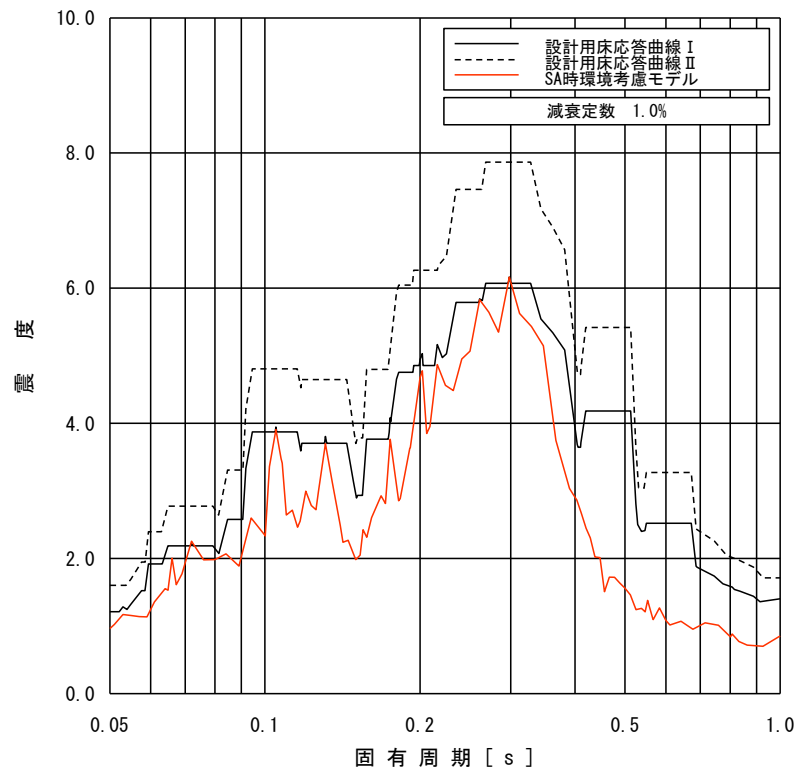
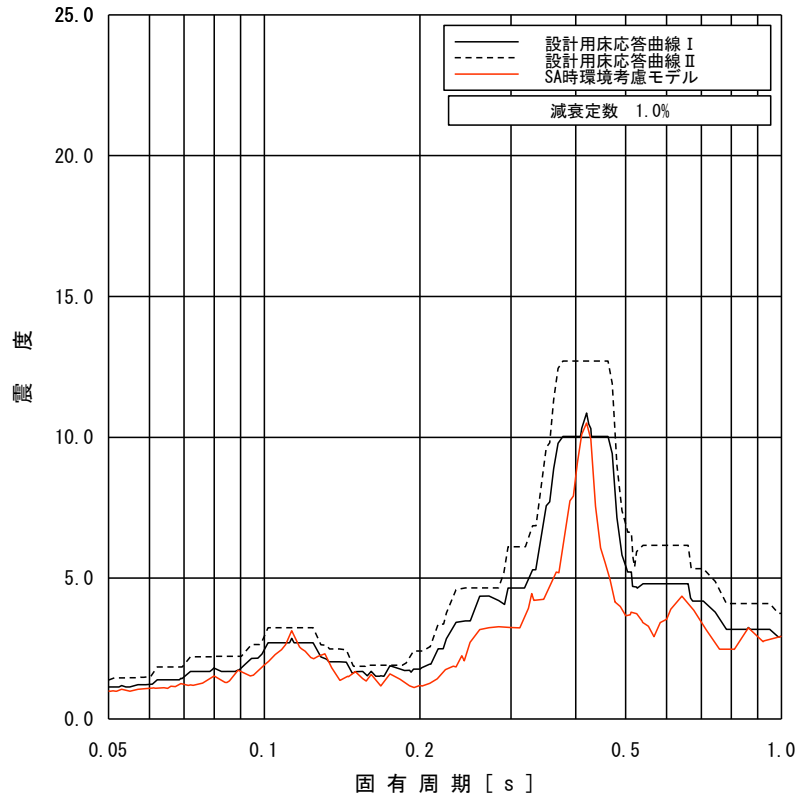


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (5/9)

(原子炉建屋, T.M.S.L. 18.1m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

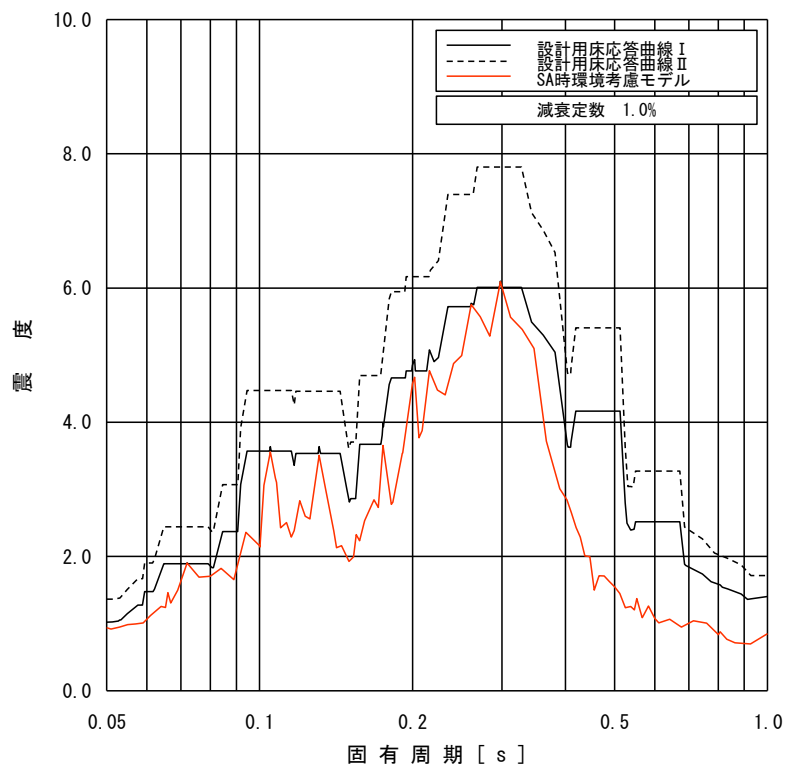
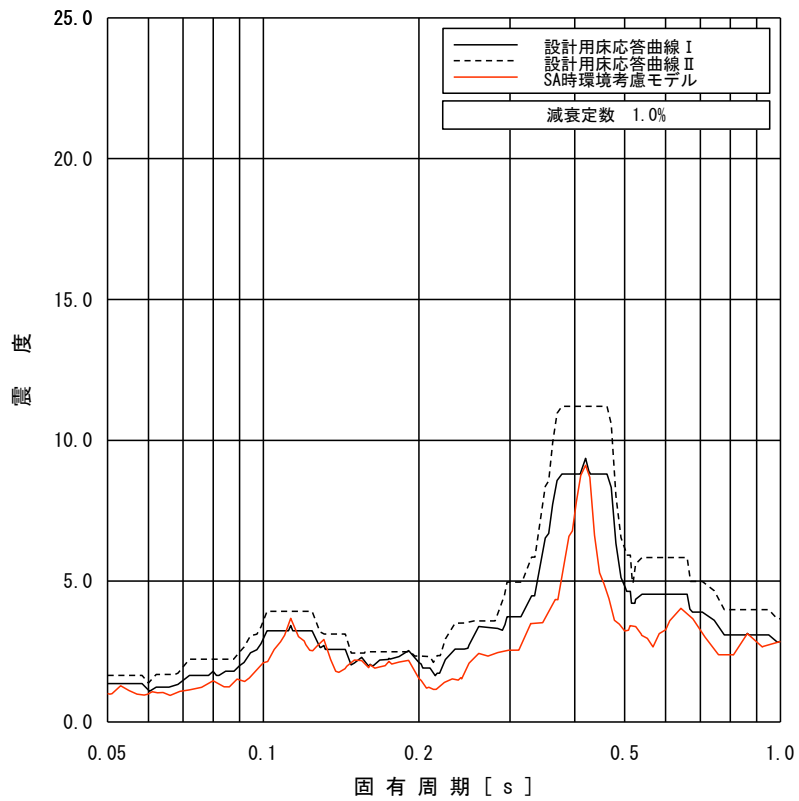


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (6/9)

(原子炉建屋, T.M.S.L. 12.3m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

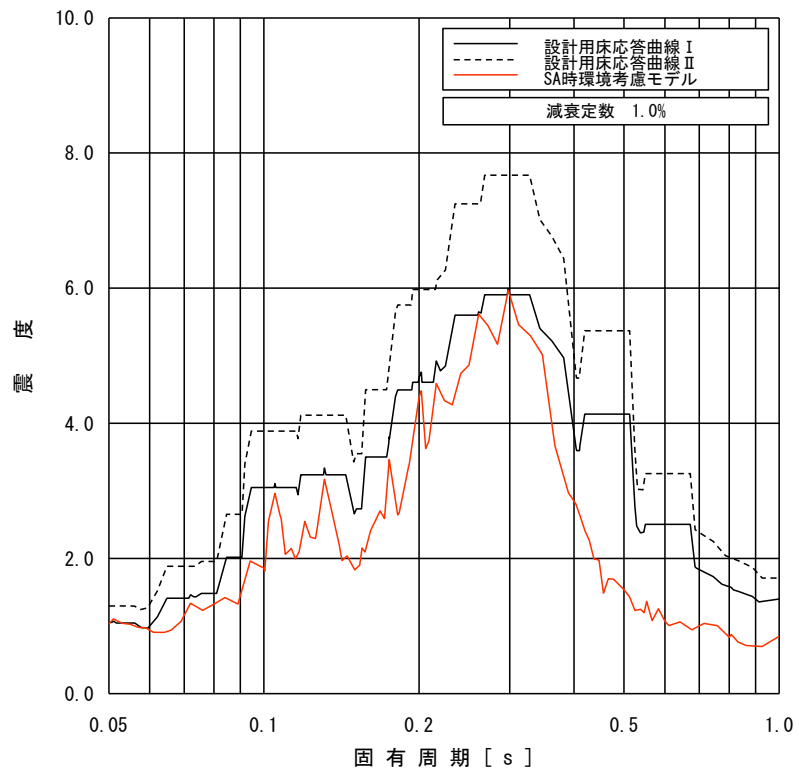
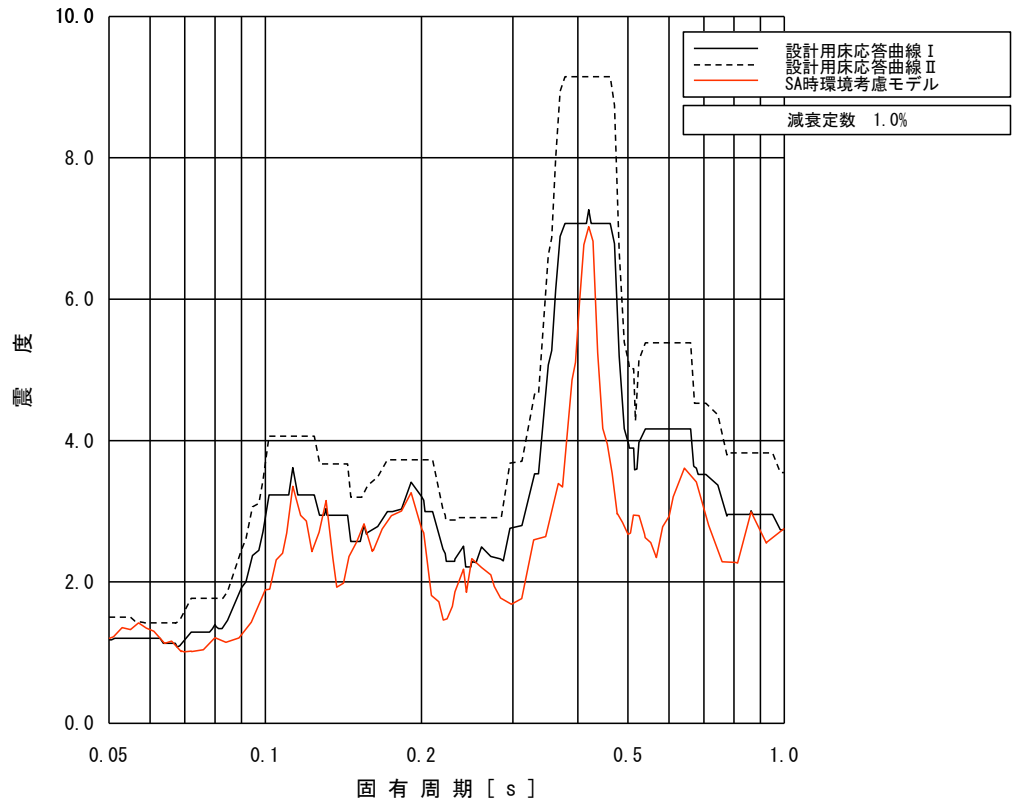


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (7/9)

(原子炉建屋, T.M.S.L. 4.8m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

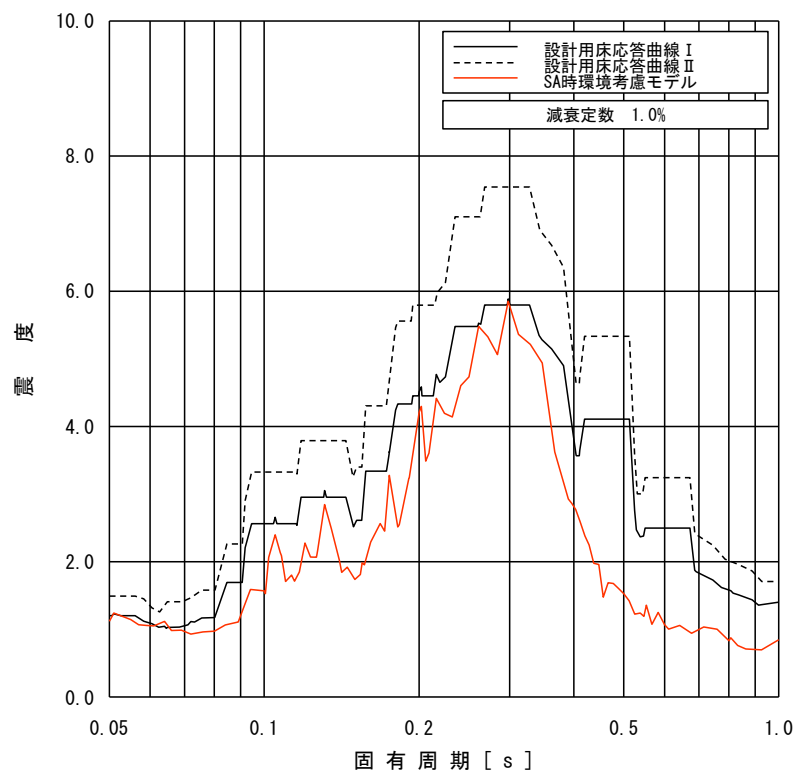
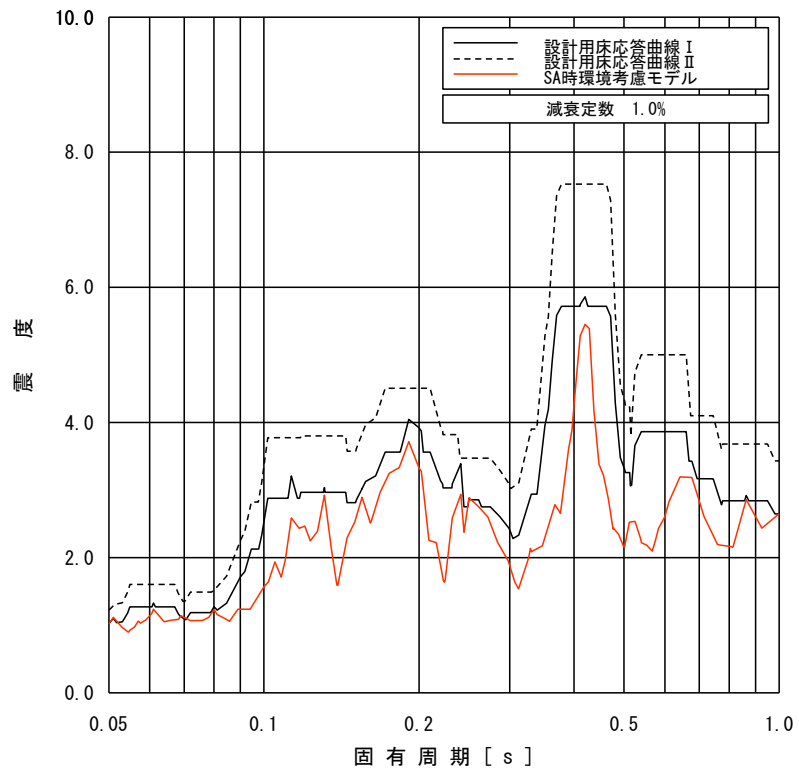


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (8/9)

(原子炉建屋, T.M.S.L. -1.7m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

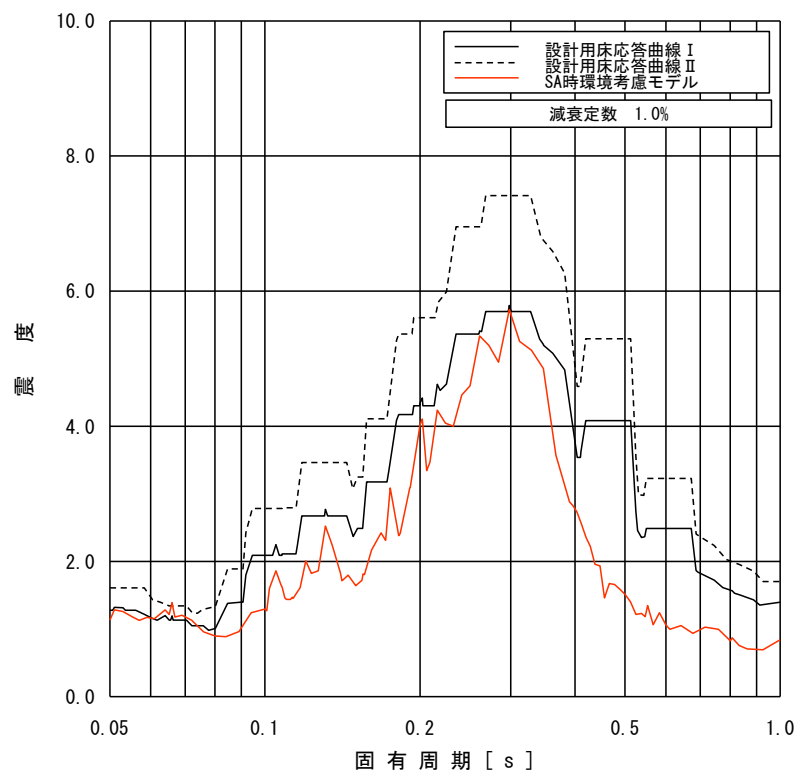
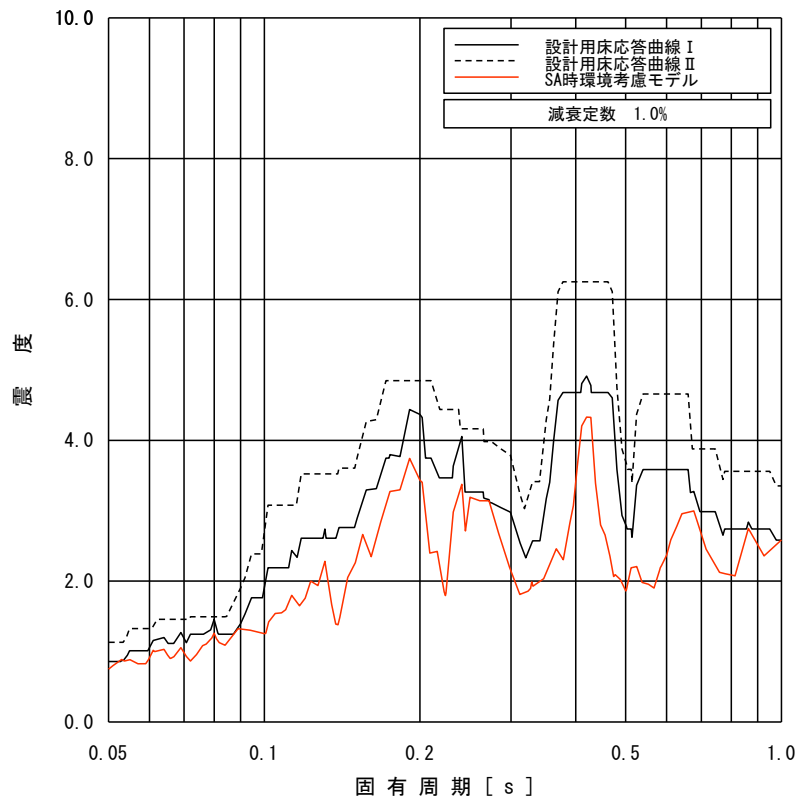


図 4-1 床応答スペクトルの比較 (9/9)

(原子炉建屋, T.M.S.L. -8.2m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

4.2 大型機器系の地震応答解析結果による影響

4.2.1 検討方針

機器・配管系への重大事故等時の高温による影響の考慮にあたり、「3.2.1 解析条件」の「剛性低下考慮モデル」の温度条件に加えてさらに重大事故等時の水位条件を考慮した大型機器系の地震応答解析モデル（以下「SA 時環境考慮連成モデル」という。）の応答を求め、「大型機器系の地震応答解析モデル」の応答と比較する。

比較に用いる地震動は、「3.1 検討方針」に記載される基準地震動 S_s-1 に加え、機器・配管系への重大事故等時の高温の影響を確認する観点から V-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」の結果より原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎等で地震荷重が大きくなる傾向となる基準地震動 S_s-2 を選定する。また、「大型機器系の地震応答解析モデル」による地震応答解析結果及び床応答スペクトルとの比較には、「SA 時環境考慮連成モデル」での基準地震動 S_s-1 及び S_s-2 の地震応答解析結果を包絡したものを用いる。

なお、重大事故等時の有効性評価で対象とする事故シナリオのうち、RCCV 内の高温状態が長期間続く事故シナリオ（格納容器破損モード）では事象発生後に炉心が損傷に至り炉内構造物の機能が喪失することから、炉内構造物は本検討の対象外とする。

4.2.2 「SA 時環境考慮連成モデル」のモデル化

(1) RPV 及び RCCV 内の環境条件

基準地震動 S_s と組み合わせる RCCV 内の環境条件として、 2×10^{-1} 年(約 60 日)後の RCCV 内温度を包絡し設定した値として表 4-3 の値を適用した。なお、表 4-3 の条件は V-1-2-1「原子炉本体の基礎に関する説明書」等の原子炉格納施設の評価条件と同じである。

重大事故等時の温度条件、RPV 及び RCCV 内の水位及び燃料状態等の炉内環境は重大事故等の進展に伴い変化する。重大事故等時の RPV のモデル化において、耐震評価では重心位置が高いほうが地震時の応答が大きくなる傾向があることから、「SA 時環境考慮連成モデル」における炉内水位及び燃料状態等は燃料破損や冷却材喪失等の状態を考慮せず「大型機器系の地震応答解析モデル」の諸元を適用して解析を実施する(別紙 5-2(1)参照)。

RPV、RCCV 等の「SA 時環境考慮連成モデル」における諸元設定について表 4-4 に、モデル図を図 4-2 に示す。「SA 時環境考慮連成モデル」は「大型機器系の地震応答解析モデル」の水平方向モデル及び鉛直方向モデルを用いており、鉛直方向モデルには炉内構造物も含まれているが、「4.2.1 検討方針」のとおり炉内構造物は検討の対象外としている。

「大型機器系の地震応答解析モデル」と「SA 時環境考慮連成モデル」の比較を別紙 5-2(2)に「SA 時環境考慮連成モデル」の原子炉本体基礎のスケルトン曲線の設定を別紙 5-2(3)に示す。

表 4-3 「SA 時環境考慮連成モデル」に適用する解析条件

項目		大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	SA 時環境考慮連成モデル設定の考え方	
温度	原子炉格納容器内温度 (°C)	ドライウエル	—	100	重大事故等時に原子炉格納容器バウンダリと基準地震動 Ss との組み合わせを行う 2×10^{-1} 年 (約 60 日) 後の原子炉格納容器内温度 74°C^{*1} を包含させた値を設定した。
		サプレッションチェンバ	—	100	
水位	サプレッションプール水位 (m)		7.10 (T. M. S. L. -1.10)	17.15 (T. M. S. L. 8.95)	重大事故等時の格納容器スプレイは格納容器ベントライン水没防止のため、水位がベントライン-1mを超えないように格納容器スプレイを停止するが、保守性を考慮して格納容器ベントライン下端までの水位を設定した。 ^{*2}
	下部ドライウエル水位 (m)		—	14.00 (T. M. S. L. 7.40)	格納容器過圧・過温破損 (代替循環冷却系を使用しない場合) において最大となる水位を設定した。 ^{*2}

注記*1：補足説明資料「重大事故等対処施設の耐震設計における重大事故と地震の組合せについて」(KK7 補足-024-6)

*2：V-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」

表 4-4 「SA 時環境考慮連成モデル」に用いた諸元設定方法

項目		SA 時環境考慮 連成モデル	SA 時環境考慮連成モデル設定の考え方
原子炉 圧力容器	炉内環境 (水位, 燃料状態)	大型機器系の地震 応答解析モデルの 諸元を適用	重心位置が高く地震応答が大きくなる「大型機器系の地震応答解析モデル」の炉内環境を諸元設定に適用する。
	温度		
原子炉 格納容器	温度	100°C	重大事故等時に原子炉格納容器バウンダリと基準地震動 S_s との組み合わせを行う 2×10^{-1} 年(約 60 日)後の原子炉格納容器内温度 74°C*を包含させた値を設定した。

注記* : 補足説明資料「重大事故等対処施設の耐震設計における重大事故と地震の
組合せについて」(KK7 補足-024-6)

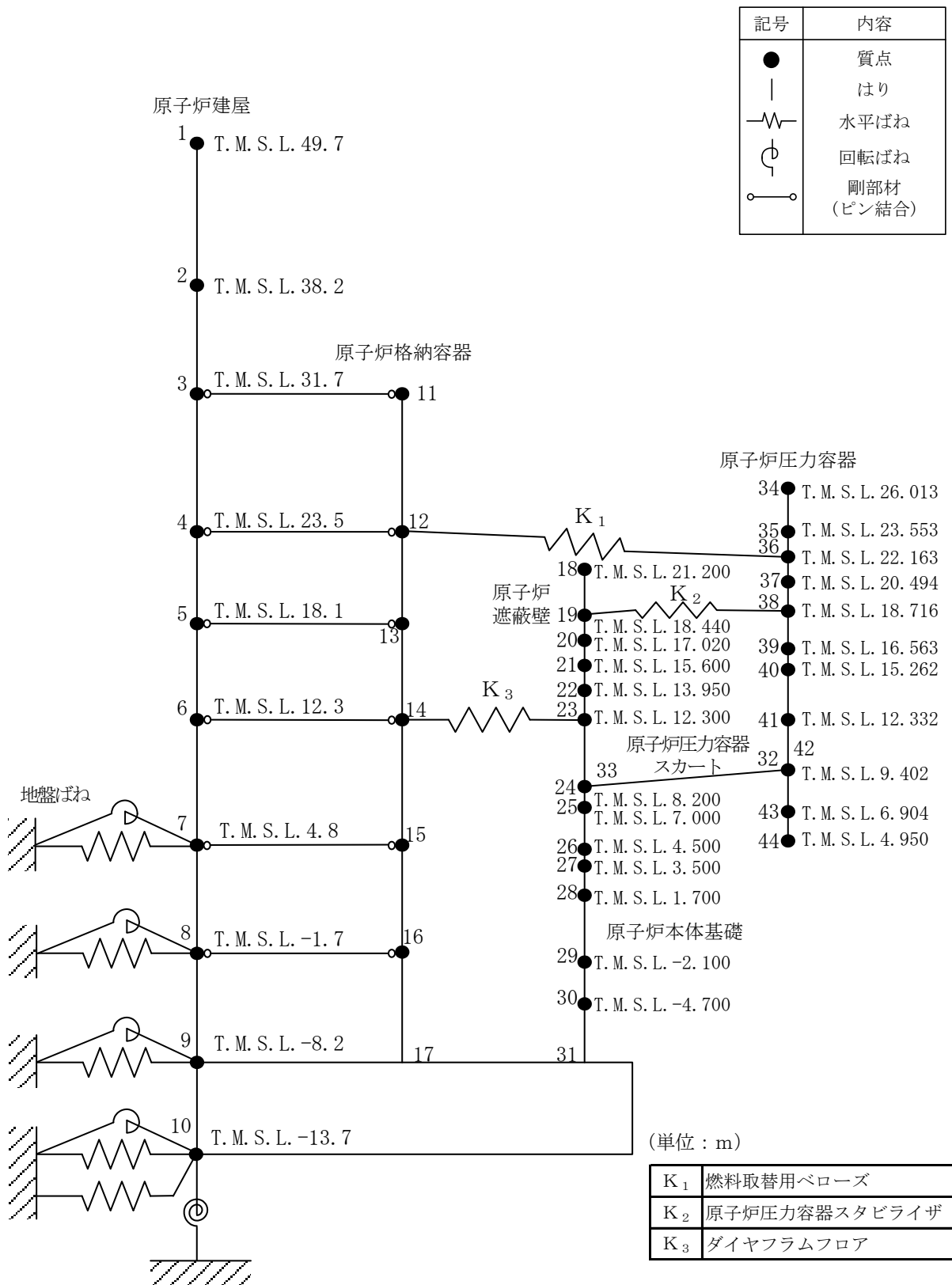




図 4-2 SA 時環境考慮連成モデル (NS 方向) (1/3)

記号	内容
●	質点
	はり
—  —	水平ばね
	回転ばね
○—○	剛部材 (ピン結合)

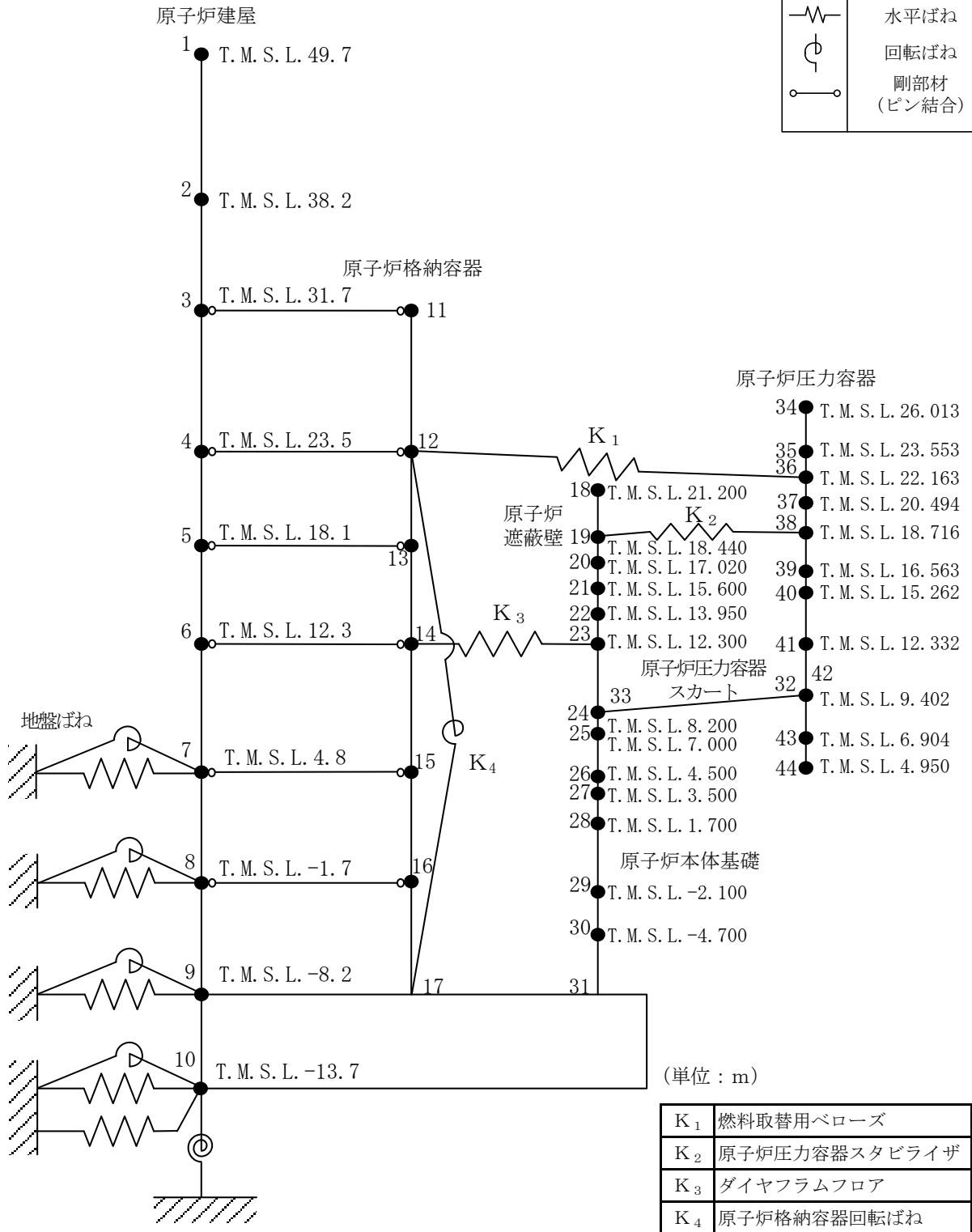


図 4-2 SA 時環境考慮連成モデル (EW 方向) (2/3)

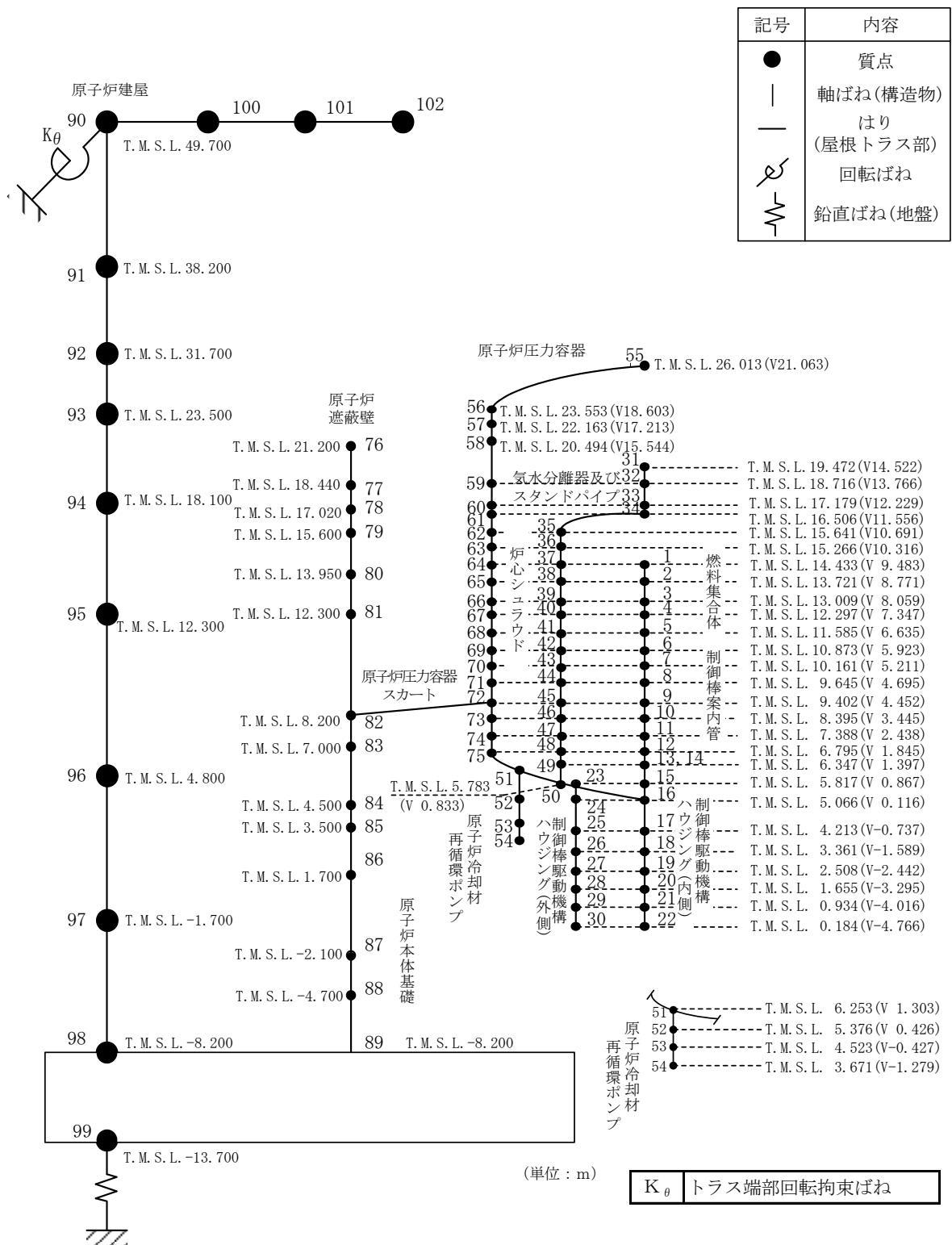


図 4-2 SA 時環境考慮連成モデル(鉛直方向) (3/3)

(2) 剛性低下率

原子炉本体基礎のコンクリートは鋼板に覆われている構造である。また、既往の文献*によって、コンクリートを鋼板で密封した試験体を加熱した場合 175℃までの範囲においてコンクリート剛性の低下が見られないことが確認されている。以上のことから、原子炉本体基礎は、重大事故等時の熱によるコンクリート部材の剛性低下は小さいと考えられるが、念のため、「SA 時環境考慮連成モデル」において重大事故等時の熱による剛性低下を考慮する。

「SA 時環境考慮連成モデル」にてコンクリート部材としてモデル化している原子炉本体基礎、ダイヤフラムフロアのコンクリート部材の解析条件は、「3.2.1 解析条件」と同様に剛性低下を見込んで設定する。表 4-5 に「SA 時環境考慮連成モデル」に用いたコンクリート部材の剛性低下率を示す。

「SA 時環境考慮連成モデル」の諸元設定においては、高温状態を経験したコンクリート部材の剛性は元に戻らないと仮定し、コンクリート部材の剛性低下率の検討に用いる温度は、「3.2.1 解析条件」と同様に、重大事故等時の有効性評価の「格納容器過圧・過温破損（代替循環冷却系を使用しない場合）」における最高温度 168℃とする。また、コンクリート部材の剛性低下率は原子炉建屋の「剛性低下考慮モデル」と同様に「Eurocode 2」に基づき設定する。

なお、原子炉遮蔽壁は円筒形の内外の鋼板及びその内部に充てんされたモルタルで構成されているが、建設時及び今回工認の建屋－機器連成地震応答解析モデルにおいて、モルタル部材の剛性を考慮せず鋼材の剛性のみ考慮している。このため「SA 時環境考慮連成モデル」でも同様に、原子炉遮蔽壁は鋼材の剛性のみを考慮する（別紙 5-2(4)参照）。

鋼材の剛性は高温状態を経験した後においても温度に応じて変化するため、原子炉本体基礎と原子炉遮蔽壁の鋼材の剛性は表 4-3 の RCCV 内雰囲気温度(100℃)に基づき設定する。

注記*：長尾 他：高温履歴を受けるコンクリートの物性に関する実験的研究：
日本建築学会構造系論文集 第 457 号 1994

表 4-5 「SA 時環境考慮連成モデル」に用いたコンクリート部材の剛性低下率

		検討に用いた温度(℃)	剛性低下率
原子炉 本体基礎	コンクリート	168	0.49
	(鋼材)	100	—
ダイヤフラムフロア		168	0.49

4.2.3 解析結果

(1) 地震応答解析結果

「SA 時環境考慮連成モデル」による固有値解析結果を表 4-6 に、振動モード図を図 4-3 に示す。なお、刺激係数は、モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に基準化して得られる値を示している。

「大型機器系の地震応答解析モデル」による地震力（V-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に示す設計用地震力Ⅰ，設計用地震力Ⅱ）と「SA 時環境考慮連成モデル」による地震力による比較結果を表 4-7 に示す。また、「大型機器系の地震応答解析モデル」による床応答スペクトル（V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示す設計用床応答曲線Ⅰ，設計用床応答曲線Ⅱ）と「SA 時環境考慮連成モデル」の床応答スペクトルの比較結果（水平方向（NS，EW 包絡）及び鉛直方向）を図 4-4 に示す。なお、床応答スペクトルは代表減衰 1.0% にて比較した。

表 4-7 より「SA 時環境考慮連成モデル」による地震力は、原子炉本体基礎の基部付近で発生するせん断力が「大型機器系の地震応答解析モデル」の設計用地震力Ⅰに対し一部上回るものの、大部分で設計用地震力Ⅰを下回ることを確認した。

図 4-4 より、床応答スペクトルは、高温による材料物性の剛性低下の影響で一部の周期帯で長周期側へのピークのシフトや応答の増幅が見られるものの、大部分では「大型機器系の地震応答解析モデル」の床応答スペクトルとほぼ同程度か下回ることを確認した。

表 4-6 固有値解析結果(Ss-1, NS 方向) (1/6)

次数		固有周期(s)		刺激係数	
大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル
1	1	0.438	0.448	1.587	1.592
2	2	0.193	0.199	-0.699	-0.682
3	3	0.091	0.101	0.070	-0.068
4	4	0.079	0.086	-0.500	-0.685
5	5	0.077	0.082	-0.055	0.088
6	6	0.070	0.076	0.264	0.251
7	7	0.056	0.059	-0.039	-0.027
—	8	—	0.056	—	0.073
—	9	—	0.050	—	-0.015

表 4-6 固有値解析結果(Ss-2, NS 方向) (2/6)

次数		固有周期(s)		刺激係数	
大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル
1	1	0.437	0.447	1.588	1.593
2	2	0.192	0.199	-0.700	-0.683
3	3	0.091	0.101	0.070	-0.068
4	4	0.079	0.086	-0.509	-0.693
5	5	0.077	0.082	-0.055	0.091
6	6	0.070	0.076	0.266	0.253
7	7	0.056	0.059	-0.040	-0.027
—	8	—	0.056	—	0.073
—	9	—	0.050	—	-0.015

表 4-6 固有値解析結果(Ss-1, EW 方向) (3/6)

次数		固有周期(s)		刺激係数	
大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル
1	1	0.428	0.438	1.549	1.554
2	2	0.191	0.197	-0.619	-0.613
3	3	0.082	0.089	-0.033	-0.087
4	4	0.079	0.085	-0.514	-0.478
5	6	0.071	0.076	0.162	0.037
6	5	0.070	0.077	0.065	0.156
7	7	0.058	0.064	0.062	0.089
—	8	—	0.056	—	0.069
—	9	—	0.053	—	-0.011

表 4-6 固有値解析結果(Ss-2, EW 方向) (4/6)

次数		固有周期(s)		刺激係数	
大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル
1	1	0.427	0.437	1.549	1.554
2	2	0.191	0.197	-0.620	-0.614
3	3	0.082	0.089	-0.033	-0.087
4	4	0.079	0.084	-0.519	-0.483
5	6	0.071	0.076	0.169	0.037
6	5	0.070	0.077	0.060	0.165
7	7	0.058	0.064	0.062	0.090
—	8	—	0.056	—	0.069
—	9	—	0.053	—	-0.011

表 4-6 固有値解析結果 (Ss-1, 鉛直方向) (5/6)

次数		固有周期 (s)		刺激係数	
大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル
1	1	0.279	0.281	9.274	10.385
2	2	0.258	0.262	-8.335	-9.446
3	3	0.077	0.077	0.093	0.100
4	4	0.052	0.059	-0.216	0.119
5	5	0.051	0.051	0.184	-0.094

表 4-6 固有値解析結果 (Ss-2, 鉛直方向) (6/6)

次数		固有周期 (s)		刺激係数	
大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル	大型機器系の地震応答解析モデル	SA 時環境考慮連成モデル
1	1	0.279	0.280	8.833	10.012
2	2	0.256	0.260	-7.895	-9.075
3	3	0.077	0.077	0.094	0.102
4	4	0.052	0.059	-0.220	0.121
5	5	0.051	0.051	0.188	-0.095

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.448 刺激係数 ; 1.592

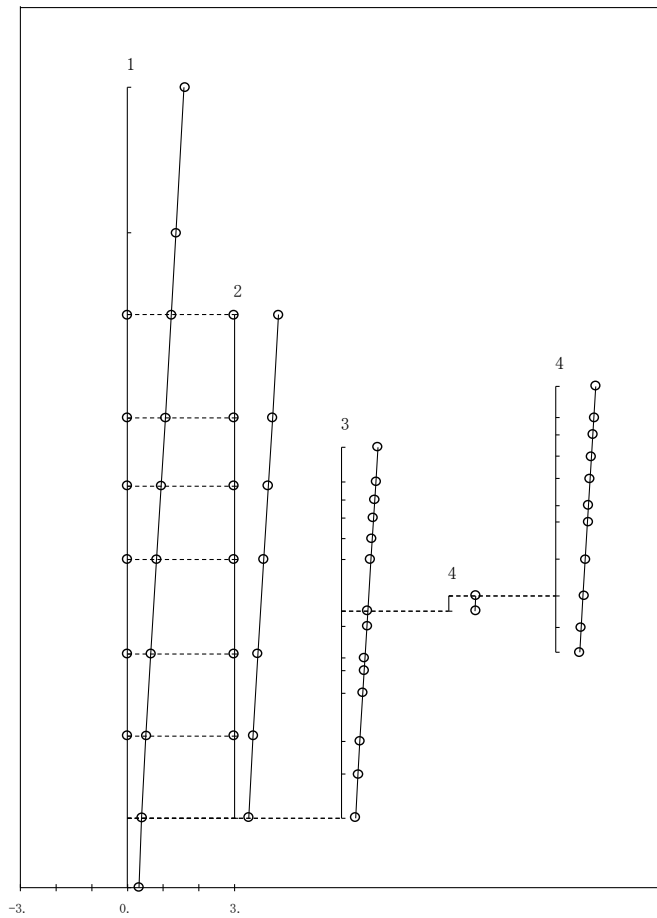


図 4-3(1) 第 1 次振動モード (Ss-1, NS 方向) (1/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.199 刺激係数 ; -0.682

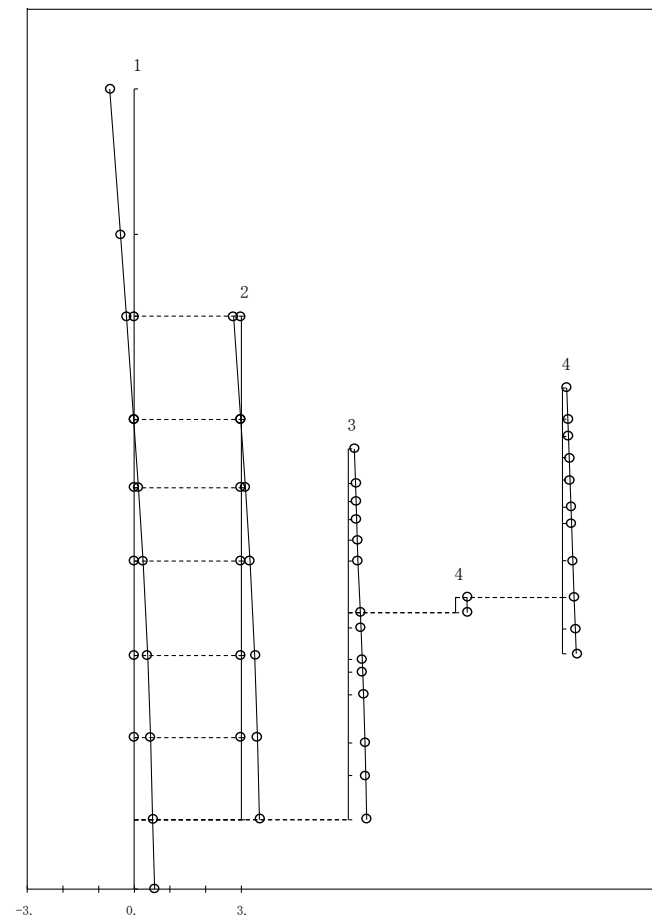


図 4-3(1) 第 2 次振動モード (Ss-1, NS 方向) (2/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.101 刺激係数 ; -0.068

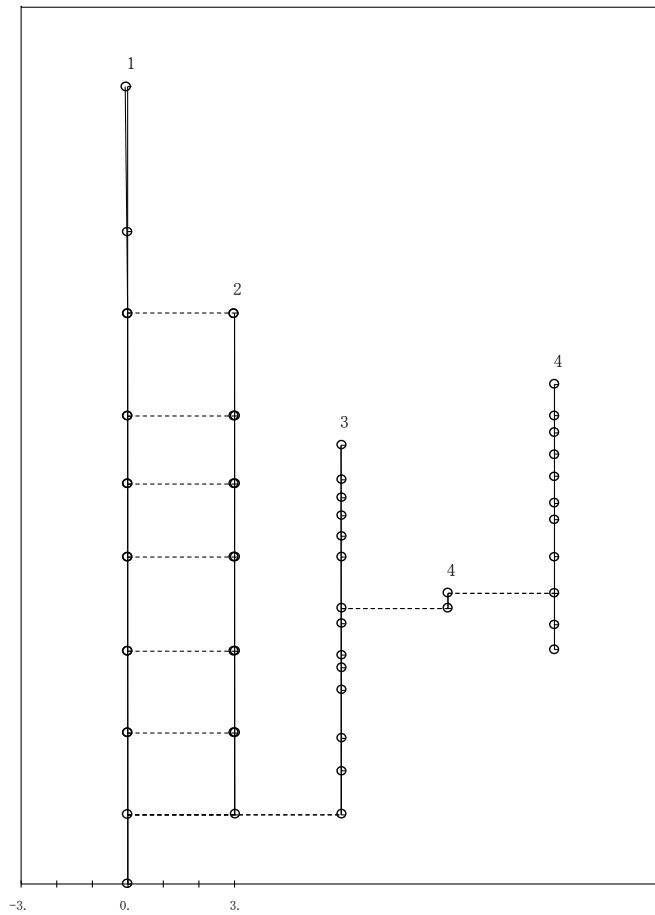


図 4-3(1) 第 3 次振動モード (Ss-1, NS 方向) (3/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.086 刺激係数 ; -0.685

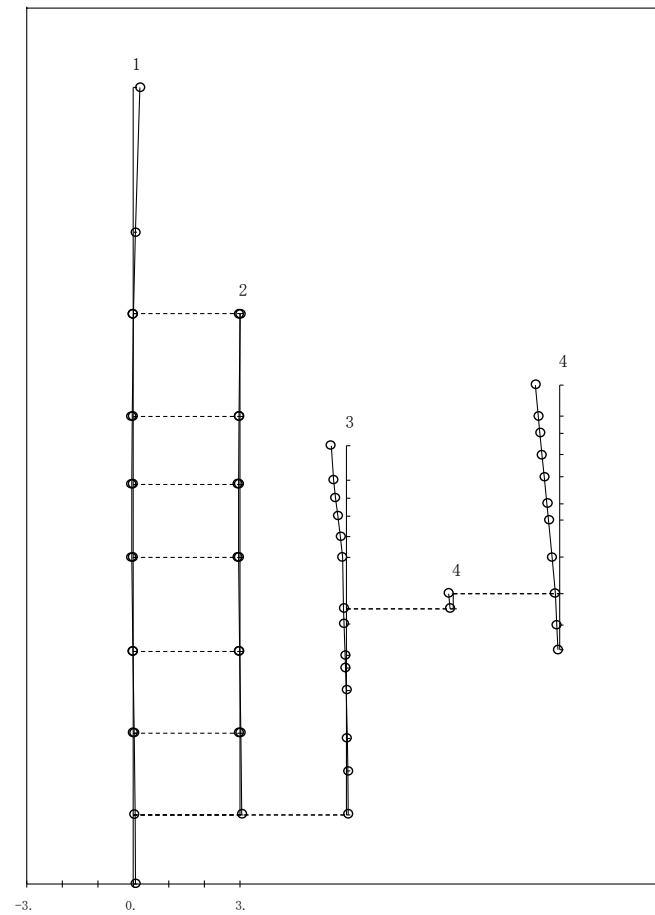


図 4-3(1) 第 4 次振動モード (Ss-1, NS 方向) (4/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.082 刺激係数 ; 0.088

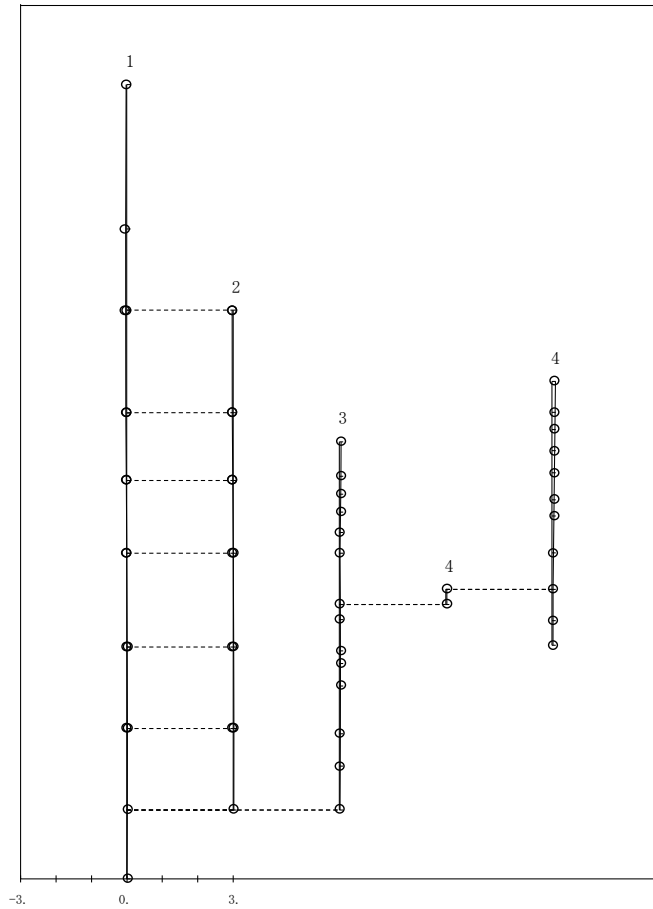


図 4-3(1) 第 5 次振動モード (Ss-1, NS 方向) (5/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.076 刺激係数 ; 0.251

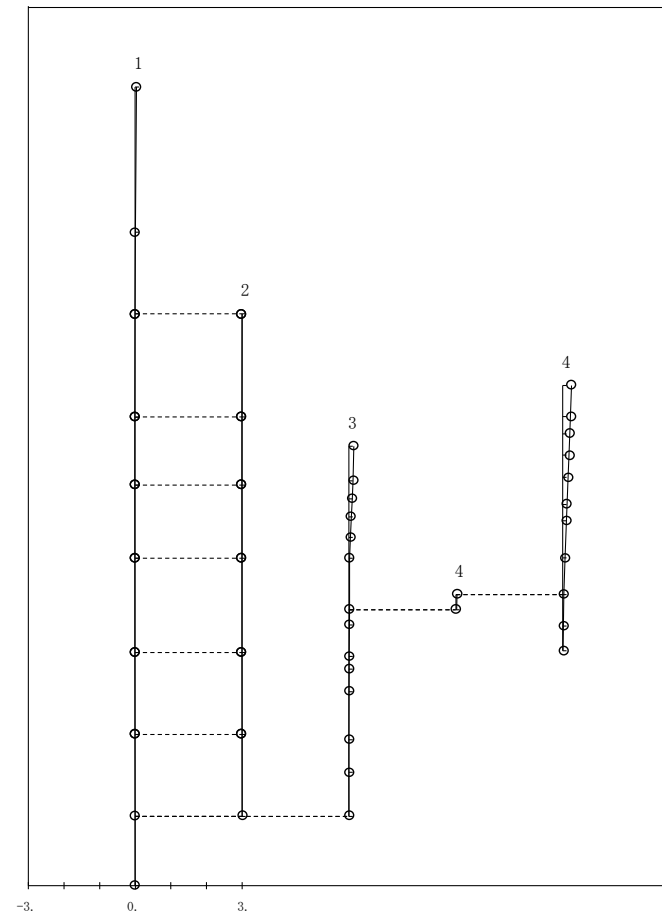


図 4-3(1) 第 6 次振動モード (Ss-1, NS 方向) (6/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.059 刺激係数 ; -0.027

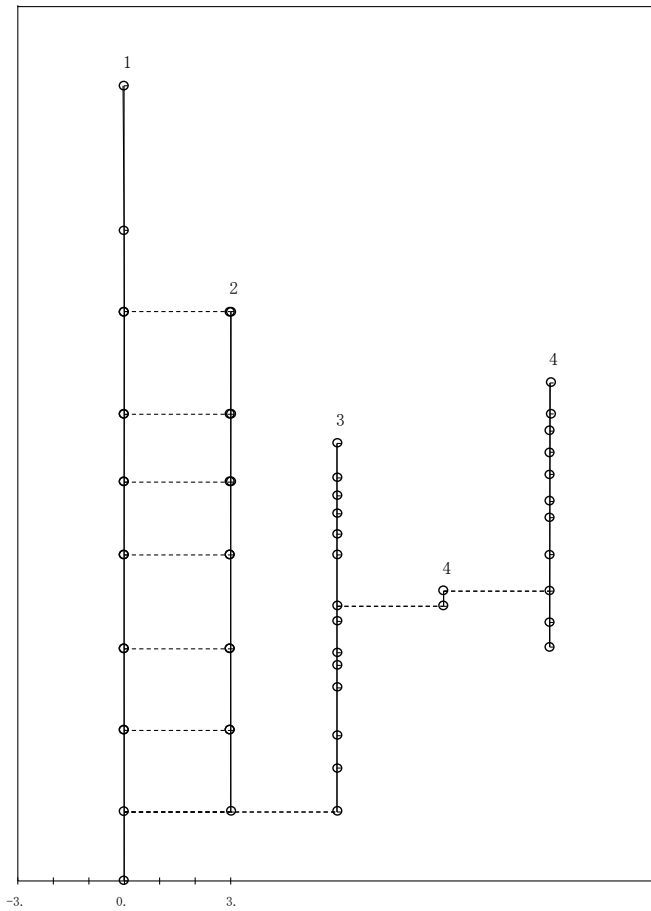


図 4-3(1) 第 7 次振動モード (Ss-1, NS 方向) (7/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.056 刺激係数 ; 0.073

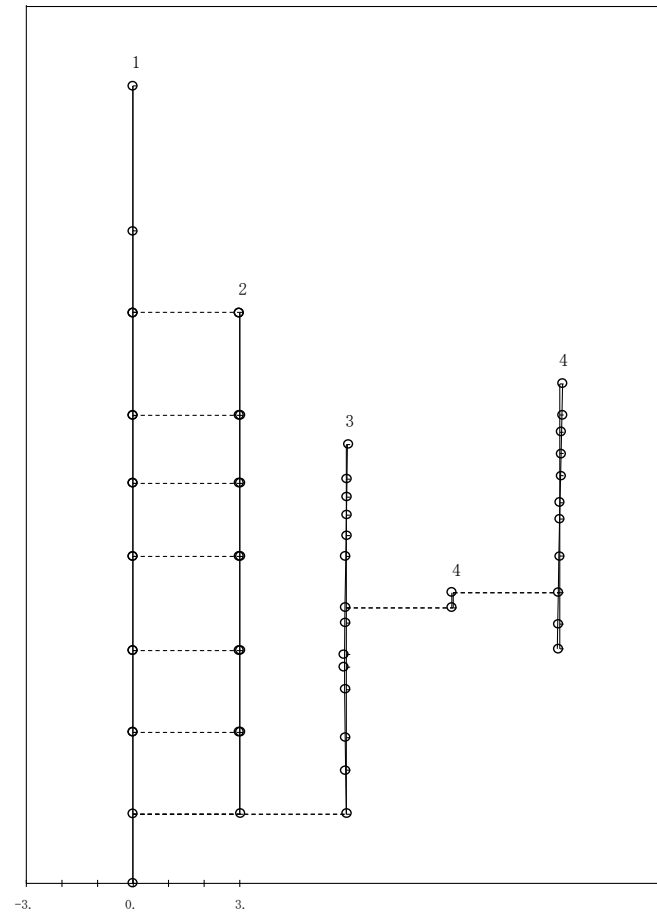


図 4-3(1) 第 8 次振動モード (Ss-1, NS 方向) (8/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.050 刺激係数 ; -0.015

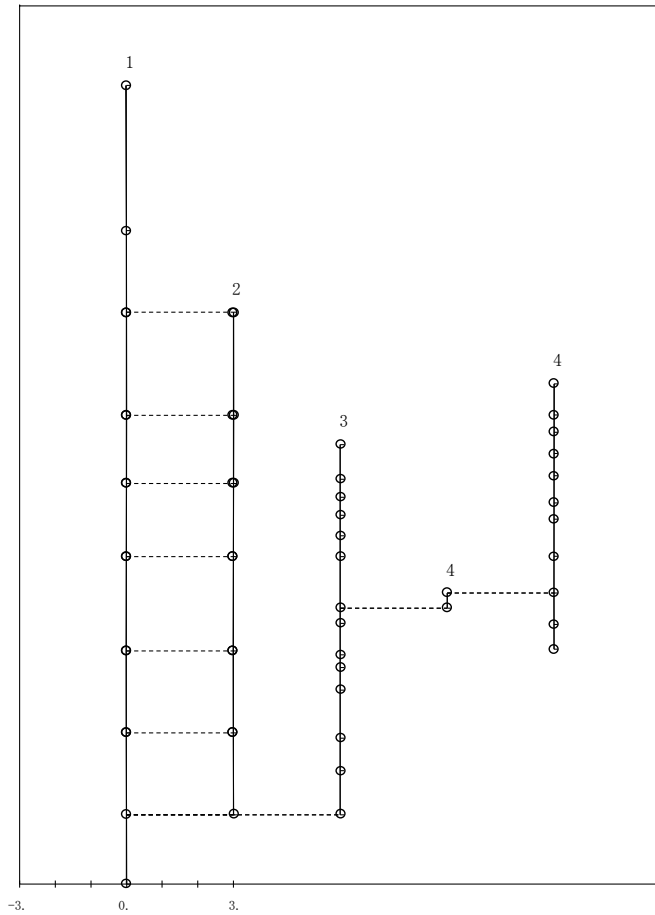


図 4-3(1) 第 9 次振動モード (Ss-1, NS 方向) (9/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.447 刺激係数 ; 1.593

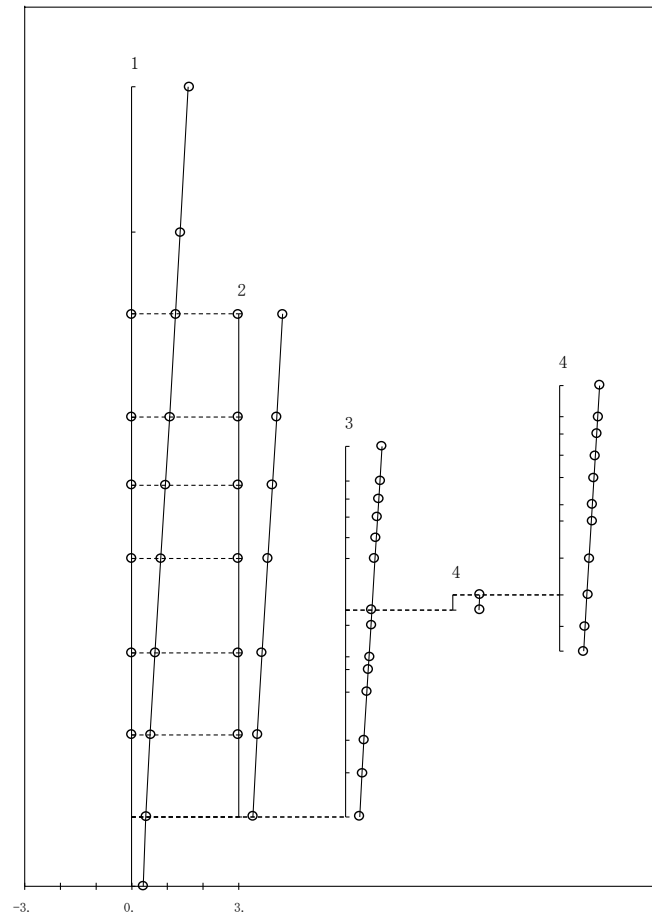


図 4-3(2) 第 1 次振動モード (Ss-2, NS 方向) (1/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.199 刺激係数 ; -0.683

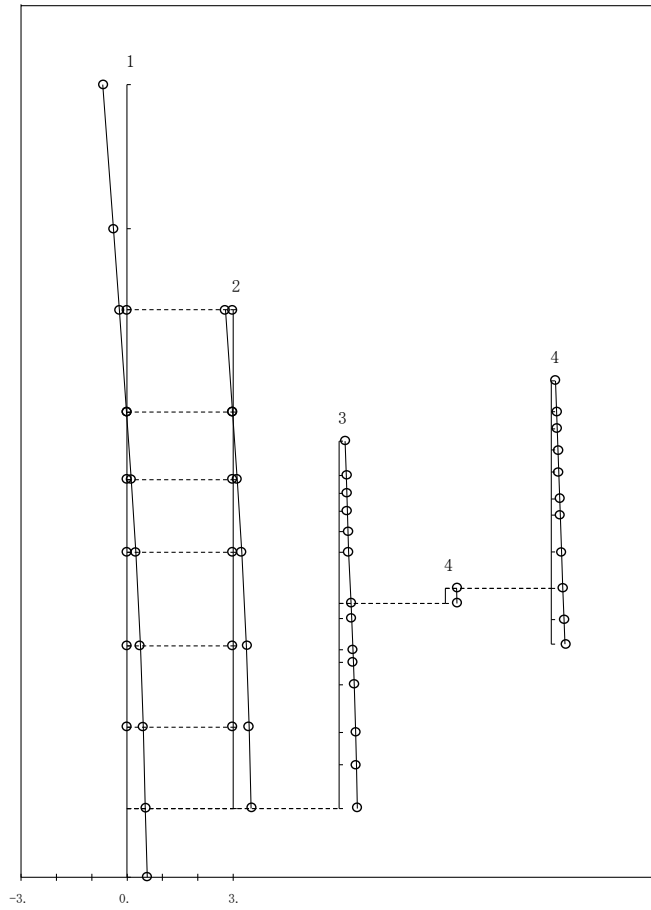


図 4-3(2) 第 2 次振動モード (Ss-2, NS 方向) (2/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.101 刺激係数 ; -0.068

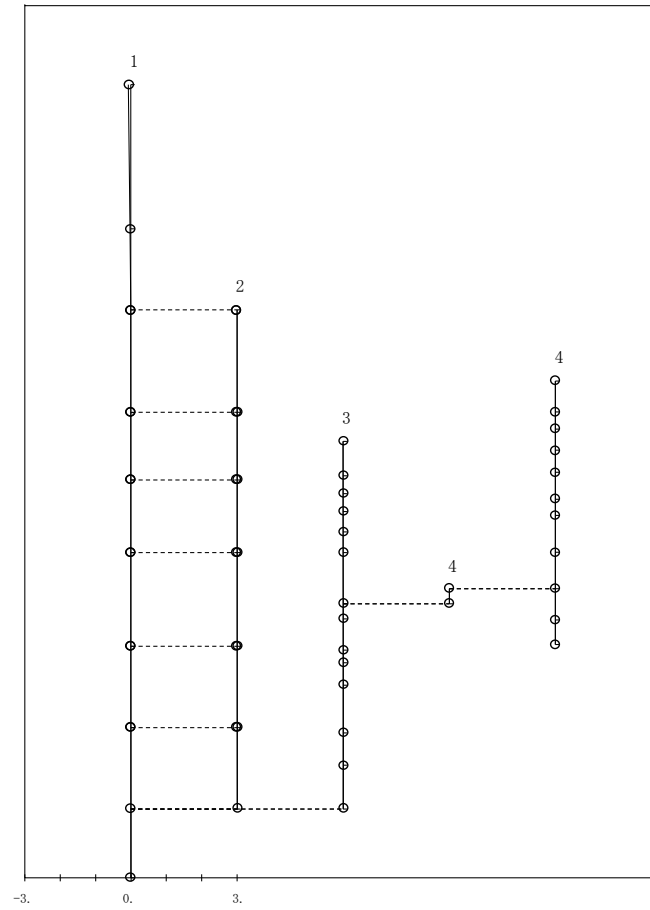


図 4-3(2) 第 3 次振動モード (Ss-2, NS 方向) (3/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.086 刺激係数 ; -0.693

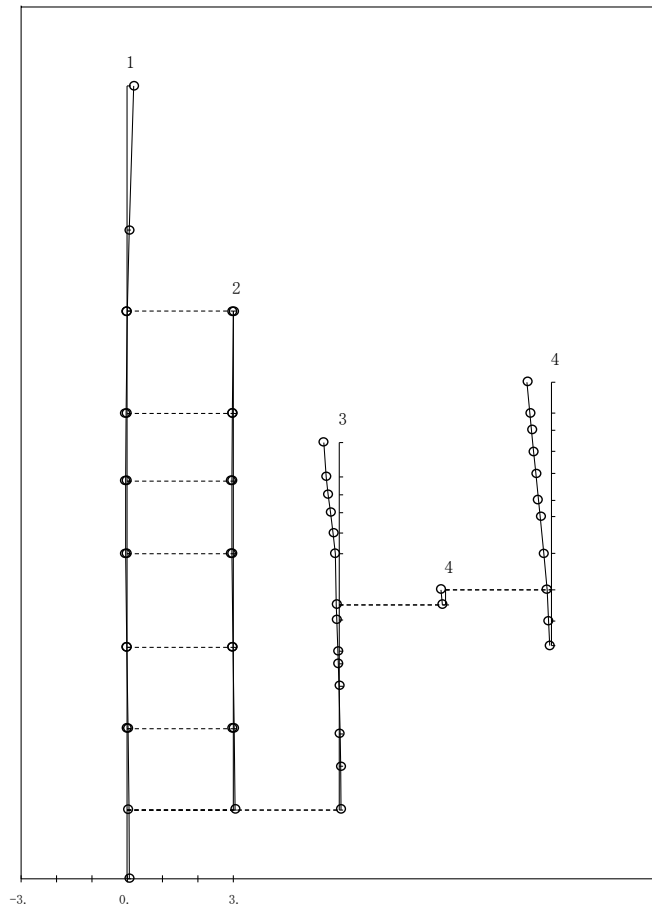


図 4-3(2) 第 4 次振動モード (Ss-2, NS 方向) (4/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.082 刺激係数 ; 0.091

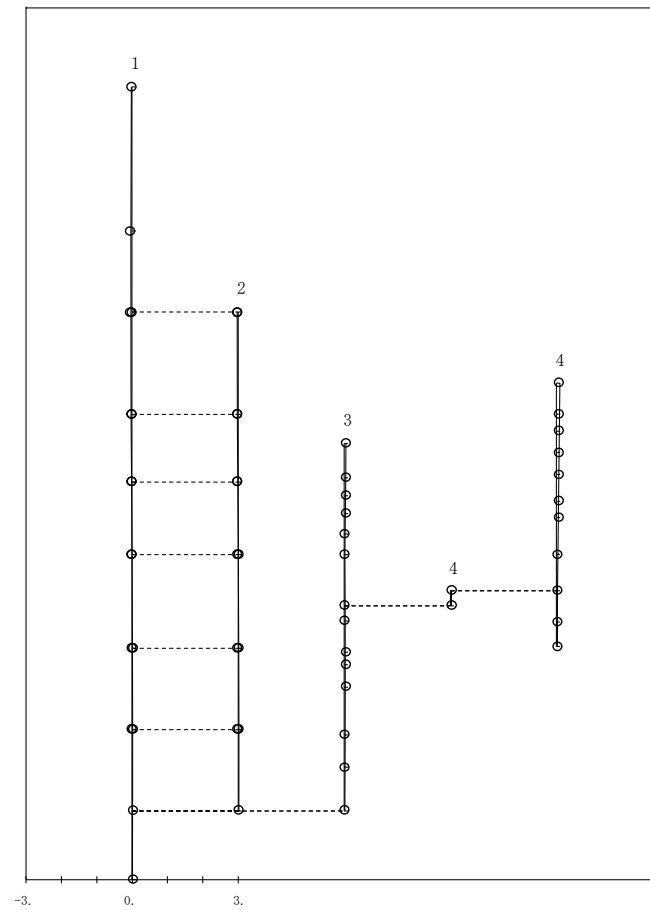


図 4-3(2) 第 5 次振動モード (Ss-2, NS 方向) (5/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.076 刺激係数 ; 0.253

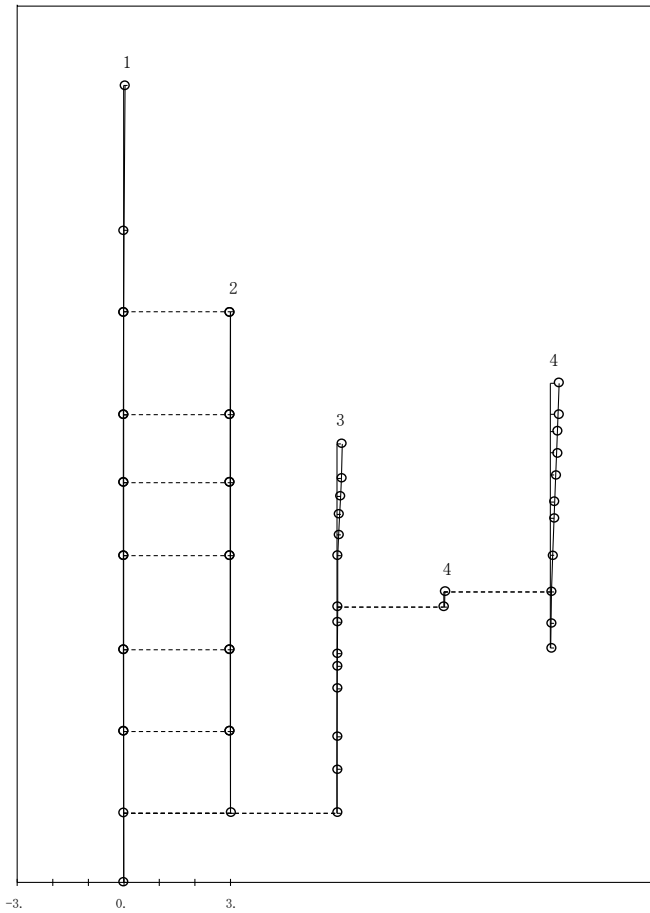


図 4-3(2) 第 6 次振動モード (Ss-2, NS 方向) (6/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.059 刺激係数 ; -0.027

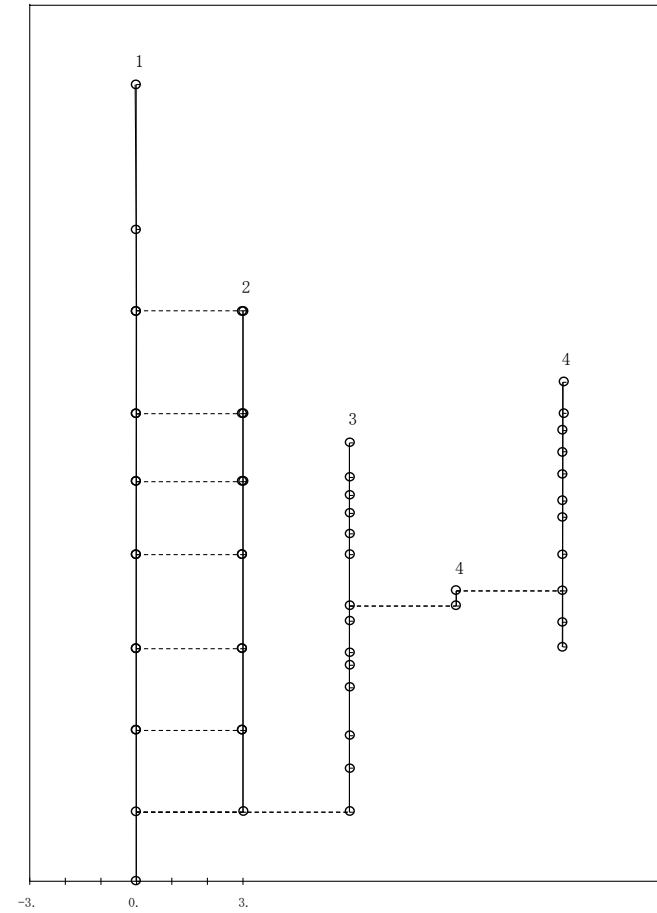


図 4-3(2) 第 7 次振動モード (Ss-2, NS 方向) (7/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.056 刺激係数 ; 0.073

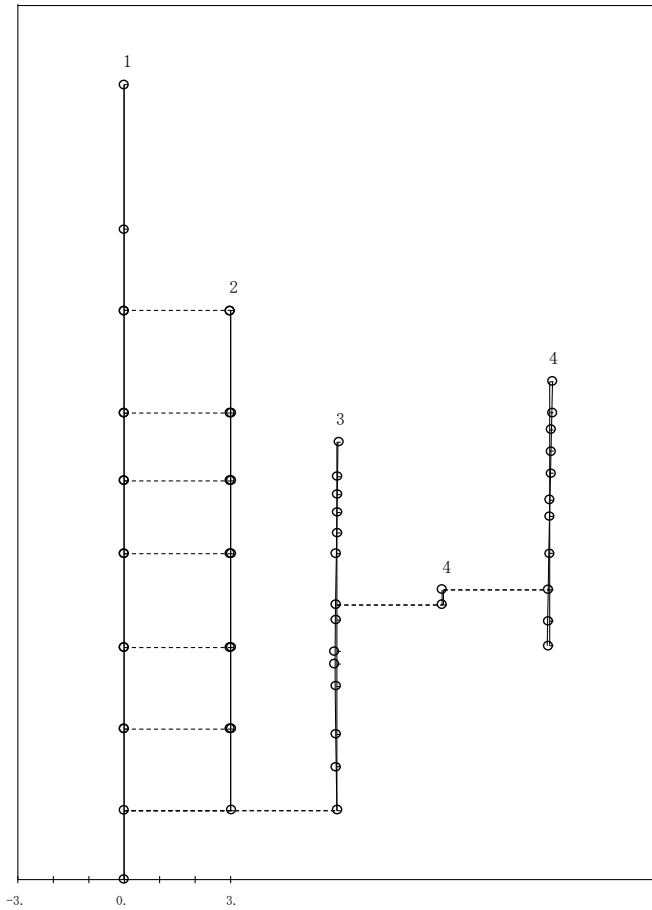


図 4-3(2) 第 8 次振動モード (Ss-2, NS 方向) (8/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.050 刺激係数 ; -0.015

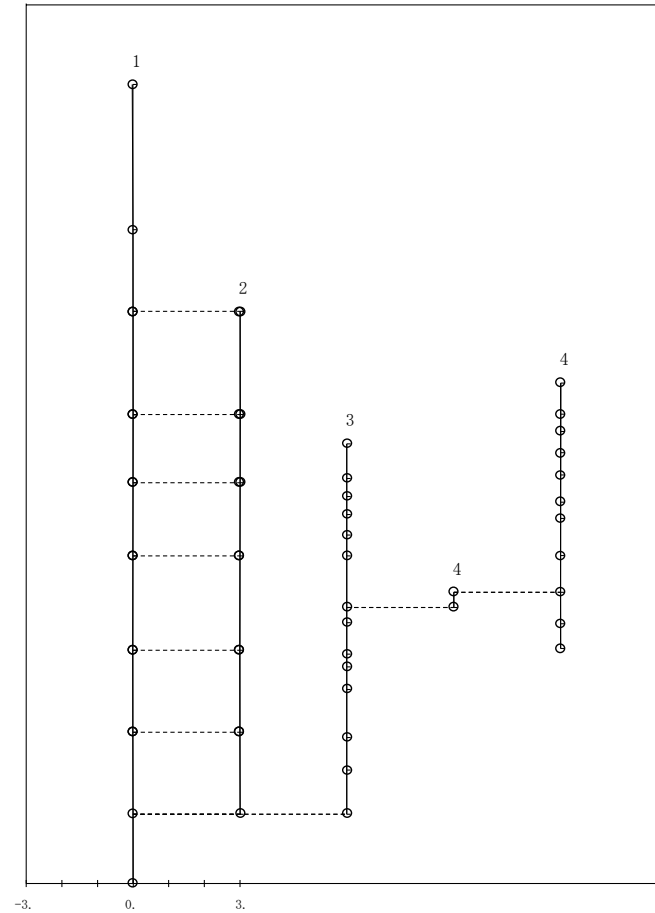


図 4-3(2) 第 9 次振動モード (Ss-2, NS 方向) (9/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.438 刺激係数 ; 1.554

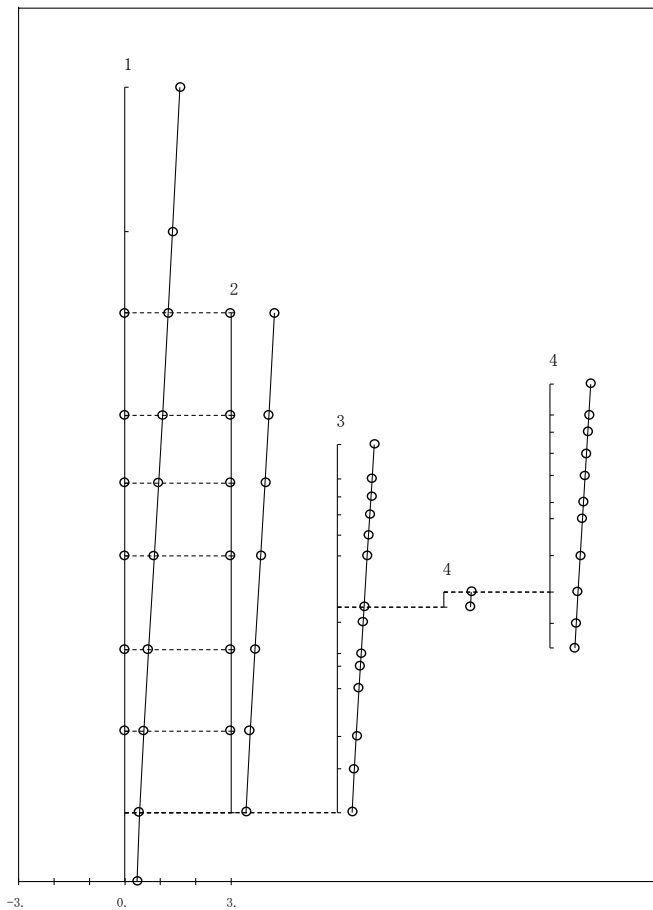


図 4-3(3) 第 1 次振動モード (Ss-1, EW 方向) (1/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.197 刺激係数 ; -0.613

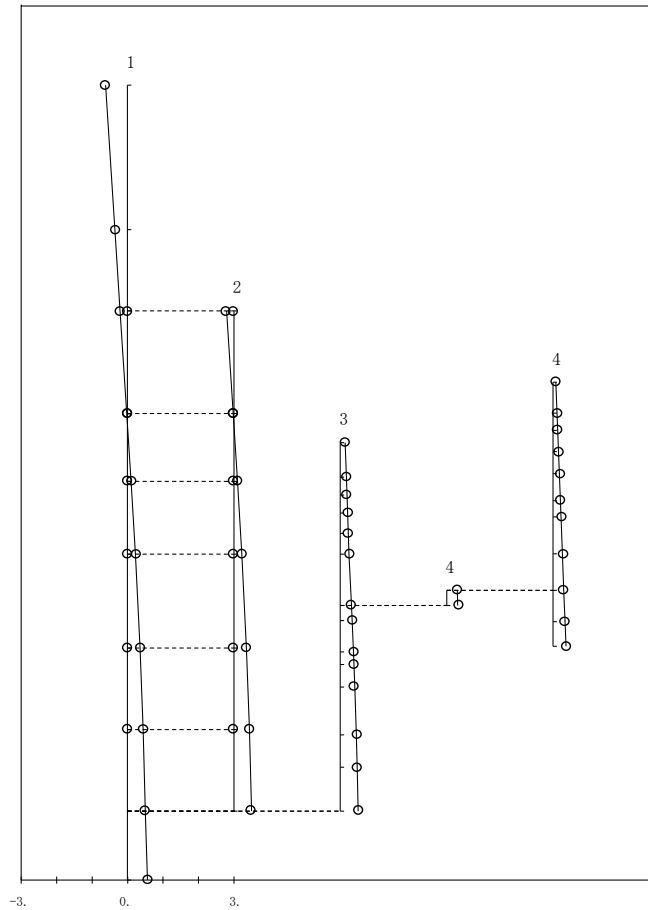


図 4-3(3) 第 2 次振動モード (Ss-1, EW 方向) (2/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.089 刺激係数 ; -0.087

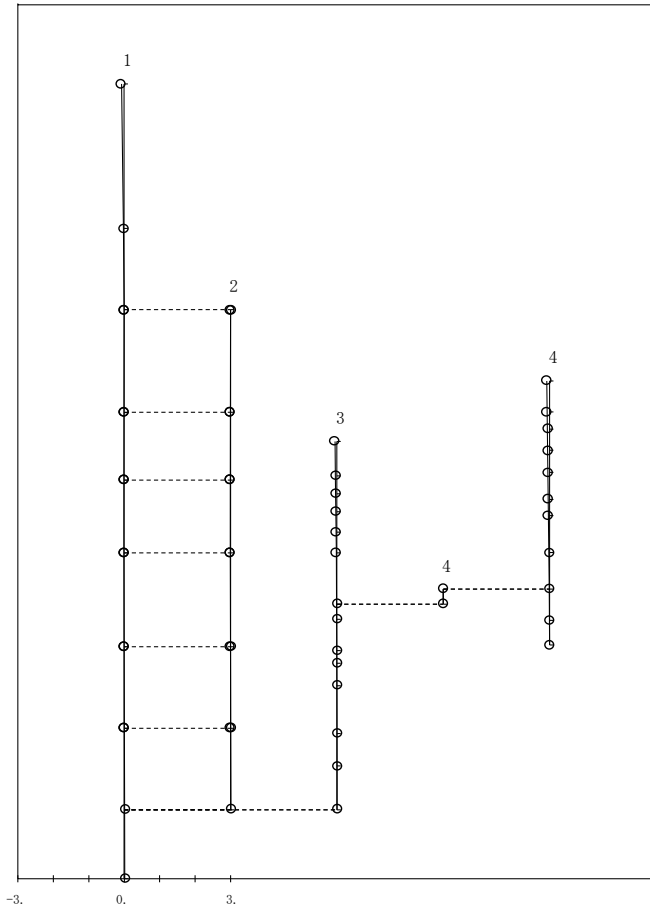


図 4-3(3) 第 3 次振動モード (Ss-1, EW 方向) (3/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.085 刺激係数 ; -0.478

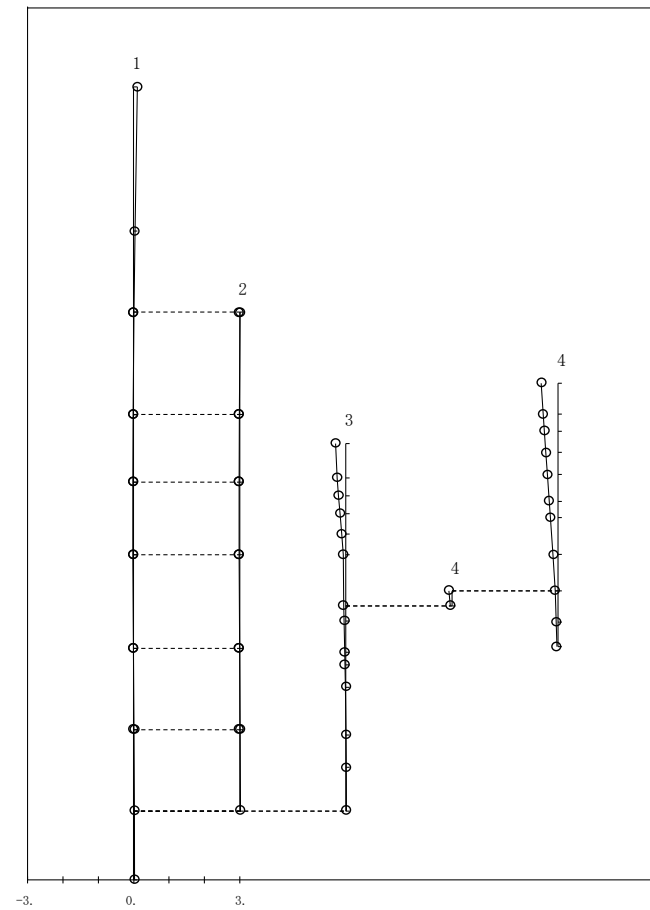


図 4-3(3) 第 4 次振動モード (Ss-1, EW 方向) (4/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.077 刺激係数 ; 0.156

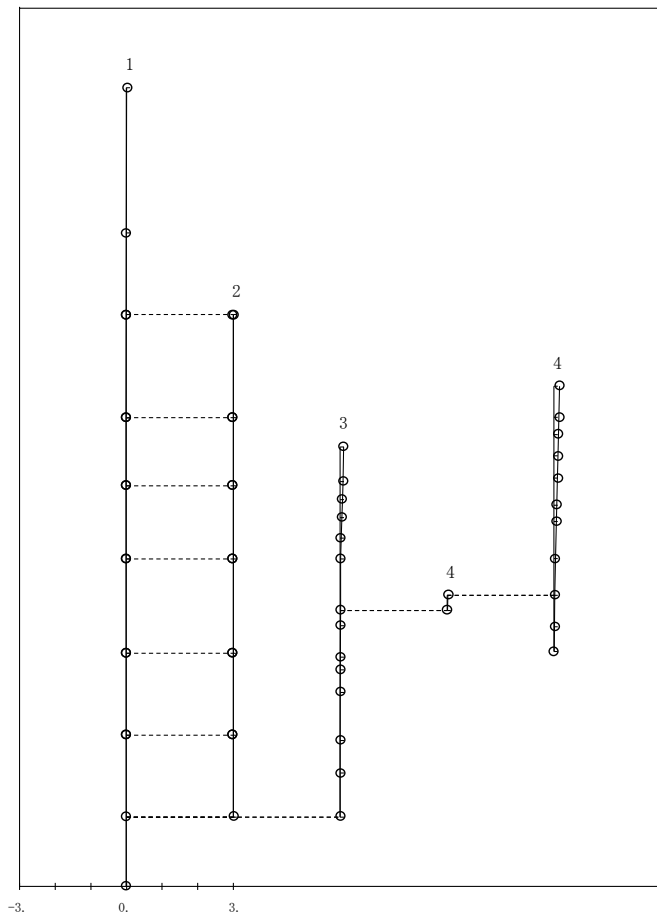


図 4-3(3) 第 5 次振動モード (Ss-1, EW 方向) (5/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.076 刺激係数 ; 0.037

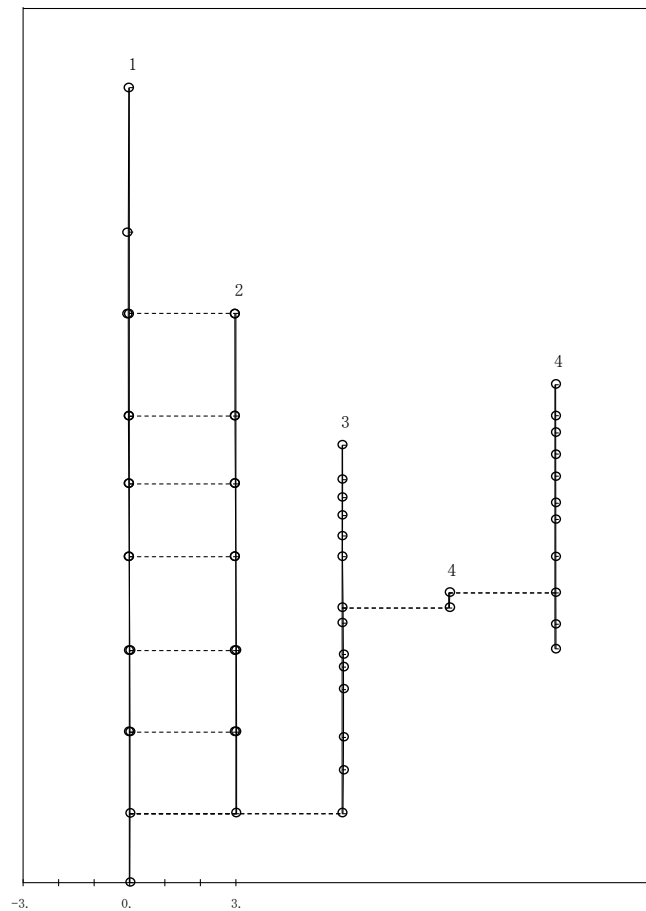


図 4-3(3) 第 6 次振動モード (Ss-1, EW 方向) (6/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.064 刺激係数 ; 0.089

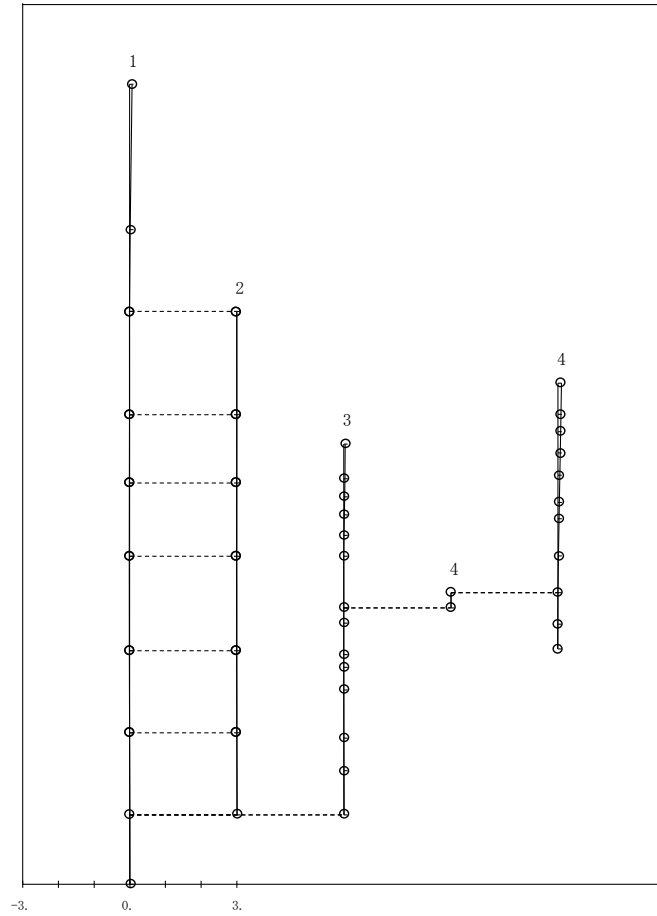


図 4-3(3) 第 7 次振動モード (Ss-1, EW 方向) (7/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.056 刺激係数 ; 0.069

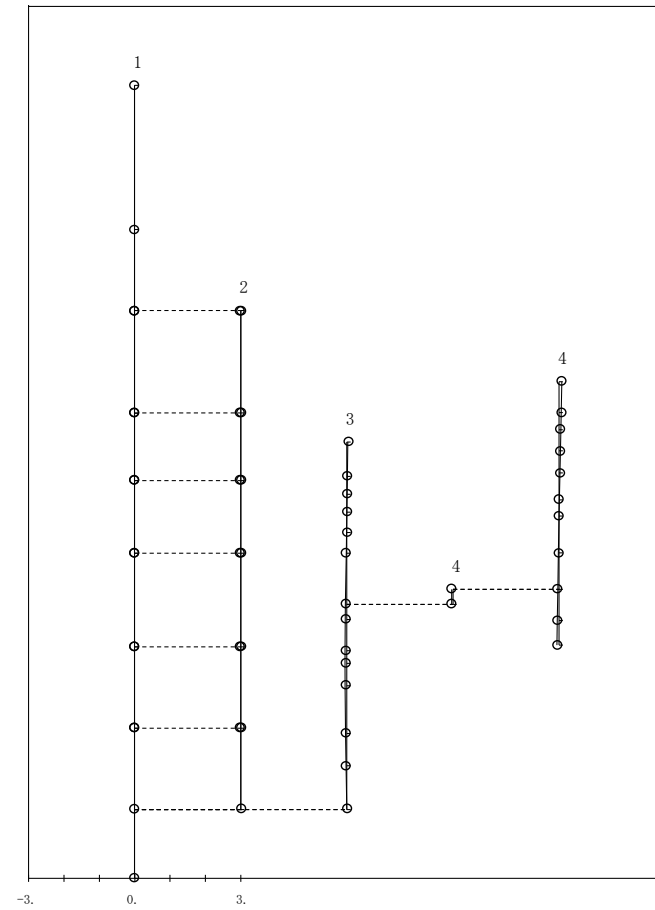


図 4-3(3) 第 8 次振動モード (Ss-1, EW 方向) (8/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.053 刺激係数 ; -0.011

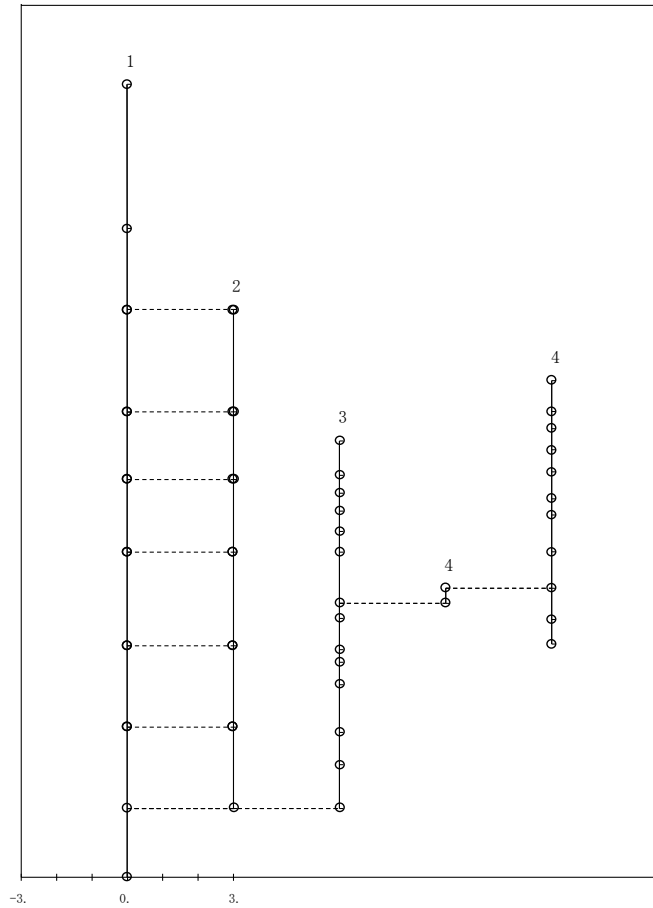


図 4-3(3) 第 9 次振動モード (Ss-1, EW 方向) (9/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.437 刺激係数 ; 1.554

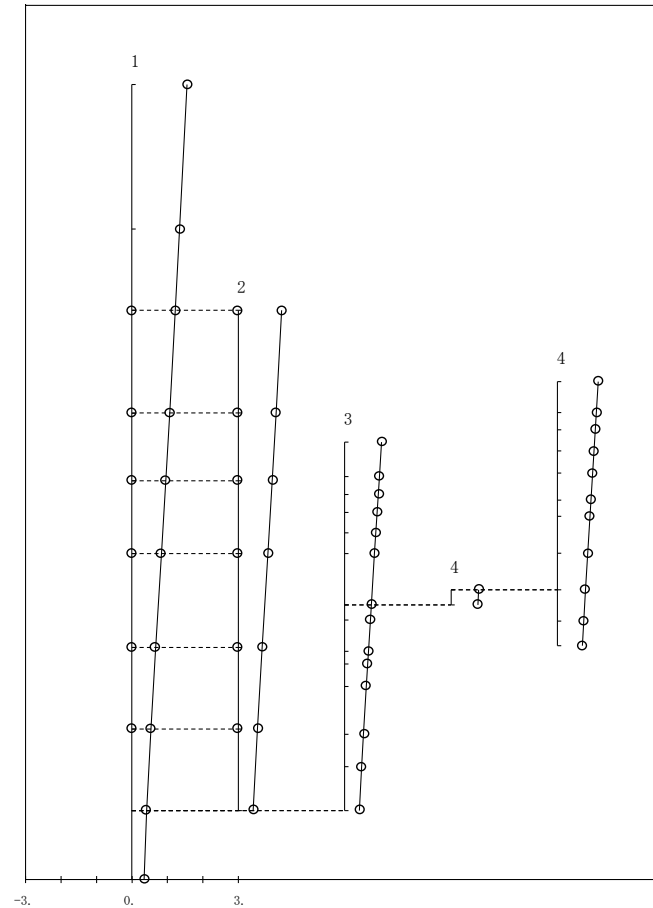


図 4-3(4) 第 1 次振動モード (Ss-2, EW 方向) (1/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.197 刺激係数 ; -0.614

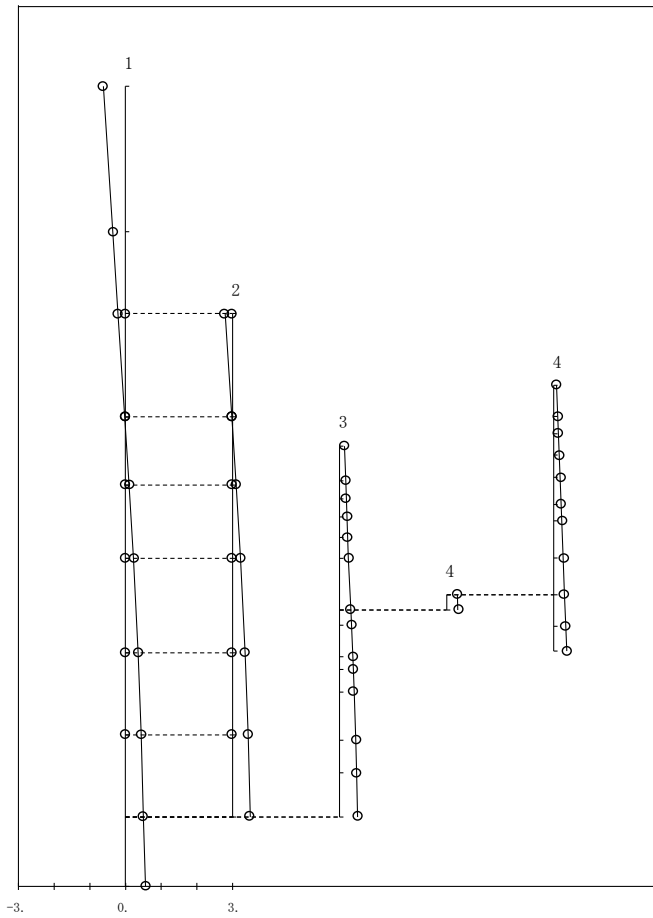


図 4-3(4) 第 2 次振動モード (Ss-2, EW 方向) (2/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.089 刺激係数 ; -0.087

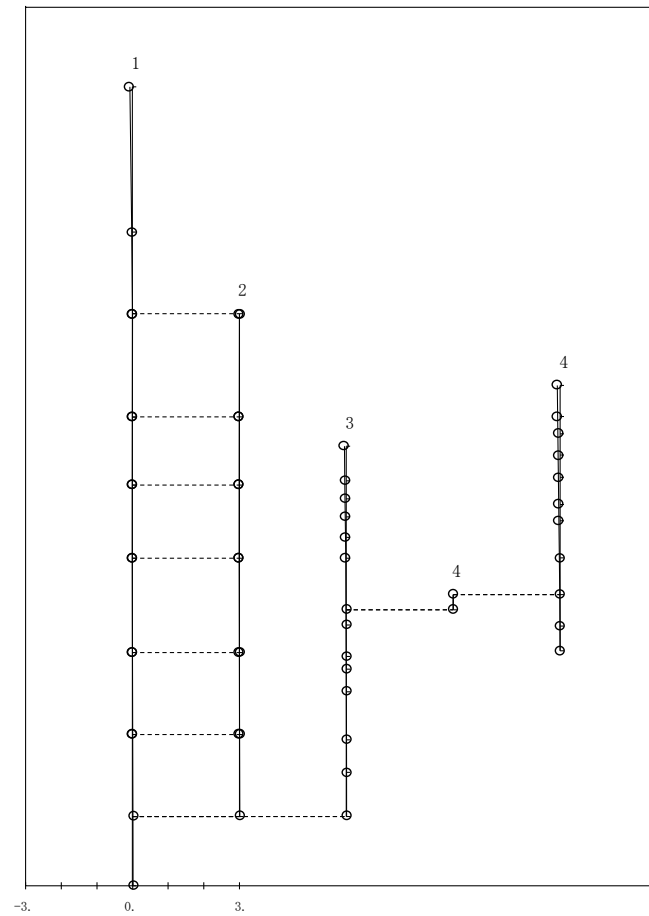


図 4-3(4) 第 3 次振動モード (Ss-2, EW 方向) (3/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.084 刺激係数 ; -0.483

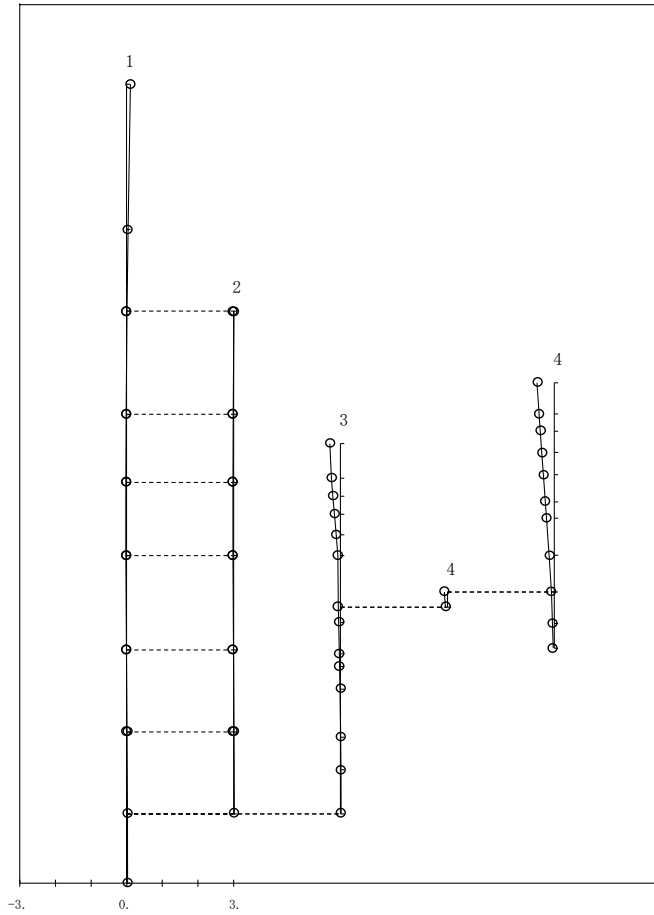


図 4-3(4) 第 4 次振動モード (Ss-2, EW 方向) (4/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.077 刺激係数 ; 0.165

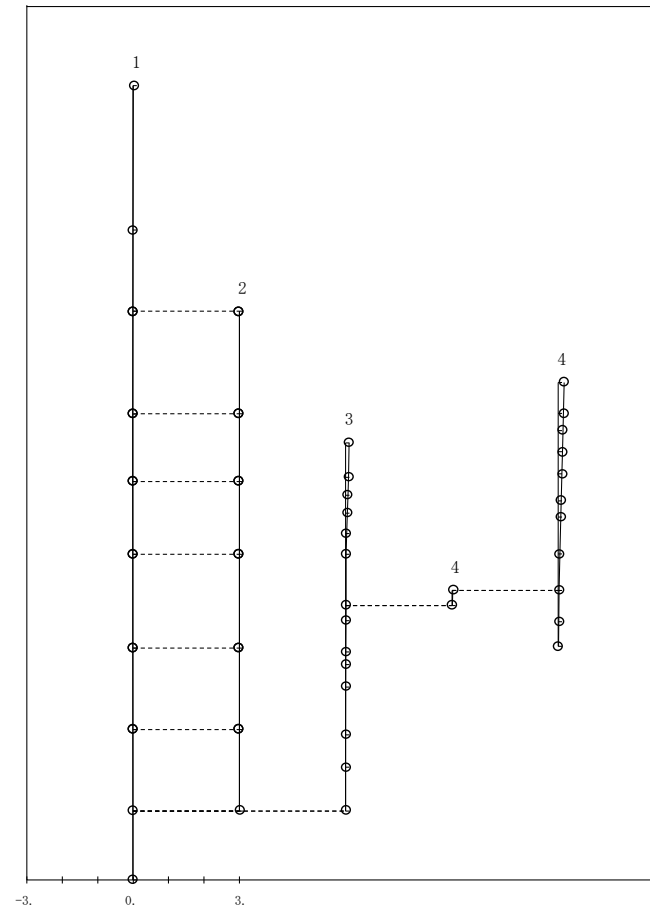


図 4-3(4) 第 5 次振動モード (Ss-2, EW 方向) (5/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.076 刺激係数 ; 0.037

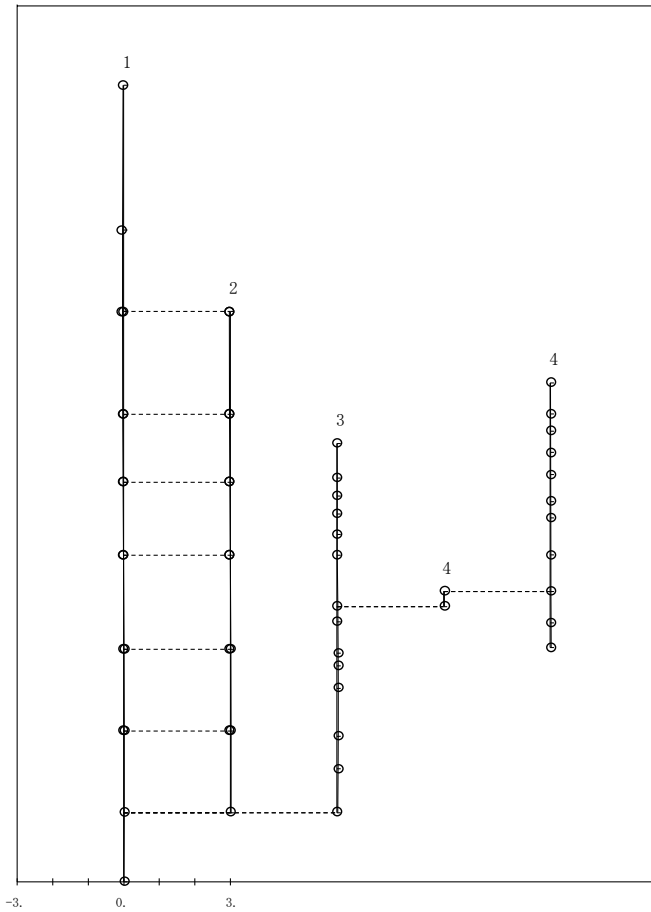


図 4-3(4) 第 6 次振動モード (Ss-2, EW 方向) (6/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.064 刺激係数 ; 0.090

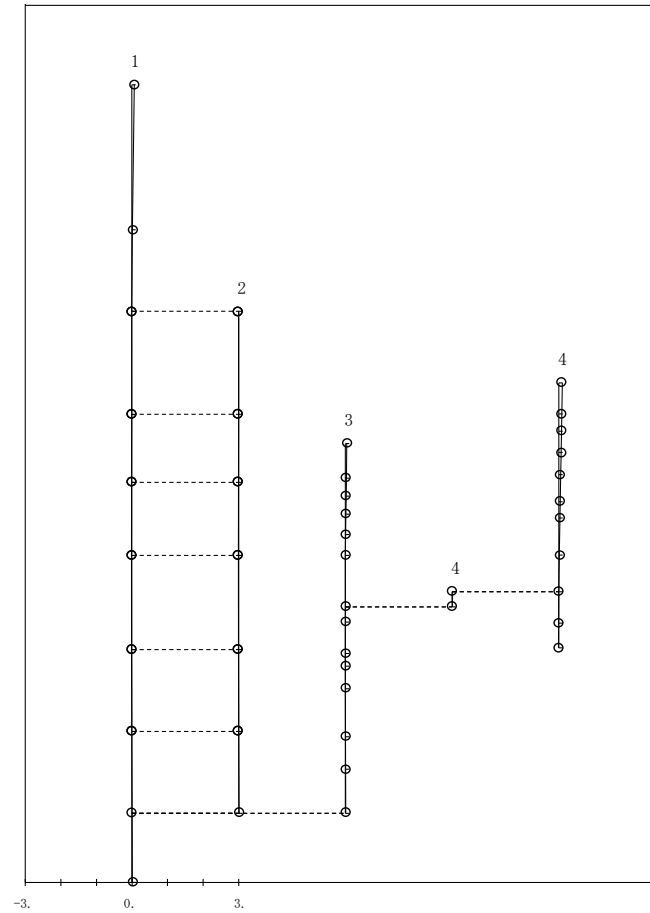


図 4-3(4) 第 7 次振動モード (Ss-2, EW 方向) (7/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.056 刺激係数 ; 0.069

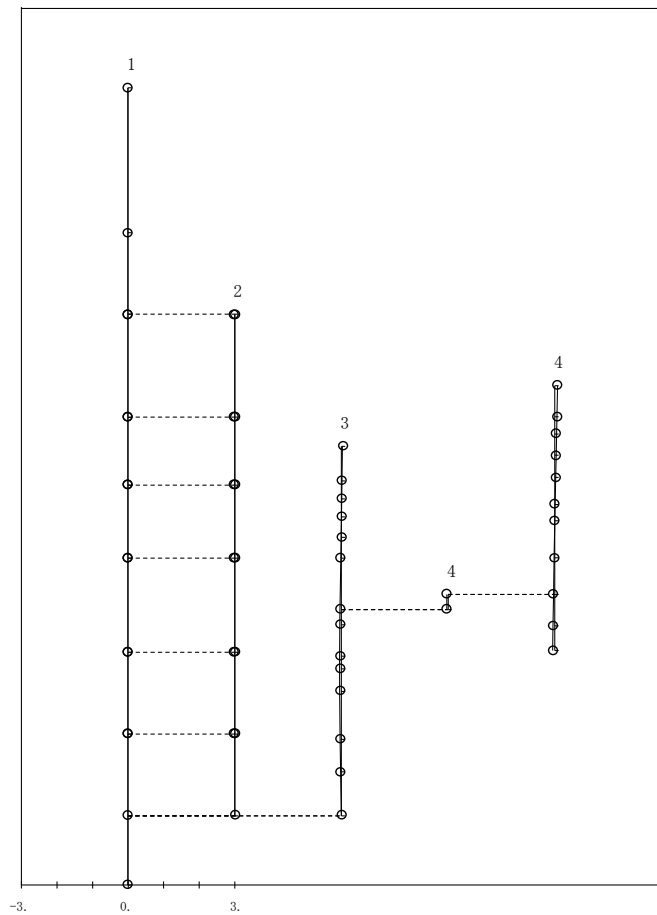


図 4-3(4) 第 8 次振動モード (Ss-2, EW 方向) (8/9)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器

固有周期 (s) ; 0.053 刺激係数 ; -0.011

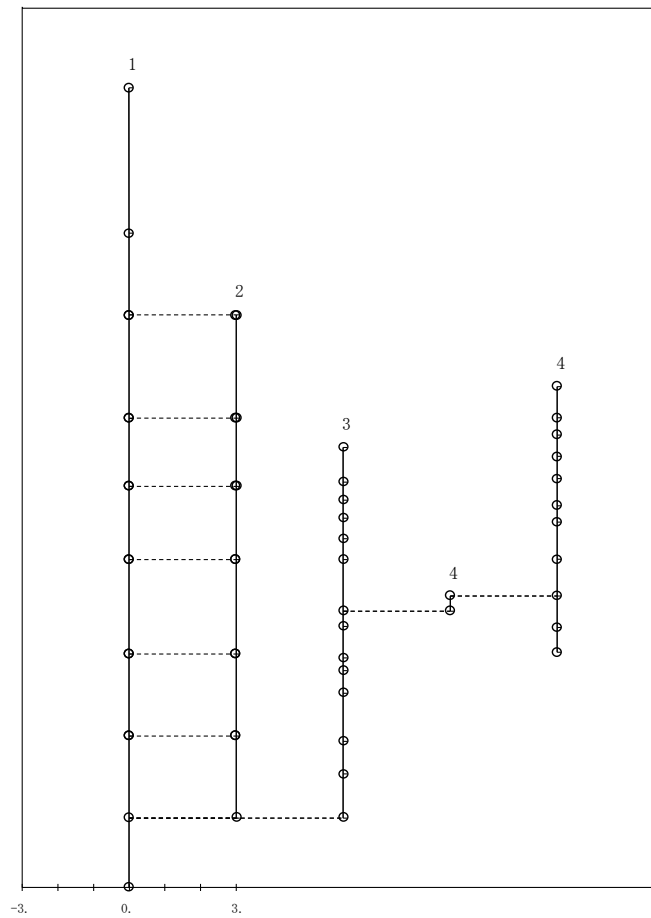


図 4-3(4) 第 9 次振動モード (Ss-2, EW 方向) (9/9)

- 1 屋根トラス
 - 2 原子炉建屋
 - 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
 - 4 原子炉压力容器
 - 5 原子炉冷却材再循環ポンプ
 - 6 炉心シュラウド
 - 7 制御棒駆動機構ハウジング
 - 8 燃料集合体及び制御棒案内管
- 固有周期 (s) ; 0.281 刺激係数 ; 10.385

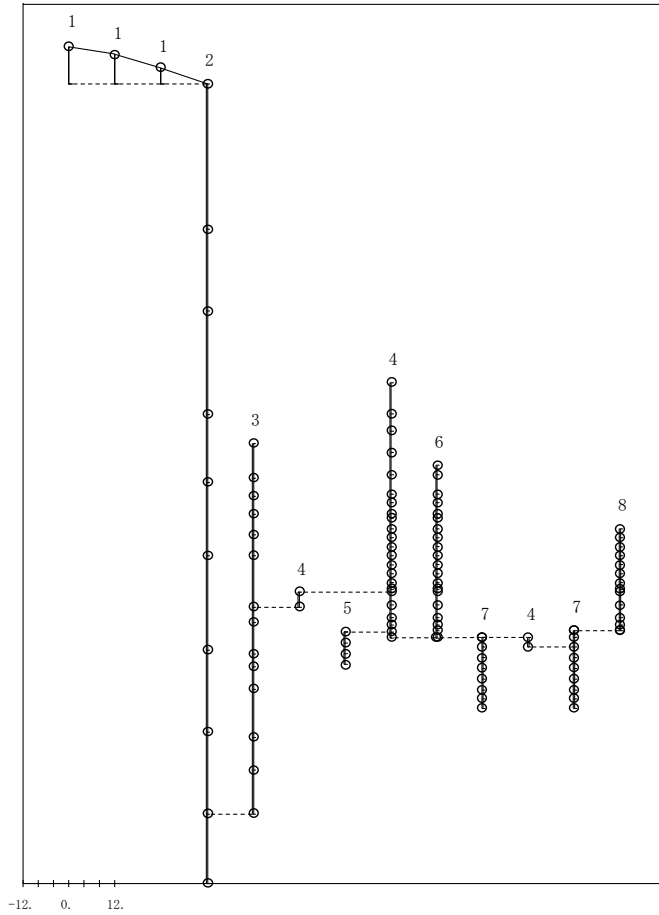


図 4-3(5) 第 1 次振動モード (Ss-1, 鉛直方向) (1/5)

- 1 屋根トラス
 - 2 原子炉建屋
 - 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
 - 4 原子炉压力容器
 - 5 原子炉冷却材再循環ポンプ
 - 6 炉心シュラウド
 - 7 制御棒駆動機構ハウジング
 - 8 燃料集合体及び制御棒案内管
- 固有周期 (s) ; 0.262 刺激係数 ; -9.446

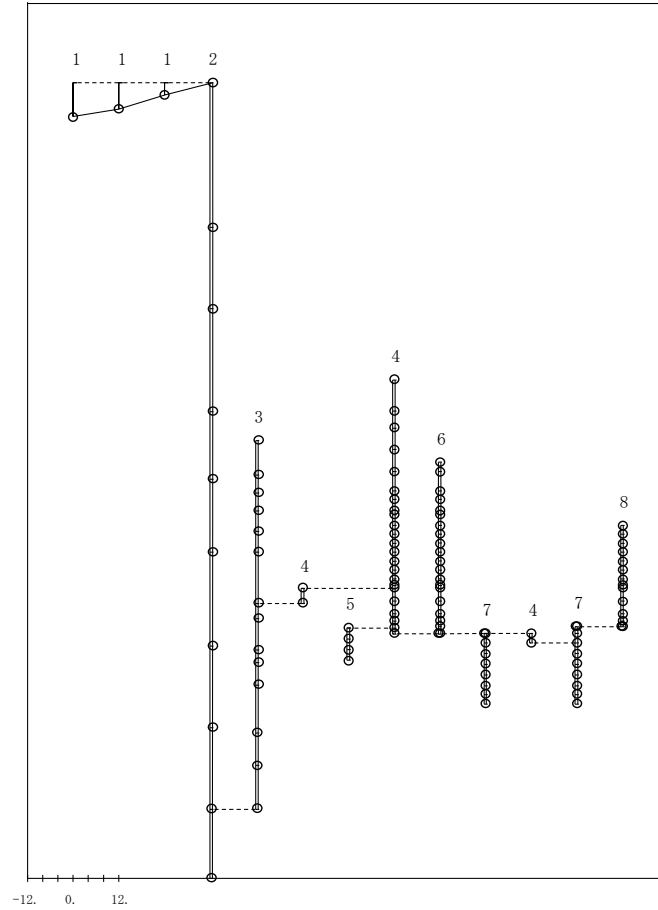


図 4-3(5) 第 2 次振動モード (Ss-1, 鉛直方向) (2/5)

- | | |
|-------------------|-----------------|
| 1 屋根トラス | 6 炉心シュラウド |
| 2 原子炉建屋 | 7 制御棒駆動機構ハウジング |
| 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎 | 8 燃料集合体及び制御棒案内管 |
| 4 原子炉圧力容器 | |
| 5 原子炉冷却材再循環ポンプ | |
- 固有周期 (s) ; 0.077 刺激係数 ; 0.100

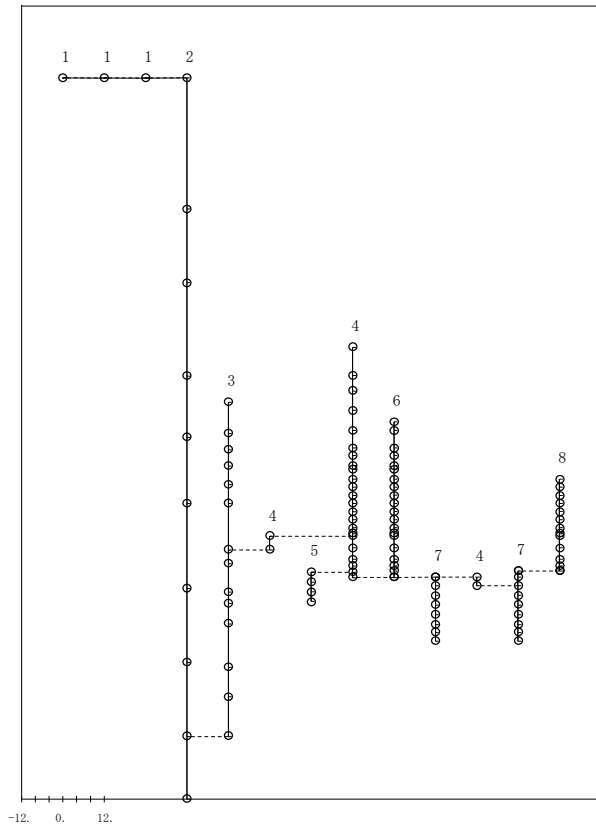


図 4-3(5) 第 3 次振動モード (S_s-1, 鉛直方向) (3/5)

- | | |
|-------------------|-----------------|
| 1 屋根トラス | 6 炉心シュラウド |
| 2 原子炉建屋 | 7 制御棒駆動機構ハウジング |
| 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎 | 8 燃料集合体及び制御棒案内管 |
| 4 原子炉圧力容器 | |
| 5 原子炉冷却材再循環ポンプ | |
- 固有周期 (s) ; 0.059 刺激係数 ; 0.119

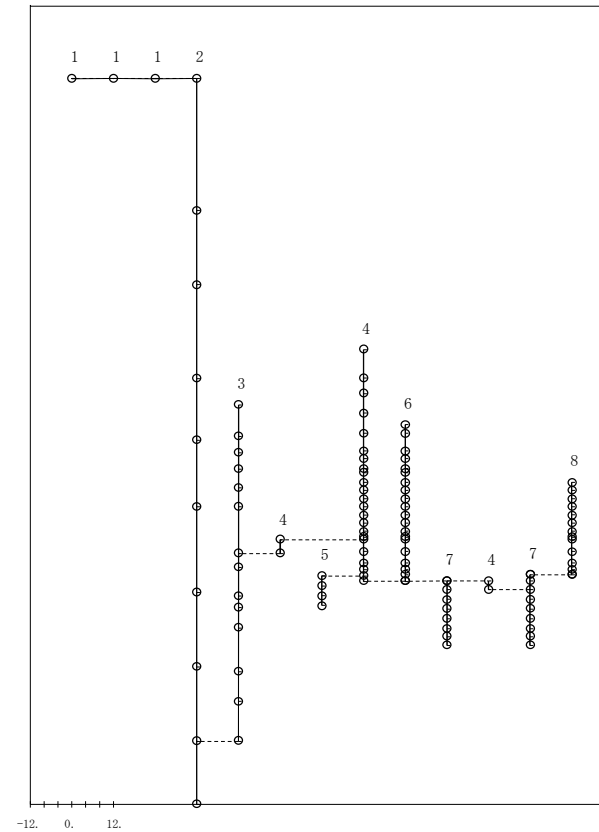


図 4-3(5) 第 4 次振動モード (S_s-1, 鉛直方向) (4/5)

- 1 屋根トラス
 - 2 原子炉建屋
 - 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
 - 4 原子炉压力容器
 - 5 原子炉冷却材再循環ポンプ
 - 6 炉心シュラウド
 - 7 制御棒駆動機構ハウジング
 - 8 燃料集合体及び制御棒案内管
- 固有周期 (s) ; 0.051 刺激係数 ; -0.094

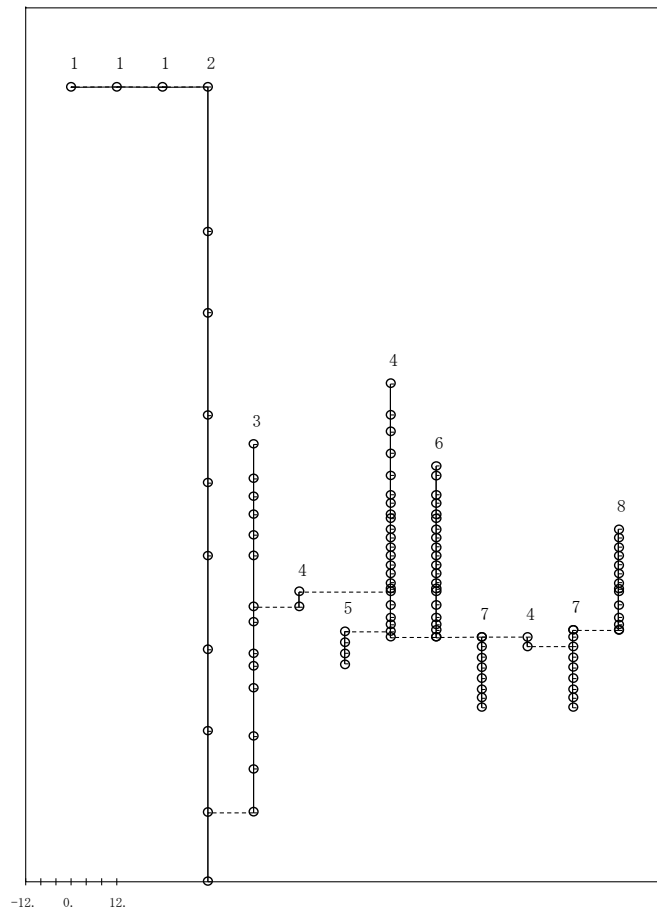


図 4-3(5) 第 5 次振動モード (Ss-1, 鉛直方向) (5/5)

- 1 屋根トラス
 - 2 原子炉建屋
 - 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
 - 4 原子炉压力容器
 - 5 原子炉冷却材再循環ポンプ
 - 6 炉心シュラウド
 - 7 制御棒駆動機構ハウジング
 - 8 燃料集合体及び制御棒案内管
- 固有周期 (s) ; 0.280 刺激係数 ; 10.012

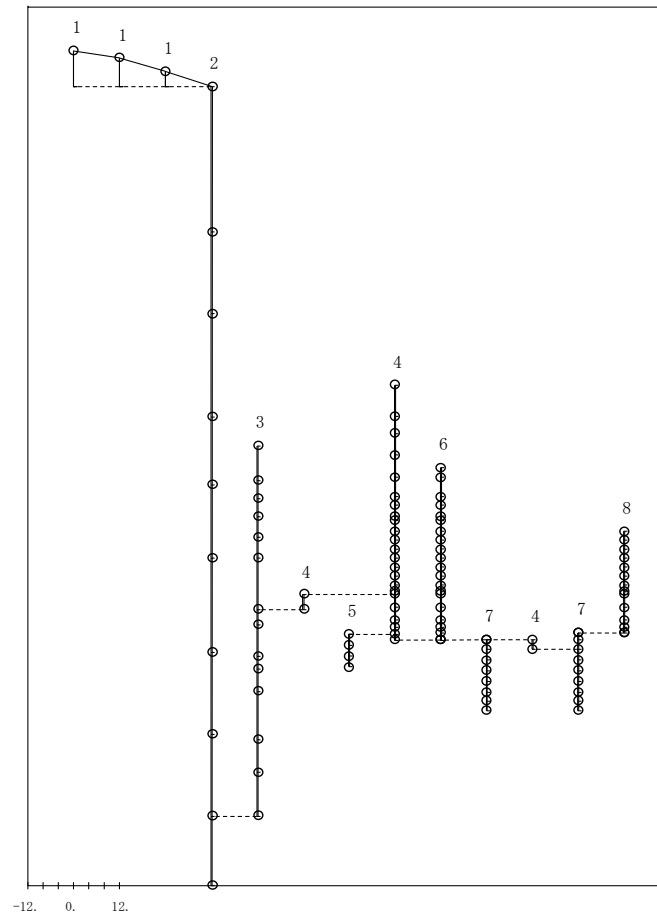


図 4-3(6) 第 1 次振動モード (Ss-2, 鉛直方向) (1/5)

- 1 屋根トラス
- 2 原子炉建屋
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器
- 5 原子炉冷却材再循環ポンプ

- 6 炉心シュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング
- 8 燃料集合体及び制御棒案内管

固有周期 (s) ; 0.260 刺激係数 ; -9.075

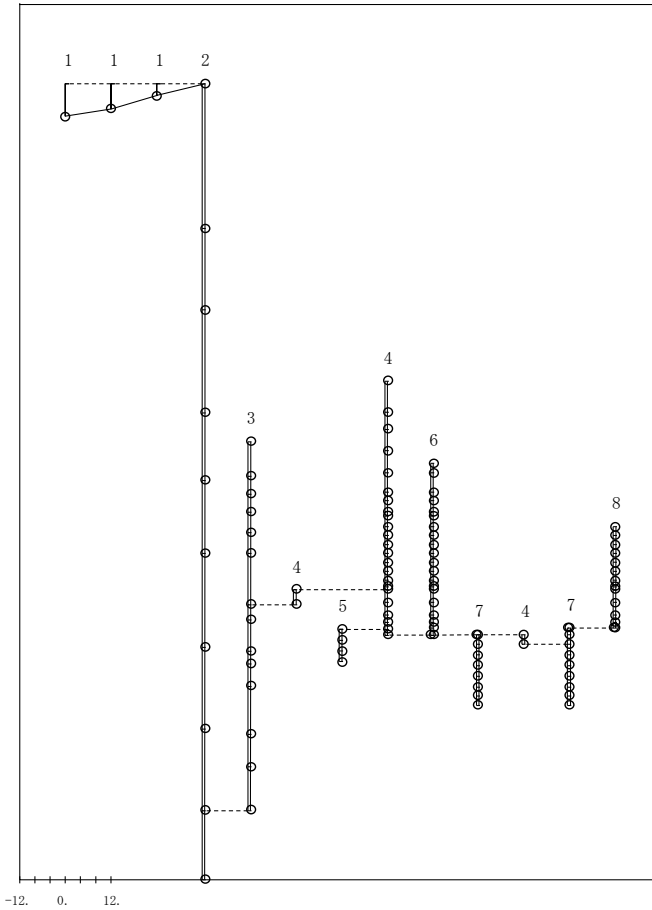


図 4-3(6) 第 2 次振動モード (Ss-2, 鉛直方向) (2/5)

- 1 屋根トラス
- 2 原子炉建屋
- 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
- 4 原子炉压力容器
- 5 原子炉冷却材再循環ポンプ

- 6 炉心シュラウド
- 7 制御棒駆動機構ハウジング
- 8 燃料集合体及び制御棒案内管

固有周期 (s) ; 0.077 刺激係数 ; 0.102

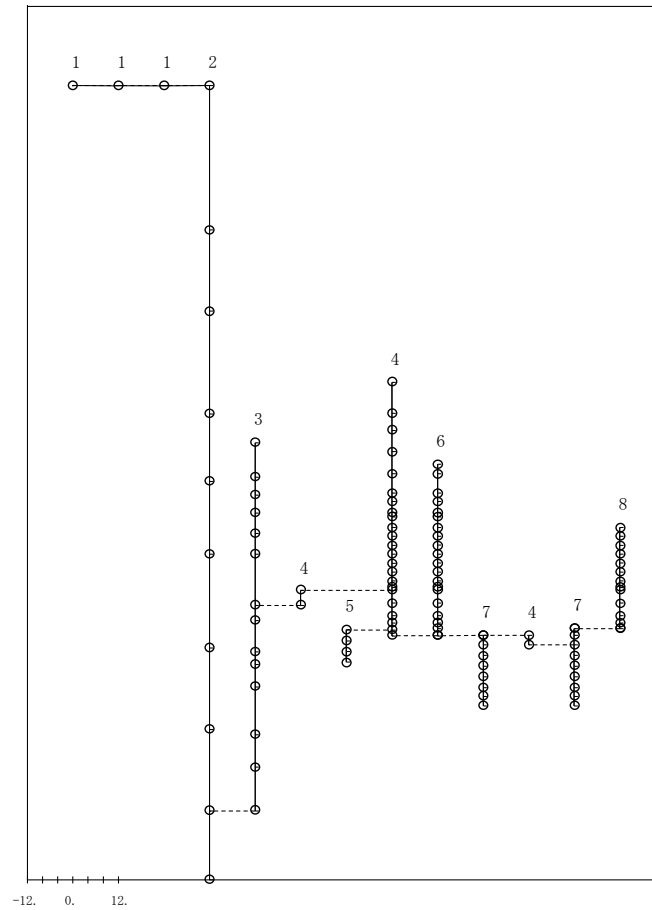


図 4-3(6) 第 3 次振動モード (Ss-2, 鉛直方向) (3/5)

- 1 屋根トラス
 - 2 原子炉建屋
 - 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
 - 4 原子炉压力容器
 - 5 原子炉冷却材再循環ポンプ
 - 6 炉心シェラウド
 - 7 制御棒駆動機構ハウジング
 - 8 燃料集合体及び制御棒案内管
- 固有周期 (s) ; 0.059 刺激係数 ; 0.121

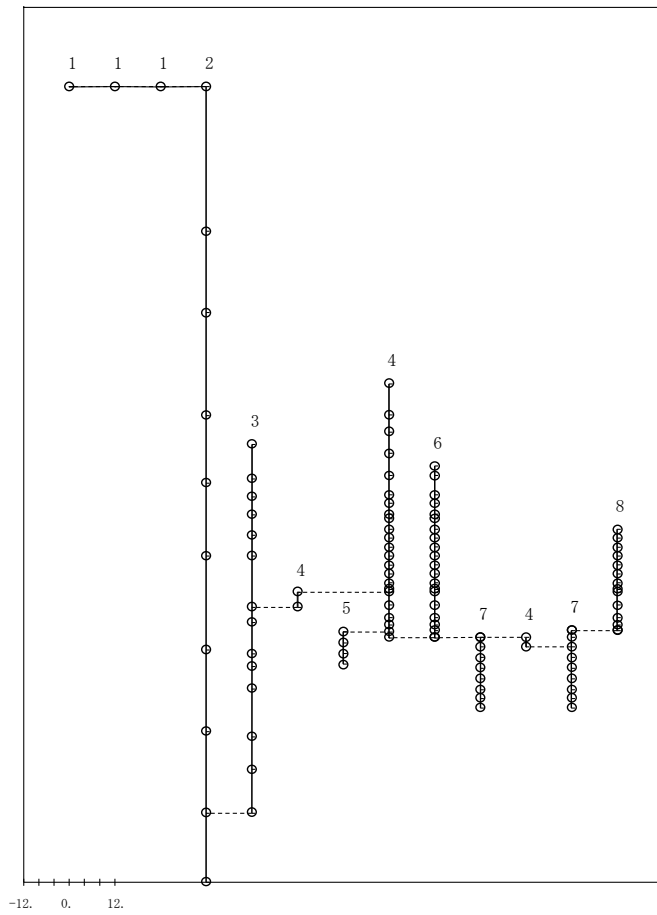


図 4-3(6) 第 4 次振動モード (Ss-2, 鉛直方向) (4/5)

- 1 屋根トラス
 - 2 原子炉建屋
 - 3 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎
 - 4 原子炉压力容器
 - 5 原子炉冷却材再循環ポンプ
 - 6 炉心シェラウド
 - 7 制御棒駆動機構ハウジング
 - 8 燃料集合体及び制御棒案内管
- 固有周期 (s) ; 0.051 刺激係数 ; -0.095

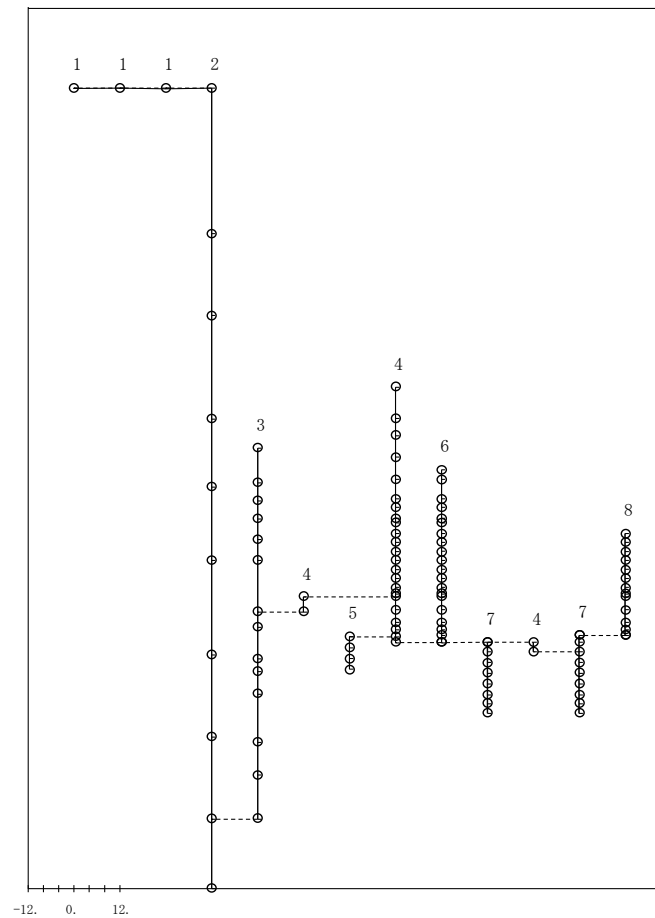


図 4-3(6) 第 5 次振動モード (Ss-2, 鉛直方向) (5/5)

表 4-7 「SA 時環境考慮連成モデル」応答と「大型機器系の地震応答解析モデル」応答との比較（せん断力）（1/4）

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	せん断力 (kN)				
			①SA時環境考慮連成モデル	②設計用地震力 I	比率 (①/②)	③設計用地震力 II	比率 (①/③)
原子炉压力容器	34	26.013	—	—	—	—	—
	35	23.553	401	453	0.89	523	0.77
	36	22.163	1760	1970	0.90	2270	0.78
	37	20.494	3020	2980	1.02	3410	0.89
	38	18.716	5210	5360	0.98	6310	0.83
	39	16.563	4200	4150	1.02	4880	0.86
	40	15.262	5940	6520	0.92	7710	0.77
	41	15.262	7730	8720	0.89	10400	0.75
	42	12.332	12100	12900	0.94	15800	0.77
	43	9.402	4950	4710	1.05	5800	0.86
	44	6.904	2250	2210	1.02	2640	0.86
原子炉压力容器 スカート	32	9.402	19900	20000	1.00	25000	0.80
	33	8.200					
原子炉遮蔽壁	18	21.200	1010	1090	0.93	1270	0.80
	19	18.440	7950	8520	0.94	10100	0.79
	20	17.020	9030	9670	0.94	11400	0.80
	21	15.600	13300	14200	0.94	16800	0.80
	22	13.950	14500	15300	0.95	18200	0.80
	23	12.300	17700	20500	0.87	25500	0.70
原子炉本体基礎	24	8.200	32500	35300	0.92	41100	0.79
	25	7.000	34900	37600	0.93	44100	0.80
	26	4.500	37700	39300	0.96	46700	0.81
	27	3.500	39700	40300	0.99	48300	0.83
	28	1.700	44100	43000	1.03	51800	0.86
	29	-2.100	48200	45400	1.07	55700	0.87
	30	-4.700	52300	48000	1.09	59300	0.89
	31	-8.200	—	—	—	—	—

表 4-7 「SA 時環境考慮連成モデル」応答と「大型機器系の地震応答解析モデル」応答との比較（モーメント）（2/4）

機器	質点番号	標高 T. M. S. L. (m)	モーメント (kN・m)				
			①SA時環境考慮連成モデル	②設計用地震力 I	比率 (①/②)	③設計用地震力 II	比率 (①/③)
原子炉圧力容器	34	26.013	0	0	—	0	—
	35	23.553	987	1120	0.89	1290	0.77
	36	22.163	3420	3850	0.89	4440	0.77
	37	20.494	8160	8490	0.97	9770	0.84
	38	18.716	17500	18000	0.98	21000	0.84
	39	16.563	26000	27000	0.97	31500	0.83
	40	15.262	33700	35000	0.97	41400	0.82
	41	12.332	55900	60500	0.93	71700	0.78
	42	9.402	87700	98300	0.90	118000	0.75
	43	6.904	4390	4310	1.02	5170	0.85
	44	4.950	0	0	—	0	—
原子炉圧力容器 スカート	32	9.402	79100	83700	0.95	98100	0.81
	33	8.200	97400	108000	0.91	128000	0.76
原子炉遮蔽壁	18	21.200	0	0	—	0	—
	19	18.440	2790	3010	0.93	3500	0.80
	20	17.020	14100	15100	0.94	17900	0.79
	21	15.600	26900	28900	0.93	34000	0.80
	22	13.950	48800	52200	0.94	61700	0.79
原子炉本体基礎	23	12.300	72600	77300	0.94	91700	0.80
	24	8.200	114000	131000	0.87	153000	0.75
			199000	212000	0.94	253000	0.79
	25	7.000	233000	254000	0.92	301000	0.78
	26	4.500	312000	347000	0.90	410000	0.76
	27	3.500	347000	386000	0.90	455000	0.77
	28	1.700	415000	457000	0.91	537000	0.78
	29	-2.100	574000	617000	0.93	719000	0.80
	30	-4.700	691000	731000	0.95	849000	0.82
31	-8.200	861000	892000	0.97	1040000	0.83	

表 4-7 「SA 時環境考慮連成モデル」応答と「大型機器系の地震応答解析モデル」応答との比較（軸力）（3/4）

機器	質点番号	標高 T. M. S. L. (m)	軸力 (kN)				
			①SA時環境考慮連成モデル	②設計用地震力 I	比率 (①/②)	③設計用地震力 II	比率 (①/③)
原子炉压力容器	55	26.013	187	189	0.99	253	0.74
	56	23.553	868	879	0.99	1180	0.74
	57	22.163	1590	1610	0.99	2150	0.74
	58	20.494	3000	3040	0.99	4060	0.74
	59	18.716	3540	3600	0.99	4790	0.74
	60	17.179	3850	3910	0.99	5200	0.74
	61	16.506	4270	4350	0.99	5780	0.74
	62	15.641	4460	4540	0.99	6020	0.74
	63	15.266	4730	4810	0.99	6390	0.74
	64	14.433	4940	5030	0.99	6670	0.74
	65	13.721	5130	5230	0.98	6930	0.74
	66	13.009	5330	5430	0.99	7190	0.75
	67	12.297	5520	5630	0.98	7450	0.74
	68	11.585	5710	5830	0.98	7710	0.74
	69	10.873	5910	6030	0.98	7970	0.75
	70	10.161	6080	6200	0.98	8210	0.74
	71	9.645	6200	6330	0.98	8380	0.74
	72	9.402	10600	10800	0.99	14600	0.73
	73	8.395	10400	10600	0.99	14200	0.74
	74	7.388	10100	10300	0.98	14000	0.73
75	6.795	8980	9140	0.99	12400	0.73	
51	6.253	8090	8240	0.99	11200	0.73	
50	5.783	8090	8240	0.99	11200	0.73	
23	5.817	4420	4500	0.99	6100	0.73	
16	5.066	4420	4500	0.99	6100	0.73	
原子炉压力容器 スカート	72	9.402	17200	17500	0.99	23400	0.74
	82	8.200	17200	17500	0.99	23400	0.74
原子炉遮蔽壁	76	21.200	614	623	0.99	851	0.73
	77	18.440	3450	3500	0.99	4780	0.73
	78	17.020	4200	4260	0.99	5820	0.73
	79	15.600	7400	7520	0.99	10200	0.73
	80	13.950	8320	8450	0.99	11500	0.73
原子炉本体基礎	81	12.300	19700	20100	0.98	26800	0.74
	82	8.200	41100	41900	0.98	55900	0.74
	83	7.000	44200	45200	0.98	60100	0.74
	84	4.500	46700	47800	0.98	63500	0.74
	85	3.500	48400	49500	0.98	65600	0.74
	86	1.700	52100	53500	0.98	70600	0.74
	87	-2.100	55800	57500	0.97	75400	0.74
	88	-4.700	59100	61100	0.97	79700	0.75
	89	-8.200	—	—	—	—	—

表 4-7 「SA 時環境考慮連成モデル」応答と「大型機器系の地震応答解析モデル」応答との比較（ばね反力）（4/4）

構造物名	質点番号	ばね反力 (kN)				
		①SA時環境考慮連成モデル	②設計用地震力 I	比率 (①/②)	③設計用地震力 II	比率 (①/③)
原子炉圧力容器 スタビライザ	19-38	2680	2810	0.96	3280	0.82
ダイヤフラムフロア	14-23	36800	37500	0.99	40300	0.92

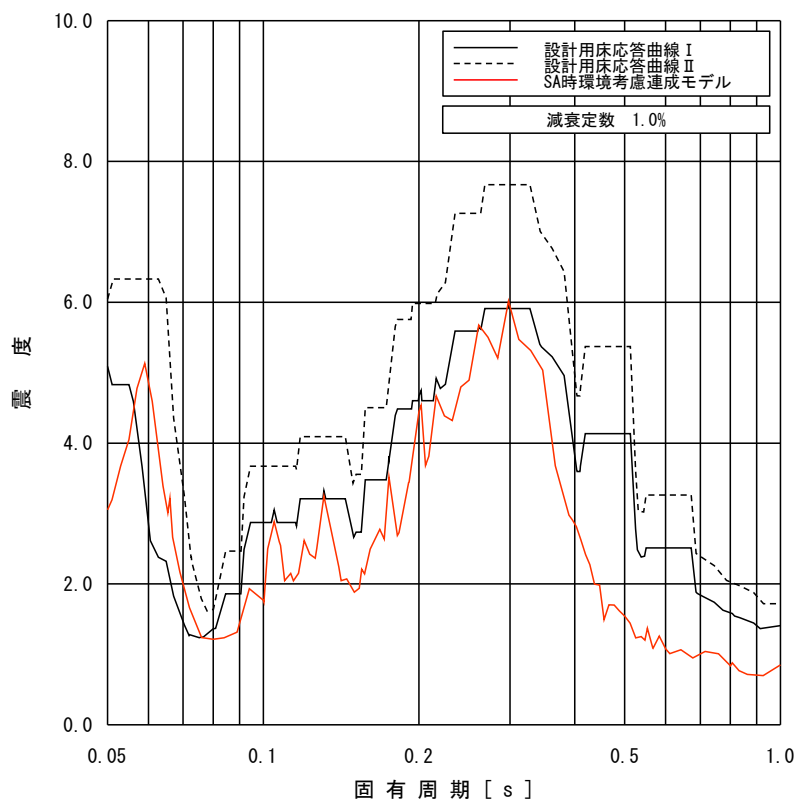
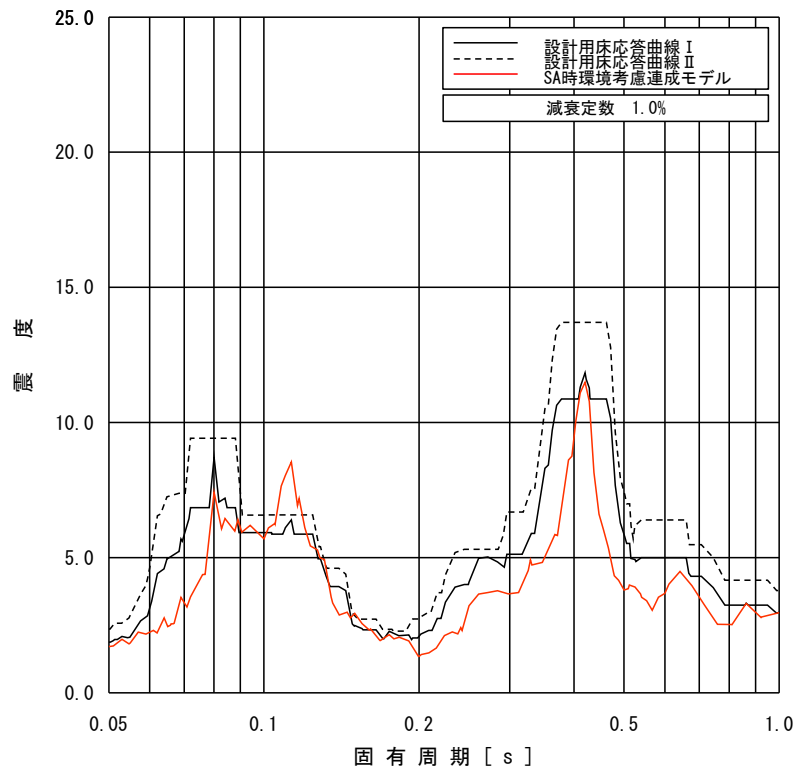


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (1/18)

(原子炉遮蔽壁, T.M.S.L. 21.200m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

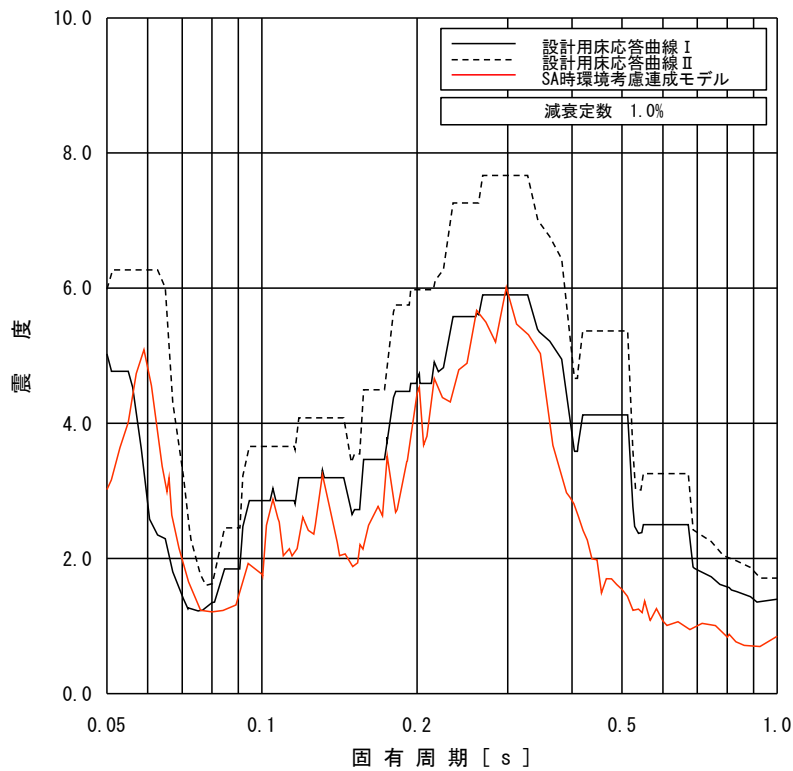
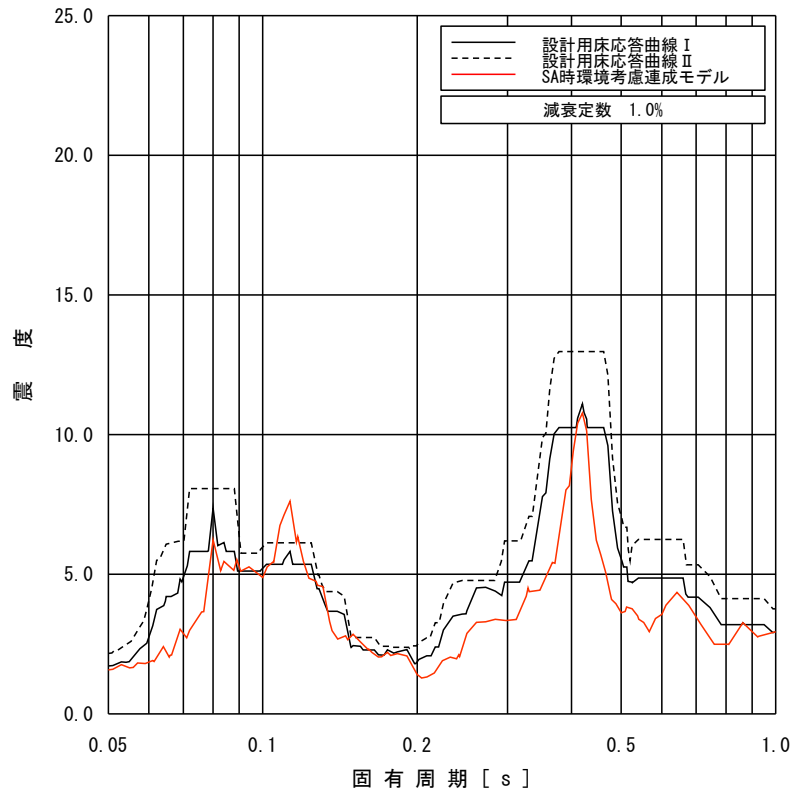


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (2/18)

(原子炉遮蔽壁, T.M.S.L. 18.440m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

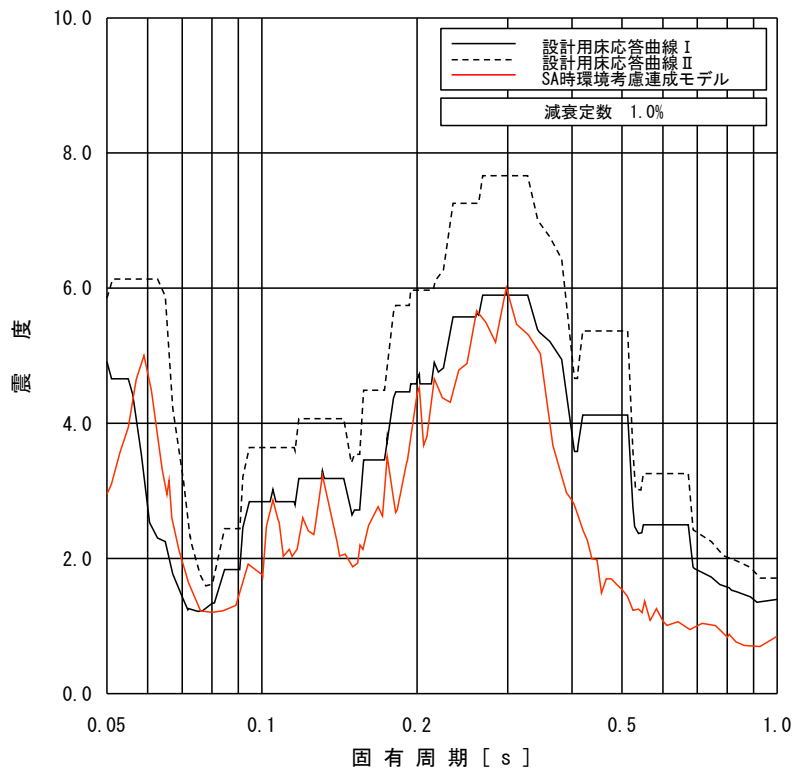
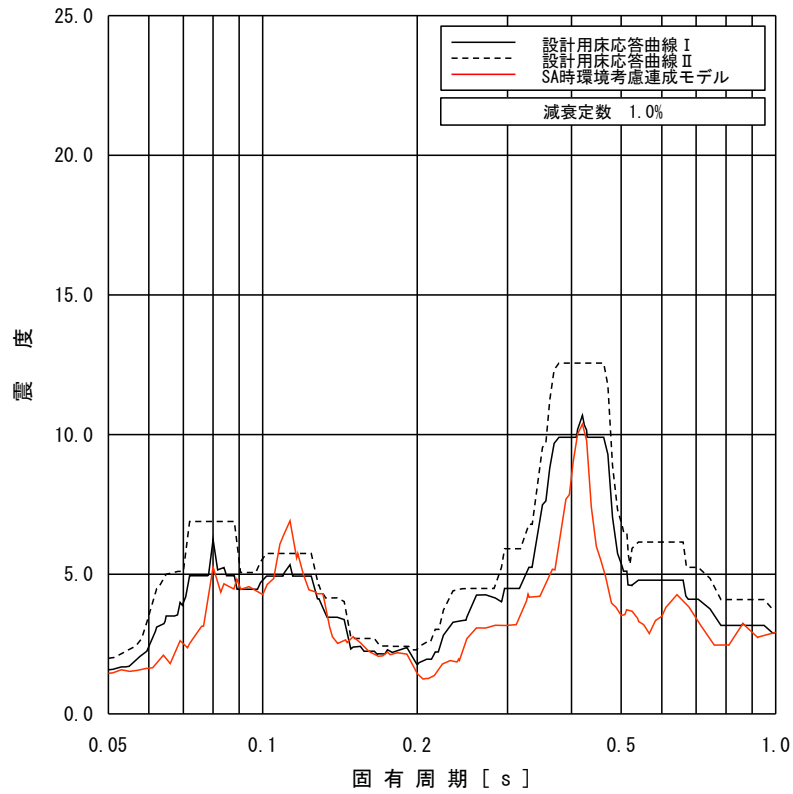


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (3/18)

(原子炉遮蔽壁, T.M.S.L. 17.020m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

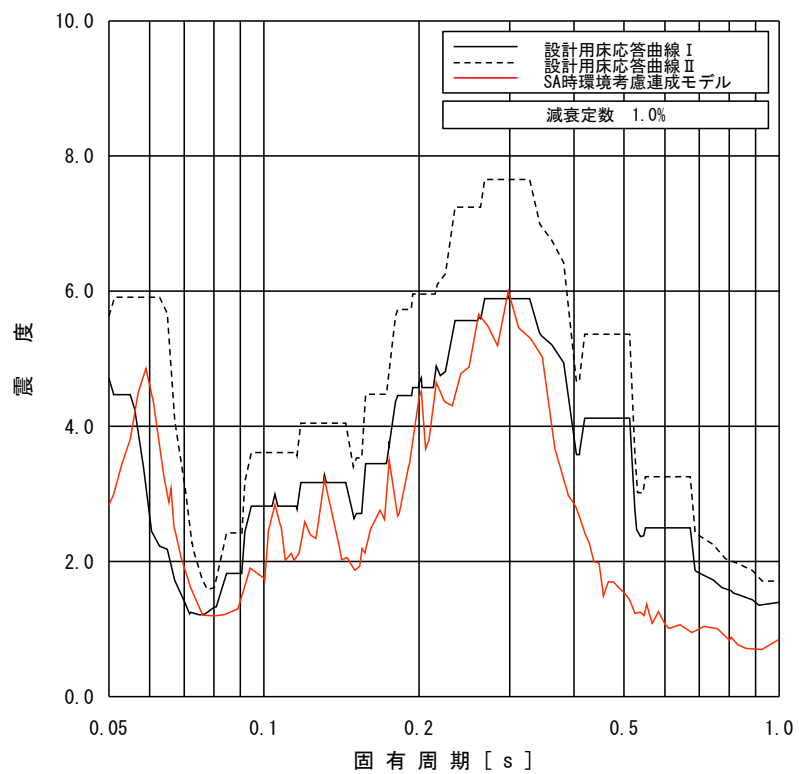
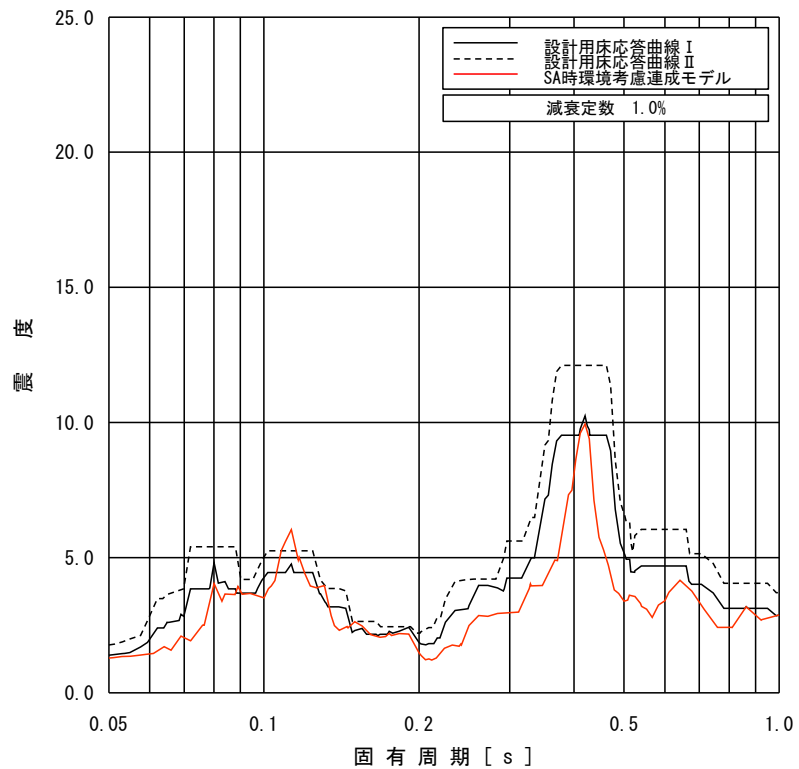


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (4/18)

(原子炉遮蔽壁, T.M.S.L. 15.600m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

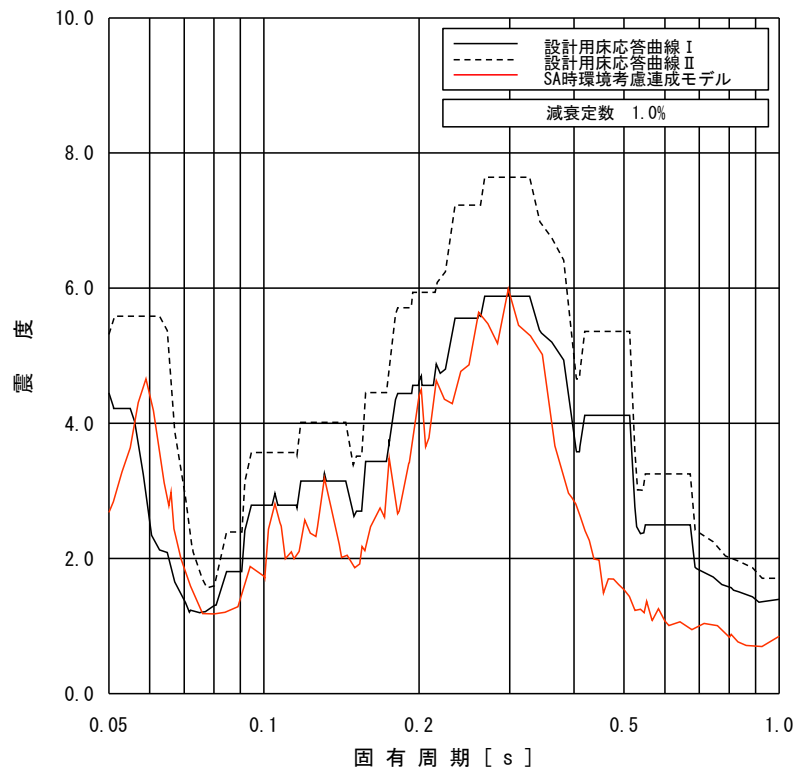
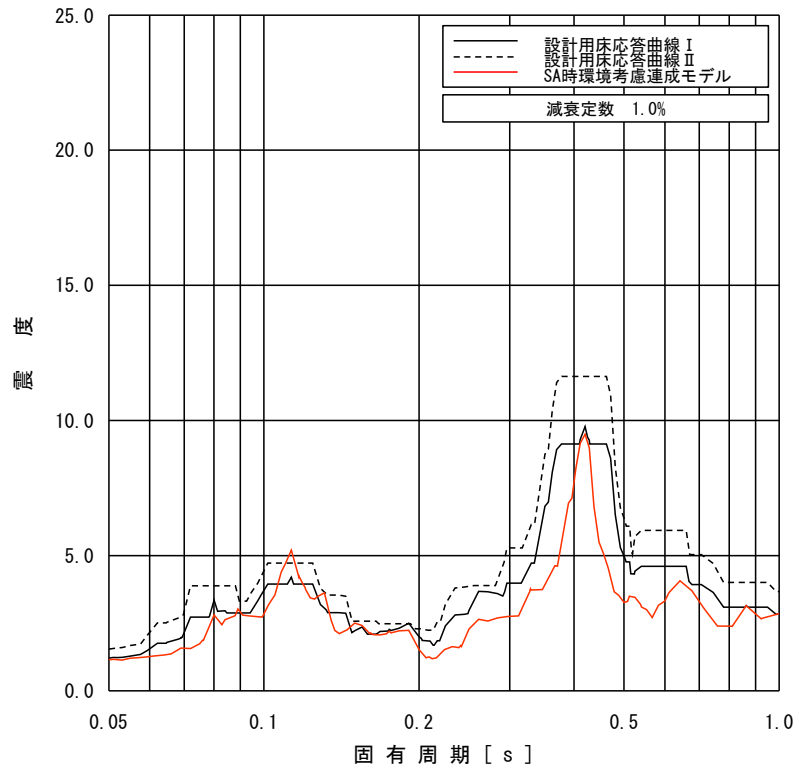


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (5/18)

(原子炉遮蔽壁, T.M.S.L. 13.950m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

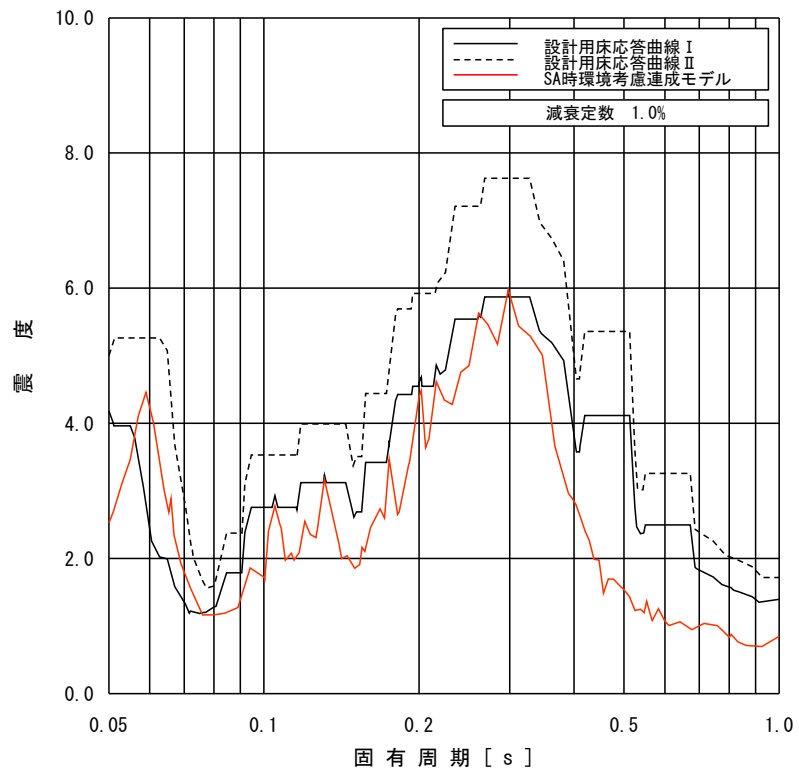
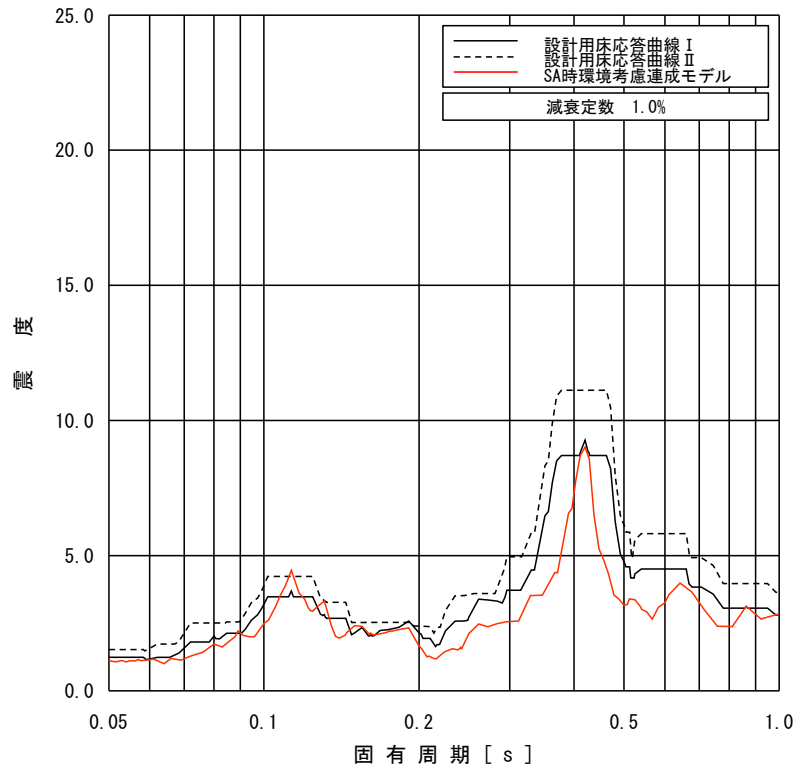


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (6/18)

(原子炉遮蔽壁, T.M.S.L. 12.300m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

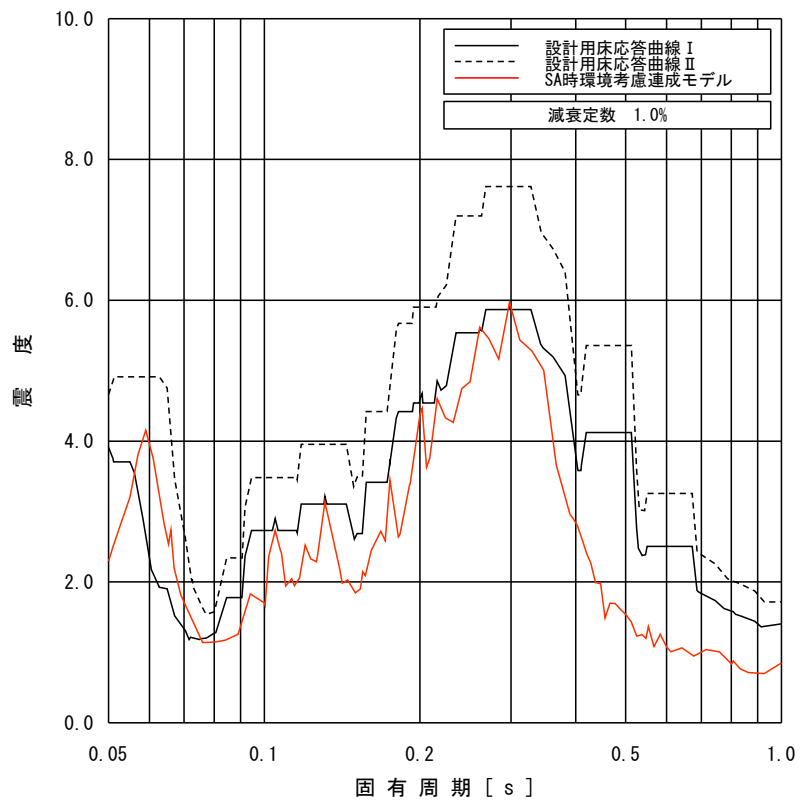
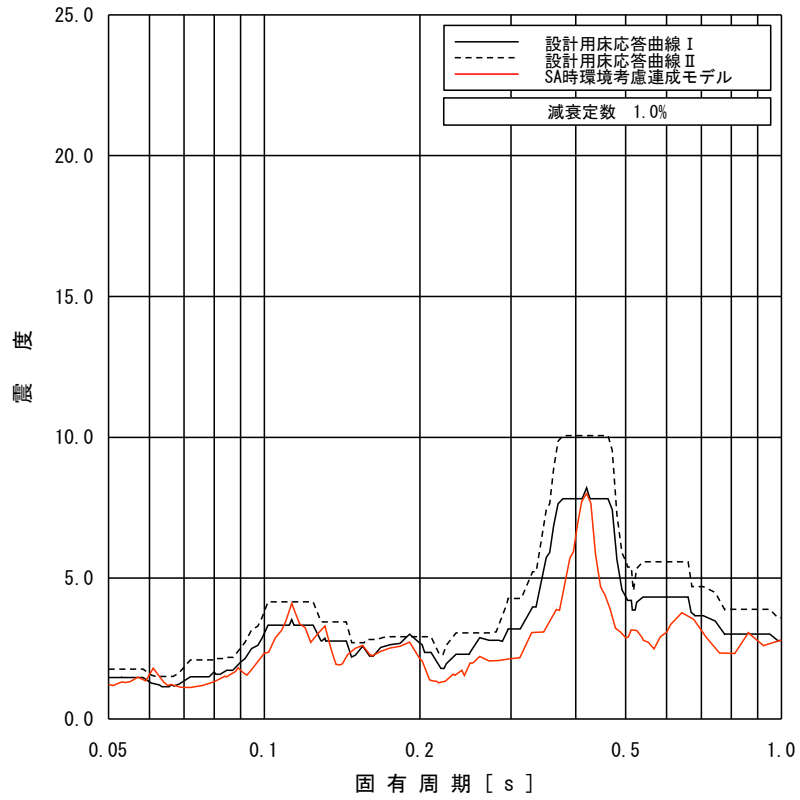


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (7/18)

(原子炉本体基礎, T.M.S.L. 8. 200m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

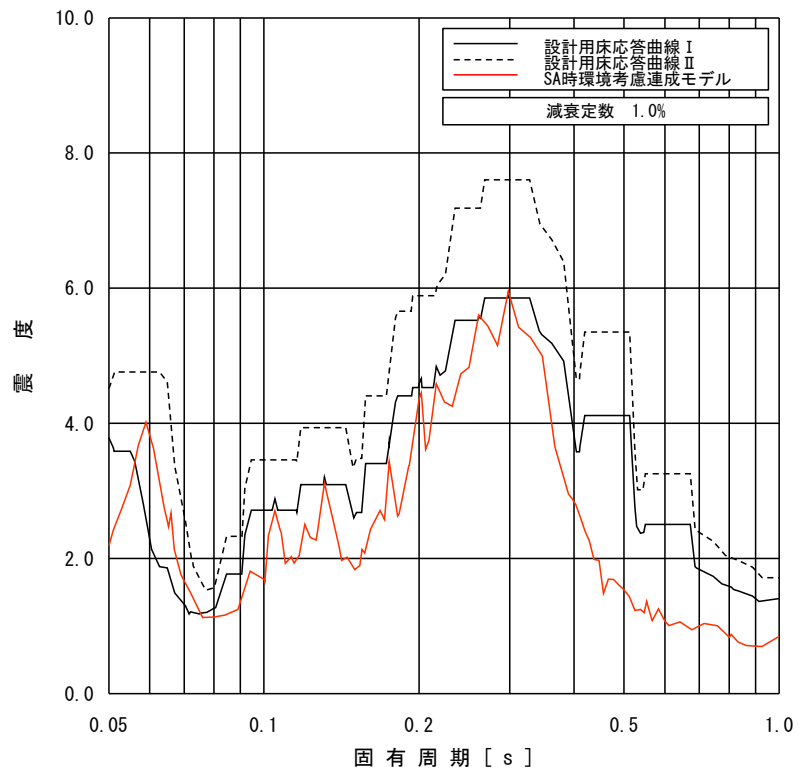
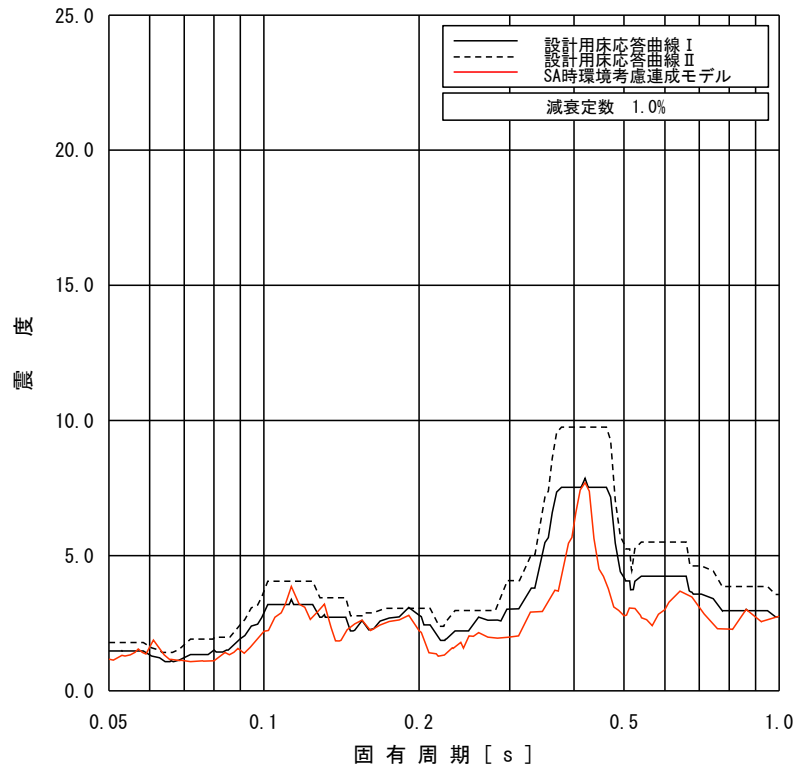


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (8/18)

(原子炉本体基礎, T.M.S.L. 7.000m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

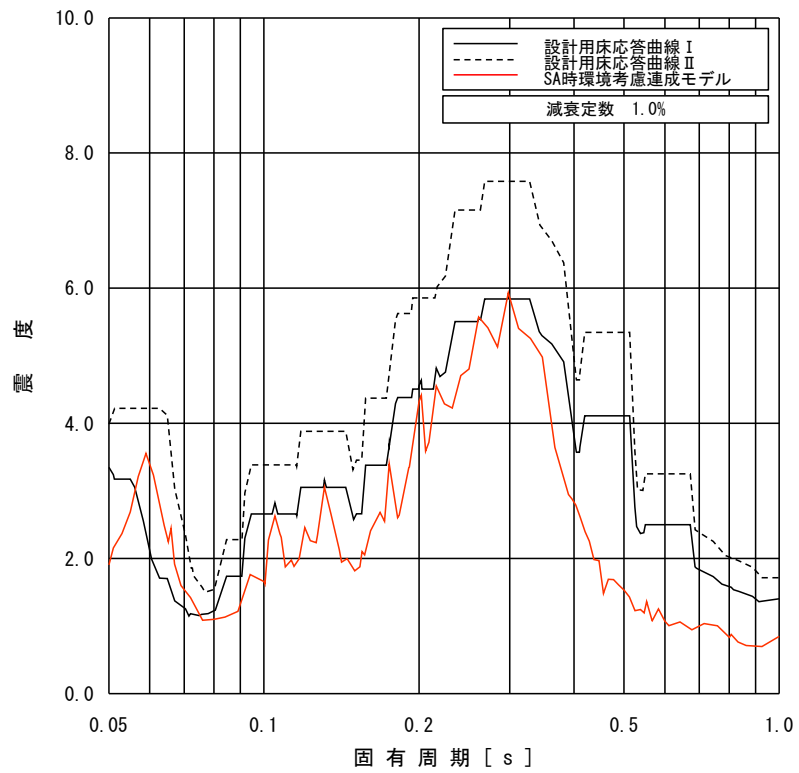
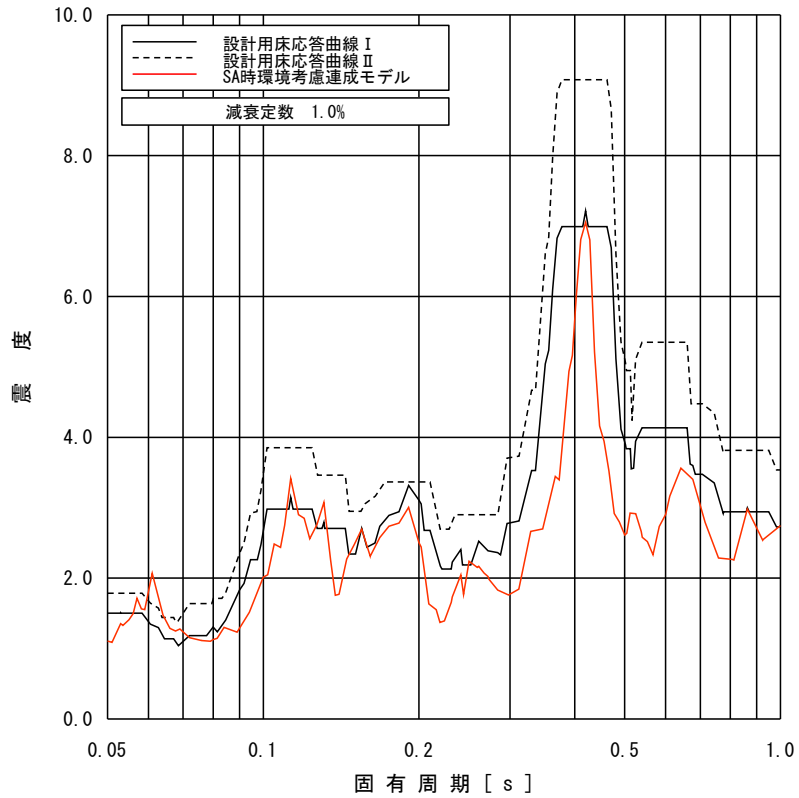


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (9/18)

(原子炉本体基礎, T.M.S.L. 4. 500m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

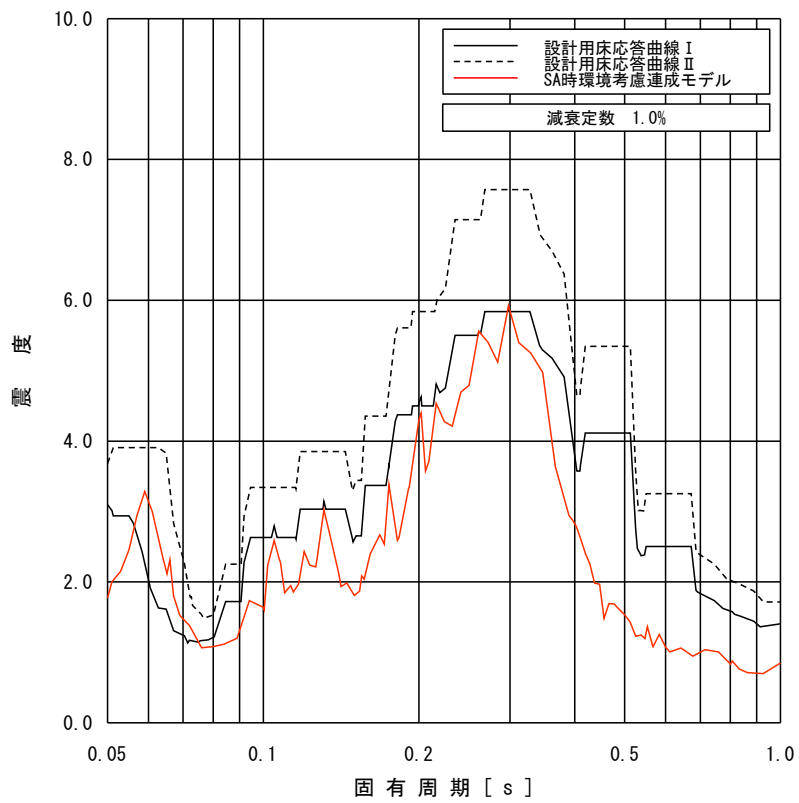
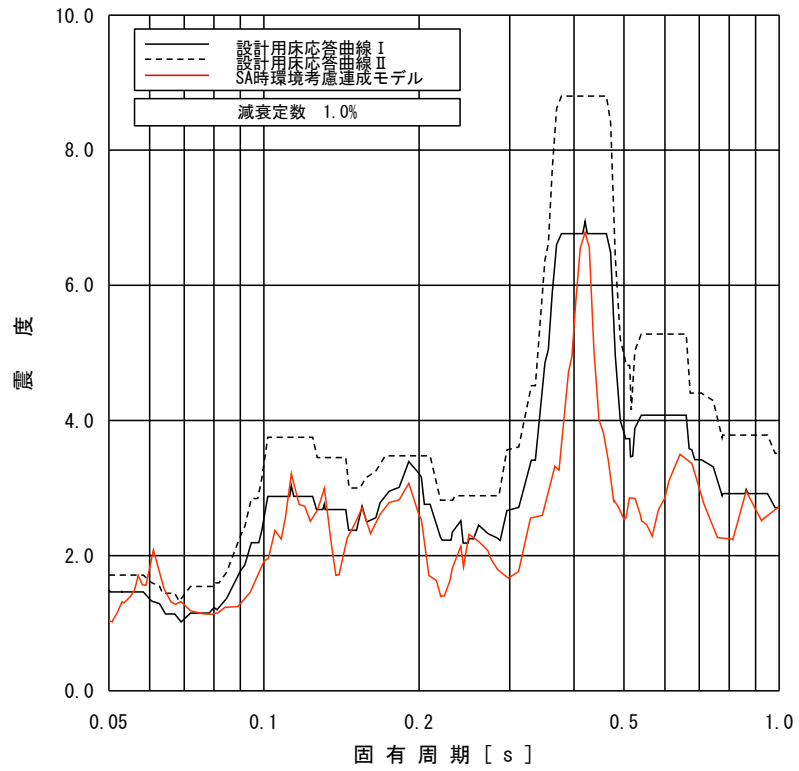


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (10/18)

(原子炉本体基礎, T.M.S.L. 3.500m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

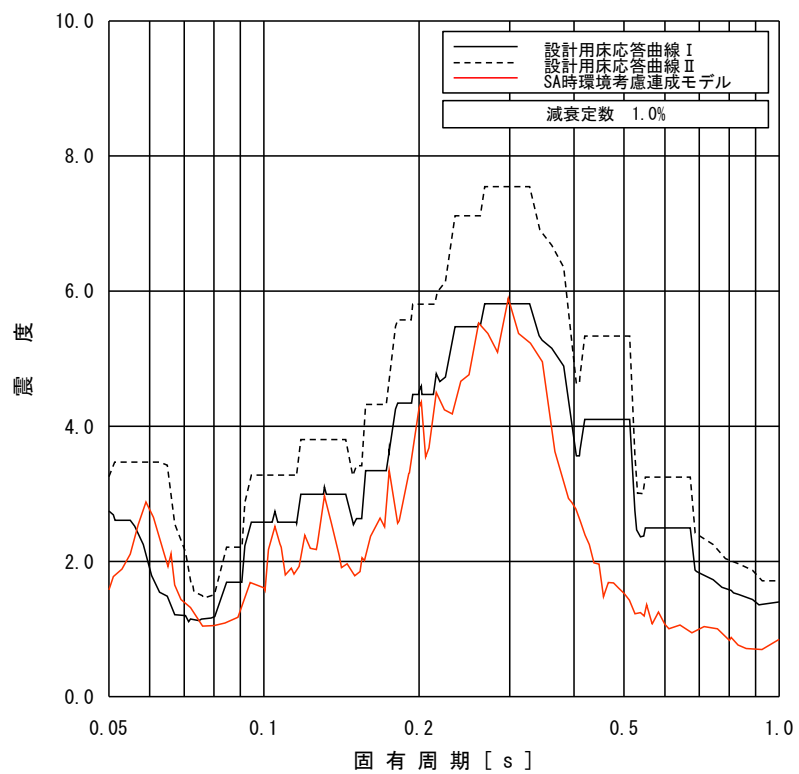
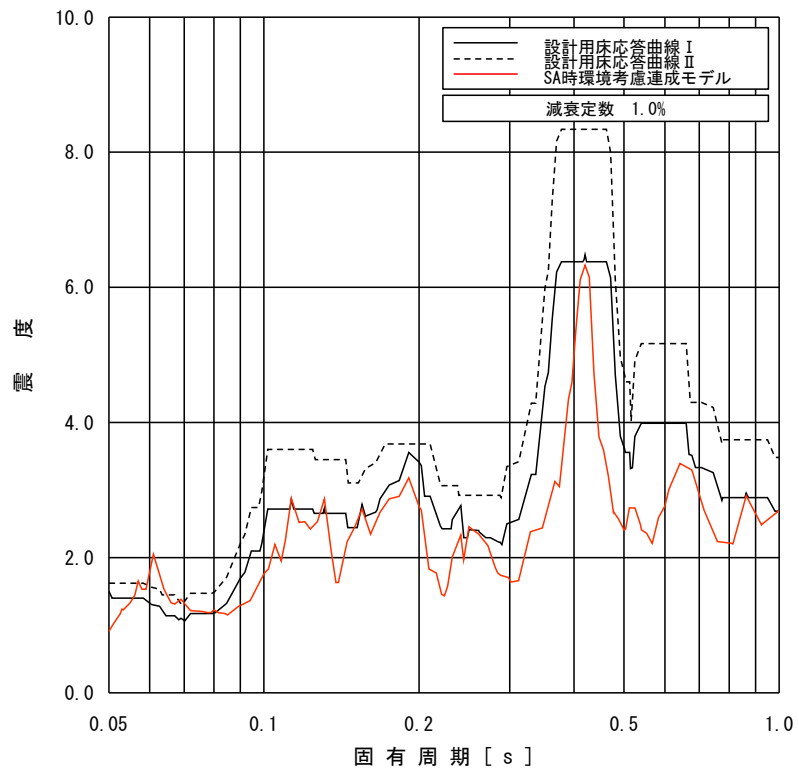


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (11/18)

(原子炉本体基礎, T.M.S.L. 1.700m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

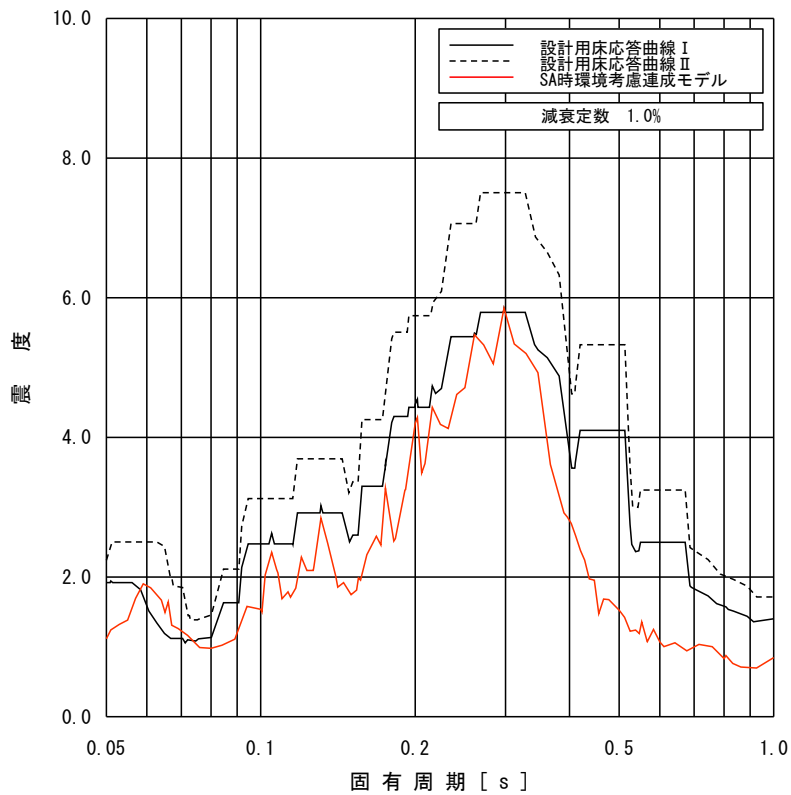
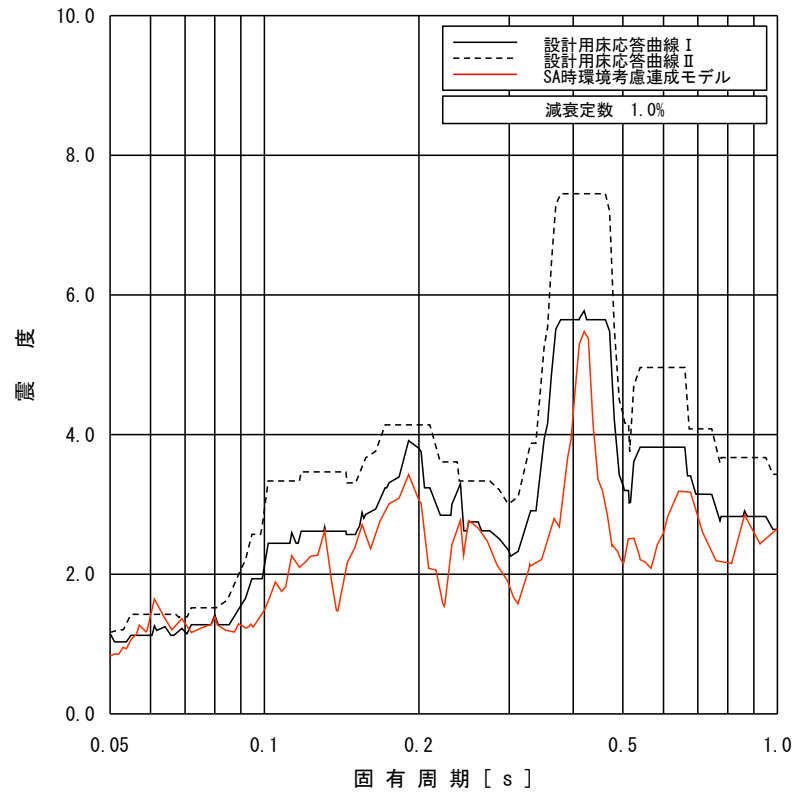


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (12/18)

(原子炉本体基礎, T.M.S.L. -2.100m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

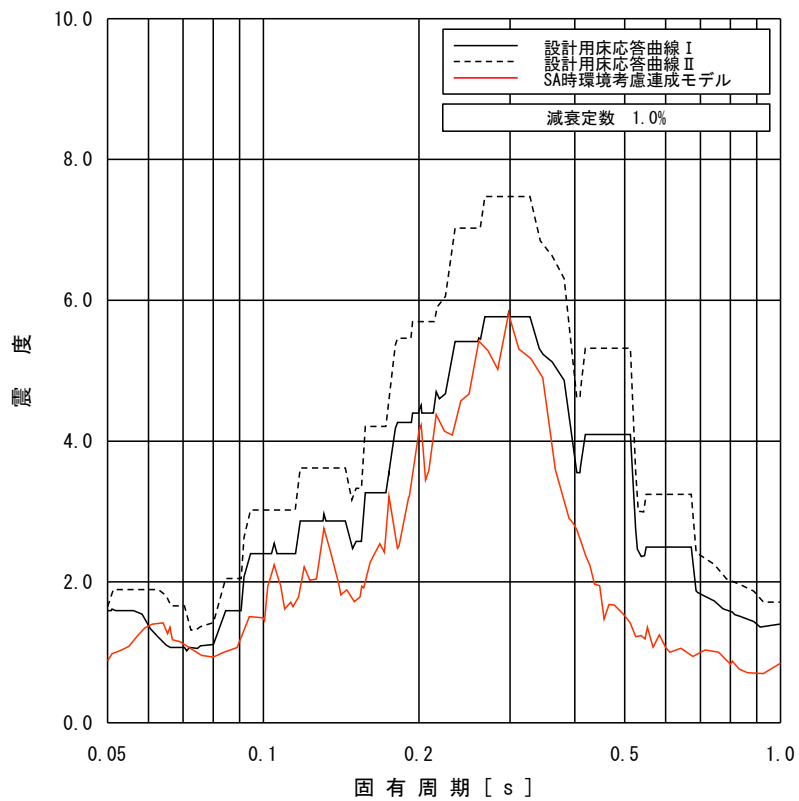
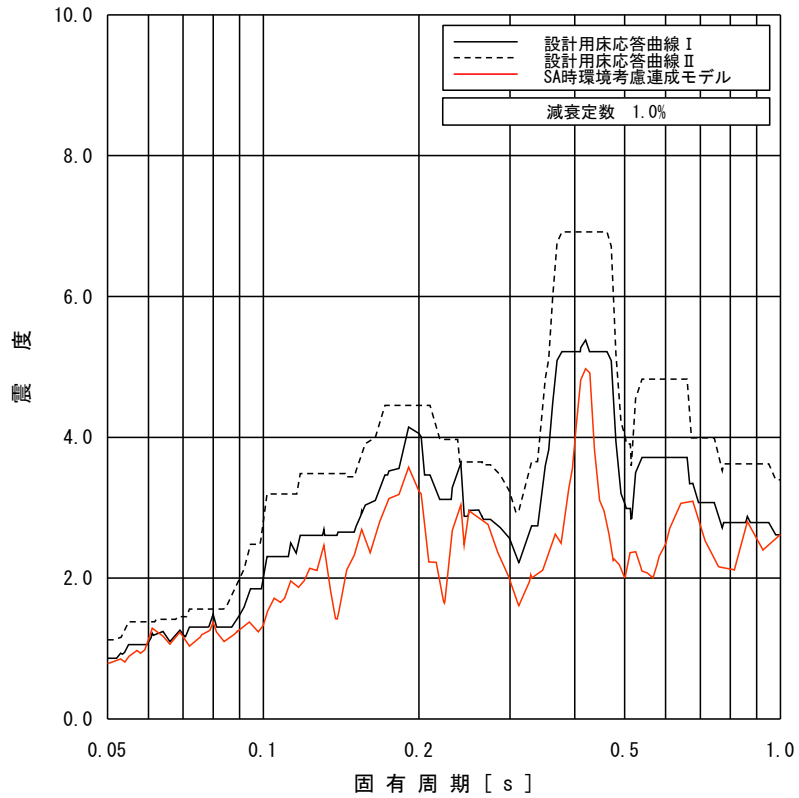


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (13/18)

(原子炉本体基礎, T.M.S.L. -4.700m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

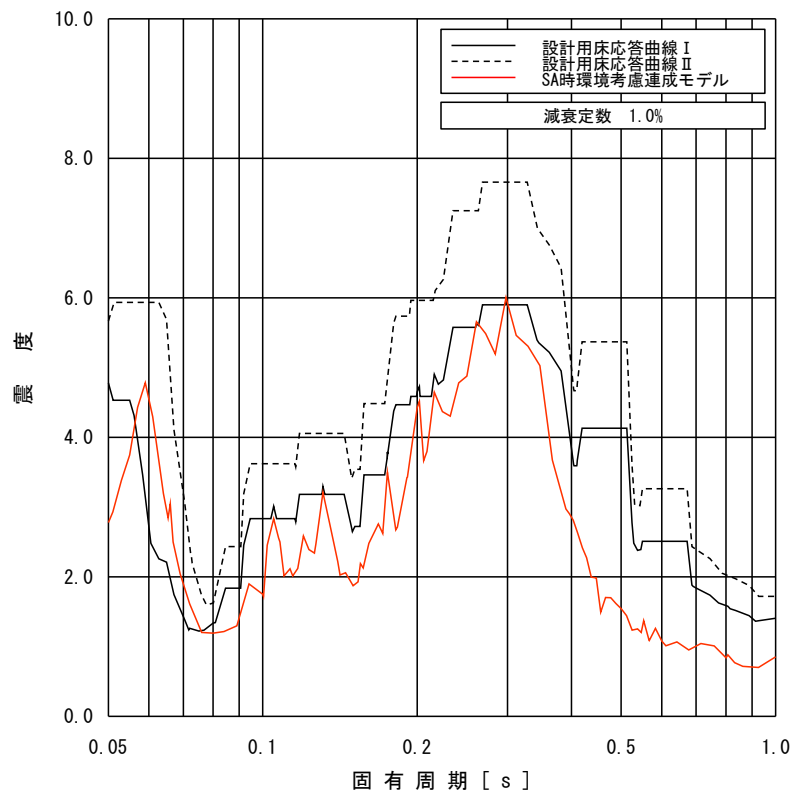
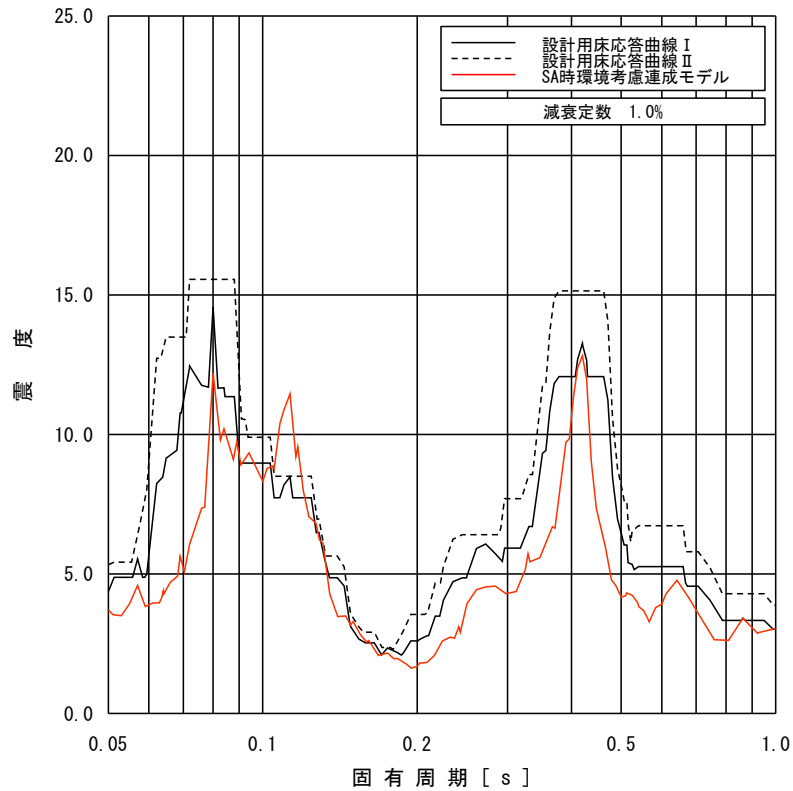


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (14/18)

(原子炉压力容器, T.M.S.L. 26.0130m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

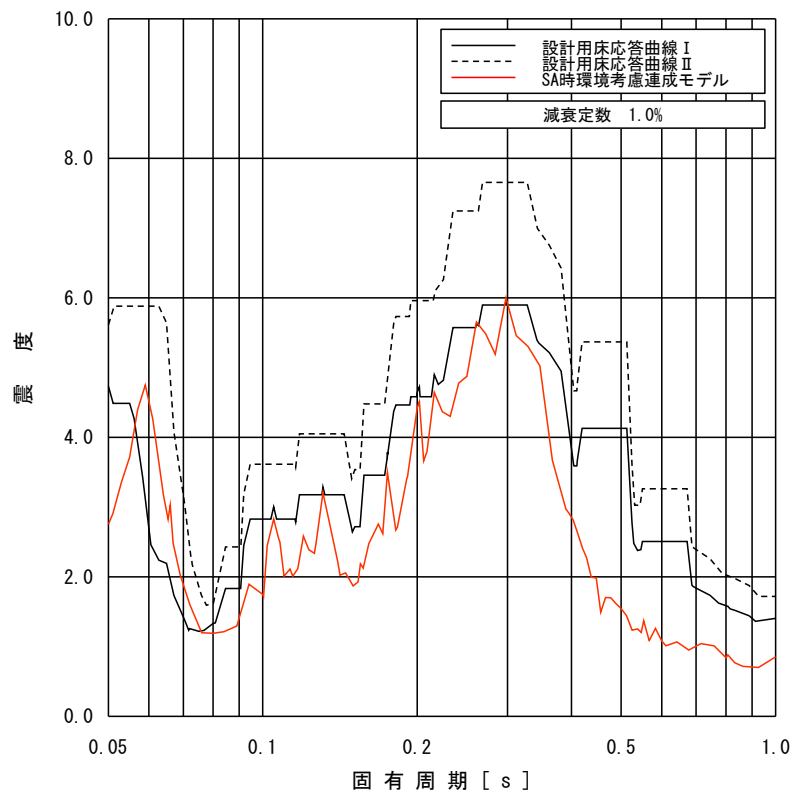
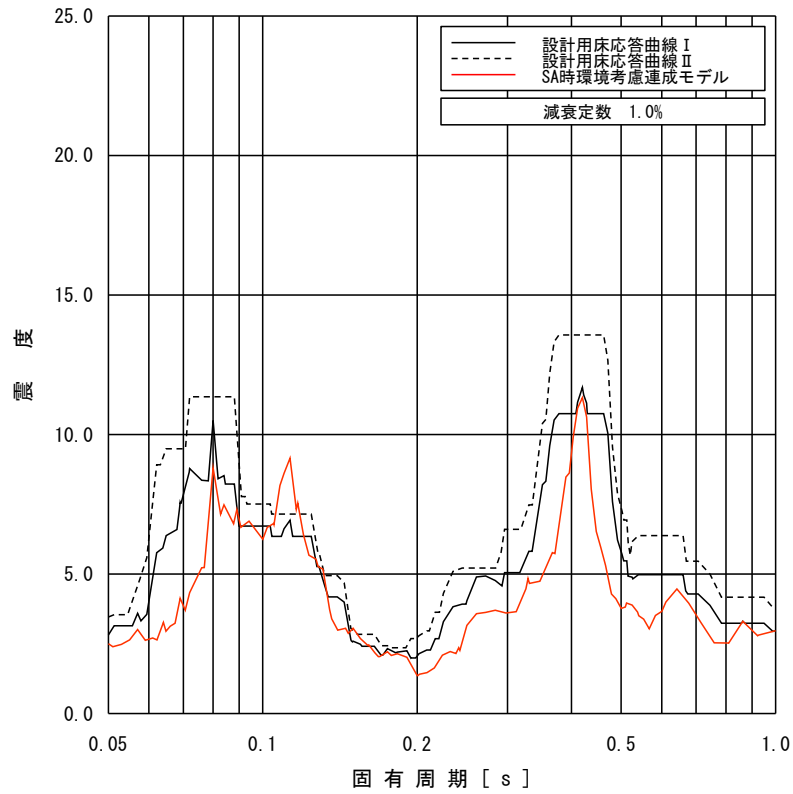


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (15/18)

(原子炉压力容器, T.M.S.L. 20.494m, 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

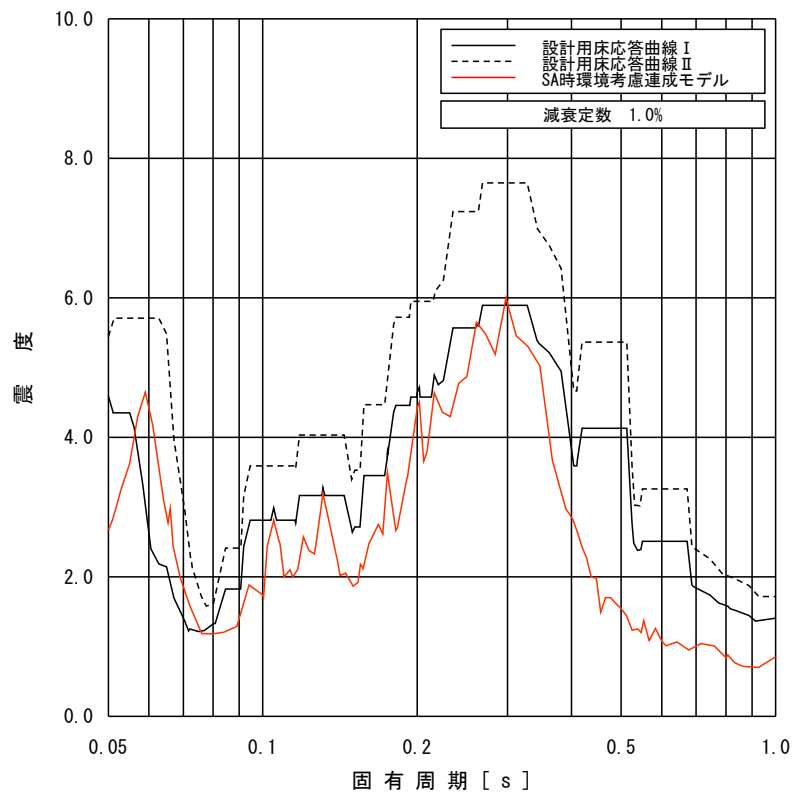
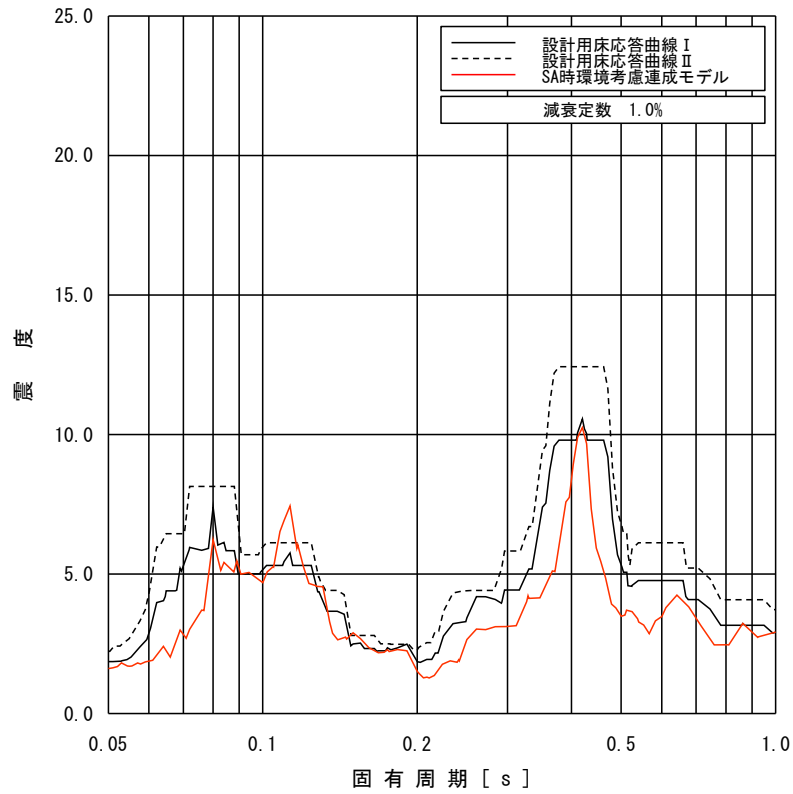


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (16/18)

(原子炉压力容器, T.M.S.L. 16.563m(水平), 16.506m(鉛直), 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

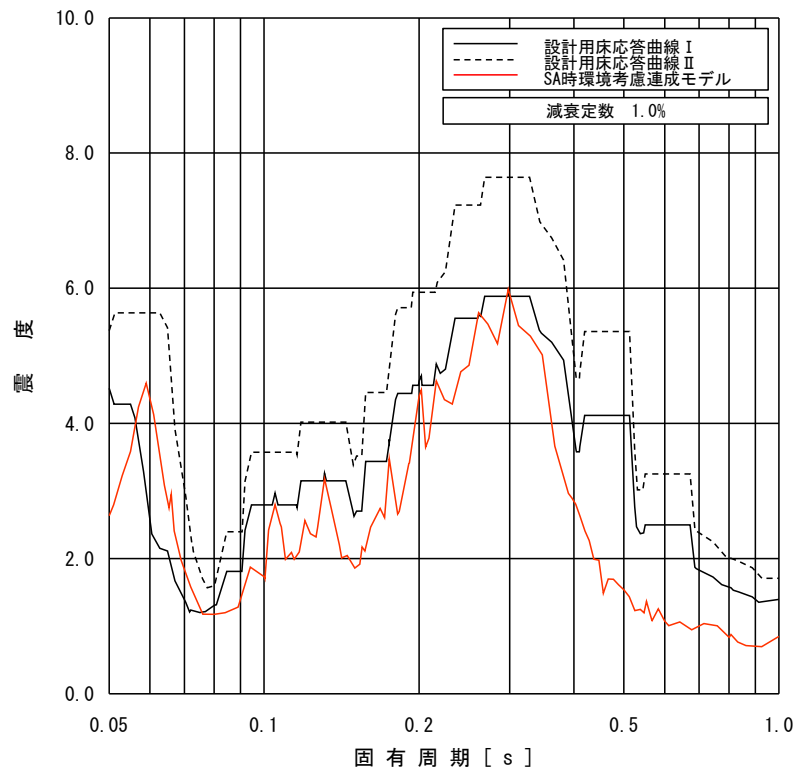
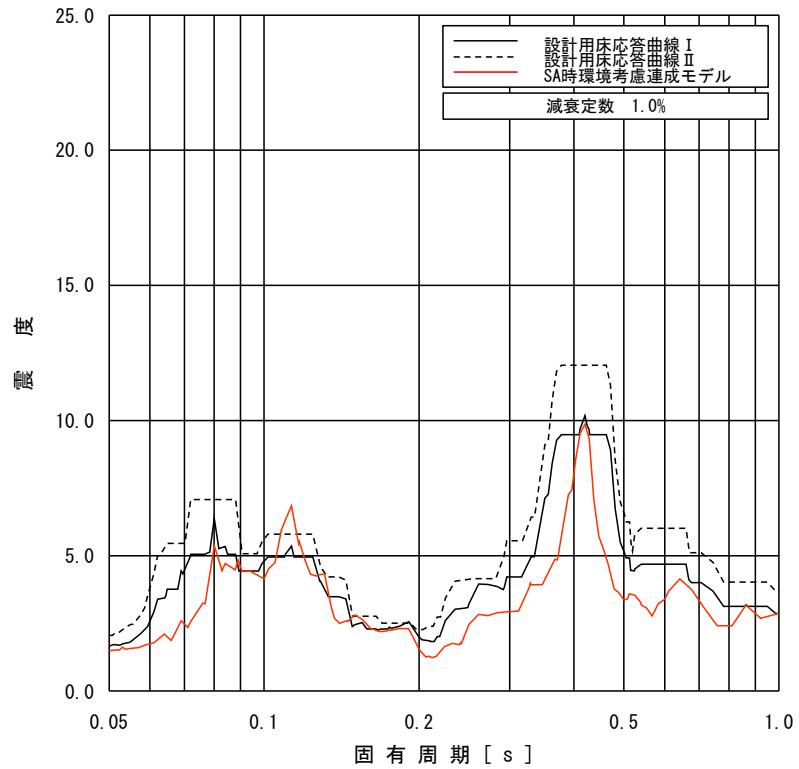


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (17/18)

(原子炉压力容器, T.M.S.L. 15.262m(水平), 15.266m(鉛直), 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

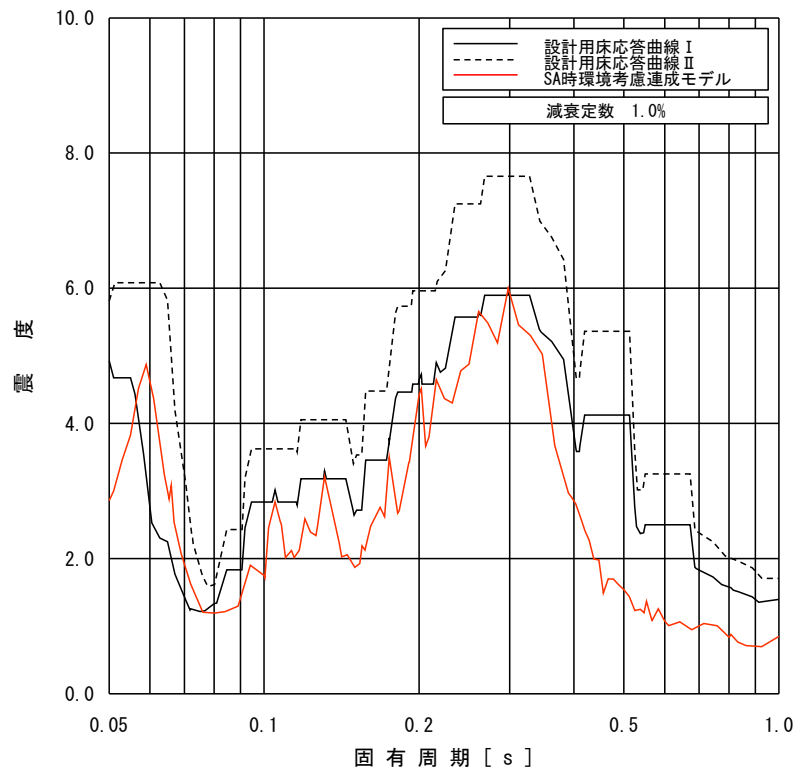
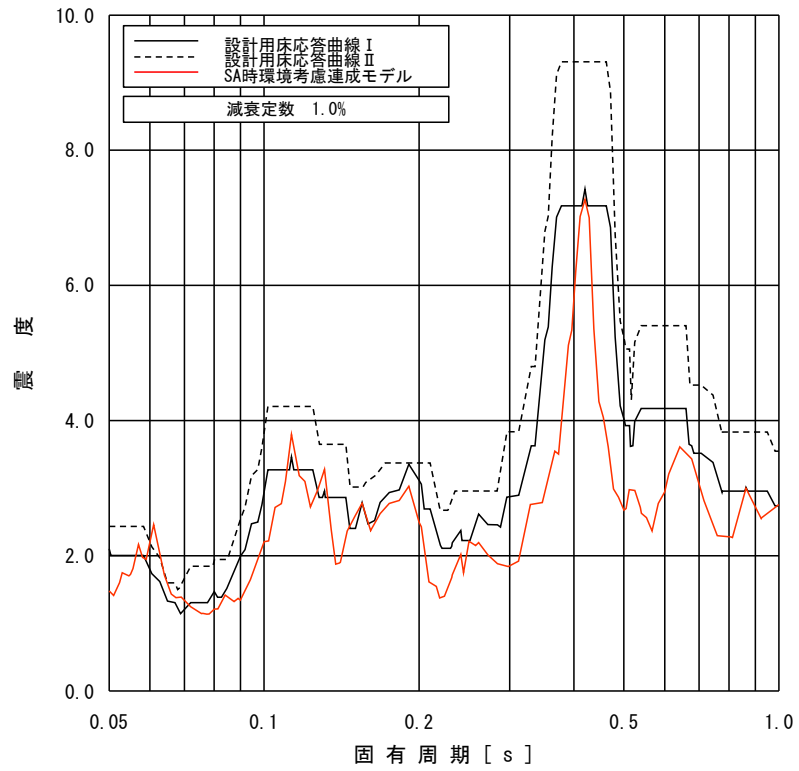


図 4-4 床応答スペクトルの比較 (18/18)

(原子炉压力容器, T.M.S.L. 4.950m(水平), 5.066m(鉛直), 減衰 1.0%, 上: 水平, 下: 鉛直)

(2) 影響確認対象設備の抽出

(1)項の地震応答解析結果より、「SA 時環境考慮連成モデル」の一部の応答が「大型機器系の地震応答解析モデル」の応答を上回ることが確認されたため、「大型機器系の地震応答解析モデル」の地震応答解析結果を耐震評価に用いる耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備について、影響確認を行う。

『「SA 時環境考慮連成モデル」における応答』 / 『評価対象設備が耐震計算で使用している「大型機器系の地震応答解析モデル」における応答*』の比を応答増分とし、応答増分が 1 を上回る地震力を適用し評価する設備を抽出した結果を表 4-9 に示す。

ここで、床応答ペクトルに対する応答増分は、評価対象設備の各固有周期にて算定した応答増分の最大値を記載している（図 4-5 参照）。

注記*：対象設備ごとの耐震計算において、設計用Ⅰ又は設計用Ⅱの2種類の応答を使い分けている。

表 4-9 応答増分が 1 を上回る地震力を適用し評価する対象設備

No.	地震力	構造物, 標高	評価対象設備	応答増分
①	床応答スペクトル	原子炉遮蔽壁 18.440m	SA クラス 2 配管* 代表：MS-PD-2	床応答スペクトル：1.23
②	床応答スペクトル	原子炉遮蔽壁 15.600m	SA クラス 2 配管* 代表：HPCF-PD-1	床応答スペクトル：1.11
③	床応答スペクトル	原子炉遮蔽壁 13.950m	SA クラス 2 配管* 代表：RHR-PD-2	床応答スペクトル：1.11
④	最大応答加速度 床応答スペクトル	原子炉本体基礎 12.300m	サプレッションチェンバスプレイ管	最大応答加速度：1.02 床応答スペクトル：1.64
⑤	床応答スペクトル	原子炉本体基礎 1.700m	SA クラス 2 配管* 代表：MS-PW-11	床応答スペクトル：1.16
⑥	せん断力	原子炉本体基礎 -8.200m～12.300m	原子炉本体の基礎	せん断力：1.09

注記*：影響確認の対象モデルとして、最小裕度となるものを抽出した。

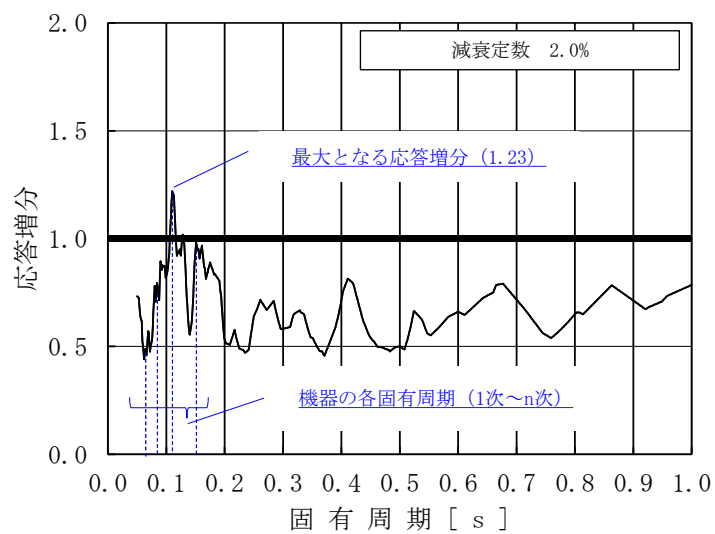


図 4-5 床応答スペクトルでの応答増分の算出方法 (概要)
 (評価対象設備 : SA クラス 2 配管 (MS-PD-2), 原子炉遮蔽壁 T. M. S. L. 18.440m (水平))

(3) 影響確認結果

(2)で抽出した各設備に対して、SA時環境による影響確認を行った結果を表4-10に示す。

今回工認における耐震評価の耐震裕度と「SA時環境考慮連成モデル」による応答増分を比較した結果、No.④、⑥の設備は「SA時環境考慮連成モデル」による応答の増分に対して、今回工認の評価結果は裕度を有していることを確認した。

耐震裕度と応答増分の比較にて耐震裕度が応答増分を上回ることを確認できなかったNo.①、②、③及び⑤の設備は、「SA時環境考慮連成モデル」の応答を用いて耐震評価を行った結果、計算応力は許容応力を満足していることを確認した。

表 4-10 対象設備の「SA 時環境考慮連成モデル」による応答の影響確認結果

No.	評価対象設備	評価部位	応力分類	今回工認における耐震評価の耐震裕度と SA 時環境考慮連成モデルによる応答増分の比較					SA 時環境考慮連成モデルの応答による耐震評価		確認結果
				今回工認の耐震評価				SA 時環境考慮連成モデルによる応答増分	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震裕度	使用耐震条件				
①	SA クラス 2 配管 (MS-PD-2)	配管本体	一次+二次応力	406* ¹	366	0.90	II	1.23	337	366	○
			疲労評価	0.0732	1	—					
②	SA クラス 2 配管 (HPCF-PD-1)	配管本体	一次+二次応力	502* ¹	282	0.56	II	1.11	417* ¹	282	○
			疲労評価	0.0511	1	—					
③	SA クラス 2 配管 (RHR-PD-2)	配管本体	一次+二次応力	404* ¹	366	0.90	II	1.11	345	366	○
			疲労評価	0.0886	1	—					
④	サプレッションチェンバースプレイ管	レストレイント	曲げ	108	521	4.82	I	1.64	/		○
⑤	SA クラス 2 配管 (MS-PW-11)	配管本体	一次+二次応力	261	278	1.06	II	1.16	178	278	○
⑥	原子炉本体の基礎	ブラケット部	下面の水平プレートに局所的に生じる曲げ応力度	391.2* ²	427* ²	1.09 (1.0915)	I	1.09 (1.0896)	/		○

注記* 1 : 一次+二次応力の計算応力が許容応力を上回った場合は、疲労評価を実施し疲労累積係数が許容値を満足することとで、耐震性が確保される。

* 2 : 算出応力度 (N/mm²) : 391.2 , 許容応力度 (N/mm²) : 427

No. ⑥原子炉本体の基礎の評価結果について補足する。

No. ⑥の比較評価では、原子炉本体基礎部のうち最大の応答増分となる原子炉本体基礎(T. M. S. L. -4.7~-8.2(m))の応答増分と原子炉本体基礎部の最小裕度部位の裕度とを比較している。図 4-6 に No. ⑥にて抽出した最大応答増分箇所と最小裕度部位(ブラケット部)を示す。ブラケット部の耐震評価では原子炉压力容器スカート部の標高(T. M. S. L. 8.2(m))の荷重を入力とするが、一方で No. ⑥の比較評価では、ブラケット部の裕度との比較に、原子炉本体基礎部の最大の応答増分を用いている。

このため、本来比較に用いるべき原子炉压力容器スカート部の標高の応答増分より大きな値となる応答増分を用いていることから、今回工認の耐震評価結果は「SA 時環境考慮連成モデル」の応答増分に対して裕度を有していると考えられる。

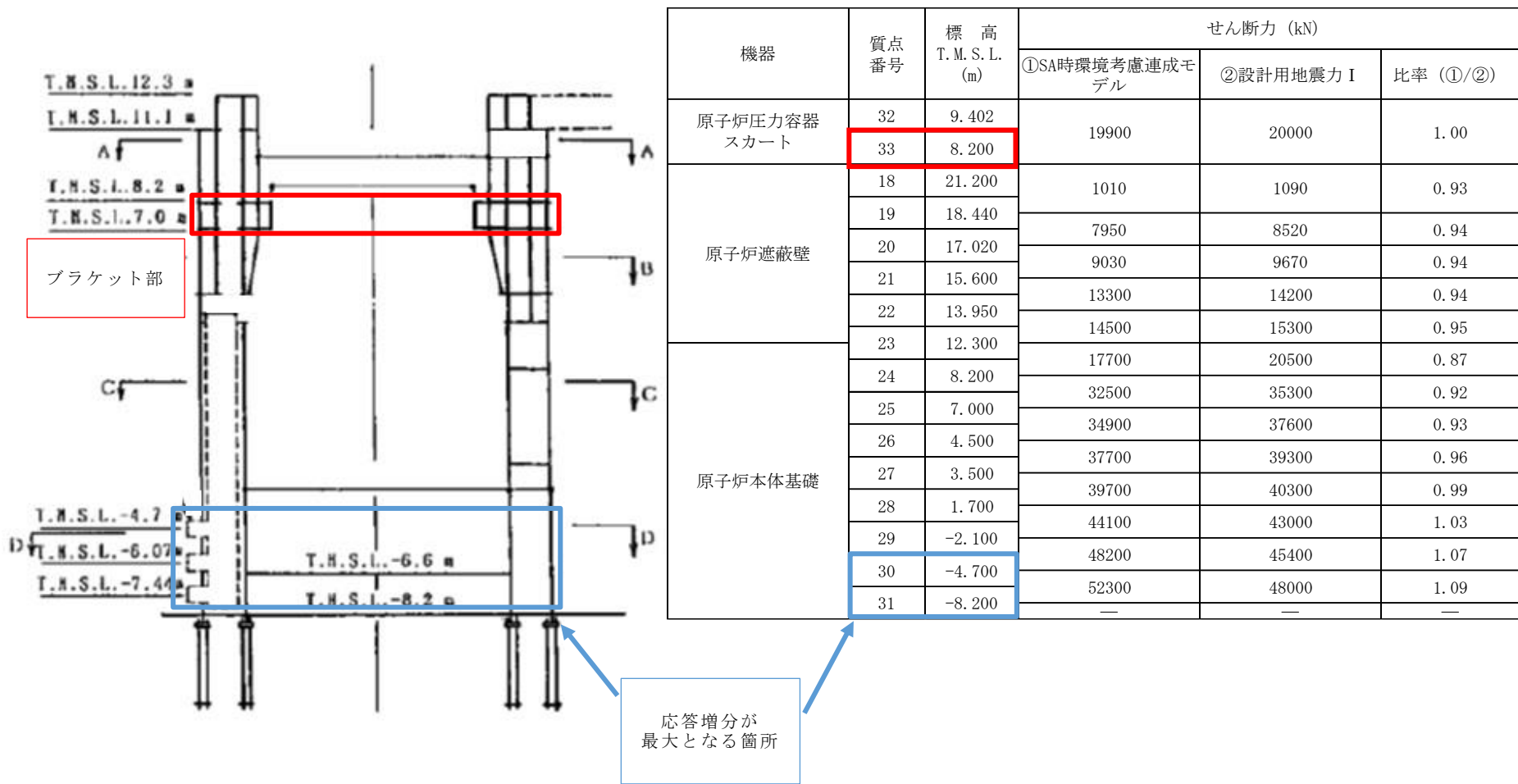


図 4-6 「SA 時環境考慮連成モデル」の応答増分及び原子炉本体の基礎の評価部位

5. まとめ

重大事故等時における熱の影響を考慮し、「剛性低下考慮モデル」を用いて、基準地震動 Ss-1 に対する地震応答解析を実施し、「工認モデル」を用いた結果と比較した。

その結果、「剛性低下考慮モデル」の固有周期は、コンクリートの剛性を低減させた影響により「工認モデル」に比べて僅かに大きくなるものの、ほぼ同程度となることを確認し、最大応答値及び最大接地圧については、「工認モデル」の結果とおおむね整合することを確認した。更に、「原子炉建屋の地震応答解析による評価」に与える影響についても確認を行った。確認結果を以下に示す。

5.1 「原子炉建屋の地震応答解析による評価」に与える影響

原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみ及び最大接地圧（材料物性の不確かさを考慮した基準地震動 Ss-1～Ss-8 に対する包絡値）に、基準地震動 Ss-1 に対する「剛性低下考慮モデル」と「工認モデル」の応答比（「剛性低下考慮モデル」／「工認モデル」）を乗じた値が許容限界を超えないことを確認した。また、床応答スペクトルが「工認モデル」と「剛性低下考慮モデル」でほぼ同程度となることを確認した。

5.2 「機器・配管系の評価」に与える影響

「工認モデル」の地震応答解析結果を耐震評価に用いる常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に対し、「工認モデル」と「SA 時環境考慮モデル」の設計用最大応答加速度及び床応答スペクトルの比較を行った結果、概ね下回っており影響は小さいことを確認した。

「大型機器系の地震応答解析モデル」の地震応答解析結果を耐震評価に用いる常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備については、「SA 時環境考慮連成モデル」の地震応答解析結果が耐震計算に適用した「大型機器系の地震応答解析モデル」の地震応答解析結果を超える設備を抽出し、影響確認を行った。確認の結果、「SA 時環境考慮連成モデル」の応答増分を考慮しても今回工認の評価結果は裕度を有していることを確認した。

別紙 5-1 コンクリートの高温特性の考え方

目 次

1. はじめに	別紙 5-1-1
2. 圧縮強度	別紙 5-1-2
3. ヤング係数	別紙 5-1-4
4. 最新知見を踏まえた考察	別紙 5-1-6
5. Eurocode 2 の妥当性に関する考察	別紙 5-1-8
6. 引用文献	別紙 5-1-9

1. はじめに

「別紙 5 地震応答解析における原子炉建屋の重大事故等時の高温による影響」において、100℃以上のコンクリート部材における剛性低下率及び圧縮強度低下率を European Committee for Standardization による“Eurocode 2: Design of concrete structures”（以下「Eurocode 2」という。引用文献(1)参照）に基づき設定している。本資料は、その適用性について説明するものである。

コンクリートの高温特性や鉄筋コンクリート構造の耐火性に関して、1970～80年代にまとめられた文献の情報やその後の研究結果が体系的に取りまとめられた資料として、Eurocode 2 や、日本建築学会による2009年度版「構造材料の耐火性ガイドブック」（以下「AIJガイドブック」という。引用文献(2)参照）や、それらを取りまとめた日本コンクリート工学会による「コンクリートの高温特性とコンクリート構造物の耐火性能に関する研究委員会 報告書」（以下「JCI報告書」という。引用文献(3)参照）などがある。

これらの資料の内容をコンクリートの機械的性質（圧縮強度及びヤング係数）ごとに整理する。

また、最新の高温コンクリートに関する知見として、国家プロジェクト「鋼板コンクリート構造のBWR格納容器への適用性評価」における成果として公表されている文献(引用文献(4),(5))を参照する。

2. 圧縮強度

JCI 報告書より，温度 $T^{\circ}\text{C}$ におけるコンクリートの圧縮強度 $F_c(T)$ は式(2.1)により算定する。

$$F_c(T) = F_c \times k_c(T) \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで，

F_c : 設計基準強度 (N/mm^2)

$k_c(T)$: 圧縮強度残存比

JCI 報告書においてまとめられている，圧縮強度残存比の Eurocode 2 による設計用推奨値及び AIJ ガイドブックによる提案値を表 2-1 に，既往の実験データとの比較を図 2-1 に示す。

Eurocode 2 では，骨材種類を考慮しており，石灰質骨材コンクリートについては，珪質骨材コンクリートより圧縮強度残存比を大きめに設定している。AIJ ガイドブックでは，圧縮強度残存比をコンクリートの水結合材比 W/B に応じた値としている。

図 2-1 より，Eurocode 2 による圧縮強度残存比は，既往の実験データ上限と下限の間に位置していることが確認できる。

表 2-1 圧縮強度残存比 (JCI 報告書に基づき表を作成)

コンクリート温度 $T(^{\circ}\text{C})$	高温時		
	Eurocode2		AIJガイドブック
	珪質骨材 $k_c(T)$	石灰質骨材 $k_c(T)$	提案値 $k_c(T)$
20	1.00	1.00	1.00
100	1.00	1.00	0.80
200	0.95	0.97	$0.33 \times W/B + 0.76$
300	0.85	0.91	$0.36 \times W/B + 0.71$
400	0.75	0.85	$0.45 \times W/B + 0.56$
500	0.60	0.74	$0.39 \times W/B + 0.41$
600	0.45	0.60	$0.47 \times W/B + 0.20$
700	0.30	0.43	$0.44 \times W/B + 0.11$
800	0.15	0.27	0.15

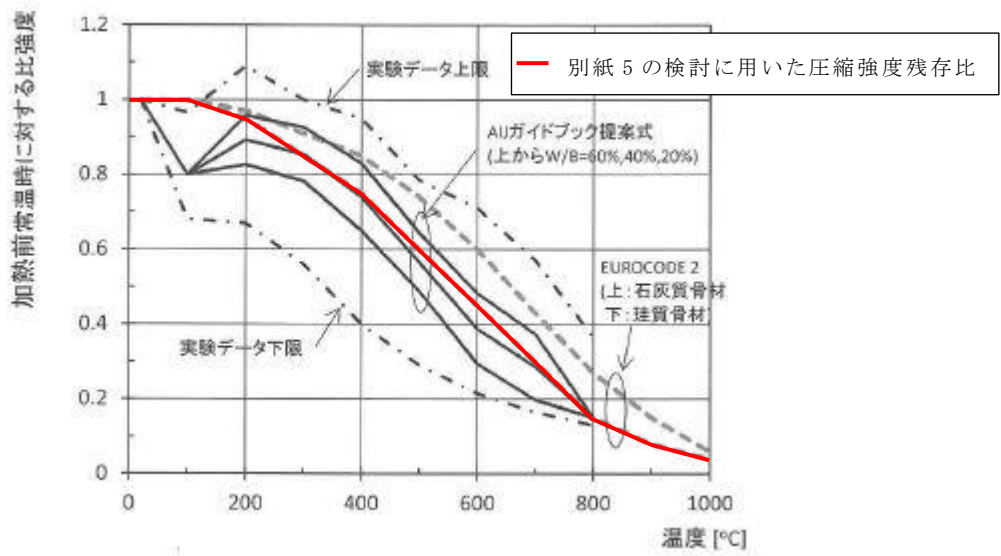


図 2-1 圧縮強度残存比の既往の実験データとの比較 (JCI 報告書の図に一部加筆)

3. ヤング係数

JCI 報告書より，温度 $T^{\circ}\text{C}$ におけるコンクリートのヤング係数 $E(T)$ は式(3.1)により算定する。

$$E(T) = E(20) \times k_e(T) \dots\dots\dots (3.1)$$

ここで，

$E(20)$: 温度 20°C (常温) 時のヤング係数

$k_e(T)$: ヤング係数残存比

JCI 報告書においてまとめられている，ヤング係数残存比の Eurocode 2 の応力-ひずみ曲線により求まる計算値及び AIJ ガイドブックによる提案値を表 3-1 に，既往の実験データとの比較を図 3-1 に示す。

図 3-1 より，Eurocode 2 によるヤング係数残存比は，既往の実験データの下限の辺りに位置しており，温度による剛性低下を保守的に考慮する評価となっていることが確認できる。

表 3-1 ヤング係数残存比 (JCI 報告書に基づき表を作成)

コンクリート温度 T ($^{\circ}\text{C}$)	Eurocode 2 応力-ひずみ曲線より 求まる計算値 $k_e(T)$	AIJ ガイドブック 提案値 $k_e(T)$
20	1.00	1.00
100	0.63	0.80
200	0.43	0.68
300	0.30	0.57
400	0.19	0.45
500	0.10	0.35
600	0.05	0.25
700	0.03	0.15
800	0.02	0.075
900	0.01	0

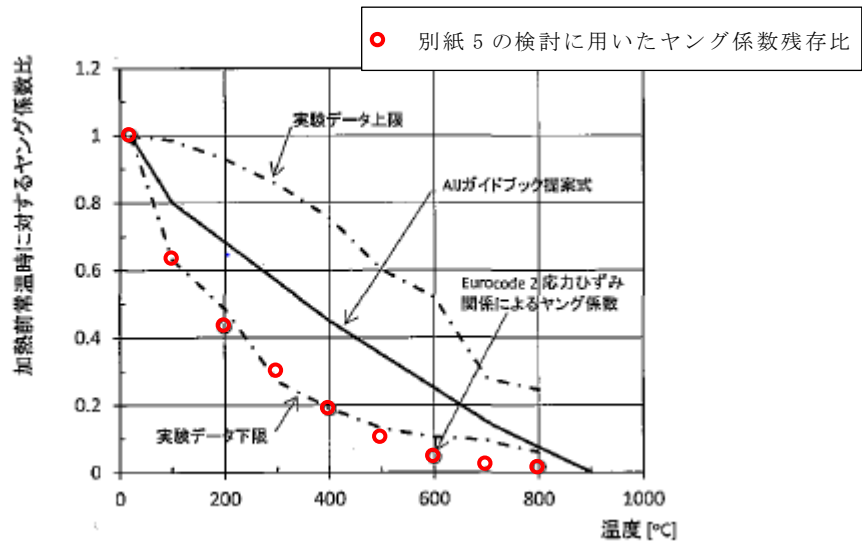


図 3-1 ヤング係数残存比の既往の実験データとの比較 (JCI 報告書の図に一部加筆)

4. 最新知見を踏まえた考察

最新の高温コンクリートに関する知見として、国家プロジェクト「鋼板コンクリート構造のBWR格納容器への適用性評価」における成果として公表されている文献（引用文献(4),(5)）を参照する。当該の文献は、BWR格納容器を構成する材料（コンクリート、鉄筋等）を対象として、事故時高温下における力学特性及び熱特性を実験により取得したものである。

実験にあたっては、原子力関連施設のコンクリート構造物で一般的に使用されている材料を選定した上で試験体が作成されており、電気炉を用いて加熱試験が実施されている。コンクリート試験体への加熱温度及び期間については、DBA及びSAを想定したものとなっている。加熱温度及び期間をその他の実験変数と併せて表4-1に示す。また、試験結果のうち、圧縮強度残存比を図4-1に、ヤング係数残存比を図4-2に示す。これより、「圧縮強度残存比は、既往知見と同様に加熱温度が高くなるほど小さくなっている」としており、「その低下の傾向は、AIJおよびEurocodeと概ね対応している」としている。また、「ヤング係数残存比の加熱温度に応じた低下の傾向は、AIJとEurocodeの中間的な値を示した」としている。なお、ここでいうAIJとは前述のAIJガイドブックを示している。

以上より、事故を想定した上で加熱温度及び期間を変数として行われた実験においても、Eurocode 2による評価結果が圧縮強度残存比については概ね実験の範囲内であり、ヤング係数残存比については試験の下限値を示すことが確認できる。

表4-1 実験変数（力学特性試験：コンクリート）（引用文献(4)より引用）

項目	設定
加熱温度	20℃、105℃、150℃、200℃、 300℃、500℃、700℃
加熱期間	1日※1、2日※1、3日※1、7日、14日※1、35日、 2カ月※2、3カ月※2、7カ月※2
水結合比	45%、55%
結合材 種類	普通ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント、 普通ポルトランドセメント+フライアッシュ
骨材種類	硬質砂岩、石灰岩

※1：105℃、150℃、200℃、300℃のみ、※2：105℃のみ

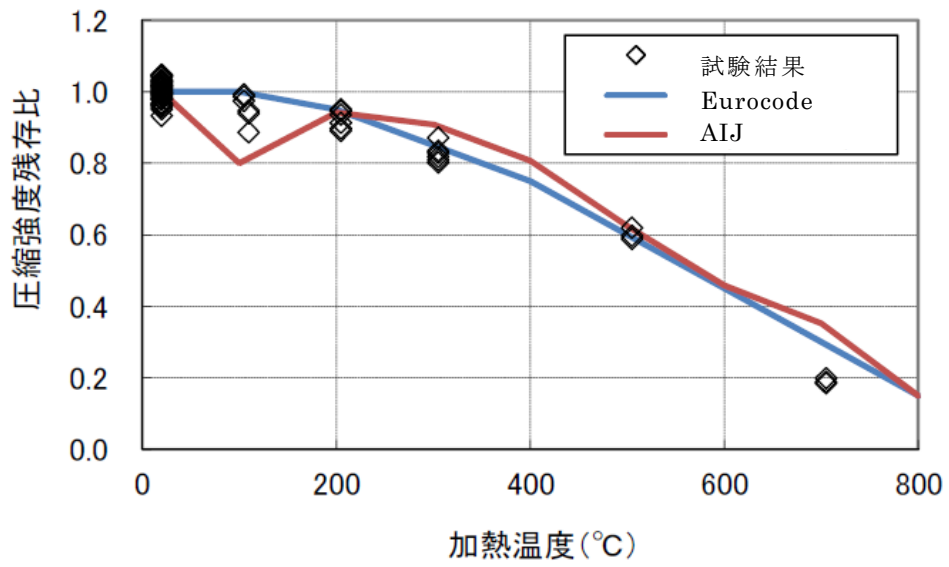


図 4-1 圧縮強度残存比と加熱温度の関係（引用文献(5)の図に一部加筆）

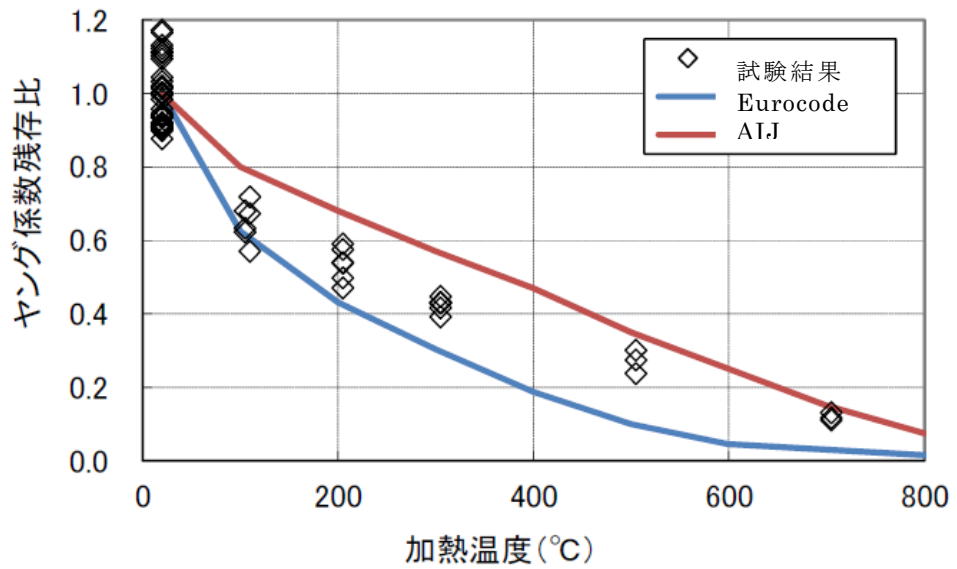


図 4-2 ヤング係数残存比と加熱温度の関係（引用文献(5)の図に一部加筆）

5. Eurocode 2 の妥当性に関する考察

コンクリートの圧縮強度について、Eurocode 2 の残存比と、既往の実験データや国家プロジェクト「鋼板コンクリート構造の BWR 格納容器への適用性評価」の実験データを比較し、Eurocode 2 が実験データの範囲内にあることを確認した。

コンクリートのヤング係数について、Eurocode 2 の応力-ひずみ曲線により求まる残存比と、既往の実験データや国家プロジェクト「鋼板コンクリート構造の BWR 格納容器への適用性評価」の実験データを比較し、Eurocode 2 が実験データの概ね下限値を示すことを確認した。

Eurocode 2 は、先行審査において適用実績のある AIJ ガイドブックと比較して、ヤング係数を低めに評価するという傾向の違いはあるものの、剛性低下を大きく評価することから、せん断ひずみの評価に対しては保守的な設定となると考える。

以上より、「別紙 5 地震応答解析における原子炉建屋の重大事故等時の高温による影響」において、剛性低下率及び圧縮強度低下率を Eurocode 2 に基づき設定することは妥当である。

6. 引用文献

- (1) European Committee for Standardization: Eurocode 2: Design of concrete structures, 2004
- (2) 日本建築学会: 構造材料の耐火性ガイドブック, 2版, 2009
- (3) 日本コンクリート工学会: コンクリートの高温特性とコンクリート構造物の耐火性能に関する研究委員会 報告書, 2012
- (4) 平子ほか: 鋼板コンクリート構造の BWR 格納容器への適用性評価 (2) 材料試験 (計画), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2016
- (5) 抱ほか: 鋼板コンクリート構造の BWR 格納容器への適用性評価 (3) 材料試験 (試験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2016

別紙 5-2 重大事故等時の環境を考慮した建屋-機器連成地
震応答解析モデルの設定について

目 次

- (1) RPV の諸元設定の考え方 別紙 5-2-1
- (2) 「SA 時環境考慮連成モデル」の諸元 別紙 5-2-3
- (3) 原子炉本体基礎のスケルトン曲線の設定 別紙 5-2-5
- (4) 原子炉遮蔽壁と原子炉本体基礎の剛性の設定について 別紙 5-2-15
- (5) ダイヤフラムフロアのばね定数の設定について 別紙 5-2-18
- (6) 「SA 時環境考慮モデル」の諸元について 別紙 5-2-19

(1) RPV の諸元設定の考え方

重大事故等時の RPV 諸元設定において、水の重量が大きく、燃料体の重心位置が高い「大型機器系の地震応答解析モデル」の諸元を適用する。これは、「大型機器系の地震応答解析モデル」の諸元を適用することで重心位置が高く設定され地震による応答が大きくなると考えられるためである。

重大事故等時の「格納容器過圧・過温破損（代替循環冷却系を使用する場合）」の原子炉水位の推移を図 1-1 に示す。図 1-1 より原子炉水位は通常運転水位より低くなる。このため、通常運転水位を考慮している「大型機器系の地震応答解析モデル」より、重大事故等時の RPV 内の水の重量が小さくなる。また、炉心の燃料は炉心損傷により落下するため、炉心の燃料体が健全であることを想定している「大型機器系の地震応答解析モデル」より炉心の重心は低い位置となる。

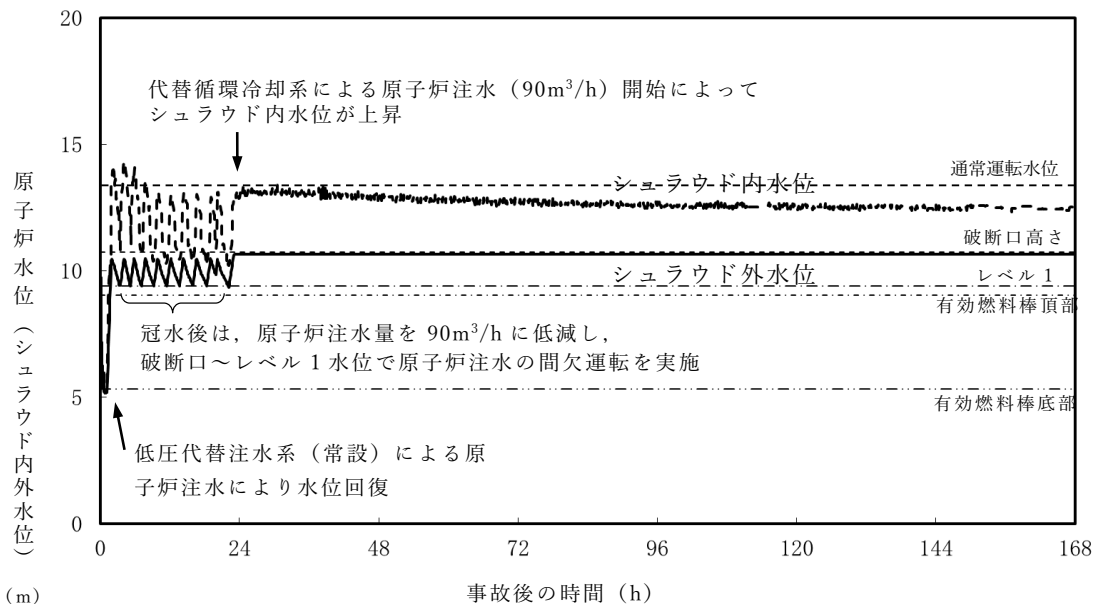


図 1-1 「格納容器過圧・過温破損（代替循環冷却系を使用する場合）」における原子炉水位(シュラウド内外水位)の推移*

注記*：設置変更許可申請書 まとめ資料「重大事故等対策の有効性評価について」 第 3.1.2.7 図に加筆

なお、重大事故等時の「格納容器過圧・過温破損（代替循環冷却系を使用する場合）」の RPV 内の保有水量は、図 1-2 のとおり、通常運転時保有水量よりも少なくなっていることを確認している。



図 1-2 「格納容器過圧・過温破損（代替循環冷却系を使用する場合）」における RPV 内の保有水量の推移*

注記*：設置変更許可申請書 まとめ資料「重大事故等対策の有効性評価について」 第 3.1.2.9 図に加筆

(2) 「SA 時環境考慮連成モデル」の諸元

「大型機器系の地震応答解析モデル」と「SA 時環境考慮連成モデル」に適用する諸元を表 2-1 に変更箇所と併せて示す。

表 2-1(1/3) 「大型機器系の地震応答解析モデル」と「SA 時環境考慮連成モデル」の諸元比較

			大型機器系の 地震応答解析モデル	SA 時環境考慮 連成モデル
縦弾性 係数	原子炉遮蔽壁	鋼材		
	原子炉本体基礎	鋼材		
		コンクリート		
ばね 定数	燃料取替用ベローズ (K1)	鋼材		
	ダイヤフラムフロア (K3)	コンクリート		

() は諸元設定の温度条件

注記* : 「大型機器系の地震応答解析モデル」では RPV フランジ部の近傍にある設備のため RPV の定格出力運転時の蒸気温度で、「SA 時環境考慮連成モデル」では RPV に注水されることを踏まえて RCCV 内の雰囲気温度で設定した。

表 2-1(2/3) 「大型機器系の地震応答解析モデル」と「SA時環境考慮連成モデル」
の諸元比較

地震応答解析モデル諸元 (NS方向)							
		大型機器系の地震応答解析モデル			SA時環境考慮連成モデル		
質点番号	分類	質量 (t)	断面二次 モーメント (m ⁴)	有効せん断 断面積 (m ²)	質量 (t)	断面二次 モーメント (m ⁴)	有効せん断 断面積 (m ²)
23	上部 ペDESTAL						
24							
25							
26							
27							
28	下部 ペDESTAL						
29							
30							
31							

表 2-1(3/3) 「大型機器系の地震応答解析モデル」と「SA時環境考慮連成モデル」
の諸元比較

地震応答解析モデル諸元 (EW方向)							
		大型機器系の地震応答解析モデル			SA時環境考慮連成モデル		
質点番号	分類	質量 (t)	断面二次 モーメント (m ⁴)	有効せん断 断面積 (m ²)	質量 (t)	断面二次 モーメント (m ⁴)	有効せん断 断面積 (m ²)
23	上部 ペDESTAL						
24							
25							
26							
27							
28	下部 ペDESTAL						
29							
30							
31							

(3) 原子炉本体基礎のスケルトン曲線の設定

(a) せん断力のスケルトン曲線の設定

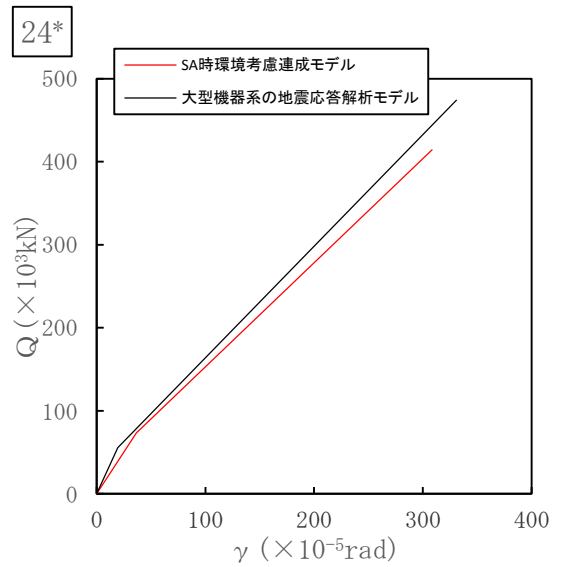
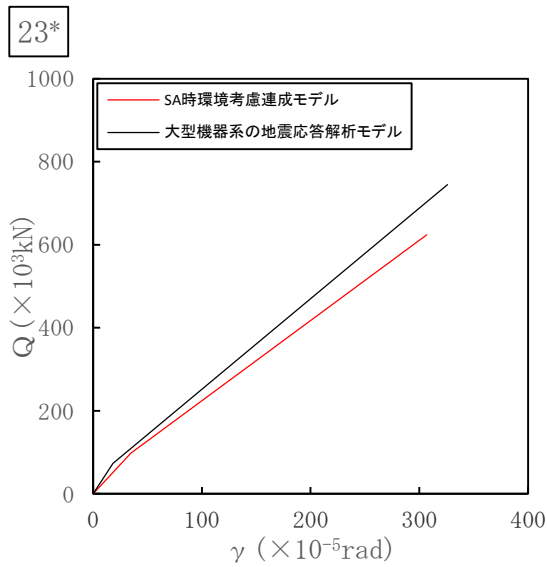
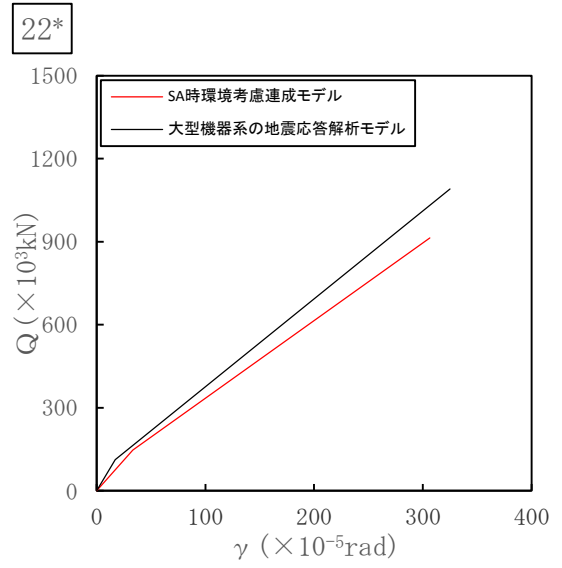
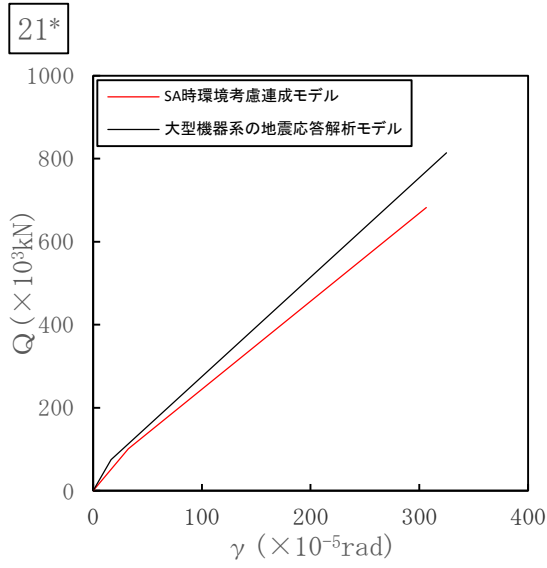
「SA 時環境考慮連成モデル」の各要素におけるせん断力のスケルトン曲線の諸数値を表 3-1 に、「SA 時環境考慮連成モデル」と「大型機器系の地震応答解析モデル」のスケルトン曲線を図 3-1 に示す。

表 3-1(1/2) せん断力のスケルトン曲線 (NS 方向)

質点番号	要素番号	Q_1 ($\times 10^3$ kN)	γ_1 ($\times 10^{-5}$ rad)	Q_2 ($\times 10^3$ kN)	γ_2 ($\times 10^{-5}$ rad)
23	21	101	32.4	682	307
24	22	147	33.1	914	307
25					
26	23	98.2	34.7	624	307
27	24	73.1	36.6	414	309
28	25	44.8	17.8	363	310
29	26	36.8	18.3	304	310
30	27	45.6	18.3	358	310
31	28	45.4	18.5	349	310

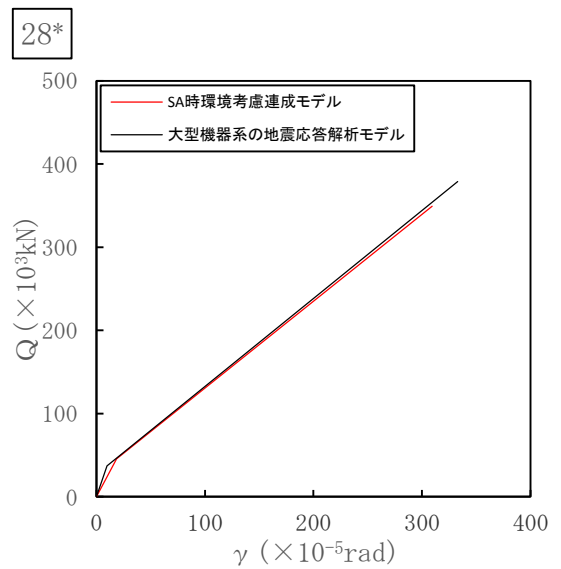
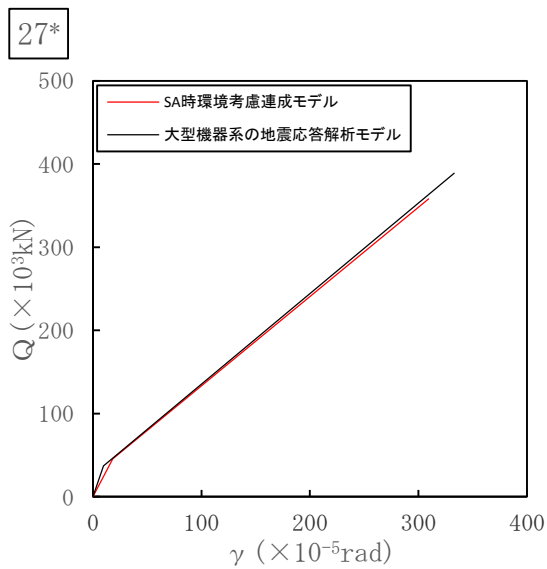
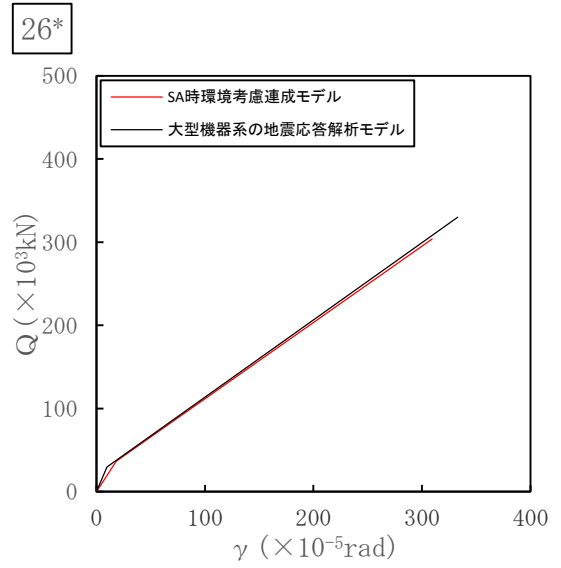
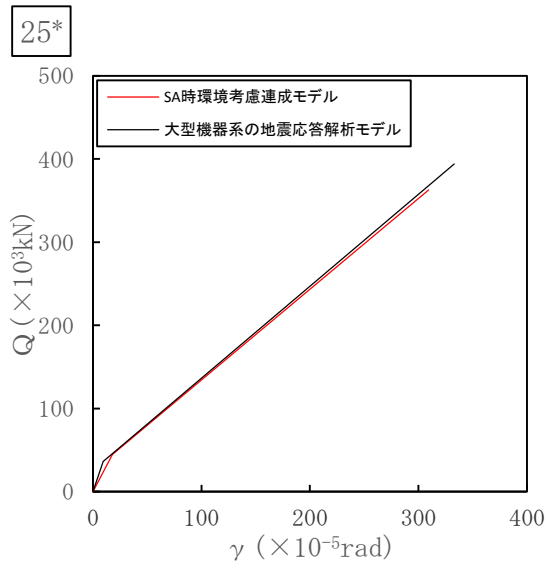
表 3-1(2/2) せん断力のスケルトン曲線 (EW 方向)

質点番号	要素番号	Q_1 ($\times 10^3$ kN)	γ_1 ($\times 10^{-5}$ rad)	Q_2 ($\times 10^3$ kN)	γ_2 ($\times 10^{-5}$ rad)
23	21	99.6	32.4	673	306
24	22	147	33.1	914	307
25					
26	23	97.4	34.7	617	307
27	24	73.1	36.6	414	309
28	25	44.8	17.8	363	310
29	26	46.1	18.3	363	310
30	27	45.6	18.3	358	310
31	28	45.4	18.5	349	310



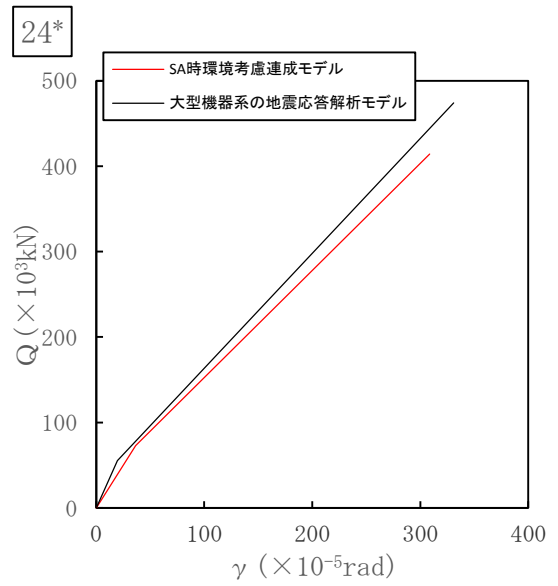
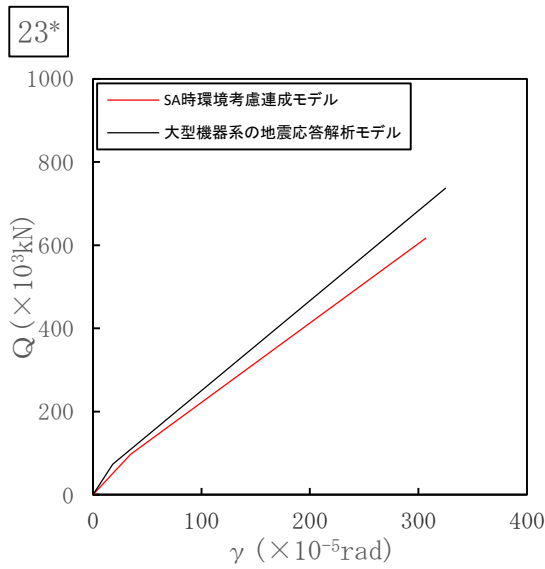
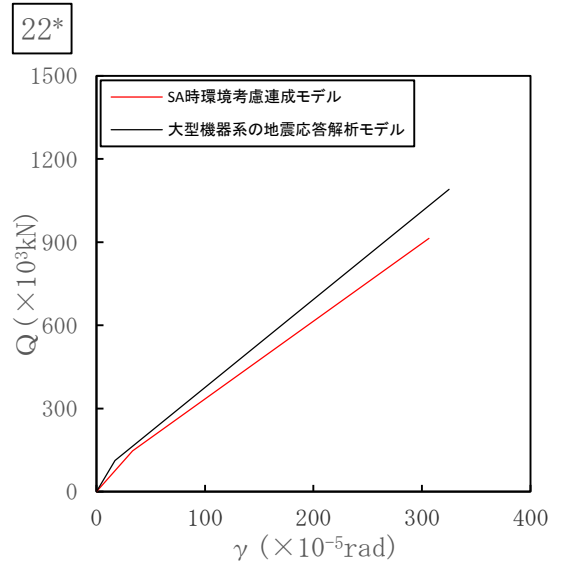
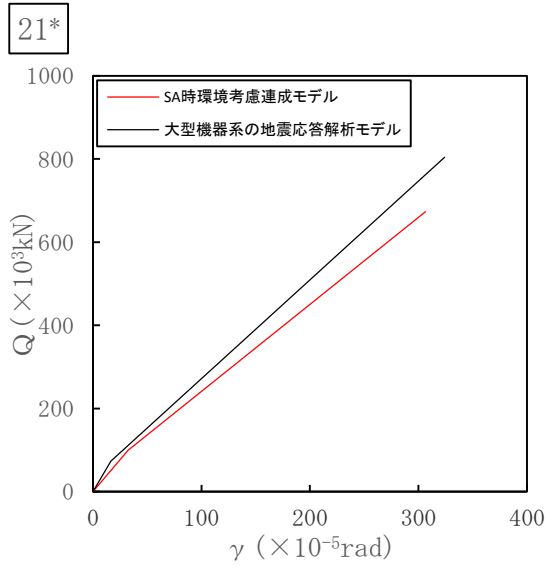
注記* : 各図上に記載の要素番号は表 3-1 に対応

図 3-1(1/4) せん断力のスケルトン曲線(NS 方向)



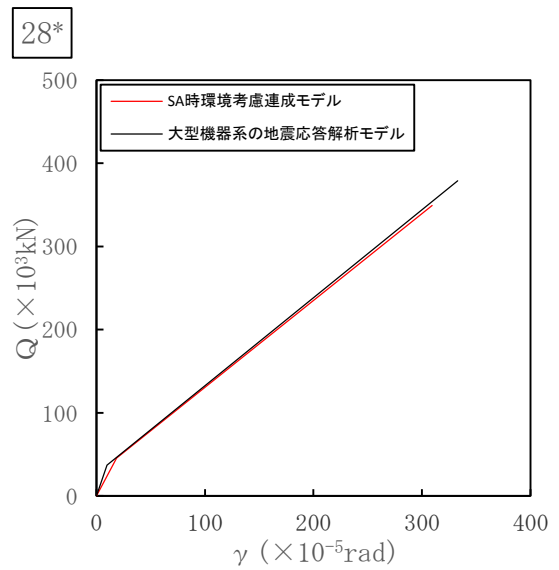
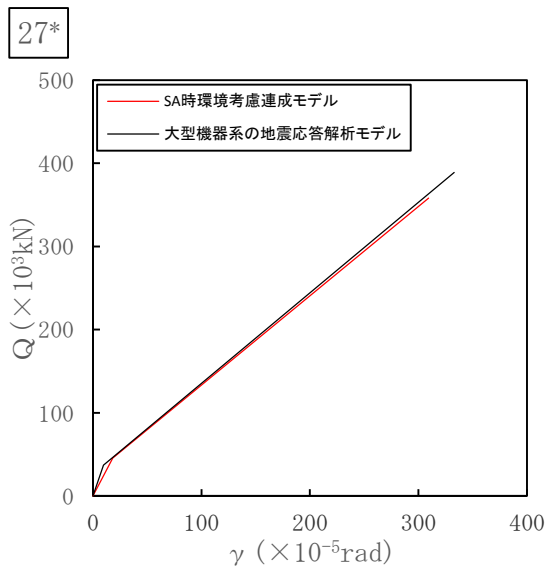
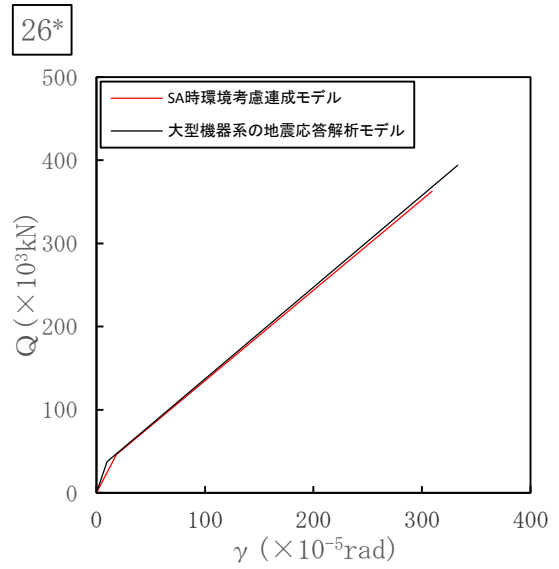
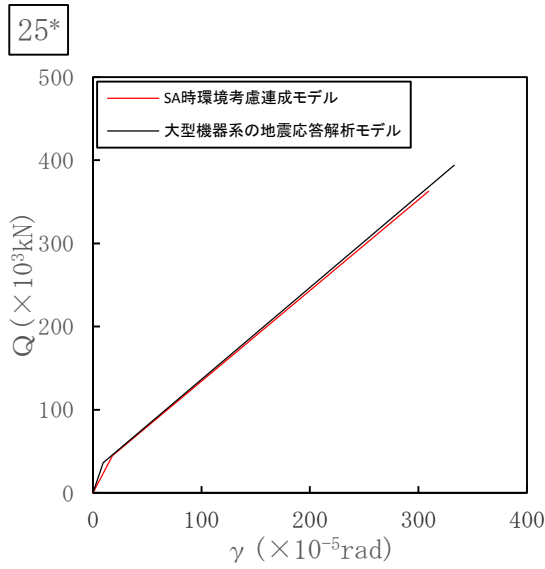
注記* : 各図上に記載の要素番号は表 3-1 に対応

図 3-1(2/4) せん断力のスケルトン曲線(NS 方向)



注記* : 各図上に記載の要素番号は表 3-1 に対応

図 3-1(3/4) せん断力のスケルトン曲線(EW 方向)



注記*：各図上に記載の要素番号は表 3-1 に対応

図 3-1(4/4) せん断力のスケルトン曲線(EW 方向)

(b) 曲げモーメントのスケルトン曲線

「SA 時環境考慮連成モデル」の各要素における曲げモーメントのスケルトン曲線の諸数値を表 3-2 に、「SA 時環境考慮連成モデル」と「大型機器系の地震応答解析モデル」のスケルトン曲線を図 3-2 に示す。

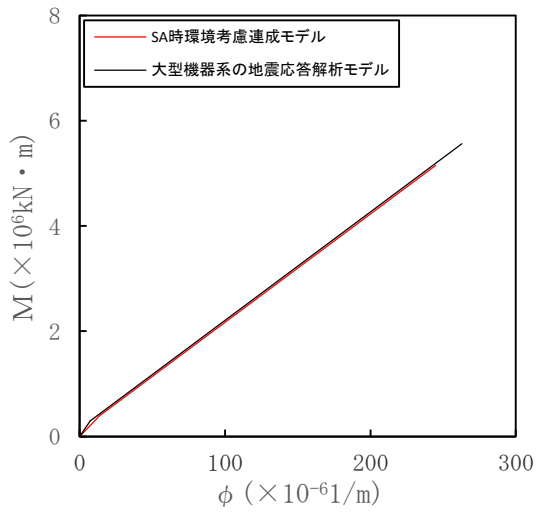
表 3-2(1/2) 曲げモーメントのスケルトン曲線 (NS 方向)

質点番号	要素番号	M_1 ($\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$)	ϕ_1 ($\times 10^{-6} 1/\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-6} 1/\text{m}$)
23	21	0.392	13.7	5.15	245
24					
25	22	0.496	14.6	5.95	245
26	23	0.442	16.7	4.07	244
27	24	0.364	19.3	3.19	251
28	25	0.153	6.58	3.37	232
29	26	0.185	7.94	3.38	233
30	27	0.180	7.82	3.11	231
31	28	0.194	8.50	3.13	232

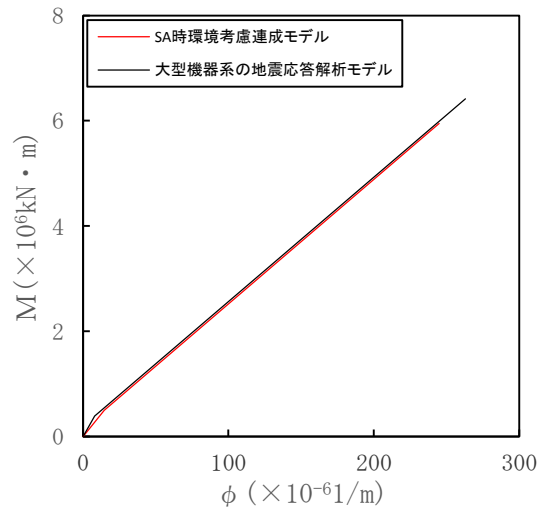
表 3-2(2/2) 曲げモーメントのスケルトン曲線 (EW 方向)

質点番号	要素番号	M_1 ($\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$)	ϕ_1 ($\times 10^{-6} 1/\text{m}$)	M_2 ($\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$)	ϕ_2 ($\times 10^{-6} 1/\text{m}$)
23	21	0.395	13.7	5.22	245
24					
25	22	0.496	14.6	5.95	245
26	23	0.443	16.7	4.10	244
27	24	0.364	19.3	3.19	251
28	25	0.153	6.58	3.37	232
29	26	0.143	7.94	2.47	233
30	27	0.180	7.82	3.11	231
31	28	0.194	8.50	3.13	232

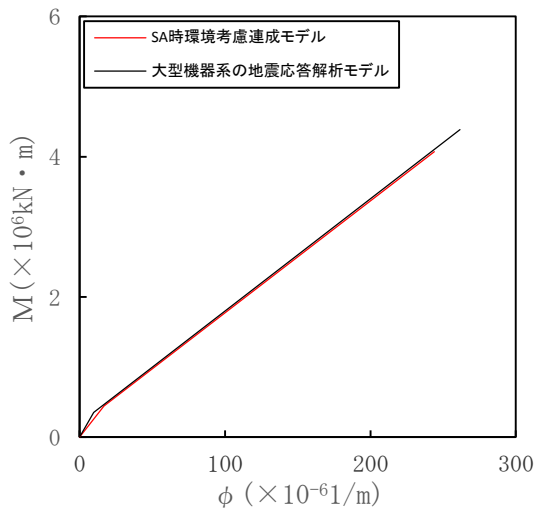
21*



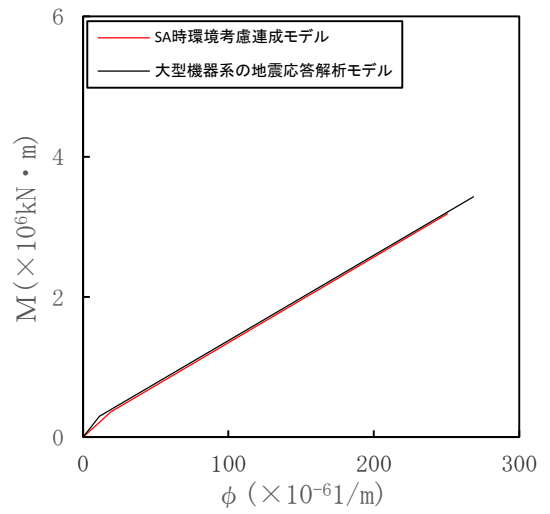
22*



23*

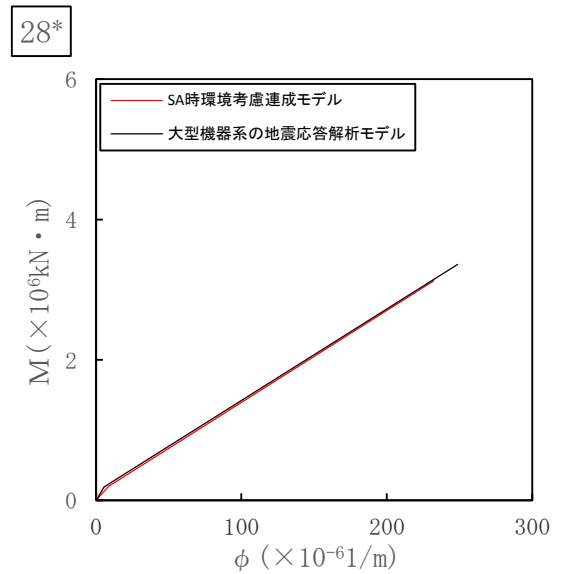
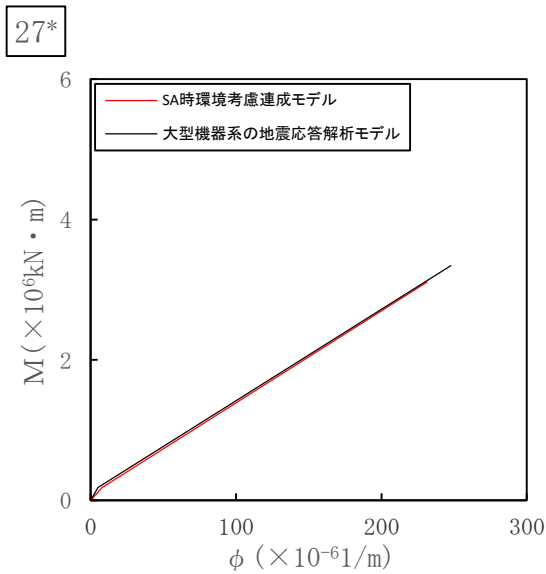
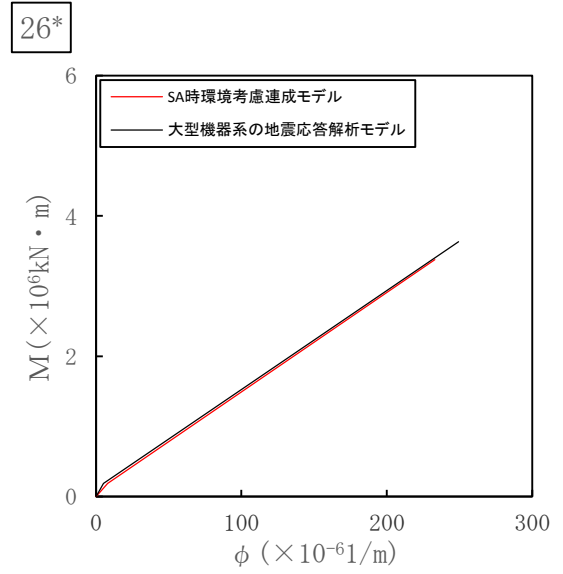
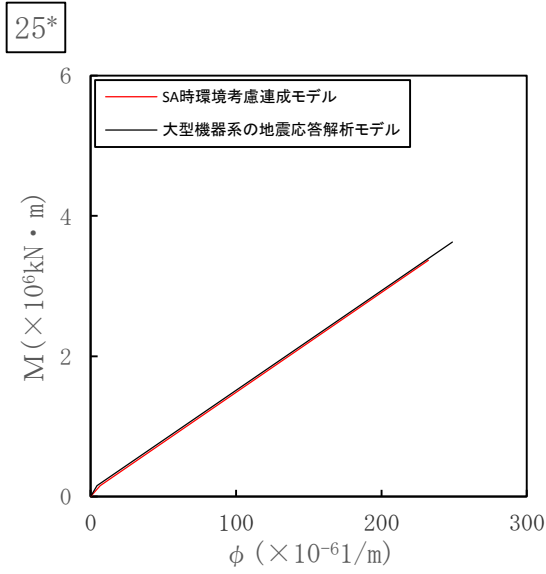


24*



注記* : 各図上に記載の要素番号は表 3-2 に対応

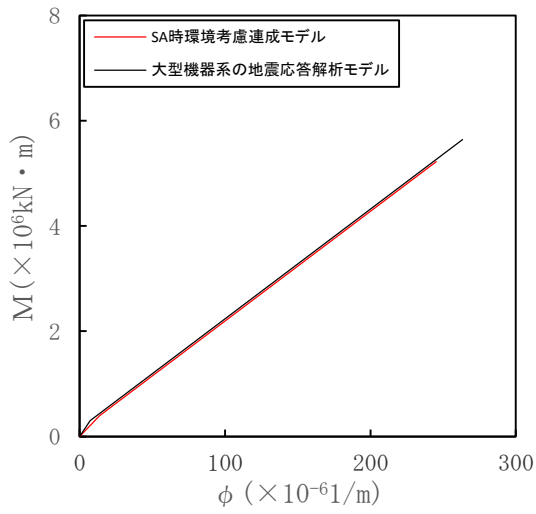
図 3-2(1/4) 曲げモーメントのスケルトン曲線(NS 方向)



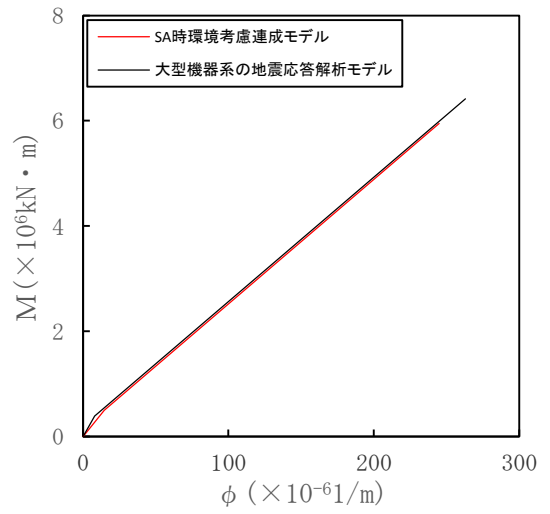
注記* : 各図上に記載の要素番号は表 3-2 に対応

図 3-2(2/4) 曲げモーメントのスケルトン曲線(NS 方向)

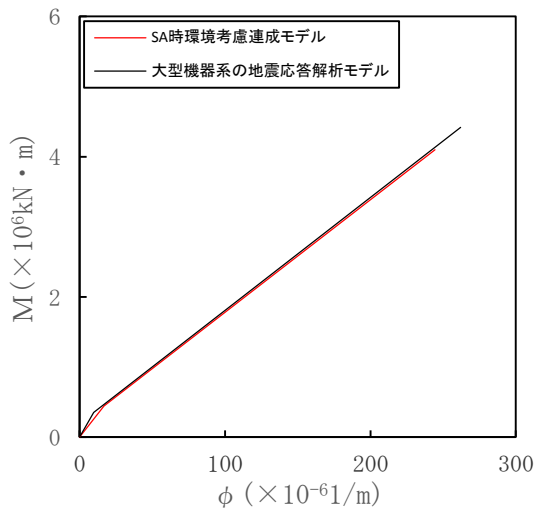
21*



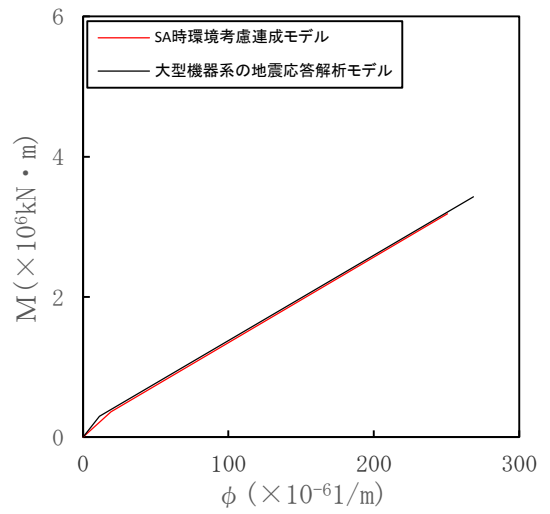
22*



23*

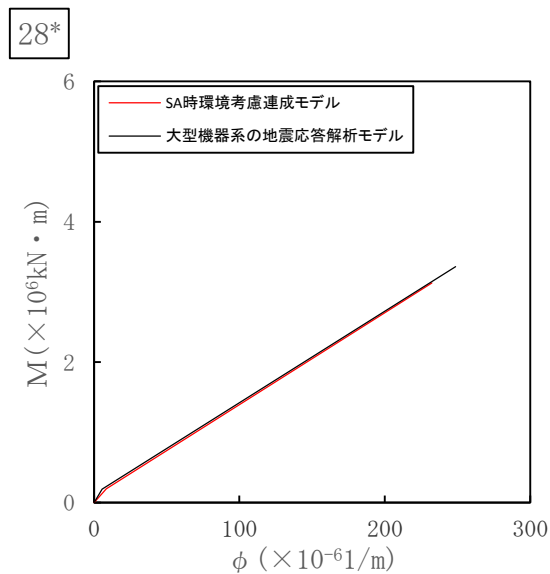
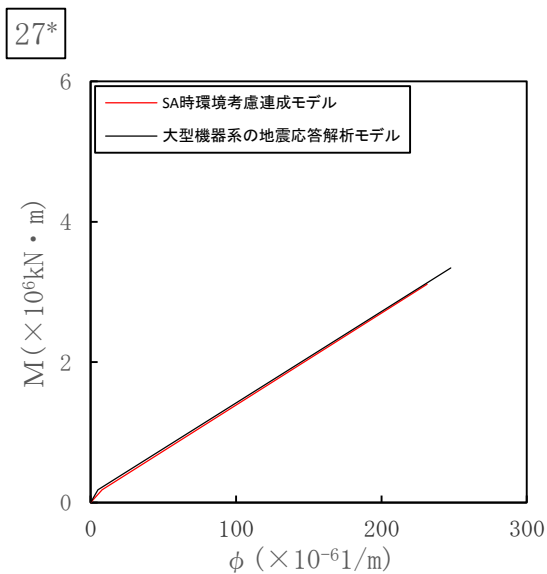
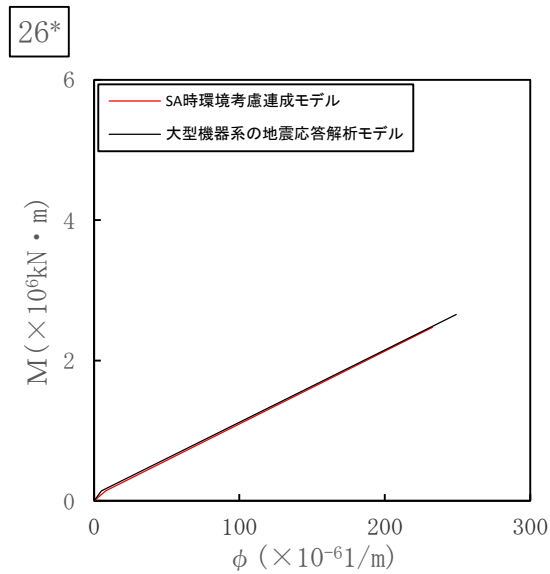
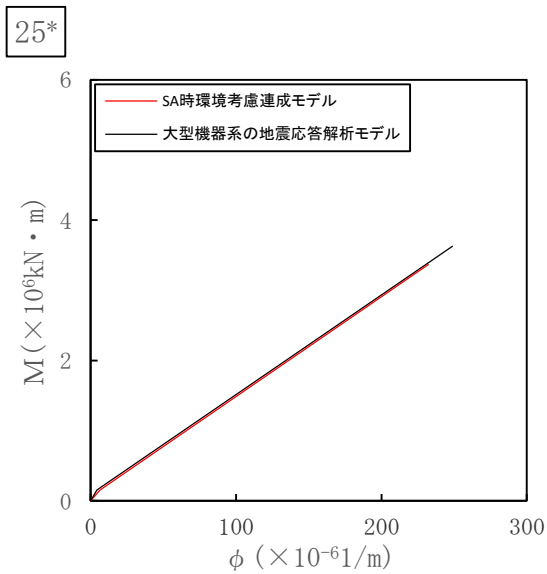


24*



注記* : 各図上に記載の要素番号は表 3-2 に対応

図 3-2(3/4) 曲げモーメントのスケルトン曲線(EW 方向)



注記* : 各図上に記載の要素番号は表 3-2 に対応

図 3-2 (4/4) 曲げモーメントのスケルトン曲線 (EW 方向)

(4) 原子炉遮蔽壁と原子炉本体基礎の剛性の設定について

建設時及び今回工認の建屋－機器連成地震応答解析モデルにおける原子炉遮蔽壁と原子炉本体基礎における剛性の扱いを表 4-1 に、原子炉遮蔽壁と原子炉本体基礎の構造図を図 4-1 及び図 4-2 に示す。

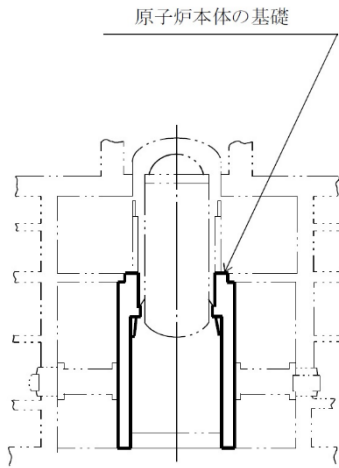
原子炉遮蔽壁は、RPV からの放射線を遮蔽するための構造物である。主体構造は、RPV を取り囲む円筒形の壁であり、内外の鋼板及びその内部に充てんされたモルタルより構成される。地震応答解析にあたり原子炉遮蔽壁の剛性は、モルタルは遮蔽を目的としており構造部材として期待しないこととして、鋼板を考慮している。

原子炉本体基礎は、耐震重要度分類 S クラスである RPV の間接支持構造物であり、主体構造は鋼板とコンクリートで構成される円筒形の構造物である。地震応答解析にあたり原子炉本体基礎の剛性は、鋼板とコンクリートをともに考慮している。

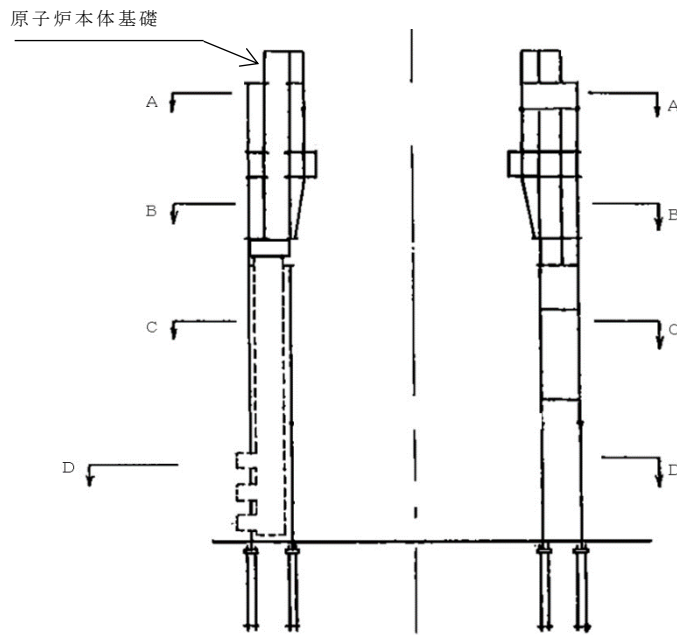
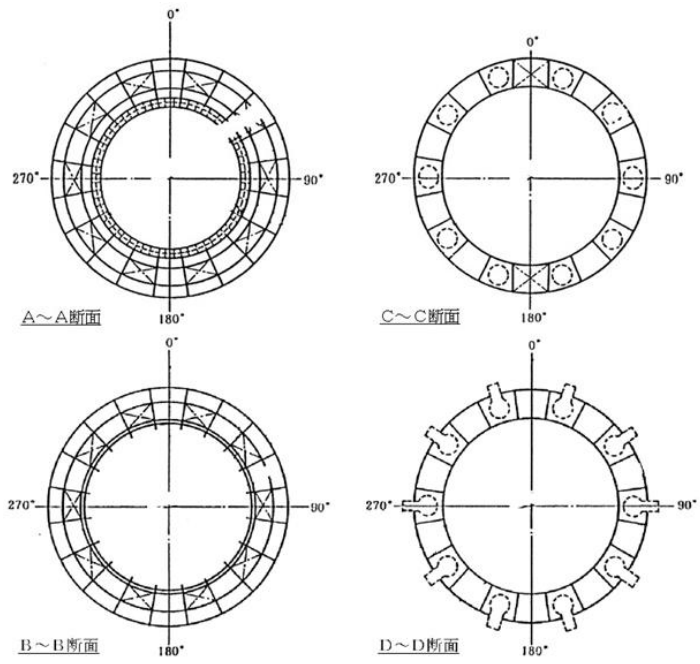
重大事故等時の環境を考慮した「SA 時環境考慮連成モデル」においても、建設時及び今回工認と同様に、原子炉遮蔽壁は鋼板の剛性のみを考慮し、原子炉本体基礎はコンクリートと鋼板の剛性を考慮している。

表 4-1 地震応答解析における原子炉遮蔽壁と原子炉本体基礎の剛性について

	原子炉遮蔽壁	原子炉本体基礎
剛性の考慮	鋼板	鋼板とコンクリート



V-1-2-1「原子炉本体の基礎に関する説明書」表 2-1 より抜粋



V-1-2-1「原子炉本体の基礎に関する説明書」図 3-1 より抜粋

図 4-2 原子炉本体基礎の構造図

(5) ダイヤフラムフロアのばね定数の設定について

ダイヤフラムフロアは、軸対称形状の円環平板の鉄筋コンクリートスラブ構造物であり、円環内周端は原子炉本体基礎に結合支持され、円環外周端は RCCV に荷重を伝える構造になっている。なお、円環外周端にはカプラーが設けられ、ダイヤフラムフロアと RCCV の鉄筋が接続されている。

ここで、建設時及び今回工認の建屋－機器連成地震応答解析モデルにおけるダイヤフラムフロアは、原子炉本体基礎と RCCV 間の圧縮荷重を伝達することを目的にばねとしてモデル化していることから、圧縮荷重を主に伝達するコンクリートのみを考慮したダイヤフラムフロアの解析モデルを用いて、原子炉本体基礎側に一様の強制変位を与えた際の反力の合計を最大変位量で除することによりばね定数を設定している。

このため、今回の重大事故等時の環境を考慮した「SA 時環境考慮連成モデル」のダイヤフラムフロアのばね定数の設定では、剛性低下したコンクリートのみを考慮している。

(6) 「SA 時環境考慮モデル」の諸元について

「SA 時環境考慮モデル」は「3.2.1 解析条件」に記載する「剛性低下モデル」から水位の影響を考慮して、諸元のうち質点重量及び回転慣性重量を変更している。変更内容を表 5-1 に示す。

表 5-1(1/2) 「剛性低下考慮モデル」からの「SA 時環境考慮モデル」の諸元の変更内容（水平方向）

(a) NS 方向

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I _G (×10 ⁵ kN・m ²)	質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I _G (×10 ⁵ kN・m ²)	
1	39490	70.6	/			
2	80520	410.9				
3	84470	473.7		11	91400	32.4
4	84770	293.2		12	155040	371.7
5	55380	198.1		13	102870	305.0
6	81140	289.3		14	<u>204762</u>	<u>420.2</u>
7	80120	296.2		15	<u>162306</u>	<u>506.9</u>
8	81300	298.1		16	<u>151284</u>	<u>408.8</u>
9	<u>350393</u>	<u>967.3</u>		/		
10	216040	581.5				
合計	<u>2021285</u>					

(b) EW 方向

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I _G (×10 ⁵ kN・m ²)	質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I _G (×10 ⁵ kN・m ²)	
1	39490	147.1	/			
2	80520	300.1				
3	89570	299.1		11	86300	267.7
4	67270	275.6		12	172540	474.6
5	50210	210.8		13	108040	340.3
6	78630	320.7		14	<u>207272</u>	<u>465.4</u>
7	76690	316.8		15	<u>165736</u>	<u>562.3</u>
8	79240	324.6		16	<u>153344</u>	<u>452.7</u>
9	<u>350393</u>	<u>1063.6</u>		/		
10	216040	644.3				
合計	<u>2021285</u>					

下線部：「3.2.1 解析条件」における「表 3-5 地震応答解析モデルの諸元（水平方向，剛性低下考慮モデル）」からの変更箇所

表 5-1(2/2) 「剛性低下考慮モデル」からの「SA 時環境考慮モデル」の諸元の
変更内容（鉛直方向）

外壁・RCCV部		屋根トラス部	
質点 番号	質点重量 W (kN)	質点 番号	質点重量 W (kN)
1	30640	1	—
2	80520	23	3540
3	175870	22	3540
4	239810	21	1770
5	158250		
6	<u>285902</u>		
7	<u>242426</u>		
8	<u>232584</u>		
9	<u>350393</u>		
10	216040		
合計	<u>2021285</u>		

下線部：「3.2.1 解析条件」における「表 3-9 地震応答解析モデルの諸元（鉛直方向，剛性低下考慮モデル）」からの変更点

別紙6 原子炉建屋のコンクリート剛性に対する地震観測記録による
傾向分析

目 次

1. 検討の概要	別紙 6-1
2. 解析手法の概要	別紙 6-2
3. 評価結果	別紙 6-4
3.1 評価対象地震	別紙 6-4
3.2 伝達関数の算定条件	別紙 6-6
3.3 評価結果	別紙 6-8
4. まとめ	別紙 6-12

別紙6-1 コンクリートの経年劣化の影響について

1. 検討の概要

原子炉建屋のコンクリート剛性に対する地震観測記録による傾向分析について、6号機原子炉建屋と7号機原子炉建屋の高さ及び平面形状が共通であることを踏まえ、代表として6号機原子炉建屋で地震観測を行ってきたことから、6号機原子炉建屋の観測記録を用いて、建屋を等価1質点系モデルに置換した場合の1次固有振動数を算定し、経年及び地震による建屋全体系の剛性（コンクリート剛性）への影響という観点で分析を行った。1次固有振動数の変化から、6号機原子炉建屋全体の平均的な剛性の変化を評価することができる。

2. 解析手法の概要

6号機原子炉建屋の1次固有振動数を評価するための伝達関数の概念図を図2-1に示す。

基礎スラブ上の水平動の加速度記録に加えて、基礎スラブ両端部の鉛直動の加速度記録を用いることにより、基礎スラブを剛体とみなして基礎スラブの回転動を評価することにより基礎固定条件の伝達関数を評価することができる。また、基礎スラブ上の水平動の加速度記録のみを用いる場合には基礎スラブの水平方向のみを固定条件としたスウェイ固定条件の伝達関数を評価することができる。

図2-2にスウェイ固定の場合の固有振動数評価の概念を示す。

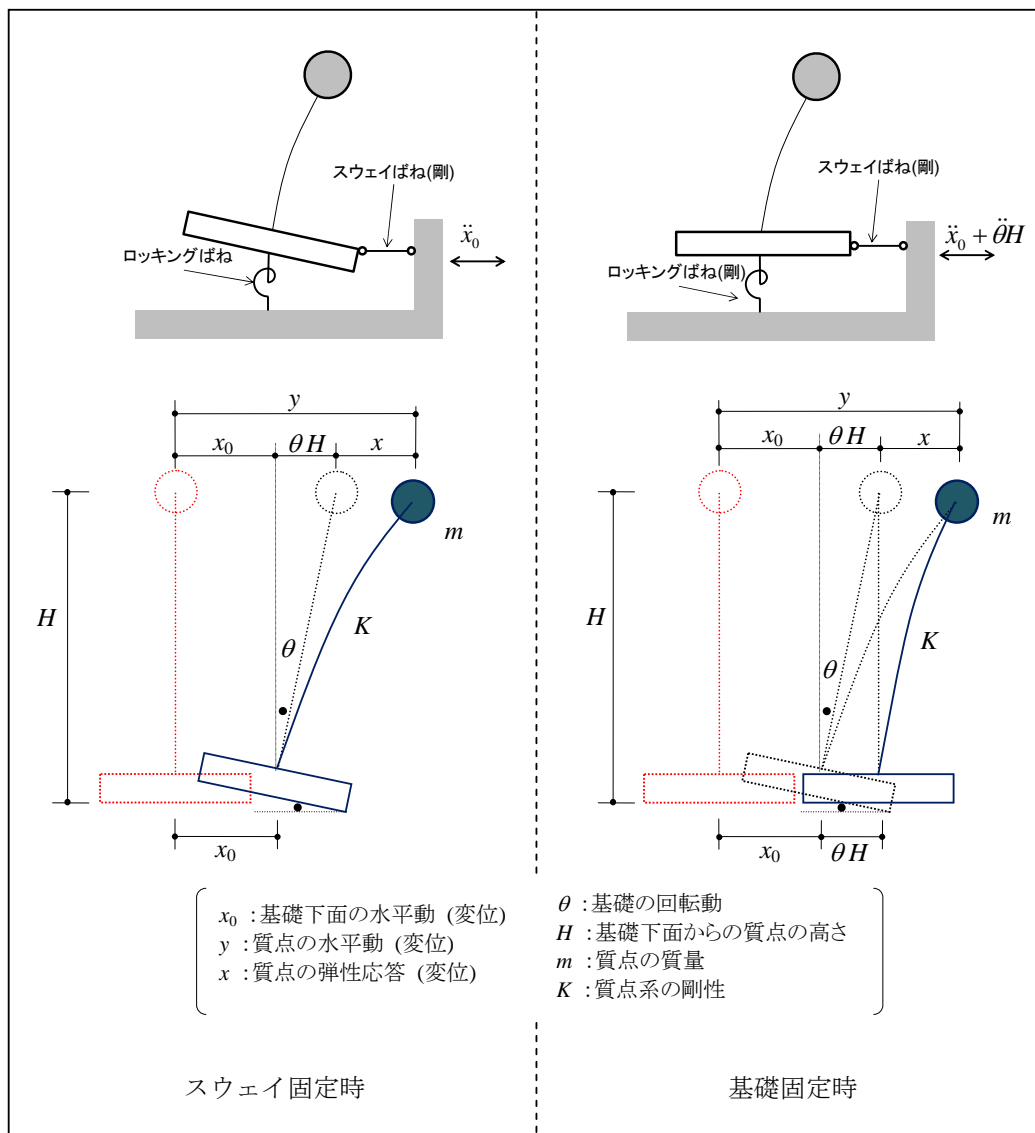
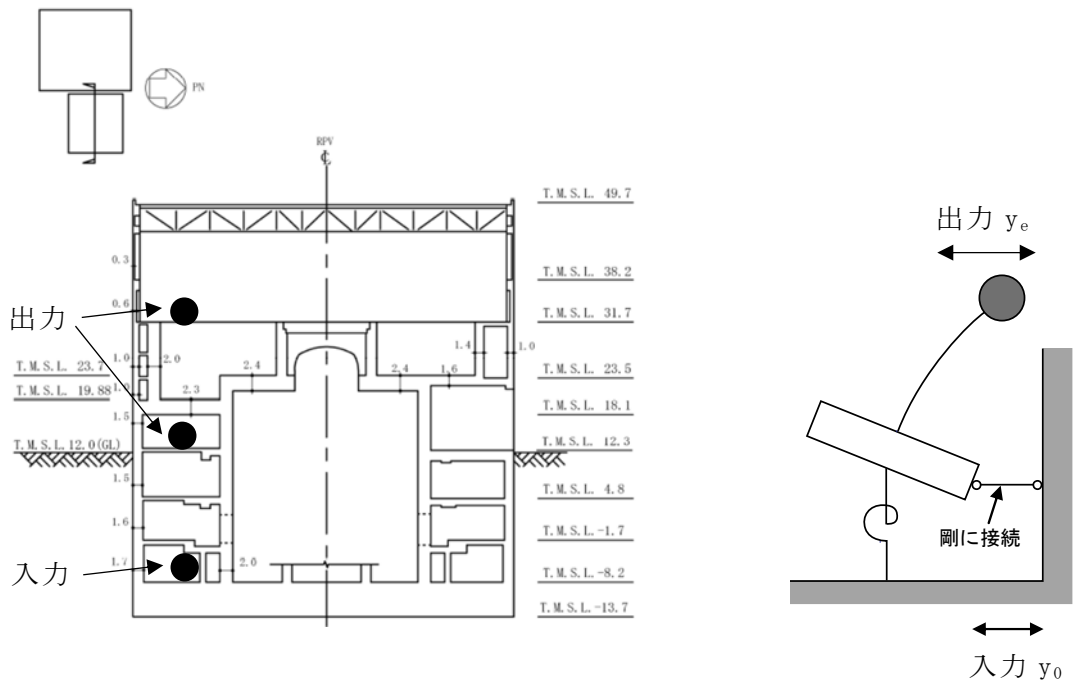


図2-1 伝達関数の概念図



- ① 質点系の等価高さ位置に隣接する上下階の観測波形を線形補間して等価高さ位置の波形を算定する。
- ② 観測記録による伝達関数に対して固有振動数を同定して求める。

図 2-2 固有振動数評価の概念図 (スウェー固定)

3. 評価結果

3.1 評価対象地震

6号機原子炉建屋では多数の地震が観測されている。基礎スラブ上のNS方向またはEW方向の最大加速度が 3cm/s^2 以上である82地震記録を評価対象として選定した。評価対象地震を表3-1に示す。

表 3-1 ARX 法による伝達関数の評価対象地震

No.	地震名	規模 M	深さ (km)	震央距離 (km)	震源距離 (km)	加速度最大値 (cm/s ²)			
						4F 計測点		B3F 計測点	
						NS	EW	NS	EW
01	1995.08.09 04:27 新潟県南部沖	4.6	24	27	36	7.07	7.02	3.12	5.00
02	1996.08.31 10:43 新潟県南部沖	3.0	19	6	20	12.44	16.97	6.79	8.91
03	1998.02.21 09:55 新潟県中部	5.2	19	25	31	16.11	11.80	8.36	6.32
04	1998.04.04 01:40 新潟県南部沖	4.6	26	23	35	39.18	34.08	16.74	19.60
05	1998.11.16 08:08 能登半島沖	4.8	12	108	108	11.01	7.15	3.99	3.64
06	1999.11.14 06:57 新潟県中部	4.0	13	16	20	9.26	9.05	4.49	4.27
07	2000.03.25 22:02 新潟県中部	4.1	11	18	21	11.43	6.97	6.28	4.54
08	2001.01.02 19:53 新潟県中部	4.5	12	19	22	7.90	7.64	4.05	3.83
09	2001.01.04 13:18 新潟県中部	5.3	11	54	55	15.71	11.74	4.54	7.67
10	2003.12.22 21:07 佐渡島近海	4.7	16	60	62	2.54	5.66	1.28	3.18
11	2004.03.15 07:38 新潟県南部沖	4.7	24	31	39	26.17	13.25	8.43	8.14
12	平成16年(2004年)新潟県中越地震	6.8	13	28	31	74.02	94.62	34.20	59.71
13	2004.10.23 17:59 新潟県中部	5.3	16	26	30	13.90	13.37	7.23	9.60
14	2004.10.23 18:03 新潟県中部	6.3	9	35	36	51.45	55.83	27.05	24.92
15	2004.10.23 18:07 新潟県中部	5.7	15	25	29	25.74	18.27	9.10	13.10
16	2004.10.23 18:11 新潟県中部	6.0	12	28	30	35.52	48.63	16.42	34.44
17	2004.10.23 18:14 新潟県中部	4.5	14	28	31	8.61	5.79	4.17	5.10
18	2004.10.23 18:34 新潟県中部	6.5	14	32	35	101.09	93.39	41.93	52.41
19	2004.10.23 18:36 新潟県中部	5.1	7	36	37	8.89	16.98	3.49	9.76
20	2004.10.23 18:57 新潟県中部	5.3	8	34	35	8.97	5.65	6.65	4.59
21	2004.10.23 19:36 新潟県中部	5.3	11	31	33	6.77	12.48	4.74	8.82
22	2004.10.23 19:45 新潟県中部	5.7	12	29	31	27.53	20.71	11.74	15.31
23	2004.10.23 19:46 新潟県中部	4.7	15	29	33	8.13	8.70	3.21	8.17
24	2004.10.23 23:34 新潟県中部	5.3	20	30	36	13.86	17.34	7.40	7.32
25	2004.10.24 16:06 新潟県中部	4.6	12	30	32	5.50	7.01	2.57	5.13
26	2004.10.25 00:28 新潟県中部	5.3	10	35	36	11.09	9.53	6.06	7.85
27	2004.10.25 06:04 新潟県中部	5.8	15	33	36	35.36	46.28	19.60	33.82
28	2004.10.25 06:32 新潟県中部	4.3	15	32	35	5.78	6.75	2.69	3.56
29	2004.10.27 10:40 新潟県中部	6.1	12	41	43	41.72	50.27	27.04	34.51
30	2004.11.01 04:35 新潟県中部	5.0	8	36	37	7.11	9.96	4.19	5.66
31	2004.11.04 08:57 新潟県中部	5.2	18	28	34	112.42	115.76	46.55	84.07
32	2004.11.08 11:15 新潟県中部	5.9	0	39	39	17.58	16.78	6.49	8.27
33	2004.11.08 11:27 新潟県中部	5.0	0	38	38	7.58	8.00	4.14	4.62
34	2004.11.10 03:43 新潟県中部	5.3	5	36	37	9.55	8.87	4.75	4.83
35	2004.12.23 21:03 新潟県中部	4.5	11	32	33	8.49	13.10	2.92	5.63
36	2004.12.25 10:23 新潟県中部	4.4	10	32	34	7.17	15.85	3.50	6.19
37	2005.06.20 13:03 新潟県中部	5.0	15	22	26	43.57	56.54	23.34	28.11
38	2005.08.21 11:29 新潟県中部	5.0	17	17	24	13.07	19.85	6.78	11.22
39	2005.11.04 01:01 新潟県南部沖	4.8	28	11	30	47.02	42.96	25.51	30.80
40	2006.12.26 05:17 佐渡島近海	4.9	14	63	65	10.41	9.37	5.52	5.66
41	2007.01.08 18:59 新潟県中部	4.8	13	34	36	5.18	6.26	2.99	3.46
42	2007.03.25 09:41 能登半島沖	6.9	11	171	171	47.91	26.00	20.93	16.87
43	平成19年(2007年)新潟県中越沖地震	6.8	17	15	22	544.41	544.99	271.01	321.68
44	2007.07.16 11:00 新潟県南部沖	3.7	22	5	23	41.70	40.69	24.17	20.72
45	2007.07.16 11:05 新潟県南部沖	3.9	23	13	26	10.36	9.21	4.26	3.49
46	2007.07.16 11:12 新潟県南部沖	3.3	24	12	27	6.31	3.67	3.07	2.74
47	2007.07.16 11:15 新潟県南部沖	2.5	17	5	18	6.28	5.83	3.81	3.83
48	2007.07.16 11:20 新潟県南部沖	3.1	20	9	22	7.82	16.84	5.00	6.72
49	2007.07.16 11:47 新潟県南部沖	3.4	18	6	19	4.50	4.75	1.96	3.28
50	2007.07.16 11:50 新潟県南部沖	3.5	19	6	20	11.08	11.85	5.57	6.58
51	2007.07.16 11:56 新潟県南部沖	3.5	17	8	18	13.28	21.85	5.48	10.21
52	2007.07.16 12:20 新潟県南部沖	3.4	20	11	23	6.34	5.52	2.99	3.01
53	2007.07.16 12:34 新潟県南部沖	2.9	18	15	24	6.36	7.74	2.65	4.04
54	2007.07.18 11:47 新潟県南部沖	3.7	18	6	19	37.39	24.52	19.53	15.71
55	2007.07.18 16:53 新潟県中部	4.3	23	3	23	16.82	22.49	6.34	11.39
56	2007.07.20 01:52 新潟県南部沖	4.2	19	5	20	39.55	59.49	24.58	25.79
57	2007.07.25 06:52 新潟県中部	4.8	24	16	29	75.06	41.84	41.70	35.18
58	2008.03.12 17:59 新潟県南部沖	4.1	20	4	20	22.05	23.62	11.98	14.94
59	2008.05.12 01:53 新潟県南部沖	2.6	19	7	20	6.41	6.66	3.25	4.32
60	2008.07.05 08:30 新潟県南部沖	3.3	17	16	24	4.25	6.21	2.13	3.16
61	2008.12.30 23:25 新潟県中部	3.9	17	4	18	24.08	25.46	12.30	11.36
62	2009.08.24 13:30 新潟県南部沖	3.6	19	3	19	17.27	23.47	9.22	10.23
63	2010.10.02 12:35 新潟県中部	4.0	22	35	42	11.24	14.87	4.75	6.38
64	2010.10.03 06:37 新潟県中部	4.5	23	35	42	25.52	12.14	10.05	5.98
65	2010.10.03 06:52 新潟県中部	4.6	24	36	43	11.74	12.48	8.01	4.13
66	2010.10.03 09:26 新潟県中部	4.7	22	35	42	8.07	7.32	3.60	4.16
67	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震	9.0	24	383	383	12.47	13.24	12.27	11.64
68	2011.03.11 15:15 茨城県東方はるか沖	7.6	43	278	280	4.32	4.37	4.24	3.90
69	2011.03.12 03:59 新潟県中部	6.7	8	49	49	31.13	32.02	15.39	19.67
70	2011.03.12 04:31 新潟県中部	5.9	1	53	53	8.73	5.96	4.19	3.40
71	2011.04.07 23:32 宮城県東方沖	7.2	66	305	311	3.11	4.92	2.67	4.03
72	2011.04.11 17:16 福島県東部	7.0	6	192	192	5.72	5.26	5.09	4.80
73	2011.04.12 07:26 長野県北部	5.6	0	67	67	14.63	11.40	6.48	7.02
74	2011.04.12 16:14 長野県北部	4.6	1	66	66	7.34	7.28	4.07	4.49
75	2011.07.27 01:49 新潟県中部	3.7	18	4	19	16.88	18.42	10.12	8.28
76	2011.11.26 09:05 佐渡島近海	4.3	24	45	50	5.44	7.43	2.33	3.47
77	2012.02.08 21:01 佐渡島近海	5.7	14	62	63	17.76	8.40	7.38	4.48
78	2012.07.10 12:48 長野県北部	5.2	9	68	69	5.30	5.02	2.04	3.29
79	2014.04.08 05:07 新潟県中部	4.4	9	32	33	5.52	7.40	3.36	2.16
80	2014.11.22 22:08 長野県北部	6.7	5	103	103	6.76	13.77	5.22	9.61
81	2015.06.16 13:42 新潟県南部沖	3.8	18	11	21	5.60	5.66	3.10	3.37
82	2016.11.22 05:59 福島県東方沖	7.4	25	266	266	3.85	4.72	3.11	4.25

* 平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震(No. 43)は新設地震計(3F, B3F)の加速度最大値

3.2 伝達関数の算定条件

表 3-2 及び図 3-1 に伝達関数の算定に用いた地震計を示す。等価高さ位置の波形は T.M.S.L.+31.7m と T.M.S.L.+12.3m の記録を用いて線形補間により算定した。なお、平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震については、6-R1 および 6-R2 における観測記録を用いてスウェイ固定の伝達関数を算定した。

表 3-2 伝達関数の算定に用いた地震計

観測点名・成分・高さ位置		備考
NS 成分	EW 成分	
R62 NS (T.M.S.L.+31.7m) R66 NS (T.M.S.L.+31.7m) R63 NS (T.M.S.L.+12.3m) 6-R1 NS (T.M.S.L.+23.5m)*	R62 EW (T.M.S.L.+31.7m) R66 EW (T.M.S.L.+31.7m) R63 EW (T.M.S.L.+12.3m) 6-R1 EW (T.M.S.L.+23.5m)*	y _e 算定用 T.M.S.L.+31.7m の記録の平均値と T.M.S.L.+12.3m の線形補間により算定
R64 NS (T.M.S.L.- 8.2m) R67 NS (T.M.S.L.- 8.2m) R69 NS (T.M.S.L.- 8.2m) 6-R2 NS (T.M.S.L.- 8.2m)*	R64 EW (T.M.S.L.- 8.2m) R67 EW (T.M.S.L.- 8.2m) R68 EW (T.M.S.L.- 8.2m) 6-R2 EW (T.M.S.L.- 8.2m)*	y ₀ 算定用 記録の平均化により算定
R64 UD (T.M.S.L.- 8.2m) R68 UD (T.M.S.L.- 8.2m)	R67 UD (T.M.S.L.- 8.2m) R69 UD (T.M.S.L.- 8.2m)	回転動算定用

*平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震では既設地震計の観測記録データの一部が消失したことから新設地震計(6-R1, 6-R2)の観測記録のみを使用(スウェイ固定)

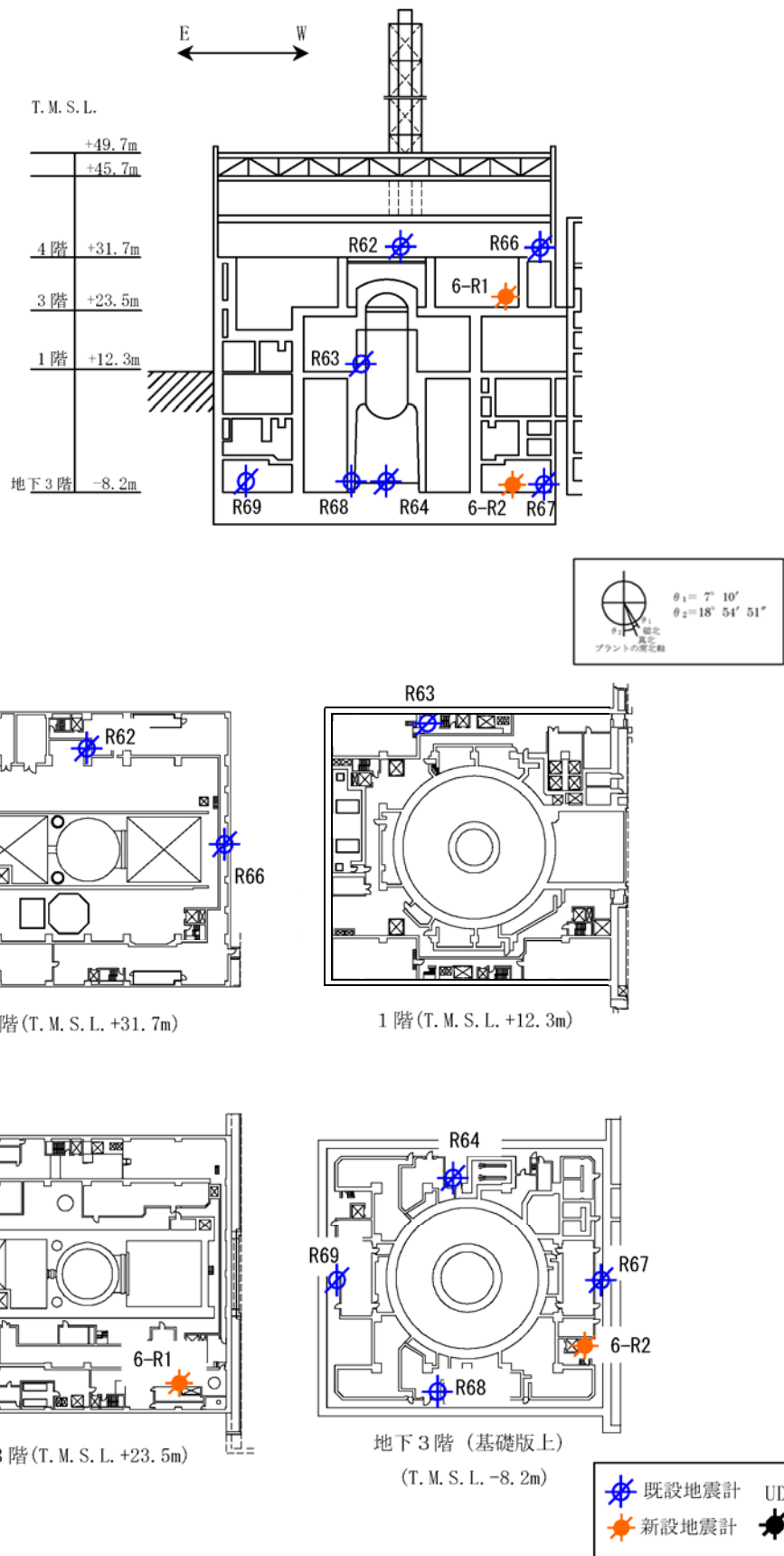


図 3-1 6号機原子炉建屋の地震計位置

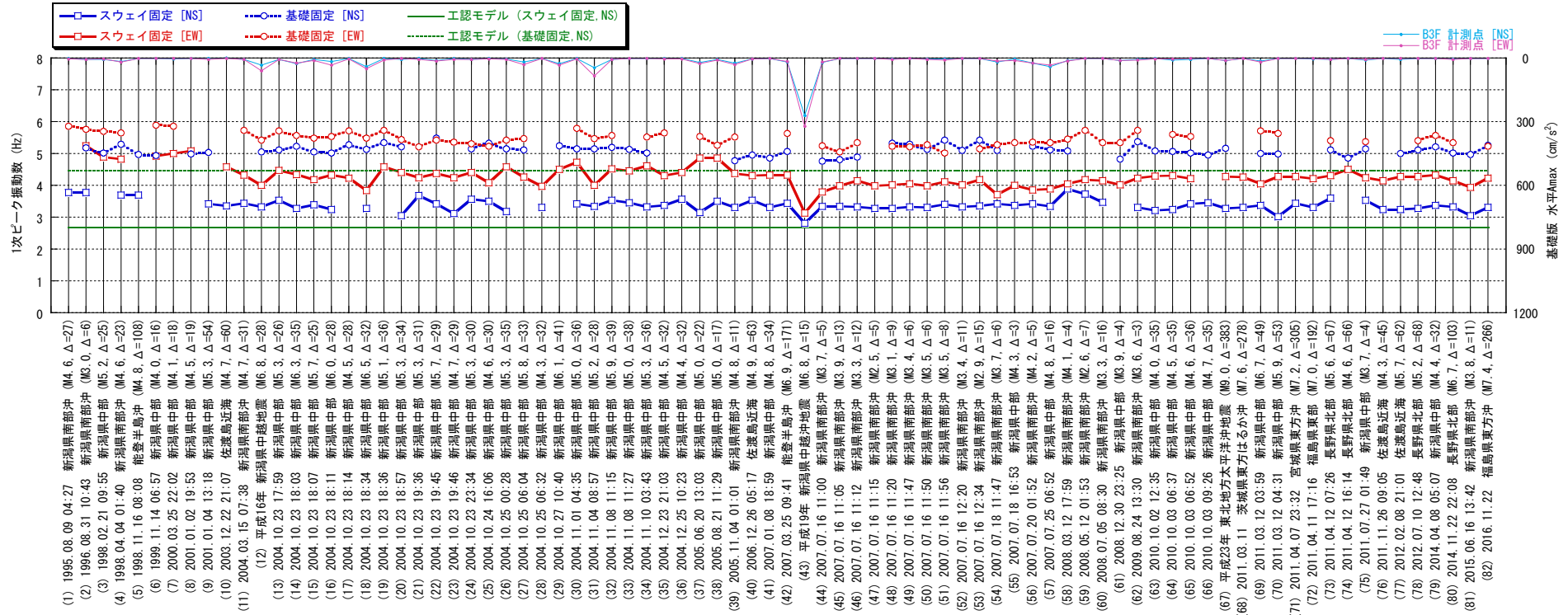
3.3 評価結果

1次固有振動数の地震時系列上の変化を図3-2に、時間軸上の変化を図3-3に示す。これらの図には、スウェイ固定条件及び基礎固定条件における1次固有振動数の変化を重ねて表示している。但し、地震記録の精度の制約により、評価が困難なケースは除いた。地盤の影響を除去した基礎固定時の方が1次固有振動数は高く評価されていることが確認できる。なお、図には参考として、原子炉建屋の今回工認で使用している地震応答解析モデル（以下「工認モデル」という。）をスウェイ固定と基礎固定とした場合のNS方向の1次固有振動数（Sd-1）及び基礎スラブ上の観測記録の水平最大加速度も併記している。また、ARX法（同定結果）とフーリエ解析による伝達関数（観測結果）の比較例として、平成19年（2007年）新潟県中越沖地震と平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の結果を図3-4に示す。

図3-2によれば、加速度の大きい地震記録に対しては1次固有振動数が一時的に変化する傾向が見られるが、その他殆どの地震では概ね同程度の1次固有振動数になっている。

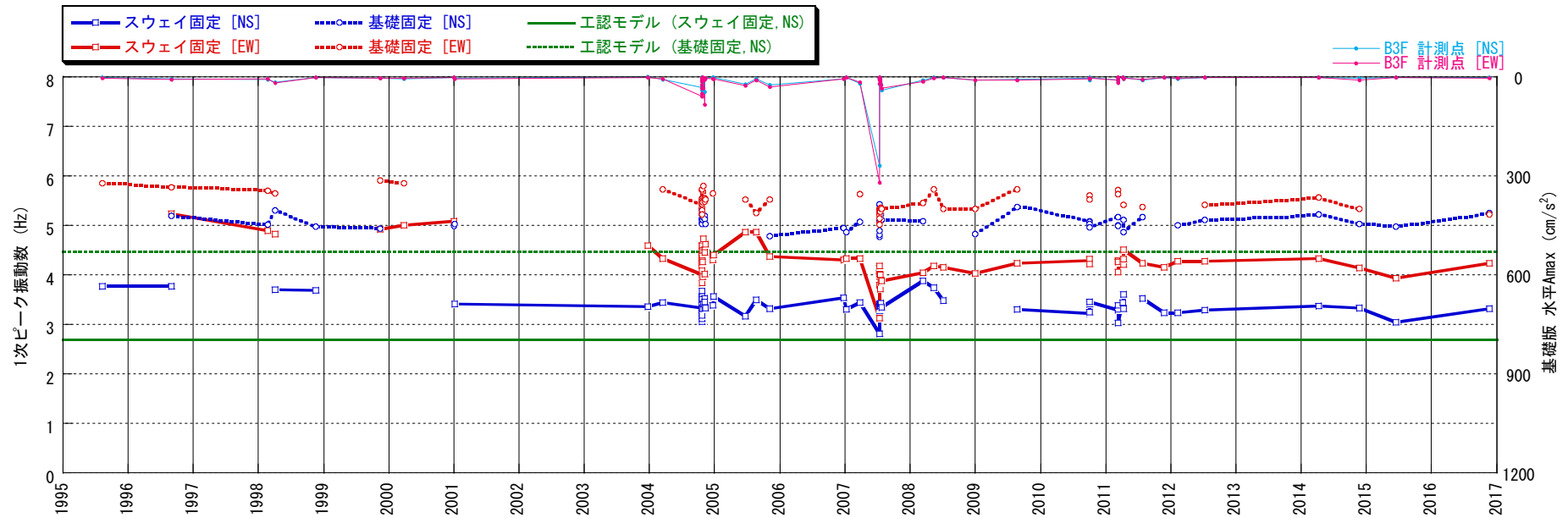
図3-3の時間軸上での変化をみると、平成19年（2007年）新潟県中越沖地震時を除くと、1次固有振動数は長期間に渡ってほぼ一定になっており、経年による剛性低下はみられない。

工認モデルの結果と比較すると、スウェイ固定時の場合は、弾性設計用地震動 Sd-1 と応答レベルが概ね同等と推定される平成19年（2007年）新潟県中越沖地震の結果と概ね対応している。一方、基礎固定時の場合は、ARX法による同定結果は工認モデルの結果よりも若干高い振動数となっている。これは、ARX法による同定結果は微小変形が生じるひずみレベルの地震記録により得られた結果であり、工認モデルと比較して、工認モデルに考慮した耐震壁や補助壁以外の壁の剛性が付与されることが要因であると考えられる。



注：地震記録の精度により ARX 法で適切に評価できないケースは除外し、その箇所は線で結んでいない。

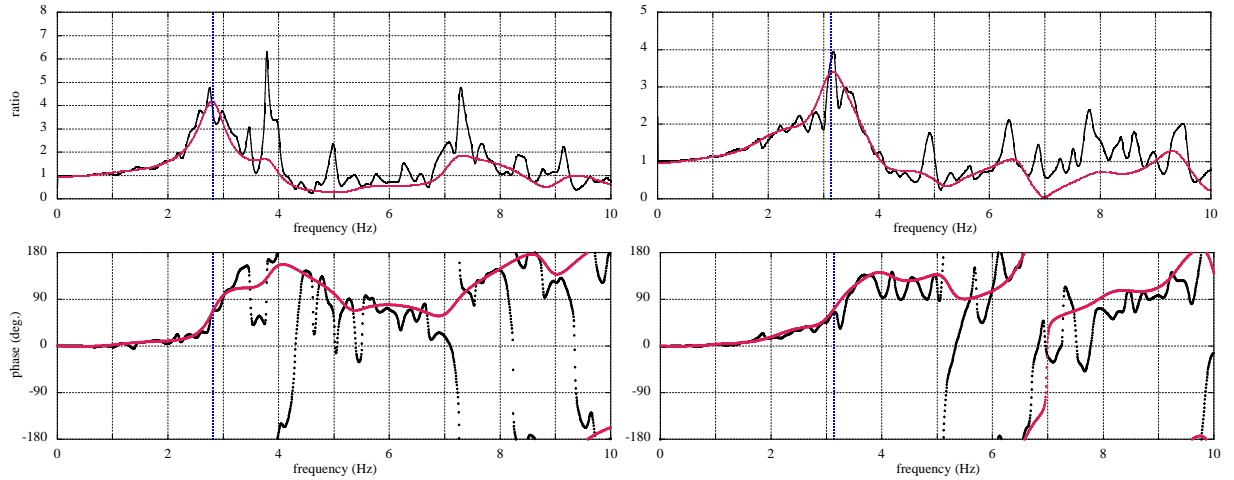
図 3-2 1次固有振動数の評価結果 (地震時系列)



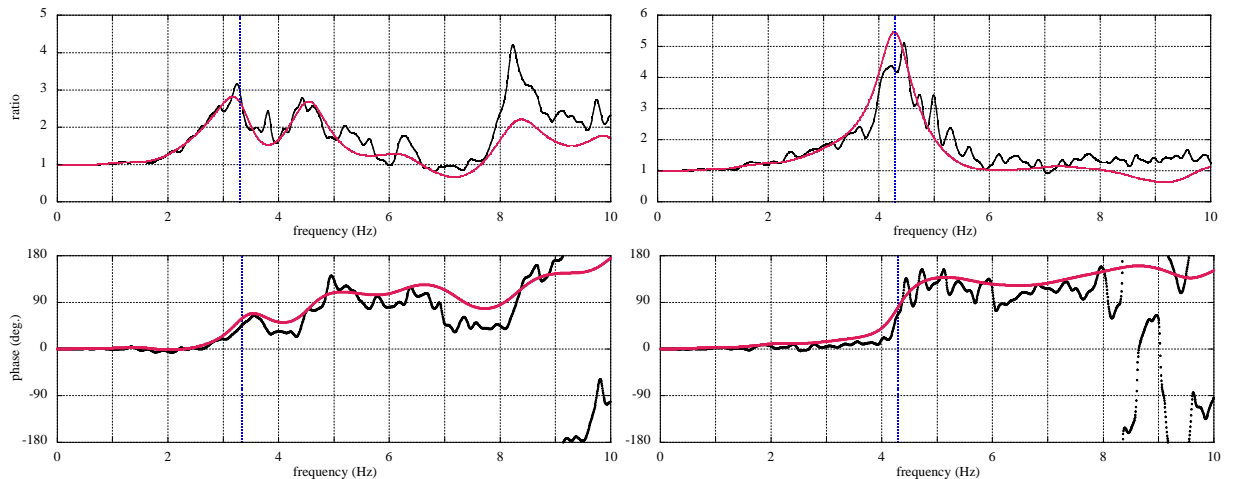
注：地震記録の精度により ARX 法で適切に評価できないケースは除外し，その箇所は線で結んでいない。

図 3-3 1 次固有振動数の評価結果（時間軸）

黒線：フーリエ解析による伝達関数
 赤線：ARX 法による伝達関数
 青線：ARX 法による固有振動数位置



平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震（左：NS 成分，右：EW 成分）



平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（左：NS 成分，右：EW 成分）

図 3-4 ARX 法（同定結果）とフーリエ解析による伝達関数（観測結果）の比較結果
 （各図上段：振幅比，下段：位相）

4. まとめ

6号機原子炉建屋を対象に、地震観測記録を用いて1次固有振動数を算定し、その経年変化の分析を行った。その結果、平成19年(2007年)新潟県中越沖地震時では1次固有振動数が一時的に変化したものの、その他の地震では長期間に渡りほぼ一定の1次固有振動数となっており、経年による変化は殆ど認められなかった。

別紙6-1 コンクリートの経年劣化の影響について

目 次

1. はじめに	別紙 6-1-1
2. 乾燥収縮によるひび割れについて	別紙 6-1-2
3. ひび割れ点検	別紙 6-1-3
3.1 点検概要	別紙 6-1-3
3.2 点検結果	別紙 6-1-4

1. はじめに

柏崎刈羽原子力発電所では、建築物に要求される機能を供用期間にわたって維持するため、定期的な点検に基づく維持管理を実施している。

維持管理においては、コンクリート構造物の性能を低下させるような劣化事象が生じているか否かを確認する各種点検に加え、日常的に劣化の兆候を確認するための外観目視点検およびひび割れ点検を実施している。

ひび割れは、「進行性のないもの」および「進行性のもの」の大きく二つに分類でき、進行性のないものは、乾燥収縮によるもの、セメントの水和熱によるもの、施工に関わるものなどがあり、進行性のものは、アルカリ骨材反応、凍結融解、コンクリートの中性化、塩分浸透、疲労によるものなどがある。

進行性のないひび割れのうち、乾燥収縮によるものは、それ自体が構造安全性に影響を及ぼすものではないが、他の劣化要因と複合し、進行性のひび割れに変化する可能性があるため、柏崎刈羽原子力発電所では、進行性の有無に関係なくひび割れの点検を行い、経年的なひび割れの進展がないことを確認している。

2. 乾燥収縮によるひび割れについて

一般に、コンクリート構造物のひび割れの原因の多くは、材料・調合に関係しており、特に調合とひび割れとの関連は大きく、構造物のおかれる環境、施工時期及び施工方法などを十分勘案した上で、適切な調合設計を行うことがひび割れ対策上重要であるとされている。

コンクリートの調合上、乾燥収縮に大きな影響を及ぼすのは単位水量であり、日本建築学会「鉄筋コンクリート造のひび割れ対策（設計・施工）指針・解説（1990）」においては、調合設計時の乾燥収縮率の目標値を 6×10^{-4} 、単位水量を原則 170kg/m^3 以下と規定している。

また、日本建築学会「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説（1991）」においては、耐久性を考慮して高品質のコンクリートを製造する目的から、単位水量を 175kg/m^3 以下、乾燥収縮率を 7×10^{-4} と規定している。

7号機原子炉建屋に使用しているコンクリートは、乾燥収縮率の管理目標値として 6×10^{-4} を採用し、基本調合における単位水量は 160kg/m^3 以下であり、調合設計時に実施した長さ変化試験（JIS A 1129 モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法）において、乾燥収縮率は 6×10^{-4} を満足する結果が得られている。さらに、コンクリートに使用している骨材は、一般にコンクリートの単位水量が小さくなり、乾燥収縮率も小さくなるとされている天然骨材（川砂・川砂利）である。

以上より、7号機原子炉建屋のコンクリートは、乾燥収縮による顕著なひび割れはないと考えられる。

3. ひび割れ点検

3.1 点検の概要

柏崎刈羽原子力発電所では、鉄筋コンクリート構造物を対象に定期的にひび割れ点検を実施しており、ひび割れの点検及び管理については、日本建築学会「原子力施設における建築物の維持管理指針・同解説」を参考に、「原子力発電所建築設備点検マニュアル」により、表 3-1 及び表 3-2 の通り実施している。

表 3-1 ひび割れ点検調査内容

調査項目	調査内容
パターン 幅 長さ	規則性，形態，発生部位（分布），進行性，漏水の有無 最大幅の測定（クラックスケールによる），可視範囲の記録

表 3-2 ひび割れ点検管理内容

--

* 構造上の影響が懸念されるひび割れについては、ひび割れ幅によらず補修を実施する。

3.2 点検結果

7号機原子炉建屋における耐震壁のひび割れ点検結果を表3-3に示す。

既往の点検・評価報告書*¹及びひび割れ補修報告書*²によると、2007年の新潟県中越沖地震において、7号機原子炉建屋に地震により発生したことが否定できない耐震壁のひび割れが11箇所確認されており、それらは全数補修を完了している。

また、それ以外のひび割れについては、新潟県中越沖地震前と同様、補修の検討対象とはならない0.8mm未満のひび割れ幅を保持していたため、継続的な経過観察対象とし、地震後も補修は行っていない。したがって、経過観察対象となるひび割れの数は、新潟県中越沖地震前後で同数となっている。

なお、経過観察対象のひび割れについて、2007年及び2017年の点検結果を比較すると、ひび割れの状況に大きな変化はなく、経年による進展は認められなかった。

表3-3 7号機原子炉建屋 耐震壁ひび割れ点検結果

--

* ()内は地震により発生したことが否定できない耐震壁のひび割れの数を表している。

- 注記*1 : 平成 20 年 9 月 25 日に経済産業省原子力安全・保安院報告済
「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機に関する新潟県中越沖地震後の設備健全性に
係る点検・評価報告書（建物・構築物編）（改訂 1）」
- *2 : 平成 21 年 2 月 18 日に経済産業省原子力安全・保安院報告済
「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機原子炉建屋・タービン建屋およびコントロール
建屋におけるひび割れ補修報告書」

別紙 7 改造工事に伴う重量増加を反映した検討

目 次

1. 概要	別紙 7-1
2. 検討方針	別紙 7-2
3. 重量増加を考慮した地震応答解析結果を踏まえた各施設の評価結果への影響検討	別紙 7-3
3.1 建物・構築物	別紙 7-3
3.1.1 使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピット	別紙 7-3
3.1.2 主排気筒	別紙 7-10
3.1.3 原子炉格納容器コンクリート部	別紙 7-13
3.1.4 原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）	別紙 7-26
3.1.5 燃料取替床ブローアウトパネル	別紙 7-30
3.1.6 主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル	別紙 7-33
3.1.7 原子炉建屋エアロック	別紙 7-36
3.1.8 原子炉建屋基礎スラブ	別紙 7-39
3.1.9 水密扉付止水堰	別紙 7-42
3.1.10 水密扉	別紙 7-45
3.1.11 原子炉ウェル遮蔽プラグ	別紙 7-48
3.2 機器・配管系	別紙 7-51
3.2.1 検討方針	別紙 7-51
3.2.2 検討内容	別紙 7-53
3.2.3 検討結果	別紙 7-82
4. 検討結果	別紙 7-92

別紙 7-1 建物・構築物の加速度応答スペクトルによる評価

別紙 7-2 建屋－機器連成地震応答解析結果に与える影響

1. 概要

V-2-1-1「耐震設計の基本方針」に基づき，設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加が有意な場合は，これらの重量増加を考慮した地震応答解析結果を踏まえ，建物・構築物及び機器・配管系の耐震性への影響についての検討を行う。

2. 検討方針

平成 18 年耐震設計審査指針改定及び平成 25 年新規制基準施行に伴う設備の補強や追加等の改造工事に伴う各建屋の主要な増加重量及び増加重量比を表 2-1 に示す。

いずれの建屋も増加重量及び増加重量比は小さく、重量増加が建屋の応答性状に与える影響は極めて軽微と想定されるが、最も大きな値が確認された原子炉建屋については、施設の重要性を踏まえて V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の通り有意な重量増加と判断し、重量増加を反映した影響検討を行う。影響検討を行うに当たっては、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」（以下「地震応答計算書の別紙」という。）に示す重量増加を反映した地震応答解析結果を用いる。

表 2-1 各建屋の増加重量及び増加重量比

	①工認モデル重量 [kN]	②増加重量 [kN]	増加重量比 ② / (① + ②)
原子炉建屋	1955110	27290	1.38%
タービン建屋	2556030	3820	0.15%
コントロール建屋	656400	4990	0.75%
廃棄物処理建屋	1012180	1020	0.10%

3. 重量増加を考慮した地震応答解析結果を踏まえた各施設の評価結果への影響検討

3.1 建物・構築物

地震応答計算書の別紙に示した地震応答解析結果の応答比率を用いて、各施設の評価結果への影響を検討する。

3.1.1 使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピット

(1) 検討方針

使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットを対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率と V-2-4-2-1「使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの耐震性についての計算書」（以下「使用済燃料貯蔵プールの計算書」という。）に示す応力評価結果より、影響検討を行う。

使用済燃料貯蔵プールの計算書では、水平地震力として、T.M.S.L. 18.1m～31.7m 位置（部材番号 11 及び 12）の最大応答せん断力を考慮し、鉛直地震力として、T.M.S.L. 18.1m～31.7m 位置（質点番号 3～5）の鉛直方向最大応答加速度より算出した鉛直震度を考慮することから、水平方向は部材番号 11 及び 12 の最大応答せん断力の応答比率の最大値を、鉛直方向は質点番号 3～5 の最大応答加速度の応答比率の最大値を応答比率とし、各方向の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

表 3-1-1 に応答比率及び割増係数を示す。

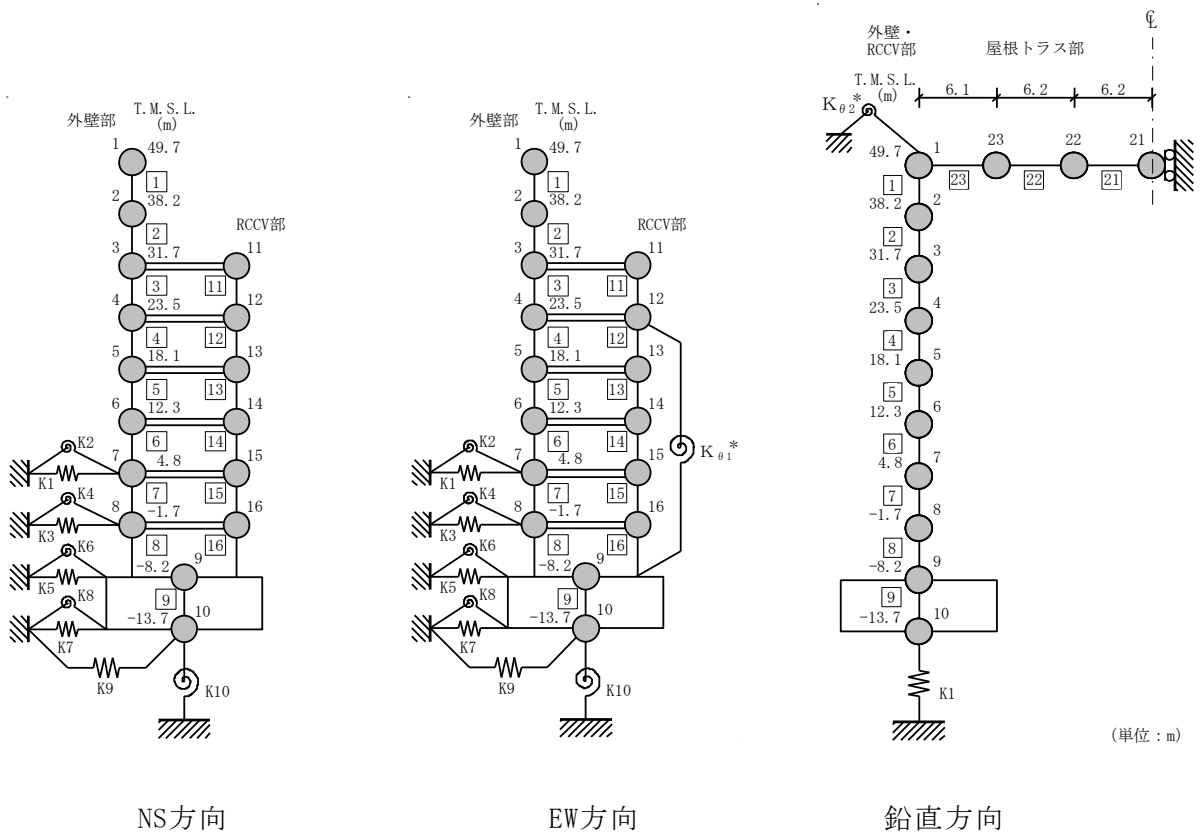
表 3-1-1 重量増加を考慮した割増係数（使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピット）

位置 (T. M. S. L.)	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
18.1m ~ 31.7m	1.03 ^{*1}	1.03 ^{*1}	1.00 ^{*2}
割増係数	1.03 ^{*3}		

注記*1：地震応答計算書の別紙に示す部材番号 11 及び 12 の最大応答せん断力の応答比率の最大値。

*2：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 3~5 の最大応答加速度の応答比率の最大値。

*3：各方向の応答比率の最大値。



(2) 検討結果

各荷重時における評価結果を表 3-1-2～表 3-1-5 に示す。

重量増加を考慮した割増係数を乗じた結果においても、各許容値を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-1-2 重量増加を考慮した評価結果 S d 地震時

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	鉛直	2146	1-8* ²	9.17	1.03	9.45	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	水平	2286	1-8* ²	223	1.03	230	345
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	2146	1-8* ²	2.24	1.03	2.31	3.68
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	鉛直	2145	1-19* ²	0.586	1.03	0.604	0.960
南側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	鉛直	102146	1-8* ²	9.20	1.03	9.48	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	水平	102286	1-8* ²	228	1.03	235	345
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	102146	1-8* ²	2.28	1.03	2.35	3.68
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	鉛直	102145	1-17* ²	0.579	1.03	0.596	0.960
東側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	鉛直	2379	1-6* ¹	8.54	1.03	8.80	21.4
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	鉛直	2379	1-6* ¹	227	1.03	234	345
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	2382	1-21* ²	1.01	1.03	1.04	2.94
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	鉛直	2383	1-6* ¹	0.508	1.03	0.523	1.18
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	鉛直	2469	1-23* ¹	5.63	1.03	5.80	21.4
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	水平	102493	1-23* ²	258	1.03	266	345
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	102489	1-23* ¹	0.808	1.03	0.832	1.42
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	水平	102493	1-8* ¹	0.161	1.03	0.166	1.15
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	EW	101549	1-14* ²	8.59	1.03	8.85	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	NS	1546	1-2* ²	236	1.03	243	345
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	1606	1-14* ²	1.05	1.03	1.08	1.21

注記*1：応力状態1の組合せケース。

*2：応力状態2の組合せケース。

表 3-1-3 重量増加を考慮した評価結果 S s 地震時

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2145	2-5	0.282	1.03	0.290	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	2320	2-8	0.506	1.03	0.521	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	2320	2-2	7.37	1.03	7.59	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2092	2-16	2.76	1.03	2.84	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	2-5	0.914	1.03	0.941	2.08
南側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102145	2-7	0.282	1.03	0.290	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	102320	2-8	0.504	1.03	0.519	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	102320	2-2	7.37	1.03	7.59	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	102092	2-16	2.74	1.03	2.82	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102145	2-7	0.912	1.03	0.939	2.08
東側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	2-6	0.391	1.03	0.403	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	2-6	0.742	1.03	0.764	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	102414	2-5	1.13	1.03	1.16	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2390	2-5	1.00	1.03	1.03	3.87
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102386	2-6	0.926	1.03	0.954	1.75
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102469	2-5	0.207	1.03	0.213	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102469	2-3	0.500	1.03	0.515	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	2469	2-7	5.90	1.03	6.08	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2485	2-5	0.974	1.03	1.00	2.33
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	水平	102493	2-8	0.291	1.03	0.300	1.54
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1601	2-8	0.475	1.03	0.489	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	101548	2-6	0.436	1.03	0.449	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1607	2-14	1.03*	1.03	1.06	1.21

注記* : 応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果。

表 3-1-4 重量増加を考慮した評価結果 (異常+Sd地震)時

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2145	3-21	0.177	1.03	0.182	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	2318	3-4	0.185	1.03	0.191	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	3-8	2.24	1.03	2.31	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2092	3-8	1.67	1.03	1.72	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	3-21	0.748	1.03	0.770	1.87
南側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102145	3-23	0.176	1.03	0.181	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	102318	3-4	0.184	1.03	0.190	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	102145	3-8	2.24	1.03	2.31	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	102092	3-8	1.66	1.03	1.71	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102145	3-23	0.745	1.03	0.767	1.87
東側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	3-6	0.159	1.03	0.164	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	3-6	0.173	1.03	0.178	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	2398	3-6	0.257	1.03	0.265	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2414	3-17	0.611	1.03	0.629	3.27
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2383	3-6	0.426	1.03	0.439	1.71
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2469	3-19	0.198	1.03	0.204	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2469	3-17	0.395	1.03	0.407	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	102469	3-21	5.04	1.03	5.19	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	102489	3-17	0.756	1.03	0.779	2.26
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2469	3-20	0.391	1.03	0.403	2.04
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1601	3-8	0.221	1.03	0.228	3.00
		鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1601	3-8	0.152	1.03	0.157	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1606	3-14	0.934	1.03	0.962	1.21

表 3-1-5 重量増加を考慮した評価結果 (異常+Ss地震)時

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2145	4-5	0.248	1.03	0.255	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2145	4-2	0.720	1.03	0.742	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	2320	4-2	7.42	1.03	7.64	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2092	4-8	2.61	1.03	2.69	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	4-1	0.892	1.03	0.919	1.82
南側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102145	4-7	0.248	1.03	0.255	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102145	4-2	0.721	1.03	0.743	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	102320	4-2	7.42	1.03	7.64	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	102092	4-8	2.60	1.03	2.68	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102145	4-3	0.890	1.03	0.917	1.82
東側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	4-6	0.384	1.03	0.396	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	4-6	0.736	1.03	0.758	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	2382	4-6	0.763	1.03	0.786	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2390	4-5	0.966	1.03	1.00	3.87
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102386	4-6	0.905	1.03	0.932	1.76
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2469	4-3	0.207	1.03	0.213	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102469	4-3	0.488	1.03	0.503	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	102469	4-5	6.03	1.03	6.21	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2489	4-5	0.736	1.03	0.758	1.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102469	4-4	0.407	1.03	0.419	2.17
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1601	4-8	0.441	1.03	0.454	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1548	4-6	0.420	1.03	0.433	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1607	4-14	1.02*	1.03	1.05	1.21

注記*: 応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果。

3.1.2 主排気筒

(1) 検討方針

主排気筒を対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率と V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」（以下「主排気筒の計算書」という。）に示す応力評価結果より、影響検討を行う。

主排気筒の地震応答解析モデルは、原子炉建屋屋上（T.M.S.L. 38.2m）より上部を対象とした立体フレームモデルである。主排気筒の地震応答解析モデルへの入力地震動は、基準地震動 S_s による原子炉建屋全体の地震応答解析から得られる T.M.S.L. 38.2m 位置（質点番号 2）における応答加速度（水平方向及び鉛直方向）を用いている。

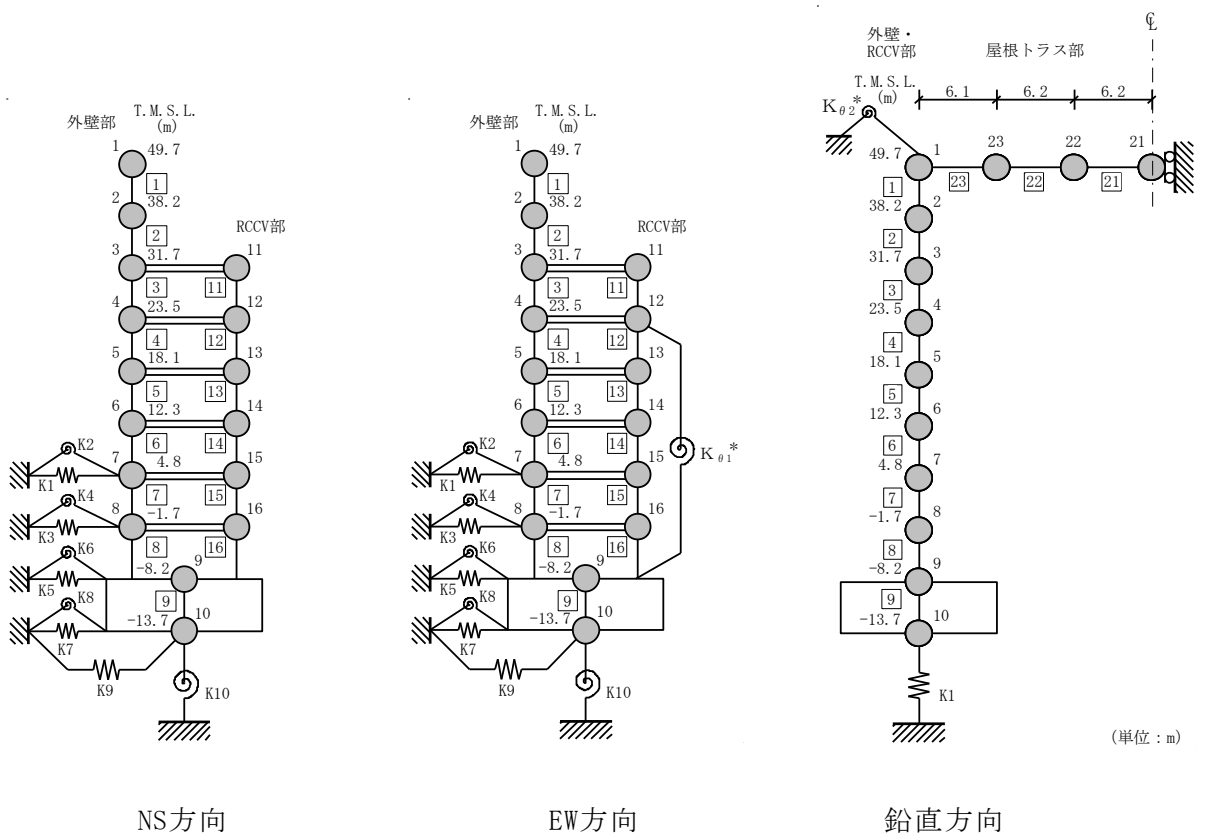
このように、主排気筒の計算書では、原子炉建屋の応答加速度を用いて検討していることから、各方向における質点番号 2 の最大応答加速度の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果に乗じて許容値を超えないことを確認する。

表 3-1-6 に応答比率及び割増係数を示す。

表 3-1-6 重量増加を考慮した割増係数（主排気筒）

位置 (T. M. S. L.)	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
38.2m	1.00*	1.00*	1.00*
割増係数	1.00		

注記*：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 2 の最大応答加速度の応答比率。



(2) 検討結果

応力評価結果について、主排気筒に乗じる割増係数は 1.00 であり、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

3.1.3 原子炉格納容器コンクリート部

(1) 検討方針

原子炉格納容器コンクリート部を対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率と V-2-9-2-1「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」（以下「RCCV の計算書」という。）に示す応力評価結果より、影響検討を行う。

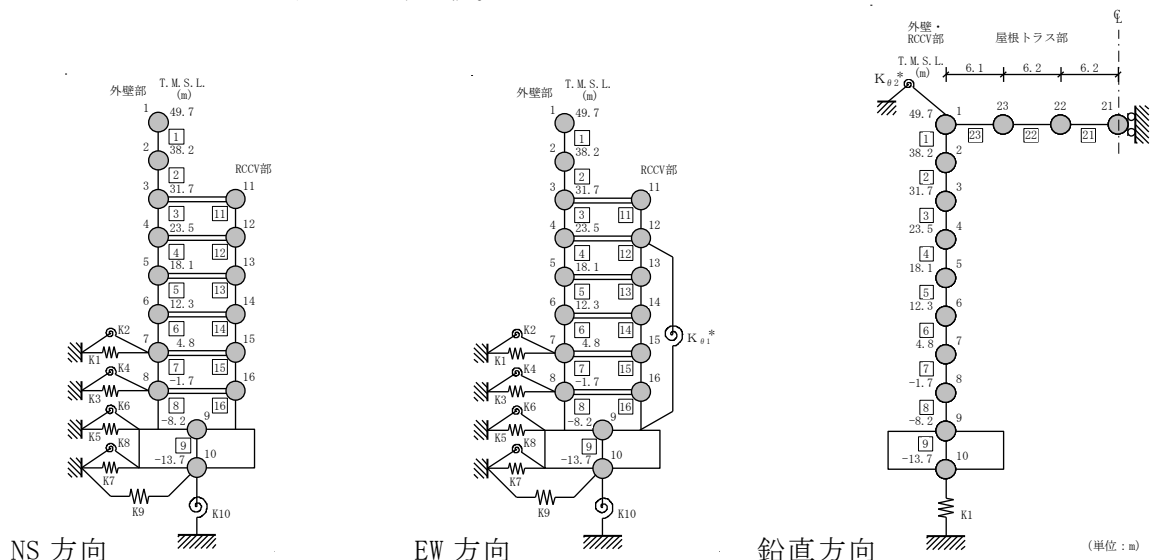
RCCV の計算書では、水平地震力として、T.M.S.L. -8.2m~31.7m 位置（部材番号 11~16）の最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントを考慮し、鉛直地震力として、上部構造については、T.M.S.L. -8.2m~31.7m 位置（質点番号 4~9）の鉛直方向最大応答加速度より算出した鉛直震度を、底部については、部材番号 8 の最大応答軸力より算出した軸力係数の値を考慮している。影響検討では、水平方向は部材番号 11~16 の最大応答せん断力及び部材番号 16 の最大応答曲げモーメントの応答比率を、鉛直方向は質点番号 4~9 の最大応答加速度及び部材番号 8 の最大応答軸力の応答比率を用い、階ごとに、各方向の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

表 3-1-7 に応答比率及び割増係数を示す。

表 3-1-7 重量増加を考慮した割増係数（原子炉格納容器コンクリート部）

部位	位置 (T. M. S. L)	NS 方向	EW 方向	鉛直方向	割増係数
トップ スラブ部	18.1m ~ 31.7m	1.029* ¹	1.021* ¹	1.000* ²	1.029* ¹⁵
シェル部 貫通部 局部	18.1m ~ 23.5m	1.029* ³	1.018* ³	1.000* ⁴	1.029* ¹⁵
	12.3m ~ 18.1m	1.033* ⁵	1.037* ⁵	1.002* ⁶	1.037* ¹⁵
	4.8m ~ 12.3m	1.029* ⁷	1.032* ⁷	1.002* ⁸	1.032* ¹⁵
	-1.7m ~ 4.8m	1.006* ⁹	1.012* ⁹	1.000* ¹⁰	1.012* ¹⁵
	-8.2m ~ -1.7m	1.012* ¹¹	1.008* ¹¹	1.003* ¹²	1.012* ¹⁵
底部	-8.2m ~ -1.7m	1.012* ¹³	1.018* ¹³	1.017* ¹⁴	1.018* ¹⁵

注記 *1：地震応答計算書の別紙に示す部材番号 11 及び 12 の最大応答せん断力の応答比率の最大値。
 *2：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 4 の最大応答加速度の応答比率。
 *3：地震応答計算書の別紙に示す部材番号 12 の最大応答せん断力の応答比率。
 *4：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 4 及び 5 の最大応答加速度の応答比率の最大値。
 *5：地震応答計算書の別紙に示す部材番号 13 の最大応答せん断力の応答比率。
 *6：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 5 及び 6 の最大応答加速度の応答比率の最大値。
 *7：地震応答計算書の別紙に示す部材番号 14 の最大応答せん断力の応答比率。
 *8：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 6 及び 7 の最大応答加速度の応答比率の最大値。
 *9：地震応答計算書の別紙に示す部材番号 15 の最大応答せん断力の応答比率。
 *10：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 7 及び 8 の最大応答加速度の応答比率の最大値。
 *11：地震応答計算書の別紙に示す部材番号 16 の最大応答せん断力の応答比率。
 *12：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 8 及び 9 の最大応答加速度の応答比率の最大値。
 *13：地震応答計算書の別紙に示す部材番号 16 の最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントの応答比率の最大値。
 *14：地震応答計算書の別紙に示す部材番号 8 の最大応答軸力の応答比率。
 *15：各方向の応答比率の最大値。



(2) 検討結果

a. シェル部, トップスラブ部及び底部

各荷重時における評価結果を表 3-1-8~表 3-1-13 に示す。

重量増加を考慮した割増係数を乗じた結果においても, 各許容値を超えないため, 重量増加を考慮した場合においても, 耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-1-8 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
シェル部	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	13	1-21* ¹	7.51	1.012	7.60	21.4
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	子午線	9	1-3* ²	265	1.012	268	390
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	21	1-23* ¹	2.58	1.012	2.61	4.68
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	子午線	100010	1-19* ²	0.785	1.012	0.794	1.93
トップ スラブ部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	EW	101425	1-14* ²	8.24	1.029	8.48	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	NS	1411	1-23* ¹	212	1.029	218	390
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	101413	1-23* ¹	3.47	1.029	3.57	4.14
底部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	放射	10002161	1-19* ²	10.2	1.018	10.4	22.0
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	NS	10002161	1-19* ²	181	1.018	184	345
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	放射	10002374	1-22* ²	1.78	1.018	1.81	3.01

注記*1: 応力状態1の組合せケース。

*2: 応力状態2の組合せケース。

表 3-1-9 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態Ⅲ・(異常+地震)時(1)

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
シェ尔部	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	9	2-23* ²	8.46	1.012	8.56	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	子午線	9	2-3* ²	300	1.012	304	390
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	100210	2-23* ²	2.36	1.032	2.44	4.68
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	子午線	100432	2-8* ²	0.647	1.037	0.671	1.52
トップ スラブ部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	EW	101425	2-14* ²	8.65	1.029	8.90	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	NS	1411	2-23* ¹	218	1.029	224	390
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	101413	2-23* ²	3.67	1.029	3.78	4.14
底部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	放射	10002161	2-19* ²	11.4	1.018	11.6	22.0
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	放射	10002180	2-23* ¹	225	1.018	229	345
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	放射	10002374	2-22* ²	1.73	1.018	1.76	3.01

注記*1: 応力状態1の組合せケース。

*2: 応力状態2の組合せケース。

表 3-1-10 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態IV・地震時 (2)

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
シェル部	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	11	3-1	0.684	1.012	0.692	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	109	3-3	0.852	1.012	0.862	5.00
	膜力	圧縮応力度 (N/mm^2)	子午線	11	3-1	14.8	1.012	15.0	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	111	3-5	4.36	1.012	4.41	6.25
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	431	3-8	1.04	1.037	1.08	2.08
トップ スラブ部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	101412	3-5	0.206	1.029	0.212	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	101412	3-5	0.204	1.029	0.210	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1413	3-3	3.62	1.029	3.72	4.14
底部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	放射	10002171	3-2	0.457	1.018	0.465	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	10002141	3-1	0.333	1.018	0.339	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	放射	10002371	3-2	1.93*	1.018	1.96	2.32

注記*：応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果。

表 3-1-11 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態Ⅳ・(異常+地震)時 (2)

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
シェール部	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	11	4-17	0.274	1.012	0.277	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	177	4-3	0.429	1.012	0.434	5.00
	膜力	圧縮応力度 (N/mm^2)	子午線	11	4-5	6.44	1.012	6.52	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	100	4-17	2.64	1.012	2.67	6.25
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	431	4-8	0.585	1.037	0.607	2.20
トップ スラブ部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	101411	4-19	0.160	1.029	0.165	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	1411	4-17	0.193	1.029	0.199	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	101413	4-17	3.07	1.029	3.16	4.14
底部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	放射	10002161	4-19	0.195	1.018	0.199	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	10002161	4-19	0.121	1.018	0.123	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	放射	10002374	4-22	1.51	1.018	1.54	3.01

表 3-1-12 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態 V・(異常+地震) 時 (3)

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
シェル部	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	11	5-1	0.437	1.012	0.442	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	40	5-4	1.08	1.012	1.09	5.00
	膜力	圧縮応力度 (N/mm^2)	子午線	100011	5-7	8.39	1.012	8.49	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	111	5-5	2.52	1.012	2.55	5.88
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	94	5-4	0.904	1.012	0.915	1.76
トップ スラブ部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	1401	5-9	0.314	1.029	0.323	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	1413	5-12	0.806	1.029	0.829	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	EW	1471	5-4	1.04	1.029	1.07	1.21
底部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	放射	10002171	5-2	0.248	1.018	0.252	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	10002141	5-5	0.310	1.018	0.316	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	放射	10002250	5-2	1.02	1.018	1.04	1.17

表 3-1-13 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態 V・(異常+地震)時 (4)

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
シェール部	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	11	6-1	0.764	1.012	0.773	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	39	6-4	1.09	1.012	1.10	5.00
	膜力	圧縮応力度 (N/mm^2)	子午線	11	6-1	15.8	1.012	16.0	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	111	6-5	4.24	1.012	4.29	6.25
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	100003	6-4	1.07	1.012	1.08	2.21
トップ スラブ部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	101411	6-3	0.164	1.029	0.169	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1472	6-2	0.165	1.029	0.170	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1413	6-3	3.71	1.029	3.82	4.14
底部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	放射	10002171	6-2	0.478	1.018	0.487	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	10002141	6-1	0.398	1.018	0.405	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	放射	10002371	6-2	2.91	1.018	2.96	3.01

b. 貫通部の検討結果

各荷重時における評価結果を表 3-1-14～表 3-1-19 に示す。

重量増加を考慮した割増係数を乗じた結果においても、各許容値を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-1-14 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

部位	評価項目		方向	領域番号	組合せケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
MS/FDW 開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	MA3	1-16* ²	9.10	1.037	9.44	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	MD4	1-17* ¹	263	1.037	273	390
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	円周	MA5	1-9* ²	1.04	1.037	1.08	1.40
L/Dアクセス トンネル開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	LDH13	1-6* ¹	7.14	1.012	7.23	21.4
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	LDA16	1-19* ²	206	1.012	208	390
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	子午線	LDA3	1-8* ²	0.307	1.012	0.311	1.97

注記*1：応力状態1の組合せケース。

*2：応力状態2の組合せケース。

表 3-1-15 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態Ⅲ・(異常+地震)時 (1)

部位	評価項目		方向	領域番号	組合せケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
MS/FDW 開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	MA3	2-16*	7.63	1.037	7.91	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	MB6	2-19*	306	1.037	317	390
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	円周	MA5	2-9*	1.02	1.037	1.06	1.40
L/Dアクセス トンネル開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	LDH14	2-6*	8.82	1.012	8.93	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	LDA16	2-19*	199	1.012	201	390
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	子午線	LDA16	2-17*	0.246	1.012	0.249	1.32

注記*：応力状態2の組合せケース。

表 3-1-16 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態Ⅳ・地震時 (2)

部位	評価項目		方向	領域番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
MS/FDW 開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	MA5	3-8	0.365	1.037	0.379	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	MB15	3-7	0.496	1.037	0.514	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	円周	MD13	3-13	1.38	1.037	1.43	1.93
L/Dアクセス トンネル開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	LDH14	3-6	0.839	1.012	0.849	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	LDH14	3-4	1.42	1.012	1.44	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	LDA5	3-3	0.341	1.012	0.345	1.96

表 3-1-17 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態Ⅳ・(異常+地震)時 (2)

部位	評価項目		方向	領域番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
MS/FDW 開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	MA12	4-23	0.243	1.037	0.252	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	MB14	4-19	0.499	1.037	0.517	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	円周	MA5	4-13	1.01	1.037	1.05	1.89
L/Dアクセス トンネル開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	LDH14	4-6	0.482	1.012	0.488	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	LDA16	4-19	0.660	1.012	0.668	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	LDA6	4-3	0.387	1.012	0.392	2.51

表 3-1-18 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態Ⅴ・(異常+地震)時 (3)

部位	評価項目		方向	領域番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
MS/FDW 開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	MD15	5-4	0.504	1.037	0.523	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	MB13	5-3	1.15	1.037	1.19	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	FA11	5-3	1.84	1.037	1.91	2.06
L/Dアクセス トンネル開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	LDH14	5-6	0.885	1.012	0.896	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	LDA12	5-2	1.88	1.012	1.90	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	LDA3	5-16	0.783	1.012	0.792	2.38

表 3-1-19 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態 V・(異常+地震)時 (4)

部位	評価項目	方向	領域番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値	
MS/FDW 開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	MA3	6-4	0.398	1.037	0.413	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	MB13	6-3	0.653	1.037	0.677	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	円周	MA5	6-13	1.36	1.037	1.41	1.92
L/Dアクセス トンネル開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	LDH14	6-6	0.974	1.012	0.986	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	LDH14	6-4	1.62	1.012	1.64	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	LDA3	6-7	0.398	1.012	0.403	1.51

c. 局部の検討結果

各荷重時における評価結果を表 3-1-20～表 3-1-25 に示す。

重量増加を考慮した割増係数を乗じた結果においても、各許容値を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-1-20 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	401	1-24*	8.89	1.037	9.22	24.2
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	361	1-17*	230	1.037	239	390
面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	404	1-23*	2.74	1.037	2.84	4.68
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	円周	100318	1-6*	0.968	1.037	1.00	1.68

注記*：応力状態2の組合せケース。

表 3-1-21 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態Ⅲ・(異常+地震)時 (1)

評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	401	2-24*	7.64	1.037	7.92	24.2
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	361	2-17*	227	1.037	235	390
面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	435	2-21*	2.61	1.037	2.71	4.68
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	円周	100318	2-6*	1.15	1.037	1.19	1.67

注記*：応力状態2の組合せケース。

表 3-1-22 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態Ⅳ・地震時 (2)

評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	401	3-8	0.279	1.037	0.289	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	406	3-7	0.213	1.037	0.221	5.00
膜力	圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	100284	3-15	5.34	1.032	5.51	21.4
面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	100284	3-3	3.38	1.032	3.49	6.25
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	円周	100283	3-6	2.92	1.032	3.01	3.02

表 3-1-23 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態Ⅳ・(異常+地震)時(2)

評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	303	4-21	0.187	1.037	0.194	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	100309	4-17	0.233	1.037	0.242	5.00
膜力	圧縮応力度 (N/mm^2)	子午線	100284	4-7	3.27	1.032	3.37	21.4
面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	100336	4-21	2.17	1.037	2.25	6.25
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	円周	100318	4-6	1.08	1.037	1.12	2.22

表 3-1-24 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態Ⅴ・(異常+地震)時(3)

評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	401	5-4	0.474	1.037	0.492	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	305	5-3	0.880	1.037	0.913	5.00
膜力	圧縮応力度 (N/mm^2)	子午線	278	5-8	1.11	1.032	1.15	21.4
面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	283	5-1	1.58	1.032	1.63	6.25
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	395	5-12	1.34	1.037	1.39	1.98

表 3-1-25 重量増加を考慮した評価結果 荷重状態Ⅴ・(異常+地震)時(4)

評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	401	6-4	0.368	1.037	0.382	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	100284	6-1	0.374	1.032	0.386	5.00
膜力	圧縮応力度 (N/mm^2)	子午線	284	6-8	4.70	1.032	4.85	21.4
面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	100284	6-3	3.27	1.032	3.37	6.25
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	円周	100283	6-6	2.82	1.032	2.91	2.99

3.1.4 原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）

(1) 検討方針

原子炉建屋原子炉区域を対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率と V-2-9-3-1「原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書」（以下「二次格納施設の計算書」という。）に示す各評価結果より、影響検討を行う。

二次格納施設の計算書における地震応答解析による評価では、せん断ひずみの評価として、原子炉建屋の耐震壁及び補助壁について基準地震動 S_s に対する各層の最大せん断ひずみを考慮していることから、最大せん断ひずみの応答比率を割増係数として設定し、二次格納施設の計算書における各層の最大せん断ひずみに乗じた値が許容値 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。

二次格納施設の計算書における応力解析による評価のうち、屋根トラス及び屋根スラブの評価は、燃料取替床レベル (T.M.S.L. 31.7m) より上部を対象とした立体フレームモデル（以下「屋根トラスモデル」という。）の地震応答解析により行っており、屋根トラスモデルへの入力地震動は、基準地震動 S_s による原子炉建屋全体の地震応答解析から得られる T.M.S.L. 31.7m 位置（質点番号 3）における応答加速度（水平方向及び鉛直方向）を用いている。このように、二次格納施設の計算書では、原子炉建屋の応答加速度を用いて検討していることから、各方向における質点番号 3 の最大応答加速度の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

二次格納施設の計算書における応力解析による評価のうち、床スラブの評価は、地震荷重として鉛直震度を考慮することから、鉛直方向の最大応答加速度の応答比率を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

表 3-1-26 及び表 3-1-27 に応答比率及び割増係数を示す。

表 3-1-26 重量増加を考慮した割増係数（屋根トラス及び屋根スラブ）

位置 (T. M. S. L)	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
31.7m	1.00*	1.00*	1.00*
割増係数	1.00		

注記*：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 3 の最大応答加速度の応答比率。

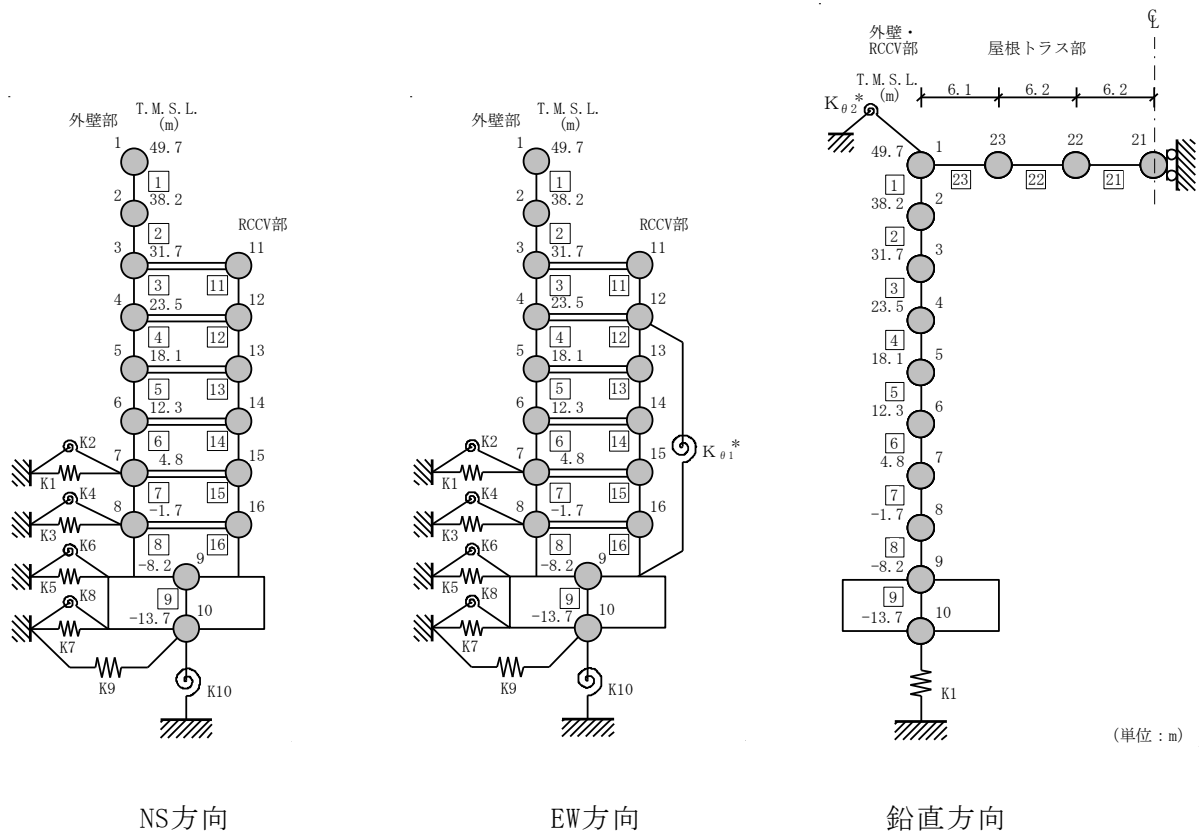
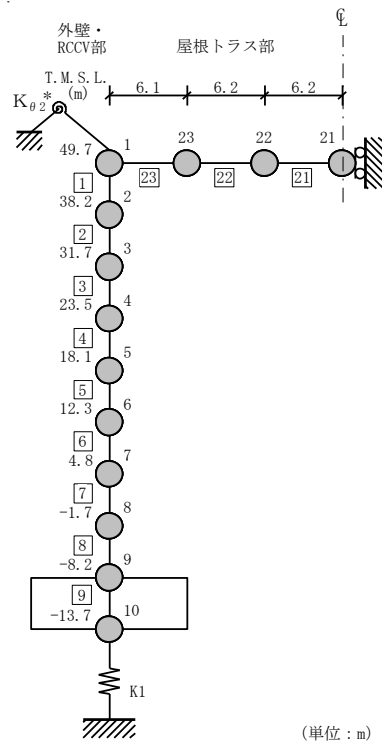


表 3-1-27 重量増加を考慮した割増係数 (床スラブ)

位置 (T. M. S. L)	鉛直方向
4.8m	1.00*
割増係数	1.00

注記* : 地震応答計算書の別紙に示す質点番号 7 の最大
 応答加速度の応答比率。



鉛直方向

(2) 検討結果

a. 地震応答解析による評価

地震応答解析による評価について、材料物性の不確かさを考慮した最大せん断ひずみに設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した割増係数を乗じた評価値は、地震応答計算書の別紙の 4.3 項に示す 0.700×10^{-3} (部材番号 7, NS 方向) となり、許容値 (2.0×10^{-3}) を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

b. 応力解析による評価

(a) 屋根トラス

応力評価結果について、屋根トラスに乗じる割増係数は 1.00 であり、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

(b) 屋根スラブ

応力評価結果について、屋根スラブに乗じる割増係数は 1.00 であり、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

(c) 床スラブ

応力評価結果について、床スラブに乗じる割増係数は 1.00 であり、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

3.1.5 燃料取替床ブローアウトパネル

(1) 検討方針

燃料取替床ブローアウトパネル（以下「オペフロBOP」という）を対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率を用いて、V-2-9-3-1-1「燃料取替床ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」（以下「オペフロBOPの計算書という。）に示す機能維持評価の影響検討を行う。

オペフロ BOP の計算書では、S d 閉機能維持評価は、T.M.S.L. 49.7m 位置（質点番号 1）の NS 方向の応答加速度より定めた水平震度を用いて検討していることから、質点番号 1 の NS 方向の最大応答加速度の応答比率を割増係数として設定し、割増係数を乗じた S d 地震荷重が開放荷重を超えないことを確認する。

オペフロ BOP の計算書では、S s 開機能維持評価は、せん断ひずみの許容限界を層間変形角として層間変位の検討をしているが、ここでは T.M.S.L. 38.2m～T.M.S.L. 49.7m 位置（部材番号 1）の EW 方向の最大せん断ひずみの応答比率を割増係数として設定し、割増係数を乗じた層間変位が許容値を超えないことを確認する。

表 3-1-28 及び表 3-1-29 に応答比率及び割増係数を示す。

表 3-1-28 重量増加を考慮した割増係数 (オペフロ BOP S d 閉機能維持)

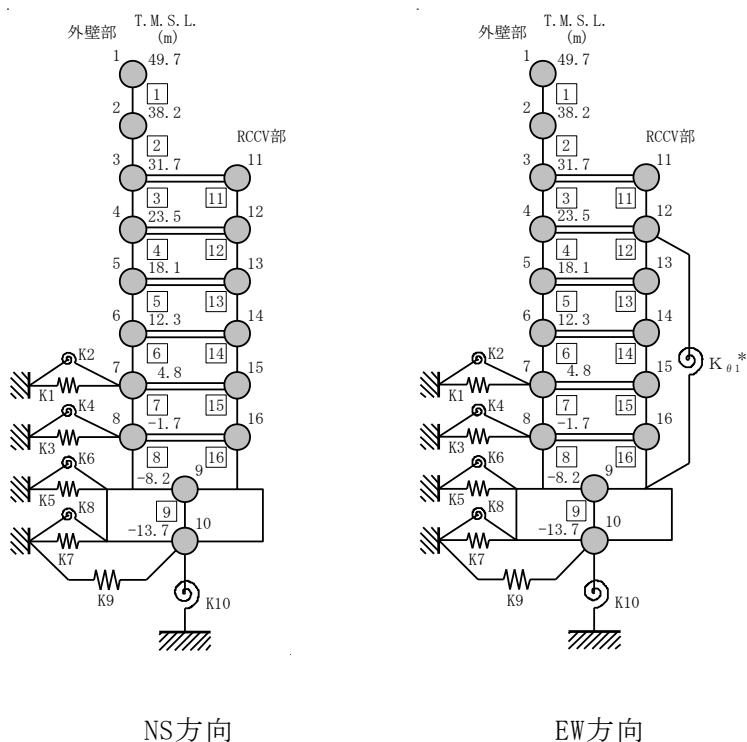
位置 (T. M. S. L)	NS 方向
49.7m	1.00* ¹
割増係数	1.00

注記*1: 地震応答計算書の別紙に示す質点番号 1 の最大応答加速度の応答比率。

表 3-1-29 重量増加を考慮した割増係数 (オペフロ BOP S s 開機能維持)

位置 (T. M. S. L)	EW 方向
38.2m~49.7m	1.00* ¹
割増係数	1.00

注記*1: 地震応答計算書の別紙に示す部材番号 1 の最大せん断ひずみの応答比率。



(2) 検討結果

S d 閉機能維持評価について、S d 地震荷重に乗じる割増係数は 1.00 であり、重量増加を考慮した場合においても、機能維持評価に及ぼす影響がないことを確認した。

S s 開機能維持評価について、層間変位に乗じる割増係数は 1.00 であり、重量増加を考慮した場合においても、機能維持評価に及ぼす影響がないことを確認した。

3.1.6 主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル

(1) 検討方針

主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル（以下「MS トンネル室 BOP」という）を対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率を用いて、V-2-9-3-1-2「主蒸気系トンネル室ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」（以下「MS トンネル室 BOP の計算書」という。）に示す機能維持評価の影響検討を行う。

MS トンネル室 BOP の計算書では、S d 閉機能維持評価は、T.M.S.L. 23.5m 位置（質点番号 4）の EW 方向の応答加速度より定めた水平震度を用いて検討していることから、質点番号 4 の EW 方向の最大応答加速度の応答比率を割増係数として設定し、割増係数を乗じた S d 地震荷重が開放荷重を超えないことを確認する。

MS トンネル室 BOP の計算書では、S s 開機能維持評価は、T.M.S.L. 12.3m～T.M.S.L. 23.5m 位置（部材番号 4,5）の NS 方向の最大せん断ひずみの最大値を層間変形角として層間変位の検討をしていることから、部材番号 4,5 の NS 方向のせん断ひずみの応答比率を割増係数として設定し、割増係数を乗じた層間変位が許容値を超えないことを確認する。

表 3-1-30 及び表 3-1-31 に応答比率及び割増係数を示す。

表 3-1-30 重量増加を考慮した割増係数 (MS トンネル室 BOP S d 閉機能維持)

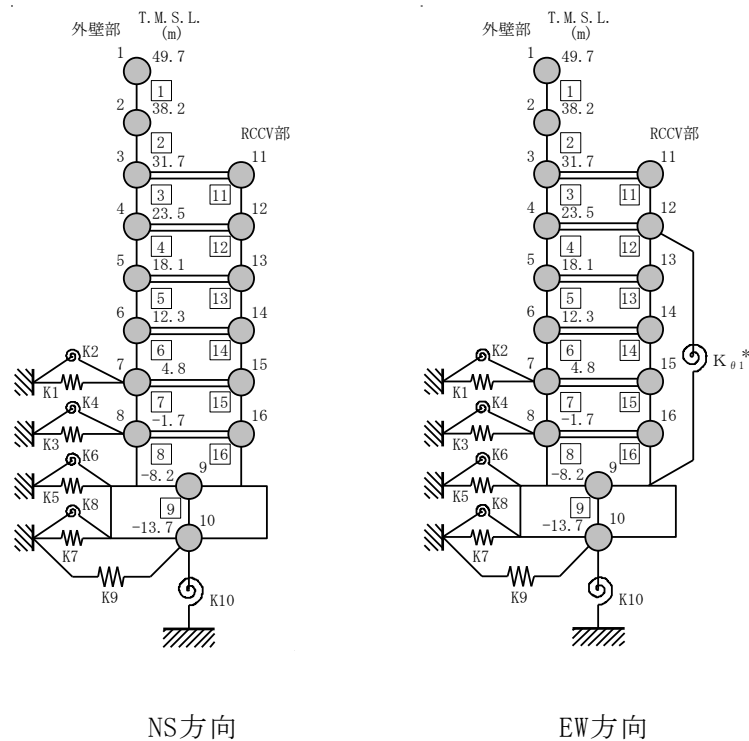
位置 (T. M. S. L)	EW 方向
23.5m	1.00* ¹
割増係数	1.00

注記*1：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 4 の最大応答加速度の応答比率。

表 3-1-31 重量増加を考慮した割増係数 (MS トンネル室 BOP S s 開機能維持)

位置 (T. M. S. L)	NS 方向
12.3m~23.5m	1.03* ¹
割増係数	1.03

注記*1：地震応答計算書の別紙に示す部材番号 4, 5 の最大せん断ひずみの応答比率の最大値。



(2) 検討結果

S d 閉機能維持評価について、S d 地震荷重に乗じる割増係数は 1.00 であり、重量増加を考慮した場合においても、機能維持評価に及ぼす影響がないことを確認した。

S s 開機能維持の評価結果を表 3-1-32 に示す。

重量増加を考慮した割増係数を乗じた評価においても、層間変位が許容値（間隙：約 2.5mm）を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、機能維持評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-1-32 重量増加を考慮した評価結果（オペフロ BOP S s 開機能維持）

層間変位① (mm)	割増係数②	評価用層間変位 ①×②(mm)	間隙 (mm)	判定
0.34	1.03	0.35	約 2.5	○

3.1.7 原子炉建屋エアロック

(1) 検討方針

原子炉建屋エアロック（以下「エアロック」という。）を対象として，設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率と V-2-9-3-3「原子炉建屋エアロックの耐震性についての計算書」（以下「エアロックの計算書」という。）に示す応力評価結果より，影響検討を行う。

エアロックの計算書では，T.M.S.L. 38.2m 位置（質点番号 2）と T.M.S.L. 18.1m 位置（質点番号 5）の最大応答加速度による水平震度及び鉛直震度を用いて検討していることから，各方向の最大応答加速度の応答比率を割増係数として設定し，応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

表 3-1-33 及び表 3-1-34 に応答比率及び割増係数を示す。

表 3-1-33 重量増加を考慮した割増係数（ギャラリー室エアロック）

位置 (T. M. S. L)	NS 方向	EW 方向	UD 方向
38.2m	1.00* ¹	1.00* ¹	1.00* ¹
割増係数	1.00* ²		

注記*1：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 2 の最大応答加速度の応答比率。

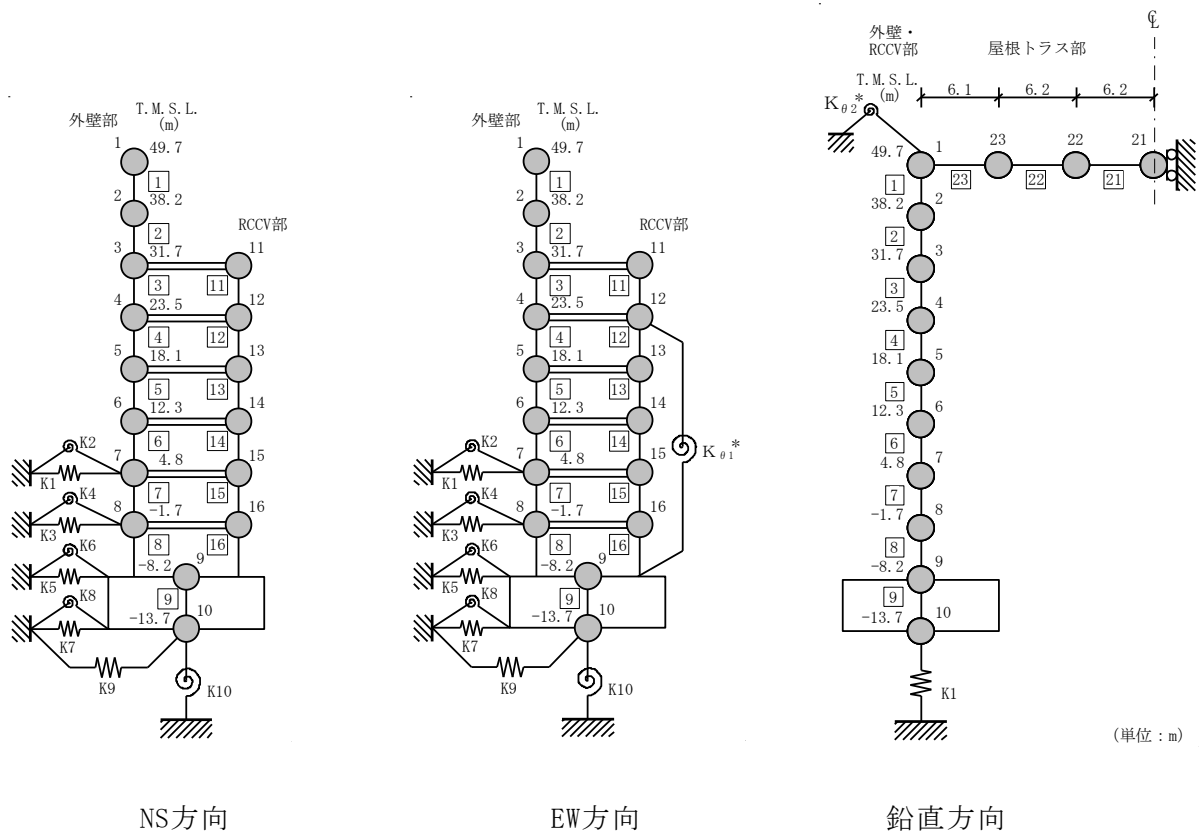
*2：各方向の応答比率の最大値。

表 3-1-34 重量増加を考慮した割増係数（FCS 室，南西側，北西側エアロック）

位置 (T. M. S. L)	NS 方向	EW 方向	UD 方向
18.1m	1.00* ¹	1.00* ¹	1.00* ¹
割増係数	1.00* ²		

注記*1：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 5 の最大応答加速度の応答比率。

*2：各方向の応答比率の最大値。



(2) 検討結果

応力評価結果について、エアロックに乗じる割増係数は 1.00 であり、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

3.1.8 原子炉建屋基礎スラブ

(1) 検討方針

原子炉建屋基礎スラブを対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率と V-2-9-3-4「原子炉建屋基礎スラブの耐震性についての計算書」（以下「基礎スラブの計算書」という。）に示す各評価結果より影響検討を行う。

基礎スラブの計算書における地震応答解析による評価では、接地圧の評価として、弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s に対する最大接地圧を考慮していることから、最大接地圧の応答比率を割増係数として設定し、基礎スラブの計算書における各最大接地圧に乗じた値が許容値（ S_d 地震時：4110kN/m²、 S_s 地震時：6170kN/m²）を超えないことを確認する。

基礎スラブの計算書における応力解析による評価では、地震荷重として、上部構造物からの基礎へのせん断力、曲げモーメント及び軸力（軸力係数）を考慮することから、基礎スラブ直上層である T.M.S.L. -8.2m～-1.7m 位置（部材番号 8 及び 16）の最大応答せん断力、最大応答曲げモーメント及び最大応答軸力の各方向の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

表 3-1-35 に応答比率及び割増係数を示す。

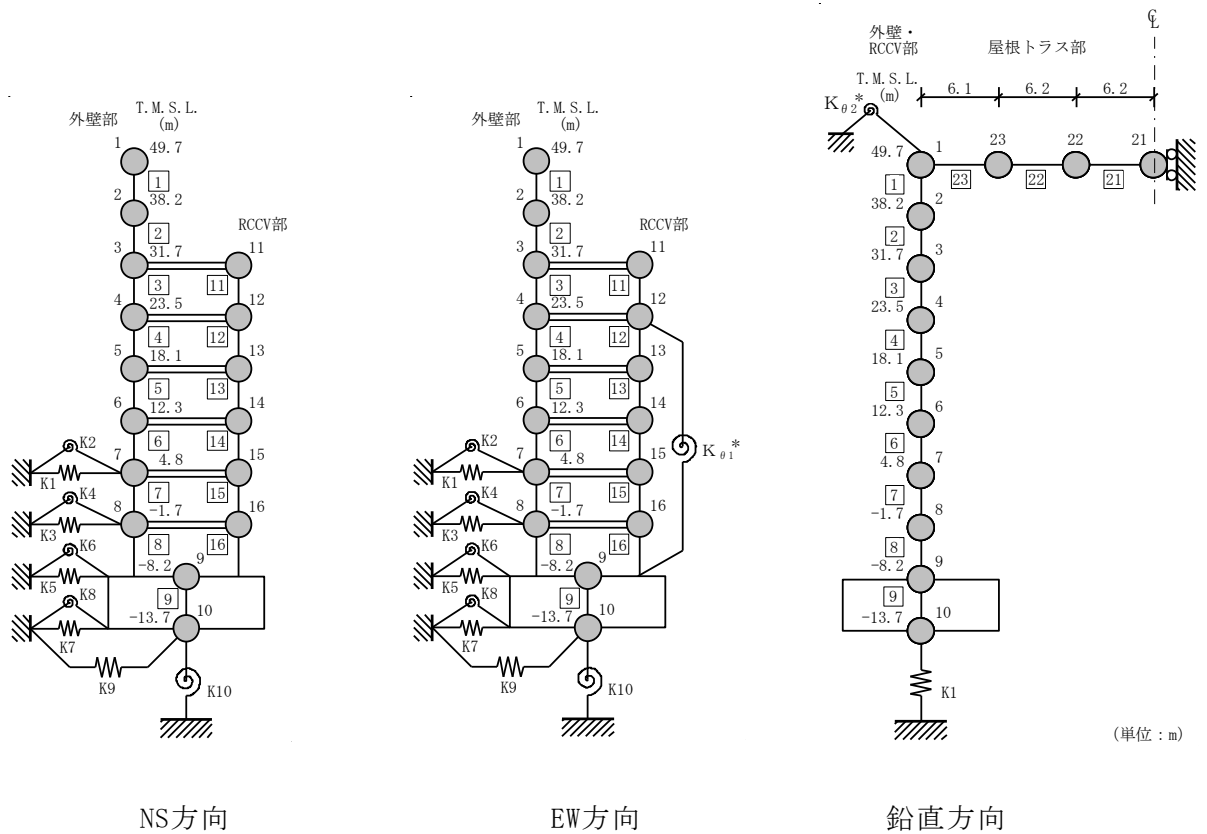
表 3-1-35 重量増加を考慮した割増係数（原子炉建屋基礎スラブ）

位置 (T. M. S. L)	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
-8.2m ~ -1.7m	1.02* ¹	1.02* ¹	1.02* ²
割増係数	1.02* ³		

注記*1：地震応答計算書の別紙に示す部材番号 8 及び 16 の最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントの応答比率の最大値。

*2：地震応答計算書の別紙に示す部材番号 8 の最大応答軸力の応答比率。

*3：各方向の応答比率の最大値。



(2) 検討結果

a. 地震応答解析による評価

地震応答解析による評価について、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した割増係数に乗じた、材料物性の不確かさを考慮した最大接地圧は、地震応答計算書の別紙の 4.3 項に示すとおり、S_d地震時は 1370kN/m² (EW 方向)、S_s地震時は 2680kN/m² (EW 方向) となり、それぞれの許容限界 (S_d地震時：4110kN/m²、S_s地震時：6170kN/m²) を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

b. 応力解析による評価

各荷重時における評価結果を表 3-1-36 及び表 3-1-37 に示す。

重量増加を考慮した割増係数に乗じた結果においても、各許容値を超えないため、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-1-36 重量増加を考慮した評価結果 S_d地震時

評価項目		方向	要素番号	組合せケース	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	EW	10002429	1-19*2	5.75	1.02	5.87	22.0
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	EW	10002421	1-23*2	234	1.02	239	345
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	EW	10001047	1-22*1	1.17	1.02	1.19	2.34

注記*1：応力状態1の組合せケース。

*2：応力状態2の組合せケース。

表 3-1-37 重量増加を考慮した評価結果 S_s地震時

評価項目		方向	要素番号	組合せケース	発生値	割増係数 ②	①×②	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ (×10 ⁻³)	NS	10001186	2-1	0.264	1.02	0.269	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ (×10 ⁻³)	NS	10001186	2-1	0.228	1.02	0.233	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	EW	10002411	2-2	2.36	1.02	2.41	3.01

3.1.9 水密扉付止水堰

(1) 検討方針

水密扉付止水堰を対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率と V-2-10-2-3-2 「水密扉付止水堰の耐震性についての計算書」（以下「水密扉付止水堰の計算書」という。）に示す応力評価結果より、影響検討を行う。

水密扉付止水堰の計算書では、T.M.S.L. 31.7m 位置（質点番号 3）の最大応答加速度による水平震度及び鉛直震度を用いて検討していることから、各方向の最大応答加速度の応答比率を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

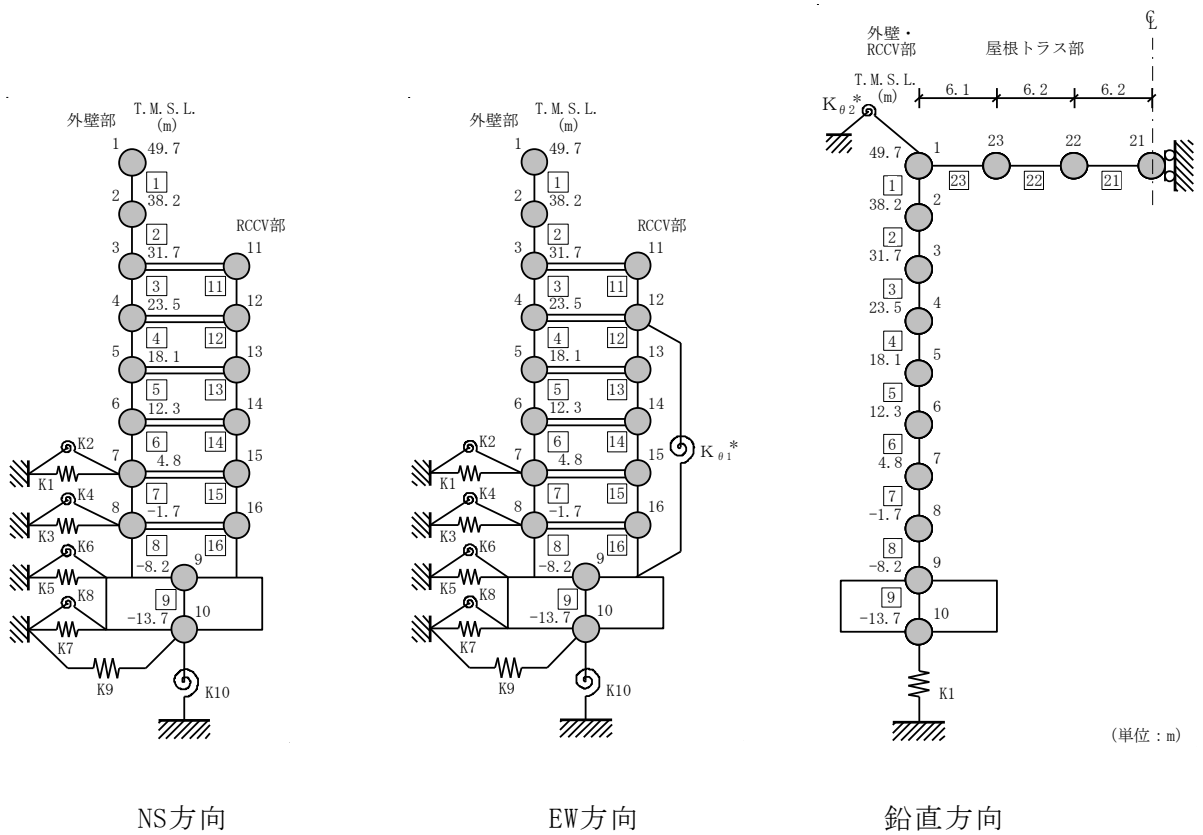
表 3-1-38 に応答比率及び割増係数を示す。

表 3-1-38 重量増加を考慮した割増係数
 (原子炉建屋地上 4 階 (R5R6-RFRG) 水密扉付止水堰)

位置 (T. M. S. L)	NS 方向	EW 方向	UD 方向
31.7m	1.00 ^{*1}	1.00 ^{*1}	1.00 ^{*1}
割増係数	1.00 ^{*2}		

注記*1：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 3 の最大応答加速度の応答比率。

*2：各方向の応答比率の最大値。



(2) 検討結果

応力評価結果について、水密扉付止水堰に乗じる割増係数は 1.00 であり、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

3.1.10 水密扉

(1) 検討方針

水密扉を対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率とV-2-10-2-3-1「水密扉の耐震性についての計算書」（以下「水密扉の計算書」という。）に示す応力評価結果より、影響検討を行う。

水密扉の計算書では、T.M.S.L. 18.1m位置（質点番号5）及びT.M.S.L. 4.8m位置（質点番号7）の最大応答加速度による水平震度及び鉛直震度を用いて検討していることから、各方向の最大応答加速度の応答比率を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

表3-1-39及び表3-1-40に応答比率及び割増係数を示す。

表3-1-39 重量増加を考慮した割増係数（水密扉No. 18, 19, 21）

位置 (T. M. S. L)	NS 方向	EW 方向	UD 方向
18.1m	1.00 ^{*1}	1.00 ^{*1}	1.00 ^{*1}
割増係数	1.00 ^{*2}		

注記*1：地震応答計算書の別紙に示す質点番号5の最大応答加速度の応答比率。

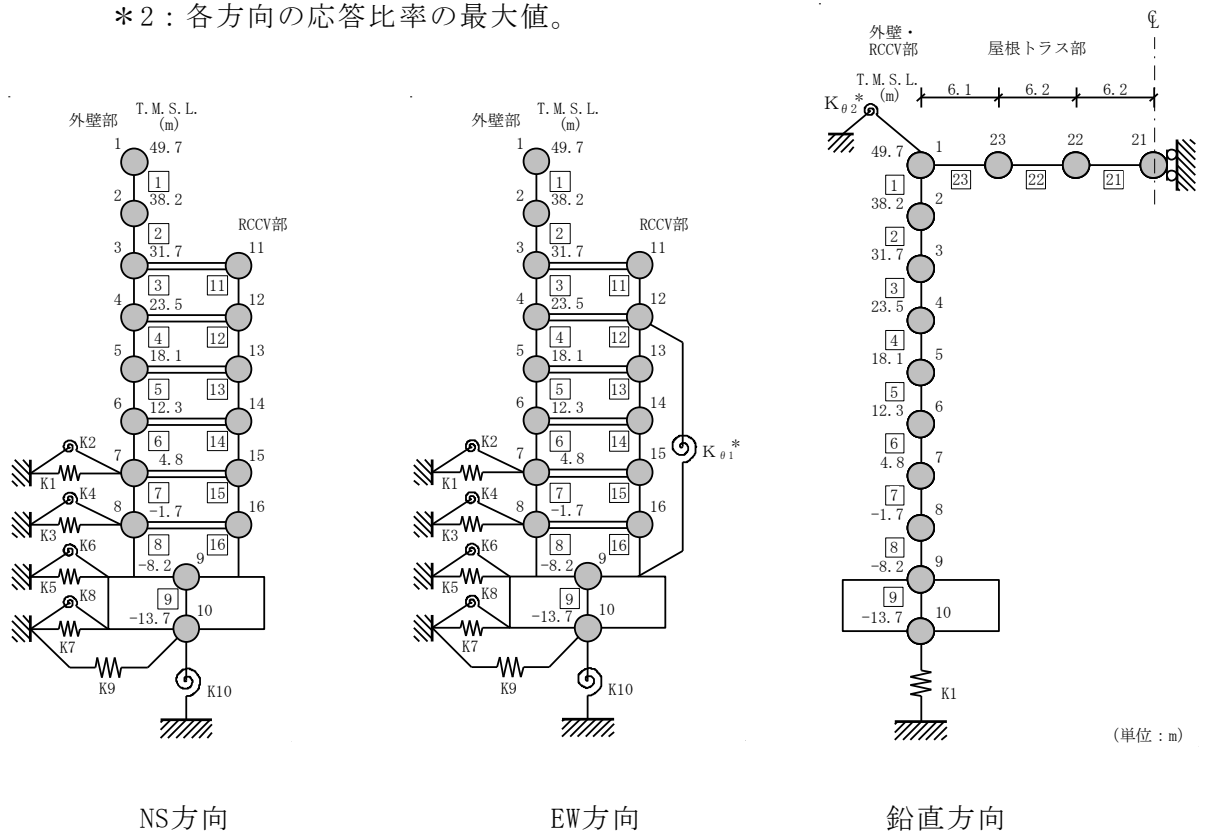
*2：各方向の応答比率の最大値。

表3-1-40 重量増加を考慮した割増係数（水密扉No. 12）

位置 (T. M. S. L)	NS 方向	EW 方向	UD 方向
4.8m	1.00 ^{*1}	1.00 ^{*1}	1.00 ^{*1}
割増係数	1.00 ^{*2}		

注記*1：地震応答計算書の別紙に示す質点番号7の最大応答加速度の応答比率。

*2：各方向の応答比率の最大値。



(2) 検討結果

応力評価結果について、水密扉に乗じる割増係数は 1.00 であり、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

3.1.11 原子炉ウェル遮蔽プラグ

(1) 検討方針

原子炉ウェル遮蔽プラグを対象として、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答比率とV-2-11-2-7「原子炉ウェル遮蔽プラグの耐震性についての計算書」（以下「遮蔽プラグの計算書」という。）に示す応力評価結果より影響検討を行う。

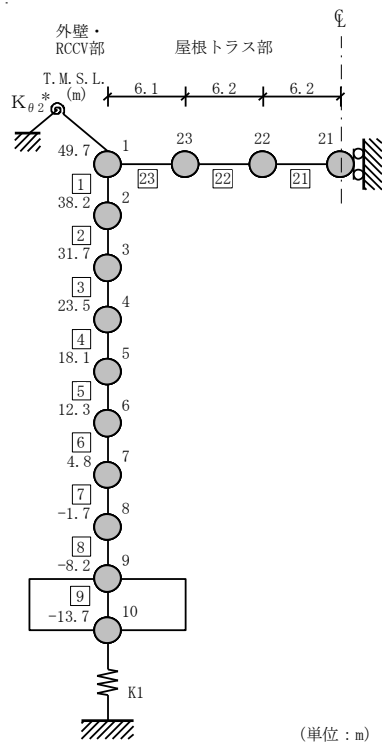
遮蔽プラグの計算書では、地震時荷重として、T.M.S.L. 31.7m位置（質点番号3）の鉛直方向の慣性力を考慮することから、質点番号3の鉛直方向の最大応答加速度の応答比率を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

表3-1-41に応答比率及び割増係数を示す。

表 3-1-41 重量増加を考慮した割増係数（原子炉ウェル遮蔽プラグ）

位置 (T. M. S. L.)	鉛直方向
31.7m	1.00*
割増係数	1.00

注記*：地震応答計算書の別紙に示す質点番号 3
の最大応答加速度の応答比率。



鉛直方向

(2) 検討結果

応力評価結果について、原子炉ウェル遮蔽プラグに乗じる割増係数は1.00であり、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

3.2 機器・配管系

3.2.1 検討方針

(1)に示す検討対象に対して、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加による応答比率を考慮した耐震条件（以下「補強反映耐震条件」という。）と耐震計算に用いる耐震条件の比率と検討対象の裕度（許容値／発生値）を用いた簡易評価を行うことを基本とし、必要に応じて補強反映耐震条件を用いた詳細評価を行う。影響検討フローを図 3-2-1 に示す。

(1) 検討対象

原子炉建屋に設置される以下の機器・配管系を影響検討の対象とする。

- ・設計基準対象施設のうち、耐震重要度分類の S クラスに属する機器・配管系
- ・重大事故等対処施設のうち、常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類が S クラスのもの）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に属する機器・配管系
- ・波及的影響防止のために耐震評価を実施する機器・配管系

(2) 影響検討における耐震条件の考え方

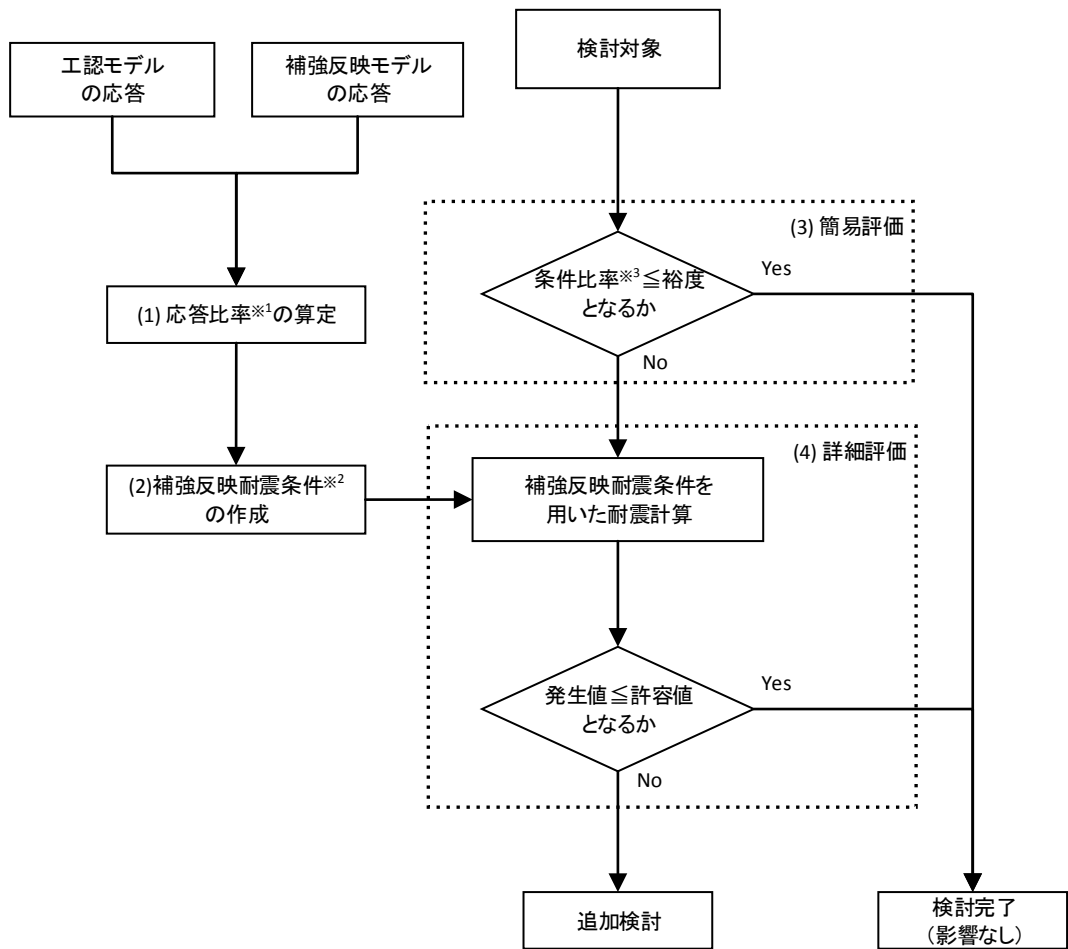
機器・配管系の耐震計算に用いる条件としては、設計用最大応答加速度Ⅰ，設計用床応答曲線Ⅰ及び設計用地震力Ⅰ（以下「設計用Ⅰ」という。）並びに設計用最大応答加速度Ⅱ，設計用床応答曲線Ⅱ及び設計用地震力Ⅱ（以下「設計用Ⅱ」という。）を設定している。なお，設計用最大応答加速度Ⅰ，設計用最大応答加速度Ⅱ，設計用床応答曲線Ⅰ及び設計用床応答曲線Ⅱは V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に，設計用地震力Ⅰ及び設計用地震力Ⅱは V-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」及び V-2-3-1「炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の地震応答計算書」に示される。

ここで，設計用Ⅰ及び設計用Ⅱは以下の通り作成したものである。

- ・設計用Ⅰ；建物・構築物の地震応答解析により得られた応答に材料物性の不確かさ等の影響を考慮して作成したもの
- ・設計用Ⅱ；設計用Ⅰ以上となるように作成したもの

耐震計算においては，設計用Ⅰを用いた耐震計算の結果が許容値を満たすことを，耐震性が確保されることの判断基準としている。

これを踏まえて本影響検討においては，耐震計算に設計用Ⅱを用いたものであっても，設計用Ⅰを用いた耐震計算の結果に対する影響検討により，判定基準を満足することが確認できれば，耐震性への影響は無いと判断する。



※1: 応答比率 = 補強反映モデルの応答 / 工認モデルの応答

※2: 「2.2.2 検討内容 (2) 補強反映耐震条件作成 図2-2-7及び図2-2-8」参照

※3: 条件比率 = 補強反映耐震条件 / 耐震計算に用いる耐震条件 (設計用 I, II 等)

図 3-2-1 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した影響検討フロー

3.2.2 検討内容

(1) 応答比率算定

機器・配管系の耐震計算に用いる条件の応答比率の算定方法及び応答比率を以下に示す。(建屋－機器連成地震応答解析結果を踏まえた応答比率は、別紙7-2「建屋－機器連成地震応答解析結果に与える影響」参照。)

a. 最大応答加速度

各標高について、今回工認モデルと補強反映モデルにおける基準地震動 Ss-1 による最大応答加速度を比較し、補強反映モデルの最大応答加速度／今回工認モデルの最大応答加速度により応答比率を算定する。なお、水平方向の応答比率算定にあたっては、NS 方向と EW 方向の最大応答加速度の包絡値を用いる。

原子炉建屋の最大応答加速度の応答比率を表 3-2-1～表 3-2-4 に示す

表 3-2-1 最大応答加速度の応答比率（水平方向：原子炉建屋）

標高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.0$						応答比率 (②/①)
	今回工認モデル			補強反映モデル			
	NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
49.700	1.81	1.69	1.81	1.79	1.66	1.79	0.99
38.200	1.25	1.29	1.29	1.24	1.27	1.27	0.99
31.700	1.12	1.05	1.12	1.11	1.04	1.11	1.00
23.500	0.95	0.92	0.95	0.94	0.92	0.94	0.99
18.100	0.85	0.83	0.85	0.85	0.83	0.85	1.00
12.300	0.76	0.79	0.79	0.75	0.78	0.78	0.99
4.800	0.67	0.70	0.70	0.67	0.69	0.69	0.99
-1.700	0.71	0.71	0.71	0.70	0.71	0.71	1.00
-8.200	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	1.00
-13.700	0.65	0.63	0.65	0.65	0.63	0.65	1.00

表 3-2-2 最大応答加速度の応答比率（鉛直方向：原子炉建屋）

標高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.0$		応答比率 (②/①)
	今回工認モデル	補強反映モデル	
	①鉛直方向	②鉛直方向	
49.700	0.98	0.98	1.00
38.200	0.95	0.94	0.99
31.700	0.91	0.91	1.00
23.500	0.89	0.89	1.00
18.100	0.87	0.86	0.99
12.300	0.85	0.85	1.00
4.800	0.83	0.83	1.00
-1.700	0.80	0.80	1.00
-8.200	0.79	0.80	1.02
-13.700	0.79	0.79	1.00

表 3-2-3 最大応答加速度の応答比率（水平方向：原子炉建屋）

標高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.2$						応答比率 (②/①)
	今回工認モデル			補強反映モデル			
	NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
49.700	2.17	2.03	2.17	2.15	1.99	2.15	0.99
38.200	1.49	1.54	1.54	1.48	1.52	1.52	0.99
31.700	1.34	1.26	1.34	1.33	1.25	1.33	1.00
23.500	1.14	1.10	1.14	1.13	1.10	1.13	1.00
18.100	1.02	1.00	1.02	1.02	1.00	1.02	1.00
12.300	0.91	0.94	0.94	0.90	0.94	0.94	1.00
4.800	0.81	0.84	0.84	0.80	0.83	0.83	0.99
-1.700	0.85	0.86	0.86	0.84	0.85	0.85	0.99
-8.200	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	1.00
-13.700	0.78	0.75	0.78	0.78	0.76	0.78	1.00

表 3-2-4 最大応答加速度の応答比率（鉛直方向：原子炉建屋）

標高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.2$		応答比率 (②/①)
	今回工認モデル	補強反映モデル	
	①鉛直方向	②鉛直方向	
49.700	1.18	1.17	1.00
38.200	1.13	1.13	1.00
31.700	1.10	1.09	0.99
23.500	1.07	1.06	0.99
18.100	1.04	1.04	1.00
12.300	1.02	1.02	1.00
4.800	0.99	0.99	1.00
-1.700	0.96	0.96	1.00
-8.200	0.95	0.95	1.00
-13.700	0.95	0.95	1.00

b. 床応答スペクトル

今回工認モデルと補強反映モデルにおける基準地震動 Ss-1 による床応答スペクトルを比較し、各標高・各減衰について、補強反映モデルの震度／今回工認モデルの震度により周期毎の応答比率を算定する。なお、水平方向の応答比率算定にあたっては、NS 方向と EW 方向の床応答スペクトルの包絡値を用いる。応答比率の算定例を図 3-2-2 に示す。

原子炉建屋の各標高・減衰定数 1.0%の今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトルを図 3-2-3 及び図 3-2-4 に、周期毎の応答比率を図 3-2-5 及び図 3-2-6 に示す。

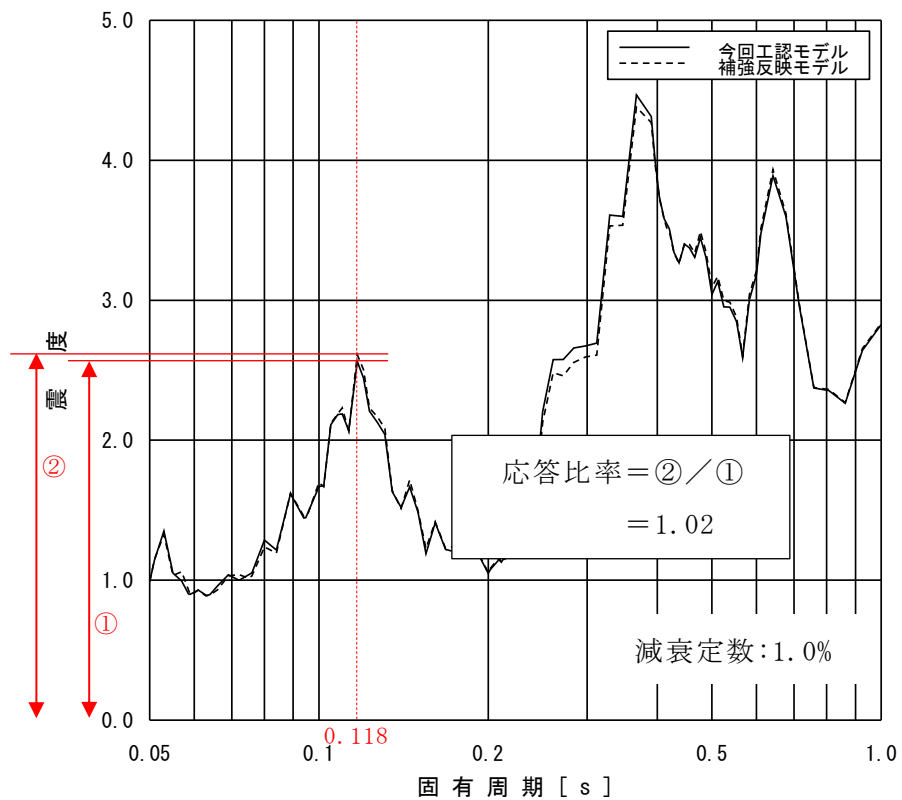


図 3-2-2 床応答スペクトルにおける応答比率の算定例
(水平方向：原子炉建屋 T.M.S.L. 12.3m, 固有周期 0.118s)

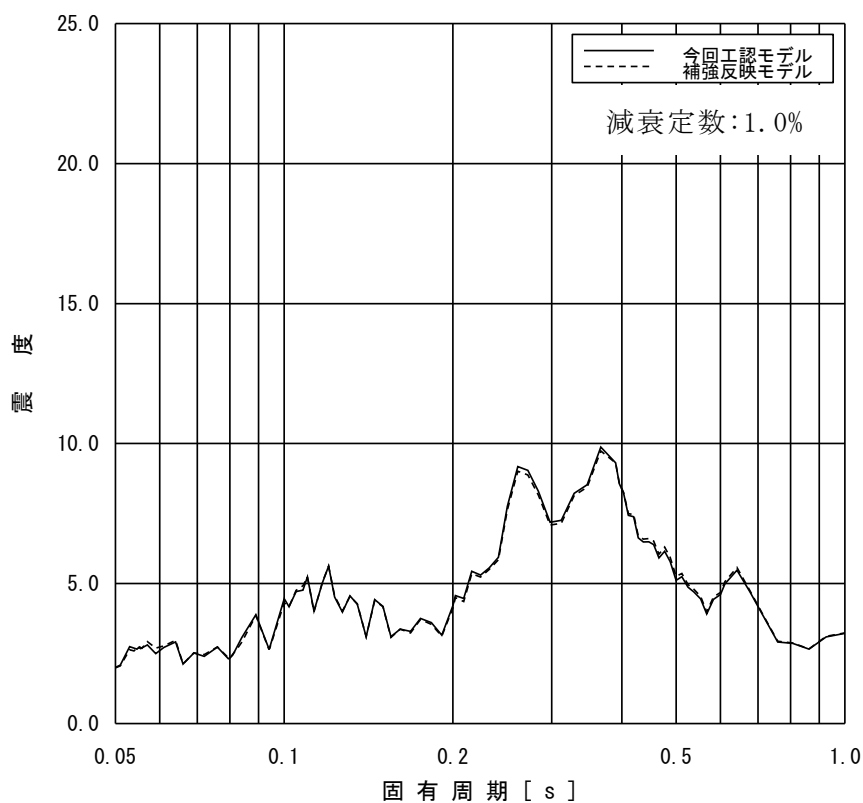


図 3-2-3 (1/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(水平方向：原子炉建屋 T. M. S. L. 49.7m)

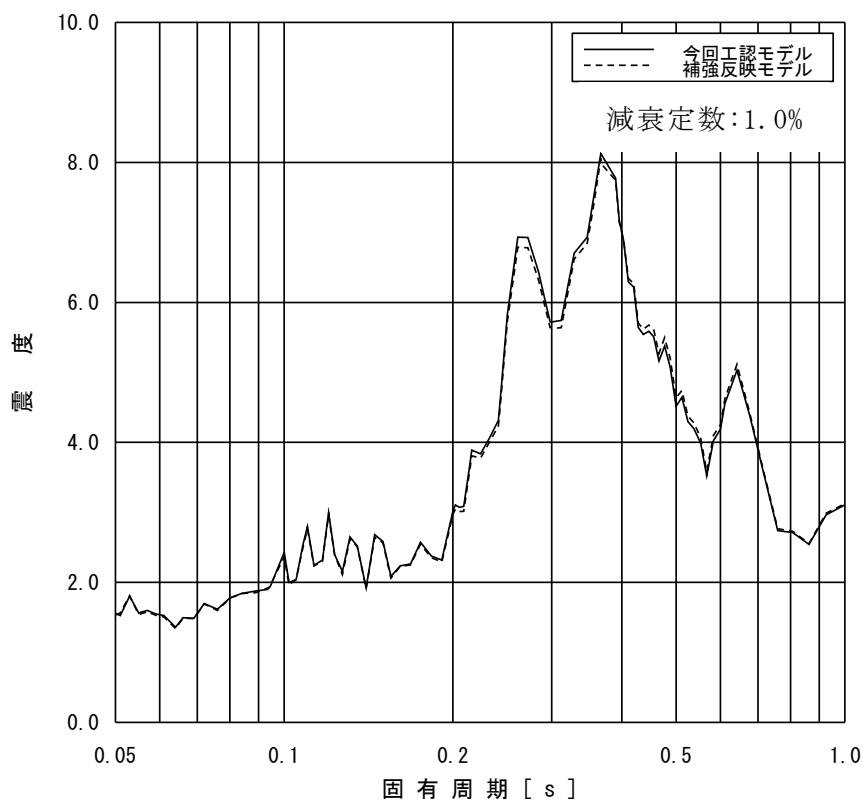


図 3-2-3 (2/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(水平方向：原子炉建屋 T. M. S. L. 38.2m)

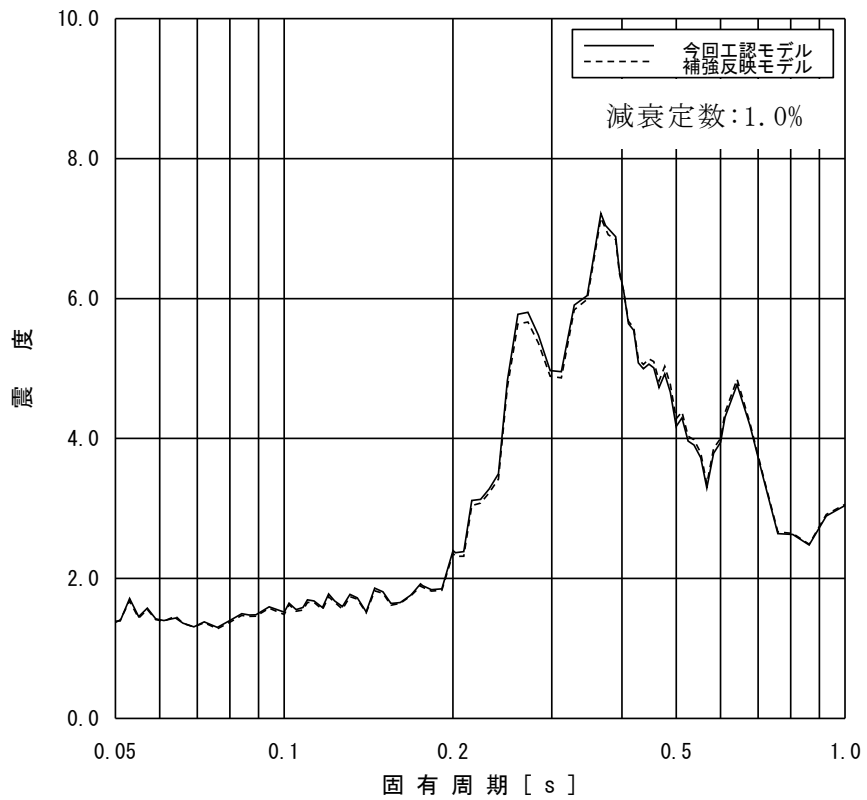


図 3-2-3 (3/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(水平方向：原子炉建屋 T. M. S. L. 31.7m)

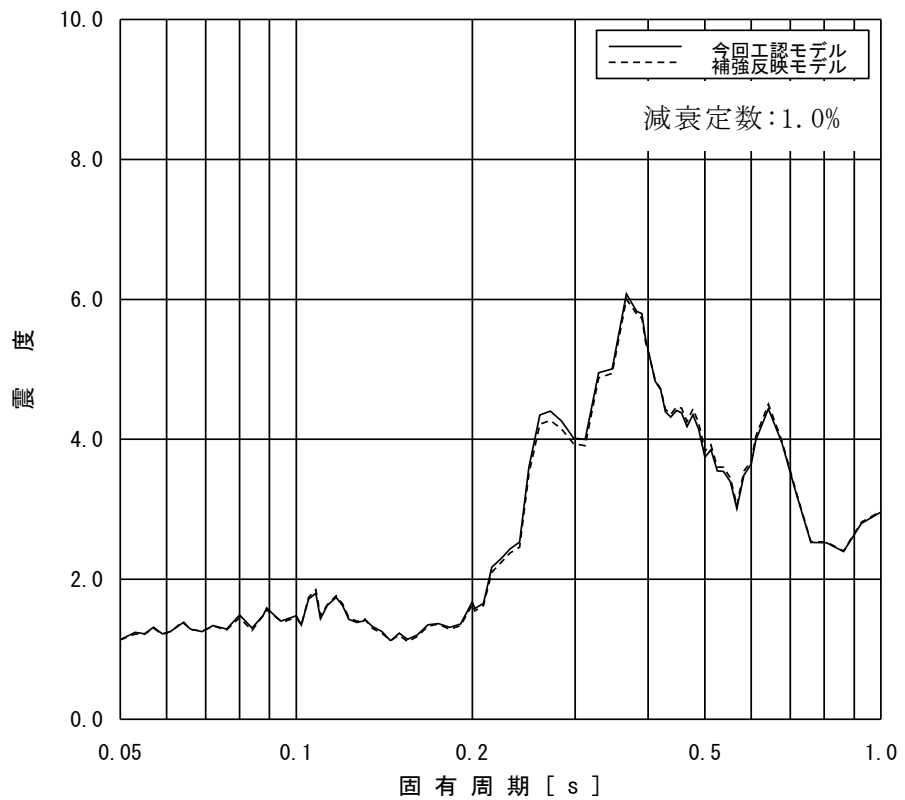


図 3-2-3 (4/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(水平方向：原子炉建屋 T. M. S. L. 23.5m)

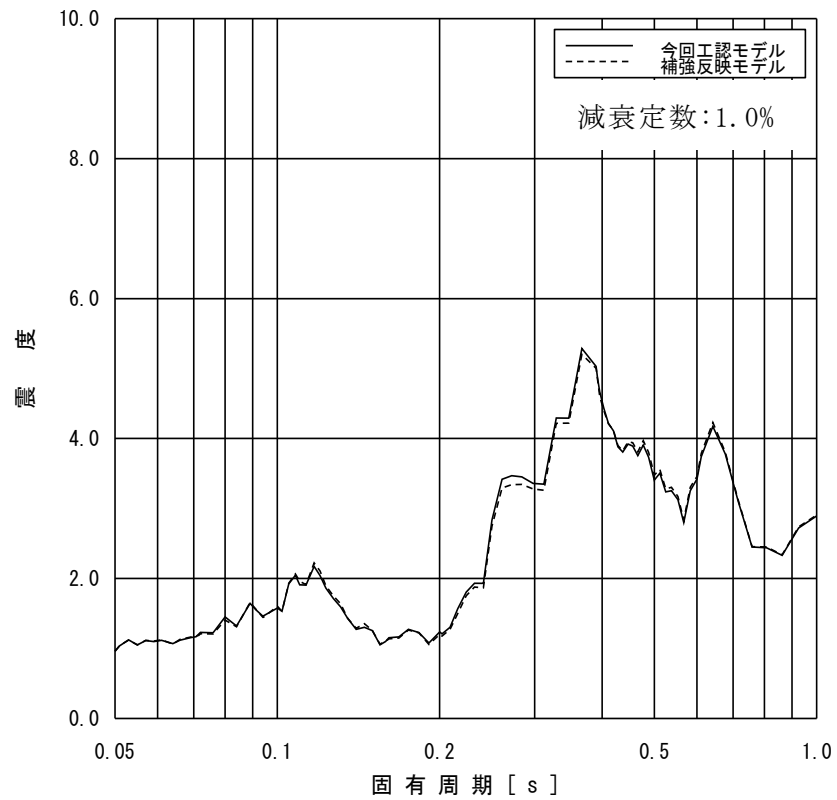


図 3-2-3 (5/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(水平方向：原子炉建屋 T.M.S.L. 18.1m)

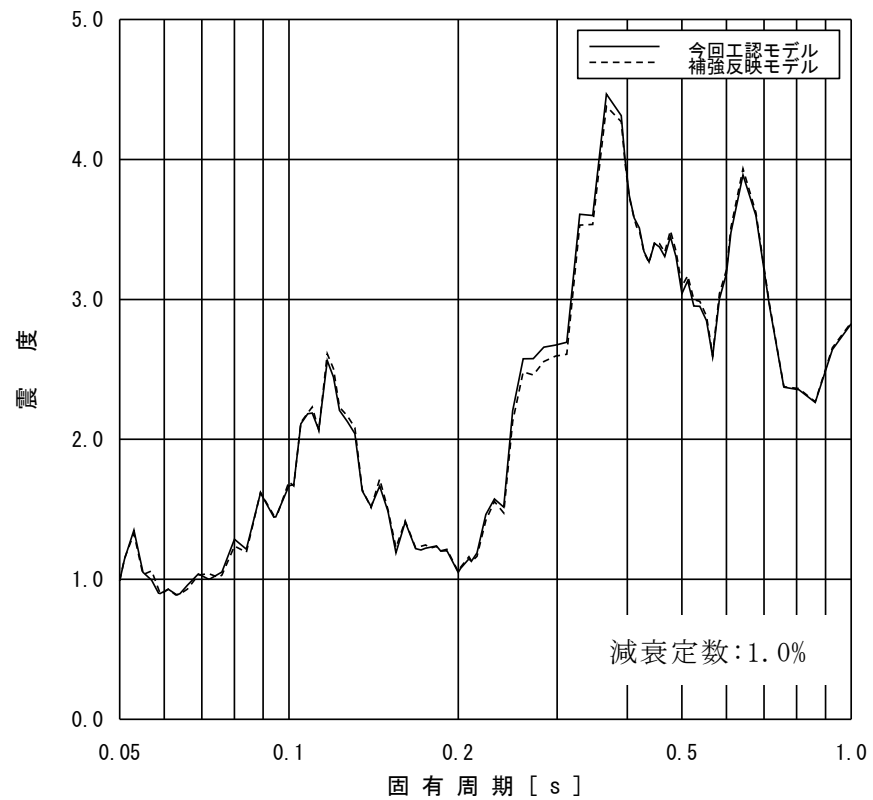


図 3-2-3 (6/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(水平方向：原子炉建屋 T.M.S.L. 12.3m)

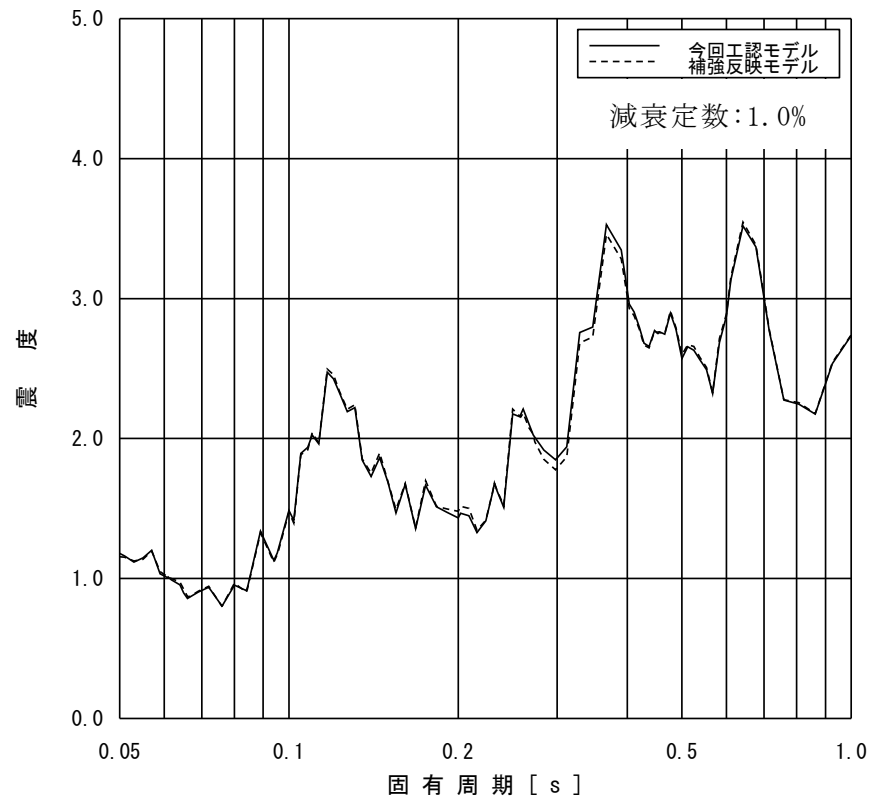


図 3-2-3 (7/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(水平方向：原子炉建屋 T.M.S.L. 4.8m)

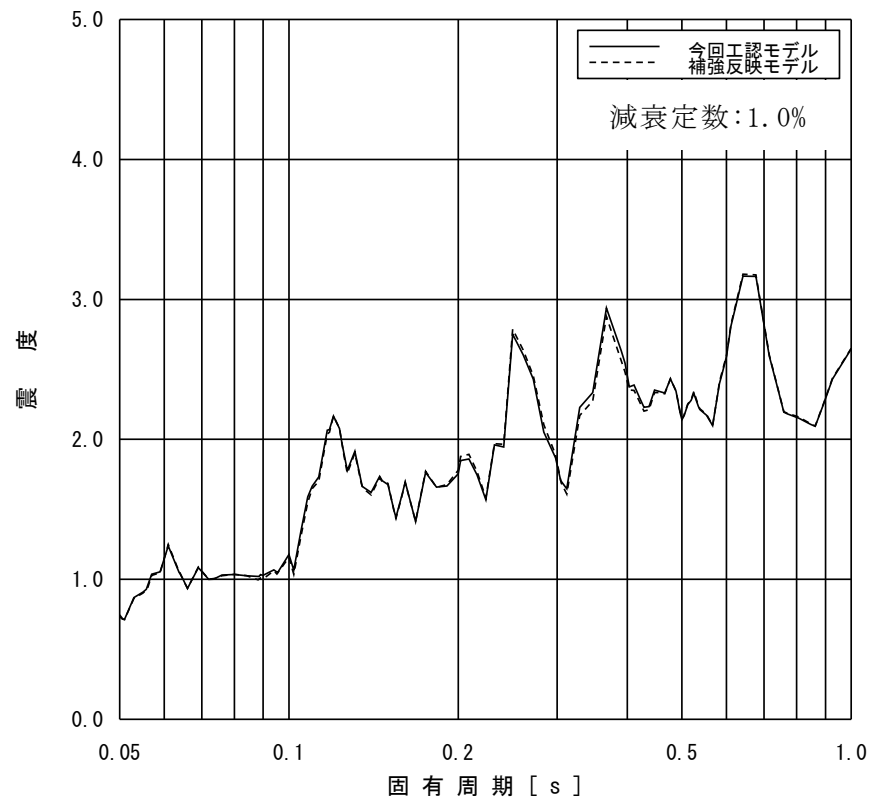


図 3-2-3 (8/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(水平方向：原子炉建屋 T.M.S.L. -1.7m)

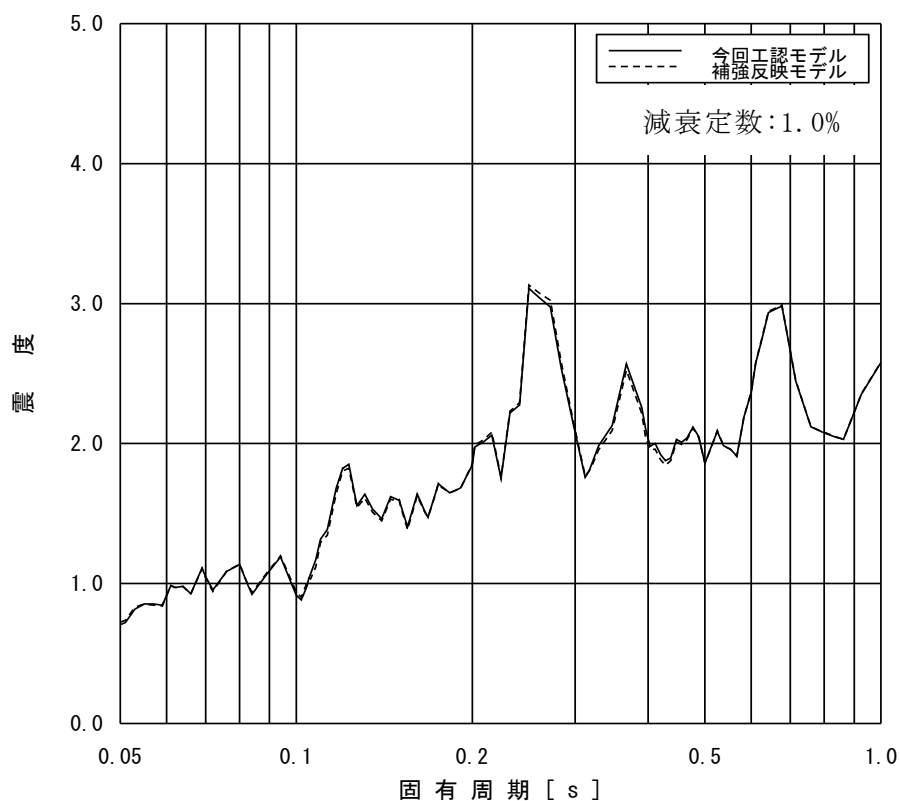


図 3-2-3 (9/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(水平方向：原子炉建屋 T.M.S.L. -8.2m)

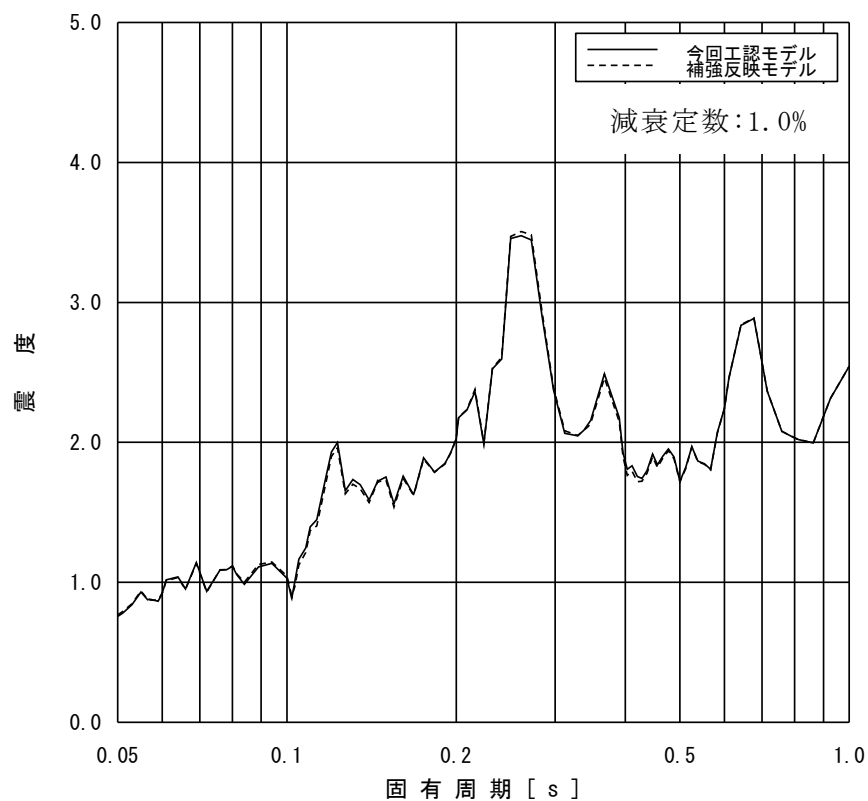


図 3-2-3 (10/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(水平方向：原子炉建屋 T.M.S.L. -13.7m)

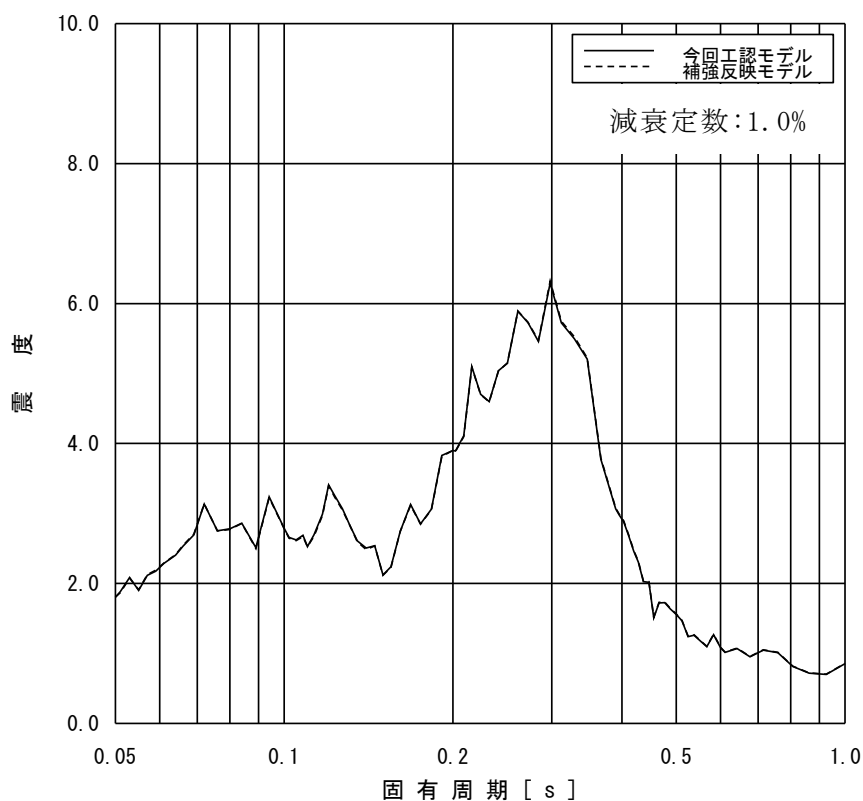


図 3-2-4 (1/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(鉛直方向：原子炉建屋 T.M.S.L. 49.7m)

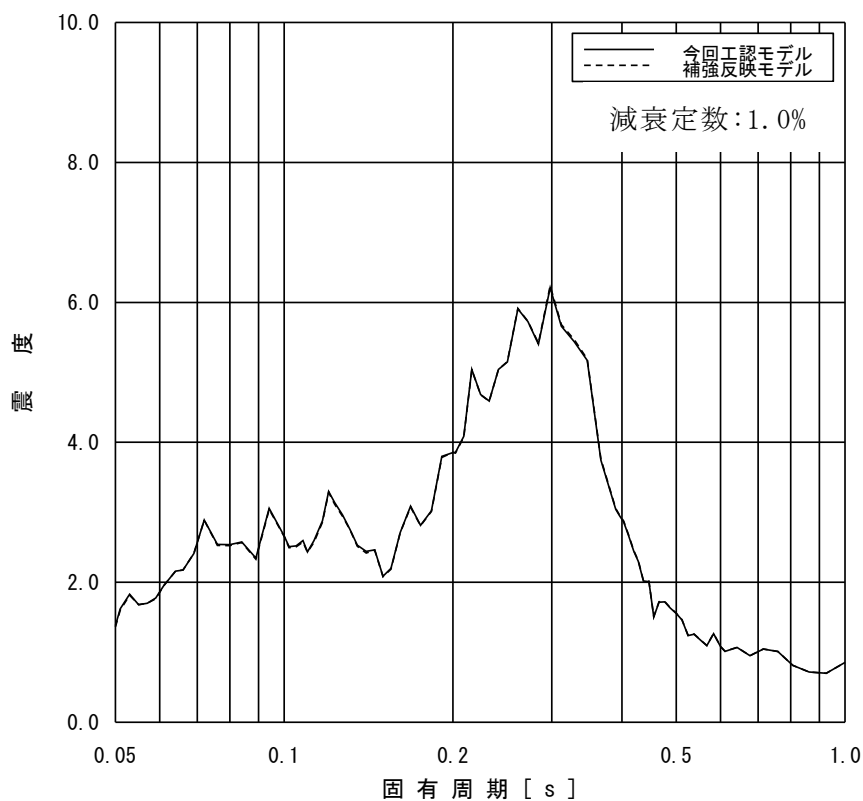


図 3-2-4 (2/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(鉛直方向：原子炉建屋 T.M.S.L. 38.2m)

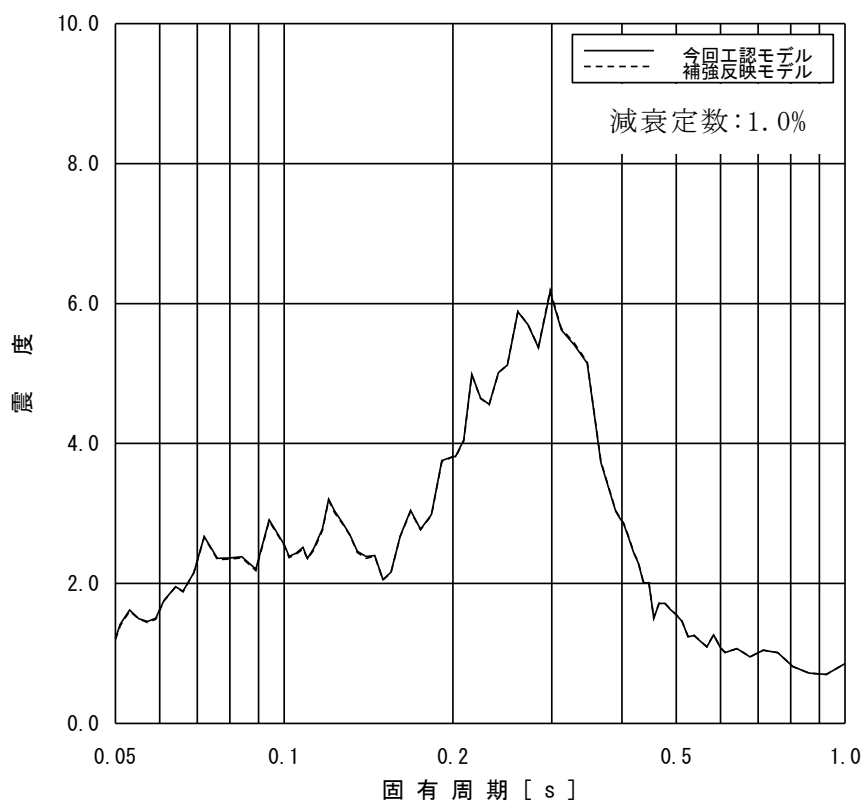


図 3-2-4 (3/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(鉛直方向：原子炉建屋 T.M.S.L. 31.7m)

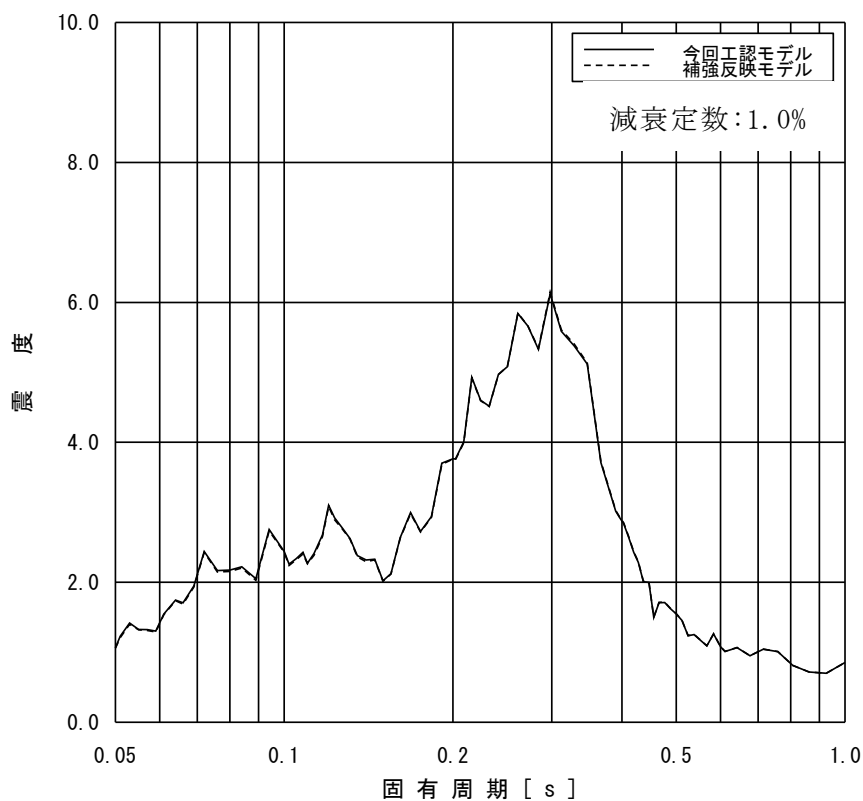


図 3-2-4 (4/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(鉛直方向：原子炉建屋 T.M.S.L. 23.5m)

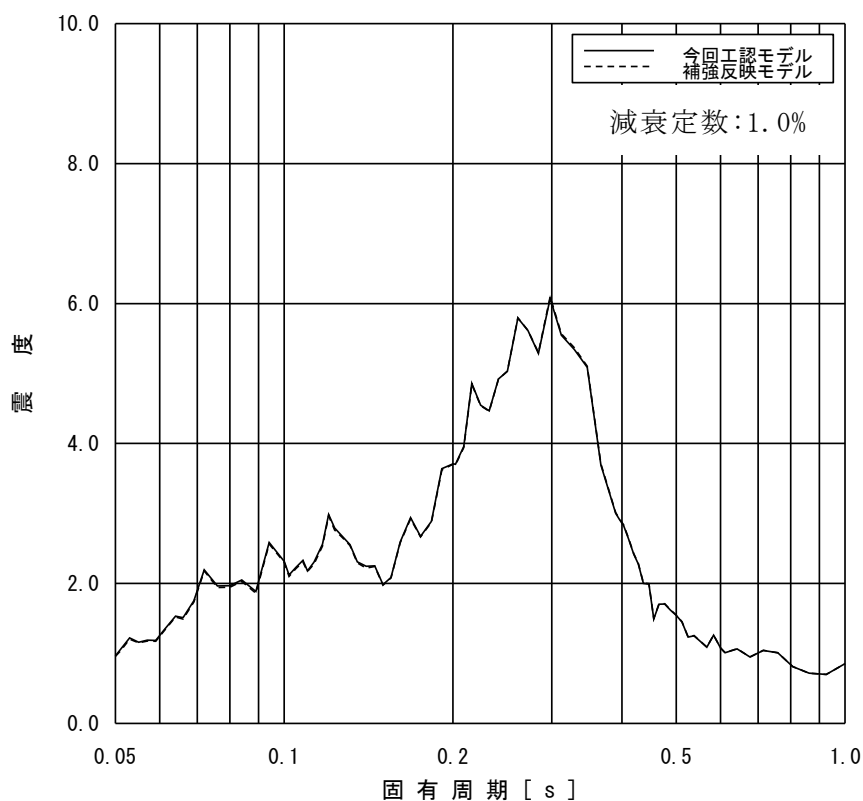


図 3-2-4 (5/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(鉛直方向：原子炉建屋 T.M.S.L. 18.1m)

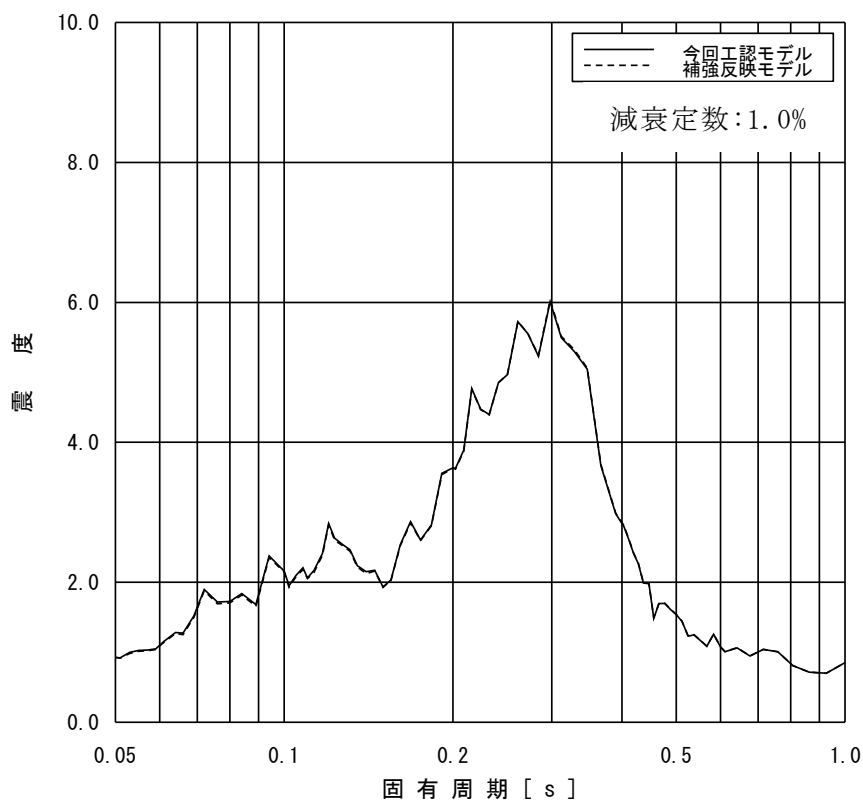


図 3-2-4 (6/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(鉛直方向：原子炉建屋 T.M.S.L. 12.3m)

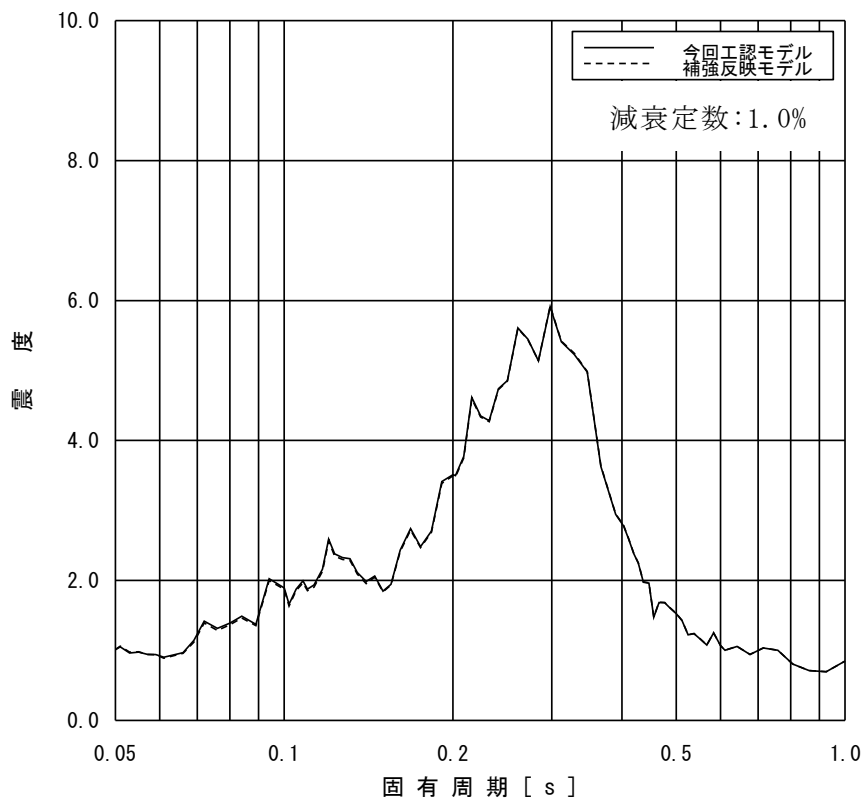


図 3-2-4 (7/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(鉛直方向：原子炉建屋 T.M.S.L. 4.8m)

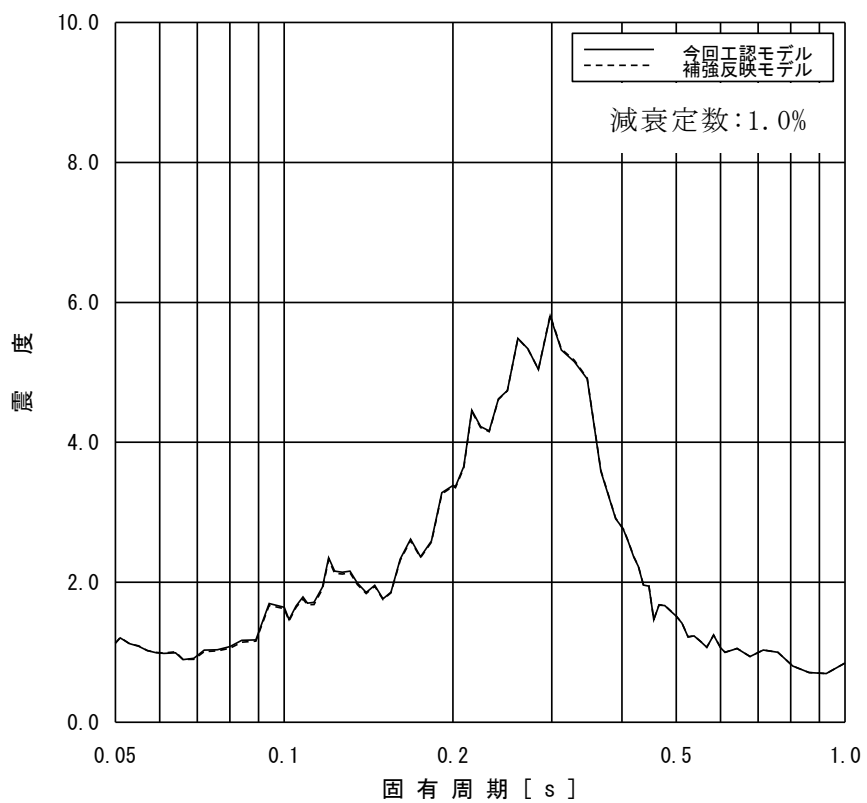


図 3-2-4 (8/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(鉛直方向：原子炉建屋 T.M.S.L. -1.7m)

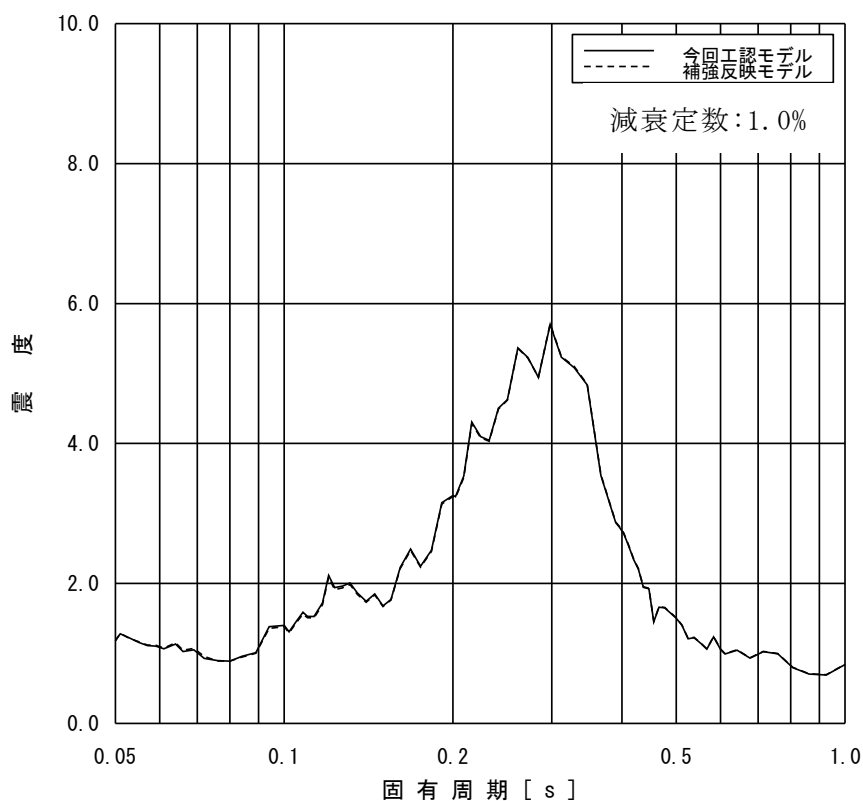


図 3-2-4 (9/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(鉛直方向：原子炉建屋 T.M.S.L. -8.2m)

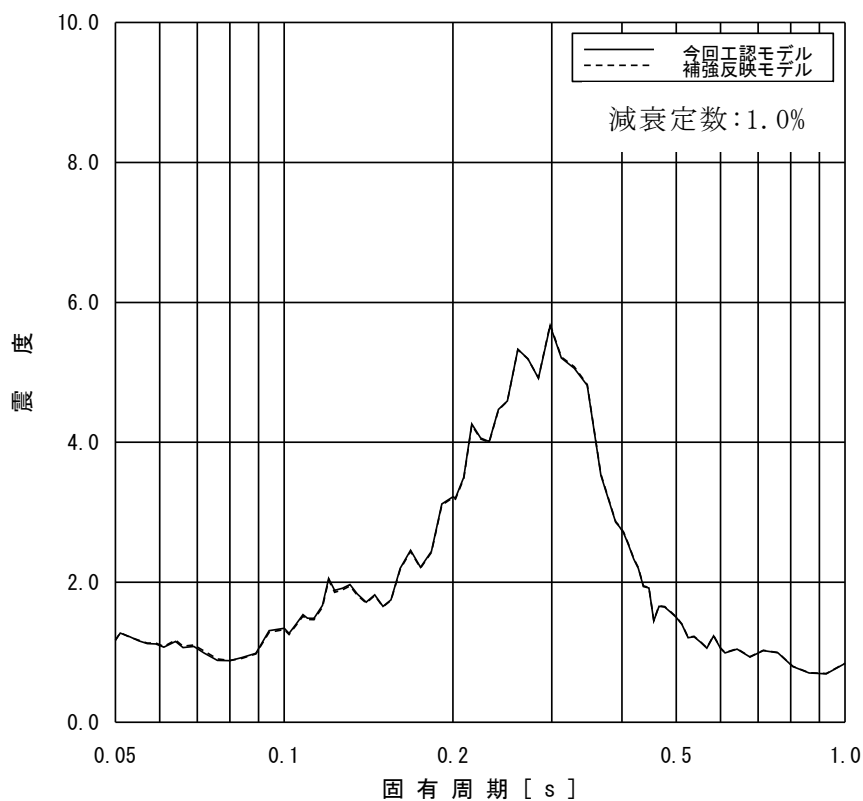


図 3-2-4 (10/10) 今回工認モデルと補強反映モデルの床応答スペクトル
(鉛直方向：原子炉建屋 T.M.S.L. -13.7m)

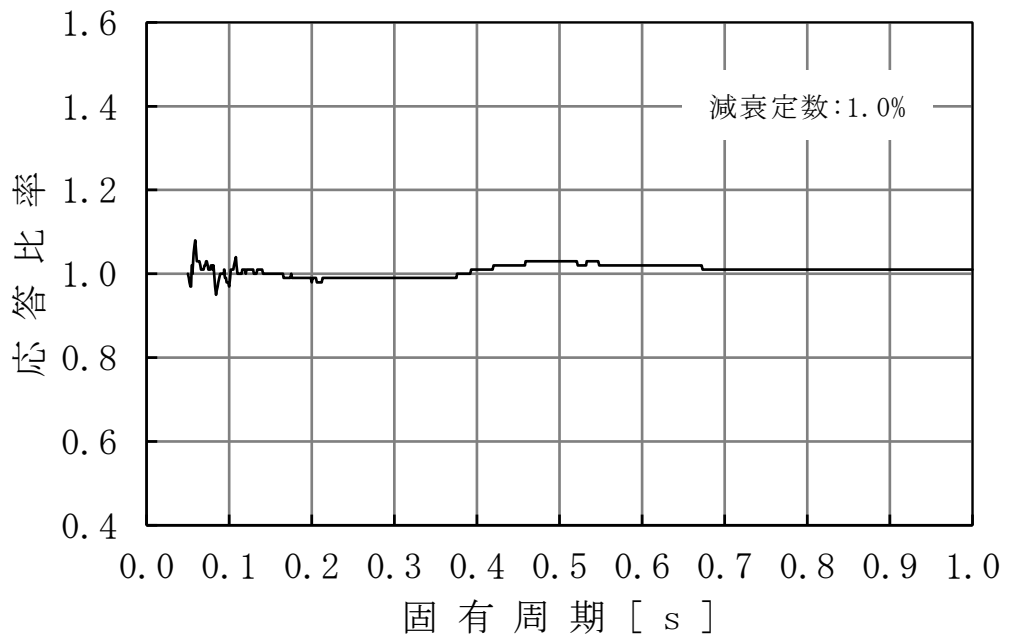


図 3-2-5 (1/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (水平方向 : 原子炉建屋 T.M.S.L. 49.7m)

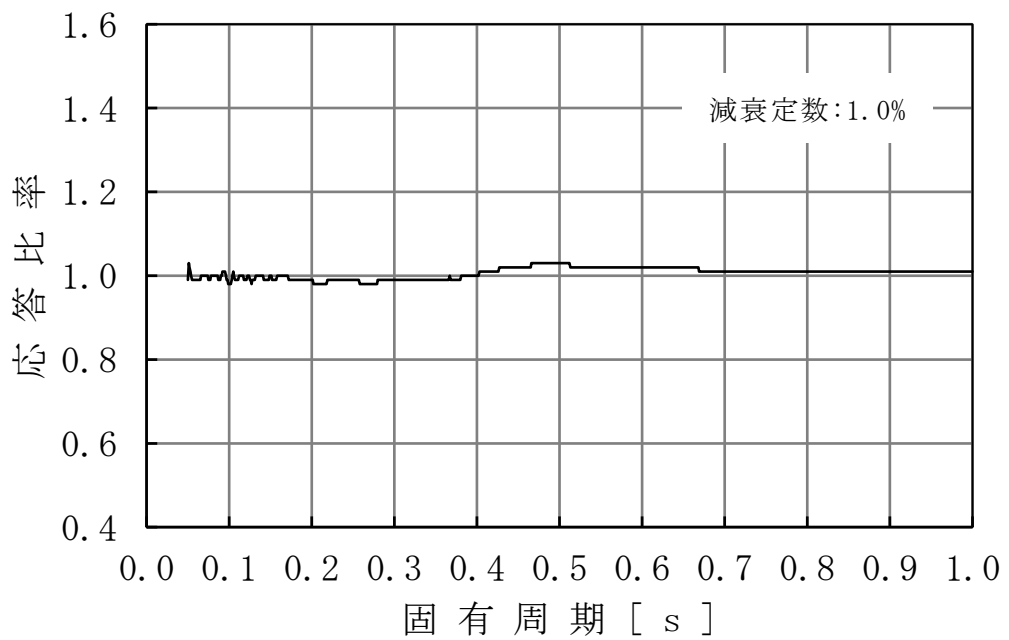


図 3-2-5 (2/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (水平方向 : 原子炉建屋 T.M.S.L. 38.2m)

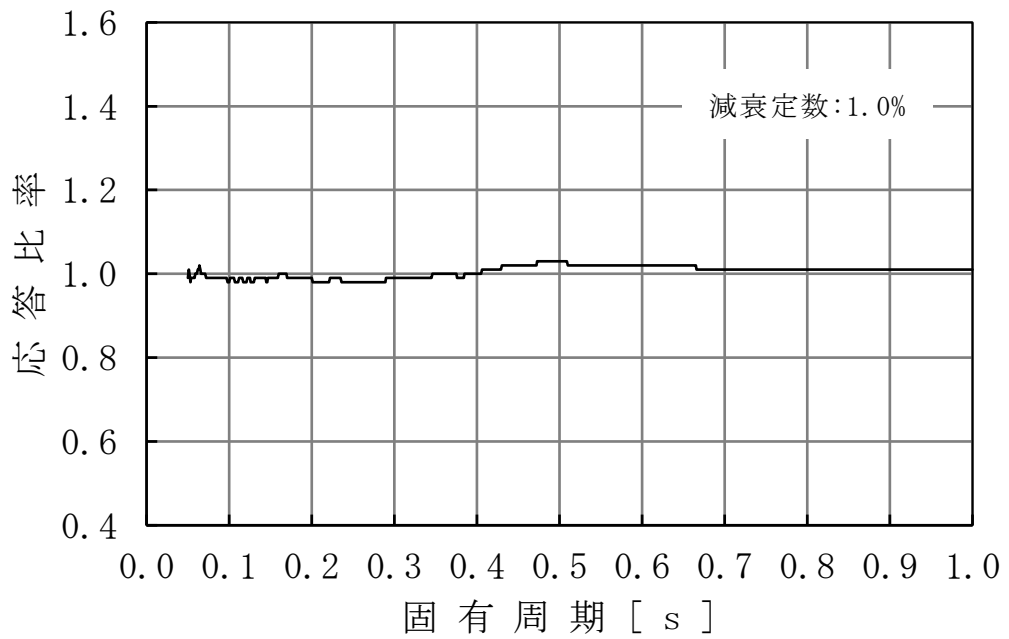


図 3-2-5 (3/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (水平方向 : 原子炉建屋 T.M.S.L. 31.7m)

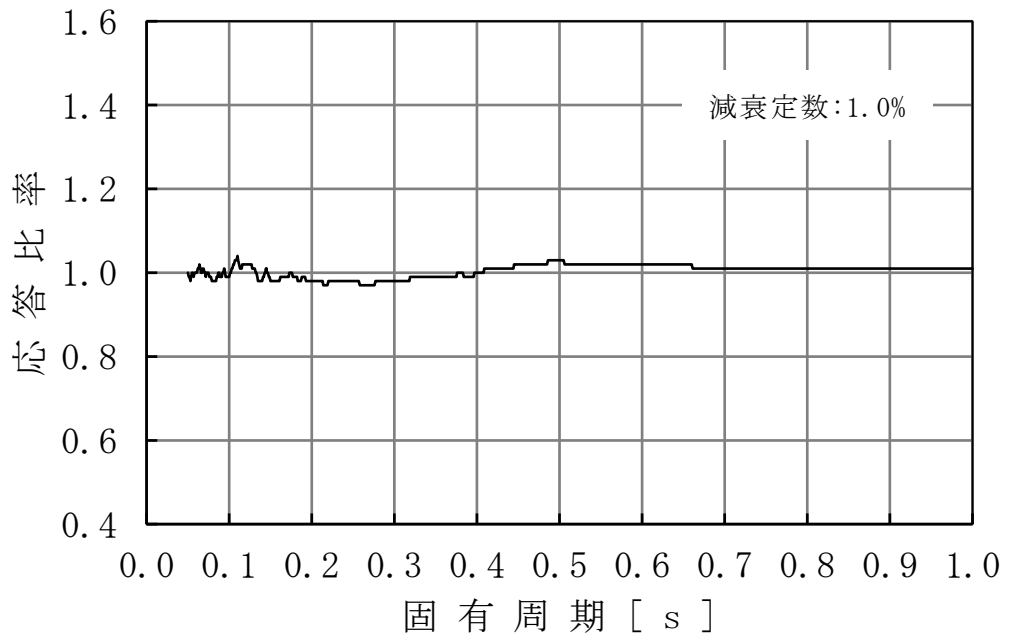


図 3-2-5 (4/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (水平方向 : 原子炉建屋 T.M.S.L. 23.5m)

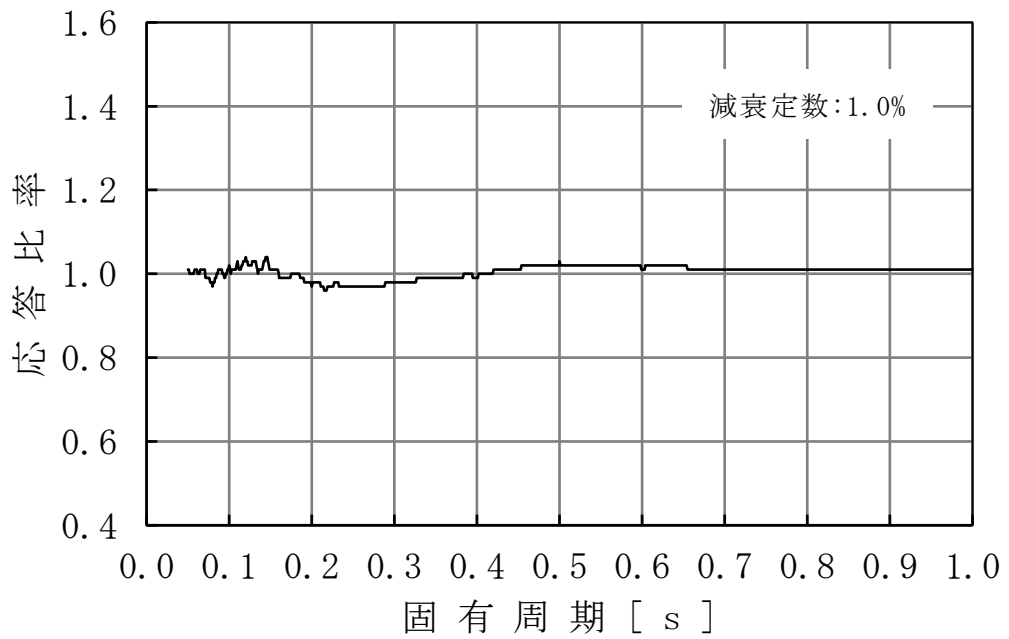


図 3-2-5 (5/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (水平方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. 18.1m)

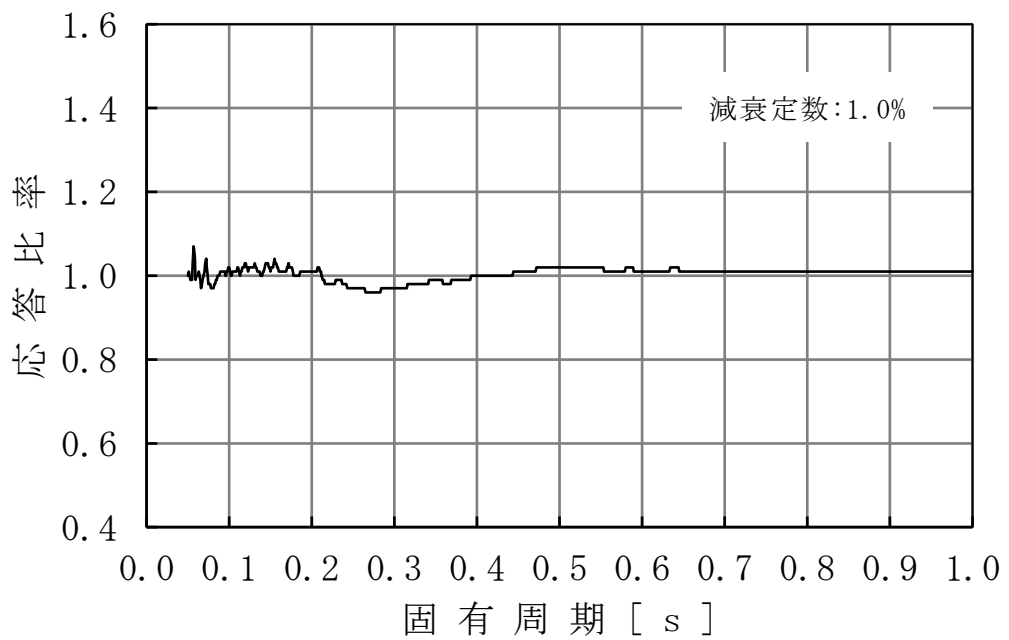


図 3-2-5 (6/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (水平方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. 12.3m)

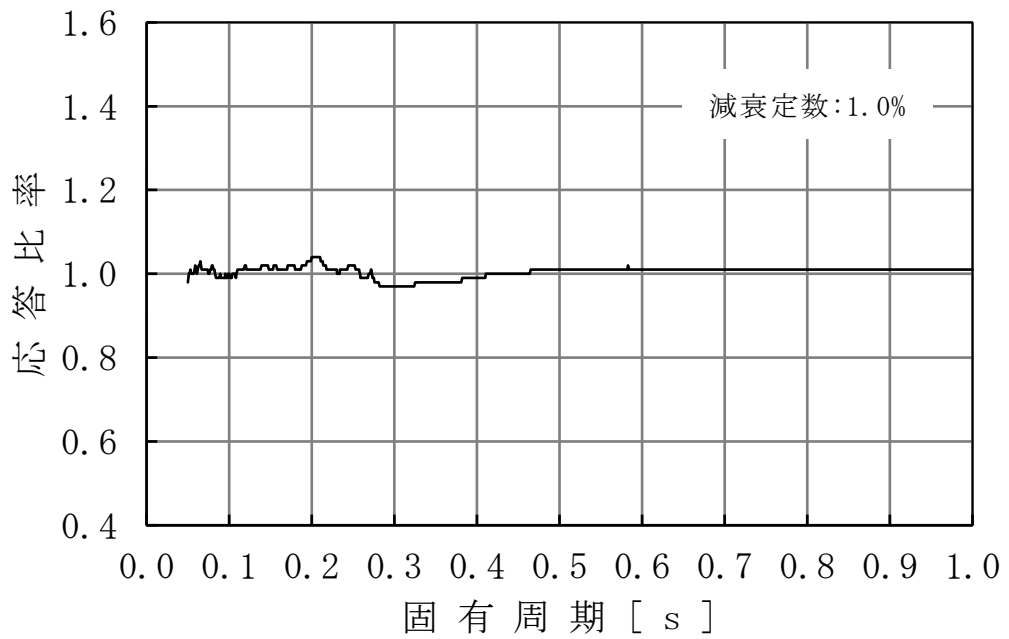


図 3-2-5 (7/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (水平方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. 4.8m)

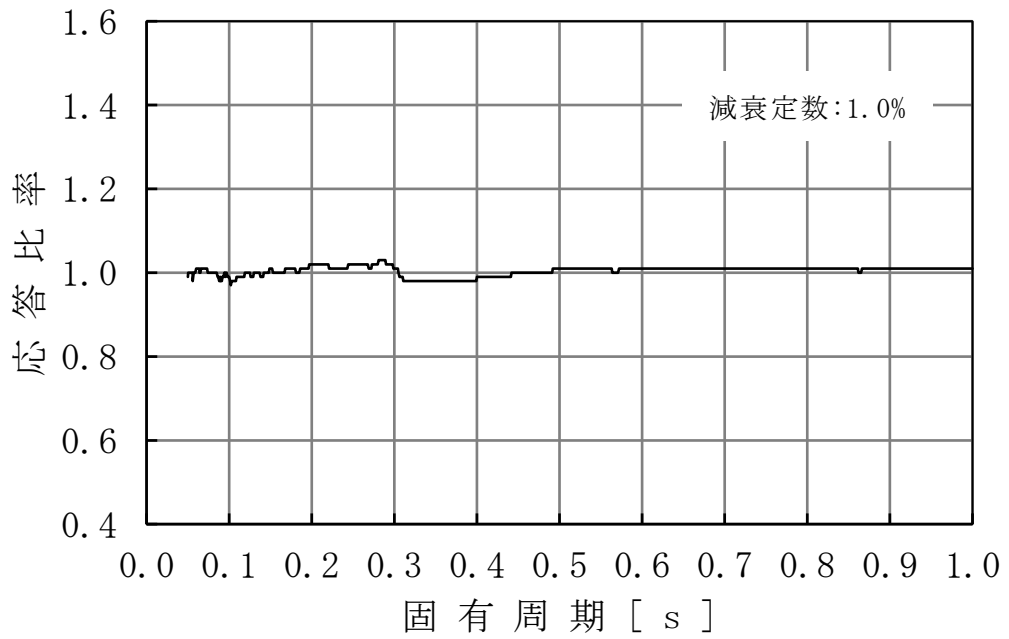


図 3-2-5 (8/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (水平方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. -1.7m)

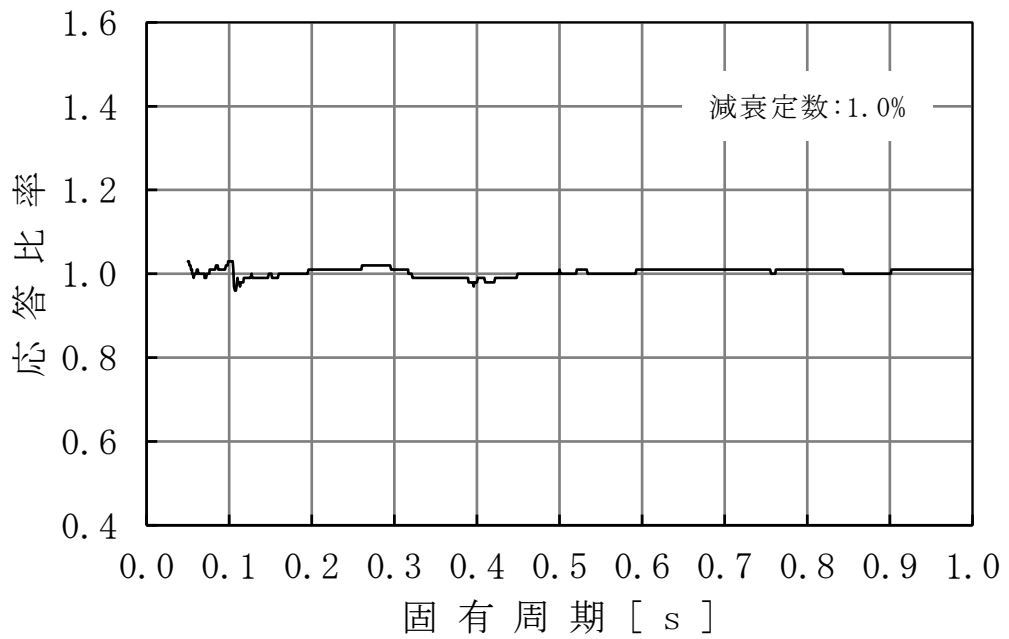


図 3-2-5 (9/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (水平方向 : 原子炉建屋 T.M.S.L. -8.2m)

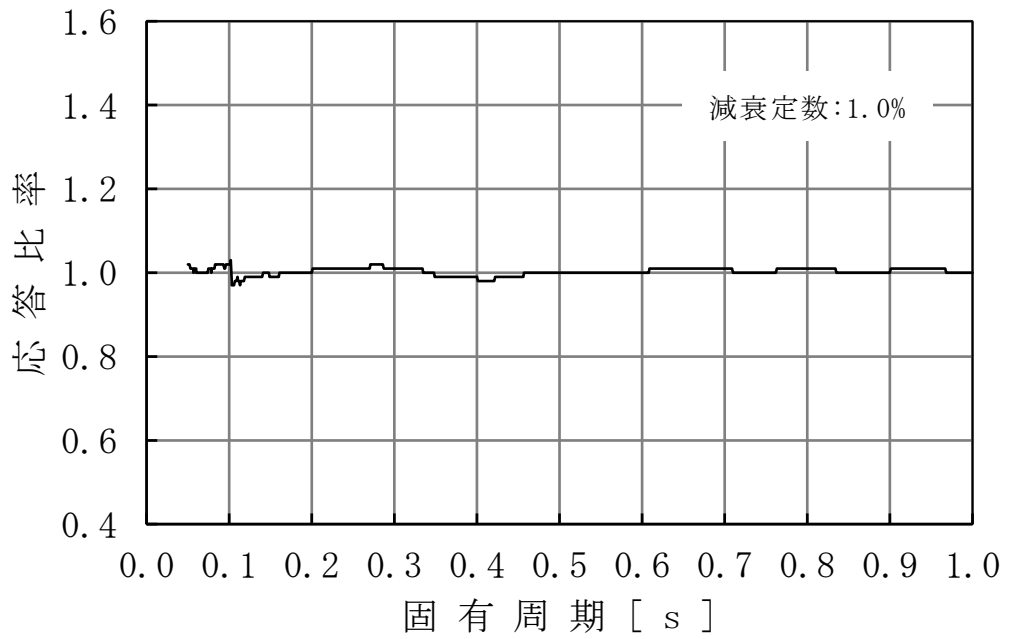


図 3-2-5 (10/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (水平方向 : 原子炉建屋 T.M.S.L. -13.7m)

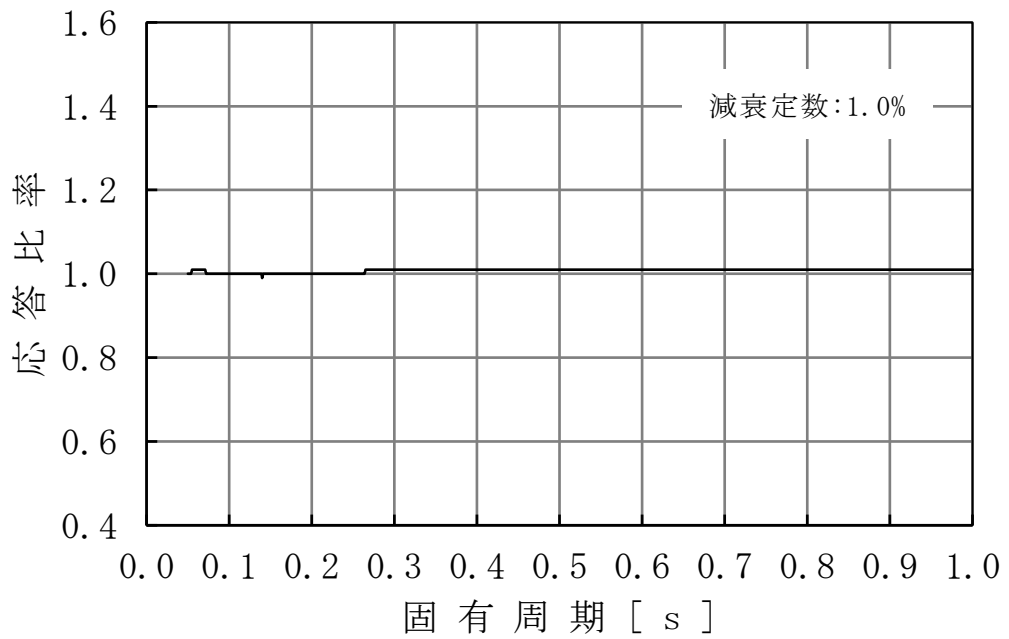


図 3-2-6 (1/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (鉛直方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. 49.7m)

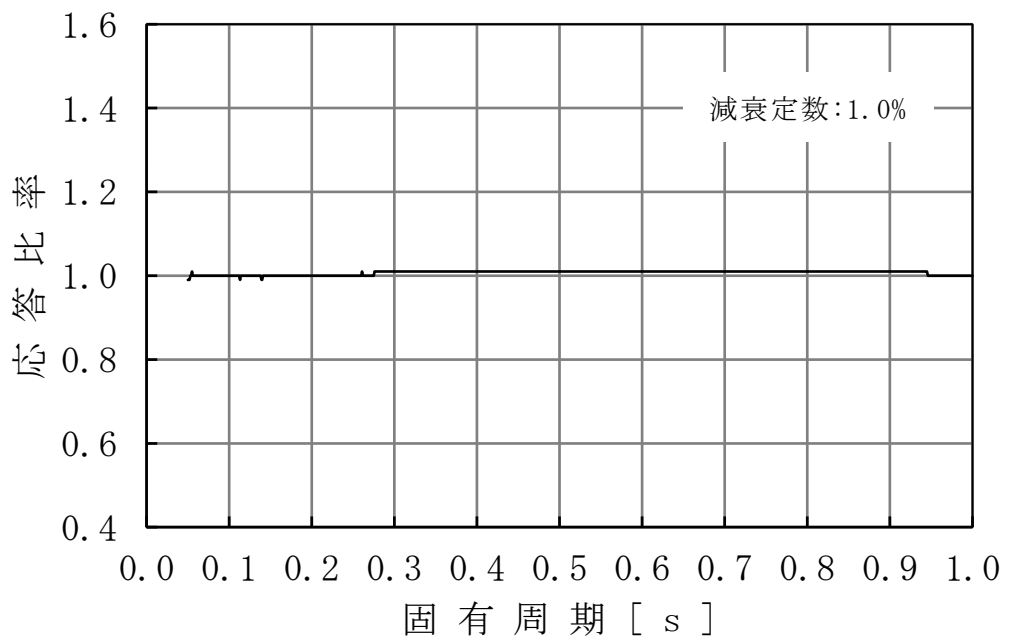


図 3-2-6 (2/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (鉛直方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. 38.2m)

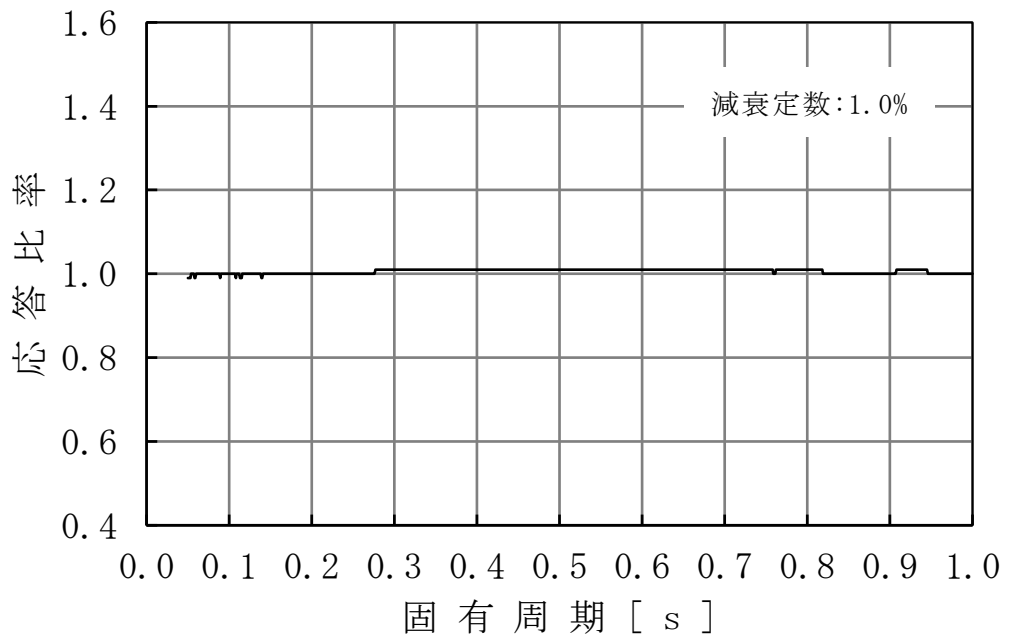


図 3-2-6 (3/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (鉛直方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. 31.7m)

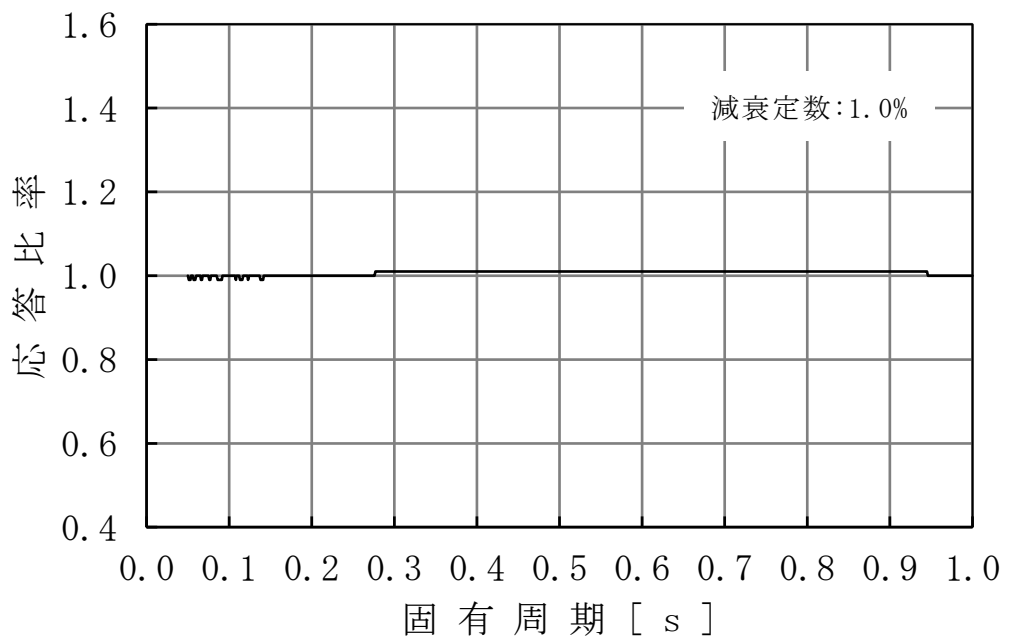


図 3-2-6 (4/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (鉛直方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. 23.5m)

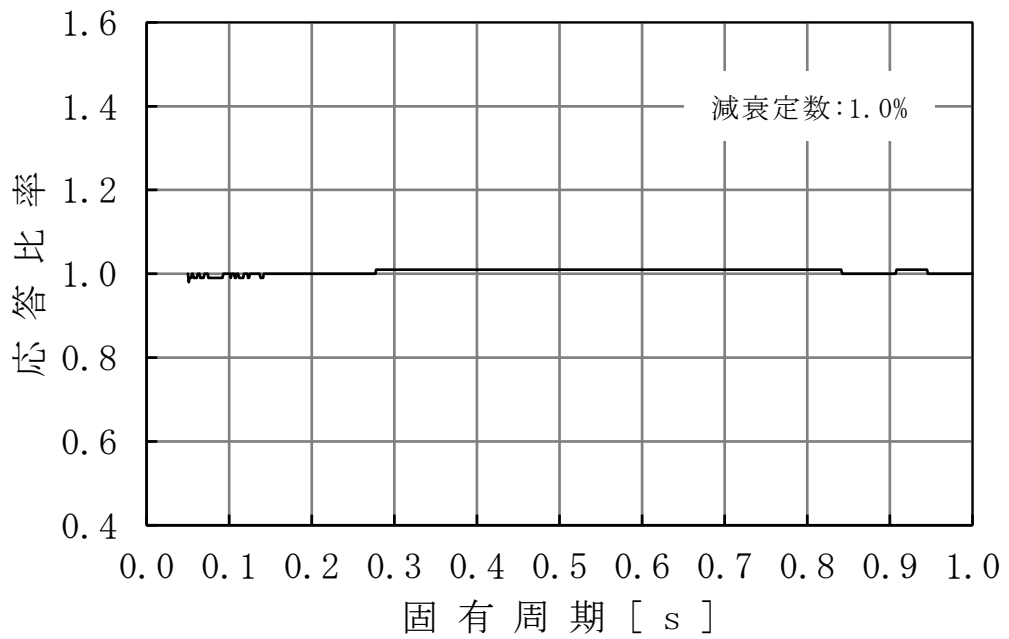


図 3-2-6 (5/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (鉛直方向：原子炉建屋 T.M.S.L. 18.1m)

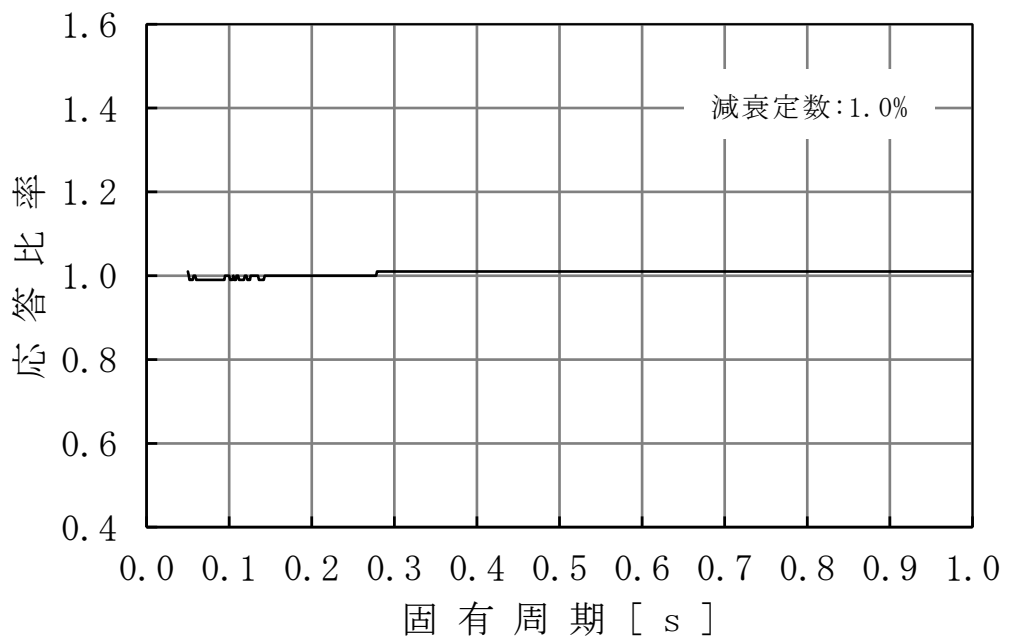


図 3-2-6 (6/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (鉛直方向：原子炉建屋 T.M.S.L. 12.3m)

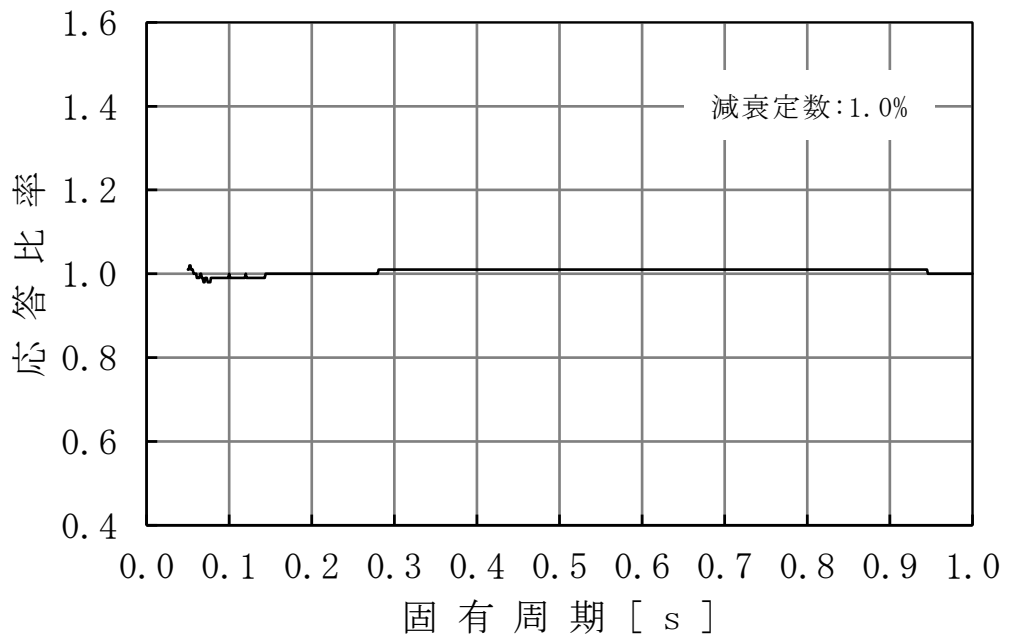


図 3-2-6 (7/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (鉛直方向：原子炉建屋 T.M.S.L. 4.8m)

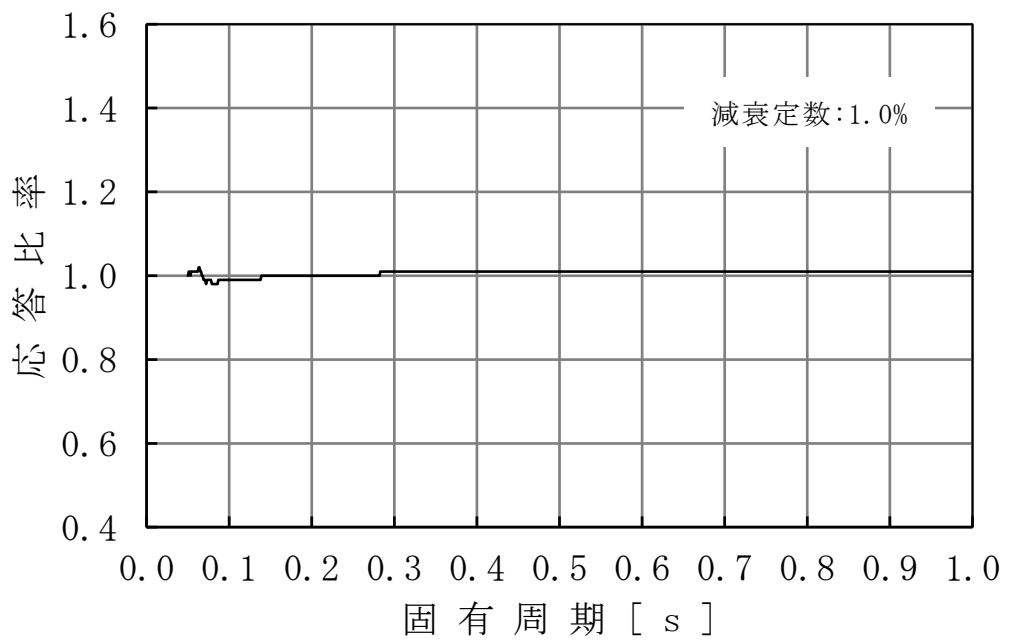


図 3-2-6 (8/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (鉛直方向：原子炉建屋 T.M.S.L. -1.7m)

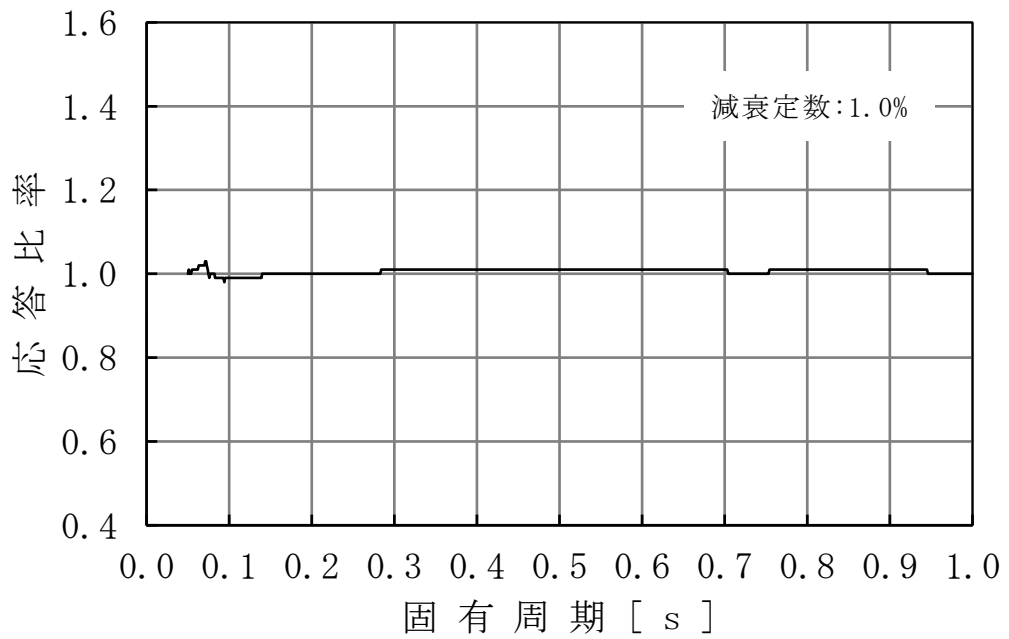


図 3-2-6 (9/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (鉛直方向：原子炉建屋 T.M.S.L. -8.2m)

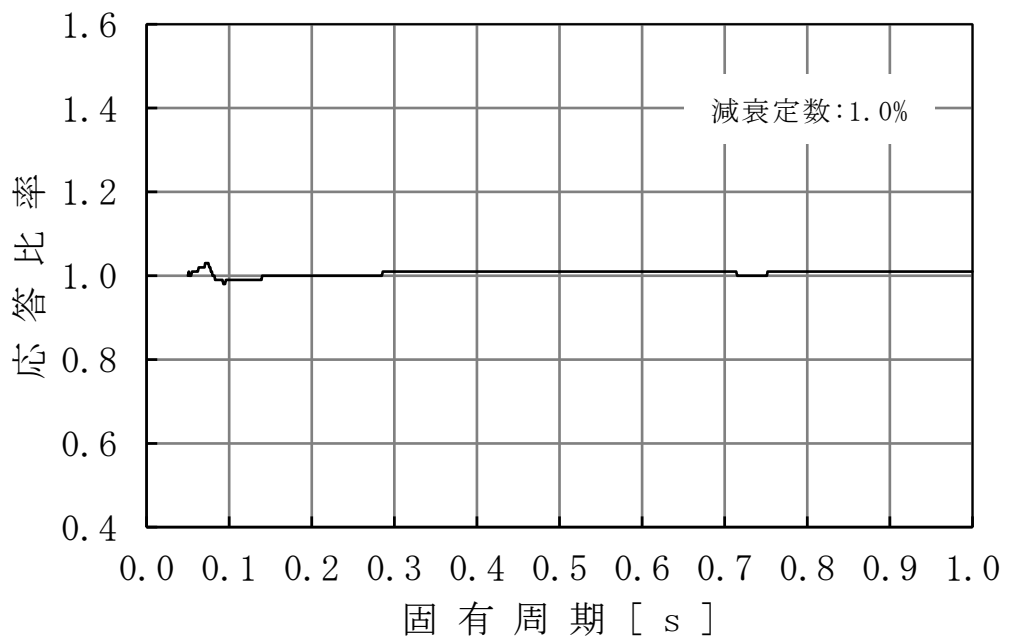


図 3-2-6 (10/10) 床応答スペクトルの応答比率
 (鉛直方向：原子炉建屋 T.M.S.L. -13.7m)

c. 地震力

建屋－機器連成地震応答解析モデルの各標高・要素について、今回工認モデルと補強反映モデルにおける基準地震動 Ss-1 による地震力（せん断力，モーメント，軸力等）を比較し，補強反映モデルの地震力／今回工認モデルの地震力により応答比率を算定する。なお，水平方向の応答比率算定にあたっては，NS 方向と EW 方向の地震力の包絡値を用いる。

(2) 補強反映耐震条件作成

補強反映耐震条件を作成する。本検討は改造工事に伴う重量増加による応答の変動が機器・配管系の耐震評価結果へ与える影響を検討するものであるため、応答性状への影響を評価するため、1.0を下回る応答比率についてもそのまま考慮して耐震条件を作成する。

a. 補強反映最大応答加速度

各標高について、地震応答解析（基本ケース）から得られる応答波の最大応答加速度に基礎地盤の傾斜の影響を加味したものと、地震応答解析（不確かさケース）から得られる応答波の最大応答加速度を包絡させ設定した設計用地震力 I に(1)で算定した応答比率を乗じて作成する。

補強反映最大応答加速度の作成フローを図 3-2-7 に示す。

b. 補強反映床応答曲線

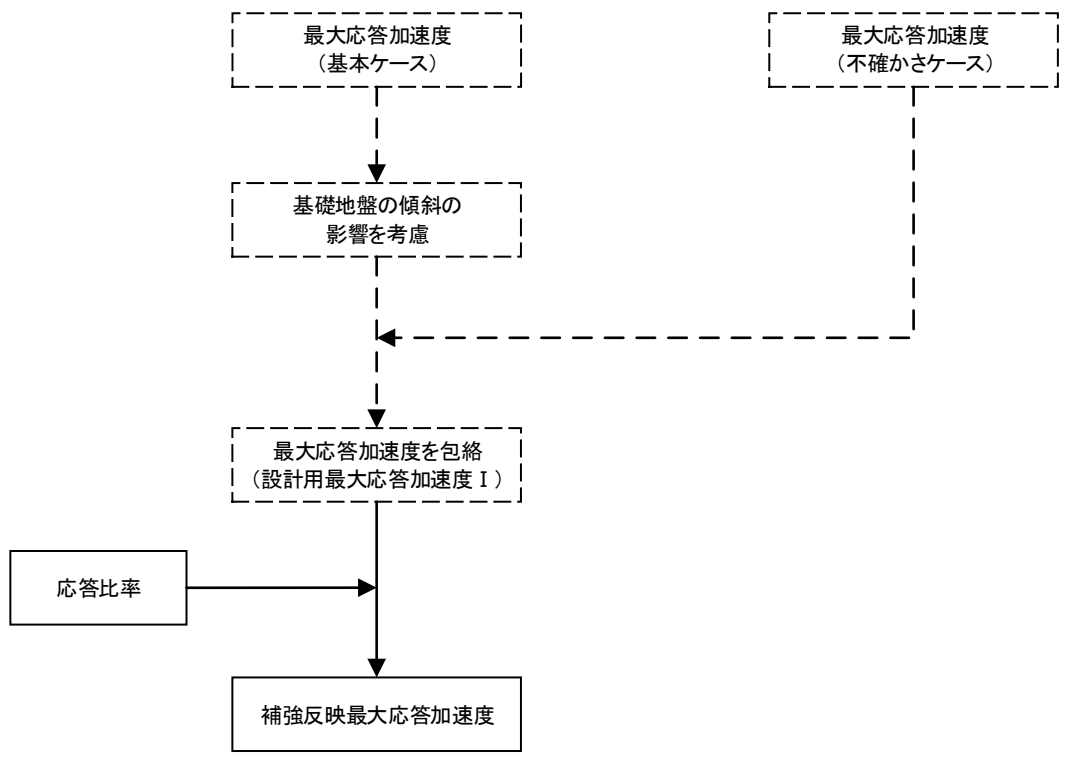
各標高・各減衰について、地震応答解析（基本ケース）から得られる応答波を用いて作成した床応答スペクトルに基礎地盤の傾斜の影響を加味した上で(1)で算定した周期毎の応答比率を乗じ±10%拡幅したものと、地震応答解析（不確かさケース）から得られる応答波を用いて作成した床応答スペクトルに(1)で算定した周期毎の応答比率を乗じたものを包絡させて作成する。

補強反映最大応答加速度の作成フローを図 3-2-8 に示す。

c. 補強反映地震力

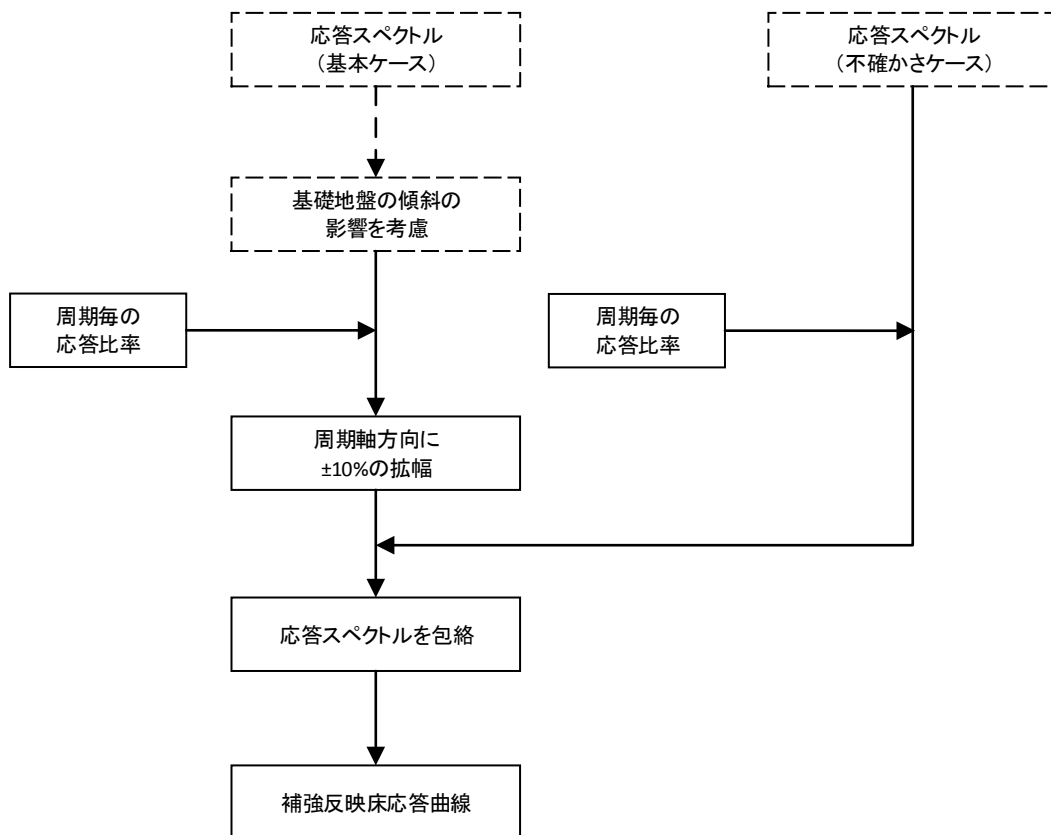
建屋－機器連成地震応答解析モデルの各標高・要素について、地震応答解析（基本ケース）から得られる地震力に基礎地盤の傾斜の影響を加味したものと、地震応答解析（不確かさケース）から得られる地震力を包絡させ設定した設計用地震力 I に(1)で算定した応答比率を乗じて作成する。

補強反映地震力の作成フローを図 3-2-9 に示す。



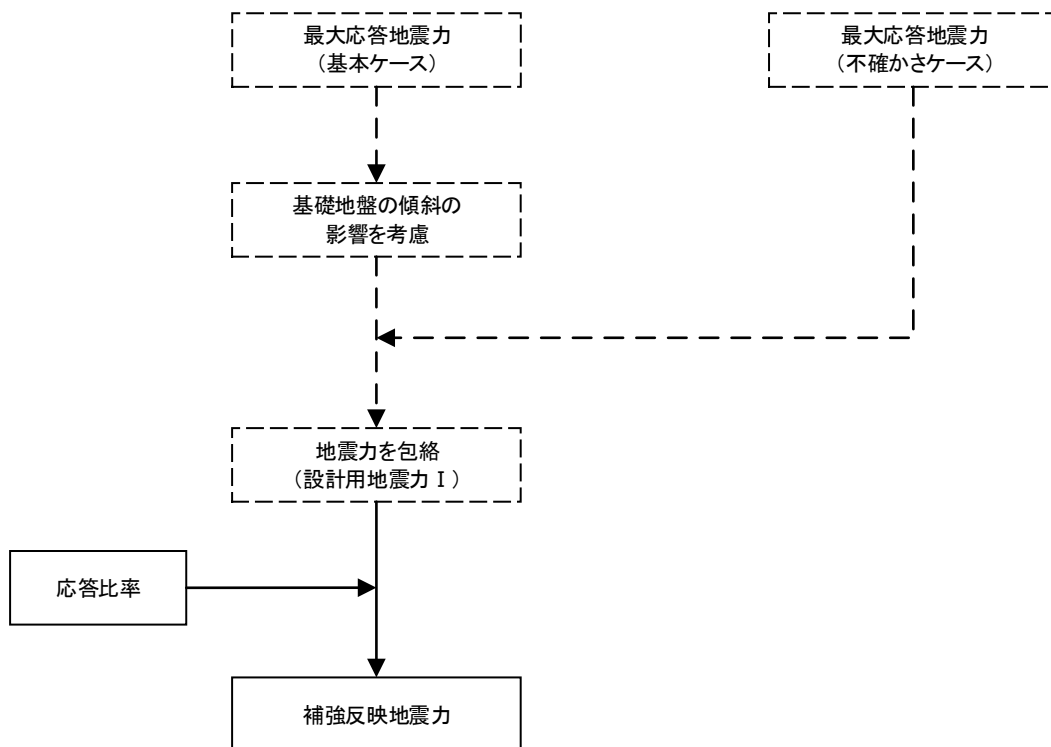
注：破線範囲は、V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」における設計用最大応答加速度 I 作成での実施事項を示す。

図 3-2-7 補強反映最大応答加速度の作成フロー



注：破線範囲は、V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」における設計用床応答曲線 I 作成での実施事項を示す。

図 3-2-8 補強反映床応答曲線の作成フロー



注：破線範囲は、V-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」及びV-2-3-1「炉心、原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の地震応答計算書」における設計用地震力 I 作成での実施事項を示す。

図 3-2-9 補強反映地震力の作成フロー

(3) 簡易評価

(2)で作成した補強反映耐震条件と耐震計算に用いる条件の比率と耐震計算の裕度の比較を行う。なお、耐震計算に設計用床応答曲線を用いる設備は、当該設備の0.05s以上の各固有周期における比率の最大値を用いて比較を行う。

ただし、耐震計算において非線形要素を用いた時刻歴応答解析により発生値を算定している原子炉建屋クレーンについては、固有周期の変動等の不確かさを考慮して0.05～1.00sの周期帯での補強反映床応答曲線と設計用床応答曲線Ⅰの比率の最大値を用いた比較を行う。

(4) 詳細評価

補強反映耐震条件を用いた耐震計算を行う。

3.2.3 検討結果

「2.2.1 検討方針」に示す影響検討フローに従った検討で、詳細評価が必要となった機器・配管系の簡易評価結果を表 3-2-5 に、詳細評価結果を表 3-2-6 に示す。

以上より、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 3-2-5 簡易評価結果

設備名称	評価部位	応力分類	耐震計算書		条件比率	結果
			裕度 (許容値/発生値)	設計条件		
高圧炉心注水系配管 (HPCF-R-3)	配管本体	一次+二次 応力	0.99 (疲労累積係数: 0.0003)	設計用 I	1.03 図 3-2-10 参照	×
下部ドライウェルア クセストンネルスリ ーブ及び鏡板 (所員 用エアロック付)	鏡板のスリーブとの 結合部 (P2-A)	一次+二次 応力	0.88 (疲労累積係数: 0.237)	設計用 I	1.02 図 3-2-11 参照	×
	スリーブのフランジ プレートとの結合部 (P3-A)	一次+二次 応力	0.86 (疲労累積係数: 0.266)			×
下部ドライウェル所 員用エアロック	下部ドライウェル所 員用エアロック円筒 胴と鏡板との結合部 (P12-A)	一次+二次 応力	0.80 (疲労累積係数: 0.369)	設計用 I	1.02 図 3-2-12 参照	×

表 3-2-6 詳細評価結果

設備名称	評価部位	応力分類	詳細評価条件		補強反映耐震条件を用いた評価		結果
			最大応答 加速度 (1.2ZPA)	床応答曲線	発生値	許容値	
高圧炉心注水系配管 (HPCF-R-3)	配管本体	一次+二次 応力	水平：1.03 鉛直：1.00	図 3-2-13 参照	383MPa (疲労累積係数： 0.0004)	376MPa (疲労累積係数： 1.0)	○
下部ドライウェルア クセストンネルスリ ーブ及び鏡板（所員 用エアロック付）	鏡板のスリーブとの 結合部 (P2-A)	一次+二次 応力	水平：1.03 鉛直：1.00	図 3-2-14 参照	460MPa (疲労累積係数： 0.276)	393MPa (疲労累積係数： 1.0)	○
	スリーブのフランジ プレートとの結合部 (P3-A)	一次+二次 応力			469MPa (疲労累積係数： 0.303)	393MPa (疲労累積係数： 1.0)	○
下部ドライウェル所 員用エアロック	下部ドライウェル所 員用エアロック円筒 胴と鏡板との結合部 (P12-A)	一次+二次 応力	水平：1.03 鉛直：1.00	図 3-2-15 参照	506MPa (疲労累積係数： 0.423)	393MPa (疲労累積係数： 1.0)	○

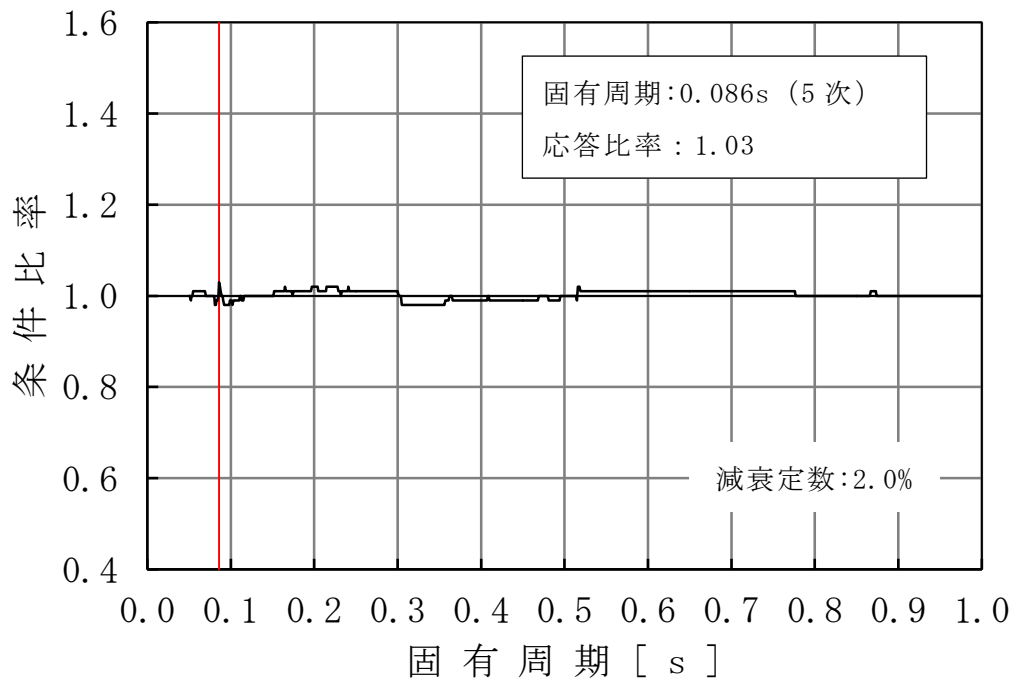


図 3-2-10 高压炉心注水系配管 (HPCF-R-3) の条件比率
 (基準地震動 S_s , 水平方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. -1.7m)

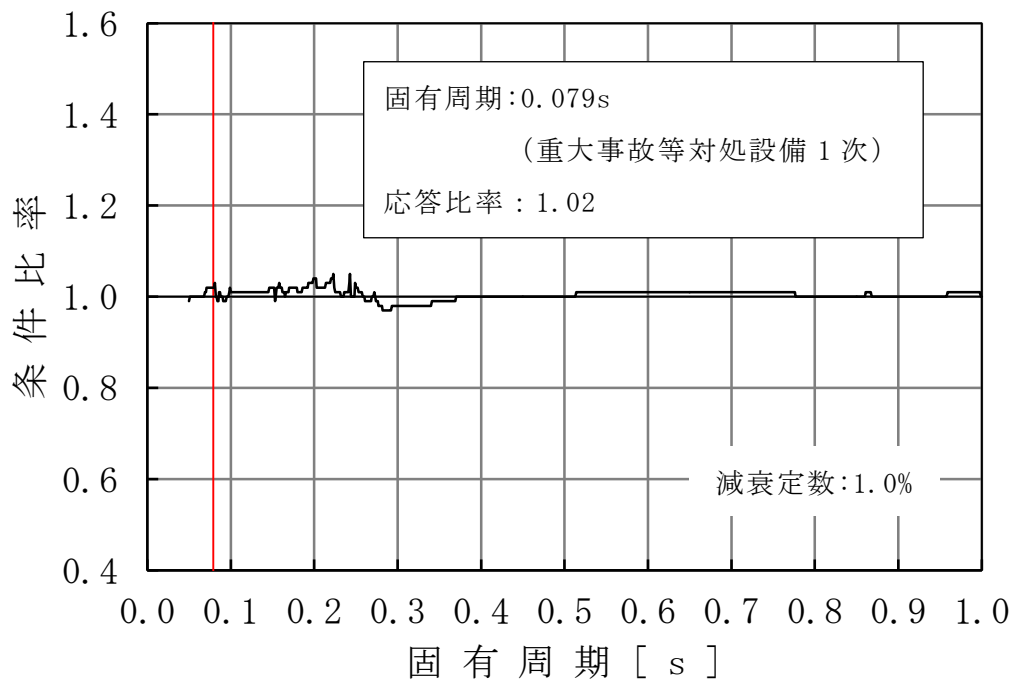


図 3-2-11 下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板 (所員用エアロック付) の条件比率 (基準地震動 S_s , 水平方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. 4.8m)

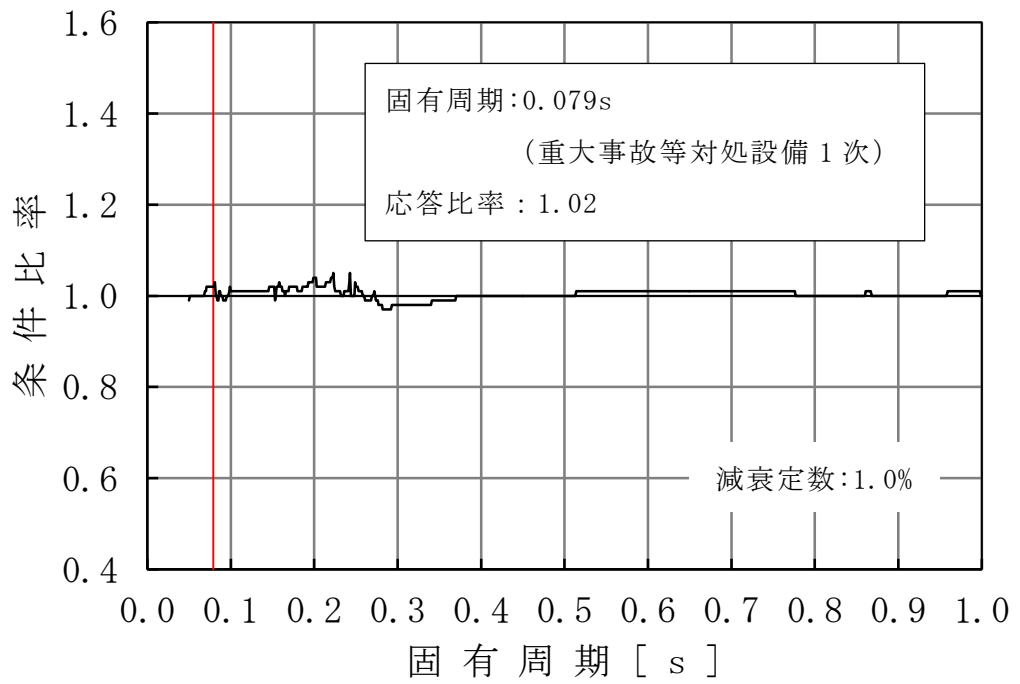


図 3-2-12 下部ドライウェル所員用エアロックの応答比率
 (基準地震動 S_s , 水平方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. 4.8m)

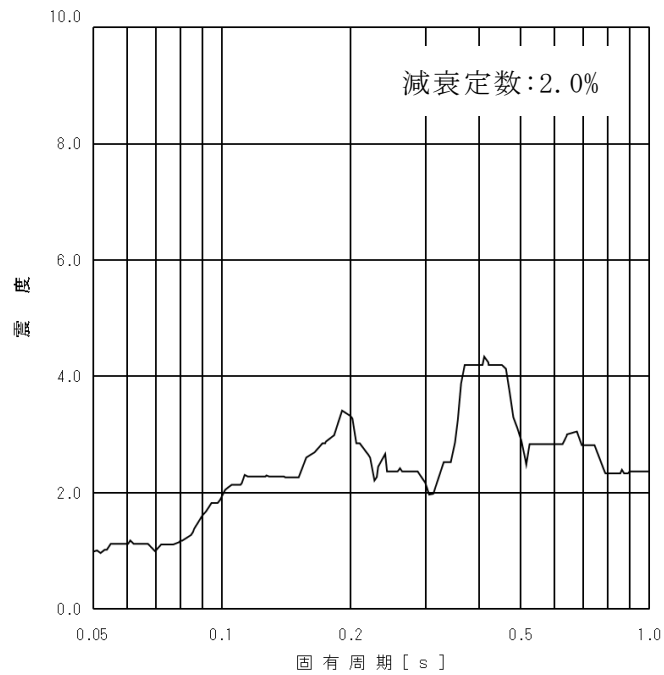


図 3-2-13 (1/2) 高圧炉心注水系配管 (HPCF-R-3) の評価用床応答曲線
 (基準地震動 S s , 水平方向 : 原子炉建屋 T.M.S.L. -1.7m)

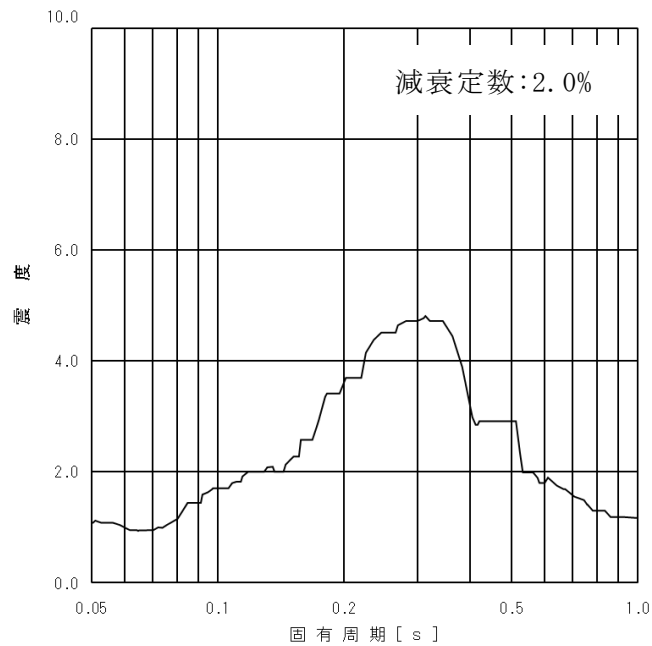


図 3-2-13 (2/2) 高圧炉心注水系配管 (HPCF-R-3) の評価用床応答曲線
 (基準地震動 S s , 鉛直方向 : 原子炉建屋 T.M.S.L. -1.7m)

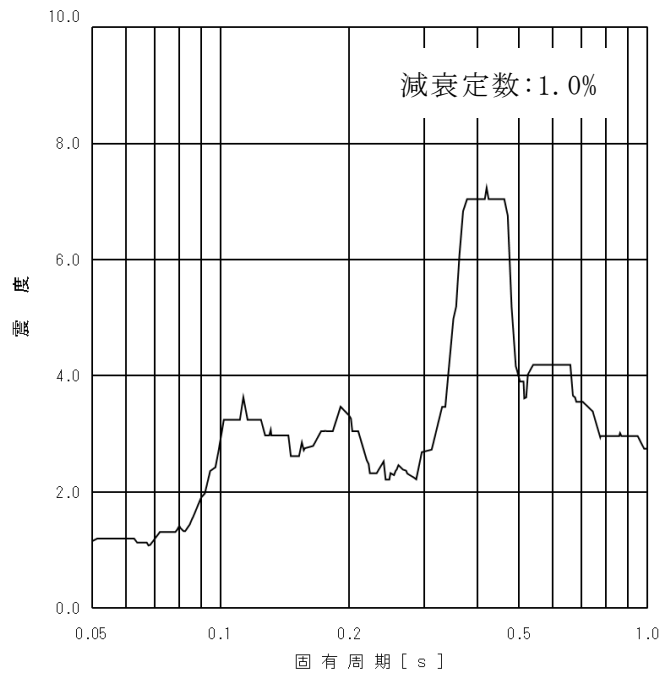
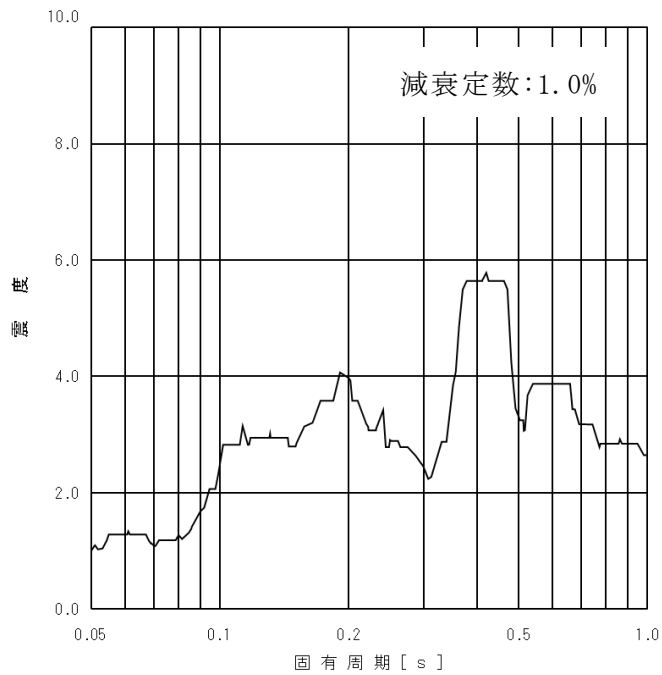


図 3-2-14 (1/4) 下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板
 (所員用エアロック付) の評価用床応答曲線
 (基準地震動 S_s , 水平方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. 4.8m)



2-2-14 (2/4) 下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板
 (所員用エアロック付) の評価用床応答曲線
 (基準地震動 S_s , 水平方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. -1.7m)

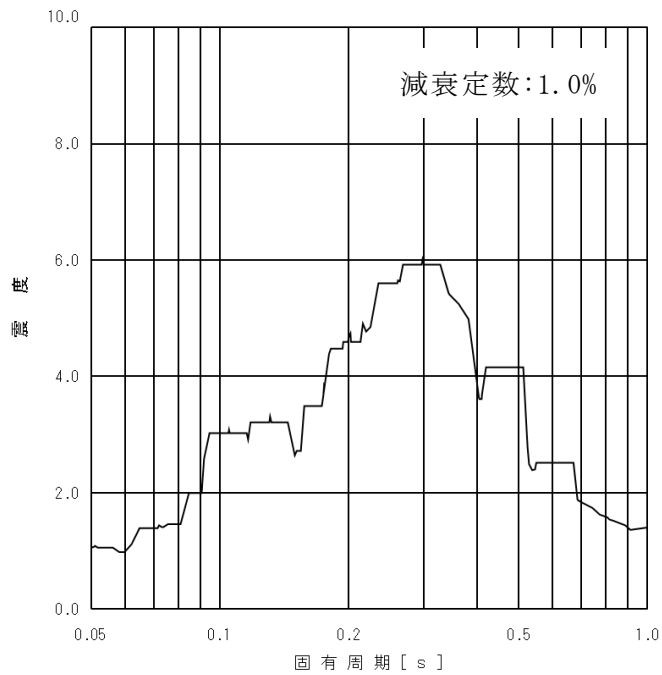


図 3-2-14 (3/4) 下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板
 (所員用エアロック付) の評価用床応答曲線
 (基準地震動 S_s , 鉛直方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. 4.8m)

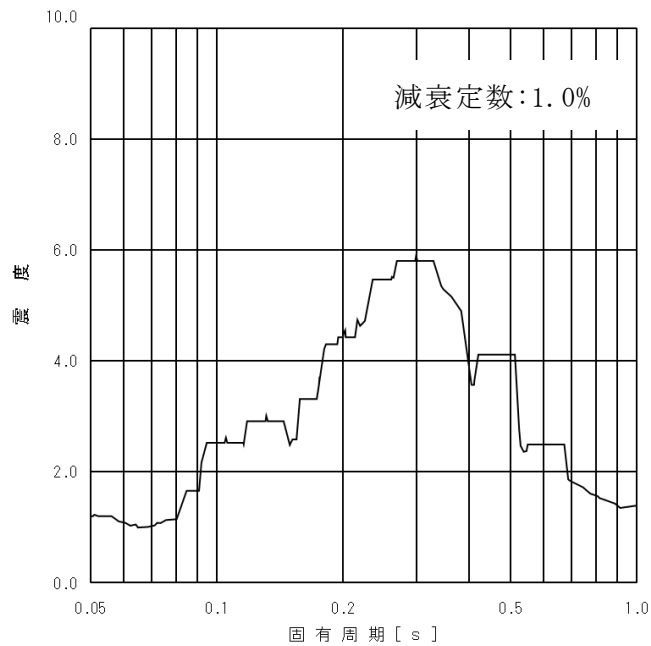


図 3-2-14 (3/4) 下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板
 (所員用エアロック付) の評価用床応答曲線
 (基準地震動 S_s , 鉛直方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. -1.7m)

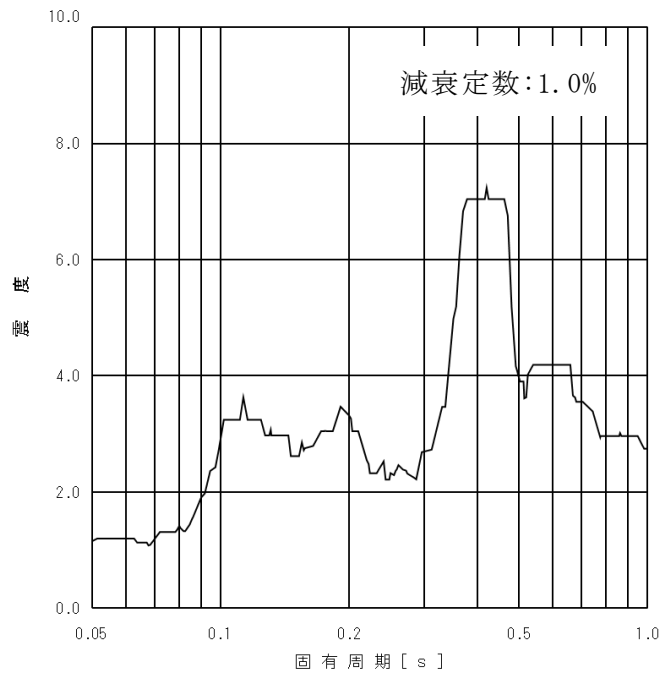


図 3-2-15 (1/4) 下部ドライウェル所員用エアロックの評価用床応答曲線
 (基準地震動 S_s , 水平方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. 4.8m)

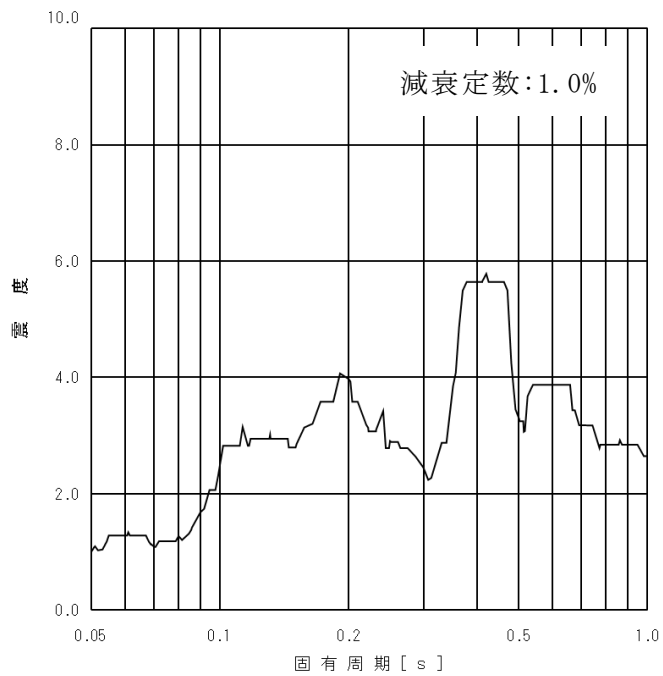


図 3-2-15 (2/4) 下部ドライウェル所員用エアロックの評価用床応答曲線
 (基準地震動 S_s , 水平方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. -1.7m)

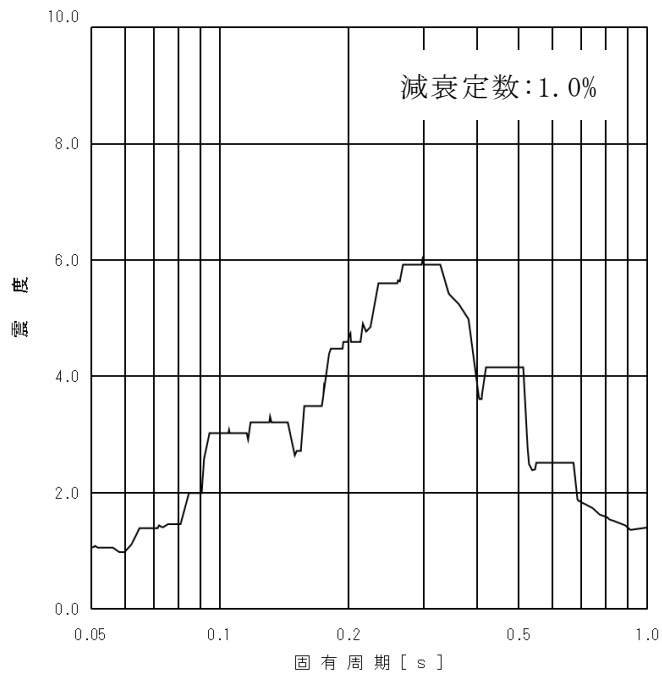


図 3-2-15 (3/4) 下部ドライウェル所員用エアロックの評価用床応答曲線
 (基準地震動 S_s , 鉛直方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. 4.8m)

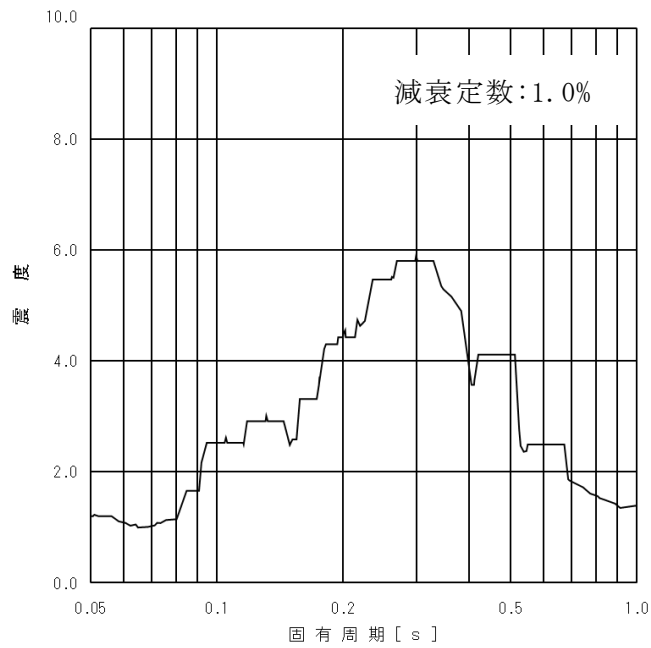


図 3-2-15 (4/4) 下部ドライウェル所員用エアロックの評価用床応答曲線
 (基準地震動 S_s , 鉛直方向: 原子炉建屋 T.M.S.L. -1.7m)

4. 検討結果

有意な重量増加と判断した原子炉建屋について、材料物性の不確かさを考慮した設計用地震力に応答比率を考慮した場合においても、原子炉建屋及び建屋内に設置される機器・配管系の耐震性が確保されることを確認した。

別紙 7 - 1 建物・構築物の加速度応答スペクトルによる評価

目 次

1. 概要	別紙 7-1-1
2. 検討結果	別紙 7-1-2
2.1 主排気筒	別紙 7-1-2
2.2 屋根トラス（原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設））	別紙 7-1-4
2.3 燃料取替床ブローアウトパネル	別紙 7-1-6
2.4 主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル	別紙 7-1-8

1. 概要

原子炉建屋の設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した応答増幅の影響について、以下の資料に基づき、加速度応答スペクトルを用いた検討結果について示す。

- ・ V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析」（以下「地震応答計算書の別紙」という。）
- ・ 別紙7「原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討」（以下「別紙7」という。）

評価対象は、別紙7に示した各施設のうち、以下の施設とする。

- ・ 主排気筒
- ・ 原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）のうち屋根トラス
- ・ 燃料取替床ブローアウトパネル
- ・ 主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル

本検討では、地震応答計算書の別紙における各モデルの加速度応答スペクトルに基づく割増係数を設定し、各施設の応力評価結果に対し割増係数を乗じた結果が許容値を超えないことを確認する。加速度応答スペクトルは、別紙7における評価レベルと同一レベルのものを扱い、割増係数は各施設の主要周期における①今回工認モデルに対する②補強反映モデルの応答比率（②／①）の包絡値を設定する。なお、応答比率が1.00を下回る場合は1.00とする。

2. 検討結果

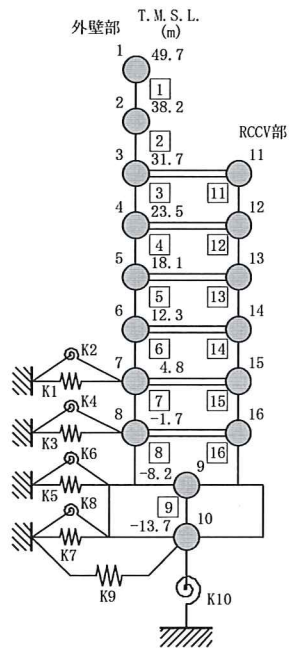
2.1 主排気筒

表 2-1 に応答比率及び割増係数を示す。

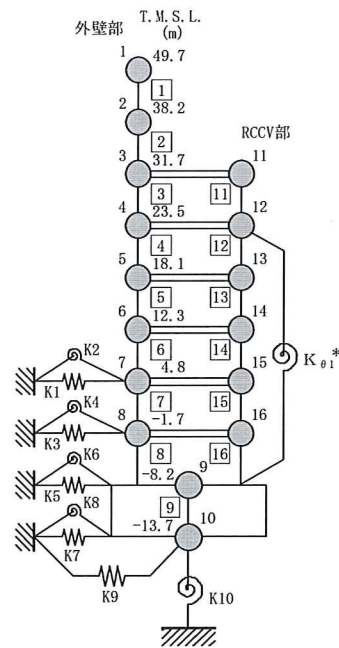
応力評価結果について、主排気筒に乗じる割増係数は 1.00 であり、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 2-1 重量増加を考慮した割増係数 (主排気筒, T.M.S.L. 38.2m (質点番号 2))

方向	NS 方向	EW 方向
周期	鉄塔部 NS 方向 1 次 0.271s	鉄塔部 EW 方向 1 次 0.269s
スペクトル図	<p>①今回工認モデル : 57.5 m/s² ②補強反映モデル : 56.3 m/s²</p>	<p>①今回工認モデル : 58.6 m/s² ②補強反映モデル : 57.7 m/s²</p>
応答比率 ②/①	1.00	1.00
割増係数	1.00	



NS方向



EW方向

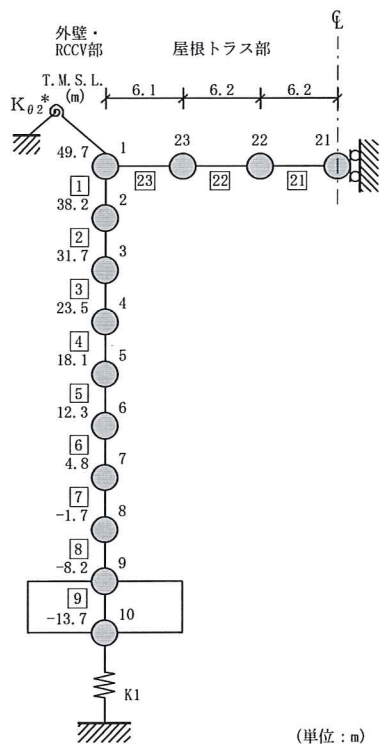
2.2 屋根トラス（原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設））

表 2-2 に応答比率及び割増係数を示す。

応力評価結果について、屋根トラスに乗じる割増係数は 1.00 であり、重量増加を考慮した場合においても、耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 2-2 重量増加を考慮した割増係数 (屋根トラス, T. M. S. L. 31.7m (質点番号 3))

方向	鉛直方向
周期	鉛直方向 1 次 0.193s
スペクトル図	<p>①今回工認モデル : 31.2 m/s² ②補強反映モデル : 31.1 m/s²</p>
応答比率 ②/①	1.00
割増係数	1.00



鉛直方向

2.3 燃料取替床ブローアウトパネル

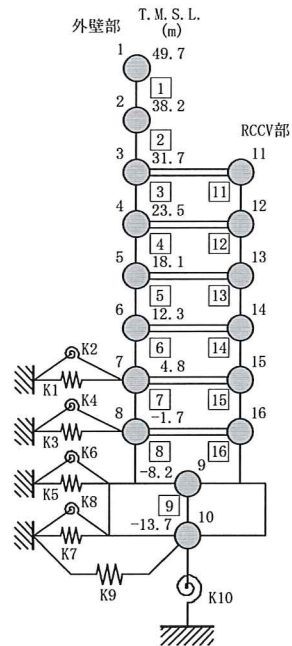
表 2-3 に応答比率及び割増係数を示す。

S d 閉機能維持評価について、燃料取替床ブローアウトパネルの S d 地震荷重に乗じる割増係数は 1.00 であり、重量増加を考慮した場合においても、機能維持評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 2-3 重量増加を考慮した割増係数（燃料取替床ブローアウトパネル）

（S d 閉機能維持，T.M.S.L. 49.7m（質点番号 1））

方向	NS 方向
周期	NS 方向 1 次 <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 15px; display: inline-block;"></div> s
スペクトル図	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 150px; margin-bottom: 10px;"></div> <p>①今回工認モデル：23.4 m/s² ②補強反映モデル：22.4 m/s²</p>
応答比率 ②/①	1.00
割増係数	1.00



NS方向

2.4 主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル

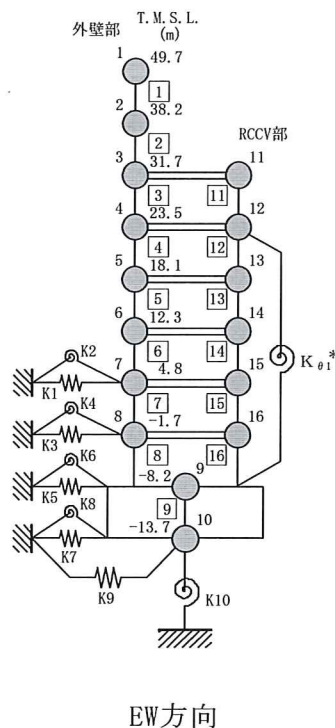
表 2-4 に応答比率及び割増係数を示す。

S d 閉機能維持評価について、主蒸気系トンネル室ブローアウトパネルの S d 地震荷重に乗じる割増係数は 1.00 であり、重量増加を考慮した場合においても、機能維持評価に及ぼす影響がないことを確認した。

表 2-4 重量増加を考慮した割増係数 (主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル)

(S d 閉機能維持, T. M. S. L. 23.5m (質点番号 4))

方向	EW 方向
周期	EW 方向 1 次 <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 15px; display: inline-block;"></div> s
スペクトル図	<div style="border: 2px solid black; width: 300px; height: 150px; margin: 0 auto;"></div> <p>①今回工認モデル : 10.5 m/s² ②補強反映モデル : 10.5 m/s²</p>
応答比率 ②/①	1.00
割増係数	1.00



別紙 7 - 2 建屋 - 機器連成地震応答解析結果に与える影響

目 次

1. 概要	別紙 7-1
2. 検討方針	別紙 7-2
3. 検討条件	別紙 7-3
3.1 補強等に伴う増加質量	別紙 7-3
3.2 解析モデル	別紙 7-10
4. 解析結果	別紙 7-16

1. 概要

本資料は、建屋－機器連成地震応答解析モデルにおいて、補強等の改造工事に伴う質量の増加分を考慮した地震応答解析を実施し、「建屋－機器連成地震応答解析結果」に与える影響について確認するものである。

2. 検討方針

V-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」及びV-2-3-1「炉心，原子炉压力容器及び压力容器内部構造物の地震応答計算書」に示す今回工認評価に用いている質点系モデル（以下，「今回工認モデル」という。）では，原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料の別紙 1-1「原子炉建屋の地震応答解析モデルの変更点について」の2.5項に示す通り，既工認*の質点系モデルから屋根トラスの補強等，応答性状に影響を与える質量の変更を考慮している。

本検討では，上述した補強等の質量変更に加え，平成18年耐震設計審査指針改定及び平成25年新規制基準施行に伴う安全対策工事等による質量の増加分を考慮したモデル（以下，「補強反映モデル」という。）と今回工認モデルの応答値を比較することにより，質量変更による建屋－機器連成地震応答解析モデルの応答への影響を確認する。

なお，影響検討は別紙8「原子炉建屋改造工事に伴う評価結果の影響について」と同様に基準地震動 Ss-1 に対して実施することとする。

注記*：柏崎刈羽原子力発電所7号機

『既工事計画認可申請書 添付資料IV-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」
(3資庁第6675号平成3年8月23日認可)』

『既工事計画認可申請書 添付資料IV-2-2-1「炉心，原子炉压力容器及び压力容器内部構造物の地震応答計算書」(4資庁第14562号平成5年6月17日認可)』

3. 検討条件

3.1 補強等に伴う増加質量

補強等に伴う増加質量の総質量は約 2,780t であり，そのうち建物・構築物の増加質量は約 350t，機器・配管系の増加質量は約 2,430t である。なお，地震応答解析モデルの諸元の変更箇所は原子炉建屋と原子炉格納容器の質点質量及び回転慣性質量並びに原子炉遮蔽壁と原子炉本体基礎の質点質量のみである。

補強等に伴う増加質量と補強後の変更となる補強反映モデルの振動諸元を表 3-1～表 3-3 に示す。

表 3-1 (1/2) 原子炉建屋及び原子炉格納容器の振動諸元 (NS 方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	今回工認モデル		増加 質量 (t)	補強反映モデル	
		質量 (t)	回転慣性 質量 ($\times 10^4 \text{t} \cdot \text{m}^2$)		質量 (t)	回転慣性 質量 ($\times 10^4 \text{t} \cdot \text{m}^2$)
1	49.700		72	64		73
2	38.200		419	208		430
3	31.700		483	189		494
4	23.500		299	131		303
5	18.100		202	112		206
6	12.300		295	196		302
7	4.800		302	139		307
8	-1.700		304	90		307
9	-8.200		964	145		968
10	-13.700		593	0		593
11	31.700		33	237		34
12	23.500		379	298		386
13	18.100		311	206		318
14	12.300		417	339		424
15	4.800		395	242		403
16	-1.700		377	157		381
17	-8.200		—	—		—

表 3-1 (2/2) 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎の振動諸元 (NS 方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	今回工認モデル	増加 質量 (t)	補強反映モデル
		質量 (t)		質量 (t)
18	21.200		0	
19	18.440		17	
20	17.020		0	
21	15.600		0	
22	13.950		0	
23	12.300		6	
24	8.200		0	
25	7.000		0	
26	4.500		5	
27	3.500		0	
28	1.700		0	
29	-2.100		1	
30	-4.700		0	
31	-8.200		—	

表 3-2 (1/2) 原子炉建屋及び原子炉格納容器の振動諸元 (EW 方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	今回工認モデル		増加 質量 (t)	補強反映モデル	
		質量 (t)	回転慣性 質量 ($\times 10^4 t \cdot m^2$)		質量 (t)	回転慣性 質量 ($\times 10^4 t \cdot m^2$)
1	49.700		150	64		152
2	38.200		306	208		314
3	31.700		305	308		315
4	23.500		281	175		288
5	18.100		215	111		220
6	12.300		327	190		335
7	4.800		323	134		329
8	-1.700		331	87		335
9	-8.200		1060	145		1064
10	-13.700		657	0		657
11	31.700		273	118		277
12	23.500		484	254		491
13	18.100		347	207		354
14	12.300		462	345		470
15	4.800		441	248		450
16	-1.700		418	160		423
17	-8.200		—	—		—

表 3-2 (2/2) 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎の振動諸元 (EW 方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	今回工認モデル	増加 質量 (t)	補強反映モデル
		質量 (t)		質量 (t)
18	21.200		0	
19	18.440		17	
20	17.020		0	
21	15.600		0	
22	13.950		0	
23	12.300		6	
24	8.200		0	
25	7.000		0	
26	4.500		5	
27	3.500		0	
28	1.700		0	
29	-2.100		1	
30	-4.700		0	
31	-8.200		—	

表 3-3 (1/2) 原子炉建屋の振動諸元 (鉛直方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	今回工認モデル	増加 質量 (t)	補強反映モデル
		質量 (t)		質量 (t)
90	49.700		65	
91	38.200		208	
92	31.700		426	
93	23.500		429	
94	18.100		319	
95	12.300		535	
96	4.800		381	
97	-1.700		247	
98	-8.200		85	
99	-13.700		0	
90	49.700		65	
100	49.700		0	
101	49.700		0	
102	49.700	0		

表 3-3 (2/2) 原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎の振動諸元 (鉛直方向)

質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	今回工認モデル	増加 質量 (t)	補強反映モデル
		質量 (t)		質量 (t)
76	21.200		0	
77	18.440		17	
78	17.020		0	
79	15.600		0	
80	13.950		0	
81	12.300		6	
82	8.200		0	
83	7.000		0	
84	4.500		5	
85	3.500		0	
86	1.700		0	
87	-2.100		1	
88	-4.700		34	
89	-8.200		—	

3.2 解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルを図 3-1 及び図 3-2 に、鉛直方向の地震応答解析モデルを図 3-3 に示す。地盤ばね定数は別紙 8「原子炉建屋改造工事に伴う評価結果の影響について」に記載の値を使用する。

また、重量増分に伴うせん断及び曲げスケルトンへの影響は軽微であるため「今回工認モデル」の諸元を用いる。

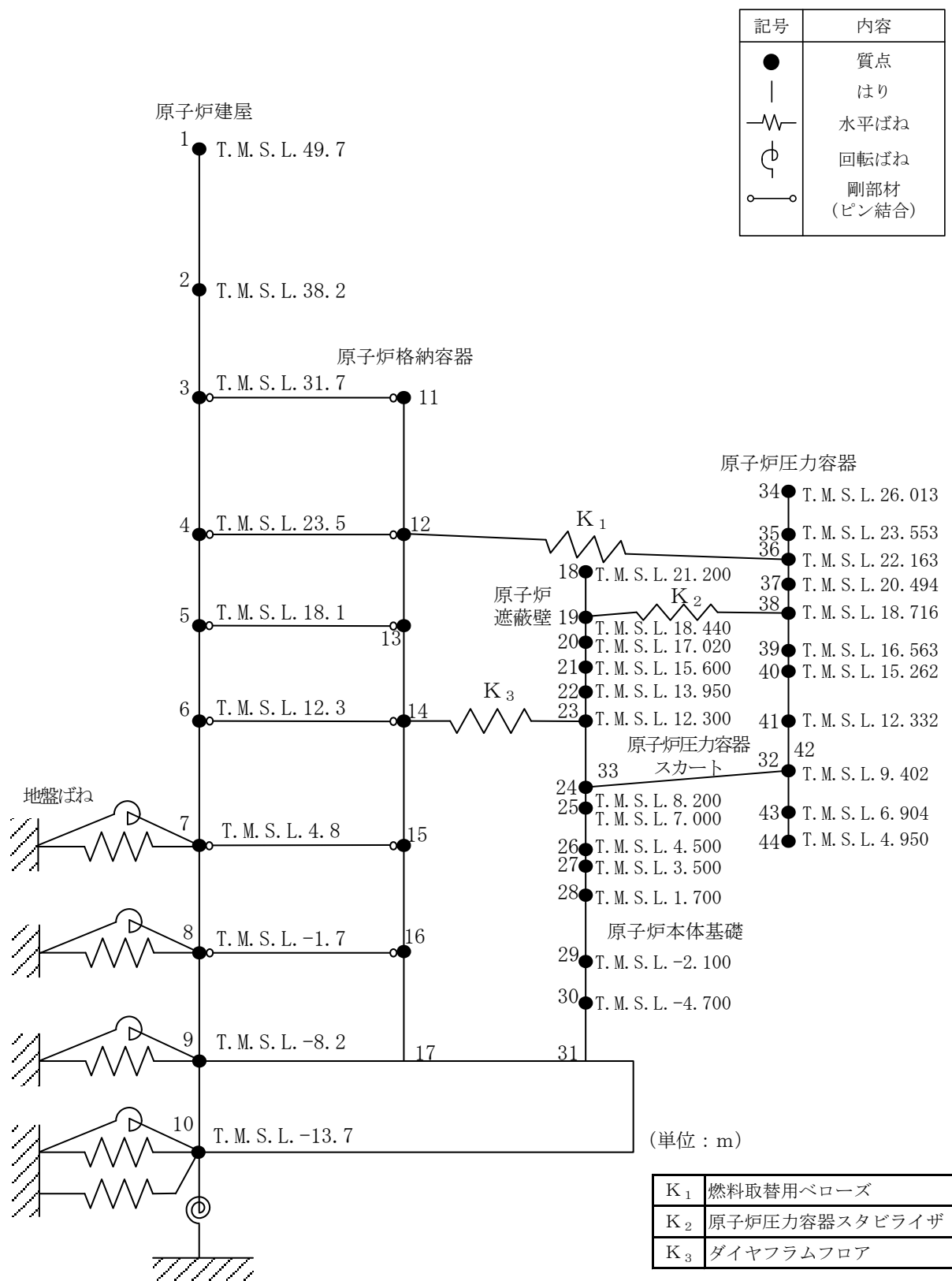


図 3-1 (1/2) 大型機器系地震応答解析モデル (NS 方向)

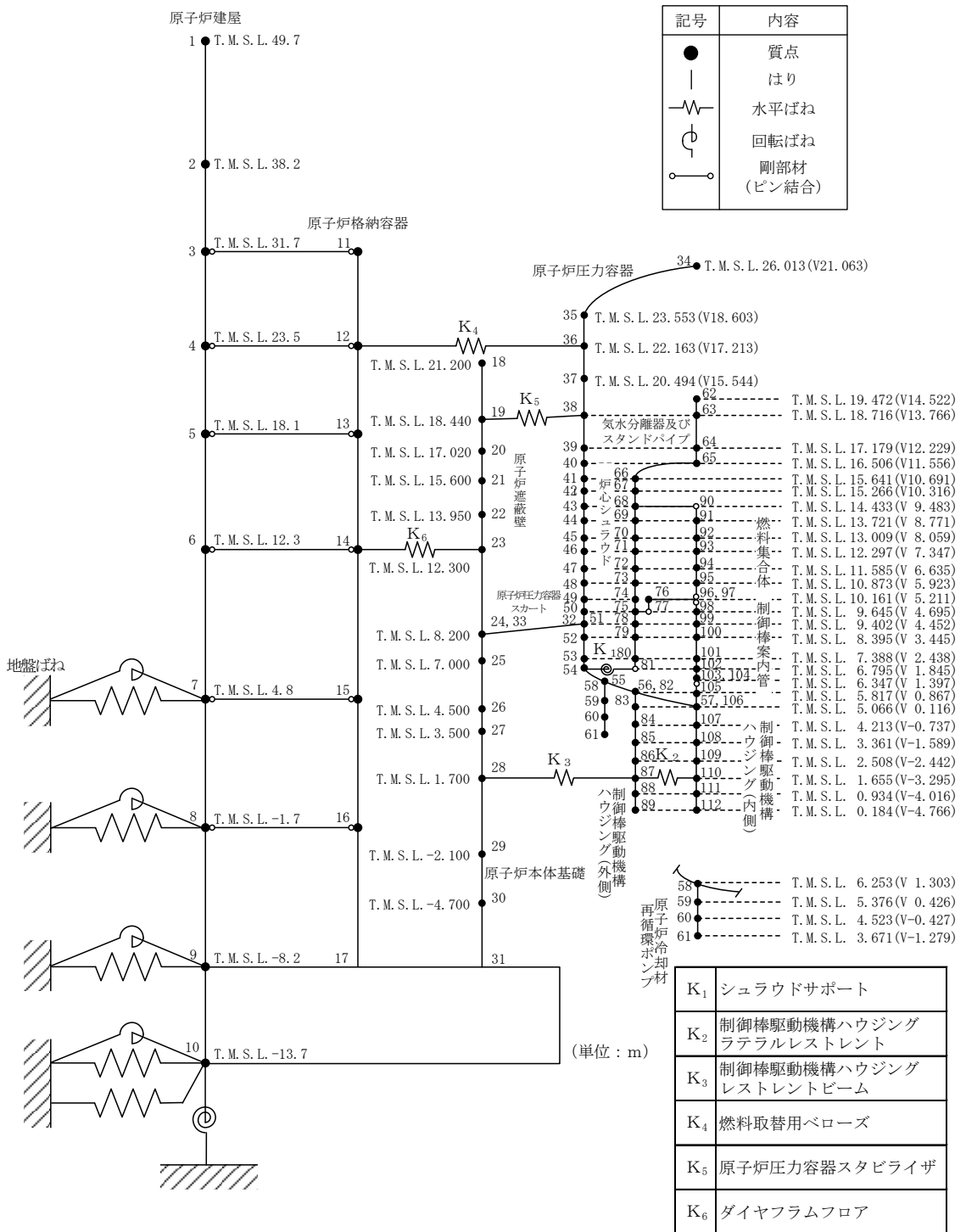




図 3-1 (2/2) 炉内構造物系地震応答解析モデル (NS 方向)

記号	内容
●	質点
	はり
—  —	水平ばね
	回転ばね
○—	剛部材 (ピン結合)

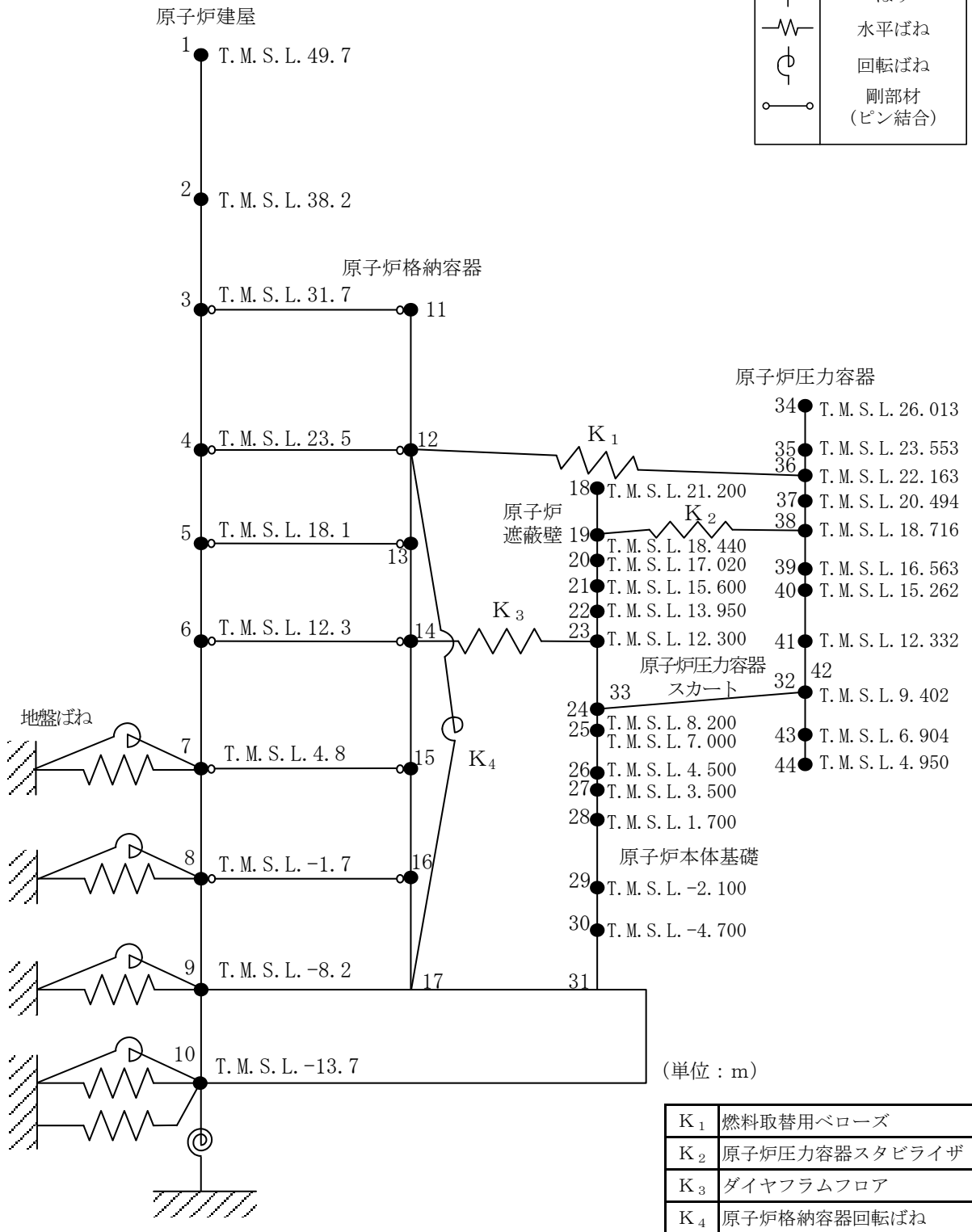


図 3-2 (1/2) 大型機器系地震応答解析モデル (EW 方向)

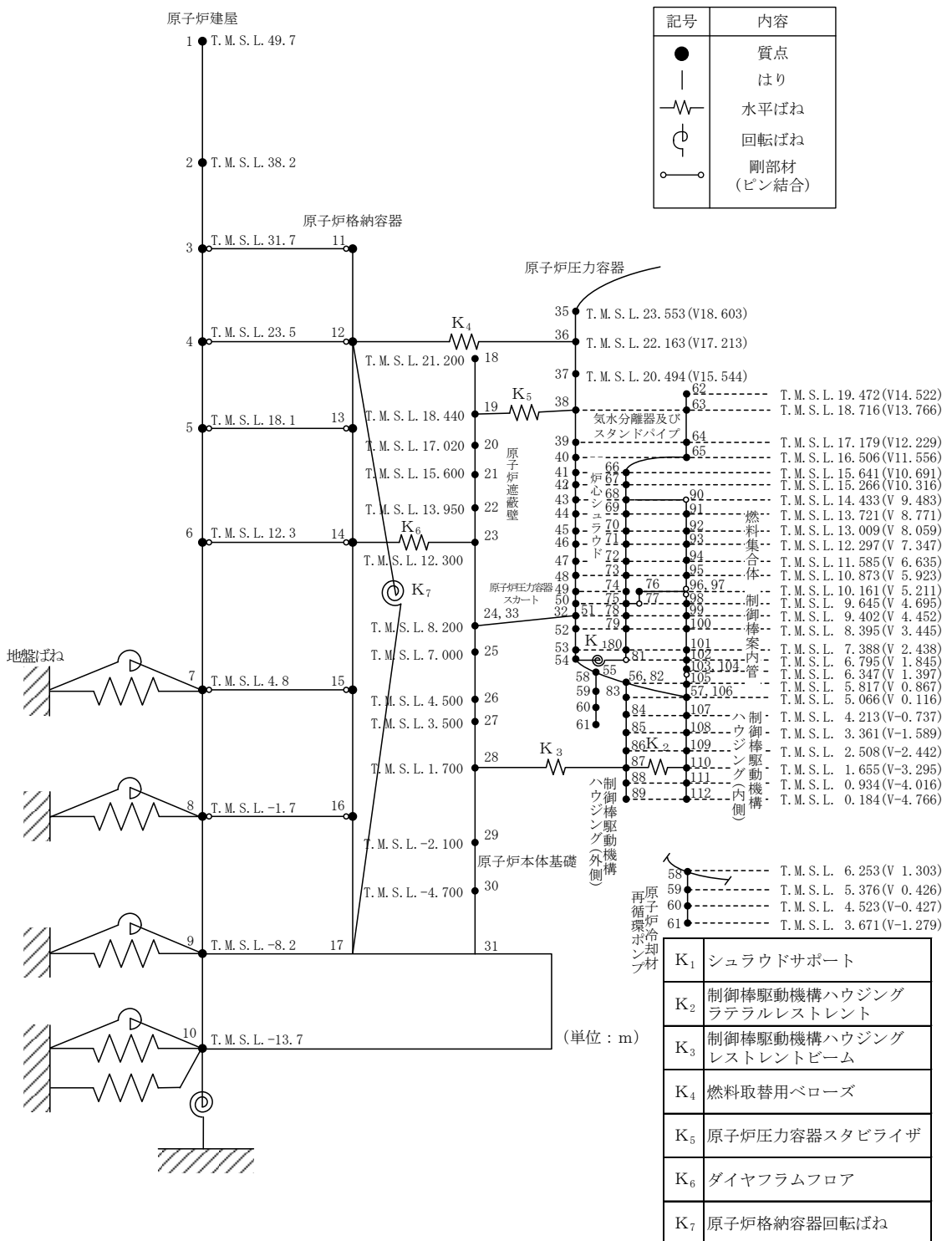


図 3-2 (2/2) 炉内構造物系地震応答解析モデル (EW 方向)

4. 解析結果

基準地震動 Ss-1 による最大応答値を表 4-1～表 4-7 に、床応答スペクトルを表 4-8 に示す。

「補強反映モデル」の最大応答値は、「今回工認モデル」の結果と概ね整合することを確認した。

表 4-1 (1/4) 最大応答加速度 (水平方向)

構造物名	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.0$						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
原子炉遮蔽壁	18	21.200	1.10	1.26	1.26	1.17	1.26	1.26	1.00
	19	18.440	1.00	1.13	1.13	1.07	1.12	1.12	1.00
	20	17.020	0.95	1.04	1.04	1.00	1.04	1.04	1.00
	21	15.600	0.89	0.95	0.95	0.91	0.95	0.95	1.00
	22	13.950	0.82	0.84	0.84	0.81	0.84	0.84	1.00
原子炉本体基礎	23	12.300	0.77	0.80	0.80	0.76	0.79	0.79	0.99
	24	8.200	0.74	0.73	0.74	0.73	0.73	0.73	0.99
	25	7.000	0.73	0.73	0.73	0.71	0.71	0.71	0.98
	26	4.500	0.70	0.70	0.70	0.69	0.70	0.70	1.00
	27	3.500	0.68	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68	0.99
	28	1.700	0.66	0.66	0.66	0.66	0.65	0.66	1.00
	29	-2.100	0.67	0.64	0.67	0.67	0.64	0.67	1.00
	30	-4.700	0.64	0.61	0.64	0.63	0.61	0.63	0.99
原子炉压力容器	9	-8.200	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	1.00
	34	26.013	1.42	1.56	1.56	1.39	1.53	1.53	0.98
	35	23.553	1.27	1.41	1.41	1.27	1.38	1.38	0.98
	36	22.163	1.20	1.33	1.33	1.21	1.31	1.31	0.99
	37	20.494	1.12	1.26	1.26	1.14	1.23	1.23	0.98
	38	18.716	1.04	1.16	1.16	1.06	1.14	1.14	0.99
	39	16.563	0.97	1.04	1.04	0.95	1.02	1.02	0.98
	40	15.262	0.91	0.97	0.97	0.89	0.95	0.95	0.98
	41	12.332	0.78	0.83	0.83	0.77	0.83	0.83	1.00
	42	9.402	0.74	0.76	0.76	0.74	0.76	0.76	1.00
	43	6.904	0.72	0.77	0.77	0.71	0.77	0.77	1.00
44	4.950	0.70	0.75	0.75	0.70	0.75	0.75	1.00	

表 4-1 (2/4) 最大応答加速度 (水平方向)

構造物名	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.0$						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
気水分離器, スタンドパイプ 及び 炉心シュラウド	62	19.472	2.15	2.04	2.15	2.17	2.03	2.17	1.01
	63	18.716	1.55	1.50	1.55	1.54	1.49	1.54	1.00
	64	17.179	1.10	1.08	1.10	1.10	1.07	1.10	1.00
	65	16.506	1.03	1.01	1.03	1.01	1.00	1.01	0.98
	66	15.641	0.98	0.97	0.98	0.96	0.96	0.96	0.98
	67	15.266	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.99
	68	14.433	0.89	0.92	0.92	0.88	0.90	0.90	0.98
	69	13.721	0.85	0.90	0.90	0.84	0.89	0.89	0.99
	70	13.009	0.82	0.87	0.87	0.81	0.87	0.87	1.00
	71	12.297	0.81	0.84	0.84	0.79	0.84	0.84	1.00
	72	11.585	0.81	0.83	0.83	0.79	0.83	0.83	1.00
	73	10.873	0.81	0.82	0.82	0.79	0.82	0.82	1.00
	74	10.161	0.79	0.80	0.80	0.78	0.80	0.80	1.00
	75	9.645	0.78	0.79	0.79	0.77	0.78	0.78	0.99
	76	10.161	0.79	0.79	0.79	0.77	0.79	0.79	1.00
78	9.402	0.77	0.78	0.78	0.76	0.77	0.77	0.99	
79	8.395	0.74	0.78	0.78	0.73	0.77	0.77	0.99	
80	7.388	0.73	0.77	0.77	0.71	0.76	0.76	0.99	
81	6.795	0.72	0.76	0.76	0.70	0.75	0.75	0.99	
原子炉冷却材 再循環ポンプ	58	6.253	0.72	0.76	0.76	0.70	0.75	0.75	0.99
原子炉圧力容器	56	5.817	0.71	0.76	0.76	0.71	0.75	0.75	0.99
	57	5.066	0.71	0.75	0.75	0.70	0.75	0.75	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング (内側)	110	1.655	0.89	0.89	0.89	0.86	0.88	0.88	0.99
	111	0.934	1.08	1.03	1.08	1.06	1.01	1.06	0.99
	112	0.184	1.60	1.19	1.60	1.62	1.23	1.62	1.02
制御棒駆動機構 ハウジング (外側)	87	1.655	0.89	0.89	0.89	0.86	0.88	0.88	0.99
	88	0.934	1.15	1.05	1.15	1.13	1.07	1.13	0.99
	89	0.184	1.56	1.36	1.56	1.53	1.36	1.53	0.98
燃料集合体	90	14.433	0.89	0.92	0.92	0.88	0.90	0.90	0.98
	91	13.721	0.99	1.03	1.03	0.97	1.03	1.03	1.00
	92	13.009	1.12	1.23	1.23	1.12	1.22	1.22	1.00
	93	12.297	1.29	1.34	1.34	1.30	1.34	1.34	1.00
	94	11.585	1.11	1.17	1.17	1.12	1.17	1.17	1.00
	95	10.873	0.94	0.91	0.94	0.94	0.91	0.94	1.00
96	10.161	0.79	0.79	0.79	0.77	0.79	0.79	1.00	

表 4-1 (3/4) 最大応答加速度 (水平方向)

構造物名	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.2$						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
原子炉遮蔽壁	18	21.200	1.32	1.51	1.51	1.40	1.51	1.51	1.00
	19	18.440	1.20	1.35	1.35	1.28	1.34	1.34	1.00
	20	17.020	1.14	1.25	1.25	1.20	1.24	1.24	1.00
	21	15.600	1.07	1.14	1.14	1.10	1.14	1.14	1.00
	22	13.950	0.99	1.01	1.01	0.97	1.01	1.01	1.00
原子炉本体基礎	23	12.300	0.93	0.95	0.95	0.91	0.95	0.95	1.00
	24	8.200	0.89	0.88	0.89	0.87	0.87	0.87	0.98
	25	7.000	0.87	0.87	0.87	0.86	0.85	0.86	0.99
	26	4.500	0.84	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83	0.99
	27	3.500	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.99
	28	1.700	0.79	0.79	0.79	0.79	0.78	0.79	1.00
	29	-2.100	0.80	0.77	0.80	0.80	0.76	0.80	1.00
	30	-4.700	0.77	0.73	0.77	0.75	0.73	0.75	0.98
原子炉压力容器	9	-8.200	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	1.00
	34	26.013	1.70	1.87	1.87	1.67	1.84	1.84	0.99
	35	23.553	1.53	1.69	1.69	1.52	1.66	1.66	0.99
	36	22.163	1.44	1.60	1.60	1.45	1.57	1.57	0.99
	37	20.494	1.34	1.51	1.51	1.37	1.48	1.48	0.98
	38	18.716	1.25	1.40	1.40	1.27	1.37	1.37	0.98
	39	16.563	1.16	1.25	1.25	1.14	1.23	1.23	0.99
	40	15.262	1.09	1.16	1.16	1.07	1.14	1.14	0.99
	41	12.332	0.93	1.00	1.00	0.92	0.99	0.99	0.99
	42	9.402	0.88	0.91	0.91	0.89	0.91	0.91	1.00
	43	6.904	0.87	0.92	0.92	0.85	0.92	0.92	1.00
44	4.950	0.84	0.90	0.90	0.84	0.90	0.90	1.00	

表 4-1 (4/4) 最大応答加速度 (水平方向)

構造物名	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.2$						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
気水分離器, スタンドパイプ 及び 炉心シュラウド	62	19.472	2.57	2.45	2.57	2.60	2.44	2.60	1.02
	63	18.716	1.87	1.80	1.87	1.85	1.78	1.85	0.99
	64	17.179	1.32	1.30	1.32	1.31	1.29	1.31	1.00
	65	16.506	1.23	1.21	1.23	1.21	1.20	1.21	0.99
	66	15.641	1.17	1.16	1.17	1.16	1.15	1.16	1.00
	67	15.266	1.14	1.14	1.14	1.12	1.13	1.13	1.00
	68	14.433	1.07	1.11	1.11	1.05	1.08	1.08	0.98
	69	13.721	1.02	1.08	1.08	1.01	1.06	1.06	0.99
	70	13.009	0.98	1.04	1.04	0.97	1.04	1.04	1.00
	71	12.297	0.97	1.01	1.01	0.94	1.00	1.00	0.99
	72	11.585	0.97	0.99	0.99	0.95	0.99	0.99	1.00
	73	10.873	0.97	0.99	0.99	0.95	0.98	0.98	0.99
	74	10.161	0.95	0.96	0.96	0.93	0.96	0.96	1.00
	75	9.645	0.93	0.94	0.94	0.92	0.94	0.94	1.00
	76	10.161	0.94	0.95	0.95	0.93	0.94	0.94	0.99
78	9.402	0.92	0.94	0.94	0.91	0.93	0.93	0.99	
79	8.395	0.89	0.93	0.93	0.88	0.92	0.92	0.99	
80	7.388	0.87	0.92	0.92	0.85	0.91	0.91	0.99	
81	6.795	0.86	0.91	0.91	0.84	0.90	0.90	0.99	
原子炉冷却材 再循環ポンプ	58	6.253	0.86	0.91	0.91	0.84	0.90	0.90	0.99
原子炉圧力容器	56	5.817	0.85	0.91	0.91	0.85	0.90	0.90	0.99
	57	5.066	0.86	0.90	0.90	0.84	0.90	0.90	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング (内側)	110	1.655	1.07	1.07	1.07	1.03	1.05	1.05	0.99
	111	0.934	1.30	1.24	1.30	1.27	1.21	1.27	0.98
	112	0.184	1.92	1.43	1.92	1.95	1.47	1.95	1.02
制御棒駆動機構 ハウジング (外側)	87	1.655	1.06	1.07	1.07	1.03	1.05	1.05	0.99
	88	0.934	1.38	1.26	1.38	1.36	1.28	1.36	0.99
	89	0.184	1.87	1.63	1.87	1.84	1.63	1.84	0.99
燃料集合体	90	14.433	1.07	1.11	1.11	1.05	1.08	1.08	0.98
	91	13.721	1.18	1.24	1.24	1.17	1.23	1.23	1.00
	92	13.009	1.34	1.48	1.48	1.34	1.46	1.46	0.99
	93	12.297	1.54	1.60	1.60	1.56	1.61	1.61	1.01
	94	11.585	1.34	1.40	1.40	1.35	1.40	1.40	1.00
	95	10.873	1.13	1.10	1.13	1.13	1.09	1.13	1.00
96	10.161	0.94	0.95	0.95	0.93	0.94	0.94	0.99	

表 4-2 (1/3) せん断力

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	せん断力 (kN)						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
原子炉压力容器	34	26.013	317	356	356	309	349	349	0.98
	35	23.553	1340	1510	1510	1330	1480	1480	0.98
	36	22.163	2570	2320	2570	2610	2270	2610	1.02
	37	20.494	4370	4370	4370	4440	4270	4440	1.02
	38	18.716	3290	3390	3390	3550	3410	3550	1.05
	39	16.563	4880	5170	5170	5120	5130	5130	1.00
	40	15.262	6350	6770	6770	6560	6700	6700	0.99
	41	12.332	9110	9740	9740	9370	9630	9630	0.99
	42	9.402	3680	3980	3980	3640	3990	3990	1.01
	43	6.904	1710	1830	1830	1690	1830	1830	1.00
	44	4.950							
原子炉压力容器 スカート	32	9.402	14000	14700	14700	14100	14500	14500	0.99
	33	8.200							
原子炉遮蔽壁	18	21.200	802	883	883	805	880	880	1.00
	19	18.440	6040	6640	6640	6270	6680	6680	1.01
	20	17.020	6870	7540	7540	7110	7580	7580	1.01
	21	15.600	10100	11100	11100	10400	11100	11100	1.00
	22	13.950	10900	12000	12000	11200	12000	12000	1.00
	23	12.300	17400	13400	17400	17500	13700	17500	1.01
原子炉本体基礎	24	8.200	29300	23700	29300	30300	24400	30300	1.04
	25	7.000	31500	26200	31500	32500	26800	32500	1.04
	26	4.500	33500	28000	33500	34200	28600	34200	1.02
	27	3.500	34800	29100	34800	35400	29800	35400	1.02
	28	1.700	37700	31600	37700	38300	32300	38300	1.02
	29	-2.100	40100	33900	40100	40700	34600	40700	1.02
	30	-4.700	42000	36100	42000	42600	36700	42600	1.02
	31	-8.200							

表 4-2 (2/3) せん断力

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	せん断力 (kN)						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
燃料集合体	90	14.433	1580	1590	1590	1600	1610	1610	1.02
	91	13.721	1030	1040	1040	1050	1050	1050	1.01
	92	13.009	350	359	359	358	359	359	1.00
	93	12.297	386	385	386	394	391	394	1.02
	94	11.585	1030	1040	1040	1060	1060	1060	1.02
	95	10.873	1520	1540	1540	1550	1560	1560	1.02
	96	10.161	236	227	236	256	230	256	1.09
制御棒案内管	97	10.161	189	176	189	203	181	203	1.08
	98	9.645	112	97.9	112	113	98.3	113	1.01
	99	9.402	62.0	65.0	65.0	71.6	69.8	71.6	1.11
	100	8.395	183	167	183	187	168	187	1.03
	101	7.388	264	237	264	262	233	262	1.00
	102	6.795	351	319	351	351	308	351	1.00
	103	6.347	453	411	453	456	399	456	1.01
制御棒駆動機構 ハウジング	104	6.347	154	121	154	145	123	145	0.95
	105	5.817	87.1	62.5	87.1	79.3	65.8	79.3	0.91
	106	5.066	47.5	38.2	47.5	46.6	38.9	46.6	0.99
制御棒駆動機構 ハウジング (内側)	107	4.213	103	109	109	102	108	108	0.99
	108	3.361	177	164	177	173	160	173	0.98
	109	2.508	35.6	27.7	35.6	34.9	27.6	34.9	0.98
	110	1.655	165	152	165	163	148	163	0.99
	111	0.934	108	89.1	108	107	87.8	107	0.99
	112	0.184	45.4	33.7	45.4	43.6	33.6	43.6	0.96
制御棒駆動機構 ハウジング (外側)	82	5.817	58.6	56.6	58.6	57.2	55.7	57.2	0.98
	83	5.066	126	130	130	123	127	127	0.98
	84	4.213	185	166	185	182	168	182	0.99
	85	3.361	35.1	29.9	35.1	34.3	30.0	34.3	0.98
	86	2.508	126	130	130	123	127	127	0.98
	87	1.655	185	166	185	182	168	182	0.99
	88	0.934	35.1	29.9	35.1	34.3	30.0	34.3	0.98
	89	0.184	165	152	165	163	148	163	0.99

表 4-2 (3/3) せん断力

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	せん断力 (kN)						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
気水分離器及び スタンドパイプ	62	19.472	224	220	224	224	219	224	1.00
	63	18.716	633	612	633	628	610	628	1.00
	64	17.179	850	822	850	852	815	852	1.01
	65	16.506	908	873	908	923	874	923	1.02
炉心シュラウド	66	15.641	1010	955	1010	1020	957	1020	1.01
	67	15.266	1220	1120	1220	1190	1120	1190	0.98
	68	14.433	3250	3100	3250	3200	3120	3200	0.99
	69	13.721	3280	3110	3280	3210	3120	3210	0.98
	70	13.009	3260	3060	3260	3170	3080	3170	0.98
	71	12.297	3220	3020	3220	3110	3030	3110	0.97
	72	11.585	3180	2980	3180	3060	2990	3060	0.97
	73	10.873	3180	2970	3180	3050	2980	3050	0.96
	74	10.161	3200	2980	3200	3070	3000	3070	0.96
	75	9.645	3200	2980	3200	3070	3000	3070	0.96
	76	10.161	1920	1960	1960	1950	1970	1970	1.01
	75(77)	9.645	5270	5090	5270	5150	5110	5150	0.98
	78	9.402	5320	5130	5320	5190	5160	5190	0.98
	79	8.395	5380	5180	5380	5230	5210	5230	0.98
	80	7.388	5400	5200	5400	5260	5230	5260	0.98
	81	6.795	5400	5200	5400	5260	5230	5260	0.98
原子炉冷却材 再循環ポンプ	58	6.253	626	645	645	620	635	635	0.99
	59	5.376	466	481	481	455	472	472	0.99
	60	4.523	373	384	384	364	376	376	0.98
	61	3.671	373	384	384	364	376	376	0.98

表 4-3 (1/3) モーメント

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	モーメント (kN・m)						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
原子炉压力容器	34	26.013	0	0	0	0	0	0	—
	35	23.553	779	876	876	761	859	859	0.98
	36	22.163	2640	2980	2980	2600	2920	2920	0.98
	37	20.494	6930	6850	6930	6950	6710	6950	1.01
	38	18.716	14700	14600	14700	14800	14300	14800	1.01
	39	16.563	21700	21800	21800	22400	21500	22400	1.03
	40	15.262	27900	28500	28500	29100	28200	29100	1.03
	41	12.332	46300	48300	48300	48300	47700	48300	1.00
	42	9.402	73000	76800	76800	75700	75900	75900	0.99
			12500	13500	13500	12400	13500	13500	1.00
43	6.904	3340	3580	3580	3300	3580	3580	1.00	
44	4.950	0	0	0	0	0	0	—	
原子炉压力容器 スカート	32	9.402	64500	67900	67900	66800	66900	66900	0.99
	33	8.200	80600	84900	84900	83400	83800	83800	0.99
原子炉遮蔽壁	18	21.200	0	0	0	0	0	0	—
	19	18.440	2210	2440	2440	2220	2430	2430	1.00
	20	17.020	10800	11800	11800	11100	11900	11891	1.01
	21	15.600	20500	22500	22500	21200	22700	22653	1.01
	22	13.950	37100	40800	40800	38400	41000	40989	1.01
23	12.300	55100	60600	60600	56900	60800	60797	1.01	
原子炉本体基礎	24	8.200	109000	79100	109000	114000	83000	113779	1.05
			184000	156000	184000	190000	159000	189801	1.04
	25	7.000	217000	180000	217000	225000	184000	224909	1.04
	26	4.500	293000	237000	293000	303000	243000	303149	1.04
	27	3.500	325000	261000	325000	336000	268000	335871	1.04
	28	1.700	384000	310000	384000	396000	320000	396370	1.04
	29	-2.100	516000	428000	516000	530000	439000	530261	1.03
	30	-4.700	611000	515000	611000	625000	528000	625322	1.03
31	-8.200	756000	640000	770555	771000	654000	770555	1.00	

表 4-3 (2/3) モーメント

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	モーメント (kN・m)						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
燃料集合体	90	14.433	0	0	0	0	0	0	—
	91	13.721	1120	1130	1130	1140	1150	1150	1.02
	92	13.009	1850	1870	1870	1890	1890	1890	1.01
	93	12.297	2090	2120	2120	2140	2140	2140	1.01
	94	11.585	1820	1840	1840	1860	1860	1860	1.01
	95	10.873	1080	1100	1100	1110	1110	1110	1.01
	96	10.161	0	0	0	0	0	0	—
制御棒案内管	97	10.161	0	0	0	0	0	0	—
	98	9.645	122	117	122	132	119	132	1.09
	99	9.402	168	159	168	181	163	181	1.08
	100	8.395	274	253	274	290	255	290	1.06
	101	7.388	226	205	226	227	204	227	1.01
	102	6.795	118	106	118	117	104	117	1.00
	103	6.347	0	0	0	0	0	0	—
制御棒駆動機構 ハウジング	104	6.347	0	0	0	0	0	0	—
	105	5.817	186	169	186	186	163	186	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング (内側)	106	5.066	523	474	523	525	459	525	1.01
	106		149	151	151	142	155	155	1.03
	107	4.213	49.8	50.7	50.7	46.9	49.9	49.9	0.99
	108	3.361	70.5	61.1	70.5	68.1	64.1	68.1	0.97
	109	2.508	89.3	76.0	89.3	83.5	80.2	83.5	0.94
	110	1.655	154	138	154	150	136	150	0.98
	111	0.934	26.7	20.8	26.7	26.2	20.7	26.2	0.99
	112	0.184	0	0	0	0	0	0	—
制御棒駆動機構 ハウジング (外側)	82	5.817	162	169	169	164	165	165	0.98
	83	5.066	54.8	55.2	55.2	53.5	53.7	53.7	0.98
	84	4.213	63.6	47.2	63.6	62.0	48.4	62.0	0.98
	85	3.361	97.2	71.2	97.2	95.0	72.6	95.0	0.98
	86	2.508	74.2	58.5	74.2	71.2	60.4	71.2	0.96
	87	1.655	160	142	160	157	143	157	0.99
	88	0.934	26.3	22.4	26.3	25.7	22.5	25.7	0.98
89	0.184	0	0	0	0	0	0	—	

表 4-3 (3/3) モーメント

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	モーメント (kN・m)						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
気水分離器及び スタンドパイプ	62	19.472	0	0	0	0	0	0	—
	63	18.716	169	166	169	169	166	169	1.00
	64	17.179	1140	1110	1140	1130	1100	1130	1.00
	65	16.506	1700	1640	1700	1700	1640	1700	1.00
炉心シュラウド	66	15.641	2470	2390	2470	2480	2380	2480	1.01
	67	15.266	2840	2750	2840	2850	2740	2850	1.01
	68	14.433	3820	3680	3820	3840	3660	3840	1.01
	69	13.721	6020	5740	6020	6060	5770	6060	1.01
	70	13.009	8360	7950	8360	8350	7990	8350	1.00
	71	12.297	10700	10100	10700	10600	10200	10600	0.99
	72	11.585	13000	12300	13000	12800	12300	12800	0.99
	73	10.873	15200	14400	15200	15000	14400	15000	0.99
	74	10.161	17500	16500	17500	17100	16500	17100	0.98
	75	9.645	19100	18000	19100	18700	18100	18700	0.98
	76	10.161	0	0	0	0	0	0	—
	75(77)	9.645	991	1010	1010	1000	1020	1020	1.01
			20100	19000	20100	19700	19100	19700	0.98
	78	9.402	21400	20200	21400	21000	20300	21000	0.99
	79	8.395	26700	25400	26700	26200	25500	26200	0.99
80	7.388	32200	30600	32200	31400	30700	31400	0.98	
81	6.795	35400	33700	35400	34600	33800	34600	0.98	
原子炉冷却材 再循環ポンプ	58	6.253	1260	1300	1300	1230	1280	1280	0.99
	59	5.376	715	737	737	697	724	724	0.99
	60	4.523	318	327	327	310	321	321	0.99
	61	3.671	0	0	0	0	0	0	—

表 4-4 (1/4) 最大応答加速度 (鉛直方向)

構造物名	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.0$		
			今回工認モデル	補強反映モデル	応答比率 (②/①)
			①鉛直方向	②鉛直方向	
原子炉遮蔽壁	76	21.200	0.86	0.86	1.00
	77	18.440	0.86	0.86	1.00
	78	17.020	0.86	0.85	0.99
	79	15.600	0.85	0.85	1.00
	80	13.950	0.84	0.84	1.00
原子炉本体基礎	81	12.300	0.83	0.83	1.00
	82	8.200	0.83	0.83	1.00
	83	7.000	0.82	0.83	1.02
	84	4.500	0.81	0.82	1.02
	85	3.500	0.81	0.81	1.00
	86	1.700	0.81	0.81	1.00
	87	-2.100	0.80	0.80	1.00
	88	-4.700	0.79	0.80	1.02
	9	-8.200	0.79	0.80	1.02
原子炉压力容器	55	26.013	0.85	0.85	1.00
	56	23.553	0.85	0.85	1.00
	57	22.163	0.85	0.85	1.00
	58	20.494	0.85	0.85	1.00
	59	18.716	0.85	0.85	1.00
	61	16.506	0.84	0.84	1.00
	63	15.266	0.84	0.84	1.00
	67	12.297	0.84	0.84	1.00
	72	9.402	0.83	0.83	1.00
	75	6.795	0.84	0.84	1.00
	16	5.066	0.85	0.85	1.00

表 4-4 (2/4) 最大応答加速度 (鉛直方向)

構造物名	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.0$		
			今回工認モデル		応答比率 (②/①)
			①鉛直方向	補強反映モデル ②鉛直方向	
気水分離器, スタンドパイプ 及び 炉心シュラウド	31	19.472	0.89	0.88	0.99
	32	18.716	0.89	0.88	0.99
	33	17.179	0.89	0.88	0.99
	34	16.506	0.89	0.88	0.99
	35	15.641	0.87	0.87	1.00
	36	15.266	0.87	0.87	1.00
	37	14.433	0.87	0.86	0.99
	38	13.721	0.87	0.86	0.99
	39	13.009	0.86	0.86	1.00
	40	12.297	0.86	0.86	1.00
	41	11.585	0.86	0.86	1.00
	42	10.873	0.86	0.85	0.99
	43	10.161	0.86	0.85	0.99
	44	9.645	0.85	0.85	1.00
	45	9.402	0.85	0.85	1.00
	46	8.395	0.85	0.85	1.00
	47	7.388	0.85	0.84	0.99
	48	6.795	0.84	0.84	1.00
49	6.347	0.84	0.84	1.00	
50	5.783	0.84	0.84	1.00	
原子炉冷却材 再循環ポンプ	51	6.253	0.84	0.84	1.00
原子炉圧力容器	23	5.817	0.84	0.84	1.00
	16	5.066	0.85	0.85	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング (内側)	20	1.655	0.86	0.85	0.99
	21	0.934	0.86	0.86	1.00
	22	0.184	0.86	0.86	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング (外側)	28	1.655	0.85	0.84	0.99
	29	0.934	0.85	0.84	0.99
	30	0.184	0.85	0.84	0.99
燃料集合体	1	14.433	0.88	0.88	1.00
	2	13.721	0.88	0.88	1.00
	3	13.009	0.88	0.88	1.00
	4	12.297	0.88	0.88	1.00
	5	11.585	0.88	0.87	0.99
	6	10.873	0.88	0.87	0.99
	7	10.161	0.87	0.87	1.00

表 4-4 (3/4) 最大応答加速度 (鉛直方向)

構造物名	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.2$		
			今回工認モデル	補強反映モデル	応答比率 (②/①)
			①鉛直方向	②鉛直方向	
原子炉遮蔽壁	76	21.200	1.03	1.03	1.00
	77	18.440	1.03	1.03	1.00
	78	17.020	1.03	1.02	0.99
	79	15.600	1.02	1.01	0.99
	80	13.950	1.01	1.01	1.00
原子炉本体基礎	81	12.300	1.00	1.00	1.00
	82	8.200	0.99	0.99	1.00
	83	7.000	0.99	0.99	1.00
	84	4.500	0.98	0.98	1.00
	85	3.500	0.97	0.97	1.00
	86	1.700	0.97	0.97	1.00
	87	-2.100	0.96	0.96	1.00
	88	-4.700	0.95	0.95	1.00
	9	-8.200	0.95	0.95	1.00
原子炉压力容器	55	26.013	1.02	1.02	1.00
	56	23.553	1.02	1.02	1.00
	57	22.163	1.02	1.02	1.00
	58	20.494	1.02	1.02	1.00
	59	18.716	1.02	1.01	0.99
	61	16.506	1.01	1.01	1.00
	63	15.266	1.01	1.01	1.00
	67	12.297	1.00	1.00	1.00
	72	9.402	1.00	1.00	1.00
	75	6.795	1.01	1.01	1.00
	16	5.066	1.02	1.02	1.00

表 4-4 (4/4) 最大応答加速度 (鉛直方向)

構造物名	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	最大応答加速度 ($\times 9.80665\text{m/s}^2$) $\times 1.2$		
			今回工認モデル	補強反映モデル	応答比率 (②/①)
			①鉛直方向	②鉛直方向	
気水分離器, スタンドパイプ 及び 炉心シュラウド	31	19.472	1.06	1.06	1.00
	32	18.716	1.06	1.06	1.00
	33	17.179	1.06	1.06	1.00
	34	16.506	1.06	1.06	1.00
	35	15.641	1.04	1.04	1.00
	36	15.266	1.04	1.04	1.00
	37	14.433	1.04	1.04	1.00
	38	13.721	1.04	1.03	0.99
	39	13.009	1.04	1.03	0.99
	40	12.297	1.03	1.03	1.00
	41	11.585	1.03	1.03	1.00
	42	10.873	1.03	1.03	1.00
	43	10.161	1.03	1.02	0.99
	44	9.645	1.02	1.02	1.00
	45	9.402	1.02	1.02	1.00
	46	8.395	1.02	1.02	1.00
	47	7.388	1.01	1.01	1.00
	48	6.795	1.01	1.01	1.00
49	6.347	1.01	1.01	1.00	
50	5.783	1.01	1.01	1.00	
原子炉冷却材 再循環ポンプ	51	6.253	1.01	1.01	1.00
原子炉圧力容器	23	5.817	1.01	1.01	1.00
	16	5.066	1.02	1.02	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング (内側)	20	1.655	1.03	1.03	1.00
	21	0.934	1.03	1.03	1.00
	22	0.184	1.03	1.03	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング (外側)	28	1.655	1.02	1.01	0.99
	29	0.934	1.02	1.01	0.99
	30	0.184	1.02	1.01	0.99
燃料集合体	1	14.433	1.06	1.06	1.00
	2	13.721	1.06	1.05	0.99
	3	13.009	1.06	1.05	0.99
	4	12.297	1.06	1.05	0.99
	5	11.585	1.05	1.05	1.00
	6	10.873	1.05	1.05	1.00
	7	10.161	1.05	1.04	0.99

表 4-5 (1/3) 軸力

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	軸力 (kN)		
			今回工認モデル	補強反映モデル	応答比率 (②/①)
			①鉛直方向	②鉛直方向	
原子炉压力容器	55	26.013	183	182	1.00
	56	23.553	852	848	1.00
	57	22.163		1560	1550
	58	20.494	2940	2930	1.00
	59	18.716	3480	3460	1.00
	60	17.179	3780	3760	1.00
	61	16.506	4200	4180	1.00
	62	15.641	4390	4370	1.00
	63	15.266	4650	4630	1.00
	64	14.433	4850	4830	1.00
	65	13.721	5050	5030	1.00
	66	13.009	5240	5220	1.00
	67	12.297	5430	5410	1.00
	68	11.585	5620	5590	1.00
	69	10.873	5810	5780	1.00
	70	10.161	5970	5950	1.00
	71	9.645	6090	6070	1.00
	72	9.402	10400	10400	1.00
	73	8.395	10200	10100	0.99
	74	7.388	9970	9910	1.00
75	6.795	8860	8820	1.00	
51	6.253	8000	7950	1.00	
23	5.817	4380	4350	1.00	
16	5.066				
原子炉压力容器 スカート	72	9.402	16900	16800	1.00
	82	8.200			
原子炉遮蔽壁	76	21.200	604	603	1.00
	77	18.440	3390	3510	1.04
	78	17.020		4130	4250
	79	15.600	7270	7380	1.02
	80	13.950	8160	8270	1.02
	81	12.300	19200	19300	1.01
原子炉本体基礎	82	8.200	40200	40200	1.00
	83	7.000	43200	43300	1.01
	84	4.500	45600	45800	1.01
	85	3.500	47200	47400	1.01
	86	1.700	50800	51100	1.01
	87	-2.100	54500	54800	1.01
	88	-4.700	57800	58100	1.01
	89	-8.200			

表 4-5 (2/3) 軸力

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	軸力 (kN)		
			今回工認モデル	補強反映モデル	応答比率 (②/①)
			①鉛直方向	②鉛直方向	
燃料集合体	1	14.433	177	177	1.00
	2	13.721	532	530	1.00
	3	13.009	886	882	1.00
	4	12.297	1240	1230	1.00
	5	11.585	1590	1580	1.00
	6	10.873	1940	1930	1.00
	7	10.161	2390	2370	1.00
制御棒案内管	8	9.645	2410	2400	1.00
	9	9.402	2460	2450	1.00
	10	8.395	2530	2520	1.00
	11	7.388	2590	2580	1.00
	12	6.795	2630	2610	1.00
	13	6.347	2690	2680	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング	14	6.347	2690	2680	1.00
	15	5.817	2740	2730	1.00
制御棒駆動機構 ハウジング (内側)	16	5.066	703	699	1.00
	17	4.213	665	662	1.00
	18	3.361	626	622	1.00
	19	2.508	588	585	1.00
	20	1.655	130	129	1.00
	21	0.934	18.9	18.8	1.00
	22	0.184			
制御棒駆動機構 ハウジング (外側)	23	5.817	721	717	1.00
	24	5.066	688	684	1.00
	25	4.213	651	648	1.00
	26	3.361	612	609	1.00
	27	2.508	575	572	1.00
	28	1.655	127	126	1.00
	29	0.934	18.5	18.4	1.00
	30	0.184			

表 4-5 (3/3) 軸力

機器	質点 番号	標 高 T. M. S. L. (m)	軸力 (kN)			
			今回工認モデル	補強反映モデル	応答比率 (②/①)	
			①鉛直方向	②鉛直方向		
気水分離器及び スタンドパイプ	31	19.472	68.8	68.5	1.00	
	32	18.716	210	209	1.00	
	33	17.179	405	403	1.00	
	34	16.506	571	569	1.00	
炉心シュラウド	35	15.641	947	942	1.00	
	36	15.266	1040	1040	1.00	
	37	14.433	1300	1300	1.00	
	38	13.721	1350	1340	1.00	
	39	13.009	1390	1380	1.00	
	40	12.297	1430	1430	1.00	
	41	11.585	1470	1470	1.00	
	42	10.873	1520	1510	1.00	
	43	10.161	1560	1550	1.00	
	44	9.645	2160	2140	0.99	
	45	9.402	2210	2200	1.00	
	46	8.395	2290	2280	1.00	
	47	7.388	2360	2350	1.00	
	48	6.795	2450	2430	1.00	
	49	6.347	2500	2480	1.00	
	原子炉冷却材 再循環ポンプ	51	6.253	546	545	1.00
		52	5.376	492	491	1.00
53		4.523	423	422	1.00	
54		3.671				

表 4-6 ばね反力

機器	ばね反力 (kN)						応答比率 (②/①)
	今回工認モデル			補強反映モデル			
	NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
原子炉圧力容器 スタビライザ	2130	2180	2180	2070	2060	2070	0.95
ダイヤフラムフロア	19400	19100	19400	19900	18800	19900	1.03
制御棒駆動機構ハウジング レストレントビーム	813	830	830	783	814	814	0.98

表 4-7 相対変位

機器	質点 番号	標高 T. M. S. L. (m)	相対変位 (mm)						応答比率 (②/①)
			今回工認モデル			補強反映モデル			
			NS方向	EW方向	① 包絡値	NS方向	EW方向	② 包絡値	
燃料集合体	90	14.433	—	—	—	—	—	—	—
	91	13.721	7.23	7.31	7.31	7.39	7.40	7.40	1.02
	92	13.009	12.5	12.6	12.6	12.7	12.7	12.7	1.01
	93	12.297	14.3	14.5	14.5	14.6	14.7	14.7	1.02
	94	11.585	12.4	12.5	12.5	12.7	12.7	12.7	1.02
	95	10.873	7.15	7.24	7.24	7.32	7.33	7.33	1.02
	96	10.161	—	—	—	—	—	—	—

表 4-8 (1/2) 床応答スペクトル

方向	地震応答解析モデル	構造物名	質点番号	標高 T. M. S. L. (m)	減衰定数 (%)	図番	
						床応答スペクトル	応答比率
水平	大型機器系	原子炉遮蔽壁	18	21.200	1.0	図4-1 (1/22)	図4-2 (1/22)
			19	18.440		図4-1 (2/22)	図4-2 (2/22)
			20	17.020		図4-1 (3/22)	図4-2 (3/22)
			21	15.600		図4-1 (4/22)	図4-2 (4/22)
			22	13.950		図4-1 (5/22)	図4-2 (5/22)
		原子炉本体基礎	23	12.300		図4-1 (6/22)	図4-2 (6/22)
			24	8.200		図4-1 (7/22)	図4-2 (7/22)
			25	7.000		図4-1 (8/22)	図4-2 (8/22)
			26	4.500		図4-1 (9/22)	図4-2 (9/22)
			27	3.500		図4-1 (10/22)	図4-2 (10/22)
			28	1.700		図4-1 (11/22)	図4-2 (11/22)
			29	-2.100		図4-1 (12/22)	図4-2 (12/22)
		原子炉圧力容器	30	-4.700		図4-1 (13/22)	図4-2 (13/22)
			34	26.013		図4-1 (14/22)	図4-2 (14/22)
			37	20.494		図4-1 (15/22)	図4-2 (15/22)
			39	16.563		図4-1 (16/22)	図4-2 (16/22)
			40	15.262		図4-1 (17/22)	図4-2 (17/22)
		炉内構造物系	炉心シュラウド	44		4.950	図4-1 (18/22)
	68			14.433		図4-1 (19/22)	図4-2 (19/22)
	76		10.161	図4-1 (20/22)		図4-2 (20/22)	
	原子炉圧力容器		57	5.066		図4-1 (21/22)	図4-2 (21/22)
	原子炉冷却材再循環ポンプ		58	6.253		図4-1 (22/22)	図4-2 (22/22)

表 4-8 (2/2) 床応答スペクトル

方向	地震応答解析モデル	構造物名	質点番号	標高 T. M. S. L. (m)	減衰定数 (%)	図番	
						床応答スペクトル	応答比率
鉛直	大型機器系	原子炉遮蔽壁	76	21.200	1.0	図4-3 (1/22)	図4-4 (1/22)
			77	18.440		図4-3 (2/22)	図4-4 (2/22)
			78	17.020		図4-3 (3/22)	図4-4 (3/22)
			79	15.600		図4-3 (4/22)	図4-4 (4/22)
			80	13.950		図4-3 (5/22)	図4-4 (5/22)
		原子炉本体基礎	81	12.300		図4-3 (6/22)	図4-4 (6/22)
			82	8.200		図4-3 (7/22)	図4-4 (7/22)
			83	7.000		図4-3 (8/22)	図4-4 (8/22)
			84	4.500		図4-3 (9/22)	図4-4 (9/22)
			85	3.500		図4-3 (10/22)	図4-4 (10/22)
			86	1.700		図4-3 (11/22)	図4-4 (11/22)
			87	-2.100		図4-3 (12/22)	図4-4 (12/22)
			88	-4.700		図4-3 (13/22)	図4-4 (13/22)
		原子炉圧力容器	55	26.013		図4-3 (14/22)	図4-4 (14/22)
			58	20.494		図4-3 (15/22)	図4-4 (15/22)
			61	16.506		図4-3 (16/22)	図4-4 (16/22)
			63	15.262		図4-3 (17/22)	図4-4 (17/22)
			16	5.066		図4-3 (18/22)	図4-4 (18/22)
	炉内構造物系	炉心シュラウド	37	14.433		図4-3 (19/22)	図4-4 (19/22)
			44	9.645		図4-3 (20/22)	図4-4 (20/22)
		原子炉圧力容器	16	5.066		図4-3 (21/22)	図4-4 (21/22)
		原子炉冷却材再循環ポンプ	51	6.253		図4-3 (22/22)	図4-4 (22/22)

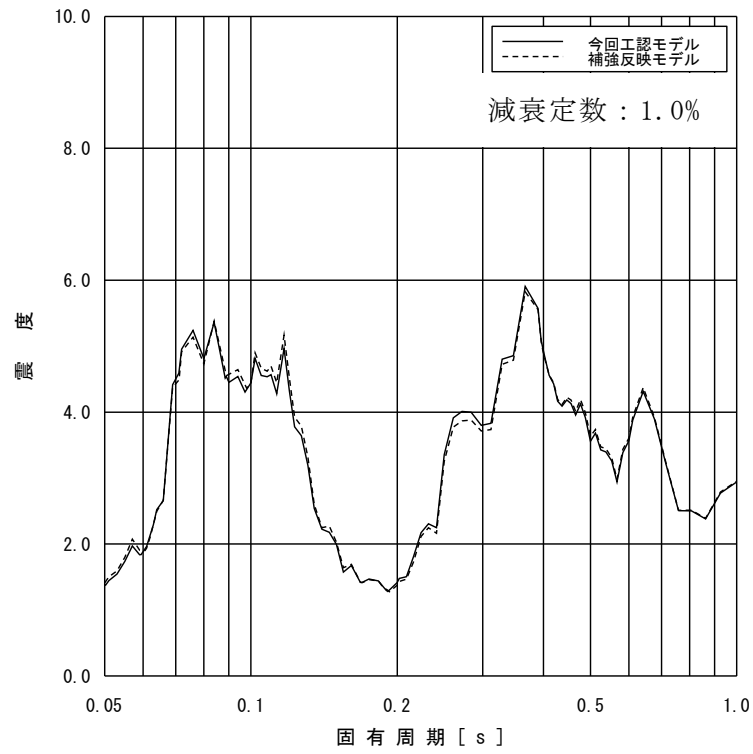


図 4-1 (1/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 21.200m)

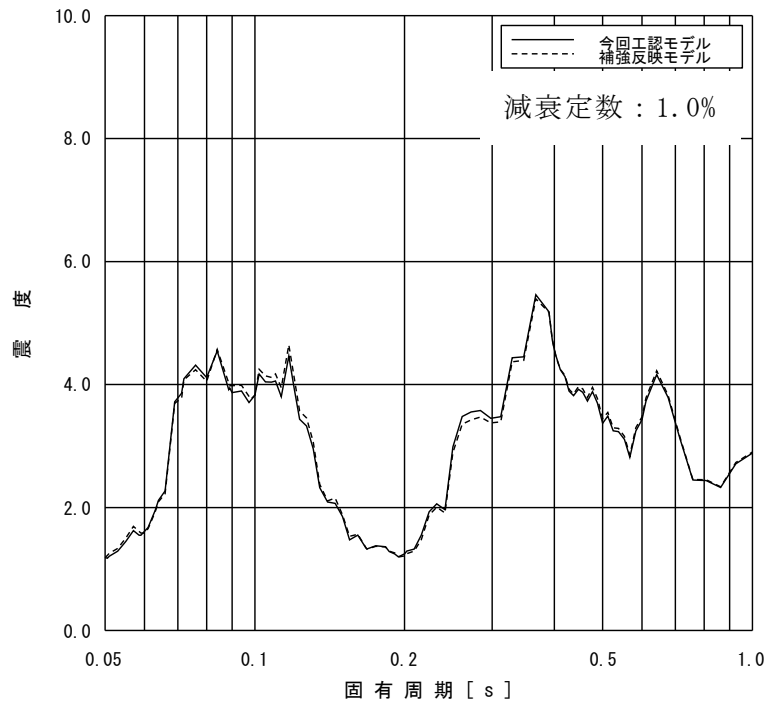


図 4-1 (2/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 18.440m)

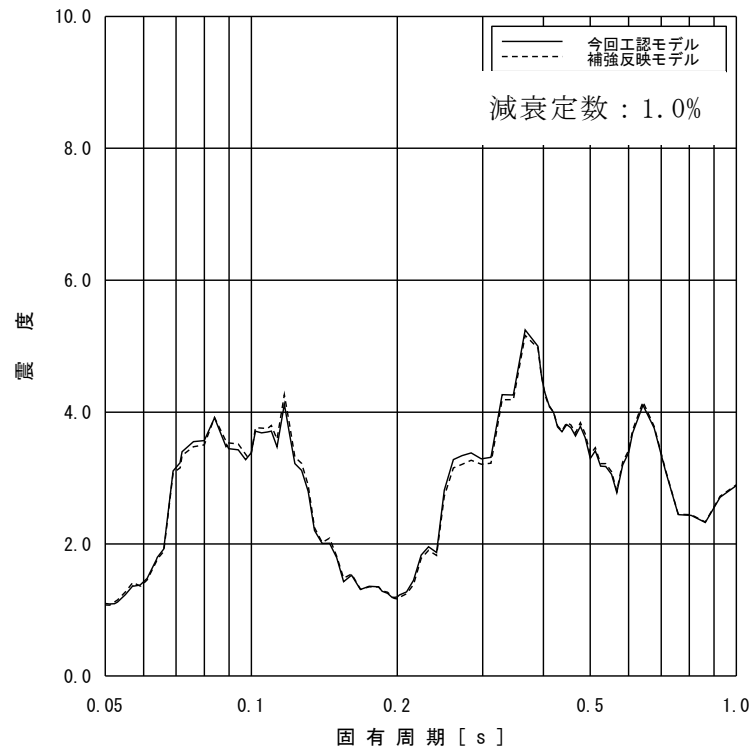


図 4-1 (3/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 17.020m)

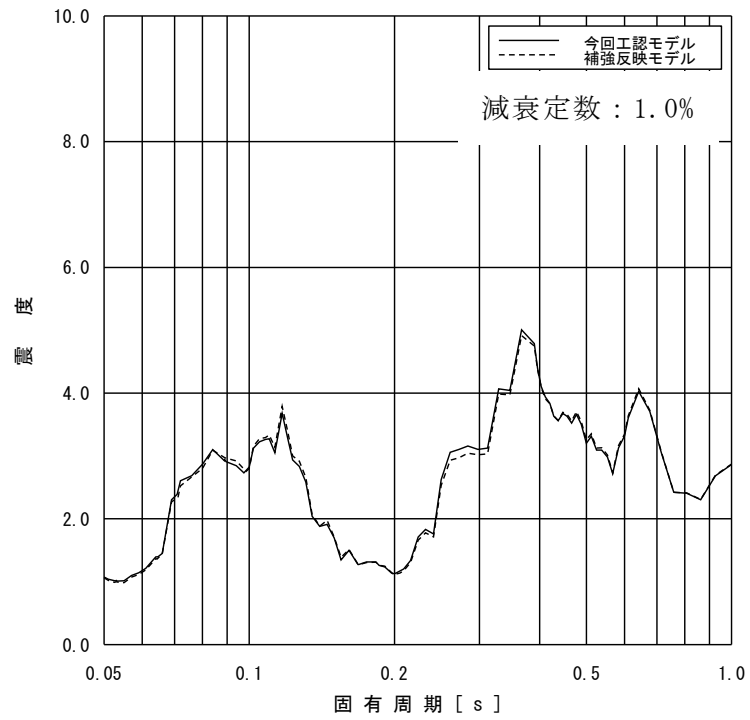


図 4-1 (4/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 15.600m)

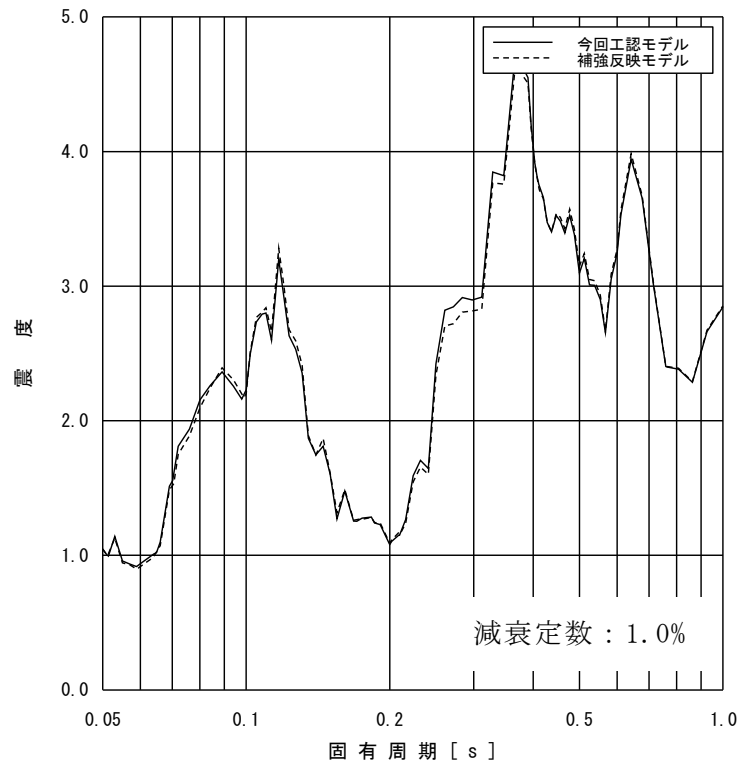


図 4-1 (5/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 13.950m)

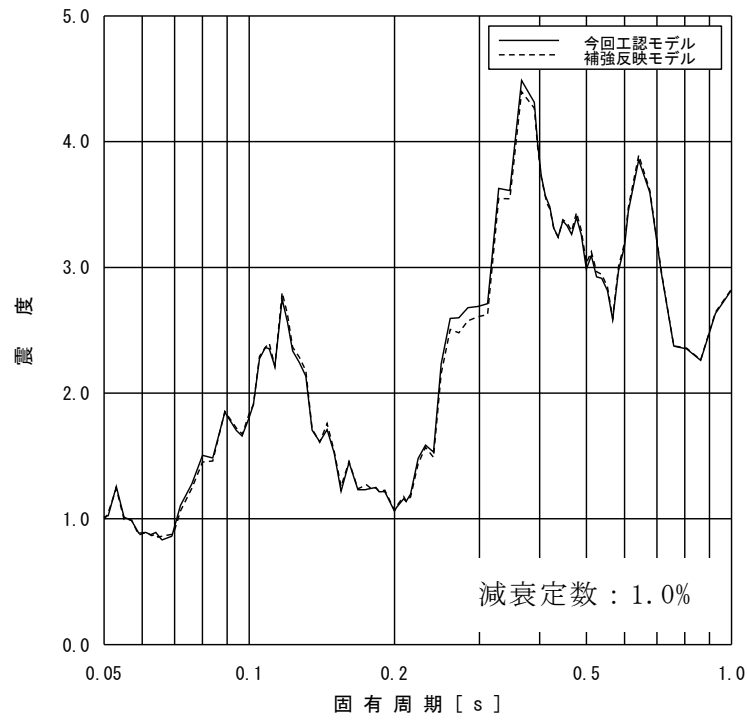


図 4-1 (6/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 12.300m)

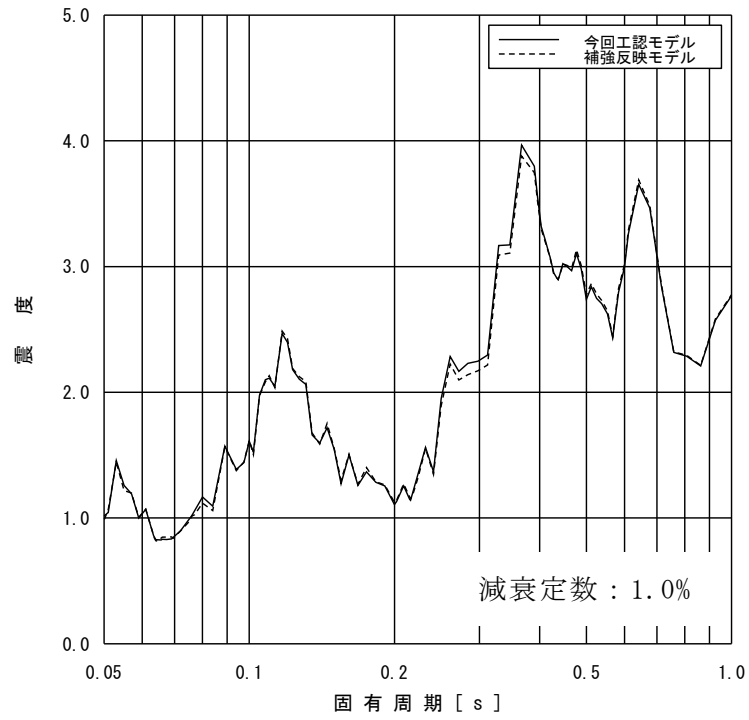


図 4-1 (7/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 8.200m)

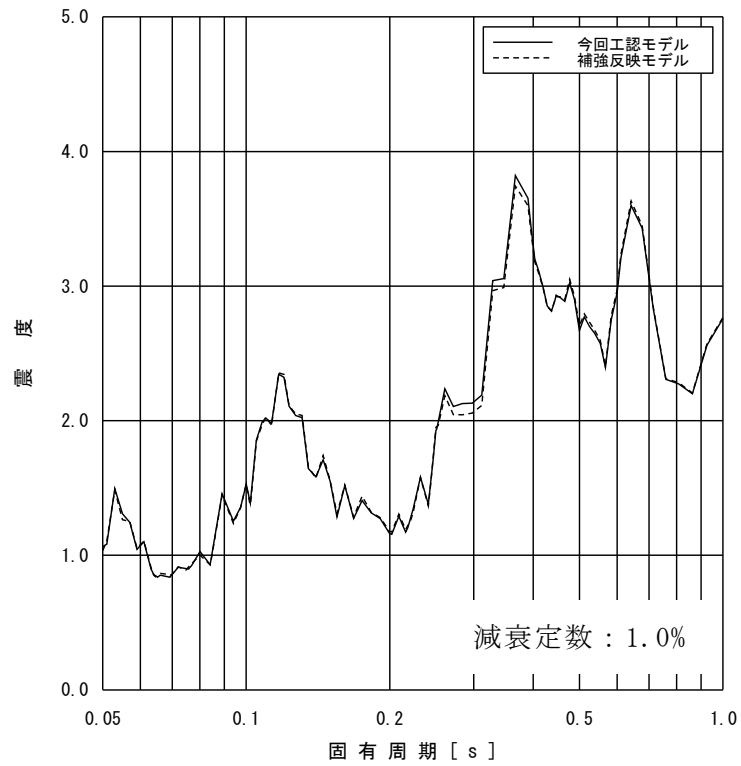


図 4-1 (8/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 7.000m)

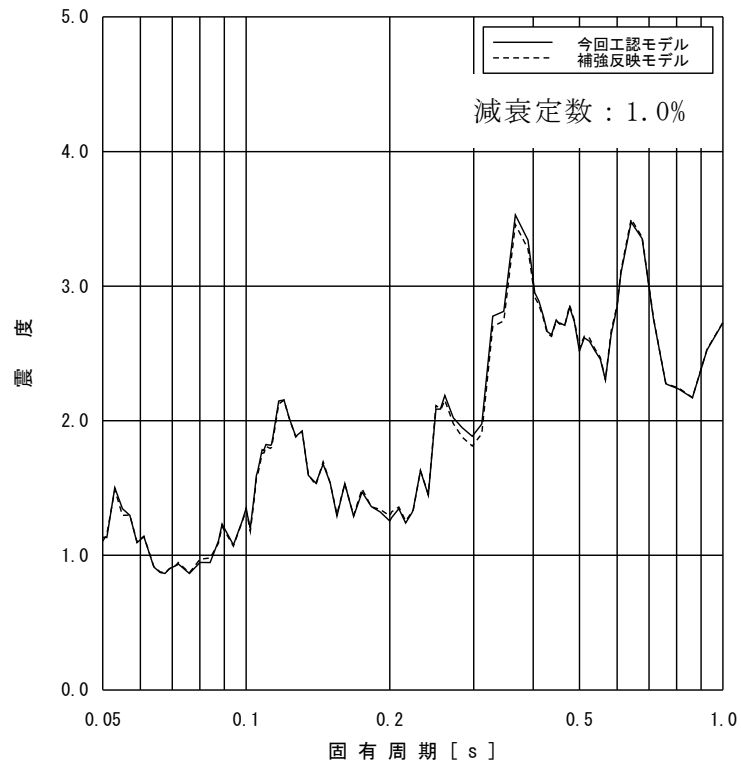


図 4-1 (9/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 4.500m)

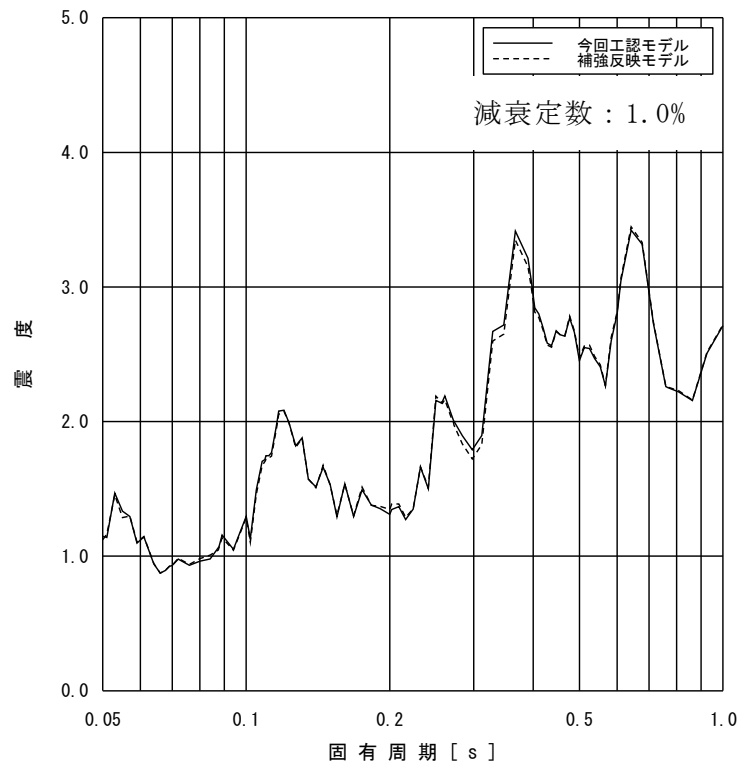


図 4-1 (10/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 3.500m)

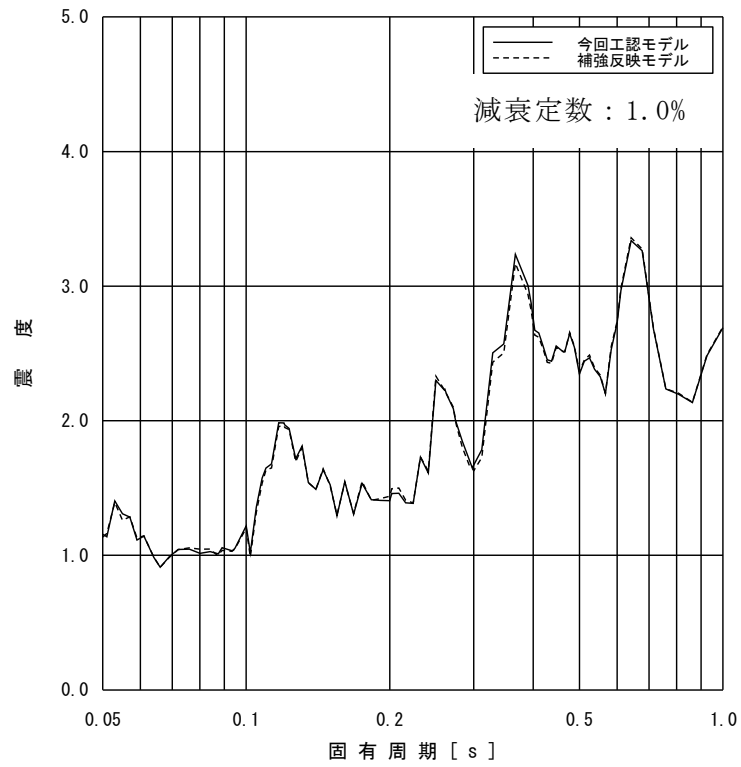


図 4-1 (11/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 1.700m)

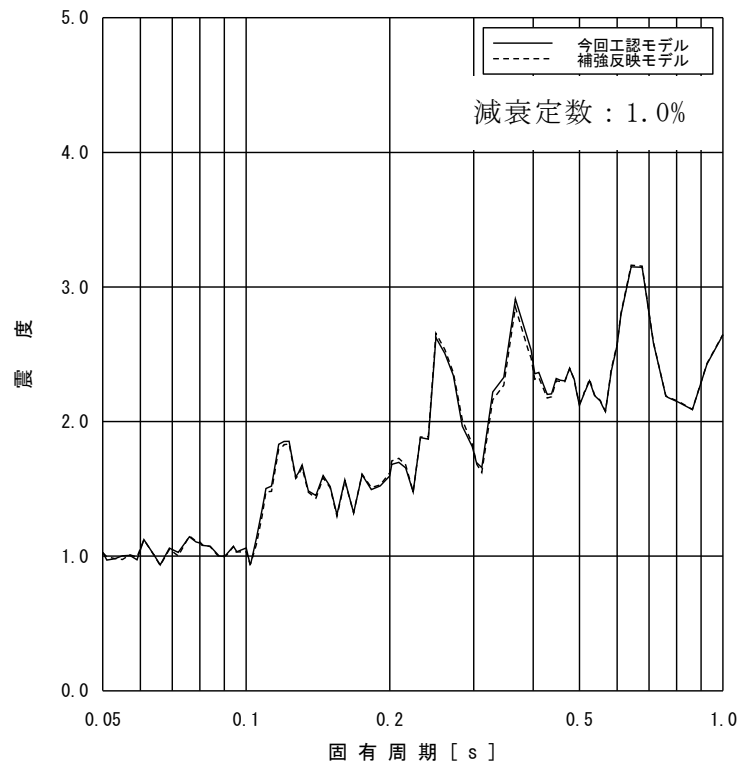


図 4-1 (12/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. -2.100m)

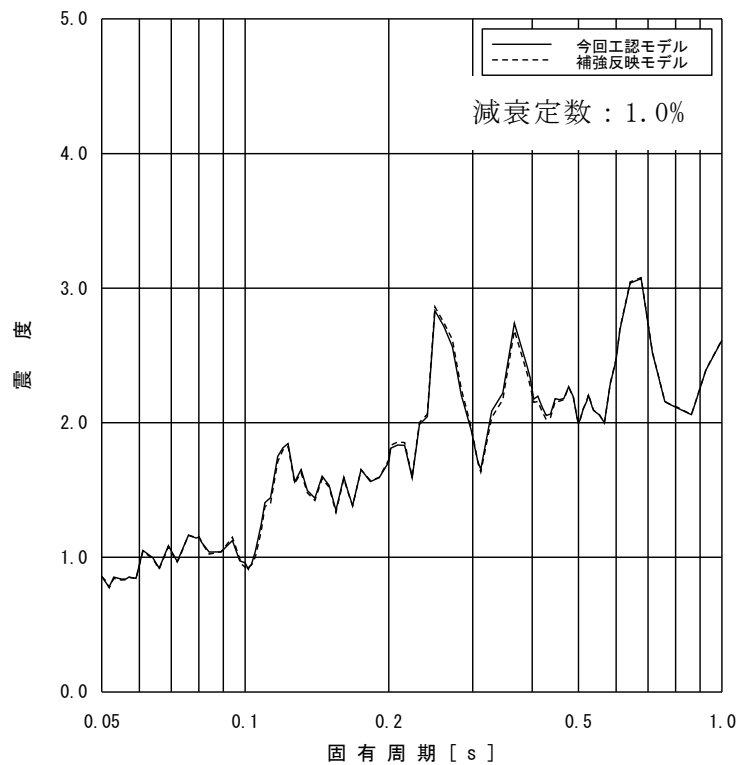


図 4-1 (13/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. -4.700m)

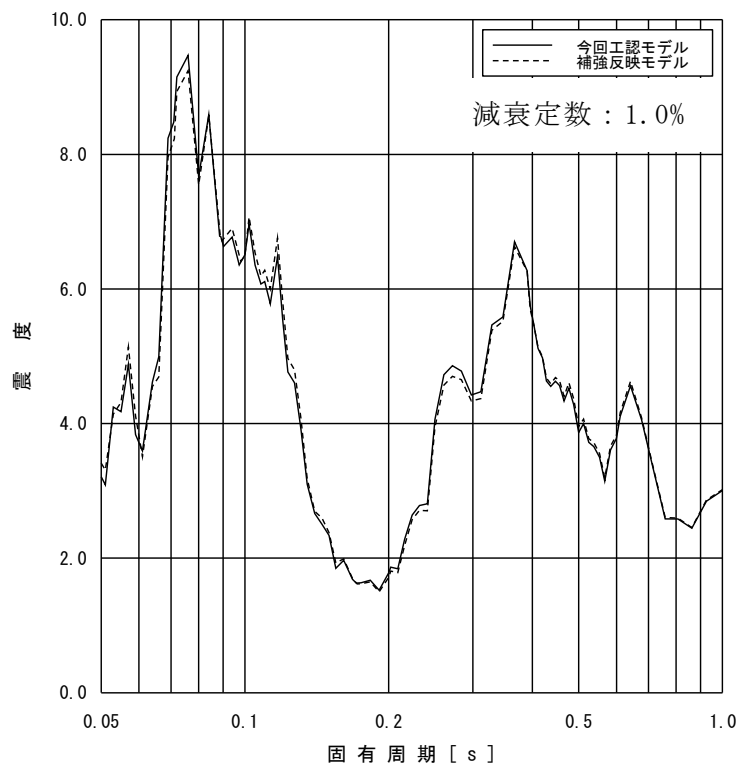


図 4-1 (14/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 26.013m)

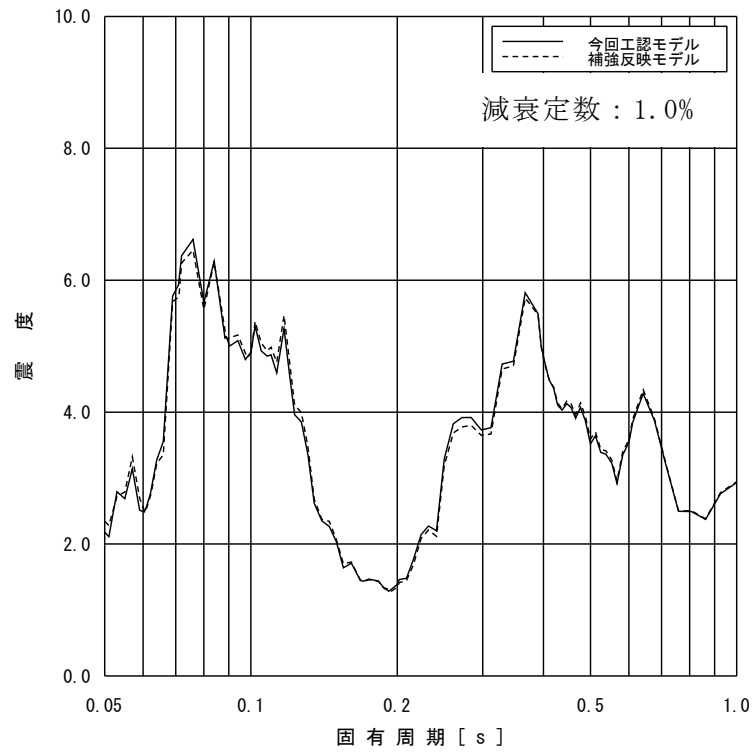


図 4-1 (15/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 20.494m)

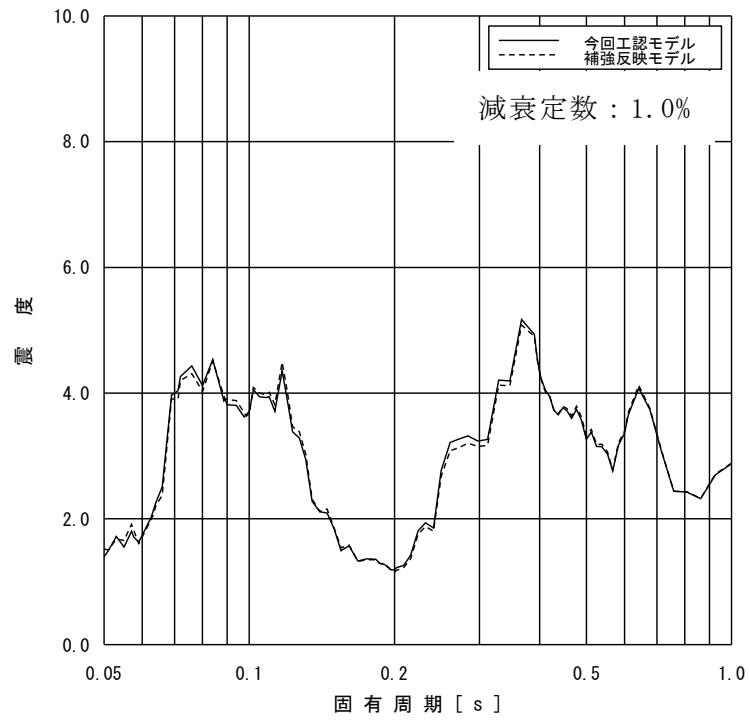


図 4-1 (16/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 16.563m)

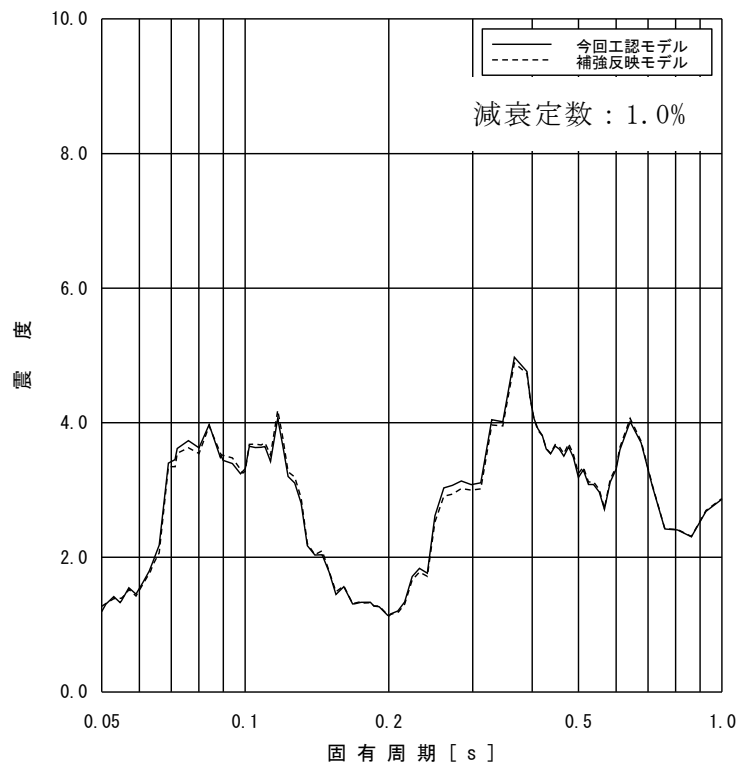


図 4-1 (17/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 15.262m)

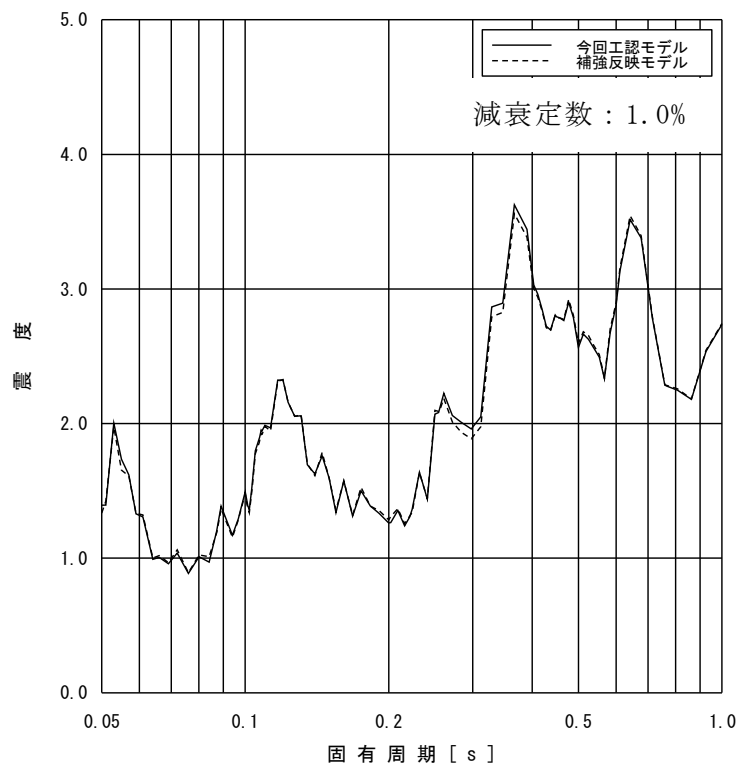


図 4-1 (18/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 4.950m)

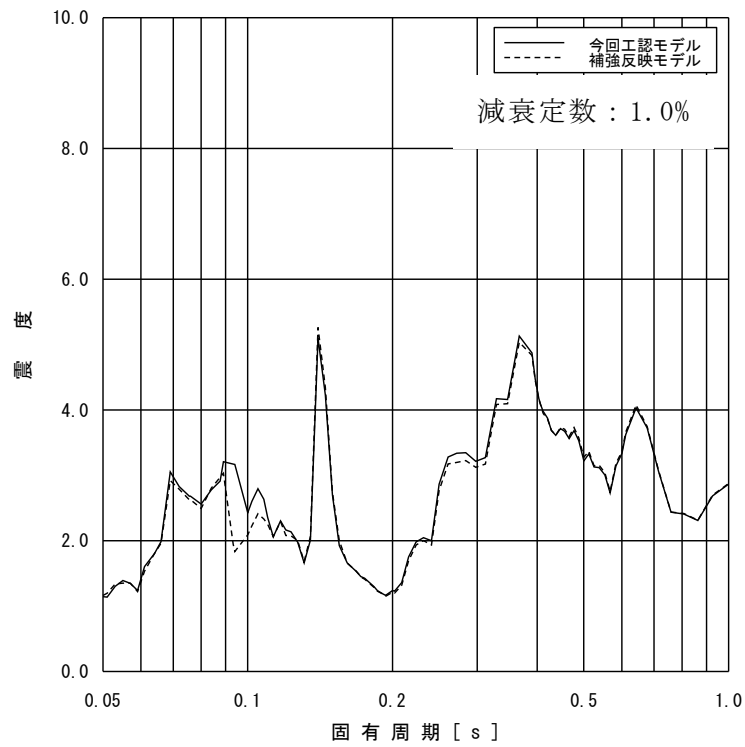


図 4-1 (19/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 14.433m)

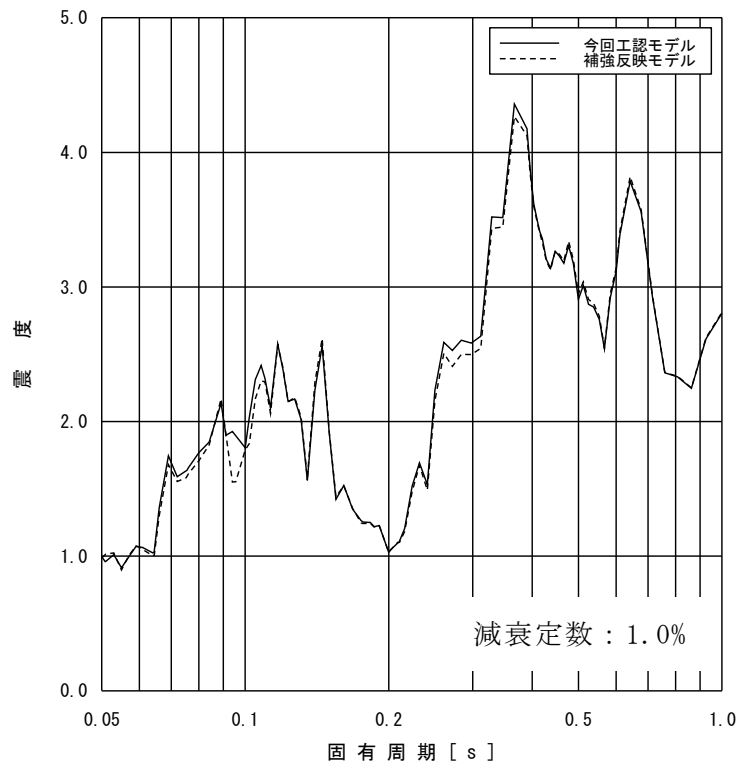


図 4-1 (20/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 10.161m)

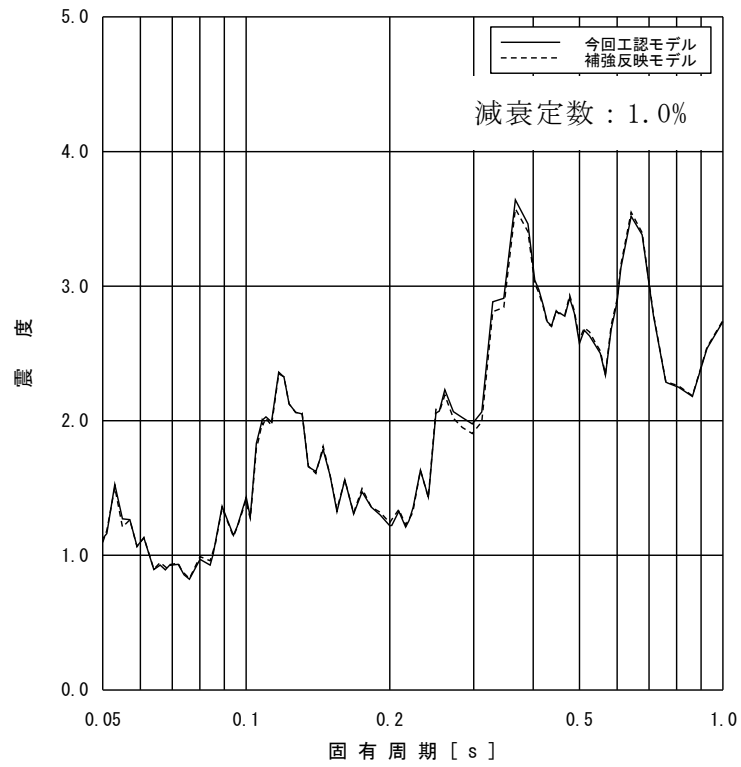


図 4-1 (21/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 5.066m)

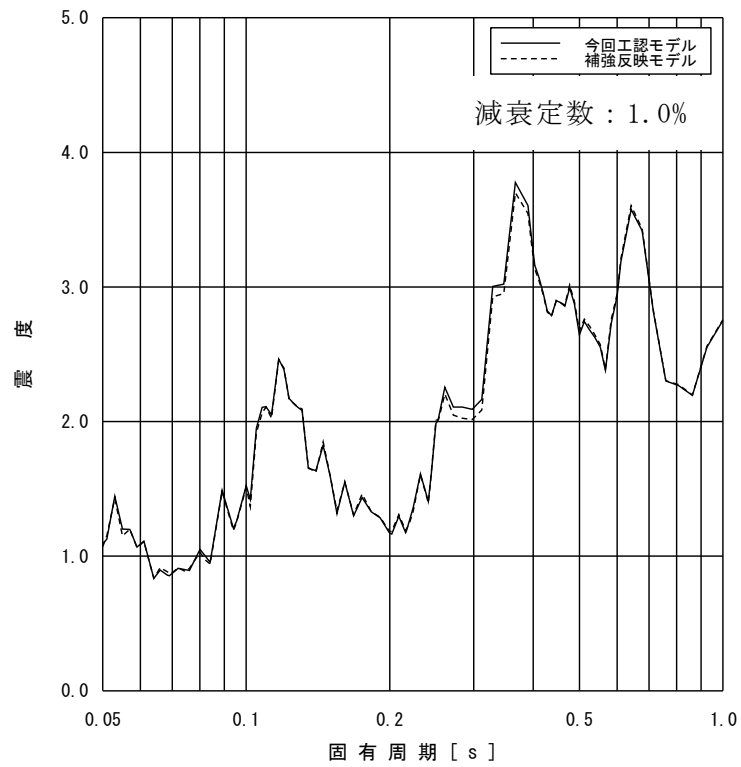


図 4-1 (22/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 6.253m)

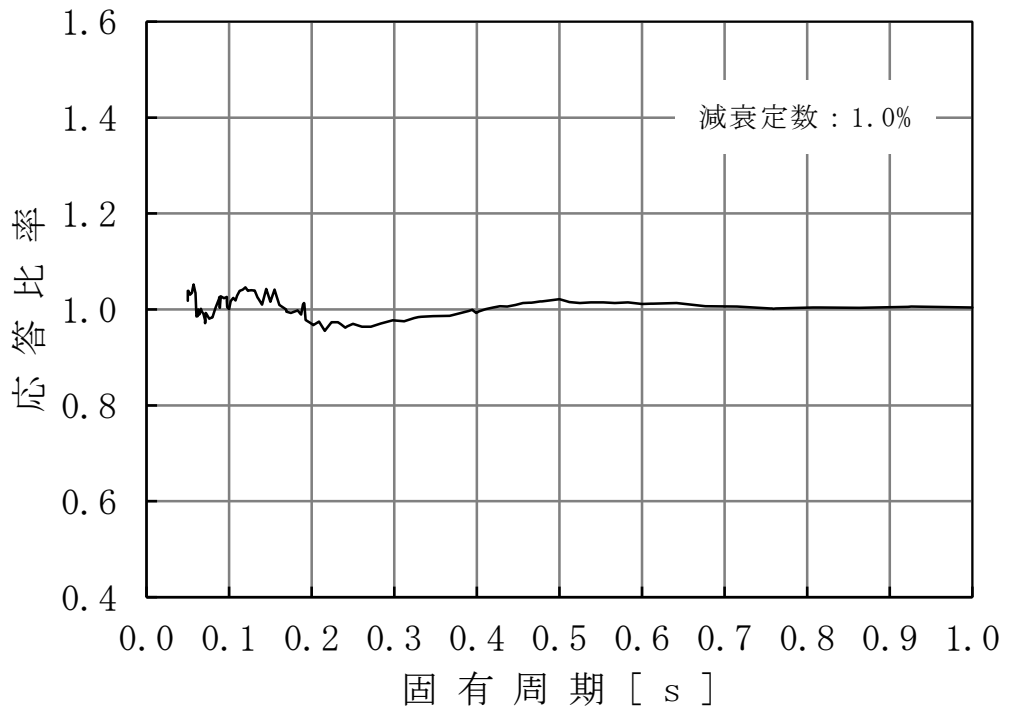


図 4-2 (1/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 21.200m)

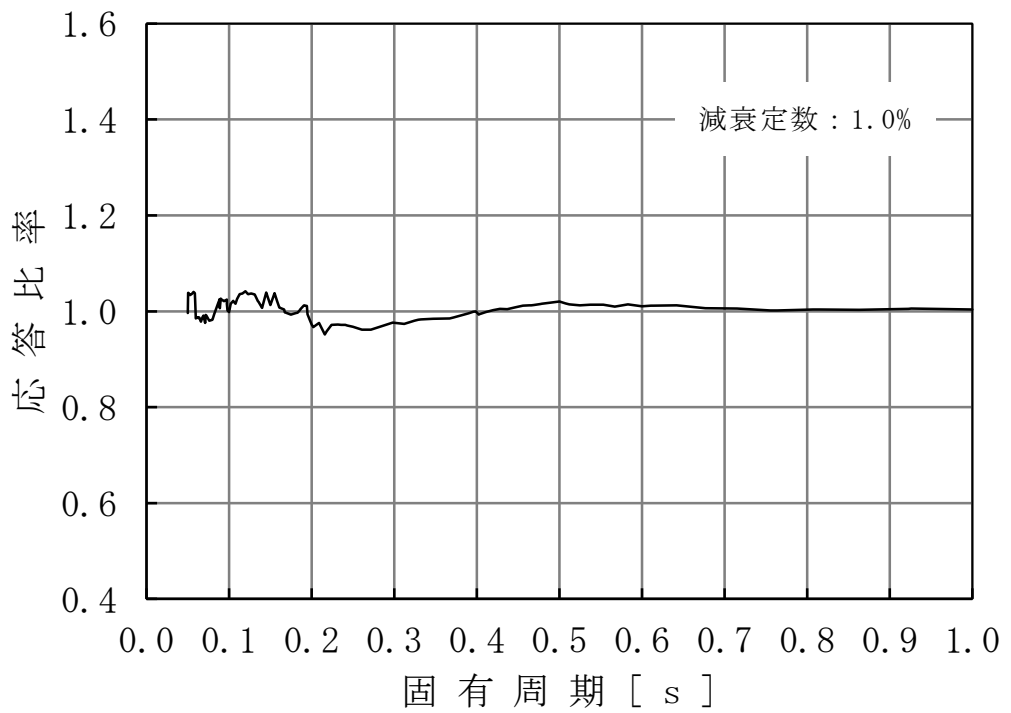


図 4-2 (2/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 18.440m)

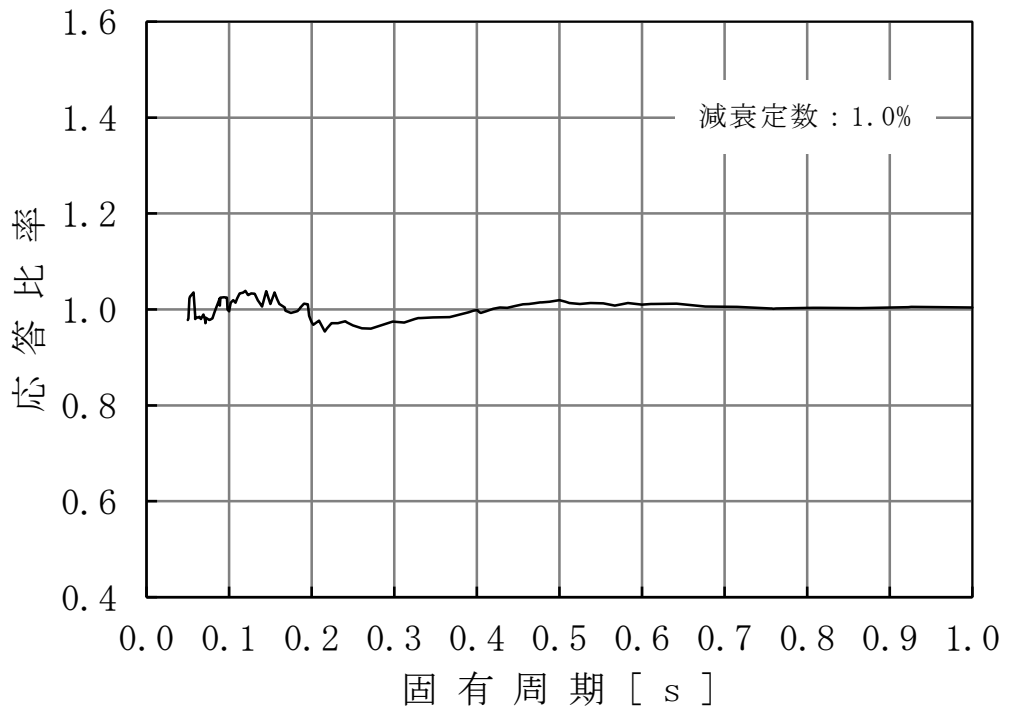


図 4-2 (3/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 17.020m)

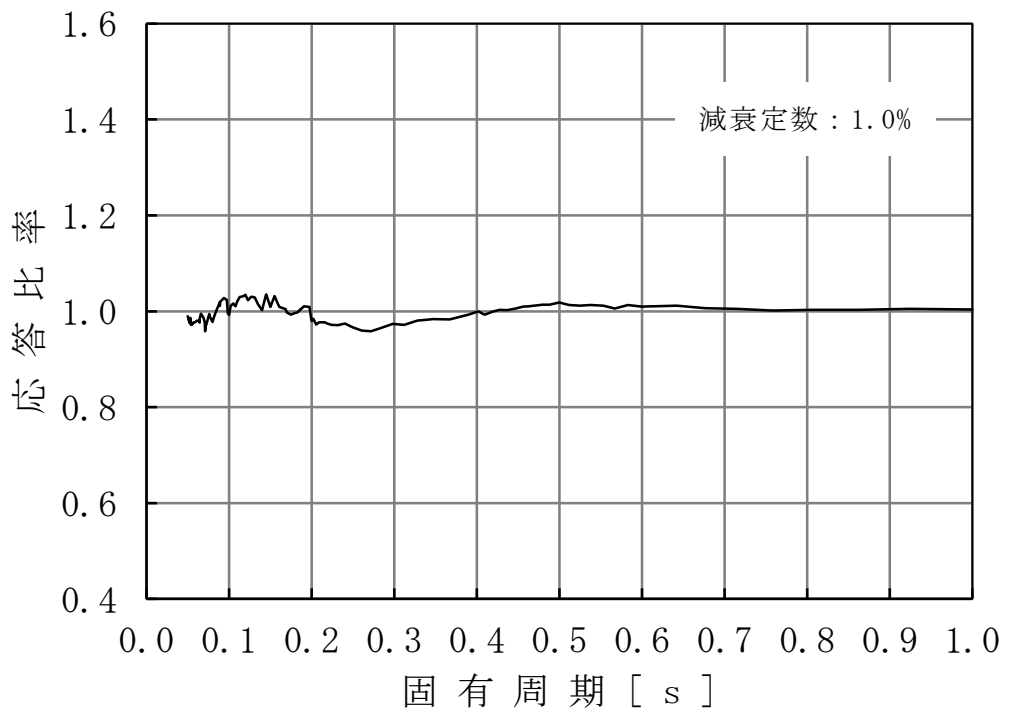


図 4-2 (4/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 15.600m)

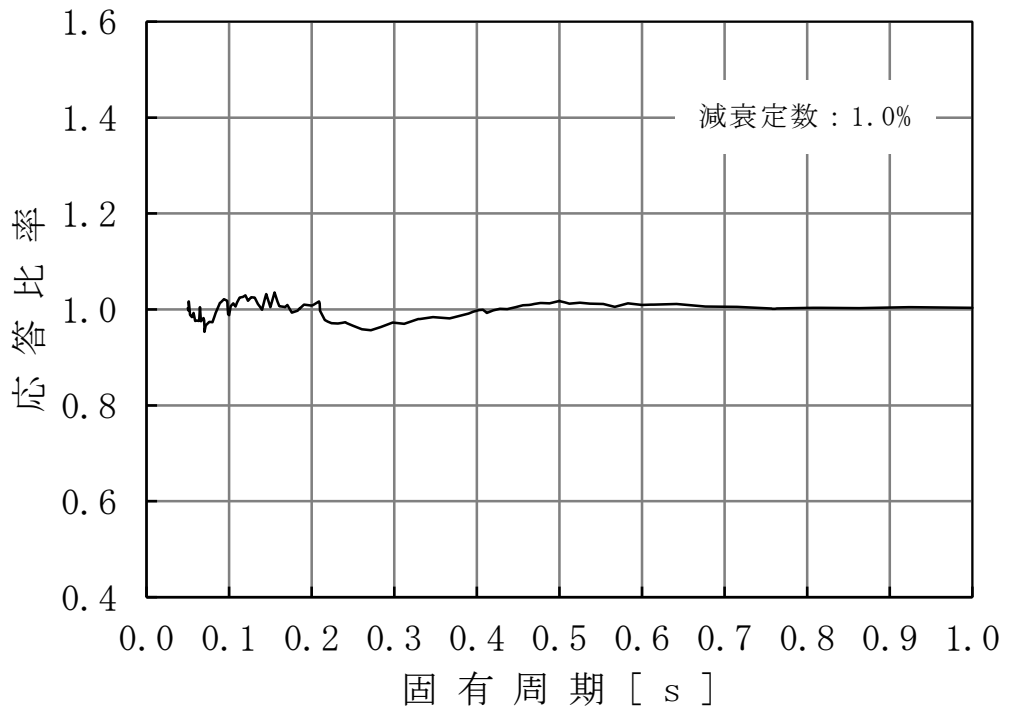


図 4-2 (5/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 13.950m)

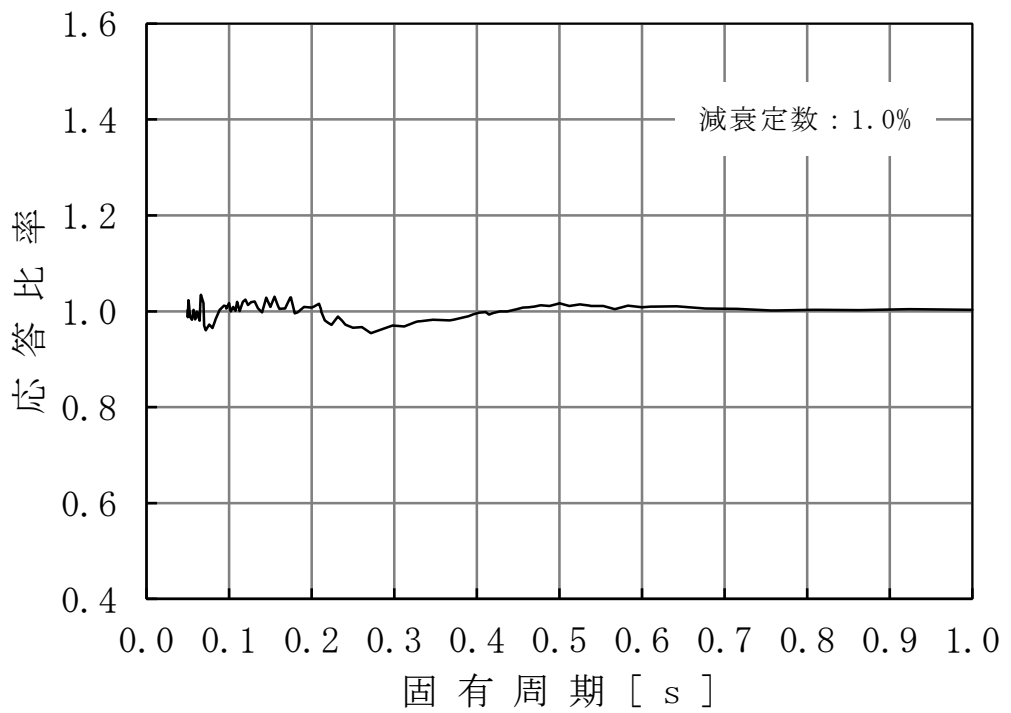


図 4-2 (6/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 12.300m)

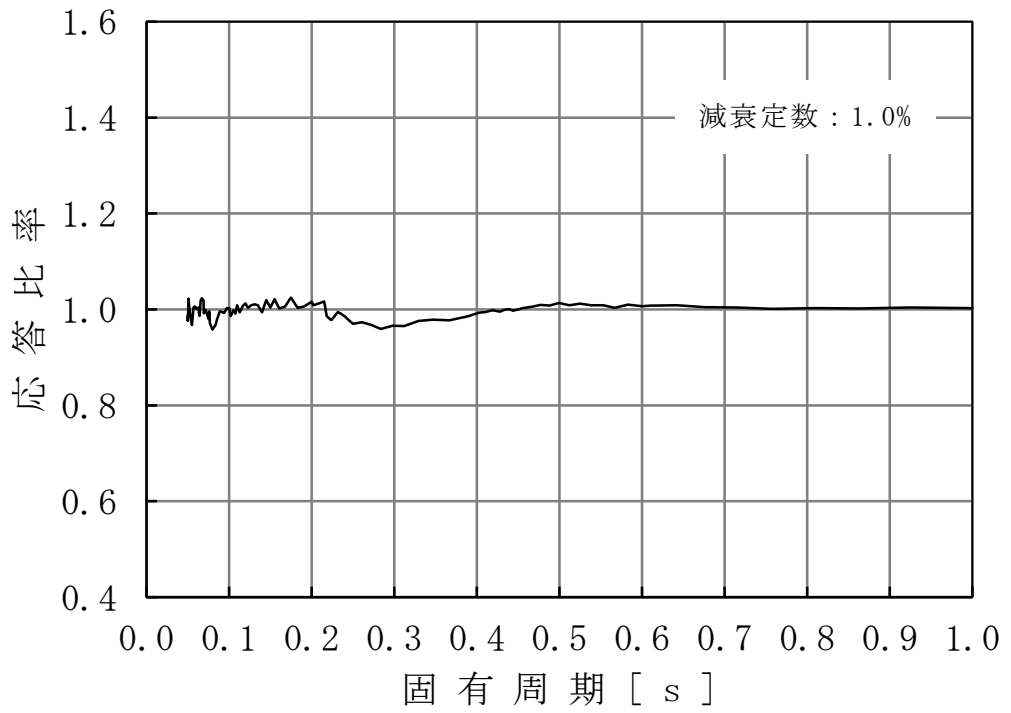


図 4-2 (7/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 8.200m)

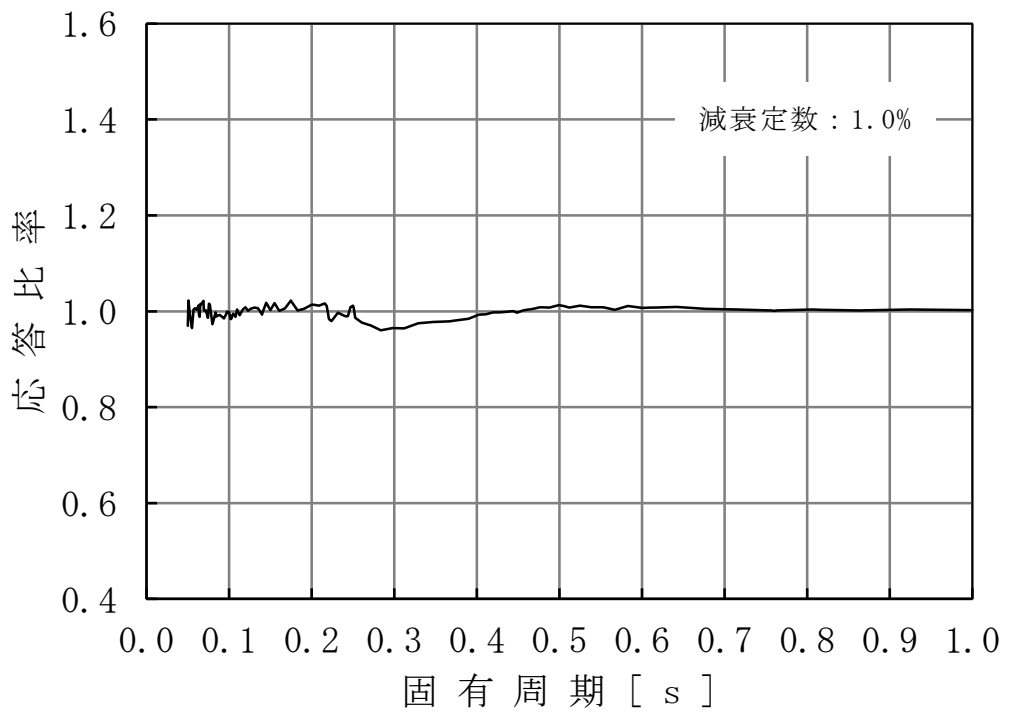


図 4-2 (8/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 7.000m)

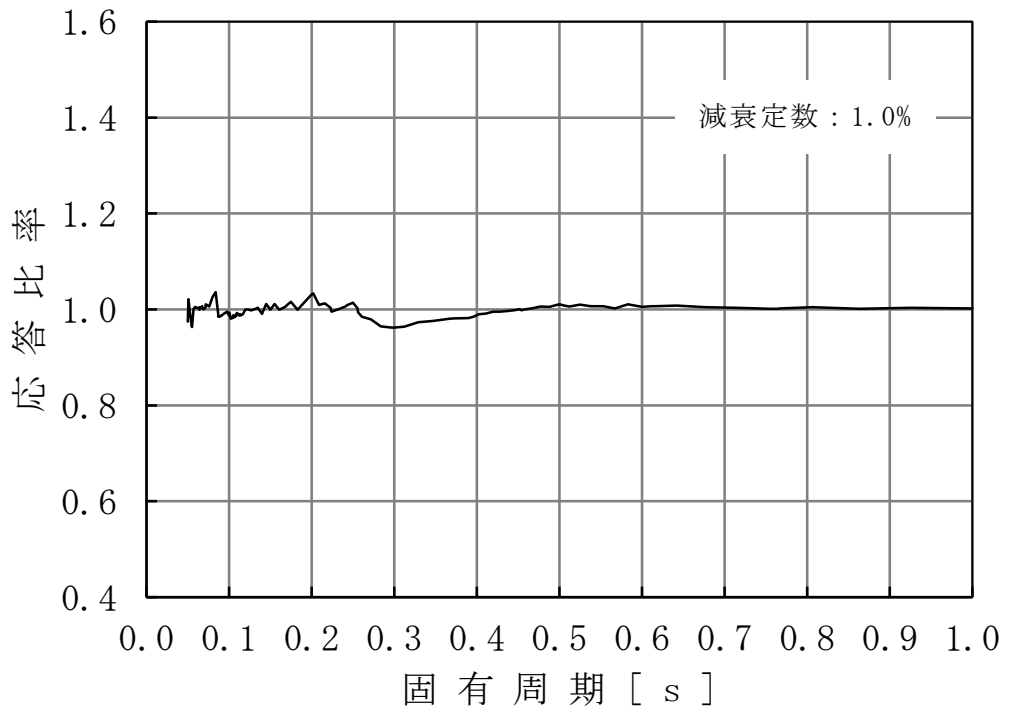


図 4-2 (9/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 4.500m)

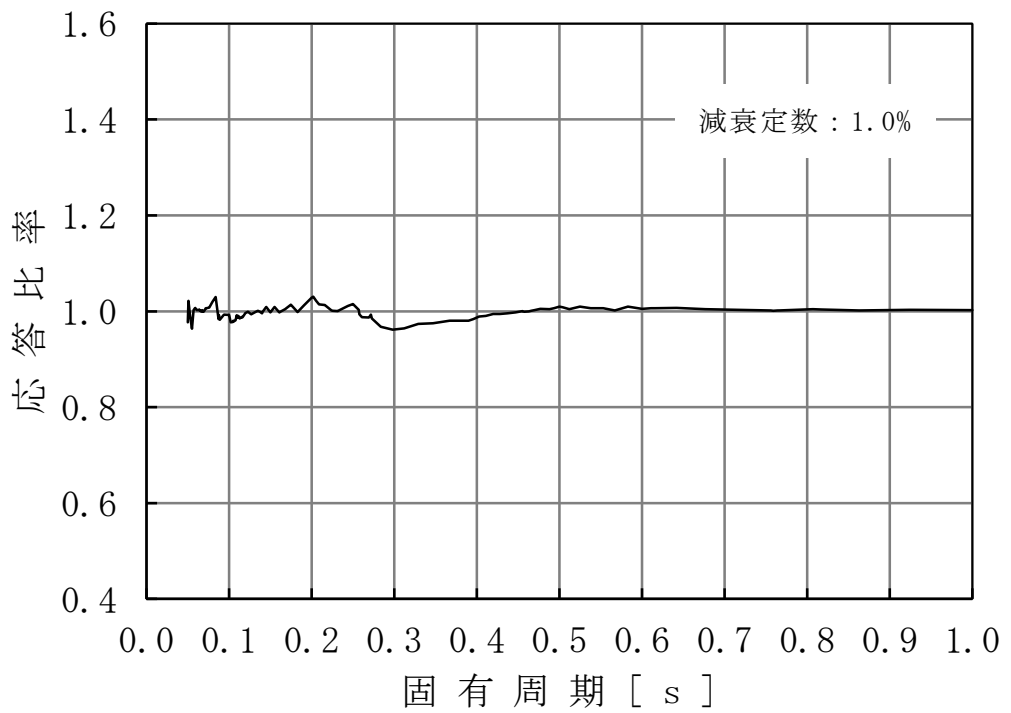


図 4-2 (10/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 3.500m)

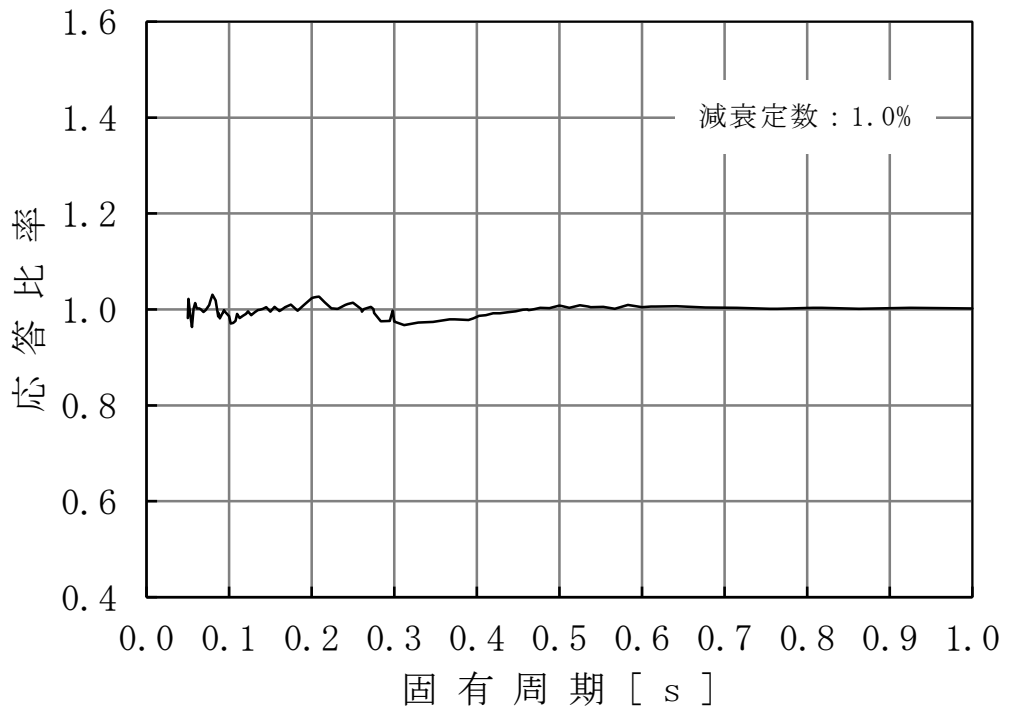


図 4-2 (11/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 1.700m)

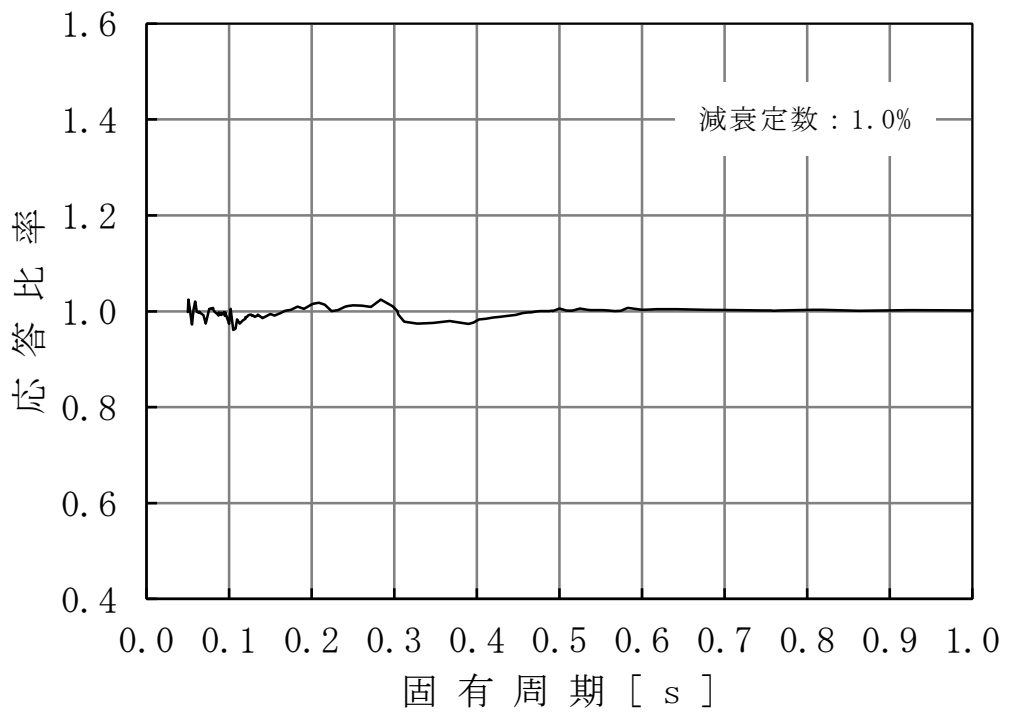


図 4-2 (12/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. -2.100m)

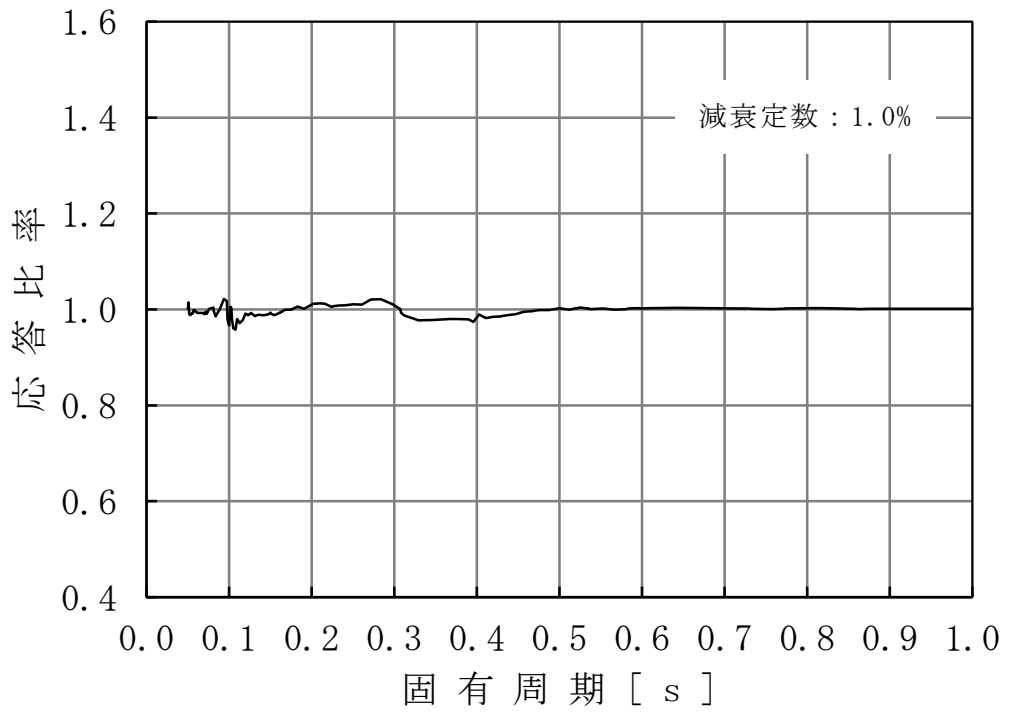


図 4-2 (13/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. -4.700m)

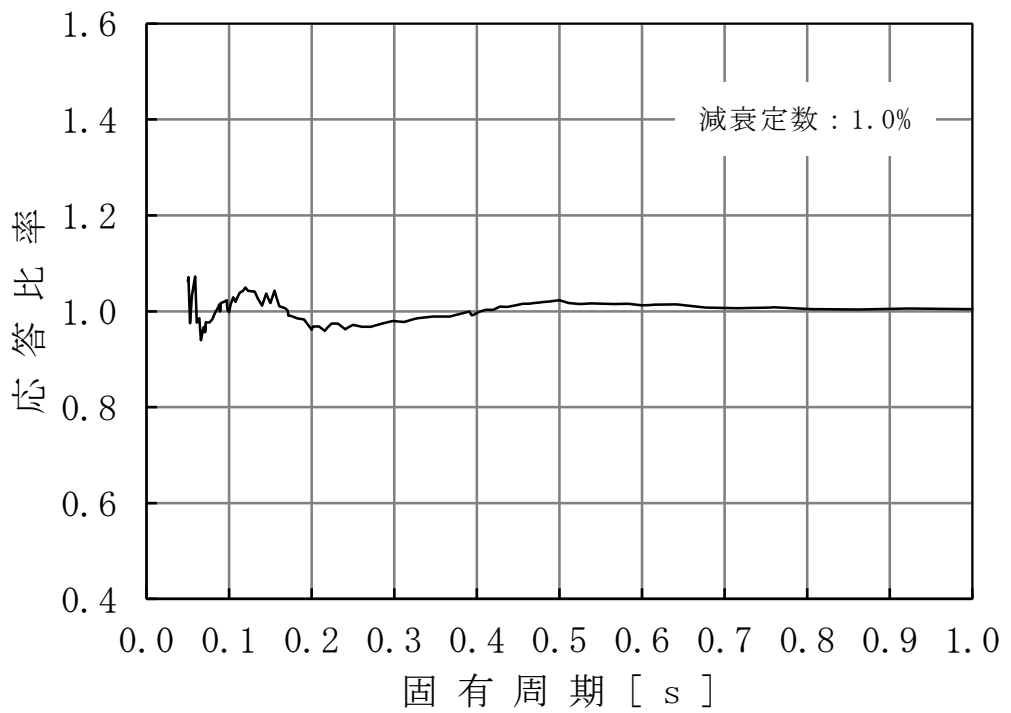


図 4-2 (14/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 26.013m)

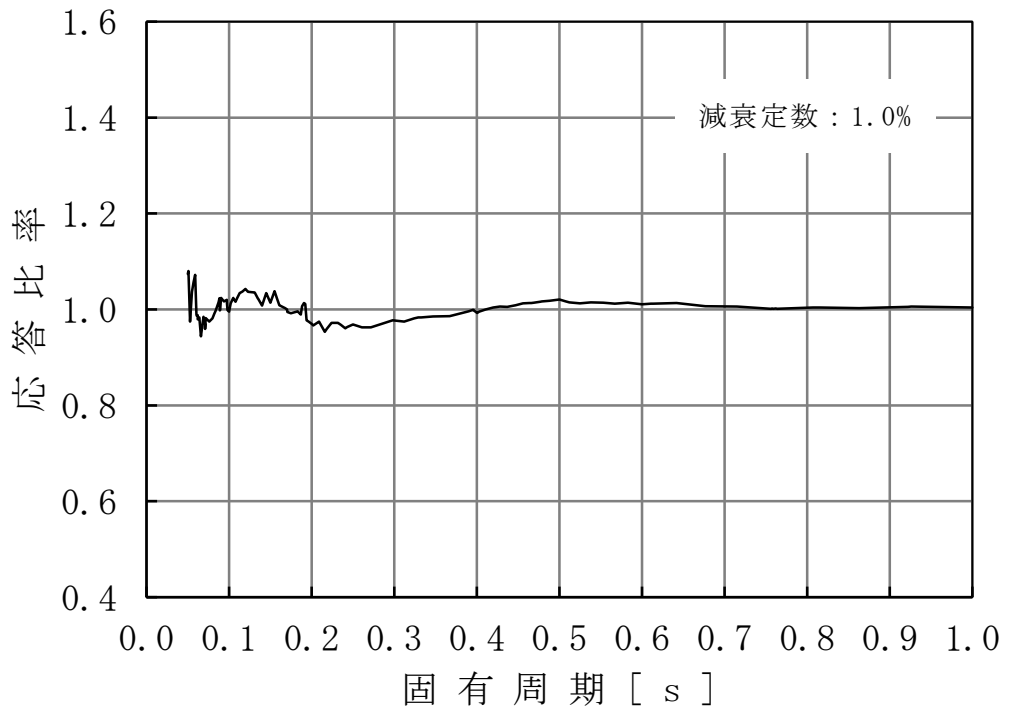


図 4-2 (15/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 20.494m)

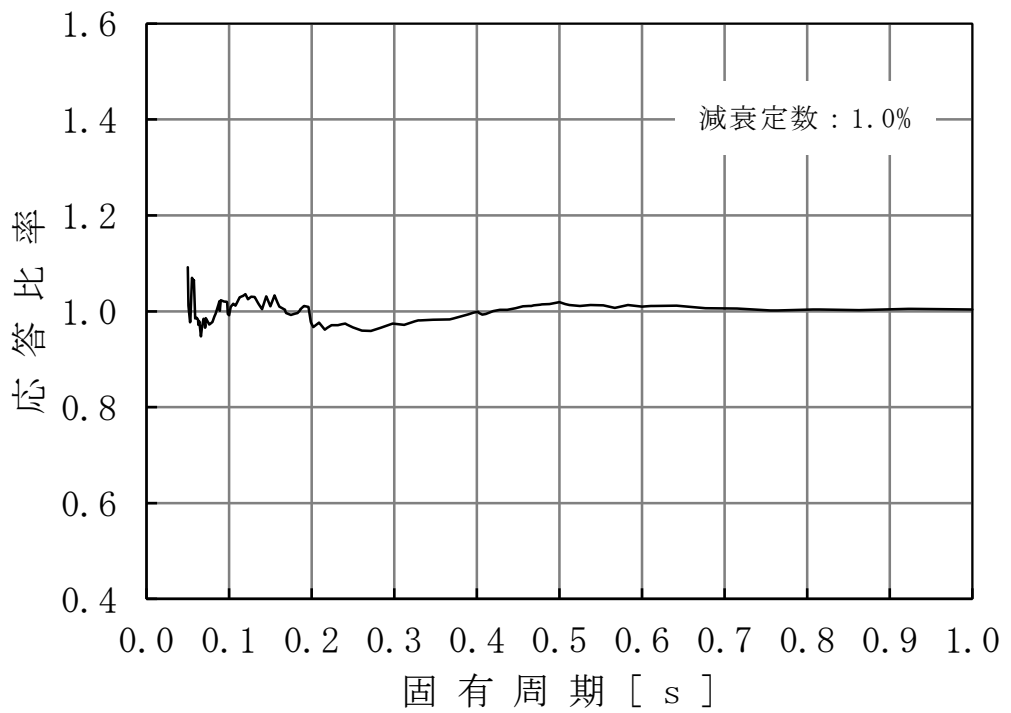


図 4-2 (16/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 16.563m)

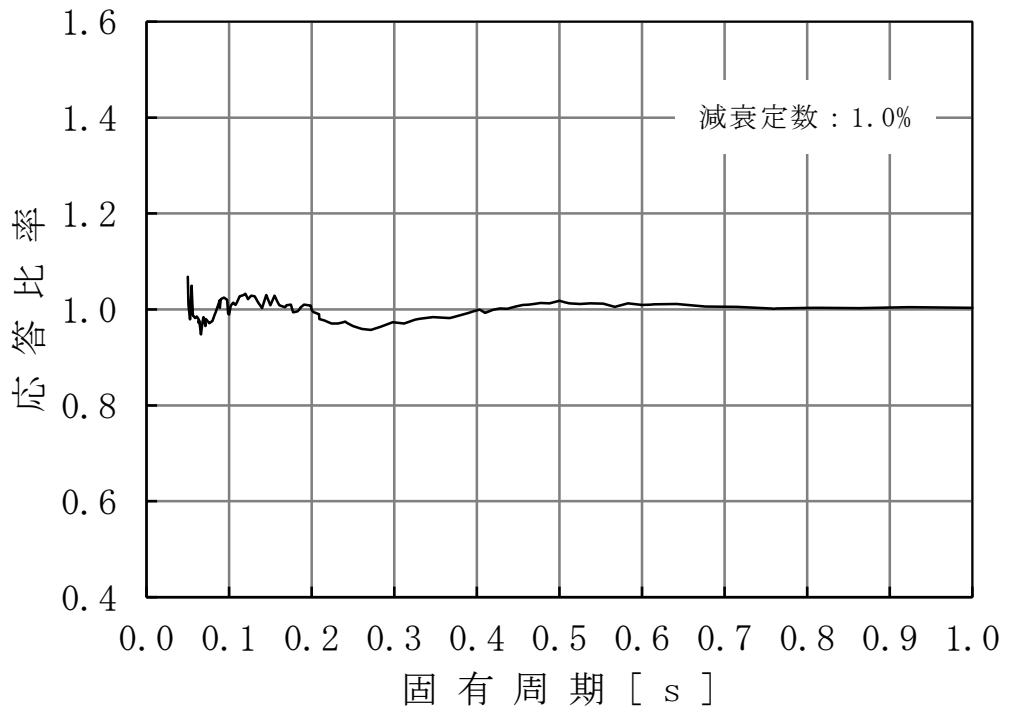


図 4-2 (17/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 15.262m)

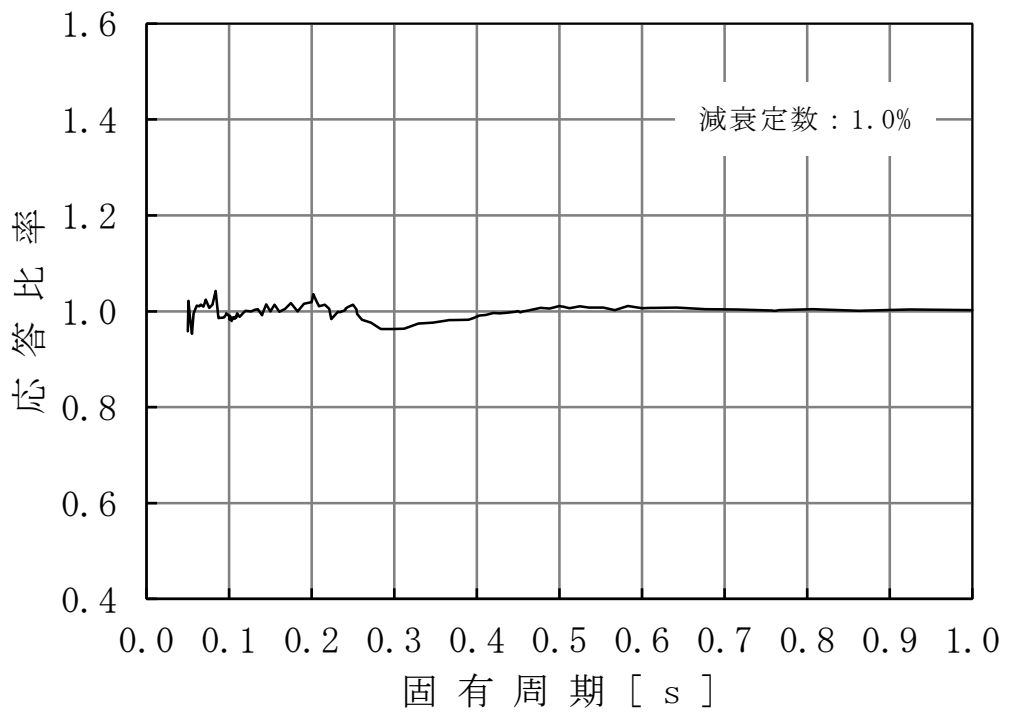


図 4-2 (18/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 4.950m)

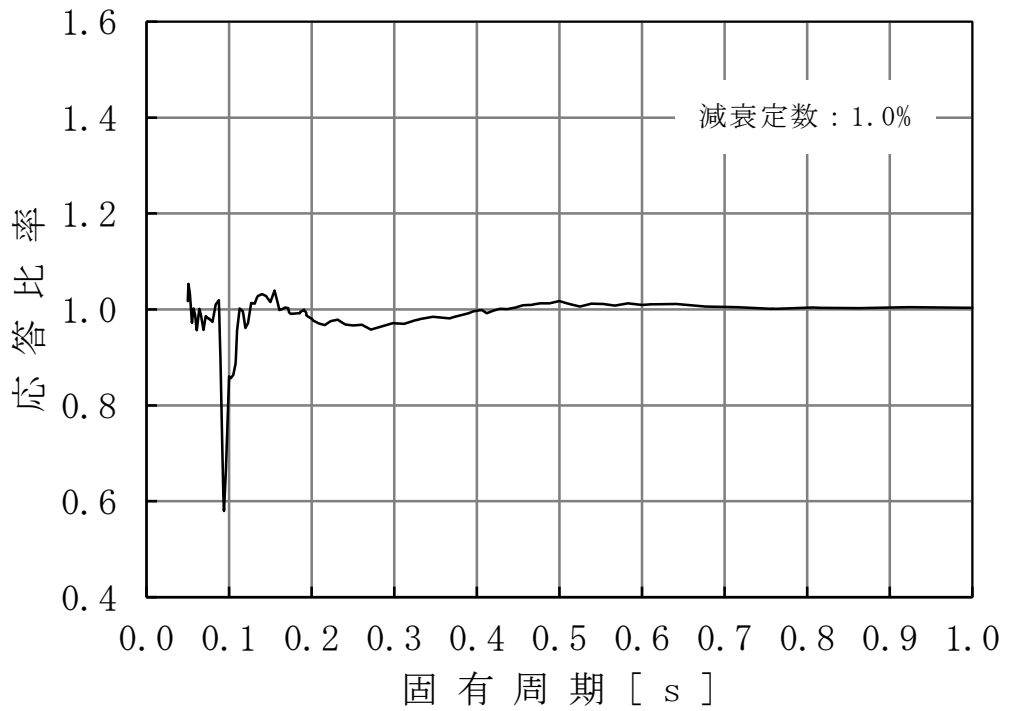


図 4-2 (19/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 14.433m)

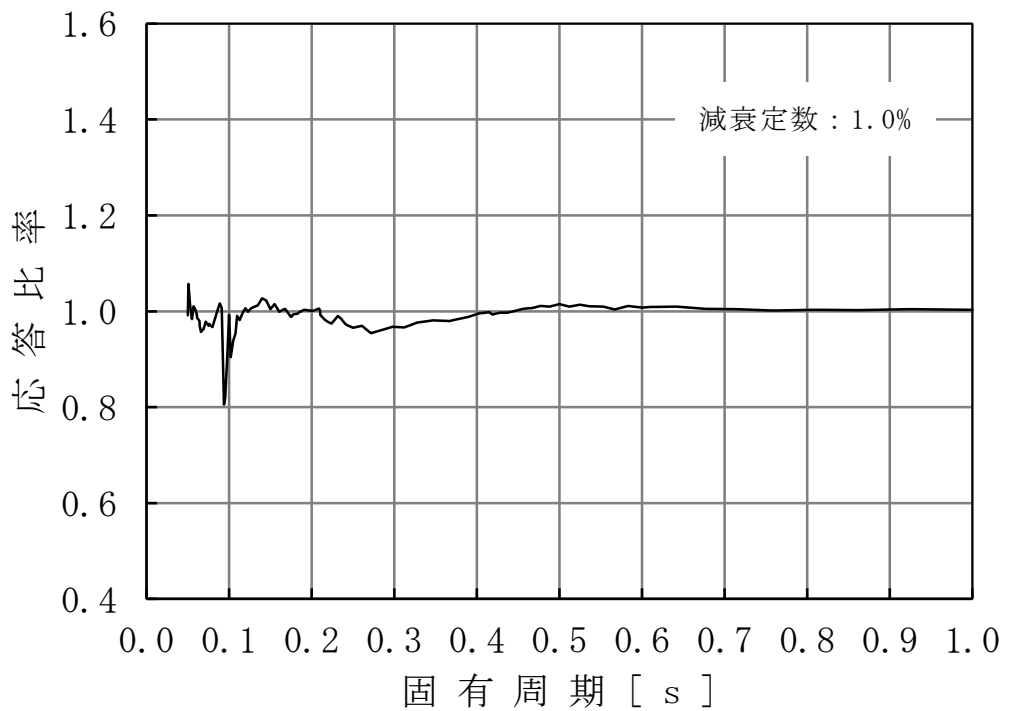


図 4-2 (20/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 10.161m)

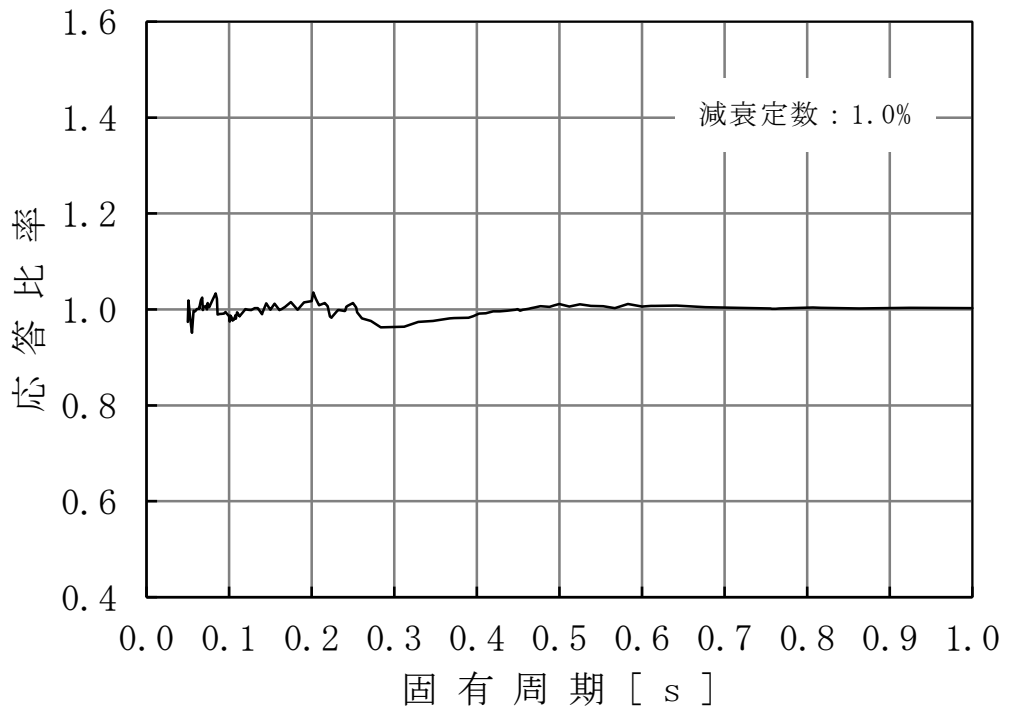


図 4-2 (21/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 5.066m)

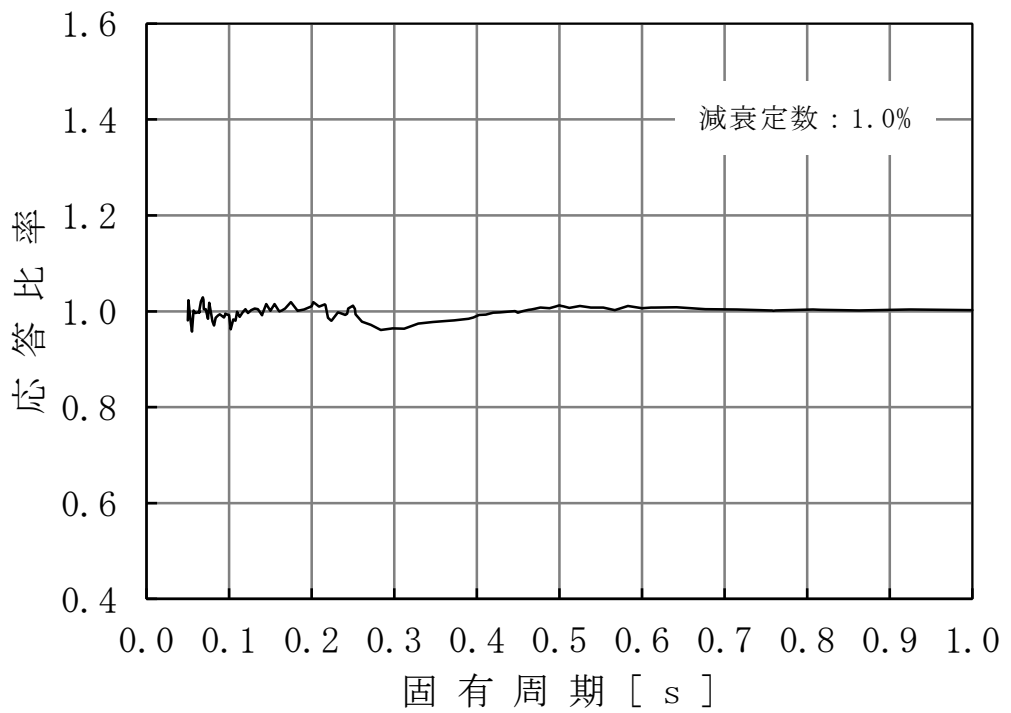


図 4-2 (22/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 水平方向, T.M.S.L. 6.253m)

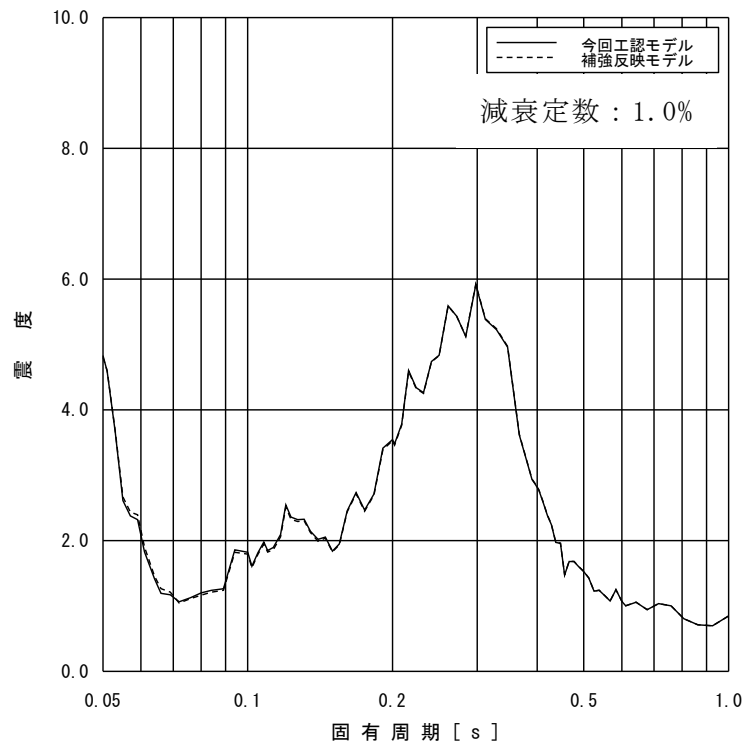


図 4-3 (1/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 21.200m)

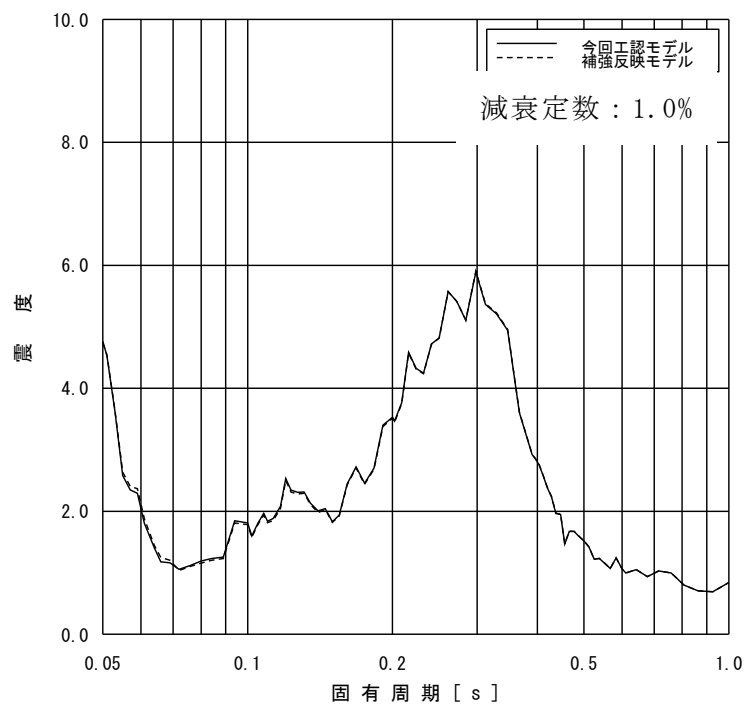


図 4-3 (2/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 18.440m)

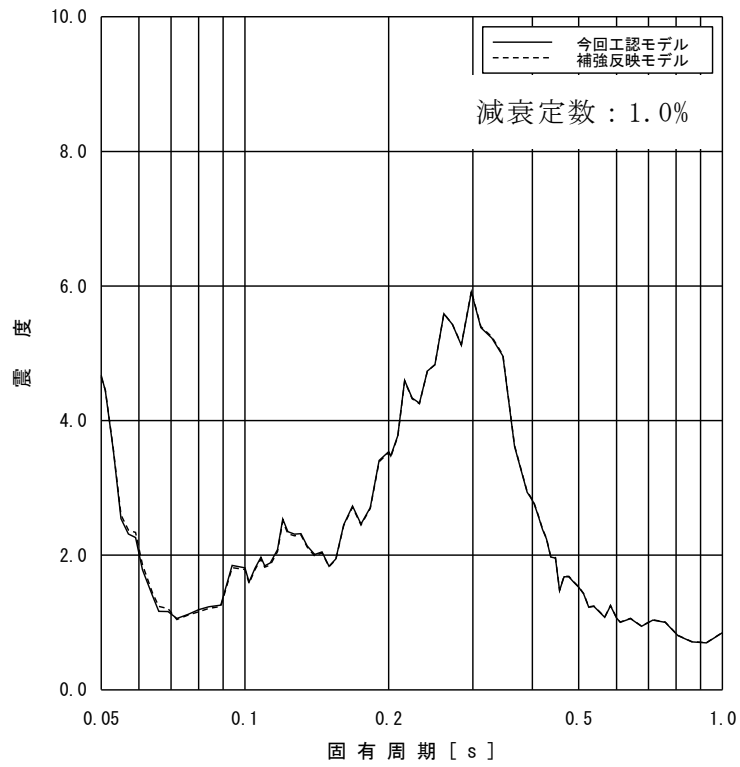


図 4-3 (3/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 17.020m)

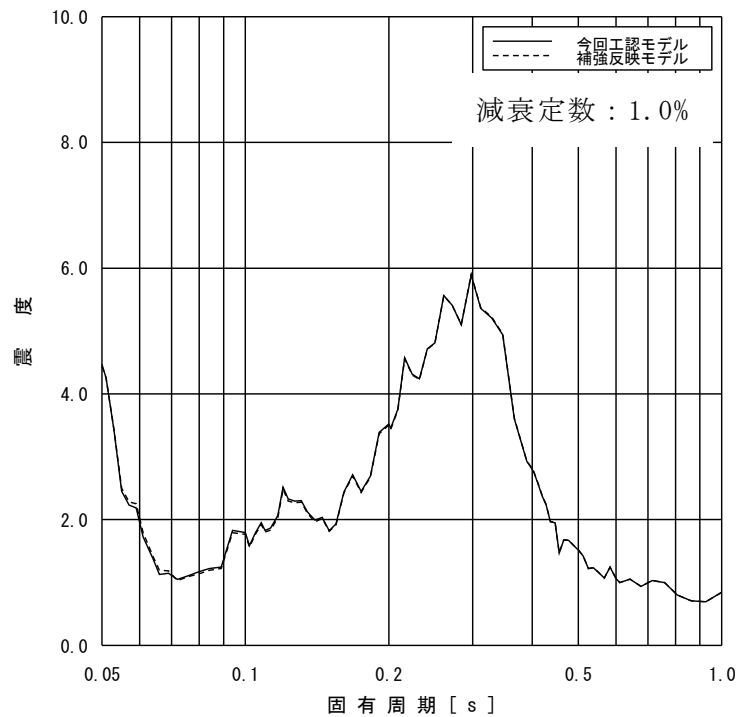


図 4-3 (4/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 15.600m)

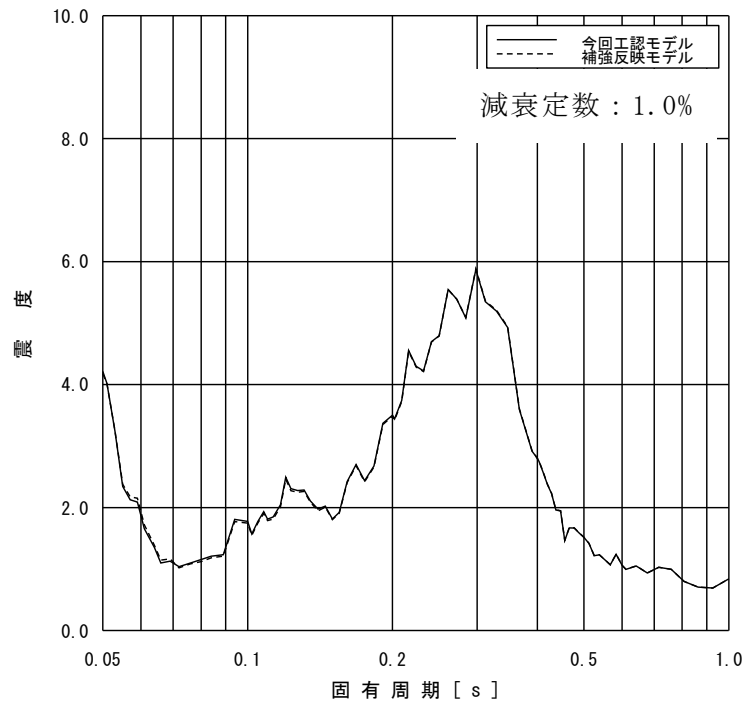


図 4-3 (5/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 13.950m)

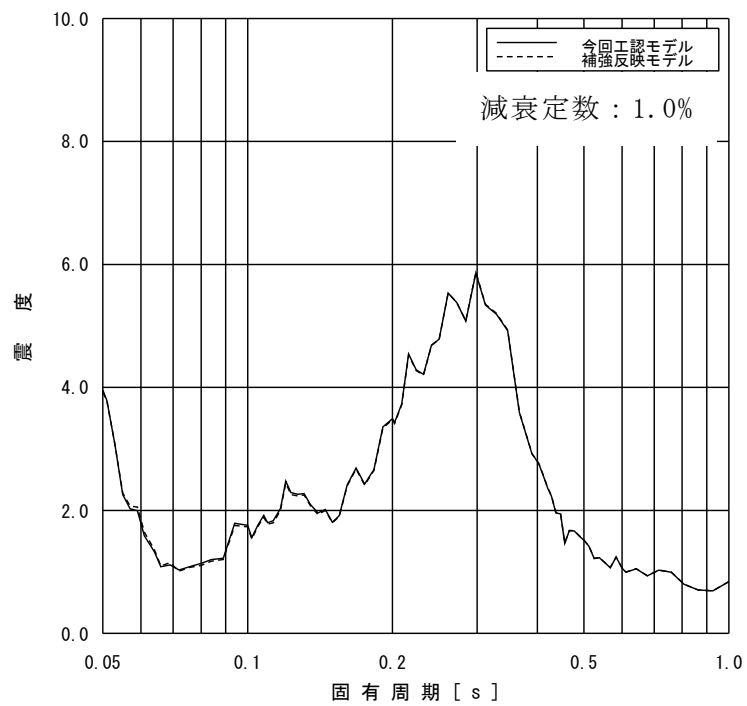


図 4-3 (6/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 12.300m)

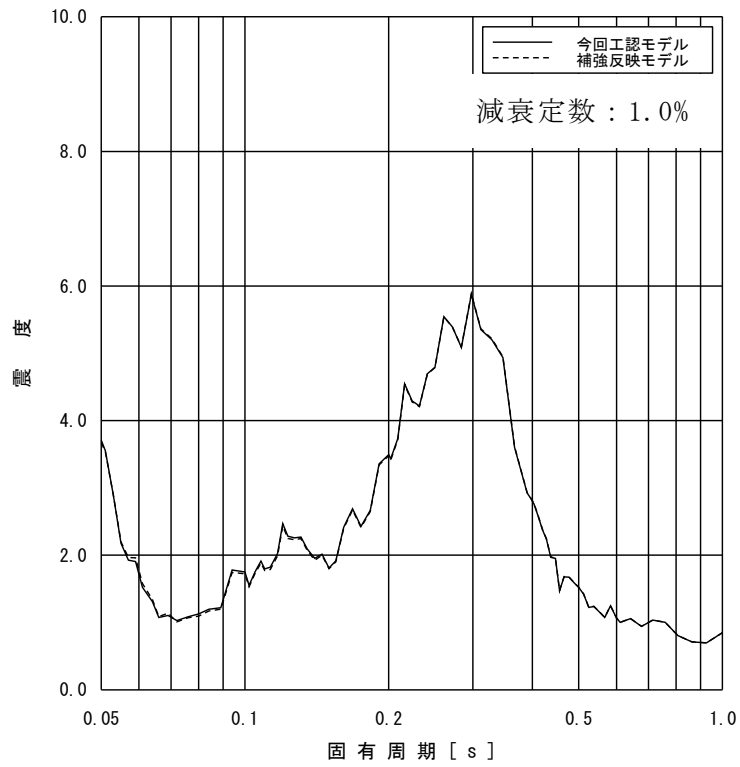


図 4-3 (7/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 8.200m)

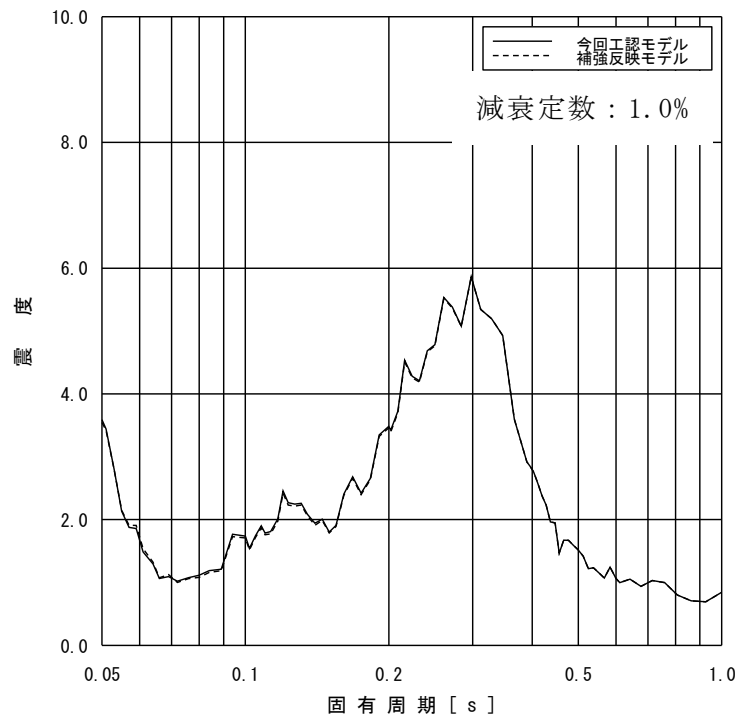


図 4-3 (8/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 7.000m)

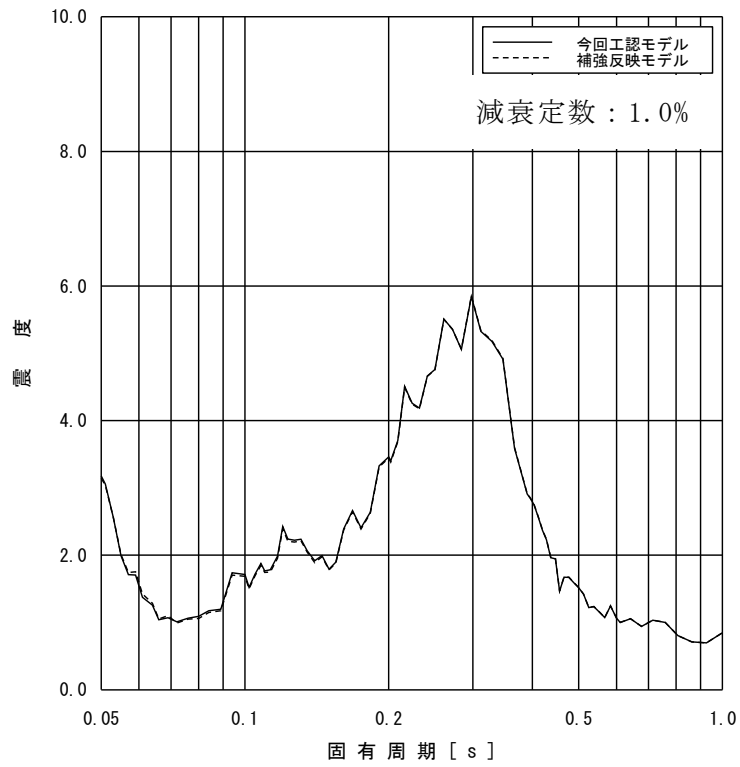


図 4-3 (9/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 4.500m)

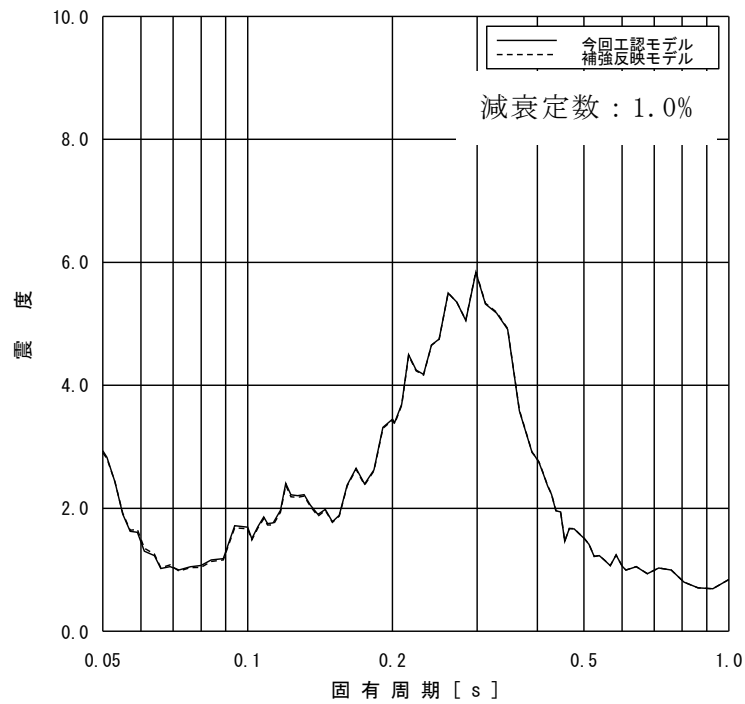


図 4-3 (10/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 3.500m)

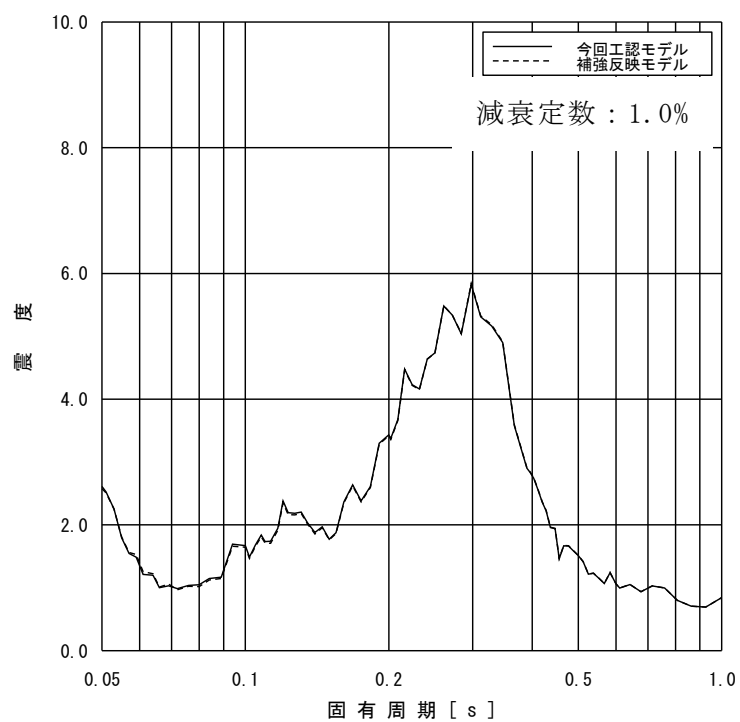


図 4-3 (11/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 1.700m)

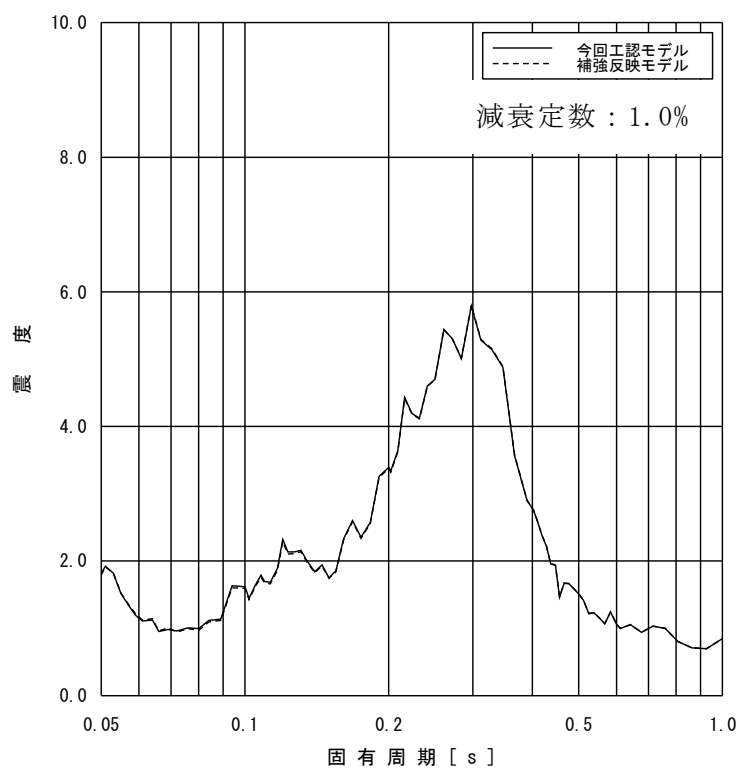


図 4-3 (12/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. -2.100m)

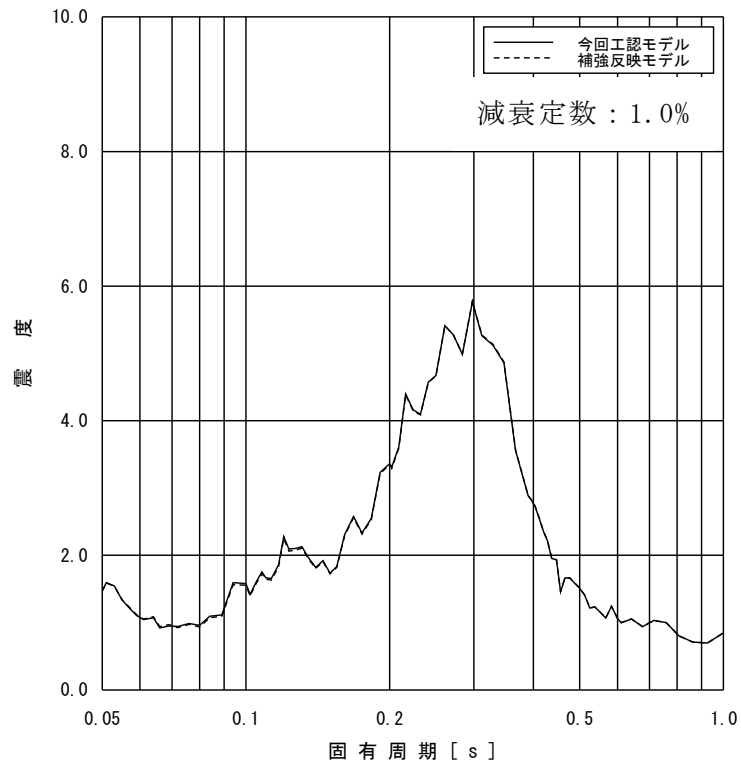


図 4-3 (13/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. -4.700m)

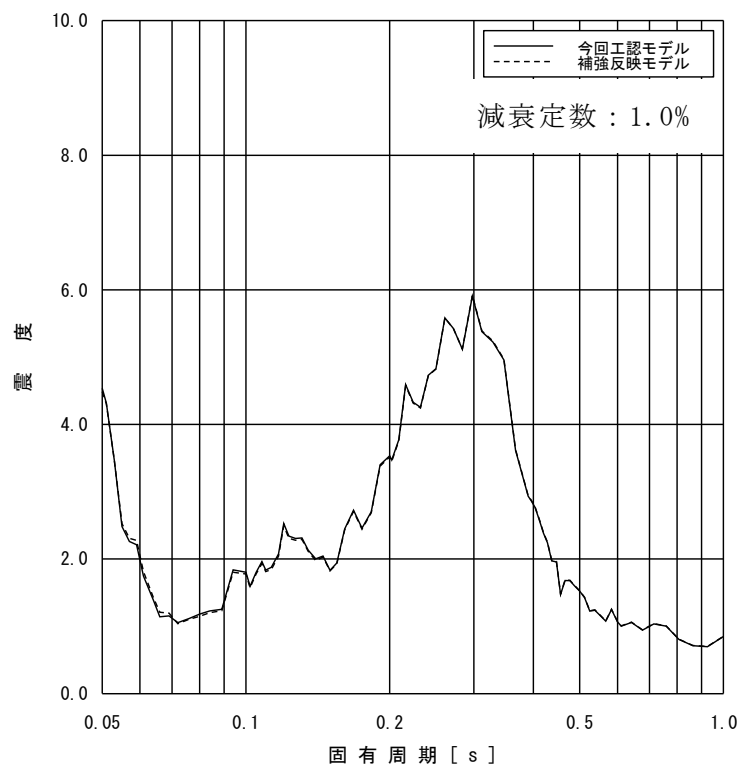


図 4-3 (14/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 26.013m)

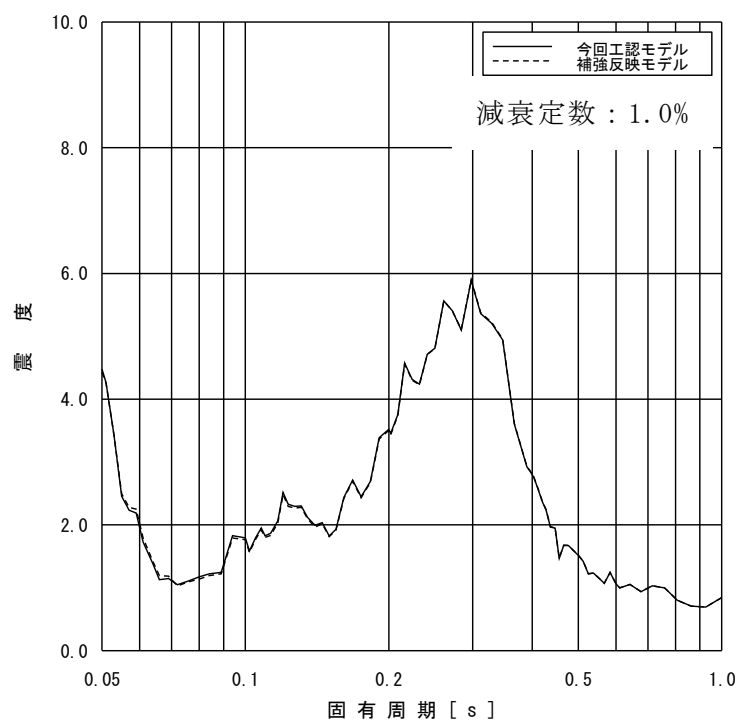


図 4-3 (15/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 20.494m)

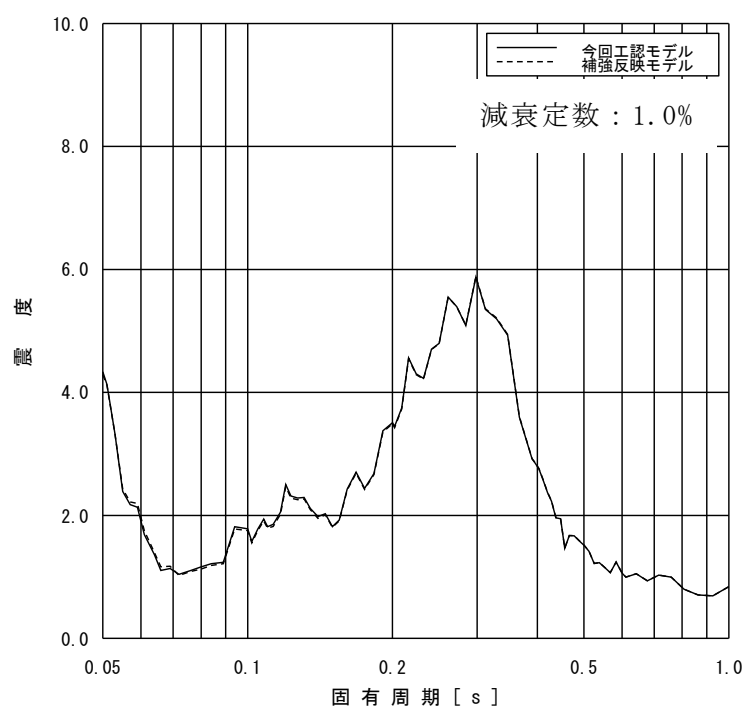


図 4-3 (16/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 16.506m)

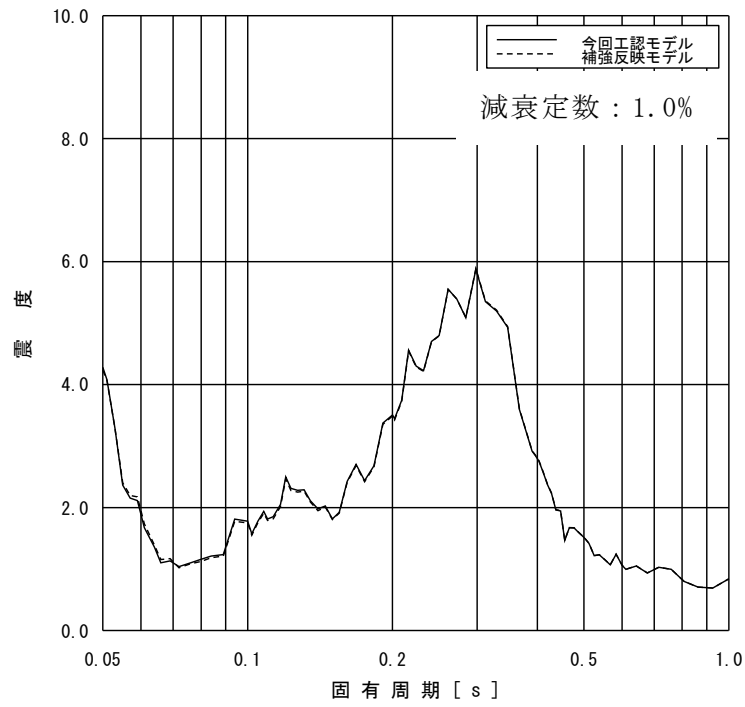


図 4-3 (17/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 15.262m)

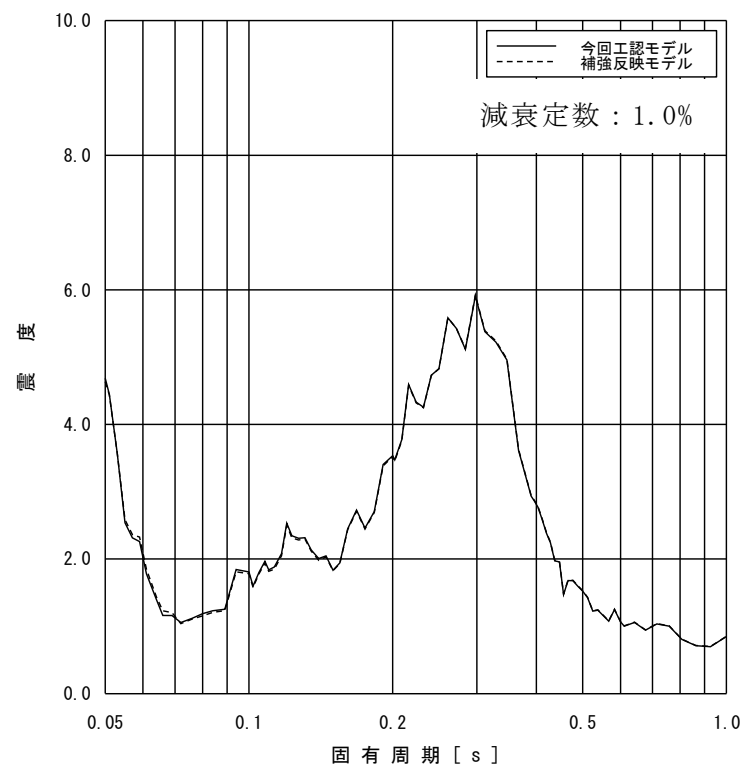


図 4-3 (18/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 5.066m)

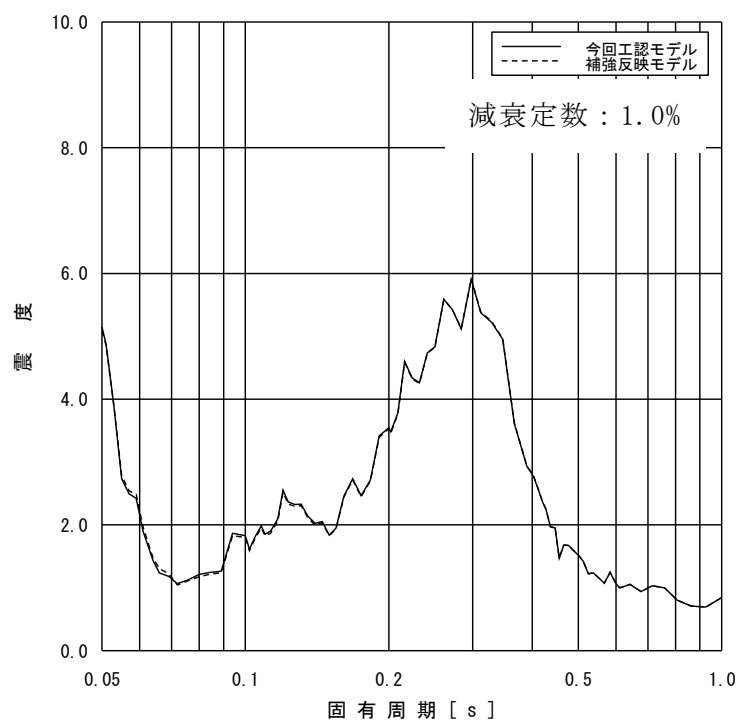


図 4-3 (19/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 14.433m)

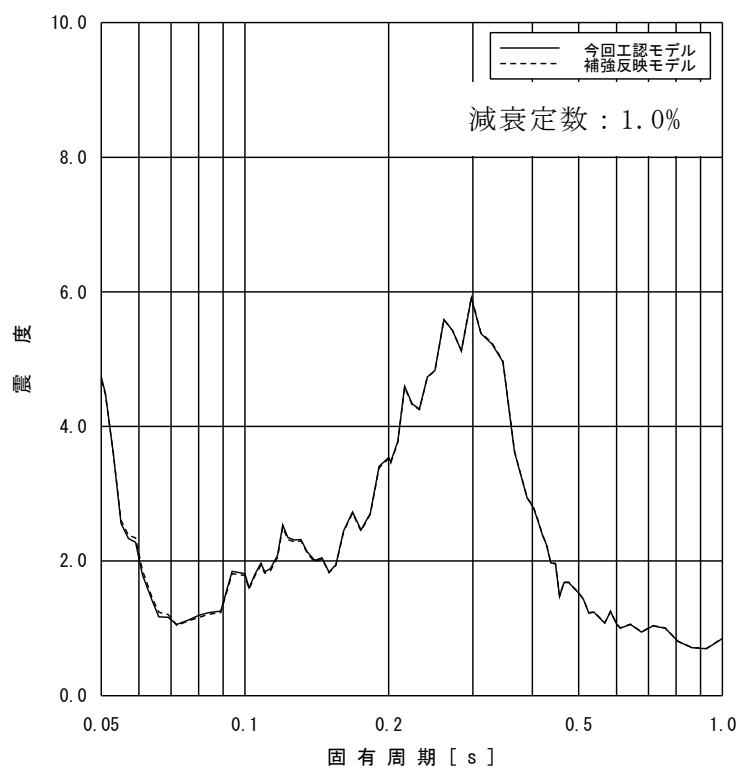


図 4-3 (20/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 9.645m)

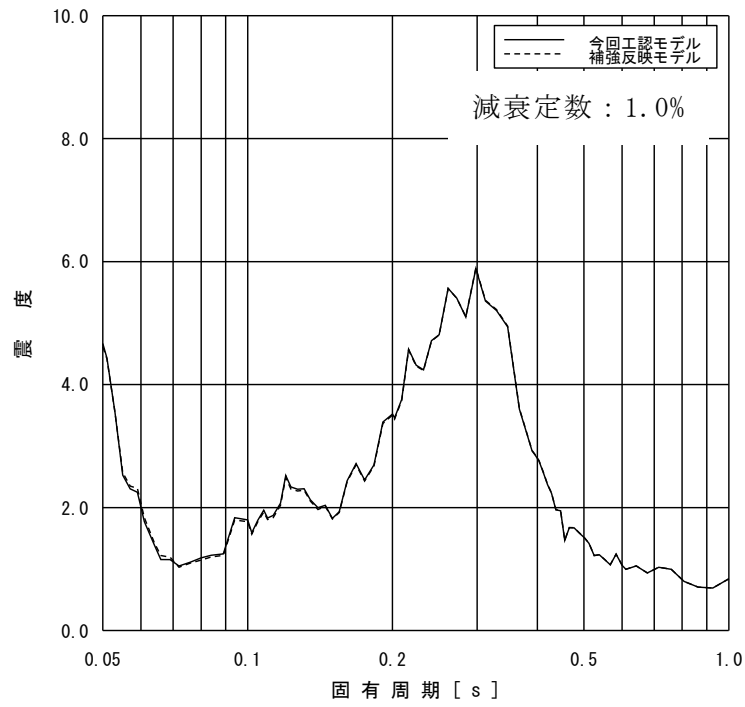


図 4-3 (21/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 5.066m)

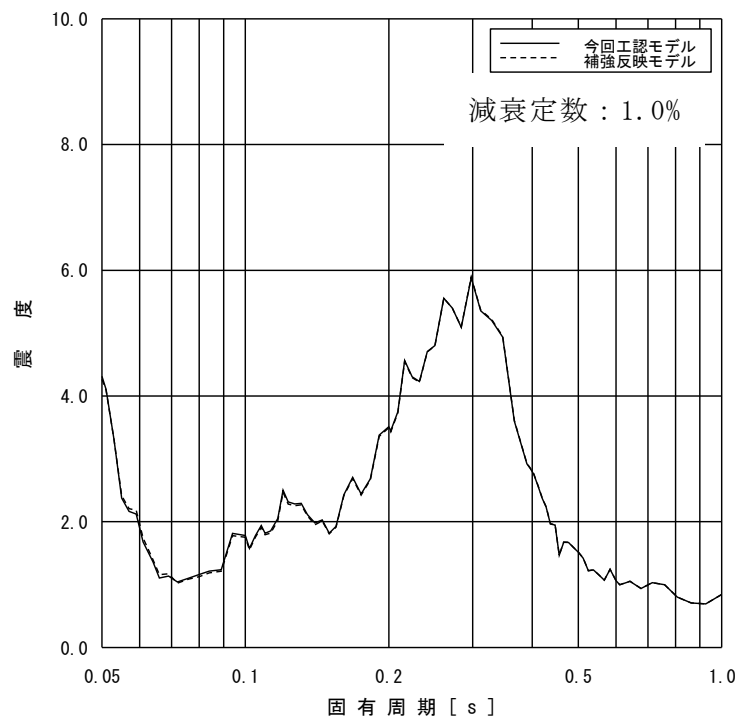


図 4-3 (22/22) 床応答スペクトル (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 6.253m)

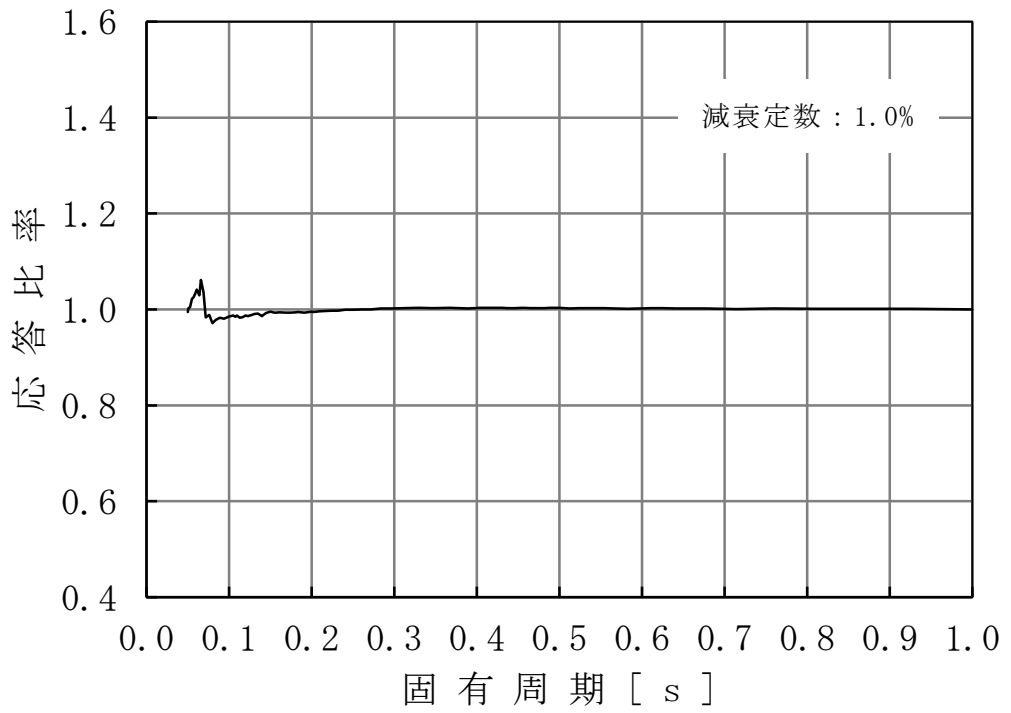


図 4-4 (1/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 21.200m)

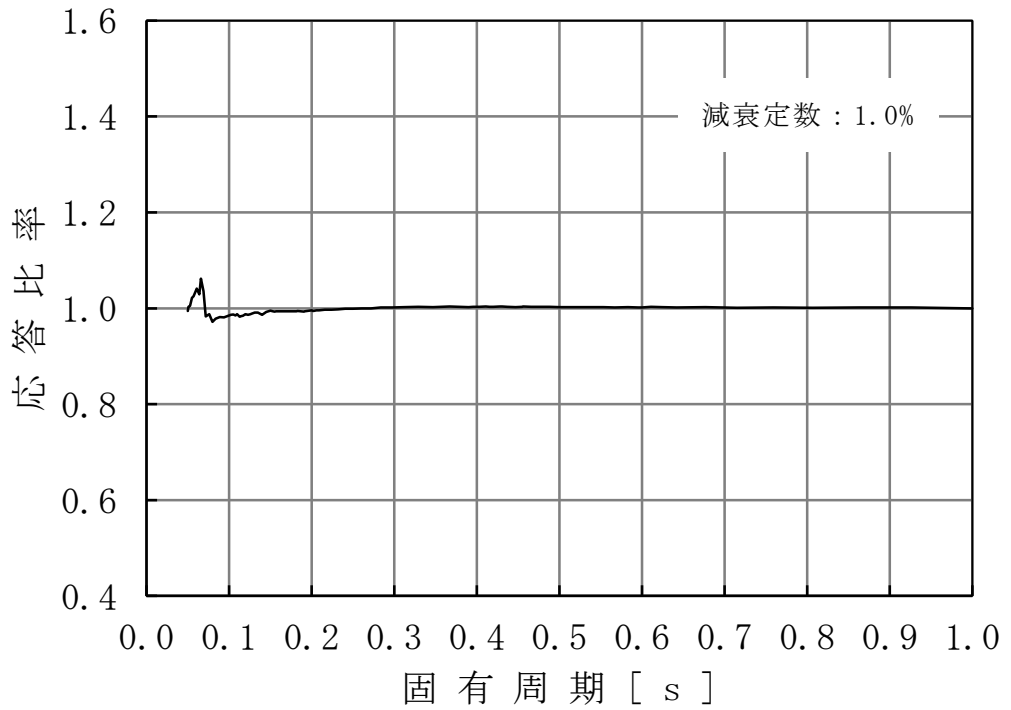


図 4-4 (2/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 18.440m)

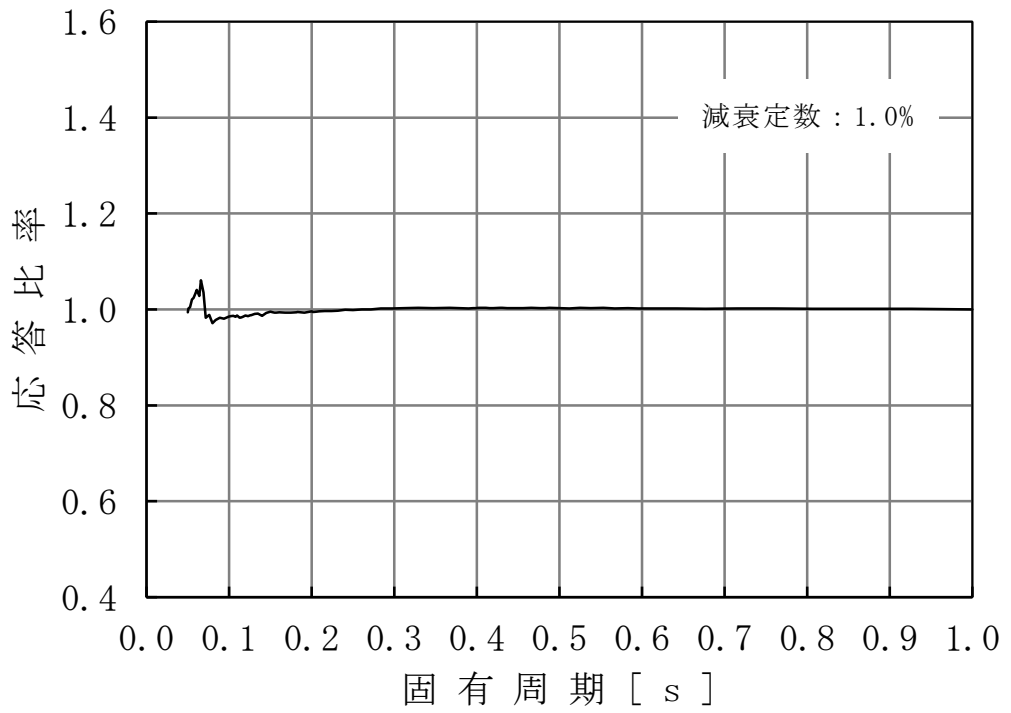


図 4-4 (3/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 17.020m)

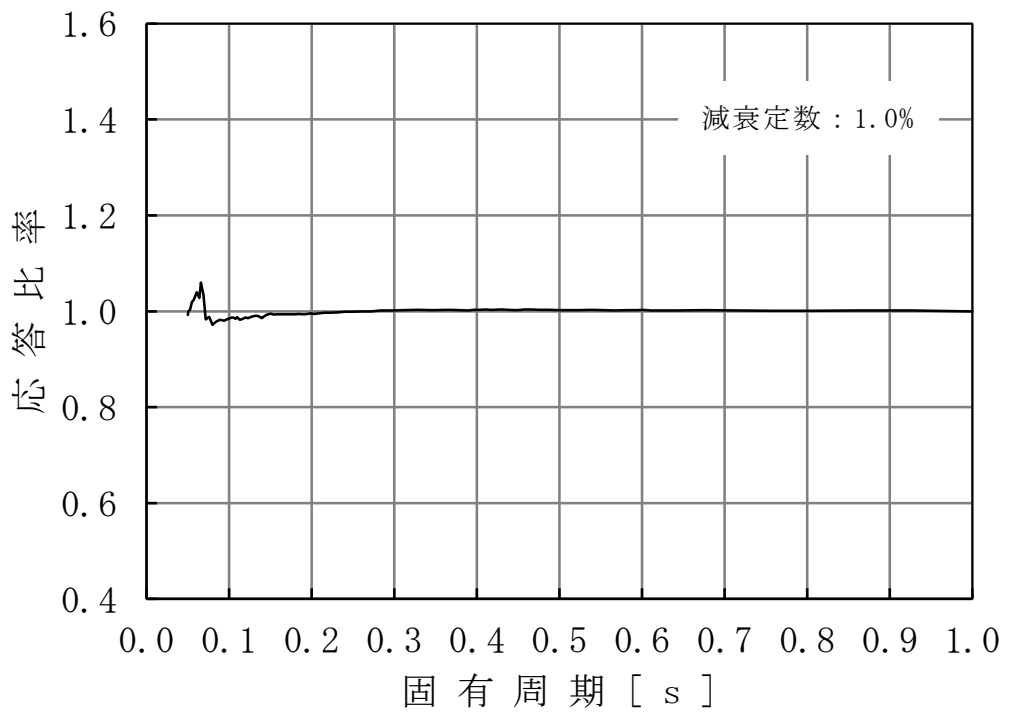


図 4-4 (4/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 15.600m)

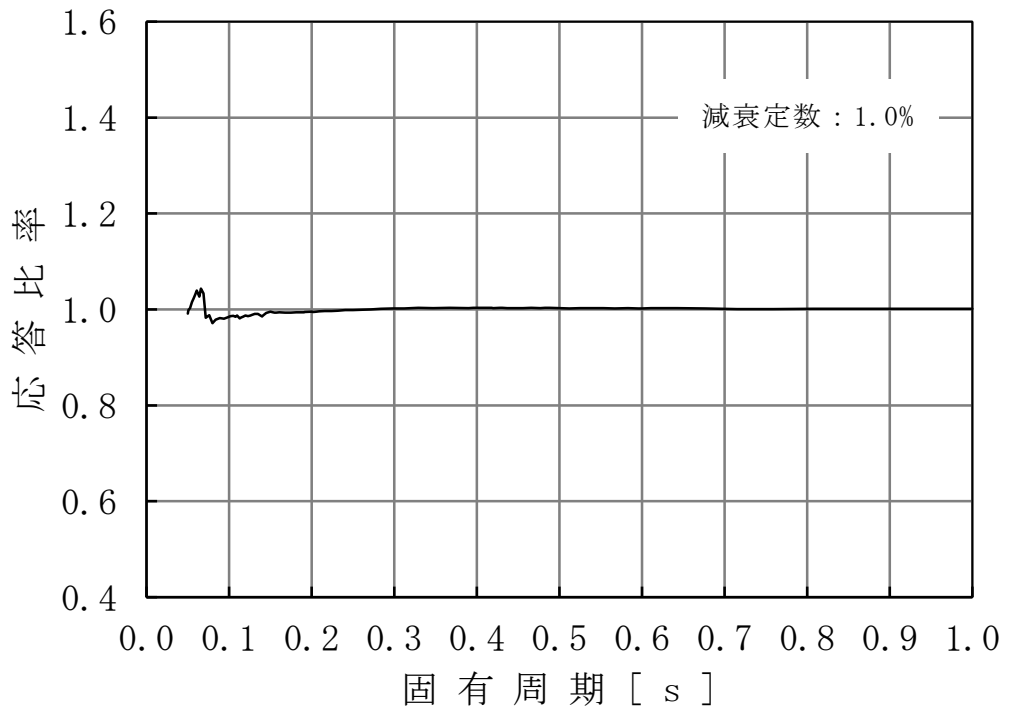


図 4-4 (5/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 13.950m)

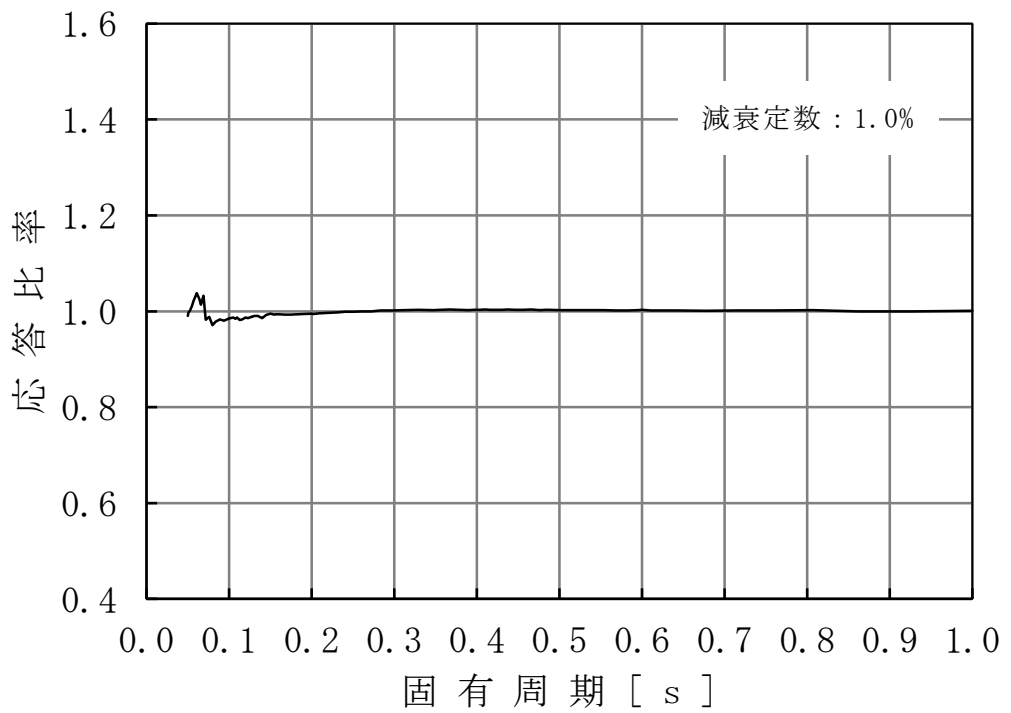


図 4-4 (6/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 12.300m)

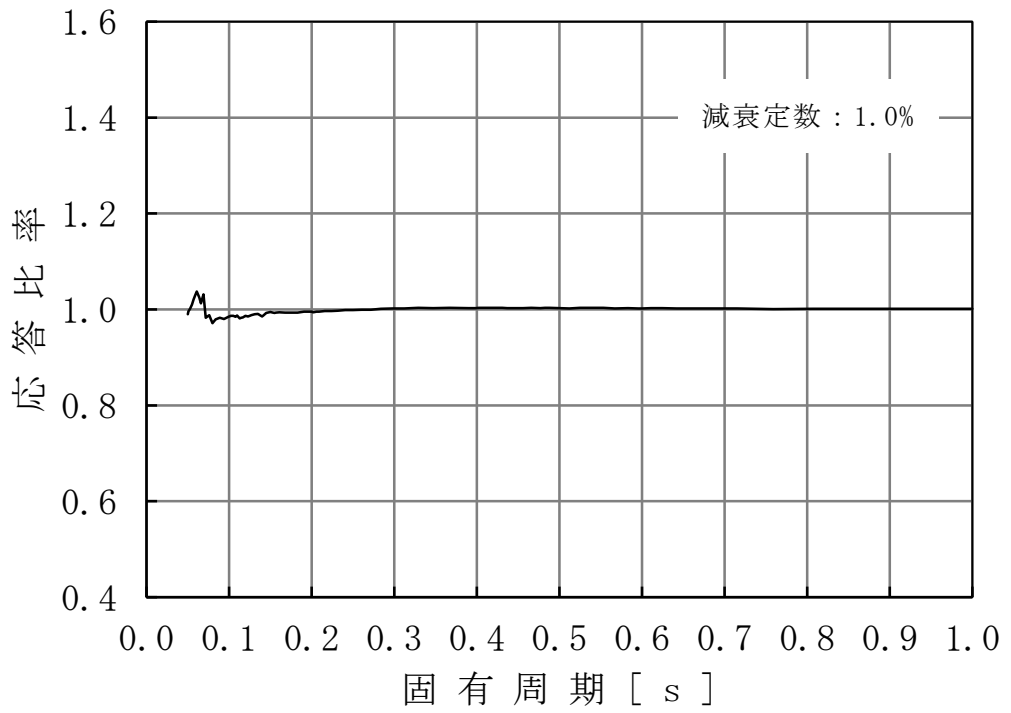


図 4-4 (7/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 8.200m)

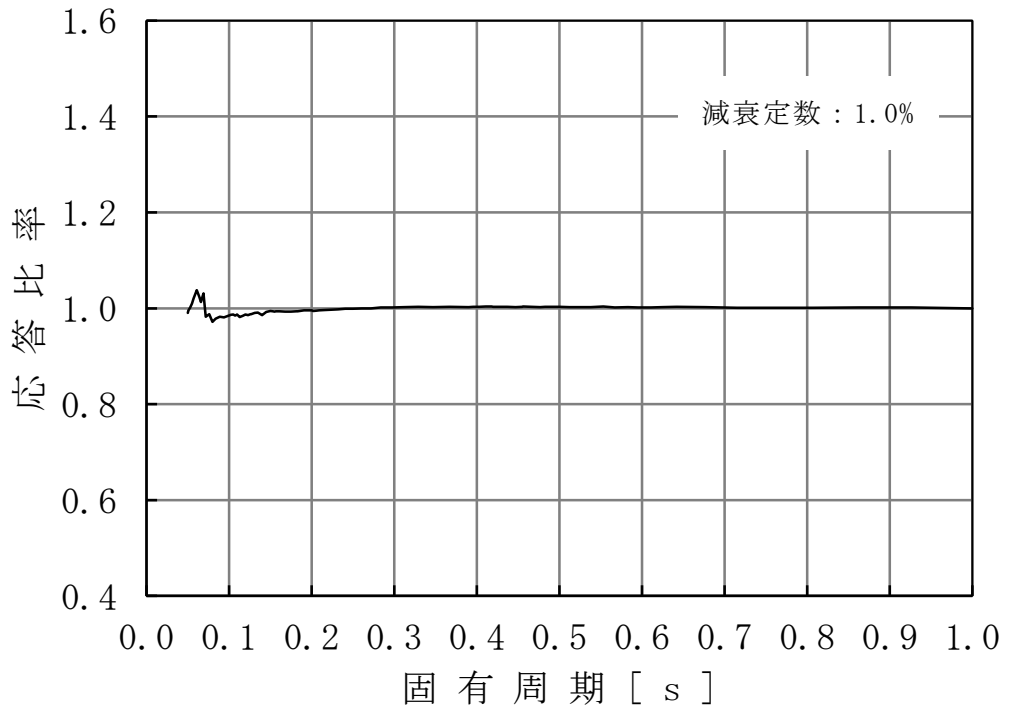


図 4-4 (8/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 7.000m)

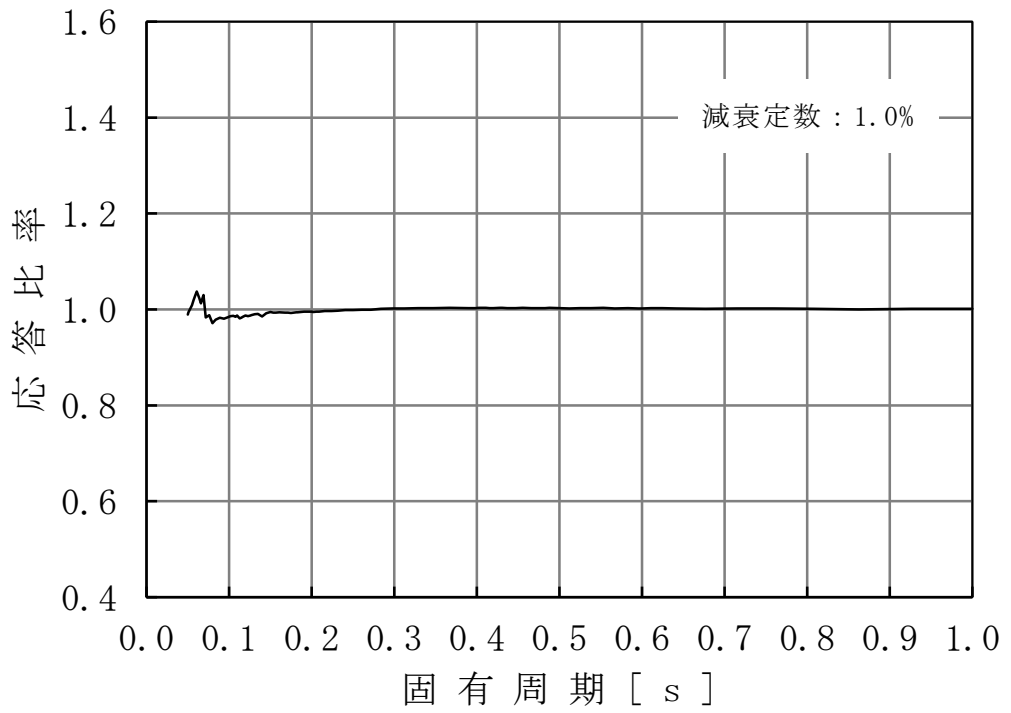


図 4-4 (9/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 4.500m)

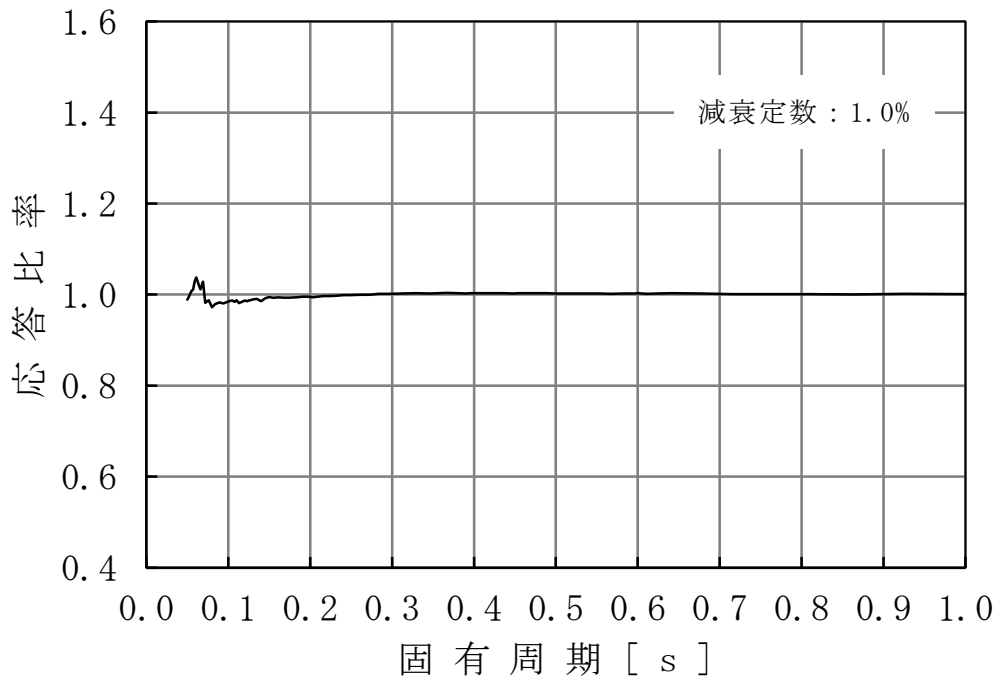


図 4-4 (10/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 3.500m)

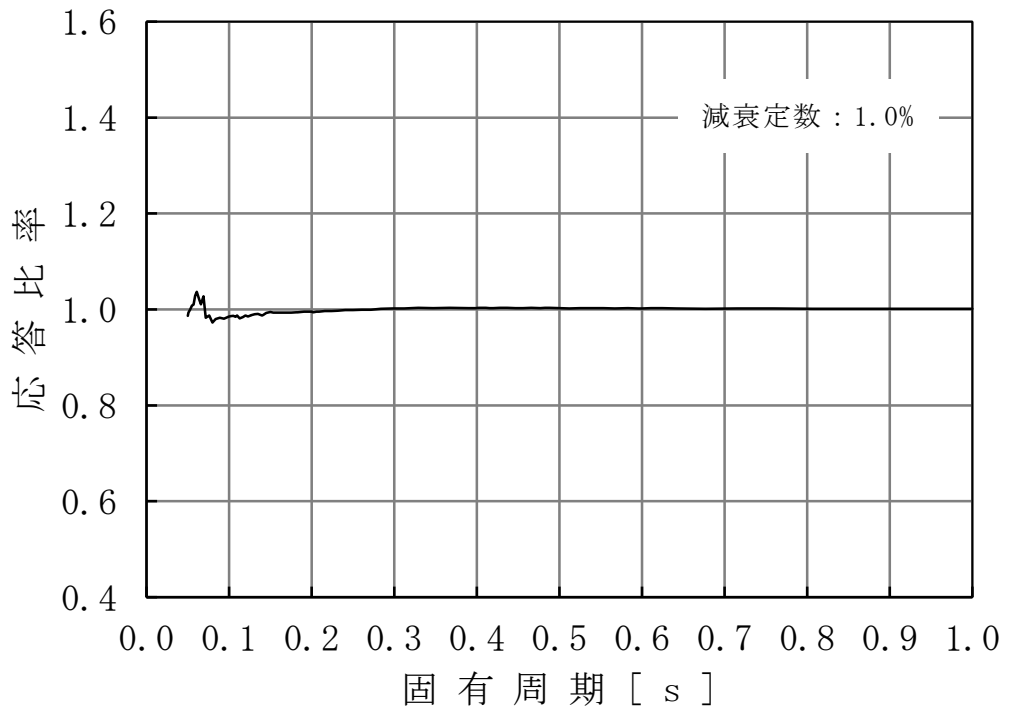


図 4-4 (11/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 1.700m)

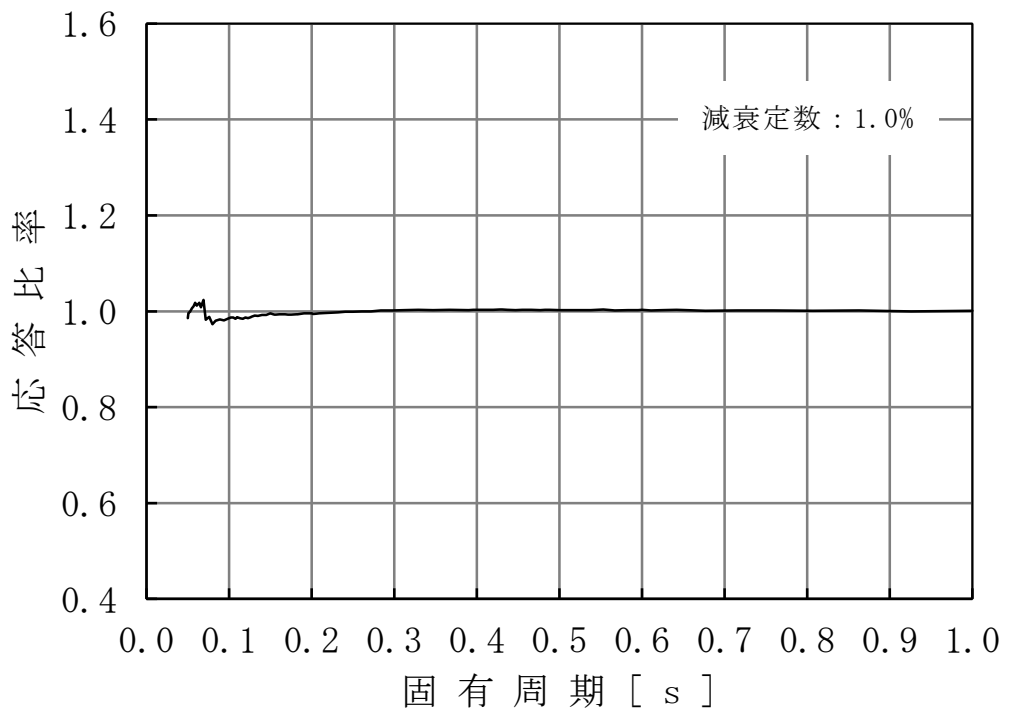


図 4-4 (12/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. -2.100m)

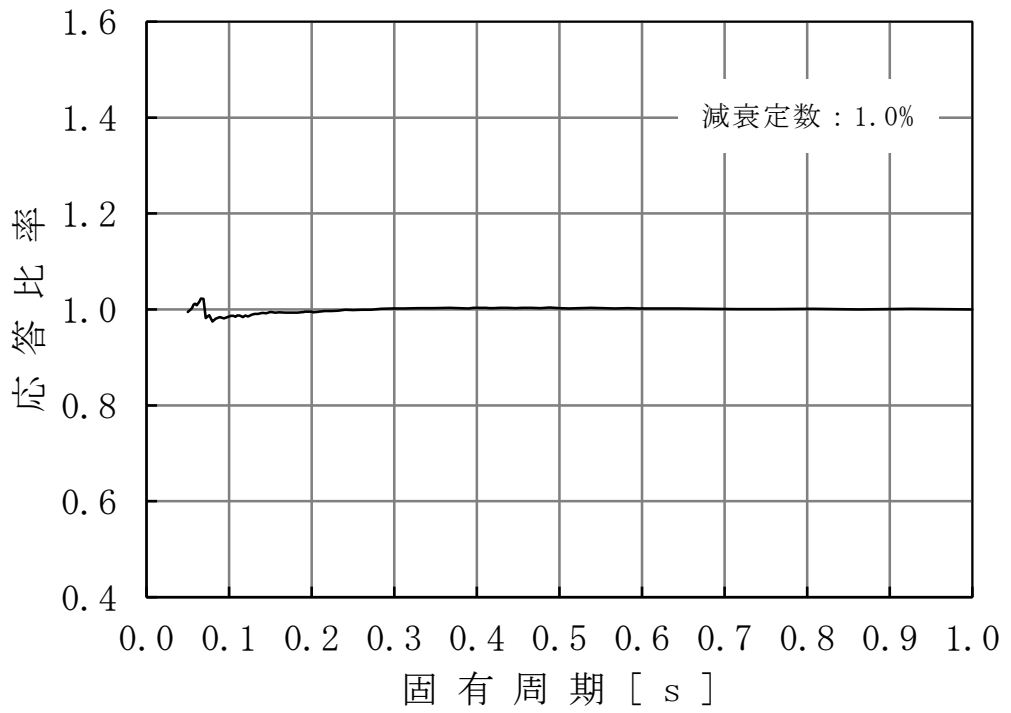


図 4-4 (13/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. -4.700m)

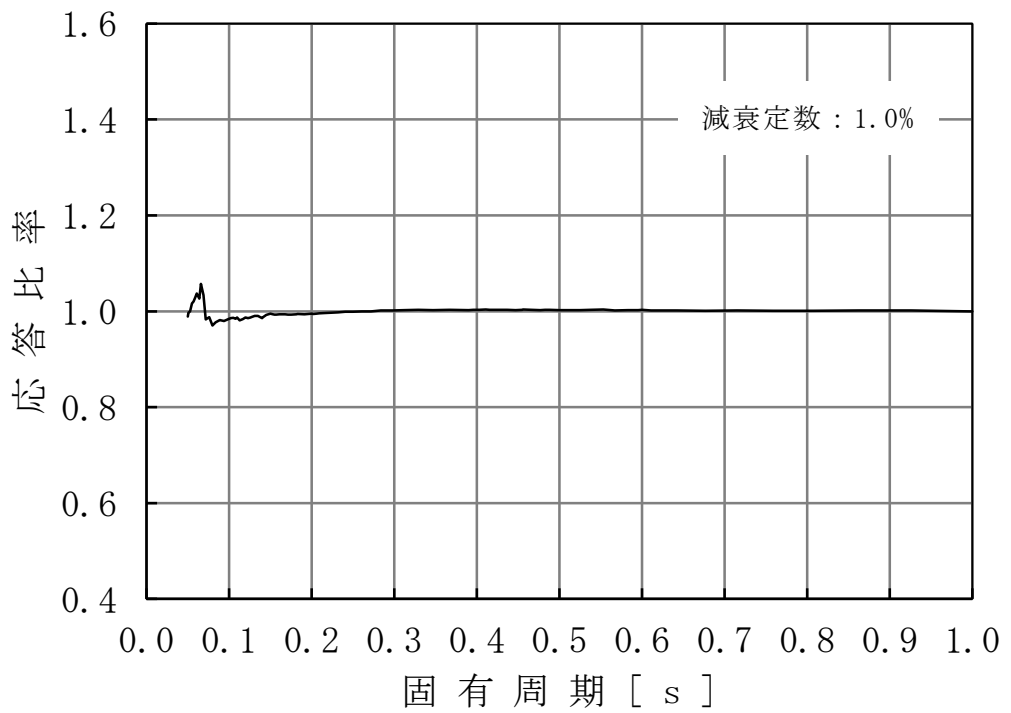


図 4-4 (14/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 26.013m)

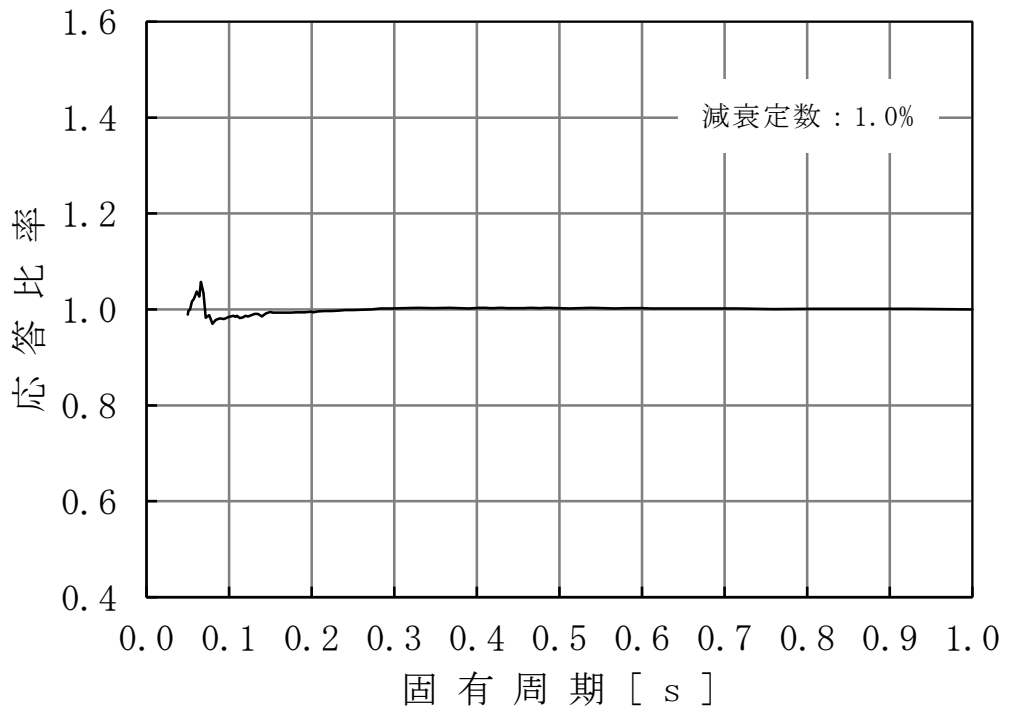


図 4-4 (15/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 20.494m)

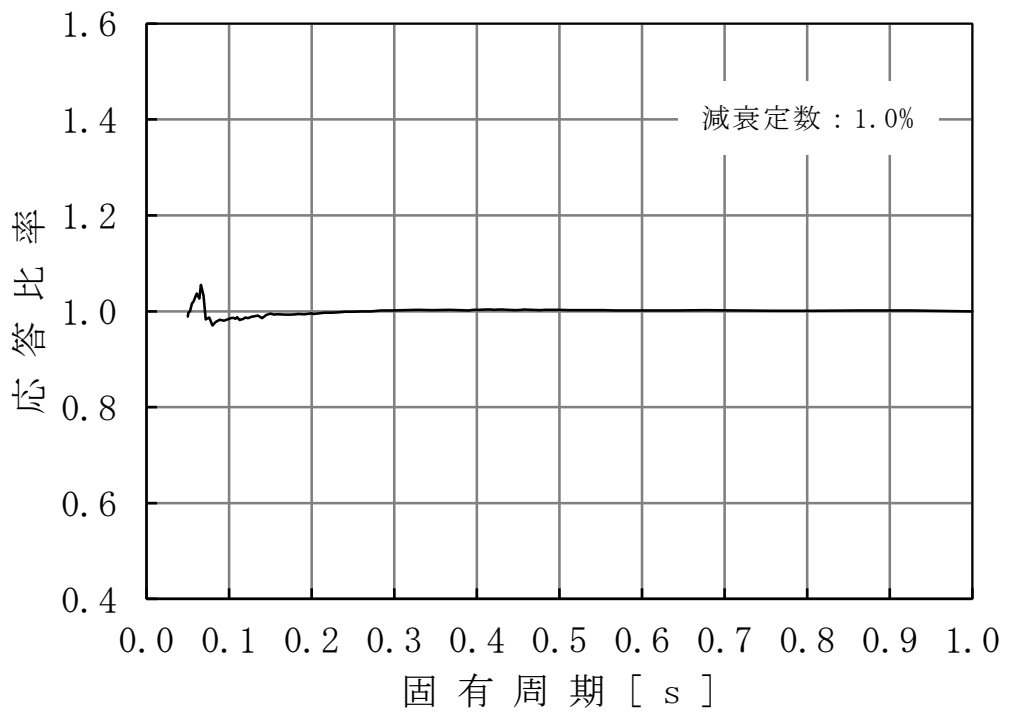


図 4-4 (16/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 16.506m)

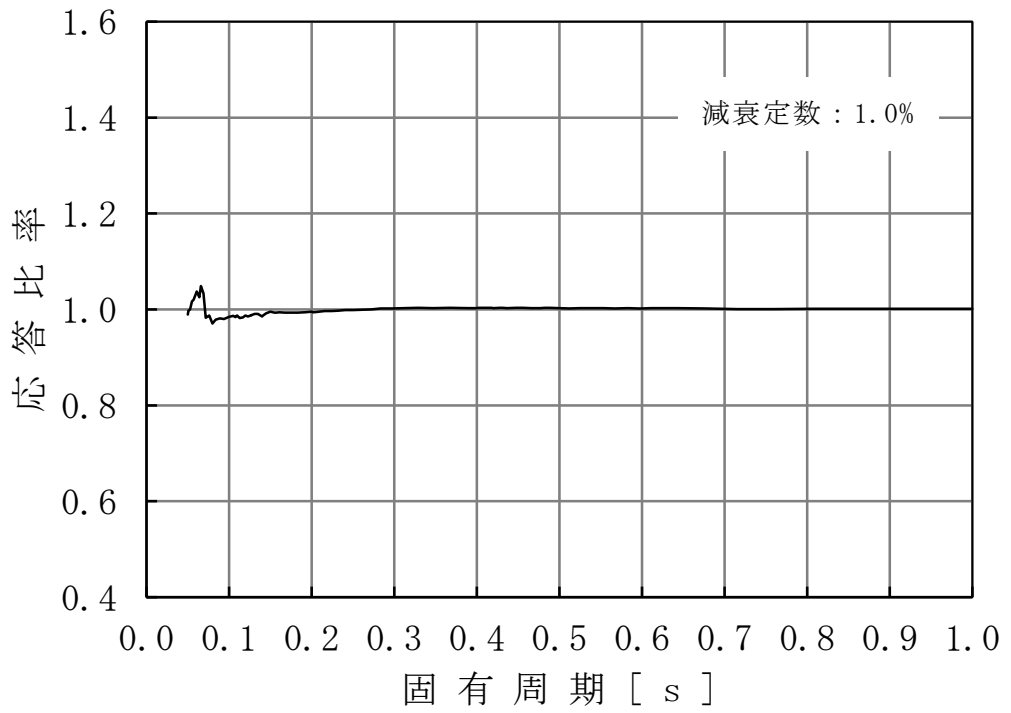


図 4-4 (17/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 15.262m)

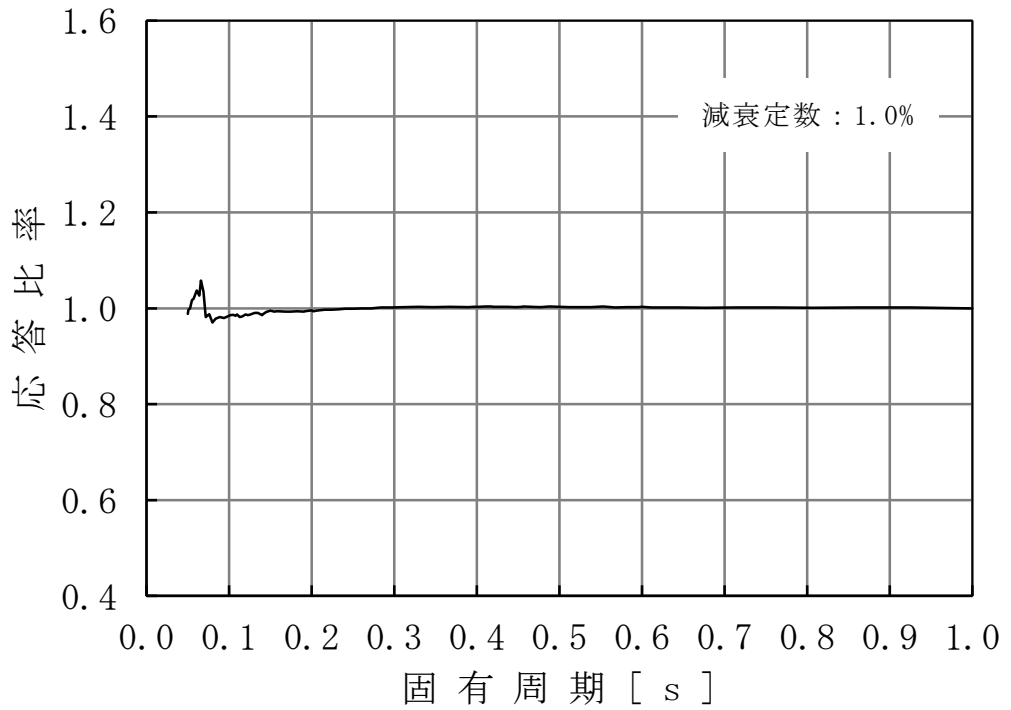


図 4-4 (18/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 5.066m)

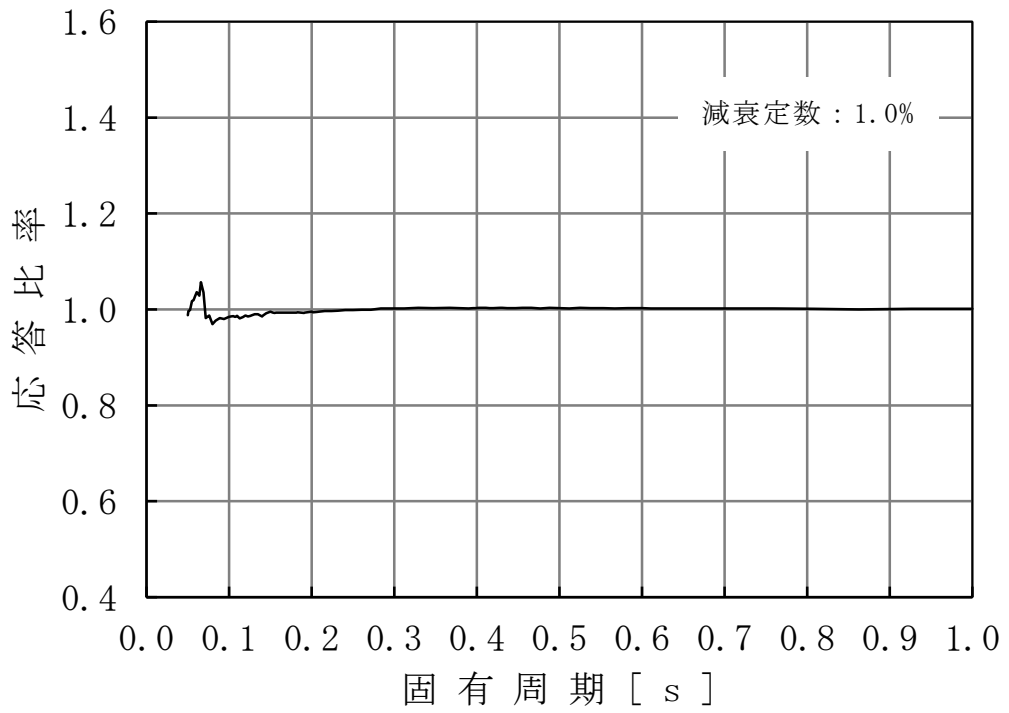


図 4-4 (19/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 14.433m)

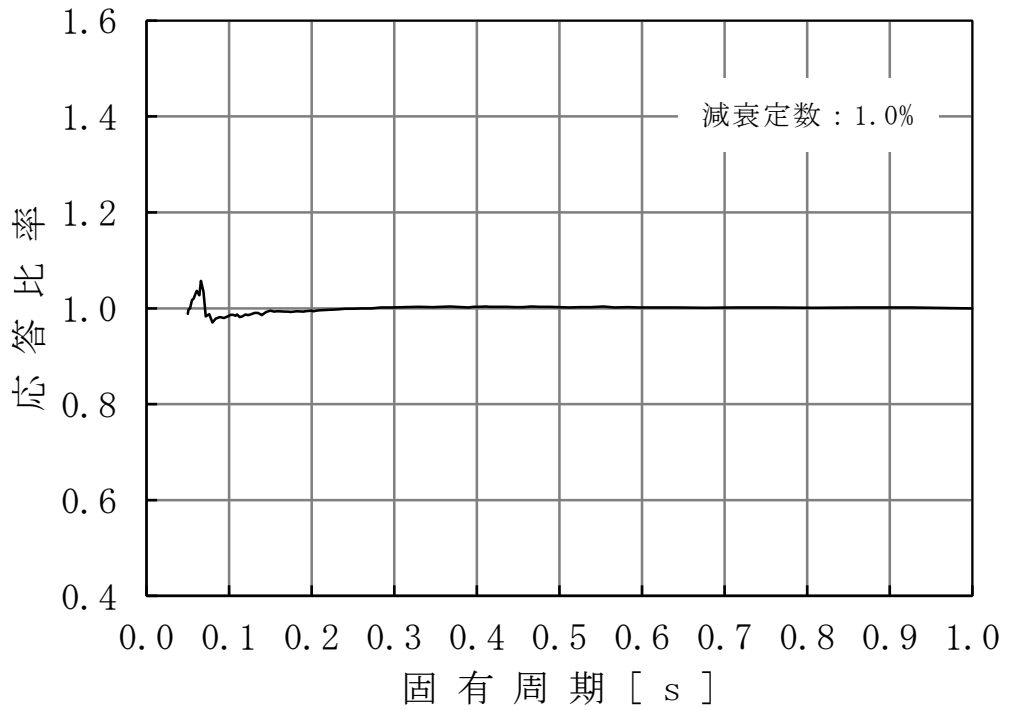


図 4-4 (20/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 9.645m)

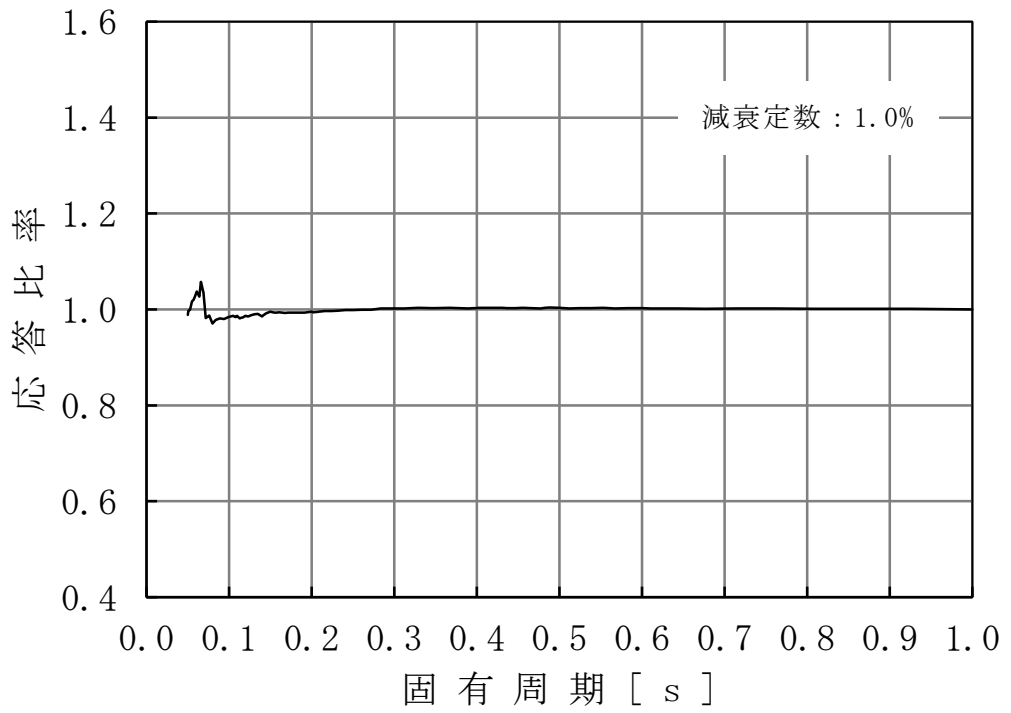


図 4-4 (21/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 5.066m)

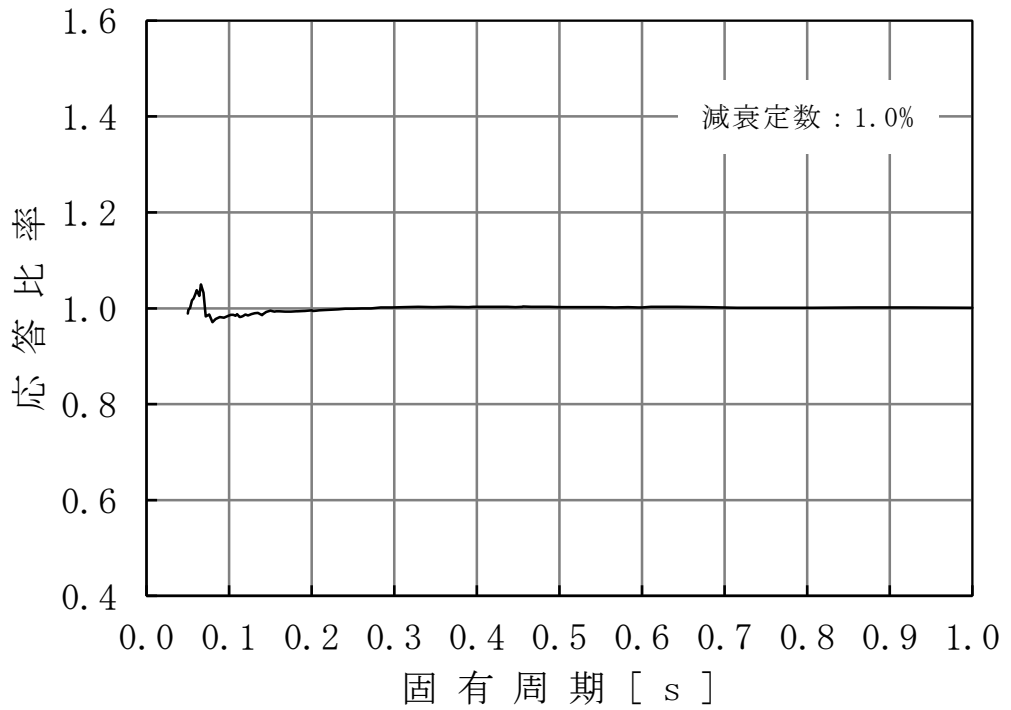


図 4-4 (22/22) 応答比率 (基準地震動 S_s , 鉛直方向, T.M.S.L. 6.253m)

別紙8 原子炉建屋改造工事に伴う評価結果の影響について

目 次

1. 概要	別紙 8-1
2. 検討方針	別紙 8-2
3. 検討条件	別紙 8-3
3.1 補強等に伴う増加重量	別紙 8-3
3.2 解析モデル	別紙 8-7
4. 検討結果	別紙 8-13
4.1 固有値解析結果	別紙 8-13
4.2 最大応答値	別紙 8-15
5. 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響	別紙 8-28
5.1 せん断ひずみに対する影響	別紙 8-28
5.1.1 検討方法	別紙 8-28
5.1.2 検討結果	別紙 8-28
5.2 床応答に対する影響	別紙 8-28
6. まとめ	別紙 8-40

1. 概要

本資料は、原子炉建屋において、補強等の原子炉建屋改造工事に伴う重量の増加分を考慮した地震応答解析を実施し、「原子炉建屋の地震応答解析による評価」に与える影響について確認するものである。

また、本資料は、以下の資料の補足説明をするものである。

V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析

2. 検討方針

今回工認評価に用いている質点系モデル（以下、「今回工認モデル」という。）と補強等の原子炉建屋改造工事に伴う重量の増加分を考慮したモデル（以下、「補強反映モデル」という。）を比較することにより、重量変更による建屋応答への影響を確認する。

なお、影響検討は、応答倍率を用いた手法により行うことから、応答倍率の算出のための「補強反映モデル」を用いた地震応答解析は、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 S_s-1 に対して実施することとする。

3. 検討条件

3.1 補強等に伴う増加重量

補強等に伴う増加重量と補強後の変更となる補強反映モデルの振動諸元を表 3-1～表 3-3 に示す。補強等に伴う増加重量の総重量は 27290kN であり，そのうち建物・構築物の増加重量は 3470kN，機器・配管系の増加重量は 23820kN である。なお，補強等の変更箇所は耐震壁の変更を伴わないことより，地震応答解析モデルの諸元の変更箇所は質点重量と回転慣性重量のみである。

表 3-1 増加重量と補強後の振動諸元 (NS 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	質点 番号	今回工認モデル		増加重量 (kN)	補強反映モデル	
		質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)		質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)
49.7	1	39490	70.6	630	40120	71.7
38.2	2	80520	410.9	2040	82560	421.3
31.7	3	84470	473.7	1860	86330	484.1
23.5	4	84770	293.2	1280	86050	297.6
18.1	5	55380	198.1	1100	56480	202.0
12.3	6	81140	289.3	1920	83060	296.1
4.8	7	80120	296.2	1360	81480	301.2
-1.7	8	81300	298.1	880	82180	301.3
-8.2	9	342450	945.4	1420	343870	949.3
-13.7	10	216040	581.5	0	216040	581.5
総重量		1145680	—	12490	1158170	—

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	質点 番号	今回工認モデル		増加重量 (kN)	補強反映モデル	
		質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)		質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)
31.7	11	91400	32.4	2320	93720	33.2
23.5	12	155040	371.7	2930	157970	378.7
18.1	13	102870	305.0	2190	105060	311.5
12.3	14	199270	408.9	3390	202660	415.9
4.8	15	124050	387.4	2420	126470	395.0
-1.7	16	136800	369.7	1550	138350	373.9
総重量		809430	—	14800	824230	—

表 3-2 増加重量と補強後の振動諸元 (EW 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	質点 番号	今回工認モデル		増加重量 (kN)	補強反映モデル	
		質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)		質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)
49.7	1	39490	147.1	630	40120	149.4
38.2	2	80520	300.1	2040	82560	307.7
31.7	3	89570	299.1	3020	92590	309.2
23.5	4	67270	275.6	1720	68990	282.6
18.1	5	50210	210.8	1090	51300	215.4
12.3	6	78630	320.7	1860	80490	328.3
4.8	7	76690	316.8	1310	78000	322.2
-1.7	8	79240	324.6	850	80090	328.1
-8.2	9	342450	1039.5	1420	343870	1043.8
-13.7	10	216040	644.3	0	216040	644.3
総重量		1120110	—	13940	1134050	—

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	質点 番号	今回工認モデル		増加重量 (kN)	補強反映モデル	
		質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)		質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)
31.7	11	86300	267.7	1160	87460	271.3
23.5	12	172540	474.6	2490	175030	481.4
18.1	13	108040	340.3	2200	110240	347.2
12.3	14	201780	453.1	3450	205230	460.8
4.8	15	127480	432.5	2470	129950	440.9
-1.7	16	138860	409.9	1580	140440	414.6
総重量		835000	—	13350	848350	—

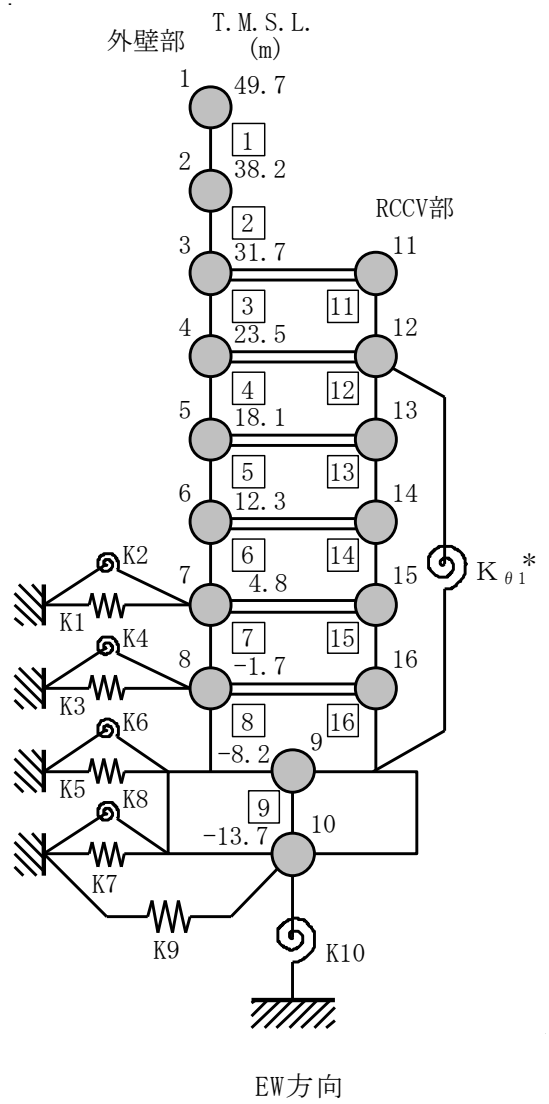
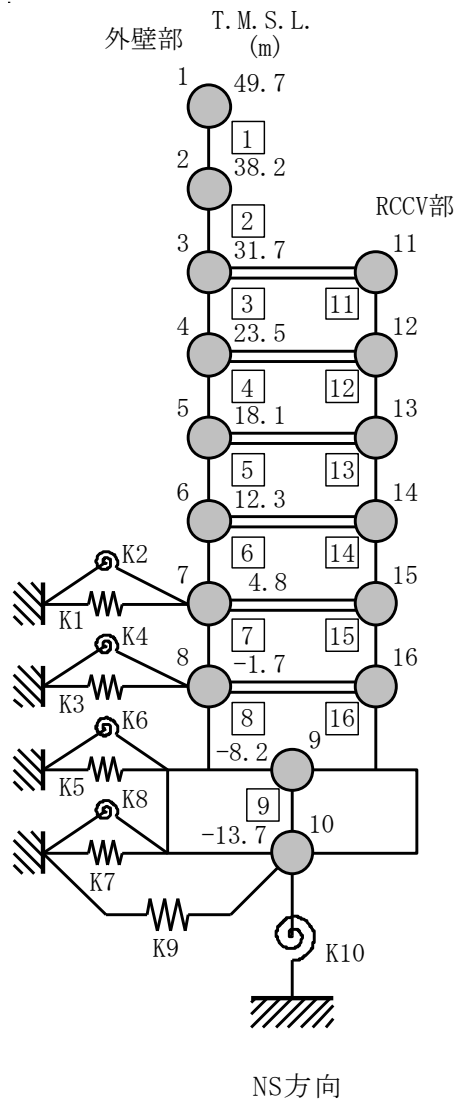
表 3-3 増加重量と補強後の振動諸元（鉛直方向）

標高 T. M. S. L. (m)	質点 番号	今回工認モデル	増加重量 (kN)	補強反映モデル
		質点重量 (kN)		質点重量 (kN)
49.7	21	1770	0	1770
	22	3540	0	3540
	23	3540	0	3540
	1	30640	630	31270
38.2	2	80520	2040	82560
31.7	3	175870	4180	180050
23.5	4	239810	4210	244020
18.1	5	158250	3290	161540
12.3	6	280410	5310	285720
4.8	7	204170	3780	207950
-1.7	8	218100	2430	220530
-8.2	9	342450	1420	343870
-13.7	10	216040	0	216040
総重量		1955110	27290	1982400

3.2 解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルを図 3-1 に，地盤ばね定数を表 3-4 及び表 3-5 に示す。また，鉛直方向の地震応答解析モデルを図 3-2 に，地盤ばね定数を表 3-6 に示す。

また，重量増分に伴うせん断及び曲げスケルトンへの影響は軽微であるため「今回工認モデル」の諸元を用いる。



注記* : RCCV 回転ばね

図 3-1 地震応答解析モデル (水平方向)

表 3-4 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1, NS 方向)

(a) 補強反映モデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.24×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.05×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.79×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	3.97×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.63×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.95×10^8
K9	10	底面・並進	7.28×10^7	2.82×10^6
K10	10	底面・回転	7.06×10^{10}	5.95×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

(b) 今回工認モデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.25×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.05×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	3.98×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.96×10^8
K9	10	底面・並進	7.28×10^7	2.82×10^6
K10	10	底面・回転	7.06×10^{10}	6.02×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

表 3-5 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1, EW 方向)

(a) 補強反映モデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.25×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.06×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	3.99×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.97×10^8
K9	10	底面・並進	7.25×10^7	2.80×10^6
K10	10	底面・回転	7.60×10^{10}	6.94×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

(b) 今回工認モデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.26×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.06×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.81×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	4.00×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.97×10^8
K9	10	底面・並進	7.25×10^7	2.80×10^6
K10	10	底面・回転	7.60×10^{10}	7.01×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

表 3-6 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1, 鉛直方向)

(a) 補強反映モデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
K1	10	底面・鉛直	1.20×10^8	6.45×10^6

(b) 今回工認モデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
K1	10	底面・鉛直	1.20×10^8	6.46×10^6

4. 検討結果

4.1 固有値解析結果

「補強反映モデル」と「今回工認モデル」の固有値解析結果（固有周期及び固有振動数）の比較を表 4-1 に示す。

「補強反映モデル」の固有周期は、補強による重量増加の影響により「今回工認モデル」の結果に比べてわずかに大きくなるものの、ほぼ同程度となることを確認した。

表 4-1 固有値解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認モデル	補強反映モデル	今回工認モデル	補強反映モデル
1	0.439	0.443	2.28	2.26
2	0.192	0.194	5.20	5.17
3	0.091	0.092	11.03	10.93
4	0.078	0.078	12.88	12.79
5	0.077	0.078	12.98	12.88

(b) EW 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認モデル	補強反映モデル	今回工認モデル	補強反映モデル
1	0.429	0.433	2.33	2.31
2	0.191	0.192	5.23	5.20
3	0.082	0.083	12.16	12.05
4	0.077	0.078	12.97	12.88
5	0.071	0.072	14.02	13.92

(c) 鉛直方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認モデル	補強反映モデル	今回工認モデル	補強反映モデル
1	0.279	0.280	3.58	3.57
2	0.258	0.260	3.87	3.85
3	0.077	0.077	12.95	12.95
4	0.051	0.051	19.45	19.44
5	0.047	0.047	21.32	21.18

4.2 最大応答値

基準地震動 Ss-1 による最大応答値を図 4-1～図 4-11 に、最大せん断ひずみを表 4-2 及び表 4-3 に示す。

「補強反映モデル」の最大応答値は、「今回工認モデル」の結果と概ね整合することを確認した。

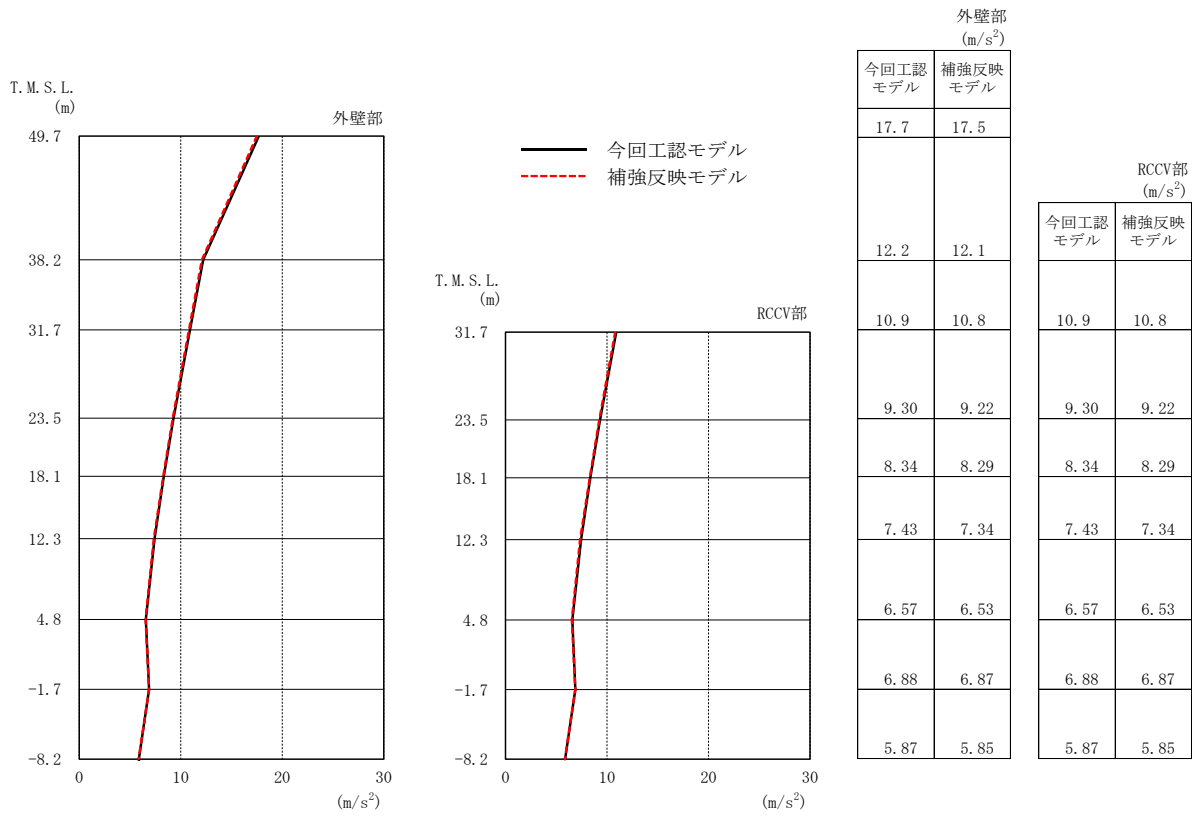
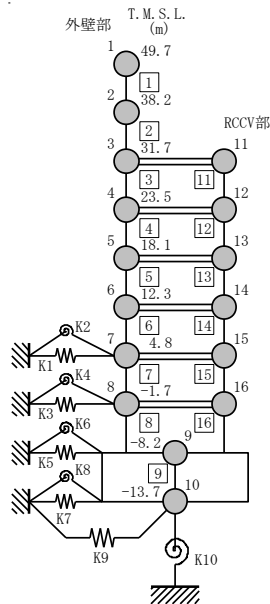


図 4-1 最大応答加速度 (Ss-1, NS 方向)



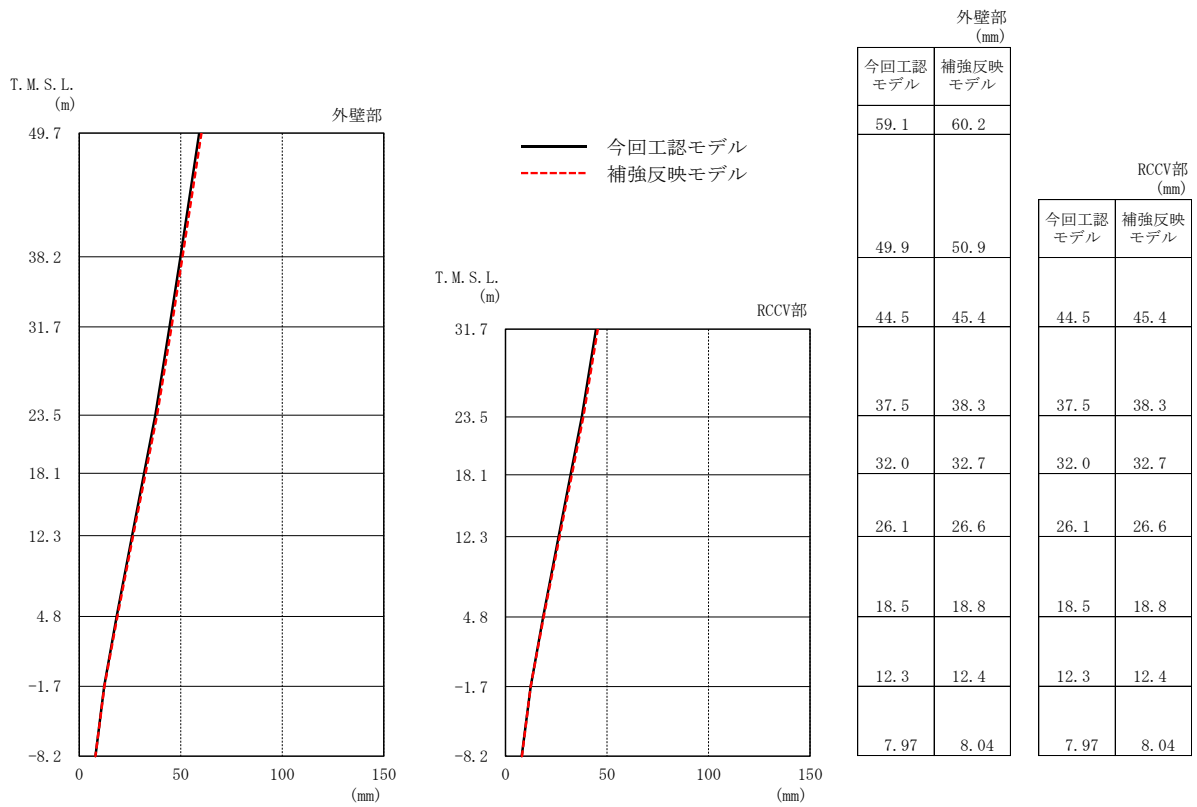
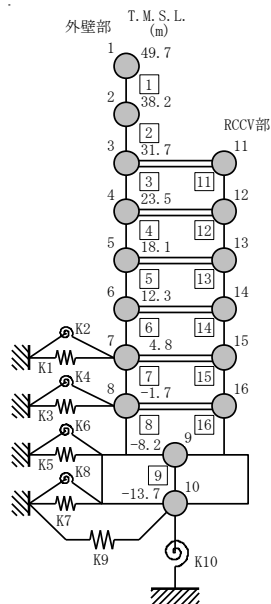


図 4-2 最大応答変位 (Ss-1, NS 方向)



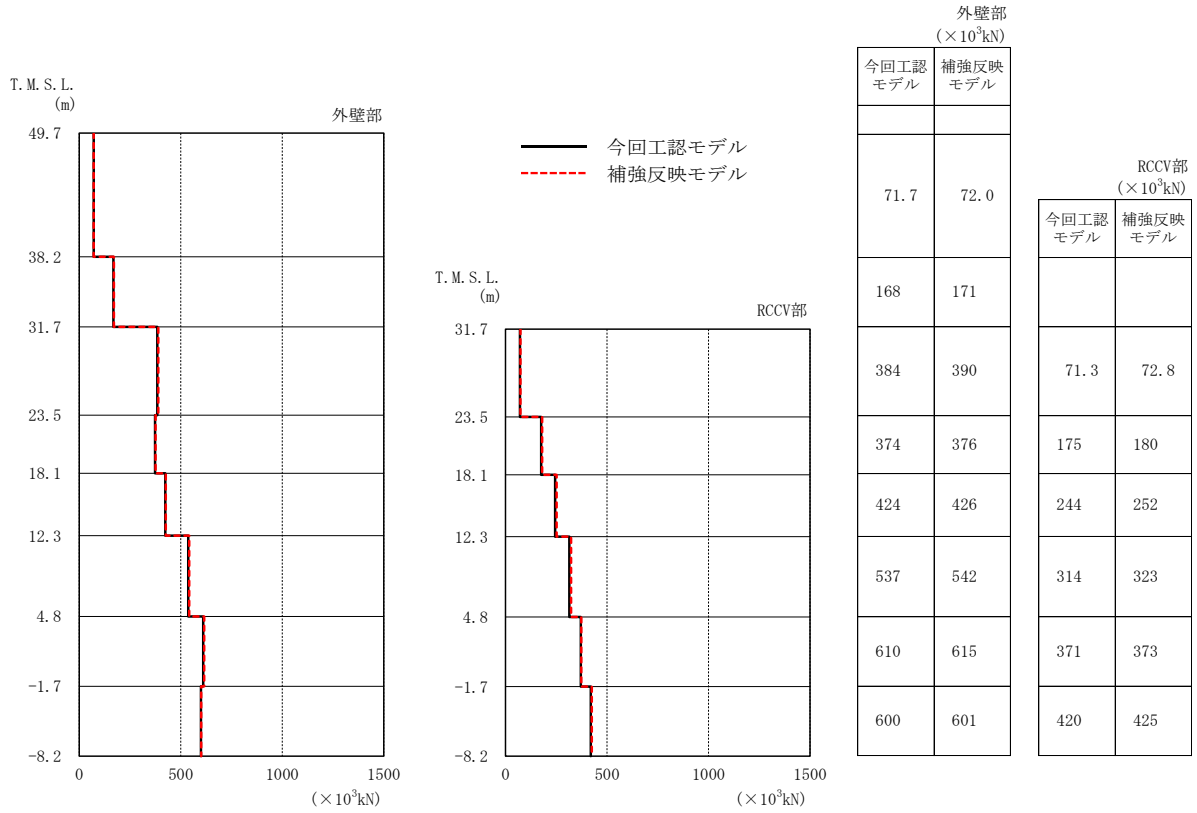
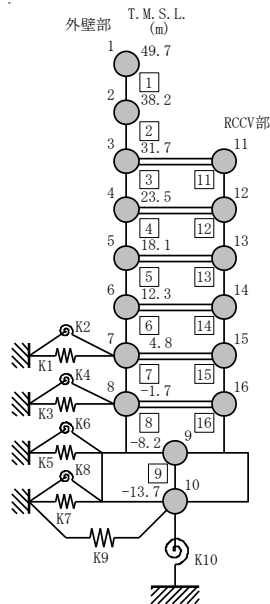


図 4-3 最大応答せん断力 (Ss-1, NS 方向)



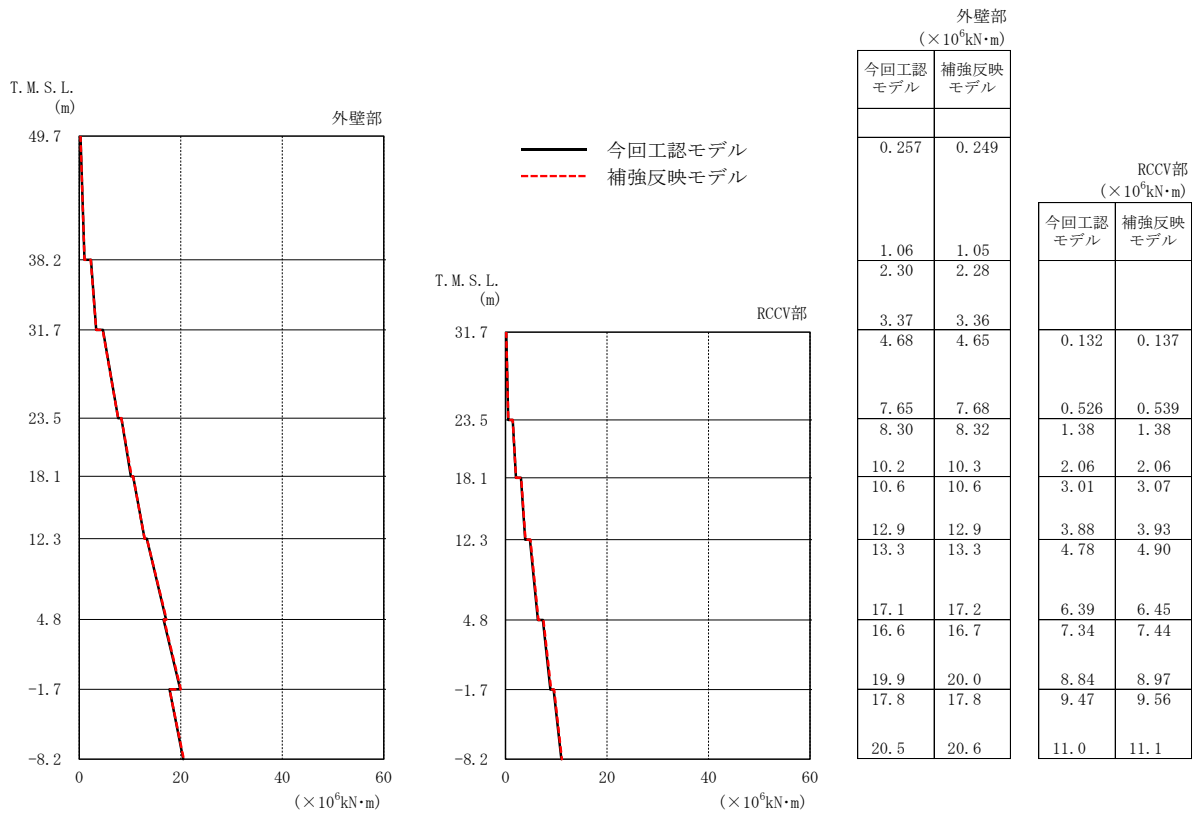
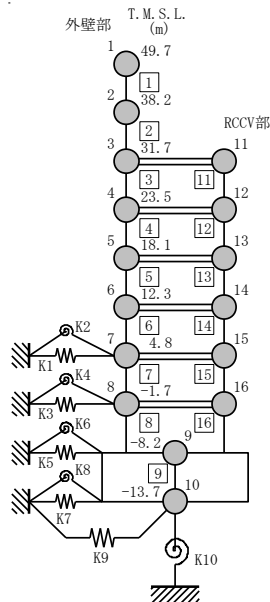


図 4-4 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS 方向)



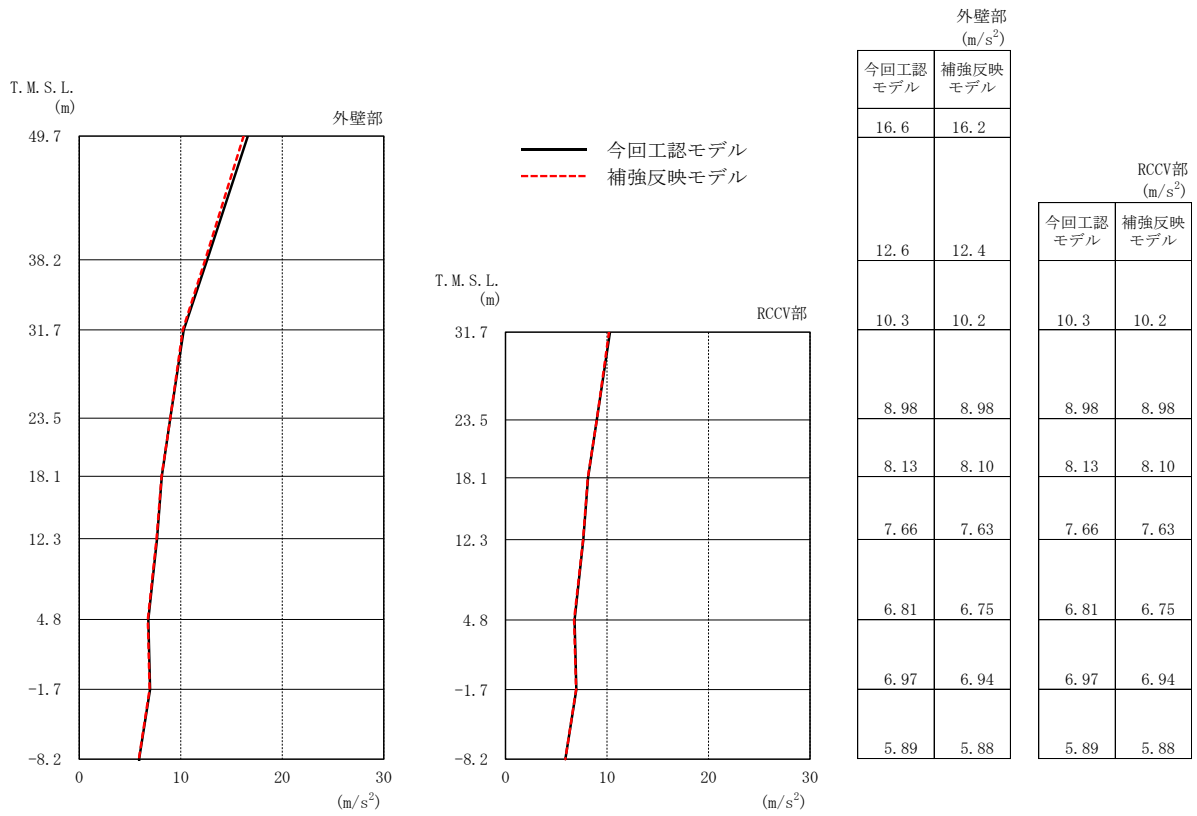
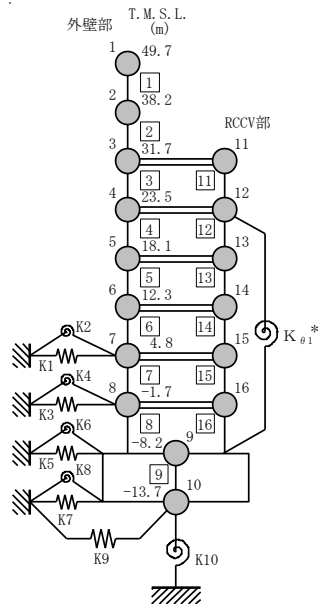


図 4-5 最大応答加速度 (Ss-1, EW 方向)



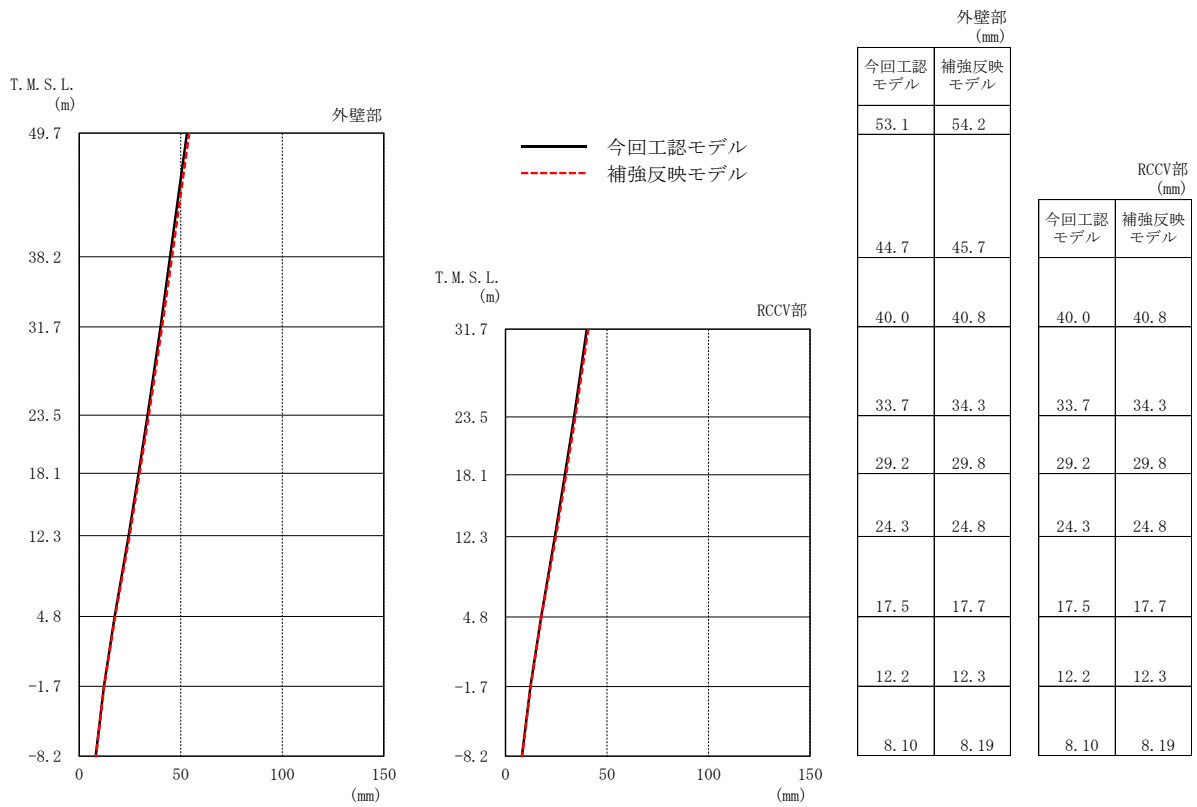
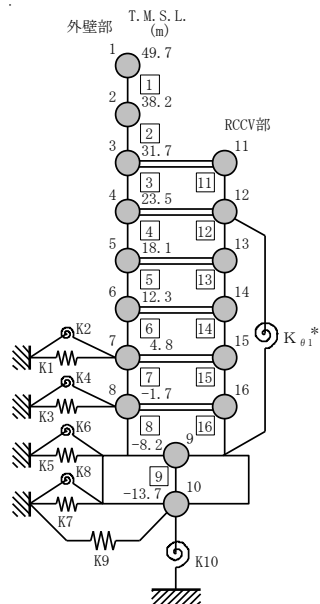


図 4-6 最大応答変位 (Ss-1, EW 方向)



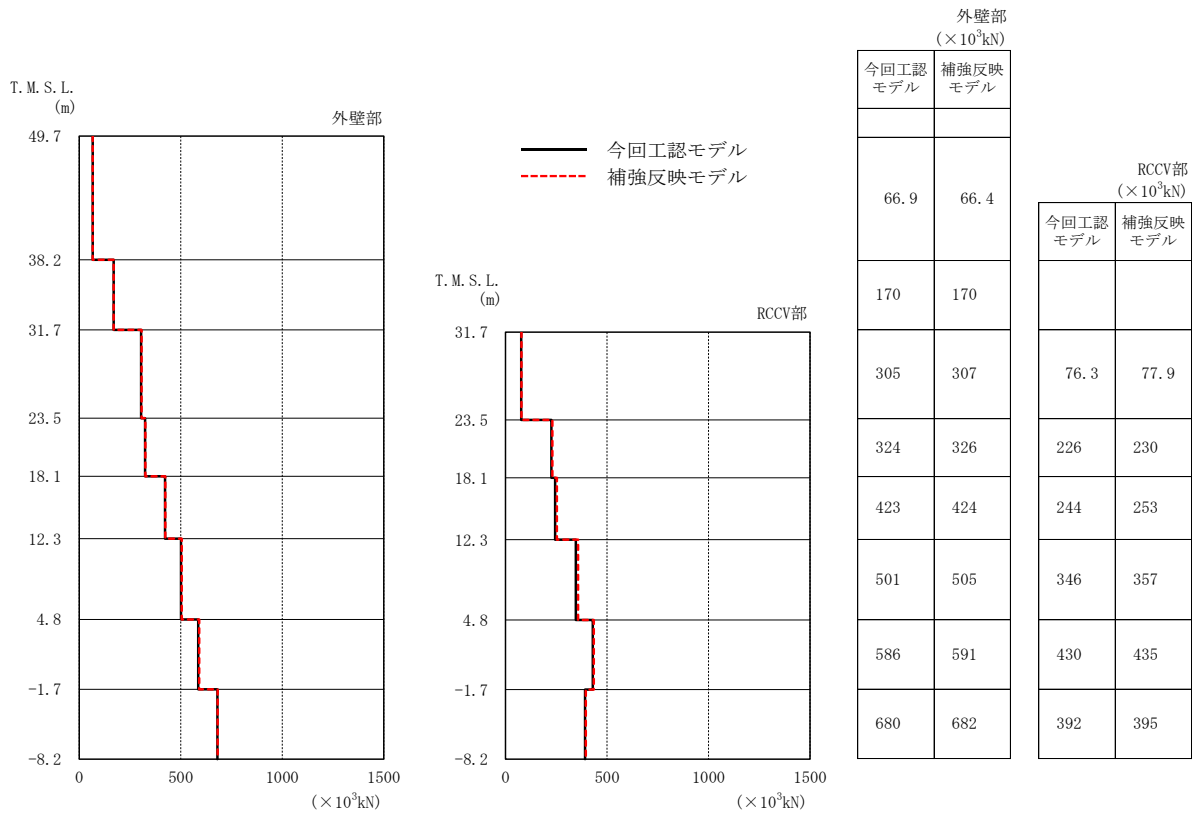
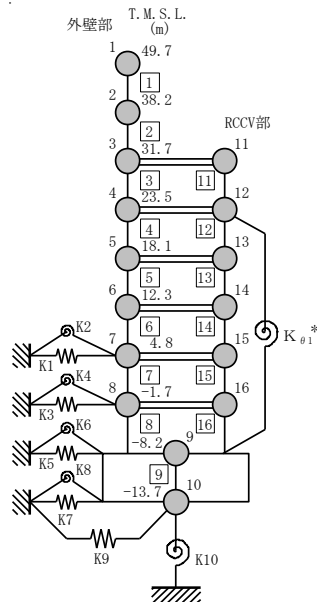


図 4-7 最大応答せん断力 (Ss-1, EW 方向)



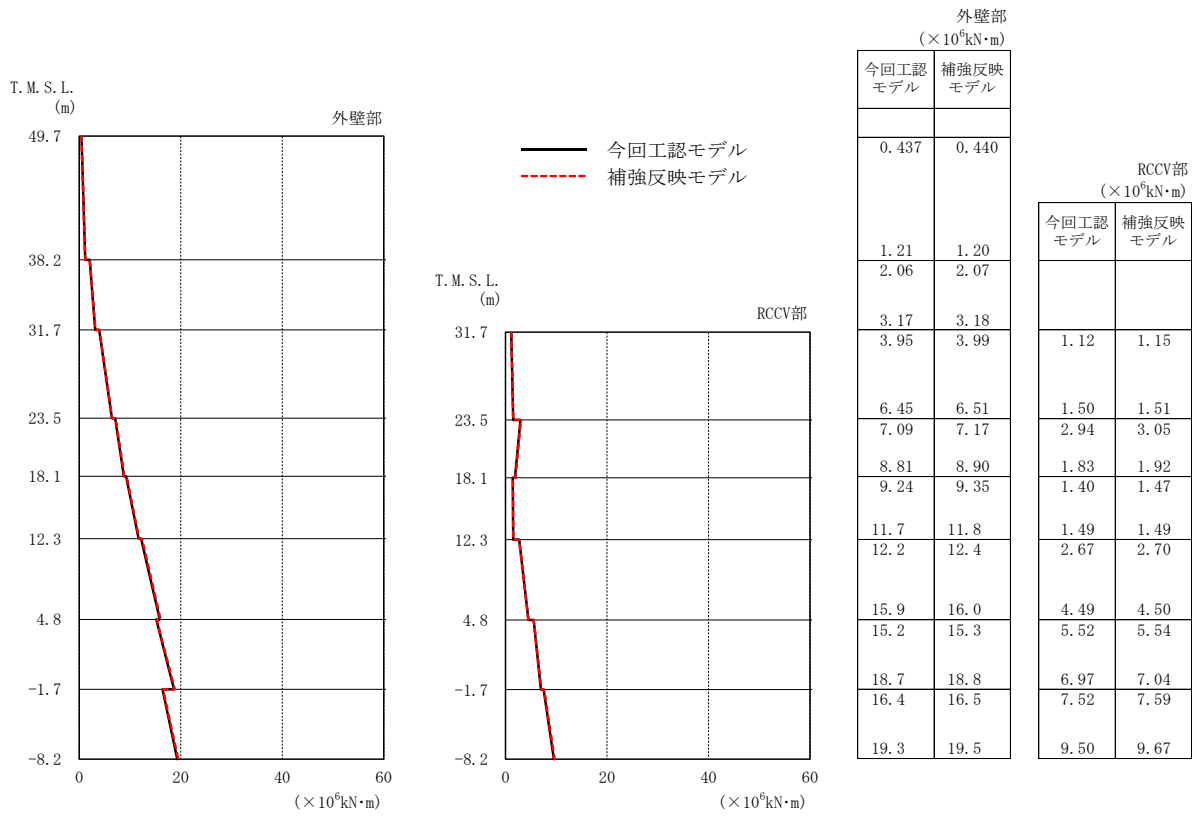
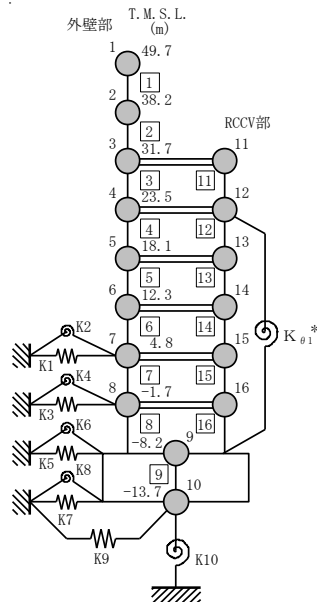


図 4-8 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW 方向)



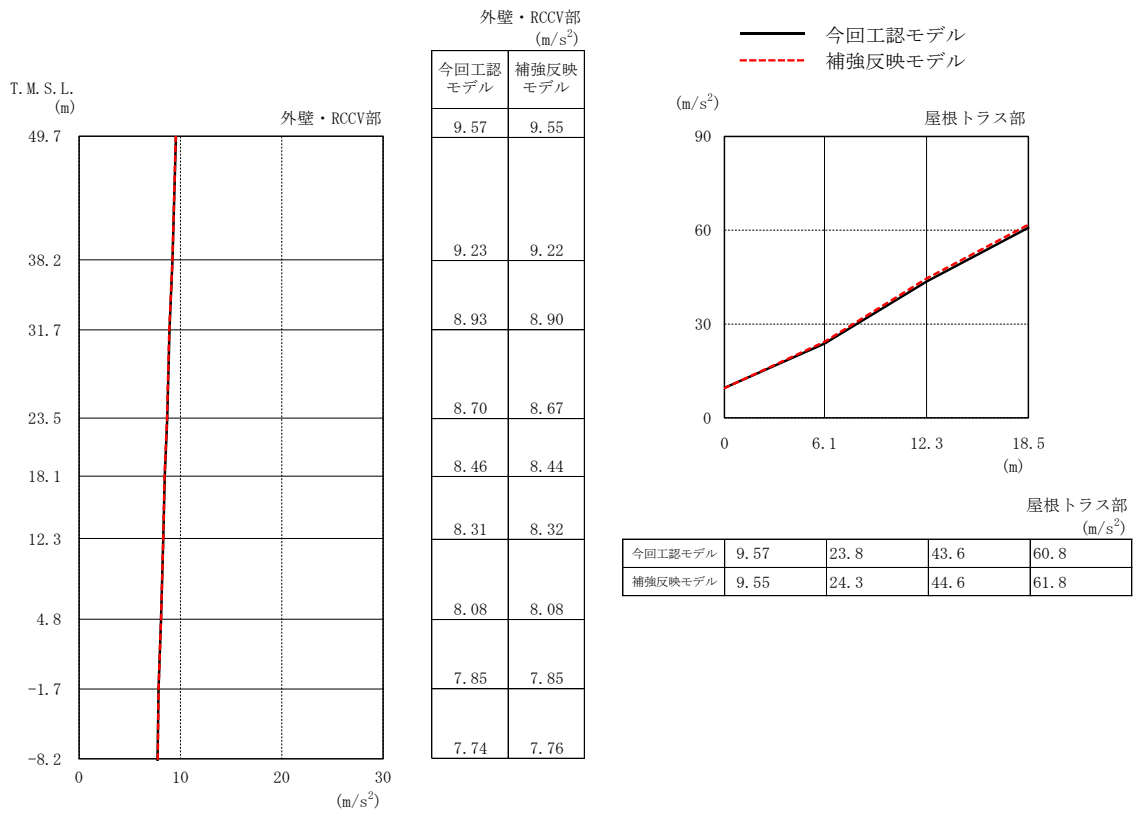
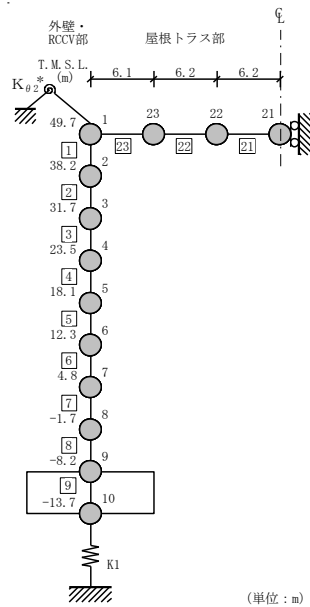


図 4-9 最大応答加速度 (Ss-1, 鉛直方向)



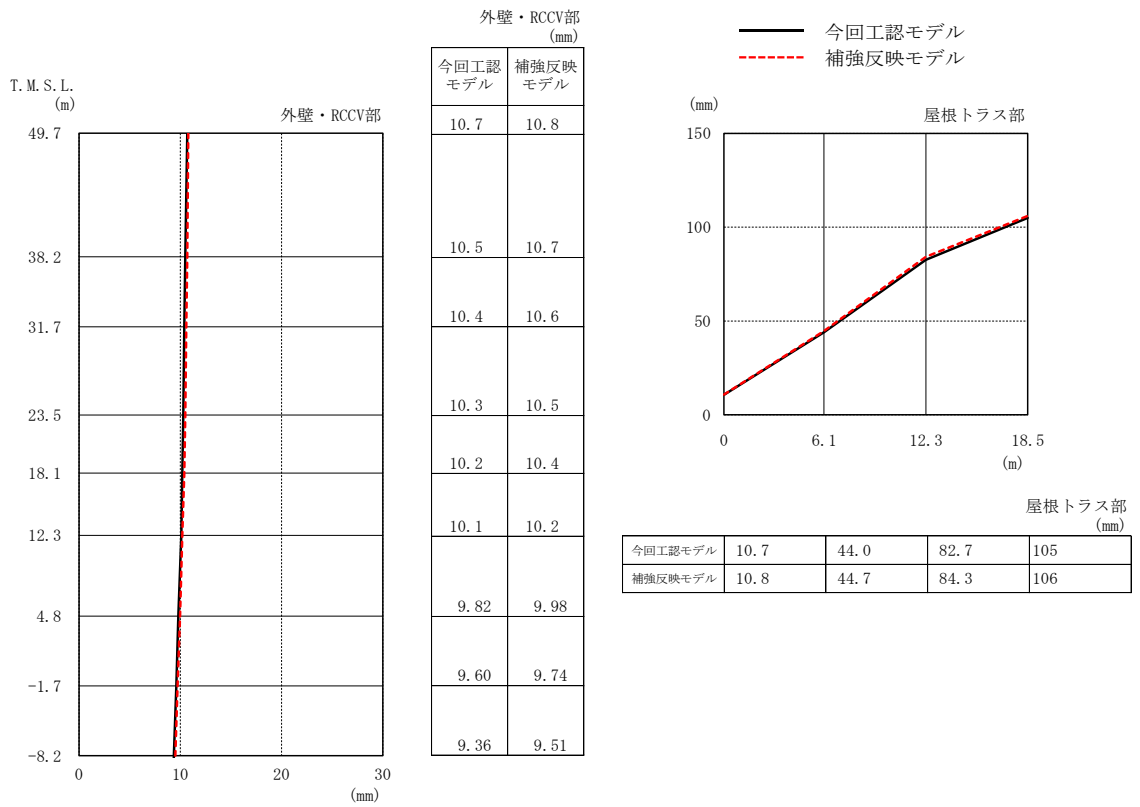
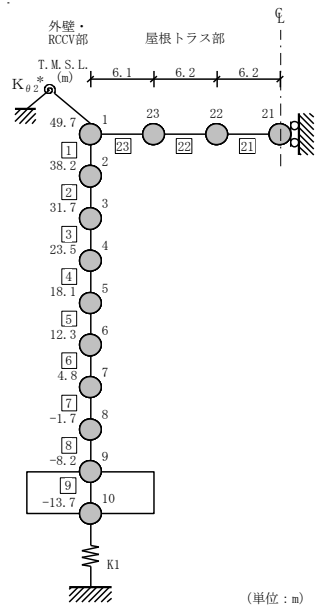


図 4-10 最大応答変位 (Ss-1, 鉛直方向)



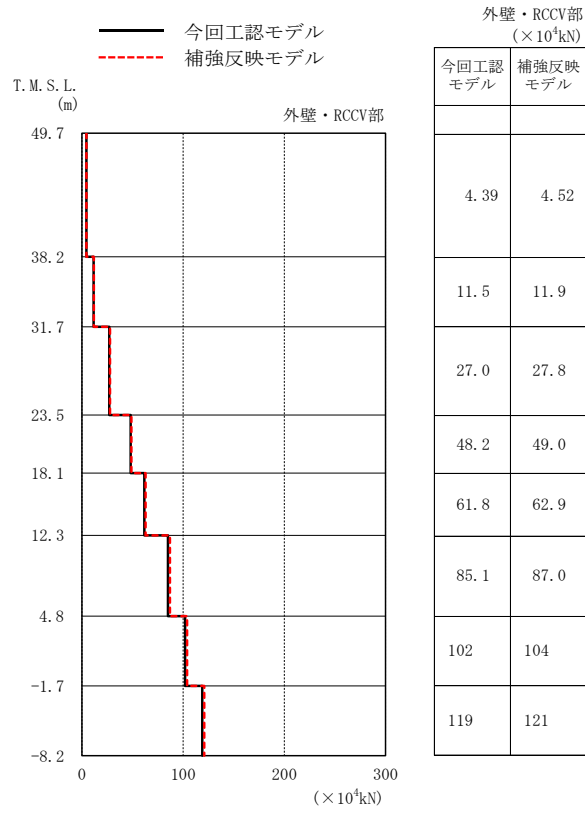


図 4-11 最大応答軸力 (Ss-1, 鉛直方向)

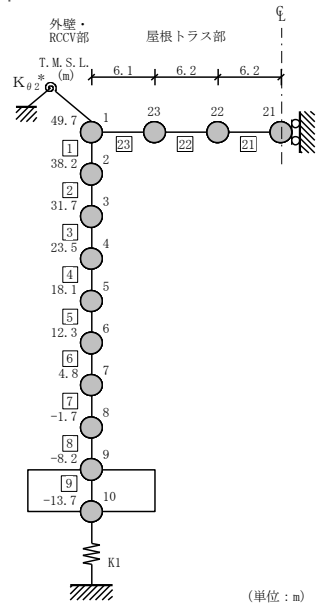


表 4-2 最大せん断ひずみ (NS 方向)

(a) 外壁部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)		③応答比 (②/①)
	①今回工認 モデル	②補強反映 モデル	
1	0.147	0.147	1.00
2	0.170	0.172	1.02
3	0.171	0.174	1.02
4	0.361	0.369	1.03
5	0.388	0.398	1.03
6	0.406	0.418	1.03
7	0.528	0.543	1.03
8	0.225	0.226	1.01

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)		③応答比 (②/①)
	①今回工認 モデル	②補強反映 モデル	
11	0.0499	0.0510	1.03
12	0.130	0.133	1.03
13	0.149	0.154	1.04
14	0.189	0.194	1.03
15	0.388	0.395	1.02
16	0.189	0.191	1.02

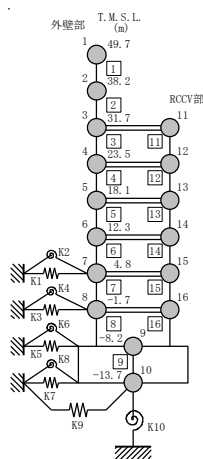
表 4-3 最大せん断ひずみ (EW 方向)

(a) 外壁部

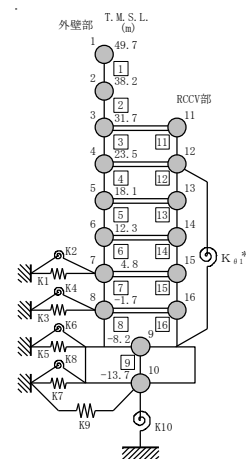
部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)		③応答比 (②/①)
	①今回工認 モデル	②補強反映 モデル	
1	0.103	0.102	1.00
2	0.116	0.116	1.00
3	0.148	0.149	1.01
4	0.206	0.210	1.02
5	0.243	0.250	1.03
6	0.334	0.344	1.03
7	0.318	0.332	1.05
8	0.244	0.247	1.02

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)		③応答比 (②/①)
	①今回工認 モデル	②補強反映 モデル	
11	0.0292	0.0298	1.03
12	0.0848	0.0863	1.02
13	0.0982	0.103	1.05
14	0.191	0.197	1.04
15	0.200	0.206	1.03
16	0.200	0.201	1.01



NS 方向



EW 方向

5. 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響

補強等に伴う重量の増加分を考慮した地震応答解析結果を踏まえ、重量増加が、原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響について確認する。

5.1 せん断ひずみに対する影響

5.1.1 検討方法

検討は、以下の通り、保守的な評価とする。

最大せん断ひずみの検討として、材料物性の不確かさを考慮した最大せん断ひずみ（基準地震動 Ss-1～Ss-8 に対する包絡値）に、基準地震動 Ss-1 に対する「補強反映モデル」と「今回工認モデル」の応答比（「補強反映モデル」／「今回工認モデル」）を乗じた値の最大値が許容限界を超えないことを確認する。

5.1.2 検討結果

最大せん断ひずみの検討における原子炉建屋の応答比及び応答比を乗じた最大せん断ひずみを表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表 5-1 及び表 5-2 より、最大せん断ひずみに応答比を乗じた値の最大値が許容限界（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認した。

5.2 床応答に対する影響

基準地震動 Ss-1 における今回工認モデルの床応答スペクトルと補強反映モデルの床応答スペクトルとの比較を図 5-1～図 5-3 に示す。

図 5-1～図 5-3 に示すとおり、補強反映モデルの床応答スペクトルは、今回工認モデルの床応答スペクトルと同等の応答を示すことを確認した。

表 5-1 原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみに最大応答比を乗じた値 (NS 方向)

(a) 外壁部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)		③応答比 (②/①)	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1~Ss-8)	
	①今回工認 モデル	②補強反映 モデル		④材料物性の 不確かさ考慮 モデル	応答比を 乗じた値 (③×④)
1	0.147	0.147	1.00	0.155	0.155
2	0.170	0.172	1.02	0.182	0.186
3	0.171	0.174	1.02	0.185	0.189
4	0.361	0.369	1.03	0.404	0.417
5	0.388	0.398	1.03	0.437	0.451
6	0.406	0.418	1.03	0.525	0.541
7	0.528	0.543	1.03	0.679	0.700
8	0.225	0.226	1.01	0.278	0.281

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)		③応答比 (②/①)	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1~Ss-8)	
	①今回工認 モデル	②補強反映 モデル		④材料物性の 不確かさ考慮 モデル	応答比を 乗じた値 (③×④)
11	0.0499	0.0510	1.03	0.0633	0.0652
12	0.130	0.133	1.03	0.145	0.150
13	0.149	0.154	1.04	0.167	0.174
14	0.189	0.194	1.03	0.267	0.276
15	0.388	0.395	1.02	0.475	0.485
16	0.189	0.191	1.02	0.213	0.218

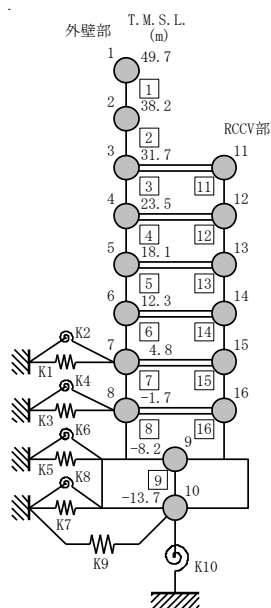


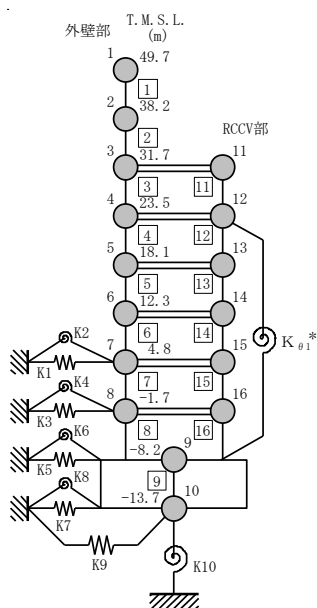
表 5-2 原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみに最大応答比を乗じた値 (EW 方向)

(a) 外壁部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)		③応答比 (②/①)	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1~Ss-8)	
	①今回工認 モデル	②補強反映 モデル		④材料物性の 不確かさ考慮 モデル	応答比を 乗じた値 (③ \times ④)
1	0.103	0.102	1.00	0.110	0.110
2	0.116	0.116	1.00	0.120	0.120
3	0.148	0.149	1.01	0.159	0.161
4	0.206	0.210	1.02	0.249	0.254
5	0.243	0.250	1.03	0.305	0.315
6	0.334	0.344	1.03	0.570	0.588
7	0.318	0.332	1.05	0.554	0.582
8	0.244	0.247	1.02	0.390	0.398

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)		③応答比 (②/①)	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1~Ss-8)	
	①今回工認 モデル	②補強反映 モデル		④材料物性の 不確かさ考慮 モデル	応答比を 乗じた値 (③ \times ④)
11	0.0292	0.0298	1.03	0.0326	0.0336
12	0.0848	0.0863	1.02	0.103	0.106
13	0.0982	0.103	1.05	0.129	0.136
14	0.191	0.197	1.04	0.381	0.397
15	0.200	0.206	1.03	0.390	0.402
16	0.200	0.201	1.01	0.327	0.331



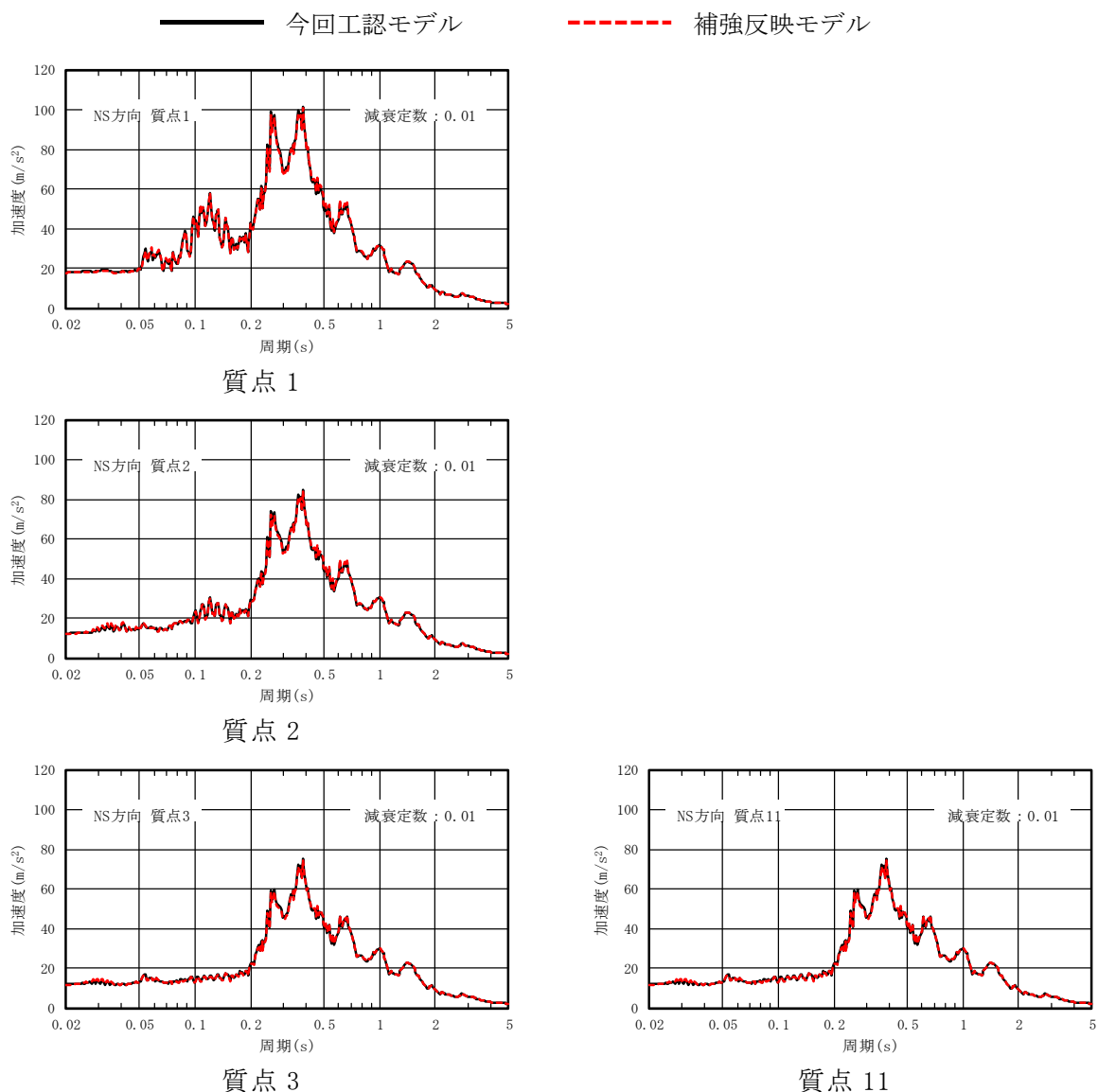
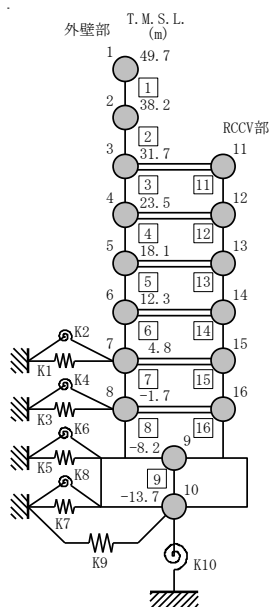


図 5-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (1/3)



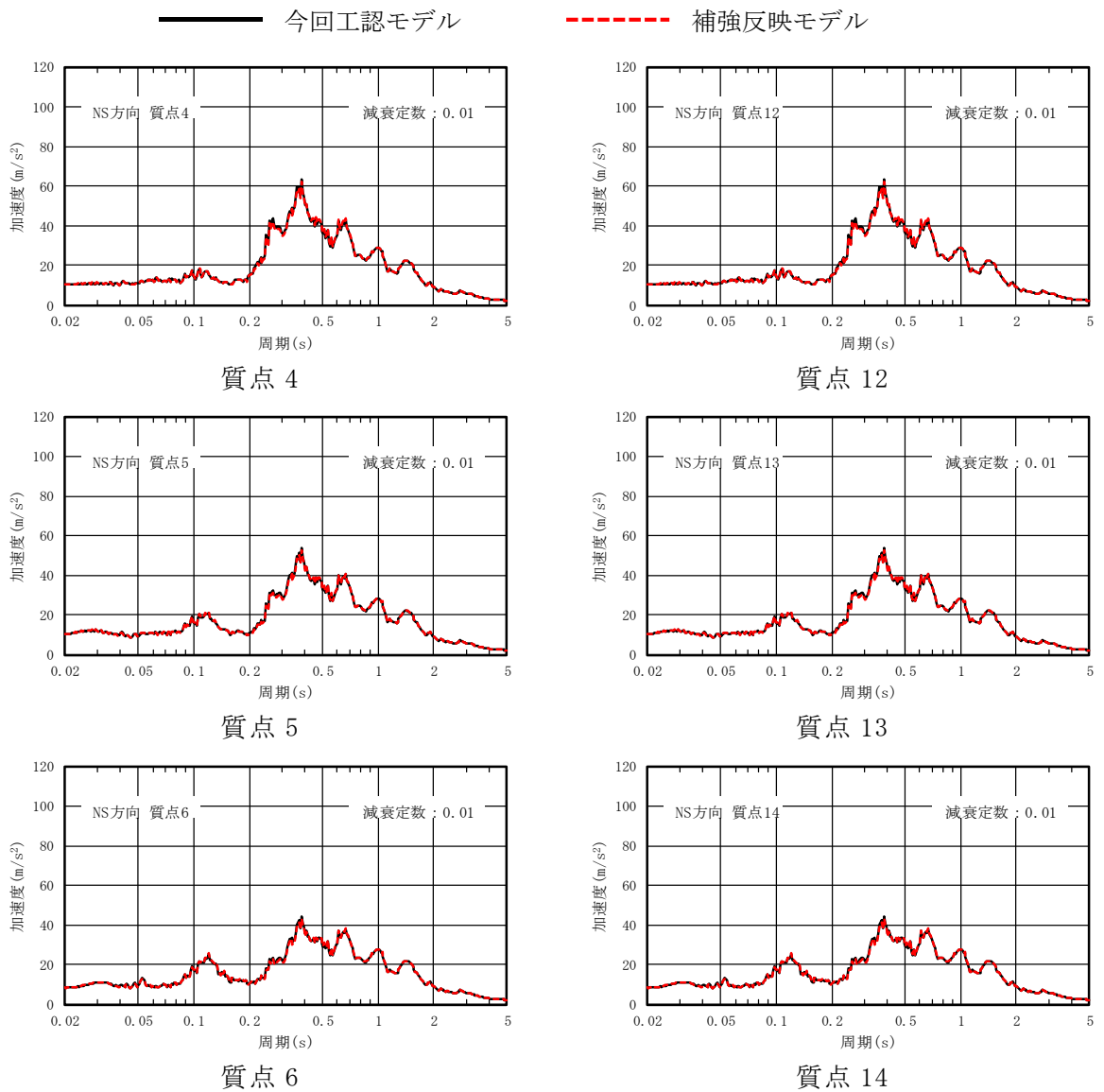
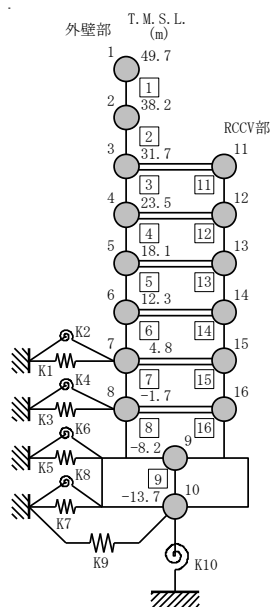


図 5-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (2/3)



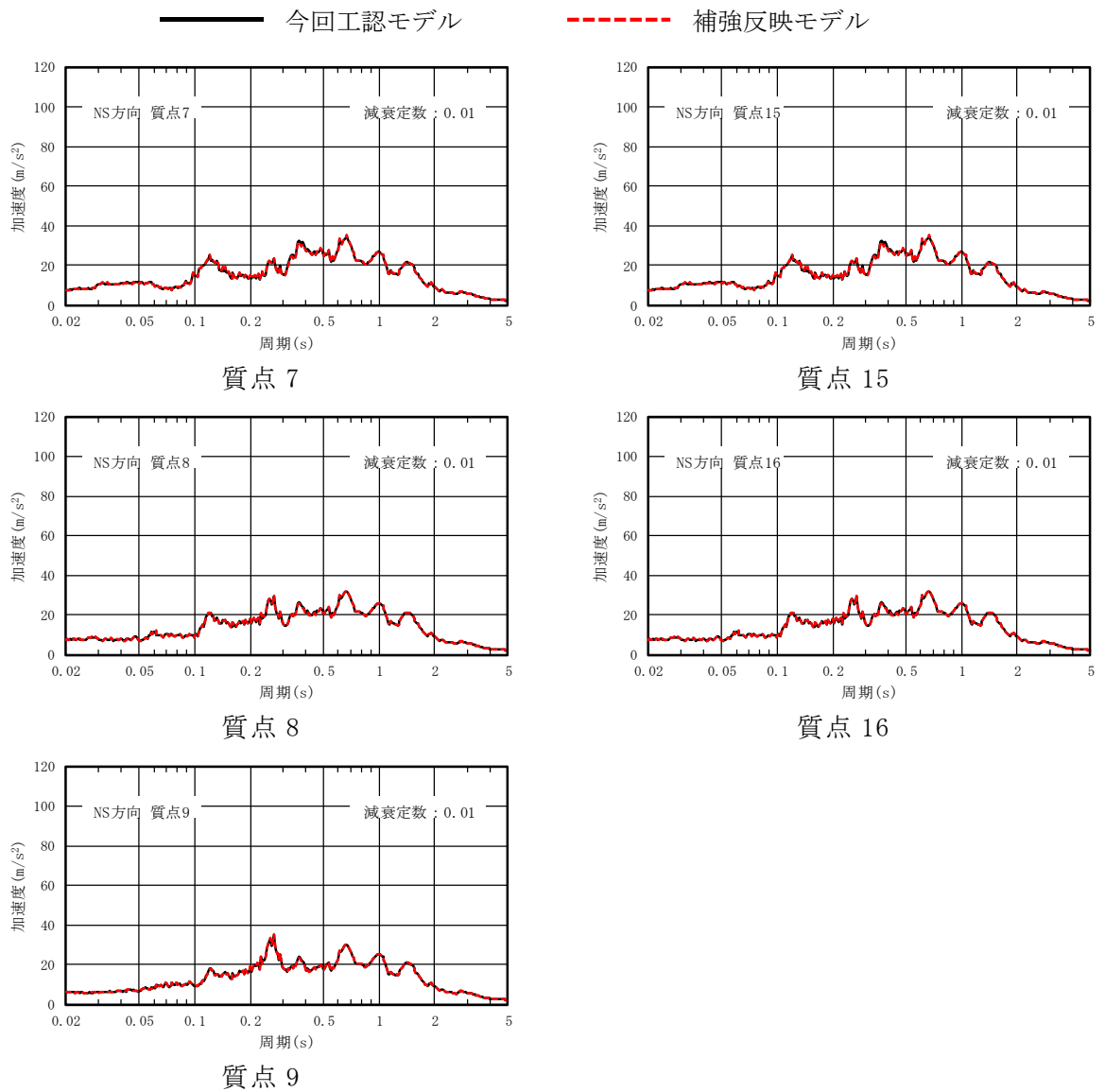
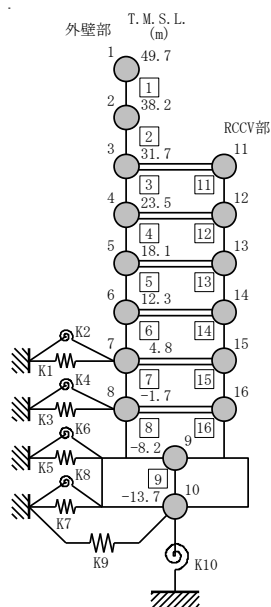


図 5-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (3/3)



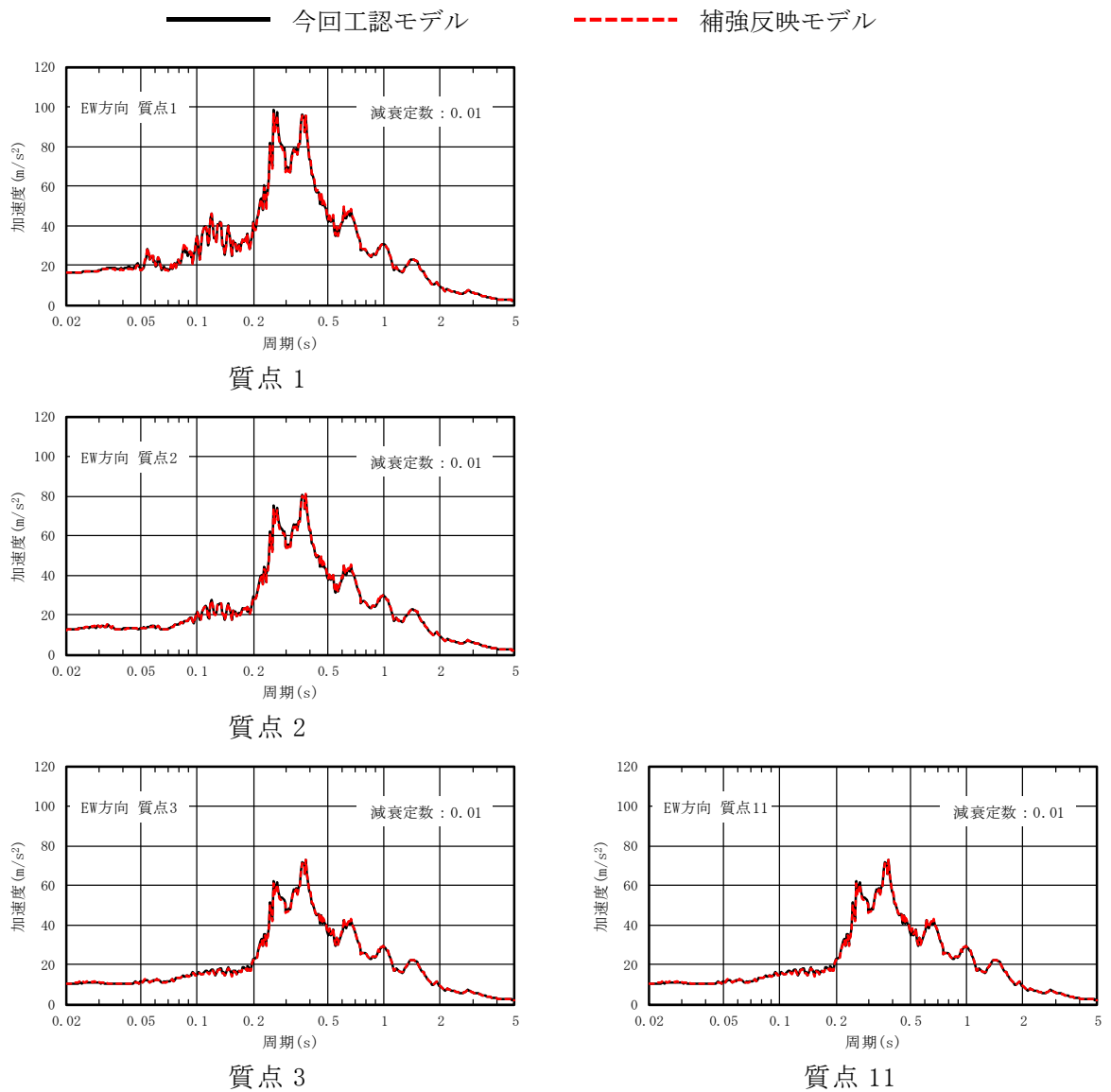
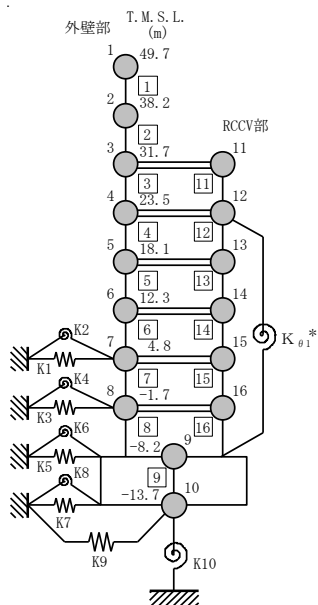


図 5-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (1/3)



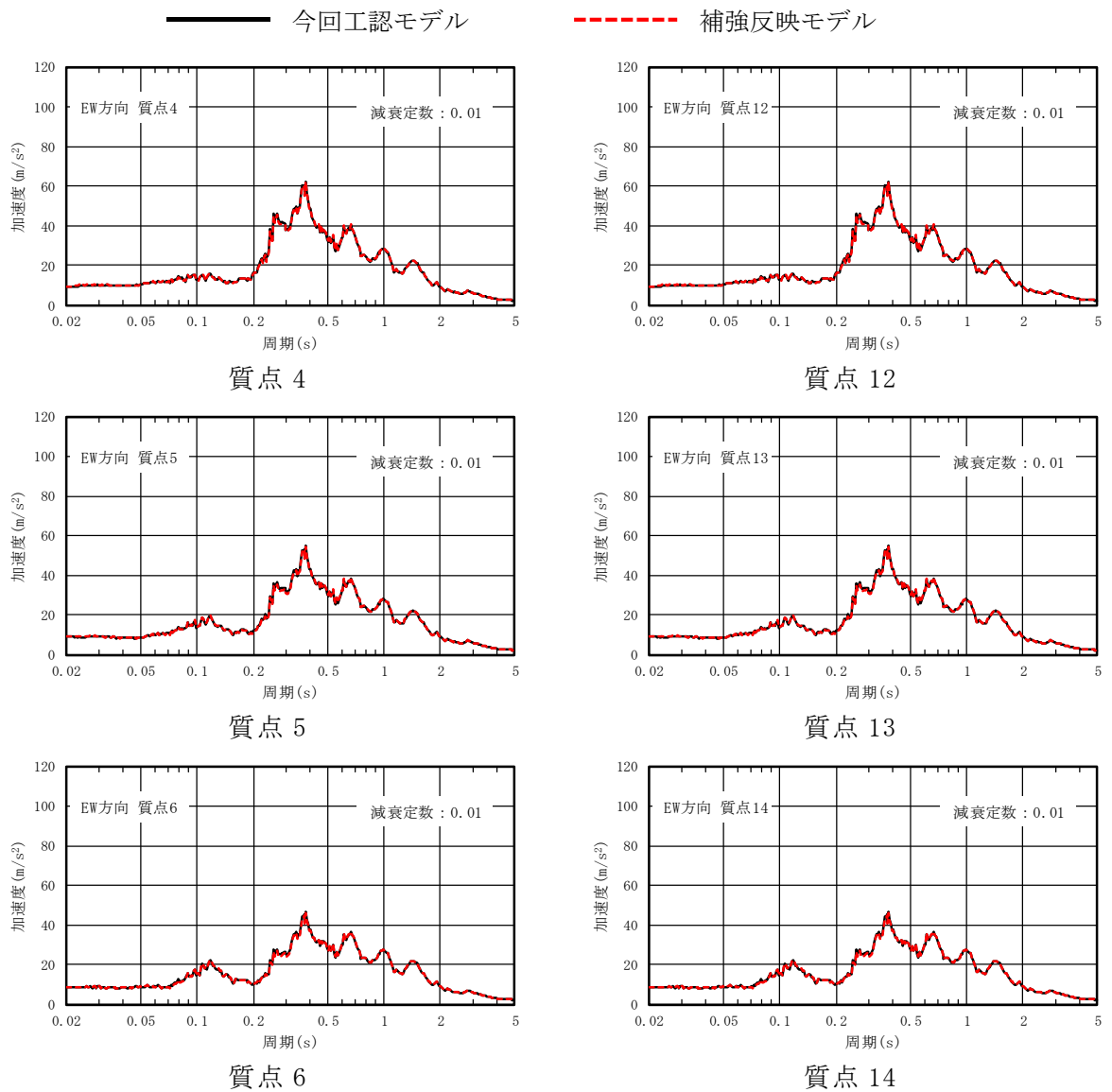
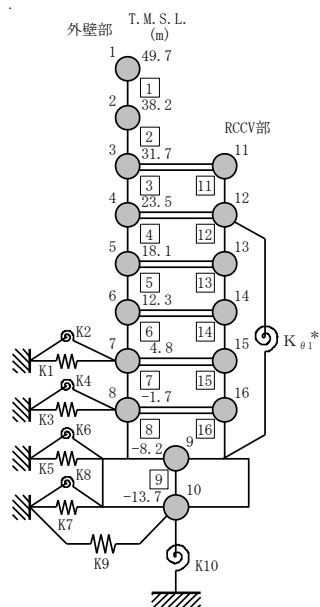


図 5-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (2/3)



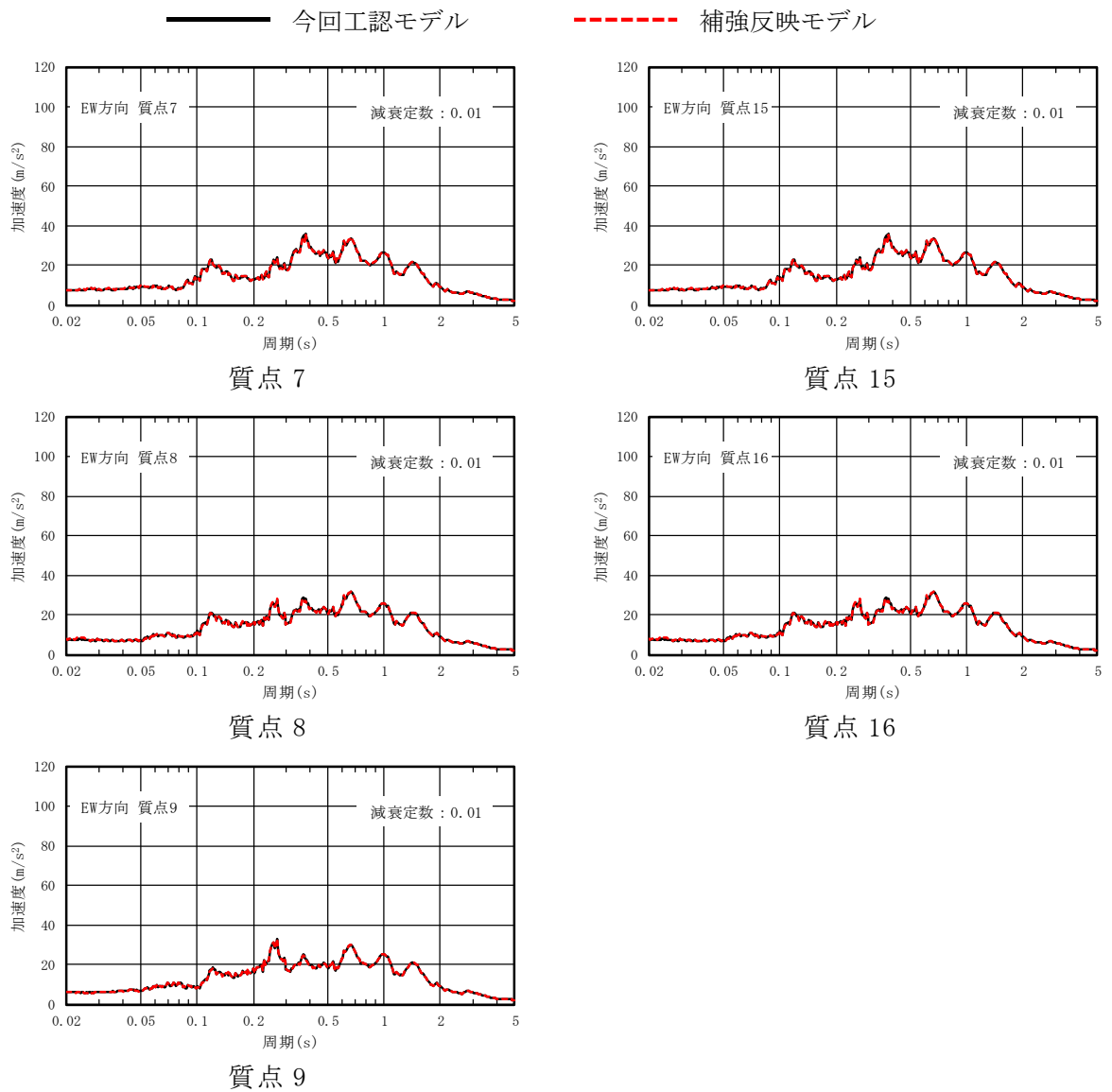
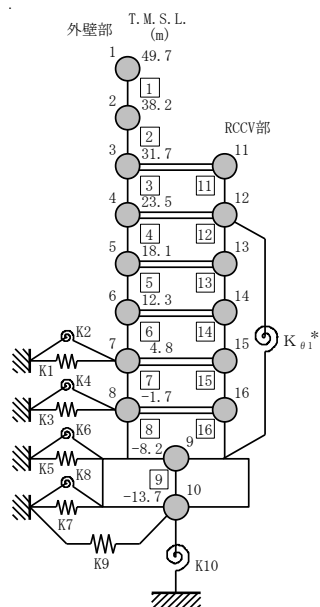
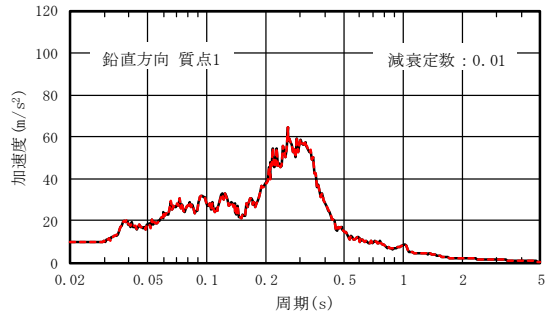


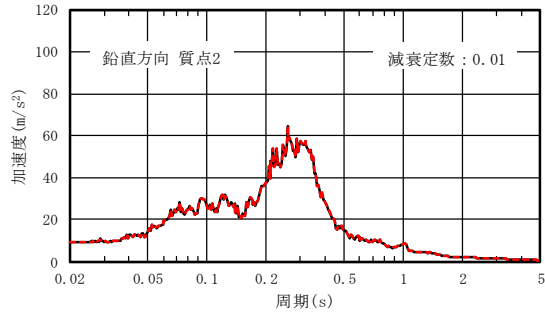
図 5-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, $h=0.01$) (3/3)



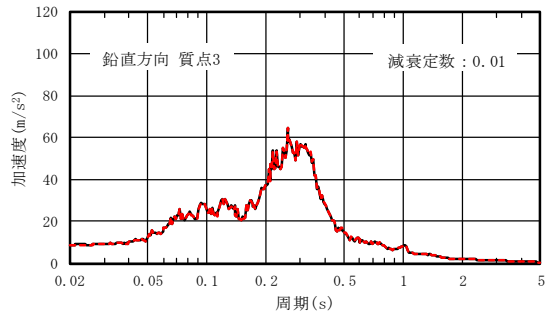
—— 今回工認モデル - - - - 補強反映モデル



質点 1

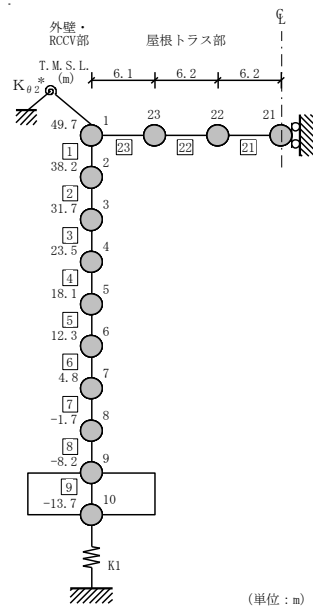


質点 2



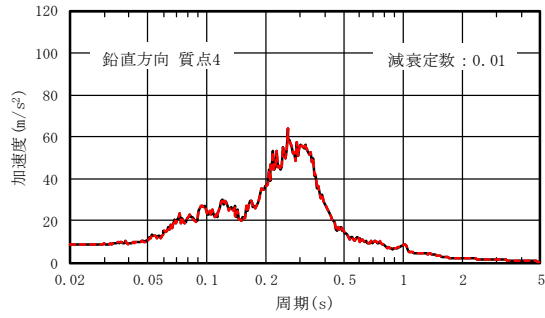
質点 3

図 5-3 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, 鉛直方向, h=0.01) (1/3)

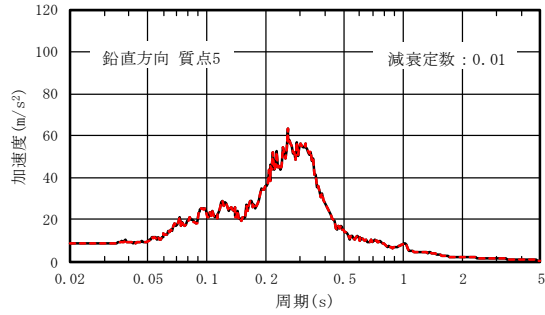


(単位 : m)

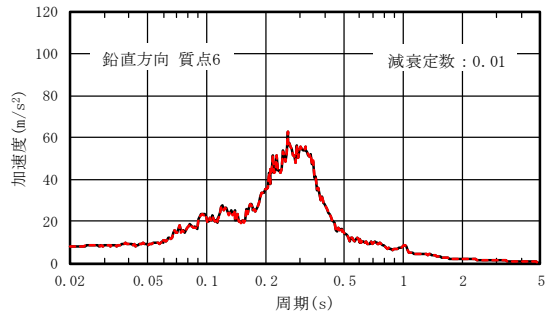
—— 今回工認モデル - - - - 補強反映モデル



質点 4

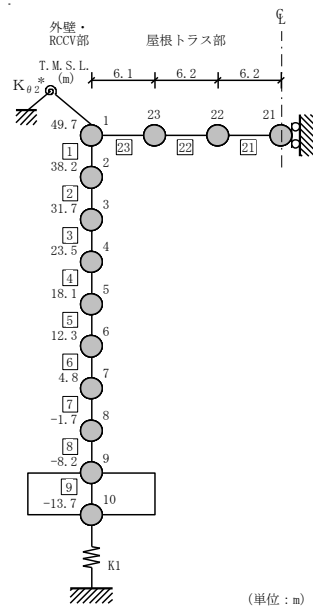


質点 5

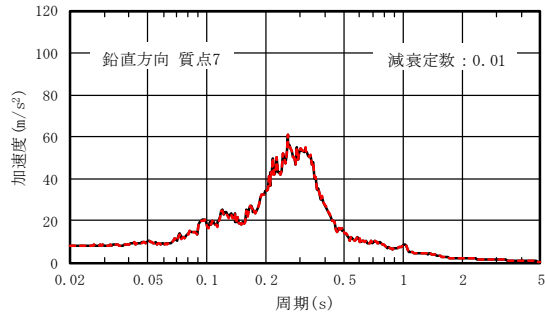


質点 6

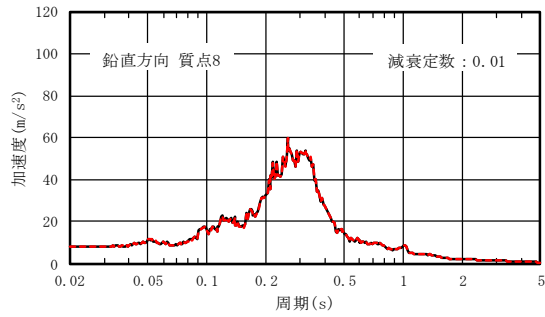
図 5-3 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, 鉛直方向, h=0.01) (2/3)



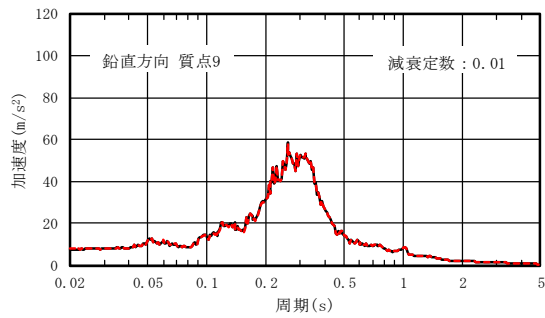
—— 今回工認モデル - - - - 補強反映モデル



質点 7

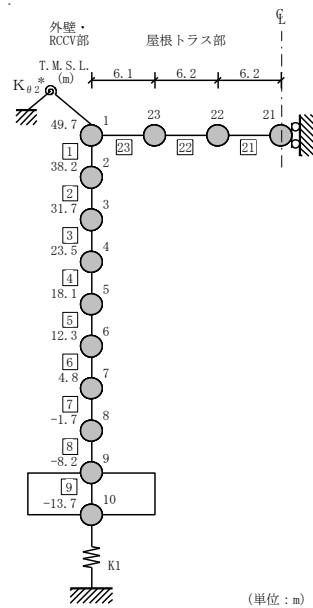


質点 8



質点 9

図 5-3 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, 鉛直方向, h=0.01) (3/3)



6. まとめ

補強等に伴う重量の増加分を考慮し、「補強反映モデル」を用いて、基準地震動 Ss-1 に対する地震応答解析を実施し、「今回工認モデル」を用いた結果と比較した。

その結果、「補強反映モデル」の固有周期は、重量を増加させた影響により「今回工認モデル」の結果に比べてわずかに大きくなるものの、ほぼ同程度となることを確認し、最大応答値は、「今回工認モデル」の結果と概ね整合することを確認した。さらに、原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみ（材料物性の不確かさを考慮した基準地震動 Ss-1～Ss-8 に対する包絡値）に、基準地震動 Ss-1 に対する「補強反映モデル」と「今回工認モデル」の応答比（「補強反映モデル」／「今回工認モデル」）の最大値を乗じた値が許容限界を超えないことを確認した。

別紙9 原子炉建屋の地震応答解析における
補助壁の曲げ変形について

目 次

1. 概要	別紙 9-1
2. 地震応答解析モデルの妥当性の確認	別紙 9-2
3. 検討方針	別紙 9-6
4. 検討条件	別紙 9-7
4.1 補助壁の等価せん断剛性	別紙 9-7
4.2 解析モデル	別紙 9-10
5. 検討結果	別紙 9-16
5.1 固有値解析結果	別紙 9-16
5.2 最大応答値	別紙 9-18
6. 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響	別紙 9-28
6.1 せん断ひずみに対する影響	別紙 9-28
6.2 床応答に対する影響	別紙 9-28
7. 補助壁の評価	別紙 9-35
8. まとめ	別紙 9-40

別紙 9-1 補助壁個材の曲げ剛性を考慮した地震応答解析

1. 概要

本資料は、原子炉建屋の地震応答解析における補助壁の曲げ変形について説明するものである。

2. 地震応答解析モデルの妥当性の確認

原子炉建屋の地震応答解析モデル（以下、「今回工認モデル」という。）は2007年新潟県中越沖地震時のシミュレーション解析結果を踏まえて設定している。別紙1-2「原子炉建屋の地震応答解析モデルについて」では、表2-1に示すとおり、既工認手法及び既工認手法に対し補助壁の剛性を考慮したモデルでの地震応答解析結果と観測記録を比較している。この補助壁の剛性を考慮したモデルにおいては、補助壁の曲げ変形は考慮していない。図2-1及び図2-2に示すとおり、補助壁の剛性を考慮することで既工認手法と比べ、加速度応答スペクトル及び最大応答加速度の観測記録との整合性が向上し、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価できることを確認している。

以上のことから、補助壁の曲げ変形を考慮していない状態で地震時の挙動をより実応答に近い形で評価できる今回工認モデルは基本モデルとして妥当であると考えられる。

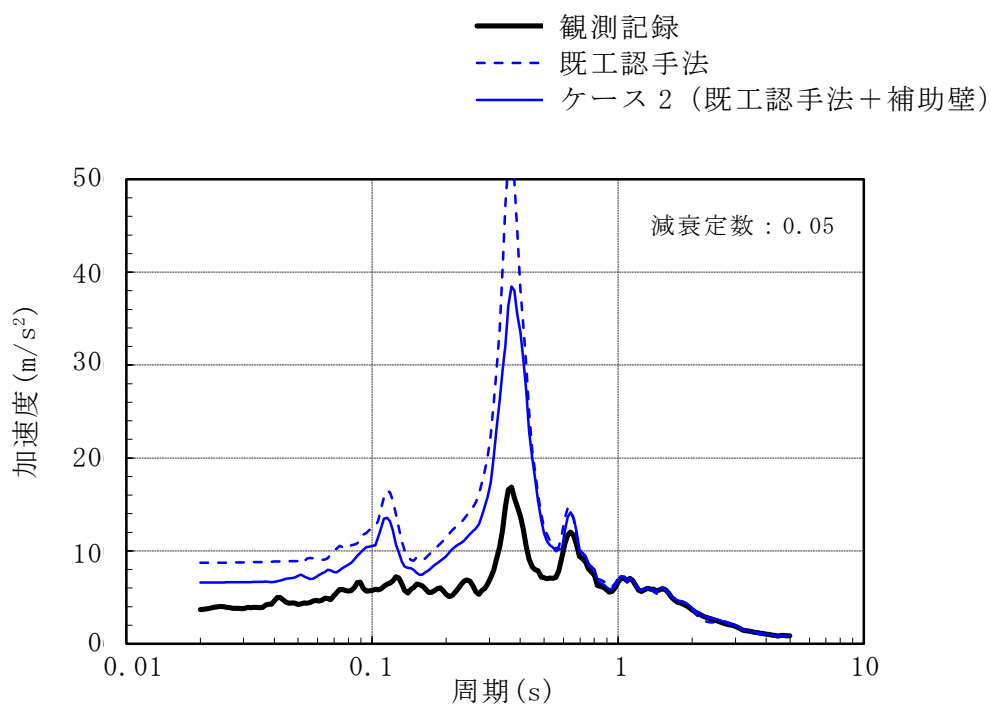
なお、次章以降で仮に今回工認モデルに対して補助壁の曲げ変形を考慮した場合の影響について確認する。

表 2-1 パラメータスタディケース（別紙 1-2 表 3-1 に一部追記）

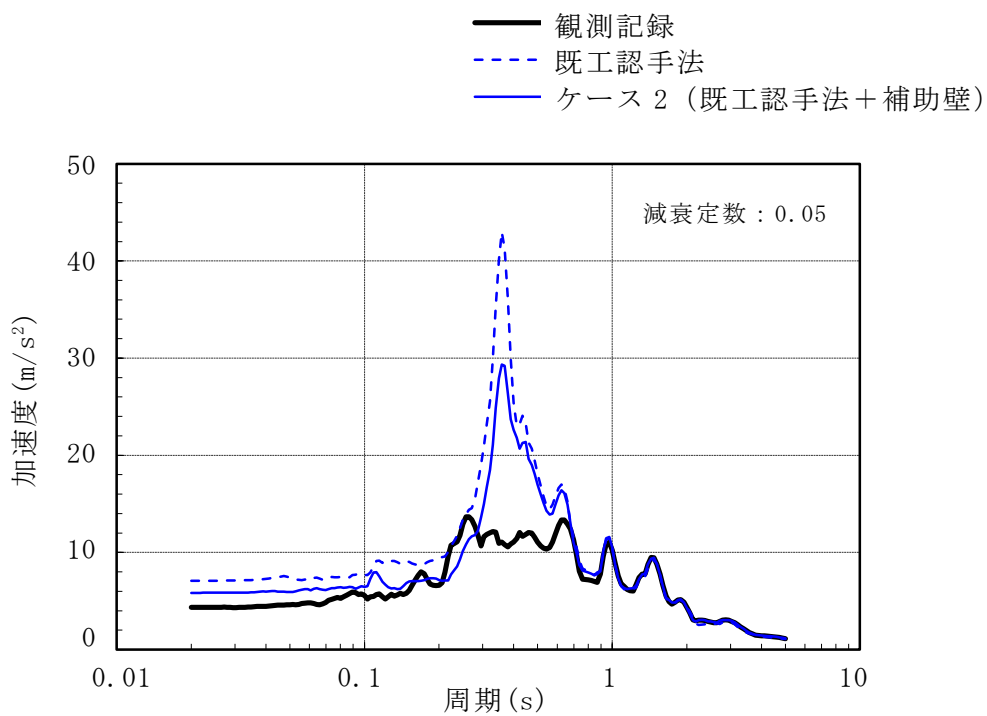
ケース名	建屋モデル		地盤モデル	
	コンクリートのヤング係数	剛性を考慮する部位	側面ばね	表層部での建屋-地盤相互作用
既工認手法に基づく解析モデル	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	考慮
ケース1 実剛性考慮	実剛性*	耐震壁	水平	考慮
ケース2 補助壁考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁+補助壁	水平	考慮
ケース3 側面回転ばね	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平・回転	考慮
ケース4 表層非考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	非考慮
シミュレーション解析モデル (ケース1~4の項目を全て反映したモデル)	実剛性*	耐震壁+補助壁	水平・回転 (表層無視)	非考慮

注記*：本シミュレーション解析においては、建設時の取得データを基に文献調査等を踏まえて経年による強度増進効果を加味して設定した推定実強度（49.0N/mm²（500kgf/cm²））に基づく剛性を使用する。なお、今回工認では、妥当性、信頼性の観点から、建設時の91日強度の平均値に相当する値（43.1N/mm²（440kgf/cm²））をコンクリート実強度として剛性を算定する。

注：網掛け部は本資料の図2-1及び図2-2に結果を示すケースを示す。

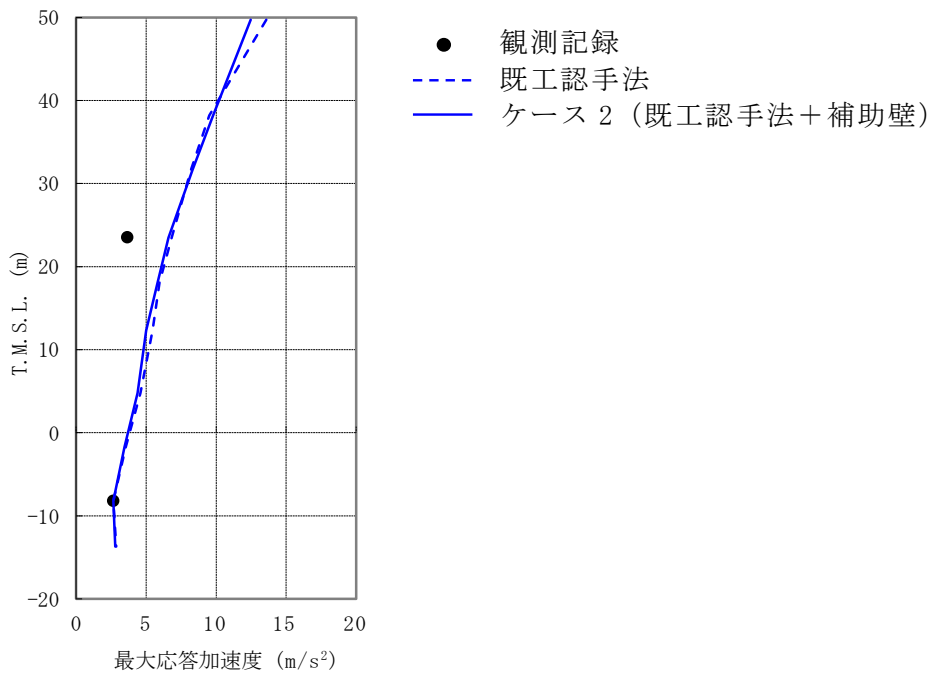


(a) NS方向

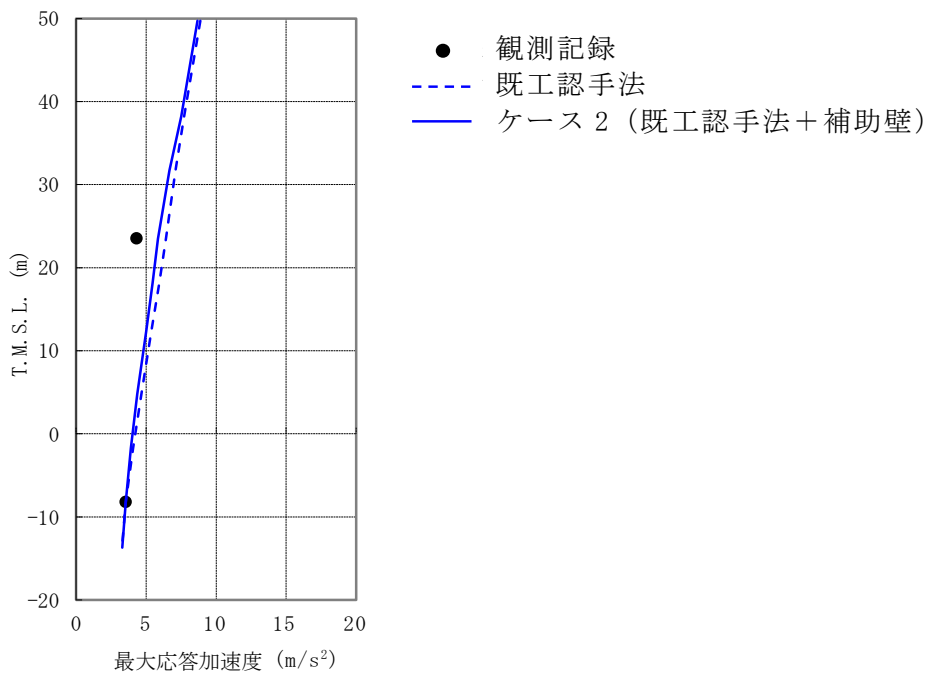


(b) EW方向

図 2-1 加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L. 23.5m) (別紙 1-2 図 3-7 再掲)



(a) NS方向



(b) EW方向

図 2-2 最大応答加速度の比較 (別紙 1-2 図 3-8 再掲)

3. 検討方針

今回工認モデルと補助壁のせん断剛性に曲げ変形を考慮した等価せん断剛性を用いたモデル（以下、「等価剛性モデル」という。）を比較することにより、補助壁の曲げ変形による建屋応答への影響を確認する。補助壁の曲げ剛性は建屋中心軸回りで算定し、層の回転変形に対する補助壁の軸方向剛性の寄与を含むものとする。

なお、地震応答解析は、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 S_s-1 に対して実施することとする。

4. 検討条件

4.1 補助壁の等価せん断剛性

補助壁の等価せん断剛性は、下式のとおり算定する。補助壁に曲げ変形を考慮することで変更となる等価剛性モデルのせん断断面積を表 4-1 及び表 4-2 に示す。なお、補助壁に曲げ変形を考慮することにより今回工認モデルから変更となる諸元はせん断断面積のみである。

$$K_e = \frac{G \cdot A_e}{h} = \frac{1}{\frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_I}}$$

$$K_s = \frac{G \cdot A_s}{h}$$

$$K_I = \frac{12 \cdot E \cdot I}{h^3}$$

$$I = \sum \left(\frac{t \cdot L^3}{12} + t \cdot L \cdot e^2 \right)$$

- ここで、 K_e : 層全体の補助壁の等価せん断剛性
 K_s : 層全体の補助壁のせん断剛性
 K_I : 層全体の補助壁の曲げ剛性
 A_e : 層全体の補助壁の等価せん断断面積
 A_s : 層全体の補助壁のせん断断面積
 I : 層全体の補助壁の建屋中心軸回りの断面二次モーメント
 E : ヤング係数
 G : せん断弾性係数
 h : 階高
 t : 補助壁個材の壁厚
 L : 補助壁個材の長さ
 e : 補助壁個材の図心の建屋中心軸からの距離

表 4-1 補助壁の曲げ変形を考慮したせん断断面積 (NS 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	せん断断面積 (m ²)					
	今回工認モデル			等価剛性モデル		
	耐震壁	補助壁	合計	耐震壁	補助壁	合計
49.7 ~ 38.2	41.0	0.0	41.0	41.0	0.0	41.0
38.2 ~ 31.7	83.0	0.0	83.0	83.0	0.0	83.0
31.7 ~ 23.5	117.4	70.6	188.0	117.4	67.7	185.1
23.5 ~ 18.1	119.0	13.5	132.5	119.0	13.5	132.5
18.1 ~ 12.3	120.2	29.2	149.4	120.2	29.0	149.2
12.3 ~ 4.8	164.9	15.6	180.5	164.9	15.4	180.3
4.8 ~ -1.7	181.2	2.0	183.2	181.2	2.0	183.2
-1.7 ~ -8.2	192.4	31.1	223.5	192.4	30.9	223.3

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	せん断断面積 (m ²)					
	今回工認モデル			等価剛性モデル		
	耐震壁	補助壁	合計	耐震壁	補助壁	合計
31.7 ~ 23.5	114.4	5.2	119.6	114.4	5.1	119.5
23.5 ~ 18.1	95.5	17.5	113.0	95.5	17.5	113.0
18.1 ~ 12.3	95.6	42.0	137.6	95.6	41.9	137.5
12.3 ~ 4.8	97.0	42.2	139.2	97.0	41.8	138.8
4.8 ~ -1.7	100.4	32.0	132.4	100.4	31.9	132.3
-1.7 ~ -8.2	144.8	41.6	186.4	144.8	41.4	186.2

表 4-2 補助壁の曲げ変形を考慮したせん断断面積 (EW 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	せん断断面積 (m ²)					
	今回工認モデル			等価剛性モデル		
	耐震壁	補助壁	合計	耐震壁	補助壁	合計
49.7 ~ 38.2	54.7	0.0	54.7	54.7	0.0	54.7
38.2 ~ 31.7	122.9	0.0	122.9	122.9	0.0	122.9
31.7 ~ 23.5	153.3	19.4	172.7	153.3	19.2	172.5
23.5 ~ 18.1	111.8	20.0	131.8	111.8	19.9	131.7
18.1 ~ 12.3	131.5	35.2	166.7	131.5	35.1	166.6
12.3 ~ 4.8	178.8	0.5	179.3	178.8	0.5	179.3
4.8 ~ -1.7	190.8	20.7	211.5	190.8	20.5	211.3
-1.7 ~ -8.2	202.6	56.9	259.5	202.6	56.6	259.2

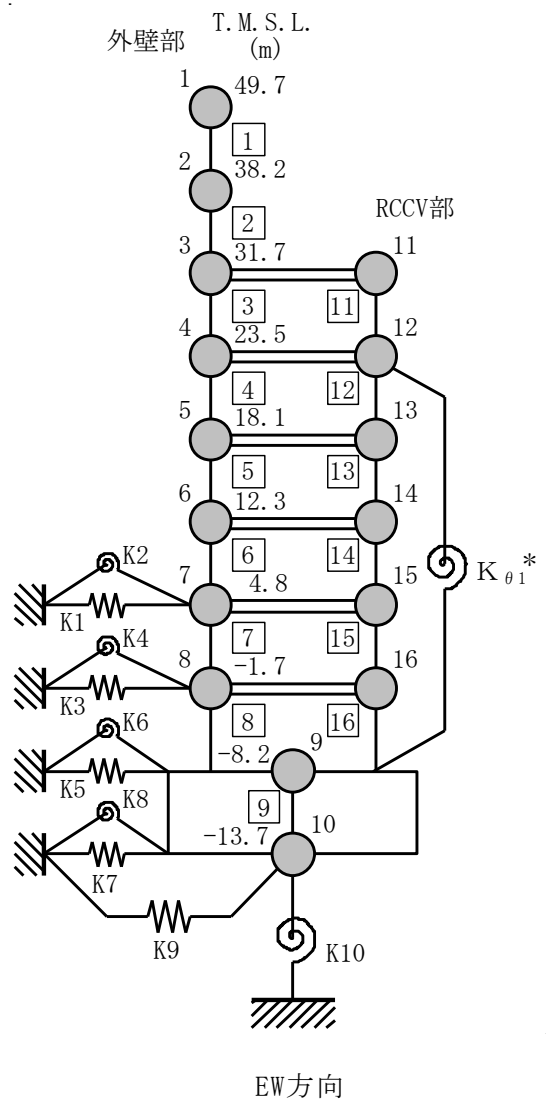
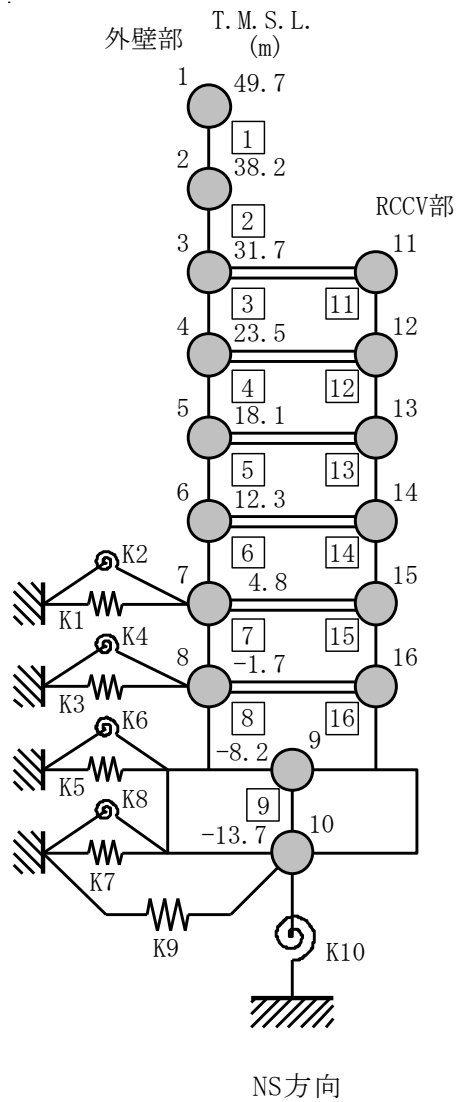
(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	せん断断面積 (m ²)					
	今回工認モデル			等価剛性モデル		
	耐震壁	補助壁	合計	耐震壁	補助壁	合計
31.7 ~ 23.5	114.4	104.6	219.0	114.4	104.0	218.4
23.5 ~ 18.1	95.5	127.3	222.8	95.5	127.0	222.5
18.1 ~ 12.3	97.4	110.0	207.4	97.4	109.5	206.9
12.3 ~ 4.8	97.0	55.1	152.1	97.0	54.7	151.7
4.8 ~ -1.7	97.4	82.7	180.1	97.4	82.2	179.6
-1.7 ~ -8.2	141.0	23.4	164.4	141.0	23.3	164.3

4.2 解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルを図4-1に、せん断スケルトンを表4-3及び表4-4に示す。

なお、補助壁の曲げ変形を考慮することにより「5.1 固有値解析結果」で示す固有値解析結果へ与える影響は小さく、地盤ばねの定数化振動数への影響がないため、地盤ばねは今回工認モデルと同一とする。また、補助壁の曲げ変形を考慮することによる曲げスケルトンへの影響はないため、曲げスケルトンは今回工認モデルと同一とする。



注記* : RCCV 回転ばね

図 4-1 地震応答解析モデル

表 4-3 せん断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向) (1/2)

(a) 等価剛性モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.28	0.191	3.08	0.569	6.81	4.00
4F	2.38	0.199	3.21	0.588	6.54	4.00
3F	2.44	0.204	3.00	0.630	4.92	4.00
2F	2.54	0.213	3.35	0.644	6.62	4.00
1F	2.55	0.213	3.29	0.660	6.45	4.00
B1F	2.62	0.219	3.48	0.665	6.98	4.00
B2F	2.70	0.226	3.64	0.674	7.56	4.00
B3F	2.69	0.225	3.52	0.691	7.03	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.26	0.189	3.02	0.567	6.89	4.00
2F	2.32	0.194	3.00	0.584	7.23	4.00
1F	2.34	0.196	2.93	0.605	6.75	4.00
B1F	2.43	0.203	3.04	0.626	6.42	4.00
B2F	2.47	0.207	3.15	0.573	6.26	4.00
B3F	2.46	0.205	3.15	0.589	5.74	4.00

表 4-3 セン断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向) (2/2)

(b) 今回工認モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.28	0.191	3.08	0.569	6.81	4.00
4F	2.38	0.199	3.21	0.588	6.54	4.00
3F	2.40	0.201	2.96	0.630	4.84	4.00
2F	2.54	0.213	3.35	0.644	6.62	4.00
1F	2.55	0.213	3.29	0.660	6.44	4.00
B1F	2.62	0.219	3.47	0.665	6.98	4.00
B2F	2.70	0.226	3.64	0.674	7.56	4.00
B3F	2.69	0.224	3.52	0.691	7.03	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.26	0.189	3.01	0.567	6.88	4.00
2F	2.32	0.194	3.00	0.584	7.23	4.00
1F	2.34	0.196	2.93	0.605	6.75	4.00
B1F	2.42	0.202	3.03	0.626	6.40	4.00
B2F	2.47	0.206	3.15	0.573	6.26	4.00
B3F	2.45	0.205	3.14	0.589	5.73	4.00

表 4-4 セン断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW 方向) (1/2)

(a) 等価剛性モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.33	0.195	3.15	0.582	6.58	4.00
4F	2.33	0.195	3.14	0.581	6.73	4.00
3F	2.50	0.209	3.29	0.634	6.14	4.00
2F	2.47	0.206	3.21	0.626	6.24	4.00
1F	2.48	0.207	3.19	0.642	6.24	4.00
B1F	2.54	0.212	3.43	0.636	7.39	4.00
B2F	2.58	0.216	3.41	0.656	7.10	4.00
B3F	2.58	0.216	3.31	0.673	6.61	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.24	0.187	2.65	0.567	4.77	4.00
2F	2.28	0.191	2.63	0.584	4.83	4.00
1F	2.29	0.191	2.69	0.605	5.33	4.00
B1F	2.41	0.202	2.97	0.626	6.18	4.00
B2F	2.42	0.202	2.91	0.650	5.40	4.00
B3F	2.46	0.206	3.22	0.563	6.43	4.00

表 4-4 セン断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW 方向) (2/2)

(b) 今回工認モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.33	0.195	3.15	0.582	6.58	4.00
4F	2.33	0.195	3.14	0.581	6.73	4.00
3F	2.50	0.209	3.28	0.634	6.13	4.00
2F	2.47	0.206	3.21	0.626	6.23	4.00
1F	2.48	0.207	3.18	0.642	6.24	4.00
B1F	2.54	0.212	3.43	0.636	7.39	4.00
B2F	2.58	0.216	3.41	0.656	7.10	4.00
B3F	2.58	0.215	3.31	0.673	6.60	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.23	0.187	2.65	0.567	4.76	4.00
2F	2.28	0.191	2.63	0.584	4.82	4.00
1F	2.28	0.191	2.68	0.605	5.32	4.00
B1F	2.41	0.201	2.96	0.626	6.17	4.00
B2F	2.41	0.201	2.90	0.650	5.38	4.00
B3F	2.46	0.206	3.21	0.563	6.42	4.00

5. 検討結果

5.1 固有値解析結果

等価剛性モデルと今回工認モデルの固有値解析結果（固有周期及び固有振動数）の比較を表 5-1 に示す。

等価剛性モデルの固有周期は，今回工認モデルの結果と同等であることを確認した。

表 5-1 固有値解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認モデル	等価剛性モデル	今回工認モデル	等価剛性モデル
1	0.439	0.439	2.28	2.28
2	0.192	0.192	5.20	5.20
3	0.091	0.091	11.03	11.03
4	0.078	0.078	12.88	12.88
5	0.077	0.077	12.98	12.96

(b) EW 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認モデル	等価剛性モデル	今回工認モデル	等価剛性モデル
1	0.429	0.429	2.33	2.33
2	0.191	0.191	5.23	5.23
3	0.082	0.082	12.16	12.16
4	0.077	0.077	12.97	12.97
5	0.071	0.071	14.02	14.02

5.2 最大応答値

基準地震動 Ss-1 による最大応答値を図 5-1～図 5-8 に，最大せん断ひずみを表 5-2 及び表 5-3 に示す。

等価剛性モデルの最大応答値は，今回工認モデルの結果と同等であることを確認した。

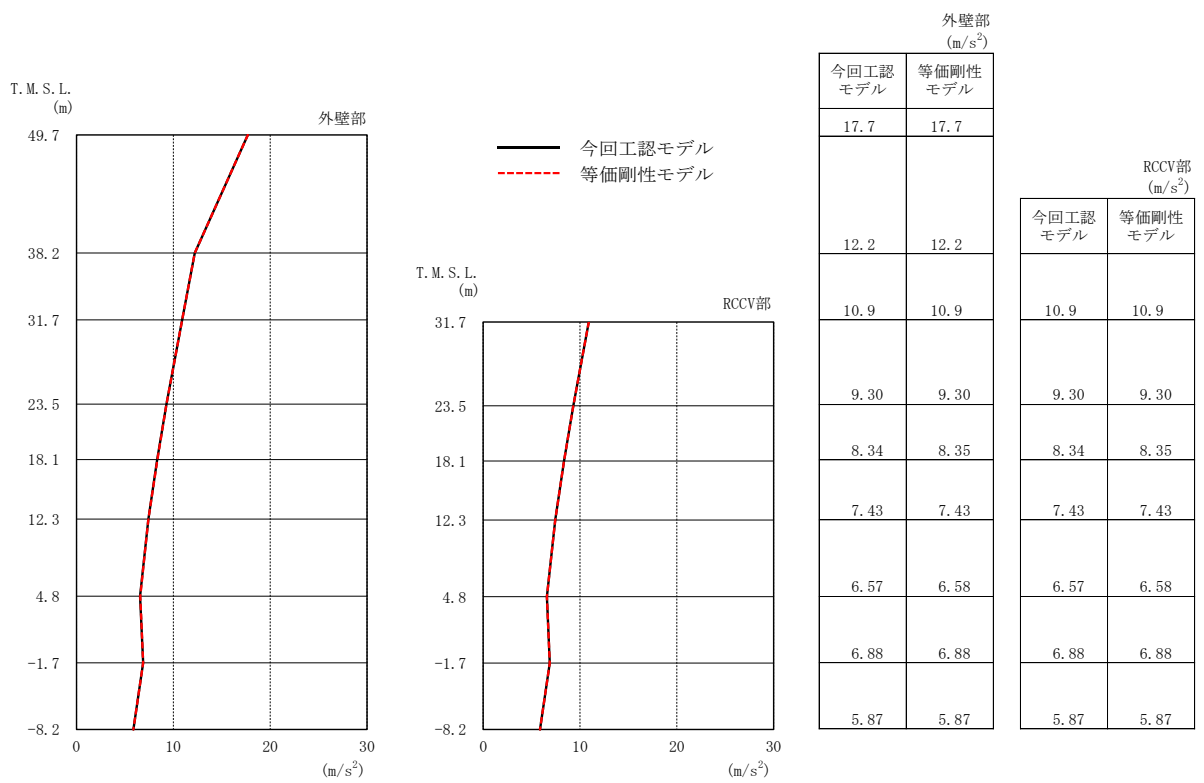
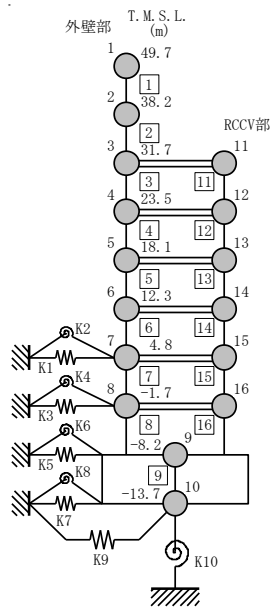


図 5-1 最大応答加速度 (Ss-1, NS 方向)



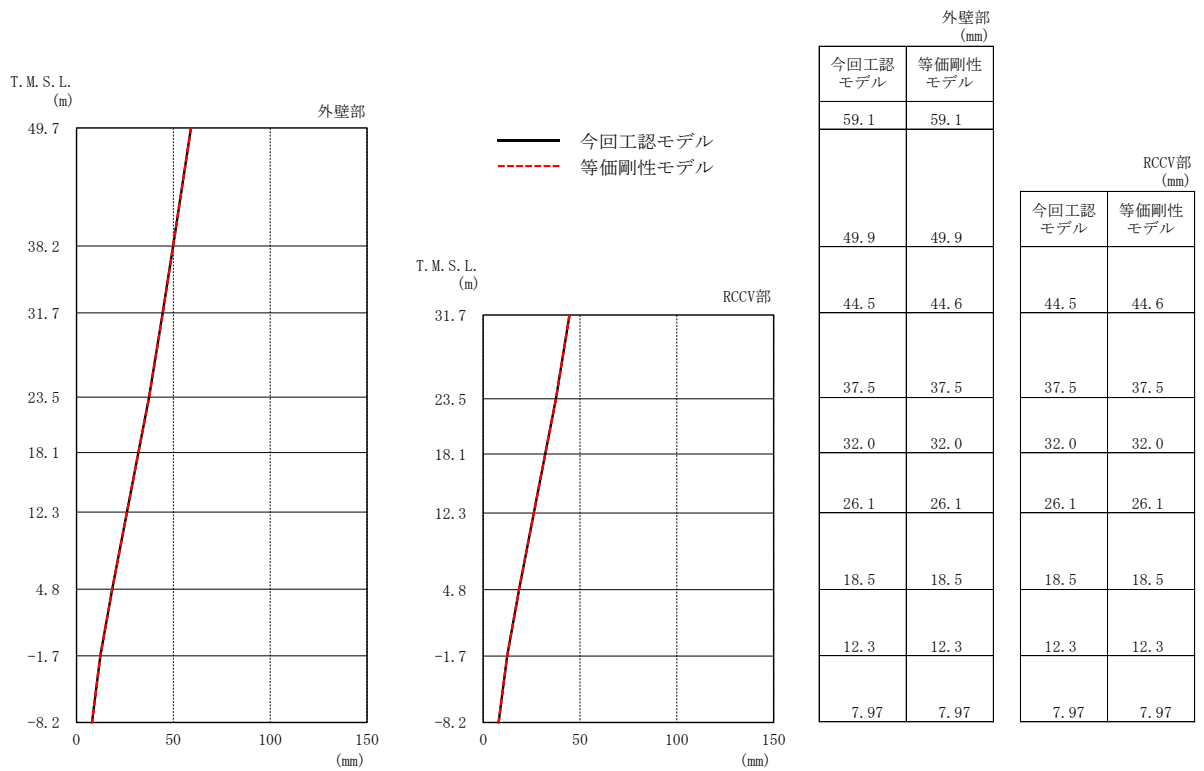
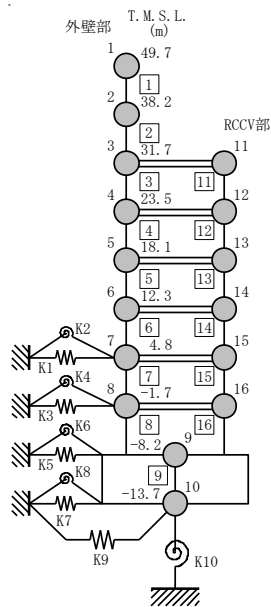


図 5-2 最大応答変位 (Ss-1, NS 方向)



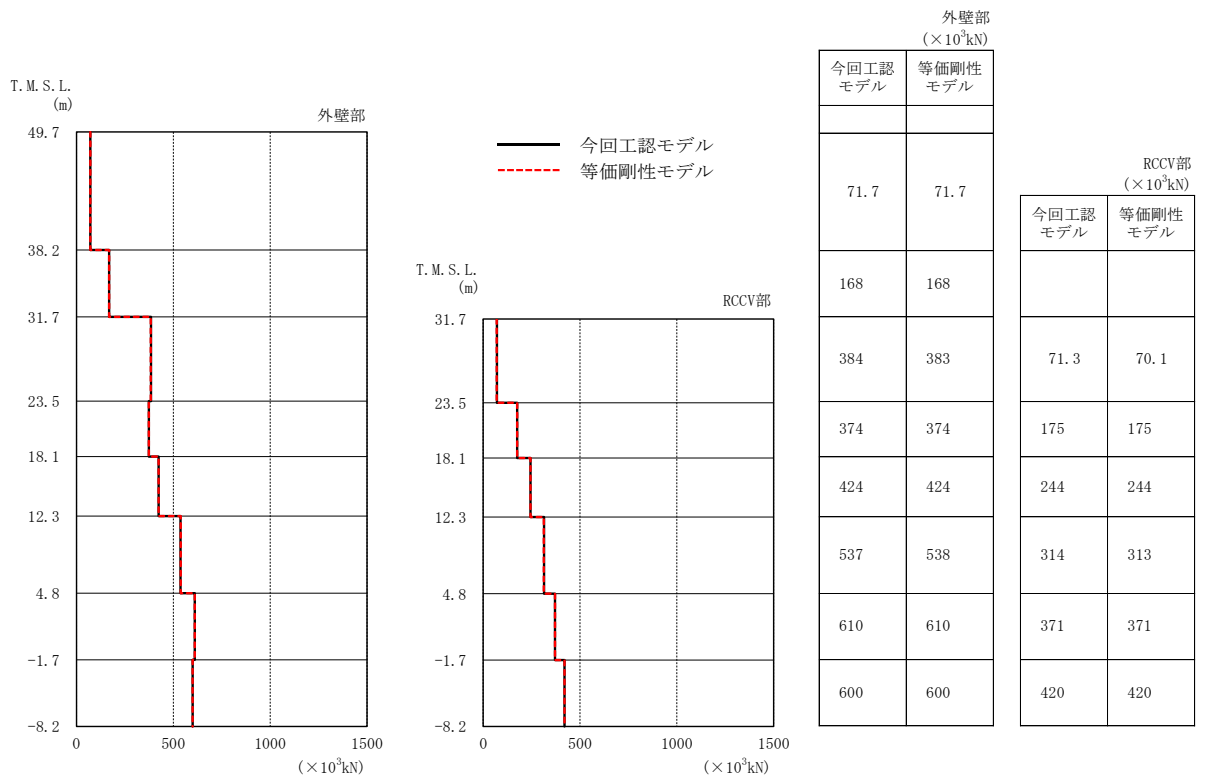
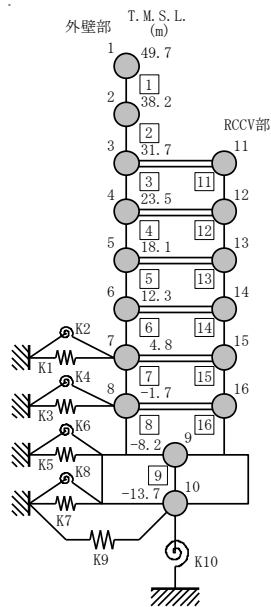


図 5-3 最大応答せん断力 (Ss-1, NS 方向)



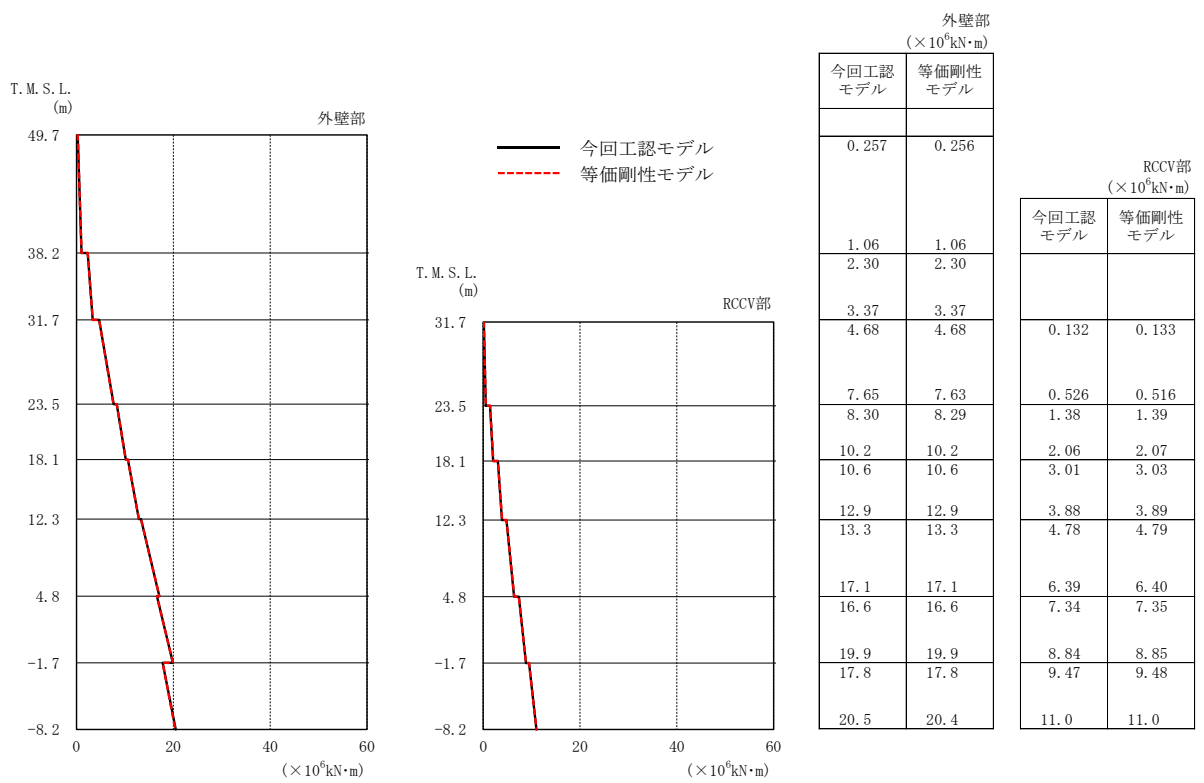
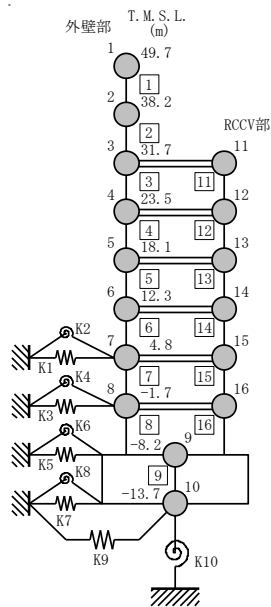


図 5-4 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS 方向)



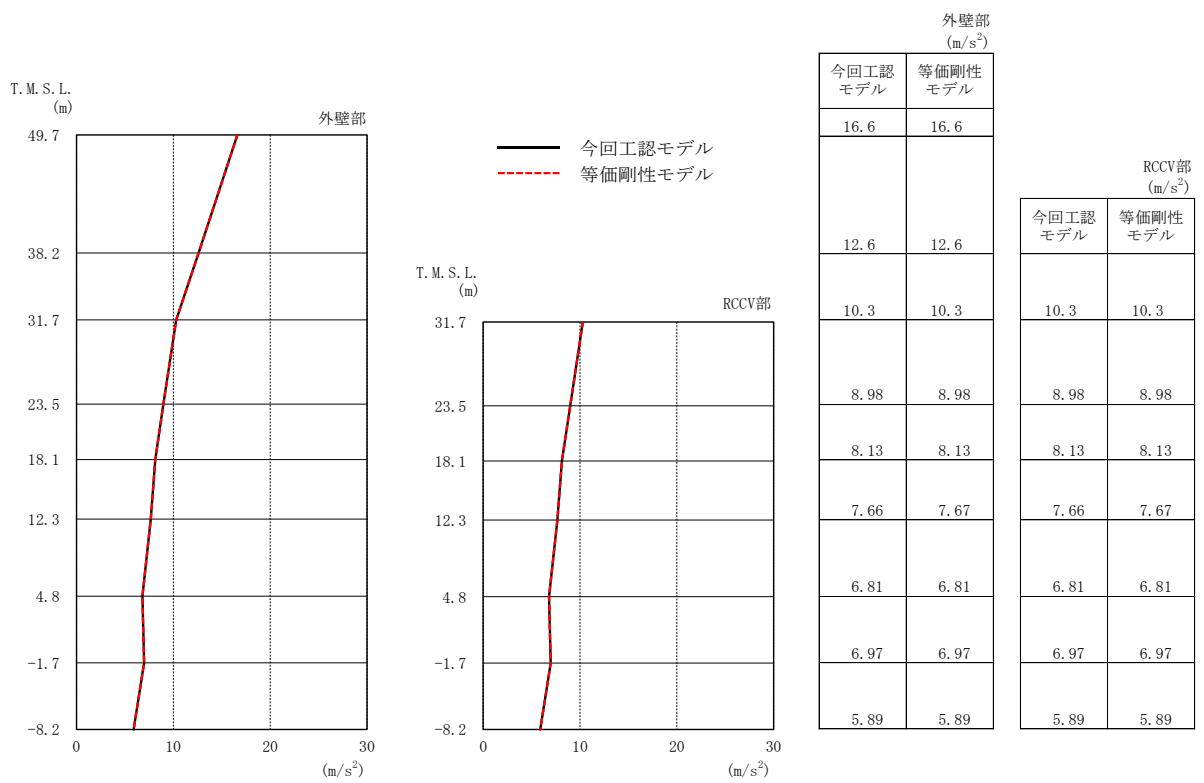
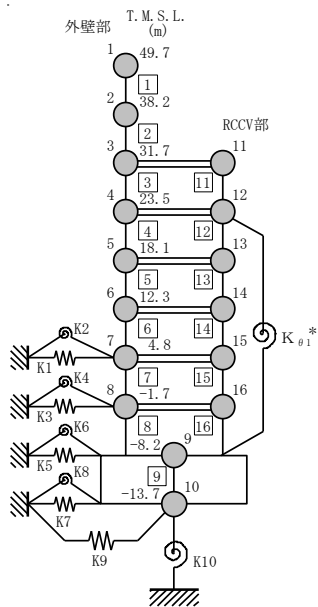


図 5-5 最大応答加速度 (Ss-1, EW 方向)



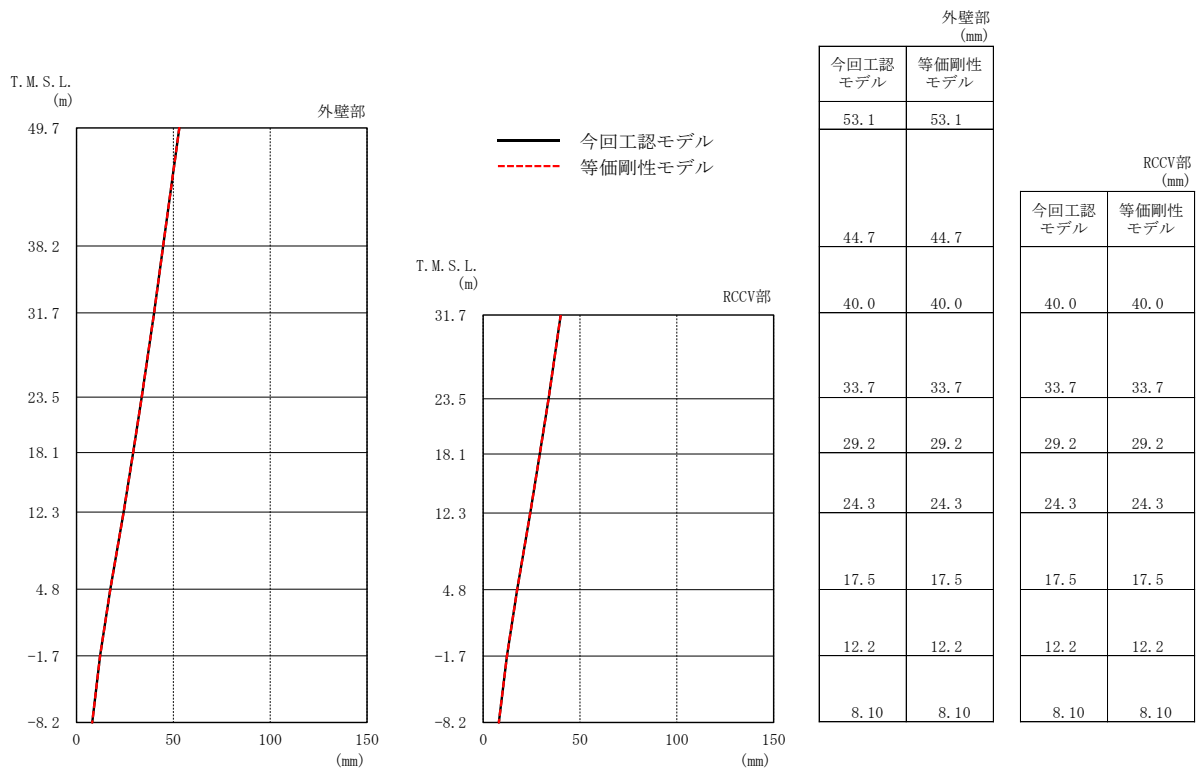
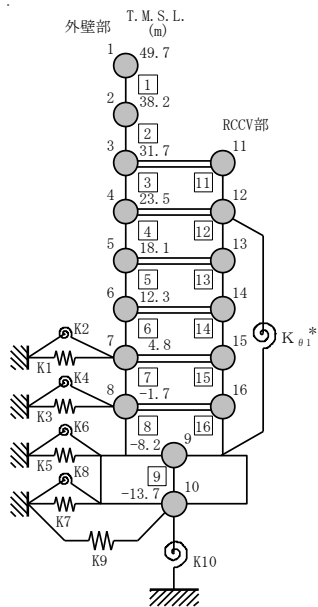


図 5-6 最大応答変位 (Ss-1, EW 方向)



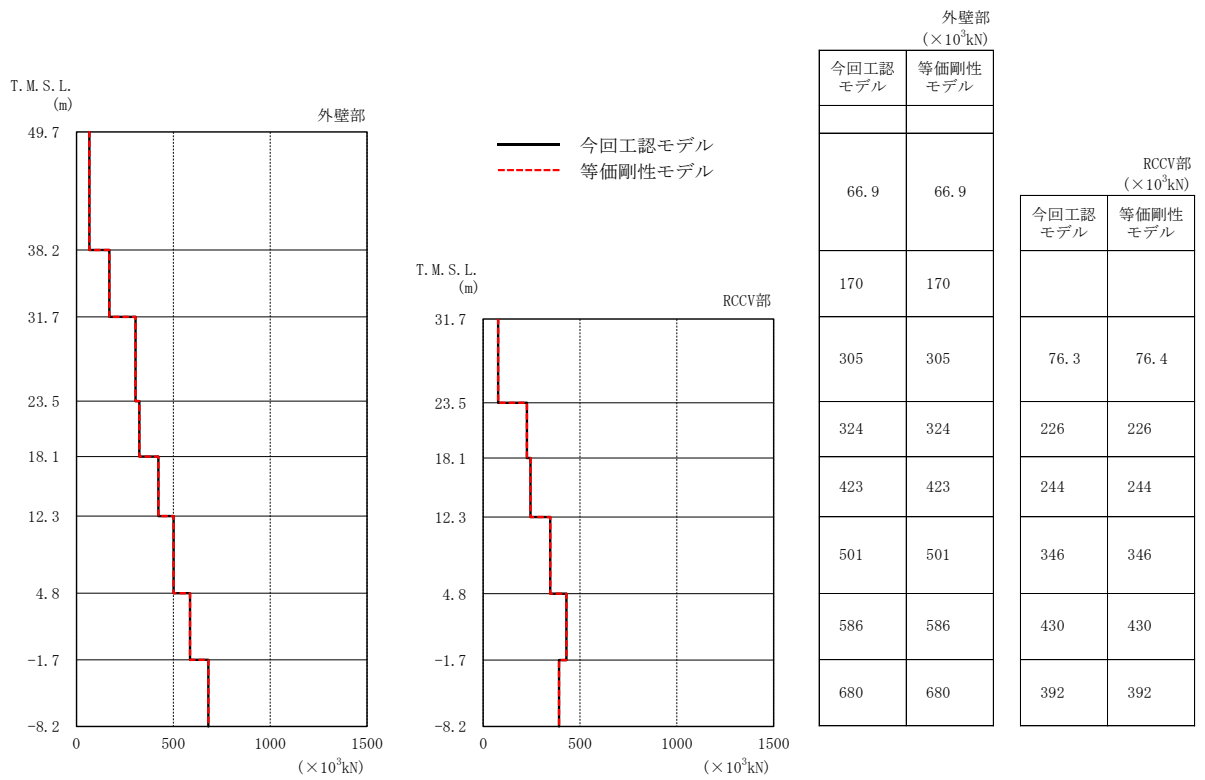
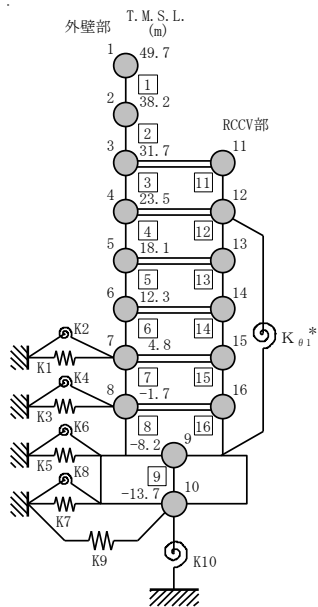


図 5-7 最大応答せん断力 (Ss-1, EW 方向)



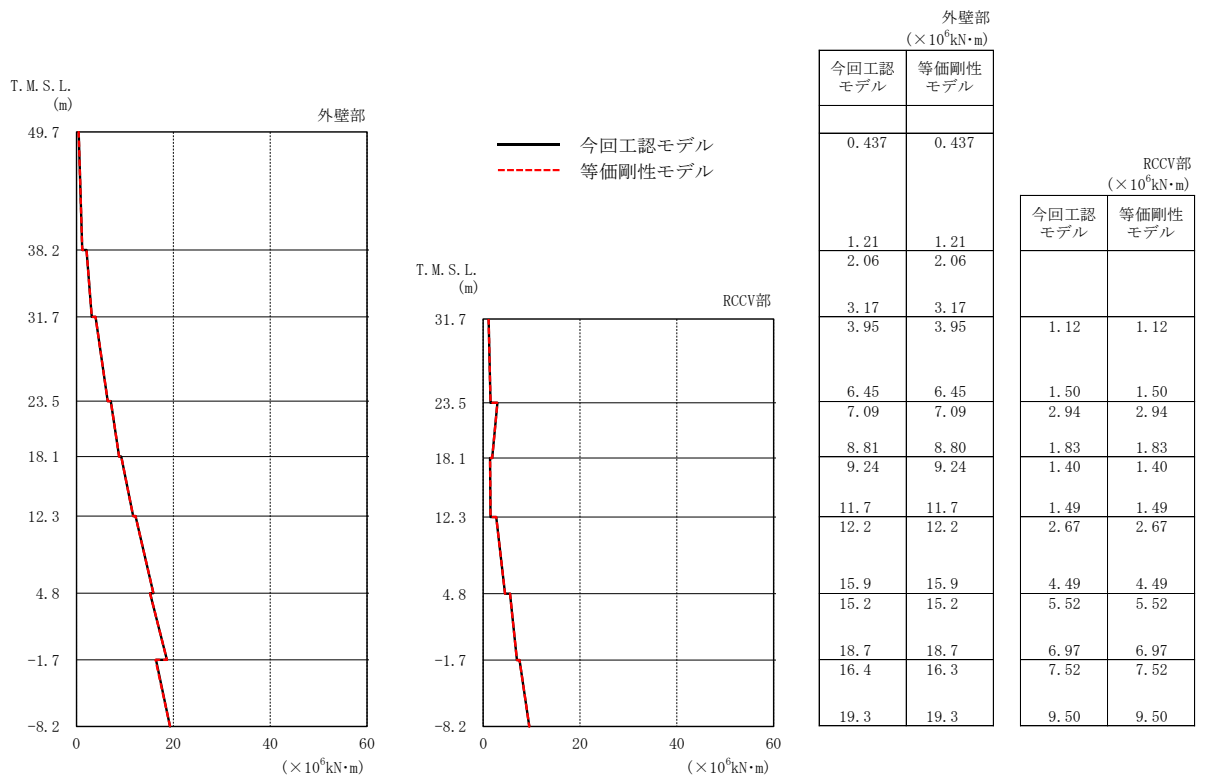


図 5-8 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW 方向)

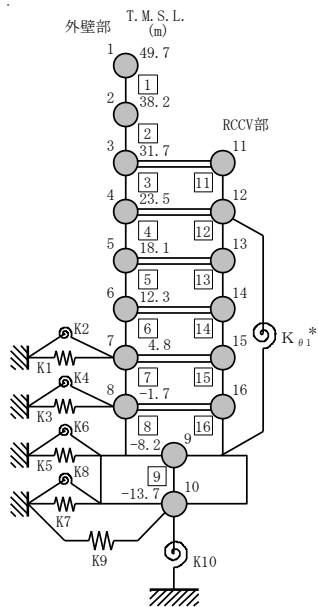


表 5-2 最大せん断ひずみ (NS 方向)

(a) 外壁部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (S_s-1)	
	今回工認 モデル	等価剛性 モデル
1	0.147	0.147
2	0.170	0.170
3	0.171	0.173
4	0.361	0.362
5	0.388	0.389
6	0.406	0.407
7	0.528	0.528
8	0.225	0.225

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (S_s-1)	
	今回工認 モデル	等価剛性 モデル
11	0.0499	0.0491
12	0.130	0.130
13	0.149	0.149
14	0.189	0.189
15	0.388	0.388
16	0.189	0.189

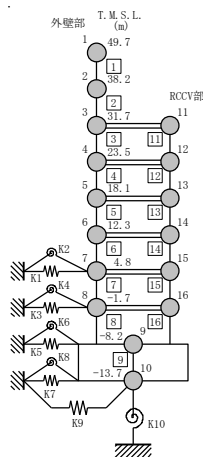
表 5-3 最大せん断ひずみ (EW 方向)

(a) 外壁部

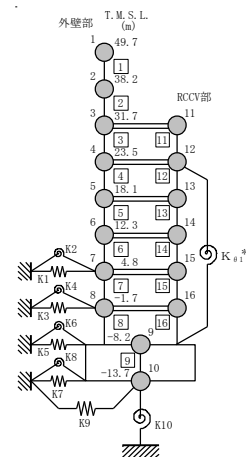
部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (S_s-1)	
	今回工認 モデル	等価剛性 モデル
1	0.103	0.103
2	0.116	0.116
3	0.148	0.148
4	0.206	0.206
5	0.243	0.244
6	0.334	0.334
7	0.318	0.319
8	0.244	0.244

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (S_s-1)	
	今回工認 モデル	等価剛性 モデル
11	0.0292	0.0293
12	0.0848	0.0849
13	0.0982	0.0985
14	0.191	0.191
15	0.200	0.200
16	0.200	0.200



NS 方向



EW 方向

6. 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響

等価剛性モデルの地震応答解析結果を踏まえ、補助壁の曲げ変形が、原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響について確認する。

6.1 せん断ひずみに対する影響

表 5-2 及び表 5-3 に示すとおり、等価剛性モデルの最大せん断ひずみは 0.528×10^{-3} (NS 方向, 外壁部) であり、許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

6.2 床応答に対する影響

基準地震動 Ss-1 における今回工認モデルの床応答スペクトルと等価剛性モデルの床応答スペクトルの比較を図 6-1 及び図 6-2 に示す。

図 6-1 及び図 6-2 に示すとおり、等価剛性モデルの床応答スペクトルは、今回工認モデルの床応答スペクトルと同等であることを確認した。

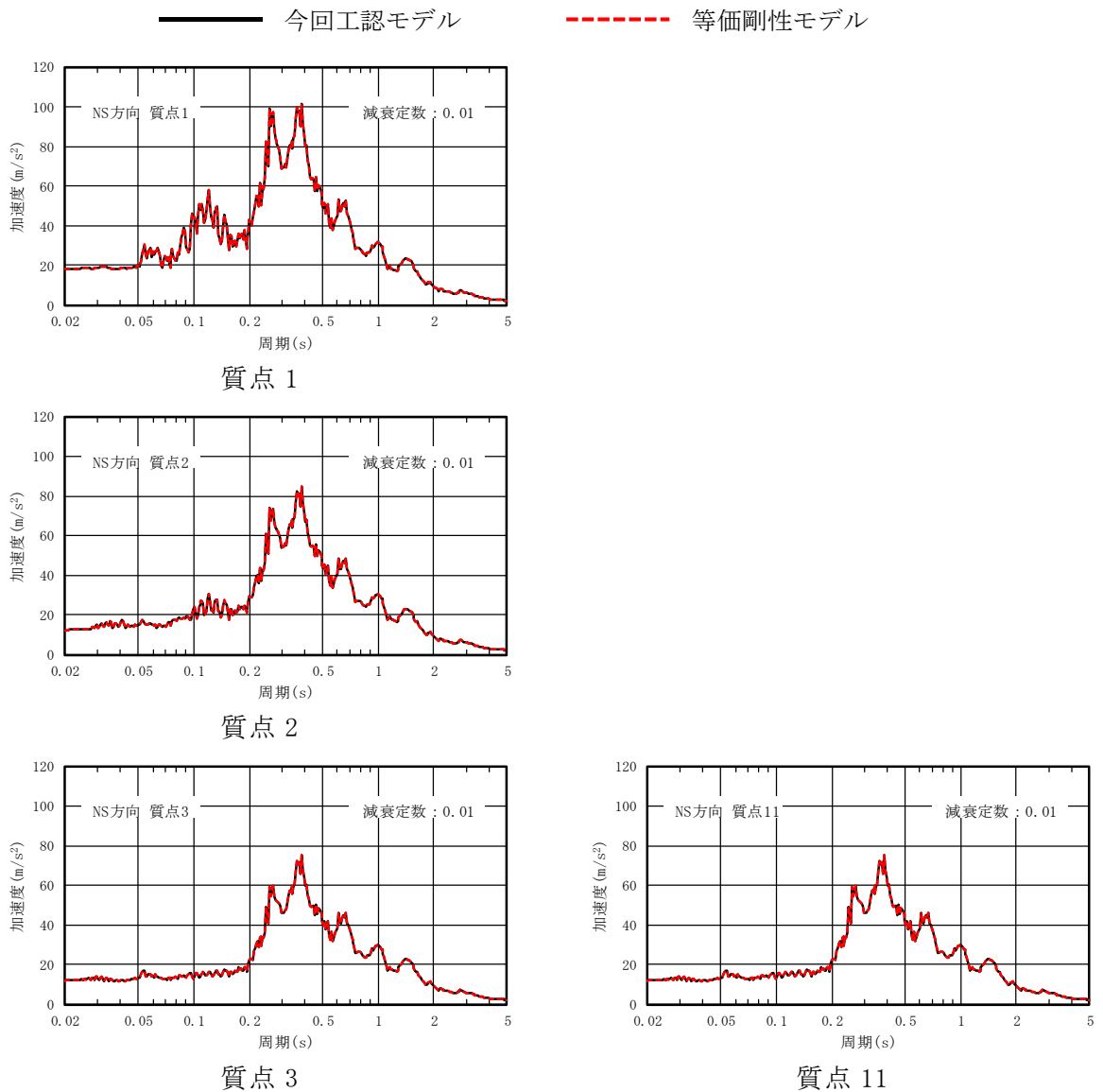
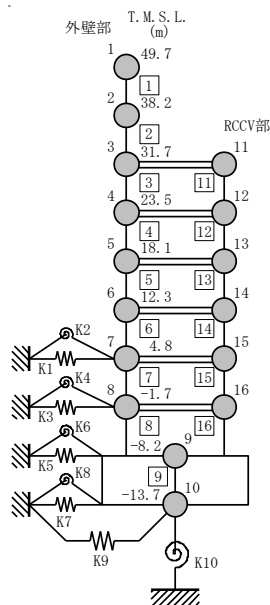


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (1/3)



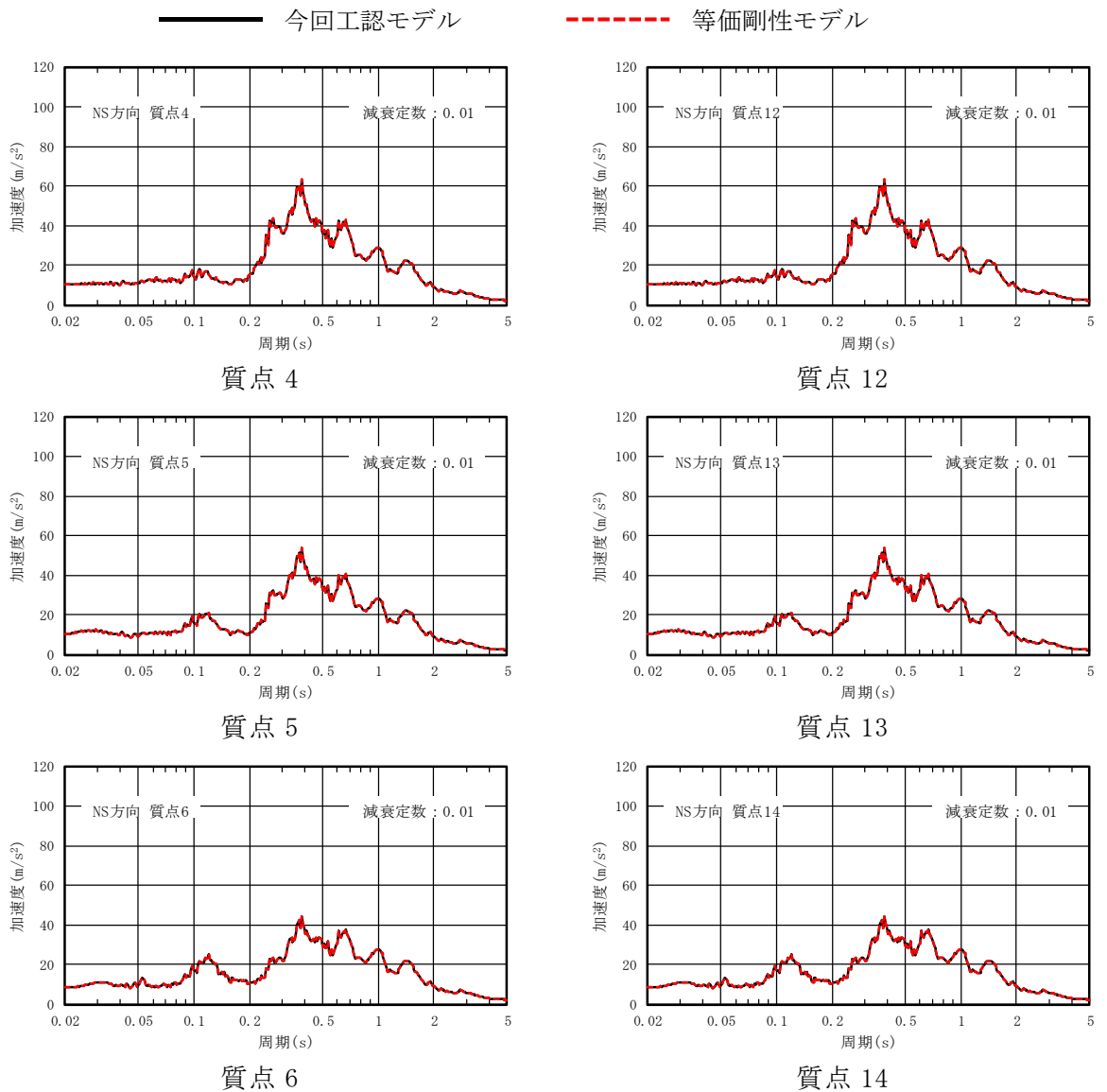
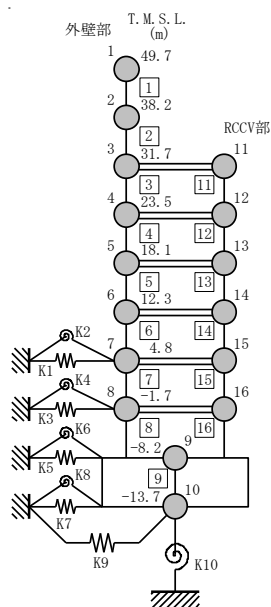


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (2/3)



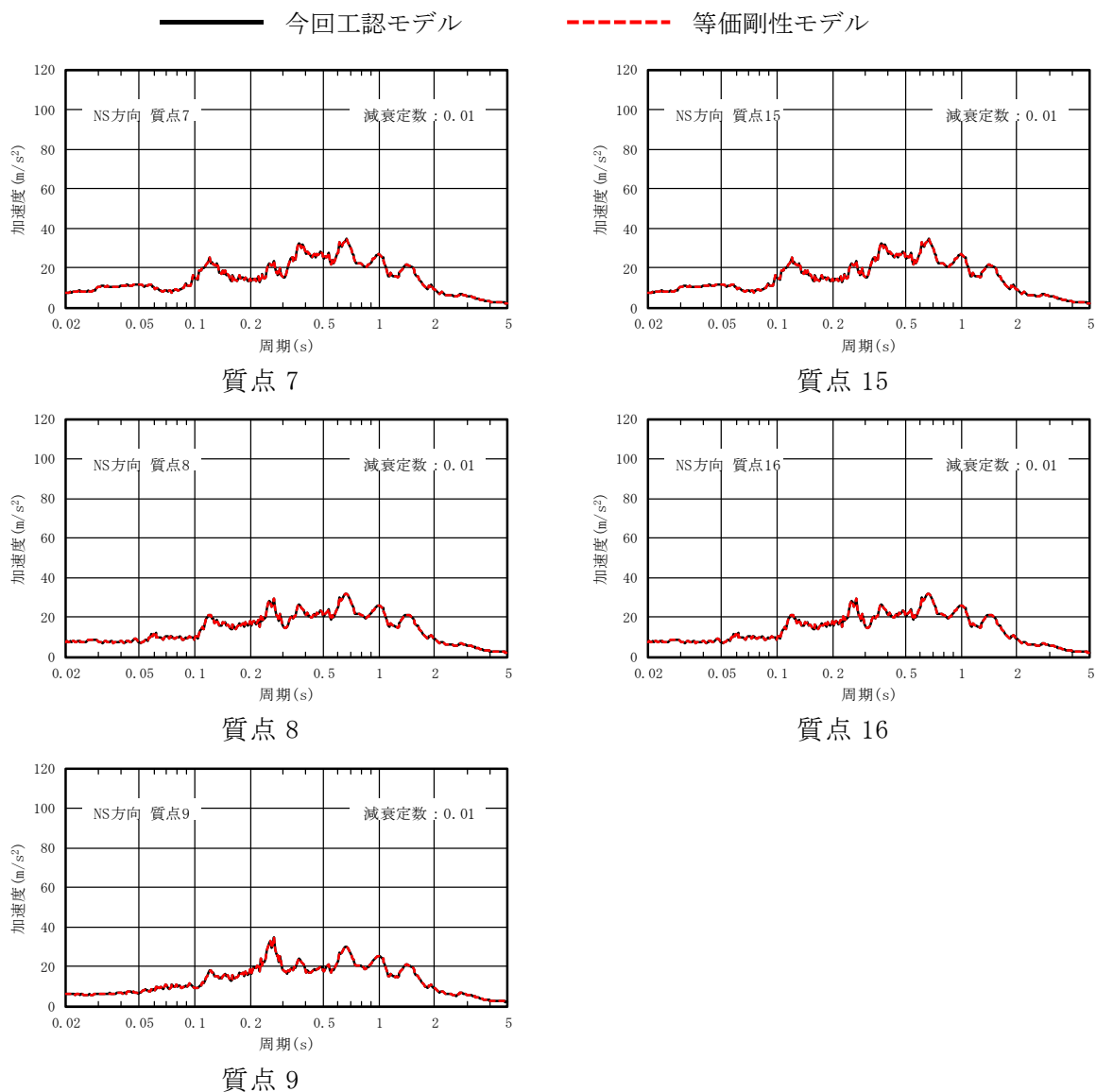
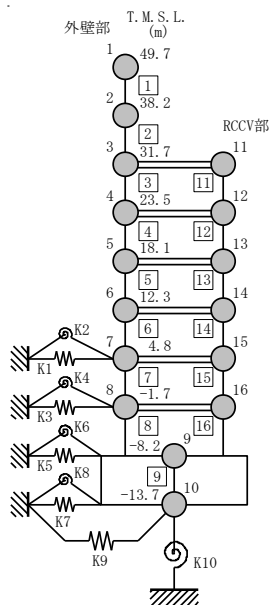


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (3/3)



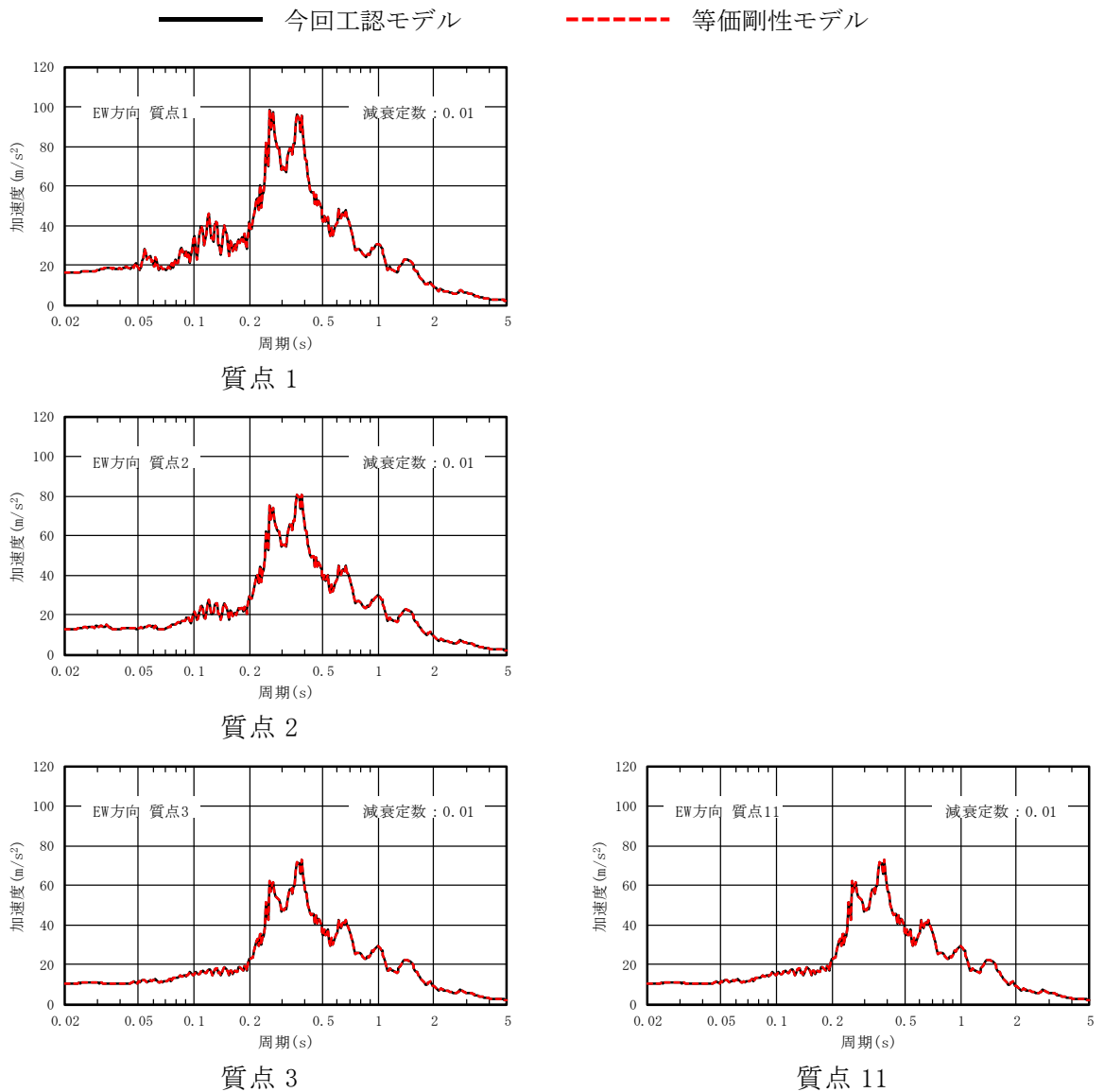
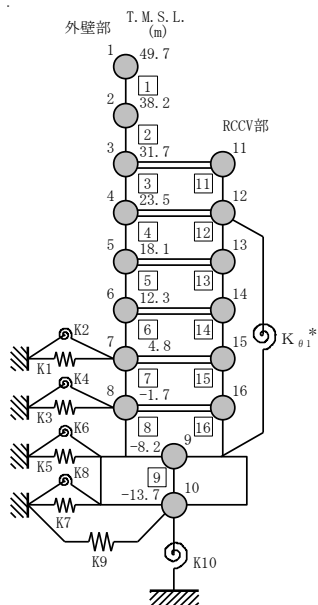


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (1/3)



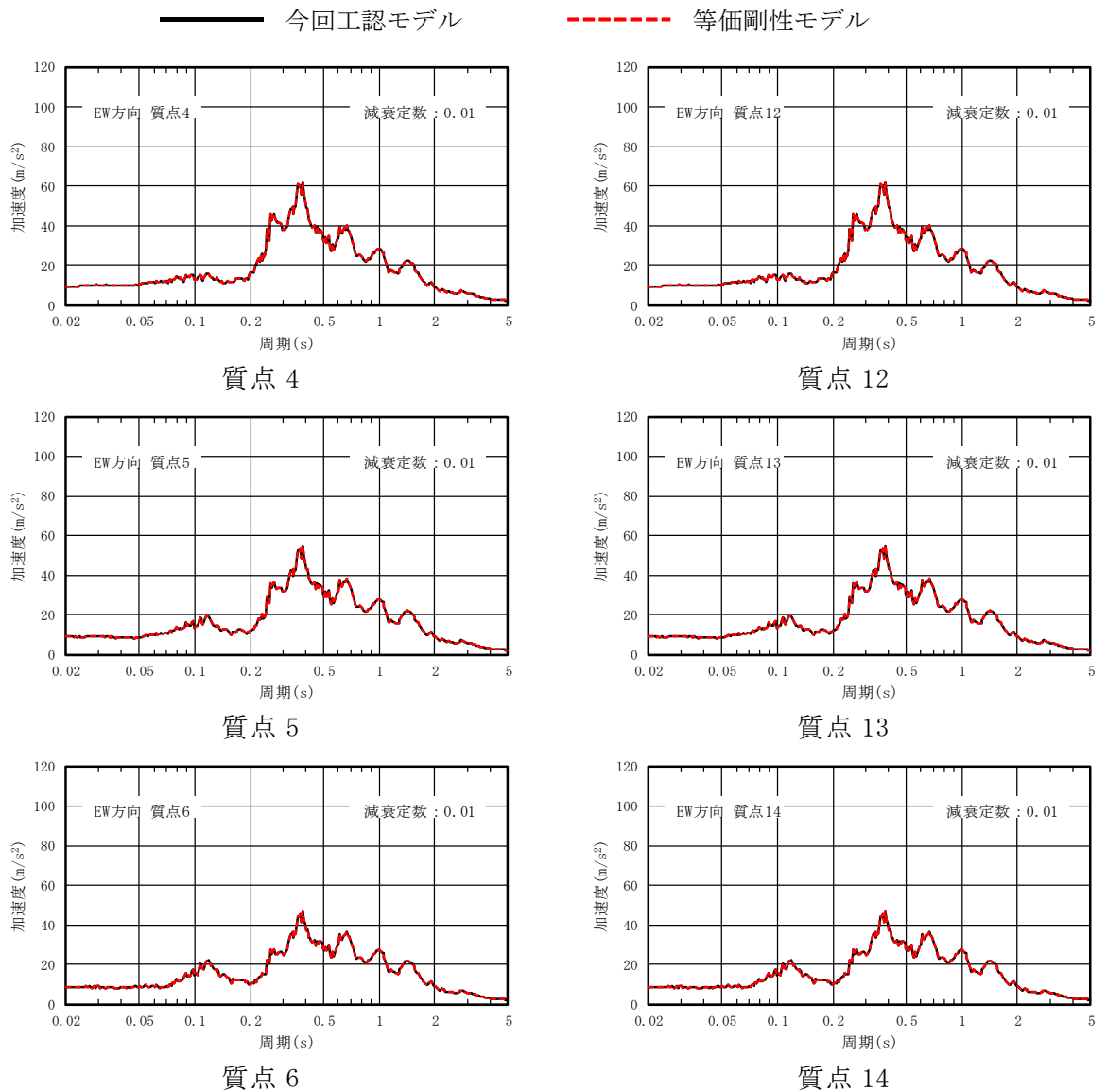
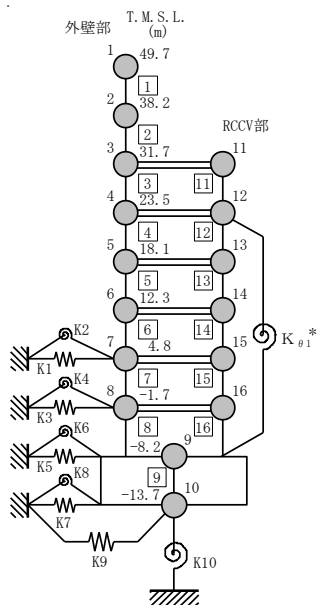


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (2/3)



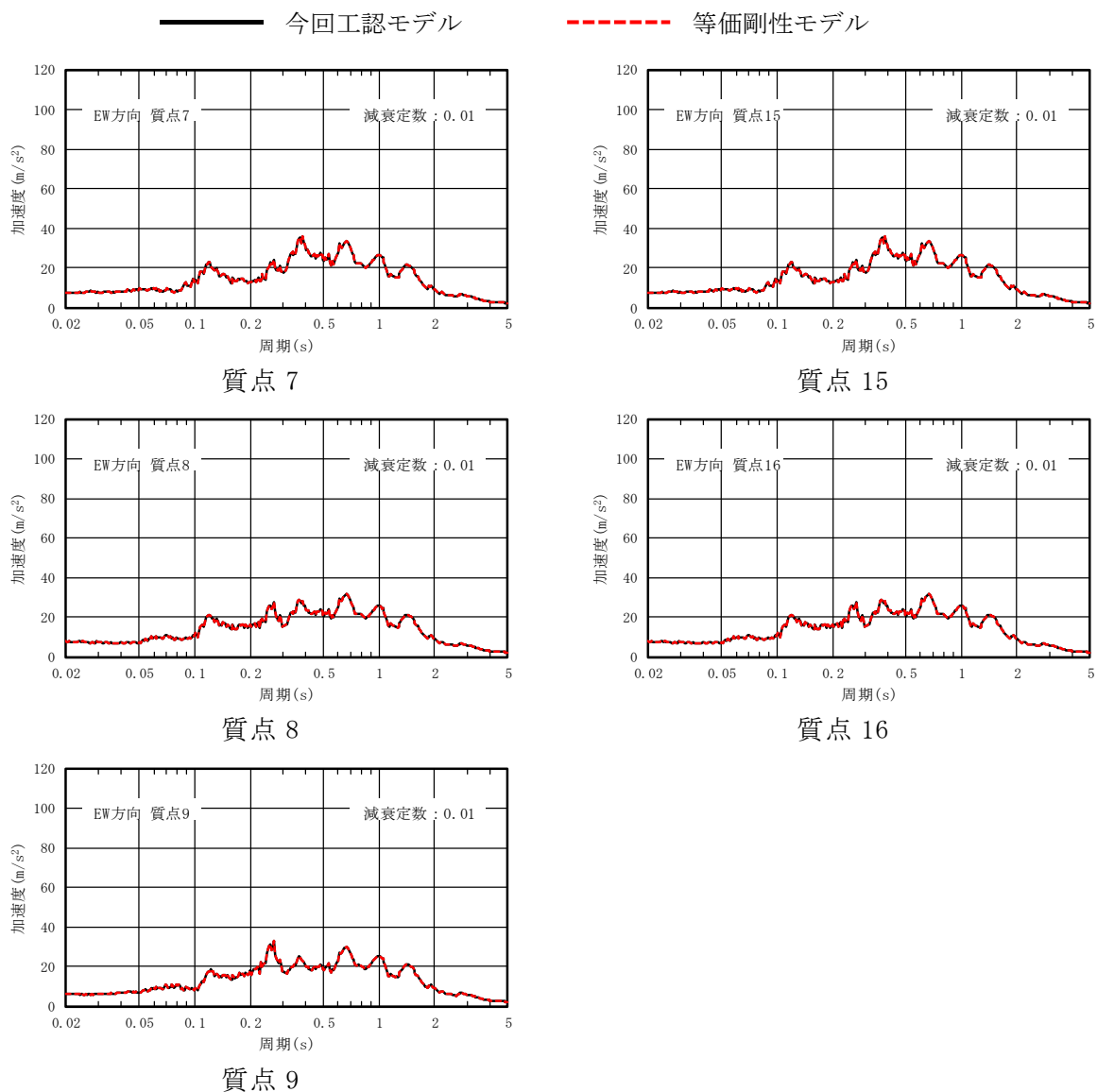
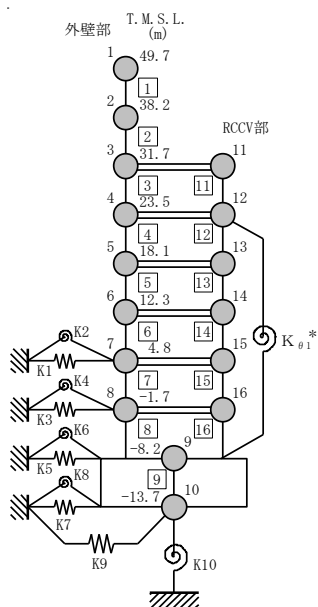


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (3/3)



7. 補助壁の評価

等価剛性モデルの地震応答解析において補助壁の負担するせん断力が、「2015年版建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）」を参考に、次式をもとに算定したせん断終局強度 Q_{wsu} 以下であることを確認する。

$$Q_{wsu} = \left\{ \frac{0.068 \cdot p_{te}^{0.23} (F_c + 18)}{\sqrt{M/(Q \cdot D) + 0.12}} + 0.85 \sqrt{\sigma_{wh} \cdot p_{wh} + 0.1 \cdot \sigma_0} \right\} t_e \cdot j$$

ここで、

- t_e : I型断面を長さ t_e と断面 t_e とが等しい等価長方形断面に置き換えた時の幅 (mm)。ただし、 t_e は壁厚 t の1.5倍以下とする
- D : 補助壁の全長 (mm)
- j : $7d/8$
- p_{te} : 等価引張鉄筋比 (%) ($=100 \cdot a_t / (t_e \cdot d)$)
- a_t : I型断面の場合は引張側柱内の主筋断面積、長方形断面の場合は端部の曲げ補強筋の断面積 (mm^2)
- d : I型断面の場合 $D - D_c / 2$ (D_c は圧縮側柱のせい)、長方形断面の場合は $0.95 \cdot D$ (mm)
- F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)
- $M/(Q \cdot D)$: シアスパン比
- p_{wh} : t_e を厚さと考えた場合の水平せん断補強筋比 (小数)
- σ_{wh} : 水平せん断補強筋の降伏強度 (N/mm^2)
- σ_0 : 全断面積に対する平均軸方向応力度 (N/mm^2)

補助壁の負担せん断力は、等価剛性モデルの地震応答解析による最大応答せん断力にせん断断面積比（補助壁の等価せん断断面積／耐震壁のせん断断面積及び補助壁の等価せん断断面積）を乗じることにより算出した値と、補助壁のせん断スケルトンの第1折点における値のうちいずれか小さい方の値とする。

補助壁の負担せん断力の算出結果を表7-1及び表7-2に、補助壁の負担せん断力に対する評価結果を表7-3及び表7-4に示す。

表7-3及び表7-4に示すとおり、補助壁の負担せん断力はせん断終局強度以下となることを確認した。

表 7-1 補助壁の負担せん断力 (NS 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	① 応答 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	② ^{*1} せん断 断面積比	③=① \times ② 断面積比 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	④ ^{*2} 第1折点 せん断強度 ($\times 10^3$ kN)	min(③, ④) 負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	383	0.37	142	156	142
23.5 ~ 18.1	374	0.11	41.2	30.3	30.3
18.1 ~ 12.3	424	0.20	84.8	63.4	63.4
12.3 ~ 4.8	538	0.09	48.5	35.0	35.0
4.8 ~ -1.7	610	0.02	12.2	5.27	5.27
-1.7 ~ -8.2	600	0.14	84.0	68.0	68.0

注記*1：表 4-1 の等価剛性モデルのせん断断面積に基づき算定。

*2：表 4-3 の等価剛性モデルの τ_1 と表 4-1 の等価剛性モデルの補助壁のせん断断面積を乗じることで算定。

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	① 応答 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	② ^{*1} せん断 断面積比	③=① \times ② 断面積比 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	④ ^{*2} 第1折点 せん断強度 ($\times 10^3$ kN)	min(③, ④) 負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	70.1	0.05	3.51	11.4	3.51
23.5 ~ 18.1	175	0.16	28.0	39.3	28.0
18.1 ~ 12.3	244	0.31	75.7	91.2	75.7
12.3 ~ 4.8	313	0.31	97.1	95.0	95.0
4.8 ~ -1.7	371	0.25	92.8	70.3	70.3
-1.7 ~ -8.2	420	0.23	96.6	90.8	90.8

注記*1：表 4-1 の等価剛性モデルのせん断断面積に基づき算定。

*2：表 4-3 の等価剛性モデルの τ_1 と表 4-1 の等価剛性モデルの補助壁のせん断断面積を乗じることで算定。

表 7-2 補助壁の負担せん断力 (EW 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	① 応答 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	② ^{*1} せん断 断面積比	③=① \times ② 断面積比 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	④ ^{*2} 第1折点 せん断強度 ($\times 10^3$ kN)	min(③, ④) 負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	305	0.12	36.6	42.7	36.6
23.5 ~ 18.1	324	0.16	51.9	44.9	44.9
18.1 ~ 12.3	423	0.22	93.1	76.4	76.4
12.3 ~ 4.8	501	0.01	5.01	1.22	1.22
4.8 ~ -1.7	586	0.10	58.6	45.4	45.4
-1.7 ~ -8.2	680	0.22	150	124	124

注記*1：表 4-2 の等価剛性モデルのせん断断面積に基づき算定。

*2：表 4-4 の等価剛性モデルの τ_1 と表 4-2 の等価剛性モデルの補助壁のせん断断面積を乗じることで算定。

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	① 応答 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	② ^{*1} せん断 断面積比	③=① \times ② 断面積比 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	④ ^{*2} 第1折点 せん断強度 ($\times 10^3$ kN)	min(③, ④) 負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	76.4	0.48	36.7	230	36.7
23.5 ~ 18.1	226	0.58	132	286	132
18.1 ~ 12.3	244	0.53	130	239	130
12.3 ~ 4.8	346	0.37	129	124	124
4.8 ~ -1.7	430	0.46	198	181	181
-1.7 ~ -8.2	392	0.15	58.8	51.1	51.1

注記*1：表 4-2 の等価剛性モデルのせん断断面積に基づき算定。

*2：表 4-4 の等価剛性モデルの τ_1 と表 4-2 の等価剛性モデルの補助壁のせん断断面積を乗じることで算定。

表 7-3 補助壁の評価結果 (NS 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	せん断 終局強度 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	142	240
23.5 ~ 18.1	30.3	46.0
18.1 ~ 12.3	63.4	99.9
12.3 ~ 4.8	35.0	53.4
4.8 ~ -1.7	5.27	8.31
-1.7 ~ -8.2	68.0	107

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	せん断 終局強度 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	3.51	17.9
23.5 ~ 18.1	28.0	59.9
18.1 ~ 12.3	75.7	143
12.3 ~ 4.8	95.0	144
4.8 ~ -1.7	70.3	109
-1.7 ~ -8.2	90.8	142

表 7-4 補助壁の評価結果 (EW 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	せん断 終局強度 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	36.6	66.4
23.5 ~ 18.1	44.9	68.1
18.1 ~ 12.3	76.4	120
12.3 ~ 4.8	1.22	1.83
4.8 ~ -1.7	45.4	69.3
-1.7 ~ -8.2	124	194

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	せん断 終局強度 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	36.7	353
23.5 ~ 18.1	132	434
18.1 ~ 12.3	130	376
12.3 ~ 4.8	124	187
4.8 ~ -1.7	181	281
-1.7 ~ -8.2	51.1	79.5

8. まとめ

補助壁の曲げ変形を考慮していない状態で地震時の挙動をより実応答に近い形で評価できる今回工認モデルに対して、仮に補助壁の曲げ変形を考慮した等価剛性モデルを用いて、基準地震動 S_s-1 に対する地震応答解析を実施し、今回工認モデルを用いた結果と比較した。

その結果、等価剛性モデルの固有周期及び最大応答値は、今回工認モデルの結果と同等となることから、今回工認モデルは基本モデルとして妥当であることを確認した。

また、等価剛性モデルにおいて、原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認した。

さらに、等価剛性モデルにおいて、補助壁の負担するせん断力がせん断終局強度以下となることを確認した。

別紙9-1 補助壁個材の曲げ剛性を考慮した地震応答解析

目 次

1. 概要	別紙 9-1-1
2. 検討方針	別紙 9-1-2
3. 検討条件	別紙 9-1-3
3.1 補助壁の等価せん断剛性	別紙 9-1-3
3.2 解析モデル	別紙 9-1-6
4. 検討結果	別紙 9-1-14
4.1 固有値解析結果	別紙 9-1-14
4.2 最大応答値	別紙 9-1-16
5. 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響	別紙 9-1-26
5.1 せん断ひずみに対する影響	別紙 9-1-26
5.2 床応答に対する影響	別紙 9-1-26
6. 補助壁の評価	別紙 9-1-33
7. まとめ	別紙 9-1-38

1. 概要

本資料は、補助壁の曲げ変形を考慮した等価剛性モデルを用いた地震応答解析について、補助壁の曲げ変形を考慮した等価せん断剛性を算出する際の補助壁の断面二次モーメントを補助壁個材の図心回りとした場合の地震応答解析結果を示すものである。

2. 検討方針

原子炉建屋の地震応答解析モデル（以下、「今回工認モデル」という。）と補助壁のせん断剛性を，補助壁個材の図心回りの断面二次モーメントを用いて算出した等価せん断剛性としたモデル（以下、「個材曲げモデル」）を比較することにより，補助壁の曲げ変形による建屋応答への影響を確認する。個材曲げモデルの補助壁の等価せん断剛性の概念図を図 2-1 に示す。

なお，地震応答解析は，位相特性の偏りがなく，全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 Ss-1 に対して実施することとする。

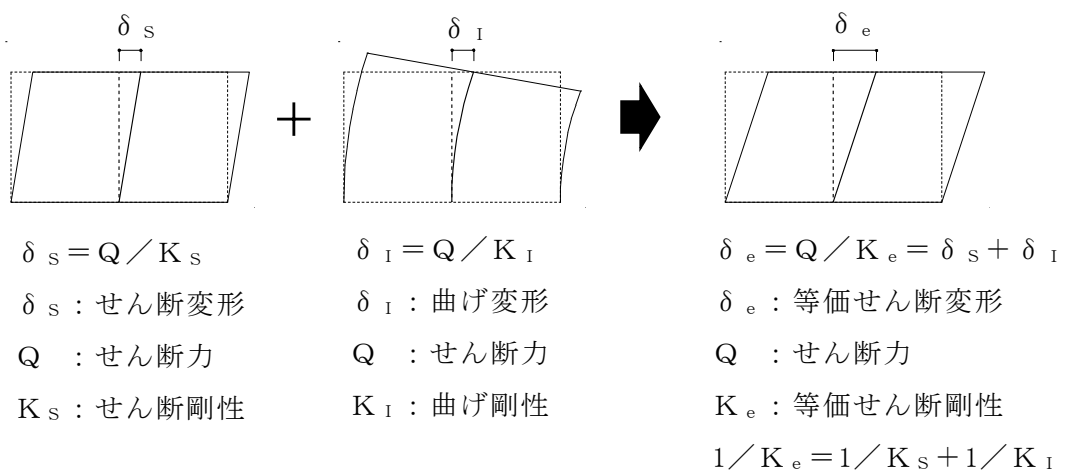


図 2-1 個材曲げモデルの補助壁の等価せん断剛性の概念図

3. 検討条件

3.1 補助壁の等価せん断剛性

補助壁の等価せん断剛性は、下式のとおり算定する。補助壁に曲げ変形を考慮することで変更となる個材曲げモデルのせん断断面積を表 3-1 及び表 3-2 に示す。なお、補助壁に曲げ変形を考慮することにより今回工認モデルから変更となる諸元はせん断断面積のみである。

$$K_e = \frac{G \cdot A_e}{h} = \sum \frac{1}{\frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_I}}$$

$$K_s = \frac{G \cdot A_s}{h}$$

$$K_I = \frac{12 \cdot E \cdot I}{h^3}$$

$$I = \frac{t \cdot L^3}{12}$$

- ここで、 K_e : 層全体の補助壁の等価せん断剛性
 K_s : 補助壁個材のせん断剛性
 K_I : 補助壁個材の曲げ剛性
 A_e : 層全体の補助壁の等価せん断断面積
 A_s : 補助壁個材のせん断断面積
 I : 補助壁個材の図心回りの断面二次モーメント
 E : ヤング係数
 G : せん断弾性係数
 h : 階高
 t : 補助壁個材の壁厚
 L : 補助壁個材の長さ

表 3-1 補助壁の曲げ変形を考慮したせん断断面積 (NS 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	せん断断面積 (m ²)					
	今回工認モデル			個材曲げモデル		
	耐震壁	補助壁	合計	耐震壁	補助壁	合計
49.7 ~ 38.2	41.0	0.0	41.0	41.0	0.0	41.0
38.2 ~ 31.7	83.0	0.0	83.0	83.0	0.0	83.0
31.7 ~ 23.5	117.4	70.6	188.0	117.4	62.4	179.8
23.5 ~ 18.1	119.0	13.5	132.5	119.0	8.4	127.4
18.1 ~ 12.3	120.2	29.2	149.4	120.2	23.6	143.8
12.3 ~ 4.8	164.9	15.6	180.5	164.9	12.2	177.1
4.8 ~ -1.7	181.2	2.0	183.2	181.2	1.4	182.6
-1.7 ~ -8.2	192.4	31.1	223.5	192.4	23.1	215.5

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	せん断断面積 (m ²)					
	今回工認モデル			個材曲げモデル		
	耐震壁	補助壁	合計	耐震壁	補助壁	合計
31.7 ~ 23.5	114.4	5.2	119.6	114.4	2.1	116.5
23.5 ~ 18.1	95.5	17.5	113.0	95.5	10.0	105.5
18.1 ~ 12.3	95.6	42.0	137.6	95.6	25.5	121.1
12.3 ~ 4.8	97.0	42.2	139.2	97.0	28.2	125.2
4.8 ~ -1.7	100.4	32.0	132.4	100.4	20.2	120.6
-1.7 ~ -8.2	144.8	41.6	186.4	144.8	32.3	177.1

表 3-2 補助壁の曲げ変形を考慮したせん断断面積 (EW 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	せん断断面積 (m ²)					
	今回工認モデル			個材曲げモデル		
	耐震壁	補助壁	合計	耐震壁	補助壁	合計
49.7 ~ 38.2	54.7	0.0	54.7	54.7	0.0	54.7
38.2 ~ 31.7	122.9	0.0	122.9	122.9	0.0	122.9
31.7 ~ 23.5	153.3	19.4	172.7	153.3	16.1	169.4
23.5 ~ 18.1	111.8	20.0	131.8	111.8	16.6	128.4
18.1 ~ 12.3	131.5	35.2	166.7	131.5	28.3	159.8
12.3 ~ 4.8	178.8	0.5	179.3	178.8	0.1	178.9
4.8 ~ -1.7	190.8	20.7	211.5	190.8	17.0	207.8
-1.7 ~ -8.2	202.6	56.9	259.5	202.6	48.7	251.3

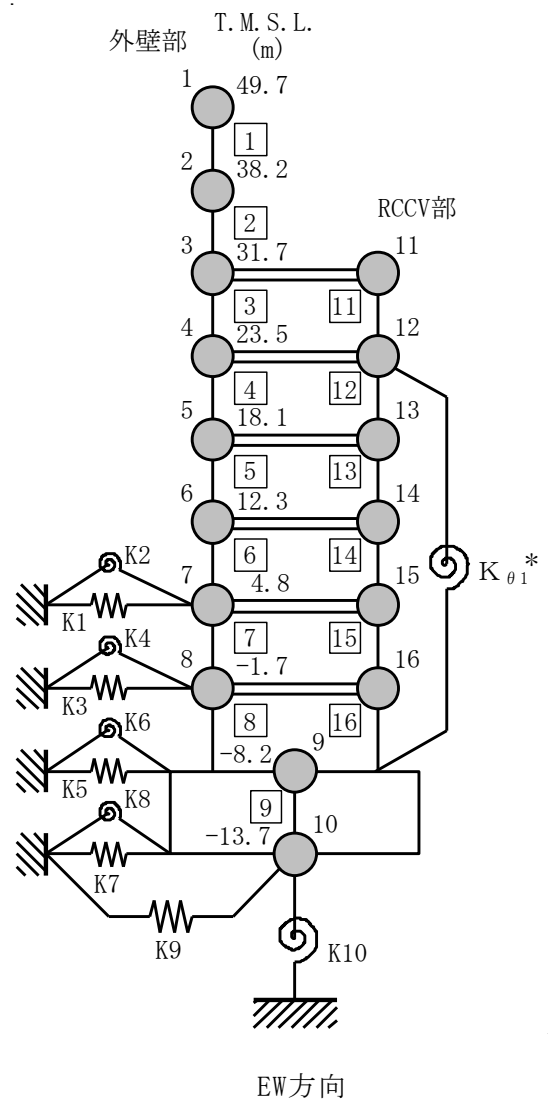
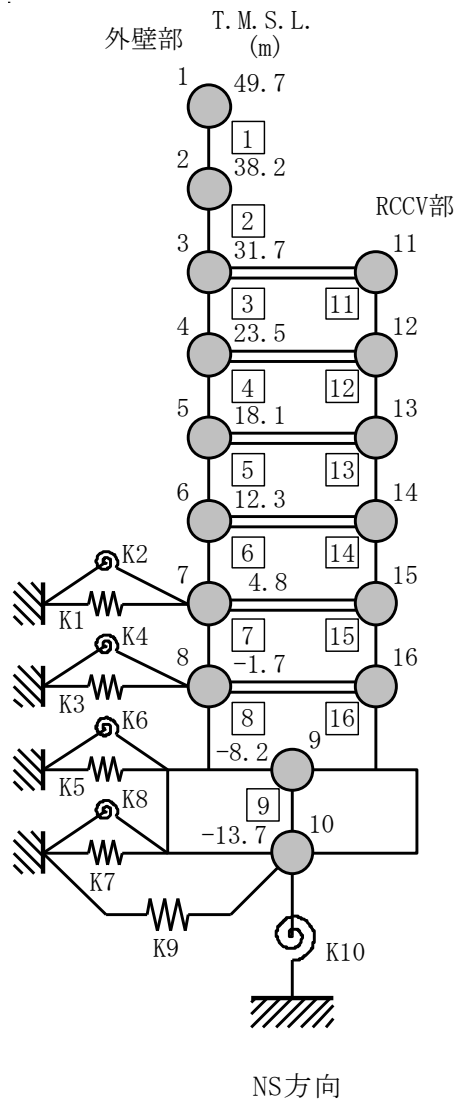
(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	せん断断面積 (m ²)					
	今回工認モデル			個材曲げモデル		
	耐震壁	補助壁	合計	耐震壁	補助壁	合計
31.7 ~ 23.5	114.4	104.6	219.0	114.4	104.0	218.4
23.5 ~ 18.1	95.5	127.3	222.8	95.5	123.7	219.2
18.1 ~ 12.3	97.4	110.0	207.4	97.4	94.3	191.7
12.3 ~ 4.8	97.0	55.1	152.1	97.0	41.6	138.6
4.8 ~ -1.7	97.4	82.7	180.1	97.4	51.3	148.7
-1.7 ~ -8.2	141.0	23.4	164.4	141.0	13.8	154.8

3.2 解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルを図 3-1 に、地盤ばね定数を表 3-3 及び表 3-4 に、せん断スケルトンを表 3-5 及び表 3-6 に示す。

なお、補助壁の曲げ変形を考慮することによる曲げスケルトンへの影響はないため、曲げスケルトンは今回工認モデルと同一とする。



注記* : RCCV 回転ばね

図 3-1 地震応答解析モデル

表 3-3 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1, NS 方向)

(a) 個材曲げモデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.24×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.05×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	3.97×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.96×10^8
K9	10	底面・並進	7.28×10^7	2.82×10^6
K10	10	底面・回転	7.06×10^{10}	5.98×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

(b) 今回工認モデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.25×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.05×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	3.98×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.96×10^8
K9	10	底面・並進	7.28×10^7	2.82×10^6
K10	10	底面・回転	7.06×10^{10}	6.02×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

表 3-4 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1, EW 方向)

(a) 個材曲げモデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.26×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.06×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	4.00×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.97×10^8
K9	10	底面・並進	7.25×10^7	2.80×10^6
K10	10	底面・回転	7.60×10^{10}	6.98×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

(b) 今回工認モデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.26×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.06×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.81×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	4.00×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.97×10^8
K9	10	底面・並進	7.25×10^7	2.80×10^6
K10	10	底面・回転	7.60×10^{10}	7.01×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

表 3-5 せん断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向) (1/2)

(a) 個材曲げモデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.28	0.191	3.08	0.569	6.81	4.00
4F	2.38	0.199	3.21	0.588	6.54	4.00
3F	2.51	0.210	3.09	0.630	5.06	4.00
2F	2.65	0.221	3.49	0.644	6.88	4.00
1F	2.65	0.221	3.42	0.660	6.69	4.00
B1F	2.67	0.223	3.54	0.665	7.11	4.00
B2F	2.71	0.226	3.65	0.674	7.58	4.00
B3F	2.79	0.233	3.65	0.691	7.29	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.32	0.194	3.09	0.567	7.06	4.00
2F	2.48	0.207	3.22	0.584	7.75	4.00
1F	2.66	0.222	3.33	0.605	7.67	4.00
B1F	2.69	0.225	3.37	0.626	7.12	4.00
B2F	2.71	0.227	3.46	0.573	6.87	4.00
B3F	2.58	0.216	3.31	0.589	6.04	4.00

表 3-5 せん断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向) (2/2)

(b) 今回工認モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.28	0.191	3.08	0.569	6.81	4.00
4F	2.38	0.199	3.21	0.588	6.54	4.00
3F	2.40	0.201	2.96	0.630	4.84	4.00
2F	2.54	0.213	3.35	0.644	6.62	4.00
1F	2.55	0.213	3.29	0.660	6.44	4.00
B1F	2.62	0.219	3.47	0.665	6.98	4.00
B2F	2.70	0.226	3.64	0.674	7.56	4.00
B3F	2.69	0.224	3.52	0.691	7.03	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.26	0.189	3.01	0.567	6.88	4.00
2F	2.32	0.194	3.00	0.584	7.23	4.00
1F	2.34	0.196	2.93	0.605	6.75	4.00
B1F	2.42	0.202	3.03	0.626	6.40	4.00
B2F	2.47	0.206	3.15	0.573	6.26	4.00
B3F	2.45	0.205	3.14	0.589	5.73	4.00

表 3-6 せん断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW 方向) (1/2)

(a) 個材曲げモデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.33	0.195	3.15	0.582	6.58	4.00
4F	2.33	0.195	3.14	0.581	6.73	4.00
3F	2.54	0.213	3.35	0.634	6.25	4.00
2F	2.53	0.212	3.29	0.626	6.40	4.00
1F	2.58	0.216	3.32	0.642	6.51	4.00
B1F	2.55	0.213	3.44	0.636	7.41	4.00
B2F	2.63	0.219	3.47	0.656	7.22	4.00
B3F	2.66	0.222	3.42	0.673	6.82	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.24	0.187	2.65	0.567	4.77	4.00
2F	2.32	0.194	2.67	0.584	4.90	4.00
1F	2.47	0.207	2.90	0.605	5.75	4.00
B1F	2.64	0.221	3.25	0.626	6.77	4.00
B2F	2.92	0.244	3.51	0.650	6.52	4.00
B3F	2.61	0.219	3.41	0.563	6.82	4.00

表 3-6 せん断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW 方向) (2/2)

(b) 今回工認モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.33	0.195	3.15	0.582	6.58	4.00
4F	2.33	0.195	3.14	0.581	6.73	4.00
3F	2.50	0.209	3.28	0.634	6.13	4.00
2F	2.47	0.206	3.21	0.626	6.23	4.00
1F	2.48	0.207	3.18	0.642	6.24	4.00
B1F	2.54	0.212	3.43	0.636	7.39	4.00
B2F	2.58	0.216	3.41	0.656	7.10	4.00
B3F	2.58	0.215	3.31	0.673	6.60	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.23	0.187	2.65	0.567	4.76	4.00
2F	2.28	0.191	2.63	0.584	4.82	4.00
1F	2.28	0.191	2.68	0.605	5.32	4.00
B1F	2.41	0.201	2.96	0.626	6.17	4.00
B2F	2.41	0.201	2.90	0.650	5.38	4.00
B3F	2.46	0.206	3.21	0.563	6.42	4.00

4. 検討結果

4.1 固有値解析結果

個材曲げモデルと今回工認モデルの固有値解析結果（固有周期及び固有振動数）の比較を表 4-1 に示す。

個材曲げモデルの固有周期は，今回工認モデルの結果と同等であることを確認した。

表 4-1 固有値解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認モデル	個材曲げモデル	今回工認モデル	個材曲げモデル
1	0.439	0.440	2.28	2.27
2	0.192	0.193	5.20	5.19
3	0.091	0.091	11.03	10.96
4	0.078	0.080	12.88	12.57
5	0.077	0.078	12.98	12.89

(b) EW 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認モデル	個材曲げモデル	今回工認モデル	個材曲げモデル
1	0.429	0.430	2.33	2.32
2	0.191	0.191	5.23	5.23
3	0.082	0.083	12.16	12.09
4	0.077	0.078	12.97	12.87
5	0.071	0.072	14.02	13.83

4.2 最大応答値

基準地震動 Ss-1 による最大応答値を図 4-1～図 4-8 に、最大せん断ひずみを表 4-2 及び表 4-3 に示す。

個材曲げモデルの最大応答値は、今回工認モデルの結果と同等であることを確認した。

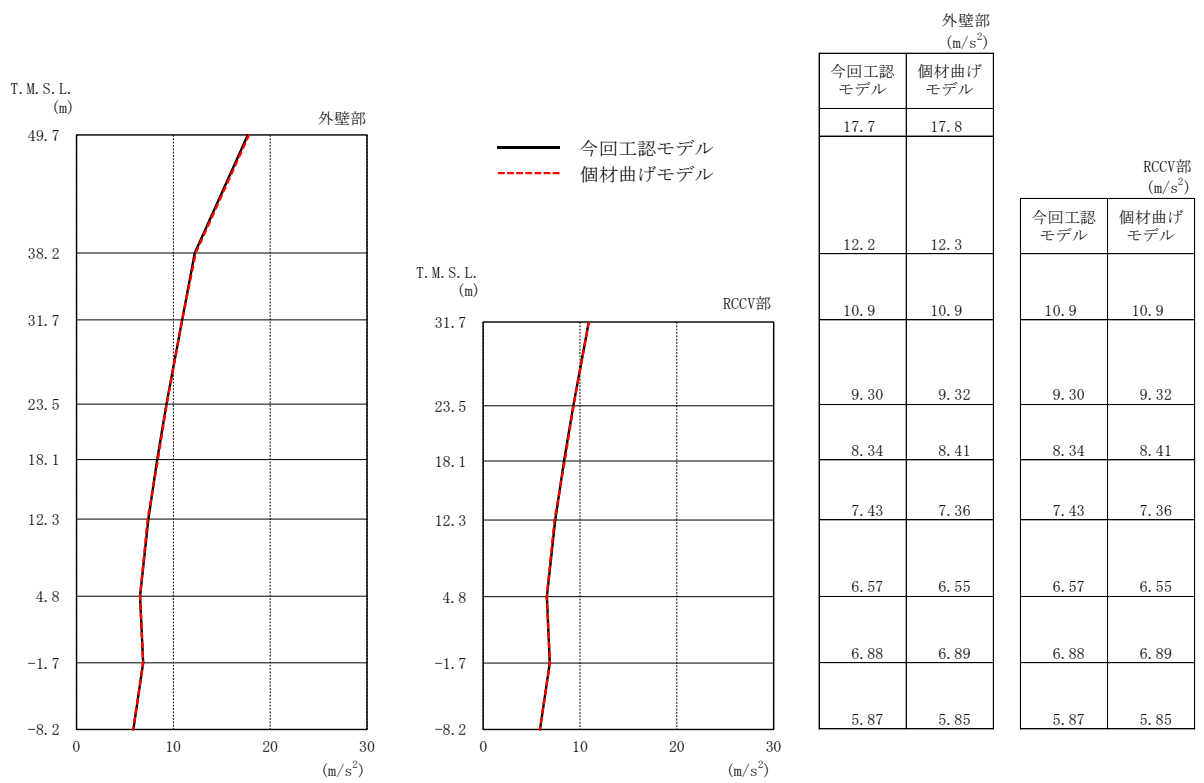
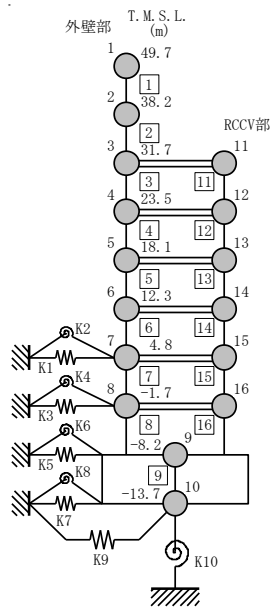


図 4-1 最大応答加速度 (Ss-1, NS 方向)



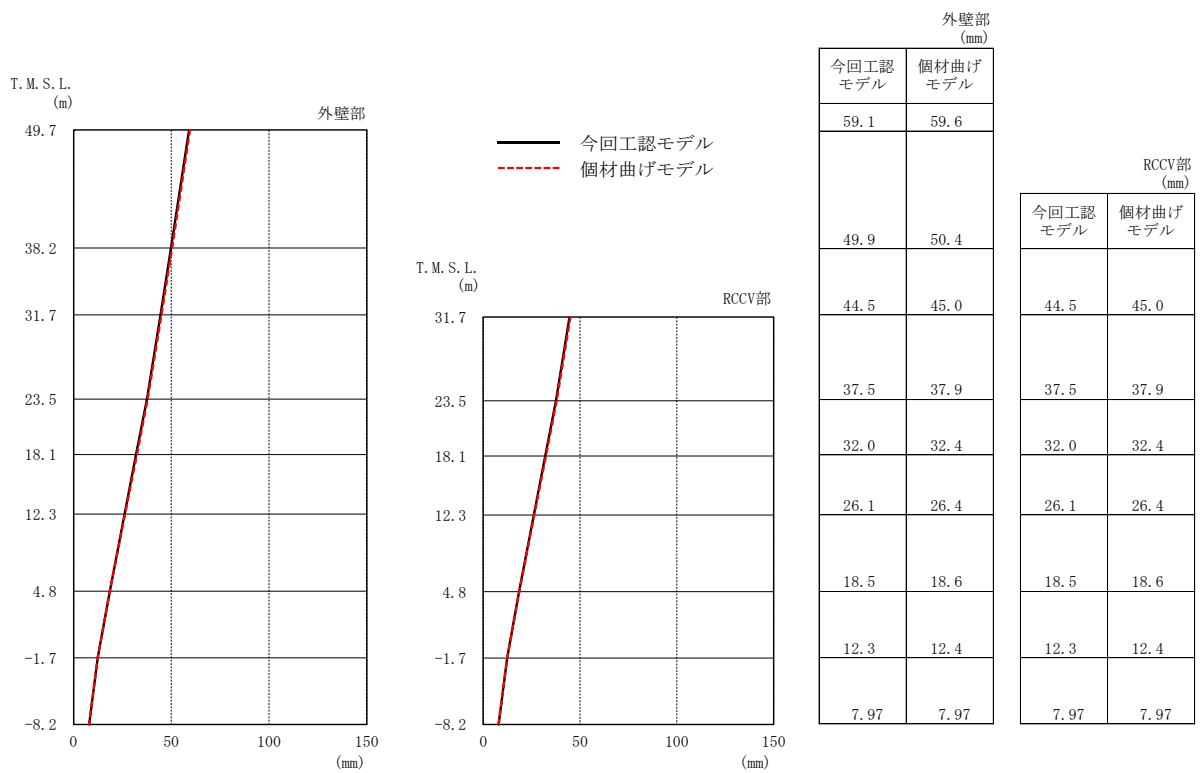
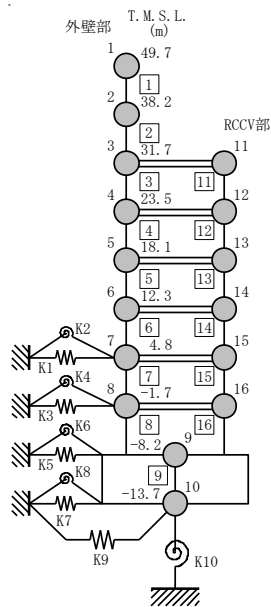


図 4-2 最大応答変位 (Ss-1, NS 方向)



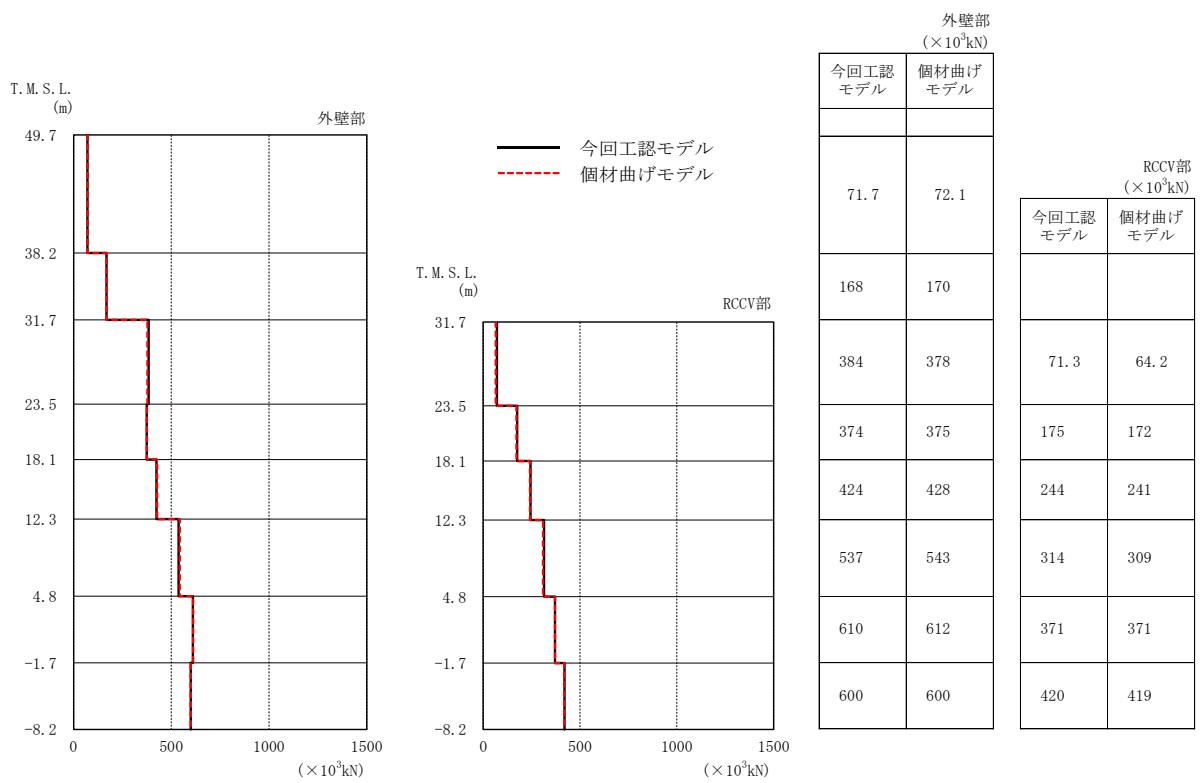
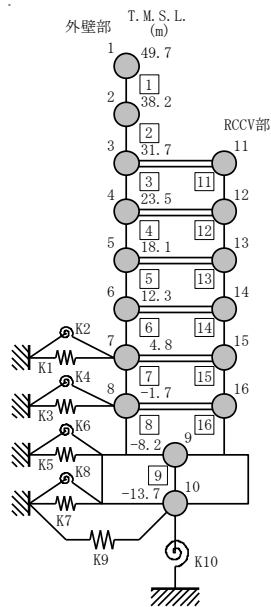


図 4-3 最大応答せん断力 (Ss-1, NS 方向)



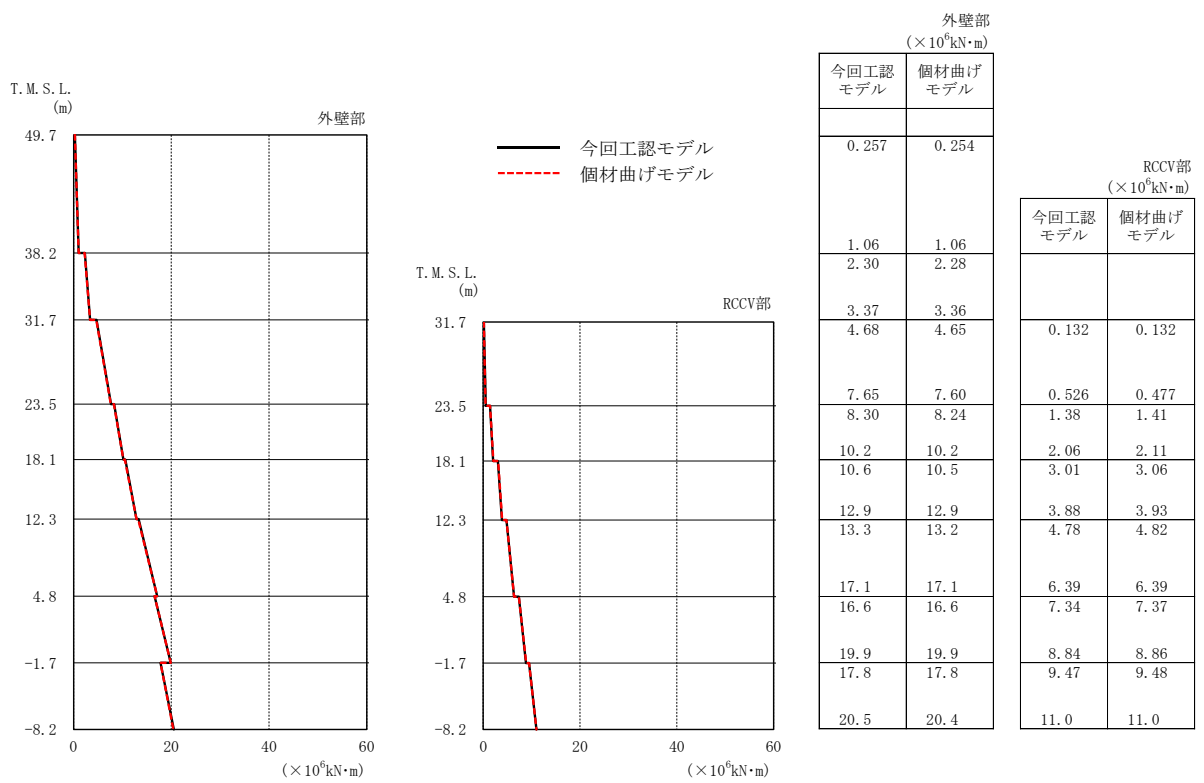
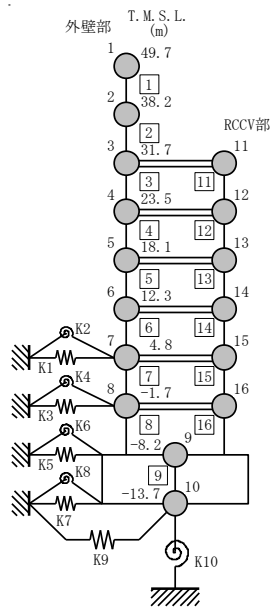


図 4-4 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS 方向)



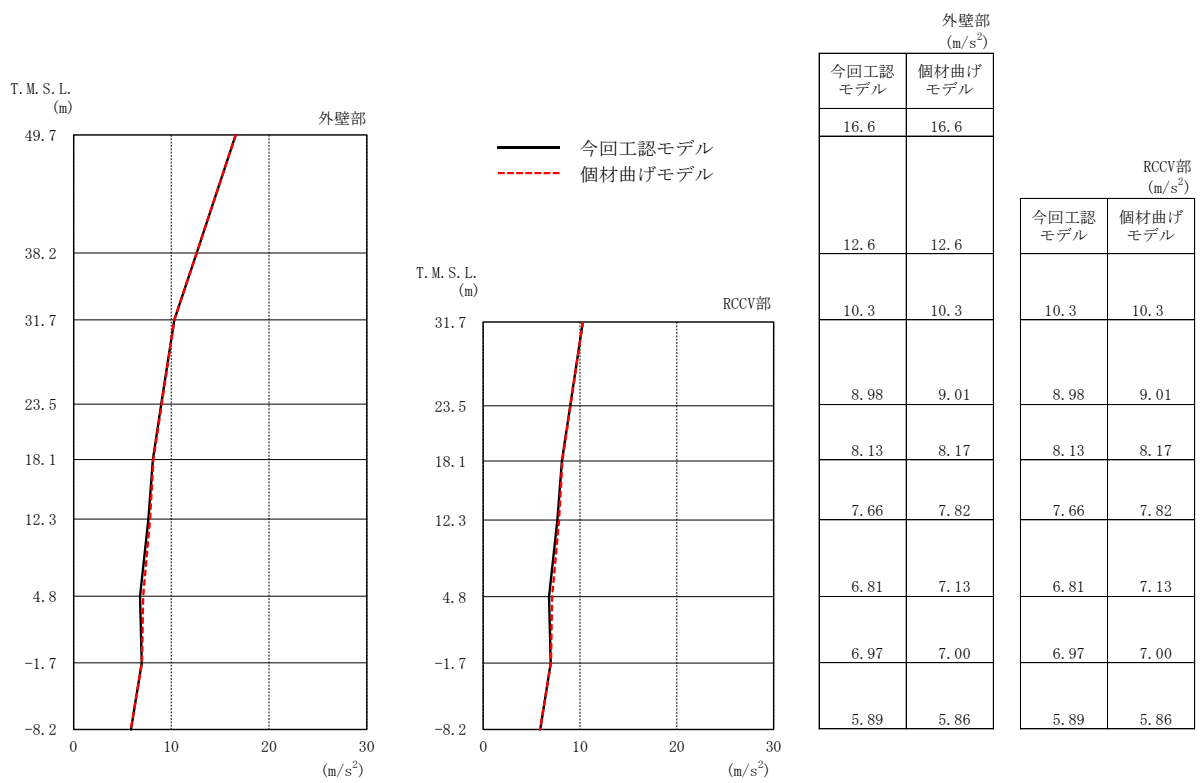
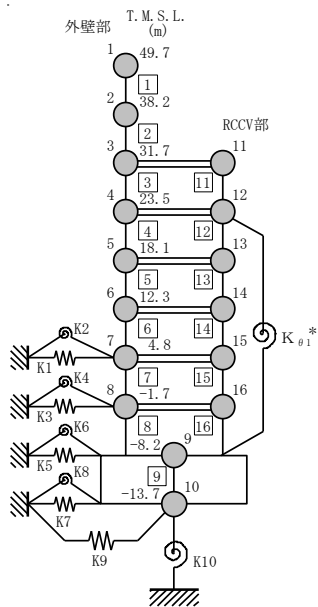


図 4-5 最大応答加速度 (Ss-1, EW 方向)



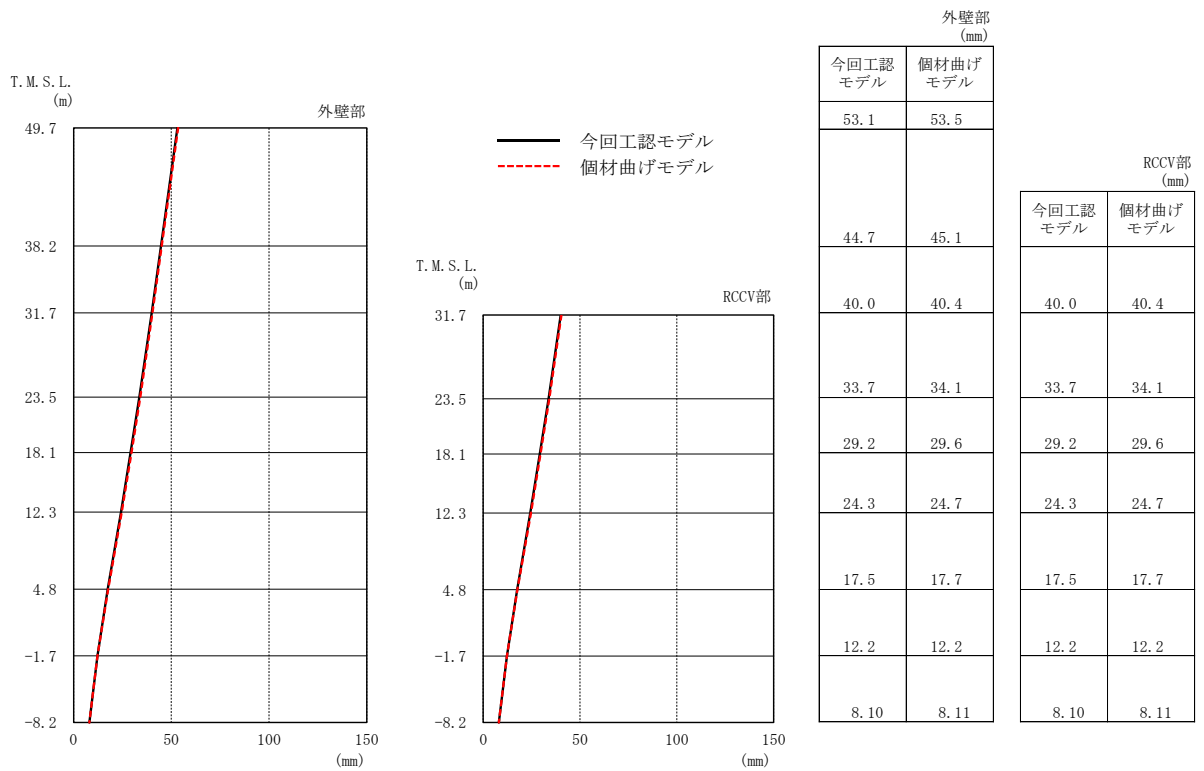
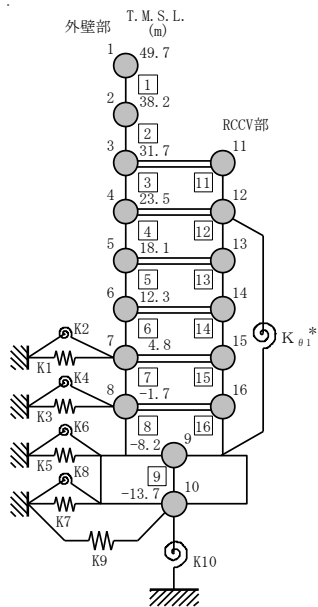


図 4-6 最大応答変位 (Ss-1, EW 方向)



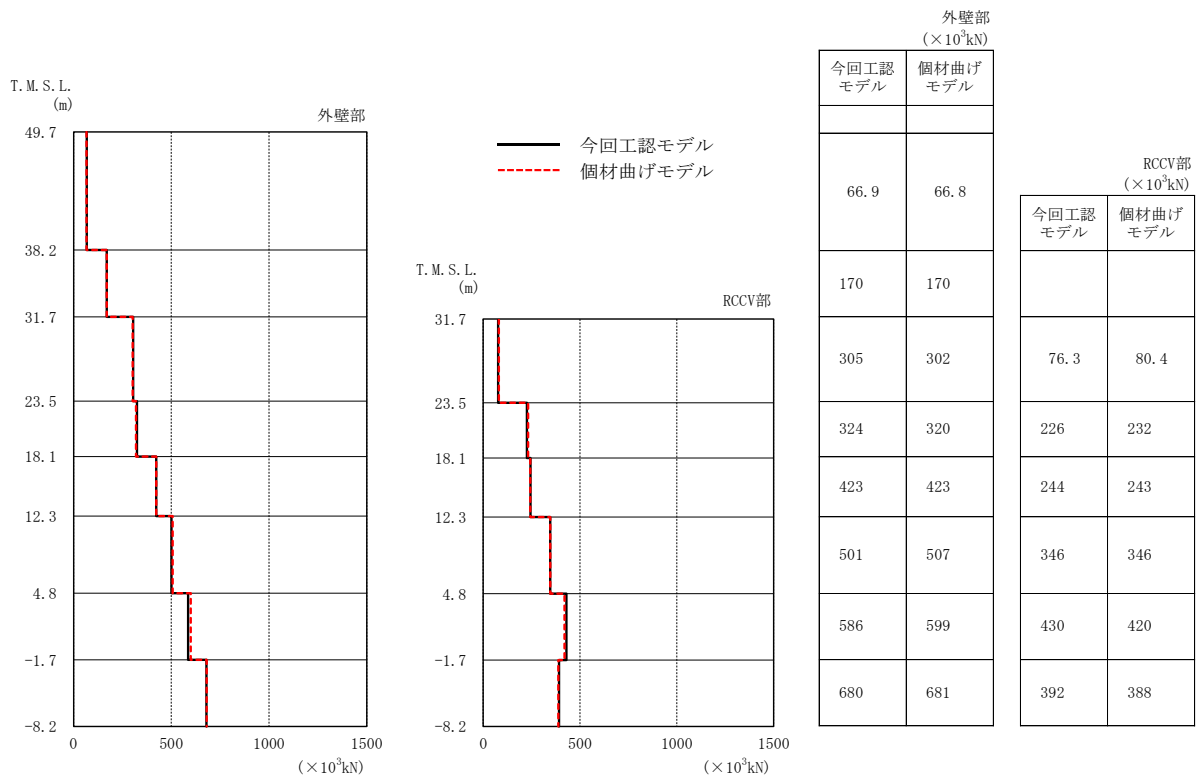
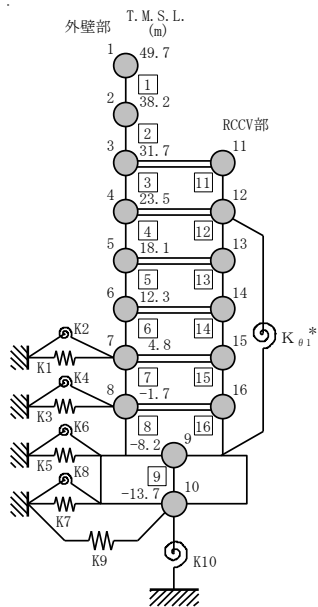


図 4-7 最大応答せん断力 (Ss-1, EW 方向)



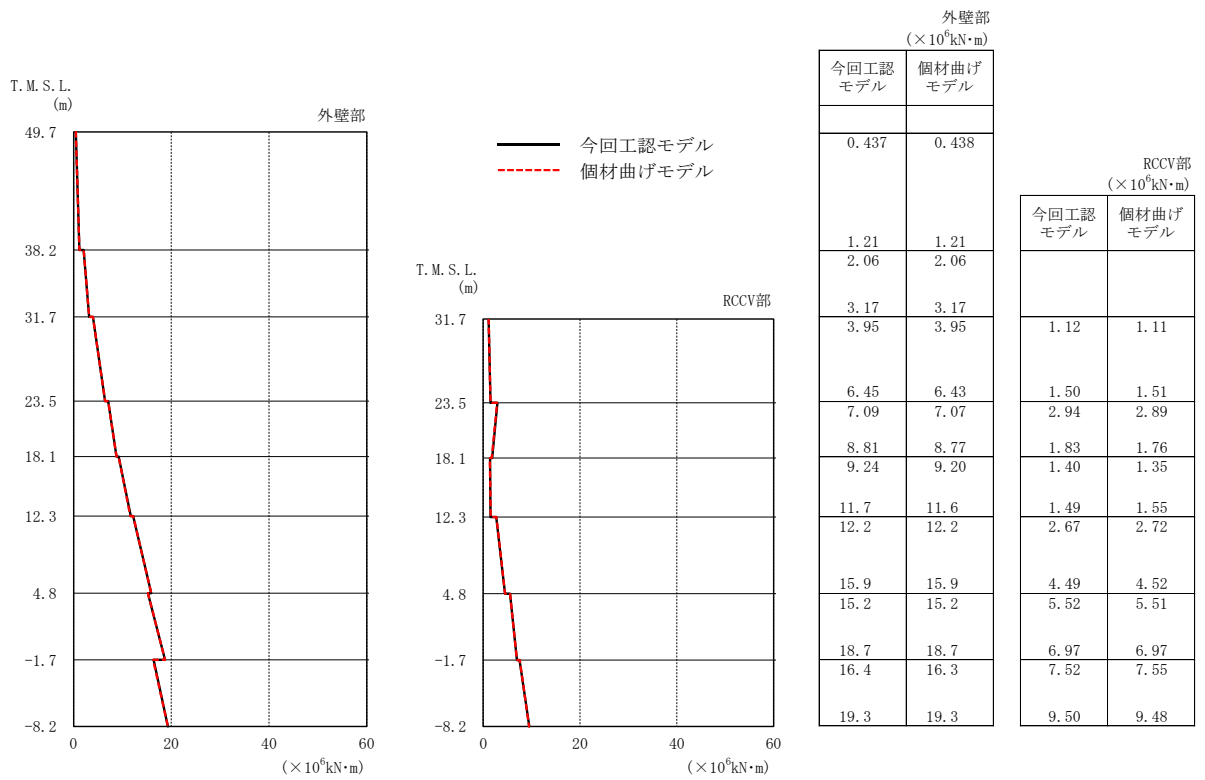


図 4-8 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW 方向)

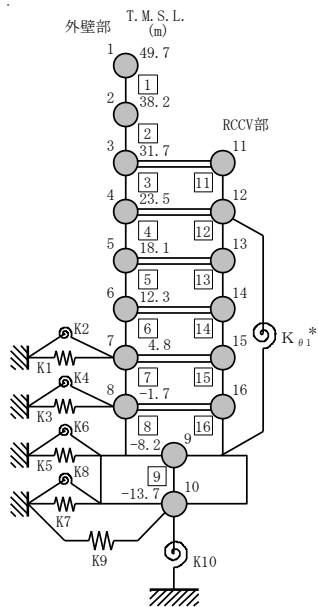


表 4-2 最大せん断ひずみ (NS 方向)

(a) 外壁部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)	
	今回工認モデル	個材曲げモデル
1	0.147	0.148
2	0.170	0.172
3	0.171	0.176
4	0.361	0.370
5	0.388	0.407
6	0.406	0.425
7	0.528	0.535
8	0.225	0.234

(b) RCCV 部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)	
	今回工認モデル	個材曲げモデル
11	0.0499	0.0461
12	0.130	0.137
13	0.149	0.167
14	0.189	0.207
15	0.388	0.396
16	0.189	0.198

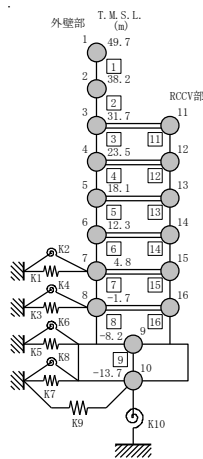
表 4-3 最大せん断ひずみ (EW 方向)

(a) 外壁部

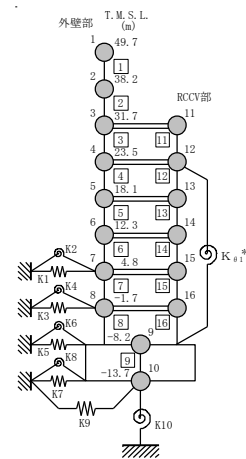
部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)	
	今回工認モデル	個材曲げモデル
1	0.103	0.103
2	0.116	0.116
3	0.148	0.150
4	0.206	0.209
5	0.243	0.252
6	0.334	0.349
7	0.318	0.354
8	0.244	0.253

(b) RCCV 部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)	
	今回工認モデル	個材曲げモデル
11	0.0292	0.0308
12	0.0848	0.0886
13	0.0982	0.107
14	0.191	0.209
15	0.200	0.237
16	0.200	0.210



NS 方向



EW 方向

5. 原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響

個材曲げモデルの地震応答解析結果を踏まえ、補助壁の曲げ変形が、原子炉建屋の地震応答解析による評価に与える影響について確認する。

5.1 せん断ひずみに対する影響

表 4-2 及び表 4-3 に示すとおり、個材曲げモデルの最大せん断ひずみは 0.535×10^{-3} (NS 方向, 外壁部) であり、許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

5.2 床応答に対する影響

基準地震動 Ss-1 における今回工認モデルの床応答スペクトルと個材曲げモデルの床応答スペクトルの比較を図 5-1 及び図 5-2 に示す。

図 5-1 及び図 5-2 に示すとおり、個材曲げモデルの床応答スペクトルは、今回工認モデルの床応答スペクトルと同等であることを確認した。

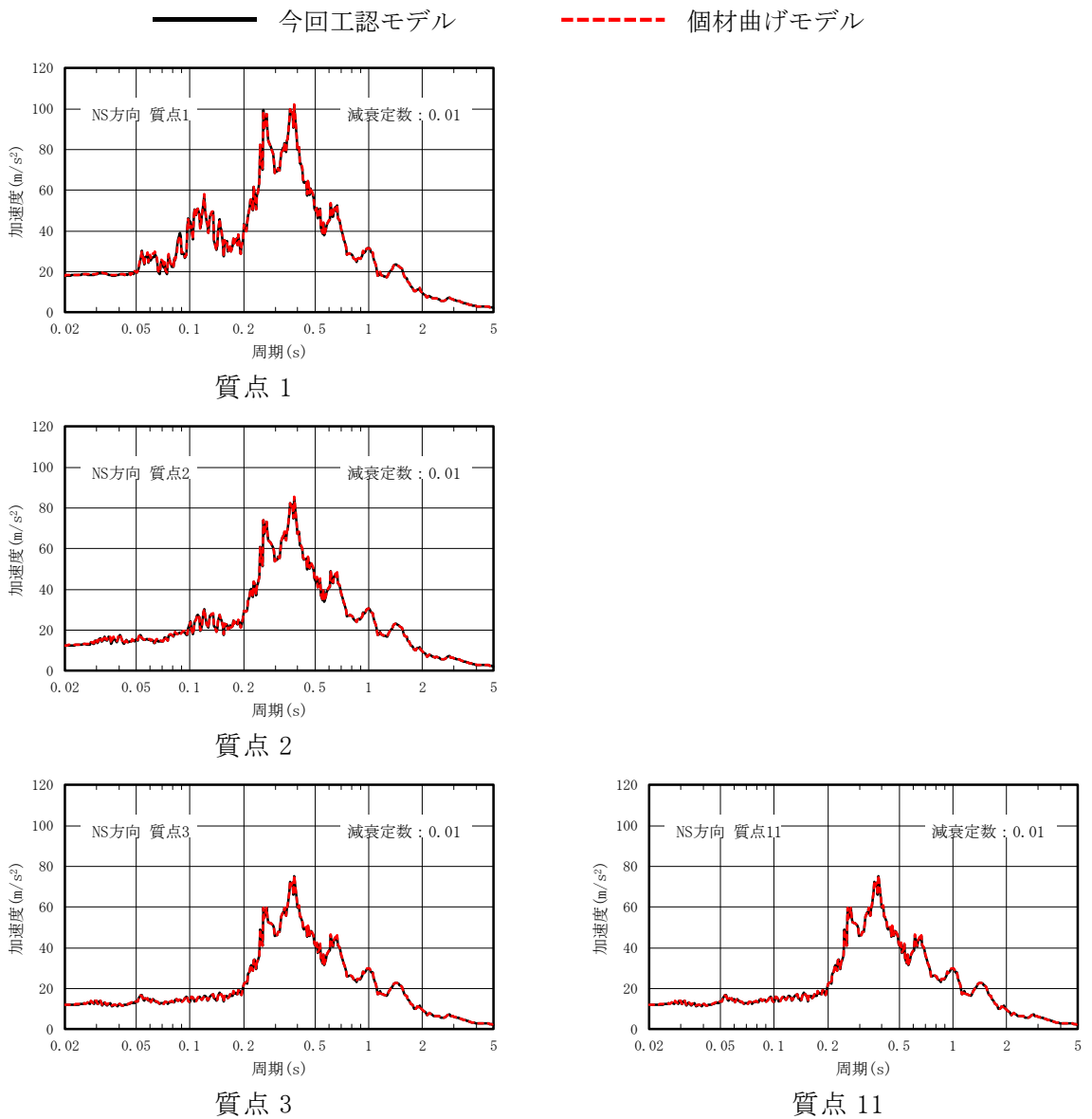
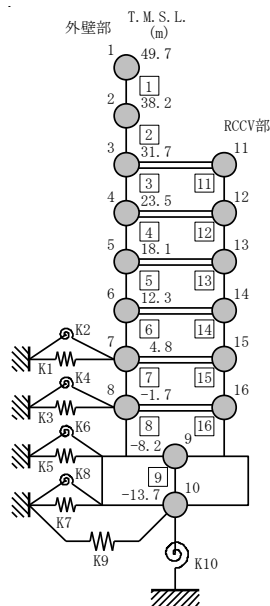


図 5-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (1/3)



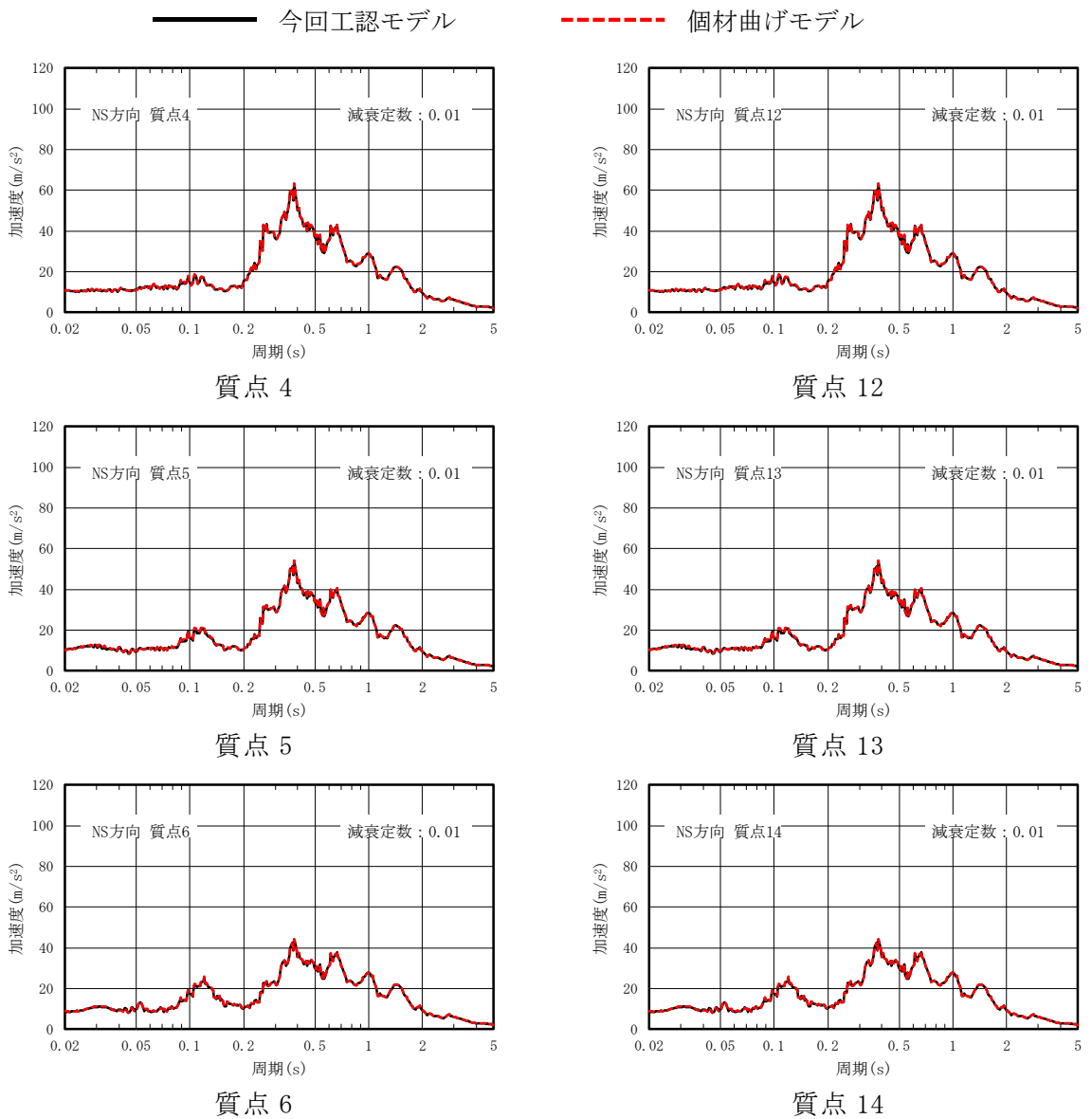
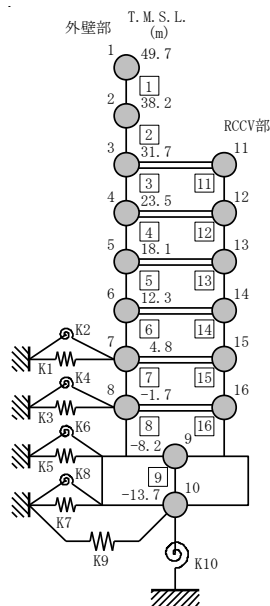


図 5-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (2/3)



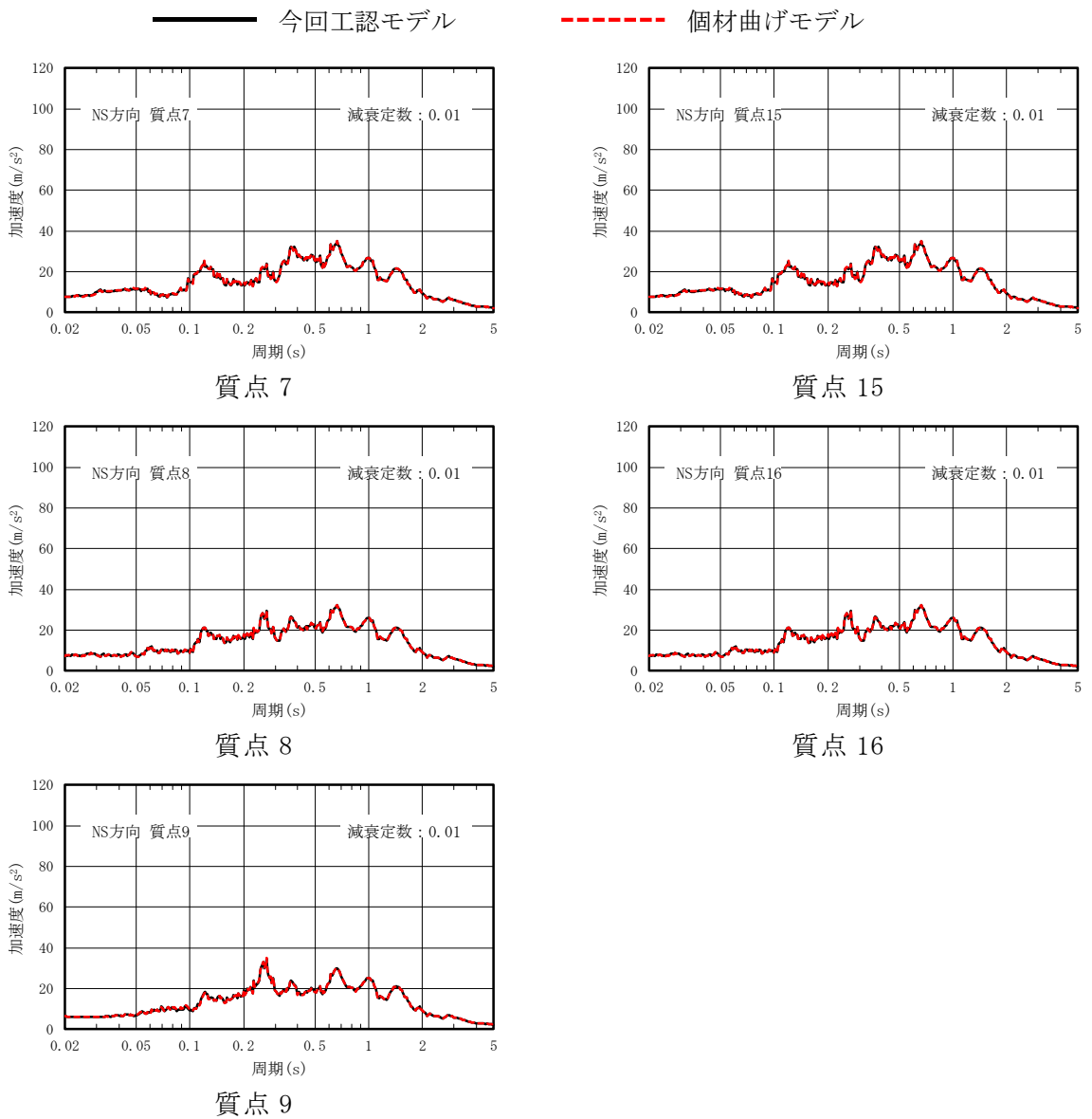
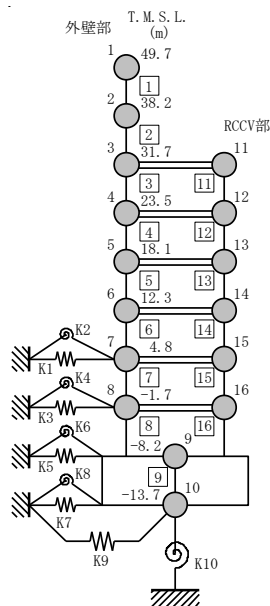


図 5-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (3/3)



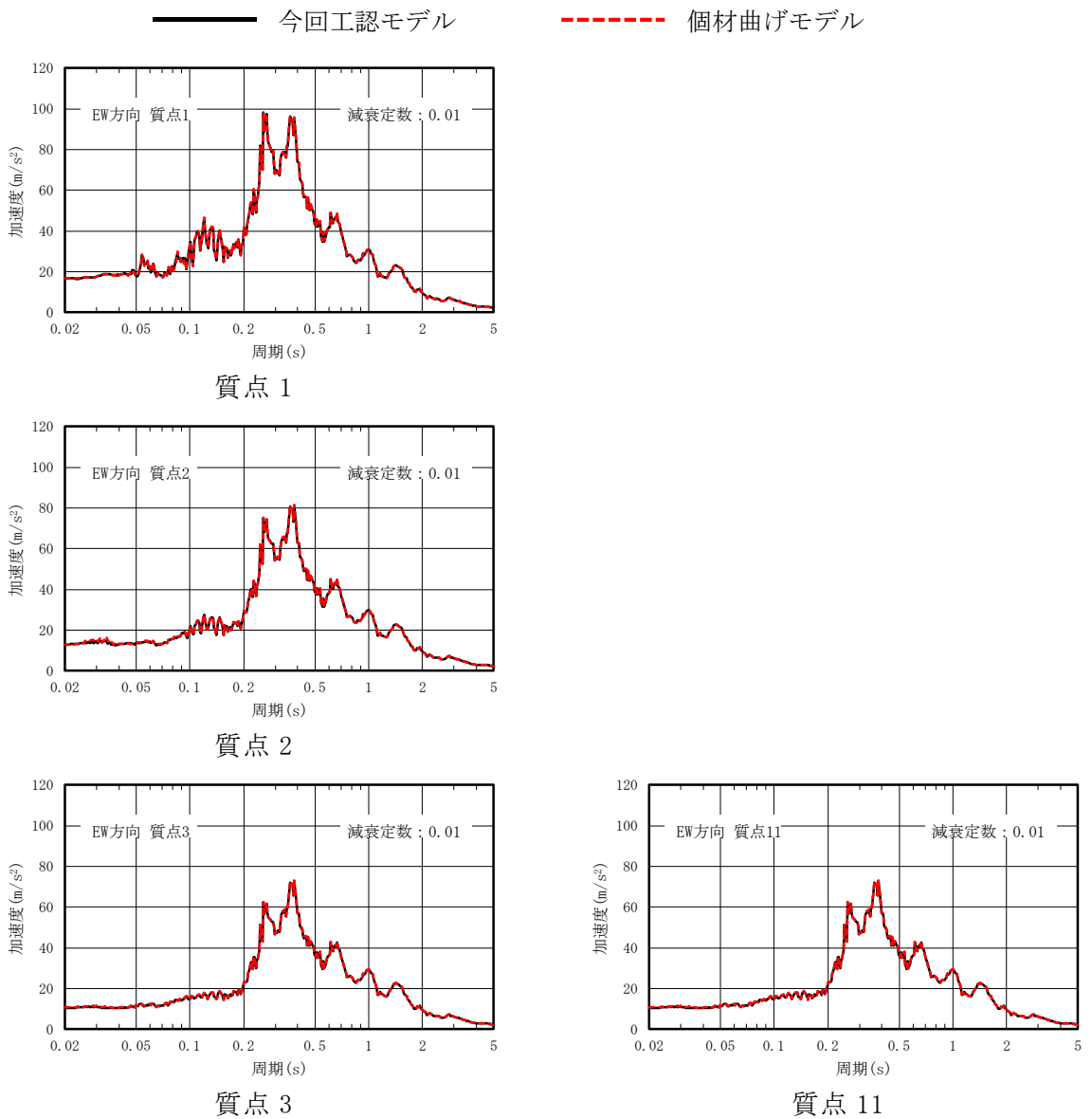
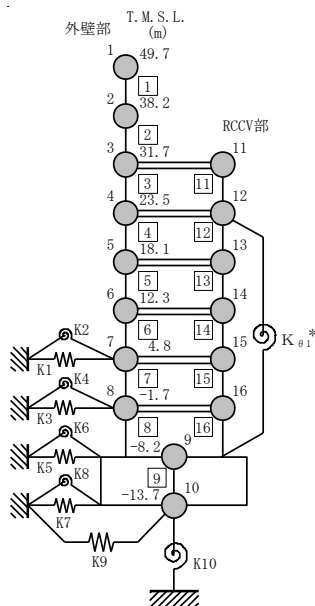


図 5-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (1/3)



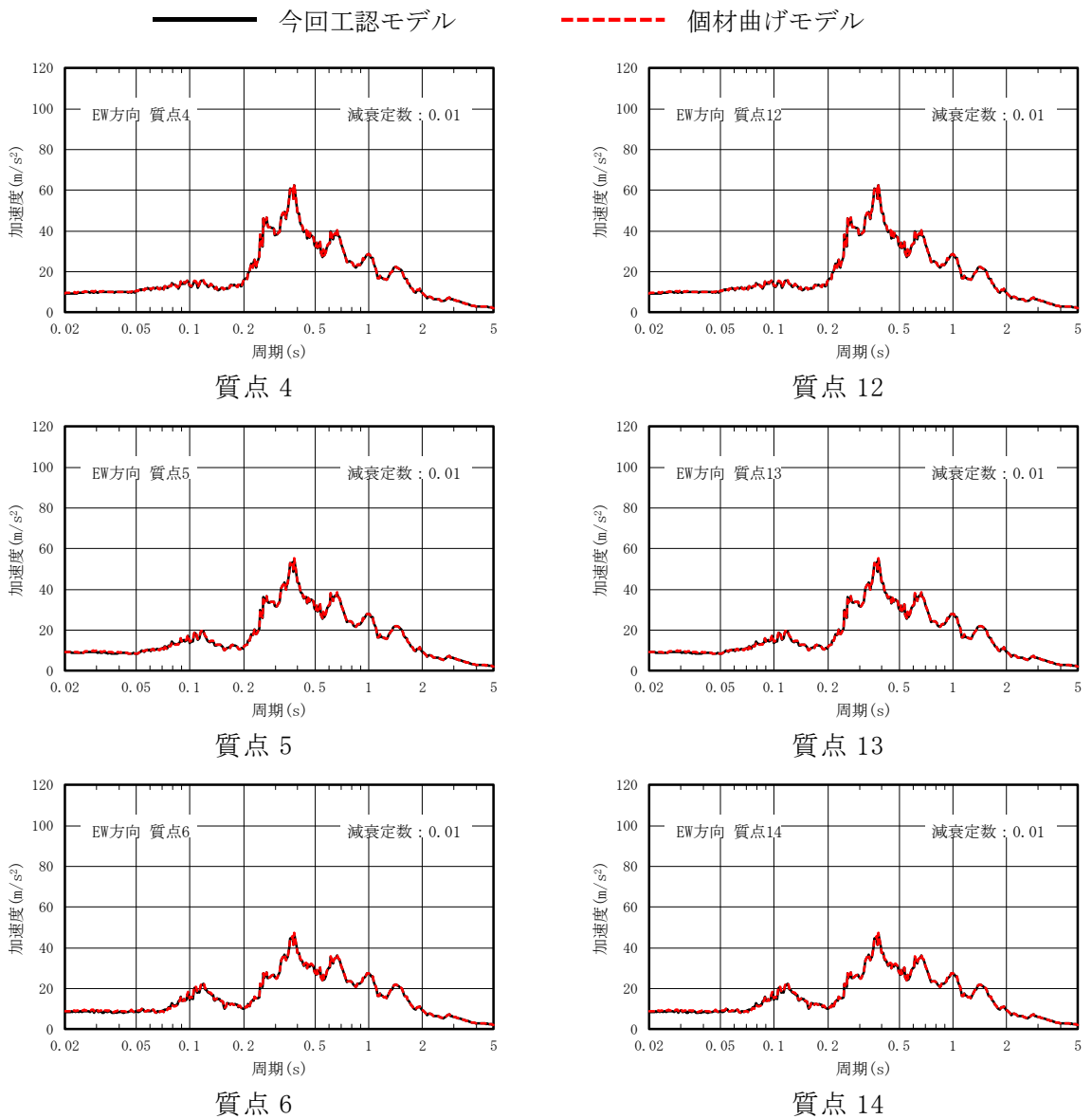
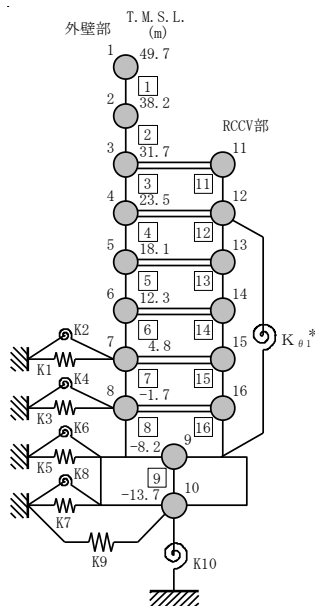


図 5-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (2/3)



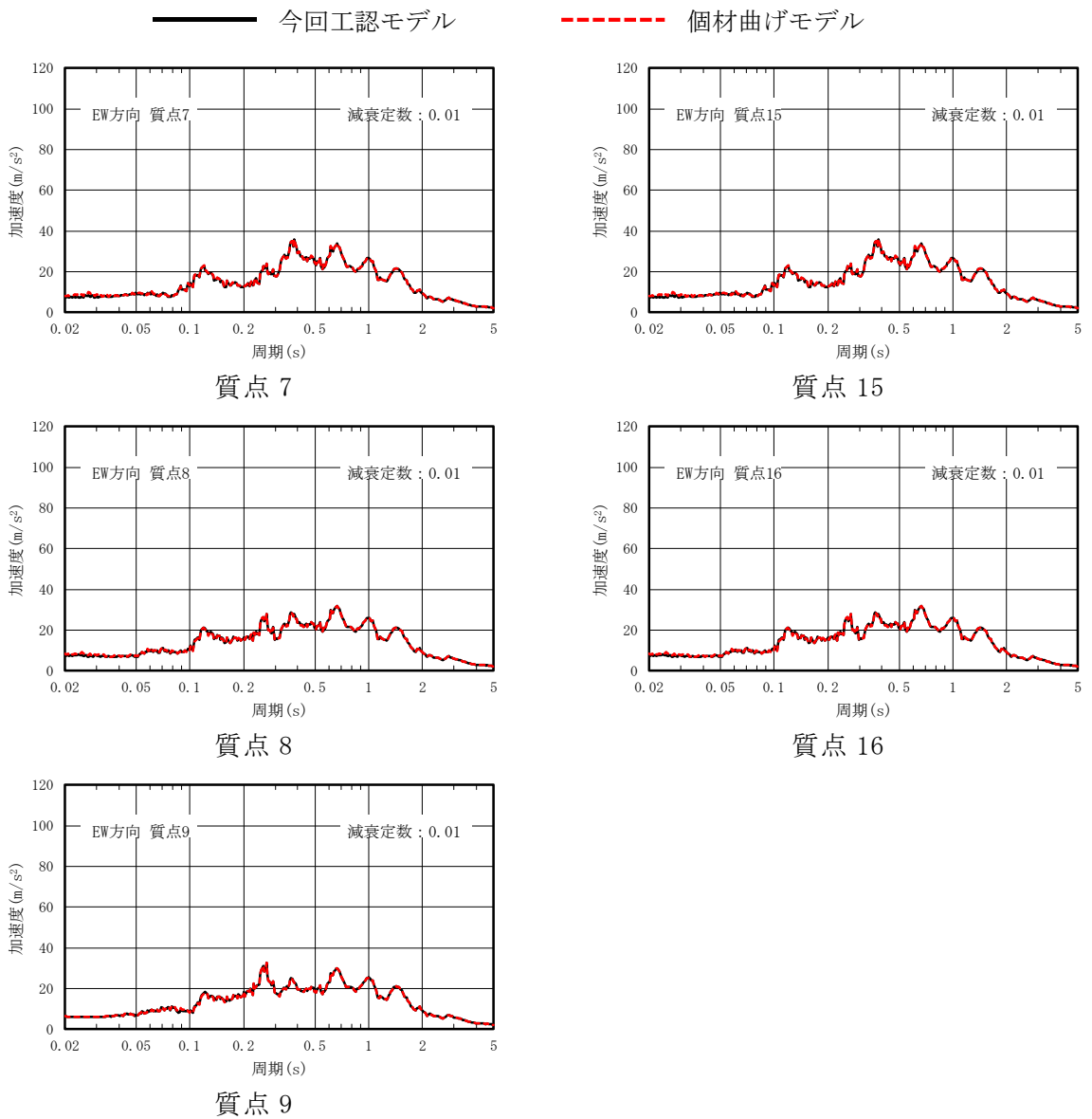
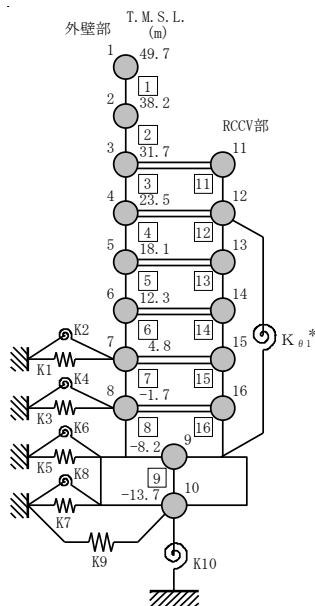


図 5-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (3/3)



6. 補助壁の評価

個材曲げモデルの地震応答解析において補助壁の負担するせん断力が、「2015年版建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）」を参考に、次式をもとに算定したせん断終局強度 Q_{wsu} 以下であることを確認する。

$$Q_{wsu} = \left\{ \frac{0.068 \cdot p_{te}^{0.23} (F_c + 18)}{\sqrt{M/(Q \cdot D) + 0.12}} + 0.85 \sqrt{\sigma_{wh} \cdot p_{wh} + 0.1 \cdot \sigma_0} \right\} t_e \cdot j$$

ここで、

- t_e : I型断面を長さ t_e と断面積 A_e とが等しい等価長方形断面に置き換えた時の幅 (mm)。ただし、 t_e は壁厚 t の1.5倍以下とする
- D : 補助壁の全長 (mm)
- j : $7d/8$
- p_{te} : 等価引張鉄筋比 (%) ($=100 \cdot a_t / (t_e \cdot d)$)
- a_t : I型断面の場合は引張側柱内の主筋断面積、長方形断面の場合は端部の曲げ補強筋の断面積 (mm^2)
- d : I型断面の場合 $D - D_c/2$ (D_c は圧縮側柱のせい)、長方形断面の場合は $0.95 \cdot D$ (mm)
- F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)
- $M/(Q \cdot D)$: シアスパン比
- p_{wh} : t_e を厚さと考えた場合の水平せん断補強筋比 (小数)
- σ_{wh} : 水平せん断補強筋の降伏強度 (N/mm^2)
- σ_0 : 全断面積に対する平均軸方向応力度 (N/mm^2)

補助壁の負担せん断力は、個材曲げモデルの地震応答解析による最大応答せん断力にせん断断面積比（補助壁の等価せん断断面積／耐震壁のせん断断面積及び補助壁の等価せん断断面積）を乗じることにより算出した値と、補助壁のせん断スケルトンの第1折点における値のうちいずれか小さい方の値とする。

補助壁の負担せん断力の算出結果を表6-1及び表6-2に、補助壁の負担せん断力に対する評価結果を表6-3及び表6-4に示す。

表6-3及び表6-4に示すとおり、補助壁の負担せん断力はせん断終局強度以下となることを確認した。

表 6-1 補助壁の負担せん断力 (NS 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	① 応答 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	② ^{*1} せん断 断面積比	③=① \times ② 断面積比 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	④ ^{*2} 第1折点 せん断強度 ($\times 10^3$ kN)	min(③, ④) 負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	378	0.35	133	156	133
23.5 ~ 18.1	375	0.07	26.3	30.3	26.3
18.1 ~ 12.3	428	0.17	72.8	63.4	63.4
12.3 ~ 4.8	543	0.07	38.1	35.0	35.0
4.8 ~ -1.7	612	0.01	6.12	5.27	5.27
-1.7 ~ -8.2	600	0.11	66.0	68.0	66.0

注記*1：表 3-1 の個材曲げモデルのせん断断面積に基づき算定。

*2：表 3-5 の個材曲げモデルの τ_1 と表 3-1 の個材曲げモデルの補助壁のせん断断面積を乗じることで算定。

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	① 応答 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	② ^{*1} せん断 断面積比	③=① \times ② 断面積比 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	④ ^{*2} 第1折点 せん断強度 ($\times 10^3$ kN)	min(③, ④) 負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	64.2	0.02	1.29	11.4	1.29
23.5 ~ 18.1	172	0.10	17.2	39.3	17.2
18.1 ~ 12.3	241	0.22	53.1	91.2	53.1
12.3 ~ 4.8	309	0.23	71.1	95.0	71.1
4.8 ~ -1.7	371	0.17	63.1	70.3	63.1
-1.7 ~ -8.2	419	0.19	79.7	90.8	79.7

注記*1：表 3-1 の個材曲げモデルのせん断断面積に基づき算定。

*2：表 3-5 の個材曲げモデルの τ_1 と表 3-1 の個材曲げモデルの補助壁のせん断断面積を乗じることで算定。

表 6-2 補助壁の負担せん断力 (EW 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	① 応答 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	② ^{*1} せん断 断面積比	③=① \times ② 断面積比 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	④ ^{*2} 第1折点 せん断強度 ($\times 10^3$ kN)	min(③, ④) 負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	302	0.10	30.2	42.7	30.2
23.5 ~ 18.1	320	0.13	41.6	44.9	41.6
18.1 ~ 12.3	423	0.18	76.2	76.4	76.2
12.3 ~ 4.8	507	0.01	5.07	1.22	1.22
4.8 ~ -1.7	599	0.09	54.0	45.4	45.4
-1.7 ~ -8.2	681	0.20	137	124	124

注記*1：表 3-2 の個材曲げモデルのせん断断面積に基づき算定。

*2：表 3-6 の個材曲げモデルの τ_1 と表 3-2 の個材曲げモデルの補助壁のせん断断面積を乗じることで算定。

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	① 応答 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	② ^{*1} せん断 断面積比	③=① \times ② 断面積比 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	④ ^{*2} 第1折点 せん断強度 ($\times 10^3$ kN)	min(③, ④) 負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	80.4	0.48	38.6	230	38.6
23.5 ~ 18.1	232	0.57	133	286	133
18.1 ~ 12.3	243	0.50	122	239	122
12.3 ~ 4.8	346	0.31	108	124	108
4.8 ~ -1.7	420	0.35	147	181	147
-1.7 ~ -8.2	388	0.09	35.0	51.1	35.0

注記*1：表 3-2 の個材曲げモデルのせん断断面積に基づき算定。

*2：表 3-6 の個材曲げモデルの τ_1 と表 3-2 の個材曲げモデルの補助壁のせん断断面積を乗じることで算定。

表 6-3 補助壁の評価結果 (NS 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	せん断 終局強度 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	133	240
23.5 ~ 18.1	26.3	46.0
18.1 ~ 12.3	63.4	99.9
12.3 ~ 4.8	35.0	53.4
4.8 ~ -1.7	5.27	8.31
-1.7 ~ -8.2	66.0	107

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	せん断 終局強度 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	1.29	17.9
23.5 ~ 18.1	17.2	59.9
18.1 ~ 12.3	53.1	143
12.3 ~ 4.8	71.1	144
4.8 ~ -1.7	63.1	109
-1.7 ~ -8.2	79.7	142

表 6-4 補助壁の評価結果 (EW 方向)

(a) 外壁部

標高 T. M. S. L. (m)	負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	せん断 終局強度 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	30.2	66.4
23.5 ~ 18.1	41.6	68.1
18.1 ~ 12.3	76.2	120
12.3 ~ 4.8	1.22	1.83
4.8 ~ -1.7	45.4	69.3
-1.7 ~ -8.2	124	194

(b) RCCV 部

標高 T. M. S. L. (m)	負担 せん断力 ($\times 10^3$ kN)	せん断 終局強度 ($\times 10^3$ kN)
31.7 ~ 23.5	38.6	353
23.5 ~ 18.1	133	434
18.1 ~ 12.3	122	376
12.3 ~ 4.8	108	187
4.8 ~ -1.7	147	281
-1.7 ~ -8.2	35.0	79.5

7. まとめ

補助壁の曲げ変形を考慮した等価剛性を算出する際の補助壁の断面二次モーメントを補助壁個材の図心回りとした個材曲げモデルを用いた地震応答解析を実施し、今回工認モデルを用いた結果と比較した。

その結果、個材曲げモデルの固有周期、最大応答値及び床応答は、今回工認モデルの結果と同等となることから、今回工認モデルは基本モデルとして妥当であることを確認した。

また、個材曲げモデルにおいて、原子炉建屋に生じる最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認した。

さらに、個材曲げモデルにおいて、補助壁の負担するせん断力がせん断終局強度以下となることを確認した。

別紙10 原子炉建屋の地震応答解析における
側面地盤からの回転入力について

目 次

1. 概要	別紙 10-1
2. 地震応答解析モデルの妥当性の確認	別紙 10-2
3. 検討方針	別紙 10-12
4. 検討条件	別紙 10-15
4.1 側面地盤からの回転入力方法	別紙 10-15
4.2 解析モデル	別紙 10-19
5. 検討結果	別紙 10-27
5.1 最大応答値	別紙 10-27
6. 床応答に対する影響	別紙 10-37
7. まとめ	別紙 10-44

1. 概要

本資料は、原子炉建屋の地震応答解析における側面地盤からの回転入力について説明するものである。

2. 地震応答解析モデルの妥当性の確認

原子炉建屋の地震応答解析モデル（以下、「今回工認モデル」という。）は2007年新潟県中越沖地震時のシミュレーション解析結果を踏まえて設定している。別紙1-2「原子炉建屋の地震応答解析モデルについて」では表2-1に示すとおり、既工認手法及び既工認手法に側面回転地盤ばねを考慮したモデルでの地震応答解析結果と観測記録とを比較している。図2-1及び図2-2に示すとおり、側面回転地盤ばねを考慮することで既工認手法と比べ、加速度応答スペクトル及び最大応答加速度の観測記録との整合性が向上し、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価できることを確認している。

また、別紙1-5「建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性について」では、建屋を質点系モデル、地盤を2次元FEMモデルとした詳細なモデルを用いて地震応答解析を実施しており、この解析においては側面地盤からの回転入力が考慮されている。図2-3～図2-8に示すとおり、地盤を2次元FEMとしたモデルと今回工認モデルである埋込SRモデルを比較すると、応答は概ね同等ではあるが若干埋込SRモデルの方が大きくなる傾向にあることを確認した。

以上に示すとおり、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価でき、周辺地盤をより詳細に表現したモデルよりも保守的な応答を示すことから、今回工認モデルは保守的な設定となっており、基本モデルとして妥当であると考えられる。

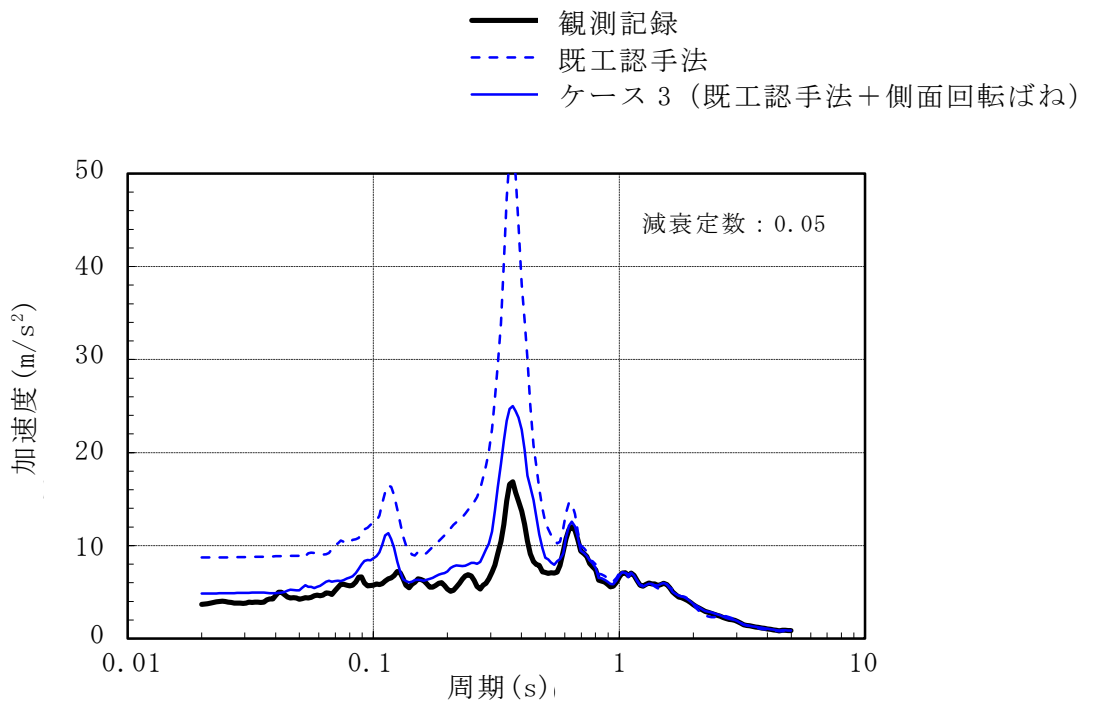
なお、次章以降で今回工認モデルに対してさらに側面地盤からの回転入力を考慮した場合の影響について確認する。

表 2-1 パラメータスタディケース（別紙 1-2 表 3-1 に一部追記）

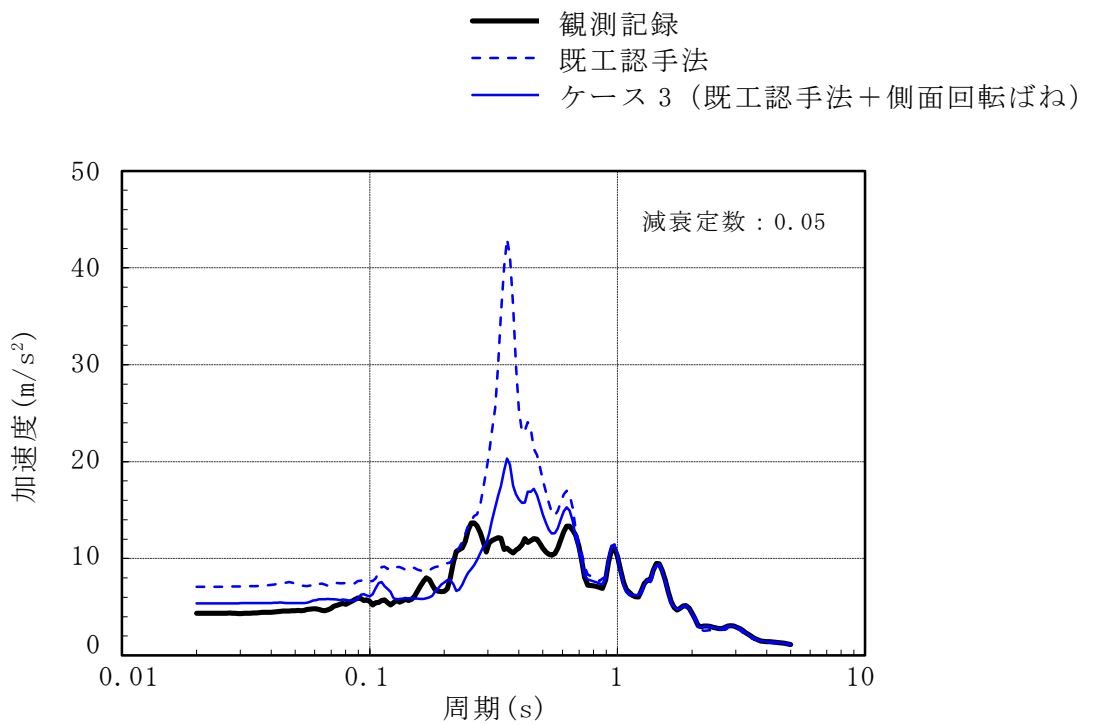
ケース名	建屋モデル		地盤モデル	
	コンクリートのヤング係数	剛性を考慮する部位	側面ばね	表層部での建屋-地盤相互作用
既工認手法に基づく解析モデル	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	考慮
ケース1 実剛性考慮	実剛性*	耐震壁	水平	考慮
ケース2 補助壁考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁+補助壁	水平	考慮
ケース3 側面回転ばね	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平・回転	考慮
ケース4 表層非考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	非考慮
シミュレーション解析モデル (ケース1~4の項目を全て反映したモデル)	実剛性*	耐震壁+補助壁	水平・回転 (表層無視)	非考慮

注記*：本シミュレーション解析においては、建設時の取得データを基に文献調査等を踏まえて経年による強度増進効果を加味して設定した推定実強度（49.0N/mm²（500kgf/cm²））に基づく剛性を使用する。なお、今回工認では、妥当性、信頼性の観点から、建設時の91日強度の平均値に相当する値（43.1N/mm²（440kgf/cm²））をコンクリート実強度として剛性を算定する。

注：網掛け部は本資料の図2-1及び図2-2に結果を示すケースを示す。

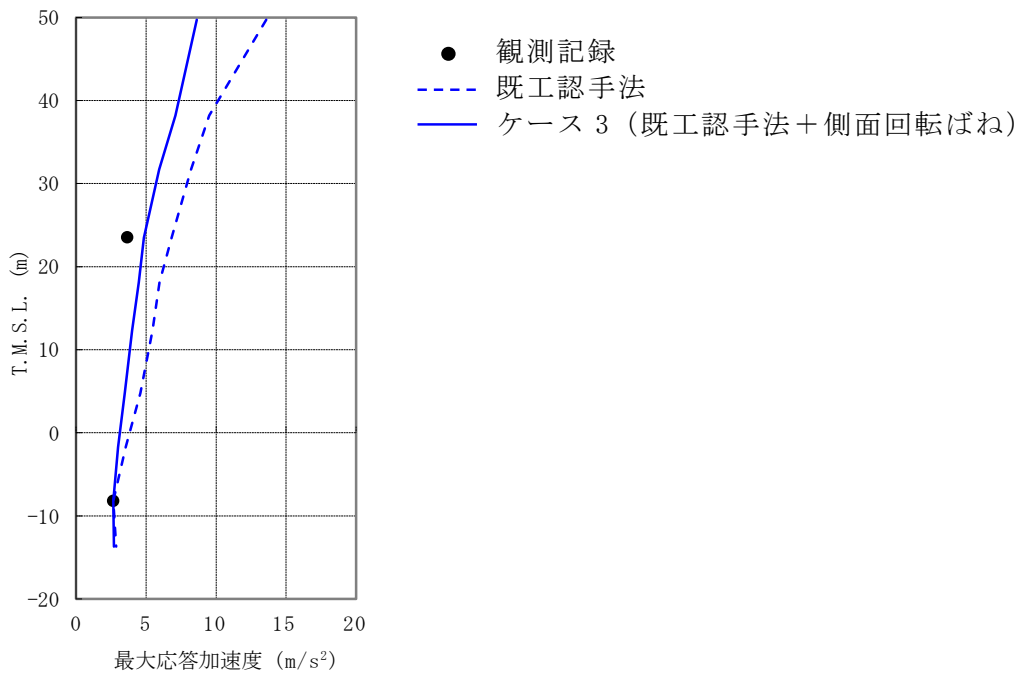


(a) NS方向

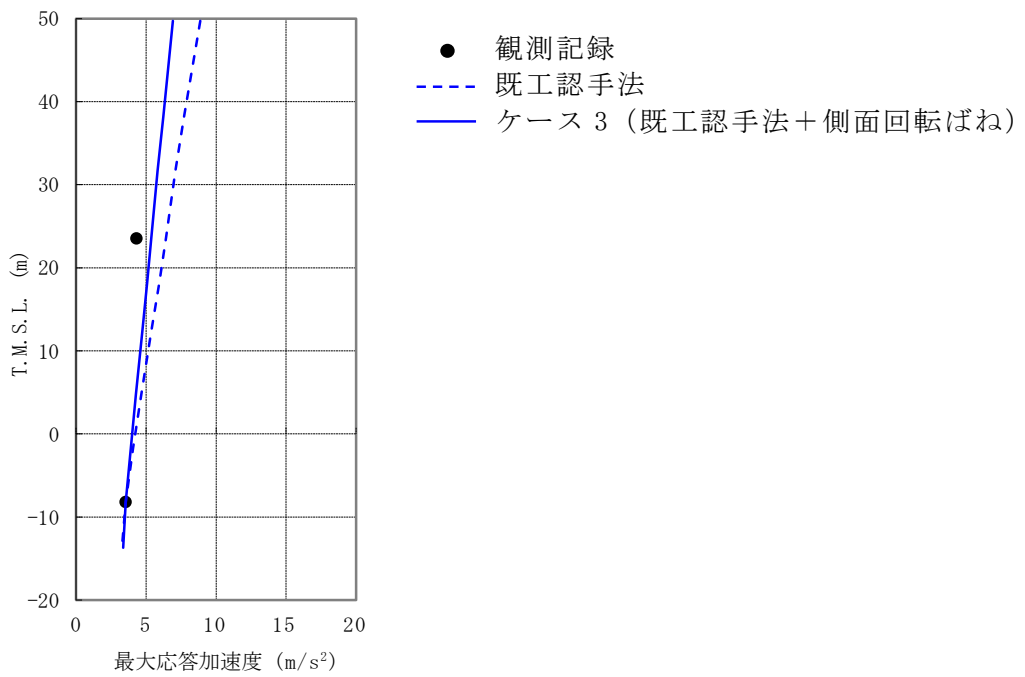


(b) EW方向

図 2-1 加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L. 23.5m) (別紙 1-2 図 3-9 再掲)



(a) NS方向



(b) EW方向

図 2-2 最大応答加速度の比較 (別紙 1-2 図 3-10 再掲)

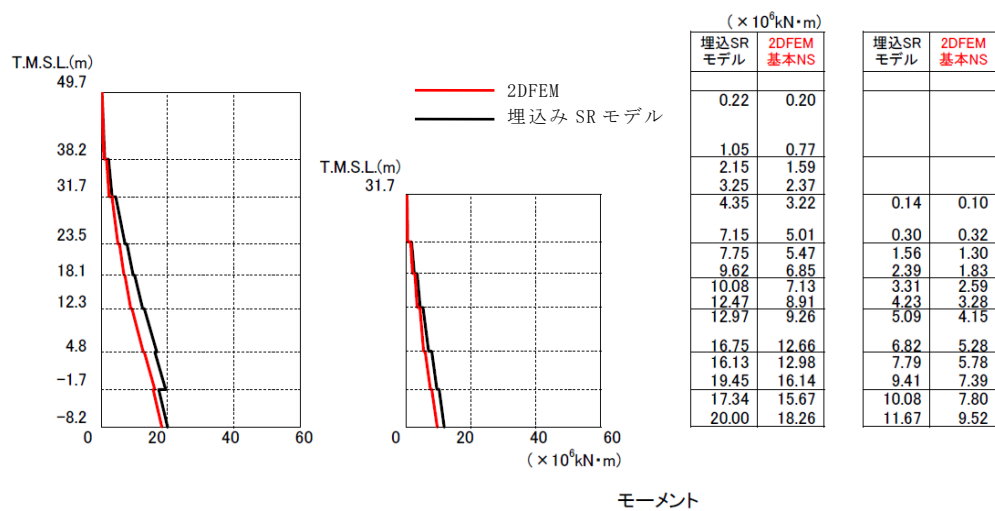
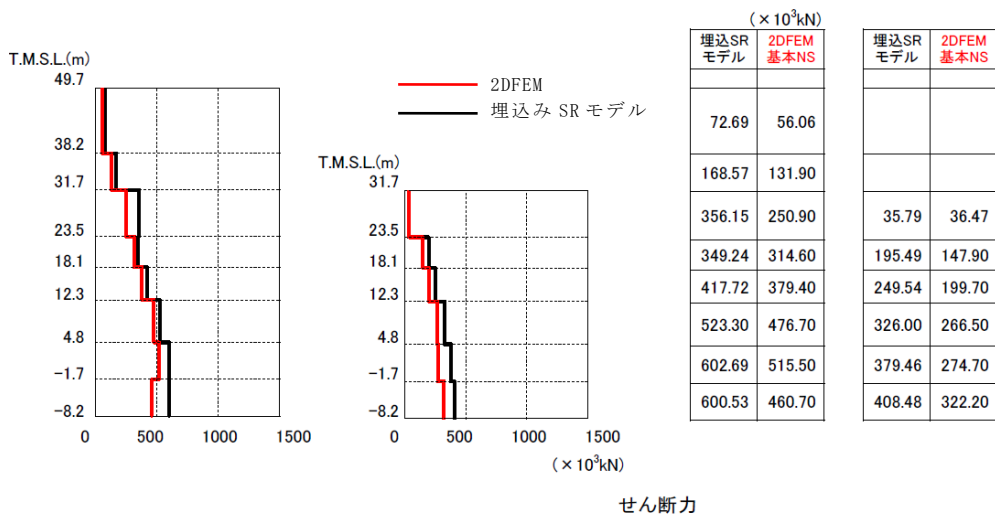
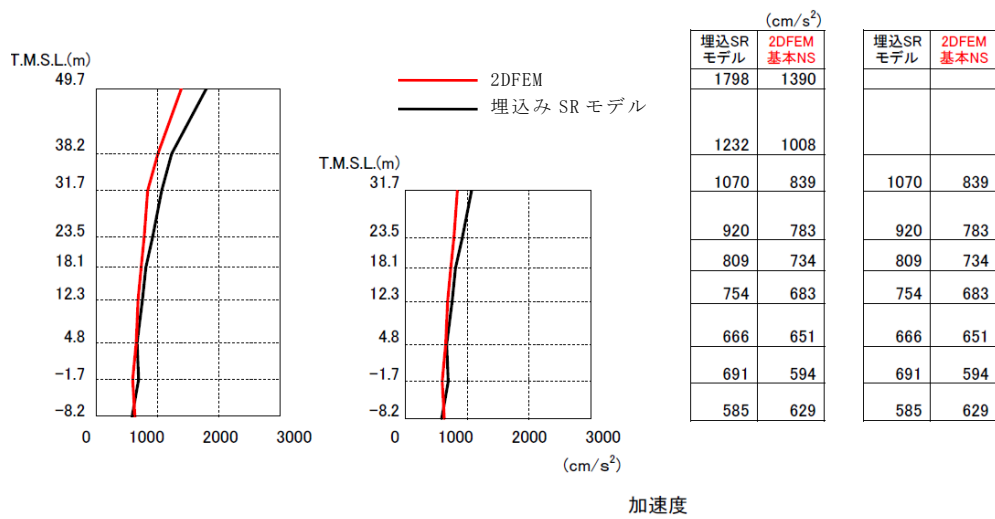


図 2-3 建屋の最大応答分布の比較 (NS 方向) (別紙 1-5 図 4-33 再掲)

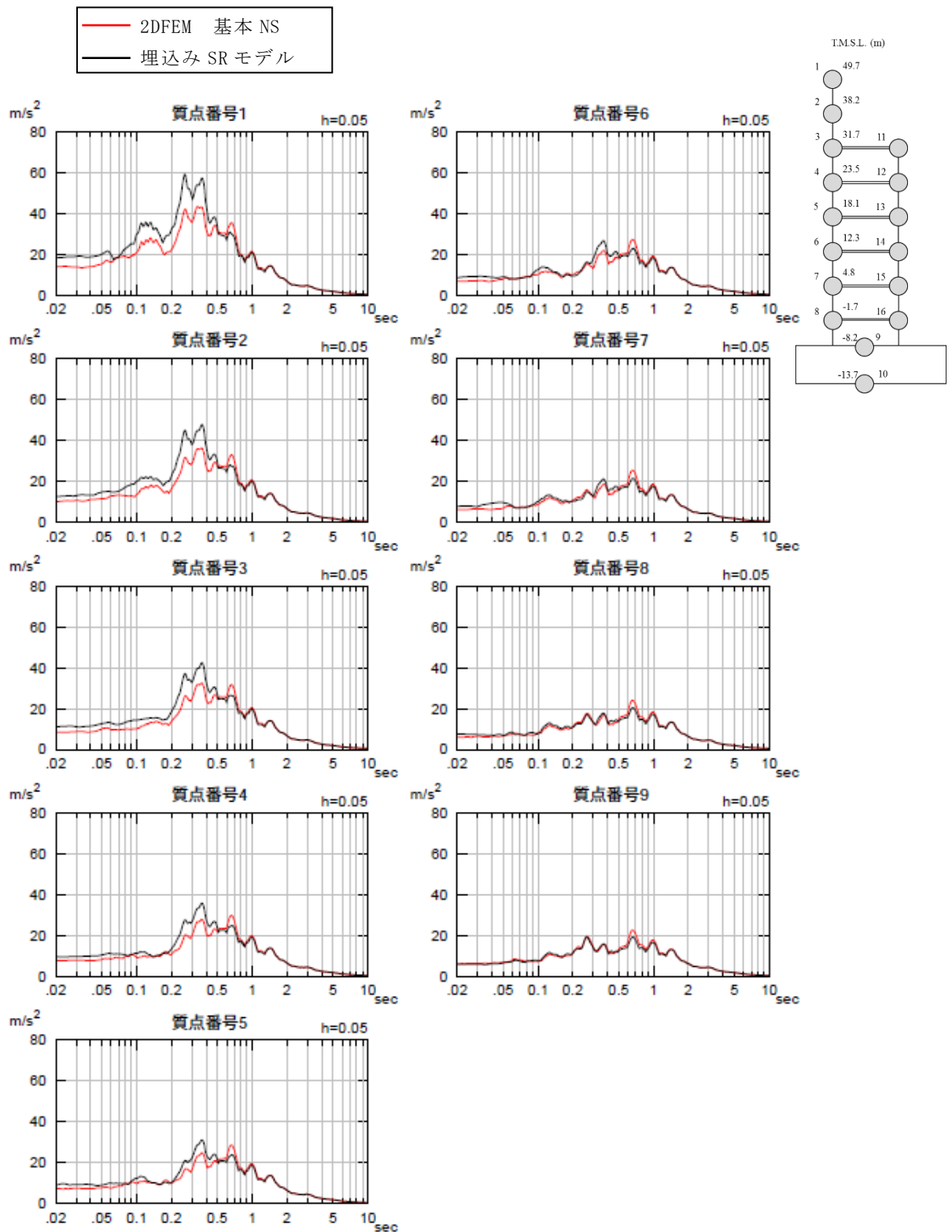


図 2-4 床応答スペクトルの比較 (NS 方向) h=5% (別紙 1-5 図 4-34 再掲)

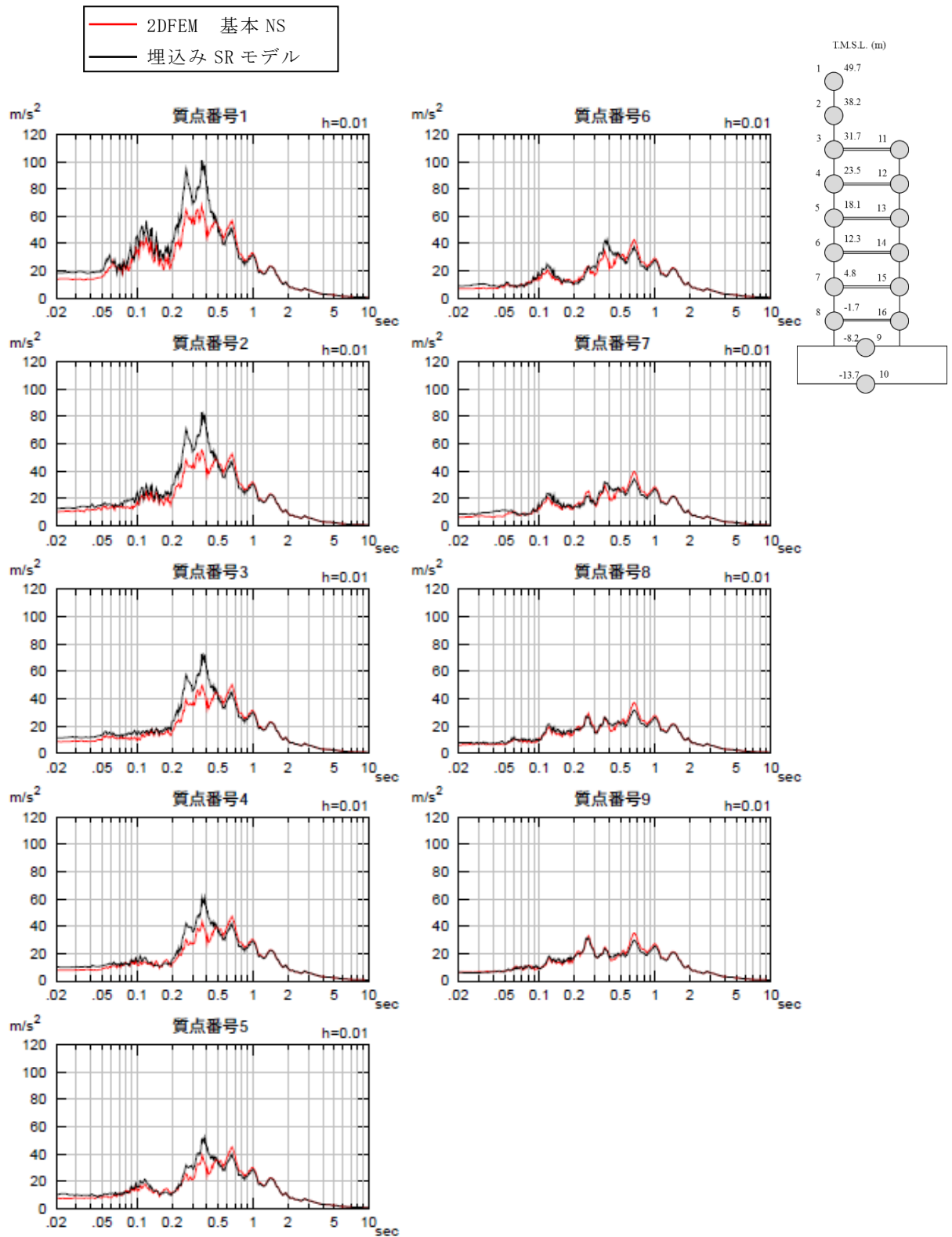
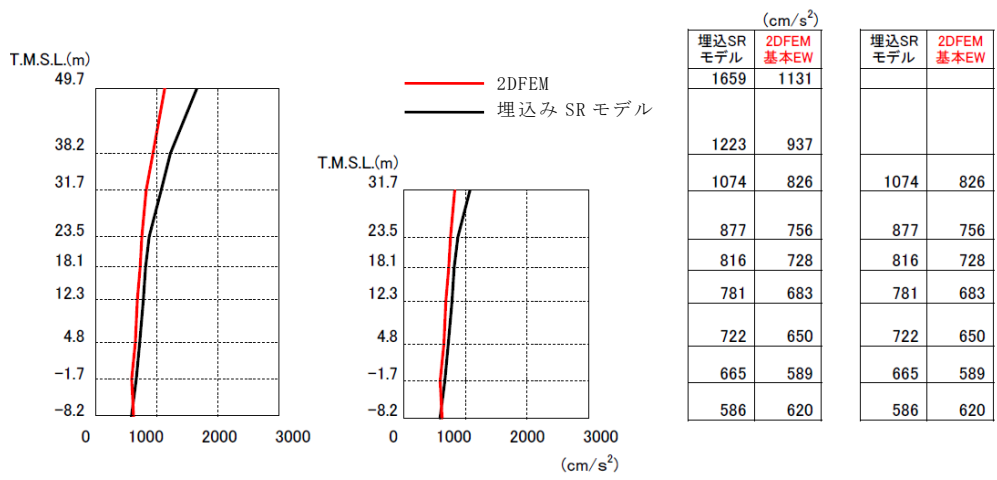
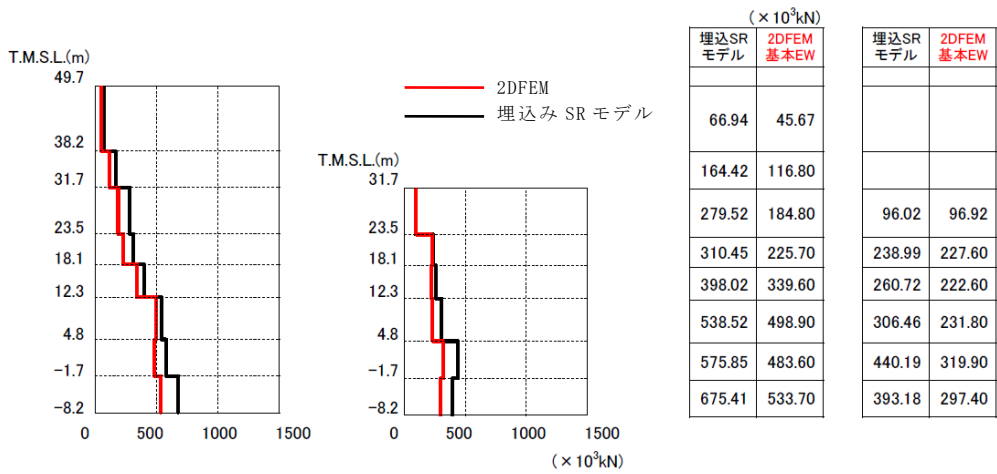


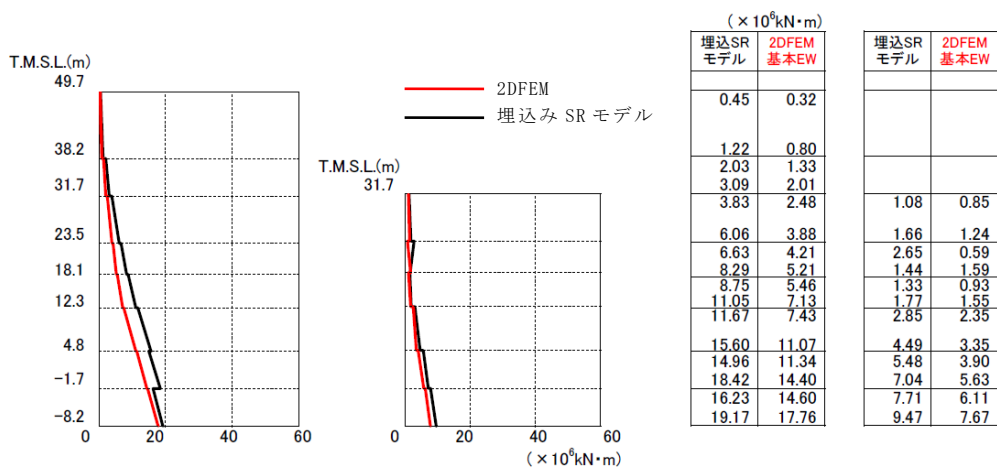
図 2-5 床応答スペクトルの比較 (NS 方向) h=1% (別紙 1-5 図 4-35 再掲)



加速度



せん断力



モーメント

図 2-6 建屋の最大応答分布の比較 (EW 方向) (別紙 1-5 図 4-36 再掲)

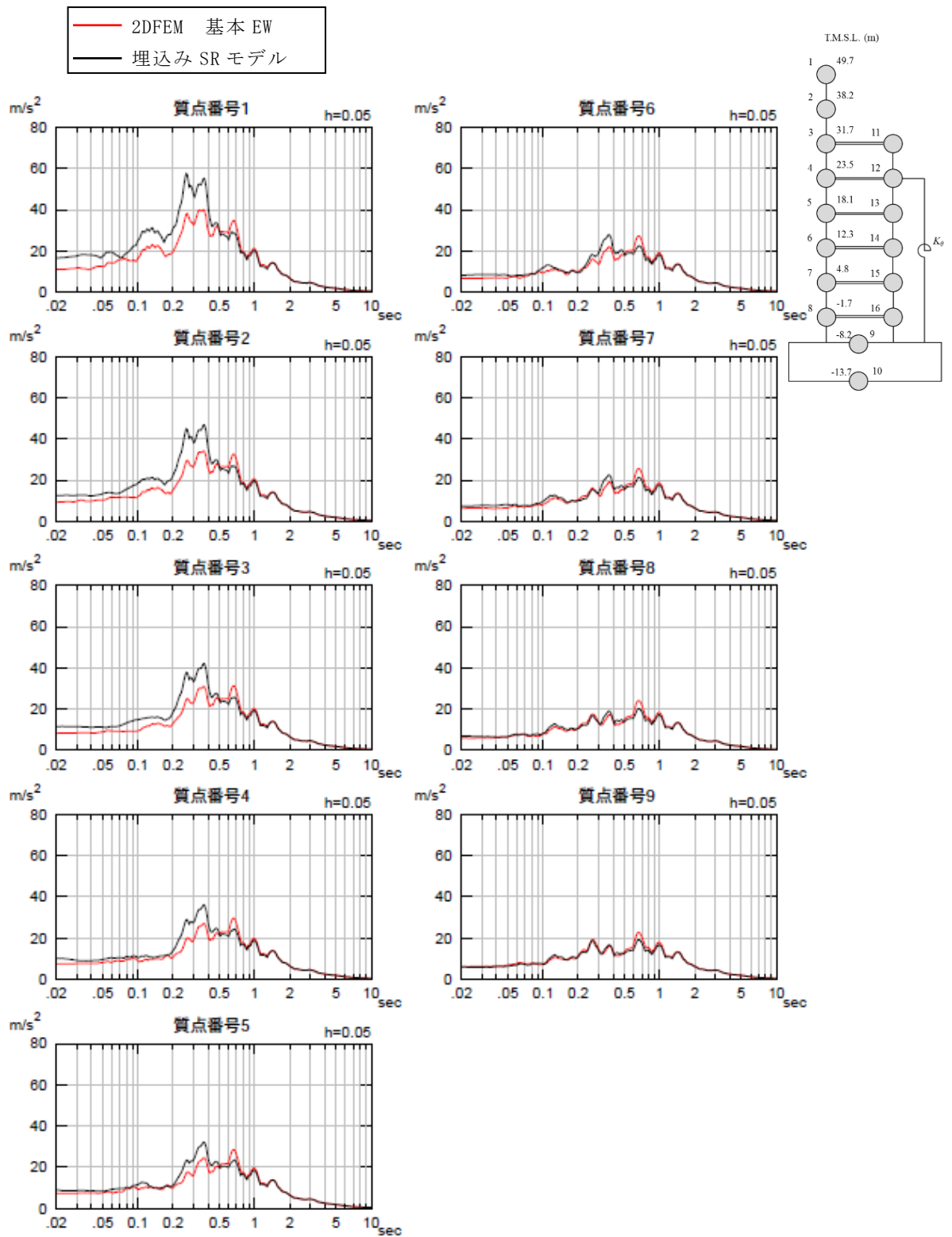


図 2-7 床応答スペクトルの比較 (EW 方向) h=5% (別紙 1-5 図 4-37 再掲)

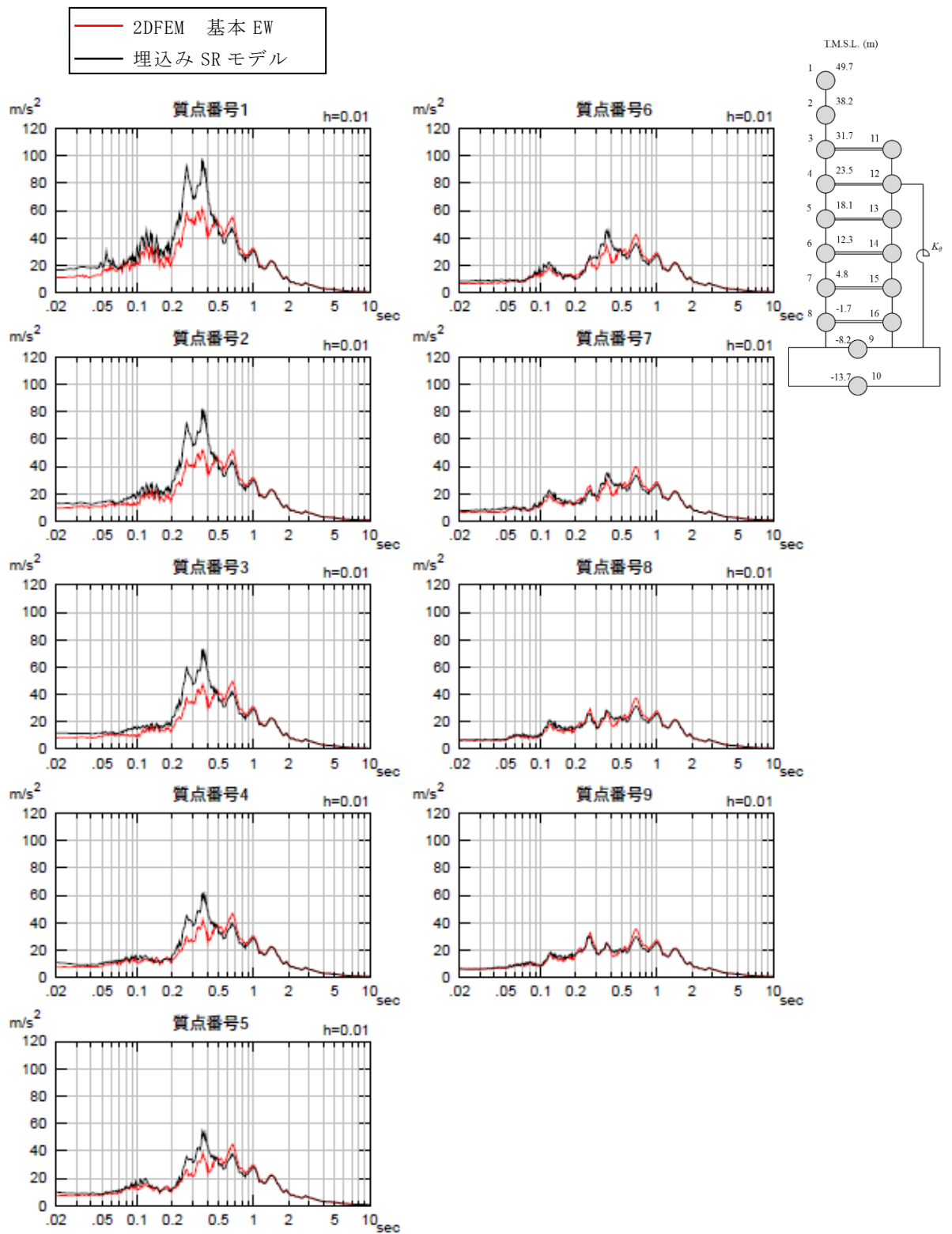


図 2-8 床応答スペクトルの比較 (EW 方向) $h=1\%$ (別紙 1-5 図 4-38 再掲)

3. 検討方針

今回工認モデルと側面地盤からの回転入力を考慮したモデル（以下、「回転入力モデル」という。）を比較することにより、側面地盤からの回転入力による建屋応答への影響を確認する。

なお、地震応答解析は、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 S_s-1 に対して実施することとする。

3.1 側面地盤からの回転入力 を考慮した運動方程式

地震応答解析モデルに関する運動方程式は、地震動規定点に対する相対座標系において、次式で表せる。

$$[m] \cdot \{\ddot{u}\} + [c] \cdot \{\dot{u}\} + [k] \cdot \{u\} = -[m] \cdot \{H\} \cdot \ddot{\alpha} + \{f\} \quad (3.1)$$

ここで、 $[m]$: 質量マトリックス
 $[c]$: 減衰マトリックス
 $[k]$: 剛性マトリックス
 $\{u\}$: 相対変位ベクトル
 $\{H\}$: 入力ベクトル (入力のある自由度 : 1, 他 : 0)
 $\ddot{\alpha}$: 地震加速度
 $\{f\}$: 地震外力ベクトル (水平方向の解析に用いる。)

また、建屋—地盤連成系における建屋部分の運動方程式は、地盤ばねの取り付く質点を添字 c で、それ以外の質点を添字 s で表すと絶対座標系において次式となる。

$$\begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \ddot{u}_s^t \\ \ddot{u}_c^t \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{s s} & C_{s c} \\ C_{c s} & C_{c c} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \dot{u}_s^t \\ \dot{u}_c^t \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{s s} & K_{s c} \\ K_{c s} & K_{c c} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_s^t \\ u_c^t \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ f_c^* \end{Bmatrix} \quad (3.2)$$

ここで、 $\{u^t\} = \{u_0\} + \{u\}$

$\{u\}$: 地震動規定点との相対変位

$\{u_0\}$: 地震動規定点の変位

$\{f_c^*\}$: 地盤からの力 (反力)

$\begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix}$: 質量マトリックス

$\begin{bmatrix} C_{s s} & C_{s c} \\ C_{c s} & C_{c c} \end{bmatrix}$: ひずみエネルギー比例型の建屋の減衰マトリックス

$\begin{bmatrix} K_{s s} & K_{s c} \\ K_{c s} & K_{c c} \end{bmatrix}$: 建屋の剛性マトリックス

(3.2)式を地震動規定点との相対変位 $\{u\}$ についての式に書き換えると、次式のようになる。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \ddot{u}_s \\ \ddot{u}_c \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{s s} & C_{s c} \\ C_{c s} & C_{c c} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \dot{u}_s \\ \dot{u}_c \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{s s} & K_{s c} \\ K_{c s} & K_{c c} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_s \\ u_c \end{Bmatrix} \\ = - \begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} \cdot \{H\} \cdot \ddot{\alpha}_0 + \begin{Bmatrix} 0 \\ f_c^* \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (3.3)$$

ここで、 $\ddot{\alpha}_0$: 地震加速度（地震動規定点加速度）

$\{H\}$: 水平方向のみ 1, 他は 0 のベクトルである。なお、側面地盤からの回転入力を考慮する場合は回転方向も 1 とする。

また、建屋からの力 $\{f_c^*\}$ は、次式で表される。

$$-\{f_c^*\} + \{p_c\} = [K_c] \cdot (\{u_c\} - \{\widetilde{u}_c\}) + [C_c] \cdot (\{\dot{u}_c\} - \{\dot{\widetilde{u}}_c\}) \quad (3.4)$$

ただし、 $[K_c]$, $[C_c]$: 地盤ばねの剛性及び減衰マトリックス

$\{\widetilde{u}_c\}$, $\{\dot{\widetilde{u}}_c\}$: 一次元波動解析における地震動規定点に対する地盤の相対変位及び相対速度（側面地盤からの回転入力を考慮する場合は、側面回転地盤ばねの取り付く質点位置の地震動規定点に対する地盤の回転角及び回転角速度を含む）

$\{p_c\}$: 一次元波動解析における切欠き面の地盤のせん断力（切欠き力）

(3.4)式を(3.3)式に代入すれば、運動方程式は次式になる。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \ddot{u}_s \\ \ddot{u}_c \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{s s} & C_{s c} \\ C_{c s} & C_{c c} + C_c \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \dot{u}_s \\ \dot{u}_c \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{s s} & K_{s c} \\ K_{c s} & K_{c c} + K_c \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_s \\ u_c \end{Bmatrix} \\ = - \begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} \cdot \{H\} \cdot \ddot{\alpha}_0 + \begin{Bmatrix} 0 \\ f_c \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (3.5)$$

ここで、 $\{f_c\}$ は次式で表される相互作用力である。

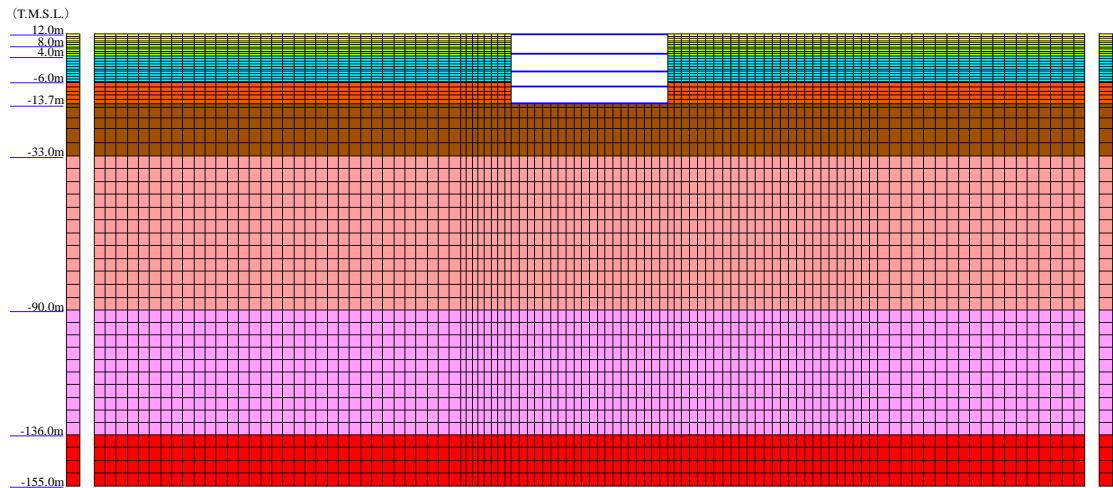
$$\{f_c\} = [K_c] \cdot \{\widetilde{u}_c\} + [C_c] \cdot \{\dot{\widetilde{u}}_c\} + \{p_c\} \quad (3.6)$$

4. 検討条件

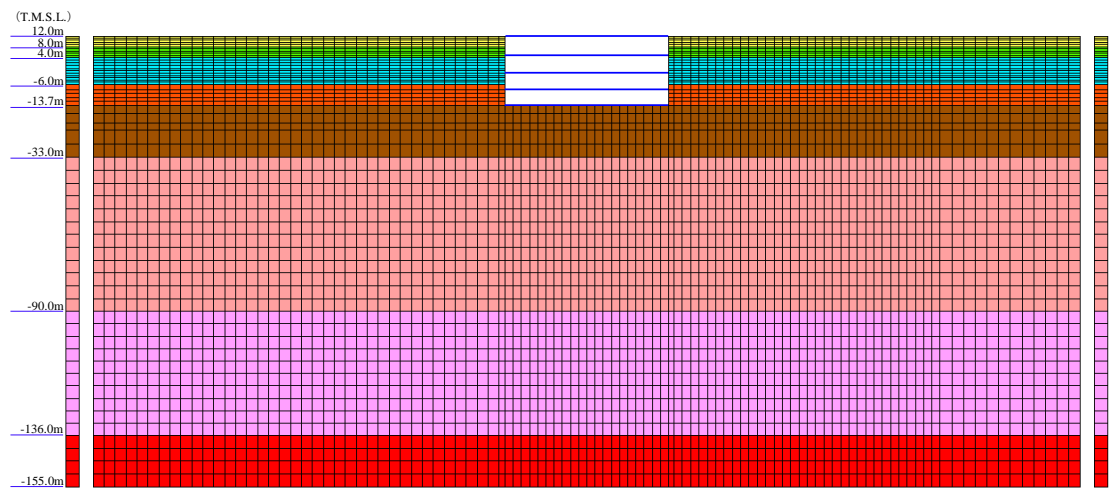
4.1 側面地盤からの回転入力方法

側面地盤からの回転入力は、側面回転地盤ばねの取り付く質点に地盤の回転応答を入力することで考慮する。地盤の回転応答は、一次元波動論に基づく入力地震動評価における水平成層地盤と等価な擬似 3 次元 FEM モデルを作成し、地震応答解析を実施することで求める。地盤の回転応答算出用モデルを図 4-1 に示す。建屋質点系モデルの質点と対応する位置に剛ばりを設定し、剛ばりに発生する回転角及び回転角速度を算出する。算出した回転角及び回転角速度の時刻歴を図 4-2 に示す。

	新期砂層①
	新期砂層②
	古安田層
	西山層1
	西山層2
	西山層3
	西山層4
	剛ばり

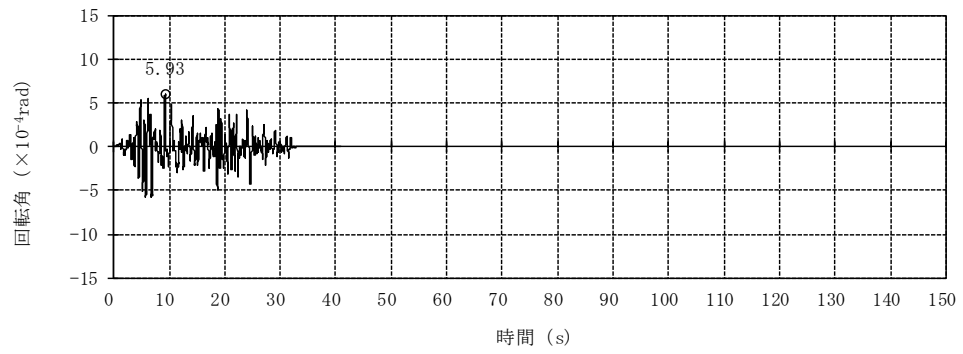


(a) NS 方向

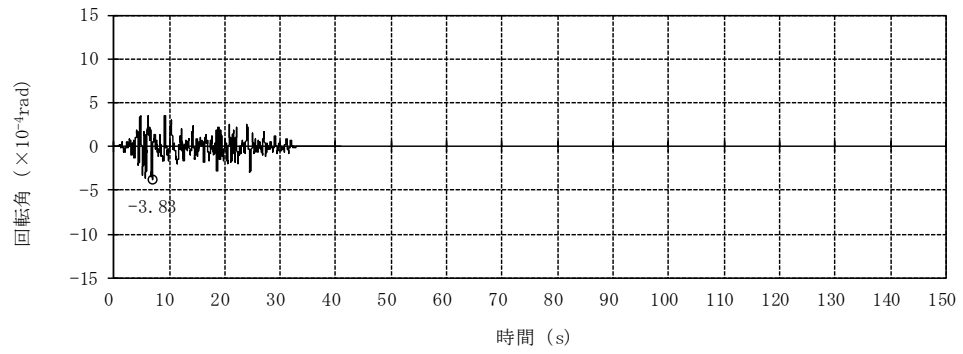


(b) EW 方向

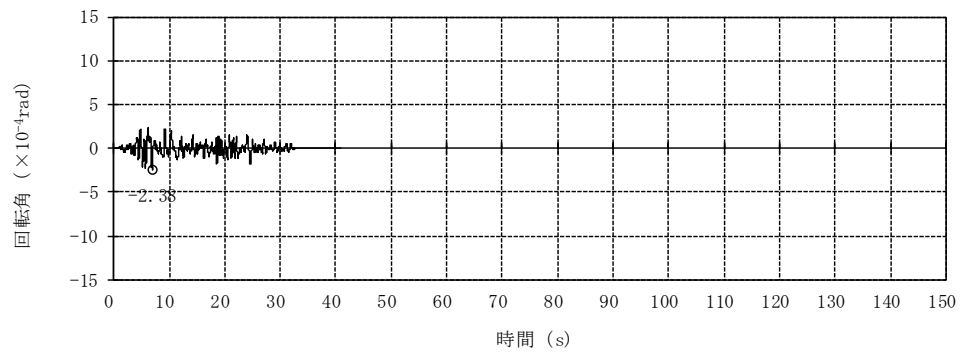
図 4-1 地盤の回転応答算出用モデル



(a) 質点 7 位置 (T.M.S.L. 4.8m)

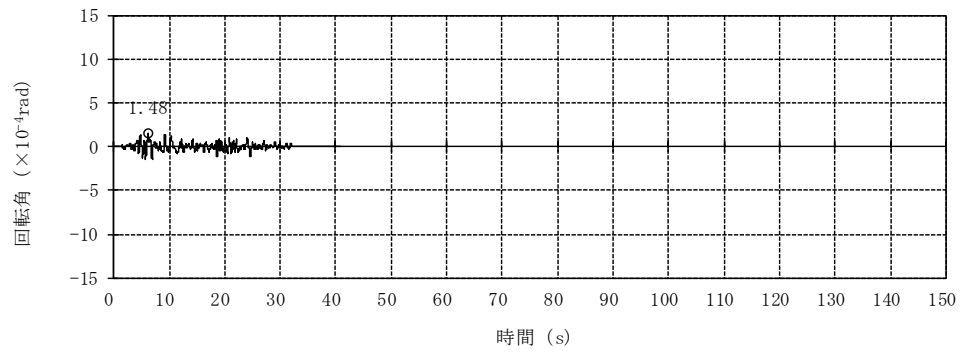


(b) 質点 8 位置 (T.M.S.L. -1.7m)



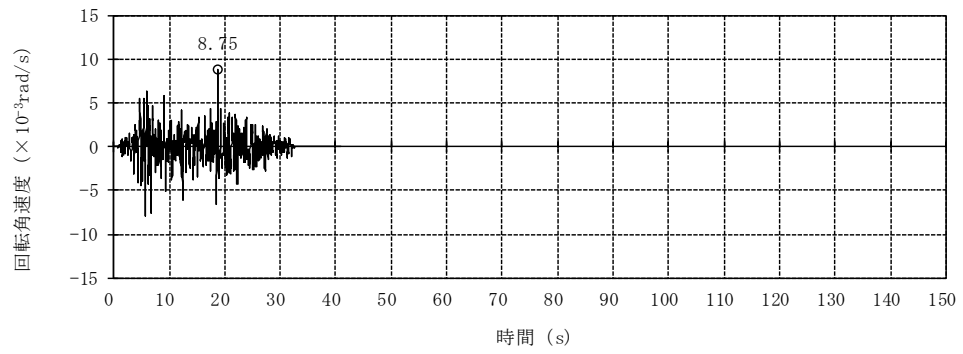
(c) 質点 9 位置 (T.M.S.L. -8.2m)

図 4-2 算出した回転角及び回転角速度の時刻歴 (NS 方向回転角) (1/8)

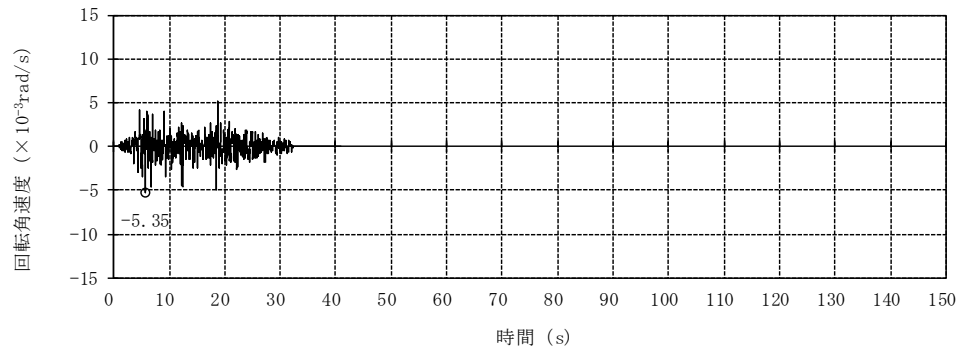


(d) 質点 10 位置 (T.M.S.L. -13.7m)

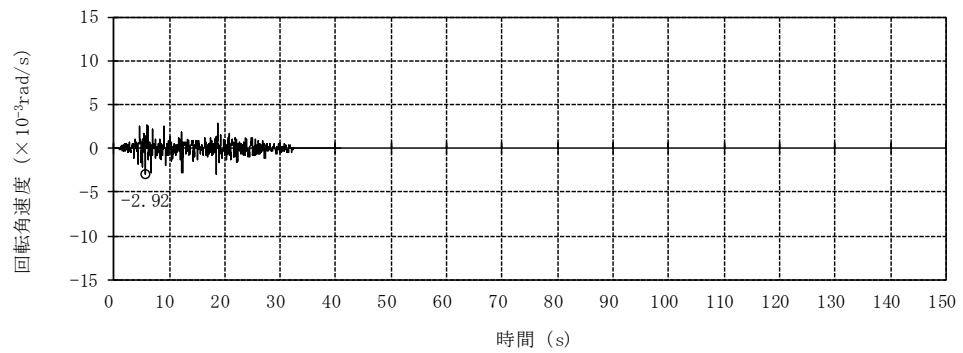
図 4-2 算出した回転角及び回転角速度の時刻歴 (NS 方向回転角) (2/8)



(a) 質点 7 位置 (T.M.S.L. 4.8m)

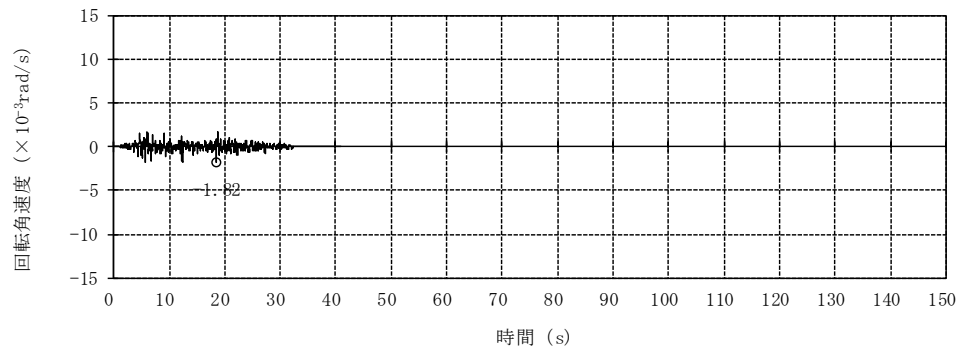


(b) 質点 8 位置 (T.M.S.L. -1.7m)



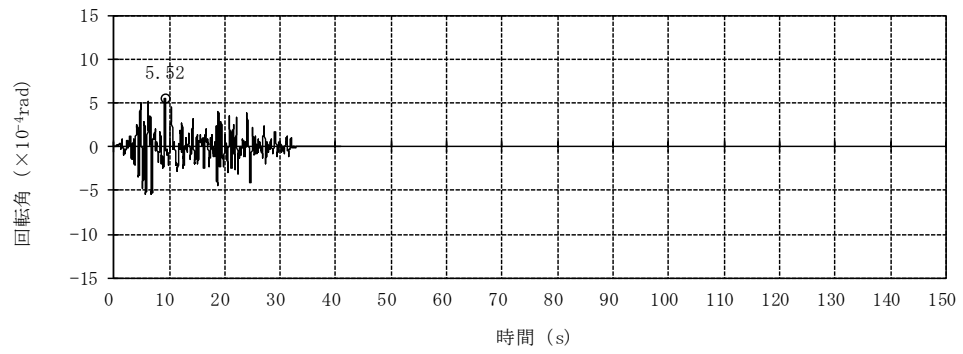
(c) 質点 9 位置 (T.M.S.L. -8.2m)

図 4-2 算出した回転角及び回転角速度の時刻歴 (NS 方向回転角速度) (3/8)

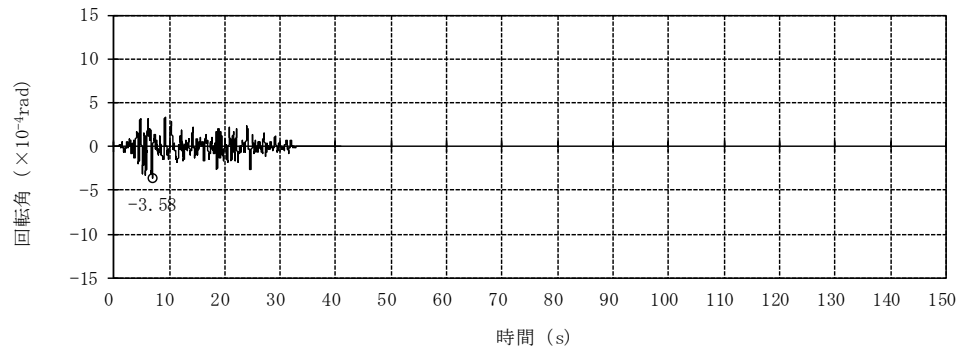


(d) 質点 10 位置 (T.M.S.L. -13.7m)

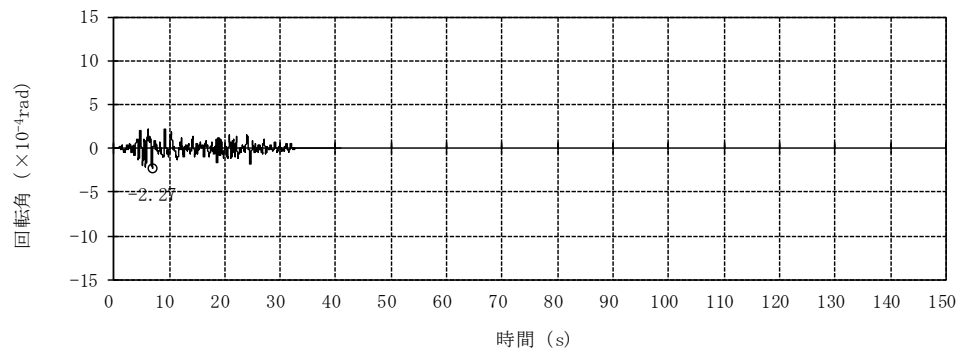
図 4-2 算出した回転角及び回転角速度の時刻歴 (NS 方向回転角速度) (4/8)



(a) 質点 7 位置 (T.M.S.L. 4.8m)

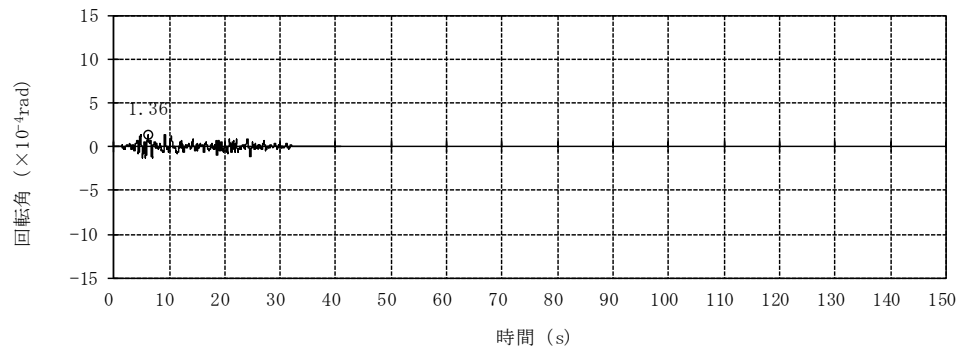


(b) 質点 8 位置 (T.M.S.L. -1.7m)



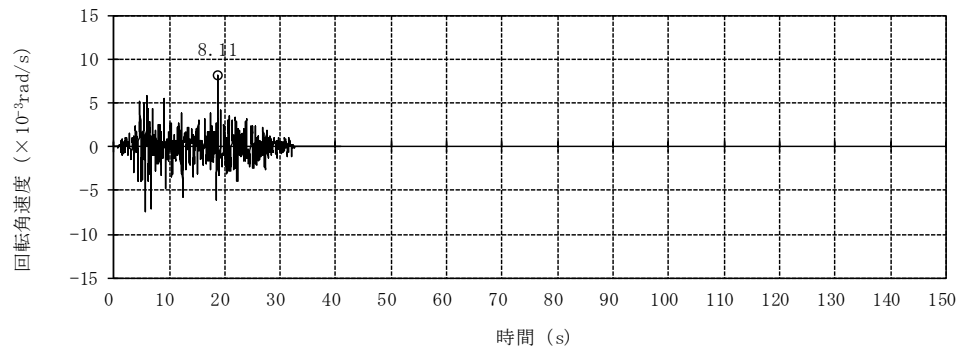
(c) 質点 9 位置 (T.M.S.L. -8.2m)

図 4-2 算出した回転角及び回転角速度の時刻歴 (EW 方向回転角) (5/8)

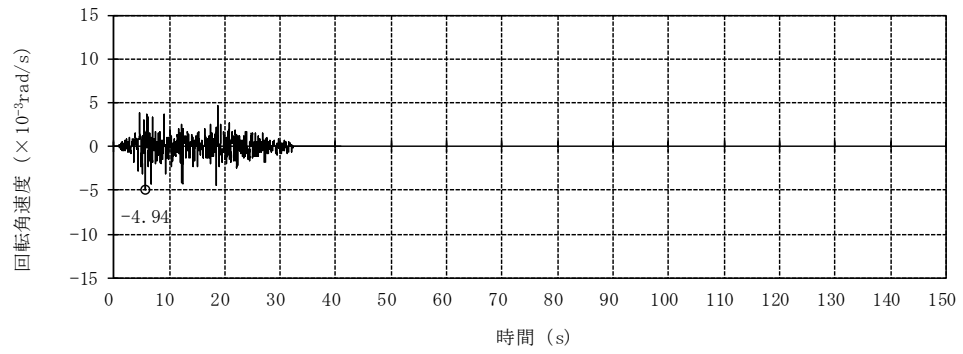


(d) 質点 10 位置 (T.M.S.L. -13.7m)

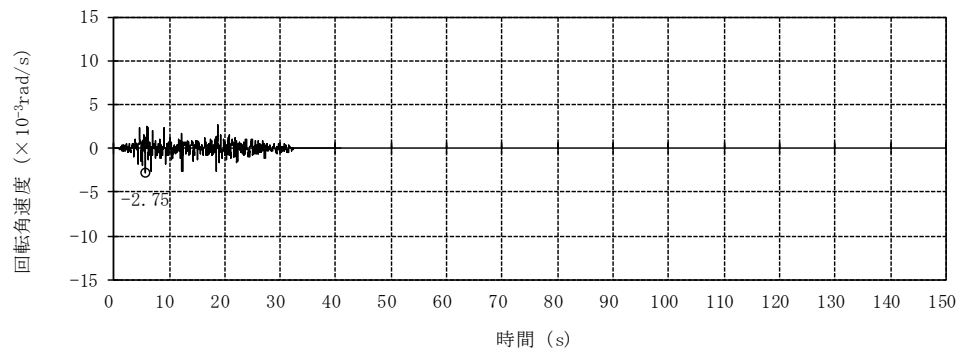
図 4-2 算出した回転角及び回転角速度の時刻歴 (EW 方向回転角) (6/8)



(a) 質点 7 位置 (T.M.S.L. 4.8m)

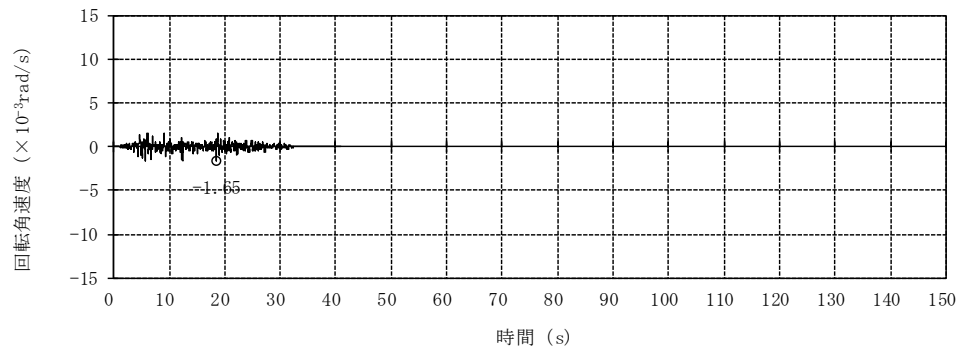


(b) 質点 8 位置 (T.M.S.L. -1.7m)



(c) 質点 9 位置 (T.M.S.L. -8.2m)

図 4-2 算出した回転角及び回転角速度の時刻歴 (EW 方向回転角速度) (7/8)

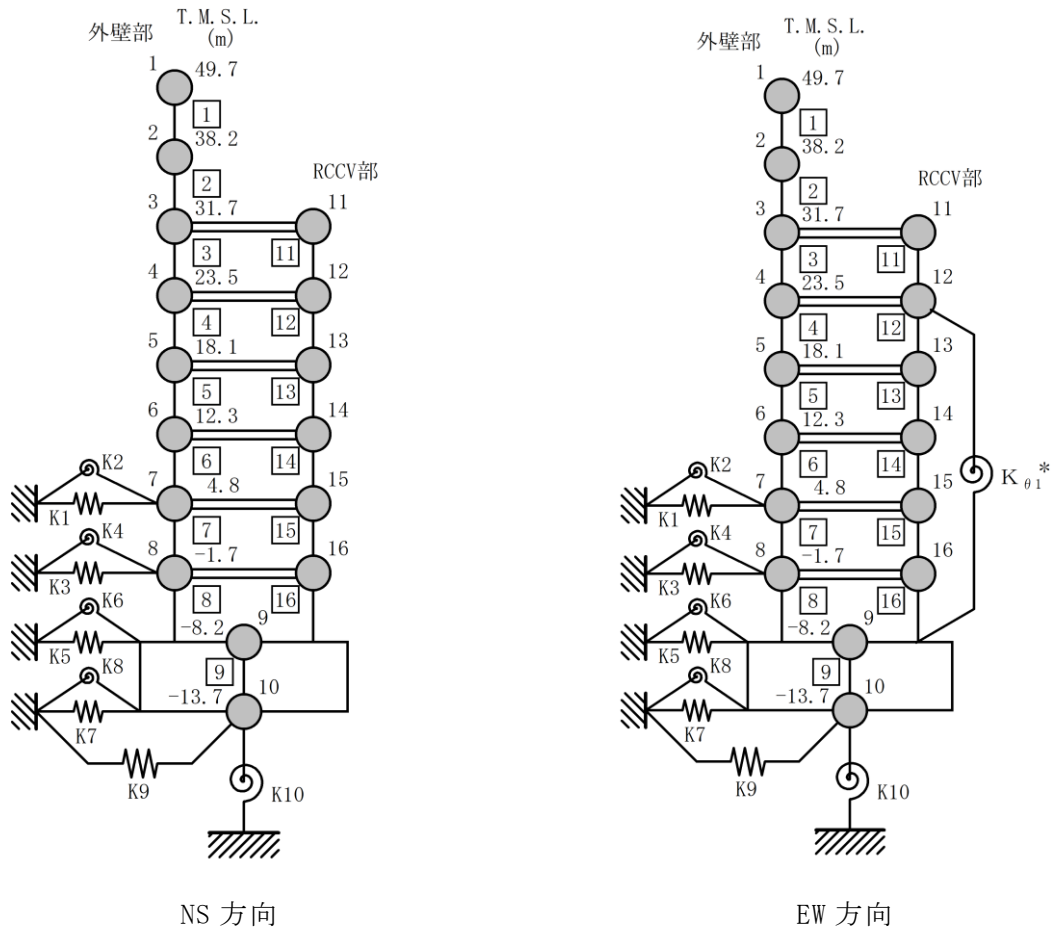


(d) 質点 10 位置 (T.M.S.L. -13.7m)

図 4-2 算出した回転角及び回転角速度の時刻歴 (EW 方向回転角速度) (8/8)

4.2 解析モデル

地震応答解析モデルを図 4-3 に示す。



注記* : RCCV 回転ばね

図 4-3 地震応答解析モデル

5. 検討結果

5.1 最大応答値

基準地震動 Ss-1 による最大応答値を図 5-1～図 5-8 に、最大せん断ひずみを表 5-1 及び表 5-2 に示す。

回転入力モデルの最大応答値のうち、最大応答変位については、側面地盤からの回転入力により入力位置の回転が抑えられるため、今回工認モデルと比べ小さくなる傾向であることを確認した。その他の最大応答値は、今回工認モデルの結果と同等であることを確認した。

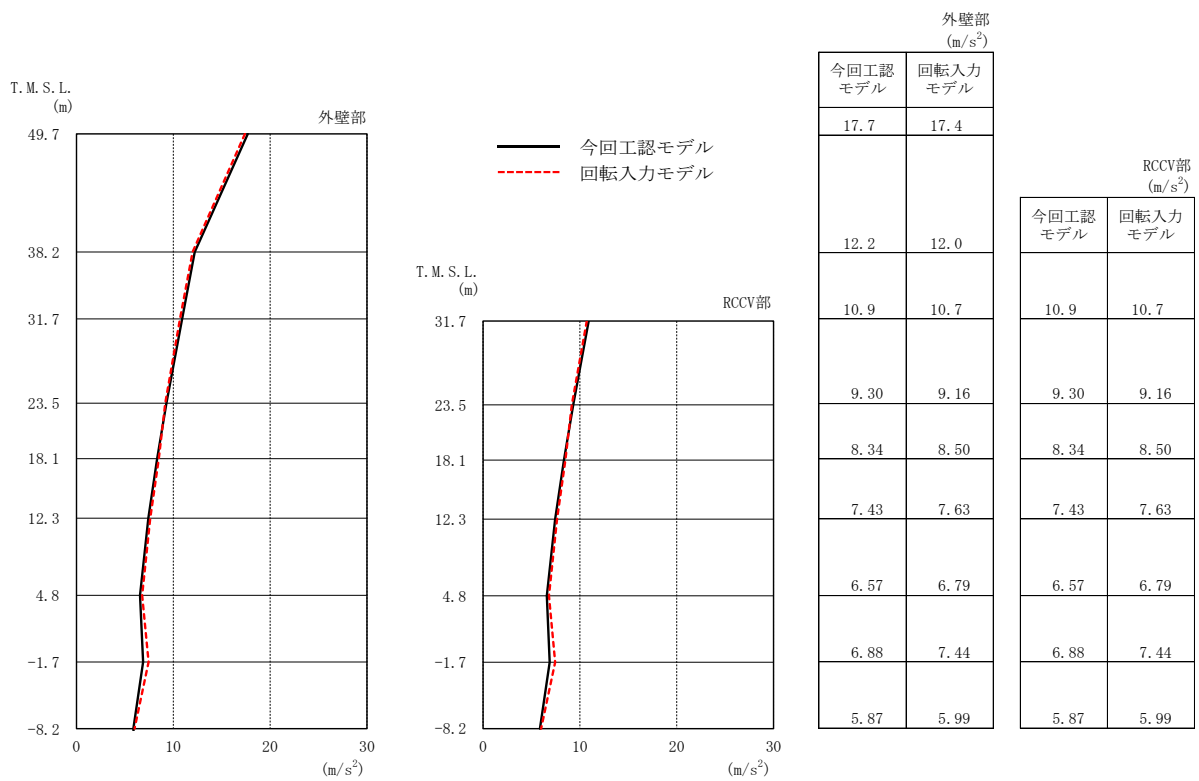
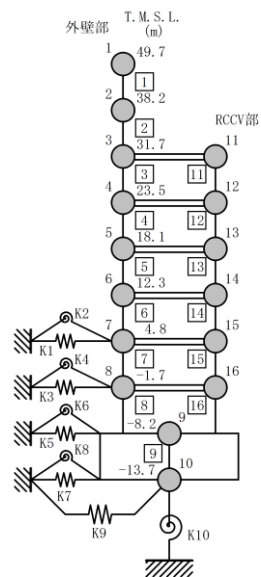


図 5-1 最大応答加速度 (Ss-1, NS 方向)



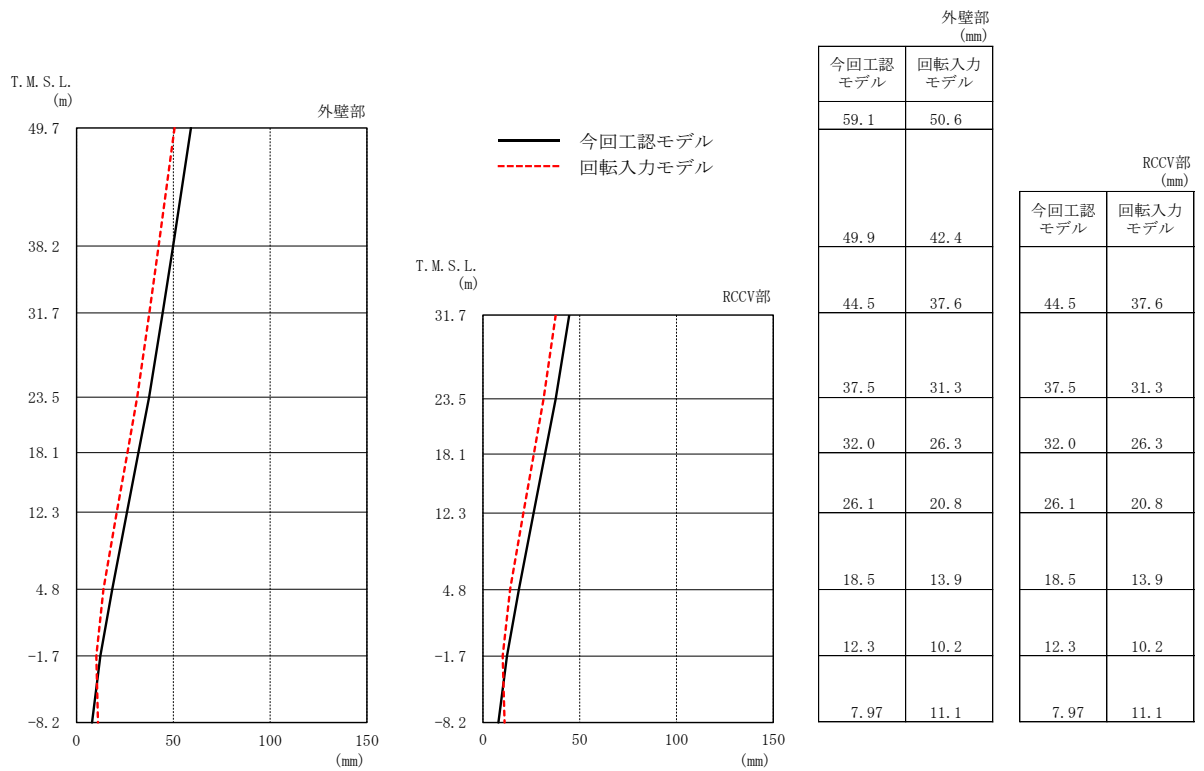
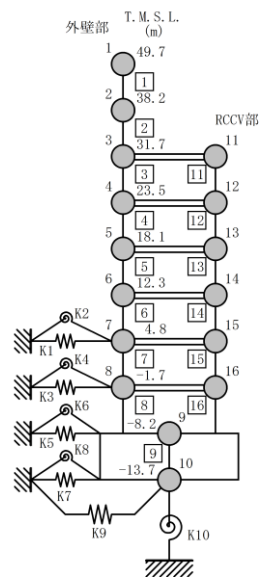


図 5-2 最大応答変位 (Ss-1, NS 方向)



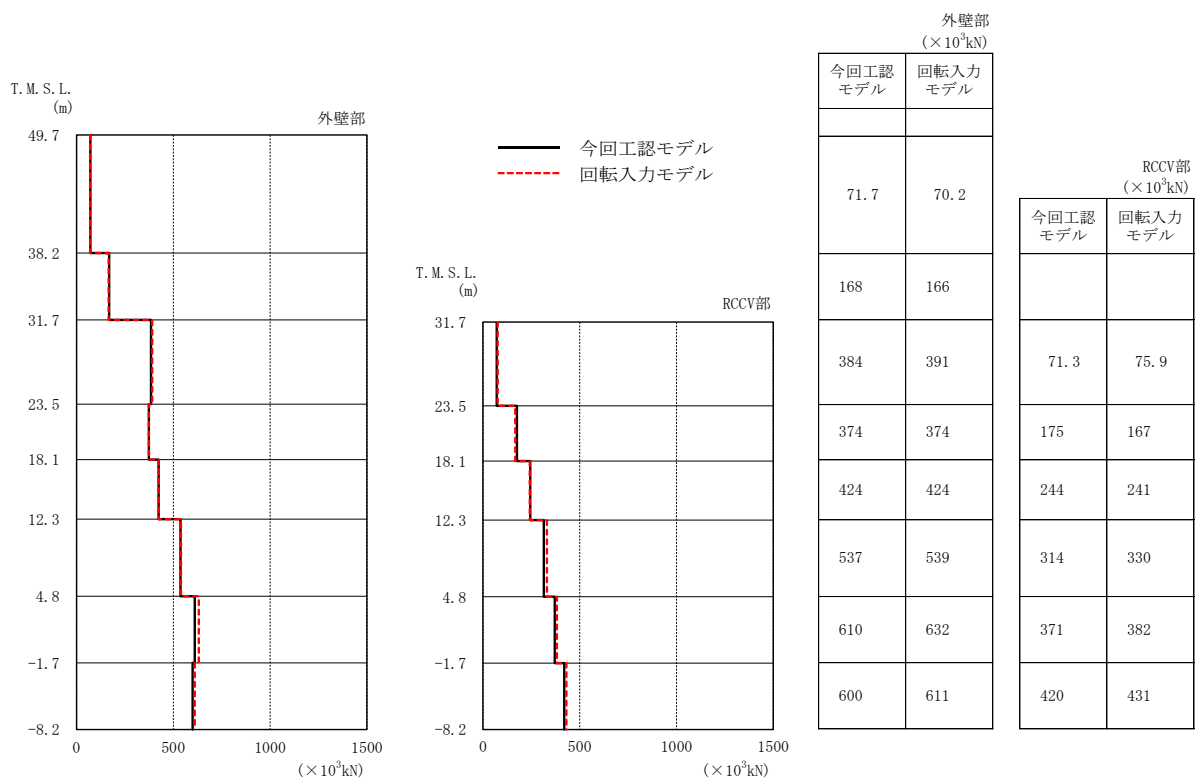
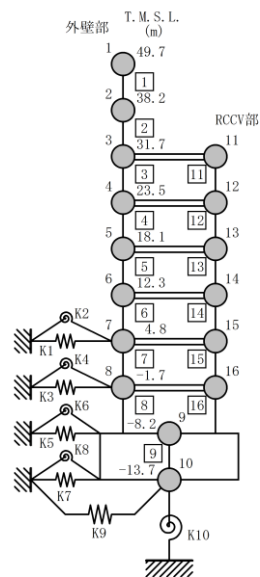


図 5-3 最大応答せん断力 (Ss-1, NS 方向)



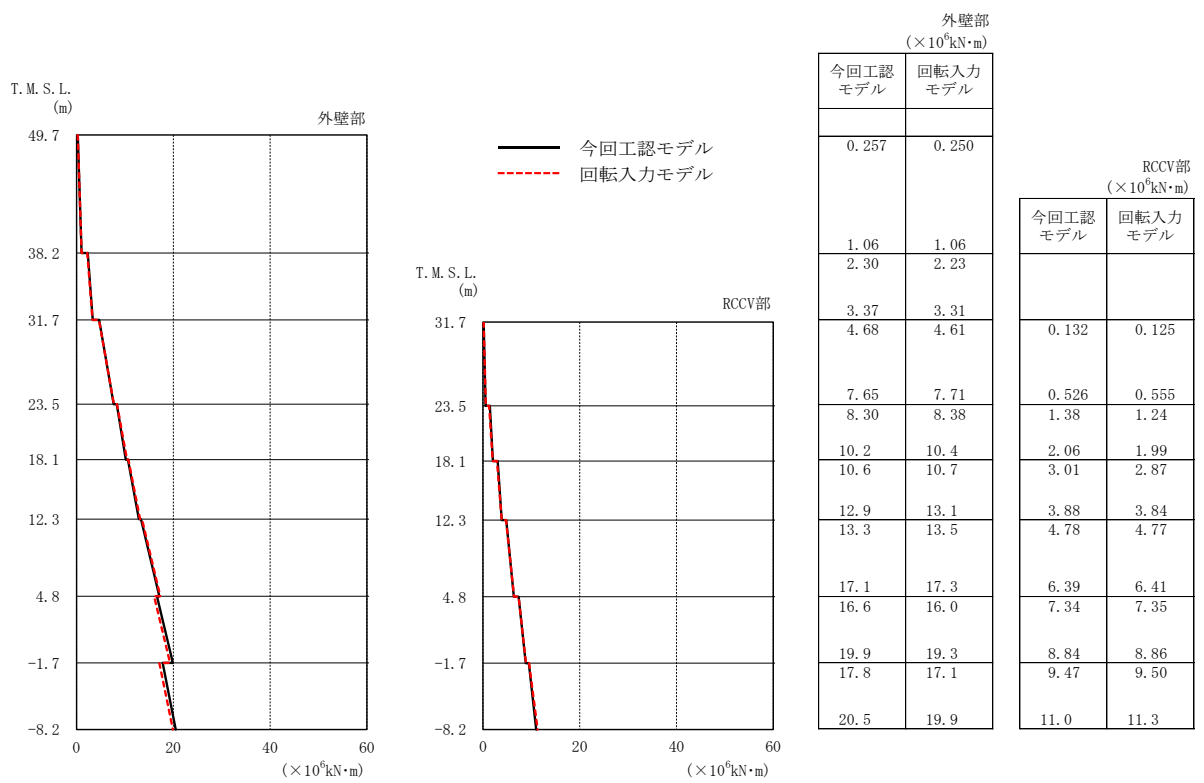
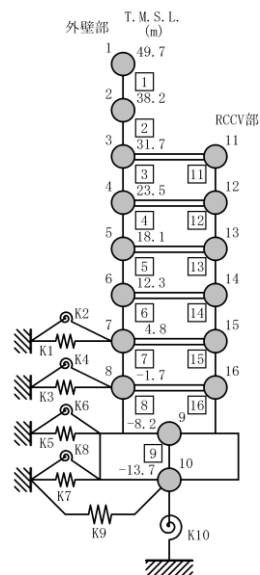


図 5-4 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS 方向)



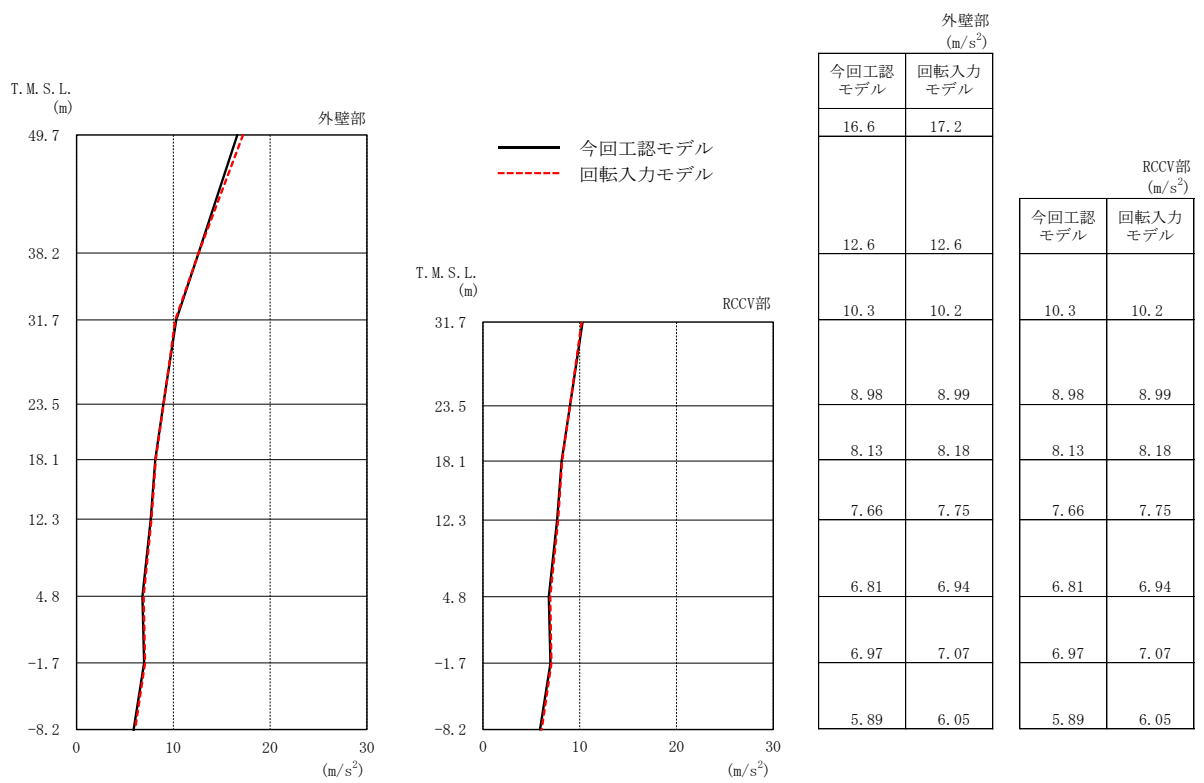
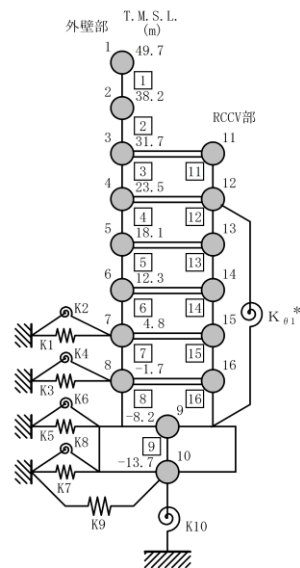


図 5-5 最大応答加速度 (Ss-1, EW 方向)



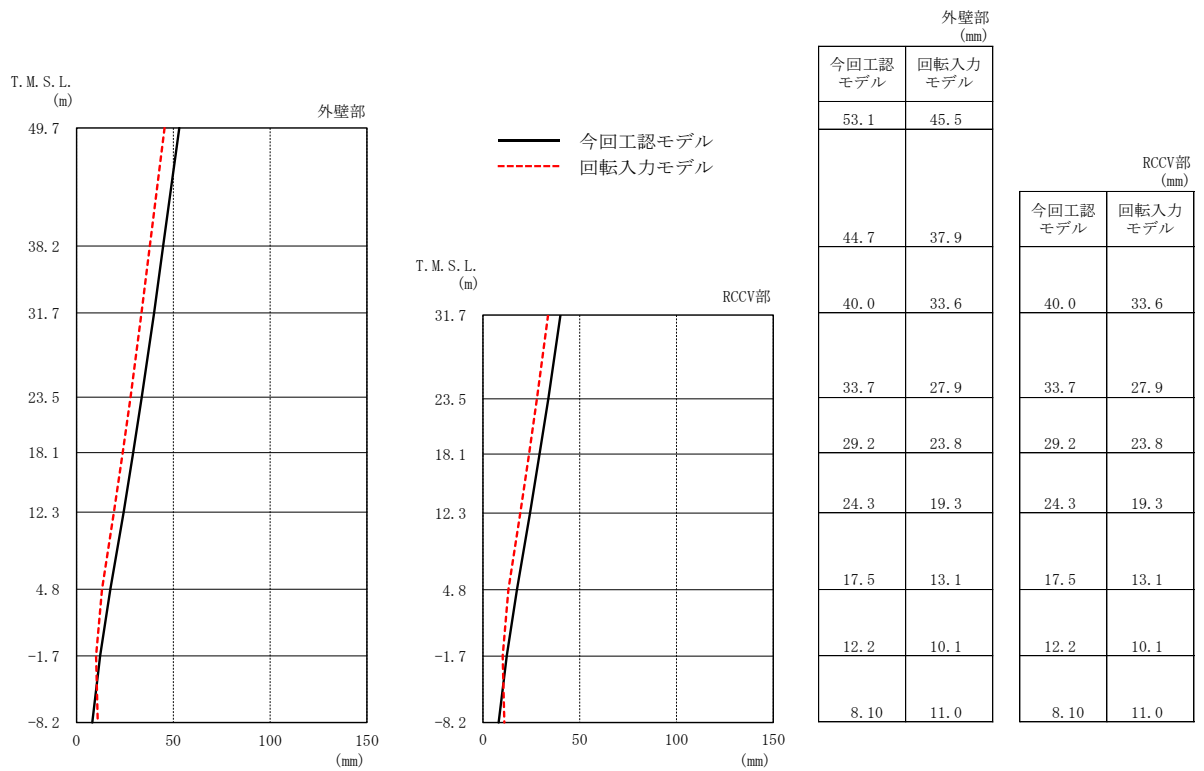
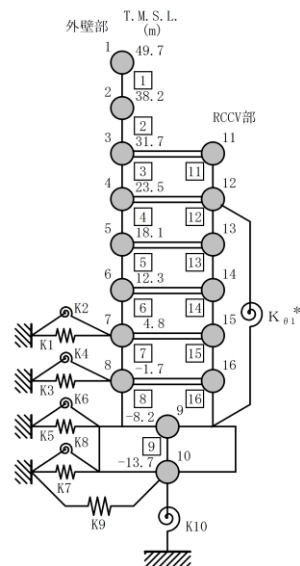


図 5-6 最大応答変位 (Ss-1, EW 方向)



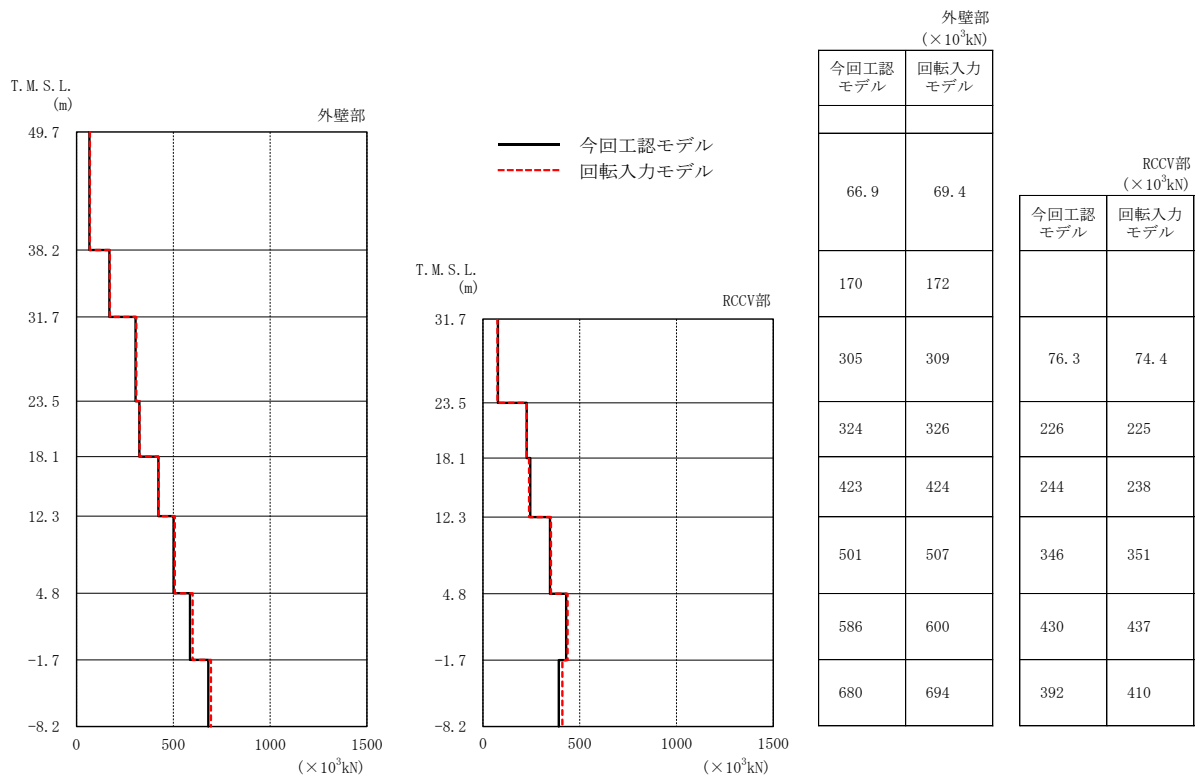
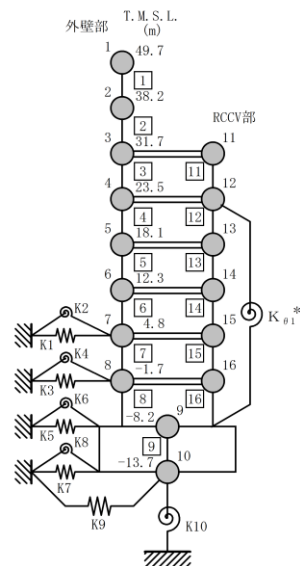


図 5-7 最大応答せん断力 (Ss-1, EW 方向)



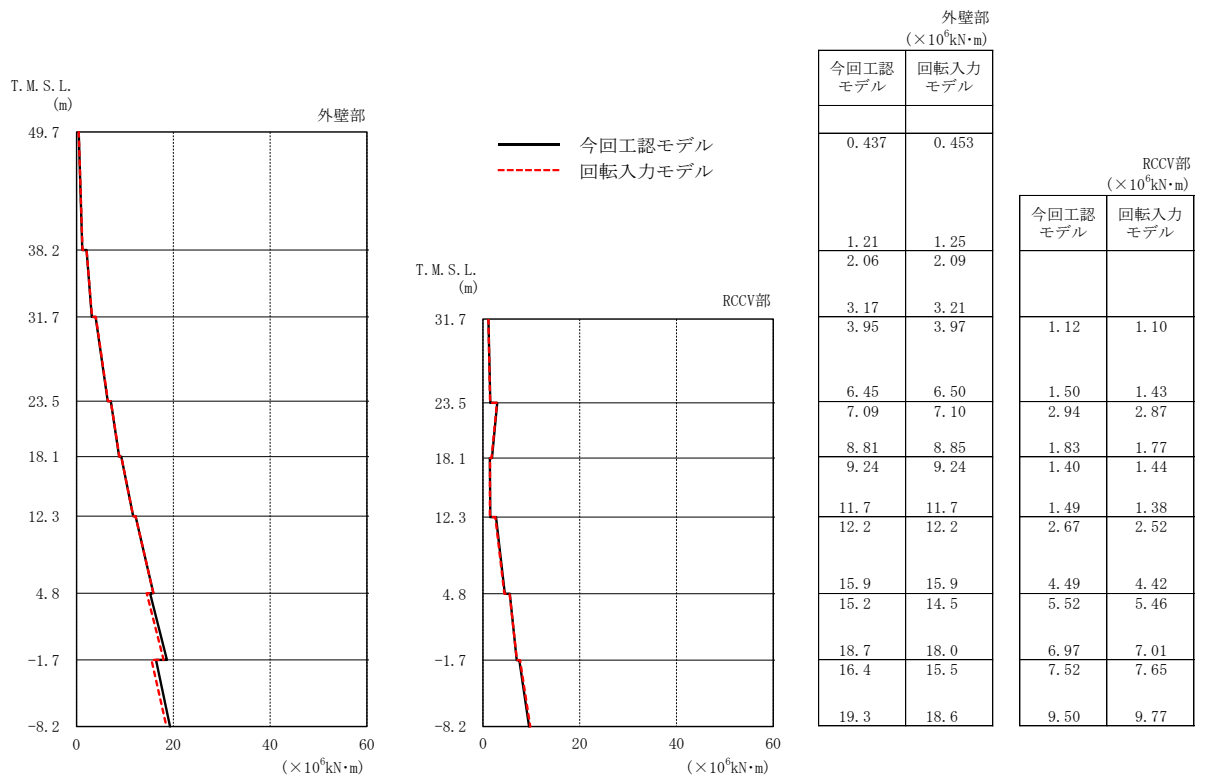


図 5-8 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW 方向)

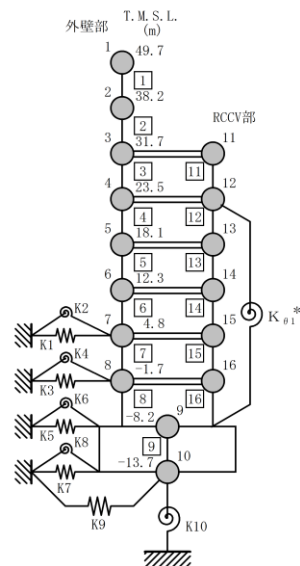


表 5-1 最大せん断ひずみ (NS 方向)

(a) 外壁部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)	
	今回工認モデル	回転入力モデル
1	0.147	0.144
2	0.170	0.168
3	0.171	0.174
4	0.361	0.363
5	0.388	0.389
6	0.406	0.410
7	0.528	0.587
8	0.225	0.251

(b) RCCV 部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)	
	今回工認モデル	回転入力モデル
11	0.0499	0.0531
12	0.130	0.124
13	0.149	0.147
14	0.189	0.199
15	0.388	0.430
16	0.189	0.194

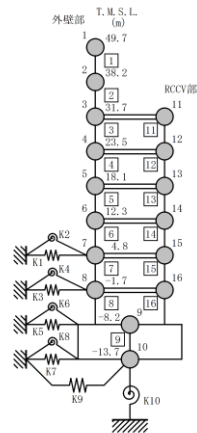
表 5-2 最大せん断ひずみ (EW 方向)

(a) 外壁部

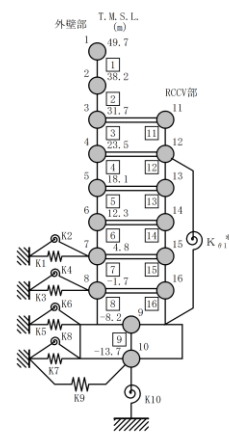
部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)	
	今回工認モデル	回転入力モデル
1	0.103	0.107
2	0.116	0.118
3	0.148	0.150
4	0.206	0.212
5	0.243	0.248
6	0.334	0.349
7	0.318	0.352
8	0.244	0.276

(b) RCCV 部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (Ss-1)	
	今回工認モデル	回転入力モデル
11	0.0292	0.0285
12	0.0848	0.0844
13	0.0982	0.0961
14	0.191	0.193
15	0.200	0.216
16	0.200	0.222



NS 方向



EW 方向

6. 床応答に対する影響

基準地震動 Ss-1 における今回工認モデルの床応答スペクトルと回転入力モデルの床応答スペクトルの比較を図 6-1 及び図 6-2 に示す。

図 6-1 及び図 6-2 に示すとおり，回転入力モデルの床応答スペクトルは，今回工認モデルの床応答スペクトルと同等であることを確認した。

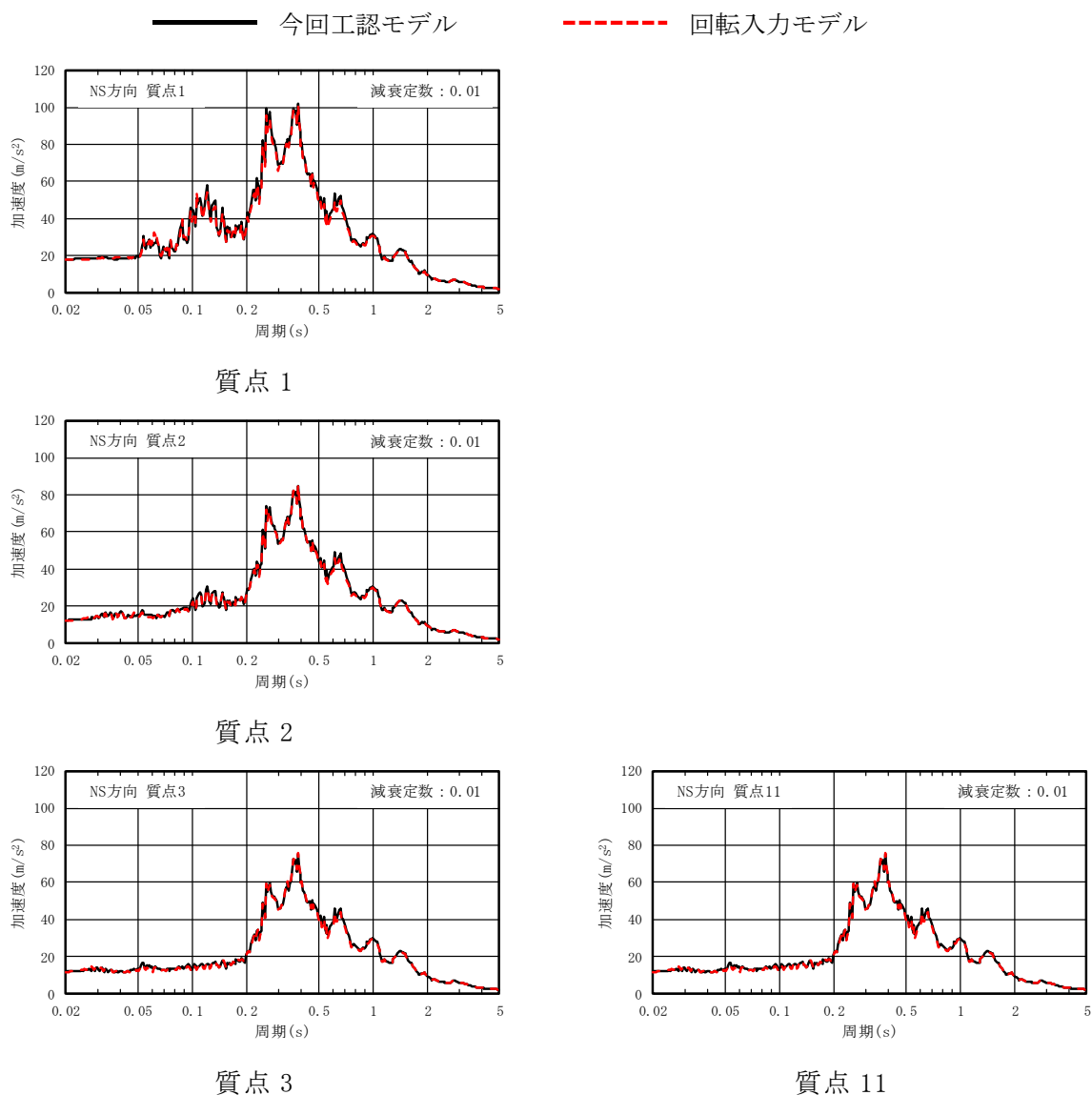
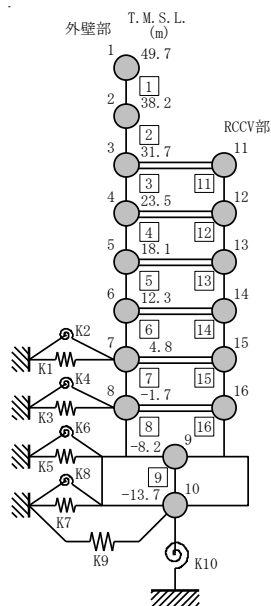


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (1/3)



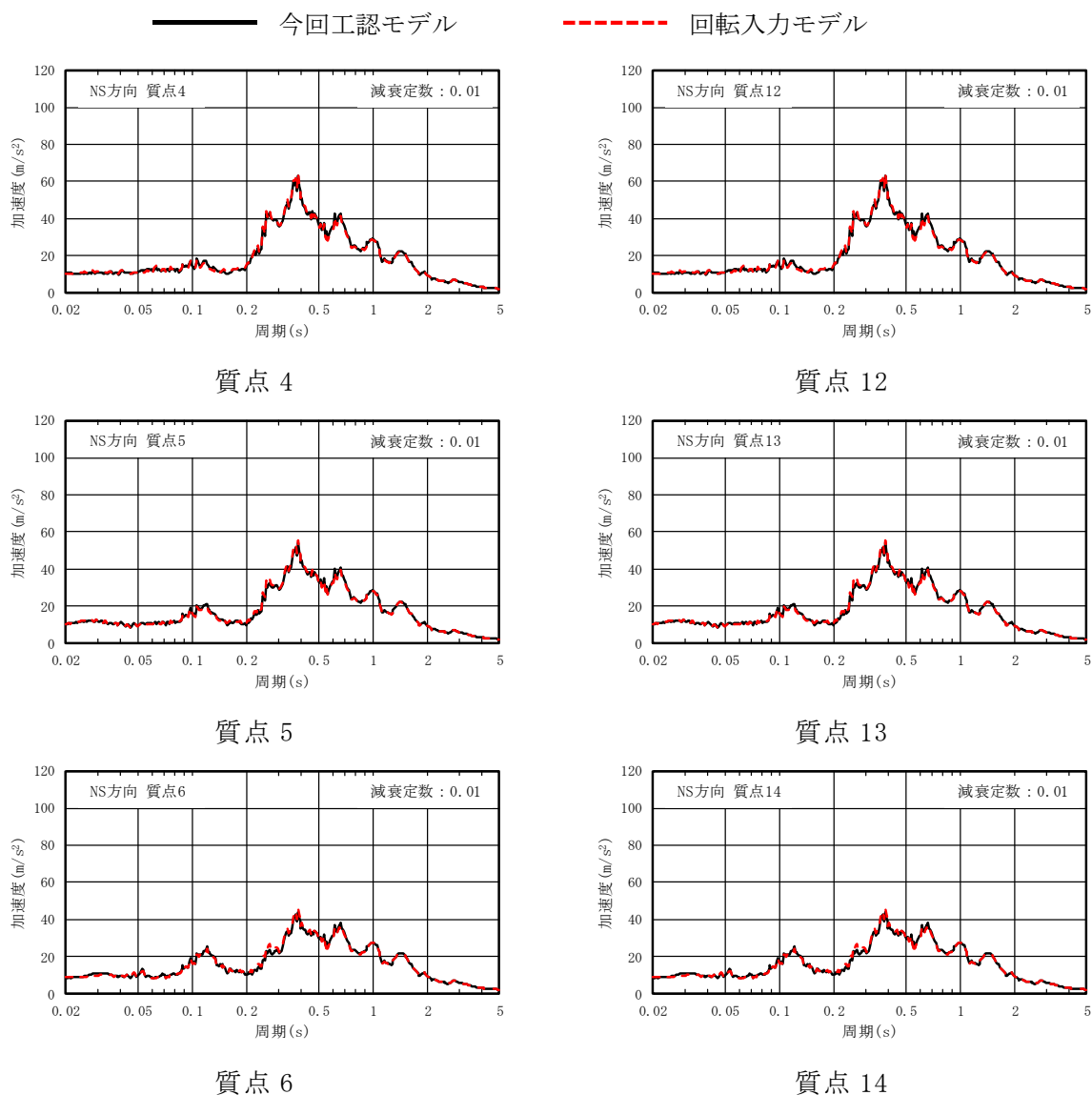
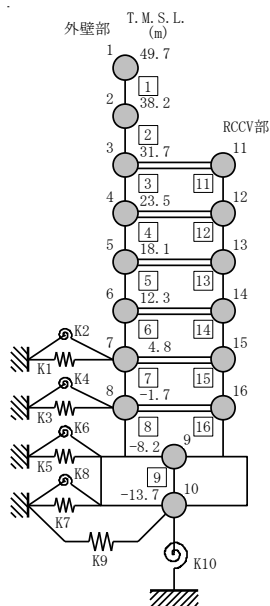


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (2/3)



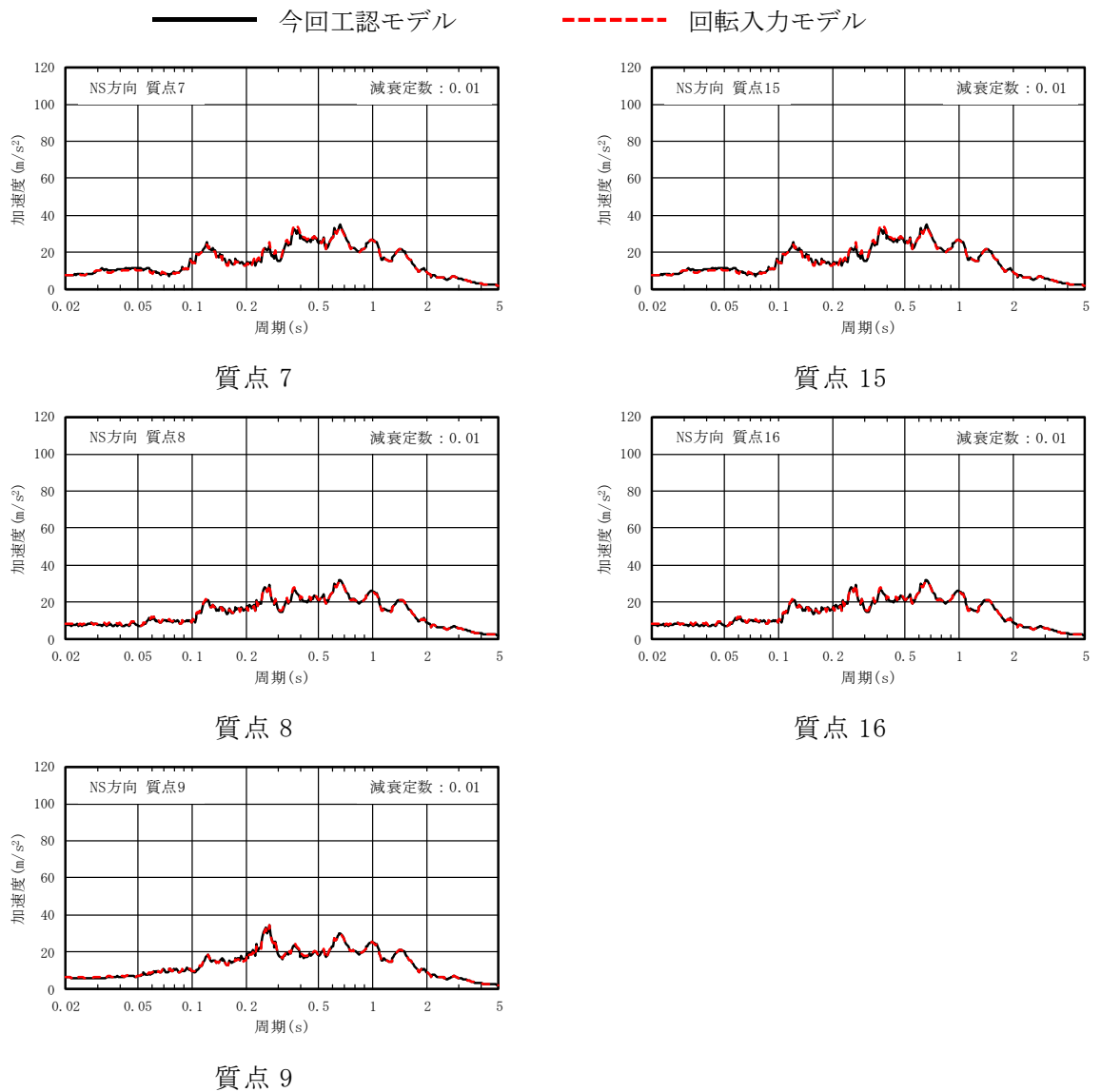
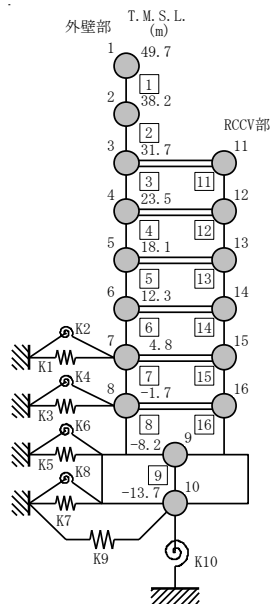


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (3/3)



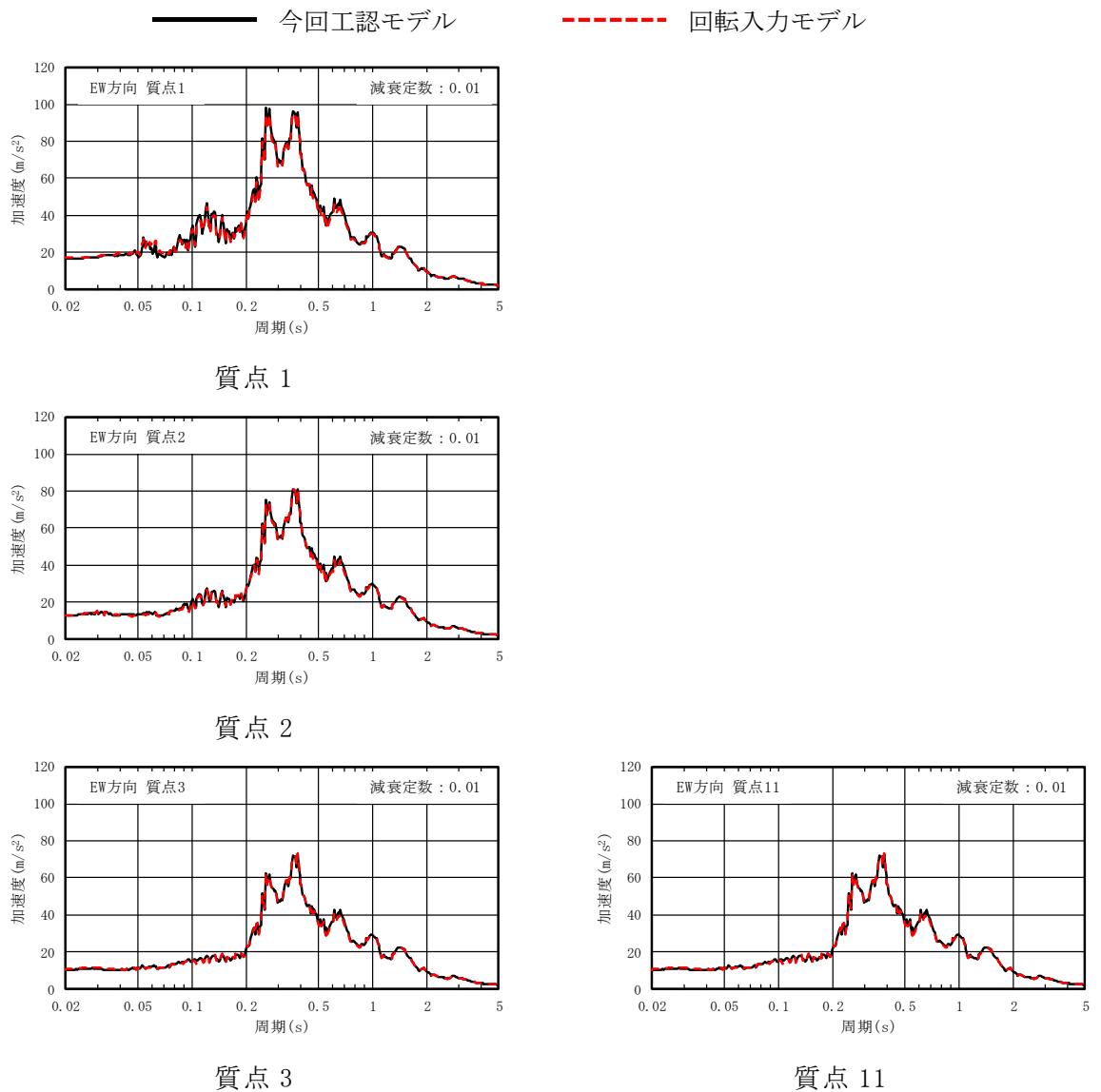
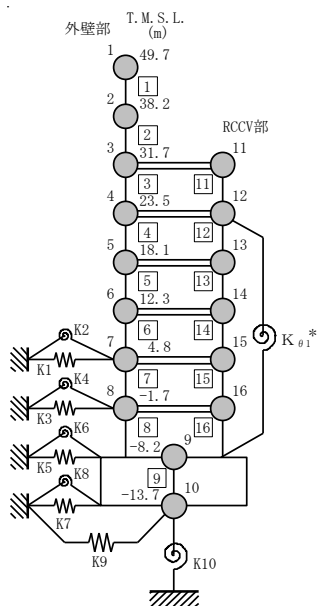


図 6-2 基準地震動 S_s-1 の床応答スペクトル比較 (S_s-1, EW 方向, h=0.01) (1/3)



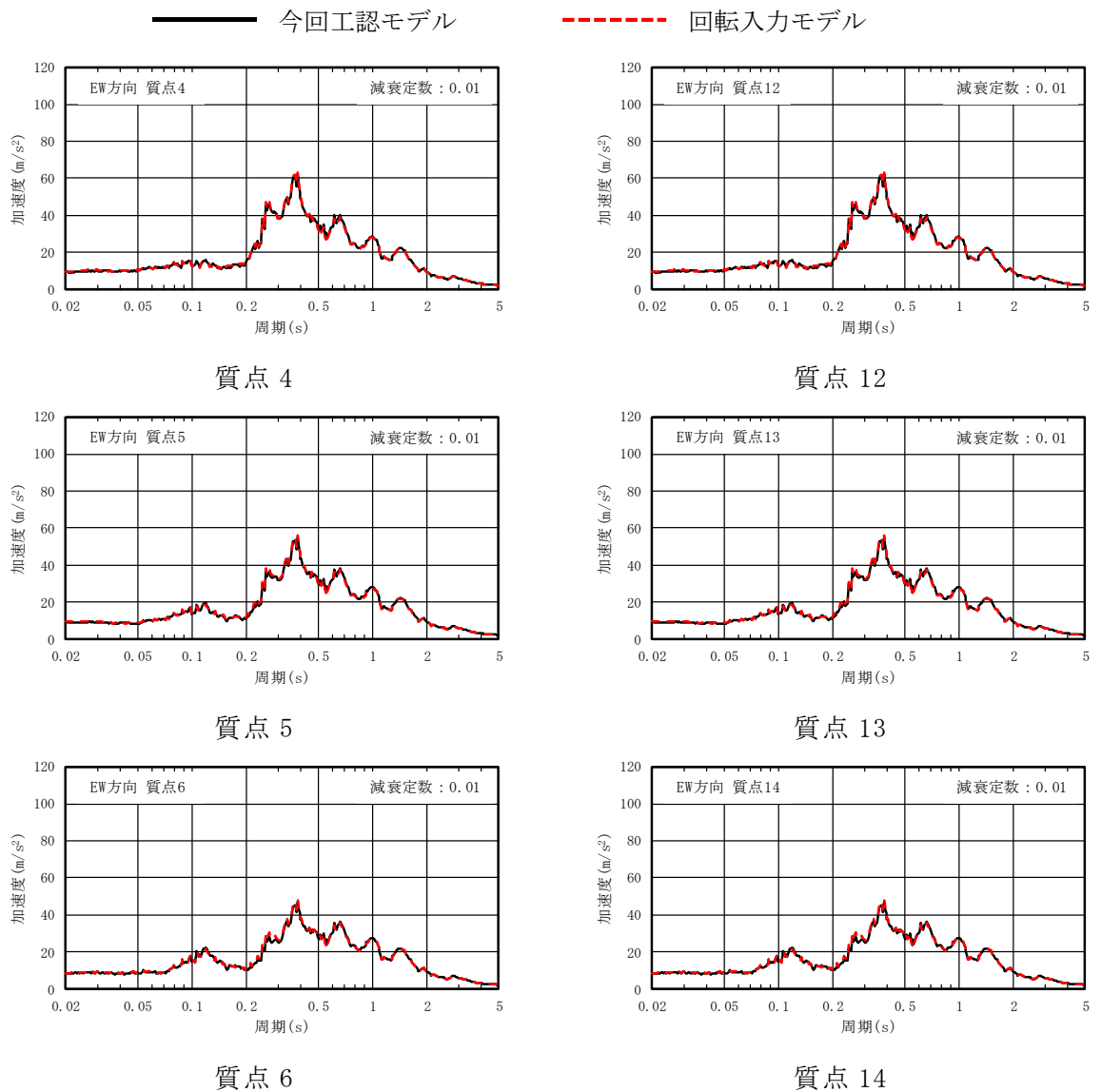
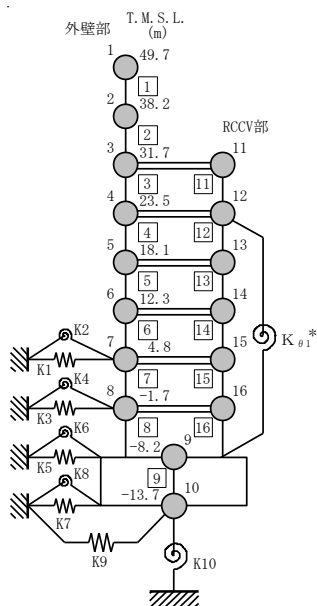


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (2/3)



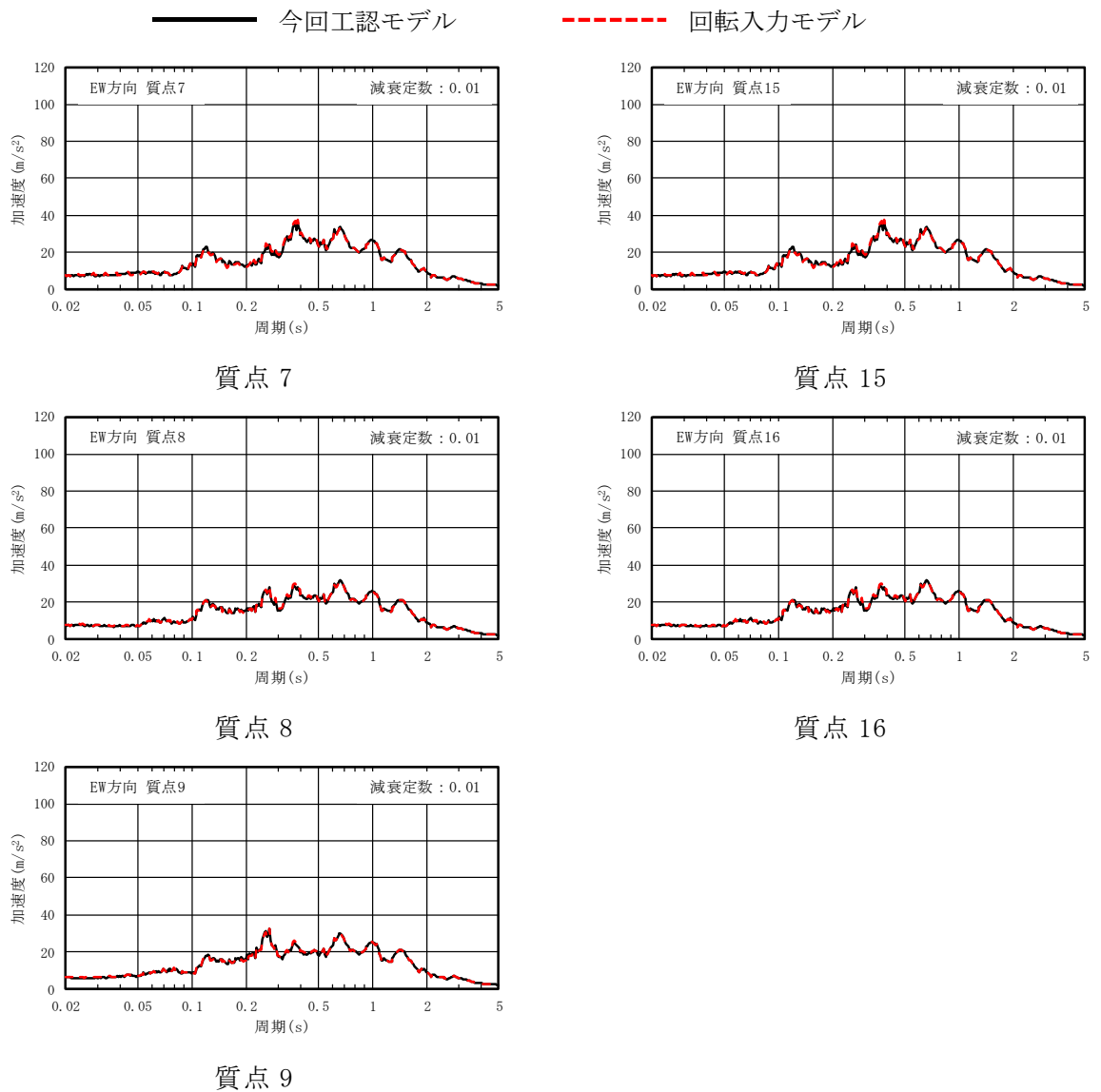
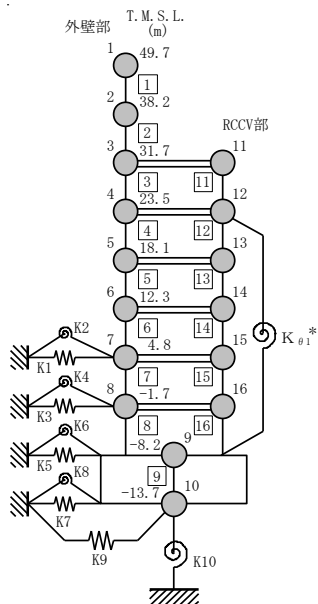


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (3/3)



7. まとめ

今回工認モデルは、周辺地盤を詳細に表現して側面地盤からの回転入力も考慮されるモデルよりも保守的な設定となっていることを確認した。

また、保守的なモデルである今回工認モデルに、さらに側面地盤からの回転入力を考慮した回転入力モデルを用いて、基準地震動 S_s-1 に対する地震応答解析を実施し、今回工認モデルを用いた結果と比較した。

その結果、回転入力モデルの最大応答値は、今回工認モデルの結果と同等の応答を示すことから、今回工認モデルは基本モデルとして妥当であることを確認した。

別紙11 原子炉建屋の地震応答解析における
表層地盤からの入力について

目 次

1. 概要	別紙 11-1
2. 地震応答解析モデルの妥当性の確認	別紙 11-2
3. 検討方針	別紙 11-7
4. 検討条件	別紙 11-8
4.1 表層地盤からの入力方法	別紙 11-8
4.2 解析モデル	別紙 11-9
5. 検討結果	別紙 11-13
5.1 固有値解析結果	別紙 11-13
5.2 最大応答値	別紙 11-15
6. 床応答に対する影響	別紙 11-25
7. まとめ	別紙 11-32

1. 概要

本資料は、原子炉建屋の地震応答解析における表層地盤からの入力について説明するものである。

2. 地震応答解析モデルの妥当性の確認

原子炉建屋の地震応答解析モデル（以下、「今回工認モデル」という。）は2007年新潟県中越沖地震時のシミュレーション解析結果を踏まえて設定している。別紙 1-2「原子炉建屋の地震応答解析モデルについて」では、表 2-1 に示すとおり、既工認手法及び既工認手法の表層地盤ばねを無視したモデルでの地震応答解析結果と観測記録とを比較している。図 2-1 及び図 2-2 に示すとおり、表層地盤ばねを無視することで既工認手法と比べ、加速度応答スペクトル及び最大応答加速度の観測記録との整合性が向上し、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価できることを確認している。

また、別紙 1-6「表層ばねの取扱いについて」では、図 2-3 に示すように、基準地震動 S_s-1 に対する地盤の等価線形解析を実施しており、表層地盤において剛性が急激に低下しており、有効ひずみが大きくなっていることから、表層地盤では建屋－地盤連成効果は見込めないことを確認している。

以上のことから、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価できる今回工認モデルは基本モデルとして妥当であると考えられる。

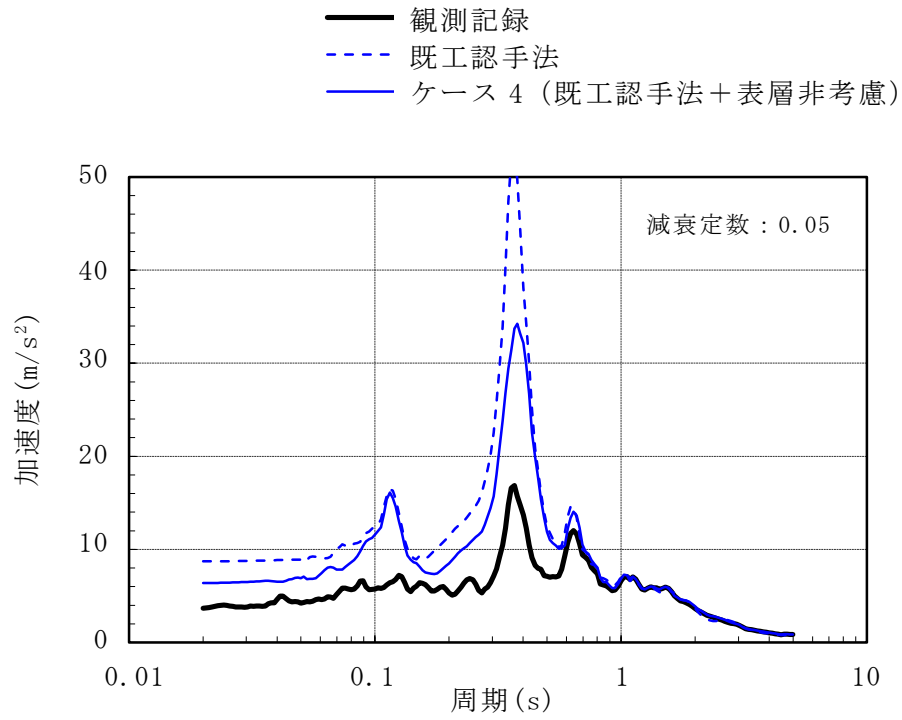
なお、次章以降で表層地盤では建屋－地盤連成効果を考慮しないことが適切である今回工認モデルに対して仮に表層地盤からの入力を考慮した場合の影響について確認する。

表 2-1 パラメータスタディケース（別紙 1-2 表 3-1 に一部追記）

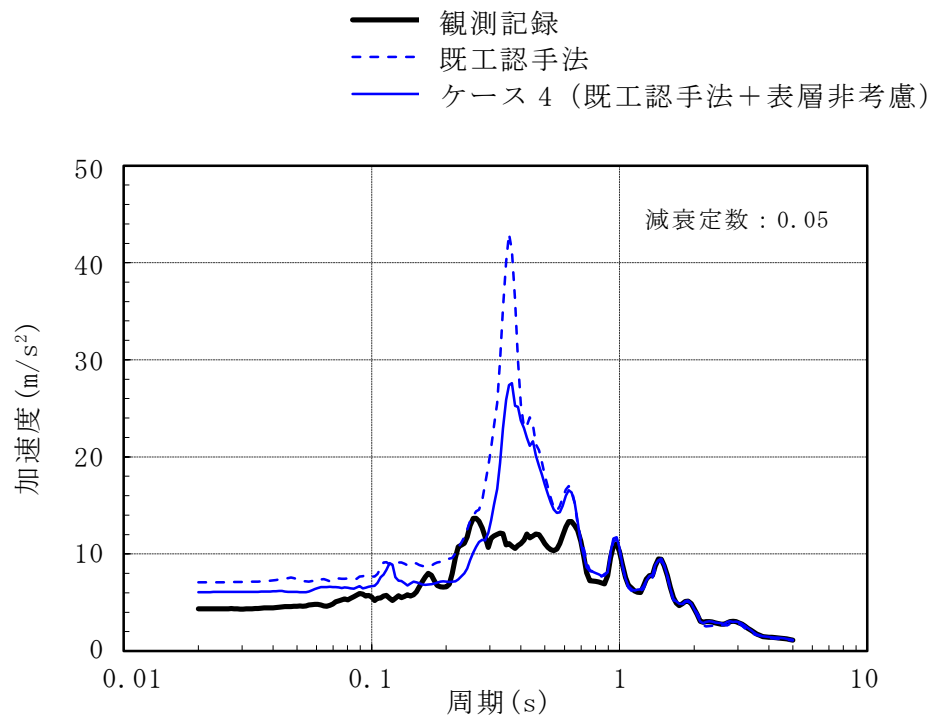
ケース名	建屋モデル		地盤モデル	
	コンクリートのヤング係数	剛性を考慮する部位	側面ばね	表層部での建屋-地盤相互作用
既工認手法に基づく解析モデル	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	考慮
ケース1 実剛性考慮	実剛性*	耐震壁	水平	考慮
ケース2 補助壁考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁+補助壁	水平	考慮
ケース3 側面回転ばね	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平・回転	考慮
ケース4 表層非考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	非考慮
シミュレーション解析モデル (ケース1~4の項目を全て反映したモデル)	実剛性*	耐震壁+補助壁	水平・回転 (表層無視)	非考慮

注記*：本シミュレーション解析においては、建設時の取得データを基に文献調査等を踏まえて経年による強度増進効果を加味して設定した推定実強度（49.0N/mm²（500kgf/cm²））に基づく剛性を使用する。なお、今回工認では、妥当性、信頼性の観点から、建設時の91日強度の平均値に相当する値（43.1N/mm²（440kgf/cm²））をコンクリート実強度として剛性を算定する。

注：網掛け部は本資料の図2-1及び図2-2に結果を示すケースを示す。

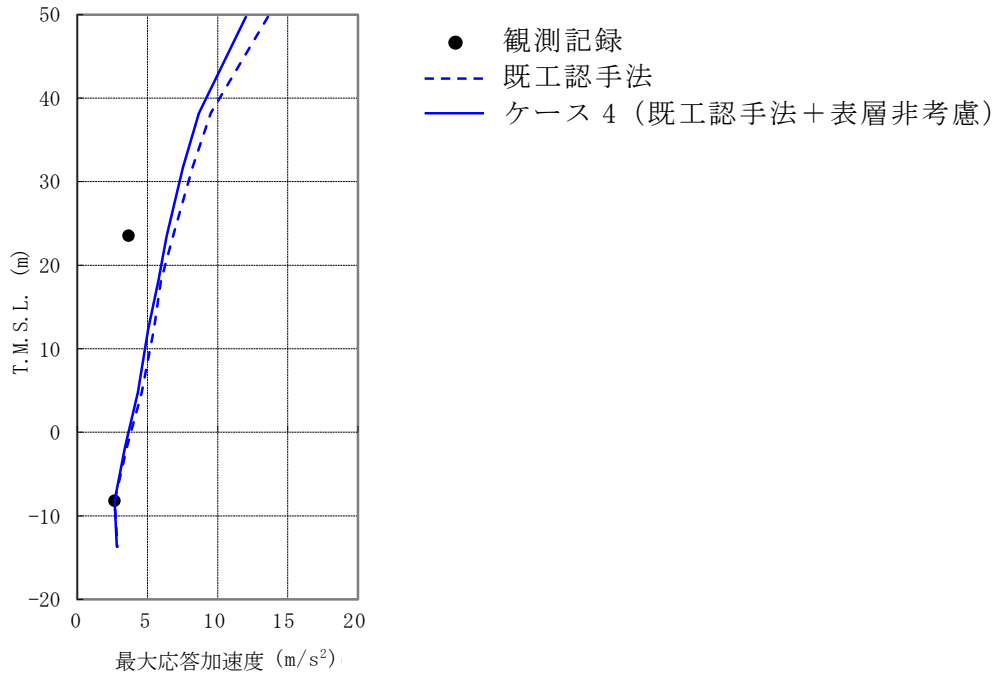


(a) NS方向

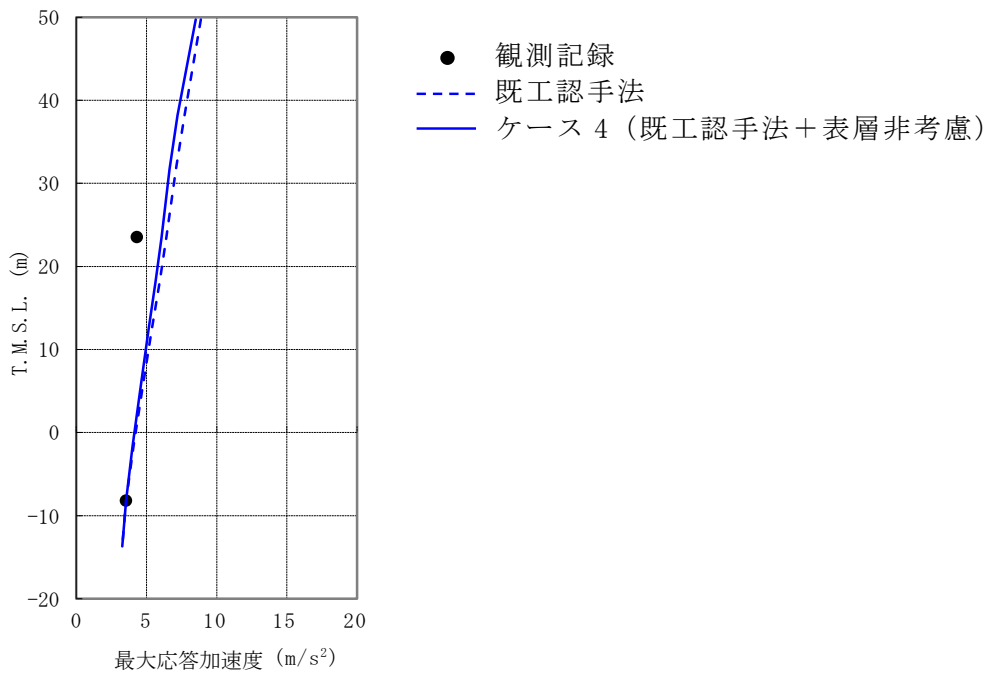


(b) EW方向

図 2-1 加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L. 23.5m) (別紙 1-2 図 3-11 再掲)

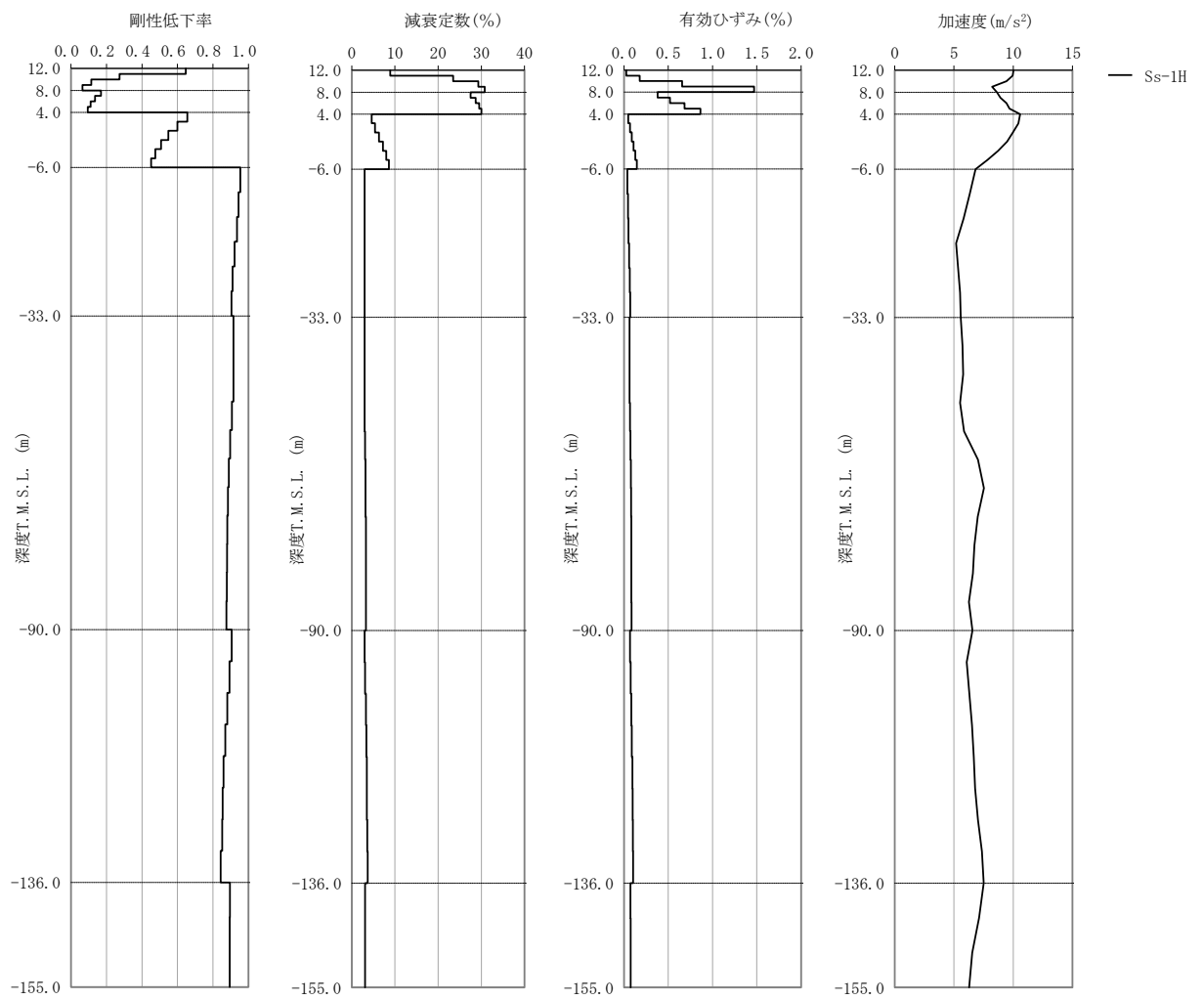


(a) NS方向



(b) EW方向

図 2-2 最大応答加速度の比較 (別紙 1-2 図 3-12 再掲)



注：T.M.S.L. 4.0m～12.0mが表層部に該当。

図 2-3 地盤の等価線形解析結果 (Ss-1) (別紙 1-6 図 3-1 再掲)

3. 検討方針

今回工認モデルと表層地盤からの入力を考慮したモデル（以下、「表層入力モデル」という。）を比較することにより、表層地盤からの入力による建屋応答への影響を確認する。

なお、地震応答解析は、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 Ss-1 に対して実施することとする。

4. 検討条件

4.1 表層地盤からの入力方法

表層地盤からの入力は、今回工認モデルに表層地盤水平ばねを新たに取り付けた表層入力モデルを作成し、表層地盤水平ばねの取り付く質点に表層地盤の応答を入力することで考慮する。また、表層地盤水平ばねを取り付けたことによる固有値解析結果への影響を考慮した地盤ばね定数を算定し、表層入力モデルに考慮する。なお、別紙1-5「建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性について」に示すとおり、側面地盤回転ばねは建屋地下外壁と地盤間のせん断力伝達による建屋拘束効果を模擬しているところ、別紙1-6「表層ばねの取扱いについて」に示すとおり、表層地盤では建屋－地盤連成効果は見込めないため、表層地盤回転ばねは取り付けない。

4.2 解析モデル

地震応答解析モデルを図 4-1 に，地盤ばね定数を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

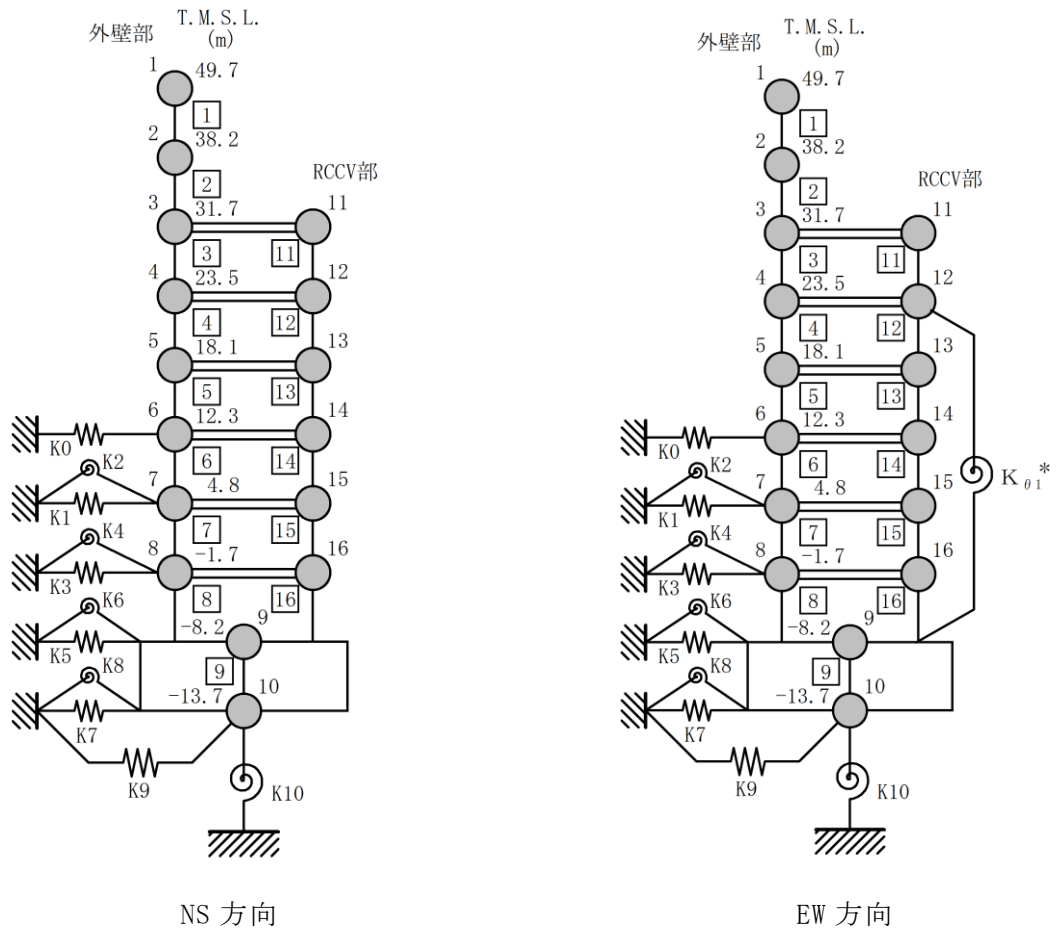


図 4-1 地震応答解析モデル

表 4-1 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1, NS 方向)

(a) 表層入力モデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K0	6	側面・並進	1.38×10^5	1.39×10^5
K1	7	側面・並進	1.22×10^6	5.83×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.05×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	3.98×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.96×10^8
K9	10	底面・並進	7.28×10^7	2.82×10^6
K10	10	底面・回転	7.06×10^{10}	6.02×10^8

注記*1 : K0, K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

*2 : K0, K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

(b) 今回工認モデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.25×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.05×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	3.98×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.96×10^8
K9	10	底面・並進	7.28×10^7	2.82×10^6
K10	10	底面・回転	7.06×10^{10}	6.02×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

表 4-2 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1, EW 方向)

(a) 表層入力モデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K0	6	側面・並進	1.38×10^5	1.39×10^5
K1	7	側面・並進	1.22×10^6	5.85×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.06×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.81×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	4.01×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.61×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.98×10^8
K9	10	底面・並進	7.25×10^7	2.80×10^6
K10	10	底面・回転	7.60×10^{10}	7.05×10^8

注記*1 : K0, K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

*2 : K0, K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

(b) 今回工認モデル

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.26×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.06×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.81×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	4.00×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.97×10^8
K9	10	底面・並進	7.25×10^7	2.80×10^6
K10	10	底面・回転	7.60×10^{10}	7.01×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

5. 検討結果

5.1 固有値解析結果

表層入力モデルと今回工認モデルの固有値解析結果（固有周期及び固有振動数）の比較を表 5-1 に示す。

表層入力モデルの固有周期は，今回工認モデルの結果と同等であることを確認した。

表 5-1 固有値解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認モデル	表層入力モデル	今回工認モデル	表層入力モデル
1	0.439	0.438	2.28	2.28
2	0.192	0.192	5.20	5.20
3	0.091	0.091	11.03	11.03
4	0.078	0.078	12.88	12.88
5	0.077	0.077	12.98	12.98

(b) EW 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認モデル	表層入力モデル	今回工認モデル	表層入力モデル
1	0.429	0.428	2.33	2.34
2	0.191	0.191	5.23	5.24
3	0.082	0.082	12.16	12.16
4	0.077	0.077	12.97	12.97
5	0.071	0.071	14.02	14.02

5.2 最大応答値

基準地震動 Ss-1 による最大応答値を図 5-1～図 5-8 に，最大せん断ひずみを表 5-2 及び表 5-3 に示す。

表層入力モデルの最大応答値は，今回工認モデルの結果と同等であることを確認した。

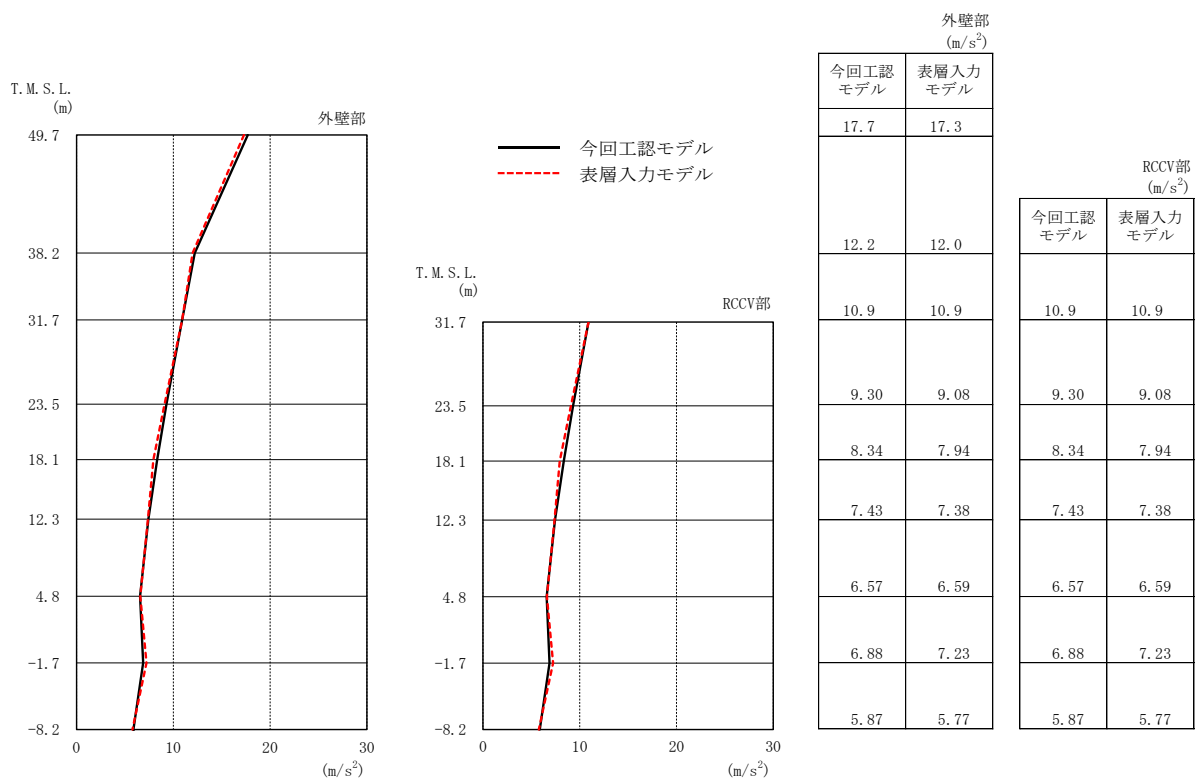
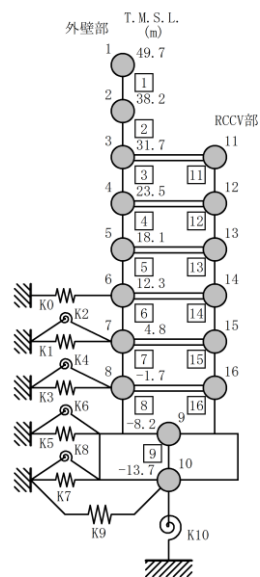


図 5-1 最大応答加速度 (Ss-1, NS 方向)



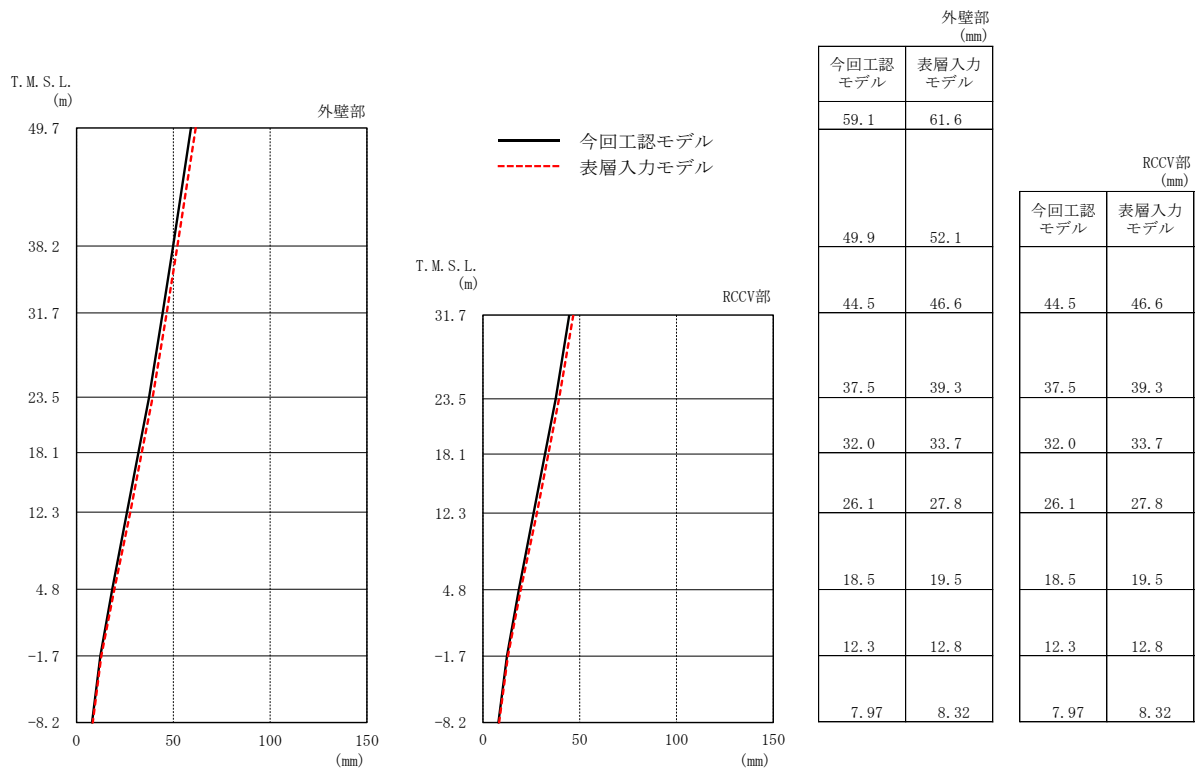
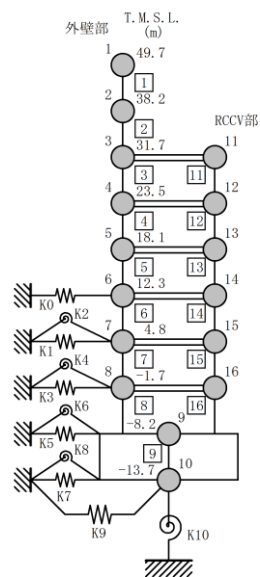


図 5-2 最大応答変位 (Ss-1, NS 方向)



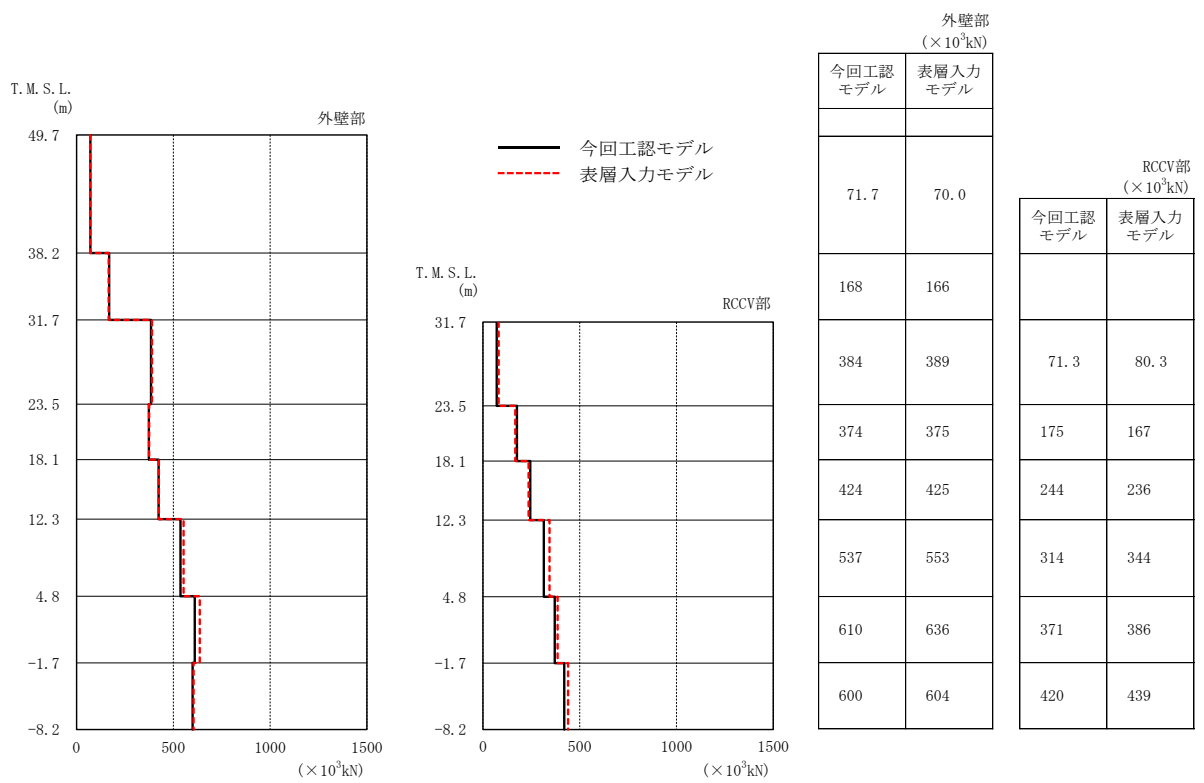
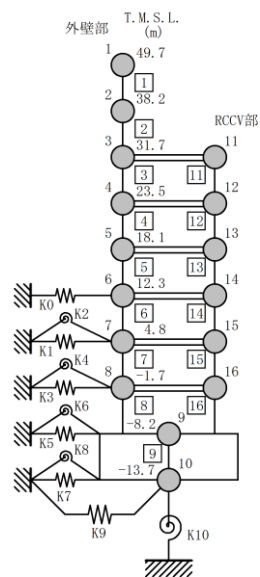


図 5-3 最大応答せん断力 (Ss-1, NS 方向)



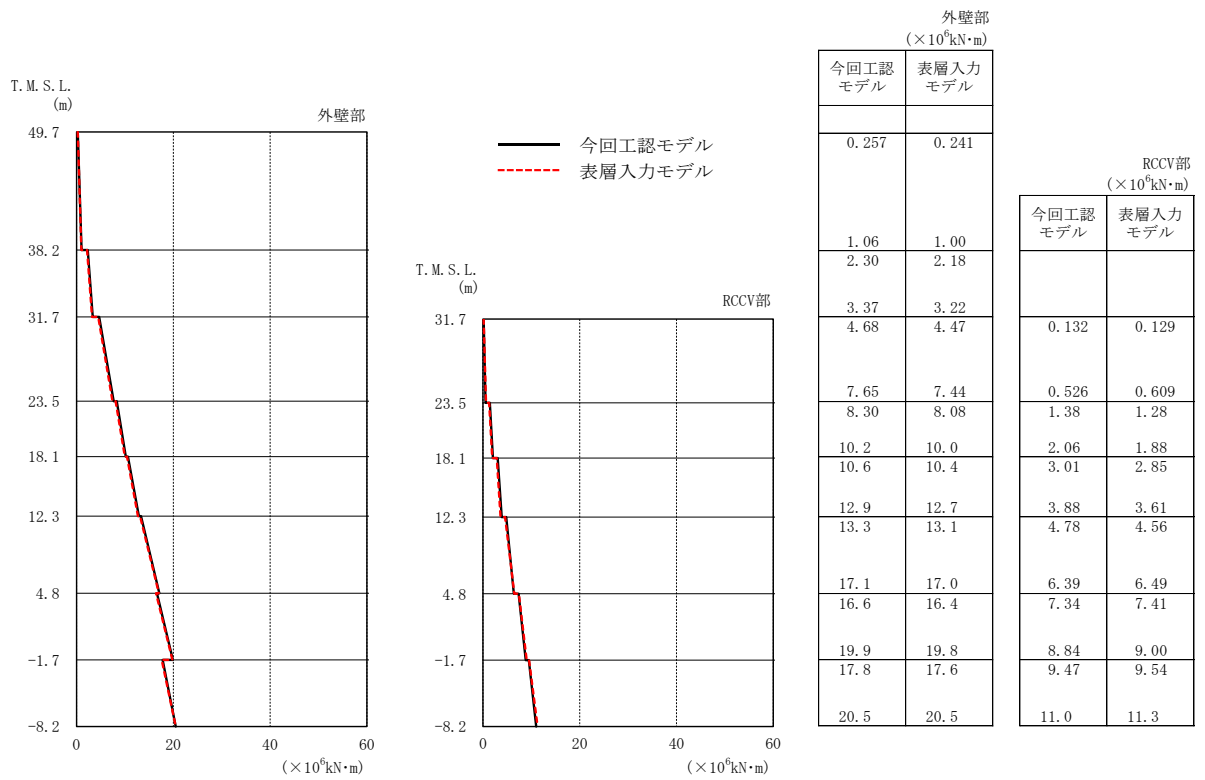
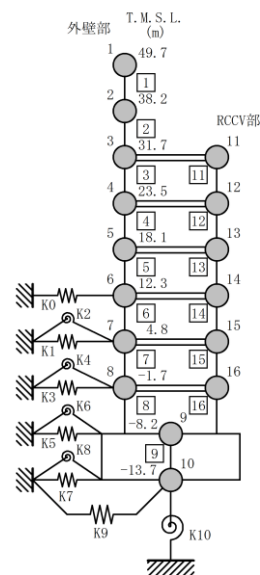


図 5-4 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS 方向)



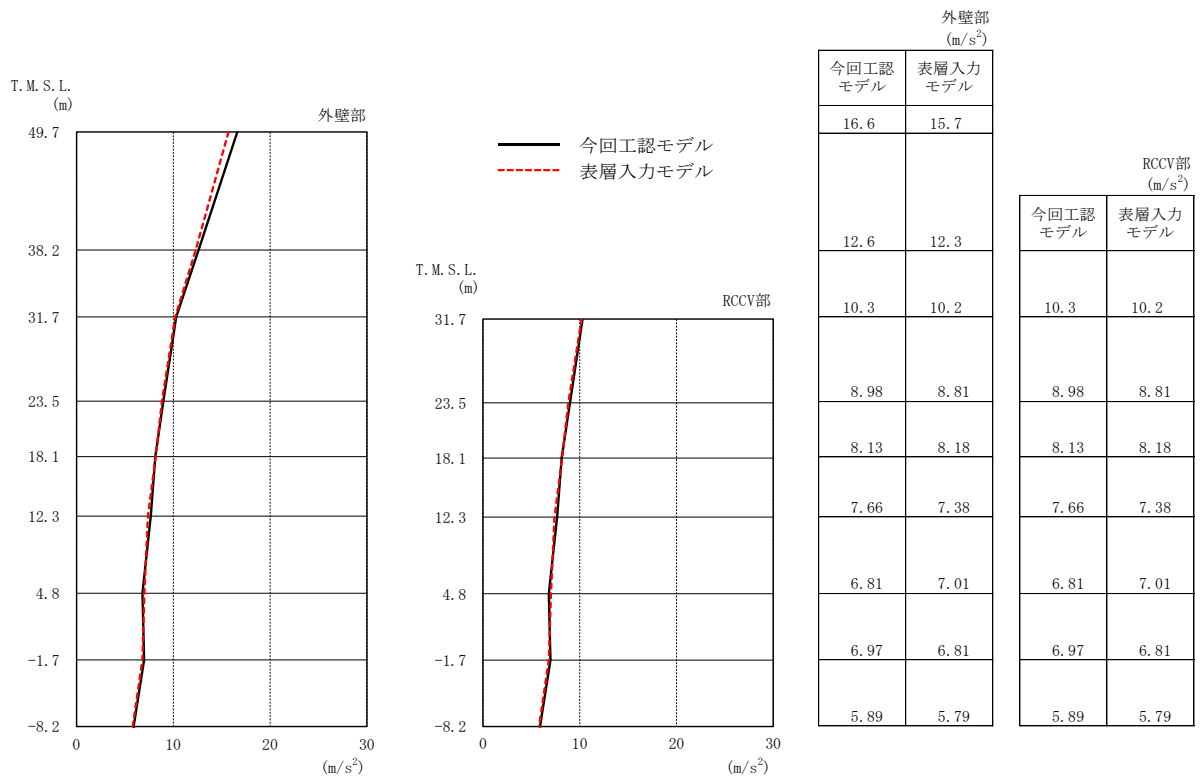
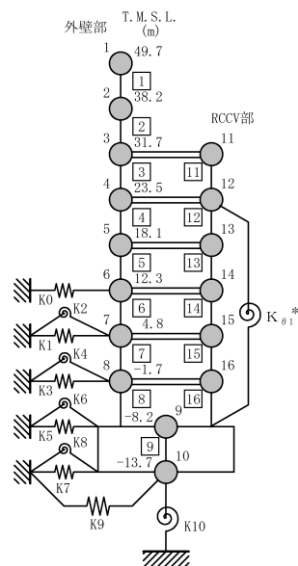


図 5-5 最大応答加速度 (Ss-1, EW 方向)



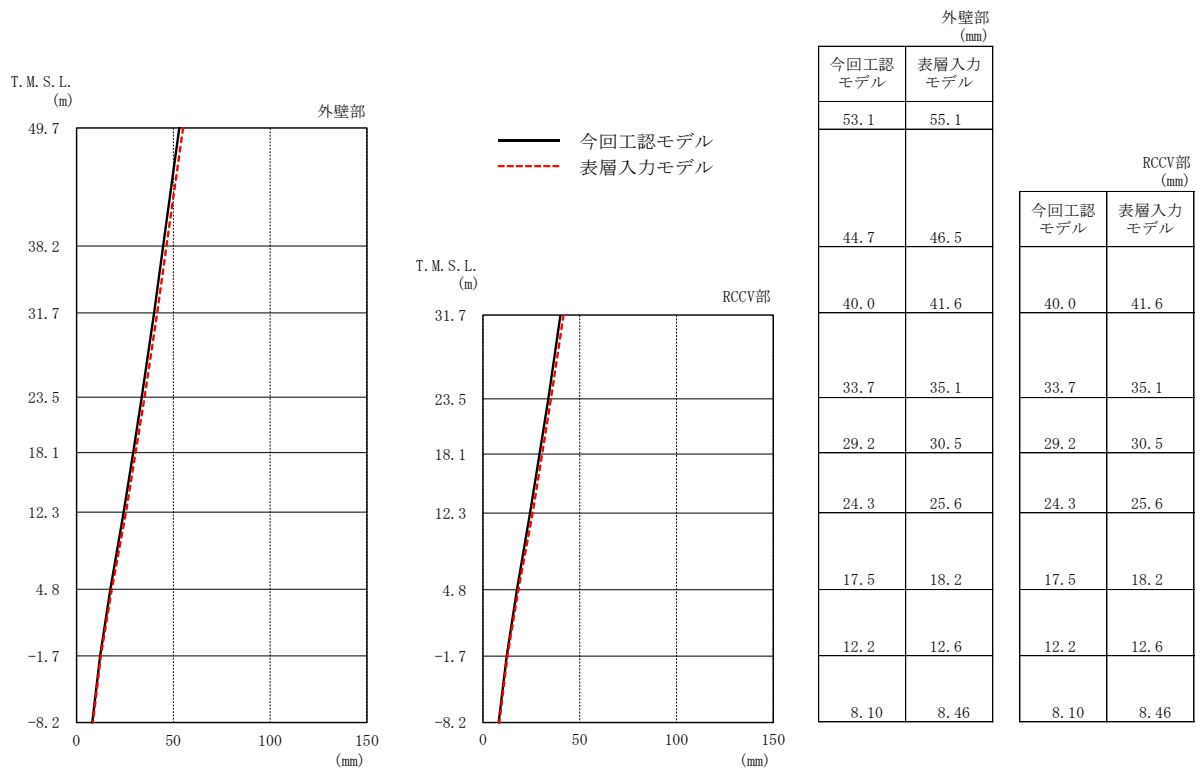
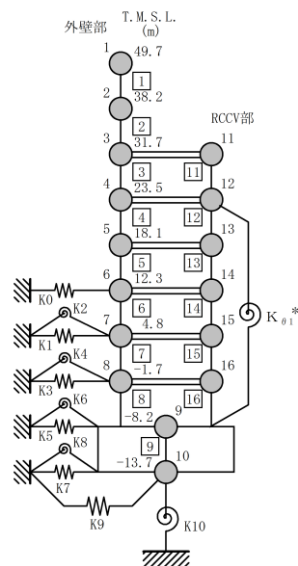


図 5-6 最大応答変位 (Ss-1, EW 方向)



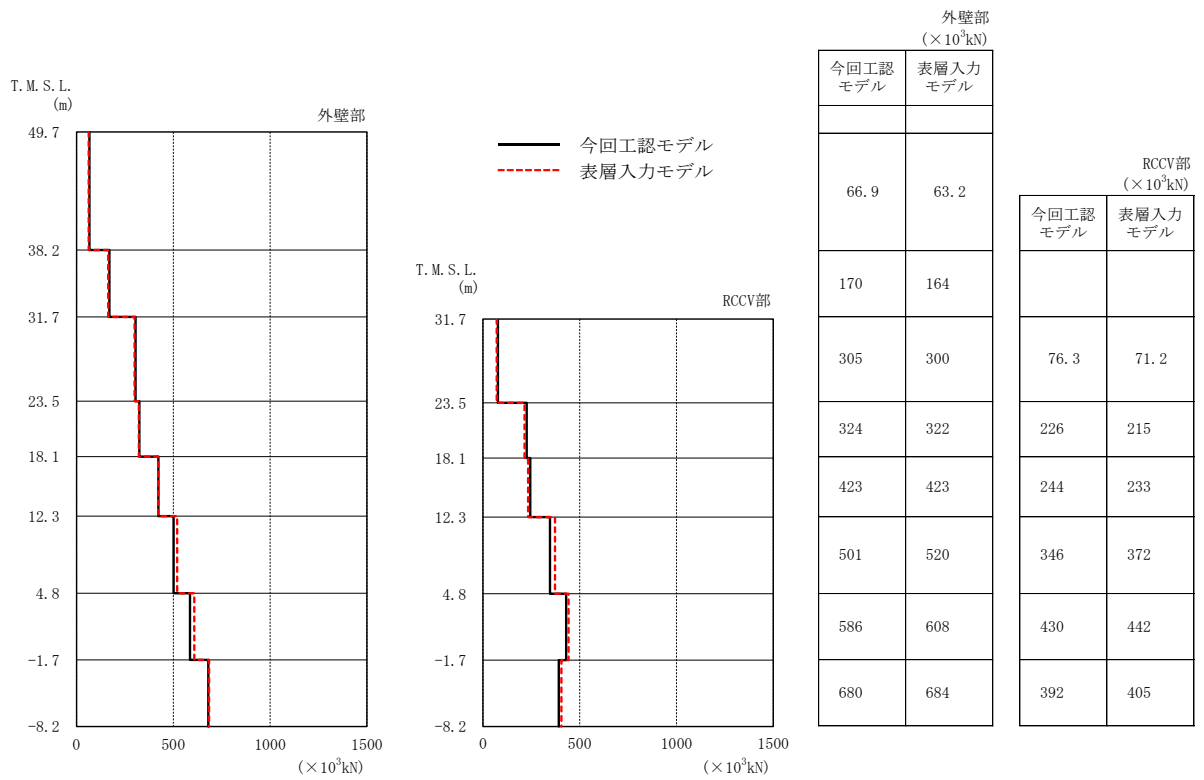
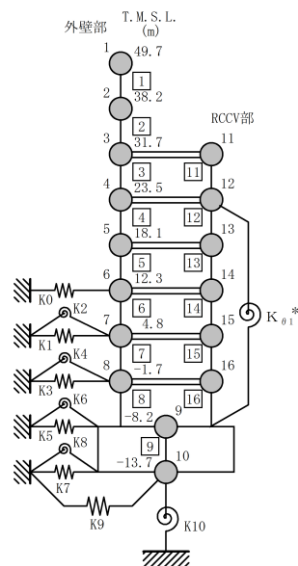


図 5-7 最大応答せん断力 (Ss-1, EW 方向)



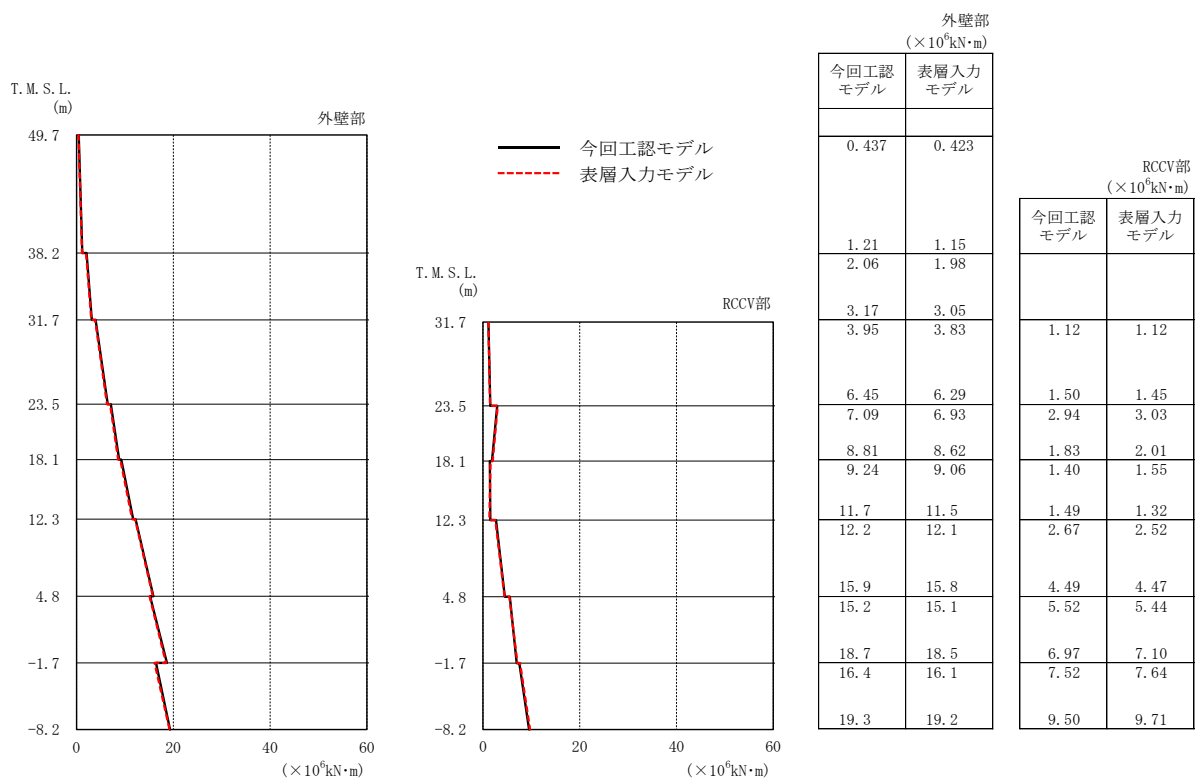


図 5-8 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW 方向)

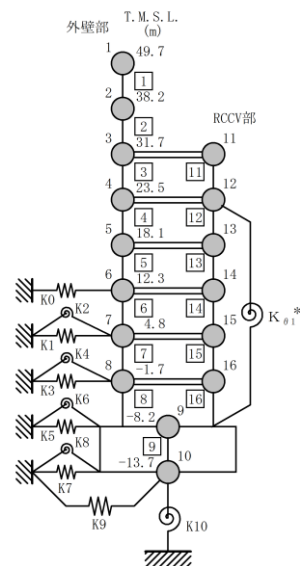


表 5-2 最大せん断ひずみ (NS 方向)

(a) 外壁部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (S_s-1)	
	今回工認 モデル	表層入力 モデル
1	0.147	0.143
2	0.170	0.168
3	0.171	0.174
4	0.361	0.364
5	0.388	0.393
6	0.406	0.452
7	0.528	0.597
8	0.225	0.235

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (S_s-1)	
	今回工認 モデル	表層入力 モデル
11	0.0499	0.0562
12	0.130	0.124
13	0.149	0.144
14	0.189	0.238
15	0.388	0.447
16	0.189	0.198

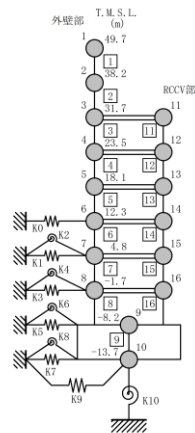
表 5-3 最大せん断ひずみ (EW 方向)

(a) 外壁部

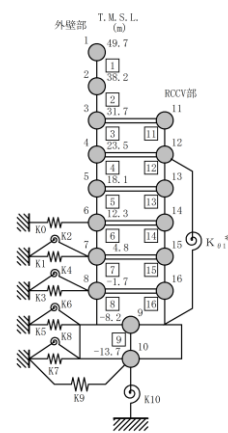
部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (S_s-1)	
	今回工認 モデル	表層入力 モデル
1	0.103	0.0966
2	0.116	0.112
3	0.148	0.146
4	0.206	0.205
5	0.243	0.244
6	0.334	0.384
7	0.318	0.374
8	0.244	0.252

(b) RCCV 部

部材 番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$) (S_s-1)	
	今回工認 モデル	表層入力 モデル
11	0.0292	0.0272
12	0.0848	0.0806
13	0.0982	0.0941
14	0.191	0.231
15	0.200	0.244
16	0.200	0.208



NS 方向



EW 方向

6. 床応答に対する影響

基準地震動 Ss-1 における今回工認モデルの床応答スペクトルと表層入力モデルの床応答スペクトルの比較を図 6-1 及び図 6-2 に示す。

図 6-1 及び図 6-2 に示すとおり，表層入力モデルの床応答スペクトルは，今回工認モデルの床応答スペクトルと同等であることを確認した。

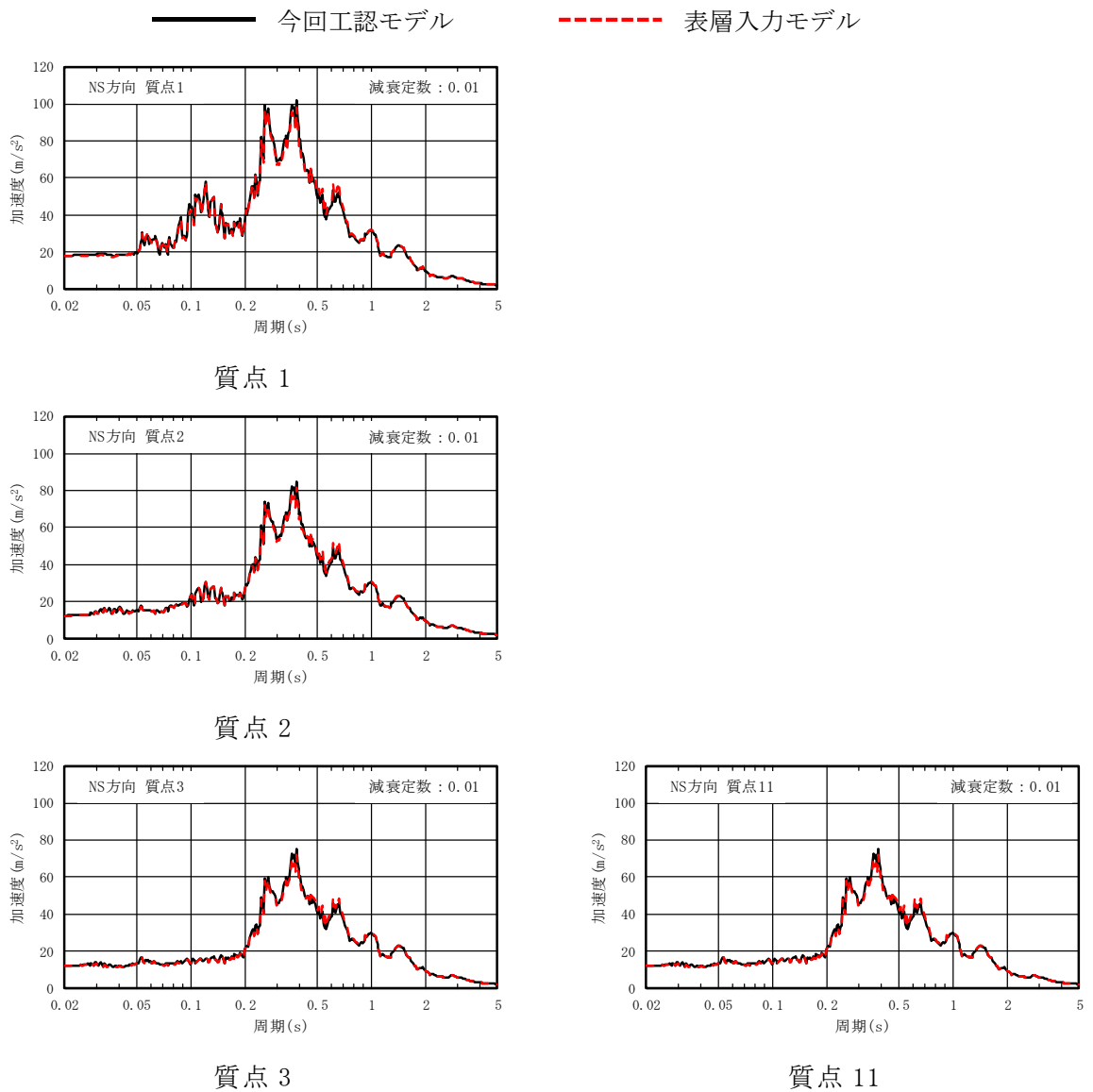
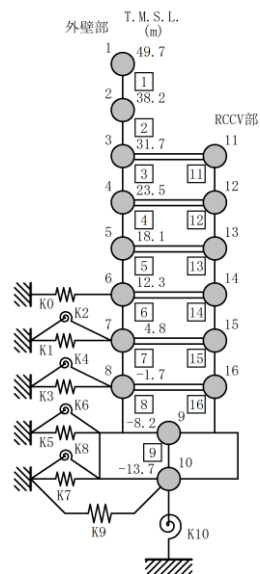


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (1/3)



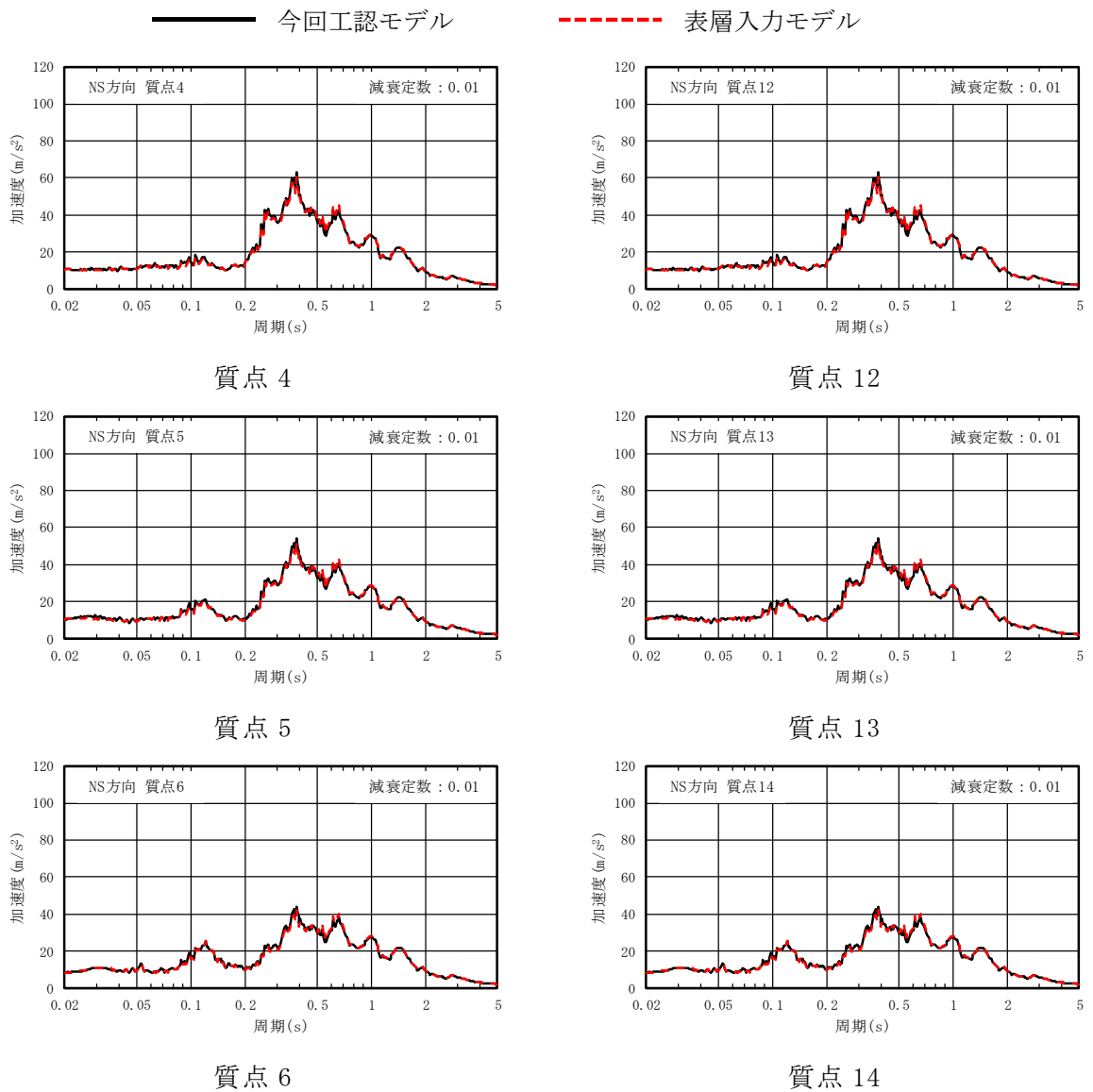
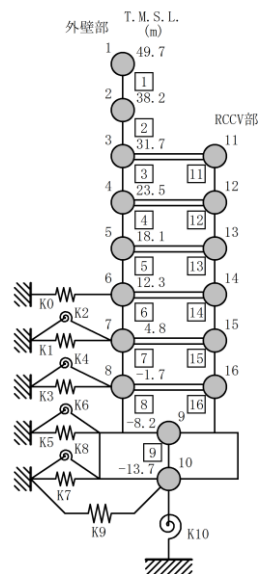


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (2/3)



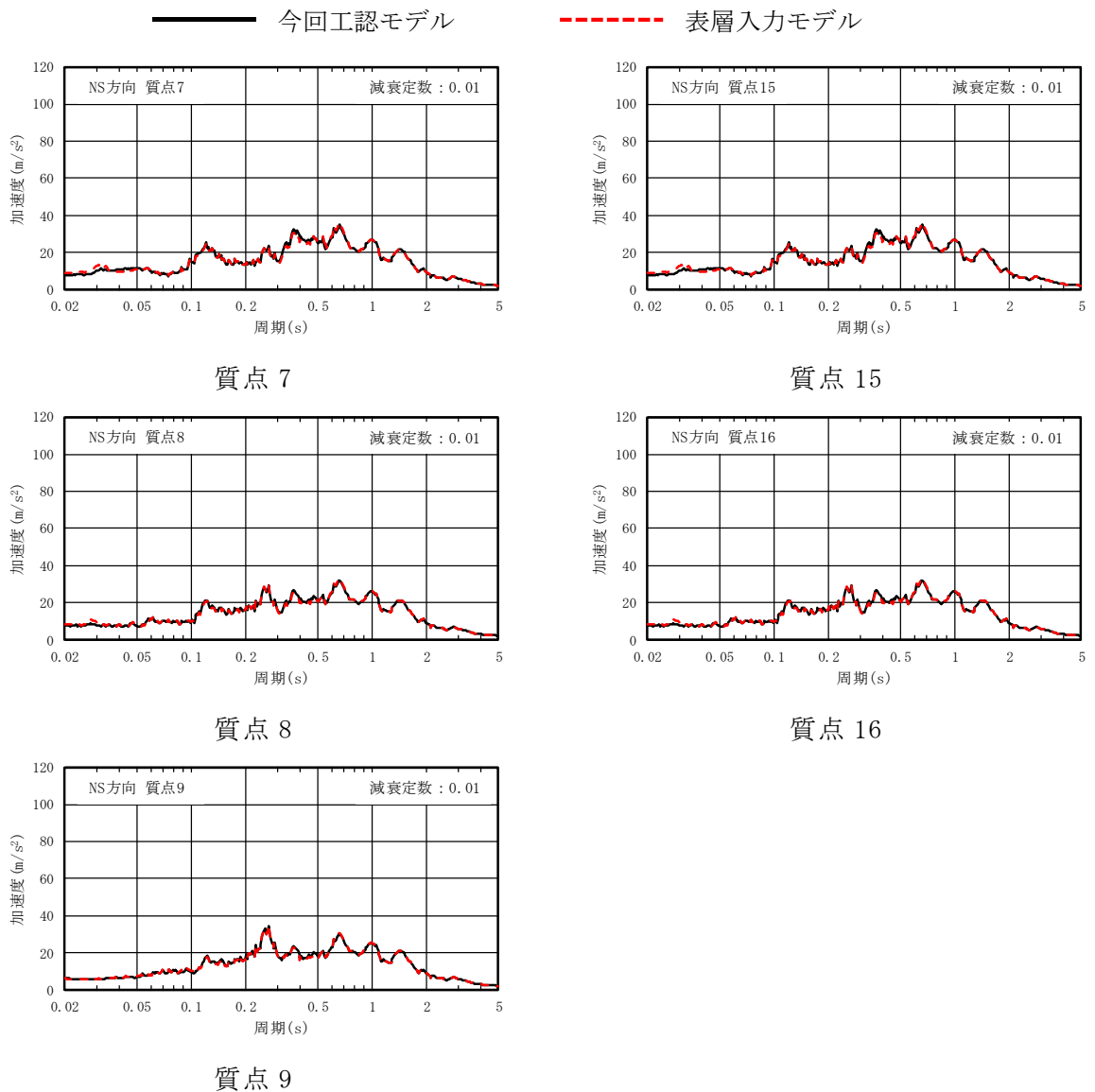
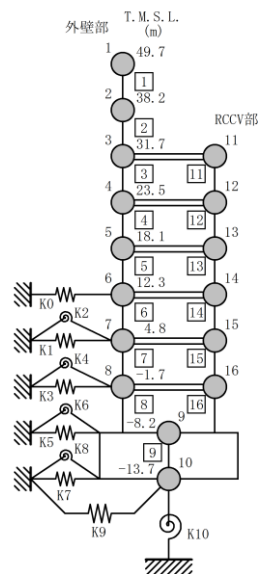


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (3/3)



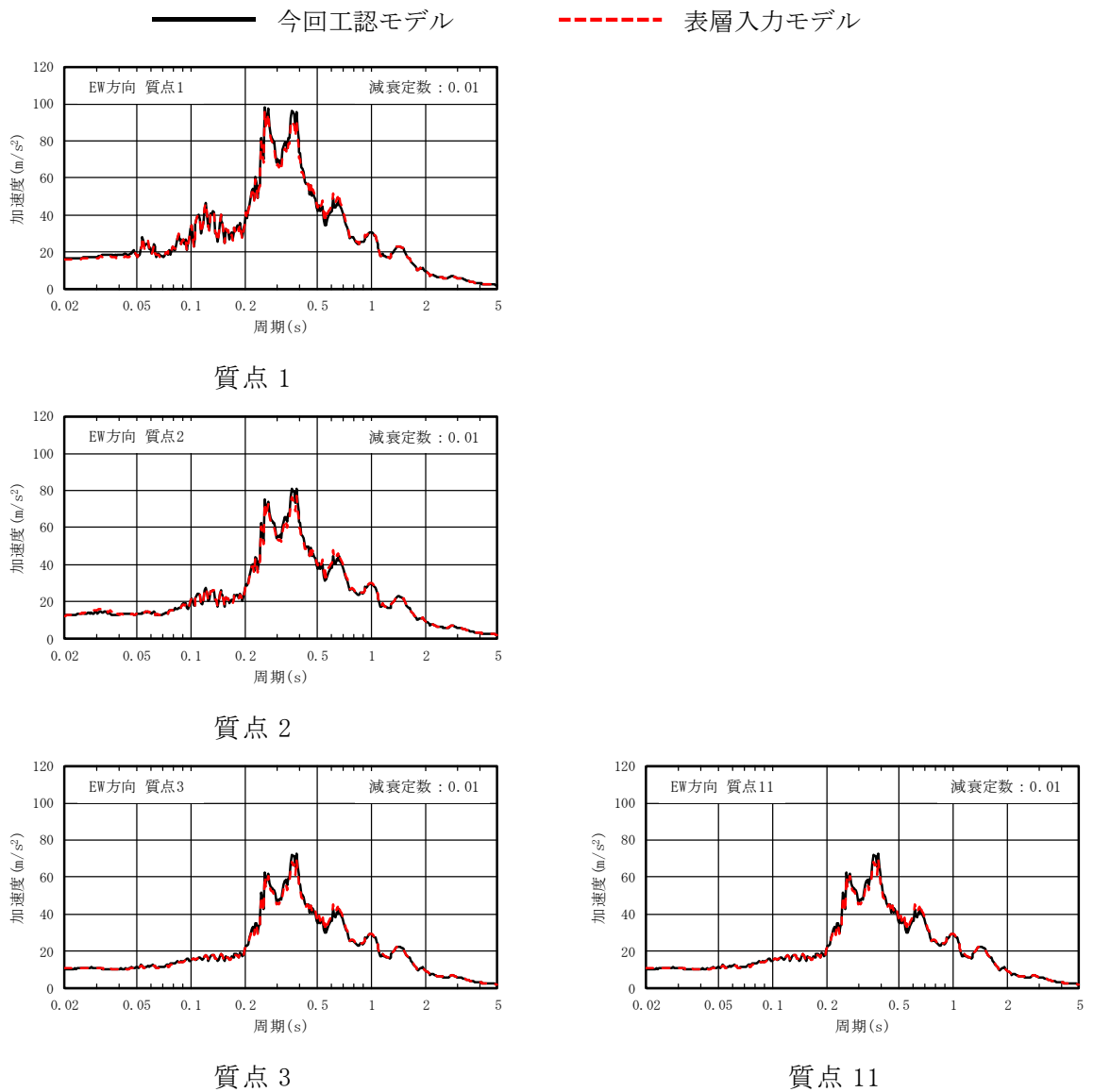
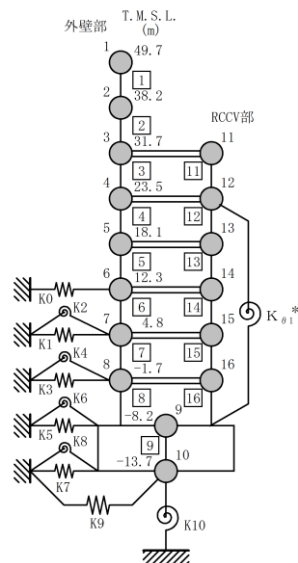


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (1/3)



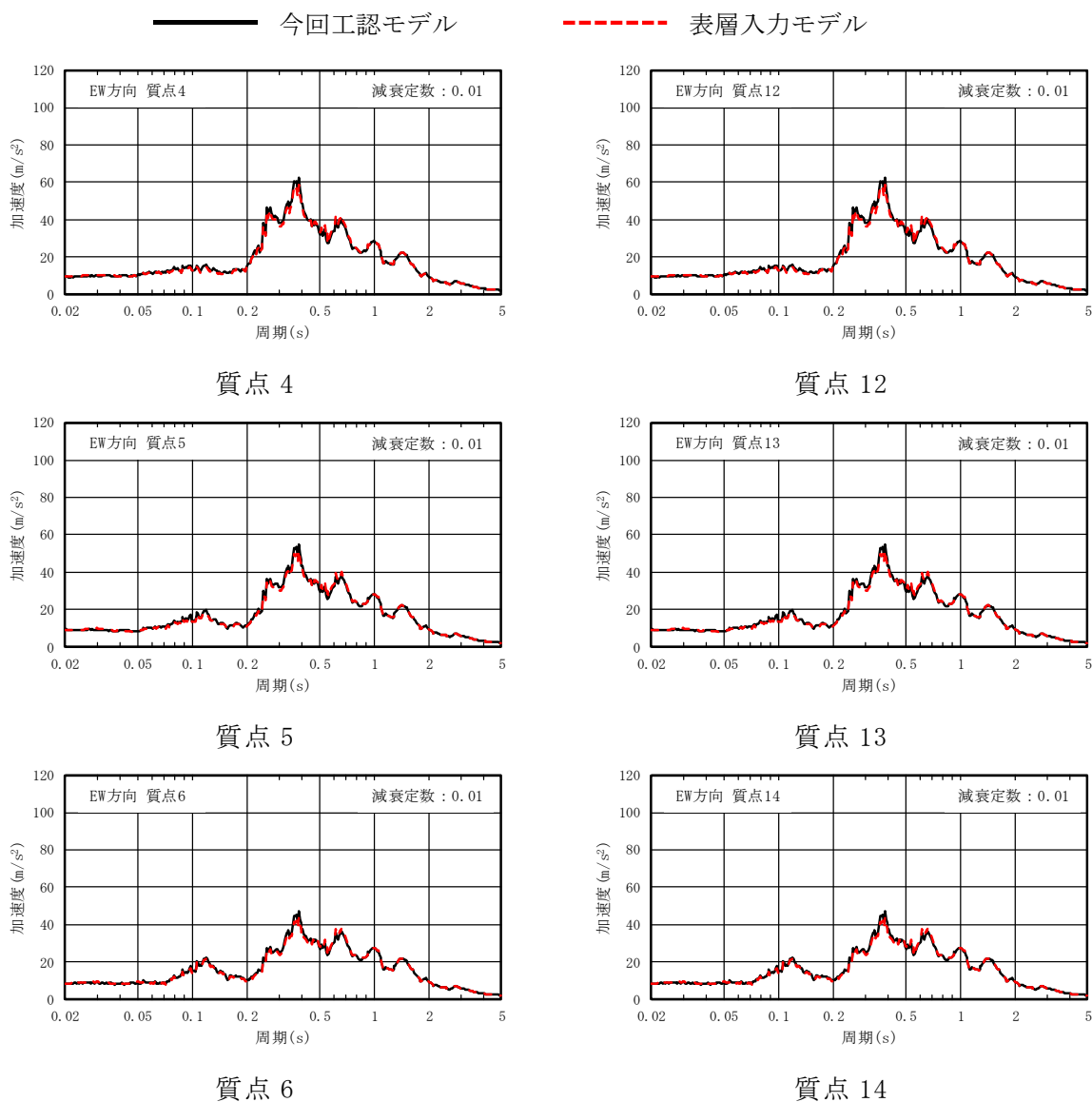
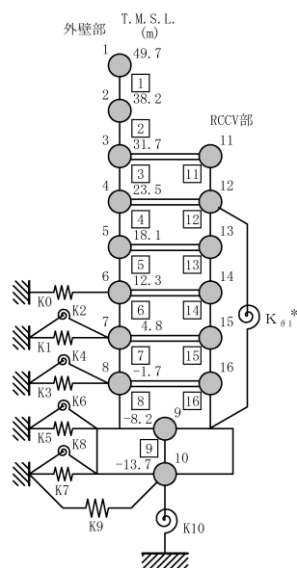


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (2/3)



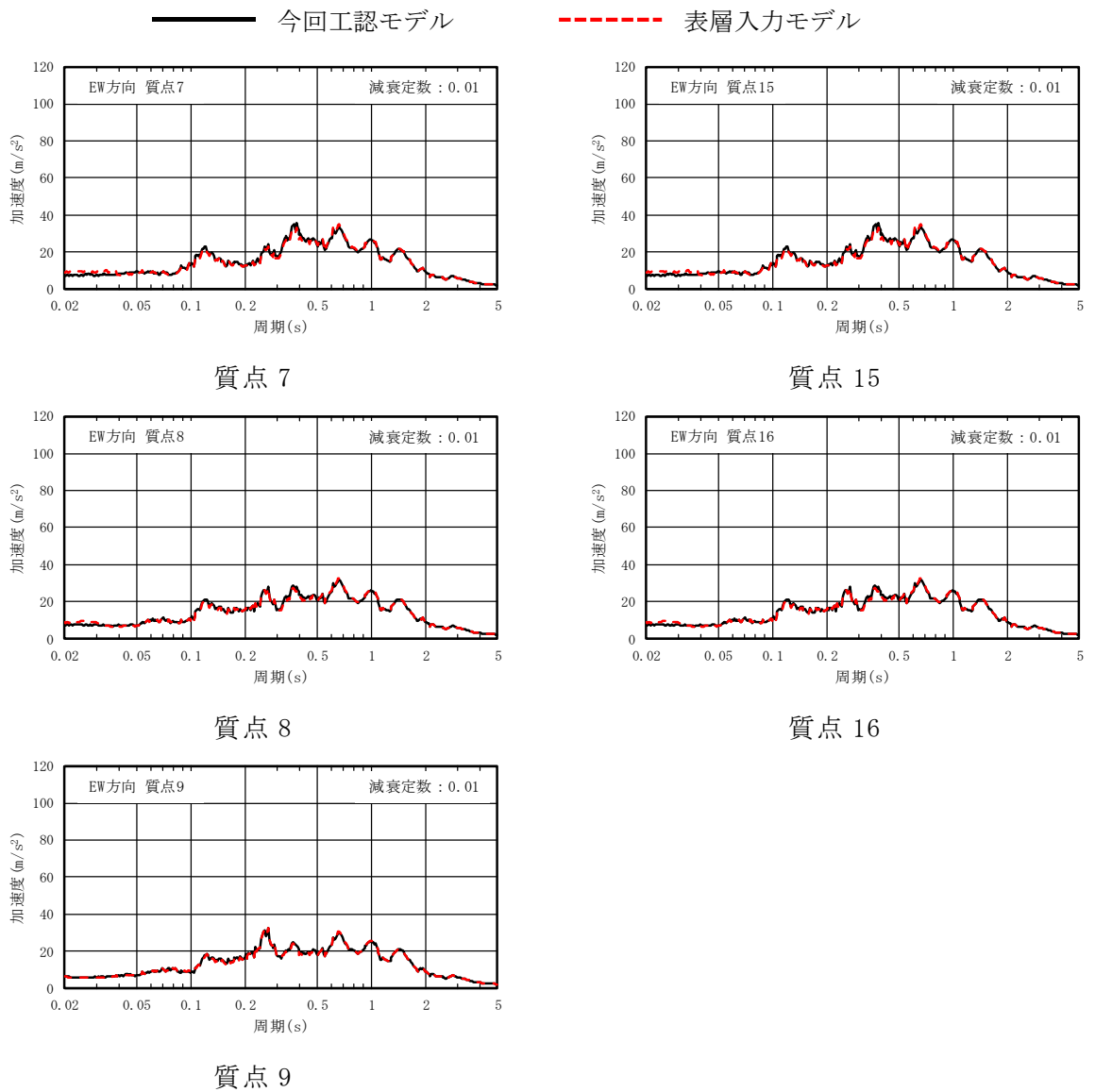
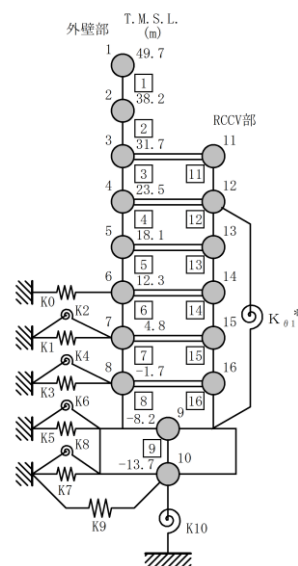


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (3/3)



7. まとめ

表層地盤ばねを考慮しないことが適切である今回工認モデルに対して仮に表層地盤からの入力を考慮した表層入力モデルを用いて、基準地震動 Ss-1 に対する地震応答解析を実施し、今回工認モデルを用いた結果と比較した。

その結果、表層入力モデルの固有周期及び最大応答値は、今回工認モデルの結果と同等となることから、今回工認モデルは基本モデルとして妥当であることを確認した。

別紙12 原子炉建屋の地震応答解析における
構造性能確認試験の影響について

目 次

1. 概要	別紙 12-1
2. SIT が水平剛性に与える影響	別紙 12-2
2.1 既往実験と実機との差異による影響についての考察	別紙 12-6
2.2 実機における SIT の結果に基づく考察	別紙 12-9
2.3 今回工認における RCCV 部の水平剛性の取扱いについて	別紙 12-17
3. 検討方針	別紙 12-18
4. 検討条件	別紙 12-19
4.1 復元力特性の算定	別紙 12-19
4.1.1 せん断力のスケルトン曲線	別紙 12-19
4.1.2 曲げモーメントのスケルトン曲線	別紙 12-20
4.2 解析モデル	別紙 12-21
5. 検討結果	別紙 12-34
5.1 固有値解析結果	別紙 12-34
5.2 最大応答値	別紙 12-36
6. 床応答に対する影響	別紙 12-55
7. まとめ	別紙 12-62
8. 引用文献	別紙 12-63

1. 概要

原子炉建屋においては、鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）について、内圧に対する挙動を把握し、その健全性を確認することを目的とした構造的な性能確認試験（以下「SIT」という。）を建設時に実施している。

本資料は、原子炉建屋の地震応答解析におけるSITの影響について説明するものである。

2. SIT が水平剛性に与える影響

SITがRCCVに与える影響検討として、最新プラントである大間原子力発電所1号機の審査においては、大型全体モデルによる水平加力実験（以下「既往実験」という。）の結果（引用文献(1)参照）を参考に、地震応答解析モデルにおけるRCCV部のせん断剛性及び曲げ剛性の初期剛性が、設計モデルの70%に低減すると仮定した場合の影響を検討している。

一方で、SIT後のRCCV部の実際の水平剛性としては、「既往実験と実機での条件との差異」と「実機におけるSITの結果」を踏まえると、ほとんど低下していないと考えられる。また、原子炉建屋の地震応答解析モデル（以下「今回工認モデル」という。）は2007年新潟県中越沖地震時のシミュレーション解析結果を踏まえて設定している。別紙1-2「原子炉建屋の地震応答解析モデルについて」では、表2-1に示すとおり、既工認手法及びシミュレーション解析モデルでの地震応答解析結果と観測記録を比較している。このシミュレーション解析モデルにおいては、SITの影響は考慮していない。図2-1及び図2-2に示すとおり、RCCV部の剛性低下を考慮していないシミュレーション解析モデルによる解析結果が観測記録とよく整合し、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価できることを確認している。

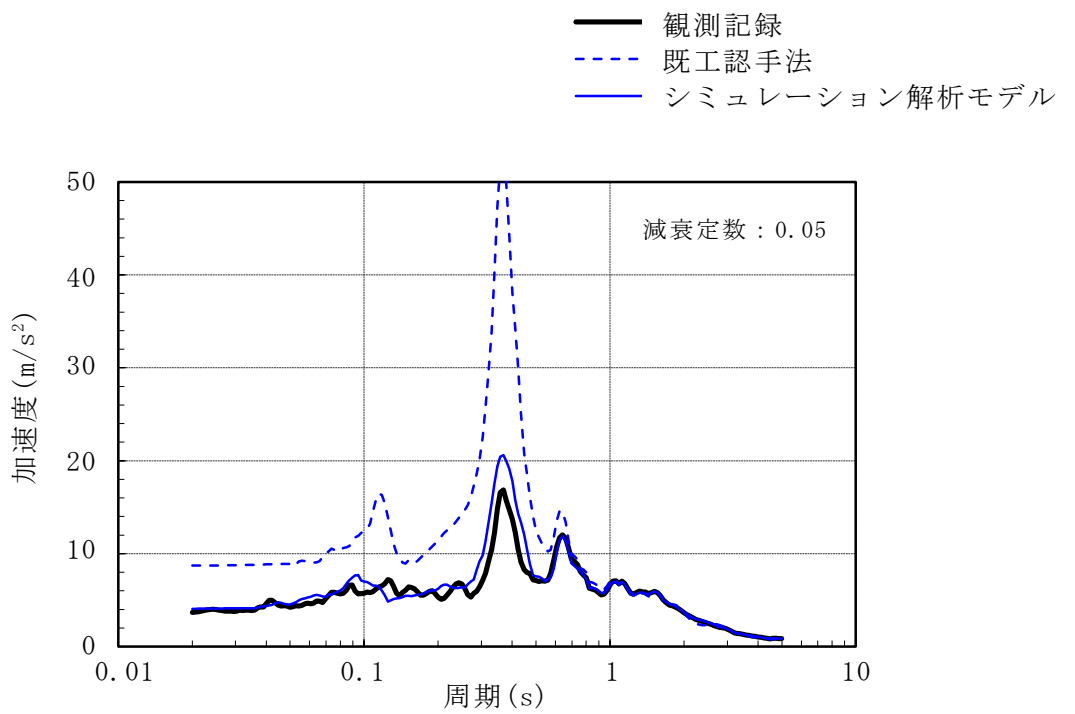
以降では、上記に記載した項目を踏まえて、実機のSIT後のRCCV部の水平剛性について詳しく考察する。なお、この考察はSITの影響のみについて考慮しており、2007年中越沖地震との関連性はない。

表2-1 パラメータスタディケース（別紙1-2 表3-1に一部追記）

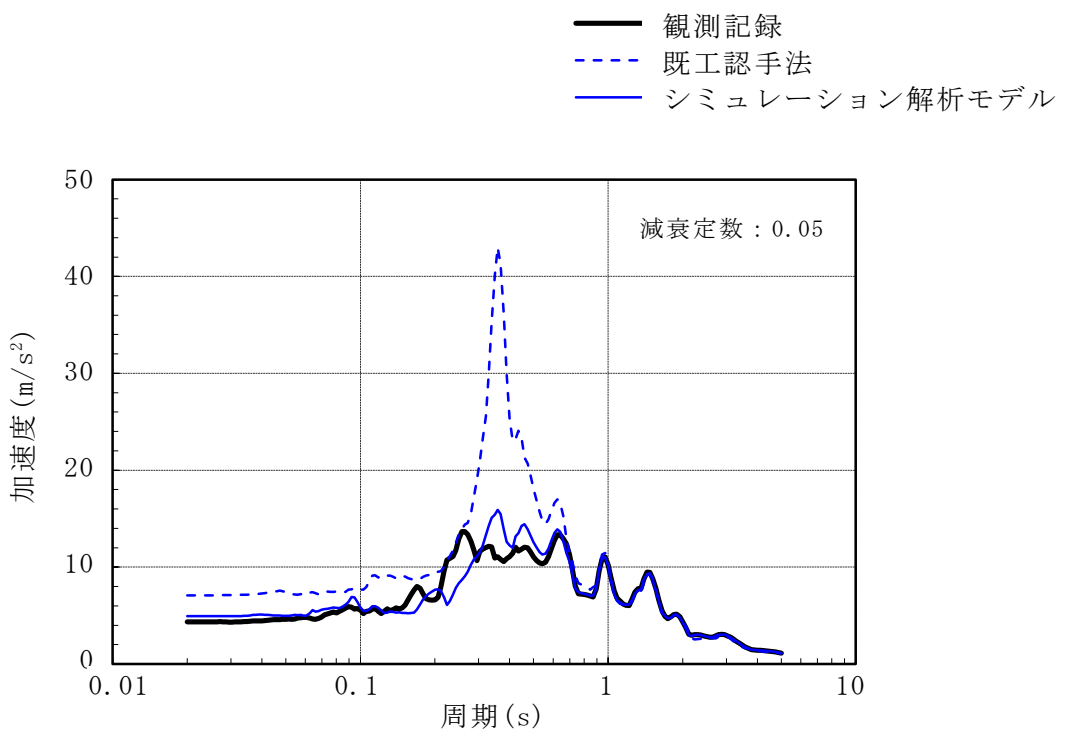
ケース名	建屋モデル		地盤モデル	
	コンクリートのヤング係数	剛性を考慮する部位	側面ばね	表層部での建屋-地盤相互作用
既工認手法に基づく解析モデル	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	考慮
ケース1 実剛性考慮	実剛性*	耐震壁	水平	考慮
ケース2 補助壁考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁+補助壁	水平	考慮
ケース3 側面回転ばね	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平・回転	考慮
ケース4 表層非考慮	設計基準強度に基づく	耐震壁	水平	非考慮
シミュレーション解析モデル (ケース1~4の項目を全て反映したモデル)	実剛性*	耐震壁+補助壁	水平・回転 (表層無視)	非考慮

注記*：本シミュレーション解析においては、建設時の取得データを基に文献調査等を踏まえて経年による強度増進効果を加味して設定した推定実強度（49.0N/mm²（500kgf/cm²））に基づく剛性を使用する。なお、今回工認では、妥当性、信頼性の観点から、建設時の91日強度の平均値に相当する値（43.1N/mm²（440kgf/cm²））をコンクリート実強度として剛性を算定する。

注：網掛け部は本資料の図2-1及び図2-2に結果を示すケースを示す。

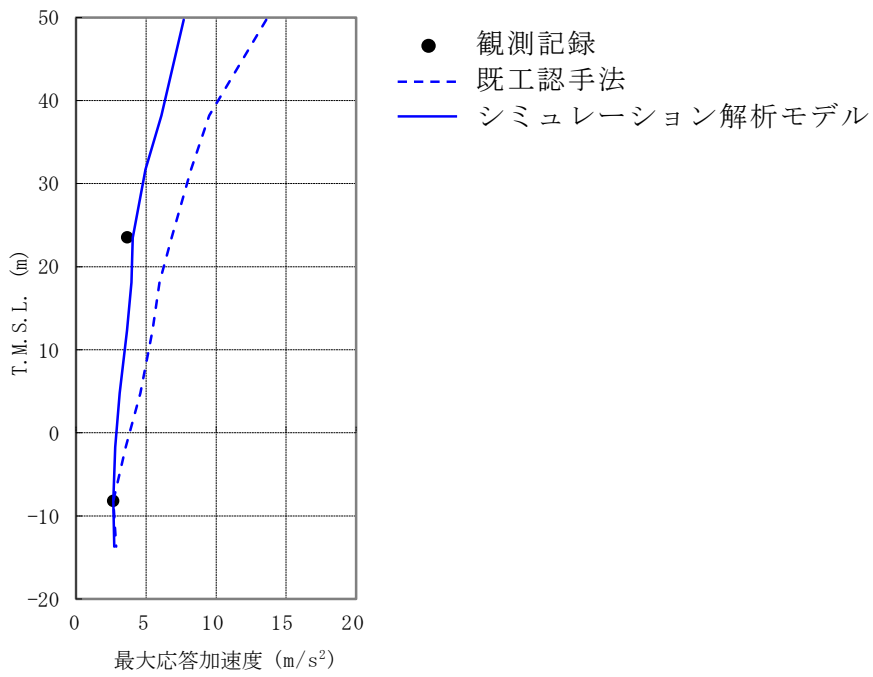


(a) NS方向

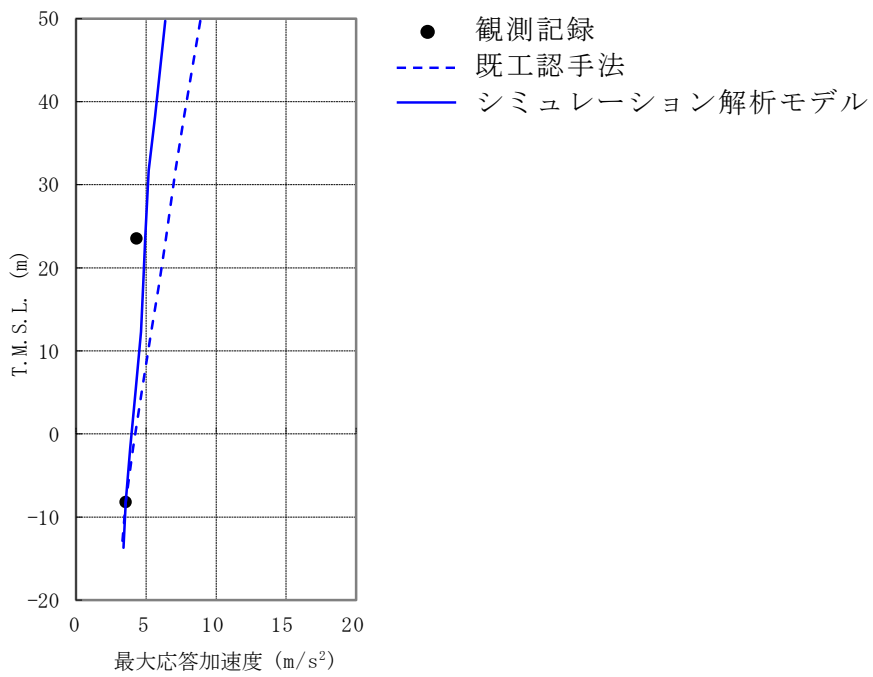


(b) EW方向

図 2-1 加速度応答スペクトルの比較 (T.M.S.L. 23.5m) (別紙 1-2 図 3-13 再掲)



(a) NS方向



(b) EW方向

図 2-2 最大応答加速度の比較 (別紙 1-2 図 3-14 再掲)

2.1 既往実験と実機との差異による影響についての考察

剛性低下に影響する条件の既往実験と実機の違いを表 2-2 に示す。

表 2-2 より、定性的には、軸力及びコンクリート強度の違いを踏まえると、実機でのひび割れは発生しにくいと考えられ、実機の方が既往実験よりも剛性の低下は小さいものと考えられる。

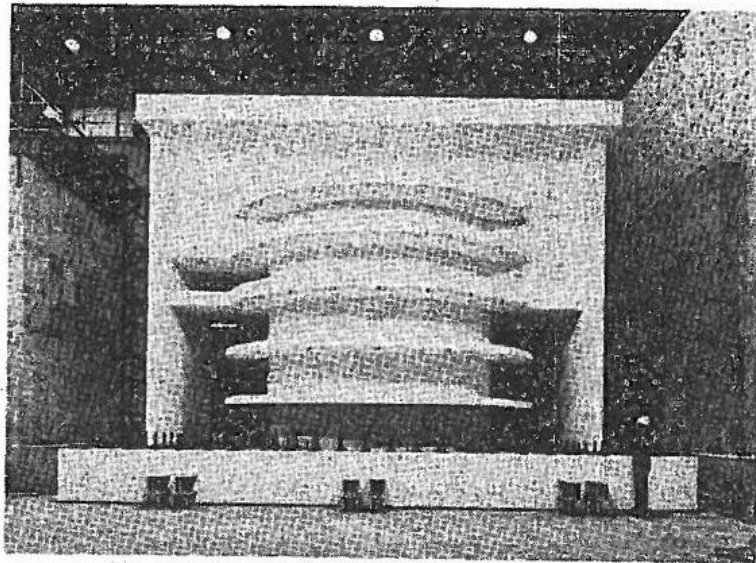
引用文献(1)に示される既往実験の試験体形状を図 2-3 に、既往実験の内圧試験における内圧荷重-変位関係を図 2-4 に、設計内圧 P_D の 1.15 倍の内圧加力終了後の円筒部のひび割れ状況を図 2-5 に示す。

図 2-5 によると、B2F 部分を中心に多数のひび割れが発生しており、このようなひび割れの発生が、剛性低下につながったものと考えられる。

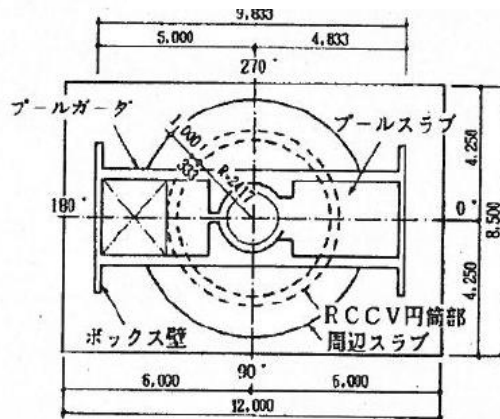
表 2-2 既往実験と実機との差異

条件	既往実験	実機	備考
軸力	4kg/cm ² 【0.39N/mm ² 】	15kg/cm ² 【1.47N/mm ² 】 (平均値)	圧縮軸力が大きい方が、内圧によるひび割れ発生が少ない。
コンクリート 圧縮強度	299kg/cm ² 【29.3N/mm ² 】 (実測値)	330kg/cm ² 【32.3N/mm ² 】 (設計基準強度)	コンクリート圧縮強度が大きい方が内圧によるひび割れ発生が少ない。*
		440kg/cm ² 【43.1N/mm ² 】 (実強度)	
円筒部周辺 スラブ	円筒部壁面から 1m の範囲のみ 試験体を作成	各階の床スラブ が壁と接合し 建屋と一体化	建屋と一体化している方が拘束効果が高く、内圧によるひび割れ発生が少ない。

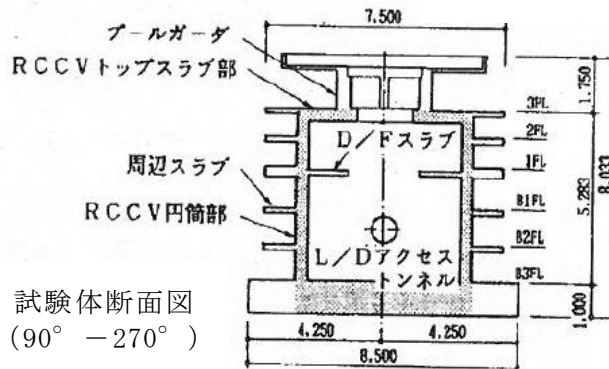
注記*：ひび割れの発生に直接関係するのはコンクリートの引張強度であるが、一般的にコンクリートの引張強度は圧縮強度のおよそ 1/10 となる関係があることから、圧縮強度で比較している。



試験体全体 (90° 側)



試験体平面図
(3FL)



試験体断面図
(90° - 270°)

図 2-3 既往実験の試験体形状

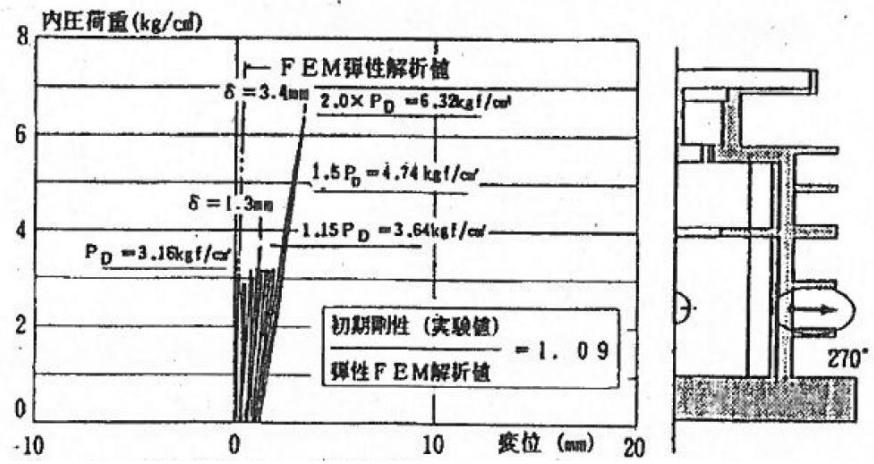


図 2-4 既往実験の内圧荷重－変位関係（RCCV 円筒部 B2F，半径方向，270° 側）

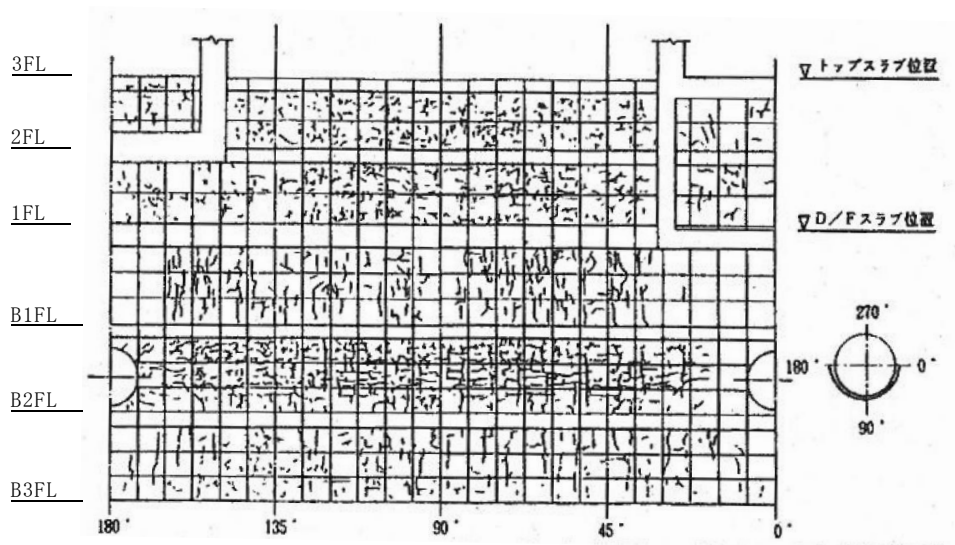


図 2-5 既往実験の RCCV 円筒部ひび割れ状況（1.15P_D 加力終了後）

2.2 実機における SIT の結果に基づく考察

実機における SIT の結果（引用文献(2)参照）について以下で概要を説明し、SIT が剛性に与える影響を考察する。

SIT においては予め設定された加圧・減圧曲線に基づき、最高使用圧力の 1.125 倍の内圧（試験時の実測値：3.69kg/cm²（最高使用圧力の 1.168 倍相当））で RCCV を加圧し、主要部位の外観、ひび割れ、変位及び温度を測定しており、試験後に 3次元 FEM モデルによる解析での評価を実施している。加えて、SIT 後に全体漏洩率試験（以下「ILRT」という。）を最高使用圧力の 0.9 倍の圧力で実施している。

試験及び解析の結果より確認できたことは下記のとおりであり、RCCV は最高使用圧力に対して十分健全であることが確認されている。

- ・外観についてはひび割れの進展はほとんどなく構造上の問題となる損傷は認められなかったこと。
- ・内圧-変位関係は線形関係を保ち、残留変位も少なく、試験圧力に対して弾性的挙動と認められること。
- ・SIT 直後の ILRT による内圧の繰り返しに対して剛性の低下は認められないこと。
- ・3次元 FEM モデルによる弾性解析により RCCV の SIT 時構造挙動を良く把握出来ること。

上記の結果について、以下に詳述する。

SIT 及び ILRT の圧力履歴を図 2-6 に示す。SIT の圧力載荷前には、計測器の作動確認等を目的とした予備加圧試験が実施され、ILRT は SIT の減圧完了後、ベースライン計測の期間において実施されている。なお、SIT における減圧の途中において、ドライウェル（以下「D/W」という。）の圧力を保持したままサプレッションチェンバ（以下「S/C」という。）の圧力を低下させている。

SIT においては、RCCV の外表面全体を目視確認する外観検査を実施しているが、加圧試験によって新規に発生したひび割れは、幅が 0.05mm 程度の微細なひび割れが極めてわずかに発生した程度であり、減圧完了後に新規に発生したひび割れが閉じていることを確認している。

また、図 2-7 に示す位置において変位計測を実施しており、そのうちの代表的な変位として、トップスラブ鉛直方向変位及び S/C 中段部半径方向変位の圧力-変形関係を図 2-8 に示す。いずれもほぼ直線的な圧力-変形関係を示しており、残留変形も小さかった。なお、S/C 中段部半径方向変位における圧力 2kg/cm² 付近での一定圧力下での変位の減少は、SIT の減圧途中で S/C 部のみ減圧した影響によるものである。

圧力載荷の繰り返しの影響に関して、SIT と ILRT のそれぞれの最大内圧時における剛性を比較したものを表 2-3 に示すが、その剛性の相違は 2% 程度であり、剛性低下

はほとんどなかった。

解析検討については、図 2-9 に示す解析モデルを用いた弾性解析を実施した。解析におけるコンクリートの材料定数は、SIT と同時期に実施した材料試験結果を用いている。変位について計測結果と解析結果を比較したものを図 2-10 に示すが、解析結果は計測結果をよく再現しており、SIT における RCCV の挙動は弾性解析により評価できている。

上記の試験結果を踏まえると、SIT における RCCV の挙動は概ね弾性範囲であったと考えられ、SIT の実施による RCCV 部の剛性低下はなかったものと判断できる。

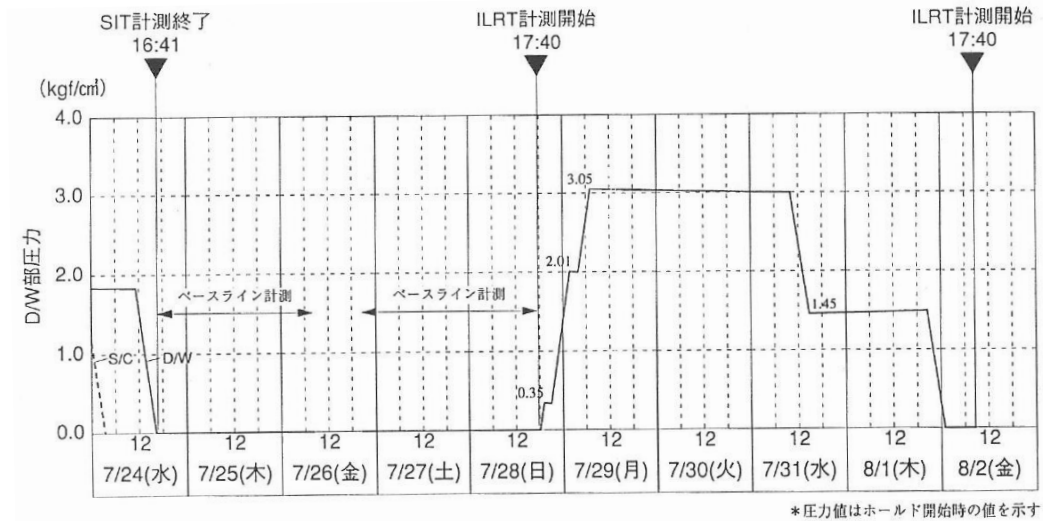
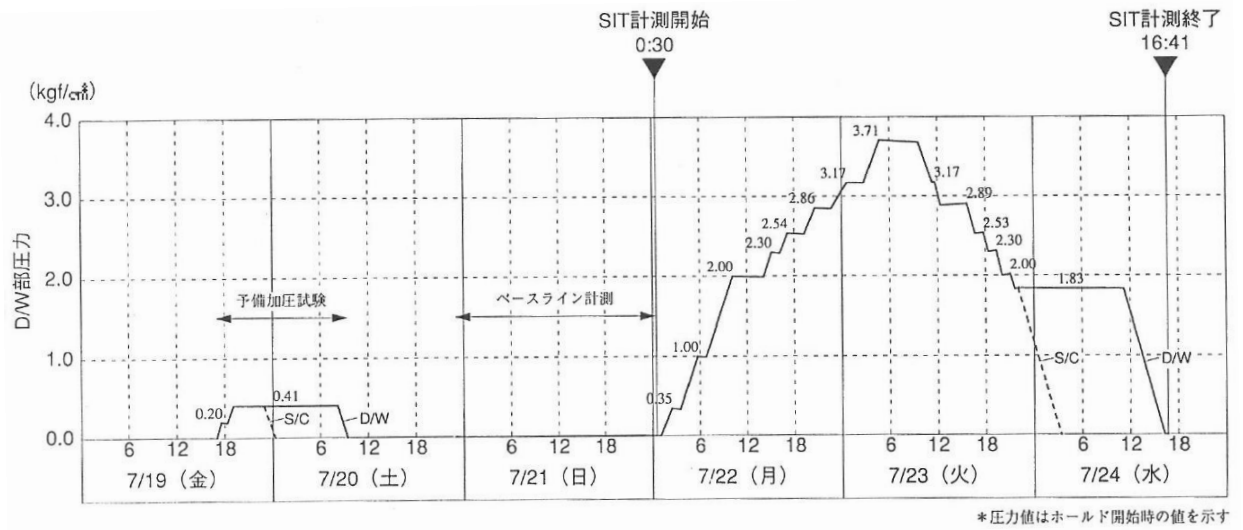


図 2-6 圧力履歴曲線

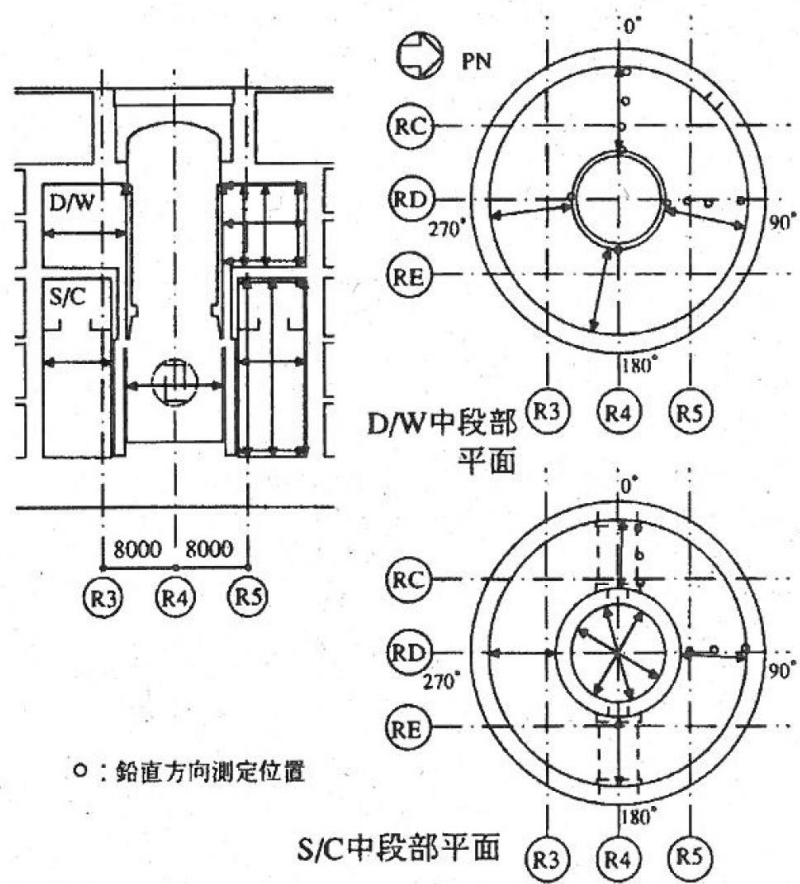
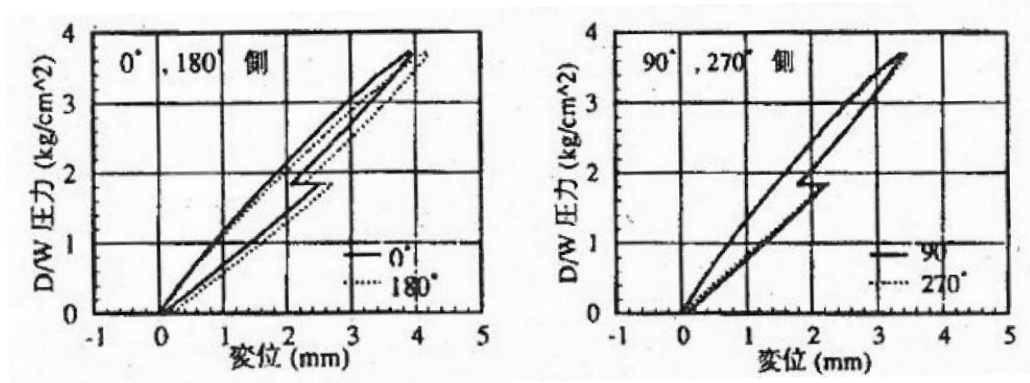
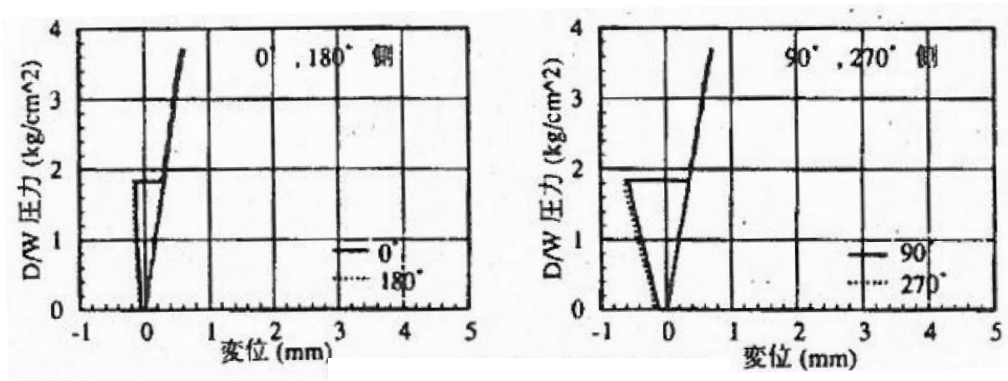


図 2-7 RCCV 変位測定箇所



(a) トップスラブ部鉛直方向変位



(b) S/C 中段半径方向変位

図 2-8 圧力-変位関係

表 2-3 SIT と ILRT の剛性比較

計測項目	剛性* (kg/cm ² /cm)		剛性比 ILRT/SIT
	SIT 時	ILRT 時	
トップスラブ鉛直方向変位	12.9	13.0	1.01
S/C 中段半径方向変位	55.2	54.2	0.98

注記* : 剛性は最大内圧を最大内圧時変位で除したものであり、それぞれ 4 箇所での計測結果の平均値としている。

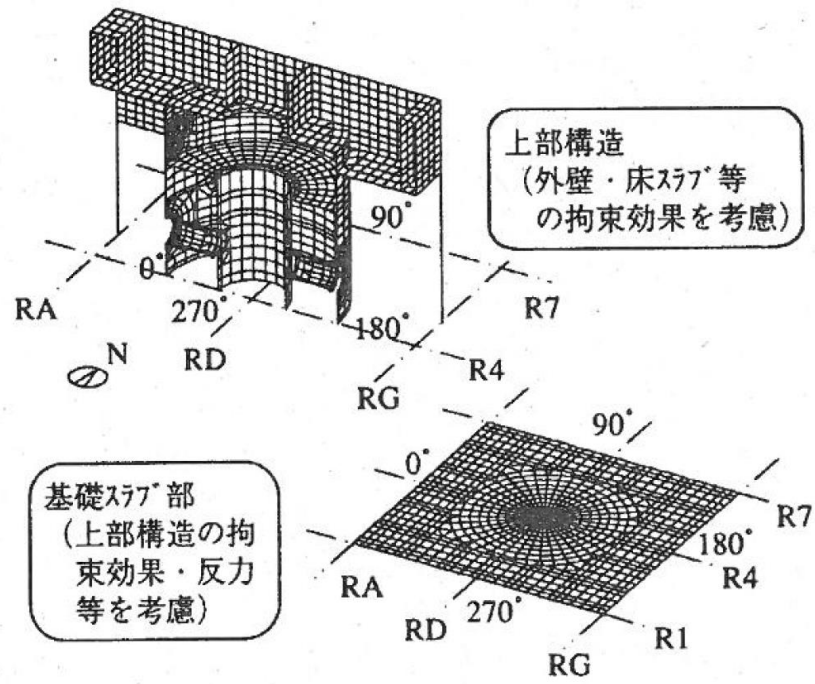
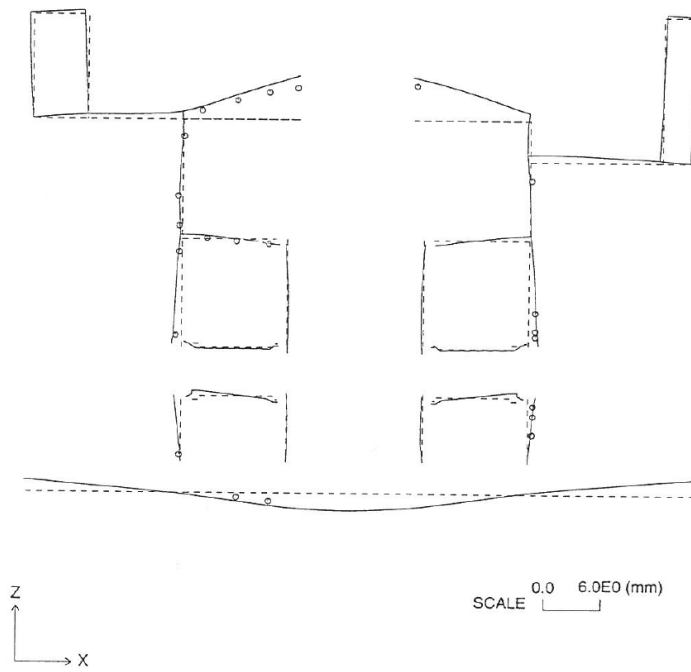
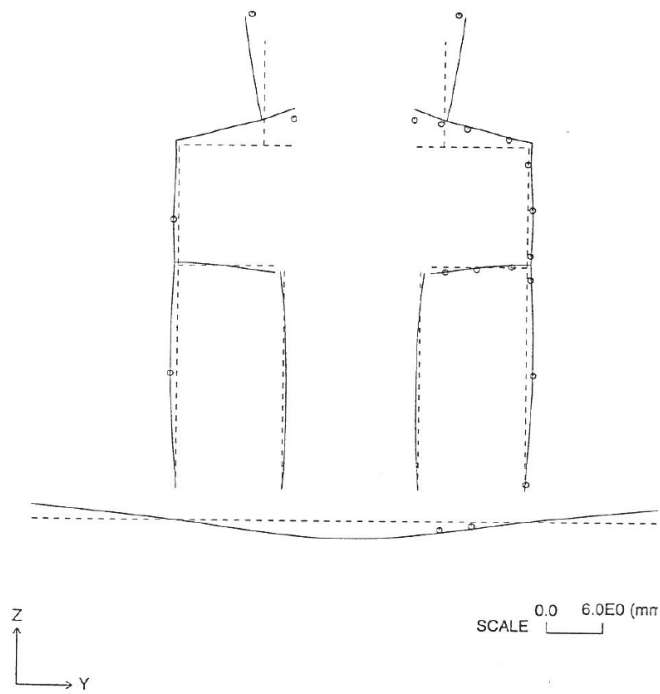


図 2-9 解析モデル



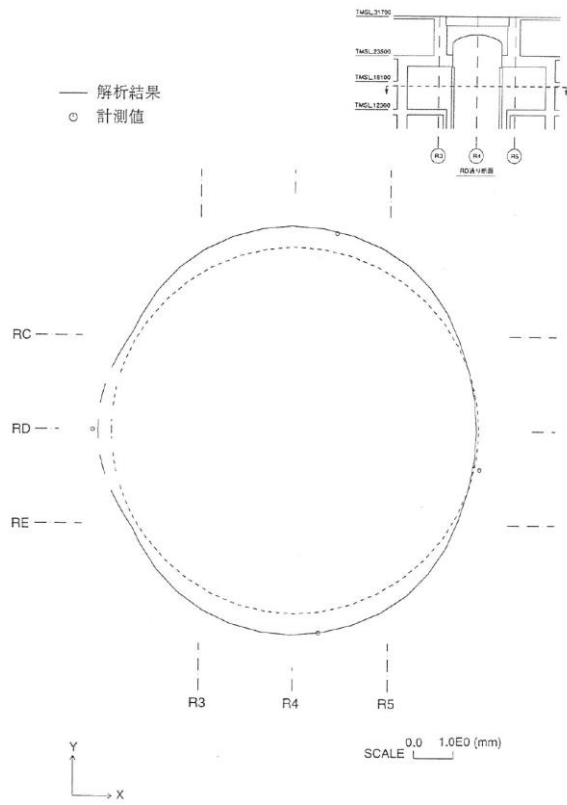
(a) 鉛直断面 ($0^\circ - 180^\circ$ 断面)

— 解析結果
○ 計測値

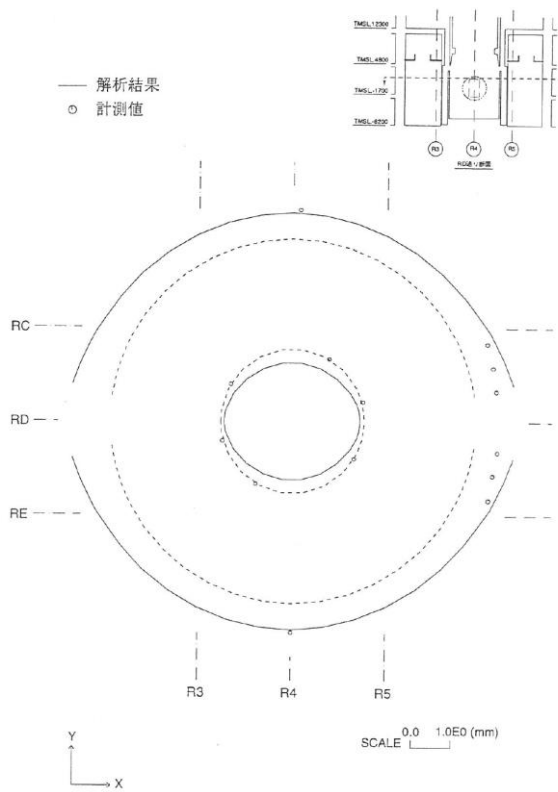


(b) 鉛直断面 ($90^\circ - 270^\circ$ 断面)

図 2-10 計測結果と解析結果の変位比較 (1/2)



(c) 水平断面 (D/W 中段部断面)



(d) 水平断面 (S/C 中段部断面)

図 2-10 計測結果と解析結果の変位比較 (2/2)

2.3 今回工認における RCCV 部の水平剛性の取扱いについて

2.1 及び 2.2 で示したとおり，原子炉建屋の地震応答解析モデルにおける RCCV 部において，SIT においても弾性挙動を示し剛性は低下していないことから，今回工認においては RCCV 部の剛性低下を考慮しないことを基本とする。

ただし，次章以降で大間原子力発電所 1 号機での検討事例も踏まえて，仮に RCCV 部の水平剛性を 90% に低下させた地震応答解析を実施し，RCCV 部の剛性変動が原子炉建屋及び機器・配管系の耐震評価に与える影響について確認する。

3. 検討方針

今回工認モデル及び SIT による剛性低下を考慮したモデル（以下「SIT 考慮モデル」という。）の地震応答解析結果を比較することにより，SIT による剛性低下による建屋応答への影響を確認する。また，SIT による剛性低下を考慮することによる固有値解析結果への影響を考慮した地盤ばね定数を算定し，SIT 考慮モデルに考慮する。

なお，地震応答解析は，位相特性の偏りがなく，全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 S_s-1 の基本ケースに対して実施することとする。

4. 検討条件

4.1 復元力特性の算定

4.1.1 せん断力のスケルトン曲線

図4-1にSIT考慮モデルのせん断力のスケルトン曲線の概念図を示す。

RCCV部のせん断力のスケルトン曲線は、今回工認モデルのスケルトン曲線を基に、以下の手順に従って設定する。なお、今回工認モデルのスケルトン曲線には補助壁を考慮しているが、補助壁にはSITによる圧力等が作用しないことから、補助壁については剛性低下を考慮しないこととする。

- ① 下式より、剛性低下を考慮したせん断剛性 G' を算定する。

$$G' = G \times \left\{ (0.9 \times \text{RCCV} A_s + \text{補助壁} A_s) / \Sigma A_s \right\}$$

ここで、

G : 今回工認モデルのせん断剛性

$\text{RCCV} A_s$: RCCV壁のせん断断面積

補助壁 A_s : 補助壁のせん断断面積

ΣA_s : 今回工認モデルのせん断断面積

- ② 初期剛性を①で算定したせん断剛性 G' として第1勾配を設定する。
③ ②で設定した第1勾配と今回工認モデルの第2勾配の交点を第1折点とする。
④ ③で設定した第1折点以降は、今回工認モデルのスケルトン曲線と同一とする。

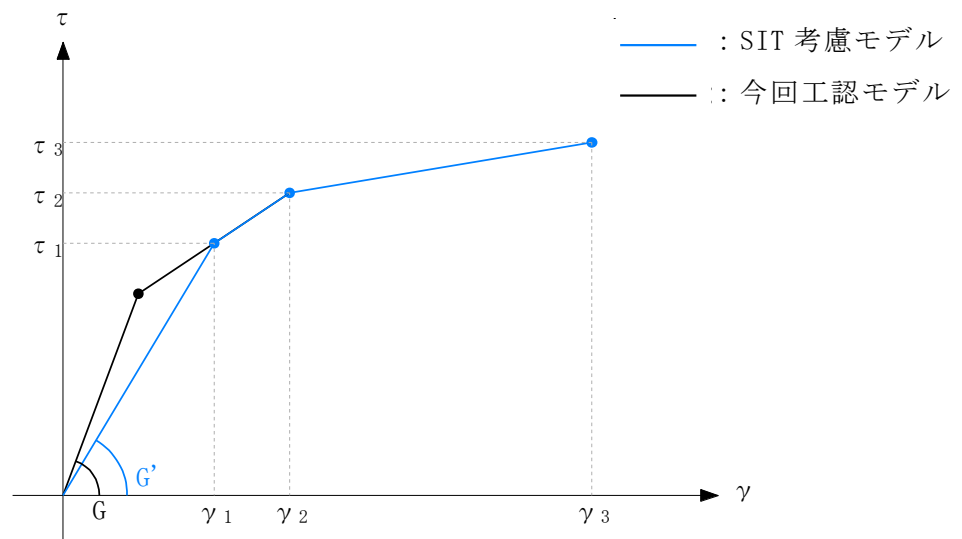


図4-1 SIT考慮モデルのせん断力のスケルトン曲線の概念図

4.1.2 曲げモーメントのスケルトン曲線

図 4-2 に SIT 考慮モデルの曲げモーメントのスケルトン曲線の概念図を示す。

RCCV 部の曲げモーメントのスケルトン曲線は，今回工認モデルのスケルトン曲線を基に，以下の手順に従って算定する。

- ① 今回工認モデルの RCCV 壁の曲げ剛性 $E I$ を 0.9 倍することにより，剛性低下を考慮した曲げ剛性 $E I'$ を算定する。
- ② 初期剛性を①で算定した曲げ剛性 $E I'$ として第 1 勾配を設定する。
- ③ ②で算定した第 1 勾配と今回工認モデルの第 2 勾配の交点を第 1 折点とする。
- ④ ③で設定した第 1 折点以降は，今回工認モデルのスケルトン曲線と同一とする。

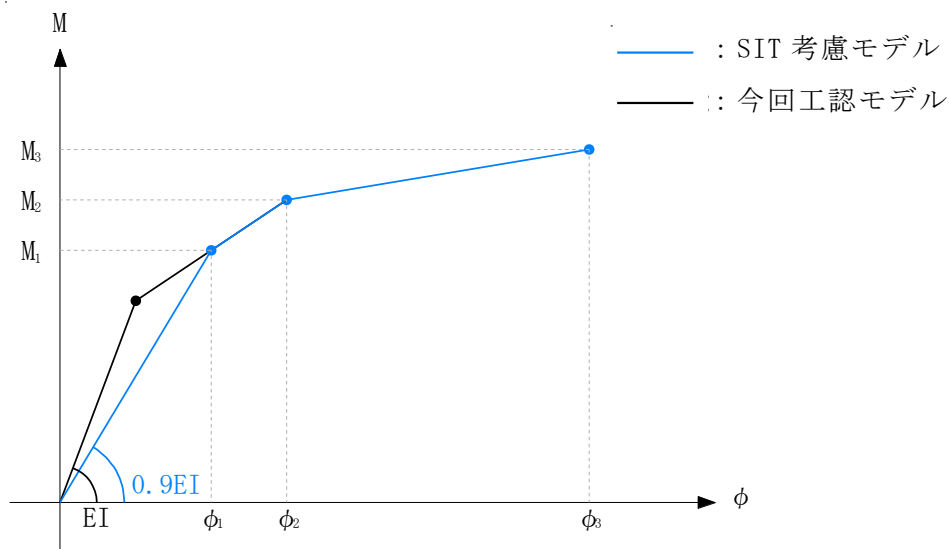
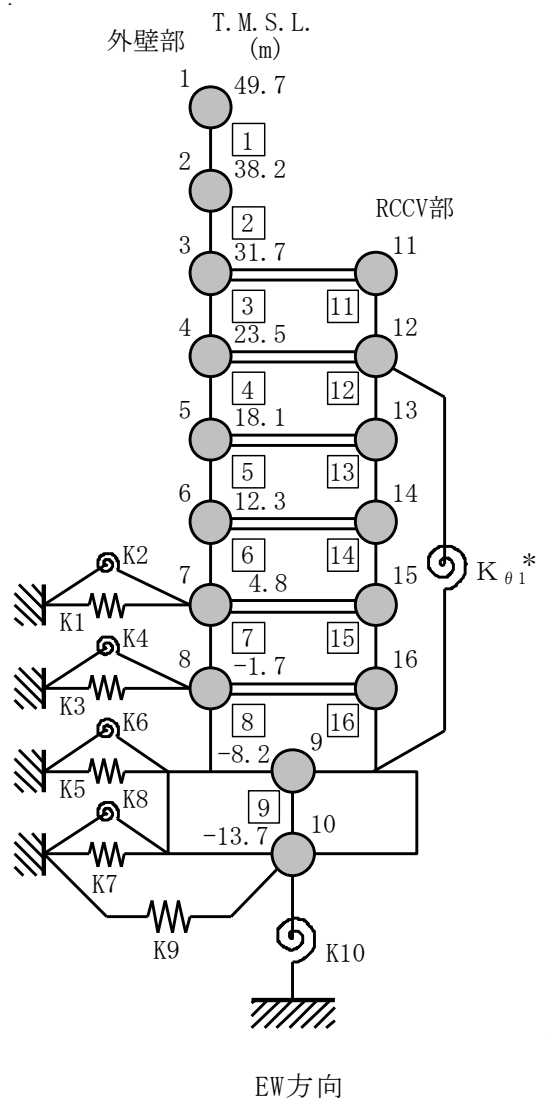
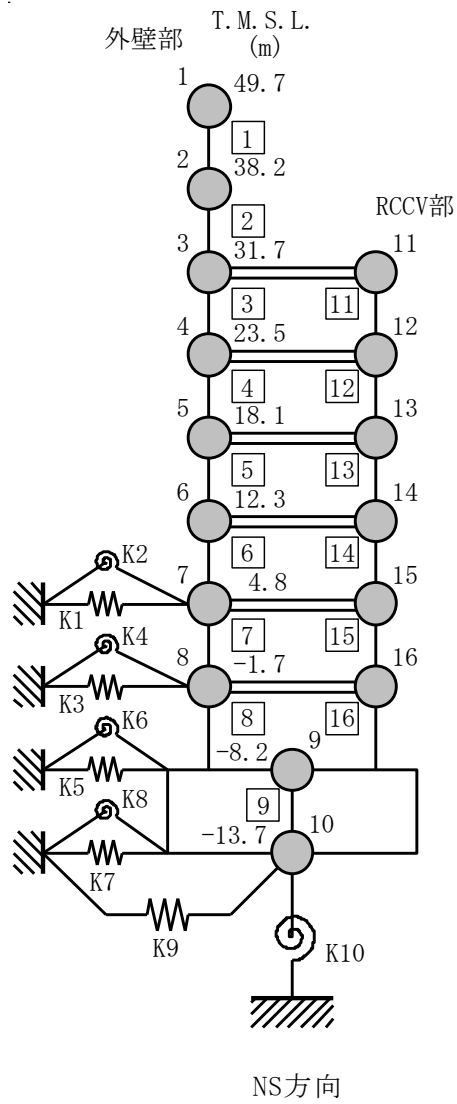


図 4-2 SIT 考慮モデルの曲げモーメントのスケルトン曲線の概念図

4.2 解析モデル

水平方向の地震応答解析モデルを図 4-3 に，せん断力及び曲げモーメントのスケルトン曲線の諸数値を表 4-1～表 4-4 に，スケルトン曲線の今回工認モデルと SIT 考慮モデルの比較の例を図 4-4 に，地盤ばね定数を表 4-5 に示す。



注記* : RCCV 回転ばね

図 4-3 地震応答解析モデル

表 4-1 せん断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向) (1/2)

(a) SIT 考慮モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.28	0.191	3.08	0.569	6.81	4.00
4F	2.38	0.199	3.21	0.588	6.54	4.00
3F	2.40	0.201	2.96	0.630	4.84	4.00
2F	2.54	0.213	3.35	0.644	6.62	4.00
1F	2.55	0.213	3.29	0.660	6.44	4.00
B1F	2.62	0.219	3.47	0.665	6.98	4.00
B2F	2.70	0.226	3.64	0.674	7.56	4.00
B3F	2.69	0.224	3.52	0.691	7.03	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.31	0.213	3.01	0.567	6.88	4.00
2F	2.35	0.215	3.00	0.584	7.23	4.00
1F	2.36	0.212	2.93	0.605	6.75	4.00
B1F	2.45	0.220	3.03	0.626	6.40	4.00
B2F	2.50	0.224	3.15	0.573	6.26	4.00
B3F	2.48	0.219	3.14	0.589	5.73	4.00

表 4-1 セン断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (NS 方向) (2/2)

(b) 今回工認モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.28	0.191	3.08	0.569	6.81	4.00
4F	2.38	0.199	3.21	0.588	6.54	4.00
3F	2.40	0.201	2.96	0.630	4.84	4.00
2F	2.54	0.213	3.35	0.644	6.62	4.00
1F	2.55	0.213	3.29	0.660	6.44	4.00
B1F	2.62	0.219	3.47	0.665	6.98	4.00
B2F	2.70	0.226	3.64	0.674	7.56	4.00
B3F	2.69	0.224	3.52	0.691	7.03	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.26	0.189	3.01	0.567	6.88	4.00
2F	2.32	0.194	3.00	0.584	7.23	4.00
1F	2.34	0.196	2.93	0.605	6.75	4.00
B1F	2.42	0.202	3.03	0.626	6.40	4.00
B2F	2.47	0.206	3.15	0.573	6.26	4.00
B3F	2.45	0.205	3.14	0.589	5.73	4.00

表 4-2 セン断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW 方向) (1/2)

(a) SIT 考慮モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.33	0.195	3.15	0.582	6.58	4.00
4F	2.33	0.195	3.14	0.581	6.73	4.00
3F	2.50	0.209	3.28	0.634	6.13	4.00
2F	2.47	0.206	3.21	0.626	6.23	4.00
1F	2.48	0.207	3.18	0.642	6.24	4.00
B1F	2.54	0.212	3.43	0.636	7.39	4.00
B2F	2.58	0.216	3.41	0.656	7.10	4.00
B3F	2.58	0.215	3.31	0.673	6.60	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.25	0.198	2.65	0.567	4.76	4.00
2F	2.29	0.200	2.63	0.584	4.82	4.00
1F	2.29	0.201	2.68	0.605	5.32	4.00
B1F	2.43	0.217	2.96	0.626	6.17	4.00
B2F	2.42	0.214	2.90	0.650	5.38	4.00
B3F	2.50	0.222	3.21	0.563	6.42	4.00

表 4-2 セン断力のスケルトン曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) (EW 方向) (2/2)

(b) 今回工認モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
CRF	2.33	0.195	3.15	0.582	6.58	4.00
4F	2.33	0.195	3.14	0.581	6.73	4.00
3F	2.50	0.209	3.28	0.634	6.13	4.00
2F	2.47	0.206	3.21	0.626	6.23	4.00
1F	2.48	0.207	3.18	0.642	6.24	4.00
B1F	2.54	0.212	3.43	0.636	7.39	4.00
B2F	2.58	0.216	3.41	0.656	7.10	4.00
B3F	2.58	0.215	3.31	0.673	6.60	4.00

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
3F	2.23	0.187	2.65	0.567	4.76	4.00
2F	2.28	0.191	2.63	0.584	4.82	4.00
1F	2.28	0.191	2.68	0.605	5.32	4.00
B1F	2.41	0.201	2.96	0.626	6.17	4.00
B2F	2.41	0.201	2.90	0.650	5.38	4.00
B3F	2.46	0.206	3.21	0.563	6.42	4.00

表 4-3 曲げモーメントのスケルトン曲線 (M- ϕ 関係) (NS 方向) (1/2)

(a) SIT 考慮モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_1 ($\times 10^{-6}$ /m)	M ₂ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_2 ($\times 10^{-6}$ /m)	M ₃ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_3 ($\times 10^{-6}$ /m)
CRF	2.02	5.11	2.17	61.0	5.28	1220
4F	5.95	4.04	6.73	40.4	9.49	809
3F	9.10	4.47	11.8	40.7	15.4	815
2F	9.44	4.75	18.7	42.0	18.9	840
1F	12.2	5.02	28.6	42.6	29.8	853
B1F	15.4	5.08	30.3	43.1	40.9	863
B2F	17.2	5.30	35.9	43.8	49.3	876
B3F	19.1	5.56	41.6	44.3	59.2	887

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_1 ($\times 10^{-6}$ /m)	M ₂ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_2 ($\times 10^{-6}$ /m)	M ₃ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_3 ($\times 10^{-6}$ /m)
3F	1.74	9.27	3.86	117	4.42	2340
2F	5.34	8.83	18.4	87.2	26.5	1250
1F	5.73	9.40	18.9	87.8	27.0	1220
B1F	5.94	9.79	17.6	87.4	24.9	1300
B2F	6.46	10.5	18.3	88.1	25.9	1250
B3F	7.48	9.74	21.0	88.3	30.1	1240

表 4-3 曲げモーメントのスケルトン曲線 (M- ϕ 関係) (NS 方向) (2/2)

(b) 今回工認モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_1 ($\times 10^{-6}$ /m)	M ₂ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_2 ($\times 10^{-6}$ /m)	M ₃ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_3 ($\times 10^{-6}$ /m)
CRF	2.02	5.11	2.17	61.0	5.28	1220
4F	5.95	4.04	6.73	40.4	9.49	809
3F	9.10	4.47	11.8	40.7	15.4	815
2F	9.44	4.75	18.7	42.0	18.9	840
1F	12.2	5.02	28.6	42.6	29.8	853
B1F	15.4	5.08	30.3	43.1	40.9	863
B2F	17.2	5.30	35.9	43.8	49.3	876
B3F	19.1	5.56	41.6	44.3	59.2	887

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_1 ($\times 10^{-6}$ /m)	M ₂ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_2 ($\times 10^{-6}$ /m)	M ₃ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_3 ($\times 10^{-6}$ /m)
3F	1.72	8.25	3.86	117	4.42	2340
2F	5.14	7.65	18.4	87.2	26.5	1250
1F	5.52	8.15	18.9	87.8	27.0	1220
B1F	5.75	8.53	17.6	87.4	24.9	1300
B2F	6.26	9.19	18.3	88.1	25.9	1250
B3F	7.27	8.52	21.0	88.3	30.1	1240

表 4-4 曲げモーメントのスケルトン曲線 (M- ϕ 関係) (EW 方向) (1/2)

(a) SIT 考慮モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_1 ($\times 10^{-6}$ /m)	M ₂ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_2 ($\times 10^{-6}$ /m)	M ₃ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_3 ($\times 10^{-6}$ /m)
CRF	3.20	3.70	3.81	38.8	4.54	776
4F	6.69	3.71	6.94	39.7	12.1	793
3F	10.6	4.16	10.9	41.0	19.3	819
2F	10.1	4.27	17.0	39.7	23.0	795
1F	12.0	4.49	24.3	40.5	31.4	809
B1F	14.7	4.46	32.3	40.7	41.8	814
B2F	17.0	4.75	38.3	41.3	52.6	826
B3F	18.9	5.01	44.6	41.8	61.7	837

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_1 ($\times 10^{-6}$ /m)	M ₂ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_2 ($\times 10^{-6}$ /m)	M ₃ ($\times 10^6$ kN \cdot m)	ϕ_3 ($\times 10^{-6}$ /m)
3F	1.74	9.29	3.61	90.3	5.99	1430
2F	5.34	8.83	18.4	87.2	26.5	1250
1F	5.64	9.41	18.9	87.8	27.0	1220
B1F	5.94	9.79	17.6	87.4	24.9	1300
B2F	5.80	10.6	18.1	88.1	25.5	1250
B3F	6.69	10.8	18.8	88.3	26.5	1240

表 4-4 曲げモーメントのスケルトン曲線 (M-φ 関係) (EW 方向) (2/2)

(b) 今回工認モデル

外壁部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
CRF	3.20	3.70	3.81	38.8	4.54	776
4F	6.69	3.71	6.94	39.7	12.1	793
3F	10.6	4.16	10.9	41.0	19.3	819
2F	10.1	4.27	17.0	39.7	23.0	795
1F	12.0	4.49	24.3	40.5	31.4	809
B1F	14.7	4.46	32.3	40.7	41.8	814
B2F	17.0	4.75	38.3	41.3	52.6	826
B3F	18.9	5.01	44.6	41.8	61.7	837

RCCV 部

階	第1折点		第2折点		終局点	
	M ₁ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₁ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₂ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₂ (×10 ⁻⁶ /m)	M ₃ (×10 ⁶ kN・m)	φ ₃ (×10 ⁻⁶ /m)
3F	1.72	8.25	3.61	90.3	5.99	1430
2F	5.14	7.65	18.4	87.2	26.5	1250
1F	5.43	8.15	18.9	87.8	27.0	1220
B1F	5.75	8.53	17.6	87.4	24.9	1300
B2F	5.58	9.13	18.1	88.1	25.5	1250
B3F	6.48	9.43	18.8	88.3	26.5	1240

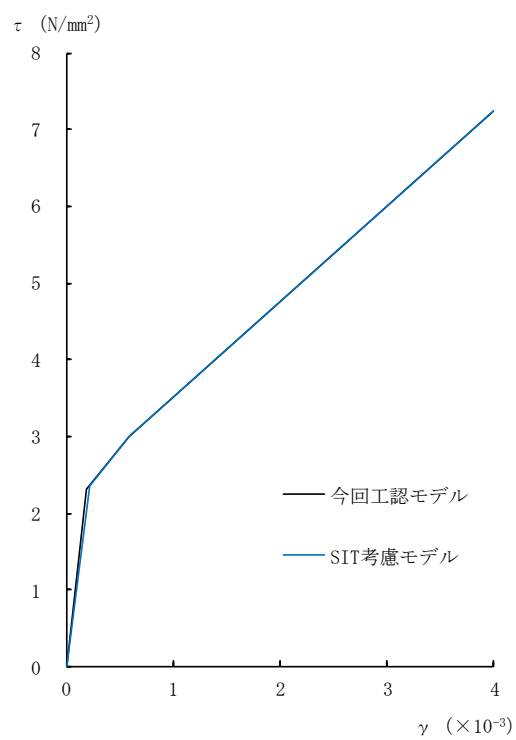


図 4-4 スケルトン曲線の今回工認モデルと SIT 考慮モデルの比較の例
(2F, RCCV 部, NS 方向のせん断力のスケルトン曲線)

表4-5 地盤ばね定数と減衰係数 (1/2)

(a) SIT 考慮モデル

NS方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 ^{*1}	減衰係数 ^{*2}
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.24×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.05×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	3.97×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.96×10^8
K9	10	底面・並進	7.28×10^7	2.82×10^6
K10	10	底面・回転	7.06×10^{10}	5.98×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

注記*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

EW方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数 ^{*1}	減衰係数 ^{*2}
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.26×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.06×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	4.00×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.97×10^8
K9	10	底面・並進	7.25×10^7	2.80×10^6
K10	10	底面・回転	7.60×10^{10}	6.98×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

注記*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

表4-5 地盤ばね定数と減衰係数 (2/2)

(b) 今回工認モデル

NS方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.25×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.05×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.80×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	3.98×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.96×10^8
K9	10	底面・並進	7.28×10^7	2.82×10^6
K10	10	底面・回転	7.06×10^{10}	6.02×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

注記*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

EW方向

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	7	側面・並進	1.07×10^6	4.26×10^5
K2	7	側面・回転	8.33×10^8	1.06×10^8
K3	8	側面・並進	2.85×10^6	1.13×10^6
K4	8	側面・回転	2.21×10^9	2.81×10^8
K5	9	側面・並進	8.53×10^6	1.73×10^6
K6	9	側面・回転	6.73×10^9	4.00×10^8
K7	10	側面・並進	4.52×10^6	8.62×10^5
K8	10	側面・回転	3.54×10^9	1.97×10^8
K9	10	底面・並進	7.25×10^7	2.80×10^6
K10	10	底面・回転	7.60×10^{10}	7.01×10^8

注記*1 : K1, K3, K5, K7, K9はkN/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m/rad

注記*2 : K1, K3, K5, K7, K9はkN・s/m K2, K4, K6, K8, K10はkN・m・s/rad

5. 検討結果

5.1 固有値解析結果

SIT 考慮モデルと今回工認モデルの固有値解析結果（固有周期及び固有振動数）の比較を表 5-1 に示す。

SIT 考慮モデルの固有周期は，今回工認モデルの結果とほぼ同程度となることを確認した。

表 5-1 固有値解析結果

(a) NS 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認 モデル	SIT 考慮 モデル	今回工認 モデル	SIT 考慮 モデル
1	0.439	0.441	2.28	2.27
2	0.192	0.193	5.20	5.18
3	0.091	0.093	11.03	10.80
4	0.078	0.079	12.88	12.59
5	0.077	0.078	12.98	12.86

(b) EW 方向

次数	固有周期 (s)		固有振動数 (Hz)	
	今回工認 モデル	SIT 考慮 モデル	今回工認 モデル	SIT 考慮 モデル
1	0.429	0.430	2.33	2.32
2	0.191	0.192	5.23	5.22
3	0.082	0.084	12.16	11.94
4	0.077	0.078	12.97	12.74
5	0.071	0.072	14.02	13.88

5.2 最大応答値

基準地震動 Ss-1 による最大応答値を図 5-1～図 5-8 に，最大せん断ひずみを表 5-2 及び表 5-3 に示す。

SIT 考慮モデルの最大応答値は，今回工認モデルの結果と同等の応答を示すことを確認した。

また，SIT 考慮モデルの最大応答値と基準地震動 Ss-1～Ss-8 について材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果*の包絡値（以下「パラスタケース包絡値」という。）の比較を図 5-9～図 5-16 に，最大せん断ひずみの比較を表 5-4 及び表 5-5 に示す。

SIT 考慮モデルの最大応答値は，パラスタケース包絡値を下回ることを確認した。

注記*：別紙 3-2「材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」参照。

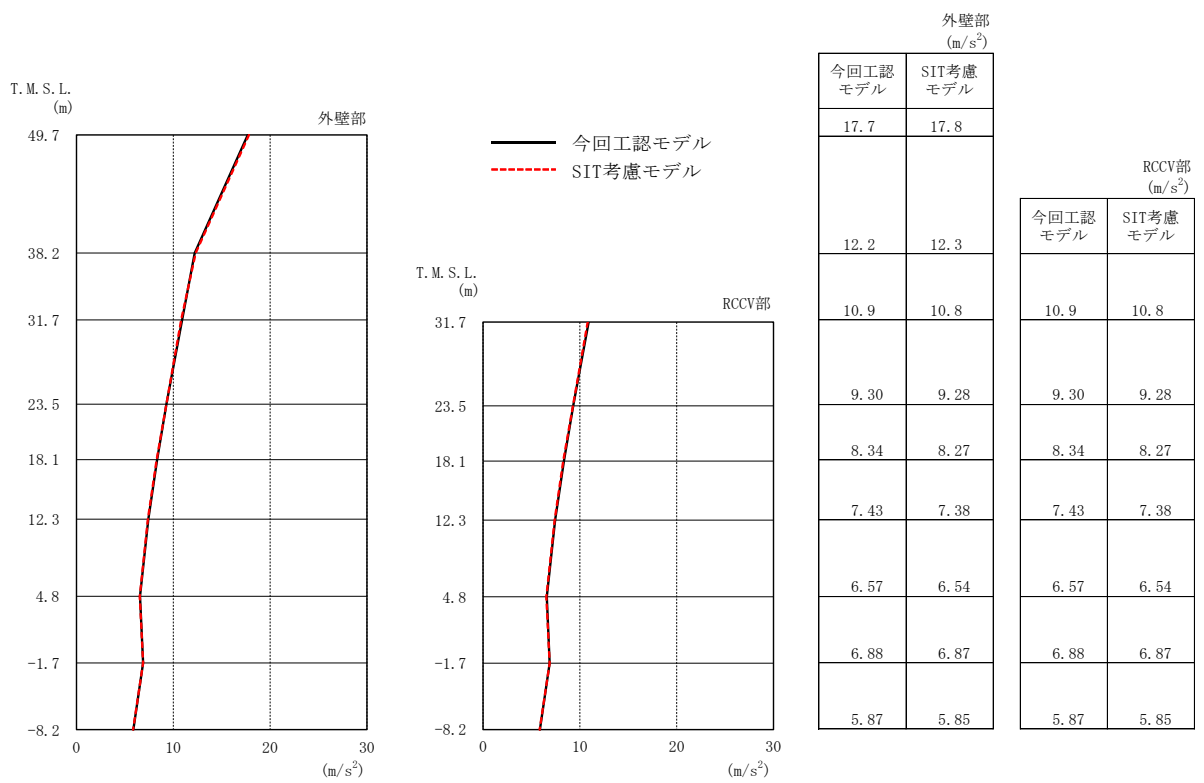
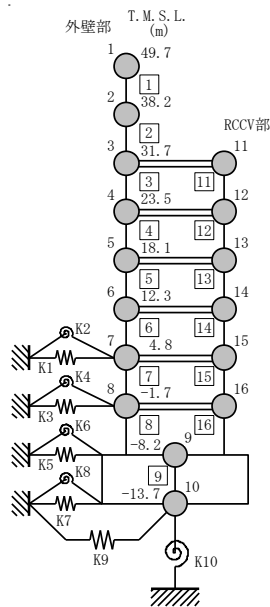


図 5-1 最大応答加速度 (Ss-1, NS 方向)



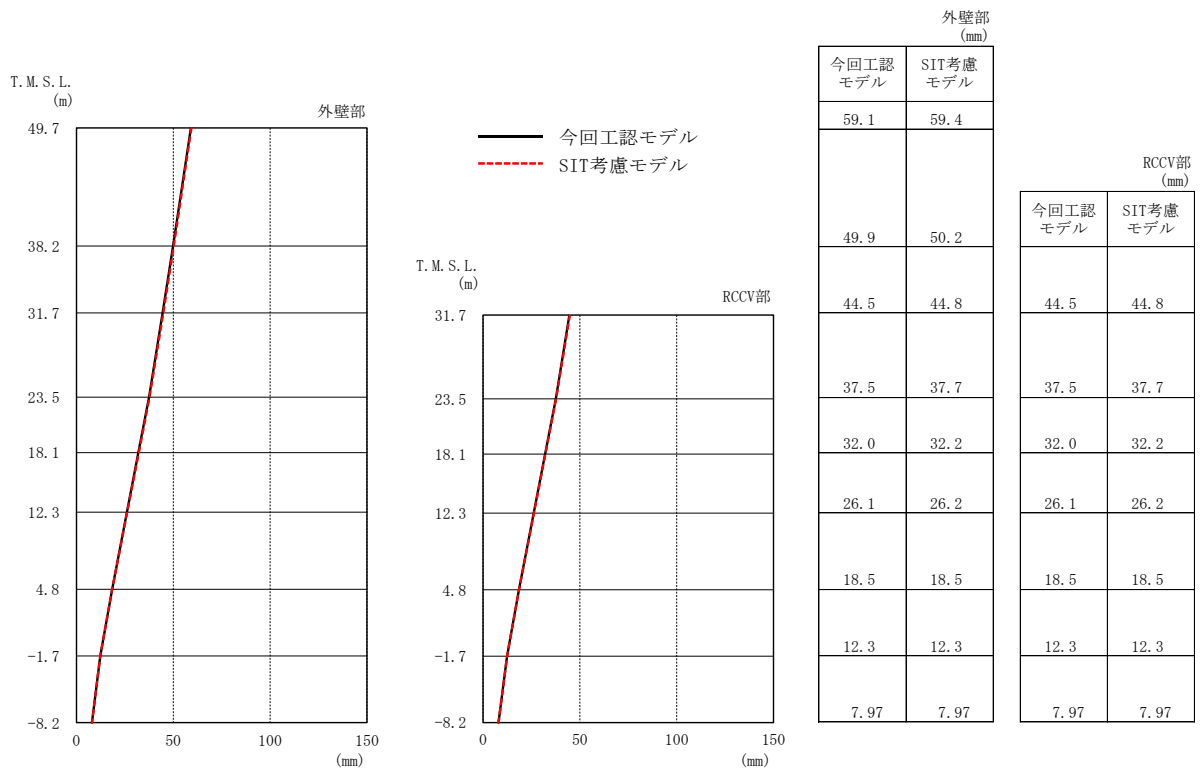
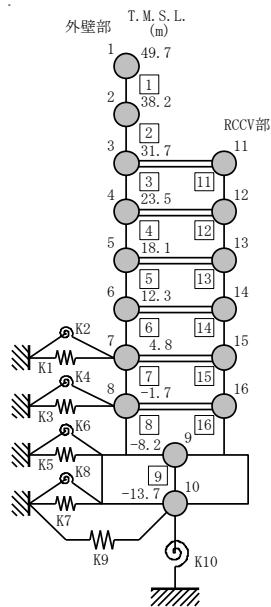


図 5-2 最大応答変位 (Ss-1, NS 方向)



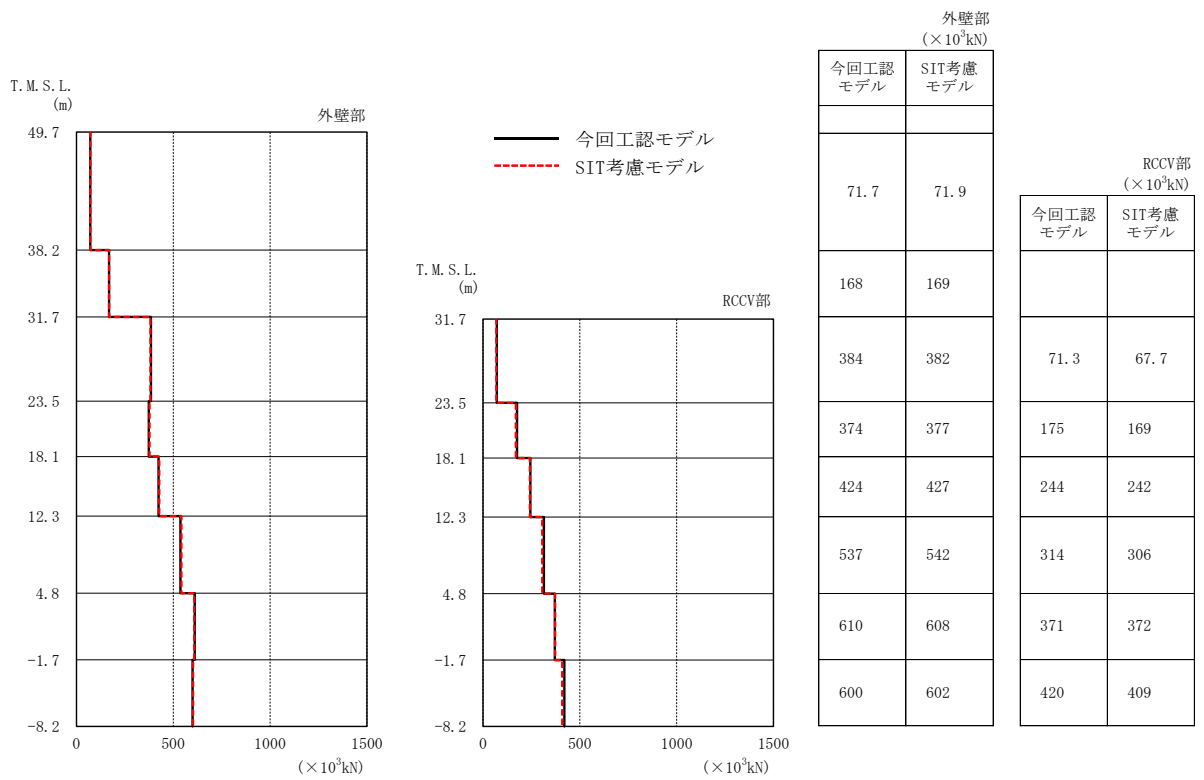
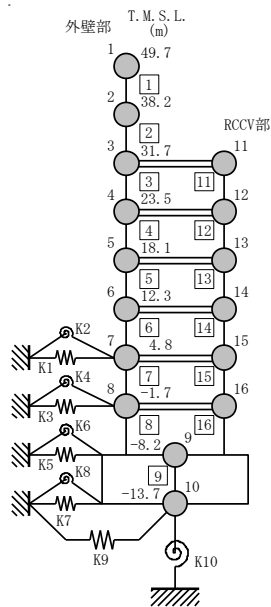


図 5-3 最大応答せん断力 (Ss-1, NS 方向)



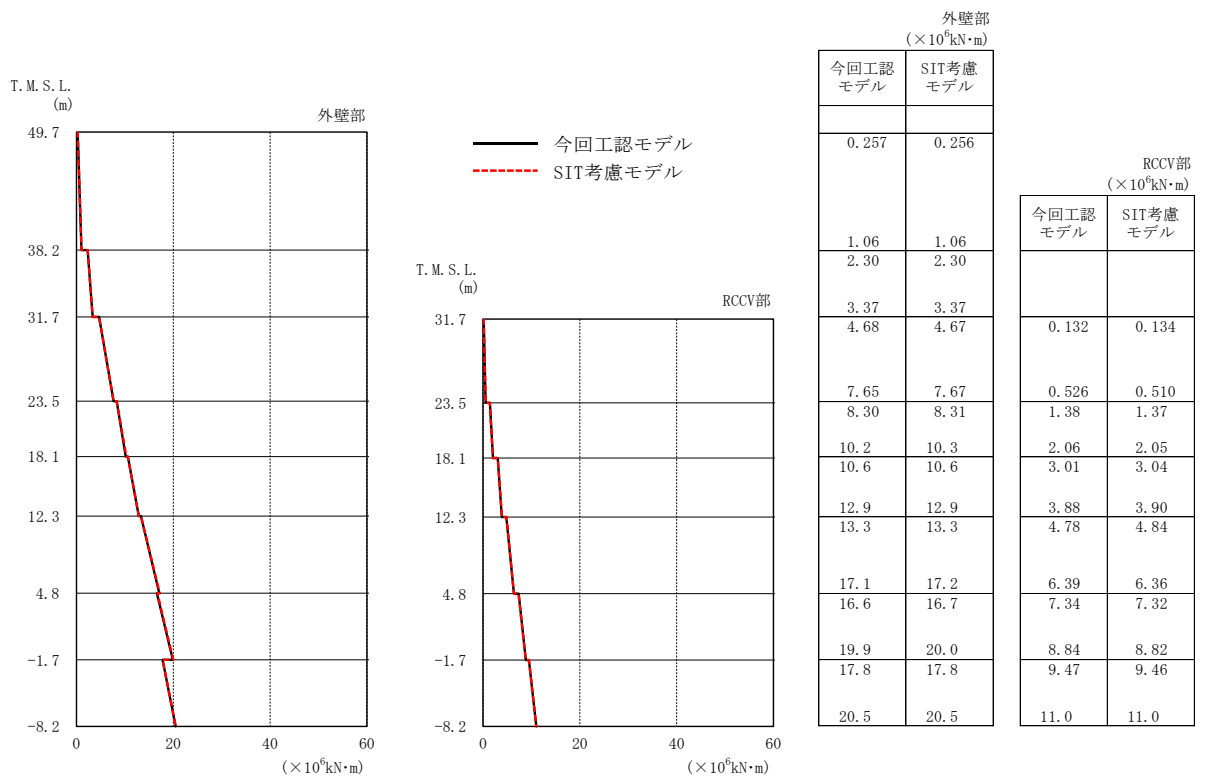
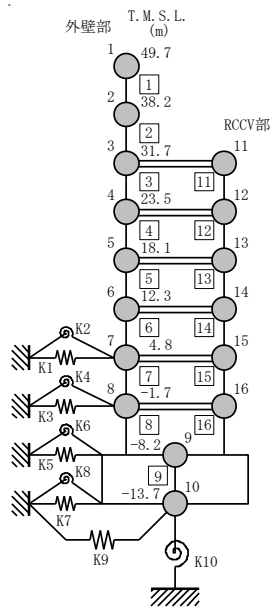


図 5-4 最大応答曲げモーメント (Ss-1, NS 方向)



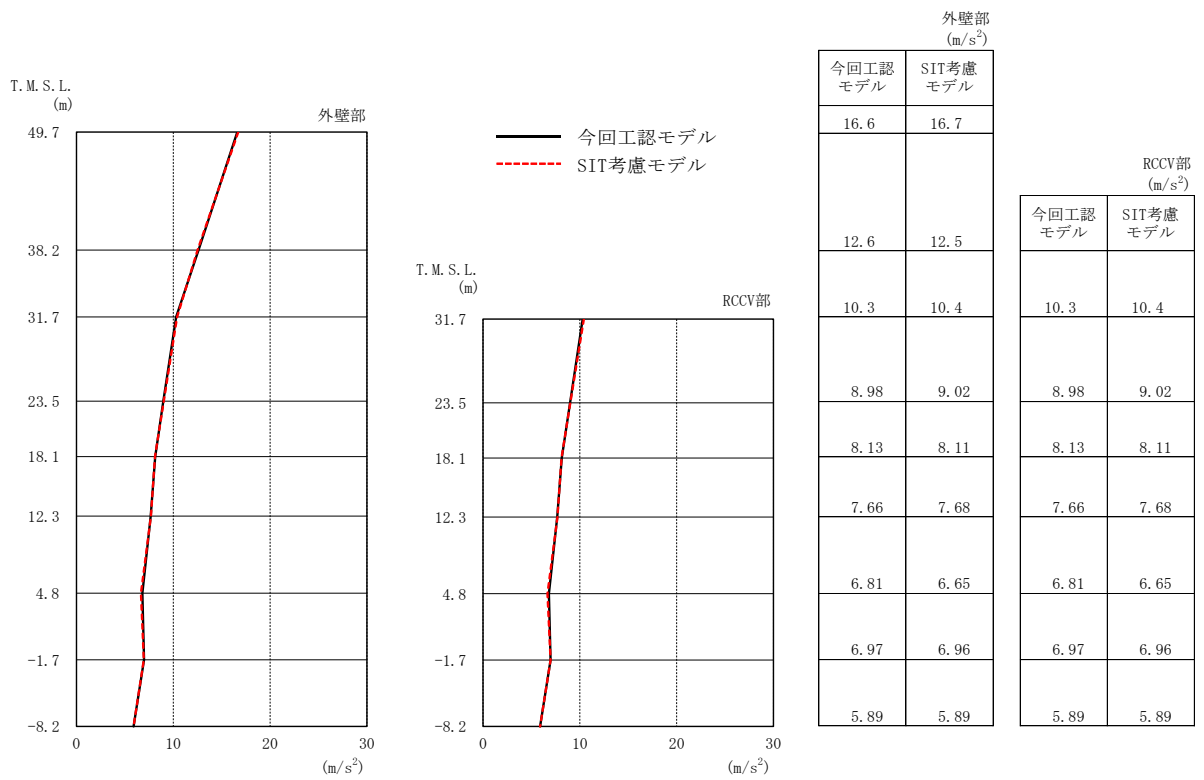
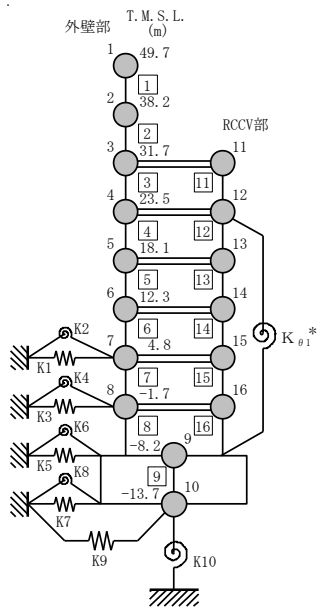


図 5-5 最大応答加速度 (Ss-1, EW 方向)



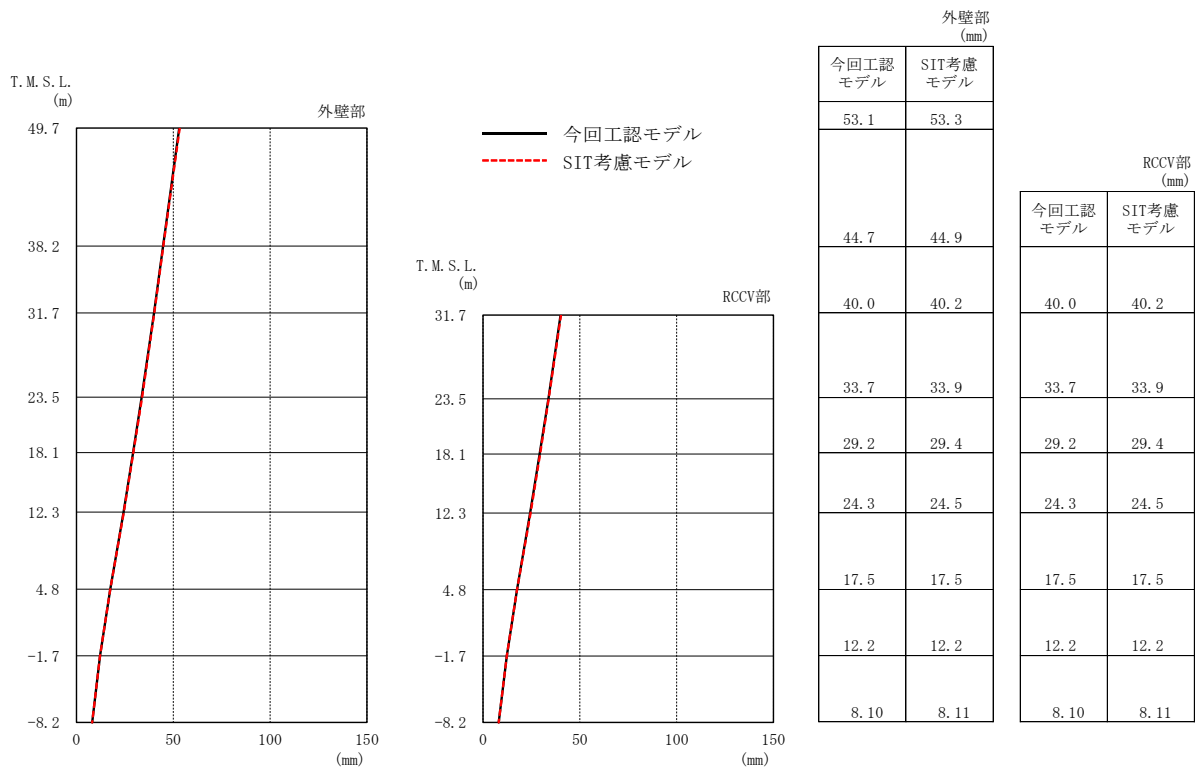
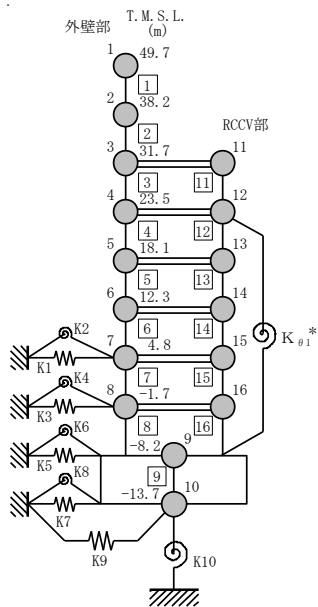


図 5-6 最大応答変位 (Ss-1, EW 方向)



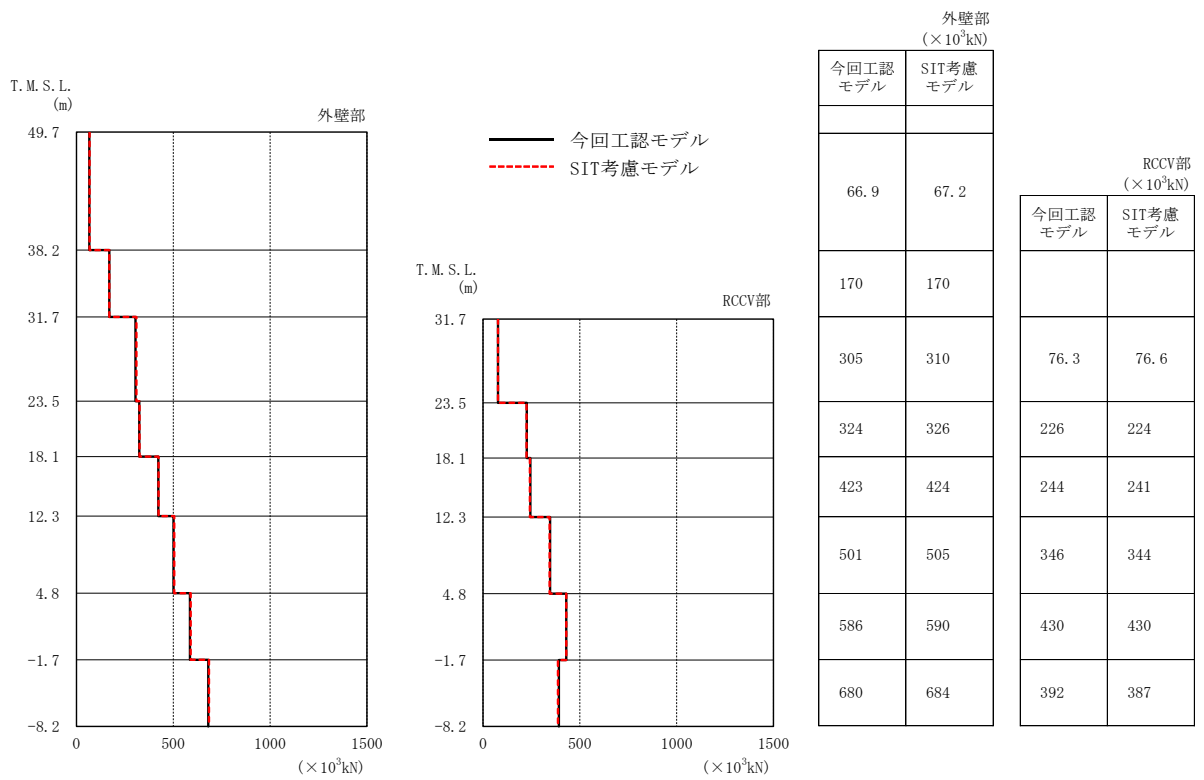
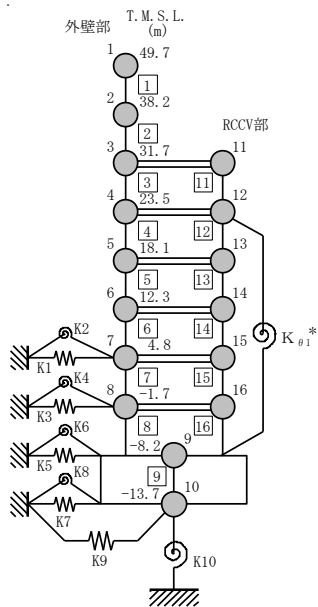


図 5-7 最大応答せん断力 (Ss-1, EW 方向)



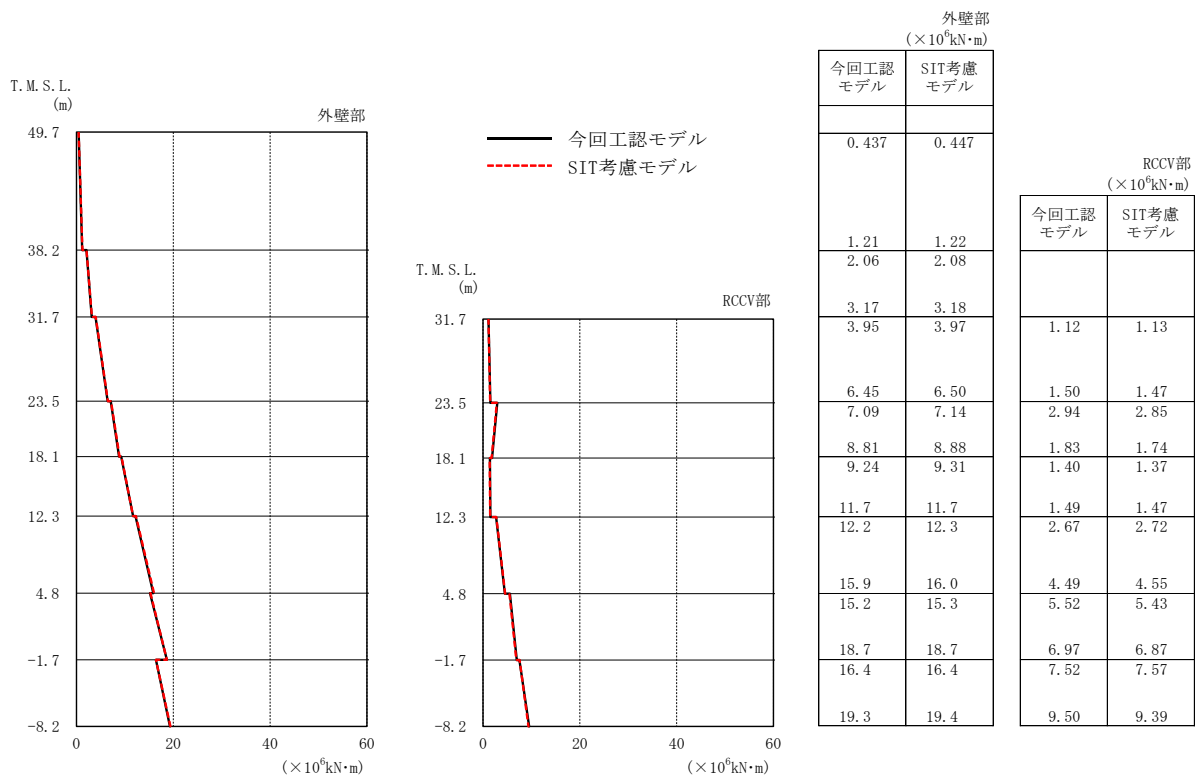


図 5-8 最大応答曲げモーメント (Ss-1, EW 方向)

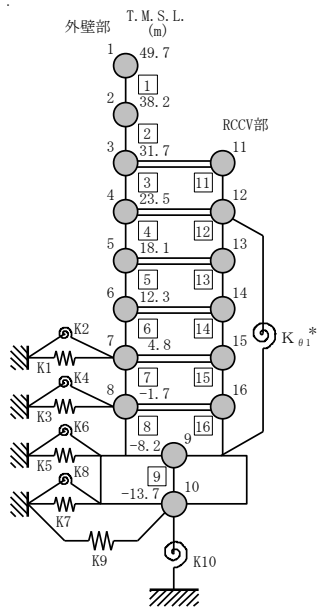


表 5-2 最大せん断ひずみ (Ss-1, NS 方向)

(a) 外壁部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	今回工認モデル	SIT考慮モデル
1	0.147	0.147
2	0.170	0.171
3	0.171	0.170
4	0.361	0.372
5	0.388	0.399
6	0.406	0.419
7	0.528	0.524
8	0.225	0.230

(b) RCCV 部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	今回工認モデル	SIT考慮モデル
11	0.0499	0.0525
12	0.130	0.137
13	0.149	0.158
14	0.189	0.199
15	0.388	0.388
16	0.189	0.193

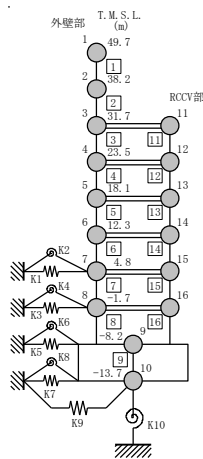
表 5-3 最大せん断ひずみ (Ss-1, EW 方向)

(a) 外壁部

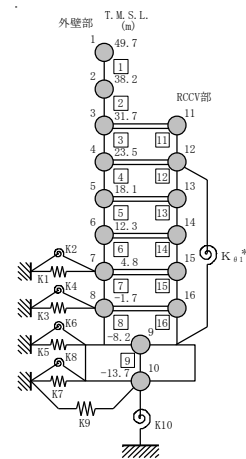
部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	今回工認モデル	SIT考慮モデル
1	0.103	0.103
2	0.116	0.116
3	0.148	0.150
4	0.206	0.211
5	0.243	0.247
6	0.334	0.344
7	0.318	0.327
8	0.244	0.252

(b) RCCV 部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	今回工認モデル	SIT考慮モデル
11	0.0292	0.0308
12	0.0848	0.0878
13	0.0982	0.103
14	0.191	0.203
15	0.200	0.212
16	0.200	0.209



NS 方向



EW 方向

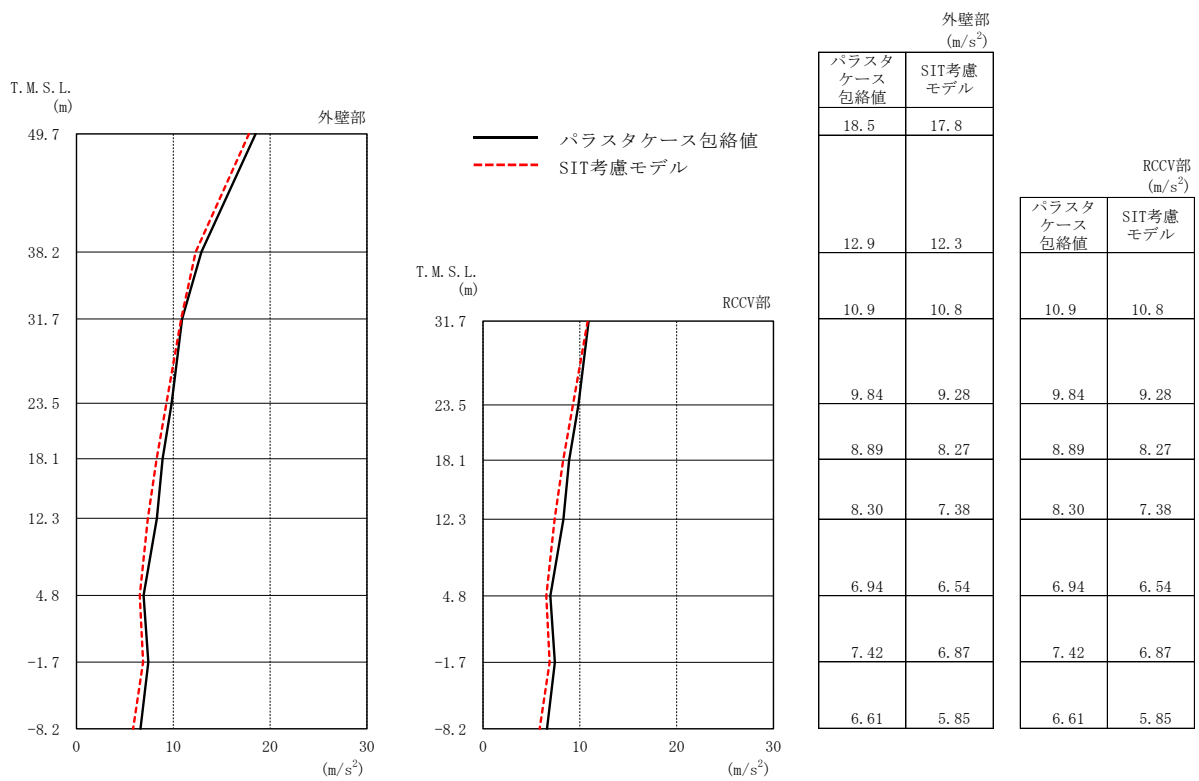
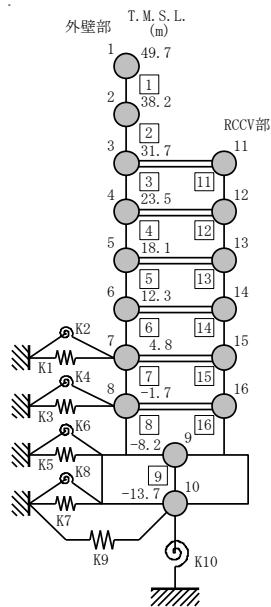


図 5-9 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，NS 方向）



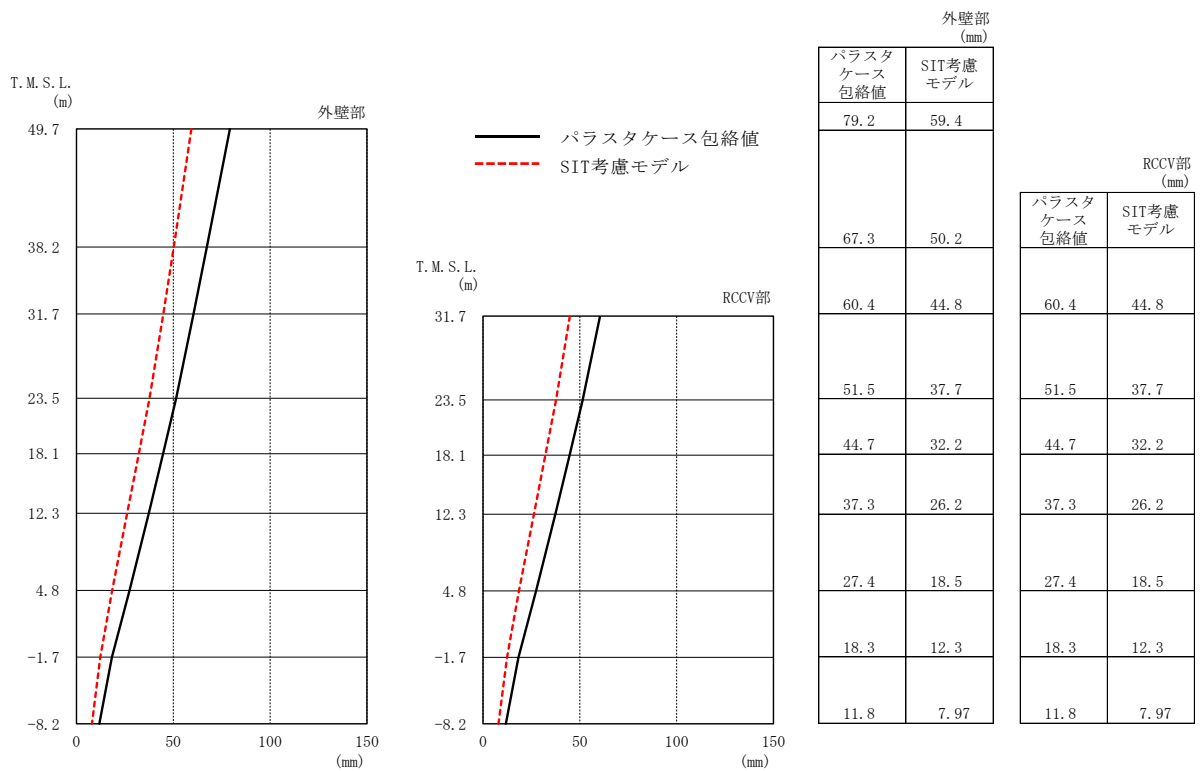
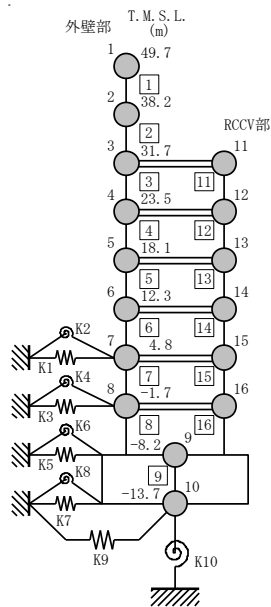


図 5-10 最大応答変位 (パラスタケース包絡値との比較, NS 方向)



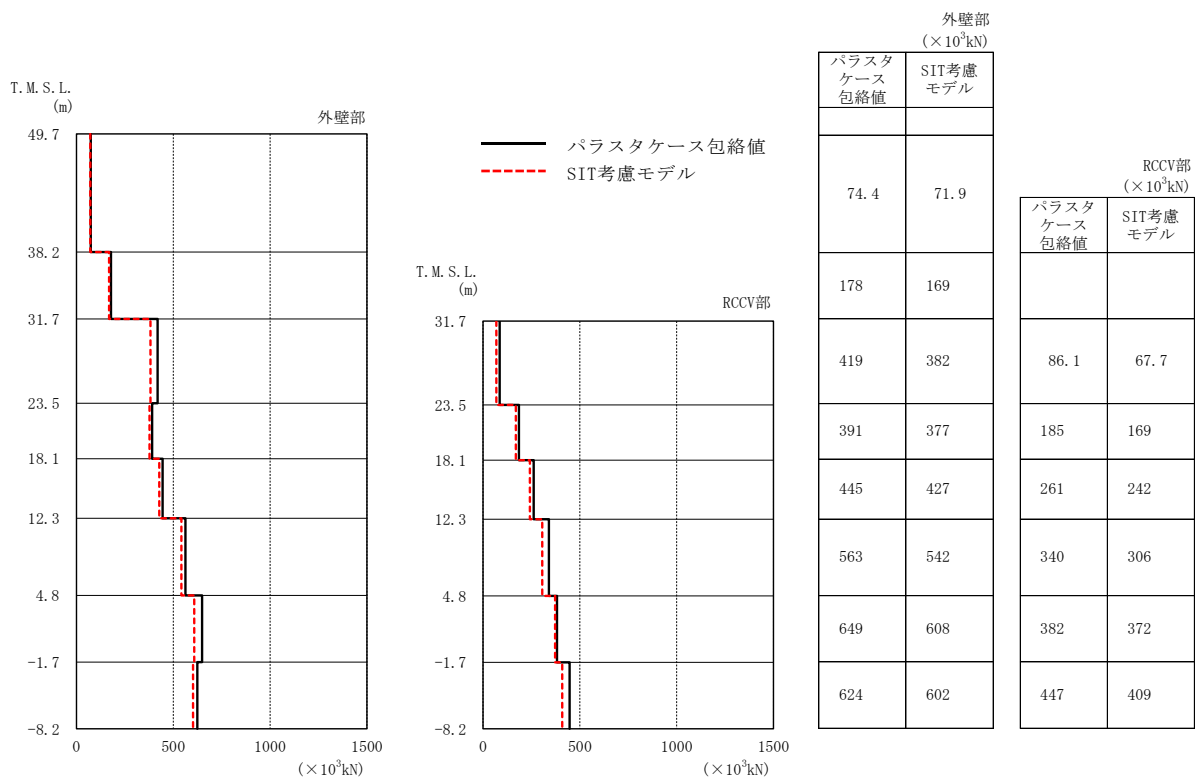
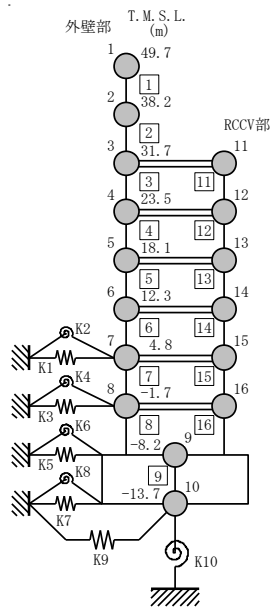


図 5-11 最大応答せん断力 (パラスタケース包絡値との比較, NS 方向)



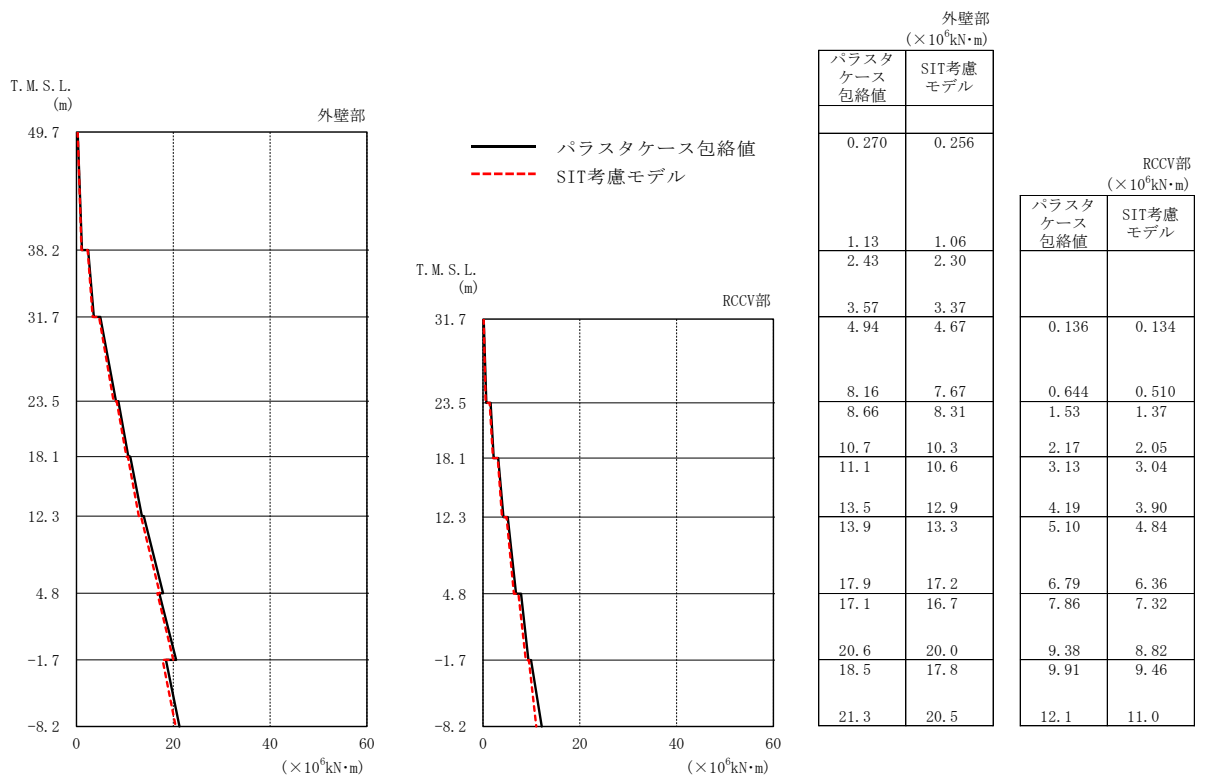
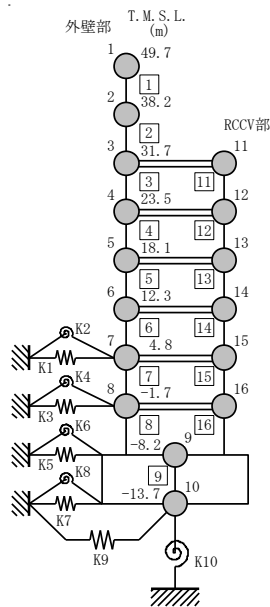


図 5-12 最大応答曲げモーメント (パラスタケース包絡値との比較, NS 方向)



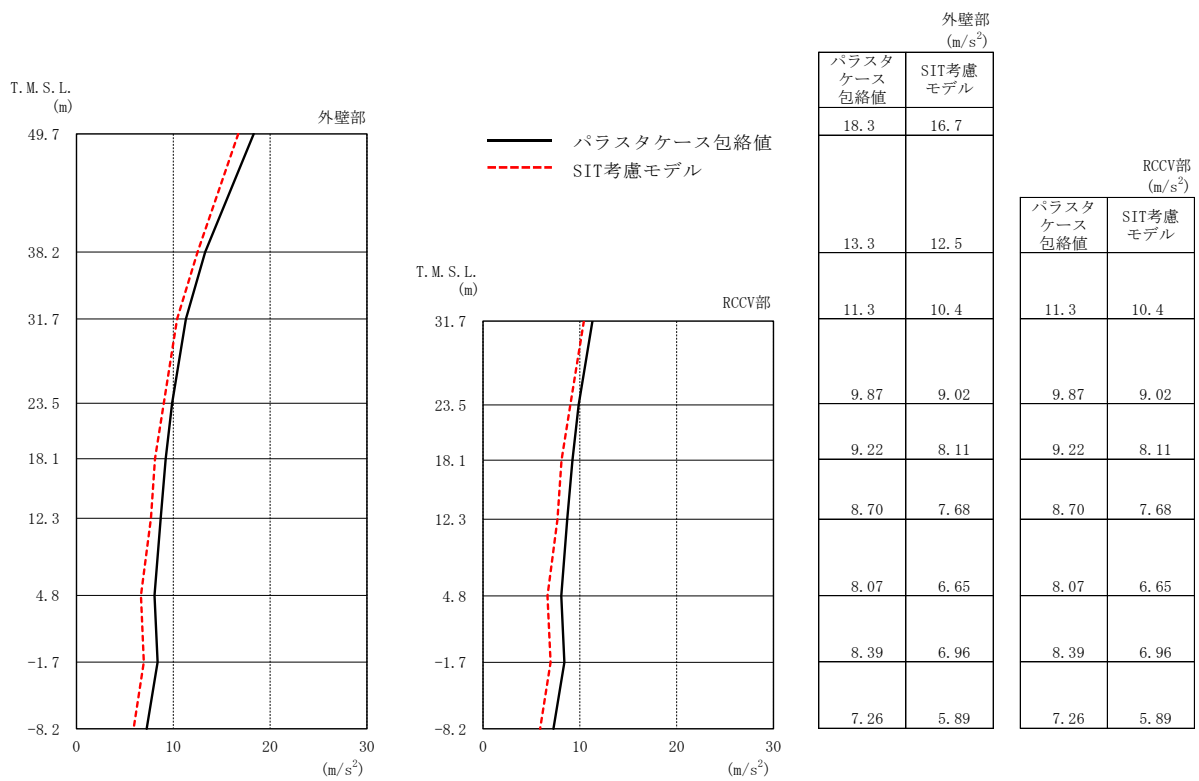
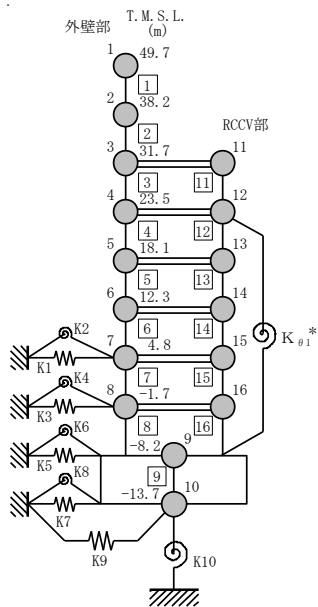


図 5-13 最大応答加速度（パラスタケース包絡値との比較，EW 方向）



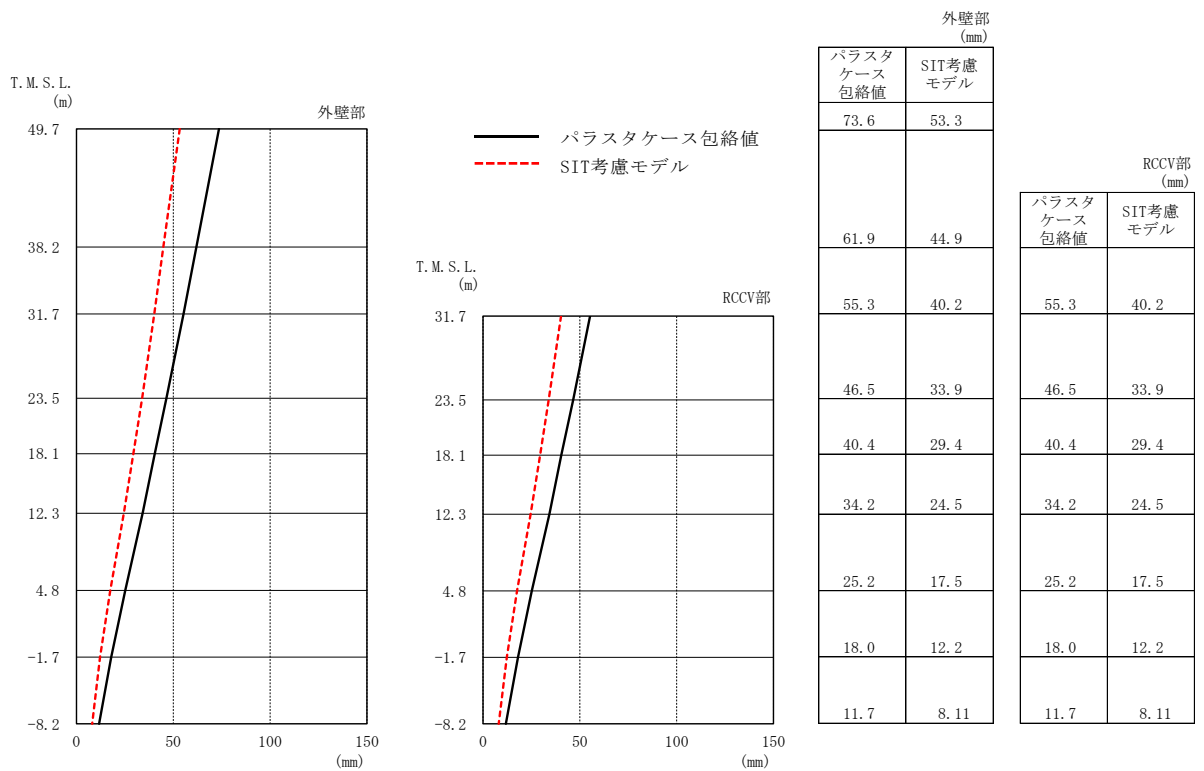
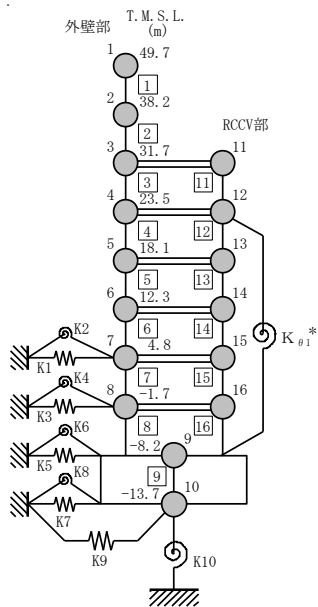


図 5-14 最大応答変位 (パラスタケース包絡値との比較, EW 方向)



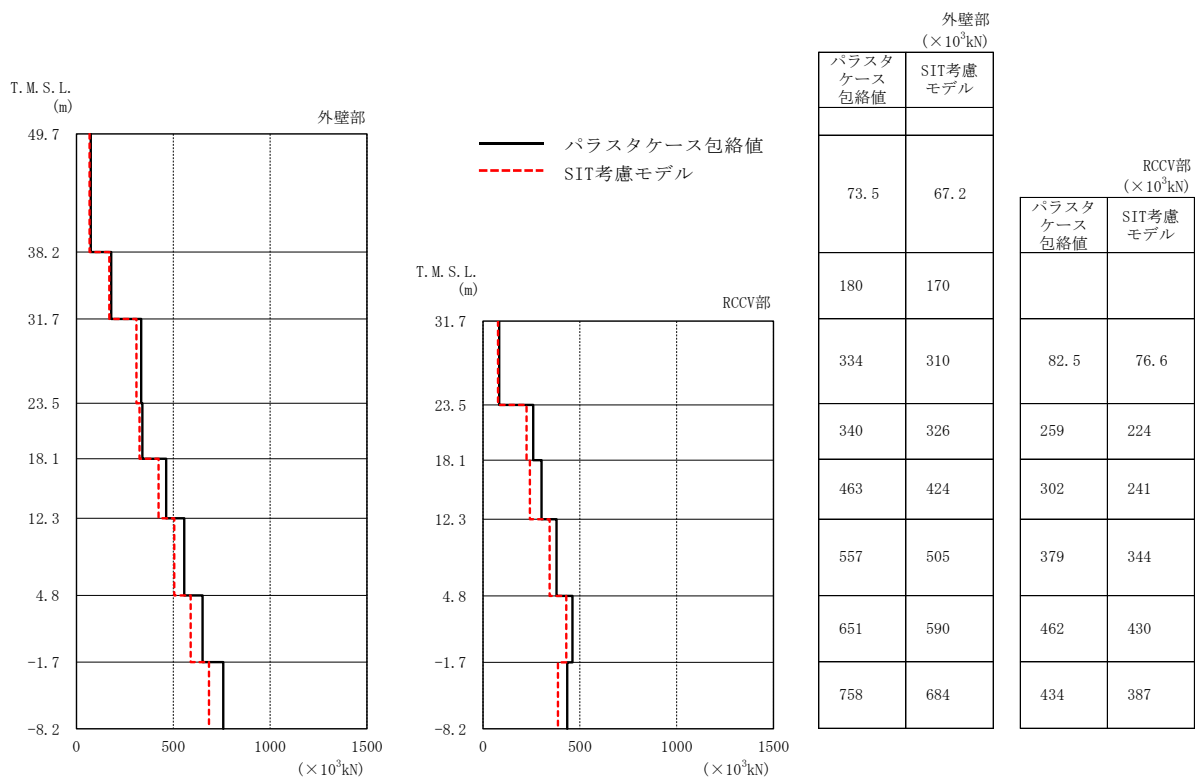
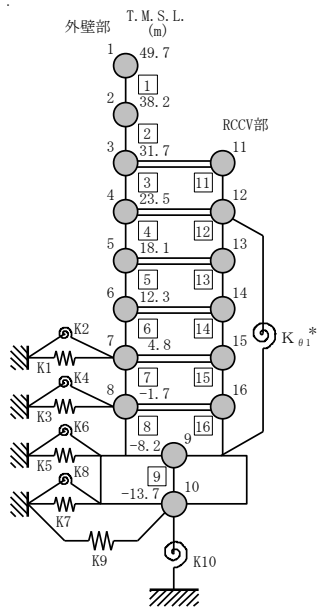


図 5-15 最大応答せん断力 (パラスタケース包絡値との比較, EW 方向)



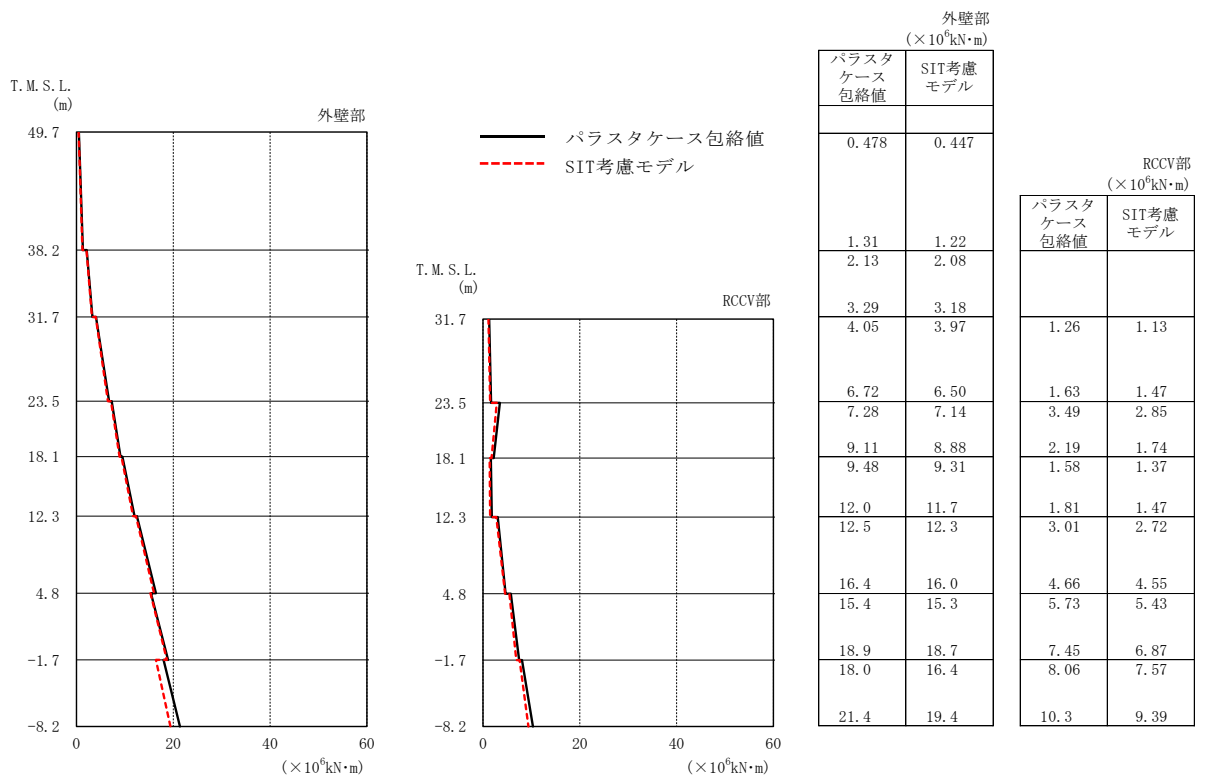


図 5-16 最大応答曲げモーメント (パラスタケース包絡値との比較, EW 方向)

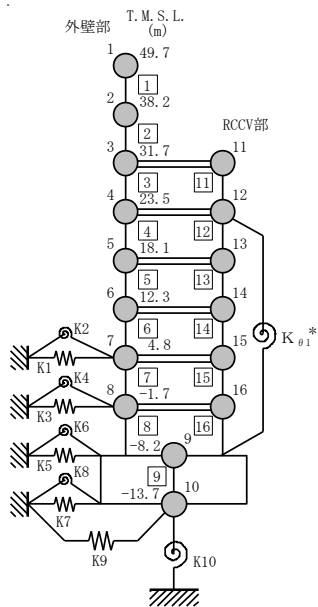


表 5-4 最大せん断ひずみ (パラスタケース包絡値との比較, NS 方向)

(a) 外壁部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	パラスタケース包絡値	SIT考慮モデル
1	0.155	0.147
2	0.182	0.171
3	0.185	0.170
4	0.404	0.372
5	0.437	0.399
6	0.525	0.419
7	0.679	0.524
8	0.278	0.230

(b) RCCV 部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	パラスタケース包絡値	SIT考慮モデル
11	0.0633	0.0525
12	0.145	0.137
13	0.167	0.158
14	0.267	0.199
15	0.475	0.388
16	0.213	0.193

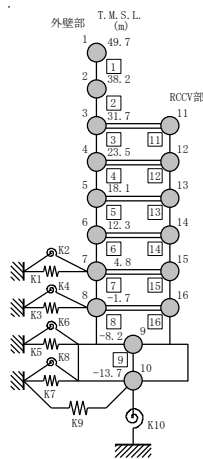
表 5-5 最大せん断ひずみ (パラスタケース包絡値との比較, EW 方向)

(a) 外壁部

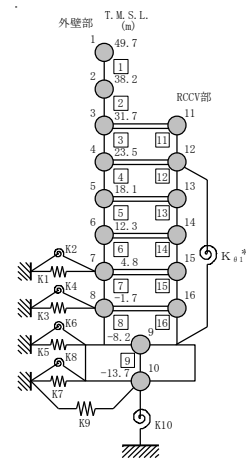
部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	パラスタケース包絡値	SIT考慮モデル
1	0.110	0.103
2	0.120	0.116
3	0.159	0.150
4	0.249	0.211
5	0.305	0.247
6	0.570	0.344
7	0.554	0.327
8	0.390	0.252

(b) RCCV 部

部材番号	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	
	パラスタケース包絡値	SIT考慮モデル
11	0.0326	0.0308
12	0.103	0.0878
13	0.129	0.103
14	0.381	0.203
15	0.390	0.212
16	0.327	0.209



NS 方向



EW 方向

6. 床応答に対する影響

基準地震動 Ss-1 における今回工認モデルの床応答スペクトルと SIT 考慮モデルの床応答スペクトルの比較を図 6-1 及び図 6-2 に示す。

図 6-1 及び図 6-2 に示すとおり、SIT 考慮モデルの床応答スペクトルは、今回工認モデルの床応答スペクトルと同等の応答を示すことを確認した。

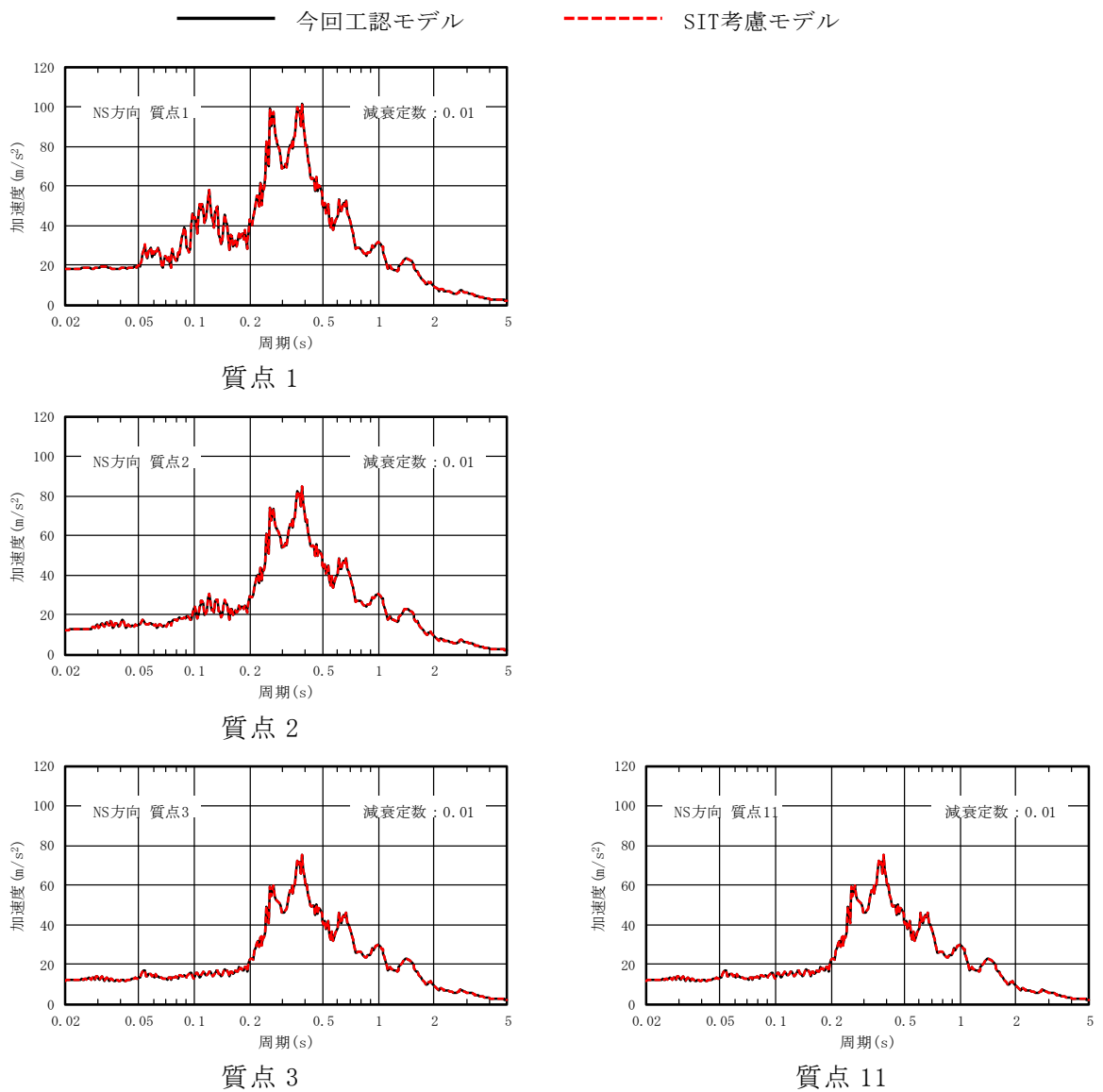
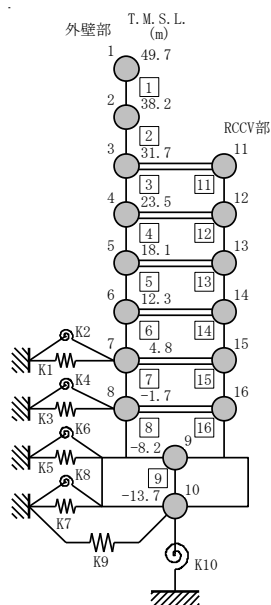


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (1/3)



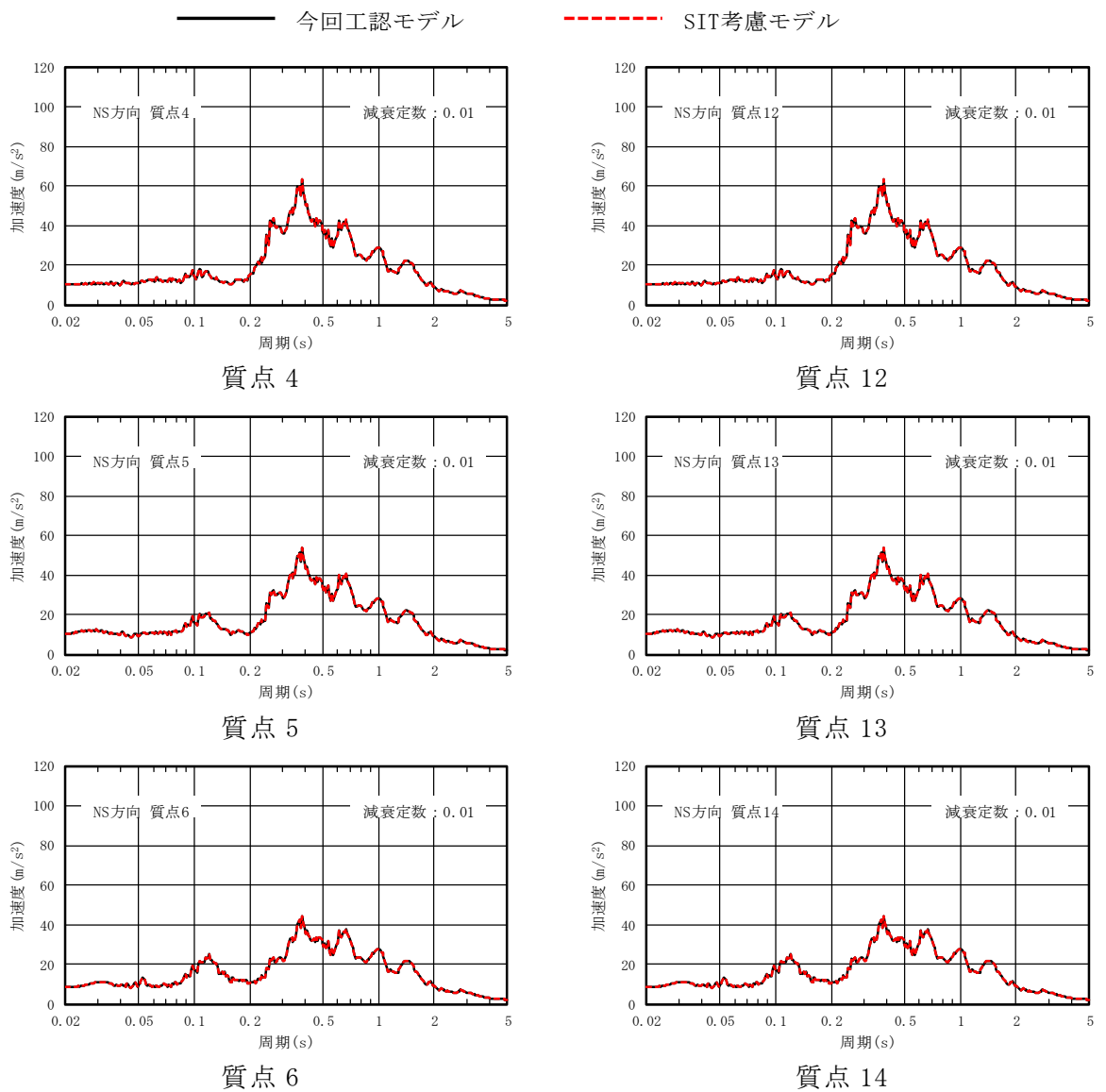
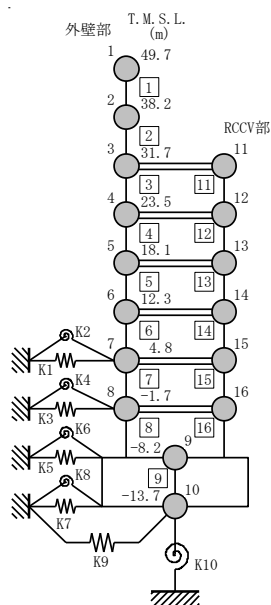


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (2/3)



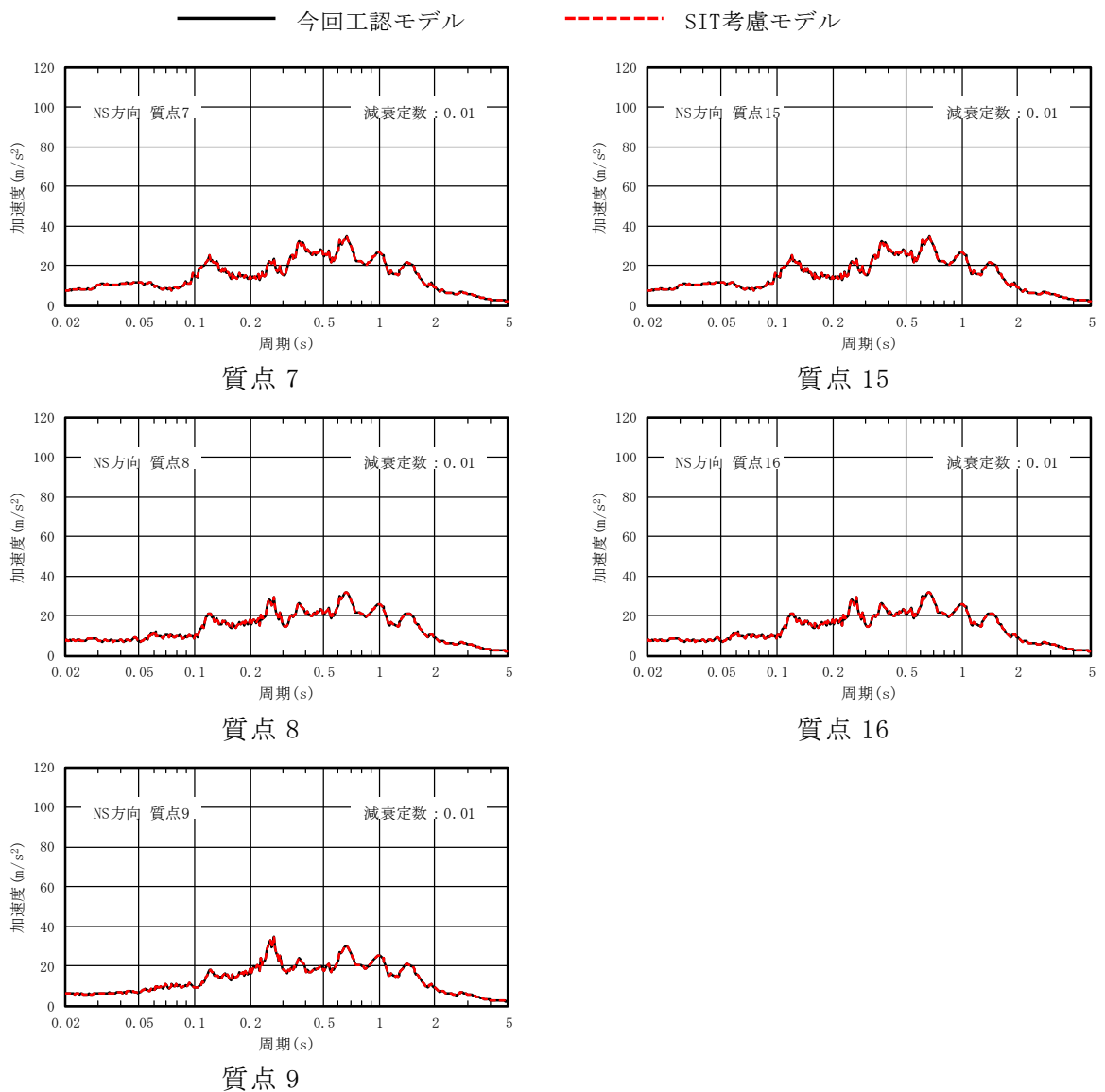
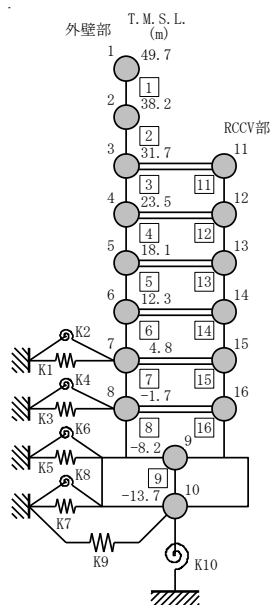


図 6-1 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, NS 方向, h=0.01) (3/3)



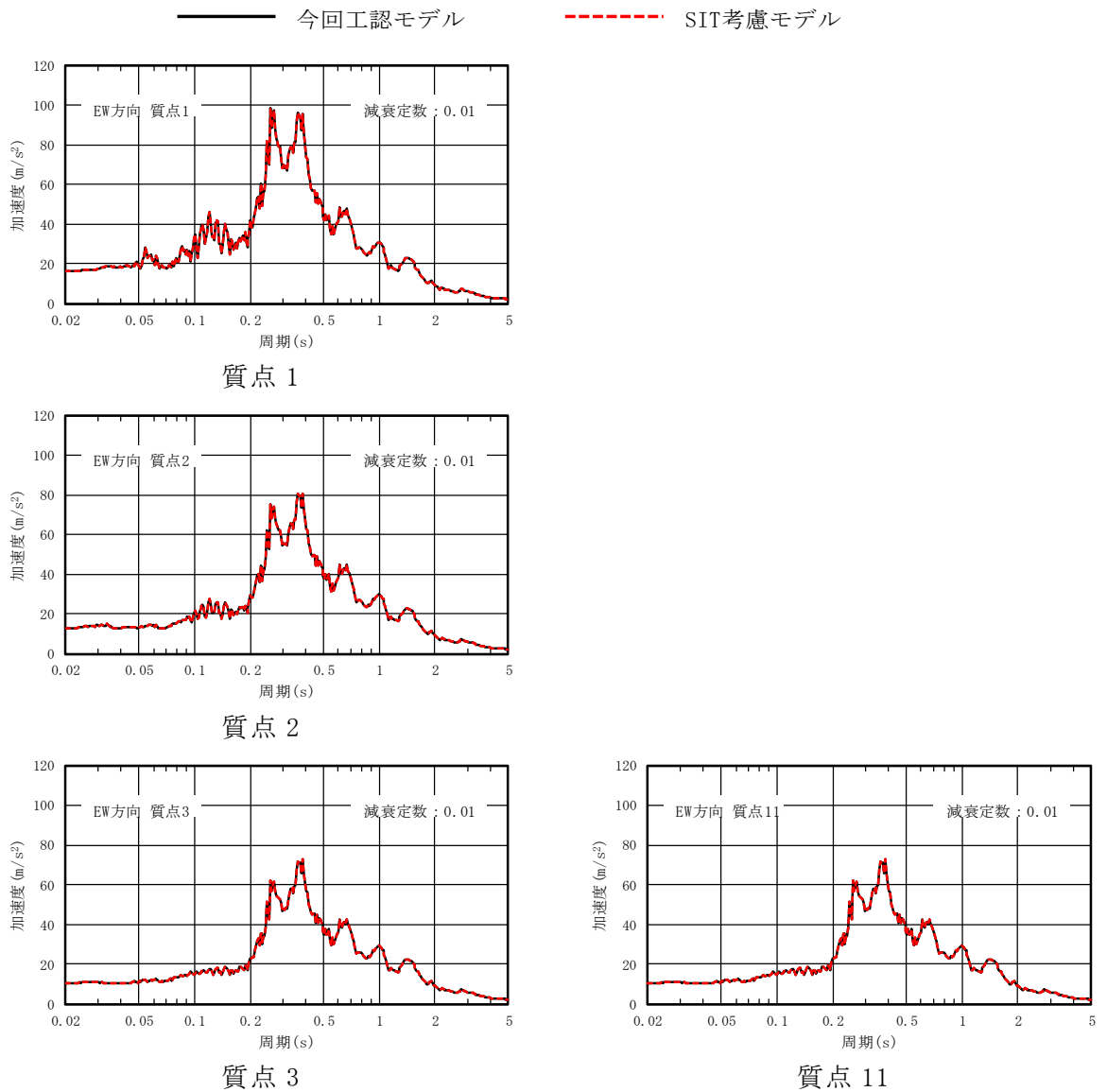
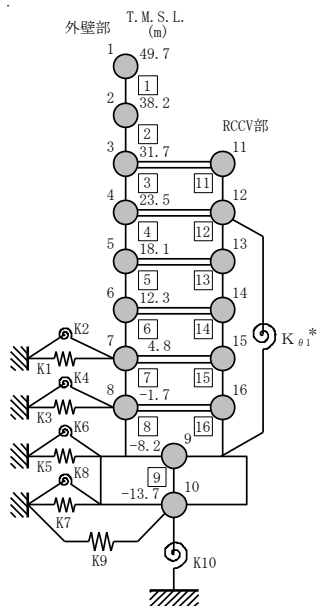


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (1/3)



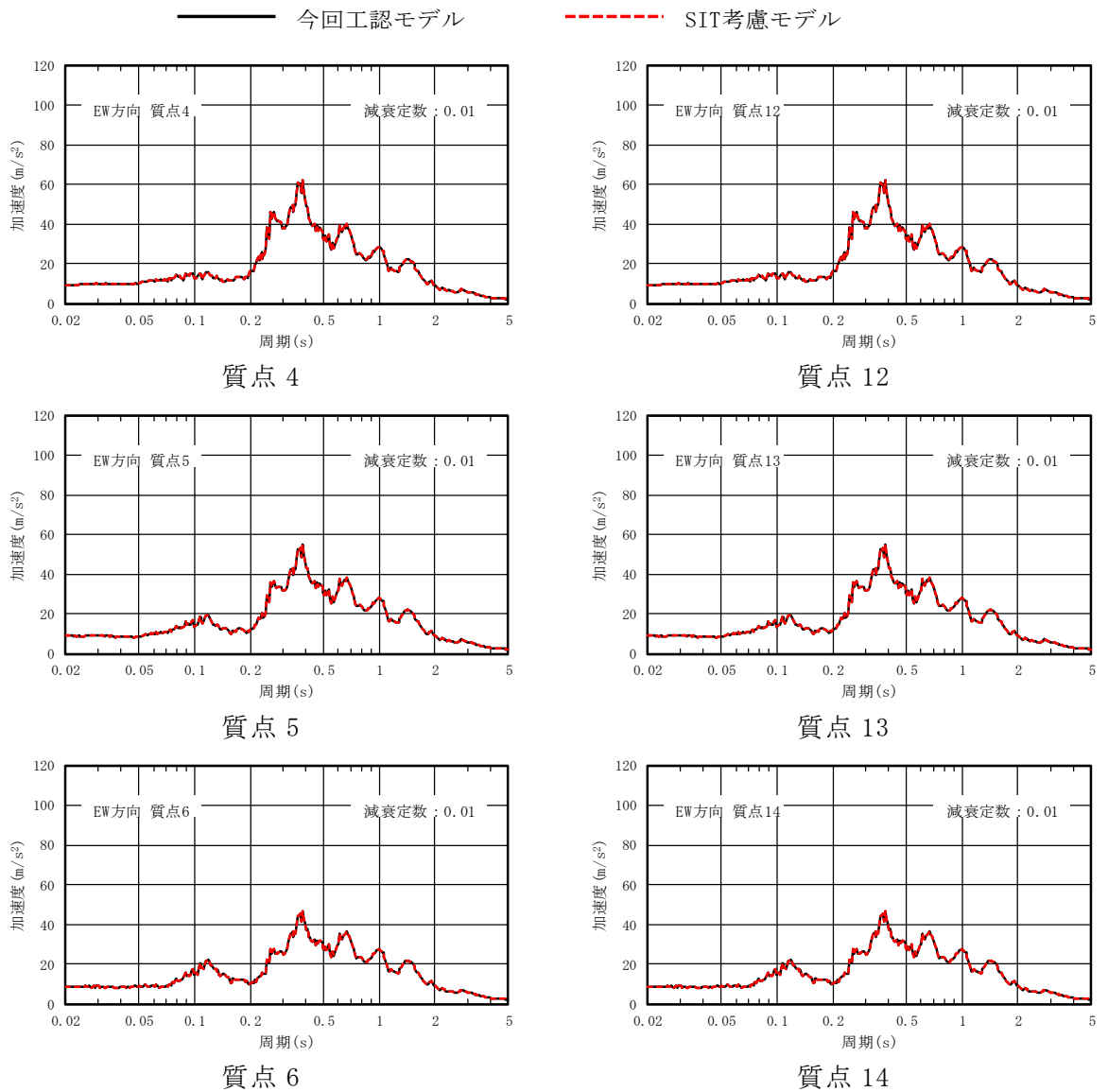
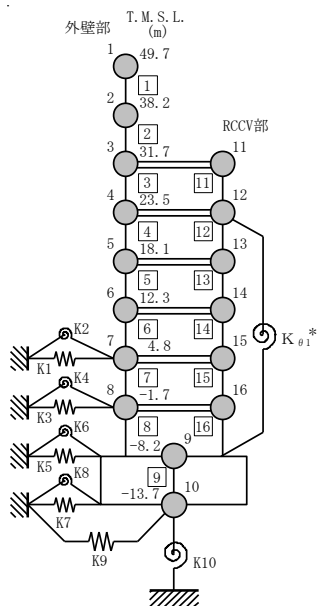


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (2/3)



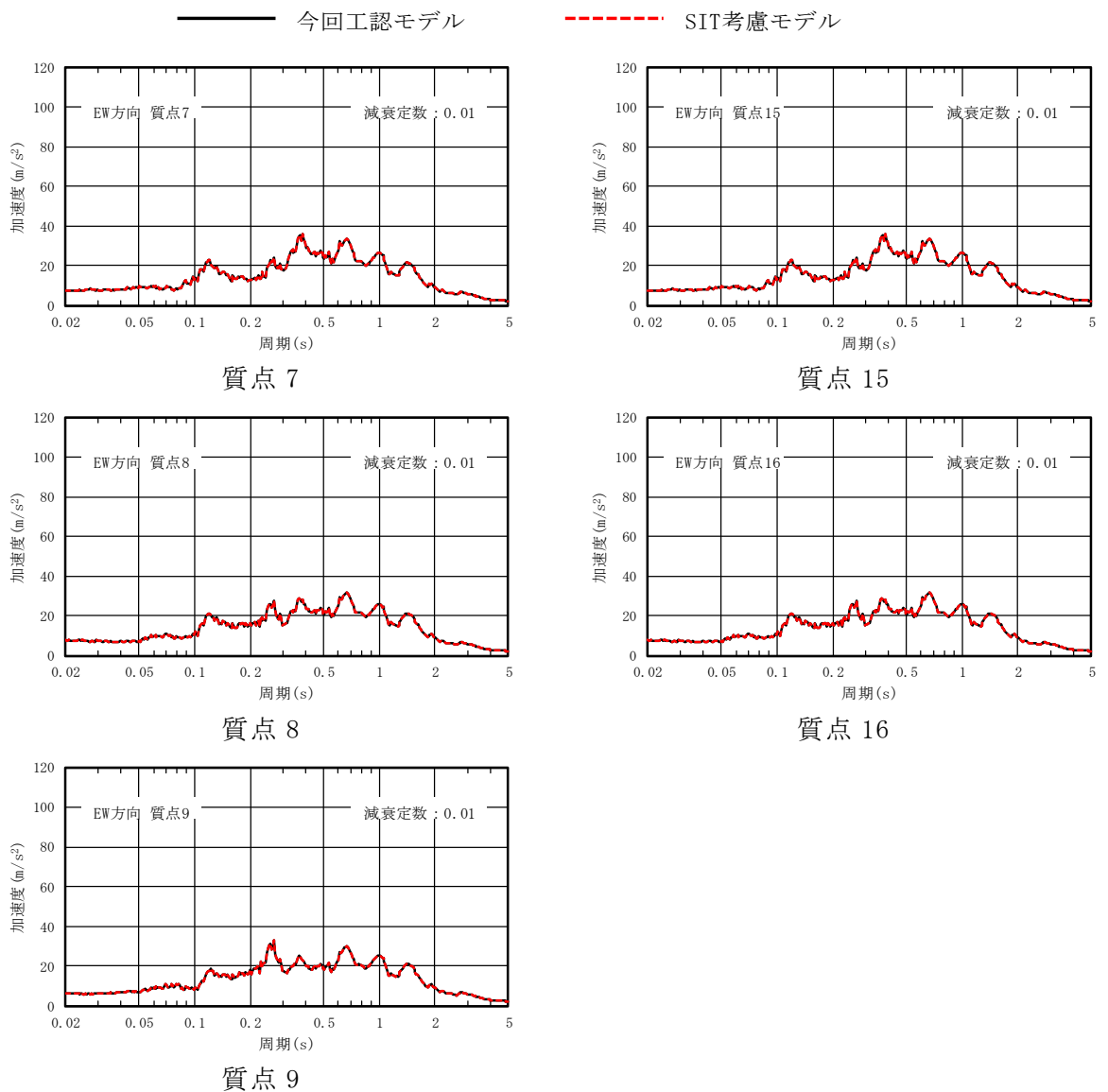
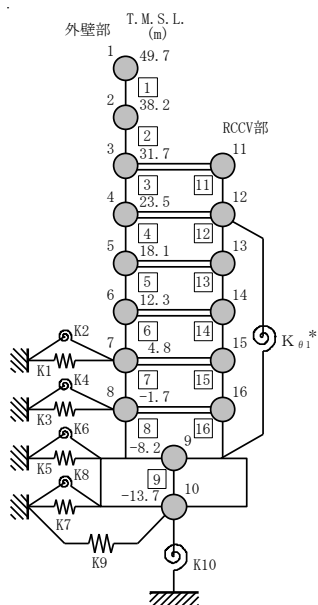


図 6-2 基準地震動 Ss-1 の床応答スペクトル比較 (Ss-1, EW 方向, h=0.01) (3/3)



7. まとめ

SIT による影響を考慮していない状態で地震時の挙動をより実応答に近い形で評価できる今回工認モデルに対して、仮に RCCV 部の水平剛性を 90%に低下させた SIT 考慮モデルを用いて、基準地震動 S_s-1 に対する地震応答解析を実施し、今回工認モデルを用いた結果と比較した。

その結果、SIT 考慮モデルの固有周期、最大応答値及び床応答スペクトルは、今回工認モデルの結果と同等となることから、今回工認モデルは基本モデルとして妥当であることを確認した。

また、SIT 考慮モデルの最大応答値は、パラスタケース包絡値を下回ることを確認した。

8. 引用文献

- (1) 齋藤ほか：「鉄筋コンクリート製格納容器（RCCV）の開発」，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1241-1250，1988年10月
- (2) 笹沼ほか：「鉄筋コンクリート製原子炉格納容器の構造性能確認試験（K7号機）」，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1019-1022，1997年9月

別紙13 建屋側面地盤ばねの適用性について

目 次

1. 概要	別紙13-1
2. 側面地盤との接地状況	別紙13-2
3. まとめ	別紙13-10

別紙13-1 タービン建屋のNovakばねの適用性について

1. 概要

建屋の地下部分の埋込みを考慮した水平方向の地震応答解析モデル（以下「埋込みSRモデル」という。）は、側面地盤との接触状況等を確認したうえで、側面地盤ばねとして、Novakばねを採用している。

Novakばねを用いた埋込みSRモデルの適用性については、「原子力発電所耐震設計技術規定 J E A C 4 6 0 1 -2008 ((社) 日本電気協会)」(以下「J E A C」という。)において、室内振動実験や解析的検討の結果をもとに、地下部分の大部分(3面又は面積で75%以上)が周辺地盤と接している場合には、全面埋め込みと同様な埋込み効果が期待できるものとし、それ以外の場合には薄層法、境界要素法、3次元FEM等により妥当性を確認するものとしている。

本資料では、側面地盤との接触状況に着目し、建屋側面の地盤ばねとして、Novakばねを採用する建屋の適用性について説明する。

2. 建屋と側面地盤との接地状況

表2-1に建屋と側面地盤の接触面積比率を，図2-1に建屋の配置図を，図2-2に建屋と側面地盤との接地状況を示す地質断面図を示す。

原子炉建屋，コントロール建屋，5号機原子炉建屋，サービス建屋及び5号機タービン建屋については側面地盤と3面又は75%以上接しており，J E A Cに記載されている適用条件の範囲内である。

タービン建屋については側面地盤との接触面積比が62.9%とJ E A Cに記載されている適用条件の範囲外であるが，別紙13-1において二次元境界要素法（BEM）によりNovakばねの適用性を確認している。

表2-1 建屋と側面地盤の接触面積比率

建屋	地下部表面積 (m ²)	接地表面積 (m ²)	接触面積比 (%)
原子炉建屋	4113	3440	83.6
タービン建屋	4747	2990	62.9
コントロール建屋	1919	1520	79.2
5号機原子炉建屋	7968	7416	93.0
サービス建屋	1477	1242	84.0
5号機タービン建屋	1655	1306	78.9

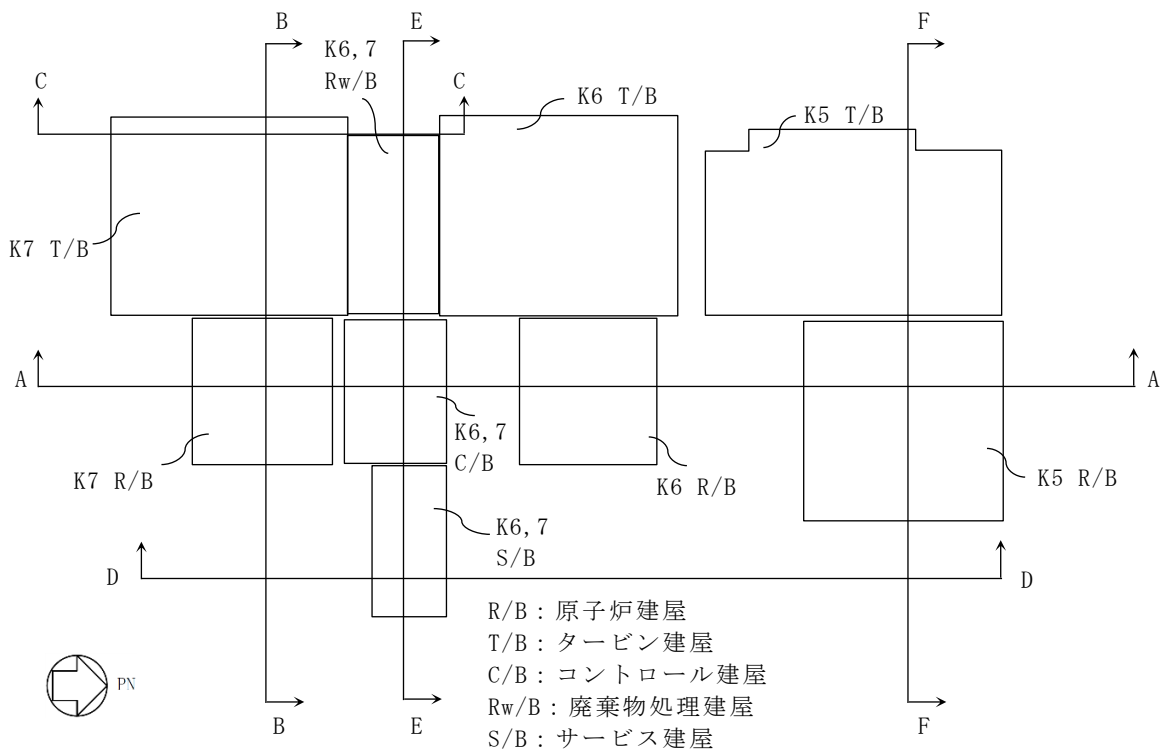


図 2-1 配置図

凡例

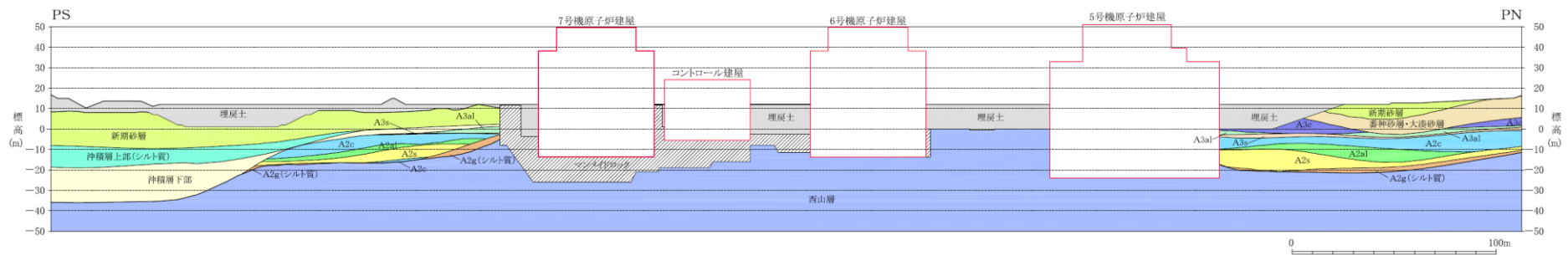
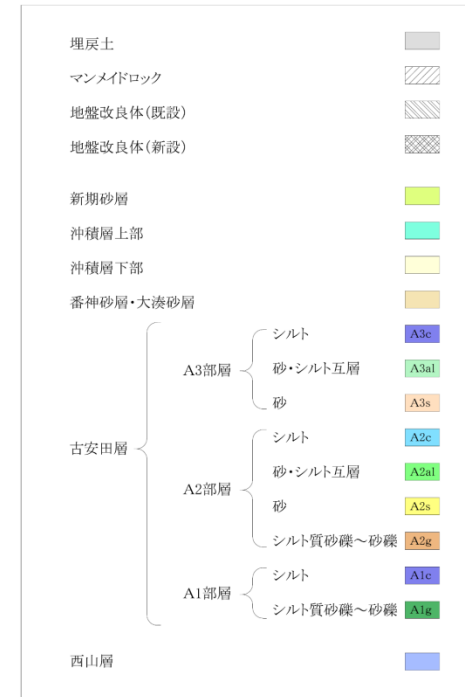


図 2-2 地質断面図 (A-A 断面)

凡例

埋戻土				
マンメイドロック				
地盤改良体(既設)				
地盤改良体(新設)				
新期砂層				
沖積層上部				
沖積層下部				
番神砂層・大湊砂層				
古安田層	A3部層	シルト		A3c
		砂・シルト互層		A3al
		砂		A3s
	A2部層	シルト		A2c
		砂・シルト互層		A2al
		砂		A2s
	A1部層	シルト質砂礫～砂礫		A2g
		シルト		A1c
		シルト質砂礫～砂礫		A1g
西山層				

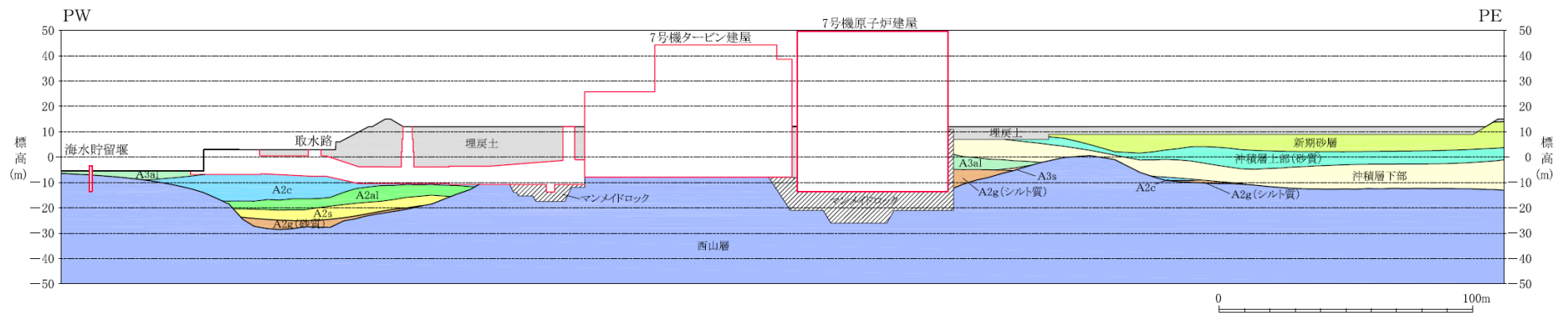


図 2-2 地質断面図 (B-B 断面)

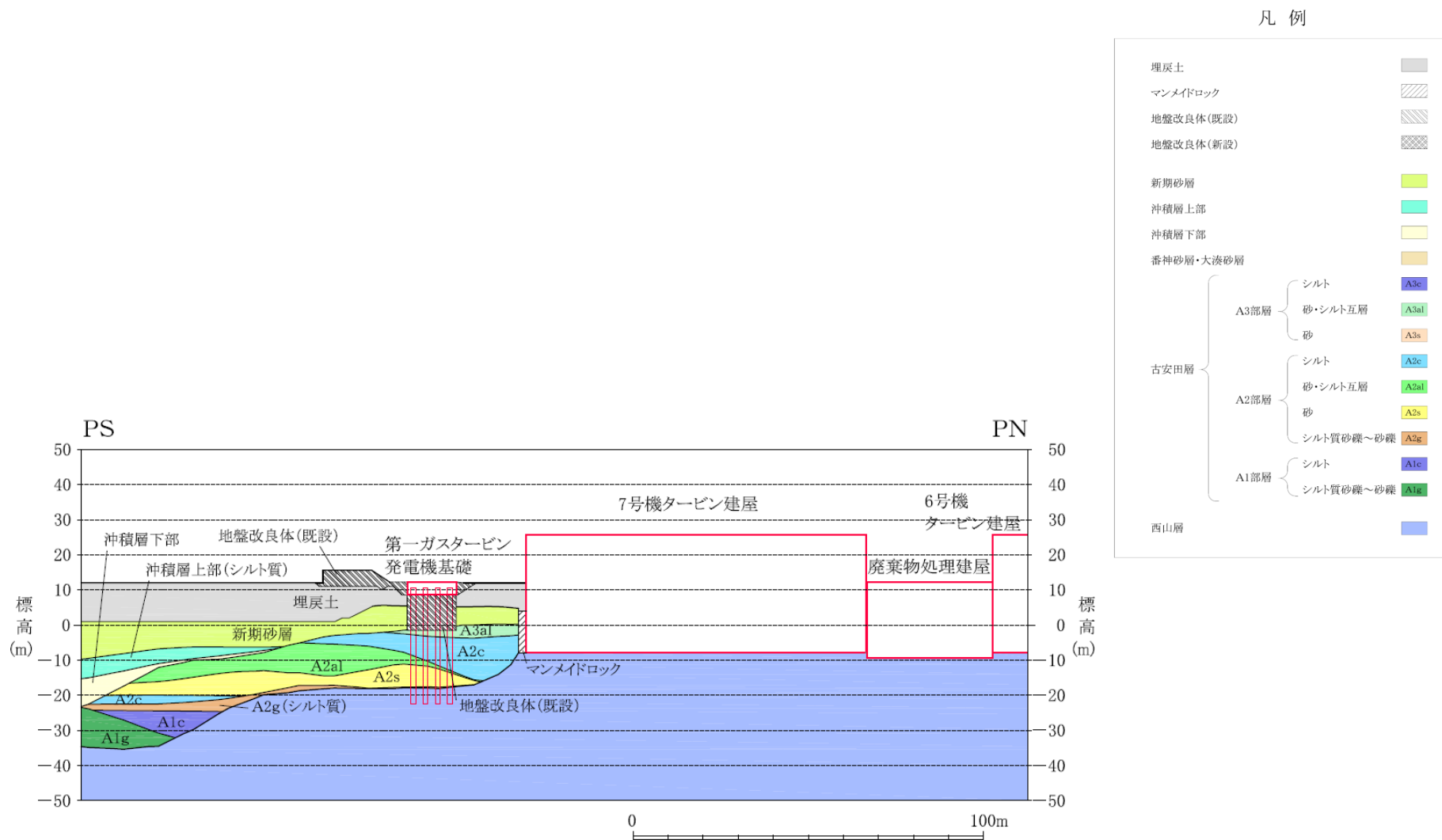


図 2-2 地質断面図(C-C 断面)

凡例

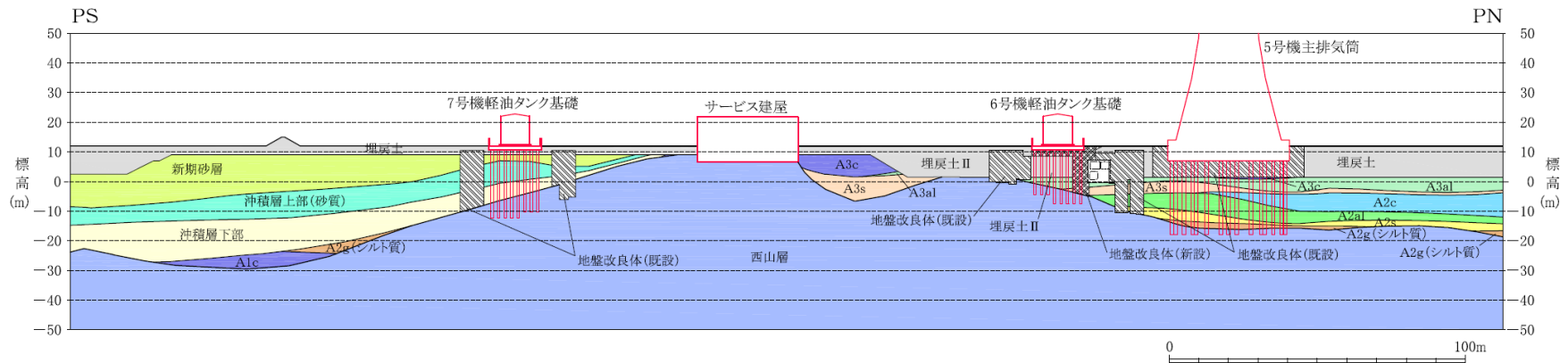


図 2-2 地質断面図(D-D 断面)

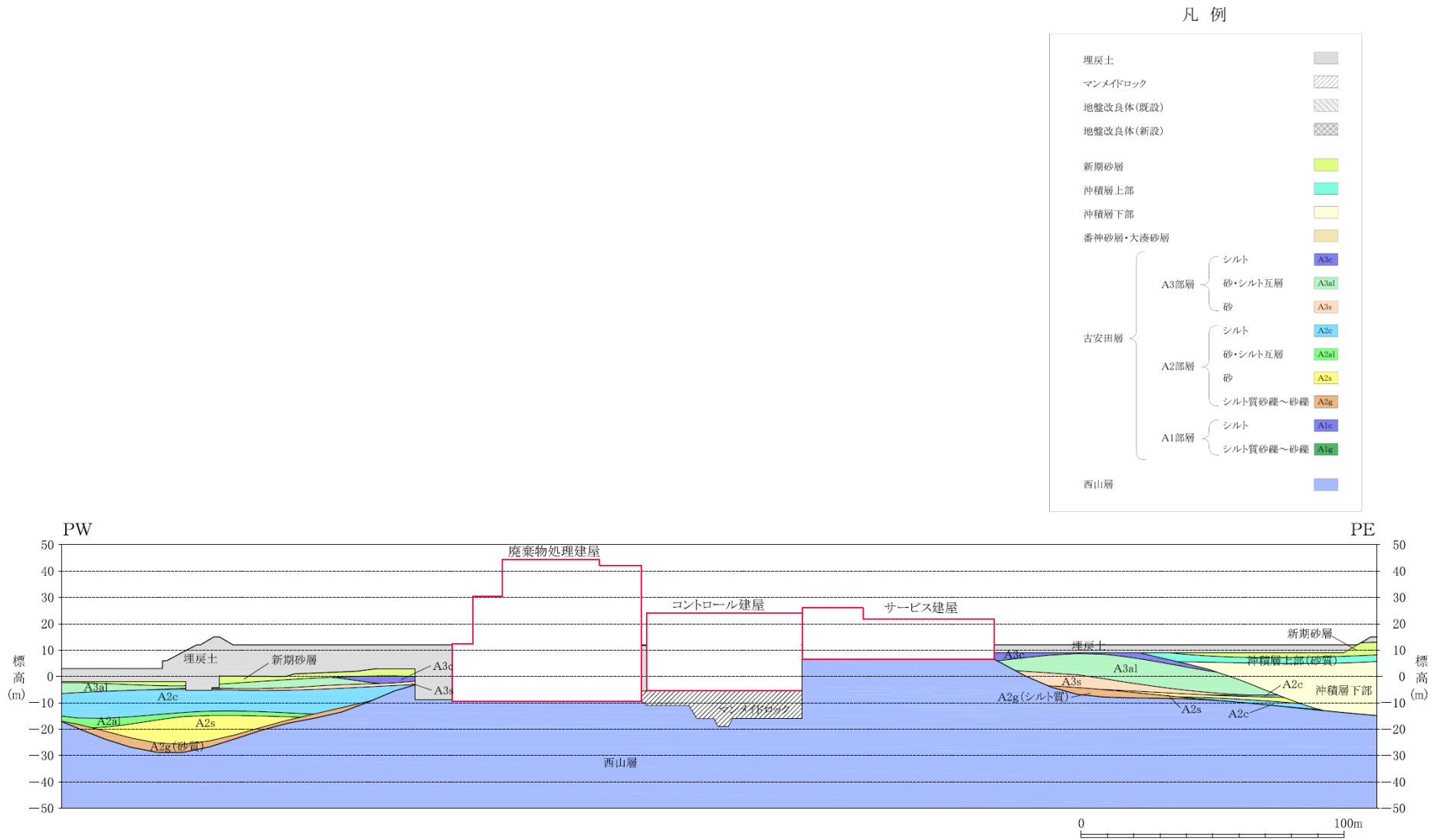


図 2-2 地質断面図(E-E 断面)

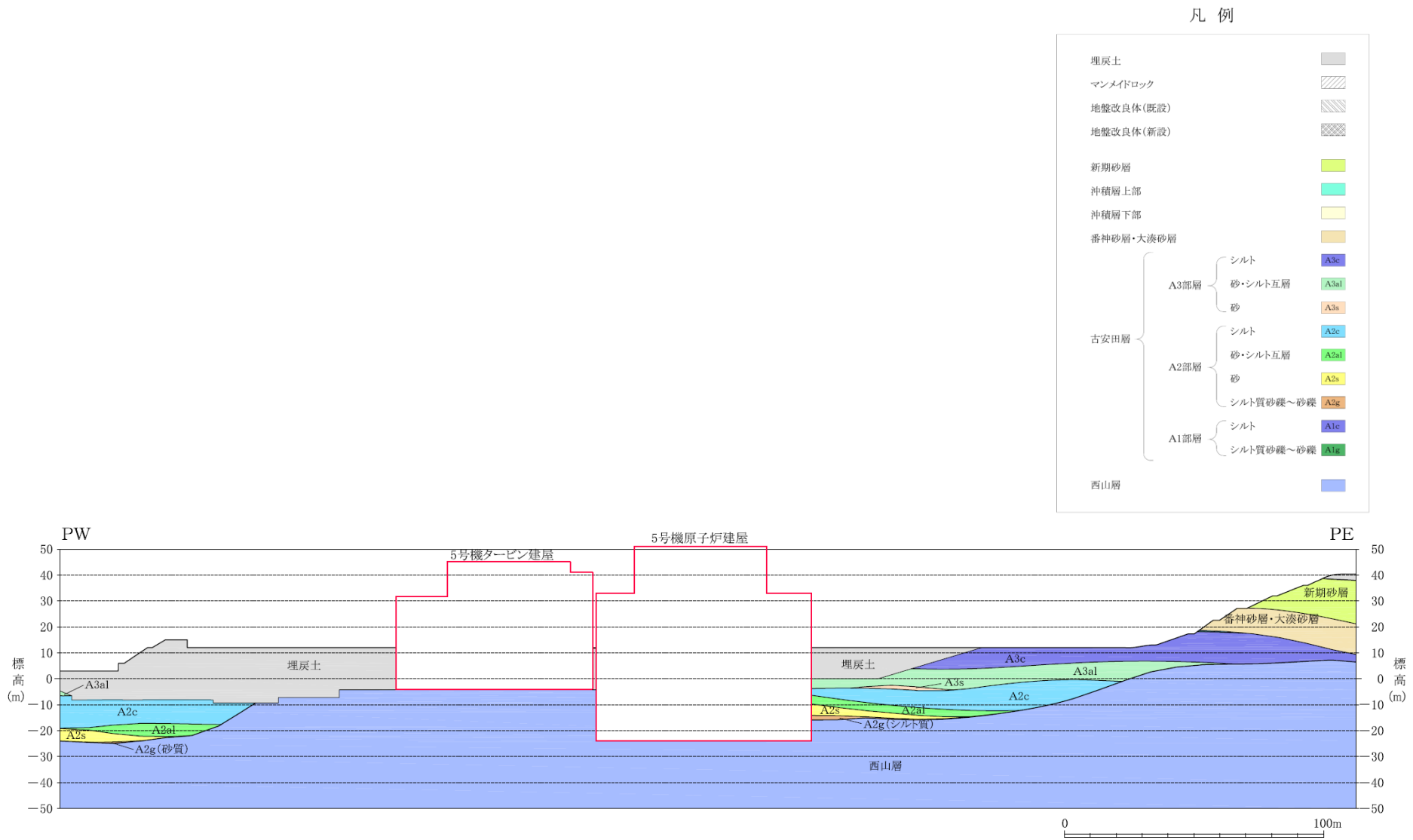


図 2-2 地質断面図(F-F 断面)

3. まとめ

本資料では、建屋側面の地盤ばねとして、Novakばねを採用する建屋の適用性について、建屋と側面地盤との接触面積比率及びBEMによる検討により確認した。

別紙13-1 タービン建屋のNovakばねの適用性について

目 次

1. 概要	別紙13-1-1
2. 検討方針	別紙13-1-1
3. BEMによる地盤ばねの算定	別紙13-1-2
3.1 解析条件	別紙13-1-2
3.2 解析結果	別紙13-1-3
4. 地震応答解析	別紙13-1-4
4.1 解析モデル	別紙13-1-4
4.2 解析結果	別紙13-1-6
5. まとめ	別紙13-1-10

1. 概要

タービン建屋は地盤に埋め込まれていることから、周辺の地盤状況を考慮した上で側面地盤ばねとして、Novakばねを採用している。タービン建屋は別紙13で示した通り、北側に廃棄物処理建屋、東側には原子炉建屋が位置しており、建屋と地盤の接触面積比率は62.9%である。建屋と地盤の接地状況に関するNovakばねの適用性については、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008 ((社) 日本電気協会)」において、室内振動実験や解析的検討の結果をもとに、地下部分の大部分(3面または面積で75%以上)が周辺地盤と接している場合には、全面埋め込みと同様な埋込み効果が期待できるものとしている。

このことから、本資料ではタービン建屋と地盤の接触面積比率に着目し、タービン建屋へのNovakばねの適用性について検討する。

2. 検討方針

タービン建屋の平面形状及び地盤条件に対して、Novakばねと二次元境界要素法(BEM)による地盤ばねを計算し比較検討する。

上述した通り、タービン建屋は北側に廃棄物処理建屋、東側には原子炉建屋が位置し、NS方向及びEW方向それぞれ一面ずつの接触面積比率が小さいことを踏まえ、建屋側面の地盤ばねの剛性が単純に62.9%に低減すると仮定し、低減した地盤ばねを考慮した地震応答解析を行い、Novakばね(今回工認モデル)の地震応答解析結果と比較する。

なお、地盤ばねの剛性の低減については、建屋と周辺地盤が全面接地した条件で評価したBEMの地盤ばねを62.9%に低減したものを近似法により定数化したばねとする。

3. BEMによる地盤ばねの算定

3.1 解析条件

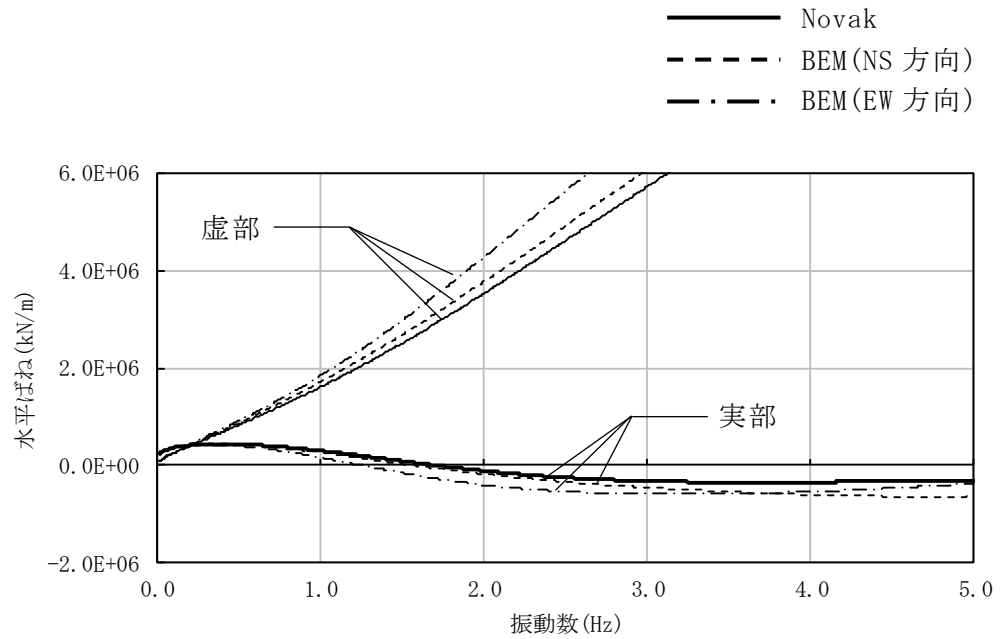
表 3-1 に BEM の解析で用いた地盤物性と矩形孔寸法を示す。なお、入力地震動は基準地震動 Ss-1 とする。

表 3-1 BEM の解析で用いた地盤物性と矩形孔寸法

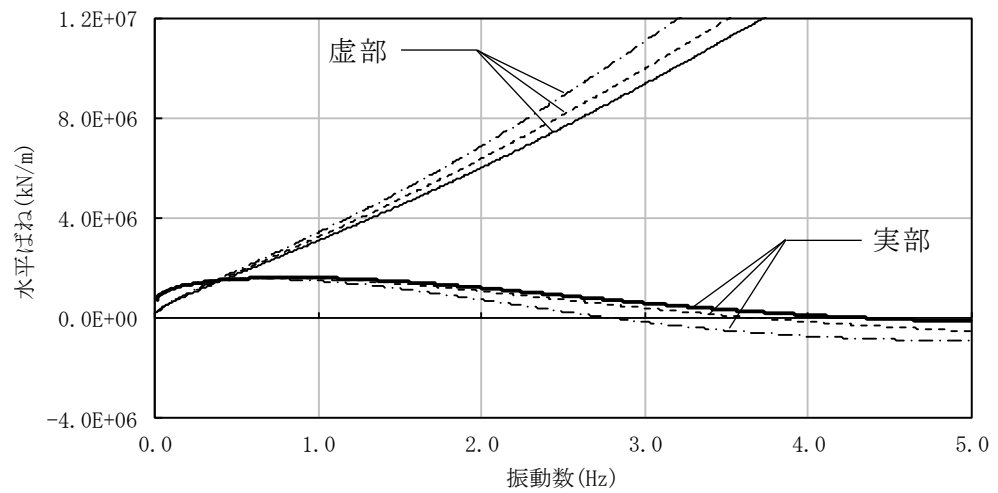
地層 T.M.S.L. (m)	単位体積 重量 (kN/m ³)	S 波速度 (m/s)	ポアソン 比	単位層厚 (m)	矩形孔寸法 (m)
古安田層 (T.M.S.L. 4.0~-6.0)	17.3	239	0.462	1.0	97.0(NS)×82.0(EW) タービン建屋の平面
西山層 (T.M.S.L. -6.0~-33.0)	17.0	469	0.451	1.0	97.0(NS)×82.0(EW) タービン建屋の平面

3.2 解析結果

Novak と BEM の地盤ばねの比較を図 3-1 に示す。BEM の地盤ばねは、Novak の地盤ばねと概ね同等となっている。



(a) 古安田層



(b) 西山層

図 3-1 Novak と BEM の側面地盤ばねの比較

4. 地震応答解析

タービン建屋は、北面の接触面積比率が最も小さくなっていることから、北面に直交するNS方向を代表に地震応答解析を実施する。

4.1 解析モデル

NovakとBEMの近似法により定数化した地盤ばねを表4-1、解析モデルの概要を図4-1に示す。なお、BEMの地盤ばねは62.9%に低減して近似法により定数化した地盤ばねとする。

表 4-1 地盤ばね定数と減衰係数 (Ss-1, NS 方向)

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	Novak (今回工認)		BEM	
			ばね定数*1	減衰係数*2	ばね定数*1	減衰係数*2
Ks1	13	側面・並進	3.92×10^5	2.68×10^5	2.44×10^5	1.79×10^5
Ks2	14	側面・並進	5.26×10^5	3.60×10^5	3.28×10^5	2.40×10^5
Ks3	15	側面・並進	9.34×10^5	6.38×10^5	5.82×10^5	4.26×10^5
Ks4	16	側面・並進	1.25×10^6	8.56×10^5	7.81×10^5	5.72×10^5
Ks5	17	側面・並進	2.05×10^6	1.11×10^6	1.27×10^6	7.44×10^5
Ks6	18	側面・並進	2.30×10^6	6.90×10^5	1.43×10^6	4.62×10^5
Ks7	18	底面・並進	1.14×10^8	6.89×10^6	1.14×10^8	6.89×10^6
Kr7	18	底面・回転	3.15×10^{11}	7.66×10^9	3.15×10^{11}	7.63×10^9

注記*1 : Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5, Ks6, Ks7はkN/m Kr7はkN・m/rad

注記*2 : Ks1, Ks2, Ks3, Ks4, Ks5, Ks6, Ks7はkN・s/m Kr7はkN・m・s/rad

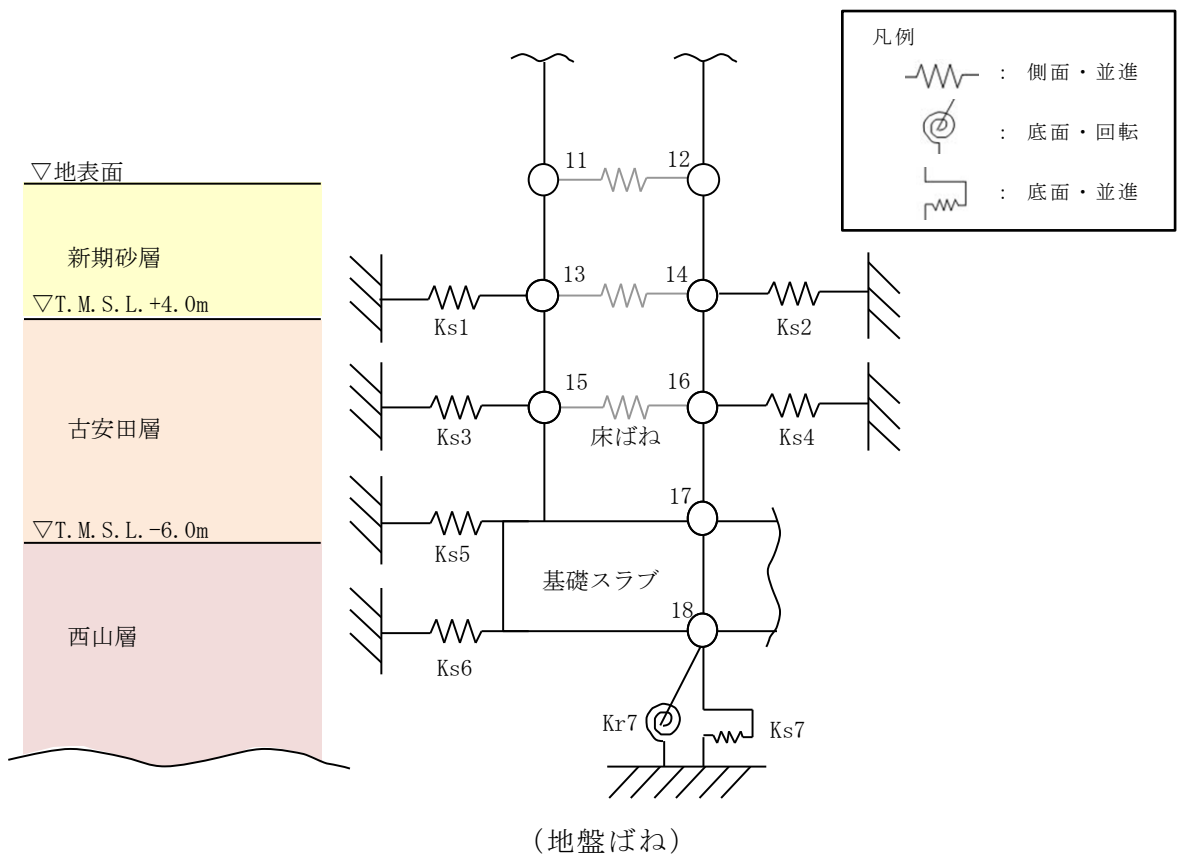
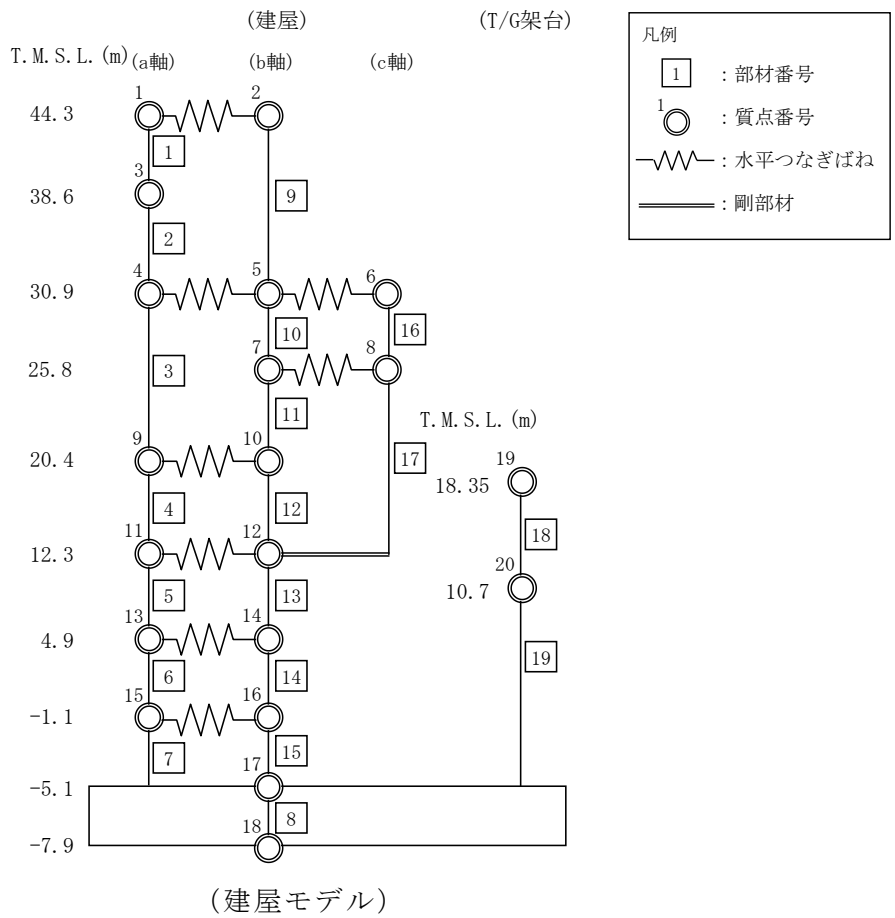
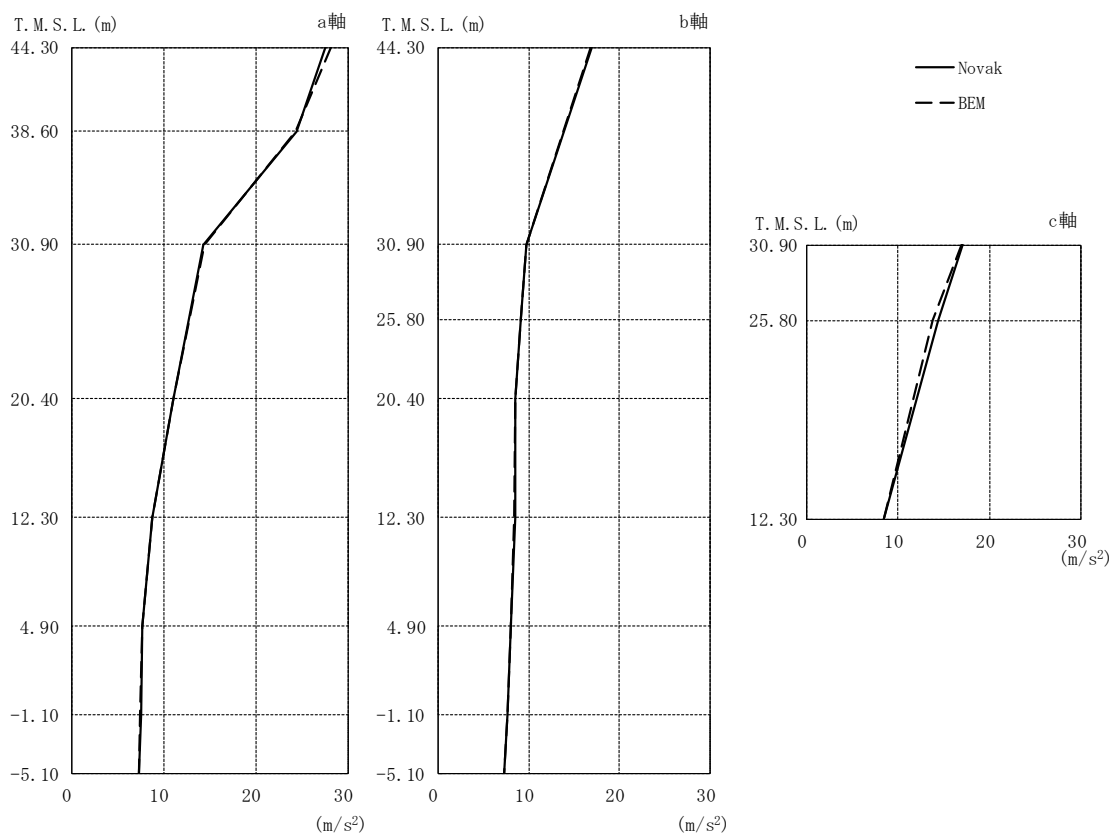


図 4-1 解析モデルの概要 (NS 方向)

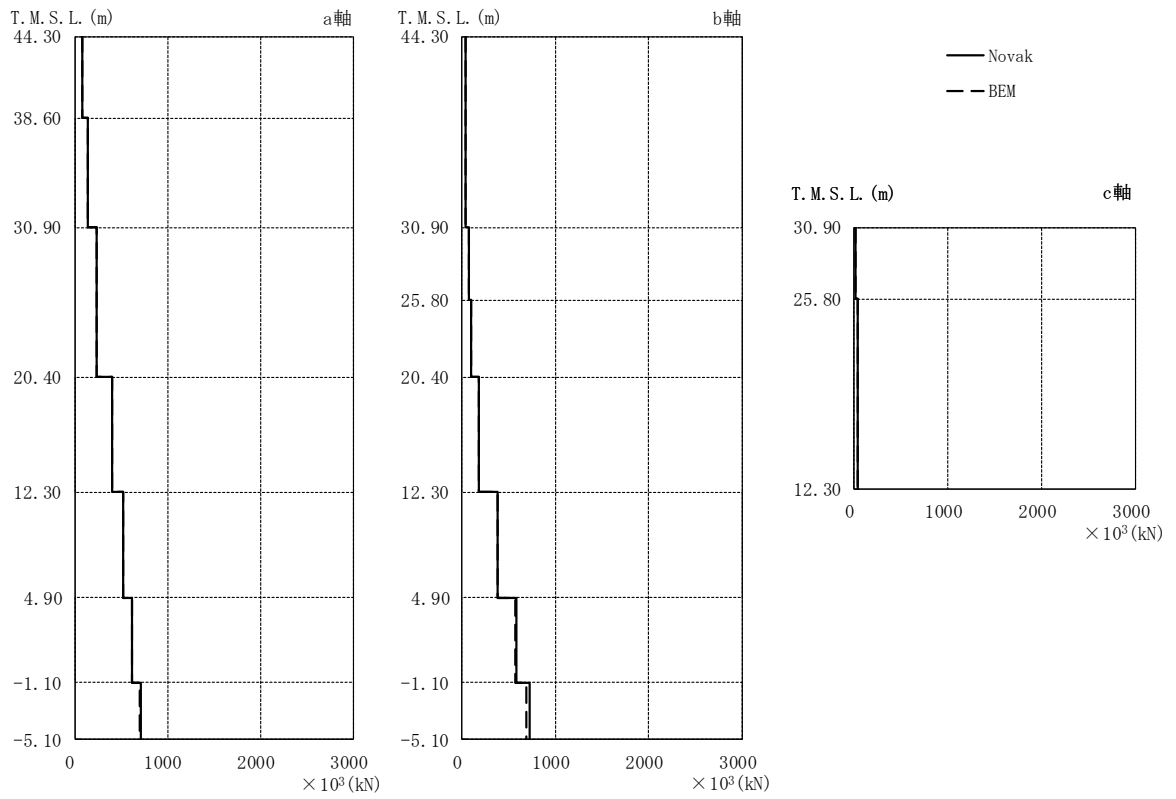
4.2 解析結果

基準地震動 Ss-1H に対する地震応答解析結果の比較を図 4-2～図 4-4 に示す。これらの図より Novak の側面地盤ばねと接触面積比率に応じて低減させた BEM の側面地盤ばねによる建屋応答の差はほとんどないことが分かる。



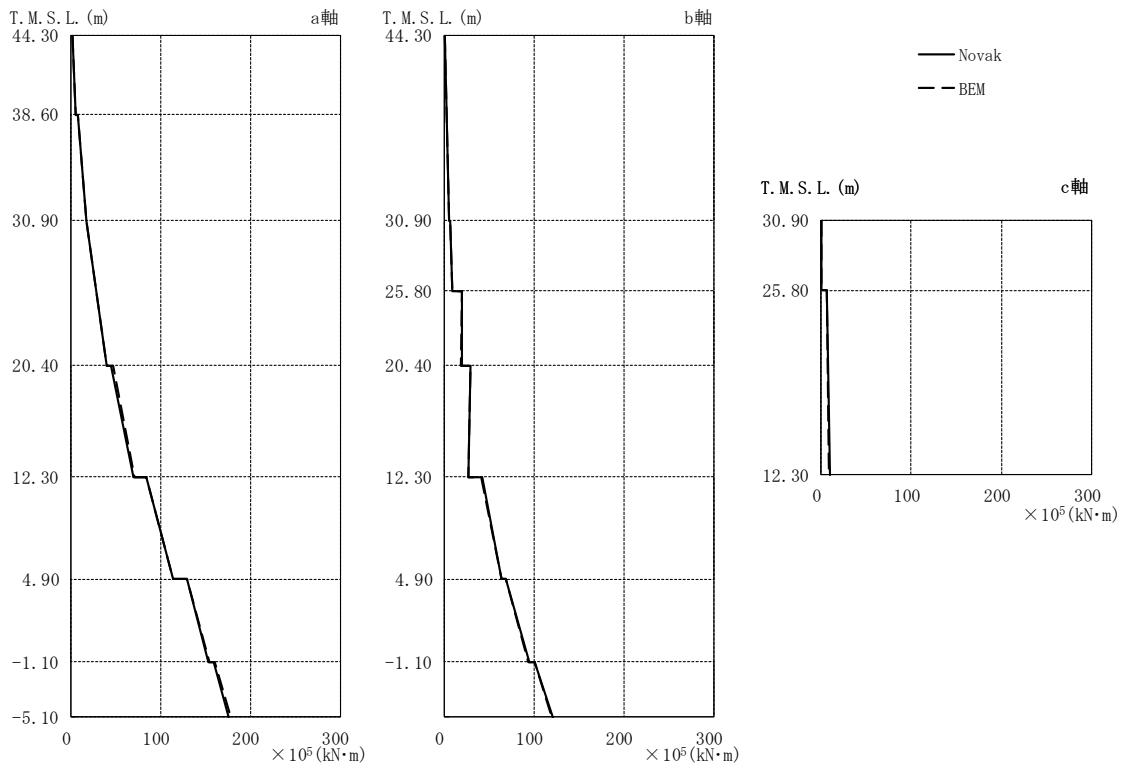
部位	質点番号	最大応答加速度 一覧表 (m/s^2)	
		Novak	BEM
a軸	1	27.6	28.1
	3	24.4	24.3
	4	14.3	14.4
	9	11.0	11.1
	11	8.73	8.77
	13	7.69	7.63
	15	7.51	7.45
b軸	2	16.9	16.8
	5	9.77	9.78
	7	9.18	9.19
	10	8.55	8.57
	12	8.48	8.42
	14	8.07	8.03
	16	7.66	7.63
c軸	6	17.1	17.0
	8	14.4	13.8

図4-2 タービン建屋の地震応答解析結果
(加速度, 基準地震動 S_s -1H_NS方向)



部位	部材番号	最大応答せん断力 一覧表 ($\times 10^3$ kN)	
		Novak	BEM
a 軸	1	86.3	87.8
	2	145	145
	3	241	242
	4	401	402
	5	519	523
	6	617	617
	7	716	704
b 軸	9	41.2	41.2
	10	70.4	69.4
	11	99.4	97.2
	12	180	180
	13	384	381
	14	581	565
	15	718	691
c 軸	16	10.8	10.8
	17	38.0	37.1

図4-3 タービン建屋の地震応答解析結果
(せん断力, 基準地震動 S_s -1H_NS方向)



部位	部材番号	最大応答 曲げモーメント 一覧表 ($\times 10^5$ kN·m)	
		Novak	BEM
a軸	1	1.27	1.28
		5.18	5.24
	2	7.18	7.00
		16.4	16.5
	3	16.7	16.8
		39.8	39.8
	4	44.8	46.2
69.7		70.1	
5	84.3	84.2	
	114	114	
6	129	129	
	153	154	
7	159	160	
	176	178	
b軸	9	0.673	0.666
		5.54	5.54
	10	6.44	6.24
		9.14	9.13
	11	19.5	19.3
		19.3	19.2
	12	29.3	29.1
26.8		26.8	
13	41.9	41.4	
	63.4	63.4	
14	68.9	68.6	
	94.7	94.1	
15	101	101	
	121	120	
c軸	16	0.272	0.242
		0.638	0.616
	17	6.30	6.21
		9.76	9.53

図4-4 タービン建屋の地震応答解析結果
(曲げモーメント, 基準地震動Ss-1H_NS方向)

5. まとめ

Novak の側面地盤ばね及び接触面積比率に応じて低減させた BEM の側面地盤ばねを用いた地震応答解析結果を比較したところ、建屋応答の差は僅かであり、タービン建屋に対し Novak の側面地盤ばねを適用することは妥当であることを確認した。

(参考資料 1) 計算機プログラム（解析コード）の概要

KANDYN_2N

1. 使用状況一覧

使用補足説明資料		バージョン
別紙 1-5	建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性について	Ver. 4.06

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	K A N D Y N _ 2 N
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2005年
使用したバージョン	Ver. 4.06
コードの概要	<ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは原子力発電所建屋の地震応答解析用として開発されたFEMを用いる解析計算機コードである。 ・低接地率時の建屋の浮き上がり挙動等に関する研究において使用実績がある。 ・本解析コードは動荷重（節点加振力，地震入力）を扱うことができる。 ・地震応答解析は，線形解析及び非線形解析を時間領域における数値積分により行う。
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	<p>【検証（Verification）】</p> <p>本解析コードの検証は以下のとおり実施している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは，後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について，動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。 <p>【妥当性確認（Validation）】</p> <p>本解析コードの妥当性確認は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コード及び汎用コードである「S o i l P l u s ver.2015」を用いて，建屋質点系—地盤2次元FEM解析を行い，両コードによる応答結果が概ね一致していることを確認している。 ・本申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

3. KANDYN_2Nの解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは、鹿島建設株式会社で開発した原子力発電所建屋を対象としたプログラムであり、時間領域における質点系はりモデル及びFEMによる動的応答解析プログラムである。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・ 3次元問題を対象として、はり要素、ばね要素、ダンパー要素、ソリッド要素等が用意されており、原子力発電所建屋他の地盤を含めた構造物の動的解析を行うことができる。
- ・ 離散化した構造物－地盤間に非線形地盤ばねを考慮することができ、接地率の小さな構造物の応答計算に使用できる。
- ・ 大規模問題も取り扱うために、入力データが簡素化されている。
- ・ 自由度の拘束方法は、取り扱う問題にあったものを選ぶことができる。

3.3 解析理論

3.3.1 運動方程式

多自由度系の運動方程式は一般に(3.1)式で表される。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

ここで、

- $[M]$: 質量マトリックス
- $[C]$: 減衰マトリックス
- $[K]$: 剛性マトリックス
- $\{\ddot{u}\}$: 加速度ベクトル
- $\{\dot{u}\}$: 速度ベクトル
- $\{u\}$: 変位ベクトル
- $\{F\}$: 荷重ベクトル

3.3.2 減衰項の策定

減衰項として、系の粘性減衰はレーリー減衰を用いており、レーリー減衰の定義は以下で表される。

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

ただし,

$$\alpha = \frac{2\omega_1\omega_2(h_1\omega_2 - h_2\omega_1)}{\omega_2^2 - \omega_1^2}$$

$$\beta = \frac{2(h_2\omega_2 - h_1\omega_1)}{\omega_2^2 - \omega_1^2}$$

ここで,

ω_1 : 減衰定数 h_1 を定義する円振動数

ω_2 : 減衰定数 h_2 を定義する円振動数

3.3.3 直接積分法による解法

直接積分法は、連立の微分方程式を直接積分するもので、時間を Δt 毎に分割し、時間ステップごとに、順次解を求めていく方法である。今回の解析で用いた Newmark- β 法 ($\beta=1/4$) について以下に示す。

(3.1) 式の運動方程式を増分形式で表すと (3.3) 式となる

$$M\{\Delta\ddot{u}\} + C\{\Delta\dot{u}\} + K\{\Delta u\} = -M\{1\}\Delta\alpha \dots\dots\dots (3.3)$$

n ステップの変位 $\{u_n\}$, 速度 $\{\dot{u}_n\}$, 加速度 $\{\ddot{u}_n\}$ が既知の場合, 次の $n+1$ ステップの変位増分, 速度増分は以下の様に表せる。

$$\begin{aligned} \{\Delta u_{n+1}\} &= \{u_{n+1}\} - \{u_n\} = \Delta t \left(\frac{\{\dot{u}_{n+1}\} + \{\dot{u}_n\}}{2} \right) \\ &= \Delta t \left(\frac{(\{\dot{u}_n\} + \{\Delta\dot{u}_{n+1}\}) + \{\dot{u}_n\}}{2} \right) = \Delta t \left(\{\dot{u}_n\} + \frac{\{\Delta\dot{u}_{n+1}\}}{2} \right) \dots\dots\dots (3.4) \end{aligned}$$

$$\{\Delta\dot{u}_{n+1}\} = \Delta t \left(\{\ddot{u}_n\} + \frac{\{\Delta\ddot{u}_{n+1}\}}{2} \right) \dots\dots\dots (3.5)$$

(3.4) 式, (3.5) 式より

$$\{\Delta\dot{u}_{n+1}\} = \frac{2}{\Delta t} \{\Delta u_{n+1}\} - 2\{\dot{u}_n\} \dots\dots\dots (3.6)$$

$$\{\Delta\ddot{u}_{n+1}\} = \frac{4}{\Delta t^2} \{\Delta u_{n+1}\} - \frac{4}{\Delta t} \{\dot{u}_n\} - 2\{\ddot{u}_n\} \dots\dots\dots (3.7)$$

(3.6) 式, (3.7) 式を (3.3) 式に代入し, $\{\Delta u_{n+1}\}$ に関して解く。

$$\begin{aligned}
& M \left(\frac{4}{\Delta t^2} \{\Delta u_{n+1}\} - \frac{4}{\Delta t} \{\dot{u}_n\} - 2\{\ddot{u}_n\} \right) + C \left(\frac{2}{\Delta t} \{\Delta u_{n+1}\} - 2\{\dot{u}_n\} \right) + K\{\Delta u_{n+1}\} = -M\{1\}\Delta\alpha \\
\Rightarrow & \left(M \frac{4}{\Delta t^2} + C \frac{2}{\Delta t} + K \right) \{\Delta u_{n+1}\} = -M\{1\}\Delta\alpha + M \left(\frac{4}{\Delta t} \{\dot{u}_n\} + 2\{\ddot{u}_n\} \right) + C(2\{\dot{u}_n\}) \\
\Rightarrow & \{\Delta u_{n+1}\} = \left(M \frac{4}{\Delta t^2} + C \frac{2}{\Delta t} + K \right)^{-1} \left(-M\{1\}\Delta\alpha + M \left(\frac{4}{\Delta t} \{\dot{u}_n\} + 2\{\ddot{u}_n\} \right) + C(2\{\dot{u}_n\}) \right) \\
& \dots\dots\dots (3.8)
\end{aligned}$$

(3.8)式を解くと、n+1 ステップの変位増分が得られる。また、(3.6)式、(3.7)式を用いて n+1 ステップの速度増分および加速度増分が得られる。

3.4 解析フローチャート

本解析コードの解析フローチャートを図 3-1 に示す。

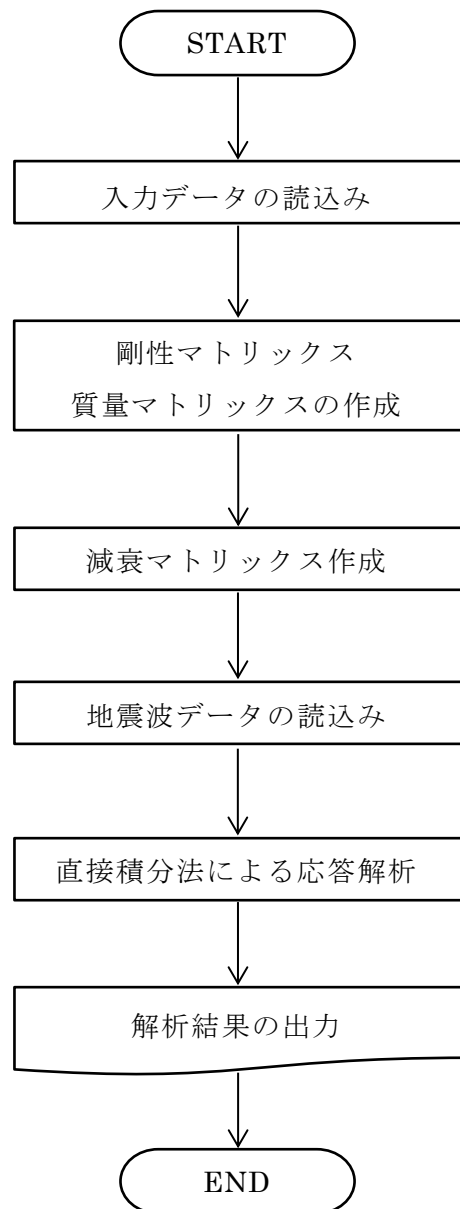


図 3-1 解析フローチャート

4. 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

本解析コードは、「3.3 解析理論」に示した一般性のある理論モデルに基づき構築された解析コードであり、「3.4 解析フローチャート」に示したプログラム構造を持っている。本解析コードは、主に原子力発電所建築物における接地率の小さな場合の研究に使用実績を有しており、解析機能全般について十分な妥当性が確認されている。

こうした特徴を踏まえ、「建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性」の検討において解析モデルに考慮した側面地盤の接触剥離や摩擦滑りに特化して、本解析コードによる下記の解析を実施し、本解析コードの適切さを確認している。

- ・ 建屋地下側面地盤の接触剥離及び摩擦滑りを考慮した地震応答解析結果を汎用コード「Soil Plus ver.2015」(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)と比較

4.1 検証(Verification)

本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。

4.2 妥当性確認(Validation)

4.2.1 他コードとの比較による検証

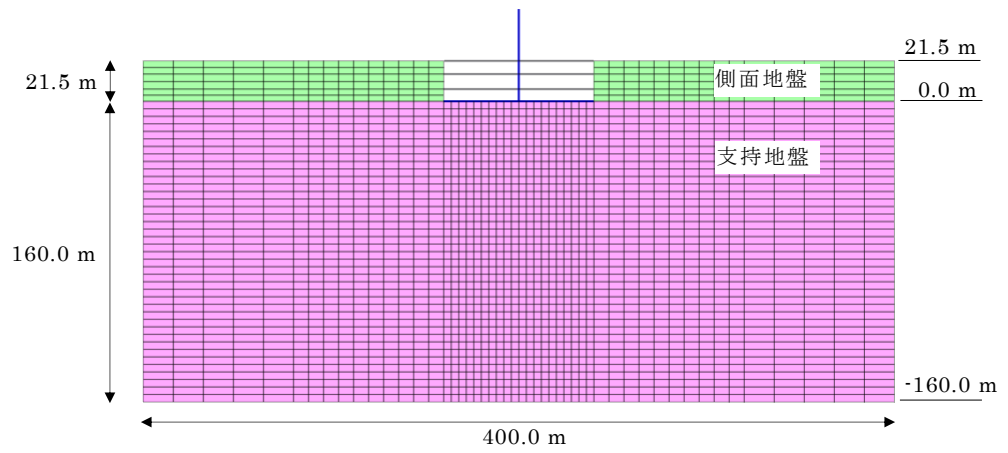
(1)妥当性確認方法

本解析コード及び汎用コードである「Soil Plus ver.2015」(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)により、建屋地下側面地盤の接触剥離及び摩擦滑りを考慮した建屋質点系一地盤2次元FEMモデルを用いて地震応答解析を行い、両コードによる応答結果が概ね一致することを確認する。

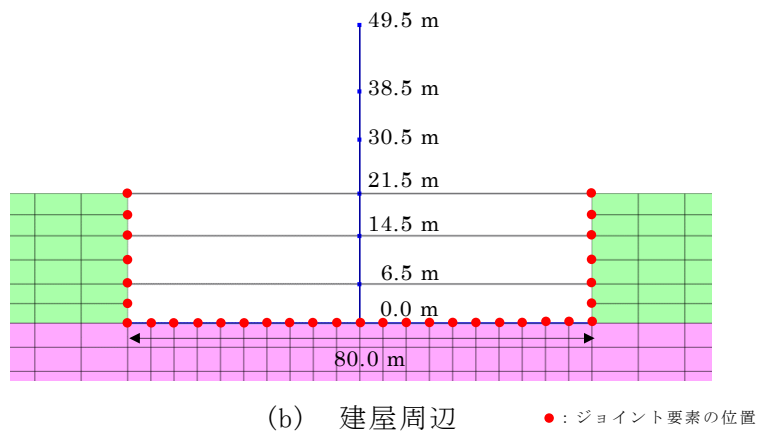
(2)解析条件

1) 解析モデル

解析モデルを図4-1に示す。地盤は2次元FEMモデル、建屋は埋込みを考慮した質点系モデルである。建屋地下側面は側面地盤との接触剥離及び摩擦滑りを考慮できるようにジョイント要素(非線形の軸ばねとせん断ばね)を設置している。また、建屋基礎底面には浮き上がりを考慮できるようにジョイント要素(非線形の軸ばね)を設置している。建屋モデルの諸元を表4-1に、地盤物性を表4-2に示す。



(a) モデル全体



(b) 建屋周辺

図 4-1 解析モデル

表 4-1 建屋モデルの諸元

質点番号	標高 (m)	重量 (kN)	回転慣性重量 (kN・m ²)	部材番号	せん断断面積 (m ²)	断面2次モーメント (m ⁴)
7	49.5	500,000	3.00E+08			
6	38.5	500,000	3.00E+08	6	600	6.00E+05
5	30.5	500,000	3.00E+08	5	600	6.00E+05
4	21.5	500,000	3.00E+08	4	600	6.00E+05
3	14.5	500,000	3.00E+08	3	600	6.00E+05
2	6.5	500,000	3.00E+08	2	600	6.00E+05
1	0.0	500,000	3.00E+08	1	100,000	1.00E+07
合計		3,500,000				

G. L. =21.5m

ヤング係数E : 27447 (N/mm²)
 せん断弾性係数G : 11436 (N/mm²)
 ポアソン比ν : 0.2
 減衰定数h : 0.05

表 4-2 地盤物性

	標高 (m)	S波速度 (m/s)	P波速度 (m/s)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比	せん断弾性係数 (kN/m ²)	減衰定数
側面地盤	21.5 ~ 0.0	300	1000	20	0.451	183,549	0.03
支持地盤	0.0 ~ -160.0	600	2000	20	0.451	734,196	0.03

2) 入力地震動

入力地震動の加速度時刻歴波形を図 4-2 に示す。最大加速度は 1000cm/s² であり、地盤 2 次元 F E Mモデルの底面に入力する。

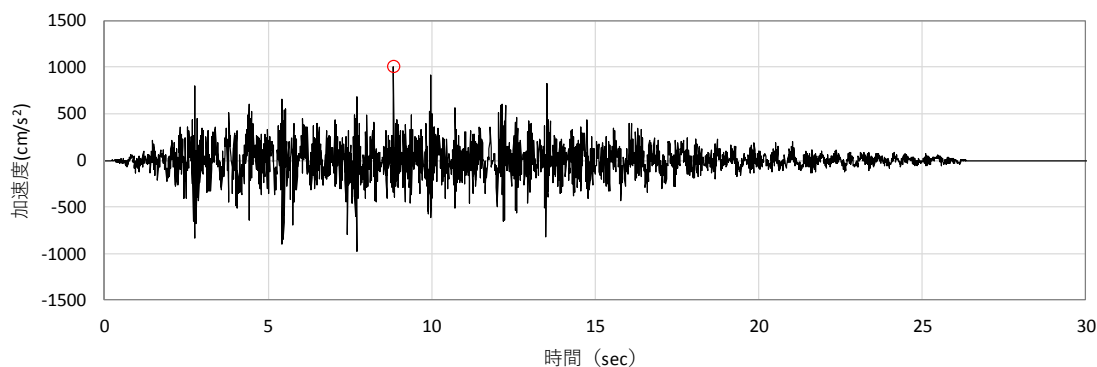
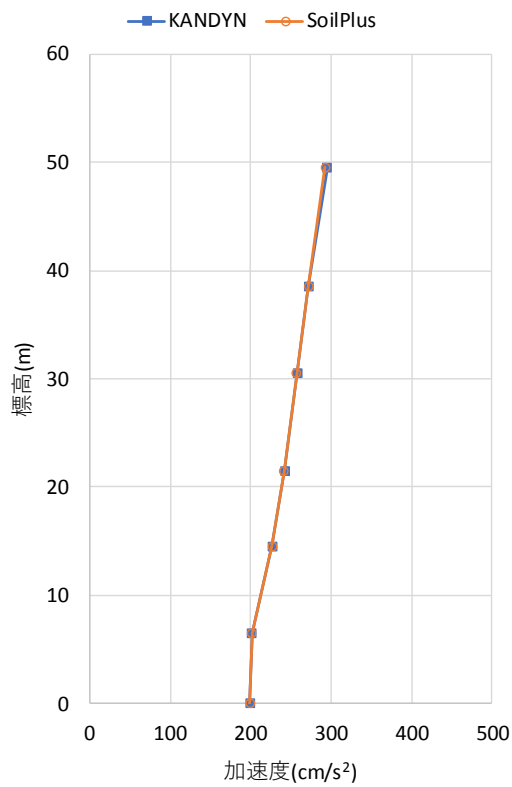


図 4-2 入力地震動の加速度時刻歴波形

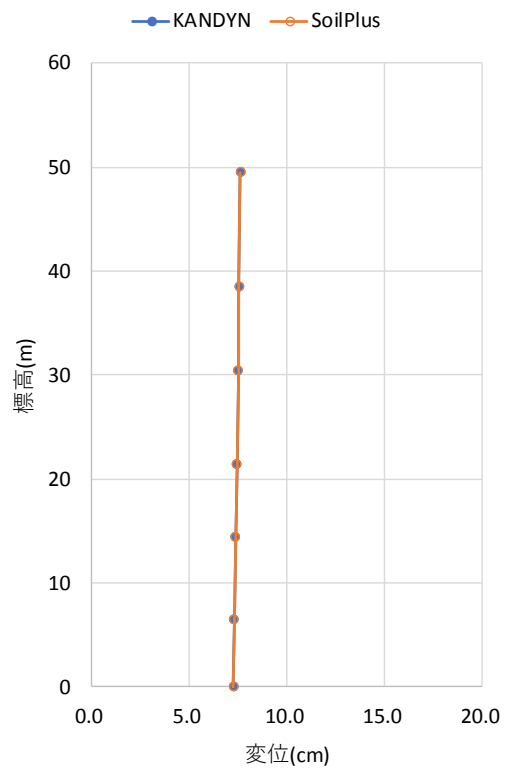
(3) 妥当性確認結果

建屋の最大応答（加速度，変位，せん断力，曲げモーメント）の分布について，両解析コードの結果を比較して図 4-3 に示す。また，建屋地下側面全体のジョイント要素の平均的な軸応力及びせん断応力の時刻歴について，両解析コードの結果を比較して図 4-4，図 4-5 に示す。建屋の最大応答分布および側面地盤ジョイント要素の時刻歴は両解析コードで概ね一致している。

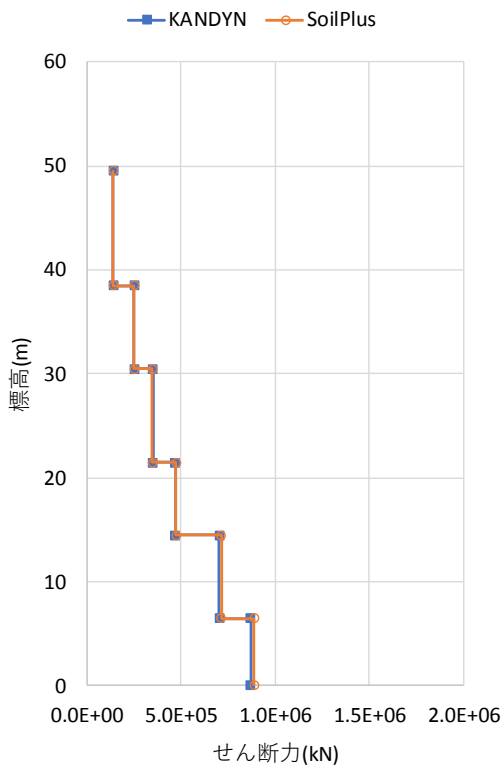
建屋の加速度応答スペクトルを比較して図 4-6 に示す。両者は概ね一致している。



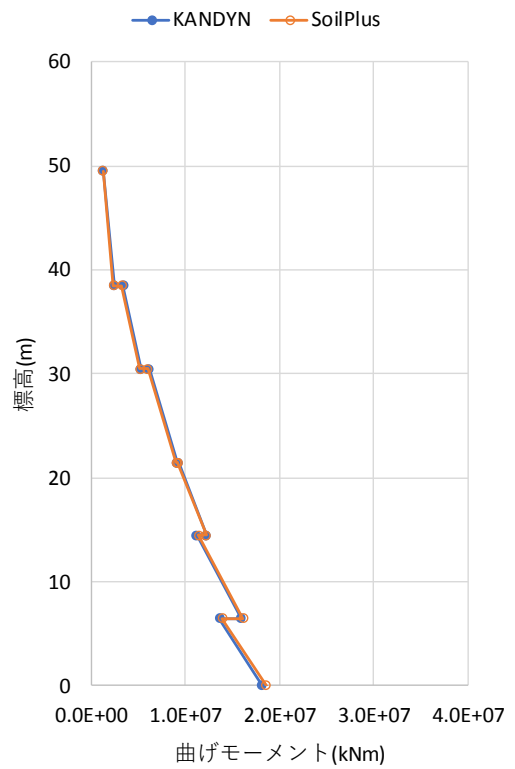
(a) 加速度



(b) 変位

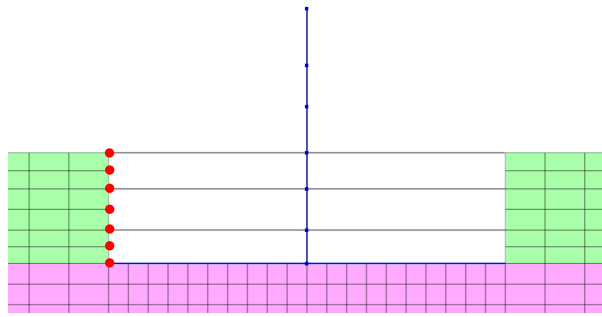


(c) せん断力

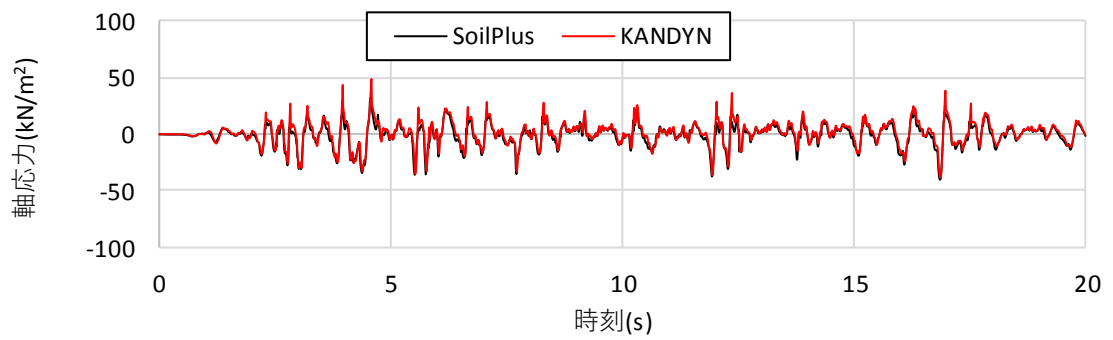


(d) 曲げモーメント

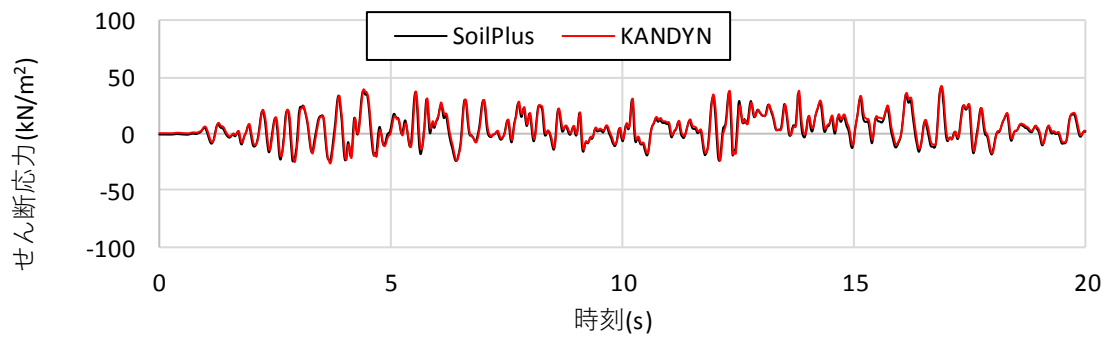
図 4-3 建屋の最大応答分布の比較



(a) ジョイント要素の出力位置

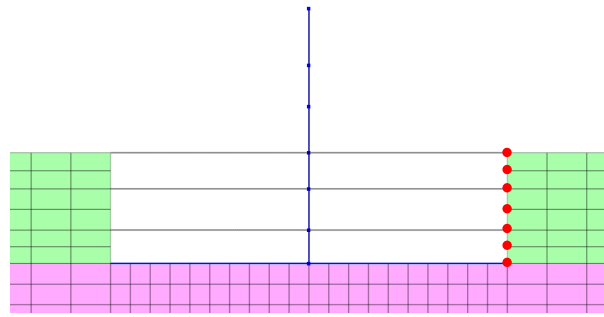


(b) 軸応力

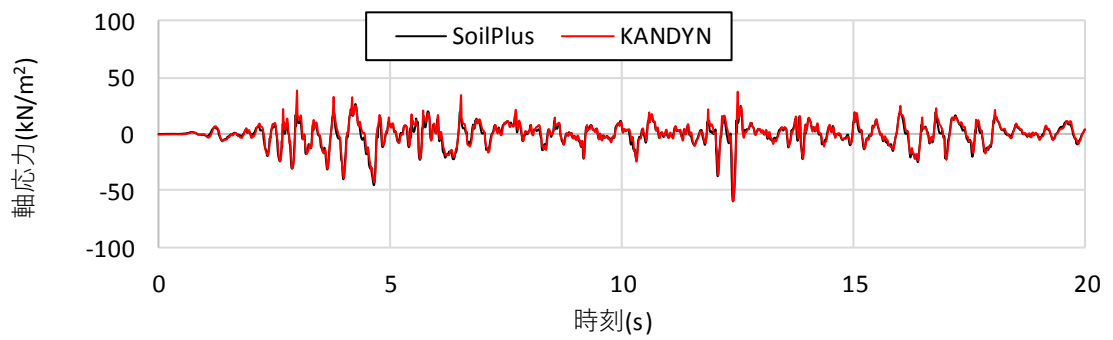


(c) せん断応力

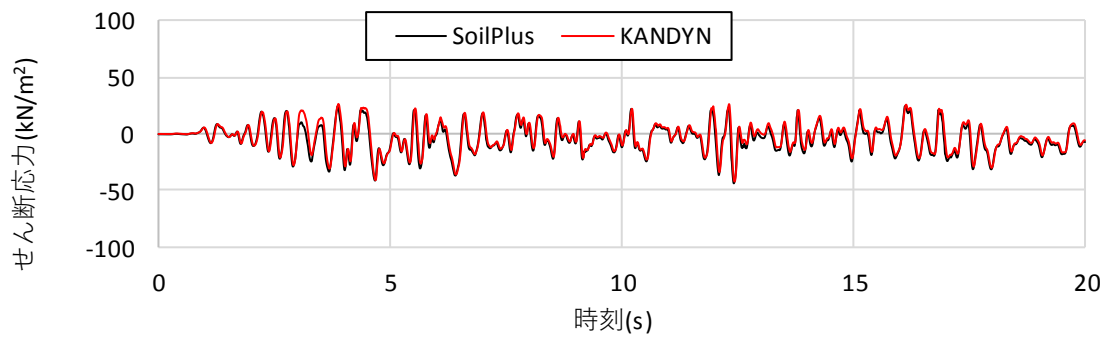
図 4-4 建屋地下側面全体のジョイント要素の平均応力時刻歴の比較 (左側面)



(a) ジョイント要素の出力位置



(b) 軸応力



(c) せん断応力

図 4-5 建屋地下側面全体のジョイント要素の平均応力時刻歴の比較 (右側面)

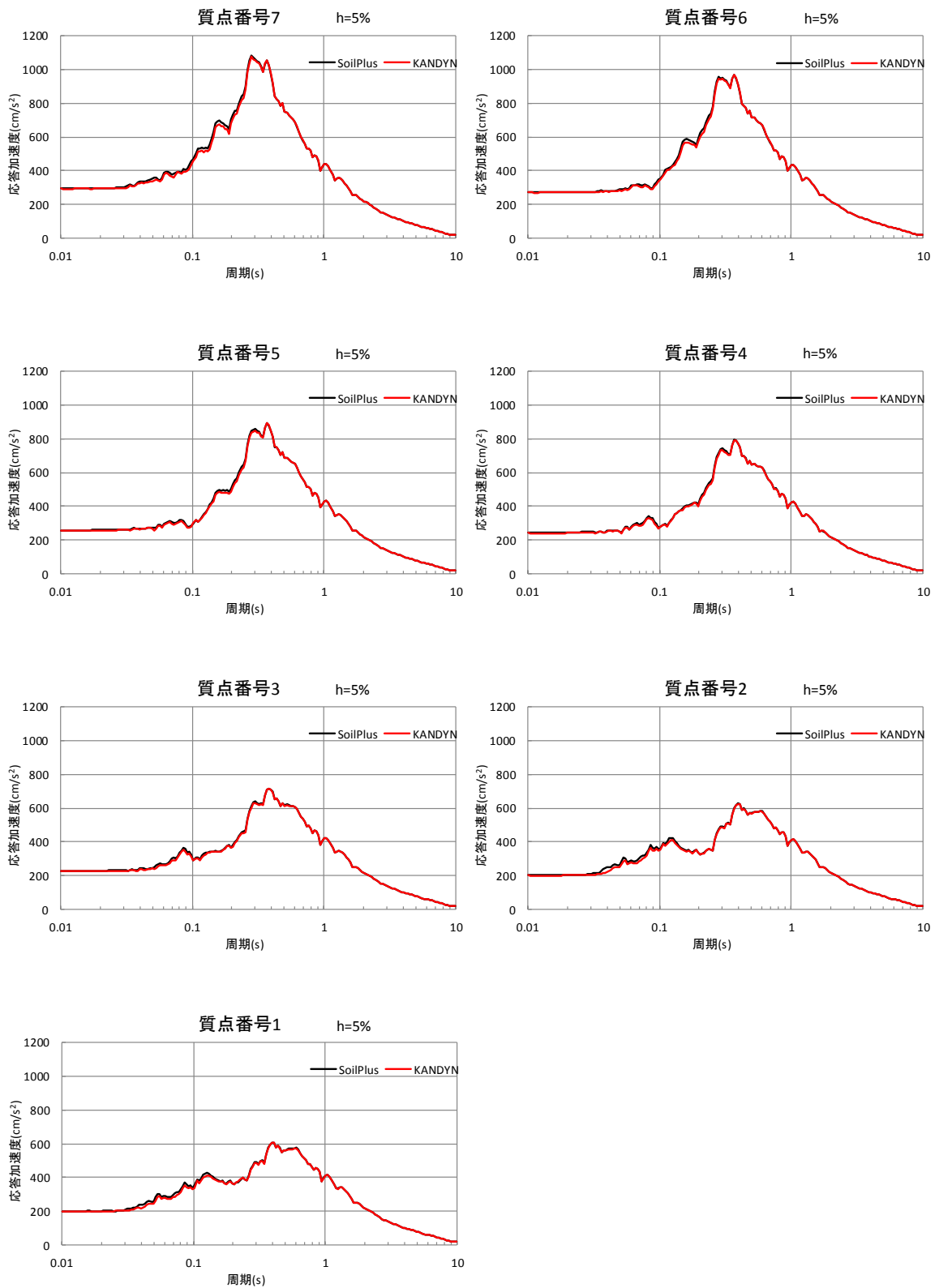


図 4-6 建屋の加速度応答スペクトルの比較 (h=5%)

4.2.2 評価結果

以下の評価結果から、本解析コードを対象とする検討に用いることは妥当である。

- ・本解析コード及び汎用コードである「Soil Plus ver.2015」により、建屋質点系－地盤2次元FEMモデルを用いて建屋地下側面地盤の接触剥離や摩擦滑りを考慮した地震応答解析を行い、建屋及び側面地盤のジョイント要素の応答について両解析コードで概ね同一の結果が得られた。

A R X

1. 使用状況一覧

使用補足説明資料		バージョン
別紙 6	原子炉建屋のコンクリート剛性に対する地震観測記録による傾向分析	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	A R X
使用目的	システム同定
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2011 年
使用したバージョン	Ver. 1. 0
コードの概要	<p>本解析コードは、建物の地震観測記録を用いて、A R X (Auto-Regressive with eXogenous) によるシステム同定を適用し、建物の固有振動数および減衰定数を評価するために開発された。</p> <p>本解析コードは、多数の原子炉建屋に対してシステム同定を行った使用実績を有する。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードを適用し、地震観測記録を用いて原子炉建屋の固有振動数の評価を行い、固有振動数の経年変化の検討を実施した。</p> <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 数値シミュレーション解析により、本解析コードによる同定結果は理論値に一致することを確認している。 ・ 動作環境を満足する計算機にインストールし適用している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは、多数の原子炉建屋を含む建物の固有振動数および減衰定数のシステム同定に使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・ 今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

3. A R Xの解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは、建物内の複数地点の地震観測記録を用いて、A R X (Auto-Regressive with eXogenous) により、建物の固有振動数及び減衰定数を同定するプログラムである。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・入出力の時刻歴波形の対象範囲，サンプリングの設定変更，A R Xモデルの次数設定が可能である。
- ・A R Xモデルによる解(振動数と減衰定数)と共に，モデルに基づく伝達関数およびモデル誤差も出力される。

3.3 解析手法

ARXモデルは、パラメトリック同定で一般的に使用される最も簡単なパラメトリックモデルであり、最小二乗法により計算される方法である。ARXモデルは以下の式で定義される。

$$\begin{aligned} y(t) + a_1 y(t-1) + a_2 y(t-2) + \dots + a_{n_a} y(t-n_a) \\ = b_1 u(t-1) + b_2 u(t-2) + \dots + b_{n_b} u(t-n_b) + e(t) \end{aligned} \quad (3.1)$$

ここで、 $y(t)$ は時刻 t の出力、 $u(t)$ は時刻 t の入力、 $e(t)$ は残差項、 $n_a \cdot n_b$ は多項式の次数である。ここで、 q^{-1} という時間遅れ演算子を(3.2)式のように定義すると、(3.1)式は(3.3)式のように表される。

$$\begin{aligned} qy(t) = y(t+1), \quad q^{-1}y(t) = y(t-1), \dots, \quad q^{-n_a}y(t) = y(t-n_a) \\ qu(t) = u(t+1), \quad q^{-1}u(t) = u(t-1), \dots, \quad q^{-n_b}u(t) = u(t-n_b) \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} (1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a})y(t) \\ = (b_1 q^{-1} + b_2 q^{-2} + \dots + b_{n_b} q^{-n_b})u(t) + e(t) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t) \\ A(q) = 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a} \\ B(q) = b_1 q^{-1} + b_2 q^{-2} + \dots + b_{n_b} q^{-n_b} \end{aligned} \quad (3.3)$$

これらより、ARXモデルのブロック線図は図 3-1 のように表され、 $B(q)/A(q)$ は離散時間の伝達関数に対応することになる。

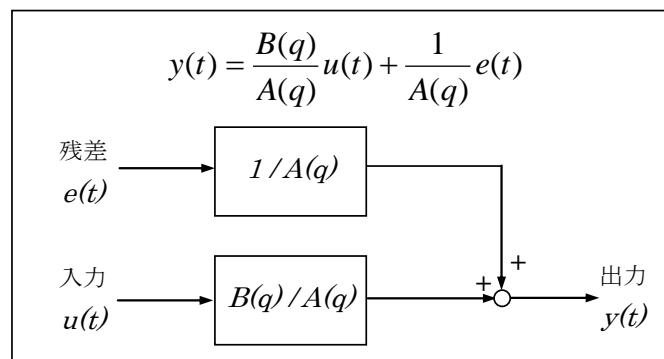


図 3-1 ARXモデルのブロック線図

線形最小二乗法によりARXモデルのパラメータ $a_1 \sim a_{n_a}$, $b_1 \sim b_{n_b}$ を推定可能である。(3.3)式より、

$$\begin{aligned}
y(t) &= -\sum_{j=1}^{n_a} a_j y(t-j) + \sum_{j=1}^{n_b} b_j u(t-j) + e(t) \\
&= [-y(t-1), \dots, -y(t-n_a), u(t-1), \dots, u(t-n_b)] [a_1, \dots, a_{n_a}, b_1, \dots, b_{n_b}]^T + e(t) \quad (3.4) \\
&= \varphi(t)\theta + e(t)
\end{aligned}$$

時刻 $t=1 \square N$ を考えれば,

$$\begin{aligned}
Y &= \Phi\theta + E \\
Y &= [y(1), \dots, y(N)]^T \\
\Phi &= \begin{bmatrix} \varphi(1) \\ \vdots \\ \varphi(N) \end{bmatrix} = [\varphi(1)^T, \dots, \varphi(N)^T]^T \quad (3.5) \\
E &= [e(1), \dots, e(N)]^T
\end{aligned}$$

となり、最小二乗推定値は、下式により求められる。

$$\hat{\theta} = [\Phi^T \Phi]^{-1} \Phi^T Y \quad (3.6)$$

なお、伝達関数 $H(Z) = B(Z)/A(Z)$ は、フーリエ変換と Z 変換との関係より、下式のように伝達関数に変換される。

$$H_f(f) = H(\exp(i \cdot \Delta t \omega)) \quad (3.7)$$

また、ピーク振動数 f_j と減衰定数 h_j は、 $A(Z)=0$ の根 ${}_z p_j$ を用いて、下式により求められる。

$$f_j = \frac{|\log_z p_j|}{2\pi \Delta t}, \quad h_j = \frac{-\log |{}_z p_j|}{2\pi f_j \Delta t} \quad (3.8)$$

3.4 解析フローチャート

本解析コードの解析フローチャートを図3-2に示す。

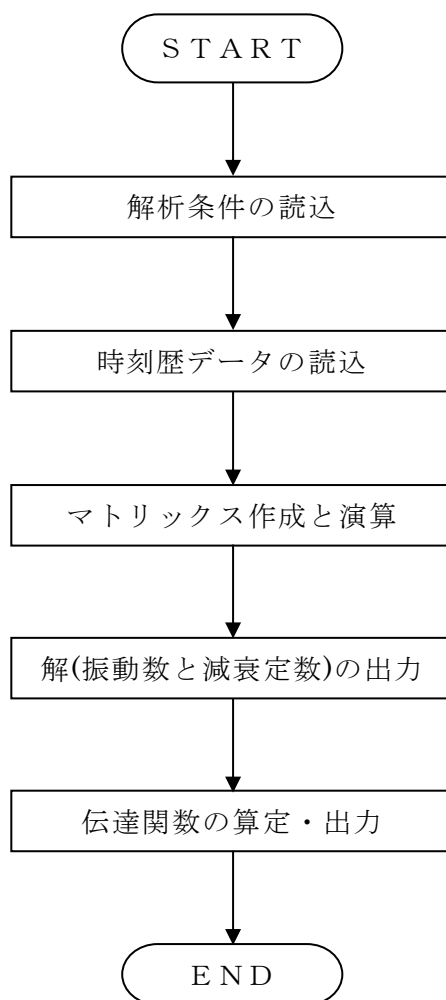


図 3-2 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

3.5.1 検証

(1) 検証概要

数値シミュレーション解析により,本解析コードによるシステム同定結果が理論値に一致することを検証する。

具体的には, 加速度時刻歴の入力波と調和地動に対する定常応答解により出力応答波を作成し, 入力波と出力応答波を用いてARXによるシステム同定を行い固有振動数と減衰定数を評価する。その評価結果が出力応答波作成時の与条件 (理論値) に一致することを確認する。

検討フローを図 3-3 に示す。

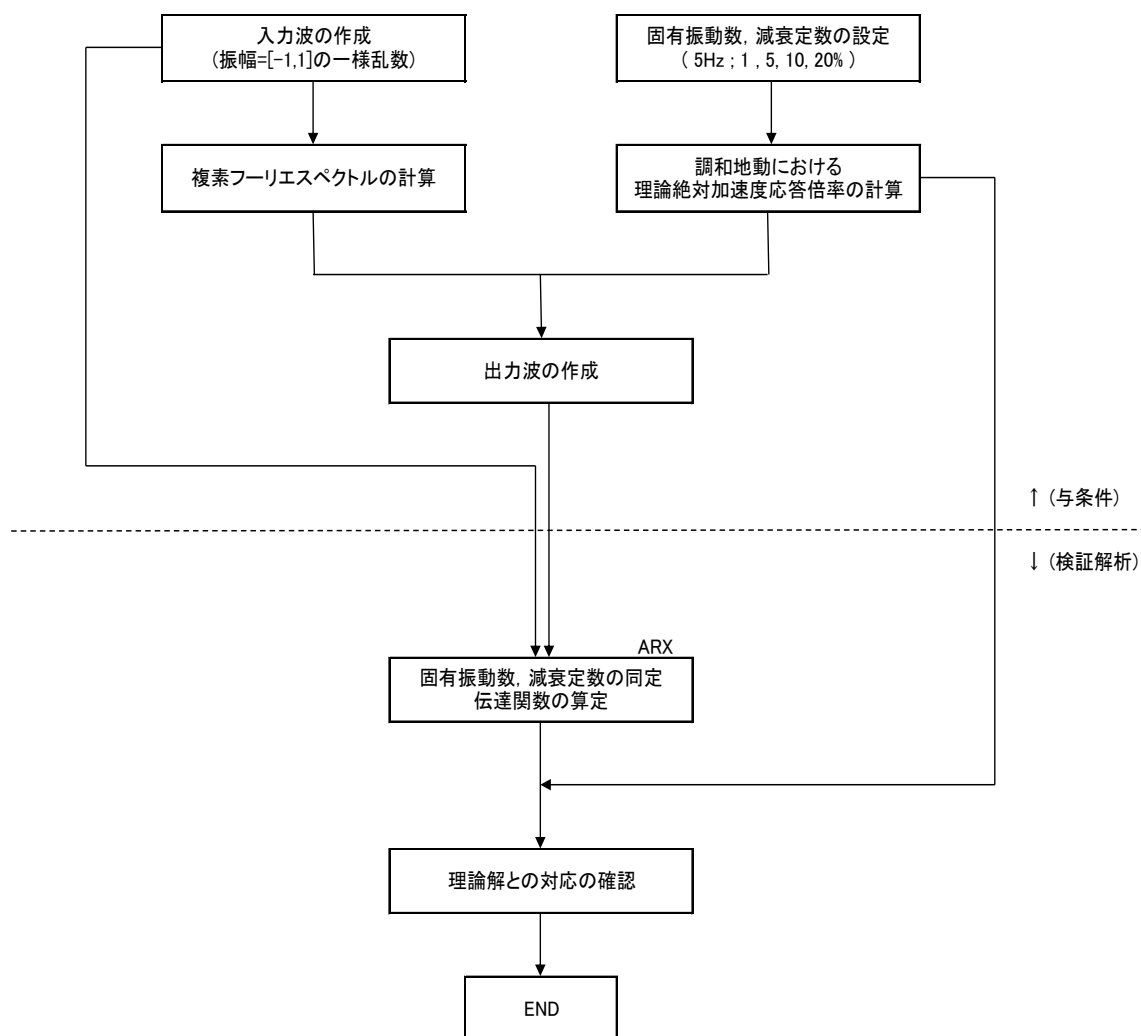


図 3-3 検討フロー

(2) 検証モデル

固有振動数を 5Hz, 減衰定数を 1, 5, 10, 20%とした場合の, 調和地動に対する定常応答解(理論解)の伝達関数(振幅比と位相)を図 3-4 に示す。

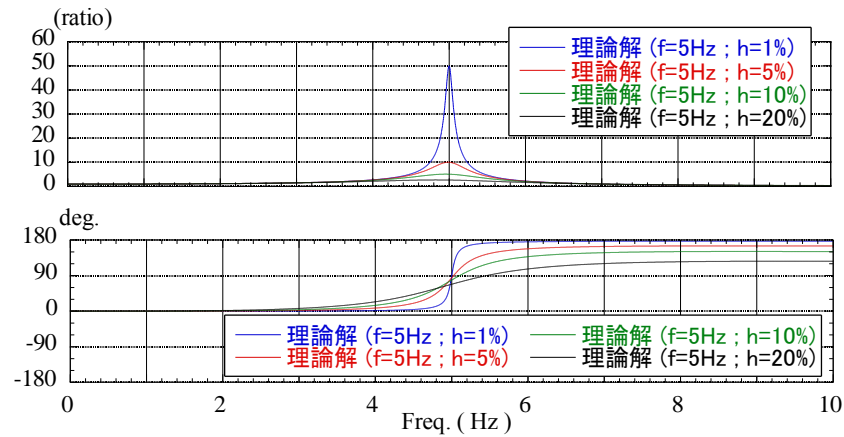


図 3-4 調和地動に対する定常応答解(理論解)の伝達関数(振幅比と位相)

(3) 入力波および出力波

図 3-5 に入力波を示す。振幅 $-1 \sim 1$ の一様乱数による波である。

図 3-6 に入力波と定常応答の理論解に基づき作成した出力応答波を示す。

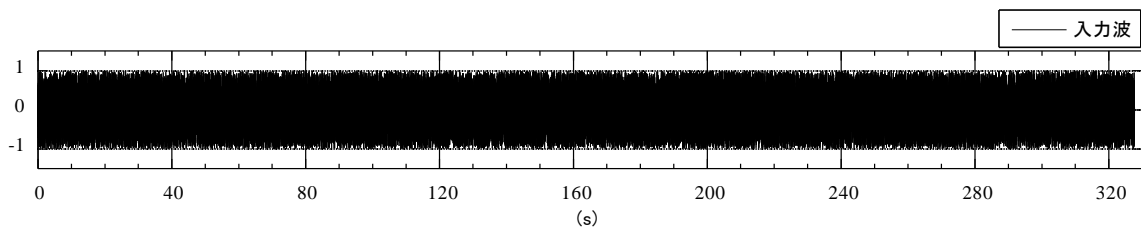


図 3-5 入力波 ($\Delta t=0.01s$, 継続時間=327.68s)

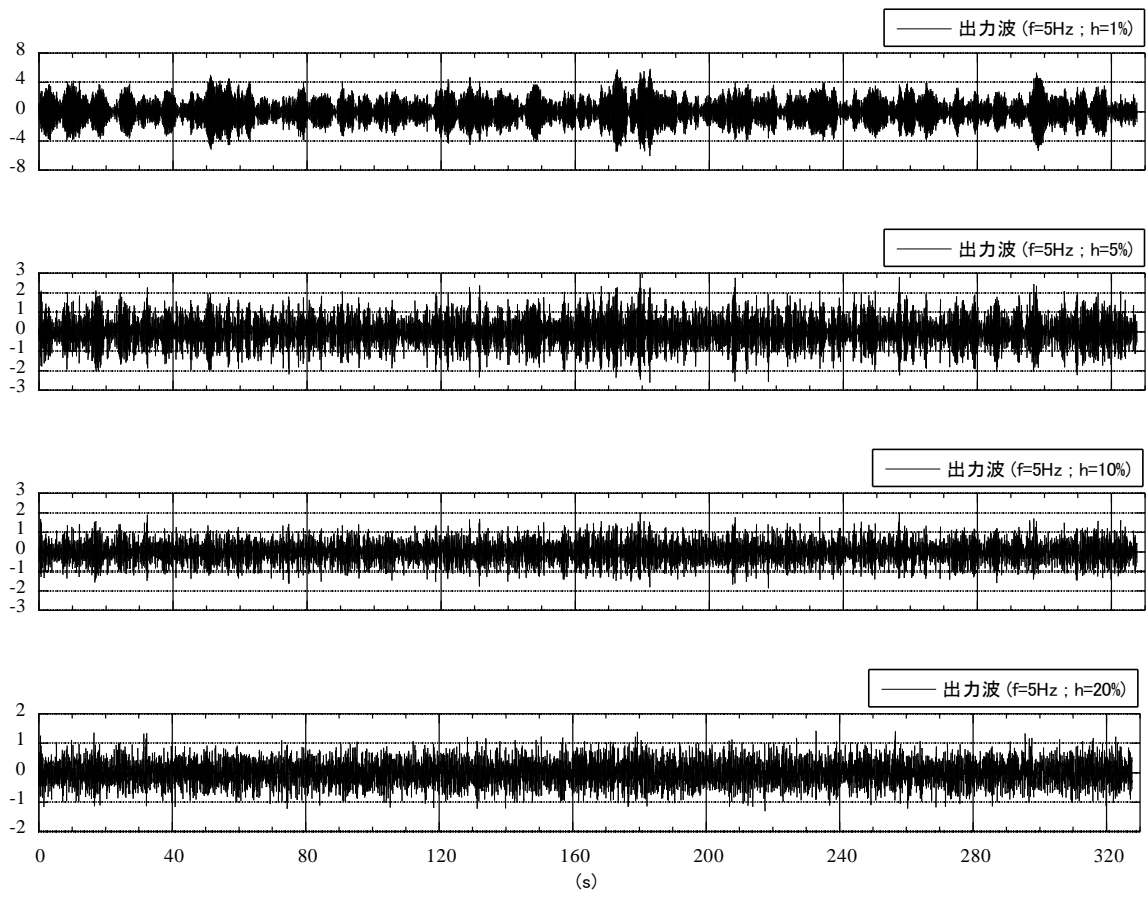
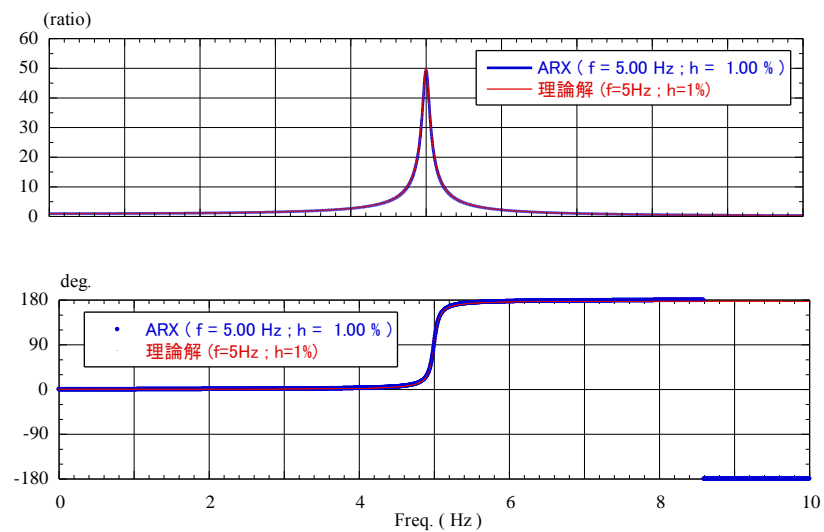


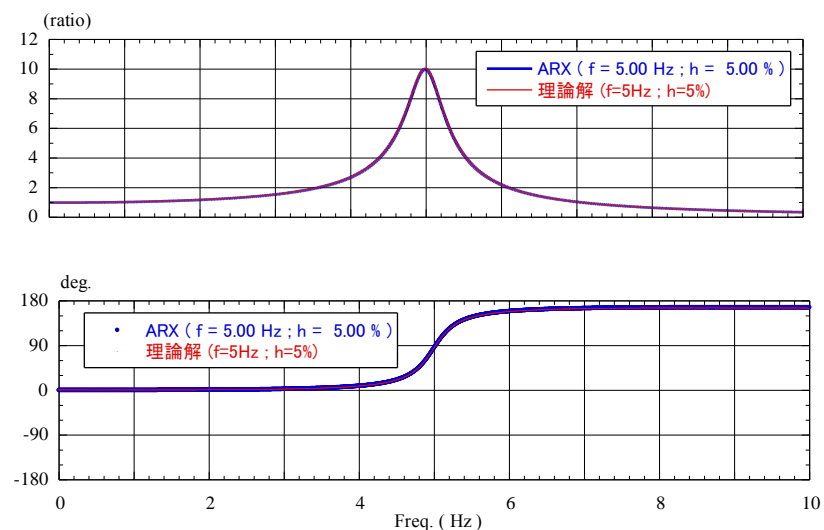
図 3-6 入力波と 1 自由度系の理論解に基づき作成した出力波

(4) システム同定結果

図 3-7 に A R X により求めた伝達関数(振幅比および位相)を理論解のそれと比較して示す。また、表 3-1 に固有振動数と減衰定数の同定結果を設定値(理論値)と比較して示す。A R X による同定結果は理論解と一致することが確認される。

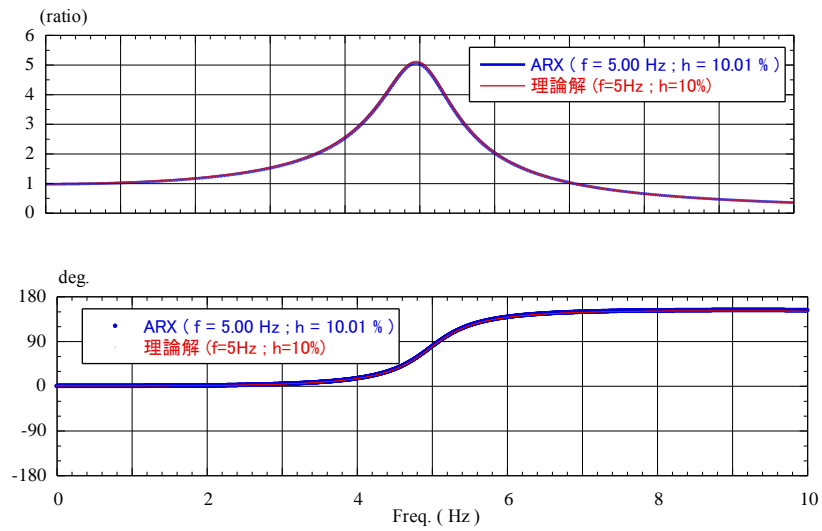


(1) 固有振動数 $f=5\text{Hz}$, 減衰定数 $h=1\%$ (理論解)

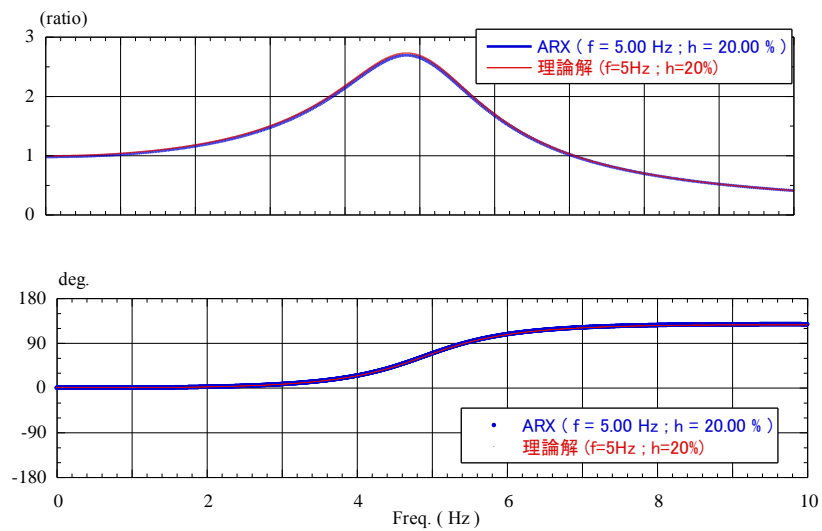


(2) 固有振動数 $f=5\text{Hz}$, 減衰定数 $h=5\%$ (理論解)

図 3-7 A R X による同定結果と理論解との比較 (1)



(3) 固有振動数 $f=5\text{Hz}$, 減衰定数 $h=10\%$ (理論解)



(4) 固有振動数 $f=5\text{Hz}$, 減衰定数 $h=20\%$ (理論解)

図 3-7 ARXによる同定結果と理論解との比較 (2)

表 3-1 固有振動数と減衰定数の比較

設定値(理論)		同定値		同定値 / 設定値	
固有振動数	減衰定数	固有振動数	減衰定数	固有振動数	減衰定数
5 Hz	1 %	5.00 Hz	1.00 %	1.000	1.000
5 Hz	5 %	5.00 Hz	5.00 %	1.000	1.000
5 Hz	10 %	5.00 Hz	10.01 %	1.000	1.001
5 Hz	20 %	5.00 Hz	20.00 %	1.000	1.000

3.5.2 妥当性確認

本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。

- ・数値解析により、ARXによるシステム同定結果は理論値と一致することを確認している。
- ・地震観測記録を用いた原子炉建屋のシステム同定の使用実績が豊富である。
- ・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

3.5.3 評価結果

3.5.1及び3.5.2より、本解析コードを使用状況一覧に示す検討に用いることは妥当である。

4. 参考文献

- (1) 尾形芳博，熊谷周治，井上範夫，野澤貴：ARXモデルによる地震時の建屋剛性の経時変化に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1093-1094，2010.9.
- (2) 尾形芳博，広谷浄，相澤直之，井上範夫，野澤貴：ARXモデルによる中小地震時の建屋初期剛性の経年的変化に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.983-984，2011.8.
- (3) 野澤貴，島本龍，成田忠祥，紺谷修，市川禎和，高橋容之：地震動履歴が建築物の動的特性に及ぼす影響－性能曲線およびARXモデルに基づくSRC造建築物の固有振動数評価，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1021-1022，2019.7.