

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0610-11_改3
提出年月日	2021年9月13日

補足-610-11 緊急時対策建屋の耐震性についての計算書に関する
補足説明資料

1. 工事計画添付書類に係る補足説明資料

添付書類「VI-2-2-23 緊急時対策建屋の地震応答計算書」及び添付書類「VI-2-2-24 緊急時対策建屋の耐震性についての計算書」の記載内容を補足するための資料を以下に示す。

別紙 1-1 緊急時対策建屋の地震応答解析における解析モデル及び手法

別紙 1-1-1 SRモデルを適用することの妥当性について

別紙 1-1-2 側面回転地盤ばねを考慮した解析結果について

別紙 1-1-3 緊急時対策建屋の鉄骨部の構造詳細

別紙 1-2 緊急時対策建屋の地震応答解析における耐震壁のスケルトンカーブの設定

別紙 1-3 緊急時対策建屋の地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討

別紙 1-3-1 材料物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動の選定について

別紙 1-3-2 材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果

別紙 1-4 建屋減衰を3%とした場合の影響検討

別紙 1-5 建屋剛性を実強度に基づく剛性とした場合の影響検討

別紙 1-6 影響検討ケースによる機器・配管系の耐震性への影響

別紙 2-1 応力解析におけるモデル化、境界条件及び拘束条件の考え方

別紙 2-2 地震荷重の入力方法

別紙 2-3 応力解析における断面の評価部位の選定

別紙 3-1 緊急時対策所遮蔽についての補足説明資料

別紙 3-1-1 緊急時対策所遮蔽のスラブの固有値解析結果

本日の説明範囲

別紙 1-1-1 S Rモデルを適用することの妥当性について

目 次

1. 概要.....	別紙 1-1-1-1
2. 解析方針.....	別紙 1-1-1-2
2.1 有効応力解析モデル.....	別紙 1-1-1-2
2.2 入力地震動.....	別紙 1-1-1-8
2.3 解析方法.....	別紙 1-1-1-8
2.4 解析条件.....	別紙 1-1-1-8
3. 解析結果.....	別紙 1-1-1-9

1. 概要

緊急時対策建屋の地震応答解析は、添付書類「VI-2-2-23 緊急時対策建屋の地震応答計算書」（以下「地震応答計算書」という。）に示すとおり、建屋を曲げ変形とせん断変形をする耐震壁からなる質点系モデルとし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成モデル（以下「SRモデル」という。）としている。一方、緊急時対策建屋の設計用地下水位は、補足説明資料「補足-600-1 地盤の支持性能について」に示すとおり、O.P. +62.2m（地表面）に設定している。

本資料では、地下水位を地表面とした場合の影響を考慮するために地盤の有効応力の変化を考慮した地震応答解析（以下「有効応力解析」という。）を行い、SRモデルによる地震応答解析結果と比較することで、緊急時対策建屋にSRモデルを適用することの妥当性を確認するものである。

2. 解析方針

緊急時対策建屋の有効応力解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づいて行う。

有効応力解析は、「2.1 有効応力解析モデル」において設定した有効応力解析モデルと「2.2 入力地震動」において設定した入力地震動を用いて実施することとし、「2.3 解析方法」及び「2.4 解析条件」に基づき、「3. 解析結果」において建屋の各種応答値を算出する。

地下水位は地表面（O.P. 62.2m）に設定する。

2.1 有効応力解析モデル

有効応力解析モデルは、地盤との相互作用を考慮した2次元FEMモデルとする。建屋は曲げ変形とせん断変形をする耐震壁部からなる質点系モデルとし、建屋部の諸元は地震応答計算書と同一とする。

有効応力解析に用いる解析用物性値を表 2-1 に、地震応答解析モデルを図 2-1 及び図 2-2 に示す。なお、セメント改良土は、間隙率が 0.000 のため、液状化は生じない。

解析領域の境界部においては、底面及び側面に半無限性を考慮するための粘性境界を設ける。

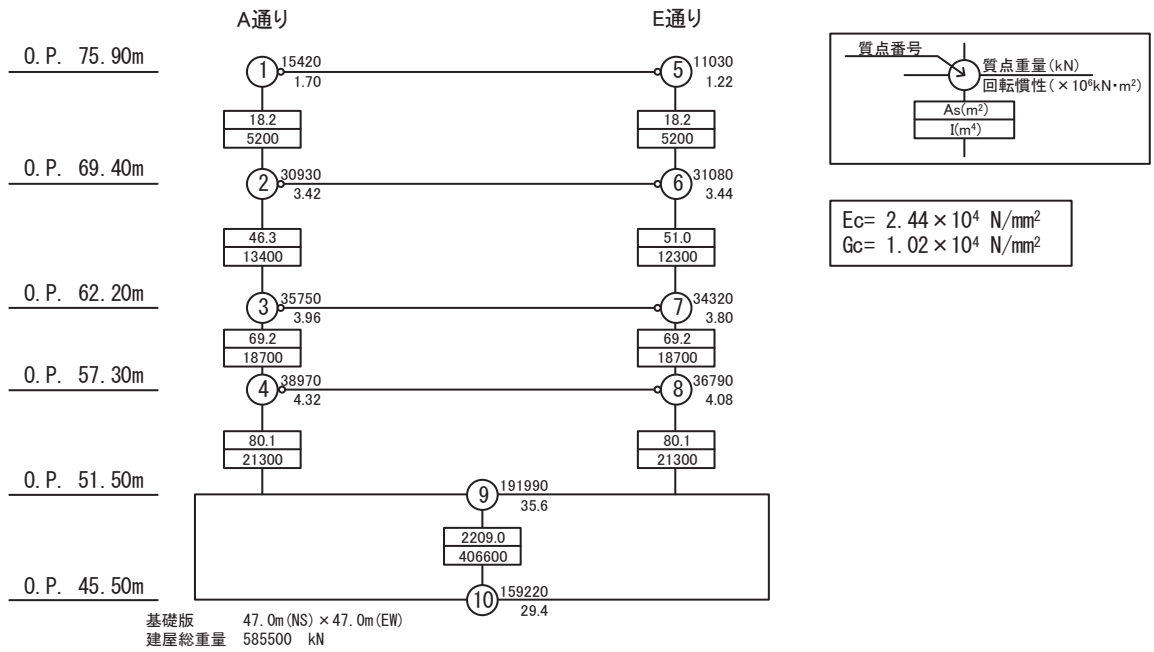
表 2-1 解析用物性値（有効応力解析）

(a) 原地盤（セメント改良土）

			セメント改良土
物理 特性	密度	ρ (g/cm ³)	2.203
	間隙率	n	0.000
変形 特性	動せん断弾性係数	G _{ma} (kN/m ²)	1.670×10 ⁶
	基準平均有効拘束圧	σ_{ma}' (kN/m ²)	1.00×10 ³
	ポアソン比	ν	0.36
	減衰定数の上限値	h _{max}	0.080
強度 特性	粘着力 c'	(kN/m ²)	650
	内部摩擦角 ϕ'	(°)	44.3

(b) 原地盤

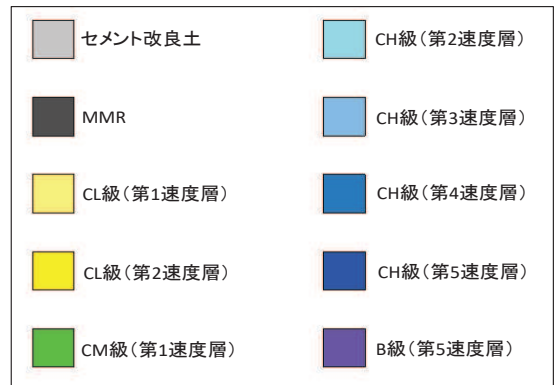
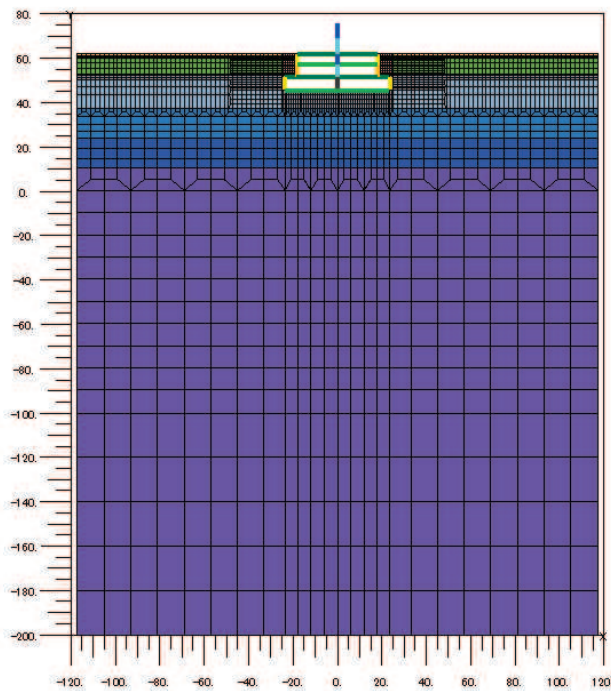
物性値		地質区分		MMR	CL 級 (第 1 速 度層)	CL 級 (第 2 速 度層)	CM 級 (第 2 速 度層)	CH 級 (第 2 速 度層)	CH 級 (第 3 速 度層)	CH 級 (第 4 速 度層)	CH 級 (第 5 速 度層)	B 級 (第 5 速 度層)
		物理 特性	密度 ρ_t (t/m ³)	2.35	2.36	2.36	2.60	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67
変形 特性	動せん断 弾性係数 G _d (N/mm ²)	9034	173	1040	1050	1040	4110	10100	14600	14600	14600	
	動ポアソ ン比 ν_d	0.20	0.48	0.45	0.45	0.45	0.41	0.34	0.33	0.33	0.33	



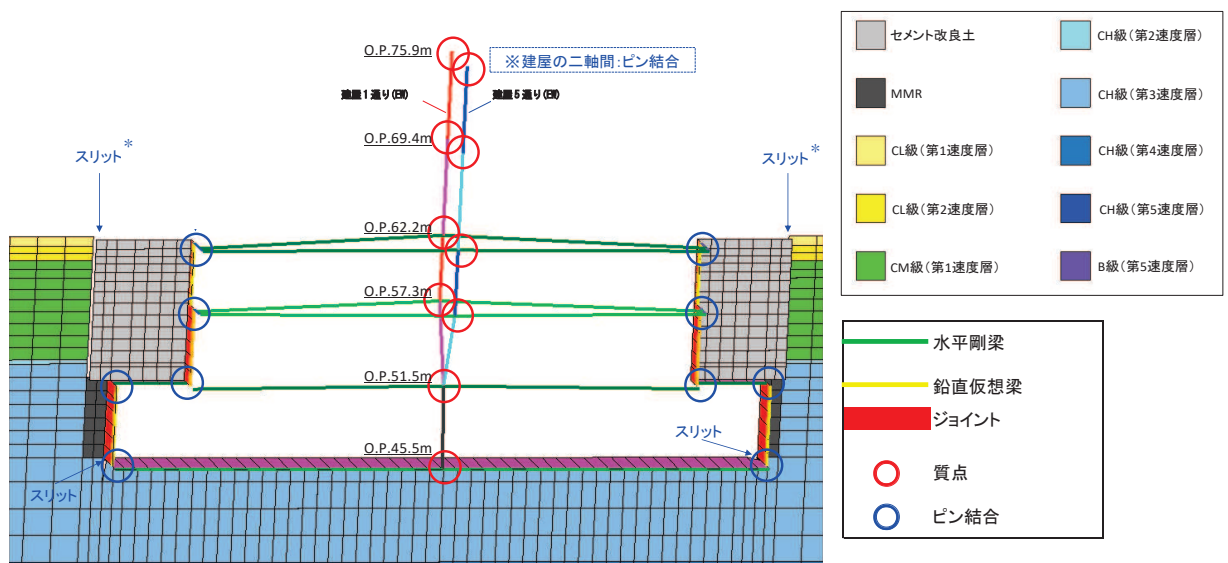
注：図中の値は建屋全幅の諸元を示すが，解析においては単位幅の値とする。

(c) 建屋部分詳細

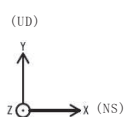
図 2-1(2) 地震応答解析モデル (NS 方向) (2/2)



(a) 全体モデル

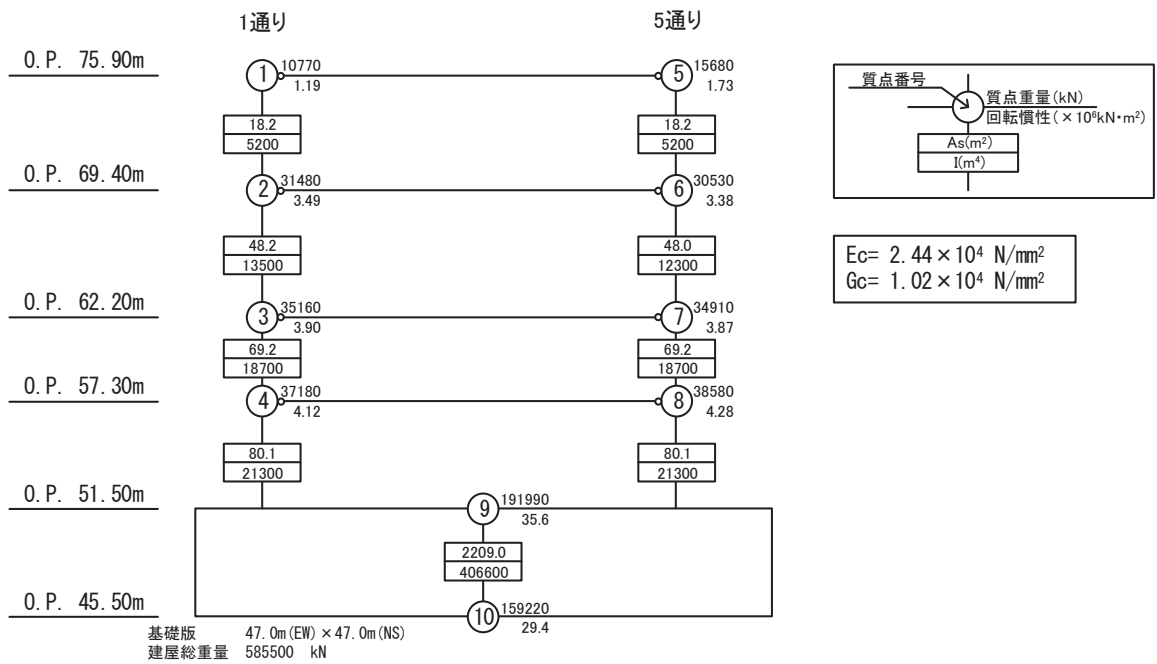


注記* : スリット部に位置する同座標の節点について、常時解析では、セメント改良土と周辺地盤部分における自重に対する鉛直変位が異なるため、水平(X)並進のみ MPC 拘束している。地震応答解析ではセメント改良土と周辺地盤の地震応答に連続性を持たせるため、水平(X)及び鉛直(Y)並進を MPC 拘束している。



(b) 建屋周辺拡大図 (メッシュ全体を斜めから見た図)

図 2-2(1) 地震応答解析モデル (EW 方向) (1/2)



注：図中の値は建屋全幅の諸元を示すが、解析においては単位幅の値とする。

(c) 建屋部分詳細

図 2-2(2) 地震応答解析モデル (EW 方向) (2/2)

2.2 入力地震動

解析に用いる入力地震動は、地盤の有効応力を考慮した解析であることから、地盤のせん断ひずみが最も大きくなる地震動及びケースとして、基準地震動 $S_s - D_2$ 、ケース3（地盤物性 σ ）の条件により評価した解析モデル下端レベル（O.P. -200.0m）の地盤応答波とする。有効応力解析は、解析モデル下端レベル（O.P. -200.0m）に入力地震動を水平方向（NS方向又はEW方向）に入力することで実施する。解析モデル下端レベル（O.P. -200.0m）の地盤応答波の算出は、地震応答計算書と同一の地盤モデル及び方法で実施する。

2.3 解析方法

建物・構築物の動的解析は、地盤の有効応力を考慮した時刻歴応答解析により実施する。解析では、地盤の最大応答加速度、最大応答せん断ひずみの他に、建屋の応答加速度、応答変位、応答せん断力及び応答曲げモーメントを算出する。

有効応力解析には、解析コード「FLIP」を用いる。

2.4 解析条件

緊急時対策建屋の質量及び剛性は、地震応答計算書と同一とする（単位幅あたりの等価な値として設定する）。

3. 解析結果

有効応力解析結果のうち，地盤の最大応答加速度及び最大応答せん断ひずみを図3-1～図3-4に示す。

有効応力解析結果のうち，緊急時対策建屋の最大応答値を図3-5～図3-12に，加速度応答スペクトルを図3-13及び図3-14に，S Rモデルによる地震応答解析結果（地震応答計算書のケース3（ σ 地盤ケース））と比較して示す。有効応力解析の最大応答値は，最大応答変位を除き，いずれもS Rモデルによる地震応答解析結果を下回っており，また，加速度応答スペクトルは，全周期帯でS Rモデルによる地震応答解析結果を下回っている。

以上のことから，緊急時対策建屋にS Rモデルを適用することの妥当性を確認した。

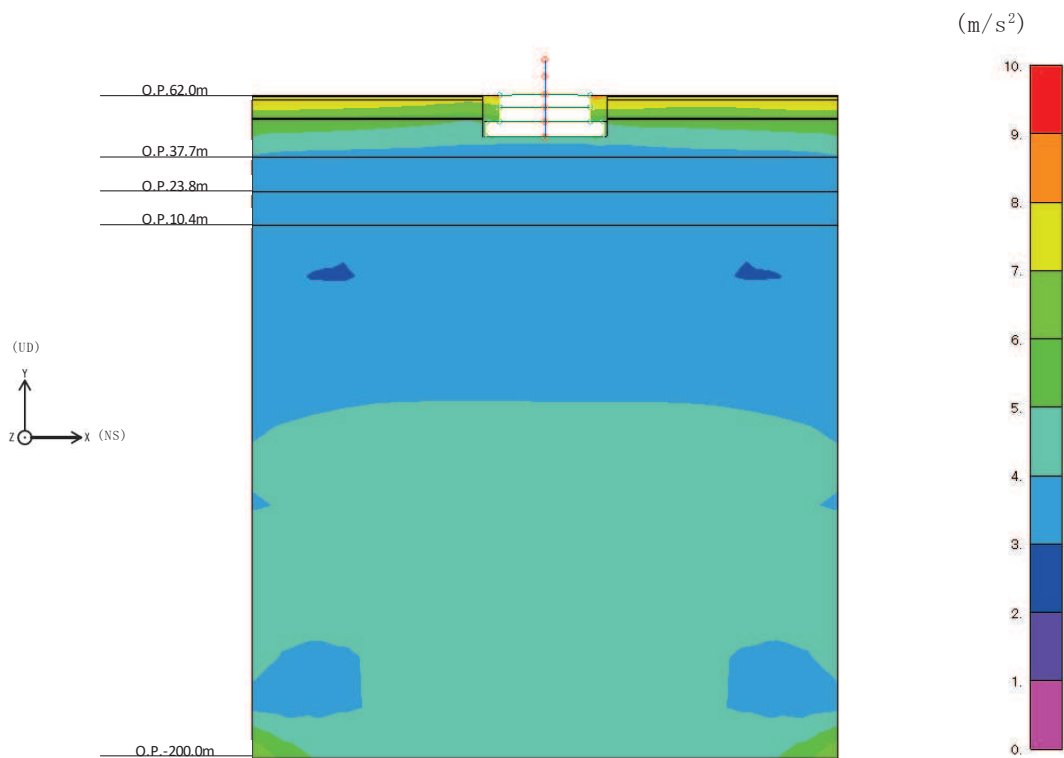


図 3-1 地盤の最大応答加速度 (S s - D 2, NS 方向)

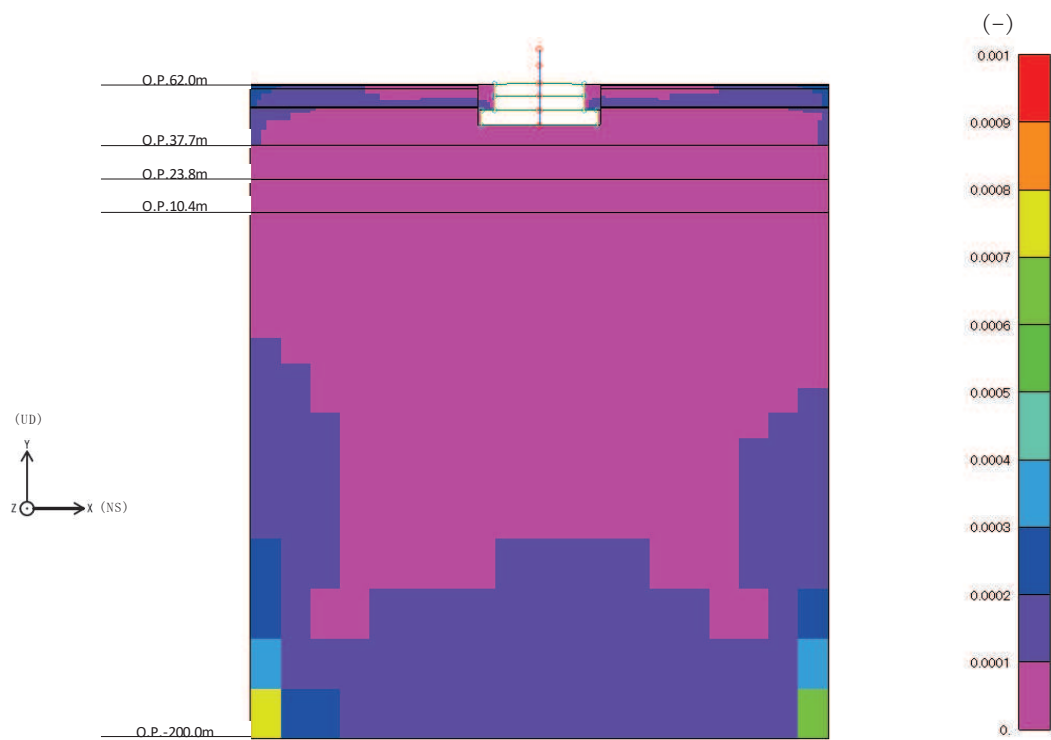
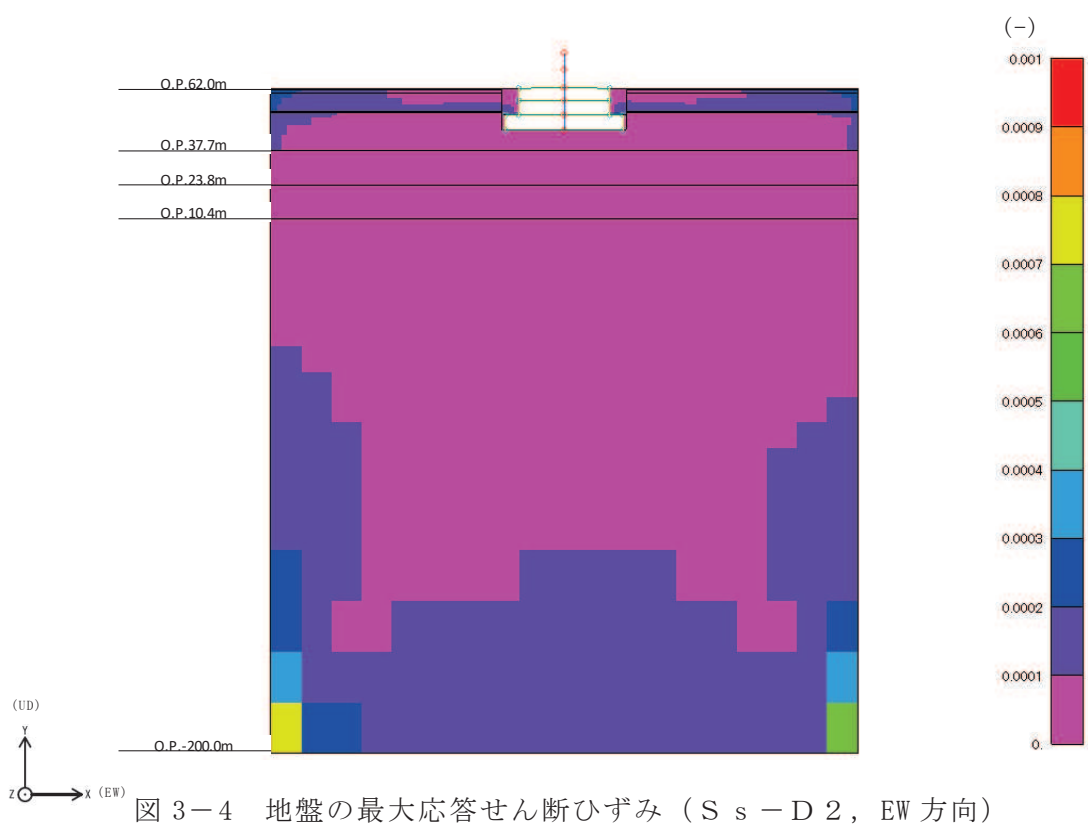
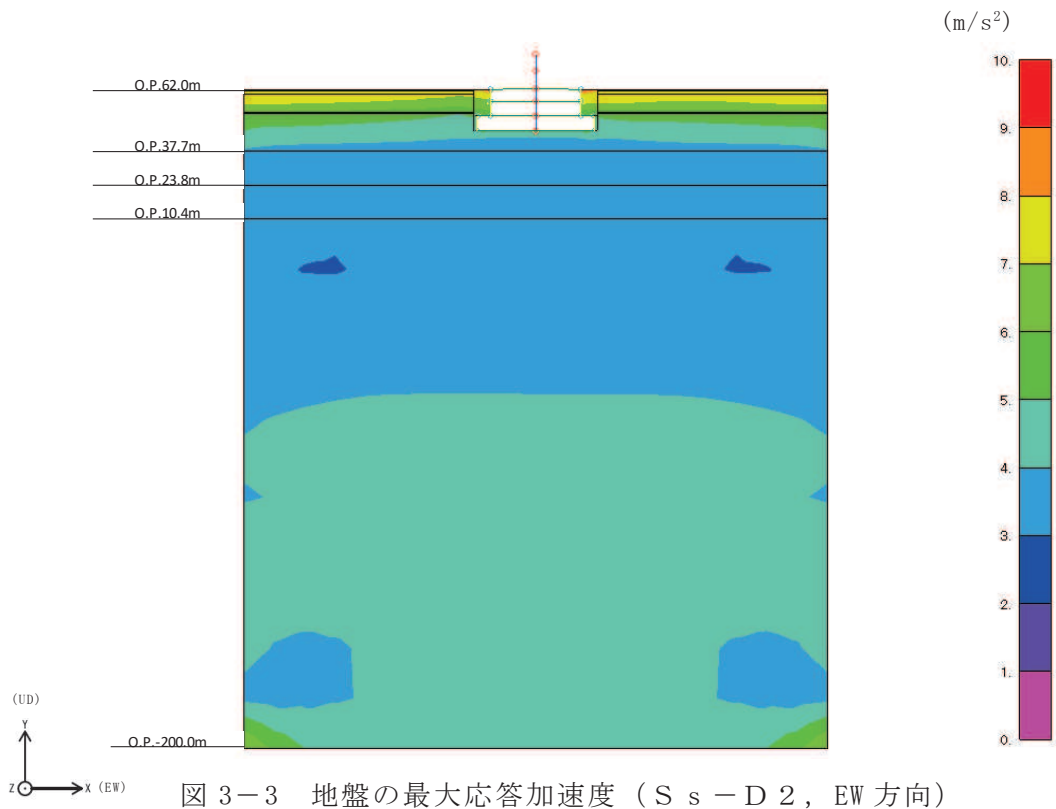
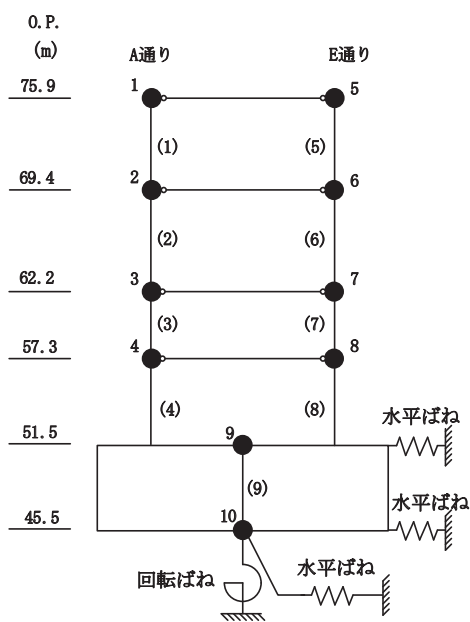


図 3-2 地盤の最大応答せん断ひずみ (S s - D 2, NS 方向)





O. P. (m)	A通り (cm/s ²)	
	有効応力解析	ケース3
75.90	1468	2579
69.40	1182	1707
62.20	863	1235
57.30	682	929
51.50	480	630

O. P. (m)	E通り (cm/s ²)	
	有効応力解析	ケース3
75.90	1468	2579
69.40	1182	1707
62.20	863	1235
57.30	682	929
51.50	480	630

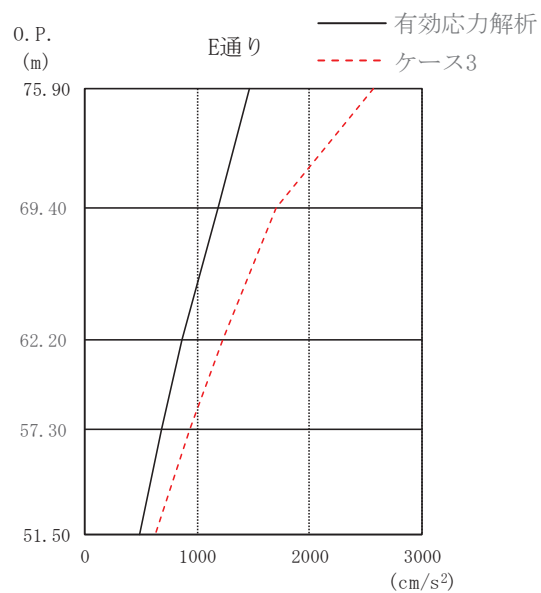
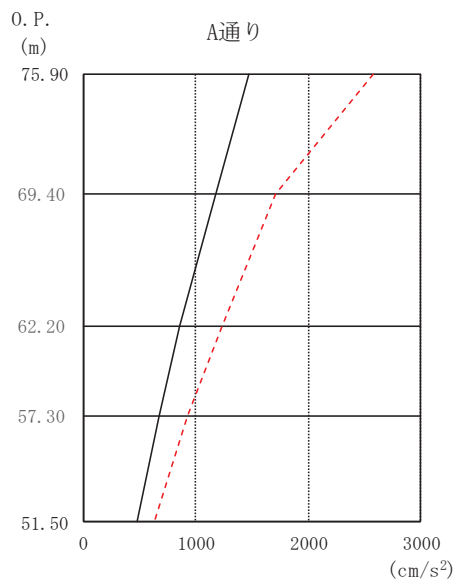
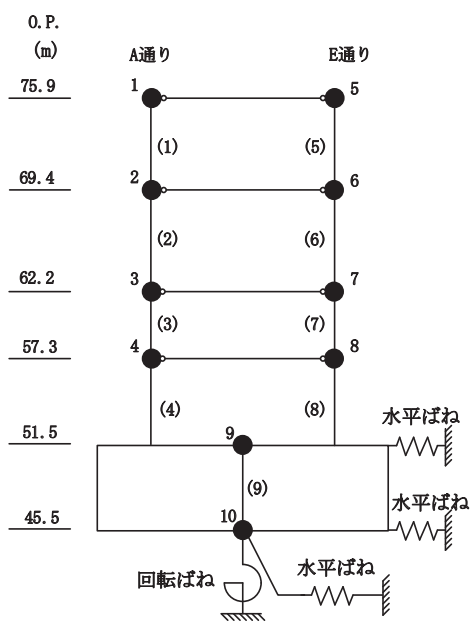
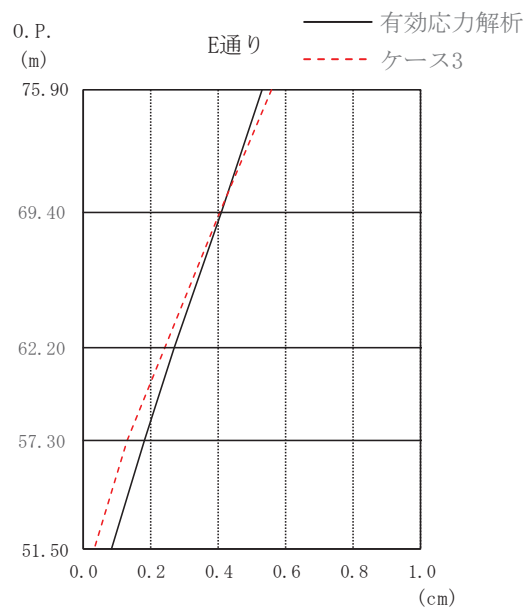
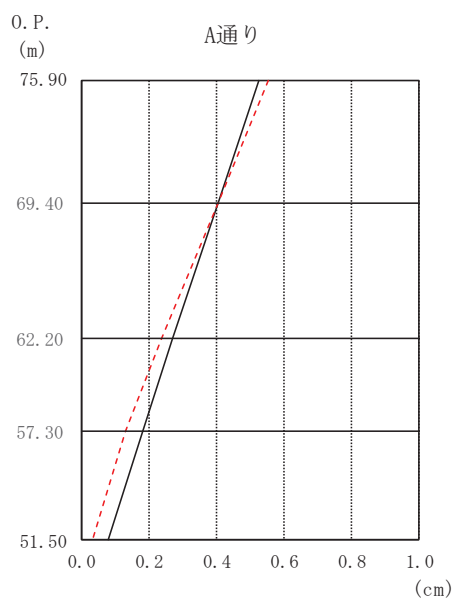


図 3-5 最大応答加速度 (S s - D 2, NS 方向)



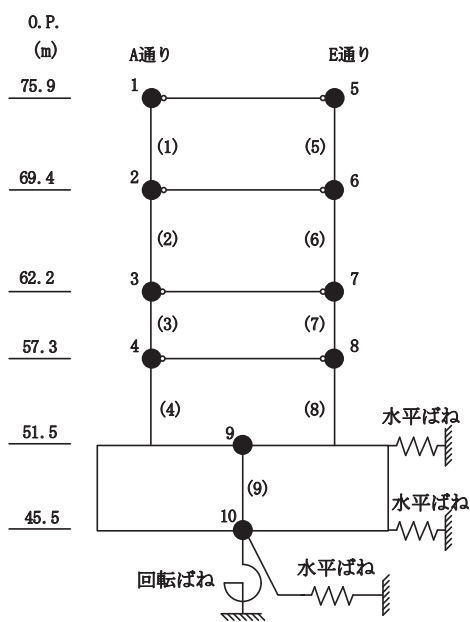
O.P. (m)	A通り (cm)	
	有効応力解析	ケース3
75.90	0.53	0.56
69.40	0.41	0.41
62.20	0.27	0.24
57.30	0.18	0.13
51.50	0.08	0.03

O.P. (m)	E通り (cm)	
	有効応力解析	ケース3
75.90	0.53	0.56
69.40	0.41	0.41
62.20	0.27	0.24
57.30	0.18	0.13
51.50	0.08	0.03



注：O.P. 45.5m（緊急時対策建屋の基礎スラブ下端レベル）の地盤に対する相対変位を示す。

図 3-6 最大応答変位（S_s-D2，NS 方向）



O. P. (m)	A通り ($\times 10^3$ kN)	
	有効応力解析	ケース3
75.90		
69.40	20.29	33.97
62.20	54.61	80.04
57.30	82.87	126.22
51.50	114.61	155.93

O. P. (m)	E通り ($\times 10^3$ kN)	
	有効応力解析	ケース3
75.90		
69.40	20.16	33.41
62.20	60.14	87.23
57.30	82.87	125.81
51.50	114.61	155.08

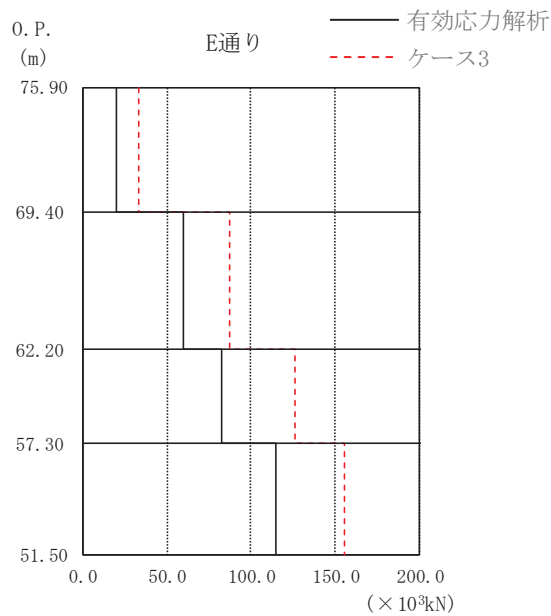
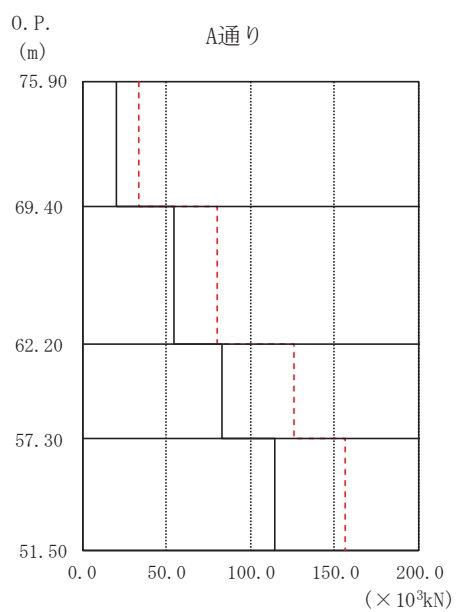
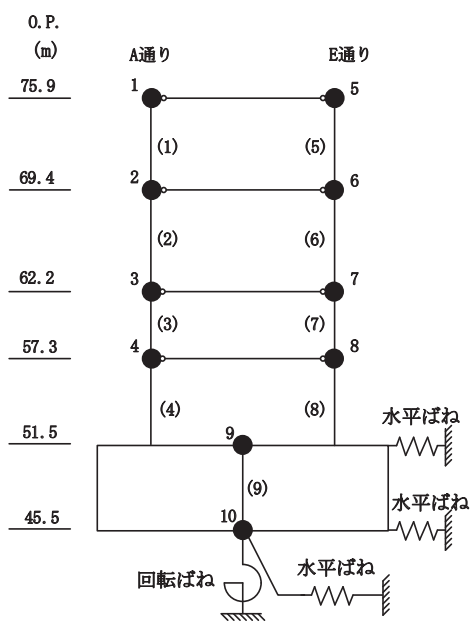
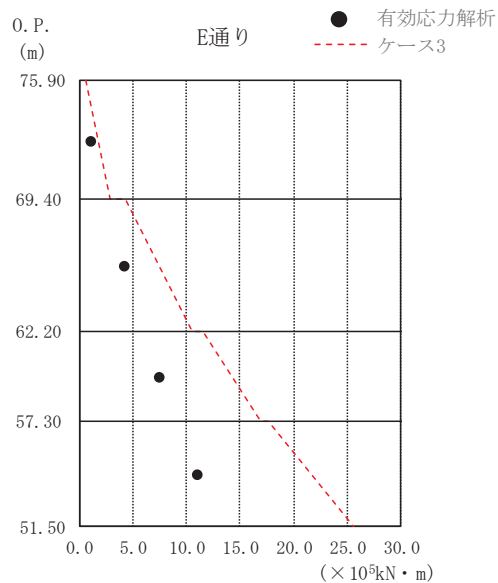
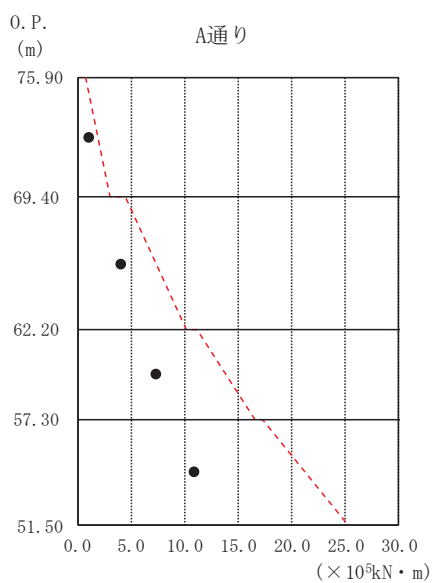


図 3-7 最大応答せん断力 (S s - D 2, NS 方向)



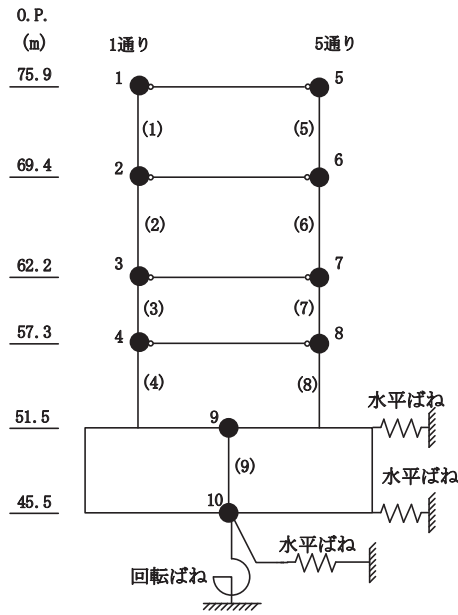
O. P. (m)	A通り 有効応力解析	($\times 10^5$ kN \cdot m)	ケース3
75.90			0.83
69.40	1.00		3.07
62.20	4.00		4.43
57.30	7.34		11.21
51.50	10.90		17.31
			25.24

O. P. (m)	E通り 有効応力解析	($\times 10^5$ kN \cdot m)	ケース3
75.90			0.60
69.40	0.89		2.82
62.20	4.08		4.27
57.30	7.34		11.57
51.50	10.90		17.65
			25.58



注：有効応力解析の曲げモーメントは、曲げせん断要素の中央の値を示す。

図 3-8 最大応答曲げモーメント (S s - D 2, NS 方向)



O. P. (m)	1通り (cm/s ²)	
	有効応力解析	ケース3
75.90	1474	2537
69.40	1187	1712
62.20	863	1234
57.30	682	927
51.50	479	630

O. P. (m)	5通り (cm/s ²)	
	有効応力解析	ケース3
75.90	1474	2537
69.40	1187	1712
62.20	863	1234
57.30	682	927
51.50	479	630

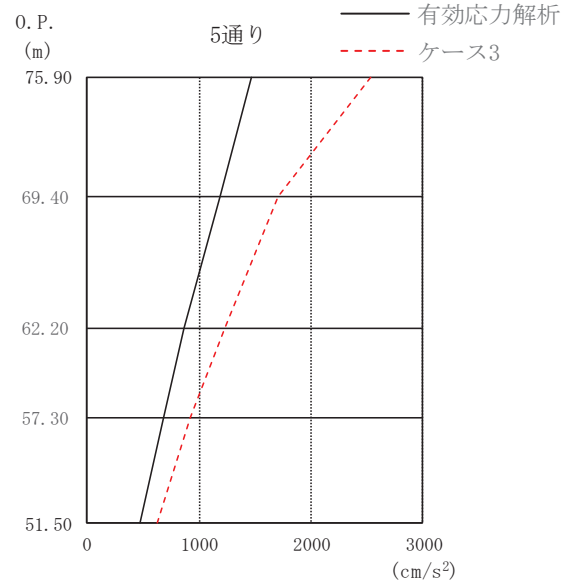
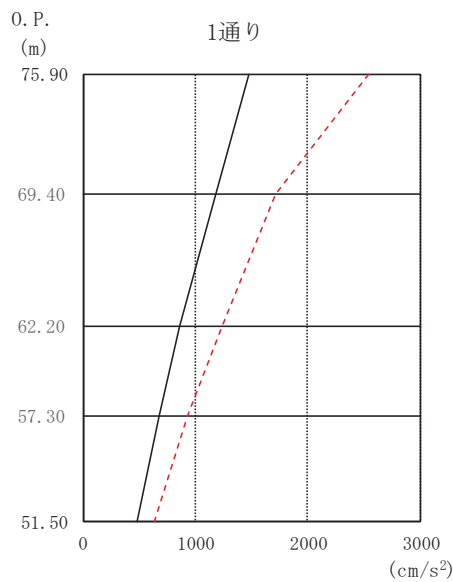
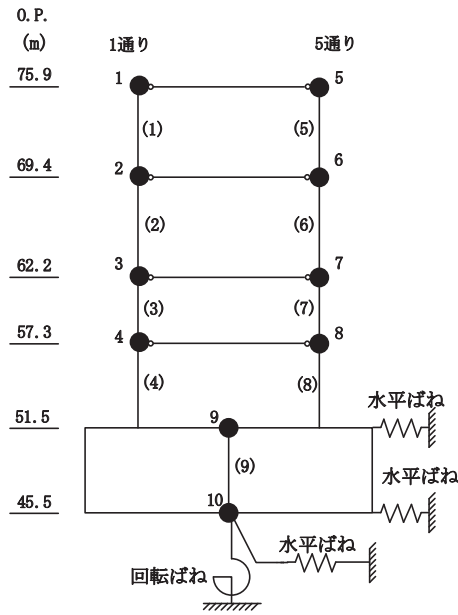
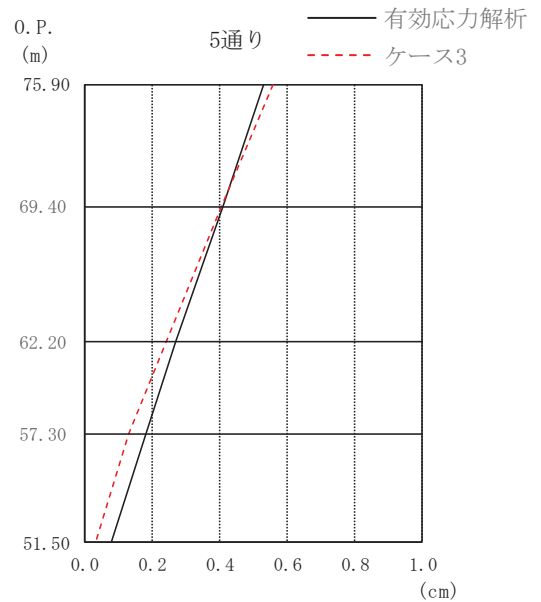
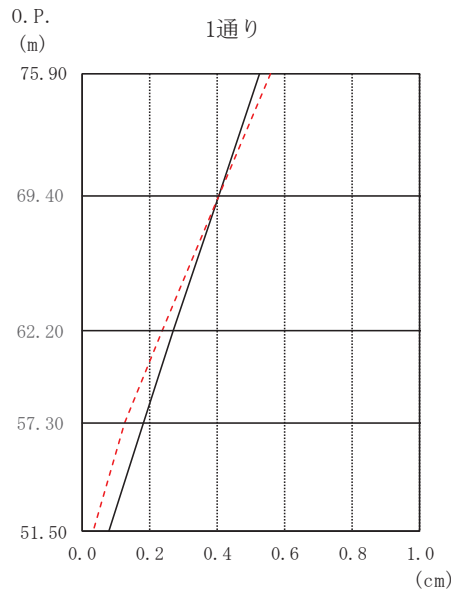


図 3-9 最大応答加速度 (S s - D 2, EW 方向)



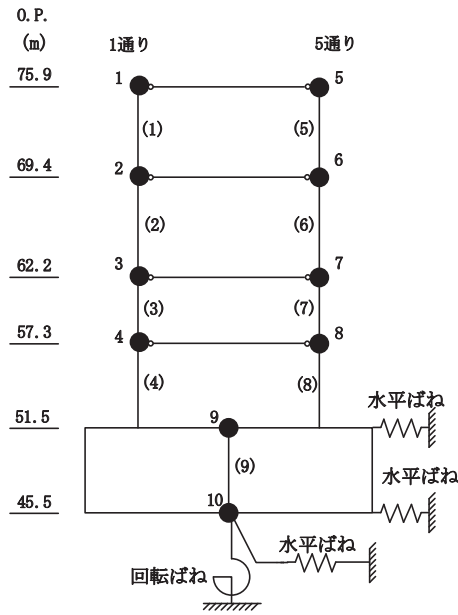
O. P. (m)	1通り (cm)	
	有効応力解析	ケース3
75.90	0.53	0.56
69.40	0.41	0.41
62.20	0.27	0.24
57.30	0.18	0.13
51.50	0.08	0.03

O. P. (m)	5通り (cm)	
	有効応力解析	ケース3
75.90	0.53	0.56
69.40	0.41	0.41
62.20	0.27	0.24
57.30	0.18	0.13
51.50	0.08	0.03



注：O. P. 45.5m（緊急時対策建屋の基礎スラブ下端レベル）の地盤に対する相対変位を示す。

図 3-10 最大応答変位（S_s-D₂，EW 方向）



O. P. (m)	1通り (×10 ³ kN)	
	有効応力解析	ケース3
75.90		
69.40	20.41	33.54
62.20	57.99	84.23
57.30	83.04	126.12
51.50	114.72	155.01

O. P. (m)	5通り (×10 ³ kN)	
	有効応力解析	ケース3
75.90		
69.40	20.13	33.86
62.20	57.21	83.16
57.30	83.04	126.04
51.50	114.72	155.74

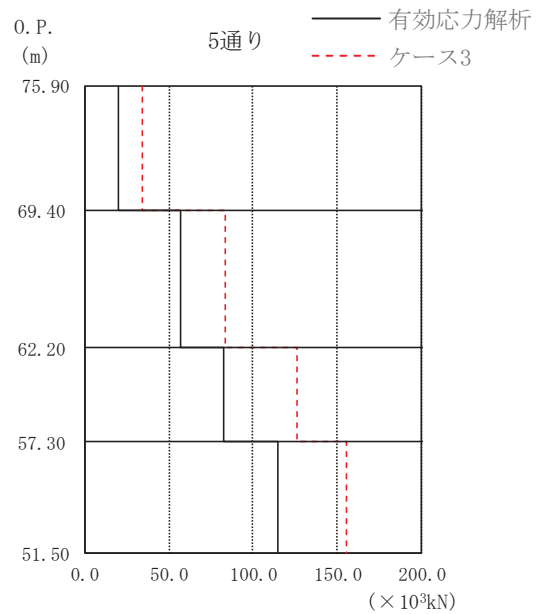
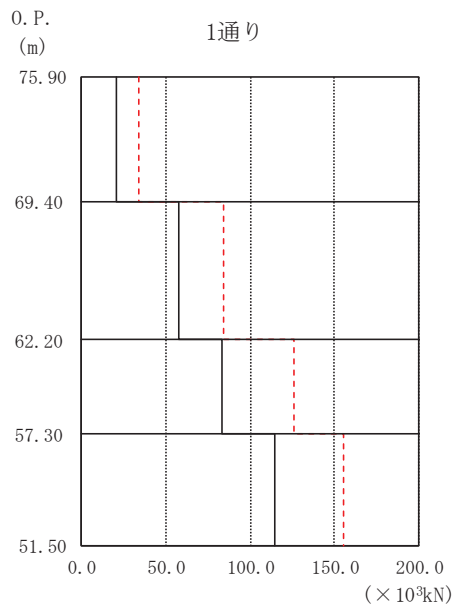
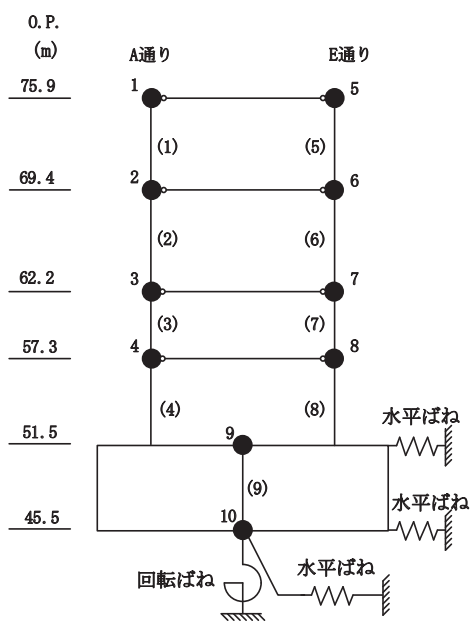
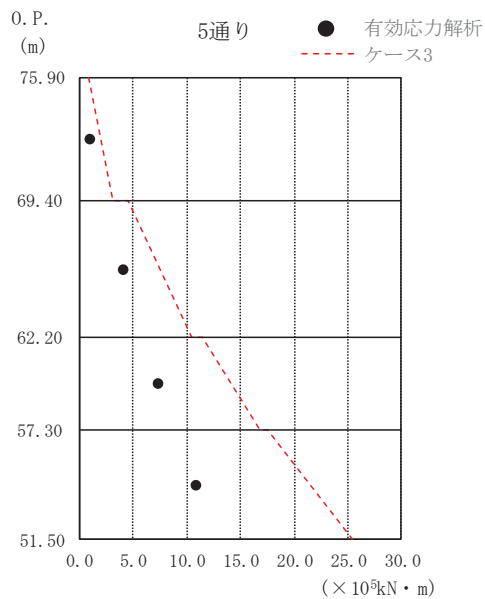
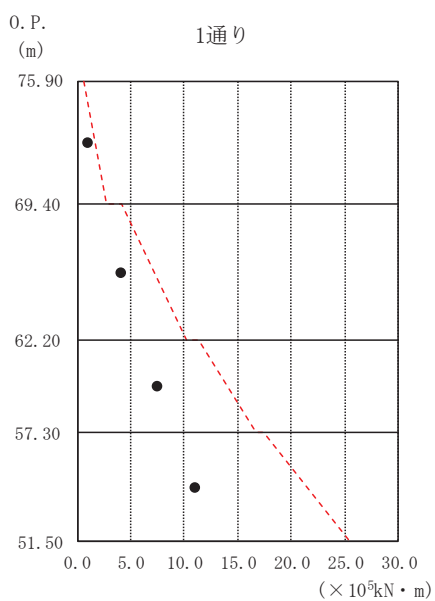


図 3-11 最大応答せん断力 (S_s-D2, EW 方向)



O. P. (m)	1通り (×10 ⁵ kN・m)	
	有効応力解析	ケース3
75.90		0.57
	0.88	2.75
69.40		4.19
	3.99	10.25
62.20		11.32
	7.37	16.64
57.30		17.41
	10.91	25.39
51.50		

O. P. (m)	5通り (×10 ⁵ kN・m)	
	有効応力解析	ケース3
75.90		0.88
	1.02	3.09
69.40		4.48
	4.11	10.46
62.20		11.47
	7.37	16.79
57.30		17.56
	10.91	25.46
51.50		



注：有効応力解析の曲げモーメントは、曲げせん断要素の中央の値を示す。

図 3-12 最大応答曲げモーメント (S_s-D2, EW 方向)

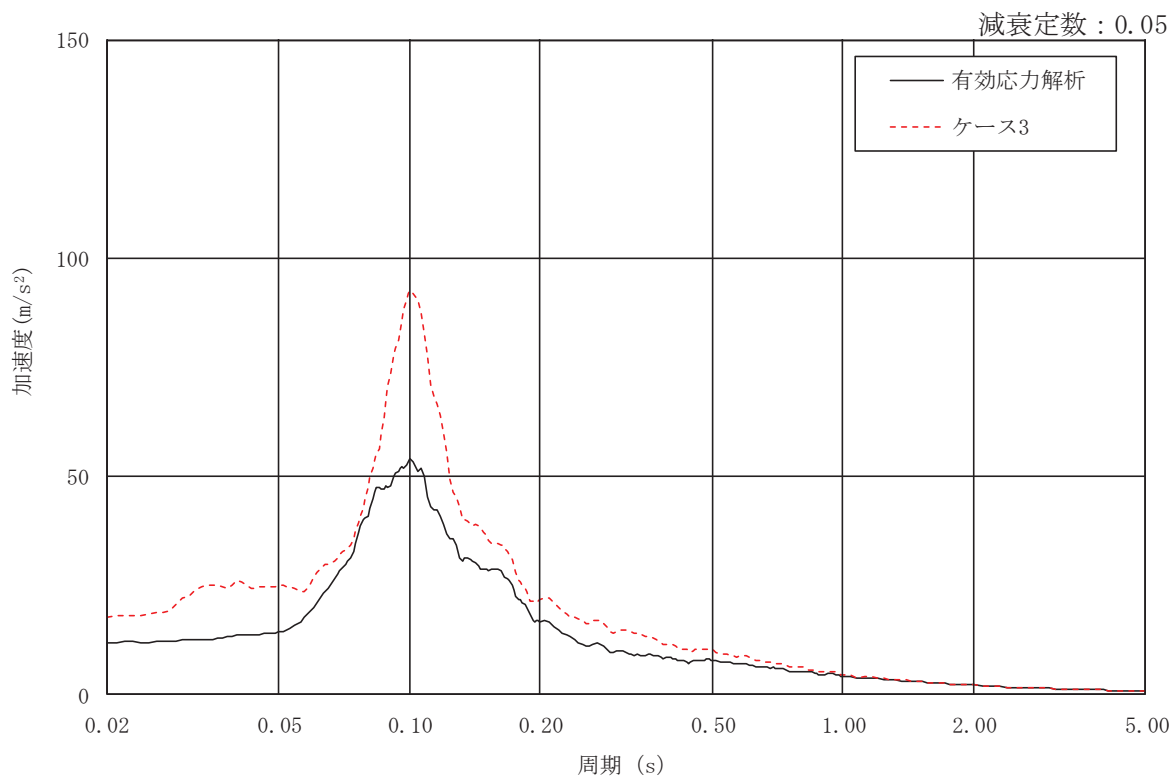
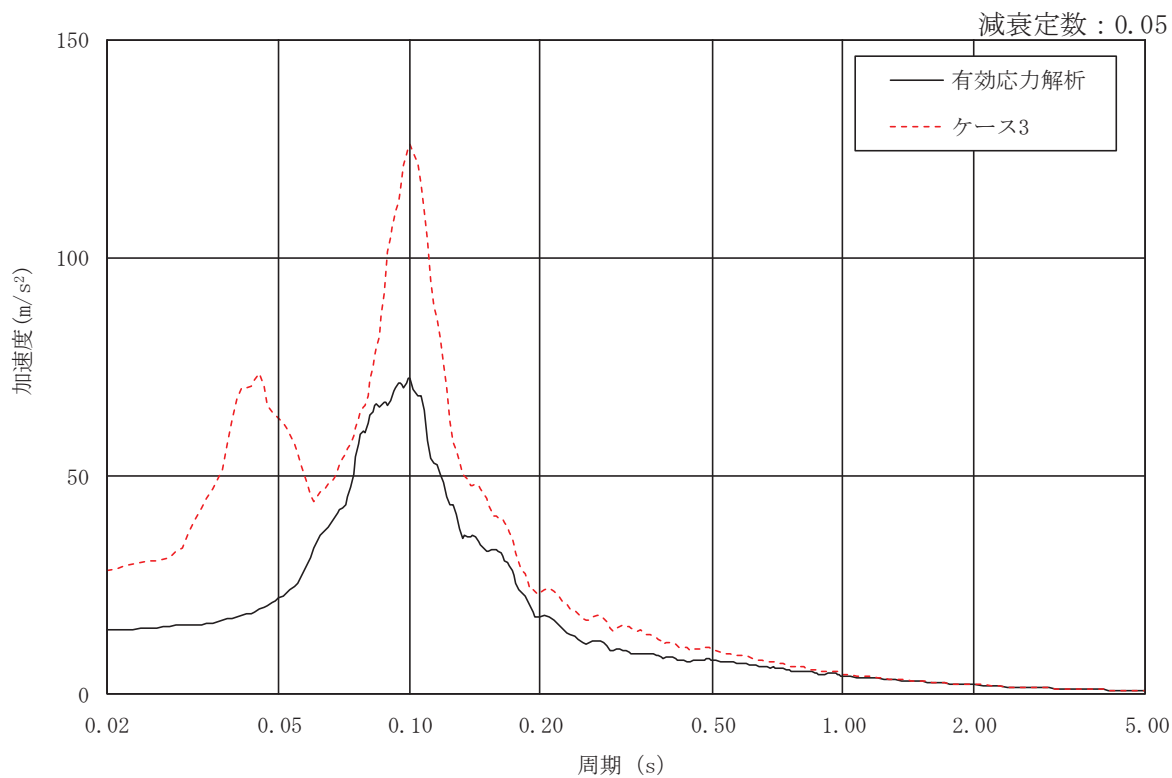


図 3-13(1) 加速度応答スペクトル (S_s-D₂, NS 方向) (1/3)

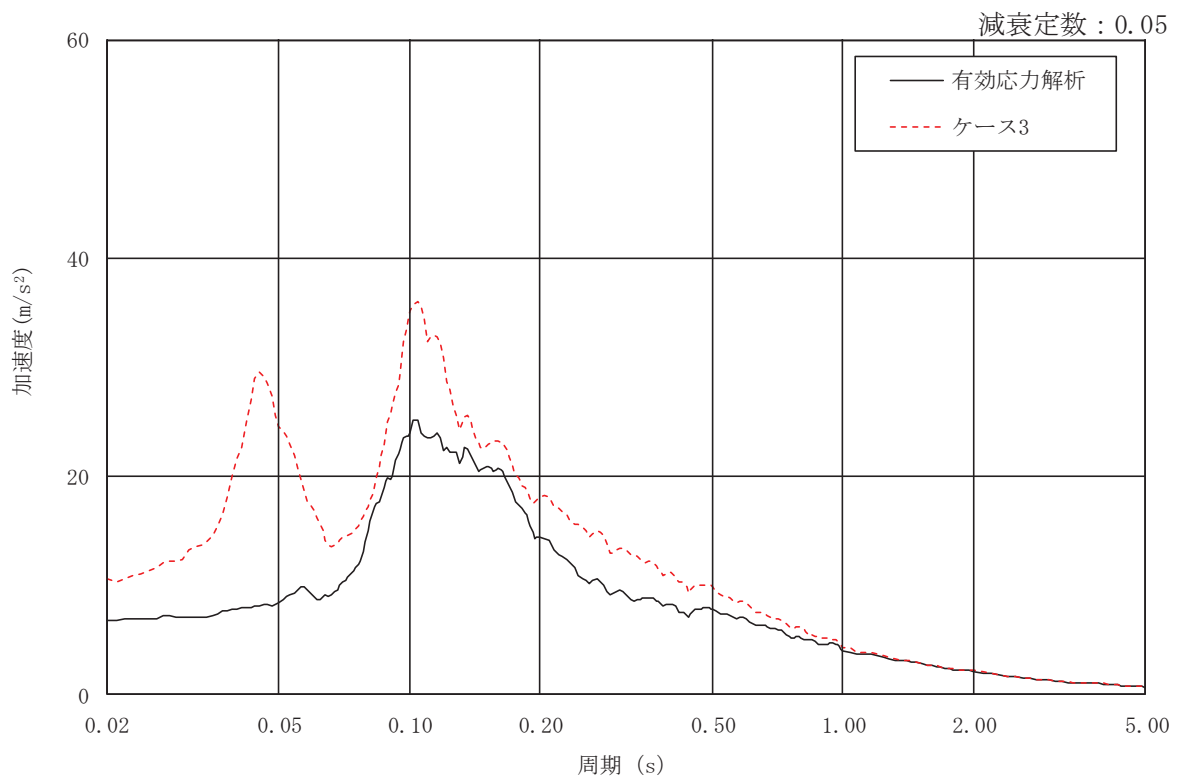
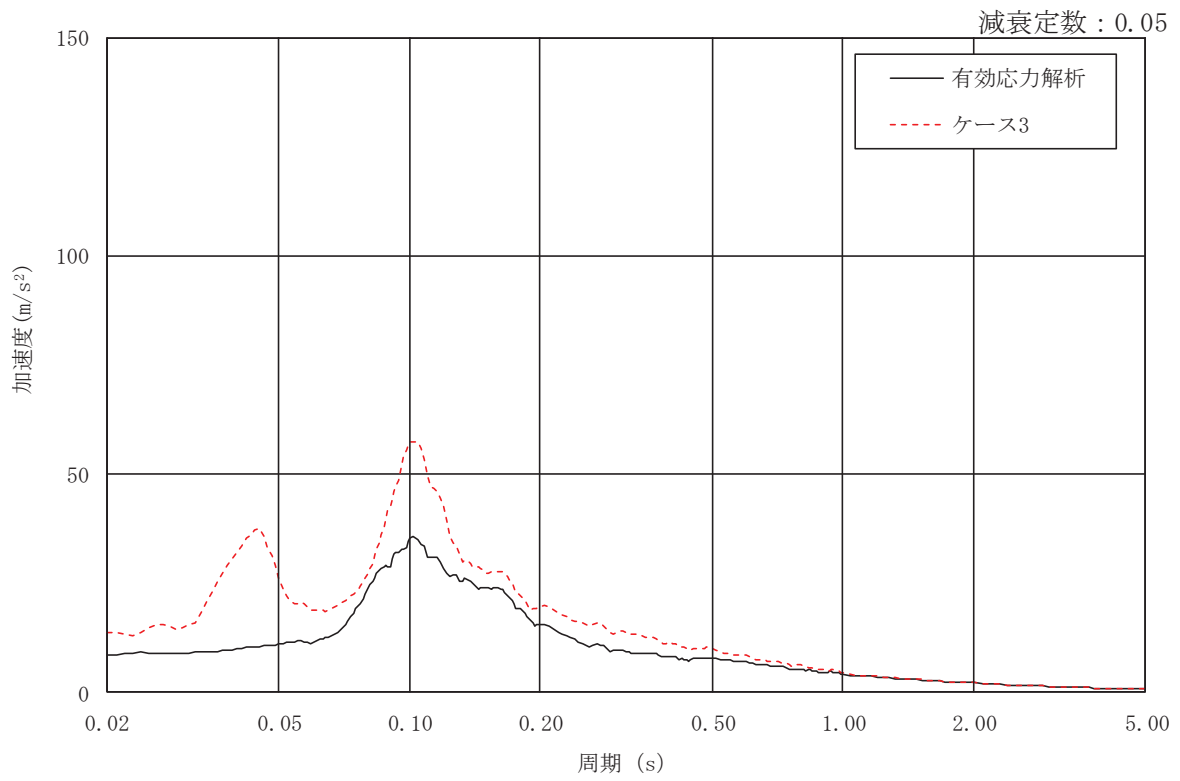
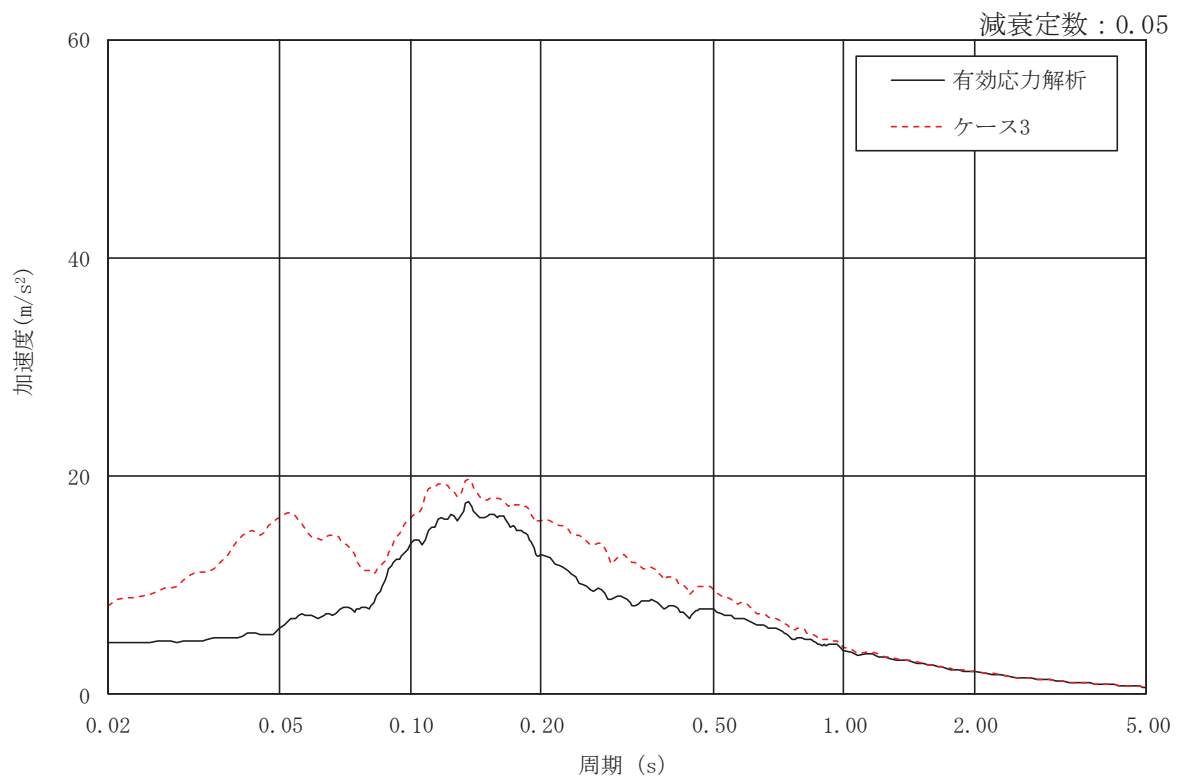


図 3-13(2) 加速度応答スペクトル (S s - D 2, NS 方向) (2/3)



(e) 0. P. 51. 50m

図 3-13(3) 加速度応答スペクトル (S_s-D2, NS 方向) (3/3)

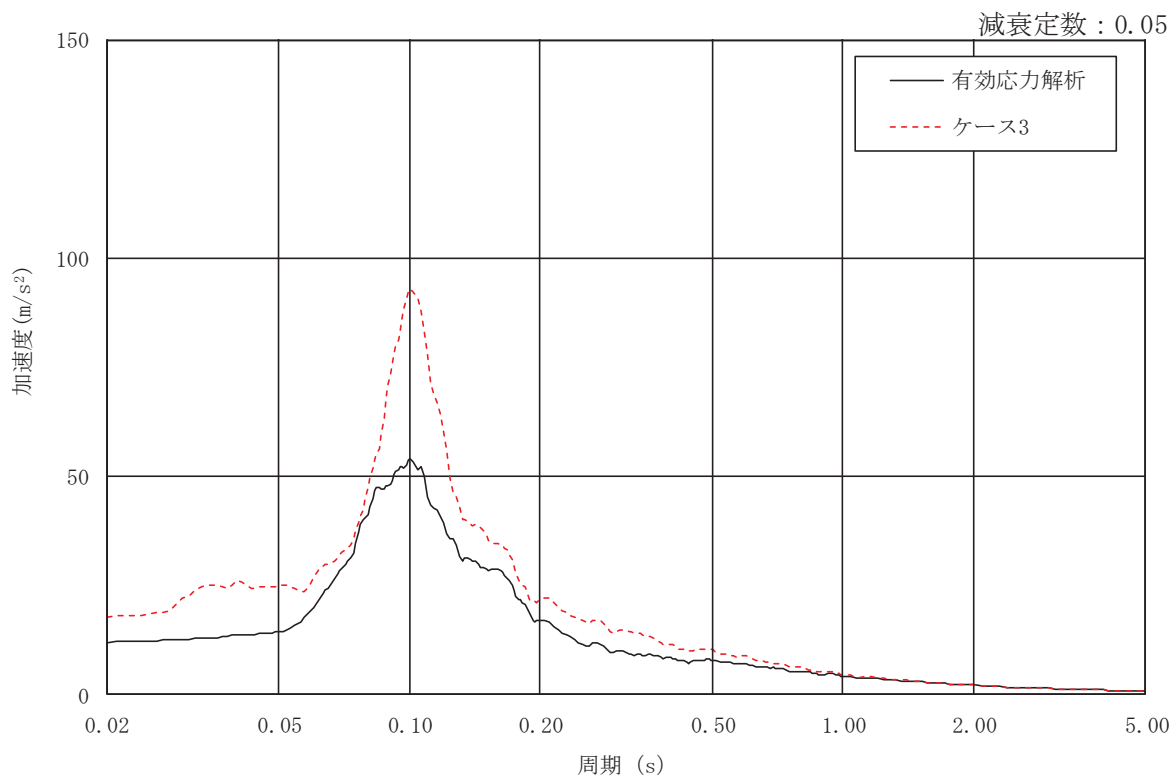
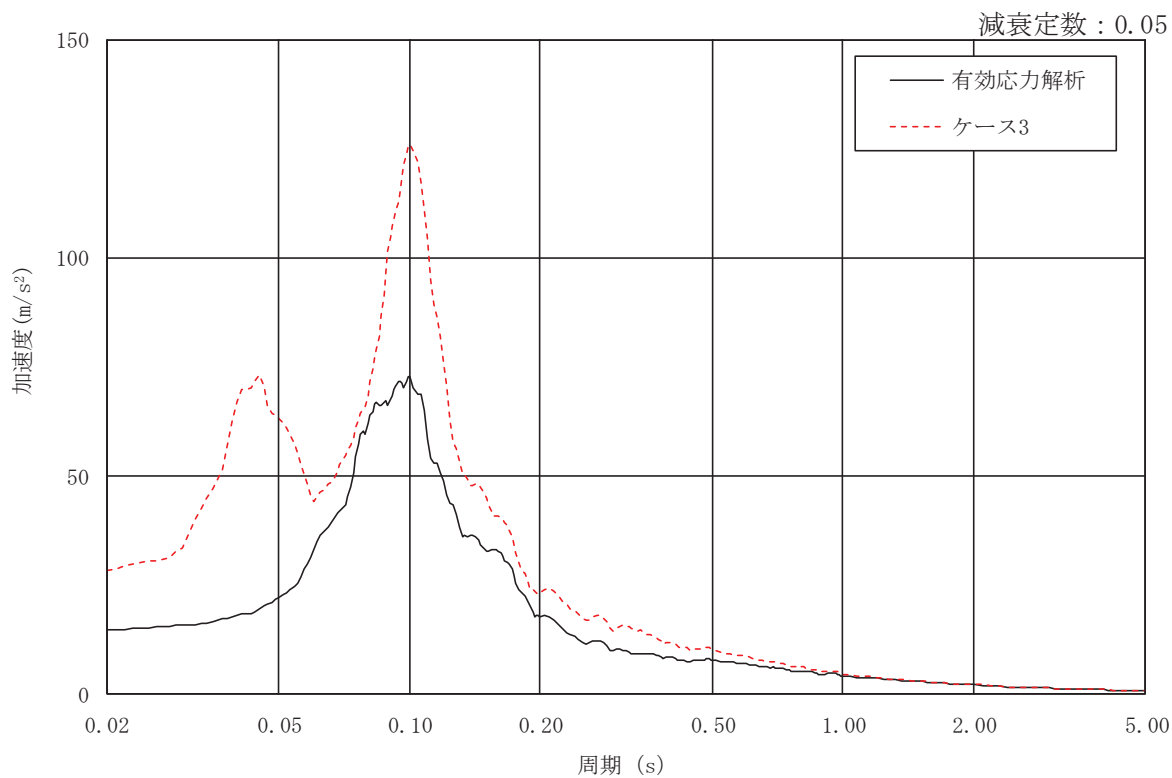


図 3-14(1) 加速度応答スペクトル (S s - D 2, EW 方向) (1/3)

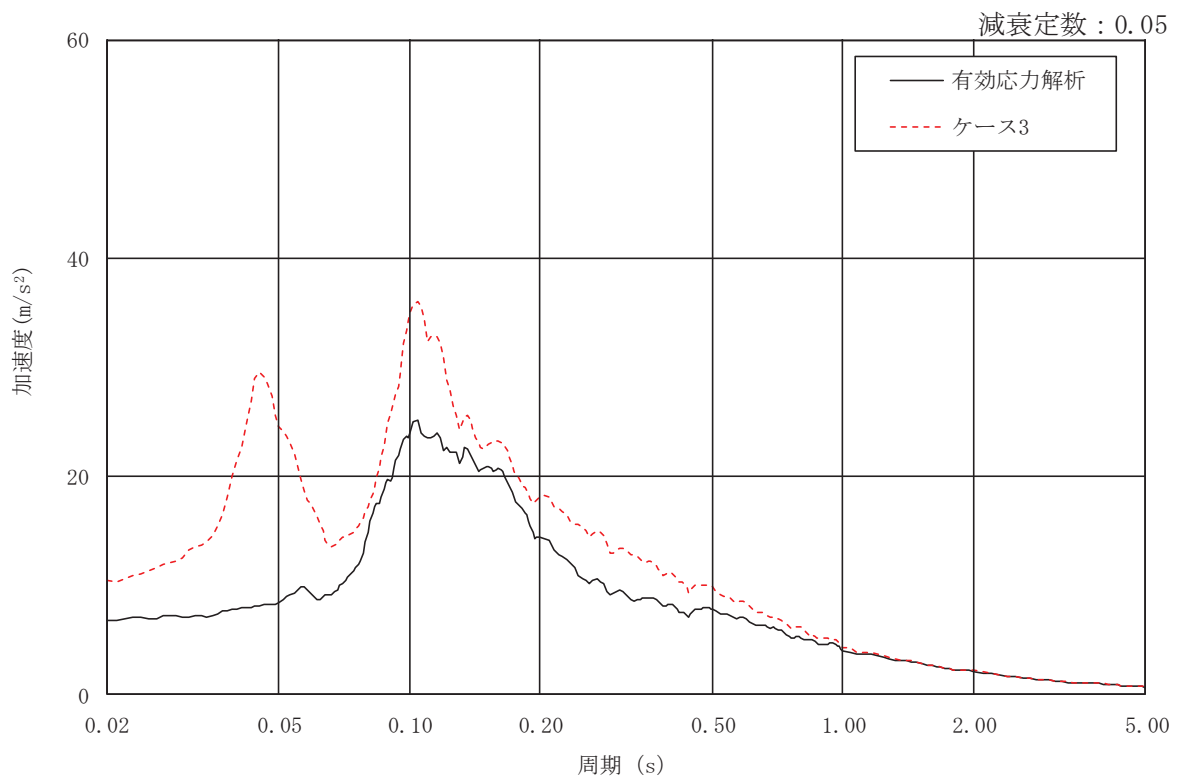
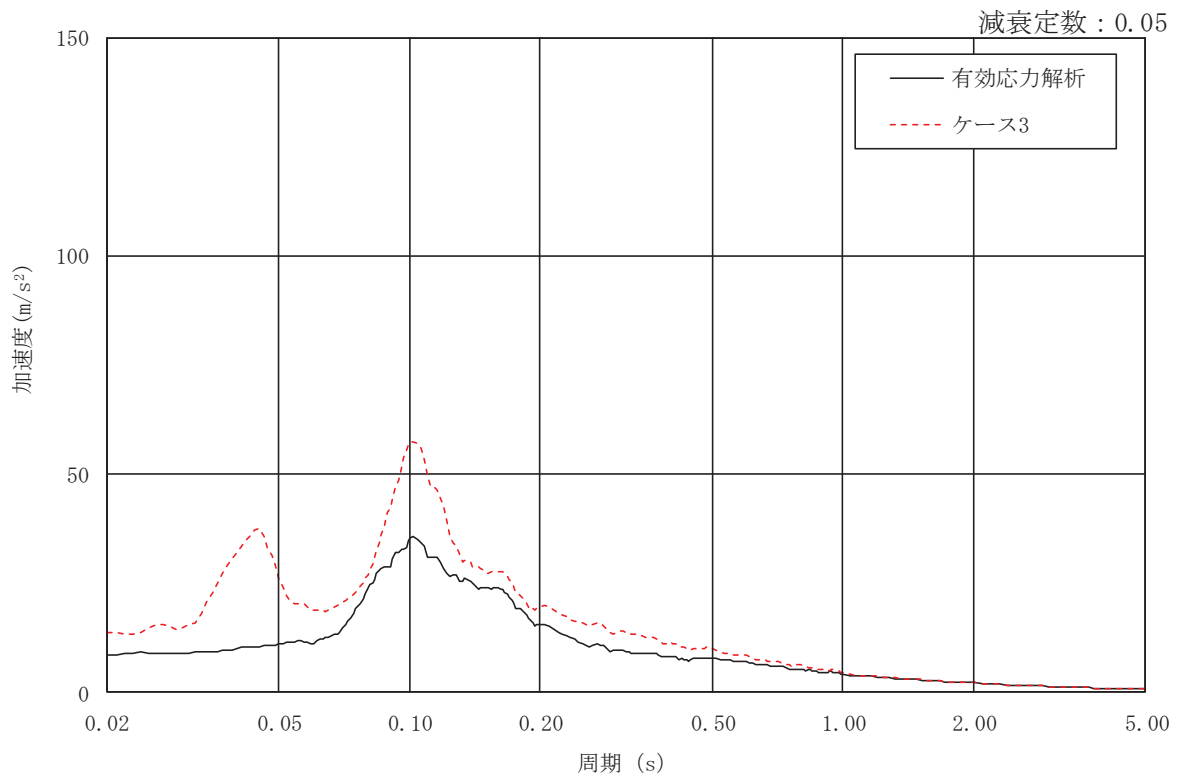
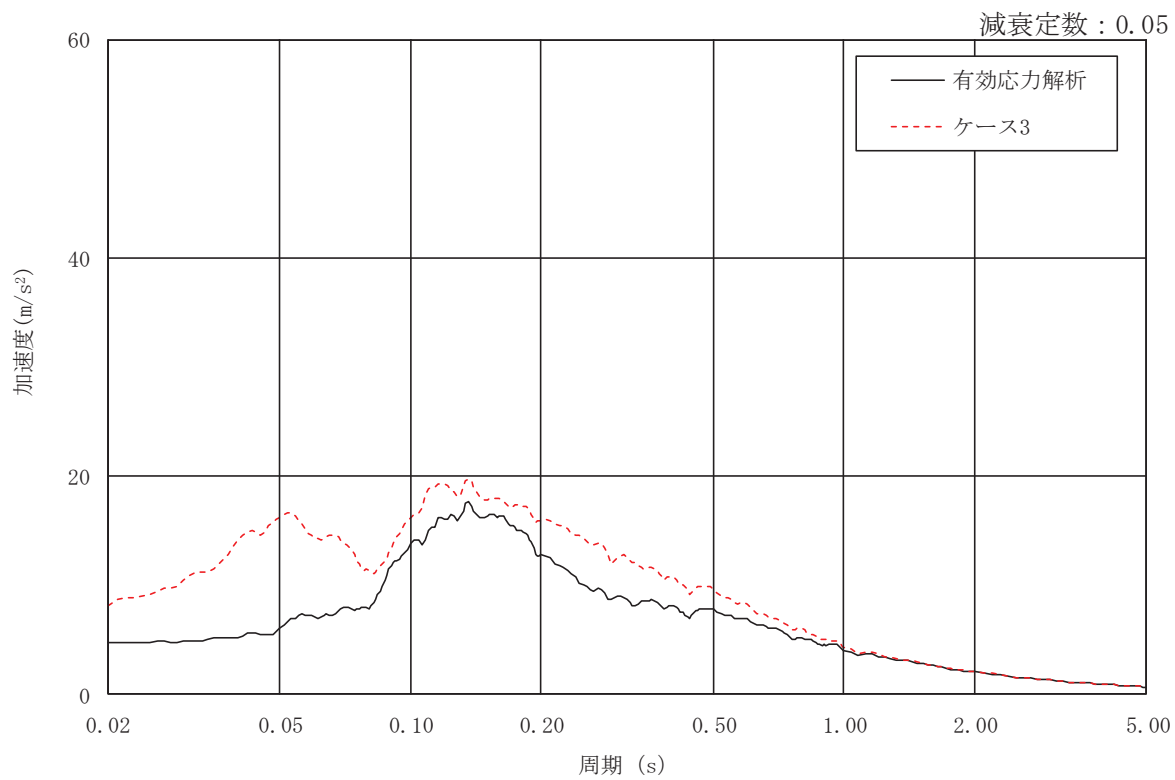


図 3-14(2) 加速度応答スペクトル (S s - D 2, EW 方向) (2/3)



(e) 0. P. 51. 50m

図 3-14(3) 加速度応答スペクトル (S_s-D2, EW 方向) (3/3)

別紙 1-1-3 緊急時対策建屋の鉄骨部の構造詳細

目 次

1. 緊急時対策建屋の鉄骨部の構造詳細・・・・・・・・・・・・・・・・ 別紙 1-1-3-1

1. 緊急時対策建屋の鉄骨部の構造詳細

本資料は、緊急時対策建屋の地上2階鉄骨部の構造詳細について、部材断面を説明するものである。緊急時対策建屋の概略断面図を図1-1に、鉄骨柱・鉄骨大げり・鉄骨ブレースの配置概要図を図1-2に、部材リストを図1-3及び図1-4に示す。

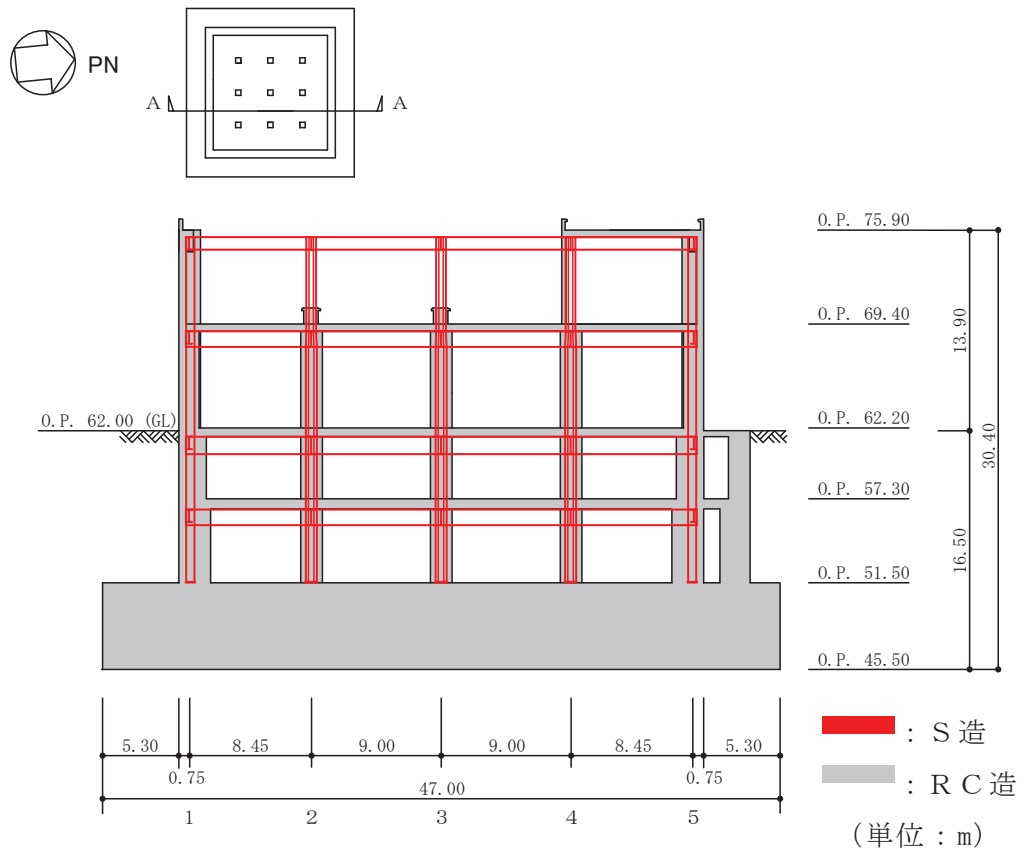


図 1-1 緊急時対策建屋の概略断面図 (A-A 断面)

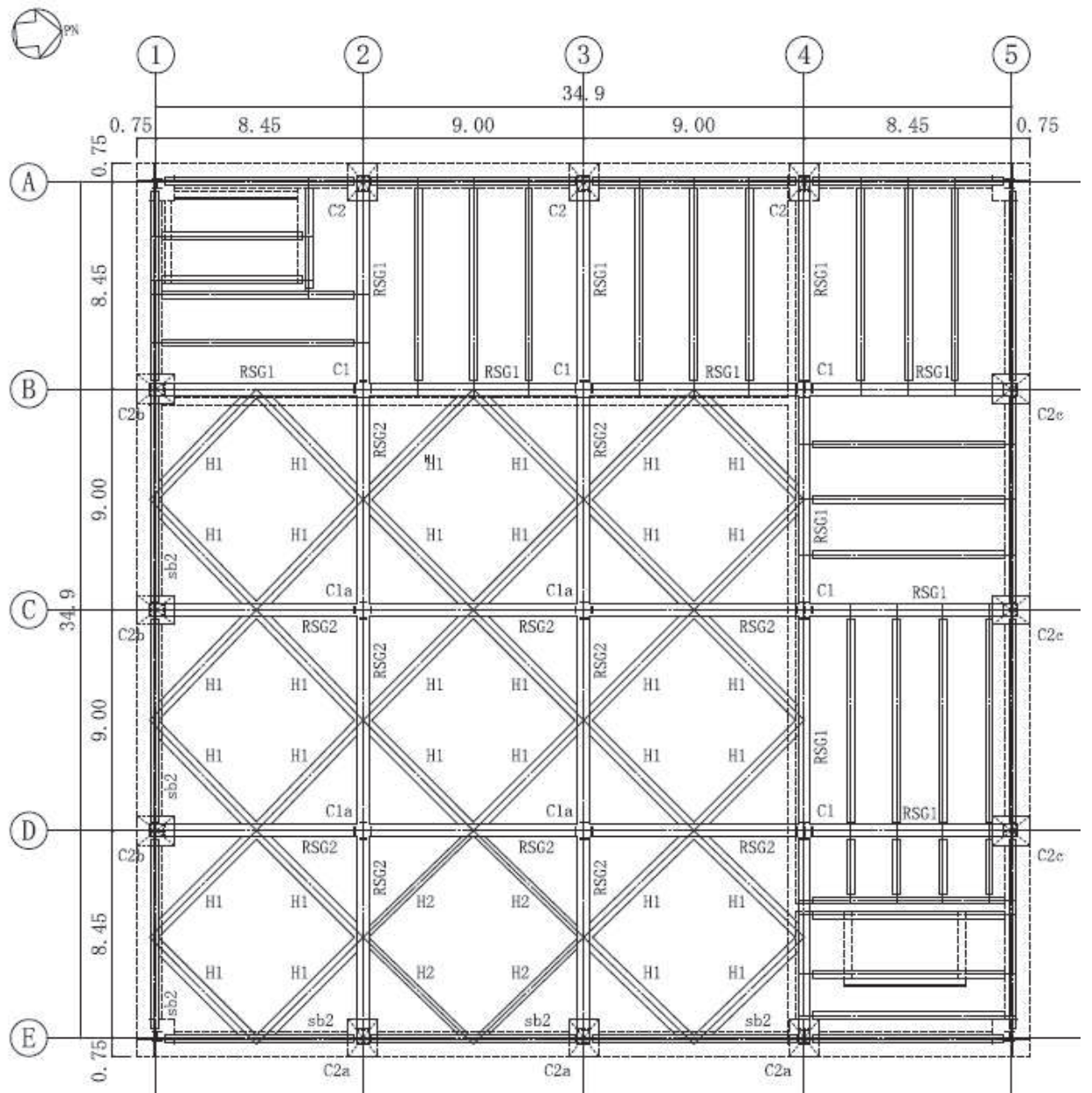


図 1-2 耐震壁及び鉄骨柱・鉄骨大ぶり・鉄骨ブレースの配置概要図 (0.P. 75.90m)

柱の断面	階	符 号	C1・C1a	C2	C2a
	断 面				
		主 材	X方向	BH-700×300×22×36	—
	Y方向	BH-700×300×22×36	BH-600×500×28×40	BH-600×500×28×40	
	主 筋	—	I2-D35	I2-D35	
	HOOP	—	D19@100	D19@100	
	備 考	—	形状補助筋 3-D25	形状補助筋 3-D25	
	2階	符 号	C2b	C2c	
	断 面				
		主 材	X方向	BH-600×500×28×40	BH-600×500×28×40
Y方向	—	—	—		
主 筋	I2-D35	I2-D35	I2-D35		
HOOP	D19@100	D19@100	D19@100		
備 考	形状補助筋 3-D25	形状補助筋 3-D25	形状補助筋 3-D25		

図 1-3 部材リスト (柱)

大ばり・ブレースの断面	階	符 号	RSG1・RSG2	sb2
	断 面			
		主 材	BH-900×500×22×36	BH-700×300×19×36
	2階	符 号	H1	H2
	断 面			
		主 材	BH-700×500×19×32	BH-700×300×32×36

図 1-4 部材リスト (大ばり・ブレース)

別紙 1-6 影響検討ケースによる機器・配管系の耐震性への影響

目 次

1. 概要..... 別紙 1-6-1
2. 影響検討方法..... 別紙 1-6-1
3. 影響検討結果..... 別紙 1-6-1

1. 概要

本資料では、緊急時対策建屋の影響検討として実施した、「別紙1-4 建屋減衰を3%とした場合の影響検討」及び「別紙1-5 建屋剛性を実強度に基づく剛性とした場合の影響検討」の地震応答解析結果を踏まえ、緊急時対策建屋内に設置される機器・配管系の耐震性への影響を検討する。

2. 影響検討方法

検討にあたっては、「別紙1-4 建屋減衰を3%とした場合の影響検討」及び「別紙1-5 建屋剛性を実強度に基づく剛性とした場合の影響検討」の影響検討結果の床応答スペクトルと、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示される設計用床応答曲線を比較することにより影響検討を行う。緊急時対策建屋に設置される機器の減衰定数に合わせて、減衰定数を2%とした床応答スペクトルの比較を図2-1～図2-10に示す。

3. 影響検討結果

図2-1～図2-10により、影響検討ケースのうち、建屋剛性を実強度に基づく剛性としたケースは設計用床応答曲線に全周期帯で包絡されることから、機器・配管系の耐震性への影響は無いことを確認した。また、影響検討ケースのうち、建屋減衰3%のケースは一部周期帯でわずかに設計用床応答曲線を上回り、設計条件に対して6%程度増加するものの、床応答スペクトルはおおむね設計条件に包含されるほか、緊急時対策建屋内に設置される機器・配管系の最小裕度は19%程度と十分な裕度があることから機器・配管系の耐震性への影響は無いことを確認した。

注記*：添付書類「VI-2-6-7-7 統合原子力防災ネットワーク設備衛星アンテナの耐震性についての計算書」において評価している「衛星アンテナ」の裕度である。

当該設備における最小裕度は、基礎ボルト 1（衛星アンテナ支持架台）の許容応力①：153MPa に対し、基準地震動 S_s に対する算出応力②：128MPa であり、①／②=1.19 から 19%程度と算出した。

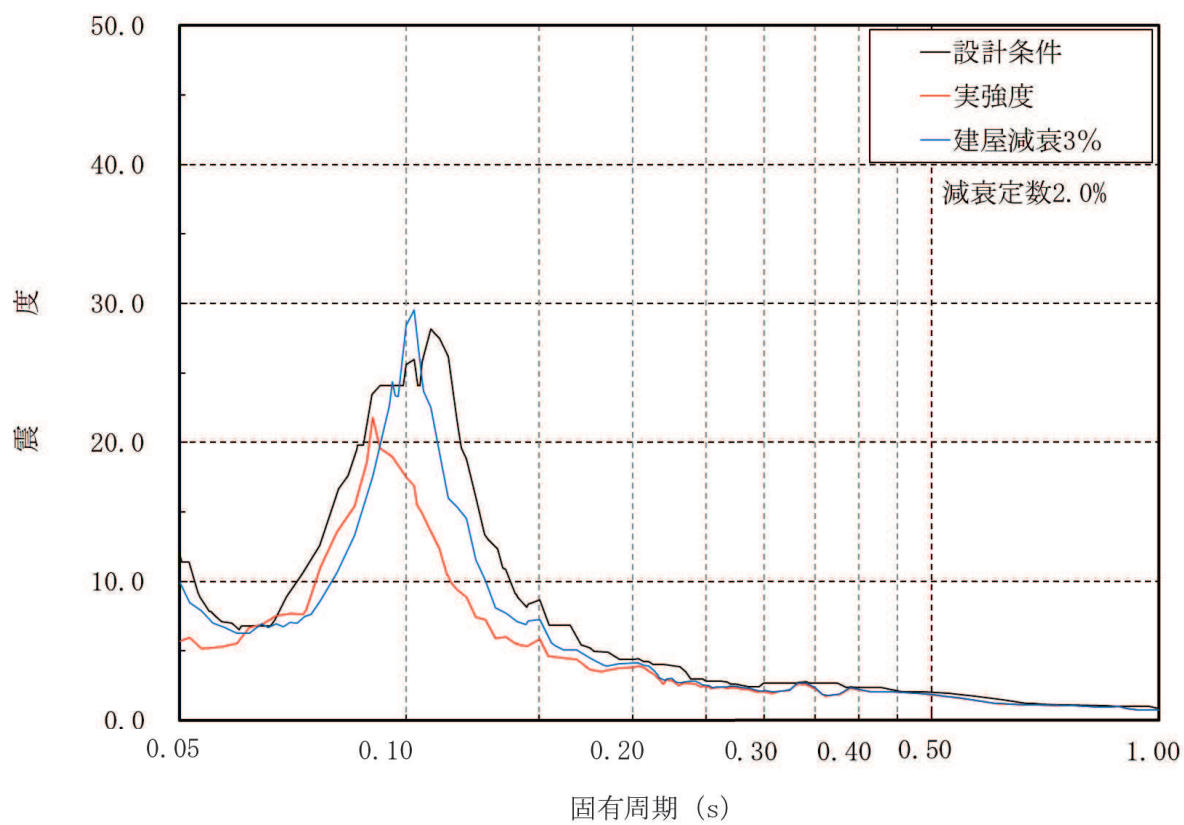


図 2-1 床応答スペクトルの比較 (水平方向, O.P. 75.9m)

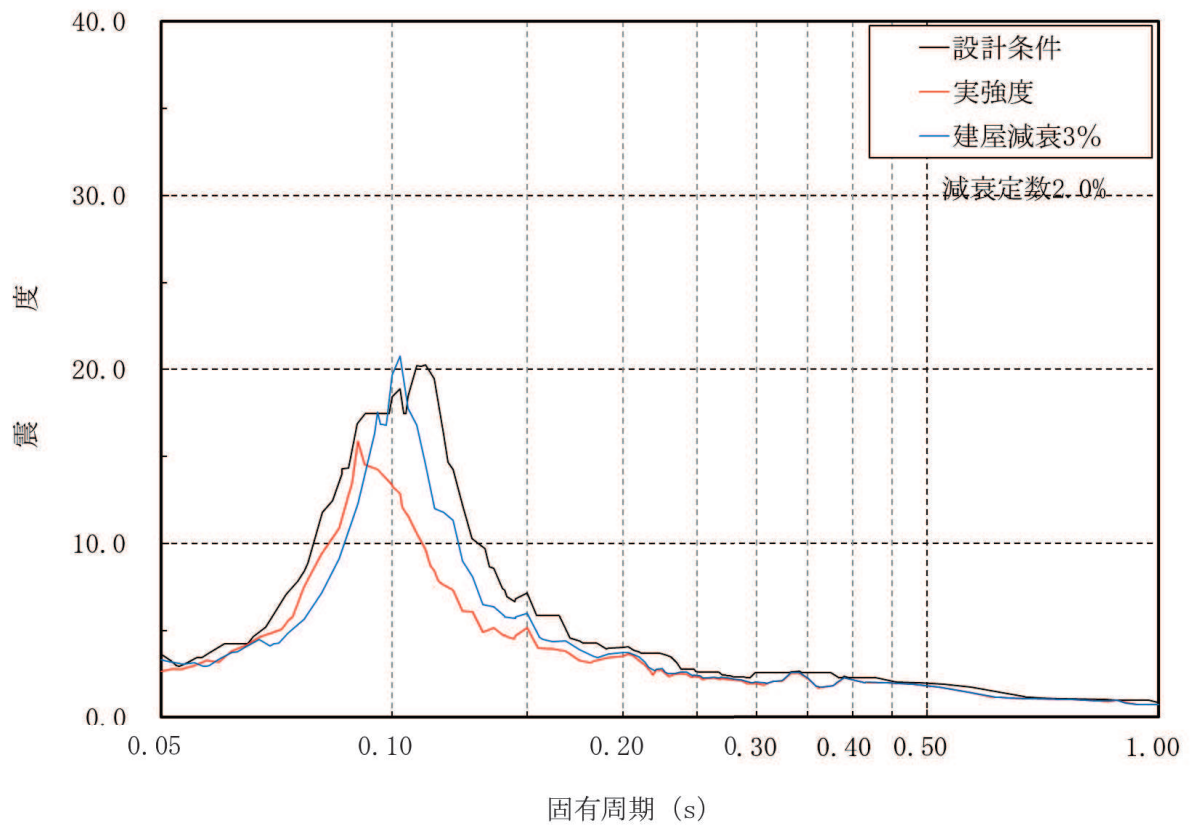


図 2-2 床応答スペクトルの比較 (水平方向, O.P. 69.4m)

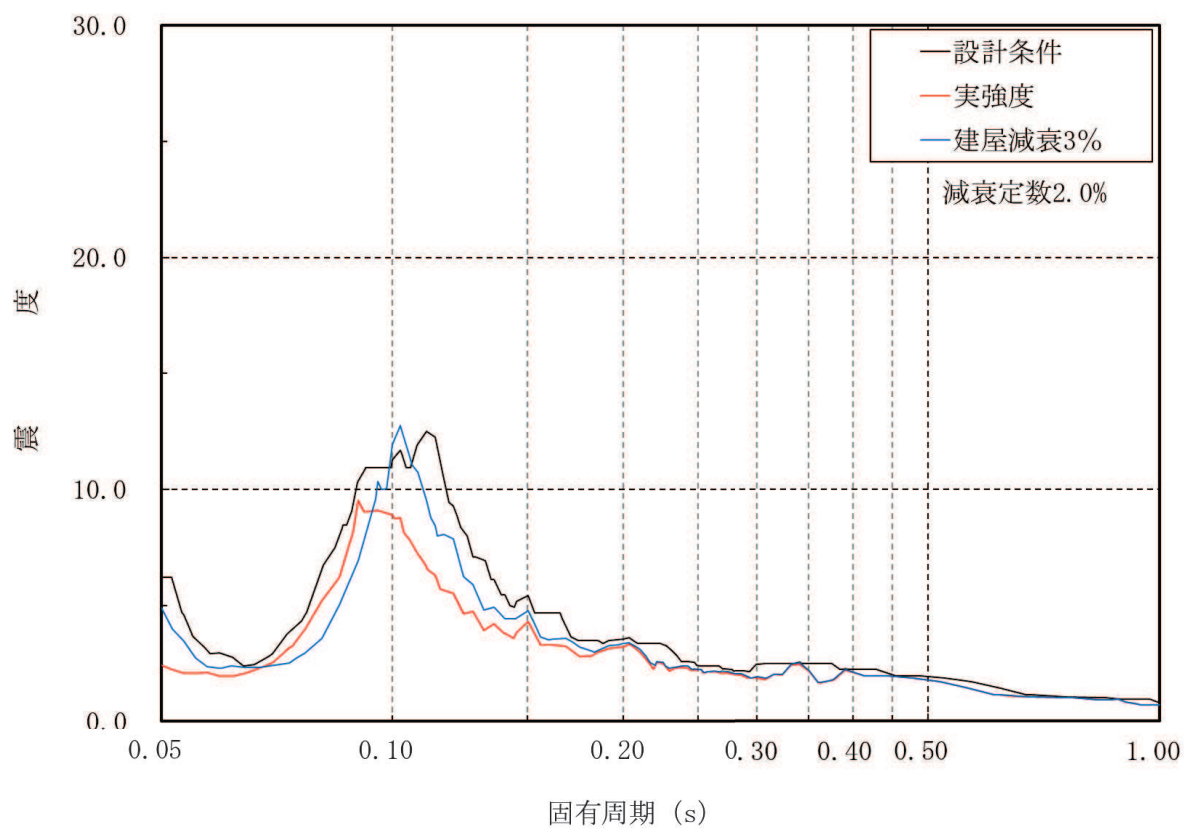


図 2-3 床応答スペクトルの比較 (水平方向, 0. P. 62. 2m)

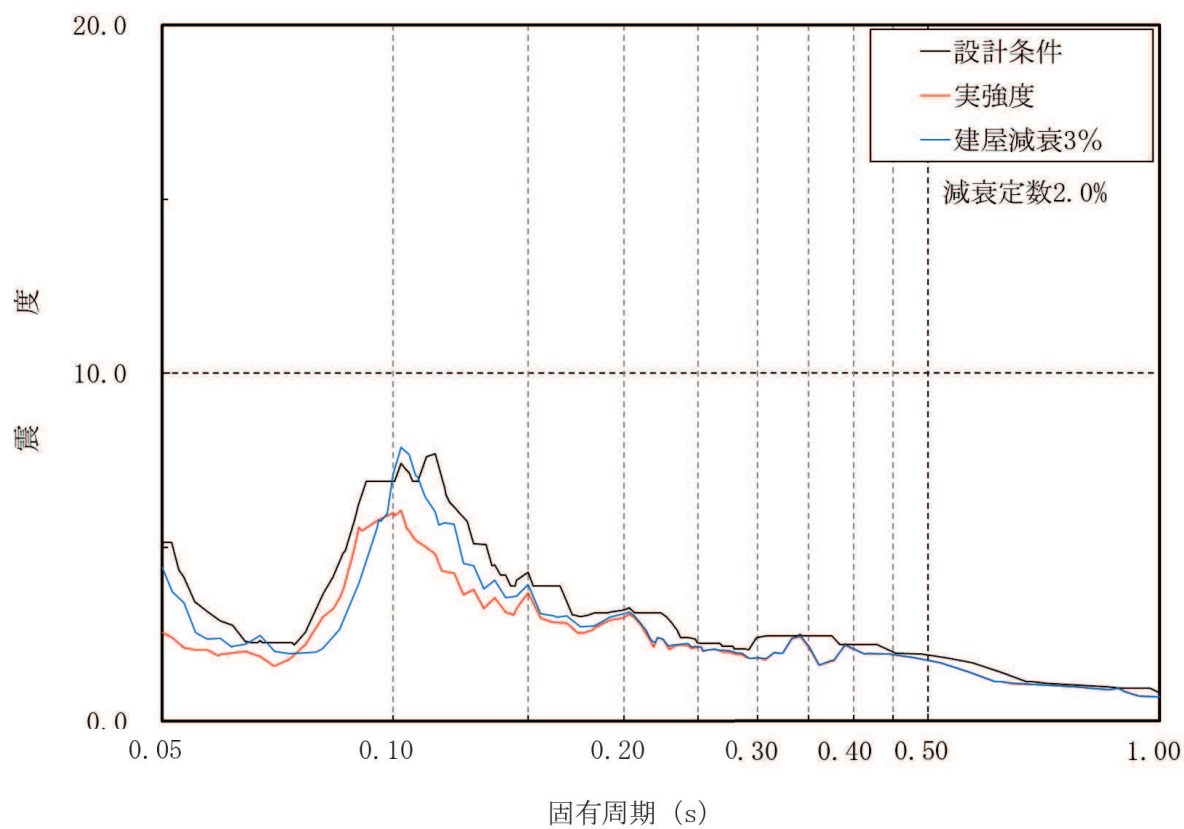


図 2-4 床応答スペクトルの比較 (水平方向, O.P. 57.3m)

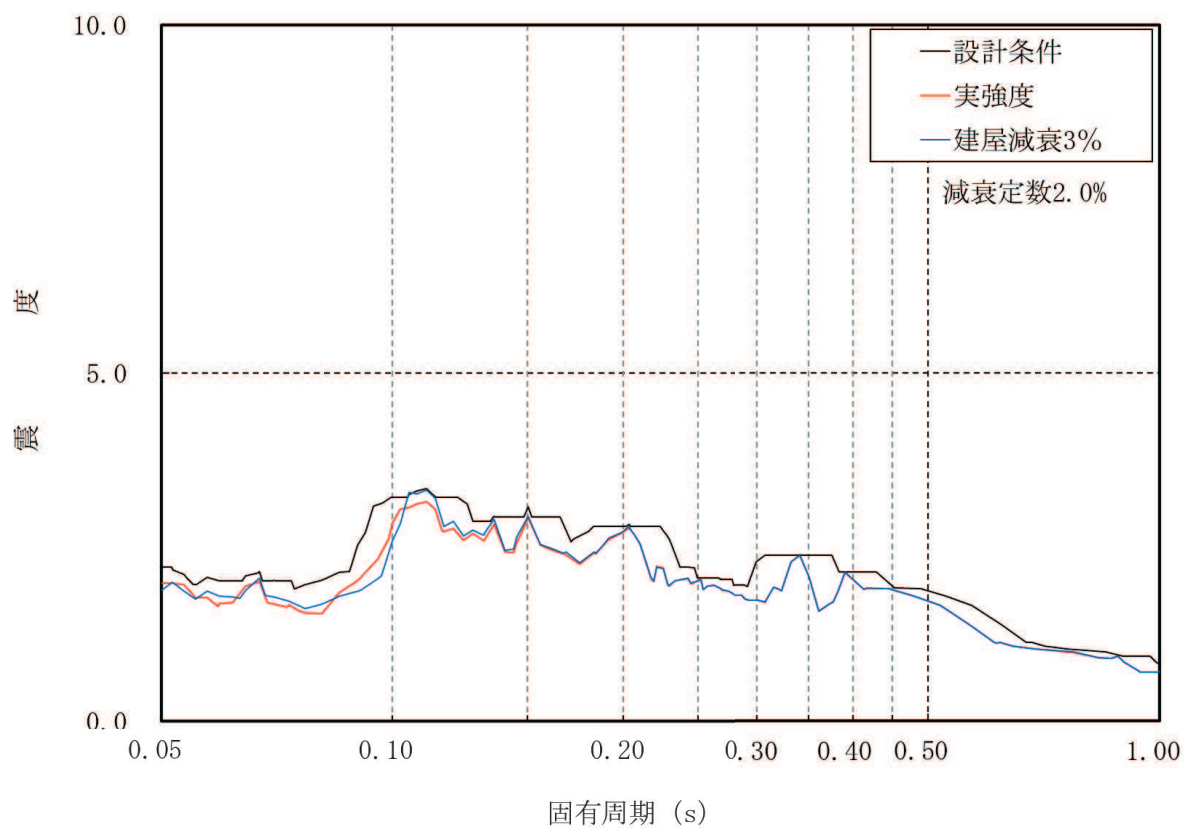


図 2-5 床応答スペクトルの比較 (水平方向, O.P. 51.5m)

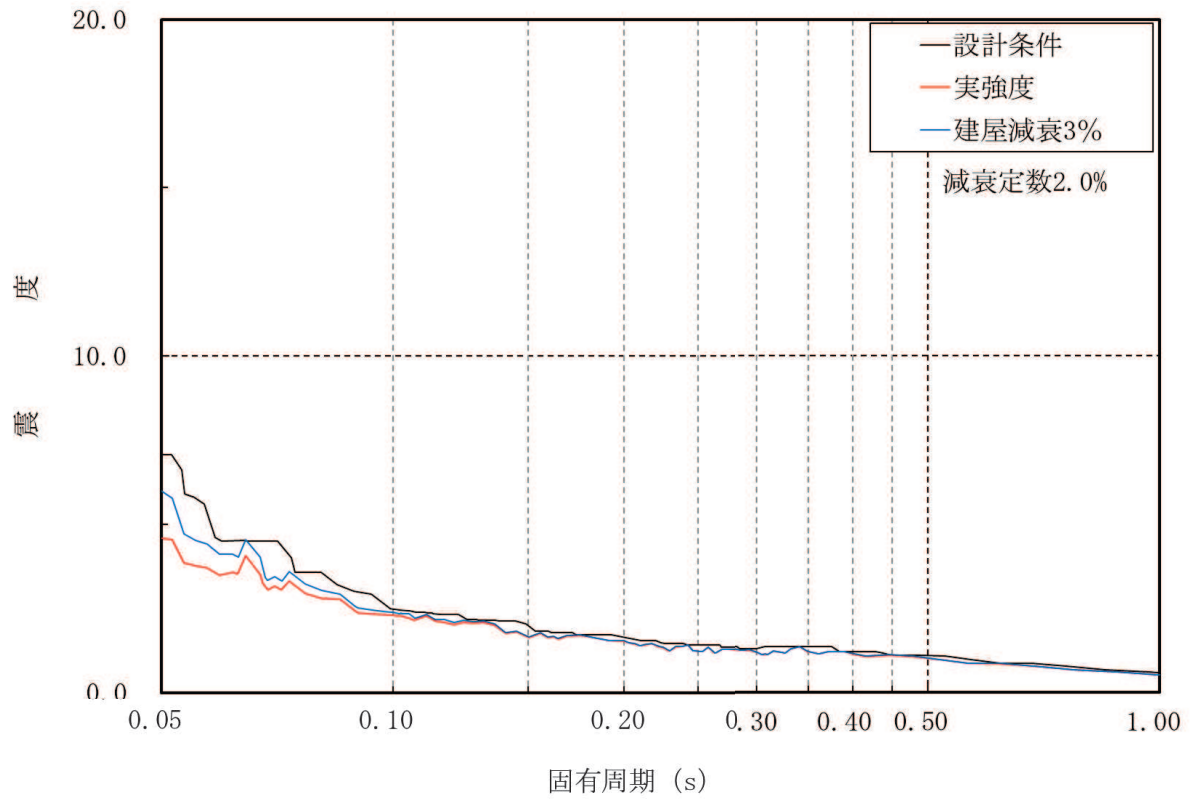


図 2-6 床応答スペクトルの比較 (鉛直方向, 0. P. 75. 9m)

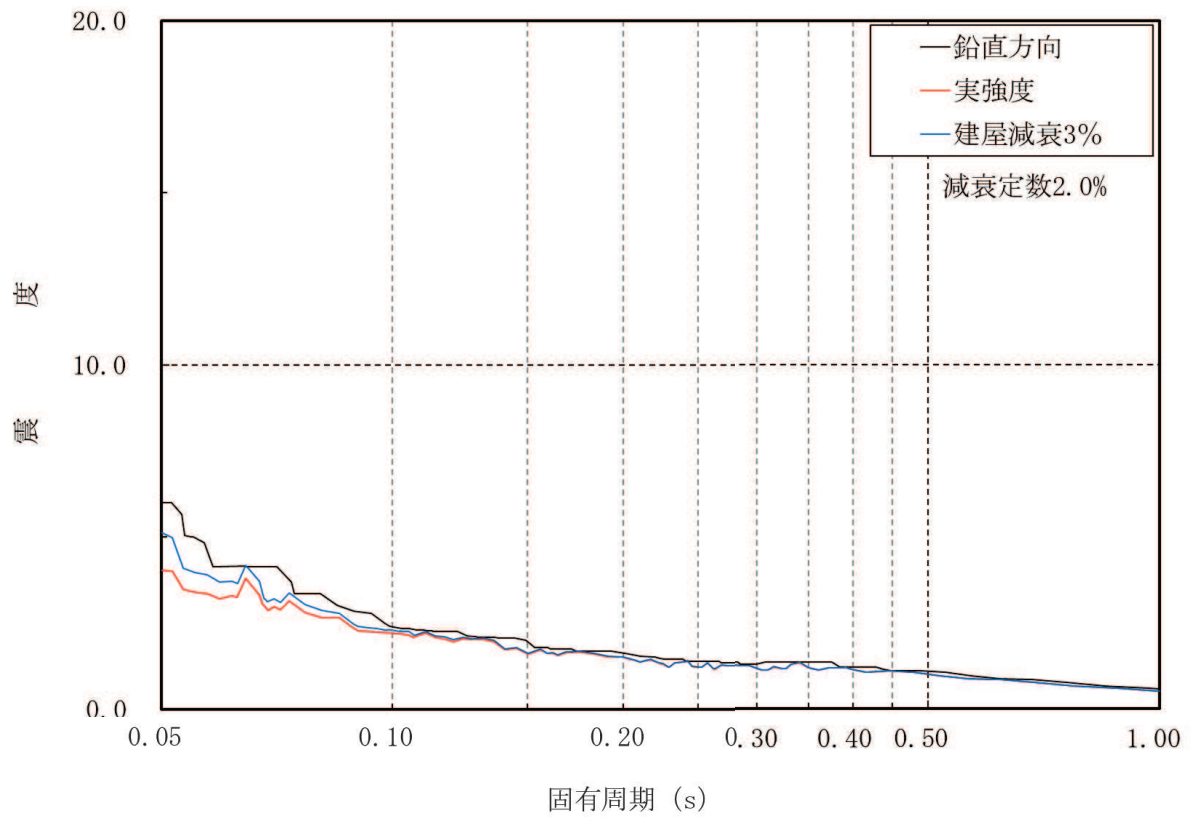


図 2-7 床応答スペクトルの比較 (鉛直方向, O.P. 69.4m)

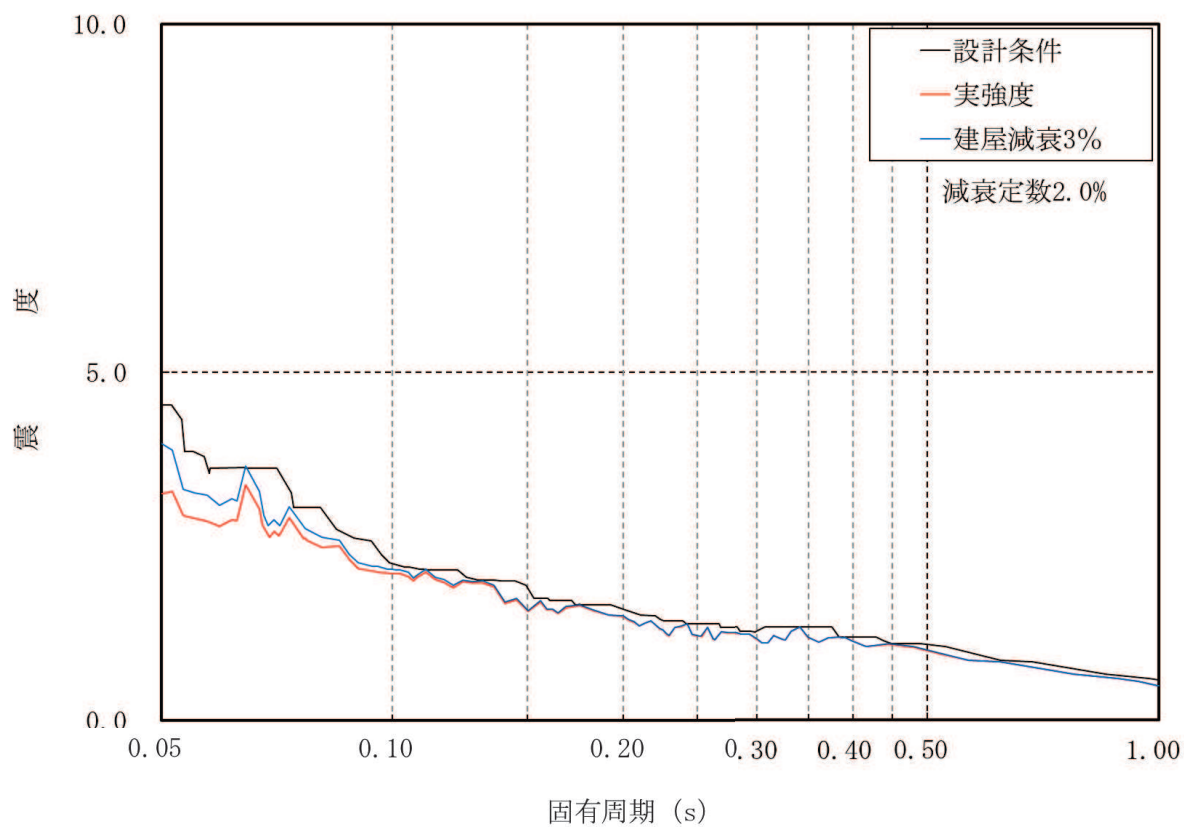


図 2-8 床応答スペクトルの比較 (鉛直方向, O. P. 62. 2m)

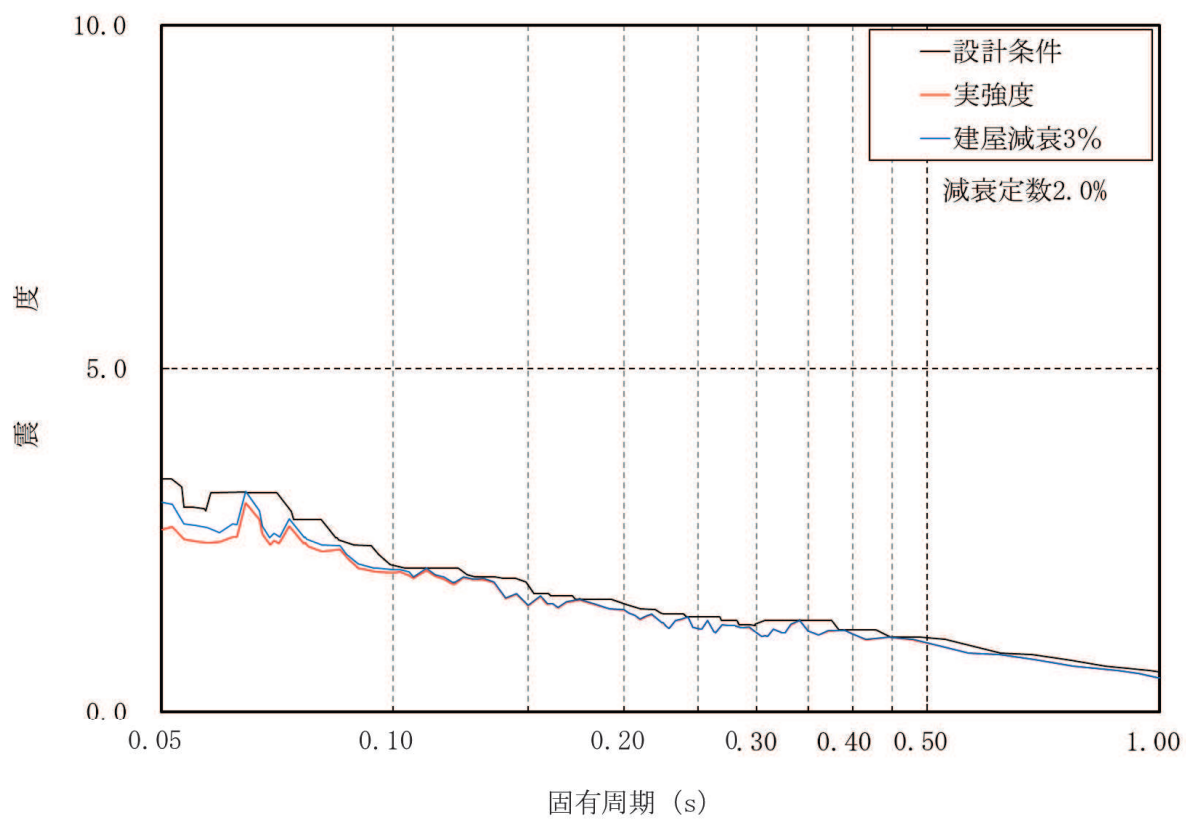


図 2-9 床応答スペクトルの比較 (鉛直方向, O. P. 57. 3m)

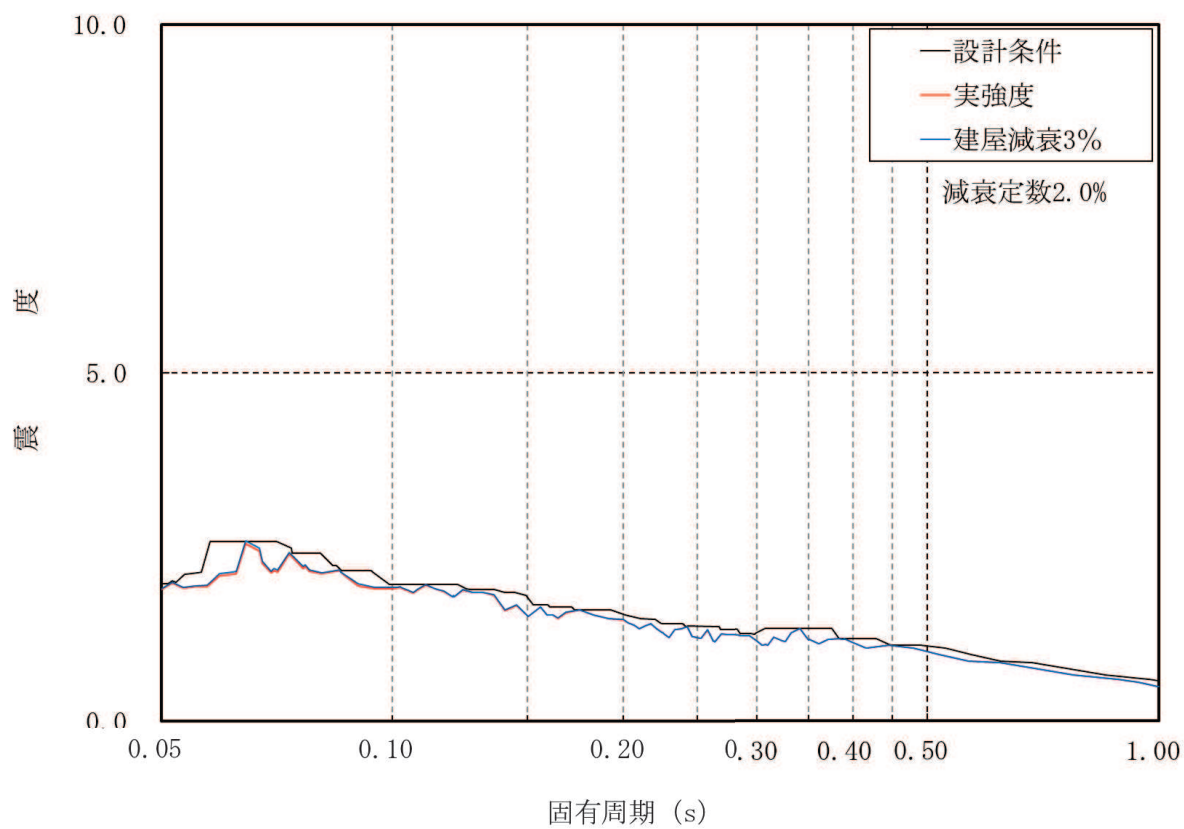


図 2-10 床応答スペクトルの比較 (鉛直方向, O.P. 51.5m)

別紙 2-1 応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件の
考え方

目 次

1. 概要 別紙 2-1-1
2. 応力解析におけるモデル化, 境界条件及び拘束条件 別紙 2-1-2

1. 概要

本資料は、緊急時対策建屋基礎版の応力解析におけるモデル化、境界条件及び拘束条件についての概要を示すものである。

2. 応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件

緊急時対策建屋基礎版の応力解析におけるモデル化，境界条件及び拘束条件を表 2-1 に示す。直接基礎の底面及び側面の地盤ばねの設定における基本的な考え方は，以下のとおり。なお，地震時の評価を行うことから，各荷重に共通で動的な地盤物性に基づく地盤ばねを用いる。

(1) 底面地盤ばね

・水平ばね

振動アドミタンス理論に基づく水平ばねより算出する。

・鉛直ばね

基礎浮上りを考慮し，回転ばね反力として生じる転倒モーメントを適切に評価するため，振動アドミタンス理論に基づく回転ばねより算出する。

(2) 側面地盤ばね

・水平ばね

Novak の手法に基づく水平ばねにより算出する。

・鉛直ばね

基礎版の埋込み部分については，基礎版の側面と接する部分にマンメイドロックを打設することとしている。地震応答解析モデルでは，保守的な評価となるように側面地盤の回転に対する拘束効果を考慮していないが，応力解析においては地震時の基礎版の転倒に対する拘束効果として側面回転ばねを考慮する。ばね値は Novak の手法に基づく回転ばねにより算出する。

有限要素法を用いた解析モデルにおける要素分割の考え方*については，以下のとおり。

・はり要素

はり要素の場合は，曲げの変位関数が 3 次で精度が高いため，基本的に要素分割の細分化は不要であるが，部材の接合点間で変位情報出力や荷重入力がある場合には複数要素に細分し，曲線部材がある場合は，その曲線が直線近似できる程度の分割にすることが一般的である。また，分布荷重がある場合や分布質量が関係する自重荷重などの計算では，要素分割することにより質量分布がより正確になり，解析結果の精度が向上する。更に，要素分割の細分化により，変形図やモード図で構造物の変形状態を容易に把握することが可能となる。

・シェル要素

要素分割は，基本的には発生する応力状態によって決まり，構造形状と荷重条件より要素分割数を考慮する。要素形状の縦横比（アスペクト比）は，重要部分で 1:2 以下，その他の領域や応力変化が少ない領域では，1:3 程度までで，分割に際しては 4 角形要素を利用して格子状とするのが一般的である。曲面板構造の場合は，平板要素や軸対称シェル要素の大きさは，集中荷重や不連続部を含む曲面部近傍では $2.5\sqrt{R/t}$ を 10~20 分割すると適切な応力分布が求められ，構造物の半径 (R) と板厚 (t) が考慮されている。また，面内曲げ・軸力及び面外のせん断や曲げを受ける部材のシェル要素の辺の長さは，シェルの広がり方向の応力分布の状態から決まり，応力変化が大きい領域は要素を小さくする必要がある。

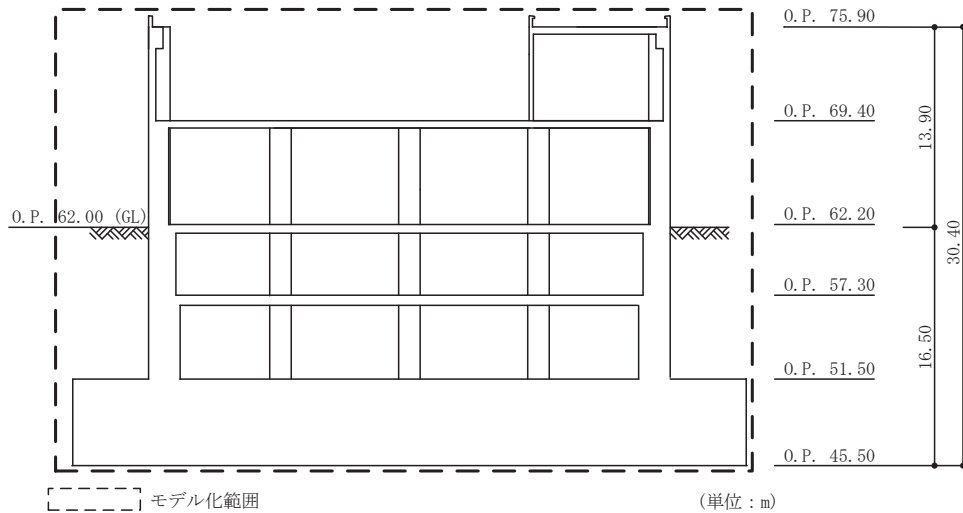
注記*：構造解析のための有限要素法実践ハンドブック（非線形 CAE 協会，2008 年）

表 2-1(1) モデル化, 境界条件及び拘束条件 (1/3)

モデル概要

○モデル化範囲

- ・基礎版及び基礎版より立ち上がる O.P. 51.5m~O.P. 75.9m の耐震壁をモデル化する。
- ・耐震壁の剛性を境界条件として考慮する。



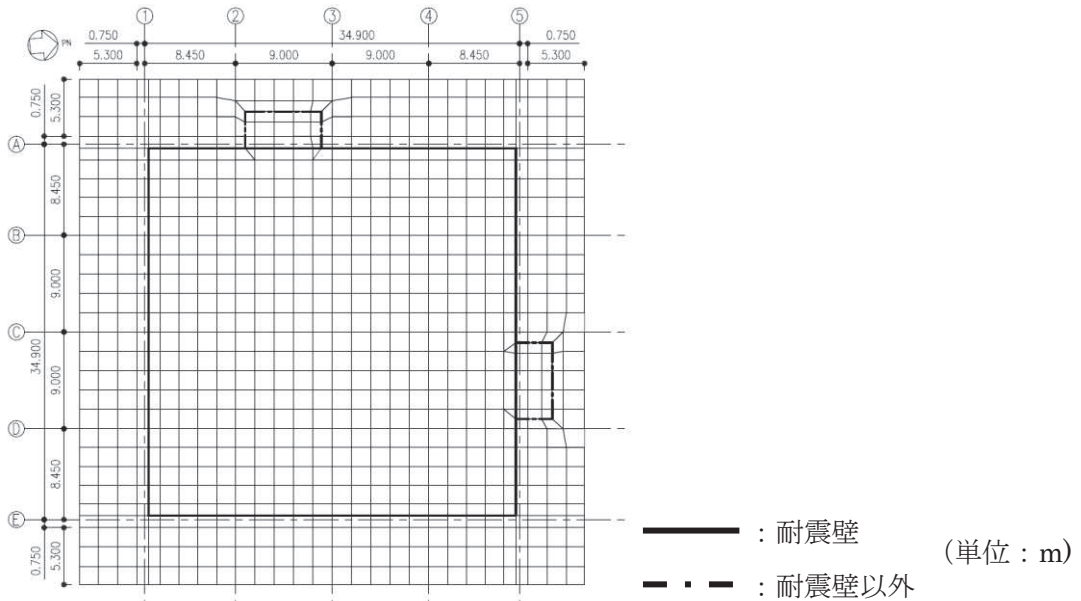
モデル化範囲

○使用要素

- ・基礎版: シェル要素
- ・耐震壁: はり要素

○要素分割

- ・要素の一边の長さを 1.5m~2.0m 程度とし, 耐震壁の配置を考慮して分割する。



モデル概要

表 2-1(2) モデル化, 境界条件及び拘束条件 (2/3)

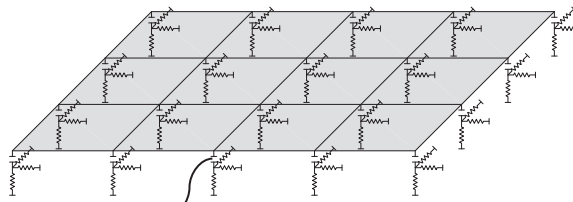
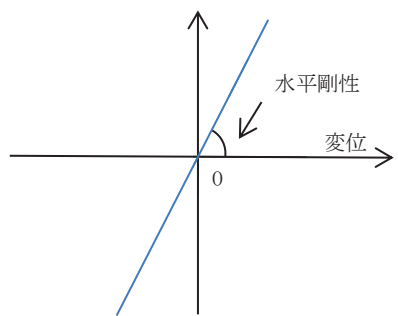
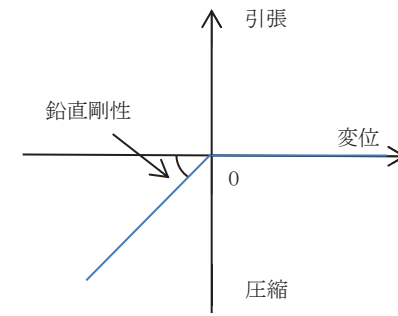
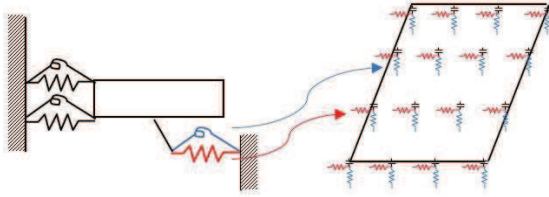
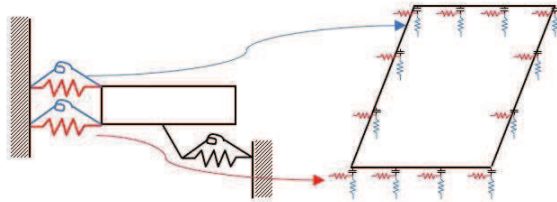
境界条件, 拘束条件	
上部構造物と基礎版の境界	
<ul style="list-style-type: none"> 基礎版と上部構造物の境界部においては, 上部構造物の剛性を考慮することで, 基礎版の応力・変形状態を評価する。 	
はり要素の剛性 (断面性能)	
<ul style="list-style-type: none"> 曲げ剛性 (断面二次モーメント) : $I = t \times h^3 / 12$ せん断剛性 (せん断断面積) : $A_s = t \times h$ 	<ul style="list-style-type: none"> t : 壁の厚さ h : モデル化する壁の高さ
基礎スラブと地盤の境界	
<ul style="list-style-type: none"> 地震時の評価については, 基礎スラブと底面地盤との間に底面地盤を表現するギャップ要素を設け, 基礎スラブと底面地盤との間の剥離 (基礎スラブの浮上り) を考慮する。 	 <p>ギャップ要素</p> <p>モデル概要</p>
○ギャップ要素	
鉛直ばねに引張力が発生した際に, 水平剛性及び鉛直剛性をゼロとし, 浮上りを考慮する。	
<p>水平ばね応力</p>  <p>水平剛性</p> <p>変位</p> <p>0</p>	<p>鉛直ばね応力</p>  <p>鉛直剛性</p> <p>引張</p> <p>変位</p> <p>0</p> <p>圧縮</p>
注: 鉛直ばねに引張力が発生した場合には, 水平剛性もゼロとする。	
(a) 水平剛性	(b) 鉛直剛性
ギャップ要素の概念図	

表 2-1(3) モデル化, 境界条件及び拘束条件 (3/3)

境界条件, 拘束条件
<p>基礎スラブと地盤の境界</p> <p>添付書類「VI-2-2-23 緊急時対策建屋の地震応答計算書」における地震応答解析モデルでは側面水平地盤ばねのみを考慮し、保守的に側面回転地盤ばねは考慮しないが、基礎版の応力解析モデルにおいては、基礎版側面をマンメイドロックで埋戻すことを踏まえ、側面水平地盤ばねに加えて、鉛直方向に対する拘束効果として側面回転地盤ばねを考慮する。</p> <p>○底面地盤ばね</p> <p>水平剛性及び鉛直剛性は以下のとおり設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 水平剛性：振動アドミタンス理論による水平ばね K_H を節点支配面積 A_i で離散化。 $K_{Hi} = (K_{HNS}/A + K_{HEW}/A) / 2 \times A_i \quad A: \text{基礎スラブの底面積}$ ・ 鉛直剛性：地震時は、転倒モーメントが支配的となるため振動アドミタンス理論による回転ばね K_R を節点支配面積 A_i で離散化。 $K_{Vi} = (K_{RNS}/I_{NS} + K_{REW}/I_{EW}) / 2 \times A_i \quad I: \text{基礎スラブの断面二次モーメント}$ <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: right;">基礎スラブ底面全体で 離散化</p> </div> <p style="text-align: center;">底面地盤ばね</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 基礎版と側面地盤との間には剥離は考慮せず、側面地盤ばねは線形ばねとして設定する。 <p>○側面地盤ばね</p> <p>水平剛性及び鉛直剛性は以下のとおり設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 水平剛性：Novak の手法に基づく側面水平地盤ばね定数 ${}_sK_s$ を節点支配長さ L_i で離散化。 ${}_s k_{si} = ({}_s K_s / (2 \times L_{NS} + 2 \times L_{EW})) \times L_i$ <p style="margin-left: 20px;">L_{NS}: 基礎スラブ辺長 (NS 方向) L_{EW}: 基礎スラブ辺長 (EW 方向)</p> ・ 鉛直剛性：Novak の手法に基づく側面回転地盤ばね定数 ${}_sK_r$ を節点支配長さ L_i で離散化。 ${}_s k_{vi} = ({}_s K_r / I'_{NS} + {}_s K_r / I'_{EW}) / 2 \times L_i$ $I'_{NS(EW)} = L_{EW(NS)} \times L_{NS(EW)}^2 / 2 + L_{NS(EW)}^3 / 6$ <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: right;">基礎スラブ外周で 離散化</p> </div> <p style="text-align: center;">側面地盤ばね</p>

別紙 3-1 緊急時対策所遮蔽についての補足説明資料

目 次

1. 概要 別紙 3-1-1
2. 評価方針 別紙 3-1-1
3. 評価部位の選定 別紙 3-1-1

別紙 3-1-1 緊急時対策所遮蔽のスラブの固有値確認結果

1. 概要

本資料は、添付資料「VI-2-8-4-5 緊急時対策所遮蔽の耐震性についての計算書」に示す緊急時対策所遮蔽を構成するスラブの応力解析における断面の評価部位の選定について示すものである。

2. 評価方針

床スラブ及び屋根スラブについては、スラブ周辺の境界条件を考慮して四辺固定版として評価する。

3. 評価部位の選定

選定部位については、B1F (O. P. 57. 30m) 及び 1F (O. P. 62. 20m) の床スラブ及び屋根スラブに相当する 2F (O. P. 69. 40m) において、スラブの設計荷重及び大ばり・小ばりの支持スパンを考慮した場合に、断面評価上最も厳しくなる部位とした。

緊急時対策所遮蔽を構成するスラブの設計荷重（積載荷重P）を図 3-1 に、評価における荷重の組合せケースを表 3-1 に、緊急時対策所遮蔽を構成するスラブの位置及び断面の評価位置を図 3-2～図 3-4 に、スラブ厚及び配筋一覧を表 3-2～表 3-4 に示す。

各評価項目の検定値一覧を表 3-5 に、断面力評価が最も厳しくなる評価位置及び断面の評価結果を図 3-5 に示す。

A	1	2	3	4	5
		3.6	5.2	4.9	4.1
B		8.0	7.2	7.2	4.4
C		7.6	6.6	6.7	4.9
D		7.8	7.5	7.8	4.1
E					

(単位：kN/m²)

(a) B1F O.P. 57.30m

A	1	2	3	4	5
		3.6	10.0	5.4	4.2
B		7.0	8.2	6.0	8.7
C		7.1	7.9	7.9	7.8
D		4.5	8.6	12.2	3.4
E					

(単位：kN/m²)

(b) 1F O.P. 62.20m

A	1	2	3	4	5
		3.3	5.0	7.3	10.1
B		5.1	11.9	5.9	5.7
C		4.2	3.9	6.5	6.1
D		2.3	8.1	4.8	3.7
E					

(単位：kN/m²)

(b) 2F O.P. 69.40m

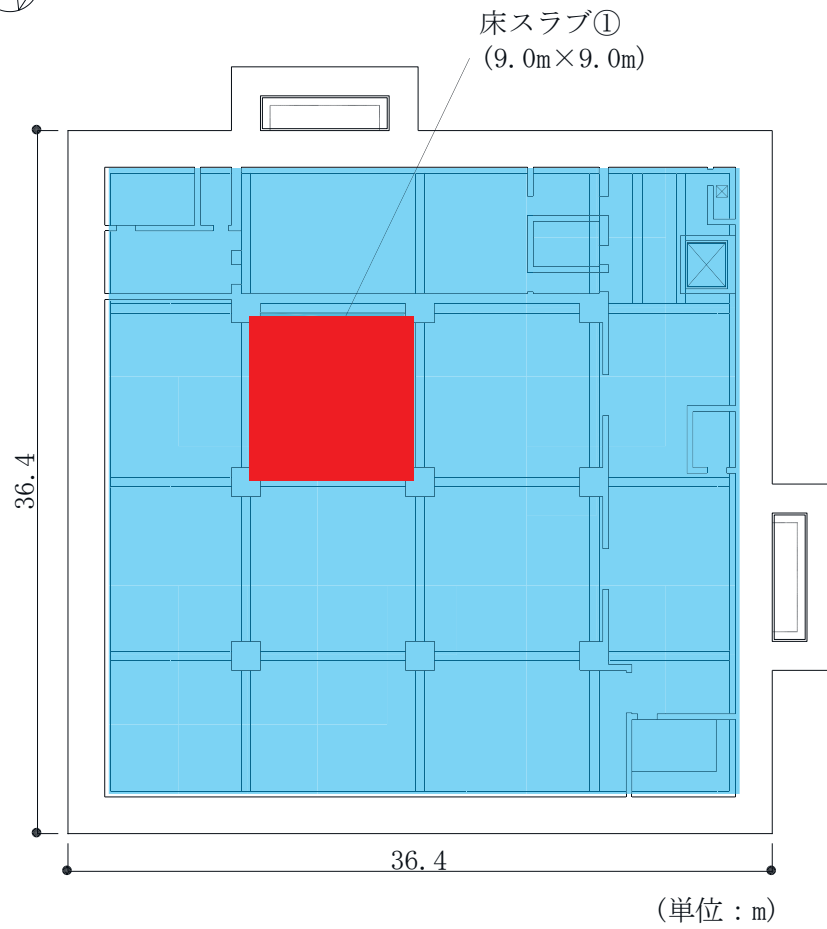
図 3-1 緊急時対策所遮蔽を構成するスラブの設計荷重 (積載荷重 P)

表 3-1 荷重の組合せケース

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	$(1 + K_v)(G + P) + P_s$

- G : 固定荷重
 P : 積載荷重
 K_v : 鉛直震度
 P_s : 積雪荷重* (屋根スラブのみ考慮)

注記* : 積雪量は、添付書類「VI-1-1-2-1-1 発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づき、石巻測候所の最深積雪量（1923年2月17日）を考慮して43cm（1cmあたりの積雪荷重：20N/m²）とし、地震時は0.35の係数を乗じて、積雪荷重を0.30kN/m²と算出した。

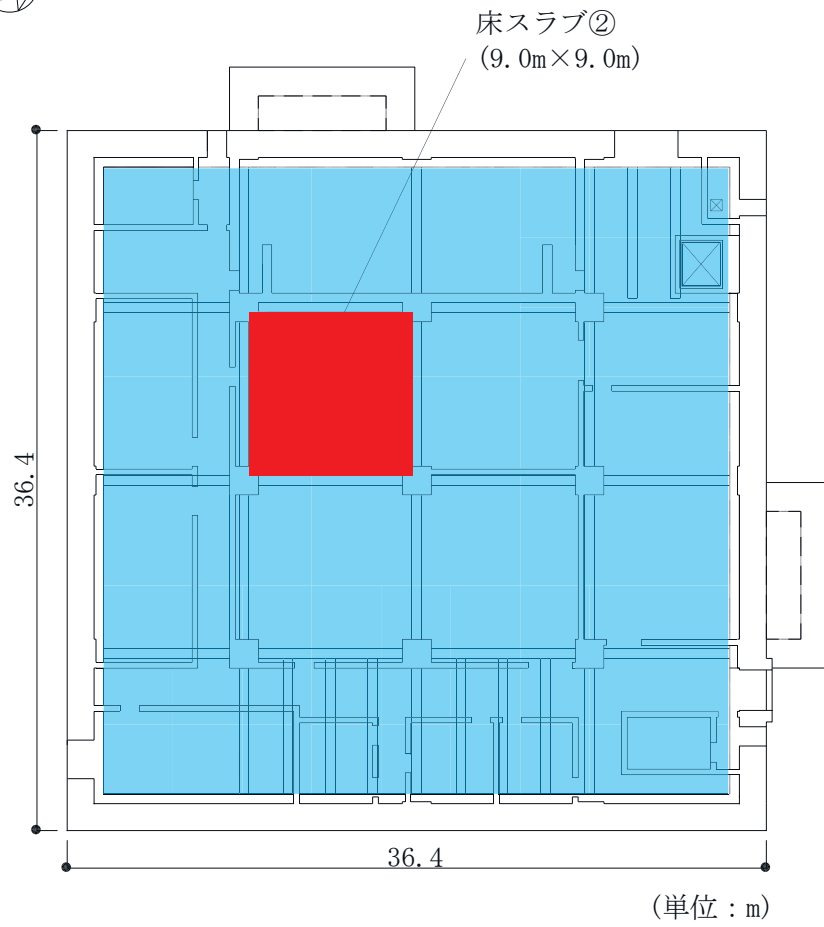


■ : 評価対象スラブ
■ : 評価位置

図 3-2 緊急時対策所遮蔽を構成するスラブの位置及び断面の評価位置 (B1F 0. P. 57. 3m)

表 3-2 スラブ厚及び配筋一覧 (B1F 0. P. 57. 30m)

符号	スラブ厚 (mm)	配筋 (上下共)	
		NS 方向	EW 方向
床スラブ①	700	D25@200	D25@200



■ : 評価対象スラブ
■ : 評価位置

図 3-3 緊急時対策所遮蔽を構成するスラブの位置及び断面の評価位置 (1F O.P. 62.20m)

表 3-3 スラブ厚及び配筋一覧 (1F O.P. 62.20m)

符号	スラブ厚 (mm)	配筋 (上下共)	
		NS 方向	EW 方向
床スラブ②	600	D25@200	D25@200

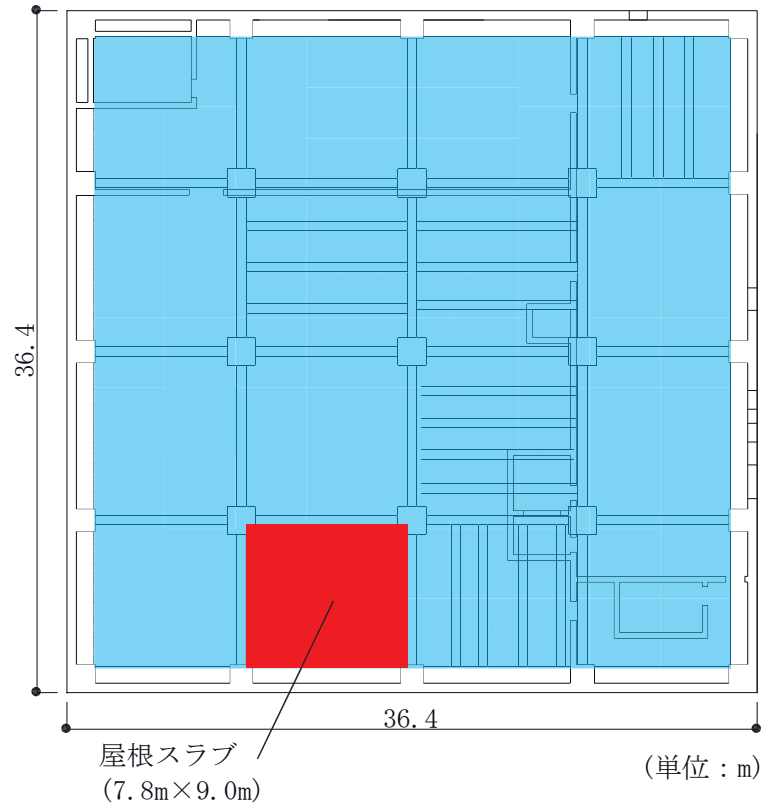


図 3-4 緊急時対策所遮蔽を構成するスラブの位置及び断面の評価位置 (2F 0.P.69.40m)

表 3-4 スラブ厚及び配筋一覧 (2F 0.P.69.40m)

符号	スラブ厚 (mm)	配筋 (上下共)	
		NS 方向	EW 方向
屋根スラブ	500	D32@200	D32@200

表 3-5 各評価項目の検定値一覧

(a) B1F 0.P. 57.30m

符号	検定値	
	曲げモーメント	せん断力
床スラブ①	0.339	0.18

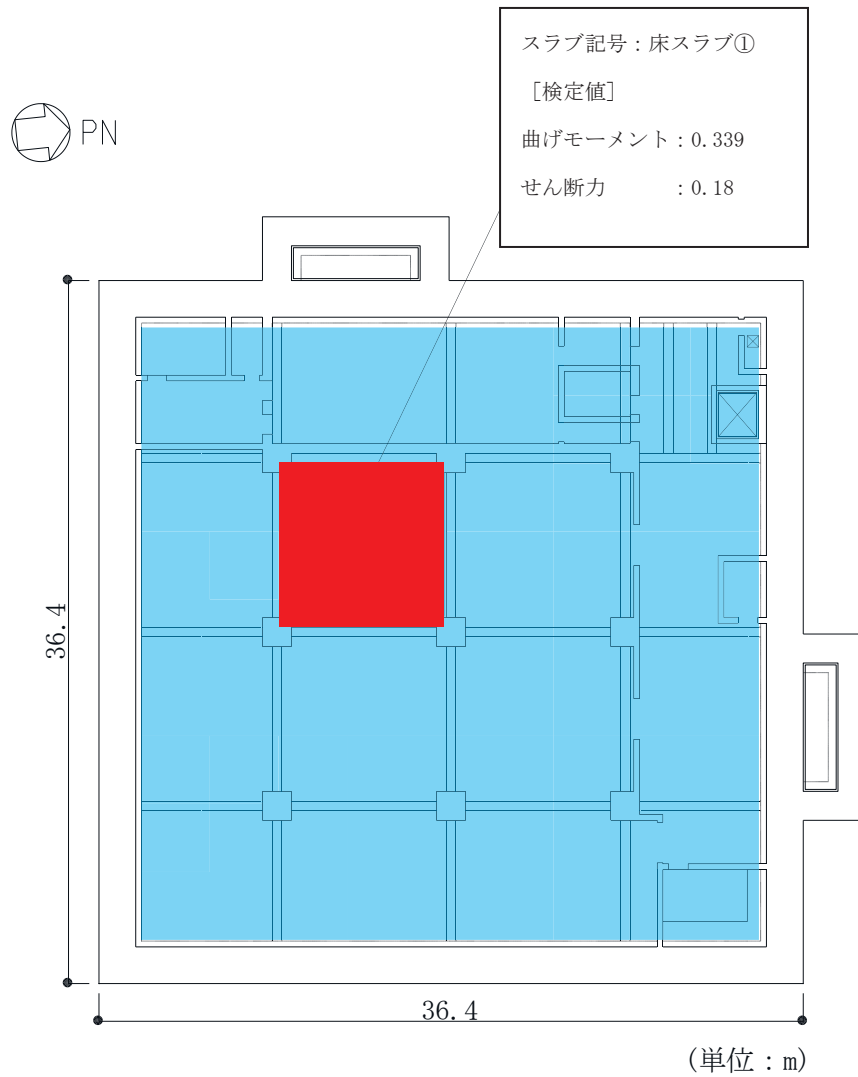
(b) 1F 0.P. 62.20m

符号	検定値	
	曲げモーメント	せん断力
床スラブ②	0.433	0.26

(c) 2F 0.P. 69.40m

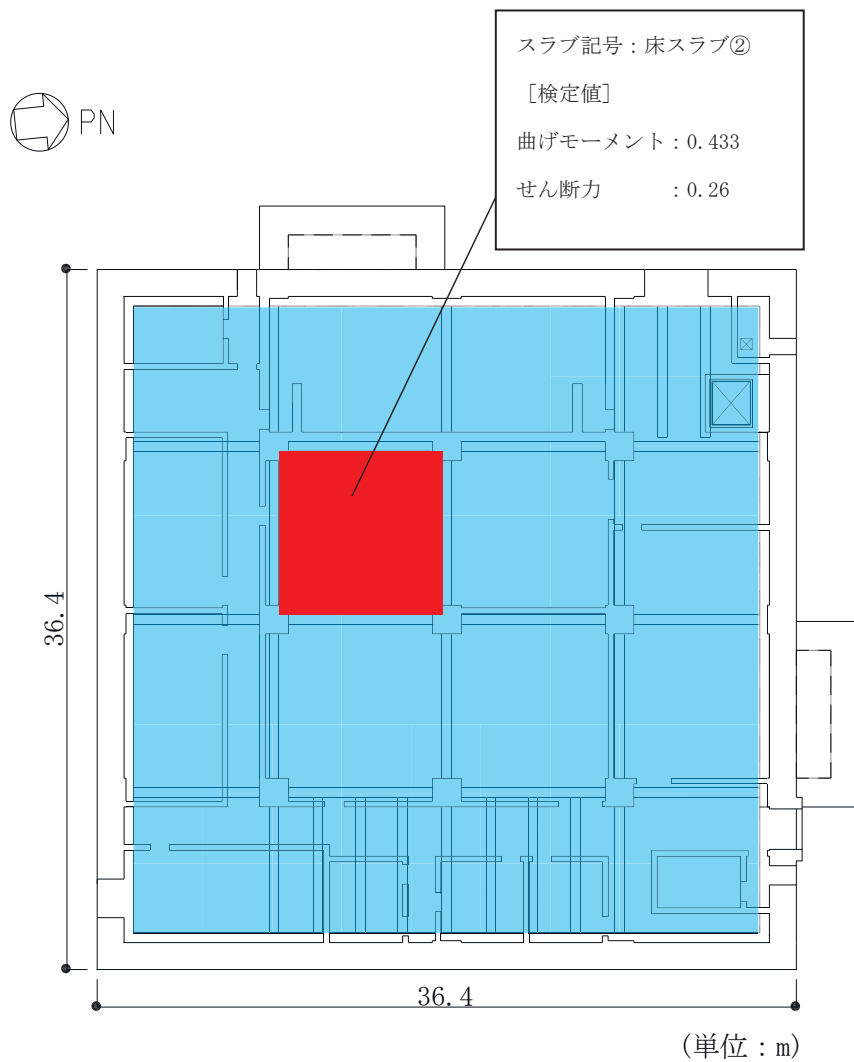
符号	方向	検定値	
		曲げモーメント	せん断力
屋根スラブ	短辺(EW)方向	0.420	0.56
	長辺(NS)方向	0.329	0.45

注：ハッチングは各評価位置の検定値のうち最も大きい値を表示



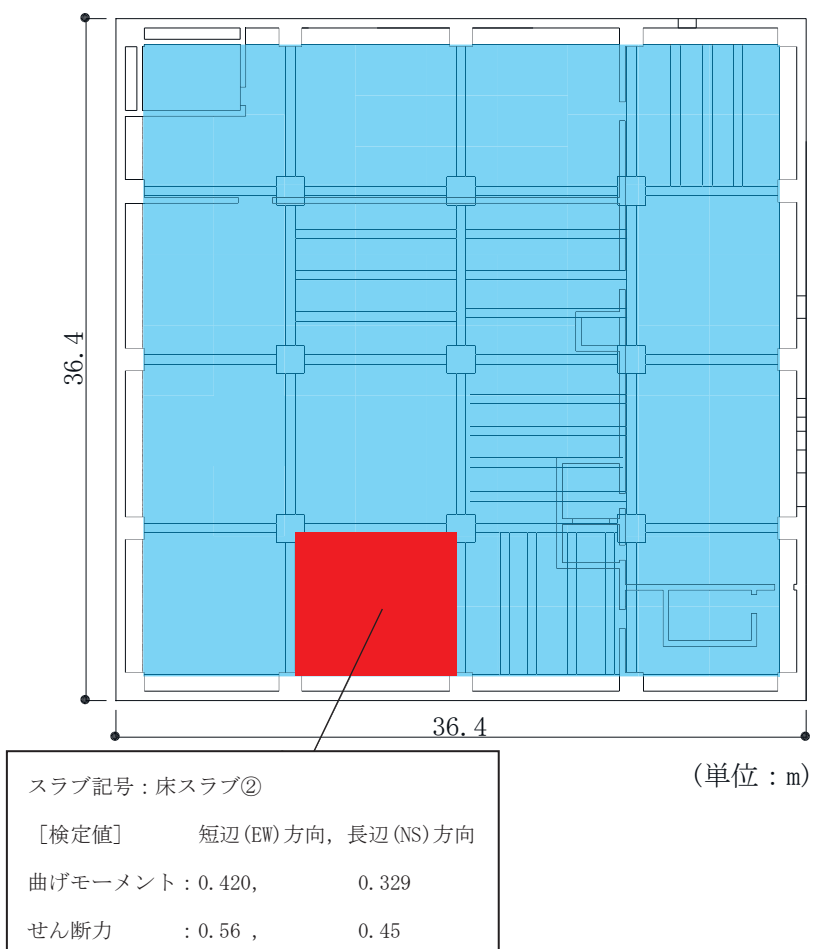
(a) B1F 0.P.57.30m

図 3-5(1) 断面の評価位置及び評価結果(1/3)



(b) 1F 0.P. 62. 20m

図 3-5(2) 断面の評価位置及び評価結果(2/3)



(c) 2F O.P. 69.40m

図 3-5(3) 断面の評価位置及び評価結果(3/3)

別紙 3-1-1 緊急時対策所遮蔽のスラブの固有値解析結果

目 次

1. 概要	別紙 3-1-1-1
2. 評価方針	別紙 3-1-1-2
3. 振動特性の確認	別紙 3-1-1-3
3.1 解析方法	別紙 3-1-1-3
3.2 固有値解析結果	別紙 3-1-1-9

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-8-4-5 緊急時対策所遮蔽の耐震性についての計算書」におけるスラブの鉛直地震力に対する耐震評価を補足的に説明するものである。

2. 評価方針

緊急時対策所遮蔽を構成するスラブは遮蔽性を維持するための構成部材の一つであり、基準地震動 S_s による地震力に対し機能維持が求められている。

地震時の機能維持の確認では、当該スラブは十分に剛であるとし、地震荷重は質点系モデルにおいて、当該部が位置する質点の鉛直方向の応答値を用いている。

ここでは、当該スラブの支持条件を適切にモデル化した 3 次元 FEM モデルを用いた固有値解析により当該スラブの振動特性を確認する。

3. 振動特性の確認

3.1 解析方法

評価対象部位の振動性状の確認は、3次元 FEM モデルを用いた固有値解析により行う。

図 3-1 に示す耐震壁及び大ばりで囲まれたスラブの範囲のうち、スラブのスパンから判断して、鉛直方向地震力による増幅の影響が最も大きいと思われる部位を評価対象部位としてモデル化する。また、大ばりについても幅の半分をモデル化し、はりの柔性の影響を考慮する。解析モデルに使用する FEM 要素は、形状及び厚さを踏まえたシェル要素とする。境界条件は、添付書類「VI-2-8-4-5 緊急時対策所遮蔽の耐震性についての計算書」では、はりもしくは耐震壁に支持されている状況に応じ、4 辺固定版としてモデル化している。本検討における境界条件は、はりの上部もしくは下部に壁がない大ばりは、鉛直方向のみ自由とする。

固有値解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。

材料物性値を表 3-1 に、解析モデルを図 3-2 に示す。

表 3-1 鉄筋コンクリートの物性値

コンクリートの 設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
30	2.44×10^4	0.2

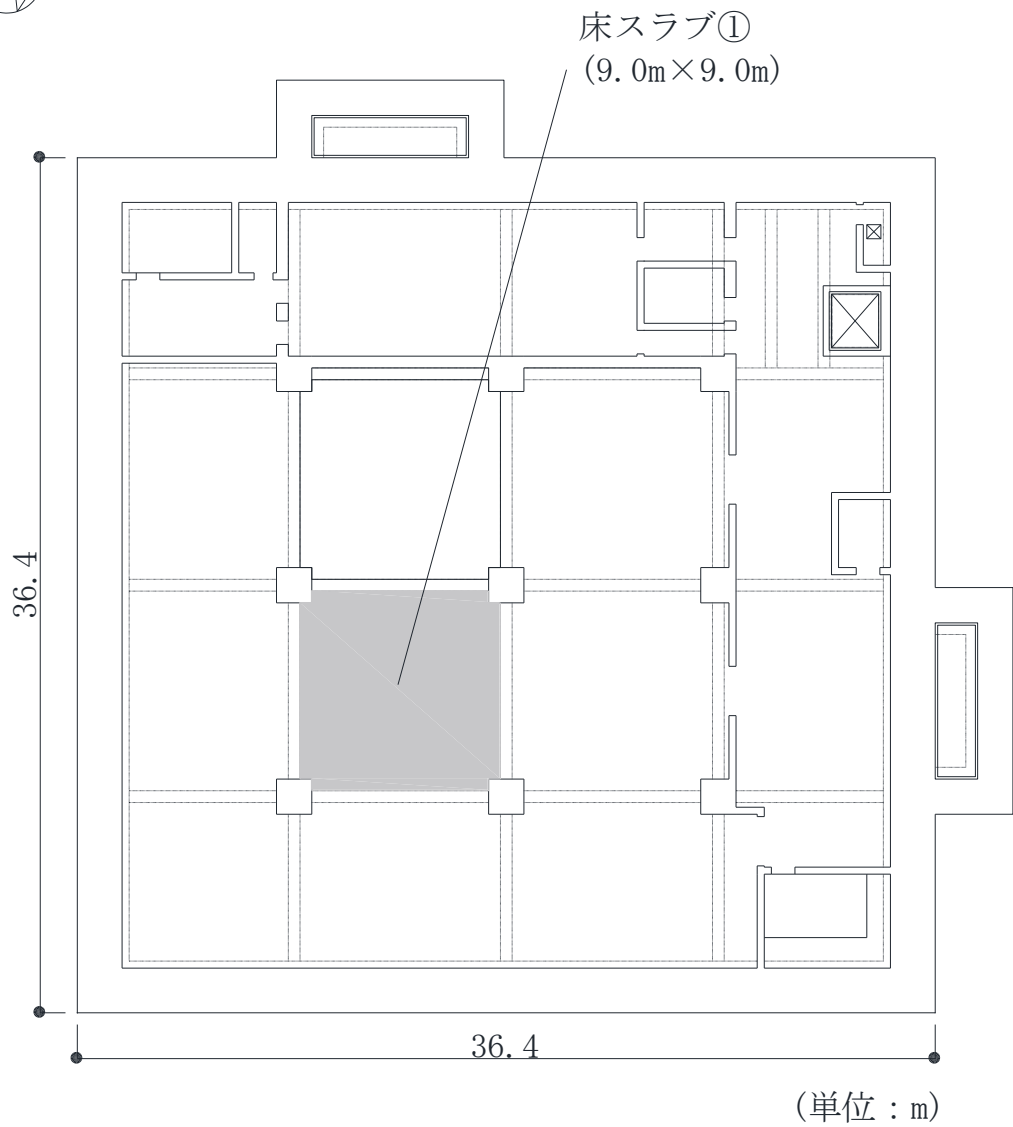


図 3-1(1) スラブの評価を記載する部材の位置 (B1F 0.P. 57.30m)

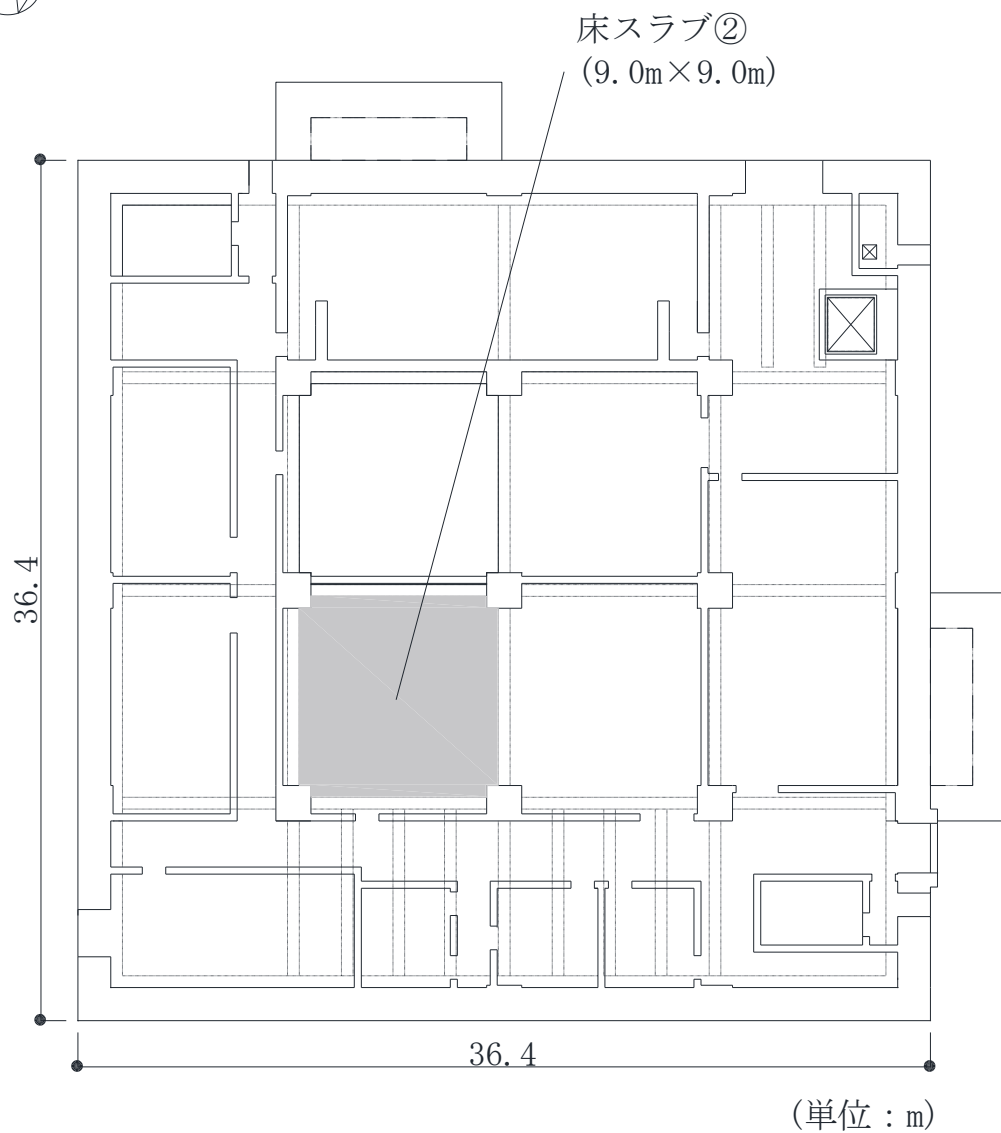


図 3-1(2) スラブの評価を記載する部材の位置 (1F 0.P. 62. 20m)

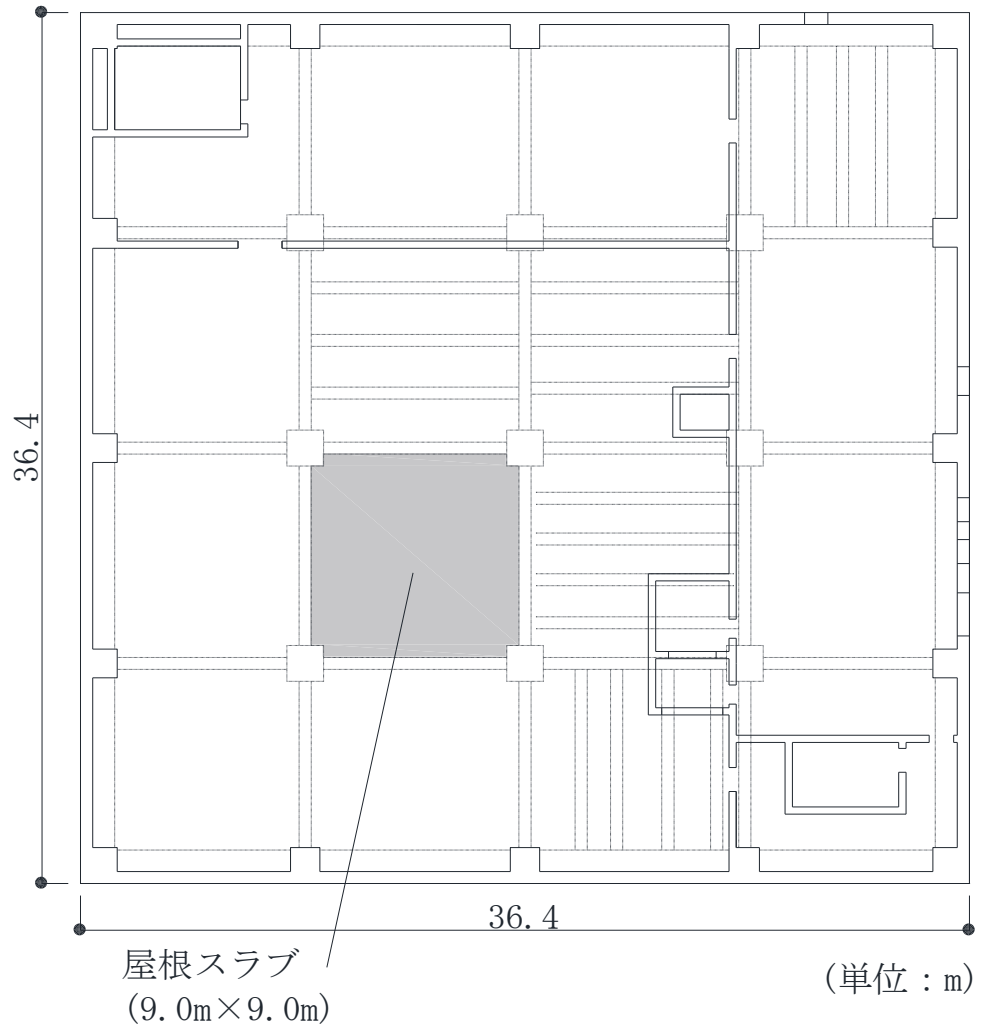
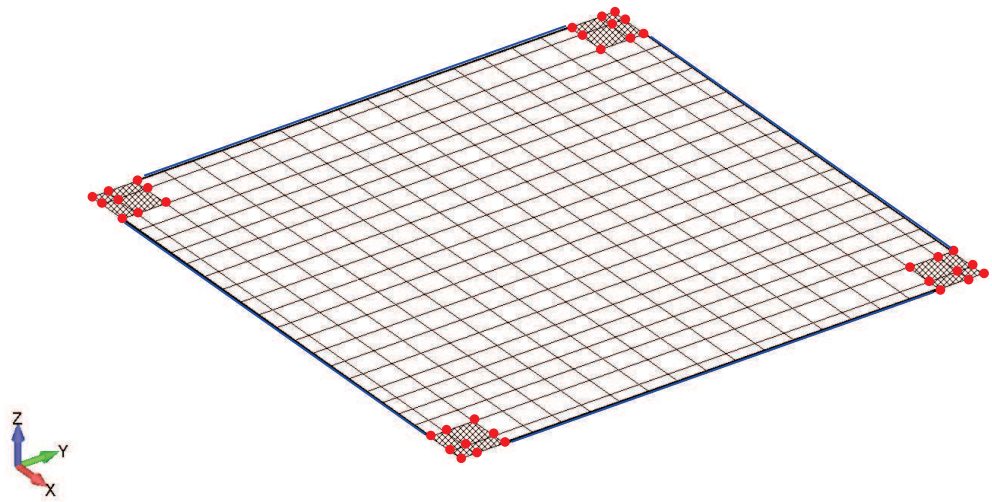
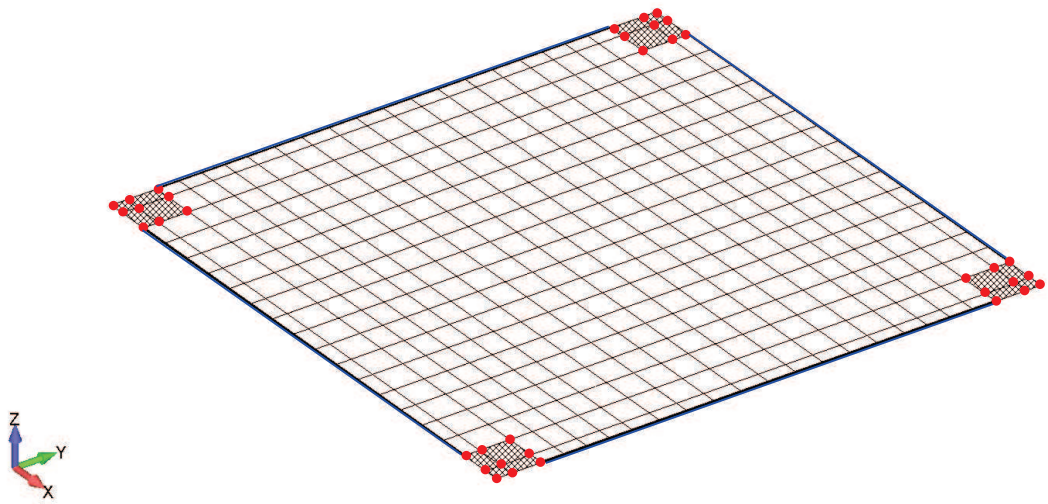


図 3-1(3) スラブの評価を記載する部材の位置 (2F 0.P.64.90m)



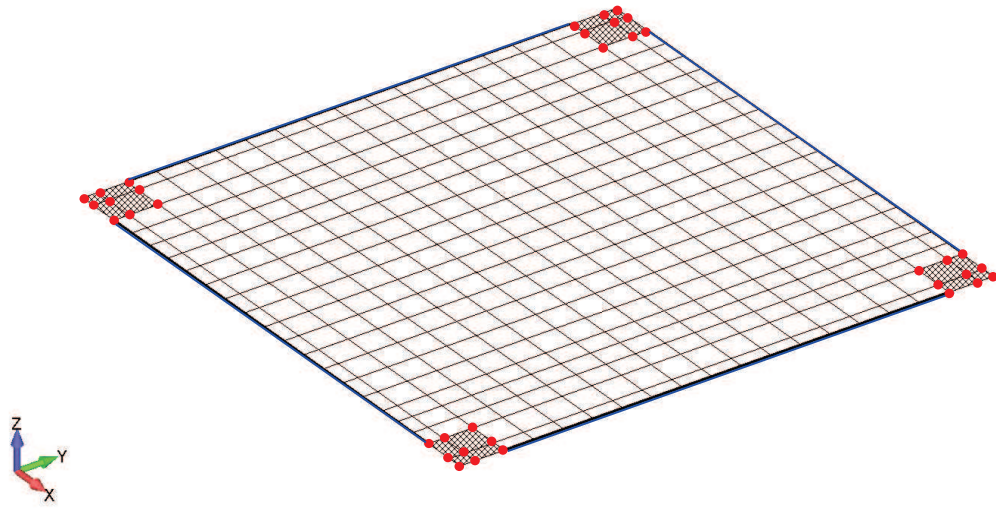
(a) 床スラブ①



(b) 床スラブ②

●, — : 固定 — : 鉛直のみ自由 — : 鉄骨梁
 (ハッチング部は柱の範囲を示す)

図 3-2(1) 解析モデル図



(c) 屋根スラブ

●, — : 固定 — : 鉛直のみ自由 — : 鉄骨梁
(ハッチング部は柱の範囲を示す)

図 3-2(2) 解析モデル図

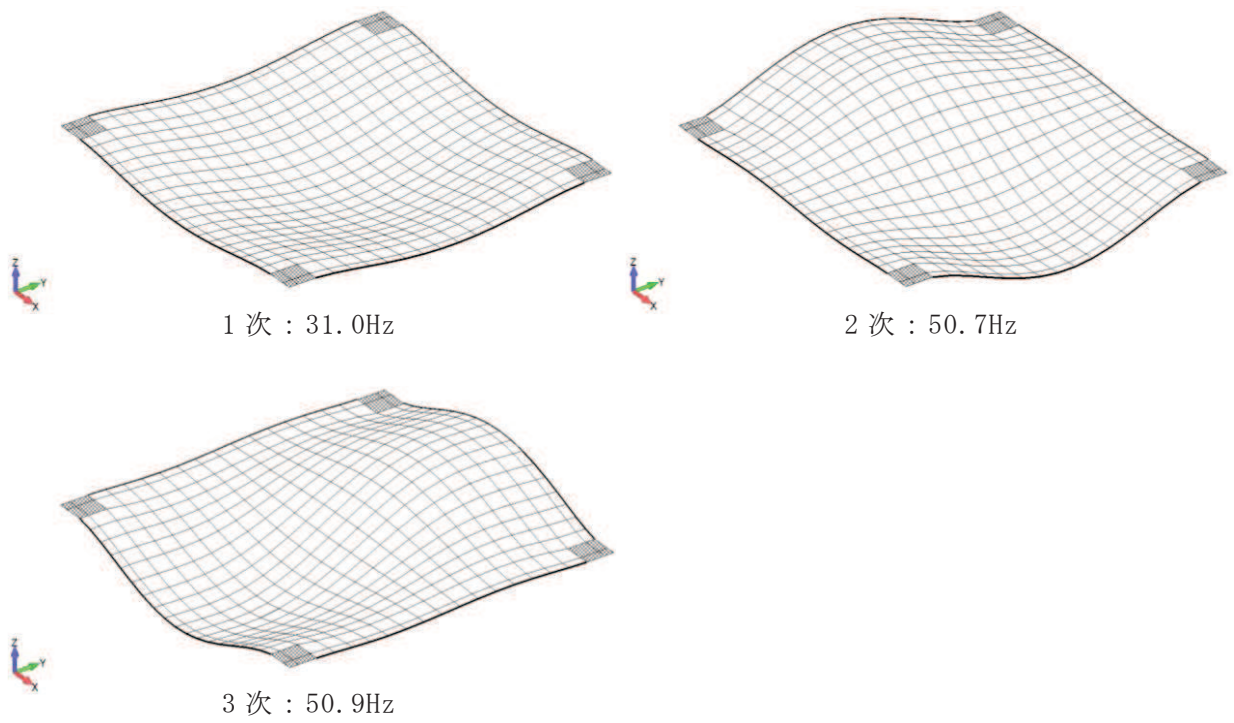
3.2 固有値解析結果

床及び屋根スラブの固有振動数を表 3-2 に、モード図を図 3-3 に示す。

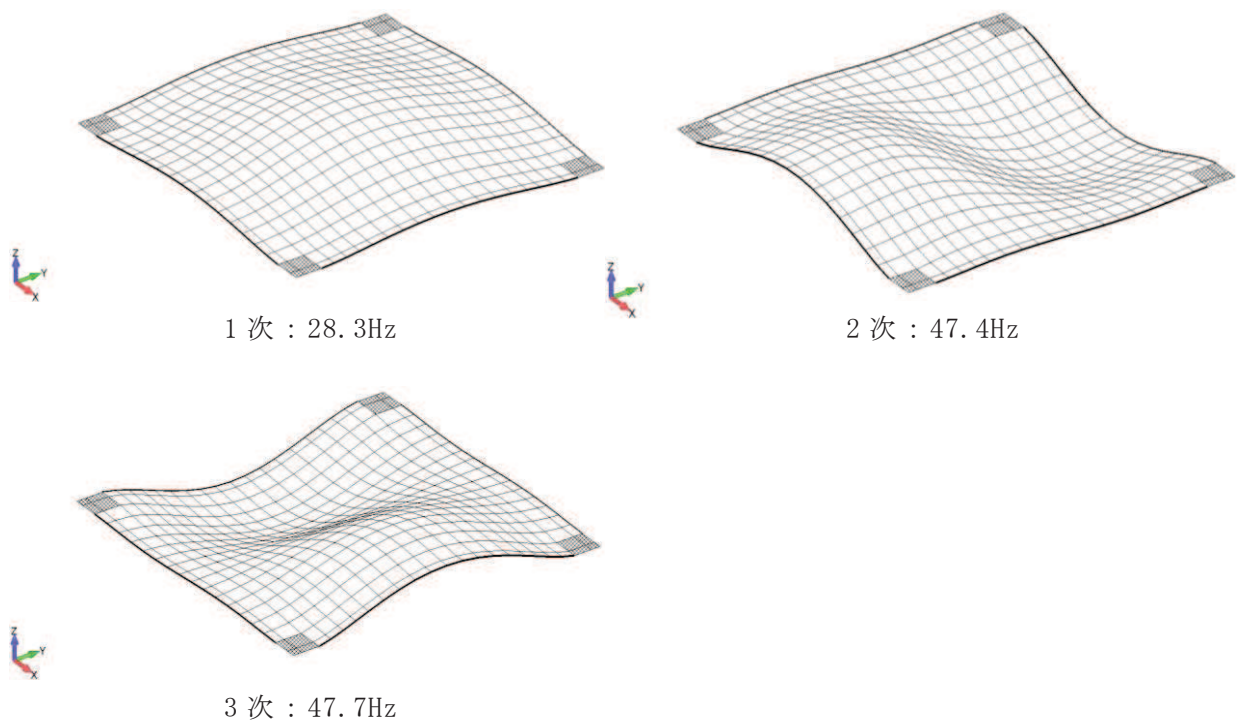
全ての部位で 1 次固有振動数が 20Hz を上回っており、当該部位の応答の増幅は考慮しない。

表 3-2 床及び天井スラブの固有振動数

部 位	次数	固有振動数 (Hz)	刺激係数
床スラブ①	1 次	31.0	1.67
	2 次	50.7	0.00
	3 次	50.9	0.00
床スラブ②	1 次	28.3	1.72
	2 次	47.4	0.00
	3 次	47.7	0.00
屋根スラブ	1 次	20.7	1.74
	2 次	35.9	0.00
	3 次	36.1	0.00

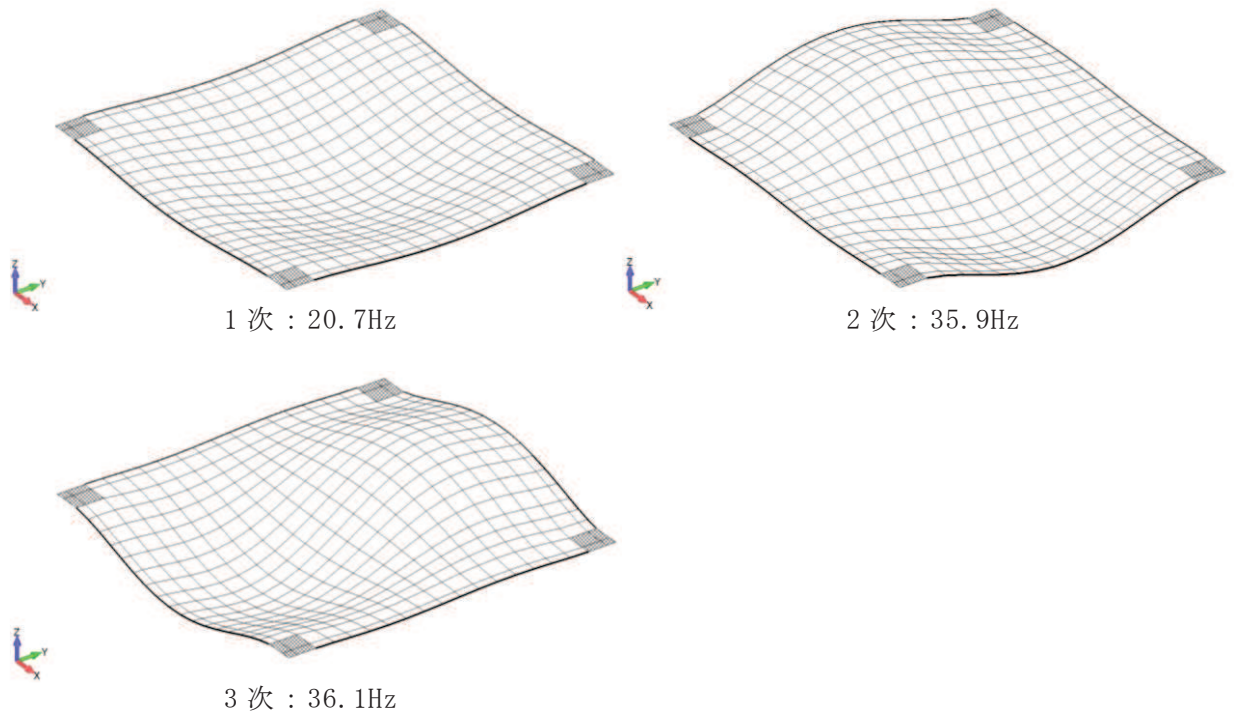


(a) 床スラブ①



(b) 床スラブ②

図 3-3(1) 床及び屋根スラブのモード図 (1/2)



(c) 屋根スラブ

図 3-3(2) 床及び屋根スラブのモード図 (2/2)