

VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針

目次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	2
2.1 評価対象施設	2
2.2 評価方針	3
3. 構造強度設計	4
3.1 構造強度の設計方針	4
3.2 機能維持の方針	5
4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	52
4.1 荷重及び荷重の組合せ	52
4.2 許容限界	53
5. 強度評価方法	59
5.1 水密扉	59
5.2 堰	60
5.3 逆流防止装置	61
5.4 貫通部止水処置	62
6. 適用規格	63

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第12条及び第54条並びそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に適合する設計とするため、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」に基づき設計する溢水防護施設が、溢水に対して構造健全性を有することを確認するための強度計算方針について説明するものである。

強度計算は、添付書類「VI-1-1-8-1 溢水等による損傷防止の基本方針」に示す適用規格を用いて実施する。

各施設の具体的な計算の方法及び結果は、添付書類「VI-3-別添3-4-1 水密扉の強度計算書（溢水）」、添付書類「VI-3-別添3-4-2 堰の強度計算書」、添付書類「VI-3-別添3-4-3 逆流防止装置の強度計算書」及び添付書類「VI-3-別添3-4-4 貫通部止水処置の強度計算書（溢水）」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は、「2.1 評価対象施設」に示す施設を対象として、「4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」で示す溢水による荷重と組み合わせすべき他の荷重による組合せ荷重又は応力が許容限界内にあることを「5. 強度評価方法」に示す評価方法により、「6. 適用規格」に示す適用規格を用いて確認する。

2.1 評価対象施設

添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」にて設定している溢水防護に係る施設を強度評価の対象施設とし、表2-1に示す。

表2-1では、強度評価の対象施設が、津波又は溢水のどちらの事象を防護するための施設であるかを明確に示す。また、表2-1に示す施設のうち、津波防護に係る浸水防止設備を兼ねるものは、溢水事象の静水圧（屋外タンク破損による溢水及び地下水）に、津波事象の荷重として余震荷重等を考慮し強度評価することから、津波事象における強度評価に包絡できるため、これらの計算書は添付書類「VI-3-別添3-2-6 水密扉の強度計算書」、「VI-3-別添3-2-7-6 浸水防止蓋（第2号機軽油タンクエリア）の強度計算書」にて示す。

表 2-1 強度計算の対象施設と防護する事象

強度計算の対象施設		事象	
		津波	溢水
水密扉	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	○	○
	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	○	○
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)	○	○
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 2)	○	○
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 3)	○	○
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 4)	○	○
	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 5)	○	○
	制御建屋空調機械 (A) 室浸水防止水密扉	○	○
	制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉	○	○
	計測制御電源室 (B) 浸水防止水密扉 (No. 3)	○	○
	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉	○	○
	上記以外の水密扉	—	○
浸水防止蓋	地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋 (No. 1)	○	○
	地下軽油タンク燃料移送ポンプ室アクセス用浸水防止蓋 (No. 2)	○	○
	地下軽油タンク機器搬出入用浸水防止蓋	○	○
堰	浸水防止堰	—	○
	管理区域外伝播防止堰	—	○
逆流防止装置		—	○
貫通部止水処置		—	○

2.2 評価方針

溢水防護に係る施設は、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するため、「2.1 評価対象施設」で分類した施設ごとに、浸水防止に関する強度評価を実施する。

3. 構造強度設計

「2.1 評価対象施設」で設定されている施設が、構造強度設計上の性能目標を達成するよう、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している各施設が有する機能を踏まえて、構造強度の設計方針を設定する。

各施設の構造強度の設計方針を設定し、想定する荷重及び荷重の組合せを設定し、それらの荷重に対し、各施設の構造強度を維持するよう構造設計と評価方針を設定する。

3.1 構造強度の設計方針

添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度上の性能目標を達成するための設計方針を「2.1 評価対象施設」ごとに示す。

(1) 水密扉

水密扉は、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

(2) 堰

堰は、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

(3) 逆流防止装置

逆流防止装置は、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

(4) 貫通部止水処置

貫通部止水処置は、添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、モルタルによる施工は、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

また、シール材及びブーツによる施工は、止水性の維持を考慮して、有意な漏えいを生じない設計とする。

3.2 機能維持の方針

添付書類「VI-1-1-8-5 溢水防護施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標が達成されるよう、「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ、「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重条件を適切に考慮して、各設備の構造設計及びそれを踏まえた評価方法を設定する。

(1) 水密扉

a. 構造設計

水密扉は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

水密扉は、鋼製の板材を主体構造とし、周囲の開口部との間に設置した鋼製の扉枠を躯体にアンカーボルト等で固定し支持する構造とする。また、作用する荷重については、面内及び面外方向から作用し、扉板、芯材、締付装置及び扉枠に伝わり、アンカーボルト等を介して周囲の躯体に伝達する構造とする。

水密扉の設置位置を表 3-1 に示す。また、水密扉の構造計画を表 3-2 に示す。

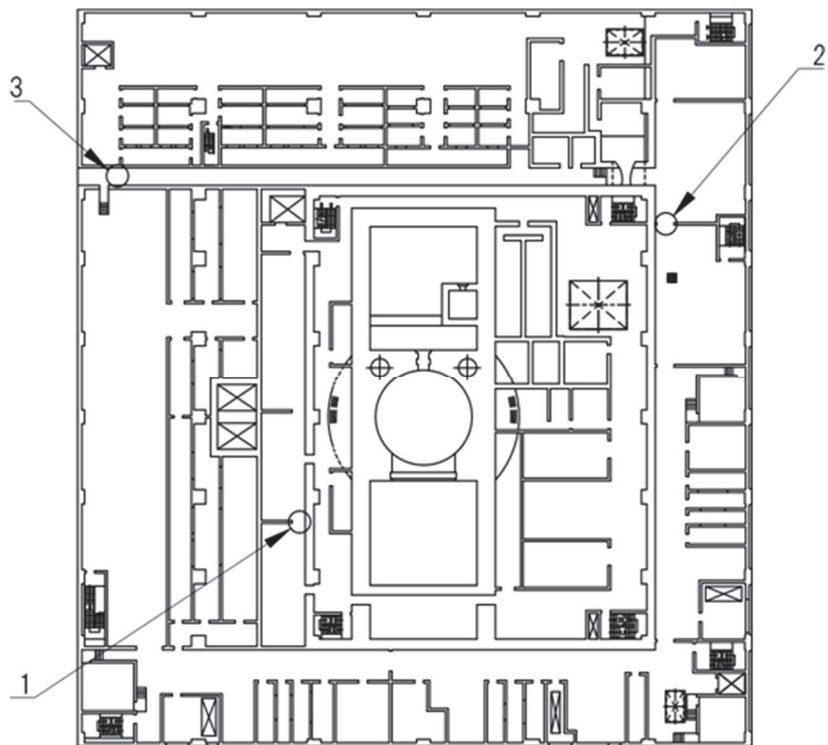
b. 評価方針

水密扉は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

水密扉は、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、水密扉の評価対象部位が、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3-1 設置位置 (水密扉) (1/13)

配置図

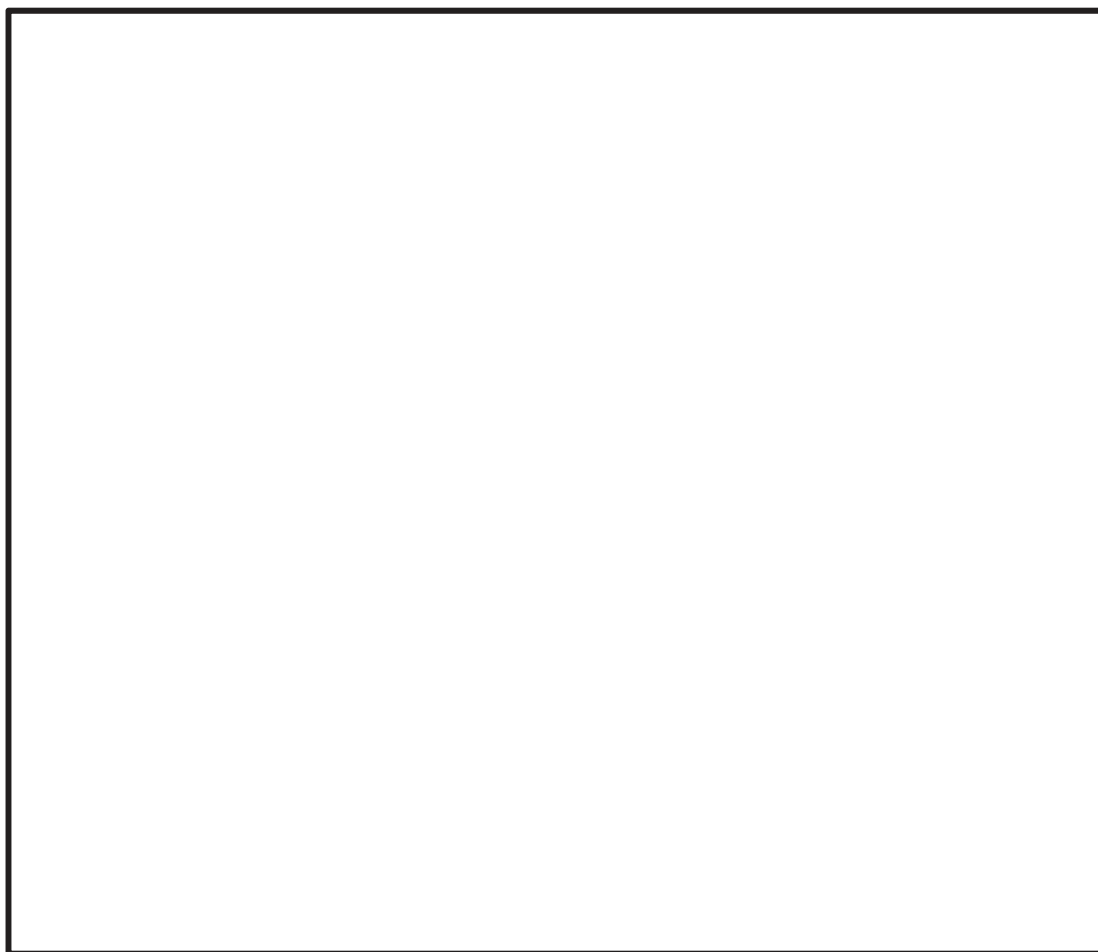


原子炉建屋 0.P. 22.50m

1	SGTS ヒータユニット(A)室浸水防止水密扉
2	HECW 冷凍機(B)(D)室-HECW 冷凍機(A)(C)室浸水防止水密扉
3	制御建屋共通エリア浸水防止水密扉

表 3-1 設置位置（水密扉） （2/13）

配置図



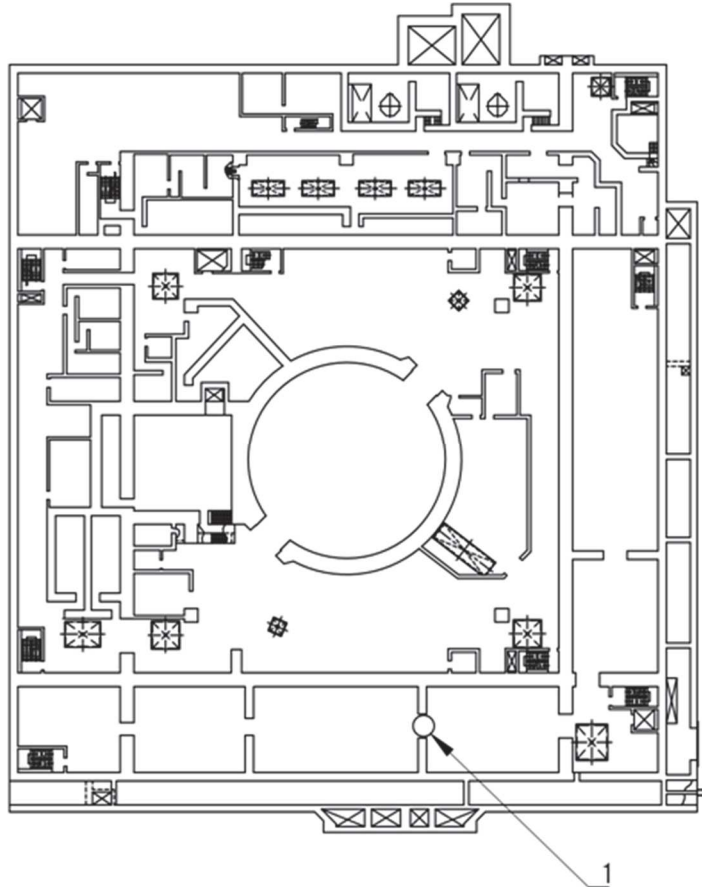
原子炉建屋 0. P. 15. 00m

1	RHR Hx(A)室-RHR Hx(B)室浸水防止水密扉
2	原子炉建屋浸水防止水密扉(No. 2)
3	原子炉建屋浸水防止水密扉(No. 1)
4	D/G(B)室-D/G(HPCS)室浸水防止水密扉
5	RW 電気品室(B)浸水防止水密扉
6	北西階段室管理区域外伝播防止水密扉
7	原子炉建屋大物搬入口
8	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉(No. 3)
9	RW 制御室管理区域外伝播防止水密扉
10	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉(No. 1)
11	原子炉建屋管理区域外伝播防止水密扉(No. 2)
12	主排気ダクト連絡トレンチ(2T-5)管理区域外伝播防止水密扉

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

表 3-1 設置位置 (水密扉) (3/13)

配置図

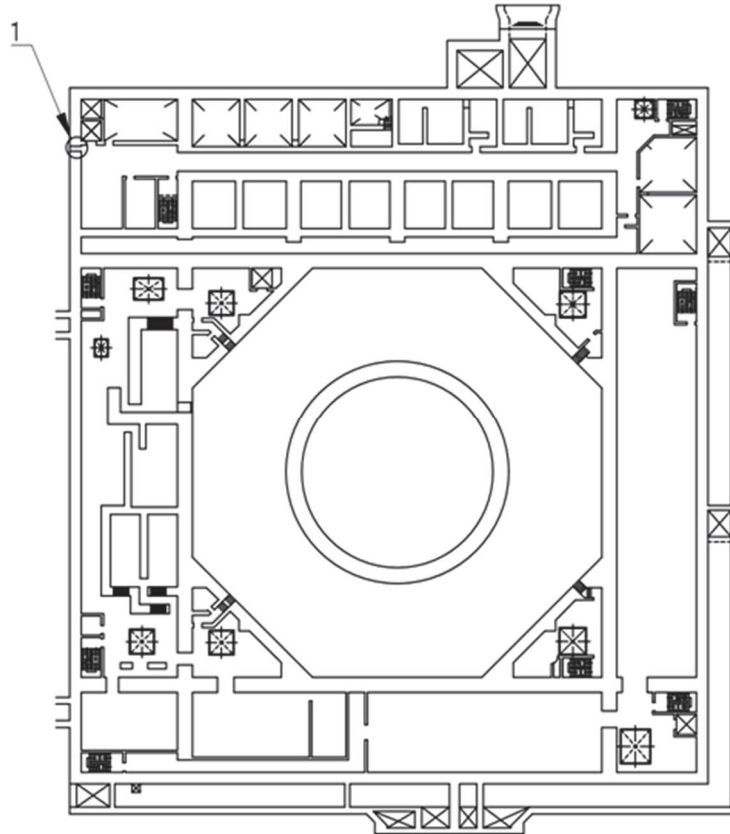


原子炉建屋 0. P. 6. 00m

1	区分ⅢHPCS 電気品室-区分Ⅱ非常用電気品室浸水防止水密扉
---	--------------------------------

表 3-1 設置位置 (水密扉) (4/13)

配置図



原子炉建屋 0.P. -0.80m

1	原子炉建屋浸水防止水密扉 (No. 4)
---	----------------------

表 3-1 設置位置（水密扉） （5/13）

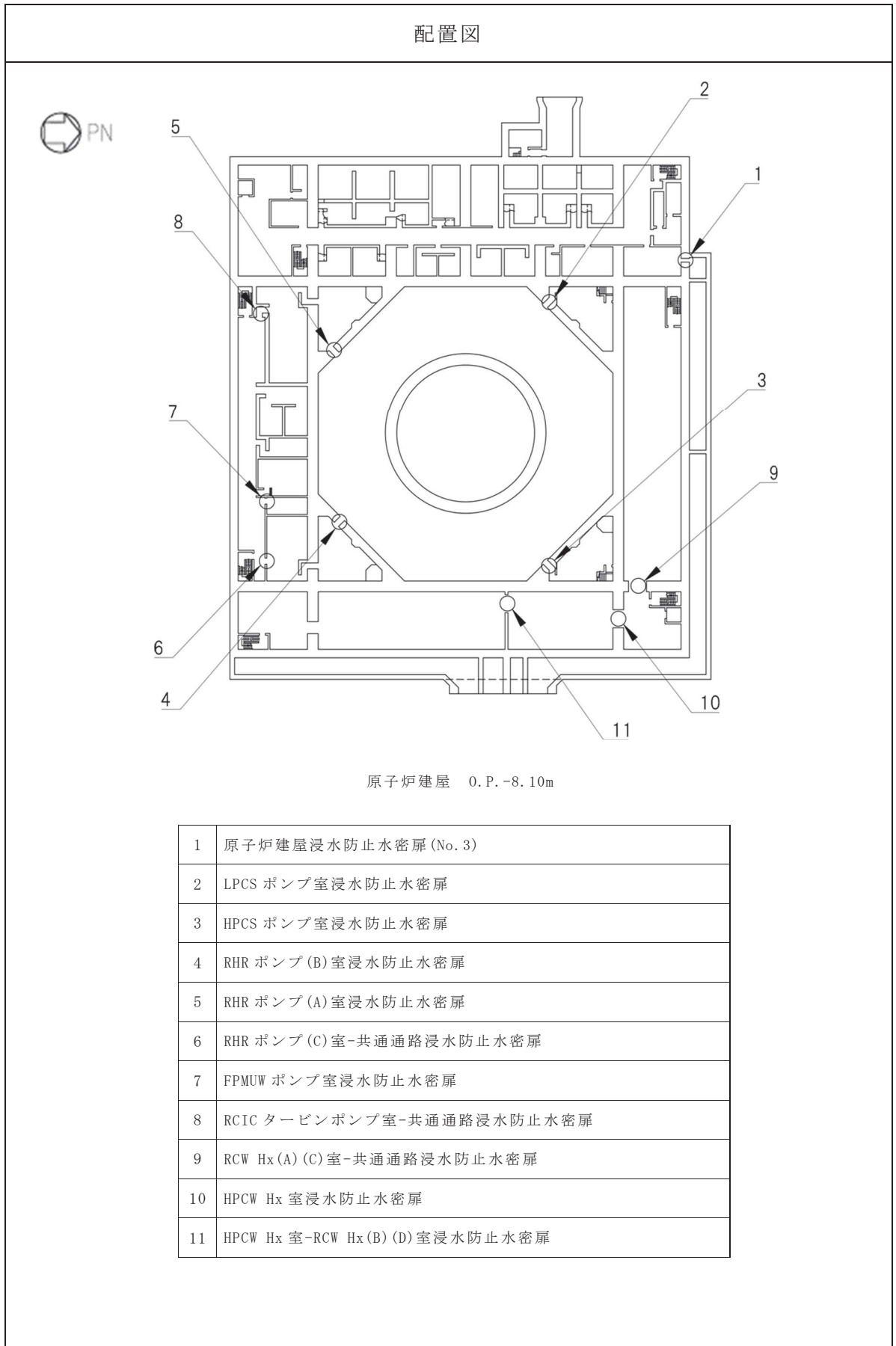
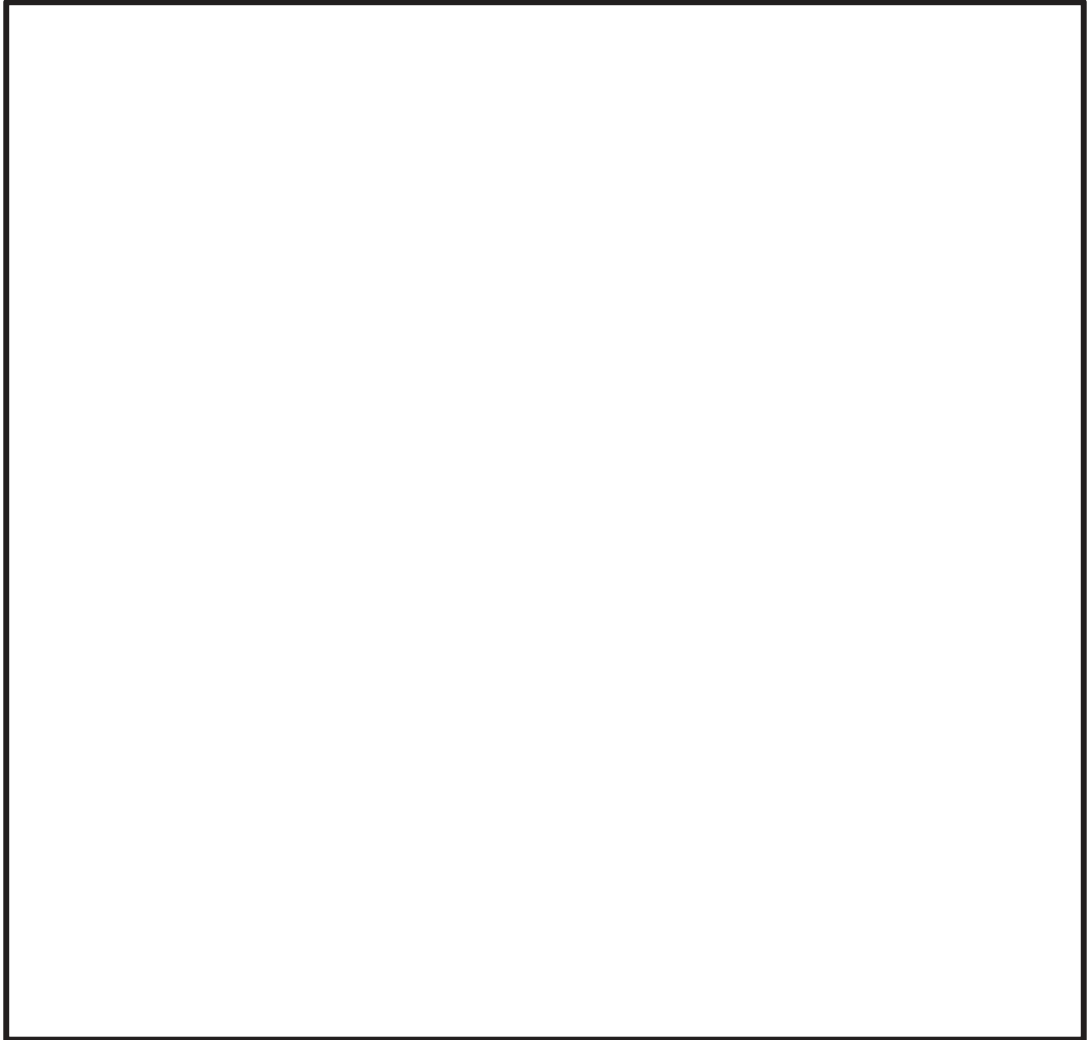


表 3-1 設置位置（水密扉） （6/13）

配置図

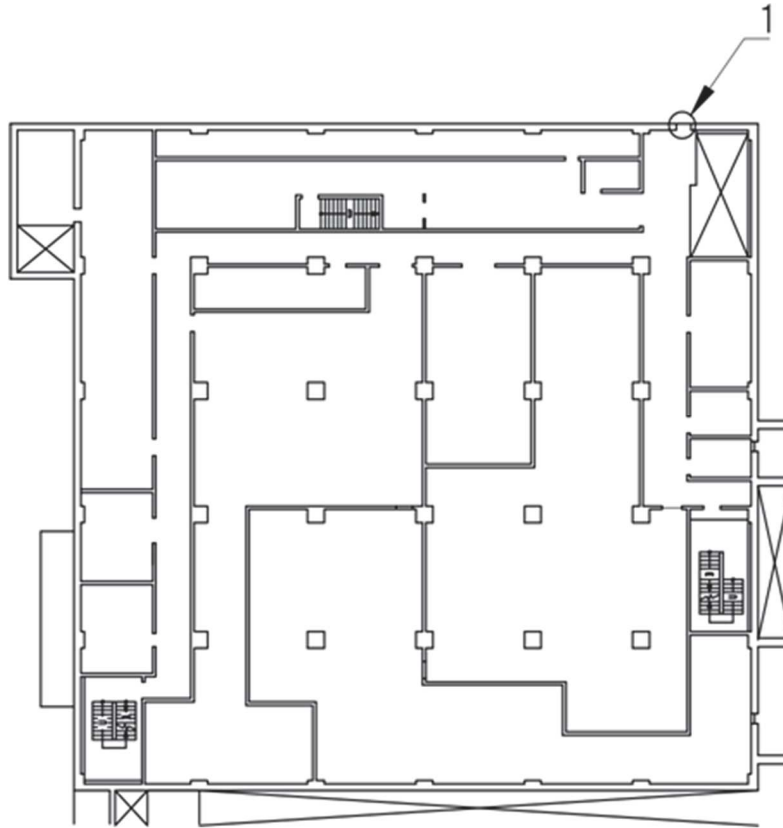


制御建屋 O.P. 23.50m

1	第 2 号機 MCR 浸水防止水密扉
---	--------------------

表 3-1 設置位置 (水密扉) (7/13)

配置図

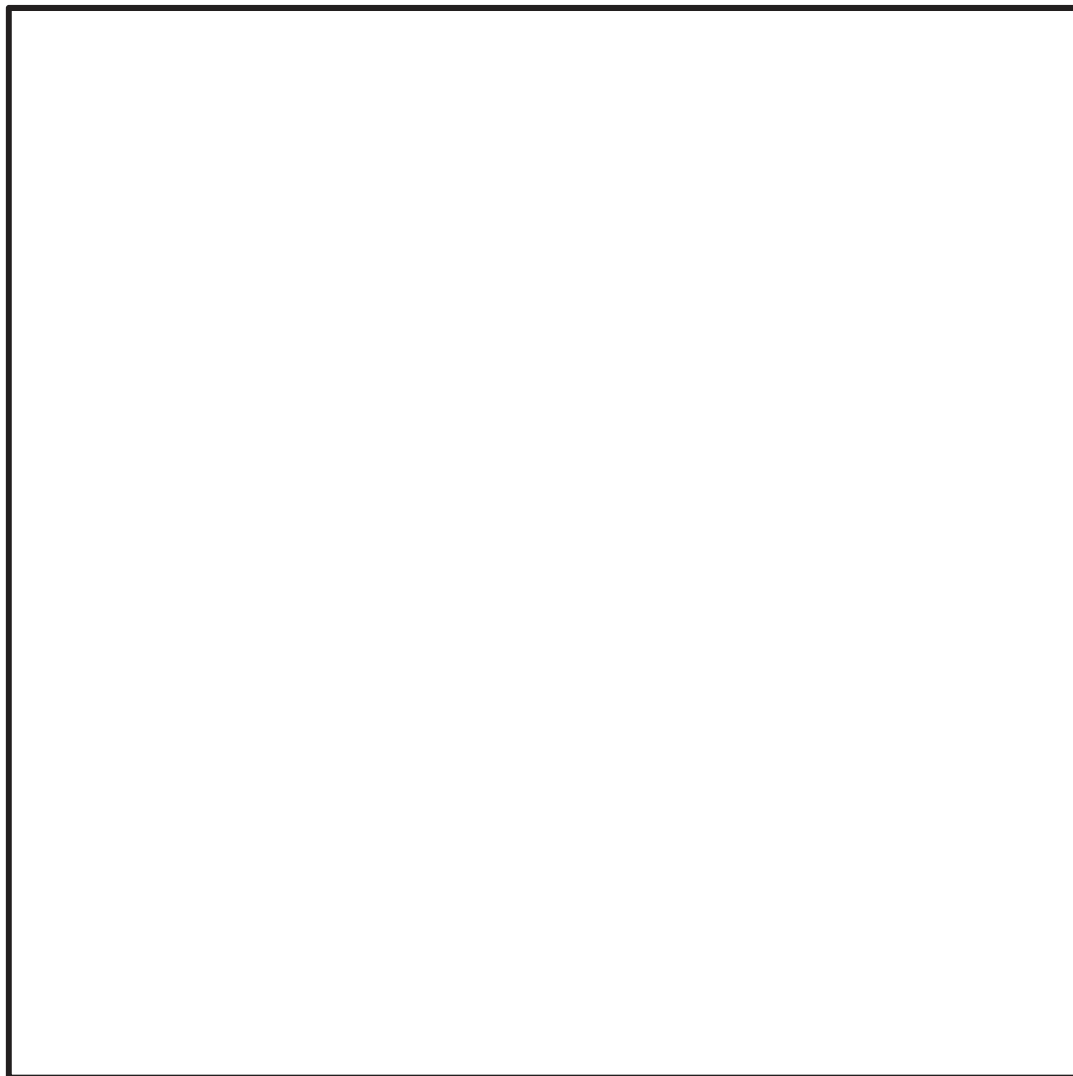


制御建屋 0. P. 19. 50m

1	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 1)
---	---------------------

表 3-1 設置位置（水密扉） （8/13）

配置図

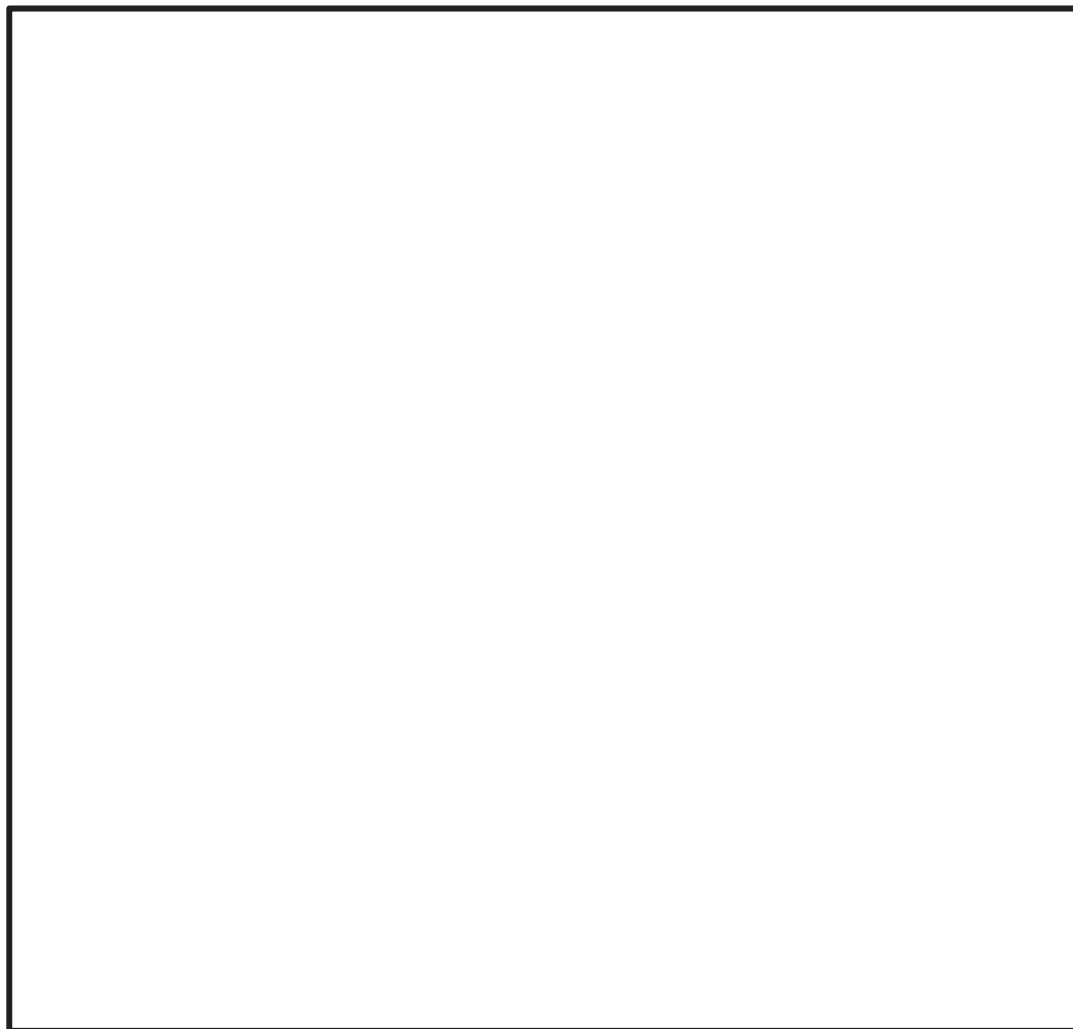


制御建屋 0.P. 15.00m

1	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 3)
2	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 2)
3	補助ボイラー建屋連絡階段管理区域外伝播防止水密扉
4	制御建屋管理区域外伝播防止水密扉 (No. 1)
5	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 4)
6	制御建屋浸水防止水密扉 (No. 5)

表 3-1 設置位置（水密扉） (9/13)

配置図

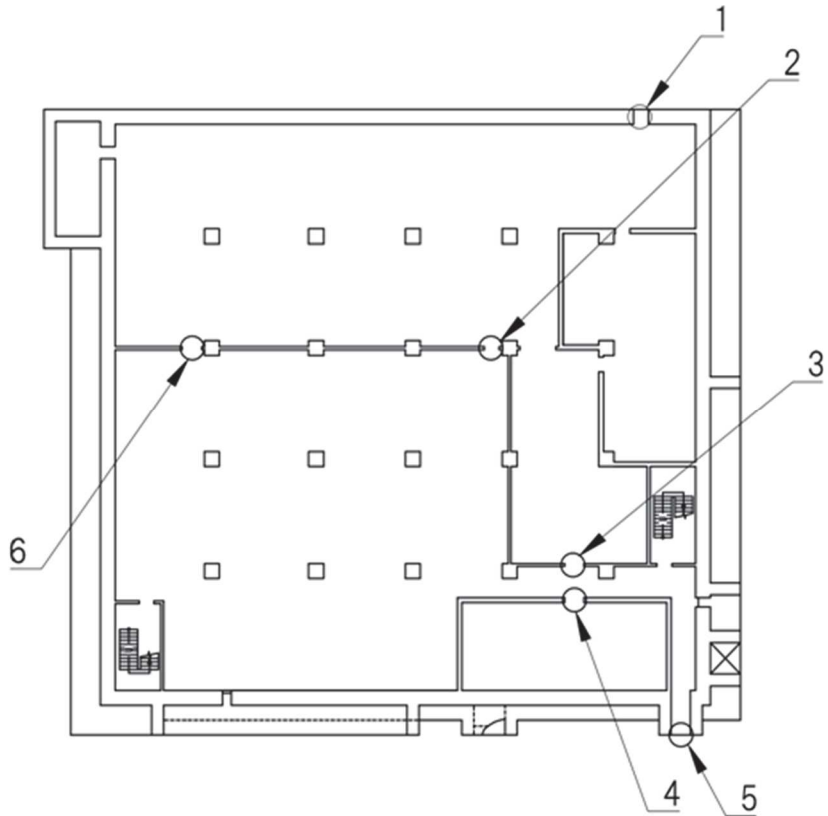


制御建屋 0. P. 8. 00m

1	計測制御電源室(B)浸水防止水密扉(No. 1)
2	計測制御電源室(B)浸水防止水密扉(No. 3)
3	計測制御電源室(B)浸水防止水密扉(No. 2)
4	RSS 盤室浸水防止水密扉
5	計測制御電源室(A)-常用および共通 M/C・P/C 室浸水防止水密扉

表 3-1 設置位置 (水密扉) (10/13)

配置図

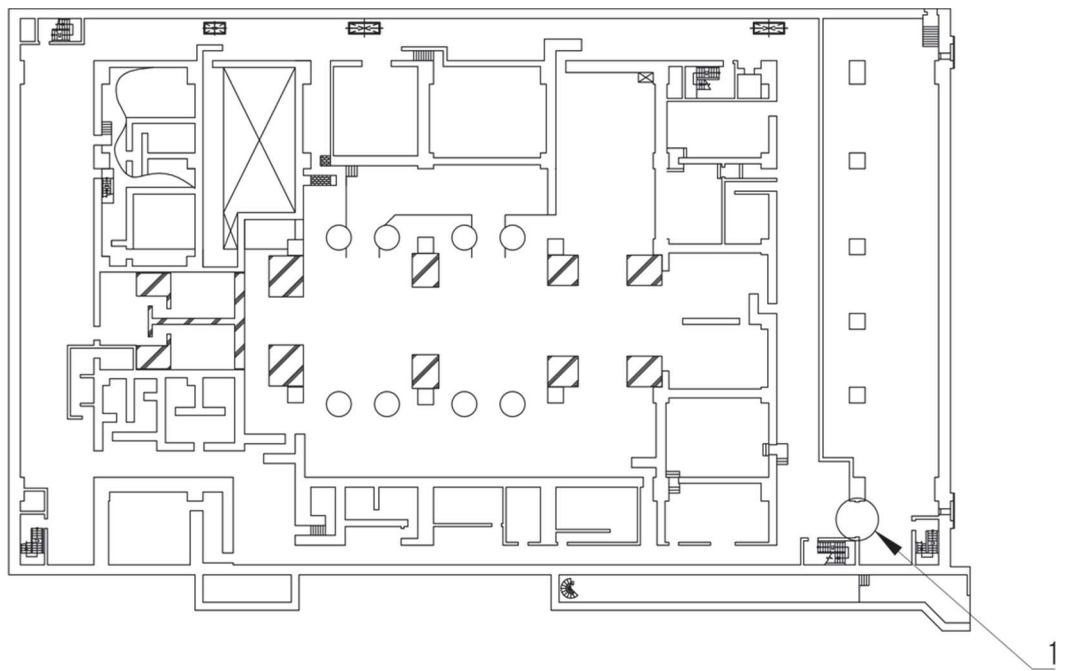


制御建屋 0.P. 1. 50m

1	制御建屋空調機械 (A) 室浸水防止水密扉
2	制御建屋空調機械 (A) 室-制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉 (No. 1)
3	250V 直流主母線盤室-制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉
4	ISI 室浸水防止水密扉
5	制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉
6	制御建屋空調機械 (A) 室-制御建屋空調機械 (B) 室浸水防止水密扉 (No. 2)

表 3-1 設置位置 (水密扉) (11/13)

配置図



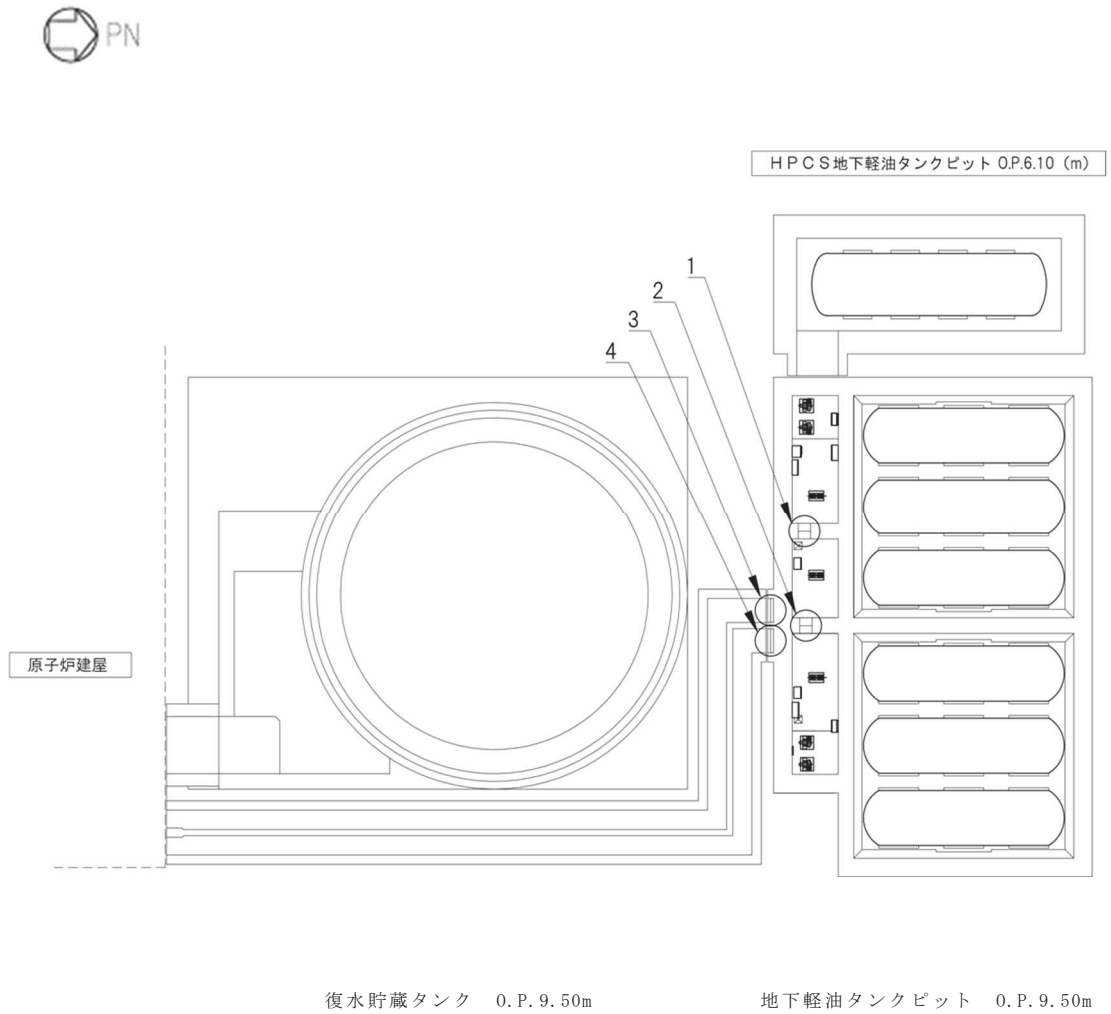
タービン建屋 0. P. 0. 80m

1	タービン建屋管理区域外伝播防止水密扉
---	--------------------

O 2 ③ VI-3-別添 3-3 R 0

表 3-1 設置位置 (水密扉) (12/13)

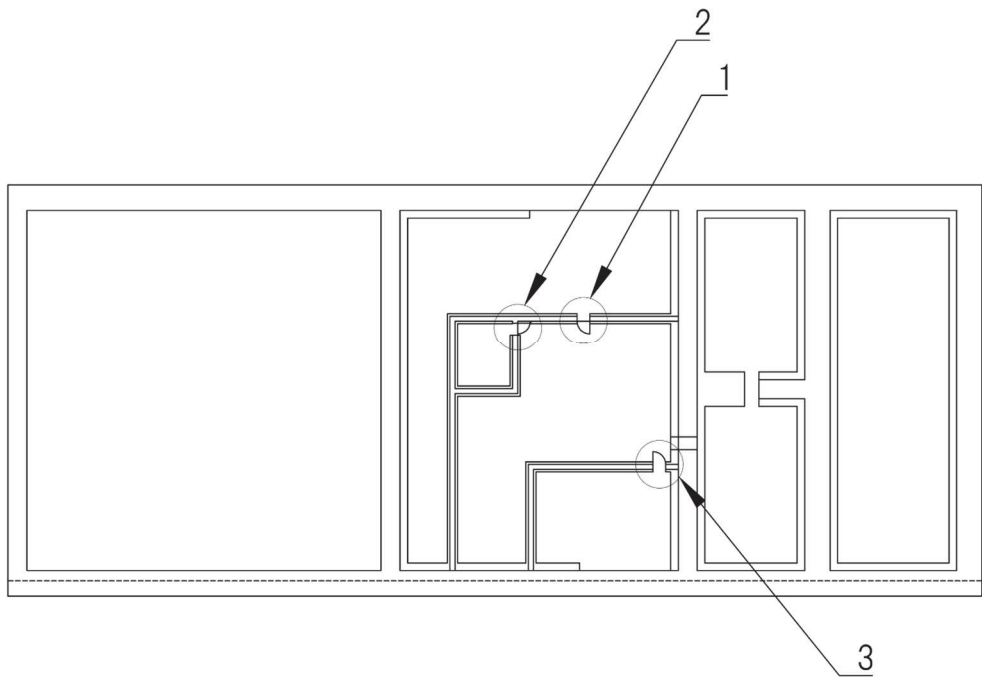
配置図



1	燃料移送ポンプ(H)室-燃料移送ポンプ(A)室浸水防止水密扉
2	燃料移送ポンプ(A)室-燃料移送ポンプ(B)室浸水防止水密扉
3	燃料移送ポンプ(A)室浸水防止水密扉
4	燃料移送ポンプ(B)室浸水防止水密扉

表 3-1 設置位置 (水密扉) (13/13)

配置図



第 2 号機海水ポンプ室 0.P. 3.00m

1	RSW ポンプ (A) (C) 室-TSW ポンプ室浸水防止水密扉
2	HPSW ポンプ室浸水防止水密扉
3	TSW ポンプ室-RSW ポンプ (B) (D) 室浸水防止水密扉

表 3-2 水密扉の構造計画 (1/2)

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
<p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置された締付装置を鋼製の扉枠に差し込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と扉枠の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	<p>扉開放時には、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時には、締付装置により扉が扉枠に固定される構造とする。</p> <p>また、扉枠はアンカーボルトにより躯体に固定することで、荷重を躯体に伝達する構造とする。</p>	<div data-bbox="842 412 1449 1099" style="border: 2px solid black; height: 300px; margin-bottom: 20px;"></div> <p style="text-align: center;">正面図</p> <div data-bbox="836 1272 1449 1951" style="border: 2px solid black; height: 300px;"></div> <p style="text-align: center;">側面図</p>

表 3-2 水密扉の構造計画 (2/2)

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
<p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置された締付装置を鋼製の扉枠に差し込み、扉と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と扉枠の接続はヒンジを介する構造とする。</p>	<p>扉解放時には、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時には、締付装置により扉が扉枠に固定される構造とする。</p> <p>また、扉枠を躯体に定着することで荷重を躯体に伝達する構造とする。</p>	<div style="border: 1px solid black; height: 250px; width: 100%;"></div> <p style="text-align: center;">正面図</p> <div style="border: 1px solid black; height: 250px; width: 100%;"></div> <p style="text-align: center;">側面図</p>

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(2) 堰

a. 構造設計

堰は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

堰は、止水板、梁材及びアンカーボルト等を主体構造とし、既設コンクリートを基礎として、アンカーボルトで固定し支持する構造とする。

また、作用する荷重については、堰に作用し、アンカーボルトを介し、既設コンクリートに伝達する構造とする。

堰の設置位置を表 3-3 に示す。また、堰の構造計画を表 3-4 に示す。

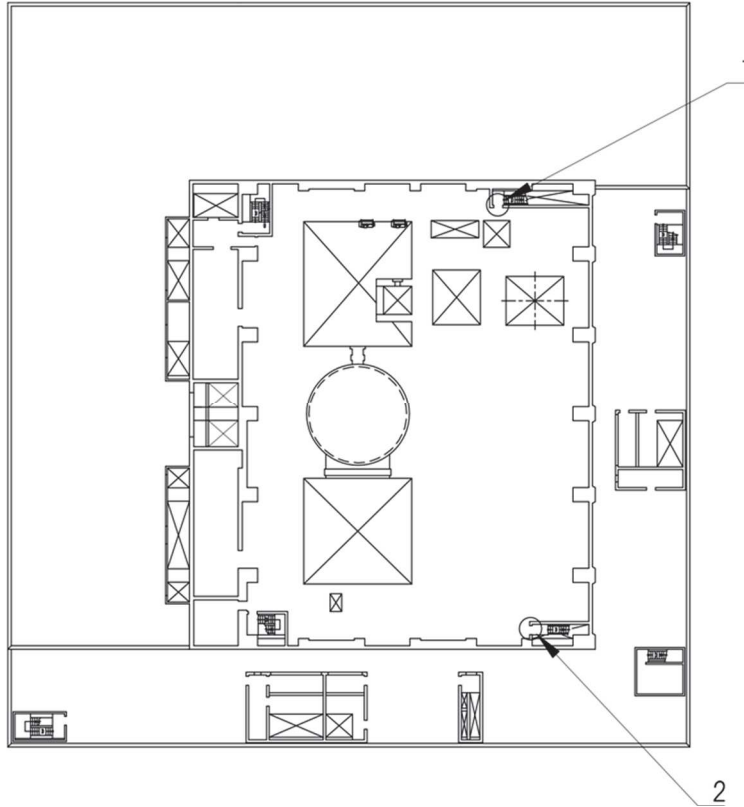
b. 評価方針

堰は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

堰は、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して、堰の評価対象部位に作用する応力が、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3-3 設置位置 (堰) (1/9)

配置図

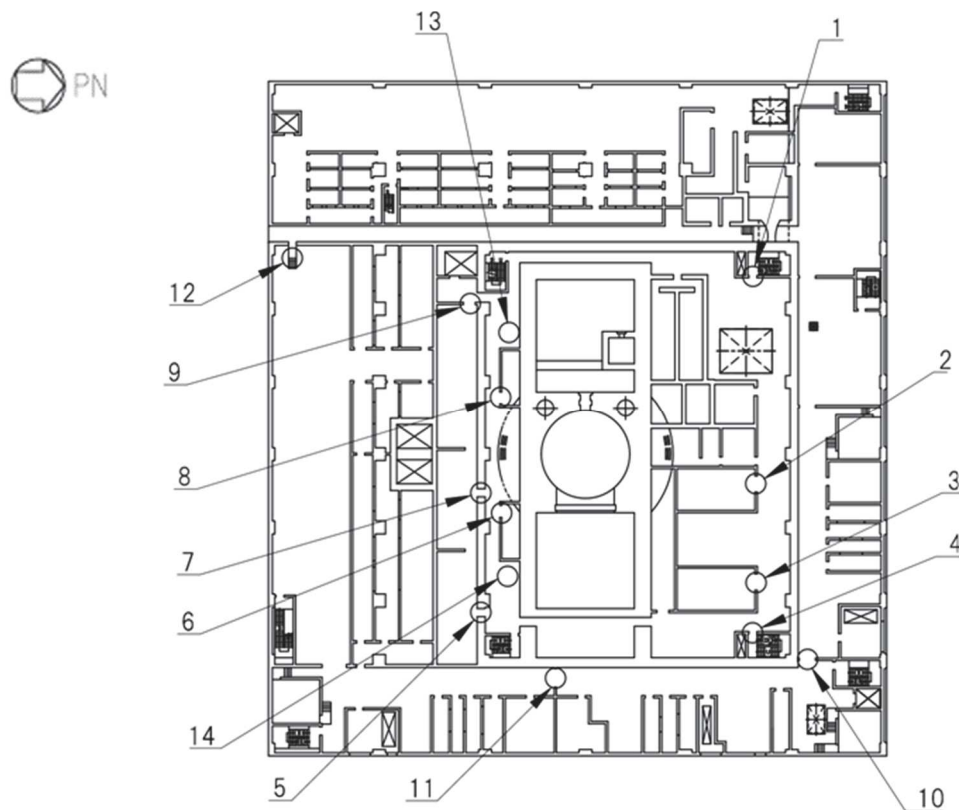


原子炉建屋 0.P. 33.20m

1	R-01 階段浸水防止堰 (地上 3 階)
2	R-02 階段浸水防止堰 (地上 3 階)

表 3-3 設置位置 (堰) (2/9)

配置図

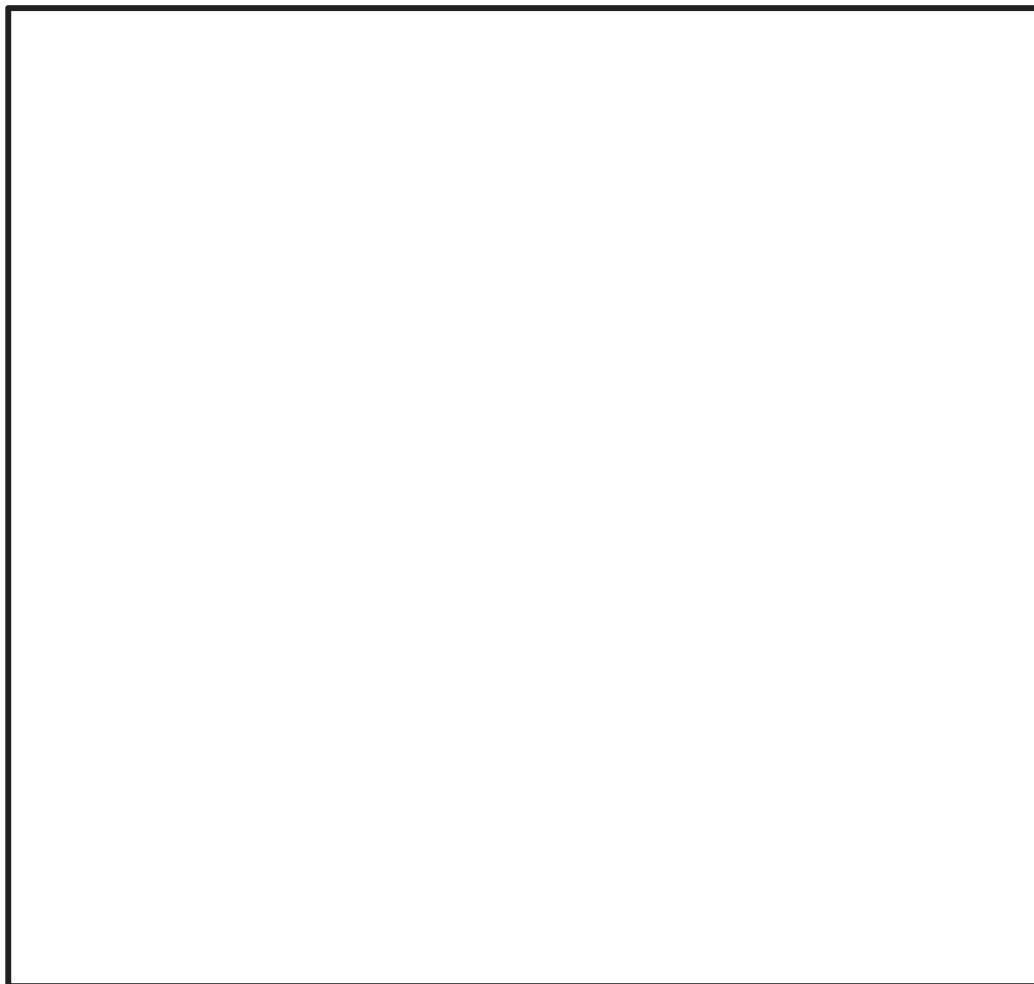


原子炉建屋 O.P. 22.50m

1	R-01 階段浸水防止堰(地上 2 階)
2	FCS 再結合装置 (A) 室浸水防止堰
3	FCS 再結合装置 (B) 室浸水防止堰
4	R-02 階段浸水防止堰(地上 2 階)
5	SGTS ヒータユニット (B) 室浸水防止堰
6	CAMS ラック (B) 室浸水防止堰
7	SGTS ヒータユニット (A) 室浸水防止堰
8	CAMS ラック (A) 室浸水防止堰
9	SGTS フィルタユニット室浸水防止堰
10	原子炉補機 (A) 室送風機室-原子炉補機 (HPCS) 室送風機室浸水防止堰
11	原子炉補機 (HPCS) 室送風機室-原子炉補機 (B) 室送風機室および送風機エリア浸水防止堰
12	2F 通路浸水防止堰
13	CAMS (A) 室空調機浸水防止堰
14	CAMS (B) 室空調機浸水防止堰

表 3-3 設置位置 (堰) (3/9)

配置図

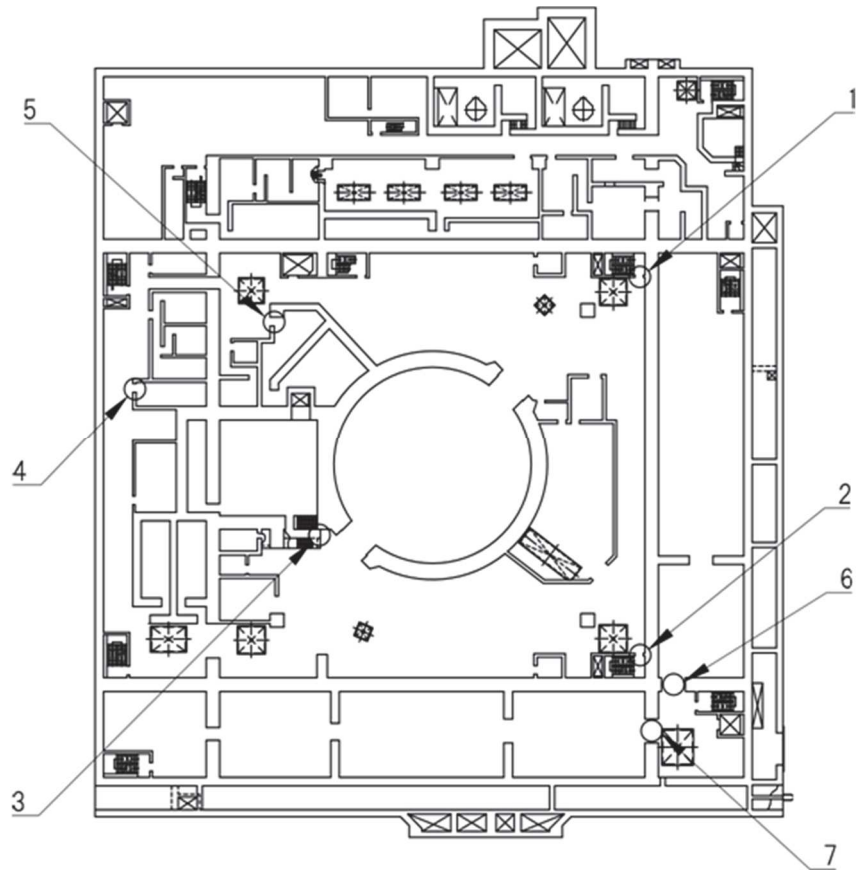


原子炉建屋 0. P. 15. 00m

1	R-01 階段浸水防止堰(地上 1 階)
2	R-02 階段浸水防止堰(地上 1 階)
3	バルブ(B)室浸水防止堰
4	バルブ(A)室浸水防止堰
5	FPC ポンプ室浸水防止堰
6	区分 I・III 非常用 D/G 制御盤室浸水防止堰

表 3-3 設置位置 (堰) (4/9)

配置図

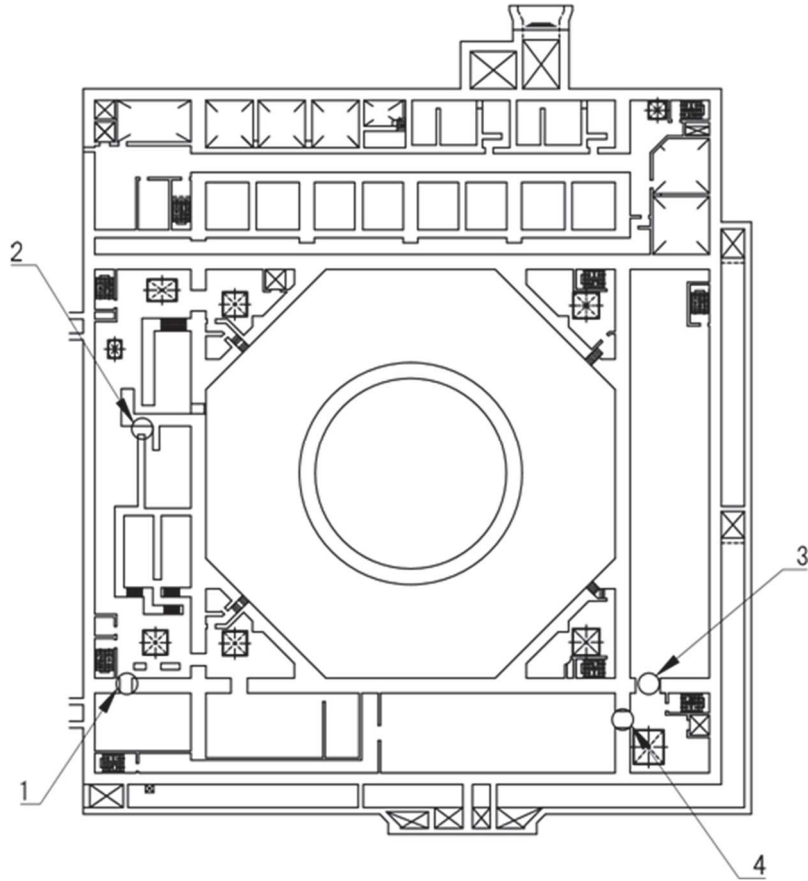


原子炉建屋 0. P. 6. 00m

1	R-01 階段浸水防止堰 (地下 1 階)
2	R-02 階段浸水防止堰 (地下 1 階)
3	MS トンネル室浸水防止堰
4	RCIC MCC 室浸水防止堰
5	TIP 駆動装置室浸水防止堰
6	D/G 補機 (A) 室浸水防止堰
7	区分Ⅲ HPCS 電気品室浸水防止堰

表 3-3 設置位置 (堰) (5/9)

配置図

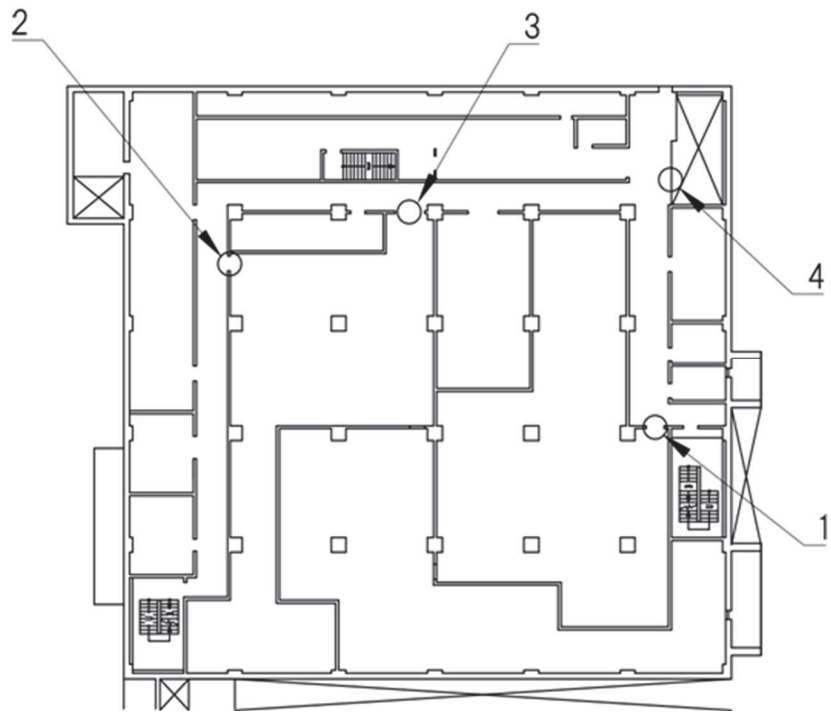


原子炉建屋 O.P. -0.80m

1	復水補給水ポンプ室浸水防止堰
2	CUW 配管・バルブ室浸水防止堰
3	静止型 PLR ポンプ電源装置室浸水防止堰
4	IA・SA 室および通路浸水防止堰

表 3-3 設置位置 (堰) (6/9)

配置図

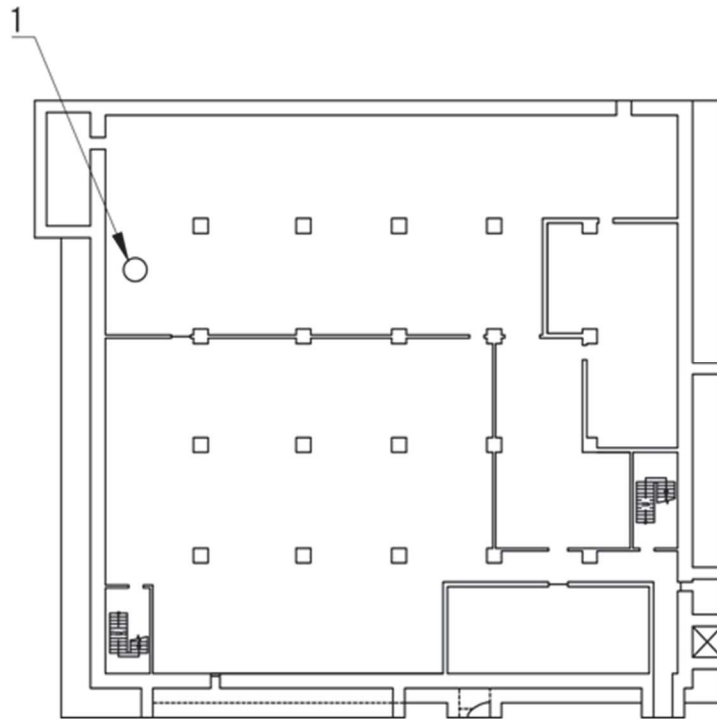


制御建屋 0. P. 19. 50m

1	区分 I ケーブル処理室浸水防止堰
2	常用系ケーブル処理室浸水防止堰 (No. 2)
3	常用系ケーブル処理室浸水防止堰 (No. 1)
4	ハッチ上部スペース浸水防止堰

表 3-3 設置位置 (堰) (7/9)

配置図

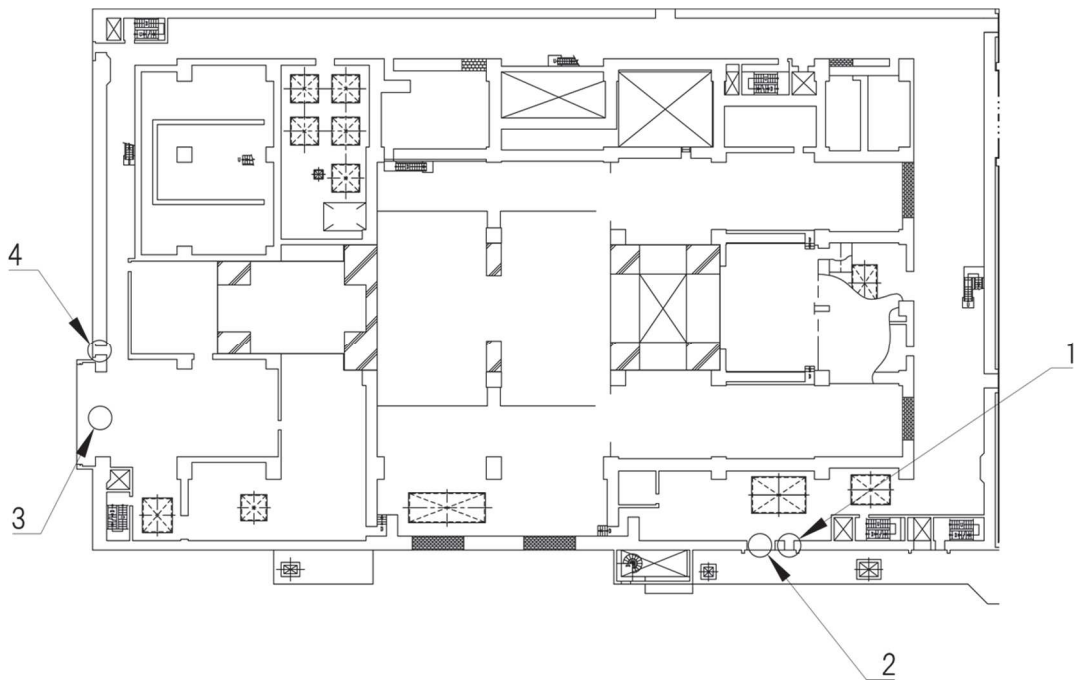


制御建屋 0. P. 1. 50m

1	中央制御室再循環フィルタ装置浸水防止堰
---	---------------------

表 3-3 設置位置 (堰) (8/9)

配置図

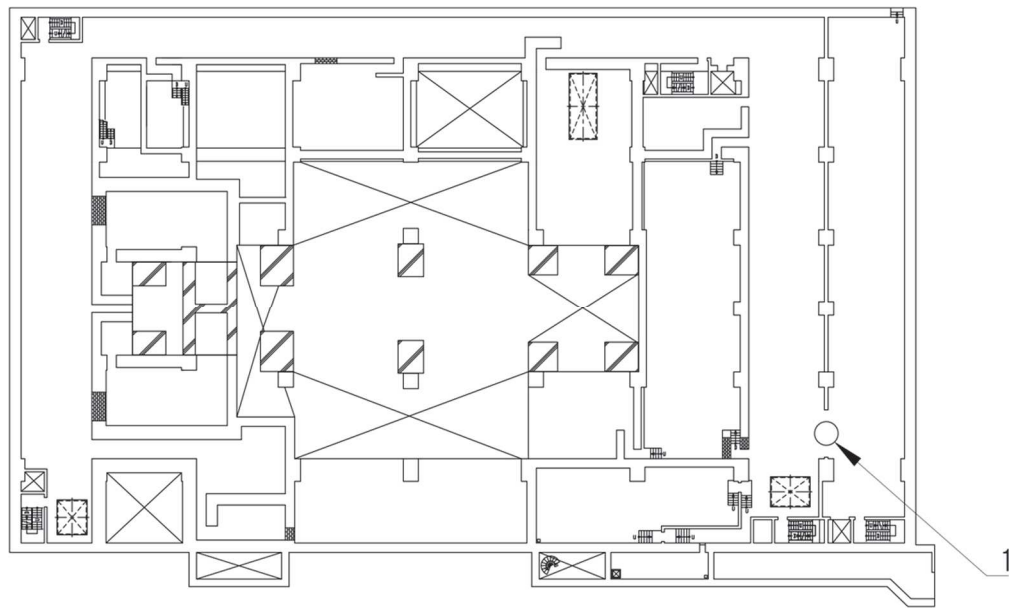


タービン建屋 0. P. 15. 00m

1	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 3)
2	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 4)
3	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 2)
4	タービン建屋管理区域外伝播防止堰 (No. 1)

表 3-3 設置位置 (堰) (9/9)

配置図



タービン建屋 0. P. 7. 60m

1	HNCW 冷凍機・ポンプ室管理区域外伝播防止堰
---	-------------------------

表 3-4 構造計画（堰）

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
<p>止水板、梁材及びアンカーボルトから構成され、溢水経路となる開口部の形状によっては、柱材、斜材、接合ボルト及びベースプレートを用いて構成する。</p>	<p>鋼材で補強した止水板を床面及び必要に応じ壁面にアンカーボルトにて固定する。</p>	<p>正面図</p> <p>側面図</p>

(3) 逆流防止装置

a. 構造設計

逆流防止装置は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

逆流防止装置は、弁本体、フロートガイド及びフロートを主体構造とし、荷重が作用した場合でも逆流防止装置が動かないように床面設置のドレン配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定し、支持する構造とする。また、作用する荷重は、逆流防止装置に作用し、ねじ込みで固定した部分を介して建物内の床面に伝達する構造とする。

逆流防止装置の設置位置を表3-5に示す。また、構造計画を表3-6に示す。

b. 評価方針

逆流防止装置は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

逆流防止装置は、発生を想定する溢水による静水圧に対して、逆流防止装置の評価対象部位に作用する応力がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3-5 設置位置（逆流防止装置）

建屋名称	設置階	
原子炉建屋	地下3階	O.P. -8.1 (m)
制御建屋	地下2階	O.P. 1.5 (m)

表 3-6 構造計画（逆流防止装置）

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
弁座を含む弁本体，弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成する。	配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。	<p>ねじ切り部 弁座 フロート フロートガイド 既設配管 弁本体</p>

(4) 貫通部止水処置

a. 構造設計

貫通部止水処置は、「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ、以下の構造とする。

貫通部止水処置は、建屋内の壁又は床面の貫通口と貫通物の隙間をシール材、ブーツ及びモルタルにより止水する構造とする。

また、作用する荷重については、受圧面へ全面的に作用した場合に、止水処置部全体へ伝達する構造とする。

貫通部止水処置の設置位置を表3-7に示す。また、構造計画を表3-8に示す。

なお、貫通部止水処置の選定については、図3-1に示す貫通部止水処置の選定フローによる。

b. 評価方針

貫通部止水処置は、「a. 構造設計」を踏まえ、以下の強度評価方針とする。

貫通部止水処置は、発生を想定する溢水による静水圧に対して、貫通口と貫通物の隙間に施工するシール材及びブーツが、有意な漏えいを生じないことを、発生を想定する溢水による静水圧が止水試験で確認した圧力以下であることにより確認する。また、モルタルによる止水処置については、発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（1/14）

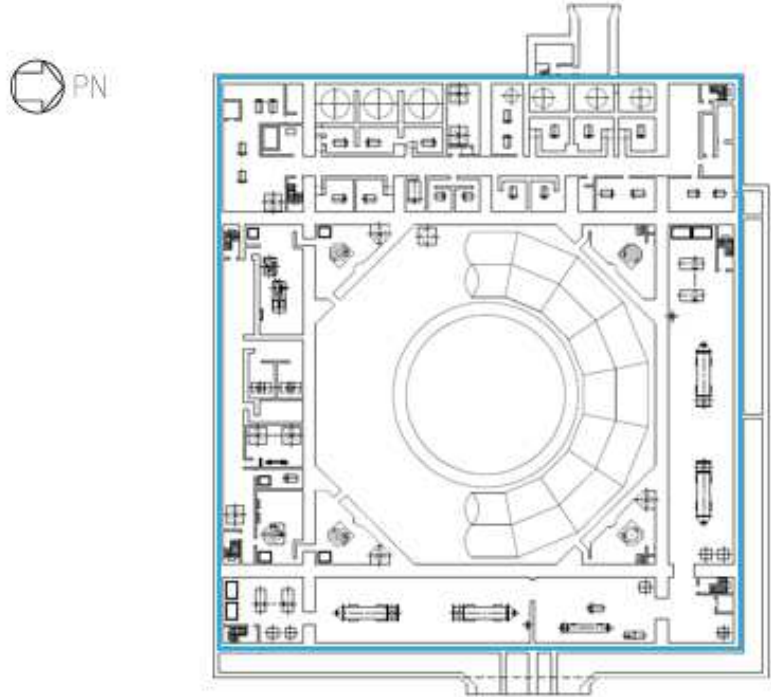
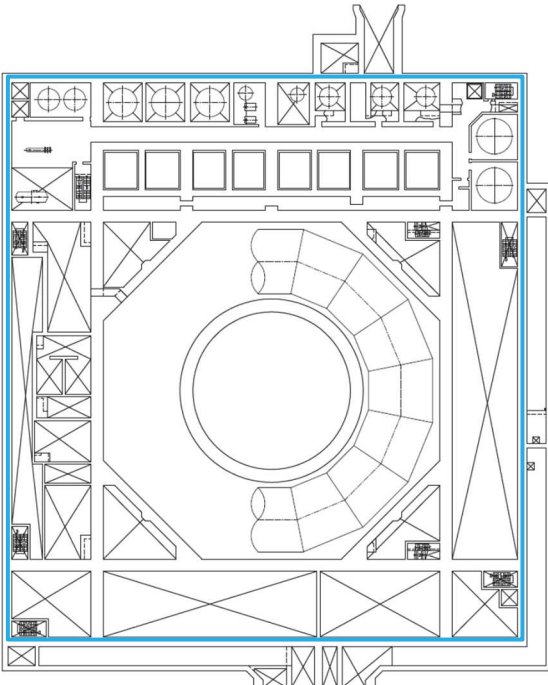
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  <p>原子炉建屋 O.P. -8.10 m</p>  <p>原子炉建屋 MB3F</p> <p>注：建屋内壁について、溢水影響評価にて伝播を許容しない箇所に貫通部止水処置を実施する。</p> <p style="text-align: right;">— : 貫通部止水処置を実施する壁面</p> </div>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（2/14）

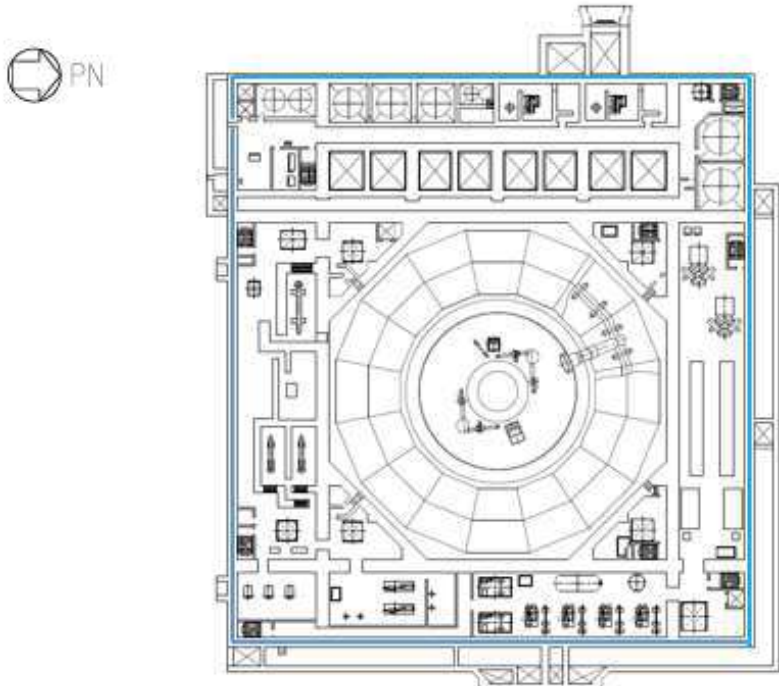
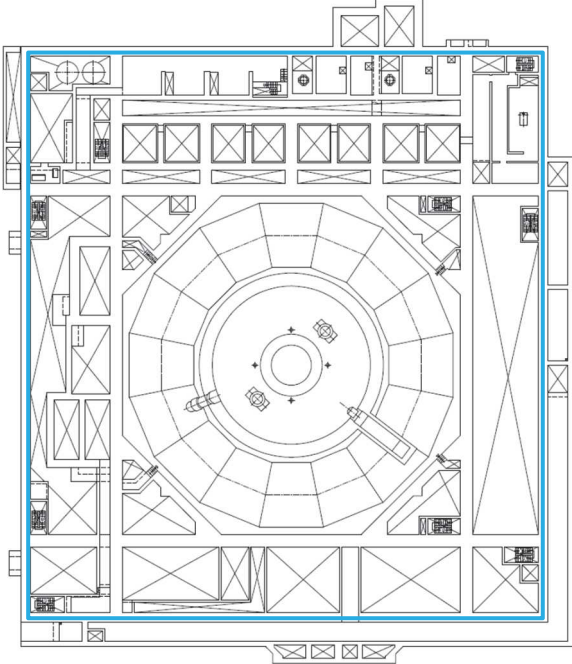
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  <p>原子炉建屋 O.P. -0.80 m</p>  <p>原子炉建屋 MB2F</p> </div> <p>注：建屋内壁について、溢水影響評価にて伝播を許容しない箇所に貫通部止水処置を実施する。</p> <p style="text-align: right;">— : 貫通部止水処置を実施する壁面</p>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（3/14）

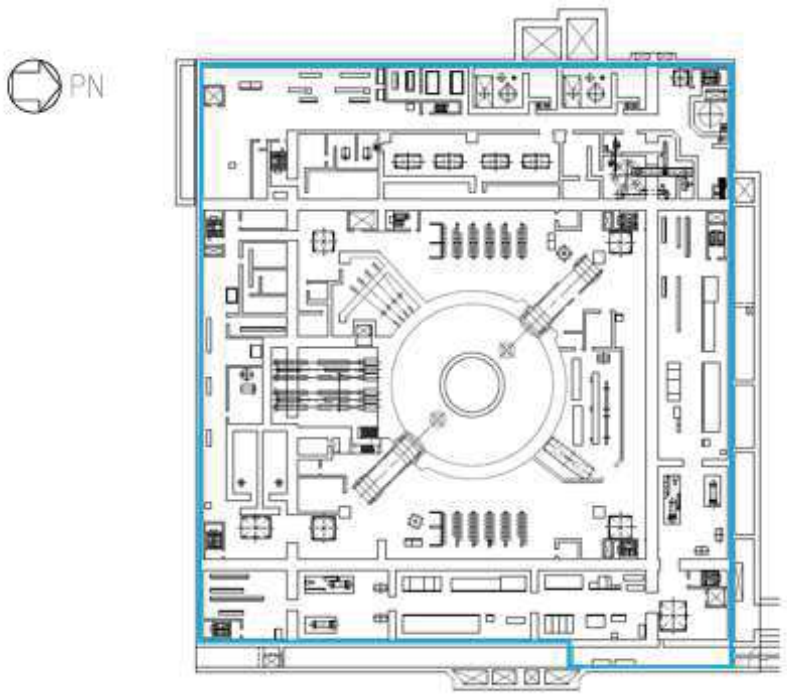
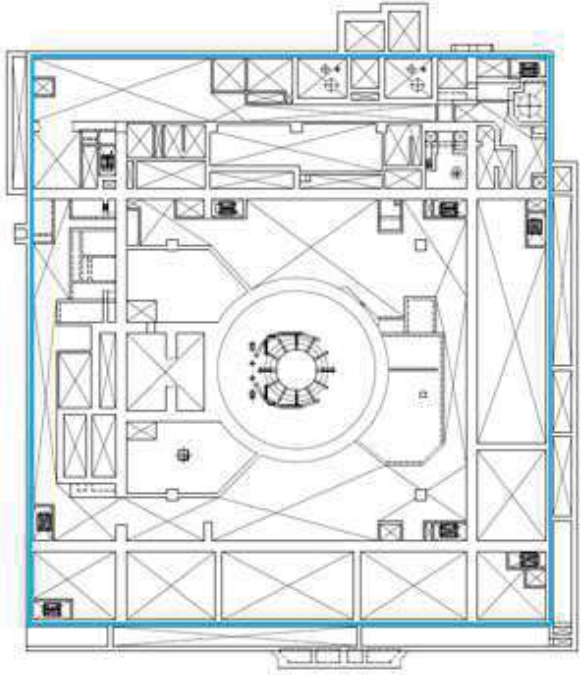
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  <p>原子炉建屋 0.P. 6.00 m</p>  <p>原子炉建屋 MB1F</p> <p>注：建屋内壁について、溢水影響評価にて伝播を許容しない箇所に貫通部止水処置を実施する。</p> <p style="text-align: right;">— : 貫通部止水処置を実施する壁面</p> </div>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（4/14）

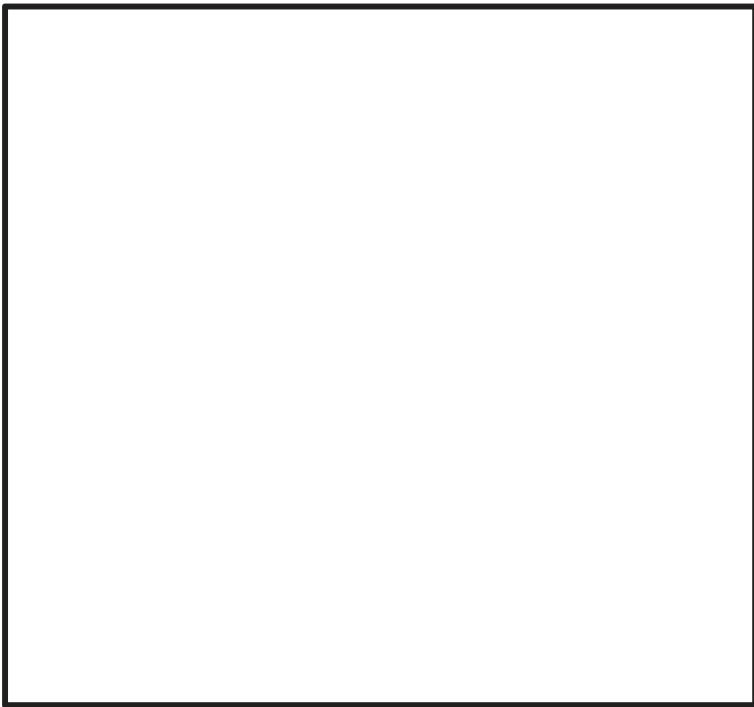
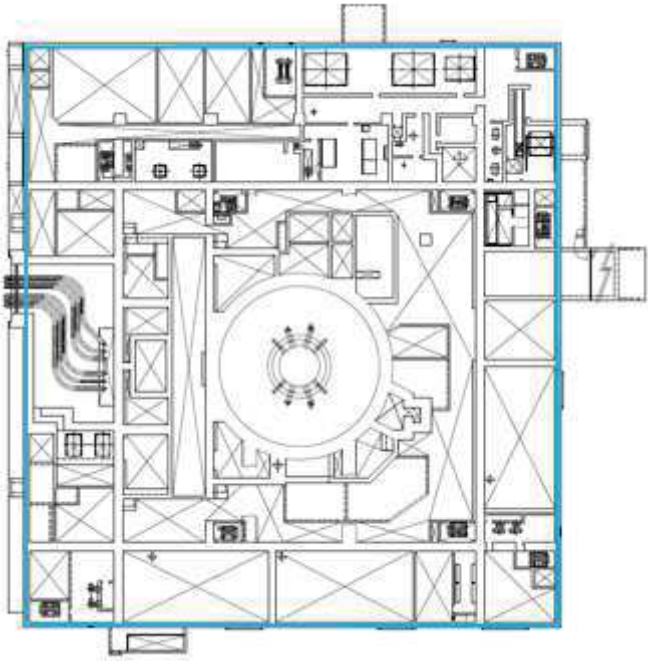
設備名称	配置図
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">貫通部止水処置</p>	<div style="text-align: center;">  <p>原子炉建屋 O.P. 15.00 m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>原子炉建屋 M2F</p> </div> <p>注：建屋内壁について，溢水影響評価にて伝播を許容しない箇所に貫通部止水処置を実施する。</p> <p style="text-align: right;">— : 貫通部止水処置を実施する壁面</p>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（5/14）

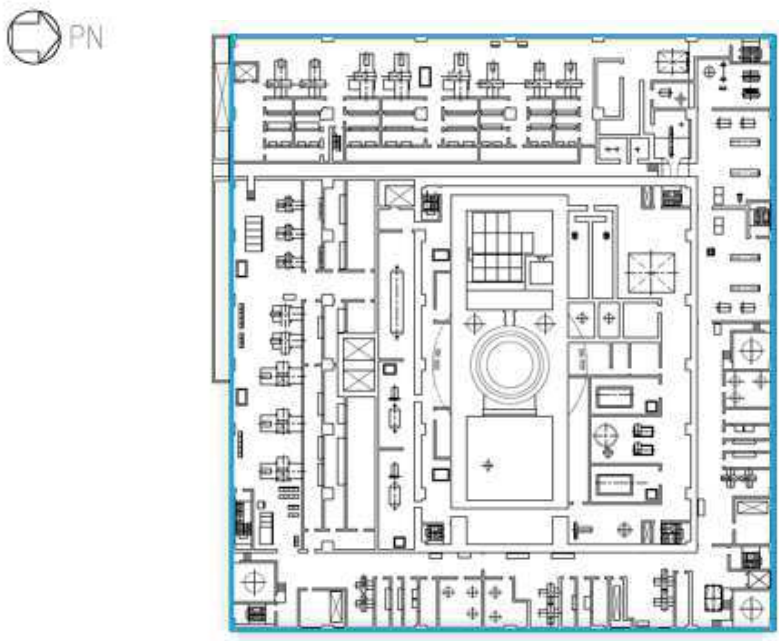
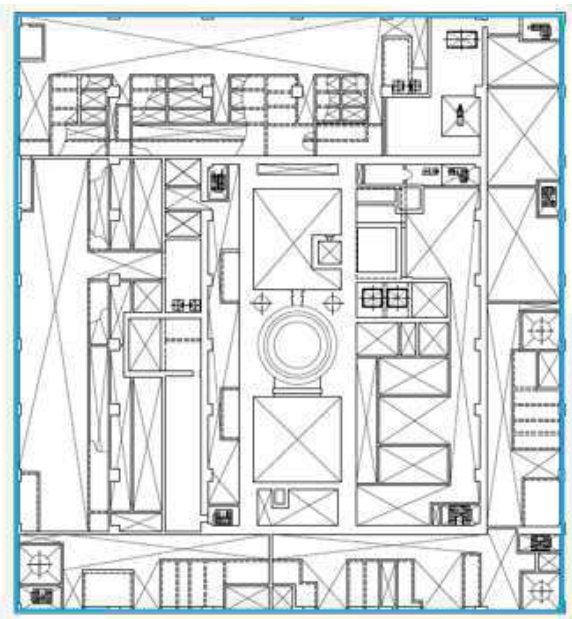
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  <p>原子炉建屋 0.P. 22.5 m</p>  <p>原子炉建屋 M3F</p> <p>注：建屋内壁について、溢水影響評価にて伝播を許容しない箇所に貫通部止水処置を実施する。</p> <p style="text-align: right;">— : 貫通部止水処置を実施する壁面</p> </div>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（6/14）

設備名称	配置図
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">貫通部止水処置</p>	<div style="text-align: center;">  <p>原子炉建屋 0.P.33.2 m</p> <p>注：建屋内壁について、溢水影響評価にて伝播を許容しない箇所に貫通部止水処置を実施する。</p> <p>— : 貫通部止水処置を実施する壁面</p> </div>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（7/14）

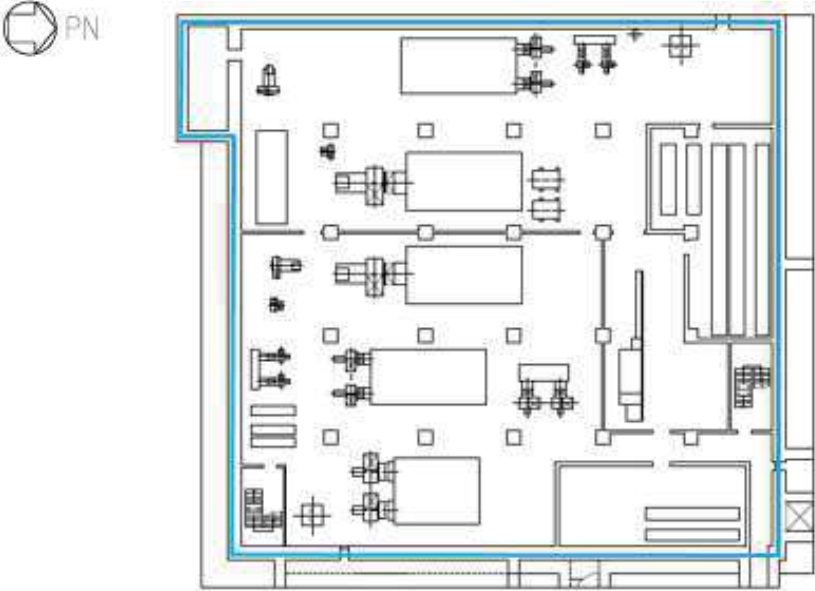
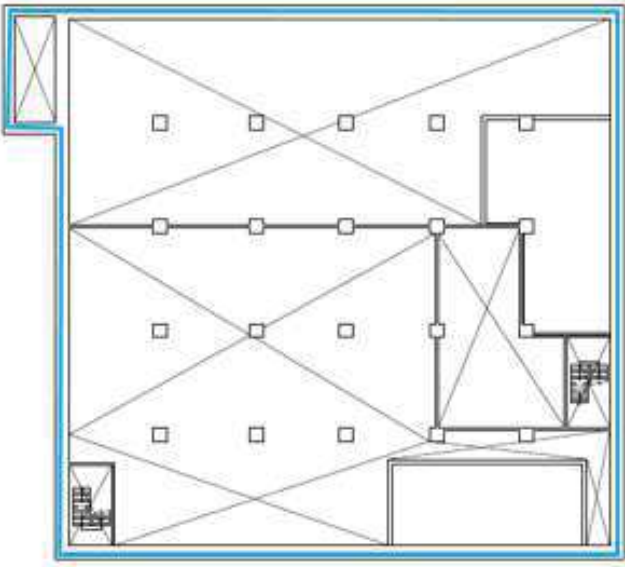
設備名称	配置図
貫 通 部 止 水 処 置	<div style="text-align: center;">  <p>制御建屋 0.P. 1.5 m</p>  <p>制御建屋 MB2F</p> </div> <p>注：建屋内壁について、溢水影響評価にて伝播を許容しない箇所に貫通部止水処置を実施する。</p> <p style="text-align: right;">— : 貫通部止水処置を実施する壁面</p>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（8/14）

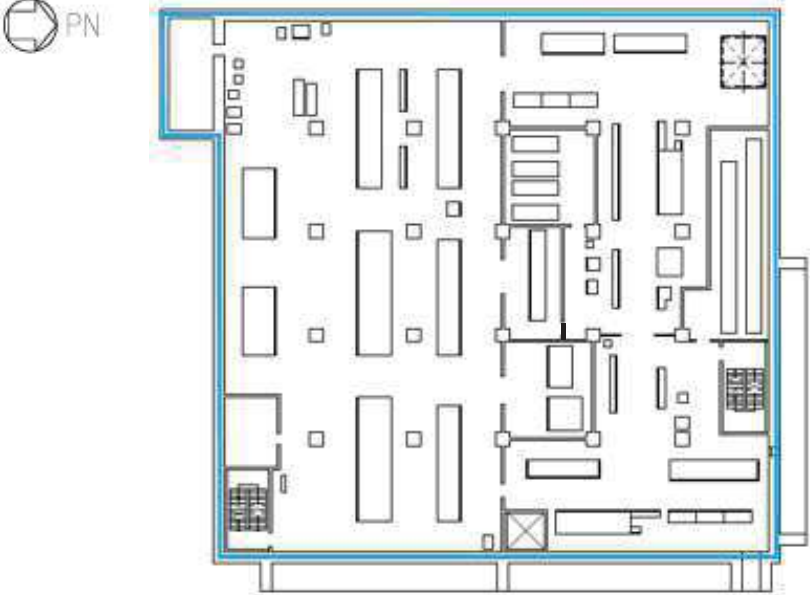
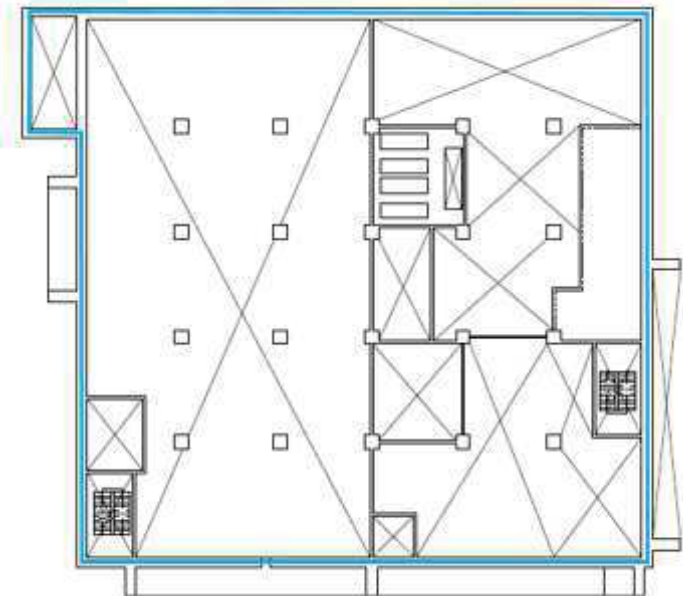
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  <p>制御建屋 0.P. 8.0 m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>制御建屋 MB1F</p> </div> <p>注：建屋内壁について、溢水影響評価にて伝播を許容しない箇所に貫通部止水処置を実施する。</p> <p style="text-align: right;">— : 貫通部止水処置を実施する壁面</p>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（9/14）


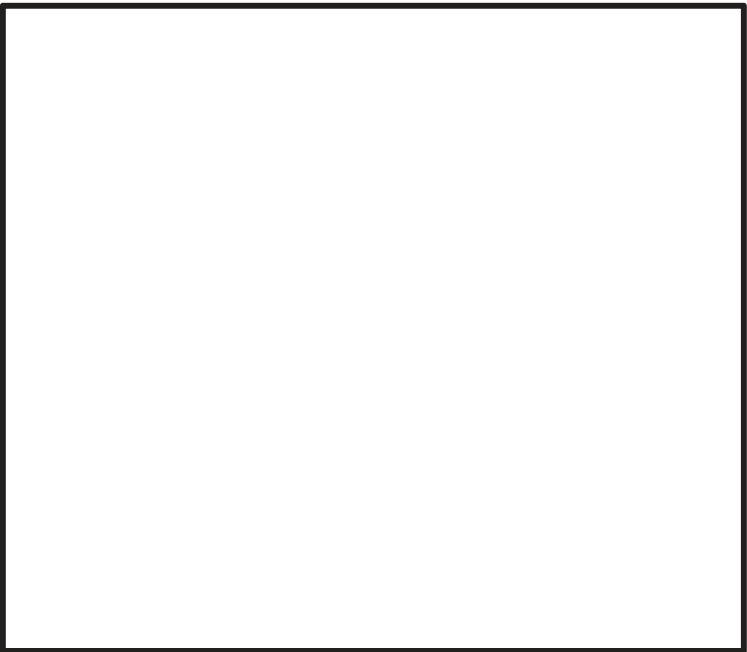
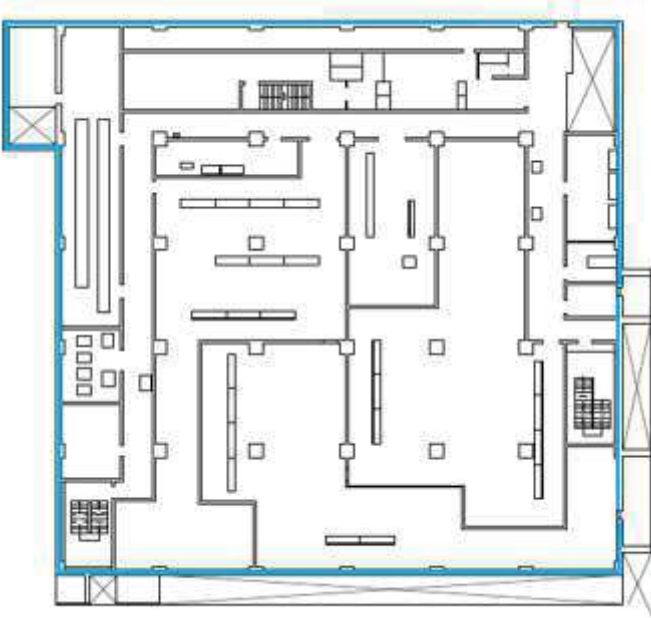
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>制御建屋 0. P. 15.0 m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>制御建屋 0. P. 19.5 m</p> </div> <p style="margin-top: 20px;">注：建屋内壁について、溢水影響評価にて伝播を許容しない箇所に貫通部止水処置を実施する。</p> <p style="text-align: right; margin-top: 20px;">— : 貫通部止水処置を実施する壁面</p>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（10/14）

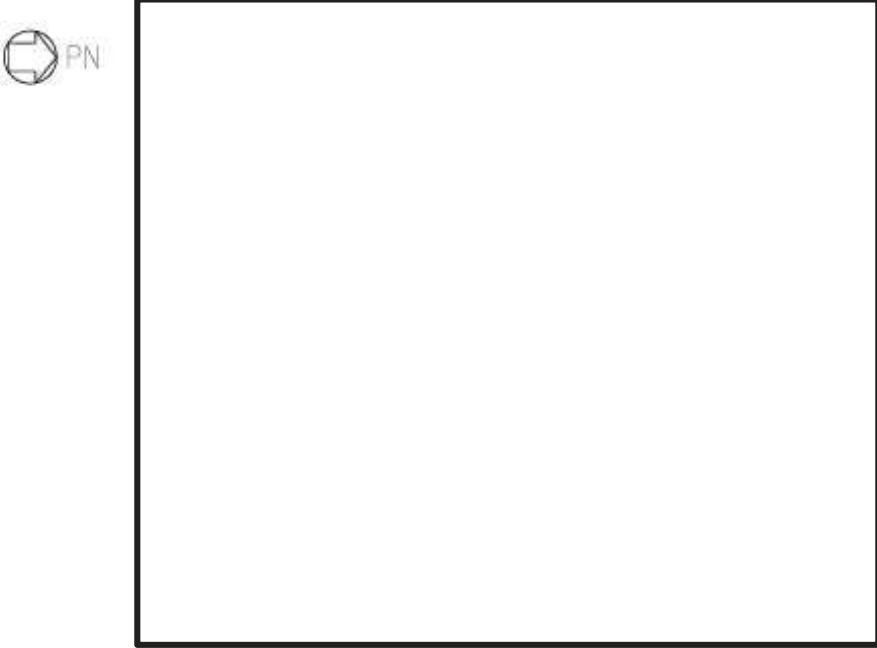
設備名称	配置図
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">貫通部止水処置</p>	<div style="text-align: center;">  <p>制御建屋 0.P. 23.5 m</p> </div> <p>注：建屋内壁について、溢水影響評価にて伝播を許容しない箇所に貫通部止水処置を実施する。</p> <p style="text-align: right;">— : 貫通部止水処置を実施する壁面</p>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（11/14）

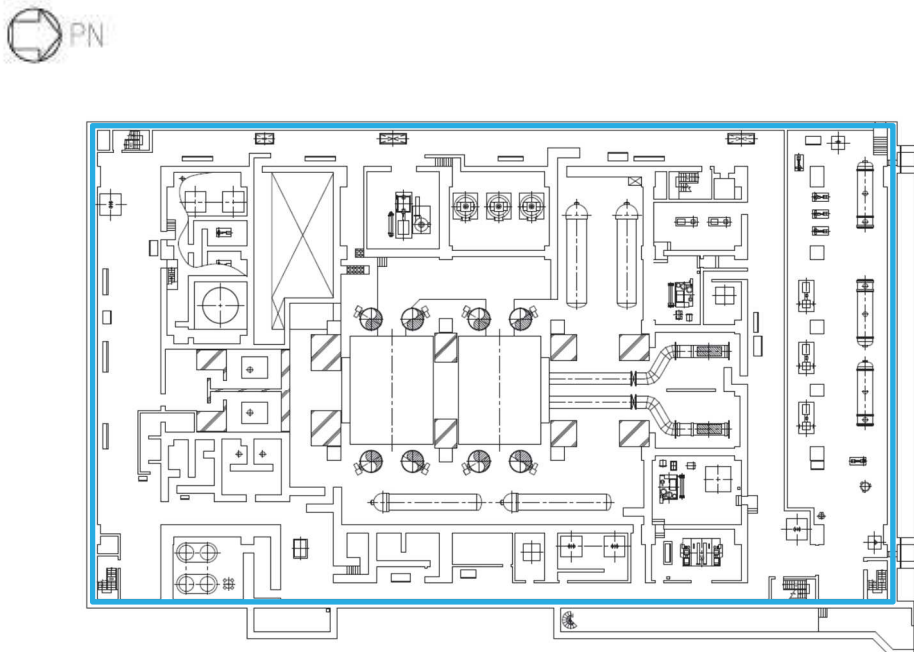
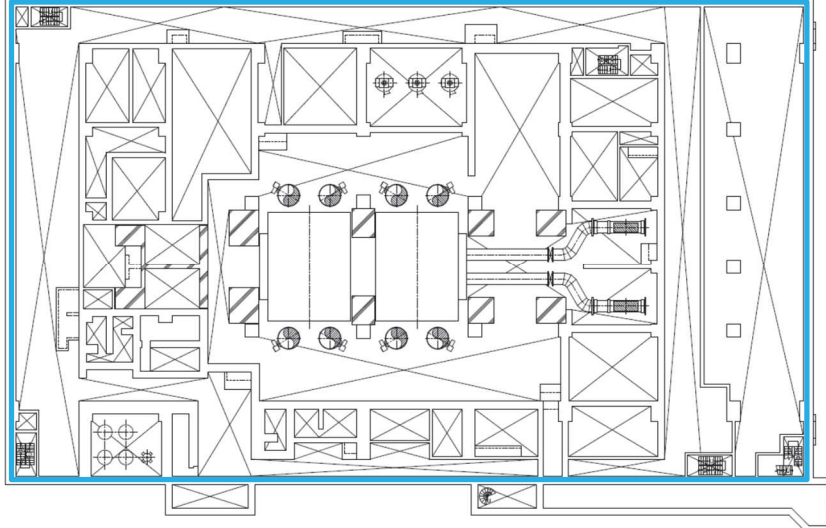
設備名称	配置図
<p>貫通部止水処置</p>	<div style="text-align: center;">  <p>タービン建屋 0.P.0.8 m</p>  <p>タービン建屋 MB2F</p> </div> <p>注：建屋内壁について、溢水影響評価にて伝播を許容しない箇所に貫通部止水処置を実施する。</p> <p style="text-align: right;">— : 貫通部止水処置を実施する壁面</p>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（12/14）

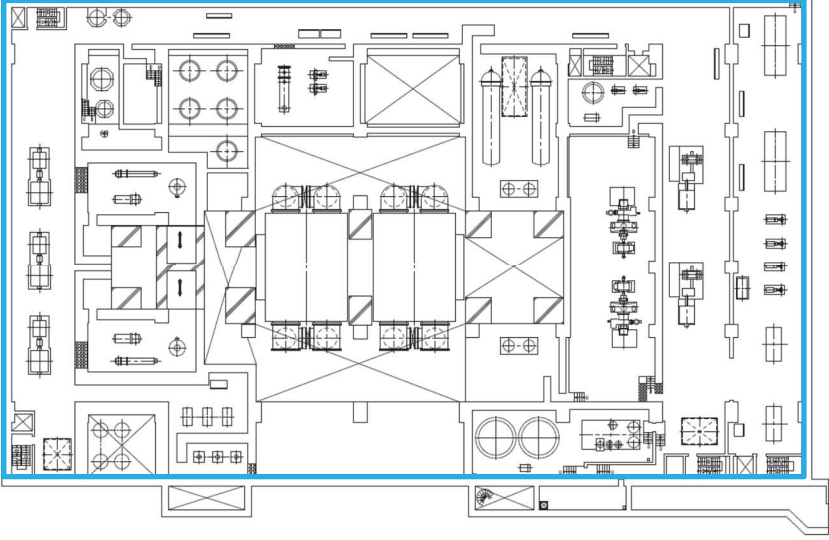
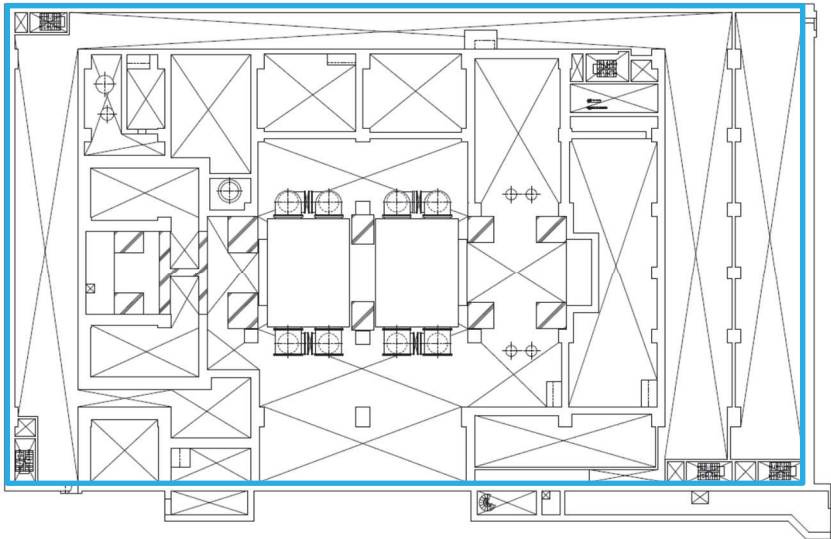
設備名称	配置図
<p>貫通部止水処置</p>	<div style="text-align: center;">  <p>タービン建屋 0.P. 7.6 m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>タービン建屋 MB1F</p> </div> <p>注：建屋内壁について、溢水影響評価にて伝播を許容しない箇所に貫通部止水処置を実施する。</p> <p style="text-align: right;">———：貫通部止水処置を実施する壁面</p>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（13/14）

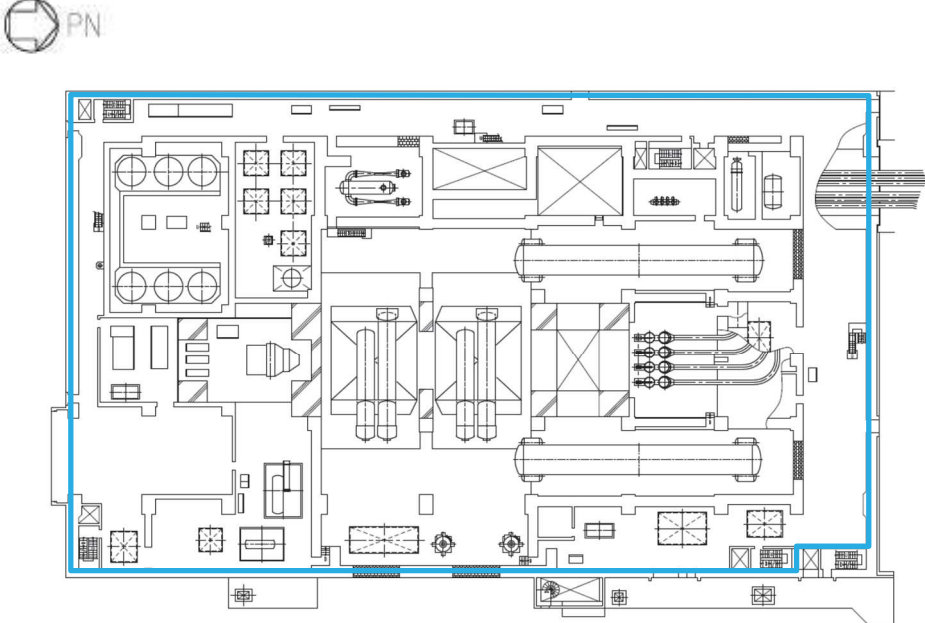
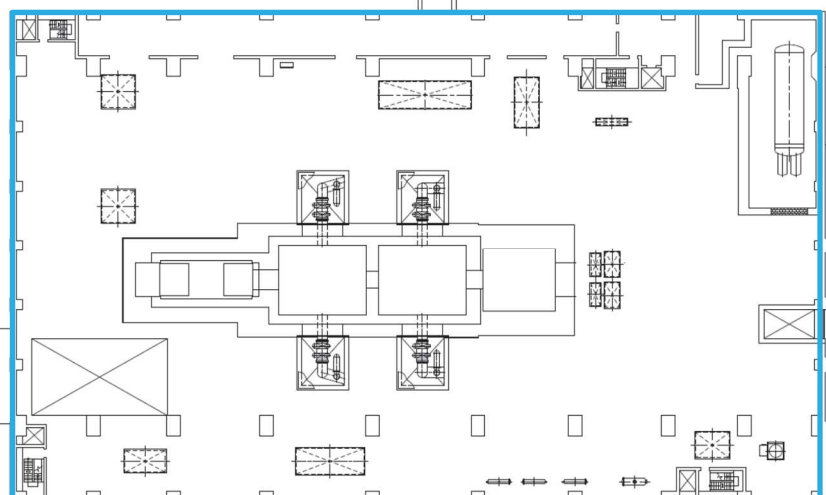
設備名称	配置図
貫通部止水処置	<div style="text-align: center;">  <p>タービン建屋 O.P. 15.0 m</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>タービン建屋 O.P. 24.8 m</p> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">注：建屋内壁について、溢水影響評価にて伝播を許容しない箇所に貫通部止水処置を実施する。</p> <p style="text-align: right; margin-top: 10px;"> ——：貫通部止水処置を実施する壁面 </p>

表 3-7 設置位置（貫通部止水処置）（14/14）

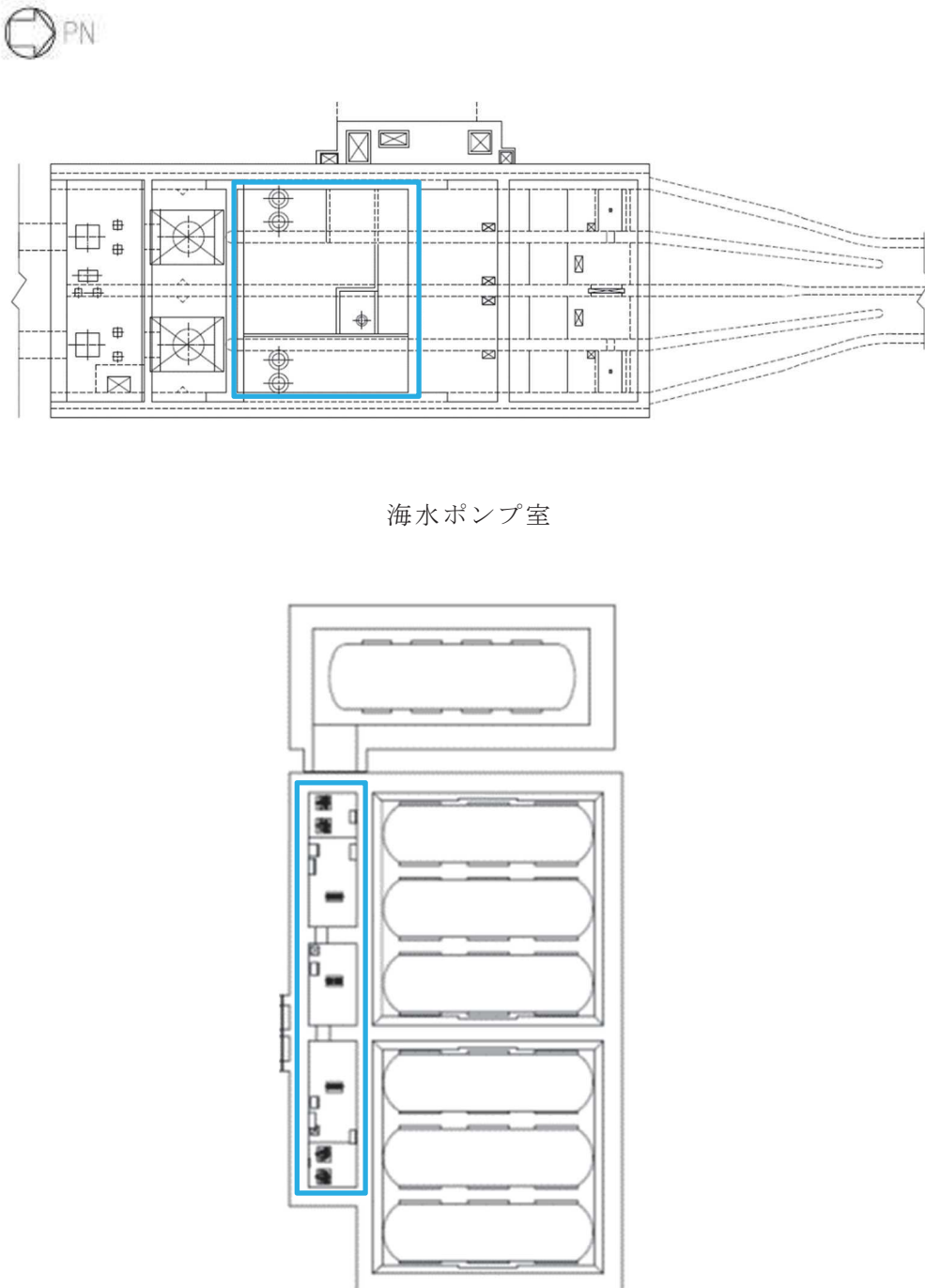
設備名称	配置図
<p>貫通部止水処置</p>	<div style="text-align: center;">  <p>海水ポンプ室</p> <p>軽油タンクエリア</p> <p>注：内壁について、溢水影響評価にて伝播を許容しない箇所に貫通部止水処置を実施する。</p> <p>— : 貫通部止水処置を実施する壁面</p> </div>

表 3-8 構造計画（貫通部止水処置）（1/2）

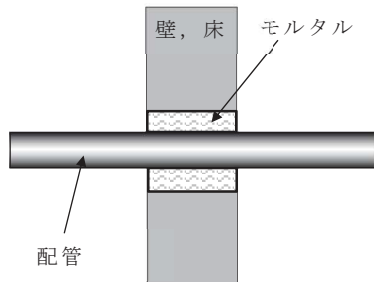
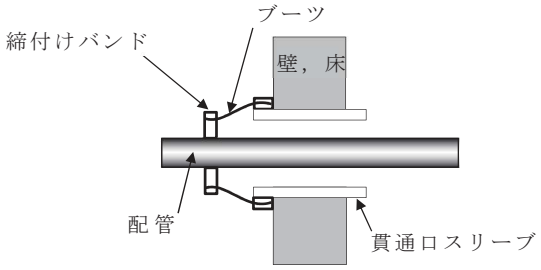
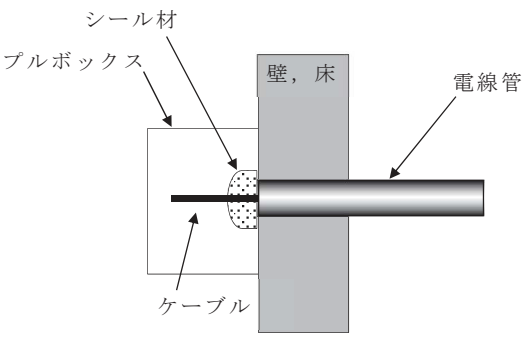
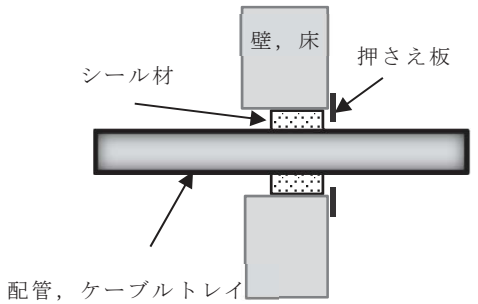
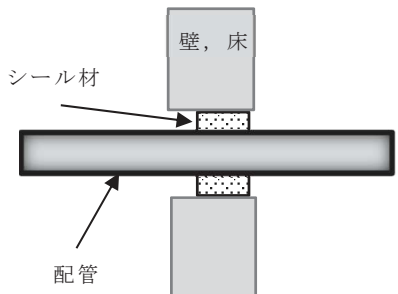
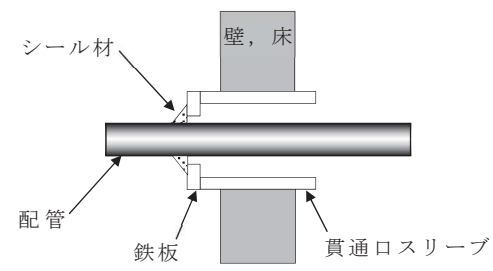
設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し、硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるように伸縮性ゴムのブーツを用い、壁面又は床面の貫通ロスリーブと配管を締付けバンドにて締結する。	
	充填タイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり、反応効果によって所定の強度を有する構造物が形成され貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	  <p style="text-align: center;">（押さえ板有り）</p>

表 3-8 構造計画（貫通部止水処置）（2/2）

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	充填タイプの シール材にて 構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり、反応効果によって所定の強度を有する構造物が形成され貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	 <p>(押さえ板無し)</p>
	コーキングタイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部と貫通部の隙間にコーキングする。施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、鉄板及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	

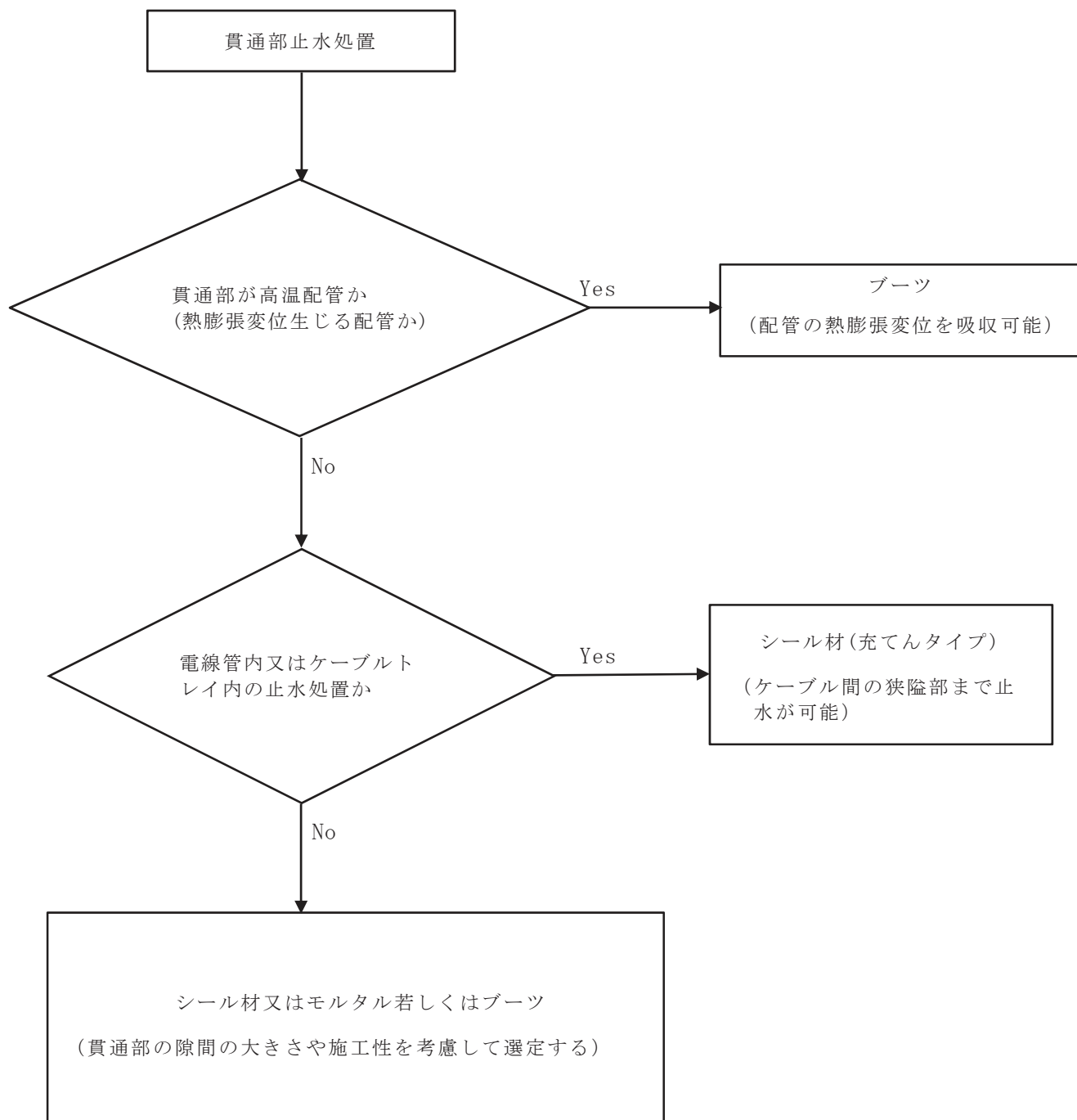


図 3-1 貫通部止水処置の選定フロー

4. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

溢水防護に係る施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを以下の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「4.2 許容限界」に示す。

4.1 荷重及び荷重の組合せ

(1) 荷重の種類

a. 自重 (D)

常時作用する荷重は、自重とする。

b. 溢水による静水圧荷重 (P_h)

発生を想定する溢水による静水圧荷重は、各施設の設置位置における溢水水位から算出した施設の溢水水位を用いて設計用の静水圧荷重(動水圧は考慮しない)として算出する。

(2) 荷重の組合せ

溢水防護に係る施設の強度評価では、発生を想定する溢水による静水圧荷重 (P_h) を考慮する。

表 4-1 溢水防護に係る施設の荷重の組合せ

評価対象施設	自重 (D)	静水圧荷重 (P_h)
水密扉	—	○
堰	—	○
逆流防止装置	○	○
貫通部止水処置	○	○

a. 溢水による静水圧荷重 (P_h)

溢水による静水圧荷重 (P_h) は、次式を用いて算出する。なお、荷重の算出に用いる密度 (ρ) は、想定される溢水源から純水又は海水とする。

溢水による静水圧荷重の説明図を図4-1に、強度評価に用いる溢水の密度を表4-2に示す。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

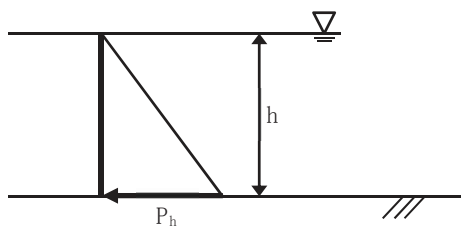


図4-1 溢水による静水圧荷重の説明図

表 4-2 強度評価に用いる溢水の密度

溢水の性状	溢水の密度 (kg/m ³)
純水	1000
海水	1030

4.2 許容限界

許容限界は、溢水による静水圧荷重を考慮した施設ごとの構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえて、評価対象部位ごとに設定する。

「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた、施設ごとの許容限界を表4-3に示す。

各施設の許容限界の詳細は、各計算書で評価対象部位の機能損傷モードを踏まえ評価項目を選定し、評価対象部位ごとに許容限界を設定する。

4.2.1 施設ごとの評価対象部位における許容限界

(1) 水密扉

水密扉の許容限界は、構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価対象部位ごとに設定する。

a. 扉板、芯材及び締付装置

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の構造健全性を維持する設計とするために、扉板、芯材及び締付装置が、おおむね弾性状態にとどまる

ことを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ、「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」（（社）日本建築学会，2005年改定）を踏まえた短期許容応力度及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格（2005年版（2007年追補版を含む。）） J S M E S N C 1－2005/2007」（（社）日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）に準じた供用状態Cの許容応力（許容応力状態Ⅲ_AS）を許容限界として設定する。

b. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の構造健全性を維持する設計とするために，アンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「各種合成構造設計指針・同解説」（（社）日本建築学会，2010年改定）に基づき算定し，許容限界として設定する。

(2) 堰

堰の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価対象部位ごとに設定する。

a. 止水板，梁材，柱材，斜材，接合ボルト及びベースプレート

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の構造健全性を維持する設計とするために，止水板，梁材，柱材，斜材，接合ボルト及びベースプレートが，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」（（社）日本建築学会，2005年改定）を踏まえた短期許容応力度を許容限界として設定する。

b. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の構造健全性を維持する設計とするために，アンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「各種合成構造設計指針・同解説」（（社）日本建築学会，2010年改定）に基づき算定し，許容限界として設定する。

(3) 逆流防止装置

逆流防止装置の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価対象部位ごとに設定する。

a. 弁本体及びフロートガイド

発生する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の構造健全性を維持する設計とするために、弁本体及びフロートガイドが、おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることから、「設計・建設規格」に準じた供用状態Cの許容応力（許容応力状態Ⅲ_AS）を許容限界として設定する。

b. フロート及び取付部

想定する溢水による静水圧荷重に対し、構造部材の健全性を保持する設計とするためにフロート及び取付部がおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから、水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

(4) 貫通部止水処置

貫通部止水処置の許容限界は、構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価対象部位ごとに設定する。

a. シール材

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、貫通口と貫通部との隙間に施工するシール材が、有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることから、水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

b. ブーツ

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、貫通口と貫通部との隙間に施工するブーツが、有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることから、水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

c. モルタル

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し、貫通口と貫通部との隙間に施工するモルタルが、おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから、許容限界は「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002年改定）に基づき算定し、許容限界荷重として設定する。

表 4-3 施設ごとの許容限界 (1/2)

施設名	荷重の 組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等 の状態	限界状態	
水密扉	P _h	扉板, 芯材	曲げ せん断	部材が弾性域 にとどまらず塑 性域に入る状 態	「鋼構造設計規準－許容応 力度設計法－」((社)日本 建築学会, 2005年改定)を 踏まえ短期許容応力度以下 とする。 「設計・建設規格」に準じた 供用状態C (許容応力状 態Ⅲ _A S) の許容応力以下 とする。
		締付装置	曲げ せん断 引張		
		アンカーボルト	引張 せん断		
堰	P _h	止水板	曲げ	部材が弾性域 にとどまらず塑 性域に入る状 態	「鋼構造設計規準－許容応 力度設計法－」((社)日本 建築学会, 2005年改定)を 踏まえ短期許容応力度以下 とする。
		梁材, 柱材	曲げ せん断		
		斜材	圧縮		
		接合ボルト	引張		
		ベースプレート	曲げ		
		アンカーボルト	引張 せん断		
					「各種合成構造設計指針・ 同解説」((社)日本建築学 会, 2010年改定)に基づき 算定した, 許容耐力以下と する。

表 4-3 施設ごとの許容限界(2/2)

施設名	荷重の 組合せ	評価対象部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等 の状態	限界状態	
逆流防止 装置	D+P _h	弁本体, フロートガイド	圧縮	部材が弾性 域にとどまら ず塑性域に 入る状態	「設計・建設規格」に準じた 供用状態C（許容応力状 態Ⅲ _A S）の許容応力以下 とする。
		フロート	圧縮	有意な漏え いに至る変 形	
		取付部	引張		
貫通部 止水処置	D+P _h	シール材	せん断 圧縮	有意な漏え いに至る変 形	水圧試験で確認した水圧以 下とする。
		ブーツ	引張		
		モルタル	せん断 圧縮	部材が弾性 域にとどまら ず塑性域に 入る状態	「コンクリート標準示方書[構 造性能照査編]」（(社)土木 学会, 2002年改定)に基づ いて算出される許容付着荷 重以下とする。

4.2.2 許容限界設定方法

(1) モルタルの許容限界式

a. 記号の定義

モルタルの許容限界式に用いる記号を，表 4-4 に示す。

表 4-4 モルタルの許容限界式に用いる記号

記号	単位	定義
f'_{bok}	N/mm ²	モルタルの付着強度
f'_{ck}	N/mm ²	モルタルの圧着強度
f_s	kN	モルタルの許容付着荷重
L	mm	モルタルの充てん深さ
S	mm	貫通物の周長
γ_c	—	材料定数

b. 許容限界式

「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」（（社）土木学会，2002年改定）より，貫通物がせん断荷重を受ける場合のモルタルの許容付着荷重を求める式を以下に示す。

$$f_s = f'_{bok} \cdot S \cdot L / \gamma_c$$

ここで，

$$f'_{bok} = 0.28 \cdot f'_{ck}{}^{2/3} \cdot 0.4$$

5. 強度評価方法

評価手法は，以下に示す解析法により，適用性に留意の上，規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

- ・定式化された評価式を用いた解析法

5.1 水密扉

(1) 評価方針

水密扉の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴，発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは，発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-1 に示す。

表 5-1 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
扉材，芯材	曲げ，せん断
締付装置	曲げ，せん断，引張
アンカーボルト	引張，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，添付書類「VI-3-別添3-4-1 水密扉の強度計算書（溢水）」に示す。

5.2 堰

(1) 評価方針

堰の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し、評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については、公称値とする。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-2 に示す。

表 5-2 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
止水板	曲げ
梁材，柱材	曲げ，せん断
斜材	圧縮
接合ボルト	引張
ベースプレート	曲げ
アンカーボルト	引張，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付書類「VI-3-別添3-4-2 堰の強度計算書」に示す。

5.3 逆流防止装置

(1) 評価方針

逆流防止装置の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し、評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については、公称値とする。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-3 に示す。

表 5-3 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
弁本体	圧縮
フロートガイド	圧縮
フロート	圧縮
取付部	引張

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付書類「VI-3-別添 3-4-3 逆流防止装置の強度計算書」に示す。

5.4 貫通部止水処置

(1) 評価方針

貫通部止水処置の評価を行う場合、以下の条件に従うものとする。

- a. 構造上の特徴、発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。
- b. 荷重及び荷重の組合せは、発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し、評価される最大荷重を設定する。
- c. 評価に用いる寸法については、公称値とする。

(2) 評価対象部位

評価対象部位及び評価内容を表 5-4 に示す。

表 5-4 評価対象部位及び評価内容

評価対象部位	評価内容
シール材	圧縮，せん断
ブーツ	引張
モルタル	圧縮，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については、添付書類「VI-3-別添 3-4-4 貫通部止水処置の強度計算書（溢水）」に示す。

6. 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) コンクリート標準示方書[構造性能照査編] ((社)土木学会，2002年制定)
- (2) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－ ((社)日本建築学会，1999年改定)
- (3) 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－ ((社)日本建築学会，2005年改定)
- (4) 各種合成構造設計指針・同解説 ((社)日本建築学会，2010年改定)
- (5) 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)
- (6) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984 ((社)日本電気協会)
- (7) 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)
- (8) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補版を含む。)) J S M E S N C 1 -2005/2007 ((社)日本機械学会)
- (9) 建築基準法・同施行令
- (10) 日本産業規格 (J I S)
- (11) 機械工学便覧 ((社)日本機械学会)

VI-3-別添 3-4 溢水への配慮が必要な施設の強度計算書

目 次

- VI-3-別添 3-4-2 堰の強度計算書
- VI-3-別添 3-4-3 逆流防止装置の強度計算書
- VI-3-別添 3-4-4 貫通部止水処置の強度計算書（溢水）

VI-3-別添 3-4-2 堰の強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 検討対象堰一覧	1
2.2 配置概要	2
2.3 構造計画	3
2.4 評価方針	4
2.5 適用規格	5
3. 強度評価方法	5
3.1 記号の説明	6
3.2 評価対象部位及び評価対象設備	9
3.3 荷重及び荷重の組合せ	12
3.4 許容限界	13
3.5 評価方法	15
3.6 評価条件	28
4. 評価結果	29

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設である浸水防止堰及び管理区域外伝播防止堰（以下「堰」という。）が、発生を想定する溢水による静水压荷重に対して、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 検討対象堰一覧

検討対象の堰の建屋ごとの数を表 2-1 に示す。

表 2-1 検討対象堰

設置建屋	対象堰数
原子炉建屋	33
制御建屋	5
タービン建屋	5
合計	43

2.2 配置概要

堰は，VI-1-1-8-5「溢水防護施設の詳細設計」の「4.1.3 浸水防止堰の設計方針」及び「4.1.4 管理区域外伝播防止水密扉及び管理区域外伝播防止堰の設計方針」に示すとおり，原子炉建屋，制御建屋，タービン建屋に設置する。

2.3 構造計画

堰の構造は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。

堰は、止水板、梁材及びアンカーボルトから構成され、アンカーボルトにより床面及び必要に応じ壁面と接合する構造とする。溢水経路となる開口部の形状によっては、柱材、斜材、接合ボルト及びベースプレートを用いる構造とする。

堰の構造計画を表 2-1 に概略構造図を図 2-1 に示す。

表 2-1 堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
鋼材で補強した止水板を床面及び必要に応じ壁面にアンカーボルトにて固定する。	止水板、梁材及びアンカーボルトから構成され、溢水経路となる開口部の形状によっては、柱材、斜材、接合ボルト及びベースプレートを用いて構成する。	図 2-1

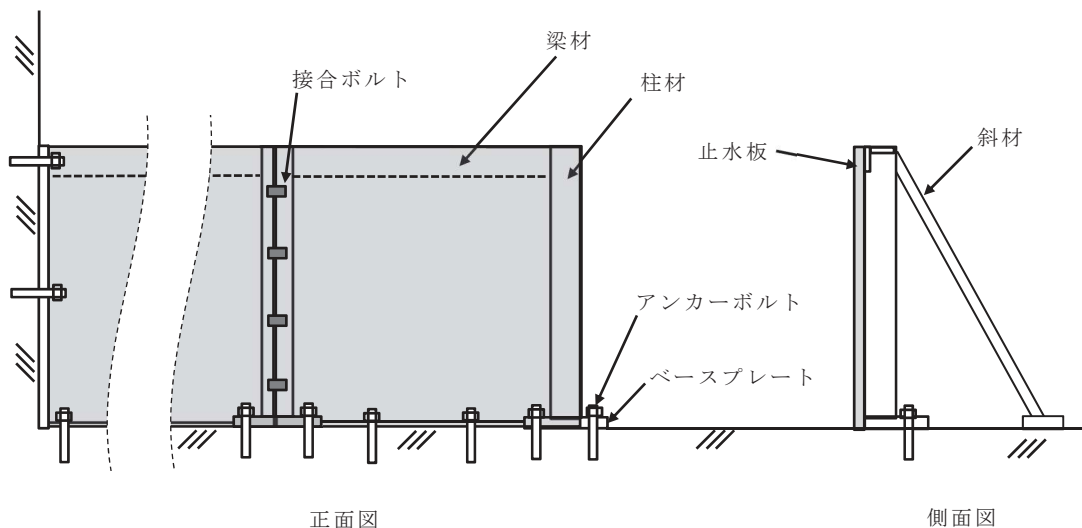


図 2-1 堰の概略構造図

2.4 評価方針

堰の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2 許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、堰の評価対象部位に作用する応力等が許容限界内にあることを、「3. 強度評価方法」に示す方法により、「3.6. 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「4. 評価結果」にて確認する。

堰の強度評価フローを図 2-2 に示す。

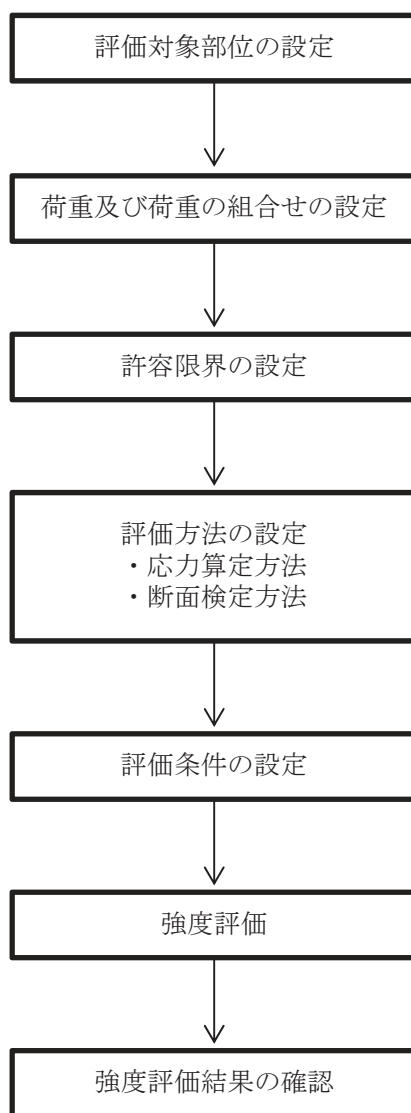


図2-2 堰の強度評価フロー

2.5 適用規格

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC 1 - 2005 ((社) 日本機械学会)
- ・機械工学便覧 ((社) 日本機械学会)
- ・鋼構造設計規準—許容応力度設計法— ((社) 日本建築学会)
- ・各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会)
- ・構造計算便覧 (産業図書)
- ・日本産業規格 (J I S)

3. 強度評価方法

堰の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

堰の強度評価は、「3.2 評価対象部位及び評価対象設備」に示す評価対象部位に対し、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.4 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「3.5 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

3.1 記号の説明

堰の強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 堰の強度評価に用いる記号 (1/3)

記号	単位	定義
ρ_0	kg/m ³	溢水の密度
g	m/s ²	重力加速度
H	mm	堰の高さ
P_h	N/mm ²	静水圧荷重
σ_p	N/mm ²	止水板の曲げ応力度
t	mm	止水板の板厚
a	mm	止水板の長辺方向の幅
β	—	長方形板の応力係数
h_1	mm	評価する止水板の最下端の高さ
h_2	mm	評価する梁材の最下端の高さ
σ_f	N/mm ²	梁材の曲げ応力度
M_f	N・mm	梁材の曲げモーメント
τ_f	N/mm ²	梁材のせん断応力度
Q_f	N	梁材の発生せん断力
σ_{ef}	N/mm ²	梁材の組合せ応力度
a'	mm	梁材 1 本あたりが負担する止水板の幅
L'	mm	評価する梁材の長さ
Z	mm ³	梁材の断面係数
A_s	mm ²	梁材のせん断断面積
P_0	N	アンカーボルトに生じる引張に対する短期許容荷重
V_0	N	アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重
T	N	床側アンカーボルト発生引張力
M_h	N・mm	転倒モーメント
S	N	床側アンカーボルト発生せん断力
R_s	N	堰下端の発生せん断力
q	N	壁側アンカーボルト発生せん断力
R_q	N	片側の壁の発生せん断力
n_1	本	引張を受ける床側アンカーボルト本数
n_2	本	せん断を受ける床側アンカーボルト本数

表 3-1 堰の強度評価に用いる記号 (2/3)

記号	単位	定義
n_3	本	ベースプレートのアンカーボルト本数
e	mm	床側アンカーボルト位置からの縁端距離
W_f	N/mm	梁材の平均水圧による分布荷重
W_{f1}	N/mm	接合ボルトの平均水圧による分布荷重
W_{f2}	N/mm	柱材の平均水圧による分布荷重
W_{f3}	N/mm	堰下端の平均水圧による分布荷重
σ_Y	N/mm ²	柱材の曲げ応力度
M_Y	N・mm	柱材の曲げモーメント
τ_Y	N/mm ²	柱材のせん断応力度
Q_Y	N	柱材の発生せん断力
σ_{eY}	N/mm ²	柱材の組合せ応力度
L	mm	評価する堰の全幅
B	mm	評価する堰の側面全幅
L_1'	mm	柱材 1 本あたりが負担する柱材及び止水板の幅
L_2'	mm	斜材 1 本あたりが負担する斜材及び止水板の幅
L_3'	mm	接合ボルトが負担する堰の幅
Z_Y	mm ³	柱材の断面係数
A_Y	mm ²	柱材のせん断断面積
σ_{ps}	N/mm ²	ベースプレートの曲げ応力度
L_{ps}	mm	ベースプレートのレバー長さ
Z_{ps}	mm ³	ベースプレートの断面係数
σ_{pc}	N/mm ²	斜材の圧縮応力度
P_c	N	斜材の発生圧縮力
A	mm ²	斜材の断面積
θ	deg	止水板と斜材のなす角度 ($\sin \theta = C/L_2$)
L_2	mm	評価する斜材の長さ
C	mm	止水板と斜材付け根部までの距離
N	本	せん断を受ける片側の壁側アンカーボルト本数
σ_B	N/mm ²	接合ボルトの曲げ応力度
F_B	N	接合ボルトに加わる引張力

表 3-1 堰の強度評価に用いる記号 (3/3)

記号	単位	定義
M_B	N・mm	接合ボルトの曲げモーメント
e_B	mm	接合ボルト位置からの縁端距離
N_B	本	接合ボルト本数
A_B	mm ²	接合ボルトの断面積

3.2 評価対象部位及び評価対象設備

評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて、「2.3 構造計画」に示す構造計画にて設定している構造に基づき、溢水に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。また、結果が厳しい評価対象部位を有する堰を代表として評価する。

評価対象部位は堰に作用する静水圧荷重が、止水板、梁材、柱材及び斜材から接合ボルト、ベースプレート及びアンカーボルトへ伝わり、アンカーボルトを介し、躯体に伝わることから、止水板、梁材、柱材、斜材、接合ボルト、ベースプレート及びアンカーボルトとする。評価の対象となる堰の選定結果を表 3-2 に示す。

表 3-2 評価対象とする堰の選定結果(1/3)

設置建屋	設置床高さ(m)	設備名称	溢水水位床上(m)	堰高さ床上(m)	評価対象設備(代表)
原子炉建屋	0. P. 33. 20	R-01階段浸水防止堰(地上3階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 32. 30	R-02階段浸水防止堰(地上3階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	R-01階段浸水防止堰(地上2階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	FCS再結合装置(A)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	FCS再結合装置(B)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	R-02階段浸水防止堰(地上2階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	SGTSヒータユニット(B)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	CAMSラック(B)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	SGTSヒータユニット(A)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	CAMSラック(A)室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	SGTSフィルタユニット室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	R-01階段浸水防止堰(地上1階)	0. 3	0. 4以上	

表 3-2 評価対象とする堰の選定結果(2/3)

設置建屋	設置床 高さ(m)	設備名称	溢水水位 床上 (m)	堰高さ 床上 (m)	評価対象 設備 (代表)
原子炉 建屋	0. P. 15. 00	R-02階段浸水防止堰 (地上1階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	バルブ(B)室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	バルブ(A)室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	FPCポンプ室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	R-01階段浸水防止堰 (地下1階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	R-02階段浸水防止堰 (地下1階)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	MSトンネル室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	RCIC MCC室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	TIP駆動装置室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. -0. 80	復水補給水ポンプ室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. -0. 80	CUW配管・バルブ室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 24. 80	原子炉補機(A)室送風 機室-原子炉補機 (HPCS)室送風機室浸水 防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 24. 80	原子炉補機(HPCS)室送 風機室-原子炉補機(B) 室送風機室および送風 機エリア浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 24. 80	2F通路浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	区分Ⅰ・Ⅲ非所用D/G 制御盤室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	D/G補機(A)室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 6. 00	区分ⅢHPCS電気品室浸 水防止堰	0. 3	0. 4以上	

表 3-2 評価対象とする堰の選定結果(3/3)

設置建屋	設置床 高さ(m)	設備名称	溢水水位 床上 (m)	堰高さ 床上 (m)	評価対象 設備 (代表)
原子炉 建屋	0. P. -0. 80	静止型PLRポンプ電源 装置室浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. -0. 80	IA・SA室および 通路浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	CAMS(A)室空調機 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 22. 50	CAMS(B)室空調機 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
制御 建屋	0. P. 19. 50	区分 I ケーブル処理室 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 19. 50	常用系ケーブル処理室 浸水防止堰 (No. 2)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 19. 50	常用系ケーブル処理室 浸水防止堰 (No. 1)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 1. 50	中央制御室再循環フイ ルタ装置浸水防止堰	0. 6	0. 7以上	○*
	0. P. 19. 50	ハッチ上部スペース 浸水防止堰	0. 3	0. 4以上	
タービン 建屋	0. P. 15. 00	タービン建屋管理区域 外伝播防止堰 (No. 1)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	タービン建屋管理区域 外伝播防止堰 (No. 2)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	タービン建屋管理区域 外伝播防止堰 (No. 3)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 15. 00	タービン建屋管理区域 外伝播防止堰 (No. 4)	0. 3	0. 4以上	
	0. P. 7. 60	HNCW冷凍機・ポンプ室 管理区域外伝播防止堰	0. 3	0. 4以上	

注記* : 最も評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.3.1 溢水による静水圧荷重

溢水による静水圧荷重として、発生を想定する溢水による浸水高さを用いた静水圧を考慮する。溢水による静水圧荷重は次式により算定する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H$$

3.3.2 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重を踏まえて設定する。荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

強度評価の対象施設	荷重の組合せ
堰	P_h

3.4 許容限界

堰の許容限界は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している許容限界を踏まえて、「3.2 評価対象部位及び評価対象施設」にて設定している評価対象部位ごとに、機能損傷モードを考慮し短期許容応力度または、短期許容荷重とする。代表として評価する堰の許容限界を以下に示す。

(1) 止水板

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき算定した短期許容応力度を表 3-4 に示す。

表 3-4 止水板の短期許容応力度

材料	短期許容応力度
	曲げ (N/mm ²)
SS400	235

(2) 梁材，柱材及び斜材

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき算定した短期許容応力度を表 3-5 に示す。

表 3-5 梁材，柱材及び斜材の短期許容応力度

材料	短期許容応力度		
	圧縮又は曲げ (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	組合せ (N/mm ²)
SS400	235	135	235

(3) 接合ボルト

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づき算定した短期許容応力度を表 3-6 に示す。

表 3-6 接合ボルトの短期許容応力度

材料	短期許容応力度
	引張 (N/mm ²)
SS400	240

(4) アンカーボルト

「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定した短期許容荷重を表 3-7 に示す。

なお、引張力を受ける場合においては、アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重とコンクリート躯体のコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては、アンカーボルト母材のせん断強度より決まる許容荷重、定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して、いずれか小さい値を採用する。

表 3-7 アンカーボルトの短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張 (N)	せん断 (N)
SS400	10000	23800

3.5 評価方法

堰の強度評価は、「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

3.5.1 堰の評価方法

静水圧荷重を受ける平板モデル、はりモデルに置き換え、止水板、梁材、柱材、斜材、接合ボルト、ベースプレート及びアンカーボルトに発生する応力を算定し、各許容限界との比較により強度評価を行う。

(1) 応力算定

静水圧荷重を受ける止水板に生じる曲げ応力度、梁材及び柱材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度、斜材に生じる圧縮応力度、接合ボルトに生じる引張応力度、床アンカーボルトに生じる引張力及びせん断力、壁アンカーボルトに生じるせん断力及びベースプレートに生じる曲げ応力度に対する確認を行うに当たり、各荷重により生じる応力を算定する。堰に生じる力の概念図を図 3-1～図 3-8 に示す。

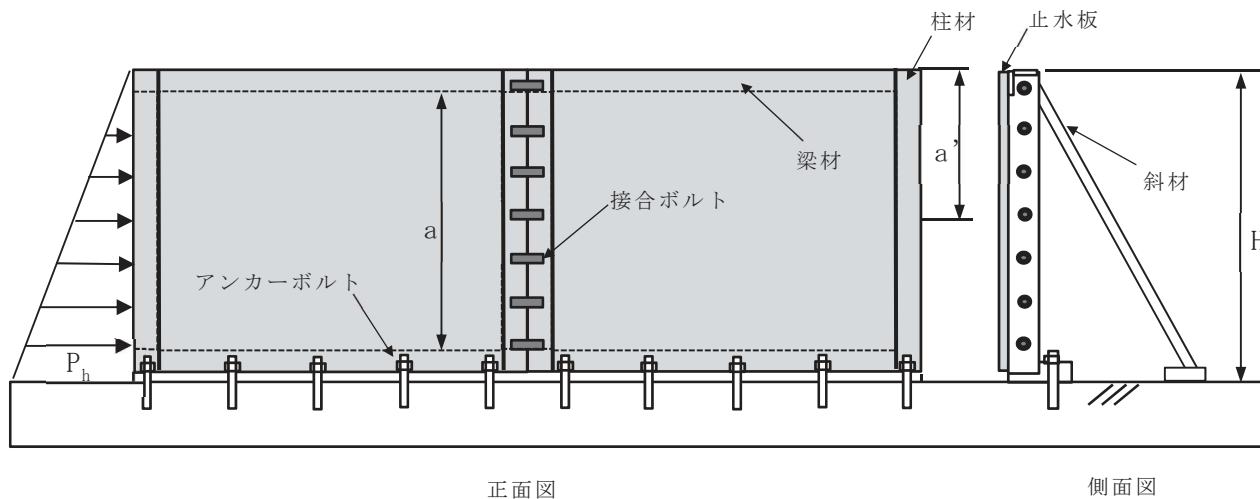


図 3-1 溢水時の堰に生じる力の断面概念図

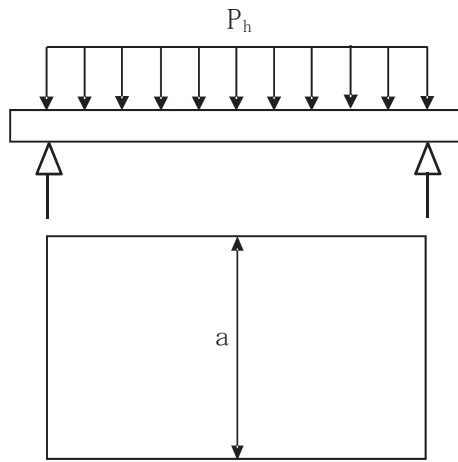


図 3-2 溢水時の止水板に生じる力の断面概念図（等分布荷重，4 辺支持）

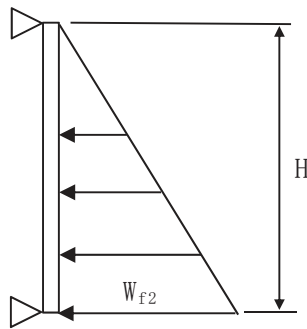


図 3-3 溢水時の柱材に生じる力の断面概念図（直線分布荷重，両端支持）

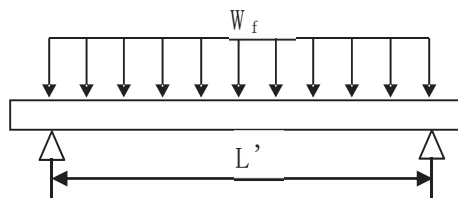


図 3-4 溢水時の梁材に生じる力の断面概念図（等分布荷重，両端支持）

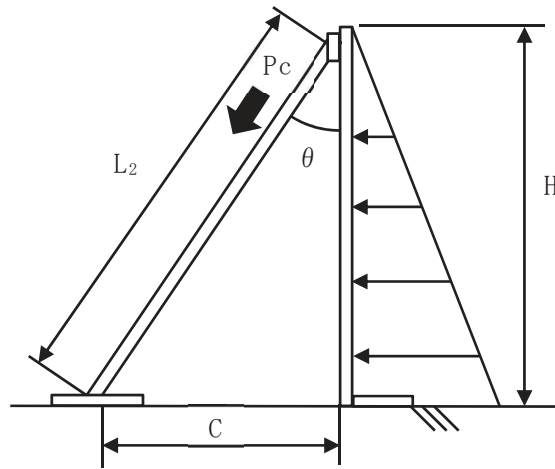


図 3-5 溢水時の斜材に生じる力の断面概念図

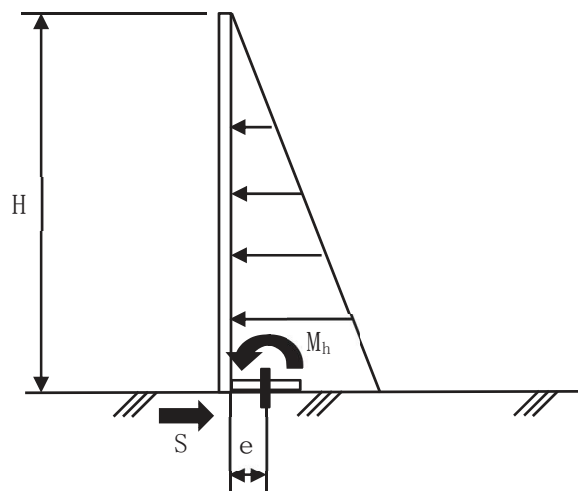


図 3-6 溢水時の床側アンカーボルトに生じる力の断面概念図

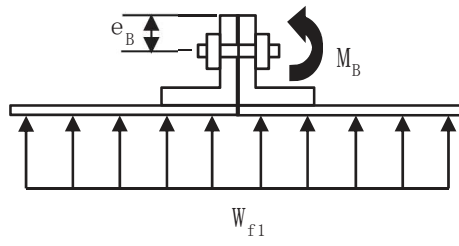


図 3-7 溢水時の接合ボルトに生じる力の断面概念図

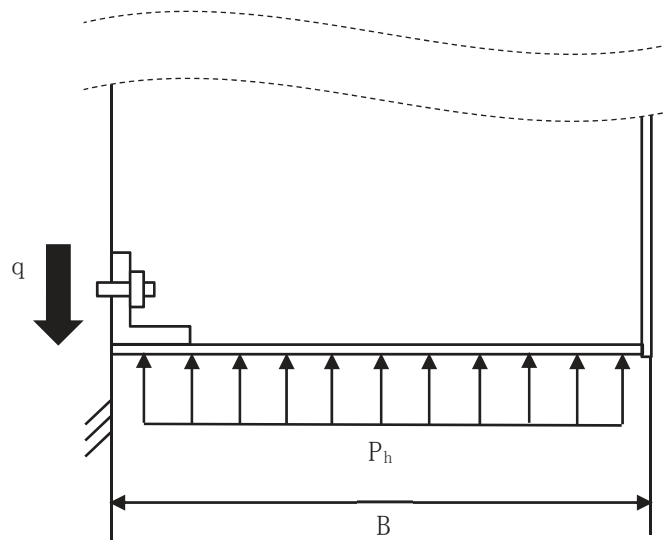


図 3-8 溢水時の壁側アンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. 止水板

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

止水板に作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot (H - h_1) \cdot 10^{-9}$$

P_h : 止水板最下端の静水圧荷重 (N/mm²)

ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (mm)

h_1 : 評価する止水板の最下端の高さ (mm)

(b) 曲げ応力度に対する検定

止水板に生じる曲げ応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、止水板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_p = \beta \cdot P_h \cdot a^2 / t^2$$

σ_p : 止水板の曲げ応力度 (N/mm²)

β : 長方形板の最大応力の係数

P_h : 止水板最下端の静水圧荷重 (N/mm²)

a : 止水板の長辺方向の幅 (mm)

t : 止水板の板厚 (mm)

b. 柱材

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

柱材に作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

P_h : 止水堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)

ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (mm)

(b) 平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式より算出する。

$$W_{f2} = P_h \cdot L_1'$$

W_{f2} : 柱材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)

L_1' : 柱材 1 本あたりが負担する柱材及び止水板の幅 (mm)

(c) 曲げ応力度に対する検定

柱材に生じる曲げ応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、柱材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_Y = M_Y / Z_Y$$

$$M_Y = (W_{f2} \cdot H^2) / 6$$

σ_Y : 柱材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_Y : 柱材の曲げモーメント (N・mm)

Z_Y : 柱材の断面係数 (mm³)

W_{f2} : 柱材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

H : 堰の高さ (mm)

(d) せん断応力度に対する検定

柱材に生じるせん断応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、柱材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_Y = Q_Y / A_Y$$

$$Q_Y = (W_{f2} \cdot H) / 2$$

τ_Y : 柱材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_Y : 柱材の発生せん断力 (N)

A_Y : 柱材のせん断断面積 (mm²)

W_{f2} : 柱材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

H : 堰の高さ (mm)

(e) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

柱材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「鋼構造設計規
準－許容応力度設計法－」に基づく次式により算出し、柱材の短期許容組
合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{eY} = \sqrt{\sigma_Y^2 + 3 \cdot \tau_Y^2}$$

σ_{eY} : 柱材の組合せ応力度 (N/mm²)

σ_Y : 柱材の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_Y : 柱材のせん断応力度 (N/mm²)

c. 梁材

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

梁材に作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot (H - h_2) \cdot 10^{-9}$$

P_h : 梁材最下端の静水圧荷重 (N/mm²)

ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (mm)

h_2 : 評価する梁材の最下端の高さ (mm)

(b) 平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式より算出する。

$$W_f = P_h \cdot a'$$

W_f : 梁材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

P_h : 梁材最下端の静水圧荷重 (N/mm²)

a' : 梁材 1 本あたりが負担する止水板の幅 (mm)

(c) 曲げ応力度に対する検定

梁材に生じる曲げ応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、梁材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_f = M_f / Z$$

$$M_f = (W_f \cdot L'^2) / 8$$

σ_f : 梁材の曲げ応力度 (N/mm²)

M_f : 梁材の曲げモーメント (N・mm)

W_f : 梁材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

L' : 評価する梁材の長さ (mm)

Z : 梁材の断面係数 (mm³)

(d) せん断応力度に対する検定

梁材に生じるせん断応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、梁材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_f = Q_f / As$$

$$Q_f = (W_f \cdot L') / 2$$

τ_f : 梁材のせん断応力度 (N/mm²)

Q_f : 梁材の発生せん断力 (N)

As : 梁材のせん断断面積 (mm²)

W_f : 梁材の平均水圧による分布荷重 (N/mm)

L' : 評価する梁材の長さ (mm)

(e) 曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

梁材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－」に基づく次式により算定し、梁材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_f^2}$$

σ_{ef} : 梁材の組合せ応力度 (N/mm²)

σ_f : 梁材の曲げ応力度 (N/mm²)

τ_f : 梁材のせん断応力度 (N/mm²)

d. 斜材

(a) 単位長さ当たりの水圧荷重

斜材に作用する単位長さ当たりの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)

ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

H : 堰の高さ (mm)

(b) 圧縮応力度に対する検定

斜材に加わる圧縮応力度は次式より算出し、斜材の短期許容圧縮応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{pc} = P_c / A$$

$$P_c = (P_h \cdot L_2' \cdot H / 6) / \sin \theta$$

$$\sin \theta = C / L_2$$

σ_{pc} : 斜材の圧縮応力度 (N/mm²)

P_c : 斜材の発生圧縮力 (N)

A : 斜材の断面積 (mm²)

P_h : 止水堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)

L_2' : 斜材 1 本あたりが負担する斜材及び止水板の幅 (mm)

H : 堰の高さ (mm)

C : 止水板と斜材付け根部までの距離 (mm)

L_2 : 評価する斜材の長さ (mm)

e. 接合ボルト

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

接合ボルトに作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

- P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)
- ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)
- g : 重力加速度 (m/s²)
- H : 堰の高さ (mm)

(b) 平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式より算出する。

$$W_{f1} = (P_h \cdot H) / 2$$

- W_{f1} : 接合ボルトの平均水圧による分布荷重 (N/mm)
- P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)
- H : 堰の高さ (mm)

(c) 引張応力度に対する検定

接合ボルトに生じる引張応力度は「機械工学便覧」に基づき次式より算出し、接合ボルトの短期許容引張応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_B = F_B / A_B$$

$$F_B = M_B / (e_B \cdot N_B)$$

$$M_B = (W_{f1} \cdot L_3'^2) / 8$$

- σ_B : 接合ボルトの引張応力度 (N/mm²)
- F_B : 接合ボルトに加わる引張力 (N)
- M_B : 接合ボルトの曲げモーメント (N・mm)
- e_B : 接合ボルト位置からの縁端距離 (mm)
- W_{f1} : 接合ボルトの平均水圧による分布荷重 (N/mm)
- N_B : 接合ボルト本数 (本)
- A_B : 接合ボルトの断面積 (mm²)
- L_3' : 接合ボルトが負担する堰の幅 (mm)

f. 床側アンカーボルト

(a) 単位長さ当りの静水圧荷重

床側アンカーボルトに作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

- P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)
 ρ_0 : 溢水の密度 (kg/m³)
 g : 重力加速度 (m/s²)
 H : 堰の高さ (mm)

(b) 平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式より算出する。

$$W_{f3} = P_h \cdot L$$

- W_{f3} : 堰下端の平均水圧による分布荷重 (N/mm)
 P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)
 L : 評価する堰の全幅 (mm)

(c) 引張力に対する検定

床側アンカーボルトに作用する曲げモーメントを「機械工学便覧」に基づき算出する。さらに、曲げモーメントより引張力を算出し、アンカーボルトの短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$$T = M_h / (n_1 \cdot e)$$

$$M_h = (W_{f3} \cdot H^2) / 6$$

- T : 床側アンカーボルト発生引張力 (N)
 M_h : 転倒モーメント (N・mm)
 n_1 : 引張を受ける床側アンカーボルト本数 (本)
 e : 床側アンカーボルト位置からの縁端距離 (mm)
 W_{f3} : 堰下端の平均水圧による水平分布荷重 (N/mm)
 H : 堰高さ (mm)

(d) せん断力に対する検定

床側アンカーボルトに作用するせん断力は次式より算出し、アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$S = R_s / n_2$$

$$R_s = (W_{f3} \cdot H) / 2$$

- S : 床側アンカーボルト発生せん断力 (N)
 R_s : 堰下端の発生せん断力 (N)
 n₂ : せん断を受ける床側アンカーボルト本数 (本)
 W_{f3} : 堰下端の平均水圧による水平分布荷重 (N/mm)
 H : 堰高さ (mm)

- (e) 引張力とせん断力の組合せに対する検定
 組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式により算出し、1以下であることを確認する。

$$(T / P_0)^2 + (S / V_0)^2 \leq 1$$

- T : アンカーボルトの発生引張力 (N)
 P₀ : アンカーボルトの引張りに対する短期許容荷重 (N)
 S : アンカーボルトの発生せん断力 (N)
 V₀ : アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重 (N)

g. 壁側アンカーボルト

(a) 静水圧荷重

壁に平行方向に作用する単位長さ当りの静水圧荷重は次式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-9}$$

- P_h : 止水堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)
 ρ₀ : 溢水の密度 (kg/m³)
 g : 重力加速度 (m/s²)
 H : 堰の高さ (mm)

(b) せん断力に対する検定

アンカーボルトに作用するせん断力は次式より算出し、アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$q = R_q / N$$

$$R_q = ((P_h \cdot H / 2) \cdot B) / 2$$

- q : 壁側アンカーボルト発生せん断力 (N)
 R_q : 片側の壁の発生せん断力 (N)
 N : せん断を受ける片側の壁側アンカーボルト本数 (本)
 P_h : 堰下端の静水圧荷重 (N/mm²)
 H : 堰の高さ (mm)
 B : 堰の側面全幅 (mm)

h. ベースプレート

(a) 曲げ応力度に対する検定

ベースプレートに作用する曲げ応力度は次式より算出し、ベースプレートの短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{ps} = T \cdot n_3 \cdot L_{ps} / Z_{ps}$$

- σ_{ps} : ベースプレートの曲げ応力度 (N/mm²)
 T : アンカーボルトの発生引張力 (N)
 n_3 : ベースプレートのアンカーボルト本数 (本)
 L_{ps} : ベースプレートレバー長さ (mm)
 Z_{ps} : ベースプレートの断面係数 (mm³)

3.6 評価条件

評価対象設備である堰（中央制御室再循環フィルタ装置浸水防止堰）の強度評価に用いる入力値を表 3-7 示す。

表 3-7 堰の強度評価に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
ρ_0	kg/m ³	溢水の密度	1000
g	m/s ²	重力加速度	9.80665
H	mm	堰の高さ	1100
β	—	長方形板の応力係数	0.5
a	mm	止水板の長辺方向の幅	800
t	mm	止水板の厚さ	4.5
a'	mm	梁材 1 本あたりが負担する止水板の幅	550
Z	mm ³	梁材の断面係数	30100
A _s	mm ²	梁材のせん断断面積	1200
L'	mm	評価する梁材の長さ	2450
A	mm ²	斜材の断面積	2856
L ₂	mm	評価する斜材の長さ	1220
L ₂ '	mm	斜材 1 本あたりが負担する斜材及び止水板の幅	2450
C	mm	止水板と斜材付け根部までの距離	525
P ₀	N	アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重	10000
V ₀	N	アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重	23800
n ₁	本	引張を受ける床側アンカーボルト本数	4
n ₂	本	せん断を受ける床側アンカーボルト本数	5
N	本	せん断を受ける片側の壁側アンカーボルト本数	2
L	mm	評価する堰の全幅	1730
e	mm	床側アンカーボルト位置からの縁端距離	700
B	mm	評価する堰の側面全幅	635
h ₁	mm	評価する止水板の最下端高さ	0
h ₂	mm	評価する梁材の最下端高さ	0
e _B	mm	接合ボルト位置からの縁端距離	50
N _B	本	接合ボルト本数	7
A _B	mm ²	接合ボルトの断面積	84.3
L ₃ '	mm	接合ボルトが負担する堰の幅	2450

4. 評価結果

堰の強度評価結果を表 4-1 に示す。

堰の止水板，梁材，斜材，接合ボルト，床アンカーボルト及び壁アンカーボルトに発生する応力発生値は許容限界値以下であり，静水圧荷重に対して止水性を維持するために十分な構造強度を有することを確認した。

表 4-1 堰の強度評価結果

評価対象設備	評価対象部位		発生値		許容限界		検定値
			(荷重又は発生応力)				
中央制御室再循環フィルタ装置浸水防止堰	止水板	曲げ	171	N/mm ²	235	N/mm ²	0.73 < 1.0
	梁材	曲げ	148	N/mm ²	235	N/mm ²	0.63 < 1.0
		せん断	7	N/mm ²	135	N/mm ²	0.06 < 1.0
		組合せ	149	N/mm ²	235	N/mm ²	0.64 < 1.0
	斜材	圧縮	4	N/mm ²	235	N/mm ²	0.02 < 1.0
	接合ボルト	引張	151	N/mm ²	240	N/mm ²	0.63 < 1.0
	床アンカーボルト	引張	1369	N	10000	N	0.14 < 1.0
		せん断	2090	N	23800	N	0.09 < 1.0
		組合せ	—	—	—	—	0.03 < 1.0
	壁アンカーボルト	せん断	943	N	23800	N	0.04 < 1.0

VI-3-別添 3-4-3 逆流防止装置の強度計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置計画	2
2.2 構造計画	3
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格	5
2.5 記号の説明	6
3. 評価部位	7
4. 構造強度評価	8
4.1 構造強度評価方法	8
4.2 荷重及び荷重の組合せ	8
4.3 許容限界	9
4.4 計算方法	11
4.5 計算条件	14
5. 評価結果	15

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設のうち逆流防止装置が溢水による静水圧荷重に対し、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 配置計画

強度評価の対象施設となる逆流防止装置の配置計画は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて示す。

2.2 構造計画

逆流防止装置の構造計画は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。

逆流防止装置は、フロート式の逆止弁であり、配管内で逆流が発生するとフロートが押し上げられ、弁座に密着することで止水する。逆流防止装置の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要			概略構造図
型式	主体構造	支持構造	
外ねじ 取付型	弁座を含む弁本体、弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成する。	配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。	

2.3 評価方針

逆流防止装置の強度評価は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、応力評価及び構造健全性評価により実施する。応力評価では、逆流防止装置の評価部位に作用する応力等が許容限界であることを、「4.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「4.5 計算条件」に示す計算条件を用いて評価する。また、構造健全性評価により強度評価を実施する評価部位については、評価部位に作用する圧力が許容限界以下であることを「4.1 構造強度評価方法」に示す方法により、「4.5 計算条件」に示す計算条件を用いて評価する。応力評価及び構造健全性評価の確認結果を「5. 評価結果」にて確認する。

逆流防止装置の強度評価フローを図2-1に示す。

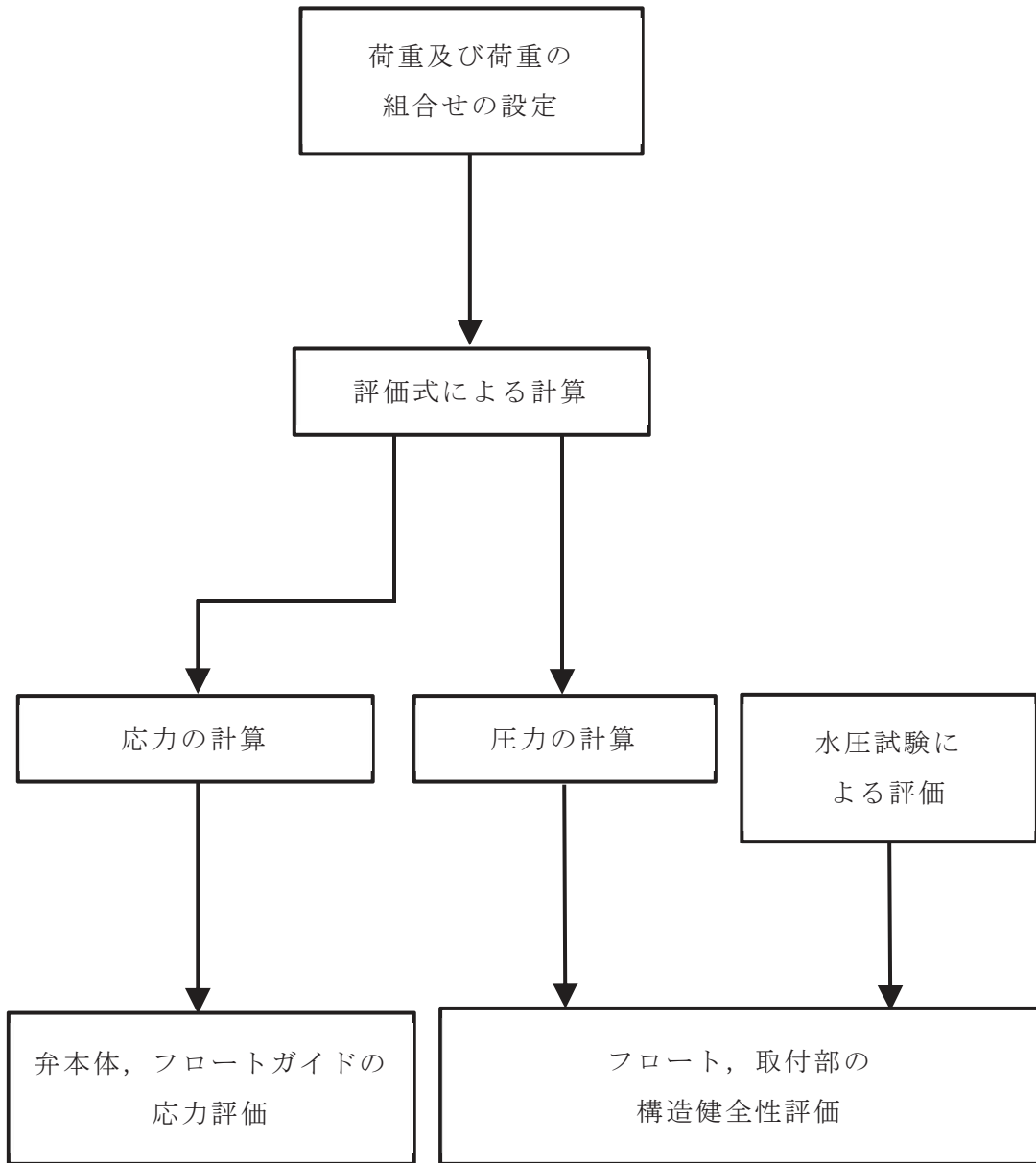


図 2-1 強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1 -2005/2007」((社) 日本機械学会) (以下「設計・建設規格」という。)
- (2) 「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)
- (3) 「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984」((社) 日本電気協会)
- (4) 「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)
- (5) 日本産業規格 (J I S)
- (6) 機械工学便覧 ((社) 日本機械学会)

2.5 記号の説明

逆流防止装置の強度評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2 逆流防止装置の強度評価に用いる記号

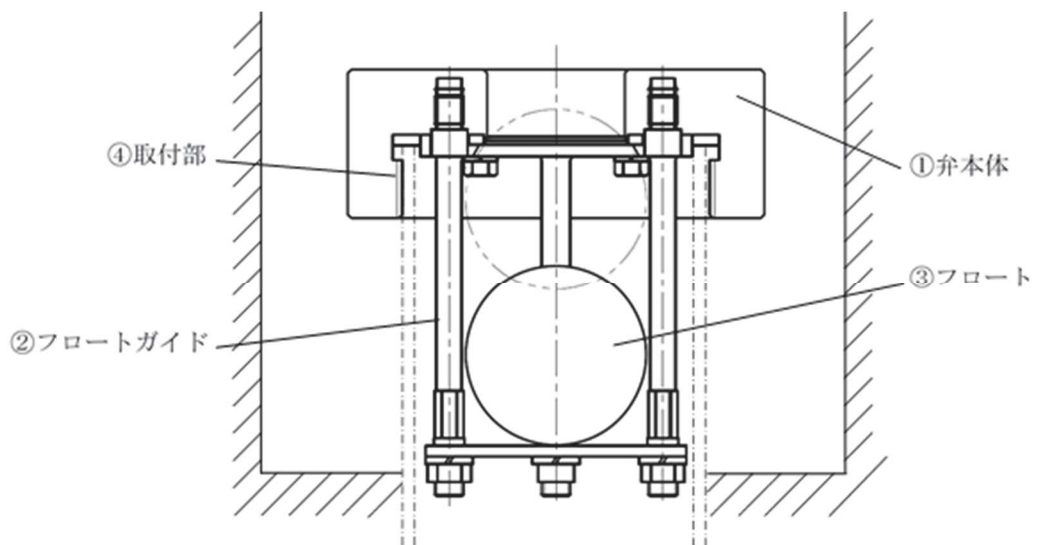
記号	記号の説明	単位
A_1	弁本体の最小断面積	mm^2
A_2	弁本体に作用する評価に用いる受圧面積	mm^2
A_3	フロートガイドの最小断面積	mm^2
A_4	フロートガイドに作用する評価に用いる受圧面積	mm^2
D_2	弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径	mm
D_3	フロートガイドの最小直径	mm
D_4	フロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径	mm
d_1	弁本体の内径	mm
D_1	弁本体の外径	mm
g	重力加速度	m/s^2
h	溢水による水頭	mm
L_1	弁全体の長さ	mm
L_2	フロートガイドの長さ	mm
m_1	弁の全質量	kg
m_2	フロートガイドの 1 本当たりの質量	kg
D	固定荷重	N
P_h	溢水による静水圧	MPa
P_w	フロートに発生する圧力	MPa
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 鉄鋼材料(ボルト材を除く)の各温度における許容引張応力	MPa
W_{d1}	弁本体自重	N
W_{d2}	フロートガイド自重	N
ρ_0	溢水の密度	kg/m^3
σ_{v1}	弁本体に加わる圧縮応力	MPa
σ_{v2}	フロートガイドに加わる圧縮応力	MPa

3. 評価部位

逆流防止装置の評価部位は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示している評価部位を踏まえて、溢水に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

溢水時は、逆止弁下流からの溢水による静水圧荷重により、弁本体、フロートガイド及びフロートに圧縮力が作用する。

このことから、逆流防止装置の強度評価においては、応力評価による評価部位として、弁本体及びフロートガイドを選定し、構造健全性評価による評価部位としてフロート及び取付部を選定する。逆流防止装置の評価部位について図3-1に示す。



図中の①及び②は応力評価による評価部位を、③及び④は構造健全性評価による評価部位をそれぞれ示す。

図 3-1 逆流防止装置の評価部位

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

逆流防止装置の強度評価は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

逆流防止装置の強度評価は、「3. 評価部位」に示す評価部位に対し、「4.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.3 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「4.4 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを用いる。

(1) 荷重の設定

a. 固定荷重 (D)

常時作用する荷重は、弁本体及びフロートガイドの自重とする。

b. 静水圧荷重 (P_h)

静水圧荷重として、溢水に伴う水位による静水圧を考慮し、以下の式より算出する。

$$P_h = \rho_0 \cdot g \cdot h \cdot 10^{-9}$$

(2) 荷重の組合せ

逆流防止装置の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 逆流防止装置の強度評価にて考慮する荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*
浸水防護施設	逆流防止装置	D + P _h

注記 * : Dを組み合わせることでP_hを緩和する方向に作用する場合は、保守的に組み合わせない評価を実施する。

4.3 許容限界

(1) 逆流防止装置

逆流防止装置の許容限界は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定している評価部位ごとに、機能損傷モードを考慮し、弁本体及びフロートガイドについては、設計・建設規格に準じた供用状態Cの許容応力を用いる。

フロート及び取付部については、水圧試験により確認した圧力を許容値として用いる。水圧試験では、逆流防止装置の閉状態に対して、静水圧0.3MPaをフロート及び取付部に負荷し、有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した。

逆流防止装置の弁本体及びフロートガイドの許容限界を表4-2に、弁本体及びフロートガイドの許容応力評価条件を表4-3に、弁本体及びフロートガイドの許容応力算出結果を表4-4にそれぞれ示す。

また、フロート及び取付部の許容限界を表 4-5 に示す。

表 4-2 弁本体及びフロートガイドの許容限界

供用状態 (許容応力状態)	許容限界*
	一次応力
	圧縮
C (Ⅲ _A S)	1.2・S

注記 * : 「原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984」((社) 日本電気協会) を準用し、「管」の許容限界のうちクラス2, 3配管に対する許容限界に準じて設定する。

表 4-3 弁本体及びフロートガイドの許容応力評価条件

評価部位	材 料	温度条件 (℃)	S* (MPa)
弁本体	SUS303	60	127
フロートガイド	SUS304		127

注記 * : 鉄鋼材料 (ボルト材を除く) の許容引張応力を示す。

表 4-4 弁本体及びフロートガイドの許容応力算出結果

供用状態 (許容応力 状態)	評価部位	許容限界
		一次応力
		圧縮 (MPa)
C (Ⅲ _A S)	弁本体	152
	フロートガイド	152

表 4-5 フロート及び取付部の許容限界

評価部位	水圧試験の圧力 (MPa)
フロート及び取付部	0.3

4.4 計算方法

逆流防止装置の強度評価は、構造部材に作用する応力が、「4.3 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

4.4.1 荷重条件

以下の荷重条件にて応力計算を実施する。

(1) 固定荷重 (D)

逆流防止装置の自重は、溢水による静水圧荷重を緩和する方向に作用することから、考慮しない。

(2) 静水圧荷重 (P_h)

溢水による静水圧荷重 P_h は、逆流防止装置の設置位置における装置下流からの溢水に伴う静水圧を考慮する。

4.4.2 応力計算

(1) 弁本体

a. 圧縮

弁本体に加わる圧縮応力 σ_{v1} を以下の式より算出する。また、溢水による静水圧が弁本体に作用する評価に用いる受圧面積 A_2 は、弁本体のうち溢水による静水圧を受ける面積が最も広い箇所を適用し、弁本体に作用する評価に用いる受圧面の直径 D_2 から求める。弁本体の断面積 A_1 は、図4-1に示すとおり、弁本体のうち最も肉厚が薄い断面を適用する。ただし、弁本体の自重 W_{d1} は、圧縮応力 σ_{v1} を緩和する方向に作用するため考慮しない。

$$\sigma_{v1} = \frac{W_{d1} + P_h \cdot A_2}{A_1}$$

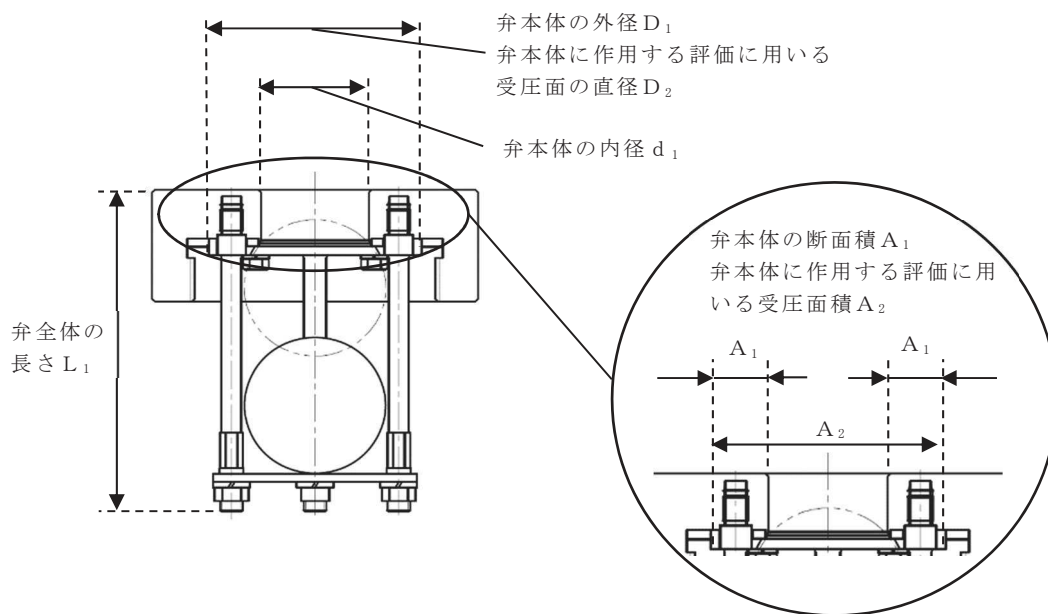


図 4-1 弁本体の寸法図

b. フロートガイド

(a) 圧縮

フロートガイドの最小断面積に加わる圧縮応力 σ_{V2} を以下の式より算出する。また、溢水による静水圧がフロートガイドに作用する評価に用いる受圧面積 A_4 は、フロートガイドに作用する評価に用いる受圧面の直径 D_4 から求める。フロートガイドの最小断面積 A_3 は、図4-2に示すとおり、フロートガイドのうち最も小さい径の断面を適用する。ただし、フロートガイド自重 W_{d2} は圧縮応力 σ_{V2} を緩和する方向に作用するため考慮しない。

$$\sigma_{V2} = \frac{W_{d2} + P_h \cdot A_4}{A_3}$$

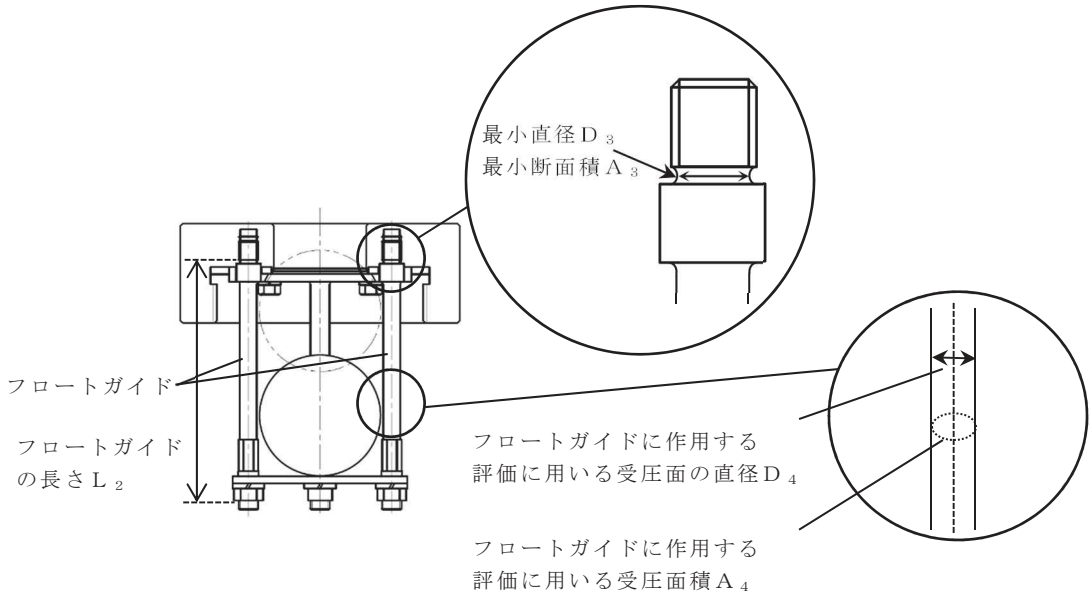


図 4-2 フロートガイドの寸法図

c. フロート及び取付部

フロート及び取付部に発生する圧力 P_w は溢水による静水圧とする。

$$P_w = P_h$$

4.5 計算条件

逆流防止装置の強度評価に用いる計算条件を表 4-6 に示す。

表 4-6 逆流防止装置の強度評価に用いる計算条件

弁本体の材質	弁の全質量 m_1 (kg)	弁本体の長さ L_1 (mm)
SUS303	2.90	120

弁本体の外径 D_1 (mm)	弁本体の内径 d_1 (mm)	フロートガイドの 材質	フロートガイドの 最小直径 D_3 (mm)
75	38	SUS304	6.6

フロートガイドの 1本当たりの質量 m_2 (kg)	フロートガイドの 長さ L_2 (mm)	弁体に作用する評 価に用いる受圧面 の直径 D_2 (mm)	フロートガイドに 作用する評価に用 いる受圧面の直径 D_4 (mm)
0.05	102	75	7

重力加速度 g (m/s^2)	溢水の密度 ρ_0 (kg/m^3)	溢水による水頭 h (mm)
9.80665	1000	2700

5. 評価結果

(1) 応力評価

弁本体及びフロートガイドの応力評価結果を表5-1に示す。発生応力が許容応力以下であることから構造部材が構造健全性を有することを確認した。

表 5-1 弁本体及びフロートガイドの応力評価結果

評価部位	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
弁本体	圧縮	1	152
フロートガイド	圧縮	1	152

(2) 構造健全性評価

フロート及び取付部の構造健全性評価結果を表 5-2 に示す。発生応力が、有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した水圧試験圧力以下であることから、評価部位であるフロート及び取付部が構造健全性を有することを確認した。

表 5-2 フロート及び取付部の構造健全性評価結果

評価部位	発生応力 (MPa)		水圧試験の圧力 (MPa)
フロート及び取付部	圧縮	0.027	0.3

VI-3-別添 3-4-4 貫通部止水処置の強度計算書（溢水）

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 位置	1
2.2 構造概要	1
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格	6
3. 強度評価方法	7
3.1 記号の説明	7
3.2 評価対象部位	8
3.3 荷重及び荷重の組合せ	8
3.4 許容限界	9
3.5 計算方法	11
3.6 計算条件	12
4. 評価結果	13

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき、浸水防護施設のうち貫通部止水処置が溢水による静水圧荷重に対し、止水性の維持を考慮して、主要な構造部材が構造健全性を有することを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 位置

貫通部止水処置は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」の構造計画に示すとおり、原子炉建屋、タービン建屋、制御建屋、海水ポンプ室及び軽油タンクエリアの貫通口と貫通物との隙間又は貫通物の周囲に施工する。

2.2 構造概要

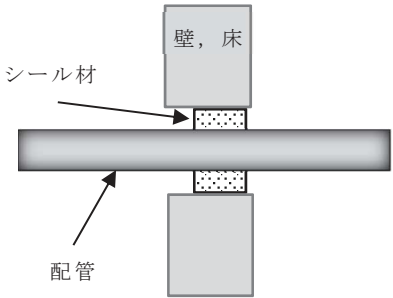
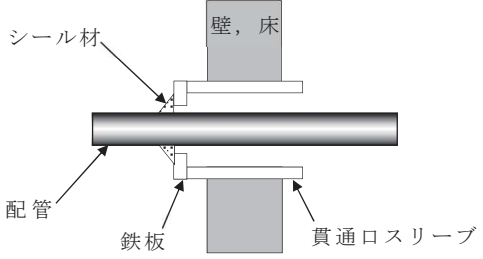
貫通部止水処置の構造は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて、詳細な構造を設定する。

貫通部止水処置は、貫通部の位置条件及び貫通物の強度条件に応じて、シール材、モルタル及びブーツを使用し、各貫通部止水処置の適用条件を考慮し施工する。シール材及びモルタルは壁又は床面の貫通口と貫通物の隙間に施工し、壁又は床面と貫通物を接合する構造とする。ブーツは、伸縮性ゴムを用い、壁又は床面の貫通口スリーブと配管を締付けバンドにて固定する構造とする。貫通部止水処置の構造計画を表2-1 に示す。

表 2-1 貫通部止水処置の構造計画 (1/2)

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し、硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	<p>壁, 床 モルタル 配管</p>
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるように伸縮性ゴムを用い、壁面又は床面の貫通口スリーブと配管を締付けバンドにて締結する。	<p>締付けバンド ブーツ 壁, 床 配管 貫通口スリーブ</p>
	充填タイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり、反応効果によって所定の強度を有する構造物が形成され貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	<p>シール材 プルボックス 壁, 床 電線管 ケーブル</p> <p>壁, 床 シール材 押さえ板 配管, ケーブルトレイ</p> <p>(押さえ板有り)</p>

表 2-1 貫通部止水処置の構造計画 (2/2)

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部 止水処置	<p>充填タイプのシール材にて構成する。</p>	<p>貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり、反応効果によって所定の強度を有する構造物が形成され貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。</p>	 <p>(押さえ板無し)</p>
	<p>コーキングタイプのシール材にて構成する。</p>	<p>貫通部の開口部と貫通部の隙間にコーキングする。施工時は液状であり、反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され、鉄板及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。</p>	

2.3 評価方針

貫通部止水処置の強度評価は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、貫通部止水処置の評価対象部位に作用する応力等が許容限界内にあることを確認する。

貫通部止水処置は構造上の特徴の違いから、シール材及びブーツ並びにモルタルに分けて設計を行うこととする。シール材及びブーツの強度評価フローを図2-1 に、モルタルの強度評価フローを図2-2 に示す。

シール材及びブーツについては、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて設定しているとおおり、溢水による静水圧により生じる圧力を求め、水圧試験で確認した水圧以下であることにより確認する。

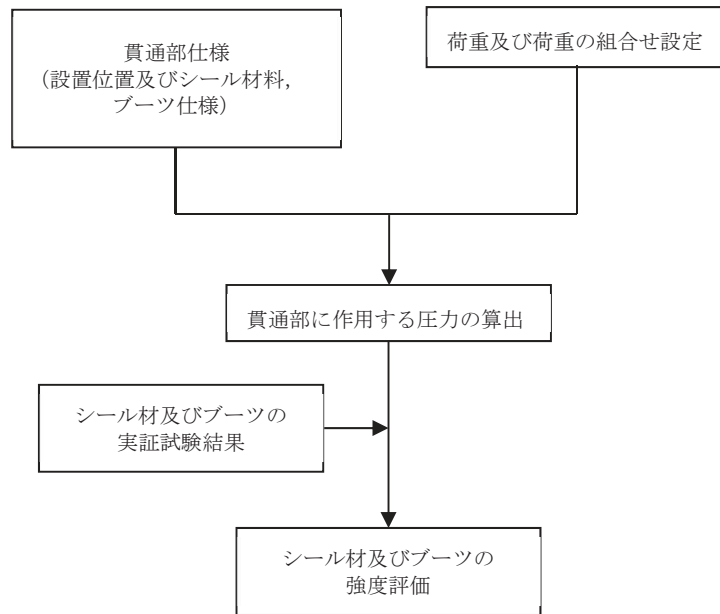


図2-1 シール材及びブーツの強度評価フロー

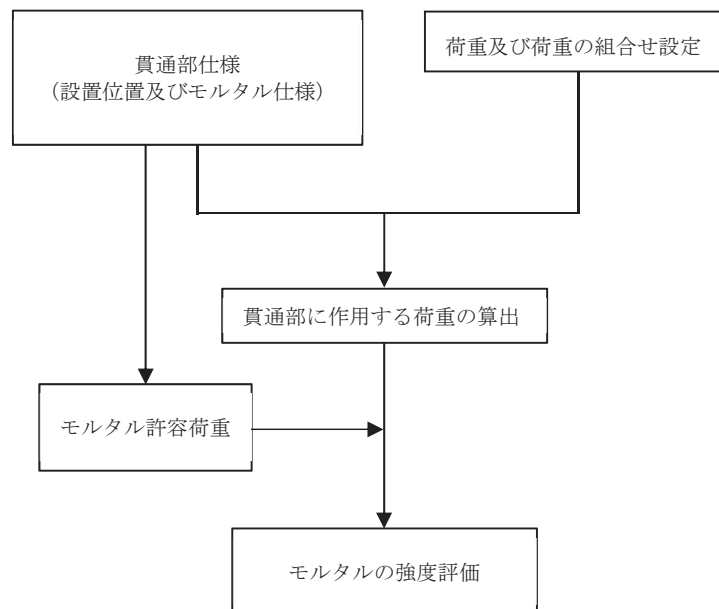


図2-2 モルタルの強度評価フロー

2.4 適用規格

適用する規格，基準等を以下に示す。

- (1) コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会 2002 年制定)

3. 強度評価方法

貫通部止水処置の強度評価は、添付書類「VI-3-別添 3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している方法を用いて実施する。

貫通部止水処置の強度評価は、「3.2 評価対象部位」に示す評価対象部位に対し、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.4 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「3.5 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

3.1 記号の説明

強度評価に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 モルタルの強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
P_h	kN/m^2	静水圧荷重
ρ	kg/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
h	m	貫通部位置における水頭
S	m	貫通物の周長
W	kg	貫通物の支持間隔の質量
L	m	モルタルの充てん深さ
F_H	kN	貫通物の軸方向に作用する荷重
F_S	kN	貫通物の自重によりモルタルに生じるせん断荷重
$F_{S \text{ total}}$	kN	モルタル部に生じる合計せん断荷重
A'	mm^2	モルタルが水圧を受ける面積（受圧面積）
f_s	kN	モルタルの許容付着強度
f'_{bok}	N/mm^2	モルタルの付着強度
f'_{ck}	N/mm^2	モルタルの圧着強度
γ_c	—	材料定数

3.2 評価対象部位

貫通部止水処置の評価対象部位は、添付書類「VI-3-別添3-3 溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示している評価対象部位を踏まえて「2.2 構造概要」に示す構造計画にて設定している構造に基づき、荷重の方向及び伝達過程を考慮し設定する。

浸水によって生じる静水圧を考慮した荷重は、止水処置全体へ伝達される。このことから、シール材、ブーツ及びモルタルを用いた止水処置の全体を評価対象部位として設定する。

モルタルについては、裕度が最も小さい貫通部を代表として評価を行う。シール材及びブーツについては、作用する圧力が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の種類及び荷重の組合せに関して以下に示す。

3.3.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は、以下の荷重を用いる。

(1) 自重 (D)

常時作用する荷重として自重を考慮する。

(2) 静水圧荷重 (P_h)

静水圧荷重として、浸水によって生じる静水圧を考慮する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

3.3.2 荷重の組合せ

貫通部止水処置の荷重の組合せを表3-2に示す。

表3-2 荷重の組合せ

強度評価の対象施設	荷重の組合せ
貫通部止水処置	$D + P_h$

注記* : Dは自重, P_h は溢水による静水圧荷重を示す。

3.4 許容限界

(1) モルタル

各評価対象部位の許容値は、コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ((社) 土木学会 2002 年制定) に規定される許容限界を用いる。

貫通部止水処置の許容限界を表 3-3, 許容限界評価条件を表 3-4, 貫通部止水処置の許容限界算出結果を表 3-5 に示す。また, モルタルの施工例を図 3-1 に示す。

表 3-3 貫通部止水処置の許容限界 (許容荷重)

状態	許容限界*
	付着荷重
短期	f_s

注記* : モルタルの許容限界は, コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]

((社) 土木学会 2002 年制定) によりモルタルの許容付着荷重 f_s , モルタル付着強度 f'_{bok} を算出する。モルタル圧縮強度 f'_{ck} は設計値を用いる。また, 評価において最も裕度が小さくなる貫通物の口径 = 300A, モルタル充填深さ $L = 0.66\text{m}$ とする。

$$f_s = f'_{bok} \cdot S \cdot L / \gamma_c$$

$$f'_{bok} = 0.28 \cdot f'_{ck}{}^{2/3} \cdot 0.4$$

表 3-4 貫通部止水処置の許容限界評価条件

評価対象部位	f'_{ck} (N/mm^2)	γ_c (-)
モルタル	30	1.3

表 3-5 貫通部止水処置の許容限界算出結果

状態	評価対象部位	許容限界
		付着荷重 (kN)
短期	モルタル	549

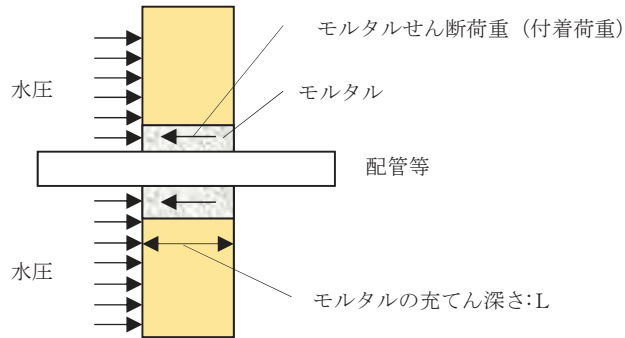


図 3-1 モルタルの施工例

(2) シール材

シール材の許容限界値は、実機で使用している形状、寸法の試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。シール材の水圧試験の概要を図 3-2 に示す。実機施工時においては、試験検証済みの許容限界寸法以上となるように施工する。これにより試験で得られた許容限界値以上の耐圧性を有し、かつ、想定する浸水高さから求まる静水圧が、許容限界値以内であることを確認して、確実に耐圧性を確保する。

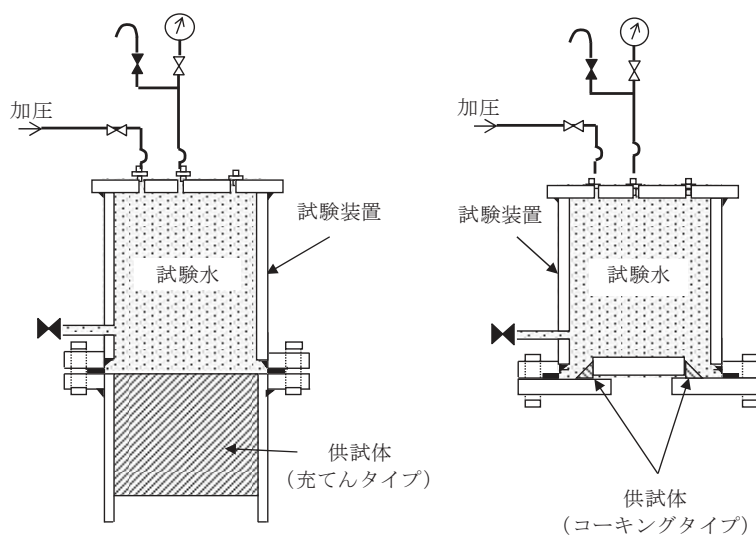


図 3-2 シール材の水圧試験の概要

(3) ブーツ

ブーツの許容限界値は、実機で使用している形状、寸法の試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。また、実機の施工状況を考慮し、受圧面がブーツ内側又は外側のどちらの場合でも止水機能が確保できることを確認するため、内圧試験及び外圧試験の両ケースを実施する。ブーツの水圧試験の概要を図 3-3 に示す。

実機施工時には、試験検証済みの寸法以下で施工する。

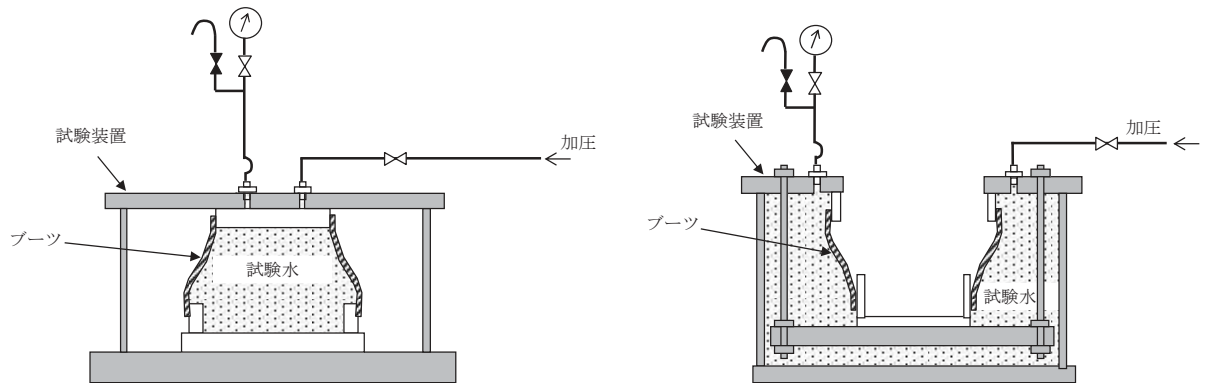


図 3-3 ブーツの水圧試験の概要

3.5 計算方法

3.5.1 シール材及びブーツの強度評価

シール材及びブーツについては浸水によって生じる静水圧荷重 (P_h) を考慮する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

3.5.2 モルタルの強度評価

(1) 自重により生じる荷重

自重によりモルタルに生じる荷重は、次のとおり算出する。貫通物の自重は鉛直に作用するため、水圧が作用する方向と等しい床貫通部のみ考慮する。

$$F_H = W \cdot g$$

$$F_S = F_H$$

(2) 合計荷重

モルタルに発生する合計せん断荷重 $F_{S \text{ total}}$ は次のとおり算出する。

$$F_{S \text{ total}} = F_S + P_h \cdot A'$$

3.6 計算条件

貫通部止水処置の「3.5 計算方法」に用いる評価条件を表 3-6 に示す。

表 3-6 評価条件

貫通部箇所	重力加速度 g (m/s ²)	水の密度 ρ (kg/m ³)
海水ポンプ室壁面 (モルタル)	9.80665	1030 (海水)

貫通部位置における 水頭 h (m)	貫通物の支持間隔 の質量* W (kg)	モルタルが水圧を 受ける面積 A' (m ²)
7.16		0.08

注記 * : 壁面の貫通部における貫通物自重は鉛直に作用し、水圧が作用する方向と異なるため考慮しない。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 評価結果

シーラ材，モルタル及びブーツの強度評価結果を表 4-1 に示す。シーラ材，モルタル及びブーツの発生圧力又は発生荷重は許容圧力又は許容荷重以下であることを確認した。

表4-1 強度評価結果

(シーラ材)

評価対象部位	発生圧力* (MPa)	許容圧力 (MPa)
シーラ材	0.23	0.40

(モルタル)

評価対象部位	発生荷重 (kN)	許容荷重 (kN)
モルタル		549

(ブーツ)

評価対象部位	発生圧力* (MPa)	許容圧力 (MPa)
ブーツ	0.23	0.38

注記 * : 保守的に原子炉建屋地下3階(0.P. -8.1m)から地表面(0.P. 14.8m)までの高さとして設定

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

VI-3-別添 4 発電用火力設備の技術基準による強度に関する説明書

まえがき

本資料は、「発電用火力設備に関する技術基準を定める省令」（平成 9 年 3 月 27 日通商産業省令第 51 号）を準用する設備に対して十分な強度を有することを確認するため以下により構成される。

- 第一部 発電用火力設備の技術基準による強度評価の基本方針
- 第二部 発電用火力設備の技術基準による強度評価方法
- 第三部 発電用火力設備の技術基準による強度評価書

第一部 発電用火力設備の技術基準による強度評価の基本方針

目次

1. 概要	1
2. 強度評価の基本方針	2
2.1 評価対象設備	2
2.2 評価方法の選定	3

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第 6 号）（以下「技術基準規則」という。）第 48 条第 2 項及び第 3 項並びに第 78 条第 1 項に基づき、添付書類「VI-1-1-7 発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書」及び「VI-1-9-1-1 非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」で「発電用火力設備に関する技術基準を定める省令」（平成 9 年 3 月 27 日通商産業省令第 51 号）（以下「火力省令」という。）を準用する設備として対象としている設計基準対象施設又は重大事故等対処設備に施設するガスタービン及び内燃機関が、十分な強度を有することを確認するための強度評価方針について説明するものである。

2. 強度評価の基本方針

設計基準対象施設又は重大事故等対処設備に施設するガスタービン及び内燃機関については、技術基準規則第48条第2項及び第3項並びに第78条第1項に基づき、ガスタービンは火力省令第19条から第23条を、内燃機関は火力省令第25条から第29条の規定を準用し、強度評価においては、火力省令第19条4項及び第25条第3項を適用する。また、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（平成25年6月19日原規技発第1306194号）第48条第5項において、火力省令の準用にあたっては、「発電用火力設備の技術基準の解釈」（平成25年5月17日20130507商局第2号）（以下「火力基準解釈」という。）の該当部分によることが規定されている。

よって、ガスタービンについては、火力省令第19条第4項を受けた火力基準解釈第32条第1項第3号に、内燃機関については、火力省令第25条第3項を受けた火力基準解釈第39条第1項第2号に基づき、同解釈第5条を準用した水圧試験による強度評価又は最高使用圧力の1.5倍*の水圧に耐える強度を有することを確認するための強度計算による評価を実施する。

上記によらない評価方法により強度評価を実施するものについては、その評価方法により火力省令に照らして十分な保安水準の確保が達成できることを確認した上で、強度評価を実施する。

注記*：火力基準解釈については、平成28年2月25日に一部改正され、材料の許容応力を求める際の安全率や水圧試験の倍率が見直されているが、より厳しい評価となるよう改正前の解釈を用いる。

2.1 評価対象設備

設計基準対象施設又は重大事故等対処設備に施設するガスタービン及び内燃機関として、添付書類「VI-1-1-7 発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書」及び「VI-1-9-1-1 非常用発電装置の出力の決定に関する説明書」に基づき、強度評価を実施する設備について以下に示す。

- ・非常用ディーゼル機関
- ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関
- ・ガスタービン機関
- ・屋外消火系ディーゼル駆動消火ポンプ

また、ガスタービン又は内燃機関に係る燃料設備（燃料配管、燃料タンク及び燃料ポンプ）についても強度評価対象とする。

2.2 評価方法の選定

強度評価については、火力基準解釈第 32 条第 1 項第 3 号及び第 39 条第 1 項第 2 号にて、同解釈第 5 条（水圧試験）を準用することが規定されている。

ただし、当該機種と同一の材料及び構造を有するガスタービン車室又は内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第 5 条を満たす水圧試験の実績を有するもの並びに最高使用圧力の 1.5 倍の水圧に耐える強度を有することが強度計算等で確認できるものについては、水圧試験を要しないことが規定されている。

よって、上記規定のいずれかの方法により強度評価を行うこととするが、評価対象設備において水圧試験の試験結果があるもの並びに評価対象設備と同一の材料及び構造を有する内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第 5 条を満たす水圧試験の試験結果があるものについては、それらの試験結果の確認により強度評価を実施する。なお、ガスタービン車室及び管については、最高使用圧力の 1.5 倍の水圧に耐える強度を有することを強度計算で確認する。

また、開放型タンクについては、最高使用圧力が 0MPa であることから耐圧部分に該当せず火力基準解釈第 5 条要求に該当しないものの、消防法に準じた水圧試験を実施していることを確認する。

第二部 発電用火力設備の技術基準による強度評価方法

目次

1. 概要	1
2. 強度評価方法	2
2.1 水圧試験	2
2.2 内燃機関ケーシングの水圧試験	4
2.3 強度計算方法	5
2.3.1 ガスタービン車室の強度計算	5
2.3.2 管の強度計算	7
3. 強度評価書のフォーマット	9
3.1 強度評価書のフォーマットの概要	9
3.2 記載する数値に関する注意事項	9
3.3 強度評価書のフォーマット	9

1. 概要

本資料は、第一部「発電用火力設備の技術基準による強度評価の基本方針」に基づき、非常用ディーゼル機関の内燃機関、高圧炉心スプレィ系ディーゼル機関の内燃機関、ガスタービン機関のガスタービン、屋外消火系ディーゼル駆動消火ポンプの内燃機関及びガスタービン又は内燃機関に係る燃料設備（燃料配管、燃料タンク及び燃料ポンプ）が十分な強度を有することを確認するための強度評価方法について説明するものであり、強度評価方法及び強度評価書のフォーマットにより構成する。

2. 強度評価方法

「発電用火力設備の技術基準の解釈」（平成 25 年 5 月 17 日 20130507 商局第 2 号）（以下「火力基準解釈」という。）の第 32 条第 1 項第 3 号及び第 39 条第 1 項第 2 号に基づき、以下の(1)に示す火力基準解釈第 5 条の水圧試験の試験結果の確認による強度評価を基本とする。

ただし、評価対象設備と同一の材料及び構造を有する内燃機関ケーシングの水圧試験の試験結果があるものについては、(2)に示す水圧試験の試験結果の確認により強度評価を実施する。また、ガスタービン車室及び管については、(3)に示す強度計算により強度評価を実施する。

(1) 水圧試験

火力基準解釈第 5 条の水圧試験に耐え、これに適合するものであることを確認する。

(2) 内燃機関ケーシングの水圧試験

当該機種と同一の材料及び構造を有する内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第 5 条を満たす水圧試験の実績を有するものについては、その結果を確認する。

(3) 強度計算

火力基準解釈第 5 条の水圧試験に耐える強度を有することを強度計算により確認する。

2.1 水圧試験

ガスタービン又は内燃機関に係る燃料設備のうち水圧試験により評価を実施するものについては、火力基準解釈第 5 条に基づき、最高使用圧力の 1.5 倍以上の水圧まで昇圧した後、適切な時間保持したとき、これに耐えることを確認する。また、上記試験に引き続き最高使用圧力以上の水圧で点検を行ったときに、漏えいがないものであることを確認する。

試験条件を以下に示す。

名 称		最高使用 圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 圧力 (MPa)
その他発電用原子炉の附属施設 (非常用電源設備)	非常用ディーゼル発電設備 燃料デイトンク	静水頭	*1	
	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	0.98 ^{*5}	1.5以上 ^{*2}	1.47 ^{*5}
	非常用ディーゼル発電設備軽油タンク	静水頭	*1	
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料デイトンク	静水頭	*1	
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	0.98 ^{*5}	1.5以上 ^{*2}	1.47 ^{*5}
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 軽油タンク	静水頭	*3	
	ガスタービン発電設備燃料小出槽	静水頭	*1	
	ガスタービン発電設備燃料移送ポンプ	0.95	1.5以上 ^{*4}	1.43
	ガスタービン発電設備軽油タンク	静水頭	*1	
	緊急時対策所軽油タンク	静水頭	*1	
	ガスタービン発電設備 フレキシブルホース	0.95	1.5以上 ^{*4}	1.43

注記*1：消防法に準じた水圧試験に合格している。

*2：火力基準解釈第5条の水圧試験による試験結果を確認する。

*3：消防法に準じた水圧試験を実施する。

*4：火力基準解釈第5条の水圧試験を実施する。

*5：SI単位に換算したものである。

2.2 内燃機関ケーシングの水圧試験

内燃機関ケーシングの水圧試験の実績により評価を実施するものについては、火力基準解釈第39条第1項第2号において、「当該機種と同一の材料及び構造を有する内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第5条を満たす水圧試験の実績を有するもの」にあつては水圧試験を要しないと規定されていることから、圧力バウンダリとして主要な耐圧部である内燃機関ケーシングの水圧試験の試験結果を確認する。また、水圧試験の実績には、「当該設備と同一の材料及び構造を有する内燃機関ケーシングにおいて火力基準解釈第5条を満たす水圧試験の実績を有するもの」として当該評価対象機種の内燃機関ケーシングにおける水圧試験を含める。試験条件を以下に示す。

名 称		最高使用 圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 圧力 (MPa)
その他発電用原子炉の附属施設 (非常用電源設備)	*1 非常用ディーゼル機関	0.64 ^{*2}	1.5 以上	0.98 ^{*2}
	*3 高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関	0.64 ^{*2}	1.5 以上	0.98 ^{*2}
その他発電用原子炉の附属施設 (火災防護設備)	屋外消火系ディーゼル駆動消火ポンプ	0.049 ^{*2}	1.5 以上	0.074 ^{*2}

注記*1：非常用ディーゼル機関に付属する冷却水設備として機関付清水ポンプを含む。

*2：SI 単位に換算したものである。

*3：高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関に付属する冷却水設備として機関付清水ポンプを含む。

2.3 強度計算方法

2.3.1 ガスタービン車室の強度計算

(1) 強度計算方法

ガスタービンのうち強度計算を実施するガスタービン車室については、火力基準解釈第32条第1項第3号ロに定める強度計算において、火力基準解釈第6条第2項第2号に記載されている計算式を準用し、ガスタービン車室として最高使用圧力の1.5倍の水圧に耐える強度を有することを確認する。

また、火力基準解釈別表第1に記載されている材料の許容引張応力を用いて強度計算する際に、温度が記載値の中間値の場合は、比例法を用いて許容引張応力を計算し、その場合の端数処理は、小数第1位以下を切捨てた値を用いるものとする。

強度計算は火力基準解釈に基づき適切な裕度を持った許容値を使用して実施することから、強度計算に用いる寸法は公称値を使用する。

(2) 記号の定義

ガスタービン車室の厚さの計算に用いる記号について、以下に説明する。

	記号	単位	定 義
ガスタービン車室の厚さ計算に使用するもの	t	mm	円筒部の計算上必要な厚さ
	P	MPa	最高使用圧力
	D_i	mm	t を計算する部分の内径
	σ_a	N/mm ²	最高使用温度における火力基準解釈別表第1に規定する材料の許容引張応力
	η	—	継手の効率又はリガメント効率
	α_1	mm	付け代
	k	—	材料の係数

(3) 厚さの計算

ガスタービン車室の厚さが、以下の計算式から求められる計算上必要な厚さ以上であることを確認する。

区分	適用基準	計算式
円筒形の胴	火力基準解釈第6条 第2項第2号	*1, *2 $t = \frac{P \cdot D_i}{2\sigma_a \cdot \eta - 2P \cdot (1 - k)} + \alpha_1$

注記*1：継手の効率 η

長手継手の効率は、火力基準解釈第6条第3項に規定される J I S B 8201 における表 8.2 を用いるが、今回の評価では継手の種類から以下のとおりとする。

継手の種類	溶接継手の効率	
	ボイラー等及び独立節炭器に属する容器及び管にあつては火力基準解釈第125条及び第127条第2項第1号の規定に準じて放射線透過試験を行い、同条第3項第1号の規定に適合するもの、それ以外のものにあつては同解釈第143条及び第145条第2項第1号の規定に準じて放射線透過試験を行い、同条第3項第1号の規定に適合するもの	
突合せ両側溶接又はこれと同等以上とみなされる突合せ片側溶接継手	1.00	0.70

注記*2：付け代 α_1

付け代は、火力技術基準解釈第6条第2項に規定される J I S B 8201 にて定義されている。今回の評価ではボイラー等及び独立節炭器以外のものに属する容器の胴に該当するため、火力基準解釈第6条第2項により付け代を0とする。

2.3.2 管の強度計算

(1) 強度計算方法

ガスタービン又は内燃機関のうち強度計算を実施する管については、火力基準解釈第32条第1項第3号口及び39条第1項第2号口に定める強度計算において、火力基準解釈第12条第1項第7号に記載されている計算式を準用し、ガスタービン及び内燃機関の管として最高使用圧力の1.5倍の水圧に耐える強度を有することを確認する。

また、火力基準解釈別表第1に記載されている材料の許容引張応力を用いて強度計算する際に、温度が記載値の中間値の場合は、比例法を用いて許容引張応力を計算し、その場合の端数処理は、小数第1位以下を切捨てた値を用いるものとする。

強度計算は火力基準解釈に基づき適切な裕度を持った許容値を使用して実施することから、強度計算に用いる寸法は公称値を使用する。

フランジについては、火力基準解釈第13条第1項に規定される日本産業規格等、火力省令を準用する管継手については、日本産業規格等に適合するものを使用する。

(2) 記号の定義

管の厚さの計算に用いる記号について、以下に説明する。

	記号	単位	定義
管の厚さ計算に使用するもの	P	MPa	管の内側の最高使用圧力
	σ_a	N/mm ²	最高使用温度における火力基準解釈別表第1に規定する材料の許容引張応力
	d _o	mm	管の外径
	t	mm	管の計算上必要な厚さ
	η	-	継手の効率

(3) 管の厚さの計算

管の厚さが，以下の計算式から求められる計算上必要な厚さ以上であることを確認する。

区分	適用基準	計算式
その他管	火力基準解釈第 12 条 第 1 項第 7 号	$t = \frac{P \cdot d_o}{2\sigma_a \cdot \eta + 0.8P}$ *

注記*：継手の効率 η

長手継手の効率は，火力基準解釈第 12 条第 1 項に規定される J I S B 8 2 0 1 に
おける表 8.2 を用いるが，今回の評価では継手の種類から以下のとおりとする。

継手の種類	溶接継手の効率	
	ボイラー等及び独立節炭器に属する容器及び管にあつては火力基準解釈第 125 条及び第 127 条第 2 項第 1 号の規定に準じて放射線透過試験を行い，同条第 3 項第 1 号の規定に適合するもの，それ以外のものにあつては同解釈第 143 条及び第 145 条第 2 項第 1 号の規定に準じて放射線透過試験を行い，同条第 3 項第 1 号の規定に適合するもの	
突合せ両側溶接又はこれと同等以上とみなされる突合せ片側溶接継手	1.00	0.70

3. 強度評価書のフォーマット

3.1 強度評価書のフォーマットの概要

水圧試験結果のフォーマットは、試験条件及び結果を記載し、強度計算書のフォーマットは、耐圧部分を構成する部材についてフォーマット中に計算に必要な条件及び結果を記載する。

3.2 記載する数値に関する注意事項

フォーマットに挙げた諸元のうち、計算に使用しないものや計算結果のないものは、計算結果表の欄には「」として記載する。

3.3 強度評価書のフォーマット

強度評価書のフォーマットは、以下のとおりである。

FORMAT-I	水圧試験結果
FORMAT-II	内燃機関ケーシングの水圧試験結果
FORMAT-III	ガスタービン車室の厚さの計算結果
FORMAT-IV	管の厚さの計算結果

FORMAT- I 水圧試験結果

設備区分

名 称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評 価

FORMAT-II 内燃機関ケーシングの水圧試験結果

設備区分

名 称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評 価

FORMAT-III ガスタービン車室の厚さの計算結果

設備区分

番号	最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	内径 D_i (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの負の 許容差 Q	継手の効率 η	材料の係数 k	計算上 必要な厚さ t (mm)	車室の厚さ (最小厚さ) (mm)
評 価 :											

FORMAT-IV 管の厚さの計算結果

設備区分

番号	最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	外径 d。 (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの 負の 許容差 Q	継手の 効率 η	計算上 必要な厚さ t (mm)	炭素鋼鋼管 の必要最小 厚さ (mm)	管の厚さ (最小厚さ) (mm)
評 価 :											

第三部 発電用火力設備の技術基準による強度評価書

目次

1. 概要	1
2. その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）の ガスタービン及び内燃機関の強度評価書	2
2.1 水圧試験結果	3
2.2 内燃機関ケーシングの水圧試験結果	4
2.3 強度計算結果	5
2.3.1 ガスタービン車室の設計仕様	5
2.3.2 ガスタービン車室の厚さの計算結果	6
2.3.3 管の設計仕様	7
2.3.4 管の厚さ計算結果	11
3. その他発電用原子炉の附属施設（補機駆動用燃料設備）の管の強度評価書	14
3.1 強度計算結果	15
3.1.1 管の設計仕様	15
3.1.2 管の厚さの計算結果	16

1. 概要

本資料は、第二部「発電用火力設備の技術基準による強度評価方法」に基づき、非常用ディーゼル機関の内燃機関、高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関の内燃機関、ガスタービン機関のガスタービン、屋外消火系ディーゼル駆動消火ポンプの内燃機関及びガスタービン又は内燃機関に係る燃料設備（燃料配管、燃料タンク及び燃料ポンプ）が十分な強度を有することを確認した結果を示す。

2. その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備）の
ガスタービン及び内燃機関の強度評価書

2.1 水圧試験結果

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） 非常用発電装置

名 称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評 価
非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	0.98 *	1.47 *	1.5	良	適合
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	0.98 *	1.47 *	1.5	良	適合
ガスタービン発電設備 燃料移送ポンプ	0.95	1.43	1.5	良	適合

注記* : SI 単位に換算したものである。

2.2 内燃機関ケーシングの水圧試験結果

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） 非常用発電装置

名 称	最高使用圧力 (MPa)	耐圧試験圧力 (MPa)	耐圧試験 倍率	耐圧試験 結果	評 価
非常用ディーゼル機関 *1	0.64 *2	0.98 *2	1.53	良	適合
高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関 *3	0.64 *2	0.98 *2	1.53	良	適合

注記*1：非常用ディーゼル機関に付属する冷却水設備として機関付清水ポンプを含む。

*2：SI 単位に換算したものである。

*3：高圧炉心スプレイ系ディーゼル機関に付属する冷却水設備として機関付清水ポンプを含む。

2.3 強度計算結果

2.3.1 ガスタービン車室の設計仕様

名 称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	内径 D_i (mm)	公称厚さ (mm)	材料*	番号
						1
						2
						3
						4
						5
						6
						7

注記* : による。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3.2 ガスタービン車室の厚さの計算結果

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源施設） 非常用発電装置

番号	最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	材料*1	許容引張 応力*2 σ_a (N/mm ²)	内径 D_i (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの負の 許容差 Q	継手の効率 η	材料の係数 k	計算上 必要な厚さ t (mm)	車室の厚さ (最小厚さ) (mm)
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											

評 価：上記車室の最小厚さは、すべて計算上必要な厚さ以上である。

注記*1： による。

*2：製造メーカー提示値による。

2.3.3 管の設計仕様

名 称		最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	*1 外 径 (mm)	*1 厚 さ (mm)	材 料	番 号
非常用ディーゼル発電設備	非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク ～ 燃料移送ポンプ入口配管分 岐点	0.98	66	60.5	5.5	STPT410	1
	燃料移送ポンプ入口配管分 岐点 ～ 燃料移送ポンプ	0.98	66	60.5	5.5	STPT410	2
				60.5	5.5	STPT370	3
				76.3	5.2	STPT370	4
	燃料移送ポンプ ～ 燃料デイトンク	0.98	66	60.5	5.5	STPT370	5
				*2 60.5	*2 5.5	*2 STPT38	6

注記*1：公称値を示す。

*2：本設備は既存の設備である。

名 称		最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	*1 外 径 (mm)	*1 厚 さ (mm)	材 料	番 号
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備軽油タンク ～ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ入口配管分岐点	0.98	66	60.5	5.5	STPT410	7
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ入口配管分岐点 ～ 燃料移送ポンプ	0.98	66	60.5	5.5	STPT410	8
				60.5	5.5	STPT370	9
				76.3	5.2	STPT370	10
	燃料移送ポンプ ～ 燃料デイタンク	0.98	66	60.5	5.5	STPT370	11
				*2 60.5	*2 5.5	*2 STPT38	12

注記*1：公称値を示す。

*2：本設備は既存の設備である。

名 称		最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	* 外 径 (mm)	* 厚 さ (mm)	材 料	番 号
ガ ス ター ビン 発 電 設 備	ガスタービン発電設備軽油 タンク給油口 ～ ガスタービン発電設備軽油 タンク	0.95	50	60.5	5.5	STS410	13
				89.1	5.5	STS410	14
	ガスタービン発電設備軽油 タンク ～ ガスタービン発電設備軽油 タンク出口配管分岐点	0.95	50	60.5	5.5	STS410	15
	ガスタービン発電設備軽油 タンク出口配管分岐点 ～ ガスタービン発電設備燃料 移送ポンプ	0.95	50	60.5	5.5	STS410	16
				76.3	5.2	STS410	17
	ガスタービン発電設備燃料 移送ポンプ ～ ガスタービン発電設備燃料 小出槽	0.95	50	60.5	5.5	STS410	18
				60.5	3.9	SUS304TP	19
				34.0	3.4	SUS304TP	20

注記*：公称値を示す。

名 称		最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	* 外 径 (mm)	* 厚 さ (mm)	材 料	番 号
緊急時対策所ディーゼル発電設備	緊急時対策所軽油タンク ～ 給油口	0.05	50	60.5	5.5	STS410	21
				34.0	4.5	STS410	22

注記*：公称値を示す。

2.3.4 管の厚さ計算結果

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） 非常用発電装置

番号	最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	外径 d _o (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの 負の 許容差 Q	継手の 効率 η	計算上 必要な厚さ t (mm)	炭素鋼鋼管 の必要最小 厚さ (mm)	管の厚さ (最小厚さ) (mm)
1	0.98	66	STPT410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.29	—	4.82
2	0.98	66	STPT410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.29	—	4.82
3	0.98	66	STPT370	92	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.32	—	4.82
4	0.98	66	STPT370	92	76.3	5.2	12.5%	1.00	0.41	—	4.55
5	0.98	66	STPT370	92	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.32	—	4.82
6	0.98	66	(STPT38)*	92	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.32	—	4.82
7	0.98	66	STPT410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.29	—	4.82
8	0.98	66	STPT410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.29	—	4.82
9	0.98	66	STPT370	92	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.32	—	4.82
10	0.98	66	STPT370	92	76.3	5.2	12.5%	1.00	0.41	—	4.55

評 価：上記鋼管の最小厚さは、すべて計算上必要な厚さ以上である。

注記*：() は旧 J I S 記号を示す。

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） 非常用発電装置

番号	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	外径 d_o (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの負の許容差 Q	継手の効率 η	計算上必要な厚さ t (mm)	炭素鋼鋼管の必要最小厚さ (mm)	管の厚さ (最小厚さ) (mm)
11	0.98	66	STPT370	92	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.32	—	4.82
12	0.98	66	(STPT38)*	92	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.32	—	4.82
13	0.95	50	STS410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.28	—	4.82
14	0.95	50	STS410	103	89.1	5.5	12.5%	1.00	0.41	—	4.82
15	0.95	50	STS410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.28	—	4.82
16	0.95	50	STS410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.28	—	4.82
17	0.95	50	STS410	103	76.3	5.2	12.5%	1.00	0.35	—	4.55
18	0.95	50	STS410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.28	—	4.82
19	0.95	50	SUS304TP	126	60.5	3.9	0.5mm	1.00	0.23	—	3.40
20	0.95	50	SUS304TP	126	34.0	3.4	0.5mm	1.00	0.13	—	2.90

評 価：上記鋼管の最小厚さは、すべて計算上必要な厚さ以上である。

注記*：() は旧 J I S 記号を示す。

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（非常用電源設備） 非常用発電装置

番号	最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (℃)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	外径 d_o (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの 負の 許容差 Q	継手の 効率 η	計算上 必要な厚さ t (mm)	炭素鋼鋼管 の必要最小 厚さ (mm)	管の厚さ (最小厚さ) (mm)
21	0.05	50	STS410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.02	—	4.82
22	0.05	50	STS410	103	34.0	4.5	12.5%	1.00	0.01	—	3.94

評 価：上記鋼管の最小厚さは、すべて計算上必要な厚さ以上である。

3. その他発電用原子炉の附属施設（補機駆動用燃料設備）の管の強度評価書

3.1 強度計算結果

3.1.1 管の設計仕様

名 称		最高 使用 圧力 (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	* 外 径 (mm)	* 厚 さ (mm)	材 料	番 号
補 機 駆 動 用 燃 料 設 備	燃料移送ポンプ入口配管分岐点 ～ 非常用ディーゼル発電設備 軽油タンク払出口	0.98	66	60.5	5.5	STPT410	1
	高圧炉心スプレイ系ディー ゼル発電設備燃料移送ポン プ入口配管分岐点 ～ 高圧炉心スプレイ系ディー ゼル発電設備軽油タンク払 出口	0.98	66	60.5	5.5	STPT410	2
	ガスタービン発電設備軽油 タンク出口配管分岐点 ～ ガスタービン発電設備軽油 タンク払出口	0.95	50	60.5	5.5	STS410	3

注記*：公称値を示す。

3.1.2 管の厚さの計算結果

設備区分 その他発電用原子炉の附属施設（補機駆動用燃料設備） 燃料設備

番号	最高使用 圧 力 (MPa)	最高使用 温 度 (°C)	材 料	許容引張応力 σ_a (N/mm ²)	外径 d _o (mm)	公称厚さ (mm)	厚さの 負の 許容差 Q	継手の 効率 η	計算上 必要な厚さ t (mm)	炭素鋼鋼管 の必要最小 厚さ (mm)	管の厚さ (最小厚さ) (mm)
1	0.98	66	STPT410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.29	—	4.82
2	0.98	66	STPT410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.29	—	4.82
3	0.95	50	STS410	103	60.5	5.5	12.5%	1.00	0.28	—	4.82

評 価：上記鋼管の最小厚さは、すべて計算上必要な厚さ以上である。

VI-3-別添6 炉心支持構造物の強度に関する説明書

目次

- VI-3-別添 6-1 炉心シュラウドの強度計算書
- VI-3-別添 6-2 シュラウドサポートの強度計算書
- VI-3-別添 6-3 炉心シュラウド支持ロッドの強度計算書
- VI-3-別添 6-4 上部格子板の強度計算書
- VI-3-別添 6-5 炉心支持板の強度計算書
- VI-3-別添 6-6 燃料支持金具の強度計算書
- VI-3-別添 6-7 制御棒案内管の強度計算書

VI-3-別添 6-1 炉心シュラウドの強度計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	記号の説明	1
1.2	形状・寸法・材料	1
1.3	解析範囲	1
1.4	計算結果の概要	1
2.	計算条件	5
2.1	重大事故等時の条件	5
2.2	材料	5
2.3	荷重の組合せ及び運転状態	5
2.4	荷重の組合せ及び応力評価	5
2.5	許容応力	5
2.6	応力の記号と方向	5
3.	応力計算	6
3.1	応力評価点	6
3.2	差圧による応力	6
3.2.1	荷重条件	6
3.2.2	計算方法	6
3.3	外荷重による応力	7
3.3.1	荷重条件	7
3.3.2	計算方法	7
3.4	応力の評価	7
4.	応力強さの評価	8
4.1	一次一般膜応力強さの評価	8
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8
5.	特別な応力の評価	9
5.1	支圧応力の評価	9
5.1.1	支圧面積	9
5.1.2	支圧荷重	9
5.1.3	平均支圧応力	9
5.1.4	支圧応力の評価	9

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 5-1	支圧荷重の支持面	10
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	12
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	13
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	14
表 5-1	支圧応力の評価	15

1. 一般事項

本計算書は、炉心シュラウドの強度計算書である。

炉心シュラウドは、炉心支持構造物であるため、添付書類「VI-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 記号の説明

記号の説明は、「応力解析の方針」の 2.4 節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm
σ _c	平均支圧応力	MPa

1.2 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.3 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

なお、下部胴とシュラウドサポートとの接合部の応力解析及び評価は、添付書類「VI-3-別添 6-2 シュラウドサポートの強度計算書」に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

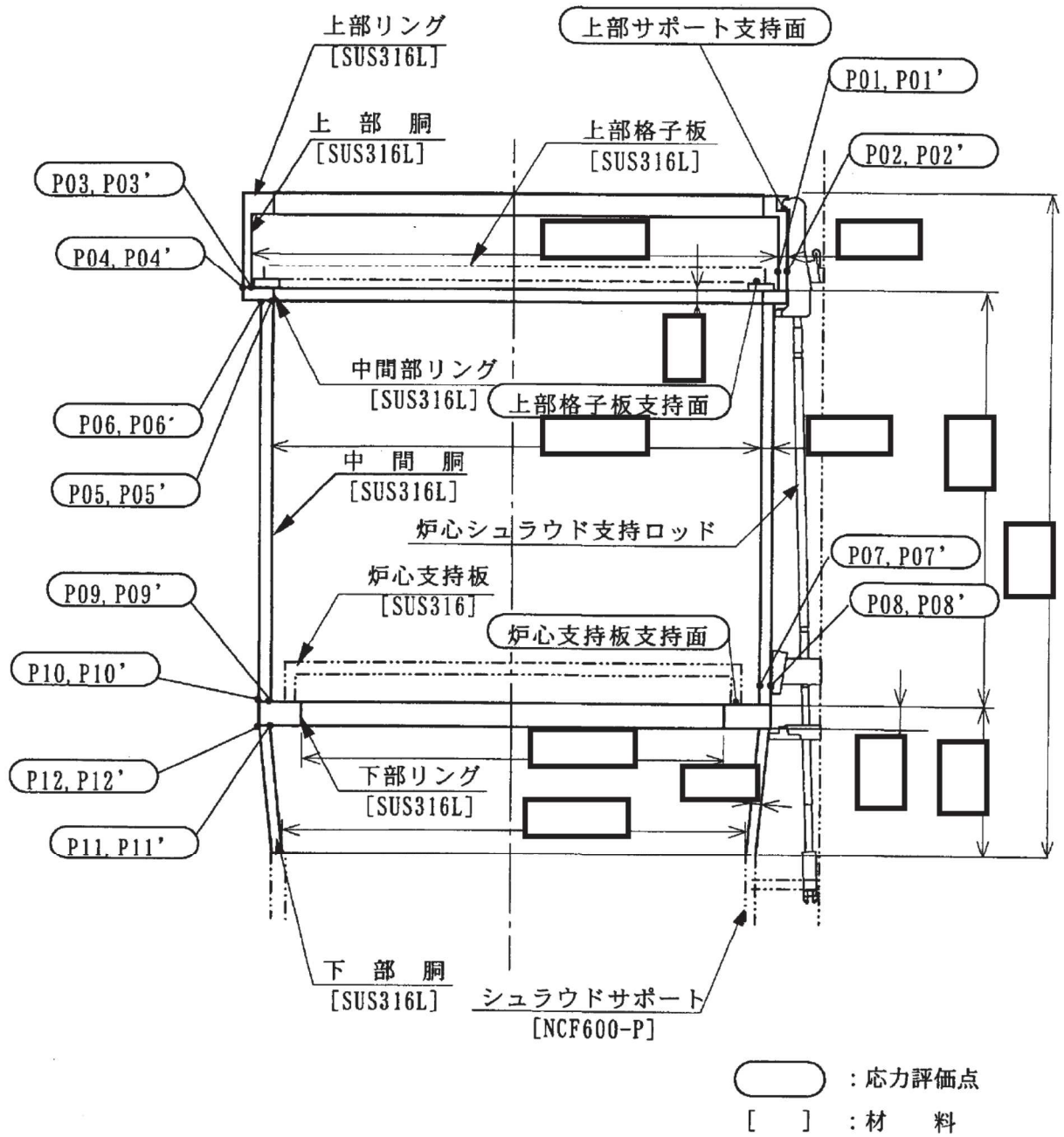


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
上部胴 SUS316L	V	15	223	P01-P02	15	335	P01-P02
	V	15	145*	P03-P04	15	218*	P03-P04
中間胴 SUS316L	V	14	145*	P05-P06	14	218*	P05-P06
	V	14	223	P07-P08	14	335	P07-P08
	V	14	145*	P09-P10	14	218*	P09-P10
下部胴 SUS316L	V	27	145*	P11-P12	27	218*	P11-P12

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	支圧応力	
		平均支圧応力	許容応力
上部格子板支持面 SUS316L	V	2	207
炉心支持板支持面 SUS316L	V	1	207
上部サポート支持面 SUS316L	V	15	207

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

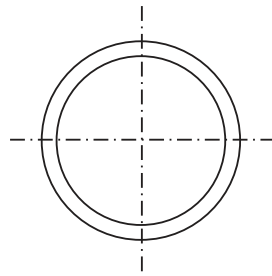
2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

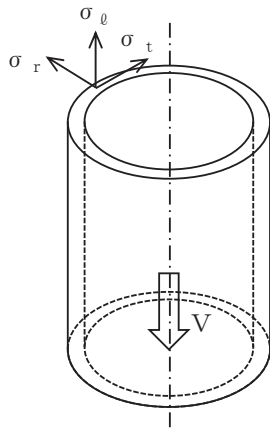
溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。



- σ_t : 周方向応力
- σ_θ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- $\tau_{t\theta}$: せん断応力
- $\tau_{\theta r}$: せん断応力
- V : 鉛直力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

差圧 P による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P$$

$$\sigma_\theta = \frac{V}{A}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P$$

ここで、 $Y = \frac{D_o}{D_i}$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は、存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(1)に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\theta} = \frac{V}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は、存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.3.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態 V における評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態 V の一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態 V における評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態 V の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

5. 特別な応力の評価

5.1 支圧応力の評価

炉心シュラウドの上部格子板支持面及び炉心支持板支持面には、それぞれの鉛直力により支圧応力が生じ、炉心シュラウドの上部サポート支持面には炉心シュラウド支持ロッドの軸力による支圧応力が発生するため、支圧応力の評価を行う。

5.1.1 支圧面積（図 5-1 参照）

(1) 上部格子板支持面

上部格子板支持面の支圧荷重を受ける面積は、以下のとおりである。

$$A = \boxed{} \text{ mm}^2$$

(2) 炉心支持板支持面

炉心支持板支持面の支圧荷重を受ける面積は、以下のとおりである。

$$A = \boxed{} \text{ mm}^2$$

(3) 上部サポート支持面

上部サポート支持面の支圧荷重を受ける面積は、以下のとおりである。

$$A = \boxed{} \text{ mm}^2$$

5.1.2 支圧荷重

重大事故等時における上部格子板支持面、炉心支持板支持面及び上部サポート支持面に作用する鉛直力を「応力解析の方針」の表 4-1(1)（荷重作用点 G、H 及び J）に示す。

5.1.3 平均支圧応力

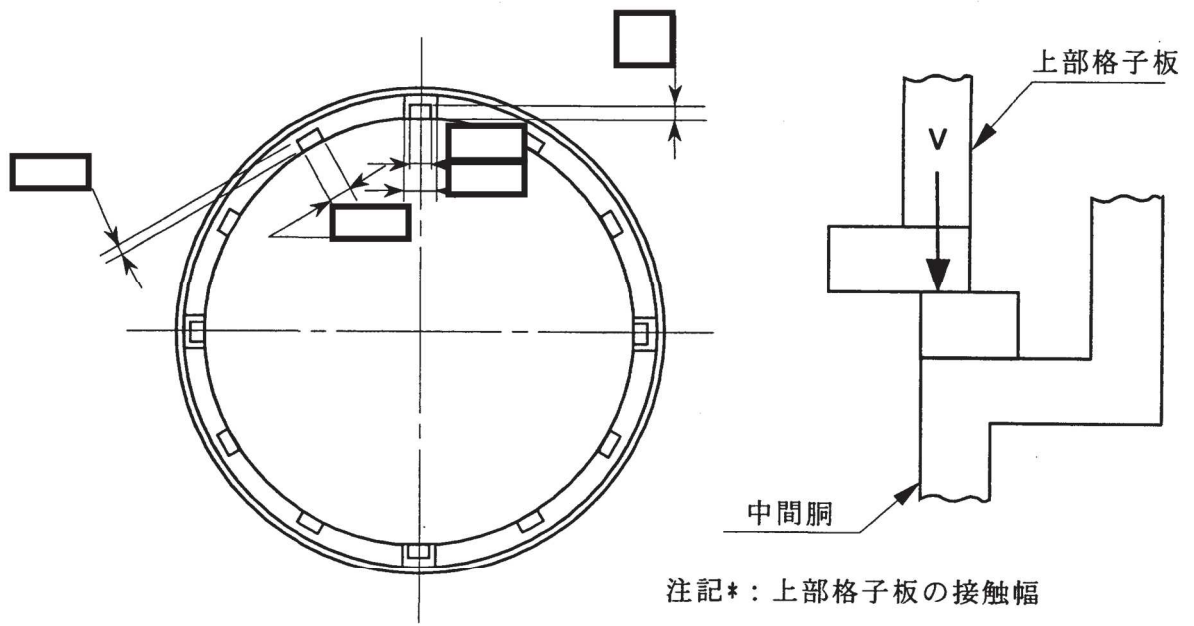
平均支圧応力 σ_c は、次式で求める。

$$\sigma_c = \frac{V}{A}$$

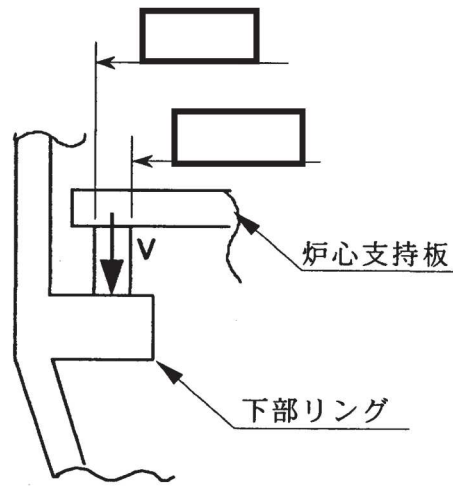
5.1.4 支圧応力の評価

運転状態 V における評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より、運転状態 V の平均支圧応力は、「応力解析の方針」の 3.4 節に示す許容応力を満足する。



a. 上部格子板



b. 炉心支持板

図 5-1(1) 支圧荷重の支持面 (単位: mm)

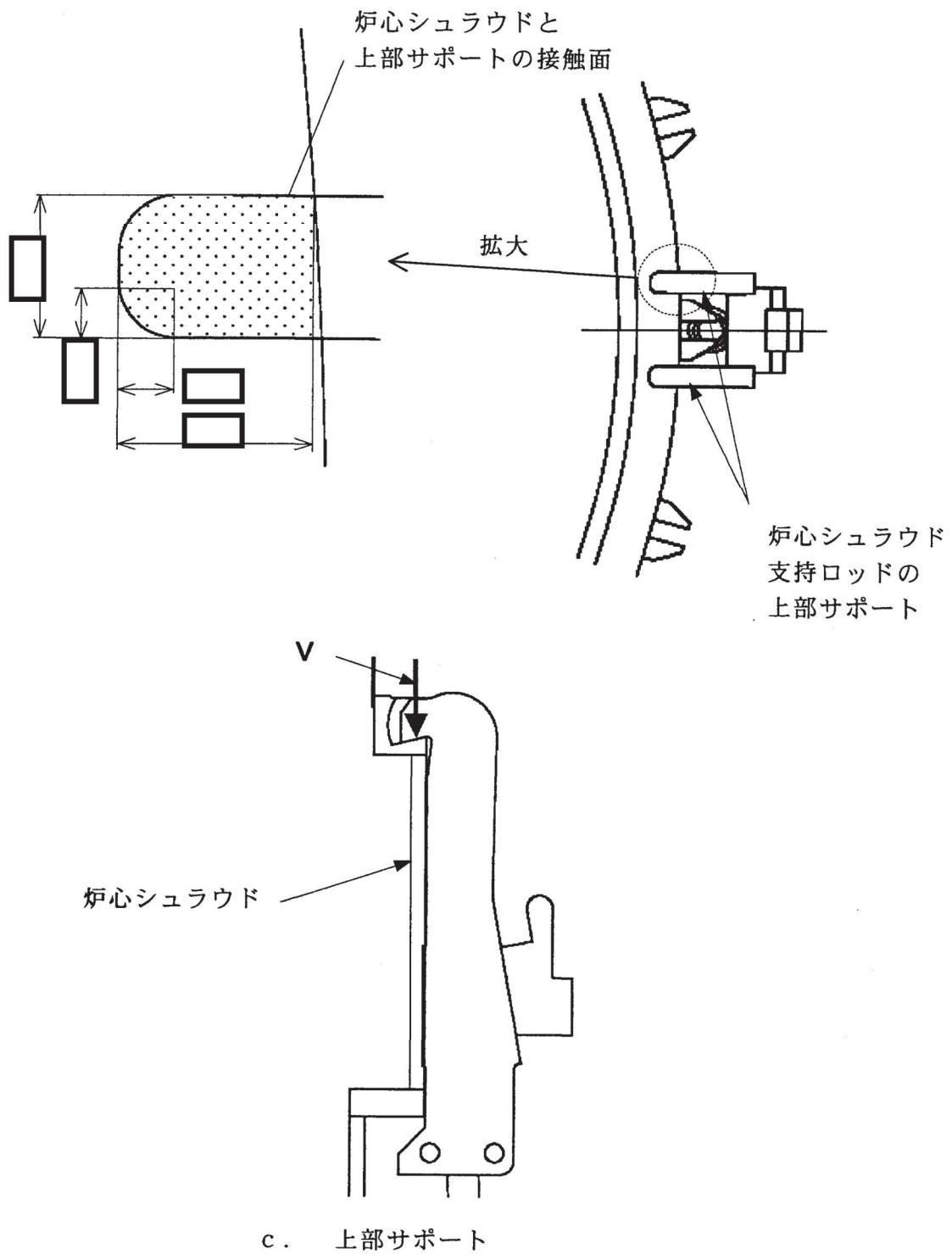


図 5-1(2) 支圧荷重の支持面 (単位 : mm)

表 3-1 断面性状

応力評価点	D_o (mm)	D_i (mm)	A (mm ²)
P01, P02			
P03, P04			
P05, P06			
P07, P08			
P09, P10			
P11, P12			

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	15	223
P01' P02'	15	223
P03 P04	15	145*
P03' P04'	15	145*
P05 P06	14	145*
P05' P06'	14	145*
P07 P08	14	223
P07' P08'	14	223
P09 P10	14	145*
P09' P10'	14	145*
P11 P12	27	145*
P11' P12'	27	145*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	15	335
P01' P02'	15	335
P03 P04	15	218*
P03' P04'	15	218*
P05 P06	14	218*
P05' P06'	14	218*
P07 P08	14	335
P07' P08'	14	335
P09 P10	14	218*
P09' P10'	14	218*
P11 P12	27	218*
P11' P12'	27	218*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 5-1(1) 支圧応力の評価

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態	平均支圧応力	許容応力
上部格子板 支持面	V	2	207

表 5-1(2) 支圧応力の評価

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態	平均支圧応力	許容応力
炉心支持板 支持面	V	1	207

表 5-1(3) 支圧応力の評価

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態	平均支圧応力	許容応力
上部サポート 支持面	V	15	207

VI-3-別添 6-2 シュラウドサポートの強度計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	記号の説明	1
1.2	形状・寸法・材料	2
1.3	解析範囲	2
1.4	計算結果の概要	2
2.	計算条件	6
2.1	重大事故等時の条件	6
2.2	材料	6
2.3	荷重の組合せ及び運転状態	6
2.4	荷重の組合せ及び応力評価	6
2.5	許容応力	6
2.6	応力の記号と方向	6
3.	応力計算	7
3.1	応力評価点	7
3.2	差圧による応力	7
3.3	外荷重による応力	7
3.3.1	シュラウドサポート全体に作用する外荷重	7
3.3.2	支持ロッドから作用する荷重	7
3.4	応力の評価	9
4.	応力強さの評価	9
4.1	一次一般膜応力強さの評価	9
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	9
5.	特別な応力の評価	10
5.1	軸圧縮荷重による座屈に対する評価	10
5.2	支圧応力の評価	12

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	3
図 3-1	応力計算のモデル	13
図 3-2	支持ロッドから作用する荷重による応力の計算モデル	14
図 5-1	支圧荷重の支持面	15
表 1-1	計算結果の概要	4
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	16
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	17
表 5-1	座屈に対する評価	18
表 5-2	支圧応力の評価	18

1. 一般事項

本計算書は、シュラウドサポートの強度計算書である。

シュラウドサポートは、炉心支持構造物であるため、添付書類「VI-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

注：以下、シュラウドサポートレグ、シュラウドサポートシリンダ、シュラウドサポートプレート、炉心シュラウド下部胴及び炉心シュラウド支持ロッドを、それぞれ「レグ」、「シリンダ」、「プレート」、「下部胴」及び「支持ロッド」という。

1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の2.4節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	レグ1本当たりの断面積	mm ²
B	レグの幅	mm
C	部材両端の拘束条件に対する座屈長さの係数	—
F	告示第88条第3項第1号に定める値	MPa
f_c	許容圧縮応力	MPa
I	座屈軸についての断面二次モーメント	mm ⁴
W	支持ロッドから作用する荷重	N
X, Y	支持ロッドの取付部の円板モデルによる応力計算に用いる係数	—
a, b	支持ロッドの取付部の円板モデルの寸法	mm
c~e	支圧面積の計算に用いる寸法	mm
t	プレートの板厚	mm
i	座屈軸についての断面二次半径	mm
l	レグの長さ	mm
l_k	座屈長さ	mm
T	レグの板厚	mm
Λ	限界細長比	—
λ	有効細長比	—
ν	告示第88条第3項第1号イに定める ν	—
A_c	支圧面積	mm ²
σ_c	平均支圧応力	MPa

1.2 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図1-1に示す。

1.3 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表1-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、応力が厳しくなる評価点を記載する。

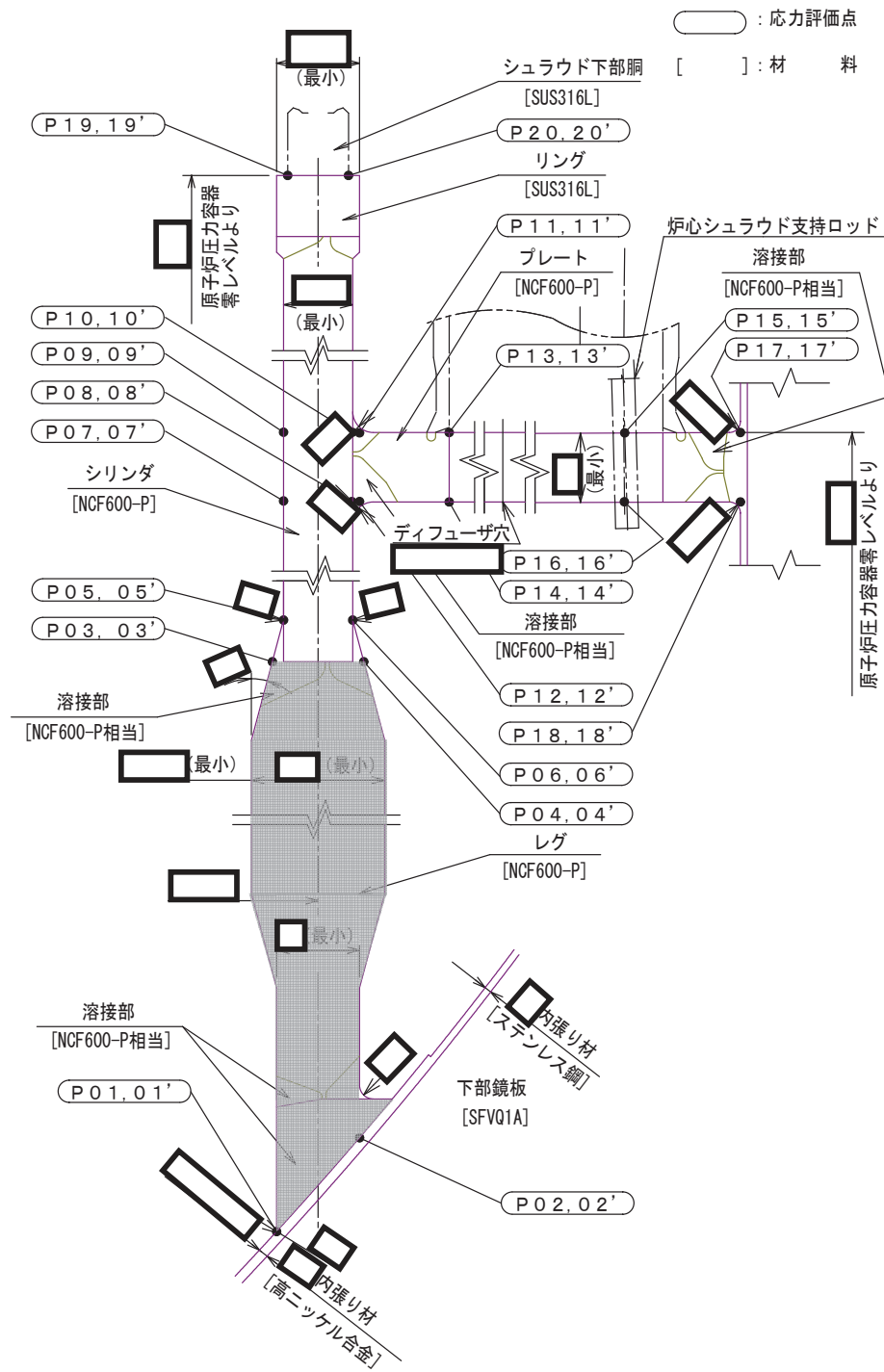


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜+一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
レグ NCF600-P	V	51	300*	P01 - P02	51	450*	P01 - P02
シリンダ NCF600-P	V	17	334	P09 - P10	17	501	P09 - P10
プレート NCF600-P	V	11	300*	P17 - P18	14	450*	P17 - P18
下部胴 SUS316L	V	27	201*	P19 - P20	27	301*	P19 - P20

注記* : 継手効率 を乗じた値を示す。

表1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	座屈に対する評価	
		圧縮応力	許容応力
レグ NCF600-P	V	7	207

表1-1(3) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	支圧応力の評価	
		平均支圧応力	許容応力
プレートのトグル支持面 NCF600-P	V	9	384

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図1-1に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」の3.3節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.4節に示す。

2.5 許容応力

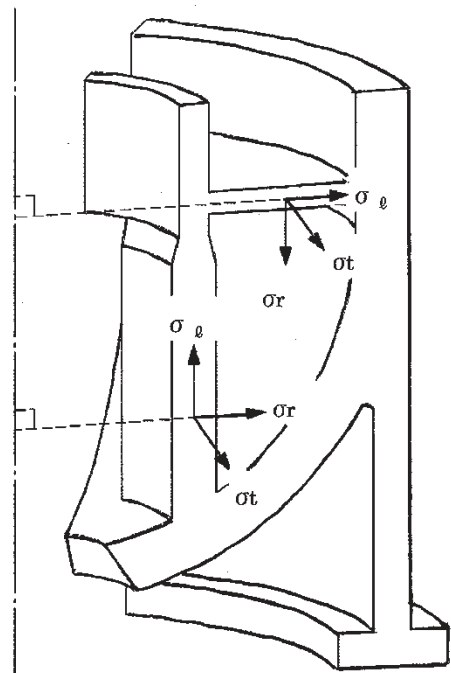
許容応力を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の3.6節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_ℓ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- $\tau_{t\ell}$: せん断応力
- $\tau_{\ell r}$: せん断応力
- τ_{rt} : せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図1-1に示す。

3.2 差圧による応力

(1) 荷重条件 (L02)

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

(2) 計算方法

差圧による応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、計算機コード「STAX」により行う。なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件（拘束条件）を図3-1に示す。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 シュラウドサポート全体に作用する外荷重

(1) 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

(2) 計算方法

軸対称荷重（鉛直力 V_1 及び V_2 ）による応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、計算機コード「STAX」により行う。なお、評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件（拘束条件）を図3-1に示す。

3.3.2 支持ロッドから作用する荷重

(1) 荷重条件 (L02)

外荷重を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

(2) 計算方法

支持ロッドから作用する荷重による応力の計算は、以下の式で算出する。

支持ロッドから作用する荷重は、プレートを垂直上方に引っ張る荷重であるが、荷重が作用する位置の周辺は、図3-2に示すように原子炉压力容器やシリンダ等で拘束されており、支持ロッドを中心とした円板を仮定することで支持ロッド近傍に発生する応力と拘束された位置での応力を求める。

具体的には、外周固定、内周に輪形荷重が作用する円板モデルを仮定し、その内部に発生する応力を計算する。

計算式は、「応力解析の方針」の引用文献(1)のA4の表26のNo.10式による。この計算式において、支持ロッドの穴の周辺部については、円板モデルの内周に発生する応力を適用し、原子炉圧力容器で拘束されている部分については、円板モデルの外周に発生する応力を適用する。

応力を求める計算式を以下に示す。なお、計算式中の記号は、図3-2に示すとおりである。

支持ロッドの穴の周辺部

$$\sigma_t = \pm \frac{3 \cdot W}{4 \cdot \pi \cdot t^2} \cdot \left\{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot \left(X + \ln \frac{a}{b} \right) - (1 - \nu) \cdot \left(1 - Y \cdot \frac{a^2}{b^2} \right) \right\}$$

$$\sigma_l = \pm \frac{3 \cdot W}{4 \cdot \pi \cdot t^2} \cdot \left\{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot \left(X + \ln \frac{a}{b} \right) + (1 - \nu) \cdot \left(1 - Y \cdot \frac{a^2}{b^2} \right) \right\}$$

原子炉圧力容器で拘束されている部分

$$\sigma_t = \pm \frac{3 \cdot W}{4 \cdot \pi \cdot t^2} \cdot \{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot X + (1 - \nu) \cdot (1 - Y) \}$$

$$\sigma_l = \pm \frac{3 \cdot W}{4 \cdot \pi \cdot t^2} \cdot \{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot X - (1 - \nu) \cdot (1 - Y) \}$$

応力式の複号は、上がプレート上面、下がプレート下面を表す。

ここで、

$$X = -\frac{1}{2} \cdot \frac{a^2}{(1 - \nu) \cdot a^2 + (1 + \nu) \cdot b^2} \cdot \left\{ 2 \cdot (1 + \nu) \cdot \frac{b^2}{a^2} \cdot \ln \frac{a}{b} + (1 - \nu) \cdot \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right) \right\}$$

$$Y = -\frac{2 \cdot b^2}{(1 - \nu) \cdot a^2 + (1 + \nu) \cdot b^2} \cdot \left\{ (1 + \nu) \cdot \ln \frac{a}{b} - 1 \right\}$$

ν : ポアソン比 (=)

また、せん断応力は、次式で求める。
支持ロッドの穴の周辺部

$$\tau_{rt} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot b \cdot t}$$

原子炉压力容器で拘束されている部分

$$\tau_{lr} = \frac{W}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot t}$$

上記の方法で求めた応力を一次応力として用いる。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.3.2項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表4-1に示す。

表4-1より、運転状態Vの一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.4節及び3.6節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表4-2に示す。

表4-2より、運転状態Vの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.4節及び3.6節に示す許容応力を満足する。

5. 特別な応力の評価

5.1 軸圧縮荷重による座屈に対する評価

レグには、シュラウドサポートに作用する鉛直力により、圧縮応力が生じる。したがって、この荷重により発生する圧縮応力の評価を行う。

(1) 計算データ

a. 座屈長さ ℓ_k

$$\ell_k = C \cdot \ell = 0.7 \times \boxed{} = \boxed{} \text{ mm}$$

ここで、 $C = 0.7$

$$\ell : \text{レグの長さ} = \boxed{} \text{ mm}$$

b. 座屈軸についての断面二次半径 i

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\boxed{}} = \boxed{} \text{ mm}$$

ここで、 I : 座屈軸についての断面二次モーメント

$$= \frac{1}{12} \cdot T^3 \cdot B = \boxed{} \text{ mm}^4$$

$$T : \text{レグの板厚} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$B : \text{レグの幅} = \boxed{} \text{ mm}$$

A : レグ 1 本当たりの断面積

$$= T \cdot B = \boxed{} \text{ mm}^2$$

c. 有効細長比 λ

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} = \boxed{} = \boxed{}$$

(2) 荷重

シュラウドサポートに作用する鉛直力を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

(3) 圧縮応力

運転状態Vにおいてレグに発生する圧縮応力を表5-1に示す。

レグに発生する圧縮応力は、応力評価面P03'-P04'での一次一般膜応力 (σ_θ) を示す。

(4) 許容応力

運転状態Vにおける許容応力の計算は、告示第88条第3項第1号を準用して計算する。

運転状態Vにおける許容応力度Fは、以下の3つの値のうち小さい方を用いる。

$$1.35 \cdot S_y = 259 \text{ MPa} \quad (\square^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$0.7 \cdot S_u = 350 \text{ MPa} \quad (\square^\circ\text{C} \text{ における値})$$

$$1.2 \cdot S_y = 294 \text{ MPa} \quad (\square \text{ における値})$$

したがって、許容応力度 $F = 259 \text{ MPa}$ とする。

運転状態Vにおける許容圧縮応力 f_c は、次のように得られる。

$$\text{限界細長比} : \Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times \square}{0.6 \times 259}} = \square$$

ここで、E：縦弾性係数 = $\square \text{ MPa}$ $\square^\circ\text{C}$ における値)

ゆえに、 $\lambda < \Lambda$ なので f_c は、

$$\begin{aligned} f_c &= 1.5 \cdot \left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{\nu} \\ &= 1.5 \times \left\{ 1 - 0.4 \times \left(\frac{\square}{\square} \right)^2 \right\} \times \frac{259}{\square} = 207 \text{ MPa} \end{aligned}$$

ここで、

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 = 1.5 + \frac{2}{3} \times \square^2 = \square$$

(5) 軸圧縮荷重による座屈に対する評価

運転状態Vにおける軸圧縮荷重による座屈に対する評価を表5-1に示す。

表5-1より、運転状態Vにおける圧縮応力は、許容応力を満足するため、座屈は発生しない。

5.2 支圧応力の評価

プレートには、図 5-1 に示すように支持ロッドから作用する鉛直力により、プレートと支持ロッドのトグルとの接触面に支圧応力が生じる。したがって、この荷重により発生する支圧応力の評価を行う。

(1) 計算データ

a. 支圧面積 A_c

$$A_c = \boxed{} \times \boxed{} = \boxed{} \text{ mm}^2$$

(2) 荷重

プレートに支持ロッドから作用する鉛直力を「応力解析の方針」の 4.2 節に示す。

(3) 平均支圧応力

平均支圧応力 σ_c は、次のようにして求める。

$$\sigma_c = \frac{W}{A_c}$$

(4) 支圧応力の評価

運転状態 V における評価を表 5-2 に示す。

表 5-2 より、運転状態 V における平均支圧応力は、「応力解析の方針」の 3.4 節に示す許容応力を満足する。

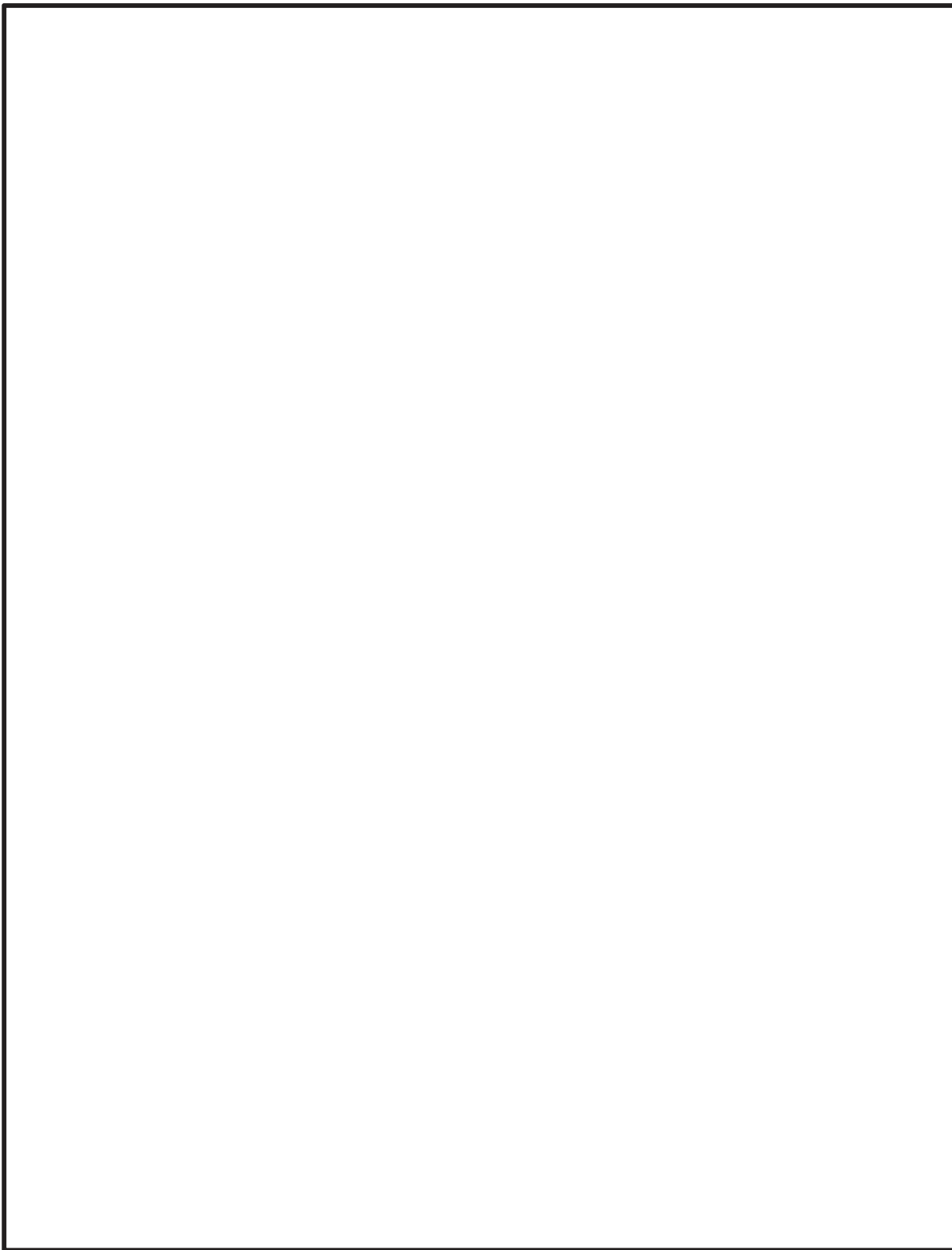
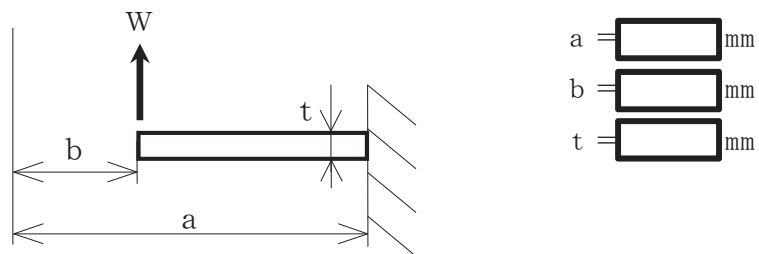
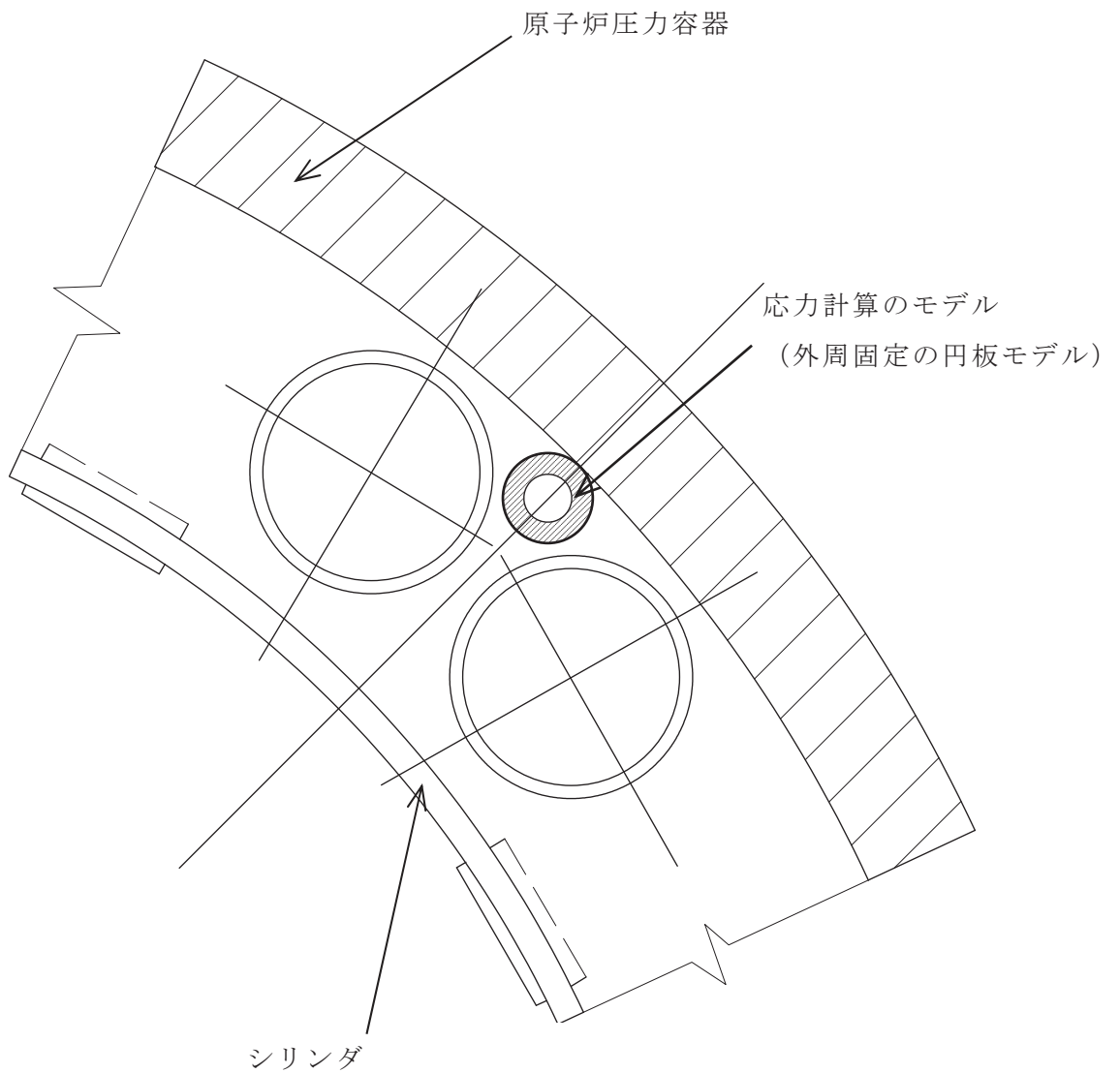


図3-1 応力計算のモデル



(外周固定の円板モデル)

図 3-2 支持ロッドから作用する荷重による応力の計算モデル

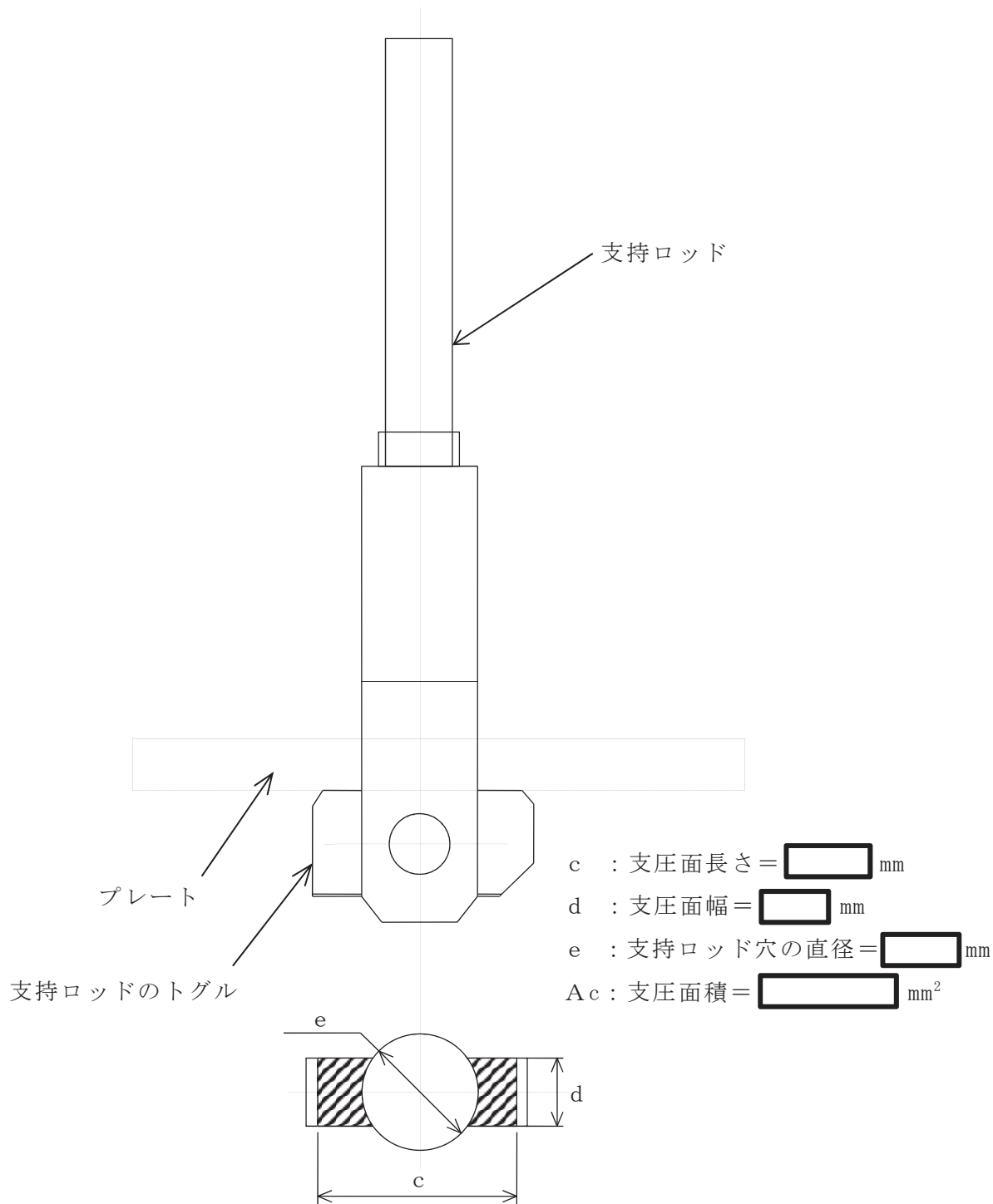


図 5-1 支圧荷重の支持面

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位 : MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	51	300*
P01' P02'	51	300*
P03 P04	43	334
P03' P04'	43	334
P05 P06	16	334
P05' P06'	16	334
P07 P08	15	334
P07' P08'	15	334
P09 P10	17	334
P09' P10'	17	334
P11 P12	7	300*
P11' P12'	7	300*
P13 P14	9	334
P13' P14'	9	334
P15 P16	9	334
P15' P16'	9	334
P17 P18	11	300*
P17' P18'	11	300*
P19 P20	27	201*
P19' P20'	27	201*

注記* : 継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	51	450*
P01' P02'	51	450*
P03 P04	43	501
P03' P04'	43	501
P05 P06	16	501
P05' P06'	16	501
P07 P08	15	501
P07' P08'	15	501
P09 P10	17	501
P09' P10'	17	501
P11 P12	7	450*
P11' P12'	7	450*
P13 P14	9	501
P13' P14'	9	501
P15 P16	10	501
P15' P16'	10	501
P17 P18	14	450*
P17' P18'	14	450*
P19 P20	27	301*
P19' P20'	27	301*

注記* : 継手効率 を乗じた値を示す。

表5-1 座屈に対する評価

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態	圧縮応力	許容応力
P03' - P04'	V	7	207

表5-2 支圧応力の評価

(単位：MPa)

評価部位	運転状態	平均支圧応力	許容応力
プレートのトグル支持面	V	9	384

VI-3-別添 6-3 炉心シュラウド支持ロッドの強度計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	記号の説明	1
1.2	形状・寸法・材料	1
1.3	解析範囲	1
1.4	計算結果の概要	1
2.	計算条件	9
2.1	重大事故等時の条件	9
2.2	材料	9
2.3	荷重の組合せ及び運転状態	9
2.4	荷重の組合せ及び応力評価	9
2.5	許容応力	9
2.6	応力の記号と方向	9
3.	応力計算	10
3.1	応力評価点	10
3.2	上部サポートの外荷重による応力	10
3.2.1	荷重条件	10
3.2.2	計算方法	10
3.3	上部タイロッド、下部タイロッド及びトグルクレビスの外荷重による応力	11
3.3.1	荷重条件	11
3.3.2	計算方法	11
3.4	応力の評価	11
4.	応力強さの評価	12
4.1	一次一般膜応力強さの評価	12
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	12
5.	特別な応力の評価	13
5.1	せん断応力の評価	13
5.1.1	せん断面積	13
5.1.2	純せん断荷重	13
5.1.3	平均せん断応力	13
5.1.4	せん断応力の評価	13

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	7
表 3-1	断面性状	14
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	15
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	16
表 5-1	せん断応力の評価	17

1. 一般事項

本計算書は、炉心シュラウド支持ロッドの強度計算書である。

炉心シュラウド支持ロッドは、炉心支持構造物であるため、添付書類「VI-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 記号の説明

記号の説明は、「応力解析の方針」の 2.4 節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D。	外径	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
L	荷重作用点と応力評価断面との距離	mm
t	板厚	mm
b	六角断面の対面距離	mm
τ	平均せん断応力	MPa

1.2 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

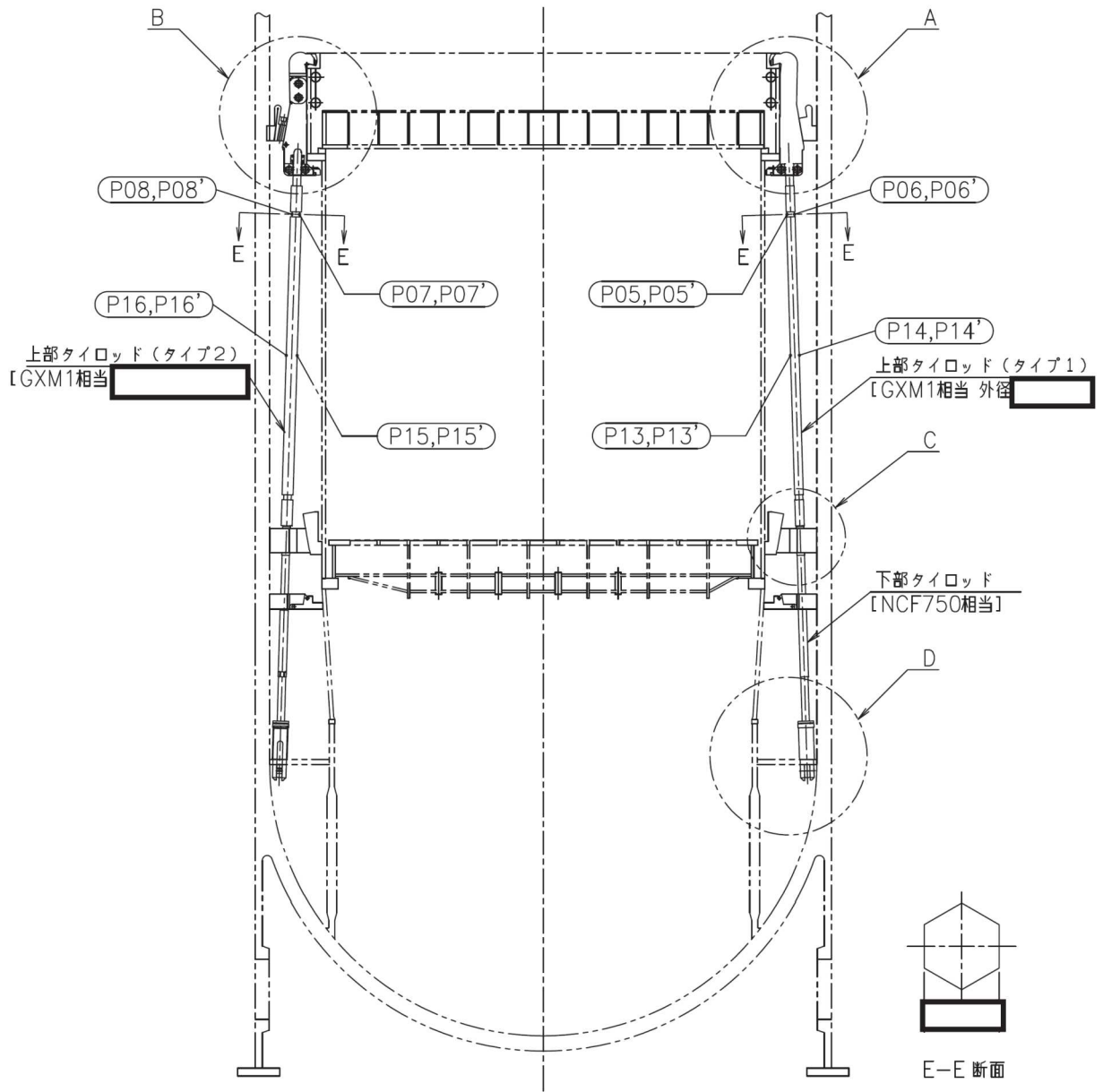
1.3 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



○ : 応力評価点
 [] : 材 料

図 1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

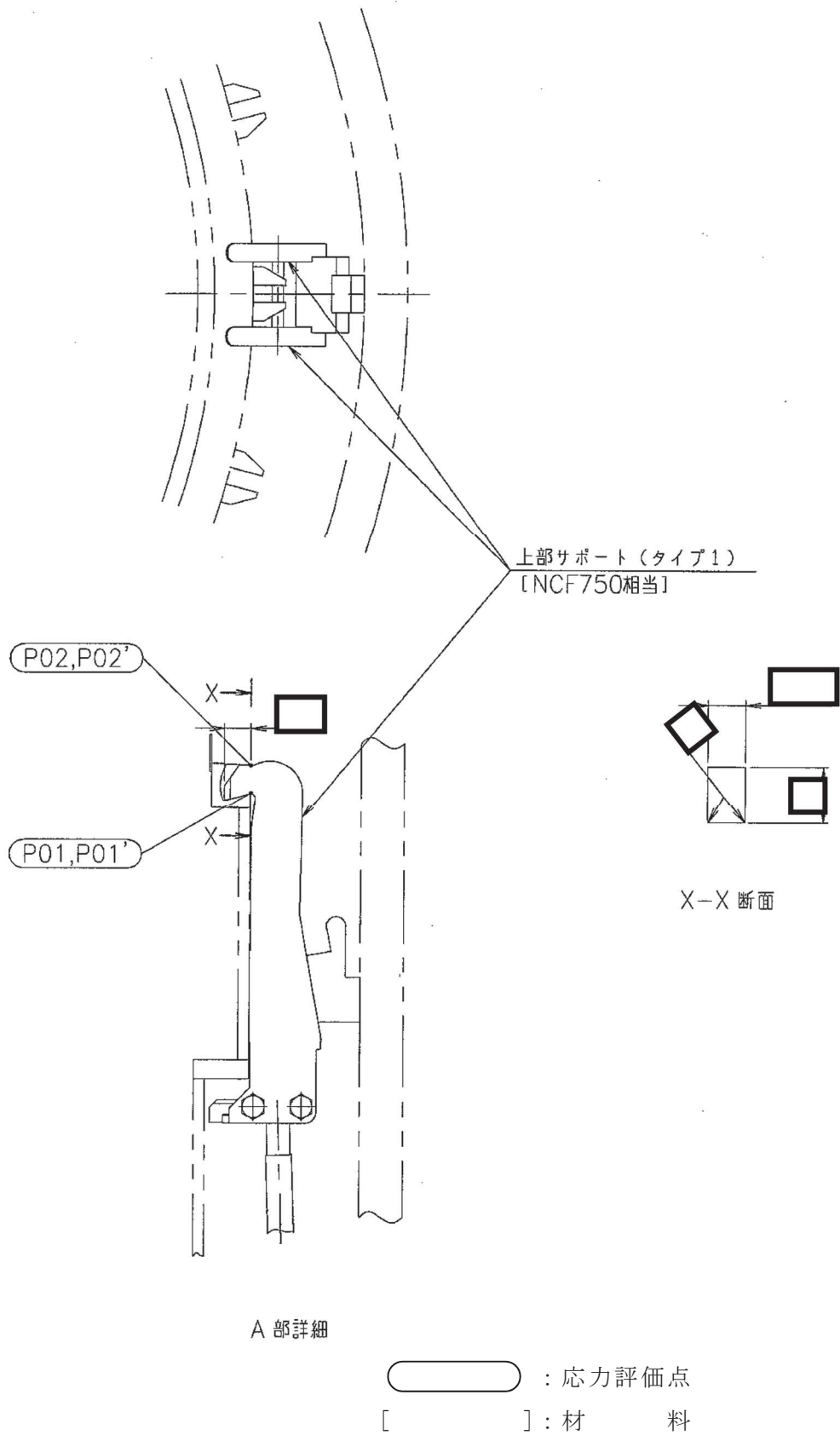


図 1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

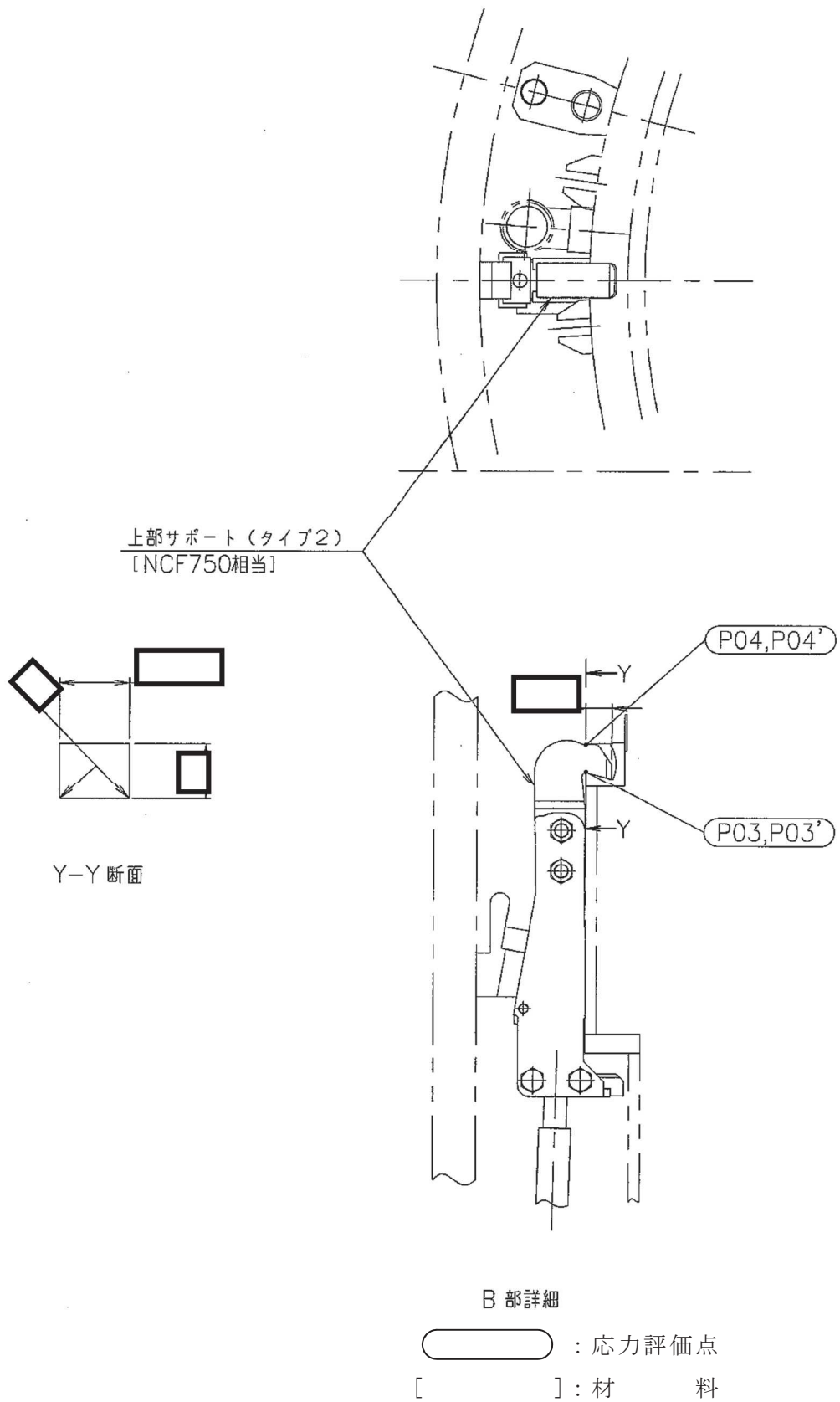
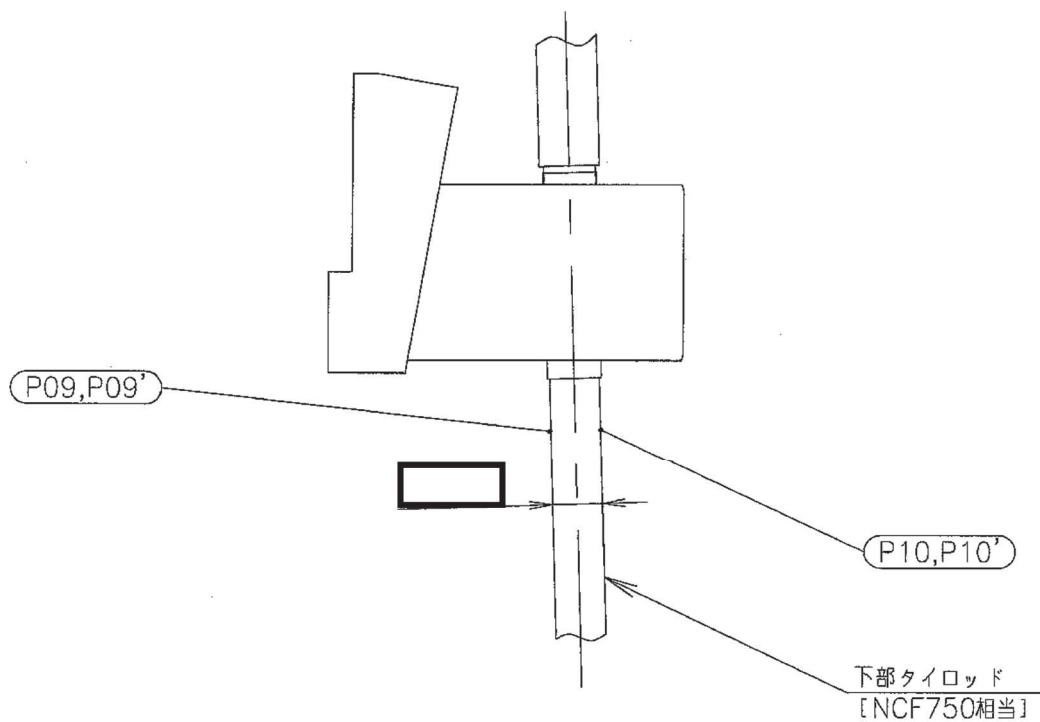


図 1-1(3) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)



C 部詳細

○ : 応力評価点
[] : 材 料

図 1-1(4) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

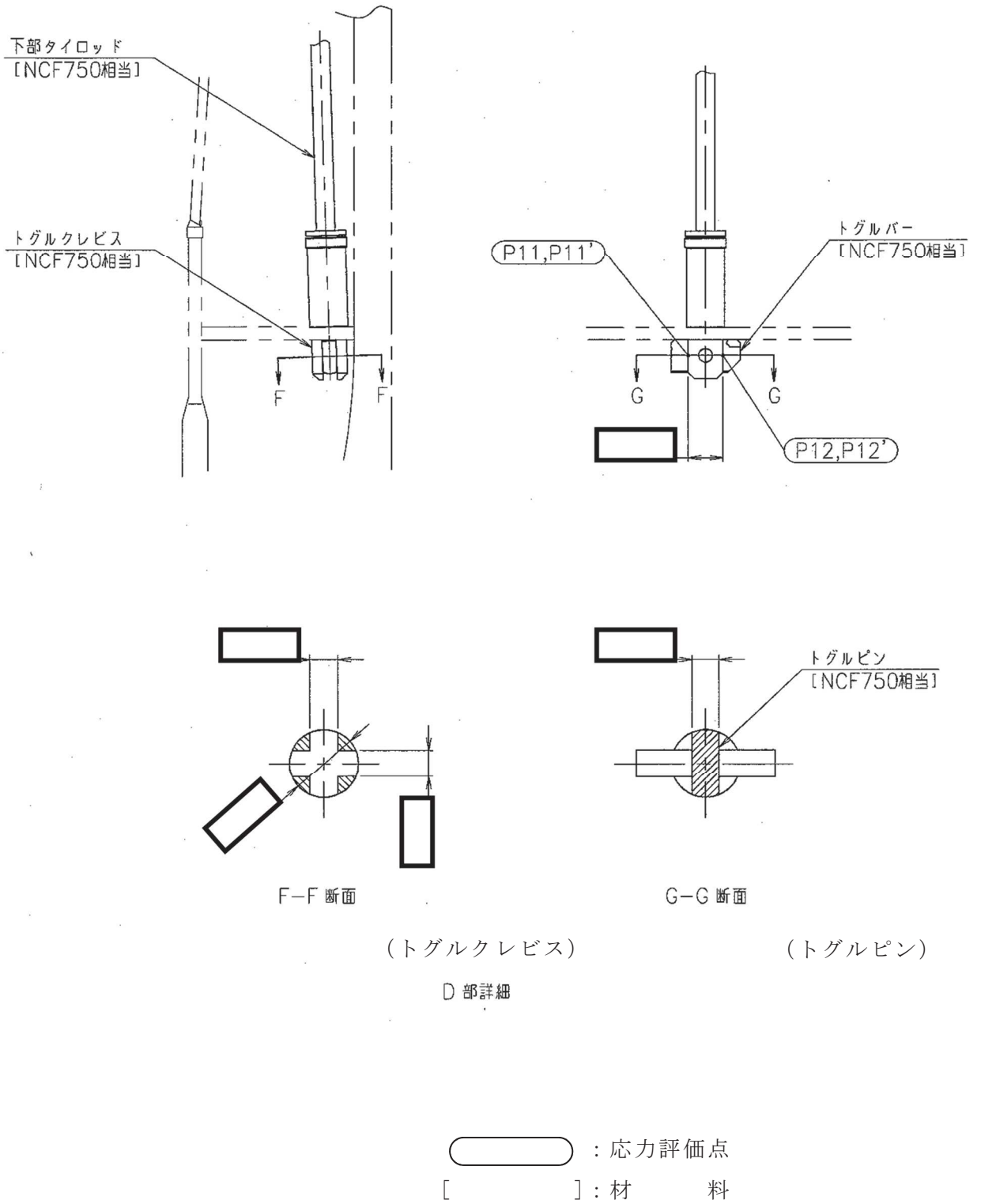


図 1-1(5) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
上部サポート (タイプ 1) NCF750 相当	V	22	585	P01-P02	38	878	P01-P02
上部サポート (タイプ 2) NCF750 相当	V	23	585	P03-P04	41	878	P03-P04
上部タイロッド (タイプ 1) GXM1 相当	V	26	367	P05-P06	26	550	P05-P06
上部タイロッド (タイプ 2) GXM1 相当	V	26	367	P07-P08	26	550	P07-P08
下部タイロッド NCF750 相当	V	31	585	P09-P10	31	878	P09-P10
トグルクレビス NCF750 相当	V	47	585	P11-P12	47	878	P11-P12
上部タイロッド (タイプ 1) GXM1 相当	V	21	367	P13-P14	21	550	P13-P14
上部タイロッド (タイプ 2) GXM1 相当	V	14	367	P15-P16	14	550	P15-P16

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	せん断応力	
		平均せん断応力	許容応力
トグルピン NCF750 相当	V	30	386

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

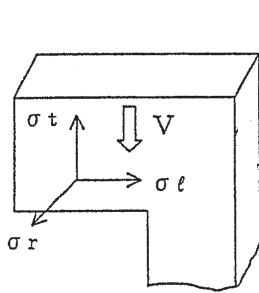
荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

2.5 許容応力

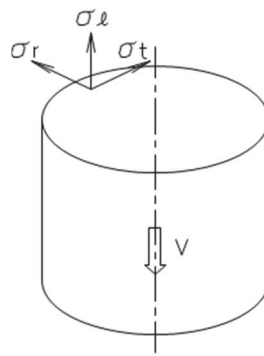
許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。



上部サポート



上部サポート以外

- σ_t : 周方向応力
- σ_l : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- $\tau_{t\ell}$: せん断応力
- V : 鉛直力

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

3.2 上部サポートの外荷重による応力

3.2.1 荷重条件 (L02, L04)

炉心シュラウド支持ロッドに作用する外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(3)に示す。

3.2.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\tau_{t\theta} = \frac{V}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次一般膜＋一次曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\theta} = \frac{V \cdot L}{2 \cdot I} \cdot \frac{t}{2}$$

$$\tau_{t\theta} = \frac{V}{A}$$

3.3 上部タイロッド，下部タイロッド及びトグルクレビスの外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L02, L04)

炉心シュラウド支持ロッドに作用する外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(3)に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は，次式で求める。

$$\sigma_{\theta} = \frac{V}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は，存在しない。したがって，一次一般膜＋一次曲げ応力は，一次一般膜応力と同じである。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め，応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は，「応力解析の方針」の 5.3.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表4-1に示す。

表4-1より、運転状態Vの一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.4節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表4-2に示す。

表4-2より、運転状態Vの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.4節に示す許容応力を満足する。

5. 特別な応力の評価

炉心シュラウド支持ロッドの軸力により、トグルピンにはせん断応力が生じる。これについて、せん断応力の評価を行う。

5.1 せん断応力の評価

5.1.1 せん断面積

(1) トグルピン (図 1-1(5)参照)

トグルピンが鉛直荷重を受けるせん断面積は次のようになる。

$$\begin{aligned} A &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 53.2^2 \\ &= 4.446 \times 10^3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

5.1.2 純せん断荷重

運転状態 V におけるトグルピンに作用する鉛直力を「応力解析の方針」の表 4-1(3)に示す。

5.1.3 平均せん断応力

平均せん断応力 τ は、次式によって求める。

$$\tau = \frac{V}{A}$$

5.1.4 せん断応力の評価

運転状態 V における評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より、運転状態 V の平均せん断応力は、「応力解析の方針」の 3.4 節に示す許容応力を満足する。

表 3-1 断面性状

応力評価点	D _o (mm)	L (mm)	t (mm)	b (mm)	A (mm ²)
P01, P02					
P03, P04					
P05, P06					
P07, P08					
P09, P10					
P11, P12					
P13, P14					
P15, P16					

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	22	585
P01' P02'	22	585
P03 P04	23	585
P03' P04'	23	585
P05 P06	26	367
P05' P06'	26	367
P07 P08	26	367
P07' P08'	26	367
P09 P10	31	585
P09' P10'	31	585
P11 P12	47	585
P11' P12'	47	585
P13 P14	21	367
P13' P14'	21	367
P15 P16	14	367
P15' P16'	14	367

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	38	878
P01' P02'	38	878
P03 P04	41	878
P03' P04'	41	878
P05 P06	26	550
P05' P06'	26	550
P07 P08	26	550
P07' P08'	26	550
P09 P10	31	878
P09' P10'	31	878
P11 P12	47	878
P11' P12'	47	878
P13 P14	21	550
P13' P14'	21	550
P15 P16	14	550
P15' P16'	14	550

表 5-1 せん断応力の評価

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態	平均せん断応力	許容応力
トグルピン	V	30	386

VI-3-別添 6-4 上部格子板の強度計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	記号の説明	1
1.2	形状・寸法・材料	1
1.3	解析範囲	1
1.4	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	重大事故等時の条件	4
2.2	材料	4
2.3	荷重の組合せ及び運転状態	4
2.4	荷重の組合せ及び応力評価	4
2.5	許容応力	4
2.6	応力の記号と方向	4
3.	応力計算	5
3.1	応力評価点	5
3.2	差圧による応力	5
3.2.1	荷重条件	5
3.2.2	計算方法	5
3.3	外荷重による応力	6
3.3.1	荷重条件	6
3.3.2	計算方法	6
3.4	応力の評価	6
4.	応力強さの評価	7
4.1	一次一般膜応力強さの評価	7
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	7

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	応力計算モデル	8
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	9
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	10
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	11

1. 一般事項

本計算書は、上部格子板の強度計算書である。

上部格子板は、炉心支持構造物であるため、添付書類「VI-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 記号の説明

記号の説明は、「応力解析の方針」の 2.4 節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
a	グリッドプレートの高さ	mm
b	グリッドプレートの下溝の高さ	mm
c	グリッドプレートの上溝の高さ	mm
d	グリッドプレートの高さ	mm
e	グリッドプレートの切欠きの高さ	mm
h	グリッドプレートの板厚	mm
L	グリッドプレート 13 スパンの長さ	mm
ℓ	グリッドプレート 1 スパンの長さ	mm
Z	断面係数	mm ³

1.2 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.3 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

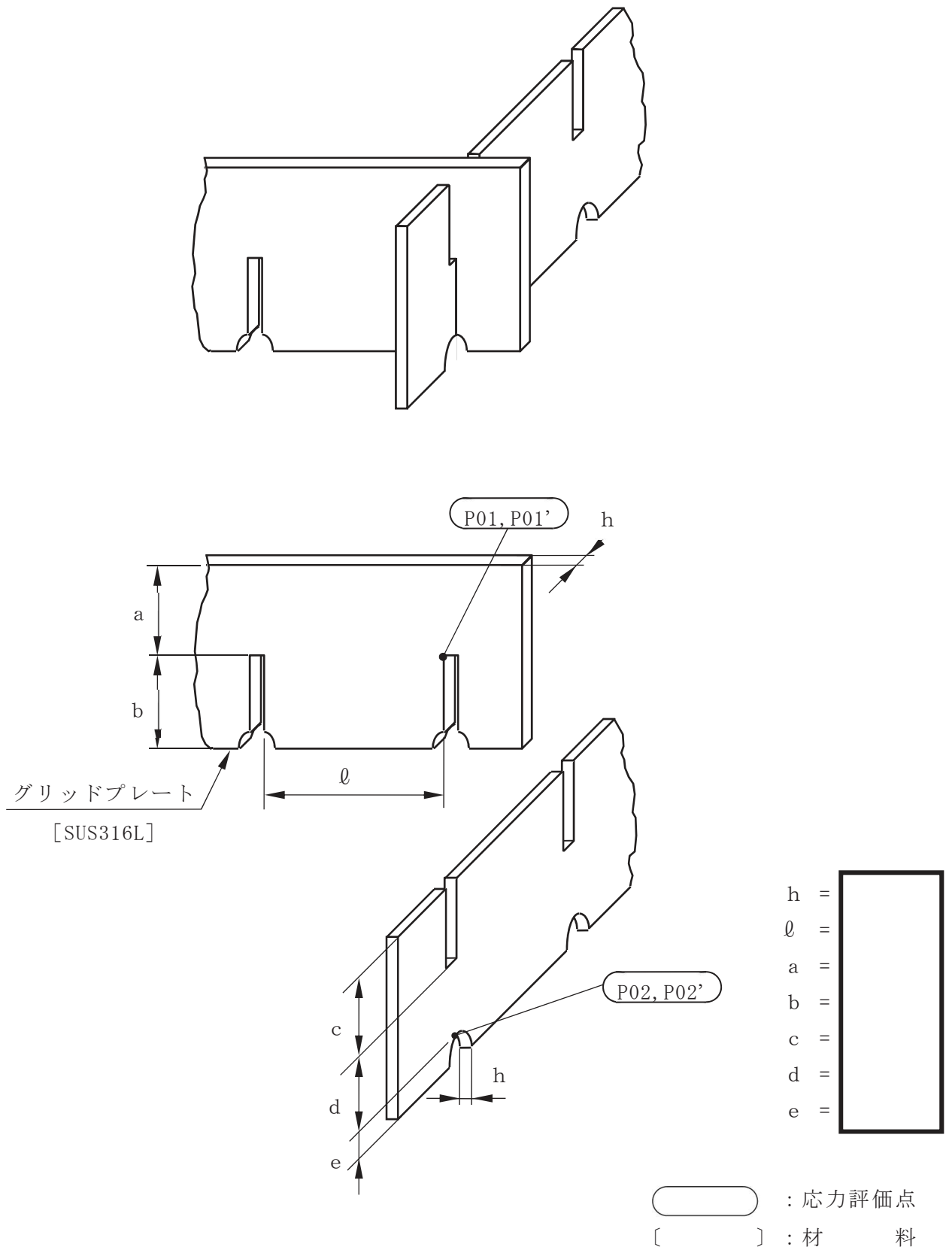


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価点	応力強さ	許容応力	応力評価点
グリッド プレート SUS316L	V	2	223	P01	9	335	P01
	V	2	223	P02	9	335	P02

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

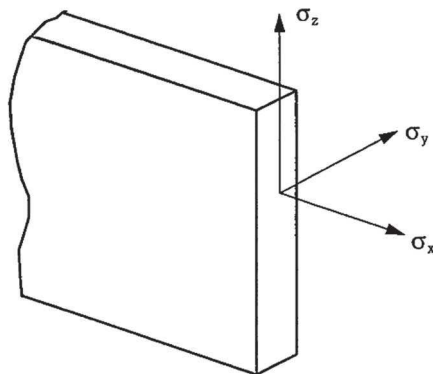
2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

なお、主応力の算出は、「応力解析の方針」の 5.3.1 項に示される式において、 $\sigma_t, \sigma_l, \sigma_r, \tau_{tl}, \tau_{lr}, \tau_{rt}$ をそれぞれ $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ に添字を置き換えて求める。



- σ_x : x 方向応力
- σ_y : y 方向応力
- σ_z : z 方向応力
- τ_{xy} : せん断応力
- τ_{yz} : せん断応力
- τ_{zx} : せん断応力

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお，各応力評価点の断面性状は，表 3-1 に示すとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

3.2.2 計算方法

差圧 P_{34} による応力は，以下により求める。

なお，計算は，最大応力の発生する最長のグリッドプレートについて行う。

応力計算モデルを図 3-1 に示す。

(1) 差圧 P_{34} による荷重

$$W_P = -P_{34} \cdot h \cdot L$$

(2) 端部におけるモーメント

$$M = \frac{W_P \cdot L}{12}$$

(3) 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M}{Z}$$

(4) せん断応力

$$\tau_{zx} = \frac{W_P}{2 \cdot A}$$

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(4)に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による一次応力は、以下により求める。

応力計算モデルを図 3-1 に示す。

(1) 鉛直方向荷重による応力

- a. グリッドプレートの端部における鉛直方向荷重

$$W_V = 13 \cdot V$$

- b. グリッドプレートの端部におけるモーメント

$$M_V = \frac{W_V \cdot L}{12}$$

- c. 曲げ応力

$$\sigma_x = \frac{M_V}{Z}$$

- d. せん断応力

$$\tau_{zx} = \frac{W_V}{2 \cdot A}$$

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.3.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態 V における評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態 V の一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態 V における評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態 V の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節に示す許容応力を満足する。

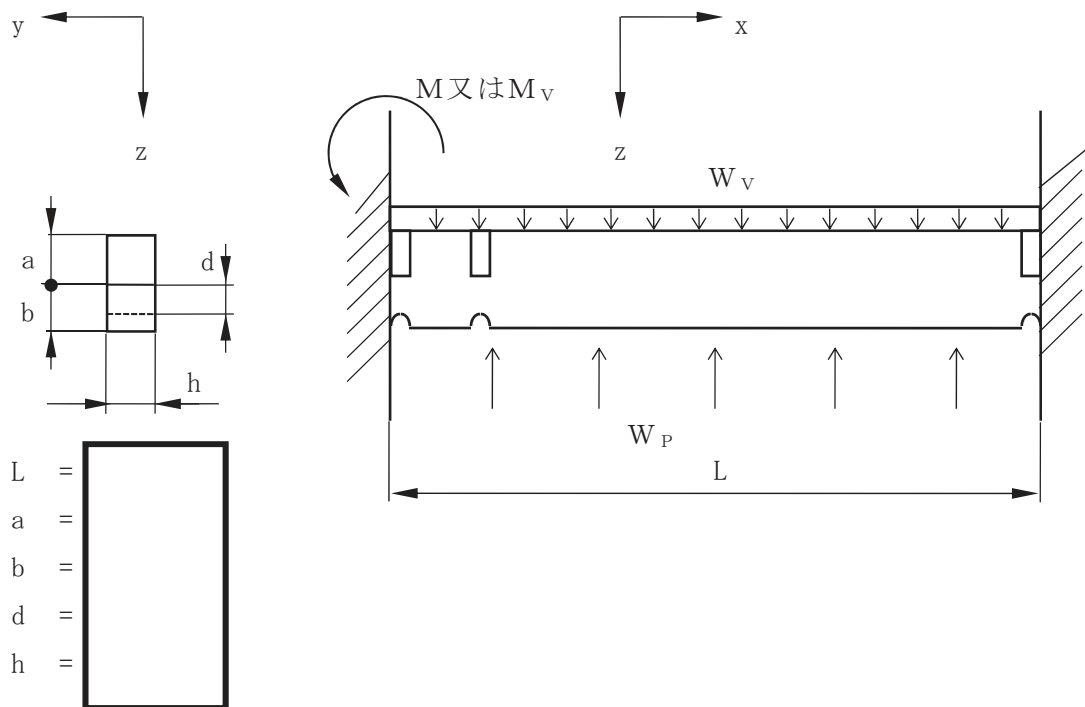


図 3-1 応力計算モデル (単位 : mm)

表 3-1 断面性状

応力評価点	h (mm)	L (mm)	A (mm ²)	Z (mm ³)
P01, P02				

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01	2	223
P01'	2	223
P02	2	223
P02'	2	223

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01	9	335
P01'	9	335
P02	9	335
P02'	9	335

VI-3-別添 6-5 炉心支持板の強度計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	記号の説明	1
1.2	形状・寸法・材料	2
1.3	解析範囲	2
1.4	計算結果の概要	2
2.	計算条件	7
2.1	重大事故等時の条件	7
2.2	材料	7
2.3	荷重の組合せ及び運転状態	7
2.4	荷重の組合せ及び応力評価	7
2.5	許容応力	7
2.6	応力の記号と方向	8
3.	応力計算	9
3.1	応力評価点	9
3.2	差圧による応力	9
3.2.1	荷重条件	9
3.2.2	計算方法	9
3.3	外荷重による応力	12
3.3.1	荷重条件	12
3.3.2	計算方法	12
3.4	応力の評価	13
4.	応力強さの評価	14
4.1	一次一般膜応力強さの評価	14
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	14

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	3
図 3-1	補強ビームの応力計算モデル	15
図 3-2	支持板の応力計算モデル	17
表 1-1	計算結果の概要	6
表 3-1	断面性状	18
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	19
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	20

1. 一般事項

本計算書は、炉心支持板の強度計算書である。

炉心支持板は、炉心支持構造物であるため、添付書類「VI-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の 2.4 節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
a_i	補強ビーム長さ	mm
b_e	等価幅	mm
D	制御棒案内管用穴径	mm
e_0	中立軸からの距離	mm
e_0'	中立軸からの距離	mm
e_1	中立軸からの距離	mm
e_1'	中立軸からの距離	mm
h_c	支持板の板厚	mm
h_0	補強ビーム高さ	mm
h_1	補強ビーム高さ	mm
I_0	断面二次モーメント	mm ⁴
I_1	断面二次モーメント	mm ⁴
I_2	断面二次モーメント	mm ⁴
I_3	断面二次モーメント	mm ⁴
I_A	断面二次モーメント	mm ⁴
I_B	断面二次モーメント	mm ⁴
l_i	補強ビームの長さ	mm
l_p	補強ビーム 1 スパン当たりの長さ	mm
t	補強ビーム板厚	mm

1.2 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所^①の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

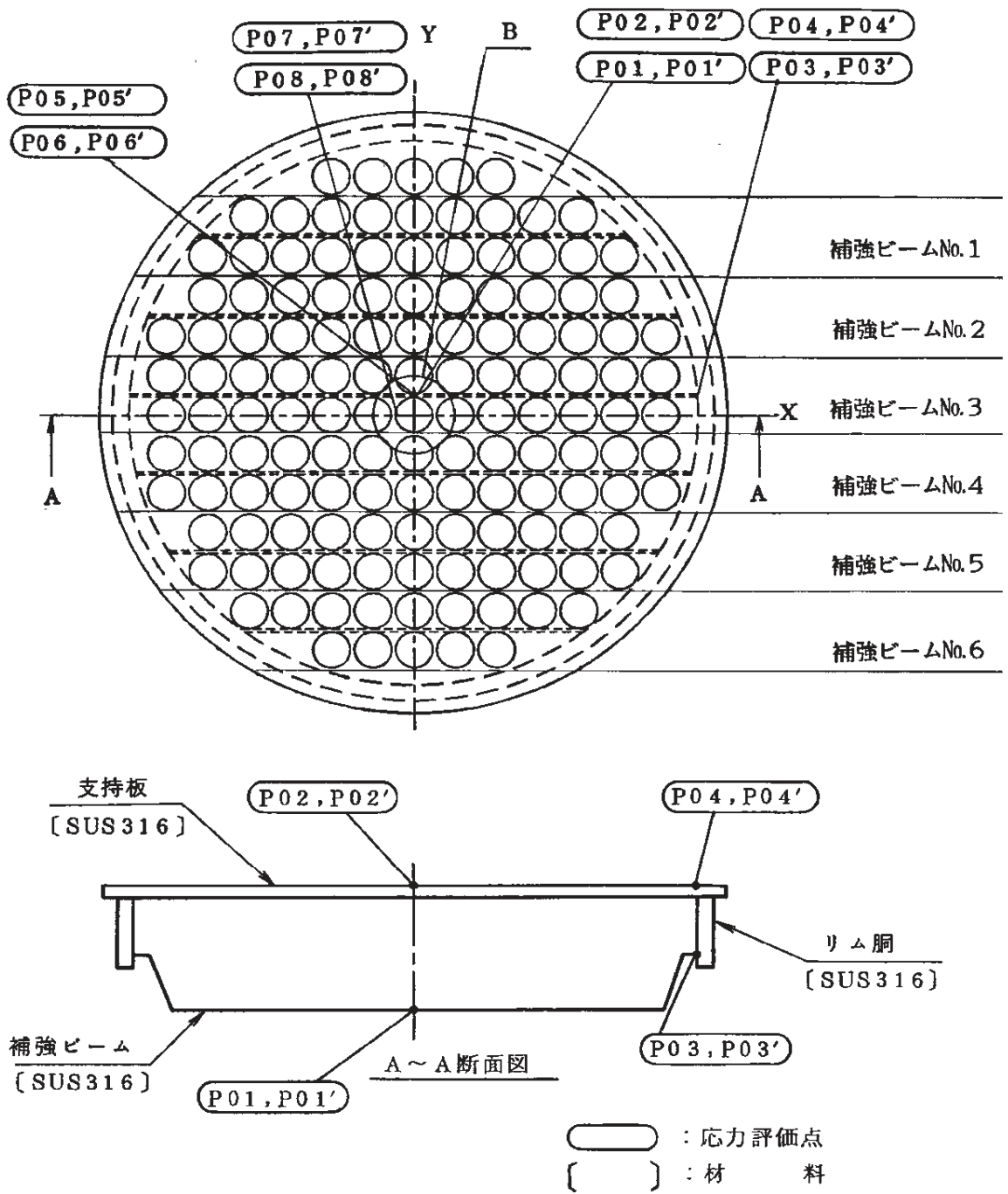
1.3 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

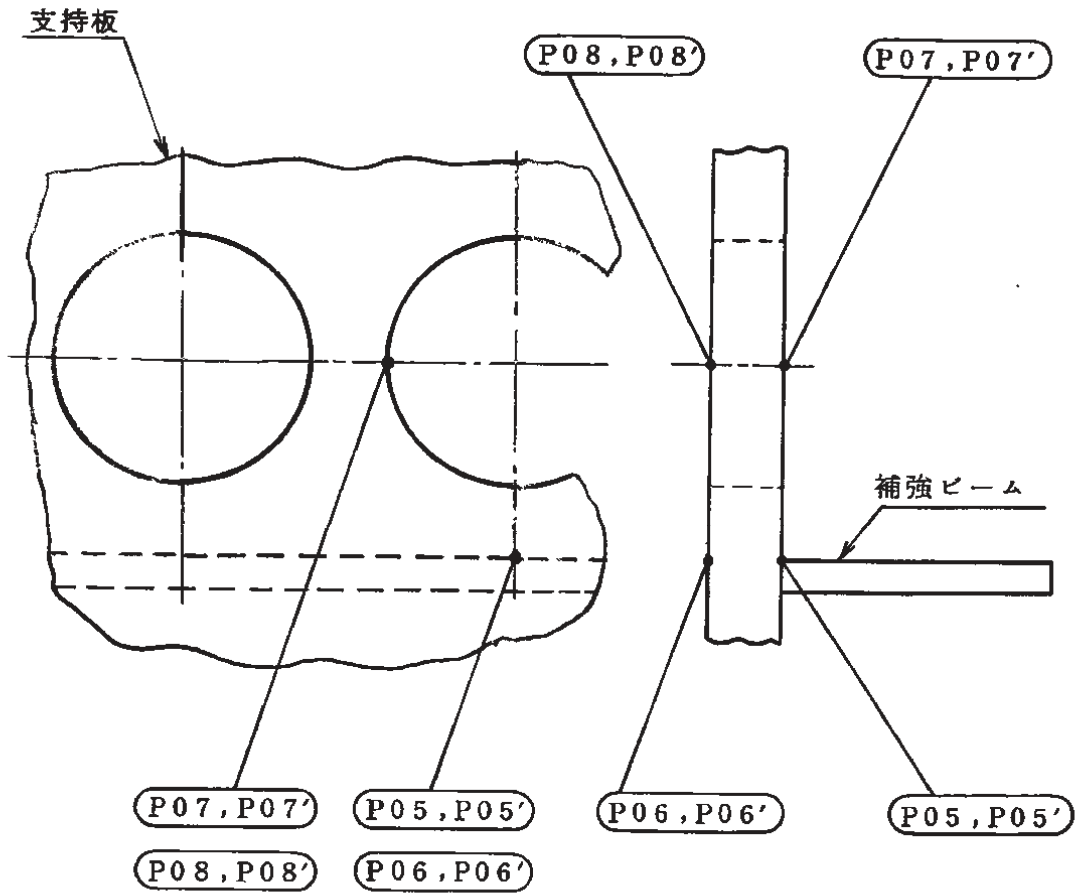
なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



注1：各補強ビームの寸法を図1-1(3)に示す。

注2：B部の詳細は図1-1(2)参照。

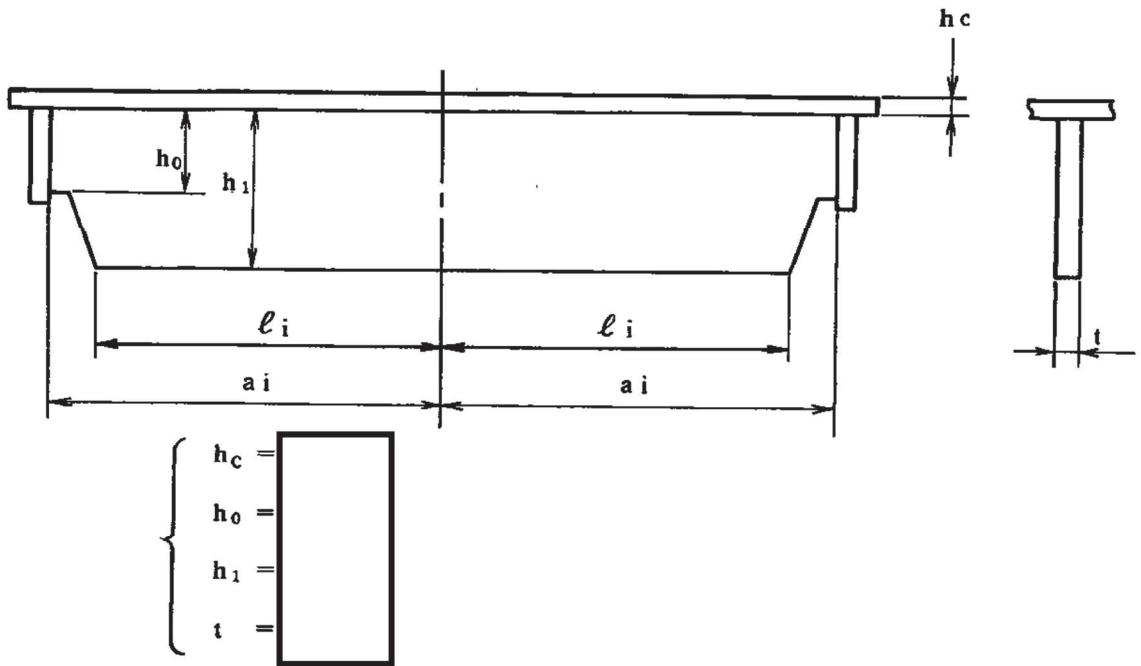
図1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点



B 部詳細図

○ : 応力評価点

図 1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点



各補強ビームの a_i , l_i の寸法 (単位: mm)

寸法 ビームNo.	a_i	l_i
補強ビームNo.1		
補強ビームNo.2		
補強ビームNo.3		
補強ビームNo.4		
補強ビームNo.5		
補強ビームNo.6		

(単位: mm)

図 1-1(3) 形状・寸法・材料・応力評価点

表1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
補強ビーム SUS316	V	12	182*	P03	58	422	P01
支持板 SUS316	V	6	281	P07	43	442	P06

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図1-1に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」の3.3節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.4節に示す。

2.5 許容応力

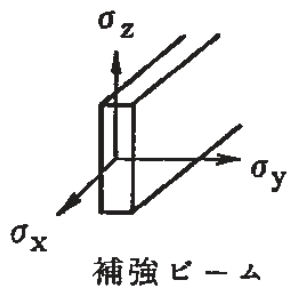
許容応力を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の3.6節に示す。

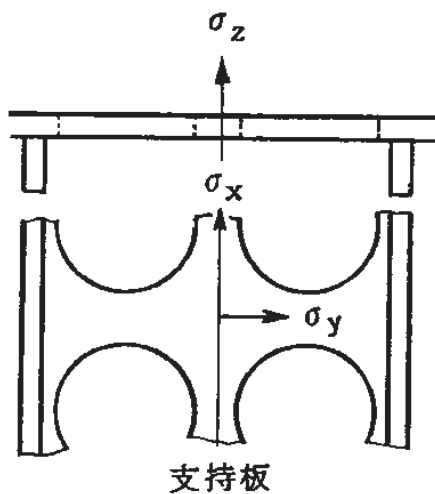
2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

なお、主応力の算出は、「応力解析の方針」の5.3.1項に示される式において、 σ_t 、 σ_θ 、 σ_r 、 $\tau_{t\theta}$ 、 $\tau_{\theta r}$ 、 τ_{rt} をそれぞれ σ_x 、 σ_y 、 σ_z 、 τ_{xy} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} に添字を置き換えて求める。



- σ_x : X方向応力
- σ_y : Y方向応力
- σ_z : Z方向応力
- τ_{xy} : せん断応力
- τ_{yz} : せん断応力
- τ_{zx} : せん断応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

3.2.2 計算方法

(1) 補強ビーム

a. 差圧による荷重

補強ビームの荷重計算モデルを図 3-1 に示す。

差圧による単位長さ当たりの分布荷重 W_1 は、次式で求める。

$$W_1 = P_{13} \cdot \frac{2}{\ell_p} \cdot \left(\ell_p^2 - \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \right)$$

b. 曲げ応力 (一次応力)

図 3-1 に示す補強ビームの荷重計算モデルにより荷重を求め、図 3-1 に示す補強ビームの応力計算モデルにより曲げ応力を求める。ここで、断面二次モーメント I_0 、 I_1 は、支持板を穴の部分の面積を除いたものと等しい面積を持つ穴のない帯状の板に置き換えて計算する。穴としては、制御棒案内管の入る穴及び中性子束計測案内管の入る穴を考慮する。

(a) $0 \leq x \leq \ell_1$ のとき

イ モーメント

$$M = \frac{W_1}{2} \cdot (a_1^2 - x^2)$$

ロ 曲げ応力

$$\sigma_x = -\frac{M}{I_1} \cdot e_1 \quad (\text{補強ビームの下端})$$

$$\sigma_x = \frac{M}{I_1} \cdot e_1' \quad (\text{補強ビームの上端})$$

- (b) $\ell_i \leq x \leq a_i$ のとき
イ モーメント

$$M = \frac{W_1}{2} \cdot (a_i^2 - x^2)$$

- ロ 曲げ応力

$$\sigma_x = -\frac{M_0}{I_0} \cdot e_0 \quad (\text{補強ビームの下端})$$

$$\sigma_x = \frac{M_0}{I_0} \cdot e_0' \quad (\text{補強ビームの上端})$$

ここで、 I_1 : I_1 部の断面二次モーメント

I_0 : I_0 部の断面二次モーメント

- c. せん断応力 (一次一般膜応力)

補強ビームの固定端でせん断力は最大となり、補強ビームの中央でせん断力は 0 となる。

補強ビームの固定端におけるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{zx} = \frac{F}{A_0}$$

ここで、 F : 固定端におけるせん断力

$$F = W_1 \cdot a_i$$

A_0 : 固定端の断面積

$$A_0 = b_e \cdot h_c + h_0 \cdot t$$

- (2) 支持板

- a. 差圧による荷重

支持板の荷重計算モデルを図 3-2 に示す。

差圧による単位長さ当たりの分布荷重 W_2 は、次式で求める。

$$W_2 = P_{13} \cdot \frac{1}{\ell_4} \cdot \left(\ell_4 \cdot \ell_p - \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \right)$$

b. 曲げ応力（一次応力）

図 3-2 に示す支持板の応力計算モデルにより曲げ応力を求める。

(a) モーメント

$$M = M_B - W_2 \cdot \ell_4 \cdot y + \frac{W_2}{2} \cdot y^2$$

(b) 曲げ応力

固定端における曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_y = \frac{M_B}{I_2} \cdot \frac{h_c}{2} \quad (\text{支持板の下面})$$

$$\sigma_y = -\frac{M_B}{I_2} \cdot \frac{h_c}{2} \quad (\text{支持板の上面})$$

また、 $y = \boxed{}$ mm における曲げ応力は、次式で求める。

$$\sigma_y = \frac{M(y \boxed{})}{I_3} \cdot \frac{h_c}{2} \quad (\text{支持板の下面})$$

$$\sigma_y = -\frac{M(y \boxed{})}{I_3} \cdot \frac{h_c}{2} \quad (\text{支持板の上面})$$

ここで、 M_B ：固定端モーメント

$$M_B = \left[\frac{2 \cdot \ell_4^3 - \left(\frac{I_2}{I_3} - 1 \right) \cdot (\ell_3^3 - \ell_2^3 - 3 \cdot \ell_2^3 \cdot \ell_4 + 3 \cdot \ell_2^2 \cdot \ell_4)}{6 \cdot \left\{ \ell_4 + \left(\frac{I_2}{I_3} - 1 \right) \cdot (\ell_3 - \ell_2) \right\}} \right] \cdot W_2$$

I_2 ： I_2 部の断面二次モーメント

I_3 ： I_3 部の断面二次モーメント

c. せん断応力（一次一般膜応力）

固定端におけるせん断応力は、次式で求める。

$$\tau_{yz} = \frac{W_2 \cdot \ell_4}{h_c \cdot \ell_5}$$

$y = \boxed{}$ mm におけるせん断応力は、次式で求める。

$$\tau_{yz} = \frac{W_2}{h_c \cdot \ell_6} \cdot (\ell_4 - \boxed{})$$

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件（L04）

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(5)に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 補強ビーム

a. 死荷重による単位長さ当たりの分布荷重

補強ビームの荷重計算モデルを図 3-1 に示す。

死荷重による単位長さ当たりの分布荷重 W_3 は、次式で求める。

$$W_3 = \frac{V_1}{\ell_p}$$

b. 曲げ応力及びせん断応力

3.2.2(1)項と同様にして求める。

(2) 支持板

a. 死荷重による単位長さ当たりの分布荷重

支持板の荷重計算モデルを図 3-2 に示す。

死荷重による単位長さ当たりの分布荷重 W_4 は、次式で求める。

$$W_4 = \frac{V_2}{2 \cdot \ell_4}$$

b. 曲げ応力及びせん断応力

(a) 鉛直方向荷重（死荷重）

3.2.2 (2)項と同様にして求める。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.3.2項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

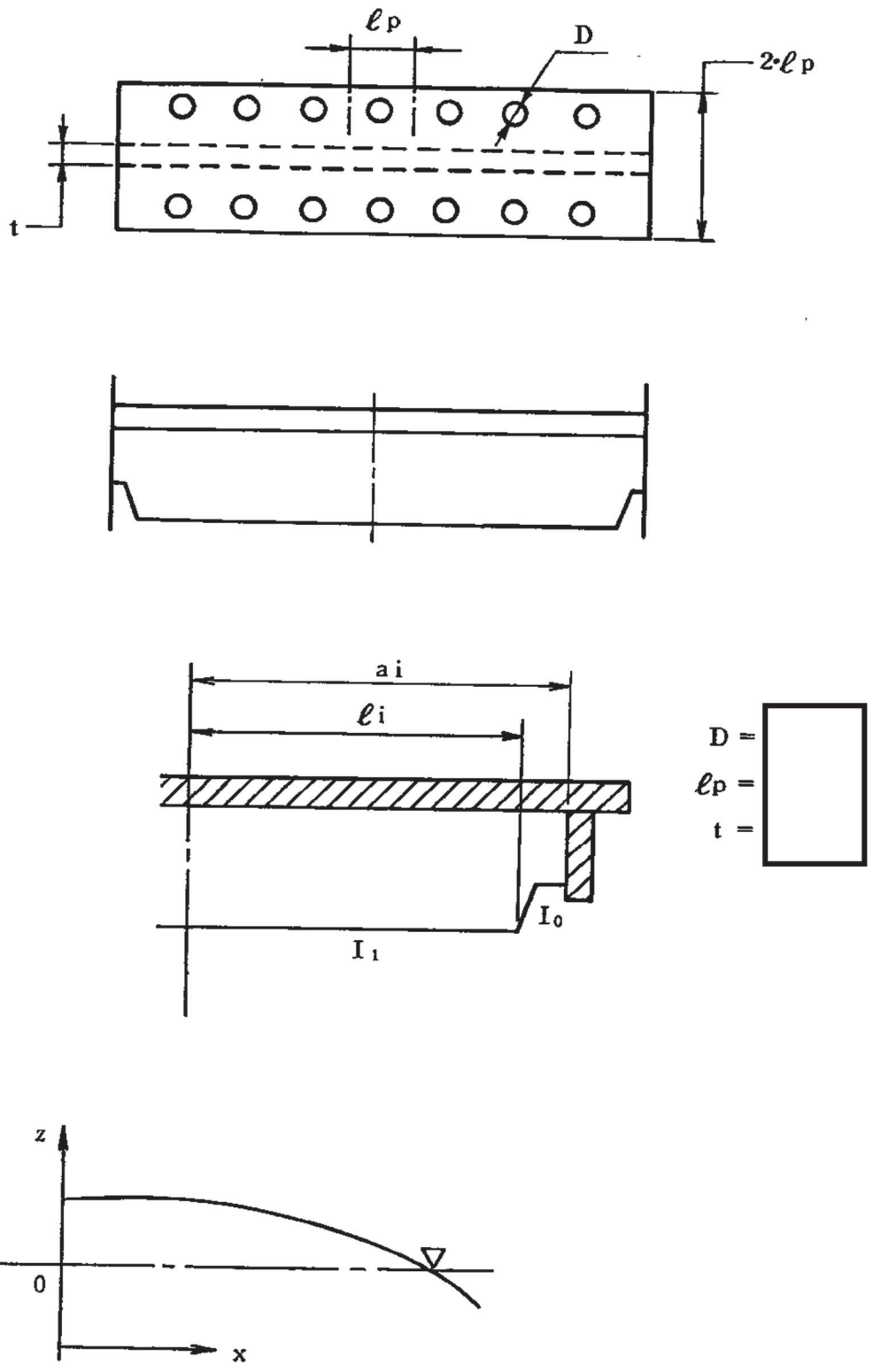
各許容応力状態における評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，各許容応力状態の一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

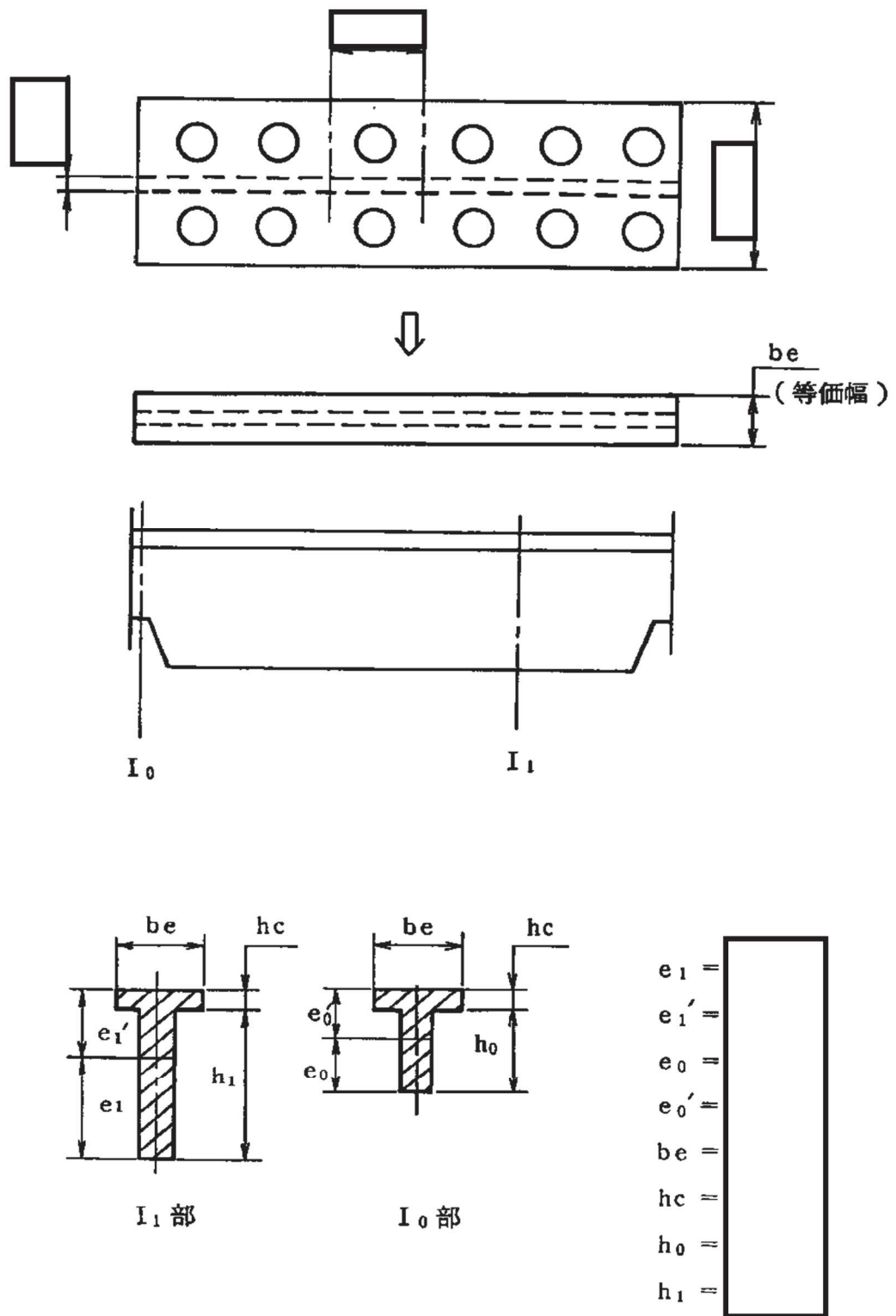
各許容応力状態における評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。



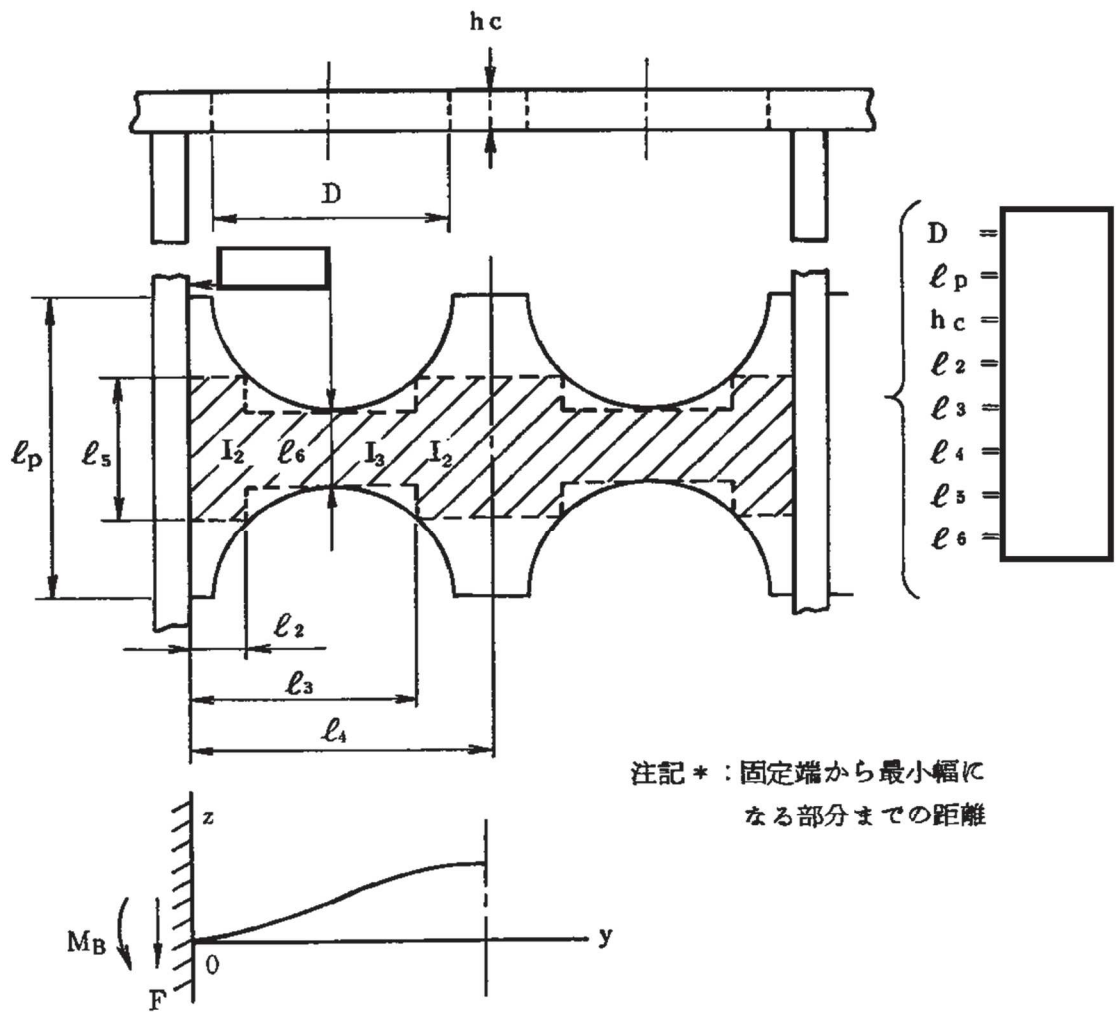
(単位 : mm)

図3-1(1) 補強ビームの応力計算モデル



(単位 : mm)

図 3-1(2) 補強ビームの応力計算モデル



(単位 : mm)

図3-2 支持板の応力計算モデル

表3-1 断面性状

応力評価点	補強ビームに平行な軸		補強ビームに垂直な軸	
	I (mm ⁴)	e (mm)	I (mm ⁴)	e (mm)
P01, P01'				
P02, P02'				
P03, P03'				
P04, P04'				
P05, P05'				
P06, P06'				
P07, P07'				
P08, P08'				

表4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01	0	281
P01'	0	281
P02	0	281
P02'	0	281
P03	12	182 ^{*1}
P03'	12	182 ^{*1}
P04	12	281
P04'	12	281
P05	4	168 ^{*2}
P05'	4	168 ^{*2}
P06	4	281
P06'	4	281
P07	6	281
P07'	6	281
P08	6	281
P08'	6	281

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

注記*2：継手効率 を乗じた値を示す。

表4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01	58	422
P01'	58	422
P02	27	422
P02'	27	422
P03	12	274 ^{*1}
P03'	12	274 ^{*1}
P04	12	422
P04'	12	422
P05	27	253 ^{*2}
P05'	27	253 ^{*2}
P06	43	422
P06'	43	422
P07	33	422
P07'	33	422
P08	28	422
P08'	28	422

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

注記*2：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-3-別添 6-6 燃料支持金具の強度計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 記号の説明	1
1.2 形状・寸法・材料	1
1.3 解析範囲	1
1.4 計算結果の概要	1
2. 計算条件	5
2.1 重大事故等時の条件	5
2.2 材料	5
2.3 荷重の組合せ及び運転状態	5
2.4 荷重の組合せ及び応力評価	5
2.5 許容応力	5
2.6 応力の記号と方向	5
3. 応力計算	6
3.1 応力評価点	6
3.2 差圧による応力	6
3.2.1 荷重条件	6
3.2.2 計算方法	6
3.3 外荷重による応力	7
3.3.1 荷重条件	7
3.3.2 計算方法	7
3.4 応力の評価	7
4. 応力強さの評価	8
4.1 一次一般膜応力強さの評価	8
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	8

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
図 3-1	中央燃料支持金具の差圧による応力計算モデル	9
図 3-2	中央燃料支持金具の外荷重による応力計算モデル	9
表 1-1	計算結果の概要	4
表 3-1	断面性状	10
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	11
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	12

1. 一般事項

本計算書は、燃料支持金具の強度計算書である。

燃料支持金具は、炉心支持構造物であるため、添付資料「VI-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 記号の説明

記号の説明は、「応力解析の方針」の2.4節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径	mm
D _o	外径	mm

1.2 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図1-1に示す。

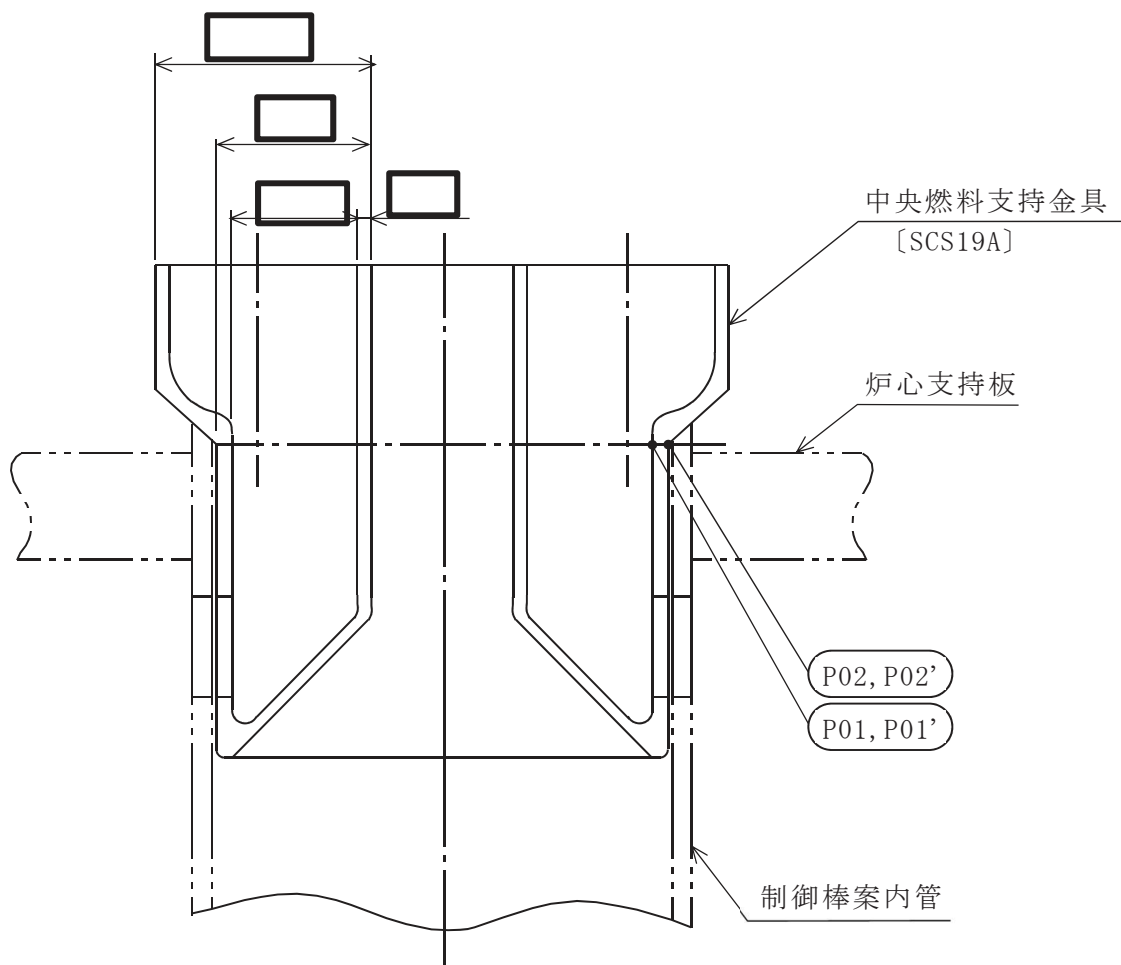
1.3 解析範囲

解析範囲を図1-1に示す。

1.4 計算結果の概要

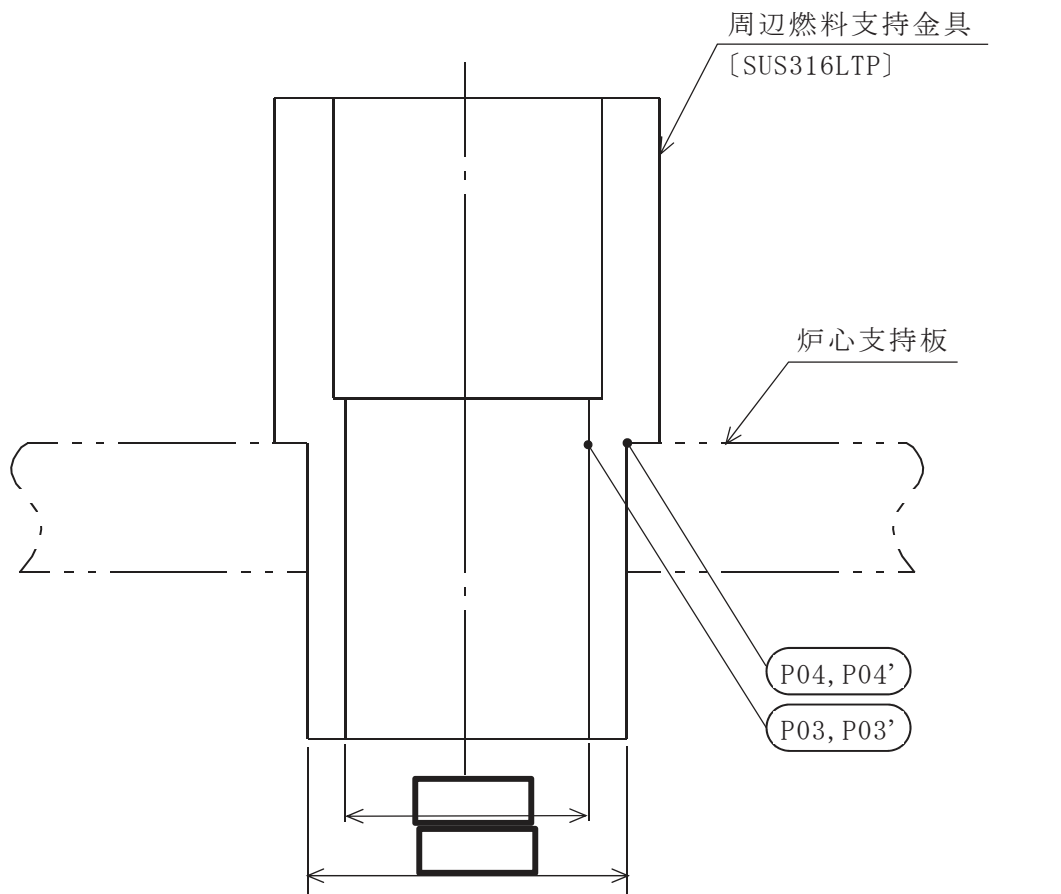
計算結果の概要を表1-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



○ : 応力評価点
[] : 材 料

図1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)



○ : 応力評価点
[] : 材 料

図1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
中央燃料支持金具 SCS19A	V	4	246	P01-P02	4	368	P01-P02
周辺燃料支持金具 SUS316LTP	V	2	134*	P03-P04	2	201*	P03-P04

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

2.5 許容応力

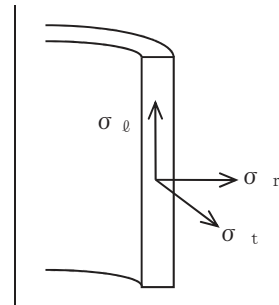
許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_ℓ : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力



3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

3.2.2 計算方法

中央燃料支持金具の差圧による応力は、応力評価点の位置における断面で、外径を mm とし、かつ厚さが最小となる円筒を考え計算する。

中央燃料支持金具の差圧による応力計算モデルを図 3-1 に示す。

周辺燃料支持金具の差圧による応力は、応力評価点の位置における断面の円筒を考え計算する。

(1) 一次一般膜応力

差圧 P_{13} による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_t = \frac{1}{Y-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_\theta = \frac{1}{Y^2-1} \cdot P_{13}$$

$$\sigma_r = -\frac{1}{Y+1} \cdot P_{13}$$

ここで、 $Y = \frac{D_o}{D_i}$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

差圧による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(6)に示す。

3.3.2 計算方法

中央燃料支持金具の外荷重による応力は、応力評価点の位置における断面において、その断面の最小板厚及び内幅を用いて算出される最小外径 の円筒を考え計算する。

中央燃料支持金具の外荷重による応力計算モデルを、図 3-2 に示す。

周辺燃料支持金具の外荷重による応力は、応力評価点の位置における断面の円筒を考え計算する。

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\theta} = \frac{V}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は、存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.3.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表4-1に示す。

表4-1より、運転状態Vの一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.4節及び3.6節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表4-2に示す。

表4-2より、運転状態Vの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.4節及び3.6節に示す許容応力を満足する。

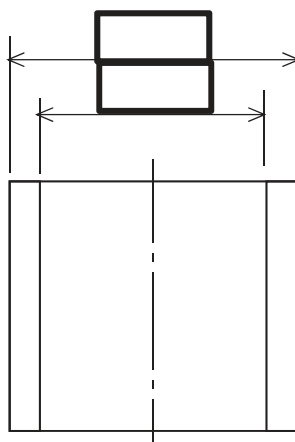


図 3-1 中央燃料支持金具の差圧による応力計算モデル (単位 : mm)

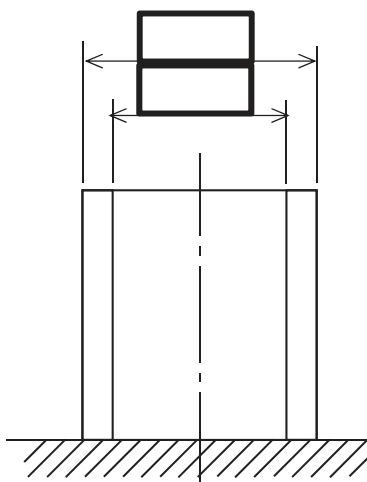


図 3-2 中央燃料支持金具の外荷重による応力計算モデル (単位 : mm)

表 3-1 断面性状

応力評価点	D _o (mm)	D _i (mm)	A (mm ²)
P01, P02*			
P03, P04			

注記*：上段は差圧による応力計算モデルの断面性状を示し，下段は外荷重による応力計算モデルの断面性状を示す。

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	4	246
P01' P02'	4	246
P03 P04	2	134*
P03' P04'	2	134*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	4	368
P01' P02'	4	368
P03 P04	2	201*
P03' P04'	2	201*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-3-別添 6-7 制御棒案内管の強度計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	記号の説明	1
1.2	形状・寸法・材料	1
1.3	解析範囲	1
1.4	計算結果の概要	1
2	計算条件	4
2.1	重大事故等時の条件	4
2.2	材料	4
2.3	荷重の組合せ及び運転状態	4
2.4	荷重の組合せ及び応力評価	4
2.5	許容応力	4
2.6	応力の記号と方向	4
3	応力計算	5
3.1	応力評価点	5
3.2	差圧による応力	5
3.2.1	荷重条件	5
3.2.2	計算方法	5
3.3	外荷重による応力	5
3.3.1	荷重条件	5
3.3.2	計算方法	5
3.4	応力の評価	5
4	応力強さの評価	6
4.1	一次一般膜応力強さの評価	6
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6
5	特別な応力の評価	7
5.1	軸圧縮応力の評価	7
5.1.1	軸圧縮荷重	7
5.1.2	軸圧縮応力	7
5.1.3	許容軸圧縮応力	7
5.1.4	軸圧縮応力の評価	7
5.2	外圧の評価	8
5.2.1	外圧	8
5.2.2	許容外圧	8
5.2.3	外圧の評価	8

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 3-1	断面性状	9
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	10
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	11
表 5-1	軸圧縮応力の評価のまとめ	12
表 5-2	外圧の評価のまとめ	12

1. 一般事項

本計算書は、制御棒案内管の強度計算書である。

制御棒案内管は、炉心支持構造物であるため、添付書類「VI-2-3-3-2-1 炉心支持構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 記号の説明

記号の説明は、「応力解析の方針」の2.4節に示す。

さらに、本計算書において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D。	外径	mm
t	肉厚	mm

1.2 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.3 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

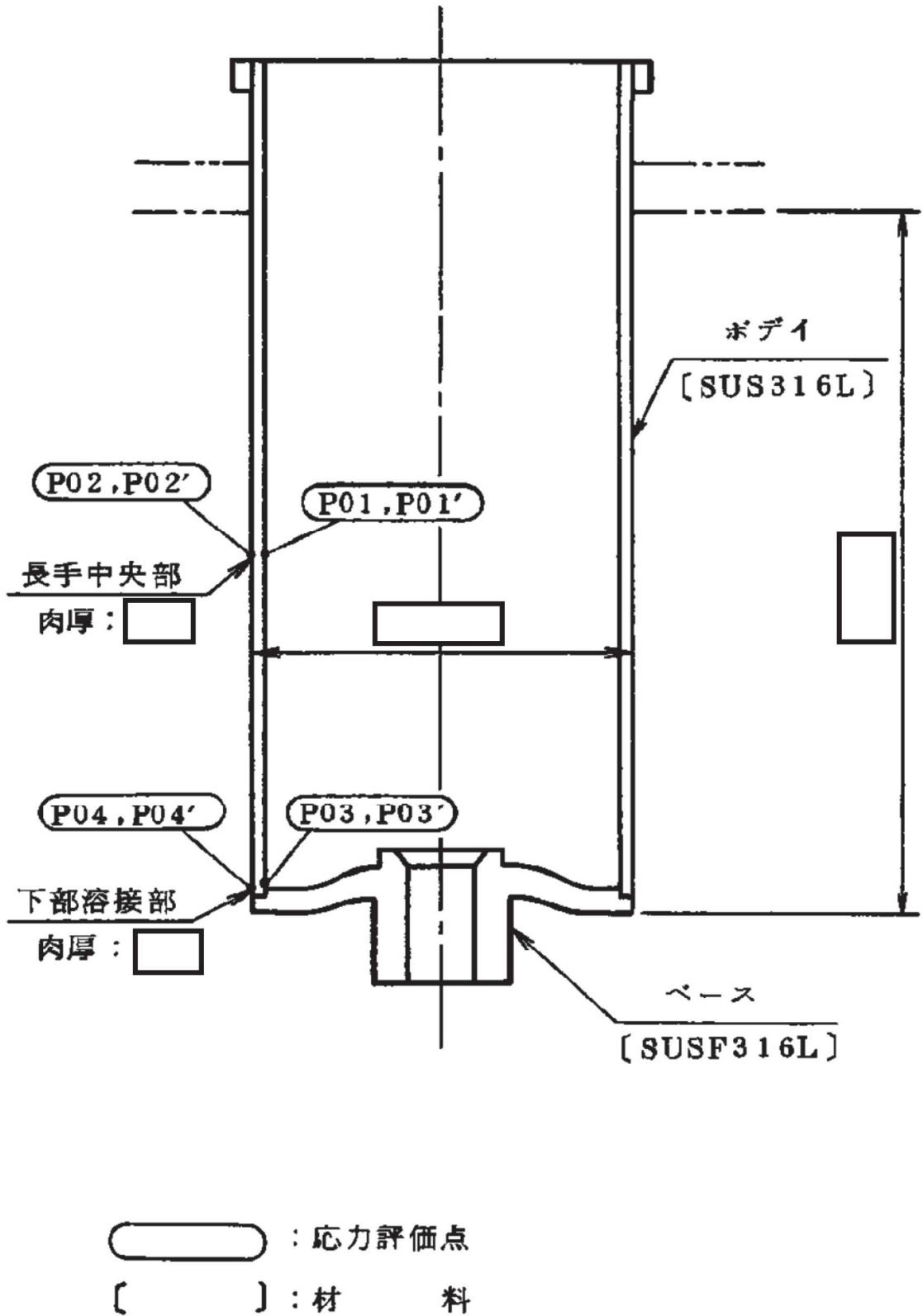


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
長手中央部 SUS316L	V	7	223	P01-P02	7	335	P01-P02
下部溶接部 SUS316L	V	7	145*	P03-P04	7	217*	P03-P04

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 1-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	軸圧縮応力の評価		外圧による座屈の評価	
		軸圧縮応力	許容応力	外圧	許容外圧
長手中央部 SUS316L	V	5	94	0.25	0.77
下部溶接部 SUS316L	V	5	59*	0.25	0.63

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

2.5 許容応力

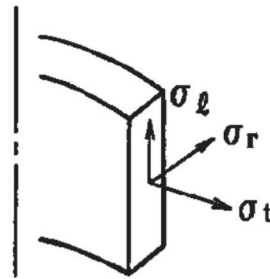
許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 節に示す。

2.6 応力の記号と方向

応力の記号とその方向は、以下のとおりとする。

- σ_t : 周方向応力
- σ_l : 軸方向応力
- σ_r : 半径方向応力
- τ_{lr} : せん断応力



3 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、表 3-1 に示すとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

3.2.2 計算方法

差圧による一次応力の計算は、計算機コード「A-SAFIA」を用いて行う。

なお、評価に用いる計算機コードの概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(7)に示す。

3.3.2 計算方法

(1) 一次一般膜応力

外荷重による一次一般膜応力は、次式で求める。

$$\sigma_{\theta} = -\frac{V}{A}$$

(2) 一次一般膜＋一次曲げ応力

外荷重による一次曲げ応力は存在しない。したがって、一次一般膜＋一次曲げ応力は、一次一般膜応力と同じである。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.3.2 項に定めるとおりである。

4 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態 V における評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態 V の一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態 V における評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態 V の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

5 特別な応力の評価

5.1 軸圧縮応力の評価

制御棒案内管に作用する鉛直荷重により生じる軸圧縮応力の評価を行う。

5.1.1 軸圧縮荷重

運転状態 V における制御棒案内管に作用する鉛直力を「応力解析の方針」の表 4-1(7)に示す。

5.1.2 軸圧縮応力

軸圧縮応力は、次式で求める。

$$\sigma = \frac{V}{A}$$

5.1.3 許容軸圧縮応力

運転状態 V における許容軸圧縮応力の計算，告示第 96 条第 1 項第 1 号チを準用し手計算する。

運転状態 V における許容応力は、次のように得られる。

(単位：MPa)

部分	運転状態	許容軸圧縮応力
長手中央部	V	$\eta \cdot \text{MIN} \left(2 \cdot S_m^{*1}, 2 \cdot B^{*2} \right) = 94$
下部溶接部	V	$\eta \cdot \text{MIN} \left(2 \cdot S_m^{*1}, 2 \cdot B^{*3} \right) = 59$

注記*1：運転状態 V の評価温度における

S_m の値 = 93MPa

*2：告示別図第 15 より求められた運転状態 V の評価温度における

B の値 = 47MPa

*3：告示別図第 15 より求められた運転状態 V の評価温度における

B の値 = 46MPa

5.1.4 軸圧縮応力の評価

運転状態 V における軸圧縮応力の評価を表 5-1 に示す。

表 5-1 より，運転状態 V における軸圧縮応力は，許容応力を満足するため，座屈は発生しない。

5.2 外圧の評価

制御棒案内管に作用する外圧の評価を行う。

5.2.1 外圧

運転状態 V における外圧を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

5.2.2 許容外圧

運転状態 V における許容外圧の計算は、告示第 96 条第 2 項第 1 号を準用して計算する。

運転状態 V における許容外圧は、次のように得られる。

(単位：MPa)

部分	運転状態	許容外圧
長手中央部	V	$2 \cdot \left(\frac{4 \cdot B^* \cdot t}{3 \cdot D_o} \right) = 0.77$
下部溶接部	V	$2 \cdot \left(\frac{4 \cdot B^* \cdot t}{3 \cdot D_o} \right) = 0.63$

注記*：告示別図第 15 より求められた運転状態 V の評価温度における B の値

長手中央部：B = 19MPa

下部溶接部：B = 17MPa

5.2.3 外圧の評価

運転状態 V における外圧の評価を表 5-2 に示す。

表 5-2 より、運転状態 V における外圧は、許容外圧を満足するため、座屈は発生しない。

表 3-1 断面性状

応力評価点	D_o (mm)	t (mm)	A (mm ²)
P01, P02			
P03, P04			

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	7	223
P01' P02'	7	223
P03 P04	7	145*
P03' P04'	7	145*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	7	335
P01' P02'	7	335
P03 P04	7	217*
P03' P04'	7	217*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 5-1 軸圧縮応力の評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態	軸圧縮応力の評価	
		軸圧縮応力	許容応力
長手中央部	V	5	94
下部溶接部	V	5	59*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 5-2 外圧の評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態	外圧による座屈の評価	
		外圧	許容外圧
長手中央部	V	0.25	0.77
下部溶接部	V	0.25	0.63

VI-3-別添7 原子炉圧力容器内部構造物の強度に関する説明書

目次

- VI-3-別添 7-1 ジェットポンプの強度計算書
- VI-3-別添 7-2 給水スパー ज्याの強度計算書
- VI-3-別添 7-3 高圧及び低圧炉心スプレイスパー ज्याの強度計算書
- VI-3-別添 7-4 残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）の強度計算書
- VI-3-別添 7-5 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉圧力容器内部）の強度計算書
- VI-3-別添 7-6 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）の強度計算書

VI-3-別添 7-1 ジェットポンプの強度計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	解析範囲	1
1.3	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	重大事故等時の条件	4
2.2	材料	4
2.3	荷重の組合せ及び運転状態	4
2.4	荷重の組合せ及び応力評価	4
2.5	許容応力	4
3.	応力計算	5
3.1	応力評価点	5
3.2	差圧による応力	5
3.2.1	荷重条件	5
3.2.2	計算方法	5
3.3	外荷重による応力	5
3.3.1	荷重条件	5
3.3.2	計算方法	5
3.4	応力の評価	5
4.	応力強さの評価	6
4.1	一次一般膜応力強さの評価	6
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	7
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	8

1. 一般事項

本計算書は、ジェットポンプの強度計算書である。

ジェットポンプは、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

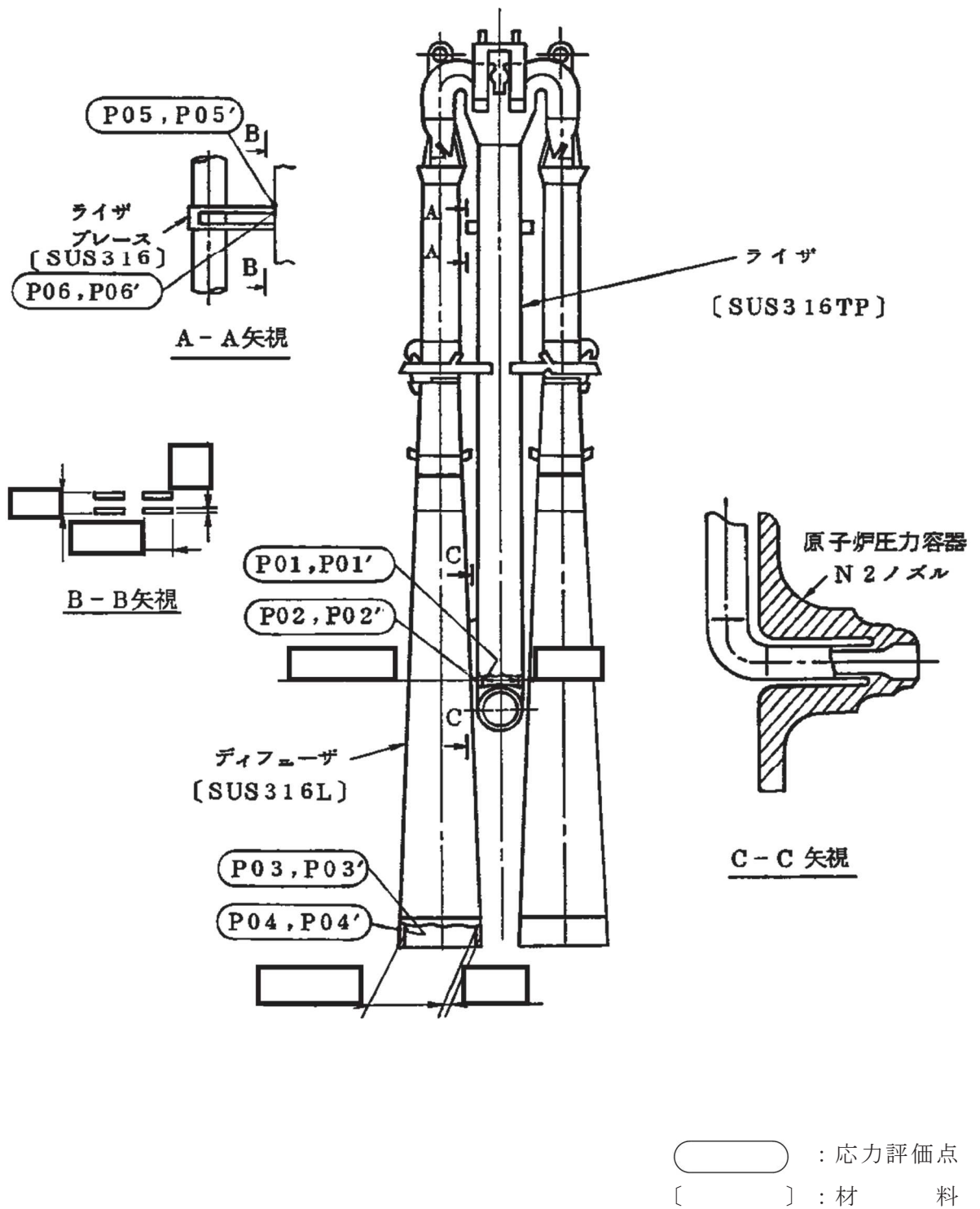


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
ライザ SUS316TP	V	42	182 ^{*1}	P01-P02	42	274 ^{*1}	P01-P02
ディフューザ SUS316L	V	18	145 ^{*1}	P03-P04	18	217 ^{*1}	P03-P04
ライザブレース SUS316	V	12	253 ^{*2}	P05-P06	28	380 ^{*2}	P05-P06

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

注記*2：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図1-1に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」の3.3節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.4節に示す。

2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の3.6節に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)n.に定めるとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧は「2.1 重大事故等時の条件」に示す。

3.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)n.に定めるとおりである。

なお、運転状態 V での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(4)に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)n.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.2.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態Vの一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態Vの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	42	182 ^{*1}
P01' P02'	42	182 ^{*1}
P03 P04	18	145 ^{*1}
P03' P04'	18	145 ^{*1}
P05 P06	12	253 ^{*2}
P05' P06'	12	253 ^{*2}

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

注記*2：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	42	274* ¹
P01' P02'	42	274* ¹
P03 P04	18	217* ¹
P03' P04'	18	217* ¹
P05 P06	28	380* ²
P05' P06'	8	380* ²

注記*1：継手効率 を乗じた値を示す。

注記*2：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-3-別添 7-2 給水スパー ज्याの強度計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 解析範囲	1
1.3 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 重大事故等時の条件	4
2.2 材料	4
2.3 荷重の組合せ及び運転状態	4
2.4 荷重の組合せ及び応力評価	4
2.5 許容応力	4
3. 応力計算	5
3.1 応力評価点	5
3.2 差圧による応力	5
3.2.1 荷重条件	5
3.2.2 計算方法	5
3.3 外荷重による応力	5
3.3.1 荷重条件	5
3.3.2 計算方法	5
3.4 応力の評価	5
4. 応力強さの評価	6
4.1 一次一般膜応力強さの評価	6
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	7
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	8

1. 一般事項

本計算書は、給水スパーージャの強度計算書である。

給水スパーージャは、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

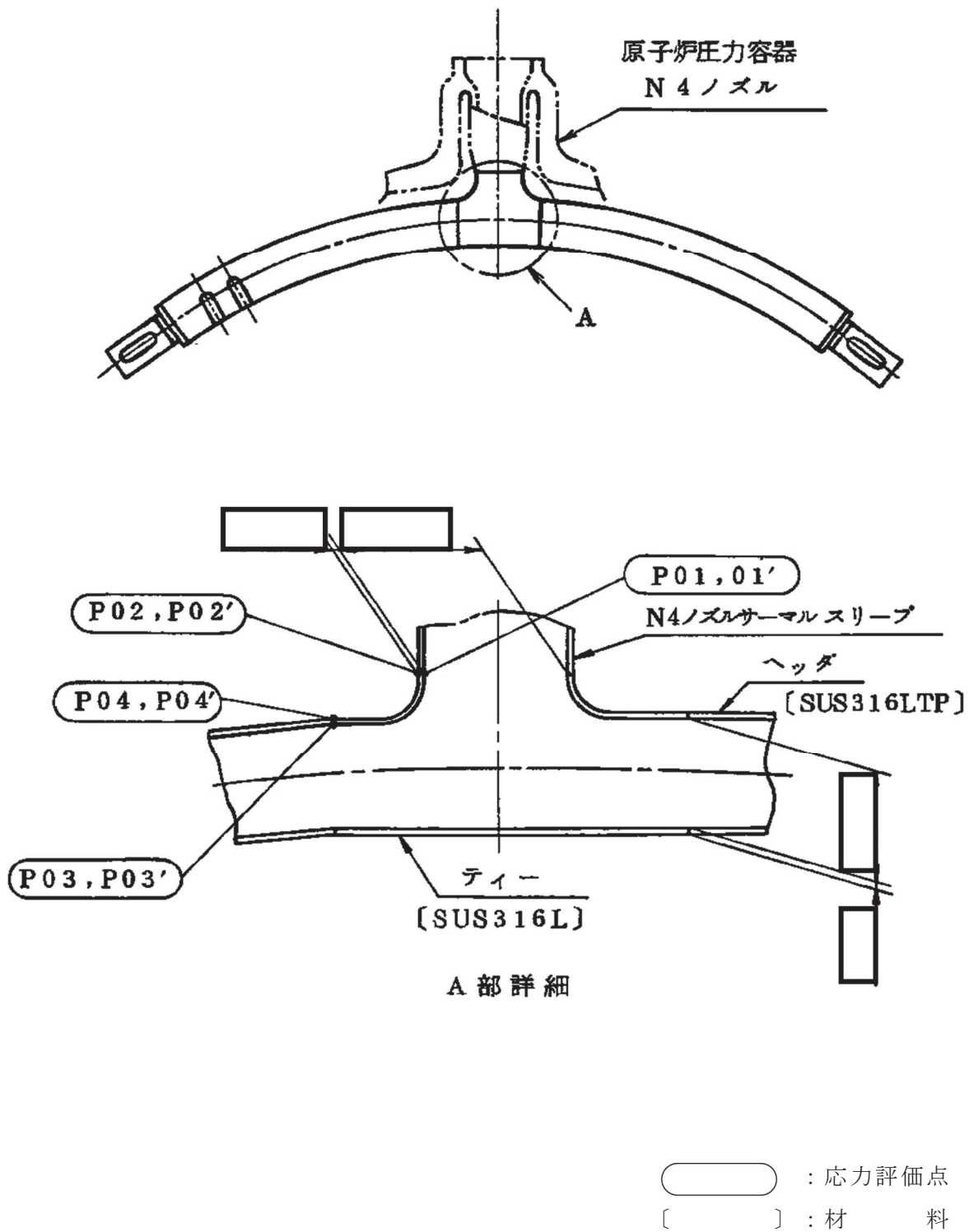


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
ティー SUS316L	V	4	145*	P01-P02	5	217*	P01'-P02'
ヘッダ SUS316LTP	V	3	145*	P03-P04	19	217*	P03-P04

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 節に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧は「2.1 重大事故等時の条件」に示す。

3.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

なお、運転状態 V での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(5)に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.2.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態Vの一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態Vの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	4	145*
P01' P02'	4	145*
P03 P04	3	145*
P03' P04'	3	145*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	4	217*
P01' P02'	5	217*
P03 P04	19	217*
P03' P04'	18	217*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-3-別添 7-3 高圧及び低圧炉心スプレイスパージャの強度計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	解析範囲	1
1.3	計算結果の概要	1
2.	計算条件	4
2.1	重大事故等時の条件	4
2.2	材料	4
2.3	荷重の組合せ及び運転状態	4
2.4	荷重の組合せ及び応力評価	4
2.5	許容応力	4
3.	応力計算	5
3.1	応力評価点	5
3.2	差圧による応力	5
3.2.1	荷重条件	5
3.2.2	計算方法	5
3.3	外荷重による応力	5
3.3.1	荷重条件	5
3.3.2	計算方法	5
3.4	応力の評価	5
4.	応力強さの評価	6
4.1	一次一般膜応力強さの評価	6
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	7
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	8

1. 一般事項

本計算書は、高圧及び低圧炉心スプレイスパージャの強度計算書である。

高圧及び低圧炉心スプレイスパージャは、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

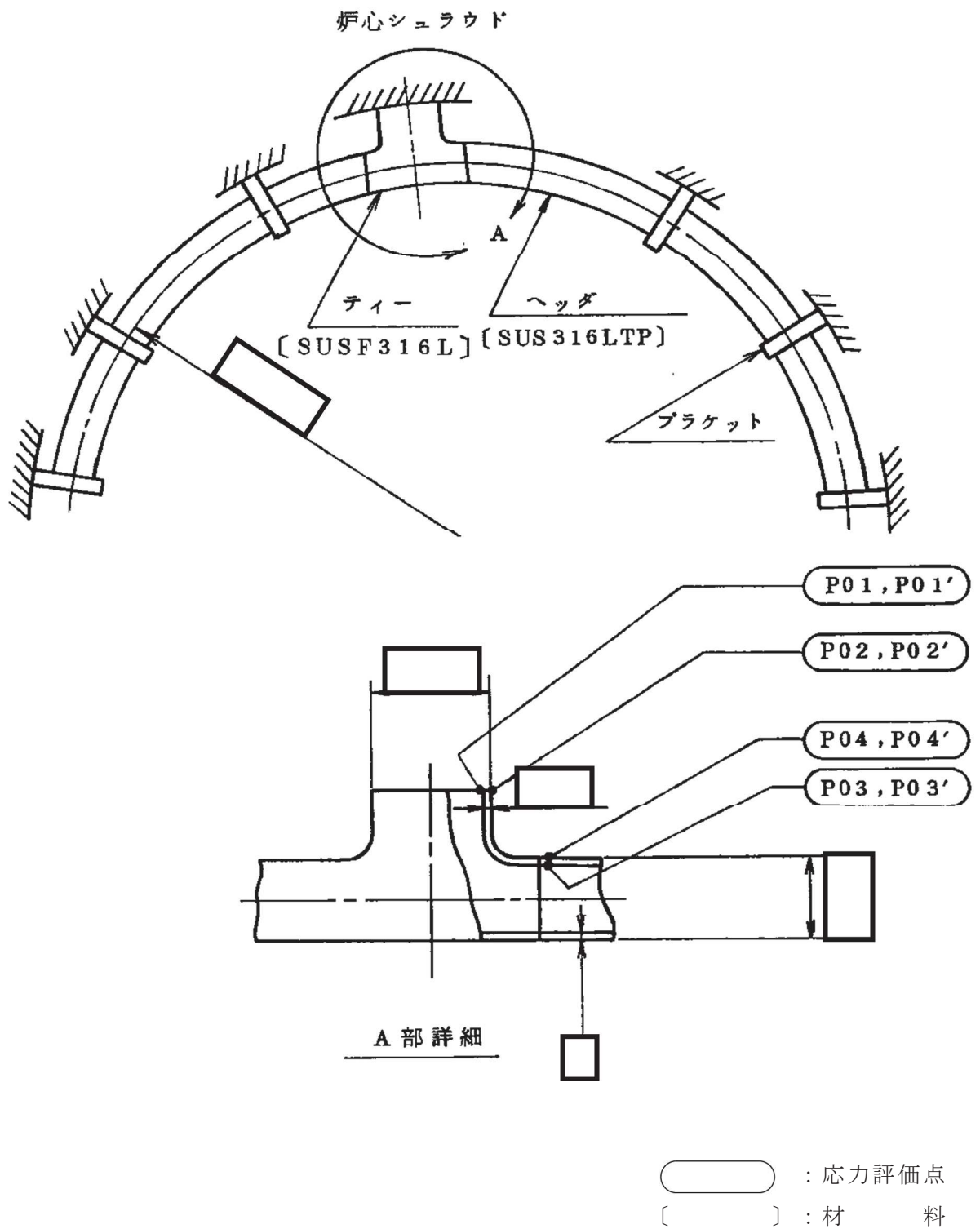


図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
ティー SUSF316L	V	7	145*	P01-P02	7	217*	P01-P02
ヘッド SUS316LTP	V	6	145*	P03-P04	6	217*	P03-P04

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図1-1に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」の3.3節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.4節に示す。

2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の3.6節に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧は「2.1 重大事故等時の条件」に示す。

3.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

なお、運転状態 V での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(6)に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.2.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態 V における評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態 V の一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態 V における評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態 V の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	7	145*
P01' P02'	7	145*
P03 P04	6	145*
P03' P04'	6	145*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	7	217*
P01' P02'	7	217*
P03 P04	6	217*
P03' P04'	6	217*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-3-別添 7-4 残留熱除去系配管（原子炉压力容器内部）の強度計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 解析範囲	1
1.3 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 重大事故等時の条件	4
2.2 材料	4
2.3 荷重の組合せ及び運転状態	4
2.4 荷重の組合せ及び応力評価	4
2.5 許容応力	4
3. 応力計算	5
3.1 応力評価点	5
3.2 差圧による応力	5
3.2.1 荷重条件	5
3.2.2 計算方法	5
3.3 外荷重による応力	5
3.3.1 荷重条件	5
3.3.2 計算方法	5
3.4 応力の評価	5
4. 応力強さの評価	6
4.1 一次一般膜応力強さの評価	6
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	7
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	8

1. 一般事項

本計算書は、残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）の強度計算書である。

残留熱除去系配管（原子炉圧力容器内部）は、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

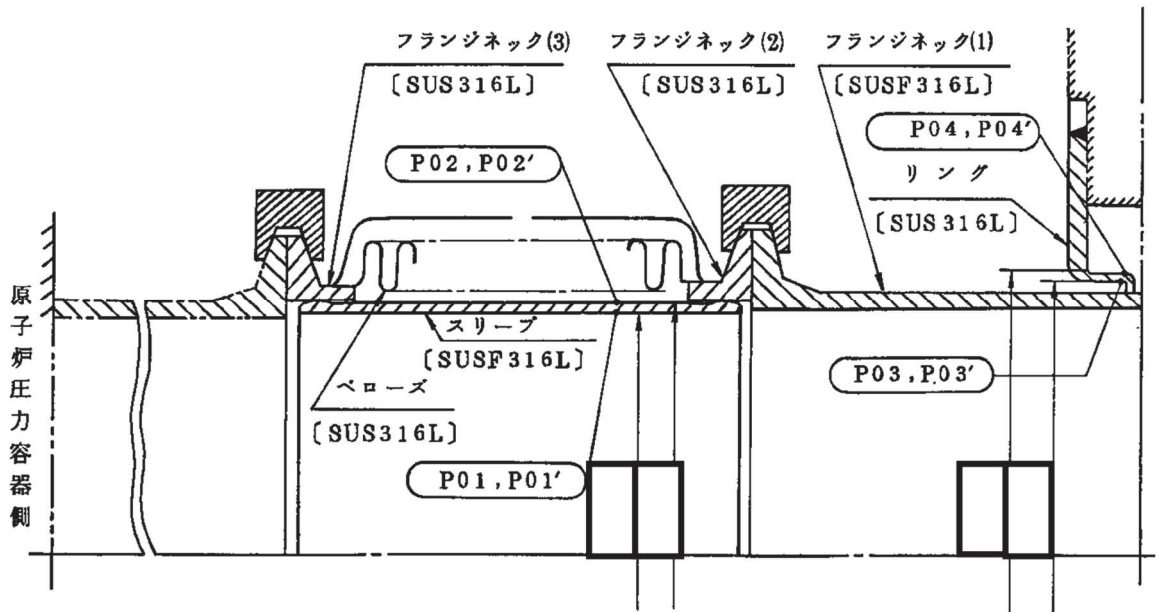
1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



○ : 応力評価点
 [] : 材 料

図 1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
スリーブ SUSF316L	V	10	223	P01-P02	10	335	P01-P02
リング SUS316L	V	14	89*	P03-P04	14	134*	P03'-P04'

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 節に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)ο.に定めるとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧は「2.1 重大事故等時の条件」に示す。

3.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)ο.に定めるとおりである。

なお、運転状態 V での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(7)に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)ο.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.2.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態Vの一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態Vの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	10	223
P01' P02'	10	223
P03 P04	14	89*
P03' P04'	14	89*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	10	335
P01' P02'	10	335
P03 P04	13	134*
P03' P04'	14	134*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-3-別添 7-5 高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉圧力容器内部）の強度計算書

目次

1.	一般事項	1
1.1	形状・寸法・材料	1
1.2	解析範囲	1
1.3	計算結果の概要	1
2.	計算条件	7
2.1	重大事故等時の条件	7
2.2	材料	7
2.3	荷重の組合せ及び運転状態	7
2.4	荷重の組合せ及び応力評価	7
2.5	許容応力	7
3.	応力計算	8
3.1	応力評価点	8
3.2	差圧による応力	8
3.2.1	荷重条件	8
3.2.2	計算方法	8
3.3	外荷重による応力	8
3.3.1	荷重条件	8
3.3.2	計算方法	8
3.4	応力の評価	8
4.	応力強さの評価	9
4.1	一次一般膜応力強さの評価	9
4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	9

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	6
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	10
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	11

1. 一般事項

本計算書は、高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉压力容器内部）の強度計算書である。

高圧及び低圧炉心スプレイ系配管（原子炉压力容器内部）は、原子炉压力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

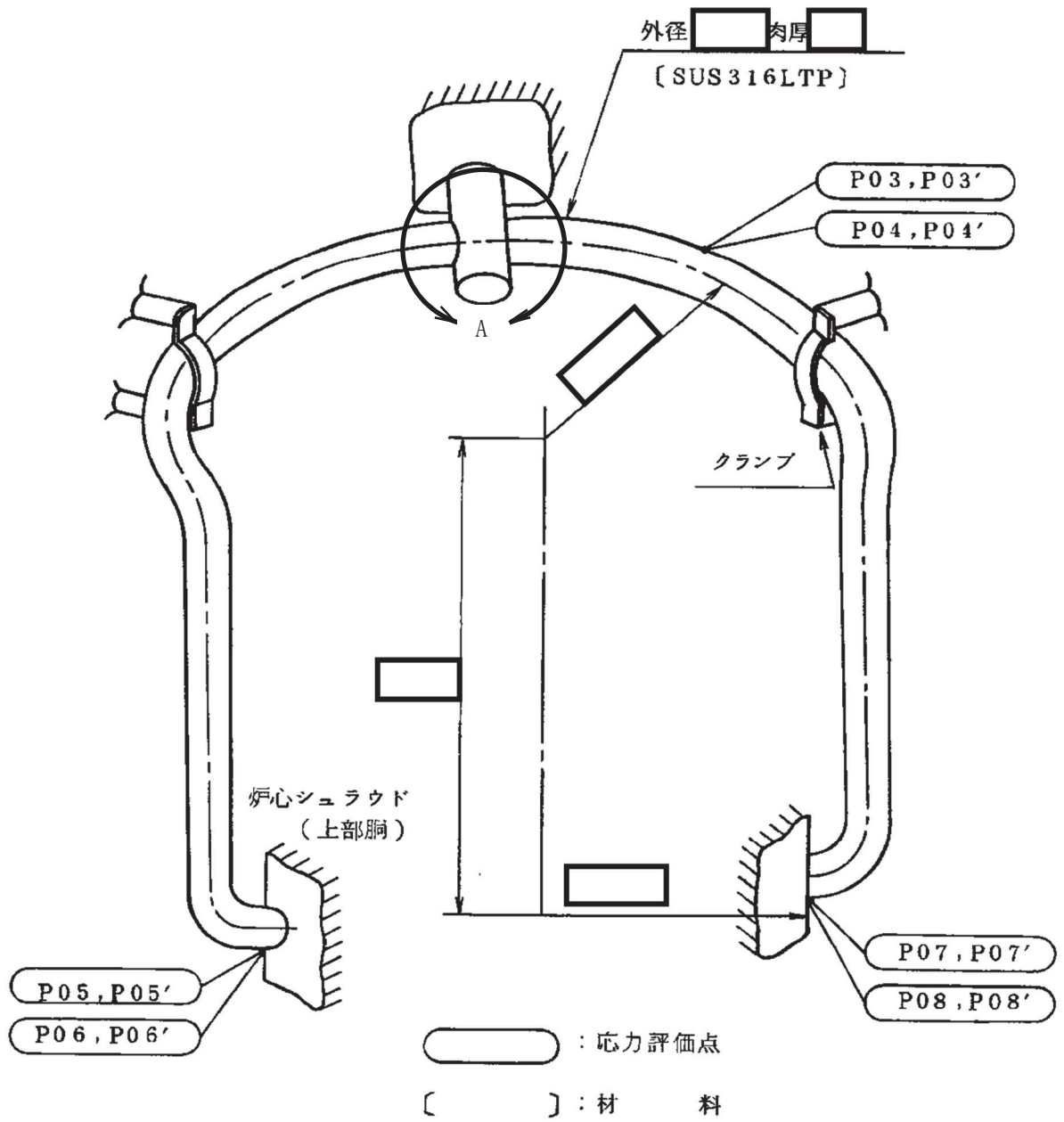


図 1-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点(高压炉心スプレイ系配管) (単位: mm)

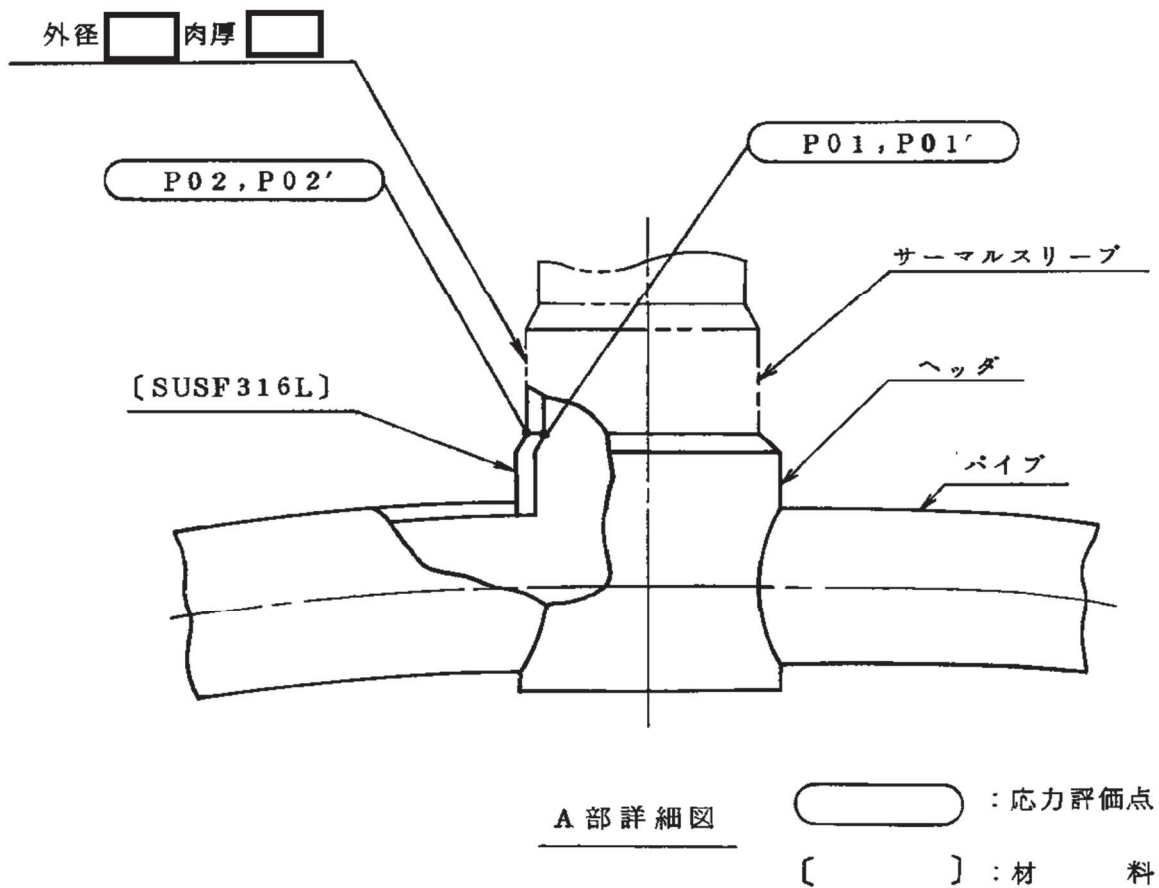


図 1-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点(高圧炉心スプレイ系配管) (単位: mm)

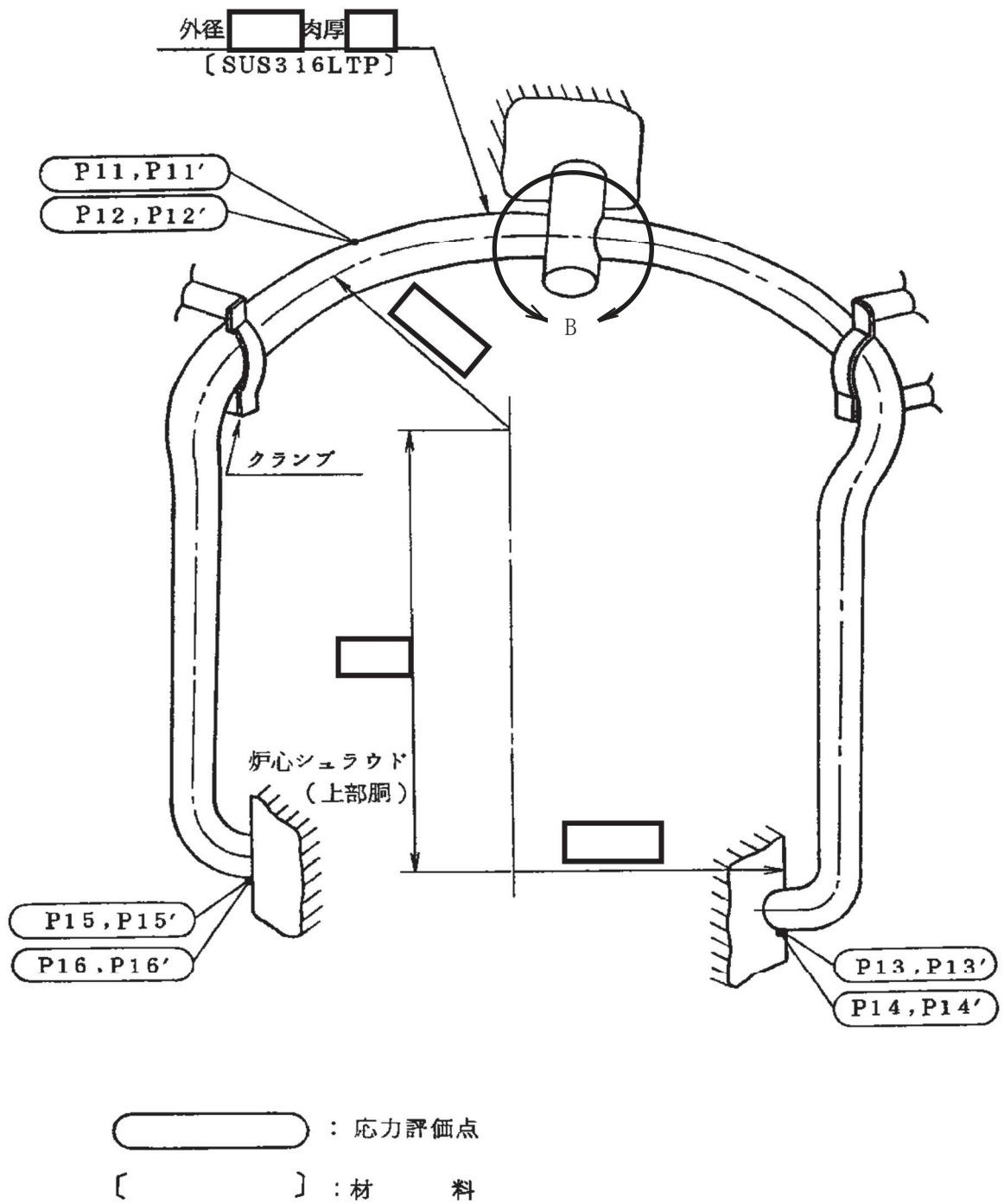


図 1-1(3) 形状・寸法・材料・応力評価点(低圧炉心スプレイ系配管) (単位: mm)

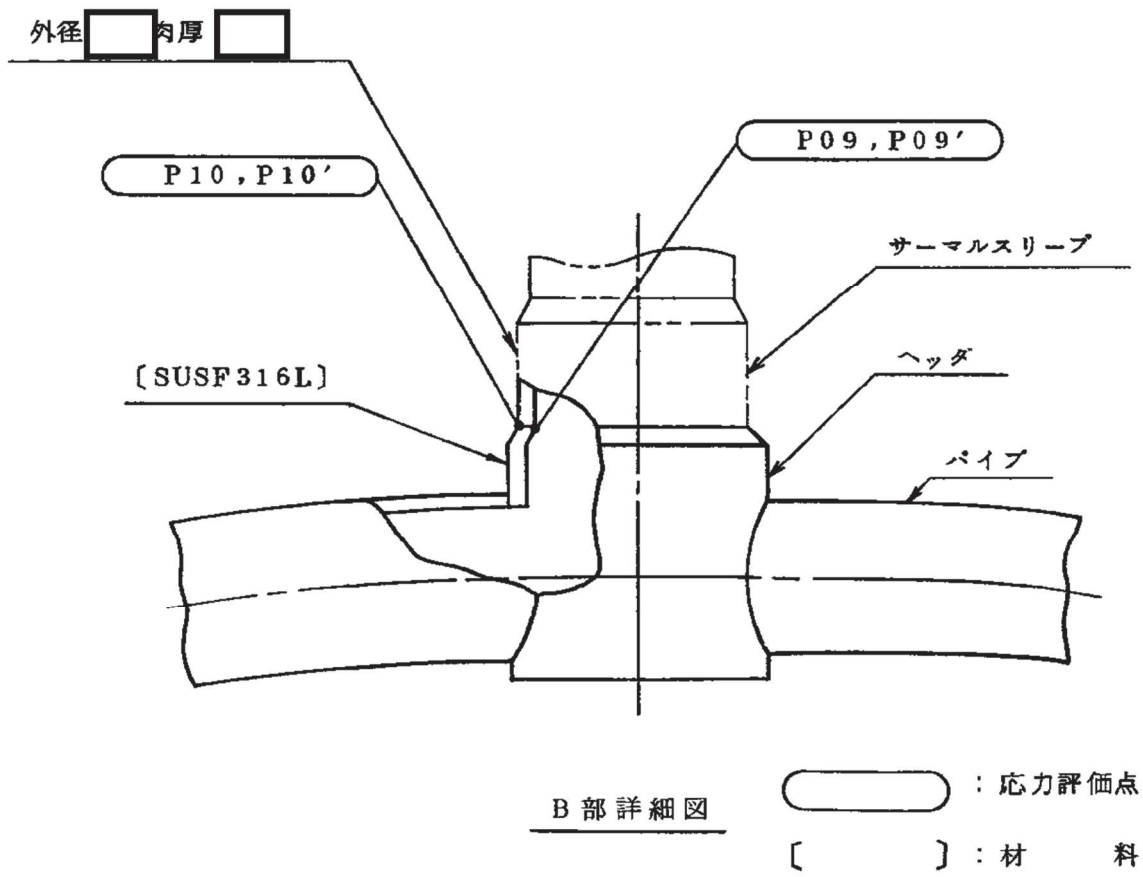


図 1-1(4) 形状・寸法・材料・応力評価点(低圧炉心スプレイ系配管) (単位: mm)

表 1-1 計算結果の概要

(単位 : MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜+一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
ヘッダ SUSF316L	V	8	145*	P01-P02	8	217*	P01'-P02'
パイプ SUS316LTP	V	8	223	P03-P04	10	335	P03-P04
パイプ SUS316LTP	V	8	145*	P05-P06	8	217*	P05'-P06'
パイプ SUS316LTP	V	8	145*	P07-P08	8	217*	P07'-P08'
ヘッダ SUSF316L	V	8	145*	P09-P10	8	217*	P09'-P10'
パイプ SUS316LTP	V	8	223	P11-P12	10	335	P11-P12
パイプ SUS316LTP	V	8	145*	P13-P14	8	217*	P13'-P14'
パイプ SUS316LTP	V	8	145*	P15-P16	8	217*	P15'-P16'

注記* : 継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 節に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧は「2.1 重大事故等時の条件」に示す。

3.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

なお、運転状態 V での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

高压炉心スプレイ系配管の外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(8)に、低压炉心スプレイ系配管の外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(9)に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.2.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態 V における評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態 V の一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態 V における評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態 V の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表 4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	8	145*
P01' P02'	8	145*
P03 P04	8	223
P03' P04'	8	223
P05 P06	8	145*
P05' P06'	8	145*
P07 P08	8	145*
P07' P08'	8	145*
P09 P10	8	145*
P09' P10'	8	145*
P11 P12	8	223
P11' P12'	8	223
P13 P14	8	145*
P13' P14'	8	145*
P15 P16	8	145*
P15' P16'	8	145*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	8	217*
P01' P02'	8	217*
P03 P04	10	335
P03' P04'	8	335
P05 P06	8	217*
P05' P06'	8	217*
P07 P08	8	217*
P07' P08'	8	217*
P09 P10	8	217*
P09' P10'	8	217*
P11 P12	10	335
P11' P12'	8	335
P13 P14	8	217*
P13' P14'	8	217*
P15 P16	8	217*
P15' P16'	8	217*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-3-別添 7-6 差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）の強度計算書

目次

1. 一般事項	1
1.1 形状・寸法・材料	1
1.2 解析範囲	1
1.3 計算結果の概要	1
2. 計算条件	4
2.1 重大事故等時の条件	4
2.2 材料	4
2.3 荷重の組合せ及び運転状態	4
2.4 荷重の組合せ及び応力評価	4
2.5 許容応力	4
3. 応力計算	5
3.1 応力評価点	5
3.2 差圧による応力	5
3.2.1 荷重条件	5
3.2.2 計算方法	5
3.3 外荷重による応力	5
3.3.1 荷重条件	5
3.3.2 計算方法	5
3.4 応力の評価	5
4. 応力強さの評価	6
4.1 一次一般膜応力強さの評価	6
4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	6

図表目次

図 1-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2
表 1-1	計算結果の概要	3
表 4-1	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	7
表 4-2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	8

1. 一般事項

本計算書は、差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）の強度計算書である。

差圧検出・ほう酸水注入系配管（原子炉圧力容器内部）は、原子炉圧力容器内部構造物であるため、添付書類「VI-2-3-4-3-1 原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

1.1 形状・寸法・材料

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 1-1 に示す。

1.2 解析範囲

解析範囲を図 1-1 に示す。

1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表 1-1 に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

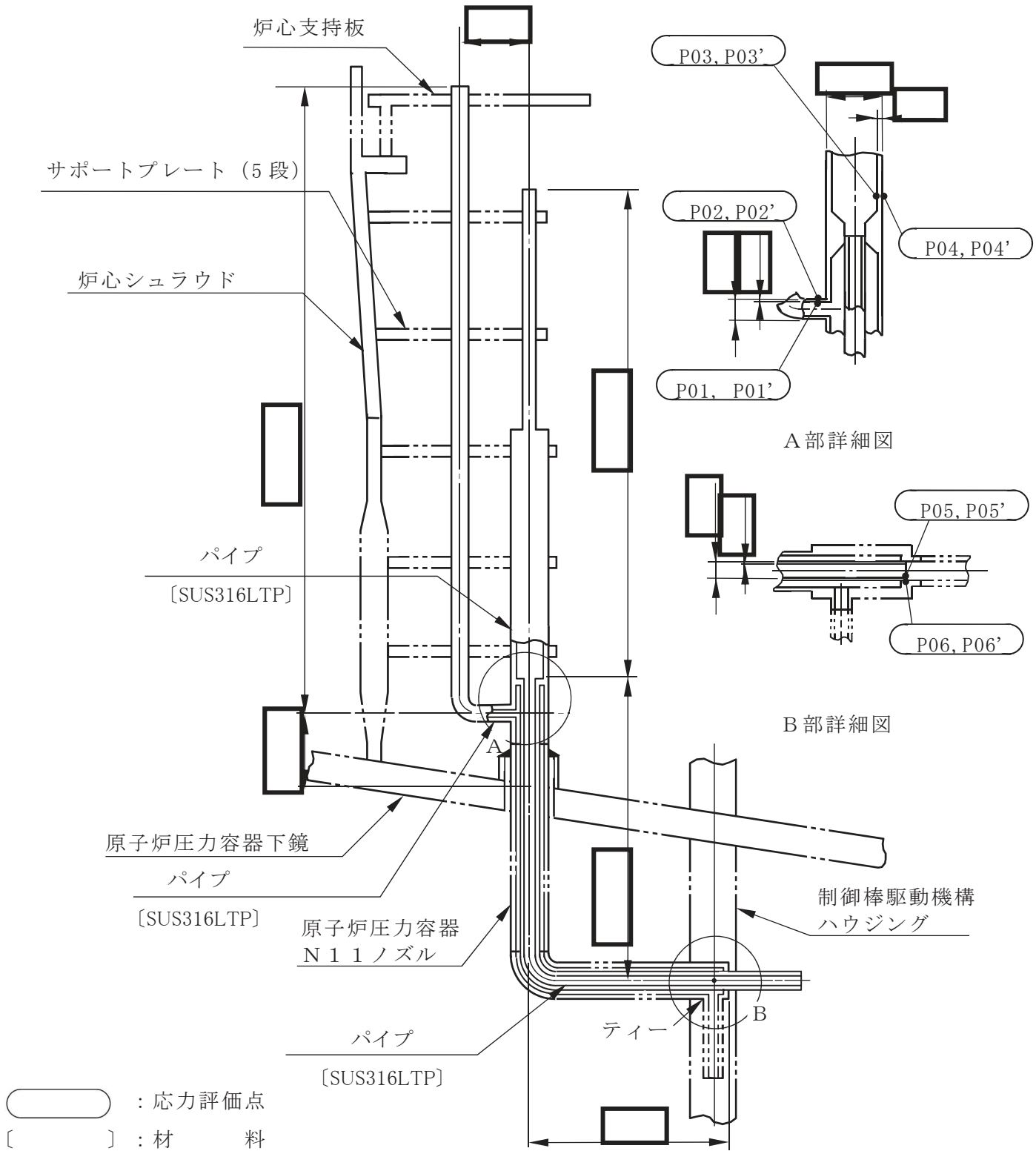


図1-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表1-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	運転状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
パイプ SUS316LTP	V	2	145*	P01-P02	5	217*	P01-P02
	V	2	145*	P03-P04	2	217*	P03-P04
	V	3	145*	P05-P06	4	217*	P05-P06

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

2. 計算条件

2.1 重大事故等時の条件

重大事故等時の条件を「応力解析の方針」の 4.3 節に示す。

2.2 材料

各部の材料を図 1-1 に示す。

2.3 荷重の組合せ及び運転状態

荷重の組合せ及び運転状態を「応力解析の方針」の 3.3 節に示す。

2.4 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の 4.4 節に示す。

2.5 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の 3.4 節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の 3.6 節に示す。

3. 応力計算

3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 1-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)q. に定めるとおりである。

3.2 差圧による応力

3.2.1 荷重条件 (L02)

運転状態 V の差圧は「2.1 重大事故等時の条件」に示す。

3.2.2 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)q. に定めるとおりである。

なお、運転状態 V での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

3.3 外荷重による応力

3.3.1 荷重条件 (L04)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(10)に示す。

3.3.2 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)q. に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.2.2 項に定めるとおりである。

4. 応力強さの評価

4.1 一次一般膜応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-1 に示す。

表 4-1 より，運転状態Vの一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

運転状態Vにおける評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，運転状態Vの一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表4-1 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	2	145*
P01' P02'	2	145*
P03 P04	2	145*
P03' P04'	2	145*
P05 P06	3	145*
P05' P06'	3	145*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表4-2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	運転状態 V	
	応力強さ	許容応力
P01 P02	5	217*
P01' P02'	5	217*
P03 P04	2	217*
P03' P04'	2	217*
P05 P06	4	217*
P05' P06'	3	217*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要

目次

VI-5-1	計算機プログラム（解析コード）の概要・TONBOS
VI-5-2	計算機プログラム（解析コード）の概要・BG0195HDW1
VI-5-3	計算機プログラム（解析コード）の概要・COSTANA
VI-5-4	計算機プログラム（解析コード）の概要・FLIP
VI-5-5	計算機プログラム（解析コード）の概要・LIQUEUR
VI-5-6	計算機プログラム（解析コード）の概要・SAC2D
VI-5-7	計算機プログラム（解析コード）の概要・SLIP02HDW1
VI-5-8	計算機プログラム（解析コード）の概要・stress-NLAP
VI-5-9	計算機プログラム（解析コード）の概要・suberi_sf
VI-5-10	計算機プログラム（解析コード）の概要・suberi_Type6789_SAC2D-HD1
VI-5-11	計算機プログラム（解析コード）の概要・SuperFLUSH/2D
VI-5-12	計算機プログラム（解析コード）の概要・VESL-DYN
VI-5-13	計算機プログラム（解析コード）の概要・ABAQUS
VI-5-14	計算機プログラム（解析コード）の概要・FDT ^s
VI-5-15	計算機プログラム（解析コード）の概要・DORT
VI-5-16	計算機プログラム（解析コード）の概要・SCALE
VI-5-17	計算機プログラム（解析コード）の概要・ORIGEN2
VI-5-18	計算機プログラム（解析コード）の概要・QAD-CGGP2R
VI-5-19	計算機プログラム（解析コード）の概要・ANISN
VI-5-20	計算機プログラム（解析コード）の概要・G33-GP2R
VI-5-21	計算機プログラム（解析コード）の概要・MAAP
VI-5-22	計算機プログラム（解析コード）の概要・ANSYS
VI-5-23	計算機プログラム（解析コード）の概要・GOTHIC
VI-5-24	計算機プログラム（解析コード）の概要・ISAP
VI-5-25	計算機プログラム（解析コード）の概要・NX NASTRAN
VI-5-26	計算機プログラム（解析コード）の概要・SAP-V
VI-5-27	計算機プログラム（解析コード）の概要・SOLVER
VI-5-28	計算機プログラム（解析コード）の概要・ADMITHF
VI-5-29	計算機プログラム（解析コード）の概要・mflow
VI-5-30	計算機プログラム（解析コード）の概要・NUPP4
VI-5-31	計算機プログラム（解析コード）の概要・SHAKE
VI-5-32	計算機プログラム（解析コード）の概要・SLAP

- VI-5-33 計算機プログラム (解析コード) の概要・Ark Quake
- VI-5-34 計算機プログラム (解析コード) の概要・Soil Plus
- VI-5-35 計算機プログラム (解析コード) の概要・WCOMD Studio
- VI-5-36 計算機プログラム (解析コード) の概要・microSHAKE/3D
- VI-5-37 計算機プログラム (解析コード) の概要・TDAPIII
- VI-5-38 計算機プログラム (解析コード) の概要・UC-win/WCOMD
- VI-5-39 計算機プログラム (解析コード) の概要・NOVAK
- VI-5-40 計算機プログラム (解析コード) の概要・MSC NASTRAN
- VI-5-41 計算機プログラム (解析コード) の概要・KANDYN_2N
- VI-5-42 計算機プログラム (解析コード) の概要・SCC
- VI-5-43 計算機プログラム (解析コード) の概要・BSPAN2
- VI-5-44 計算機プログラム (解析コード) の概要・CARO
- VI-5-45 計算機プログラム (解析コード) の概要・FURST
- VI-5-46 計算機プログラム (解析コード) の概要・PRIME
- VI-5-47 計算機プログラム (解析コード) の概要・ASHSD
- VI-5-48 計算機プログラム (解析コード) の概要・PIPE
- VI-5-49 計算機プログラム (解析コード) の概要・STAX
- VI-5-50 計算機プログラム (解析コード) の概要・A-SAFIA
- VI-5-51 計算機プログラム (解析コード) の概要・DYNA2E
- VI-5-52 計算機プログラム (解析コード) の概要・SAP-IV
- VI-5-53 計算機プログラム (解析コード) の概要・KSAP
- VI-5-54 計算機プログラム (解析コード) の概要・NuPIAS
- VI-5-55 計算機プログラム (解析コード) の概要・microSHAKE
- VI-5-56 計算機プログラム (解析コード) の概要・UC-win/Section
- VI-5-57 計算機プログラム (解析コード) の概要・RC 断面計算
- VI-5-58 計算機プログラム (解析コード) の概要・APOLLO Analyzer
- VI-5-59 計算機プログラム (解析コード) の概要・APOLLO SuperDesigner Section
- VI-5-60 計算機プログラム (解析コード) の概要・FRAME マネージャ
- VI-5-61 計算機プログラム (解析コード) の概要・FRAME (面内)
- VI-5-62 計算機プログラム (解析コード) の概要・Engineer's Studio
- VI-5-63 計算機プログラム (解析コード) の概要・fappase
- VI-5-64 計算機プログラム (解析コード) の概要・KANSAS2
- VI-5-65 計算機プログラム (解析コード) の概要・MSAP (配管)
- VI-5-66 計算機プログラム (解析コード) の概要・STRUCT

- VI-5-67 計算機プログラム（解析コード）の概要・NAPF
- VI-5-68 計算機プログラム（解析コード）の概要・FRS Calculation System
- VI-5-69 計算機プログラム（解析コード）の概要・LS-DYNA
- VI-5-70 計算機プログラム（解析コード）の概要・ADMIT
- VI-5-71 計算機プログラム（解析コード）の概要・VIANA
- VI-5-72 計算機プログラム（解析コード）の概要・Fluent
- VI-5-73 計算機プログラム（解析コード）の概要・CHERRY
- VI-5-74 計算機プログラム（解析コード）の概要・FACS
- VI-5-75 計算機プログラム（解析コード）の概要・FRS Enveloping for BWR

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（1/15）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-1					
VI-1-1-2-3-2	竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定	資料番号	VI-5-1					
		コード名	TONBOS					
VI-1-1-6-別添1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	資料番号	VI-5-2	VI-5-3	VI-5-4	VI-5-5	VI-5-6	VI-5-7
		コード名	BG0195HDW1	COSTANA	FLIP	LIQUEUR	SAC2D	SLIPO2HDW1
		資料番号	VI-5-8	VI-5-9	VI-5-10	VI-5-11	VI-5-12	
		コード名	stress-NLAP	suberi_sf	suberi_Type 6789_SAC2D- HD1	SuperFLUSH/ 2D	VESL-DYN	
VI-1-1-6-別添4	ブローアウトパネル関連設備の設計方針	資料番号	VI-5-13					
		コード名	ABAQUS					
VI-1-1-7	発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書	資料番号	VI-5-14					
		コード名	FDT*					
VI-1-1-8-3	溢水評価条件の設定	資料番号	VI-5-24	VI-5-27	VI-5-72			
		コード名	ISAP	SOLVER	Fluent			
VI-1-1-8-4	溢水影響に関する評価	資料番号	VI-5-72					
		コード名	Fluent					
VI-1-2-2	原子炉圧力容器の脆性破壊防止に関する説明書	資料番号	VI-5-15					
		コード名	DORT					
VI-1-3-2	燃料取扱設備、新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書	資料番号	VI-5-16					
		コード名	SCALE					
VI-1-3-4	使用済燃料貯蔵槽の冷却能力に関する説明書	資料番号	VI-5-17					
		コード名	ORIGEN2					
VI-1-3-5	使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書	資料番号	VI-5-17	VI-5-18				
		コード名	ORIGEN2	QAD-CGGP2R				
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	資料番号	VI-5-17	VI-5-18	VI-5-19	VI-5-20	VI-5-21	
		コード名	ORIGEN2	QAD-CGGP2R	ANISN	G33-GP2R	MAAP	
VI-1-8-1	原子炉格納施設の設計条件に関する説明書	資料番号	VI-5-13	VI-5-17	VI-5-18	VI-5-21	VI-5-22	
		コード名	ABAQUS	ORIGEN2	QAD-CGGP2R	MAAP	ANSYS	
VI-1-8-2	原子炉格納施設の水素濃度低減性能に関する説明書	資料番号	VI-5-21	VI-5-23				
		コード名	MAAP	GOTHIC				
VI-1-9-3-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	資料番号	VI-5-17	VI-5-18	VI-5-19	VI-5-20		
		コード名	ORIGEN2	QAD-CGGP2R	ANISN	G33-GP2R		
VI-2-1-7	設計用床応答曲線の作成方針	資料番号	VI-5-68	VI-5-71	VI-5-73	VI-5-74	VI-5-75	
		コード名	FRS Calculation System	VIANA	CHERRY	FACS	FRS Enveloping for BWR	

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（2/15）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27		
VI-2-1-12-1	配管及び支持構造物の耐震計算について	資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27		
		コード名	ISAP	NX NASTRAN	SAP-V	SOLVER		
VI-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-29	VI-5-30	VI-5-31		
		コード名	ADMITHF	mflow	NUPP4	SHAKE		
VI-2-2-2	原子炉建屋の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-29	VI-5-30	VI-5-31		
		コード名	ADMITHF	mflow	NUPP4	SHAKE		
VI-2-2-3	制御建屋の地震応答計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-30				
		コード名	ADMITHF	NUPP4				
VI-2-2-4	制御建屋の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-13	VI-5-28	VI-5-30			
		コード名	ABAQUS	ADMITHF	NUPP4			
VI-2-2-5	復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-32				
		コード名	SHAKE	SLAP				
VI-2-2-6	復水貯蔵タンク基礎の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-32					
		コード名	SLAP					
VI-2-2-7	海水ポンプ室の地震応答計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34				
		コード名	Ark Quake	Soil Plus				
VI-2-2-9	第3号機海水ポンプ室の地震応答計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34				
		コード名	Ark Quake	Soil Plus				
VI-2-2-11	原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の地震応答計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34				
		コード名	Ark Quake	Soil Plus				
VI-2-2-12-1	原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-35					
		コード名	WCOMD Studio					
VI-2-2-12-2	原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-35	VI-5-37		
		コード名	Ark Quake	Soil Plus	WCOMD Studio	TDAPIII		
VI-2-2-13	軽油タンク室の地震応答計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-32				
		コード名	SHAKE	SLAP				
VI-2-2-14	軽油タンク室の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-32					
		コード名	SLAP					
VI-2-2-15	軽油タンク室（H）の地震応答計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-32				
		コード名	SHAKE	SLAP				
VI-2-2-16	軽油タンク室（H）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-32					
		コード名	SLAP					
VI-2-2-17	ガスタービン発電設備軽油タンク室の地震応答計算書	資料番号	VI-5-36	VI-5-37				
		コード名	microSHAKE/3D	TDAPIII				
VI-2-2-18	ガスタービン発電設備軽油タンク室の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-32					
		コード名	SLAP					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（3/15）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-31	VI-5-32				
VI-2-2-19	軽油タンク連絡ダクトの地震応答計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-32				
		コード名	SHAKE	SLAP				
VI-2-2-20	軽油タンク連絡ダクトの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-38					
		コード名	UC-win/WCOMD					
VI-2-2-21	緊急用電気品建屋の地震応答計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-30	VI-5-31	VI-5-39		
		コード名	ADMITHF	NUPP4	SHAKE	NOVAK		
VI-2-2-22	緊急用電気品建屋の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-2-23	緊急時対策建屋の地震応答計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-30	VI-5-31	VI-5-39		
		コード名	ADMITHF	NUPP4	SHAKE	NOVAK		
VI-2-2-24	緊急時対策建屋の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-2-25	排気筒基礎の地震応答計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-37				
		コード名	SHAKE	TDAPIII				
VI-2-2-26	排気筒基礎の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-32					
		コード名	SLAP					
VI-2-2-27	排気筒連絡ダクトの地震応答計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-32				
		コード名	SHAKE	SLAP				
VI-2-2-28	排気筒連絡ダクトの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-38					
		コード名	UC-win/WCOMD					
VI-2-2-29	第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-29	VI-5-30	VI-5-31		
		コード名	ADMITHF	mflow	NUPP4	SHAKE		
VI-2-2-30	第3号機海水熱交換器建屋の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-29	VI-5-30	VI-5-31	VI-5-41	
		コード名	ADMITHF	mflow	NUPP4	SHAKE	KANDYN_2N	
VI-2-3-2	炉心、原子炉压力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書	資料番号	VI-5-37	VI-5-42				
		コード名	TDAPIII	SCC				
VI-2-3-3-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-22	VI-5-43	VI-5-44	VI-5-45	VI-5-46	
		コード名	ANSYS	BSPAN2	CARO	FURST	PRIME	
VI-2-3-3-2-3	シュラウドサポートの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-47	VI-5-48	VI-5-49			
		コード名	ASHSD	PIPE	STAX			
VI-2-3-3-2-4	炉心シュラウド支持ロッドの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-37					
		コード名	TDAPIII					
VI-2-3-3-2-8	制御棒案内管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-50					
		コード名	A-SAFIA					
VI-2-3-4-1-2	原子炉压力容器の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-47	VI-5-48	VI-5-49	VI-5-50		
		コード名	ASHSD	PIPE	STAX	A-SAFIA		
VI-2-3-4-2-3	制御棒駆動機構ハウジング支持金具の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（4/15）

目録番号	目録名称	適用コード名					
		資料番号	コード名				
VI-2-3-4-3-11	中性子束計測案内管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-4-2-1	使用済燃料プール（キャスクビットを含む）（第1, 2号機共用）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-4-2-2	使用済燃料貯蔵ラック（第1, 2号機共用）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-4-2-3	制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-4-2-4	使用済燃料プール水位/温度（ガイドバルス式）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-22				
		コード名	ANSYS				
VI-2-4-2-5	使用済燃料プール水位/温度（ヒートサーモ式）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-4-3-1-3	管の耐震性についての計算書（燃料プール冷却浄化系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書（燃料プール代替注水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-4-3-3-1	管の耐震性についての計算書（燃料プールのスプレイ系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-5-2-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉再循環系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-5-3-1-2	管の耐震性についての計算書（主蒸気系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-5-3-2-1	管の耐震性についての計算書（復水給水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-5-4-1-2	残留熱除去系ポンプの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-5-4-1-4	管の耐震性についての計算書（残留熱除去系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-5-4-1-5	ストレーナ部ティーの耐震計算書（残留熱除去系）	資料番号	VI-5-24				
		コード名	ISAP				
VI-2-5-4-2-1	管の耐震性についての計算書（耐圧強化ベント系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-5-5-1-1	高圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-5-5-1-3	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（5/15）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-24					
VI-2-5-5-1-4	ストレナ部ティ어의耐震計算書（高压炉心スプレイ系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-2-5-5-2-1	低压炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-5-5-2-3	管の耐震性についての計算書（低压炉心スプレイ系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-5-5-2-4	ストレナ部ティ어의耐震計算書（低压炉心スプレイ系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-2-5-5-3-2	管の耐震性についての計算書（高压代替注水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-5-5-4-2	管の耐震性についての計算書（低压代替注水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-5-5-5-1	管の耐震性についての計算書（代替水源移送系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-5-6-1-3	管の耐震性についての計算書（原子炉隔離時冷却系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-5-6-2-3	管の耐震性についての計算書（補給水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-5-7-1-3	原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-5-7-1-6	管の耐震性についての計算書（原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27		
		コード名	ISAP	NX NASTRAN	SAP-V	SOLVER		
VI-2-5-7-2-3	高压炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-5-7-2-5	管の耐震性についての計算書（高压炉心スプレイ補機冷却水系及び高压炉心スプレイ補機冷却海水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27		
		コード名	ISAP	NX NASTRAN	SAP-V	SOLVER		
VI-2-5-7-3-1	管の耐震性についての計算書（原子炉補機代替冷却水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-5-8-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉冷却材浄化系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-6-3-2-1	水圧制御ユニットの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-27					
		コード名	SOLVER					
VI-2-6-3-2-2	管の耐震性についての計算書（制御棒駆動水圧系）	資料番号	VI-5-25	VI-5-27				
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER				

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（6/15）

目録番号	目録名称	適用コード名					
		資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
VI-2-6-4-1-3	管の耐震性についての計算書（ほう酸水注入系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26			
		コード名	ISAP	SAP-V			
VI-2-6-5-1-1	起動領域モニタの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-6-5-1-2	出力領域モニタの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-6-5-4-2-1	ドライウェル温度の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-6-5-4-2-3	サブレーションプール水温度の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-6-5-4-2-4	原子炉格納容器下部温度の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-6-5-4-4-1	格納容器内水素濃度(D/W)の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-6-5-4-4-2	格納容器内水素濃度(S/C)の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-6-5-8-2	原子炉格納容器下部水位の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-6-5-9-1	原子炉建屋内水素濃度の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25				
		コード名	NX NASTRAN				
VI-2-6-6-1-1	管の耐震性についての計算書（高压窒素ガス供給系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27	
		コード名	ISAP	NX NASTRAN	SAP-V	SOLVER	
VI-2-6-6-2-1	管の耐震性についての計算書（代替高压窒素ガス供給系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27	
		コード名	ISAP	NX NASTRAN	SAP-V	SOLVER	
VI-2-6-7-2-2	衛星電話設備（屋外アンテナ）（中央制御室）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-6-7-2-4	衛星電話設備（屋外アンテナ）（緊急時対策所）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-6-7-3-2	無線連絡設備（屋外アンテナ）（中央制御室）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-6-7-3-4	無線連絡設備（屋外アンテナ）（緊急時対策所）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（7/15）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-40					
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	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-6-7-8	統合原子力防災ネットワーク用通信機器収容架の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-6-7-18	静的触媒式水素再結合装置動作監視装置の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-7-2-1	排気筒の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-51					
		コード名	DYNA2E					
VI-2-7-3-1-1	管の耐震性についての計算書（放射性ドレン移送系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-8-2-1-1-1	主蒸気管放射線モニタの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-8-2-1-2-1	格納容器内雰囲気放射線モニタ（D/W）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-8-2-1-2-2	格納容器内雰囲気放射線モニタ（S/C）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-8-2-1-3-2	フィルタ装置出口放射線モニタの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-8-2-1-3-3	燃料取替エリア放射線モニタの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-8-2-2-1-1	使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-8-2-2-1-2	使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-8-3-1-1	中央制御室換気空調系ダクトの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	SAP-IV					
VI-2-8-3-2-1	緊急時対策所換気空調系ダクトの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	SAP-IV					
VI-2-8-3-2-2	管の耐震性についての計算書（緊急時対策所換気空調系）	資料番号	VI-5-25	VI-5-27				
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER				
VI-2-8-3-3-1	管の耐震性についての計算書（中央制御室待避所加圧空気供給系）	資料番号	VI-5-40	VI-5-54				
		コード名	MSC NASTRAN	NuPIAS				
VI-2-8-3-4-1	管の耐震性についての計算書（緊急時対策所加圧空気供給系）	資料番号	VI-5-25	VI-5-27				
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER				

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（8/15）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-40					
VI-2-9-2-1-2	サプレッションチェーンパの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-2-1-5	ボックスサポートの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-3-1	原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-63					
		コード名	fappase					
VI-2-9-3-1-別紙1	原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）のうち大物搬入口の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-30	VI-5-34	VI-5-63			
		コード名	NUPP4	Soil Plus	fappase			
VI-2-9-3-1-1	原子炉建屋ブローアウトパネルの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-13					
		コード名	ABAQUS					
VI-2-9-3-4	原子炉建屋基礎版の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-13					
		コード名	ABAQUS					
VI-2-9-4-1	ダウンカマの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-24	VI-5-40				
		コード名	ISAP	MSC NASTRAN				
VI-2-9-4-2	ベント管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-24	VI-5-40				
		コード名	ISAP	MSC NASTRAN				
VI-2-9-4-3-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器スプレイ冷却系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-2-9-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器下部注水系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-9-4-3-3-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器代替スプレイ冷却系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-9-4-3-4-2	管の耐震性についての計算書（代替循環冷却系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-9-4-4-1-2	管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-9-4-4-1-5	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-4-4-2-1	管の耐震性についての計算書（可燃性ガス濃度制御系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26	VI-5-53			
		コード名	ISAP	SAP-V	KSAP			
VI-2-9-4-4-2-3	可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-53					
		コード名	KSAP					
VI-2-9-4-4-3-1	静的触媒式水素再結合装置の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-4-4-4-1	管の耐震性についての計算書（可搬型窒素ガス供給系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（9/15）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
VI-2-9-4-5-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器調気系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-9-4-6-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	ISAP	SAP-V				
VI-2-10-1-2-1-6	非常用ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25	VI-5-27				
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER				
VI-2-10-1-2-2-6	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25	VI-5-27				
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER				
VI-2-10-1-2-3-5	ガスタービン発電設備 管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27		
		コード名	ISAP	NX NASTRAN	SAP-V	SOLVER		
VI-2-10-1-2-4-2	緊急時対策所ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25	VI-5-27				
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER				
VI-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31	VI-5-37	VI-5-55	VI-5-56	
		コード名	FLIP	SHAKE	TDAPIII	microSHAKE	UC-win/Section	
VI-2-10-2-2-2	防潮堤（盛土堤防）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31				
		コード名	FLIP	SHAKE				
VI-2-10-2-3-1	杭基礎構造防潮壁鋼製遮水壁（鋼板）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-37	VI-5-57		
		コード名	Ark Quake	Soil Plus	TDAPIII	RC 断面計算		
VI-2-10-2-3-2	杭基礎構造防潮壁鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-37	VI-5-57	VI-5-58	VI-5-59
		コード名	Ark Quake	Soil Plus	TDAPIII	RC 断面計算	APOLLO Analyzer	APOLLO SuperDesigner Section
VI-2-10-2-3-3	杭基礎構造防潮壁鋼製扉の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-37	VI-5-57	VI-5-60	
		コード名	Ark Quake	Soil Plus	TDAPIII	RC 断面計算	FRAME マネージャ	
VI-2-10-2-3-4	防潮壁（第3号機海水熱交換器建屋）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-64					
		コード名	KANSAS2					
VI-2-10-2-4-1	取放水路流路縮小工（第1号機取水路）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-11	VI-5-33	VI-5-37			
		コード名	SuperFLUSH/2D	Ark Quake	TDAPIII			
VI-2-10-2-4-2	取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-11	VI-5-33	VI-5-37			
		コード名	SuperFLUSH/2D	Ark Quake	TDAPIII			
VI-2-10-2-6-1-1	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-32	VI-5-37	VI-5-55			
		コード名	SLAP	TDAPIII	microSHAKE			
VI-2-10-2-6-1-2	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-32	VI-5-55			
		コード名	FLIP	SLAP	microSHAKE			

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（10/15）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-36	VI-5-37	VI-5-61			
VI-2-10-2-8-3	浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-36	VI-5-37	VI-5-61			
		コード名	microSHAKE/3D	TDAPⅢ	FRAME（面内）			
VI-2-10-2-8-4	浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-62					
		コード名	Engineer's Studio					
VI-2-10-2-13-1	津波監視カメラの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-10-2-13-2	取水ピット水位計の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-10-3-2	補機駆動用燃料設備管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25	VI-5-27				
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER				
VI-2-10-4-3	取水口の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34				
		コード名	Ark Quake	Soil Plus				
VI-2-10-4-4-1	取水路（漸拡部）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34				
		コード名	Ark Quake	Soil Plus				
VI-2-10-4-4-2	取水路（標準部）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-33	VI-5-34			
		コード名	FLIP	Ark Quake	Soil Plus			
VI-2-11-2-1	海水ポンプ室門型クレーンの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-13					
		コード名	ABAQUS					
VI-2-11-2-2	竜巻防護ネットの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-51					
		コード名	DYNA2E					
VI-2-11-2-3	タービン建屋の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-29	VI-5-30	VI-5-31		
		コード名	ADMITHF	mflow	NUPP4	SHAKE		
VI-2-11-2-4	補助ボイラー建屋の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-30					
		コード名	NUPP4					
VI-2-11-2-5	第1号機制御建屋の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-28	VI-5-30				
		コード名	ADMITHF	NUPP4				
VI-2-11-2-7	中央制御室天井照明の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40	VI-5-63	VI-5-64			
		コード名	MSC NASTRAN	fappase	KANSAS2			
VI-2-11-2-8	原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-13					
		コード名	ABAQUS					
VI-2-11-2-9	燃料交換機の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-11-2-12	耐火隔壁の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-11-2-13	制御棒貯蔵ラックの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（11/15）

目録番号	目録名称	適用コード名					
		資料番号	VI-5-40				
VI-2-11-2-14	制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-11-2-15	第1号機排気筒の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25	VI-5-31	VI-5-51	VI-5-70	
		コード名	NX NASTRAN	SHAKE	DYNA2E	ADMIT	
VI-2-11-2-16	前面護岸の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34			
		コード名	Ark Quake	Soil Plus			
VI-2-11-2-17	第1号機取水路の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31			
		コード名	FLIP	SHAKE			
VI-2-11-2-18	第3号機取水路の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-33			
		コード名	FLIP	Ark Quake			
VI-2-11-2-19	北側排水路の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31			
		コード名	FLIP	SHAKE			
VI-2-11-2-20	アクセスルート（防潮堤（盛土堤防））の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31			
		コード名	FLIP	SHAKE			
VI-2-11-2-21	CRD自動交換機の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-12-1	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	資料番号	VI-5-13	VI-5-40			
		コード名	ABAQUS	MSC NASTRAN			
VI-2-13-1	地下水位低下設備ドレーンの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-32	VI-5-37	VI-5-61	
		コード名	SHAKE	SLAP	TDAPIII	FRAME（面内）	
VI-2-13-2	地下水位低下設備接続樹の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-37	VI-5-57		
		コード名	SHAKE	TDAPIII	RC断面計算		
VI-2-13-3	地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31	VI-5-32	VI-5-56	
		コード名	FLIP	SHAKE	SLAP	UC-win/Section	
VI-2-13-4	地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31	VI-5-32		
		コード名	FLIP	SHAKE	SLAP		
VI-2-13-6	地下水位低下設備配管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-65	VI-5-73			
		コード名	MSAP（配管）	CHERRY			
VI-2-13-8	地下水位低下設備制御盤の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-13-9	地下水位低下設備電源盤の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI-2-別添1-2	火災感知器の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52				
		コード名	SAP-IV				
VI-2-別添1-4	ガスボンベ設備の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25	VI-5-40			
		コード名	NX NASTRAN	MSC NASTRAN			

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（12/15）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-25					
VI-2-別添1-5	選択弁の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-別添1-7	消火配管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-25	VI-5-27	VI-5-40	VI-5-54	VI-5-66	VI-5-67
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER	MSC NASTRAN	NuPIAS	STRUCT	NAPP
VI-2-別添2-2	溢水源としない耐震B、Cクラス機器の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-24	VI-5-25	VI-5-26	VI-5-27	VI-5-40	
		コード名	ISAP	NX NASTRAN	SAP-V	SOLVER	MSC NASTRAN	
VI-2-別添3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動	資料番号	VI-5-11	VI-5-31	VI-5-36			
		コード名	SuperFLUSH/2D	SHAKE	microSHAKE/3D			
VI-2-別添3-4	可搬型重大事故等対処設備のうちポンベ設備の耐震計算書	資料番号	VI-5-25	VI-5-40				
		コード名	NX NASTRAN	MSC NASTRAN				
VI-2-別添3-5	可搬型重大事故等対処設備のうちその他設備の耐震計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-3-3-2-2-1-2	燃料プール冷却浄化系ポンプの強度計算書	資料番号	VI-5-13					
		コード名	ABAQUS					
VI-3-3-2-2-1-4-2	管の応力計算書（燃料プール冷却浄化系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-2-2-2-2-2	管の応力計算書（燃料プール代替注水系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-2-2-3-1-2	管の応力計算書（燃料プールのスプレイ系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-1-1-2	管の応力計算書（原子炉再循環系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-2-1-3-2	管の応力計算書（主蒸気系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-2-2-1-2	管の応力計算書（復水給水系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-3-1-5-2	管の応力計算書（残留熱除去系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-3-1-5-3	ストレーナ部ティーの応力計算書（残留熱除去系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-3-2-1-2	管の応力計算書（耐圧強化ベント系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-4-1-4-2	管の応力計算書（高圧炉心スプレイ系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-4-1-4-3	ストレーナ部ティーの強度計算書（高圧炉心スプレイ系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-4-2-3-2	管の応力計算書（低圧炉心スプレイ系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（13/15）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	コード名					
VI-3-3-3-4-2-3-3	ストレーナ部ティ어의強度計算書（低圧炉心スプレイ系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-4-3-3-2	管の応力計算書（高圧代替注水系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-4-5-2-2	管の応力計算書（低圧代替注水系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-4-6-1-2	管の応力計算書（代替水源移送系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-5-1-3-2	管の応力計算書（原子炉隔離時冷却系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-5-2-3-2	管の応力計算書（補給水系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-6-1-6-2	管の応力計算書（原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-6-2-5-2	管の応力計算書（高圧炉心スプレイ補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-6-3-4-2	管の応力計算書（原子炉補機代替冷却水系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-3-7-1-1-2	管の応力計算書（原子炉冷却材浄化系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-4-1-2-1-4-2	管の応力計算書（制御棒駆動水圧系）	資料番号	VI-5-25	VI-5-27				
		コード名	NX NASTRAN	SOLVER				
VI-3-3-4-2-1-3-2	管の応力計算書（ほう酸水注入系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-4-3-1-2-2	管の応力計算書（高圧窒素ガス供給系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-27				
		コード名	ISAP	SOLVER				
VI-3-3-4-3-2-1-2	管の応力計算書（代替高圧窒素ガス供給系）	資料番号	VI-5-24	VI-5-27				
		コード名	ISAP	SOLVER				
VI-3-3-5-1-2-1-2	管の応力計算書（緊急時対策所換気空調系）	資料番号	VI-5-27					
		コード名	SOLVER					
VI-3-3-5-1-3-2-2	管の応力計算書（中央制御室待避所加圧空気供給系）	資料番号	VI-5-54					
		コード名	NuPIAS					
VI-3-3-5-1-4-2-2	管の応力計算書（緊急時対策所加圧空気供給系）	資料番号	VI-5-27					
		コード名	SOLVER					
VI-3-3-6-1-1-7	サブプレッションチェンパの強度計算書	資料番号	VI-5-40					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-3-3-6-2-2	ダウンカマの強度計算書	資料番号	VI-5-24	VI-5-40				
		コード名	ISAP	MSC NASTRAN				

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（14/15）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-24	VI-5-40				
VI-3-3-6-2-3	ベントヘッドの強度計算書	資料番号	VI-5-24	VI-5-40				
		コード名	ISAP	MSC NASTRAN				
VI-3-3-6-2-5	ベント管の強度計算書	資料番号	VI-5-24	VI-5-40				
		コード名	ISAP	MSC NASTRAN				
VI-3-3-6-2-7-2-1-2	管の応力計算書（原子炉格納容器下部注水系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-6-2-7-3-1-2	管の応力計算書（原子炉格納容器代替スプレイ冷却系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-6-2-7-4-2-2	管の応力計算書（代替循環冷却系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-6-2-8-1-2-2	管の応力計算書（非常用ガス処理系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-6-2-8-3-1-2	管の応力計算書（可搬型窒素ガス供給系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-6-2-9-1-2-2	管の応力計算書（原子炉格納容器調気系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-3-6-2-10-1-3-2	管の応力計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）	資料番号	VI-5-24					
		コード名	ISAP					
VI-3-別添 1-1-1	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書	資料番号	VI-5-13	VI-5-69				
		コード名	ABAQUS	LS-DYNA				
VI-3-別添 1-1-5	復水貯蔵タンクの強度計算書	資料番号	VI-5-69					
		コード名	LS-DYNA					
VI-3-別添 1-1-7	排気筒の強度計算書	資料番号	VI-5-51	VI-5-69				
		コード名	DYNA2E	LS-DYNA				
VI-3-別添 1-2-1-1	竜巻防護ネットの強度計算書	資料番号	VI-5-69					
		コード名	LS-DYNA					
VI-3-別添 1-2-1-2	竜巻防護鋼板の強度計算書	資料番号	VI-5-69					
		コード名	LS-DYNA					
VI-3-別添 2-1-3	復水貯蔵タンクの強度計算書	資料番号	VI-5-13					
		コード名	ABAQUS					
VI-3-別添 3-2-1-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31	VI-5-37	VI-5-56		
		コード名	FLIP	SHAKE	TDAPIII	UC-win/Section		
VI-3-別添 3-2-1-2	防潮堤（盛土堤防）の強度計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-31				
		コード名	FLIP	SHAKE				
VI-3-別添 3-2-2-1	杭基礎構造防潮壁鋼製遮水壁（鋼板）の強度計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-37	VI-5-57		
		コード名	Ark Quake	Soil Plus	TDAPIII	RC 断面計算		
VI-3-別添 3-2-2-2	杭基礎構造防潮壁鋼製遮水壁（鋼桁）の強度計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-37	VI-5-57	VI-5-58	VI-5-59
		コード名	Ark Quake	Soil Plus	TDAPIII	RC 断面計算	APOLLO Analyzer	APOLLO SuperDesigner Section

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（15/15）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-37	VI-5-57	VI-5-60	
VI-3-別添3-2-2-3	杭基礎構造防潮壁鋼製扉の強度計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-34	VI-5-37	VI-5-57	VI-5-60	
		コード名	Ark Quake	Soil Plus	TDAPⅢ	RC 断面計算	FRAME マネージャ	
VI-3-別添3-2-2-4	防潮壁（第3号機海水熱交換器建屋）の強度計算書	資料番号	VI-5-64					
		コード名	KANSAS2					
VI-3-別添3-2-3-1	取放水路流路縮小工（第1号機取水路）の強度計算書	資料番号	VI-5-33					
		コード名	Ark Quake					
VI-3-別添3-2-3-2	取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の強度計算書	資料番号	VI-5-33					
		コード名	Ark Quake					
VI-3-別添3-2-4	貯留堰の強度計算書	資料番号	VI-5-33	VI-5-57	VI-5-61			
		コード名	Ark Quake	RC 断面計算	FRAME（面内）			
VI-3-別添3-2-5-1-1	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の強度計算書	資料番号	VI-5-32	VI-5-37	VI-5-55			
		コード名	SLAP	TDAPⅢ	microSHAKE			
VI-3-別添3-2-5-1-2	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-32	VI-5-55			
		コード名	FLIP	SLAP	microSHAKE			
VI-3-別添3-2-7-2	浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の強度計算書	資料番号	VI-5-62					
		コード名	Engineer's Studio					
VI-3-別添3-2-11-1	取水ピット水位計の強度計算書	資料番号	VI-5-25					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-3-別添6-7	制御棒案内管の強度計算書	資料番号	VI-5-50					
		コード名	A-SAFIA					

VI-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要
・TONBOS

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）TONBOSについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-2-3-2	竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定	Ver. 3

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	TONBOS
使用目的	竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価（フジタモデル）
開発機関	一般財団法人 電力中央研究所
開発時期	2014 年
使用したバージョン	Ver. 3
コードの概要	<p>TONBOS（以下「本解析コード」という。）は、一般財団法人 電力中央研究所にて開発・保守されているプログラムである。空気中の物体が受ける抗力、揚力による運動を計算することで、竜巻による風速場の中での飛来物の飛散軌跡を評価することができる解析コードであり、物体の飛散距離等の算出が可能である。仮定する風速場は、地上付近で、竜巻の中心に向かう流れを考慮した 3 次元の風速成分を持つフジタモデル D BT-77 (DBT: Design Basis Tornado) とする。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動車の飛散解析において、フジタスケールの各スケールに対応する被災状況とおおむね一致した結果が得られた。 ・パイプの飛散解析において、Grand Gulf 原子力発電所への竜巻襲来事例とおおむね一致した結果が得られた。 ・自動車及びトラックの飛散解析において、佐呂間竜巻での車両飛散事例とおおむね一致した結果が得られた。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードを竜巻により発生する飛来物の飛散距離等の評価に使用することは次のとおり妥当である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、竜巻により発生する飛来物の飛散距離等の評価を目的に開発されたコードであり、使用目的が合致している。 ・評価は妥当性を確認している範囲内で行うようにしている。

VI-5-2 計算機プログラム（解析コード）の概要
・BG0195HDW1

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3
3. 解析手法.....	4
3.1 一般事項.....	4
3.2 解析コードの特徴.....	4
3.3 解析手法.....	5
3.4 解析フローチャート.....	7
3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)	8
3.5.1 検証 (Verification)	8
3.5.2 妥当性確認 (Validation)	10
3.5.3 評価結果.....	12

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）BG0195HDW1について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-6-別添 1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	ver. 5.0.6

2. 解析コードの概要

項目	コード名 BG0195HDW1
使用目的	2次元有限要素法による常時応力解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2006年
使用したバージョン	ver. 5.0.6
コードの概要	<p>BG0195HDW1（以下「本解析コード」という。）は、2次元有限要素法解析を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 2次元有限要素法による解析プログラムである。 ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③ 地盤の掘削過程を考慮したステップ解析が可能である。
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・半無限弾性地盤におけるブシネスクの理論解と、本解析コードによる解析解との比較を実施し、解析解が理論解とおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力産業界において実績のある TDAPⅢを用いた自重解析結果と、本解析コードによる自重解析結果を比較し、解がおおむね一致することを確認している。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本資料は、静的解析（常時応力算出用）解析コード BG0195HDW1 の概要である。

本解析コードは、鹿島建設株式会社によって開発された 2 次元有限要素法解析を行う解析コードである。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴として、以下の①～③を挙げることができる。

① 2次元有限要素法による解析プログラムである。

② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。

③ 地盤の掘削過程を考慮したステップ解析が可能である。

3.3 解析手法

地盤の FEM 解析では、土は連続体として仮定している。通常、全応力解析手法を用いて、地盤の変形、破壊をシミュレートする。ここで、静的全応力解析の理論基礎について説明する。

(1) 釣合い方程式

静的解析では、慣性力は無視できるので x-y 平面上の微小領域に F_x , F_y の荷重が作用する場合の力の釣合い方程式は (1) 式で表せる。

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + F_x = 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + F_y = 0 \end{cases} \quad (1)$$

(2) 変位とひずみの関係

要素内部の変位 $\{u\}$ は、その要素を構成する節点の変位 $\{\delta\}$ を用いて (2) 式のように関係づけられる。

$$\{u\} = [N]\{\delta\} \quad (2)$$

ここに $[N]$ は形状関数と呼ばれる。これらを用いて、ひずみ $\{\epsilon\}$ は、(3) 式のように表される。

$$\{\epsilon\} = [\bar{D}]\{u\} = [\bar{D}][N]\{\delta\} = [B]\{\delta\} \quad (3)$$

ここに、 $[\bar{D}]$ は、ひずみと要素内変位を関係づけるマトリックス、 $[B]$ は、要素を構成する節点の変位とひずみを関係づけるマトリックスを表す。

(3) 応力とひずみ関係

応力-ひずみ関係は次式のようになる。

$$\{\sigma\} = [D]\{\epsilon\} \quad (4)$$

ここに、 $\{\sigma\}$ は応力、 $\{\epsilon\}$ はひずみ、 $[D]$ は応力-ひずみマトリックスを表す。

(4) 有限要素の定式化

有限要素のひずみエネルギー及び外力によるポテンシャルエネルギーの和，すなわち全ポテンシャルエネルギーを求め，ポテンシャルエネルギー最小の原理を適用して有限要素の定式化を行う。その結果，式(5)に示すような要素剛性方程式が導かれる。

$$[k]\{\delta\} = \{f_b\} + \{f_q\} + \{f_p\} \quad (5)$$

ここに， $[k]$ は要素剛性マトリックス， $\{\delta\}$ は節点変位， $\{f_b\}$ は物体力， $\{f_q\}$ は要素表面力， $\{f_p\}$ は節点集中荷重を表す。

全要素について，要素剛性方程式を組み合わせると，連続体を近似する連立方程式を得ることができる。最終的に，この連立方程式を解くことにより，変位を得られる。

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示す。

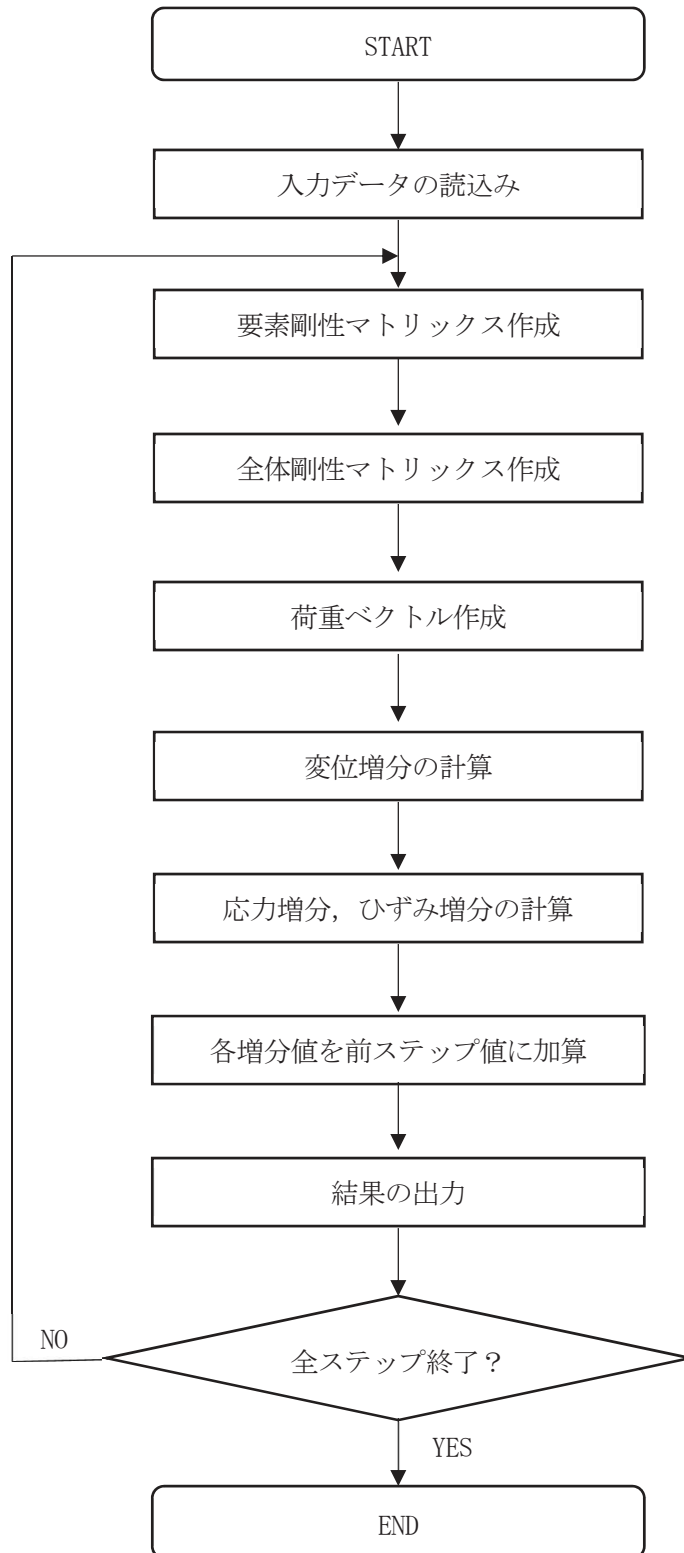


図3-1 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

本解析コードを本解析に用いるにあたり、検証として半無限弾性地盤におけるブシネスク (Boussinesq) の理論解と本解析コードによる解析解との比較を、妥当性確認として類似の汎用構造解析プログラム TDAPⅢによる解析結果と、本解析コードによる解析結果との比較を実施した。その詳細な内容については以下のとおりとする。

3.5.1 検証 (Verification)

平面ひずみ要素の鉛直応力を半無限弾性地盤におけるブシネスク (Boussinesq) の理論解と比較した。図 3-2 に解析モデル及び境界条件を示す。

比較結果より、解析解が理論解とおおむね一致することを確認した。

(1) 解析モデル

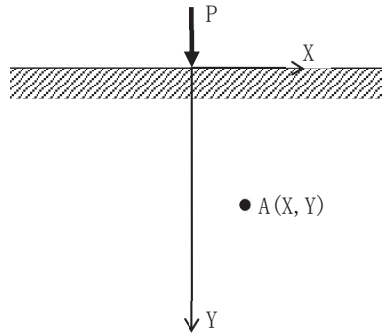


図3-2 解析対象とした地盤モデル

(2) 解析条件

- モデルサイズ : X400m×Y200m
- 物性値 : $E=1.0 \times 10^6 \text{kN/m}^2$, $\nu=0.49$
- 境界条件 : 底面固定, 側方鉛直ローラー
- 荷重条件 : $P=100\text{kN}$ ($X=0, Y=0$)

(3) 鉛直応力

等方均質な半無限弾性地盤の表面に鉛直方向の集中荷重 P が载荷されたときに弾性体内部で発生する応力は 1885 年にブシネスク (Boussinesq) によって求められている。

線荷重が载荷された場合の地盤内応力については、平面変形条件として取り扱うことができ、奥行方向に集中荷重が無限に並んでいると考える。そのとき図 3-2 における点 A の鉛直応力 σ_Y の理論解は以下の式で求められる。

$$\sigma_Y = \frac{2PY^3}{\pi(X^2+Y^2)^2}$$

今回は自重成分を除き、外力による純粋な応力伝播のみを予測する。図 3-2 の荷重载荷位置における鉛直応力と深度の関係の結果を図 3-3 に示す。

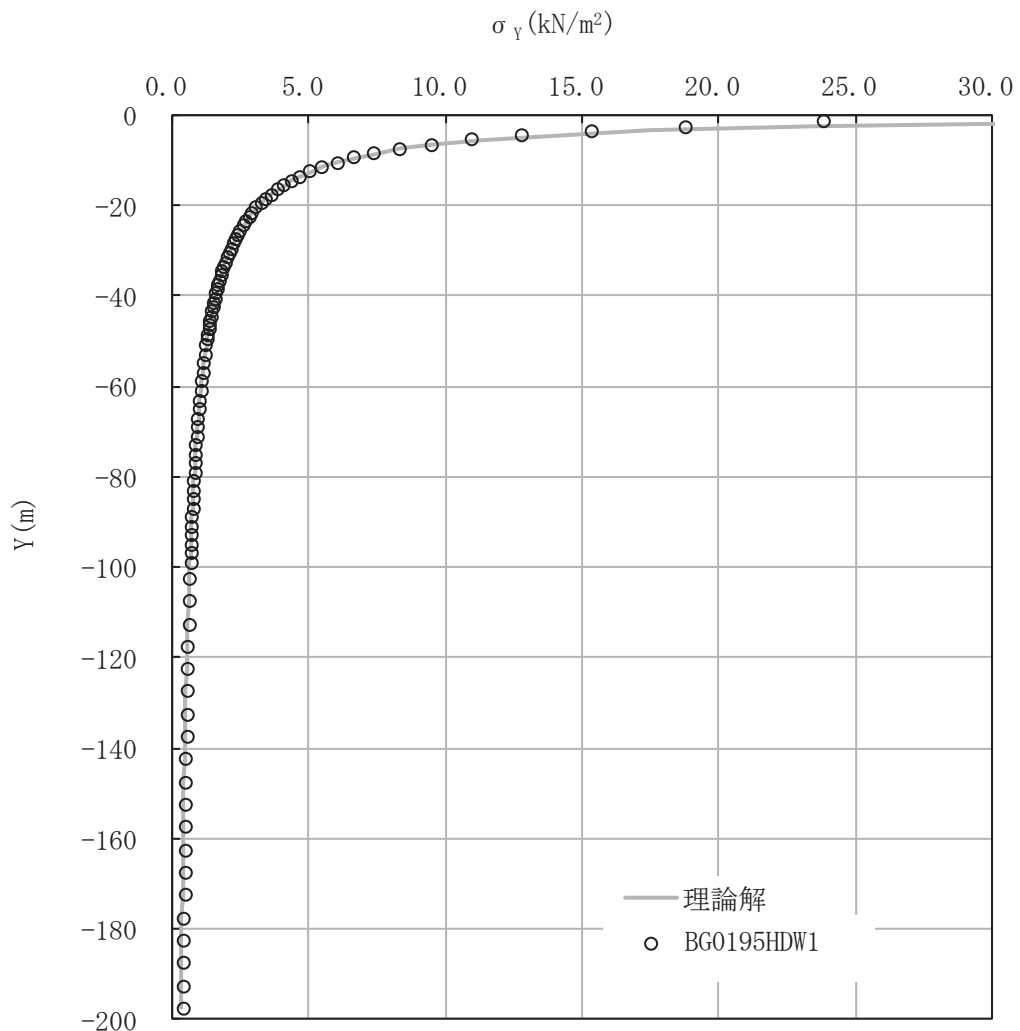


図3-3 検証結果

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

土木・建築向け汎用構造解析プログラム TDAPⅢとの自重解析結果による比較を実施した。

(1) 検証モデル

検討モデル及び境界条件を図3-4に示す。

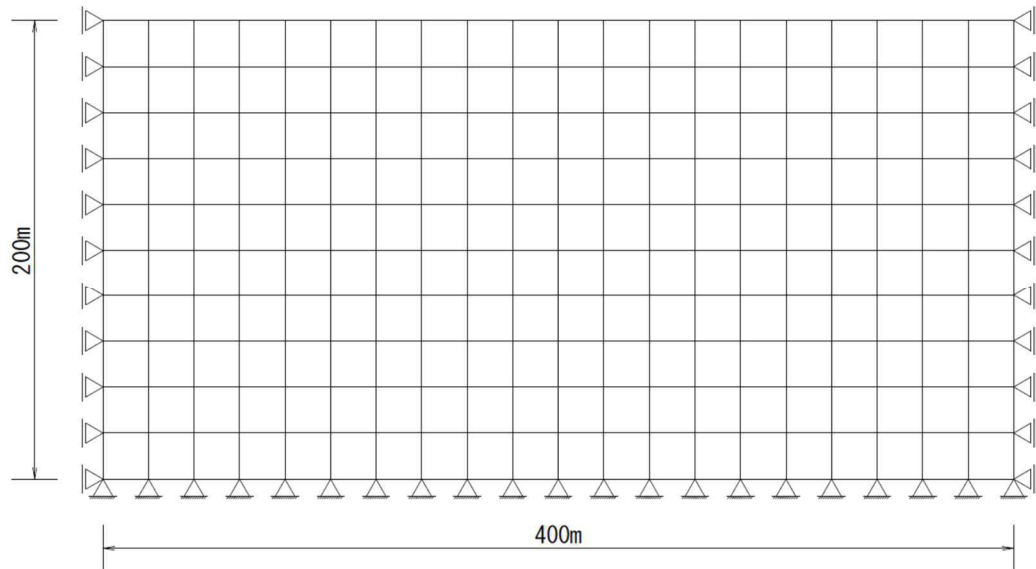


図3-4 解析モデル

(2) 解析条件

モデルサイズ : X400m×Y200m

物性値 : $E=1.0 \times 10^6 \text{kN/m}^2$, $\nu=0.49$, $\gamma=20 \text{kN/m}^3$

境界条件 : 底面固定, 側方鉛直ローラー

荷重条件 : 自重のみ

(3) 解析結果

解析結果の応力分布図を図 3-5, 図 3-6 に示す。各図より結果はおおむね一致していることが確認できる。

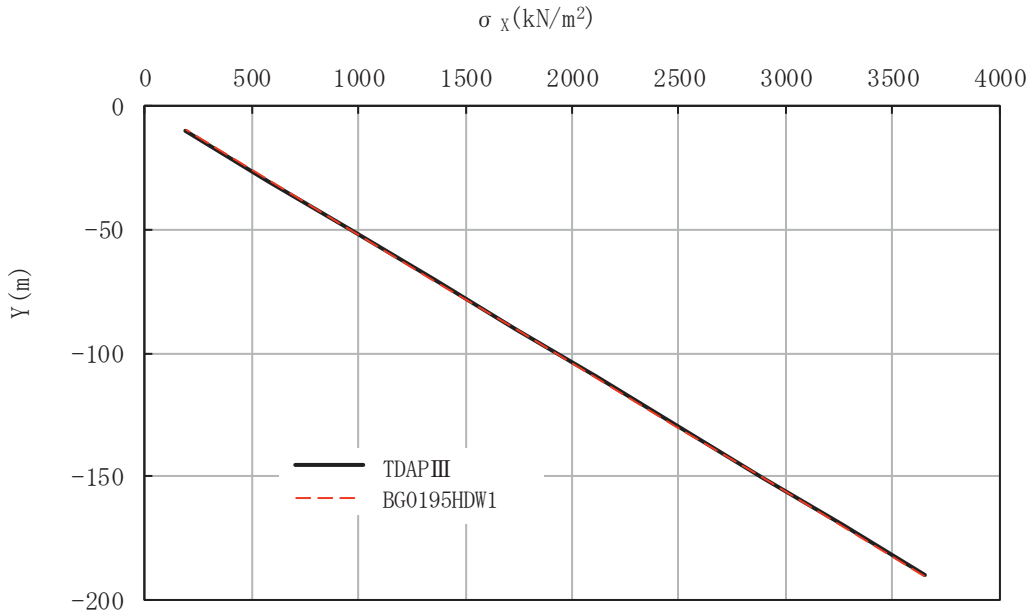


図3-5 水平応力 σ_x

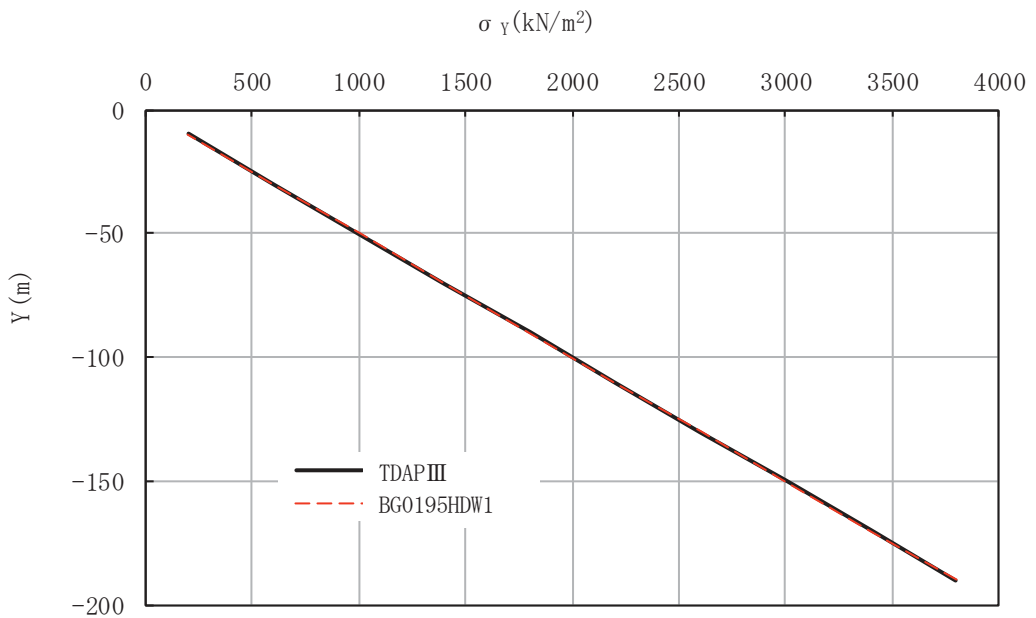


図3-6 鉛直応力 σ_y

3.5.3 評価結果

本解析コードの解析解とブシネスクの理論解との比較を行い、解析解が理論解とおおむね一致していることを確認した。また類似の汎用構造解析プログラム TDAPⅢの解析結果と本解析コードによる解析結果の比較を行い、解がおおむね一致していることを確認した。

以上のことから、本解析コードを本解析に使用することは妥当である。

VI-5-3 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ COSTANA

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）COSTANAについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-6-別添 1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	ver. 18. 1F

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	COSTANA
使用目的	分割法によるすべり計算（斜面安定解析）
開発機関	富士通エフ・アイ・ピー株式会社
開発時期	1990 年代後半
使用したバージョン	ver. 18. 1F
コードの概要	<p>COSTANA（以下「本解析コード」という。）は、盛土及び切土斜面の安定性解析用の汎用市販コードである。</p> <p>本解析コードは、斜面の安定性を円弧又は複合すべりにより評価するための解析コードである。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・円弧すべりの抵抗力及び滑動力の合計値、並びにそれを基に算定した最小すべり安全率について、文献による理論解と本解析コードによる解析解との比較を行い、解析解が理論解におおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、国内の土木分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・九州電力株式会社川内原子力発電所第1号機の可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルートに係る斜面の安定性評価において、分割法による円弧すべりの最小安全率の算定に本解析コード（ver. 17. 1G）が使用された実績がある。 ・バージョン更新により新しい構成則の追加、出力機能の追加が図られたが、本工事計画において使用するバージョン（ver. 18. 1F）と他プラントの既工事計画において使用されたバージョン（ver. 17. 1G）で使用している機能は同じである。 ・本工事計画における斜面のすべりに対する安定性評価に対し、使用用途及び使用方法に関する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。

VI-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ FLIP

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）FLIPについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-6-別添 1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	ver. 7.3.0_2, ver. 7.4.1
VI-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-10-2-2-2	防潮堤（盛土堤防）の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-10-2-6-1-2	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-10-4-4-2	取水路（標準部）の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-11-2-17	第1号機取水路の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-11-2-18	第3号機取水路の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-11-2-19	北側排水路の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-11-2-20	アクセスルート（防潮堤（盛土堤防））の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-13-3	地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書	ver. 7.3.0_2
VI-2-13-4	地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書	ver. 7.3.0_2
VI-3-別添 3-2-1-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度計算書	ver. 7.3.0_2
VI-3-別添 3-2-1-2	防潮堤（盛土堤防）の強度計算書	ver. 7.3.0_2
VI-3-別添 3-2-5-1-2	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度計算書	ver. 7.3.0_2

2. 解析コードの概要

項目	コード名
項目	FLIP
使用目的	1 次元有限要素法による地震応答解析（有効応力法） 2 次元有限要素法による地震応答解析（有効応力法）
開発機関	FLIP コンソーシアム
開発時期	1988 年
使用したバージョン	ver. 7.3.0_2, ver. 7.4.1
コードの概要	<p>FLIP (Finite element analysis of Liquefaction Program) (以下「本解析コード」という。) は、1988 年に運輸省港湾技術研究所 (現：港湾航空技術研究所) において開発された平面ひずみ状態を対象とする有効応力解析法に基づく、2 次元地震応答解析プログラムである。</p> <p>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①有限要素法に基づくプログラムである。 ②平面ひずみ状態を解析対象とする。 ③地盤の有効応力の変化を考慮した地震応答解析を行い、部材の断面力や変形量を計算する。 ④土の応力-ひずみモデルとしてマルチスプリング・モデルを採用している。 ⑤有効応力の変化は有効応力法により考慮する。そのために必要な過剰間隙水圧算定モデルとして井合モデルを用いている。
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マニュアルに記載された例題の提示解と本解析コードによる解析解との比較を実施し、解析解が提示解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは港湾施設の設計に用いられる「港湾施設の技術上の基準・同解説 (2007) (日本港湾協会)」において、港湾施設に対して適用性が確認されている解析コードとして扱われており、本工事計画の解析に使用することは妥当である。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、防潮堤，防潮扉，可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート，取水構造物等の地震応答解析に本解析コード (Ver. 7. 3. 0_2) が使用された実績がある。 • 本工事計画において使用するバージョンのうち ver. 7. 4. 1 は，他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 • 本工事計画における構造に対し使用する地震応答解析の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する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。
--	--

VI-5-5 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ LIQUEUR

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）LIQUEURについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-6-別添 1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	Ver. 15. 1H, Ver. 16. 1B

2. 解析コードの概要

項目	コード名 LIQUEUR
使用目的	1次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	富士通エフ・アイ・ピー株式会社
開発時期	1995年
使用したバージョン	Ver. 15. 1H, Ver. 16. 1B
コードの概要	<p>LIQUEUR（以下「本解析コード」という。）は、重複反射理論に基づく地盤の地震応答解析を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <p>①1次元重複反射理論に基づくプログラムである。</p> <p>②地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮できる。</p> <p>③鉛直動は、S波速度 V_s をP波速度 V_p として定義することで対応が可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードのマニュアルに記載された理論解と本解析コードによる解析解との比較を行い、解析解が理論解に一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認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)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力産業界において、原子力発電所の土木構造物評価をはじめとする多数の解析に本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。 ・関西電力株式会社高浜発電所第4号機の放水口側防潮堤、防潮扉、屋外排水路逆流防止設備並びに1号及び2号機放水ピット止水板の地震応答解析に本解析コード（Ver. 15. 1F）が使用された実績がある。 ・バージョン更新により対応する判定基準の追加が図られたが、本工事計画において使用するバージョン（Ver. 15. 1H, 16. 1B）と他プラントの既工事計画において使用されたバージョン（Ver. 15. 1F）で使用している機能は同じである。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">• 入力地震動策定に対して，原子力産業界において実績がある microSHAKE を用いた 1 次元地震応答解析を行った解析解と，本解析コードによる解析解を比較したコードベンチマーキングを行った結果，双方の解がおおむね一致していることを確認している。• 本工事計画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。
--	---

VI-5-6 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ SAC2D

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3
3. 解析手法.....	4
3.1 一般事項.....	4
3.2 解析コードの特徴.....	4
3.3 解析手法.....	5
3.4 解析フローチャート.....	7
3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)	8
3.5.1 検証 (Verification)	8
3.5.2 妥当性確認 (Validation)	10
3.5.3 評価結果.....	12

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）SAC2Dについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-6-別添 1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	Ver. 2.10

2. 解析コードの概要

項目	コード名 SAC2D
使用目的	2次元有限要素法による常時応力解析
開発機関	株式会社ユニック
開発時期	1993年
使用したバージョン	Ver. 2.10
コードの概要	<p>SAC2D (以下「本解析コード」という。) は、2次元有限要素法解析を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 2次元有限要素法による解析プログラムである。 ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③ 地盤の掘削過程を考慮したステップ解析が可能である。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・半無限弾性地盤におけるブシネスクの理論解と、本解析コードによる解析解との比較を実施し、解析解が理論解とおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認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)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力産業界において実績のある TDAPⅢを用いた自重解析結果と、本解析コードによる自重解析結果を比較し、解がおおむね一致することを確認している。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本資料は、静的解析（常時応力算出用）解析コード SAC2D の概要である。

本解析コードは、株式会社ユニックによって開発された 2次元有限要素法解析を行う解析コードである。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴として、以下の①～③を挙げることができる。

①2次元有限要素法による解析プログラムである。

②地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。

③地盤の掘削過程を考慮したステップ解析が可能である。

3.3 解析手法

地盤のFEM解析では、土は連続体として仮定している。通常、全応力解析手法を用いて、地盤の変形、破壊をシミュレートする。ここで、静的全応力解析の理論基礎について説明する。

(1) 釣合い方程式

静的解析では、慣性力は無視できるので x - y 平面上の微小領域に F_x , F_y の荷重が作用する場合の力の釣合い方程式は(1)式で表せる。

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + F_x = 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + F_y = 0 \end{cases} \quad (1)$$

(2) 変位とひずみの関係

要素内部の変位 $\{u\}$ は、その要素を構成する節点の変位 $\{\delta\}$ を用いて(2)式のように関係づけられる。

$$\{u\} = [N]\{\delta\} \quad (2)$$

ここに $[N]$ は形状関数と呼ばれる。これらを用いて、ひずみ $\{\epsilon\}$ は、(3)式のように表される。

$$\{\epsilon\} = [\bar{D}]\{u\} = [\bar{D}][N]\{\delta\} = [B]\{\delta\} \quad (3)$$

ここに、 $[\bar{D}]$ は、ひずみと要素内変位を関係づけるマトリックス、 $[B]$ は、要素を構成する節点の変位とひずみを関係づけるマトリックスを表す。

(3) 応力とひずみ関係

応力-ひずみ関係は次式のようになる。

$$\{\sigma\} = [D]\{\epsilon\} \quad (4)$$

ここに、 $\{\sigma\}$ は応力、 $\{\epsilon\}$ はひずみ、 $[D]$ は応力-ひずみマトリックスを表す。

(4) 有限要素の定式化

有限要素のひずみエネルギー及び外力によるポテンシャルエネルギーの和，すなわち全ポテンシャルエネルギーを求め，ポテンシャルエネルギー最小の原理を適用して有限要素の定式化を行う。その結果，式(5)に示すような要素剛性方程式が導かれる。

$$[k]\{\delta\} = \{f_b\} + \{f_q\} + \{f_p\} \quad (5)$$

ここに， $[k]$ は要素剛性マトリックス， $\{\delta\}$ は節点変位， $\{f_b\}$ は物体力， $\{f_q\}$ は要素表面力， $\{f_p\}$ は節点集中荷重を表す。

全要素について，要素剛性方程式を組み合わせて，連続体を近似する連立方程式を得ることができる。最終的に，この連立方程式を解くことにより，変位を得られる。

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示す。

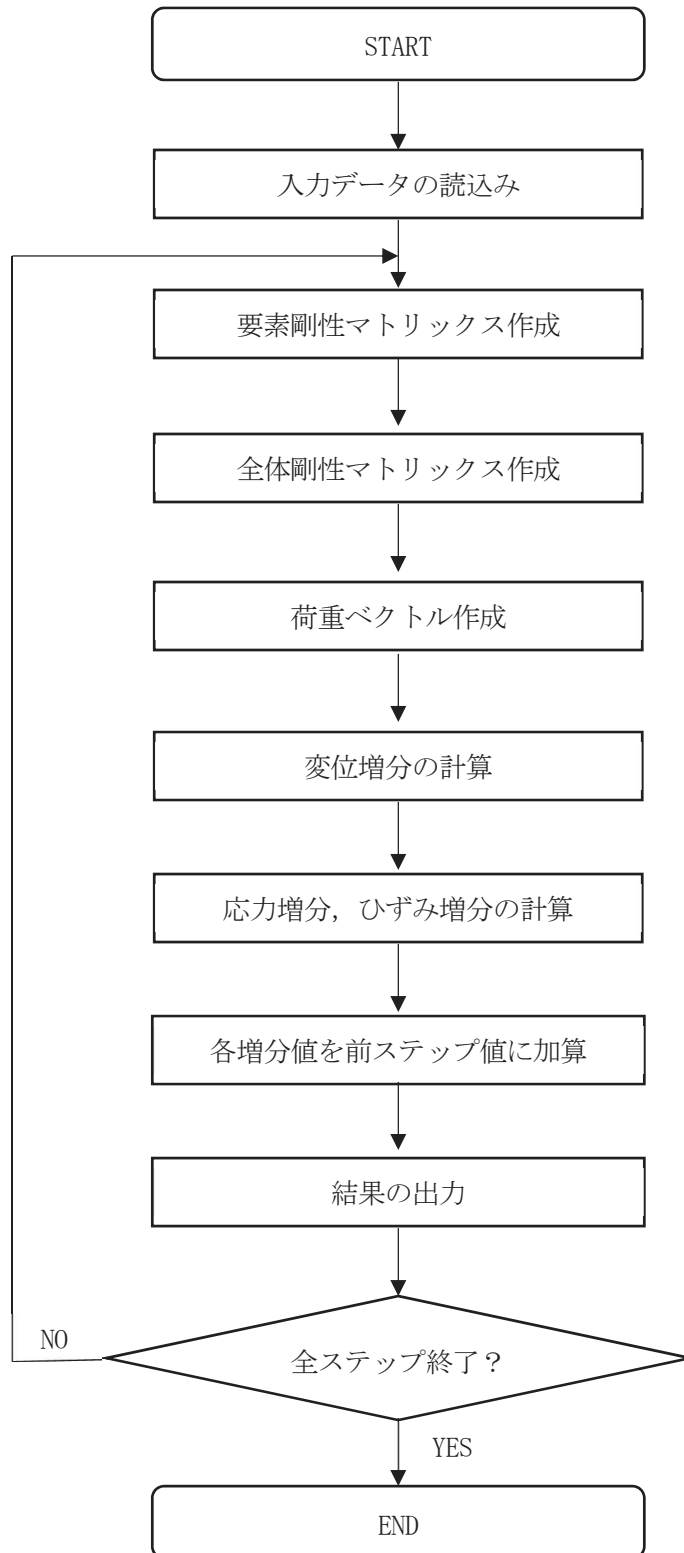


図3-1 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

本解析コードを本解析に用いるにあたり，検証として半無限弾性地盤におけるブシネスク (Boussinesq) の理論解と本解析コードによる解析解との比較を，妥当性確認として類似の汎用構造解析プログラム TDAPⅢによる解析結果と，本解析コードによる解析結果との比較を実施した。その詳細な内容については以下のとおりとする。

3.5.1 検証 (Verification)

平面ひずみ要素の鉛直応力を半無限弾性地盤におけるブシネスク (Boussinesq) の理論解と比較した。図 3-2 に解析モデル及び境界条件を示す。

比較結果より，解析解が理論解とおおむね一致することを確認した。

(1) 解析モデル

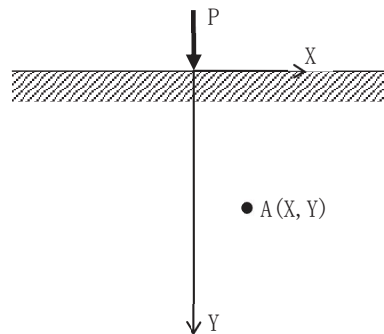


図3-2 解析対象とした地盤モデル

(2) 解析条件

モデルサイズ	: X400m×Y200m
物性値	: $E=1.0 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$, $\nu=0.49$
境界条件	: 底面固定，側方鉛直ローラー
荷重条件	: $P=100 \text{ kN}$ ($X=0, Y=0$)

(3) 鉛直応力

等方均質な半無限弾性地盤の表面に鉛直方向の集中荷重 P が載荷されたときに弾性体内部で発生する応力は 1885 年にブシネスク (Boussinesq) によって求められている。

線荷重が載荷された場合の地盤内応力については、平面変形条件として取り扱うことができ、奥行方向に集中荷重が無限に並んでいると考える。そのとき図 3-2 における点 A の鉛直応力 σ_Y の理論解は以下の式で求められる。

$$\sigma_Y = \frac{2PY^3}{\pi(X^2+Y^2)^2}$$

今回は自重成分を除き、外力による純粋な応力伝播のみを予測する。図 3-2 の荷重載荷位置における鉛直応力と深度の関係の結果を図 3-3 に示す。

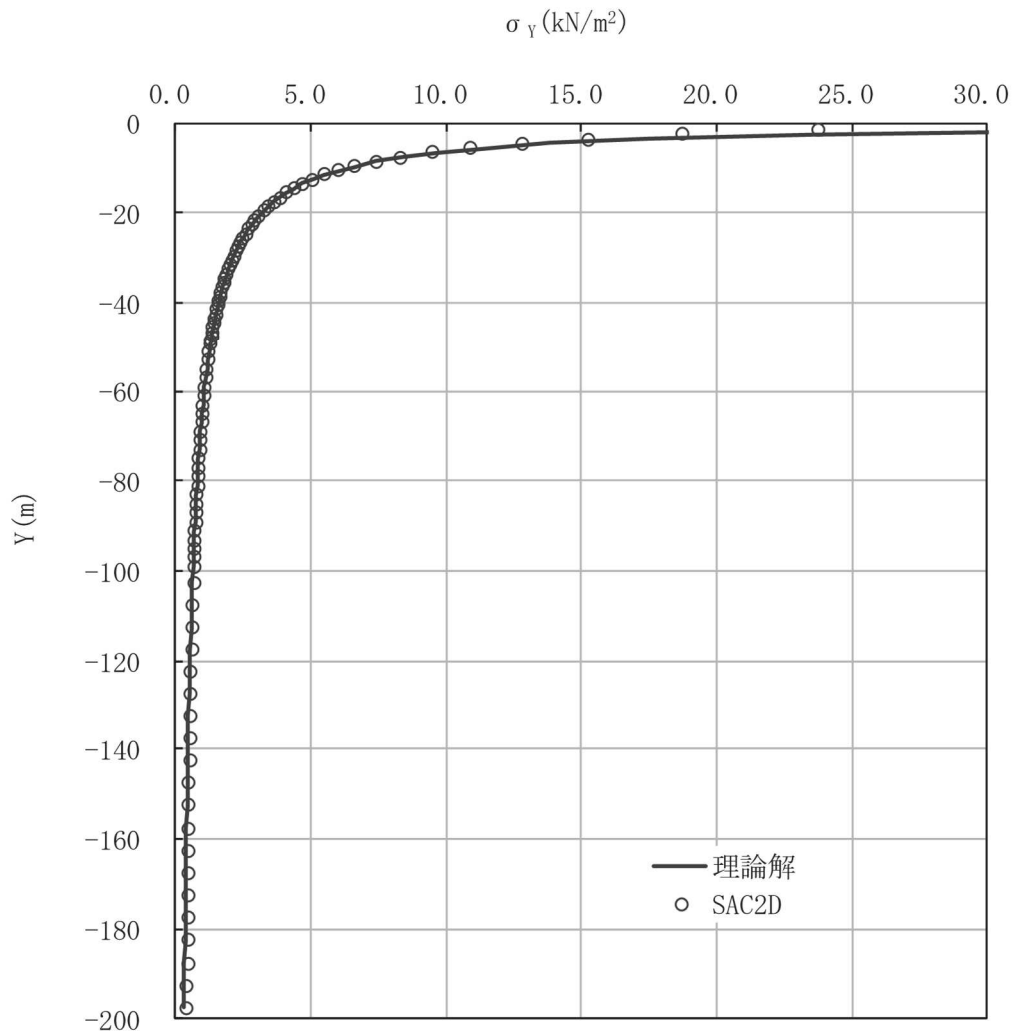


図3-3 検証結果

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

土木・建築向け汎用構造解析プログラム TDAPⅢとの自重解析結果による比較を実施した。

(1) 検証モデル

検討モデル及び境界条件を図3-4に示す。

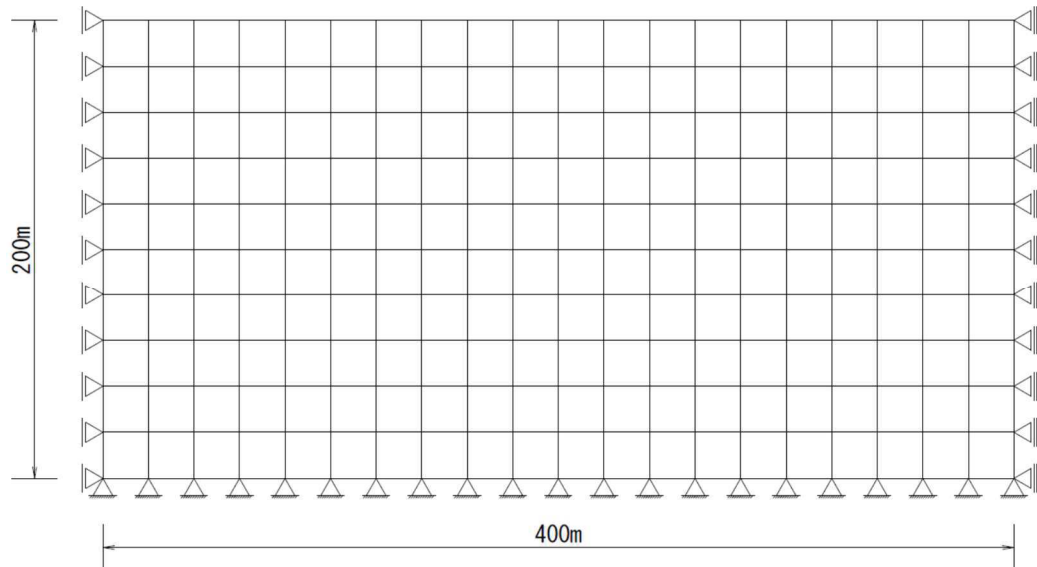


図3-4 解析モデル

(2) 解析条件

モデルサイズ : X400m×Y200m

物性値 : $E=1.0 \times 10^6 \text{kN/m}^2$, $\nu=0.49$, $\gamma=20 \text{kN/m}^3$

境界条件 : 底面固定, 側方鉛直ローラー

荷重条件 : 自重のみ

(3) 解析結果

解析結果の応力分布図を図 3-5, 図 3-6 に示す。各図より結果はおおむね一致していることが確認できる。

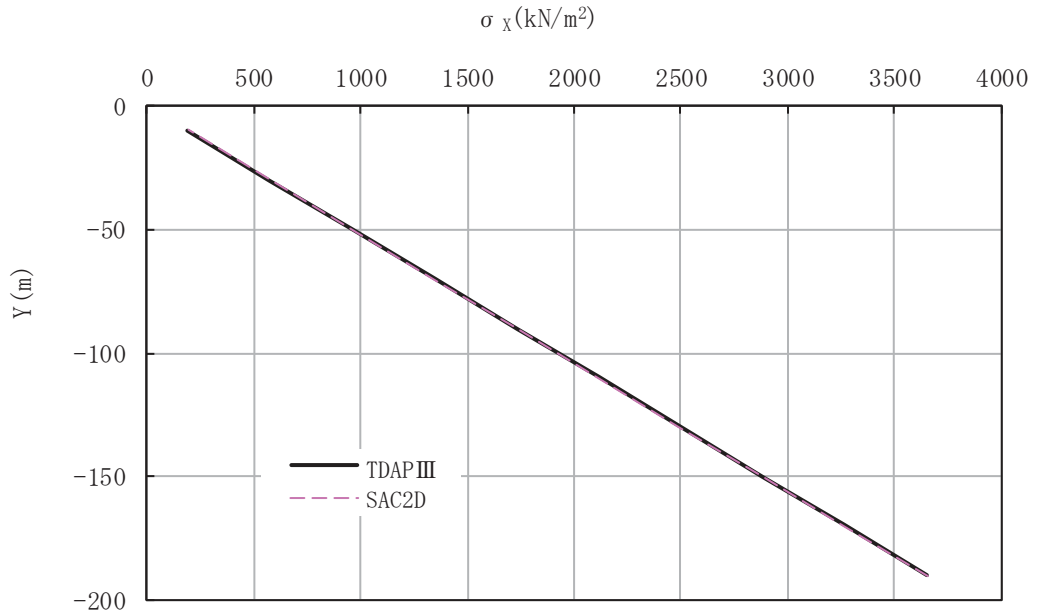


図3-5 水平応力 σ_x

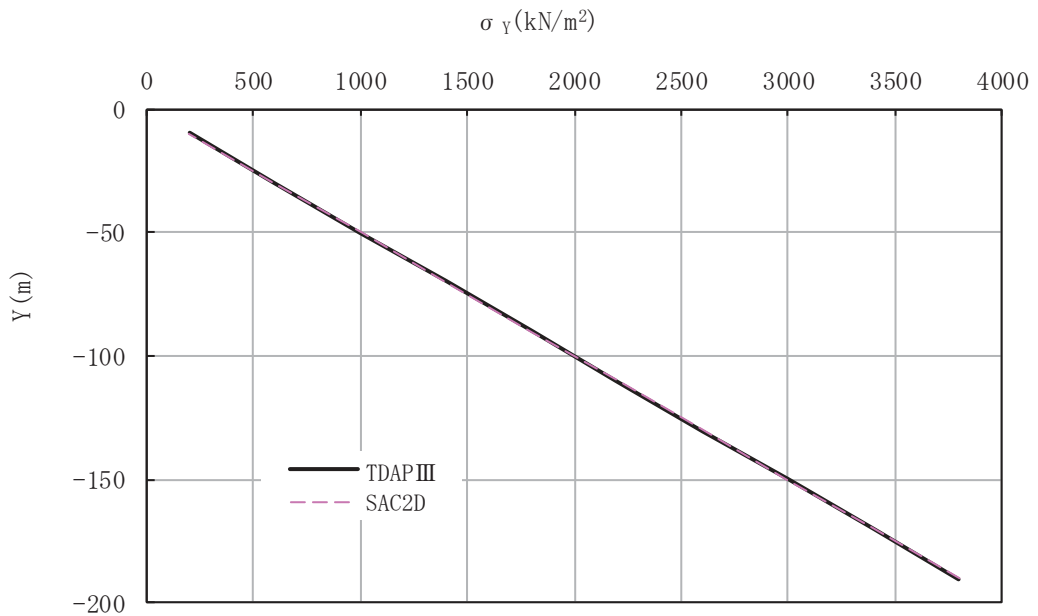


図3-6 鉛直応力 σ_y

3.5.3 評価結果

本解析コードの解析解とブシネスクの理論解との比較を行い、解析解が理論解とおおむね一致していることを確認した。また類似の汎用構造解析プログラム TDAPⅢの解析結果と本解析コードによる解析結果の比較を行い、解がおおむね一致していることを確認した。

以上のことから、本解析コードを本解析に使用することは妥当である。

VI-5-7 計算機プログラム（解析コード）の概要
・SLIP02HDW1

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3
3. 解析手法.....	4
3.1 一般事項.....	4
3.2 解析コードの特徴.....	4
3.3 解析手法.....	5
3.4 解析フローチャート.....	6
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	7
3.5.1 検証 (Verification)	7
3.5.2 妥当性確認 (Validation)	13
3.5.3 評価結果.....	13

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）SLIP02HDW1について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-6-別添 1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	ver. 4.07

2. 解析コードの概要

項目	コード名 SLIP02HDW1
使用目的	2次元有限要素法によるすべり計算
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2006年
使用したバージョン	ver. 4.07
コードの概要	<p>SLIP02HDW1 (以下「本解析コード」という。)は、すべり安全率算定を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <p>①2次元有限要素法による地震応答解析プログラムの地盤応力から、任意のすべり線の安全率を時刻歴で算定することができる。</p> <p>②要素の破壊状態により、各要素の強度をピーク強度、残留強度、強度なしから判定することができる。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・すべり線が通過する要素ごとの滑動力と抵抗力の解析解が、理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の内容のとおり、すべり安全率算定に関して検証していることから、解析の目的に照らして本工事計画の解析に適用することは妥当である。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本資料は、すべり安全率算定用解析コード SLIP02HDW1 の概要である。

本解析コードは、鹿島建設株式会社によって開発されたすべり安全率算定を行うプログラムである。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴として、以下の①、②を挙げることができる。

- ① 2次元有限要素法による地震応答解析プログラムの地盤応力から、任意のすべり線の安全率を時刻歴で算定することができる。
- ② 要素の破壊状態により、各要素の強度をピーク強度、残留強度、強度なしから判定することができる。

3.3 解析手法

静的解析から得られる常時応力と動的解析から得られる地震時増分応力を足し合わせて、時刻歴のすべり安全率（想定すべり線に沿った要素を対象とした各時刻におけるせん断力とせん断抵抗力の比）を式(1)のように計算する。

$$\text{すべり安全率 } F_s = \frac{\text{すべり線が通る要素の抵抗力の総和の瞬間値}}{\text{すべり線が通る要素の滑動力の総和の瞬間値}} = \frac{\sum R_i \cdot L_i}{\sum \tau_i \cdot L_i} \quad (1)$$

なお、すべり安全率を算定する際、破壊要素の抵抗強度に関しては、各時間断面の破壊形態により以下に示した強度低下を考慮する。

(1) せん断破壊

せん断破壊した要素の強度定数には、残留強度を用いる。

(2) 引張破壊あるいは複合破壊

引張応力の発生により引張破壊あるいは複合破壊した要素の強度定数は、その要素を通るすべり面の直応力 σ_n により以下に示した強度定数を用いる。

- ・直応力 σ_n が圧縮の場合、強度定数に残留強度を用いる。
- ・直応力 σ_n が引張の場合、強度定数を 0 とする。

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示し、破壊判定のフローチャートを図 3-2 に示す。

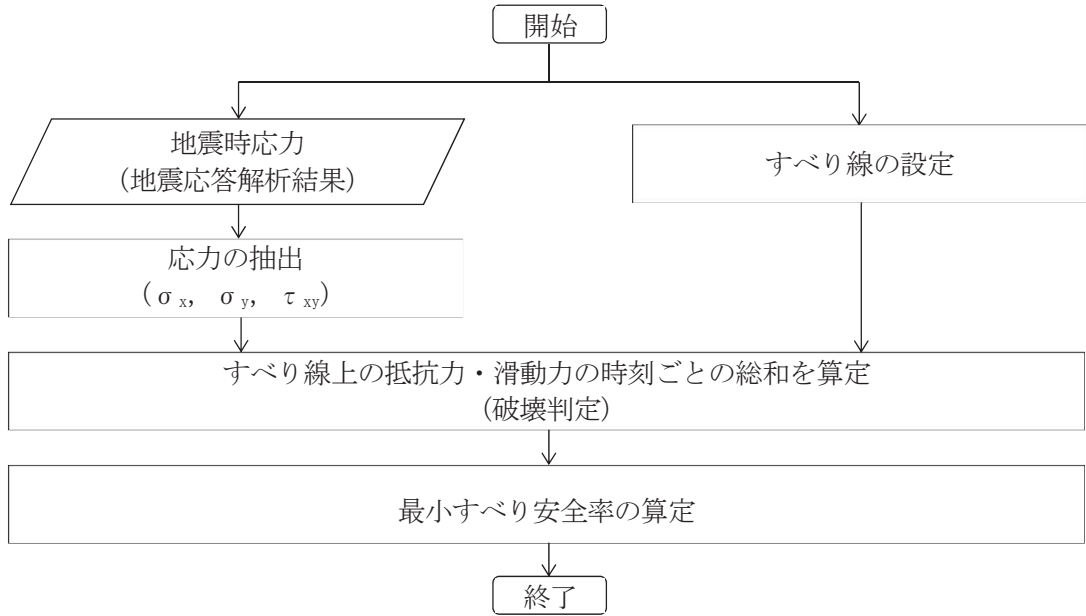


図3-1 解析のフローチャート

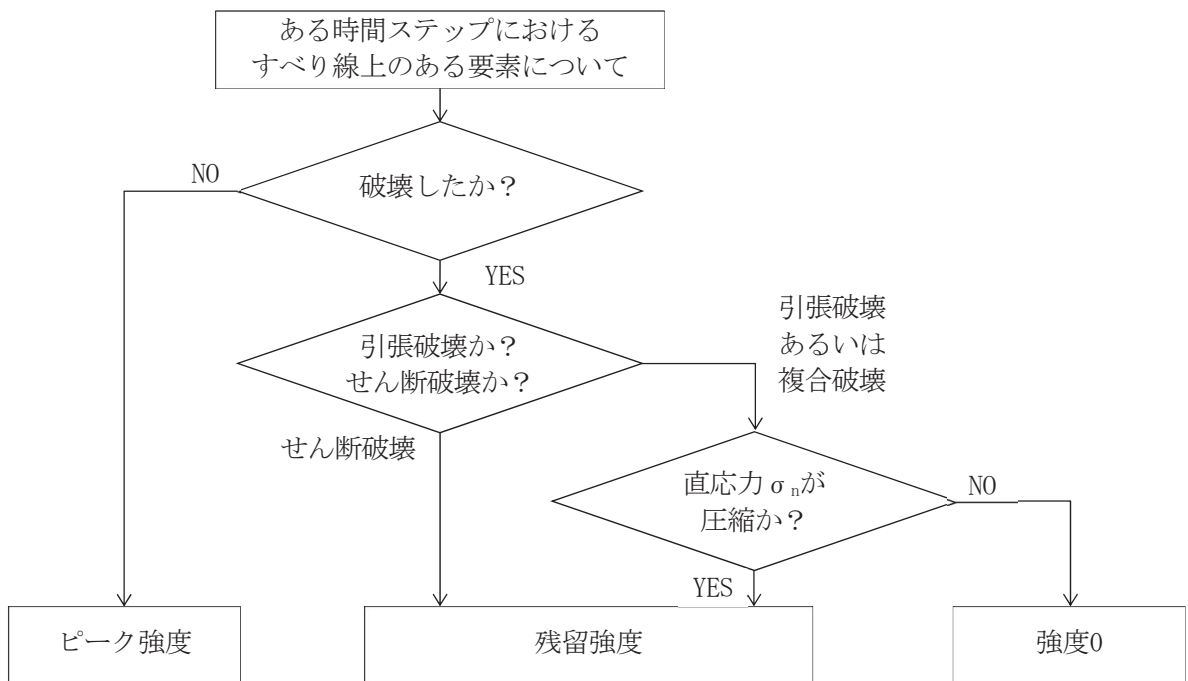


図3-2 破壊判定フローチャート

3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

本解析コードを本解析に用いることについて、動作確認 (動作検証) として理論解との比較を、また妥当性確認を実施した。詳細な内容については下記のとおりとする。

3.5.1 検証 (Verification)

すべり線が通過する要素の滑動力や抵抗力を解析結果と理論解で比較を行った。

(1) 解析条件

解析モデル及び検証用すべり線を図 3-3 に、強度定数を表 3-1 に示す。

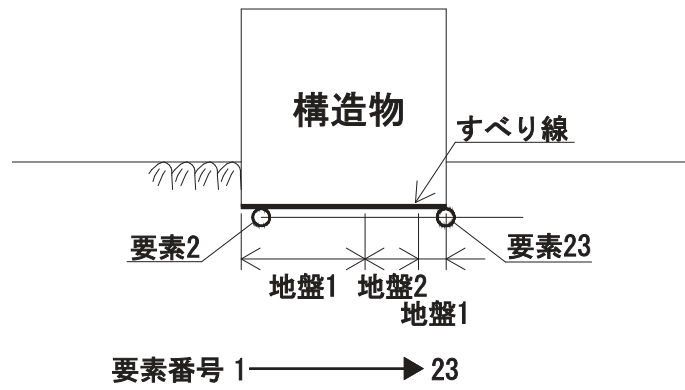


図3-3 解析モデル及び検証用すべり線

表3-1 強度定数

地盤区分	ピーク強度 (kgf/cm ²)	残留強度 (kgf/cm ²)
地盤 1	$\tau_p = 8.1 + \sigma_N \tan 55.7^\circ$	$\tau_r = 3.3 \times \sigma_N^{0.64}$
地盤 2	$\tau_p = 8.3 + \sigma_N \tan 54.5^\circ$	$\tau_r = 3.7 \times \sigma_N^{0.62}$

(2) 検証結果

すべり線が通過する要素の滑動力及び抵抗力を解析解と理論解で比較を行った。本解析コードによる解析解一覧を表 3-2 に、要素番号 2 の理論解を図 3-4 に、要素番号 23 の理論解を図 3-5 に示す。要素番号 2 及び 23 において、解析解と理論解は一致している。

また、理論解一覧を表 3-3 に、すべり線全体におけるすべり安全率の解析解と理論解との比較を表 3-4 に示す。すべり安全率及び滑動力，抵抗力の理論解と，解析解が一致することを確認できる。

表 3-2 本解析コードによる解析解一覧

0 ELS.	SIG-X	SIG-Y	SIG-Z	TAU-XY	EL	ANG	R	RHEL	S	SHL	N	NHEL	IEP	NST	MAT	NoL	PW	C1	C2	C3	C4	C3-CU	C4-CU	FS	Msum	NST	MAT	JF
1	-10.970	-1.264	-8.612	-3.897	275.000	0.0	24.223	6861.2	-5.902	-1623.1	-10.988	-3024.5	0	0	25	1	0.266	-10.988	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-4.104	25	1	25	1
2	-9.975	-8.612	-3.897	-3.897	275.000	0.0	20.332	5591.4	-5.902	-1071.6	-8.344	-2284.7	0	0	25	1	0.267	-8.344	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-5.218	25	1	25	1
3	-8.790	-6.929	-3.499	-4.934	275.000	0.0	17.942	4934.2	-3.587	-966.5	-6.714	-1846.4	0	0	25	1	0.268	-6.714	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-5.002	25	1	25	1
4	-8.170	-6.829	-3.499	-4.972	275.000	0.0	17.719	4872.9	-3.499	-962.2	-6.562	-1804.5	0	0	25	1	0.268	-6.562	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-5.064	25	1	25	1
5	-7.873	-7.013	-3.330	-4.970	275.000	0.0	17.893	4947.0	-3.330	-915.7	-6.746	-1855.1	0	0	25	1	0.267	-6.746	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-5.403	25	1	25	1
6	-7.405	-6.888	-3.180	-4.956	275.000	0.0	17.806	4896.6	-3.180	-874.6	-6.621	-1820.7	0	0	25	1	0.268	-6.621	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-5.599	25	1	25	1
7	-7.154	-6.867	-3.222	-4.950	275.000	0.0	17.775	4795.0	-3.222	-879.6	-6.600	-1826.9	0	0	25	1	0.268	-6.600	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-5.518	25	1	25	1
8	-6.920	-6.663	-3.114	-4.950	275.000	0.0	17.475	4650.0	-3.114	-865.0	-6.395	-1766.6	0	0	25	1	0.268	-6.395	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-5.611	25	1	25	1
9	-6.707	-5.669	-2.999	-4.950	275.000	0.0	15.903	9953.3	-2.999	-1877.1	-5.323	-3331.4	0	0	25	1	0.246	-5.323	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-5.302	25	1	25	1
10	-8.305	-5.320	-3.905	-4.950	275.000	0.0	15.507	5766.0	-3.905	-1451.8	-5.053	-1878.8	0	0	27	1	0.268	-5.053	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-3.972	27	1	27	1
11	-7.231	-9.214	-1.894	-4.942	275.000	0.0	19.748	7195.8	-1.894	-690.1	-7.024	-391.9	0	0	27	1	0.268	-7.024	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-10.427	27	1	27	1
12	-6.743	-7.333	-2.763	-4.942	275.000	0.0	18.396	1026.5	-2.763	-154.2	-6.088	-3376.5	0	0	25	1	0.268	-6.088	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-6.525	25	1	25	1
13	-6.435	-6.355	-2.609	-4.942	275.000	0.0	15.603	8113.7	-2.609	-1447.2	-6.088	-3376.5	0	0	25	1	0.268	-6.088	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-5.615	25	1	25	1
14	-5.820	-5.386	-2.779	-4.942	275.000	0.0	14.619	7602.1	-2.779	-1444.9	-5.118	-2661.6	0	0	25	1	0.268	-5.118	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-5.254	25	1	25	1
15	-5.697	-4.715	-2.783	-4.942	275.000	0.0	13.942	7436.5	-2.783	-1499.6	-3.985	-2125.6	0	0	25	1	0.268	-3.985	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-4.959	25	1	25	1
16	-5.624	-4.235	-3.125	-4.942	275.000	0.0	13.800	110.3	-3.125	-25.0	-3.888	-311.1	0	0	25	1	0.347	-3.888	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-4.416	25	1	25	1
17	-6.225	-3.876	-3.125	-4.942	275.000	0.0	13.463	6713.0	-3.038	-1515.0	-3.683	-1836.3	0	0	24	1	0.193	-3.683	9999	-0.951	8.3	-0.951	8.3	-4.431	24	1	24	1
18	-5.187	-3.836	-3.159	-4.942	275.000	0.0	13.335	3263.9	-3.159	-773.1	-3.591	-879.1	0	0	24	1	0.245	-3.591	9999	-0.951	8.3	-0.951	8.3	-4.222	24	1	24	1
19	-5.750	-3.836	-3.159	-4.942	275.000	0.0	12.954	3170.7	-3.281	-803.2	-3.320	-812.6	0	0	24	1	0.282	-3.320	9999	-0.951	8.3	-0.951	8.3	-3.948	24	1	24	1
20	-6.509	-3.602	-3.281	-4.942	275.000	0.0	12.979	34.3	-3.481	-9.2	-3.337	-8.8	0	0	24	1	0.349	-3.337	9999	-0.951	8.3	-0.951	8.3	-3.728	24	1	24	1
21	-7.672	-3.686	-3.481	-4.942	275.000	0.0	11.259	3082.8	-2.508	-686.6	-2.155	-580.1	0	0	25	1	0.240	-2.155	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-4.490	25	1	25	1
22	-6.572	-2.385	-4.029	-4.942	275.000	0.0	3.950	1082.5	-4.029	-1104.1	-1.324	-362.9	0	0	25	1	0.253	-1.324	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-4.490	25	1	25	1
23	-8.453	-1.577	-4.029	-4.942	275.000	0.0	3.950	1082.5	-4.029	-1104.1	-1.324	-362.9	0	0	25	1	0.253	-1.324	9999	-0.972	8.1	-0.972	8.1	-4.490	25	1	25	1

抵抗力/すべり力
安全率

24497.8
123345.8
5.035

0 ELS.
SIG-Y : 要素番号
EL : 線分長 (cm)
R : 抵抗力 (kgf/cm²)
S : すべり応力 (kgf/cm²)
N : 垂直応力 (kgf/cm²)
IEP : TH破壊判定 0=非破壊, 1=せん断破壊, 10=片引張, 11=せん断破壊+片引張, 20=両引張, 21=せん断破壊+両引張
NST : 物性グループ
NoL : 線分番号
C1 : 線分番号
C2 : 線分番号
C3 : 線分番号
C4 : 線分番号
C3-CU : 線分番号
C4-CU : 線分番号
FS : 局所安全率
NST : 物性グループ
JF : 物性グループ

SIG-X : σ_x (kgf/cm²)
TAU-XY : τ_{xy} (kgf/cm²)
ANG : すべり面角 (°)
R*EL : 抵抗力 (kgf/cm)
S*EL : すべり力 (kgf/cm)
N*EL : 垂直力 (kgf/cm)
MAT : 材料番号
PW : 間隙水圧 (kgf/cm²)

JF	C1	C2	C3	C4	C3-CU	C4-CU	備考
1	ダミー	ダミー	-φ	C	-φ	C	$E_n = C + \sigma_{lim\phi}$ (σ, 計算ステップ)
10	A	B	ダミー	ダミー	A * σ ⁿ	0.0	$E_n = A * \sigma^n$ (σ, 計算ステップ)
71	ダミー	ダミー	-φ _n	C _n	0.0	0.0	$E_n = C_n + \sigma_{lim\phi_n}$ (σ, CUSD)
73	ダミー	ダミー	-φ _n	C _n	C _n + σ _{lim} φ _n	0.0	$E_n = C_n + \sigma_{lim\phi_n}$ (σ, CUSD)
3	σ _n	ダミー	C	-φ	C	-φ	$E_n = C + \sigma_n \cdot \lim\phi$ (σ, 計算ステップ)

Msum : 総材料番号
MAT : 材料番号

Msum : 局所安全率
MAT : 物性グループ

要素番号	2	理論解安全率	-5.218	解析解安全率	-5.218
材料番号	25 (地盤1)				
構成節点	節点番号	X座標	Y座標	・応力変換式	
	I	1143	-3539	$\sigma_n = (\sigma_y + \sigma_x)/2 + (\sigma_y - \sigma_x)/2 * \cos(-2\theta) + \tau_{xy} * \sin(-2\theta)$	
	J	1142	-3539	$\tau_n = S = -(\sigma_y - \sigma_x)/2 * \sin(-2\theta) + \tau_{xy} * \cos(-2\theta)$	
	K	2139	-3264		
	L	2138	-3264		
すべり線交点		X座標	Y座標		
A点		-3539	-480		
B点		-3264	-480		
すべり線の通過長L(cm)				275	* $L = ((XB-XA)^2 + (YB-YA)^2)^{0.5}$
すべり線の角度 α (y軸となす角度, °)				0	* $\theta = \tan^{-1}((XB-XA)/(YB-YA))$
強度定数					
健全強度	せん断強度 τ_0 (kgf/cm ²)			8.1	
	内部摩擦角 ϕ (°)			55.7	
残留強度※	A			3.3	※強度定数A、Bは、下式の係数を示す
	B			0.64	$\tau = A \times \sigma^B$
応力 (kgf/cm ²)	常時応力	地震時増分応力	常時+地震時増分応力		
σ_x	-5.748	-4.227	-9.975		
σ_y	-5.448	-3.164	-8.612		
τ_{xy}	-1.598	-2.299	-3.897		
浮力	0.268		0.268		
σ_N	(kgf/cm ² , 圧縮-, 引張+)		-8.612		* $\sigma_n = (\sigma_y + \sigma_x)/2 + (\sigma_y - \sigma_x)/2 * \cos(-2\theta) + \tau_{xy} * \sin(-2\theta)$
σ_3	(kgf/cm ² , 圧縮-, 引張+)		-13.250		* $\sigma_3 = (\sigma_y + \sigma_x)/2 - (((\sigma_y - \sigma_x)/2)^2 + \tau_{xy}^2)^{0.5}$
σ_1	(kgf/cm ² , 圧縮-, 引張+)		-5.338		* $\sigma_1 = (\sigma_y + \sigma_x)/2 + (((\sigma_y - \sigma_x)/2)^2 + \tau_{xy}^2)^{0.5}$
要素ごとの安全係数 f_s			3.039		* $f_s = \text{ABS}((\tau_0 - ((\sigma_y + \sigma_x)/2 + \text{浮力}) * \tan \phi) * \cos \phi) / (((\sigma_y - \sigma_x)/2)^2 + \tau_{xy}^2)^{0.5}$
破壊判定	$\sigma_1 < 0, f_s > 1.0 \Rightarrow$		IEP=0		*ピーク強度
せん断抵抗応力R(kgf/cm ²)			20.332		* $R = \tau_0 - (\sigma_N + \text{浮力}) * \tan \phi$ (ピーク強度)
せん断応力S(kgf/cm ²)			-3.897		* $S = -(\sigma_y - \sigma_x)/2 * \sin(-2\theta) + \tau_{xy} * \cos(-2\theta)$
せん断抵抗力(kgf/cm)			5591.4		* $R \times L$
せん断力(kgf/cm)			-1071.6		* $S \times L$

図3-4 要素番号2の理論解

要素番号	23	理論解安全率	-0.980	解析解安全率	-0.980
材料番号	25 (地盤1)				
構成節点	節点番号	X座標	Y座標	・応力変換式	
	I	2177	3650.765	-475	$\sigma_n = (\sigma_y + \sigma_x) / 2 + (\sigma_y - \sigma_x) / 2 * \cos(-2\theta) + \tau_{xy} * \sin(-2\theta)$
	J	2178	3723.204	-774.524	$\tau_n = S = -(\sigma_y - \sigma_x) / 2 * \sin(-2\theta) + \tau_{xy} * \cos(-2\theta)$
	K	1559	3926	-800	
	L	1574	3931	-475	
すべり線交点	X座標	Y座標			
A点	3651.974	-480			
B点	3926	-480			
すべり線の通過長L(cm)			274.026	*L = ((XB-XA)^2 + (YB-YA)^2)^0.5	
すべり線の角度α (y軸となす角度, °)			0	*θ = tan ⁻¹ ((XB-XA)/(YB-YA))	
強度定数					
健全強度	せん断強度 τ ₀ (kgf/cm ²)			8.1	
	内部摩擦角 φ (°)			55.7	
残留強度※	A			3.3	※強度定数A、Bは、下式の係数を示す
	B			0.64	τ = A × σ ^B
応力(kgf/cm ²)	常時応力	地震時増分応力	常時+地震時増分応力		
σ _x	-11.601	3.147	-8.453		
σ _y	-8.630	7.053	-1.577		
τ _{xy}	-0.320	-3.709	-4.029		
浮力	0.253			0.253	
σ _n	(kgf/cm ² , 圧縮-, 引張+)			-1.577	*σ _n = (σ _y + σ _x) / 2 + (σ _y - σ _x) / 2 * cos(-2θ) + τ _{xy} * sin(-2θ)
σ ₃	(kgf/cm ² , 圧縮-, 引張+)			-10.312	*σ ₃ = (σ _y + σ _x) / 2 - (((σ _y - σ _x) / 2) ² + τ _{xy} ²) ^{0.5}
σ ₁	(kgf/cm ² , 圧縮-, 引張+)			0.282	*σ ₁ = (σ _y + σ _x) / 2 + (((σ _y - σ _x) / 2) ² + τ _{xy} ²) ^{0.5}
要素ごとの安全係数fs			1.605	*fs = ABS((τ ₀ - ((σ _y + σ _x) / 2 + 浮力) * tan φ) * cos φ) / (((σ _y - σ _x) / 2) ² + τ _{xy} ²) ^{0.5}	
破壊判定	σ ₁ > 0, fs > 1.0 ⇒			IEP=10	*残留強度
せん断抵抗応力R(kgf/cm ²)			3.950	*R = τ _r = A * (σ _n + 浮力) ^B (残留強度)	
せん断応力S(kgf/cm ²)			-4.029	*S = -(σ _y - σ _x) / 2 * sin(-2θ) + τ _{xy} * cos(-2θ)	
せん断抵抗力(kgf/cm)			1082.5	*R × L	
せん断力(kgf/cm)			-1104.1	*S × L	

図3-5 要素番号23の理論解

表 3-3 理論解一覧

地盤 層別 番号	すべり線 の長さ L (cm)	すべり線 の角度 θ (°)	せん断強度			せん断力			せん断力			せん断力			せん断力			せん断力					
			せん断強度			せん断力			せん断力			せん断力			せん断力			せん断力					
			c (kgf/cm ²)	τ (kgf/cm ²)	σ (kgf/cm ²)	σ (kgf/cm ²)	τ (kgf/cm ²)	σ (kgf/cm ²)	τ (kgf/cm ²)	σ (kgf/cm ²)	τ (kgf/cm ²)	σ (kgf/cm ²)	τ (kgf/cm ²)	σ (kgf/cm ²)	τ (kgf/cm ²)	σ (kgf/cm ²)	τ (kgf/cm ²)	σ (kgf/cm ²)	τ (kgf/cm ²)	σ (kgf/cm ²)	τ (kgf/cm ²)		
1	275,000	0.0	8.10	0.64	0.88	-5.758	-5.887	-5.711	-3.272	-3.571	-3.191	-1.070	-1.744	-1.824	-10.898	45.712	24.223	6.661	8.302	-1.633			
2	275,000	0.0	8.10	0.64	0.88	-5.748	-5.448	-1.698	-4.272	-3.184	-2.898	-9.878	-9.878	-3.556	-5.338	-19.250	-40.038	20.432	5.991	4.038	-1.071		
3	275,000	0.0	8.10	0.64	0.88	-5.798	-5.278	-1.108	-3.001	-1.705	-2.481	-8.736	-6.882	-3.587	-7.886	-37.958	-17.482	4.924	4.924	-3.987	-9.865		
4	275,000	0.0	8.10	0.64	0.88	-5.823	-5.242	-0.856	-2.347	-1.587	-2.443	-8.170	-6.829	-3.582	-3.827	-11.052	-39.578	17.719	4.872	-3.499	-9.622		
5	275,000	0.0	8.10	0.64	0.88	-5.835	-5.206	-0.702	-2.038	-1.807	-2.828	-7.873	-7.013	-3.300	-3.552	-10.800	-41.322	17.899	4.847	-3.300	-9.152		
6	465,000	0.0	8.10	0.64	0.88	-5.837	-5.186	-0.614	-1.568	-1.702	-2.864	-7.408	-6.688	-3.100	-3.191	-10.337	-42.679	17.896	4.866	-3.100	-8.746		
7	465,000	0.0	8.10	0.64	0.88	-5.817	-5.151	-0.532	-1.327	-1.717	-2.890	-7.154	-6.687	-3.222	-3.225	-10.135	-43.727	17.775	4.766	-3.222	-8.584		
8	465,000	0.0	8.10	0.64	0.88	-5.892	-5.010	-0.439	-0.996	-1.682	-2.875	-6.820	-6.683	-3.114	-3.115	-9.832	-44.277	17.475	4.600	-3.114	-8.383		
9	626,889	0.0	8.10	0.64	0.88	-6.074	-4.847	-0.337	-0.633	-1.821	-2.862	-6.707	-6.589	-3.095	-3.095	-9.490	-39.658	15.607	4.461	-3.095	-8.177		
10	371,888	0.0	8.10	0.64	0.88	-7.867	-4.822	-1.449	-0.388	-0.986	-2.855	-6.306	-6.306	-3.065	-3.065	-9.131	-40.222	15.607	4.461	-3.065	-8.177		
11	364,392	0.0	8.10	0.64	0.88	-6.461	-6.895	1.186	-0.771	-1.648	-3.890	-7.231	-1.884	-7.723	-1.857	-5.766	-8.679	-34.541	9.471	2.386	-6.800		
12	56,800	0.0	8.10	0.64	0.88	-6.321	-6.832	0.155	-0.484	-0.801	-2.818	-6.755	-7.333	-2.793	-7.053	-4.184	-10.440	10.440	3.651	-7.053	-1.542		
13	554,654	0.0	8.10	0.64	0.88	-6.044	-5.172	0.340	-0.299	-0.483	-2.849	-6.343	-6.343	-2.609	-2.609	-8.958	-44.936	9.899	3.675	-8.958	-1.447		
14	500,000	0.0	8.10	0.64	0.88	-5.858	-5.111	0.277	0.038	0.195	-0.855	-5.820	-5.820	-2.487	-2.487	-8.399	-44.765	8.972	3.218	-8.399	-1.444		
15	500,000	0.0	8.10	0.64	0.88	-5.888	-5.592	0.228	0.282	0.327	-0.810	-5.877	-5.877	-2.778	-2.778	-8.092	-44.765	8.972	3.218	-8.092	-1.444		
16	553,389	0.0	8.10	0.64	0.87	-6.098	-5.544	0.382	0.464	1.282	-3.173	-5.834	-4.232	-2.811	-4.843	-2.948	-7.888	-39.097	8.427	2.811	-4.899		
17	7,991	0.0	8.10	0.64	0.87	-6.616	-5.882	0.196	0.391	1.447	-3.821	-6.225	-4.235	-3.125	-5.230	-3.729	-1.951	-8.509	-38.169	8.899	2.692	-4.911	
18	488,820	0.0	8.30	0.62	0.83	-6.336	-5.667	0.497	1.149	1.791	-3.355	-5.187	-3.876	-3.038	-4.532	-3.108	-1.423	-7.640	-38.911	8.382	2.692	-4.911	
19	244,705	0.0	8.30	0.62	0.845	-7.096	-5.927	0.521	1.336	2.091	-3.880	-5.750	-3.836	-3.159	-4.492	-8.094	-36.572	8.382	2.692	-4.911	-7.731		
20	244,704	0.0	8.30	0.62	0.845	-6.048	-6.148	0.405	1.746	2.547	-3.886	-6.308	-3.602	-3.281	-4.895	-3.500	-3.792	8.625	2.400	-3.802	-8.625		
21	2,643	0.0	8.30	0.62	0.849	-6.371	-6.466	0.044	0.890	2.890	-3.243	-7.672	-3.688	-3.481	-4.679	-3.691	-30.103	8.625	2.400	-3.691	-8.2		
22	273,692	0.0	8.10	0.64	0.849	-6.282	-6.620	0.179	2.710	4.924	-2.836	-6.574	-2.395	-3.586	-4.484	-3.453	-1.620	-7.747	-25.104	8.670	2.473	-4.568	
23	274,028	0.0	8.10	0.64	0.853	-1.601	-8.630	-0.320	3.147	7.053	-3.019	-8.451	-1.571	-4.029	-3.013	3.537	0.282	-1.571	-1.571	3.690	3.024	-4.029	-1.094

※断面数A, Bは、下式の構成を示す。
 $\tau = A \times \sigma^B$

$\Sigma(R \times L) = 120,346.8$ $\Sigma(S \times L) = -24,497.8$
すべり安全率 $F_s = \Sigma(R \times L) / \Sigma(S \times L) = 5.035$

表 3-4 すべり線全体におけるすべり安全率の解析解と理論解との比較

解析解	すべり面上のせん断抵抗力の和 $\Sigma(R \times L)$ (kgf/cm)	すべり面上のせん断力の和 $\Sigma(S \times L)$ (kgf/cm)	すべり安全率 F_s
解析解	123,345.8	24,497.8	5.035
理論解	123,345.8	24,497.8	5.035

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

すべり安全率の算定に本解析コードを使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・ 検証の内容のとおり、すべり安全率算定に関して検証していることから、解析の目的に照らして本解析に適用することは妥当である。

3.5.3 評価結果

本解析コードを本解析に用いるにあたり、検証及び妥当性確認として理論解との比較を実施し、解析解が理論解と一致することを確認した。したがって、本解析コードを本解析に用いることは妥当である。

VI-5-8 計算機プログラム（解析コード）の概要

• stress-NLAP

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）stress-NLAPについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-6-別添 1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	Ver. 2.91

2. 解析コードの概要

項目	コード名 stress-NLAP
使用目的	2次元有限要素法による常時応力解析
開発機関	東電設計株式会社
開発時期	1993年
使用したバージョン	Ver. 2.91
コードの概要	<p>stress-NLAP (以下「本解析コード」という。) は、2次元有限要素法解析を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ① 2次元有限要素プログラムである。 ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③ 地盤の掘削過程を考慮したステップ解析が可能である。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・半無限弾性地盤におけるブシネスクの理論解と、本解析コードによる解析解との比較を実施し、解析解が理論解とおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認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)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所第7号機の可搬型重大事故等対処設備の保管場所の常時応力解析に本解析コード (Ver. 2.9) が使用された実績がある。 ・バージョン更新により新しい機能の追加が図られたが、本工事計画において使用するバージョン (Ver. 2.91) と他プラントの既工事計画において使用されたバージョン (Ver. 2.9) で使用している機能は同じである。 ・原子力産業界において実績のある TDAPⅢを用いた自重解析結果と、本解析コードによる自重解析結果を比較し、解がおおむね一致することを確認している。

VI-5-9 計算機プログラム（解析コード）の概要

- suberi_sf

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）suberi_sfについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-6-別添 1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	ver. 2

2. 解析コードの概要

項目	コード名 suberi_sf
使用目的	2次元有限要素法によるすべり計算
開発機関	東電設計株式会社
開発時期	2004年
使用したバージョン	ver. 2
コードの概要	<p>suberi_sf (以下「本解析コード」という。)は、すべり安全率の算定を行う解析コードであり、静的応力ファイル及び動的応力ファイルを読み込み、時刻歴で任意のすべり線の安全率を算定することができる。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①SuperFLUSH/2Dの動的応力ファイルを直接読むことができる。 ②要素の破壊履歴を考慮することができる。 ③各瞬間の要素の破壊状態により、各要素の強度をピーク強度、残留強度、強度なしと判定することができる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・すべり線が通過する要素ごとの滑動力と抵抗力の解析解が、理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認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)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所第7号機の可搬型重大事故等対処設備の保管場所のすべり安全率の算定に本解析コード(ver. 2)が使用された実績がある。 ・検証の内容のとおり、すべり安全率算定に関して検証していることから、解析の目的に照らして本工事計画に本解析コードを適用することは妥当である。

VI-5-10 計算機プログラム（解析コード）の概要

・ suberi_Type6789_SAC2D-HD1

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3
3. 解析手法.....	4
3.1 一般事項.....	4
3.2 解析コードの特徴.....	4
3.3 解析手法.....	5
3.4 解析フローチャート.....	6
3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)	7
3.5.1 検証 (Verification)	7
3.5.2 妥当性確認 (Validation)	10
3.5.3 評価結果.....	10

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）suberi_Type6789_SAC2D-HD1
について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-6-別添 1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	ver. 0

2. 解析コードの概要

項目	コード名
項目	suberi_Type6789_SAC2D-HD1
使用目的	2次元有限要素法によるすべり計算
開発機関	株式会社ユニック
開発時期	2013年
使用したバージョン	ver. 0
コードの概要	<p>suberi_Type6789_SAC2D-HD1 (以下「本解析コード」という。)は、すべり安全率算定を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <p>① 2次元有限要素法による地震応答解析プログラムの地盤応力から、任意のすべり線の安全率を時刻歴で算定することができる。</p> <p>② 要素の破壊状態により、各要素の強度をピーク強度、残留強度、強度なしから判定することができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・すべり線が通過する要素ごとの滑動力と抵抗力の解析解が、理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認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)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードで行うすべり安全率算定は、原子力発電所の設置許可申請における地盤安定性検討で一般に使用される計算方法であり、妥当性は十分に確認されている。 ・検証の内容のとおり、すべり安全率算定に関して検証していることから、解析の目的に照らして本工事計画に本解析コードを適用することは妥当である。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本資料は、静的解析（常時応力算出用）解析コード`suberi_Type6789_SAC2D-HD1`の概要である。
本解析コードは、株式会社ユニックによって開発されたすべり安全率算定を行うプログラムである。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴として、以下の①、②を挙げることができる。

①2次元有限要素法による地震応答解析プログラムの地盤応力から、任意のすべり線の安全率を時刻歴で算定することができる。

②要素の破壊状態により、各要素の強度をピーク強度、残留強度、強度なしから判定することができる。

3.3 解析手法

静的解析から得られる常時応力と動的解析から得られる地震時増分応力を足し合わせて、時刻歴のすべり安全率（想定すべり線に沿った要素を対象とした各時刻におけるせん断力とせん断抵抗力の比）を式(1)のように計算する。

$$\text{すべり安全率 } F_s = \frac{\text{すべり線が通る要素の抵抗力の総和の瞬間値}}{\text{すべり線が通る要素の滑動力の総和の瞬間値}} = \frac{\sum R_i \cdot L_i}{\sum \tau_i \cdot L_i} \quad (1)$$

なお、すべり安全率を算定する際、破壊要素の抵抗強度に関しては、各時間断面の破壊形態により以下に示した強度低下を考慮する。

(1) せん断破壊

せん断破壊した要素の強度定数には、残留強度を用いる。

(2) 引張破壊あるいは複合破壊

引張応力の発生により引張破壊あるいは複合破壊した要素の強度定数は、その要素を通るすべり面の直応力 σ_n により以下に示した強度定数を用いる。

- ・直応力 σ_n が圧縮の場合、強度定数に残留強度を用いる。
- ・直応力 σ_n が引張の場合、強度定数を 0 とする。

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示し、破壊判定のフローチャートを図 3-2 に示す。

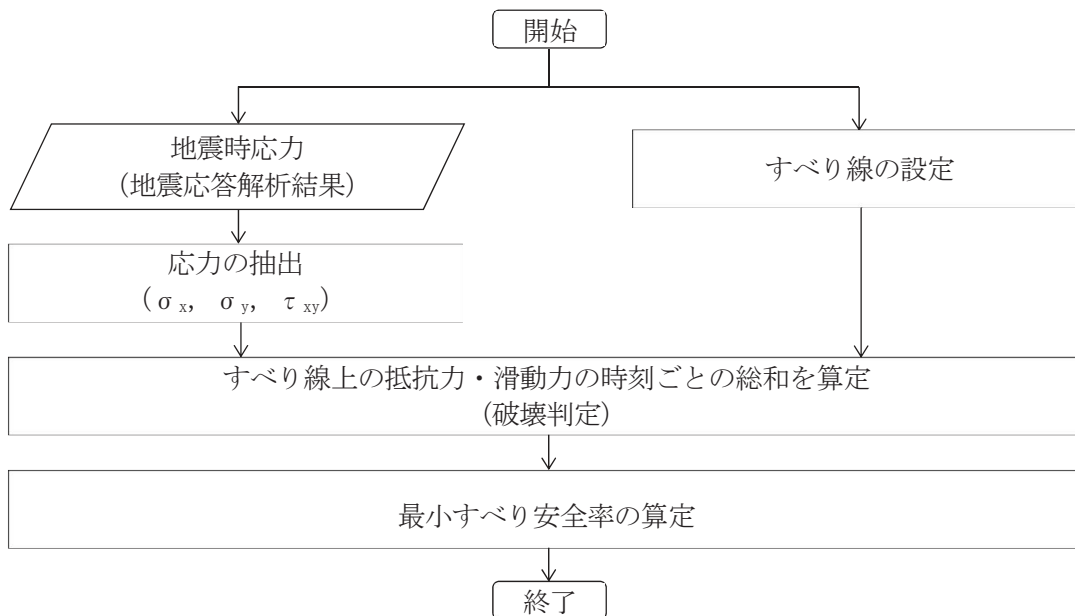


図3-1 解析フローチャート

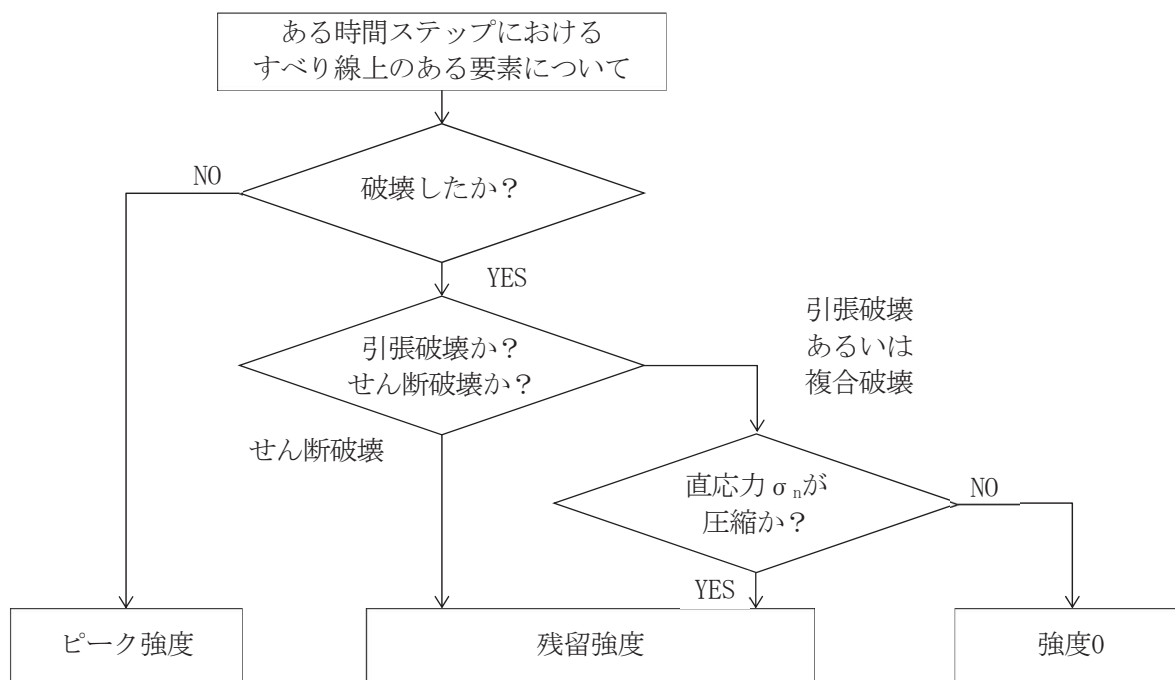


図3-2 破壊判定フローチャート

3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

本解析コードを本解析に用いることについて、動作確認 (動作検証) として理論解との比較を、また妥当性確認を実施した。詳細な内容については下記のとおりとする。

3.5.1 検証 (Verification)

すべり線が通過する要素の滑動力や抵抗力を解析結果と理論解で比較を行った。

(1) 解析条件

解析モデル及び検証用すべり線を図 3-3 に、強度定数を表 3-1 に示す。

ELMENT NO.

64	65	66	67	83	84	85	86	102	103
104	105	361	362	363	364	365	366	367	368
369	370								

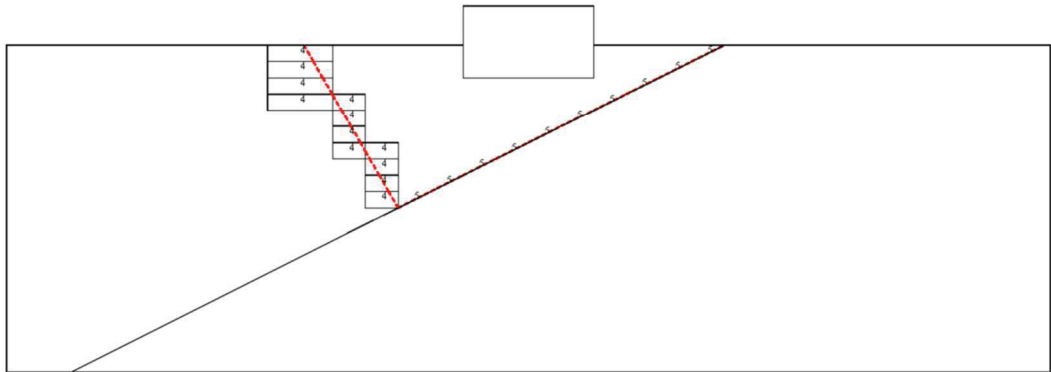


図3-3 解析モデル及び検証用すべり線

表3-1 強度定数

	ピーク強度 (MN/m ²)	残留強度 (MN/m ²)
要素種類 4	$\tau_p=1.0$	$\tau_r=0.5$
要素種類 5	$\tau_p=0.75$	$\tau_r=0.0$

(2) 検証結果

すべり線が通過する要素の滑動力及び抵抗力を解析解と理論解で比較を行った。本解析コードによる解析解一覧を表 3-2 に、理論解一覧を表 3-3 示す。

すべり安全率及び作用力、抵抗力の理論解と、解析解が一致することを確認できる。

表 3-2 本解析コードによる解析解一覧

抽出 ステップ	要素 番号	すべり安全率算定プログラム											すべり線上の 強度 τR (MN/m ²)	抵抗力 (MN/m)	作用力 (MN/m)
		要素 種類	破壊*1) タイプ	すべり線 長さ(m)	すべり線 角度(°)	水平応力 σ_x (MN/m ²)	鉛直応力 σ_y (MN/m ²)	せん断応力 τ_{xy} (MN/m ²)	せん断応力 τ_s (MN/m ²)	垂直応力 σ_n (MN/m ²)					
1	64	4	2	2.887	300.000	0.002	-0.024	-0.005	0.014	-0.009	0.5	1.444	0.040		
2	65	4	0	2.887	300.000	-0.043	-0.073	-0.017	0.021	-0.065	1.0	2.887	0.061		
3	66	4	0	2.887	300.000	-0.089	-0.122	-0.029	0.029	-0.123	1.0	2.887	0.084		
4	67	4	0	0.208	300.001	-0.134	-0.171	-0.042	0.037	-0.179	1.0	0.208	0.008		
5	83	4	0	2.679	300.000	-0.134	-0.174	-0.045	0.040	-0.182	1.0	2.679	0.107		
6	84	4	0	2.887	300.000	-0.178	-0.224	-0.058	0.049	-0.24	1.0	2.887	0.141		
7	85	4	0	2.887	300.000	-0.222	-0.275	-0.071	0.058	-0.297	1.0	2.887	0.169		
8	86	4	0	1.547	300.000	-0.265	-0.326	-0.083	0.068	-0.353	1.0	1.547	0.105		
9	102	4	0	1.340	300.000	-0.265	-0.333	-0.088	0.073	-0.359	1.0	1.340	0.098		
10	103	4	0	2.887	300.000	-0.307	-0.385	-0.099	0.083	-0.413	1.0	2.887	0.240		
11	104	4	0	2.887	300.000	-0.347	-0.434	-0.110	0.092	-0.464	1.0	2.887	0.266		
12	105	4	0	2.887	300.000	-0.394	-0.487	-0.117	0.099	-0.519	1.0	2.887	0.285		
13	361	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.115	-0.376	0.75	4.193	-0.643		
14	362	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.116	-0.342	0.75	4.193	-0.649		
15	363	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.112	-0.312	0.75	4.193	-0.628		
16	364	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.103	-0.28	0.75	4.193	-0.573		
17	365	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.090	-0.243	0.75	4.193	-0.503		
18	366	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.078	-0.206	0.75	4.193	-0.435		
19	367	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.060	-0.148	0.75	4.193	-0.336		
20	368	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.044	-0.086	0.75	4.193	-0.247		
21	369	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.033	-0.047	0.75	4.193	-0.182		
22	370	5	0	5.600	26.565	-	-	-	-0.011	-0.013	0.75	4.200	-0.060		
合計													69.359	-2.653	
すべり安全率													26.146		

*1)破壊タイプ=0：破壊無し、=2：引張破壊

表 3-3 理論解一覧

抽出 ステップ	要素 番号	確認計算											抵抗力 (MN/m)	作用力 (MN/m)
		要素 種類	破壊 ^{*1)} タイプ	すべり線 長さ(m)	すべり線 角度(°)	水平応力 σ_x (MN/m ²)	鉛直応力 σ_y (MN/m ²)	せん断応力 τ_{xy} (MN/m ²)	せん断応力 τ_s (MN/m ²)	垂直応力 σ_n (MN/m ²)	すべり線上 の強度 τ_R (MN/m ²)			
1	64	4	2	2.887	300.000	0.002	-0.024	-0.005	0.014	-0.009	0.5	1.444	0.040	
2	65	4	0	2.887	300.000	-0.043	-0.073	-0.017	0.021	-0.065	1.0	2.887	0.061	
3	66	4	0	2.887	300.000	-0.089	-0.122	-0.029	0.029	-0.123	1.0	2.887	0.084	
4	67	4	0	0.208	300.001	-0.134	-0.171	-0.042	0.037	-0.179	1.0	0.208	0.008	
5	83	4	0	2.679	300.000	-0.134	-0.174	-0.045	0.040	-0.182	1.0	2.679	0.107	
6	84	4	0	2.887	300.000	-0.178	-0.224	-0.058	0.049	-0.240	1.0	2.887	0.141	
7	85	4	0	2.887	300.000	-0.222	-0.275	-0.071	0.058	-0.297	1.0	2.887	0.169	
8	86	4	0	1.547	300.000	-0.265	-0.326	-0.083	0.068	-0.353	1.0	1.547	0.105	
9	102	4	0	1.340	300.000	-0.265	-0.333	-0.088	0.073	-0.359	1.0	1.340	0.098	
10	103	4	0	2.887	300.000	-0.307	-0.385	-0.099	0.083	-0.413	1.0	2.887	0.240	
11	104	4	0	2.887	300.000	-0.347	-0.434	-0.110	0.092	-0.464	1.0	2.887	0.266	
12	105	4	0	2.887	300.000	-0.394	-0.487	-0.117	0.099	-0.519	1.0	2.887	0.285	
13	361	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.115	-0.376	0.75	4.193	-0.643	
14	362	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.116	-0.342	0.75	4.193	-0.649	
15	363	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.112	-0.312	0.75	4.193	-0.628	
16	364	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.103	-0.280	0.75	4.193	-0.573	
17	365	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.090	-0.243	0.75	4.193	-0.503	
18	366	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.078	-0.206	0.75	4.193	-0.435	
19	367	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.060	-0.148	0.75	4.193	-0.336	
20	368	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.044	-0.086	0.75	4.193	-0.247	
21	369	5	0	5.590	26.565	-	-	-	-0.033	-0.047	0.75	4.193	-0.182	
22	370	5	0	5.600	26.565	-	-	-	-0.011	-0.013	0.75	4.200	-0.060	
合計												69.359	-2.653	
すべり安全率												26.146		

*1)破壊タイプ=0：破壊無し，=2：引張破壊

すべり線上のせん断応力： $\tau_s = (\sigma_y - \sigma_x) \sin \theta \cos \theta + \tau_{xy}(\sin^2 \theta - \cos^2 \theta)$

すべり線上の垂直応力： $\sigma_n = \sigma_y \cos^2 \theta - \sigma_x \sin^2 \theta + 2\tau_{xy} \sin \theta \cos \theta$

すべり線上の強度： $\tau_R = \tau_p + \sigma_n \tan \varphi$

すべり線上の抵抗力：すべり線上の強度(τ_R)×すべり線長さ

すべり線上の作用力：すべり線上のせん断応力(τ_s)×すべり長さ

すべり安全率： $F_s = \Sigma \text{抵抗力} / \Sigma \text{作用力}$

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

すべり安全率の算定に本解析コードを使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・ 検証の内容のとおり、すべり安全率算定に関して検証していることから、解析の目的に照らして本解析に適用することは妥当である。

3.5.3 評価結果

本解析コードを本解析に用いるにあたり、検証及び妥当性確認として理論解との比較を実施し、解析解が理論解と一致することを確認した。したがって、本解析コードを本解析に用いることは妥当である。

VI-5-11 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ SuperFLUSH/2D

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）SuperFLUSH/2Dについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-6-別添 1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	Ver. 6.0
VI-2-10-2-4-1	取放水路流路縮小工（第 1 号機取水路）の耐震性についての計算書	Ver. 6.1
VI-2-10-2-4-2	取放水路流路縮小工（第 1 号機放水路）の耐震性についての計算書	Ver. 6.1
VI-2-別添 3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動	Ver. 6.1

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SuperFLUSH/2D
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析（斜面安定解析）
開発機関	株式会社地震工学研究所，株式会社構造計画研究所
開発時期	1983年
使用したバージョン	Ver. 6.0, Ver. 6.1
コードの概要	<p>SuperFLUSH/2D（以下「本解析コード」という。）は，地盤－構造物系の地震応答解析の汎用コードである。</p> <p>複素応答に基づいた有限要素法を用いた本解析コードは，1974年のLUSH及び1975年にカリフォルニア大学から発表されたFLUSHの改良版である。</p> <p>本解析コードは，数多くの研究機関や企業において，建築，土木等の構造物の地盤と構造物の地震応答解析に広く利用されている。</p>
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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画で使用する地震応答解析機能の検証として，水平成層地盤の側方にエネルギー伝達境界を設けたモデルによる地震応答解析結果が，側方半無限性を仮定した1次元重複反射理論に基づく別コードSHAKEによる地震応答解析結果と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足し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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは，国内の建築・土木分野において使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・九州電力株式会社玄海原子力発電所第3号機の取水管路の地震応答解析に本解析コード（Ver. 6.0）が使用された実績がある。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本工事計画で使用する2次元有限要素法による地震応答解析に，本解析コードが適用できることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画で行う 2 次元有限要素法による地震応答解析の用途, 適用範囲が, 上述の妥当性確認の範囲内にあることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 6.0 は, 他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 6.1 は, 他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが, バージョンの変更において, 本解析の使用範囲の結果に影響の無いことを確認している。
--	---

VI-5-12 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ VESL-DYN

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3
3. 解析手法.....	4
3.1 一般事項.....	4
3.2 解析コードの特徴.....	4
3.3 解析手法.....	5
3.4 解析フローチャート.....	8
3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)	10
3.5.1 検証 (Verification)	10
3.5.2 妥当性確認 (Validation)	16
3.5.3 評価結果.....	19

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）VESL-DYNについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-6-別添 1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	Ver. 2.03

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	VESL-DYN
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	1982年
使用したバージョン	Ver. 2.03
コードの概要	<p>VESL-DYN（以下「本解析コード」という。）は、2次元有限要素法による地震応答解析を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①2次元有限要素法による周波数領域の解析プログラムである。 ②地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮できる。 ④エネルギー伝達境界によりモデル側方、粘性境界によりモデル下方に伝わるエネルギーの逸散効果を考慮できる。
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水平成層地盤を対象に重複反射理論による解との比較を実施し、解析結果がおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作確認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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力産業界において実績のある SuperFLUSH/2D を用いた地震応答解析結果と、本解析コードによる解析結果を比較し、解がおおむね一致することを確認している。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本資料は、地震応答解析用解析コード VESL-DYN の概要である。

本解析コードは、鹿島建設株式会社によって開発された 2 次元有限要素法による地震応答解析を行う解析コードである。本解析コードでは、複素応答に基づいた有限要素法による地震応答解析を実施可能であり、地盤～構造物連成系の相互作用を考慮することができる。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードは、2 次元地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析コードであり、周波数領域で運動方程式の解法を行うものである。地盤の非線形性は等価線形化法によって考慮することができる。

本解析コードの主な特徴として、以下の①～④を挙げることができる。

- ① 2 次元有限要素法による周波数領域の解析プログラムである。
- ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。
- ③ 地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮できる。
- ④ エネルギー伝達境界によりモデル側方、粘性境界によりモデル下方に伝わるエネルギーの逸散効果を考慮できる。

3.3 解析手法

(1) 周波数応答解析法

一般に、時間領域における運動方程式は次式で表される。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{v\}\ddot{\alpha} \quad (1)$$

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} : 変位ベクトル
- {v} : 入力方向ベクトル
- $\ddot{\alpha}$: 地震加速度

本解析コードでは、周波数応答解析法を式(1)に適用し解析する。この手法は、図 3-1 に示すように、入力地震動の時系列データを高速フーリエ変換により周波数成分ごとに分解し、応答値の重ね合わせが成立するものとして、周波数成分ごとに解析した結果を重ね合わせて応答値を求める手法である。

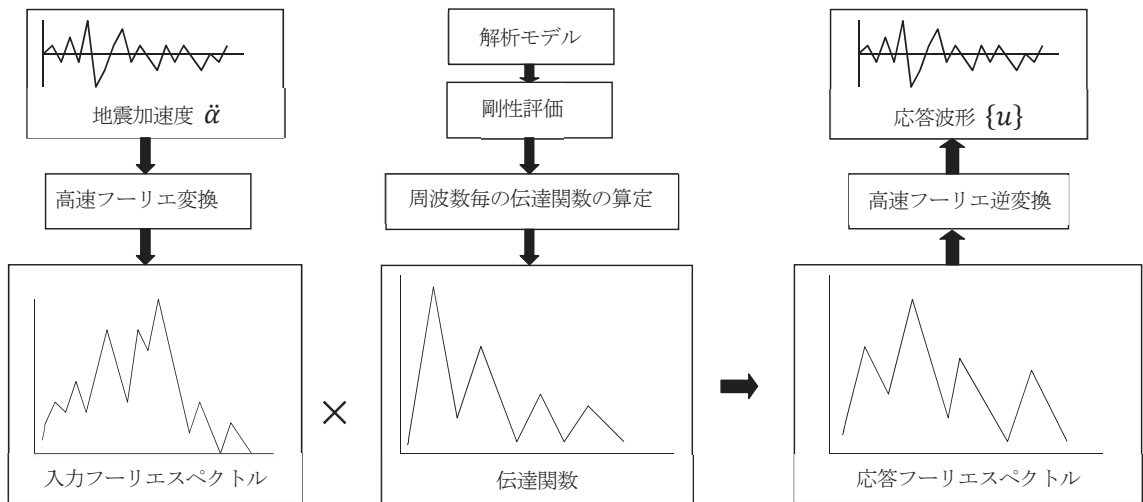


図 3-1 周波数応答解析の概念図

角振動数 ω の単位振幅波を基盤入力地震加速度とし、減衰を考慮した式(2)の複素剛性 $[K^*]$ を用いると、式(1)は式(3)の運動方程式となる。

$$[K^*] = \sum_j \left\{ (1 - 2h_j^2) + i \cdot 2h_j \sqrt{1 - h_j^2} \right\} [K]_j \quad (2)$$

ここで、

h_j : 要素 j の減衰定数

$[K]_j$: 要素 j の剛性マトリックス

(i は虚数単位、 $*$ は複素数であることを表す)

$$[M]\{\ddot{u}^*\} + [K^*]\{u^*\} = -[M]\{v\}e^{i\omega t} \quad (3)$$

調和振動を仮定し変位ベクトルを、

$$\{u^*\} = \{x^*(\omega)\}e^{i\omega t} \quad (4)$$

とおけば、式(3)から $e^{i\omega t}$ を消去して次式のように表すことができる。

$$\{x^*(\omega)\} = -([K^*] - \omega^2[M])^{-1}[M]\{v\} \quad (5)$$

$\{x^*(\omega)\}$ は、単位入力加速度（角振動数 ω ）に対する変位の伝達関数である。

ところで、フーリエ変換を用いると、 N 個の時系列データからなる地震加速度 $\ddot{a}(t)$ は、下記のような $N/2 + 1$ 個の振動の和として表すことができる。

$$\ddot{a}(t) = R_e \left[\sum_{n=0}^{N/2} A_n^* e^{i\omega_n t} \right] \quad (6)$$

ここで、 A_n^* はフーリエ変換から得られる係数、 R_e は実部を抽出する関数である。

この A_n^* と式(5)から求まる変位の伝達関数 $\{x_n^*\} = \{x^*(\omega_n)\}$ との積をフーリエ逆変換することにより変位の時刻歴応答が求まる。

$$\{u(t)\} = R_e \left[\sum_{n=0}^{N/2} \{x_n^*\} A_n^* e^{i\omega_n t} \right] \quad (7)$$

同様に、変位の伝達関数から求められる加速度・応力・ひずみ等の伝達関数を用いると、それぞれの時刻歴応答を求めることができる。

(2) 等価線形化法

周波数応答解析法は、周波数ごとの応答の重ね合わせを仮定しているため、適用は線形問題に限られ、せん断剛性・減衰のせん断ひずみ依存性を直接評価することができない。そこで、等価線形化法を用いて地盤の非線形性を考慮した解析を行う。この手法は、最大せん断ひずみレベルに対応したせん断剛性・減衰を用いた周波数応答解析を、応答結果を入力値としてせん断剛性・減衰が十分収束するまで繰り返す方法である。

3.4 解析フローチャート

図 3-2 に周波数応答解析のフローチャート，図 3-3 に等価線形化法による等価せん断剛性・減衰の算定フローチャートを示す。図 3-3 に示した等価線形化法により求めた収束せん断剛性・減衰を用い，図 3-2 のフローに従い各種時刻歴応答を求める。

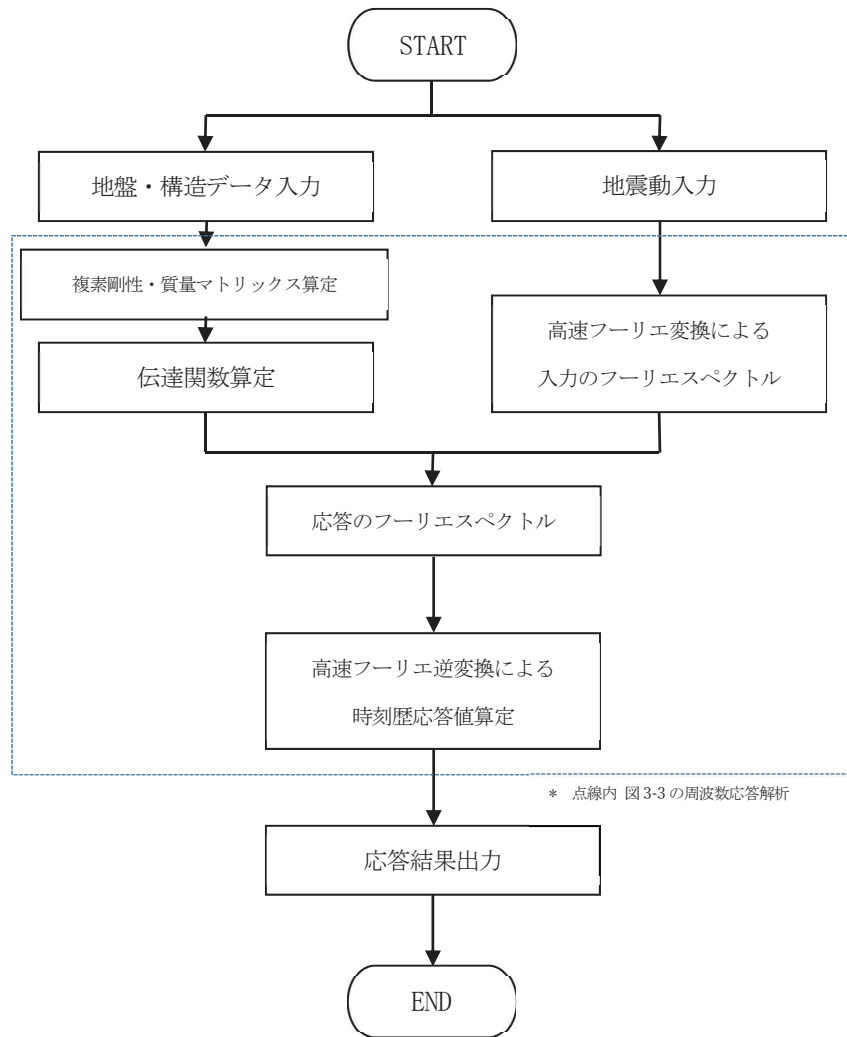


図 3-2 周波数応答解析フローチャート

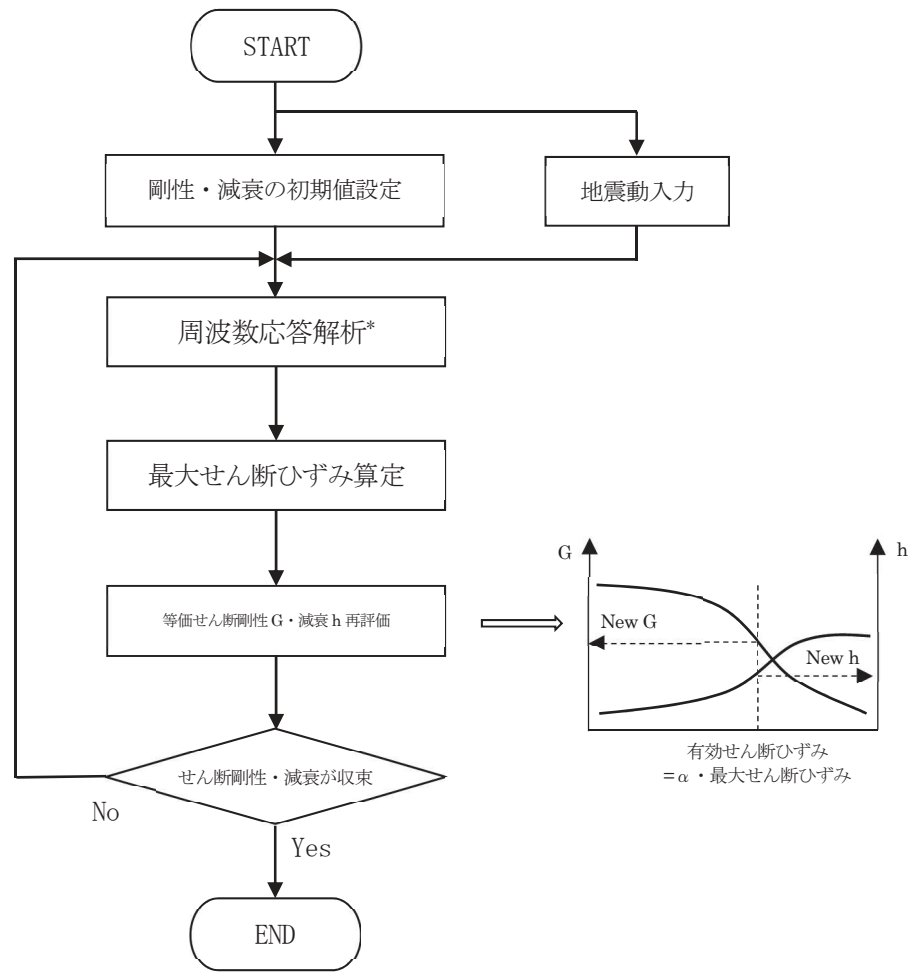


図 3-3 等価線形化法による等価せん断剛性・減衰算定フローチャート

3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

本解析コードを本解析に用いるにあたり、検証として水平成層地盤を対象に重複反射理論による解との比較を実施する。また、妥当性確認として類似の汎用プログラム SuperFLUSH/2D による解析結果と、本解析コードによる解析解との比較を実施した。その詳細な内容については以下のとおりとする。

3.5.1 検証 (Verification)

水平成層地盤を対象に重複反射理論による解との比較を実施する。重複反射理論には、カルフォルニア大学バークレー校による1次元地盤の等価線形解析プログラム SHAKE-91 を使用する。すべり線が通過する要素の滑動力や抵抗力を解析結果と理論解で比較を行った。

(1) 検証モデル

検討対象とする地盤モデルの諸元を表3-1に示す。地盤のひずみ依存特性を図3-4～図3-9に示す。

表3-1 地盤モデル諸元

区分	層厚 (m)	分割 (m)	深度 (m)	湿潤単位 体積重量 γ_t (kN/m ³)	動的せん断 弾性係数 Gd (kN/m ²)	動的ポアソン比 ν_d	せん断波速度 Vs (m/s)	減衰定数 h
第1粘性土層	4.00	1.00	1.00	17	21000	0.48	110	0.030
		1.00	2.00	17	21000	0.48	110	0.030
		1.00	3.00	17	21000	0.48	110	0.030
		1.00	4.00	17	21000	0.48	110	0.030
第2粘性土層	10.80	1.20	5.20	16	25000	0.48	124	0.020
		1.20	6.40	16	25000	0.48	124	0.020
		1.20	7.60	16	25000	0.48	124	0.020
		1.20	8.80	16	25000	0.48	124	0.020
		1.20	10.00	16	25000	0.48	124	0.020
		1.20	11.20	16	25000	0.48	124	0.020
		1.20	12.40	16	25000	0.48	124	0.020
		1.20	13.60	16	25000	0.48	124	0.020
第3粘性土層	9.60	1.60	16.40	16	43000	0.48	162	0.020
		1.60	18.00	16	43000	0.48	162	0.020
		1.60	19.60	16	43000	0.48	162	0.020
		1.60	21.20	16	43000	0.48	162	0.020
		1.60	22.80	16	43000	0.48	162	0.020
		1.60	24.40	16	43000	0.48	162	0.020
第1砂質土層	1.20	1.20	25.60	19	159000	0.48	286	0.020
第4粘性土層	8.00	2.00	27.60	17	110000	0.48	252	0.020
		2.00	29.60	17	110000	0.48	252	0.020
		2.00	31.60	17	110000	0.48	252	0.020
		2.00	33.60	17	110000	0.48	252	0.020
第2砂質土層	2.00	2.00	35.60	19	273000	0.48	375	0.010
礫層(基盤)				20	398000	0.48	442	0.010

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.985	2.30
0.0005	0.930	2.80
0.001	0.880	3.20
0.002	0.819	3.60
0.005	0.729	4.40
0.01	0.648	5.10
0.02	0.578	5.70
0.05	0.459	7.30
0.1	0.381	9.20
0.2	0.300	11.00
0.5	0.198	14.00
1	0.129	16.10
2	0.078	17.60
5	0.028	19.20
10	0.014	20.00

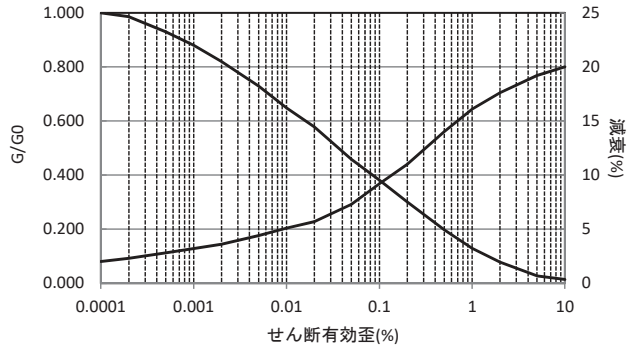


図3-4 ひずみ依存特性 (第1粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.989	2.30
0.0005	0.952	2.80
0.001	0.916	3.20
0.002	0.874	3.60
0.005	0.811	4.40
0.01	0.752	5.10
0.02	0.698	5.70
0.05	0.601	7.30
0.1	0.500	9.20
0.2	0.394	11.00
0.5	0.259	14.00
1	0.170	16.10
2	0.102	17.60
5	0.036	19.20
10	0.018	20.00

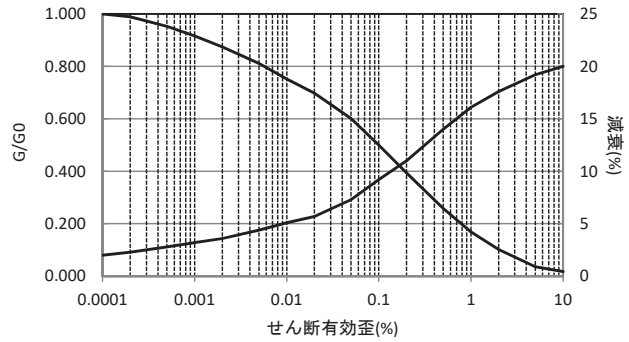


図3-5 ひずみ依存特性 (第2粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.991	2.30
0.0005	0.963	2.80
0.001	0.934	3.20
0.002	0.902	3.60
0.005	0.853	4.40
0.01	0.807	5.10
0.02	0.764	5.70
0.05	0.684	7.30
0.1	0.569	9.20
0.2	0.448	11.00
0.5	0.295	14.00
1	0.193	16.10
2	0.116	17.60
5	0.041	19.20
10	0.021	20.00

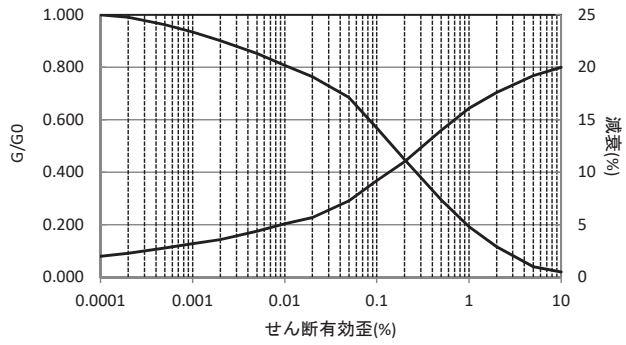


図3-6 ひずみ依存特性 (第3粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.991	2.30
0.0005	0.980	2.80
0.001	0.962	3.20
0.002	0.933	3.60
0.003	0.910	4.40
0.005	0.873	5.10
0.01	0.797	5.70
0.02	0.699	7.30
0.03	0.616	9.20
0.05	0.512	11.00
0.1	0.367	14.00
0.2	0.237	16.10
0.3	0.177	17.60
0.5	0.113	19.20
1	0.061	20.00

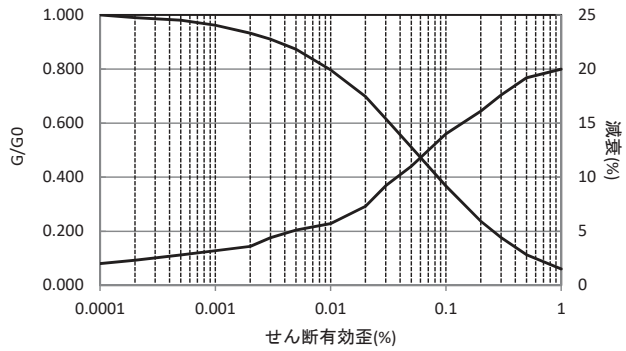


図3-7 ひずみ依存特性 (第1砂質土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	0.700
0.0002	0.990	0.900
0.0005	0.970	1.300
0.001	0.950	1.600
0.002	0.928	1.900
0.003	0.908	2.300
0.005	0.880	2.800
0.01	0.834	3.700
0.02	0.769	5.000
0.03	0.715	6.300
0.05	0.627	8.400
0.07	0.563	9.900
0.1	0.491	11.900
0.15	0.415	14.200
0.2	0.362	15.800
0.3	0.288	18.300
0.5	0.200	21.700
0.7	0.145	23.300
1	0.085	26.400

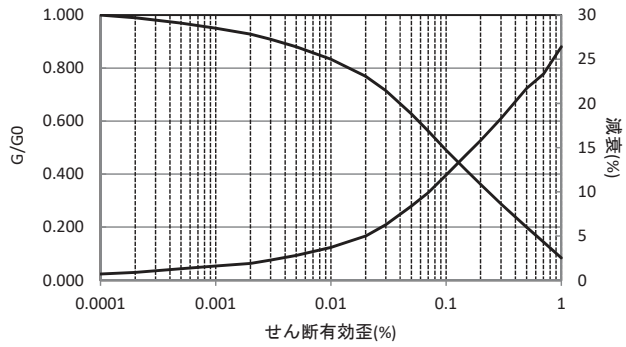


図3-8 ひずみ依存特性 (第4粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	0.00
0.0002	0.997	0.08
0.0005	0.991	0.28
0.001	0.977	0.70
0.002	0.953	1.41
0.003	0.932	2.04
0.005	0.899	3.02
0.01	0.832	5.03
0.02	0.740	7.79
0.03	0.661	10.16
0.05	0.563	13.10
0.1	0.418	17.46
0.2	0.277	21.70
0.3	0.209	23.73
0.5	0.134	25.97
1	0.072	27.83

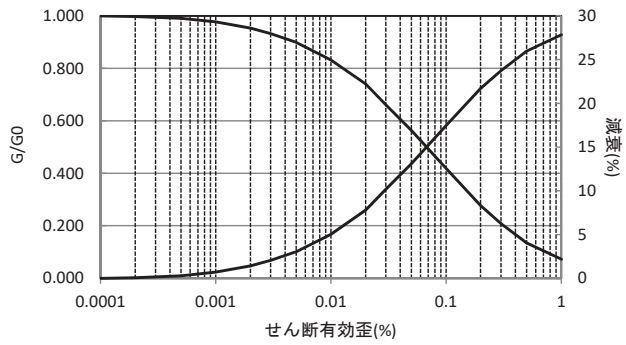


図3-9 ひずみ依存特性 (第2砂質土層)

(2) 入力地震動

入力地震動の加速度時刻歴を図 3-10 に示す。

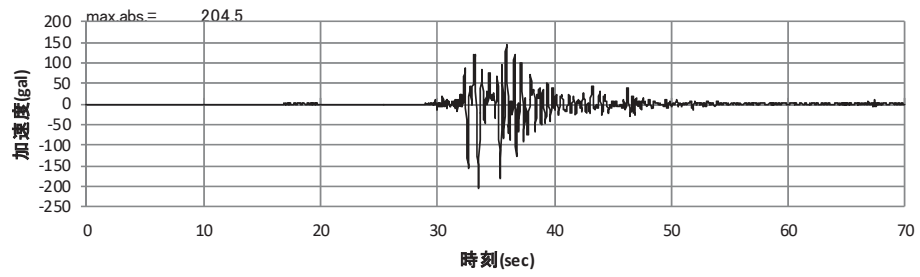


図3-10 入力地震動の加速度時刻歴（水平成分）

(3) 解析結果

重複反射理論 SHAKE による解と本解析コード VESL-DYN の解析結果を図 3-11, 図 3-12 に比較する。伝達関数及び加速度がおおむね一致していることが確認できる。

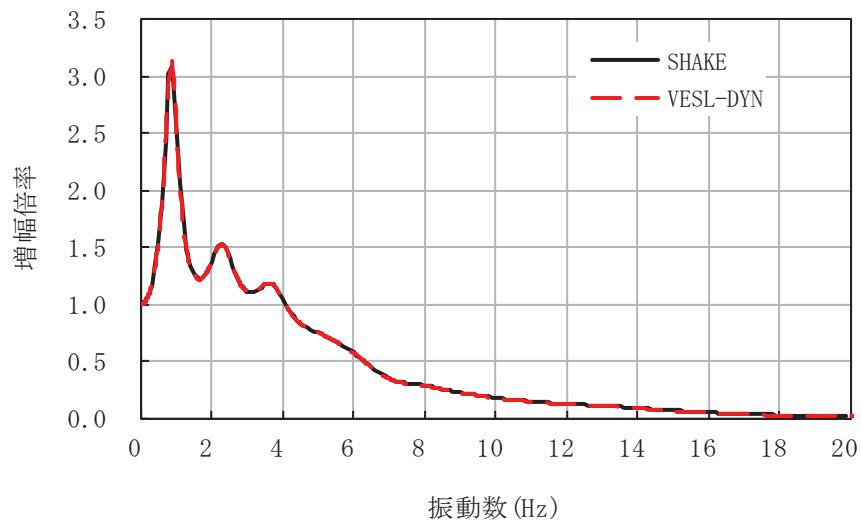


図3-11 地表面の伝達関数

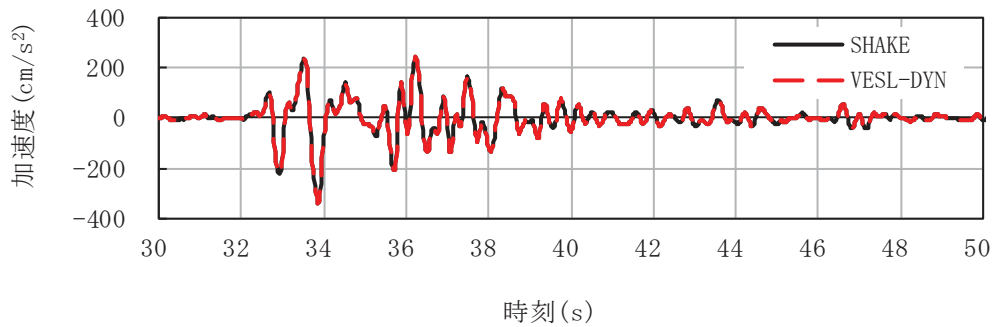


図3-12 地表面の加速度時刻歴

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

原子力産業界において実績のある SuperFLUSH/2D を用いた地震応答解析結果と、本解析コードによる解析結果を比較する。

(1) 解析モデル

解析モデルを図 3-13 に示す。

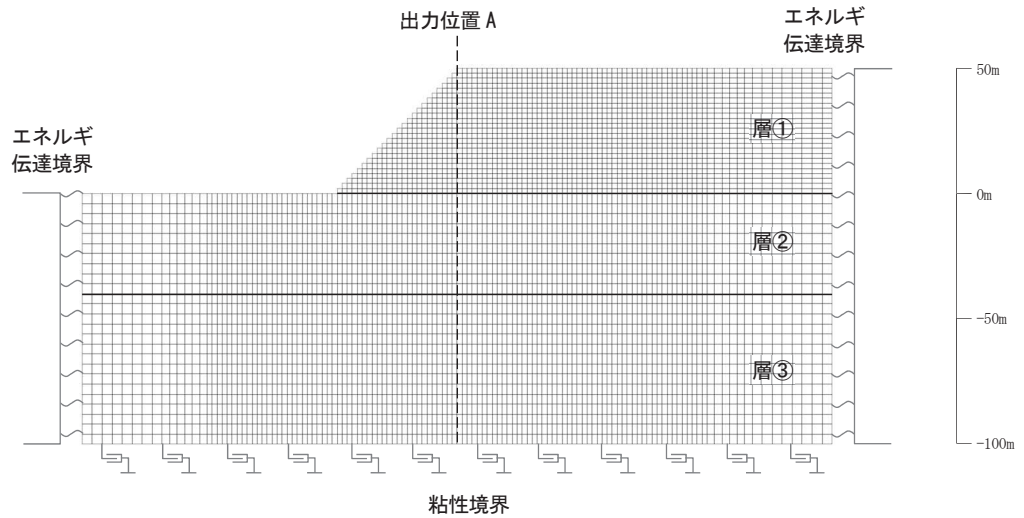


図3-13 解析モデル

(2) 解析条件

地盤モデルの諸元を表 3-2 に示す。

表3-2 地盤モデル諸元

	単位体積重量 (kN/m ³)	せん断弾性係数 (kN/m ²)	ポアソン比	減衰定数
層①	20.0	330000	0.40	0.03
層②	22.0	1400000	0.38	0.03
層③	24.0	3500000	0.35	0.03

(3) 入力地震動

入力地震動の加速度時刻歴を図 3-14 に示す。

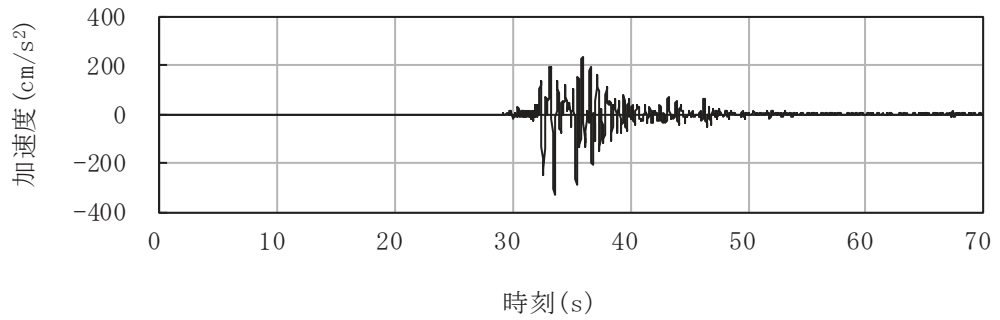


図3-14 入力地震動の加速度時刻歴（水平成分）

(4) 解析結果

図 3-13 に示す出力位置 A における最大水平加速度分布を図 3-15 に、最大水平せん断応力分布を図 3-16 に示す。各図より結果はおおむね一致していることが確認できる。

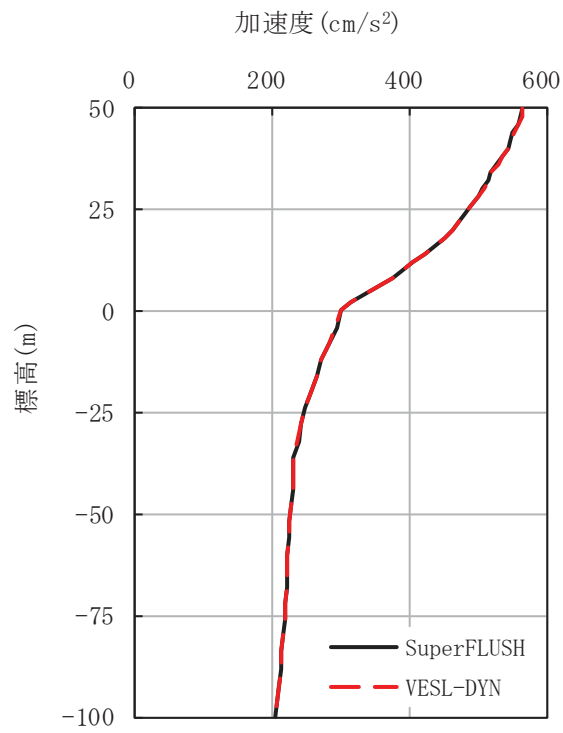


図3-15 最大水平加速度分布（出力位置A）

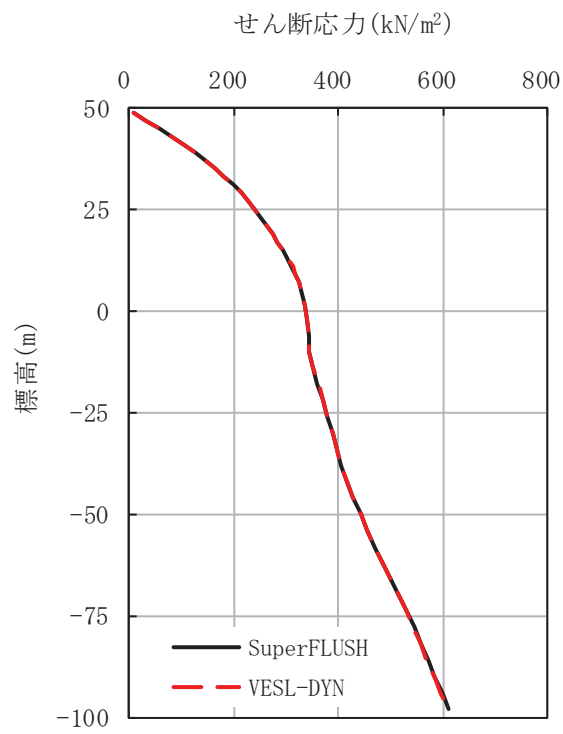


図3-16 最大水平せん断応力分布（出力位置A）

3.5.3 評価結果

本解析コードの検証として水平成層地盤を対象に重複反射理論による解との比較を実施し、解析解がおおむね一致することを確認した。また、妥当性確認として類似の汎用プログラム SuperFLUSH/2D による解析結果と、本解析コードによる解析結果との比較を実施し、解析結果がおおむね一致していることを確認した。

以上のことから、本解析コードを本解析に使用することは妥当である。

VI-5-13 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ ABAQUS

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3
2.1 ABAQUS ver. 6. 12, ver. 6. 13.....	3
2.2 ABAQUS ver. 6. 12-3.....	5
2.3 ABAQUS ver. 6. 14-1.....	7
2.4 ABAQUS ver. 2017.....	9
2.5 ABAQUS ver. 2016, ver. 2018.....	11

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）ABAQUSについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-6-別添 4	ブローアウトパネル関連設備の設計方針	ver. 2018
VI-1-8-1	原子炉格納施設の設計条件に関する説明書	ver. 6. 12, ver. 6. 13
VI-2-2-4	制御建屋の耐震性についての計算書	ver. 2016
VI-2-9-3-1-1	原子炉建屋ブローアウトパネルの耐震性についての計算書	ver. 2018
VI-2-9-3-4	原子炉建屋基礎版の耐震性についての計算書	ver. 2016
VI-2-11-2-1	海水ポンプ室門型クレーンの耐震性についての計算書	ver. 6. 14-1
VI-2-11-2-8	原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算書	ver. 6. 14-1
VI-2-12-1	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	ver. 2016
VI-3-3-2-2-1-2	燃料プール冷却浄化系ポンプの強度計算書	ver. 6. 12-3
VI-3-別添 1-1-1	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書	ver. 2018
VI-3-別添 2-1-3	復水貯蔵タンクの強度計算書	ver. 2017

2. 解析コードの概要

2.1 ABAQUS ver. 6.12, ver. 6.13

項目		コード名
		ABAQUS
使用目的	ver. 6.12	3次元有限要素法（ソリッド要素）による弾塑性解析
	ver. 6.13	3次元有限要素法（ソリッド要素）による弾塑性解析 2次元有限要素法（シェル要素）による弾塑性解析 2次元有限要素法（軸対称モデル）による温度分布計算
開発機関		ダッソー・システムズ社（旧 HKS 社）
開発時期		1978年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc） 2005年（ダッソー・システムズ社）
使用したバージョン		ver. 6.12, ver. 6.13
コードの概要		<p>ABAQUS（以下「本解析コード」という。）は、米国Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS社）で開発され、ダッソー・システムズ社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデルは1次元～3次元の任意形状の構造要素、連続体要素について取り扱うことが可能であり、静的応力解析、動的応力解析、熱応力解析、伝熱解析、座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、境界条件として、熱流束、温度、加速度等を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・使用する適用要素（シェル要素、ソリッド要素）について、解析結果が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">• 本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。• 使用する解析モデルは、既工事計画及び耐震評価にて実績のある関連規格並びに文献を基に作成した評価モデルを採用していることを確認している。• 開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する3次元有限要素法（ソリッド要素）による弾塑性解析、2次元有限要素法（シェル要素）による弾塑性解析及び2次元有限要素法（軸対称モデル）による温度分布計算に、本解析コードが適用できることを確認している。
--	---

2.2 ABAQUS ver. 6.12-3

項目	コード名 ABAQUS
使用目的	3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析
開発機関	ダッソー・システムズ社（旧 HKS 社）
開発時期	1978年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc） 2005年（ダッソー・システムズ社）
使用したバージョン	ver. 6.12-3
コードの概要	<p>ABAQUS（以下「本解析コード」という。）は、米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS 社）で開発され、ダッソー・システムズ社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデルは1次元～3次元の任意形状の構造要素、連続体要素について取り扱うことが可能であり、静的応力解析、動的応力解析、熱応力解析、伝熱解析、座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、境界条件として、熱流束、温度、加速度等を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について応力解析（3次元有限要素法(ソリッド要素)による線形解析機能による応力解析）を行い、解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、自動車、航空宇宙、防衛、工業製品、学術研究等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・本工事計画で行う解析と類似する三菱重工業株式会社が実施した配管ティー継手を対象とした3次元有限要素法（ソリッド要素）を用いた応力解析の事例がある。（PVP2012-78686:COMPARISON BETWEEN

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>PRESSURE TESTS AND SIMULATIONS FOR THICKNESS MANAGEMENT OF WALL THINNING T-JOINTS)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。 ・本工事計画において使用するバージョン（ver. 6.12-3）は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画における構造に対し使用する要素、3次元有限要素法（ソリッド要素）応力解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する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。
--	--

2.3 ABAQUS ver. 6.14-1

項目 \ コード名	ABAQUS
使用目的	3次元有限要素法（シェル要素）による応力解析 はりモデルによる固有値解析及び地震応答解析 3次元有限要素法（はり要素，シェル要素）による固有値解析
開発機関	ダッソー・システムズ社（旧 HKS 社）
開発時期	1978年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc） 2005年（ダッソー・システムズ社）
使用したバージョン	ver. 6.14-1
コードの概要	<p>ABAQUS（以下「本解析コード」という。）は，米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS 社）で開発され，ダッソー・システムズ社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデルは1次元～3次元の任意形状の構造要素，連続体要素について取り扱うことが可能であり，静的応力解析，動的応力解析，熱応力解析，伝熱解析，座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり，境界条件として，熱流束，温度，加速度等を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる地震応答計算結果と振動試験結果を比較して，検証*を実施し，本解析コードが検証されたものであることを確認している。 ・使用する適用要素（はり要素，シェル要素）について，解析結果が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは，数多くの研究機関や企業において，様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・使用する解析モデルは、既工事計画及び耐震評価にて実績のある関連規格並びに文献を基に作成した評価モデルを採用していることを確認している。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する3次元有限要素法（シェル要素）による応力解析、はりモデルによる固有値解析及び地震応答解析並びに3次元有限要素法（はり要素、シェル要素）による固有値解析に、本解析コードが適用できることを確認している。
--	--

注記*：独立行政法人 原子力安全基盤機構「平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書」

2.4 ABAQUS ver. 2017

項目	コード名 ABAQUS
使用目的	3次元有限要素法（シェル要素）による応力解析
開発機関	ダッソー・システムズ社（旧 HKS 社）
開発時期	1978年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc） 2005年（ダッソー・システムズ社）
使用したバージョン	ver. 2017
コードの概要	<p>ABAQUS（以下「本解析コード」という。）は、米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS 社）で開発され、ダッソー・システムズ社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデルは1次元～3次元の任意形状の構造要素、連続体要素について取り扱うことが可能であり、静的応力解析、動的応力解析、熱応力解析、伝熱解析、座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、境界条件として、熱流束、温度、加速度等を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・使用する適用要素（シェル要素）について、解析結果が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。 ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・使用する解析モデルは、既工事計画及び耐震評価にて実績のある関連規格並びに文献を基に作成した評価モデルを採用していることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する3次元有限要素法（シェル要素）による応力解析に、本解析コードが適用できることを確認している。
--	--

2.5 ABAQUS ver. 2016, ver. 2018

項目	コード名 ABAQUS
使用目的	3次元有限要素法（積層シェル要素）弾塑性応力解析及び伝熱解析
開発機関	ダッソー・システムズ社（旧 HKS 社）
開発時期	1978年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc） 2005年（ダッソー・システムズ社）
使用したバージョン	ver. 2016, ver. 2018
コードの概要	<p>ABAQUS（以下「本解析コード」という。）は、米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS 社）で開発され、ダッソー・システムズ社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデルは1次元～3次元の任意形状の構造要素、連続体要素について取り扱うことが可能であり、静的応力解析、動的応力解析、熱応力解析、伝熱解析、座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、境界条件として、熱流束、温度、加速度等を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、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、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する3次元有限要素法（シェル要素）による応力解析及び伝熱解析に、本解析コードが適用できることを確認している。 ・鉄筋コンクリート造平板の実験結果のシミュレーション解析から、本解析コードが実験結果をよくシミュレートできることを確認し

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>ている。</p> <ul style="list-style-type: none">• 半無限固体の表面温度が上昇するときの固体中の温度解析から、本解析コードが理論解と良く一致していることを確認している。• 本工事計画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。
--	---

VI-5-14 計算機プログラム（解析コード）の概要
・FDT^s

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）FDT[®]について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-7	発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書	1805.1

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	FDT ^s
使用目的	高温ガス層温度，火炎高さ，輻射影響範囲，プルーム影響範囲の算出
開発機関	米国 NRC
開発時期	2004 年
使用したバージョン	1805.1
コードの概要	<p>Fire Dynamics Tools (FDT^s) (以下「本解析コード」という。) は，米国 NRC (原子力規制委員会) によって開発された，フリーソフトウェアとして公開されている火災力学ツールであり，火災力学の理論式が表計算ソフト (Excel) に組み込まれたものである。</p>
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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる算出結果は，米国 NRC により，室内火災の実験結果との比較により，実証 (NUREG-1824*¹) されており，また，火災実証試験の結果と本解析コードにより簡易に算出された高温ガス温度を比較し再現されていることを確認している。 ・本解析コードの使用に当たって，ダウンロードした際に不具合が発生していないことを確認するため，ダウンロードする計算機ごとに，NUREG-1805 Supplement1, Vol.1 及び Vol.2 に示される Example Problem の入力パラメータを本解析コード (表計算ソフト) に入力し，評価結果が Example Problem と一致することを確認している。 ・本解析コードは理論式が表計算ソフト (Excel) に組み込まれたツールであり，表計算ソフトの計算シートは，あらかじめ入力指定されているセル以外のセルの変更ができないよう，パスワードにより保護されている。 ・なお，本解析コードは，表計算ソフトが使用可能なすべての計算機で解析可能であり，開発機関が開発時に使用したバージョン以上の表計算ソフトをインストールした計算機にて解析を実施している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「原子力発電所の内部火災影響評価ガイド」 (以下「ガイド」という。) では，火炎の高さ，プルーム，輻射及び高温ガス層の各影響範囲 (ZOI) の算出に本解析コードを使用することが明記されており，本解析コードの適用に当たっては，NUREG-1805*² における火炎の高

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>さ、プルーム、輻射及び高温ガス層の火災影響ごとに記載される使用上の考慮(Assumptions and Limitations)や、潤滑油等の漏えい火災の燃焼面積の算出方法等のガイドに記載されている評価手順を参照して、適切なパラメータの入力を実施することで、火炎の高さ、プルーム、輻射及び高温ガス層の ZOI を算出していることから、本工事計画の解析に適用することは妥当である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる算出結果は、米国 NRC によって室内火災の実験試験との比較により、妥当性が実証(NUREG-1824)されており、また、火災実証試験の結果と本解析コードにより簡易に算出された高温ガス温度を比較し再現されていることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画における構造に対し使用する要素、火炎の高さ、プルーム、輻射及び高温ガス層の ZOI の算出の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が NUREG-1805 の範囲内であることを確認している。
--	---

注記*1 : NUREG-1824 : Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications

*2 : NUREG-1805 : Fire Dynamics Tools (FDT^s)

VI-5-15 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ DORT

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）DORTについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-2-2	原子炉圧力容器の脆性破壊防止に関する説明書	D00RS3. 2a

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	DORT
使用目的	原子炉压力容器における中性子の放射線束分布解析
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	1988 年
使用したバージョン	DOORS3. 2a
コードの概要	<p>DORT (以下「本解析コード」という。) は、中性子及びガンマ線の物質中の挙動を評価することを目的として、2 次元多群輸送方程式を離散座標 Sn 法で解く数値計算により米国オークリッジ国立研究所で開発された計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードの計算モデルは、2 次元形状 (平板 (X-Y 体系), 円柱 (R-Z 体系, R-θ 体系)) であり、中性子及びガンマ線の輸送問題等を解くことができる。また、計算モデル内での中性子及びガンマ線の線束が計算され、線量率換算係数又はカーマ係数を乗じることにより、線量率又は発熱量を算出することができる。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2 次元輸送計算コード DORT と JENDL-3. 3 の組合せによる計算値については、JNDC (Japanese Nuclear Data Committee) においてベンチマーク実験との比較検証*が実施されており、鉄、クロム、ナトリウム等の透過放射線測定において、計算値が実験値と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、原子力施設の遮蔽計算に広く用いられており、通常運転時の原子炉周り遮蔽計算等の豊富な実績がある。 ・本解析コードは、中性子及びガンマ線の放射線束、線量率及び発熱量を算出することができるコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、幾何形状条件である。これら評価条件が与えられれば評価が可能であり、本解析コードは原子炉压力容器における中性子の放射線束分布解析に適用可能であることを確認している。

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。
---	---

注記* : Yamano N. et al., Integral Test of JENDL-3.3 with Shielding Benchmarks, J. Nucl. Sci. Technol., Supplement2, p. 841-846 (Aug. 2002)

VI-5-16 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ SCALE

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）SCALEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-3-2	燃料取扱設備，新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書	6.1 KENO V. a

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SCALE
使用目的	使用済燃料貯蔵設備の未臨界性評価
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	2011 年
使用したバージョン	6.1 KENO.V.a
コードの概要	SCALE (以下「本解析コード」という。) は、核燃料物質、構造材等の幾何形状等を入力とし、中性子の飛程を乱数を使用して確率的に計算し、各中性子が吸収されて消滅するか、体系外に漏れるまでの反応過程で発生する核分裂中性子数を計算し、これらの比から実効増倍率を求めるものである。このため、計算体系が3次元の複雑な形状でも精度の高い計算ができる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードに付属のサンプル入力ファイルを用いて計算を実行し、計算結果があらかじめ用意された参照解を再現することを確認した。 ・本解析コードをインストールする計算機の環境が、指定の要件を満たしていることを確認した。 <p>【妥当性確認(Validation)】 OECD/NEA によりまとめられた臨界実験ベンチマーク集 (「INTERNATIONAL HANDBOOK OF EVALUATED CRITICALITY SAFETY BENCHMARK EXPERIMENTS」 September 2012 Edition(OECD/NEA)) に登録されている臨界実験から選定した 103 ケースのベンチマーク解析 (以下、「ベンチマーク解析」という。) を本解析コード開発元の ORNL が実施している。このベンチマーク解析において、計算精度を検証し、解析解と理論解が一致していることが確認されている。</p> <p>具体的には、本解析コードを用いて算出された上記 103 ケースの実効増倍率を統計処理することで、平均誤差、σ 95-95 等を得た。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・平均誤差：実験値と計算値の平均的なずれ ・σ 95-95：95%信頼度-95%確率の計算の不確かさ

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>OECD/NEA の臨界実験ベンチマーク集の中から、ベンチマーク解析の対象として選定した実験結果は、国内 BWR の燃料貯蔵設備と同様に、中性子吸収材、板厚、水ギャップ幅、燃料対減速材比及び燃料濃縮度等、臨界解析で重要と考えられる要因に関し、数種類の異なる体系で実施されている。また、臨界実験に用いられた燃料仕様は、金属キャスクや燃料ラックの臨界評価に用いている燃料仕様と同程度であり、ベンチマーク試験として妥当と考えられる。</p>
--	--

VI-5-17 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ORIGEN2

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3
2.1 ORIGEN2 ver. 82/86.....	3
2.2 ORIGEN2 ver. 2.2.....	5

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）ORIGEN2について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-3-4	使用済燃料貯蔵槽の冷却能力に関する説明書	ver. 82/86
VI-1-3-5	使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書	ver. 82/86
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	ver. 2. 2
VI-1-8-1	原子炉格納施設の設計条件に関する説明書	ver. 2. 2
VI-1-9-3-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	ver. 2. 2

2. 解析コードの概要

2.1 ORIGEN2 ver. 82/86

項目 \ コード名	ORIGEN2
使用目的	使用済燃料の崩壊熱評価，使用済燃料及び使用済制御棒の線源強度の評価
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	1980 年
使用したバージョン	ver. 82/86
コードの概要	<p>ORIGEN2 (以下「本解析コード」という。) は，使用済燃料等の核種生成量，崩壊熱量並びに中性子及びガンマ線の線源強度を評価するために ORNL で開発され公開された燃焼計算コードであり，原子力発電所施設，再処理施設，廃棄物処理施設等幅広く設計に利用されている。</p> <p>また，本解析コードは，断面積ライブラリを内蔵している。</p>
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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ 本解析コードは，燃焼計算によって得られた核種生成量から炉心内蔵量等を評価するコードであり，計算に必要な主な条件は組成，照射条件，核データライブラリである。 <p>これら評価条件が与えられれば評価は可能であり，本解析コードは使用目的に記載する評価に適用可能である。</p> <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 米国原子力学会 (ANS) の Nuclear Technology vol.62 (1983 年 9 月) の「ORIGEN2 : A Versatile Computer Code for Calculating the Nuclide Compositions and Characteristic of Nuclear Materials」において，ANS 標準崩壊熱との比較及び使用済燃料中のウラン，プルトニウム，アメリシウム等の組成の実測値との比較により妥当性の確認を行っている。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">・「原子炉崩壊熱とその推奨値」((社)日本原子力学会, 1989/8)において, 崩壊熱の測定値との比較により妥当性の確認を行っている。・本工事計画の使用目的に記載する評価は上記妥当性確認内容と合致しており, 本解析コードの使用は妥当である。・本工事計画において使用するバージョンは, 他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。
--	---

2.2 ORIGEN2 ver. 2.2

項目	コード名 ORIGEN2
使用目的	中央制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価 格納容器ベント実施に伴う現場作業の被ばく評価
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	1980 年
使用したバージョン	ver. 2.2
コードの概要	<p>ORIGEN2 (以下「本解析コード」という。) は、使用済燃料等の核種生成量、崩壊熱量並びに中性子及びガンマ線の線源強度を評価するために ORNL で開発され公開された燃焼計算コードであり、原子力発電所施設、再処理施設、廃棄物処理施設等幅広く設計に利用されている。</p> <p>また、国内の最新の使用済燃料についての評価精度向上を目指し、日本原子力研究所シグマ委員会核種生成量評価ワーキンググループにおいて JENDL 核データセットに基づく ORIGEN2 用ライブラリが作成され、公開されている。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 計算機能が適正であることは、コード配布時に同梱されたサンプル問題の再現により確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ 本解析コードは、燃焼計算によって得られた核種生成量から炉心内蔵量等を評価するコードであり、計算に必要な主な条件は組成、照射条件、核データライブラリである。 <p>これら評価条件が与えられれば評価は可能であり、本解析コードは使用目的に記載する評価に適用可能である。</p> <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 米国原子力学会 (ANS) の Nuclear Technology vol.62 (1983 年 9 月) の「ORIGEN2 : A Versatile Computer Code for Calculating the Nuclide Compositions and Characteristic of Nuclear Materials」において、ANS 標準崩壊熱との比較及び使用済燃料中のウラン、プルトニウム、アメリシウム等の組成の実測値との比較により妥当性の確認を行っている。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 日本原子力研究所シグマ委員会にて開発された ORLIBJ ライブラリについては、「JENDL-3.3 に基づく ORIGEN2 用ライブラリ:ORLIBJ33」JAERI-Data/Code 2004-015(2004年11月)等において、核種生成量について照射後試験結果と、本解析コードによる計算値を比較することで妥当性の確認を行っている。 • 本工事計画の使用目的に記載する評価は上記妥当性確認内容と合致しており、本解析コードの使用は妥当である。 • 本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。
--	--

VI-5-18 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ QAD-CGGP2R

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）QAD-CGGP2Rについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-3-5	使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書	1.04
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	1.04
VI-1-8-1	原子炉格納施設的设计条件に関する説明書	1.04
VI-1-9-3-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	1.04

2. 解析コードの概要

項目	コード名
項目	QAD-CGGP2R
使用目的	使用済燃料プール水深の遮蔽計算 中央制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価 格納容器ベント実施に伴う現場作業の被ばく評価
開発機関	日本原子力研究開発機構（(財) 高度情報科学研究機構）
開発時期	2001 年（初版開発時期 1967 年）
使用したバージョン	1. 04
コードの概要	<p>QAD-CGGP2R（以下「本解析コード」という。）は、米国ロスアラモス国立研究所で開発されたガンマ線の物質透過を計算するための点減衰核積分コード QAD をベースとし、旧日本原子力研究所が ICRP1990 年勧告の国内関連法令・規則への取入れに合わせて、実効線量を計算できるように改良した最新バージョンである。</p> <p>本解析コードは、線源を直方体、円筒、球の形状に構成でき、任意の遮蔽体で構成される体系のガンマ線実効線量率を計算する。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ 本解析コードは、線量率評価を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、遮蔽体条件である。これら評価条件が与えられれば線量率評価は可能であり、使用目的に記載する評価に適用可能である。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ JRR-4 散乱実験室でのコンクリート透過実験の実験値（「原子力第 1 船遮蔽効果確認実験報告書」JNS-4（日本原子力船開発事業団、1967））と計算値を比較した。実験孔からのガンマ線を遮蔽体に入射させ、遮蔽体透過後のガンマ線の線量率の実験値と本解析コードによる計算値を比較している。 ・ 実験値と計算値を比較した結果、おおむね一致していることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 上記妥当性確認では、実験孔からのガンマ線を遮蔽体に入射させ、遮蔽体透過後のガンマ線の線量率の実験値と本解析コードによる計算値を比較している。 ・ 本工事計画の使用済燃料プール水深の遮蔽計算は、上記妥当性確認における実験体系と同様に、ガンマ線の遮蔽体透過後の線量率を計算する。 ・ 本工事計画の使用済燃料プール水深の遮蔽計算は、上記妥当性確認内容と合致している。 ・ また、原子力発電所放射線遮蔽設計規程（J E A C 4 6 1 5 - 2020）（日本電気協会 原子力規格委員会 令和2年3月）では、事故時の中央制御室遮蔽のための点減衰核積分コードとして、QAD が挙げられている。 ・ 本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。
--	--

VI-5-19 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ANISN

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）ANISNについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	ANISN-W
VI-1-9-3-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	ANISN-W

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	ANISN
使用目的	中央制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	1970 年 (初版開発時期 1967 年)
使用したバージョン	ANISN-W
コードの概要	ANISN (以下「本解析コード」という。) は、米国オークリッジ国立研究所で開発された、1 次元多群輸送方程式を離散座標 Sn 法で解く計算機プログラムである。本解析コードの計算形状は、1 次元形状 (球、無限平板、無限円筒) であり、中性子及びガンマ線の輸送問題等を解くことができる。本解析コードでは、計算形状内での中性子及びガンマ線の線束が計算され、線量率換算係数又はカーマ係数を乗じることにより、線量率又は発熱量を算出することができる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 計算機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、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ 本解析コードは、線量率評価を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、幾何形状条件である。これら評価条件が与えられれば線量率評価は可能であり、使用目的に記載する評価に適用可能である。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ スカイシャインガンマ線について、固体廃棄物貯蔵所を線源とした線量評価が、本解析コードと G33 コードの結合計算法によって実施されている。 ・ この固体廃棄物貯蔵所での測定値と計算値の比較の詳細が、原子力施設散乱放射線挙動専門委員会の成果報告会 (昭和 54 年 9 月、財団法人 原子力安全研究協会) * に示されている。 ・ 測定値と計算値を比較した結果、おおむね一致していることを確認している。 ・ 本工事計画の重大事故等時における中央制御室のスカイシャインガンマ線線量評価は、上記妥当性確認内容と合致している。

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	・また、原子力発電所放射線遮蔽設計規程（J E A C 4 6 1 5 - 2020） （日本電気協会 原子力規格委員会 令和2年3月）では、事故時の 中央制御室遮蔽のための輸送計算コードとして、本解析コードが挙 げられている。
---	---

注記*：「ガンマ線スカイシャインの線量評価に関する研究」成果報告会・予稿集（昭和54年9月
 財団法人 原子力安全研究協会）

VI-5-20 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ G33-GP2R

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）G33-GP2Rについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	1.00
VI-1-9-3-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	1.00

2. 解析コードの概要

項目	コード名 G33-GP2R
使用目的	中央制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価
開発機関	日本原子力研究開発機構（(財) 高度情報科学研究機構）
開発時期	2001 年（初版開発時期 1964 年）
使用したバージョン	1.00
コードの概要	<p>G33-GP2R（以下「本解析コード」という。）は、Los Alamos Scientific Laboratory で開発されたガンマ線多群散乱計算プログラム G33 をベースとし、旧日本原子力研究所が ICRP1990 年勧告の国内関連法令・規則への取入れに合わせて、実効線量を計算できるように改良した最新バージョンである。</p> <p>本解析コードは、点等方線源からの一回散乱を計算する。散乱は、クライナー-仁科の式に基づき計算する。散乱が起こる領域は直角、球、円筒座標により指定し、遮蔽体は平板、球、円筒又は二次曲面により入力することができる。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 ・ 本解析コードは、線量率評価を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、幾何形状条件である。これら評価条件が与えられれば線量率評価は可能であり、使用目的に記載する評価に適用可能である。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ スカイシャインガンマ線について、米国 Radiation Research Associates(RRA)が 1977 年に米国カンザス州立大学において ⁶⁰Co 線源を用いたベンチマーク試験を実施している。 ・ この RRA での実験値と計算値を比較した詳細が、ガンマ線遮蔽設計ハンドブック（1988 年 1 月、社団法人 日本原子力学会）に示されている。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・その結果は、天井遮蔽がないケースでは計算値は実験値とよい一致を示しているが、天井遮蔽があるケースでは、計算値は実験値について過小評価の傾向がある。 ・この原因は、本解析コードが天井透過中の散乱成分を考慮していないためであり、この成分を考慮するため、天井遮蔽までをANISNで計算することを推奨している。本工事計画の重大事故等時における中央制御室のスカイシャインガンマ線線量評価では、この計算手法を採用している。 ・本工事計画の重大事故等時における中央制御室のスカイシャインガンマ線線量評価は、上記妥当性確認内容と合致している。 ・また、原子力発電所放射線遮蔽設計規程（J E A C 4 6 1 5 - 2020）（日本電気協会 原子力規格委員会 令和2年3月）では、事故時の中央制御室遮蔽のための点減衰核積分コード／散乱線計算コードとして、QAD/G33が挙げられている。 ・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。
--	--

VI-5-21 計算機プログラム（解析コード）の概要
・MAAP

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）MAAPについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	Ver. 4
VI-1-8-1	原子炉格納施設的设计条件に関する説明書	Ver. 4
VI-1-8-2	原子炉格納施設の水素濃度低減性能に関する説明書	Ver. 4

2. 解析コードの概要

項目	コード名 MAAP
使用目的	シビアアクシデント解析 (シビアアクシデント時の原子炉格納容器フィルタベント系による水素排出性能解析及びソースターム解析)
開発機関	EPRI
開発時期	1983 年
使用したバージョン	Ver. 4
コードの概要	<p>MAAP (Modular Accident Analysis Program) コード (以下「本解析コード」という。) は、米国産業界が実施した IDCOR (Industry Degraded Core Rulemaking) プログラムにおいて、1980 年代の初めに米国 FAI 社 (Fauske & Associates, LLC.) によって開発されたコードであり、プログラムの完了に伴い、所有権が米国 EPRI (Electric Power Research Institute) に移管され、EPRI を中心とした MUG (MAAP User's Group) のもとで保守及び改良が進められている。本解析コードは、軽水炉のシビアアクシデント時の原子炉圧力容器、原子炉格納容器及び原子炉建屋内の熱水力/核分裂生成物 (FP) の放出・移行挙動を同時に一貫して解析できることに特徴があり、PRA やシビアアクシデントマネジメントの策定等において、米国を始め、世界的に広く利用されている。</p> <p>本解析コードは、シビアアクシデントの事象進展の各段階を網羅し、炉心、原子炉圧力容器、原子炉格納容器内で起こると考えられる重要な事故時の物理現象をモデル化するとともに、工学的安全施設や炉心損傷防止対策あるいは格納容器破損防止対策で想定する各種の機器についてのモデルを備えている。また、FP に関する物理現象をモデル化しており、事故時に炉心溶融に伴って原子炉圧力容器や原子炉格納容器内に放出される FP の挙動についても取り扱うことが可能である。このように、広範囲の物理現象を取り扱うことが可能な総合解析コードであり、シビアアクシデントで想定される種々の事故シーケンスについて、起因事象から安定した状態、あるいは過圧・過温により原子炉格納容器健全性が失われる状態まで計算が可能であることが特徴である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、シビアアクシデントを評価するための総合システム解析コンピュータ・コードであり、原子炉圧力容器、再循環ポンプ等を含む原子炉冷却材圧力バウンダリ全体及び原子炉格納容器における水、水蒸気、水素、FP、溶融炉心等の挙動の評価並びに原子炉格納容器フィルタベント系による水素排出評価に使用している。</p>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 米国プラントの SBO 事象に関するユーザーズマニュアルの例題を実施して、解析解が開発元の結果を再現し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 炉心損傷事象に関する国際的な標準問題である TMI 事故を模擬した解析結果が事故データと比較し、おおむね一致するため、シビアアクシデント時の炉内の挙動や運転員操作を含む現象モデル全般が妥当であることを確認している。 ・ HDR 炉における実機スケール水素混合実験に対する実機解析を実施し、実機データとおおむね一致するため、原子炉格納容器内の伝熱、流動（水素ガス挙動を含む。）に関する現象モデルが妥当であることを確認している。 ・ 熔融燃料あるいは融体金属とコンクリートの相互作用に関する ACE 実験及び SURC 実験を模擬した実験解析を実施し、熔融炉心の温度とコンクリート侵食深さの時間変化について、実験データとおおむね一致している結果が得られることを確認している。 ・ シビアアクシデント時の全体挙動、原子炉格納容器内の水素ガスの挙動、熔融炉心とコンクリートの相互作用による水素発生 of 妥当性を確認しているため、本解析コードは水素濃度評価へ適用できる。 ・ 米国 NRC で整備された NUREG-1465 における原子炉格納容器内ソースタームと本解析コードにおける解析結果の比較を行い、NUREG-1465 のソースタームとほぼ同等であることを確認しているため、本解析コードはソースターム評価へ適用できる。
--	--

VI-5-22 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ANSYS

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3
2.1 ANSYS ver. 11.0, ver. 15.0.....	3
2.2 ANSYS ver. 13.0.....	5
2.3 ANSYS ver. 14.0.....	7

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）ANSYSについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-8-1	原子炉格納施設的设计条件に関する説明書	ver. 15.0
VI-2-3-3-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	ver. 13.0, ver. 14.0
VI-2-4-2-4	使用済燃料プール水位/温度(ガイドパルス式)の耐震性についての計算書	ver. 11.0

2. 解析コードの概要

2.1 ANSYS ver. 11.0, ver. 15.0

項目		コード名 ANSYS
使用目的	ver. 11.0	3次元有限要素法（シェル要素，ソリッド要素）による固有値解析，応力解析
	ver. 15.0	3次元有限要素法（ソリッド要素）による弾塑性解析
開発機関		ANSYS Inc.
開発時期		1970年
使用したバージョン		ver. 11.0, ver. 15.0
コードの概要		<p>ANSYS（以下「本解析コード」という。）は，スワンソン・アナリシス・システムズ（現，ANSYS Inc.）により開発された有限要素法による計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードは，広範囲にわたる多目的有限要素法による計算機プログラムである。本解析コードは，伝熱，構造，マルチフィジックス，流体，陽解法による動的，電磁界及び流体力学のシミュレーション並びに解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは，ISO9001及びASME NQA-1の認証を受けた品質保証システムのもとで開発され，アメリカ合衆国原子力規制委員会による10CFR50並びに10CFR21の要求を満たしており，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p>
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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの検証は，開発元のリリースノートの例題集において，多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較が実施されており，理論解と解析解が一致していることを確認している。 ・本解析コードが適正であることは，コード配布時に同梱されたANSYS Mechanical APDL Verification Testing Packageにより確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発元から提示された要件を満足し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の内容は，以下のとおりである。</p>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。・本解析コードは、原子力分野では、原子炉設置（変更）許可申請書における応力解析等、これまで多くの構造解析に対し使用実績があることを確認している。
--	---

2.2 ANSYS ver. 13.0

項目	コード名 ANSYS
使用目的	有限要素法による下部端栓溶接部応力評価
開発機関	ANSYS Inc.
開発時期	1970 年
使用したバージョン	ver. 13.0
コードの概要	<p>ANSYS (以下「本解析コード」という。) は、スワンソン・アナリシス・システムズ (現, ANSYS Inc.) により開発された有限要素法による計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードは、広範囲にわたる多目的有限要素法による計算機プログラムである。本解析コードは、伝熱、構造、マルチフィジックス、流体、陽解法による動的、電磁界及び流体力学のシミュレーション並びに解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは、ISO9001 及び ASME NQA-1 の認証を受けた品質保証システムのもとで開発され、アメリカ合衆国原子力規制委員会による 10CFR50 並びに 10CFR21 の要求を満たしており、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、開発元のリリースノートの例題集において、多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較により両者が一致することで検証されている。 ・本解析コードの運用環境について、開発元から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。 ・本解析コードは、原子力分野では、原子炉設置 (変更) 許可申請書における応力解析等、これまで多くの構造解析に対し使用実績があり、9×9 燃料 (B 型) の原子炉設置 (変更) 許可申請書や燃料体設計認可申請書における下部端栓溶接部の応力評価に対し使用実績があることを確認している。

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	・本解析コードは、バージョンアップ前後の比較により、燃料被覆管下部端栓溶接部の応力解析において既許認可の結果が再現することを確認している。
---	---

2.3 ANSYS ver. 14.0

項目 \ コード名	ANSYS
使用目的	有限要素法による下部端栓溶接部応力評価
開発機関	ANSYS Inc.
開発時期	1970 年
使用したバージョン	ver. 14.0
コードの概要	<p>ANSYS (以下「本解析コード」という。) は、スワンソン・アナリシス・システムズ (現, ANSYS Inc.) により開発された有限要素法による計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードは、広範囲にわたる多目的有限要素法による計算機プログラムである。本解析コードは、伝熱、構造、マルチフィジックス、流体、陽解法による動的、電磁界及び流体力学のシミュレーション並びに解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは、ISO9001 及び ASME NQA-1 の認証を受けた品質保証システムのもとで開発され、アメリカ合衆国原子力規制委員会による 10CFR50 並びに 10CFR21 の要求を満たしており、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、開発元のリリースノートの例題集において、多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較により両者が一致することで検証されている。 ・本コード配布時に同梱された ANSYS Mechanical APDL Verification Testing Package を入力とした解析により、上記例題集の検証を再現できることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発元から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。 ・本解析コードは、原子力分野では、原子炉設置 (変更) 許可申請書における応力解析等、これまで多くの構造解析に対し使用実績があり、

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>9×9 燃料 (B 型) の原子炉設置 (変更) 許可申請書や燃料体設計認可申請書における下部端栓溶接部の応力評価に対し使用実績があることを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは既認可の下部端栓溶接部応力解析において使用実績のある MARC と同等な解析条件 (有限要素モデル, ペレットやジルカロイ被覆管の物性値, 荷重条件及び境界モデル) を設定可能なこと, MARC と本解析コードとで同等な解析結果となることを確認している。
--	--

VI-5-23 計算機プログラム（解析コード）の概要
・GOTHIC

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）GOTHICについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-8-2	原子炉格納施設の水素濃度低減性能に関する説明書	Ver. 7. 2a

2. 解析コードの概要

項目	コード名
	GOTHIC
使用目的	シビアアクシデント解析 (シビアアクシデント時の原子炉建屋原子炉棟における水素分布評価及び水素濃度抑制系による水素濃度低減性能解析)
開発機関	Numerical Applications Inc. (現 Zachry Nuclear Engineering) (販売元は EPRI)
開発時期	1989 年
使用したバージョン	Ver. 7. 2a
コードの概要	<p>GOTHIC (以下「本解析コード」という。) は, Electric Power Research Institute により開発された汎用熱流体解析コードである。本解析コードは, 気相, 液体連続相及び液体分散相(液滴)の 3 相について, 各々, 質量, 運動量及びエネルギーの 3 保存式を解く, 完全 3 流体 (9 保存式) 解析コードである。</p> <p>各相間の質量, 運動量及びエネルギーの移動は, 構成式で表され, これにより, 凝縮・沸騰現象や, 凝縮した液体によって随伴される気相の流れ等, 複雑な混相流現象を模擬することができる。また, ファン・水素再結合装置等の機器モデルが組み込まれており, これらの機器の作動及び制御を模擬できる。</p> <p>このような基本構成により, 原子炉建物内における気液混相の熱流動を取り扱うことができる。本解析コードは, 主に米国において設計基準事故を想定した原子炉格納容器の設計や環境条件, シビアアクシデント時の水素分布解析等に豊富な使用実績がある。</p>
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の内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コードのサンプル問題を実行し, ユーザーマニュアルに示される同一問題の結果と比較を行い, 解析解がそれを再現していることを確認している。 ・1次元熱伝導の理論解に対する解析解が再現していることを確認している。 ・本解析コードの適用制限について, 蒸気表・各種相関式・物性範囲及び数値計算手法上の制約に対し問題ない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の内容は, 以下のとおりである。</p>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 実機プラントに対する上記の目的に対しては、検証内容が事故時の状況、機器設備の作動状況、物理現象の模擬等に対し適用可能な範囲にあることを確認している。 • 静的触媒式水素再結合装置動作時に見られる重要な物理現象の個別効果及びそれらを重ね合わせた総合効果の再現性を確認している。 • NUPEC 試験等、実機解析の再現能力、適用範囲と不確かさを考慮したうえで、上記目的に対する保守性を有している。
--	--

VI-5-24 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ ISAP

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	5

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）ISAPについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-8-3	溢水評価条件の設定	ISAP-IV
VI-2-1-12-1	配管及び支持構造物の耐震計算について	ISAP-IV
VI-2-4-3-1-3	管の耐震性についての計算書（燃料プール冷却浄化系）	ISAP-IV
VI-2-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書（燃料プール代替注水系）	ISAP-IV
VI-2-4-3-3-1	管の耐震性についての計算書（燃料プールスプレイ系）	ISAP-IV
VI-2-5-2-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉再循環系）	ISAP-IV
VI-2-5-3-1-2	管の耐震性についての計算書（主蒸気系）	ISAP-IV
VI-2-5-3-2-1	管の耐震性についての計算書（復水給水系）	ISAP-IV
VI-2-5-4-1-4	管の耐震性についての計算書（残留熱除去系）	ISAP-IV
VI-2-5-4-1-5	ストレーナ部ティーの耐震計算書（残留熱除去系）	ISAP-IV
VI-2-5-4-2-1	管の耐震性についての計算書（耐圧強化ベント系）	ISAP-IV
VI-2-5-5-1-3	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ系）	ISAP-IV
VI-2-5-5-1-4	ストレーナ部ティーの耐震計算書（高圧炉心スプレイ系）	ISAP-IV
VI-2-5-5-2-3	管の耐震性についての計算書（低圧炉心スプレイ系）	ISAP-IV
VI-2-5-5-2-4	ストレーナ部ティーの耐震計算書（低圧炉心スプレイ系）	ISAP-IV
VI-2-5-5-3-2	管の耐震性についての計算書（高圧代替注水系）	ISAP-IV
VI-2-5-5-4-2	管の耐震性についての計算書（低圧代替注水系）	ISAP-IV
VI-2-5-5-5-1	管の耐震性についての計算書（代替水源移送系）	ISAP-IV
VI-2-5-6-1-3	管の耐震性についての計算書（原子炉隔離時冷却系）	ISAP-IV
VI-2-5-6-2-3	管の耐震性についての計算書（補給水系）	ISAP-IV
VI-2-5-7-1-6	管の耐震性についての計算書（原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系）	ISAP-IV
VI-2-5-7-2-5	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系）	ISAP-IV
VI-2-5-7-3-1	管の耐震性についての計算書（原子炉補機代替冷却水系）	ISAP-IV
VI-2-5-8-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉冷却材浄化系）	ISAP-IV
VI-2-6-4-1-3	管の耐震性についての計算書（ほう酸水注入系）	ISAP-IV
VI-2-6-6-1-1	管の耐震性についての計算書（高圧窒素ガス供給系）	ISAP-IV

使用添付書類		バージョン
VI-2-6-6-2-1	管の耐震性についての計算書（代替高圧窒素ガス供給系）	ISAP-IV
VI-2-7-3-1-1	管の耐震性についての計算書（放射性ドレン移送系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-1	ダウンカマの耐震性についての計算書	ISAP-IV
VI-2-9-4-2	ベント管の耐震性についての計算書	ISAP-IV
VI-2-9-4-3-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器スプレイ冷却系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器下部注水系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-3-3-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器代替スプレイ冷却系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-3-4-2	管の耐震性についての計算書（代替循環冷却系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-4-1-2	管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-4-2-1	管の耐震性についての計算書（可燃性ガス濃度制御系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-4-4-1	管の耐震性についての計算書（可搬型窒素ガス供給系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-5-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器調気系）	ISAP-IV
VI-2-9-4-6-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）	ISAP-IV
VI-2-10-1-2-3-5	ガスタービン発電設備 管の耐震性についての計算書	ISAP-IV
VI-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書	ISAP-IV
VI-3-3-2-2-1-4-2	管の応力計算書（燃料プール冷却浄化系）	ISAP-IV
VI-3-3-2-2-2-2-2	管の応力計算書（燃料プール代替注水系）	ISAP-IV
VI-3-3-2-2-3-1-2	管の応力計算書（燃料プールスプレイ系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-1-1-1-2	管の応力計算書（原子炉再循環系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-2-1-3-2	管の応力計算書（主蒸気系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-2-2-1-2	管の応力計算書（復水給水系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-3-1-5-2	管の応力計算書（残留熱除去系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-3-1-5-3	ストレーナ部ティーの応力計算書（残留熱除去系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-3-2-1-2	管の応力計算書（耐圧強化ベント系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-4-1-4-2	管の応力計算書（高圧炉心スプレイ系）	ISAP-IV

使用添付書類		バージョン
VI-3-3-3-4-1-4-3	ストレーナ部ティーの強度計算書（高圧炉心スプレイ系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-4-2-3-2	管の応力計算書（低圧炉心スプレイ系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-4-2-3-3	ストレーナ部ティーの強度計算書（低圧炉心スプレイ系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-4-3-3-2	管の応力計算書（高圧代替注水系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-4-5-2-2	管の応力計算書（低圧代替注水系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-4-6-1-2	管の応力計算書（代替水源移送系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-5-1-3-2	管の応力計算書（原子炉隔離時冷却系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-5-2-3-2	管の応力計算書（補給水系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-6-1-6-2	管の応力計算書（原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-6-2-5-2	管の応力計算書（高圧炉心スプレイ補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-6-3-4-2	管の応力計算書（原子炉補機代替冷却水系）	ISAP-IV
VI-3-3-3-7-1-1-2	管の応力計算書（原子炉冷却材浄化系）	ISAP-IV
VI-3-3-4-2-1-3-2	管の応力計算書（ほう酸水注入系）	ISAP-IV
VI-3-3-4-3-1-2-2	管の応力計算書（高圧窒素ガス供給系）	ISAP-IV
VI-3-3-4-3-2-1-2	管の応力計算書（代替高圧窒素ガス供給系）	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-2	ダウンカマの強度計算書	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-3	ベントヘッドの強度計算書	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-5	ベント管の強度計算書	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-7-2-1-2	管の応力計算書（原子炉格納容器下部注水系）	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-7-3-1-2	管の応力計算書（原子炉格納容器代替スプレイ冷却系）	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-7-4-2-2	管の応力計算書（代替循環冷却系）	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-8-1-2-2	管の応力計算書（非常用ガス処理系）	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-8-3-1-2	管の応力計算書（可搬型窒素ガス供給系）	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-9-1-2-2	管の応力計算書（原子炉格納容器調気系）	ISAP-IV
VI-3-3-6-2-10-1-3-2	管の応力計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）	ISAP-IV

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	ISAP
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析
開発機関	株式会社 IHI
開発時期	1988 年
使用したバージョン	ISAP-IV
コードの概要	<p>ISAP（以下「本解析コード」という。）は，米国カリフォルニア大学が開発した SAP-IVをベースに南カリフォルニア大学が一部機能を追加し開発された SAP-Vを基につくられている。ISAP は，配管系の構造解析に用いることを目的として，株式会社 IHI にて SAP-V の中の配管要素及び拘束要素に特化した計算機プログラムである。</p> <p>任意の 3次元形状に対して，有限要素法により静的解析・動的解析を行い，反力・モーメント・応力・固有周期・刺激係数等の算出に用いる。</p> <p>本解析コードは，原子力分野の配管設計において，多くの実績を有している。</p>
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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の多い配管解析プログラムの一つである解析コード“ADL Pipe Static-Thermal-Dynamic Pipe Stress Analysis” (Arthur D. Little. Inc., Cambridge, Massachusetts, January 1971) による解析結果を比較し，結果が合致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足し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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは，原子力分野の配管設計において多くの実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・本解析コードのマニュアルにより，本工事計画で使用する 3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析及び地震応答解析に，本解析コードが適用できることを確認している。 ・本工事計画で使用する要素及び解析方法は，既工事計画において使用された実績がある。

VI-5-25 計算機プログラム（解析コード）の概要
・NX NASTRAN

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	4
2.1 NX NASTRAN ver. 5mp1.....	4
2.2 NX NASTRAN ver. 7.1.....	6

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）NX NASTRANについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-1-12-1	配管及び支持構造物の耐震計算について	ver. 5mp1
VI-2-4-2-5	使用済燃料プール水位/温度（ヒートサーモ式）の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-5-7-1-6	管の耐震性についての計算書（原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系）	ver. 5mp1
VI-2-5-7-2-5	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系）	ver. 5mp1
VI-2-6-3-2-2	管の耐震性についての計算書（制御棒駆動水圧系）	ver. 5mp1
VI-2-6-5-4-2-1	ドライウエル温度の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-6-5-4-2-3	サプレッションプール水温度の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-6-5-4-2-4	原子炉格納容器下部温度の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-6-5-4-4-1	格納容器内水素濃度（D/W）の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-6-5-4-4-2	格納容器内水素濃度（S/C）の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-6-5-8-2	原子炉格納容器下部水位の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-6-5-9-1	原子炉建屋内水素濃度の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-6-6-1-1	管の耐震性についての計算書（高圧室素ガス供給系）	ver. 5mp1
VI-2-6-6-2-1	管の耐震性についての計算書（代替高圧室素ガス供給系）	ver. 5mp1
VI-2-6-7-18	静的触媒式水素再結合装置動作監視装置の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-8-2-1-1-1	主蒸気管放射線モニタの耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-8-2-1-2-1	格納容器内雰囲気放射線モニタ（D/W）の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-8-2-1-2-2	格納容器内雰囲気放射線モニタ（S/C）の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-8-2-1-3-2	フィルタ装置出口放射線モニタの耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-8-2-1-3-3	燃料取替エリア放射線モニタの耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-8-2-2-1-1	使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（低線量）の耐震性についての計算書	ver. 5mp1

使用添付書類		バージョン
VI-2-8-2-2-1-2	使用済燃料プール上部空間放射線モニタ（高線量）の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-8-3-2-2	管の耐震性についての計算書（緊急時対策所換気空調系）	ver. 5mp1
VI-2-8-3-4-1	管の耐震性についての計算書（緊急時対策所加圧空気供給系）	ver. 5mp1
VI-2-10-1-2-1-6	非常用ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-10-1-2-2-6	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-10-1-2-3-5	ガスタービン発電設備 管の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-10-1-2-4-2	緊急時対策所ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-10-2-13-2	取水ピット水位計の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-10-3-2	補機駆動用燃料設備 管の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-11-2-12	耐火隔壁の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-11-2-15	第1号機排気筒の耐震性についての計算書	ver. 7.1
VI-2-別添 1-4	ガスボンベ設備の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-別添 1-5	選択弁の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-別添 1-7	消火配管の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書	ver. 5mp1
VI-2-別添 3-4	可搬型重大事故等対処設備のうちボンベ設備の耐震計算書	ver. 5mp1
VI-3-3-4-1-2-1-4-2	管の応力計算書（制御棒駆動水圧系）	ver. 5mp1
VI-3-別添 3-2-11-1	取水ピット水位計の強度計算書	ver. 5mp1

2. 解析コードの概要

2.1 NX NASTRAN ver. 5mp1

項目 \ コード名	NX NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法による固有値解析及び静的解析
開発機関	Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.
開発時期	1971年 (The MacNeal-Schwendler Corporation) 2005年 (Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.)
使用したバージョン	ver. 5mp1
コードの概要	<p>NX NASTRAN (以下「本解析コード」という。)は、航空機の機体強度解析を目的としてThe MacNeal-Schwendler Corporationにより開発され、Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.に引き継がれた有限要素法による構造解析用の汎用プログラムであり、MSC NASTRANと同じ機能を持つ。</p> <p>適用モデル (主にははり要素, シェル要素, ソリッド要素) に対して, 静的解析 (線形, 非線形), 動的解析 (過渡応答解析, 周波数応答解析), 固有値解析, 伝熱解析 (温度分布解析), 熱応力解析, 線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建築, 土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
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の内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 材料力学及び構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について, 3次元有限要素法 (はり要素及びシェル要素) による固有値解析, 地震応答解析及び応力解析を行い, 解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 東京理科大学川井教授の行った二層ラーメン構造の実験及び解析結果並びに別プログラム SOLVER による解析結果と本解析コードによる解析結果とが同等であることを確認している。 固有値解析で作成した二層ラーメン構造の解析モデルを使用して自重及び水平 1G を考慮した静的解析を行い, 計算された部材応力と支点反力について別プログラム SOLVER による解析結果と本解析コードによる解析結果とが同等であることを確認している。 本解析コードの運用環境について, 開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、自動車、航空宇宙、防衛、工業製品、学術研究等の様々な分野において使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する3次元有限要素法（はり要素及びシェル要素）による固有値解析、地震応答解析及び応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性を確認している。 ・東京理科大学川井教授の行った二層ラーメン構造の実験値と本解析コードによる解析結果とが同等であることを確認している（固有値解析）。 ・本工事計画で行う3次元有限要素法（はり要素及びシェル要素）による固有値解析及び応力解析の用途、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。
--	---

2.2 NX NASTRAN ver. 7.1

<p>項目</p>	<p>コード名 NX NASTRAN</p>
<p>使用目的</p>	<p>3次元有限要素法（線形はり要素及び線形シェル要素）による静的解析</p>
<p>開発機関</p>	<p>Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.</p>
<p>開発時期</p>	<p>1971年（The MacNeal-Schwendler Corporation） 2005年（Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.）</p>
<p>使用したバージョン</p>	<p>ver. 7.1</p>
<p>コードの概要</p>	<p>NX NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は、航空機の機体強度解析を目的としてThe MacNeal-Schwendler Corporationにより開発され、Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.に引き継がれた有限要素法による構造解析用の汎用プログラムであり、MSC NASTRANと同じ機能を持つ。</p> <p>適用モデル（主にははり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、線形はり要素及び線形シェル要素を用いた応力解析の結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、自動車、航空宇宙、防衛、工業製品、学術研究等の様々な分野において使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する3次元有限要素法（線形はり要素及び線形シェル要素）による固有値解析、地震応答解析及び応力解析に本解析コードが適用できることを

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性を確認している。 ・本工事計画で行う3次元有限要素法（線形はり要素及び線形シェル要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析の用途，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。 ・本工事計画において使用するバージョンは，既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。
--	---

VI-5-26 計算機プログラム（解析コード）の概要
・SAP-V

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	4

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）SAP-Vについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-1-12-1	配管及び支持構造物の耐震計算について	ADAMS-V
VI-2-4-3-1-3	管の耐震性についての計算書（燃料プール冷却浄化系）	ADAMS-V
VI-2-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書（燃料プール代替注水系）	ADAMS-V
VI-2-4-3-3-1	管の耐震性についての計算書（燃料プールスプレイ系）	ADAMS-V
VI-2-5-2-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉再循環系）	ADAMS-V
VI-2-5-3-1-2	管の耐震性についての計算書（主蒸気系）	ADAMS-V
VI-2-5-3-2-1	管の耐震性についての計算書（復水給水系）	ADAMS-V
VI-2-5-4-1-4	管の耐震性についての計算書（残留熱除去系）	ADAMS-V
VI-2-5-4-2-1	管の耐震性についての計算書（耐圧強化ベント系）	ADAMS-V
VI-2-5-5-1-3	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ系）	ADAMS-V
VI-2-5-5-2-3	管の耐震性についての計算書（低圧炉心スプレイ系）	ADAMS-V
VI-2-5-5-3-2	管の耐震性についての計算書（高圧代替注水系）	ADAMS-V
VI-2-5-5-4-2	管の耐震性についての計算書（低圧代替注水系）	ADAMS-V
VI-2-5-5-5-1	管の耐震性についての計算書（代替水源移送系）	ADAMS-V
VI-2-5-6-1-3	管の耐震性についての計算書（原子炉隔離時冷却系）	ADAMS-V
VI-2-5-6-2-3	管の耐震性についての計算書（補給水系）	ADAMS-V
VI-2-5-7-1-6	管の耐震性についての計算書（原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系）	ADAMS-V
VI-2-5-7-2-5	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系）	ADAMS-V
VI-2-5-7-3-1	管の耐震性についての計算書（原子炉補機代替冷却水系）	ADAMS-V
VI-2-5-8-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉冷却材浄化系）	ADAMS-V
VI-2-6-4-1-3	管の耐震性についての計算書（ほう酸水注入系）	ADAMS-V
VI-2-6-6-1-1	管の耐震性についての計算書（高圧窒素ガス供給系）	ADAMS-V
VI-2-6-6-2-1	管の耐震性についての計算書（代替高圧窒素ガス供給系）	ADAMS-V
VI-2-7-3-1-1	管の耐震性についての計算書（放射性ドレン移送系）	ADAMS-V
VI-2-9-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器下部注水系）	ADAMS-V
VI-2-9-4-3-3-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器代替スプレイ冷却系）	ADAMS-V

使用添付書類		バージョン
VI-2-9-4-3-4-2	管の耐震性についての計算書（代替循環冷却系）	ADAMS-V
VI-2-9-4-4-1-2	管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）	ADAMS-V
VI-2-9-4-4-2-1	管の耐震性についての計算書（可燃性ガス濃度制御系）	ADAMS-V
VI-2-9-4-4-4-1	管の耐震性についての計算書（可搬型窒素ガス供給系）	ADAMS-V
VI-2-9-4-5-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器調気系）	ADAMS-V
VI-2-9-4-6-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉格納容器フィルタベント系）	ADAMS-V
VI-2-10-1-2-3-5	ガスタービン発電設備 管の耐震性についての計算書	ADAMS-V
VI-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書	ADAMS-V

2. 解析コードの概要

項目	コード名 SAP-V
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析
開発機関	株式会社 IHI
開発時期	1993 年
使用したバージョン	ADAMS-V
コードの概要	SAP-V（以下「本解析コード」という。）は，米国カリフォルニア大学が開発した SAP-IVをベースに南カリフォルニア大学が一部機能を追加し開発された SAP-Vに対して，株式会社 IHI が一部機能追加・拡張したバージョンである。任意の3次元形状に対して，有限要素法により静的解析を行い，反力，モーメント，応力等の算出が可能である。
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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 汎用構造解析プログラムである「NX NASTRAN」を用いた計算結果及び理論式に基づく計算結果と，検証モデルの計算結果を比較し，検証モデルの結果が一致することを確認している。 本解析コードの適用環境について，開発機関から提示された要件を満足し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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> 本解析コードは，原子力分野の鋼構造設計において多くの実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 本解析コードのマニュアルにより，本工事計画で使用する3次元有限要素法（はり要素）による静的解析に，本解析コードが適用できることを確認している。 本工事計画で使用する要素及び解析方法は，既工事計画において使用された実績がある。

VI-5-27 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ SOLVER

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）SOLVERについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-8-3	溢水評価条件の設定	Rev 02.05
VI-2-1-12-1	配管及び支持構造物の耐震計算について	Rev 02.05
VI-2-5-7-1-6	管の耐震性についての計算書（原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系）	Rev 02.05
VI-2-5-7-2-5	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ補機冷却水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系）	Rev 02.05
VI-2-6-3-2-1	水圧制御ユニットの耐震性についての計算書	Rev 02.05
VI-2-6-3-2-2	管の耐震性についての計算書（制御棒駆動水圧系）	Rev 02.05
VI-2-6-6-1-1	管の耐震性についての計算書（高圧窒素ガス供給系）	Rev 02.05
VI-2-6-6-2-1	管の耐震性についての計算書（代替高圧窒素ガス供給系）	Rev 02.05
VI-2-8-3-2-2	管の耐震性についての計算書（緊急時対策所換気空調系）	Rev 02.05
VI-2-8-3-4-1	管の耐震性についての計算書（緊急時対策所加圧空気供給系）	Rev 02.05
VI-2-10-1-2-1-6	非常用ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	Rev 02.05
VI-2-10-1-2-2-6	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	Rev 02.05
VI-2-10-1-2-3-5	ガスタービン発電設備 管の耐震性についての計算書	Rev 02.05
VI-2-10-1-2-4-2	緊急時対策所ディーゼル発電設備 管の耐震性についての計算書	Rev 02.05
VI-2-10-3-2	補機駆動用燃料設備 管の耐震性についての計算書	Rev 02.05
VI-2-別添 1-7	消火配管の耐震性についての計算書	Rev 02.05
VI-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書	Rev 02.05
VI-3-3-4-1-2-1-4-2	管の応力計算書（制御棒駆動水圧系）	Rev 02.05
VI-3-3-4-3-1-2-2	管の応力計算書（高圧窒素ガス供給系）	Rev 02.05
VI-3-3-4-3-2-1-2	管の応力計算書（代替高圧窒素ガス供給系）	Rev 02.05
VI-3-3-5-1-2-1-2	管の応力計算書（緊急時対策所換気空調系）	Rev 02.05
VI-3-3-5-1-4-2-2	管の応力計算書（緊急時対策所加圧空気供給系）	Rev 02.05

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SOLVER
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析
開発機関	株式会社東芝
開発時期	1988年
使用したバージョン	Rev 02.05
コードの概要	<p>SOLVER（以下「本解析コード」という。）は，構造物の静的及び動的解析のメインプログラムであるSAPを基に作られている。SAPは，米カリフォルニア大学にて開発された計算機プログラムである。</p> <p>任意の3次元形状に対し，有限要素法により静的解析，動的解析を行い，反力・モーメント・応力，固有振動数・刺激係数等の算出が可能である。</p> <p>本解析コードは，原子力分野の配管設計において，多くの実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の多い配管解析プログラムの一つである解析コード“ADL Pipe Static-Thermal-Dynamic Pipe Stress Analysis”(Arthur D.Little.Inc., Cambridge, Massachusetts, January 1971)による解析結果を比較し，結果が合致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは，他プラントの既工事計画において使用実績があることを確認している。 ・本工事計画で行うはりモデルの固有値解析，地震応答解析及び応力解析の使用目的に照らして，用途及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲であることを確認している。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本工事計画で使用する3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。

VI-5-28 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ ADMITHF

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）ADMITHFについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 2. 1, Ver. 1. 3. 1
VI-2-2-2	原子炉建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 2. 1, Ver. 1. 3. 1
VI-2-2-3	制御建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 3. 1
VI-2-2-4	制御建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 3. 1
VI-2-2-21	緊急用電気品建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 3. 1
VI-2-2-23	緊急時対策建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 3. 1
VI-2-2-29	第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 3. 1
VI-2-2-30	第3号機海水熱交換器建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 3. 1
VI-2-11-2-3	タービン建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 3. 1
VI-2-11-2-5	第1号機制御建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 3. 1

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	ADMITHF
使用目的	質点系地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばね算定
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1982 年
使用したバージョン	Ver. 1. 2. 1, Ver. 1. 3. 1
コードの概要	ADMITHF（以下「本解析コード」という。）は、振動アドミッタンス理論により、矩形基礎の水平動、鉛直動及び回転動に対する地盤の複素ばね剛性を半無限地盤に対する点加振解から、振動数領域で計算する計算機プログラムであり、地震応答解析モデル及び応力解析モデルにおける基礎底面地盤ばねの算定に用いている。
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の内容は、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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で多数の工事計画に使用されており、十分な使用実績があるため信頼性がある。 ・本解析コードによる解析結果と日本建築学会「入門・建物と地盤との動的相互作用」の中で公開されているダイナミカル・グラウンド・コンプライアンス (DGC) 解と比較し、その妥当性を確認している。 ・本工事計画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。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1. 3. 1 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1. 2. 1 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。

VI-5-29 計算機プログラム（解析コード）の概要

・ mflow

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）mflowについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver. 1.0
VI-2-2-2	原子炉建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1.0
VI-2-2-29	第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書	Ver. 1.0
VI-2-2-30	第3号機海水熱交換器建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1.0
VI-2-11-2-3	タービン建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	mflow
使用目的	1次元地盤モデルによる地震動の算定
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>mflow (以下「本解析コード」という。) は、1次元地盤の非線形地震応答解析用として開発された解析コードである。</p> <p>地盤の非線形モデルとして、双曲線モデル (履歴則は Masing 則) や R0 モデルの他に、石原・吉田モデルをサポートしており、時刻歴解析を必要とする高層評定や免震評定、風力発電施設の許認可業務における地盤の非線形地震応答解析に使用実績がある。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる解析結果と日本建築学会の文献*を比較し、両者がおおむね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て使用し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の高層評定や免震評定、風力発電施設に使用されており、十分な使用実績があるため信頼性がある。 ・同じ非線形モデルに基づいた解析結果と本解析コードの解析結果のベンチマークを行った結果、おおむね一致していることを確認している。 ・本工事計画で行う地盤の応答解析の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。

注記*：日本建築学会 建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計，69頁，2006

VI-5-30 計算機プログラム（解析コード）の概要
・NUPP4

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）NUPP4について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 4. 6, Ver. 1. 4. 7, Ver. 1. 4. 9, Ver. 1. 4. 10
VI-2-2-2	原子炉建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 4. 11
VI-2-2-3	制御建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 4. 12
VI-2-2-4	制御建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 4. 12
VI-2-2-21	緊急用電気品建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 4. 11, Ver. 1. 4. 12, Ver. 1. 4. 13
VI-2-2-23	緊急時対策建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 4. 13
VI-2-2-29	第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 4. 11
VI-2-2-30	第3号機海水熱交換器建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 4. 12
VI-2-9-3-1-別紙1	原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)のうち大物搬入口の耐震性についての計算書	Ver. 1. 4. 13
VI-2-11-2-3	タービン建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 4. 7, Ver. 1. 4. 10, Ver. 1. 4. 13
VI-2-11-2-4	補助ボイラー建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 4. 7, Ver. 1. 4. 10, Ver. 1. 4. 13
VI-2-11-2-5	第1号機制御建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 4. 7, Ver. 1. 4. 10, Ver. 1. 4. 13

2. 解析コードの概要

項目	コード名
項目	NUPP4
使用目的	固有値解析, スペクトルモーダル解析, 地震応答解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1967年
使用したバージョン	Ver. 1. 4. 6, Ver. 1. 4. 7, Ver. 1. 4. 9, Ver. 1. 4. 10, Ver. 1. 4. 11, Ver. 1. 4. 12, Ver. 1. 4. 13
コードの概要	<p>NUPP4 (以下「本解析コード」という。) 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質点系モデルによる解析計算機コードである。</p> <p>静荷重 (節点荷重), 固有値解析, スペクトルモーダル解析及び動荷重 (節点加振力, 地震入力) を扱うことができる。</p> <p>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ほか, 線形解析を周波数領域で行うことが可能である。</p>
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の内容は, 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の内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの旧バージョンである NUPP 及び NUPP II (以下「旧バージョン」という。) は, 日本国内の原子力施設における建築物の地震応答解析において数多くの工事計画に使用されており, 十分な使用実績がある。本解析コードは使用計算機 (OS) の変更に伴うカスタマイズを施したものであり解析に係る部分は旧バージョンから変更していないため, 旧バージョン同様, 信頼性があると判断できる。 ・固有値解析, 弾性地震応答解析については, 一般産業界において多数の解析で使用実績のある DYNA2E*¹ を用いて, 同一諸元による解析を行い, 本解析コードによる解析結果とおおむね一致することを確認している。 ・弾塑性地震応答解析については, 既工事計画において確認している

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>(財) 原子力発電技術機構の報告書*2による解析結果とおおむね一致することを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画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。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1. 4. 10 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1. 4. 6, Ver. 1. 4. 7, Ver. 1. 4. 9, Ver. 1. 4. 11, Ver. 1. 4. 12, Ver. 1. 4. 13 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。
--	---

注記*1 : DYNA2E 販売元 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社

注記*2 : 質点系モデル解析コード SANLUM の保守に関する報告書 平成 10 年 3 月 (財) 原子力発電技術機構 原子力安全解析所

VI-5-31 計算機プログラム（解析コード）の概要
・SHAKE

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	4
2.1 SHAKE 導入時 Ver.	4
2.2 SHAKE Ver. 1.6.....	5
2.3 SHAKE Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.8, Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.11, Ver. 1.6.13.....	6
3. SHAKE Ver. 1.6 の解析手法について	7
3.1 一般事項.....	7
3.2 解析コードの特徴.....	7
3.3 解析理論.....	8
3.4 解析フローチャート.....	11
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	12

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）SHAKEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.9
VI-2-2-2	原子炉建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1.6.11
VI-2-2-5	復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 1.6
VI-2-2-13	軽油タンク室の地震応答計算書	Ver. 1.6
VI-2-2-15	軽油タンク室 (H) の地震応答計算書	Ver. 1.6
VI-2-2-19	軽油タンク連絡ダクトの地震応答計算書	Ver. 1.6
VI-2-2-21	緊急用電気品建屋の地震応答計算書	Ver. 1.6.11
VI-2-2-23	緊急時対策建屋の地震応答計算書	Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.11
VI-2-2-25	排気筒基礎の地震応答計算書	Ver. 1.6
VI-2-2-27	排気筒連絡ダクトの地震応答計算書	Ver. 1.6
VI-2-2-29	第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書	Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.8, Ver. 1.6.9
VI-2-2-30	第3号機海水熱交換器建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1.6.11
VI-2-10-2-2-1	防潮堤(鋼管式鉛直壁)の耐震性についての計算書	Ver. 1.6
VI-2-10-2-2-2	防潮堤(盛土堤防)の耐震性についての計算書	Ver. 1.6
VI-2-11-2-3	タービン建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.13
VI-2-11-2-15	第1号機排気筒の耐震性についての計算書	導入時 Ver.
VI-2-11-2-17	第1号機取水路の耐震性についての計算書	Ver. 1.6
VI-2-11-2-19	北側排水路の耐震性についての計算書	Ver. 1.6
VI-2-11-2-20	アクセスルート(防潮堤(盛土堤防))の耐震性についての計算書	Ver. 1.6
VI-2-13-1	地下水位低下設備ドレーンの耐震性についての計算書	Ver. 1.6
VI-2-13-2	地下水位低下設備接続柵の耐震性についての計算書	Ver. 1.6
VI-2-13-3	地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書	Ver. 1.6
VI-2-13-4	地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書	Ver. 1.6
VI-2-別添3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動	Ver. 1.6

使用添付書類		バージョン
VI-3-別添 3-2-1-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度計算書	Ver. 1.6
VI-3-別添 3-2-1-2	防潮堤（盛土堤防）の強度計算書	Ver. 1.6

2. 解析コードの概要

2.1 SHAKE 導入時 Ver.

項目 \ コード名	SHAKE
使用目的	1次元地震応答解析による入力地震動の策定
開発機関	東電設計株式会社
開発時期	1988年
使用したバージョン	導入時 Ver.
コードの概要	<p>SHAKE (以下「本解析コード」という。)は、米国カリフォルニア大学から発表された SHAKE を基本に開発されたもので、1次元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数や時刻歴波形を算出するプログラムである。</p> <p>地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮することができ、また、鉛直動はS波速度V_sをP波速度V_pとして定義することで、各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達関数、応答波形等を求めることが可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードを用いて評価した弾性地盤の増幅特性が理論解と一致していることを確認している。 ・汎用コードである「Super FLUSH/2D for Windows Ver. 5.3.0 (発売元 株式会社構造計画研究所・株式会社地震工学研究所)」と本解析コードによる解析解を比較した結果、双方の解がおおむね一致していることを確認している。 ・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使用していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の内容のとおり、地盤の応答解析について検証していることから、解析の目的に照らして本工事計画の解析に適用することは妥当である。 ・東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所第7号機においてコントロール建屋の底面地盤ばねの算定において使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。

2.2 SHAKE Ver. 1.6

項目	コード名 SHAKE
使用目的	1次元地震応答解析による入力地震動の策定
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1971年
使用したバージョン	Ver. 1.6
コードの概要	<p>SHAKE（以下「本解析コード」という。）は、米国カリフォルニア大学から発表されたSHAKEを基本に開発されたもので、1次元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数や時刻歴波形を算出するプログラムである。</p> <p>地盤の非線形性は、ひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮することができ、また、鉛直動はS波速度V_sをP波速度V_pとして定義することで、各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達関数、応答波形等を求めることが可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コード(Ver. 1.6)について、二層のモデル地盤において地震応答解析を行った解析解と、1次元重複反射理論に基づく理論解がおおむね一致していることを確認している。 ・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使用していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・入力地震動算定に対して、原子力産業界において1次元重複反射理論に基づく地震応答解析は既工事計画において実績があり、同じ理論に基づく解析コードであるshake-91を用いた1次元地震応答解析を行った解析解と、本解析コードによる解析解を比較したコードベンチマーキングを行った結果、双方の解がおおむね一致していることを確認している。 ・本工事計画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。

2.3 SHAKE Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.8, Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.11, Ver. 1.6.13

項目	コード名 SHAKE
使用目的	入力地震動の策定
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1971年
使用したバージョン	Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.8, Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.11, Ver. 1.6.13
コードの概要	<p>SHAKE（以下「本解析コード」という。）は、米国カリフォルニア大学から発表された SHAKE を基本に開発されたもので、1次元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数や時刻歴波形を算出するプログラムである。</p> <p>地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮することができ、また、鉛直動はS波速度V_sをP波速度V_pとして定義することで、各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達関数、応答波形等を求めることが可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コード Ver. 1.6 による弾性地盤の増幅特性の解析結果と公開文献*の理論解を比較し、両者が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て使用していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、本解析コードの解析結果と公開文献*の理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認している。 ・本工事計画における弾性地盤の応答評価の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。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1.6.9 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.8, Ver. 1.6.11, Ver. 1.6.13 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。

注記*：最新耐震構造解析 柴田明徳著 231, 232 頁 森北出版株式会社 第3版

3. SHAKE Ver. 1.6 の解析手法について

3.1 一般事項

本資料は、解析コード SHAKE Ver. 1.6 (以下「本解析コード」という。) の概要である。

SHAKE Ver. 1.6 (1次元波動伝播解析コード) は、重複反射理論に基づく地震応答解析を行うことが可能であり、1次元地震応答解析 (入力地震動算定) に使用している。

3.2 解析コードの特徴

SHAKE Ver. 1.6 における地盤の非線形性は、ひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮することができる。

SHAKE Ver. 1.6 の主な特徴として、①～③を挙げることができる。

- ① 1次元重複反射理論に基づくプログラムである。
- ② 地盤の非線形性は、ひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮できる。
- ③ 鉛直動は、S波速度 V_s をP波速度 V_p として定義することで対応が可能。

3.3 解析理論

図 3-1 に示す線形粘弾性系を通過するせん断波による応答を考える。線形粘弾性系は、均質、等方性であり、厚さが h 、密度が ρ 、せん断弾性係数が G 、臨界減衰比が β で定義されているとする。せん断波の伝播は水平変位 $u=u(x, t)$ のみによる。これは、次の波動方程式を満足しなければならない。

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} \quad (3.1)$$

波動方程式 (3.1) の解は、振動数 ω に対し、次式で与えられる。

$$u(x, t) = E e^{i(kx + \omega t)} + F e^{-i(kx - \omega t)} \quad (3.2)$$

ここに、

$$k^2 = \frac{\rho \cdot \omega^2}{G + i\omega \cdot \eta} = \frac{\rho \cdot \omega^2}{G^*} \quad (3.3)$$

である。式 (3.2) の第 1 項は、 X のマイナス方向（上向き）に伝わる入射波を示し、第 2 項は X のプラス方向（下向き）に伝わる反射波を示している。また、水平方向におけるせん断応力度の定義は次式で与えられる。

$$\tau(x, t) = G \frac{\partial u}{\partial x} + \eta \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} = G^* \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3.4)$$

式 (3.4) に式 (3.2) を代入すると、

$$\tau(x, t) = ikG^* (E \cdot e^{ikx} - F \cdot e^{-ikx}) \cdot e^{i\omega t} \quad (3.5)$$

となる。

式 (3.1) は第 1 図の各層にて成り立つ。各層の局所座標系 X で表される m 層の最上部 $X=0$ 及び最下部 $X=h_m$ における変位は、第 m 層における厚さを h_m 、密度を ρ_m 、せん断弾性係数を G_m 、臨界減衰比を β_m で定義すると、それぞれ次のように表せる。

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (3.6)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m \cdot e^{ik_m h_m} + F_m \cdot e^{-ik_m h_m}) e^{i\omega t} \quad (3.7)$$

ここで、任意の m 層と $m+1$ 層の変位及びせん断応力との連続性を考慮すると次の循環公式が求まる。

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m) \cdot e^{ik_m h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m) \cdot e^{-ik_m h_m} \quad (3.8)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m) \cdot e^{ik_m h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m) \cdot e^{-ik_m h_m} \quad (3.9)$$

ここに、 α_m は複素インピーダンス比と呼ばれる定数で、次式で定義されている。

$$\alpha_m = \frac{k_m G_m^*}{k_{m+1} G_{m+1}^*} = \left(\frac{\rho_m G_m^*}{\rho_{m+1} G_{m+1}^*} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.10)$$

この複素インピーダンス比 α_m は、周期に対して独立である。自由面におけるせん断応力度 $\tau=0$ と式 (3.7) より $E_1=F_1$ が得られる。循環公式 (3.8), (3.9) を繰り返し用いて、次のような層と表層の振幅の関係を導き出すことができる。

$$E_m = e_m(\omega) E_1 \quad (3.11)$$

$$F_m = f_m(\omega) F_1 \quad (3.12)$$

伝達関数 e_m 及び f_m は、単なる $E_1=F_1=1$ に対する倍率であり、 $E_1=F_1=1$ を上式に代入して解けば求まる。

他の伝達関数は e_m, f_m から簡単に得られる。n 層及び m 層表面での変位を関係づける伝達関数 $A_{n,m}$ を次のように定義する。

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} \quad (3.13)$$

式 (3.13) に式 (3.4), (3.11) 及び (3.12) を代入して整理すると次式を得る。

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{e_m(\omega)+f_m(\omega)}{e_n(\omega)+f_n(\omega)} \quad (3.14)$$

これらの式より、伝達関数 $A(\omega)$ は、系のいかなる 2 つの層の間においても定められる。

故に、任意の層の動的変位が判れば、他の層の動的変位も計算できる。式 (3.2) より、加速度 $\ddot{u}(x, t)$ 、ひずみ $\gamma(x, t)$ は次のように得られる。

$$\ddot{u}(x, t) = \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} = -\omega^2 (Ee^{i(kx+\omega t)} + Fe^{-i(kx-\omega t)}) \quad (3.15)$$

$$\gamma(x, t) = \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} = ik(Ee^{i(kx+\omega t)} - Fe^{-i(kx-\omega t)}) \quad (3.10)$$

振幅 E 及び F は、系全体の層において求めることができるので、加速度及びひずみも求めることができる。

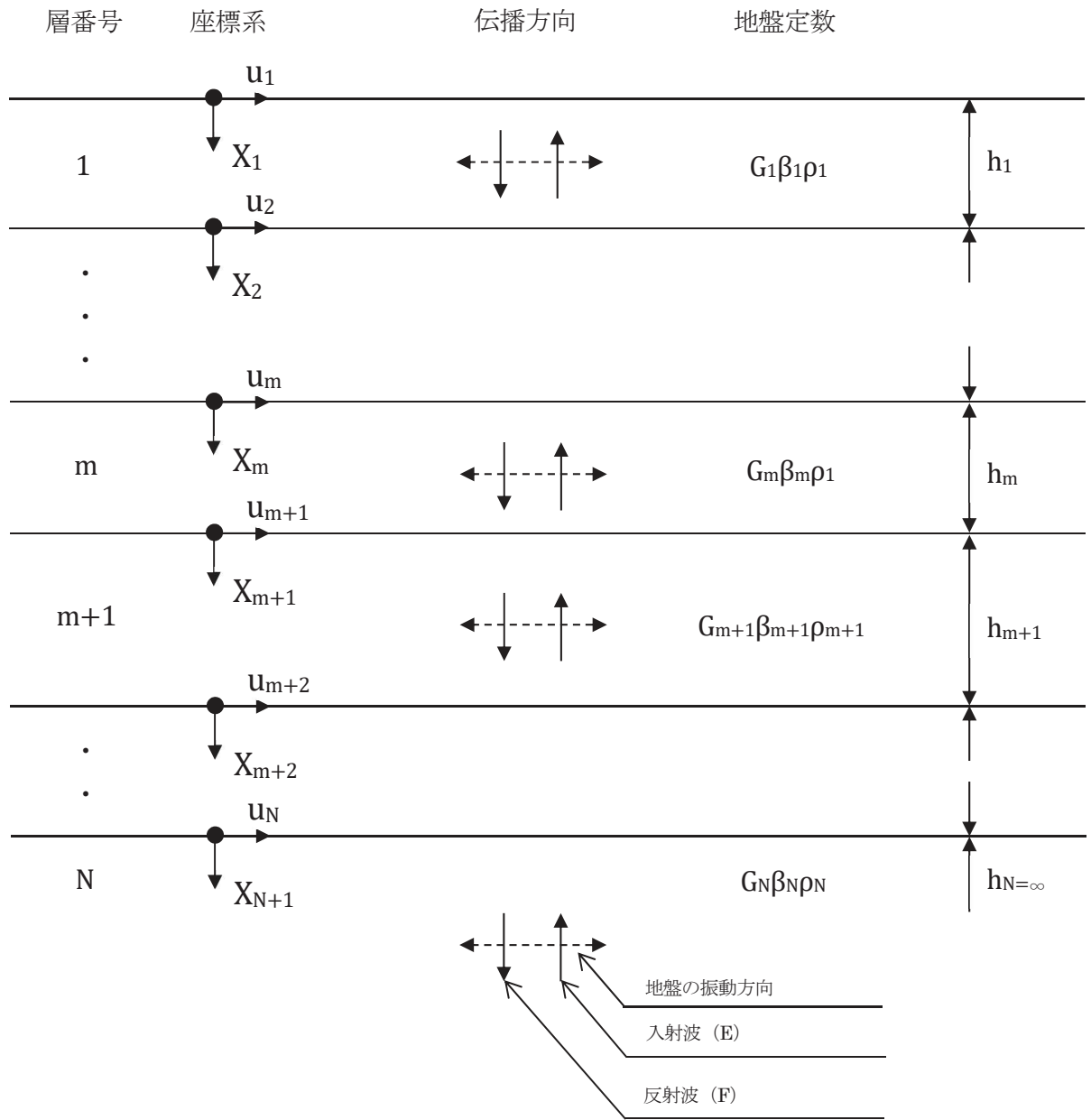


図 3-1 1次元地盤モデル

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-2 に示す。

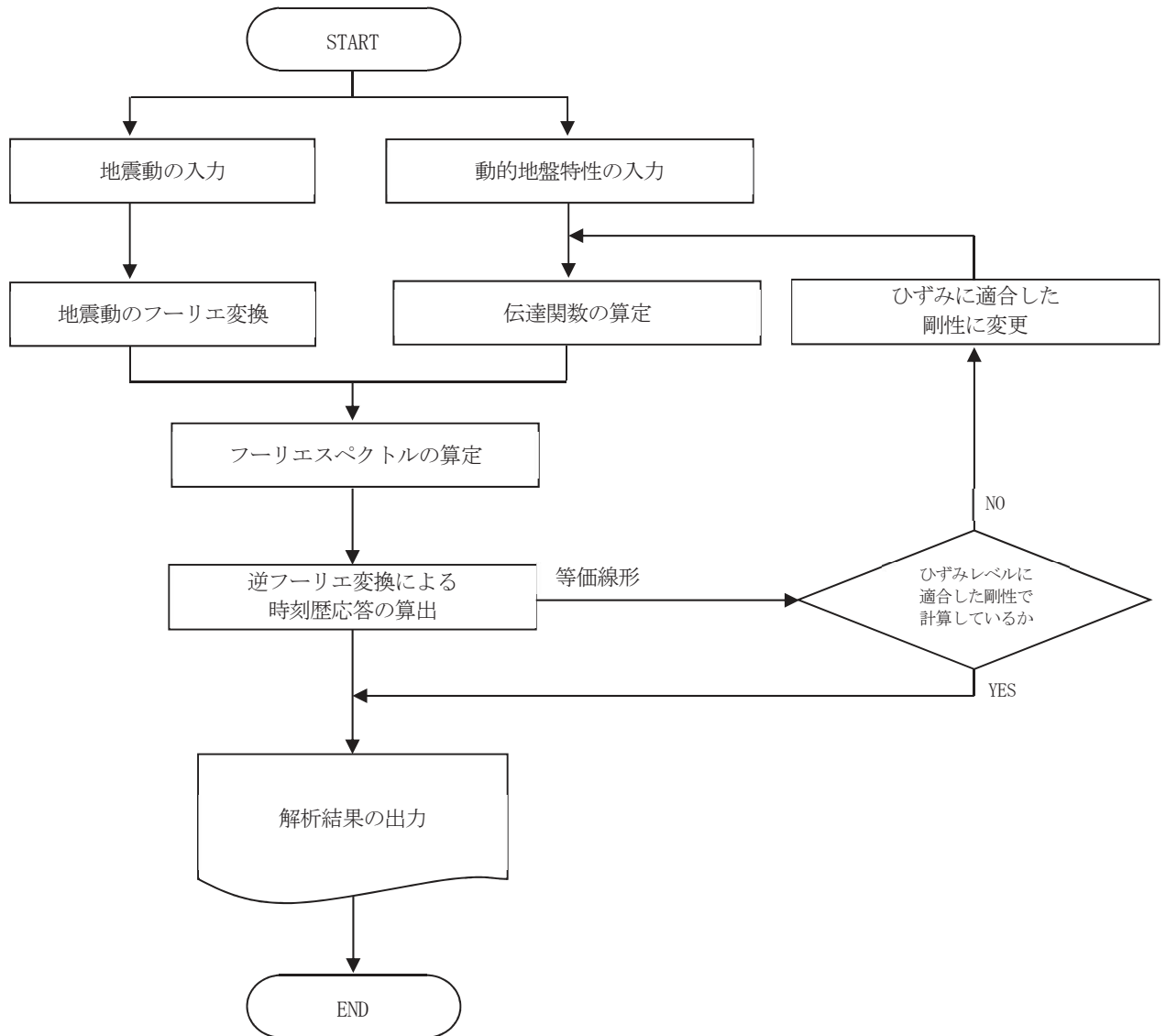


図3-2 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

本解析コードを本解析に用いるにあたり、検証として理論解との比較を実施した。妥当性確認として類似プログラムとの比較を実施した。その詳細な内容については下記のとおりとする。

a. 検証 (Verification)

二層のモデル地盤において、1次元重複反射理論に基づく伝達関数の理論解との比較を行った。

(a) 検証モデル及び検討条件

図 3-3 に検討地盤モデルを示す。

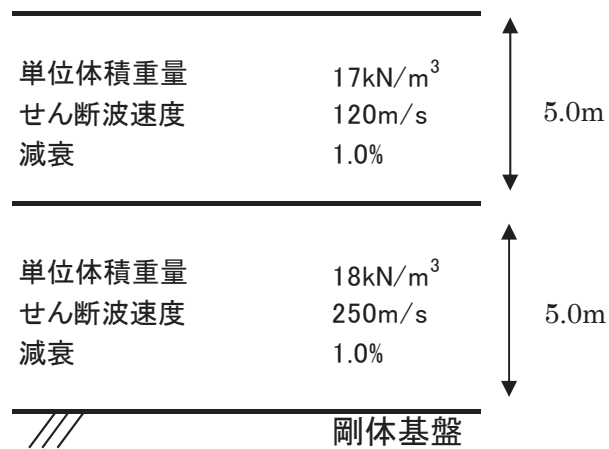


図 3-3 地盤モデル諸元

<検討条件>

- ・重力加速度は 9.80m/s^2 とする。
- ・検討する振動数は $0\sim 20\text{Hz}$ までとする。

(b) 比較結果

伝達関数の比較結果を図3-4に示す。

図より、SHAKE Ver. 1.6 と理論解の結果は一致していることが確認できる。

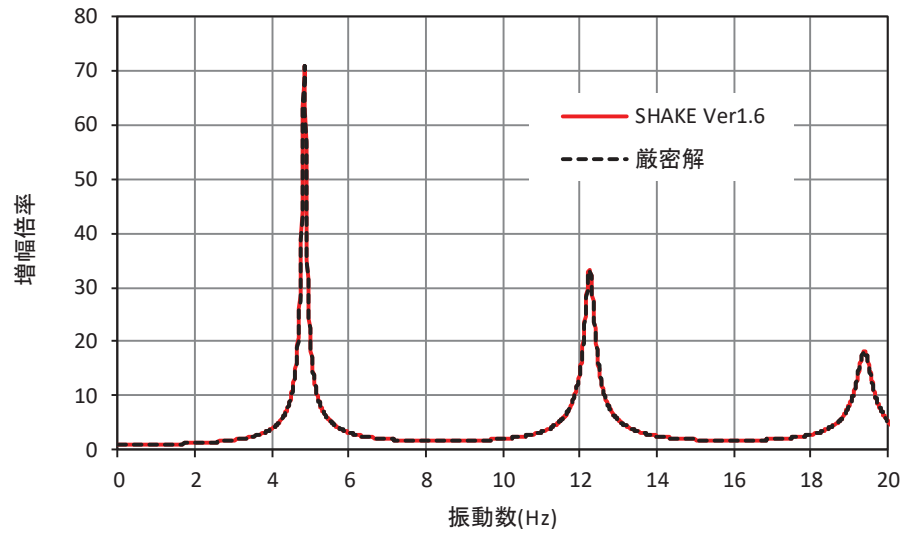


図 3-4 理論解との伝達関数の比較

b. 妥当性確認 (Validation)

カルフォルニア大学バークレー校が有償配布している 1 次元地盤の等価線形解析プログラム shake-91 との比較を実施した。

(a) 検証モデル

表 3-1 に検討地盤モデルを示し、図 3-5、図 3-6 にひずみ依存特性を示す。

表 3-1 地盤モデル諸元

区分	層厚 (m)	分割 (m)	深度 (m)	湿潤単位 体積重量 γ_t (kN/m ³)	動的せん断 弾性係数 Gd (kN/m ²)	せん断波速度 Vs (m/s)	減衰定数 h
第1粘性土層	4.00	1.00	1.00	17	21000	110	0.030
		1.00	2.00	17	21000	110	0.030
		1.00	3.00	17	21000	110	0.030
		1.00	4.00	17	21000	110	0.030
第2粘性土層	10.80	1.20	5.20	16	25000	124	0.020
		1.20	6.40	16	25000	124	0.020
		1.20	7.60	16	25000	124	0.020
		1.20	8.80	16	25000	124	0.020
		1.20	10.00	16	25000	124	0.020
		1.20	11.20	16	25000	124	0.020
		1.20	12.40	16	25000	124	0.020
		1.20	14.80	16	25000	124	0.020
第3粘性土層	9.60	1.60	16.40	16	43000	162	0.020
		1.60	18.00	16	43000	162	0.020
		1.60	19.60	16	43000	162	0.020
		1.60	21.20	16	43000	162	0.020
		1.60	22.80	16	43000	162	0.020
第1砂質土層	1.20	1.20	25.60	19	159000	286	0.020
		2.00	27.60	17	110000	252	0.020
		2.00	29.60	17	110000	252	0.020
		2.00	31.60	17	110000	252	0.020
		2.00	33.60	17	110000	252	0.020
第2砂質土層	2.00	2.00	35.60	19	273000	375	0.010
礫層(基盤)				20	398000	442	0.010

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.985	2.30
0.0005	0.930	2.80
0.001	0.880	3.20
0.002	0.819	3.60
0.005	0.729	4.40
0.01	0.648	5.10
0.02	0.578	5.70
0.05	0.459	7.30
0.1	0.381	9.20
0.2	0.300	11.00
0.5	0.198	14.00
1	0.129	16.10
2	0.078	17.60
5	0.028	19.20
10	0.014	20.00

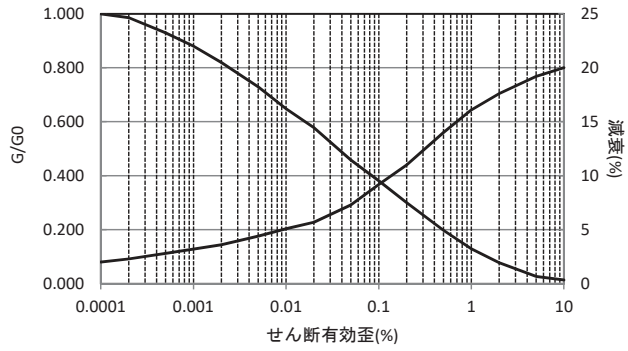


図 3-5 ひずみ依存特性 (第 1 粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.989	2.30
0.0005	0.952	2.80
0.001	0.916	3.20
0.002	0.874	3.60
0.005	0.811	4.40
0.01	0.752	5.10
0.02	0.698	5.70
0.05	0.601	7.30
0.1	0.500	9.20
0.2	0.394	11.00
0.5	0.259	14.00
1	0.170	16.10
2	0.102	17.60
5	0.036	19.20
10	0.018	20.00

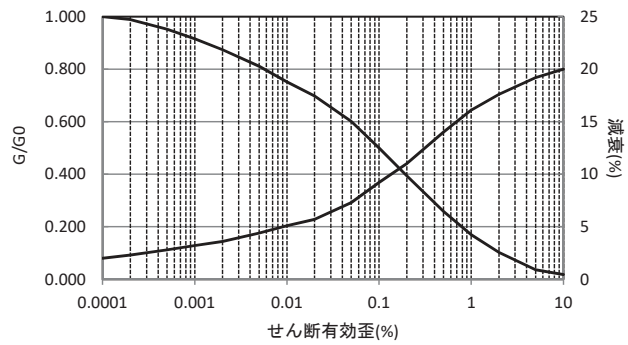


図 3-6 ひずみ依存特性 (第 2 粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.991	2.30
0.0005	0.963	2.80
0.001	0.934	3.20
0.002	0.902	3.60
0.005	0.853	4.40
0.01	0.807	5.10
0.02	0.764	5.70
0.05	0.684	7.30
0.1	0.569	9.20
0.2	0.448	11.00
0.5	0.295	14.00
1	0.193	16.10
2	0.116	17.60
5	0.041	19.20
10	0.021	20.00

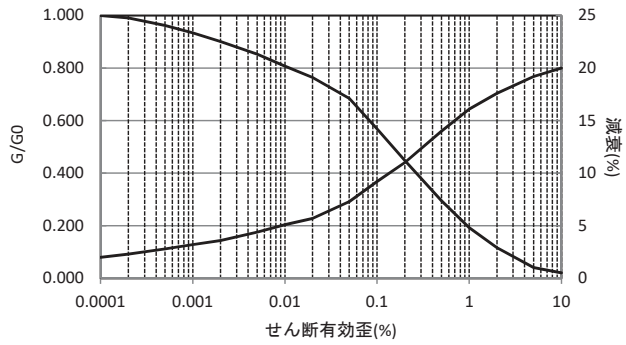


図 3-7 ひずみ依存特性 (第 3 粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.991	2.30
0.0005	0.980	2.80
0.001	0.962	3.20
0.002	0.933	3.60
0.003	0.910	4.40
0.005	0.873	5.10
0.01	0.797	5.70
0.02	0.699	7.30
0.03	0.616	9.20
0.05	0.512	11.00
0.1	0.367	14.00
0.2	0.237	16.10
0.3	0.177	17.60
0.5	0.113	19.20
1	0.061	20.00

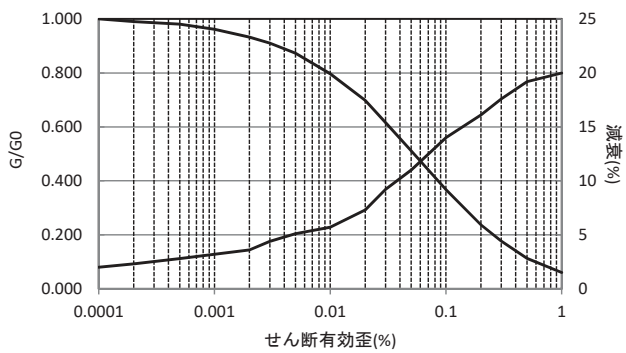


図 3-8 ひずみ依存特性 (第 1 砂質土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	0.700
0.0002	0.990	0.900
0.0005	0.970	1.300
0.001	0.950	1.600
0.002	0.928	1.900
0.003	0.908	2.300
0.005	0.880	2.800
0.01	0.834	3.700
0.02	0.769	5.000
0.03	0.715	6.300
0.05	0.627	8.400
0.07	0.563	9.900
0.1	0.491	11.900
0.15	0.415	14.200
0.2	0.362	15.800
0.3	0.288	18.300
0.5	0.200	21.700
0.7	0.145	23.300
1	0.085	26.400

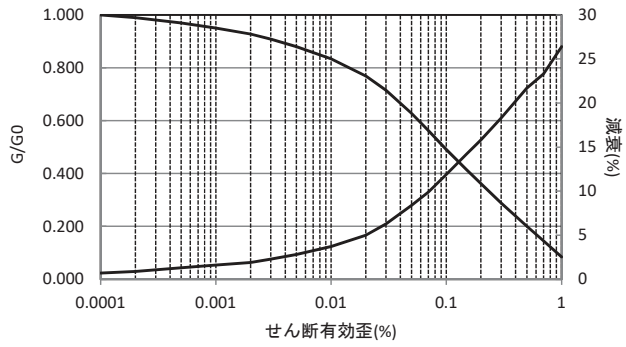


図 3-9 ひずみ依存特性 (第 4 粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	0.00
0.0002	0.997	0.08
0.0005	0.991	0.28
0.001	0.977	0.70
0.002	0.953	1.41
0.003	0.932	2.04
0.005	0.899	3.02
0.01	0.832	5.03
0.02	0.740	7.79
0.03	0.661	10.16
0.05	0.563	13.10
0.1	0.418	17.46
0.2	0.277	21.70
0.3	0.209	23.73
0.5	0.134	25.97
1	0.072	27.83

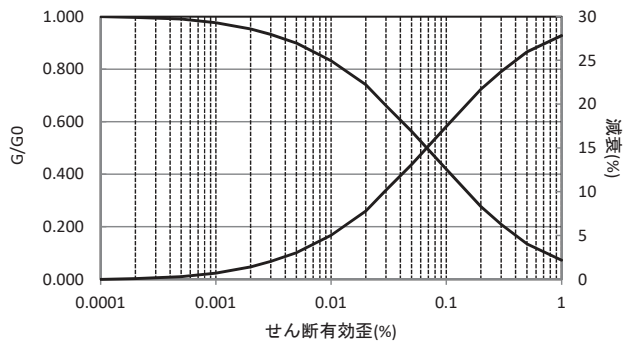


図 3-10 ひずみ依存特性 (第 2 砂質土層)

(b) 検討条件

以下に、検討条件を示す。

- ・重力加速度は 9.80m/s^2 。
- ・等価線形解析とする。
- ・検討する振動数は $0\sim 20\text{Hz}$ までとする。

(c) 入力地震動

入力波は水平一方向に入力する。図 3-11 に入力地震動（2E 波）の加速度時刻歴を示す。

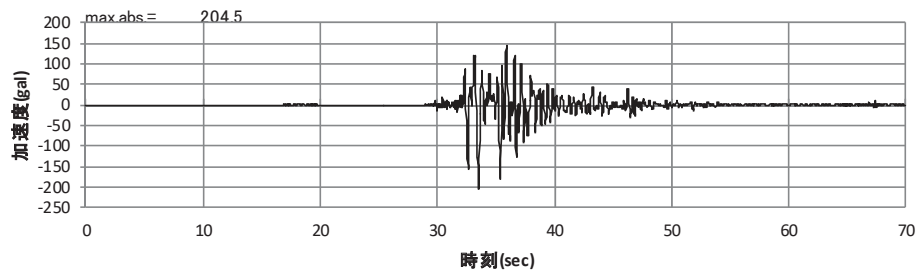


図 3-11 入力地震動加速度時刻歴

(d) 検討結果比較

伝達関数及び加速度の解析解の比較を図 3-12～図 3-15 に示す。各図より、伝達関数及び加速度の解析解は、一致していることが確認できる。

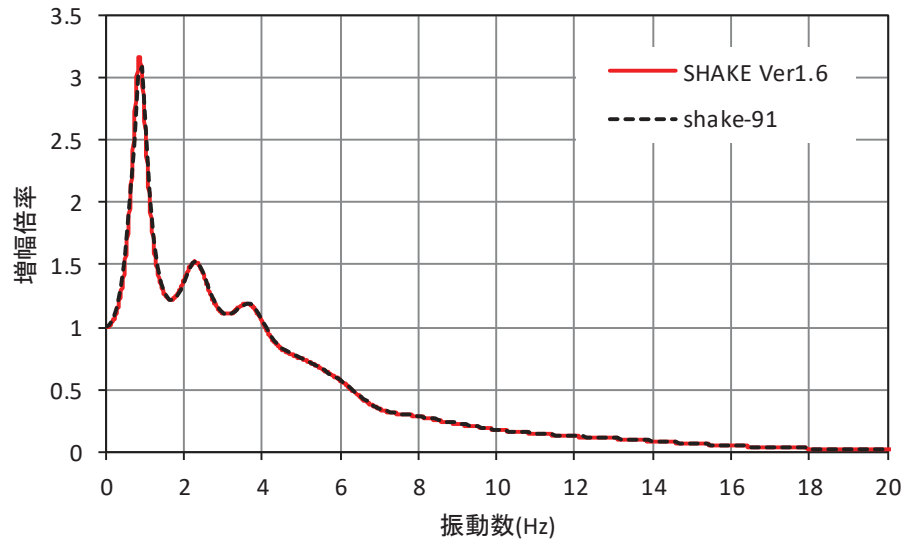


図 3-12 地表面伝達関数比較

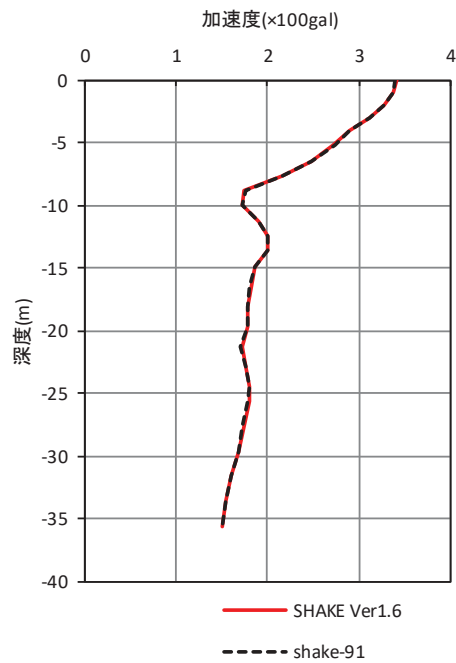


図 3-13 加速度最大分布比較

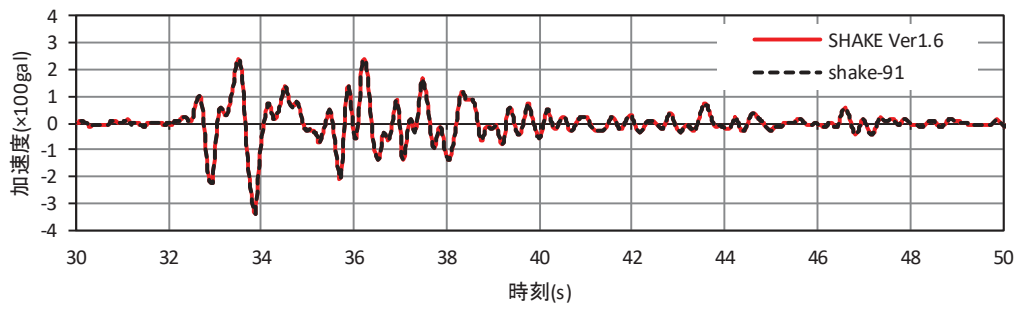


図 3-14 地表面加速度時刻歴比較

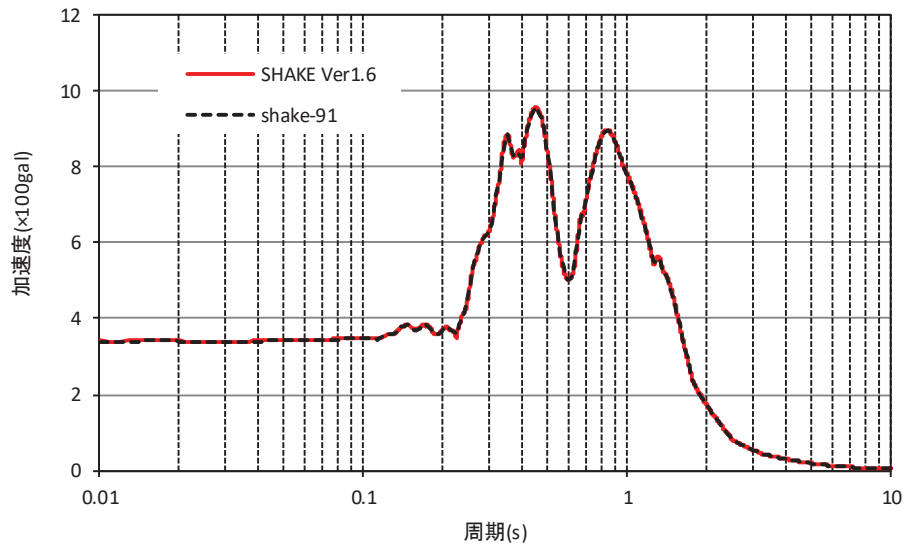


図 3-15 地表面加速度応答スペクトル比較

c. 評価結果

本解析コードの解析結果と理論解を比較し、理論解と解析解が一致していることを確認した。また、類似解析コードである shake-91 と比較し解析解が一致していることを確認した。したがって、本解析に本解析コードを使用することは妥当である。

VI-5-32 計算機プログラム（解析コード）の概要
・SLAP

目次

1.	はじめに.....	1
1.1	使用状況一覧.....	2
2.	解析コードの概要.....	3
3.	SLAP の解析手法について.....	5
3.1	一般事項.....	5
3.2	解析コードの特徴.....	5
3.3	解析手法.....	6
3.3.1	支配方程式.....	6
3.3.2	静的解析.....	7
3.3.3	時刻歴応答解析.....	7
3.4	解析フローチャート.....	8
3.5	検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation).....	9
3.5.1	理論解との比較による検証.....	9
3.5.2	実験結果と地震応答解析結果との比較による検証.....	14
3.5.3	実験結果と応力解析結果との比較による検証.....	21
3.5.4	妥当性確認.....	25
3.5.5	評価結果.....	25

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）SLAPについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-5	復水貯蔵タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 6. 64
VI-2-2-6	復水貯蔵タンク基礎の耐震性についての計算書	Ver. 6. 64
VI-2-2-13	軽油タンク室の地震応答計算書	Ver. 6. 64
VI-2-2-14	軽油タンク室の耐震性についての計算書	Ver. 6. 64
VI-2-2-15	軽油タンク室 (H) の地震応答計算書	Ver. 6. 64
VI-2-2-16	軽油タンク室 (H) の耐震性についての計算書	Ver. 6. 64
VI-2-2-18	ガスタービン発電設備軽油タンク室の耐震性についての計算書	Ver. 6. 64
VI-2-2-19	軽油タンク連絡ダクトの地震応答計算書	Ver. 6. 64
VI-2-2-26	排気筒基礎の耐震性についての計算書	Ver. 6. 65
VI-2-2-27	排気筒連絡ダクトの地震応答計算書	Ver. 6. 64
VI-2-10-2-6-1-1	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤南側) の耐震性についての計算書	Ver. 6. 64
VI-2-10-2-6-1-2	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) の耐震性についての計算書	Ver. 6. 64
VI-2-13-1	地下水位低下設備ドレーンの耐震性についての計算書	Ver. 6. 64
VI-2-13-3	地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書	Ver. 6. 64
VI-2-13-4	地下水位低下設備揚水井戸の地震応答計算書	Ver. 6. 65
VI-3-別添 3-2-5-1-1	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤南側) の強度計算書	Ver. 6. 64
VI-3-別添 3-2-5-1-2	屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) の強度計算書	Ver. 6. 64

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SLAP
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析，静的フレーム解析 3次元有限要素法（線形シェル要素，非線形シェル要素，線形ソリッド要素）による静的解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1998年
使用したバージョン	Ver. 6.64, Ver. 6.65
コードの概要	<p>SLAP（以下「本解析コード」という。）は，2次元，3次元問題に適用可能で，静荷重，動荷重の取り扱いができる構造解析の汎用コードである。</p> <p>動的解析においては，線形弾性解析及び材料非線形解析等を時間領域における数値積分により行うことができる。</p> <p>本解析コードは，土木・建築分野において使用される要素群，材料非線形解析モデルを数多くサポートしており，日本国内において，官公庁，民間問わず，多くの利用実績がある。</p>
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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2次元有限要素法による地震応答解析における地盤の非線形モデルの検証として，室内試験におけるせん断弾性係数及び減衰定数両方の非線形特性を再現できることを確認している。 ・ 構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる問題について，本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。 ・ はり要素による，応力解析を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。 ・ 平板要素による応力解析の検証として，非線形平板要素を用いた解析結果が実験結果とおおむね一致することを確認している。 ・ 3次元ソリッド要素による応力解析の検証として，3次元有限要素法による応力解析を行い，解析解が理論解とおおむね一致することを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、国内の土木・建築分野における使用実績を有しており、十分に妥当性が確認されている。 ・屋外重要土木構造物を模した実験体を用いた大型振動台実験結果と地震応答解析結果がおおむね一致していることを確認している。 ・本工事計画において、本解析コード (Ver. 6.64) は2次元有限要素法による地震応答解析、応力解析及び3次元有限要素法による応力解析に適用性があることを検証している。 ・バージョンの更新により機能の追加が図られたが、今回使用したバージョン (Ver. 6.65) と検証されたバージョン (Ver. 6.64) で使用する機能は同じである。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する2次元有限要素法による地震応答解析、3次元有限要素法による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、検証の結果をもって、解析機能の妥当性も確認できる。 ・本工事計画で使用する2次元有限要素法による地震応答解析、3次元有限要素法による応力解析の用途、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. SLAP の解析手法について

3.1 一般事項

本資料は、解析コード SLAP（以下「本解析コード」という。）の概要である。本解析コードは、2次元及び3次元問題に適用可能で、静荷重、動荷重の取り扱いができる構造解析の汎用コードである。2次元及び3次元の応力解析や、地盤－構造物連成系の相互作用解析を考慮した地震応答解析が可能であり、建物・構築物及び屋外重要構造物に対する応力解析、地震応答解析に使用している。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードは、複合非線形（材料非線形と幾何学的非線形）を考慮できる静的・動的解析システムである。主な特徴を以下に示す。

- ・2次元及び3次元有限要素解析プログラムである。
- ・3次元ソリッド要素，2次元ソリッド要素，平板要素，はり要素，バネ・マス・ダンパー要素，剛体要素を用いることができる。
- ・2次元及び3次元の応力解析を行うことができる。
- ・地盤－構造物の連成による相互作用を考慮した地震応答解析を行うことができる。
- ・静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。
- ・地盤及び構造物の非線形性を考慮した解析を行うことができる。
- ・地盤の非線形性については，修正 HD モデル，修正 GHE モデル等を用いた平面ひずみ要素が使用できる。
- ・鉄筋コンクリートの非線形性については，コンクリート及び鉄筋の材料非線形を考慮したファイバー要素，非線形平板要素等が使用できる。

3.3 解析手法

3.3.1 支配方程式

多自由度系の非線形支配方程式は次式で表される。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + \{F\} = \{R\} \quad \text{式 (1)}$$

ここで,

$[M]$: 質量マトリクス

$[C]$: 減衰マトリクス

$\{F\}$: 要素内力ベクトル

剛性マトリクス $[K]$ が線形の場合 $\{F\} = [K]\{u\}$

$[K]$: 剛性マトリクス

$\{\ddot{u}\}$: 相対加速度ベクトル

$\{\dot{u}\}$: 相対速度ベクトル

$\{u\}$: 相対変位ベクトル

$\{R\}$: 外力ベクトル

$$\{R\} = -\sum_{i=1}^n [M]\{v_i\}\ddot{\alpha}_i + \{R_f\}$$

$\ddot{\alpha}_i$: i 方向の入力地震加速度

n : 入力地震動作用方向数

$\{v_i\}$: i 方向に対応する自由度に 1 を立てた入力地震動方向ベクトル

$\{R_f\}$: 入力地震加速度以外の外力ベクトル

なお、静的解析の場合は、 $[M]=0$ $[C]=0$ であり、 $\{u\}$ は絶対変位となる。

3.3.2 静的解析

式(1)より、荷重ステップ t から荷重ステップ $t + \Delta t$ の増分ステップにおける支配方程式は次式となる。

$$\begin{aligned}
 [{}^{t+\Delta t}K^{(i-1)}]\{\Delta u^{(i)}\} &= \{{}^{t+\Delta t}R\} - \{{}^{t+\Delta t}F^{(i-1)}\} \\
 \{{}^{t+\Delta t}u^{(i)}\} &= \{{}^{t+\Delta t}u^{(i-1)}\} + \{\Delta u^{(i)}\} \\
 \{{}^{t+\Delta t}u^{(0)}\} &= \{{}^t u\} \\
 \{{}^{t+\Delta t}F^{(0)}\} &= \{{}^t F^{(0)}\}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

ここで、 Δt は増分インデックス、 (i) は収束計算回数を示す。

これを用い式(1)を満足するようにニュートンラプソン法により収束計算を行う。

3.3.3 時刻歴応答解析

時刻歴応答解析には、ニューマーク β 法($\beta=1/4$)による直接積分法を用いる。式(1)より、収束計算で用いる時刻 $t + \Delta t$ における支配方程式は次式となる。

$$\begin{aligned}
 [M]\{{}^{t+\Delta t}\ddot{u}^{(i)}\} + [C]\{{}^{t+\Delta t}\dot{u}^{(i)}\} + [{}^{t+\Delta t}K^{(i-1)}]\{\Delta u^{(i)}\} &= \{{}^{t+\Delta t}R\} - \{{}^{t+\Delta t}F^{(i-1)}\} \\
 \{{}^{t+\Delta t}u^{(i)}\} &= \{{}^{t+\Delta t}u^{(i-1)}\} + \{\Delta u^{(i)}\} \\
 \{{}^{t+\Delta t}\ddot{u}^{(i)}\} &= \frac{4}{\Delta t^2}(\{{}^{t+\Delta t}u^{(i-1)}\} - \{{}^t u\} + \{\Delta u^{(i)}\}) - \frac{4}{\Delta t}\{{}^t \dot{u}\} - \{{}^t \ddot{u}\} \\
 \{{}^{t+\Delta t}\dot{u}^{(i)}\} &= \{{}^t \dot{u}\} + \frac{\Delta t}{2}(\{{}^t \ddot{u}\} + \{{}^{t+\Delta t}\ddot{u}^{(i)}\}) \\
 \{{}^{t+\Delta t}u^{(i)}\} &= \{{}^{t+\Delta t}u^{(i-1)}\} + \{\Delta u^{(i)}\} \\
 \{{}^{t+\Delta t}u^{(0)}\} &= \{{}^t u\} \\
 \{{}^{t+\Delta t}F^{(0)}\} &= \{{}^t F^{(0)}\}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

ここで、 Δt は時間刻み、 (i) は収束計算回数を示す。

これを用い式(1)を満足するようにニュートンラプソン法により収束計算を行う。

3.4 解析フローチャート

静的解析及び地震応答解析の解析フローチャートを図 3-1 に示す。

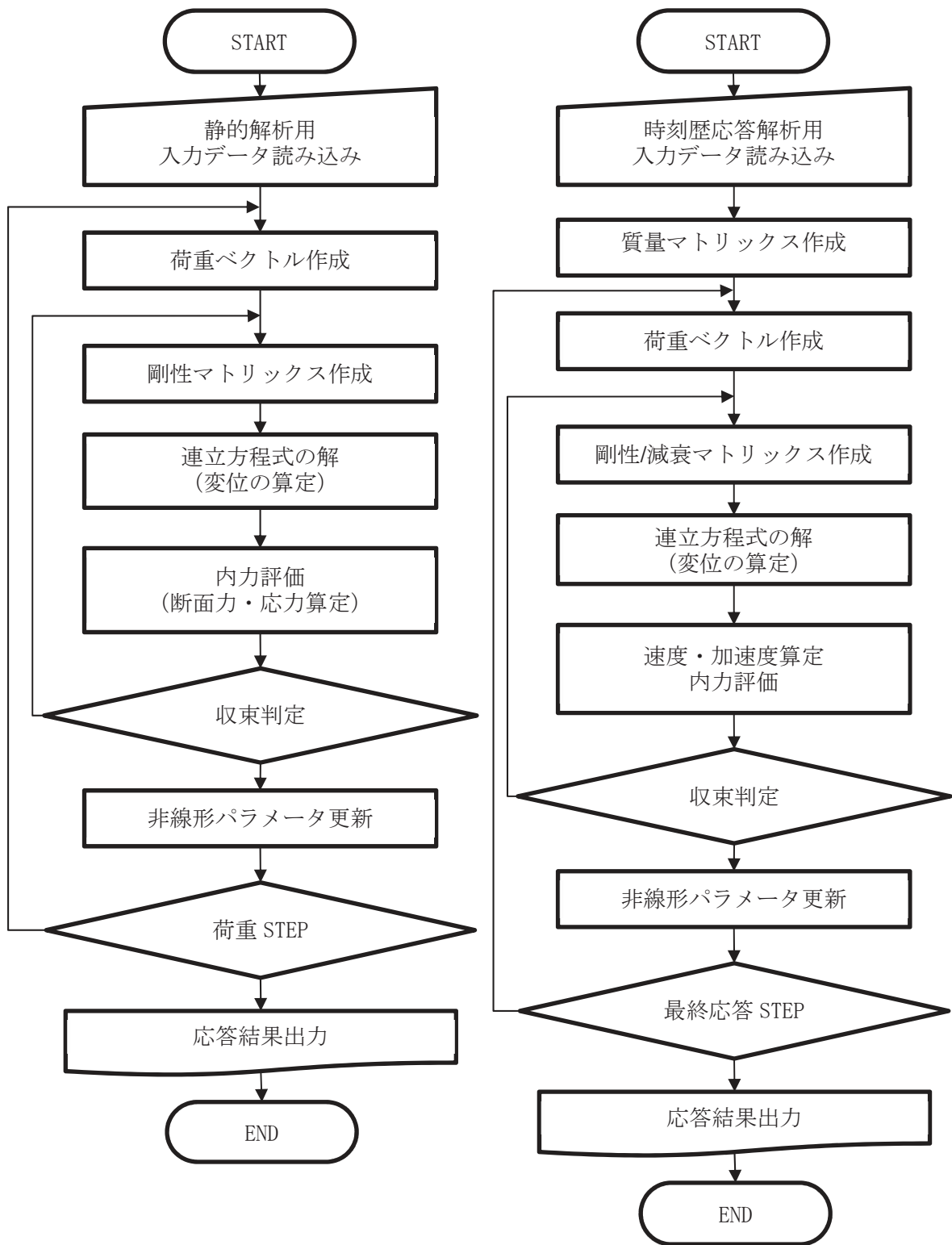


図 3-1 解析フローチャート（左：静的解析，右：地震応答解析）

3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

3.5.1 理論解との比較による検証

(1) はり要素

図 3-2 に示す単純ばりに等分布荷重を負荷した静的応力解析を行い，最大たわみ量，最大曲げモーメント及び最大せん断力を理論解と比較する。線形はり要素を用いて確認を行う。

諸元は以下とする。

H 型鋼材 (H-300×300×10×15) の断面諸元

- ・断面積 : $A=0.01184 \text{ m}^2$
- ・断面 2 次モーメント : $I=0.000202 \text{ m}^4$
- ・ヤング係数 : $E=2.0 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$

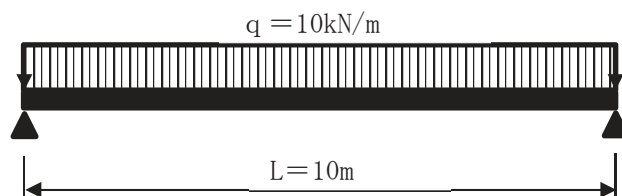


図 3-2 解析モデル

表 3-1 に理論解及び本解析コードによる解析解を示す。理論解と本解析コードによる解析解はおおむね一致することを確認した。

表 3-1 理論解と解析解の比較

	理論解	SLAP 解析解
最大たわみ量 (cm)	3.223	3.223
最大曲げモーメント (kN・m)	125.0	125.0
最大せん断力 (kN)	50.0	50.0

(2) 3次元ソリッド要素

図 3-3 に示す単純ばりに等分布荷重を負荷した静的応力解析を行い，最大たわみ量，最大曲げモーメント及び最大せん断力を理論解と比較する。3次元ソリッド要素を用いて確認を行う。

諸元は以下とする。

- ・梁の長さ : $L = 4,000 \text{ mm}$
- ・梁の高さ : $H = 400 \text{ mm}$
- ・梁の幅 : $B = 200 \text{ mm}$
- ・等分布荷重 : $q = 10.0 \text{ kN/m}$
- ・ヤング係数 : $E = 2.35 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$
- ・ポアソン比 : $\nu = 0.2$

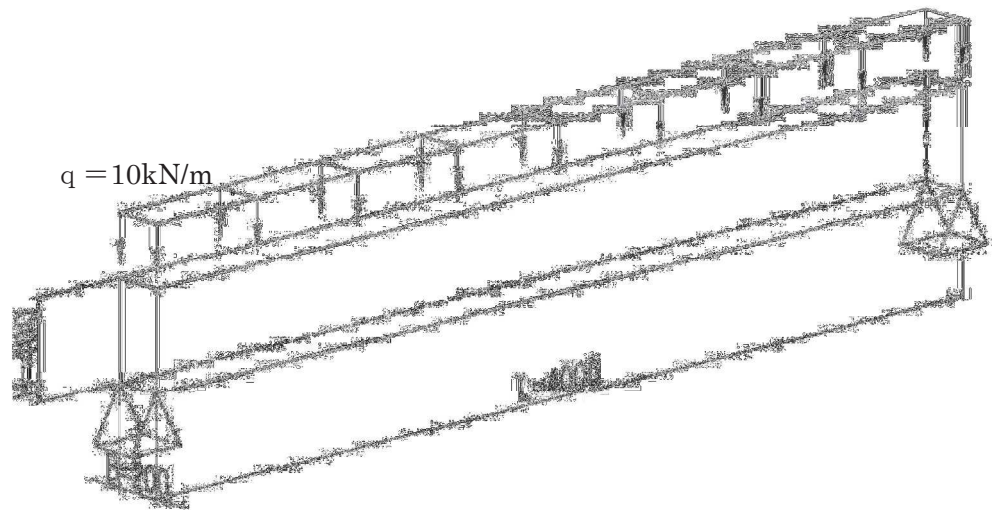


図 3-3 解析モデル

表 3-2 に理論解及び本解析コードによる解析解を示す。理論解と本解析コードによる解析解はおおむね一致することを確認した。

表 3-2 理論解と解析解の比較

	理論解	SLAP 解析解
最大たわみ量 (mm)	1.330	1.340
最大曲げモーメント (kN・m)	20.0	19.7
最大せん断力 (kN)	20.0	20.0

(3) 非線形平面ひずみ要素

地震応答解析に用いる地盤の非線形モデルについて、修正 GHE モデルを適用した平面ひずみ要素に強制変位を与え、得られる応力-ひずみ曲線及び履歴曲線から求めた減衰定数が、設定した条件に整合することを確認する。

a. 解析条件

解析モデルを図 3-4 に示す。要素は平面ひずみ要素とする。

(単位：mm)

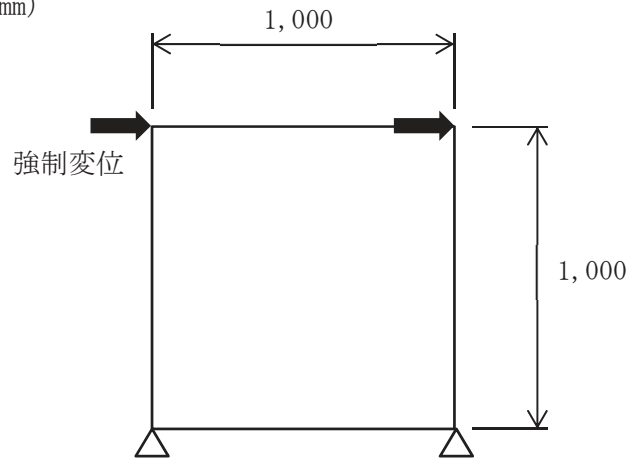


図 3-4 解析モデル

解析用物性値を表 3-3 に示す。

表 3-3 地盤の解析用物性値

	初期せん断弾性係数 (kN/m ²)	ポアソン比
平面ひずみ要素	7.50×10^3	0.30

平面ひずみ要素の非線形特性は、修正 GHE モデルにて与える。修正 GHE モデルのパラメータを表 3-4 及び表 3-5 に示す。また、解析モデルに与える強制変位波形を図 3-5 に示す。

表 3-4 修正 GHE モデルのパラメータ (1/2)

	修正 GHE モデルのパラメータ				
	基準ひずみ γ_r	$C_1(0)$	$C_1(\infty)$	$C_2(0)$	$C_2(\infty)$
平面ひずみ要素	3.50×10^{-4}	1.00	0.20	0.45	1.00

表 3-5 修正 GHE モデルのパラメータ (2/2)

	修正 GHE モデルのパラメータ			
	α	β	h_{\max}	β_1
平面ひずみ要素	1.776	1.859	0.22	1.00

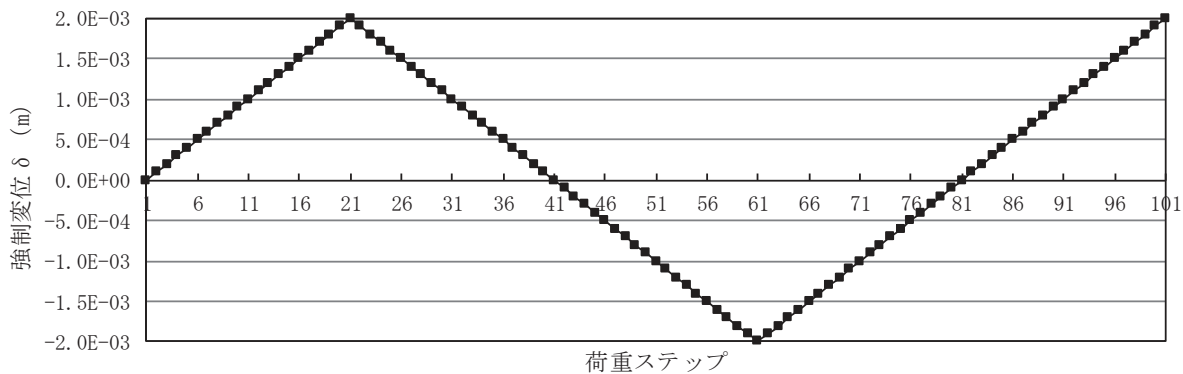


図 3-5 強制変位波形

b. 検証結果

解析により得られた応力-ひずみ曲線と、設定した修正 GHE モデルに基づく応力-ひずみ曲線の比較を図 3-6 に示す。

解析により得られた応力-ひずみ曲線は、設定したものと一致する。

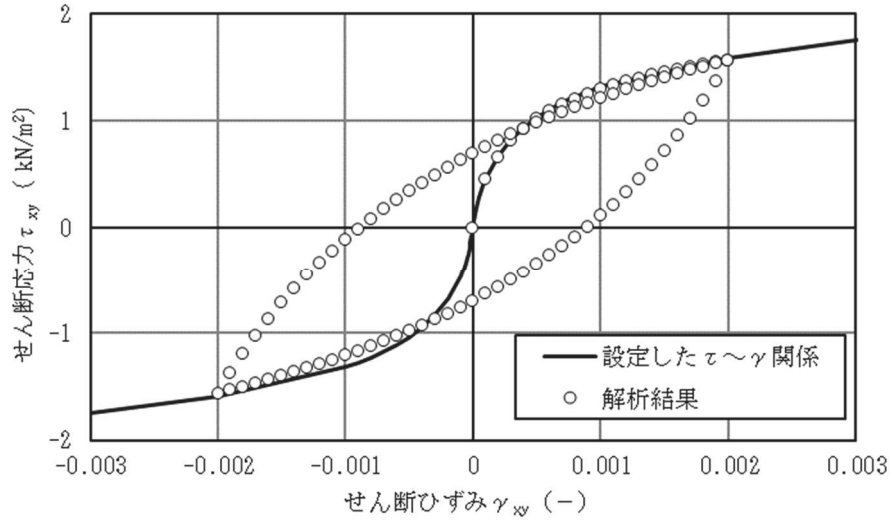


図 3-6 応力-ひずみ曲線 ($\tau - \gamma$ 関係) の比較

$\tau - \gamma$ 関係の履歴面積から得られる減衰設定と、設定した修正 GHE モデルに基づく減衰定数の比較を表 3-6 に示す。

解析により得られた減衰定数は、設定したものと一致する。

表 3-6 減衰定数の比較

減衰定数		①/②
①解析値	②設定値	
0.19660	0.19676	0.99922

3.5.2 実験結果と地震応答解析結果との比較による検証

(1) 大規模加振実験の概要

大規模加振実験では、図 3-7 に示すように RC 二連ボックスカルバート試験体を、せん断土槽体に完全に固定し、乾燥した珪砂にて埋設した。加振時に用いられた入力加速度波形には、1995 年兵庫県南部地震における神戸大学観測波（NS 成分）に基づき、時間縮尺を 1/2 とし、最大加速度振幅を 1000Gal 程度に調整したものをを用いた。RC 供試体の寸法及び配筋を図 3-8 に示す。

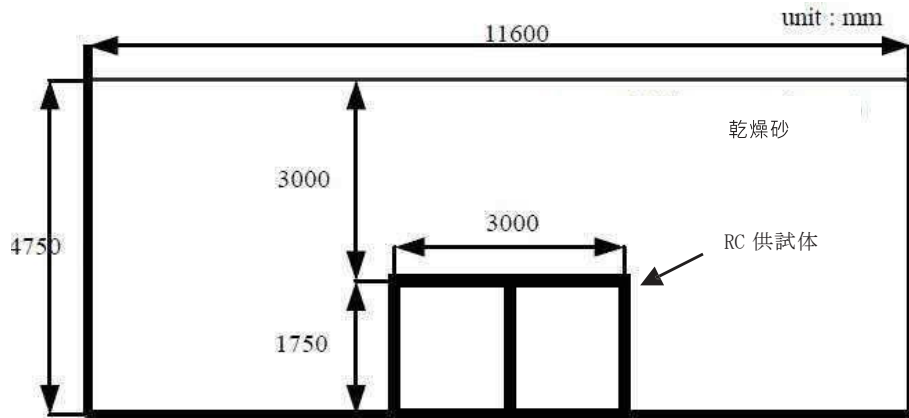


図 3-7 振動台実験の概要

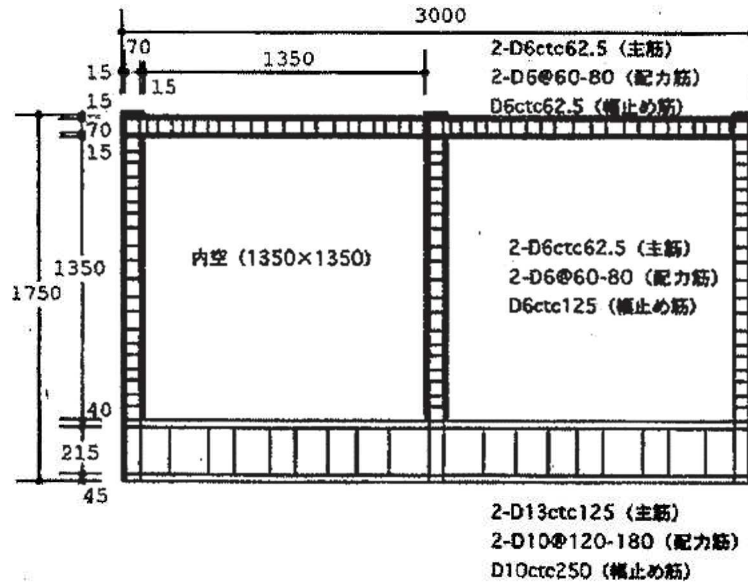


図 3-8 RC 供試体の寸法及び配筋

(2) 解析条件

a. 解析モデルの構成

解析に用いた2次元有限要素分割図を図3-9に示す。モデルは、せん断土槽の寸法(幅 11.6m, 高さ 4.75m)とし、地盤の側方境界には、動の実験時に生じる土槽枠の慣性力の影響を考慮した単位奥行き長さ相当の質量を付加した。側方境界部では、同じ深度にある左右の境界節点の水平・鉛直変位が等しくなるように制御した。

構造物と地盤の境界にはジョイント要素を設ける。

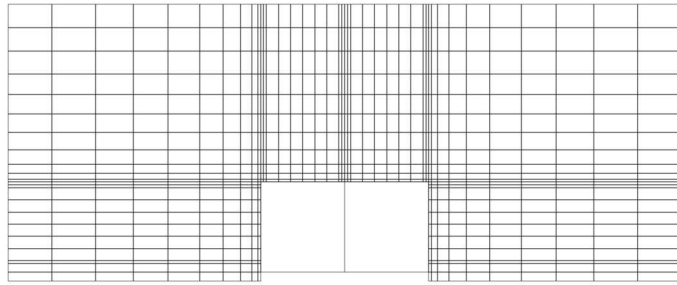


図 3-9 2次元有限要素分割図

b. 地盤のモデル化

地盤はダイラタンシーを考慮しない全応力・履歴依存型の修正 HD モデルを用いた。

$$\tau = \frac{G_0 \gamma}{1 + \frac{G_0 \gamma}{\tau_m}} \tag{式(4)}$$

$$\tau_m = G_0 \gamma_m \tag{式(5)}$$

ここに,

- τ : せん断応力
- γ : せん断ひずみ
- G_0 : 初期せん断弾性係数
- τ_m : せん断強度
- γ_m : 基準ひずみ

地盤の中空ねじり試験と修正 HD モデルで計算した G/G_0 , $h-\gamma$ の関係を図 3-10 に示す。

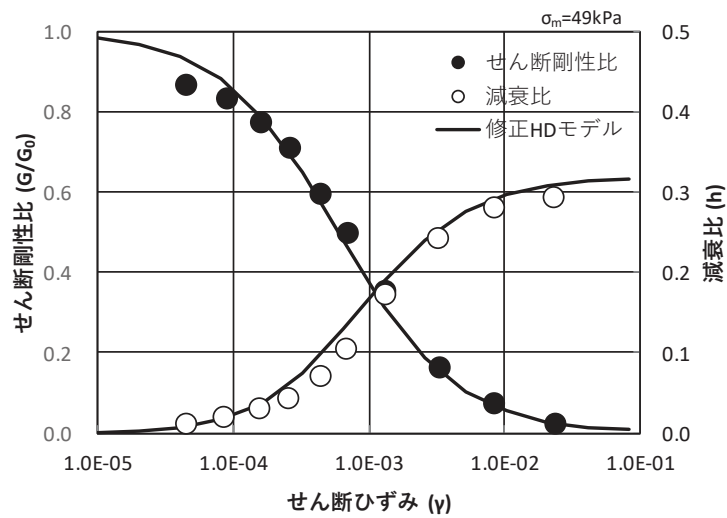


図 3-10 地盤の動的変形特性と修正 HD モデル

c. RC 部材のモデル化

RC 部材はファイバーモデルの非線形はり要素でモデル化する。ファイバーモデルは、図 3-11 に示すように線材要素の断面を層状に分割し、各層（ファイバー）が平面保持をして変形し、分割した個々のファイバー内では応力・ひずみが一定のモデルである。各ファイバーは当該材料の非線形性を考慮することができる。

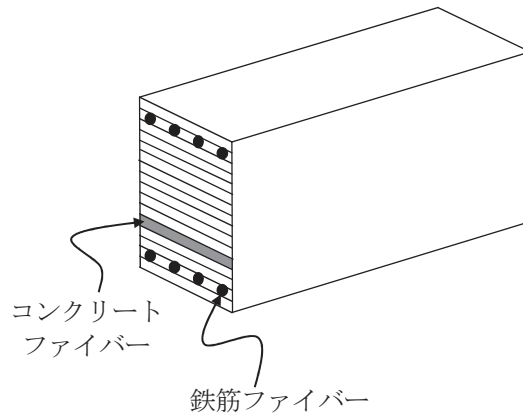


図 3-11 ファイバーモデルによる部材のモデル化

(3) 実験と解析の比較

a. 地盤-構造物全体系の変形挙動

地盤の側方境界における最大水平変位の深度分布を図 3-12 に示す。本計算機コードによる解析解は実験値とおおむね一致している。

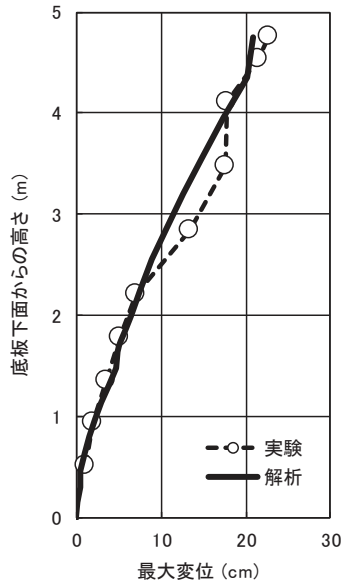


図 3-12 水平方向最大変位の深度分布

b. 層間変位

構造物の内空空間の確保を直接照査する層間変位について、その時刻歴の比較を図 3-13 に示す。本計算機コードによる解析解は実験値とおおむね一致している。

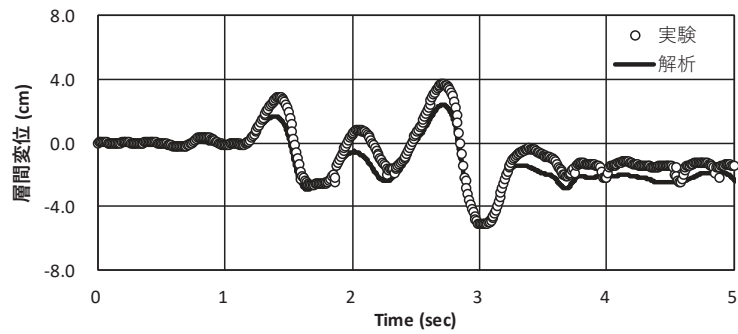


図 3-13 時刻歴層間変位

c. 応答加速度

構造物頂版中央部の時刻歴応答加速度の比較を図 3-14 に示す。本計算機コードによる解析解は実験値とおおむね一致している。

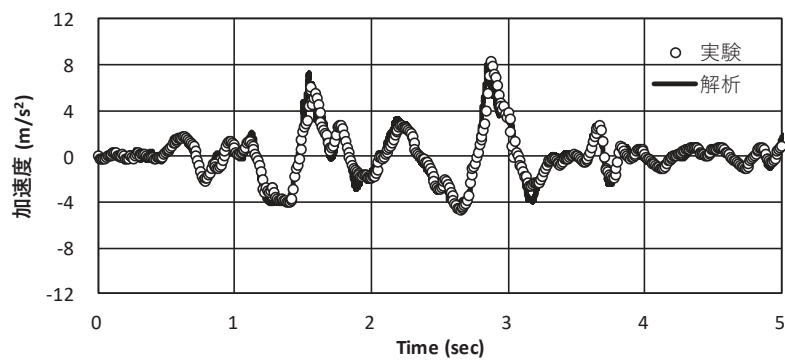


図 3-14 構造物頂版中央部の時刻歴応答加速度

d. せん断力

構造物頂版左方部に生じる時刻歴応答せん断力の比較を図 3-15 に示す。本計算機コードによる解析解は実験値とおおむね一致している。

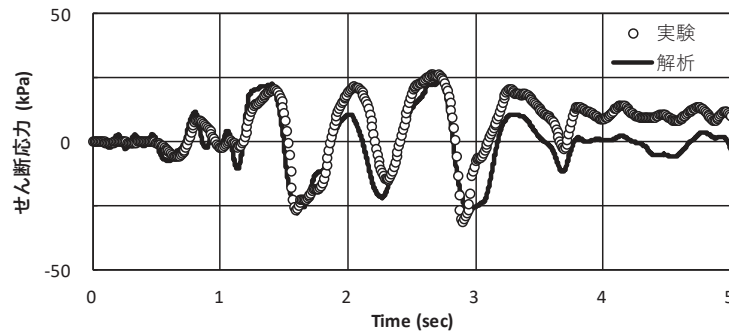


図 3-15 構造物頂版左方部に生じる時刻歴せん断力

参考文献

- 1) 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針〈技術資料〉Ⅱ，土木学会原子力土木委員会，2002年5月
- 2) 鉄筋コンクリート製地中構造物の耐震性能照査法の高度化（その1）－地中構造物の塑性変形挙動に関する実験的検討－，電力中央研究所報告，平成14年2月
- 3) 鉄筋コンクリート製地中構造物の耐震性能照査法の高度化（その2）－密な乾燥砂地盤・構造物連成系解析における地盤非線形モデルの適用性評価－，電力中央研究所報告，平成15年1月
- 4) 鉄筋コンクリート製地中構造物の耐震性能照査法の高度化（その3）－部材非線形モデルを用いた地盤-構造物連成系解析手法の適用性の検証－，電力中央研究所報告，平成15年1月

3.5.3 実験結果と応力解析結果との比較による検証

(1) 非線形平板要素の概要

本解析コードで使用する平板要素は、一般的な Mindlin 平板要素¹⁾を用いており、図 3-16 に示すように、層状に配置された材料の非線形性を考慮できる。

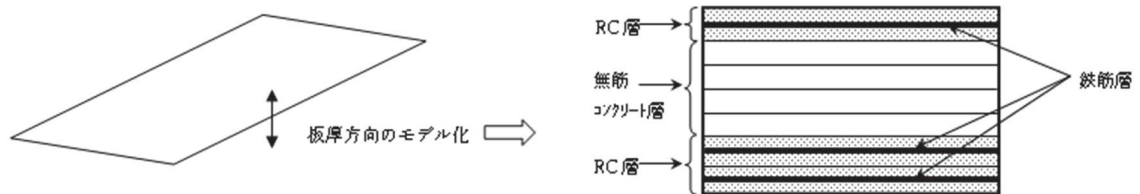


図 3-16 非線形平板要素概念図

層全体の材料特性は、平面応力状態とした各層の材料特性を厚さ方向に積分して評価される。各層の材料特性としては文献²⁾³⁾に示されている鉄筋コンクリート(RC)、無筋コンクリート、鉄筋等の非線形性を考慮できる。

参考文献

- 1) Bathe, K. J., Finite Element Procedures, Prentice-Hall, 1996
- 2) Maekawa, K., Pramanmas, A. and Okamura, H., Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, Spon Press, 2003
- 3) コンクリート標準示方書 設計編, 土木学会, 2012

(2) 非線形平板要素の適用性の検証

非線形平板要素は、鉄筋コンクリート部材をコンクリート及び鉄筋の非線形性を考慮した層の集合体としてモデル化する要素である。非線形平板要素を用いた解析の適用性は、単純ばりの荷重－変位関係に対して、本解析コードによる解析結果と実験結果を比較することで検証する。

a. 実験概要

比較対象とする実験の概念図を図 3-17 に示す。実験では鉄筋コンクリートはりの試験体に対し、試験体天端 2 点に荷重を作用させ、試験体中央位置での鉛直変位と載荷荷重の関係を確認する。

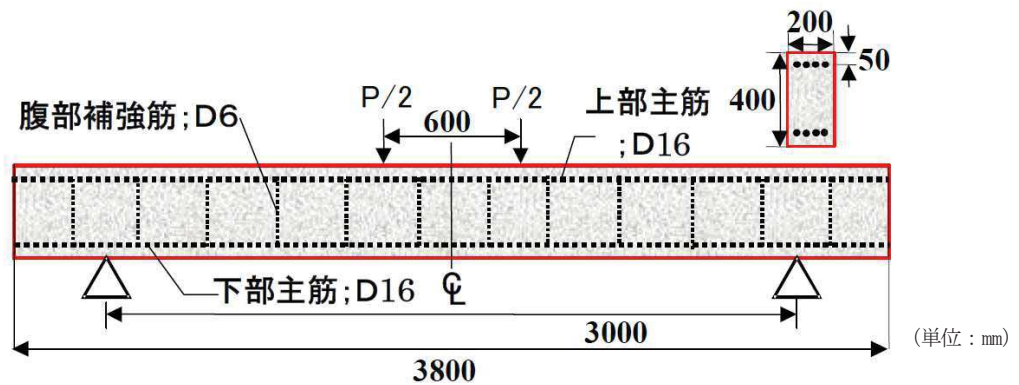


図 3-17 実験概要図

(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針(技術資料)(2005年)より引用)

b. 解析モデル

解析モデルは図 3-18 に基づき、鉄筋コンクリートはりを非線形平板要素でモデル化する。非線形平板要素は 8 層とし、コンクリート部分は、上端 2 層及び下端 2 層は鉄筋との付着を考慮した鉄筋コンクリート層 (RC 層)、中央 4 層は無筋コンクリート層でモデル化し、鉄筋上下の鉄筋位置に鉄筋層を配置する。

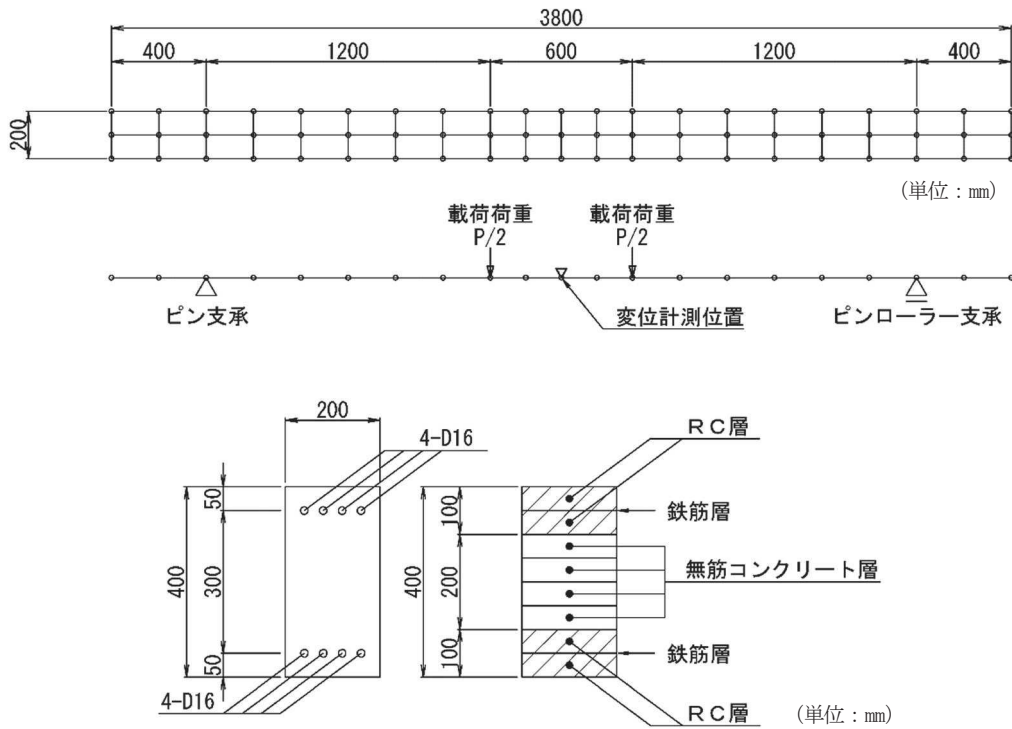


図 3-18 解析モデル図

c. 解析用物性値

解析用物性値を表 3-7 に示す。

表 3-7 解析用物性値 (鉄筋コンクリートはり)

コンクリート	圧縮強度 f'_c (N/mm ²)	45.3
	引張強度 f_t (N/mm ²)	3.7
	ヤング係数 E_c (N/mm ²)	3.06×10^4
鉄筋	降伏強度 f_y (N/mm ²)	344
	ヤング係数 E_s (N/mm ²)	1.94×10^5

(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針(技術資料)(2005年)より引用)

d. 解析条件

図 3-17 の荷重位置と同様に、図 3-18 に示す荷重位置に荷重し、モデル中央位置における荷重-変位関係を算出する。

e. 結果の検証

実験結果と解析結果の荷重－変位関係の比較を図 3-19 に示す。

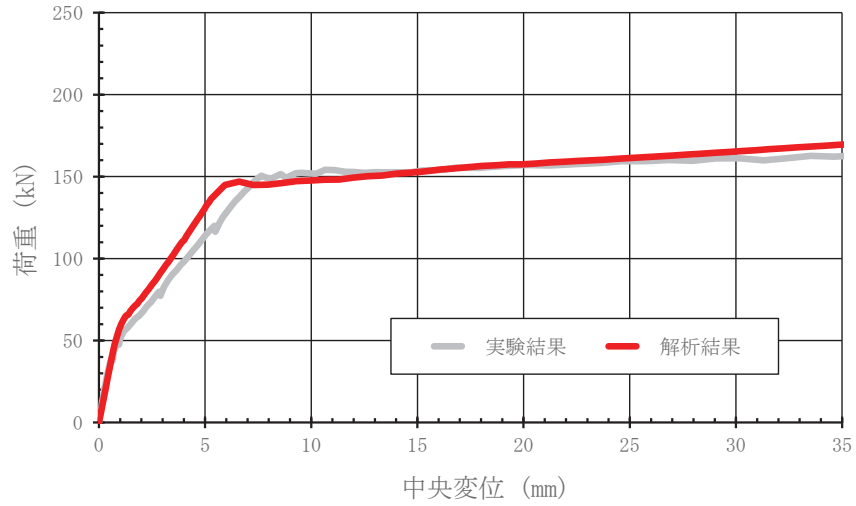


図 3-19 荷重－変位関係の比較

解析結果と実験結果の荷重－変位関係はおおむね一致しており、鉄筋降伏時の荷重もおおむね同等である。以上より、非線形平板要素を用いた解析の適用性を確認した。

3.5.4 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。

- ・本解析コードは、国内の土木・建築分野における使用実績を有しており、十分に妥当性が確認されている。
- ・検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、検証の結果をもって、解析機能の妥当性も確認できる。
- ・本工事計画で使用する地震応答解析及び応力解析の用途、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。

3.5.5 評価結果

以上の検証結果及び妥当性確認結果により、本解析コードを、建物・構築物及び屋外重要土木構造物の地震応答解析及び応力解析に使用することは妥当である。

VI-5-33 計算機プログラム（解析コード）の概要

• Ark Quake

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3
3. Ark Quake の解析手法について	4
3.1 一般事項.....	4
3.2 解析コードの特徴.....	4
3.3 解析手法.....	5
3.4 解析フローチャート.....	8
3.5 検証(Verification)と妥当性確認(Validation)	9
3.5.1 検証 (Verification)	9
3.5.2 妥当性確認 (Validation)	12

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）Ark Quakeについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-7	海水ポンプ室の地震応答計算書	ver. 3.10
VI-2-2-9	第3号機海水ポンプ室の地震応答計算書	ver. 3.10
VI-2-2-11	原子炉機器冷却海水配管ダクト(水平部)の地震応答計算書	ver. 3.10
VI-2-2-12-2	原子炉機器冷却海水配管ダクト(鉛直部)の耐震性についての計算書	ver. 3.10
VI-2-10-2-3-1	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼板)の耐震性についての計算書	ver. 3.10
VI-2-10-2-3-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼桁)の耐震性についての計算書	ver. 3.10
VI-2-10-2-3-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の耐震性についての計算書	ver. 3.10
VI-2-10-2-4-1	取放水路流路縮小工(第1号機取水路)の耐震性についての計算書	ver. 3.10
VI-2-10-2-4-2	取放水路流路縮小工(第1号機放水路)の耐震性についての計算書	ver. 3.10
VI-2-10-4-3	取水口の耐震性についての計算書	ver. 3.10
VI-2-10-4-4-1	取水路(漸拡部)の耐震性についての計算書	ver. 3.10
VI-2-10-4-4-2	取水路(標準部)の耐震性についての計算書	ver. 3.10
VI-2-11-2-16	前面護岸の耐震性についての計算書	ver. 3.10
VI-2-11-2-18	第3号機取水路の耐震性についての計算書	ver. 3.10
VI-3-別添 3-2-2-1	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼板)の強度計算書	ver. 3.10
VI-3-別添 3-2-2-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼桁)の強度計算書	ver. 3.10
VI-3-別添 3-2-2-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の強度計算書	ver. 3.10
VI-3-別添 3-2-3-1	取放水路流路縮小工(第1号機取水路)の強度計算書	ver. 3.10
VI-3-別添 3-2-3-2	取放水路流路縮小工(第1号機放水路)の強度計算書	ver. 3.10
VI-3-別添 3-2-4	貯留堰の強度計算書	ver. 3.10

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	Ark Quake
使用目的	1次元地震応答解析による入力地震動算定
開発機関	株式会社アーク情報システム
開発時期	1995年
使用したバージョン	ver. 3.10
コードの概要	<p>Ark Quake（以下「本解析コード」という。）は1次元重複反射理論に基づく多層地盤の地震応答解析を行う計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードの特徴は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地盤の各層における加速度，応力度，ひずみ度等の伝達関数及び応答波形が求められる。 ・地盤の等価線形解析を行うことができる。
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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる弾性地盤の増幅特性の解析結果が公開文献の理論解と一致することを確認している。 ・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使用し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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・入力地震動算定に対して，原子力産業界において1次元重複反射理論に基づく地震応答解析は既工事計画において実績があり，同じ理論に基づく解析コードであるSHAKE-91を用いた1次元地震応答解析を行った解析解と，本解析コードによる解析解を比較したコードベンチマーキングを行った結果，双方の解が一致していることを確認している。 ・本工事計画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. Ark Quake の解析手法について

3.1 一般事項

本資料は、地盤応答解析を行う解析コード Ark Quake ver3.10 の概要である。

本解析コードは、日本国内の原子力施設の工事計画認可申請に多くの利用実績のある解析コードであり、地盤応答解析（入力地震動の評価）に用いる。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードは、1次元重複反射理論に基づく弾性地盤応答解析ができる解析コードである。

- ① 一次元重複反射理論に基づき、多層地盤の地震応答解析を行う。
- ② 解析結果として、地盤の各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達関数及び応答波形が求められる。
- ③ 本解析コードは、次の仮定を設けて地震応答解析を行っている。
 - ・ 地盤は、水平方向に半無限に広がっているものとする。（水平成層地盤）
 - ・ 応答は、地震動が解析基盤から鉛直伝播により起こるものとする。
 - ・ 地盤物性は、各層の単位体積重量、せん断波速度（又はせん断弾性係数）、ポアソン比及び減衰定数を入力することで定義する。
- ④ 等価線形解析を行うことができる。

3.3 解析手法

解析理論において、図 3-1 に示す線形粘弾性系を通過するせん断波による応答を考える。各層は、均質、等方性であり、厚さ h 、密度 ρ 、せん断弾性係数 G 及び臨界減衰比 β で定義される。

図 3-1 に示される系を通過するせん断波の伝播は、水平変位 $u = u(x, t)$ による以下の式で表わされる。

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

η : 粘性係数

水平変位 $u = u(x, t)$ を、以下の (2) 式で表わされる振動数 ω に対する調和振動と考える。

$$u(x, t) = U(x) \cdot e^{i\omega t} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

i : 虚数単位

(2) 式は、波動方程式の一般解として (3) 式で表わされる。

$$u(x, t) = E \cdot e^{i(kx + \omega t)} + F \cdot e^{-i(kx - \omega t)} \dots\dots\dots (3)$$

$$k = \sqrt{\frac{\rho\omega^2}{G + i\omega\eta}} = \sqrt{\frac{\rho\omega^2}{G^*}} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、

E, F : 積分定数

G^* : 複素剛性

(3) 式の第一項は、 X のマイナス方向（上向き）に伝わる入射波を示し、第二項は X のプラス方向（下向き）に伝わる反射波を示している。

ここで、任意の m 層と $(m+1)$ 層の変位とせん断応力との連続性を考え、更に自由面ではせん断応力 $\tau = 0$ の境界条件を導入し、以下の関係を導く。

$$E_m = e_m(\omega) E_1 \dots\dots\dots (5)$$

$$F_m = f_m(\omega) F_1 \dots\dots\dots (6)$$

伝達関数 e_m 及び f_m は、それぞれ E_1 及び F_1 に対する倍率であり、 $E_1 = F_1 = 1$ を上式に代入すれば決まるものである。

他の伝達関数は、 e_m 及び f_m から得られ、 n 層及び m 層表面での変位を関連づける伝達関数

$A_{n,m}$ は次のように定義する。

$$A_{n,m}(\omega) = u_m / u_n \dots\dots\dots (7)$$

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{e_m(\omega) + f_m(\omega)}{e_n(\omega) + f_n(\omega)} \dots\dots\dots (8)$$

これらの式より、伝達関数 $A(\omega)$ は、系のいかなる2つの層の間においても定められる。

伝達関数が定まれば、複素フーリエ変換により入力動のフーリエスペクトル $F(f)$ を求め、それに伝達関数 $A(f)$ を乗じてフーリエスペクトル $R(f)$ を算定し、それを複素フーリエ逆変換することにより時刻歴応答が求まる。

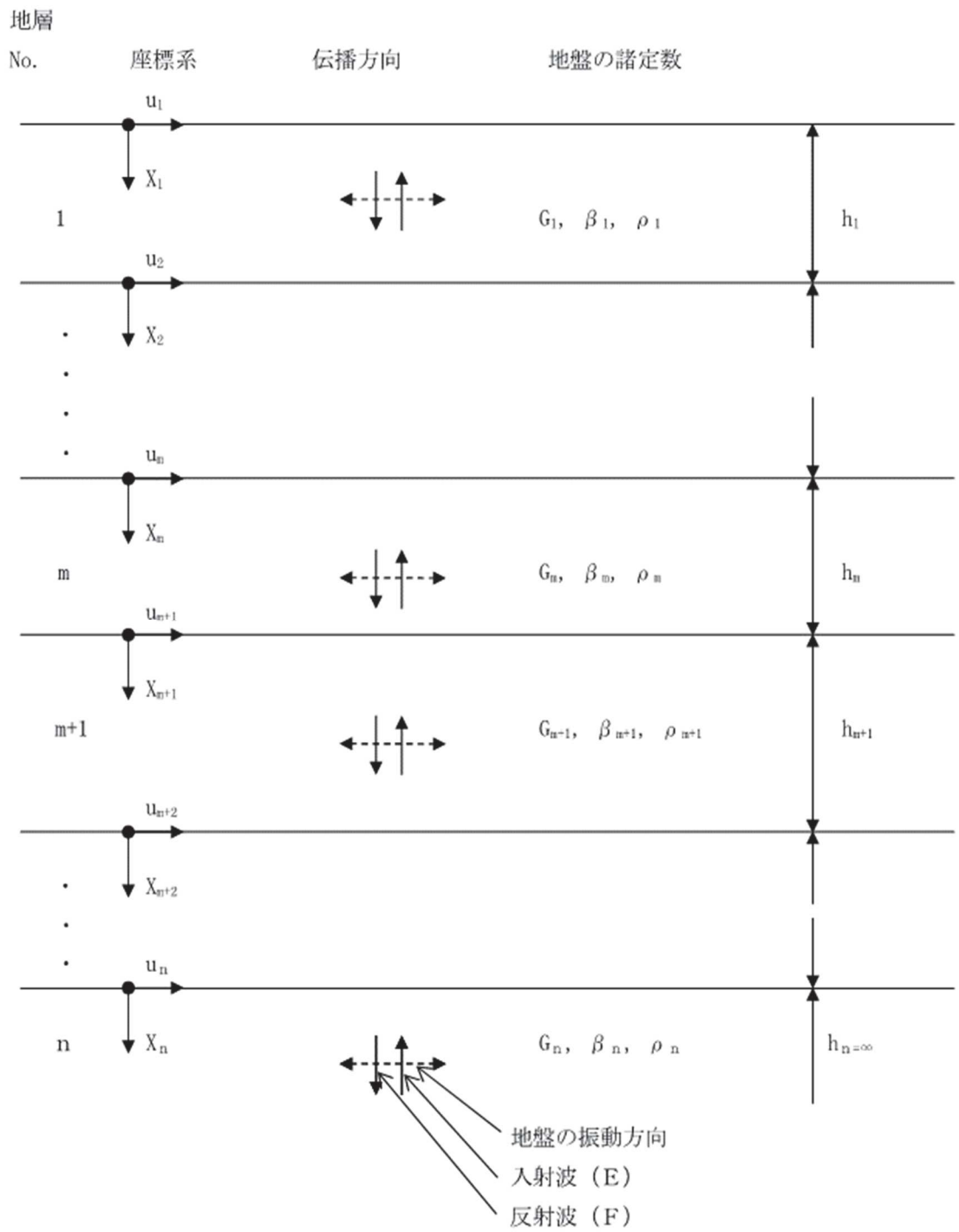
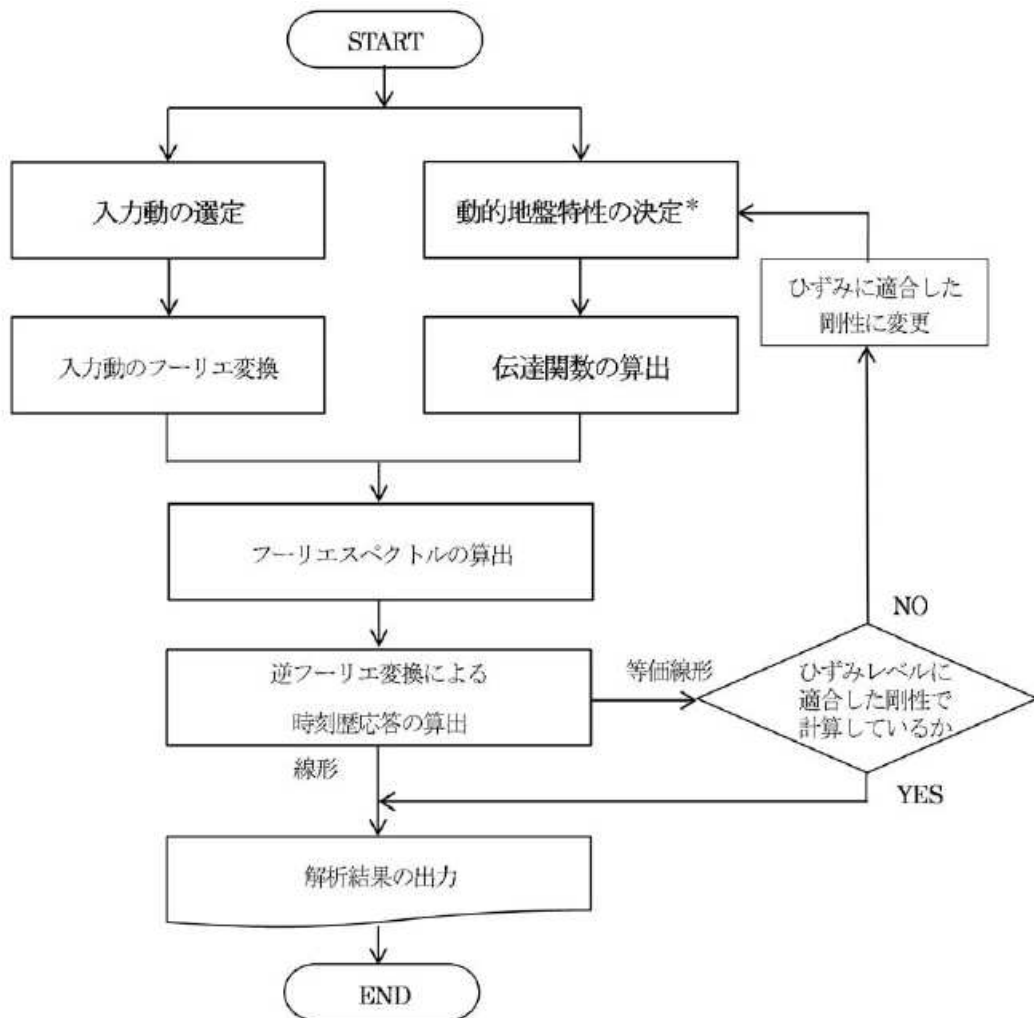


図 3-1 1次元地盤の波動伝播

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-2 に示す。



注記 * : 入力データとして単位体積重量, せん断弾性係数及び等価線形法に用いる $G-\gamma$ 関係を選定する。

図 3-2 解析フローチャート

3.5 検証(Verification)と妥当性確認(Validation)

本コードは、「3.3 解析手法」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、日本国内の数多くの原子力施設の工事計画における解析に使用された実績があるため、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、今回の解析機能に特化する形で、公開文献*1により求めた理論解（以下「理論解」という。）と本解析コードによる解析解を比較するとともに、複素応答と一次元重複反射理論に基づき構築された世界各国で用いられている類似解析コードである SHAKE - 91*2 とのコードベンチマークにより、本解析コードの解析機能の適切さを確認している。

[注記]

*1：最新耐震構造解析 柴田明德著 231 頁，232 頁 森北出版株式会社 第 1 版参照

*2：SHAKE - 91 は、米国カルフォルニア州立大学バークレイ校が有償配布している複素応答と重複反射理論に基づいた一次元地盤の等価線形解析コードであり、世界各国で広く用いられている「SHAKE」の最新バージョンである。

3.5.1 検証 (Verification)

(1) 検証方法

2 層の弾性モデル地盤を対象として、本解析コードによる解析解と理論解による結果が一致することを確認する。

(2) 解析条件

解析条件及び解析モデルを図 3-3 に示す。地盤減衰は、履歴減衰として 0%と 5%の二種とする。

(3) 検証結果

本解析コードによる加速度伝達関数を理論解による加速度伝達関数と比較して図 3-4 及び表 3-2 に示す。本解析コードと理論解の解析結果は同一条件、同一手法による結果であり、両者はおおむね一致していることから、本解析コードが正しく評価していることが確認できる。

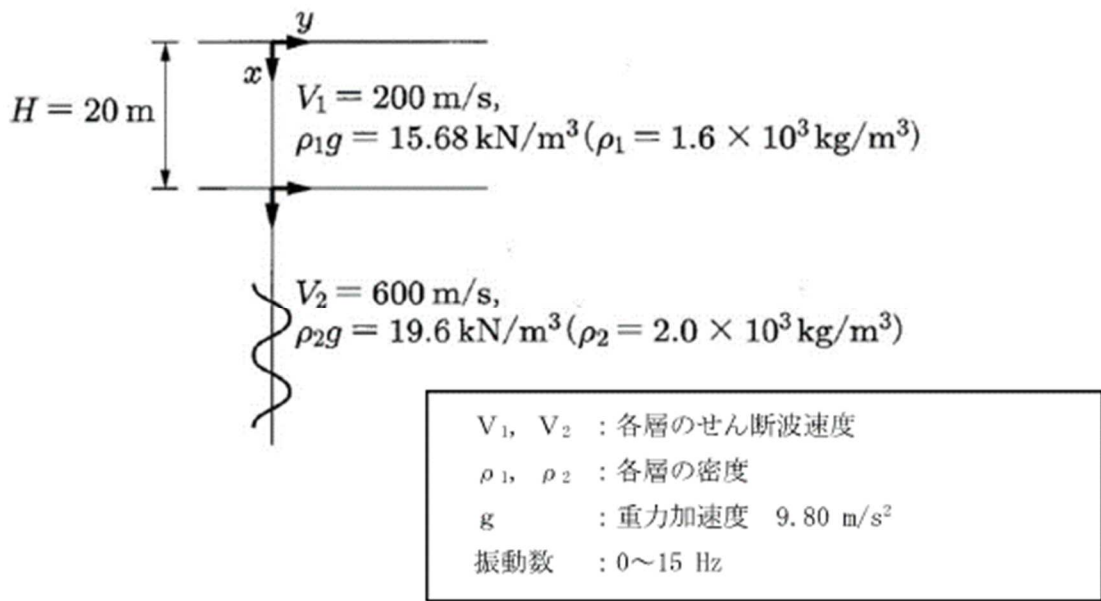


図 3-3 解析条件及び解析モデル

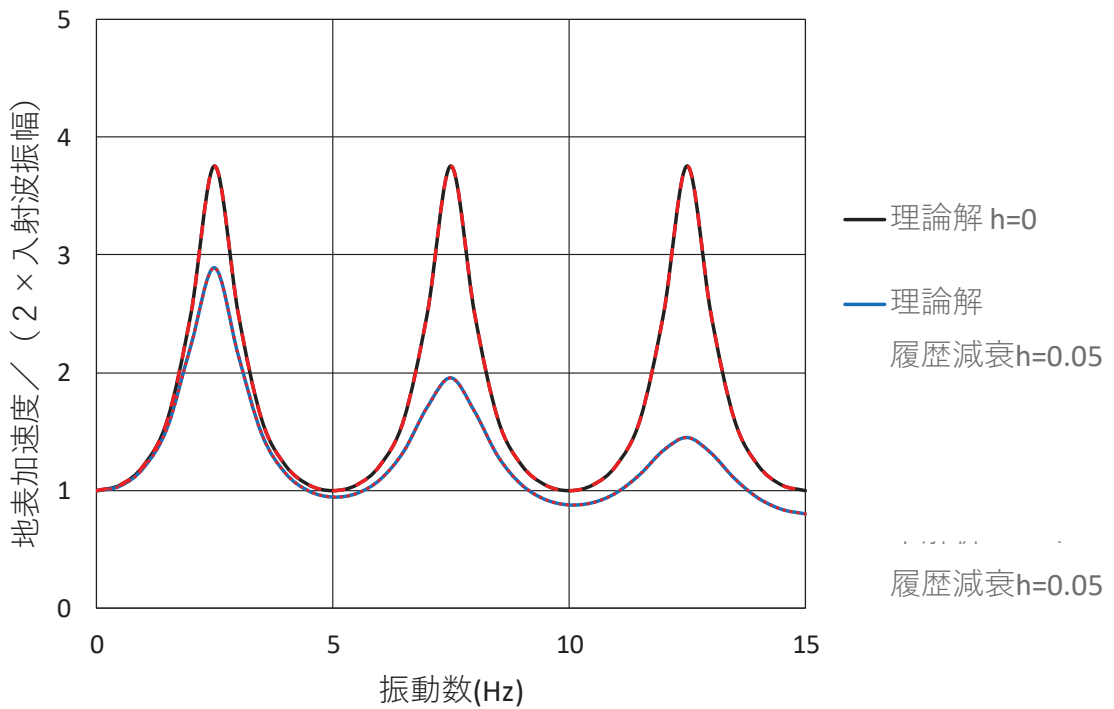


図 3-4 本解析コードと理論解による加速度伝達関数の比較 (地表面／基盤層)

表 3-2 本解析コードと理論解による加速度伝達関数の比較

振動数 (Hz)	h=0			h=0.05		
	理論解	本解析コード	理論解/ 本解析コード	理論解	本解析コード	理論解/ 本解析コード
0.0	1.0000	1.0000	1.000	1.0000	1.0000	1.000
0.5	1.0475	1.0475	1.000	1.0423	1.0423	1.000
1.0	1.2135	1.2135	1.000	1.1962	1.1962	1.000
1.5	1.5971	1.5971	1.000	1.5385	1.5385	1.000
2.0	2.5015	2.5015	1.000	2.2363	2.2363	1.000
2.5	3.7500	3.7500	1.000	2.8930	2.8930	1.000
3.0	2.5015	2.5015	1.000	2.1532	2.1532	1.000
3.5	1.5971	1.5971	1.000	1.4802	1.4802	1.000
4.0	1.2135	1.2135	1.000	1.1510	1.1510	1.000
4.5	1.0475	1.0475	1.000	0.9987	0.9987	1.000
5.0	1.0000	1.0000	1.000	0.9488	0.9488	1.000
5.5	1.0475	1.0475	1.000	0.9789	0.9789	1.000
6.0	1.2135	1.2135	1.000	1.0965	1.0965	1.000
6.5	1.5971	1.5971	1.000	1.3345	1.3345	1.000
7.0	2.5015	2.5015	1.000	1.7119	1.7119	1.000
7.5	3.7500	3.7500	1.000	1.9585	1.9585	1.000
8.0	2.5015	2.5015	1.000	1.6739	1.6739	1.000
8.5	1.5971	1.5971	1.000	1.2909	1.2909	1.000
9.0	1.2135	1.2135	1.000	1.0511	1.0512	1.000
9.5	1.0475	1.0475	1.000	0.9271	0.9271	1.000
10.0	1.0000	1.0000	1.000	0.8822	0.8822	1.000
10.5	1.0475	1.0475	1.000	0.9012	0.9012	1.000
11.0	1.2135	1.2135	1.000	0.9849	0.9849	1.000
11.5	1.5971	1.5971	1.000	1.1407	1.1407	1.000
12.0	2.5015	2.5015	1.000	1.3456	1.3456	1.000
12.5	3.7500	3.7500	1.000	1.4534	1.4534	1.000
13.0	2.5015	2.5015	1.000	1.3230	1.3230	1.000
13.5	1.5971	1.5971	1.000	1.1052	1.1052	1.000
14.0	1.2135	1.2135	1.000	0.9400	0.9400	1.000
14.5	1.0475	1.0475	1.000	0.8443	0.8444	1.000
15.0	1.0000	1.0000	1.000	0.8060	0.8060	1.000

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

(1) 妥当性確認方法

水平成層の弾性モデル地盤を対象として、本解析コードによる解析解と類似解析コードである SHAKE - 91 (前述) による結果が一致することを確認する。

(2) 解析条件

解析の諸条件については、地盤モデル諸元を表 3-3、地盤のひずみ依存特性を図 3-5 及び図 3-6 に、入力地震動を図 3-7 に示す。

なお、地盤モデルは、SHAKE - 91 の例題に添付されている等価線形モデルであり、長さは feet、重さは pounds、重力加速度は 32.2 feet/s^2 であることから、表 3-3 には MKS 単位系に変換した数値も併記されている。

また、入力地震動は SHAKE - 91 の例題に添付されている地震波を $0.1g$ (g は重力加速度 9.80665 m/s^2) に規準化したものを用いる。

(3) 妥当性確認結果

本解析コードと SHAKE - 91 による解析結果のうち、地盤の最大加速度分布を図 3-8 に、地盤の等価せん断ひずみ分布を図 3-9 に、地表の加速度応答スペクトルを図 3-10 に示す。

SHAKE - 91 の加速度出力 (重量加速度単位) を重量加速度 $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$ を用いて cm/s^2 に変換して比較する。

本解析コードと SHAKE - 91 の解析結果は同一条件、同一手法による結果であり、両者はおおむね一致していることから、本解析コードが正しく評価していることが確認できる。

表 3-3 地盤モデル諸元

区分	層厚 ft	深度 ft	湿潤単位体積重量 kpd/ft ³	せん断波速度 ft/s	減衰定数
砂質土	5	5	0.125	1000	0.05
	5	10	0.125	900	0.05
	10	20	0.125	900	0.05
	10	30	0.125	950	0.05
粘性土	10	40	0.125	1000	0.05
	10	50	0.125	1000	0.05
	10	60	0.125	1100	0.05
	10	70	0.125	1100	0.05
砂質土	10	80	0.130	1300	0.05
	10	90	0.130	1300	0.05
	10	100	0.130	1400	0.05
	10	110	0.130	1400	0.05
	10	120	0.130	1500	0.05
	10	130	0.130	1500	0.05
	10	140	0.130	1600	0.05
	10	150	0.130	1800	0.05
基盤	-	-	0.140	4000	0.01

γ	粘性土G/G ₀	γ	粘性土h
0.0001	1.000	0.0001	0.0024
0.0003	1.000	0.0003	0.0042
0.0010	1.000	0.0010	0.0080
0.0030	0.981	0.0030	0.0140
0.0100	0.941	0.0100	0.0280
0.0300	0.847	0.0300	0.0510
0.1000	0.656	0.1000	0.0980
0.3000	0.438	0.3000	0.1550
1.0000	0.238	1.0000	0.2100
3.0000	0.144	3.1600	0.2500
10.0000	0.110	10.0000	0.2800

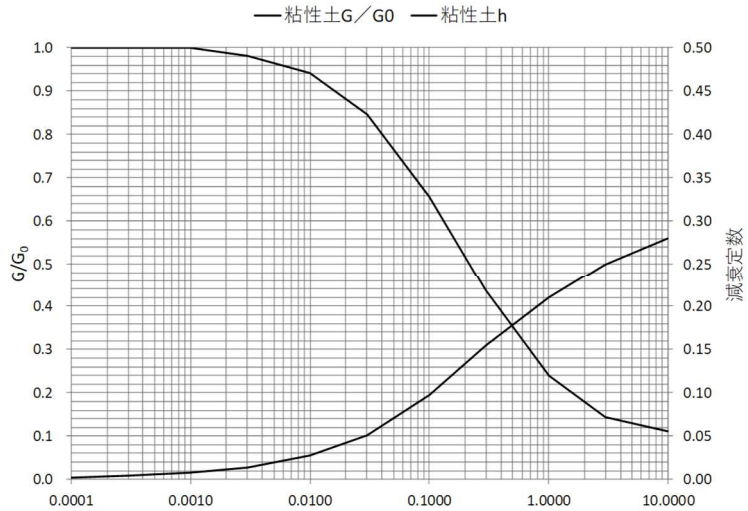


図 3-5 粘性土のひずみ依存特性

γ	砂質土G/G ₀	γ	砂質土h
0.0001	1.000	0.0001	0.0024
0.0003	1.000	0.0003	0.0042
0.0010	0.990	0.0010	0.0080
0.0030	0.960	0.0030	0.0140
0.0100	0.850	0.0100	0.0280
0.0300	0.640	0.0300	0.0510
0.1000	0.370	0.1000	0.0980
0.3000	0.180	0.3000	0.1550
1.0000	0.080	1.0000	0.2100
3.0000	0.050	3.0000	0.2500
10.0000	0.035	10.0000	0.2800

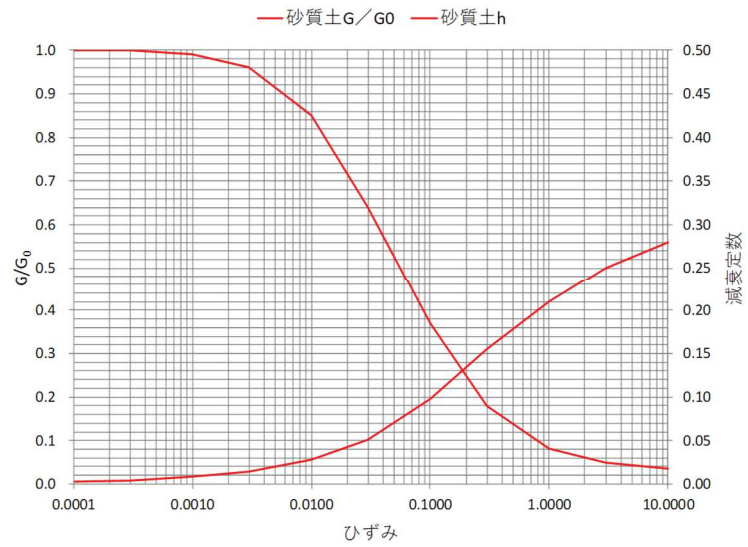


図 3-6 砂質土のひずみ依存特性

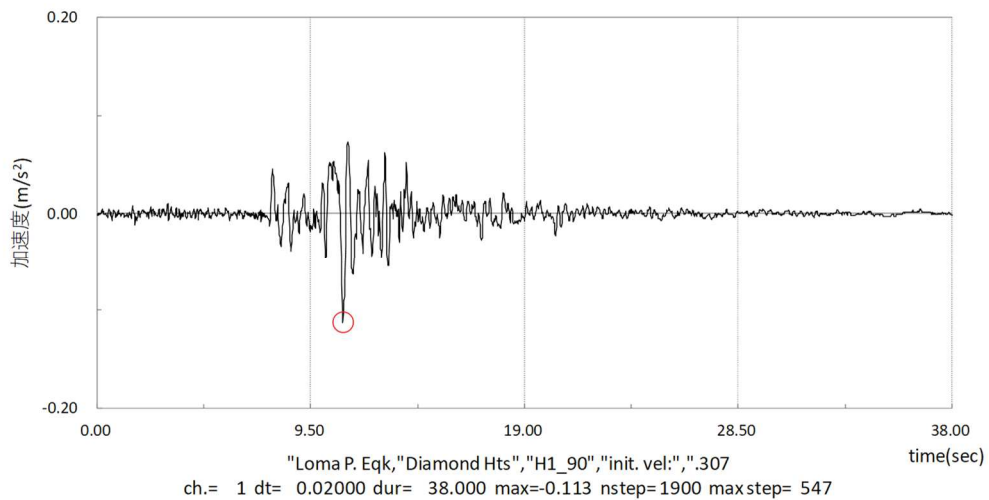


図 3-7 入力地震動

深さ (f t)	SHAKE -91 (G)	SHAKE -91 (cm/s ²)	本解析コード	SHAKE-91/ 本解析コード
0	0.19040	186.7	187.0	0.999
5	0.19006	186.4	186.6	0.999
10	0.18873	185.1	185.3	0.999
20	0.18258	179.0	179.2	0.999
30	0.17209	168.8	168.9	0.999
40	0.15947	156.4	156.4	1.000
50	0.14288	140.1	140.1	1.000
60	0.12653	124.1	124.1	1.000
70	0.11049	108.4	108.5	0.999
80	0.09839	96.5	96.5	1.000
90	0.08997	88.2	88.2	1.001
100	0.08268	81.1	81.1	1.000
110	0.08559	83.9	83.8	1.001
120	0.08546	83.8	83.7	1.001
130	0.08201	80.4	80.4	1.001
140	0.07769	76.2	76.2	1.000
150	0.07616	74.7	74.7	1.000

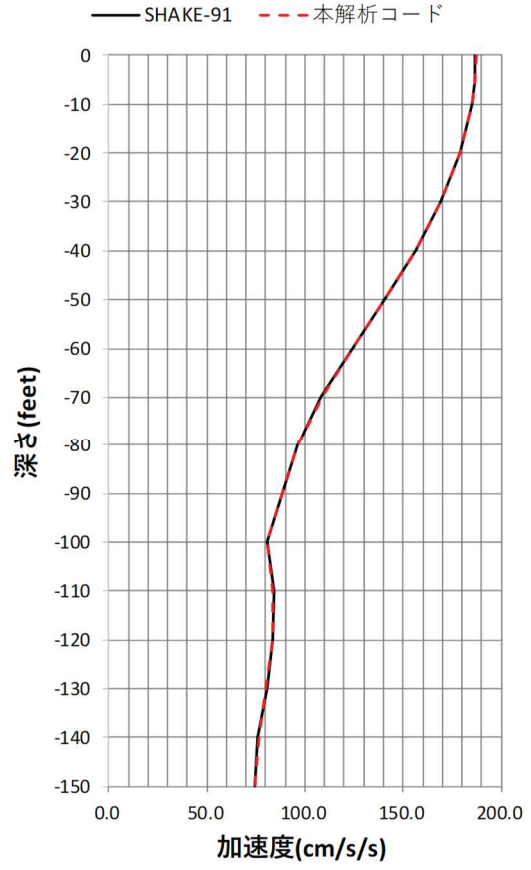


図 3-8 地盤の最大加速度分布

深さ (f t)	SHAKE-91 (G)	本解析コード (cm/s ²)	SHAKE-91/ 本解析コード
0	0.000770	0.000772	0.997
5	0.002955	0.002954	1.000
10	0.006335	0.006332	1.000
20	0.009760	0.009745	1.002
30	0.010990	0.010967	1.002
40	0.014030	0.013993	1.003
50	0.013615	0.013583	1.002
60	0.015660	0.015614	1.003
70	0.013555	0.013515	1.003
80	0.015055	0.015004	1.003
90	0.013355	0.013321	1.003
100	0.014130	0.014089	1.003
110	0.012335	0.012315	1.002
120	0.012815	0.012795	1.002
130	0.011150	0.011133	1.002
140	0.008645	0.008633	1.001

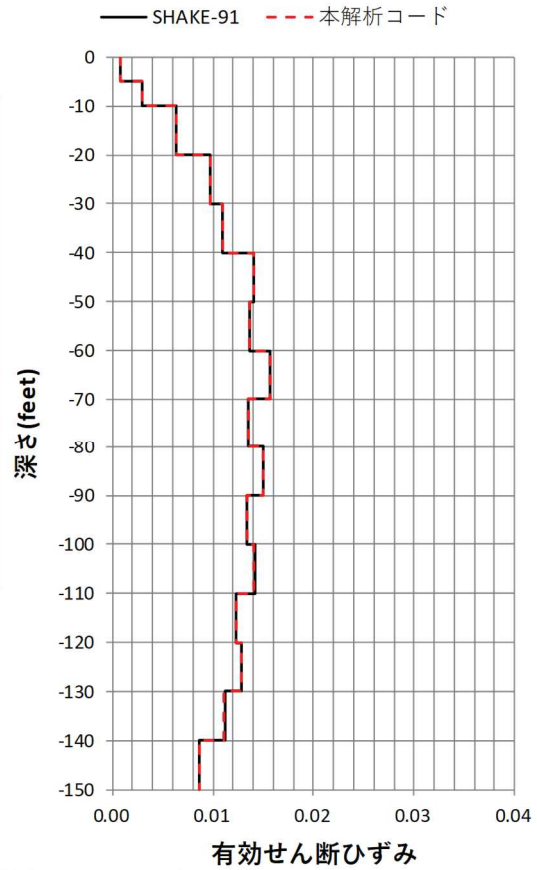


図 3-9 地盤の等価せん断ひずみ分布

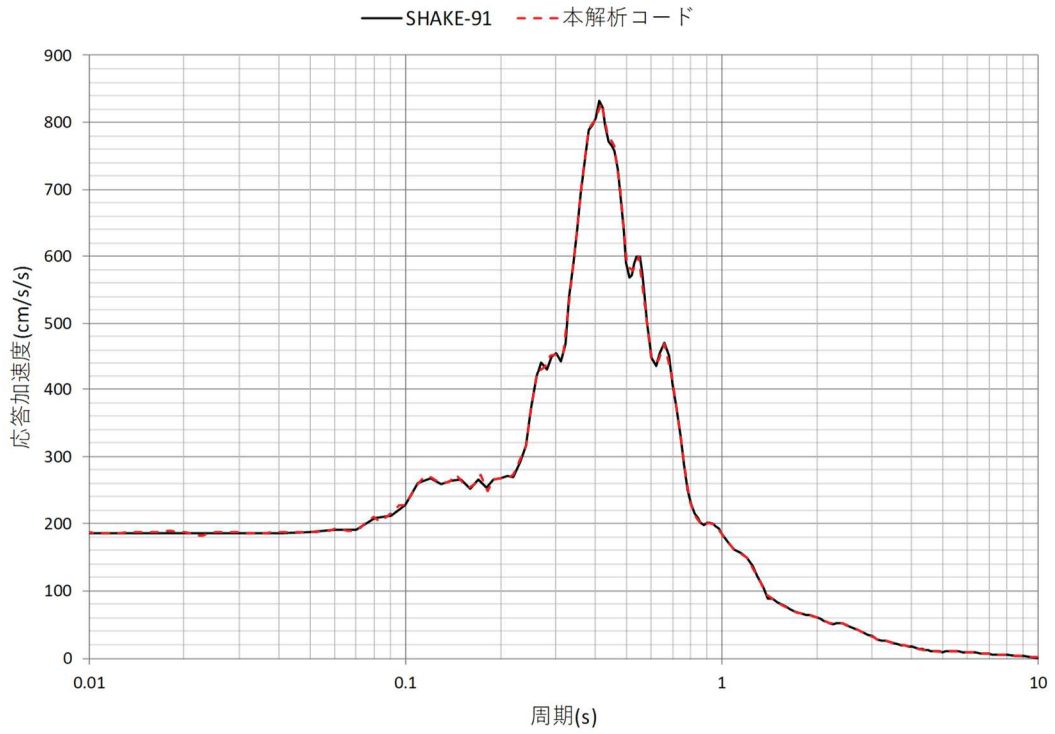


図 3-10 地表の加速度応答スペクトル (h=0.05)

(4) 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。

- ・ 2層の弾性モデル地盤を対象とした本解析コードの解析解が、公開文献による理論解と一致していることを確認できた。
- ・ 水平成層モデル地盤を対象とした本解析の解析解が、複素応答と次元重複反射理論に基づき構築された類似解析コードである SHAKE - 91 の解析解とおおむね一致することを確認できた。

VI-5-34 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ Soil Plus

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）Soil Plusについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-7	海水ポンプ室の地震応答計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-2-9	第3号機海水ポンプ室の地震応答計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-2-11	原子炉機器冷却海水配管ダクト(水平部)の地震応答計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-2-12-2	原子炉機器冷却海水配管ダクト(鉛直部)の耐震性についての計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-9-3-1-別紙1	原子炉建屋原子炉棟(二次格納施設)のうち大物搬入口の耐震性についての計算書	Ver. 2019 Build1
VI-2-10-2-3-1	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼板)の耐震性についての計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-10-2-3-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼桁)の耐震性についての計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-10-2-3-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の耐震性についての計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-10-4-3	取水口の耐震性についての計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-10-4-4-1	取水路(漸拡部)の耐震性についての計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-10-4-4-2	取水路(標準部)の耐震性についての計算書	Ver. 2015 Build3
VI-2-11-2-16	前面護岸の耐震性についての計算書	Ver. 2015 Build3
VI-3-別添3-2-2-1	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼板)の強度計算書	Ver. 2015 Build3
VI-3-別添3-2-2-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁(鋼桁)の強度計算書	Ver. 2015 Build3
VI-3-別添3-2-2-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の強度計算書	Ver. 2015 Build3

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	Soil Plus
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析 建屋地盤連成モデルの静的及び動的解析
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	2005年
使用したバージョン	Ver. 2015 Build3, Ver. 2019 Build1
コードの概要	<p>Soil Plus（以下「本解析コード」という。）は、2次元及び3次元の静的・浸透・耐震問題を考慮できる総合的な設計が可能な汎用解析コードである。</p> <p>本解析コードは、土木・建築分野に特化した要素群，材料非線形モデルを数多くサポートしていることが特徴で，日本国内では，建設部門を中心として，官公庁，大学，民間問わず，多くの利用実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画において使用する2次元有限要素法による地震応答解析の検証として，実績ある解析コードと地震応答解析結果が一致することを確認している。 ・応力解析の検証として，シェル要素を用いた応力解析を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において，緊急時対策所建屋及び格納容器圧力逃がし装置格納槽の地震応答解析及び応力解析に本解析コード（Ver. 2015 Build3）が使用された実績がある。 ・検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから，本解析コードの解析解と理論解の一致をもって解析機能の妥当性も確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンのうちVer. 2015 Build3は，他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 2019 Build1 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。・本工事計画において行う有限要素法による地震応答解析の使用用途及び使用方法に関する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。
--	--

VI-5-35 計算機プログラム（解析コード）の概要
・WCOMD Studio

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）WCOMD Studioについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-12-1	原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の耐震性についての計算書	Ver. 1.00.02
VI-2-2-12-2	原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震性についての計算書	Ver. 1.00.02

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	WCOMD Studio
使用目的	2次元有限要素法（非線形平面要素）による静的解析
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	2015年
使用したバージョン	Ver. 1.00.02
コードの概要	<p>WCOMD Studio（以下「本解析コード」という。）は、東京大学コンクリート研究室で開発された、鉄筋コンクリート構造物の2次元有限要素法解析を行う解析コードWCOMDに、株式会社フォーラムエイトがプリ・ポストプロセッサを整備して製品化したものである。</p> <p>コンクリートに関する数多くの実験と理論的検証結果に基づいた高精度の構成則を用いており、ひび割れを生じた様々な鉄筋コンクリート構造物の2次元非線形動的解析・静的解析を行う。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・せん断耐力式によるせん断耐力と解析によるせん断耐力がおおむね一致していることを確認している。また、鉄筋コンクリートはりの載荷試験の結果と解析結果がおおむね一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、九州電力株式会社川内原子力発電所において、取水路に使用されている汎用市販コード（UC-win/WCOMD Ver.2）の後継製品であり、本工事計画で使用する鉄筋コンクリートはりと同様の適用をしている。 ・本解析コードは、汎用市販コード（UC-win/WCOMD Ver.2）と比較すると入出力の機能追加が図られたものであり、同一のソルバーを使用しているため、解析結果に影響を及ぼすものではないことを確認している。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する2次元非線形有限要素法解析（応力解析）に、本解析コードが適用できることを確認している。

VI-5-36 計算機プログラム（解析コード）の概要
・microSHAKE/3D

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）microSHAKE/3Dについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-17	ガスタービン発電設備軽油タンク室の地震応答計算書	Ver. 2.3.3
VI-2-10-2-8-3	浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の耐震性についての計算書	Ver. 2.3.1
VI-2-別添 3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動	Ver. 2.3.3

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	microSHAKE/3D
使用目的	1次元地震応答解析による入力地震動算定
開発機関	株式会社地震工学研究所
開発時期	2011年
使用したバージョン	Ver. 2.3.1, Ver. 2.3.3
コードの概要	<p>microSHAKE/3D (1次元波動伝播解析コード) (以下「本解析コード」という。) は、重複反射理論に基づく地盤の地震応答解析を行うことが可能であり、地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮することができる。</p> <p>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ①1次元重複反射理論に基づくプログラムである。 ②地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮できる。 ③鉛直動は、S波速度 V_s をP波速度 V_p として定義することで対応が可能である。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードについて、二層のモデル地盤において地震応答解析を行った解析解と、1次元重複反射理論に基づく理論解が一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の内容のとおり、地盤の応答解析について検証していることから、解析の目的に照らして本工事計画の解析に適用することは妥当である。 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備等の1次元地震応答解析(入力地震動算定)で本解析コードが使用された実績がある。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">・本工事計画において使用するバージョンは, 既工事計画において使用されているものと異なるが, バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。・本工事計画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。
--	--

VI-5-37 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ TDAPⅢ

目 次

1.	はじめに.....	1
1.1	使用状況一覧.....	2
2.	解析コードの概要.....	3
2.1	TDAPⅢ Ver. 3.08.....	3
2.2	TDAPⅢ Ver. 3.10.....	5
2.3	TDAPⅢ Ver. 3.10.01.....	7
2.4	TDAPⅢ Ver. 3.11.....	9
3.	TDAPⅢ Ver. 3.10.01 の解析手法について（2次元有限要素法（非線形はり要素）による静的解析）	11
3.1	一般事項.....	11
3.2	解析コードの特徴.....	11
3.3	解析手法.....	12
3.3.1	2次元非線形ファイバー要素.....	12
3.3.2	支配方程式.....	12
3.3.3	静的解析.....	13
3.4	解析フローチャート.....	14
3.5	検証(Verification)と妥当性確認(Validation).....	15
3.5.1	2次元非線形ファイバー要素の適用性の検証.....	15
3.5.2	妥当性確認.....	18
3.5.3	評価結果.....	18

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）TDAPⅢについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-12-2	原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震性についての計算書	Ver. 3. 10. 01
VI-2-2-17	ガスタービン発電設備軽油タンク室の地震応答計算書	Ver. 3. 08
VI-2-2-25	排気筒基礎の地震応答計算書	Ver. 3. 08
VI-2-3-2	炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書	Ver. 3. 10
VI-2-3-3-2-4	炉心シュラウド支持ロッドの耐震性についての計算書	Ver. 3. 10
VI-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書	Ver. 3. 08
VI-2-10-2-3-1	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の耐震性についての計算書	Ver. 3. 10. 01
VI-2-10-2-3-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書	Ver. 3. 10. 01
VI-2-10-2-3-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の耐震性についての計算書	Ver. 3. 10. 01
VI-2-10-2-4-1	取放水路流路縮小工（第1号機取水路）の耐震性についての計算書	Ver. 3. 11
VI-2-10-2-4-2	取放水路流路縮小工（第1号機放水路）の耐震性についての計算書	Ver. 3. 11
VI-2-10-2-6-1-1	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震性についての計算書	Ver. 3. 08
VI-2-10-2-8-3	浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の耐震性についての計算書	Ver. 3. 11
VI-2-13-1	地下水位低下設備ドレーンの耐震性についての計算書	Ver. 3. 11
VI-2-13-2	地下水位低下設備接続柵の耐震性についての計算書	Ver. 3. 11
VI-3-別添 3-2-1-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度計算書	Ver. 3. 08
VI-3-別添 3-2-2-1	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の強度計算書	Ver. 3. 10. 01
VI-3-別添 3-2-2-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の強度計算書	Ver. 3. 10. 01
VI-3-別添 3-2-2-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の強度計算書	Ver. 3. 10. 01
VI-3-別添 3-2-5-1-1	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の強度計算書	Ver. 3. 11

2. 解析コードの概要

2.1 TDAPⅢ Ver. 3.08

項目 \ コード名	TDAPⅢ
使用目的	1 次元有限要素法による地震応答解析 2 次元有限要素法による地震応答解析 3 次元骨組み構造（線形はりばねモデル）による動的解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994 年
使用したバージョン	Ver. 3.08
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という。）は、2次元及び3次元の有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサポートしており、日本国内では、建設部門を中心として、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。</p> <p>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①2次元及び3次元有限要素プログラムである。 ②地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。 ④静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。 ⑤地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。
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の内容は、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、開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・橋梁、橋脚、地盤～構造物連成、地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。 ・関西電力株式会社高浜発電所第3号機において、海水ポンプ室、海

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>水管トレンチ，海水取水トンネル，燃料油貯油そう基礎の2次元有限要素法による地震応答解析に本解析コード（Ver. 3.05）が使用された実績がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において，防潮堤（鋼製防護壁）の3次元骨組みモデルによる動的解析に本解析コード（Ver. 3.08）が使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは，高浜発電所第3号機の既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンは，東海第二発電所の既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する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。
--	--

2.2 TDAPⅢ Ver. 3.10

<p>項目</p>	<p>コード名 TDAPⅢ</p>
<p>使用目的</p>	<p>固有値解析，弾塑性地震応答解析，弾性地震応答解析</p>
<p>開発機関</p>	<p>大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム</p>
<p>開発時期</p>	<p>1994 年</p>
<p>使用したバージョン</p>	<p>Ver. 3.10</p>
<p>コードの概要</p>	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という。）は，2次元及び3次元の有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として，地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また，土木・建築分野に特化した要素群，材料非線形モデルを数多くサポートしており，日本国内では，建設部門を中心として，官公庁，大学，民間問わず，多くの利用実績がある。</p> <p>本解析コードの主な特徴は，以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①2次元及び3次元有限要素プログラムである。 ②地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③線形要素，平面要素，立体要素等を用いることができる。 ④静的解析を引継いだ動的解析を行うことができる。 ⑤地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。
<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの計算機能が適正であることは妥当性確認の中で確認している。 ・地震応答解析に対して，既工事計画において実績のある解析コード(NAPP, DYNA 等)を用いた解析解と本解析コードを用いた解析解を比較した結果，双方の解がおおむね一致することを確認している。 ・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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・橋梁，橋脚，地盤～構造物連成，地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており，十分な使用実績があるため，信頼性があると判断できる。 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において，建物・構造物，

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>屋外重要土木構造物等の静的応力解析に本解析コード (Ver. 3.08) が使用された実績がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更点は、機能の追加・修正、計算の効率化である。本工事計画の大型機器連成解析に用いる機能のうち、バージョンアップに伴い一部修正が行われているが、過去バージョンと現バージョンの解析結果の差を比較することで影響がないことを確認している。 ・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する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。
--	---

2.3 TDAPⅢ Ver. 3.10.01

項目	コード名
使用目的	TDAPⅢ 2次元有限要素法（非線形はり要素）による静的解析 3次元骨組み構造（線形はりばねモデル）による地震応答解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver. 3.10.01
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という。）は、2次元及び3次元の有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサポートしており、日本国内では、建設部門を中心として、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。</p> <p>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> ①2次元及び3次元有限要素プログラムである。 ②地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。 ④静的解析を引継いだ動的解析を行うことができる。 ⑤地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2次元有限要素法（非線形はり要素）による静的解析については、本解析コードによる非線形はり要素を用いた解析結果と実験結果がおおむね一致することを確認している。 ・3次元骨組み構造（線形はりばねモデル）による地震応答解析については、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、開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・橋梁、橋脚、地盤～構造物連成、地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており、十分な使用実績が

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>あるため、信頼性があると判断できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2次元有限要素法（非線形はり要素）による静的解析については、九州電力株式会社川内原子力発電所第1号機において、海水管ダクト堅坑部の2次元骨組み解析に本解析コード（Ver. 3.01）が使用された実績がある。 ・3次元骨組み構造（線形はりばねモデル）による地震応答解析については、日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、防潮堤（鋼製防護壁）の3次元骨組みモデルによる動的解析に本解析コード（Ver. 3.08）が使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは、川内原子力発電所第1号機の既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンは、東海第二発電所の既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析及び2次元有限要素法による静的解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する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。
--	---

2.4 TDAPⅢ Ver. 3.11

<p>項目</p>	<p>コード名 TDAPⅢ</p>
<p>使用目的</p>	<p>1 次元有限要素法による地震応答解析 2 次元有限要素法による地震応答解析</p>
<p>開発機関</p>	<p>大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム</p>
<p>開発時期</p>	<p>1994 年</p>
<p>使用したバージョン</p>	<p>Ver. 3.11</p>
<p>コードの概要</p>	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という。）は、2次元及び3次元の有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサポートしており、日本国内では、建設部門を中心として、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。</p> <p>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <p>①2次元及び3次元有限要素プログラムである。</p> <p>②地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。</p> <p>③線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。</p> <p>④静的解析を引継いだ動的解析を行うことができる。</p> <p>⑤地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。</p>
<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、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、開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・橋梁、橋脚、地盤～構造物連成、地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。 ・関西電力株式会社高浜発電所第3号機において、海水ポンプ室、海水管トレンチ、海水取水トンネル、燃料油貯油そう基礎の2次元有限要素法による地震応答解析に本解析コード（Ver. 3.05）が使用された実績がある。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する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. TDAPⅢ Ver. 3.10.01 の解析手法について（2次元有限要素法（非線形はり要素）による静的解析）
3.1 一般事項

TDAPⅢ Ver. 3.10.01 は、2次元及び3次元の有限要素解析を行う汎用プログラムである。土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを多数準備し、FEM のモデル化を容易にしている。

解析対象としては、地盤と構造物の連成モデルの耐震解析に用いられることが多く、高速道路（全体モデル、橋脚、杭基礎等）、橋梁、地下トンネル、上下水道施設、原子力発電所施設、起振実験や静的加力実験等の数値シミュレーション等の解析にも多くの実績がある計算機コードであり、2次元骨組みモデルによる静的解析に用いる。

3.2 解析コードの特徴

- (1) TDAPⅢの解析機能の一例を以下に示す。
 - ・静的解析
 - ・等価減衰行列の作成
 - ・複数固有値解析
- (2) ばね要素、はり要素、平面要素、立体要素等、多くの要素が用意されており、種々のタイプの構造物の解析を行うことができる。
- (3) 多自由度を有する大規模問題を効率よく解析することができる。
- (4) 大規模問題を取り扱うために、入力データが簡素化されている。
- (5) 解析する座標系及び拘束方法は、取り扱う問題にあったものを選ぶことができる。

3.3 解析手法

3.3.1 2次元非線形ファイバー要素

RC 部材はファイバーモデルの非線形はり要素でモデル化する。ファイバーモデルは、図 3-1 に示すように線材要素の断面を層状に分割し、各層（ファイバー）が平面保持をして変形し、分割した個々のファイバー内では応力・ひずみが一定のモデルである。各ファイバーは当該材料の非線形性を考慮することができる。

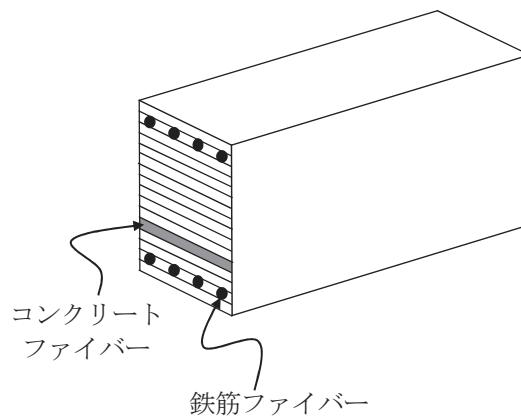


図 3-1 ファイバーモデルの概念図

3.3.2 支配方程式

多自由度系の非線形支配方程式は次式で表される。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + \{F\} = \{R\} \quad \text{式 (1)}$$

ここで、

$[M]$: 質量マトリクス

$[C]$: 減衰マトリクス

$\{F\}$: 要素内力ベクトル

剛性マトリクス $[K]$ が線形の場合 $\{F\} = [K]\{u\}$

$[K]$: 剛性マトリクス

$\{\ddot{u}\}$: 相対加速度ベクトル

$\{\dot{u}\}$: 相対速度ベクトル

$\{u\}$: 相対変位ベクトル

$\{R\}$: 外力ベクトル

$$\{R\} = - \sum_{i=1}^n [M]\{v_i\}\ddot{\alpha}_i + \{R_f\}$$

$\ddot{\alpha}_i$: i 方向の入力地震加速度

n : 入力地震動作用方向数

$\{v_i\}$: i 方向に対応する自由度に1を立てた入力地震動方向ベクトル

$\{R_f\}$: 入力地震加速度以外の外力ベクトル

なお、静的解析の場合は、 $[M]=0$ $[C]=0$ であり、 $\{u\}$ は絶対変位となる。

3.3.3 静的解析

式(1)より、荷重ステップ t から荷重ステップ $t + \Delta t$ の増分ステップにおける支配方程式は次式となる。

$$\begin{aligned} \left[{}^{t+\Delta t}K^{(i-1)} \right] \{ \Delta u^{(i)} \} &= \{ {}^{t+\Delta t}R \} - \{ {}^{t+\Delta t}F^{(i-1)} \} \\ \{ {}^{t+\Delta t}u^{(i)} \} &= \{ {}^{t+\Delta t}u^{(i-1)} \} + \{ \Delta u^{(i)} \} \\ \{ {}^{t+\Delta t}u^{(0)} \} &= \{ {}^t u \} \\ \{ {}^{t+\Delta t}F^{(0)} \} &= \{ {}^t F^{(0)} \} \end{aligned} \tag{2}$$

ここで、 Δt は増分インデックス、 (i) は収束計算回数を示す。

これを用い式(1)を満足するようにニュートンラプソン法により収束計算を行う。

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-4 に示す。

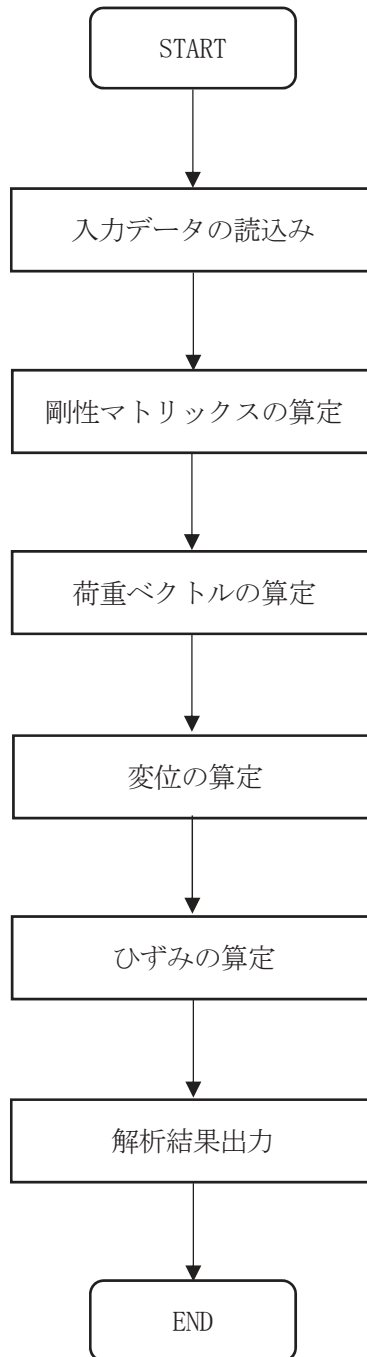


図 3-4 解析フローチャート

3.5 検証(Verification)と妥当性確認(Validation)

3.5.1 2次元非線形ファイバー要素の適用性の検証

2次元非線形ファイバー要素は、コンクリート及び鉄筋の非線形性を考慮し、鉄筋コンクリート部材を複数のファイバー(繊維)の集合体とみなし、各ファイバーを等価な直バネに置き換えて、軸力とモーメントの連成を考慮できるようにモデル化する要素である。2次元非線形ファイバー要素を用いた解析の適用性は、単純はりモデルの荷重-変位関係について、本解析コードによる解析結果と実験結果を比較することで検証する。

(1) 検討条件

a. 実験概要

比較対象とする実験の概念図を図3-5に示す。実験では鉄筋コンクリートはりの試験体に対し、試験体天端2点に荷重し、試験体中央位置での鉛直変位に関する荷重-変位関係を確認する。

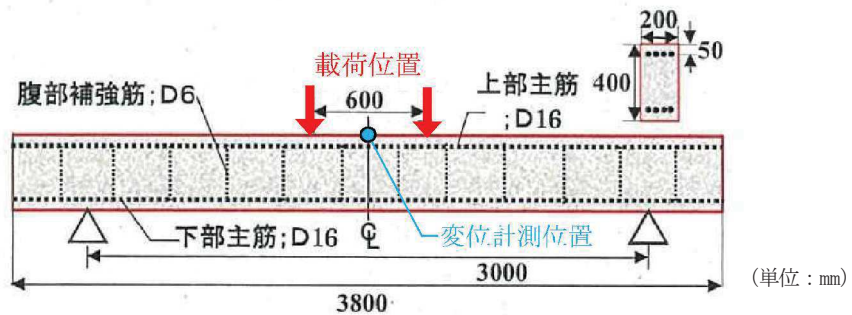


図 3-5 実験概念図

(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針 (技術資料) (2005年) より引用)

b. 解析モデル

解析モデルは図3-5に基づき、2次元非線形ファイバー要素でモデル化し、要素分割は要素数18、節点数19とする。断面のモデル化は断面の分割数を40とし、鉄筋を上端、下端から50 mmとなる位置に配置することでモデル化する。解析モデル図、断面のモデル化を図3-6及び図3-7に示す。

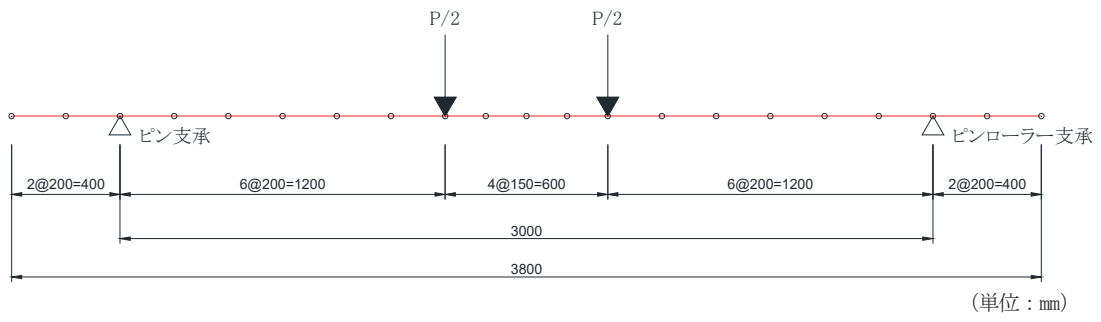


図 3-6 解析モデル図

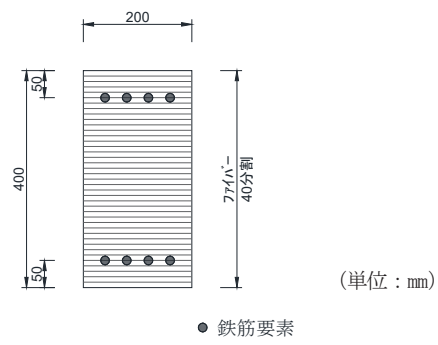


図 3-7 断面のモデル化

c. 解析用物性値

解析用物性値を表 3-1 に示す。

表 3-1 解析用物性値

コンクリート	圧縮強度 f_c (N/mm ²)	45.3
	引張強度 f_t (N/mm ²)	3.7
	ヤング係数 E_c (N/mm ²)	3.06×10^4
鉄筋	降伏強度 f_y (N/mm ²)	344
	ヤング係数 E_s (N/mm ²)	1.94×10^5

(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針 (技術資料) (2005 年) より引用)

d. 解析条件

図 3-5 の載荷位置と同様に, 図 3-6 に示す載荷位置に載荷し, モデル中央位置における荷重-変位関係を算出する。

(2) 結果の検証

実験結果と解析結果の荷重-変位関係の比較を図 3-8 に示す。

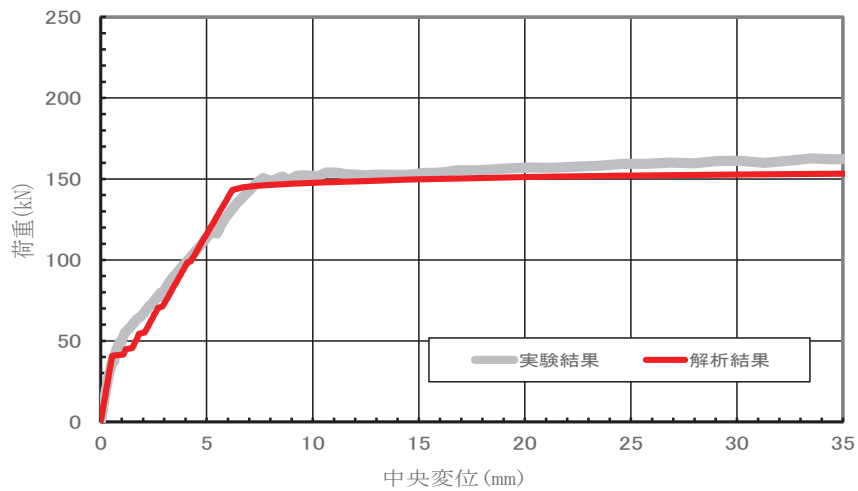


図 3-8 荷重-変位関係の比較

解析結果と実験結果の荷重-変位関係はおおむね一致しており, 鉄筋降伏時の荷重もおおむね同等である。以上より, 2次元非線形ファイバー要素を用いた解析の適用性を確認した。

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。

- ・ 橋梁，橋脚，地盤～構造物連成，地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており，十分な使用実績があるため，信頼性があると判断できる。
- ・ 検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから，検証の結果をもって，解析機能の妥当性も確認できる。
- ・ 本工事計画で使用する応力解析の用途，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

以上の検証結果及び妥当性確認結果により，本解析コードを，屋外重要土木構造物の応力解析に使用することは妥当である。

VI-5-38 計算機プログラム（解析コード）の概要

・ UC-win/WCOMD

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）UC-win/WCOMDについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-20	軽油タンク連絡ダクトの耐震性についての計算書	Ver. 2.02.02
VI-2-2-28	排気筒連絡ダクトの耐震性についての計算書	Ver. 2.02.02

2. 解析コードの概要

項目	コード名
項目	UC-win/WCOMD
使用目的	2次元有限要素法（非線形平面要素）による静的解析
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	1998年
使用したバージョン	Ver. 2.02.02
コードの概要	<p>UC-win/WCOMD（以下「本解析コード」という。）は、東京大学コンクリート研究室で開発された、鉄筋コンクリート構造物の2次元有限要素法解析を行う計算機コード「WCOMD」に、株式会社フォーラムエイトがプリ・ポストプロセッサを整備して製品化したものである。</p> <p>コンクリートに関する数多くの実験と理論的検証結果に基づいた高精度の構成則を用いており、ひび割れを生じた様々な鉄筋コンクリート構造物の2次元非線形動的解析・静的解析を行う。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・せん断耐力式によるせん断耐力と解析によるせん断耐力がおおむね一致していることを確認している。また、鉄筋コンクリートはりの載荷試験の結果と解析結果がおおむね一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・九州電力株式会社川内原子力発電所において、2次元非線形静的解析による取水路の応力解析（せん断耐力の算定）に本解析コードが使用された実績があり、本工事計画で使用する鉄筋コンクリートはりと同様の適用をしている。 ・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する2次元非線形有限要素法解析（応力解析）に、本解析コードが適用できることを確認している。

VI-5-39 計算機プログラム（解析コード）の概要
・NOVAK

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）NOVAKについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-21	緊急用電気品建屋の地震応答計算書	Ver. 1.3.1, Ver. 1.3.2, Ver. 1.3.3
VI-2-2-23	緊急時対策建屋の地震応答計算書	Ver. 1.3.1, Ver. 1.3.2, Ver. 1.3.3

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	NOVAK
使用目的	水平方向の地震応答解析モデルにおける側面地盤ばね算定
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1984 年
使用したバージョン	Ver. 1. 3. 1, Ver. 1. 3. 2, Ver. 1. 3. 3
コードの概要	NOVAK (以下「本解析コード」という。) は, Novak の論文*に基づき, 水平動, 鉛直動, 回転動に対する建屋側面地盤の複素ばね剛性を振動数領域で算出するプログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は, 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)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは日本国内の原子力施設で多数の工事計画に使用されており, 十分な使用実績があるため信頼性があることを確認している。 ・Novak の論文*に記載されている水平, 鉛直, 回転ばねと同一地盤定数を用いた本解析コードによる解析結果を比較し, 両者が一致することを確認している。 ・本工事計画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。

注記* : M. NOVAK, T. NOGAMI and F. ABOUL-ELLA, “DYNAMIC SOIL REACTION FOR PLANE STRAIN CASE”, EM4, ASCE, 1978 年

VI-5-40 計算機プログラム（解析コード）の概要
・MSC NASTRAN

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	5
2.1 MSC NASTRAN ver. 2005r2, ver. 2008. 0. 0.....	5
2.2 MSC NASTRAN ver. 2012. 1. 0.....	7
2.3 MSC NASTRAN ver. 2013. 1. 1.....	8
2.4 MSC NASTRAN ver. 2018. 2. 1.....	10
2.5 MSC NASTRAN ver. 2019 Feature Pack 1.....	12

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）MSC NASTRANについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-22	緊急用電気品建屋の耐震性についての計算書	ver. 2013. 1. 1
VI-2-2-24	緊急時対策建屋の耐震性についての計算書	ver. 2013. 1. 1
VI-2-3-4-2-3	制御棒駆動機構ハウジング支持金具の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-3-4-3-11	中性子束計測案内管の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-4-2-1	使用済燃料プール（キャスクピットを含む）（第1, 2号機共用）の耐震性についての計算書	ver. 2013. 1. 1
VI-2-4-2-2	使用済燃料貯蔵ラック（第1, 2号機共用）の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-4-2-3	制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-5-4-1-2	残留熱除去系ポンプの耐震性についての計算書	ver. 2012. 1. 0
VI-2-5-5-1-1	高圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書	ver. 2012. 1. 0
VI-2-5-5-2-1	低圧炉心スプレイ系ポンプの耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-5-7-1-3	原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書	ver. 2012. 1. 0
VI-2-5-7-2-3	高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプの耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-6-5-1-1	起動領域モニタの耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-6-5-1-2	出力領域モニタの耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-6-7-2-2	衛星電話設備（屋外アンテナ）（中央制御室）の耐震性についての計算書	ver. 2008. 0. 0
VI-2-6-7-2-4	衛星電話設備（屋外アンテナ）（緊急時対策所）の耐震性についての計算書	ver. 2008. 0. 0
VI-2-6-7-3-2	無線連絡設備（屋外アンテナ）（中央制御室）の耐震性についての計算書	ver. 2008. 0. 0
VI-2-6-7-3-4	無線連絡設備（屋外アンテナ）（緊急時対策所）の耐震性についての計算書	ver. 2008. 0. 0
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	ver. 2008. 0. 0
VI-2-6-7-8	統合原子力防災ネットワーク用通信機器収容架の耐震性についての計算書	ver. 2008. 0. 0

使用添付書類		バージョン
VI-2-8-3-3-1	管の耐震性についての計算書（中央制御室待避所加圧空気供給系）	ver. 2005r2
VI-2-9-2-1-2	サプレッションチェンバの耐震性についての計算書	ver. 2019 Feature Pack 1
VI-2-9-2-1-5	ボックスサポートの耐震性についての計算書	ver. 2019 Feature Pack 1
VI-2-9-4-1	ダウンカマの耐震性についての計算書	ver. 2019 Feature Pack 1
VI-2-9-4-2	ベント管の耐震性についての計算書	ver. 2019 Feature Pack 1
VI-2-9-4-4-1-5	原子炉建屋ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-9-4-4-3-1	静的触媒式水素再結合装置の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-10-2-13-1	津波監視カメラの耐震性についての計算書	ver. 2008. 0. 0
VI-2-11-2-7	中央制御室天井照明の耐震性についての計算書	ver. 2013. 1. 1
VI-2-11-2-9	燃料交換機の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-11-2-13	制御棒貯蔵ラックの耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-11-2-14	制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-11-2-21	CRD 自動交換機の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-12-1	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果	ver. 2013. 1. 1
VI-2-13-8	地下水位低下設備制御盤の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-13-9	地下水位低下設備電源盤の耐震性についての計算書	ver. 2018. 2. 1
VI-2-別添 1-4	ガスボンベ設備の耐震性についての計算書	ver. 2005r2
VI-2-別添 1-7	消火配管の耐震性についての計算書	ver. 2005r2
VI-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B, C クラス機器の耐震性についての計算書	ver. 2012. 1. 0, ver. 2018. 2. 1
VI-2-別添 3-4	可搬型重大事故等対処設備のうちボンベ設備の耐震計算書	ver. 2005r2
VI-2-別添 3-5	可搬型重大事故等対処設備のうちその他設備の耐震計算書	ver. 2008. 0. 0
VI-3-3-6-1-1-7	サプレッションチェンバの強度計算書	ver. 2019 Feature Pack 1
VI-3-3-6-2-2	ダウンカマの強度計算書	ver. 2019 Feature Pack 1

使用添付書類		バージョン
VI-3-3-6-2-3	ベントヘッドの強度計算書	ver. 2019 Feature Pack 1
VI-3-3-6-2-5	ベント管の強度計算書	ver. 2019 Feature Pack 1

2. 解析コードの概要

2.1 MSC NASTRAN ver.2005r2, ver.2008.0.0

項目	コード名	MSC NASTRAN
使用目的	ver.2005r2	3次元有限要素法（はりモデル及びシェルモデル）による固有値解析，応力解析
	Ver.2008.0.0	3次元有限要素法（はりモデル及びシェルモデル）による固有値解析，応力解析，地震応答解析
開発機関		MSC Software Corporation
開発時期		1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン		ver.2005r2, ver.2008.0.0
コードの概要		<p>MSC NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は，航空機の機体強度解析を目的として開発された，有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について，3次元有限要素法による応力解析，応答解析を行い，解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足し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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，土木，建築等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本工事計画で使用するはり要素及びシェル要素を用いた解析に本解析コードが適用できる

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>ことを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 前述の検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、解析結果と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。・ 本工事計画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。
--	---

2.2 MSC NASTRAN ver. 2012. 1. 0

項目	コード名 MSC NASTRAN
使用目的	はり要素による固有値解析，地震応答解析
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	ver. 2012. 1. 0
コードの概要	<p>MSC NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は，航空機の機体強度解析を目的として開発された，有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 3 質点 3 軸はり要素モデルに対する固有値解析結果と理論解を比較して妥当であることを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足し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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，土木，建築等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・ 開発機関が提示するマニュアルにより，本工事計画で使用するはり要素を用いた解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・ 本解析に本解析コードを使用することの妥当性は，前述の検証の中で確認している。 ・ 本工事計画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。

2.3 MSC NASTRAN ver. 2013. 1. 1

項目	コード名 MSC NASTRAN
使用目的	有限要素法による応力解析
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	ver. 2013. 1. 1
コードの概要	<p>MSC NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は、航空機の機体強度解析を目的として開発された、有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデル（主にはり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、シェル要素を用いた応力解析を対象として、シェル要素を用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、土木、建築等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する有限要素法（シェル要素）による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・前述の検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、解析結果と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	・ 本工事計画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。
---	---

2.4 MSC NASTRAN ver. 2018. 2. 1

<p>項目</p>	<p>コード名 MSC NASTRAN</p>
<p>使用目的</p>	<p>3次元有限要素法（はりモデル，シェルモデル，ソリッドモデル，多質点モデル）による固有値解析，地震応答解析，応力解析</p>
<p>開発機関</p>	<p>MSC Software Corporation</p>
<p>開発時期</p>	<p>1971年（一般商業用リリース）</p>
<p>使用したバージョン</p>	<p>ver. 2018. 2. 1</p>
<p>コードの概要</p>	<p>MSC NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は，航空機の機体強度解析を目的として開発された，有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について，3次元有限要素法による固有値解析，地震応答解析，応力解析を行い，解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・3質点3軸はり要素モデルに対する固有値解析結果と理論解を比較して妥当であることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足し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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，土木，建築等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本工事計画で使用する3次元有限要素法（はりモデル，シェルモデル，ソリッドモデル，多質点モデル）を用いた解析に本解析コードが適用できることを確認し

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>ている。</p> <ul style="list-style-type: none">・前述の検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、解析結果と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認できる。・本工事計画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。
--	---

2.5 MSC NASTRAN ver.2019 Feature Pack 1

項目	コード名 MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法（シェル要素，はり要素）による構造解析，応力算出
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	ver.2019 Feature Pack 1
コードの概要	<p>MSC NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は，航空機の機体強度解析を目的として開発された，有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について，はり要素及びシェル要素を用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析解が理論解とおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，土木，建築等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本工事計画で使用するはり要素及びシェル要素を用いた解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・本解析に本解析コードを使用することの妥当性は，前述の検証の中で確認している。 ・本工事計画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。

VI-5-41 計算機プログラム（解析コード）の概要

• KANDYN_2N

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）KANDYN_2Nについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-30	第 3 号機海水熱交換器建屋の耐震性についての計算書	Ver. 4.06

2. 解析コードの概要

項目	コード名 KANDYN_2N
使用目的	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	<p>KANDYN_2N（以下「本解析コード」という。）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 を用いる解析コードである。</p> <p>地震時の建屋接地率が 50%を下回る場合の特別な検討に用いる研究に使用された実績がある。</p> <p>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。</p> <p>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。</p>
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の内容は、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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードを用いて、はり要素の弾塑性地震応答解析を行い、既存原子力発電所への使用実績の豊富な検証済の解析コード NUPP4 による解析結果と一致することを確認している。 ・本解析コードによる平行成層地盤の側面・底面境界条件自動作成機能を用いた地盤応答が、同一深度に同一変位条件を与えた場合の地盤応答結果と合致することを確認している。 ・本解析コードを用いた基礎部の浮上がり解析を行い、時間領域のグリーン関数法の解析結果とほぼ一致していることを確認している。 ・本工事計画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。

VI-5-42 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ SCC

目次

1.	はじめに.....	1
1.1	使用状況一覧.....	2
2.	解析コードの概要.....	3
3.	解析手法.....	5
3.1	一般事項.....	5
3.2	本解析コードの特徴.....	5
4.	解析理論.....	6
5.	解析フローチャート.....	8
6.	検証(Verification)と妥当性確認(Validation).....	9
6.1	検証(Verification).....	9
6.2	妥当性確認(Validation).....	9
6.2.1	妥当性確認方法.....	9
6.2.2	解析条件.....	9
6.2.3	妥当性確認結果.....	10
6.3	まとめ.....	10
7.	引用文献.....	10

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）SCCについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-3-2	炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

項目	コード名 SCC
使用目的	原子炉本体の基礎のスケルトンカーブ(曲げモーメント-曲率関係)の作成
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2016年
使用したバージョン	Ver. 1.0
コードの概要	<p>SCC (以下「本解析コード」という。) は、鉄筋又は円筒鋼板で補強されたコンクリート円筒構造物の断面算定を行う計算機コードである。</p> <p>本解析コードは、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005年制定)」(以下「RC-N規準」という。) に示される基本仮定に基づき、ひずみの平面保持の仮定のもとで、断面の応力評価にファイバーモデルを適用し、鋼材で補強された円筒構造物の断面算定を行うプログラムである。</p> <p>本解析コードの入力データのうち、曲げモーメントを増加させて解析することで、鋼板製コンクリート円筒壁のスケルトンカーブを算出することができる。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードにより得られた中立軸位置 x_n 及び曲率 ϕ をもとに、内力(軸力と曲げモーメント)を算出し、加えた外力と一致することを確認している。 ・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使用し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・使用マニュアルにより、本工事計画で実施するスケルトンカーブの作成に本解析コードが適用できることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">•本解析コードによる円筒鋼板で補強された円筒コンクリート部材について、「RC-N 規準」に示される基本仮定から求められる結果との比較により、両者がおおむね一致することを確認している。•本工事計画で行う鋼材+コンクリート円筒構造物の断面算定の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. 解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは、鋼材(鉄筋又は円筒鋼板)で補強された円筒コンクリート部材(円筒柱)について、「RC-N 規準」に示される基本仮定に基づき、断面算定を行うプログラムである。

本解析コードは、ひずみの平面保持の仮定及び引張域のコンクリートは耐力・剛性とも無視する鉄筋コンクリート構造の基本仮定を適用している。

算定には、断面を微小幅にスライスしたファイバーモデルを適用している。これにより、ひずみ度に応じた応力度分布をもとに断面力を算出する。外力(軸力+曲げモーメント)に対して、収束計算により中立軸と曲率を求め、鋼材とコンクリートのひずみ度及び応力度を求めるものである。

3.2 本解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴としては、以下のとおりである。

- ・荷重(軸力+曲げモーメント)に対して、円筒部材の鋼材及びコンクリートのひずみ度・応力度の算出を行う。
- ・コンクリートの応力度-ひずみ度関係は線形又はパラボラ分布の非線形性状(引用文献(1)参照)が扱える。
- ・鋼材の応力度-ひずみ度関係は線形又はバイリニアの非線形性状が扱える。

本工事計画における本解析コードのバージョン、評価対象及び評価内容を表 3-1 に示す。

表 3-1 解析概要

バージョン	評価対象	評価内容
Ver. 1.0	女川 2 号機原子炉本体の基礎	復元力特性設定におけるスケルトンカーブ(曲げモーメント-曲率関係)の各折点を算出

4. 解析理論

図 4-1 に示すリング状に円筒鋼板で補強された円筒コンクリート部材の軸力 N 及び曲げモーメント M は(1)式及び(2)式で表される。

コンクリートの応力度-ひずみ度関係にパラボラ分布を、鋼材の応力度-ひずみ度関係にバイリニアを適用し、軸力及び曲げモーメントの釣り合いから中立軸 x_n 及び曲率 ϕ を収束計算により算定する。

$$N = \int \sigma_c dA + \sum_k \int \sigma_s da_s \quad (1)$$

$$M = \int \sigma_c \cdot y dA + \sum_k \int \sigma_s \cdot y da_s - N \cdot \left(x_n - \frac{D}{2} \right) \quad (2)$$

ここで、

N : 軸力

M : 曲げモーメント

σ_c : コンクリートの応力度 (引用文献(1)参照)

$$\varepsilon \leq \varepsilon_0 \text{ の場合, } \sigma_c = 0.85 F_c \left\{ 2 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

$$\varepsilon > \varepsilon_0 \text{ の場合, } \sigma_c = 0.85 F_c \quad (4)$$

ε : ひずみ (= $y \cdot \phi$)

ε_0 : 応力度が最大に到達するひずみ (=0.002)

σ_s : 鋼材の応力度 (バイリニア)

x_n : 中立軸位置

y : 中立軸からの距離

ϕ : 曲率

A : 圧縮を受けるコンクリートの断面積

a_s : 鋼材の断面積

\sum_k : 円筒鋼板の枚数分の総和

D : 円筒の直径(外径)

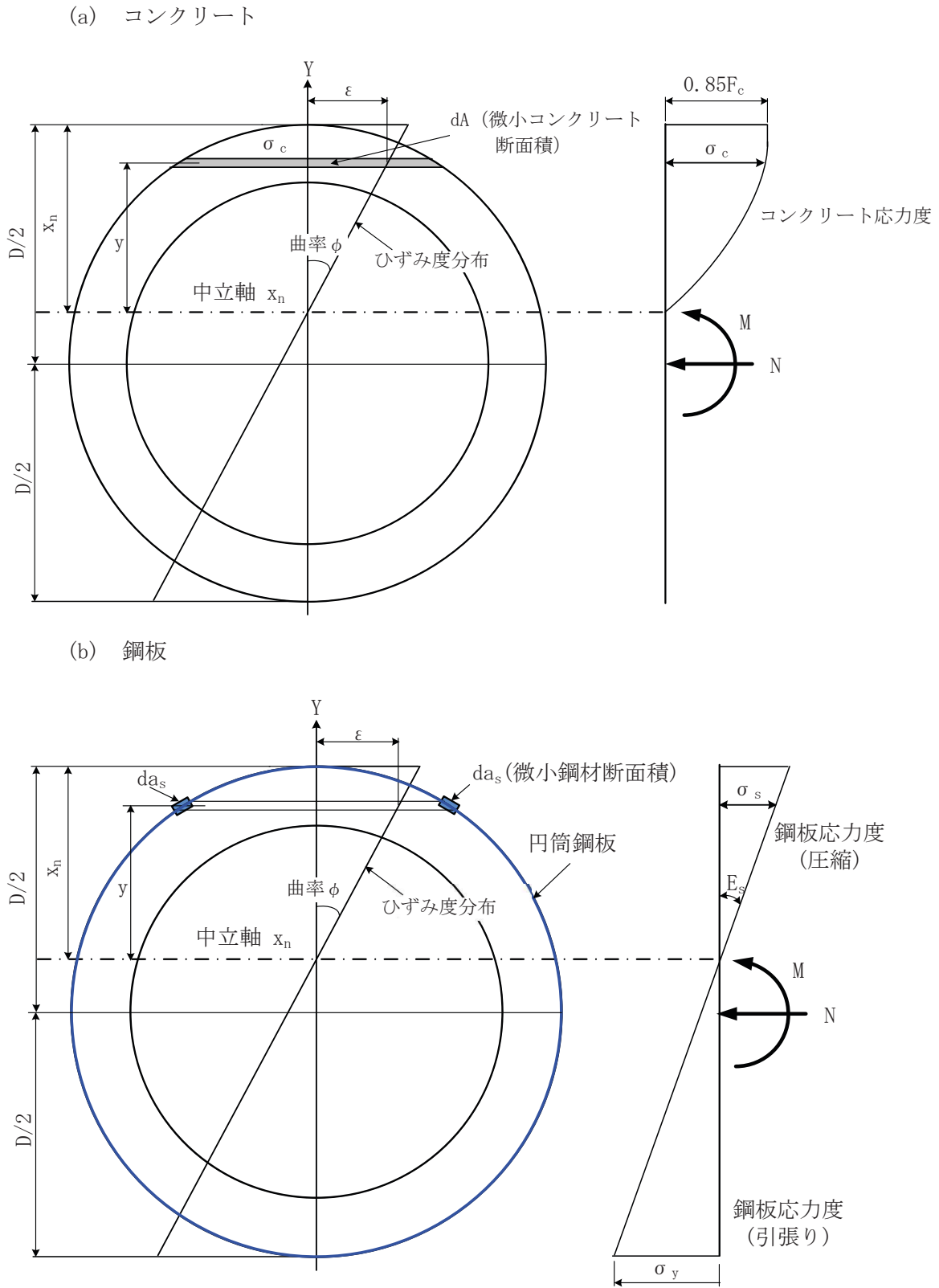


図 4-1 円筒断面のひずみ度と応力度

5. 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 5-1 に示す。

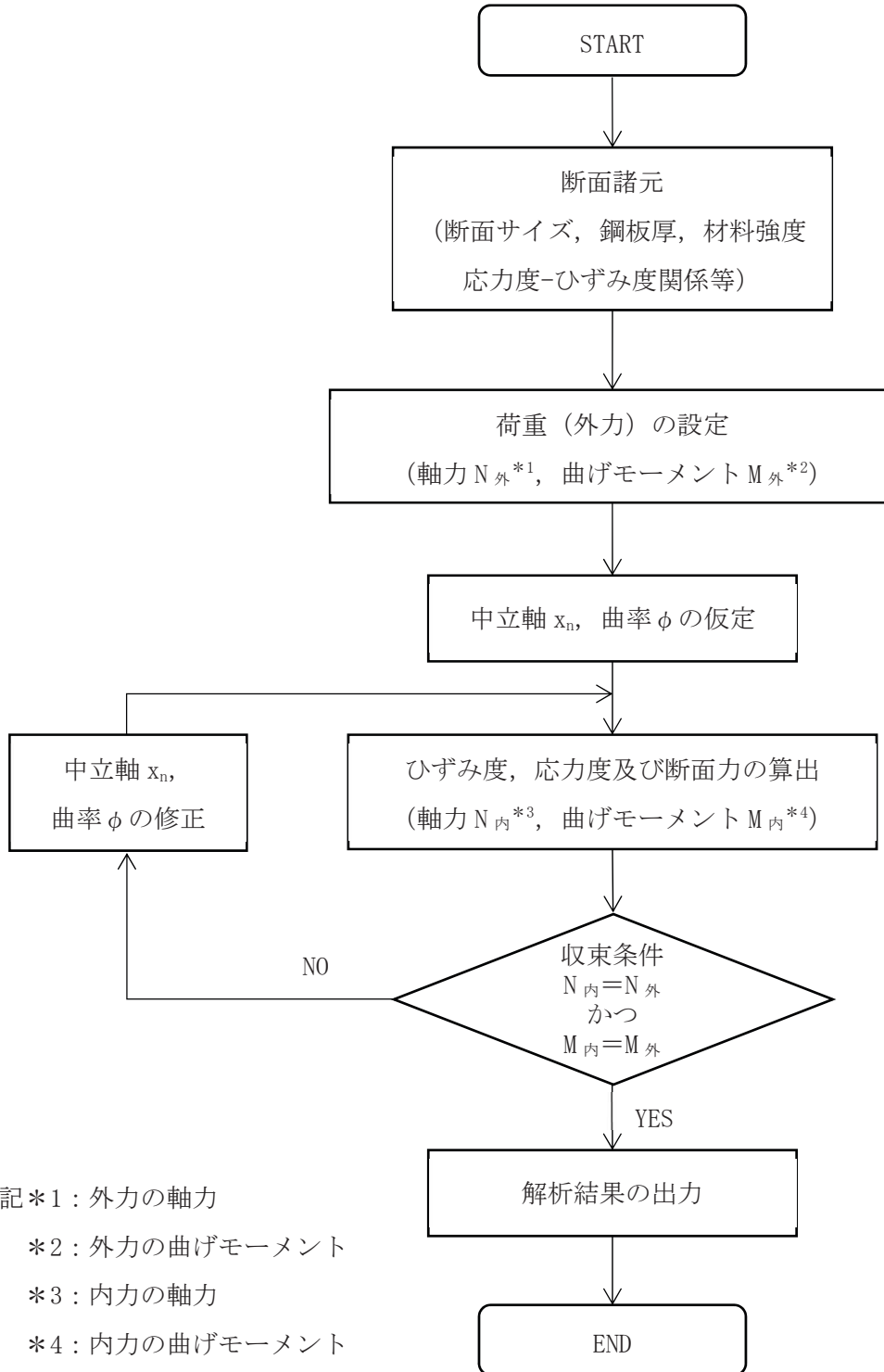


図 5-1 解析フローチャート

6. 検証(Verification)と妥当性確認(Validation)

本解析コードは、「4. 解析理論」に示した一般性のある理論に基づき構築された解析コードであり、「5. 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。

そこで、本解析コードによる円筒鋼板により補強された円筒コンクリート部材の解析結果と手計算による結果との比較により、解析解の適切さを確認している。

6.1 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。

6.2 妥当性確認(Validation)

6.2.1 妥当性確認方法

円筒鋼板+円筒コンクリート部材について、本解析コードにより得られた中立軸位置 x_n 及び曲率 ϕ をもとに、別途手計算で応力度から求められる内力（軸力と曲げモーメント）を算出し、加えた外力（軸力と曲げモーメント）と一致することの確認をもって行う。

6.2.2 解析条件

検証を行う円筒部材の断面諸元を表 6-1、荷重条件を表 6-2 に示す。

表 6-1 円筒部材の断面諸元

	コンクリート		円筒鋼板	
断面諸元	外径 (m)	14.0	鋼板中心半径 (m)	6.15
	内径 (m)	10.6	鋼板厚さ (m)	0.06
	躯体厚さ (m)	1.7	—	—
材料定数	設計基準強度 F_c (MPa)	29.4	F 値 (MPa)	245
	$0.85F_c$ (MPa)	24.99	縦弾性係数 E_s (MPa)	192,000

表 6-2 荷重条件

	荷重条件
軸力 (kN) (圧縮を正)	83,640
曲げモーメント (kN・m)	2,030,220

6.2.3 妥当性確認結果

本解析コードによる中立軸 x_n 及び曲率 ϕ (表 6-3) から求められるひずみ度及び応力度を用いて、手計算により求めた軸力及び曲げモーメントと入力した外力と比較して表 6-4 に示す。

表 6-4 より、両者は十分な精度で一致しており、本解析コードが応力度・ひずみ度を正しく評価していることとなる。

表 6-3 荷重条件と本解析コードによる中立軸と曲率

本解析コードによる中立軸と曲率	
中立軸 x_n (m)	5.0
曲率 ϕ (1/m)	1.20337×10^{-4}

表 6-4 入力外力と手計算による断面力の比較

	項 目	①入力値	②手計算による 算定結果	(①-②)/①
断面力	軸力 (kN) (圧縮を正)	83,640	83,623	0.0002
	曲げモーメント (kN・m)	2,030,220	2,029,987	0.0001

6.3 まとめ

以上のとおり、本解析コードの円筒鋼板+円筒コンクリート部材の断面算定機能について、本解析コードによる中立軸と曲率をもとに算出したひずみ度及び応力度から手計算によって断面力を算定し、これが与条件である外力と比較し一致することを確認した。したがって、本解析コードによる各部のひずみ度及び応力度が十分な精度で算出されていることとなる。以上より本解析コードによる断面算定が適切に行われていることを確認した。

また、上記に加えて、使用マニュアルにより、本工事計画で使用する鋼板+コンクリート円筒構造物のスケルトンカーブの算定に、本解析コードが適用できることを確認している。

したがって、本解析コードを、鋼板+コンクリート円筒構造物のスケルトンカーブの算定に使用することは、妥当である。

7. 引用文献

Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE), 1993

VI-5-43 計算機プログラム（解析コード）の概要
・BSPAN2

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）BSPAN2について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-3-3-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	2.2

2. 解析コードの概要

コード名 項目	BSPAN2
使用目的	弾性解析による被覆管応力解析
開発機関	原子燃料工業株式会社
開発時期	2011 年
使用したバージョン	2.2
コードの概要	<p>BSPAN2（以下「本解析コード」という。）は、原子燃料工業株式会社により開発された被覆管応力解析コードである。</p> <p>本解析コードは、軽水炉向け燃料棒について燃焼中に被覆管に発生する応力を評価し、設計比及び運転モードの変化により発生する応力振幅をモンテカルロ法により評価する解析コード BSPAN に、耐震解析用の機能等を統合した改良コードである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・組み込み式は、実験値、文献等の根拠に基づくものであり、当該式の使用が適切であることを確認し、理論解と解析結果が一致していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・改良前の BSPAN コードを電力合同プログラム点検にて確認している。 ・組み込み式が正しく反映されることを理論解と解析結果が一致していることで確認している。 ・解析コードのバージョンアップ前後の比較により、燃料被覆管応力解析において既許認可の結果を再現できることを確認している。

VI-5-44 計算機プログラム（解析コード）の概要
・CARO

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）CAROについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-3-3-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	1

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	CARO
使用目的	燃料棒の熱的挙動及び機械的挙動の評価
開発機関	Kraftwerk Union 社
開発時期	1981 年
使用したバージョン	1
コードの概要	<p>CARO (以下「本解析コード」という。) は, Kraftwerk Union 社により開発された燃料棒熱・機械設計コードである。</p> <p>本解析コードは, 出力履歴に対応したペレット-被覆管のギャップ幅変化とガスの熱伝導率をもとにペレットと被覆管のギャップ熱伝達係数を求め, 燃料棒の熱的挙動を評価すると同時に, 軸対称有限要素法 (FEM) により, ペレットと被覆管の相互作用等の機械的挙動を評価する。</p> <p>本解析コードは, 高燃焼度 8×8 燃料及び 9×9 燃料の設計・許認可に適用された実績がある。</p>
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の内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ハルデン炉の試験燃料データ, 商業炉燃料棒の照射後試験データ等に基づいてペレット中心温度, 核分裂生成ガス放出率, 燃料棒内圧及び被覆管直径変化を対象とした計算値と測定値の比較*1 が実施され, コードに組み込まれた個々の解析モデルが正しく機能し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の内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ハルデン炉の試験燃料データ等との比較における計算値と測定値のばらつきがコード予測の不確かさとして考慮*1 されていることを確認している。 ・コード検討会等規制機関による確認*1,*2 が実施されていることを確認している。

注記*1 : 沸騰水型軽水炉用燃料の設計手法について (昭和 62 年 12 月 原子燃料工業株式会社 NLR-14)

*2 : 原子炉安全基準専門部会報告書, 発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について (昭和 63 年 5 月 12 日 原子力安全委員会了承)

VI-5-45 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ FURST

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）FURSTについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-3-3-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	5

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	FURST
使用目的	弾性解析による被覆管応力解析
開発機関	ゼネラル・エレクトリック社
開発時期	1978 年
使用したバージョン	5
コードの概要	<p>FURST（以下「本解析コード」という。）は、ゼネラル・エレクトリック社により開発された被覆管応力解析コードである。</p> <p>本解析コードは、燃料被覆管温度、燃料棒内圧、炉心条件、燃料棒寸法及び許容応力の統計的分布を考慮し、被覆管の支持格子間及び支持格子接触部の応力評価をモンテカルロ法により統計的に実施する。</p> <p>地震時には、通常運転時及び過渡時に被覆管に発生する応力の他に、水平及び鉛直地震加速度により被覆管に発生する応力を考慮する。</p> <p>本解析コードは、高燃焼度 8×8 燃料、9×9 燃料及び MOX 燃料の設計・許認可解析に適用された実績がある。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・被覆管の応力計算式（厚肉円筒）がコードに正しく組み込まれていることを、本解析コードによる解析結果が別法計算による解析結果と一致していることにより確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コード検討会等規制機関による確認^{*1,*2,*3}が実施されていることを確認している。

注記*1：沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について（平成 10 年 2 月 株式会社日立製作所 HLR-033 訂 1）

*2：沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について（平成 10 年 1 月 株式会社東芝 TLR-045 改訂 1）

*3：原子炉安全基準専門部会報告書、発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について（昭和 63 年 5 月 12 日 原子力安全委員会了承）

VI-5-46 計算機プログラム（解析コード）の概要
・PRIME

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）PRIMEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-3-3-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	1

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	PRIME
使用目的	燃料棒の熱的挙動及び機械的挙動の評価
開発機関	ゼネラル・エレクトリック社，株式会社東芝，株式会社日立製作所（メーカー共同開発）
開発時期	1985 年
使用したバージョン	1
コードの概要	<p>PRIME（以下「本解析コード」という。）は，ゼネラル・エレクトリック社，株式会社東芝及び株式会社日立製作所で共同開発された燃料棒熱・機械設計コードである。</p> <p>本解析コードは，出力履歴に対応したペレット-被覆管のギャップ幅変化とガスの熱伝導率をもとにペレットと被覆管のギャップ熱伝達係数を求め，燃料棒の熱的挙動を評価すると同時に，軸対称有限要素法（FEM）により，ペレットと被覆管の相互作用等の機械的挙動を評価する。</p> <p>本解析コードは，高燃焼度 8×8 燃料，9×9 燃料及び MOX 燃料の設計・許認可に適用された実績がある。</p>
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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ハルデン炉の試験燃料データ，商業炉燃料棒の照射後試験データ等に基づいてペレット中心温度，核分裂生成ガス放出率，燃料棒内圧及び被覆管直径変化を対象とした計算値と測定値の比較^{*1,*2}が実施され，コードに組み込まれた個々の解析モデルが正しく機能し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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ハルデン炉の試験燃料データ等との比較における計算値と測定値のばらつきがコード予測の不確かさとして考慮^{*1,*2}されていることを確認している。 ・コード検討会等規制機関による確認^{*1,*2,*3}が実施されていることを確認している。

注記*1：沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について（平成 10 年 2 月 株式会社日立製作所 HLR-033 訂 1）

*2：沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について（平成 10 年 1 月 株式会社東芝 TLR-045 改訂 1）

*3 : 原子炉安全基準専門部会報告書, 発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について (昭和 63 年
5 月 12 日 原子力安全委員会了承)

VI-5-47 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ASHSD

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）ASHSDについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-3-3-2-3	シュラウドサポートの耐震性についての計算書	ver. 6. 1. 2
VI-2-3-4-1-2	原子炉圧力容器の耐震性についての計算書	ver. 6. 1. 2

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	ASHSD
使用目的	構造解析
開発機関	株式会社 IHI
開発時期	1982 年
使用したバージョン	ver. 6. 1. 2
コードの概要	<p>ASHSD (以下「本解析コード」という。) は、原子炉圧力容器、シュラウドサポートの構造解析用プログラムのシステムであって、有限要素法に基づいて計算する計算機プログラムである。</p> <p>軸対称構造物に作用する非軸対称荷重による応力解析及び熱応力解析を行うことができる。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・集中荷重を受ける円筒の弾性解析等の代表的な検証用モデルに対し、本解析コードで計算される解析解が理論解と一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードのマニュアルにより、本工事計画で使用する応力計算（軸対称構造物に対する非軸対称荷重による応力の算出）に、本解析コードが適用できることを確認している。 ・本解析コードは、これまで多くの既工事計画で使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。

VI-5-48 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ PIPE

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）PIPEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-3-3-2-3	シュラウドサポートの耐震性についての計算書	6.1.0
VI-2-3-4-1-2	原子炉圧力容器の耐震性についての計算書	6.1.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	PIPE
使用目的	構造解析
開発機関	株式会社 IHI
開発時期	1973 年
使用したバージョン	6.1.0
コードの概要	<p>PIPE (以下「本解析コード」という。) は、内圧、外圧及び外荷重のかかる円筒殻又は球殻の構造不連続による効果を含まない一次応力をシェル理論及びはり理論により求める計算機プログラムである。</p> <p>円筒殻、球殻及びノズル等に内圧及び外圧によって生じる一次一般膜応力並びに外荷重によって生じる一次一般膜応力及び一次膜＋一次曲げ応力を求めるのに適用する。</p> <p>本解析コードは、原子力の分野における使用実績を有している。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・内圧を受ける円筒の弾性解析等の代表的な検証用モデルに対し、本解析コードで計算される解析解が理論解と一致し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードのマニュアルにより、本工事計画で使用する応力計算 (円筒殻、球殻及びノズル等に内圧及び外圧によって生じる一次一般膜応力並びに外荷重によって生じる一次一般膜応力及び一次膜＋一次曲げ応力の算出) に、本解析コードが適用できることを確認している。 ・本解析コードは、これまで多くの既工事計画で使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。

VI-5-49 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ STAX

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）STAXについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-3-3-2-3	シュラウドサポートの耐震性についての計算書	10.1.1
VI-2-3-4-1-2	原子炉圧力容器の耐震性についての計算書	10.1.1

2. 解析コードの概要

項目	コード名 STAX
使用目的	構造解析
開発機関	株式会社 IHI
開発時期	1976 年
使用したバージョン	10.1.1
コードの概要	<p>STAX (以下「本解析コード」という。) は、原子炉压力容器、シュラウドサポートの構造解析用プログラムのシステムであって、有限要素法に基づいて計算する計算機プログラムである。</p> <p>軸対称構造物に作用する軸対称荷重による応力解析及び熱応力解析を行うことができる。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 内圧を受ける円筒の弾性解析等の代表的な検証用モデルに対し、本解析コードで計算される解析解が理論解と一致していることを確認している。 ・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 本解析コードのマニュアルにより、本工事計画で使用する応力計算（軸対称構造物に対する軸対称荷重による応力の算出）に、本解析コードが適用できることを確認している。 ・ 本解析コードは、これまで多くの既工事計画で使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。

VI-5-50 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ A-SAFIA

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）A-SAFIAについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-3-3-2-8	制御棒案内管の耐震性についての計算書	ver.0
VI-2-3-4-1-2	原子炉圧力容器の耐震性についての計算書	ver.0
VI-3-別添 6-7	制御棒案内管の強度計算書	ver.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	A-SAFIA
使用目的	構造解析
開発機関	株式会社 IHI
開発時期	1973 年
使用したバージョン	ver. 0
コードの概要	<p>A-SAFIA（以下「本解析コード」という。）は，制御棒案内管，原子炉圧力容器に対する評価を目的として，有限要素法により軸対称構造物の軸対称荷重に対する応力を計算する計算機プログラムである。</p> <p>荷重条件としては，内圧，軸対称荷重及び熱負荷を扱うことができる。</p> <p>要素として三角形要素及び四角形要素があり，任意の組合せで構造物をモデル化できる。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・内圧を受ける円筒の弾性解析等の代表的な検証用モデルに対して，本解析コードで計算される解析解と理論解との比較を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足し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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードのマニュアルにより，本工事計画で使用する応力計算（軸対称構造物に対する軸対称荷重）に，本解析コードが適用できることを確認している。 ・本解析コードは，これまで多くの既工事計画で使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。

VI-5-51 計算機プログラム（解析コード）の概要
・DYNA2E

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）DYNA2Eについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-7-2-1	排気筒の耐震性についての計算書	ver. 8. 1. 0
VI-2-11-2-2	竜巻防護ネットの耐震性についての計算書	ver. 8. 1. 0
VI-2-11-2-15	第1号機排気筒の耐震性についての計算書	ver. 7. 2. 63
VI-3-別添 1-1-7	排気筒の強度計算書	ver. 7. 2. 63

2. 解析コードの概要

項目	コード名 DYNA2E
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による静的応力解析，固有値解析，地震応答解析
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	1972年（センチュリリサーチセンタ株式会社） 2007年（伊藤忠テクノソリューションズ株式会社）
使用したバージョン	ver. 7.2.63, ver. 8.1.0
コードの概要	<p>DYNA2E（以下「本解析コード」という。）は，土木・建築分野における骨組解析を対象として開発された，市販されている汎用構造解析コードである。</p> <p>本解析コードは，2次元／3次元の骨組構造物に対し，静的な節点力が入力された場合の構造物の変位及び断面力を求めるための静的応力解析，固有周期，固有振動モード及びモード減衰定数等を算出する固有値解析，モード法，直接積分法，複素応答法及び周波数応答法による線形動的応答解析，直接積分法による非線形動的応答解析が行うことができる。</p> <p>橋梁，建築，機器構造物，原子力建屋等で豊富な解析実績を有する。</p>
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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について，本解析コードを用いた解析結果が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・一本棒の曲げせん断型モデルについて，本解析コード及び別解析コード MSC NASTRAN ver. 2008r1 を用いて得られた固有値解析結果及び応答解析結果を比較して検討し，本解析コードによる解析結果が妥当であることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足し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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証内容のとおり，固有値解析及び応答解析について検証していることから，解析の目的に照らして本工事計画の解析に本解析コードを適用することは妥当である。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。・本工事計画における構造に対し使用する静的応力解析、固有値解析及び地震応答解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する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。
--	--

VI-5-52 計算機プログラム（解析コード）の概要
・SAP-IV

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）SAP-IVについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-8-3-1-1	中央制御室換気空調系ダクトの耐震性についての計算書	1.00
VI-2-8-3-2-1	緊急時対策所換気空調系ダクトの耐震性についての計算書	1.00
VI-2-別添 1-2	火災感知器の耐震性についての計算書	1.00

2. 解析コードの概要

項目	コード名
項目	SAP-IV
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析及び応力解析
開発機関	新日本空調株式会社
開発時期	1973年（米国カリフォルニア大学） 2004年（新日本空調株式会社）
使用したバージョン	1.00
コードの概要	<p>SAP-IV Ver. 1.00（以下「本解析コード」という。）は、カリフォルニア大学が開発したSAP-IVをベースに、インターフェースの追加を目的として新日本空調株式会社がカスタマイズした計算機プログラムである。</p> <p>任意形状の3次元モデル（主にはり要素及びシェル要素）に対して、有限要素法を用いて静的解析及び動的解析を行うもので、主として、機器の固有値計算並びに自重、運転時荷重及び地震力による応力計算等に用いる。</p> <p>本解析コードは、機械工学、土木工学、航空工学等の分野において、多くの実績を有している。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・入力されたデータはインプットデータとして解析結果とともに出力され、入力データと一致することを確認している。 ・片持ちばりの自重による固定端モーメント及び自由端たわみ、固有振動数を本解析コードの静的解析結果及び固有値解析結果と理論解を比較して、解析解と理論解が一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、機械工学、土木工学、航空工学等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画で行うはりモデルの固有値解析及び静的解析という解析

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>の使用目的に照らして、用途及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲であることを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none">・開発機関が提示するマニュアルにより本工事計画で使用する3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析に本解析コードが適用できることを確認している。
--	--

VI-5-53 計算機プログラム（解析コード）の概要
・KSAP

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）KSAPについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-9-4-4-2-1	管の耐震性についての計算書（可燃性ガス濃度制御系）	VERSION 6.3
VI-2-9-4-4-2-3	可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算書	VERSION 6.3

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	KSAP
使用目的	3次元有限要素法による構造解析
開発機関	川崎重工業株式会社
開発時期	1984年
使用したバージョン	VERSION 6.3
コードの概要	<p>KSAP（以下「本解析コード」という。）は、3次元構造までの静的及び動的弾性解析のための汎用有限要素法計算機プログラムである SAP-V のインターフェースを改良したものである。</p> <p>3次元トラスやビーム、平面応力要素等が用意されており、それらを用いて1次元、2次元あるいは3次元の固有値解析、静的解析及び動的解析（床応答スペクトル解析、時刻歴応答解析）が可能である。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・サンプルモデルに対する本解析コードの固有値解析結果が手計算と一致することを確認している。 ・構造解析データが正しく応力算出計算に受け渡され、規格基準に従い、発生応力、疲労累積係数を算出しており、その過程が理論解を再現できることを確認している。 ・本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の多い配管系応力解析プログラムの解析コード [redacted] による計算結果を比較し、よく合致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・本解析コードは、水素関連機器やボイラ等、一般産業用機器の配管に対する構造解析において使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">• 本解析コードを使用することの妥当性は、上述の検証の中で確認している。• 本工事計画で行う3次元有限要素法による固有値解析、地震応答解析及び応力解析の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内であることを確認している。
--	--

VI-5-54 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ NuPIAS

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）NuPIASについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-8-3-3-1	管の耐震性についての計算書（中央制御室待避所加圧空気供給系）	Ver7.2.0
VI-2-別添 1-7	消火配管の耐震性についての計算書	Ver7.2.0
VI-3-3-5-1-3-2-2	管の応力計算書（中央制御室待避所加圧空気供給系）	Ver7.2.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	NuPIAS
使用目的	3次元有限要素法（はりモデル）による固有値解析，応力解析
開発機関	東電設計株式会社，川崎重工業株式会社
開発時期	2000年
使用したバージョン	Ver7.2.0
コードの概要	<p>NuPIAS（以下「本解析コード」という。）は，配管の強度解析を目的として開発された計算機プログラムである。本解析コードは，汎用構造解析コードSAP-Vをメインプログラムとし，応力評価プログラム及びそれらのインターフェイスプログラムのサブプログラムから成る。</p> <p>任意の1次元，2次元あるいは3次元形状に対し，静的解析，動的解析を行うことが可能で，反力・モーメント・応力，固有値・刺激係数等の算出が可能である。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・配管系応力解析プログラム *1の計算データと本解析コードによる計算結果を比較し，よく合致していることを確認している。 ・応力評価プログラムについては，メインプログラムの出力結果（軸力，モーメント）から，適用技術基準（JSME*2，JEAG*3等）に基づいて応力評価が正しく計算されていることを確認している。 ・サブプログラムについては，インターフェイスチェックシートを用いて，単位，桁数，符号が変換前後で正しく処理され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の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力の分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・本工事計画において使用するバージョンは，他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本工事計画で行うはりモデルによる管の応力解析の用途，適用範囲が，上述の妥当性確認範囲にあることを確認している。

注記*1:



*2: 日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」

*3: 原子力発電所耐震設計技術指針

VI-5-55 計算機プログラム（解析コード）の概要
・microSHAKE

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）microSHAKEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書	Ver. 2.3.3
VI-2-10-2-6-1-1	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の耐震性についての計算書	Ver. 2.3.3
VI-2-10-2-6-1-2	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の耐震性についての計算書	Ver. 2.3.3
VI-3-別添 3-2-5-1-1	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の強度計算書	Ver. 2.3.3
VI-3-別添 3-2-5-1-2	屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の強度計算書	Ver. 2.3.3

2. 解析コードの概要

項目	コード名 microSHAKE
使用目的	1次元地震応答解析による入力地震動算定
開発機関	株式会社地震工学研究所
開発時期	1999年
使用したバージョン	Ver. 2.3.3
コードの概要	<p>microSHAKE (1次元波動伝播解析コード) (以下「本解析コード」という。) は、重複反射理論に基づく地盤の地震応答解析を行うことが可能であり、地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮することができる。</p> <p>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <p>①1次元重複反射理論に基づくプログラムである。</p> <p>②地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮できる。</p> <p>③鉛直動は、S波速度 V_s をP波速度 V_p として定義することで対応が可能である。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードについて、二層のモデル地盤において地震応答解析を行った解析解と、1次元重複反射理論に基づく理論解がおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の内容のとおり、地盤の応答解析について検証していることから、解析の目的に照らして本工事計画の解析に適用することは妥当である。 ・関西電力株式会社高浜発電所第4号機において、復水タンク基礎の地震応答解析(入力地震動作成)で本解析コードが使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは、既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認し

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	ている。 ・本工事計画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。
---	--

VI-5-56 計算機プログラム（解析コード）の概要
・UC-win/Section

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）UC-win/Sectionについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の耐震性についての計算書	Ver. 6.02.02
VI-2-13-3	地下水位低下設備揚水井戸の耐震性についての計算書	Ver. 6.02.02
VI-3-別添 3-2-1-1	防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度計算書	Ver. 6.02.02

2. 解析コードの概要

項目	コード名 UC-win/Section
使用目的	鉄筋コンクリートの応力度計算
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	2003 年
使用したバージョン	Ver. 6. 02. 02
コードの概要	<p>UC-win/Section (以下「本解析コード」という。) は、鉄筋コンクリート断面の断面諸量、応力度計算、断面耐力算定を行う解析コードで、主な特徴は、以下のとおりである。</p> <p>①鉄筋の情報(位置、断面積)を1本毎に考慮でき、複鉄筋等、配筋に忠実な断面計算が可能である。</p> <p>②任意形状に対して2軸曲げの計算が可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる複鉄筋の断面照査結果と理論解が一致することを確認している。 ・本解析コードによる2軸曲げの計算結果と理論解が一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の内容のとおり、複鉄筋及び2軸曲げについて検証していることから、解析の目的に照らして本工事計画に本解析コードを適用することは妥当である。 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、防潮堤、SA用海水ピット他の鉄筋コンクリートの応力解析(断面照査)に本解析コード(Ver. 6. 02. 01)が使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本工事計画における構造に適用する要素、応力解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する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。

VI-5-57 計算機プログラム（解析コード）の概要
・RC断面計算

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）RC断面計算について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-3-1	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の耐震性についての計算書	Ver. 8. 0. 6
VI-2-10-2-3-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書	Ver. 8. 0. 6
VI-2-10-2-3-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の耐震性についての計算書	Ver. 8. 0. 6
VI-2-13-2	地下水位低下設備接続柵の耐震性についての計算書	Ver. 8. 0. 7
VI-3-別添 3-2-2-1	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼板）の強度計算書	Ver. 8. 0. 6
VI-3-別添 3-2-2-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の強度計算書	Ver. 8. 0. 6
VI-3-別添 3-2-2-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の強度計算書	Ver. 8. 0. 6
VI-3-別添 3-2-4	貯留堰の強度計算書	Ver. 8. 0. 6

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	RC 断面計算
使用目的	鉄筋コンクリートの応力度計算
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	1998 年
使用したバージョン	Ver. 8.0.6, Ver. 8.0.7
コードの概要	RC 断面計算（以下「本解析コード」という。）は、様々な断面形状を持つ鉄筋コンクリート断面に対する応力度計算用に開発された解析コードである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードを用いた応力度解析解と、弾性理論に基づく理論式から求めた理論解を比較し、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画に本解析コードを使用することの妥当性は、前述の検証の中で確認している。 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、防潮堤、SA 用海水ピット、格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート他の鉄筋コンクリートの応力解析（断面照査）に本解析コード（Ver. 8.0.5）が使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本工事計画における構造に適用する要素、応力解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する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。

VI-5-58 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ APOLLO Analyzer

目次

1.	はじめに.....	1
1.1	使用状況一覧.....	2
2.	解析コードの概要.....	3
3.	解析手法.....	4
3.1	一般事項.....	4
3.2	解析コードの特徴.....	4
3.3	解析理論.....	5
3.4	解析フローチャート.....	6
3.5	検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)	7

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）APOLLO Analyzerについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-3-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書	ver. 2. 81. 0. 0
VI-3-別添 3-2-2-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の強度計算書	ver. 2. 81. 0. 0

2. 解析コードの概要

項目	コード名 APOLLO Analyzer
使用目的	鋼部材の2次元骨組構造解析（断面力算出）
開発機関	株式会社横河技術情報
開発時期	1998年
使用したバージョン	ver. 2.81.0.0
コードの概要	<p>APOLLO Analyzer（以下「本解析コード」という。）は、骨組みで構成された任意の構造に対して任意の荷重を載荷し断面力及び変位を算出する汎用計算機プログラムである。適用モデル（主には要素で構成）に対して、静的解析、動的解析の機能を有している。</p> <p>橋梁だけでなく様々な土木構造物の構造解析に使用されている。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・単純はりモデルに対して本解析コードを用いて算出した断面力及び変位が、構造力学公式集を用いて算出した断面力及び変位と一致することを確認している。 ・格子モデルに対して、本解析コードで算出した断面力及び変位が、日本原子力発電株式会社東海第二発電所の防潮堤（鋼製防護壁）の3次元骨組みモデルにて使用実績のあるTDAPⅢ（ver3.08）で同様のモデルを解析した際に算出される断面力及び変位と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画に本解析コードを使用することの妥当性は、前述の検証の中で確認している。 ・本工事計画における構造に適用する要素、応力解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する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. 解析手法

3.1 一般事項

APOLLO Analyzer は、任意の骨組み構造に対して構造解析を行うプログラムである。

3.2 解析コードの特徴

APOLLO Analyzer の主な特徴を以下に示す。

モデル定義から解析実行まで、すべて操作はウィンドウ上にモデルを確認しながら行うことができる。また、ウィンドウ表示したモデル図・変位図・断面力図はDXF形式の他、ビットマップ形式でも保存でき、ワープロ文書に貼り付ける等、後編集が可能である。

・モデルの定義

解析モデルを、構造節点・構造要素にて定義する。座標を入力し、モデルを定義すると、ウィンドウ上にモデルが描画され、描画されたモデルの任意の節点・要素をマウスでクリックすると節点番号・要素番号が表示される等、モデルのエラーチェックを視覚的に行うことが可能である。

・荷重の定義

本システムでは固定荷重、影響線荷重、活荷重荷重を1つのモデルで複数定義することができる。影響線荷重、活荷重荷重を行なう場合、あらかじめ横断線の定義を行う。入力画面で荷重を入力し、載荷する荷重データをマウスでクリックすると、ウィンドウ上でモデルに載荷する荷重を視覚的に確認することができる。また、これらの荷重を基本ケースとして容易に組合せ編集を行なうことができる。

・解析結果の出力・図化

解析結果として以下の3つを出力することができる。

a) 変形図・断面力図

変形図、断面力図は定義した荷重毎、成分毎に出力することが可能である。構造要素の定義で、要素ブロックを定義してあれば、特定のブロックのみの変形・断面力を表示させることもできる。

b) 主桁変位・断面力グラフ

主桁の変位と断面力を複数の荷重ケース、複数の成分について重ね書きして出力することができる。

c) 解析結果リスト

解析結果を成果品として保存することができる。保存するデータの種類として、テキストデータ (CSV形式・TXT形式) , RTF形式データ (MS-WORD) , XLS形式データ (MS-EXCEL) の選択をすることができ、必要な形式にデータ保存することができる。

3.3 解析理論

APOLLO Analyzer は構造解析システムとして変位法を用いている。

変位法とは、

- ① 構造物に外力が働いた場合に生じる変位を求める。
- ② ①で求めた変位を用いて断面力を算出する。

外力と変位の関係式

$$\{F\} = [K] \times \{U\}$$

$\{F\}$: 外力ベクトル (荷重ベクトル), $[K]$: 全体剛性マトリックス, $\{U\}$: 変位ベクトル

外力と全体剛性マトリックスの逆行列から変位ベクトルを求める。

$$\{U\} = [K]^{-1} \times \{F\}$$

$[K]^{-1}$: $[K]$ の逆行列

求めた変位ベクトルから要素座標系の変位ベクトルを求め、要素座標系の変位ベクトルと要素剛性マトリックスから断面力を求める。

$$\{f_e\} = [k_e] \times \{u_e\}$$

$\{f_e\}$: 要素断面力ベクトル, $[k_e]$: 要素剛性マトリックス, $\{u_e\}$: 要素座標系での変位ベクトル

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示す。

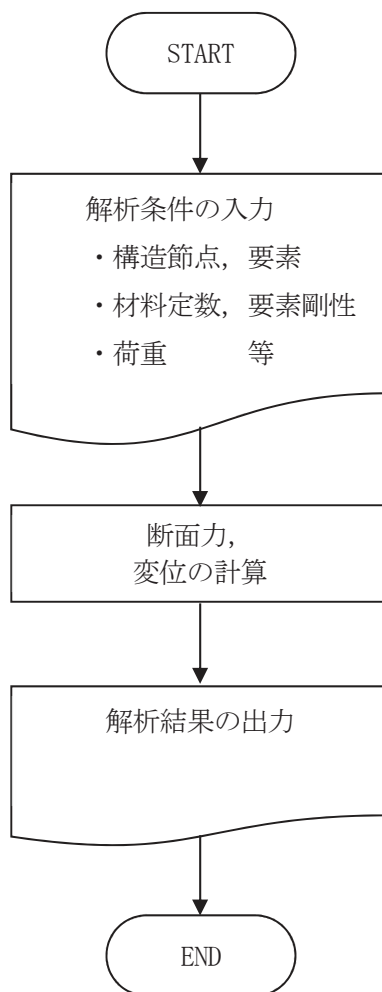


図3-1 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

(1) 単純梁モデルに対する比較検証

以下に示す断面諸元を持つ単純梁において図3-2に示すような荷重がそれぞれ作用した場合の支間中央部の断面力 (M, S) 及び変位 (δ) について図3-3及び図3-4に示す構造力学公式集を用いて算出し、プログラムの出力結果と比較する。

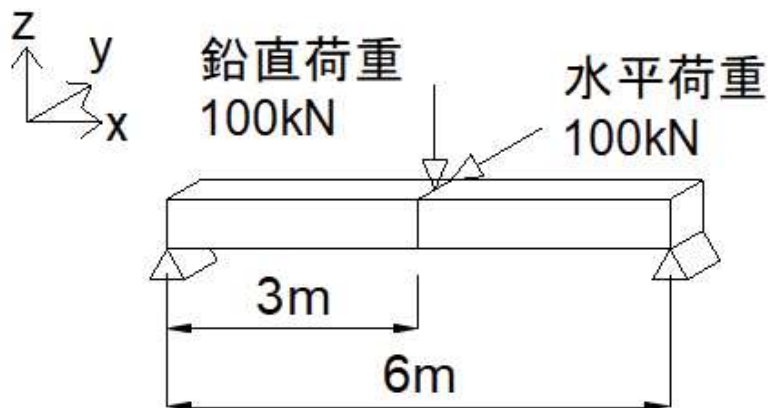


図 3-2 単純梁モデル

表3-1 単純梁の構造諸元

項目	諸元値
支間長 (= l)	6 (m)
ヤング率 (=E)	200000000 (kN/m ²)
断面剛性 (=I _y)	0.0002 (m ⁴)
断面剛性 (=I _z)	0.00007 (m ⁴)
作用荷重 (=P)	100 (kN)

構造力学公式集により算出した断面力及び変位

荷重, たわみ曲線, せん断力図, 曲げモーメント図	反力 R_A, R_B , せん断力 Q	曲げモーメント M
<p>1)</p>	$R_A = R_B = \frac{P}{2}$ $Q_1 = \frac{P}{2}$ $Q_2 = -\frac{P}{2}$	$M_1 = \frac{P}{2} x$ $M_2 = \frac{P}{2} x'$ $M_{max} = \frac{Pl}{4}, \left[x = \frac{l}{2} \right]$

図3-3 せん断・曲げ算出式 (構造力学公式集P. 134より引用)

た わ み w	た わ み 角 θ	支点たわみ角 θ_A, θ_B
$w_1 = \frac{Pl^3}{48EI} \left\{ 3\frac{x}{l} - 4\left(\frac{x}{l}\right)^3 \right\}$ $w_2 = \frac{Pl^3}{48EI} \left\{ 3\frac{x'}{l} - 4\left(\frac{x'}{l}\right)^3 \right\}$ $w_{\max} = \frac{Pl^3}{48EI}, \left[x = \frac{l}{2} \right]$	$\theta_1 = -\frac{Pl^2}{16EI} \left\{ 1 - 4\left(\frac{x}{l}\right)^2 \right\}$ $\theta_2 = \frac{Pl^2}{16EI} \left\{ 1 - 4\left(\frac{x'}{l}\right)^2 \right\}$	$\theta_A = -\frac{Pl^2}{16EI}$ $\theta_B = -\theta_A$

図3-4 たわみ算出式 (構造力学公式集P. 135より引用)

(a) 水平荷重に対して

$$\begin{aligned}
 M &= P \times l / 4 \\
 &= 100 \times 6 / 4 \\
 &= 150 \text{ (kNm)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= P / 2 \\
 &= 100 / 2 \\
 &= \pm 50 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta &= P \times l^3 / (48 \times E \times I_z) \\
 &= 100 \times 6^3 / (48 \times 200000000 \times 0.00007) \\
 &= 0.03214 \dots \text{ (m)} \approx 32.14 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

(b) 鉛直荷重に対して

$$\begin{aligned}
 M &= P \times l / 4 \\
 &= 100 \times 6 / 4 \\
 &= 150 \text{ (kNm)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= P / 2 \\
 &= 100 / 2 \\
 &= \pm 50 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta &= P \times l^3 / (48 \times E \times I_y) \\
 &= 100 \times 6^3 / (48 \times 200000000 \times 0.0002) \\
 &= 0.01125 \text{ (m)} = 11.25 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

APOLLO Analyzerにより算出した断面力及び変位

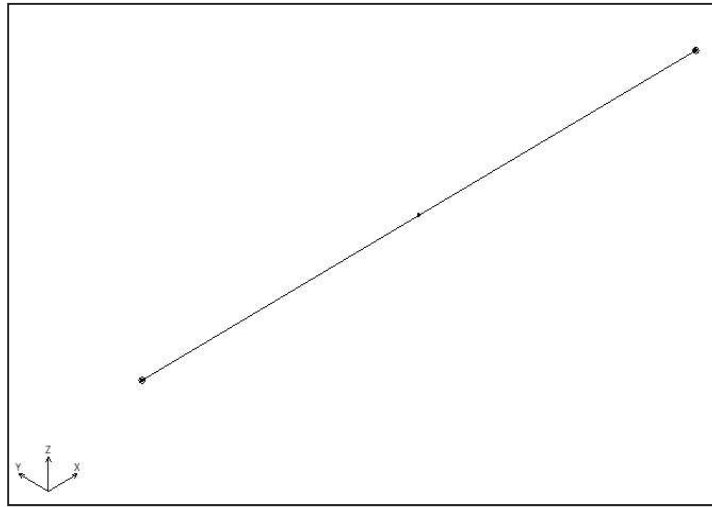


図3-5 単純梁 解析モデル

(a) 水平荷重載荷

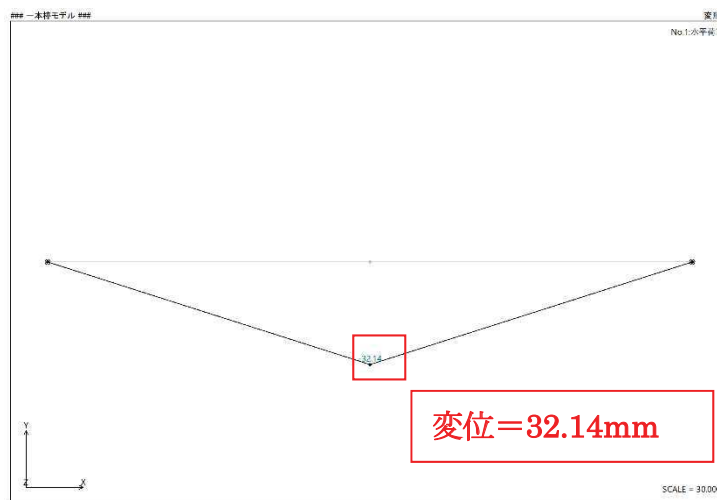


図3-6 APOLLO Analyzer解析結果(変位/水平荷重)

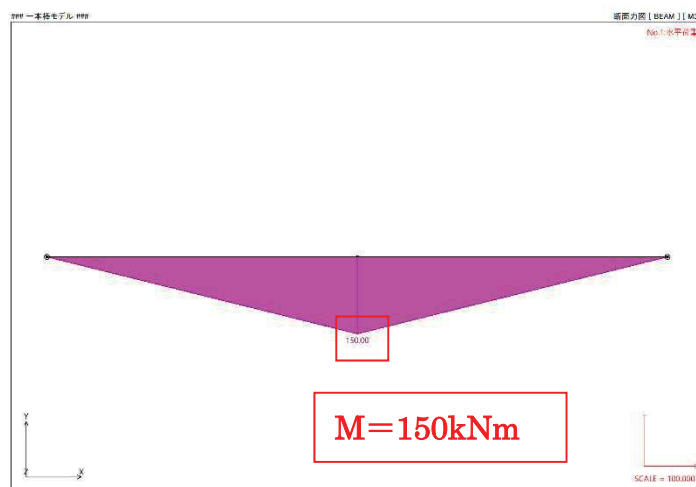


図3-7 APOLLO Analyzer解析結果(曲げモーメント/水平荷重)

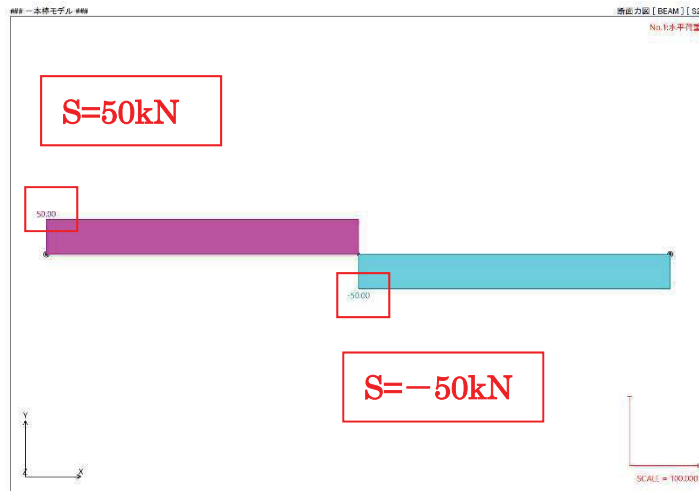


図3-8 APOLLO Analyzer解析結果(せん断力/水平荷重)

(b) 鉛直荷重載荷

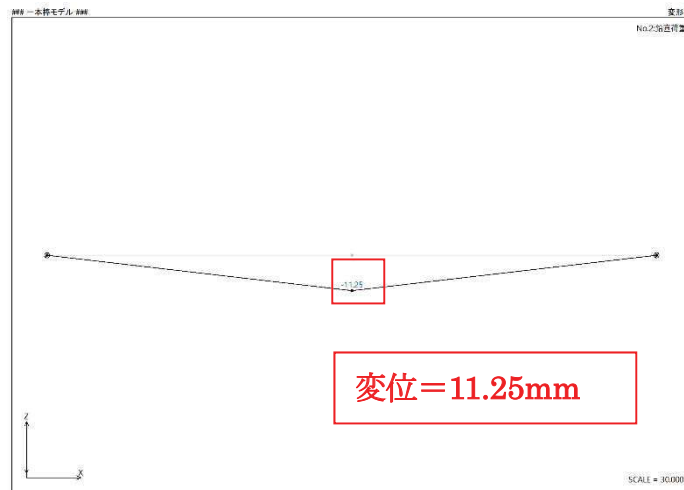


図3-9 APOLLO Analyzer解析結果(変位/鉛直荷重)

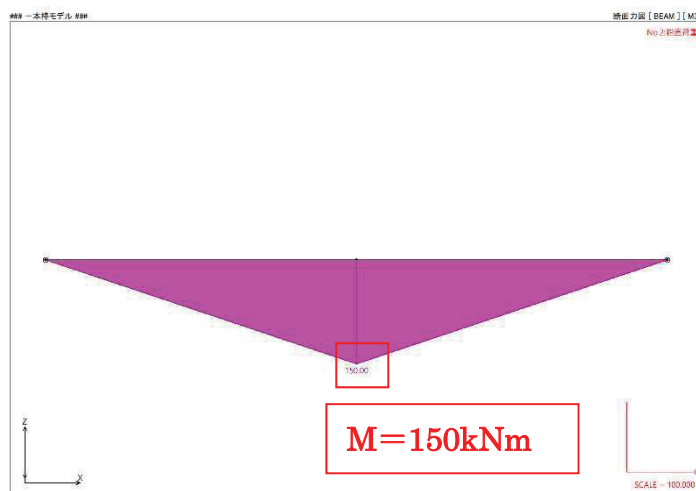


図3-10 APOLLO Analyzer解析結果(曲げモーメント/鉛直荷重)

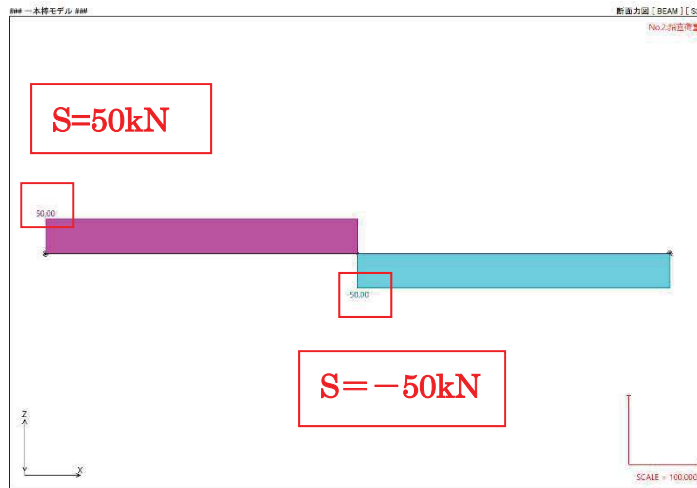


図3-11 APOLLO Analyzer解析結果(せん断力/鉛直荷重)

表3-2 計算例と解析結果の比較

		構造力学公式集	APOLLO Analyzer	比率
水平荷重	δ (mm)	32.14	32.14	100%
	M (kNm)	150	150	100%
	S (kN)	50	50	100%
鉛直荷重	δ (mm)	11.25	11.25	100%
	M (kNm)	150	150	100%
	S (kN)	50	50	100%

構造力学公式集を用いた計算結果とAPOLLO Analyzerの出力結果が一致していることを確認しており、断面力及び変位の算出が正しく実行できていることが確認できる。

(2) 格子モデルに対する比較検証

図3-12に示す格子モデルに図3-13及び図3-14に示す荷重がそれぞれ作用した場合の断面力 (M, S, N) 及び変位 (δ) をTDAPⅢとAPOLLO Analyzerで算出し比較する。

解析モデルの構造諸元を表3-3、境界条件を表3-4に示す。

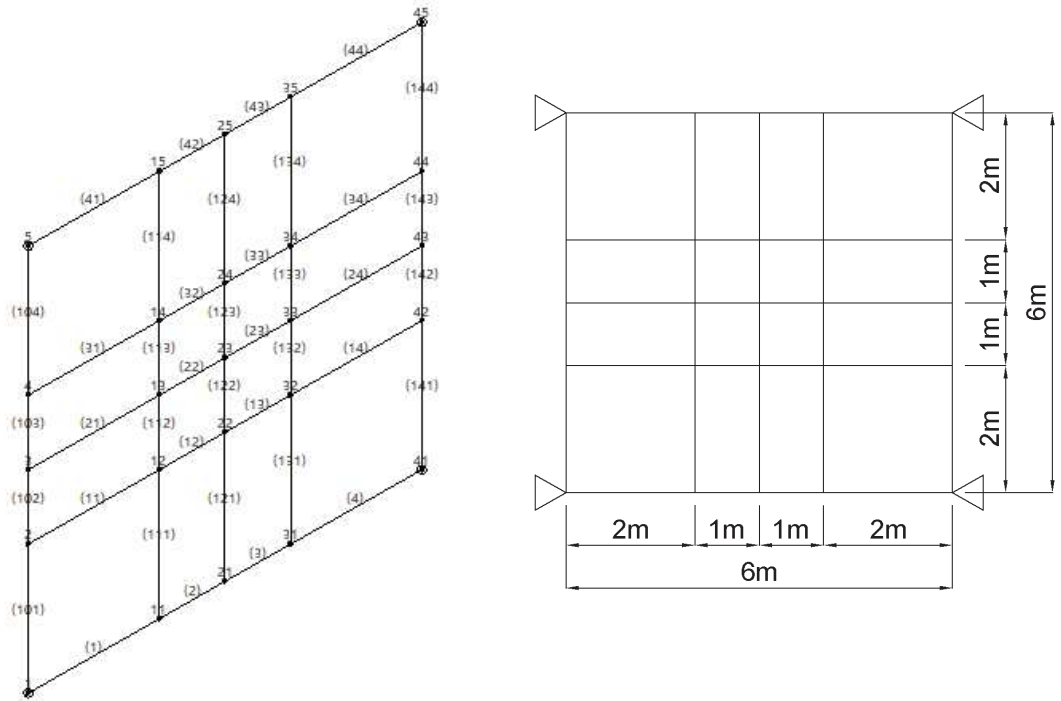


図3-12 比較検証モデル

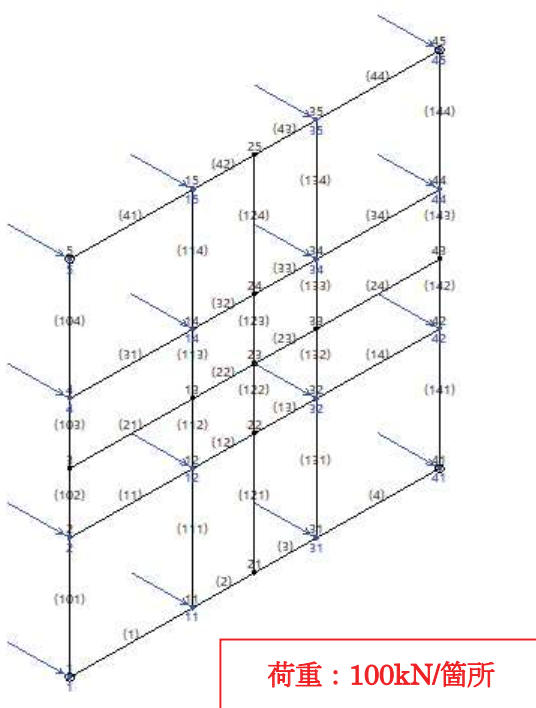


図3-13 水平荷重載荷

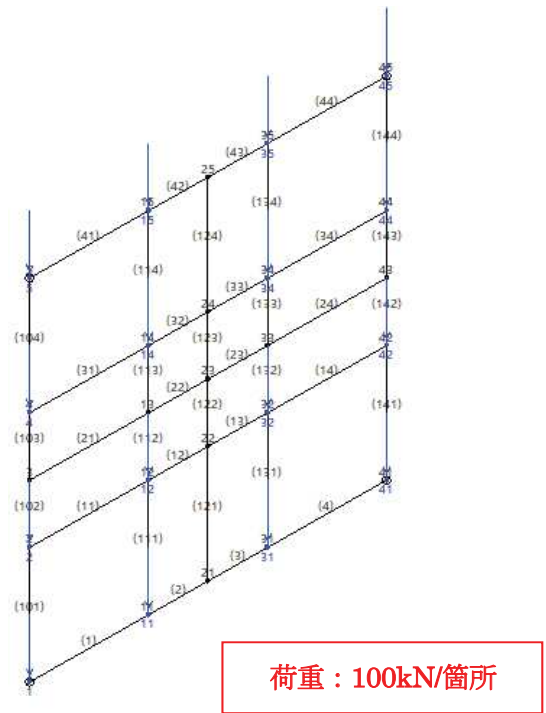


図3-14 鉛直荷重載荷

表3-3 解析モデル 構造諸元

項目		諸元値
支間長 (縦部材)		6 (m)
支間長 (横部材)		6 (m)
ヤング率 (=E)		200000000 (kN/m ²)
断面剛性 (=I _y =I _z)	縦部材	0.0002 (m ⁴)
	横部材	0.0002 (m ⁴)
作用荷重 (=P)		100 (kN/箇所)

表3-4 解析モデル 境界条件

	x 方向	y 方向	z 方向
変形	拘束	拘束	拘束
回転	自由	自由	自由

TDAPIII により算出した断面力及び変位

(a) 水平荷重載荷

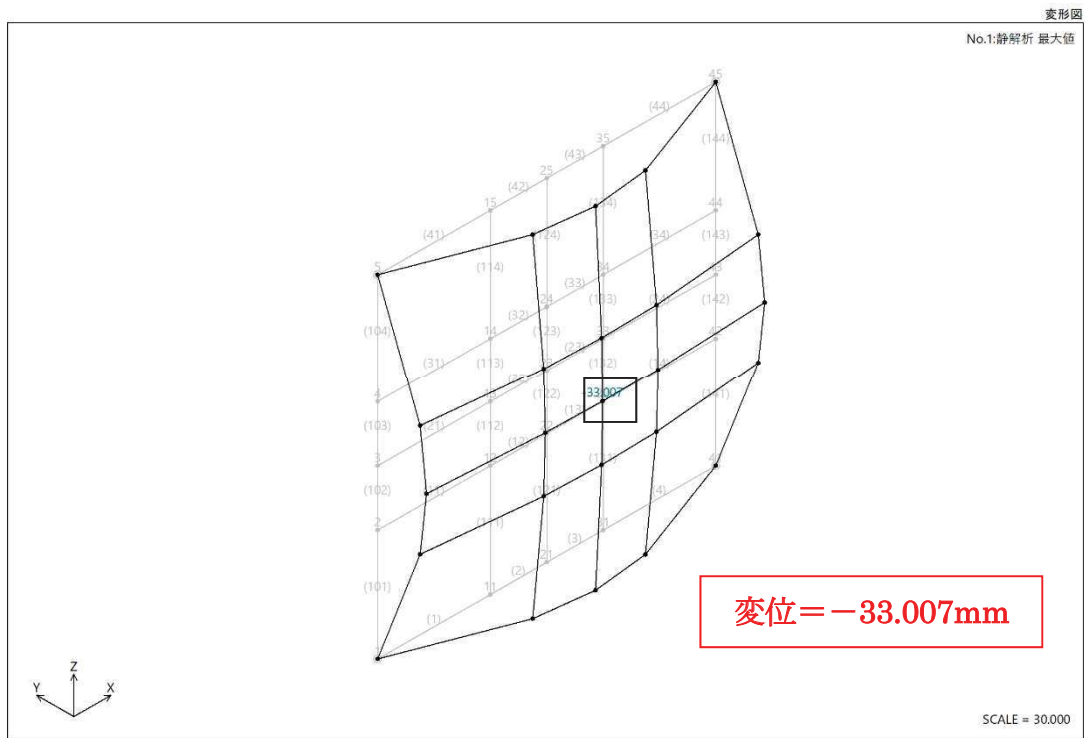


図3-15 TDAPIII 解析結果(変位/水平荷重)



図3-16 TDAPIII 解析結果(曲げモーメント/水平荷重)

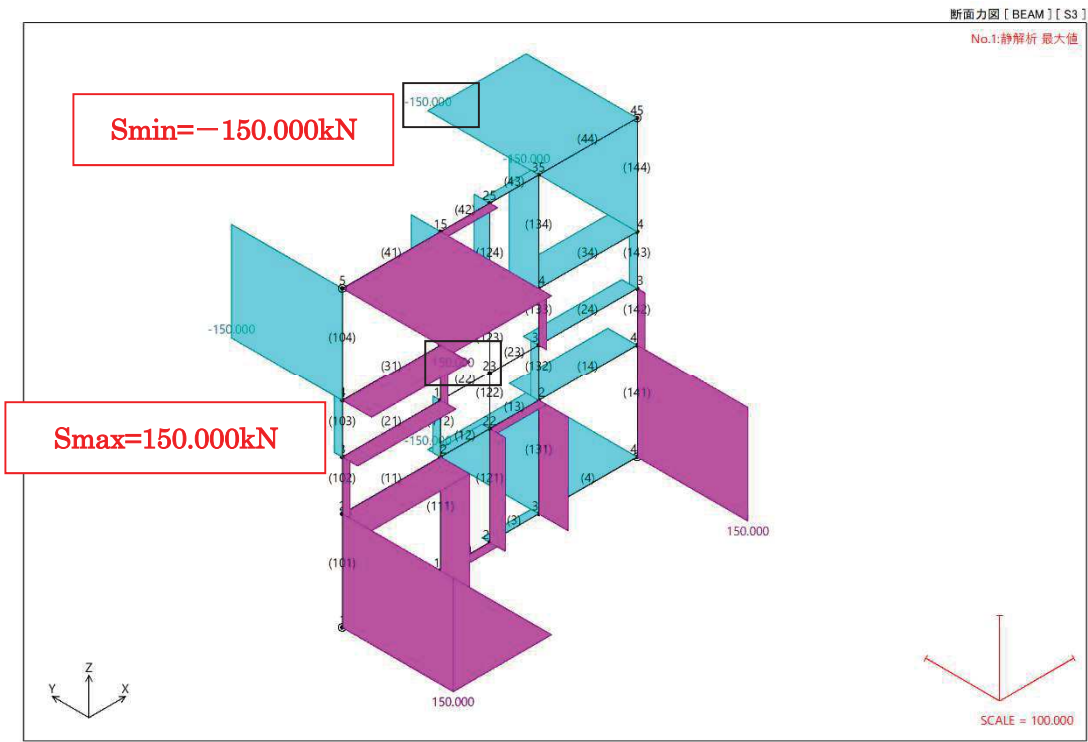


図3-17 TDAPIII 解析結果(せん断力/水平荷重)

(b) 鉛直荷重載荷

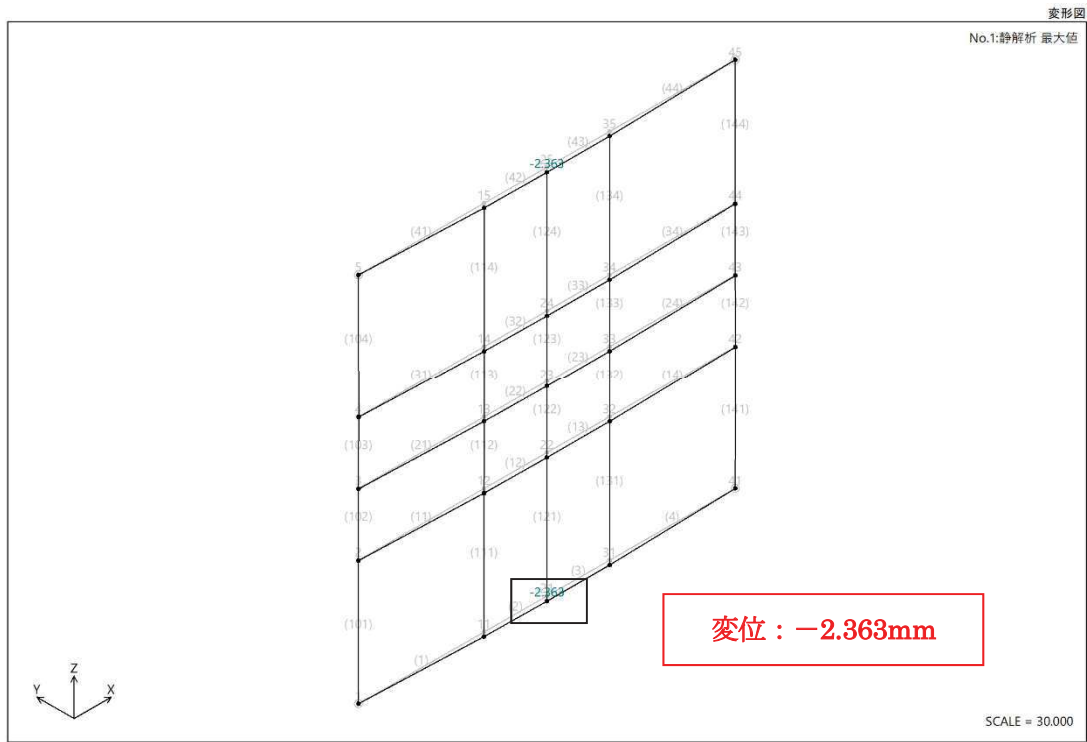


図3-18 TDAPIII 解析結果(変位/鉛直荷重)

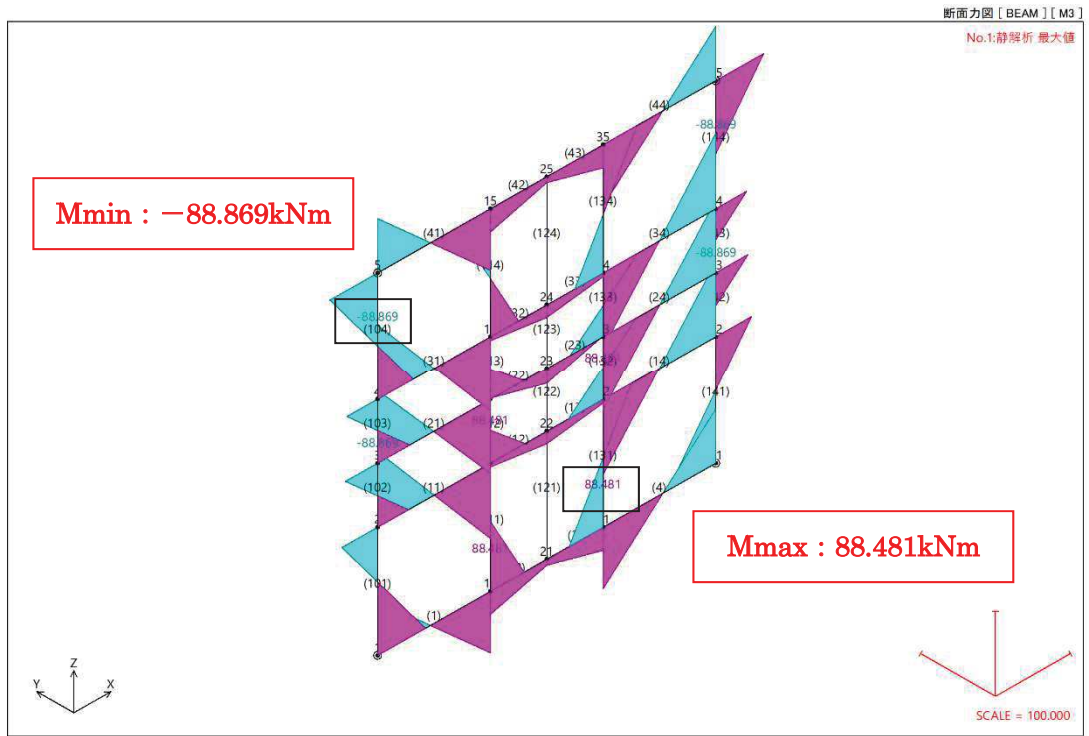


図3-19 TDAPIII 解析結果(曲げモーメント／鉛直荷重)

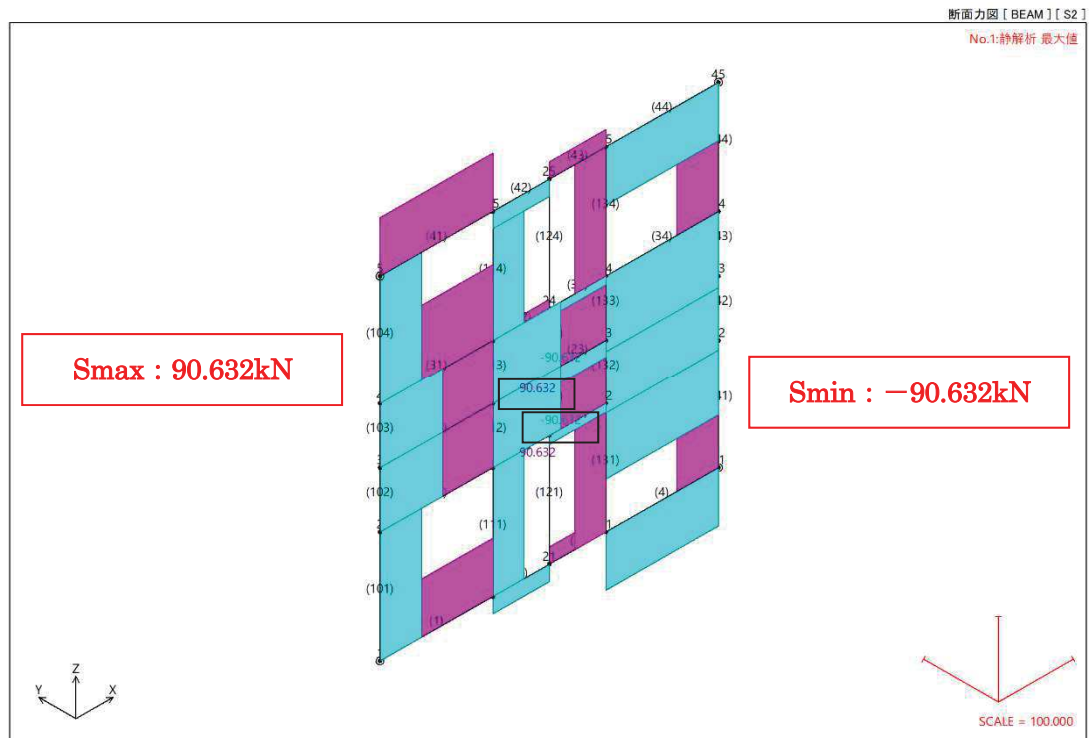


図3-20 TDAPIII 解析結果(せん断力／鉛直荷重)

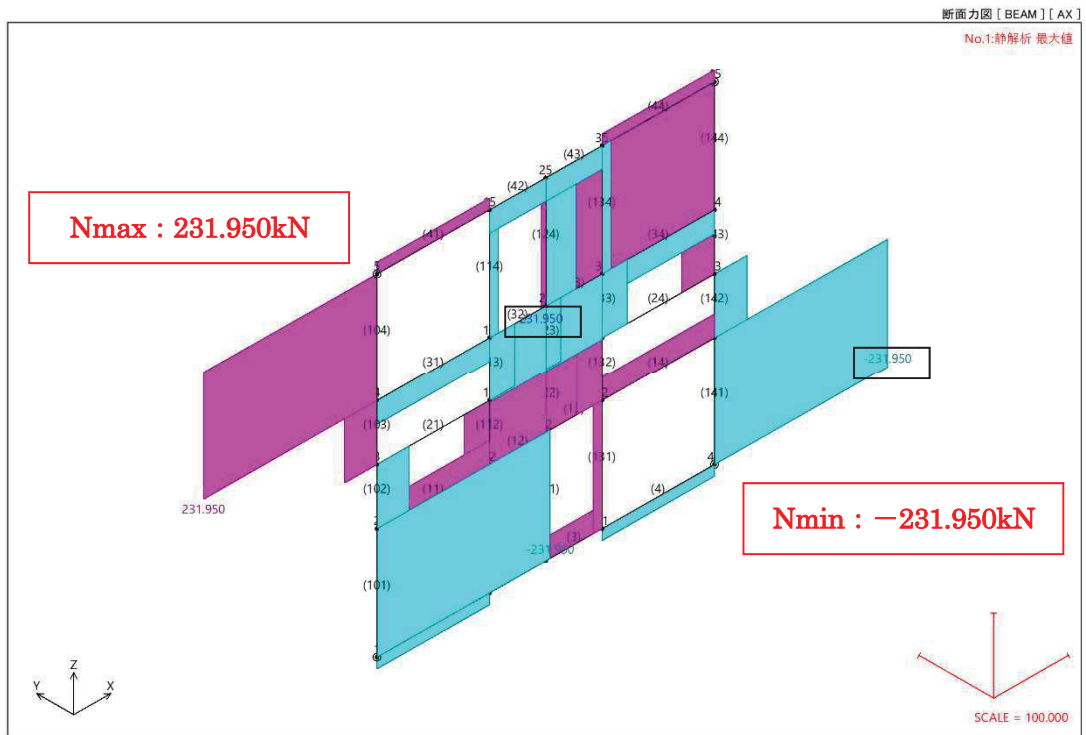


図3-21 TDAPIII 解析結果(軸力/鉛直荷重)

APOLLO Analyzerにより算出した断面力及び変位

(a) 水平荷重時

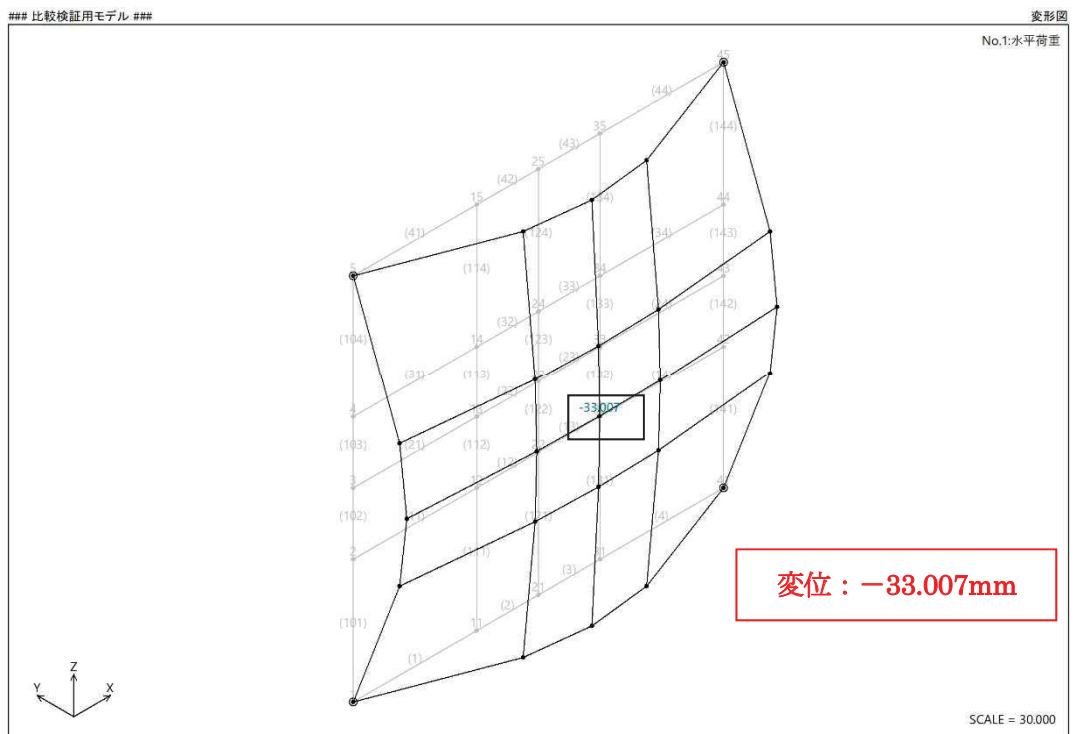


図3-22 APOLLO Analyzer 解析結果(変位/水平荷重)

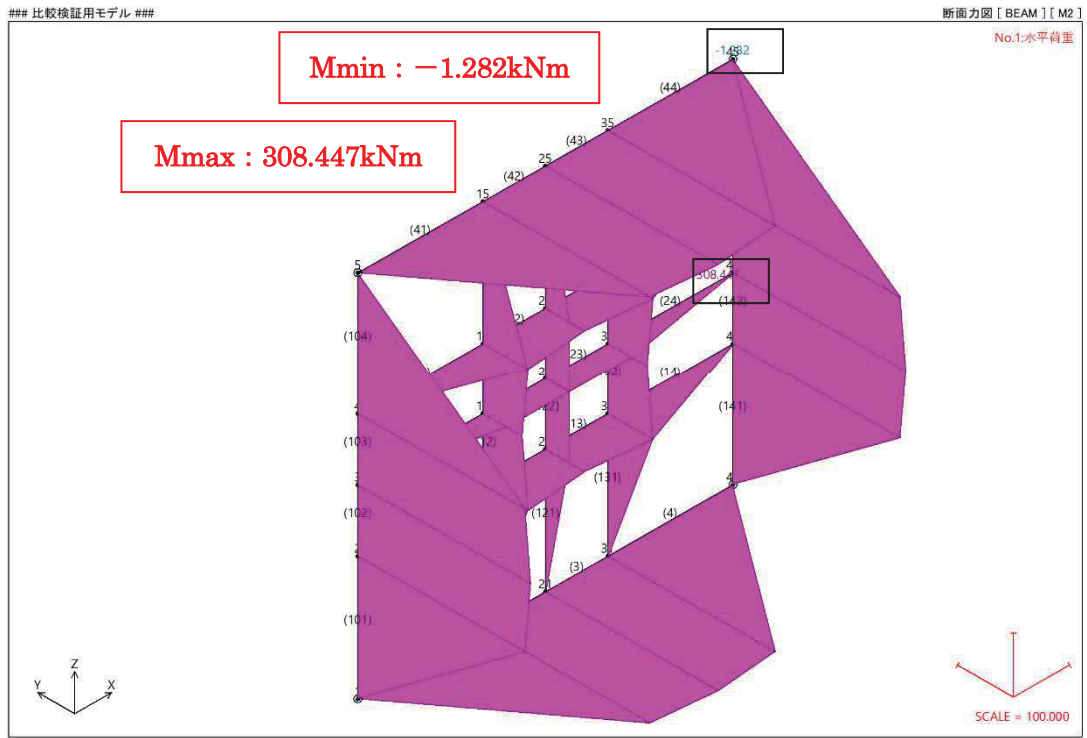


図3-23 APOLLO Analyzer 解析結果(曲げモーメント／水平荷重)

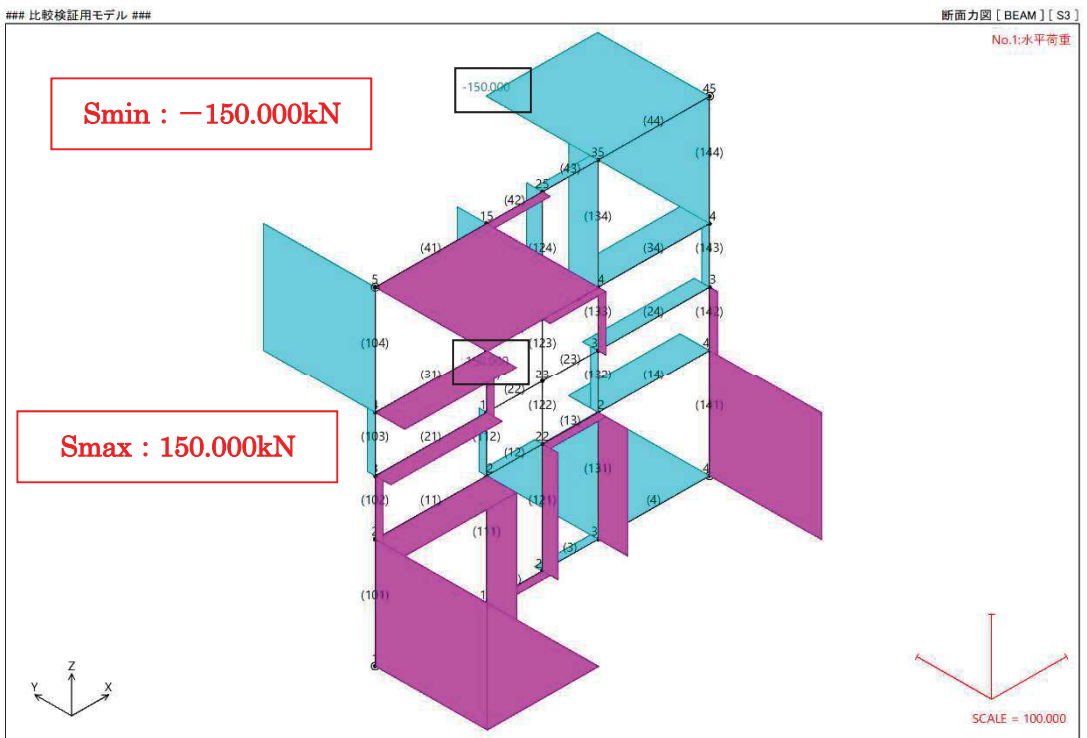


図3-24 APOLLO Analyzer 解析結果(せん断力／水平荷重)

(b) 鉛直荷重載荷時

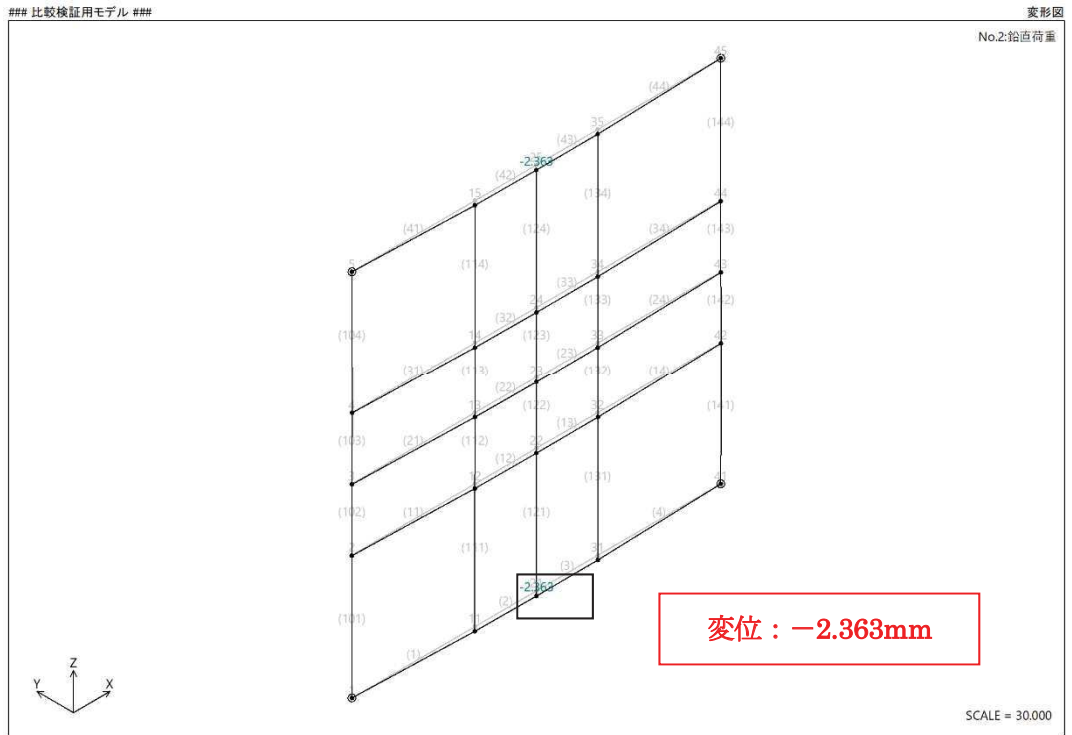


図3-25 APOLLO Analyzer 解析結果(変位/鉛直荷重)

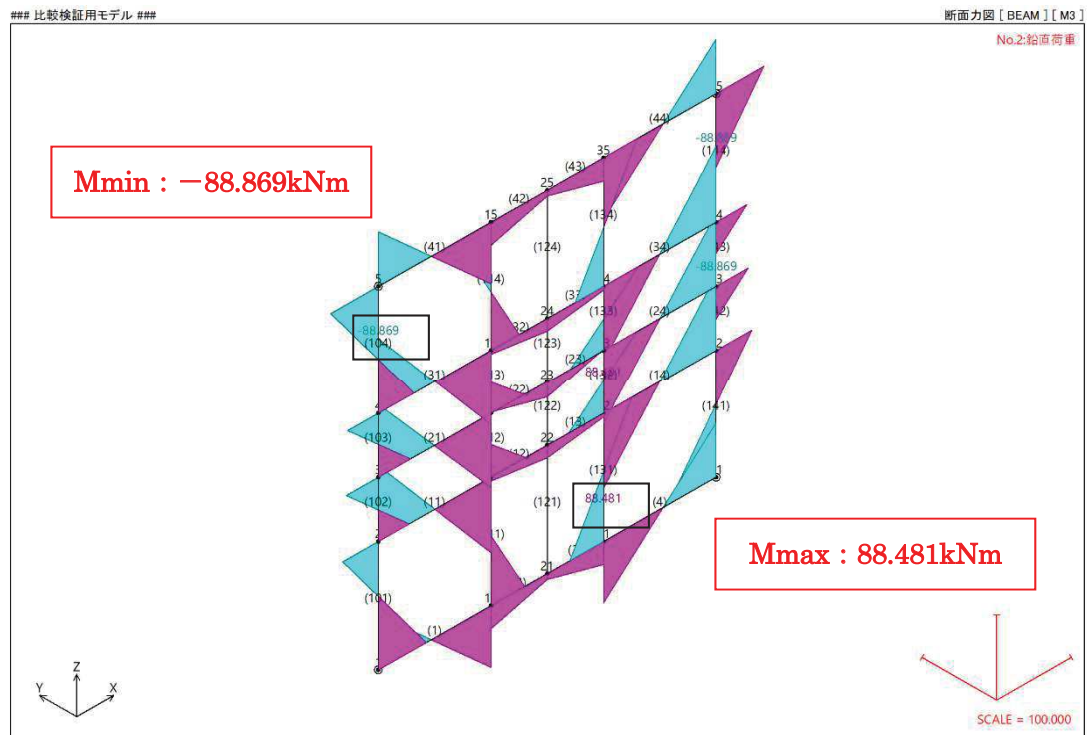


図3-26 APOLLO Analyzer 解析結果(曲げモーメント/鉛直荷重)

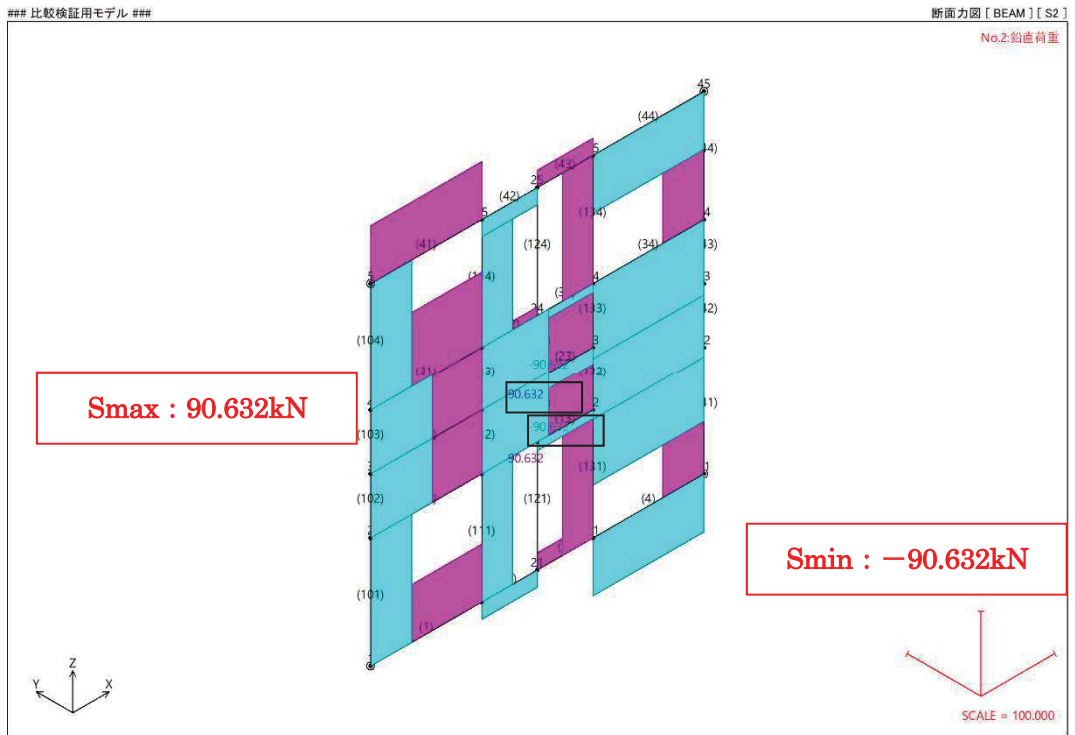


図3-27 APOLLO Analyzer 解析結果(せん断力/鉛直荷重)

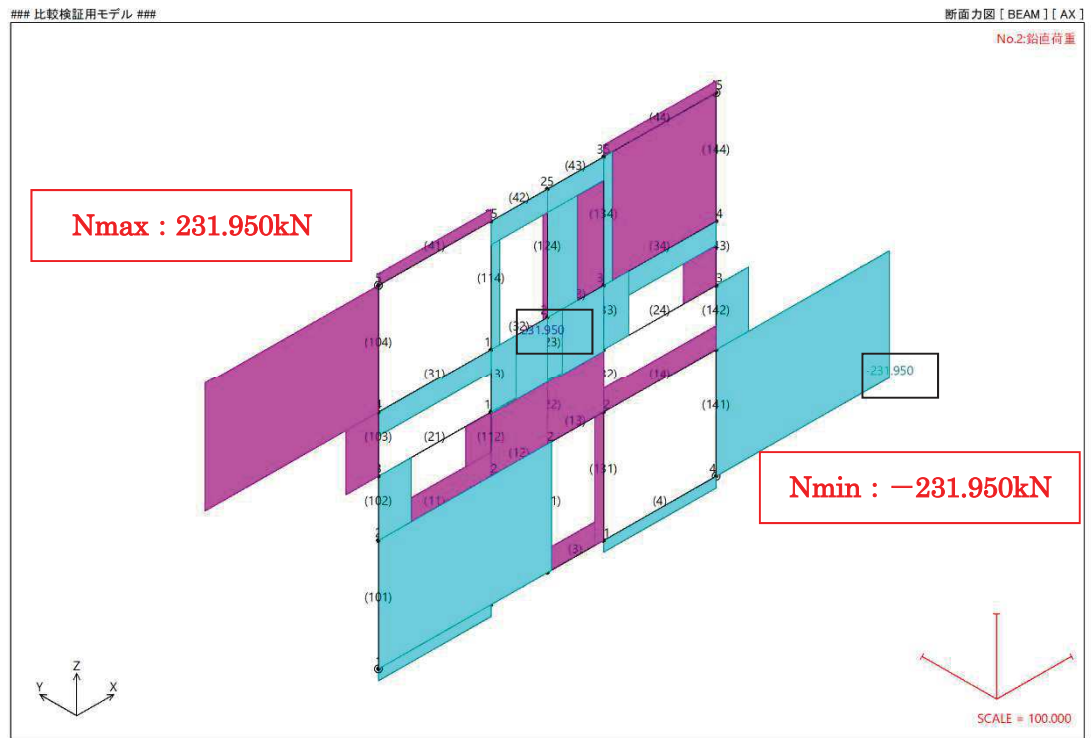


図3-28 APOLLO Analyzer 解析結果(軸力/鉛直荷重)

表3-5 TDAPⅢとAPOLLO Analyzerの解析結果の比較

		TDAP Ⅲ	APOLLO Analyzer	比率	
水平荷重	δ (mm)	-33.007	-33.007	100%	
	M (kNm)	Max	308.450	308.447	99.999%
		Min	-1.282	-1.282	100%
	S (kN)	Max	150.000	150.000	100%
		Min	-150.000	-150.000	100%
鉛直荷重	δ (mm)	-2.363	-2.363	100%	
	M (kNm)	Max	88.481	88.481	100%
		Min	-88.869	-88.869	100%
	S (kN)	Max	90.632	90.632	100%
		Min	-90.632	-90.632	100%
	N (kN)	Max	231.950	231.950	100%
		Min	-231.950	-231.950	100%

TDAPⅢとAPOLLO Analyzerの解析結果が良く一致していることを確認しており、断面力及び変位の算出が正しく実行できていることが確認できる。

(3) 使用内容に対する妥当性

鋼製遮水壁（鋼桁）の設計にAPOLLO Analyzerによって算出した断面力及び変位を使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・検証内容のとおり、構造力学公式集によって算出した断面力及び変位との比較検証、TDAPⅢによって算出した断面力及び変位との比較検証を行っていることから、解析の目的に照らして使用することは妥当である。

VI-5-59 計算機プログラム（解析コード）の概要
• APOLLO SuperDesigner Section

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3
3. APOLLO SuperDesigner Section の解析手法について.....	4
3.1 一般事項.....	4
3.2 解析コードの特徴.....	4
3.3 解析手法.....	5
3.4 解析フローチャート.....	8
3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)	9

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）APOLLO SuperDesigner Sectionについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-3-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の耐震性についての計算書	ver. 10. 39. 0. 1
VI-3-別添 3-2-2-2	杭基礎構造防潮壁 鋼製遮水壁（鋼桁）の強度計算書	ver. 10. 39. 0. 1

2. 解析コードの概要

項目	コード名 APOLLO SuperDesigner Section
使用目的	鋼部材の断面諸量及び応力算出
開発機関	株式会社横河技術情報
開発時期	1996 年
使用したバージョン	ver. 10. 39. 0. 1
コードの概要	APOLLO SuperDesigner Section (以下「本解析コード」という。)は、曲げねじり理論によって算出した断面諸量を用いて、垂直応力度・せん断応力度・ねじり応力度を算出し、各種適用許容応力度を用いて照査を行う計算機プログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードを用いて算出した断面諸量及び応力が、構造力学公式集によって算出した断面諸量及び道路橋示方書によって算出した応力と一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画に本解析コードを使用することの妥当性は、前述の検証の中で確認している。 ・本工事計画における構造に適用する要素、応力解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する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. APOLLO SuperDesigner Section の解析手法について

3.1 一般事項

本解析コードは、曲げねじり理論によって算出した断面諸量を用いて、垂直応力度・せん断応力度・ねじり応力度を算出し、各種適用許容応力度を用いて照査を行うプログラムである。

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。

断面形状

- ・基本断面形状は、RC 箱桁、鋼床版箱桁、鋼床版 I 桁に対応しているが、追加プログラムとして梯形断面等の任意断面の適用が可能。
- ・鋼床版のデッキプレートは重ね継ぎ手にも対応している。
- ・鋼床版の左右張り出し部と上フランジで材質、板厚を各々指定可能。
- ・鋼床版の縦リブは任意の位置に複数種類の断面の設定が可能。

断面力

- ・3成分断面力、6成分断面力に対応している。
- ・鋼床版については架設系、完成系に対応している。

計算方法その他

- ・せん断流理論を用いたせん断力の計算において、トラフリブは等価なプレートに換算して算出する。
- ・トラフリブが有効幅内かの判断は、トラフリブの中心位置が有効幅内に入っているかで判断する。
- ・板厚が 40 mm を超える場合には、以下の 2 通りの許容応力度算出方法が選択可能である。
 - ①道路橋示方書どおりの許容応力度を使用する。
 - ②40 mm 以下の板厚と同様の許容応力度算出式を使用する。(H 仕様)
- ・部材の寸法の押さえとして、板厚の逃げ方向を以下の 3 種類から選択が可能。
 - ①中心押さえ
 - ②部材の定義した方向の左側押さえ
 - ③部材の定義した方向の右側押さえ
- ・縦リブ断面として①板リブ、②バルブプレート、③トラフリブの 3 種類が選択可能。

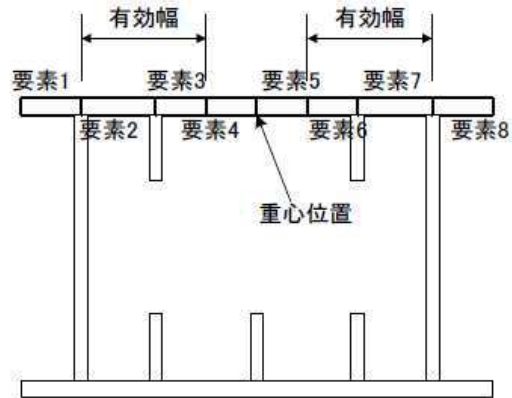
3.3 解析手法

3.3.1 断面諸量の計算方法

小松氏の「曲げねじり理論」により算出する。

1つの部材（フランジや腹板）を、意味がある点（腹板取り付け点、重心位置、有効幅位置等）で分割したものを「要素」とし、計算は1要素毎に計算し、その合計で求める。

上フランジの要素分割例



(1) 断面積及び重心位置

$$\Sigma A = \Sigma B_j \times T_j \quad \text{ここに } j: \text{各要素番号 } B: \text{幅 } T: \text{厚さ}$$

曲率がある場合、

$$A'_j = A_j / \rho_j \quad \text{ここに } \rho_j: \text{各要素の中心点より平面曲率中心までの距離}$$

重心位置（曲率がある場合）

$$R_0 = \Sigma A_j / \Sigma A'_j$$

$$X_c = R_0 - R$$

$$Y_c = (\Sigma (A'_j \times Y'_j)) \times R_0 / \Sigma A_j$$

ここに Y'_j : 基準軸から各要素の中心までの距離 (Y方向の距離)

(2) 剛度

$$I_x = R_0 \times \Sigma [(I_x'_j + A_j \times Y_j^2) / \rho_j]$$

$$I_y = R_0 \times \Sigma [(I_y'_j + A_j \times X_j^2) / \rho_j]$$

$$I_{xy} = R_0 \times \Sigma [(I_{xy}'_j + A_j \times Y_j \times X_j) / \rho_j]$$

ここに I_x', I_y', I_{xy}' : 要素自身の断面二次モーメントと相乗モーメント

X_j, Y_j : 要素の重心位置座標

I_{xy} は相乗曲げモーメントを考慮する場合にのみ有効となる。

(3) ねじり関数, ねじり抵抗

1室の場合

・ねじり関数

$$q_k = 1/R_0 \times \Sigma [(X_e \times Y_s - X_s \times Y_e) j / \rho_j^2] / \Sigma [B_j / (\rho_j^3 \times T_j)]$$

ここに Σ : 閉断面を構成する要素の総和

R_0 : 重心位置曲率半径

ρ_j : 要素の重心位置の曲率半径

$(X_s \times Y_s), (X_e \times Y_e)$: 要素の終始点座標

B_j : 要素の長さ

T_j : 要素の板厚

・ねじり抵抗

$$J = R_0^2 \times q_k \times \Sigma [(X_e \times Y_s - X_s \times Y_e) j / \rho_j^2] + \Sigma B_j \times T_j / 3$$

閉断面区間

開断面区間

3.3.2 応力度の計算方法

(1) 垂直応力度

軸力 N による応力度

$$\sigma_n = (R / \rho) \times (N / A)$$

面内曲げモーメント M_x による応力度

$$\sigma_{mx} = (R_i / \rho) \times (I_{y_i} \times y_i - I_{xy_i} \times x_i) \times M_x / (I_{x_i} \times I_{y_i} - I_{xy_i}^2)$$

面外曲げモーメント M_y による応力度

$$\sigma_{my} = (R_o / \rho) \times (I_{x_o} \times x_o - I_{xy_o} \times y_o) \times M_y / (I_{x_o} \times I_{y_o} - I_{xy_o}^2)$$

ここに, ρ : 照査位置の曲率半径

	総断面	面内有効断面	面外有効断面
重心位置 (x 軸)	x_c	x_{c_i}	x_{c_o}
重心位置 (y 軸)	y_c	y_{c_i}	y_{c_o}
重心位置から照査位置までの距離	x	x_i	x_o
	y	y_i	y_o
重心位置の曲率半径	R	R_i	R_o
断面積	A	A_i	A_o
x 軸回りの断面二次モーメント	I_x	I_{x_i}	I_{x_o}
y 軸回りの断面二次モーメント	I_y	I_{y_i}	I_{y_o}
相乗モーメント	I_{xy}	I_{xy_i}	I_{xy_o}
ねじり定数	J	---	---

(2) せん断応力度

$$\tau = S_x \times qb / T_j$$

(3) ねじり応力度

$$\tau = T \times (J_1 / J) / (2 \times F \times T_j) \text{ 閉断面}$$

$$\tau = 3 \times T \times (J_2 / J) / (B_j \times T_j) \text{ 開断面}$$

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示す。

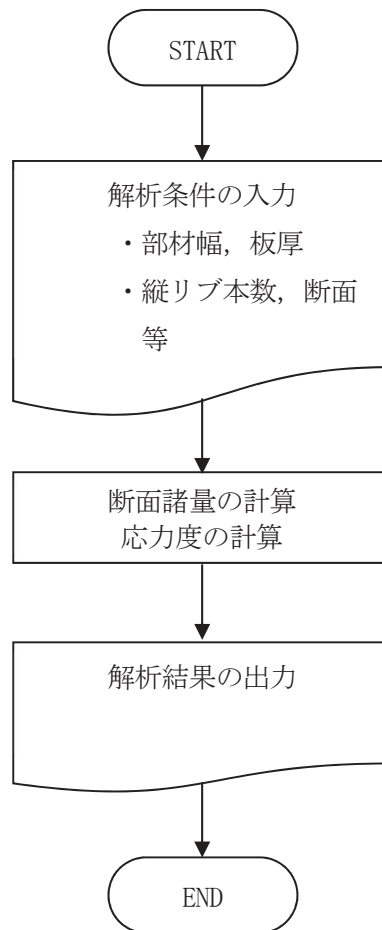


図 3-1 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

(1) 構造力学公式集により算出したねじり剛性と Section の出力結果による比較検証

図 3-2 に示す断面において構造力学公式集によりねじり剛性を算出し、プログラムの出力結果と比較する。

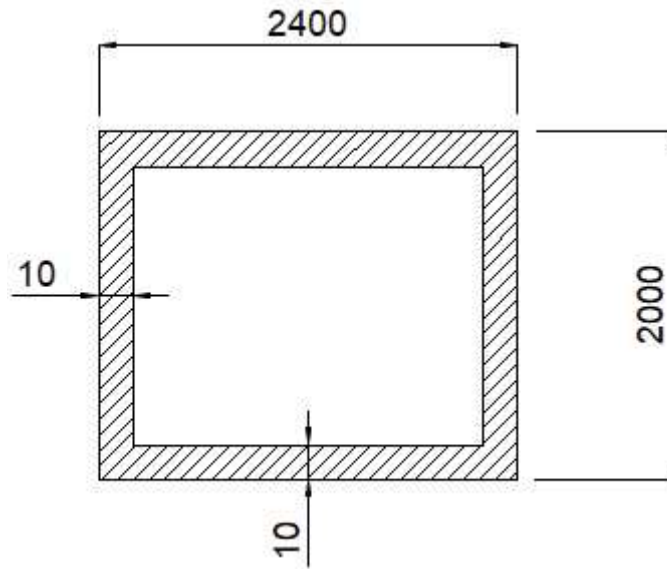


図 3-2 ねじり剛性検討断面

構造力学公式集により算出したねじり剛性

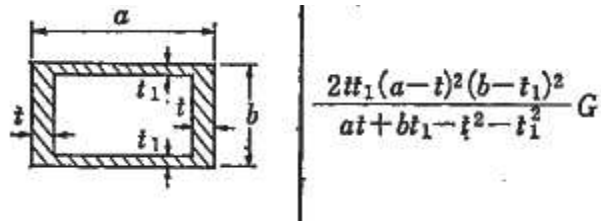


図 3-3 ねじり剛性 算出式 (構造力学公式集 P. 46 より引用)

$a = 2400 \text{ (mm)}$, $b = 2000 \text{ (mm)}$, $t_1 = 10 \text{ (mm)}$, $t = 10 \text{ (mm)}$ より,

$$\begin{aligned}
 J &= \{2 \times 10 \times 10 \times (2400 - 10)^2 \times (2000 - 10)^2\} / (2400 \times 10 + 2000 \times 10 - 10^2 - 10^2) \\
 &= 103289895936 \text{ (mm}^4\text{)} \\
 &= 10328990 \text{ (cm}^4\text{)}
 \end{aligned}$$

APOLLO SuperDesigner Section 出力結果

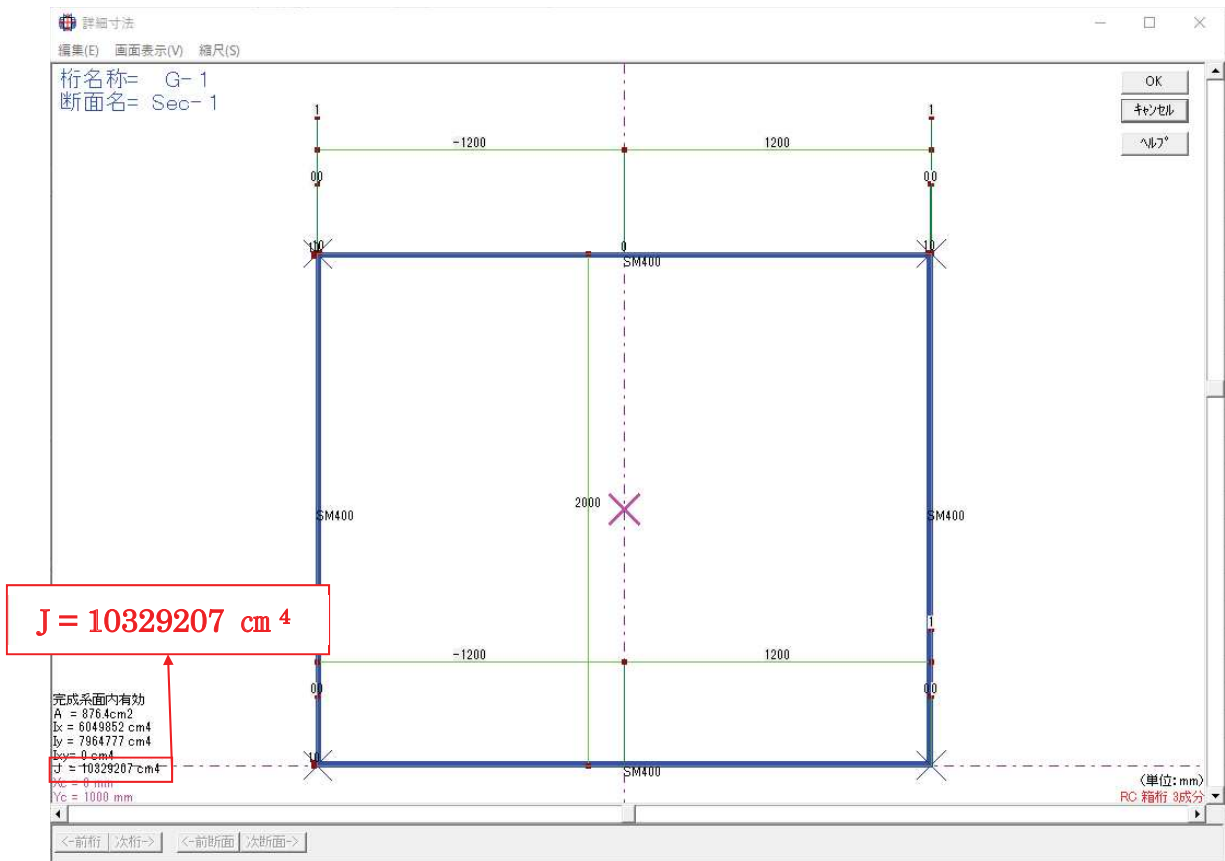


図 3-4 Section 算出結果 (ねじり剛性)

表 3-1 計算例と解析結果の比較

	計算例	解析結果	比率
	構造力学公式集	APOLLO SuperDesigner Section	
ねじれ剛性 $J (\text{cm}^4)$	10328990	10329207	99.998%

構造力学公式集の計算結果と APOLLO SuperDesigner Section の出力結果が良く一致していることを確認しており、ねじれ剛性の算出が正しく実行できていることが確認できる。

(2) 構造力学公式集により算出した断面二次モーメント及び道路橋示方書により算出した応力と APOLLO SuperDesigner Section の出力結果による比較検証

図 3-5 に示す断面において構造力学公式集により断面諸量及び道路橋示方書により応力を算出し、プログラムの出力結果と比較する。

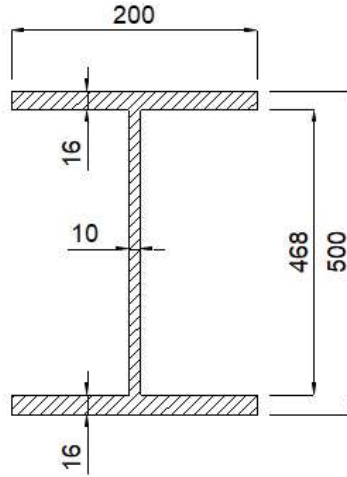


図 3-5 断面諸量・応力検討断面

構造力学公式集により算出した応力

・断面二次モーメントの算出

2.1.2 断面二次モーメント，断面相乗モーメント，断面二次半径，断面係数

図 2.1 において次式で与えられる量を，それぞれ y, z 軸まわりの断面二次モーメントという。

$$I_{yy} = \int_A z^2 dA, \quad I_{zz} = \int_A y^2 dA \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

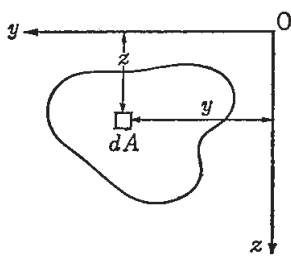


図 2.1 部材の断面

図 3-6 断面二次モーメント算出式（構造力学公式集 P. 43 より引用）

- ・垂直応力度，せん断応力度，合成応力度の算出

11.2.2 曲げモーメントによる垂直応力度

曲げモーメントによる垂直応力度は，式 (11.2.1) で算出する。ただし，引張フランジにボルトの孔がある場合には，式 (11.2.1) による引張フランジ応力度に (引張フランジ総断面積／引張フランジ純断面積) を乗じる。

$$\sigma_b = \frac{M}{I} y \quad \dots\dots\dots (11.2.1)$$

ここに， σ_b : 曲げモーメントによる垂直応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

I : 総断面の中立軸のまわりの断面二次モーメント (mm⁴)

y : 中立軸から着目点までの距離 (mm)

図 3-7 垂直応力度算出式 (道路橋示方書Ⅱ P. 304 より引用)

11.2.3 腹板の曲げに伴うせん断応力度

腹板の曲げに伴うせん断応力度は，式 (11.2.2) で算出してもよい。

$$\tau_b = \frac{S}{A_w} \quad \dots\dots\dots (11.2.2)$$

ここに， τ_b : 曲げに伴うせん断応力度 (N/mm²)

S : 曲げに伴うせん断力 (N)

A_w : 腹板の総断面積 (mm²)

図 3-8 せん断応力度算出式 (道路橋示方書Ⅱ P. 305 より引用)

11.2.5 合成応力度の照査

(1) 曲げモーメント及び曲げモーメントに伴うせん断力のみが作用する断面で，垂直応力度及び曲げに伴うせん断応力度がともに 3.2.1 に規定する許容応力度の 45% を超える場合は，曲げモーメント及び曲げに伴うせん断力がそれぞれ最大となる荷重状態について，式 (11.2.3) を満たさなければならない。

$$\left. \begin{aligned} & \left(\frac{\sigma_b}{\sigma_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau_b}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.2 \\ & \sigma_b \leq \sigma_a \\ & \tau_b \leq \tau_a \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (11.2.3)$$

図 3-9 合成応力度算出式 (道路橋示方書Ⅱ P. 307 より引用)

$$\begin{aligned}
M &= 50 \text{ kN} \cdot \text{m} \\
&= 50000000 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
S &= 250 \text{ kN} \\
&= 250000 \text{ N}
\end{aligned}$$

の断面力が断面に発生しているとして応力計算を行う。

$$\begin{aligned}
I &= 200 \times 500^3 / 12 - (200-10) \times (500-16 \times 2)^3 / 12 \\
&= 460365493.3 \text{ mm}^4 \\
&= 46037 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

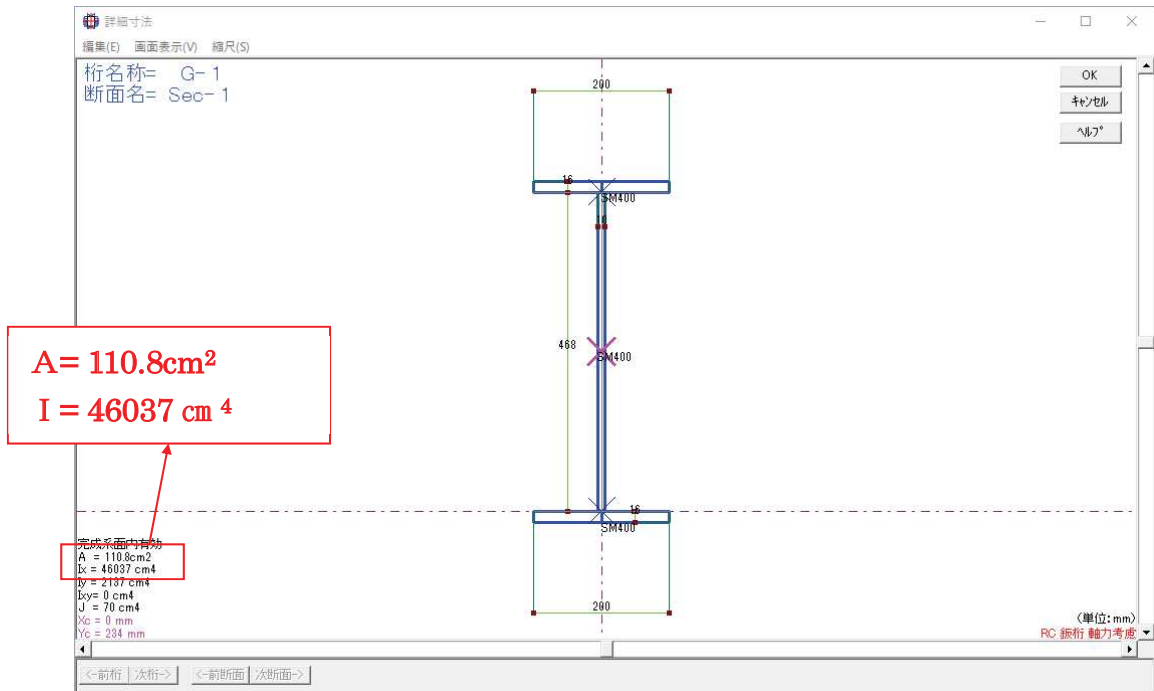
$$\begin{aligned}
A &= 200 \times 16 \times 2 + 468 \times 10 \\
&= 11080 \text{ mm}^2 \\
&= 110.8 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_w &= 468 \times 10 \\
&= 4680 \text{ mm}^2 \\
&= 46.8 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
y_u \text{ UFLG} &= -500 / 2 = -250 \text{ mm} , \quad y_l \text{ LFIG} = 500 / 2 = 250 \text{ mm} \\
y_u \text{ WEB} &= -500 / 2 + 16 = -234 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_u \text{ UFLG} &= 50000000 \times -250 / 460365493 = -27.15 \approx -27.2 \text{ N/mm}^2 \\
\sigma_l \text{ LFIG} &= 50000000 \times 250 / 460365493 = 27.15 \approx 27.2 \text{ N/mm}^2 \\
\sigma_u \text{ WEB} &= 50000000 \times -234 / 460365493 = -25.41 \approx -25.4 \text{ N/mm}^2 \\
\tau &= 250000 / 4680 = 53.41 \approx 53.4 \text{ N/mm}^2 \\
\kappa &= (-25.4 / 140)^2 + (53.4 / 80)^2 = 0.478 \approx 0.48
\end{aligned}$$

APOLLO SuperDesigner Section 出力結果



断面力

※「ケース名」は半角で18文字まで

(単位:kN, kN・m)

桁名称	断面名	完成架設	番号	ケース名	N	Mx	My	Sx	Sy	T
G-1	Sec-1	完成	1	Case-1	0	50	0	0	250	0

応力度詳細

編集(E)

断面力ケースの選択: 全ケース毎 最大ケース σ 最大ケース τ 最大ケース 合成最大ケース

応力度出力点の選択: 1部材の最大点 節点+端点+重心 節点(両側)+端点+重心 全ての点

桁、断面指定: 桁断面番号 1 | 0

応力度の小数部表示桁数: 1

桁名	断面名	部材名	ケース名	σ_n	σ_{mx}	$\Sigma \sigma$	σ_a	τ_{sy}	τ_a	合成
G-1	Sec-1	UFLG	---	0	-27.2	-27.2	140	0	80	0.04
		WEB	---	0	-25.4	-25.4	140	53.4	80	0.48
		LFLG	---	0	27.2	27.2	140	0	80	0.04

図 3-10 Section 算出結果 (断面諸量・応力)

表 3-2 計算例と解析結果の比較

		計算例	解析結果	比率
		構造力学公式集	APOLLO SuperDesigner Section	
断面諸量	断面二次モーメント I (cm ⁴)	46037	46037	100%
	断面積 A (cm ²)	110.8	110.8	100%
応力	垂直応力 σ_u UFLG (N/mm ²)	-27.2	-27.2	100%
	垂直応力 σ_l LFLG (N/mm ²)	27.2	27.2	100%
	垂直応力 σ_u WEB (N/mm ²)	-25.4	-25.4	100%
	せん断応力 τ (N/mm ²)	53.4	53.4	100%
	合成応力度 κ	0.48	0.48	100%

構造力学公式集の計算結果と APOLLO SuperDesigner Section の出力結果が一致していることを確認しており、応力の算出が正しく実行できていることが確認できる。

(3) 使用内容に対する妥当性

鋼製遮水壁（鋼桁）の設計に本解析コードによって算出したねじれ剛性、断面二次モーメント及び応力を使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・ 検証の内容のとおり、構造力学公式集によって算出したねじれ剛性、断面二次モーメント及び道路橋示方書によって算出した応力と比較検証を行っていることから、解析の目的に照らして本工事計画の解析に使用することは妥当である。

VI-5-60 計算機プログラム（解析コード）の概要
・FRAMEマネージャ

目 次

1.	はじめに.....	1
1.1	使用状況一覧.....	2
2.	解析コードの概要.....	3
3.	解析手法.....	4
3.1	一般事項.....	4
3.2	解析コードの特徴.....	4
3.3	解析理論.....	5
3.4	解析フローチャート.....	6
3.5	検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)	7

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）FRAMEマネージャについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-3-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の耐震性についての計算書	ver. 6. 0. 1
VI-3-別添 3-2-2-3	杭基礎構造防潮壁 鋼製扉の強度計算書	ver. 6. 0. 1

2. 解析コードの概要

項目	コード名
項目	FRAME マネージャ
使用目的	2次元骨組構造解析（断面力算出）
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	1996年
使用したバージョン	ver. 6.0.1
コードの概要	<p>FRAME マネージャ（以下「本解析コード」という。）は、平面骨組構造解析の汎用市販コードである。</p> <p>本解析コードの解析部分は微小変位理論に基づいており、格子点変位を未知量とする多元連立方程式を解くことによって所要の変位・断面力・反力を算出する。この連立方程式は、構造データから決定される剛性マトリックスと荷重データから決定される荷重ベクトルから構成される。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・単純はりモデルに対して本解析コードを用いて算出した断面力及び変位が構造力学公式集を用いて算出した断面力及び変位と一致することを確認している。 ・格子モデルに対して、本解析コードで算出した断面力及び変位が、日本原子力発電株式会社東海第二発電所の防潮堤（鋼製防護壁）の3次元骨組みモデルにて使用実績のある TDAPⅢ (ver3.08) で同様のモデルを解析した際に算出される断面力及び変位と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画に本解析コードを使用することの妥当性は、前述の検証の中で確認している。 ・本工事計画における構造に適用する要素、応力解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する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. 解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは、任意の骨組み構造に対して構造解析を行うプログラムである。

3.2 解析コードの特徴

・機能

本解析コードは以下の機能により構成される。

- ・面内解析・・・面内荷重（骨組み構造に平行な荷重）を解析する。
- ・面外解析・・・面外荷重（骨組み構造に垂直な荷重）を解析する。
- ・IL解析・・・移動荷重，固定荷重を影響線処理する。
- ・結果集計・・・面内解析，面外解析，IL解析の結果を集計し編集出力する。

・モデルの定義

実際の構造物をモデル化するために、本プログラムが用意している構造モデルの種類は以下のものがある。

- ・部材モデル（骨組み構造の部材断面及び接合方法の設定）
- ・格点モデル（骨組み構造の格点座標の設定）
- ・支点モデル（支持位置及び支持方法の設定）

モデル化された骨組み構造はウィンドウ上に描画され、モデルの格点番号・部材番号が表示される。作成したモデルのエラーチェックを視覚的に行うことが可能である。

・荷重の定義

対象構造物に作用する自重等の荷重をモデル化するために、本プログラムが用意している荷重の種類として、部材分布荷重，部材集中荷重，格点集中荷重，温度荷重，プレストレス荷重，支点強制変位がある。これらの荷重を基本ケースとして組み合わせ解析を行うことができる。

・解析結果の出力・図化

解析結果として以下を出力することができる。

a) 変形図・断面力図

変形図，断面力図は定義した荷重ケース若しくは別途定義した荷重の組み合わせごとに出力することが可能である。入力モデルや支点，荷重等の出力を始めとして，断面力，変位並びに反力等の作図結果を DXF ファイルに出力する補助機能を有する。本機能により出力されたファイルは汎用 CAD アプリケーションで読み込み，編集・出力が可能である。部材集中荷重の載荷位置や最大・最小部材力位置を抽出し，着目点を自動追加する任意の着目点の断面力・変位を出力する機能を有する。

b) 解析結果リスト

解析結果を成果品として保存することができる。保存するデータの種類として，テキストデータ（CSV形式，TXT形式），DOC形式データ（MS-WORD）等に対応する。

3.3 解析理論

本解析コードは構造解析システムとして微小変位理論に基づく変位法を用いている。
変位法について以下に示す。

- ① 構造物に外力が働いた場合に生じる変位を求める。
- ② ①で求めた変位を用いて断面力を算出する。

外力と変位の関係式

$$\{F\} = [K] \times \{U\}$$

$\{F\}$: 外力ベクトル (荷重ベクトル), $[K]$: 全体剛性マトリックス, $\{U\}$: 変位ベクトル

外力と全体剛性マトリックスの逆行列から変位ベクトルを求める。

$$\{U\} = [K]^{-1} \times \{F\}$$

$[K]^{-1}$: $[K]$ の逆行列

求めた変位ベクトルから要素座標系の変位ベクトルを求め、要素座標系の変位ベクトルと要素剛性マトリックスから断面力を求める。

$$\{f_e\} = [k_e] \times \{u_e\}$$

$\{f_e\}$: 要素断面力ベクトル, $[k_e]$: 要素剛性マトリックス, $\{u_e\}$: 要素座標系での変位ベクトル

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示す。

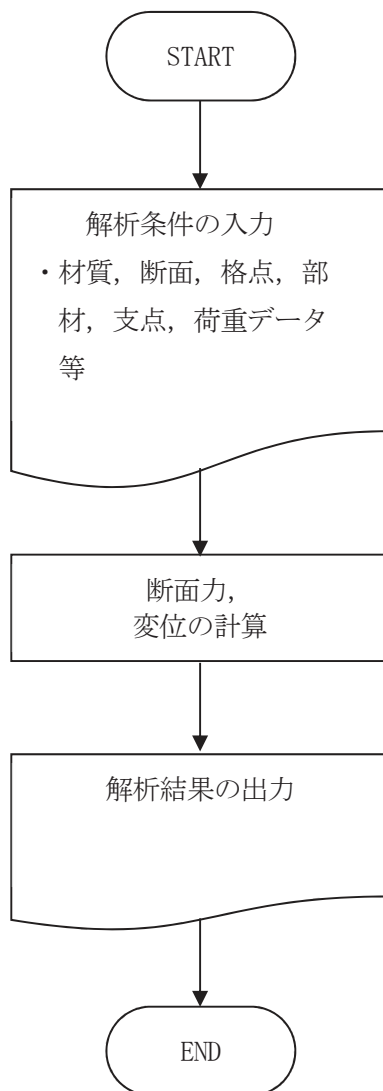


図3-1 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

(1) 単純梁モデルに対する比較検証

以下に示す断面諸元を持つ単純梁において図3-2に示すような荷重がそれぞれ作用した場合の支間中央部の断面力 (M, S) 及び変位 (δ) を図3-3及び図3-4に示す構造力学公式集を用いて算出し、プログラムの出力結果と比較する。

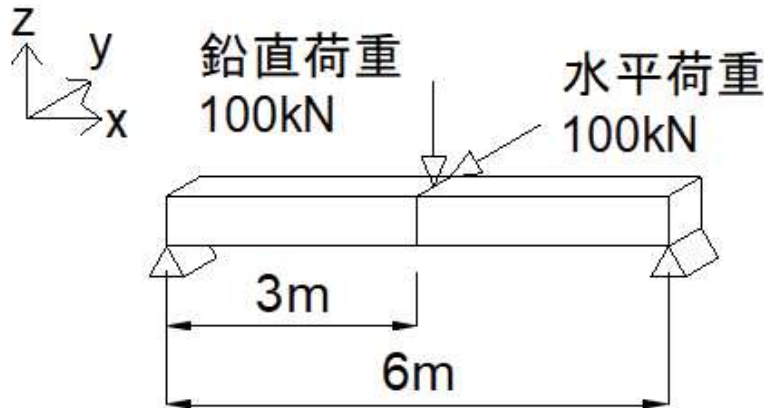


図3-2 単純梁モデル

表3-1 単純梁の断面諸元

項目	諸元値
支間長 (= l)	6 (m)
ヤング率 (= E)	200000000 (kN/m ²)
断面剛性 (= I _y)	0.0004 (m ⁴)
断面剛性 (= I _z)	0.0006 (m ⁴)
作用荷重 (= P)	100 (kN)

構造力学公式集により算出した断面力及び変位

荷重, たわみ曲線, せん断力図, 曲げモーメント図	反力 R_A, R_B , せん断力 Q	曲げモーメント M
<p>1)</p>	$R_A = R_B = \frac{P}{2}$ $Q_1 = \frac{P}{2}$ $Q_2 = -\frac{P}{2}$	$M_1 = \frac{P}{2} x$ $M_2 = \frac{P}{2} x'$ $M_{max} = \frac{Pl}{4}, \left[x = \frac{l}{2} \right]$

図3-3 せん断・曲げ算出式 (構造力学公式集P.134より引用)

たわみ w	たわみ角 θ	支点たわみ角 θ_A, θ_B
$w_1 = \frac{Pl^3}{48EI} \left\{ 3\frac{x}{l} - 4\left(\frac{x}{l}\right)^3 \right\}$ $w_2 = \frac{Pl^3}{48EI} \left\{ 3\frac{x'}{l} - 4\left(\frac{x'}{l}\right)^3 \right\}$ $w_{max} = \frac{Pl^3}{48EI}, \left[x = \frac{l}{2} \right]$	$\theta_1 = -\frac{Pl^2}{16EI} \left\{ 1 - 4\left(\frac{x}{l}\right)^2 \right\}$ $\theta_2 = \frac{Pl^2}{16EI} \left\{ 1 - 4\left(\frac{x'}{l}\right)^2 \right\}$	$\theta_A = -\frac{Pl^2}{16EI}$ $\theta_B = -\theta_A$

図3-4 たわみ算出式 (構造力学公式集P. 135より引用)

(a) 鉛直荷重

$$\begin{aligned}
 M &= P \times l/4 \\
 &= 100 \times 6/4 \\
 &= 150 \text{ (kNm)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= P/2 \\
 &= 100/2 \\
 &= \pm 50 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta &= P \times l^3 / (48 \times E \times I_y) \\
 &= 100 \times 6^3 / (48 \times 200000000 \times 0.0004) \\
 &= 0.005625 \text{ (m)} = 5.625 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

(b) 水平荷重

$$\begin{aligned}
 M &= P \times l/4 \\
 &= 100 \times 6/4 \\
 &= 150 \text{ (kNm)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= P/2 \\
 &= 100/2 \\
 &= \pm 50 \text{ (kN)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta &= P \times l^3 / (48 \times E \times I_z) \\
 &= 100 \times 6^3 / (48 \times 200000000 \times 0.0006) \\
 &= 0.00375 \text{ (m)} = 3.75 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

FRAMEマネージャにより算出した断面力及び変位

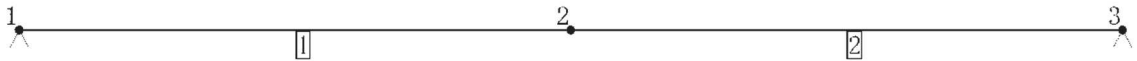
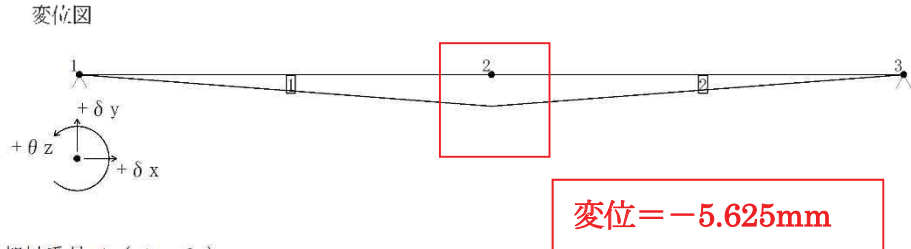


図3-5 単純梁 解析モデル

(a) 鉛直荷重載荷



部材番号 1 (1 - 2)

着目点	距離 (m)	水平変位 δx (mm)	鉛直変位 δy (mm)	回転変位 θz (mrad)
i	0.000	0.00000	0.00000	-2.81250
j	3.000	0.00000	-5.62500	0.00000
MAX	0.000	0.00000	0.00000	-2.81250
MIN	3.000	0.00000	-5.62500	0.00000

部材番号 2 (2 - 3)

着目点	距離 (m)	水平変位 δx (mm)	鉛直変位 δy (mm)	回転変位 θz (mrad)
i	0.000	0.00000	-5.62500	0.00000
j	3.000	0.00000	0.00000	2.81250
MAX	3.000	0.00000	0.00000	2.81250
MIN	0.000	0.00000	-5.62500	0.00000

断面力 M_z 図

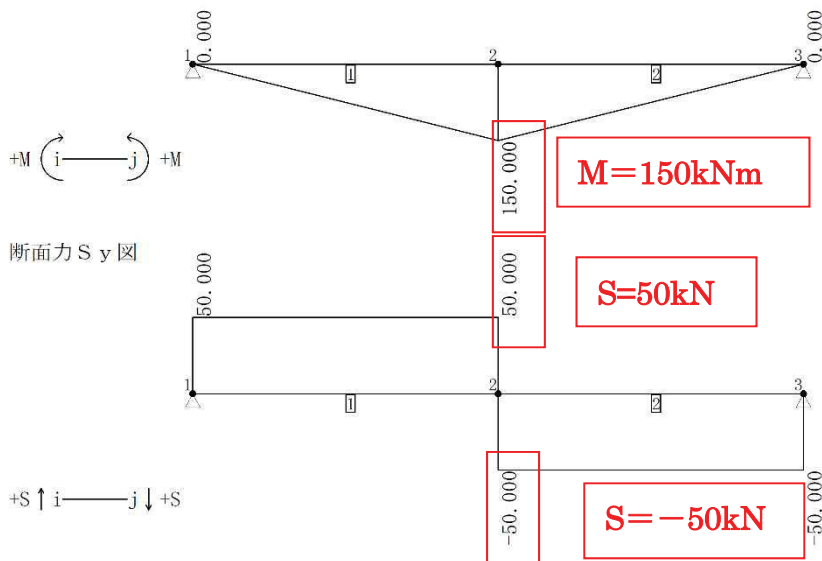
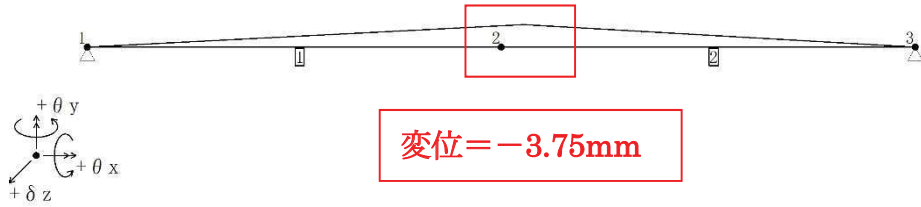


図3-6 FRAMEマネージャ解析結果 (鉛直荷重)

(b) 水平荷重載荷
変位図



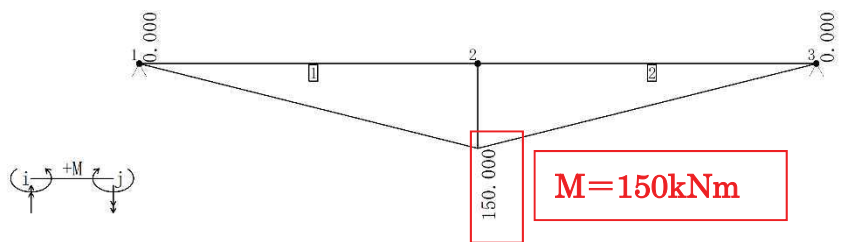
部材番号 1 (1 - 2)

着目点	距離 (m)	X軸回り変位 θ_x (mrad)	Y軸回り変位 θ_y (mrad)	Z軸方向変位 δ_z (mm)
i	0.000	0.00000	1.87500	0.00000
j	3.000	0.00000	0.00000	-3.75000
MAX	0.000	0.00000	1.87500	0.00000
MIN	3.000	0.00000	0.00000	-3.75000

部材番号 2 (2 - 3)

着目点	距離 (m)	X軸回り変位 θ_x (mrad)	Y軸回り変位 θ_y (mrad)	Z軸方向変位 δ_z (mm)
i	0.000	0.00000	0.00000	-3.75000
j	3.000	0.00000	-1.87500	0.00000
MAX	3.000	0.00000	-1.87500	0.00000
MIN	0.000	0.00000	0.00000	-3.75000

断面力 M_y 図



断面力 S_z 図

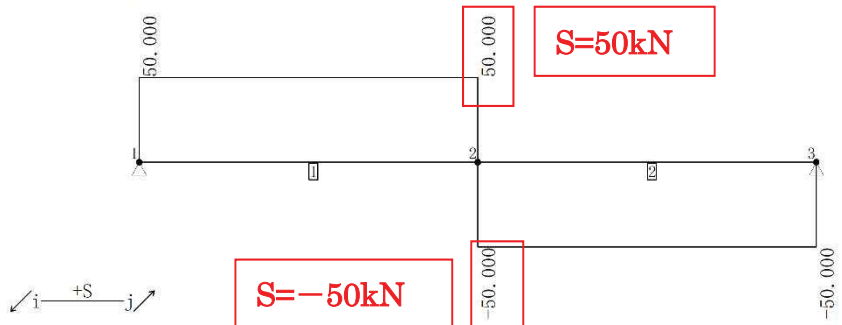


図3-7 FRAMEマネージャ解析結果 (水平荷重)

表3-2 計算例と解析結果の比較

		構造力学公式集	FRAMEマネージャ	比率
鉛直荷重	δ (mm)	-5.625	-5.625	100%
	M (kNm)	150	150	100%
	S (kN)	50	50	100%
水平荷重	δ (mm)	-3.75	-3.75	100%
	M (kNm)	150	150	100%
	S (kN)	50	50	100%

構造力学公式集を用いた計算結果と本解析コードの出力結果が一致していることを確認しており、断面力及び変位の算出が正しく実行できていることが確認できる。

(2) 格子モデルに対する比較検証

図3-8に示す格子モデルに図3-9及び図3-10に示す荷重がそれぞれ作用した場合の断面力 (M, S, N) 及び変位 (δ) をTDAPⅢと本解析コードで算出し比較する。

解析モデルの構造諸元を表3-3、境界条件を表3-4に示す。

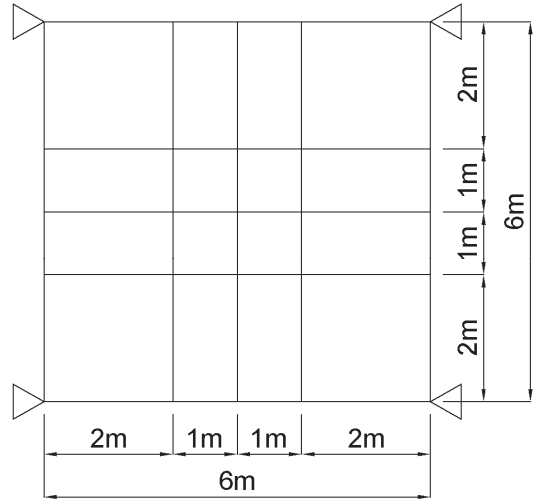
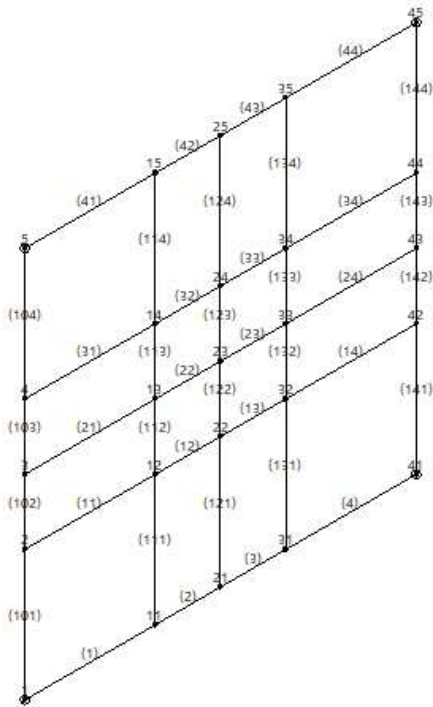


図3-8 比較検証モデル

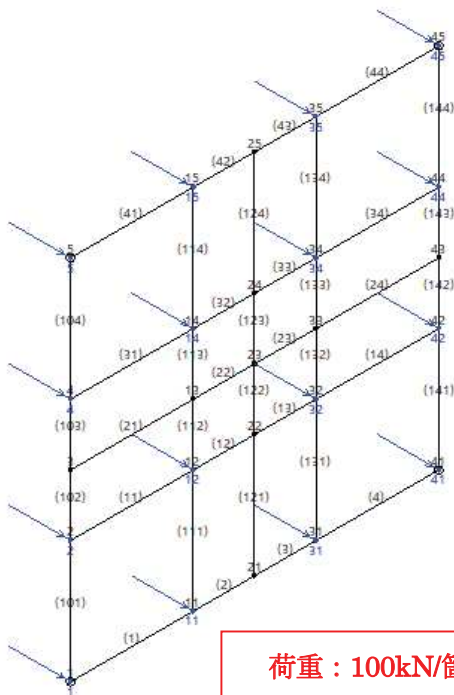


図3-9 水平荷重載荷

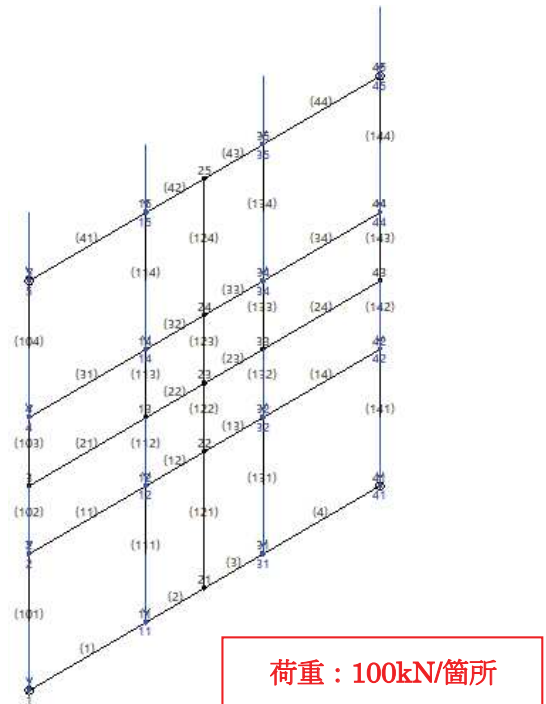


図3-10 鉛直荷重載荷

表3-3 解析モデル 構造諸元

項目		諸元値
支間長 (縦部材)		6 (m)
支間長 (横部材)		6 (m)
ヤング率 (=E)		200000000 (kN/m ²)
断面剛性 (=I _y =I _z)	縦部材	0.0002 (m ⁴)
	横部材	0.0002 (m ⁴)
作用荷重 (=P)		100 (kN/箇所)

表3-4 解析モデル 境界条件

	x 方向	y 方向	z 方向
変形	拘束	拘束	拘束
回転	自由	自由	自由

TDAPIII により算出した断面力及び変位

(a) 水平荷重載荷

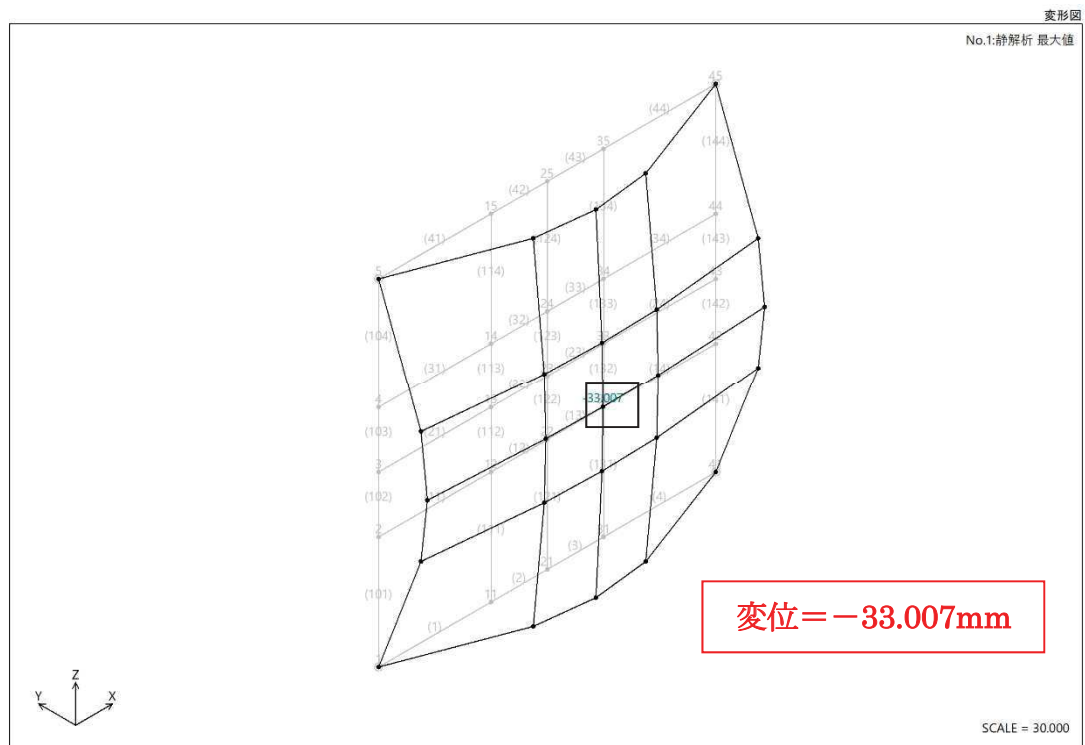


図3-11 TDAPIII 解析結果(変位/水平荷重)

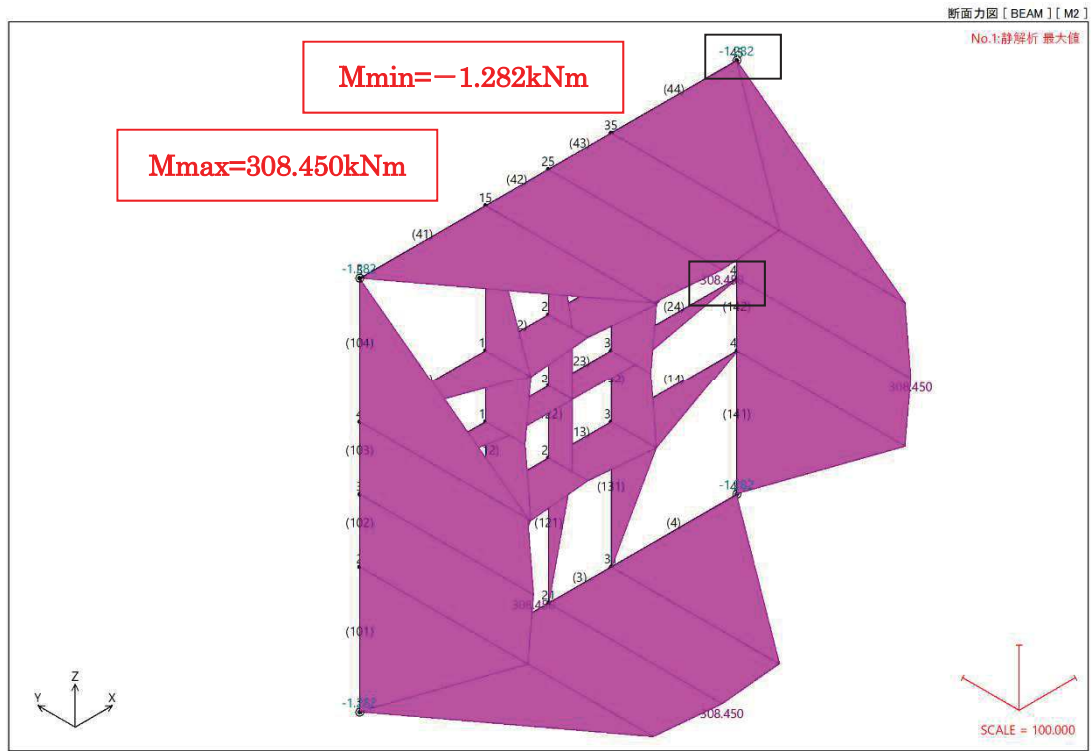


図3-12 TDAPIII 解析結果(曲げモーメント/水平荷重)

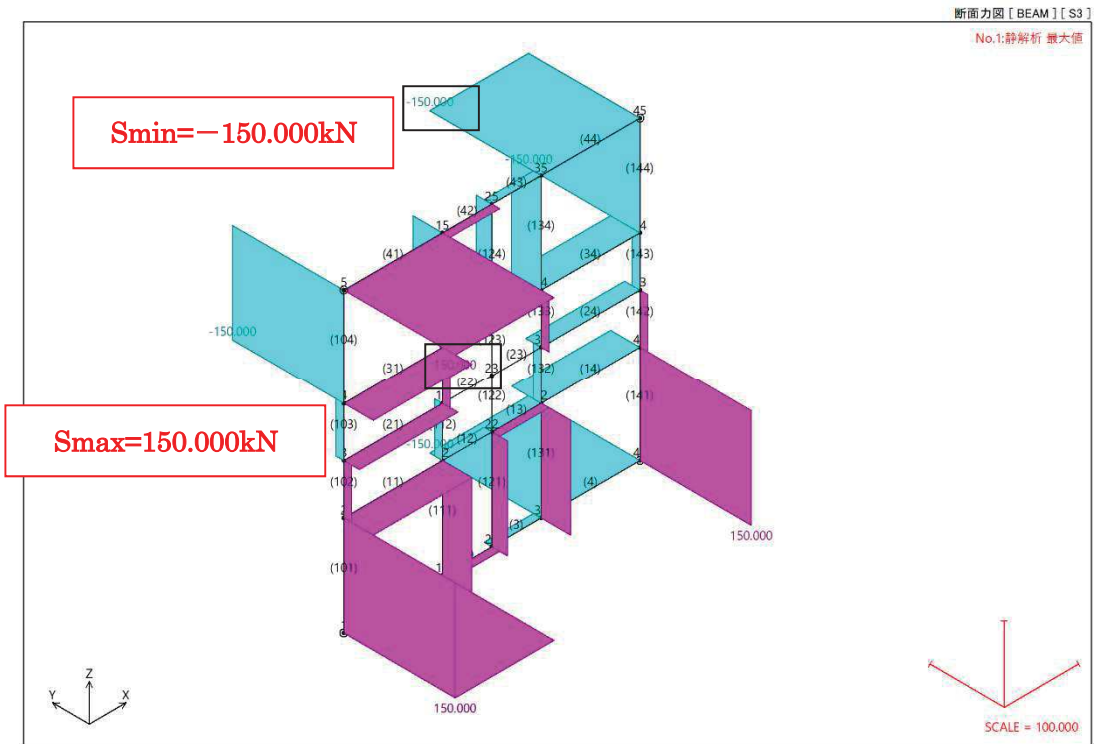


図3-13 TDAPIII 解析結果(せん断力/水平荷重)

(b) 鉛直荷重載荷

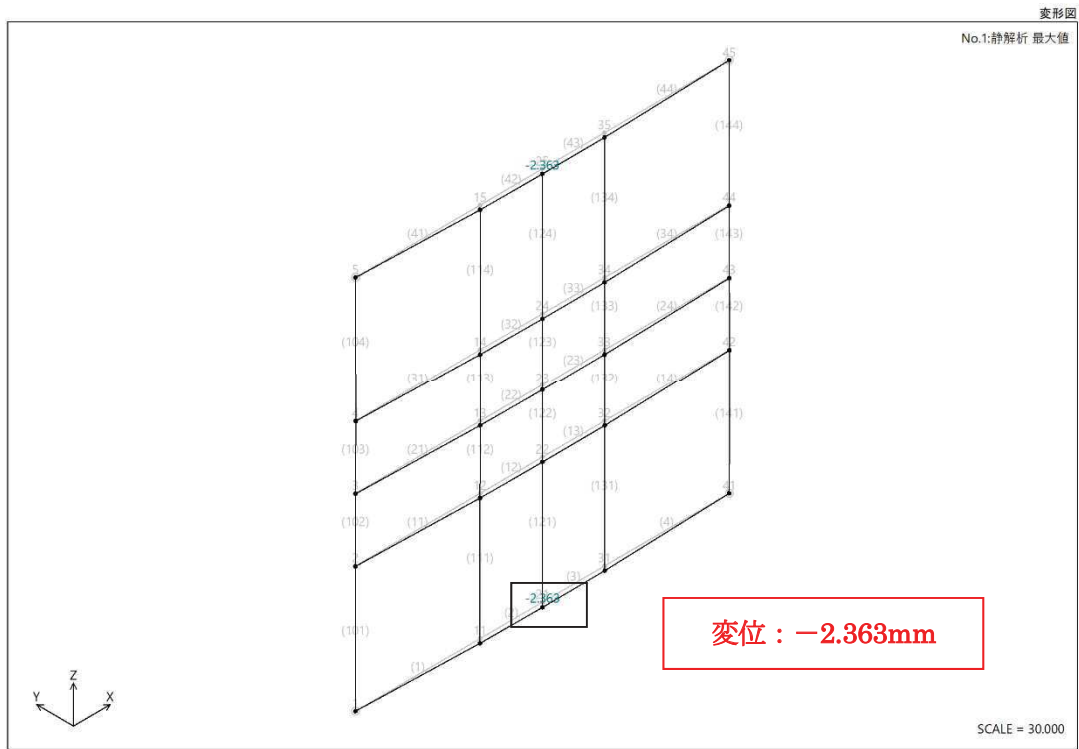


図3-14 TDAPIII 解析結果(変位/鉛直荷重)

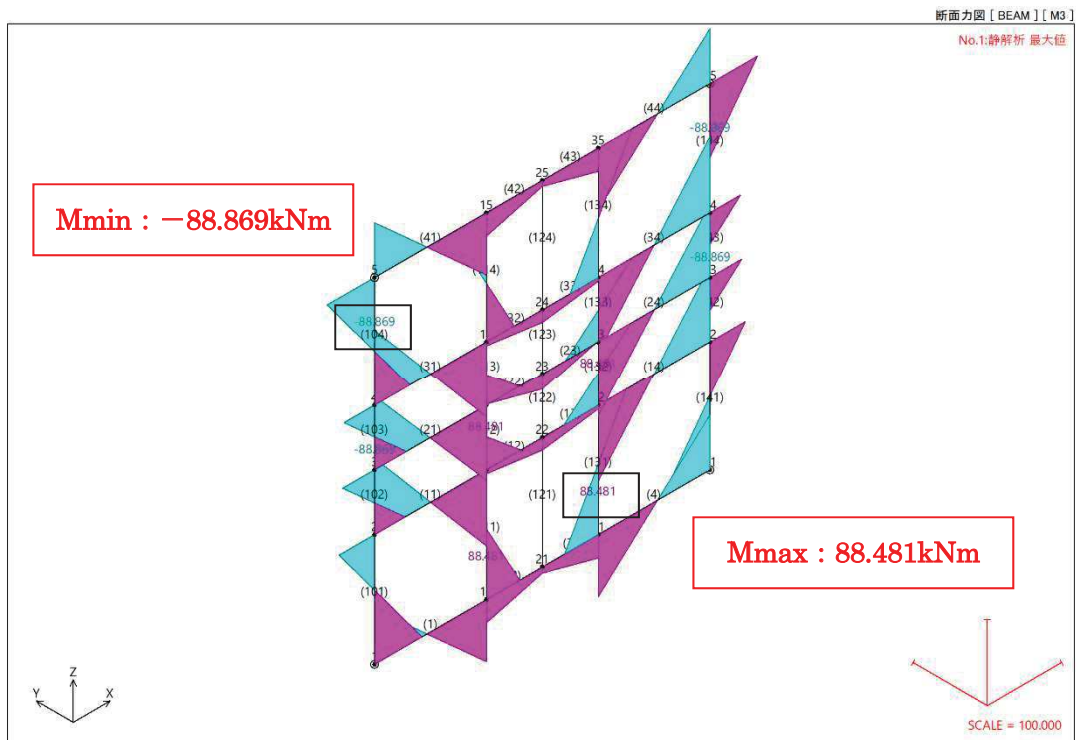


図3-15 TDAPIII 解析結果(曲げモーメント/鉛直荷重)

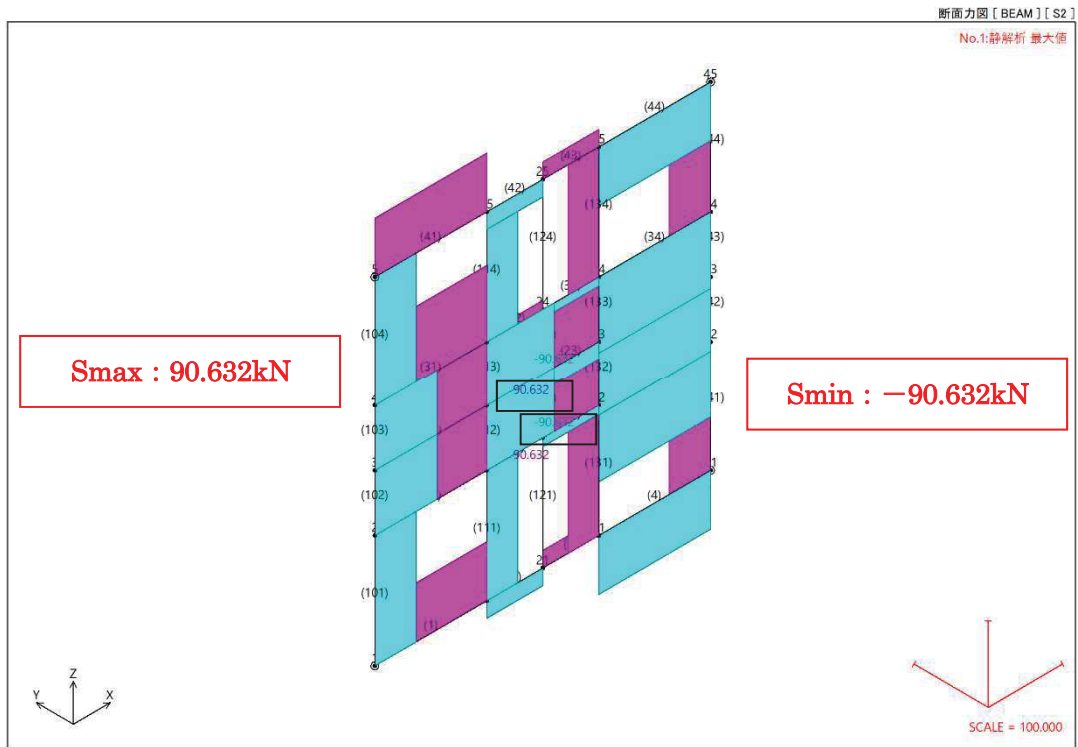


図3-16 TDAPIII 解析結果(せん断力／鉛直荷重)

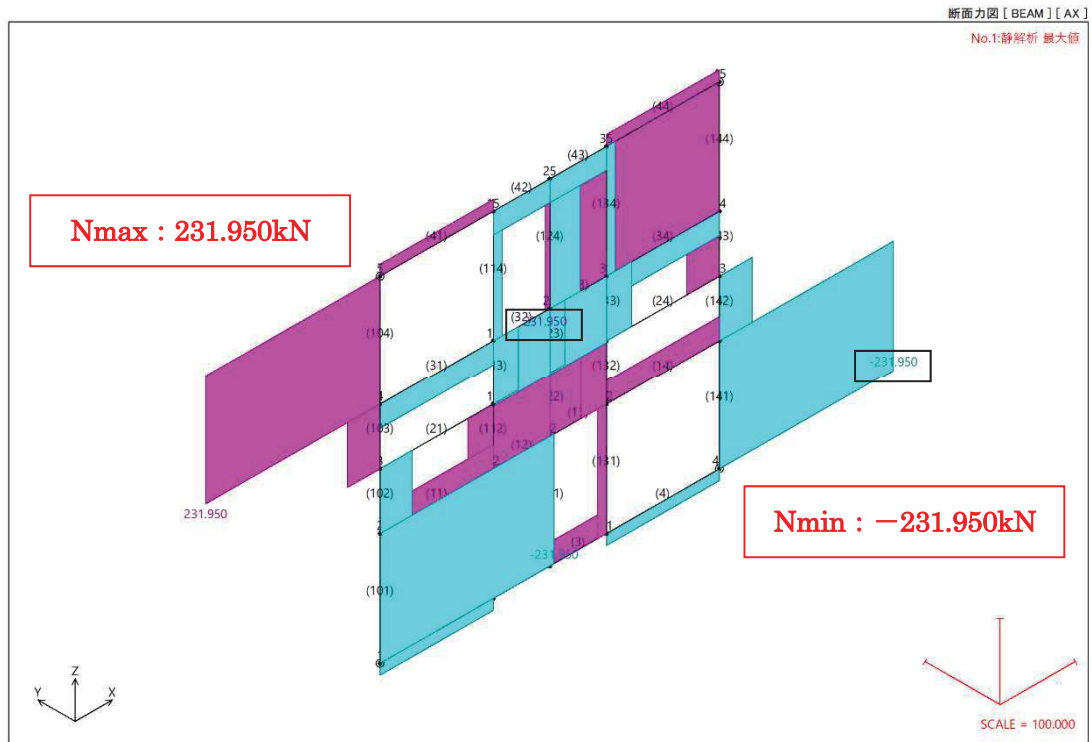
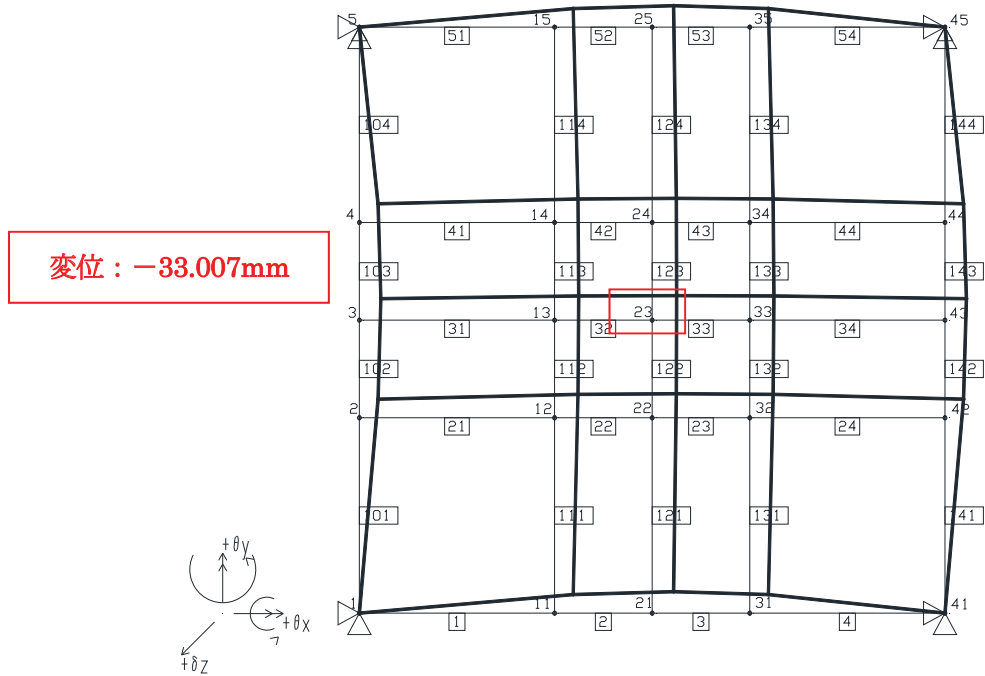


図3-17 TDAPIII 解析結果(軸力／鉛直荷重)

FRAMEマネージャにより算出した断面力及び変位

(a) 水平荷重載荷時



部材番号 22 (13 - 23)

着目点	距離 (m)	X 軸回り変位 θ_x (mrad)	Y 軸回り変位 θ_y (mrad)	Z 軸方向変位 δz (mm)
i	0.000	0.00000	1.06831	-32.47294
j	1.000	0.00000	0.00000	-33.00709
MAX	0.000	0.00000	1.06831	-32.47294
MIN	1.000	0.00000	0.00000	-33.00709

図3-18 FRAMEマネージャ 解析結果(変位/水平荷重)

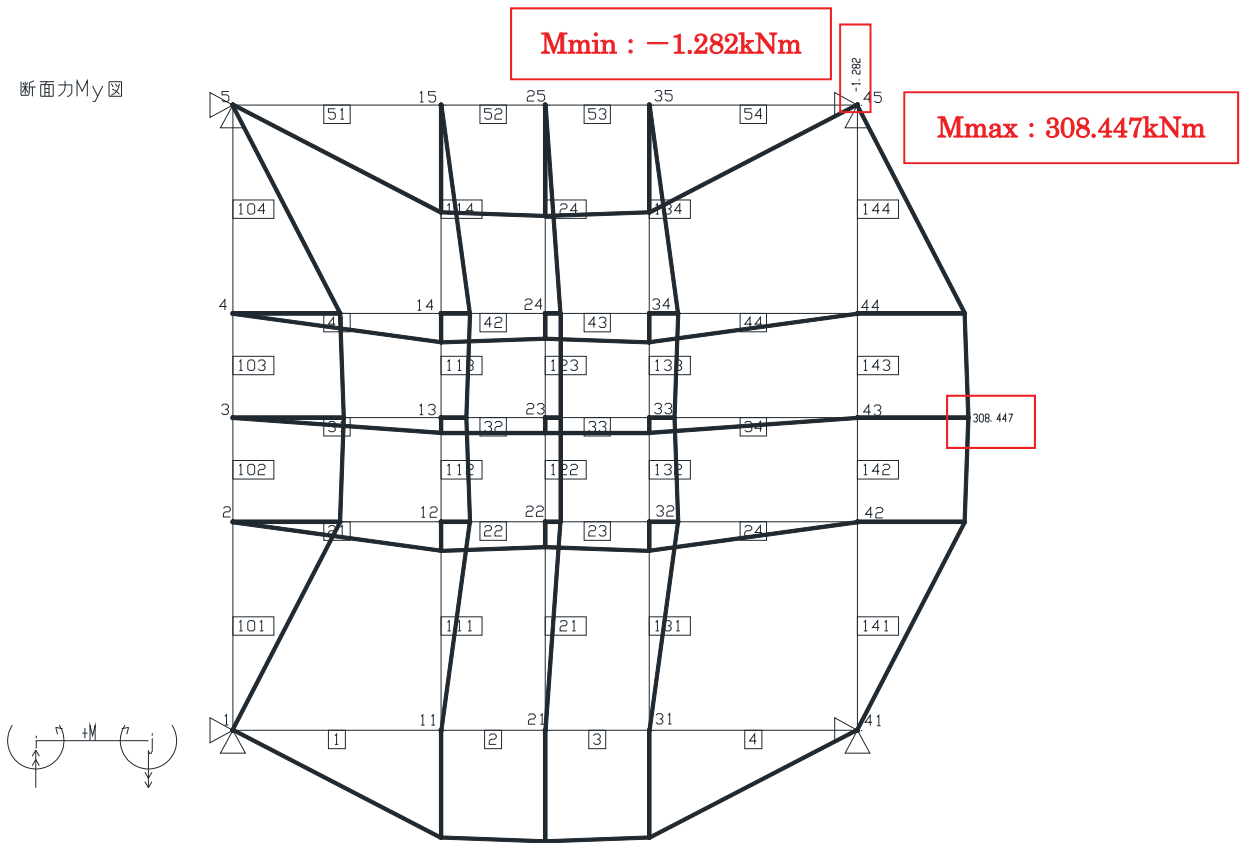


図3-19 FRAMEマネージャ 解析結果(曲げモーメント/水平荷重)

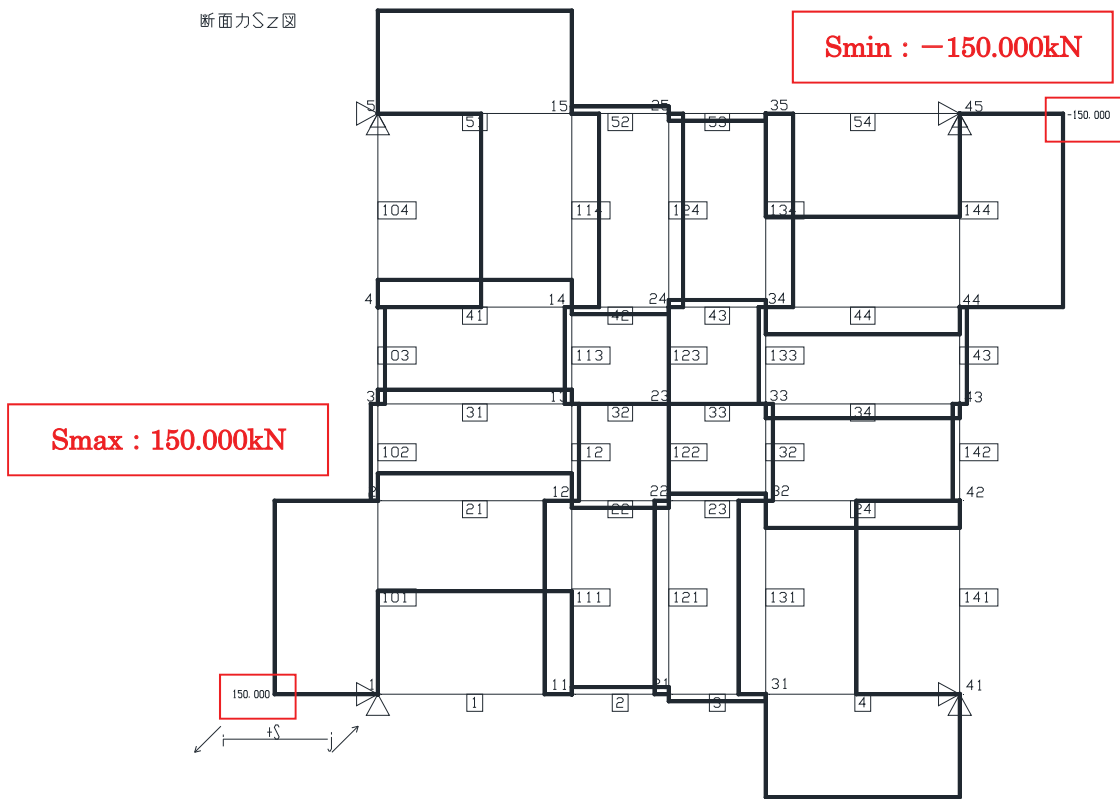
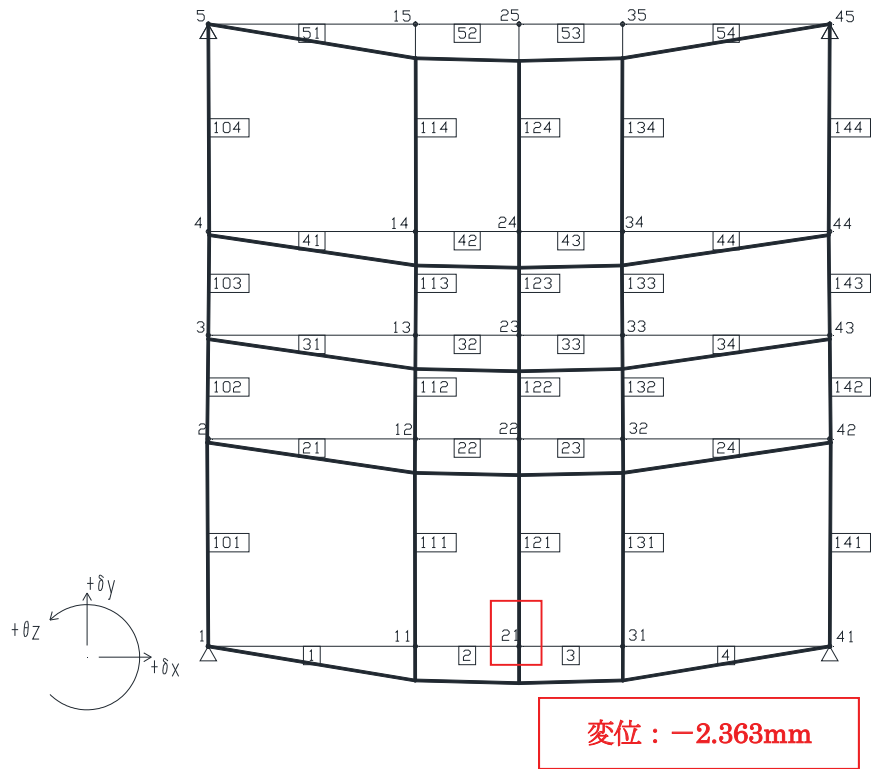


図3-20 FRAMEマネージャ 解析結果(せん断力/水平荷重)

(b) 鉛直荷重載荷時



部材番号 2 (11 - 21)

着目点	距離 (m)	水平変位 δx (mm)	鉛直変位 δy (mm)	回転変位 θz (mrad)
i	0.000	-0.01380	-2.19236	-0.42501
j	1.000	0.00000	-2.36275	0.00000
MAX	0.000	-0.01380	-2.19236	-0.42501
MIN	1.000	0.00000	-2.36275	0.00000

図3-21 FRAMEマネージャ 解析結果(変位/鉛直荷重)

断面力Mz図

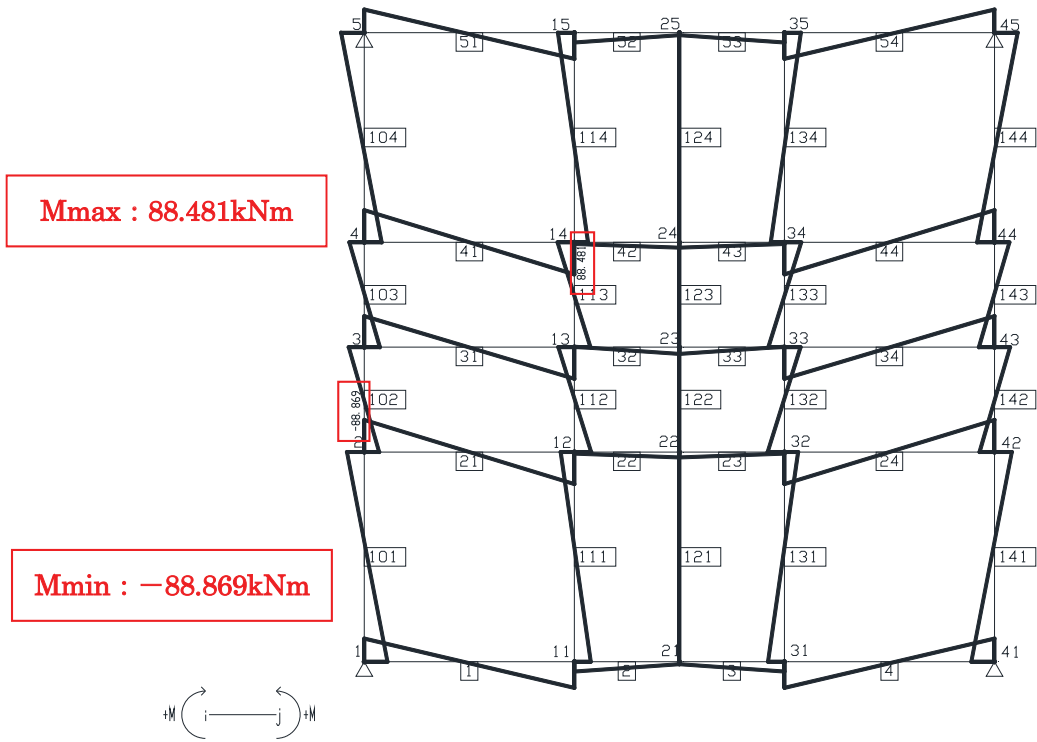


図3-22 FRAMEマネージャ 解析結果(曲げモーメント/鉛直荷重)

断面力Sy図

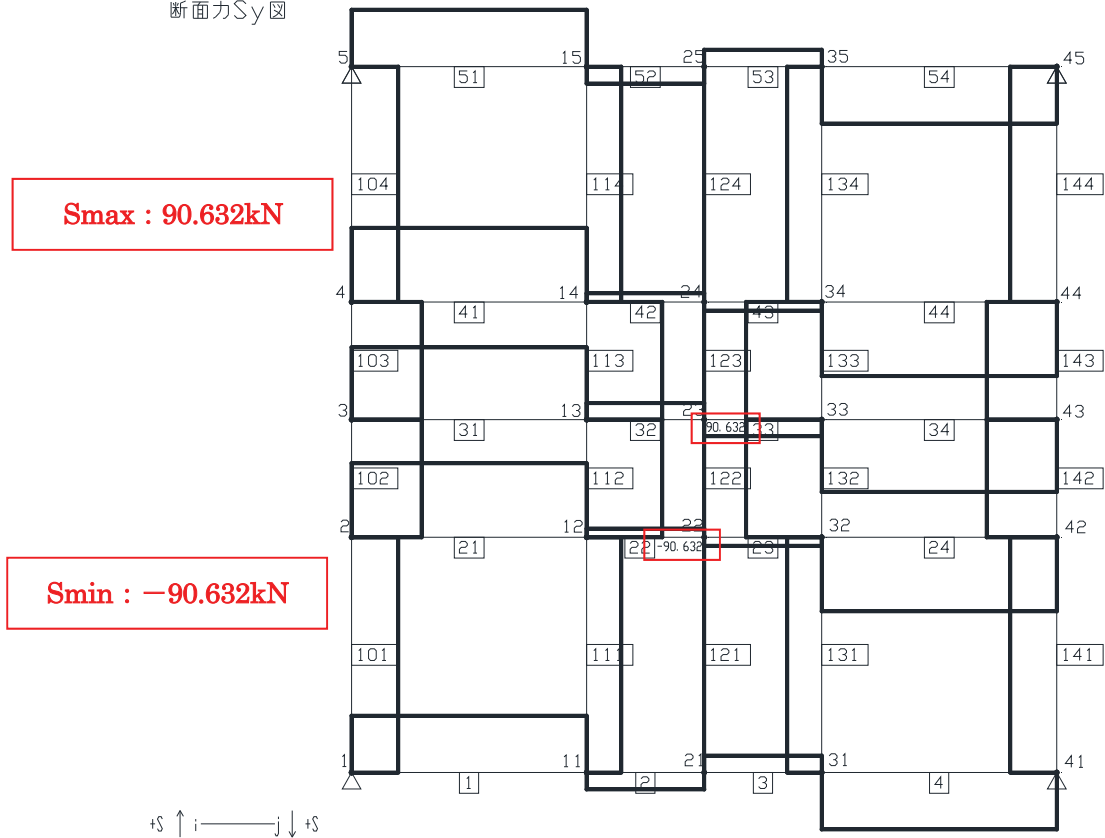


図3-23 FRAMEマネージャ 解析結果(せん断力/鉛直荷重)

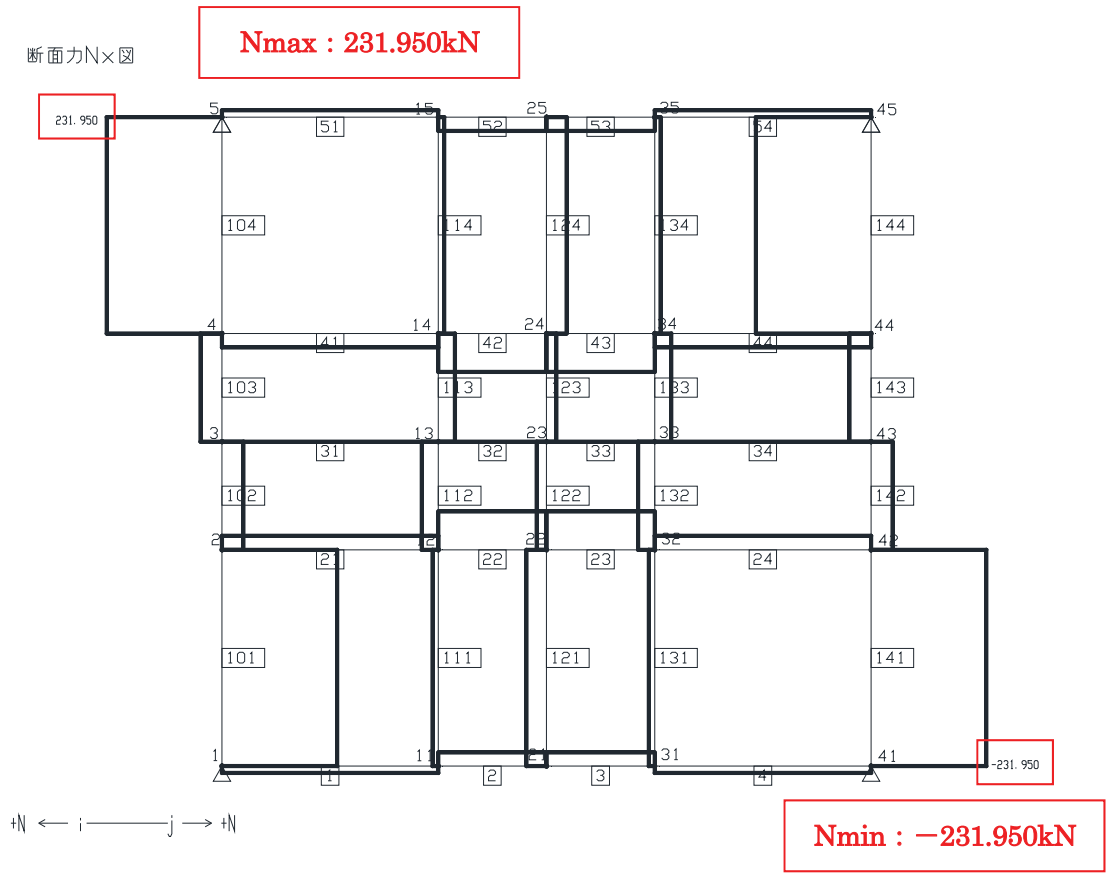


図3-24 FRAMEマネージャ 解析結果(軸力/鉛直荷重)

表3-5 TDAPⅢとFRAMEマネージャの解析結果の比較

		TDAPⅢ	FRAMEマネージャ	比率	
水平荷重	δ (mm)	-33.007	-33.007	100%	
	M (kNm)	Max	308.450	308.447	99.999%
		Min	-1.282	-1.282	100%
	S (kN)	Max	150.000	150.000	100%
		Min	-150.000	-150.000	100%
鉛直荷重	δ (mm)	-2.363	-2.363	100%	
	M (kNm)	Max	88.481	88.481	100%
		Min	-88.869	-88.869	100%
	S (kN)	Max	90.632	90.632	100%
		Min	-90.632	-90.632	100%
	N (kN)	Max	231.950	231.950	100%
		Min	-231.950	-231.950	100%

TDAPⅢとFRAMEマネージャの解析結果が良く一致していることを確認しており、断面力及び変位の算出が正しく実行できていることが確認できる。

(3) 使用内容に対する妥当性

杭基礎構造防潮壁（鋼製扉）の設計に本解析コードによって算出した断面力及び変位を使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・検証内容のとおり、構造力学公式集によって算出した断面力及び変位との比較検証、TDAPⅢによって算出した断面力及び変位との比較検証を行っていることから、解析の目的に照らして使用することは妥当である。

VI-5-61 計算機プログラム（解析コード）の概要
・FRAME（面内）

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）FRAME（面内）について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-8-3	浸水防止蓋（揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内））の耐震性についての計算書	Ver. 5.0.7
VI-2-13-1	地下水位低下設備ドレーンの耐震性についての計算書	Ver. 5.0.7
VI-3-別添 3-2-4	貯留堰の強度計算書	Ver. 5.0.4

2. 解析コードの概要

項目	コード名
項目	FRAME (面内)
使用目的	2次元骨組構造解析 (断面力算出)
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	1998年
使用したバージョン	Ver. 5.0.4, Ver. 5.0.7
コードの概要	<p>FRAME (面内) (以下「本解析コード」という。)は、株式会社フォーラムエイトによって開発された、平面骨組構造解析の汎用市販コードである。</p> <p>本解析コードは、微小変位理論による変位法を用いて、2次元平面骨組モデルの断面力・変位・反力を算出するための構造解析プログラムである。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、本解析コードを用いて静的解析を実施した解析解と、構造力学公式集に記載の理論式による理論解とを比較し、解析解と理論解が一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、国内の建築・土木分野において使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、常設低圧代替注水系ポンプ室及び代替淡水貯槽の平面骨組解析 (断面力算出) に本解析コード (ver. 5.0.4) が使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち ver. 5.0.7 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において、本解析の使用範囲の結果に影響の無いことを確認している。 ・本解析コードの理論は、一般的に認知されているものであり、本工事計画で使用する2次元骨組モデルによる断面力算定での適用は妥当である。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">・本工事計画における構造に対して行う断面力算定の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する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。
--	--

VI-5-62 計算機プログラム（解析コード）の概要
・Engineer's Studio

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）Engineer's Studioについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-8-4	浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の耐震性についての計算書	Ver. 6.00.04
VI-3-別添 3-2-7-2	浸水防止蓋（第3号機補機冷却海水系放水ピット）の強度計算書	Ver. 6.00.04

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	Engineer's Studio
使用目的	3次元骨組構造解析
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	2009年
使用したバージョン	Ver. 6.00.04
コードの概要	<p>Engineer's Studio (以下「本解析コード」という。)は、3次元骨組構造解析を行う解析コードである。主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・土木建築構造物の部材を、1本の棒に見立てたはり要素や平面的に連続した平板要素でモデル化して構造物の応答解析及び固有値解析を行い、断面力及び変位並びに固有周期の算出を行う。
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる単純はりモデルに対する応答解析結果と理論解が一致することを確認している。 ・本解析コードによる固有値解析結果と理論解が一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、海水ポンプ室エリア防護対象施設の固有値解析、応力解析に本解析コード(Ver. 6.00.04)が使用された実績がある。 ・本工事計画に本解析コードを使用することの妥当性は、前述の検証の中で確認している。 ・本工事計画における構造に適用する要素、応力解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する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。

VI-5-63 計算機プログラム（解析コード）の概要

• fappase

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）fappaseについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-9-3-1	原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書	ver. 1. 61, ver. 1. 62, ver. 1. 63
VI-2-9-3-1-別紙 1	原子炉建屋原子炉棟（二次格納施設）のうち大物搬入口の耐震性についての計算書	ver. 1. 61, ver. 1. 62, ver. 1. 63
VI-2-11-2-7	中央制御室天井照明の耐震性についての計算書	ver. 1. 63

2. 解析コードの概要

項目	コード名 fappase
使用目的	地震応答解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2002 年
使用したバージョン	ver. 1. 61, ver. 1. 62, ver. 1. 63
コードの概要	<p>fappase (以下「本解析コード」という。) は、超高層建物の非線形地震応答解析用として開発された有限要素を含む汎用解析コードである。</p> <p>材料非線形モデルを数多くサポートしており超高層建物や免震建物の非線形地震応答解析に使用実績がある。</p> <p>固有値解析、動的解析及び静的解析による応力等の算定が可能である。</p>
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の内容は、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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・各部別内部粘性型減衰を用いた地震応答解析を別途検証済解析コード NUPP4 による等価なダッシュポットを用いた解析と比較し、同一の解析結果が得られることを確認している。 ・既往文献*に示される 1 層 1 スパン X 型ブレース (筋違) 架構の載荷実験のシミュレーション解析を、本解析コードを用いて同様に実施し、既往文献*におけるシミュレーション解析とおおむね一致することを確認している。 ・免震構造に用いられる鉛入り積層ゴムの MSS (Multiple Shear Spring) モデルのせん断力-変位関係と一方向ばね要素のせん断力-変位関係を本解析コードにより解析し、同様の関係が得られることを確認している。 ・本工事計画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。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1.63 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 1.61 及び Ver. 1.62 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。
--	---

注記* : 谷口ほか 鉄骨 X 型ブレース架構の復元力特性に関する研究 日本建築学会構造工学論文集
37B 号 1991 年 3 月

VI-5-64 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ KANSAS2

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）KANSAS2について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-3-4	防潮壁（第3号機海水熱交換器建屋）の耐震性についての計算書	Ver. 6.01
VI-2-11-2-7	中央制御室天井照明の耐震性についての計算書	Ver. 6.01
VI-3-別添 3-2-2-4	防潮壁（第3号機海水熱交換器建屋）の強度計算書	Ver. 6.01

2. 解析コードの概要

コード名	KANSAS2
項目	
使用目的	応力解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2004 年
使用したバージョン	Ver. 6. 01
コードの概要	<p>KANSAS2（以下「本解析コード」という。）は、鹿島建設株式会社により開発された 3 次元応力解析（FEM 要素含む。）の解析計算機コードである。</p> <p>本解析コードは、微小変位理論による変位法を用いて、3 次元骨組（FEM 要素含む。）の断面力・変位を算出するための構造解析プログラムである。</p>
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の内容は、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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、一般建築分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・はり要素を用いた応力解析について、本解析コードによる解析結果と文献*による一般構造力学による理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本工事計画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。 ・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。

注記*：成岡昌夫，服部正他 コンピュータによる構造工学講座Ⅱ-1-B，日本鋼構造協会編，骨組構造解析，培風館，昭和 46 年 6 月，pp. 20～33

VI-5-65 計算機プログラム（解析コード）の概要
・MSAP（配管）

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）MSAP（配管）について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン	
VI-2-13-6	地下水位低下設備配管の耐震性についての計算書		

2. 解析コードの概要

項目	コード名 MSAP (配管)
使用目的	3次元有限要素法 (はりモデル) による固有値解析, 静的解析及び動的解析
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	[]
使用したバージョン	[]
コードの概要	<p>強度及び耐震計算で使用している解析コード MSAP (配管) (以下「本解析コード」という。) は []</p> <p>[]</p> <p>対話方式による入力及び構造解析の出力データを基に規格基準の算出式に従った評価が可能である。</p> <p>[]</p>
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の内容は, 以下のとおりである。</p> <p>[] 開発元より発行されている例題集の中で, モデル要素ごとに静的及び動的解析の例題に対して, 解析結果と理論モデルによる理論解又は他の解析コードでの計算結果と一致していることを確認している。また, サンプルモデルに対する固有値解析結果が, 理論計算と一致することを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・対話方式により入力されたデータはインプットファイルとして出力され, 入力データと一致していることを確認している。 ・入力データが正しく構造解析に受け渡されていること, 構造解析データが正しく規格計算に受け渡されていることをそれぞれ確認している。 ・構造解析結果として出力されたデータを規格基準に従い, 発生応力, 疲労累積係数を算出しており, その過程が理論解を再現できることを確認している。 ・地震動の組合せ処理は, 本解析コード内で処理しており, アウトプットファイルと理論計算結果が一致していることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードの適用制限として使用節点数・要素数があるが、適用範囲内であることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ J E A G 4 6 0 1-1987 6.5.2 項の加圧水型原子力発電設備における1次冷却ループの多質点3次元はりモデルによる解析の妥当性確認として、 <div style="border: 2px solid black; height: 150px; width: 100%; margin: 10px 0;"></div> <ul style="list-style-type: none"> ・ 上記妥当性確認を行ったのは加圧水型原子力発電設備における1次冷却ループの3次元はりモデルであるが、1次冷却ループに含まれる1次冷却材管は今回解析する配管と幾何学的に類似しており、同様の3次元はりモデルを用いてモデル化している。 ・ 本工事計画で行う3次元有限要素法(はり要素)による固有値解析、地震応答解析、構造解析、応力算出の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。
--	--

VI-5-66 計算機プログラム（解析コード）の概要
・STRUCT

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）STRUCTについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-別添 1-7	消火配管の耐震性についての計算書	Version 2.86

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	STRUCT
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による応力解析
開発機関	三和テッキ株式会社
開発時期	1982年
使用したバージョン	Version 2.86
コードの概要	<p>STRUCT（以下「本解析コード」という。）は、骨組構造の静解析及び動解析を、はり理論を用いて行う計算機プログラムである。</p> <p>架構等の骨組構造に対し、集中荷重、分布荷重、静的震度等による反力、モーメント、応力や固有値の算出が可能である。</p> <p>原子力発電所、火力発電所、化学プラント等での使用実績を有している。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードと材料力学分野の一般的知見により解を求めることができる体系に対し、静解析の結果がよく一致することを確認している。 ・本解析コードと既工事計画において使用実績のある応力解析コード MSC NASTRAN を比較対象として、本工事計画において対象とする構造物の形状の構成要素である片持ちばり、門型はり、斜材付支柱はりの応力解析を検証問題とする解析を行い、本解析コードによる数値解が MSC NASTRAN による数値解とよく一致す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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力産業界において、配管支持構造物等の評価に十分な使用実績があり、妥当性は十分に確認されている。 ・検証結果より、本工事計画で行う応力解析の使用目的に照らして、妥当であることを確認している。

VI-5-67 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ NAPF

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）NAPFについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-別添 1-7	消火配管の耐震性についての計算書	NAPFS-2019-A-02

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	NAPF
使用目的	配管支持構造物の強度評価 3次元有限要素法（はりモデル）による固有値解析及び応力解析
開発機関	日本発条株式会社
開発時期	1980年
使用したバージョン	NAPFS-2019-A-02
コードの概要	<p>NAPF（以下「本解析コード」という。）は、骨組構造の静的構造解析を行うことを目的として、配管系等の支持構造物の設計用に開発された計算機プログラムである。</p> <p>任意の1次元、2次元あるいは3次元形状に対し、静的解析を行うことが可能で、反力・モーメント・応力、固有値等の算出が可能である。原子力の分野における使用実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材料力学の数式を用いた理論解と本解析コードによる解析解を比較した。なお、モデルは材料力学上の計算結果と容易に比較可能なものとして片持ちはりに自重による分布荷重が作用するものとした。この結果、本解析コードの結果が良好に一致していることを確認している。 ・他の解析コード（MSC NASTRAN）の解析結果と本解析コードの解析結果を比較し、良好に一致していることを確認している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子力の分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・検証の内容により、本工事計画で行う固有値解析及び応力解析の使用目的に照らして本解析コードを使用することが妥当であることを確認している。

VI-5-68 計算機プログラム（解析コード）の概要
・FRS Calculation System

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）FRS Calculation Systemについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-1-7	設計用床応答曲線の作成方針	2.0.0, 2.0.1
VI-2-別添 3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における 入力地震動	2.0.1

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	FRS Calculation System
使用目的	設計用床応答曲線作成
開発機関	株式会社原子力エンジニアリング
開発時期	2013 年
使用したバージョン	2.0.0, 2.0.1
コードの概要	<p>FRS Calculation System (以下「本解析コード」という。)は、耐震設計に使用する設計用床応答曲線を作成することを目的としており、加速度時刻歴応答から応答スペクトルを計算する機能、応答スペクトルの拡幅を行う機能を有する。</p> <p>本解析コードは、床応答曲線を作成するために開発したハウスコードである。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードで作成した応答スペクトルと、既工事計画において使用実績があり同等の機能を有する別解析コード VIANA による応答スペクトルを比較し、一致していることを確認している。 ・拡幅機能については、±10%拡幅した算出値と、本解析コードによる解析解を比較し、一致していることを確認している。 ・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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画で使用する解析機能は、理論モデルをそのままコード化したものであり、妥当性は確認されている。 ・設計用床応答曲線を作成する際、入力とする時刻歴データの時間刻み幅、データの形式は、妥当性を確認している範囲内での使用であることを確認している。 ・±10%拡幅、時刻歴波の時間刻み、固有周期計算間隔は J E A G 4 6 0 1-1987 に従っており、妥当性は確認されている。

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードのバージョン1.2.2は、他プラントの既工事計画の設計用床応答曲線作成において使用実績がある。本工事計画において使用するバージョン2.0.0及び2.0.1への変更においては、解析結果に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・設計用床応答曲線を作成する際、入力とする時刻歴データの時間刻み幅、データの形式は、妥当性を確認している範囲内での使用であることを確認している。
---	--

VI-5-69 計算機プログラム（解析コード）の概要
・LS-DYNA

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）LS-DYNAについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-3-別添 1-1-1	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書	Ver. R8. 1. 0
VI-3-別添 1-1-5	復水貯蔵タンクの強度計算書	Ver. 971
VI-3-別添 1-1-7	排気筒の強度計算書	Ver. 971
VI-3-別添 1-2-1-1	竜巻防護ネットの強度計算書	Ver. R8. 0. 0
VI-3-別添 1-2-1-2	竜巻防護鋼板の強度計算書	Ver. R8. 1. 0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	LS-DYNA
使用目的	3次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価）
開発機関	Livermore Software Technology Corporation
開発時期	1987年
使用したバージョン	Ver. 971, Ver. R8. 0. 0, Ver. R8. 1. 0
コードの概要	<p>LS-DYNA（以下「本解析コード」という。）は、Lawrence Livermore 研究所により開発・公開された陽解法有限要素法 DYN3D を基に開発された構造解析用の汎用市販コードである。</p> <p>機械・土木建築その他広範な分野に及ぶ要素群、非線形モデルを多数サポートしており、国内外の宇宙航空、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野において多くの利用実績があり、陽的時間積分を用いていることから、衝突問題等、短時間の動的現象のシミュレーションに適している。また、大変形の非線形問題への適用が容易である点に特徴がある。</p> <p>衝突問題や動的荷重を受ける構造物の応力、ひずみや加速度応答等を算出する。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・開発機関マニュアルにおいて提示している3次元有限要素法による衝突解析に関する例題解析を実施し、解析結果がマニュアルに記載された結果と一致することを確認している。 ・Norwegian University of Science and Technologyにより、薄板鋼管の軸方向圧縮破壊試験のシミュレーション解析が行われており、解析結果と実験結果がおおむね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足し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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、国内外の宇宙航空、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、本解析コードの適正な用途、適用範囲を確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">・本工事計画で行う3次元有限要素法（はり要素，シェル要素，ソリッド要素）による動的解析（衝突解析）の用途，適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内にあることを確認している。・本工事計画において使用するバージョンは，他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。・本工事計画における構造に対し使用する要素，3次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価）の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する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。
--	---

VI-5-70 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ ADMIT

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）ADMITについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-11-2-15	第1号機排気筒の耐震性についての計算書	導入時 Ver.

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	ADMIT
使用目的	地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばねの算定
開発機関	東電設計株式会社
開発時期	1984 年
使用したバージョン	導入時 Ver.
コードの概要	<p>ADMIT (以下「本解析コード」という。) は、基礎底面地盤ばねを求めるために開発されたプログラムである。振動アドミタンス理論に基づき、地盤を半無限等方均質弾性体として、基礎底面における水平方向、鉛直方向及び回転方向の地盤ばねが求められる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日本建築学会の文献に記載されている計算例と本解析コードによる解析解を比較した結果、双方の解がおおむね一致してい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て使用している。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の内容のとおり、水平方向、鉛直方向及び回転方向の地盤ばねについて検証していることから、解析の目的に照らして本工事計画に適用することは妥当である。 ・東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所第7号機においてコントロール建屋の底面地盤ばねの算定において使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。

VI-5-71 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ VIANA

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）VIANAについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-1-7	設計用床応答曲線の作成方針	1.0

2. 解析コードの概要

項目	コード名 VIANA
使用目的	設計用床応答曲線作成
開発機関	株式会社東芝
開発時期	1983 年
使用したバージョン	1.0
コードの概要	<p>VIANA（以下「本解析コード」という。）は、加速度時刻歴から応答スペクトルを作成するプログラムであり、建物・構築物床応答時刻歴から設計用床応答曲線を作成することを目的とする。</p> <p>一定の固有周期及び減衰定数を有する 1 質点系の与えられた加速度時刻歴に対する最大応答加速度を計算し、周期と減衰定数が同一の系で計算された複数の床応答曲線の包絡値を求め、また床応答曲線の拡幅を行う。</p> <p>本解析コードは、設計用床応答曲線を作成するために開発したハウスコードである。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・理論解と本解析コードで作成した応答スペクトルを比較し、一致していることを確認している。 ・拡幅機能については、±10%拡幅した算出値と、本解析コードで作成した算出値を比較し、一致していることを確認している。 ・包絡機能については、包絡した応答スペクトルの最大値と、本解析コードで作成した算出値を比較し、一致していることを確認している。 ・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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画で使用する解析機能は、理論モデルをそのままコード化したものであり、妥当性は確認されている。 ・設計用床応答曲線を作成する際、入力とする時刻歴データの時間刻み幅、データの形式は、妥当性を確認している範囲内での使用であることを確認している。

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<ul style="list-style-type: none">・ ±10%拡幅, 時刻歴波の時間刻み, 固有周期計算間隔は J E A G 4 6 0 1 - 1987 に従っており, 妥当性は確認されている。・ 本工事計画において使用するバージョンは, 他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。
---	--

VI-5-72 計算機プログラム（解析コード）の概要
・Fluent

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3
2.1 Fluent Ver. 14.5.7.....	3
2.2 Fluent Ver. 16.0.0.....	4

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）Fluentについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-8-3	溢水評価条件の設定	Ver. 14. 5. 7
VI-1-1-8-4	溢水影響に関する評価	Ver. 16. 0. 0

2. 解析コードの概要

2.1 Fluent Ver. 14. 5. 7

項目 \ コード名	Fluent
使用目的	流体解析（プールのスロッシング）
開発機関	ANSYS Inc.（アメリカ）
開発時期	2012年（初版開発時期1983年）
使用したバージョン	Ver. 14. 5. 7
コードの概要	ANSYS Fluent（以下「本解析コード」という。）は、CFD解析の初心者からエキスパートまで、幅広い要求に応える使いやすさと多くの機能を備える。有限体積法をベースとした非構造格子に対応するソルバを搭載しており、化学反応、燃焼、混相流等が取り扱える。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは有限体積法を用いた汎用流体解析プログラムであり、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の流体解析に広く利用されていることを確認している。 ・矩形水槽を用いて正弦波加振によるスロッシング試験を実施し、溢水量と液面変動の試験結果と解析結果がよく一致することを確認している。 ・本解析コードの製品開発、テスト、メンテナンス、サポートの各プロセスは、United States Nuclear Regulatory Commission（アメリカ合衆国原子力規制委員会）の品質要件を満たしている。 <p>【妥当性確認(Validation)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、化学等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。

2.2 Fluent Ver. 16.0.0

項目	コード名 Fluent
使用目的	流体解析（敷地溢水評価）
開発機関	ANSYS Inc.（アメリカ）
開発時期	2015年（初版開発時期 1983年）
使用したバージョン	Ver. 16.0.0
コードの概要	ANSYS Fluent（以下「本解析コード」という。）は、CFD解析の初心者からエキスパートまで、幅広い要求に応える使いやすさと多くの機能を備える。有限体積法をベースとした非構造格子に対応するソルバを搭載しており、化学反応、燃焼、混相流等が取り扱える。
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは有限体積法を用いた汎用流体解析プログラムであり、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の流体解析に広く利用されていることを確認している。 ・2次元ダムブレイク問題の解析結果と他の数値解法による結果を比較し、よく一致することを確認している。 ・本解析コードの製品開発、テスト、メンテナンス、サポートの各プロセスは、United States Nuclear Regulatory Commission（アメリカ合衆国原子力規制委員会）の品質要件を満たしている。 <p>【妥当性確認(Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、化学等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。

VI-5-73 計算機プログラム（解析コード）の概要
・CHERRY

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）CHERRYについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-1-7	設計用床応答曲線の作成方針	初版
VI-2-13-6	地下水位低下設備配管の耐震性についての計算書	初版

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	CHERRY
使用目的	設計用床応答曲線作成
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	1980 年
使用したバージョン	初版
コードの概要	CHERRY (以下「本解析コード」という。) は、加速度応答スペクトル作成プログラムであり、建屋床応答時刻歴から設計用床応答曲線を作成するために使用する。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・公開文献(大崎順彦著「新・地震動のスペクトル解析入門」)による手法と本解析コードで作成したスペクトルを比較し、おおむね一致していることを確認している。 ・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)】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画で使用する解析機能は、理論モデルをそのまま解析コード化したものであり、理論モデルによる理論解と解析解を比較することで、妥当性を確認している。 ・拡幅機能については、±10%拡幅させた理論解と本解析コードによる算出値を比較して、妥当であることを確認している。 ・設計用床応答曲線を作成する際、入力とする時刻歴データの時間刻み幅、データの形式は上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。 ・±10%拡幅、時刻歴波の時間刻み、固有周期計算間隔は J E A G 4 6 0 1 - 1987 に従っており、妥当性は確認されている。 ・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。

VI-5-74 計算機プログラム（解析コード）の概要
・FACS

目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3
3. 解析コードの解析手法について.....	4
3.1 一般事項.....	4
3.2 解析コードの特徴.....	4
3.3 解析手法.....	4
3.4 解析フローチャート.....	6
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	7
3.5.1 検証 (Verification)	7
3.5.2 妥当性確認 (Validation)	12
3.5.3 評価結果.....	12

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）FACSについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-1-7	設計用床応答曲線の作成方針	1.0.1

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	FACS
使用目的	設計用床応答曲線作成
開発機関	辰星技研株式会社
開発時期	2019 年
使用したバージョン	1.0.1
コードの概要	<p>FACS (以下「本解析コード」という。) は、加速度時刻歴から床応答曲線を作成するプログラムであり、建物・構築物の床応答時刻歴から設計用床応答曲線を作成することを目的とする。</p> <p>一定の固有周期及び減衰定数を有する 1 質点系の与えられた加速度時刻歴に対する最大応答加速度を計算し、減衰定数が同一の系で計算された複数の床応答スペクトルの包絡値を求め、また床応答スペクトルの拡幅を行う。</p> <p>本解析コードは、設計用床応答曲線を作成するために開発したハウスコードである。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・別解析コード「VIANA」により作成した設計用床応答曲線と本解析コードで作成した設計用床応答曲線を比較し、おおむね一致していることを確認している。 ・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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本工事計画で使用する解析機能は、理論モデルをそのままコード化したものであり、妥当性は確認されている。 ・±10%拡幅、時刻歴波の時間刻み及び固有周期計算間隔は J E A G 4 6 0 1 -1987 に従っており、妥当性は確認されている。

3. 解析コードの解析手法について

3.1 一般事項

本書は、建物・構築物の地震応答解析から算出される加速度時刻歴から床応答スペクトルを作成する解析コードである FACS の説明書である。

本解析コードは、一定の固有周期及び減衰定数を有する 1 質点系の与えられた加速度時刻歴に対する最大応答加速度を計算する。また、減衰定数が同一の系で計算された複数の床応答スペクトルの包絡値を求め、拡張した床応答曲線の作成を行う。

3.2 解析コードの特徴

FACS における 1 自由度系を用いた床応答スペクトルの作成は、線形加速度法を用いることにより行う。主な特徴を以下に示す。

- ・加速度時刻歴から周期及び減衰定数に応じた床応答スペクトルを作成する。
- ・複数の床応答スペクトルを包絡させた床応答スペクトルに対して拡張した設計用床応答曲線を作成する。

3.3 解析手法

加速度時刻歴を入力とする 1 自由度系における応答について、減衰定数をパラメータとして以下のとおり算出する。

各質点における相対変位を x 、固有円振動数を ω 、減衰定数を h 、地動の加速度時刻歴を \ddot{y}_t としたとき、1 質点系の運動方程式は時刻 t において以下のように表される。

$$\ddot{x}_t + 2h \cdot \omega \cdot \dot{x}_t + \omega^2 \cdot x_t = -\ddot{y}_t \quad (3.1)$$

時刻刻み Δt 後の各質点における相対変位 x を x_{n+1} とすると、時刻 t_{n+1} において成立する運動方程式は以下となる。

$$\ddot{x}_{n+1} + 2h \cdot \omega \cdot \dot{x}_{n+1} + \omega^2 \cdot x_{n+1} = -\ddot{y}_{n+1} \quad (3.2)$$

ここで、時間 Δt の間で加速度が線形に変化するものとする、以下のように表される。

$$\ddot{x}_n = \frac{\ddot{x}_{n+1} - \ddot{x}_n}{\Delta t} \quad (3.3)$$

時刻 t_{n+1} における加速度 \ddot{x}_{n+1} 、速度 \dot{x}_{n+1} 及び変位 x_{n+1} は次のようになる。

$$\ddot{x}_{n+1} = \ddot{x}_n + \frac{\ddot{x}_{n+1} - \ddot{x}_n}{\Delta t} \Delta t \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_{n+1} &= \dot{x}_n + \Delta t \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t^2 \cdot \dddot{x}_n \\
 &= \dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_{n+1}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

$$\begin{aligned}
 x_{n+1} &= x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{6} \Delta t^3 \cdot \dddot{x}_n \\
 &= x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n + \frac{1}{3} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n + \frac{1}{6} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_{n+1}
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

時刻 t_{n+1} において成立する運動方程式(3.2)に(3.5), (3.6)を代入すると, (3.7)が得られる。

$$\begin{aligned}
 &\left(1 + \frac{2h \cdot \omega \cdot \Delta t}{2} + \frac{\omega^2 \cdot \Delta t^2}{6}\right) \ddot{x}_{n+1} \\
 &= -\left\{\ddot{y}_{n+1} + 2h \cdot \omega \left(\dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_n\right) + \omega^2 \left(x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n + \frac{1}{3} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n\right)\right\}
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

(3.7)において式を簡略化するため,

$$R = 1 + \frac{2h \cdot \omega \cdot \Delta t}{2} + \frac{\omega^2 \cdot \Delta t^2}{6} \tag{3.8}$$

$$E_n = \dot{x}_n + \frac{1}{2} \Delta t \cdot \ddot{x}_n \tag{3.9}$$

$$F_n = x_n + \Delta t \cdot \dot{x}_n + \frac{1}{3} \Delta t^2 \cdot \ddot{x}_n \tag{3.10}$$

とおくと, (3.7)から(3.11)が得られる。

$$\ddot{x}_{n+1} = -\frac{1}{R} (\ddot{y}_{n+1} + 2h \cdot \omega \cdot E_n + \omega^2 \cdot F_n) \tag{3.11}$$

(3.8)を(3.5), (3.6)に代入すると, 時刻 t_n での加速度 \ddot{x}_n , 速度 \dot{x}_n 及び変位 x_n から1つ先の時刻 t_{n+1} での加速度 \ddot{x}_{n+1} , 速度 \dot{x}_{n+1} 及び変位 x_{n+1} を求めることができる。

ここで, 1つの減衰定数 h , 1つの計算固有周期点に対して, (3.5), (3.6), (3.11)により入力地震動 \ddot{y}_n の全継続時間にわたって応答加速度 \ddot{x}_n を算出し, $\ddot{x}_n + \ddot{y}_n$ の絶対値の最大値を求め, これを1つの減衰定数 h , 1つの計算固有周期点での加速度応答スペクトル算出値とする。

計算固有周期の範囲で同様に最大値を求め, これら最大値で床応答スペクトルを作成する。

なお, 初期値($t=0$)での応答加速度 \ddot{x}_0 , 応答速度 \dot{x}_0 及び応答変位 x_0 は以下のように表される。

$$x_{t=0} = 0$$

$$\dot{x}_{t=0} = -\ddot{y}_{t=0} \cdot \Delta t$$

$$(\ddot{x} + \ddot{y})_{t=0} = 2h \cdot \omega \cdot \ddot{y}_{t=0} \cdot \Delta t$$

3.4 解析フローチャート

本解析コードを用いた解析フローチャートを図 3-1 に示す。

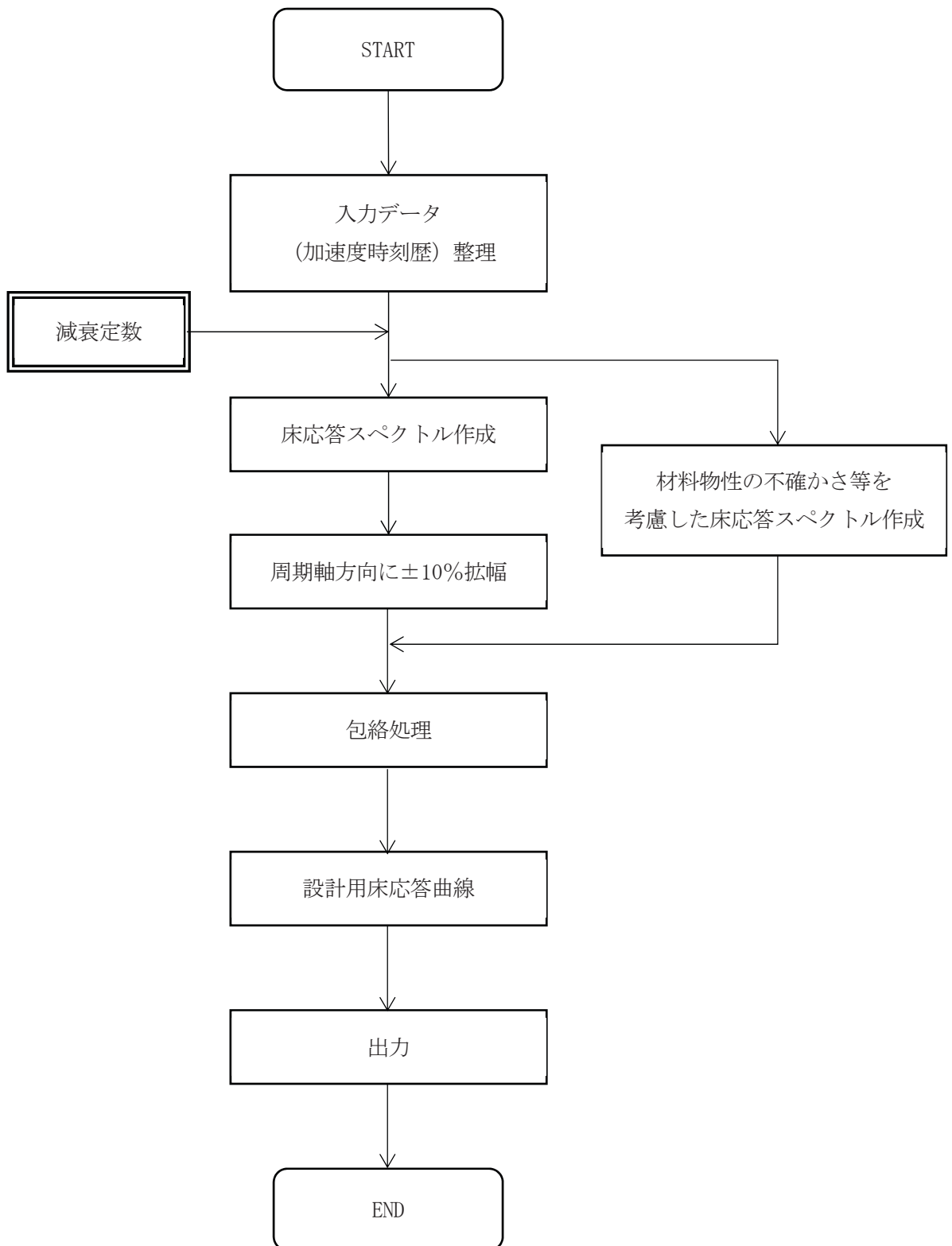


図 3-1 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

3.5.1 検証 (Verification)

(1) 検証の概要

別解析コード「VIANA」にて作成した設計用床応答曲線（検証用データ）と本解析コードで作成した設計用床応答曲線の応答加速度（震度）を比較することで、本プログラムの検証を行った。

表 3-1 検証における比較項目

検証対象	比較項目
設計用床応答曲線	応答加速度（震度）

(2) 検証条件

女川原子力発電所第 2 号機原子炉建屋の地震応答解析から得られた基準地震動 S_s に対する加速度時刻歴として、NS 方向モデルの O.P. 33.2m の質点 (1, 8, 13, 20, 25) 及び O.P. 15.0m の質点 (3, 10, 15, 22, 27) の S_s-D1 に対する応答を用いた。また、設計用床応答曲線を作成するための減衰定数は、機器・配管系の耐震計算に適用されるもののうち、0.5%、1.0% 及び 5.0% とした。図 3-2 に原子炉建屋の地震応答解析モデル (NS 方向) を示す。

$E_c = 1.99 \times 10^4$	N/mm ²
7.94×10^3	N/mm ² (燃料取替床上部)
2.52×10^4	N/mm ² (追設耐震壁)
$G_c = 8.53 \times 10^3$	N/mm ²
3.41×10^3	N/mm ² (燃料取替床上部)
1.05×10^4	N/mm ² (追設耐震壁)
$E_s = 2.05 \times 10^5$	N/mm ² (追設ブレース)
$G_s = 7.90 \times 10^4$	N/mm ² (追設ブレース)

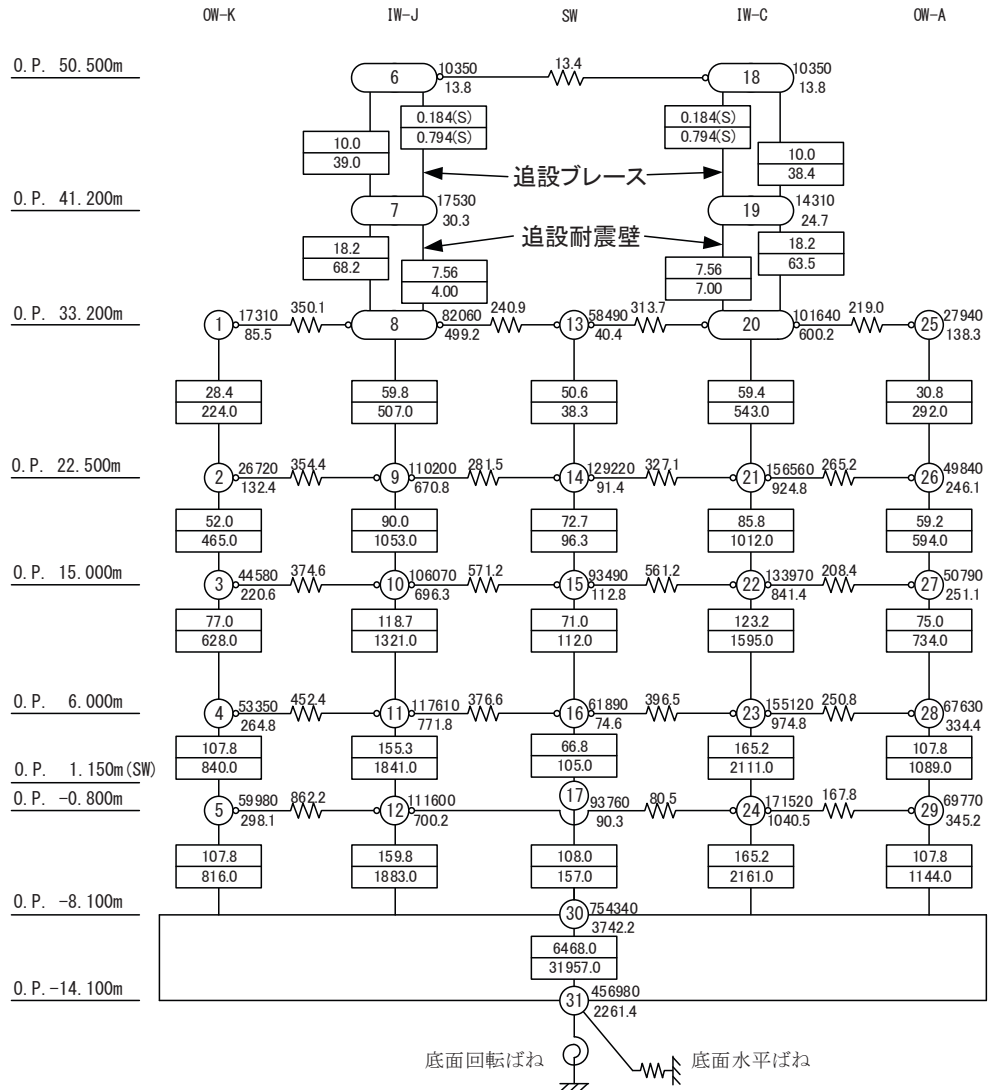
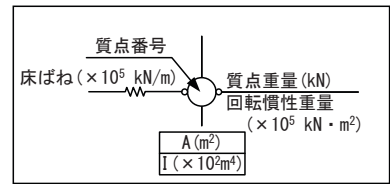


図 3-2 原子炉建屋地震応答解析モデル (NS 方向)

(3) 解析結果の比較

各検証条件で作成した設計用床応答曲線について、検証用データと本解析コードで作成したデータの比較結果を図 3-3～図 3-8 に示す。

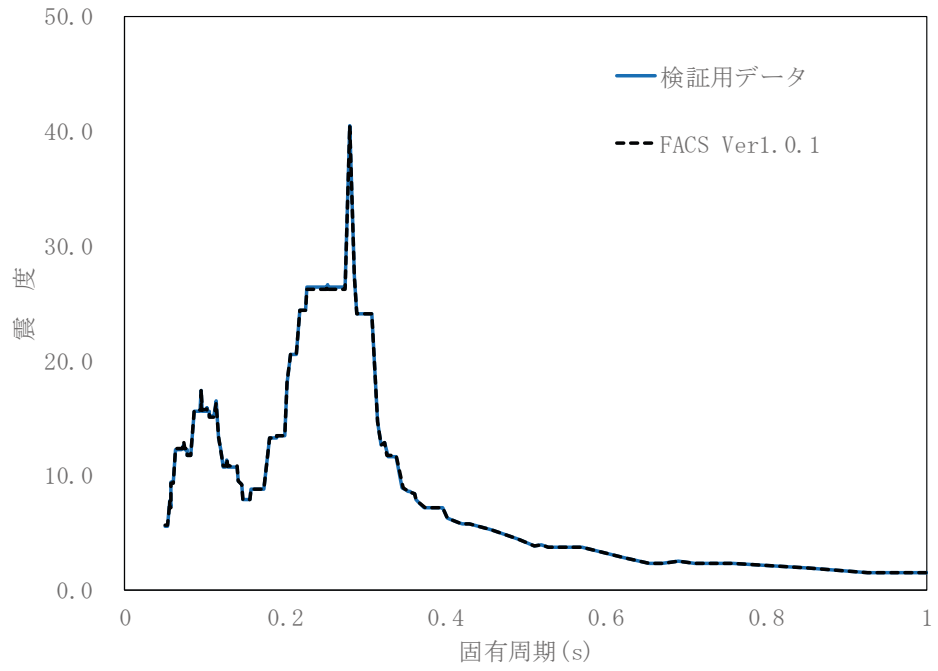


図 3-3 検証用データと本解析コードの比較結果 (0.P. 33.2m 減衰 0.5%)

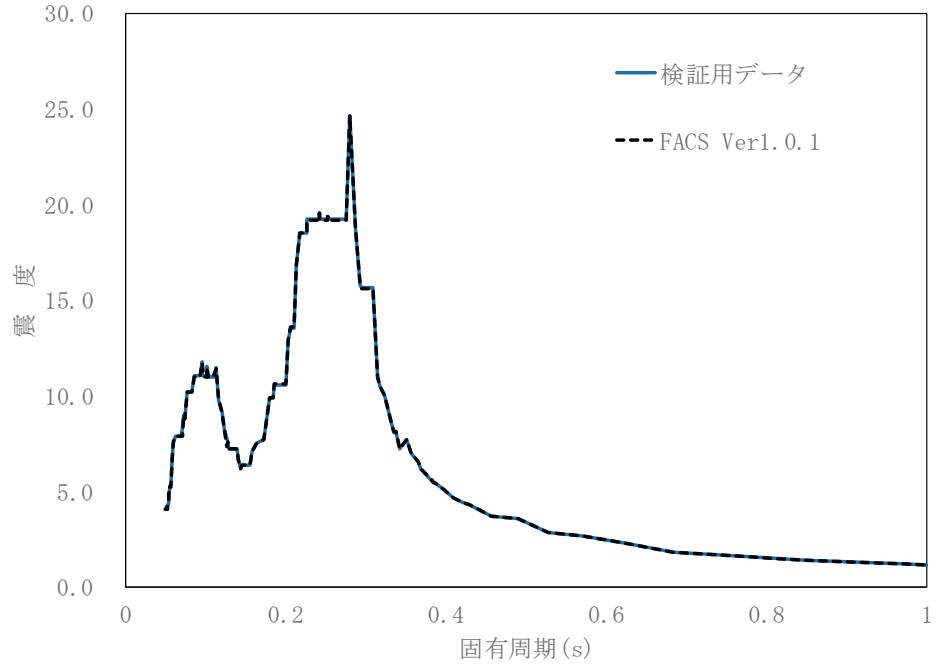


図 3-4 検証用データと本解析コードの比較結果 (0.P. 33.2m 減衰 1.0%)

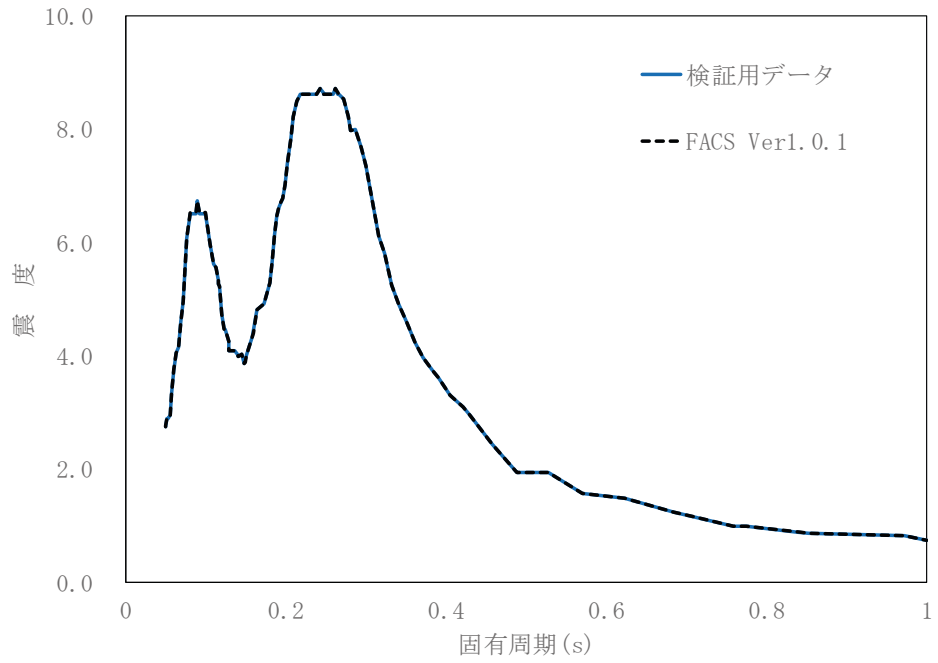


図 3-5 検証用データと本解析コードの比較結果 (0.P. 33.2m 減衰 5.0%)

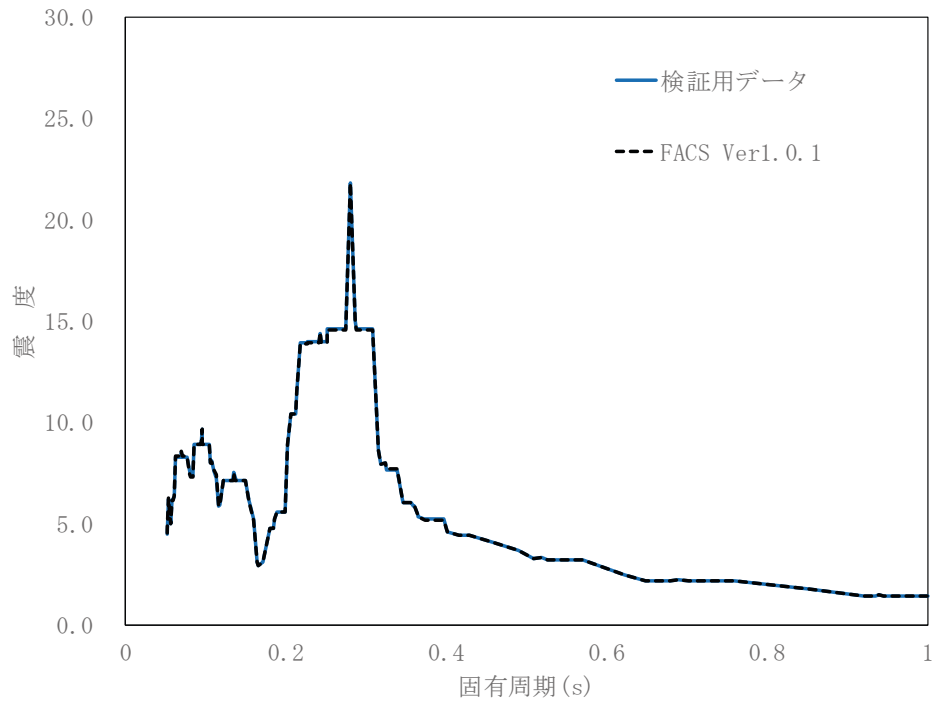


図 3-6 検証用データと本解析コードの比較結果 (0.P. 15.0m 減衰 0.5%)

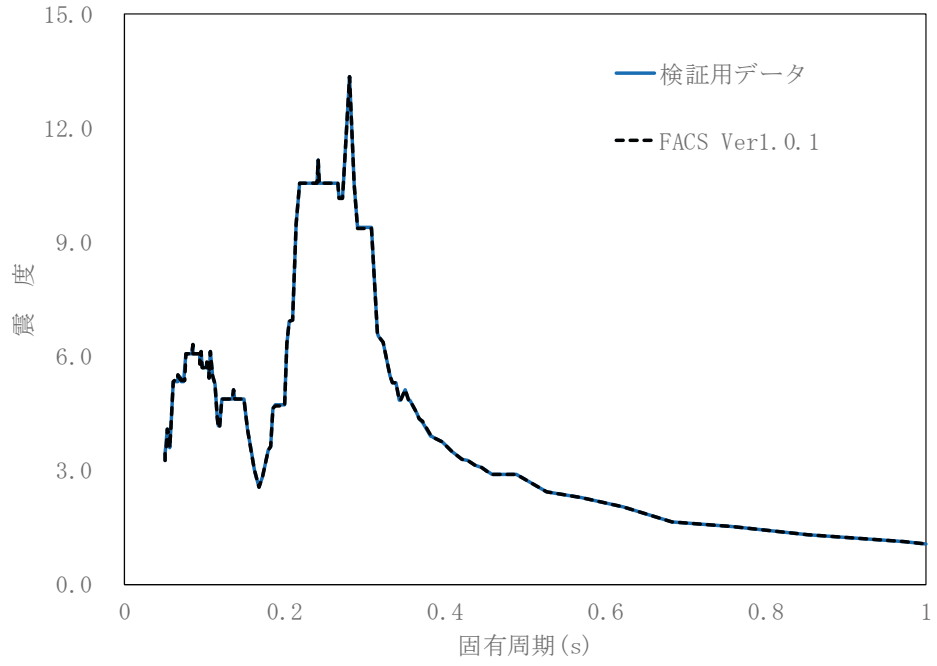


図 3-7 検証用データと本解析コードの比較結果 (O.P. 15.0m 減衰 1.0%)

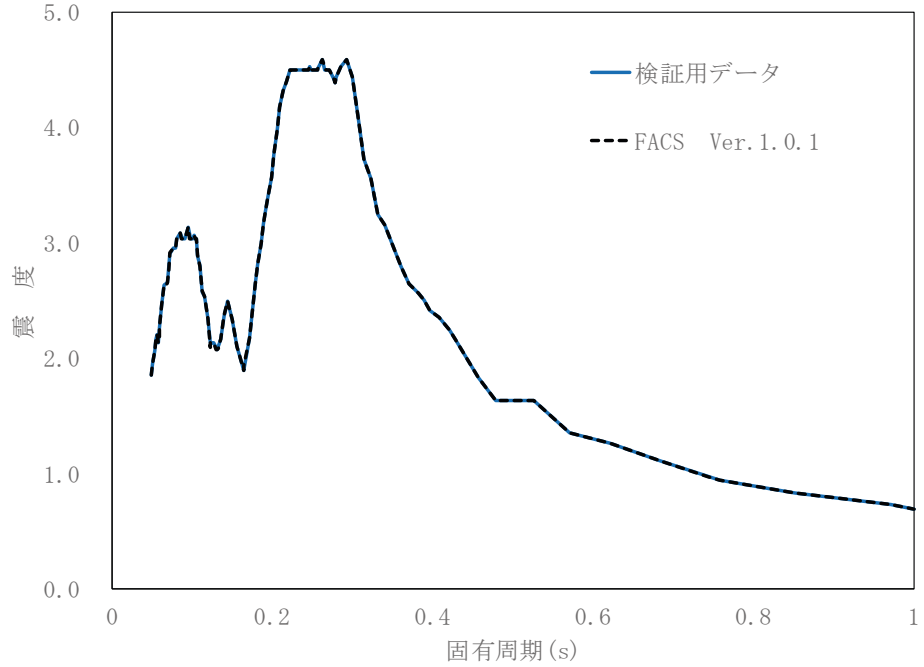


図 3-8 検証用データと本解析コードの比較結果 (O.P. 15.0m 減衰 5.0%)

(4) 検証結果

前項に示す設計用床応答曲線（応答加速度（震度））の比較結果のとおり，両者は一致しており，本解析コードを用いて得られた計算結果の妥当性を確認した。

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

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。

- ・今回の工事計画で使用する機能は床応答スペクトルの作成機能，拡幅機能及び包絡機能であるため，同一の入力条件に対する 1 自由度系の最大応答加速度を固有周期ごとに算定し，別解析コード「VIANA」と本解析コードの結果を比較することで妥当性を確認している。
- ・設計用床応答曲線を作成する際，入力とする時刻歴データの時間刻み幅，データの形式は，上述の妥当性を確認している範囲内での使用である。
- ・±10%拡幅，時刻歴波の時間刻み及び固有周期計算間隔は J E A G-4 6 0 1-1987 に従っており，妥当性は確認されている。

3.5.3 評価結果

3.5.1 及び 3.5.2 より，本解析コードを，使用目的に示す設計用床応答曲線の作成に用いることは妥当である。

VI-5-75 計算機プログラム（解析コード）の概要
・FRS Enveloping for BWR

目次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3
3. 解析コードの解析手法について.....	4
3.1 一般事項.....	4
3.2 解析コードの特徴.....	4
3.3 解析手法.....	4
3.4 解析フローチャート.....	5
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	6
3.5.1 検証 (Verification)	6
3.5.2 妥当性確認 (Validation)	11
3.5.3 評価結果.....	11

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）FRS Enveloping for BWRについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-1-7	設計用床応答曲線の作成方針	1.0.1, 1.1

2. 解析コードの概要

項目	コード名	FRS Enveloping for BWR
使用目的		設計用床応答曲線作成
開発機関		株式会社原子力エンジニアリング
開発時期		2019 年
使用したバージョン		1.0.1, 1.1
コードの概要		<p>FRS Enveloping for BWR (以下「本解析コード」という。)は、耐震設計に使用する設計用床応答曲線を作成することを目的としており、減衰定数が同一の系で計算された複数の床応答スペクトルの包絡値を求め、また床応答スペクトルの拡幅を行う。</p> <p>本解析コードは、設計用床応答曲線を作成するために開発したハウスコードである。</p>
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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・別解析コード「VIANA」により作成した設計用床応答曲線と本解析コードで作成した設計用床応答曲線を比較し、おおむね一致していることを確認している。 ・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の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・±10%拡幅は J E A G 4 6 0 1 -1987 に従っており、妥当性は確認されている。

3. 解析コードの解析手法について

3.1 一般事項

本書は、床応答スペクトルの拡幅・包絡処理を行う解析コードである FRS Enveloping for BWR の説明書である。

本解析コードは、減衰定数が同一の系で計算された複数の床応答スペクトルの包絡値を求め、拡幅した床応答曲線の作成を行う。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの特徴を以下に示す。

- 複数の床応答スペクトルを包絡させた床応答スペクトル（以下「包絡スペクトル」という。）を作成する。
- 包絡スペクトルに対して、拡幅を行う。

3.3 解析手法

着目する床応答スペクトルの組合せについて、周期点ごとに応答加速度値を比較し、最大の値を当該周期点における包絡スペクトルの応答加速度値として採用する。また、周期点間で床応答スペクトルが交差する場合、交点の周期及び応答加速度を求め、包絡スペクトルに加える。

これを、全周期点、全床応答スペクトルを対象に実施するとともに、包絡スペクトルを周期軸方向に±10%拡幅する拡幅処理を行う。

その後、包絡スペクトルの拡幅結果と、材料物性の不確かさ等を考慮した床応答スペクトルとの包絡処理を実施することで、設計用床応答曲線を作成する。

3.4 解析フローチャート

本解析コードを用いた解析フローチャートを図 3-1 に示す。

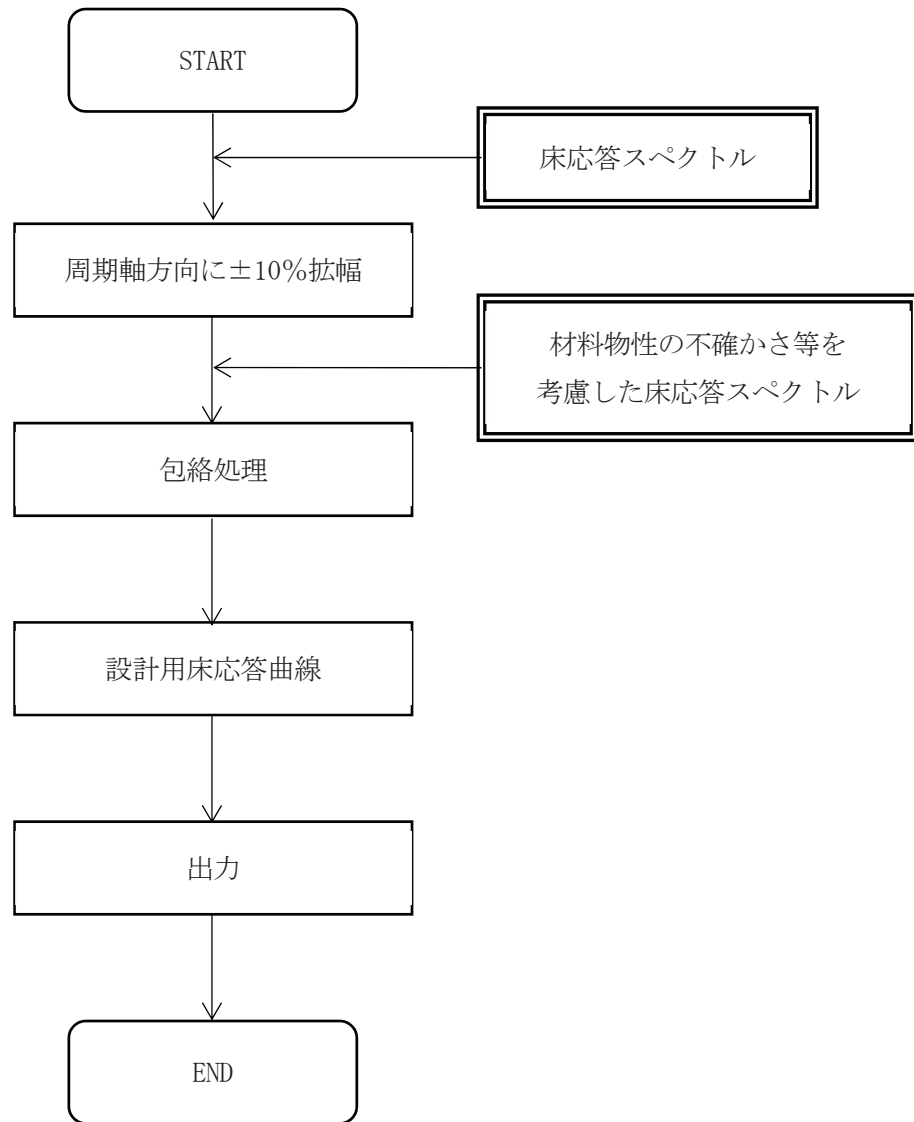


図 3-1 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

3.5.1 検証 (Verification)

(1) 検証の概要

別解析コード「VIANA」にて作成した設計用床応答曲線（検証用データ）と本解析コードで作成した設計用床応答曲線の応答加速度（震度）を比較することで、本プログラムの検証を行った。

表 3-1 検証における比較項目

検証対象	比較項目
設計用床応答曲線	応答加速度（震度）

(2) 検証条件

女川原子力発電所第 2 号機原子炉建屋の地震応答解析から得られた基準地震動 S_s に対する床応答スペクトルとして、NS 方向モデルの 0.P. 33.2m の質点 (1, 8, 13, 20, 25) 及び 0.P. 15.0m の質点 (3, 10, 15, 22, 27) の S_s-D1 に対する応答を用いた。また、設計用床応答曲線を作成するための減衰定数は、機器・配管系の耐震計算に適用されるもののうち、0.5%、1.0%及び5.0%とした。図 3-2 に原子炉建屋の地震応答解析モデル (NS 方向) を示す。

$E_c = 1.99 \times 10^4$ N/mm ²
7.94×10^3 N/mm ² (燃料取替床上部)
2.52×10^4 N/mm ² (追設耐震壁)
$G_c = 8.53 \times 10^3$ N/mm ²
3.41×10^3 N/mm ² (燃料取替床上部)
1.05×10^4 N/mm ² (追設耐震壁)
$E_s = 2.05 \times 10^5$ N/mm ² (追設ブレース)
$G_s = 7.90 \times 10^4$ N/mm ² (追設ブレース)

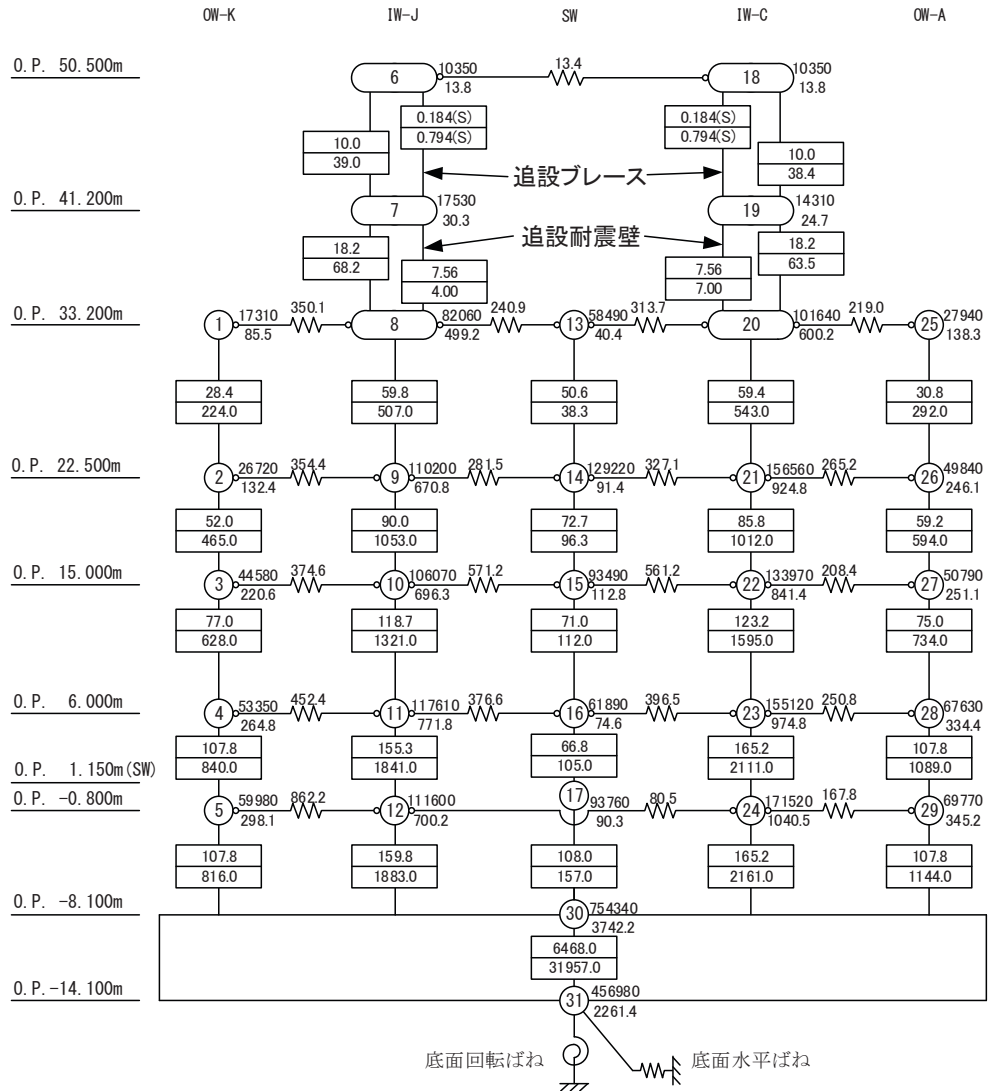
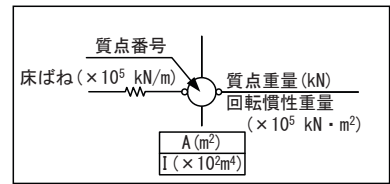


図 3-2 原子炉建屋地震応答解析モデル (NS 方向)

(3) 解析結果の比較

各検証条件で作成した設計用床応答曲線について、検証用データと本解析コードで作成したデータの比較結果を図 3-3～図 3-8 に示す。

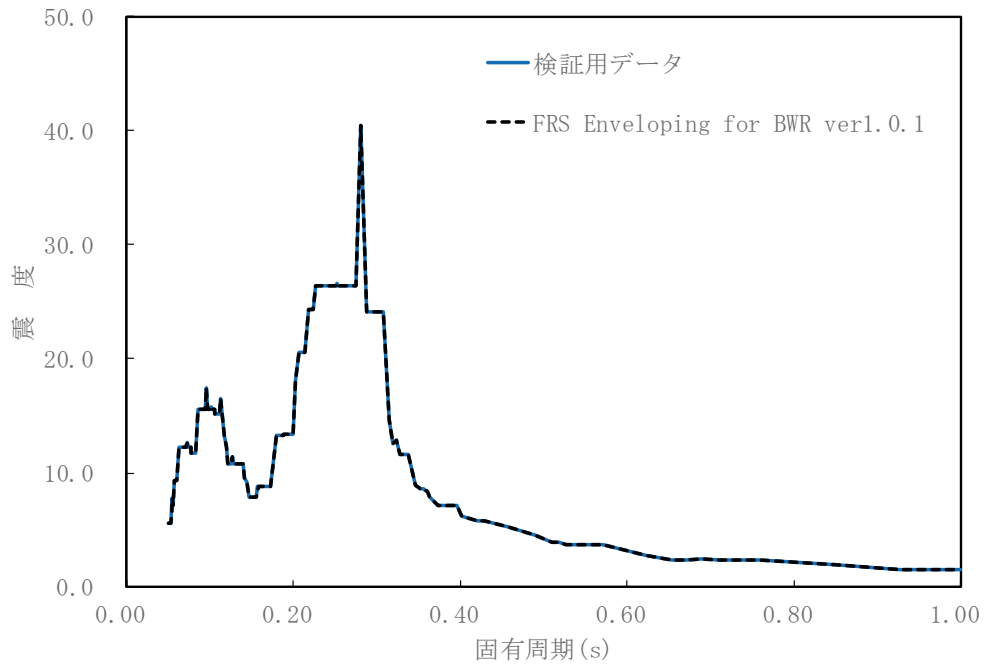


図 3-3 検証用データと本解析コードの比較結果 (0. P. 33. 2m 減衰 0. 5%)

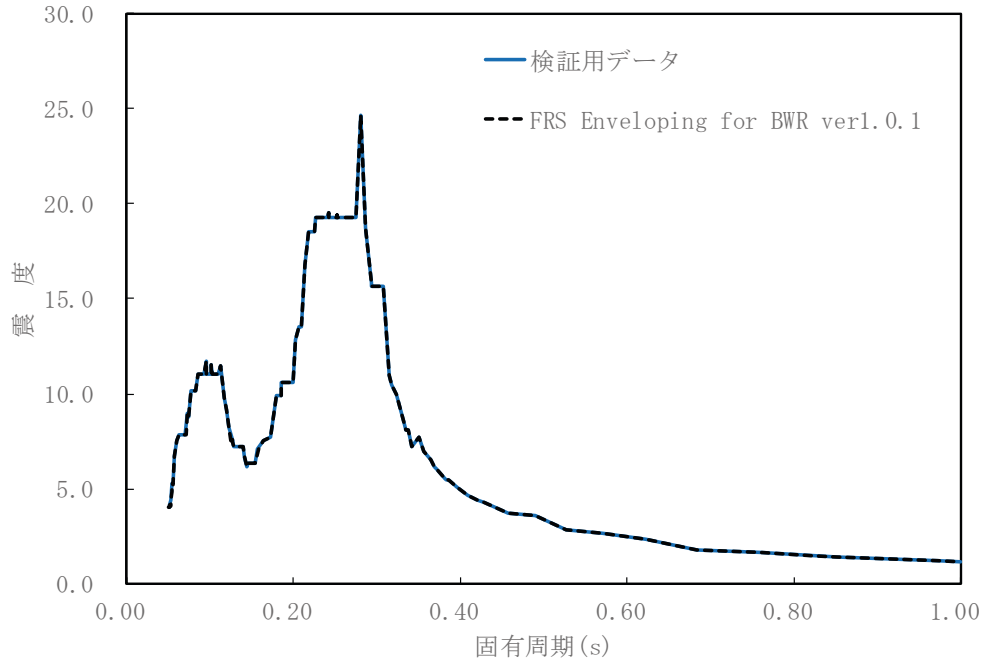


図 3-4 検証用データと本解析コードの比較結果 (0. P. 33. 2m 減衰 1. 0%)

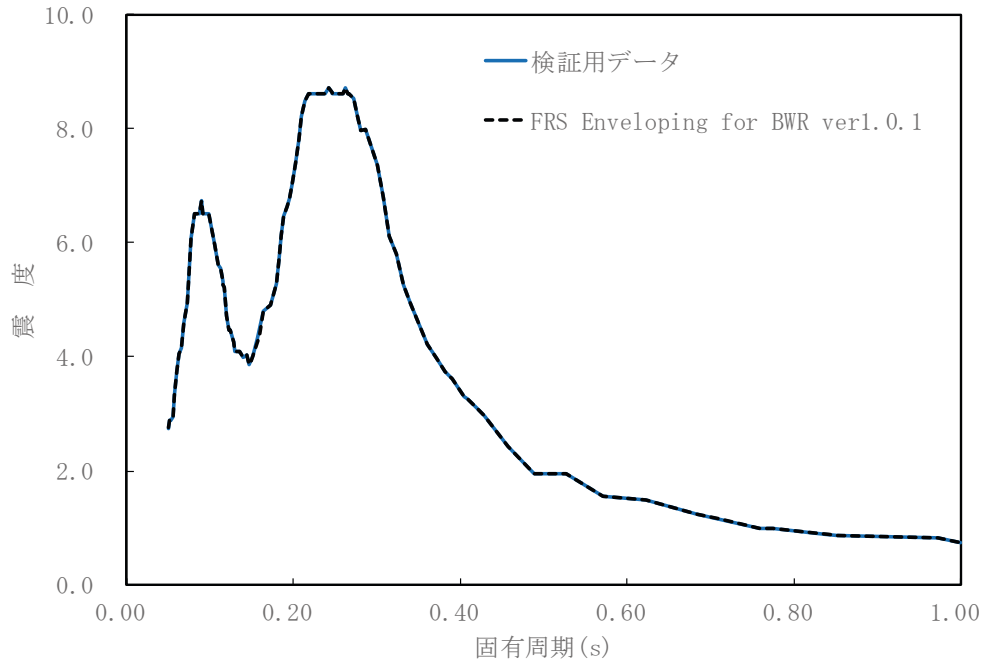


図 3-5 検証用データと本解析コードの比較結果 (0. P. 33.2m 減衰 5.0%)

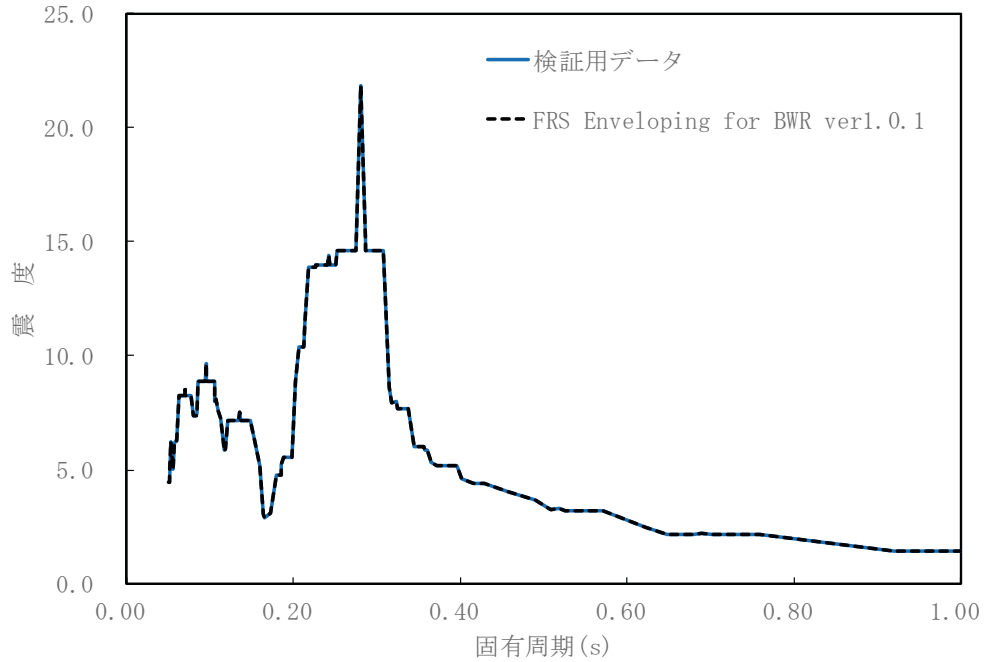


図 3-6 検証用データと本解析コードの比較結果 (0. P. 15.0m 減衰 0.5%)

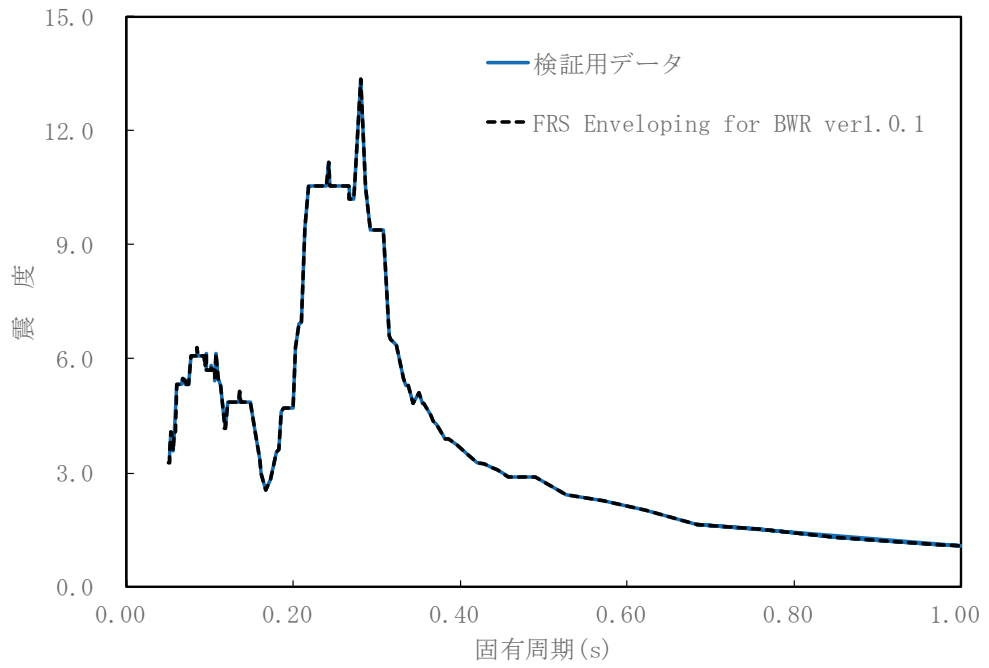


図 3-7 検証用データと本解析コードの比較結果 (O.P. 15.0m 減衰 1.0%)

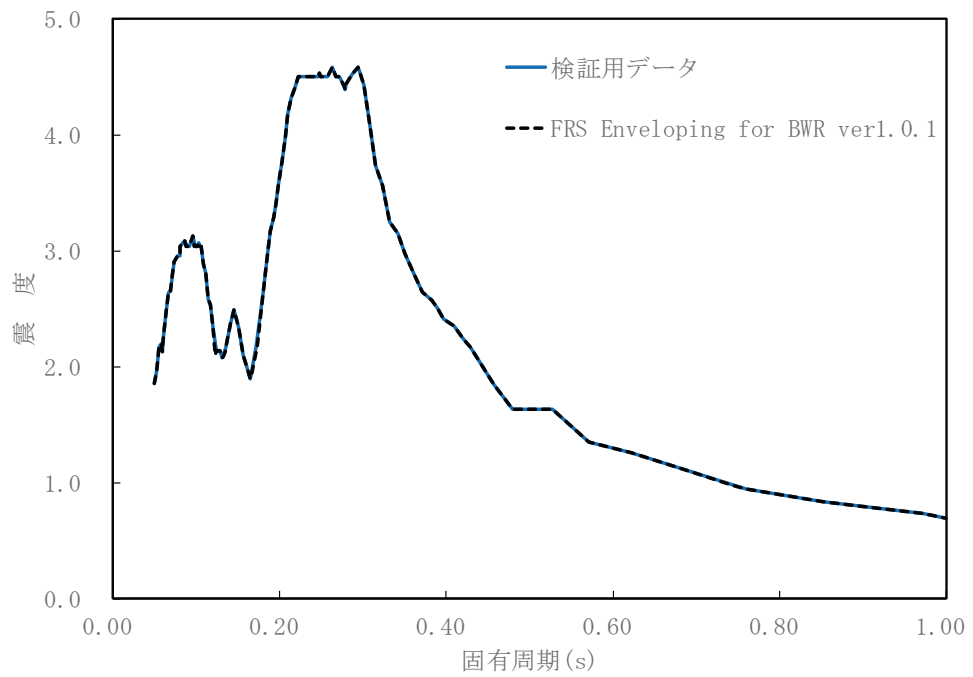


図 3-8 検証用データと本解析コードの比較結果 (O.P. 15.0m 減衰 5.0%)

(4) 検証結果

前項に示す設計用床応答曲線（応答加速度（震度））の比較結果のとおり，両者は一致しており，本解析コードを用いて得られた計算結果の妥当性を確認した。

なお，Ver. 1.0.1 から Ver. 1.1 への変更において，計算方法に係る変更はなく，両者の結果が一致することを確認している。

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

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。

- ・ 今回の工事計画で使用する機能は床応答スペクトルの拡幅機能及び包絡機能であるため，同一の入力条件の下で包絡・拡幅処理を実施し，別解析コード「VIANA」と本解析コードの結果を比較することで妥当性を確認している。
- ・ ±10%拡幅は J E A G-4 6 0 1-1987 に従っており，妥当性は確認されている。

3.5.3 評価結果

3.5.1 及び 3.5.2 より，本解析コードを，使用目的に示す設計用床応答曲線の作成に用いることは妥当である。

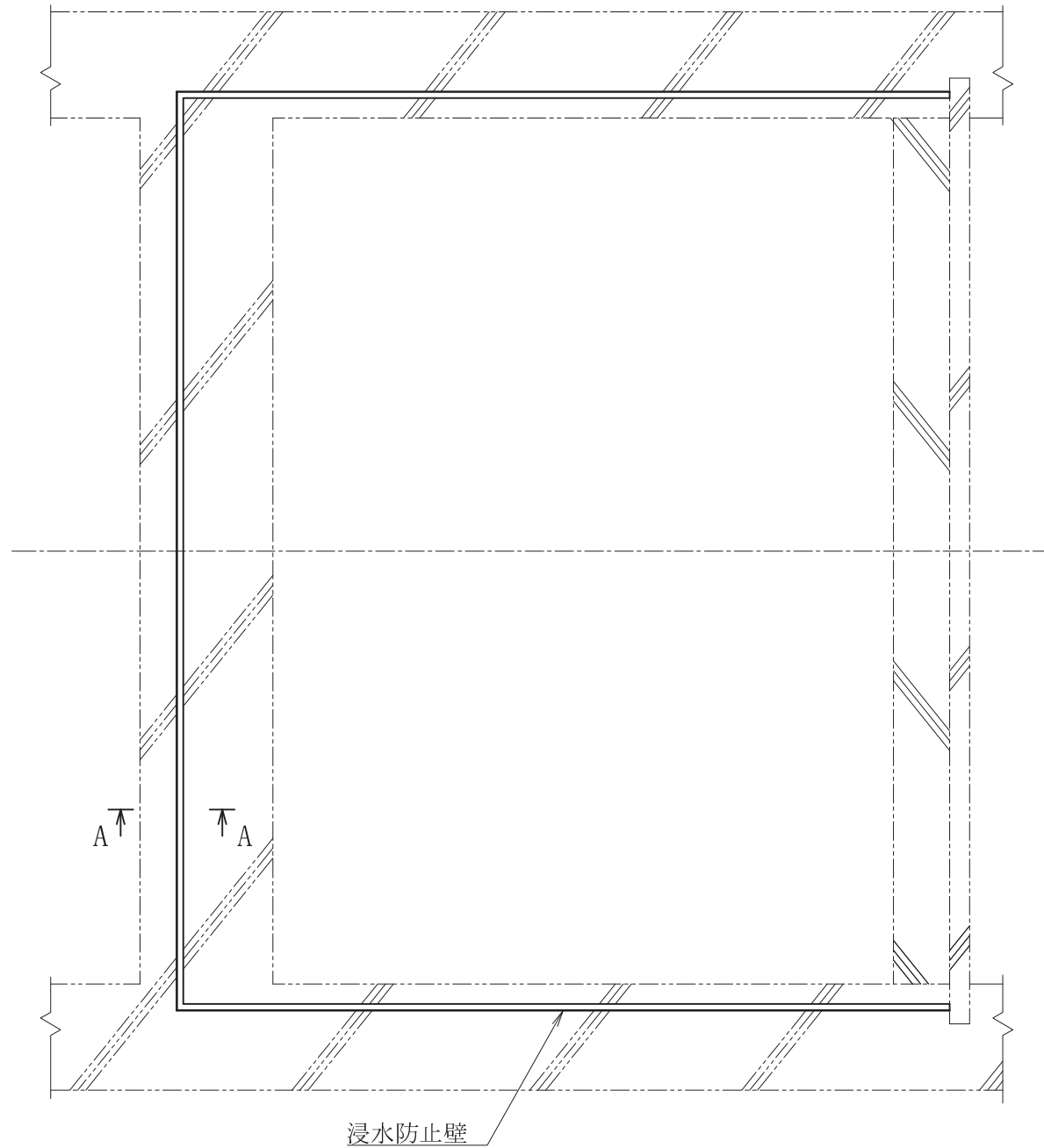
VI-6 図面

9 その他発電用原子炉の附属施設

9.4 浸水防護施設

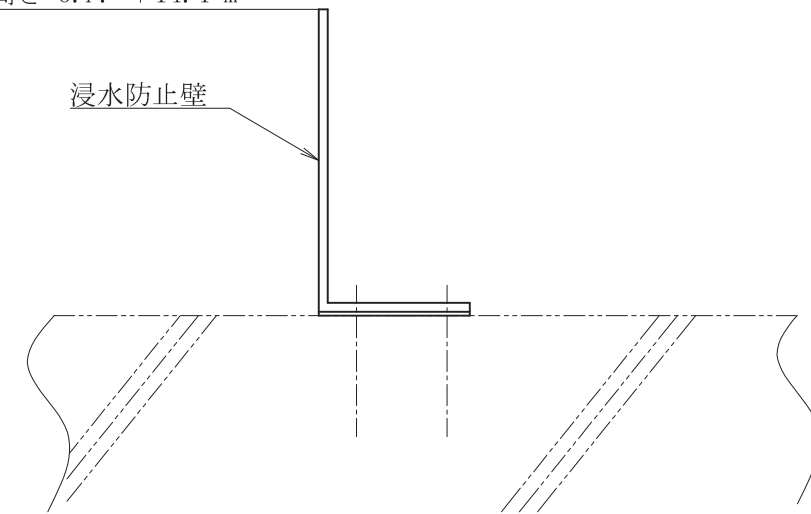
9. 4. 1 外郭浸水防護設備

PN 



▽天端高さ O.P. +14.4 m

浸水防止壁



A~A断面図

注1：特記なき寸法は公称値を示す。
 注2：平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1mの地盤沈下が発生していることを考慮した設計とし、地盤沈下量を考慮した高さを示す。

工事計画認可申請	第9-4-1-1-57図
女川原子力発電所 第2号機	
名称	第2号機海水ポンプ室 浸水防止壁構造図
東北電力株式会社	

第 9-4-1-1-57 図 第 2 号機海水ポンプ室浸水防止壁構造図 別紙

工事計画記載の公称値の許容範囲

主要寸法		許容範囲	根 拠
天端高さ	O.P. +14.4m	+規定しない 0.0 mm	製造能力，製造実績を考慮したメーカー基準

注：主要寸法は，工事計画記載の公称値を示す。

9. 4. 2 内郭浸水防護設備

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

注1：特記なき寸法はmmを示す。
注2：特記なき寸法は公称値を示す。

工事計画認可申請 第9-4-2-1-42図

女川原子力発電所 第2号機

名称 燃料移送ポンプ(A)室浸水防止水密扉
構造図

東北電力株式会社

第 9-4-2-1-42 図 燃料移送ポンプ(A)室浸水防止水密扉構造図 別紙

工事計画記載の公称値の許容範囲

主要寸法 (mm)		許容範囲	根 拠
たて	1384		製造能力, 製造実績を考慮したメーカー基準
横	934		同上

注：主要寸法は，工事計画記載の公称値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

注1：特記なき寸法はmmを示す。
注2：特記なき寸法は公称値を示す。

工事計画認可申請 第9-4-2-1-43図

女川原子力発電所 第2号機

名称 燃料移送ポンプ(B)室浸水防止水密扉
構造図

東北電力株式会社

0X12

第 9-4-2-1-43 図 燃料移送ポンプ(B)室浸水防止水密扉構造図 別紙

工事計画記載の公称値の許容範囲

主要寸法 (mm)		許容範囲	根 拠
たて	1384		製造能力, 製造実績を考慮したメーカー基準
横	934		同上

注：主要寸法は，工事計画記載の公称値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。