

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0156_改1
提出年月日	2021年9月22日

VI-2-2-12 原子炉機器冷却海水配管ダクトの耐震性についての計算書

2021年9月

東北電力株式会社

目 次

- 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
- 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

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

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造及び補強の概要	3
2.3	評価方針	6
2.4	適用基準	9
3.	耐震評価	10
3.1	評価対象断面	10
3.2	使用材料及び材料の物性値	11
3.3	許容限界	12
3.3.1	構造部材の健全性に対する許容限界	12
3.3.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	19
3.4	評価方法	20
3.4.1	構造部材の健全性評価	20
3.4.2	基礎地盤の支持性能評価	20
4.	構造部材の地震時応答	21
5.	耐震評価結果	23
5.1	構造部材の健全性に対する評価結果	23
5.2	Sクラスの施設を支持する機能に対する評価結果	24
5.3	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	25
5.3.1	基礎地盤（狐崎部層）	25
5.3.2	MMR（既設）	26

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認するものである。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

2. 基本方針

2.1 位置

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の位置を図2-1に示す。

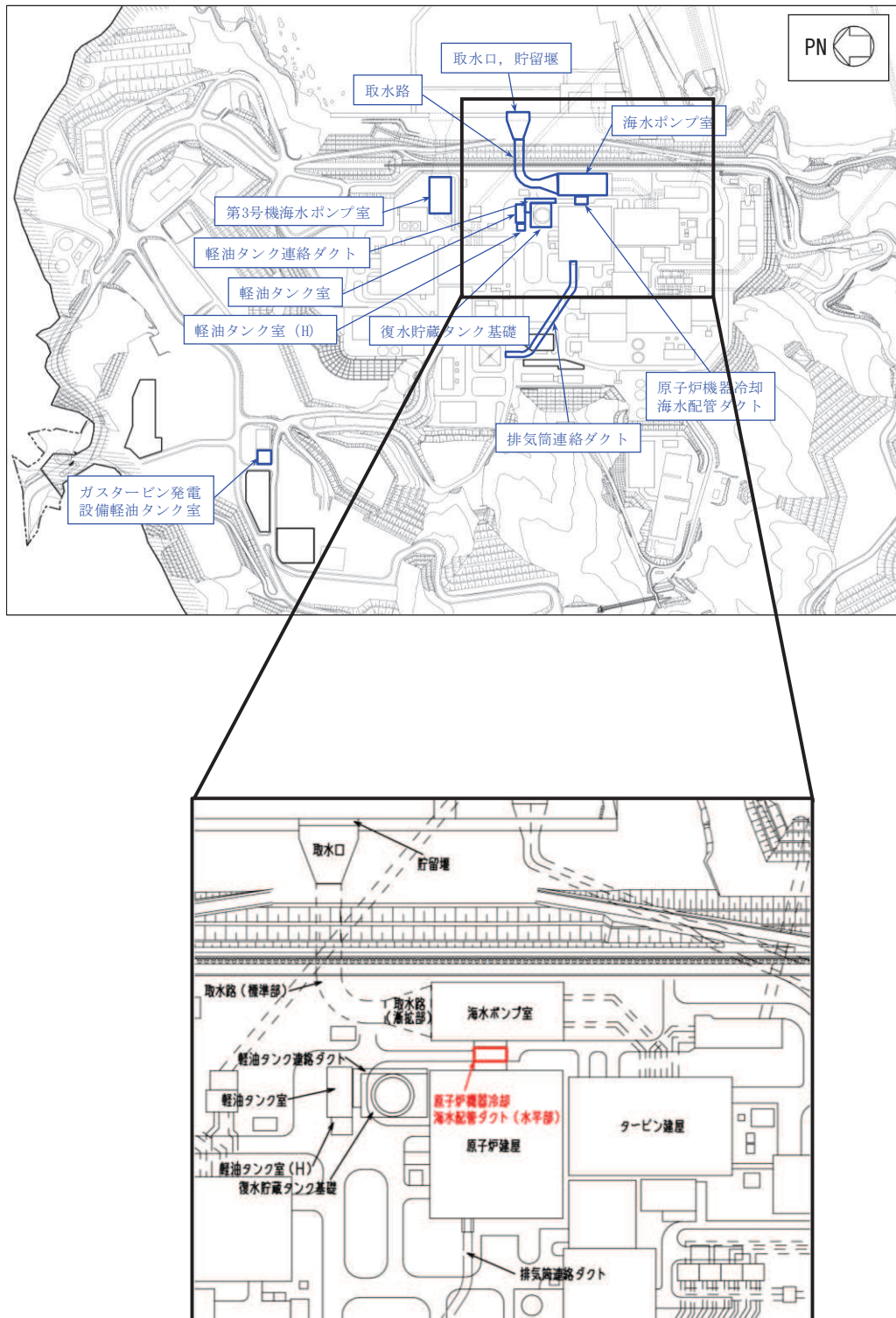


図2-1 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の位置図

2.2 構造及び補強の概要

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の平面図を図 2-2 に、断面図を図 2-3 に、補強図を図 2-4 に、概略配筋図を図 2-5 に示す。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）は、原子炉補機冷却海水系配管、高圧炉心スプレィ補機冷却海水系配管等を側壁及び隔壁で間接支持しており、支持機能が要求される。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）は、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）と原子炉建屋を結ぶ、鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、延長 6.10m、内空幅 2.10m～3.35m、内空高さ 6.70m の四連ボックスカルバート構造であり、マンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）は、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）及び原子炉建屋との接合部に耐震ジョイントが設置されており、延長方向に断面変化がない線状構造物である。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の耐震性を確保するために耐震補強を実施する。せん断破壊に対する補強として、後施工せん断補強工法（セラミックキャップバー工法）（以下「CCb 工法」という。）によるせん断補強を実施する。

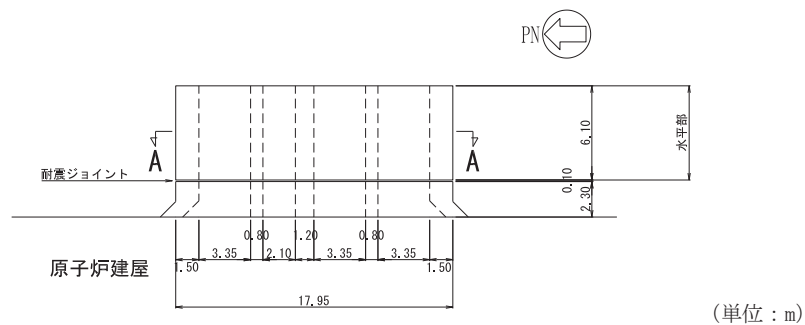


図 2-2 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）平面図

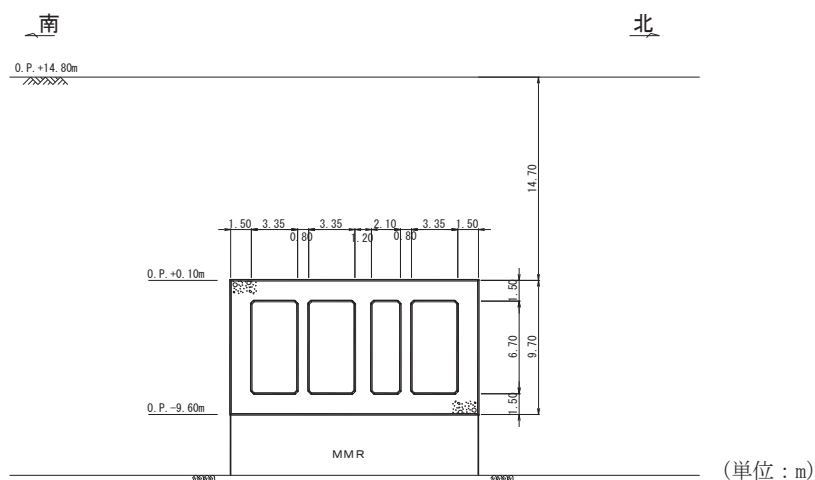
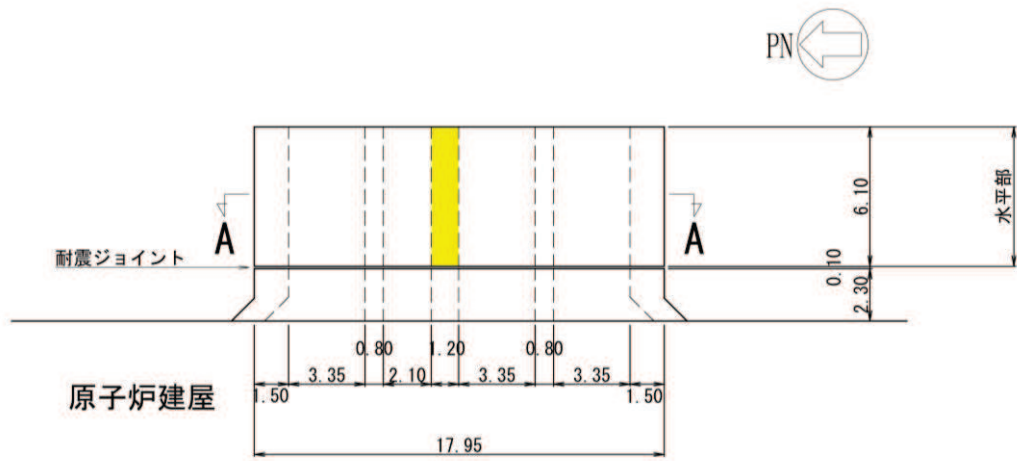
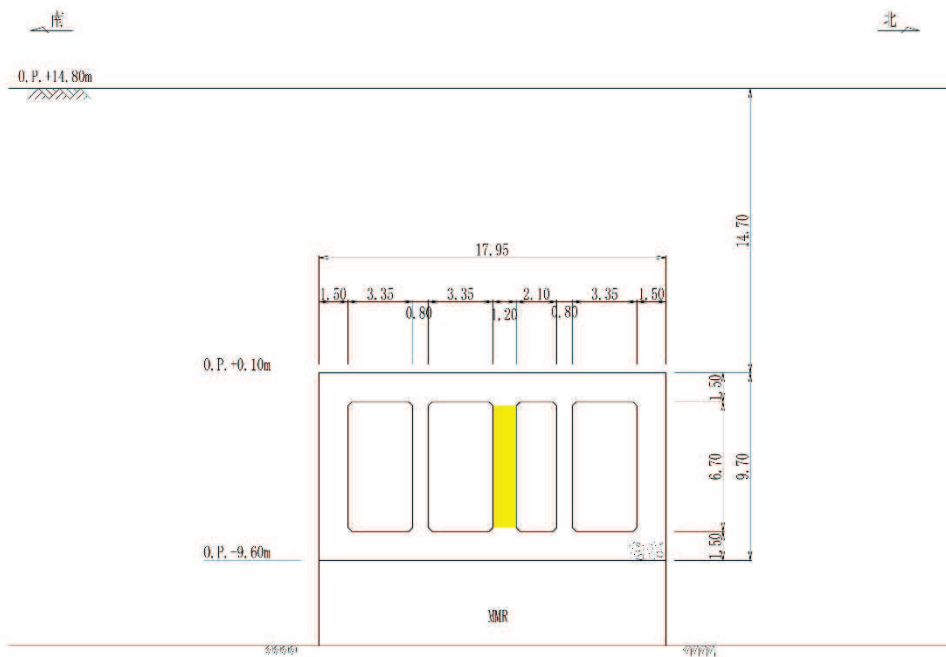


図 2-3 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）断面図（A-A 断面）



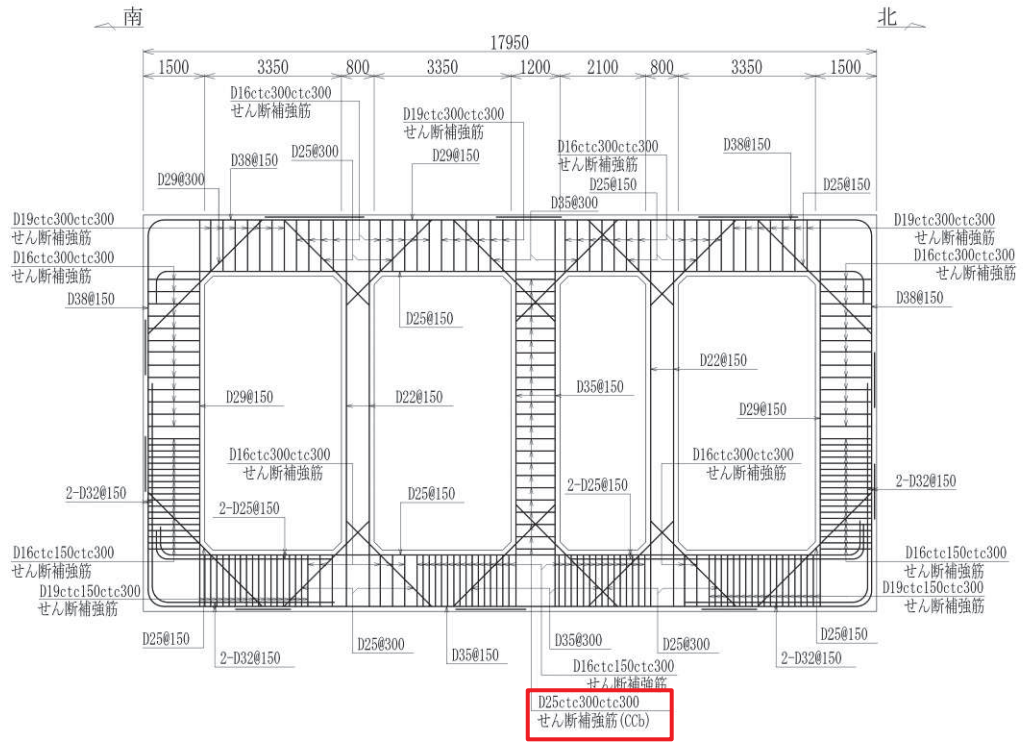
■ : Ccbによる耐震補強箇所

図 2-4(1) Ccbによる耐震補強箇所 (平面図)



■ : Ccbによる耐震補強箇所

図 2-4(2) Ccbによる耐震補強箇所 (A-A 断面)



: Ccb 工法適用箇所

図 2-5 原子炉機器冷却海水配管ダクト (水平部) 概略配筋図

2.3 評価方針

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）は、設計基準対象施設においては、Sクラス施設の間接支持構造物である屋外重要土木構造物に分類され、重大事故等対処施設においては、常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設に分類される。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）は、添付書類「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」より得られた地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の評価として、表2-1に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

なお、地震応答解析による解析手法は、添付書類「VI-2-2-12-1 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」のうち「3.2 解析方法」に示すとおり、全応力解析とする。解析ケースを表2-2に示す。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の耐震評価フローを図2-6に示す。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有すること及びSクラスの施設を支持する機能を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊については構造部材の照査用層間変形角及び照査用曲げモーメントが許容限界を下回ることを確認する。せん断破壊に対しては照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、添付書類「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」より得られた基礎地盤の接地圧が、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づく許容限界を下回ることを確認する。

ここで、原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における荷重条件は変わらないため、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

表 2-1 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	照査用層間変形角及び照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	限界層間変形角*
				せん断力	せん断耐力*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認	岩盤の極限支持力	
		MMR		MMRの支圧強度	
Sクラスの施設を支持する機能を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	照査用曲げモーメント及び照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	降伏曲げモーメント*
				せん断力	せん断耐力*

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

表 2-2 解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		盛土, 旧表土, D級岩盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C_L 級岩盤, C_M 級岩盤, C_H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値+1 σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値-1 σ	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記*：既設建造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

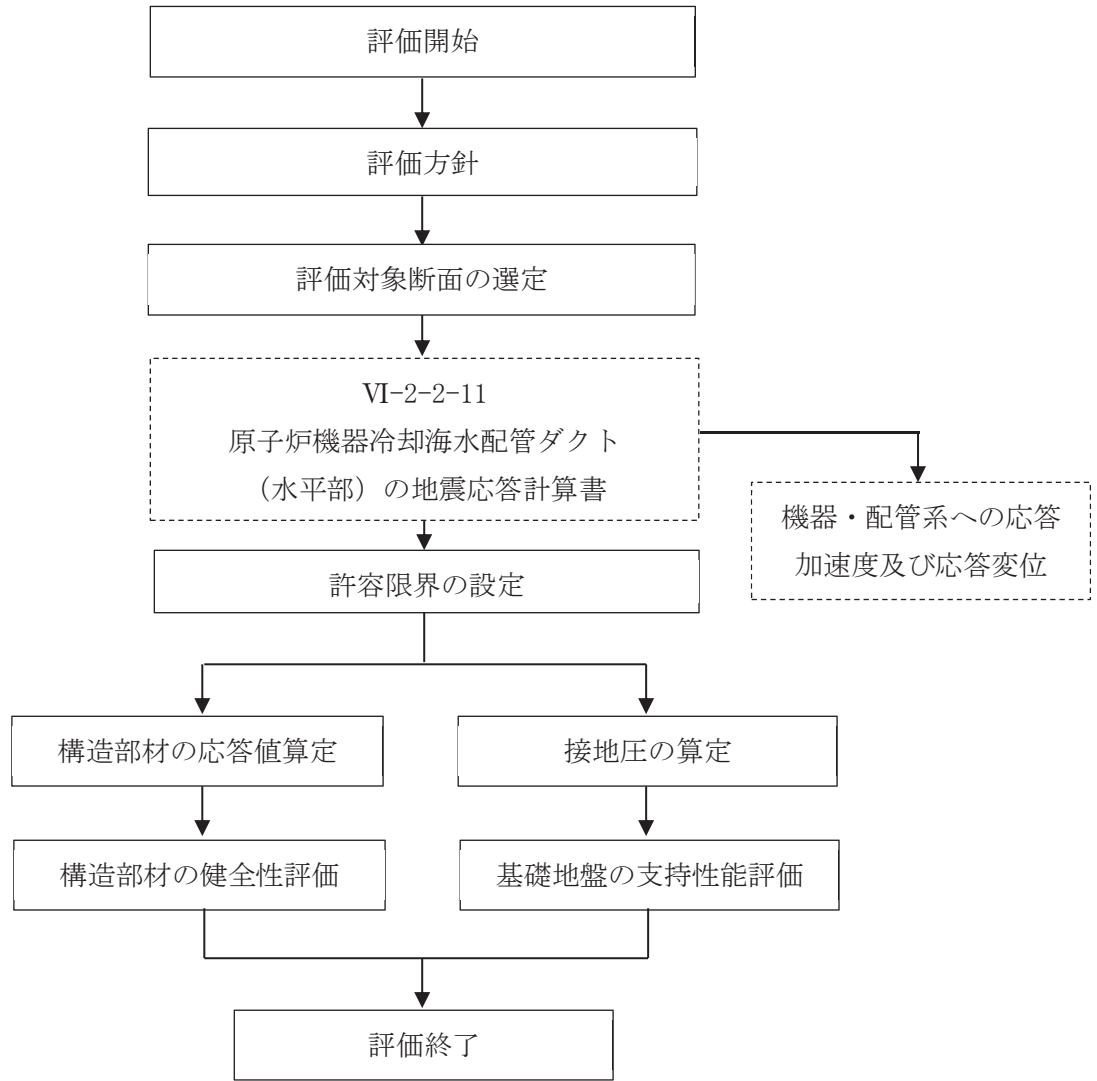


図 2-6 原子炉機器冷却海水配管ダクト (水平部) の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- 土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
- 土木学会 2017年 コンクリート標準示方書[設計編]
- 土木学会 2005年 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル
- 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1987）
- 一般財団法人土木研究センター 建設技術審査証明報告書 後施工セラミック定着型せん断補強鉄筋「セラミックキャップバー(CCb)」

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の評価対象断面位置を図 3-1 に示す。

評価対象断面は、構造的特徴や周辺地質状況を踏まえ、構造物延長方向の中心位置を通る A-A 断面とする。評価対象地質断面図を図 3-2 に示す。

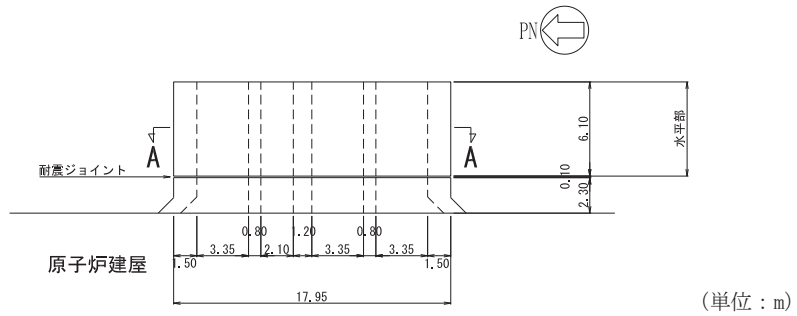


図 3-1 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の評価対象断面位置図

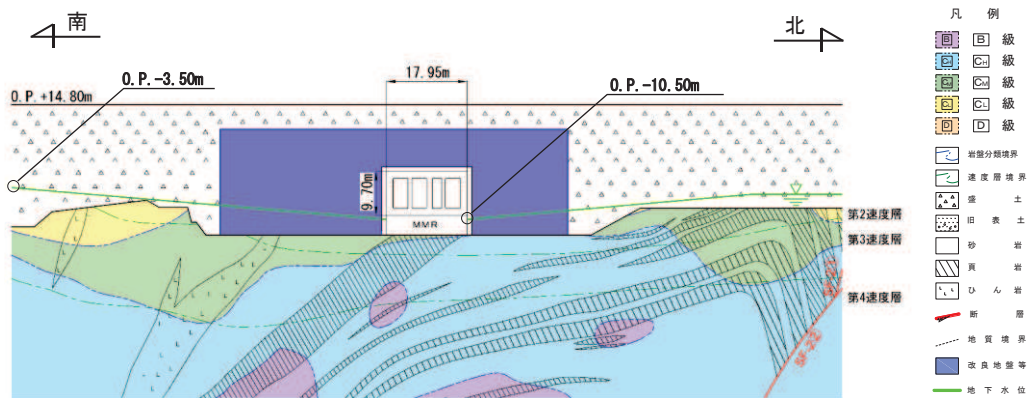


図 3-2 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）評価対象地質断面図（A-A 断面）

3.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-1, 材料の物性値を表 3-2 に示す。

表 3-1 使用材料

材料	仕様
コンクリート	設計基準強度 20.5N/mm ²
鉄筋	SD345

表 3-2 材料の物性値 (構造部材)

材料	項目	材料諸元	備考
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m ³)	24.0	
コンクリート	ヤング係数 (N/mm ²)	実強度*	3.02×10 ⁴ 解析ケース④
		設計基準強度	2.33×10 ⁴ 解析ケース①, ②, ③
	ポアソン比	0.2	

注記* : 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

3.3 許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、「土木学会 2005 年 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル」（以下「土木学会マニュアル」という。）に基づき、限界層間変形角（層間変形角 1/100）とする。

曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態については、「土木学会マニュアル」ではコンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされており、層間変形角 1/100 の状態は、かぶりコンクリートが剥落する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性等が確保できるとして設定されたものである。

また、側壁及び隔壁のアンカー定着部に要求される S クラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認においては、鉄筋の降伏を許容限界として降伏曲げモーメントとする。

鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の
曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目	許容限界	
構造強度を有すること	限界層間変形角	1/100
S クラスの施設を支持する機能を損なわないこと	曲げモーメント	降伏曲げモーメント

(2) せん断破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認及びSクラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）のせん断破壊に対する許容限界は、「土木学会マニュアル」に基づくせん断耐力とする。

せん断耐力は、「土木学会マニュアル」に基づき「a. 棒部材式」、「b. ディープビーム式」のせん断耐力式で求まるせん断耐力のうち、いずれか大きい方とする。

せん断耐力式による照査において照査用せん断力が上記のせん断耐力を上回る場合、より詳細に材料非線形解析を用いて部材のせん断耐力を求め許容限界とする。

また、CCb工法を用いる構造部材については「c. CCbによりせん断補強された部材のせん断耐力式」によることとする。せん断破壊に対する耐力評価のフローを図3-3に示す。

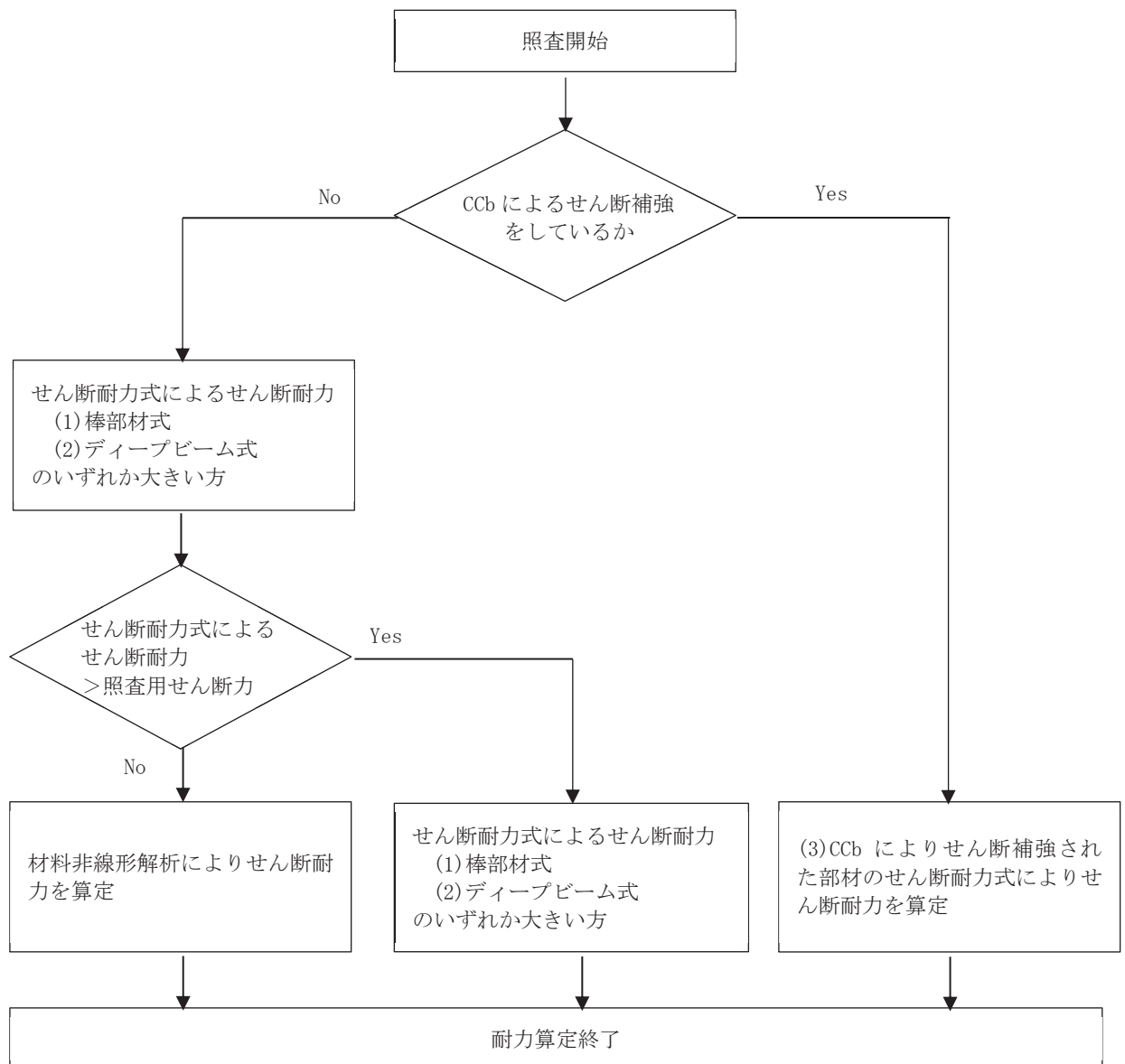


図3-3 せん断破壊に対する耐力評価フロー

a. 棒部材式

$$V_{y d} = V_{c d} + V_{s d}$$

ここで, $V_{y d}$: せん断耐力

$V_{c d}$: コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{s d}$: せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{c d} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{v c d} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{b c}$$

$$f_{v c d} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{c d}} \quad \text{ただし, } f_{v c d} > 0.72 \text{ (N/mm}^2\text{) となる場合は}$$

$$f_{v c d} = 0.72 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1 / d} \quad (d \text{ [m]}) \quad \text{ただし, } \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v} \quad \text{ただし, } \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_p = 1.5$$

$$\beta_n = 1 + M_0 / M_d \quad (N'_d \geq 0) \quad \text{ただし, } \beta_n > 2.0 \text{ となる場合は } \beta_n = 2.0$$

$$= 1 + 2 M_0 / M_d \quad (N'_d < 0) \quad \text{ただし, } \beta_n < 0 \text{ となる場合は } \beta_n = 0$$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a / d} \quad \text{ただし, } \beta_a < 1.0 \text{ となる場合は } \beta_a = 1.0$$

ここで, $f'_{c d}$: コンクリート圧縮強度の設計用値(N/mm²)で設計基準強度 $f'_{c k}$ を

材料係数 $\gamma_{m c}$ で除したもの

$$p_v : \text{引張鉄筋比} \quad p_v = A_s / (b_w \cdot d)$$

A_s : 引張側鋼材の断面積

b_w : 部材の有効幅

d : 部材の有効高さ

N'_d : 設計軸圧縮力

M_d : 設計曲げモーメント

M_0 : M_d に対する引張縁において、軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要なモーメント (デコンプレッションモーメント)

$$M_0 = N'_d \cdot D/6$$

D : 断面高さ

a/d : せん断スパン比

γ_{bc} : 部材係数

γ_{mc} : 材料係数

$$V_{sd} = \left\{ A_w f_{wyd} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s \right\} z / \gamma_{bs}$$

A_w : 区間 s におけるせん断補強鉄筋の総断面積

f_{wyd} : せん断補強鉄筋の降伏強度を γ_{ms} で除したもので、 400N/mm^2 以下とする。ただし、コンクリート圧縮強度の特性値 f'_{ck} が 60N/mm^2 以上のときは 800N/mm^2 以下とする。

α : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度

s : せん断補強鉄筋の配置間隔

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で $d/1.15$ とする。

γ_{bs} : 部材係数

γ_{ms} : 材料係数

b. ディープビーム式

$$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$$

ここで, V_{ydd} : せん断耐力

V_{cdd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sdd} : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{dd} = 0.19 \sqrt{f'_{cd}}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad \text{ただし, } \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v} \quad \text{ただし, } \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_p = 1.5$$

$$\beta_a = \frac{5}{1 + (a/d)^2}$$

ここで, γ_{bc} : 部材係数

$$V_{sdd} = \phi \cdot V_{sd}$$

$$\phi = -0.17 + 0.3 a/d + 0.33/p_{wb} \quad \text{ただし } 0 \leq \phi \leq 1$$

ここで, p_{wb} : せん断補強鉄筋比(%)

c. CCbによりせん断補強された部材のせん断耐力式

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）において後施工せん断補強（セラミックキャップバー（CCb））を配置した構造部材については、「一般財団法人土木研究センター建設技術審査証明報告書 後施工セラミック定着型せん断補強鉄筋「セラミックキャップバー（CCb）」」（以下「建設技術証明書」という。）に示されている以下の設計式により求める。

$$V_{pyd} = V_{cd} + V_{sd} + V_{CCbd} \quad \dots \text{式(1)}$$

$$V_{CCbd} = \beta_{aw} \cdot V_{awd} \\ = \beta_{aw} \cdot \left\{ A_{aw} \cdot f_{awy d} (\sin \alpha_{aw} + \cos \alpha_{aw}) / S_{aw} \right\} z / \gamma_b \quad \dots \text{式(2)}$$

$$\beta_{aw} = \eta = 1 - \frac{\ell_y}{2S_{rb}} \quad \dots \text{式(3)}$$

ただし、 $\ell_y - d' \leq 0$ となる場合は $\ell_y - d' = 0$ とする。

ここに、 V_{cd} : せん断補強鋼材を用いない壁部材の単位幅あたりのせん断耐力

V_{sd} : 既存のせん断補強鋼材により受け持たれる壁部材の単位幅あたりのせん断耐力

V_{CCbd} : セラミックキャップバー（CCb）により受け持たれる壁部材の単位幅あたりのせん断耐力

V_{awd} : セラミックキャップバー（CCb）を通常のスターラップと見なして求められる壁部材の単位幅あたりのせん断耐力

β_{aw} : セラミックキャップバー（CCb）のせん断耐力の向上への有効性を示す係数

A_{aw} : 単位長さ当たりの区間 S_{aw} におけるセラミックキャップバー（CCb）の総断面積

$f_{awy d}$: セラミックキャップバー（CCb）の設計降伏強度で $400\text{N}/\text{mm}^2$ 以下とする。

α_{aw} : セラミックキャップバー（CCb）が部材軸となす角度

S_{aw} : セラミックキャップバー（CCb）の配置間隔

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で一般に $d/1.15$ としてよい。

γ_b : 部材係数（一般に 1.10 としてよい）

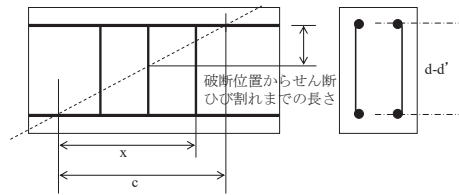
ℓ_y : セラミックキャップバー（CCb）の先端型定着体の定着長（ $5D$ としてよい）

D : CCbの鉄筋径

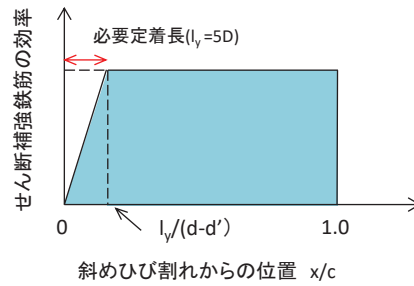
S_{rb} : 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔

- d : 補強対象部材の有効高さ
- d' : 差し込み側の部材表面から圧縮鋼材図心までの距離

セラミックキャップバー (CCb) が負担するせん断耐力は、先端型定着体の定着長が $5D$ であることから、通常のせん断鉄筋に比べ補強効率が低下することから、セラミックキャップバー (CCb) が負担するせん断耐力は同定着長と補強対象部材の主鉄筋間隔から算出される有効率 β_{aw} を通常のせん断補強鉄筋の負担分に乗じることにより考慮されている。図 3-4 に有効率算定における概念図を示す。



(a) 斜めひび割れ内に定着不良が生じたせん断補強鉄筋



(b) 標準型

図 3-4 セラミックキャップバー (CCb) の有効率算定の概念図

3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

(1) 基礎地盤（狐崎部層）

基礎地盤（狐崎部層）に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力とする。

基礎地盤（狐崎部層）の許容限界を表3-4に示す。

表3-4 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	狐崎部層	13.7

(2) MMR（既設）

MMR（既設）に発生する接地圧に対する許容限界は、「土木学会 2002年 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」に基づき、コンクリートの支圧強度とする。

MMR（既設）の許容限界を表3-5に示す。

表3-5 MMR（既設）の支持性能に対する許容限界

評価項目	MMR（既設）	許容限界 (N/mm ²)
支圧強度	コンクリート ($f'_{ck} = 15.6 \text{ N/mm}^2$)	$f'_a = 15.6$

3.4 評価方法

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の耐震評価は、添付書類「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」に基づく地震応答解析により算定した照査用応答値が、「3.3 許容限界」において設定した許容限界を下回ることを確認する。

3.4.1 構造部材の健全性評価

構造強度を有することの確認については、鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査において、地震応答解析により算定した照査用層間変形角及び照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認する。

Sクラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認については、鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査において、照査用曲げモーメントが許容限界を下回ることを、せん断破壊に対する照査において、照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認する。

3.4.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては、構造部材を支持する基礎地盤に発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認する。

4. 構造部材の地震時応答

構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対して最大照査値となる解析ケース及び地震動での層間変形角の時刻歴波形を図 4-1 に、せん断破壊に対する最大照査値の評価時刻での断面力図を図 4-2 に示す。

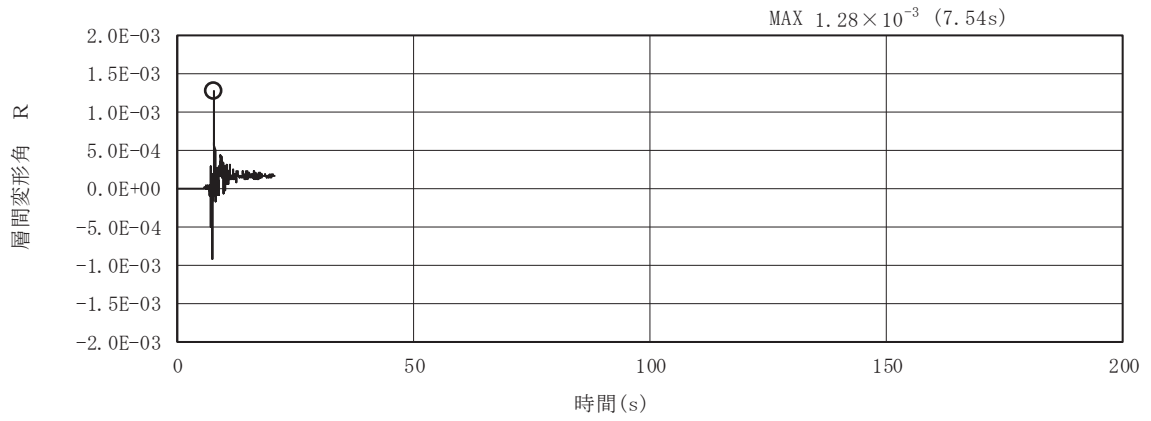
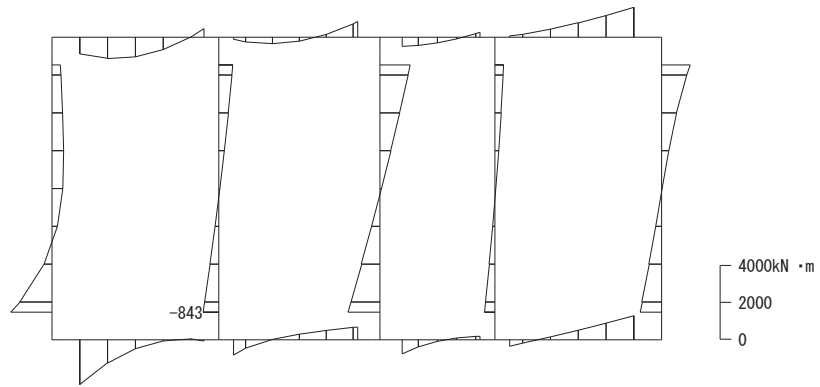
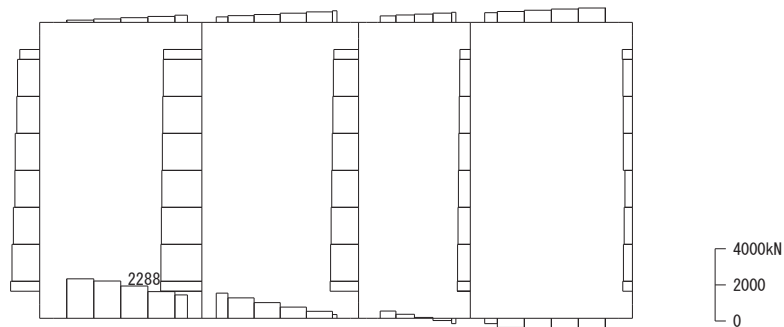


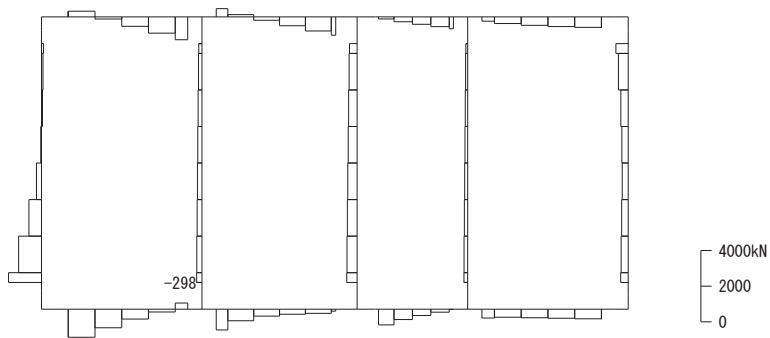
図 4-1 曲げ・軸力系の破壊に対する照査における層間変形角の時刻歴波形
(解析ケース③, S s - N 1 (++))



数値：評価位置における断面力
 (a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：評価位置における断面力
 (b) 軸力 (kN) (+：引張，-：圧縮)



数値：評価位置における断面力
 (c) せん断力 (kN)

図 4-2 せん断破壊に対する照査値最大時*の断面力図
 (隔壁，解析ケース③， $S_s - N1$ (++))

注記*：材料非線形解析による評価結果

5. 耐震評価結果

5.1 構造部材の健全性に対する評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 5-1 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 5-2 に示す。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の照査用層間変形角及び照査用せん断力が、構造部材の健全性に対する許容限界を下回ることを確認した。

表 5-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

解析 ケース	地震動	照査用層間変形角* R_d	限界層間変形角 R_u	照査値 R_d/R_u
③	S s - N 1 (++)	1.54×10^{-3}	1.0×10^{-2}	0.16

注記*：照査用層間変形角 R_d = 最大層間変形角 R × 構造解析係数 γ_a

表 5-2 せん断破壊に対する最大照査値

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用せん断力*2 V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{y d}$
底版	11	④	S s - N 1 (++)	533	1188*3	0.45
頂版	21	③	S s - N 1 (++)	953	1329*3	0.72
側壁	50	③	S s - N 1 (++)	1482	2348*3	0.64
隔壁	70	③	S s - N 1 (++)	313	522*4	0.60

注記*1：評価位置は図 5-1 に示す。

*2：照査用せん断力 = 発生せん断力 × 構造解析係数 γ_a

*3：せん断耐力式によるせん断耐力

*4：材料非線形解析によるせん断耐力

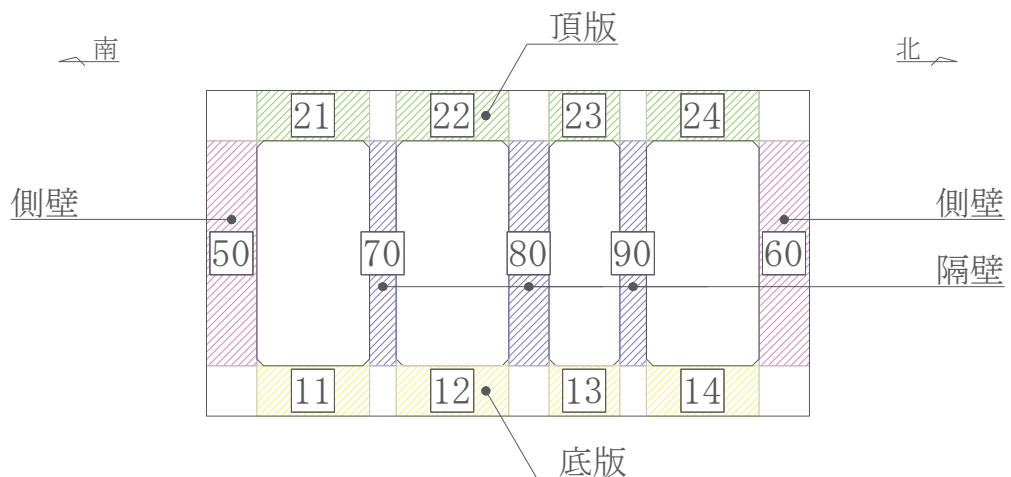


図 5-1 評価位置図

5.2 Sクラスの施設を支持する機能に対する評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表5-3に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表5-4に示す。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の照査用曲げモーメント及び照査用せん断力が、Sクラスの施設を支持する機能に対する許容限界を下回ることを確認した。

表5-3 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用曲げ モーメントM _d *2	許容限界 M _y	照査値 M _d /M _y
側壁	60	③	S _s -N1 (++)	1178kN・m	2024kN・m	0.59
隔壁	90	③	S _s -N1 (++)	435kN・m	615kN・m	0.71

注記*1：評価位置は図5-1に示す。

*2：照査用曲げモーメントM_d = 最大曲げモーメントM × 構造解析係数γ_a

表5-4 せん断破壊に対する最大照査値（再掲）

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用せん断力*2 V _d (kN)	せん断耐力 V _{y d} (kN)	照査値 V _d /V _{y d}
側壁	50	③	S _s -N1 (++)	1482	2348*3	0.64
隔壁	70	③	S _s -N1 (++)	313	522*4	0.60

注記*1：評価位置は図5-1に示す。

*2：照査用せん断力 = 発生せん断力 × 構造解析係数γ_a

*3：せん断耐力式によるせん断耐力

*4：材料非線形解析によるせん断耐力

5.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

5.3.1 基礎地盤（狐崎部層）

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表5-5に示す。また、最大接地圧分布図を図5-2に示す。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）の基礎地盤に発生する最大接地圧が、極限支持力を下回ることを確認した。

表5-5 基礎地盤の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
③	S s - N 1 (++)	2.0	13.7	0.15

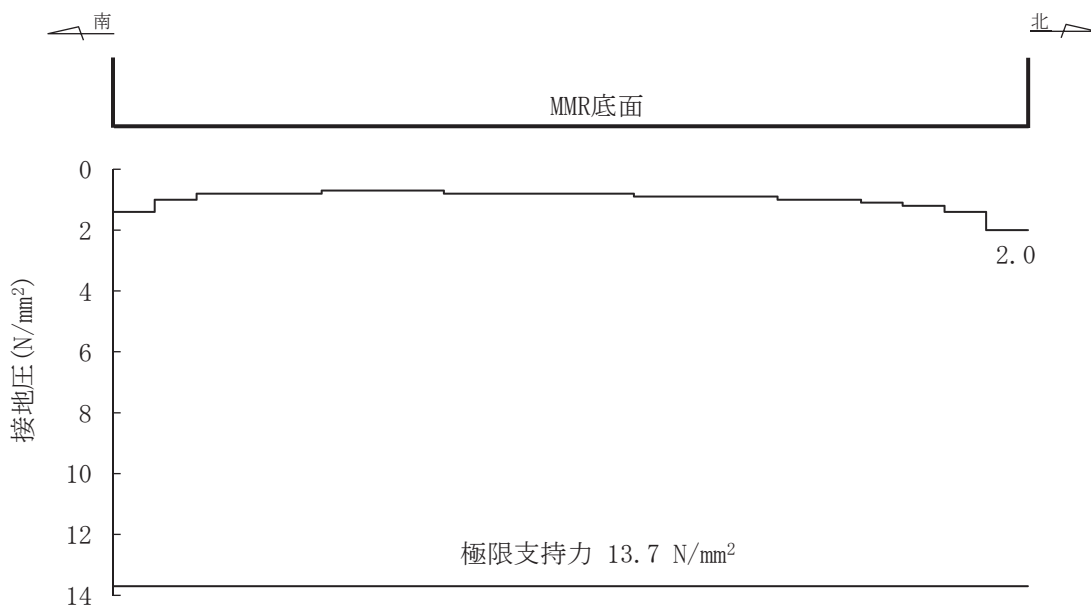


図5-2 基礎地盤の最大接地圧分布図
(解析ケース③, S s - N 1 (++))

5.3.2 MMR（既設）

MMR（既設）の支持性能に対する照査結果を表5-6に示す。また、最大接地圧分布図を図5-3に示す。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）のMMR（既設）に発生する最大接地圧が、支圧強度を下回ることを確認した。

表5-6 MMR（既設）の支持性能照査結果

解析ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	支圧強度 f'_a (N/mm ²)	照査値 R_d/f'_a
③	S _s -N1 (++)	3.0	15.6	0.20

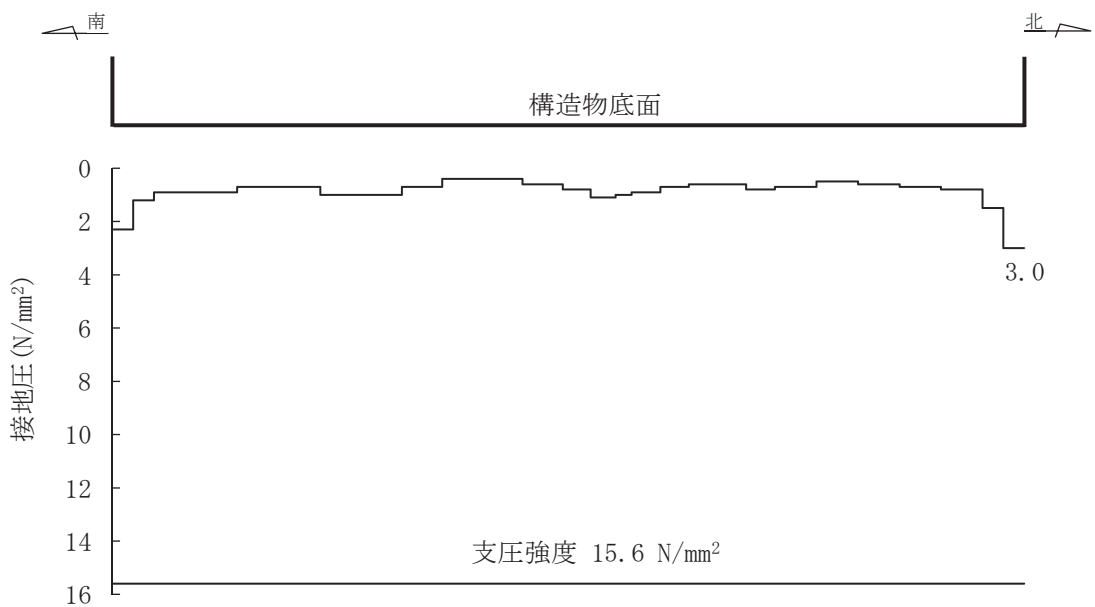


図5-3 MMR（既設）の最大接地圧分布図
(解析ケース③, S_s-N1 (++))

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

目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造及び補強の概要	3
2.3	評価方針	10
3.	地震応答解析	15
3.1	地震時荷重算出断面	15
3.2	解析方法	17
3.2.1	構造部材	17
3.2.2	地盤物性及び材料物性のばらつき	17
3.2.3	減衰定数	18
3.2.4	地震応答解析の解析ケースの選定	19
3.3	荷重及び荷重の組合せ	20
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	20
3.3.2	荷重	20
3.3.3	荷重の組合せ	21
3.4	入力地震動	22
3.5	解析モデル及び諸元	51
3.5.1	解析モデル	51
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	53
3.5.3	地盤の物性値	53
3.5.4	地下水位	54
3.6	地震応答解析結果	55
4.	二次元構造解析	57
4.1	評価対象部材	57
4.2	解析方法	59
4.3	解析モデルの諸元	59
4.3.1	解析モデル	59
4.3.2	使用材料及び材料の物性値	62
4.4	入力荷重	62
4.5	側壁と頂版及び底版の結合部における局所の曲げモーメント増分の廻り込みの考慮	63
4.5	二次元構造解析結果	64
4.5.1	断面①の解析結果	64
4.5.2	断面②の解析結果	67
4.5.3	断面③の解析結果	69
4.5.4	断面④の解析結果	71

4.5.5	断面⑤の解析結果	73
4.5.6	断面⑥の解析結果	75
5.	耐震評価	78
5.1	構造部材の健全性に対する許容限界	78
5.1.1	鉄筋コンクリート部材の健全性に対する許容限界	78
5.1.2	鋼材の健全性に対する許容限界	87
5.1.3	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	88
5.2	評価方法	88
6.	耐震評価結果	89
6.1	構造部材の健全性に対する評価結果	89
6.1.1	断面①の評価結果	89
6.1.2	断面②～⑤の評価結果	90
6.1.3	断面⑥の評価結果	93
6.2	止水機能に対する評価結果	95
6.3	Sクラスの施設を支持する機能に対する評価結果	96
6.3.1	断面①の評価結果	96
6.3.2	断面②～⑤の評価結果	97
6.4	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	99

1. 概要

本資料は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認するものである。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析により算定した荷重を二次元構造解析モデルに作用させて、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

2. 基本方針

2.1 位置

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の位置を図2-1に示す。

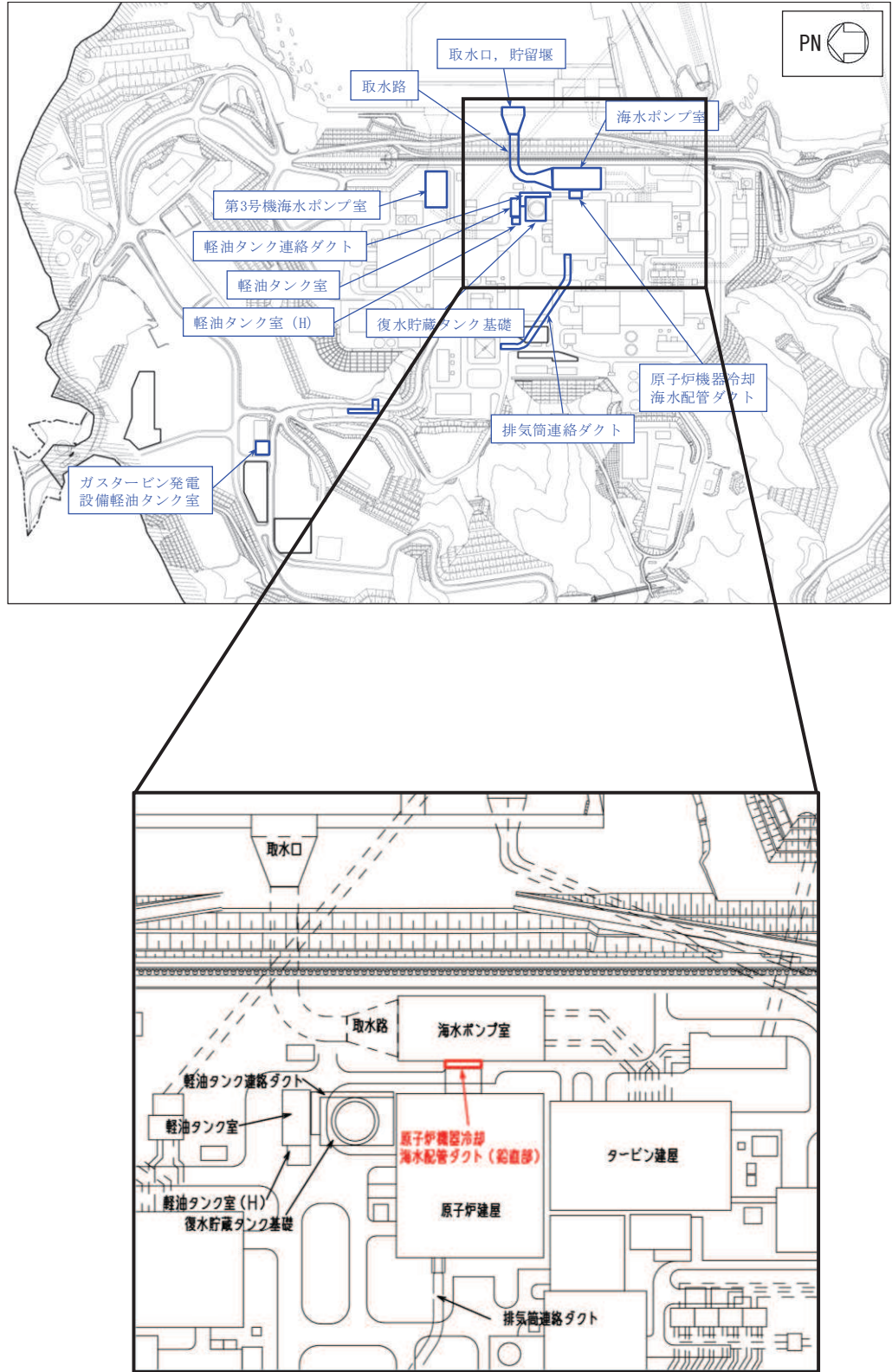


図2-1 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の位置図

2.2 構造及び補強の概要

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の平面図を図 2-2 に、正面図を図 2-3 に、縦断面図を図 2-4 に、断面図を図 2-5～図 2-10 に、補強図を図 2-11 及び図 2-12 に、概略配筋図を図 2-13～図 2-18 に示す。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、原子炉補機冷却海水系配管、高圧炉心スプレイ補機冷却海水系配管等を側壁及び隔壁で間接支持する支持機能、頂版に浸水防止のための止水機能が要求される。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、海水ポンプ室と原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）を結ぶ、鉄筋コンクリート及び鋼材から構成される地中構造物であり、幅（横断方向）34.55m、延長（鉛直方向）24.00m、高さ 4.70m の九連の構造である。原子炉機器冷却海水配管ダクト（水平部）との接合部には耐震ジョイントが設置されており、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）と比較して規模・重量が十分に大きい海水ポンプ室に懸架され一体構造となっている。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、鉛直方向に隔壁の配置が変化し、5 つの内空断面を有する構造物である。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震性の確保をするために耐震補強を実施する。曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する補強として、側壁及び鋼材の追加を実施する。更に、せん断破壊に対する補強として、後施工せん断補強工法（セラミックキャップバー工法）（以下「CCb 工法」という。）によるせん断補強を実施する。

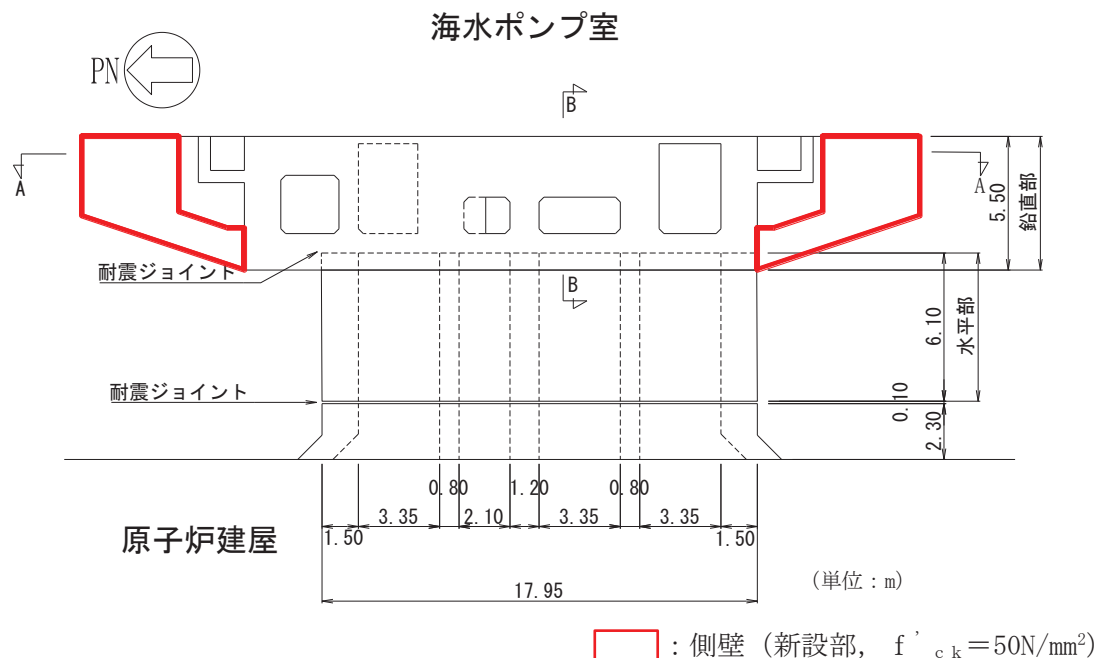
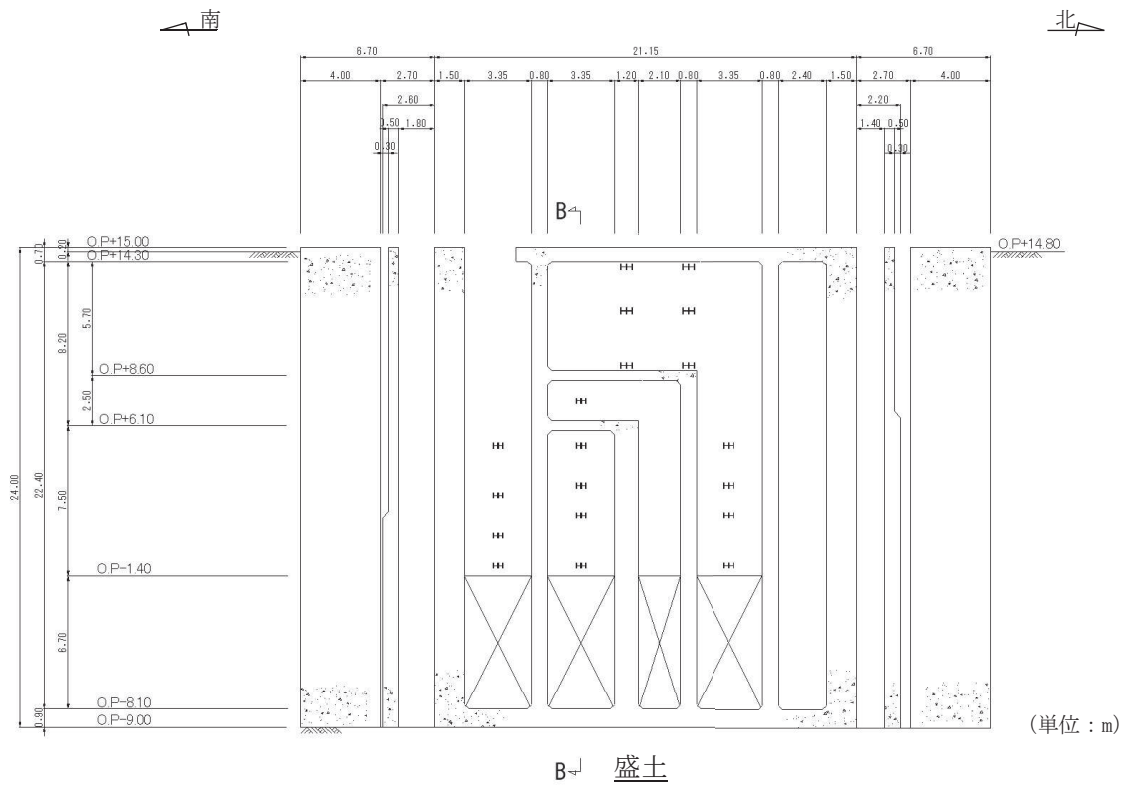


図 2-2 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）平面図



*注記：図中の H-H は鋼材を示し， は海水配管ダクト（水平部）との接続部を示す。

図 2-3 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）正面図（A-A 断面）

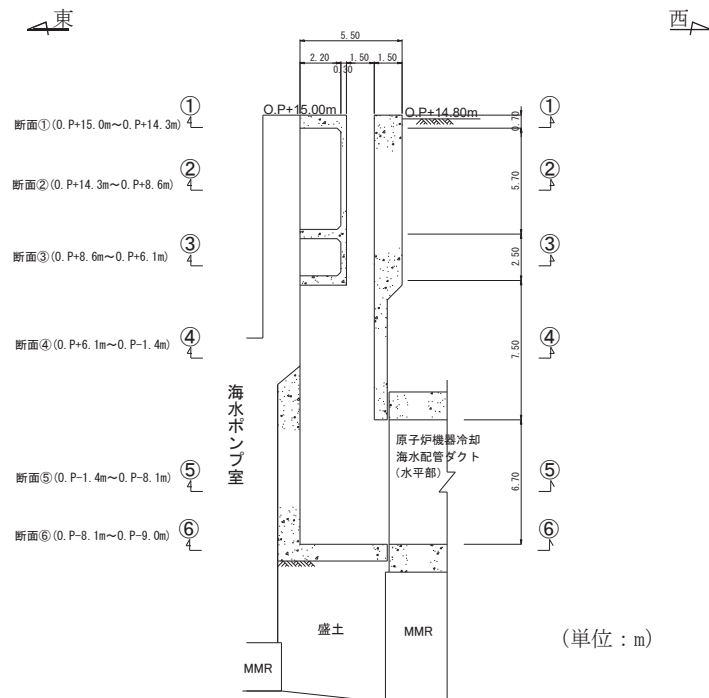
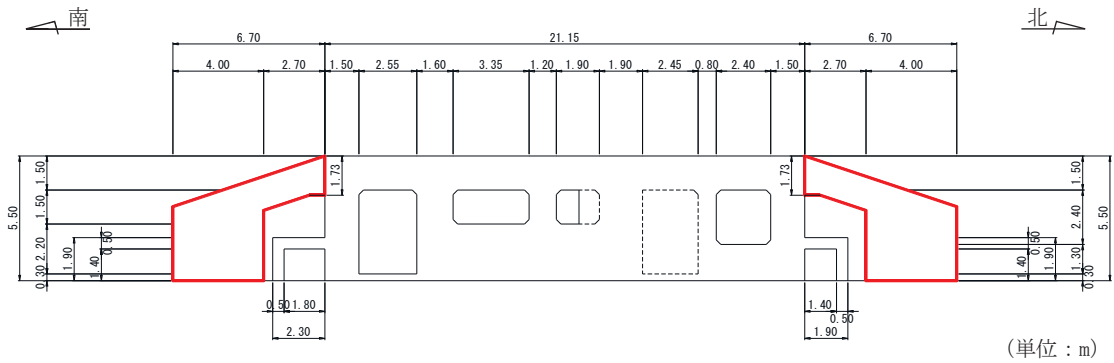
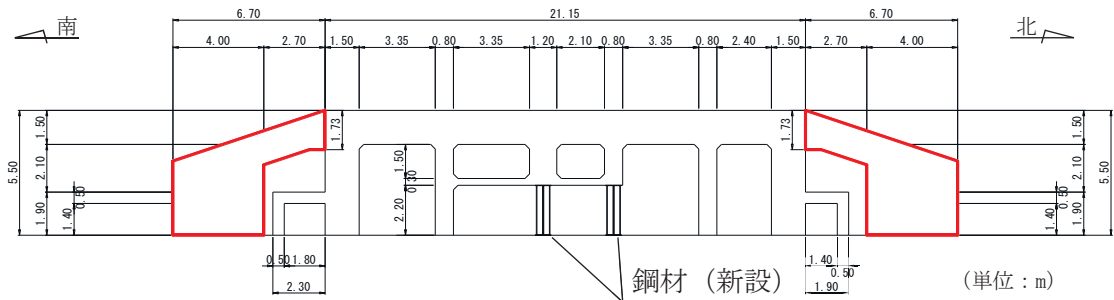


図 2-4 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）縦断面図（B-B 断面）



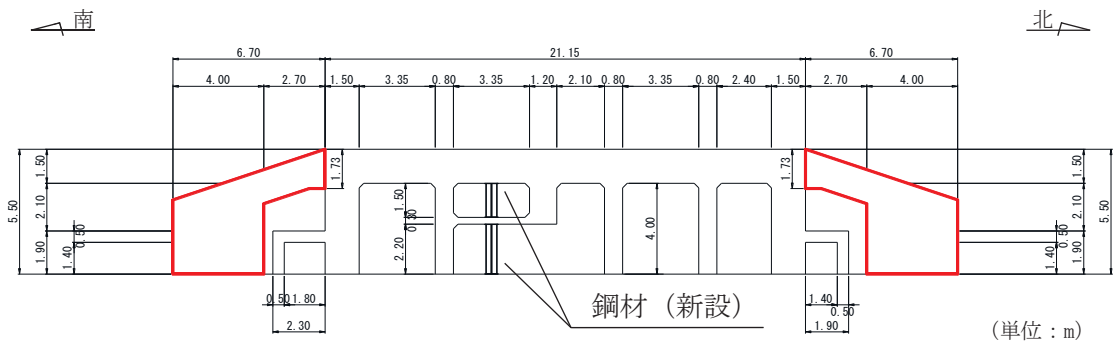
□: 側壁 (新設部, $f'_{ck} = 50\text{N/mm}^2$)

図 2-5 原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部) 水平断面図 (断面①)



□: 側壁 (新設部, $f'_{ck} = 50\text{N/mm}^2$)

図 2-6 原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部) 水平断面図 (断面②)



□: 側壁 (新設部, $f'_{ck} = 50\text{N/mm}^2$)

図 2-7 原子炉機器冷却海水配管ダクト (鉛直部) 水平断面図 (断面③)

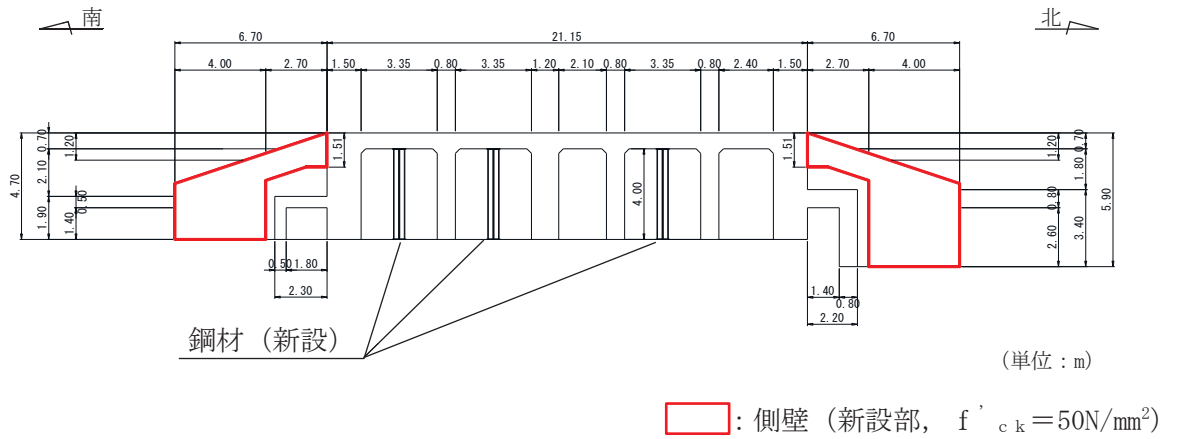


図 2-8 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）水平断面図（断面④）

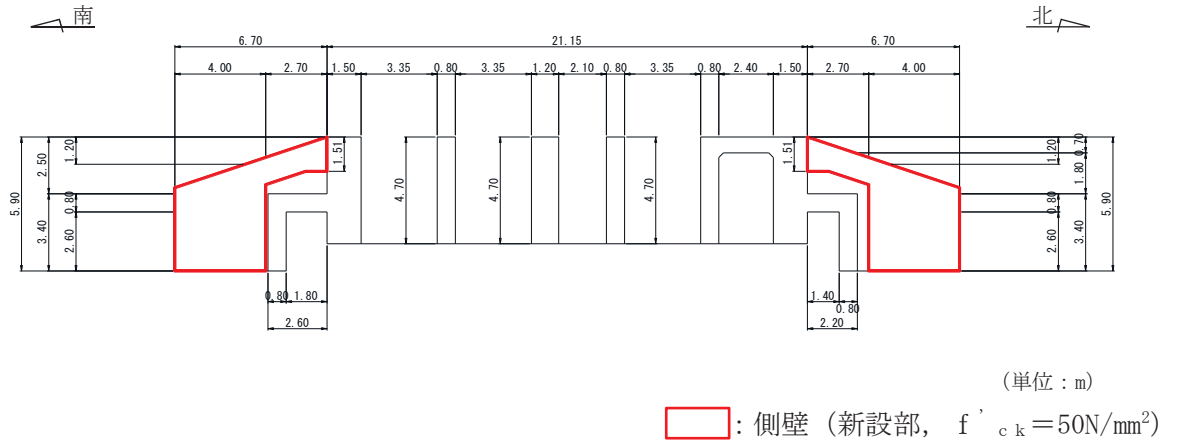


図 2-9 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）水平断面図（断面⑤）

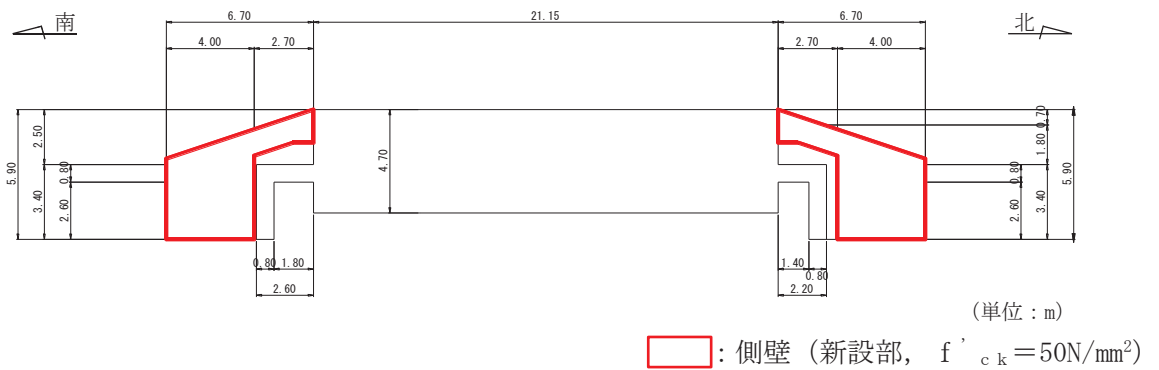
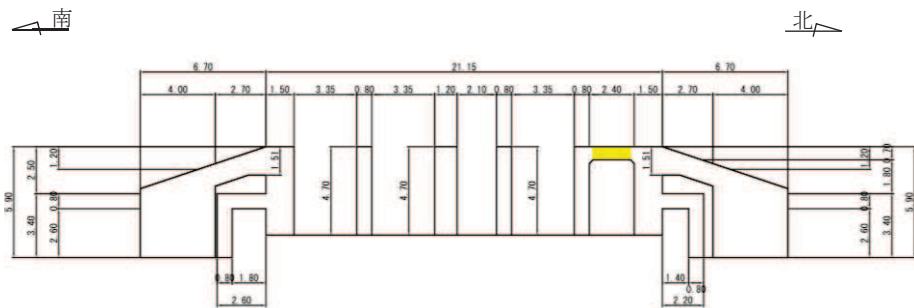


図 2-10 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）水平断面図（断面⑥）



■ : Ccb による耐震補強箇所

図 2-11 Ccb による耐震補強箇所 (断面②)



■ : Ccb による耐震補強箇所

図 2-12 Ccb による耐震補強箇所 (断面⑤)

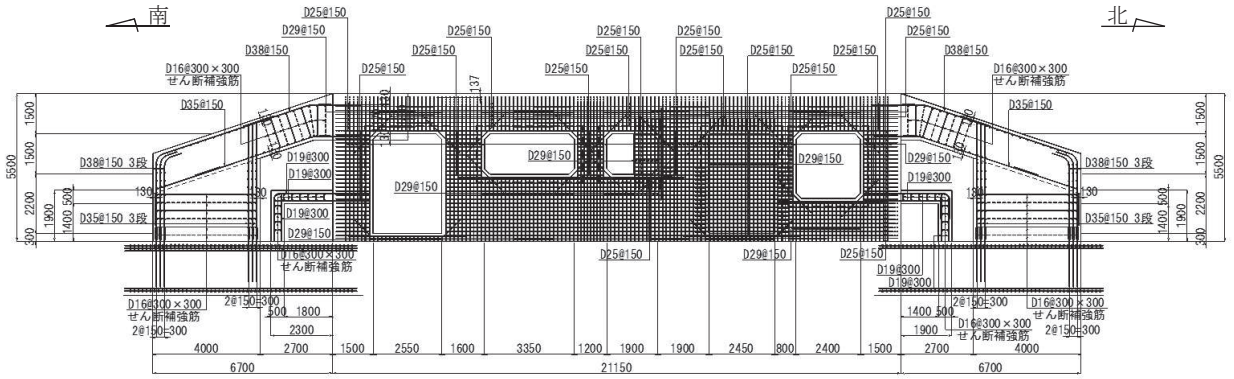
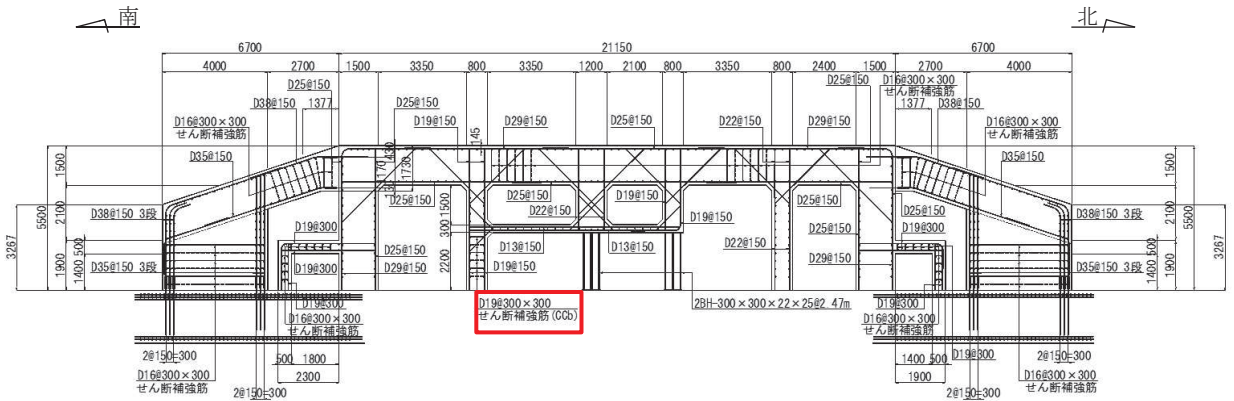


図 2-13 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）概略配筋図（断面①）



□ : CCb 工法適用箇所

図 2-14 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）概略配筋図（断面②）

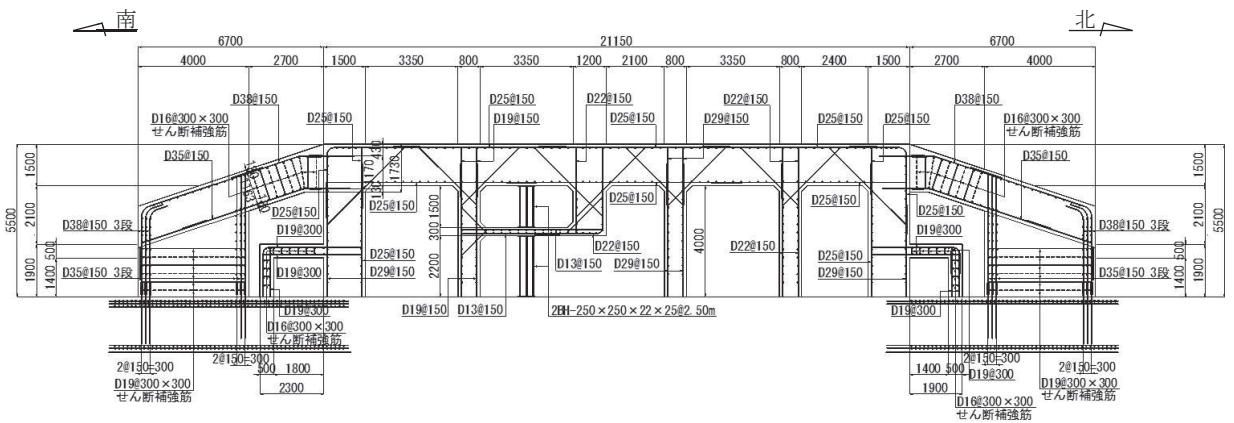


図 2-15 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）概略配筋図（断面③）

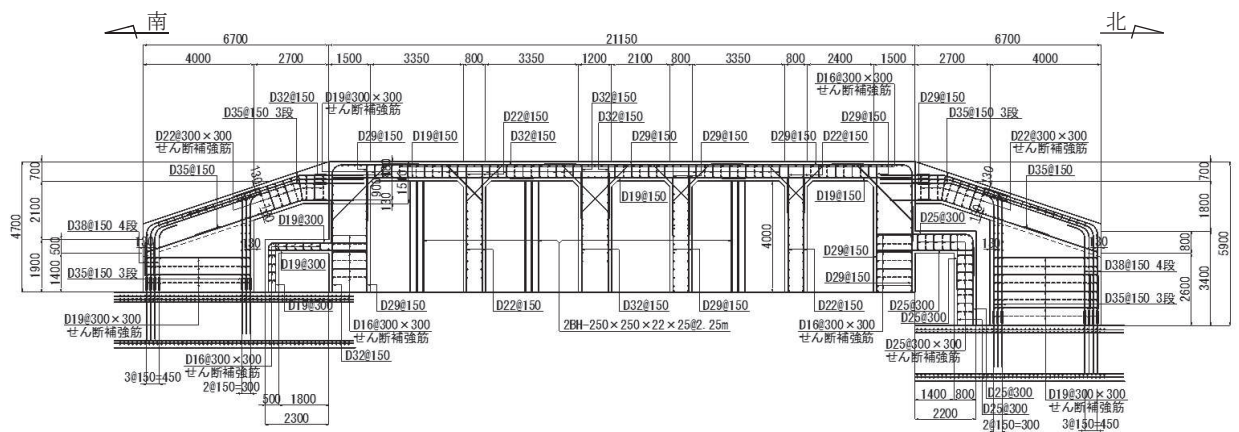
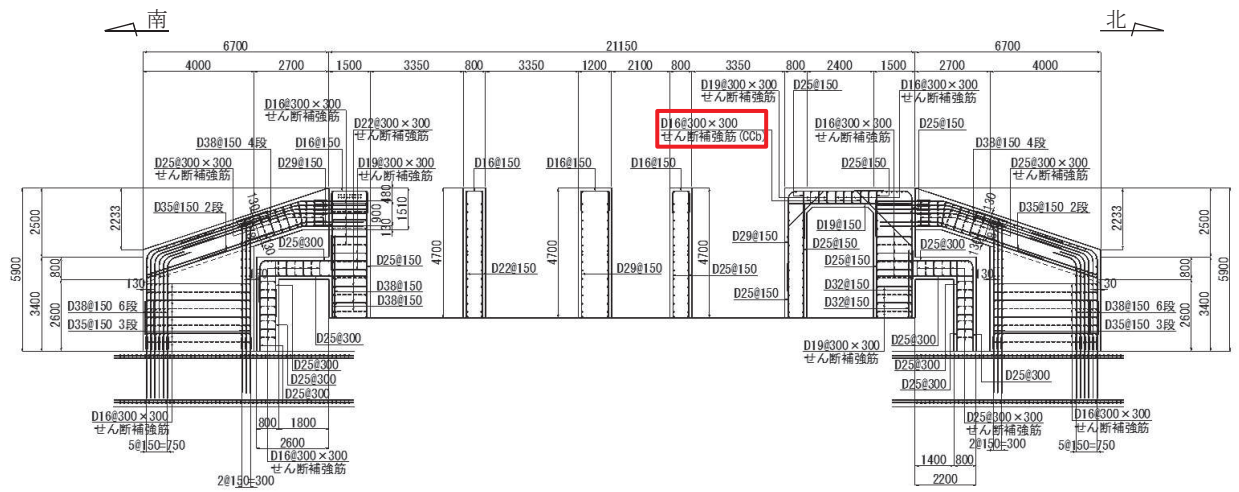


図 2-16 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）概略配筋図（断面④）



□ : CCb 工法適用箇所

図 2-17 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）概略配筋図（断面⑤）

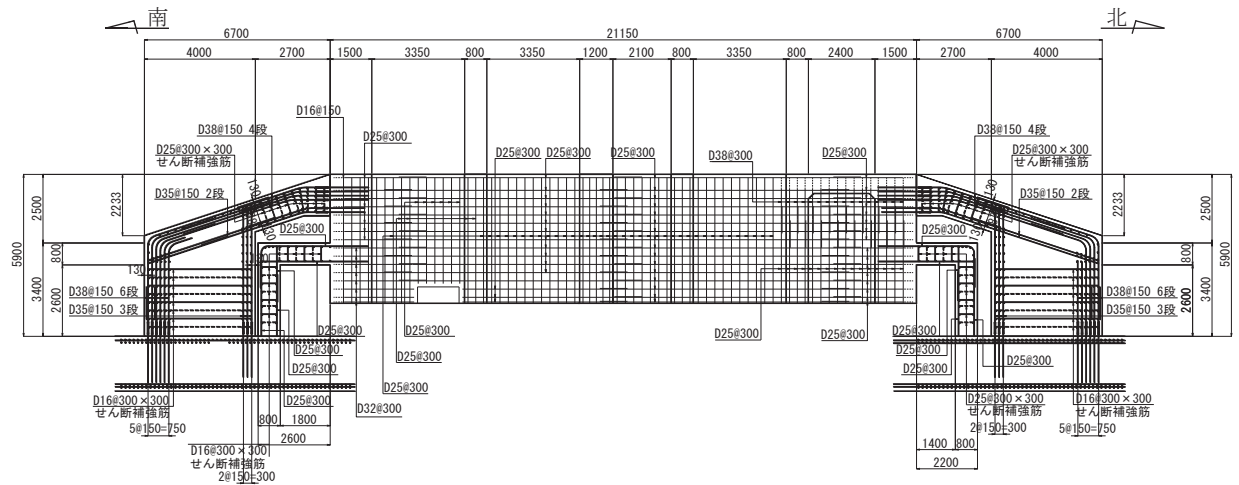


図 2-18 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）概略配筋図（断面⑥）

2.3 評価方針

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、設計基準対象施設においては、Sクラス施設の間接支持構造物である屋外重要土木構造物に分類され、重大事故等対処施設においては、常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設に分類される。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の評価として、表2-1～表2-3に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震評価フローを図2-19に示す。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有すること及びSクラスの施設を支持する機能を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、地震応答解析により得られた水平方向及び鉛直方向の荷重を用いた、二次元構造解析により応答値を算定し、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する評価を行い、照査用応答値が許容限界を下回ることを確認する。

面部材と壁部材から構成される断面①及び断面⑥の応答値は、面部材を線形シェル要素、壁部材を非線形はり要素とした二次元静的解析により算定し、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対して、構造部材の発生応力度が許容限界を下回ることを確認する。

壁部材のみから構成される断面②～⑤の応答値は、鉄筋コンクリート部材を非線形はり要素、鋼材を線形はり要素とした二次元静的解析により算定する。鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊については、構造部材の照査用ひずみが許容限界を下回ることを、せん断破壊に対しては照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認する。鋼材の曲げ・軸力系の破壊については、発生応力度が許容限界を下回ることを及び座屈に対する安定の確認を行う。なお、鋼材は軸方向からの荷重に抵抗する軸力部材として設置しており、主な荷重が軸力となることから、曲げ・軸力系の破壊に対する評価のみを行う。

基礎地盤の支持性能評価においては、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は海水ポンプ室に懸架され一体構造となっていることから、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づく許容限界を下回ることを、添付書類「VI-2-2-8 海水ポンプ室の耐震性についての計算書」にて確認する。

ここで、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における荷重条件は変わらないため、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

表 2-1 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の評価項目（断面①）

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
				曲げ・軸力	せん断力
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	発生応力度が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	短期許容応力度
				せん断力	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能 ^{*1}	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認	岩盤の極限支持力	
		MMR		MMR の支圧強度	
Sクラスの施設を支持する機能を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	発生する応力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	短期許容応力度
				せん断力	短期許容応力度

注記*1：原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、海水ポンプ室に懸架され一体構造となっていることから、添付書類「VI-2-2-8 海水ポンプ室の耐震性についての計算書」にて、基礎地盤の支持性能を確認する。

表 2-2 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の評価項目（断面②～⑤）

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	照査用ひずみ及び照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	限界ひずみ*2
				せん断力	せん断耐力*2
		鋼材	発生応力度が許容限界を下回ることを確認 軸力及び曲げモーメントによる圧縮応力度により座屈が生じないことを確認	曲げ・軸力	短期許容応力度
				曲げ・軸力	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能*1	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認	岩盤の極限支持力	
		MMR		MMRの支圧強度	
Sクラスの施設を支持する機能を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	照査用ひずみ及び照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	限界ひずみ*2
				せん断力	せん断耐力*2

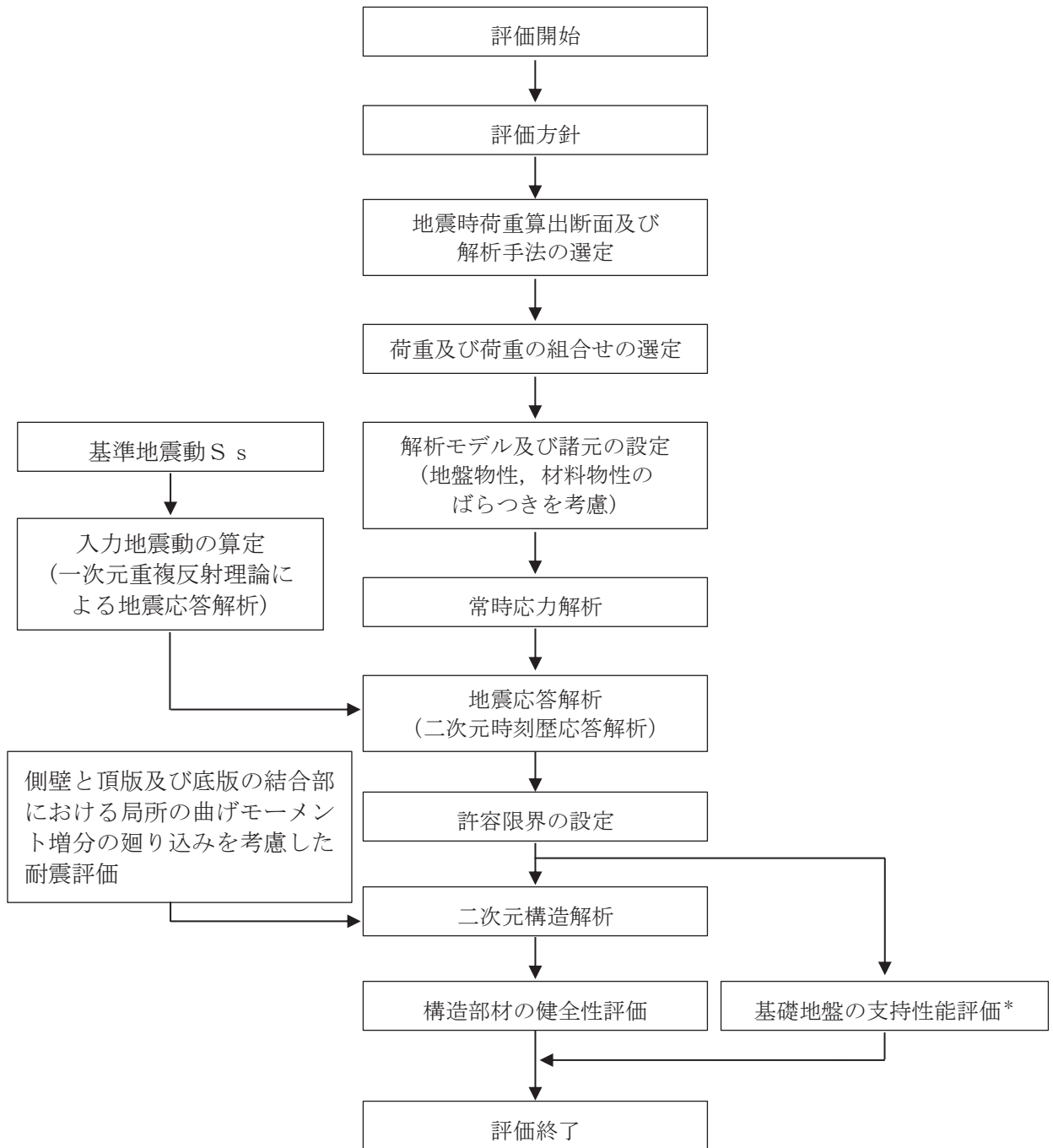
注記*1：原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、海水ポンプ室に懸架され一体構造となっていることから、添付書類「VI-2-2-8 海水ポンプ室の耐震性についての計算書」にて、基礎地盤の支持性能を確認する。

*2：妥当な安全余裕を考慮する。

表 2-3 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の評価項目（断面⑥）

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	発生応力度が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	短期許容応力度
				せん断力	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能*1	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認	岩盤の極限支持力	
		MMR		MMRの支圧強度	

注記*1：原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、海水ポンプ室に懸架され一体構造となっていることから、添付書類「VI-2-2-8 海水ポンプ室の耐震性についての計算書」にて、基礎地盤の支持性能を確認する。



注記*：添付書類「VI-2-2-8 海水ポンプ室の耐震性についての計算書」にて，基礎地盤の支持性能を確認する。

図 2-19 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1987）
- ・土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕
- ・土木学会 2005 年 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル
- ・日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編
- ・日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編
- ・一般財団法人土木研究センター 建設技術審査証明報告書 後施工セラミック定着型せん断補強鉄筋「セラミックキャップバー（CCb）」
- ・鉄道総合技術研究所 平成 13 年 3 月 鉄道構造物等設計標準・同解説（開削トンネル）

3. 地震応答解析

3.1 地震時荷重算出断面

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の地震時荷重算出断面位置を図3-1に示す。地震時荷重算出断面は、構造的特徴や周辺地質状況を踏まえ、構造物のほぼ中心を通る南北方向（A-A断面）及び東西方向（B-B断面）の両断面とする。なお、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は海水ポンプ室に懸架され一体構造となっていることから、東西方向（B-B断面）の地震時荷重は添付書類「VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書」の応答とする。

地震時荷重算出用地質断面図を図3-2及び図3-3に示す。

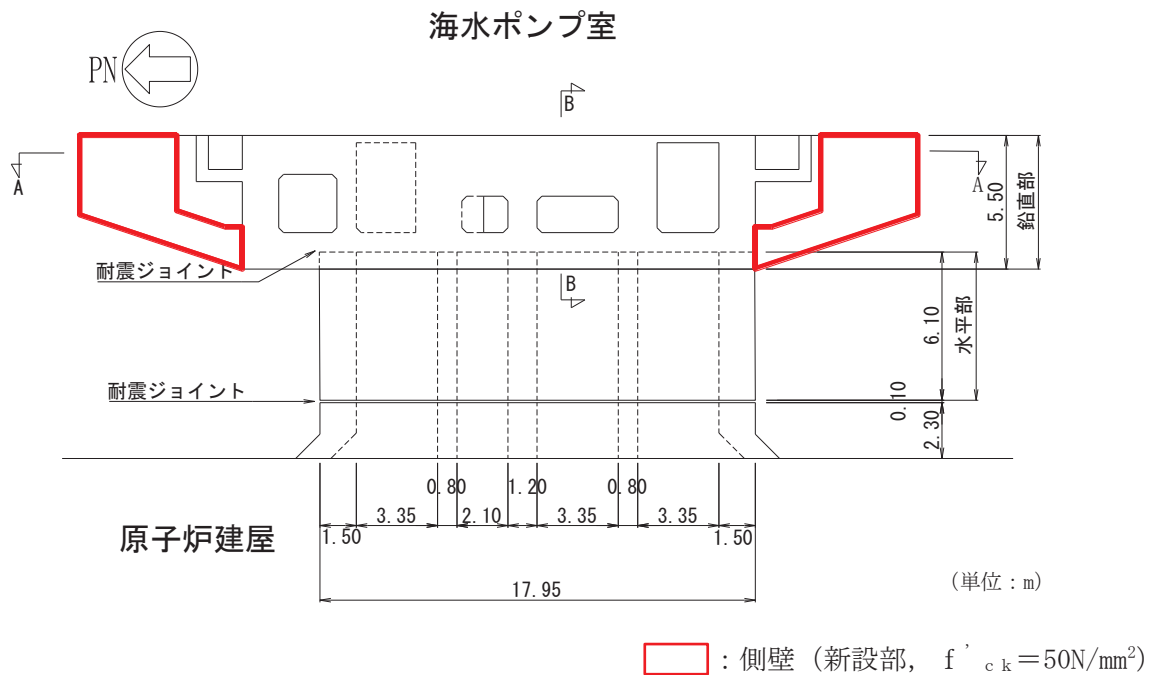


図3-1 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の地震時荷重算出断面位置図

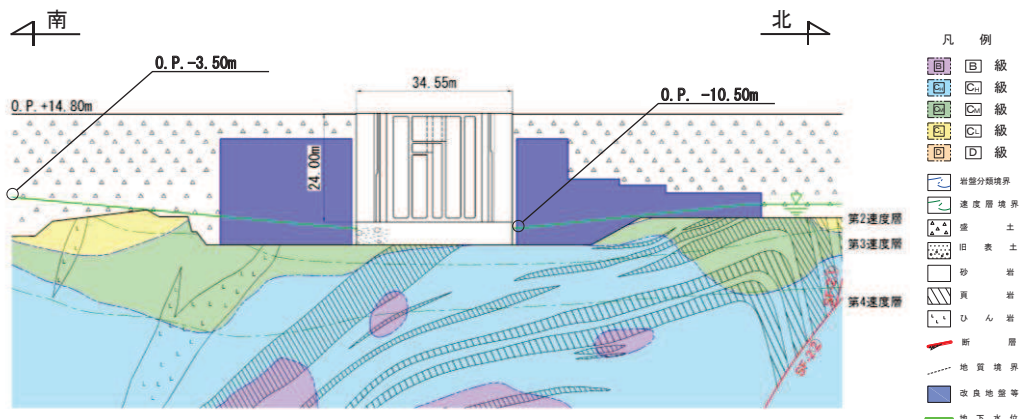


図3-2 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部） 地震時荷重算出用地質断面図（A-A断面）

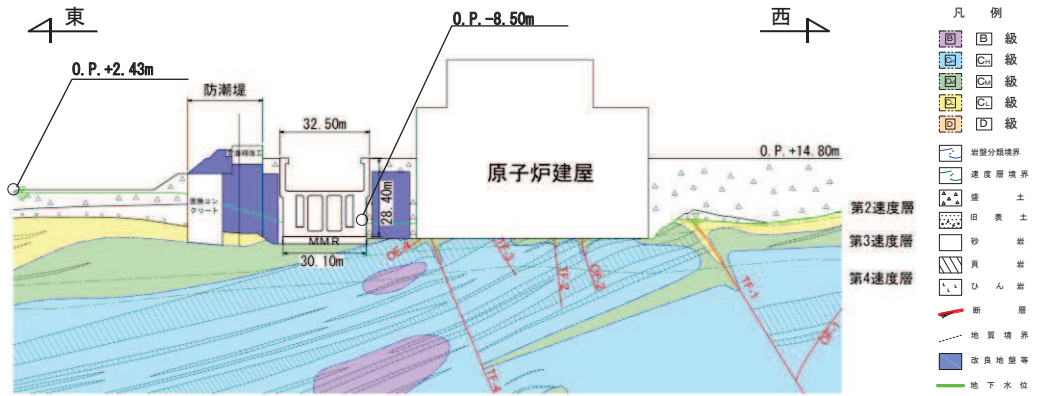


図 3-3 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部） 地震時荷重算出用地質断面図（B-B 断面）

O 2 ⑤ VI-2-2-12-2 R 1

3.2 解析方法

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の地震応答解析は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて設定する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる二次元有限要素法により、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析とする。原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、設計用地下水位は底版より低いことから解析手法は全応力解析とする。

構造部材のうち南北方向断面については、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）が規模及び重量共に大きい海水ポンプ室に懸架されており、海水ポンプ室と一体となって挙動することから海水ポンプ室の重量及び剛性となる平面応力要素を用いることとし、東西方向断面については添付書類「VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書」に示す補機ポンプエリアの断面のモデルとする。また、地盤については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「Soil Plus Ver. 2015 Build3」を使用する。なお、解析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。

3.2.1 構造部材

構造部材は、線形はり要素及び平面応力要素でモデル化する。

3.2.2 地盤物性及び材料物性のばらつき

地盤物性及び材料物性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-1 に示す解析ケースを設定する。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、両脇が地盤改良されており、主たる荷重は改良地盤等の土圧となることから、盛土、旧表土及び改良地盤の初期せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

初期せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて設定した解析ケース②及び③を実施することにより地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

また、材料物性のばらつきとして構造物の実強度に基づいて設定した解析ケース④を実施することにより、材料物性のばらつきの影響を考慮する。

詳細な解析ケースの考え方は、「3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定」に示す。

表 3-1 解析ケース

解析ケース	材料物性 (コンクリート) (E_0 : ヤング係数)	地盤物性	
		盛土, 旧表土 D級岩盤, 改良地盤 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	C _L 級岩盤, C _M 級岩盤, C _H 級岩盤, B級岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	設計基準強度	平均値	平均値
ケース②	設計基準強度	平均値+1 σ	平均値
ケース③	設計基準強度	平均値-1 σ	平均値
ケース④	実強度に基づく 圧縮強度*	平均値	平均値

注記*: 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

3.2.3 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。固有値解析結果に基づき設定した α 、 β を表 3-2 に示す。

$$[c] = \alpha [m] + \beta [k]$$

[c] : 減衰係数マトリックス

[m] : 質量マトリックス

[k] : 剛性マトリックス

α , β : 係数

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数 α 、 β の設定結果

地震時荷重算出断面	α	β
A-A 断面	5.416×10^{-1}	5.540×10^{-4}
B-B 断面	5.519×10^{-1}	5.440×10^{-4}

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

耐震評価においては、すべての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて、表 3-1 に示す解析ケース②～④を実施する。また、上記解析ケースの結果を踏まえ、更に照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-3 に示す。

表 3-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	材料物性（コンクリート）に実強度を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ	平均値
材料物性		設計基準強度	設計基準強度	設計基準強度	実強度に基づく圧縮強度*2
地震動（位相）	$S_s - D 1$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - D 2$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - D 3$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - F 1$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - F 2$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - F 3$	++*1	○		
		-+*1	○		
	$S_s - N 1$	++*1	○		
		-+*1	○		

【追加解析ケースについて】
 基準地震動 S_s （7波）に水平動の位相反転を考慮した地震動（7波）を加えた全 14 波に対し、全応力解析による基本ケース①を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊、基礎地盤の支持力照査の各照査項目に照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい（許容限界に対する裕度が最も小さい）地震動を用いてケース②～④を実施する。
 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合には、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②～④を実施する。
 また、上記解析ケースの結果を踏まえ、更に照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析ケースを実施する。

注記*1：耐震評価にあたっては、「土木学会 2005 年 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル」（以下「土木学会マニュアル」という。）に従い、水平方向の位相反転を考慮する。地震動の位相について、++の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2：既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪を考慮する。埋設構造物であるため風の影響は考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重（P）

積載荷重として、積雪荷重 P_s を含めて地表面に 4.9kN/m^2 を考慮する。

(3) 積雪荷重（ P_s ）

積雪荷重として、発電所の最寄りの気象官署である石巻特別地域気象観測所で観測された月最深積雪の最大値である 43cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した値を設定する。また、建築基準法施行令第86条第2項により、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮する。

(4) 地震荷重（ S_s ）

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-4 に示す。

表 3-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重 P_s を含めて 4.9kN/m^2 を地表面に考慮)

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

3.4 入力地震動

入力地震動は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元重複反射理論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3-4 に入力地震動算定の概念図を、図 3-5～図 3-18 に A-A 断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを、図 3-19～図 3-32 に B-B 断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「Ark Quake Ver3.10」を使用する。

解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、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。

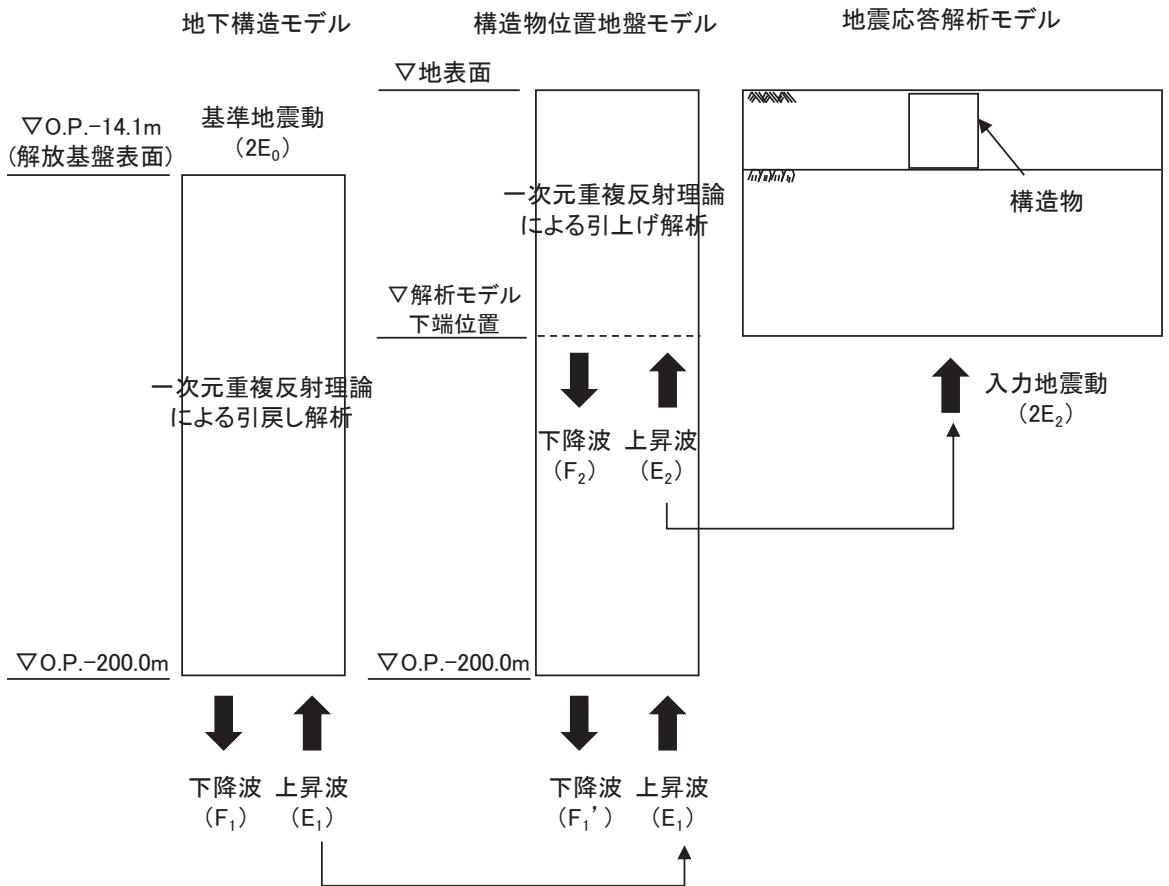
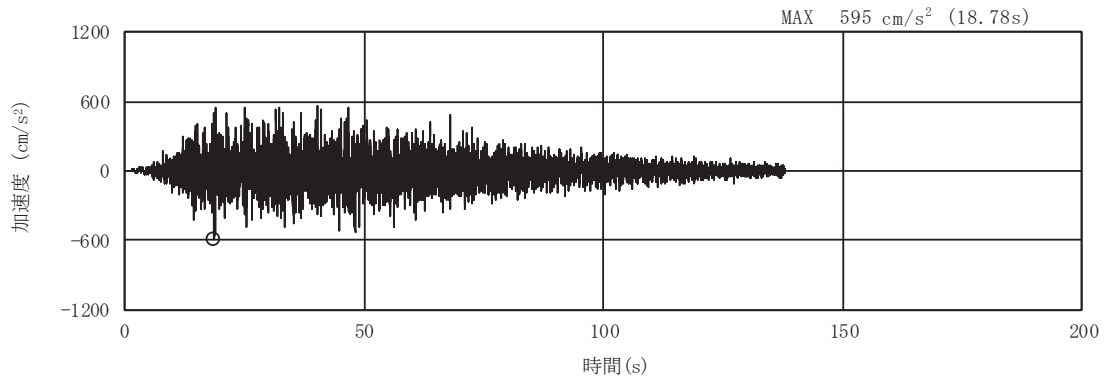
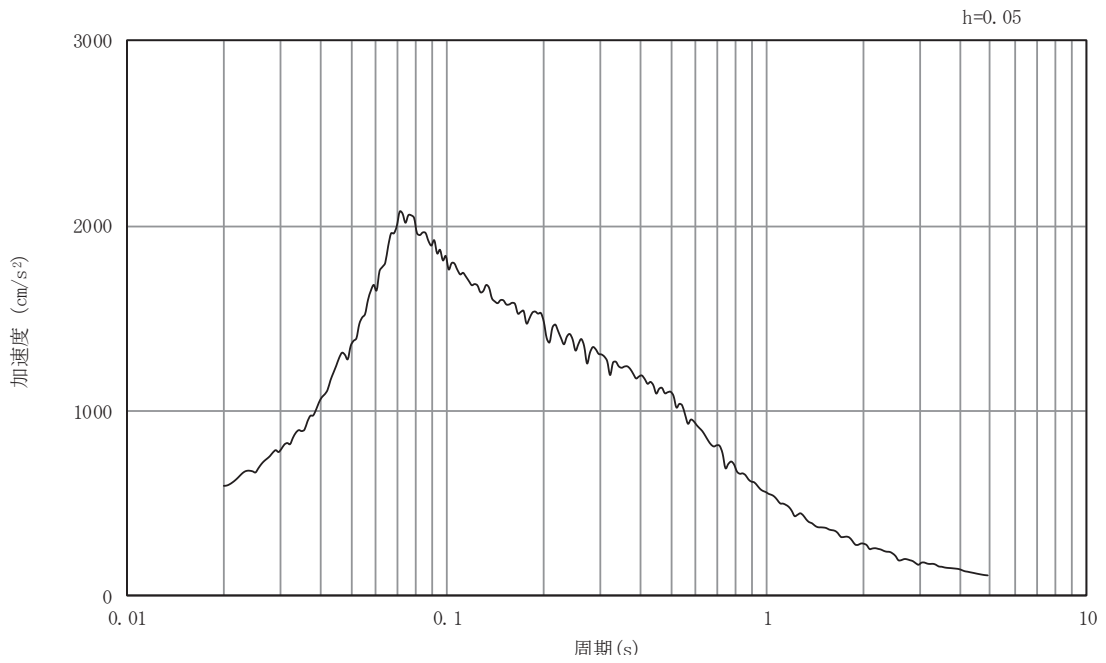


図 3-4 入力地震動算定の概念図

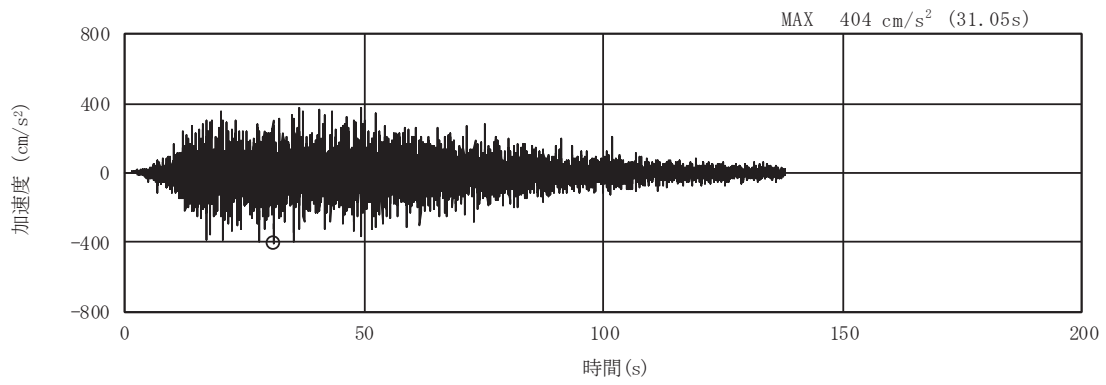


(a) 加速度時刻歴波形

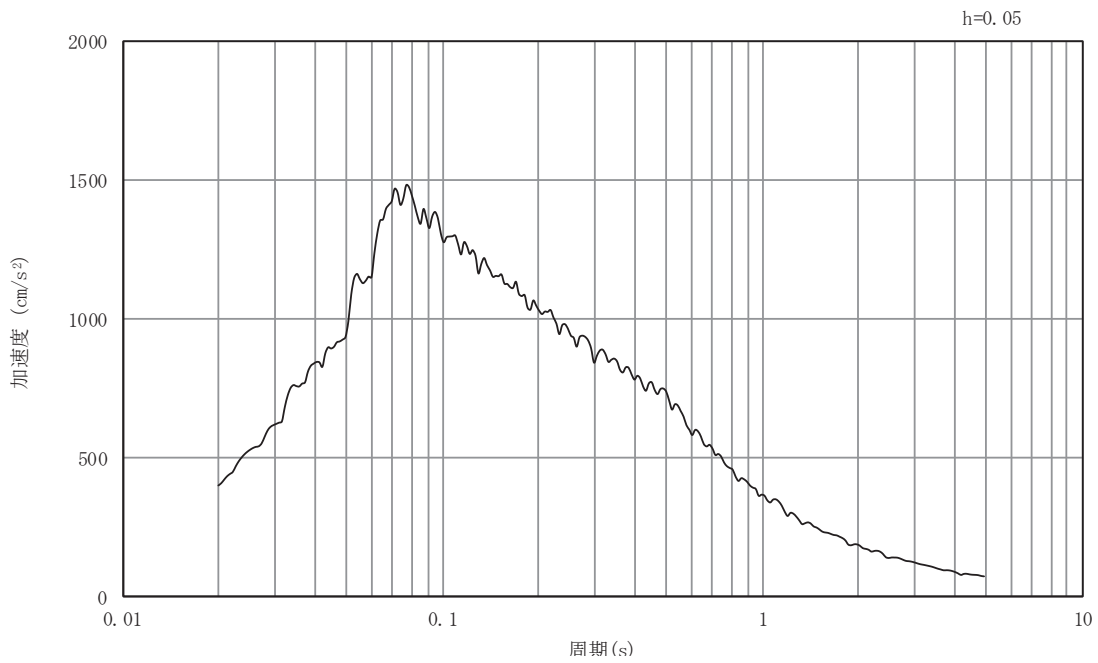


(b) 加速度応答スペクトル

図3-5 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(A-A断面, 水平成分: S s - D 1)

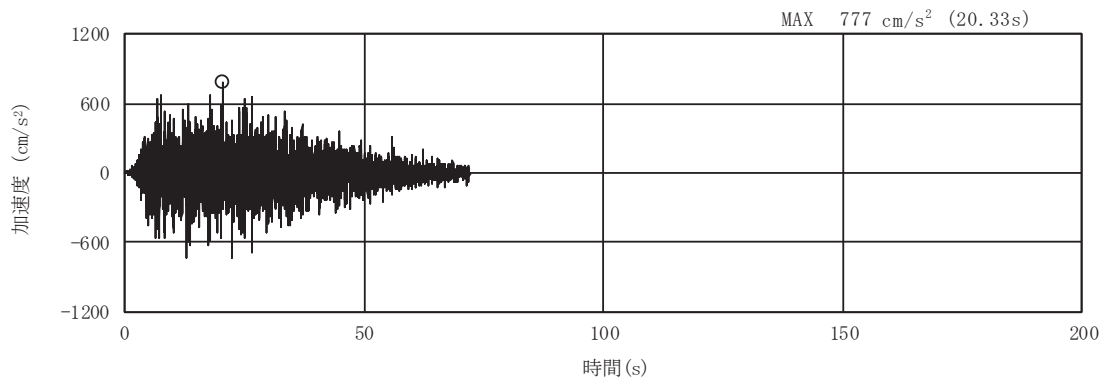


(a) 加速度時刻歴波形

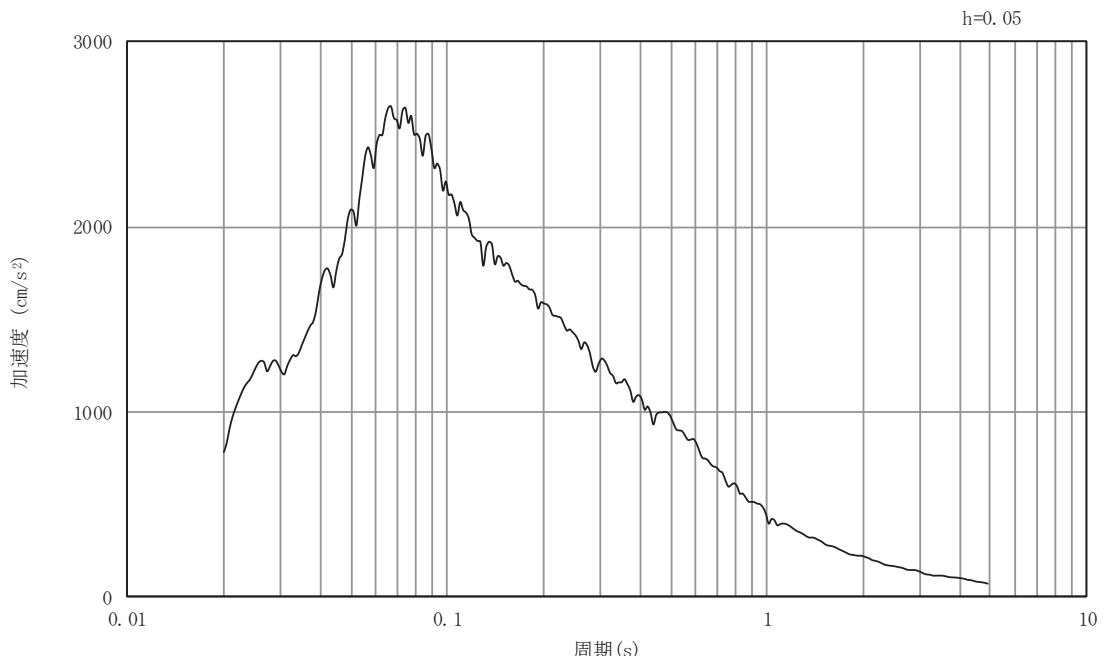


(b) 加速度応答スペクトル

図3-6 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(A-A断面, 鉛直成分: S s - D 1)

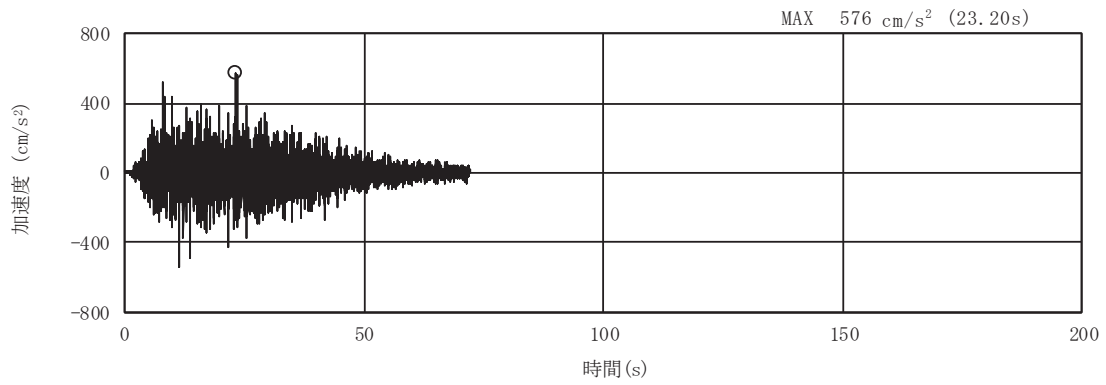


(a) 加速度時刻歴波形

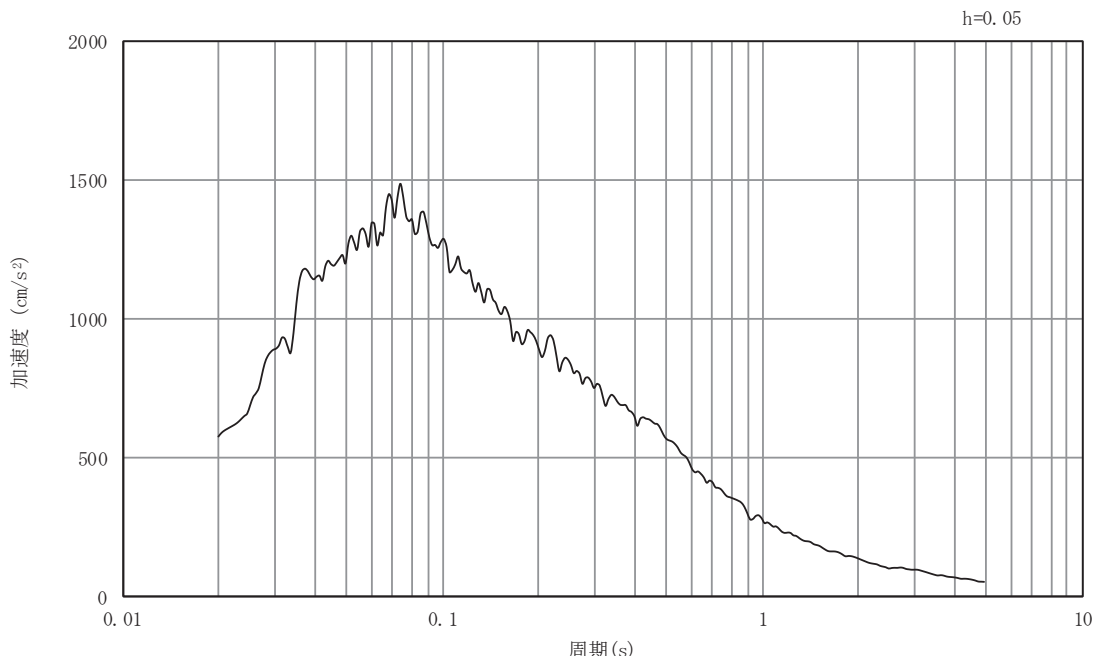


(b) 加速度応答スペクトル

図3-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(A-A断面, 水平成分: S s - D 2)

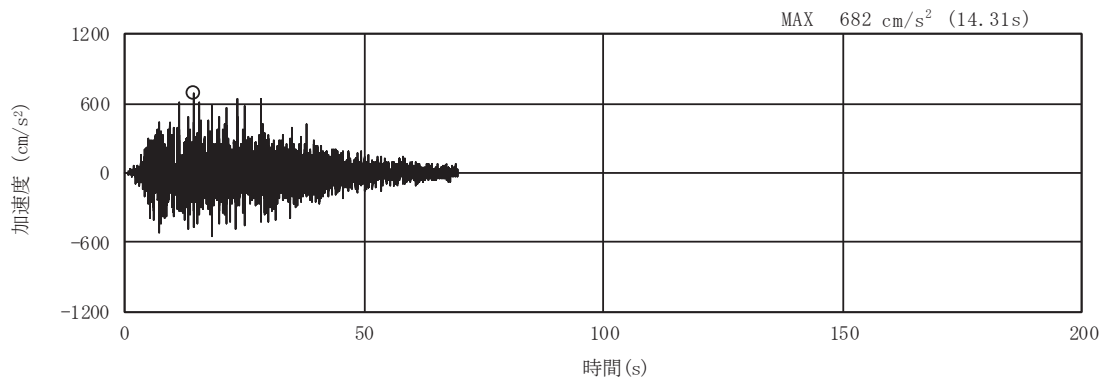


(a) 加速度時刻歴波形

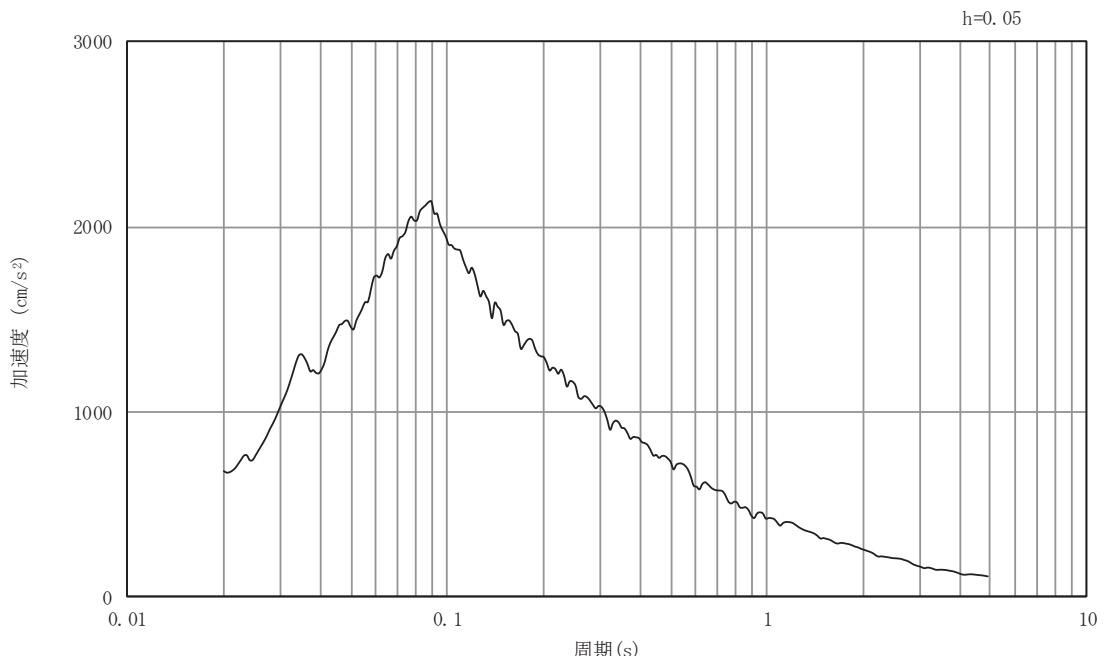


(b) 加速度応答スペクトル

図3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(A-A断面, 鉛直成分: S s - D 2)

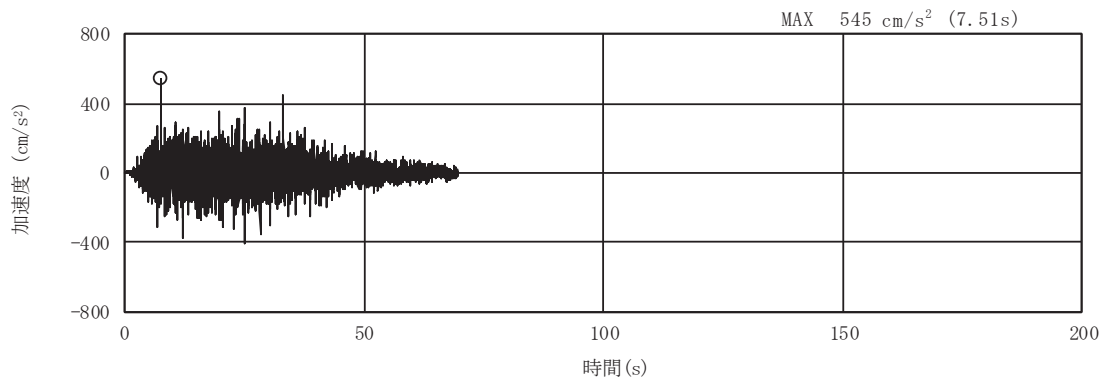


(a) 加速度時刻歴波形

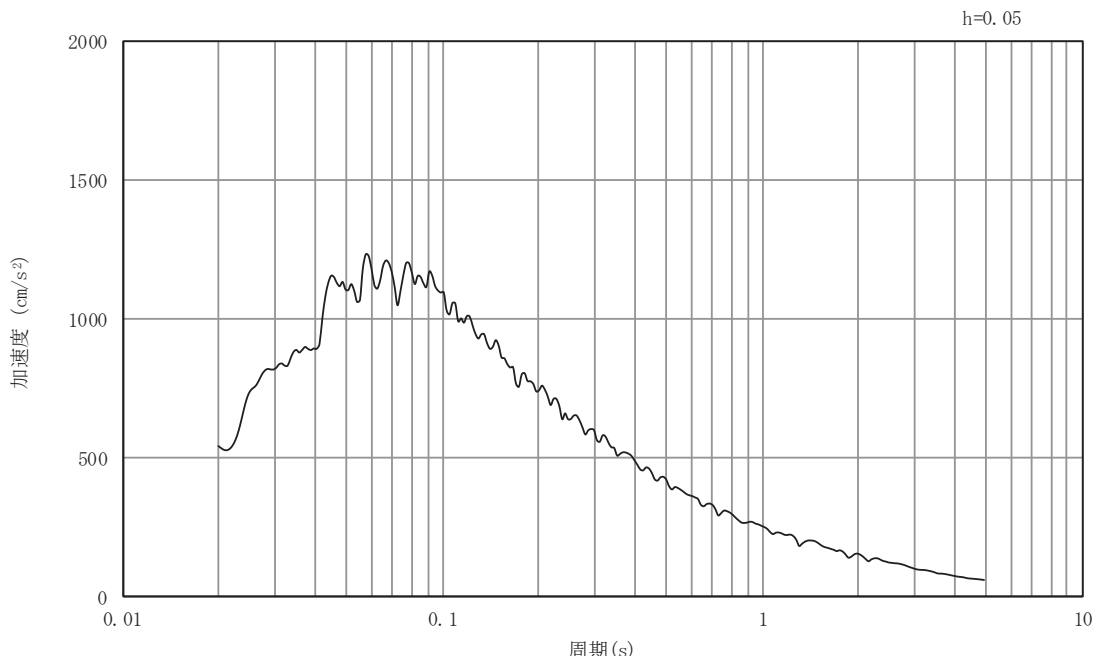


(b) 加速度応答スペクトル

図3-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(A-A断面, 水平成分: S s - D 3)

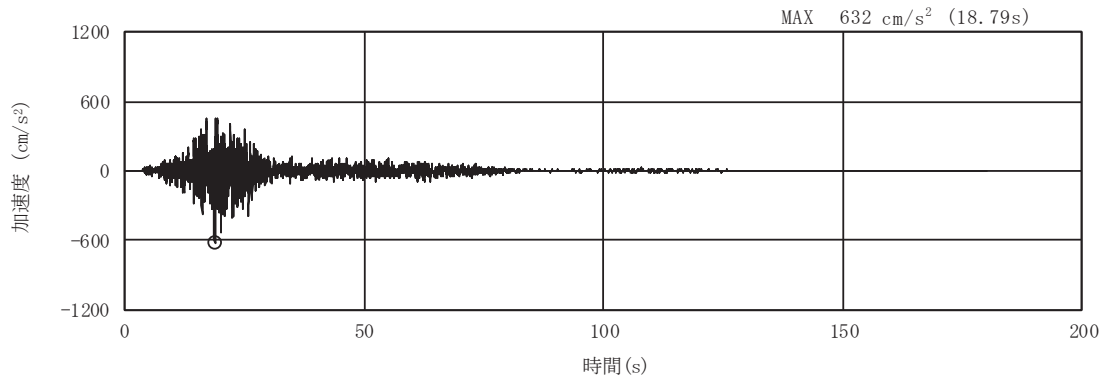


(a) 加速度時刻歴波形

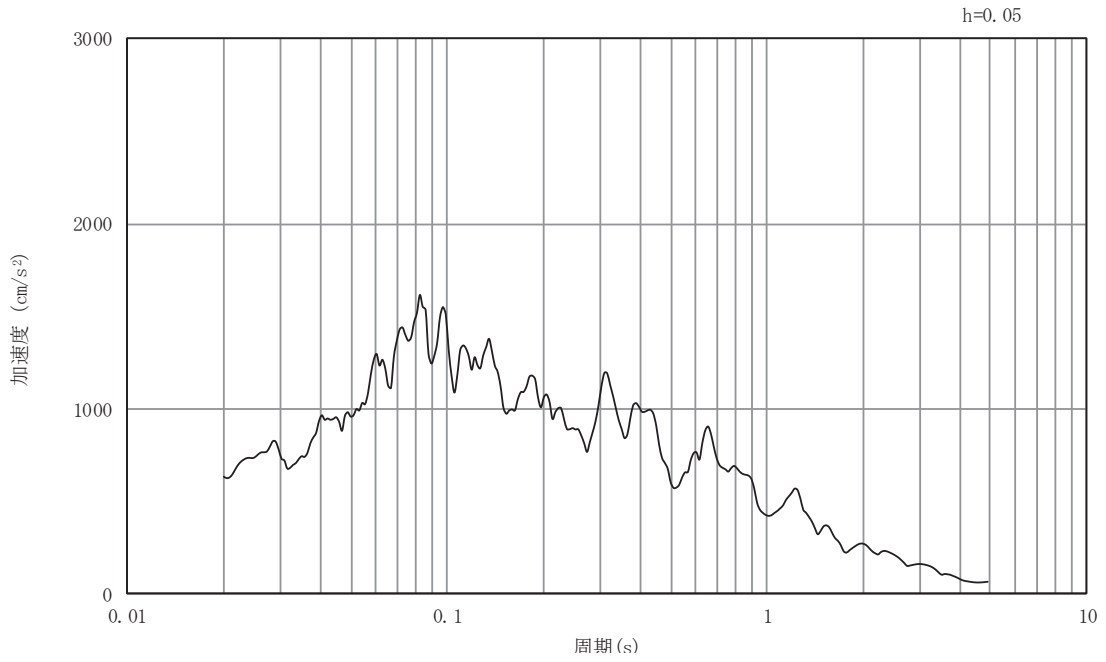


(b) 加速度応答スペクトル

図3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(A-A断面, 鉛直成分: S s - D 3)

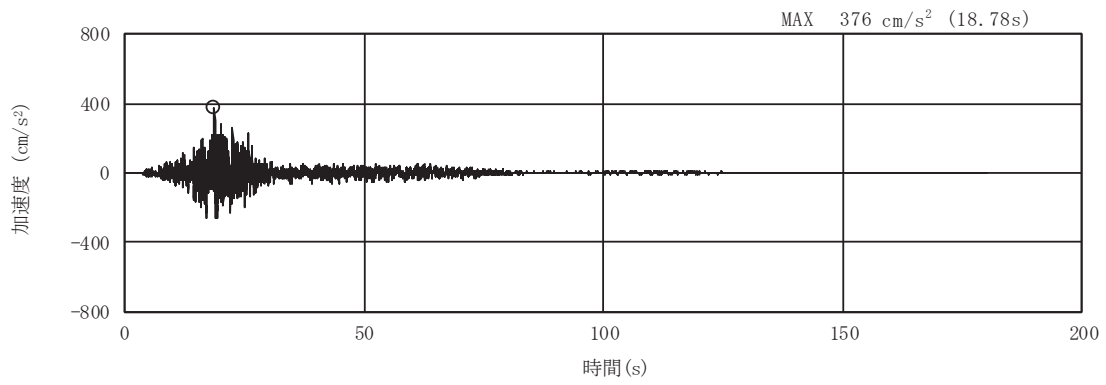


(a) 加速度時刻歴波形

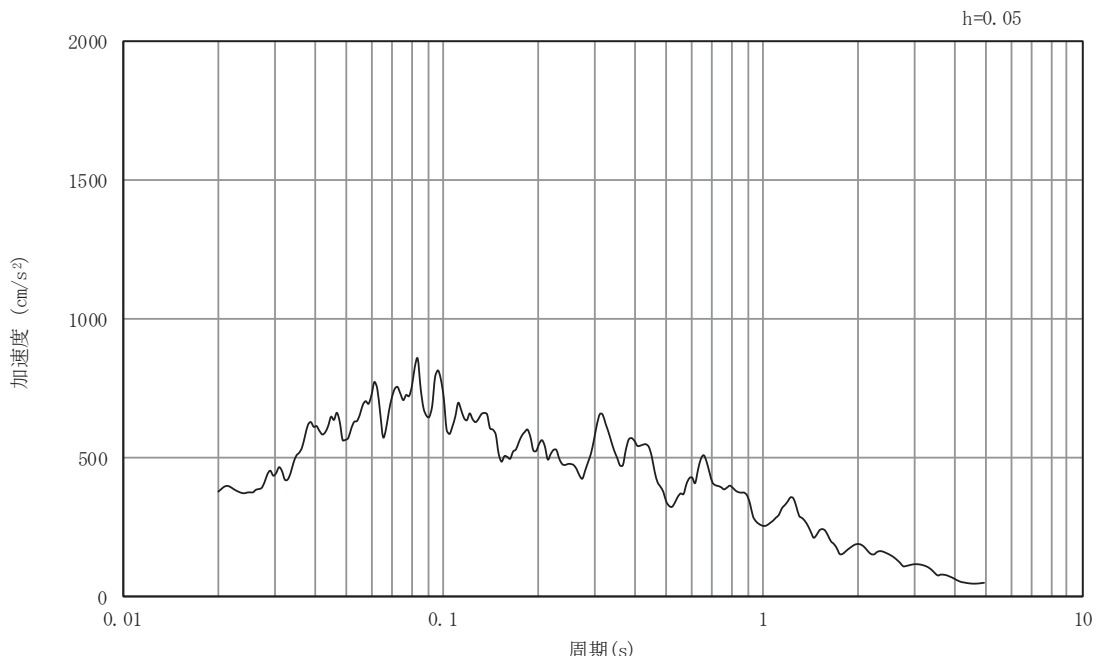


(b) 加速度応答スペクトル

図3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(A-A断面, 水平成分: S s - F 1)

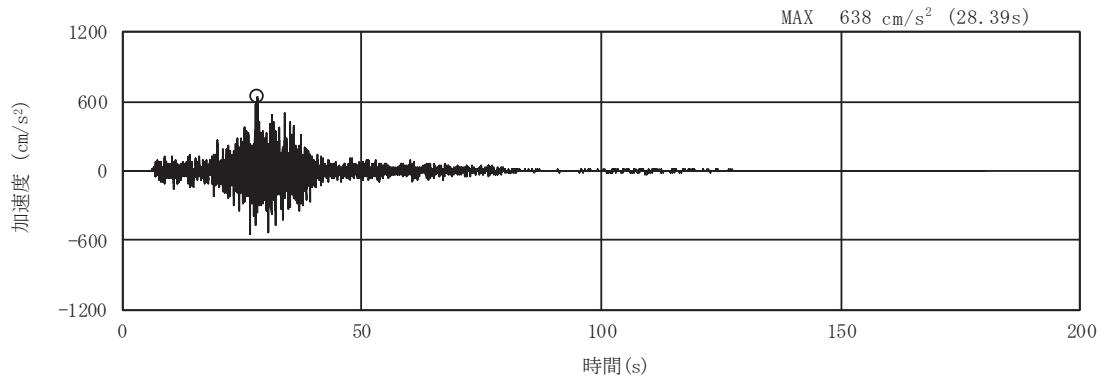


(a) 加速度時刻歴波形

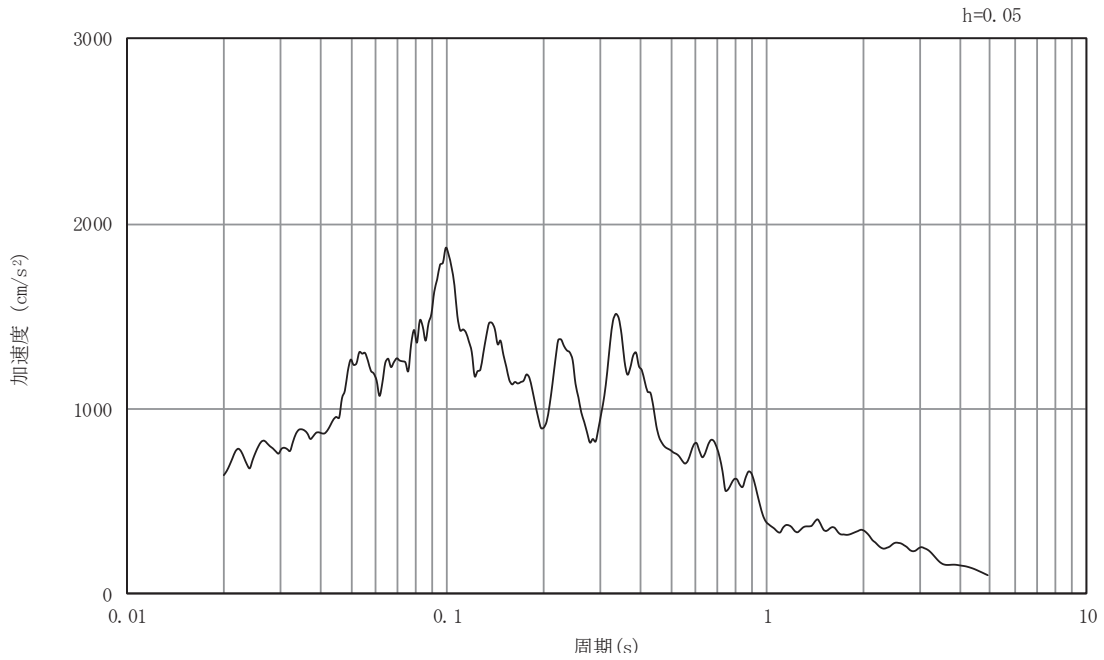


(b) 加速度応答スペクトル

図3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(A-A断面，鉛直成分：S s - F 1)

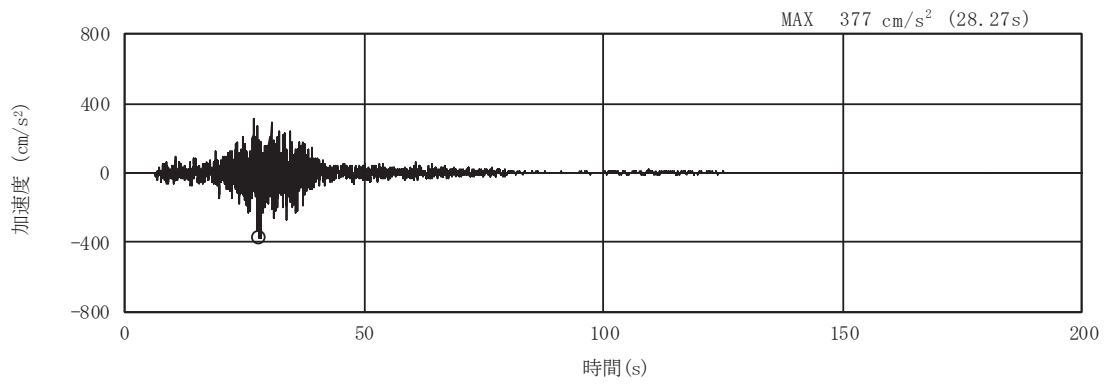


(a) 加速度時刻歴波形

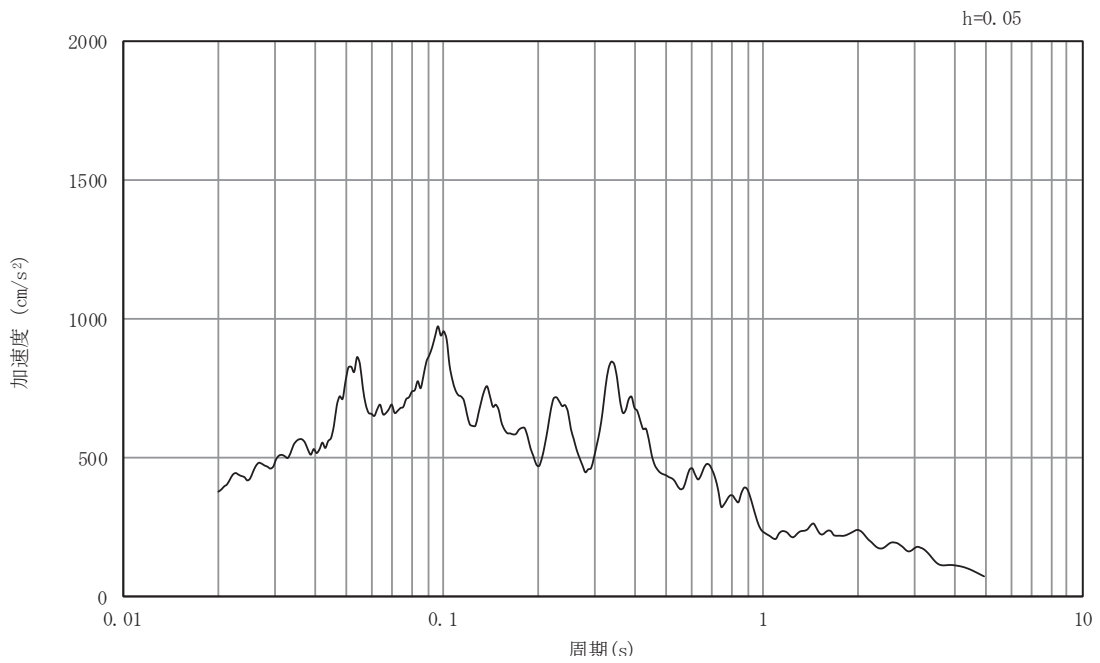


(b) 加速度応答スペクトル

図3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(A-A断面, 水平成分: S s - F 2)

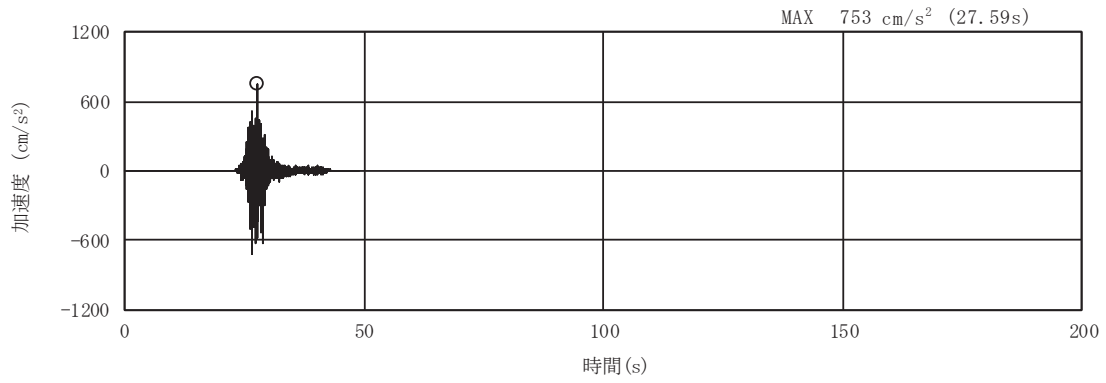


(a) 加速度時刻歴波形

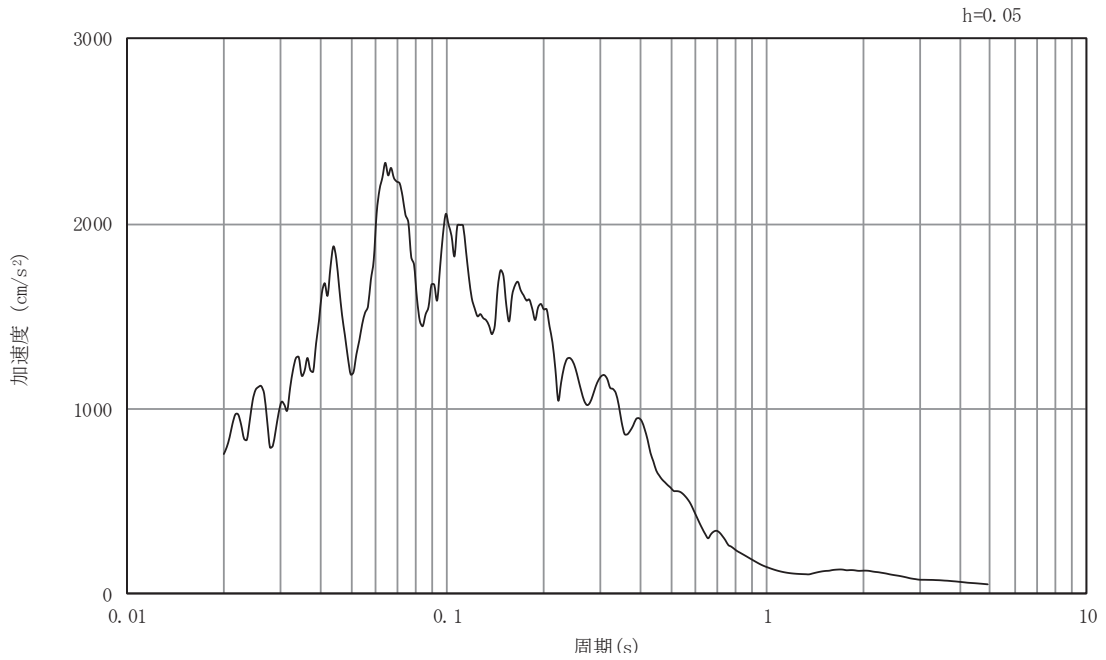


(b) 加速度応答スペクトル

図3-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(A-A断面, 鉛直成分: S s - F 2)

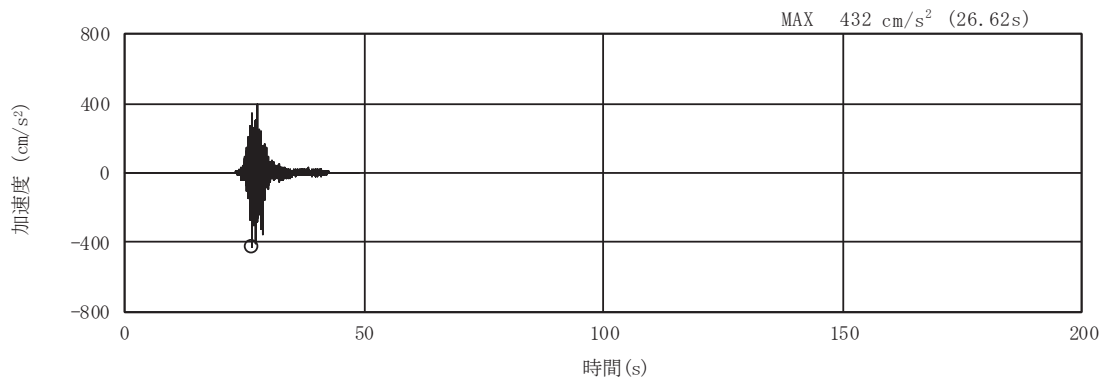


(a) 加速度時刻歴波形

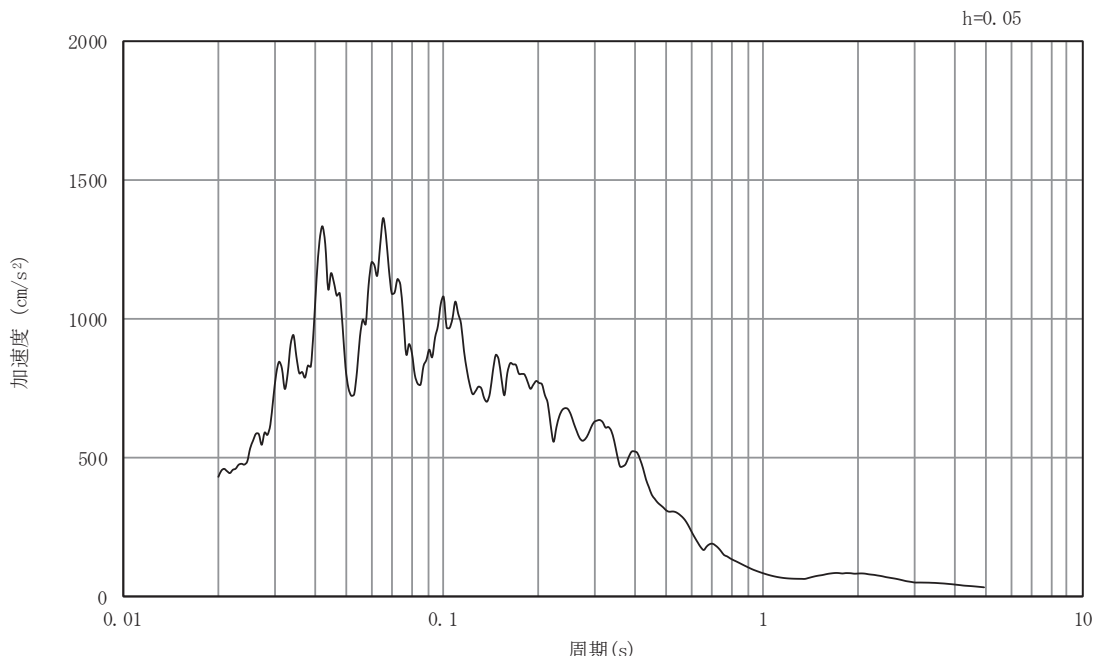


(b) 加速度応答スペクトル

図3-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(A-A断面, 水平成分: S s - F 3)

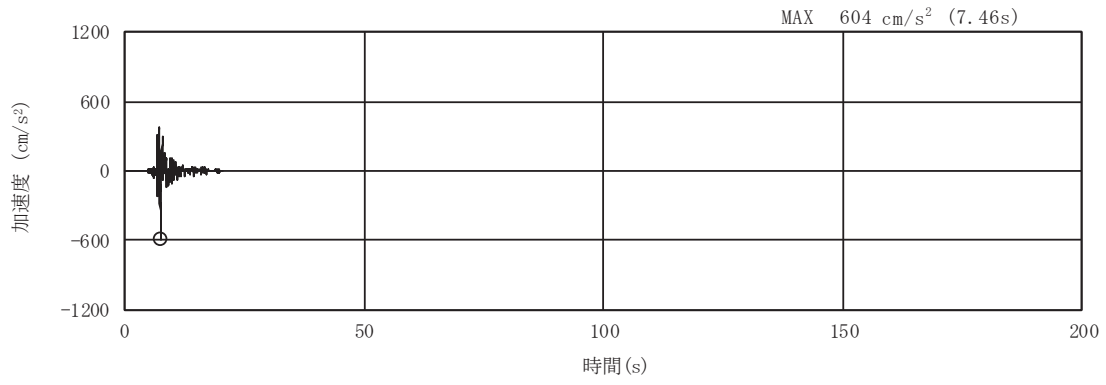


(a) 加速度時刻歴波形

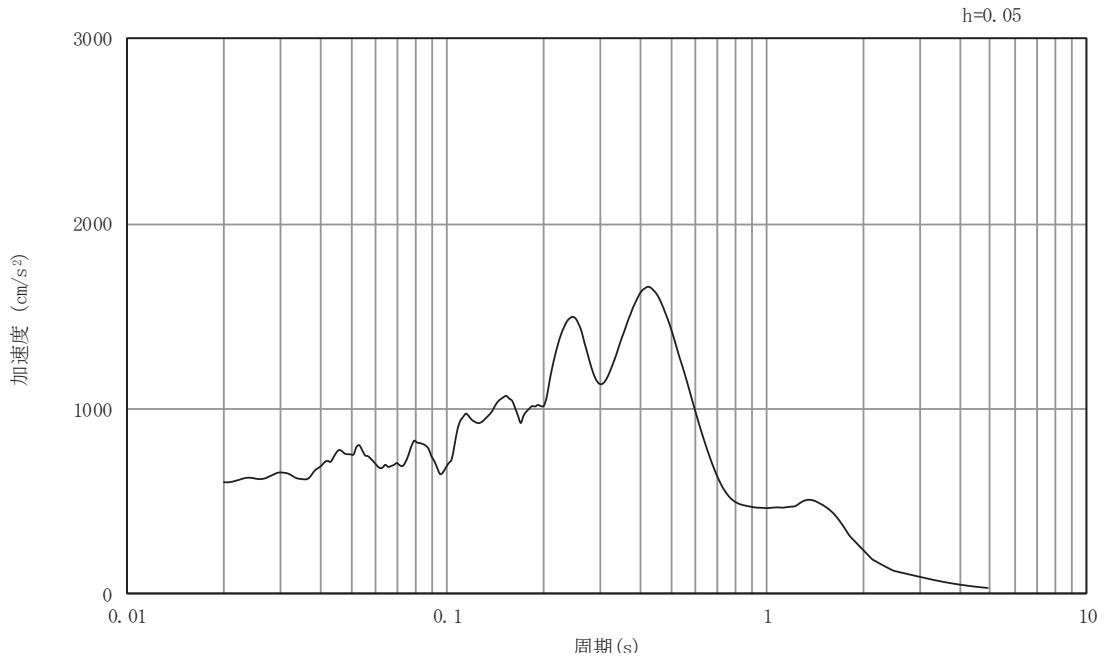


(b) 加速度応答スペクトル

図3-16 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(A-A断面, 鉛直成分: S s - F 3)

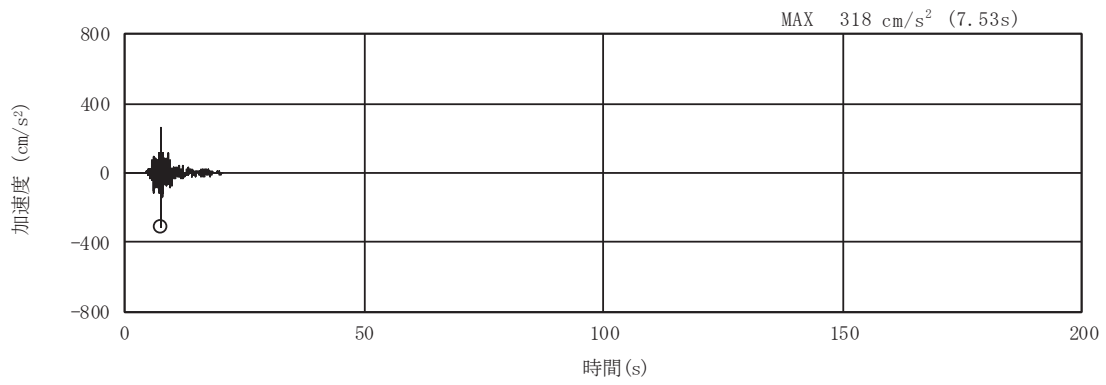


(a) 加速度時刻歴波形

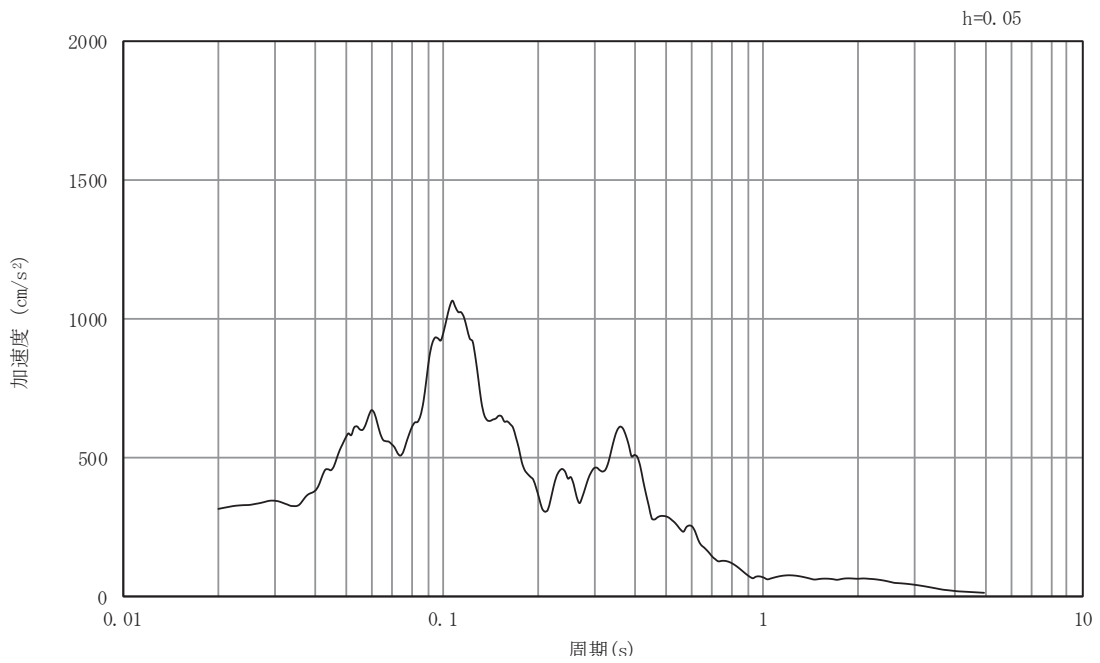


(b) 加速度応答スペクトル

図3-17 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(A-A断面, 水平成分: S s - N 1)

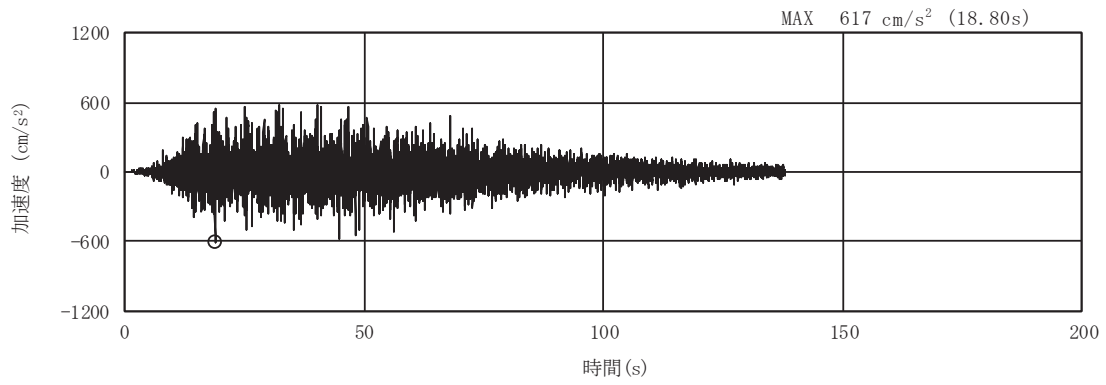


(a) 加速度時刻歴波形

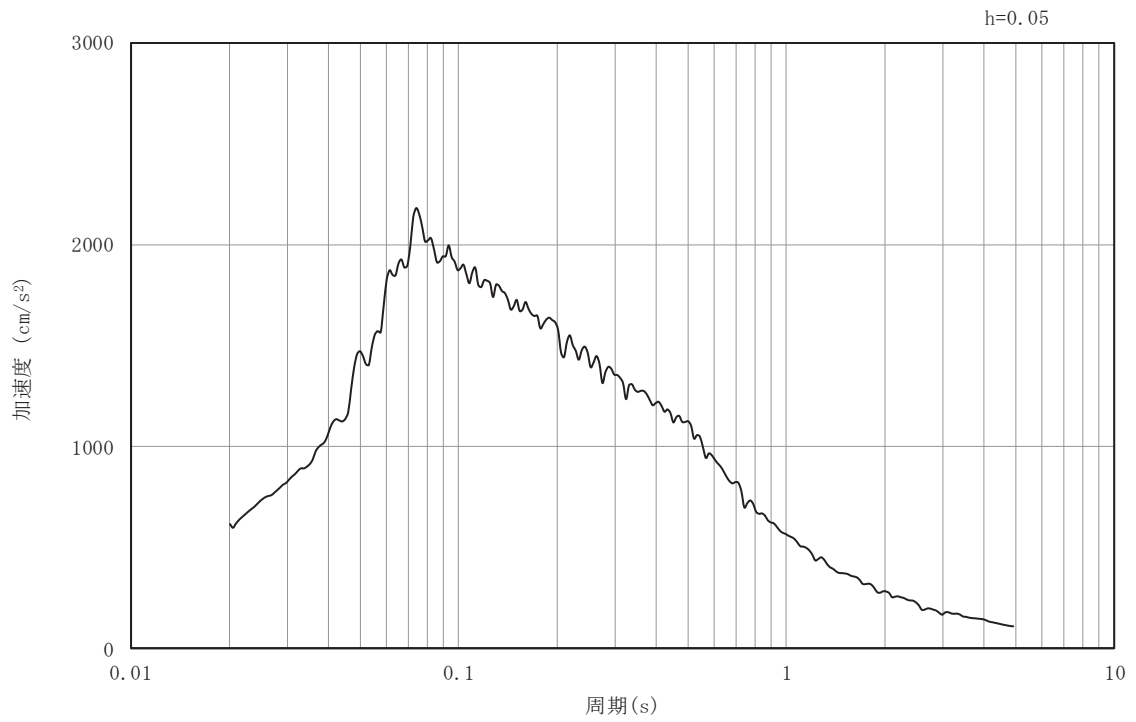


(b) 加速度応答スペクトル

図3-18 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(A-A断面, 鉛直成分: S s - N 1)

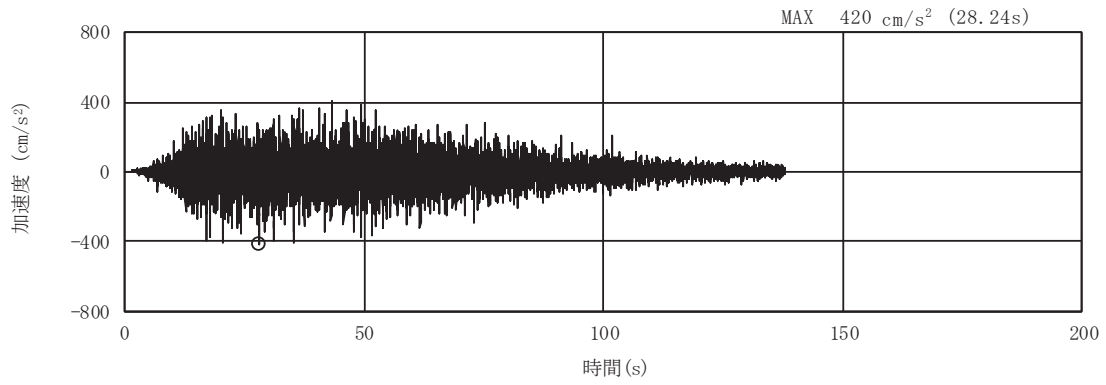


(a) 加速度時刻歴波形

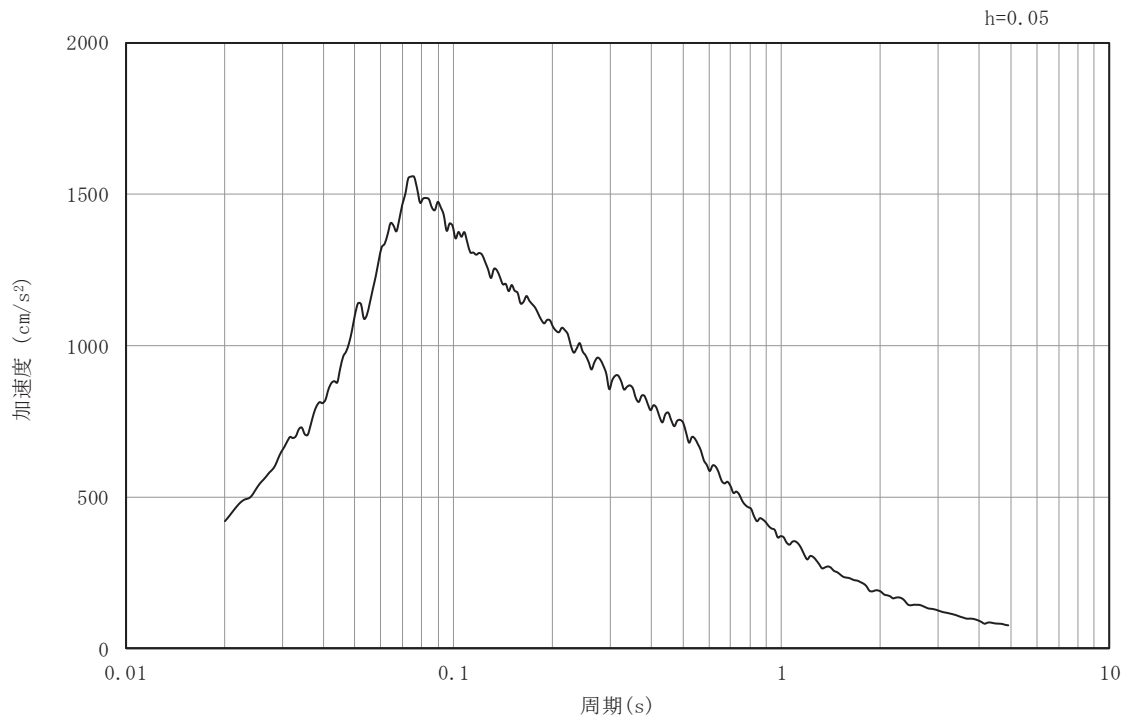


(b) 加速度応答スペクトル

図3-19 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(B-B断面, 水平成分: S s - D 1)

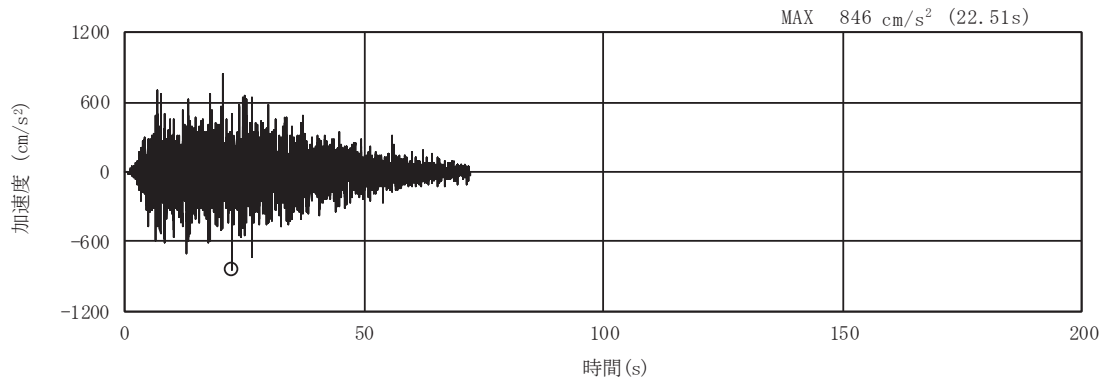


(a) 加速度時刻歴波形

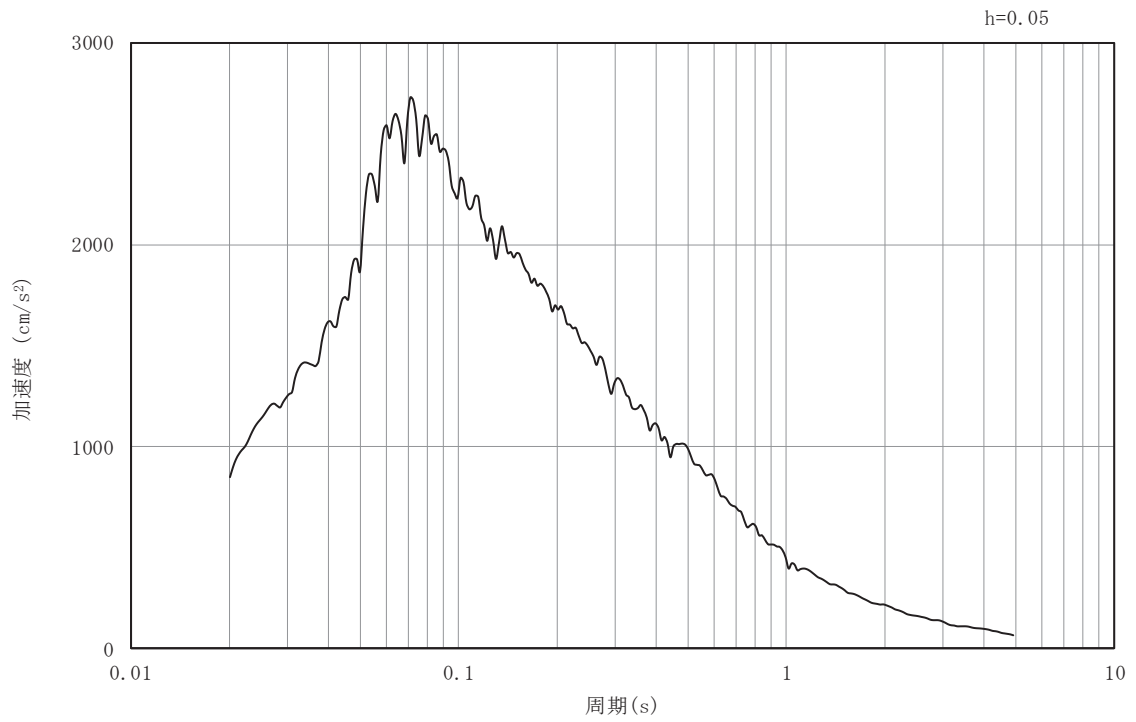


(b) 加速度応答スペクトル

図3-20 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(B-B断面, 鉛直成分: S s - D 1)

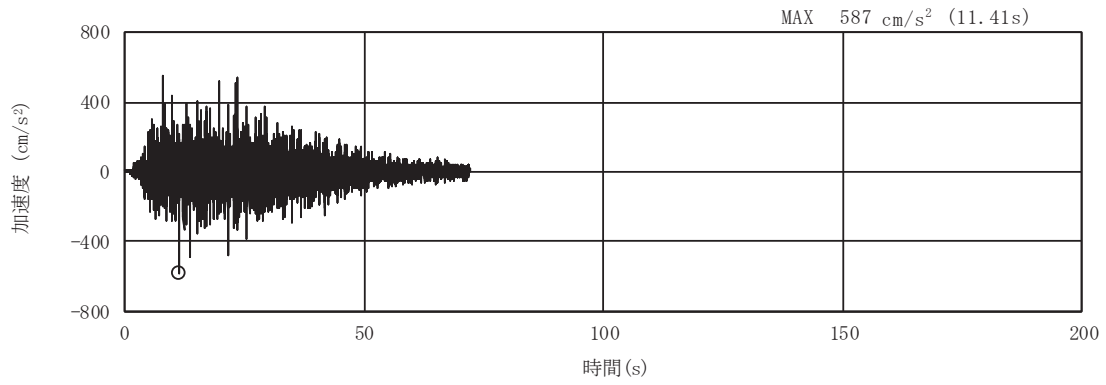


(a) 加速度時刻歴波形

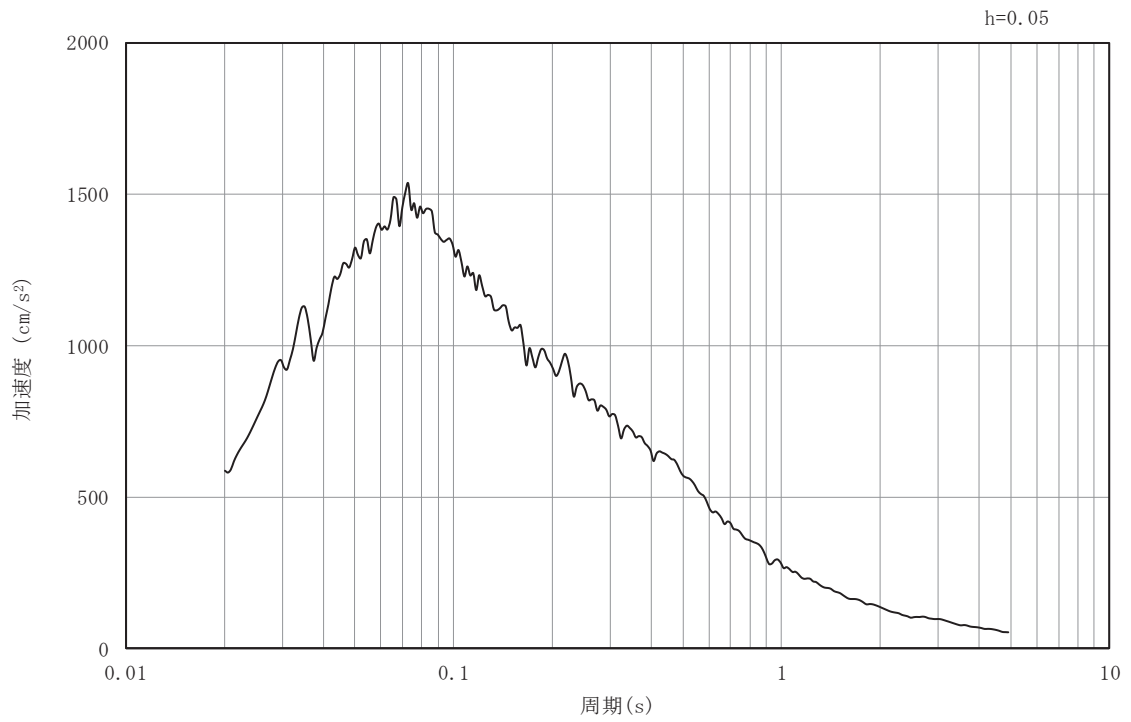


(b) 加速度応答スペクトル

図3-21 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(B-B断面, 水平成分: S s - D 2)

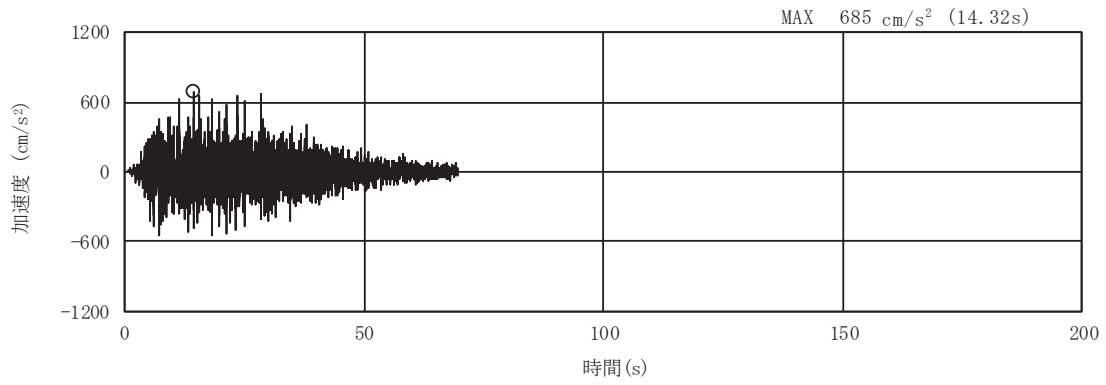


(a) 加速度時刻歴波形

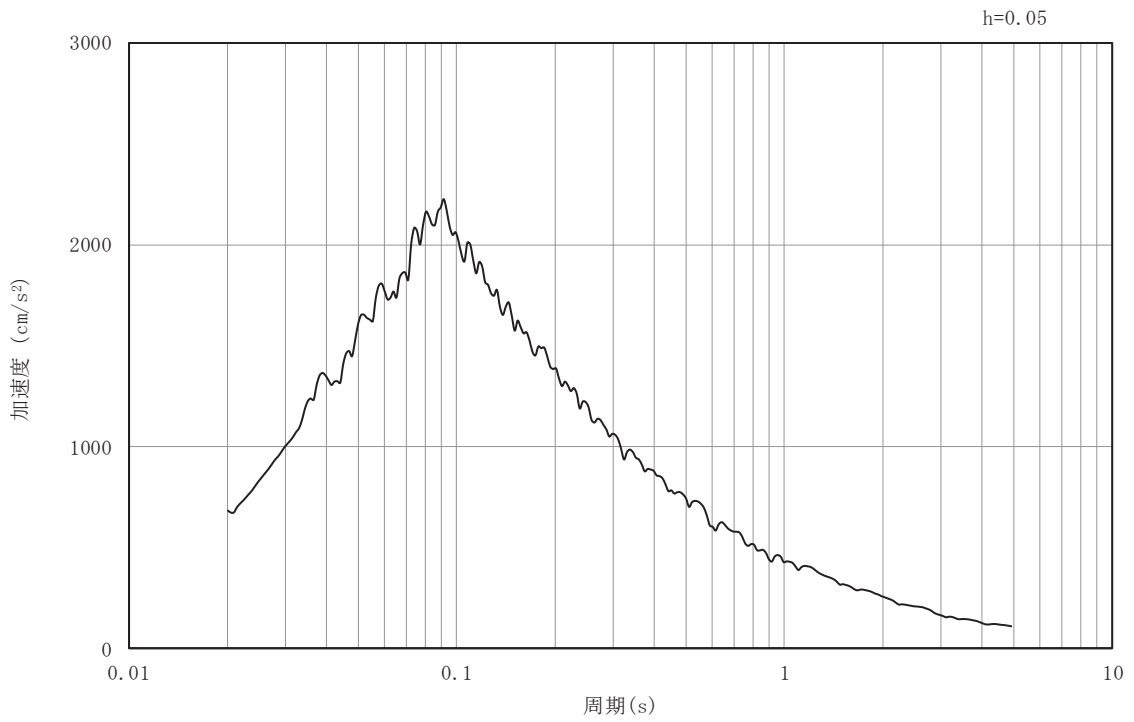


(b) 加速度応答スペクトル

図3-22 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(B-B断面, 鉛直成分: S s - D 2)

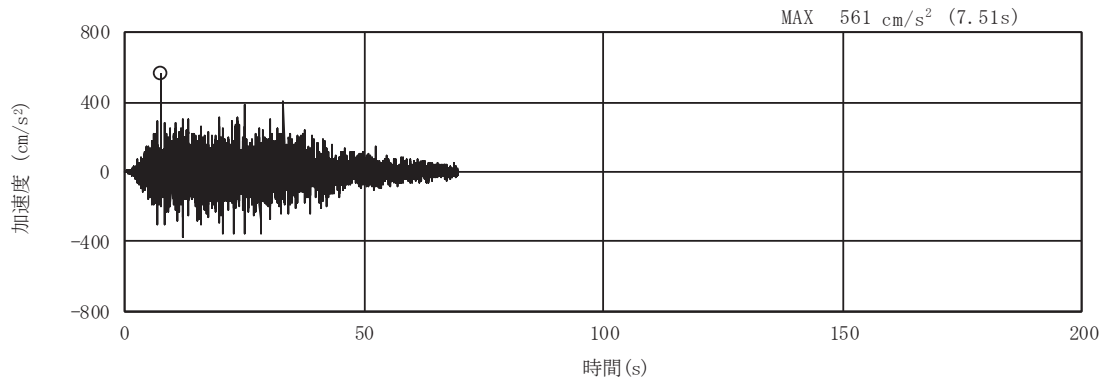


(a) 加速度時刻歴波形

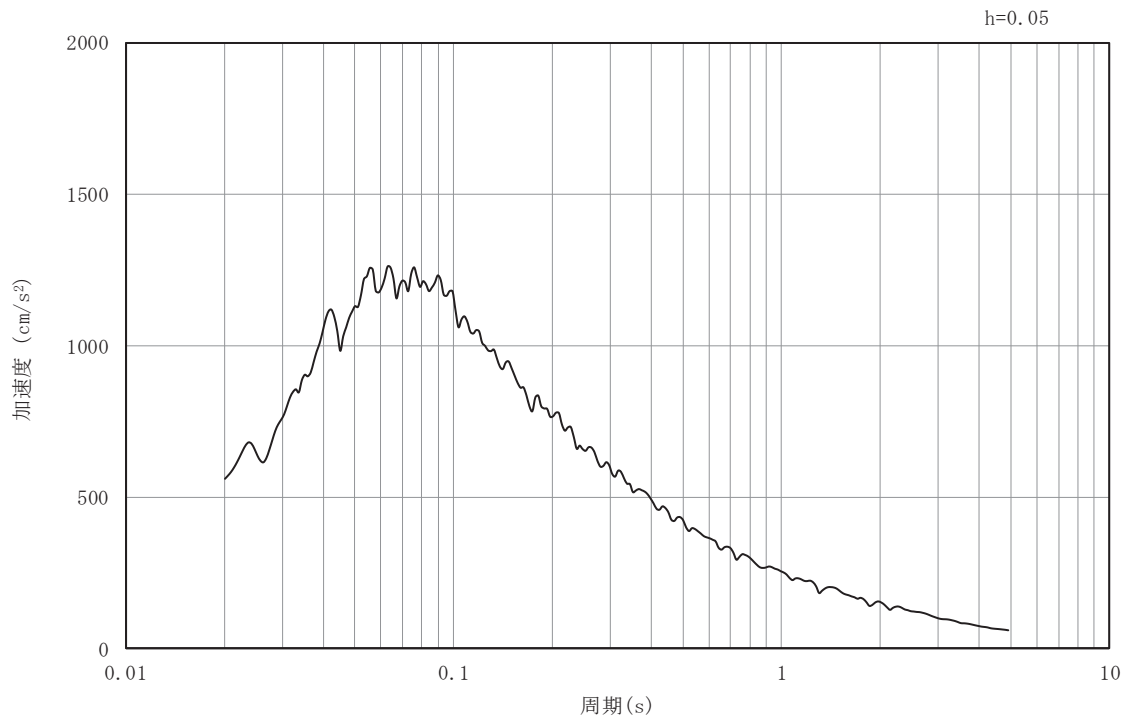


(b) 加速度応答スペクトル

図3-23 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(B-B断面, 水平成分: S s - D 3)

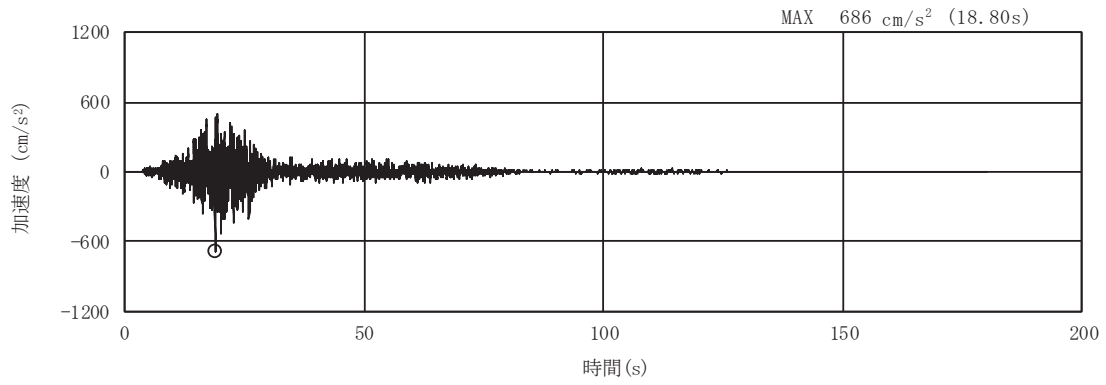


(a) 加速度時刻歴波形

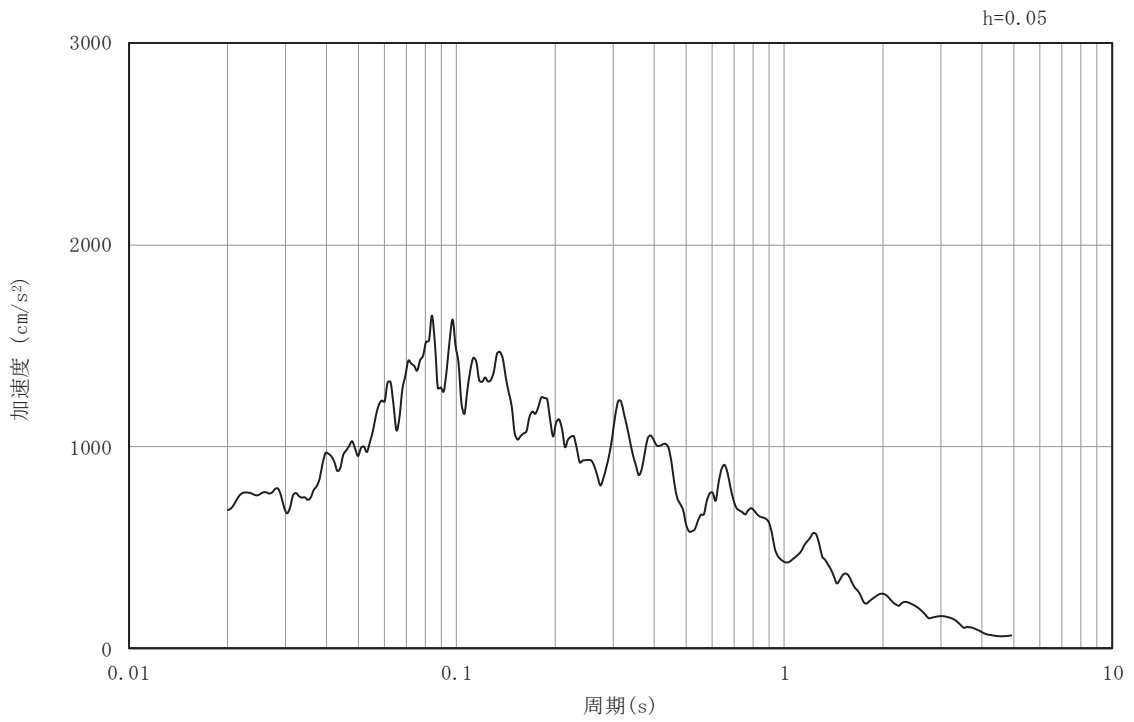


(b) 加速度応答スペクトル

図3-24 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(B-B断面, 鉛直成分: S s - D 3)

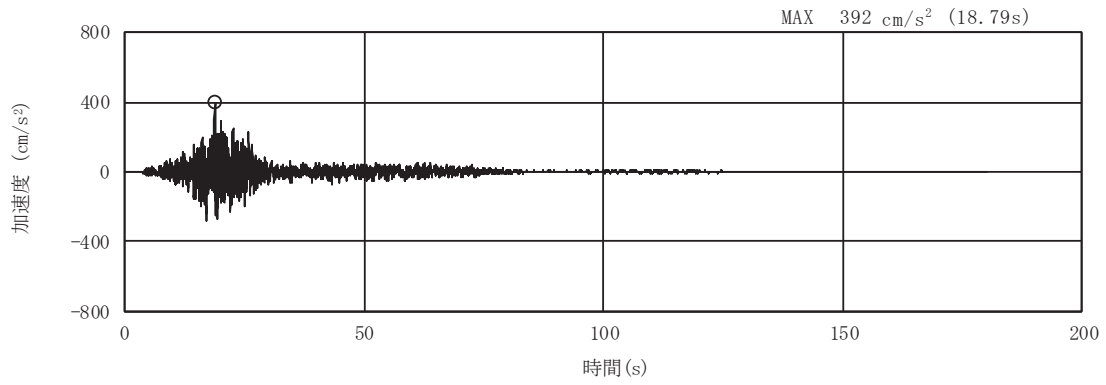


(a) 加速度時刻歴波形

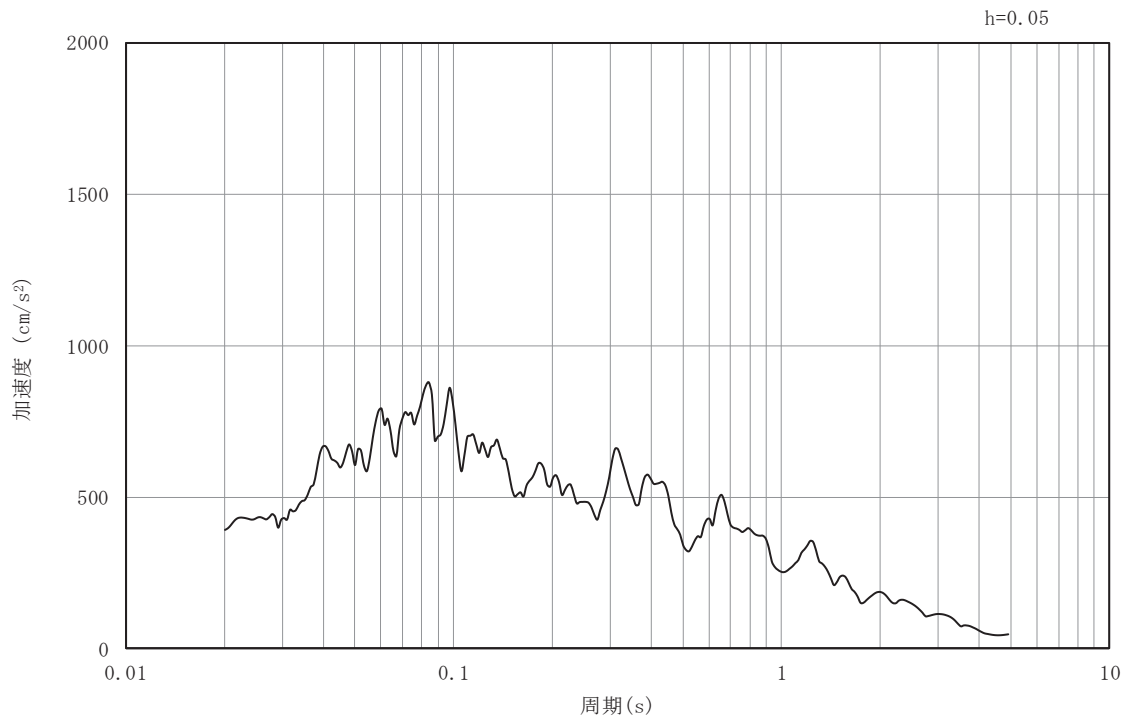


(b) 加速度応答スペクトル

図3-25 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(B-B断面, 水平成分: S s - F 1)

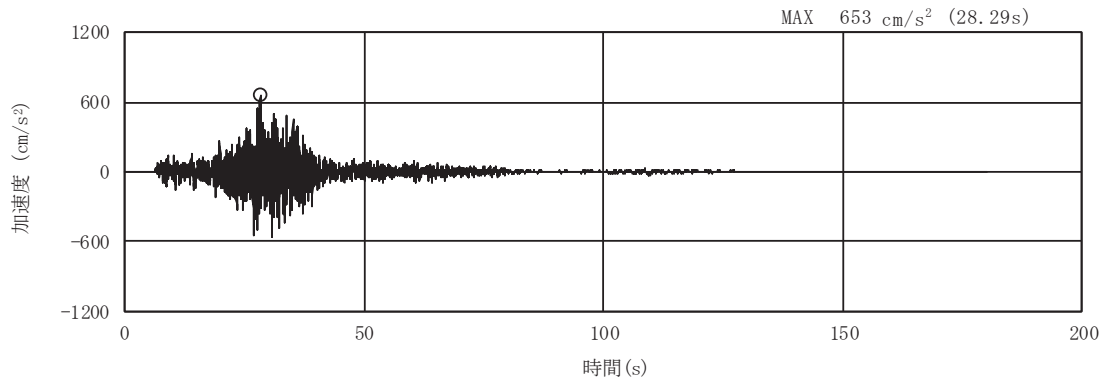


(a) 加速度時刻歴波形

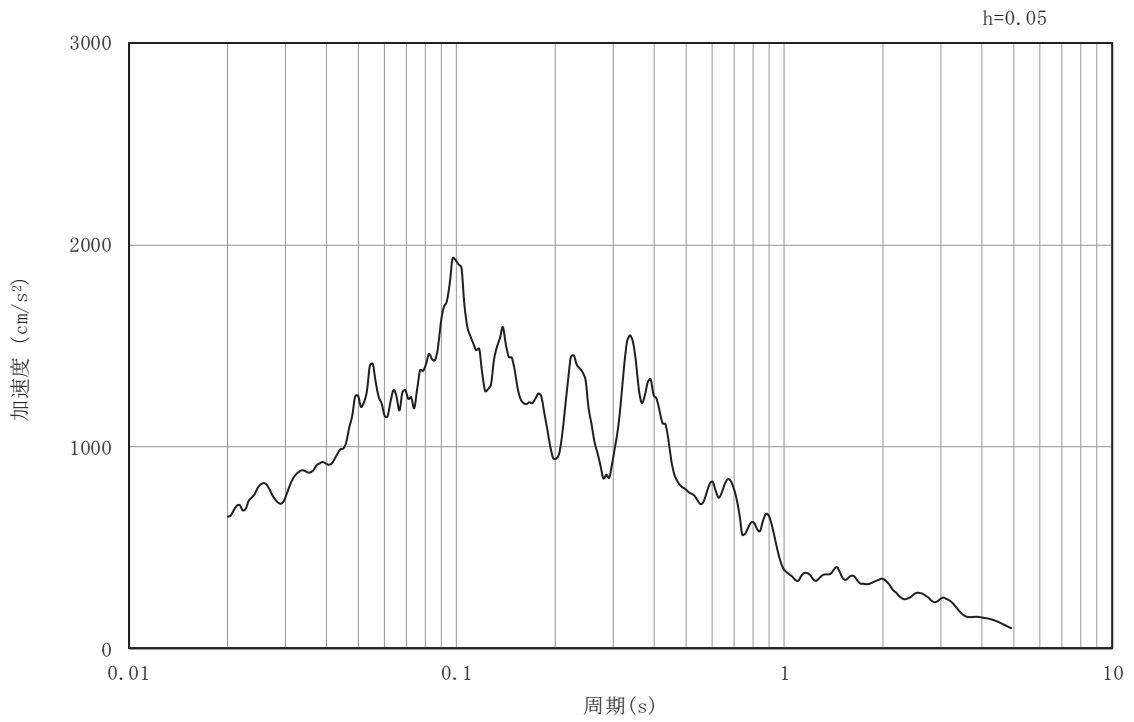


(b) 加速度応答スペクトル

図3-26 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(B-B断面, 鉛直成分: S s - F 1)

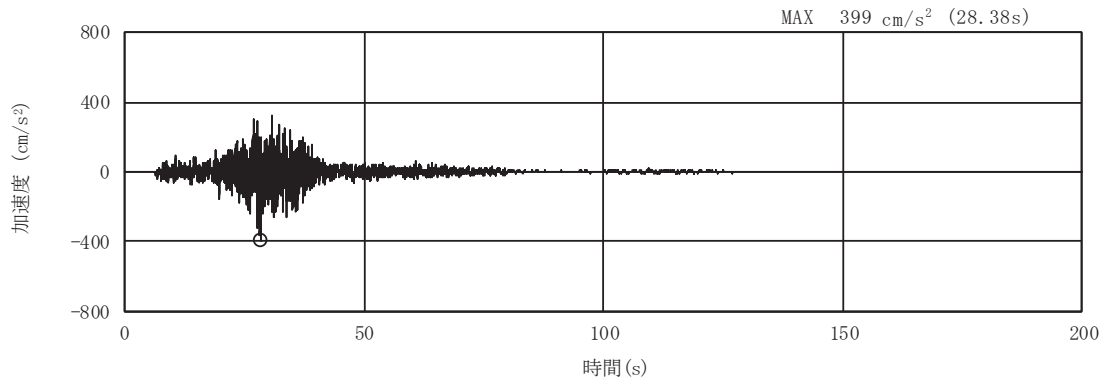


(a) 加速度時刻歴波形

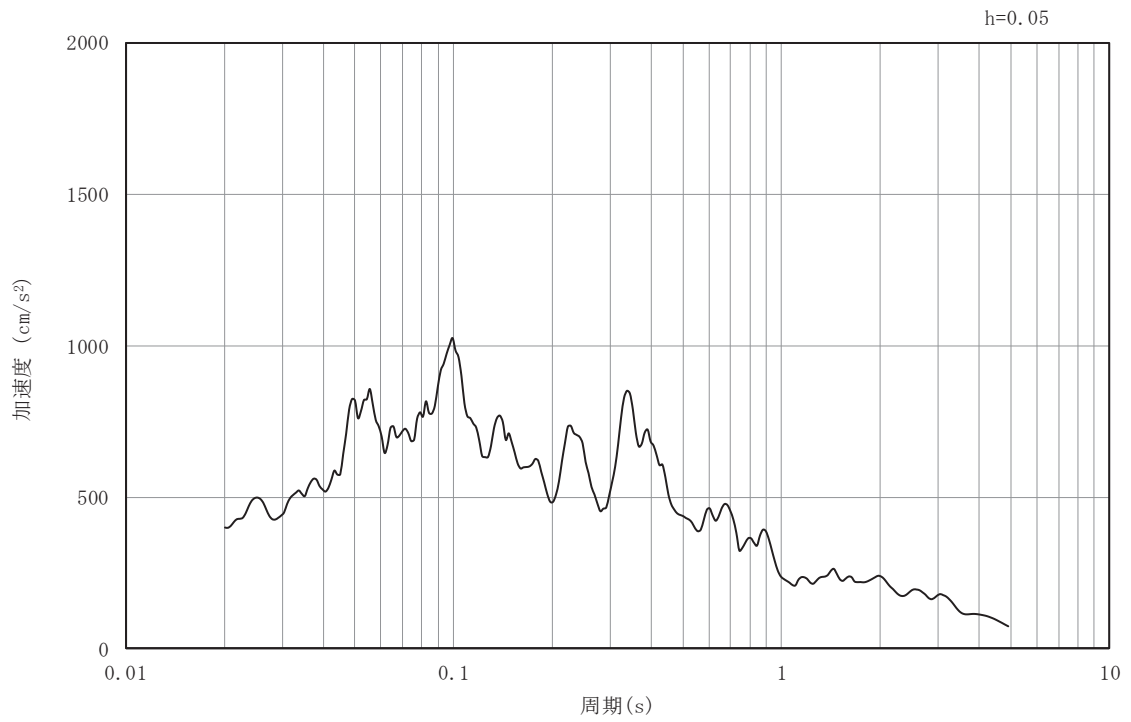


(b) 加速度応答スペクトル

図3-27 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(B-B断面, 水平成分: S s - F 2)

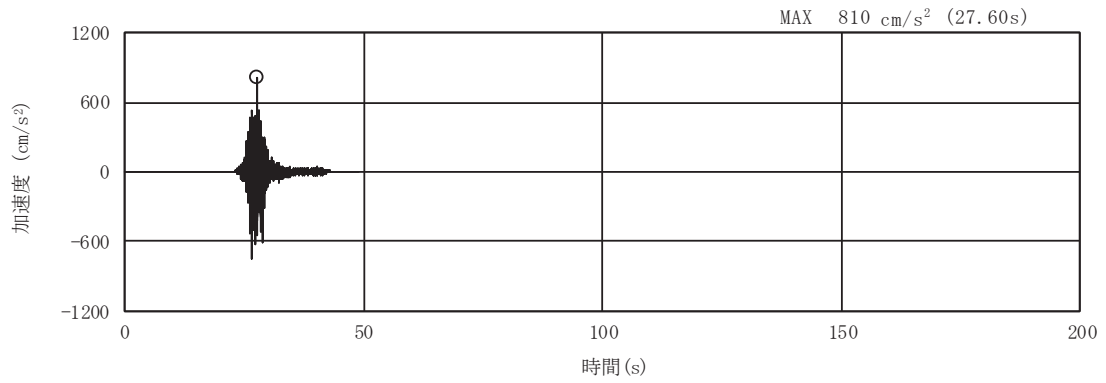


(a) 加速度時刻歴波形

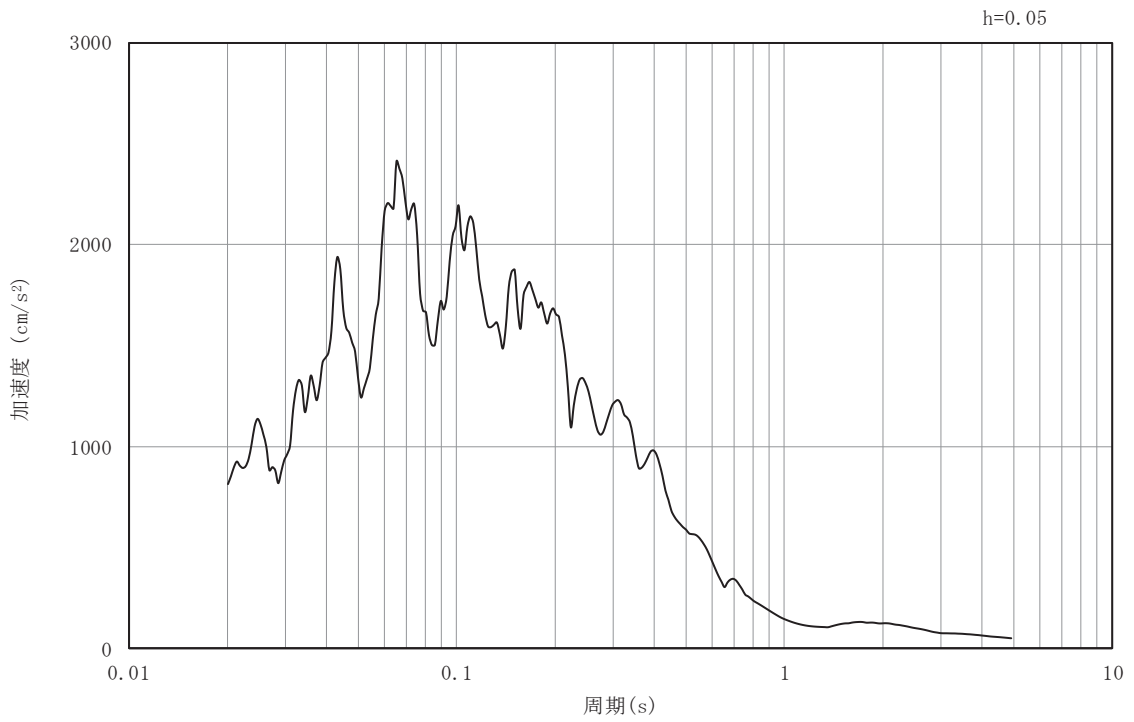


(b) 加速度応答スペクトル

図3-28 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(B-B断面, 鉛直成分: S s - F 2)

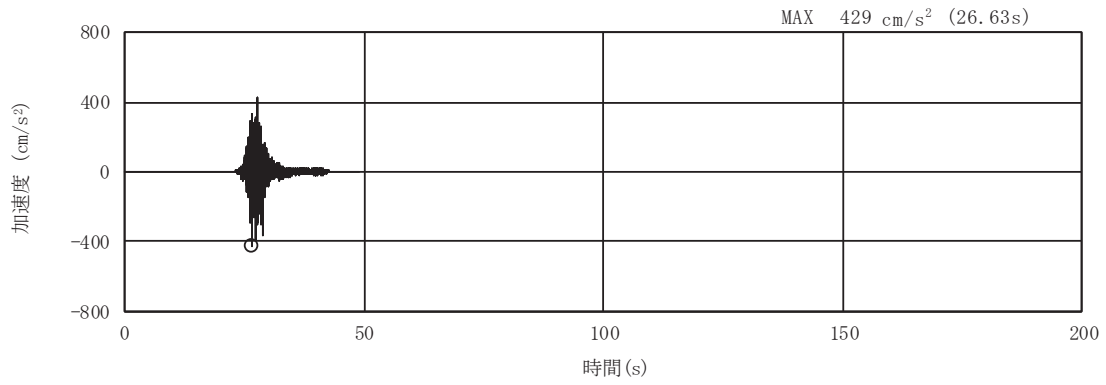


(a) 加速度時刻歴波形

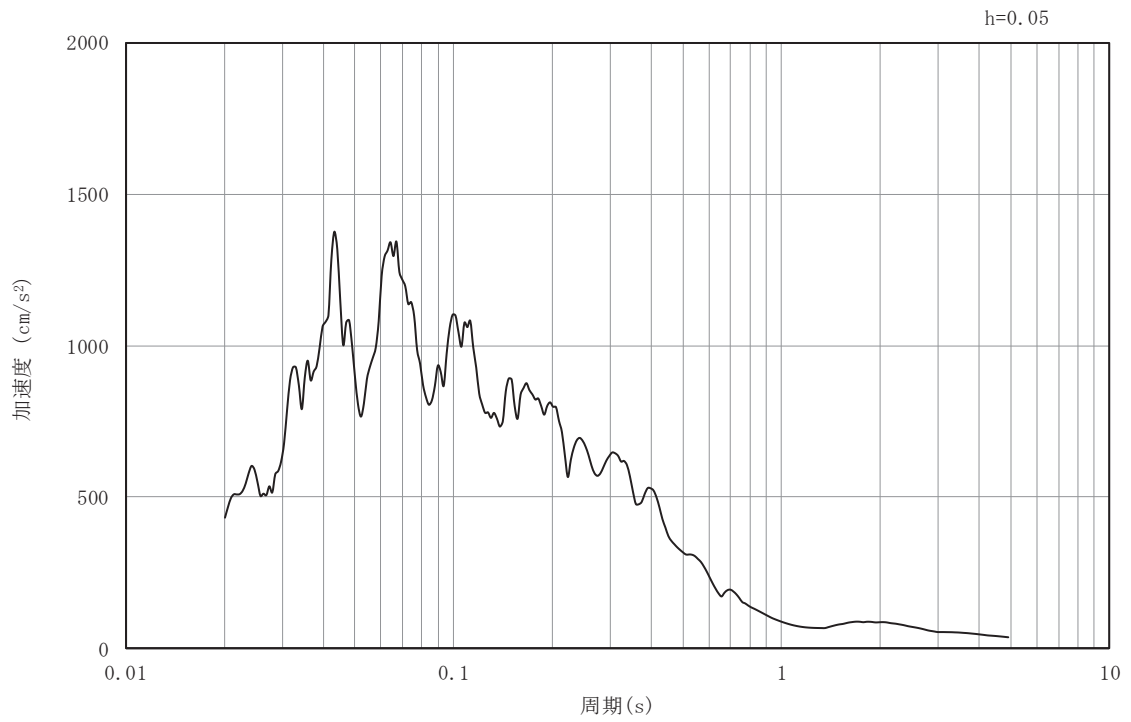


(b) 加速度応答スペクトル

図3-29 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(B-B断面, 水平成分: S s - F 3)

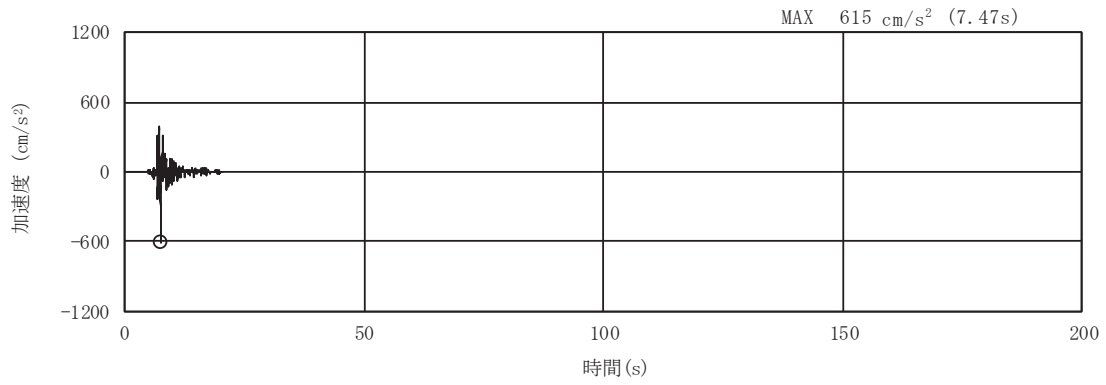


(a) 加速度時刻歴波形

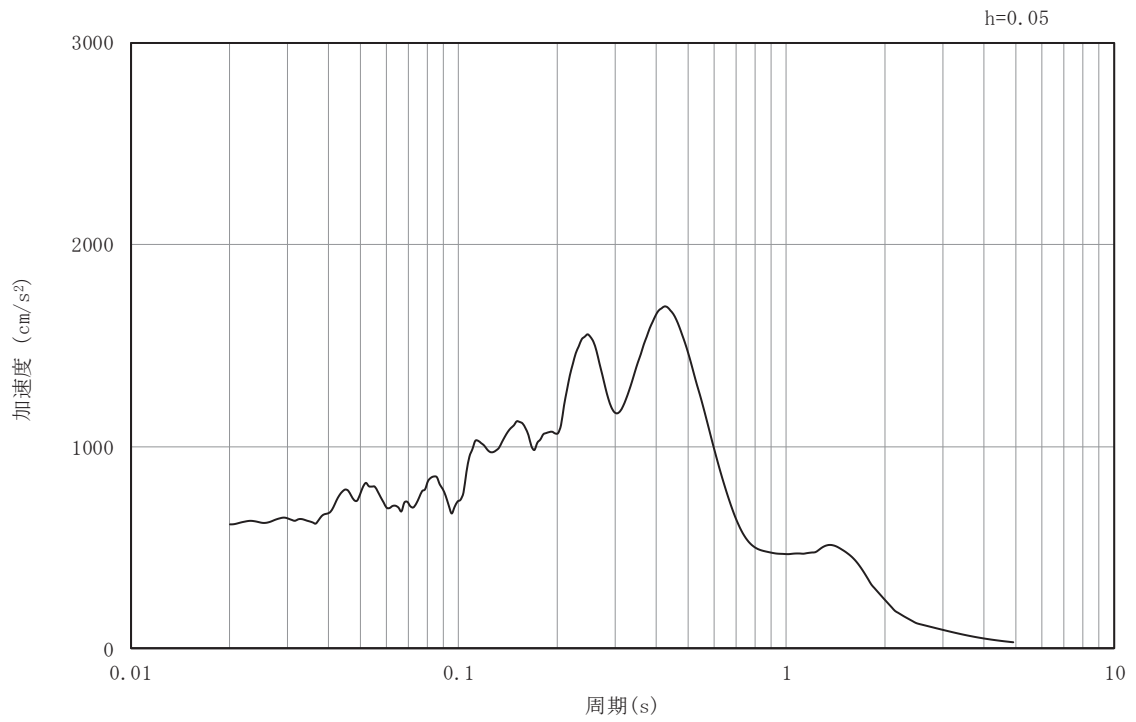


(b) 加速度応答スペクトル

図3-30 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(B-B断面, 鉛直成分: S s - F 3)

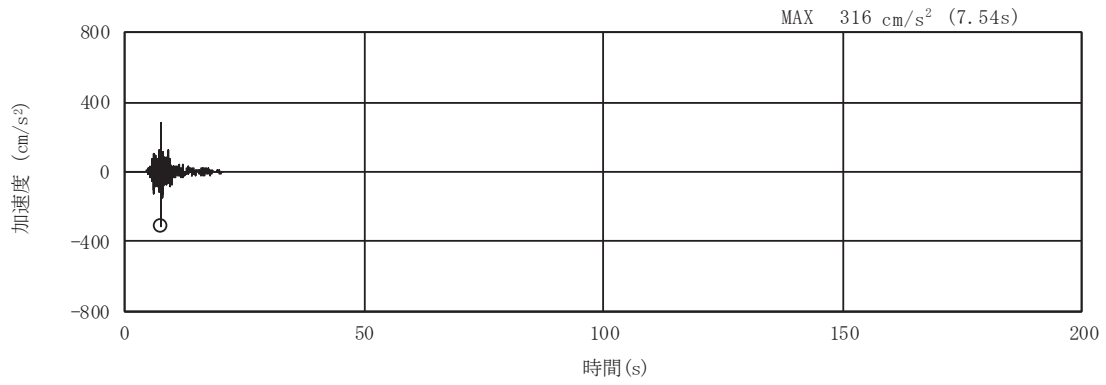


(a) 加速度時刻歴波形

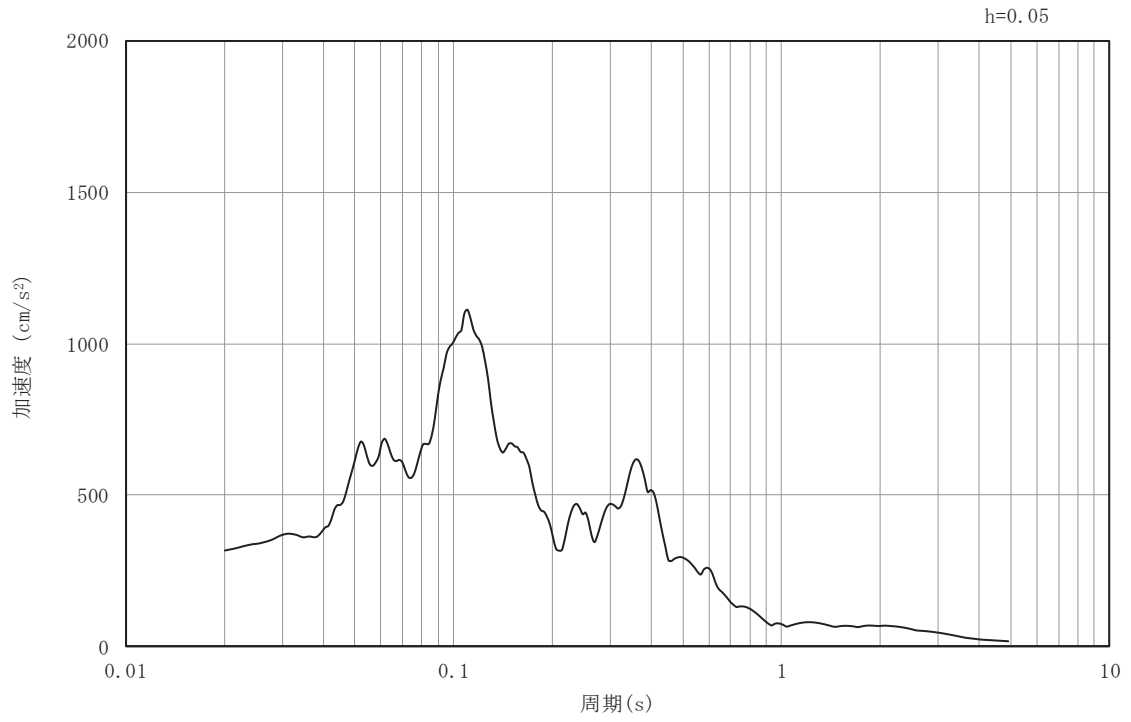


(b) 加速度応答スペクトル

図3-31 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(B-B断面, 水平成分: S s - N 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図3-32 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(B-B断面, 鉛直成分: S s - N 1)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の地震応答解析モデルを図 3-33 及び図 3-34 に示す。なお、図 3-34 の地震応答解析モデル（B-B 断面）は、添付書類「VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書」を引用している。

(1) 解析領域

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの解析領域は、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に及ばないよう、十分に広い領域とする。

(2) 境界条件

二次元有限要素法による時刻歴応答解析の解析モデルの境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

構造部材については、線形はり要素及び平面応力要素によりモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

D級を除く岩盤は、線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、盛土・旧表土及び改良地盤は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) ジョイント要素の設定

地震時の「MMR と構造物」、「盛土及び岩盤と MMR」、「盛土及び岩盤と改良地盤」及び「盛土と構造物」との接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

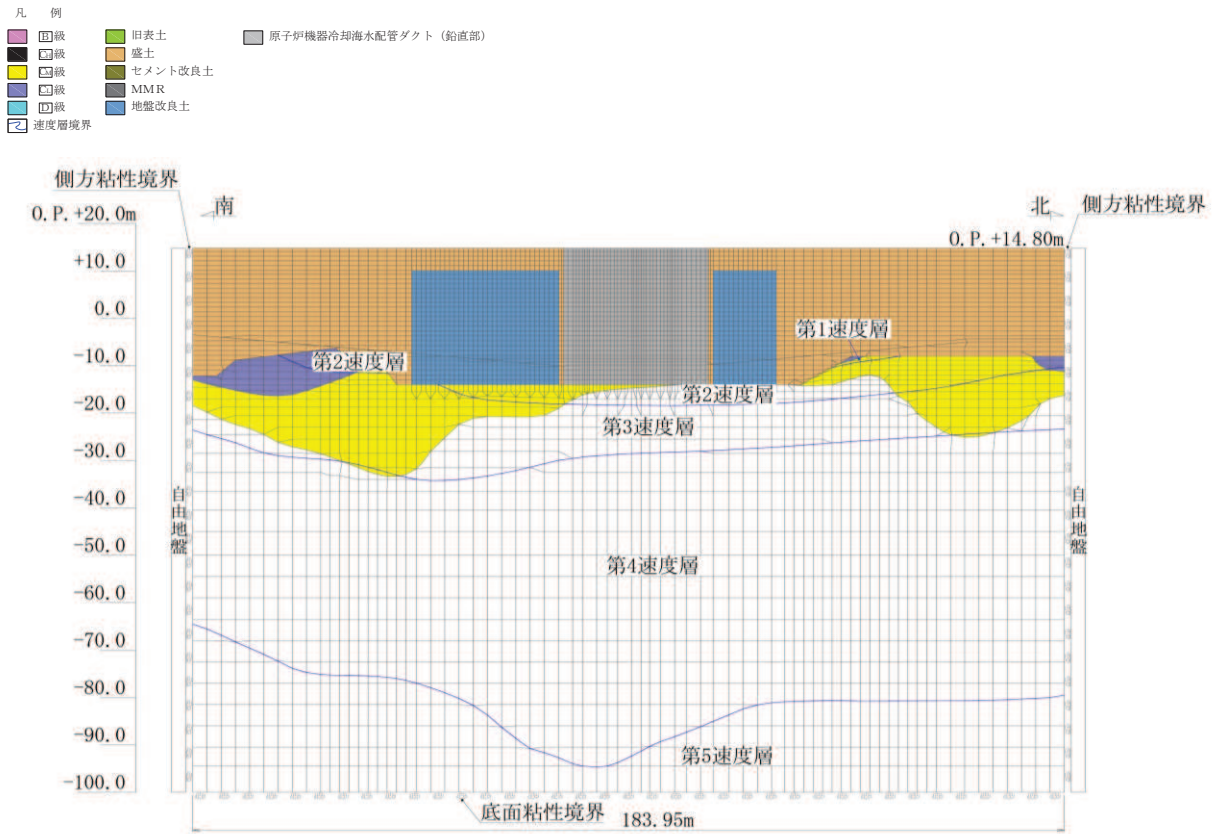


図 3-33 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の地震応答解析モデル（A-A 断面）

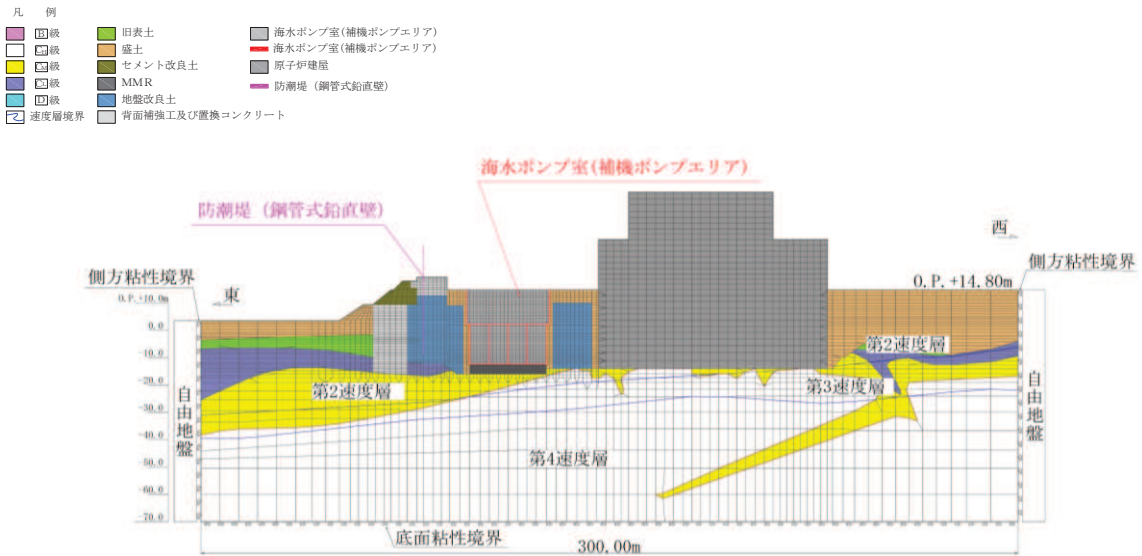


図 3-34 原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の地震応答解析モデル（B-B 断面）

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-5 に、材料の物性値を表 3-6 に示す。

表 3-5 使用材料

材料		仕様
コンクリート	側壁, 隔壁, 頂版	設計基準強度 20.5N/mm ²
	側壁 (新設部)	設計基準強度 50.0N/mm ²
鉄筋		SD345
鋼材		SM490

表 3-6 材料の物性値 (構造部材)

材料	項目		材料諸元	備考	
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m ³)		24.0		
コンクリート	ヤング係数 (N/mm ²)	実強度	37.2N/mm ² *1	3.02×10 ⁴	解析ケース④
			70.0N/mm ² *2	3.70×10 ⁴	
		設計基準強度	20.5N/mm ²	2.33×10 ⁴	解析ケース①, ②, ③
			50.0N/mm ²	3.30×10 ⁴	
ポアソン比			0.2		
鋼材	単位体積重量 (kN/m ³)		77.0		
	ヤング係数 (N/mm ²)		2.00×10 ⁵		
	ポアソン比		0.3		

注記*1: 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験の結果を使用する。

*2: 新設部のため推定強度を使用する。

3.5.3 地盤の物性値

地盤については、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.5.4 地下水位

設計用地下水位は、添付資料「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計用地下水位の一覧を表 3-7 に、設計用地下水位を図 3-35 及び図 3-36 に示す。

表 3-7 設計用地下水位の一覧

施設名称	地震時荷重算出断面	設計用地下水位
原子炉機冷却 海水配管ダクト (鉛直部)	A-A断面	O. P. -3.50m~O. P. -10.50m
	B-B断面	O. P. -8.50m~O. P. +2.43m*

注記*：朔望平均満潮位

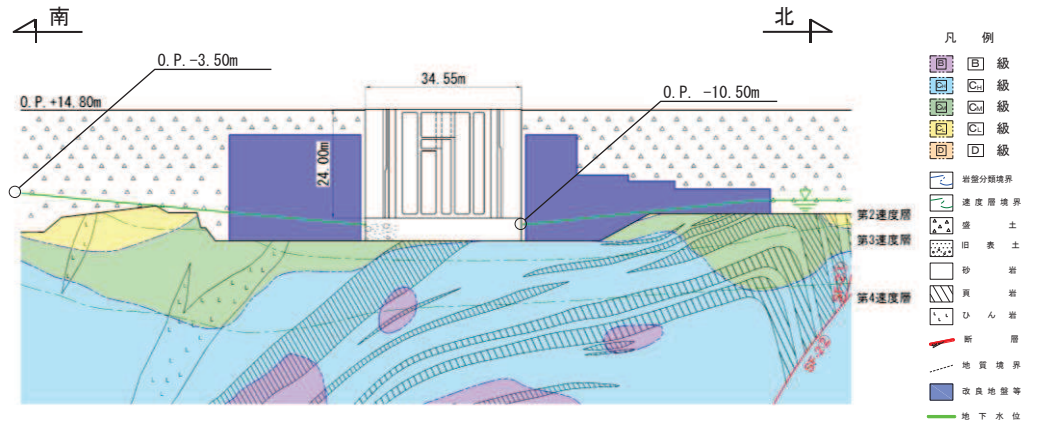


図 3-35 設計用地下水位 (A-A 断面)

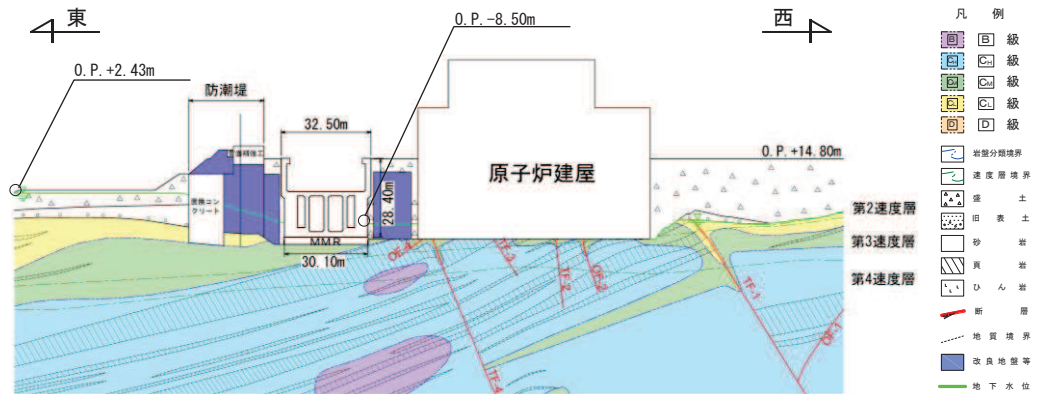


図 3-36 設計用地下水位 (B-B 断面)

3.6 地震応答解析結果

構造部材の曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査のうち、照査値が最大となる曲げ・軸力系の破壊に対する照査の地震動・解析ケースにおける作用荷重分布図を図3-37及び図3-38に示す。

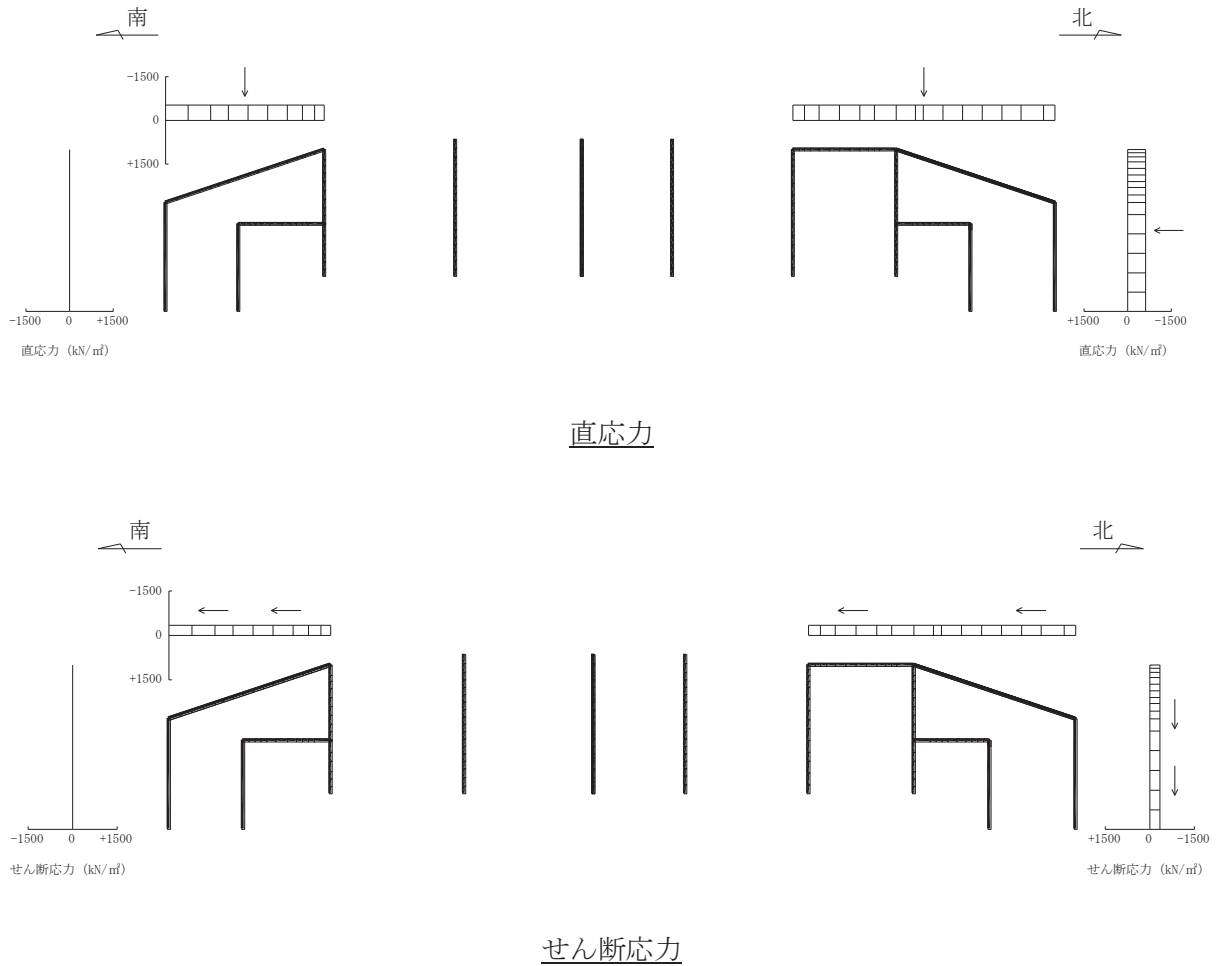


図3-37 作用荷重分布図（直応力及びせん断応力）
 (断面⑤，解析ケース③， $S_s - N1$ (-+))

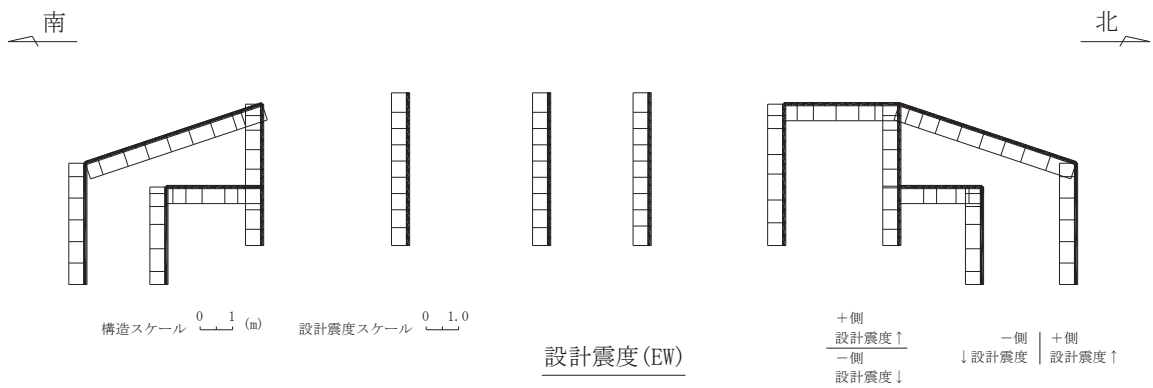
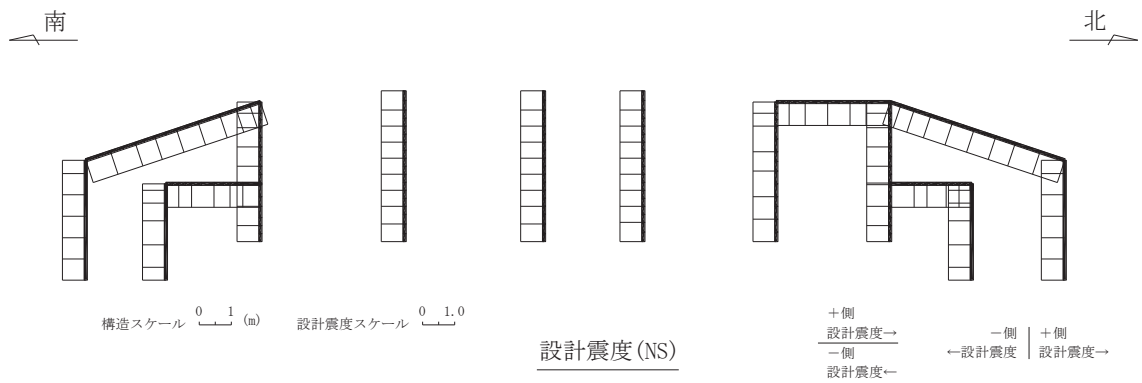


図 3-38 作用荷重分布図 (設計震度分布)
(断面⑤, 解析ケース③, S s - N 1 (-+))

4. 二次元構造解析

4.1 評価対象部材

二次元構造解析の評価対象部材は、原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）を構成する構造部材である頂版、側壁、隔壁及び鋼材とする。

断面①～⑥の解析モデル図及び評価対象部材を図4-1～図4-6に示す。

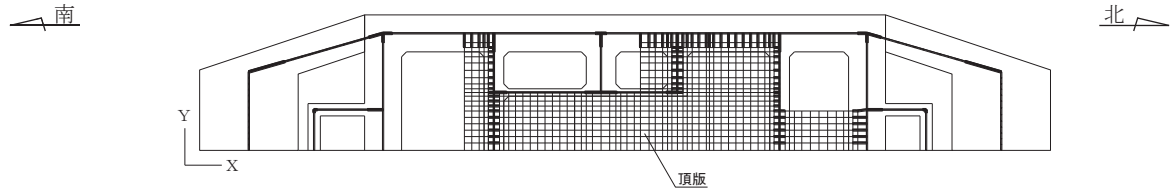


図4-1 二次元構造解析の解析モデル図及び評価対象部材（断面①）

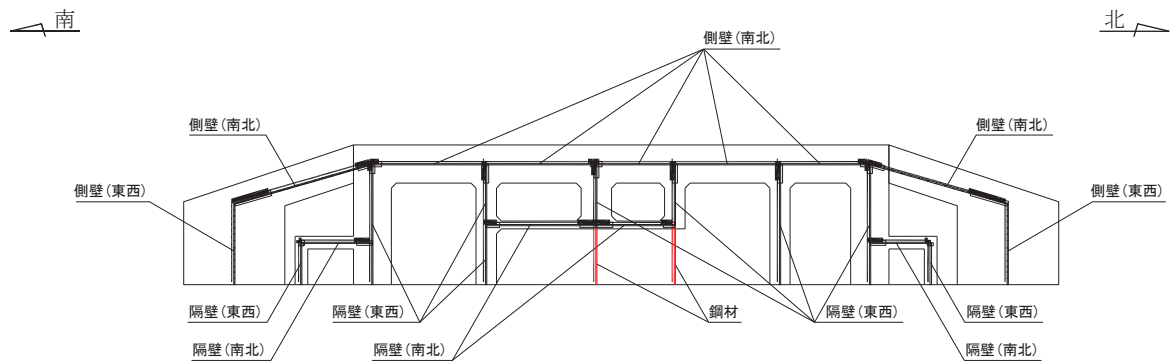


図4-2 二次元構造解析の解析モデル図及び評価対象部材（断面②）

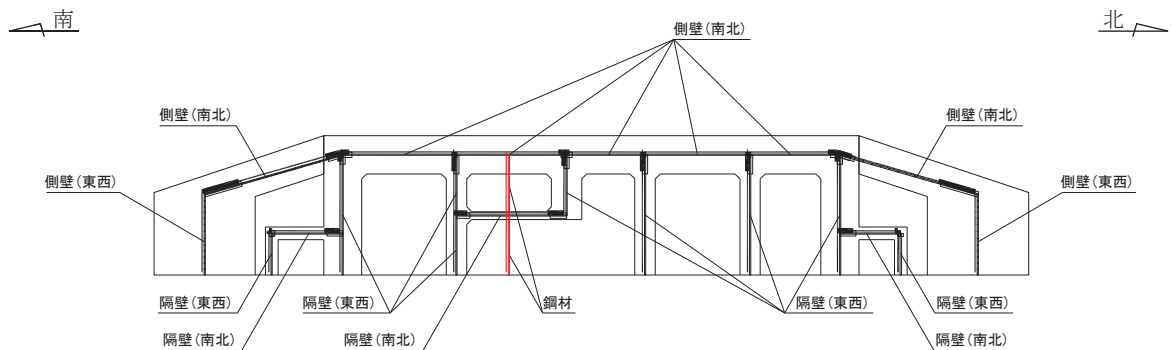


図4-3 二次元構造解析の解析モデル図及び評価対象部材（断面③）

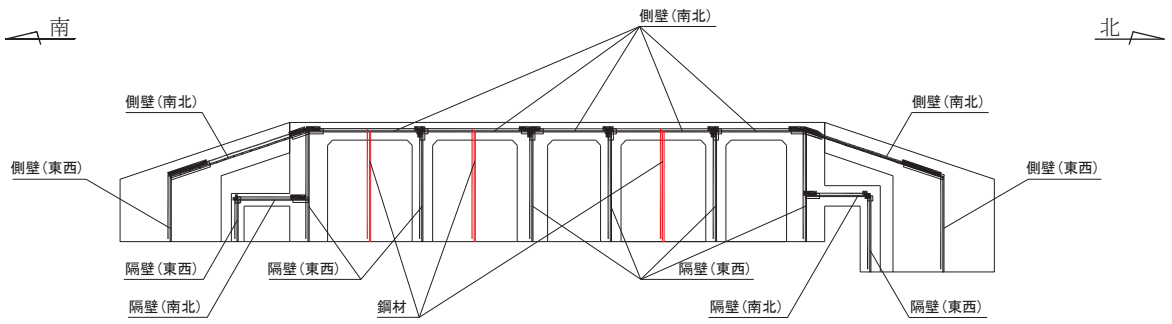


図 4-4 二次元構造解析の解析モデル図及び評価対象部材 (断面④)

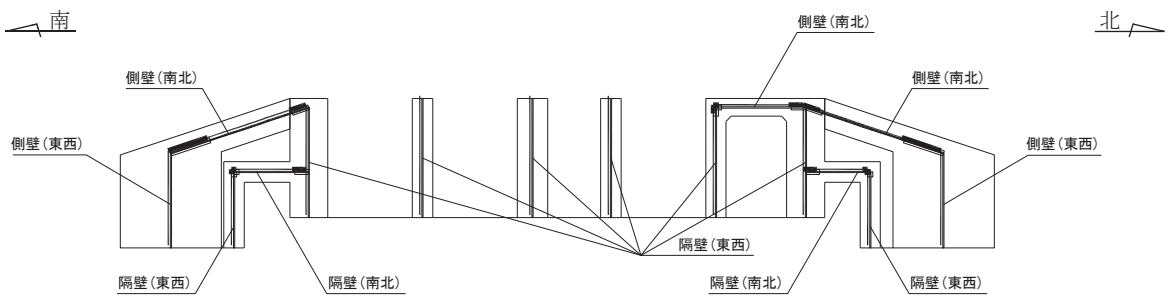


図 4-5 二次元構造解析の解析モデル図及び評価対象部材 (断面⑤)

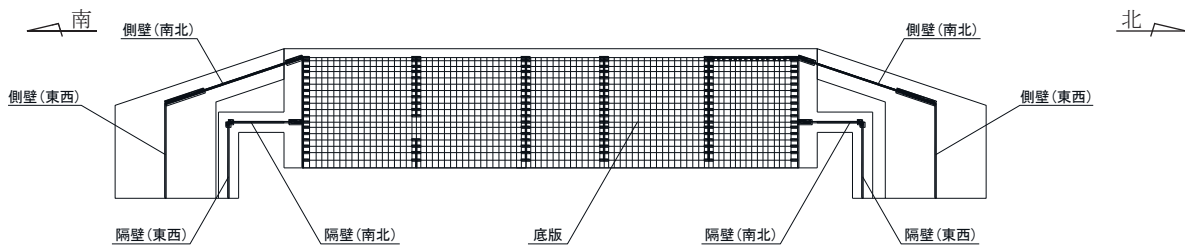


図 4-6 二次元構造解析の解析モデル図及び評価対象部材 (断面⑥)

4.2 解析方法

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の二次元構造解析は、「3. 地震応答解析」より得られた応答値に基づき、断面ごとに各基準地震動 S_s の包絡荷重を作成し、東西方向及び南北方向から同時に入力し、各構造部材について、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査を実施する。なお、断面①は頂版を、断面⑥は底版を有しており鉛直方向に面外変形することから、水平方向及び鉛直方向の荷重を入力し、側壁との結合部における局所の曲げモーメント増分の廻り込みを考慮して曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査を実施する。

二次元構造解析には、解析コード「TDAPⅢ Ver. 3.10.01」を用いる。なお、解析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。

4.3 解析モデルの諸元

4.3.1 解析モデル

(1) 構造物のモデル化

面部材と壁部材から構成される断面①及び断面⑥は、面部材を線形シェル要素、壁部材をファイバーモデルによる非線形はり要素でモデル化する（図 4-1 及び図 4-6 参照）。シェル要素における各要素の断面力の方向を図 4-7 に示す。

壁部材のみから構成される断面②～⑤の鉄筋コンクリート部材はファイバーモデルによる非線形はり要素でモデル化し、鋼材は両端をピン支持とした軸力のみを負担する線形はり要素でモデル化する（図 4-2～図 4-5 参照）。

なお、ファイバーモデルは、はり要素の断面を層状に分割し各層に材料の非線形性を考慮する材料非線形モデルであり（図 4-8 参照）、図 4-9 に示すコンクリートの応力-ひずみ関係及び図 4-10 に示す鉄筋の応力-ひずみ関係を考慮する。

(2) 境界条件

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は海水ポンプ室に懸架され一体構造となっていることから、二次元構造解析モデルにおける海水ポンプ室との取合部は固定境界としている。

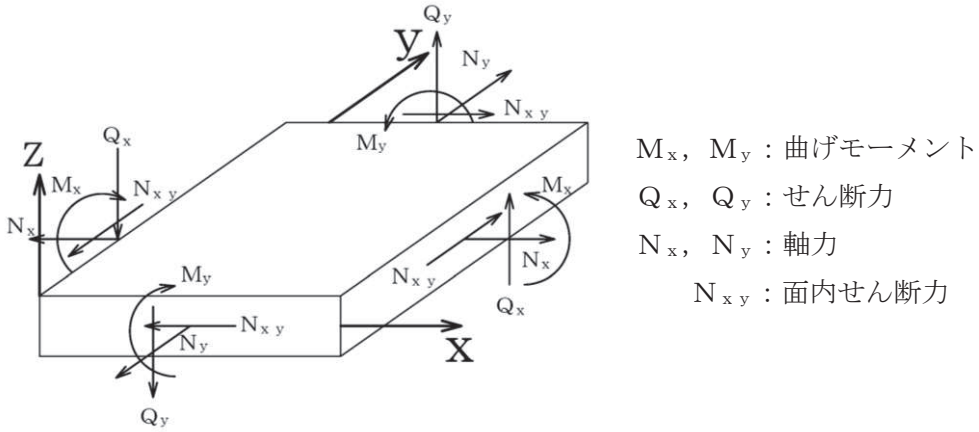


図4-7 シェル要素の各要素における断面力の方向

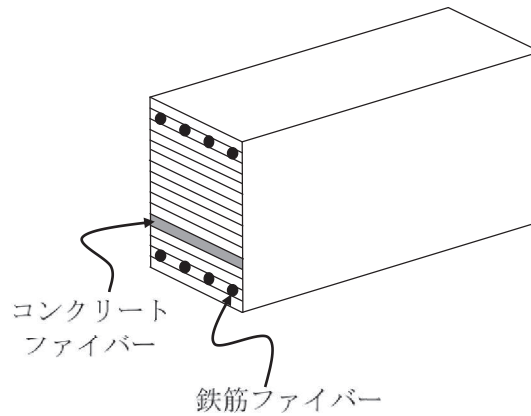


図 4-8 ファイバーモデルの概念図

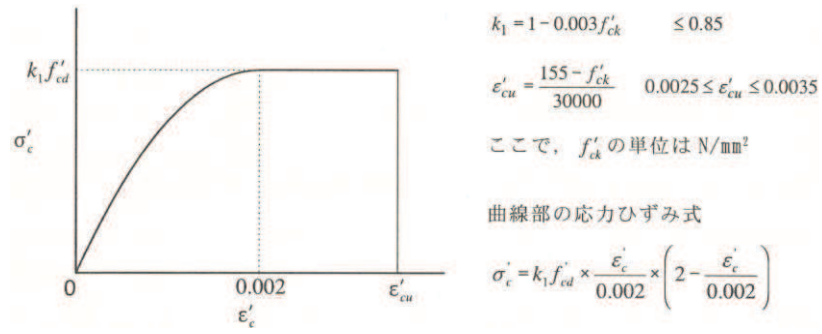


図 4-9 構造部材の非線形特性（コンクリートの応力-ひずみ関係）
 （土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] より引用）

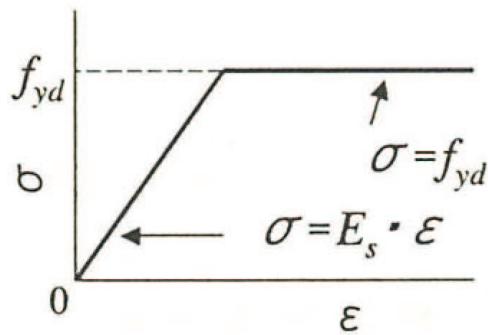


図 4-10 構造部材の非線形特性（鉄筋の応力-ひずみ関係）
 （土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] より引用）

4.3.2 使用材料及び材料の物性値

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の使用材料及び材料の物性値は、「3.5.2 使用材料及び材料の物性値」に基づき設定する。

4.4 入力荷重

二次元構造解析の入力荷重は、地震応答解析に基づく応答値を用いて算定する。入力荷重の一覧を表4-1に示す。

表4-1 二次元構造解析における入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
常時荷重	固定荷重	躯体自重
	積載荷重	機器・配管荷重
	常時土圧	躯体に作用する常時土圧
地震時荷重	慣性力	躯体，機器・配管に作用する慣性力
	地震時土圧*	躯体に作用する地震時土圧

注記*：各断面区間の最大値を採用する。

4.5 側壁と頂版及び底版の結合部における局所の曲げモーメント増分の廻り込みの考慮

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の頂版及び底版の構造解析では、側壁に作用する荷重により発生する、側壁と頂版及び底版との結合部における局所の曲げモーメント増分の廻り込みを考慮する。

側壁と頂版及び底版の結合部における局所の曲げモーメント増分の廻り込みの考慮は、頂版及び底版の荷重による発生する曲げモーメント（ My_1 ）と、側壁を線形シェルでモデル化し、荷重を作用させて頂版及び底版との境界部に発生した曲げモーメント（ My_2 ）を算出し、保守的に大きい方の曲げモーメントを設計曲げモーメント（ M ）とする。設計曲げモーメントの概念図を図4-11に示す。

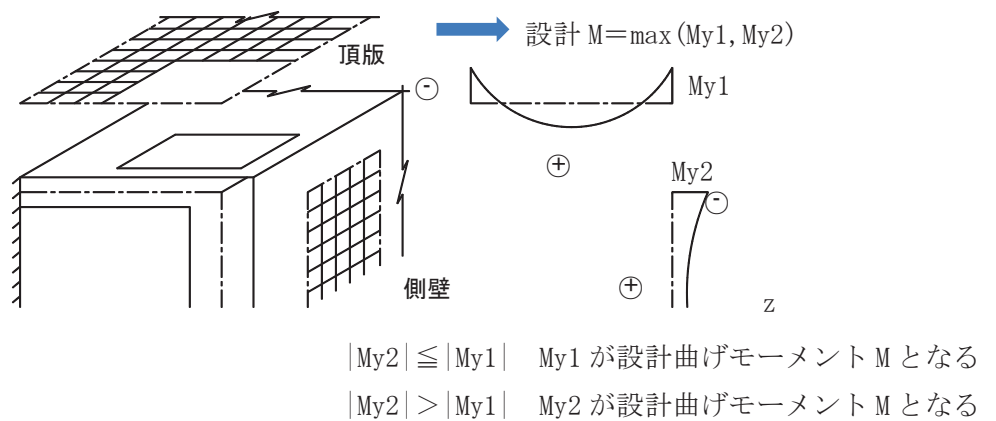


図 4-11 (1) 設計曲げモーメントの概念図（頂版）

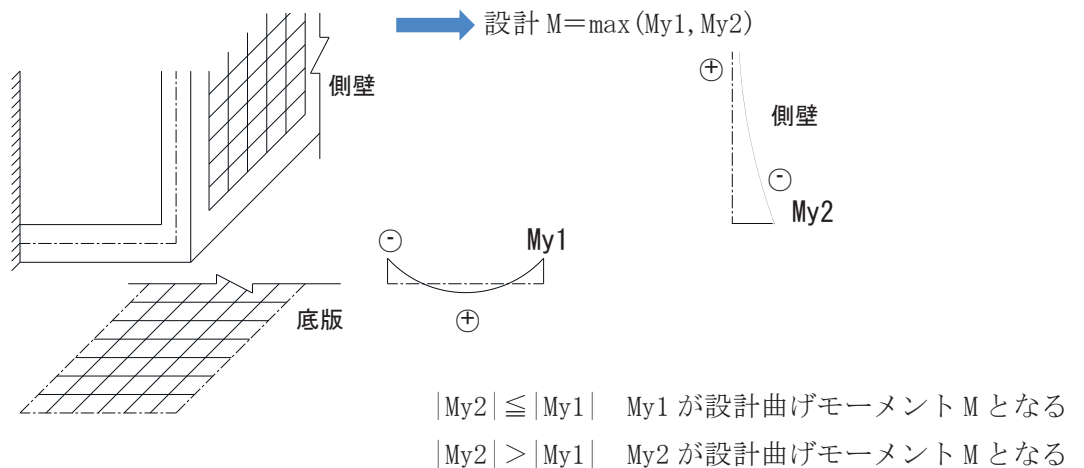


図 4-11 (2) 設計曲げモーメントの概念図（底版）

4.5 二次元構造解析結果

4.5.1 断面①の解析結果

断面①の構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対して最大照査値となる解析ケース及び地震動における断面力分布図を図4-12～図4-16に、せん断破壊に対して最大照査値となる解析ケース及び地震動における断面力分布図を図4-16及び図4-17に示す。

なお、断面①と断面②の壁部材は壁厚及び配筋が同一であり、断面①は頂版を有するため断面②よりも構造的に有利となることから、断面①における壁部材の照査は断面①と断面②の荷重を包絡して照査を行う断面②で代表とし、断面①では面部材である頂版の照査を行う。

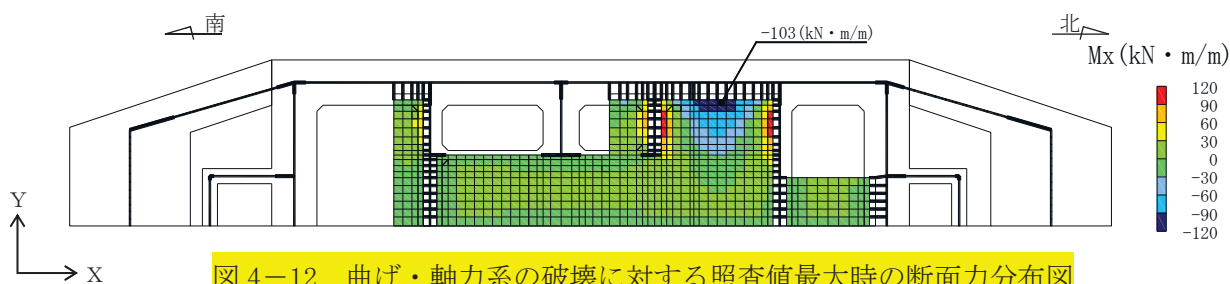


図4-12 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(曲げモーメント (kN・m/m) : M_x)

(頂版, 解析ケース④, $S_s - D2 (-+)$)

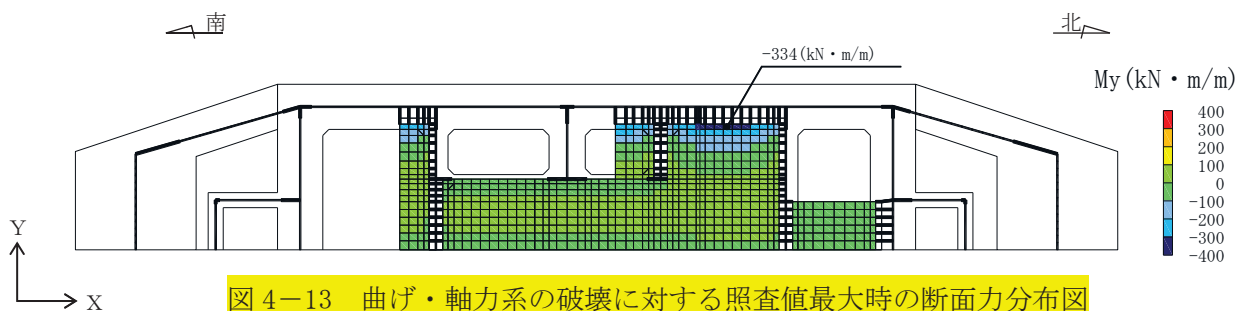


図4-13 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(曲げモーメント (kN・m/m) : M_y)

(頂版, 解析ケース④, $S_s - D2 (-+)$)

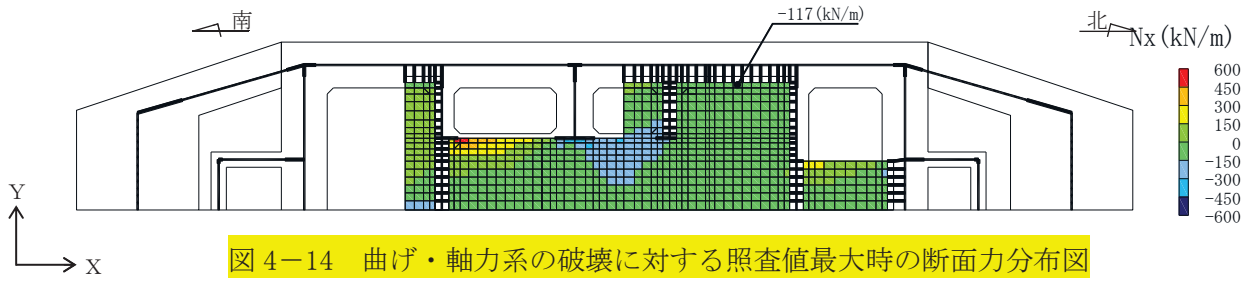


図 4-14 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_x)

(頂版, 解析ケース④, $S_s - D 2 (-+)$)

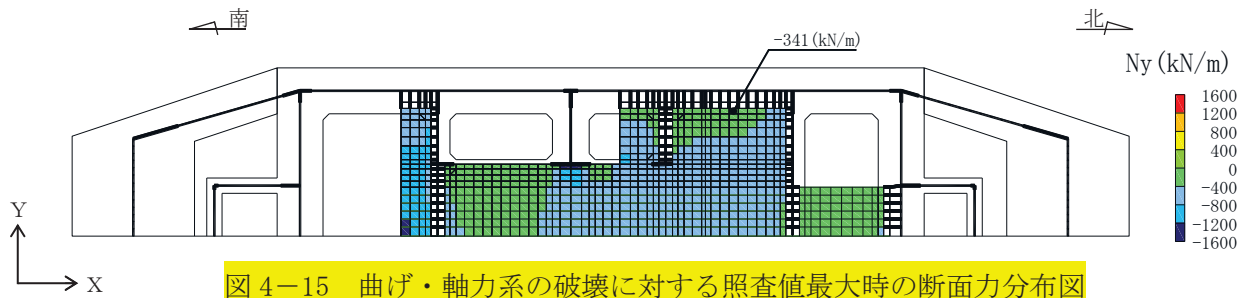


図 4-15 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_y)

(頂版, 解析ケース④, $S_s - D 2 (-+)$)

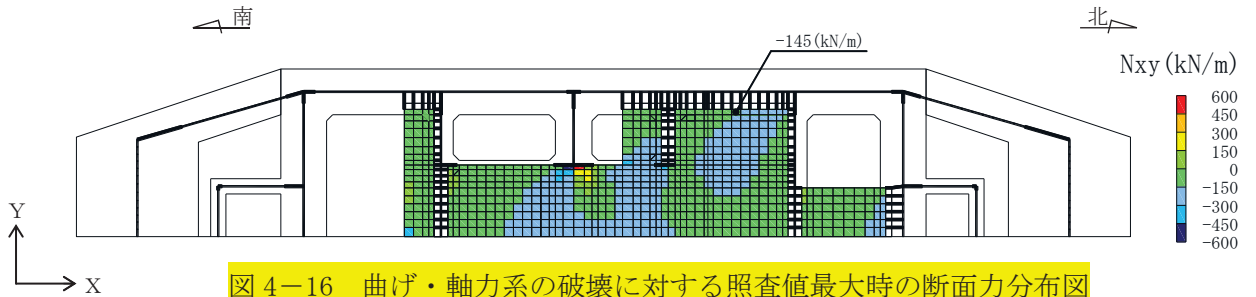


図 4-16 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(面内せん断力 (kN/m) : N_{xy})

(頂版, 解析ケース④, $S_s - D 2 (-+)$)

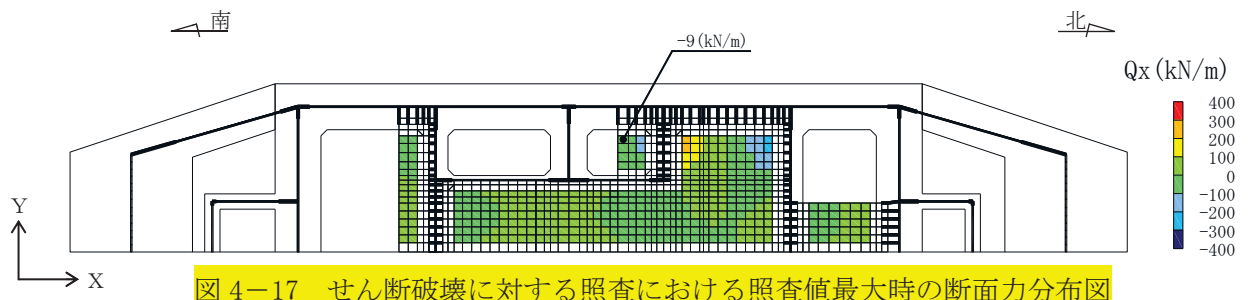


図 4-17 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_x)

(頂版, 解析ケース②, $S_s - D 2 (-+)$)

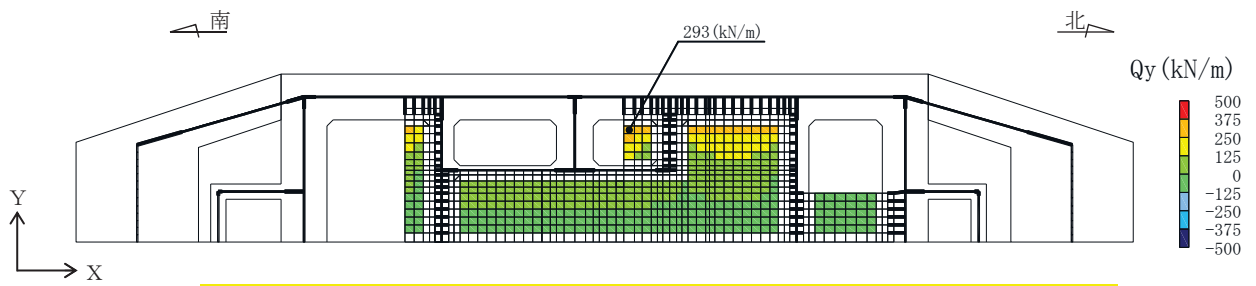


図 4-18 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図

(せん断力 (kN/m) : Q_y)

(頂版, 解析ケース②, $S_s - D 2 (-+)$)

4.5.2 断面②の解析結果

断面②の構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対して最大照査値となる解析ケース及び地震動における断面力図を図4-19に、せん断破壊に対して最大照査値となる解析ケース及び地震動における断面力図を図4-20に示す。

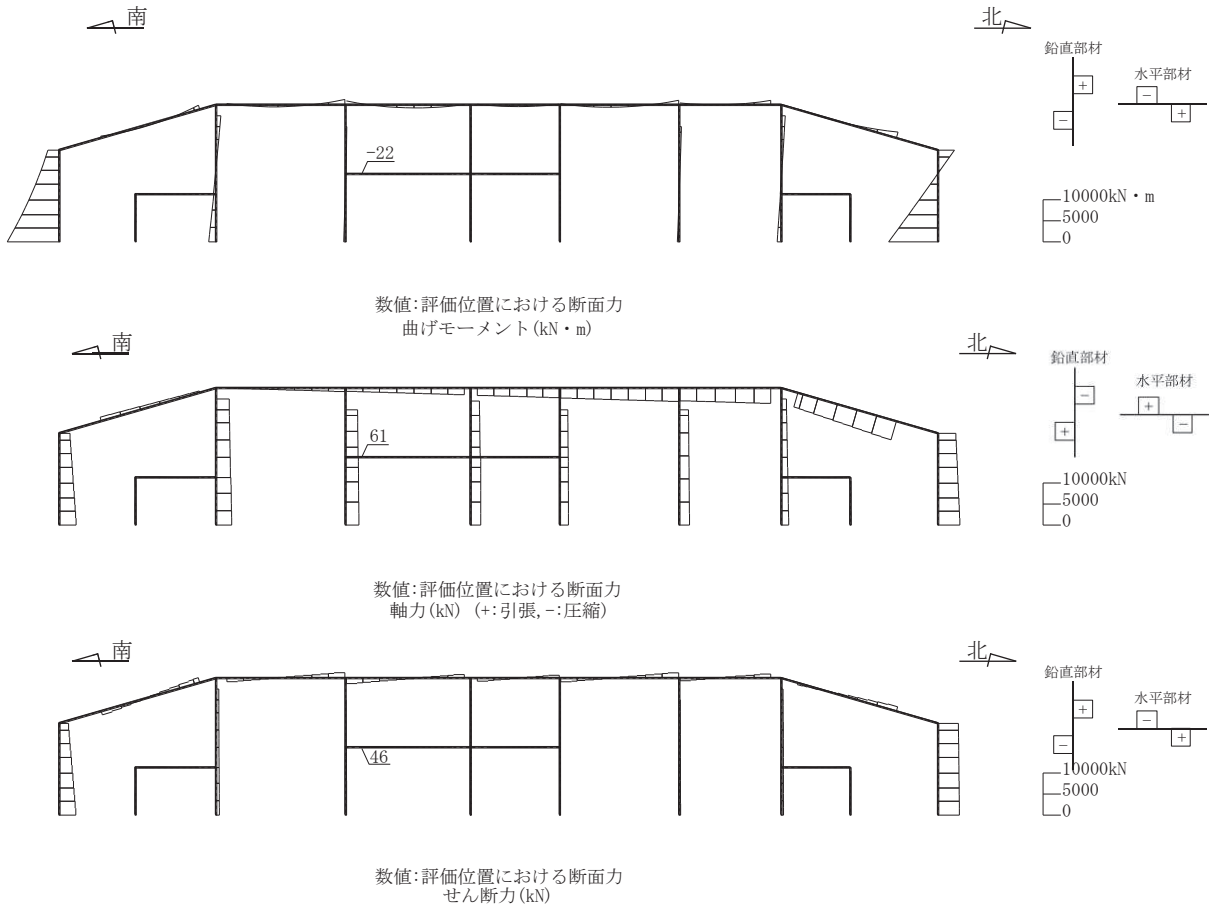


図4-19 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力図
(隔壁 (南北), 解析ケース①, S s - D 1 (-+))

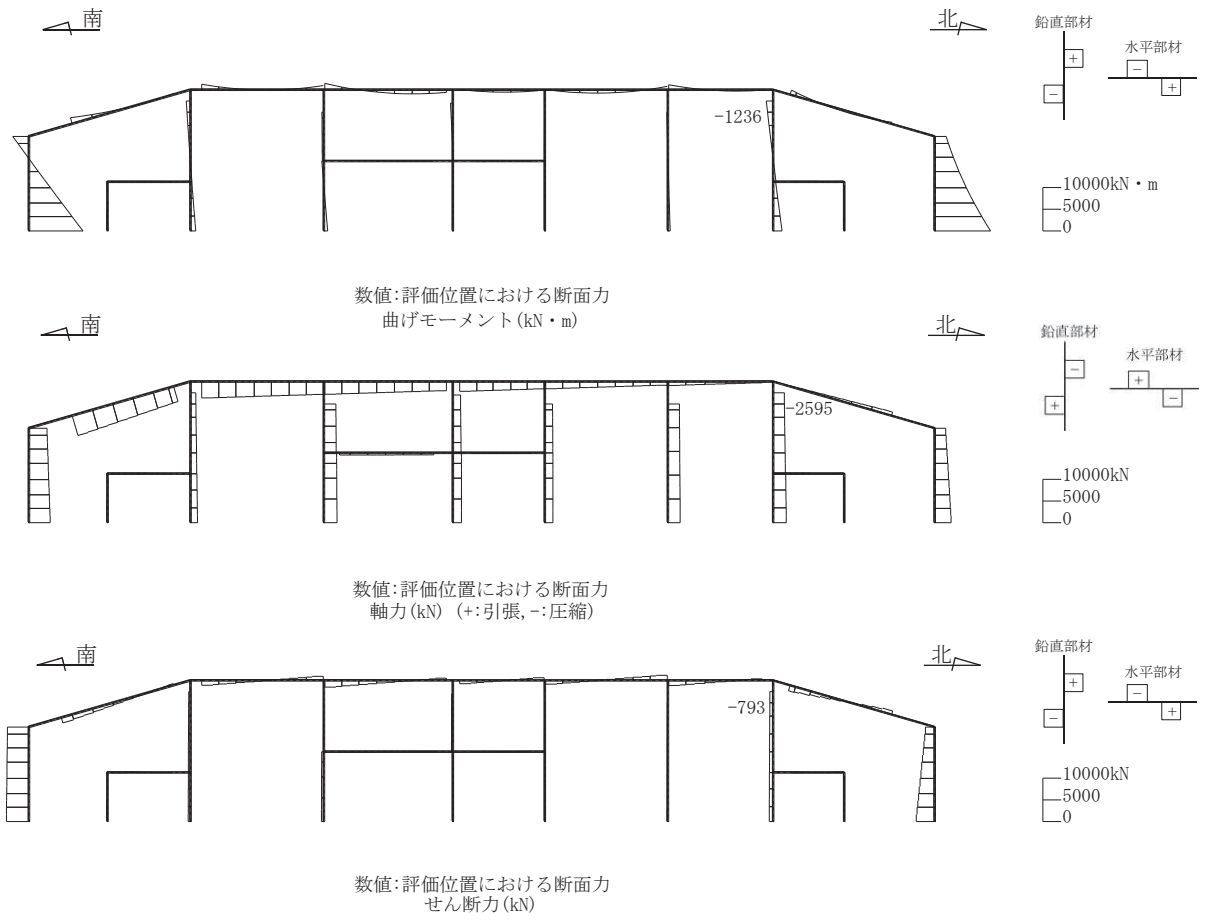


図 4-20 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
 (隔壁 (東西), 解析ケース④, S_s-D2 (++))

4.5.3 断面③の解析結果

断面③の構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対して最大照査値となる解析ケース及び地震動における断面力図を図4-21に、せん断破壊に対して最大照査値となる解析ケース及び地震動における断面力図を図4-22に示す。

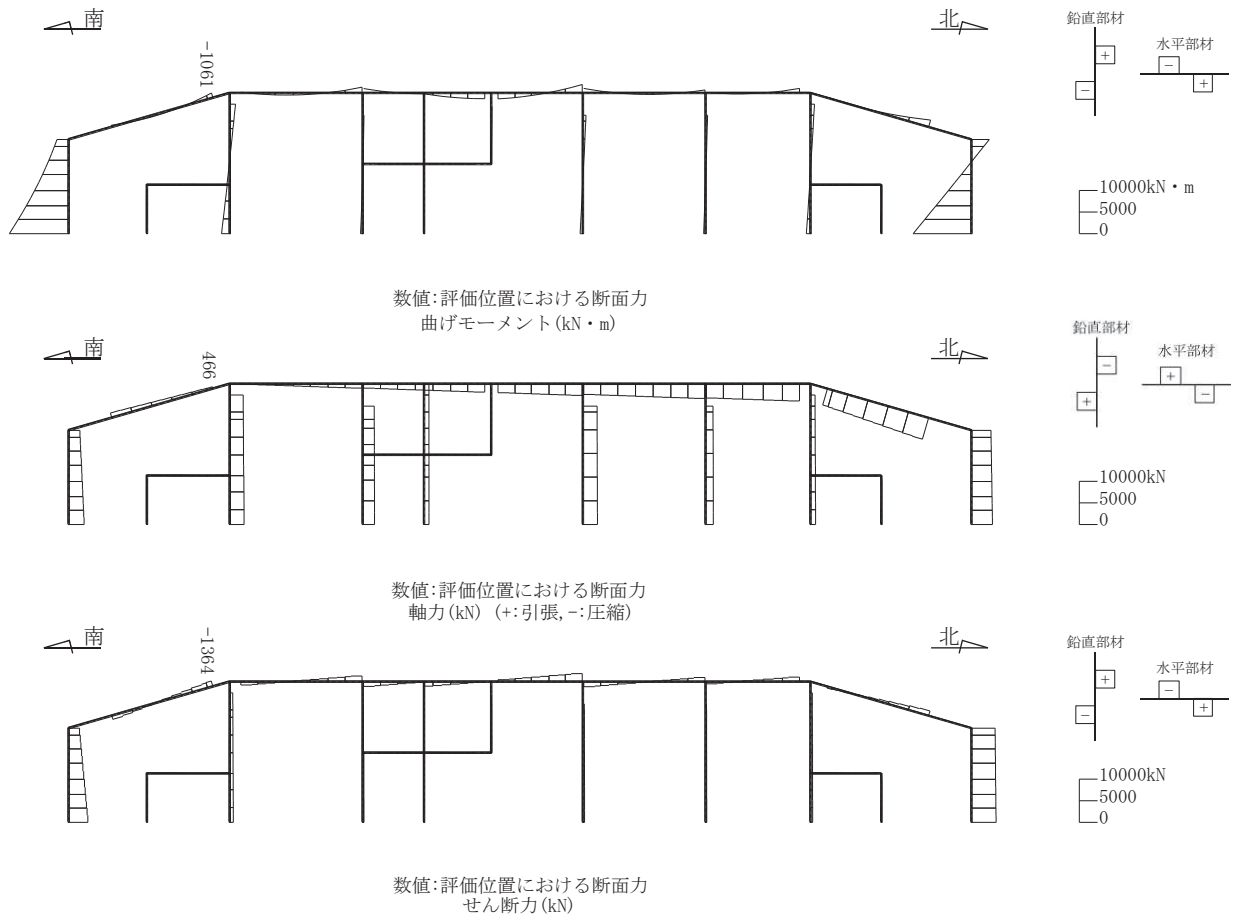


図4-21 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力図
(側壁 (南北), 解析ケース②, S_s-D2 (++))

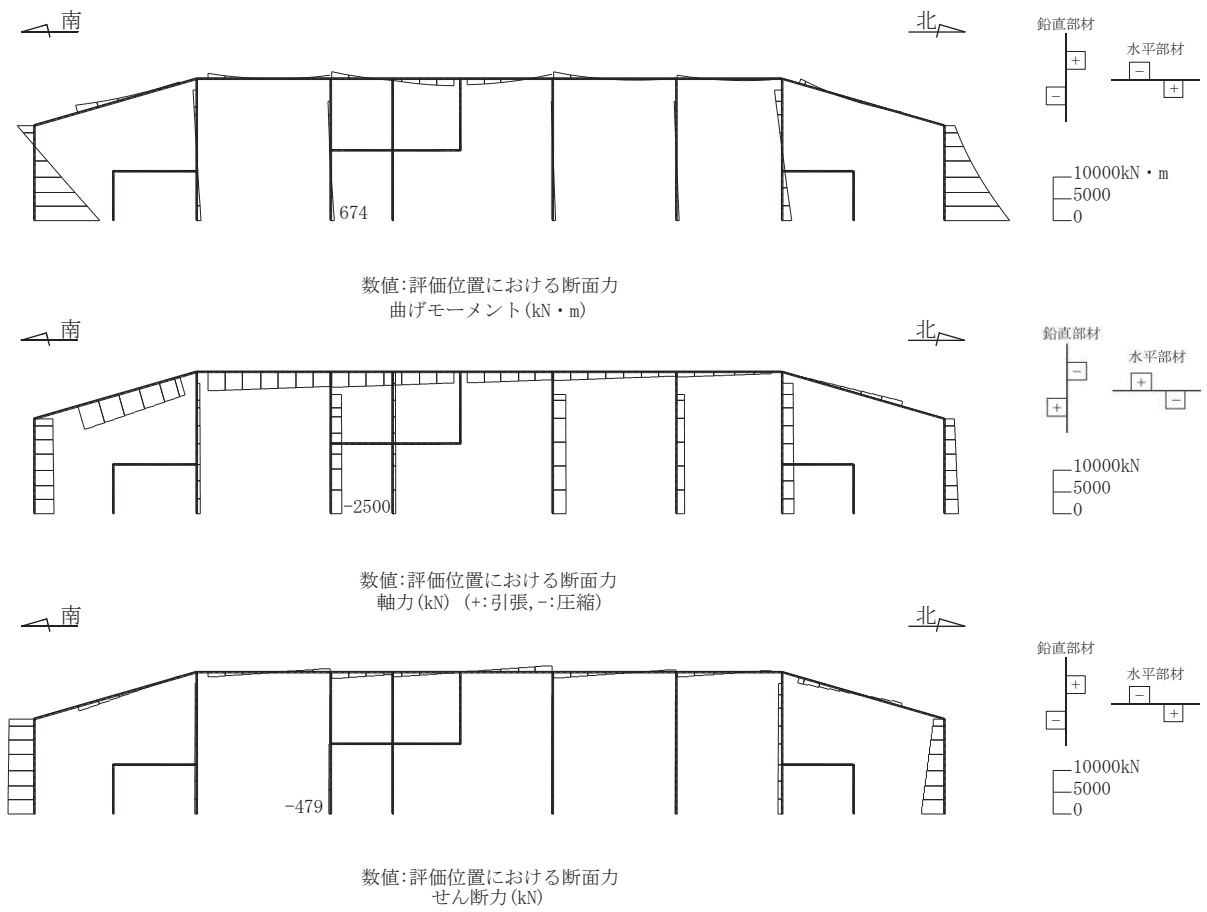


図 4-22 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
 (隔壁 (東西), 解析ケース④, $S_s - D 2 (+ +)$)

4.5.4 断面④の解析結果

断面④の構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対して最大照査値となる解析ケース及び地震動における断面力図を図4-23に、せん断破壊に対して最大照査値となる解析ケース及び地震動における断面力図を図4-24に示す。

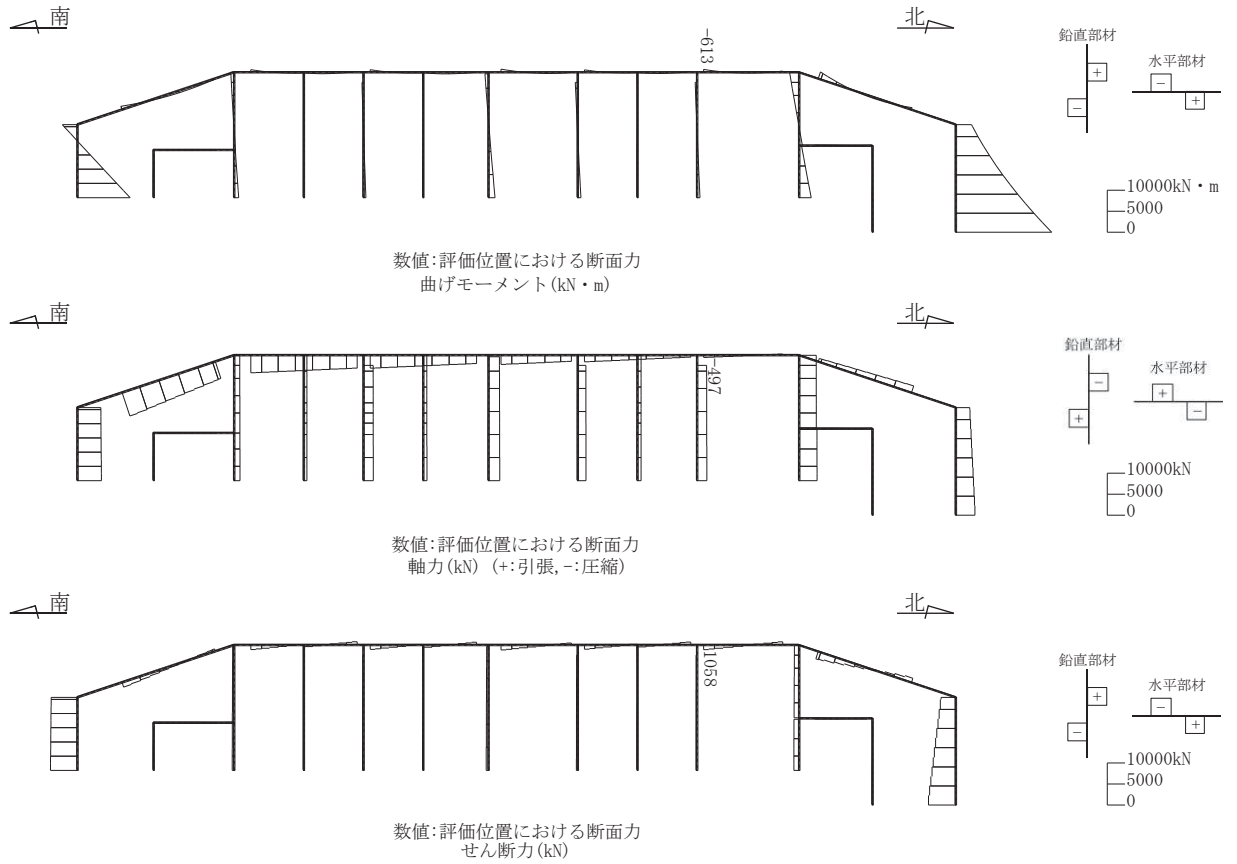


図4-23 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力図
(側壁(南北), 解析ケース③, S_s-N1 (-+))

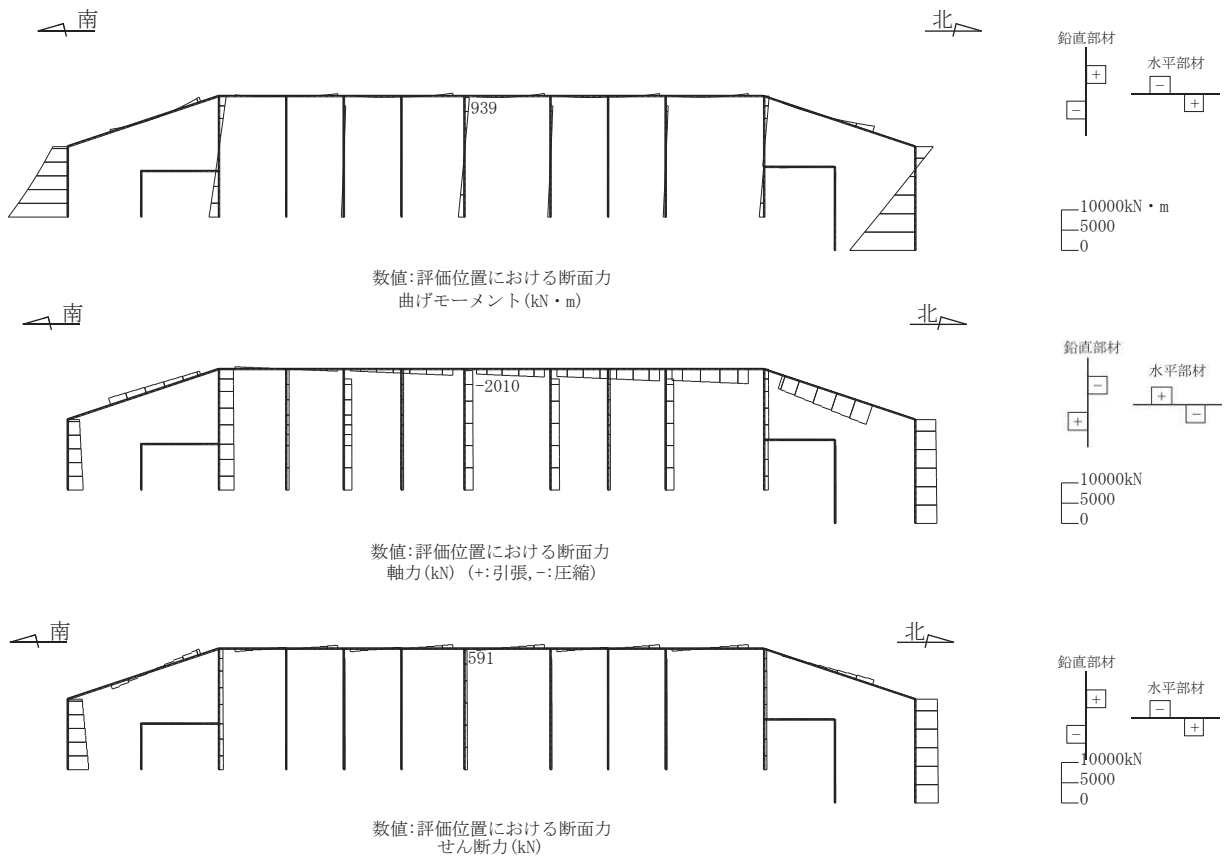


図 4-24 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
 (隔壁 (東西), 解析ケース④, $S_s - D 2$ (++))

4.5.5 断面⑤の解析結果

断面⑤の構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対して最大照査値となる解析ケース及び地震動における断面力図を図4-25に、せん断破壊に対して最大照査値となる解析ケース及び地震動における断面力図を図4-26に示す。

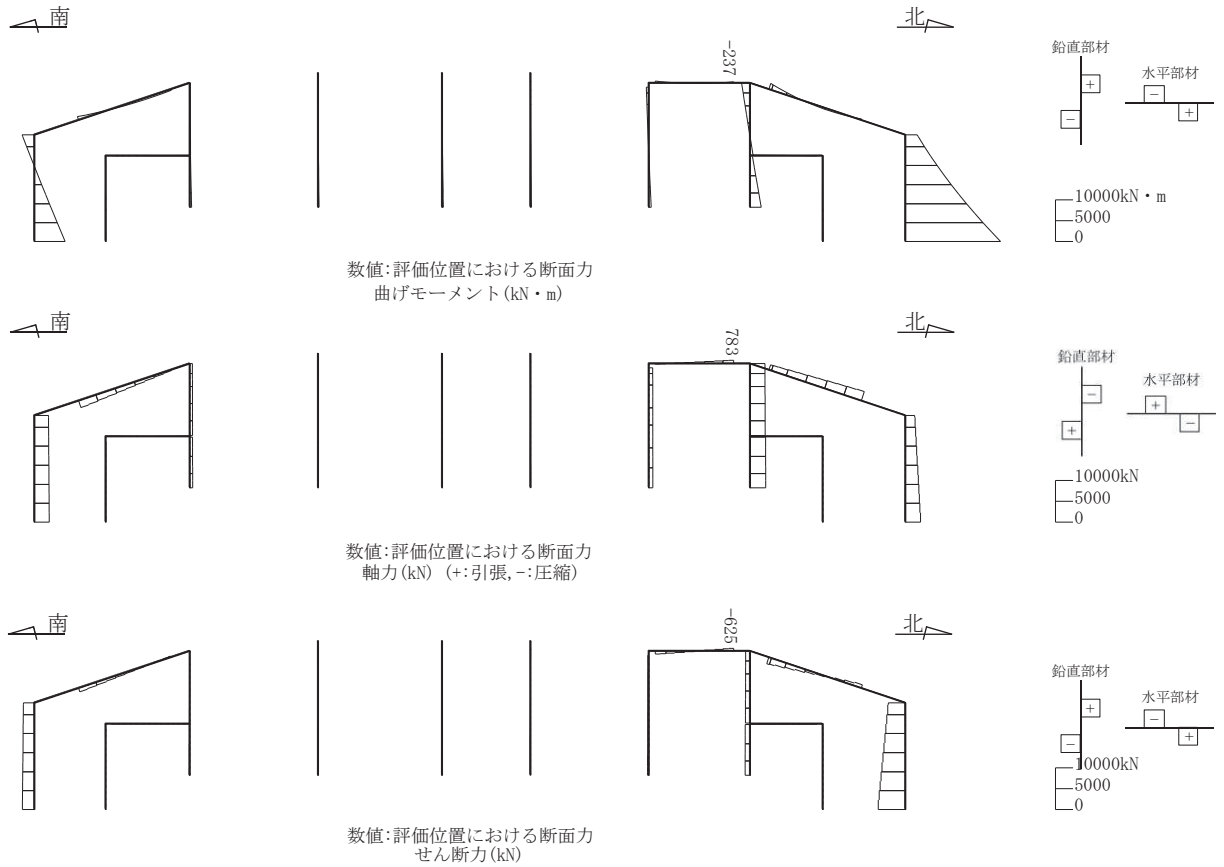


図4-25 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力図
(側壁 (南北), 解析ケース③, S_s-N1 (-+))

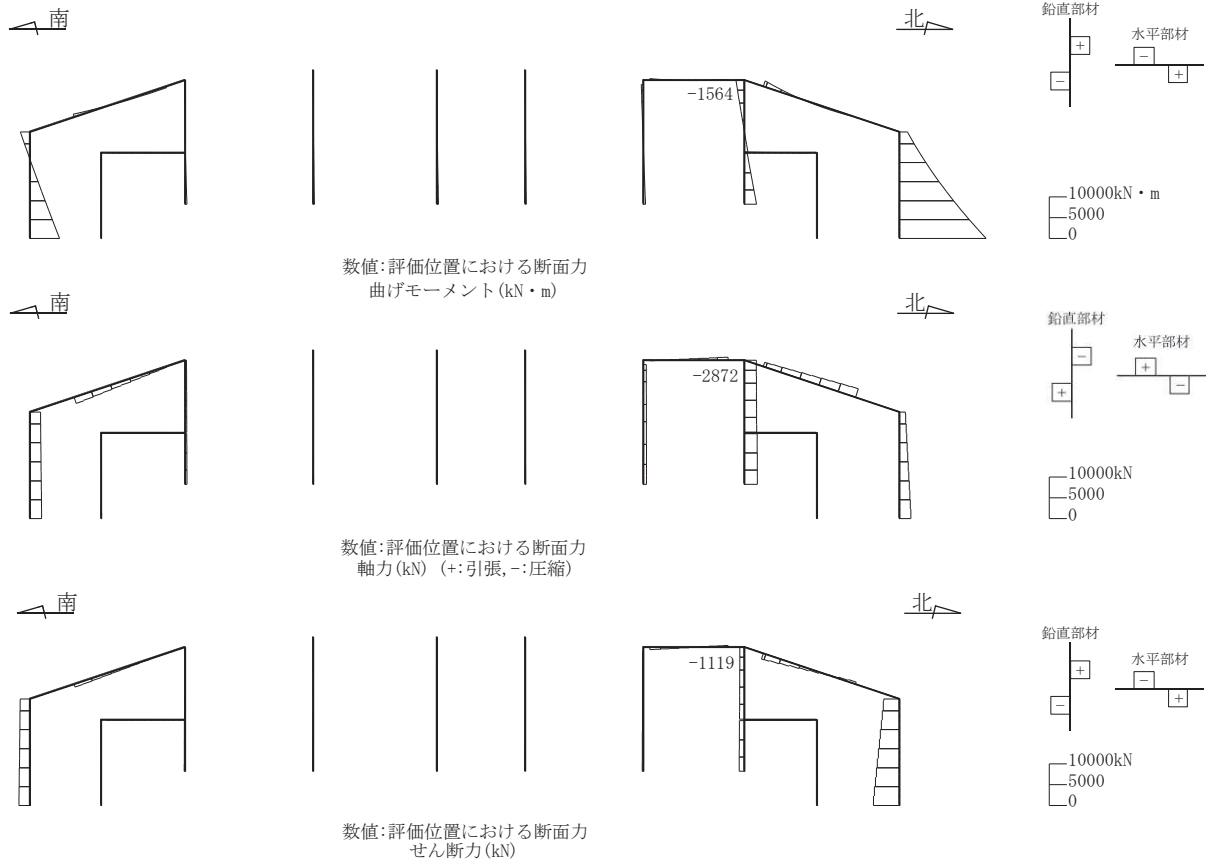


図 4-26 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
(隔壁 (東西), 解析ケース④, $S_s - D 2 (+ +)$)

4.5.6 断面⑥の解析結果

断面⑥の構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対して最大照査値となる解析ケース及び地震動における断面力分布図を図4-27～図4-30に、せん断破壊に対して最大照査値となる解析ケース及び地震動における断面力分布図を図4-32及び図4-33に示す。なお、断面⑥と断面⑤の壁部材は壁厚及び配筋が同一であり、断面⑥は底版を有するため断面⑤よりも構造的に有利となることから、断面⑥における壁部材の照査は断面⑥と断面⑤の荷重を包絡して照査を行う断面⑤で代表とし、断面⑥では面材である底版の照査を行う。

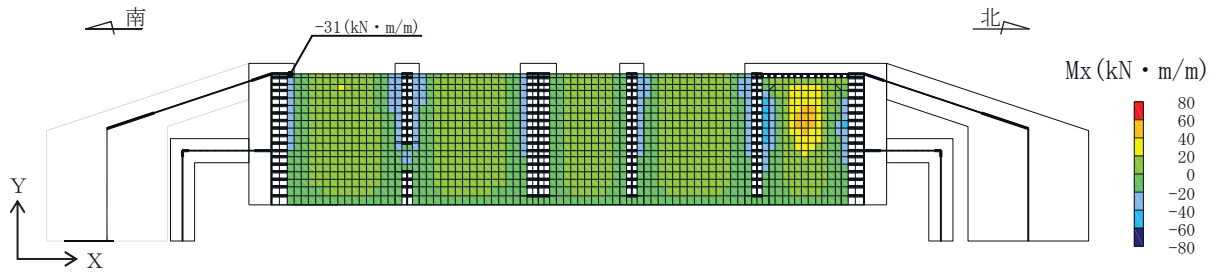


図4-27 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(曲げモーメント (kN・m/m) : M_x)

(底版, 解析ケース③, $S_s - F2$ (++))

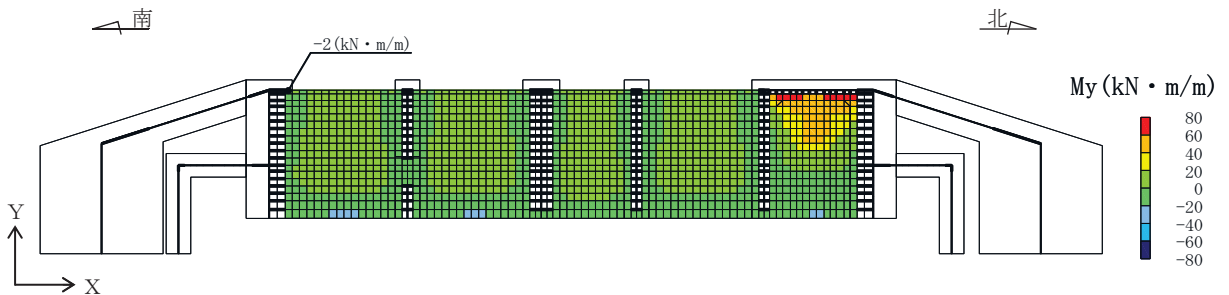


図4-28 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(曲げモーメント (kN・m/m) : M_y)

(底版, 解析ケース③, $S_s - F2$ (++))

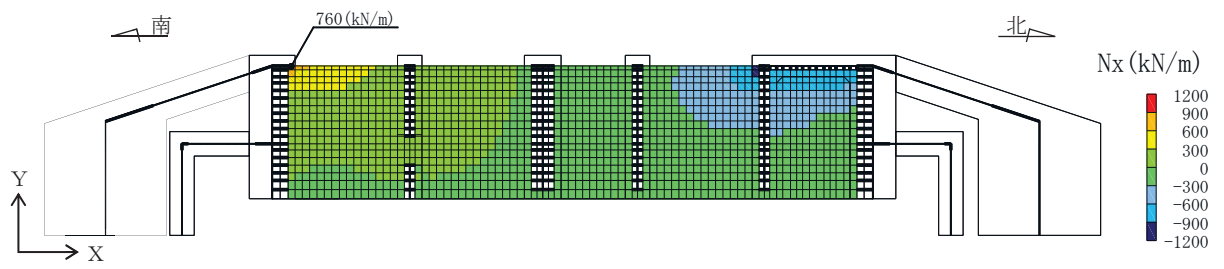


図 4-29 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_x)

(底版, 解析ケース③, $S_s - F_2$ (++))

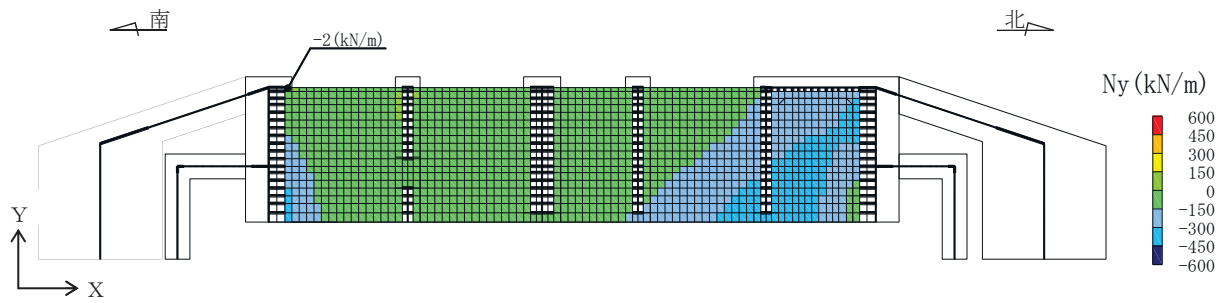


図 4-30 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(軸力 (kN/m) : N_y)

(底版, 解析ケース③, $S_s - F_2$ (++))

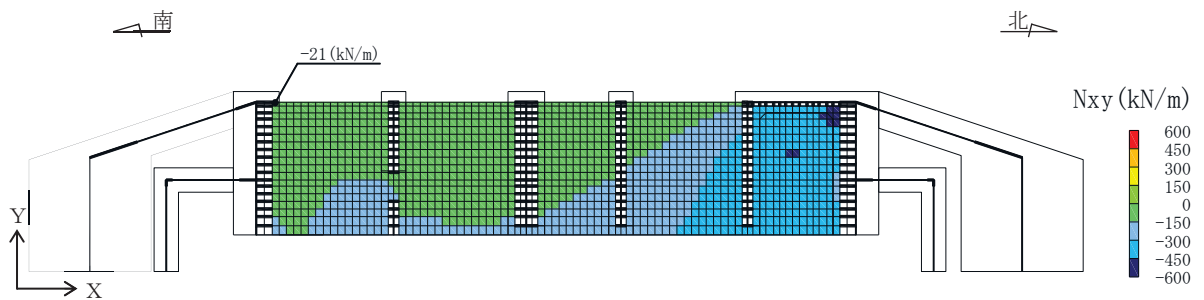


図 4-31 曲げ・軸力系の破壊に対する照査値最大時の断面力分布図

(面内せん断力 (kN/m) : N_{xy})

(底版, 解析ケース③, $S_s - F_2$ (++))

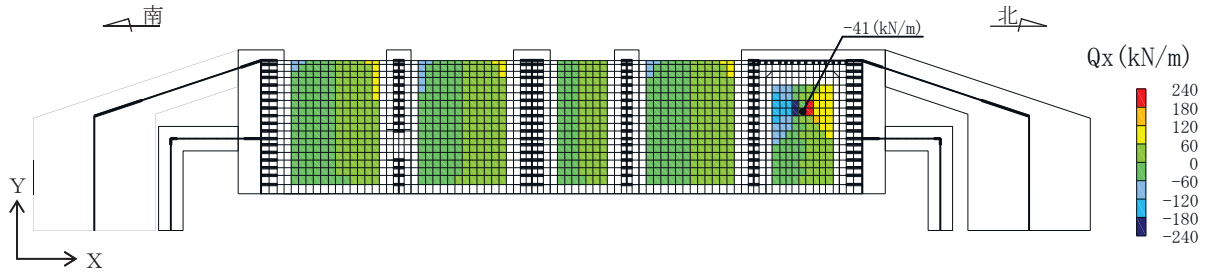


図 4-32 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_x)
 (底版, 解析ケース④, $S_s - N1$ (++))

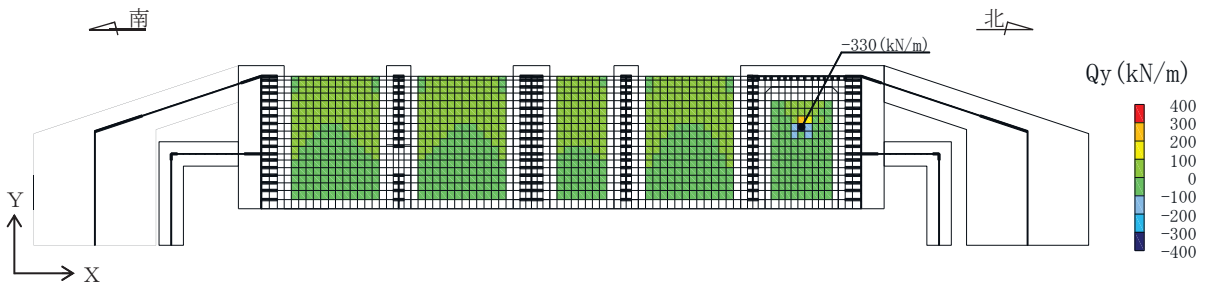


図 4-33 せん断破壊に対する照査における照査値最大時の断面力分布図
 (せん断力 (kN/m) : Q_y)
 (底版, 解析ケース④, $S_s - N1$ (++))

R 1
VI-2-2-12-2
⑤
O 2

5. 耐震評価

5.1 構造部材の健全性に対する許容限界

許容限界は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

5.1.1 鉄筋コンクリート部材の健全性に対する許容限界

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

a. 断面①及び断面⑥

鉄筋コンクリート部材を線形シェル要素によりモデル化を行う断面①の構造強度を有することの確認、止水機能を損なわないこと及び S クラスの施設を支持する機能を損なわないことにおける構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、表 5-1 及び表 5-2 に示す短期許容応力度とする。

なお、頂版に止水機能及び S クラスの施設を支持する機能を要求されるが、短期許容応力度により照査を行うため、構造強度を有することの確認と許容限界が同一となることから、全部材に対して構造強度を有することを確認することで、止水機能及び S クラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認も同時に行う。

また、断面①と同様に鉄筋コンクリート部材を線形シェル要素によりモデル化を行う断面⑥の構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、表 5-1 及び表 5-2 に示す短期許容応力度とする。

表 5-1 コンクリートの許容応力度及び短期許容応力度（断面①及び断面⑥）

設計基準強度	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	f'ck=20.5(N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ'_{ca}	7.8
許容せん断応力度 τ_{al}		0.42	0.63

注記*：「土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

表 5-2 鉄筋の許容応力度及び短期許容応力度（断面①及び断面⑥）

鉄筋の種類	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
SD345	許容引張応力度 σ_{sa}	196	294

注記*：「土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

b. 断面②～⑤

鉄筋コンクリート部材を非線形はり要素によりモデル化を行う断面②～⑤の構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%）とする。曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態については、土木学会マニュアルではコンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされており、圧縮縁コンクリートひずみ 1.0%の状態は、かぶりコンクリートが剥落する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性等が確保できるとして設定されたものである。また、側壁及び隔壁のアンカー定着部に要求される S クラスの施設を支持する機能を損なわないことの確認においては、コンクリート標準示方書に基づき、主筋ひずみ及びコンクリートの圧縮ひずみについて、部材降伏に相当するひずみ（主筋ひずみ 1725μ 、コンクリート圧縮ひずみ 2000μ ）とする。鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表 5-3 に示す。

表 5-3 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界（断面②～⑤）

確認項目	許容限界	
構造強度を有すること	限界ひずみ	圧縮縁コンクリートひずみ：1.0% (10000μ)
S クラスの施設を支持する機能を損なわないこと		主鉄筋(SD345)： 1725μ コンクリート： 2000μ

(2) せん断破壊に対する許容限界

a. 断面①及び断面⑥

鉄筋コンクリート部材を線形シェル要素によりモデル化を行う断面①の構造強度を有することの確認、止水機能を損なわないこと及び S クラスの施設を支持する機能を損なわないことにおける構造部材（鉄筋コンクリート）のせん断破壊に対する許容限界は、表 5-1 に示す短期許容応力度とする。

また、断面①と同様に鉄筋コンクリート部材を線形シェル要素によりモデル化を行う断面⑥の構造強度を有することの確認における構造部材（鉄筋コンクリート）のせん断破壊に対する許容限界は、表 5-1 に示す短期許容応力度とする。

b. 断面②～⑤

鉄筋コンクリート部材を非線形はり要素によりモデル化を行う断面②～⑤の構造強度を有することの確認及び S クラスの施設を支持する機能を損なわないことにおけるせん断破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づくせん断耐力とする。せん断耐力の評価式は部材の種類に応じて 4 種類を用いる。

せん断耐力を、土木学会マニュアルに基づき「(a) 棒部材式」、「(b) ディープビーム式」のせん断耐力式で求まるせん断耐力のうち、いずれか大きい方とする。

せん断耐力式による照査において照査用せん断力が上記のせん断耐力を上回る場合、より詳細に材料非線形解析を用いて部材のせん断耐力を求め許容限界とする。

また、CCb 工法を用いる構造部材については「(c) CCb によりせん断補強された部材のせん断耐力式」によることとする。

各せん断耐力の評価式は、後述する。せん断破壊に対する照査のフローを図 5-1 に示す。

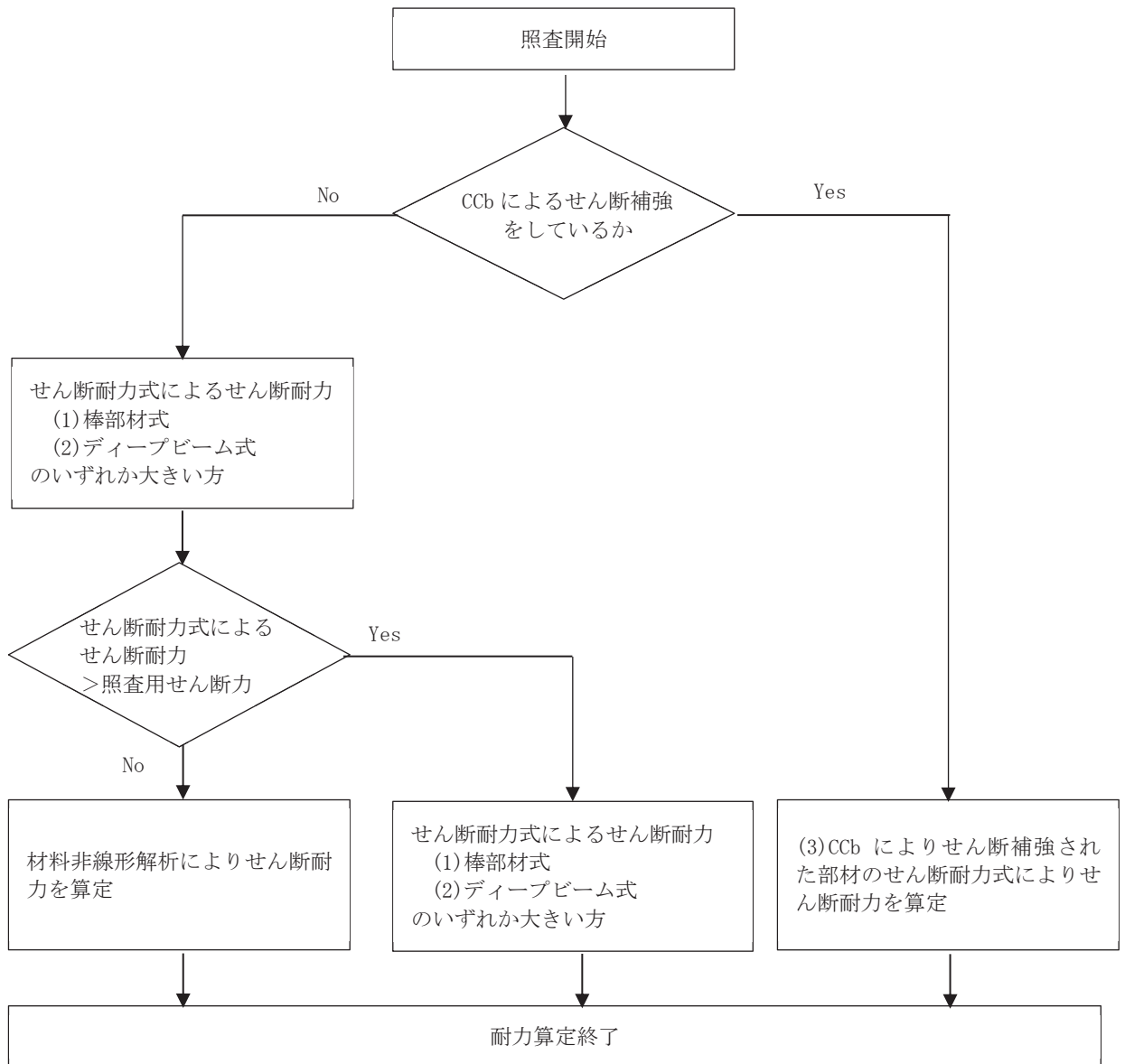


図 5-1 せん断破壊に対する耐力評価フロー

(a) 棒部材式

$$V_{y d} = V_{c d} + V_{s d}$$

ここで、 $V_{y d}$: せん断耐力

$V_{c d}$: コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{s d}$: せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{c d} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{v c d} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{b c}$$

$$f_{v c d} = 0.20^3 \sqrt{f'_{c d}} \quad \text{ただし、} f_{v c d} > 0.72 \text{ (N/mm}^2\text{) となる場合は}$$
$$f_{v c d} = 0.72 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1 / d} \quad (d \text{ [m]}) \quad \text{ただし、} \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v} \quad \text{ただし、} \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_p = 1.5$$

$$\beta_n = 1 + M_0 / M_d \quad (N'_d \geq 0) \quad \text{ただし、} \beta_n > 2.0 \text{ となる場合は } \beta_n = 2.0$$

$$= 1 + 2M_0 / M_d \quad (N'_d < 0) \quad \text{ただし、} \beta_n < 0 \text{ となる場合は } \beta_n = 0$$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a / d} \quad \text{ただし、} \beta_a < 1.0 \text{ となる場合は } \beta_a = 1.0$$

ここで、 $f'_{c d}$: コンクリート圧縮強度の設計用値(N/mm²)で設計基準強度 $f'_{c k}$ を

材料係数 $\gamma_{m c}$ で除したもの

$$p_v : \text{引張鉄筋比} \quad p_v = A_s / (b_w \cdot d)$$

A_s : 引張側鋼材の断面積

b_w : 部材の有効幅

d : 部材の有効高さ

N'_d : 設計軸圧縮力

M_d : 設計曲げモーメント

M_0 : M_d に対する引張縁において、軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要なモーメント (デコンプレッションモーメント)

$$M_0 = N'_d \cdot D/6$$

D : 断面高さ

a/d : せん断スパン比

γ_{bc} : 部材係数

γ_{mc} : 材料係数

$$V_{sd} = \left\{ A_w f_{wyd} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s \right\} z / \gamma_{bs}$$

A_w : 区間 s におけるせん断補強鉄筋の総断面積

f_{wyd} : せん断補強鉄筋の降伏強度を γ_{ms} で除したもので、 400N/mm^2 以下とする。ただし、コンクリート圧縮強度の特性値 f'_{ck} が 60N/mm^2 以上のときは 800N/mm^2 以下とする。

α : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度

s : せん断補強鉄筋の配置間隔

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で $d/1.15$ とする。

γ_{bs} : 部材係数

γ_{ms} : 材料係数

(b) ディープビーム式

$$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$$

ここで, V_{ydd} : せん断耐力

V_{cdd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sdd} : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{dd} = 0.19 \sqrt{f'_{cd}}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad \text{ただし, } \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v} \quad \text{ただし, } \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_p = 1.5$$

$$\beta_a = \frac{5}{1 + (a/d)^2}$$

ここで, γ_{bc} : 部材係数

$$V_{sdd} = \phi \cdot V_{sd}$$

$$\phi = -0.17 + 0.3 a/d + 0.33/p_{wb} \quad \text{ただし } 0 \leq \phi \leq 1$$

ここで, p_{wb} : せん断補強鉄筋比(%)

(c) CCbによりせん断補強された部材のせん断耐力式

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）において後施工せん断補強（セラミックキャップバー（CCb））を配置した構造部材については、「一般財団法人土木研究センター 建設技術審査証明報告書 後施工セラミック定着型せん断補強鉄筋「セラミックキャップバー（CCb）」」（以下「建設技術証明書」という。）に示されている以下の設計式により求める。

$$V_{pyd} = V_{cd} + V_{sd} + V_{CCbd} \quad \dots \text{式(1)}$$

$$V_{CCbd} = \beta_{aw} \cdot V_{awd} \\ = \beta_{aw} \cdot \left\{ A_{aw} \cdot f_{awy d} (\sin \alpha_{aw} + \cos \alpha_{aw}) / S_{aw} \right\} z / \gamma_b \quad \dots \text{式(2)}$$

$$\beta_{aw} = \eta = 1 - \frac{\ell_y}{2S_{rb}} \quad \dots \text{式(3)}$$

ただし、 $\ell_y - d' \leq 0$ となる場合は $\ell_y - d' = 0$ とする。

ここに、 V_{cd} : せん断補強鋼材を用いない壁部材の単位幅あたりのせん断耐力

V_{sd} : 既存のせん断補強鋼材により受け持たれる壁部材の単位幅あたりのせん断耐力

V_{CCbd} : セラミックキャップバー（CCb）により受け持たれる壁部材の単位幅あたりのせん断耐力

V_{awd} : セラミックキャップバー（CCb）を通常のスターラップと見なして求められる壁部材の単位幅あたりのせん断耐力

β_{aw} : セラミックキャップバー（CCb）のせん断耐力の向上への有効性を示す係数

A_{aw} : 単位長さ当たりの区間 S_{aw} におけるセラミックキャップバー（CCb）の総断面積

$f_{awy d}$: セラミックキャップバー（CCb）の設計降伏強度で $400\text{N}/\text{mm}^2$ 以下とする。

α_{aw} : セラミックキャップバー（CCb）が部材軸となす角度

S_{aw} : セラミックキャップバー（CCb）の配置間隔

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で一般に $d/1.15$ としてよい。

γ_b : 部材係数（一般に 1.10 としてよい）

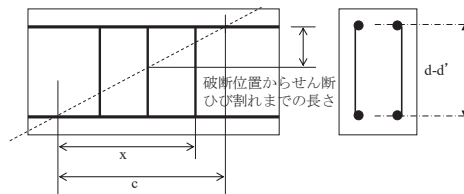
ℓ_y : セラミックキャップバー（CCb）の先端型定着体の定着長（ $5D$ としてよい）

D : CCbの鉄筋径

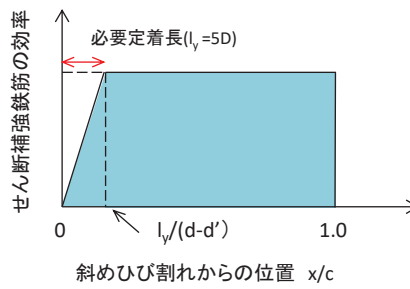
S_{rb} : 補強対象部材の圧縮鉄筋と引張鉄筋の間隔

- d : 補強対象部材の有効高さ
- d' : 差し込み側の部材表面から圧縮鋼材図心までの距離

セラミックキャップバー (CCb) が負担するせん断耐力は、先端型定着体の定着長が 5D であることから、通常のせん断鉄筋に比べ補強効率が低下することから、セラミックキャップバー (CCb) が負担するせん断耐力は同定着長と補強対象部材の主鉄筋間隔から算出される有効率 β_{aw} を通常のせん断補強鉄筋の負担分に乗じるにより考慮されている。図 5-2 に有効率算定における概念図を示す。



(a) 斜めひび割れ内に定着不良が生じたせん断補強鉄筋



(b) 標準型

図 5-2 セラミックキャップバー (CCb) の有効率算定の概念図

5.1.2 鋼材の健全性に対する許容限界

鋼材を線形はり要素によりモデル化している部材の構造強度を有することの確認は、「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」に基づき、表 5-4 に示す短期許容応力度とする。

表 5-4 鋼材の許容限界

鋼材	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	局部座屈に対する許容応力度 σ_{cal}		
SM490		185	277

注記*：「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」により地震時の割り増し係数として 1.5 を考慮する。

鋼材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査は、「日本道路協会 平成 14 年 3 月 道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編」に基づき、軸方向力と曲げの組合せに対して、(5.1) 及び (5.2) に示す応力の照査及び座屈に対する安定の照査を行う。

$$\text{応力の照査：} \sigma_c + \frac{\sigma_{bcy}}{\left(1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eay}}\right)} + \frac{\sigma_{bcz}}{\left(1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eaz}}\right)} \leq \sigma_{cal} \quad \dots \dots \dots (5.1)$$

$$\text{座屈に対する照査：} \frac{\sigma_c}{\sigma_{caz}} + \frac{\sigma_{bcy}}{\sigma_{bagy} \left(1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eay}}\right)} + \frac{\sigma_{bcz}}{\sigma_{baoz} \left(1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{eaz}}\right)} \leq 1 \quad \dots \dots \dots (5.2)$$

ここに、

- σ_c : 照査する断面に作用する軸方向力による圧縮応力度 (N/mm²)
- $\sigma_{bcy}, \sigma_{bcz}$: 強軸及び弱軸まわりに作用する曲げモーメントによる曲げ圧縮応力度 (N/mm²)
- σ_{caz} : 弱軸まわりの許容軸方向圧縮応力度 (N/mm²)
- σ_{bagy} : 局部座屈を考慮しない強軸まわりの許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²)
- σ_{baoz} : 局部座屈を考慮しない許容曲げ圧縮応力度の上限値 (N/mm²)
- σ_{cal} : 局部座屈に対する許容応力度 (N/mm²)
- $\sigma_{eay}, \sigma_{eaz}$: 強軸及び弱軸まわりの許容オイラー座屈応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{eay} = 1,200,000 / (l/r_y)^2$$

$$\sigma_{eaz} = 1,200,000 / (l/r_z)^2$$

l : 有効座屈長 (mm)

r_y, r_z : 強軸及び弱軸まわりの断面二次半径 (mm)

5.1.3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

(1) 基礎地盤（狐崎部層）

基礎地盤（狐崎部層）に発生する接地圧に対する許容限界は、添付書類「VI-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力とする。

基礎地盤（狐崎部層）の接地圧に対する許容限界を表 5-5 に示す。

表 5-5 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力	狐崎部層	13.7

(2) MMR（既設）

MMR（既設）に発生する接地圧に対する許容限界は、「土木学会 2002 年 コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]」に基づき、コンクリートの支圧強度とする。

MMR（既設）の許容限界を表 5-6 に示す。

表 5-6 MMR（既設）の支持性能に対する許容限界

評価項目	MMR（既設）	許容限界 (N/mm ²)
支圧強度	コンクリート ($f'_{ck}=15.6\text{N/mm}^2$)	$f'_a=15.6$

5.2 評価方法

構造部材の健全性評価については、地震応答解析により得られた応答値から二次元構造モデルへ入力する荷重を算定し、二次元構造解析により算定した発生応力度、照査用ひずみ、照査用せん断力が「5.1 許容限界」に示す許容限界を下回ることを確認する。基礎地盤の支持性能については、地震応答解析から算定した最大接地圧が「5.1 許容限界」に示す許容限界を下回ることを確認する。

6. 耐震評価結果

6.1 構造部材の健全性に対する評価結果

6.1.1 断面①の評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-1 及び表 6-2 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-3 に示す。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の断面①において、発生応力度及び発生せん断力が、構造部材の健全性に対する許容限界を下回ることを確認した。

表 6-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリート）

評価位置*		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
頂版	101	④	S s - D 2 (-+)	-334	-486	5.6	11.7	0.48

注記*：評価位置は図 6-1 に示す。

表 6-2 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鉄筋）

評価位置*		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
頂版	101	④	S s - D 2 (-+)	-334	-196	133	294	0.46

注記*：評価位置は図 6-1 に示す。

表 6-3 せん断破壊に対する照査

評価位置*		解析 ケース	地震動	発生 せん断力 (kN/m)	発生 応力度 τ_d (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_d / τ_{a1}
頂版	101	④	S s - D 2 (-+)	293	0.59	0.63	0.94

注記*：評価位置は図 6-1 に示す。

6.1.2 断面②～⑤の評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-4 に、鋼材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-5 及び表 6-6 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-7 に示す。

原子炉機器冷却配管ダクト（鉛直部）の断面②～⑤において照査用ひずみ（コンクリートの圧縮ひずみ）、発生応力度及び照査用せん断力が、構造部材の健全性に対する許容限界を下回ることを確認した。

表 6-4 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリートの圧縮ひずみ）

評価位置*1			解析 ケース	地震動	照査用 ひずみ*2 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
断面②	隔壁(東西)	233	①	S s - D 2 (++)	684 μ	10000 μ	0.07
断面③	隔壁(東西)	336	②	S s - D 2 (++)	715 μ	10000 μ	0.08
断面④	側壁(南北)	414	②	S s - D 2 (++)	1024 μ	10000 μ	0.11
断面⑤	隔壁(東西)	536	③	S s - N 1 (-+)	815 μ	10000 μ	0.09

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-5 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鋼材，応力の照査）

評価位置*			解析 ケース	地震動	発生 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{cal} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{cal}
断面②	鋼材	251	①	S _s -F3 (-+)	155	277	0.56
断面③	鋼材	351	②	S _s -D2 (++)	97	277	0.36
断面④	鋼材	451	②	S _s -D2 (++)	87	277	0.32
断面⑤	—	—	—	—	—	—	—

注記*：評価位置は図 6-1 に示す。

表 6-6 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鋼材，座屈に対する安定性の照査）

評価位置*			解析 ケース	地震動	応力度 区分	発生 応力度 σ_c, σ_{bc} (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca}, σ_{ba} (N/mm ²)	個別照査値 $\sigma_c / \sigma_{ca},$ $\sigma_{bc} / \sigma_{ba}$	照査値
断面②	鋼材	251	①	S _s -F3 (-+)	軸力	150	252	0.60	0.63
					強軸 曲げ	1	247	0.01	
					弱軸 曲げ	3	246	0.02	
断面③	鋼材	351	②	S _s -D2 (++)	軸力	91	242	0.38	0.41
					強軸 曲げ	1	241	0.01	
					弱軸 曲げ	4	250	0.02	
断面④	鋼材	451	②	S _s -D2 (++)	軸力	69	190	0.37	0.44
					強軸 曲げ	1	190	0.01	
					弱軸 曲げ	12	210	0.06	
断面⑤	—	—	—	—	—	—	—	—	

注記*：評価位置は図 6-1 に示す。

表 6-7 せん断破壊に対する最大照査値

評価位置*1			解析 ケース	地震動	照査用 せん断力*2 V_d (kN/m)	せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN/m)	照査値 $V_d / V_{y d}$
断面②	隔壁(東西)	238	④	S s - D 2 (++)	833	1620*3	0.52
断面③	隔壁(東西)	333	④	S s - D 2 (++)	503	560*3	0.90
断面④	隔壁(東西)	434	④	S s - D 2 (++)	621	824*3	0.76
断面⑤	隔壁(東西)	537	④	S s - D 2 (++)	1175	2099*3	0.56

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

*3：材料非線形解析によるせん断耐力

6.1.3 断面⑥の評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-8 及び表 6-9 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-10 に示す。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の断面①において、発生応力度及び発生せん断力が、構造部材の健全性に対する許容限界を下回ることを確認した。

表 6-8 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリート）

評価位置*		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ'_c / σ'_{ca}
底版	601	③	S _s -F2 (-+)	-32	-1765	2.1	11.7	0.18

注記*：評価位置は図 6-1 に示す。

表 6-9 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鉄筋）

評価位置*		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
底版	601	③	S _s -F2 (++)	-31	781	260	294	0.89

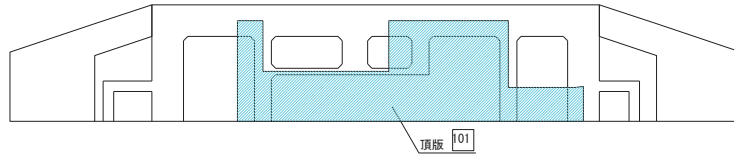
注記*：評価位置は図 6-1 に示す。

表 6-10 せん断破壊に対する照査

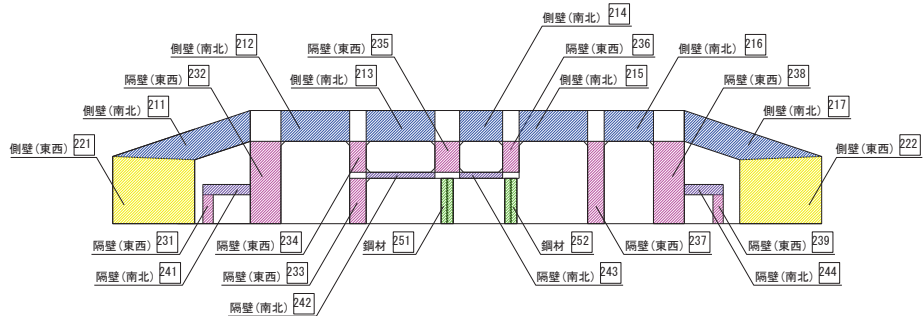
評価位置*		解析 ケース	地震動	発生 せん断力 (kN/m)	発生 応力度 τ_d (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_d / τ_{a1}
底版	601	④	S _s -N1 (++)	-330	0.49	0.63	0.78

注記*：評価位置は図 6-1 に示す。

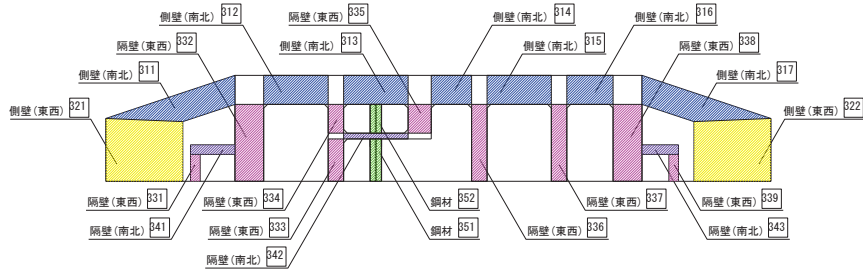
断面①



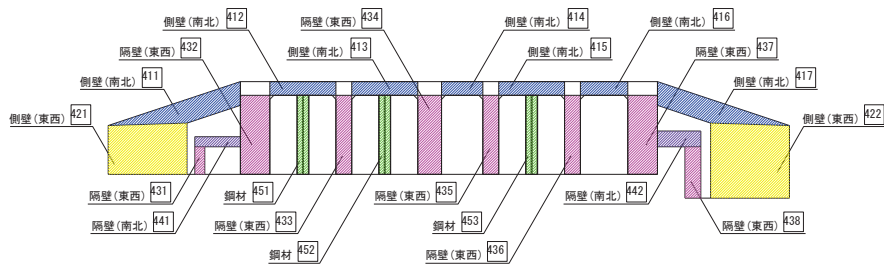
断面②



断面③



断面④



断面⑤

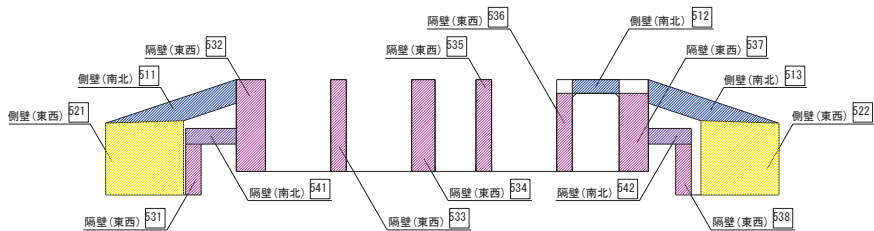


図 6-1(1) 評価位置図

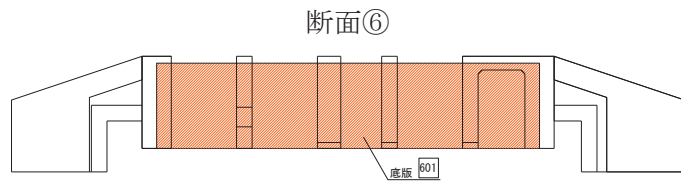


図 6-1(2) 評価位置図

6.2 止水機能に対する評価結果

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の頂版（断面①）の一部に浸水防止のための止水機能が要求されるが、短期許容応力度により照査を行う構造強度を有することの確認と許容限界が同一となることから、「6.1 構造部材の健全性に対する評価結果」の「6.1.1 断面①の評価結果」により、止水機能を損なわないことを確認した。

6.3 Sクラスの施設を支持する機能に対する評価結果

6.3.1 断面①の評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-11 及び表 6-12 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-13 に示す。

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）の断面①において、発生応力度及び発生せん断力が、Sクラスの施設を支持する機能に対する許容限界を下回ることを確認した。

表 6-11 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリート）（再掲）

評価位置*		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 σ'_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ' / σ'_{ca}
頂版	101	④	S s - D 2 (-+)	-334	-486	5.6	11.7	0.48

注記*：評価位置は図 6-1 に示す。

表 6-12 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（鉄筋）（再掲）

評価位置*		解析 ケース	地震動	曲げモー メント (kN・m/m)	軸力 (kN/m)	発生 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
頂版	101	④	S s - D 2 (-+)	-334	-196	133	294	0.46

注記*：評価位置は図 6-1 に示す。

表 6-13 せん断破壊に対する照査（再掲）

評価位置*		解析 ケース	地震動	発生 せん断力 (kN/m)	発生 応力度 τ_d (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_d / τ_{a1}
頂版	101	④	S s - D 2 (-+)	293	0.59	0.63	0.94

注記*：評価位置は図 6-1 に示す。

6.3.2 断面②～⑤の評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-14 及び表 6-15 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 6-16 に示す。

原子炉機器冷却配管ダクト（鉛直部）の断面②～⑤において照査用ひずみ（コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみ）及び照査用せん断力が、S クラスの施設を支持する機能に対する許容限界を下回ることを確認した。

表 6-14 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリートの圧縮ひずみ）

評価位置*1			解析 ケース	地震動	照査用 ひずみ*2 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
断面②	隔壁(東西)	233	①	S s - D 2 (++)	684 μ	2000 μ	0.35
断面③	隔壁(東西)	336	②	S s - D 2 (++)	715 μ	2000 μ	0.36
断面④	側壁(南北)	414	②	S s - D 2 (++)	1024 μ	2000 μ	0.52
断面⑤	隔壁(東西)	536	③	S s - N 1 (-+)	815 μ	2000 μ	0.41

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-15 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（主筋ひずみ）

評価位置*1			解析 ケース	地震動	照査用 ひずみ*2 ϵ_d	限界 ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
断面②	隔壁(南北)	242	①	S s - D 1 (-+)	1017 μ	1725 μ	0.59
断面③	側壁(南北)	311	②	S s - D 2 (++)	876 μ	1725 μ	0.51
断面④	側壁(南北)	416	③	S s - N 1 (-+)	1359 μ	1725 μ	0.79
断面⑤	側壁(南北)	512	③	S s - N 1 (-+)	1562 μ	1725 μ	0.91

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：照査用ひずみ＝発生ひずみ×構造解析係数 γ_a

表 6-16 せん断破壊に対する最大照査値（再掲）

評価位置*1			解析 ケース	地震動	照査用 せん断力*2 V_d (kN/m)	せん断 耐力 $V_{y d}$ (kN/m)	照査値 $V_d / V_{y d}$
断面②	隔壁(東西)	238	④	S s - D 2 (++)	833	1620*3	0.52
断面③	隔壁(東西)	333	④	S s - D 2 (++)	503	560*3	0.90
断面④	隔壁(東西)	434	④	S s - D 2 (++)	621	824*3	0.76
断面⑤	隔壁(東西)	537	④	S s - D 2 (++)	1175	2099*3	0.56

注記*1：評価位置は図 6-1 に示す。

*2：照査用せん断力＝発生せん断力×構造解析係数 γ_a

*3：材料非線形解析によるせん断耐力

6.4 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

原子炉機器冷却海水配管ダクト（鉛直部）は、海水ポンプ室に懸架され一体構造になっていることから、添付資料「VI-2-2-8 海水ポンプ室の耐震性についての計算書」により、基礎地盤に発生する最大接地圧が極限支持力を下回ること及び MMR（既設）に発生する最大接地圧が支圧強度を下回ることを確認した。