

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-19-0103_改5
提出年月日	2021年11月15日

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

2021年11月  
東北電力株式会社

## 目 次

1. 概要.....	1
2. 基本方針.....	2
2.1 位置.....	2
2.2 構造概要.....	3
2.3 評価方針.....	10
2.4 適用規格・基準等.....	13
3. 地震応答解析による評価方法.....	14
4. 地震応答解析による評価結果.....	15
4.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果.....	15
4.2 保有水平耐力の評価結果.....	18

別紙 1 浸水防護施設を支持する部位等の評価について

本日の説明範囲

別紙 1 浸水防護施設を支持する部位等の評価について

## 目 次

1. 概要.....	別紙 1- 1
2. 基本方針.....	別紙 1- 2
2.1 構造概要.....	別紙 1- 2
2.2 評価方針.....	別紙 1- 5
3. 浸水防護施設を支持する部位等の応力解析による評価.....	別紙 1- 6
3.1 評価フロー.....	別紙 1- 6
3.2 評価対象部位.....	別紙 1- 7
3.3 荷重及び荷重の組合せ.....	別紙 1- 8
3.3.1 荷重.....	別紙 1- 8
3.3.2 荷重の組合せ.....	別紙 1-16
3.4 解析モデル及び諸元.....	別紙 1-16
3.4.1 モデル化の基本方針.....	別紙 1-16
3.4.2 材料構成則.....	別紙 1-21
3.5 評価方法.....	別紙 1-24
3.5.1 応力解析方法.....	別紙 1-24
3.5.2 断面の評価方法.....	別紙 1-24
3.6 評価結果.....	別紙 1-26
4. 補機冷却海水系放水ピット上の浸水防止蓋を支持する壁の評価.....	別紙 1-39
4.1 評価対象部位.....	別紙 1-39
4.2 荷重及び荷重の組み合わせ.....	別紙 1-41
4.2.1 入力荷重.....	別紙 1-41
4.2.2 荷重の組み合わせ.....	別紙 1-42
4.3 解析モデル及び諸元.....	別紙 1-42
4.3.1 解析モデル.....	別紙 1-42
4.3.2 使用材料の物性値.....	別紙 1-43
4.4 評価方法.....	別紙 1-44
4.4.1 応力解析方法.....	別紙 1-44
4.4.2 断面の評価方法.....	別紙 1-44
4.5 評価結果.....	別紙 1-45
5. 補機冷却海水系放水ピット上の浸水防止蓋等を支持する 片持ちスラブの評価.....	別紙 1-46
5.1 評価対象部位.....	別紙 1-46
5.2 荷重及び荷重の組み合わせ.....	別紙 1-48
5.2.1 入力荷重.....	別紙 1-48

5.2.2	荷重の組み合わせ.....	別紙 1-49
5.3	解析モデル及び諸元.....	別紙 1-50
5.3.1	解析モデル.....	別紙 1-50
5.3.2	使用材料の物性値.....	別紙 1-52
5.4	評価方法.....	別紙 1-52
5.4.1	応力解析方法.....	別紙 1-52
5.4.2	断面の評価方法.....	別紙 1-53
5.5	評価結果.....	別紙 1-54
6.	建屋南側袖壁の評価.....	別紙 1-55
6.1	評価対象部位.....	別紙 1-55
6.2	荷重及び荷重の組み合わせ.....	別紙 1-58
6.3	評価モデル及び諸元.....	別紙 1-60
6.3.1	評価モデル.....	別紙 1-60
6.3.2	使用材料の物性値.....	別紙 1-61
6.4	評価方法.....	別紙 1-62
6.4.1	応力解析方法.....	別紙 1-62
6.4.2	断面の評価方法.....	別紙 1-62
6.5	評価結果.....	別紙 1-64
7.	引用文献.....	別紙 1-65

 本日の説明範囲

#### 4. 補機冷却海水系放水ピット上の浸水防止蓋を支持する壁の評価

##### 4.1 評価対象部位

浸水防止蓋を固定する鉄骨架構は第3号機海水熱交換機建屋1階ペントハウス（以下「ペントハウス」という。）の<sub>H1</sub>通り外壁で支持されることから、評価部位はペントハウスの<sub>H1</sub>通り外壁とする。評価対象部位であるペントハウスの<sub>H1</sub>通り外壁を図4-1に示す。

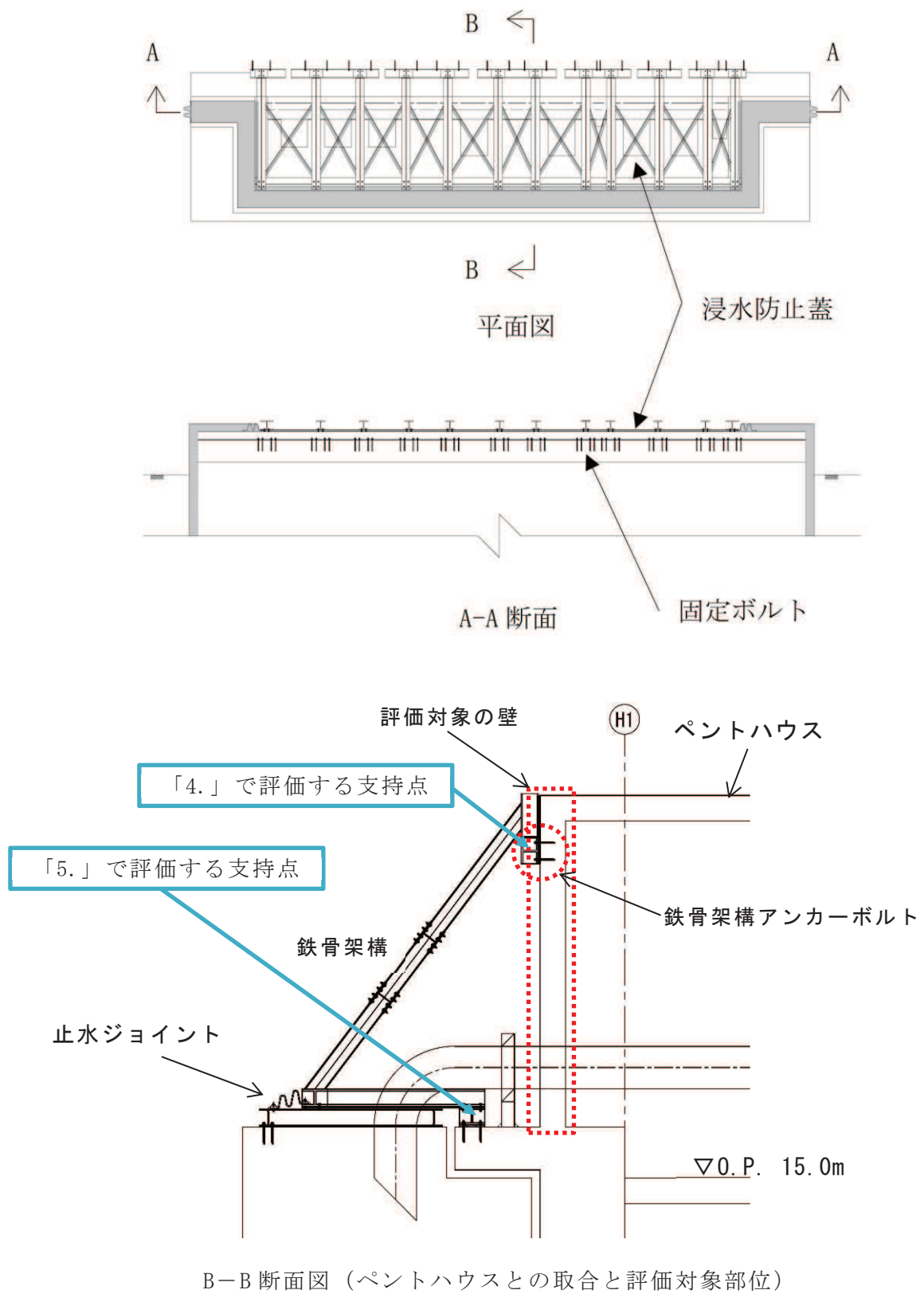


図 4-1 浸水防止蓋概要図

## 4.2 荷重及び荷重の組み合わせ

### 4.2.1 入力荷重

表 4-1 に示す地震時の荷重の組み合わせを考慮する。

表 4-1 応力解析における入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
地震時荷重	慣性力	躯体に作用する慣性力* <sup>1</sup>
	付帯構造物の荷重	浸水防止蓋の反力* <sup>2</sup>

注記\*1：添付書類「VI-2-2-29 第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」の地震応答解析結果に基づく、材料物性の不確かさを考慮した各ケースの震度の包絡値とする。

\*2：添付書類「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」及び添付書類「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」に示す、材料物性の不確かさを考慮した各ケースの包絡値とする。

#### (1) 躯体に作用する慣性力

地震時慣性力の算出に用いる水平震度を表 4-2 に示す。なお、ペントハウス部の固有周期は剛であり、震度の増幅は考慮しない。

表 4-2 地震時慣性力の算出に用いる水平震度

ケース	O.P. (m)	水平震度 (NS 方向)
S <sub>s</sub> 地震時	15.0	2.46

#### (2) 浸水防止蓋の反力

浸水防止蓋を固定する鉄骨架構から評価対象部位であるペントハウスの<sub>H</sub>1 通り外壁に対しては、図 4-1 に示すとおりアンカーボルトを通して反力が伝達される。アンカーボルトからペントハウスの<sub>H</sub>1 通り外壁に作用する荷重を表 4-3 に示す。

表 4-3 アンカーボルトからペントハウスの<sub>H</sub>1 通り外壁に作用する荷重

ケース	水平荷重 (kN)	曲げモーメント (kN・m)
S <sub>s</sub> 地震時	10.665	2.631



#### 4.2.2 荷重の組み合わせ

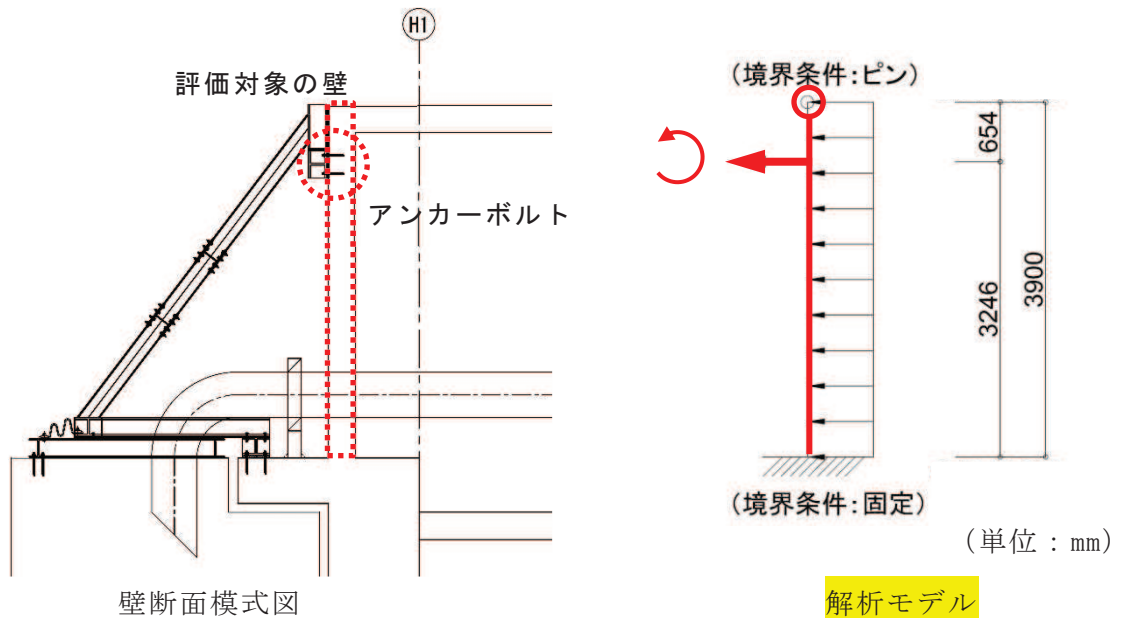
荷重の組み合わせとしては、 $S_s$ 地震時における慣性力及び付帯構造物の荷重を考慮する。

#### 4.3 解析モデル及び諸元

##### 4.3.1 解析モデル

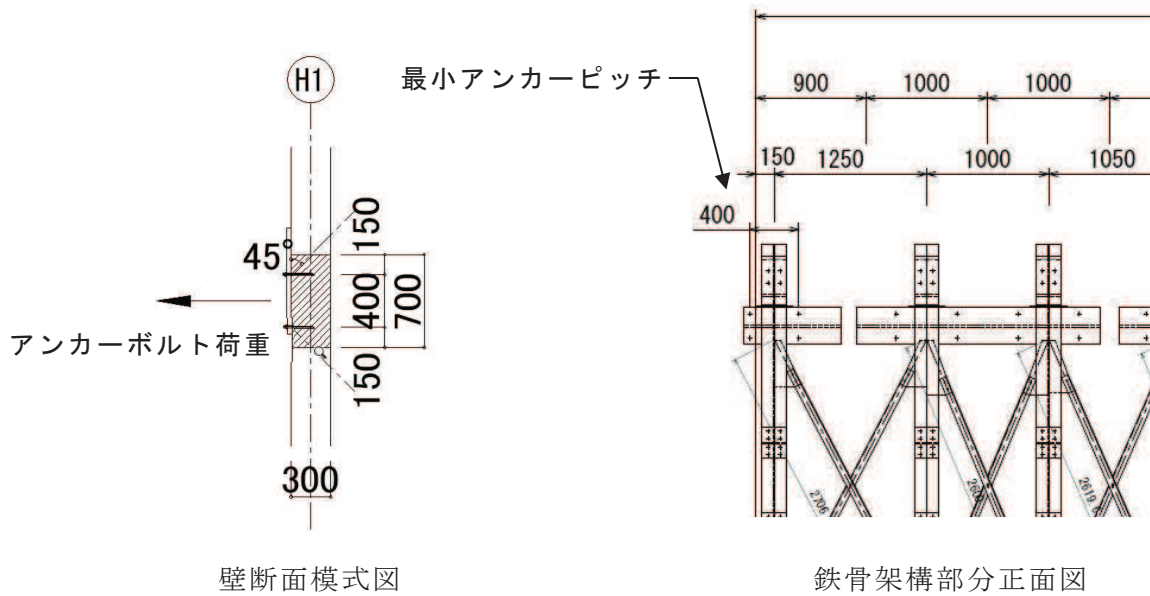
応力解析には、解析コード「KANSAS2」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

解析モデル概要図を図4-2に示す。ペントハウスの $H_1$ 通り外壁は面内方向に十分な耐力を有することから、応力解析においては面外方向の評価を実施することとし、1階から屋根スラブまでの一方向版としてモデル化を行う。境界条件として、1階側は固定支持とし、屋根スラブ側はピン支持とする。また、図4-2(b)に示すとおり、鉄骨架構斜材のアンカーボルトピッチが400mmであることと、ペントハウス評価対象の壁厚が300mmであることから、ペントハウス壁部の検討幅を700mmとする。



(a) 評価対象壁のモデル化

図4-2(1) 解析モデル (1/2)



壁断面模式図

鉄骨架構部分正面図

(単位：mm)

(b) 評価幅の考え方

図 4-2(2) 解析モデル (2/2)

4.3.2 使用材料の物性値

使用材料の物性値を表 4-4 に示す。

コンクリートのヤング係数については、設計基準強度に基づき算定した値とする。コンクリートの圧縮強度は設計基準強度に基づく値とする。

表 4-4 使用材料の物性値

(a) コンクリート

コンクリートの設計基準強度 $F_c$ ( $N/mm^2$ )	ヤング係数 $E$ ( $N/mm^2$ )	ポアソン比 $\nu$
32.4	$2.51 \times 10^4$	0.2

(b) 鉄筋

鉄筋の種類	ヤング係数 $E$ ( $N/mm^2$ )
SD345	$2.05 \times 10^5$

#### 4.4 評価方法

##### 4.4.1 応力解析方法

ペントハウスの<sub>H</sub>1通り外壁を一方向版としてモデル化した応力解析を実施する。

##### 4.4.2 断面の評価方法

ペントハウスの<sub>H</sub>1通り外壁が浸水防止蓋の支持に十分な構造強度を有していることを確認するため、応力解析により得られた曲げモーメント、並びに面外せん断力に対して次の通り評価し、ペントハウスの<sub>H</sub>1通り外壁の健全性を確認する。

断面の評価にあたって、曲げモーメントに対する評価については「RC規準」に基づく曲げ終局強度 $M_u$ を、面外せん断力に対する評価については「RC-N規準」に基づく短期許容面外せん断力 $Q_A$ を許容値とし、算出した発生応力が許容値を超えないことを確認する。なお、ペントハウスの<sub>H</sub>1通り外壁については軸力を付加しない。

$$M_u = 0.9 \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot d \cdot 10^{-6}$$

ここで、

- $M_u$  : 曲げ終局強度 (kN・m)
- $a_t$  : 縦筋設計断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $\sigma_y$  : 鉄筋の降伏応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $d$  : 有効せい (mm)

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s \cdot 10^{-3}$$

ここで、

- $Q_A$  : 短期許容面外せん断力 (kN)
- $b$  : 断面の幅 (mm)
- $j$  : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの7/8倍の値 (mm)
- $\alpha$  : 許容せん断力の割増し係数

(2を超える場合は2, 1未満の場合は1とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

- $M$  : 曲げモーメント (N・mm)
- $Q$  : せん断力 (N)
- $d$  : 断面の有効せい (mm)
- $f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 (1.21N/mm<sup>2</sup>)

#### 4.5 評価結果

断面の評価結果を表 4-5 に示す。

表 4-5 より、ペントハウスの<sub>H</sub>1 通り外壁に対する曲げモーメント並びに面外せん断力は、許容値を下回ることを確認したことから、ペントハウスの<sub>H</sub>1 通り外壁が地震時に必要な構造強度を有することを確認した。

表 4-5 断面評価結果

O.P. (m)		15.6~19.8
壁位置 (通り)		<sub>H</sub> 1
壁厚 D (mm)		300
壁幅 B (mm)		700
有効せい d (mm)		220
配筋 (鉄筋断面積)	縦筋配筋	2-D13@200
	縦筋設計断面積 $a_t$ (mm <sup>2</sup> )	381
せん断に対する検討	せん断力 Q (kN)	31.9
	せん断スパン比による割増し係数 $\alpha$	1.00
	コンクリートの短期許容せん断応力度 $f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.21
	短期許容面外せん断力 $Q_A$ (kN)	163
	検定比 $Q/Q_A$	0.20
曲げモーメントに対する検討	曲げモーメント M (kN・m)	25.7
	鉄筋の降伏応力度 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	345
	曲げ終局強度 $M_u$ (kN・m)	28.6
	検定比 $M/M_u$	0.90
判定		可

## 5. 補機冷却海水系放水ピット上の浸水防止蓋等を支持する片持ちスラブの評価

### 5.1 評価対象部位

補機冷却海水系放水ピット上の浸水防止蓋を固定する鉄骨架構及び配管サポートは、第3号機海水熱交換機建屋1階の<sub>H</sub>1通り側の片持ちスラブ（以下「片持ちスラブ」という。）で支持されることから、評価対象部位は片持ちスラブとする。評価対象部位である片持ちスラブを図5-1に示す。

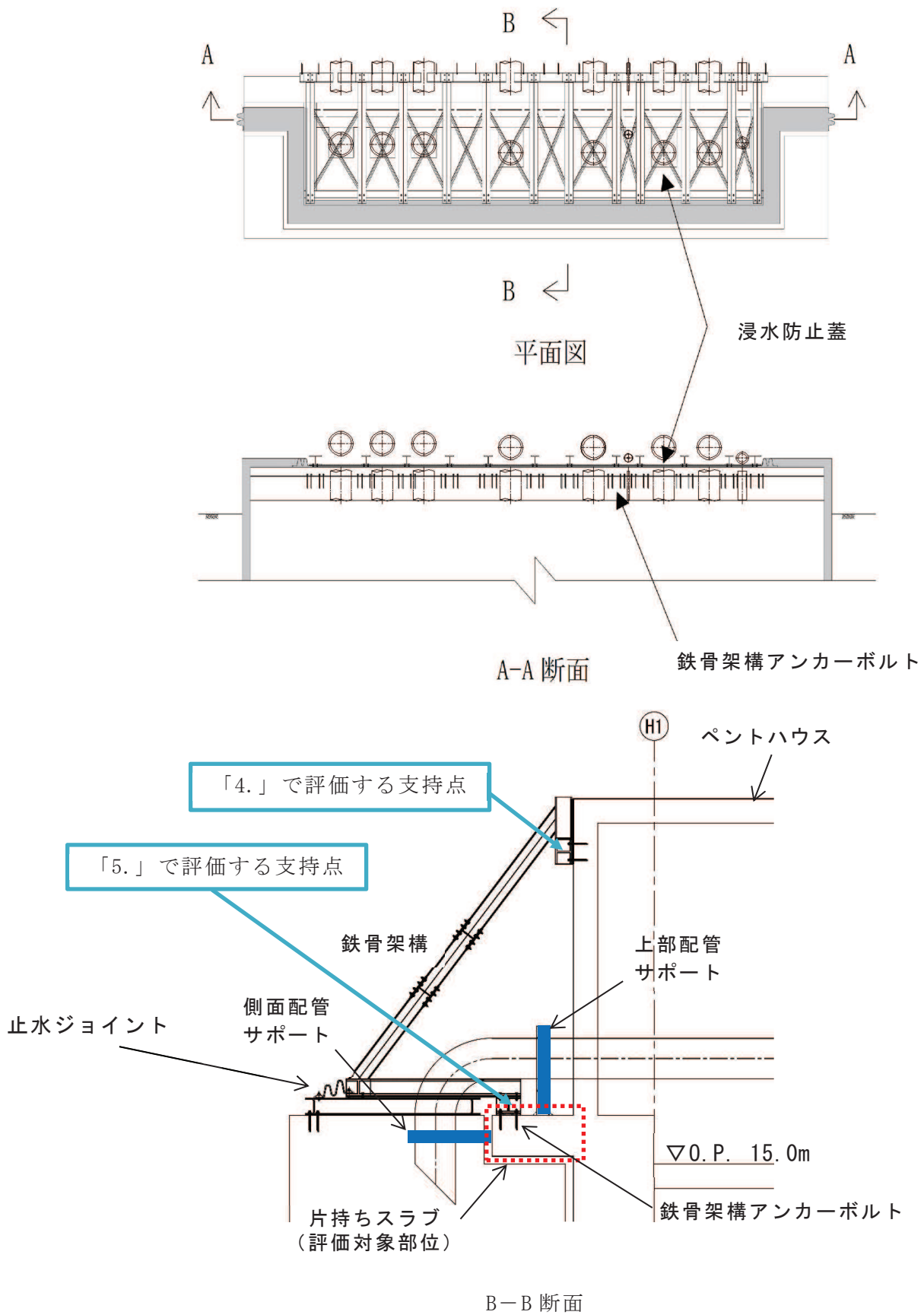


図 5-1 評価対象部位の概要図

## 5.2 荷重及び荷重の組み合わせ

### 5.2.1 入力荷重

表 5-1 に示す地震時の荷重の組み合わせを考慮する。

表 5-1 応力解析における入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
地震時荷重	慣性力	躯体に作用する慣性力 <sup>*1</sup>
	付帯構造物の荷重	浸水防止蓋の反力 <sup>*2</sup> 配管サポートの反力 <sup>*3</sup>

注記\*1：添付書類「VI-2-2-29 第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」の地震応答解析結果に基づく、材料物性の不確かさを考慮した各ケースの震度の包絡値とする。

\*2：添付書類「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」及び添付書類「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」に示す、材料物性の不確かさを考慮した各ケースの包絡値とする。

\*3：添付書類「VI-1-1-2-2-4 入力津波による津波防護対象設備への影響評価」に基づく配管サポートの反力を用いる。

#### (1) 躯体に作用する慣性力

地震時慣性力の算出に用いる鉛直震度を表 5-2 に示す。

表 5-2 地震時慣性力の算出に用いる鉛直震度

ケース	O.P. (m)	鉛直震度 (UD 方向)
S <sub>s</sub> 地震時	15.0	1.27

## (2) 付帯構造物の荷重

浸水防止蓋を固定する鉄骨架構及び配管サポートから評価対象部位である片持ちスラブに対しては、図 5-1 に示すとおりアンカーボルトを通して反力が伝達される。アンカーボルトから片持ちスラブに作用する荷重を表 5-3 に示す。

表 5-3 アンカーボルトから片持ちスラブに作用する荷重

## (a) 浸水防止蓋を固定する鉄骨架構からの反力

ケース	鉛直荷重 (kN)	曲げモーメント (kN・m)
S s 地震時	1.837 (上向き)	0.777 (上向き*)
	12.208 (下向き)	4.558 (下向き*)

注記\*：曲げモーメントの上向きとは、固定端において下端引張となる向きを、下向きとは上端引張となる向きを表す

## (b) 上部配管サポートからの反力 (上向き・下向き)

ケース	鉛直荷重 (kN)	曲げモーメント (kN・m)
S s 地震時	133.0	0.000

## (c) 側面配管サポートからの反力 (上向き・下向き)

ケース	鉛直荷重 (kN)	曲げモーメント (kN・m)
S s 地震時	1.0	0.260

## 5.2.2 荷重の組み合わせ

荷重の組み合わせとしては、S s 地震時における慣性力及び付帯構造物の荷重を考慮する。



### 5.3 解析モデル及び諸元

#### 5.3.1 解析モデル

解析モデル概要図を図 5-2 に示す。片持ちスラブは面内方向に十分な耐力を有することから、応力解析においては<sub>H</sub>1 通り側を固定端とした片持ちスラブとしてモデル化を行う。また、モデル化幅は主筋 1 本当りりの負担幅の 200mm とし、スラブに掛かる各荷重はアンカーボルトのピッチ及び部材厚を考慮して負担幅を算定し、負担幅の中に存在する主筋本数で除した値とする。

図 5-3 に負担幅の考え方を示す。鉄骨架構ではアンカーボルトが一行であることと、評価対象の部材厚が 500mm であることから、図 5-3(a) のとおり負担幅を 500mm とし、上部配管サポートではアンカーボルトのピッチが 1250mm であることと、評価対象の部材厚が 500mm であることから、図 5-3(b) のとおり負担幅を 1750mm とする。また、側面配管サポートにおいては、応力が最大となる片持ちスラブの固定点までの距離が十分に長いため、負担幅は図 5-3(c) のとおりベースプレートのピッチである 1000mm とする。

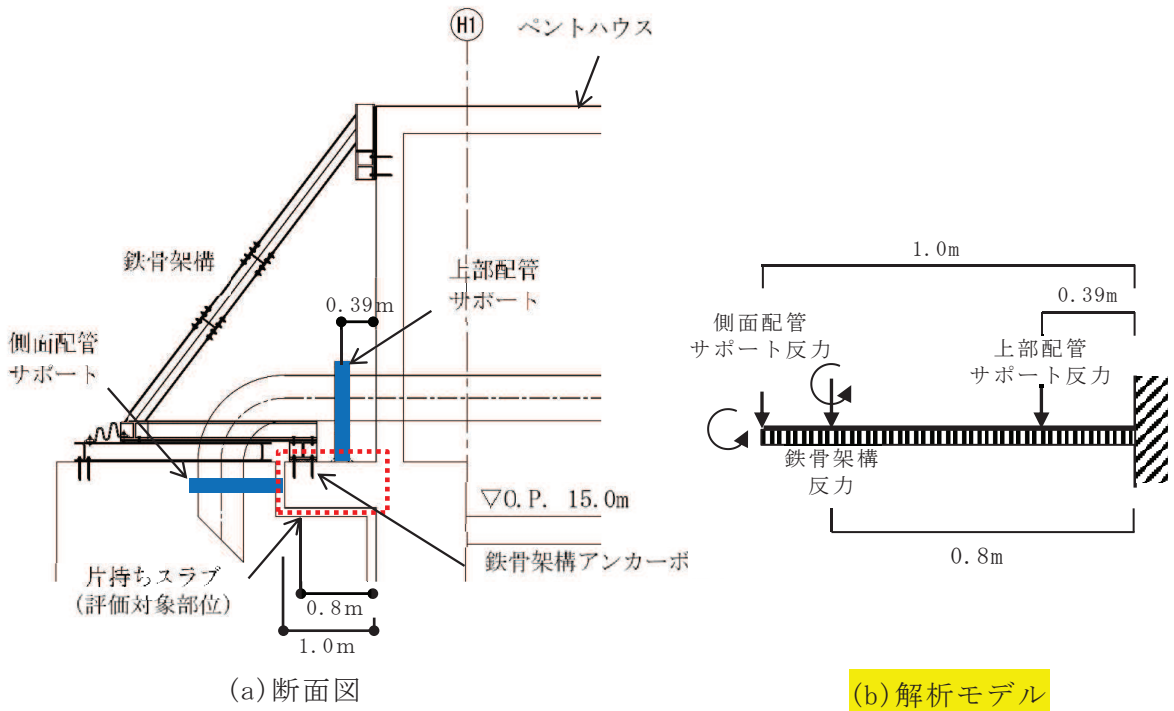
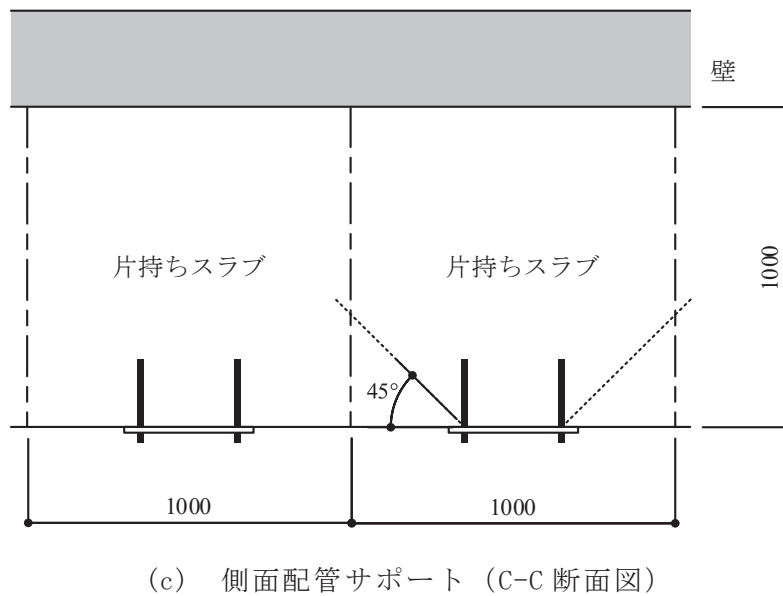
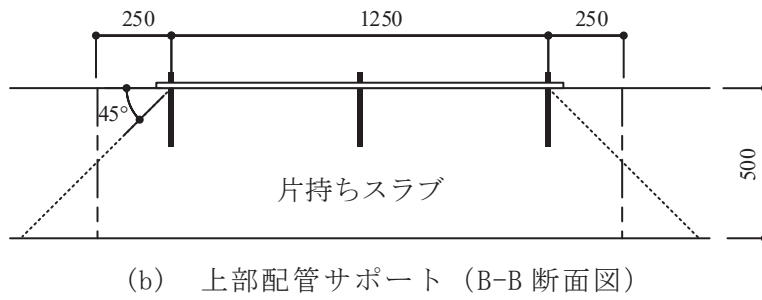
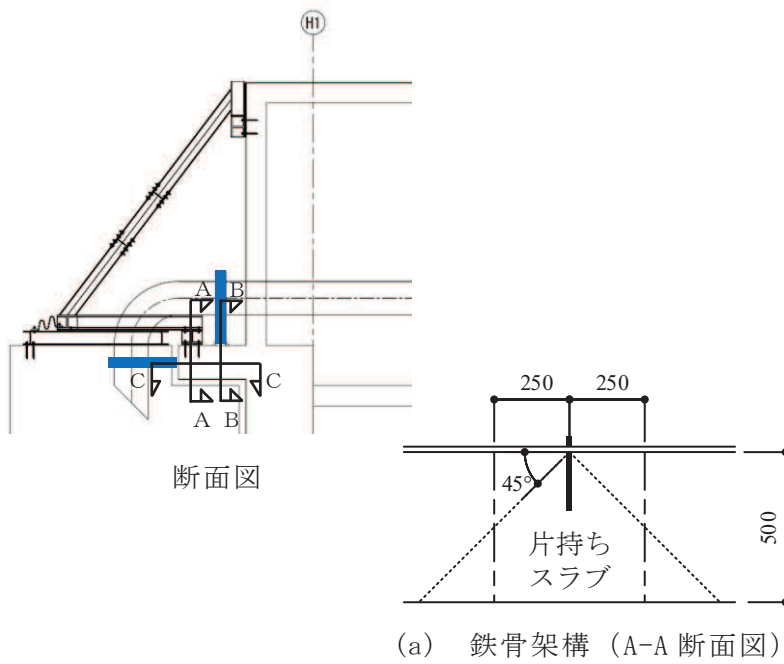


図 5-2 解析モデル概要図



(単位 : mm)

図 5-3 負担幅の考え方

### 5.3.2 使用材料の物性値

使用材料の物性値を表 5-4 に示す。

コンクリートのヤング係数については、設計基準強度に基づき算定した値とする。コンクリートの圧縮強度は設計基準強度に基づく値とする。

表 5-4 使用材料の物性値

#### (a) コンクリート

コンクリートの 設計基準強度 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
32.4	$2.51 \times 10^4$	0.2

#### (b) 鉄筋

鉄筋の種類	ヤング係数 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )
SD345	$2.05 \times 10^5$

## 5.4 評価方法

### 5.4.1 応力解析方法

片持ちスラブについて<sub>H</sub>1 通り側を固定端としてモデル化した応力解析を実施する。

#### 5.4.2 断面の評価方法

片持ちスラブが浸水防止蓋を固定する鉄骨架構及び配管サポートの支持に十分な構造強度を有していることを確認するため、応力解析により得られた曲げモーメント、並びに面外せん断力に対して次のとおり評価し、片持ちスラブの健全性を確認する。

片持ちスラブは浸水防止機能を担う部材であり、地震時に損傷することで同機能を損なう可能性がある。そこで、地震時における発生応力度等が短期許容応力度以内に収まっていることで、応答が弾性範囲内に抑えられ健全性が維持されるものと判断されることから、断面の評価にあたって、曲げモーメントに対する評価については「RC-N規準」に基づく短期許容曲げモーメント $M_A$ を、面外せん断力に対する評価については「RC-N規準」に基づく短期許容面外せん断力 $Q_A$ を許容値とし、算出した発生応力が許容値を超えないことを確認する。なお、H1通り側の片持ちスラブについては軸力を付加しない。

$$M_A = a_t \cdot f_t \cdot j \cdot 10^{-6}$$

ここで、

$M_A$  : 短期許容曲げモーメント (kN・m)

$a_t$  : 鉄筋の設計断面積 (mm<sup>2</sup>)

$f_t$  : 鉄筋の短期許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>) \*

$j$  : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの7/8倍の値 (mm)

注記\* : 「建設省告示第2464号」に基づき降伏点強度に1.1倍の割増しを考慮する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s \cdot 10^{-3}$$

ここで、

$Q_A$  : 短期許容面外せん断力 (kN)

$b$  : 断面の幅 (mm)

$j$  : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの7/8倍の値 (mm)

$\alpha$  : 許容せん断力の割増し係数

(2を超える場合は2, 1未満の場合は1とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

$M$  : 曲げモーメント (N・mm)

$Q$  : せん断力 (N)

$d$  : 断面の有効せい (mm)

$f_s$  : コンクリートの短期許容せん断応力度 (1.21N/mm<sup>2</sup>)

### 5.5 評価結果

断面の評価結果を表 5-5 に示す。

表 5-5 より、片持ちスラブに対する曲げモーメント並びに面外せん断力は、許容値を下回ることを確認したことから、片持ちスラブが地震時に必要な構造強度を有することを確認した。

表 5-5 断面評価結果

O.P. (m)		15.6
スラブ位置 (通り)		H 1
スラブ厚 D (mm)		500
検討幅 B (mm)		200
有効せい d (mm)		421
配筋 (鉄筋断面積)	主筋	2-D19@200
	設計断面積 $a_t$ (mm <sup>2</sup> )	287
せん断に対する検討	せん断力 Q (kN)	28.4
	せん断スパン比による割増し係数 $\alpha$	1.67
	コンクリートの短期許容せん断応力度 $f_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	1.21
	短期許容面外せん断力 $Q_A$ (kN)	148
	検定比 $Q/Q_A$	0.20
曲げモーメントに対する検討	曲げモーメント M (kN・m)	16.7
	鉄筋の降伏応力度 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	379.5
	短期許容曲げモーメント $M_A$ (kN・m)	40.0
	検定比 $M/M_A$	0.42
判定		可