

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-195 改4
提出年月日	平成30年9月28日

## V-2-2-19 格納容器圧力逃がし装置格納槽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 構造概要	3
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格・基準等	8
3. 地震応答解析による評価方法	9
4. 応力解析による評価方法	11
4.1 評価対象部位及び評価方針	11
4.2 荷重及び荷重の組合せ	13
4.3 許容限界	19
4.4 解析モデル及び諸元	21
4.5 評価方法	24
5. 評価結果	29
5.1 地震応答解析による評価結果	29
5.2 応力解析による評価結果	31

## 1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、格納容器圧力逃がし装置格納槽（以下「格納槽」という。）の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は、地震応答解析による評価及び応力解析による評価に基づいて行う。

格納槽は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。

以下、格納槽の「Sクラスの施設の間接支持構造物」及び「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」としての耐震評価を示す。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

格納槽の設置位置を図 2-1 に示す。



図 2-1 格納槽の設置位置

## 2.2 構造概要

格納槽は、主要構造が鉄筋コンクリート造で地下1階の地中構造物であり、平面が南北方向16.00 m、東西方向11.35 m、高さが23.80 mである。

格納槽の基礎は、厚さ3.0 mであり、砂質泥岩である久米層に岩着している。また、格納槽の外壁は基礎スラブから屋根面まで連続しており、壁厚は1.8 mである。格納槽は全体として非常に剛性が高く、構造物に加わる地震時の水平力はすべてこれらの耐震壁で負担する。

格納槽の屋根面は厚さ1.8 mの上版で構成される。

格納槽の概略平面図及び概略断面図を図2-2及びに示す。

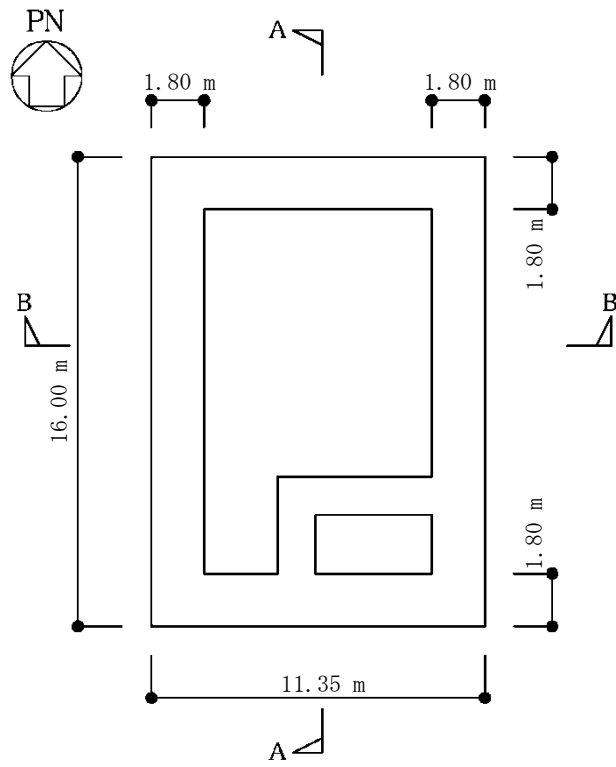


図 2-2 格納槽の概略平面図 (EL. -12.8 m)

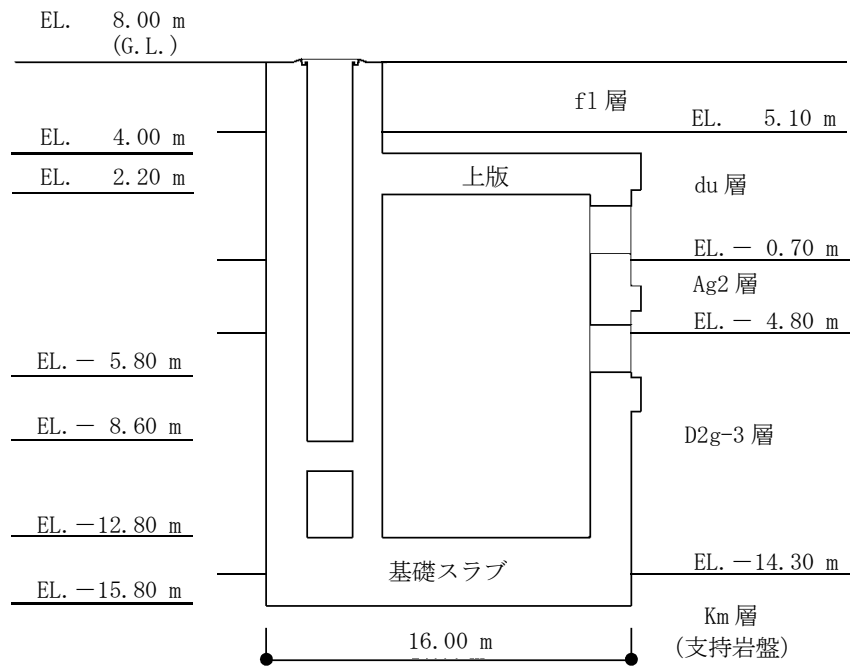


図 2-3 (1/2) 格納槽の概略断面図 (A-A 断面 NS 方向)

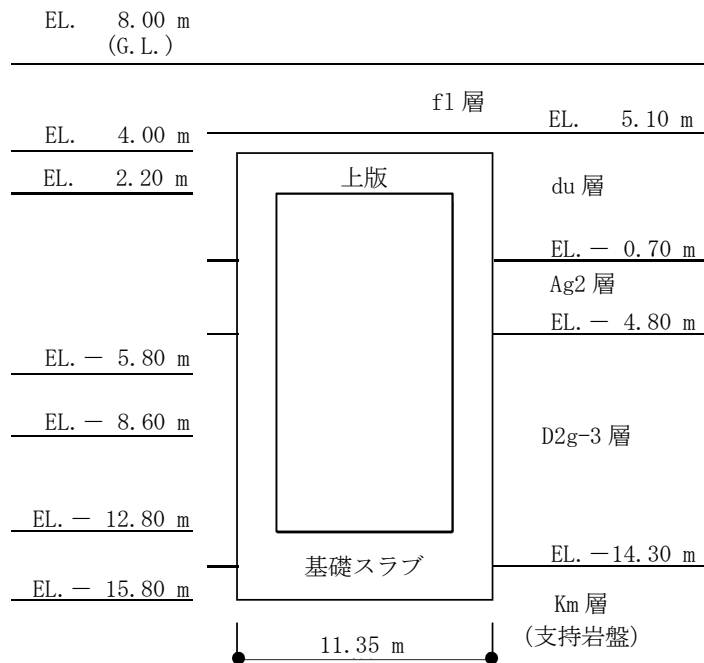


図 2-3 (2/2) 格納槽の概略断面図 (B-B 断面 EW 方向)

### 2.3 評価方針

格納槽は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。

格納槽の設計基準対象施設としての評価においては、基準地震動 $S_s$ による地震力に対する評価（以下「 $S_s$ 地震時に対する評価」という。）を行うこととし、添付書類「V-2-2-18 格納容器圧力逃がし装置格納槽の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。格納槽の評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においてはせん断ひずみの評価を、応力解析による評価においては断面の評価を行うことで、格納槽の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価に当たっては地盤物性のばらつきを考慮する。

また、重大事故等対処施設としての評価においては、 $S_s$ 地震時に対する評価を行う。ここで、格納槽では、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態において、温度の条件が異なるが、重大事故等時の格納槽の室温は65℃以下であり、「発電用原子力設備規格コンクリート製原子炉格納容器規格」（以下「CCV規格」という。）では定常状態においてコンクリート温度が65℃以下となる場合、コンクリートの基本特性に大きな影響を及ぼさないとされているため、格納槽内のコンクリートの温度が上昇した場合においてもコンクリートの圧縮強度及び剛性の低下は認められないこと、また、「CCV規格」では部材内の温度差及び拘束力により発生する熱応力は自己拘束的な応力であり十分な塑性変形能力がある場合は終局耐力に影響しないこととされていることから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設としての評価と同一となる。

格納槽の評価フローを図2-4に示す。



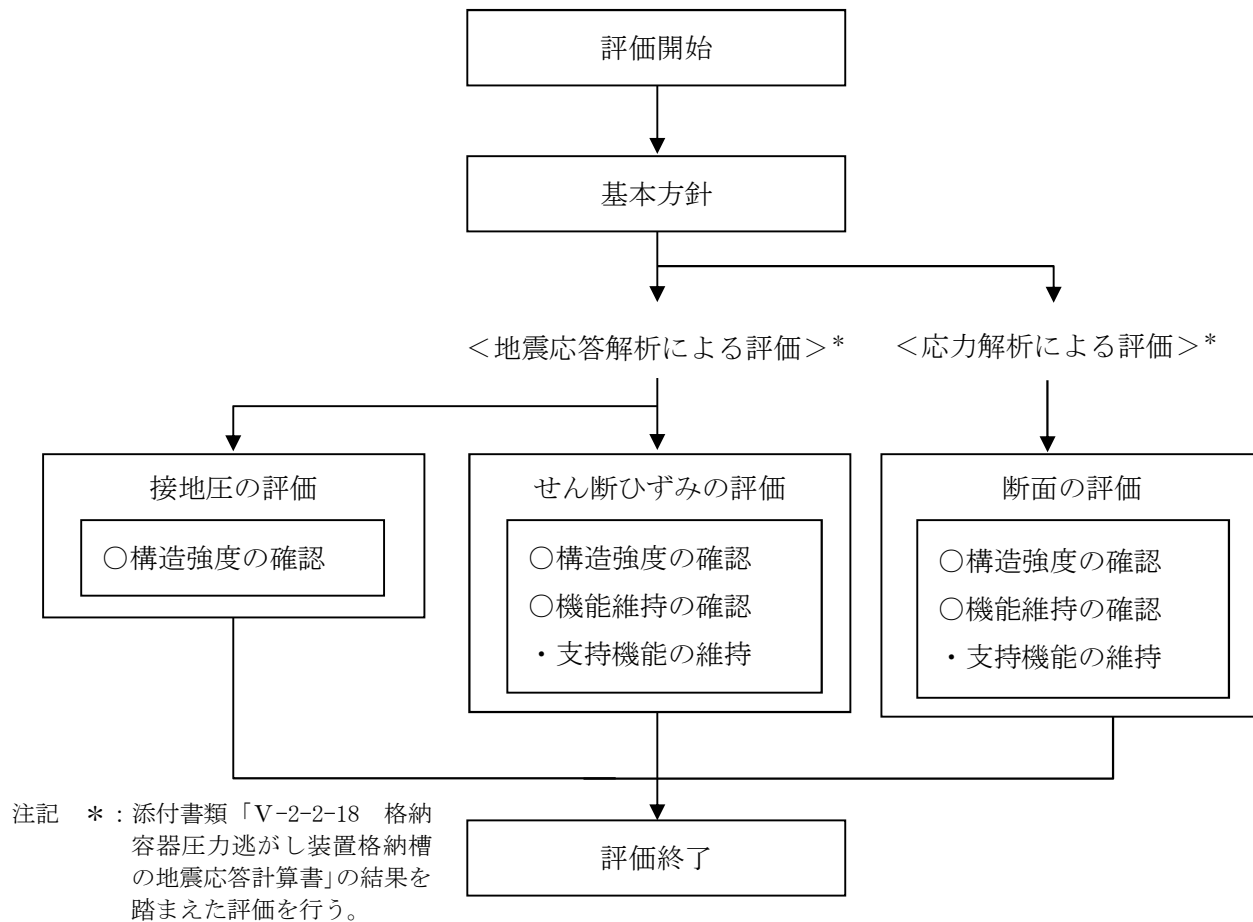


図 2-4 格納槽の評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

格納槽の評価において、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 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力度編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補一 1984 ((社) 日本電気協会)
- ・ 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)
- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 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)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005) (以下「RC-N規準」という。)
- ・ 建築基礎構造設計指針 ((社) 日本建築学会, 2001) (以下「基礎指針」という。)
- ・ 2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所) (以下「技術基準解説書」という。)

### 3. 地震応答解析による評価方法

地震応答解析による評価において、格納槽の構造強度については、添付書類「V-2-2-18 格納容器圧力逃がし装置格納槽の地震応答計算書」に基づき、地盤物性のばらつきを考慮した耐震壁の最大せん断ひずみ及び基礎地盤の最大接地圧が許容限界を超えないことを確認する。

支持機能の維持については、添付書類「V-2-2-18 格納容器圧力逃がし装置格納槽の地震応答計算書」に基づき、地盤物性のばらつきを考慮した耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価における格納槽の許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、表 3-1 及び表 3-2 のとおり設定する。

表 3-1 地震応答解析による評価における許容限界（設計基準対象施設としての評価）

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	基準地震動 $S_s$	基礎地盤	最大接地圧が構造強度を確保するための許容限界を十分下回ることを確認	極限支持力度*3 2450 kN/m <sup>2</sup>
		基準地震動 $S_s$	耐震壁*2	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$
支持機能*1	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 $S_s$	耐震壁*2	最大せん断ひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$

注記 \*1：「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

\*2：格納槽全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造で、全体に剛性の高い構造となっており、複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの面内変形が抑えられるため、各層の耐震壁が最大せん断ひずみの許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

\*3：極限支持力度は、添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、「基礎指針」より設定する。

表 3-2 地震応答解析による評価における許容限界（重大事故等対処施設としての評価）

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	基準地震動 $S_s$	基礎地盤	最大接地圧が構造強度を確保するための許容限界を十分下回ることを確認	極限支持力度 <sup>*3</sup> 2450 kN/m <sup>2</sup>
		基準地震動 $S_s$	耐震壁 <sup>*2</sup>	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$
支持機能 <sup>*1</sup>	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 $S_s$	耐震壁 <sup>*2</sup>	最大せん断ひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	最大せん断ひずみ $2.0 \times 10^{-3}$

- 注記
- \*1：「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。
  - \*2：格納槽全体としては、地震力を主に耐震壁で負担する構造で、全体に剛性の高い構造となっており、複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの面内変形が抑えられるため、各層の耐震壁が最大せん断ひずみの許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。
  - \*3：極限支持力度は、添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、「基礎指針」より設定する。

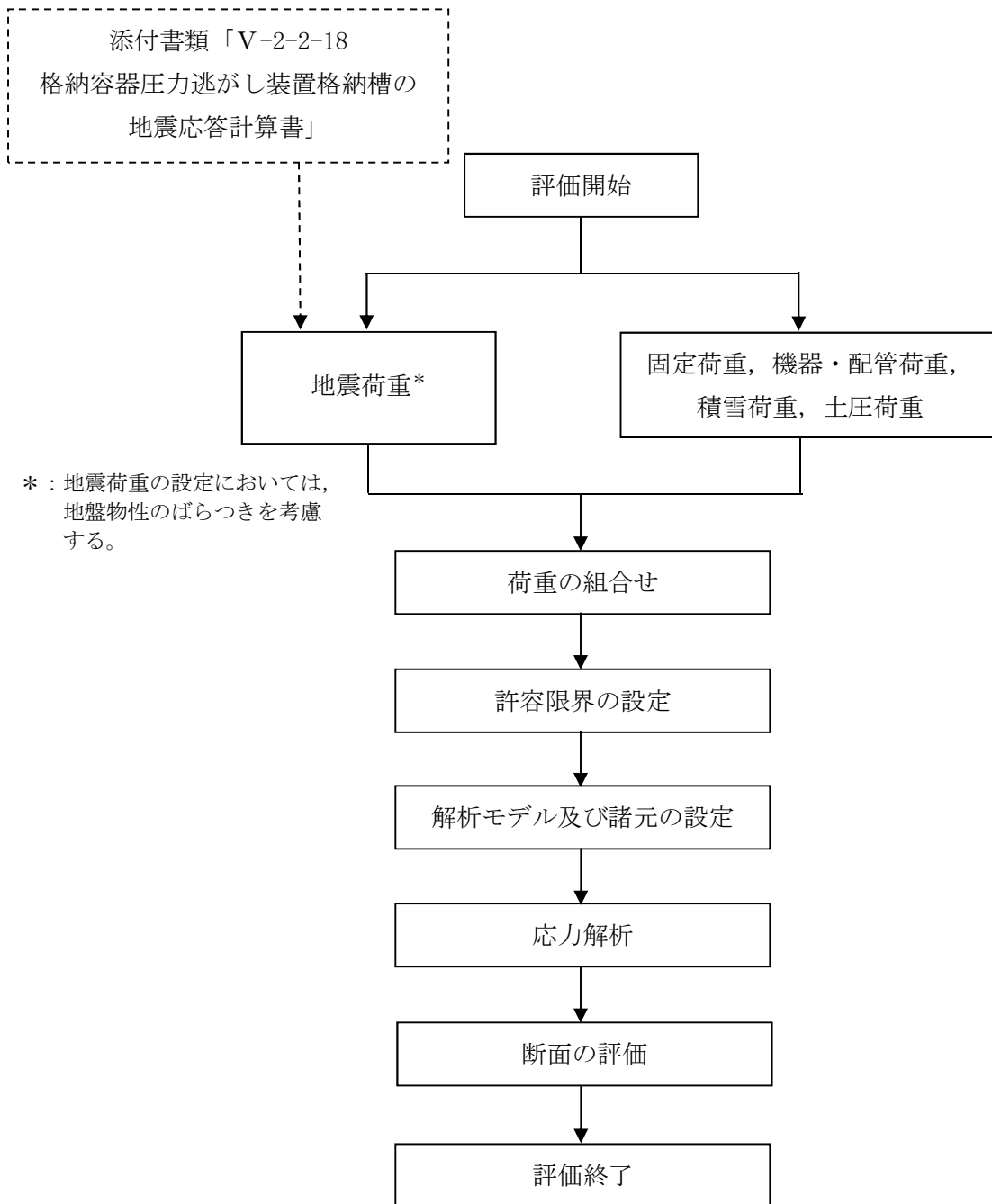
#### 4. 応力解析による評価方法

##### 4.1 評価対象部位及び評価方針

格納槽の応力解析による評価対象部位は基礎スラブ，耐震壁（地下外壁）及び上版とし，3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析により評価を行う。

S。地震時に対する評価においては，地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果，発生する応力が，適用規格・基準等を参考に設定した許容限界を超えないことを確認する。評価に当たっては地盤物性のばらつきを考慮する。

弾性応力解析に当たっては，添付書類「V-2-2-18 格納容器圧力逃がし装置格納槽の地震応答計算書」より得られた結果を用いて，荷重の組合せを行う。応力解析による評価フローを図4-1に示す。



NT2 補② V-2-2-19 R2

図 4-1 応力解析による評価フロー

#### 4.2 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「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。

##### 4.2.1 荷重

###### (1) 固定荷重 (G)

格納槽に作用する固定荷重は、添付書類「V-2-2-18 格納容器圧力逃がし装置格納槽の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルの重量を考慮して表 4-1 の通り設定する。

表 4-1 固定荷重

部位	荷重 (kN/m <sup>2</sup> )	備考
上版	$24.0^{*1}t + 1.5^{*2} + 0.2^{*3}$	t : 上版の厚さ (m)
壁	$24.0^{*1}t$	t : 壁の厚さ (m)
基礎スラブ	$24.0^{*1}t$	t : 基礎スラブの厚さ (m)

注記 \*1 : 鉄筋コンクリートの単位体積重量  
 \*2 : デッキプレート及び鉄骨部材の重量  
 \*3 : 防水層の重量

###### (2) 機器・配管荷重 (E)

機器荷重は表 4-2 のとおり設定する。配管荷重は表 4-3 のとおり設定する。

表 4-2 機器荷重

機器名称	設置 レベル	機器荷重 (kN)
フィルタ装置	EL. -12.8 m	2180

表 4-3 配管荷重

設置レベル	配管荷重(kN)
EL. -12.8 m ~ -8.6 m	14.0
EL. -8.6 m ~ -5.8 m	17.1
EL. -5.8 m ~ -1.1 m	99.9
EL. -1.1 m ~ 4.0 m	33.7

注 : 配管荷重は壁に分布させて考慮する。

(3) 積雪荷重 (S)

積雪荷重は、表 4-4 のとおり設定する。

表 4-4 積雪荷重

外力の状態	積雪荷重
地震時	210 N/m <sup>2</sup>

(4) 土圧荷重 (EK)

土圧荷重は、上載土荷重 (E<sub>U</sub>)、常時土圧 (E<sub>0</sub>) 及び地震時増分土圧 (E<sub>S</sub>) を設定する。

a. 上載土荷重 (E<sub>U</sub>)

上載土荷重は、格納槽部の上部の土の重量を考慮する。上載土荷重を表 4-5 に示す。

表 4-5 上載土荷重

荷重 (kN/m <sup>2</sup> )	備考
19.4 × t	t : 上載土の厚さ (m)

b. 常時土圧 (E<sub>0</sub>)

常時土圧は、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に基づき図 4-2 の通り設定する。

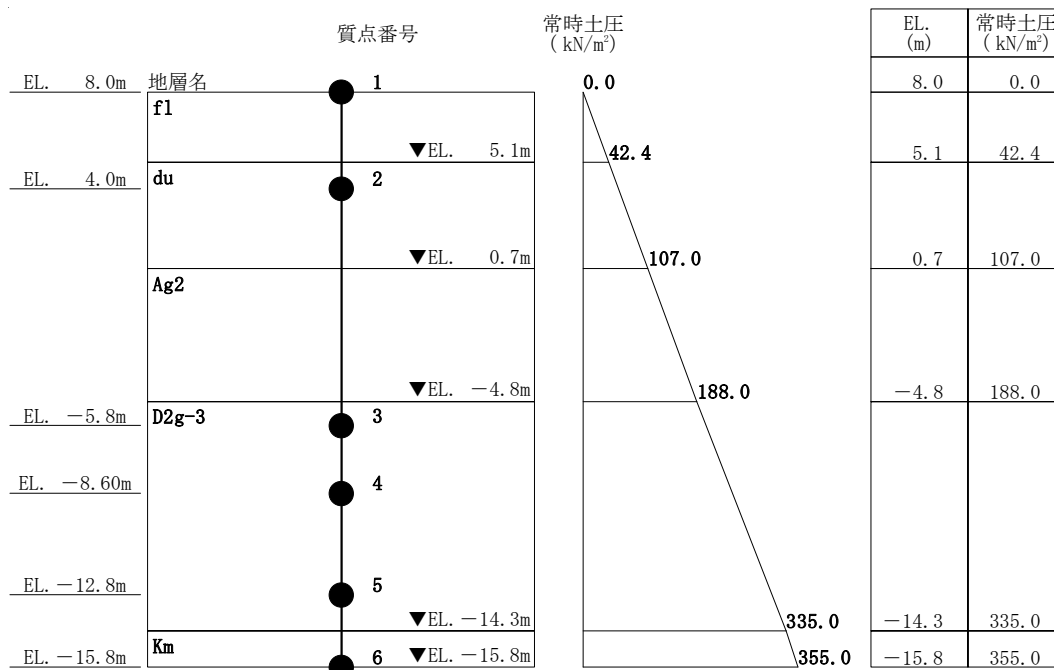
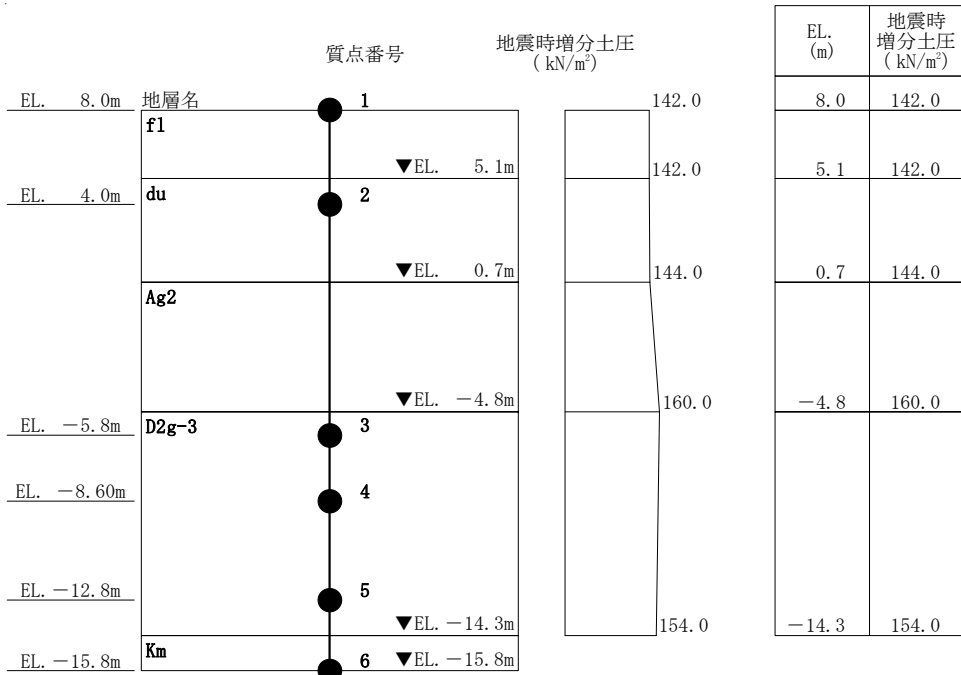


図 4-2 常時土圧

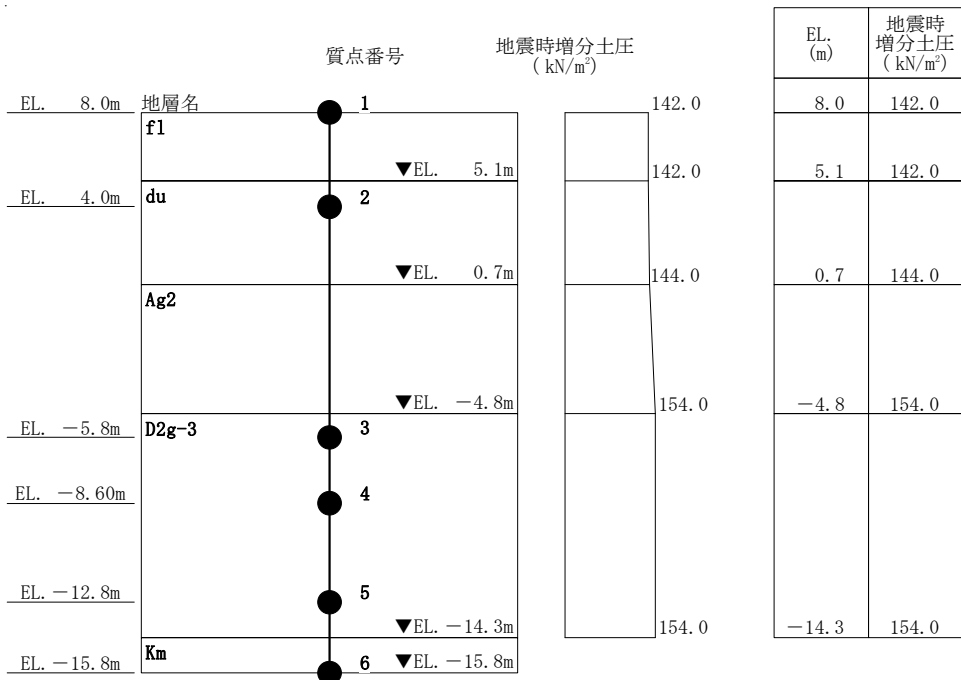


c. 地震時増分土圧 (E<sub>s</sub>)

地震時増分土圧は、修正物部・岡部式及び「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」に基づき求めた包絡値を用いる。また、「J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版」による地震時増分土圧荷重は、加力側及び支持側に対してそれぞれ算定されるが、評価においては両者の包絡値を加力側及び支持側両方に考慮する。地震時増分土圧による荷重分布を図 4-3 に示す。



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 4-3 地震時増分土圧

(5) 地震荷重 (Ks)

水平地震力及び鉛直地震力は、基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析より算定される動的地震力より設定する。

このとき、基準地震動に対する地震応答解析より算定される動的地震力は、添付書類「V-2-2-18 格納容器圧力逃がし装置格納槽の地震応答計算書」に基づく応答値の最大値より算定する。

また、フィルタ装置による地震荷重を別途考慮する。

$S_s$  地震荷重の算定に用いる最大応答値及びフィルタ装置の地震荷重を表 4-6～表 4-9 に示す。

表 4-6 最大応答せん断力

(a) NS 方向

要素 番号	最大応答せん断力 (kN)							
	$S_s-D1$	$S_s-11$	$S_s-12$	$S_s-13$	$S_s-14$	$S_s-21$	$S_s-22$	$S_s-31$
(1)	9700	2510	3220	3140	2090	8200	8300	10700
(2)	35600	10100	12400	12900	10500	31100	29800	39100
(3)	29500	9240	14200	12800	11200	26700	24800	32000
(4)	29900	11100	16800	15200	14000	27300	24600	29200
(5)	37000	14200	20600	19400	17600	34000	30000	35200

注：ハッチング部は最大値を示す。

(b) EW 方向

要素 番号	最大応答せん断力 (kN)							
	$S_s-D1$	$S_s-11$	$S_s-12$	$S_s-13$	$S_s-14$	$S_s-21$	$S_s-22$	$S_s-31$
(1)	11100	3020	2600	2810	2180	6340	8380	12500
(2)	43200	14500	15100	14300	11900	22200	31100	47800
(3)	27500	12100	13800	12600	11000	13300	20200	30600
(4)	25500	14800	15100	13700	12100	15200	20500	23500
(5)	34600	19700	19200	17500	15400	21100	27900	31000

注：ハッチング部は最大値を示す。

表 4-7 最大応答曲げモーメント

(a) NS 方向

要素 番号	最大応答曲げモーメント (kN・m)							
	S <sub>s</sub> -D 1	S <sub>s</sub> -1 1	S <sub>s</sub> -1 2	S <sub>s</sub> -1 3	S <sub>s</sub> -1 4	S <sub>s</sub> -2 1	S <sub>s</sub> -2 2	S <sub>s</sub> -3 1
(1)	38900	10100	13000	12600	8360	32900	33300	42800
(2)	388000	102000	130000	131000	102000	320000	310000	421000
(3)	335000	79800	103000	107000	79500	246000	242000	368000
(4)	329000	75100	103000	108000	84800	232000	220000	355000
(5)	266000	60500	88700	89500	73900	198000	185000	286000

注：ハッチング部は最大値を示す。

(b) EW 方向

要素 番号	最大応答曲げモーメント (kN・m)							
	S <sub>s</sub> -D 1	S <sub>s</sub> -1 1	S <sub>s</sub> -1 2	S <sub>s</sub> -1 3	S <sub>s</sub> -1 4	S <sub>s</sub> -2 1	S <sub>s</sub> -2 2	S <sub>s</sub> -3 1
(1)	44400	12200	10500	11300	8740	25400	33600	50000
(2)	450000	136000	137000	134000	107000	223000	311000	491000
(3)	374000	99600	106000	98100	80900	158000	231000	413000
(4)	331000	90900	106000	96800	80800	122000	199000	364000
(5)	247000	74600	88400	80600	67000	92500	162000	269000

注：ハッチング部は最大値を示す。

表 4-8 最大応答加速度 (鉛直方向)

質点 番号	最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )							
	S <sub>s</sub> -D 1	S <sub>s</sub> -1 1	S <sub>s</sub> -1 2	S <sub>s</sub> -1 3	S <sub>s</sub> -1 4	S <sub>s</sub> -2 1	S <sub>s</sub> -2 2	S <sub>s</sub> -3 1
1	436	386	363	350	306	491	542	192
2	435	385	362	349	305	489	540	191
3	424	369	350	344	291	473	513	182
4	419	361	345	342	288	466	503	178
5	411	347	342	337	284	453	484	172

注：ハッチング部は最大値を示す。

表 4-9 フィルタ装置の地震荷重

水平せん断力 (kN)	転倒モーメント (kN・m)*	鉛直震度
2900	13400	1.07

注記 \*：EL. -12.5 m (フィルタ装置支持架台上部) での値とする。

#### 4.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-10 に示す。

表 4-10 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	G+E+S+EK+K <sub>s</sub>

G : 固定荷重

E : 機器・配管荷重

S : 積雪荷重

EK : 土圧荷重

K<sub>s</sub> : 地震荷重

### 4.3 許容限界

応力解析による評価における格納槽の基礎スラブの許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の方針に基づき、表 4-11 及び表 4-12 のとおり設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 4-13 及び表 4-14 に示す。

表 4-11 応力解析による評価における許容限界（設計基準対象施設としての評価）

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	基準地震動 $S_s$	基礎スラブ, 耐震壁 (地下外壁), 上版	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく終局強度* <sup>2</sup>
支持機能* <sup>1</sup>	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 $S_s$	基礎スラブ, 耐震壁 (地下外壁)	部材に生じる応力が支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく終局強度* <sup>2</sup>

注記 \*1: 「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

\*2: 「RC-N規準」の短期許容応力度の鋼材の基準強度  $F$  を「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍（面外せん断力に対する評価時の鋼材の基準強度  $F$  は 1.0 倍）した耐力とする。

表 4-12 応力解析による評価における許容限界（重大事故等対処施設としての評価）

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部 位	機能維持のための考え方	許容限界
—	構造強度を有すること	基準地震動 $S_s$	基礎スラブ, 耐震壁 (地下外壁), 上版	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく終局強度*2
支持機能*1	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 $S_s$	基礎スラブ, 耐震壁 (地下外壁)	部材に生じる応力が支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく終局強度*2

注記 \*1: 「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

\*2: 「RC-N規準」の短期許容応力度の鋼材の基準強度  $F$  を「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍（面外せん断力に対する評価時の鋼材の基準強度  $F$  は 1.0 倍）した耐力とする。

表 4-13 コンクリートの許容応力度

設計基準強度 $F_c$ ( $N/mm^2$ )	短期	
	圧縮 ( $N/mm^2$ )	せん断 ( $N/mm^2$ )
30	20	1.18

表 4-14 鉄筋の許容応力度

SD345		SD390	
引張及び圧縮 ( $N/mm^2$ )	せん断補強 ( $N/mm^2$ )	引張及び圧縮 ( $N/mm^2$ )	せん断補強 ( $N/mm^2$ )
345	345	390	390

#### 4.4 解析モデル及び諸元

##### 4.4.1 モデル化の基本方針

###### (1) 基本方針

応力解析は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析とする。応力解析における評価対象部位は基礎スラブ、耐震壁（地下外壁）及び上版であり、構造物の荷重伝達を考慮するために、応力解析モデルには格納槽の基礎スラブ、耐震壁及び上版を一体とした全体モデルを用いる。図4-4及び図4-5に解析モデルを示す。

解析には、解析コード「MSC NASTRAN Ver. 2016.1.1」を用いる。また、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「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。

###### (2) 使用要素

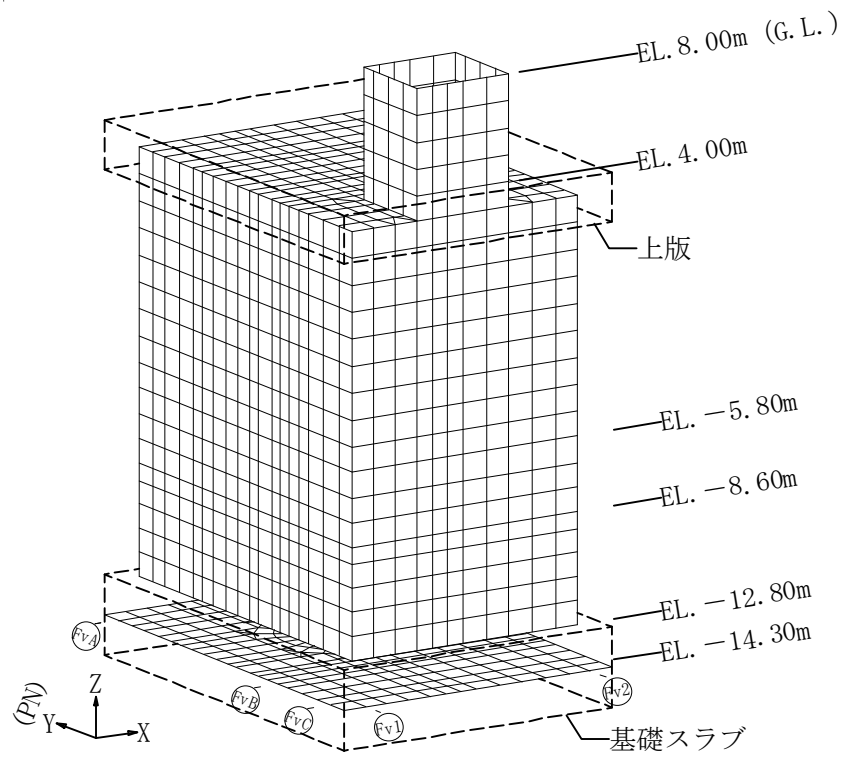
解析モデルに使用するFEM要素は基礎スラブ、耐震壁及び上版をシェル要素として剛性を考慮する。解析モデルの節点数は1832、要素数は1825である。

###### (3) 境界条件

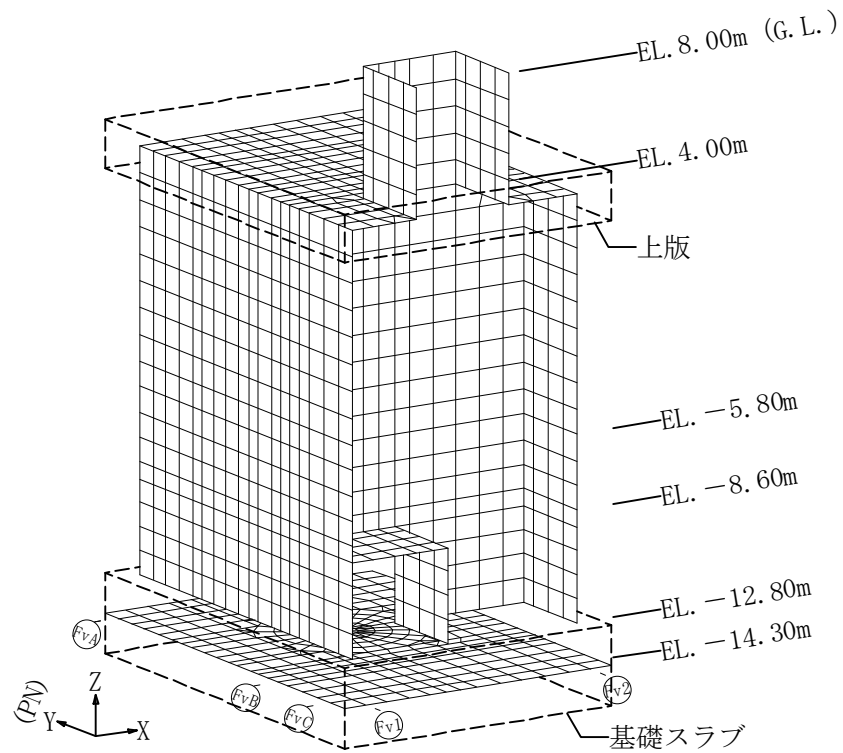
地震応答解析モデルより算定した地盤ばねを離散化して、水平方向及び鉛直方向のばねを基礎底面に設ける。3次元FEMモデルの水平方向ばねについてはスウェイばねを、鉛直方向のばねについてはロッキングばねを基に設定を行う。また、水平方向及び鉛直方向の地盤ばねについて、基礎浮き上がりによって基礎と地盤の界面に引張力が作用する部分は、応力を伝達しないものとする。

##### 4.4.2 解析諸元

使用材料であるコンクリートの物性値を表4-15に示す。



(a) 全体図

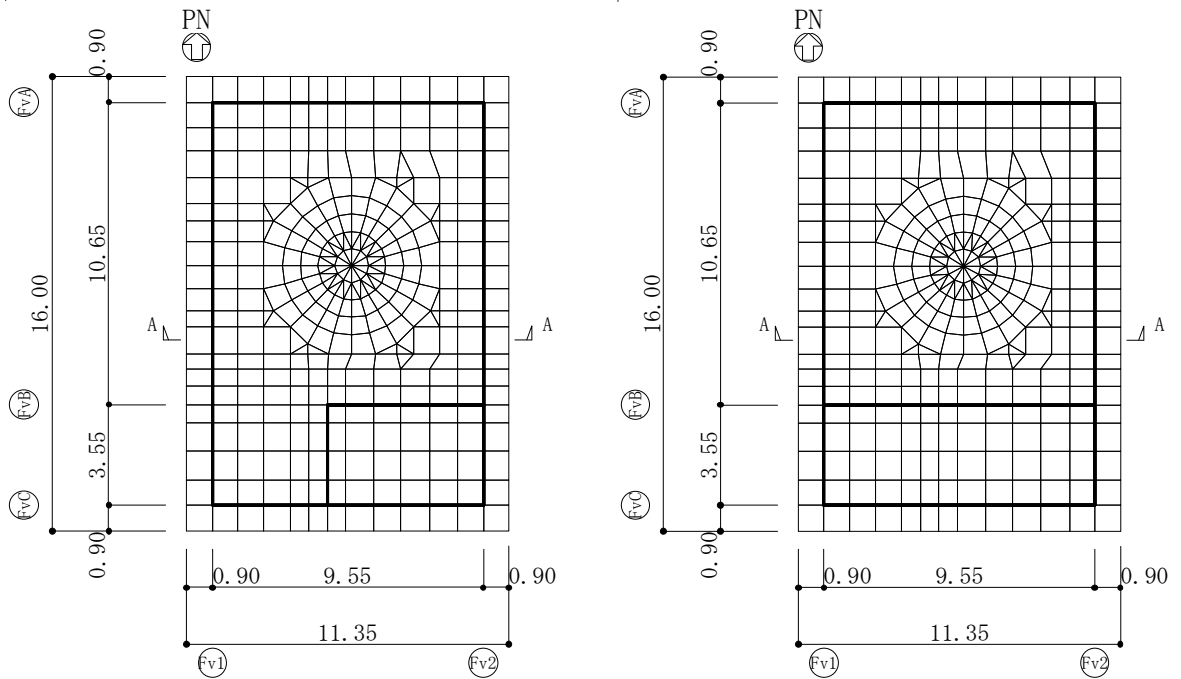


(b) FvC 通りの壁を除去

注 : Y 方向を PN とする。

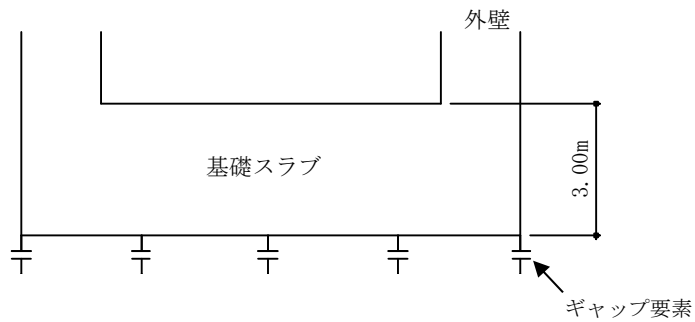
図 4-4 解析モデル (格納槽モデル鳥瞰図)





(a) EL. -12.80m 位置

注 : 太線は、耐震壁の位置を示す。  
(b) EL. -8.60m 位置



注 : ギャップ要素は、基礎スラブのすべての節点に設ける。

(c) A-A 断面図

図 4-5 解析モデル (基礎スラブ)

表 4-15 コンクリートの物性値

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 $\nu$
30.0	$2.44 \times 10^4$	0.2

## 4.5 評価方法

### 4.5.1 応力解析方法

格納槽の基礎スラブ、耐震壁（地下外壁）及び上版について、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施する。

#### (1) 荷重ケース

$S_s$  荷重時の応力は、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

- G : 固定荷重
- E : 機器・配管荷重
- S : 積雪荷重
- $E_U$  : 上載土荷重
- $E_0$  : 常時土圧
- $E_{SEW}$  :  $S_s$ 地震時増分土圧荷重 (EW 方向)
- $E_{SNS}$  :  $S_s$ 地震時増分土圧荷重 (NS 方向)
- $K_{SWE}$  : W→E 方向  $S_s$ 地震荷重
- $K_{SSN}$  : S→N 方向  $S_s$ 地震荷重
- $K_{SDU}$  : 鉛直方向  $S_s$ 地震荷重

#### (2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-16 に示す。

水平地震力と鉛直地震力の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 - 2008 ((社) 日本電気協会, 2008 年)」を参考に、組合せ係数法 (組合せ係数は 1.0 と 0.4) を用いるものとする。

表 4-16 荷重の組合せケース

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	1-1	$G + E + S + E_U + E_0 + 1.0E_{SEW} + 1.0K_{SWE} - 0.4K_{SDU}$
	1-2	$G + E + S + E_U + E_0 + 1.0E_{SEW} + 1.0K_{SWE} + 0.4K_{SDU}$
	1-3	$G + E + S + E_U + E_0 + 1.0E_{SEW} - 1.0K_{SWE} - 0.4K_{SDU}$
	1-4	$G + E + S + E_U + E_0 + 1.0E_{SEW} - 1.0K_{SWE} + 0.4K_{SDU}$
	1-5	$G + E + S + E_U + E_0 + 1.0E_{SNS} + 1.0K_{SSN} - 0.4K_{SDU}$
	1-6	$G + E + S + E_U + E_0 + 1.0E_{SNS} + 1.0K_{SSN} + 0.4K_{SDU}$
	1-7	$G + E + S + E_U + E_0 + 1.0E_{SNS} - 1.0K_{SSN} - 0.4K_{SDU}$
	1-8	$G + E + S + E_U + E_0 + 1.0E_{SNS} - 1.0K_{SSN} + 0.4K_{SDU}$
	1-9	$G + E + S + E_U + E_0 + 0.4E_{SEW} + 0.4K_{SWE} - 1.0K_{SDU}$
	1-10	$G + E + S + E_U + E_0 + 0.4E_{SEW} + 0.4K_{SWE} + 1.0K_{SDU}$
	1-11	$G + E + S + E_U + E_0 + 0.4E_{SEW} - 0.4K_{SWE} - 1.0K_{SDU}$
	1-12	$G + E + S + E_U + E_0 + 0.4E_{SEW} - 0.4K_{SWE} + 1.0K_{SDU}$
	1-13	$G + E + S + E_U + E_0 + 0.4E_{SNS} + 0.4K_{SSN} - 1.0K_{SDU}$
	1-14	$G + E + S + E_U + E_0 + 0.4E_{SNS} + 0.4K_{SSN} + 1.0K_{SDU}$
	1-15	$G + E + S + E_U + E_0 + 0.4E_{SNS} - 0.4K_{SSN} - 1.0K_{SDU}$
	1-16	$G + E + S + E_U + E_0 + 0.4E_{SNS} - 0.4K_{SSN} + 1.0K_{SDU}$

(3) 荷重の入力方法

a. 固定荷重，機器・配管荷重及び積雪荷重

固定荷重は，3次元FEMモデルの各要素に，材料の単位体積重量に基づく重量を与える。また，積雪荷重及び機器・配管荷重は，荷重の作用する箇所分布荷重または節点の支配面積に応じた節点力として入力する。

b. 土圧荷重

土圧荷重は，上載土荷重，常時土圧及び地震時増分土圧を設定する。上載土荷重を上版に対する一様な分布荷重として入力し，常時土圧及び地震時増分土圧を，外壁の深さレベルに応じた分布荷重として入力する。

c. 地震荷重

水平地震力は，「4.2.1 (5)地震荷重( $K_s$ )」に基づく耐震壁のせん断力及び曲げモーメントと，フィルタ装置からのせん断力及び曲げモーメントを考慮する。せん断力をモデル上の各節点における支配面積に応じた水平力として入力し，曲げモーメントをモデル上の各節点における支配面積に応じた鉛直力として入力する。

鉛直地震力は，モデルの重量にかかる鉛直震度として入力する。

また，基礎スラブ内に作用する荷重については，地震時の耐震壁からの入力荷重と基礎スラブ底面に発生する荷重の差をFEMモデルの各要素の大きさに応じて分配し，水平力及び鉛直力として入力する。

#### 4.5.2 断面の評価方法

##### (1) 基礎スラブの断面の評価方法

基礎スラブの断面の評価に用いる応力は、FEMモデルを用いた応力解析により得られた各荷重による断面力（軸力、曲げモーメント、面内せん断力及び面外せん断力）とする。

軸力、曲げモーメント及び面内せん断力については、必要鉄筋量が配筋量を超えないことを確認する。必要鉄筋量（A）は、「RC-N規準」に基づき、各要素の縦方向と横方向の軸力と曲げモーメントに対して必要となる片側鉄筋量（At）を柱の許容応力度設計式を用いて算定し、これと面内せん断力に対して必要となる全鉄筋量（As）より、下式によって算定する。なお、軸力及び曲げモーメントに対する必要鉄筋量は、「技術基準解説書」に基づき、鉄筋の引張強度を1.1倍として算定する。

$$A=At+As/2$$

面外せん断力については、「RC-N規準」に基づいて求めた短期許容せん断応力度を超えないことを確認する。

##### (2) 耐震壁（地下外壁）の断面の評価方法

耐震壁（地下外壁）の断面の評価に用いる応力は、FEMモデルを用いた応力解析により得られた断面力（軸力、曲げモーメント、面内せん断力及び面外せん断力）とする。

軸力、曲げモーメント及び面内せん断力については、必要鉄筋量が配筋量を超えないことを確認する。必要鉄筋量（A）は、「RC-N規準」に基づき、各要素の縦方向と横方向の軸力と曲げモーメントに対して必要となる片側鉄筋量（At）を柱の許容応力度設計式を用いて算定し、これと面内せん断力に対して必要となる全鉄筋量（As）より、下式によって算定する。なお、軸力及び曲げモーメントに対する必要鉄筋量は、「技術基準解説書」に基づき、鉄筋の引張強度を1.1倍として算定する。

$$A=At+As/2$$

面外せん断力については、「RC-N規準」に基づいて求めた短期許容せん断応力度を超えないことを確認する。

(3) 上版の断面の評価方法

上版の断面の評価に用いる応力は、FEMモデルを用いた応力解析により得られた各断面力（曲げモーメント、面内せん断力及び面外せん断力）を用いることとする。

曲げモーメント及び面内せん断力については、必要鉄筋量が配筋量を超えないことを確認する。必要鉄筋量（A）は、「RC-N規準」に基づき、各要素の縦方向と横方向の曲げモーメントに対して必要となる片側鉄筋量（At）を梁の許容応力度設計式を用いて算定し、これと面内せん断力に対して必要となる全鉄筋量（As）より、下式によって算定する。なお、曲げモーメントに対する必要鉄筋量は、「技術基準解説書」に基づき、鉄筋の引張強度を1.1倍として算定する。

$$A=At+As/2$$

面外せん断力については、「RC-N規準」に基づいて求めた短期許容応力度を超えないことを確認する。

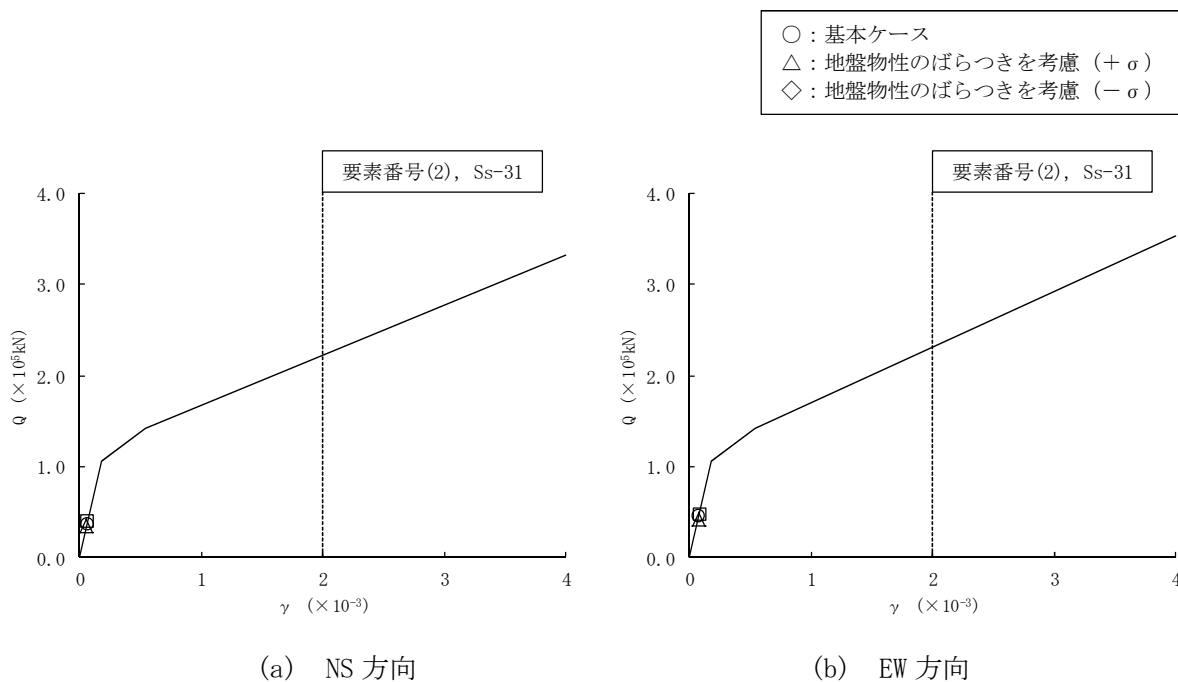
5. 評価結果

5.1 地震応答解析による評価結果

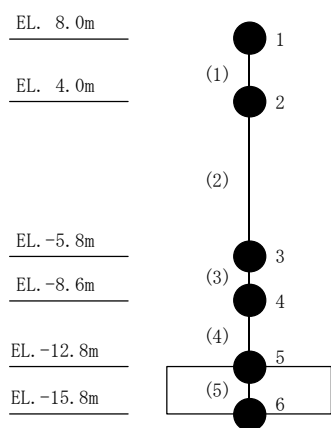
5.1.1 せん断ひずみの評価結果

耐震壁について、 $S_s$ 地震時の各層の最大せん断ひずみが許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認する。

材料物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみは  $0.086 \times 10^{-3}$  (要素番号 (2), 地盤- $\sigma$ 相当, EW 方向,  $S_s-31$ ) であり、弾性状態にとどまることを確認した。材料物性のばらつきを考慮した各方向の  $Q-\gamma$  関係と最大応答値を図 5-1 に示す。



要素番号 質点番号



注1 : 数字は質点番号を示す。

注2 : ( ) 内は要素番号を示す。

図 5-1 Q- $\gamma$  関係と最大応答値

### 5.1.2 接地圧の評価結果

地震時の最大接地圧の評価結果を以下に示す。

材料物性のばらつきを考慮した地震時の最大接地圧が  $960 \text{ kN/m}^2$  ( $S_s - 31$ , 地盤- $\sigma$ 相当, EW 方向) 以下であることから, 地盤の極限支持力度 ( $2450 \text{ kN/m}^2$ ) を越えないことを確認した。

最大接地圧を表 5-1~表 5-3 に示す。

表 5-1 最大接地圧 (基本モデル)

方向	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )								
	Ss-D1	Ss-11	Ss-12	Ss-13	Ss-14	Ss-21	Ss-22	Ss-31	MAX
NS 方向	824	530	535	538	490	741	709	872	872
EW 方向	862	545	550	533	494	594	727	914	914

表 5-2 最大接地圧 (地盤物性+ $\sigma$  考慮モデル)

方向	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )				
	Ss-D1	Ss-21	Ss-22	Ss-31	MAX
NS 方向	791	753	732	830	830
EW 方向	823	601	720	866	866

表 5-3 最大接地圧 (地盤物性- $\sigma$  考慮モデル)

方向	最大接地圧 (kN/m <sup>2</sup> )				
	Ss-D1	Ss-21	Ss-22	Ss-31	MAX
NS 方向	913	718	726	936	936
EW 方向	941	576	710	960	960



## 5.2 応力解析による評価結果

### 5.2.1 基礎スラブの評価結果

「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。また、格納槽の基礎スラブの配筋一覧を表 5-4 に、せん断補強筋の設定範囲を図 5-2 に示す。

断面の評価結果を記載する要素を、以下の通り選定する。

軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する評価については、必要鉄筋量が最大となる要素を選定し、面外せん断力に対する評価については、せん断力が最大となる要素を選定する。選定した要素の位置を図 5-3 に、評価結果を表 5-5 に示す。

S<sub>0</sub>地震時において、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する必要鉄筋量が配筋量を超えないことを確認した。また、面外せん断力が短期許容せん断力を超えないことを確認した。

表 5-4 基礎スラブの配筋一覧

スラブ厚 (m)	方向	位置	設計配筋
3.0	NS	上端	2-D38@200
		下端	2-D38@200
	EW	上端	2-D38@200
		下端	2-D38@200

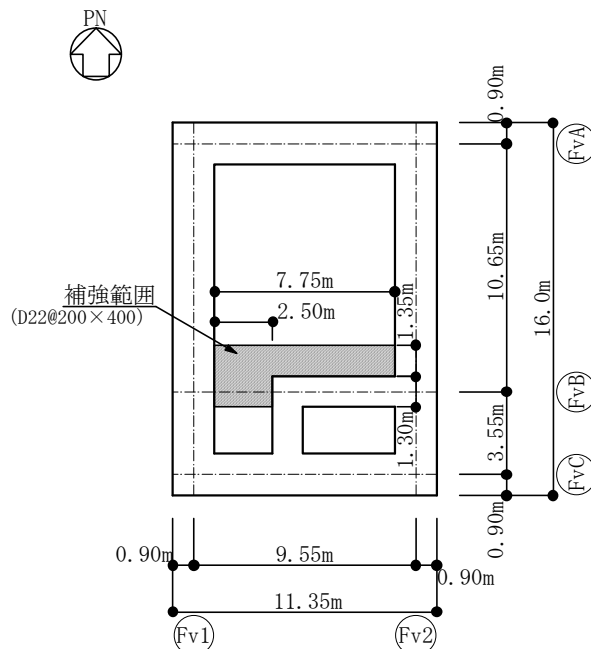


図 5-2 せん断補強筋の設定範囲 (基礎スラブ)

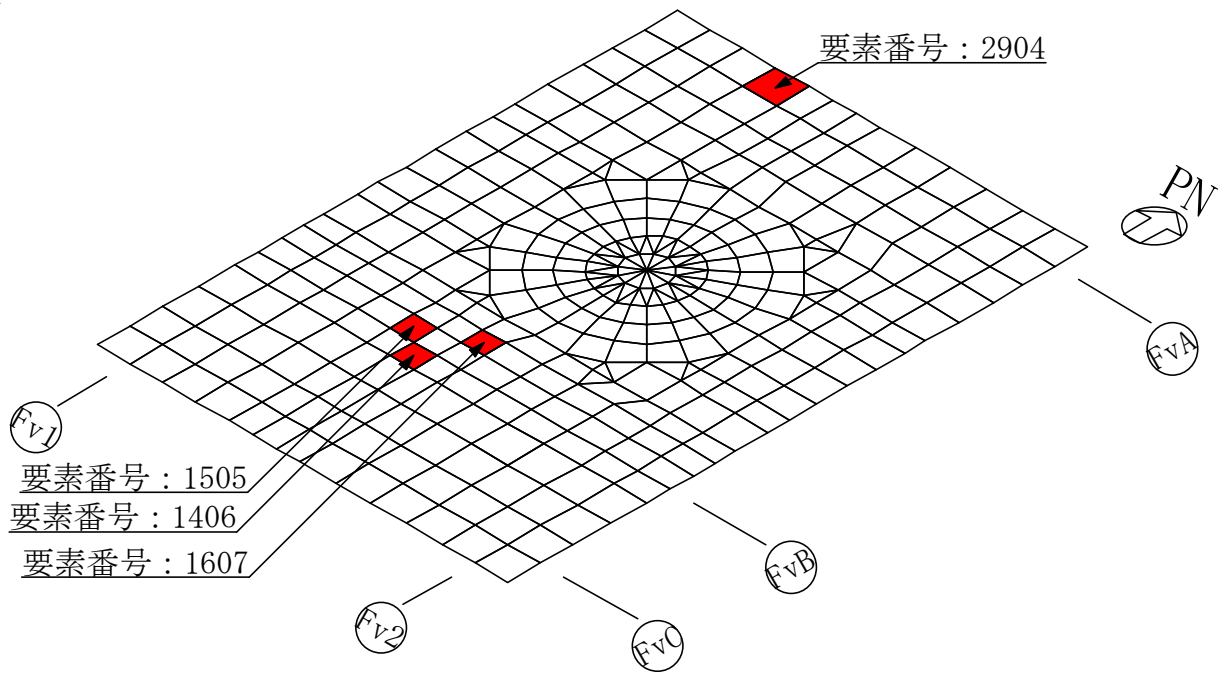


図 5-3 選定した要素の位置 (基礎スラブ)

表 5-5 評価結果 (基礎スラブ)

		評価項目	要素番号	荷重の組合せケース	解析結果	許容値	備考
軸力 + 曲げ モーメント + 面内せん断力	NS 方向	必要鉄筋量/配筋量	1406	1-4	0.180	1.00	引張鉄筋
	EW 方向	必要鉄筋量/配筋量	2904	1-4	0.157	1.00	引張鉄筋
面外 せん断力	NS 方向	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1607	1-5	0.992	2.84	せん断補強筋
	EW 方向	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1505	1-3	0.687	2.84	せん断補強筋

### 5.2.2 耐震壁（地下外壁）

「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた評価結果を以下に示す。また、耐震壁（地下外壁）の配筋一覧を表 5-6 に、せん断補強筋の設定範囲を図 5-4 に示す。

断面の評価結果を記載する要素を、以下の通り選定する。

軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する評価については、必要鉄筋量が最大となる要素を選定し、面外せん断力に対する評価については、せん断力が最大となる要素を選定する。選定した要素の位置を図 5-5 に、評価結果を表 5-7 に示す。

S<sub>0</sub>地震時において、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する必要鉄筋量が配筋量を超えないことを確認した。また、面外せん断力が短期許容せん断力を超えないことを確認した。

表 5-6 耐震壁（地下外壁）の配筋一覧

領域	標高 EL. (m)	断面厚 (m)	方向	内側	外側
耐震壁 (地下外壁)	-12.8~4.0	1.8	縦筋	2-D38@200	2-D38@200
			横筋	2-D38@200	2-D38@200
	4.0~8.0	1.3	縦筋	2-D38@200	2-D38@200
			横筋	2-D38@200	2-D38@200
		1.8	縦筋	2-D38@200	2-D38@200
			横筋	2-D38@200	2-D38@200

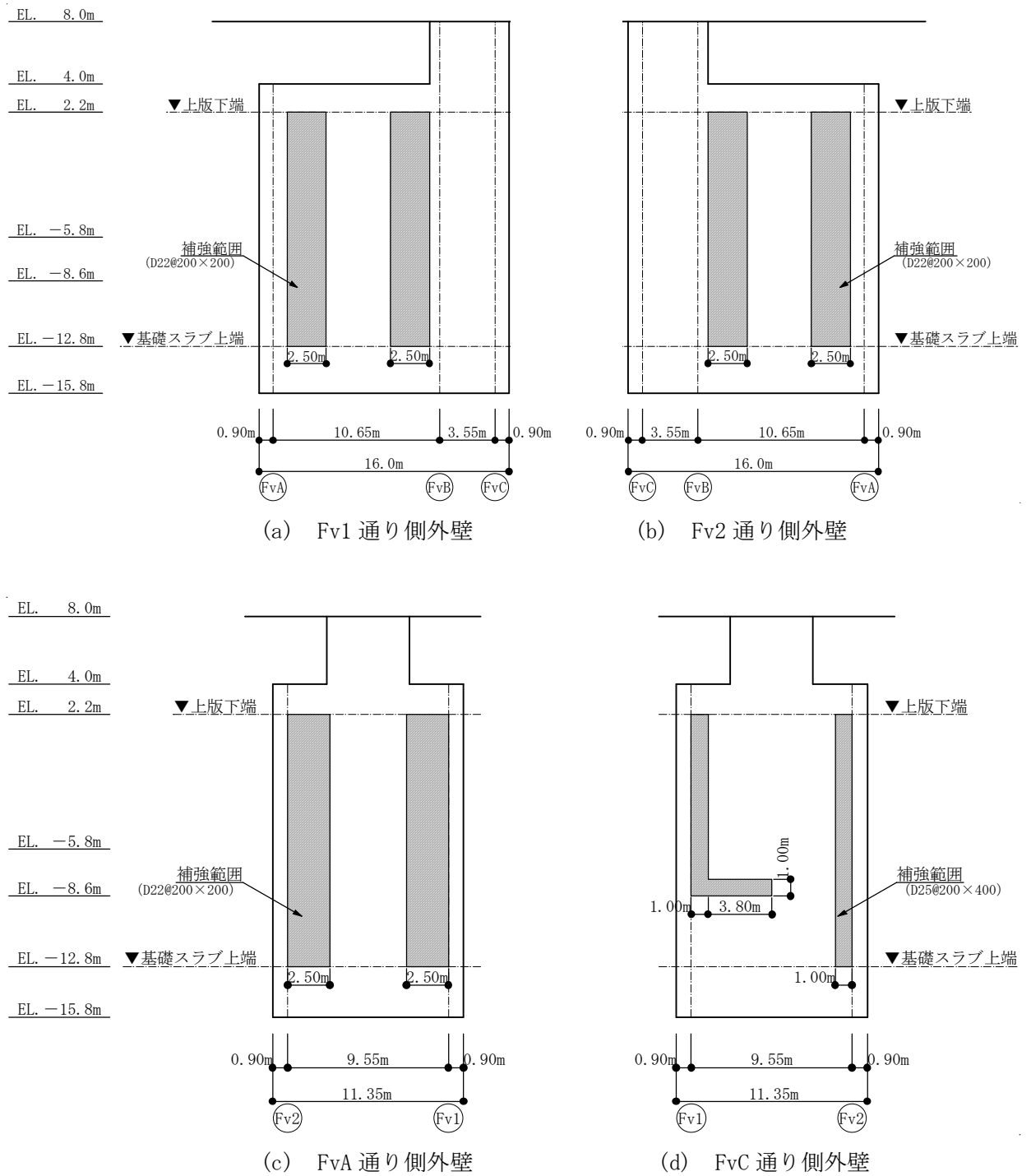


図 5-4 せん断補強筋の設定範囲 (耐震壁(地下外壁))

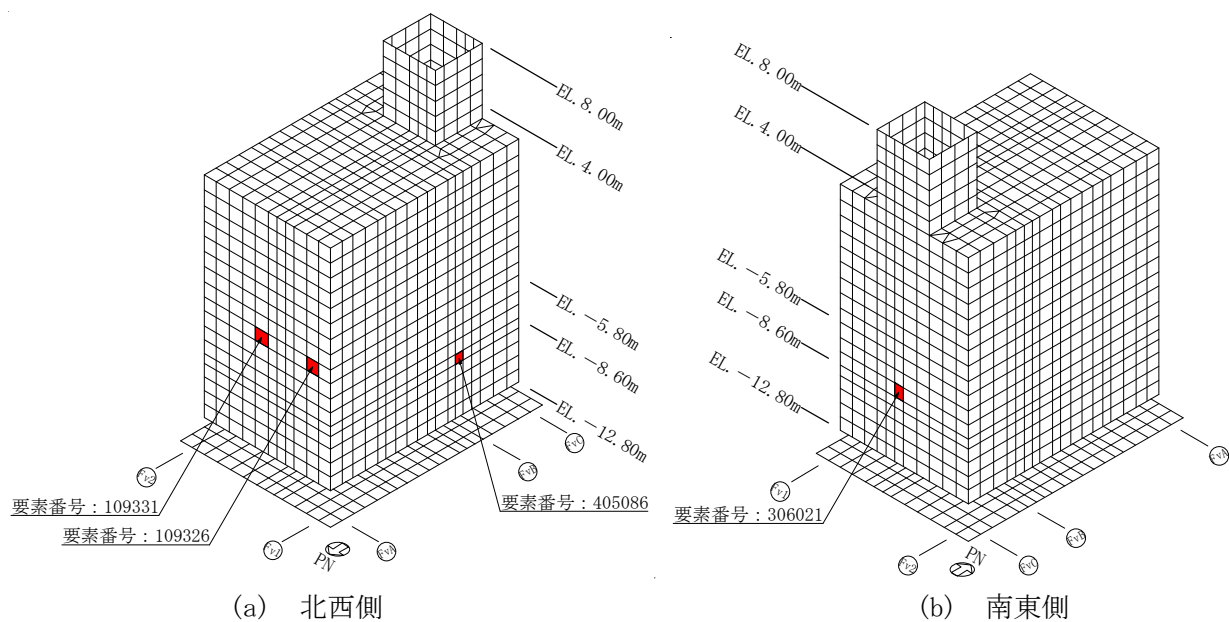


図 5-5 選定した要素の位置（耐震壁（地下外壁））

表 5-7 評価結果（耐震壁（地下外壁））

		評価項目	要素番号	荷重の組合せケース	解析結果	許容値	備考
軸力 + 曲げ モーメント + 面内せん断力	水平方向	必要鉄筋量/配筋量	109331	1-1	0.324	1.00	引張鉄筋
	鉛直方向	必要鉄筋量/配筋量	109326	1-2	0.557	1.00	引張鉄筋
面外せん断力	水平方向	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	405086	1-4	1.230	3.68	せん断補強筋
	鉛直方向	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	306021	1-5	0.749	3.10	せん断補強筋

### 5.2.3 上版

「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。また、格納槽の上版の配筋一覧を表 5-8 に、せん断補強筋の設定範囲を図 5-6 に示す。

断面の評価結果を記載する要素を、以下の通り選定する。

曲げモーメント及び面内せん断力に対する評価については、必要鉄筋量が最大となる要素を選定し、面外せん断力に対する評価については、せん断力が最大となる要素を選定する。選定した要素の位置を図 5-7 に、評価結果を表 5-9 に示す。

S<sub>0</sub>地震時において、曲げモーメント及び面内せん断力に対する必要鉄筋量が配筋量を超えないことを確認した。また、面外せん断力が短期許容せん断力を超えないことを確認した。

表 5-8 上版の配筋一覧

断面厚(m)	方向	位置	設計配筋
1.8	NS	上端	2-D35@200
		下端	2-D35@200
	EW	上端	2-D35@200
		下端	2-D35@200

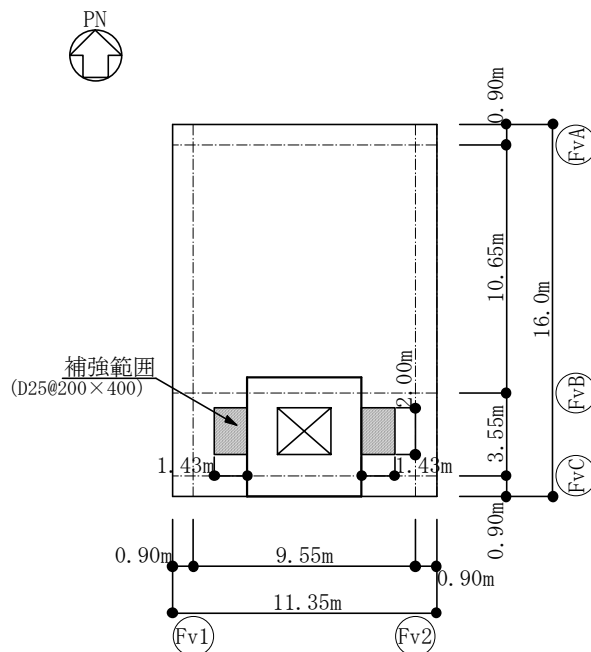


図 5-6 せん断補強筋の設定範囲（上版）

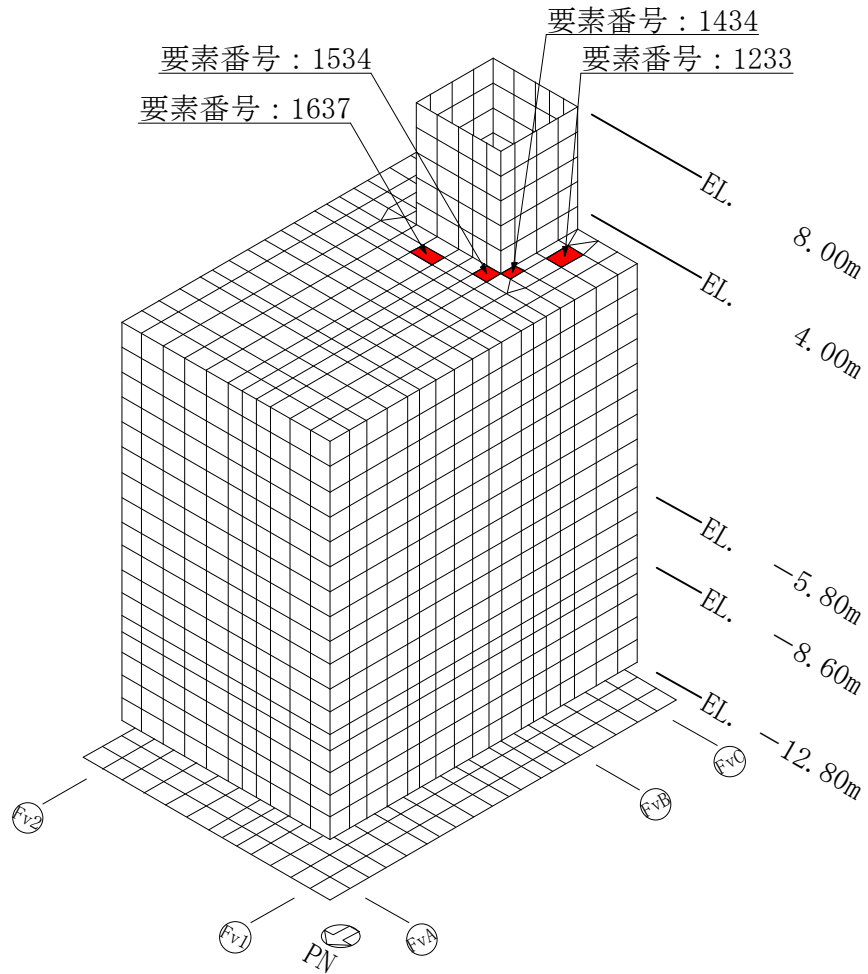


図 5-7 選定した要素の位置（上版）

表 5-9 評価結果（上版）

		評価項目	要素番号	荷重の組合せケース	解析結果	許容値	備考
曲げモーメント + 面内せん断力	NS方向	必要鉄筋量/配筋量	1534	1-7	0.331	1.00	引張鉄筋
	EW方向	必要鉄筋量/配筋量	1434	1-2	0.372	1.00	引張鉄筋
面外せん断力	NS方向	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1637	1-7	0.555	1.18	コンクリート
	EW方向	面外せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1233	1-2	1.220	3.10	せん断補強筋