

本資料のうち，枠囲みの内容は，  
商業機密あるいは防護上の観点か  
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0
提出年月日	平成30年3月12日

-2-2-18 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
2.4 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	10
4.1 評価対象部位及び評価方針	10
4.2 荷重及び荷重の組合せ	12
4.3 許容限界	14
4.4 解析モデル及び諸元	15
4.5 評価方法	18
5. 評価結果	22
5.1 地震応答解析による評価結果	22
5.2 応力解析による評価結果	22

## 1. 概要

本資料は、資料 -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より行う。

格納容器圧力逃がし装置格納槽は、重大事故等対処施設において「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、「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

格納容器圧力逃がし装置格納槽の設置位置を図 2 - 1 に示す。

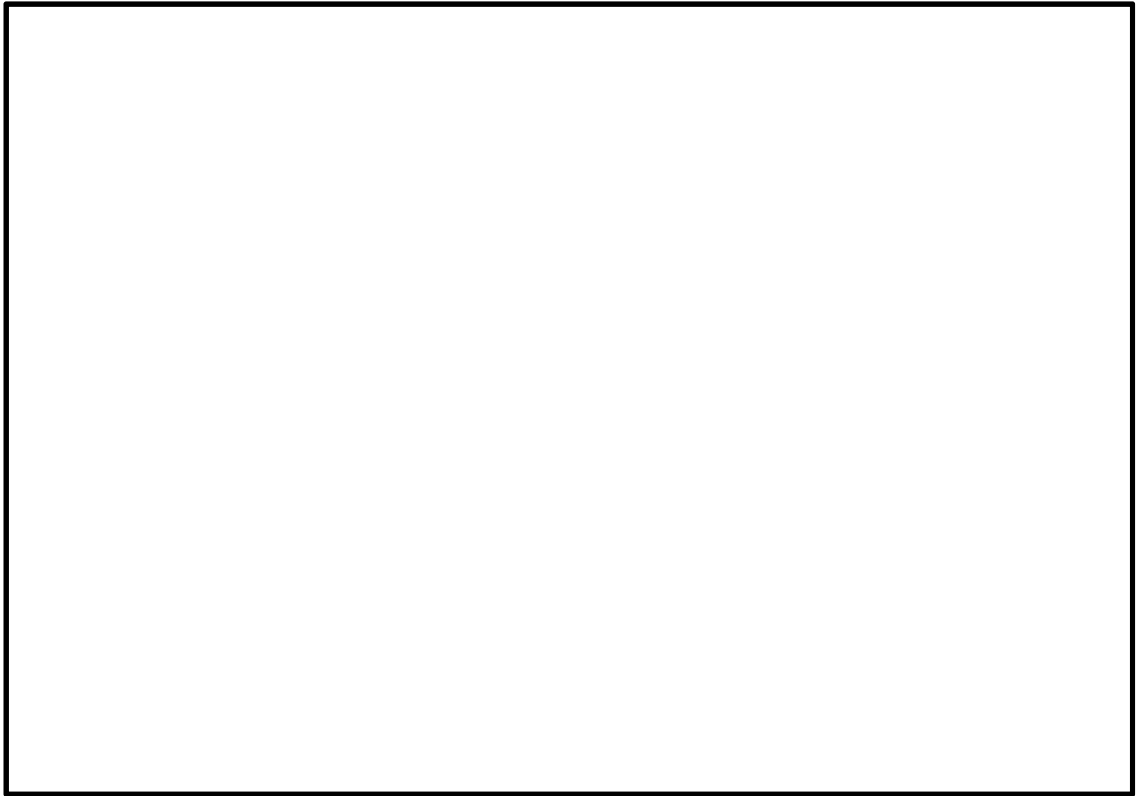


図 2 - 1 格納容器圧力逃がし装置格納槽の設置位置

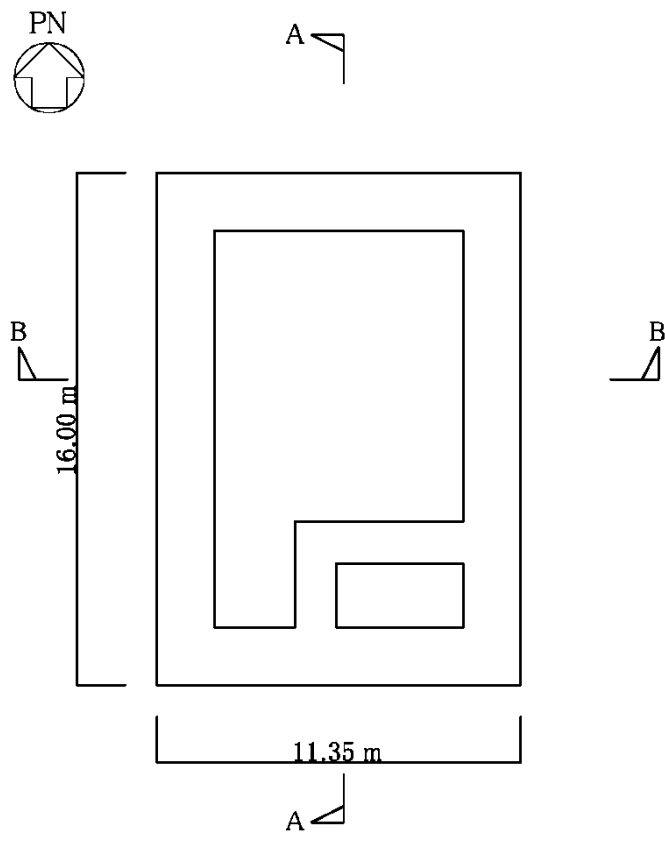
## 2.2 構造概要

格納容器圧力逃がし装置格納槽は、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 23.80 m である。

格納容器圧力逃がし装置格納槽の基礎は、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。

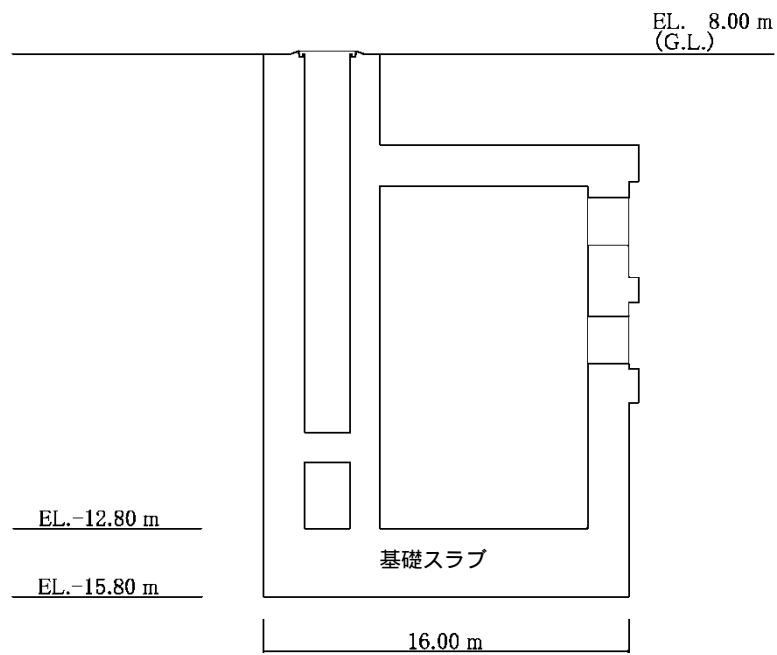
格納容器圧力逃がし装置格納槽の外壁は基礎スラブから屋根面まで連続しており、壁厚は 1.8 m である。格納槽は全体として非常に剛性が高く、構造物に加わる地震時の水平力はすべてこれらの耐震壁で負担する。

格納容器圧力逃がし装置格納槽の概略平面図及び概略断面図を図 2 - 2 及び図 2 - 3 に示す。



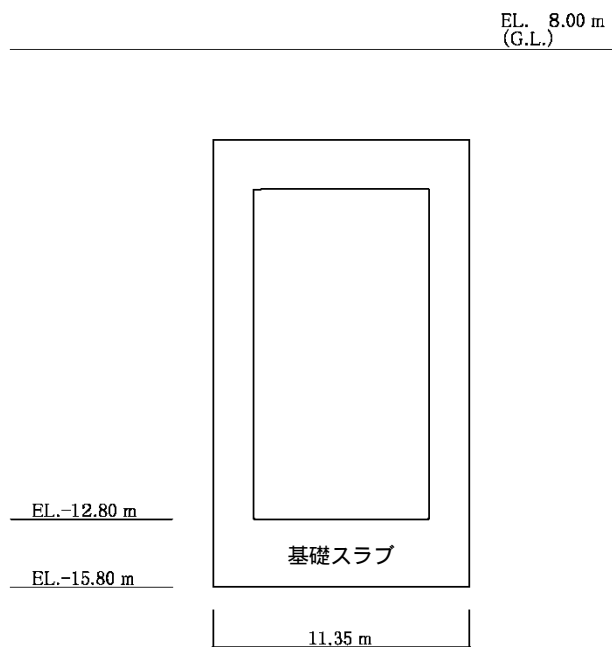
( 1階平面図 : EL. - 12.8 m )

図 2 - 2 格納容器圧力逃がし装置格納槽の概略平面図



(NS 方向, A - A 断面)

図 2 - 3 ( 1 / 2 ) 格納容器圧力逃がし装置格納槽の概略断面図



(EW 方向, B - B 断面)

図 2 - 3 ( 2 / 2 ) 格納容器圧力逃がし装置格納槽の概略断面図

### 2.3 評価方針

格納容器圧力逃がし装置格納槽は、重大事故等対処施設において「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。

格納容器圧力逃がし装置格納槽の評価においては、**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、資料 -2-2-17「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。格納容器圧力逃がし装置格納槽の評価は、資料 -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、格納容器圧力逃がし装置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。

格納容器圧力逃がし装置格納槽の評価フローを図 2 - 4 に示す。



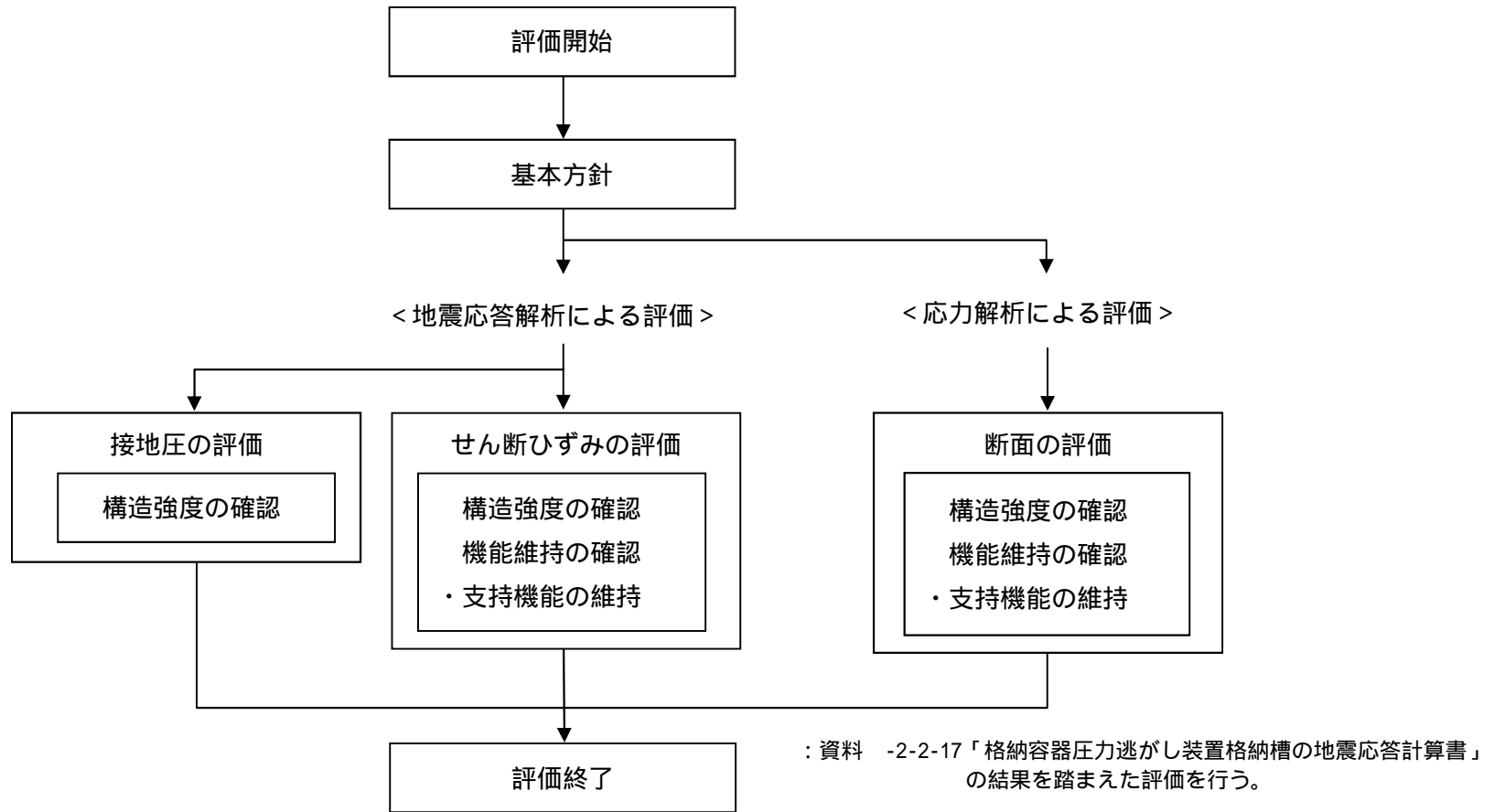


図 2 - 4 格納容器圧力逃がし装置格納槽の評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

格納容器圧力逃がし装置格納槽の評価において、適用する規格、基準などを以下に示す。

- ・ 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 - 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)
- ・ 建築基礎構造設計指針 ((社)日本建築学会, 2001)
- ・ 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、格納容器圧力逃がし装置格納槽の構造強度については、資料 -2-2-17「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、資料 -2-2-17「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容器圧力逃がし装置格納槽の許容限界は、資料 -2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表3-1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

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 (評価基準値)
	構造強度を有すること	基準地震動 $S_s$	基礎地盤	最大接地圧が地盤の支持力度を超えないことを確認	極限支持力度 4667 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 $2.0 \times 10^{-3}$

\*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。

#### 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

格納容器圧力逃がし装置格納槽の応力解析による評価対象部位は基礎スラブとし、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<sub>s</sub>地震時に対する評価は、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、準拠規格・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、資料 -2-2-17「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。

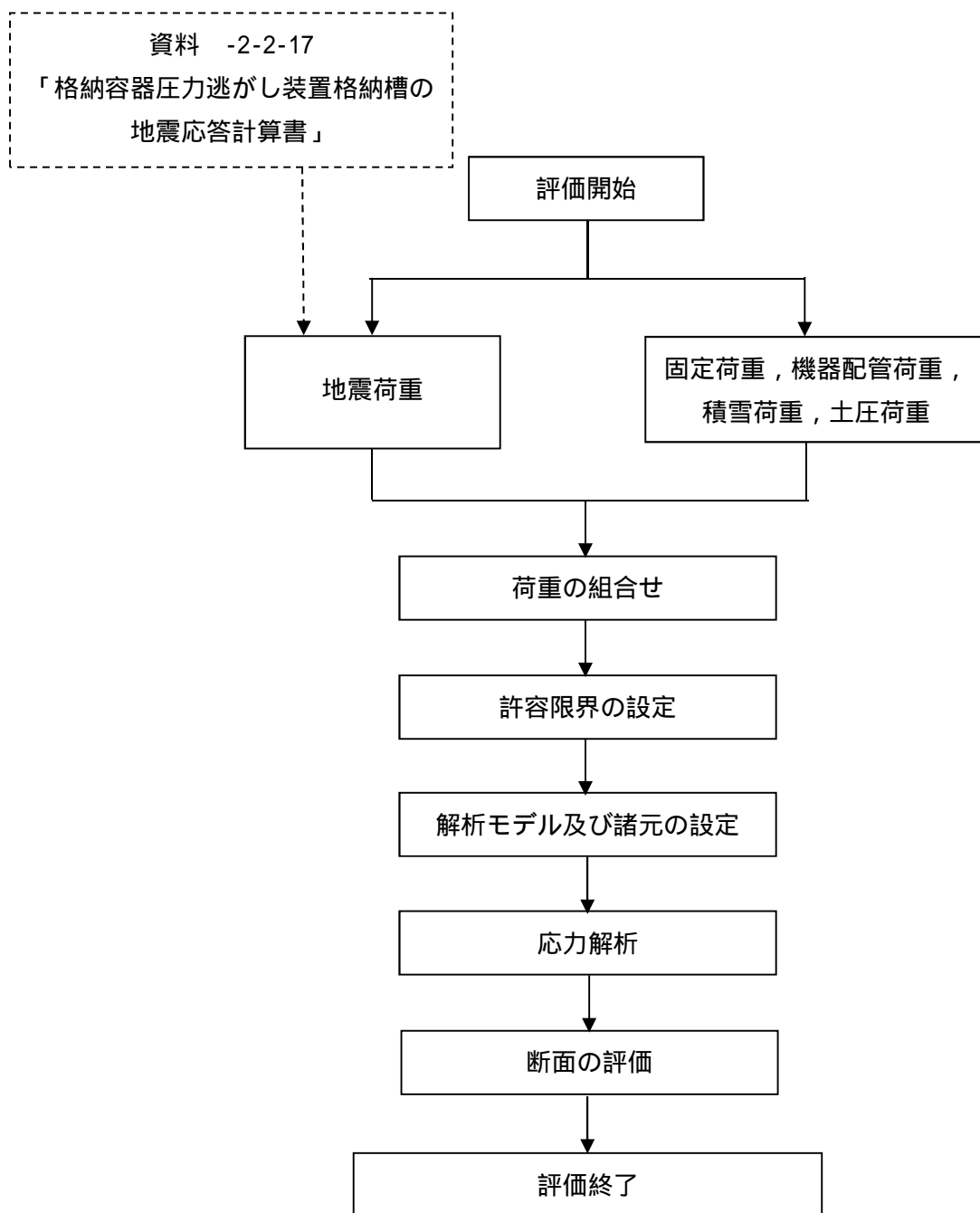


図 4 - 1 応力解析による評価フロー

## 4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、資料 -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)

格納容器圧力逃がし装置格納槽に作用する固定荷重は、コンクリート躯体の重量を考慮する。固定荷重を表 4 - 1 に示す。

表 4 - 1 固定荷重

	荷重 (kN/m <sup>2</sup> )	備考
コンクリート	24.0 × t	t : コンクリートの厚さ (m)

#### (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	格納槽内
EL. - 12.8 m ~ - 8.6 m	14.0 kN
EL. - 8.6 m ~ - 5.8 m	17.1 kN
EL. - 5.8 m ~ - 1.1 m	99.9 kN
EL. - 1.1 m ~ 4.0 m	33.7 kN

#### (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

荷重及び外力について想定する状態	積雪荷重
地震時	210 N/m <sup>2</sup>

(4) 土圧荷重 (EK)

土圧荷重は、静止土圧、地震時土圧及び上載土荷重を設定する。

詳細は追而

(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、資料 V-2-2-17 「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。

4.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4 - 5 に示す。

表 4 - 5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
$S_s$ 地震時	$G + E + S + EK + Ks$

- G : 固定荷重
- E : 機器配管荷重
- S : 積雪荷重
- EK : 土圧荷重
- Ks : 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容器圧力逃がし装置格納槽の基礎スラブの許容限界は、資料 -2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表4-6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4-7及び表4-8に示す。

表4-6 応力解析による評価における許容限界

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(評価基準値)
	構造強度を有すること	基準地震動 $S_s$	基礎スラブ	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」*2に基づく終局耐力
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	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」*2に基づく終局耐力

\*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 : 「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。

表4-7 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4-8 鉄筋の許容応力度

外力の状態	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 ( $N/mm^2$ )
$S_s$ 地震時	345	345	390	390

・材料強度は許容応力度(引張及び圧縮)を1.1倍して算出する。



#### 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であり、上屋の荷重伝達を考慮するために、応力解析モデルには格納層の基礎とその上屋を一体とした全体モデルを用いる。図4-2及び図4-3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、付録15「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1880、要素数は1803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

使用材料の物性値を表4-9に示す。

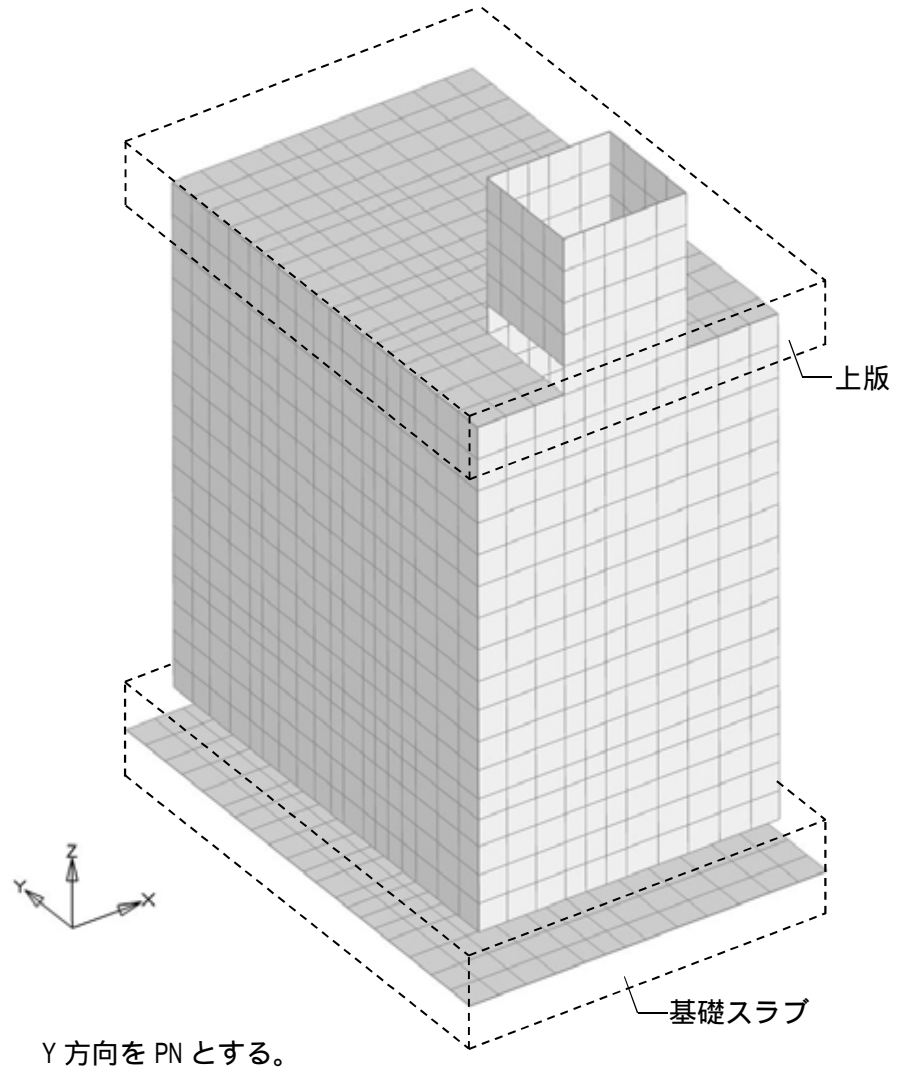
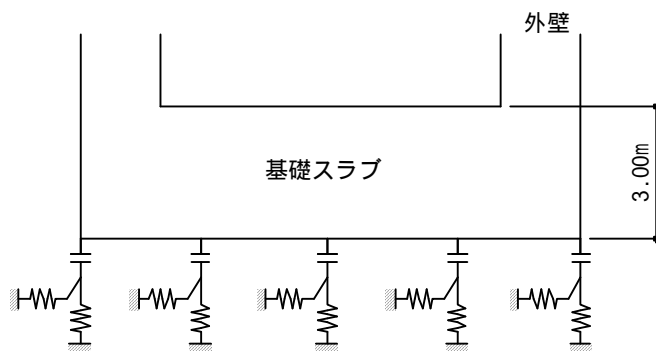
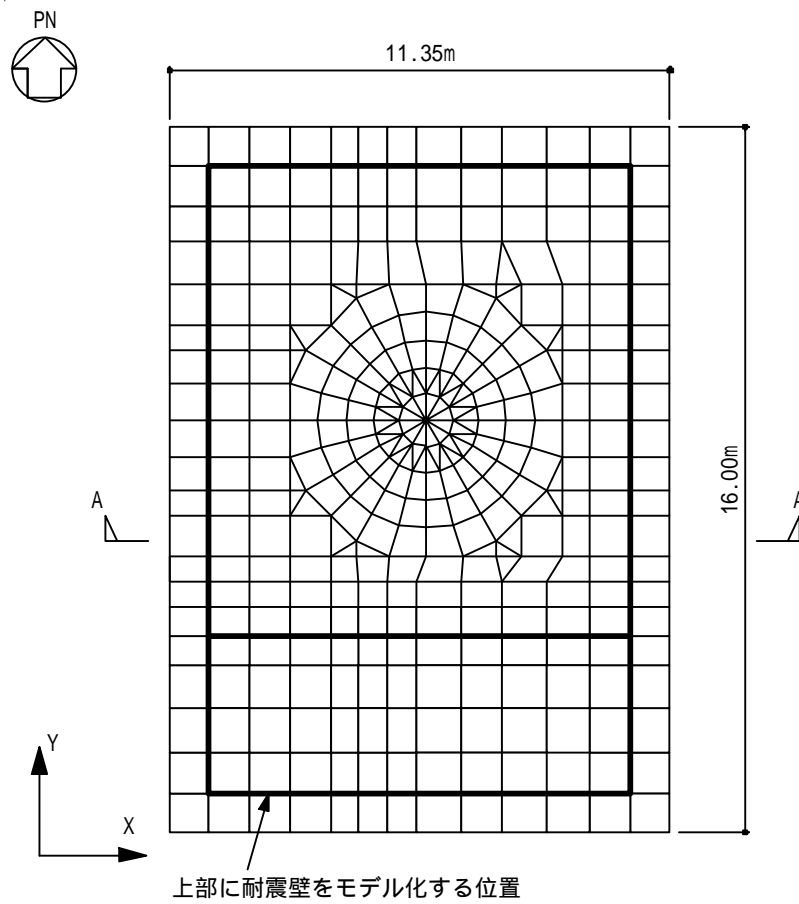


図4-2 解析モデル(格納槽モデル鳥瞰図)



A-A 断面図

ギャップ要素及びばね要素は、基礎スラブの全ての節点に設ける。

図 4 - 3 解析モデル (基礎スラブ)

表 4 - 9 コンクリートの物性値

諸元		物性値
設計基準強度	Fc	30.0 N/mm <sup>2</sup>
ヤング係数	Ec	2.44 × 10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup>
ポアソン比		0.2

## 4.5 評価方法

### 4.5.1 応力解析方法

格納容器圧力逃がし装置格納槽の基礎スラブについて、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

EK : 土圧荷重

$K_{SWE}^{-1}$  : W E 方向  $S_s$ 地震荷重

$K_{SSN}^{-1}$  : S N 方向  $S_s$ 地震荷重

$K_{SDU}^{-1}$  : 鉛直方向  $S_s$ 地震荷重

1 : 加力方向による絶対値の差異はないため、計算上の座標軸を基本として、EW 方向は W E 方向加力、NS 方向は S N 方向加力、鉛直方向は上向き加力を記載している。

#### (2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4 - 10 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 - 10 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	$G + E + S + EK + 1.0K_{SWE} - 0.4K_{SDU}$
	1 - 2	$G + E + S + EK + 1.0K_{SWE} + 0.4K_{SDU}$
	1 - 3	$G + E + S + EK - 1.0K_{SWE} - 0.4K_{SDU}$
	1 - 4	$G + E + S + EK - 1.0K_{SWE} + 0.4K_{SDU}$
	1 - 5	$G + E + S + EK + 1.0K_{SSN} - 0.4K_{SDU}$
	1 - 6	$G + E + S + EK + 1.0K_{SSN} + 0.4K_{SDU}$
	1 - 7	$G + E + S + EK - 1.0K_{SSN} - 0.4K_{SDU}$
	1 - 8	$G + E + S + EK - 1.0K_{SSN} + 0.4K_{SDU}$
	1 - 9	$G + E + S + EK + 0.4K_{SWE} - 1.0K_{SDU}$
	1 - 10	$G + E + S + EK + 0.4K_{SWE} + 1.0K_{SDU}$
	1 - 11	$G + E + S + EK - 0.4K_{SWE} - 1.0K_{SDU}$
	1 - 12	$G + E + S + EK - 0.4K_{SWE} + 1.0K_{SDU}$
	1 - 13	$G + E + S + EK + 0.4K_{SSN} - 1.0K_{SDU}$
	1 - 14	$G + E + S + EK + 0.4K_{SSN} + 1.0K_{SDU}$
	1 - 15	$G + E + S + EK - 0.4K_{SSN} - 1.0K_{SDU}$
	1 - 16	$G + E + S + EK - 0.4K_{SSN} + 1.0K_{SDU}$

### (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に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

土圧荷重のうち上載土荷重は，上版に対する一様な分布荷重として入力する。静止土圧及び地震時土圧は，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

上部構造物である各耐震壁及びフィルタ装置からの地震時反力を考慮する。

水平地震力は，上部構造物及びフィルタ装置からのせん断力及び曲げモーメントとし，せん断力は水平力に置換し，モデル上の各節点における支配面積に応じた節点力として入力し，曲げモーメントは鉛直力に置換しモデル上の各節点における支配面積に応じた節点力として入力する。

鉛直地震力は，上部構造物及びフィルタ装置からの軸力とし，鉛直力に置換し，モデル上の各節点における支配面積に応じた節点力として入力する。

また，基礎スラブ内に作用する荷重については，地震時の上部構造物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，節点力として入力する。

#### 4.5.2 断面の評価方法

格納槽の基礎の断面の評価は、F E Mモデルを用いた応力解析により得られた各断面力（軸力、曲げモーメント、せん断力）を用いることとし、 $S_s$ 地震時に対して以下のとおり行う。

軸力、曲げモーメント及び面内せん断力については、必要鉄筋量が設計配筋量を超えないことを確認する。必要鉄筋量は、「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を柱の許容応力度設計式を用いて算定し、さらに面内せん断力の検討用断面力から求まる鉄筋量を付加して求める。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。

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。

## 5. 評価結果

### 5.1 地震応答解析による評価結果

追而

### 5.2 応力解析による評価結果

追而