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-197　改 0
提出年月日	平成 30 年 3 月 14 日

V-2-2-10-1　緊急時対策所建屋の耐震性についての計算書

NT2 補② V-2-2-10-1 R0

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 12
3.　地震応答解析による評価方法 13
4.　応力解析による評価方法 15
4.1　評価対象部位及び評価方針 15
4.2　荷重及び荷重の組合せ 17
4.3　許容限界 19
4.4　解析モデル及び諸元 21
5.　評価結果 34
5.1　地震応答解析による評価結果 34
5.2　応力解析による評価結果 34

1.　概要

本資料は，資料Ｖ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，緊急時対策所建屋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。

緊急時対策所建屋は，設計基準対象施設においては「C クラスの施設」及び「C 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「常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。また，緊急時対策所建屋を構成する壁及びスラブの一部は緊急時対策所遮蔽に該当し，その緊急時対策所遮蔽は，重大事故等対処施設において「常設重大事故緩和設備」に分類される。

以下，それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2.　基本方針

2.1　位置

緊急時対策所建屋の設置位置を図 2－1 に示す。

図 2－1　緊急時対策所建屋の設置位置

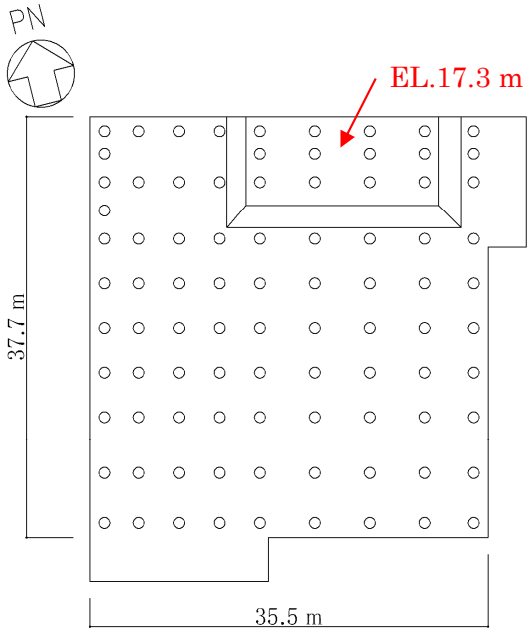
2.2　構造概要

緊急時対策所建屋は，主体構造が鉄筋コンクリート造で，地上4階の建物である。平面が南北方向37.7 m，東西方向35.5 m，地上高さ28.0 mである。

緊急時対策所建屋の基礎は，厚さ2.5 m（一部2.0 m及び2.2 m）で，鋼管コンクリート杭（外径1.0 m，88 本）を介して，砂質泥岩である久米層に岩着している。また，表層のfl層，du層及びlm層について地盤改良を実施する。

建屋は全体として非常に剛性が高く，建屋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。柱及び梁は，耐震壁の一部とつながってラーメン構造を形成している。このラーメン構造部材は地震時の建屋層間変形に追従できるようになっている。

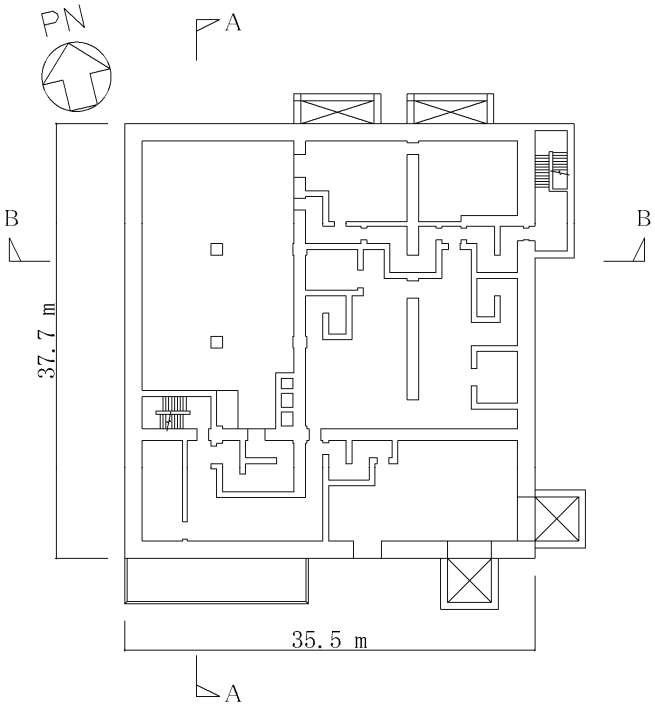
緊急時対策所建屋の杭伏図，概略平面図，概略断面図及び遮蔽及び気密の範囲を図2－2～図2－5に示す。



（杭伏図：EL. 20.8 m）

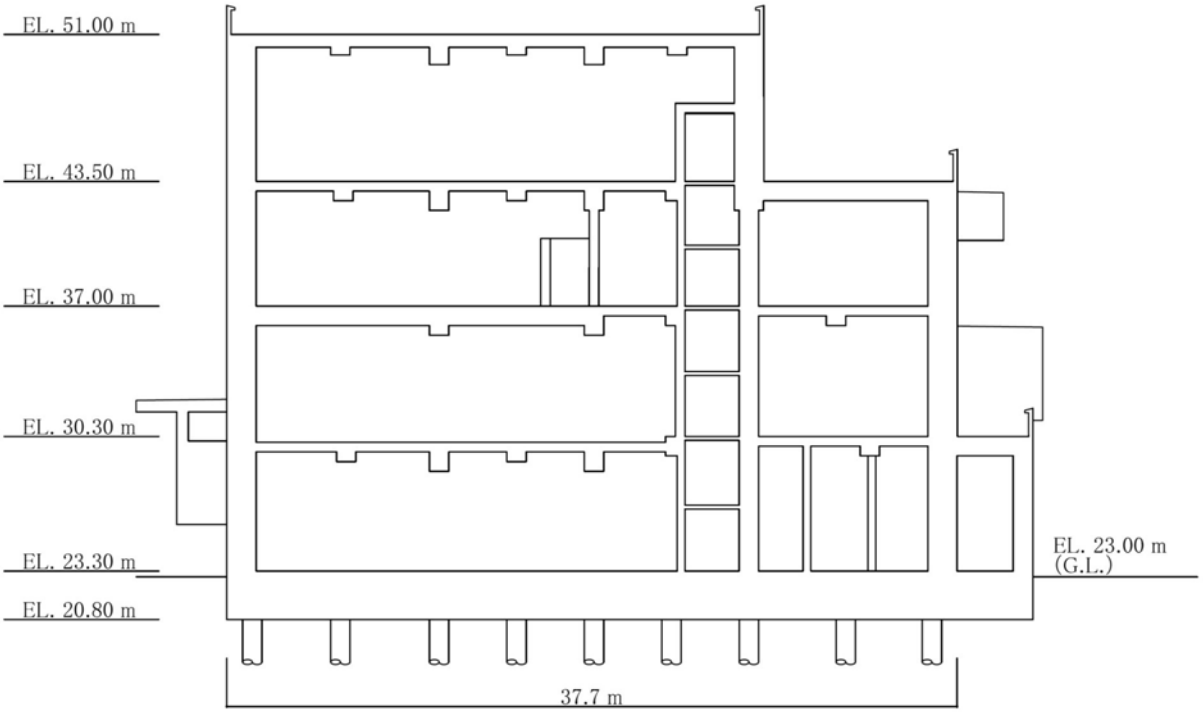
凡例　○：杭

図 2－2　緊急時対策所建屋の杭伏図



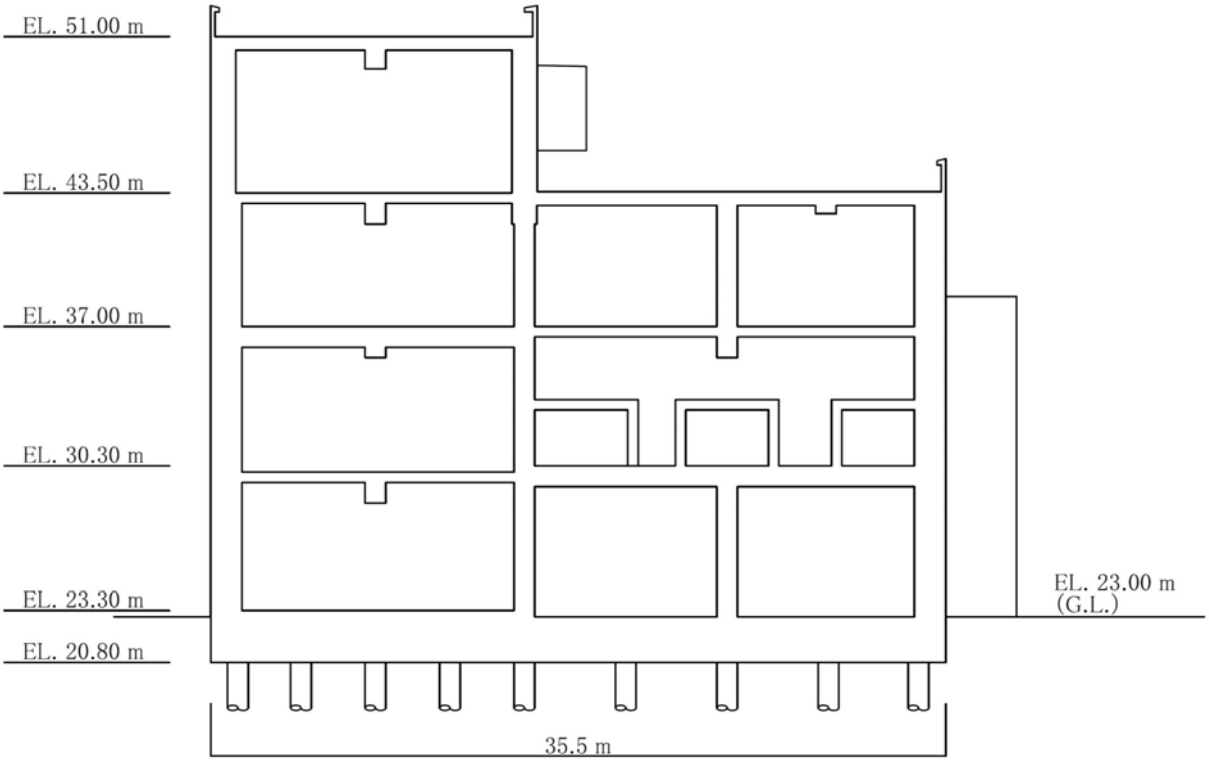
（2 階平面図：EL. 30.3 m）

図 2－3　緊急時対策所建屋の概略平面図



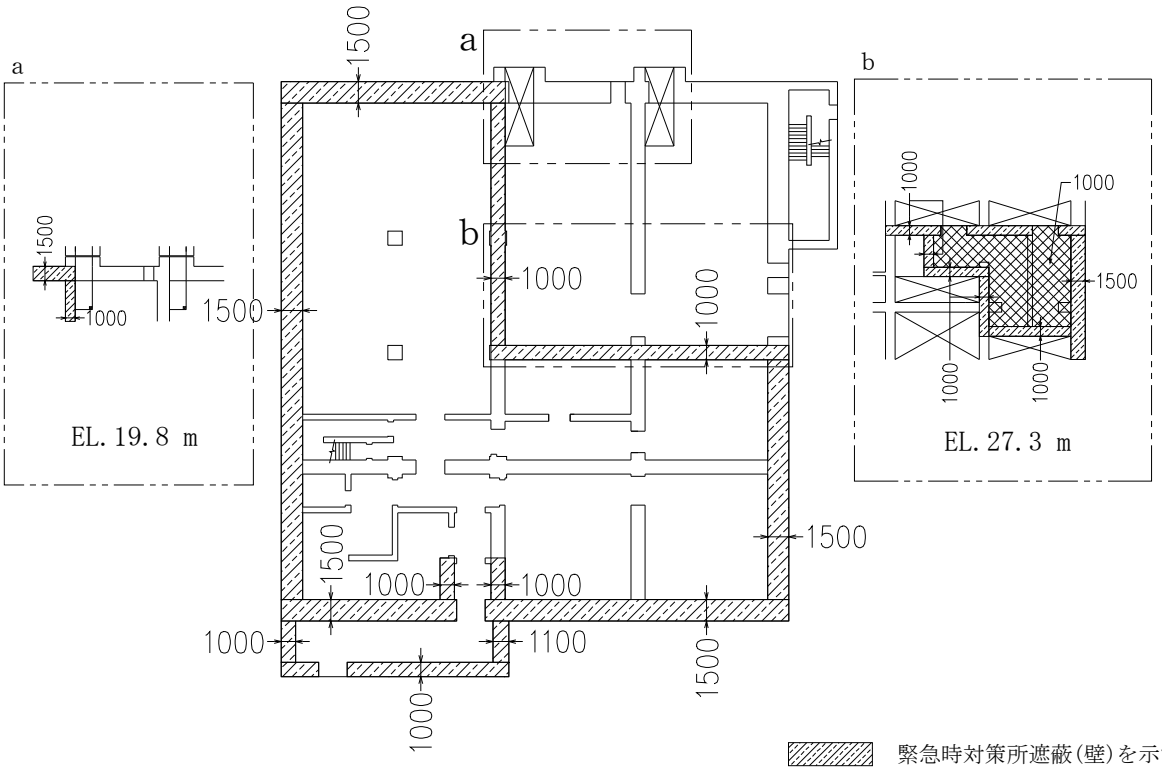
(NS 方向，A－A 断面)

図 2－4（1／2）　緊急時対策所建屋の概略断面図



(EW 方向，B－B 断面)

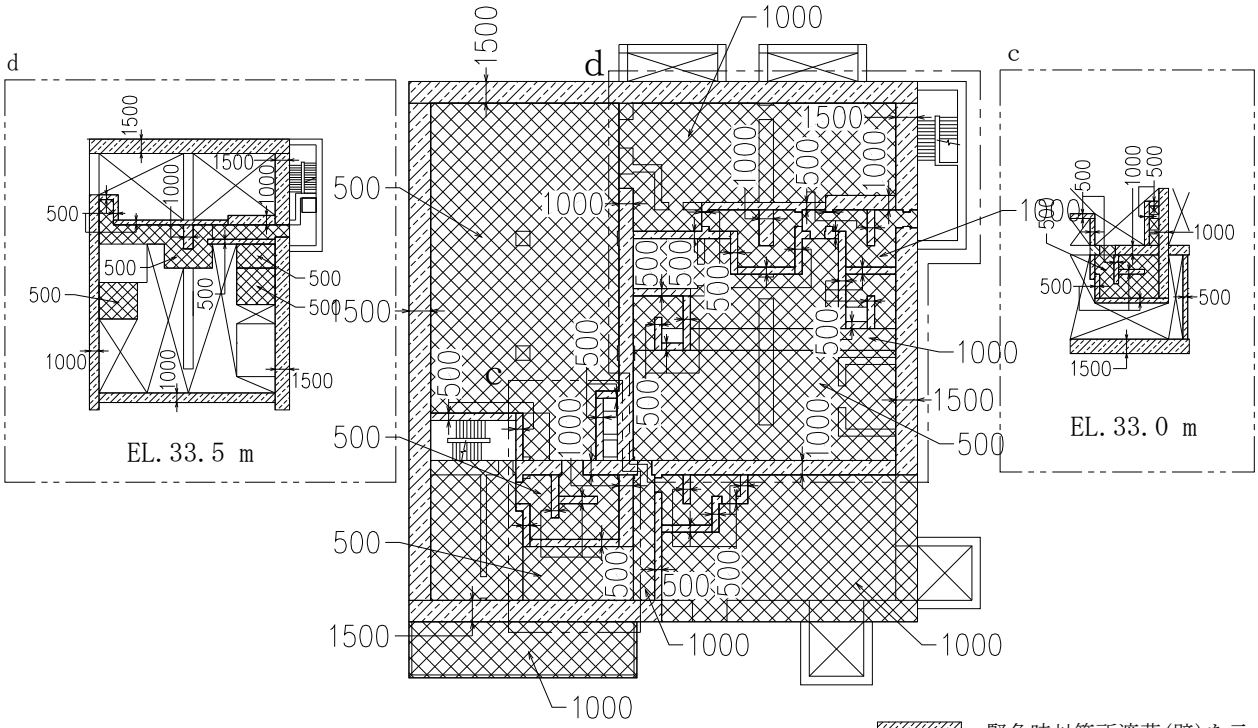
図 2－4（2／2）　緊急時対策所建屋の概略断面図



緊急時対策所遮蔽(壁)を示す。

(1 階平面図：EL. 23. 3 m)　緊急時対策所遮蔽(床)を示す。

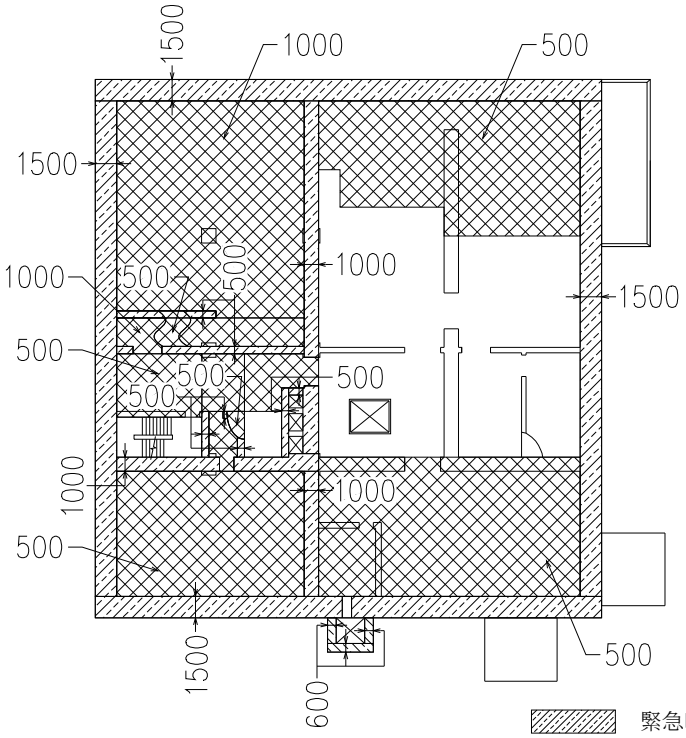
図 2－5（1／7）　緊急時対策所建屋遮蔽の範囲



緊急時対策所遮蔽(壁)を示す。

(2 階平面図：EL. 30. 3 m)　緊急時対策所遮蔽(床)を示す。

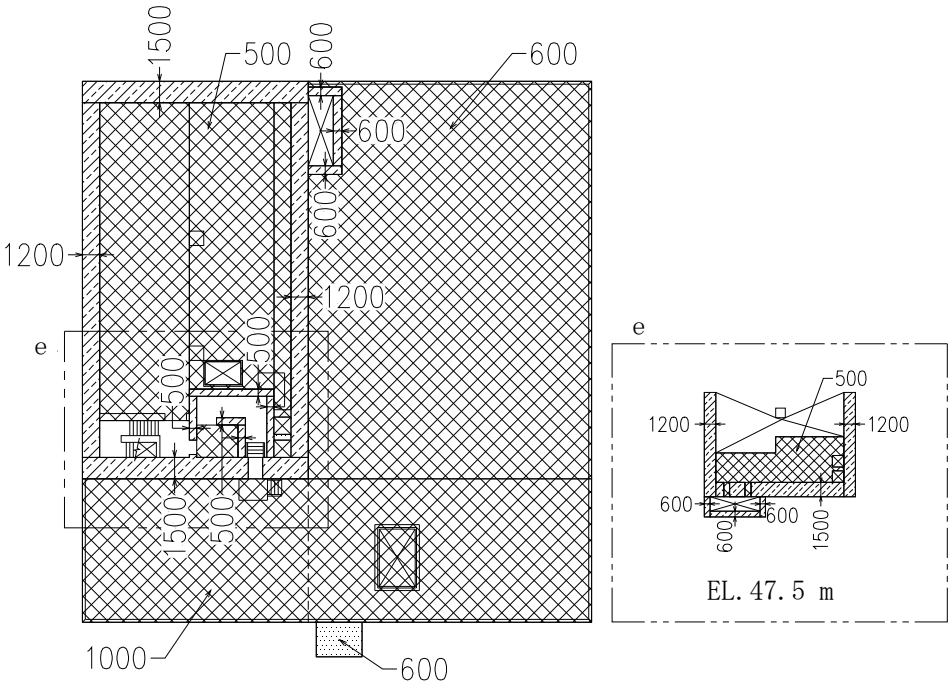
図 2－5（2／7）　緊急時対策所建屋遮蔽の範囲



緊急時対策所遮蔽(壁)を示す。

(3 階平面図：EL. 37. 0 m)　緊急時対策所遮蔽(床)を示す。

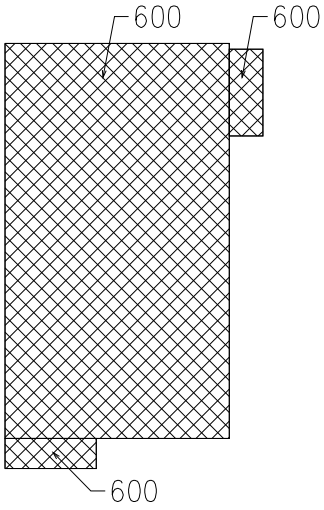
図 2－5（3／7）　緊急時対策所建屋遮蔽の範囲



緊急時対策所遮蔽(壁)を示す。

(4 階平面図：EL. 43. 5 m)　緊急時対策所遮蔽(床)を示す。

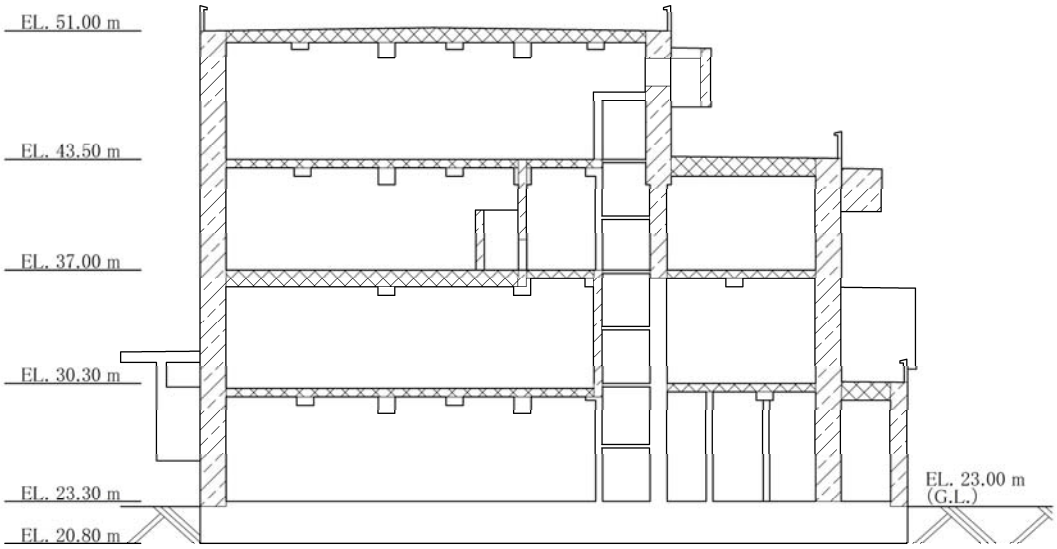
図 2－5（4／7）　緊急時対策所建屋遮蔽の範囲



緊急時対策所遮蔽(床)を示す。

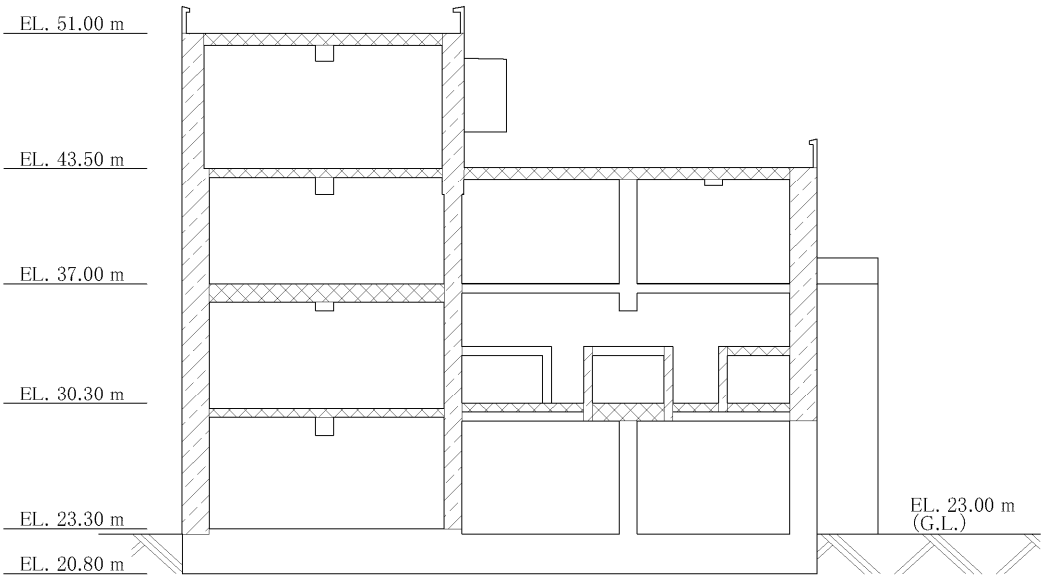
(R 階平面図：EL. 51.0 m)

図 2－5 (5／7)　緊急時対策所建屋遮蔽の範囲



（NS 方向，A－A 断面）

図 2－5（6／7）　緊急時対策所建屋遮蔽の範囲



（EW 方向，B－B 断面）

図 2－5（7／7）　緊急時対策所建屋遮蔽の範囲

気密範囲追而

2.3　評価方針

緊急時対策所建屋は，設計基準対象施設においては「Cクラスの施設」及び「C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「常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。また，緊急時対策所建屋を構成する壁及びスラブの一部は緊急時対策所遮蔽に該当し，その緊急時対策所遮蔽は，重大事故等対処施設において「常設重大事故緩和設備」に分類される。

緊急時対策所建屋の評価においては，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）及び保有水平耐力の評価を行うこととし，それぞれの評価は資料Ⅴ-2-2-10「緊急時対策所建屋の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。緊急時対策所建屋の評価は，資料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，保有水平耐力及び杭の鉛直支持力・引抜き力の評価を，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，緊急時対策所建屋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。

緊急時対策所建屋の評価フローを図2－6に示す。

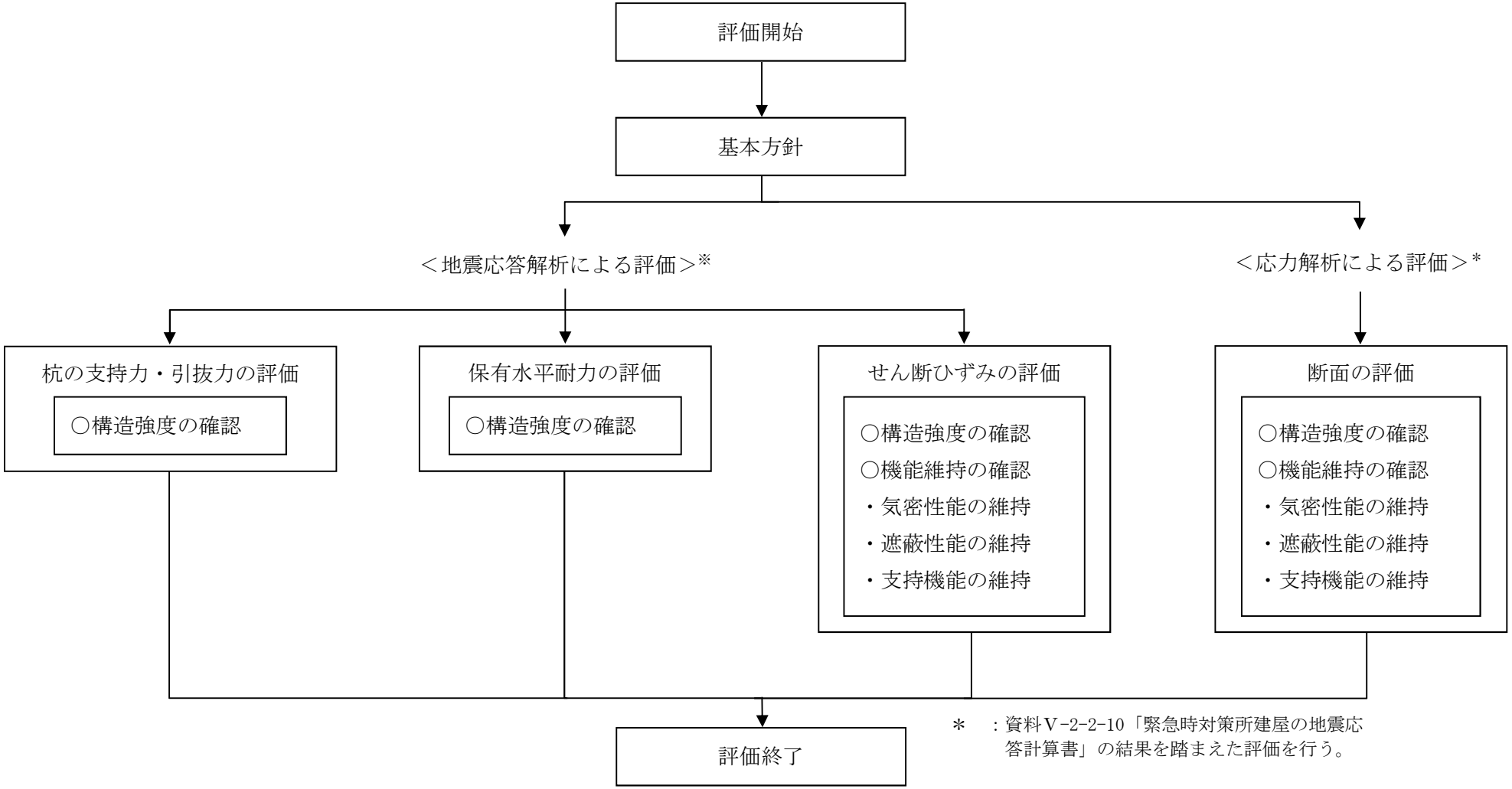


図 2－6　緊急時対策所建屋の評価フロー

2.4　適用規格

原子炉建屋の評価において，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ＪＥＡＧ４６０１－1987（(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ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（(社) 日本電気協会）
- 原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１－1991 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（(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）
- 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，緊急時対策所建屋の構造強度については，資料Ⅴ-2-2-10「緊急時対策所建屋の地震応答計算書」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，保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有すること及び地盤物性のばらつきを考慮した杭の最大鉛直支持力及び最大引抜き力が，終局鉛直支持力及び引抜き抵抗力を超えないことを確認する。

また，気密性，遮蔽性及び支持機能の維持については，資料Ⅴ-2-2-10「緊急時対策所建屋の地震応答計算書」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緊急時対策所建屋の許容限界は，資料Ⅴ-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	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 2.0×10^{-3}
		保有水平耐力	構造物全体	保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認	必要保有水平耐力
		基準地震動 S_s	基礎地盤	杭の最大鉛直力が終局鉛直支持力を超えないことを確認 杭の最大引抜き力が終局引抜き抵抗力を超えないことを確認	終局鉛直支持力 終局引抜き抵抗力
気密性	換気機能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S_s	耐震壁*2, 3	最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	概ね弾性
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S_s	耐震壁*2	最大せん断ひずみが遮蔽性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 2.0×10^{-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 2.0×10^{-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：建屋全体としては，地震力を主に耐震壁で負担する構造となっており，柱，梁，間仕切壁などが耐震壁の変形に追従することと，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：事故時に換気性能とあいまって居住性を維持できる気密性を有する設計とし，地震時においてもその機能を維持できる設計とする。

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

緊急時対策所建屋の応力解析による評価対象部位は基礎部（基礎スラブ及び杭）及び床スラブとし，Ｓ$_s$地震時に対して以下の方針に基づき評価を行う。

基礎スラブのＳ$_s$地震時に対する評価は，ＦＥＭモデルを用いた弾性応力解析によることとし，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，ＲＣ－Ｎ規準に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。また，地震荷重の設定においては，地盤物性のばらつきを考慮する。

杭のＳ$_s$地震時に対する評価は，杭及び杭周地盤をモデル化した非線形応力解析によることとし，地震力（上部構造の慣性力と地盤震動による地盤変位）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。

床スラブの評価対象部位は遮蔽要求部のみとし，弾性応力解析により評価を行う。Ｓ$_s$地震時に対する評価は，地盤物性のばらつきを考慮した鉛直方向の地震力と地震力以外の荷重の組み合わせの結果，発生する応力が，ＲＣ－Ｎ規準に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。なお，水平方向の地震荷重に対する床スラブの評価は，建屋全体が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ことから，「3.　地震応答解析による評価方法」に含まれる。

弾性応力解析に当たっては，資料Ｖ-2-2-10「緊急時対策所建屋の地震応答計算書」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。

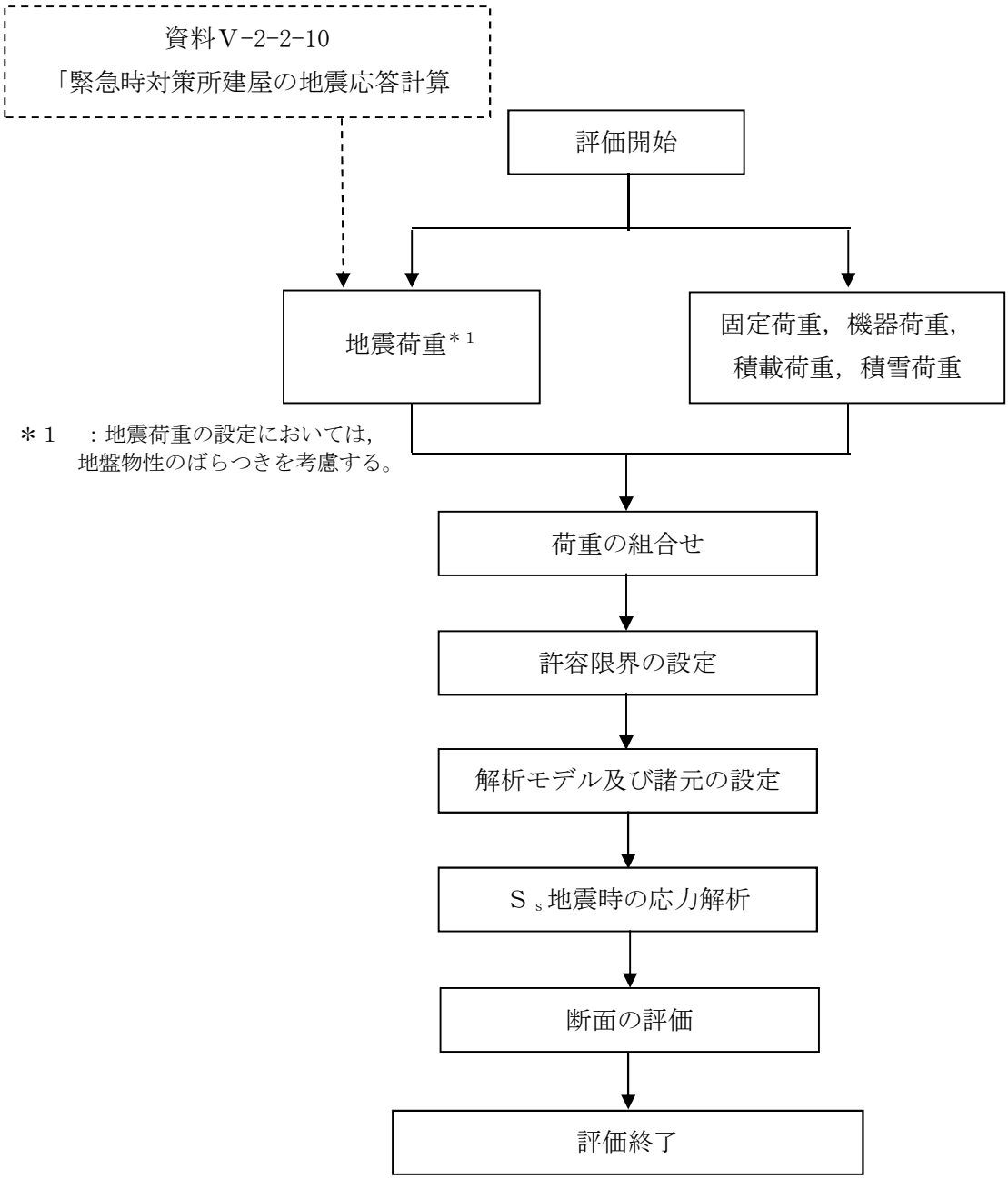


図 4－1　応力解析による評価フロー

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）

緊急時対策所建屋に作用する固定荷重は，資料Ⅴ-2-2-10「緊急時対策所建屋の地震応答計算書」に示す地震応答解析モデルの重量を考慮して表4－1のとおり設定する。

表4－1 固定荷重（G）

	荷重 (kN/m^2)	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）

機器配管荷重は，190 N/m^2～5260 N/m^{2}とする。

(3) 積載荷重（P）

積載荷重は，表4－2のとおり設定する。

表4－2 積載荷重（P）

	積載荷重
居室	1600 N/m^2
廊下，玄関，階段室	2100 N/m^2

(4) 積雪荷重（S）

積雪荷重は，表4－3のとおり設定する。

表4－3 積雪荷重（S）

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

(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Ｓ$_s$に対する地震応答解析より算定される動的地震力は，図 4－1 に示すとおり，資料Ｖ-2-2-10「緊急時対策所建屋の地震応答計算書」に基づく応答値の最大値より算定する。

4.2.2　荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4－4 に示す。

表 4－4　荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
Ｓ$_s$地震時	G＋E＋P＋S＋Ks

G　：固定荷重
E　：機器配管荷重
P　：積載荷重
S　：積雪荷重
Ks　：地震荷重

4.3 許容限界

応力解析による評価における緊急時対策所建屋及び緊急時対策所遮蔽の許容限界は，資料V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，表4－5のとおり設定する。

また，コンクリート，鉄筋及び鋼材の許容応力度を表4－6～表4－9に示す。

表4－5 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」に基づく終局強度*4
			杭		終局強度
気密性	換気機能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S_s	床スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度*2
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S_s	床スラブ	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	短期許容応力度*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	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」に基づく終局強度*4
			杭		終局強度

＊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 ：事故時，換気性能とあいまって居住性を維持できる気密性を有する設計とするが，地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし，地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

＊3 ：許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし，さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

＊4 ：「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 4－6　コンクリートの許容応力度

設計基準強度 Fc (N/mm²)	短期	
	圧縮 (N/mm²)	せん断 (N/mm²)
30	20	1.18

表 4－7　鉄筋の許容応力度

外力の状態	SD345		SD295	
	引張及び圧縮 (N/mm²)	せん断補強 (N/mm²)	引張及び圧縮 (N/mm²)	せん断補強 (N/mm²)
S_s地震時	345	345	295	295

・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。

表 4－8　杭に関するコンクリートの許容応力度

設計基準強度 Fc (N/mm²)	短期	
	圧縮 (N/mm²)	せん断 (N/mm²)
24	12	0.81

表 4－9　鋼管の許容応力度

外力の状態	鋼材種類	杭径（mm） 板厚（mm）	基準強度 F (N/mm²)
S_s地震時	SKK400	φ1000 t≦40	235

・材料強度は基準強度を 1.1 倍して算出する。

4.4　解析モデル及び諸元

4.4.1　基礎スラブ

4.4.1.1　応力の評価方法

(1)　モデル化の基本方針

応力解析は，ＦＥＭモデルを用いた弾性応力解析を実施する。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。

基礎スラブについては，EL.20.8 m～EL.23.3 m をモデル化する。上部構造については，EL.23.3 m～EL.37.0 m をモデル化し，剛性を考慮する。杭については，EL.－20.0 m～EL.20.8 m をモデル化する。解析モデルを図4－2に示す。また，使用材料（コンクリート）の物性値を表4－10に示す。

解析モデルに使用するＦＥＭ要素は基礎スラブについてはシェル要素，基礎スラブより立ち上がっている耐震壁については梁要素として剛性を考慮する。また，解析モデルの基礎底面に，薄層要素法により算定した動的インピーダンスから評価した地盤ばね定数を杭の分布に応じて離散化したばねを設ける。ばねについては，水平方向はNS，EW各々の地盤の水平ばね定数，鉛直方向はNS，EW各々の地盤の回転ばね定数に基づき設定する。

図 4－2　解析モデル図

表 4－10　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^2
ヤング係数	Ec	2.44×10^4 N/mm^2
ポアソン比	ν	0.2

(2)　荷重の入力方法

(a) 固定荷重，機器配管荷重，積載荷重及び積雪荷重

固定荷重，機器配管荷重，積載荷重及び積雪荷重はＦＥＭモデルの各節点又は各要素に集中荷重又は分布荷重として入力する。

(b) 地震荷重

上部構造物の基礎への地震時反力を考慮する。基準地震動Ｓ$_s$に対する地震応答解析結果を考慮し，基礎底面に生じる反力が，地震応答解析結果と等価になるように設定する。基礎内に作用する荷重は，Ｓ$_s$地震時の上部構造による入力荷重と基礎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，節点荷重として入力する。

4.4.1.2　断面の評価方法

(1)　荷重の組合せ

a.　荷重ケース

Ｓ$_s$地震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

P　　：積載荷重

S　　：積雪荷重

Ks_{NS}：N→S 方向　Ｓ$_s$地震荷重

Ks_{EW}：E→W 方向　Ｓ$_s$地震荷重

Ks_{UD}：鉛直方向　Ｓ$_s$地震荷重

b.　荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4－11 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ＪＥＡＣ４６０１－2008（(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 4－11　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_s地震時	1－1	$G+E+P+S+1.0Ks_{EW}+0.4Ks_{UD}$
	1－2	$G+E+P+S+1.0Ks_{EW}-0.4Ks_{UD}$
	1－3	$G+E+P+S-1.0Ks_{EW}+0.4Ks_{UD}$
	1－4	$G+E+P+S-1.0Ks_{EW}-0.4Ks_{UD}$
	1－5	$G+E+P+S+1.0Ks_{NS}+0.4Ks_{UD}$
	1－6	$G+E+P+S+1.0Ks_{NS}-0.4Ks_{UD}$
	1－7	$G+E+P+S-1.0Ks_{NS}+0.4Ks_{UD}$
	1－8	$G+E+P+S-1.0Ks_{NS}-0.4Ks_{UD}$
	1－9	$G+E+P+S+0.4Ks_{EW}+1.0Ks_{UD}$
	1－10	$G+E+P+S-0.4Ks_{EW}+1.0Ks_{UD}$
	1－11	$G+E+P+S+0.4Ks_{EW}-1.0Ks_{UD}$
	1－12	$G+E+P+S-0.4Ks_{EW}-1.0Ks_{UD}$
	1－13	$G+E+P+S+0.4Ks_{NS}+1.0Ks_{UD}$
	1－14	$G+E+P+S-0.4Ks_{NS}+1.0Ks_{UD}$
	1－15	$G+E+P+S+0.4Ks_{NS}-1.0Ks_{UD}$
	1－16	$G+E+P+S-0.4Ks_{NS}-1.0Ks_{UD}$

注　：Ks_{EW}は西向きを，Ks_{NS}は北向きを，Ks_{UD}は上向きをそれぞれ正とする。

(2)　断面の評価方法

緊急時対策所建屋の基礎の断面の評価は，ＦＥＭ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。

4.4.2　杭

4.4.2.1　応力の評価方法

(1)　支持力の評価に用いる軸力

杭の支持力に対する評価として，Ｓ$_s$地震時に発生する軸力（最大鉛直力及び最大引抜き力）を求める。軸力は図 4－3 に示すように，基礎スラブを剛体，基礎スラブ下の杭反力分布を三角形分布と仮定し，緊急時対策所建屋の転倒モーメントを軸力に換算し，鉛直地震力による軸力及び建屋総重量から求まる軸力と組み合わせて算定する。

(2)　Ｓ$_s$地震時の杭応力

Ｓ$_s$地震時に対する検討として，曲げモーメント及びせん断力を図 4－4 に示すように，上部構造の慣性力と地盤震動による地盤変位を同時に作用させて求める（以下，応答変位法という）。杭の断面性能を表 4－12 に示す。上部構造の慣性力は，水平方向の地震応答解析より得られる地盤水平ばね反力を各々の杭頭に均等配分して用いる。また，地盤震動による地盤変位は，自由地盤の応答解析で求められる地盤変位を用いる。この際，地盤変位としては，杭先端位置に対する各地盤の相対変位の最大値分布を作用させる。

応答変位法で用いる杭周地盤ばねは，「乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程（ＪＥＡＣ４６１６－2009）」を参考に，群杭効果を考慮して評価する。なお，杭には非線形性を考慮する。

$$P_i = \frac{N'}{n} + \frac{M}{\sum_j X_j^2} \cdot X_i$$

ここに，　P_i　：i 番目の杭の軸力

N'　：建屋基礎版底面における軸力 $N'=N \pm \Delta N$

N　：建屋総重量

ΔN：鉛直方向応答解析で得られる地盤鉛直ばね反力

M　：建屋基礎版底面における転倒モーメント（地盤回転ばね反力）

n　：杭本数

X_i　：i 番目の杭の杭群図心線からの距離

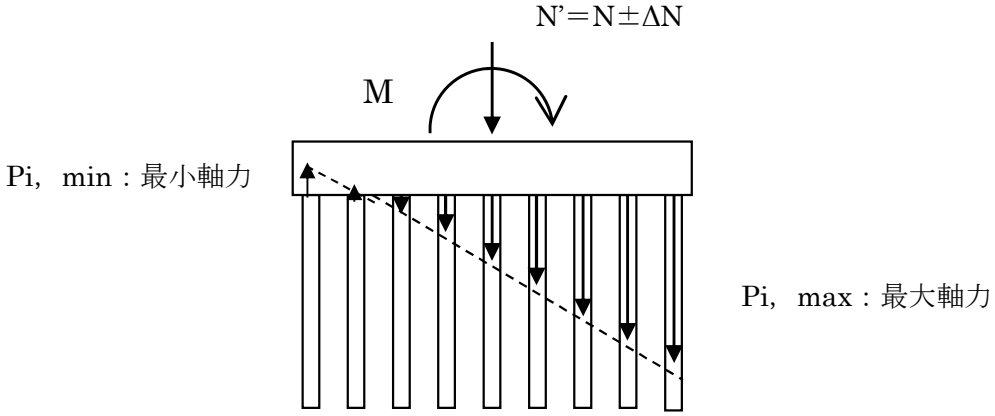


図 4－3　杭の軸力算定概念

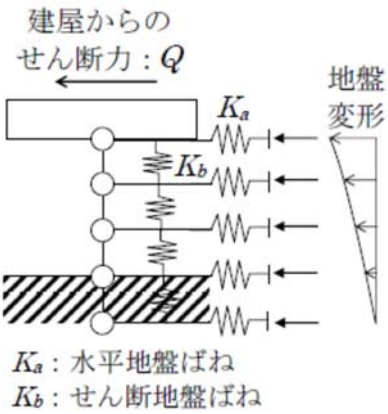


図 4－4　応答変位法による杭応力の算定方法（概念図）

表 4－12　杭の断面性能

外径 D（mm）	板厚 t（mm）	断面積 A（m^2）	せん断 断面積 As（m^2）	断面 2 次 モーメント I（m^4）
1000	22	1.300	0.9436	0.1105

4.4.2.2 断面の評価方法

(1) 荷重の組合せ（支持力の評価に用いる軸力）

a. 荷重ケース

支持力の評価に用いる軸力は次の荷重ケースによる軸力を組み合わせて求める。

G ：固定荷重

E ：機器配管荷重

P ：積載荷重

S ：積雪荷重

Ks_{NS}：N→S 方向 S_s地震荷重

Ks_{EW}：E→W 方向 S_s地震荷重

Ks_{UD}：鉛直方向 S_s地震荷重

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4－13 に示す。

水平地震力と鉛直地震力の組合せは，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 4－13 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_s地震時	1－1	$G+E+P+S+1.0Ks_{NS}+0.4Ks_{UD}$
	1－2	$G+E+P+S+1.0Ks_{NS}-0.4Ks_{UD}$
	1－3	$G+E+P+S+0.4Ks_{NS}+1.0Ks_{UD}$
	1－4	$G+E+P+S+0.4Ks_{NS}-1.0Ks_{UD}$
	1－5	$G+E+P+S+1.0Ks_{EW}+0.4Ks_{UD}$
	1－6	$G+E+P+S+1.0Ks_{EW}-0.4Ks_{UD}$
	1－7	$G+E+P+S+0.4Ks_{EW}+1.0Ks_{UD}$
	1－8	$G+E+P+S+0.4Ks_{EW}-1.0Ks_{UD}$

注 ：Ks_{UD}は上向きを正とする。

(2)　荷重の組合せ（S_s地震時の杭応力）

a.　荷重ケース

S_s地震時に杭に作用する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。なお，これらの荷重のうちG，E，P，S，及びKs_{UD}は，杭の復元力特性の設定時に必要なS_s地震時の杭の軸力を評価する際のみ用いる。

G　　：固定荷重

E　　：機器配管荷重

P　　：積載荷重

S　　：積雪荷重

Ks_{NS}：N→S 方向　S_s地震荷重

Ks_{EW}：E→W 方向　S_s地震荷重

Ks_{UD}：鉛直方向　S_s地震荷重

b.　荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4－14 に示す。

表 4－14　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_s地震時	1－1	$1.0Ks_{NS}$（G＋E＋P＋S＋$0.4Ks_{UD}$）
	1－2	$1.0Ks_{NS}$（G＋E＋P＋S－$0.4Ks_{UD}$）
	1－3	$1.0Ks_{EW}$（G＋E＋P＋S＋$0.4Ks_{UD}$）
	1－4	$1.0Ks_{EW}$（G＋E＋P＋S－$0.4Ks_{UD}$）

注　：Ks_{UD}は上向きを正とする。

ケース 1，3 が最小軸力時，ケース 2，4 が最大軸力時を示す。

(3)　断面の評価方法

杭の支持力に対する評価は，S_s地震時に発生する杭軸力（最大鉛直力及び最大引抜き力）が終局鉛直支持力及び終局引抜き抵抗力以下であることを確認する。

また，杭の断面の評価に用いる応力は，杭－地盤ばねによる応答変位法モデルを用いた非線形応力解析より得られた各断面力（曲げモーメント，せん断力）とする。

曲げモーメントに対する検討は，S_s地震時に発生する杭軸力を考慮した終局曲げモーメント以下であることを確認する。また，せん断力に対する検討は，杭に生じるせん断力が，杭の終局せん断強度以下であることを確認する。

4.4.3 床スラブ

4.4.3.1 応力の評価方法

床スラブの解析モデルは，柱，壁及び梁で囲まれた範囲について，四辺固定版としてモデル化する。S_s地震時に発生する床スラブの応力は，長期荷重時の端部モーメント，中央モーメント及びせん断力を鉛直震度により係数倍することで求める。その際，鉛直震度は床スラブをそのスパン及びスラブ厚さから剛とみなし，質点系モデルの鉛直方向最大応答加速度より算定する。なお，スラブの固有値を踏まえ応答増幅を考慮しても安全上支障がないことを確認する。長期荷重時の端部モーメント，中央モーメント及びせん断力を以下に示す。

（四辺固定版）

・長期荷重時の短辺の端部モーメント（M_{X1}）

$$M_{X1} = -\frac{1}{12} w_X \cdot l_X^{\ 2}$$

・長期荷重時の短辺の中央モーメント（M_{X2}）

$$M_{X2} = \frac{1}{18} w_X \cdot l_X^{\ 2}$$

・長期荷重時の短辺のせん断力（Q_X）

$$Q_X = 0.52 w \cdot l_X$$

・長期荷重時の長辺の端部モーメント（M_{Y1}）

$$M_{Y1} = -\frac{1}{24} w \cdot l_X^{\ 2}$$

・長期荷重時の長辺の中央モーメント（M_{Y2}）

$$M_{Y2} = \frac{1}{36} w \cdot l_X^{\ 2}$$

・長期荷重時の長辺のせん断力（Q_Y）

$$Q_Y = 0.46 w \cdot l_X$$

ここで，

l_X ：短辺有効スパン（m）

l_Y ：長辺有効スパン（m）

w ：単位面積あたりの長期荷重（kN/m^2）

$$w_X = \frac{l_Y^{\ 4}}{l_X^{\ 4} + l_Y^{\ 4}} w$$

4.4.3.2　断面の評価方法

(1)　荷重の組合せ

a.　荷重ケース

S_s地震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。これらの荷重のうちKs_{UD}は，S_s地震時の鉛直震度を評価する際のみ用いる。

G　　：固定荷重

E　　：機器配管荷重

P　　：積載荷重

S　　：積雪荷重

Ks_{UD}：鉛直方向　S_s地震荷重

b.　荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表4－15に示す。

表4－15　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_s地震時	1－1	$G+E+P+S-1.0K_{UD}$

注　：Ks_{UD}は上向きを正とする。

作用荷重のうち地震荷重は，固定荷重，機器配管荷重，積載荷重及び積雪荷重と同じ下向きに作用する場合に生じる応力が最大となるため，地震荷重は鉛直下向きの場合のみ考慮する。

(2)　断面の評価方法

a.　曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は，「ＲＣ－Ｎ規準」に基づき，評価対象部位に生じる曲げモーメントが，次式をもとに計算した許容曲げモーメントを超えないことを確認する。

$$M_A = a_t \cdot f_t \cdot j$$

ここで，

M_A　：許容曲げモーメント（N）

a_t　：引張鉄筋の断面積（mm^2）

f_t　：鉄筋の短期許容引張応力度で，表 4－7 に示す値（N/mm^2）

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）

b.　面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は，「ＲＣ－Ｎ規準」に基づき，評価対象部位に生じる面外せん断力が，次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで，

Q_A　：許容面外せん断力（N）

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）

α　：許容せん断力の割り増し係数

（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で，表 4－6 に示す値（N/mm^2）

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