

VI 安全上重要な建物・構築物 の耐震安全性評価

【 目 次 】

1. 評価方針.....	VI-1
2. 基準地震動 S_s と入力地震動	VI-2
2.1 基準地震動 S_s	VI-2
2.2 入力地震動	VI-2
3. 原子炉建屋の耐震安全性評価	VI-6
3.1 地震応答解析	VI-6
3.1.1 原子炉建屋の概要	VI-6
3.1.2 地震応答解析モデル	VI-7
3.1.3 地震応答解析結果	VI-9
3.2 評価基準	VI-10
3.3 評価結果	VI-11
3.3.1 耐震壁	VI-11
3.3.2 外周コンクリート壁ドーム部	VI-11
3.3.3 燃料取扱棟屋根鉄骨部	VI-11
4. 原子炉補助建屋の耐震安全性評価	VI-53
4.1 地震応答解析	VI-53
4.1.1 原子炉補助建屋の概要	VI-53
4.1.2 地震応答解析モデル	VI-54
4.1.3 地震応答解析結果	VI-56
4.2 評価基準	VI-57
4.3 評価結果	VI-57

【 表 目 次 】

[3. 原子炉建屋の耐震安全性評価]

第 3.1-1 表	使用材料	VI-13
第 3.1-2 表	解析に用いる材料定数	VI-13
第 3.1-3 表 (1)	モデル諸元(水平方向)(1)	VI-14
第 3.1-3 表 (2)	モデル諸元(水平方向)(2)	VI-15
第 3.1-3 表 (3)	モデル諸元(水平方向)(3)	VI-15
第 3.1-4 表	地盤物性値及び基礎版諸元	VI-16
第 3.1-5 表	地盤ばね定数及び減衰係数(水平方向)	VI-16
第 3.1-6 表 (1)	モデル諸元(鉛直方向)(1)	VI-17
第 3.1-6 表 (2)	モデル諸元(鉛直方向)(2)	VI-17
第 3.1-7 表	地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向)	VI-17
第 3.1-8 表	固有値解析結果	VI-18
第 3.1-9 表	接地率	VI-19
表 3.3-1 表	荷重の組合せ(外周コンクリート壁ドーム部)	VI-20
第 3.3-2 表	半球型ドーム部の検討結果	VI-20
表 3.3-3 表	荷重の組合せ(燃料取扱棟屋根鉄骨部)	VI-21
第 3.3-4 表	燃料取扱棟鉄骨梁の検討結果	VI-21

[4. 原子炉補助建屋の耐震安全性評価]

第 4.1-1 表	使用材料	VI-58
第 4.1-2 表	解析に用いる材料定数	VI-58
第 4.1-3 表	モデル諸元(水平方向)	VI-59
第 4.1-4 表	地盤物性値及び基礎版諸元	VI-60
第 4.1-5 表	地盤ばね定数及び減衰係数(水平方向)	VI-60
第 4.1-6 表	モデル諸元(鉛直方向)	VI-61
第 4.1-7 表	地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向)	VI-61
第 4.1-8 表	固有値解析結果	VI-62
第 4.1-9 表	接地率	VI-63

【 図 目 次 】

[2. 基準地震動 S_s と入力地震動]

第 2.1-1 図	基準地震動 S_s-1H, S_s-1V の加速度時刻歴波形と加速度 応答スペクトル	VI-3
第 2.1-2 図(1)	基準地震動 S_s-2EW, S_s-2NS の加速度時刻歴波形と加 速度応答スペクトル	VI-4
第 2.1-2 図(2)	基準地震動 S_s-2UD の加速度時刻歴波形と加速度応 答スペクトル	VI-5

[3. 原子炉建屋の耐震安全性評価]

第 3.1-1 図 (1)	概略平面図	VI-22
第 3.1-1 図 (2)	概略断面図	VI-23
第 3.1-2 図	地震応答解析モデル(水平方向)	VI-24
第 3.1-3 図	地震応答解析モデル(鉛直方向)	VI-25
第 3.1-4 図 (1)	刺激関数(EW 方向 : 1 次 ~ 4 次)	VI-26
第 3.1-4 図 (2)	刺激関数(EW 方向 : 5 次 ~ 8 次)	VI-27
第 3.1-4 図 (3)	刺激関数(NS 方向 : 1 次 ~ 4 次)	VI-28
第 3.1-4 図 (4)	刺激関数(NS 方向 : 5 次 ~ 8 次)	VI-29
第 3.1-4 図 (5)	刺激関数(UD 方向 : 1 次 ~ 4 次)	VI-30
第 3.1-4 図 (6)	刺激関数(UD 方向 : 5 次 ~ 8 次)	VI-31
第 3.1-5 図 (1)	基礎版上の加速度応答スペクトル(EW 方向)	VI-32
第 3.1-5 図 (2)	基礎版上の加速度応答スペクトル(NS 方向)	VI-33
第 3.1-5 図 (3)	基礎版上の加速度応答スペクトル(UD 方向)	VI-34
第 3.1-6 図 (1)	最大応答加速度分布(EW 方向)	VI-35
第 3.1-6 図 (2)	最大応答加速度分布(NS 方向)	VI-36
第 3.1-6 図 (3)	最大応答加速度分布(UD 方向)	VI-37
第 3.1-7 図 (1)	最大応答せん断力分布(EW 方向)	VI-38
第 3.1-7 図 (2)	最大応答せん断力分布(NS 方向)	VI-39
第 3.1-8 図 (1)	最大応答曲げモーメント分布(EW 方向)	VI-40
第 3.1-8 図 (2)	最大応答曲げモーメント分布(NS 方向)	VI-41
第 3.1-9 図	最大応答軸力分布(UD 方向)	VI-42
第 3.1-10 図 (1)	接地圧(基準地震動 S_s-1)	VI-43
第 3.1-10 図 (2)	接地圧(基準地震動 S_s-2)	VI-44
第 3.3-1 図 (1)	最大応答値(外周コンクリート壁円筒部(1))	VI-45
第 3.3-1 図 (2)	最大応答値(外周コンクリート壁円筒部(2))	VI-46
第 3.3-1 図 (3)	最大応答値(外周コンクリート壁円筒部(3))	VI-47
第 3.3-1 図 (4)	最大応答値(原子炉周辺補機棟(1))	VI-48
第 3.3-1 図 (5)	最大応答値(原子炉周辺補機棟(2))	VI-49
第 3.3-1 図 (6)	最大応答値(内部コンクリート(1))	VI-50
第 3.3-1 図 (7)	最大応答値(内部コンクリート(2))	VI-51
第 3.3-2 図	応力解析モデル(外周コンクリート壁ドーム部)	VI-52
第 3.3-3 図	応力解析モデル(燃料取扱棟屋根鉄骨部)	VI-52

[4. 原子炉補助建屋の耐震安全性評価]

第 4.1-1 図 (1)	概略平面図	VI-64
第 4.1-1 図 (2)	概略断面図	VI-65
第 4.1-2 図	地震応答解析モデル(水平方向)	VI-66
第 4.1-3 図	地震応答解析モデル(鉛直方向)	VI-67
第 4.1-4 図 (1)	刺激関数(EW 方向 : 1 次 ~ 4 次)	VI-68
第 4.1-4 図 (2)	刺激関数(EW 方向 : 5 次 ~ 8 次)	VI-69
第 4.1-4 図 (3)	刺激関数(NS 方向 : 1 次 ~ 4 次)	VI-70
第 4.1-4 図 (4)	刺激関数(NS 方向 : 5 次 ~ 8 次)	VI-71
第 4.1-4 図 (5)	刺激関数(UD 方向 : 1 次 ~ 4 次)	VI-72
第 4.1-5 図 (1)	基礎版上の加速度応答スペクトル(EW 方向)	VI-73
第 4.1-5 図 (2)	基礎版上の加速度応答スペクトル(NS 方向)	VI-74
第 4.1-5 図 (3)	基礎版上の加速度応答スペクトル(UD 方向)	VI-75
第 4.1-6 図 (1)	最大応答加速度分布(EW 方向)	VI-76
第 4.1-6 図 (2)	最大応答加速度分布(NS 方向)	VI-77
第 4.1-6 図 (3)	最大応答加速度分布(UD 方向)	VI-78
第 4.1-7 図 (1)	最大応答せん断力分布(EW 方向)	VI-79
第 4.1-7 図 (2)	最大応答せん断力分布(NS 方向)	VI-80
第 4.1-8 図 (1)	最大応答曲げモーメント分布(EW 方向)	VI-81
第 4.1-8 図 (2)	最大応答曲げモーメント分布(NS 方向)	VI-82
第 4.1-9 図	最大応答軸力分布(UD 方向)	VI-83
第 4.1-10 図 (1)	接地圧(基準地震動 S_s-1)	VI-84
第 4.1-10 図 (2)	接地圧(基準地震動 S_s-2)	VI-85
第 4.3-1 図 (1)	最大応答値(1)	VI-86
第 4.3-1 図 (2)	最大応答値(2)	VI-87
第 4.3-1 図 (3)	最大応答値(3)	VI-88

参考資料 1. 耐震安全性評価における各種評価方法について	VI-89
参考資料 2. 工事計画認可申請時との対応について.....	VI-98

1. 評価方針

安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価は、基準地震動 S_s に対する耐震設計上重要な施設の安全機能を保持する観点から実施する。

Sクラスの施設を内包している建物・構築物としては、原子炉建屋及び原子炉補助建屋があり、これらに対しては「遮へい機能」、「耐漏洩機能(気密性)」、「支持機能」及び「波及的影響の防止機能」の保持が地震時に要求される。

原子炉建屋及び原子炉補助建屋の耐震安全性評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析(時刻歴応答解析)によることとし、建屋や地盤の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で行う。評価に当たっては、建屋全体の健全性を確認する観点から、地震応答解析の結果による耐震壁のせん断ひずみを評価する。

局所的な応答による建造物の安全性への影響の評価は、水平地震動と鉛直地震動による地震応答解析結果を組合せ係数法(組合せ係数 0.4)により組合せて評価する。

2. 基準地震動 S_s と入力地震動

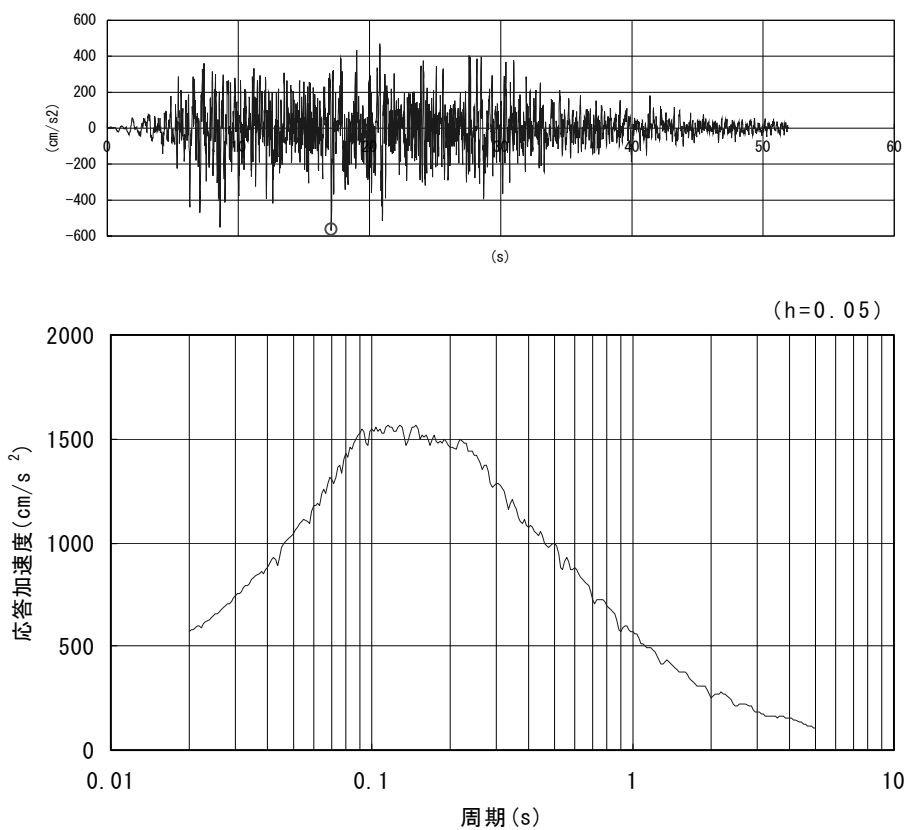
2.1 基準地震動 S_s

耐震安全性評価に用いる応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 S_s (S_s -1H, S_s -1V) の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを第 2.1-1 図に, 断層モデルを用いた手法による基準地震動 S_s (S_s -2NS, S_s -2EW, S_s -2UD) の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを第 2.1-2 図に示す。

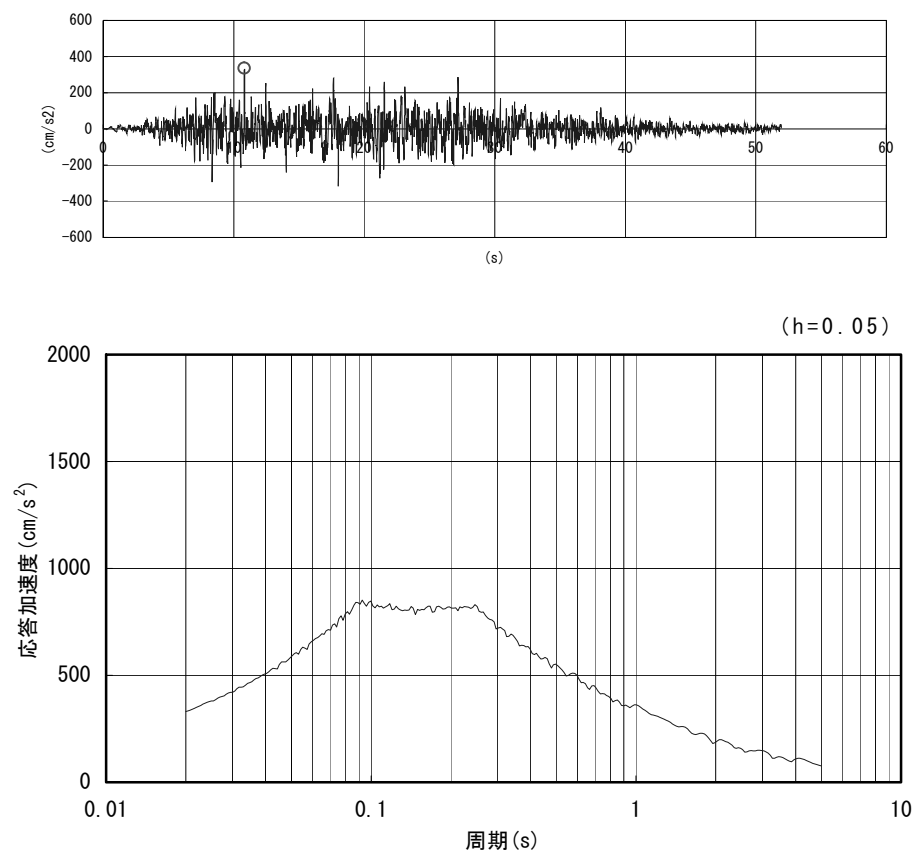
2.2 入力地震動

$V_s=2.6\text{km/s}$ 相当の解放基盤表面 (EL.+10m) で定義されている基準地震動 S_s を建屋基礎底面レベル (原子炉建屋 : EL.+2.6m, 原子炉補助建屋 : EL.+0.3m) に入力する。

Ss-1H
(570gal)

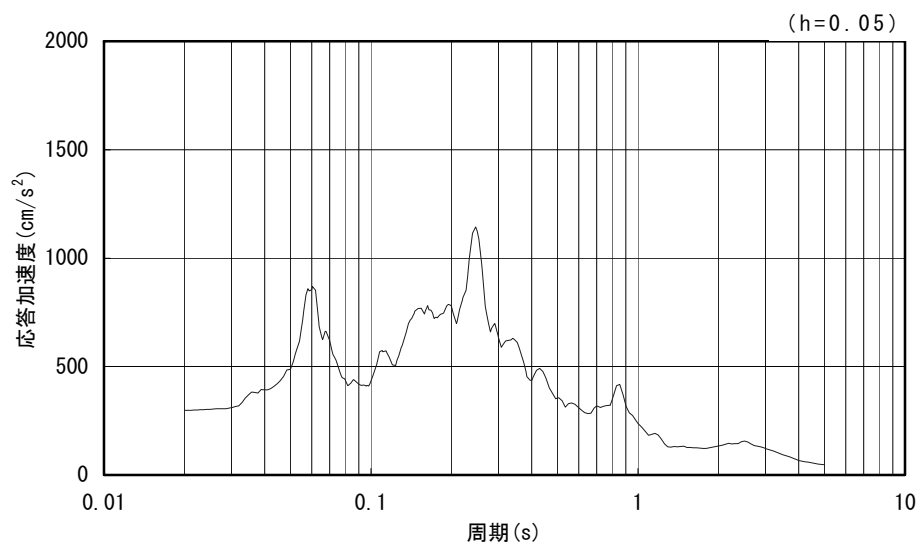
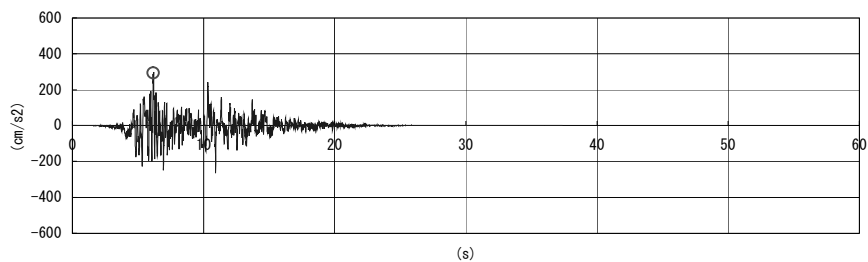


Ss-1V
(330gal)

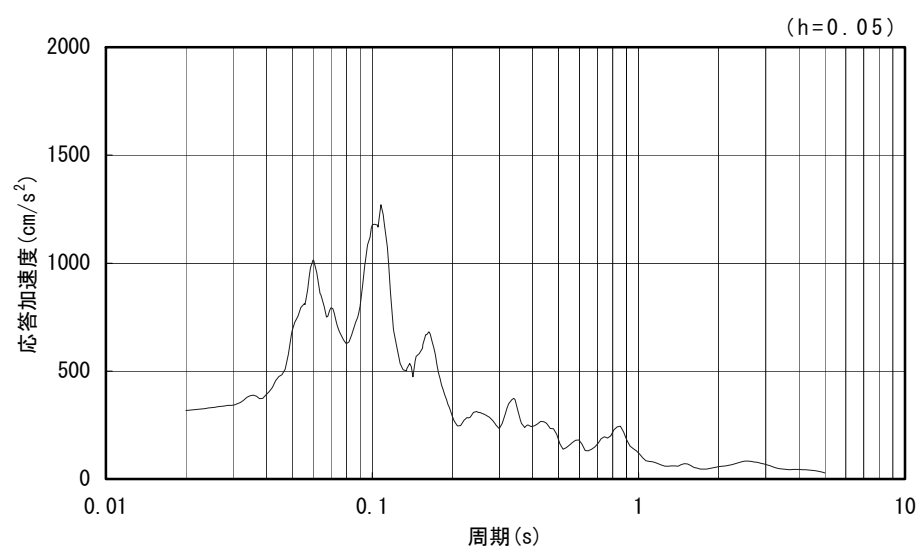
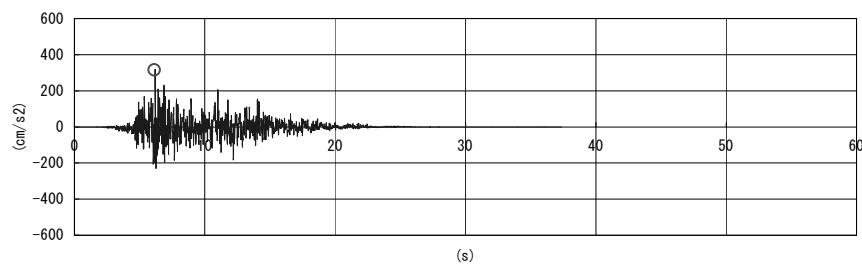


第 2.1-1 図 基準地震動 Ss-1H, Ss-1V の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル

Ss-2EW
(298gal)

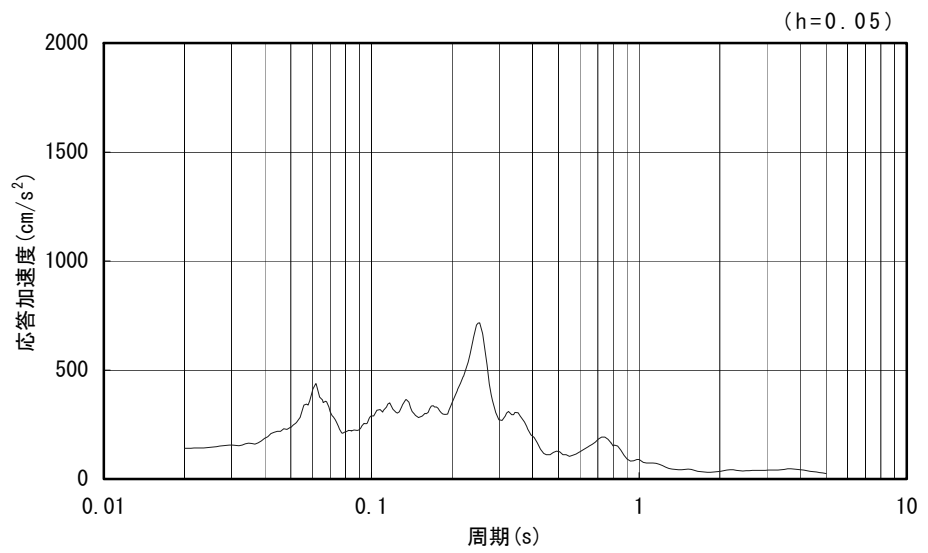
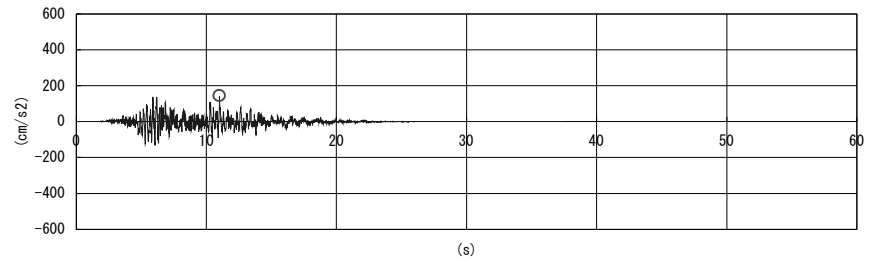


Ss-2NS
(318gal)



第 2.1-2 図 (1) 基準地震動 Ss-2EW, Ss-2NS の加速度時刻歴波形と
加速度応答スペクトル

Ss-2UD
(141gal)



第 2.1-2 図 (2) 基準地震動 Ss-2UD の加速度時刻歴波形と加速度
応答スペクトル

3. 原子炉建屋の耐震安全性評価

3.1 地震応答解析

3.1.1 原子炉建屋の概要

原子炉建屋は、大きく区分して原子炉格納施設(内部コンクリート、原子炉格納容器、外周コンクリート壁)、燃料取扱棟及び原子炉周辺補機棟とそれらを支持する基礎から構成される。

原子炉建屋の概略平面図、概略断面図を第 3.1-1 図に、使用材料を第 3.1-1 表に示す。

内部コンクリートは、中央部に配置された原子炉容器を囲む 1 次遮へい、その周囲の 2 次遮へい及び補助遮へいから構成された、鉄筋コンクリートを主要構造体とする構造物であり、原子炉容器や蒸気発生器等の機器を支持している。原子炉格納容器は、上部半球下部さら形鏡円筒型の鋼製の構造物であり、その周囲の外周コンクリート壁は、上部に半球状のドームを持つ円筒型の鉄筋コンクリート造構造物である。

原子炉周辺補機棟は、外周コンクリート壁を取り巻く鉄筋コンクリート構造物であり、その南側に位置する燃料取扱棟は、EL.+39.5m より上部は鉄骨構造(EW 方向は筋かい架構、NS 方向はラーメン架構)、EL.+39.5m より下部は鉄筋コンクリート構造(一部鉄骨鉄筋コンクリート構造)の構造物である。

また、これらの構造物を支持する基礎は、矩形版状の鉄筋コンクリート構造物であり、堅固な岩盤上に直接設置している。

3.1.2 地震応答解析モデル

(1) 水平方向の地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは，地盤との相互作用を考慮して底面に地盤の水平及び回転ばねを設けた基礎上に，内部コンクリート，外周コンクリート壁など，振動特性の異なる構造物ごとに独立した軸を有する多軸多質点系の曲げせん断棒モデルとしており，各軸が床等により接続されている部分は，床等の面内剛性を考慮した水平ばねにより質点間を接続している。

上部構造物の減衰はモード減衰とし，各次のモード減衰定数はひずみエネルギーに比例した値として算定する。

水平方向の地震応答解析モデルを第 3.1-2 図に，解析に用いる材料定数を第 3.1-2 表に，モデル諸元を第 3.1-3 表に示す。

地盤ばねは，地盤を半無限の弾性体とみなして，振動アドミッタンス理論により評価する。これらのばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが，「原子力発電所耐震設計技術指針追補版 JEAG4601-1991」（以下「JEAG4601-1991」という。）に基づき，ばね定数として実部の静的な値に，減衰係数として建屋－地盤連成系の 1 次固有振動数での虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きに，それぞれ近似する。

地盤物性値及び基礎版緒元を第 3.1-4 表に，地盤ばね定数及び減衰係数を第 3.1-5 表に示す。

また，上部構造物及び地盤の非線形特性については，JEAG4601-1991 等に基づき，以下の項目を考慮する。

- ・耐震壁の非線形復元力特性
- ・鉄骨部（筋かい架構，ラーメン架構）の非線形復元力特性
- ・基礎浮き上がりによる地盤の回転ばねの幾何学的非線形

水平方向の地震応答解析は弾塑性時刻歴応答解析（Newmark- β 法： $\beta = 1/4$ ）によるものとし，解放基盤表面（EL. +10m）で定義されている基準地震動 S_s を建屋基礎底面レベルに入力する。

(2) 鉛直方向の地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、水平方向と同様に、地盤との相互作用を考慮して底面に地盤の鉛直ばねを設けた基礎上に、構造物ごとに耐震壁等の軸剛性を評価した独立軸を有する多軸多質点系の軸棒モデルとする。

上部構造物の減衰はモード減衰とし、各次のモード減衰定数はひずみエネルギーに比例した値として算定する。

鉛直方向の地震応答解析モデルを第 3.1-3 図に、解析に用いる材料定数を第 3.1-2 表に、モデル諸元を第 3.1-6 表に示す。

地盤ばねは地盤を半無限の弾性体とみなして、振動アドミッタンス理論により評価し、水平ばね及び回転ばねと同様に、得られた複素剛性をばね定数と減衰係数として近似する。

地盤ばね定数及び減衰係数を第 3.1-7 表に示す。

鉛直方向の地震応答解析は弾性時刻歴応答解析 (Newmark- β 法： $\beta = 1/4$) によるものとし、解放基盤表面 (EL. +10m) で定義されている基準地震動 S_s を建屋基礎底面レベルに入力する。

3.1.3 地震応答解析結果

(1) 固有値解析結果

地震応答解析モデルの固有値解析結果(主要な固有周期, 固有振動数及び刺激係数)を第 3.1-8 表に, 各次の刺激関数図を第 3.1-4 図に示す。

(2) 地震応答解析結果

基準地震動 S_s による基礎版上の加速度応答スペクトルを第 3.1-5 図に, 最大応答加速度分布を第 3.1-6 図に, 最大応答せん断力分布を第 3.1-7 図に, 最大応答曲げモーメント分布を第 3.1-8 図に, 最大応答軸力分布を第 3.1-9 図に示す。

(3) 接地率

地震応答解析により得られた基礎版底面位置の最大転倒モーメントと, この結果から算定した接地率を第 3.1-9 表に示す。接地率は基礎浮き上がり非線形を考慮した地震応答解析を用いることができる 65% 以上である。

(4) 接地圧

基準地震動 S_s による地震応答解析結果に基づく接地圧(接地圧分布は三角形と仮定)を第 3.1-10 図に示す。接地圧は地盤の短期許容支持力 (7840kN/m^2) に対して十分な余裕がある。

3.2 評価基準

耐震安全性の評価にあたっては、建屋が構造物全体として変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有し、終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していることを確認する観点から、主たる耐震要素である耐震壁の耐震安全性について確認する。

耐震壁の耐震安全性については、基準地震動 S_s による各層の鉄筋コンクリート造耐震壁の最大応答せん断ひずみが評価基準値 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。

局所的に発生する応答の影響としては、鉛直地震動による影響が大きい外周コンクリート壁上部の半球型ドーム部及び燃料取扱棟屋根鉄骨部について、水平地震力と鉛直地震力を同時に考慮して評価する。

ドーム部については、鉄筋コンクリート部材の発生応力に対する必要鉄筋量が評価基準値(設計配筋量)を超えないことを、燃料取扱棟屋根鉄骨部については、梁部材の発生応力が評価基準値(鋼材の材料強度による許容値)を超えないことを確認する。

3.3 評価結果

3.3.1 耐震壁

基準地震動 S_s による最大応答値を耐震壁のせん断スケルトンカーブ上にプロットして第 3.3-1 図に示す。

耐震壁のせん断ひずみは，最大で 0.63×10^{-3} (基準地震動 S_s -1H, NS 方向, 外周コンクリート壁 10 部材) であり，評価基準値 (2.0×10^{-3}) に対して十分な余裕がある。

3.3.2 外周コンクリート壁ドーム部

外周コンクリート壁上部の半球型ドーム部を対象とする応力評価にあたっては，外周コンクリート壁の底部 EL.+17.0m を固定とした 3次元シェルモデルを用いる。

基準地震動 S_s による地震時応力は，水平方向の地震応答解析より得られた応答せん断力と，鉛直方向の地震応答解析より得られた応答軸力を荷重とした，水平及び鉛直方向の応力解析によりそれぞれ求め，組合せ係数法 (組合せ係数は 0.4) により組合せて評価する。

荷重の組合せを第 3.3-1 表に，応力解析モデルを第 3.3-2 図に，検討結果を第 3.3-2 表に示す。

水平地震動と鉛直地震動を同時に考慮した場合の発生応力に対する必要鉄筋量は，評価基準値 (設計配筋量) を超えないことを確認した。

3.3.3 燃料取扱棟屋根鉄骨部

燃料取扱棟屋根鉄骨部を構成する H 型鋼の梁を対象とする応力評価にあたっては，燃料取扱棟の EL+32.3m より上部を対象に，柱，梁を梁要素に，ブレースをトラス要素に，壁及び屋根を平面応力要素に置換した 3次元モデルを用いる。

基準地震動 S_s による地震時応力は，モデル下端 (EL+32.3m) に，質点系モデルによる地震応答解析結果から得られる同位置 (質点 19) の応答波を入力とした水平及び鉛直方向の地震応答解析によりそれぞれ求め，組合せ係数法 (組合せ係数は 0.4) により組合せて評価する。なお，水平方向の地震応答解析はスパン方向について実施する。

荷重の組合せを第 3.3-3 表に，解析モデルを第 3.3-3 図に，

検討結果を第 3.3-4 表に示す。

水平地震動と鉛直地震動を同時に考慮した場合の発生応力は評価基準値（鋼材の材料強度による許容値）を超えないことを確認した。

第 3.1-1 表 使用材料

	設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	ポアソン比 ν	単位体積重量 [※] γ (kN/m ³)
コンクリート	26.5 (270kg/cm ²)	2.34×10 ⁴	9.75×10 ³	0.2	24
鉄筋	SD345相当 (SD35)				
鋼材	SS400, SM490相当 (SS41, SM50A)				

※：鉄筋コンクリートの値を示す。

第 3.1-2 表 解析に用いる材料定数

	設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	ポアソン比 ν	減衰定数 (%)
外周コンクリート壁 (O/S)	26.5	2.34×10 ⁴	9.75×10 ³	0.20	5
内部コンクリート (I/C)	26.5	2.34×10 ⁴	9.75×10 ³	0.20	5
原子炉周辺補機棟 (RE/B)	26.5	2.34×10 ⁴	9.75×10 ³	0.20	5
燃料取扱棟(鉄骨部) (FH/B)	-	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴	0.30	2
原子炉格納容器 (C/V)	-	1.96×10 ⁵	7.54×10 ⁴	0.30	1
蒸気発生器(S/G) (33部材)	-	1.80×10 ⁵	6.92×10 ⁴	-	3(水平方向) 1(鉛直方向)
蒸気発生器(S/G) (26~32部材)		1.85×10 ⁵	7.12×10 ⁴		

第 3.1-3 表 (1) モデル諸元 (水平方向) (1)

部位	質点 番号	質点位置 EL+(m)	質 量 (t)	部材 番号	せん断断面積 (m ²)		断面2次モーメント (m ⁴)	
					EW方向	NS方向	EW方向	NS方向
0/S	1	83.359	203.20	1	22.97		657.69	
	2	80.232	545.34	2	28.21		3595.91	
	3	76.685	834.35	3	36.14		9251.97	
	4	72.036	1256.42	4	46.52		17978.09	
	5	66.585	1730.56	5	58.70		28428.73	
	6	60.689	2347.23	6	71.85		37597.23	
	7	56.1	1828.58	7	82.25		42767.91	
	8	51.45	1918.37	8	85.68		44454.90	
	9	46.8	2560.46	9	89.10		46134.12	
	10	39.55	3285.46	10	94.41		48726.30	
	11	32.3	3512.46	11	77.83		39491.78	
	12	24.0	2929.18	12	77.83		39491.78	
	13	17.0	1815.73	13	204.90		95688.66	
45	16.2	5491.73	45	377.21		143275.33		
RE/B FH/B	14	54.8	990.90	14	0.44487	0.01941	-	-
	15	46.8	1018.50	15	0.70049	0.04262	-	-
	16	46.8	3156.55	16	69.94	88.95	6265.0	24950.0
	17	39.5	3985.64	17	90.09	92.13	9372.0	27002.0
	18	36.8	4034.80	18	134.25	134.66	16068.0	75050.0
	19	32.3	19578.34	19	409.07	401.38	179468.0	170230.0
	20	24.0	26376.79	20	424.28	409.04	198162.0	208969.0
21	17.0	24835.59	21	435.01	425.51	212939.0	237159.0	
I/C	22	38.0	1255.08	22	53.38	54.79	207.88	351.15
	23	32.3	5346.64	23	100.22		3523.9	5509.5
	24	24.0	7725.31	24	131.15		4802.0	10662.0
	25	17.0	7543.70	25	133.12		15838.3	18577.7

第 3.1-3 表 (2) モデル諸元 (水平方向) (2)

部位	質点番号	質点位置 EL+(m)	質 量 (t)	部材 番号	せん断断面積 (m ²)		断面2次モーメント (m ⁴)	
					EW方向	NS方向	EW方向	NS方向
S/G	26	41.7	99.50	26	2.00		9.59	
	27	38.4	276.60	27	2.00		9.59	
	28	35.6083	99.80	28	1.85		6.98	
	29	33.9104	126.90	29	1.32		3.74	
	30	31.5	210.70	30	1.32		3.74	
	31	29.2218	97.30	31	1.40		3.98	
	32	25.9721	302.40	32	1.40		3.98	
	33	24.1058	32.20	33	10.60		54.34	
	34	23.16	122.90		-			
C/V	35	80.71	15.60	35	0.365		9.84	
	36	78.03	120.50	36	1.00		211.4	
	37	70.7	203.40	37	1.365		511.0	
	38	60.689	216.00	38	2.80		1122.0	
	39	56.1	946.50	39	2.80		1122.0	
	40	50.02	365.70	40	2.80		1122.0	
	41	42.86	314.80	41	2.80		1122.0	
	42	35.7	361.80	42	2.80		1122.0	
	43	29.85	270.60	43	2.80		1122.0	
44	24.0	316.90	44	2.80		1122.0		
基礎	48	6.7	111082.17		-			
基礎質量 回転慣性				EW方向		$3.5161 \times 10^7 (t \cdot m^2)$		
				NS方向		$5.4615 \times 10^7 (t \cdot m^2)$		
総 質 量			251689.18					

第 3.1-3 表 (3) モデル諸元 (水平方向) (3)

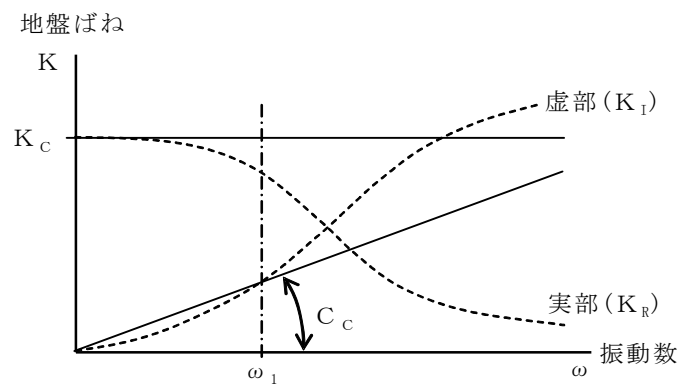
	部材番号	ばね定数	EW方向	NS方向
O/S-RE/B	50	水平ばね (kN/m)	8.97×10^6	7.59×10^7
	51	水平ばね (kN/m)	1.19×10^7	1.03×10^8
	52	水平ばね (kN/m)	1.12×10^7	9.82×10^7
I/C-O/S	53	水平ばね (kN/m)	2.83×10^8	2.83×10^8
S/G-I/C	54	水平ばね (kN/m)	2.94×10^6	2.94×10^6
	55	水平ばね (kN/m)	1.03×10^7	2.80×10^7
	56	水平ばね (kN/m)	1.04×10^7	5.61×10^6
	57	回転ばね (kN·m/rad)	4.89×10^7	3.43×10^7

第 3.1-4 表 地盤物性値及び基礎版諸元

		EW方向	NS方向
地盤物性値	S波速度 (m/s)	2600	
	密度 (g/cm ³)	3.0	
	ポアソン比	0.34	
基礎版の形状 (m)		62.2	76.4

第 3.1-5 表 地盤ばね定数及び減衰係数(水平方向)

		EW方向	NS方向
基礎底面 水平ばね	ばね定数 (kN/m)	3.646×10^9	3.573×10^9
	減衰係数 (kN・s/m)	3.040×10^7	2.919×10^7
基礎底面 回転ばね	ばね定数 (kN・m/rad)	3.966×10^{12}	5.318×10^{12}
	減衰係数 (kN・m・s/rad)	1.933×10^9	4.041×10^9



ω_1 : 建屋-地盤連成モデルの1次固有振動数

K_c : 振動数 $\omega = 0$ における地盤ばね実部の値

C_c : 減衰係数 ($= {}_1 K(\omega_1) / \omega_1$)

第 3.1-6 表 (1) モデル諸元 (鉛直方向) (1)

部位	質点番号	質点位置 EL+(m)	質量 (t)	部材 番号	軸断面積 (m ²)	部位	質点番号	質点位置 EL+(m)	質量 (t)	部材 番号	軸断面積 (m ²)	
O/S	1	83.359	203.20	1	0.85	S/G	26	41.7	99.50	26	4.00	
	2	80.232	545.34	2	8.88		27	38.4	276.60	27	4.00	
	3	76.685	834.35	3	19.70		28	35.608	99.80	28	3.70	
	4	72.036	1256.42	4	42.44		29	33.9104	126.90	29	2.64	
	5	66.585	1730.56	5	115.48		30	31.5	210.70	30	2.64	
	6	60.689	2347.23	6	143.70		31	29.2218	97.30	31	2.80	
	7	56.1	1828.58	7	164.50		32	25.9721	302.40	32	2.80	
	8	51.45	1918.37	8	171.35		33	24.1058	32.20	33	21.21	
	9	46.8	2560.46	9	178.19		34	23.16	122.90		-	
	10	39.55	3285.46	10	188.82		C/V	35	80.71	15.60	35	0.034
	11	32.3	3512.46	11	155.65			36	78.03	120.50	36	0.352
	12	24.0	2929.18	12	155.65			37	70.7	203.40	37	1.798
	13	17.0	1815.73	13	409.80			38	60.689	216.00	38	5.60
	45	16.2	5491.73	45	754.42			39	56.1	946.50	39	5.60
	RE/B FH/B	14	54.8	990.90	14			1.51	40	50.02	365.70	40
15		46.8	1018.50	15	2.13	41		42.86	314.80	41	5.60	
16		46.8	3156.55	16	160.53	42		35.7	361.80	42	5.60	
17		39.5	3985.64	17	253.89	43		29.85	270.60	43	5.60	
18		36.8	4034.80	18	339.87	44		24.0	316.90	44	5.60	
19		32.3	19578.34	19	740.31	基礎	48	6.7	111082.17		-	
20		24.0	26376.79	20	762.48		総 質 量		251689.18		-	
I/C	21	17.0	24835.59	21	796.60							
	22	38.0	1255.08	22	97.18							
	23	32.3	5346.64	23	200.43							
	24	24.0	7725.31	24	262.29							
	25	17.0	7543.70	25	266.23							

第 3.1-6 表 (2) モデル諸元 (鉛直方向) (2)

	部材番号	ばね定数	UD方向
S/G-I/C	34	鉛直ばね (kN/m)	1.72×10^7

第 3.1-7 表 地盤ばね定数及び減衰係数 (鉛直方向)

		UD方向
基礎底面 鉛直ばね	ばね定数 (kN/m)	4.539×10^9
	減衰係数 (kN·s/m)	5.208×10^7

第 3.1-8 表 固有値解析結果

水平方向 (EW方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 [※]	備考
1	0.214	4.68	174.6	連成1次
2	0.161	6.23	59.4	
3	0.141	7.10	160.3	
4	0.124	8.10	147.8	
5	0.105	9.50	233.5	
6	0.072	13.86	65.4	
7	0.069	14.50	-42.9	
8	0.056	17.74	-126.5	

水平方向 (NS方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 [※]	備考
1	0.567	1.76	43.9	
2	0.236	4.23	33.7	
3	0.195	5.12	194.3	連成1次
4	0.160	6.23	50.1	
5	0.113	8.89	247.8	
6	0.103	9.73	190.5	
7	0.069	14.41	-52.1	
8	0.061	16.44	-11.2	

鉛直方向 (UD方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 [※]	備考
1	0.083	12.07	223.6	連成1次
2	0.063	16.00	269.2	
3	0.060	16.77	-246.1	
4	0.056	17.80	57.3	
5	0.045	22.13	155.4	
6	0.042	23.86	-1.9	
7	0.042	24.03	6.4	
8	0.031	32.71	-74.5	

※：各次の固有ベクトル $\{u_s\}$ を、 $\{u_s\}^T [M] \{u_s\} = 1$ となるように規準化したときの刺激係数を示す。ただし、 $[M]$ は質量マトリクスである。

第 3.1-9 表 接地率

		EW方向	NS方向
Ss-1	最大転倒モーメント (×10 ⁷ kN・m)	3.96	3.92
	浮上り限界モーメント (×10 ⁷ kN・m)	2.56	3.14
	最小接地率 (%)	72.6	87.5
Ss-2	最大転倒モーメント (×10 ⁷ kN・m)	1.80	1.85
	浮上り限界モーメント (×10 ⁷ kN・m)	2.56	3.14
	最小接地率 (%)	100	100

接地率は下式により算定

$$\eta = \frac{1}{2} \left(3 - \frac{M}{M_0} \right) = 3 \left(\frac{1}{2} - \frac{M}{WL} \right)$$

ここに,

η : 接地率

M : 最大転倒モーメント (基礎下端の最大応答モーメント)

M_0 : 浮き上がり限界転倒モーメント $M_0 = \frac{WL}{6}$

W : 建屋総重量

L : 加振方向の基礎長さ

表 3.3-1 表 荷重の組合せ (外周コンクリート壁ドーム部)

ケース	荷重の組合せケース※
1	$GP + S_{SH} + 0.4 \times S_{SV}$
2	$GP + S_{SH} - 0.4 \times S_{SV}$
3	$GP + 0.4 \times S_{SH} + S_{SV}$
4	$GP + 0.4 \times S_{SH} - S_{SV}$

- ※ GP : 固定・積載荷重
 S_{SH} : 水平地震力 (EW方向とNS方向の包絡値)
 S_{SV} : 鉛直地震力 (下向きを+)

第 3.3-2 表 半球型ドーム部の検討結果

部位	半球型ドーム部 (EL+66.585m~63.668m)	
配筋方向	縦方向	横方向
ケース※ ¹	2	1
必要鉄筋量※ ² (mm ² /m)	2,216	3,423
設計配筋量 (mm ² /m)	3,292 (D29-@195mm)	3,970 (D32-@200mm)

※¹ 第3.3-1表のケースに対応

※² 発生軸力N+発生曲げモーメントMに対し曲げ終局強度式で評価した必要鉄筋量及び発生面内せん断力Qに対し全補強式で評価した必要鉄筋量の和

第 3.3-3 表 荷重の組合せ (燃料取扱棟屋根鉄骨部)

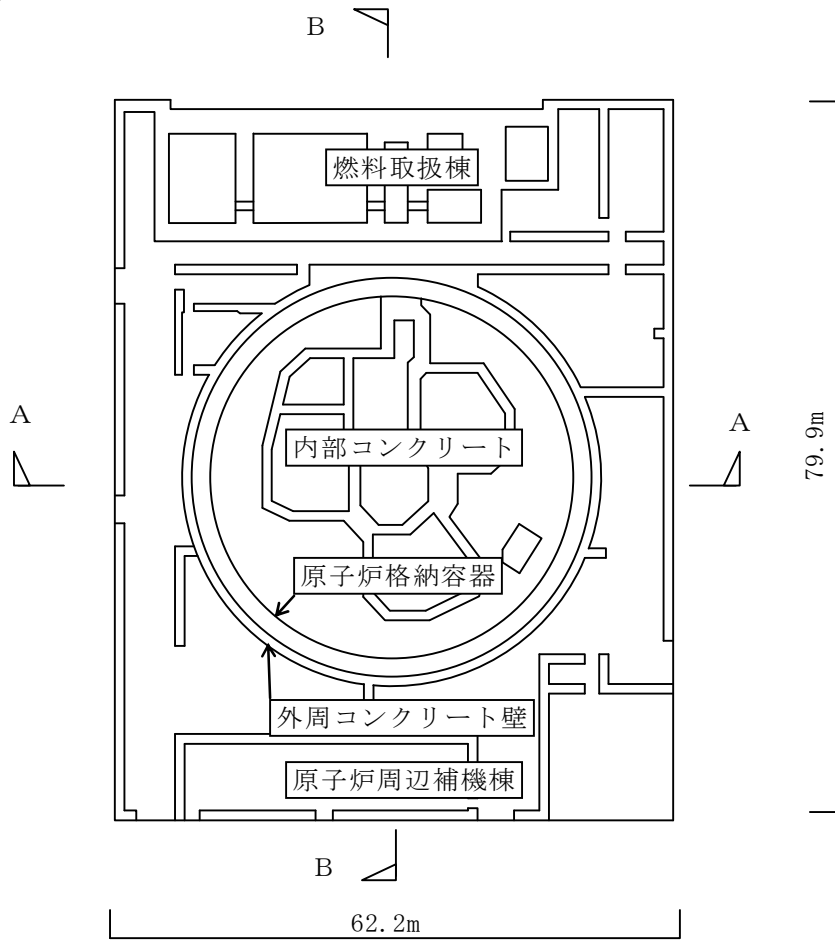
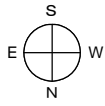
ケース	荷重の組合せケース※
1	$GP + S_{SH1} + 0.4 \times S_{SV}$
2	$GP + 0.4 \times S_{SH1} + S_{SV}$
3	$GP + S_{SH2} + 0.4 \times S_{SV}$
4	$GP + 0.4 \times S_{SH2} + S_{SV}$
5	$GP + S_{SH1} - 0.4 \times S_{SV}$
6	$GP + 0.4 \times S_{SH1} - S_{SV}$
7	$GP + S_{SH2} - 0.4 \times S_{SV}$
8	$GP + 0.4 \times S_{SH2} - S_{SV}$

- ※ GP : 固定・積載荷重
 S_{SH1} : 水平地震力 (N→S方向)
 S_{SH2} : 水平地震力 (S→N方向)
 S_{SV} : 鉛直地震力 (下向きを+)

第 3.3-4 表 燃料取扱棟鉄骨梁の検討結果

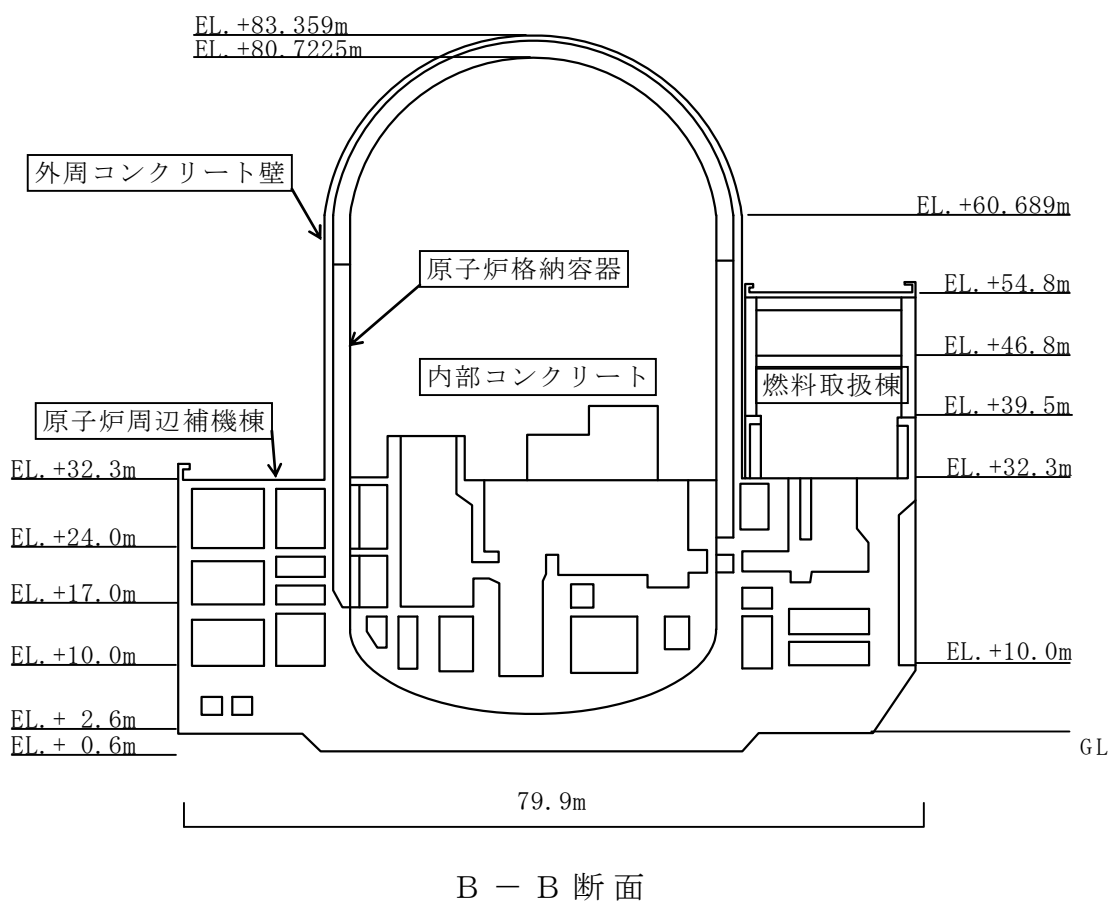
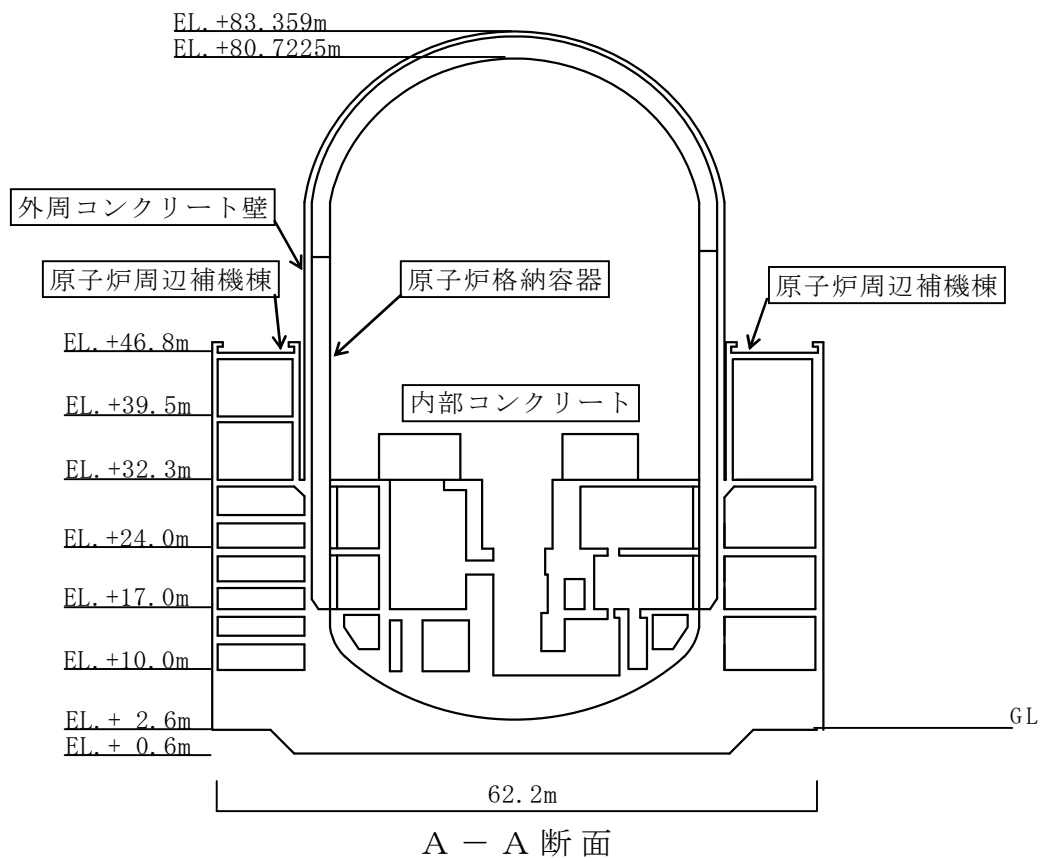
	位置※1	発生応力※2 (N/mm^2)	評価基準値※3 (N/mm^2)	ケース※4
2C通り梁	(a) T通側梁端部	267	357	1
	(b) 中央部	84		2
	(c) R1通側梁端部	278		3

- ※1 : 第3.3-3図に○印で示す位置
 ※2 : 発生曲げモーメントMを塑性断面係数 Z_p で除した値
 ※3 : 建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F値の1.1倍)
 ※4 : 第3.3-3表のケースに対応

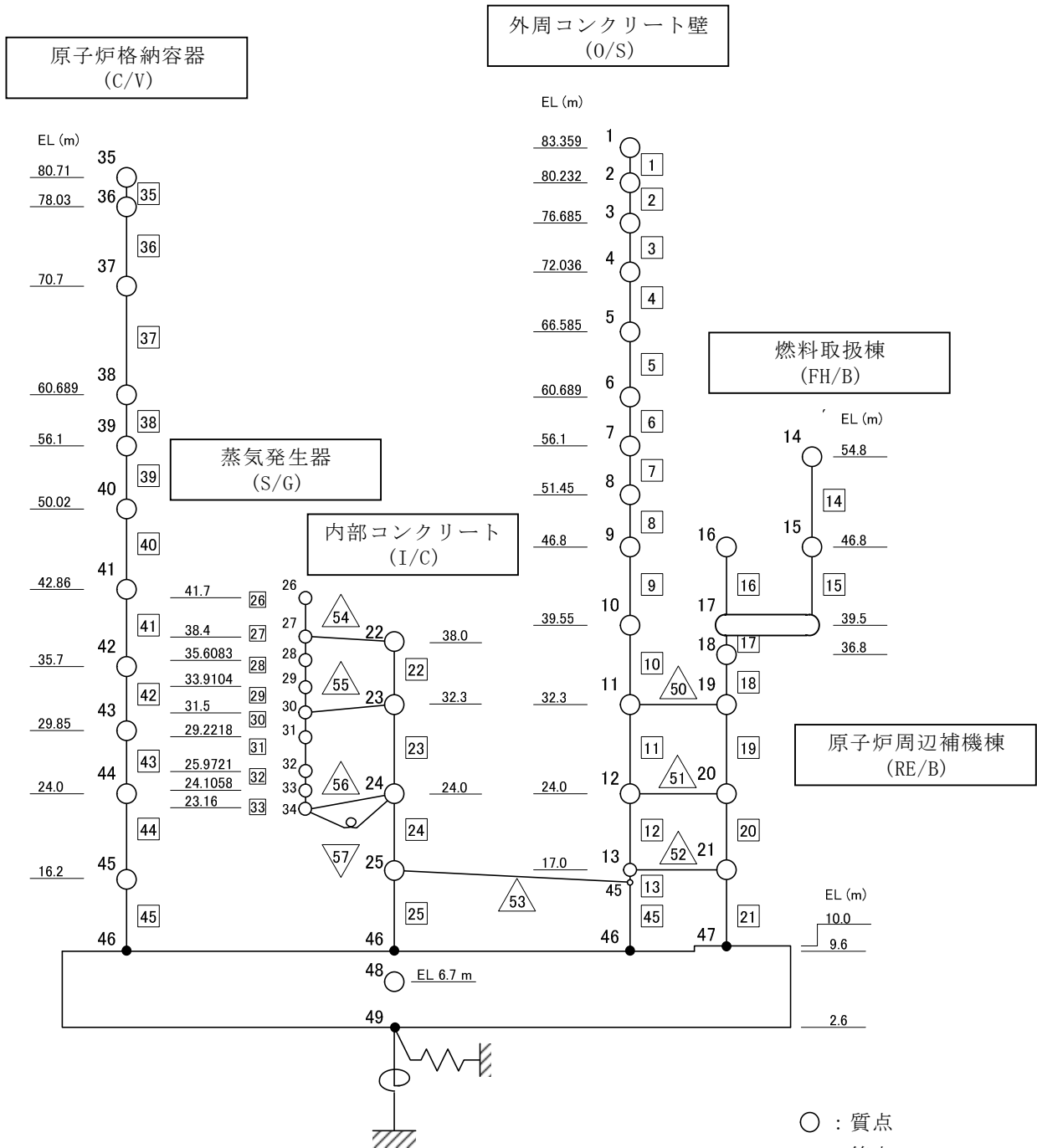


(EL. +24.0m)

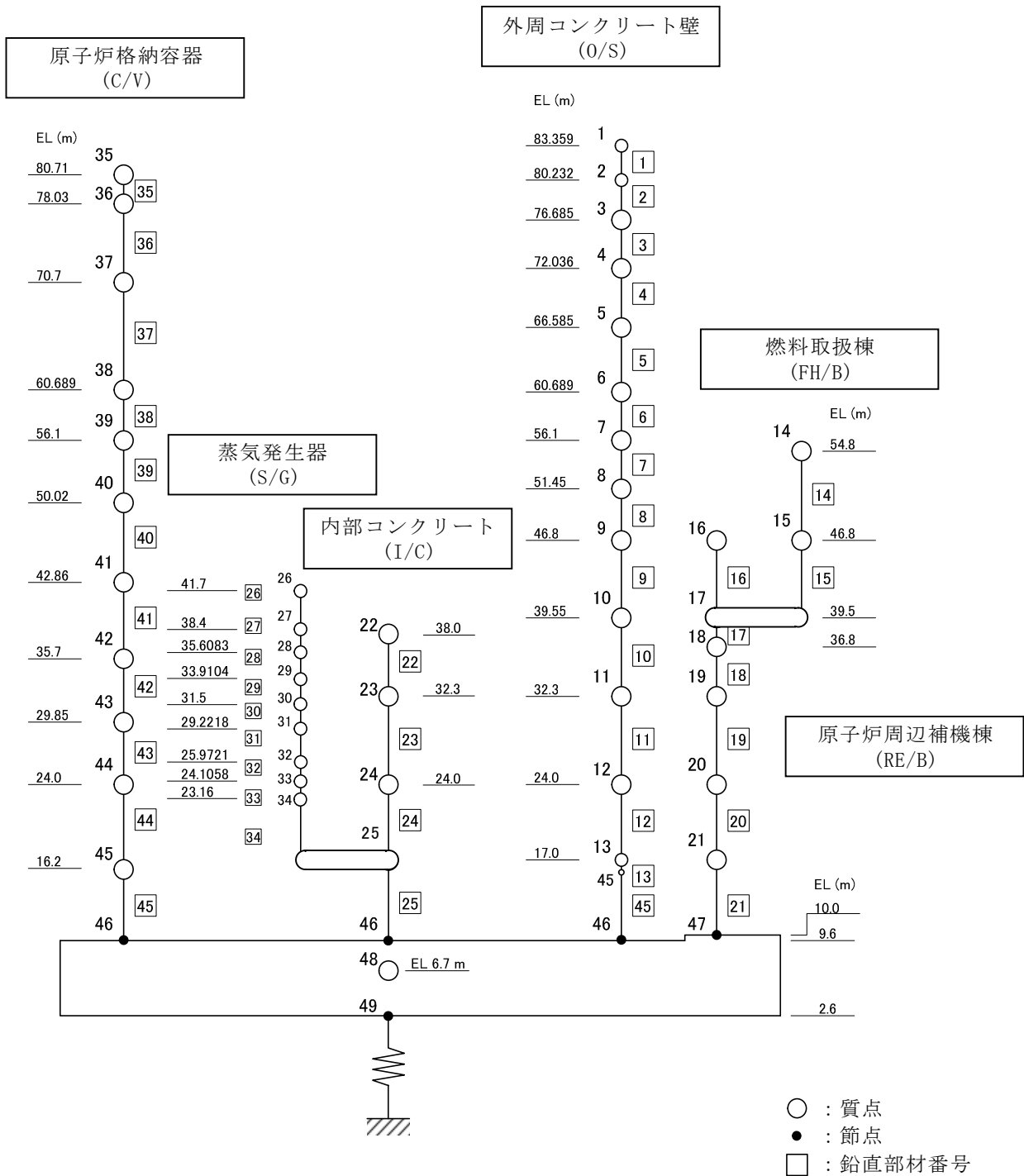
第 3.1-1 図 (1) 概略平面図



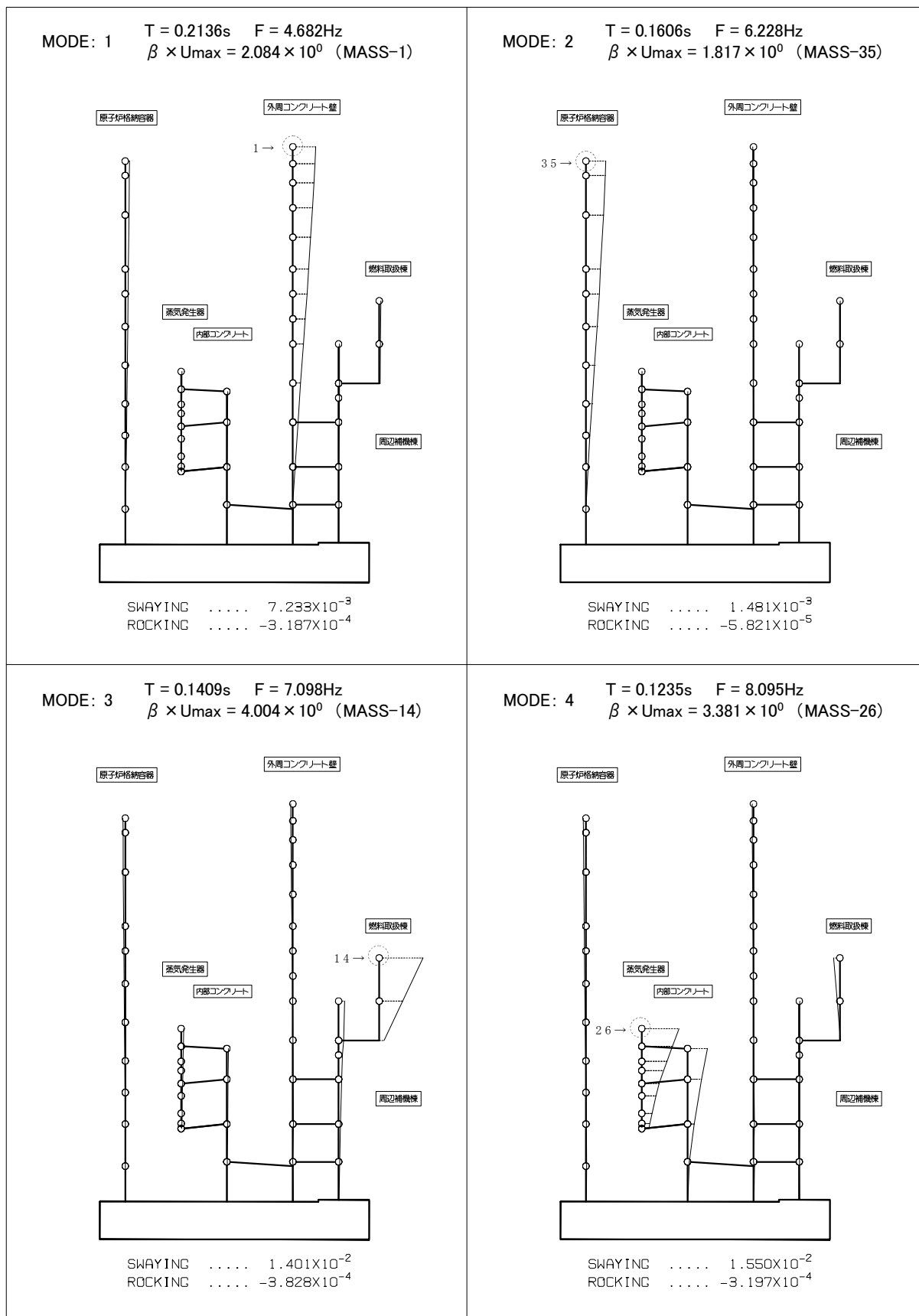
第 3.1-1 図 (2) 概略断面図



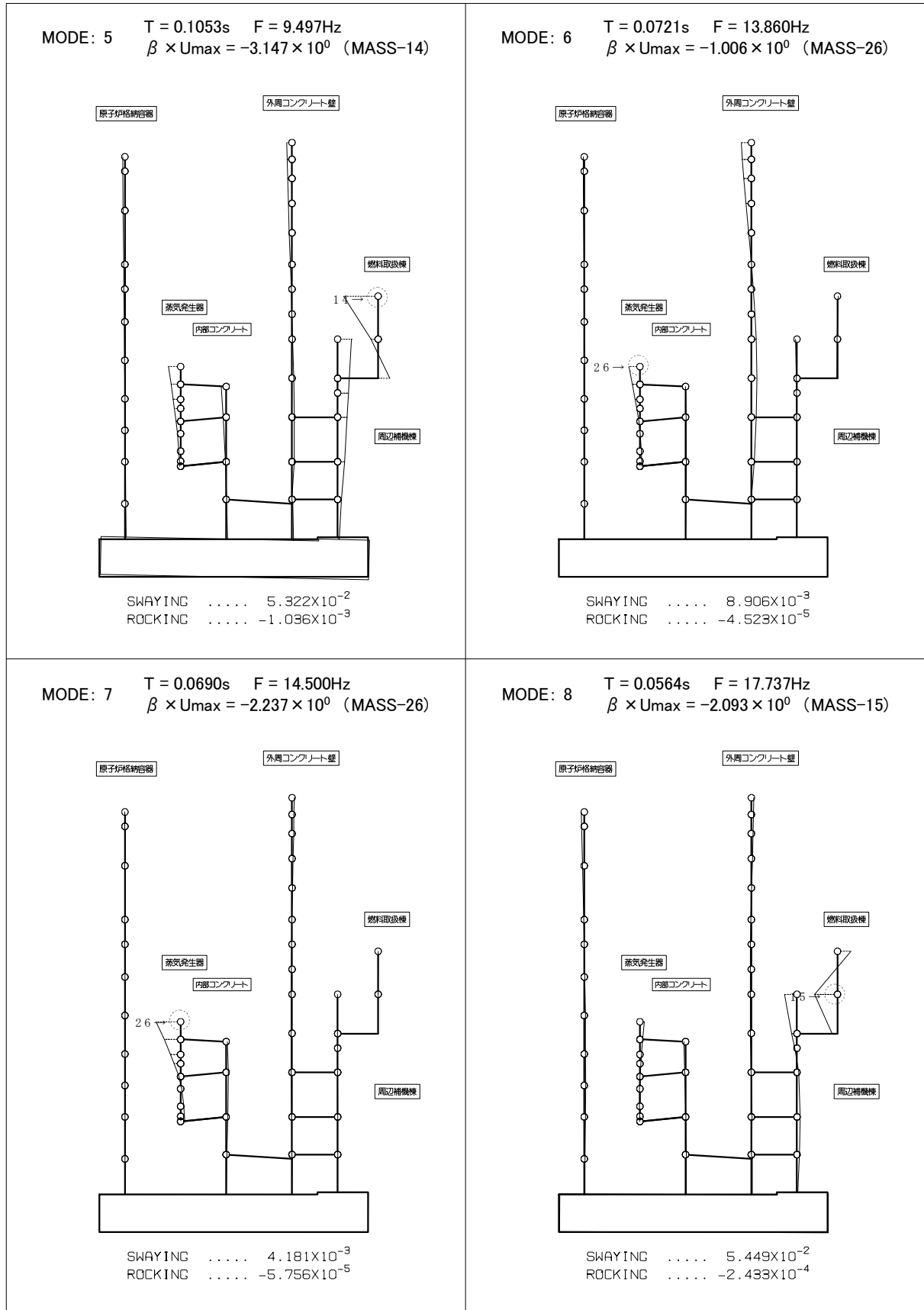
第 3.1-2 図 地震応答解析モデル (水平方向)



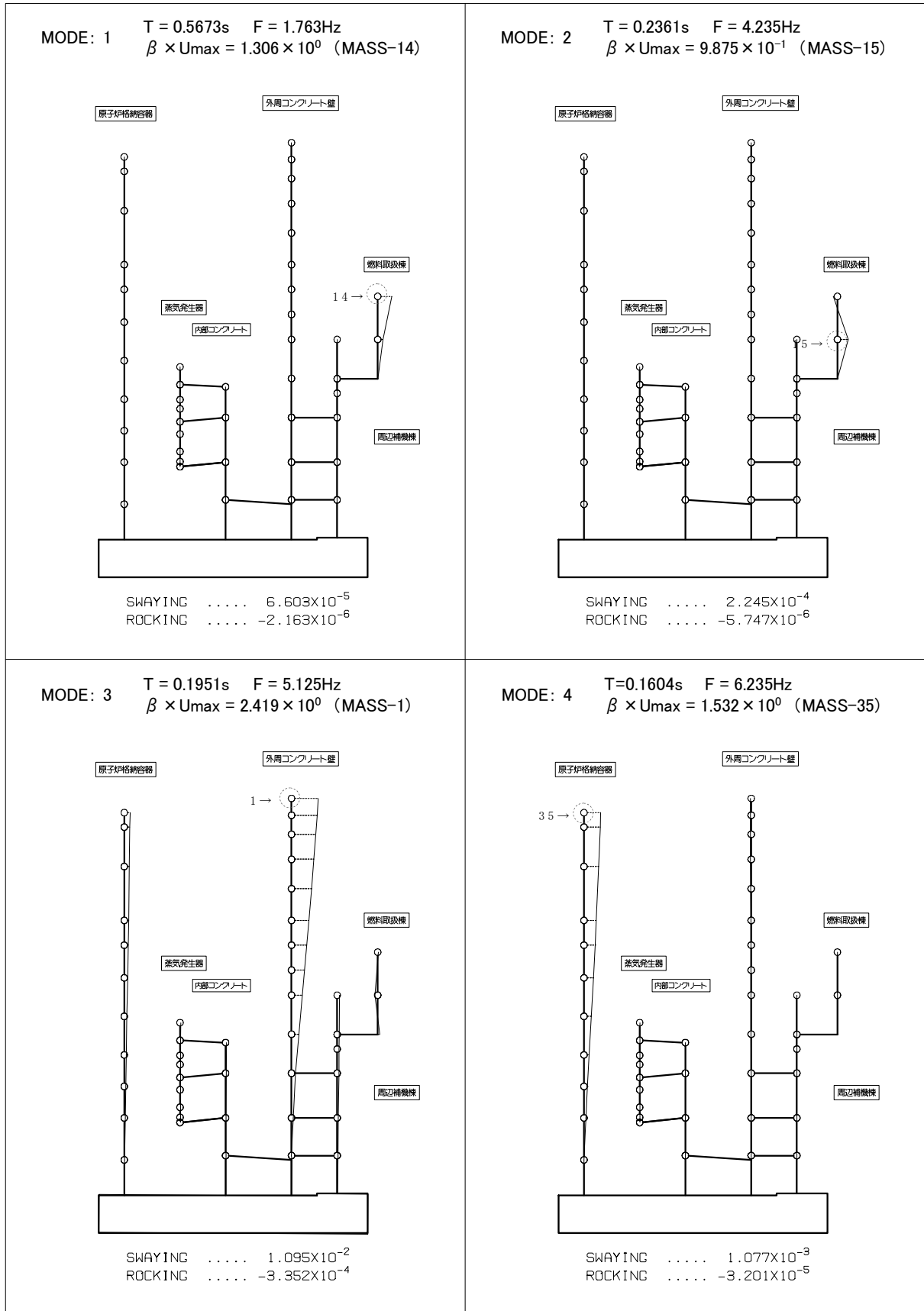
第 3.1-3 図 地震応答解析モデル (鉛直方向)



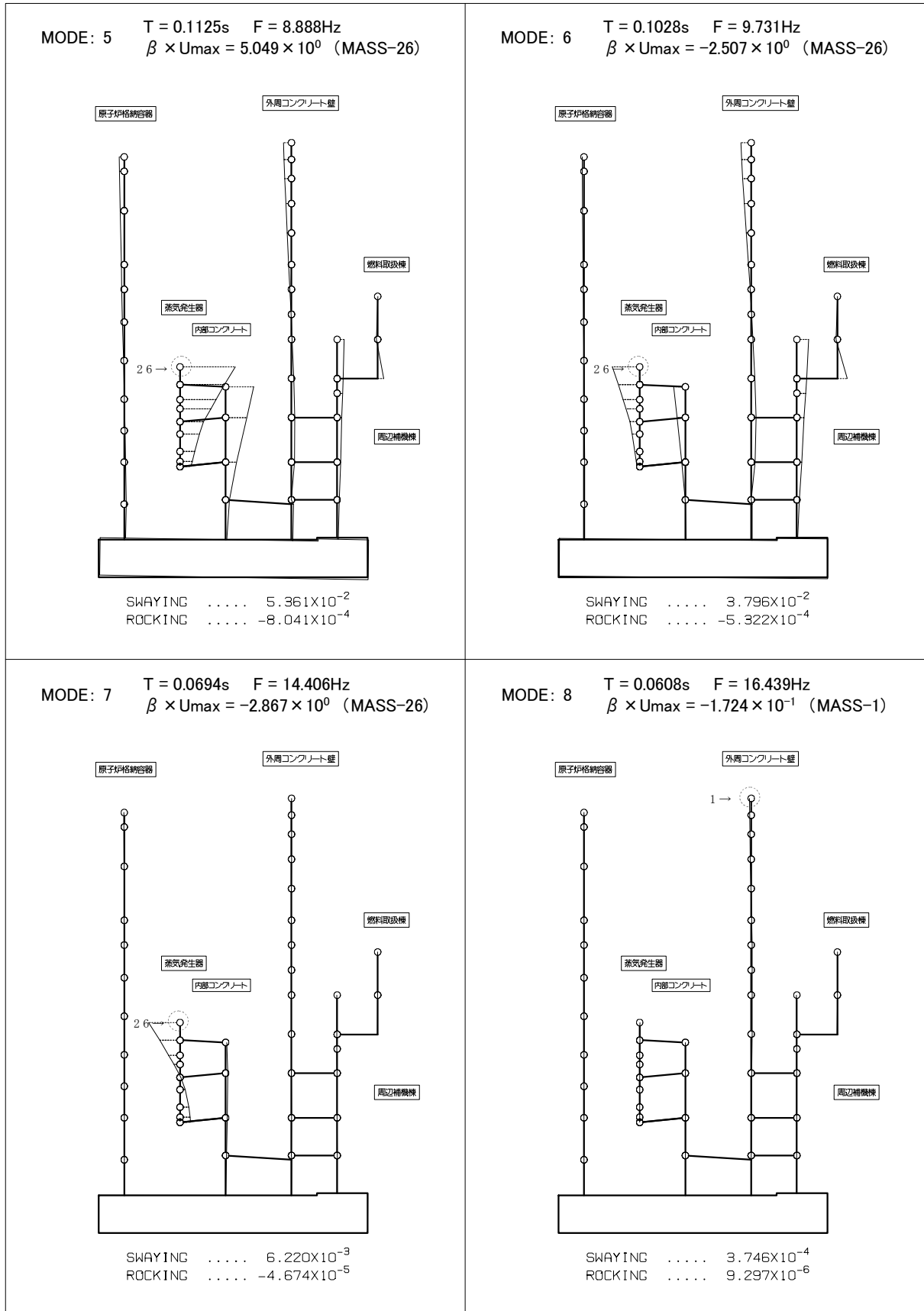
第 3.1-4 図 (1) 刺激関数 (EW 方向 : 1 次 ~ 4 次)



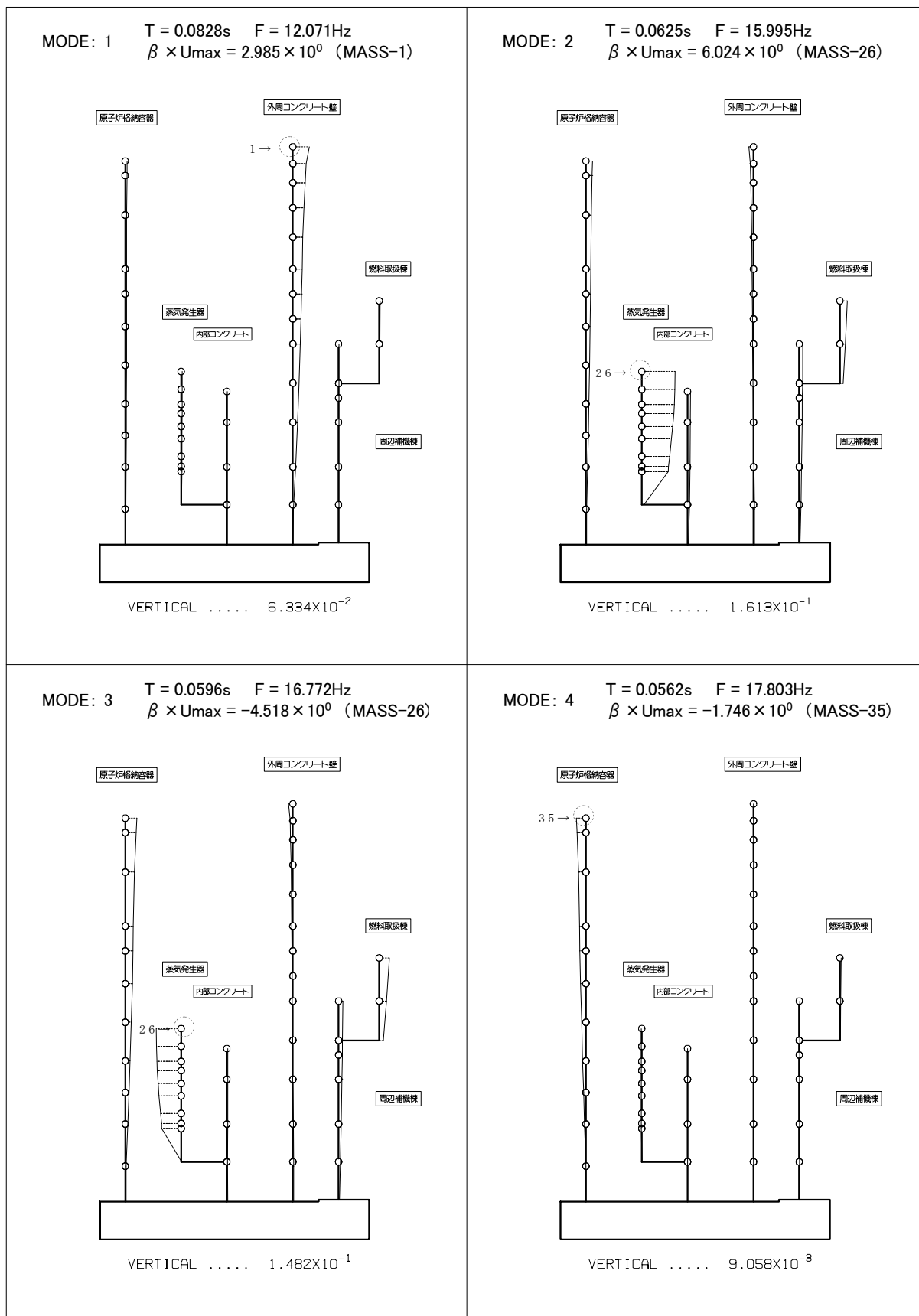
第 3.1-4 図 (2) 刺激関数 (EW 方向 : 5 次 ~ 8 次)



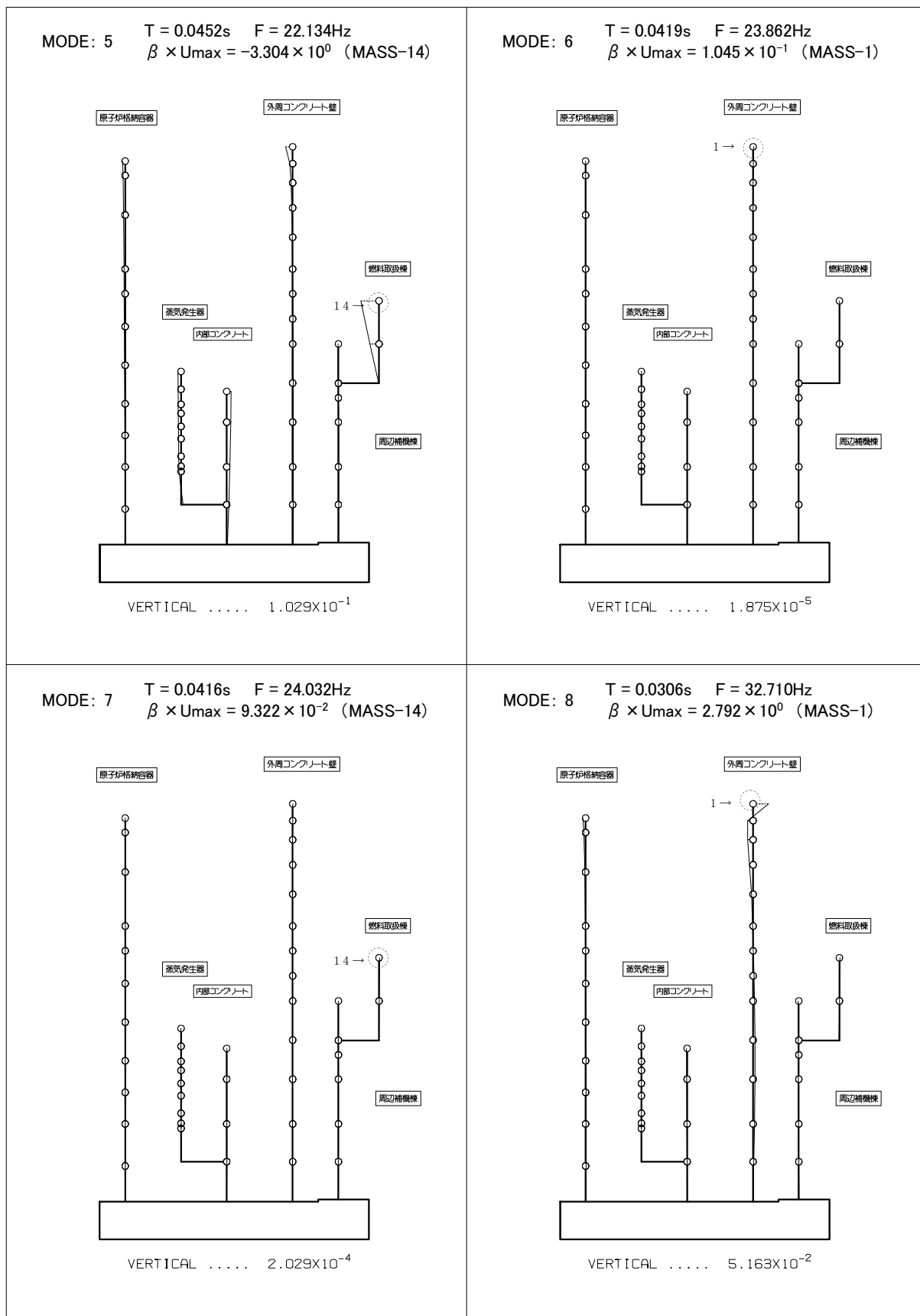
第 3.1-4 図 (3) 刺激関数 (NS 方向 : 1 次 ~ 4 次)



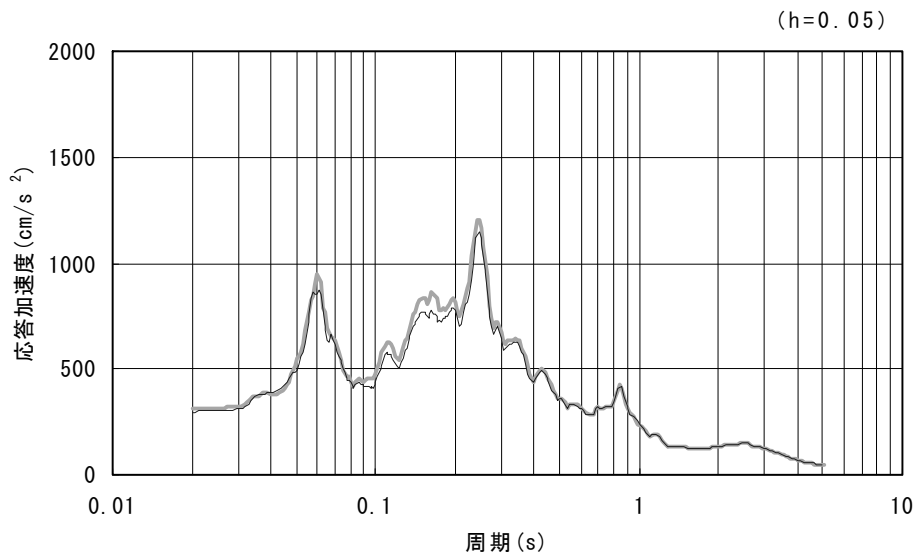
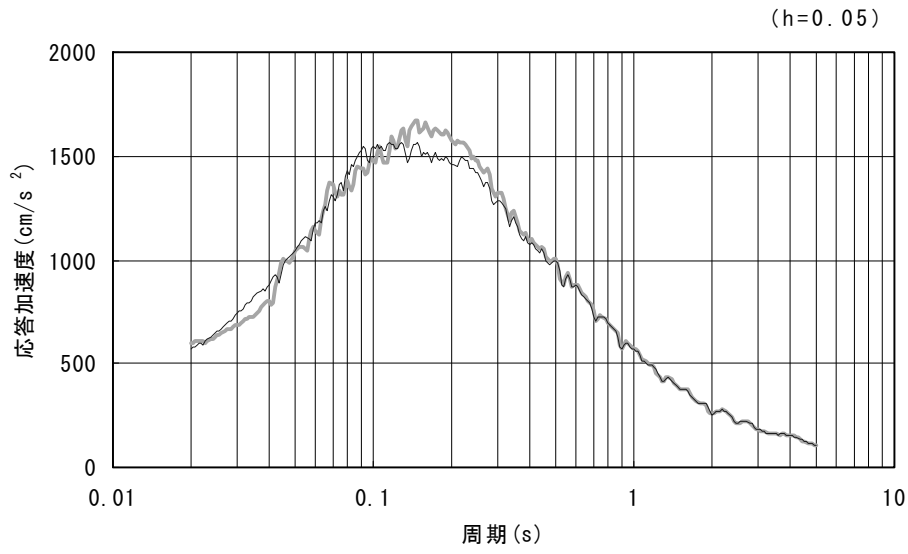
第 3.1-4 図 (4) 刺激関数 (NS 方向 : 5 次 ~ 8 次)



第 3.1-4 図 (5) 刺激関数 (UD 方向 : 1 次 ~ 4 次)

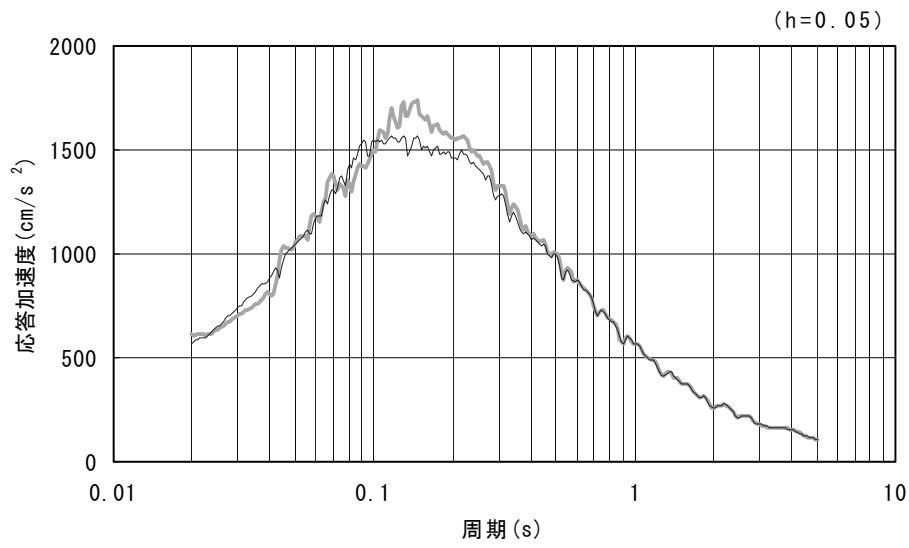


第 3.1-4 図 (6) 刺激関数 (UD 方向 : 5 次 ~ 8 次)

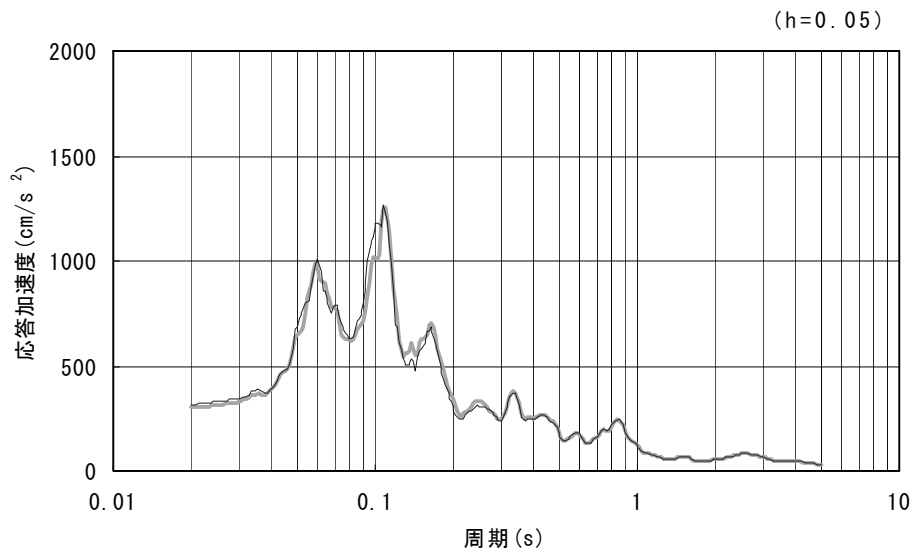


— 基礎版上
 — 入力地震動(基準地震動)

第 3.1-5 図(1) 基礎版上の加速度応答スペクトル(EW 方向)



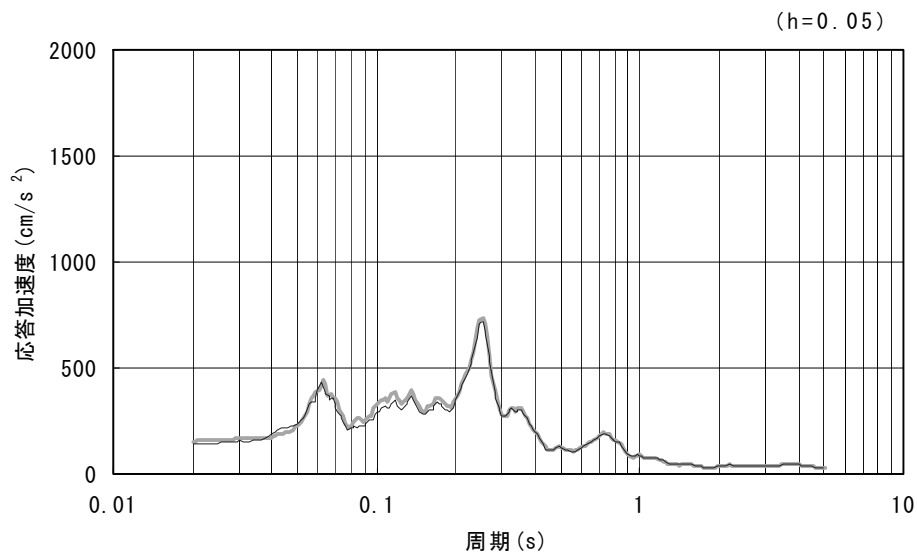
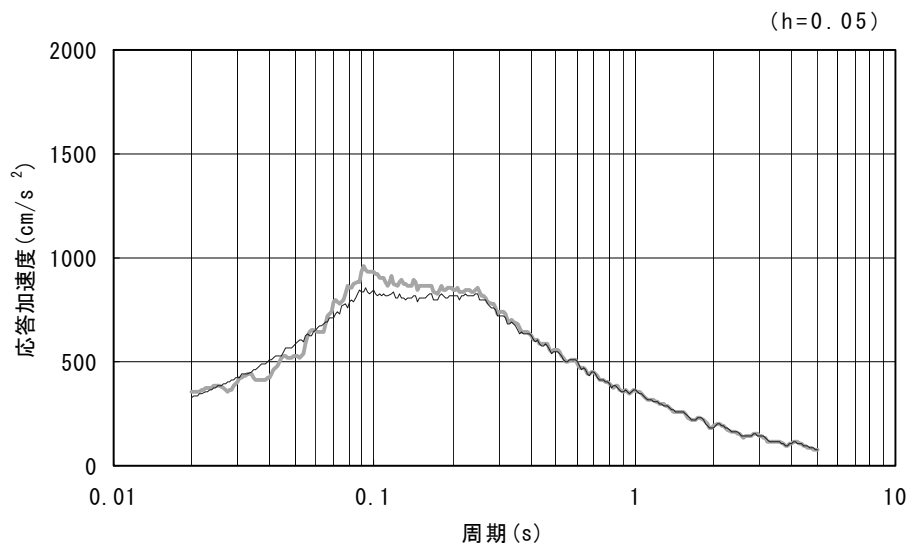
(基準地震動 S_s-1)



(基準地震動 S_s-2)

— 基礎版上
 — 入力地震動(基準地震動)

第 3.1-5 図(2) 基礎版上の加速度応答スペクトル(NS 方向)

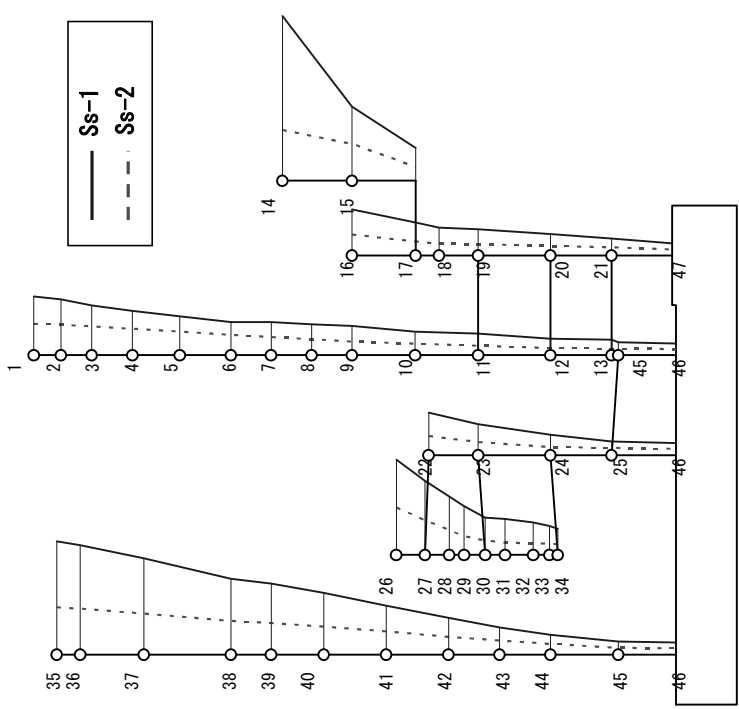


— 基礎版上
 — 入力地震動(基準地震動)

第 3.1-5 図(3) 基礎版上の加速度応答スペクトル(UD 方向)

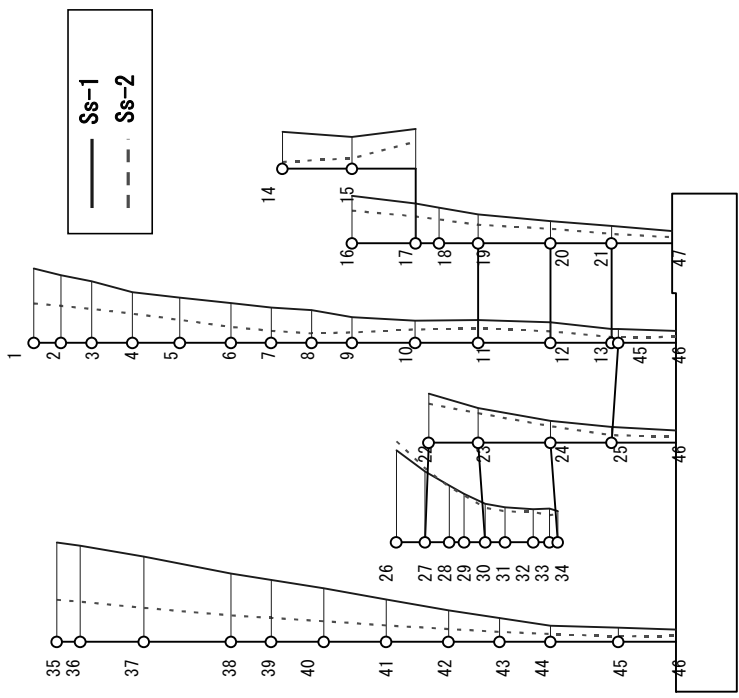
C/V (m/s ²)		O/S (m/s ²)	
Ss-1	Ss-2	Ss-1	Ss-2
1		29.49	15.74
2		28.10	15.18
3		24.94	14.42
4		22.23	13.29
5		19.50	11.86
6		16.50	10.28
7		16.52	9.11
8		15.53	8.03
9		14.75	6.90
10		11.90	5.84
11		10.97	4.77
12		8.32	3.66
13		7.73	3.37
45		6.50	3.36
46		6.01	3.10

S/G (m/s ²)		I/C (m/s ²)		RE/B (m/s ²)		FH/B (m/s ²)	
Ss-1	Ss-2	Ss-1	Ss-2	Ss-1	Ss-2	Ss-1	Ss-2
26	47.64	23.69		16	23.08	10.57	
27	37.11	17.28		17	16.48	6.93	
28	29.12	12.28		18	13.86	5.82	
29	24.36	9.31		19	13.16	5.68	
30	18.71	7.19		20	10.84	4.70	
31	17.93	5.97		21	8.45	4.06	
32	16.18	5.92		45	6.50	3.36	
33	14.46	5.42		46	6.01	3.10	
34	12.94	5.27					

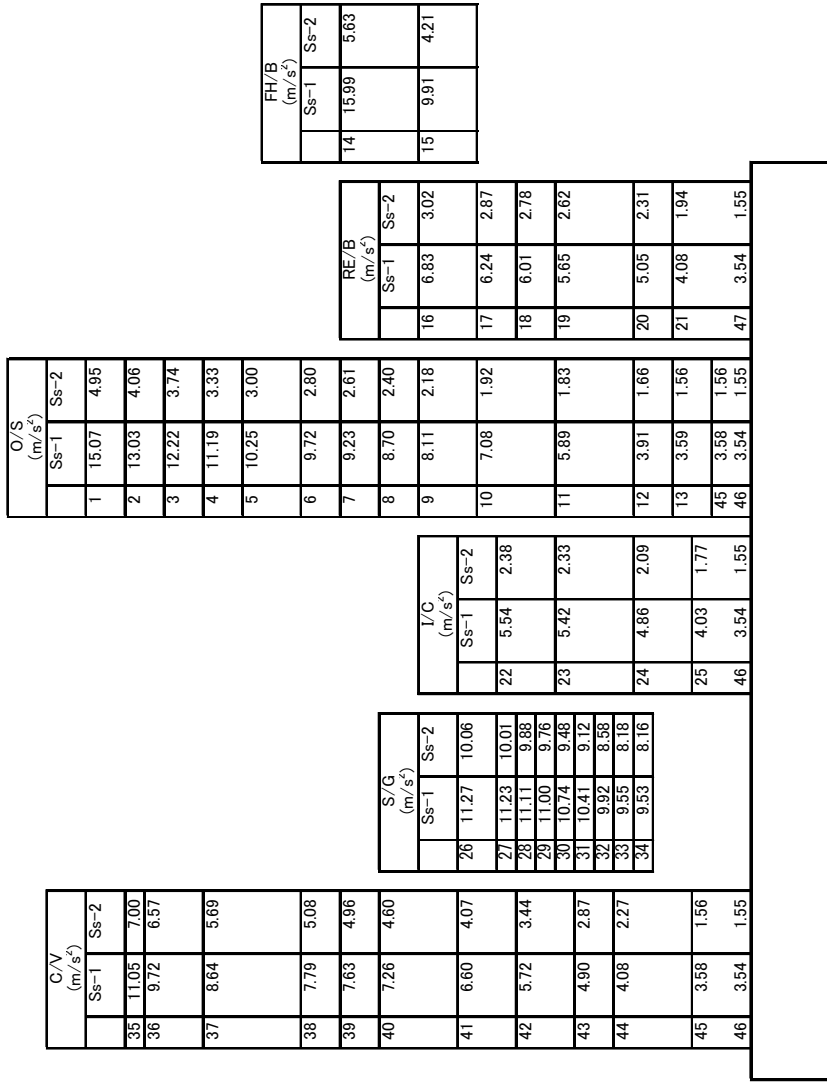


第 3.1-6 图 (1) 最大芯管加速度分布 (EW 方向)

C/V (m/s ²)		O/S (m/s ²)	
Ss-1	Ss-2	Ss-1	Ss-2
1		1	37.42
2		2	34.15
3		3	30.99
4		4	25.51
5		5	22.82
6		6	19.95
7		7	17.79
8		8	16.52
9		9	13.08
10		10	11.14
11		11	11.49
12		12	10.41
13		13	6.96
14		14	18.55
15		15	15.95
16		16	23.82
17		17	20.02
18		18	17.90
19		19	14.61
20		20	11.14
21		21	8.65
22		22	24.61
23		23	17.31
24		24	10.99
25		25	7.79
26		26	46.22
27		27	35.51
28		28	28.47
29		29	24.31
30		30	19.19
31		31	17.52
32		32	16.61
33		33	16.90
34		34	15.60
35		35	49.86
36		36	48.23
37		37	42.75
38		38	34.23
39		39	31.04
40		40	26.81
41		41	21.21
42		42	15.83
43		43	11.88
44		44	7.97
45		45	7.02
46		46	6.13
		47	6.14
		48	6.13
		49	6.13
		50	6.13
		51	6.13
		52	6.13
		53	6.13
		54	6.13
		55	6.13
		56	6.13
		57	6.13
		58	6.13
		59	6.13
		60	6.13
		61	6.13
		62	6.13
		63	6.13
		64	6.13
		65	6.13
		66	6.13
		67	6.13
		68	6.13
		69	6.13
		70	6.13
		71	6.13
		72	6.13
		73	6.13
		74	6.13
		75	6.13
		76	6.13
		77	6.13
		78	6.13
		79	6.13
		80	6.13
		81	6.13
		82	6.13
		83	6.13
		84	6.13
		85	6.13
		86	6.13
		87	6.13
		88	6.13
		89	6.13
		90	6.13
		91	6.13
		92	6.13
		93	6.13
		94	6.13
		95	6.13
		96	6.13
		97	6.13
		98	6.13
		99	6.13
		100	6.13



第 3.1-6 图 (2) 最大芯管加速度分布 (NS 方向)



C/V (m/s ²)		
Ss-1	Ss-2	
35	11.05	7.00
36	9.72	6.57
37	8.64	5.69
38	7.79	5.08
39	7.63	4.96
40	7.26	4.60
41	6.60	4.07
42	5.72	3.44
43	4.90	2.87
44	4.08	2.27
45	3.58	1.56
46	3.54	1.55

O/S (m/s ²)		
Ss-1	Ss-2	
1	15.07	4.95
2	13.03	4.06
3	12.22	3.74
4	11.19	3.33
5	10.25	3.00
6	9.72	2.80
7	9.23	2.61
8	8.70	2.40
9	8.11	2.18
10	7.08	1.92
11	5.89	1.83
12	3.91	1.66
13	3.59	1.56
45	3.58	1.56
46	3.54	1.55

S/G (m/s ²)		
Ss-1	Ss-2	
26	11.27	10.06
27	11.23	10.01
28	11.11	9.88
29	11.00	9.76
30	10.74	9.48
31	10.41	9.12
32	9.92	8.58
33	9.55	8.18
34	9.53	8.16

I/C (m/s ²)		
Ss-1	Ss-2	
22	5.54	2.38
23	5.42	2.33
24	4.86	2.09
25	4.03	1.77
46	3.54	1.55

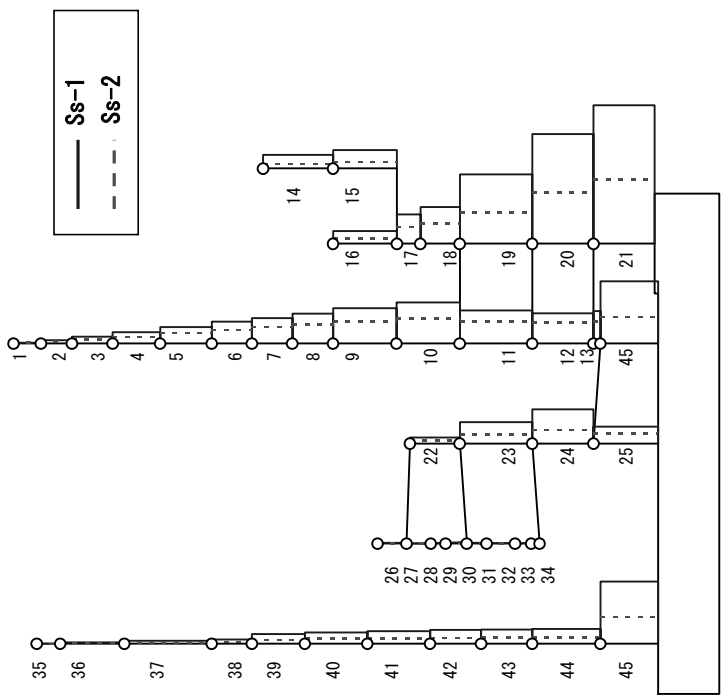
RE/B (m/s ²)		
Ss-1	Ss-2	
16	6.83	3.02
17	6.24	2.87
18	6.01	2.78
19	5.65	2.62
20	5.05	2.31
21	4.08	1.94
47	3.54	1.55

FH/B (m/s ²)		
Ss-1	Ss-2	
14	15.99	5.63
15	9.91	4.21

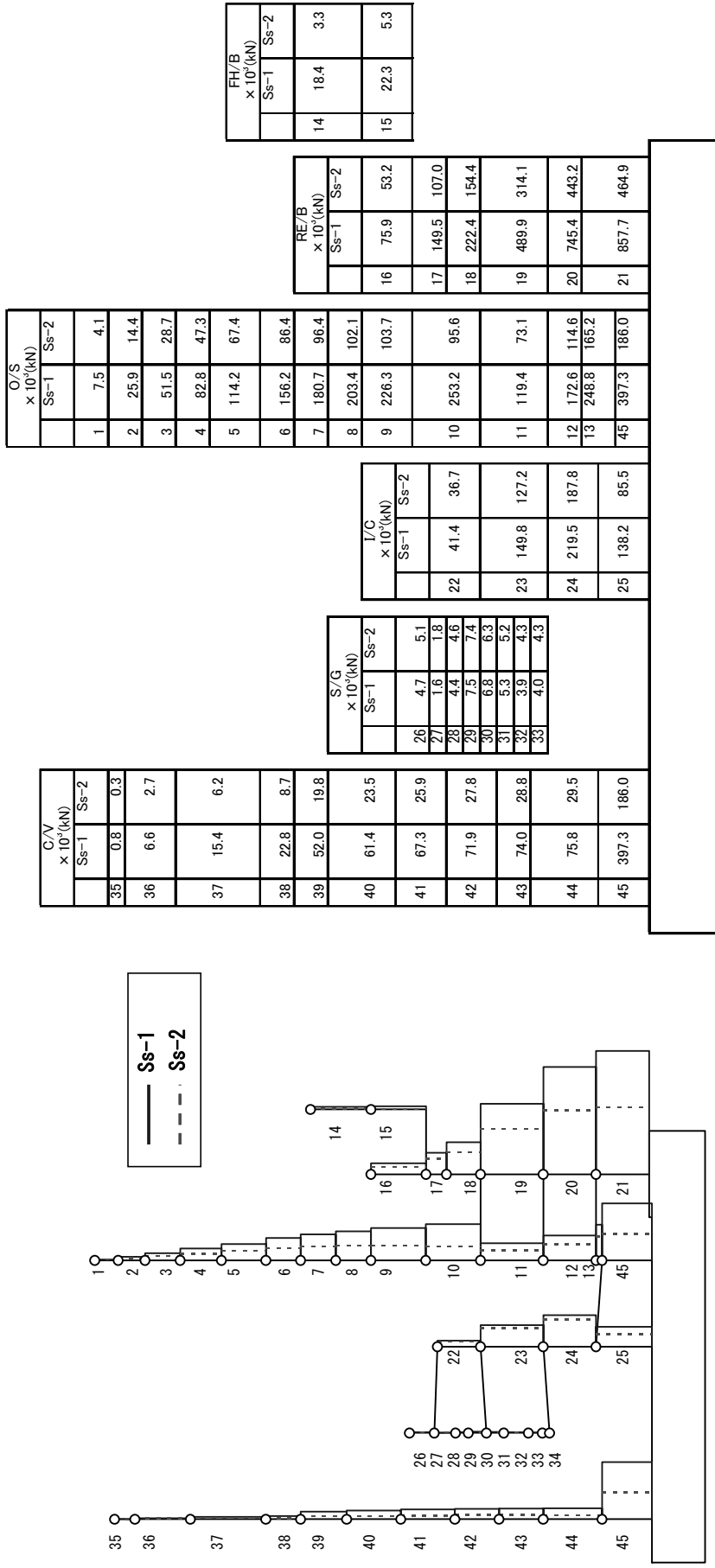
— Ss-1
- - - Ss-2

第 3.1-6 图 (3) 最大芯管加速度分布 (UD 方向)

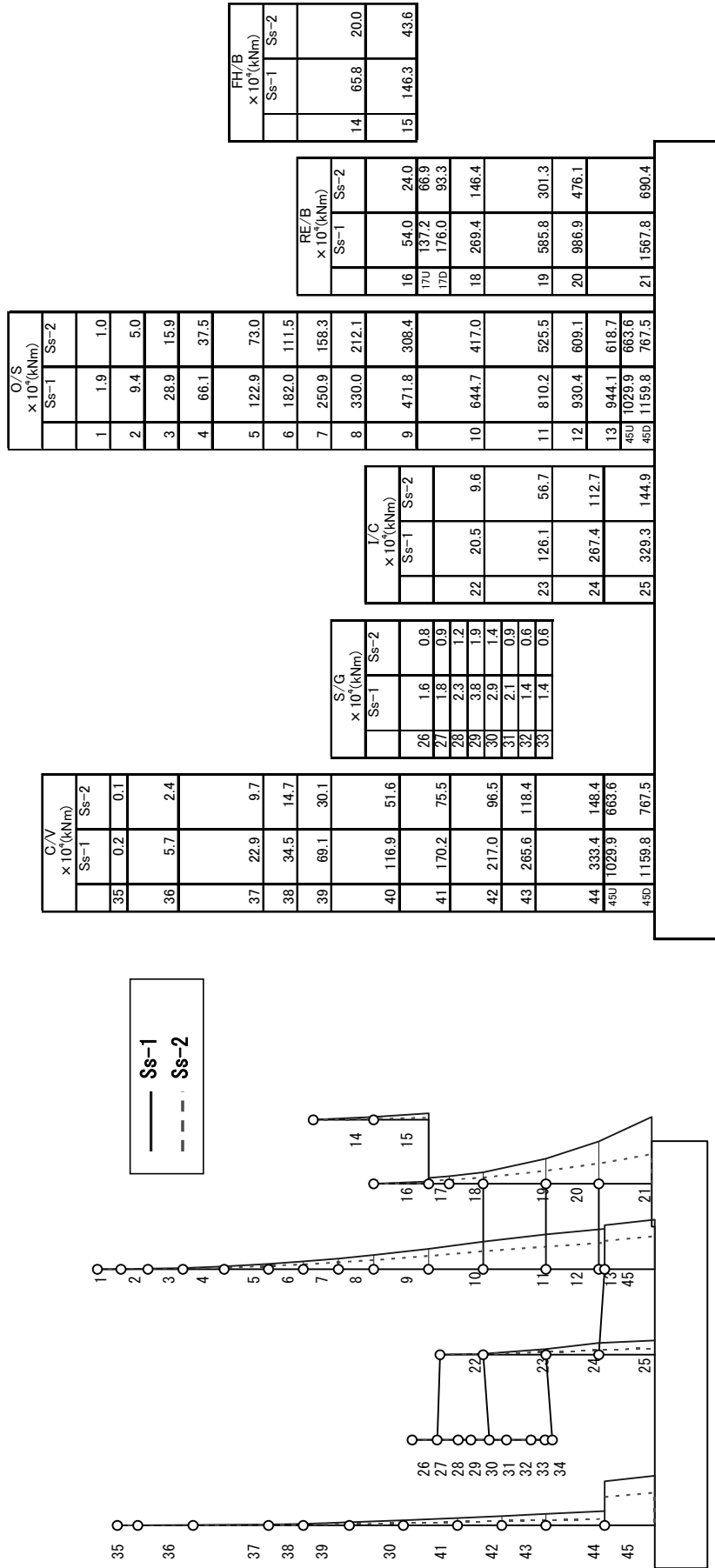
No.	C/V × 10 ² (kN)		O/S × 10 ² (kN)		S/G × 10 ² (kN)		I/C × 10 ² (kN)		RE/B × 10 ² (kN)		FH/B × 10 ² (kN)	
	Ss-1	Ss-2	Ss-1	Ss-2	Ss-1	Ss-2	Ss-1	Ss-2	Ss-1	Ss-2	Ss-1	Ss-2
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34												
35												
36	0.9	0.4										
37	7.4	3.1										
38												
39	17.2	7.3										
40	25.3	10.9										
41	57.3	25.4										
42	68.0	30.1										
43	75.7	33.6										
44	82.1	36.8										
45	85.3	38.5										
46	87.3	39.7										
47	373.9	162.1										
48												
49												
50												
51												
52												
53												
54												
55												
56												
57												
58												
59												
60												
61												
62												
63												
64												
65												
66												
67												
68												
69												
70												
71												
72												
73												
74												
75												
76												
77												
78												
79												
80												
81												
82												
83												
84												
85												
86												
87												
88												
89												
90												
91												
92												
93												
94												
95												
96												
97												
98												
99												
100												



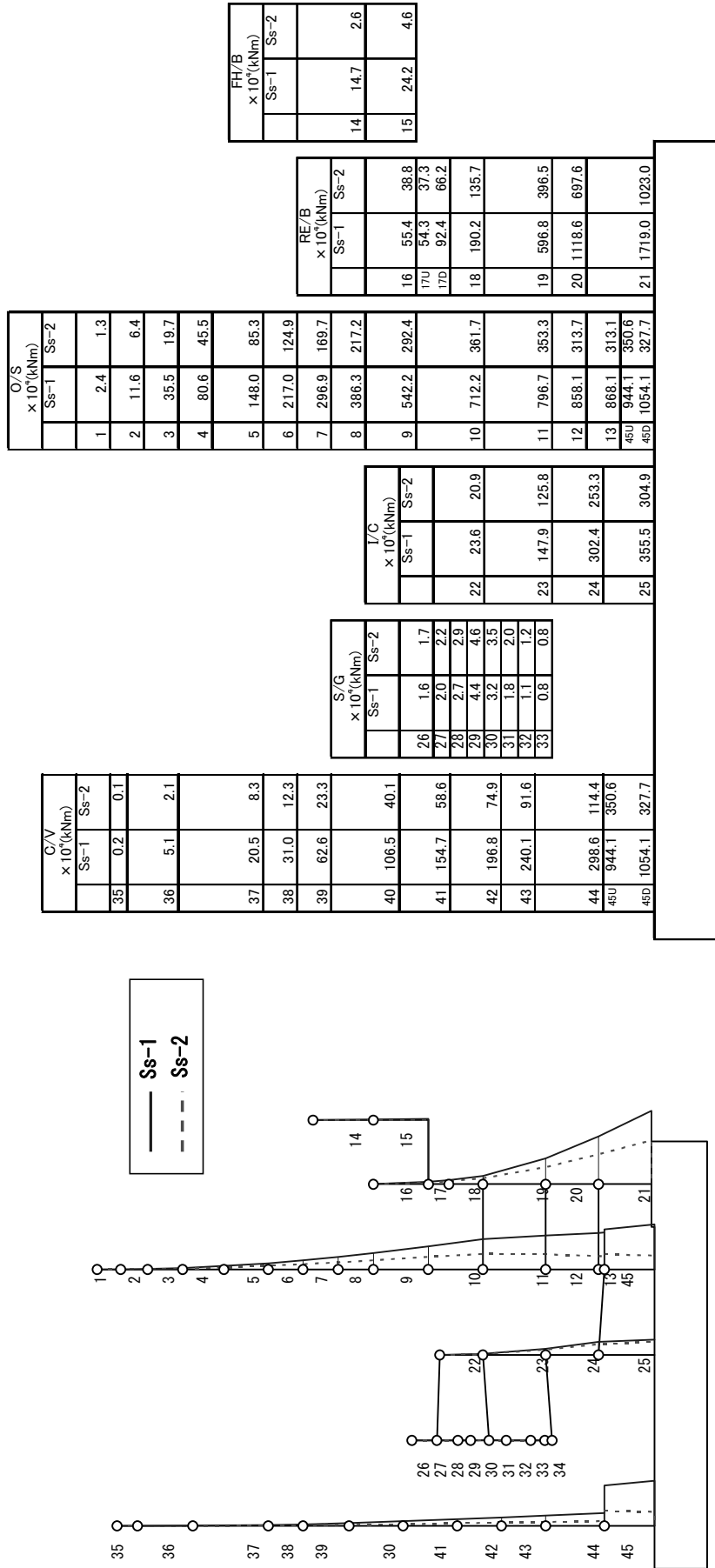
第 3.1-7 图 (1) 最大応答せん断力分布 (EW 方向)



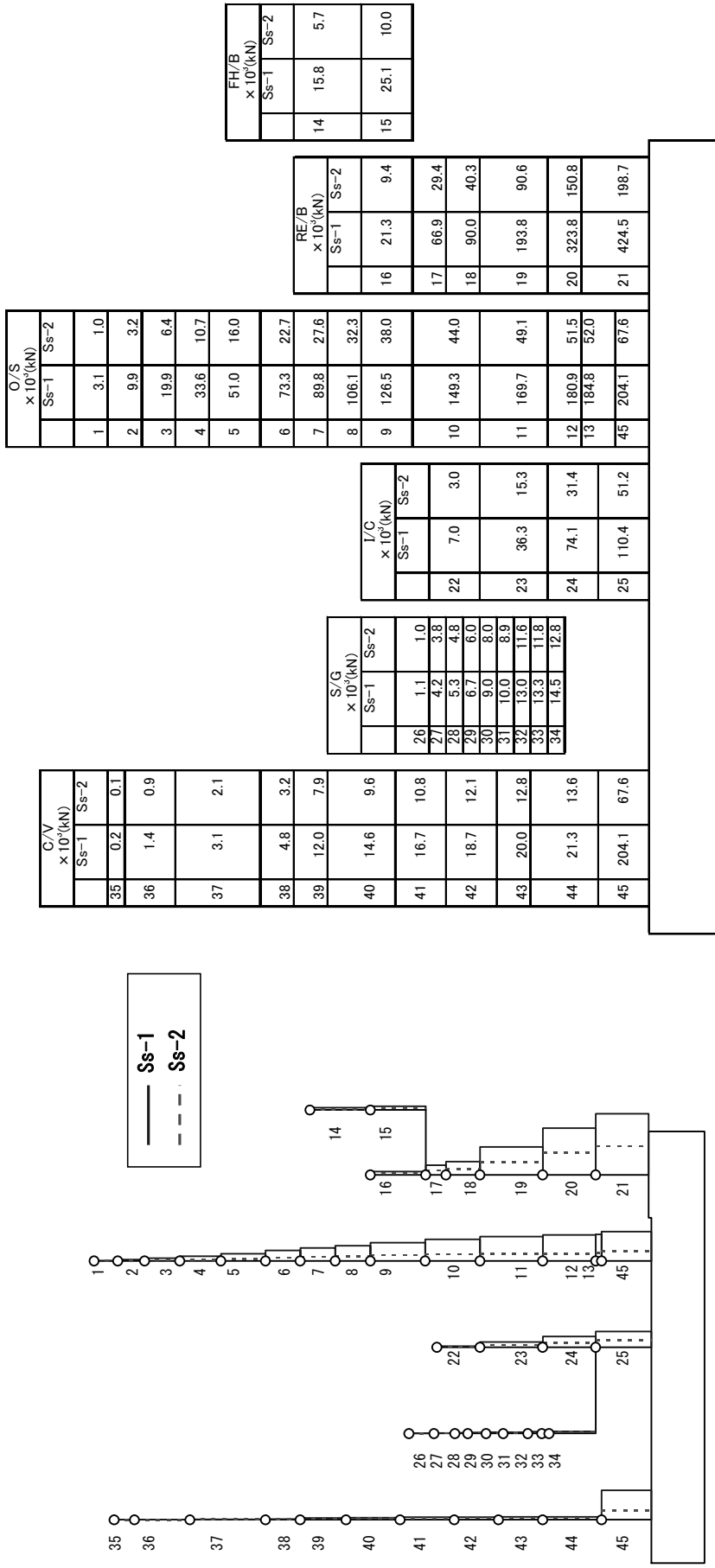
第 3.1-7 图 (2) 最大応答せん断力分布 (NS 方向)



第 3.1-8 図 (1) 最大応答曲げモーメント分布 (EW 方向)

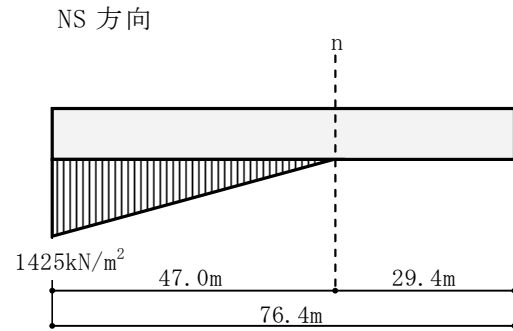
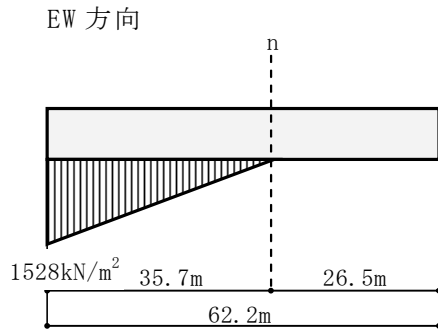


第 3.1-8 図 (2) 最大応答曲げモーメント分布 (NS 方向)

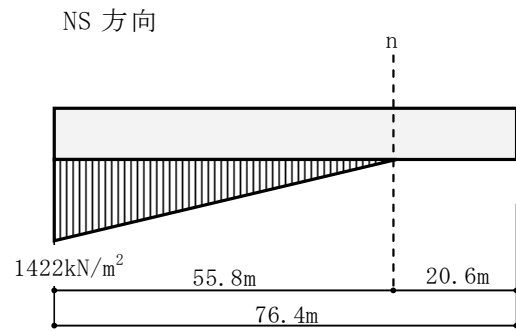
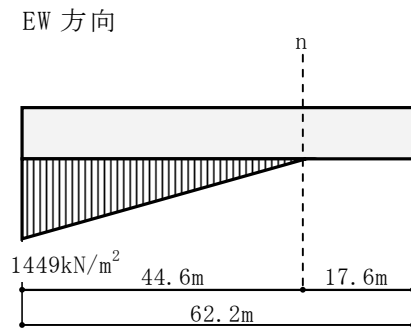


第 3.1-9 图 最大芯筒轴力分布 (UD 方向)

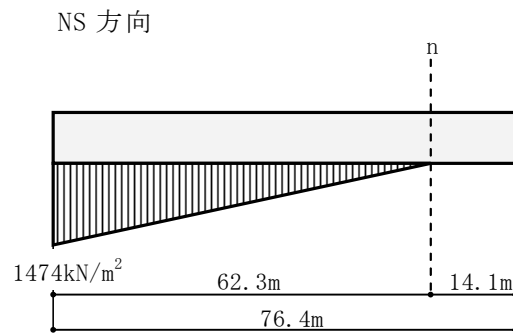
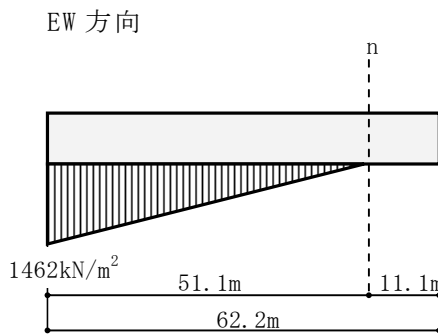
【鉛直地震力を上向きに考慮*した場合】



【鉛直地震力を考慮しない場合】



【鉛直地震力を下向きに考慮*した場合】

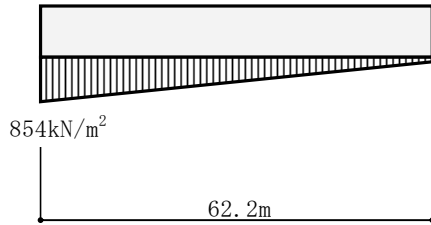


※水平地震力と組み合わせる場合の鉛直地震力は、組合せ係数法(組合せ係数 0.4)により考慮する。

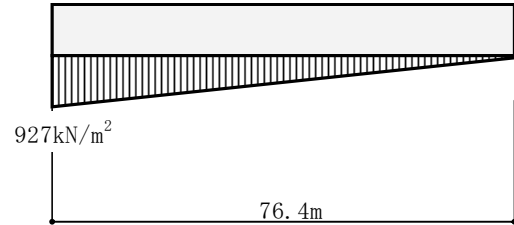
第 3.1-10 図(1) 接地圧(基準地震動 Ss-1)

【鉛直地震力を上向きに考慮*した場合】

EW 方向

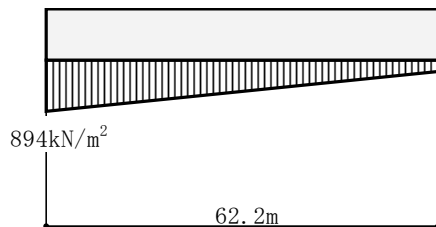


NS 方向

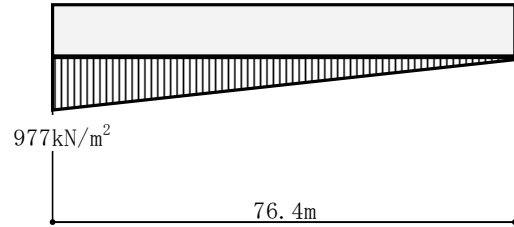


【鉛直地震力を考慮しない場合】

EW 方向

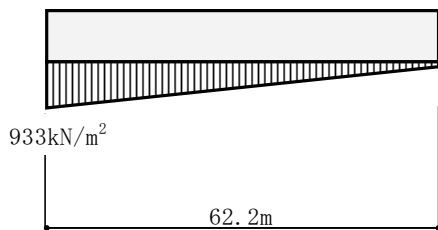


NS 方向

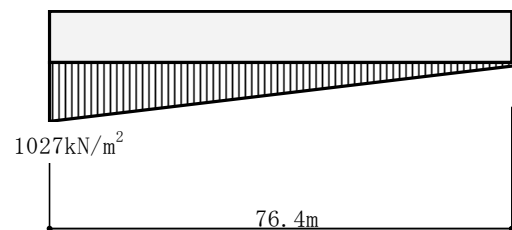


【鉛直地震力を下向きに考慮*した場合】

EW 方向

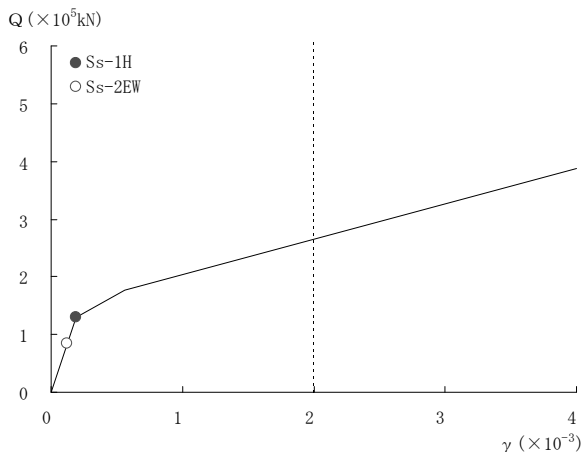


NS 方向

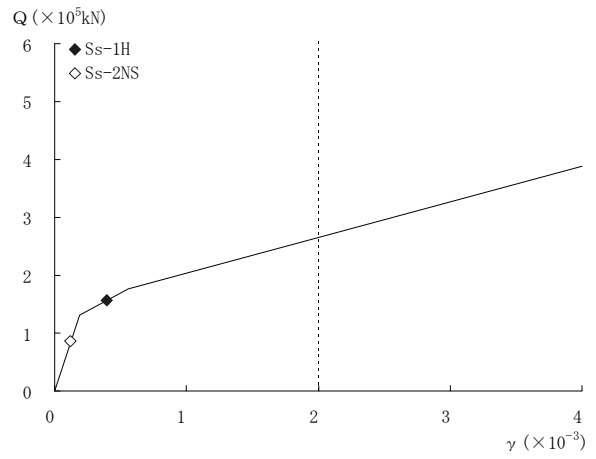


※水平地震力と組み合わせる場合の鉛直地震力は、組合せ係数法(組合せ係数 0.4)により考慮する。

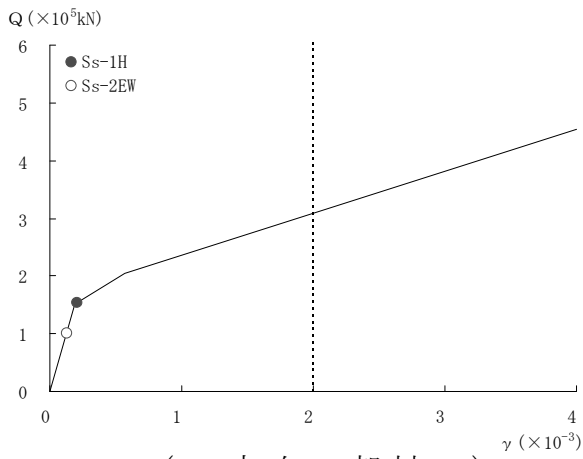
第 3.1-10 図(2) 接地圧(基準地震動 Ss-2)



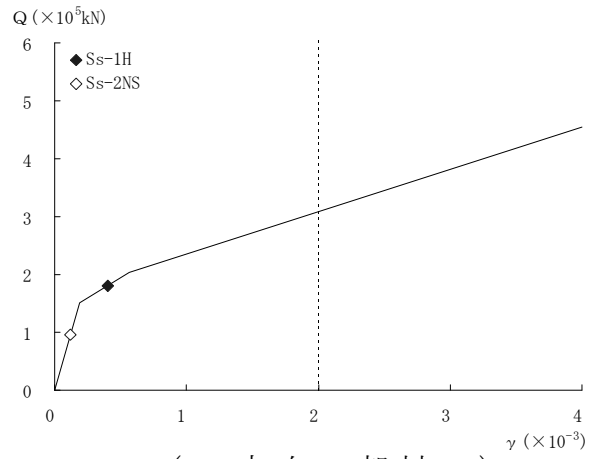
(EW 方向 部材 6)



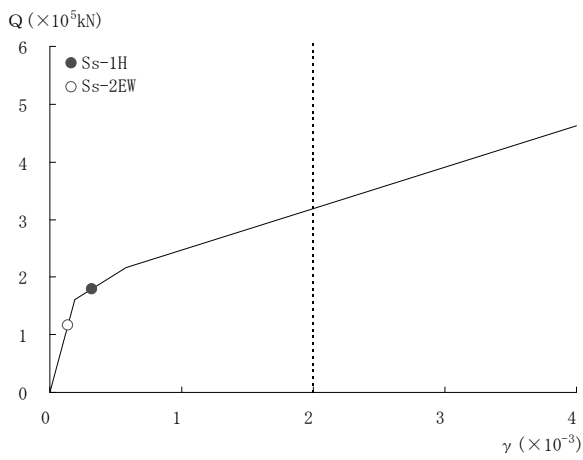
(NS 方向 部材 6)



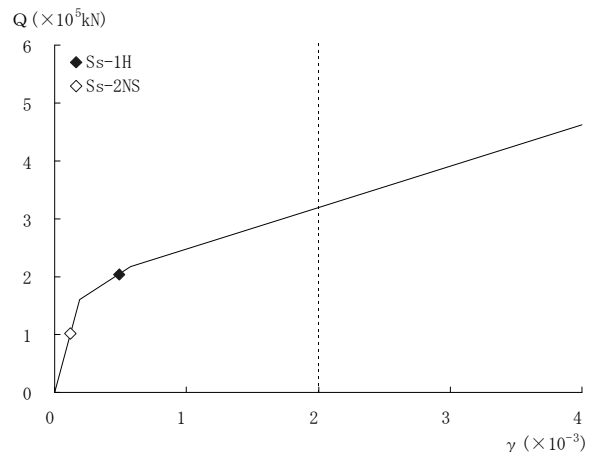
(EW 方向 部材 7)



(NS 方向 部材 7)

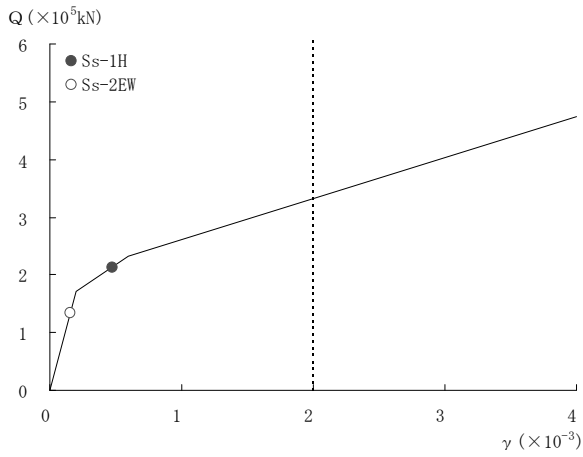


(EW 方向 部材 8)

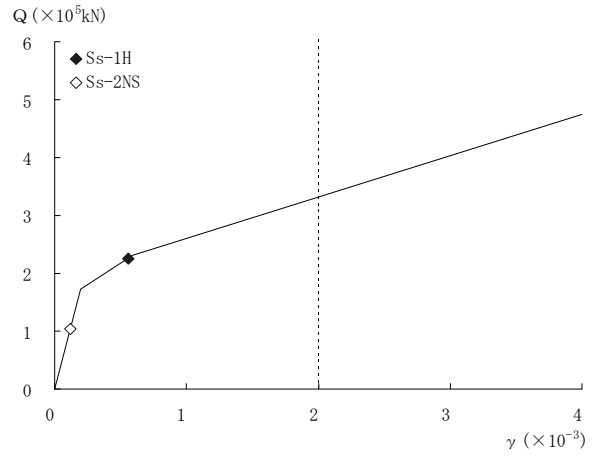


(NS 方向 部材 8)

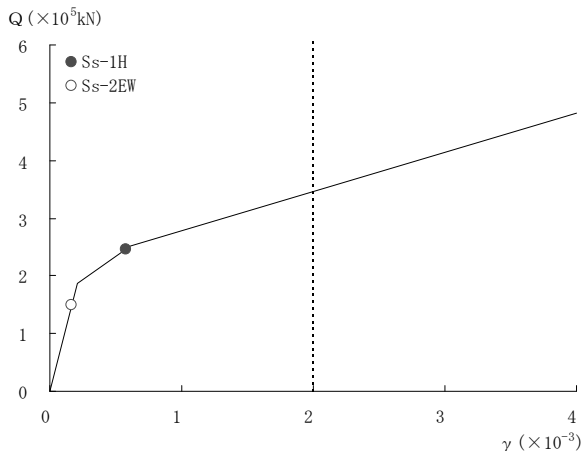
第 3.3-1 図 (1) 最大応答値 (外周コンクリート壁円筒部 (1))



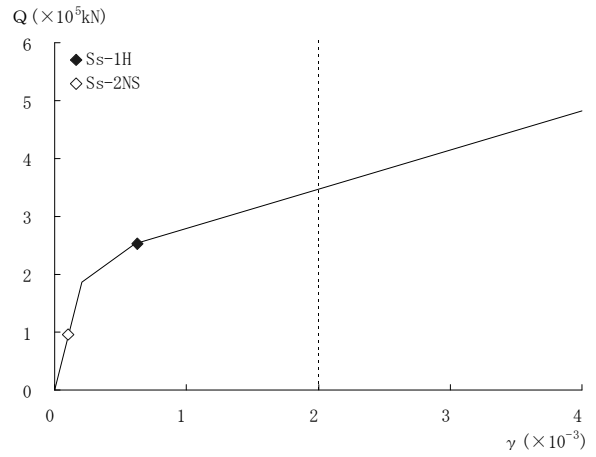
(EW 方向 部材 9)



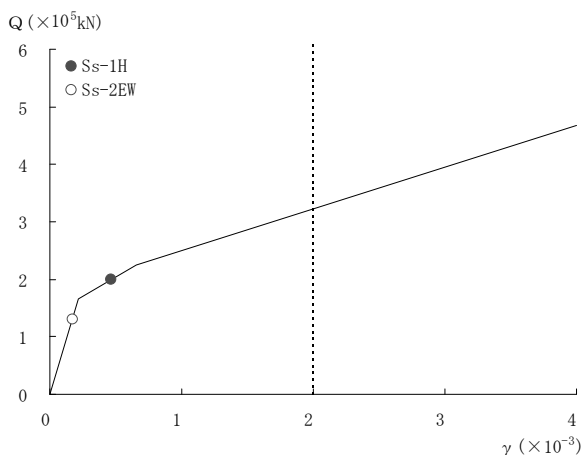
(NS 方向 部材 9)



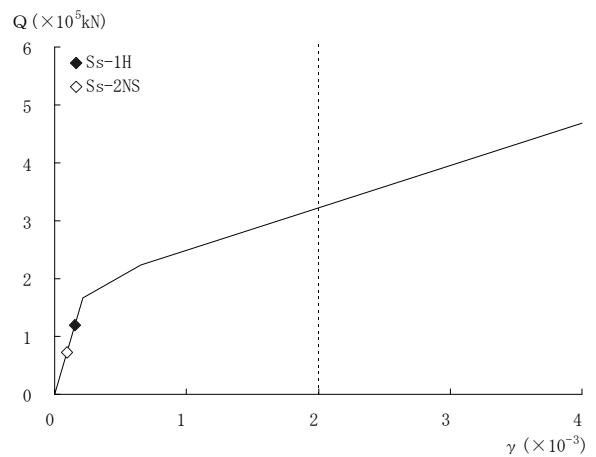
(EW 方向 部材 10)



(NS 方向 部材 10)

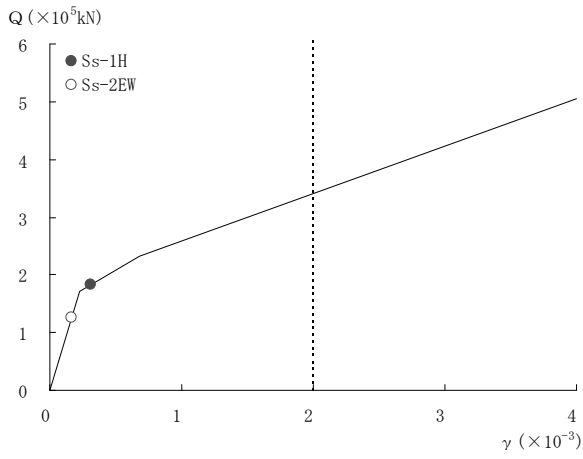


(EW 方向 部材 11)

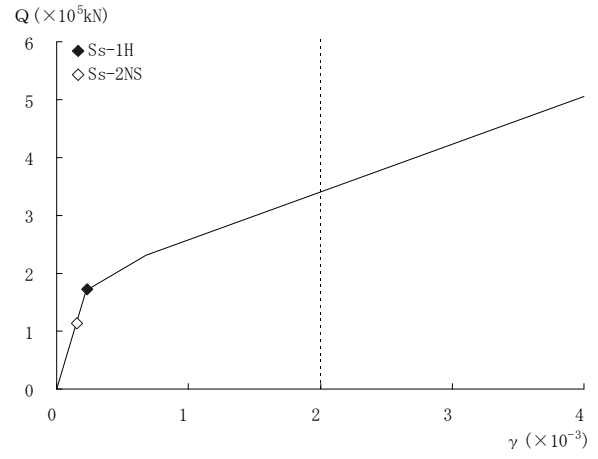


(NS 方向 部材 11)

第 3.3-1 図 (2) 最大応答値 (外周コンクリート壁円筒部 (2))

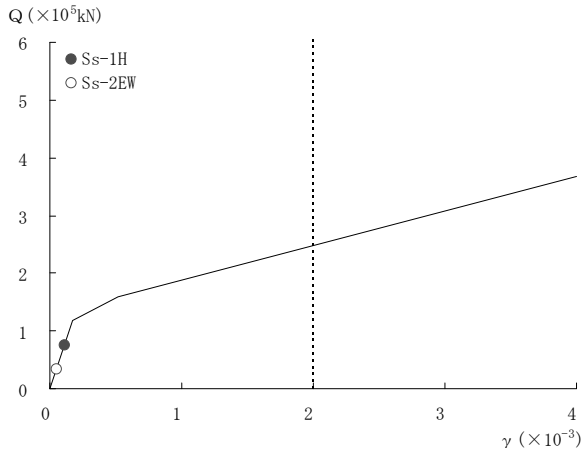


(EW 方向 部材 12)

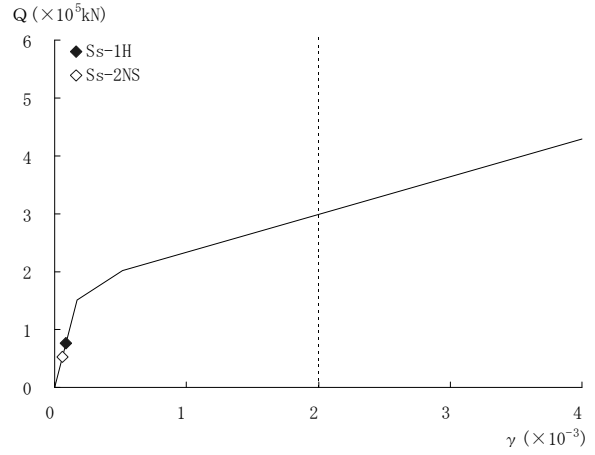


(NS 方向 部材 12)

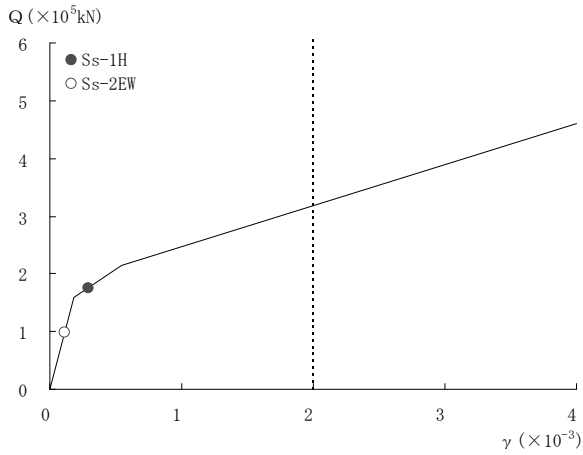
第 3.3-1 図 (3) 最大応答値 (外周コンクリート壁円筒部 (3))



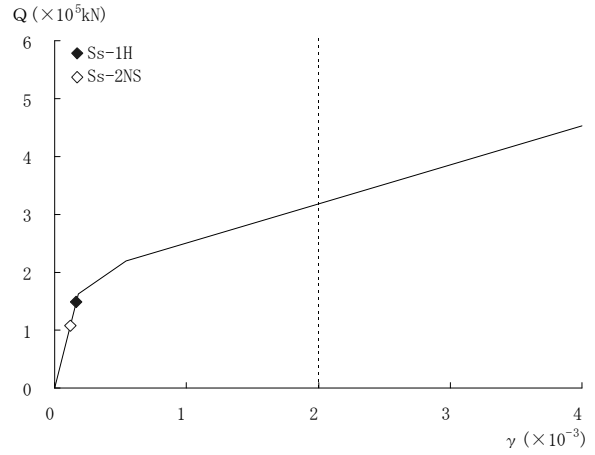
(EW 方向 部材 16)



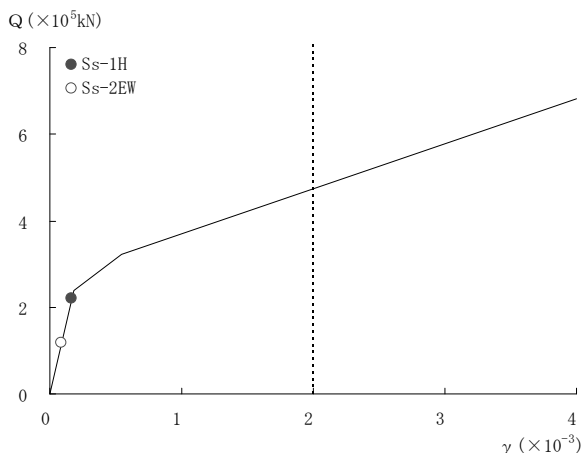
(NS 方向 部材 16)



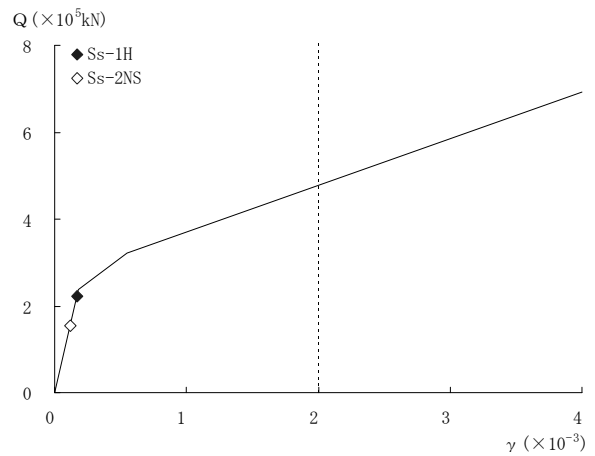
(EW 方向 部材 17)



(NS 方向 部材 17)

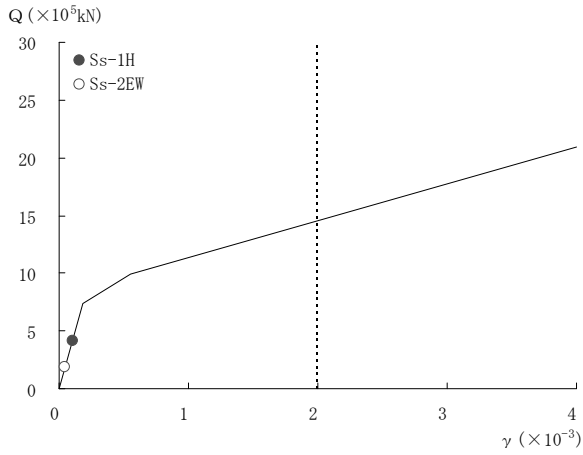


(EW 方向 部材 18)

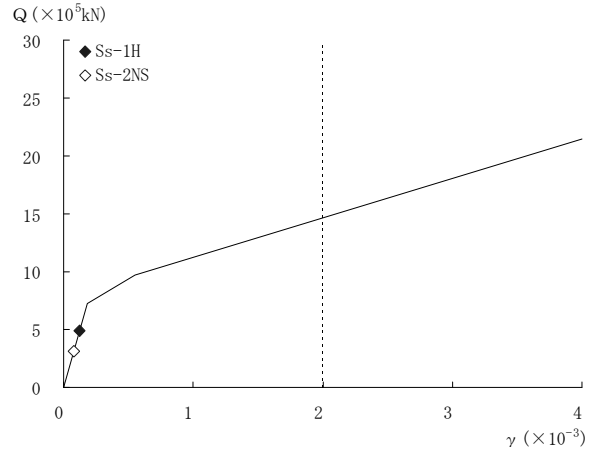


(NS 方向 部材 18)

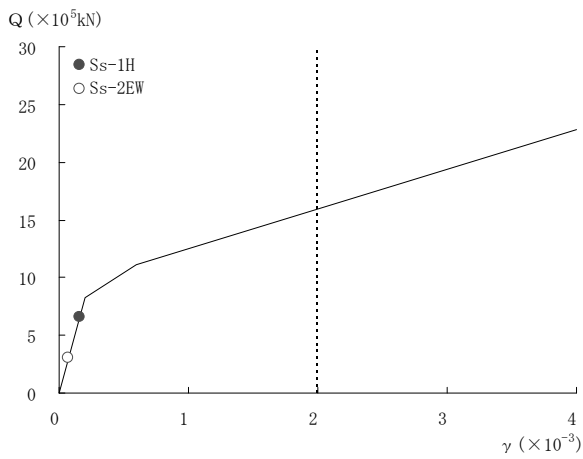
第 3.3-1 図 (4) 最大応答値 (原子炉周辺補機棟 (1))



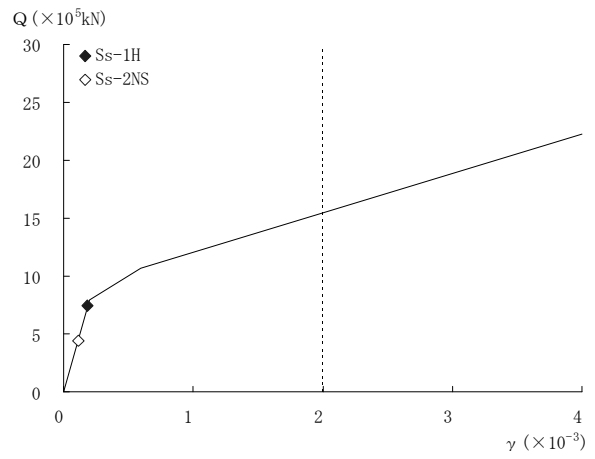
(EW 方向 部材 19)



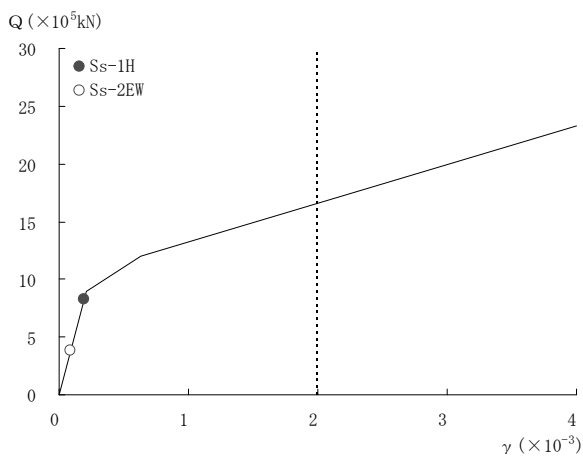
(NS 方向 部材 19)



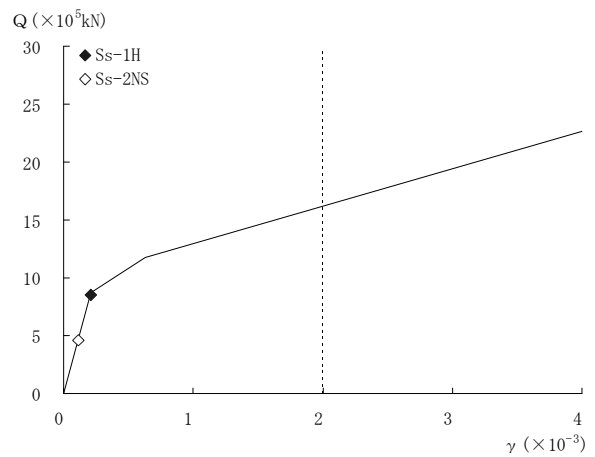
(EW 方向 部材 20)



(NS 方向 部材 20)

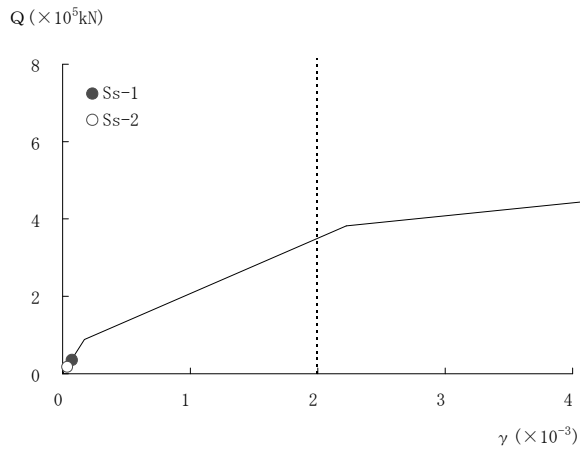


(EW 方向 部材 21)

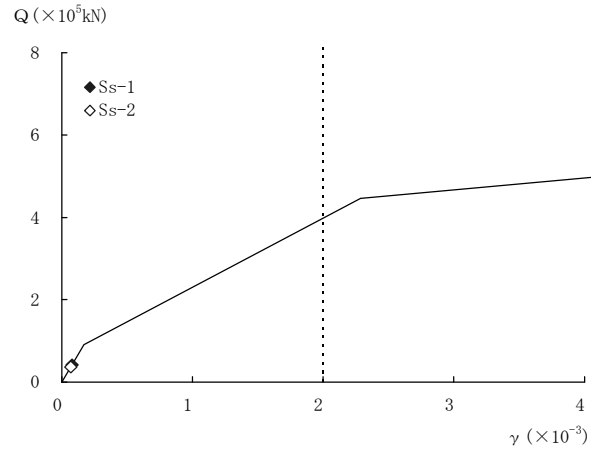


(NS 方向 部材 21)

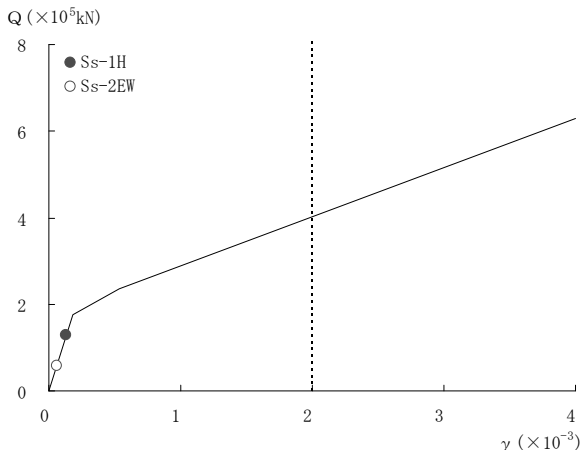
第 3.3-1 図 (5) 最大応答値 (原子炉周辺補機棟 (2))



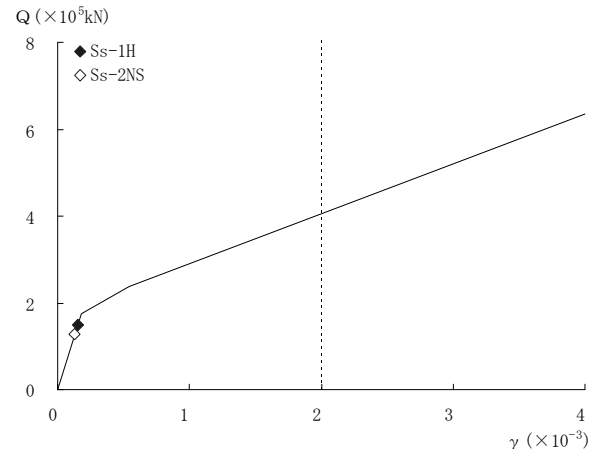
(EW 方向 部材 22)



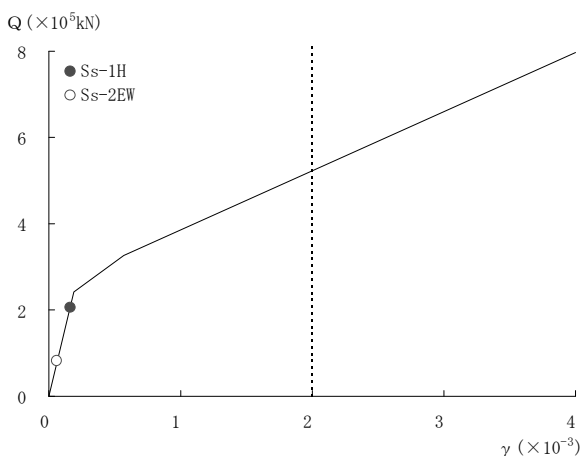
(NS 方向 部材 22)



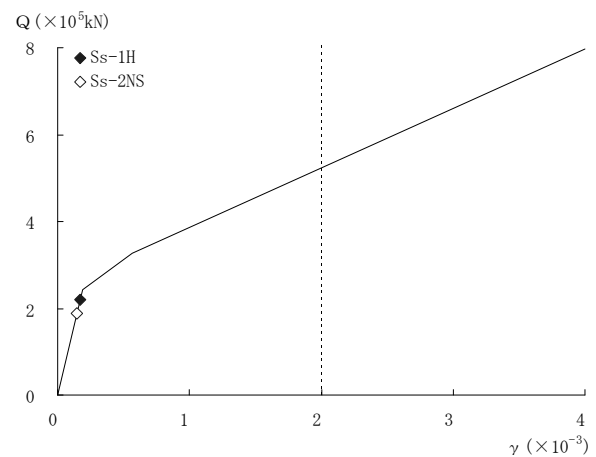
(EW 方向 部材 23)



(NS 方向 部材 23)

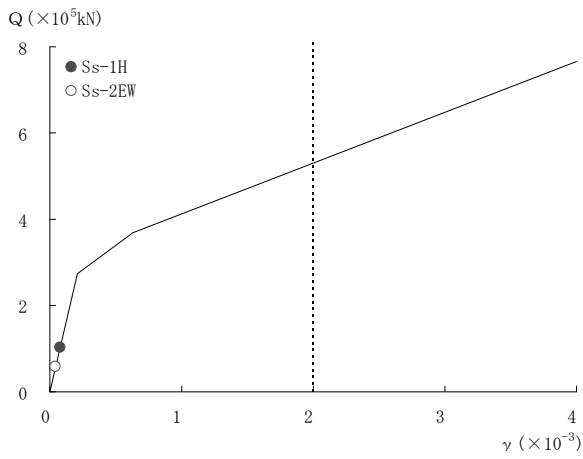


(EW 方向 部材 24)

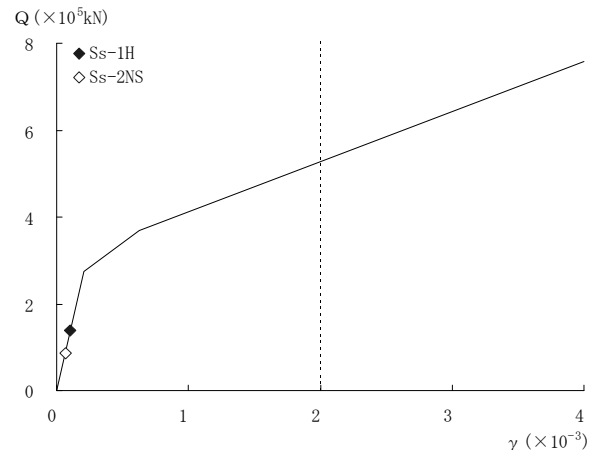


(NS 方向 部材 24)

第 3.3-1 図 (6) 最大応答値 (内部コンクリート (1))

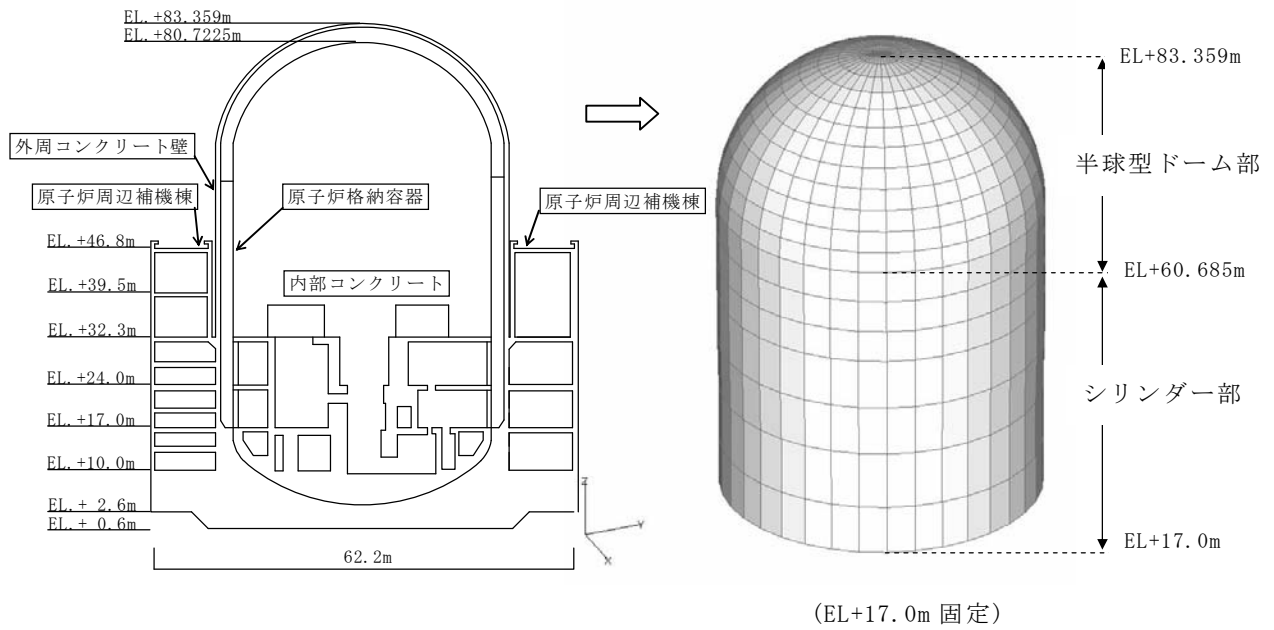


(EW 方向 部材 25)

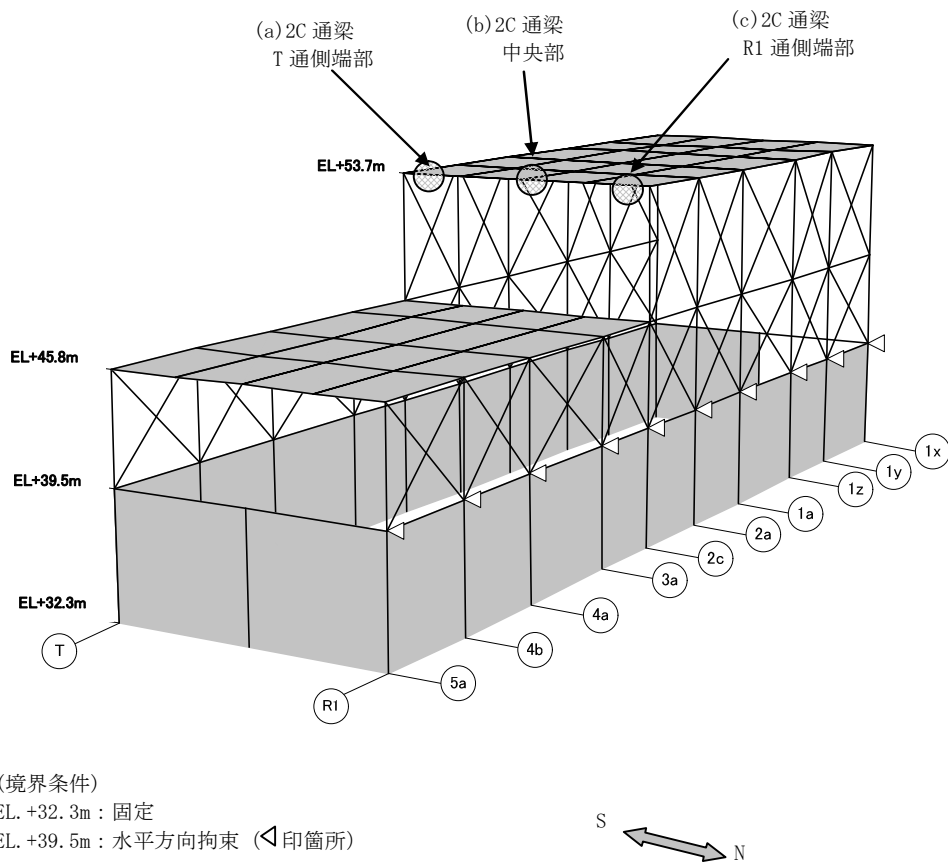


(NS 方向 部材 25)

第 3.3-1 図 (7) 最大応答値 (内部コンクリート (2))



第 3.3-2 図 応力解析モデル (外周コンクリート壁ドーム部)



第 3.3-3 図 応力解析モデル (燃料取扱棟屋根鉄骨部)

4. 原子炉補助建屋の耐震安全性評価

4.1 地震応答解析

4.1.1 原子炉補助建屋の概要

補助遮へい及び中央制御室遮へい等を含む原子炉補助建屋は、原子炉建屋に隣接する配置となっており、原子炉補助設備、ディーゼル発電機室、中央制御室等を収納する鉄筋コンクリート造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造)の構造物であり、一部のポンプ類等を設置するエリアが、部分的に地下に設けられている。

ディーゼル発電機室には非常用ディーゼル発電設備が設置されており、発電設備の支持架台及びこの支持架台上部の壁は、周囲の壁と縁の切れた構造体となっている。

これらの構造物を支持する基礎は、矩形版状の鉄筋コンクリート構造物であり、堅固な岩盤上に直接設置している。

原子炉補助建屋の概略平面図、概略断面図を第 4.1-1 図に、使用材料を第 4.1-1 表に示す。

4.1.2 地震応答解析モデル

(1) 水平方向の地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは，地盤との相互作用を考慮して底面に地盤の水平及び回転ばねを設けた基礎上に軸を立ち上げた多質点系の曲げせん断棒モデルとする。

原子炉補助建屋は，耐震壁が各層毎の機器レイアウト等に応じて配置され，かつ剛性の高い床で構成されていることから同一レベルの床が一体で挙動するものと判断し，全体的には1軸モデルとしているが，周囲が縁切りされているディーゼル発電機支持架台部については独立した軸を設けている。なお，基礎底面レベルはEL.+0.3mとしているが，一部の地下部分については，その質量及び質量回転慣性を基礎質点に考慮している。

上部構造物の減衰はモード減衰とし，各次のモード減衰定数はひずみエネルギーに比例した値として算定する。

水平方向の地震応答解析モデルを第4.1-2図に，解析に用いる材料定数を第4.1-2表に，モデル諸元を第4.1-3表に示す。

地盤ばねは，地盤を半無限の弾性体とみなして，振動アドミッタンス理論により評価する。これらのばねは振動数に依存した複素剛性として得られるが，JEAG4601-1991に基づき，ばね定数として実部の静的な値に，減衰係数として建屋-地盤連成系の1次固有振動数での虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きに，それぞれ近似する。

地盤物性値及び基礎版諸元を第4.1-4表に，地盤ばね定数及び減衰係数を第4.1-5表に示す。

また，上部構造物及び地盤の非線形特性については，JEAG4601-1991に基づき，以下の項目を考慮する。

- ・耐震壁の非線形復元力特性
- ・基礎浮き上がりによる地盤の回転ばねの幾何学的非線形

水平方向の地震応答解析は弾塑性時刻歴応答解析(Newmark- β 法： $\beta=1/4$)によるものとし，解放基盤表面(EL.+10m)で定義されている基準地震動 S_s を建屋基礎底面レベルに入力する。

(2) 鉛直方向の地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは、水平方向と同様に、建屋と地盤の相互作用を考慮して底面に地盤の鉛直ばねを設けた基礎上に、耐震壁等の軸剛性を評価した軸を有する多質点系の軸棒モデルとする。

上部構造物の減衰はモード減衰とし、各次のモード減衰定数はひずみエネルギーに比例した値として算定する。

鉛直方向の地震応答解析モデルを第 4.1-3 図に、解析に用いる材料定数を第 4.1-2 表、モデル諸元を第 4.1-6 表に示す。

地盤ばねは、地盤を半無限の弾性体とみなして、振動アドミッタンス理論により評価し、水平ばね及び回転ばねと同様に、得られた複素剛性をばね定数と減衰係数として近似する。

地盤ばね定数及び減衰係数を第 4.1-7 表に示す。

鉛直方向の地震応答解析は弾性時刻歴応答解析(Newmark- β 法： $\beta=1/4$)によるものとし、解放基盤表面(EL.+10m)で定義されている基準地震動 S_s を建屋基礎底面レベルに入力する。

4.1.3 地震応答解析結果

(1) 固有値解析結果

地震応答解析モデルの固有値解析結果(主要な固有周期, 固有振動数及び刺激係数)を第 4.1-8 表に, 各次の刺激関数図を第 4.1-4 図に示す。

(2) 地震応答解析結果

基準地震動 S_s による基礎版上の加速度応答スペクトルを第 4.1-5 図に, 最大応答加速度分布を第 4.1-6 図に, 最大応答せん断力分布を第 4.1-7 図に, 最大応答曲げモーメント分布を第 4.1-8 図に, 最大応答軸力分布を第 4.1-9 図に示す。

(3) 接地率

地震応答解析により得られた基礎版底面位置の最大転倒モーメントと, この結果から算定した接地率を第 4.1-9 表に示す。接地率は基礎浮き上がり非線形を考慮した地震応答解析を用いることができる 65%以上である。

(4) 接地圧

基準地震動 S_s による地震応答解析結果に基づく接地圧(接地圧分布は三角形と仮定)を第 4.1-10 図に示す。接地圧は地盤の短期許容支持力(7840kN/m²)に対して十分な余裕がある。

4.2 評価基準

耐震安全性の評価にあたっては、建屋が構造物全体として変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有し、終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していることを確認する観点から、主たる耐震要素である耐震壁の耐震安全性について確認する。

耐震壁の耐震安全性については、基準地震動 S_s による各層の鉄筋コンクリート造耐震壁の最大応答せん断ひずみが評価基準値 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。

4.3 評価結果

基準地震動 S_s による最大応答値を耐震壁のせん断スケルトンカーブ上にプロットして第 4.3-1 図に示す。

耐震壁のせん断ひずみは、最大で 0.84×10^{-3} (基準地震動 S_s -1H, NS 方向, 原子炉補助建屋 4 部材) であり、評価基準値 (2.0×10^{-3}) に対して十分な余裕がある。

第 4.1-1 表 使用材料

	設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	ポアソン比 ν	単位体積重量 [※] γ (kN/m ³)
コンクリート	26.5 (270kg/cm ²)	2.34×10 ⁴	9.75×10 ³	0.2	24
鉄筋	SD345相当 (SD35)				
鋼材	SS400, SM490相当 (SS41, SM50A)				

※：鉄筋コンクリートの値を示す。

第 4.1-2 表 解析に用いる材料定数

	設計基準強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	ポアソン比 ν	減衰定数 (%)
原子炉補助建屋, ディーゼル発電機 支持架台	26.5	2.34×10 ⁴	9.75×10 ³	0.2	5

第 4.1-3 表 モデル諸元(水平方向)

質点 番号	質点位置 EL+(m)	質 量 (t)	質量回転慣性 (t・m ²)		部材 番号	せん断断面積 (m ²)		断面2次モーメント (m ⁴)	
			EW方向	NS方向		EW方向	NS方向	EW方向	NS方向
1	39.5	7443.36	5.4309×10^5	4.5332×10^5	1	99.3	72.3	10530.0	4930.0
2	32.3	24072.30	1.0651×10^7	1.1651×10^7	2	228.8	215.4	111550.0	141330.0
3	24.0	28234.44	1.3683×10^7	1.4179×10^7	3	342.5	291.2	16004.0	224440.0
4	17.0	39165.06	1.7609×10^7	2.0861×10^7	4	366.0	326.2	152610.0	196730.0
5	10.0	32566.88	1.3269×10^7	1.6469×10^7	5	408.3	464.5	190530.0	259700.0
6	10.3	3799.27	1.1232×10^5	5.2971×10^4	6	30.9	—*	850.0	2.5
11 (基礎)	1.12	72326.59	3.4936×10^7	3.5809×10^7	7	114.3	78.6	5820.0	970.0
総質量		207607.90							

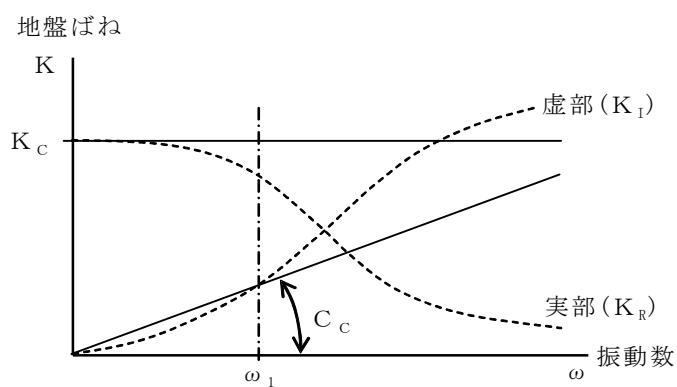
※：耐震壁として扱っていないためせん断剛性は考慮していない。

第 4.1-4 表 地盤物性値及び基礎版諸元

		EW方向	NS方向
地盤物性値	S波速度 (m/s)	2600	
	密度 (g/cm ³)	3.0	
	ポアソン比	0.34	
基礎版の形状 (m)		73.4	79.9

第 4.1-5 表 地盤ばね定数及び減衰係数(水平方向)

		EW方向	NS方向
基礎底面 水平ばね	ばね定数 (kN/m)	4.022×10^9	3.987×10^9
	減衰係数 (kN·s/m)	3.716×10^7	3.651×10^7
基礎底面 回転ばね	ばね定数 (kN·m/rad)	5.919×10^{12}	6.680×10^{12}
	減衰係数 (kN·m·s/rad)	6.662×10^9	8.167×10^9



ω_1 : 建屋-地盤連成モデルの1次固有振動数

K_c : 振動数 $\omega = 0$ における地盤ばね実部の値

C_c : 減衰係数 ($= {}_I K(\omega_1) / \omega_1$)

第 4.1-6 表 モデル諸元(鉛直方向)

質点 番号	質点位置 EL+(m)	質 量 (t)	部材 番号	断面積 (m ²)
1	39.5	7443.36	1	201.04
2	32.3	24072.30	2	551.51
3	24.0	28234.44	3	751.91
4	17.0	39165.06	4	828.39
5	10.0	32566.88	5	1015.64
6	10.3	3799.27	6	37.10
11 (基礎)	1.12	72326.59	7	207.10
総質量		207607.90		

第 4.1-7 表 地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向)

		UD方向
基礎底面 鉛直ばね	ばね定数 (kN/m)	5.036×10^9
	減衰係数 (kN・s/m)	6.619×10^7

第 4.1-8 表 固有値解析結果

水平方向 (EW方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 [※]	備考
1	0.162	6.17	320.1	連成1次
2	0.085	11.77	170.2	
3	0.060	16.62	-96.5	
4	0.043	23.23	91.1	
5	0.035	28.23	90.5	
6	0.034	29.52	-51.2	
7	0.029	34.51	125.6	
8	0.029	34.56	-8.8	

水平方向 (NS方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 [※]	備考
1	0.164	6.09	325.2	連成1次
2	0.081	12.32	150.6	
3	0.063	15.77	-79.0	
4	0.049	20.52	107.7	
5	0.047	21.20	27.1	
6	0.037	27.20	-113.6	
7	0.033	29.92	-4.7	
8	0.031	32.49	104.6	

鉛直方向 (UD方向)

次数	固有周期 (s)	固有振動数 (Hz)	刺激係数 [※]	備考
1	0.068	14.78	390.6	連成1次
2	0.030	33.52	186.3	
3	0.021	47.79	127.4	
4	0.017	58.41	51.2	

※：各次の固有ベクトル $\{u_s\}$ を、 $\{u_s\}^T [M] \{u_s\} = 1$ となるように規準化したときの刺激係数を示す。ただし、 $[M]$ は質量マトリクスである。

第 4.1-9 表 接地率

		EW方向	NS方向
Ss-1	最大転倒モーメント (×10 ⁷ kN・m)	3.43	3.15
	浮上り限界モーメント (×10 ⁷ kN・m)	2.49	2.71
	最小接地率 (%)	81.1	91.8
Ss-2	最大転倒モーメント (×10 ⁷ kN・m)	2.24	2.40
	浮上り限界モーメント (×10 ⁷ kN・m)	2.49	2.71
	最小接地率 (%)	100	100

接地率は下式により算定

$$\eta = \frac{1}{2} \left(3 - \frac{M}{M_0} \right) = 3 \left(\frac{1}{2} - \frac{M}{WL} \right)$$

ここに、

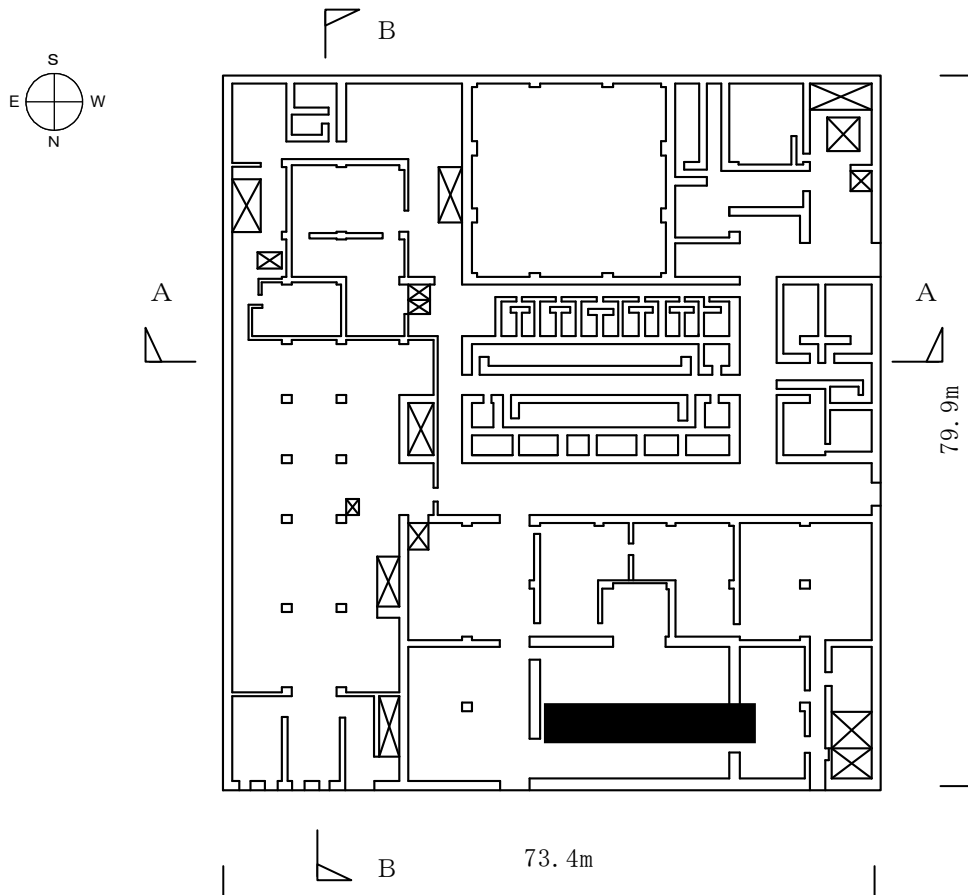
η : 接地率

M : 最大転倒モーメント (基礎下端の最大応答モーメント)

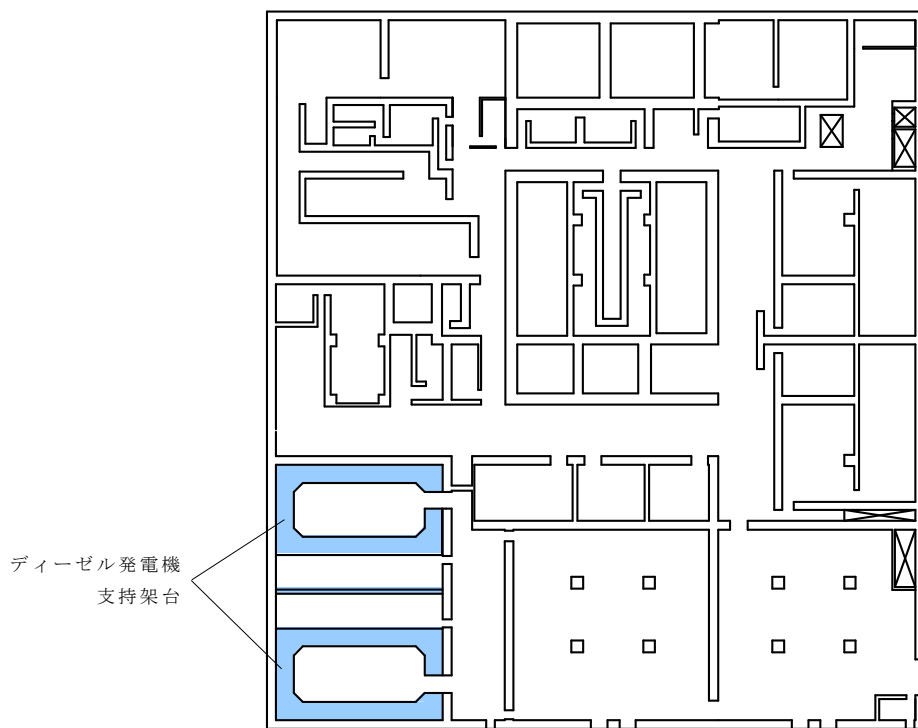
M_0 : 浮き上がり限界転倒モーメント $M_0 = \frac{WL}{6}$

W : 建屋総重量

L : 加振方向の基礎長さ

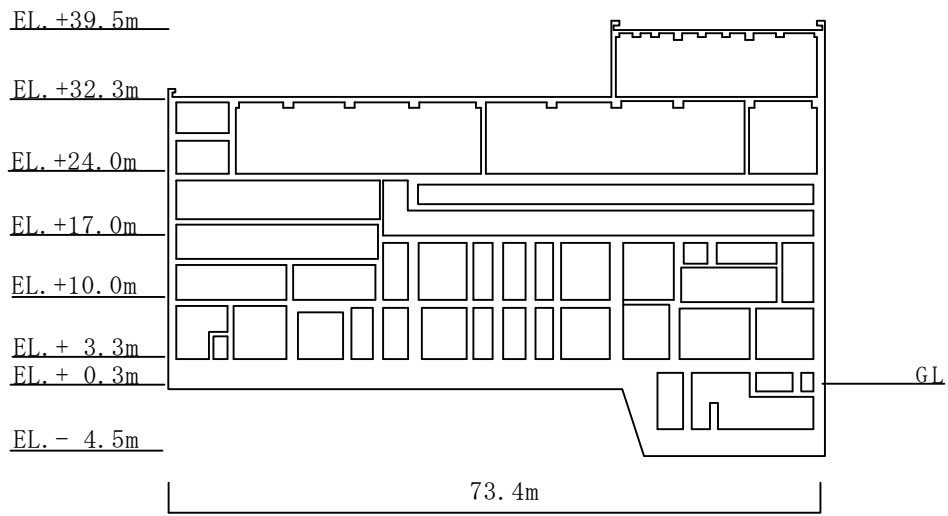


(EL. +17.0m)

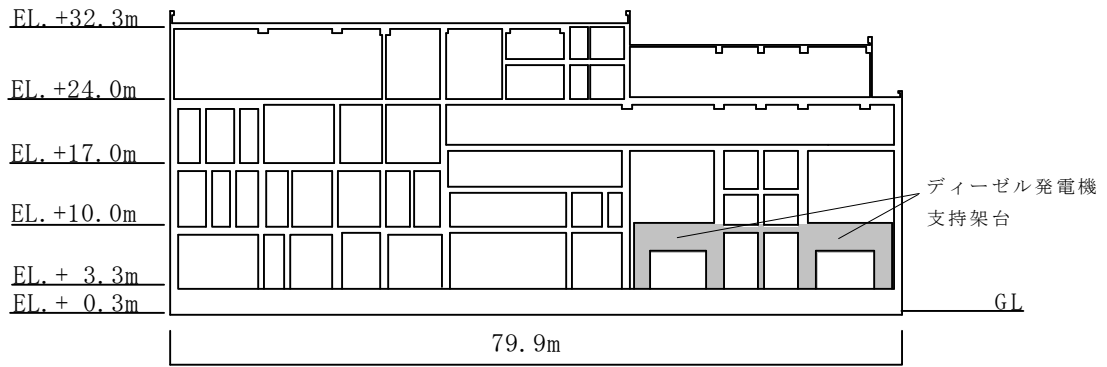


(EL. +3.3m)

第 4.1-1 図 (1) 概略平面図

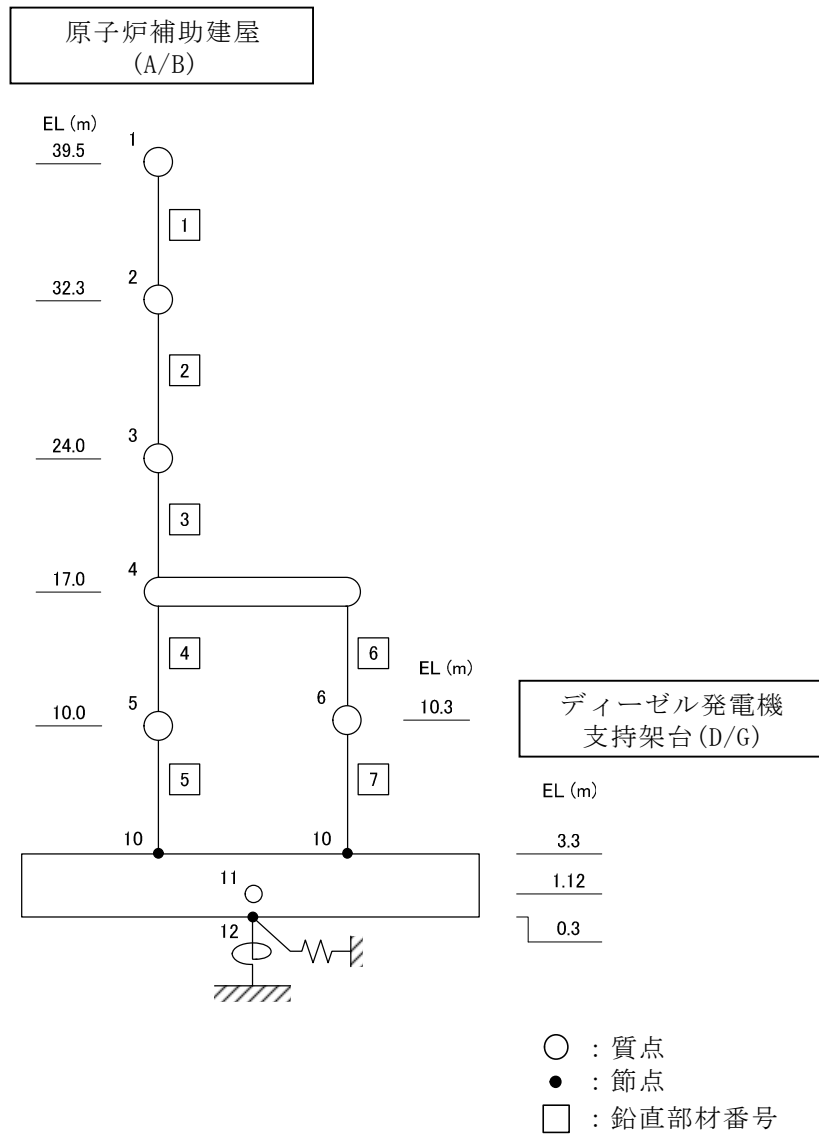


(A - A) 断面



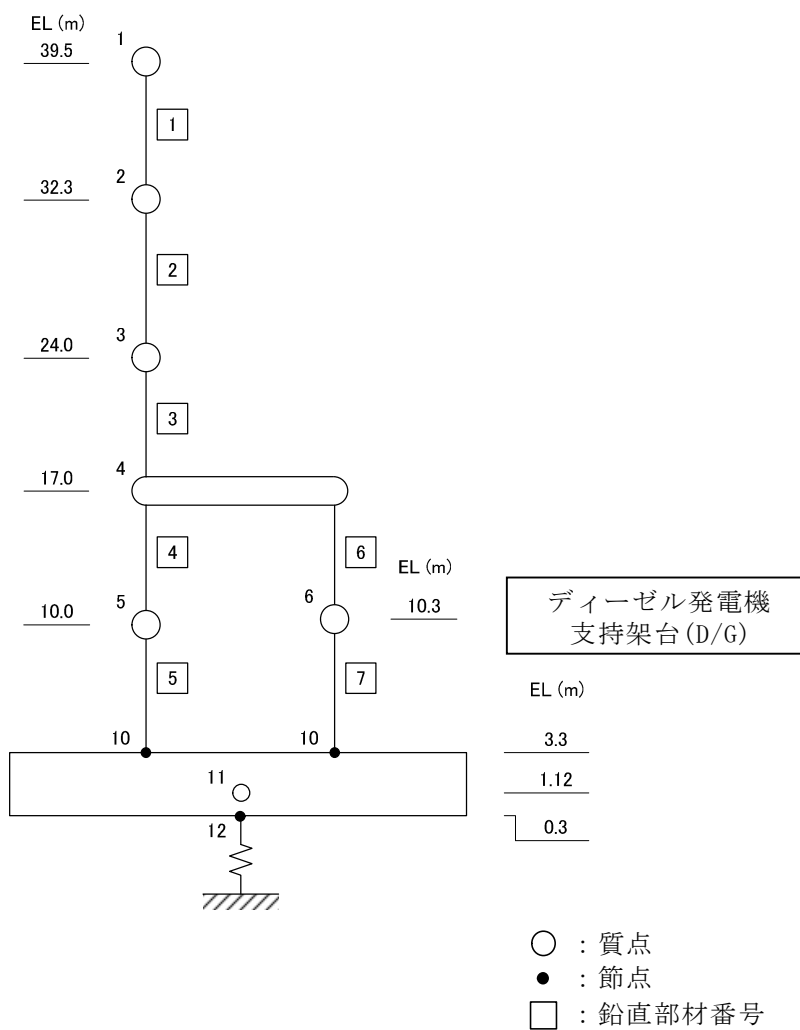
(B - B 断面)

第 4.1-1 図 (2) 概略断面図

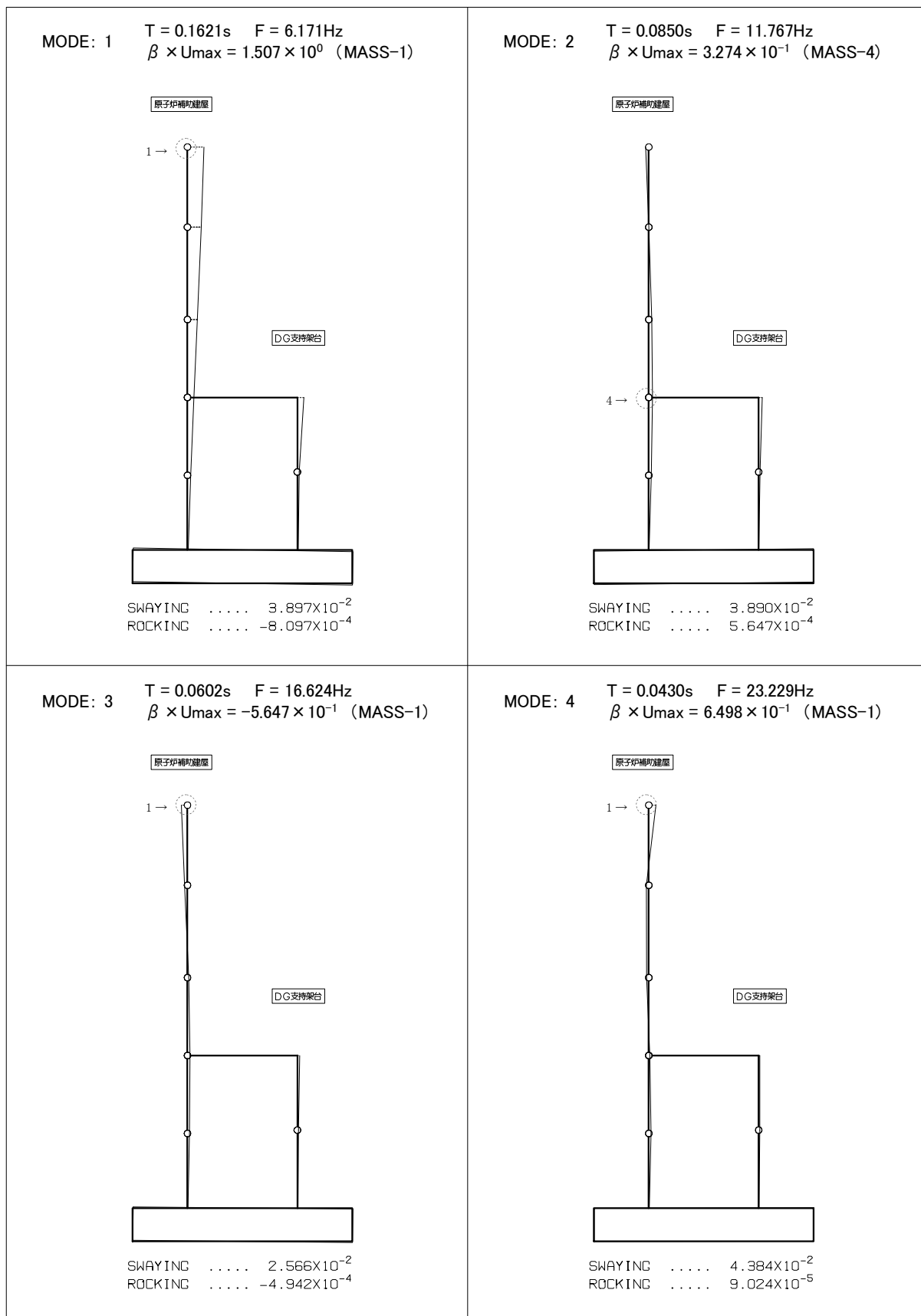


第 4.1-2 図 地震応答解析モデル (水平方向)

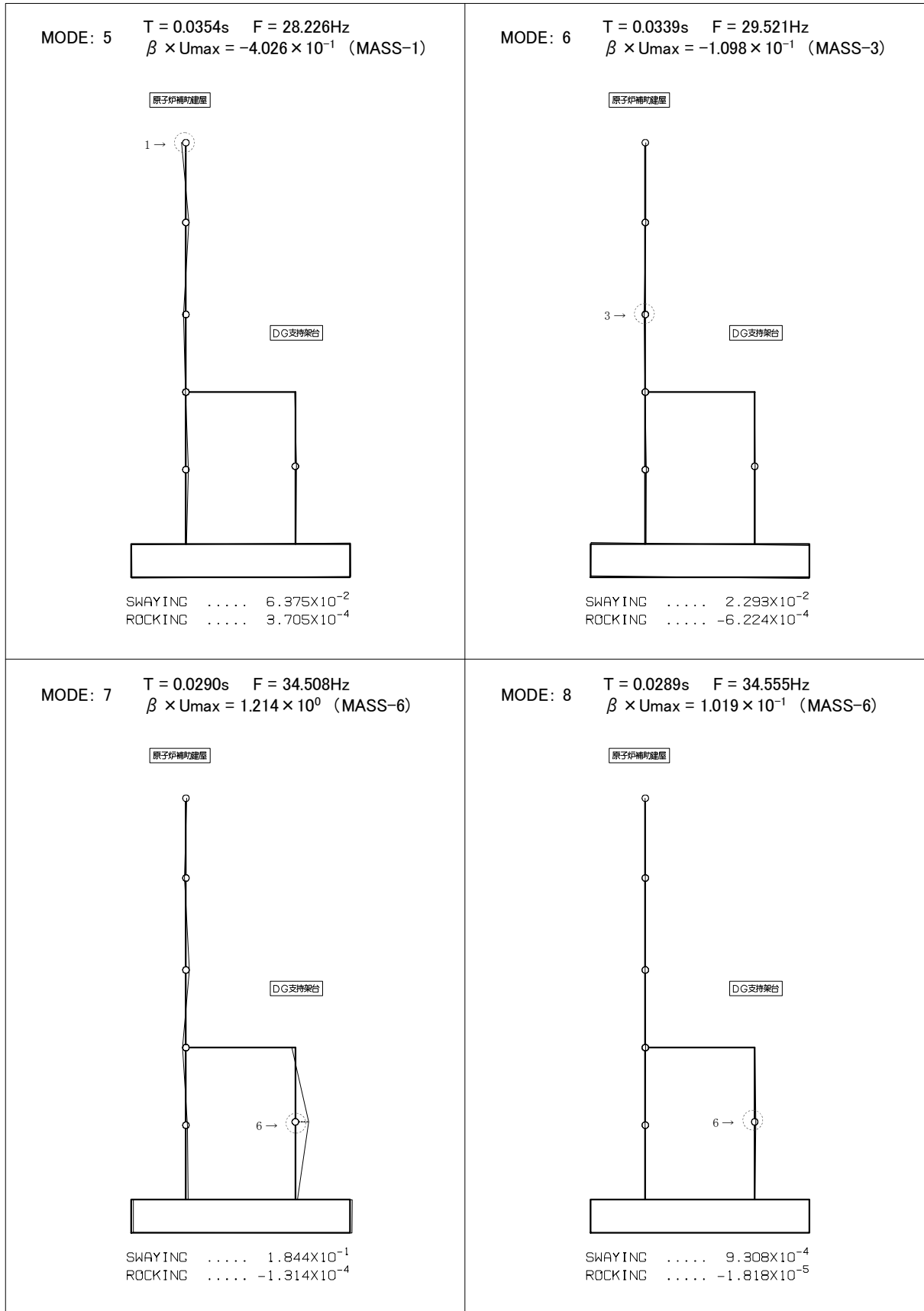
原子炉補助建屋
(A/B)



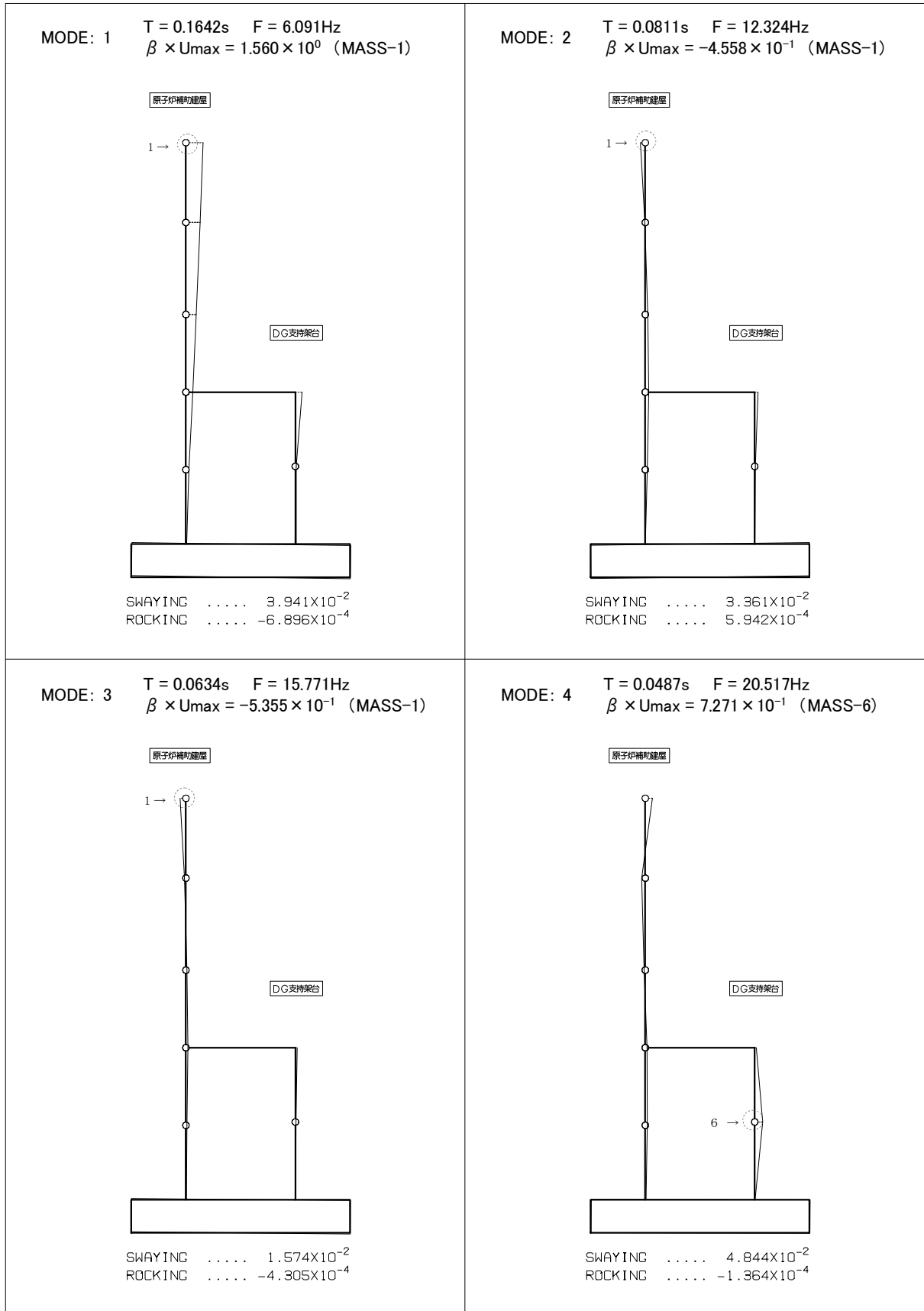
第 4.1-3 図 地震応答解析モデル (鉛直方向)



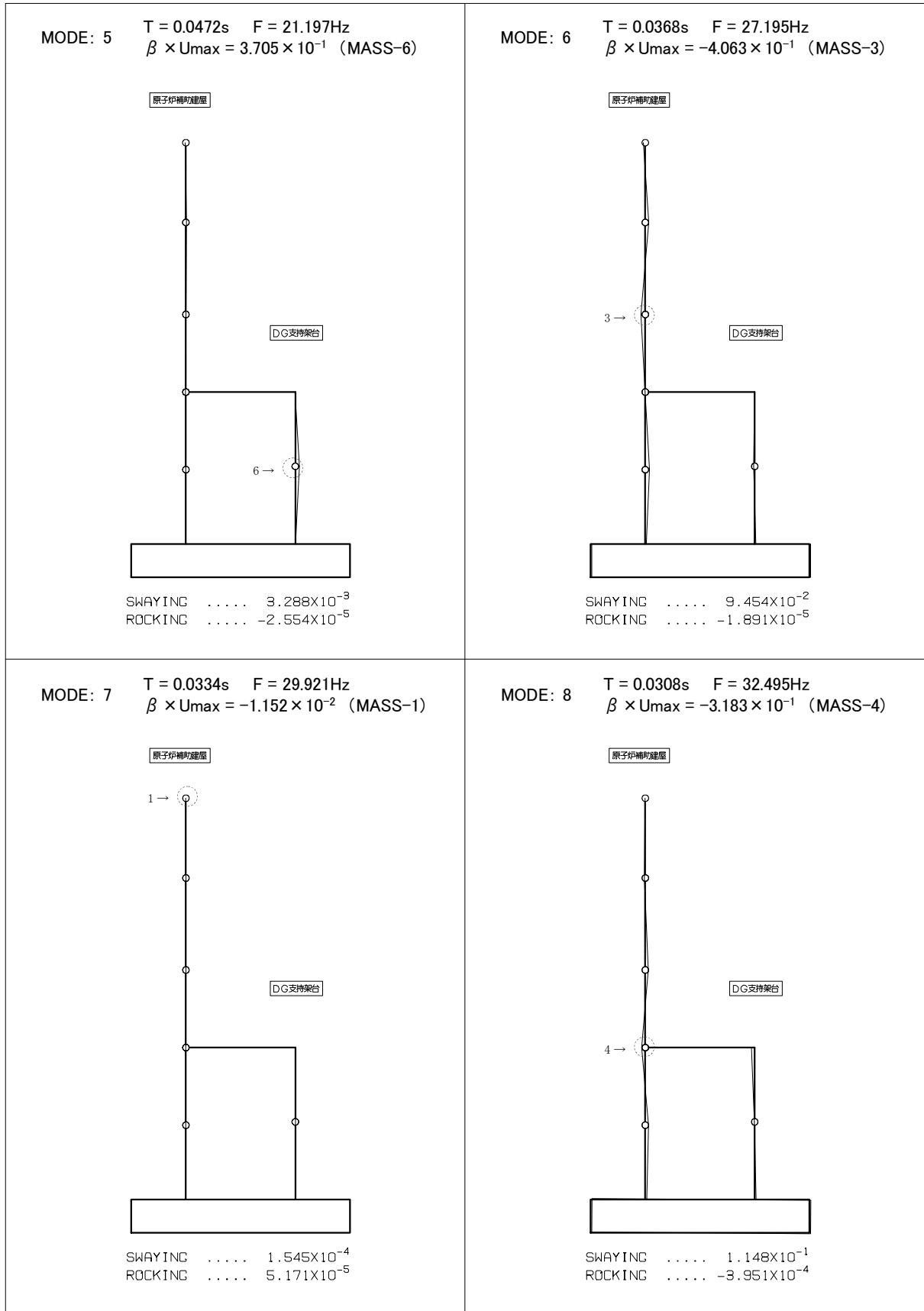
第 4.1-4 図 (1) 刺激関数 (EW 方向 : 1 次 ~ 4 次)



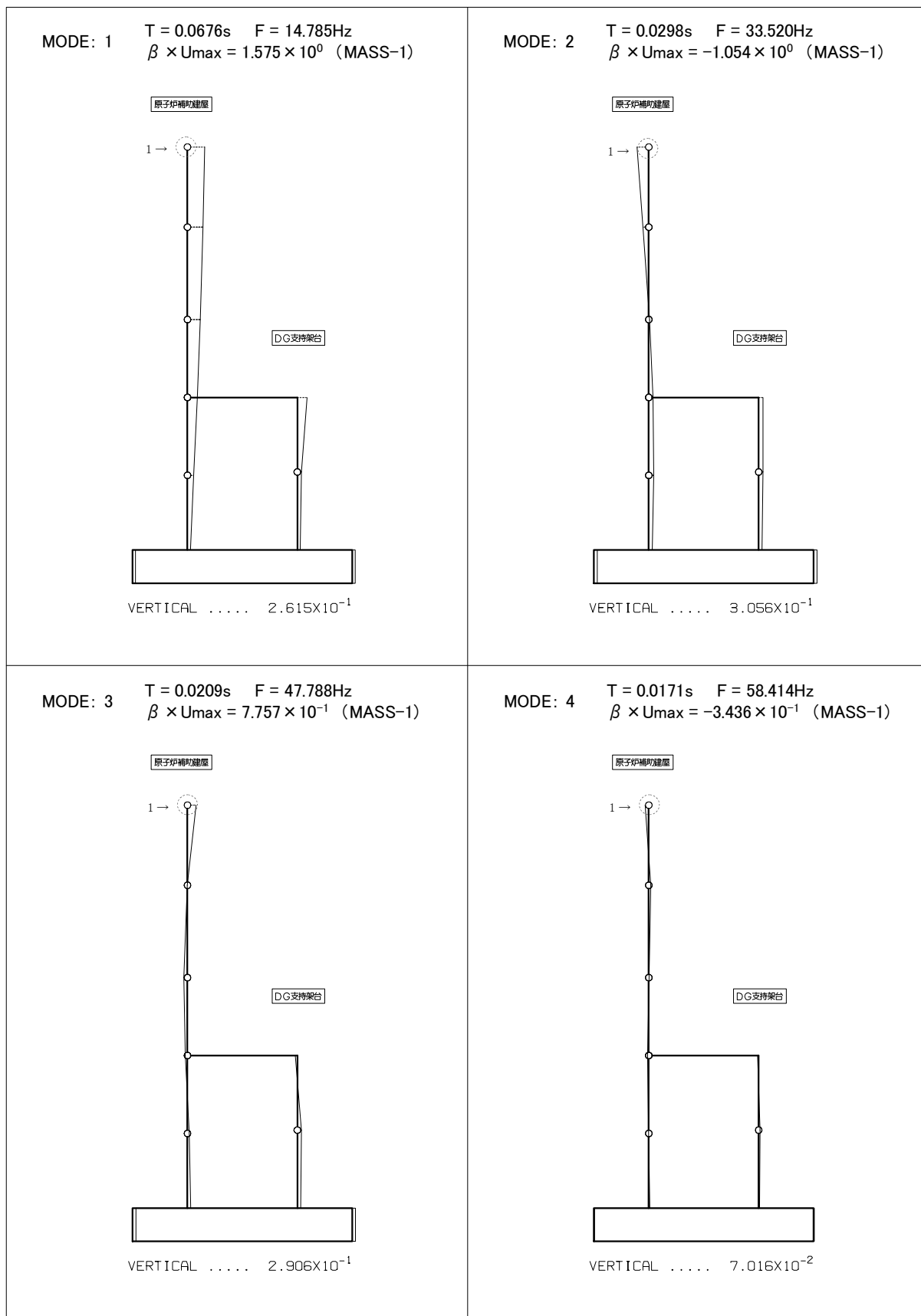
第 4.1-4 図 (2) 刺激関数 (EW 方向 : 5 次 ~ 8 次)



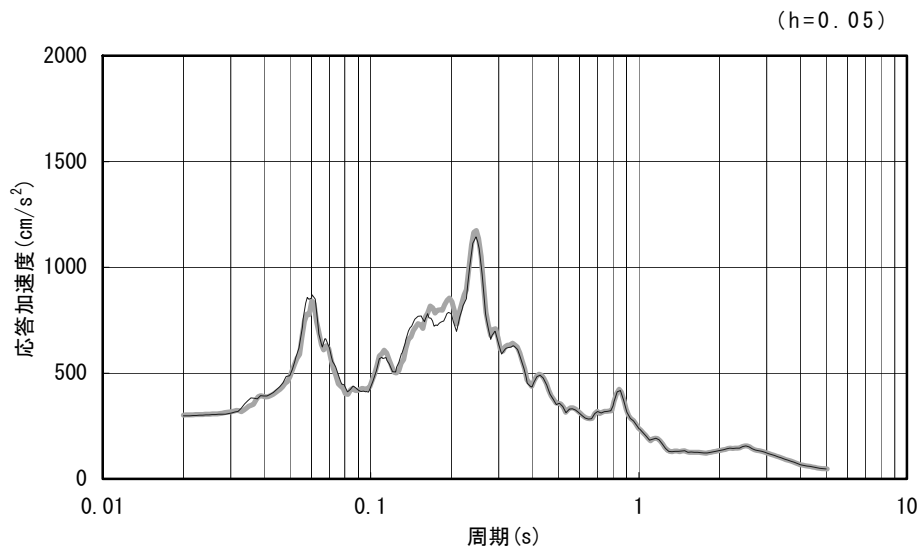
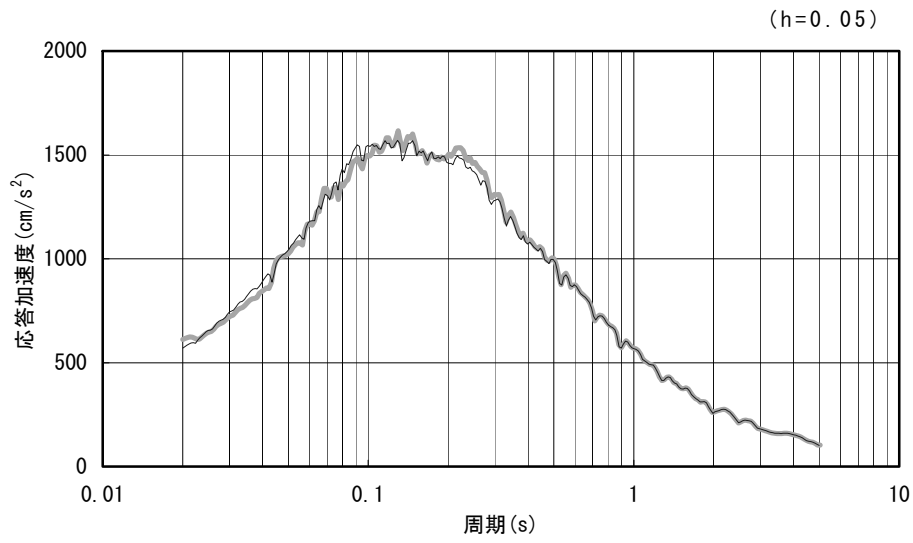
第 4.1-4 図 (3) 刺激関数 (NS 方向 : 1 次 ~ 4 次)



第 4.1-4 図 (4) 刺激関数 (NS 方向 : 5 次 ~ 8 次)

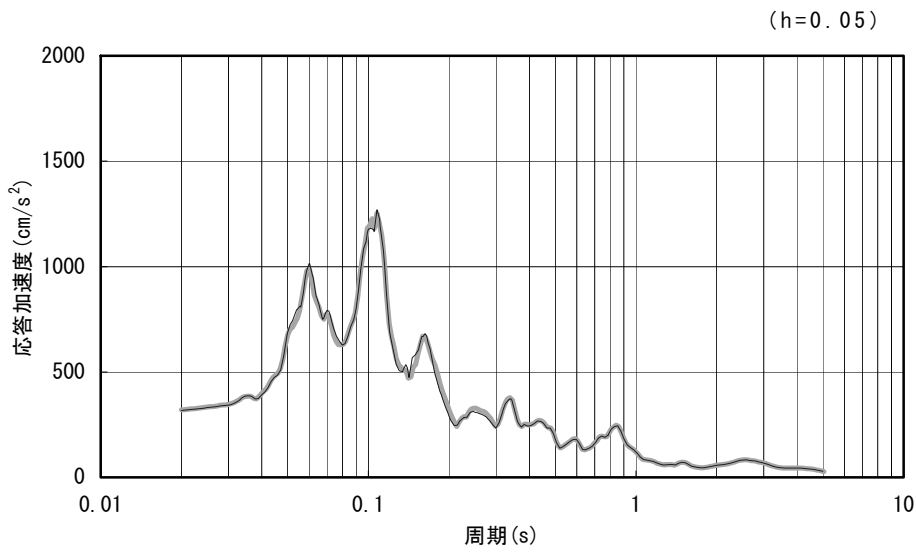
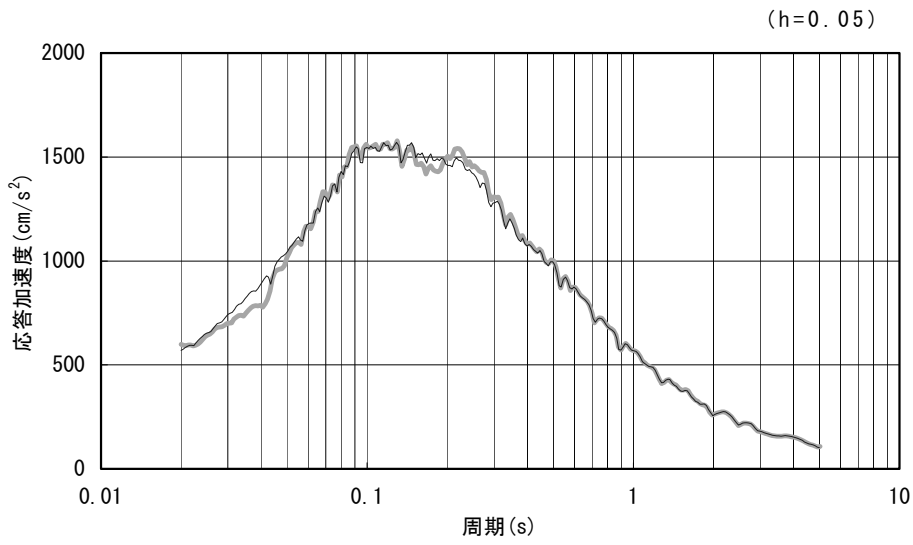


第 4.1-4 図 (5) 刺激関数 (UD 方向 : 1 次 ~ 4 次)



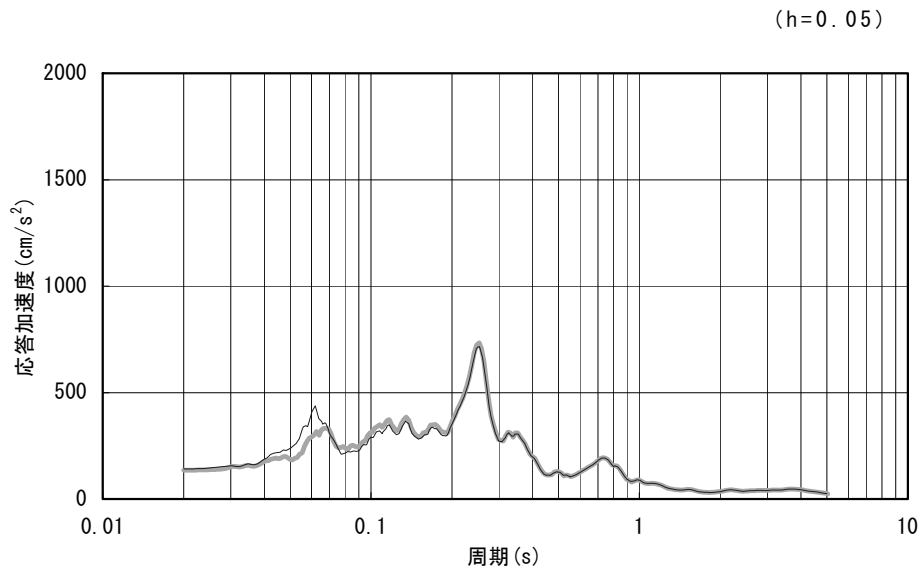
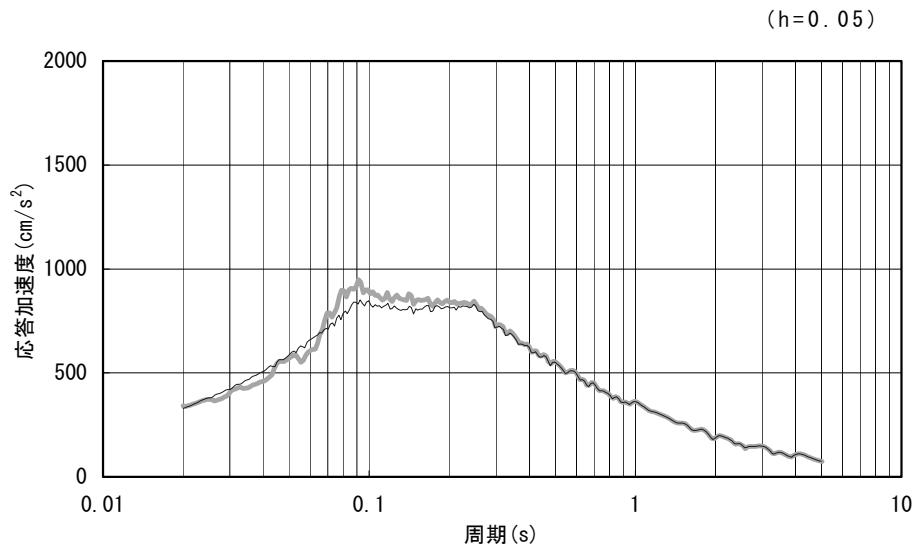
— 基礎版上
 — 入力地震動(基準地震動)

第 4.1-5 図(1) 基礎版上の加速度応答スペクトル(EW 方向)



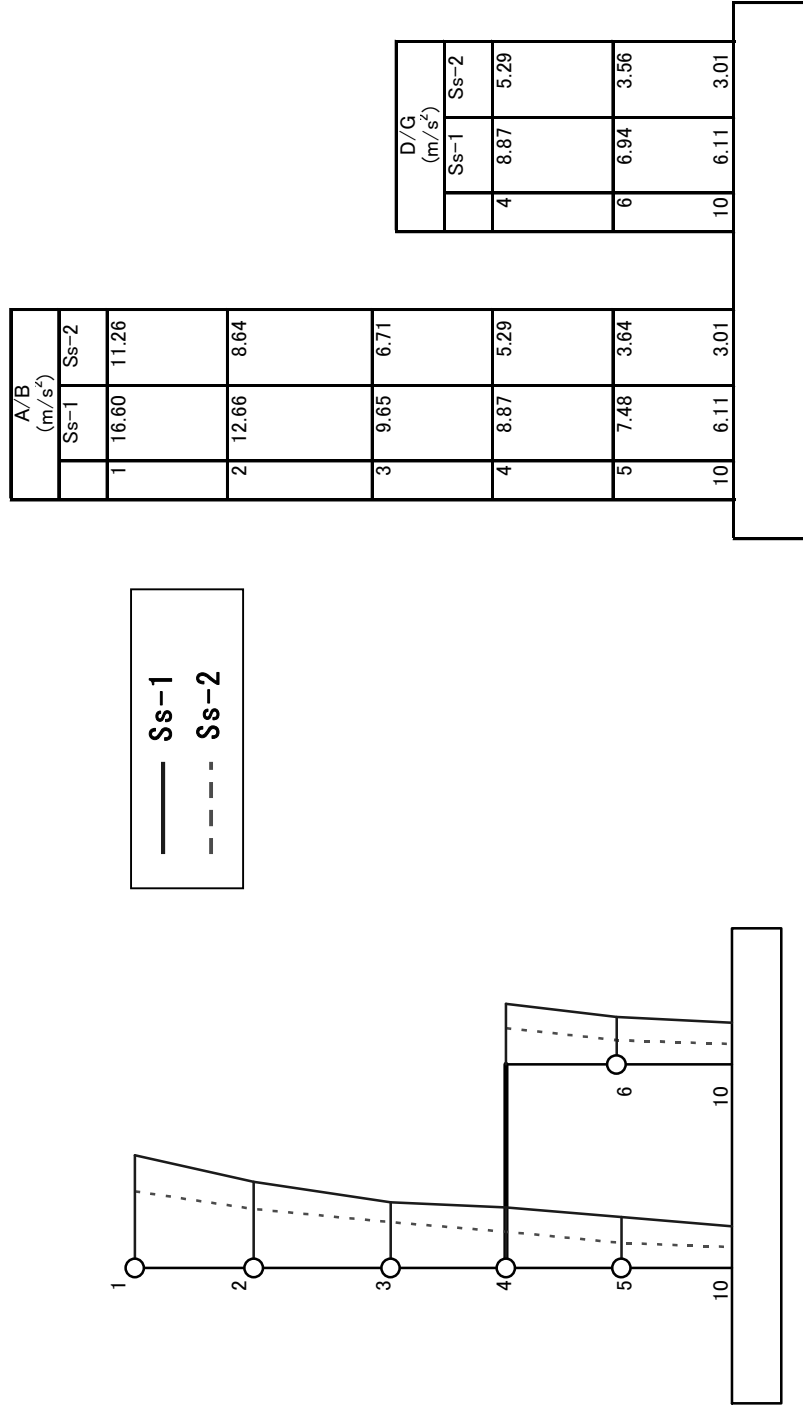
— 基礎版上
 — 入力地震動(基準地震動)

第 4.1-5 図(2) 基礎版上の加速度応答スペクトル(NS 方向)

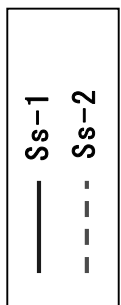
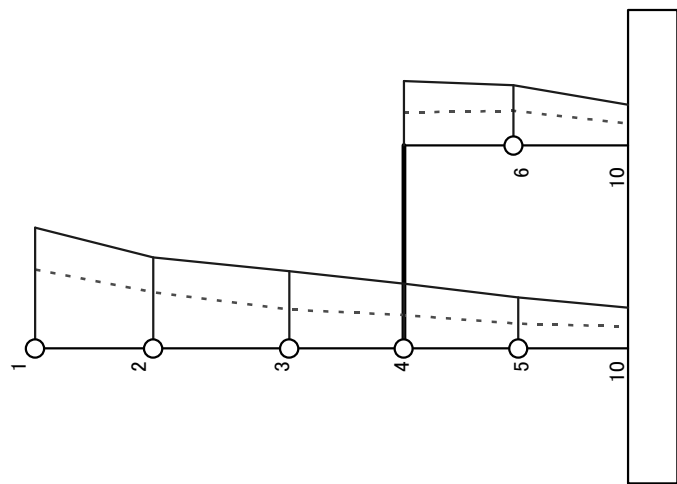


— 基礎版上
 - - - 入力地震動(基準地震動)

第 4.1-5 図(3) 基礎版上の加速度応答スペクトル(UD 方向)



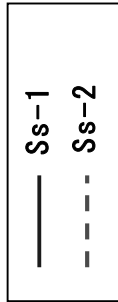
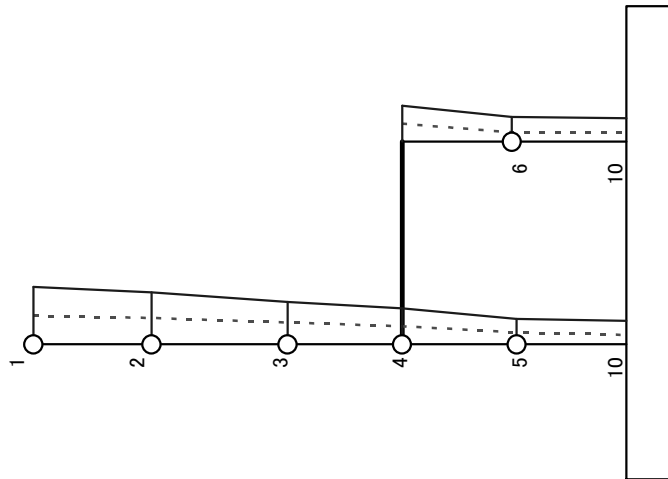
第 4.1-6 图 (1) 最大芯管加速度分布 (EW 方向)



A/B (m/s ²)	
Ss-1	Ss-2
1	11.64
2	8.26
3	5.72
4	4.89
5	3.64
10	3.20

D/G (m/s ²)	
Ss-1	Ss-2
4	4.89
6	5.09
10	3.20

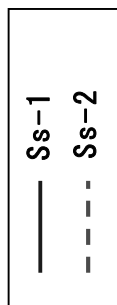
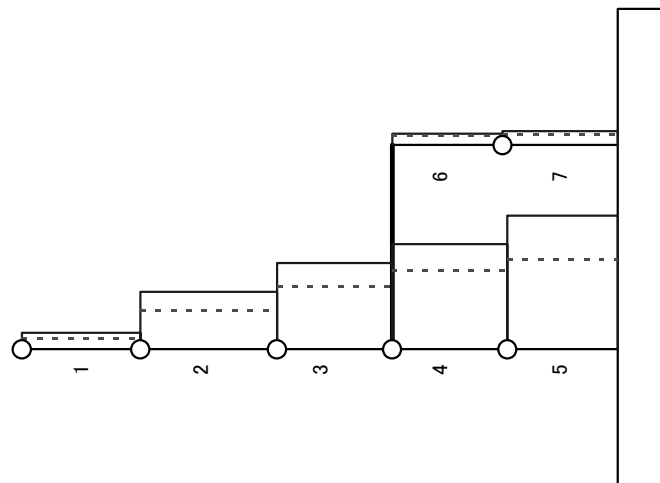
第 4.1-6 图 (2) 最大芯管加速度分布 (NS 方向)



	A/B (m/s ²)	
	Ss-1	Ss-2
1	8.48	4.20
2	7.68	3.85
3	6.26	3.19
4	5.28	2.64
5	3.75	1.73
10	3.43	1.35

	D/G (m/s ²)	
	Ss-1	Ss-2
4	5.28	2.64
6	3.64	1.37
10	3.43	1.35

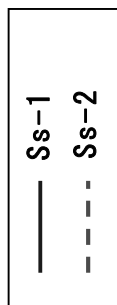
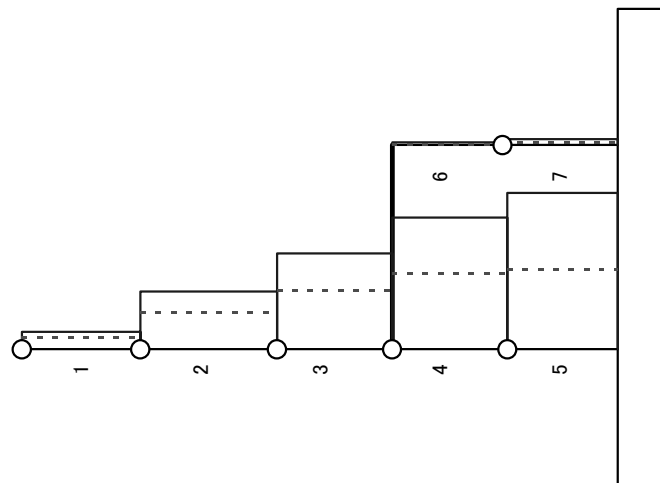
第 4.1-6 图 (3) 最大芯管加速度分布 (UD 方向)



	A/B x 10 ⁴ (kN)	
	Ss-1	Ss-2
1	12.18	8.19
2	42.19	28.67
3	63.31	46.18
4	77.13	57.99
5	98.16	65.98

	D/G x 10 ⁴ (kN)	
	Ss-1	Ss-2
6	8.21	6.67
7	10.19	7.91

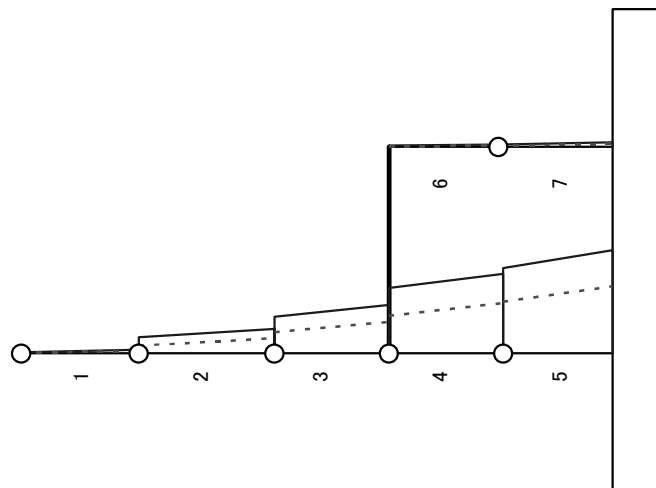
第 4.1-7 图 (1) 最大応答せん断力分布 (EW 方向)



	A/B x 10 ⁴ (kN)	
	Ss-1	Ss-2
1	12.86	8.85
2	42.43	27.21
3	70.48	43.22
4	96.67	55.67
5	114.68	58.89

	D/G x 10 ⁴ (kN)	
	Ss-1	Ss-2
6	1.96	0.50
7	4.29	1.96

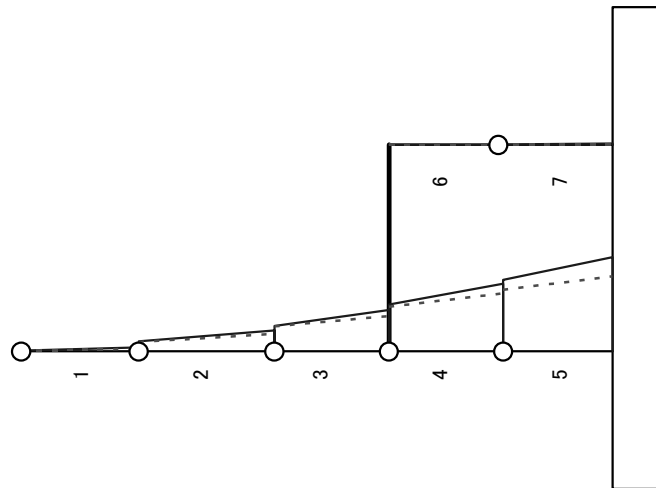
第 4.1-7 图 (2) 最大応答せん断力分布 (NS 方向)



	A/B × 10 ² (kNm)	
	Ss-1	Ss-2
1U	2.46	1.02
1D	10.14	6.56
2U	46.79	22.17
2D	71.55	44.40
3U	106.18	61.59
3D	140.55	92.09
4U	190.43	109.33
4D	231.07	146.91
5U	247.85	150.72
5D	299.52	194.93

	D/G × 10 ² (kNm)	
	Ss-1	Ss-2
6U	3.44	1.92
6D	6.08	3.09
7U	6.16	3.05
7D	12.93	8.21

第 4.1-8 図 (1) 最大応答曲げモーメント分布 (EW 方向)



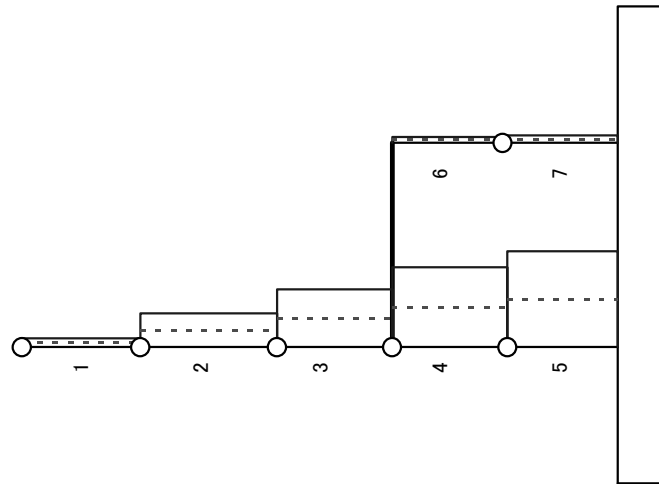
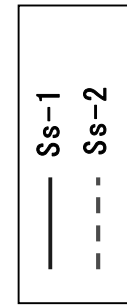
	A/B × 10 ² (kNm)	
	Ss-1	Ss-2
1U	1.84	1.04
1D	11.09	7.26
2U	29.81	28.02
2D	61.07	50.60
3U	74.25	73.04
3D	120.67	103.29
4U	135.98	129.67
4D	196.50	168.64
5U	207.46	179.11
5D	274.27	218.56

	D/G × 10 ² (kNm)	
	Ss-1	Ss-2
6U	0.65	0.17
6D	0.66	0.17
7U	0.72	0.20
7D	3.70	1.46

第 4.1-8 図 (2) 最大応答曲げモーメント分布 (NS 方向)

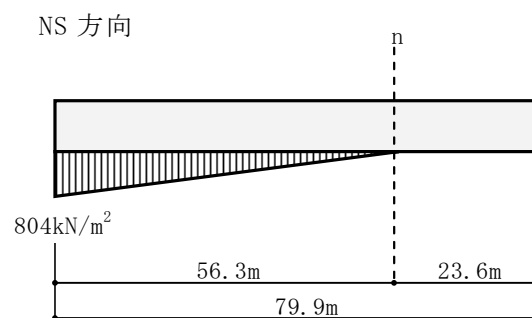
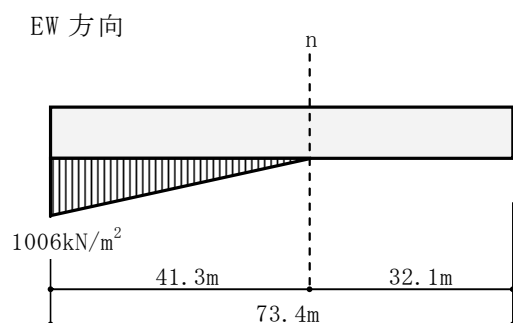
	A/B x 10 ⁴ (kN)	
	Ss-1	Ss-2
1	6.29	3.07
2	24.61	12.13
3	42.19	20.98
4	58.43	29.01
5	70.32	34.52

	D/G x 10 ⁴ (kN)	
	Ss-1	Ss-2
6	4.29	2.13
7	5.42	2.61

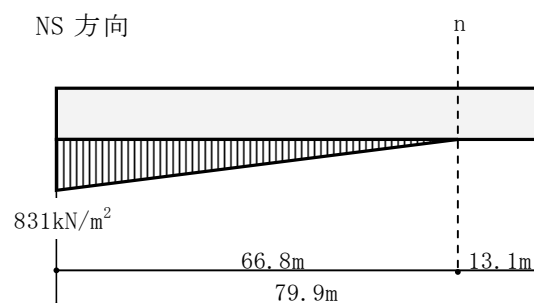
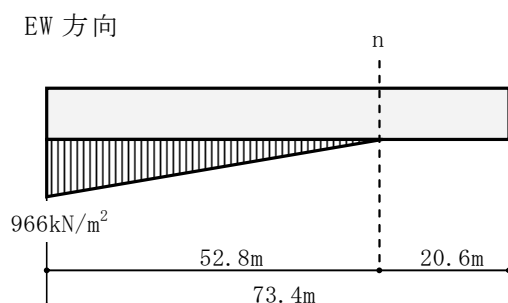


第 4.1-9 图 最大芯筒轴力分布 (UD 方向)

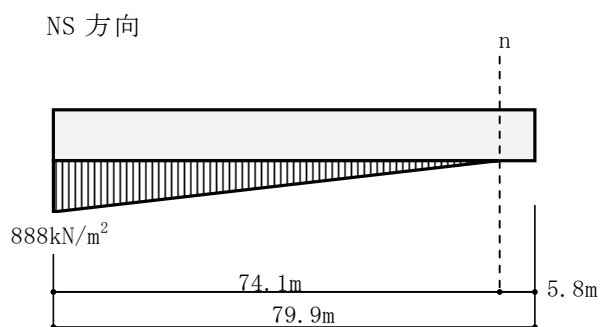
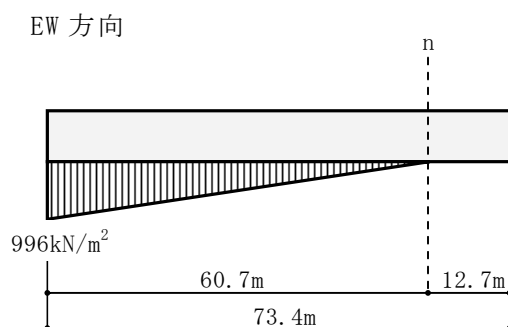
【鉛直地震力を上向きに考慮*した場合】



【鉛直地震力を考慮しない場合】



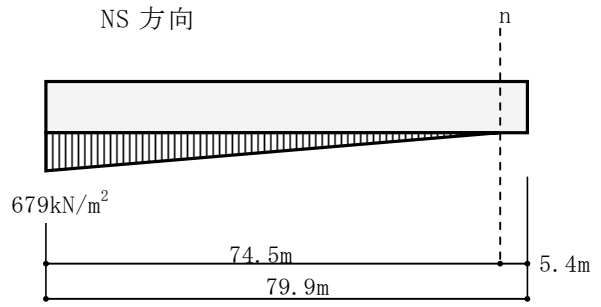
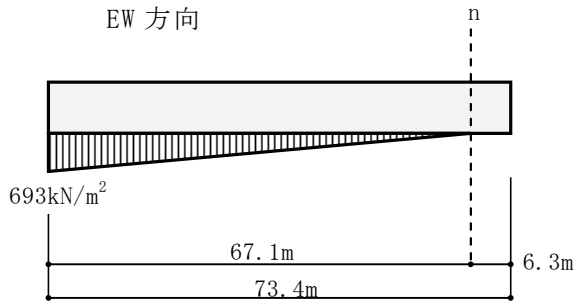
【鉛直地震力を下向きに考慮*した場合】



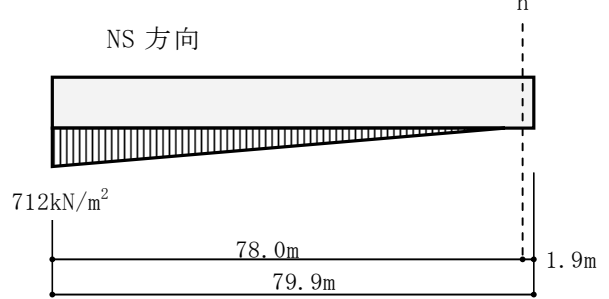
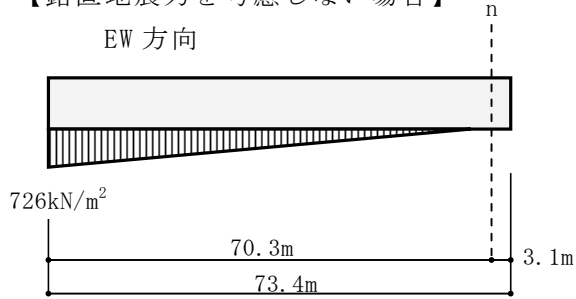
*水平地震力と組み合わせる場合の鉛直地震力は、組合せ係数法(組合せ係数 0.4)により考慮する。

第 4.1-10 図(1) 接地圧(基準地震動 Ss-1)

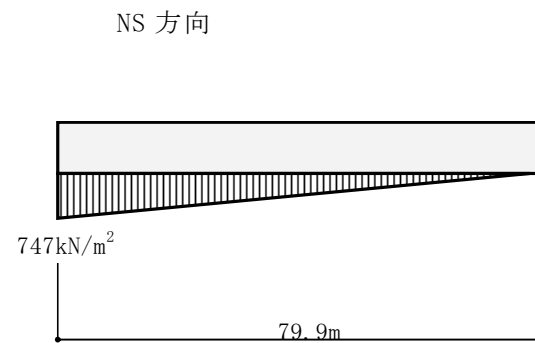
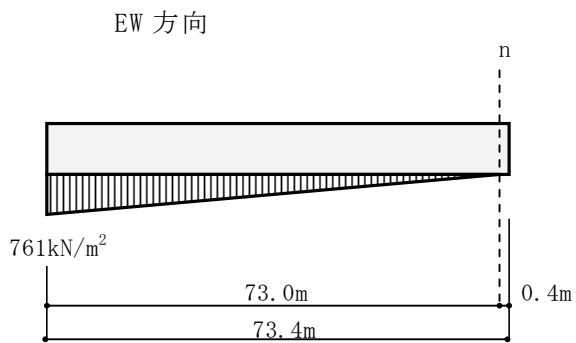
【鉛直地震力を上向きに考慮*した場合】



【鉛直地震力を考慮しない場合】

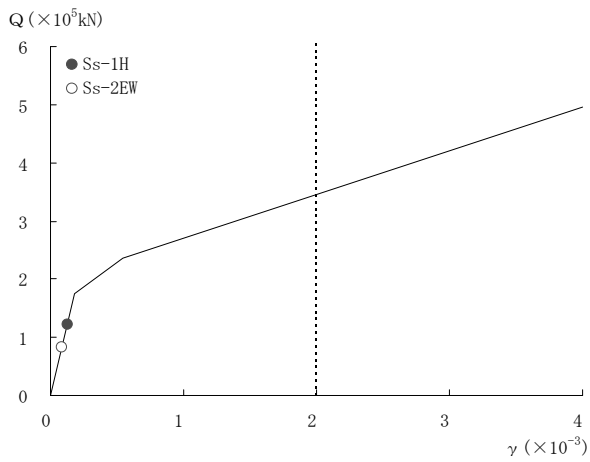


【鉛直地震力を下向きに考慮*した場合】

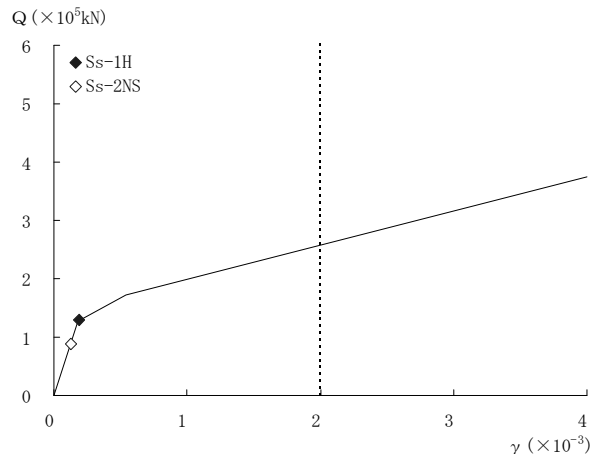


※水平地震力と組み合わせる場合の鉛直地震力は、組合せ係数法(組合せ係数 0.4)により考慮する。

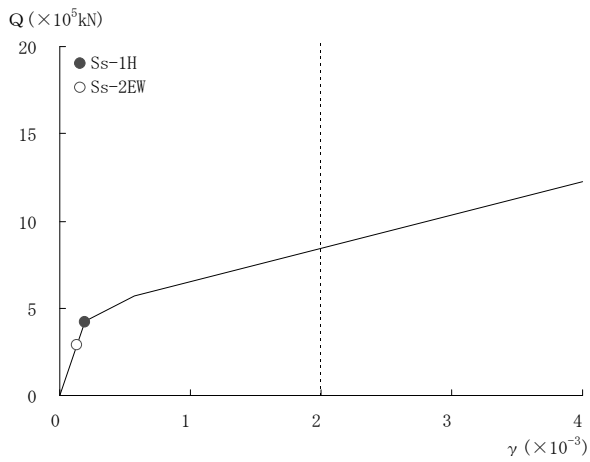
第 4.1-10 図(2) 接地圧(基準地震動 Ss-2)



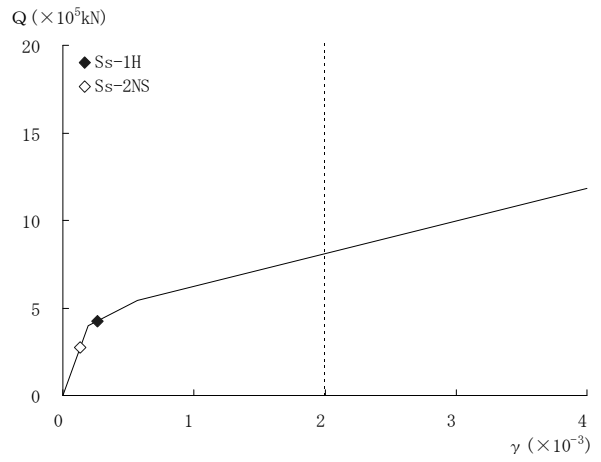
(EW 方向 部材 1)



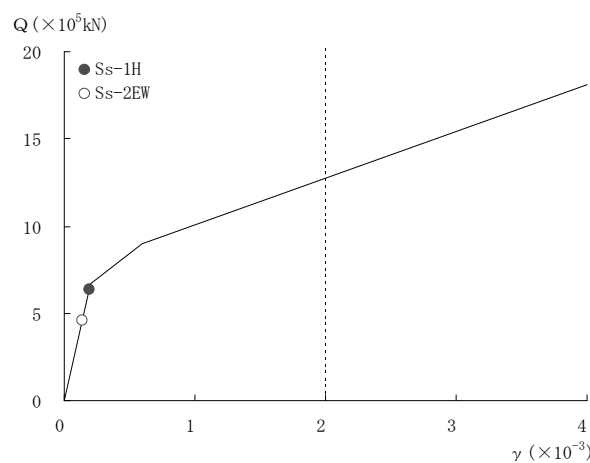
(NS 方向 部材 1)



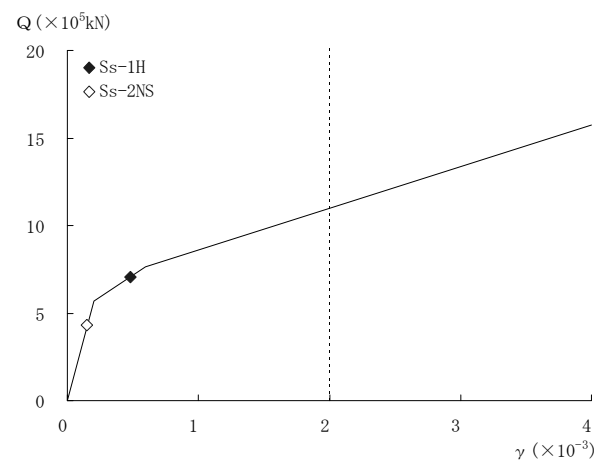
(EW 方向 部材 2)



(NS 方向 部材 2)

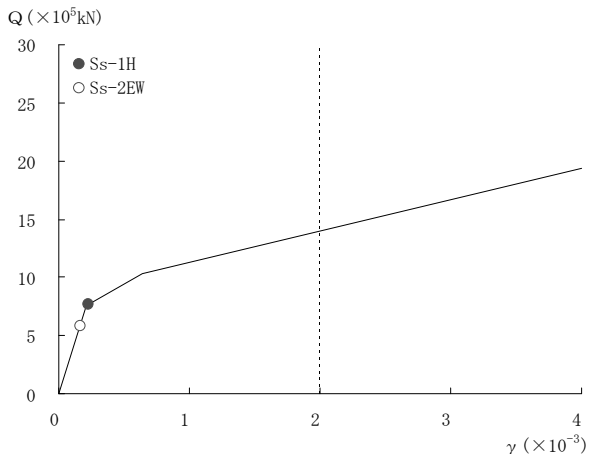


(EW 方向 部材 3)

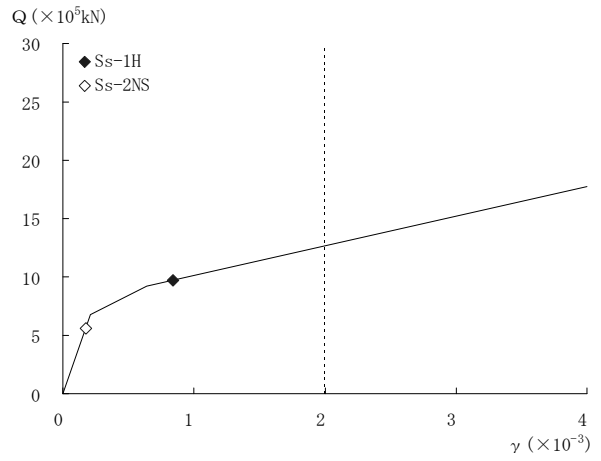


(NS 方向 部材 3)

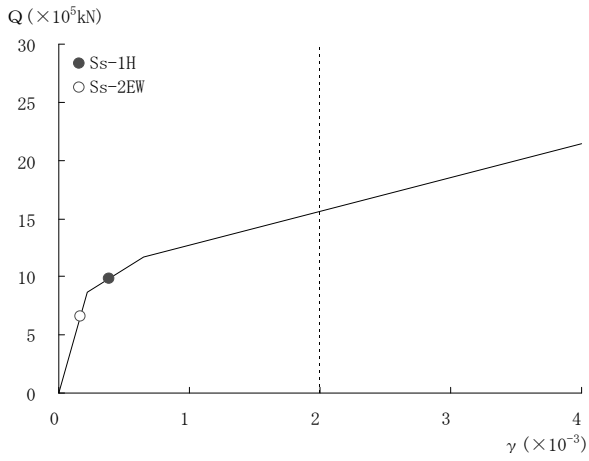
第 4.3-1 図 (1) 最大応答値 (1)



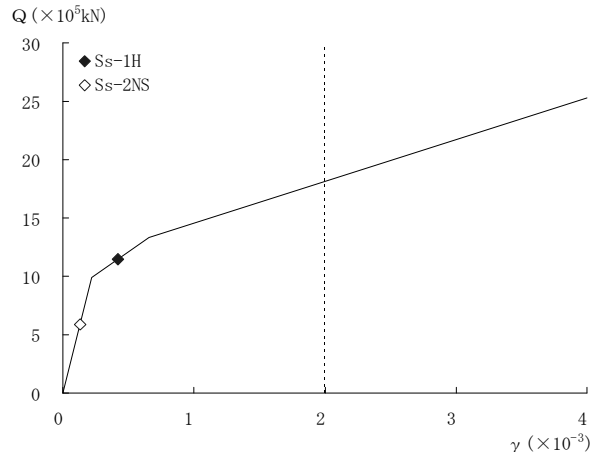
(EW 方向 部材 4)



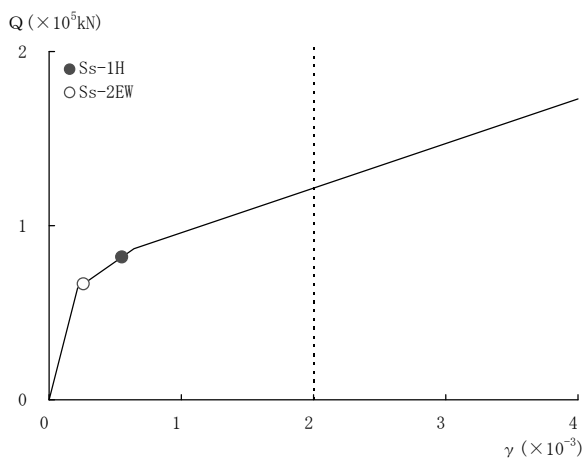
(NS 方向 部材 4)



(EW 方向 部材 5)



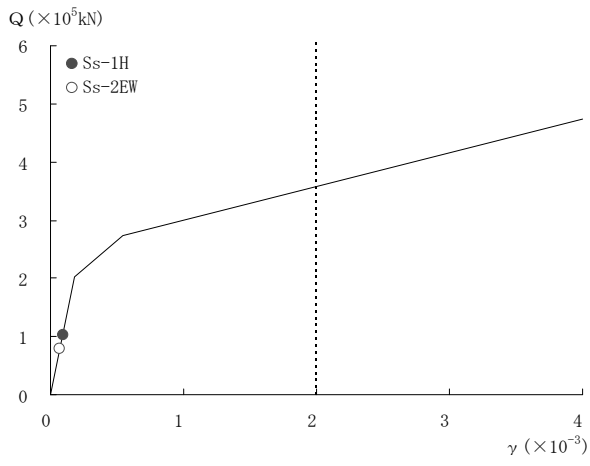
(NS 方向 部材 5)



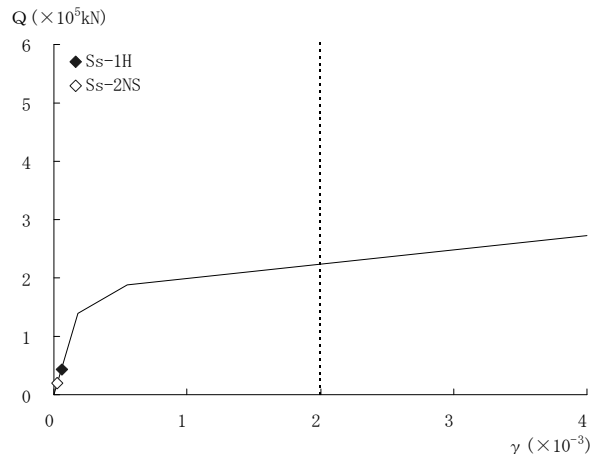
(EW 方向 部材 6)

※(NS 方向 部材 6) は、耐震壁として扱っていないためせん断剛性は考慮していない。

第 4.3-1 図 (2) 最大応答値 (2)



(EW 方向 部材 7)



(NS 方向 部材 7)

第 4.3-1 図 (3) 最大応答値 (3)

耐震安全性評価における各種評価方法について

本資料では，今回の耐震安全性評価において，本文に記載している各種評価方法等についての概要を記載する。

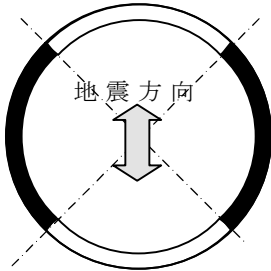
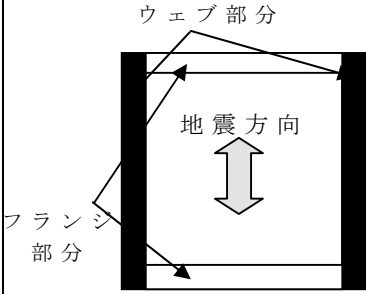
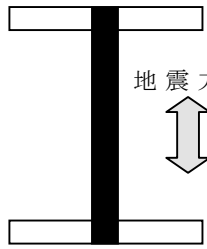
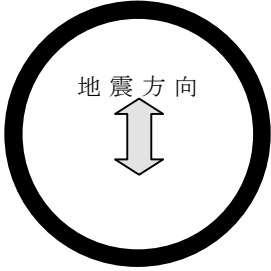
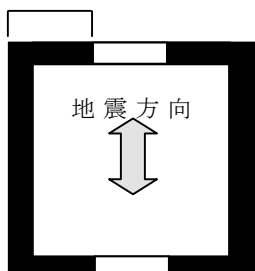
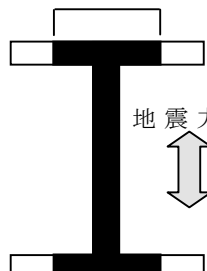
1. 原子炉建屋の質量及び剛性の評価方法

水平及び鉛直方向の地震応答解析モデルは，基礎版上面から立ち上がる質点系の多軸モデルとし，床位置に質量を集中させ耐震壁等の剛性を評価する。

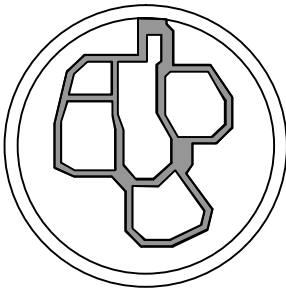
耐震壁の剛性は，壁厚さ 30cm 以上で，下層に壁が存在し，基準階間で連続している壁を基本として評価する。

耐震壁及び内部コンクリートの剛性評価の概要について参考 1.1-1 表，参考 1.1-2 表にそれぞれ示す。

参考 1.1-1 表 耐震壁の剛性評価の概要

	円筒型	ボックス型	内壁
せん断剛性 (せん断断面面積)	 <p>・全断面積 / 形状係数</p>	 <p>・ウェブ壁の断面積</p>	 <p>・ウェブ壁の断面積</p>
曲げ剛性 (断面 2 次モーメント)	 <p>・全断面による断面 2 次モーメント</p>	 <p>・フランジ壁の有効幅を考慮した断面 2 次モーメント</p>	 <p>・直交壁の有効幅を考慮した断面 2 次モーメント</p>
軸剛性 (軸断面面積)	<p>・全断面積</p>	<p>・全断面積</p>	<p>・全断面積</p>

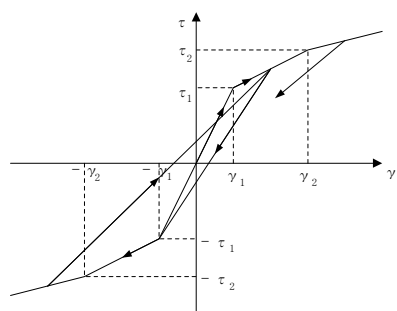
参考 1.1-2 表 内部コンクリートの剛性評価の概要

	内部コンクリート	
せん断剛性 (せん断断面面積)	<p>・各グループの壁をほぼ円筒形とみなし、全断面積を形状係数 ($\kappa=2.0$) で除してせん断断面面積を算出</p>	 <p>断面イメージ</p>
曲げ剛性 (断面 2 次モーメント)	<p>・各グループについて求めた断面 2 次モーメントの総和</p>	
軸剛性 (軸断面面積)	<p>・全断面積</p>	

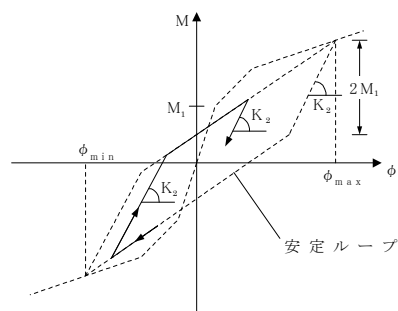
2. 復元力特性の設定方法

建屋及び地盤の復元力特性の設定は、JEAG4601-1991 追補版等の手法による。鉄筋コンクリート造部分、鉄骨造部分及び地盤の回転ばねの復元力特性について、その概念図を参考 1.2-1 図～1.2-3 図にそれぞれ示す。

	スケルトンカーブ	履歴特性
せん断変形 (τ - γ 関係)	トリリニア	<ul style="list-style-type: none"> ・最大点指向型 ・安定ループは面積を持たない
曲げ変形 (M - ϕ 関係)	トリリニア	(第 2 剛性域内) <ul style="list-style-type: none"> ・最大点指向型 ・安定ループは面積を持たない (第 3 剛性域内) <ul style="list-style-type: none"> ・最大点指向型 ・ディグレイディングトリリニア型の安定ループを形成



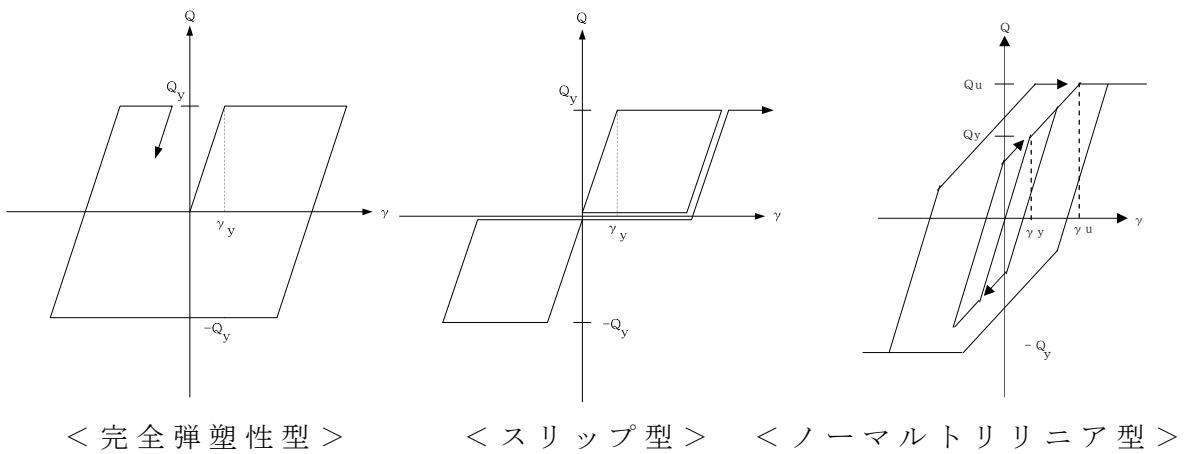
<最大点指向型>



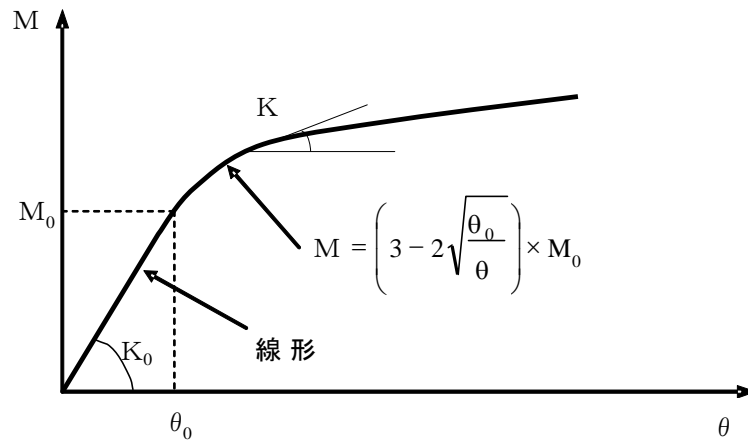
<ディグレイディング型>

参考 1.2-1 図 鉄筋コンクリート造部分の復元力特性の概念図

	スケルトンカーブ	履歴特性
筋かい架構 せん断変形 ($Q-\gamma$ 関係)	トリリニア	<ul style="list-style-type: none"> 完全弾塑性型とスリップ型の混合型
ラーメン架構 せん断変形 ($Q-\gamma$ 関係)	トリリニア	<ul style="list-style-type: none"> ノーマルトリリニア型



参考 1.2-2 図 鉄骨造部分の復元力特性の概念図



ここに,

- M : 転倒モーメント (kN・m)
- M₀ : 浮上り限界転倒モーメント (kN・m)
- θ : 回転角 (rad)
- θ₀ : 浮上り限界回転角 (= $\frac{M_0}{K_0}$)
- K₀ : 回転ばね定数 (kN・m/rad)

履歴特性はループを描かず、骨格曲線上を移動する。

参考 1.2-3 図 地盤の回転ばねの復元力特性の概念図

3. 地震応答解析手法

建屋の地震応答は，(1)式 of 多質点系の振動方程式を Newmark- β 法 ($\beta = 1/4$)を用いた直接積分法により求める。

$$[\mathbf{M}]\{\ddot{\mathbf{x}}\}_t + [\mathbf{C}]\{\dot{\mathbf{x}}\}_t + [\mathbf{K}]\{\mathbf{x}\}_t = -[\mathbf{M}]\{\ddot{\mathbf{y}}\}_t \quad (1)$$

ここに，

$[\mathbf{M}]$: 質量マトリクス
$[\mathbf{C}]$: 減衰マトリクス
$[\mathbf{K}]$: 剛性マトリクス
$\{\ddot{\mathbf{x}}\}_t$: 時刻 t の加速度ベクトル
$\{\dot{\mathbf{x}}\}_t$: 時刻 t の速度ベクトル
$\{\mathbf{x}\}_t$: 時刻 t の変位ベクトル
$\{\ddot{\mathbf{y}}\}_t$: 時刻 t の入力加速度ベクトル

ここで，時刻 $t + \Delta t$ における解を次のようにして求める。なお， Δt は時間メッシュを表す。

$$\{\mathbf{x}\}_{t+\Delta t} = \{\mathbf{x}\}_t + \{\dot{\mathbf{x}}\}_t \Delta t + \left(\frac{1}{2} - \beta\right) \{\ddot{\mathbf{x}}\}_t \Delta t^2 + \beta \{\ddot{\mathbf{x}}\}_{t+\Delta t} \Delta t^2 \quad (2)$$

$$\{\dot{\mathbf{x}}\}_{t+\Delta t} = \{\dot{\mathbf{x}}\}_t + \frac{1}{2} [\{\ddot{\mathbf{x}}\}_t + \{\ddot{\mathbf{x}}\}_{t+\Delta t}] \Delta t \quad (3)$$

$$\{\ddot{\mathbf{x}}\}_{t+\Delta t} = \{\ddot{\mathbf{x}}\}_t + \{\Delta \ddot{\mathbf{x}}\}_{t+\Delta t} \quad (4)$$

(2), (3) 及び (4) 式を (1) 式に代入して整理すると，加速度応答増分ベクトルが次のように求められる。

$$\{\Delta \ddot{\mathbf{x}}\}_{t+\Delta t} = -[\mathbf{A}]^{-1} ([\mathbf{B}] + [\mathbf{M}]\{\Delta \ddot{\mathbf{y}}\}_{t+\Delta t}) \quad (5)$$

ここに，

$$[\mathbf{A}] = [\mathbf{M}] + \frac{1}{2} \Delta t [\mathbf{C}] + \beta \Delta t^2 [\mathbf{K}]$$

$$[\mathbf{B}] = \left(\Delta t [\mathbf{C}] + \frac{1}{2} \Delta t^2 [\mathbf{K}] \right) \{\ddot{\mathbf{x}}\}_t + \Delta t [\mathbf{K}] \{\dot{\mathbf{x}}\}_t$$

$$\{\Delta \ddot{\mathbf{y}}\}_{t+\Delta t} = \{\ddot{\mathbf{y}}\}_{t+\Delta t} - \{\ddot{\mathbf{y}}\}_t \quad : \text{入力加速度増分ベクトル}$$

(5) 式を (2), (3) 及び (4) 式に代入することにより，時刻 $t + \Delta t$ の応答が時刻 t の応答から求められる。

(1) 剛性マトリクス

地震応答解析における剛性マトリクスは，建屋の剛性マトリクスに地盤ばねの剛性マトリクスを加えて作成する。なお，地盤ばねを考慮する質点を添字 c で，それ以外の質点を添字 s で示す。

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{ss} & K_{sc} \\ K_{cs} & K_{cc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & K_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} K_{ss} & K_{sc} \\ K_{cs} & K_{cc} \end{bmatrix} : \text{建屋の剛性マトリクス}$$

$$[K_c] : \text{地盤ばねの剛性マトリクス}$$

なお，建屋の剛性マトリクスは，時刻毎に各部材の復元力特性の状態を判定しつつ，その状態での剛性勾配を用いて更新する。また，底面回転ばねの剛性は，時刻毎に基礎浮上り非線形性を考慮して更新する。

(2) 減衰マトリクス

建屋－地盤連成系としての減衰マトリクスの評価法を第 1.3-1 図に示す。地震応答解析における減衰マトリクスは，建屋の減衰マトリクスに地盤ばねの減衰マトリクスを加えて作成する。なお，地盤ばねを考慮する質点を添字 c で，それ以外の質点を添字 s で示す。

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{ss} & C_{sc} \\ C_{cs} & C_{cc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & C_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} C_{ss} & C_{sc} \\ C_{cs} & C_{cc} \end{bmatrix} : \text{建屋の減衰マトリクス} \quad (1)$$

$$[C_c] : \text{地盤ばねの減衰マトリクス} \quad (2)$$

① 建屋の減衰マトリクス

地盤ばねに与える減衰を除いた建屋のモード減衰定数 ${}_i h$ は， i 次振動モードにおける各部材のひずみエネルギーに比例するものとして，次式で求める。

$${}_i h = \frac{\sum_j (h^j \cdot E_i^j)}{\sum_j E_i^j}$$

h^j : j 部材の減衰定数 (鉄筋コンクリート部材5%,鉄骨部材2%等)

$$E_i^j = \frac{1}{2} \{\phi_i^j\}^T [k^j] \{\phi_i^j\}$$

$[k^j]$: j 部材の剛性マトリクス

$\{\phi_i^j\}$: i 次振動モードにおける j 部材の材端変位ベクトル

モード減衰に等価な建屋の減衰マトリクスは，各次モード減衰定数 h_i と固有モードベクトルを用い，次式により求める。

$$\begin{bmatrix} C_{SS} & C_{SC} \\ C_{CS} & C_{CC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix}^T \left(\sum_i \{\phi_i\} \eta_i \{\phi_i\}^T \right) \begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix}$$

$$\eta_i = \frac{2_i h \cdot \omega_i}{\{\phi_i\}^T \begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} \{\phi_i\}}$$

$$\begin{bmatrix} M_s & 0 \\ 0 & M_c \end{bmatrix} \quad : \text{質量マトリクス}$$

② 地盤ばねの減衰マトリクス

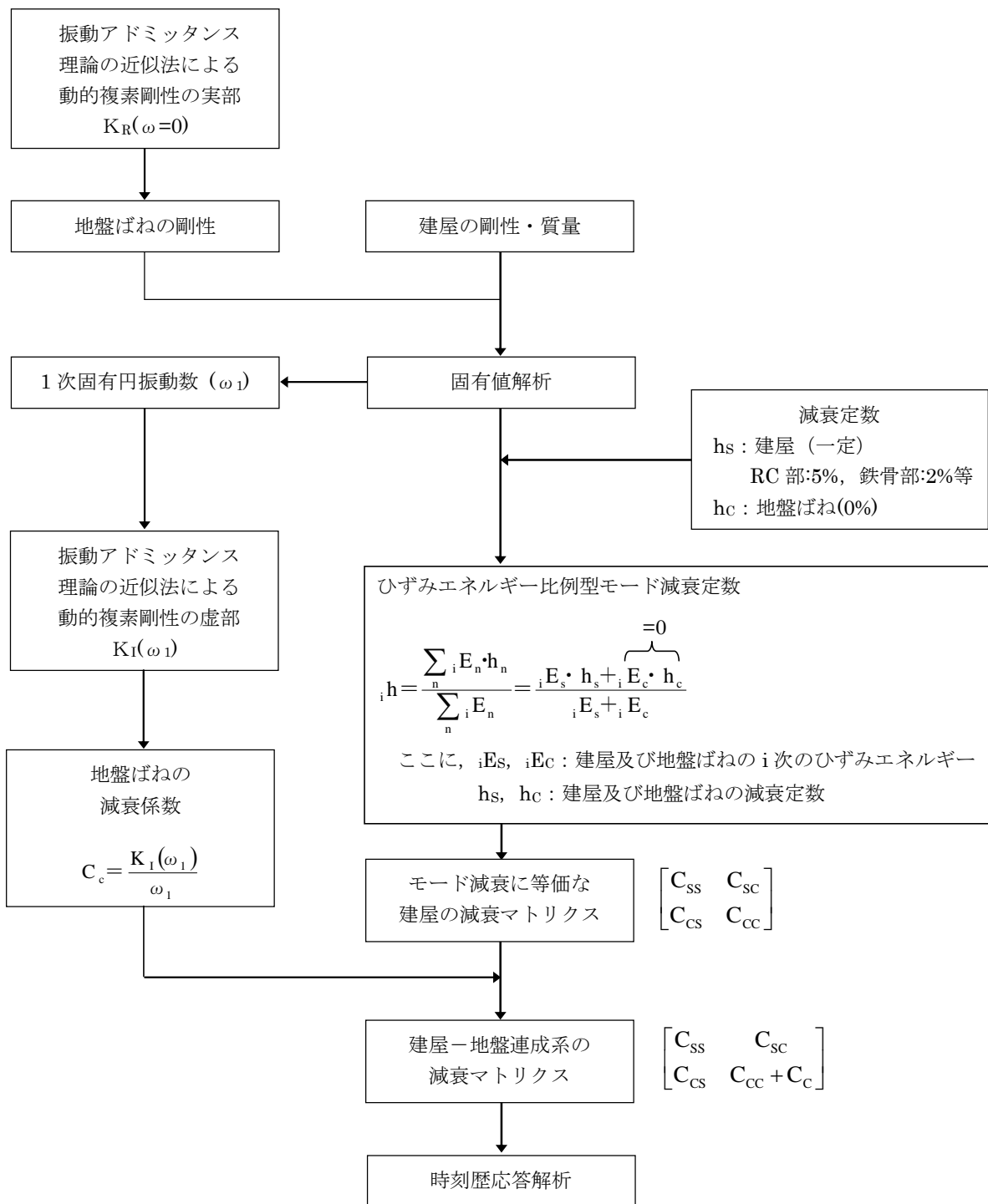
地盤ばねの減衰マトリクスは，JEAG4601-1991 に基づき，次式により減衰係数を求め作成する。

$$C_c = \frac{K_1(\omega_1)}{\omega_1}$$

$K_1(\omega_1)$: 1次固有円振動数 ω_1 における虚部の値

ω_1 : 建屋-地盤連成系の1次固有円振動数

なお，建屋の減衰マトリクスは，初期剛性に基づき作成し一定とする。また，底面回転ばねの減衰係数は，時刻毎に基礎浮上り非線形性を考慮し，底面回転ばねの剛性に応じて更新する。



第 1.3-1 図 建屋-地盤連成系の減衰マトリクスの評価法

工事計画認可申請時との対応について

本資料では，以下の項目について，今回の耐震安全性評価と工事計画認可申請時との対応を記載する。

1. 評価手法及び解析条件

工事計画認可申請時との比較を参考 2.1-1 表に，具体的な今回モデルへの反映事項を参考 2.1-2 表に示す。

今回の耐震安全性評価における原子炉建屋の地震応答解析モデルは，工事計画認可申請時のモデルを基に最新基準等を反映したモデルとしている。

参考 2.1-1 表 工事計画認可申請時との比較

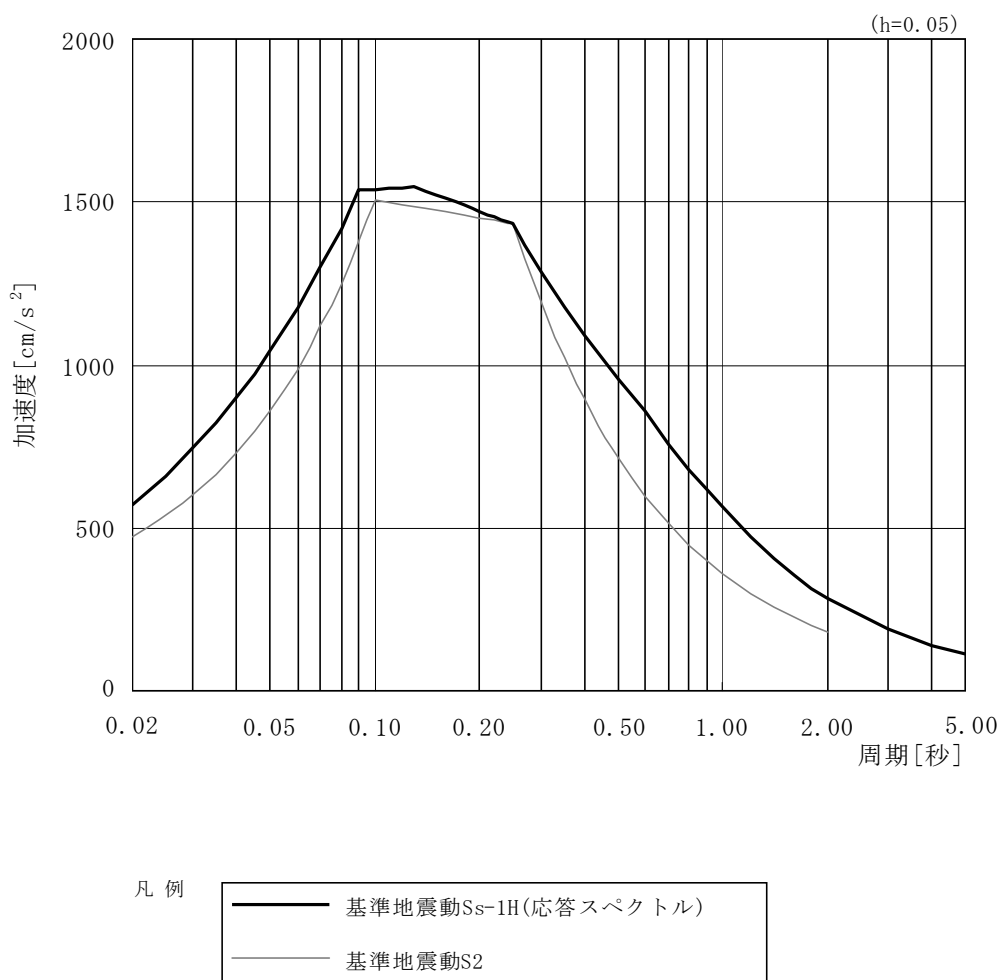
項目	内容	工事計画認可申請時	今回評価時	備考
入力地震動	入力地震動の算定法	基準地震動を直接入力	同左	—
建屋のモデル化	モデル	質点系多軸モデル	同左	①
	材料物性	各種規準による値を採用	同左	
	剛性評価	耐震壁を考慮	同左	
	減衰定数	R C : 5 % , S : 2 %	同左	
地盤のモデル化	底面ばね	水平及び回転ばねを考慮	同左	②
	側面ばね	考慮せず	同左	—
非線形特性	耐震壁及び鉄骨	一部に非線形特性を設定	同左	③
	底面ばね	非線形特性を設定	同左	

参考 2.1-2 表 今回モデルへの反映事項 (参考 2.1-1 表の備考欄に対応)

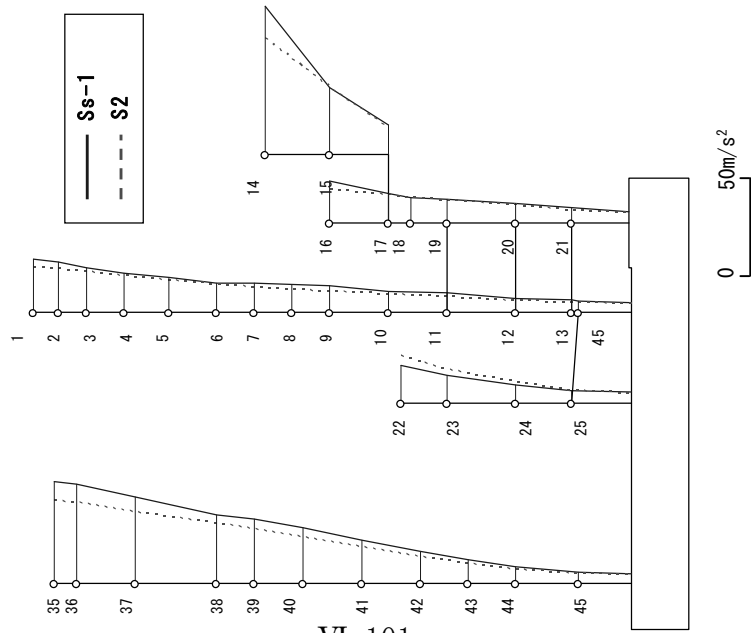
項目	反映事項
①	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建屋モデルにおける I/C 周辺のモデル化については、重機器を別途ループ解析により評価すること等をふまえ、蒸気発生器 (S/G) のみを連成した。また、SG ウォール部については鋼板の剛性を反映した。 ・ 蒸気発生器及び原子炉格納容器の物性値を「発電用原子力設備規格設計・建設基準 (JSME)2005」に基づき変更した。 ・ コンクリートのヤング係数及びせん断弾性係数を「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(1999 年日本建築学会)に基づき再評価した。
②	地盤ばねを「原子力発電所耐震設計技術指針」(日本電気協会 JEAG4601-1991 追補版(以下「JEAG4601-1991」)に基づき再評価した。
③	・ 非線形特性を JEAG4601-1991 に基づき再評価した。また、内部コンクリート及び原子炉周辺補機棟は新たに非線形特性を設定した。

2. 地震応答解析結果

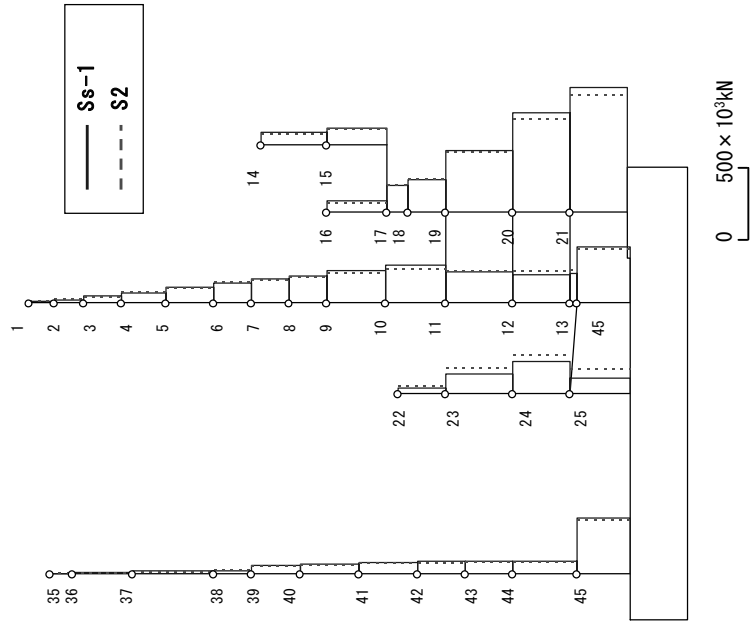
基準地震動 S_{s-1H} 及び基準地震動 S_2 の応答スペクトルを参考 2.2-1 図に示す。また、基準地震動 S_{s-1H} による最大応答値と基準地震動 S_2 による工事計画認可申請時の最大応答値との比較を参考 2.2-2 図に示す。



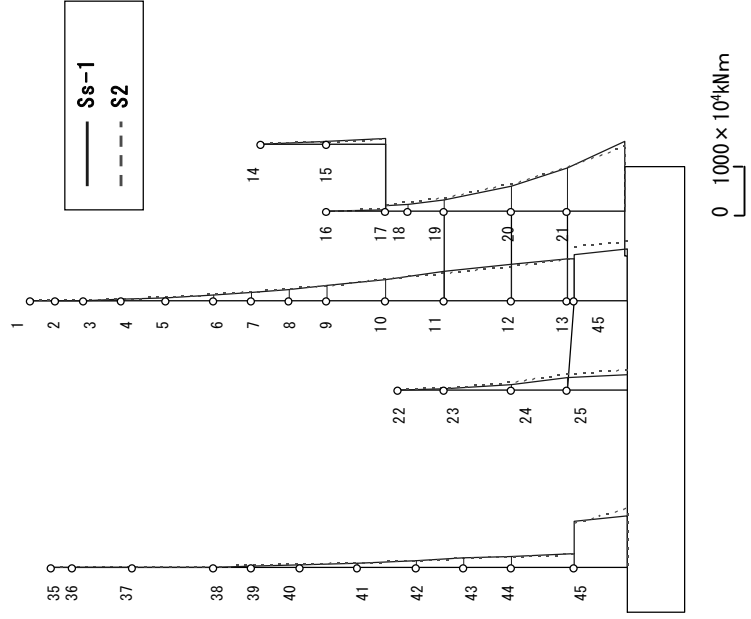
参考 2.2-1 図 基準地震動 S_{s-1H} 及び S_2 の応答スペクトル



(最大応答加速度分布)

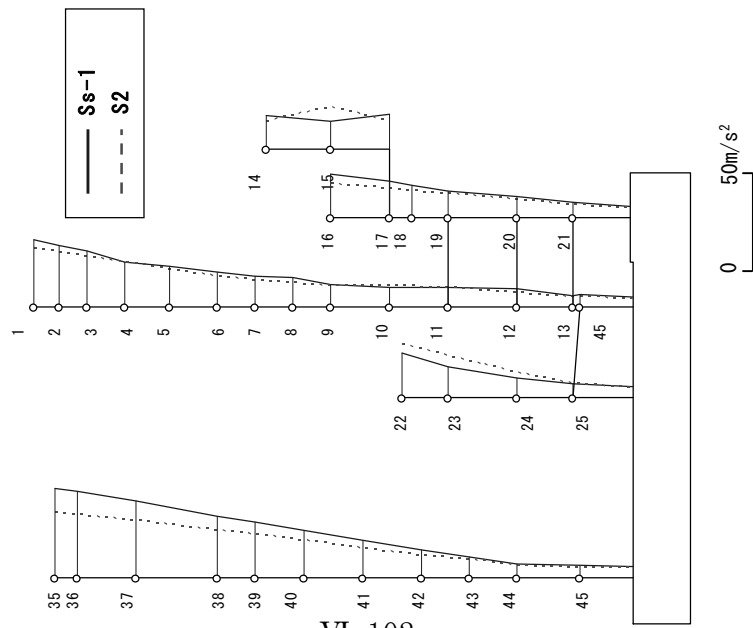


(最大応答せん断力分布)

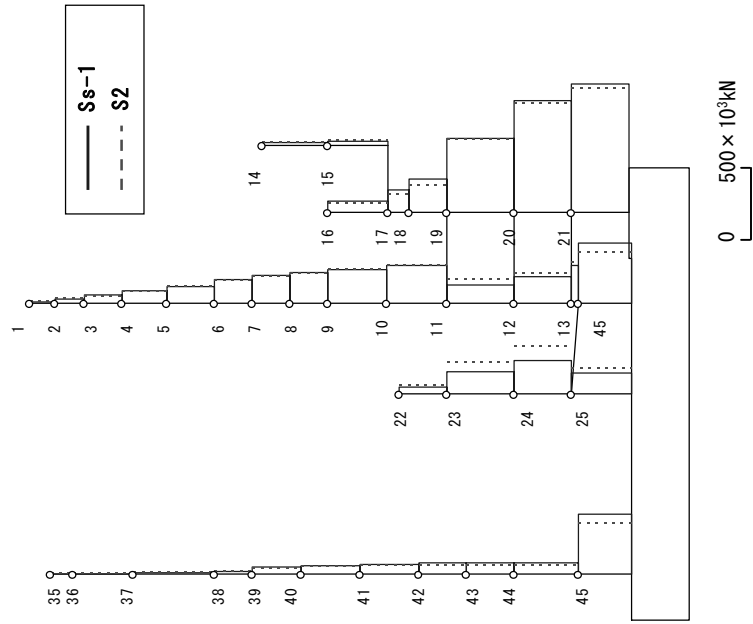


(最大応答曲げモーメント分布)

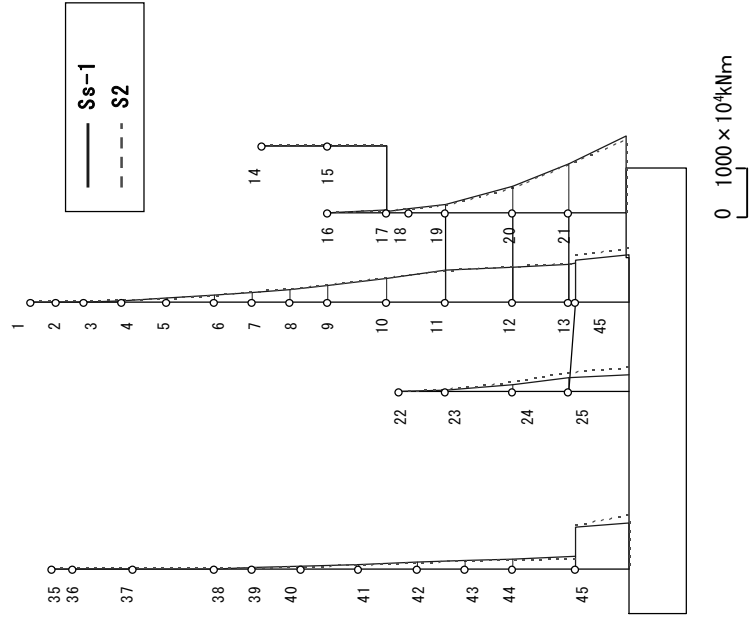
参考 2.2-2 図(1) 基準地震動 Ss-1H 及び S₂ による応答分布 (EW 方向)



(最大応答加速度分布)



(最大応答せん断力分布)

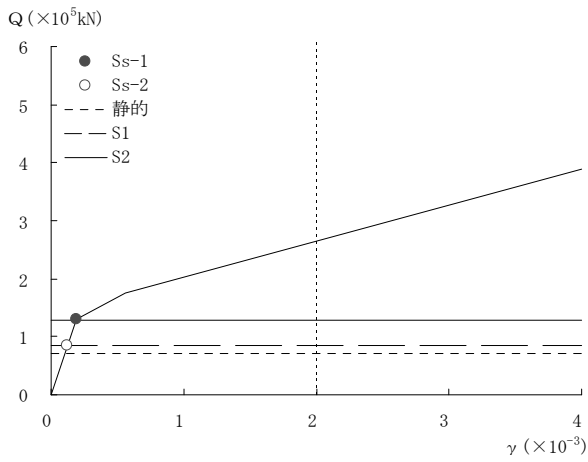


(最大応答曲げモーメント分布)

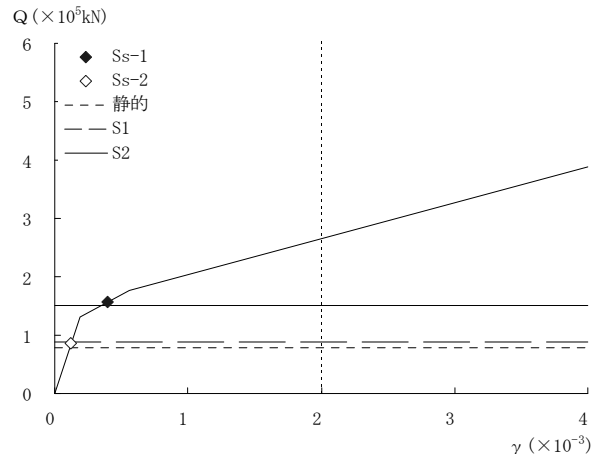
参考 2.2-2 図(2) 基準地震動 Ss-1H 及び S₂ による応答分布 (NS 方向)

3. 各種地震力の比較

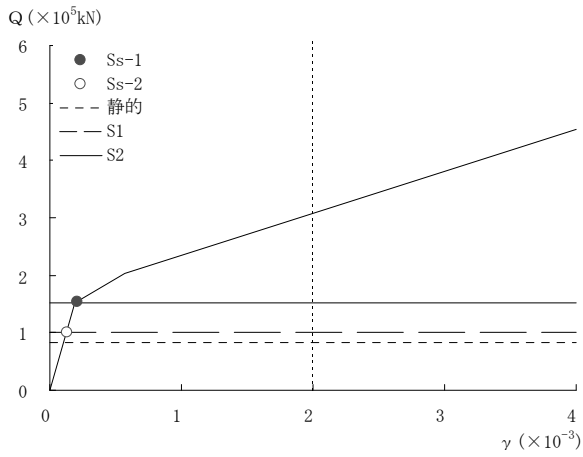
耐震壁のせん断スケルトンカーブ上に、基準地震動 S_s による最大応答値のプロットと合わせ、工事計画認可申請時の基準地震動 S_1 、 S_2 による最大応答せん断力及び静的地震力のレベルを参考 2.3-1 図に示す。



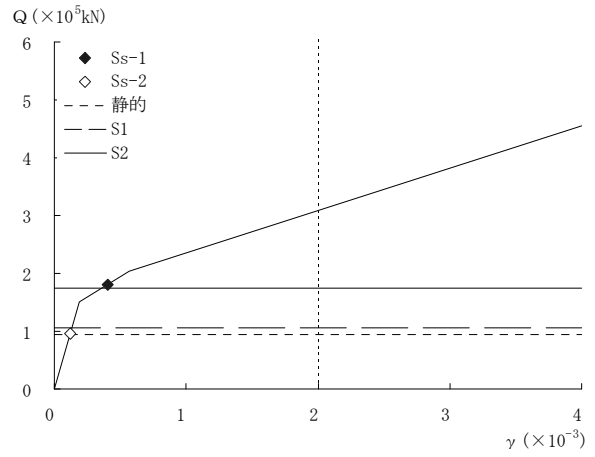
(EW 方向 部材 6)



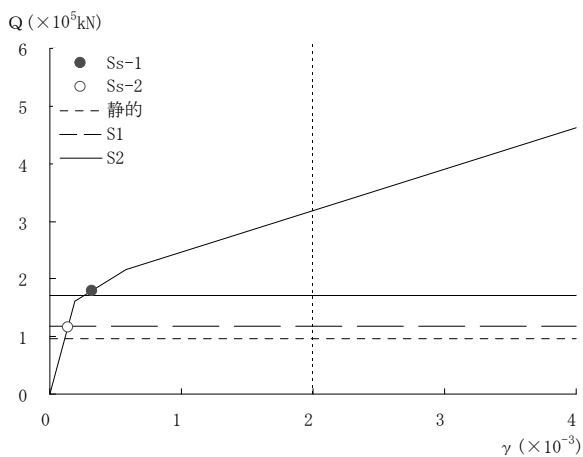
(NS 方向 部材 6)



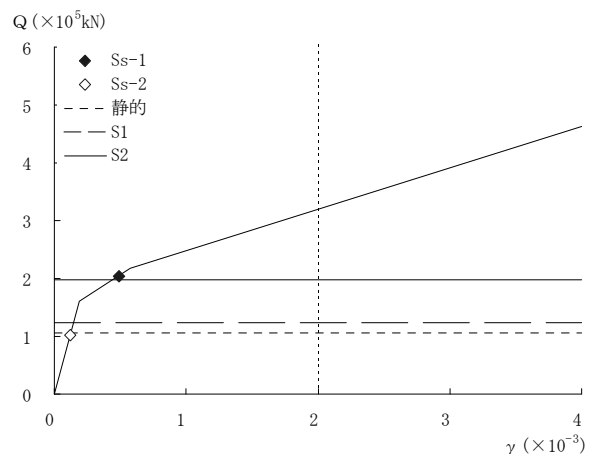
(EW 方向 部材 7)



(NS 方向 部材 7)

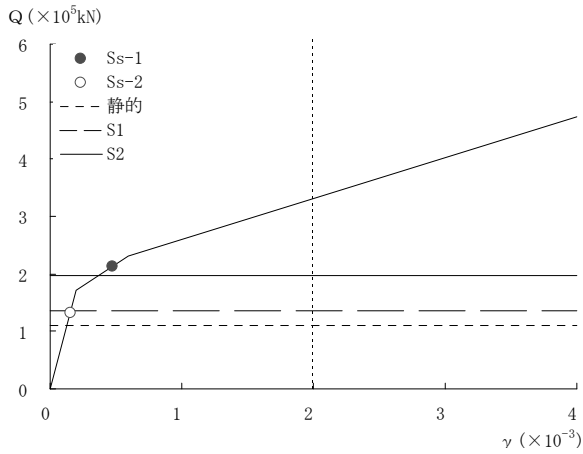


(EW 方向 部材 8)

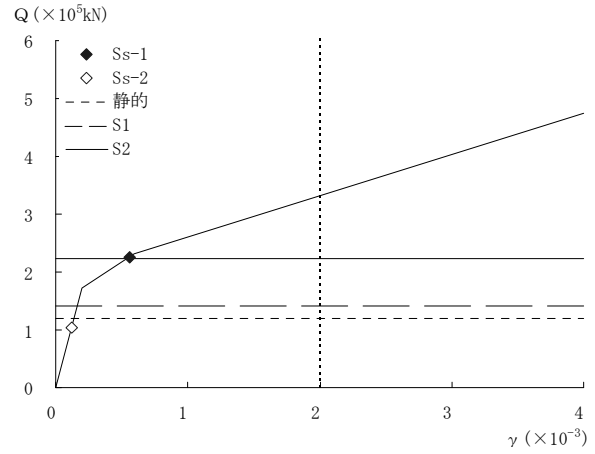


(NS 方向 部材 8)

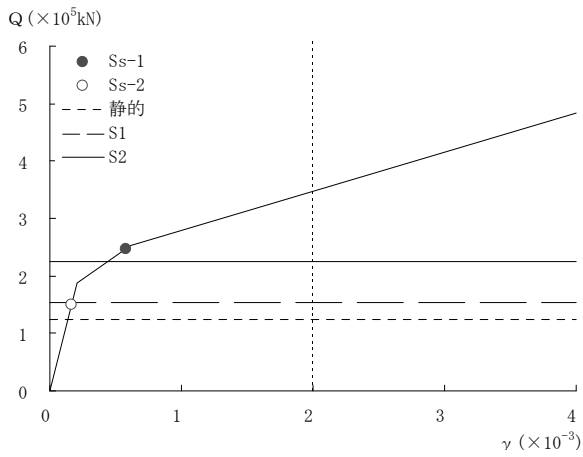
参考 2.3-1 図(1) 最大応答値(外周コンクリート壁円筒部(1))



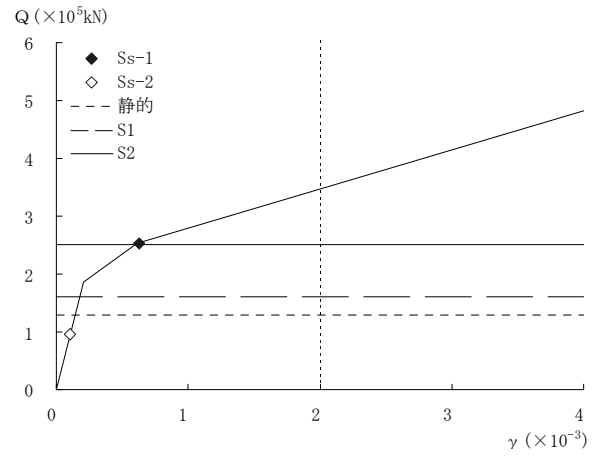
(EW 方向 部材 9)



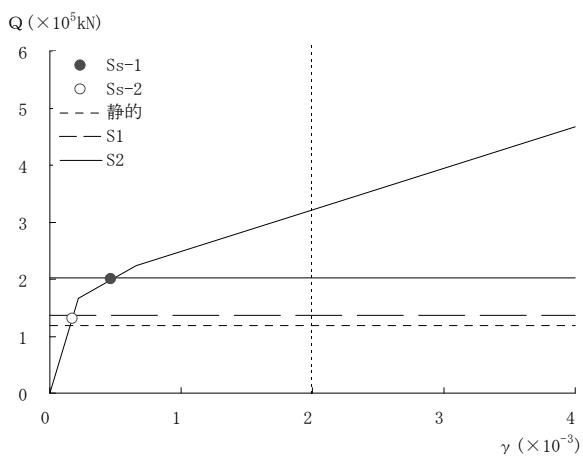
(NS 方向 部材 9)



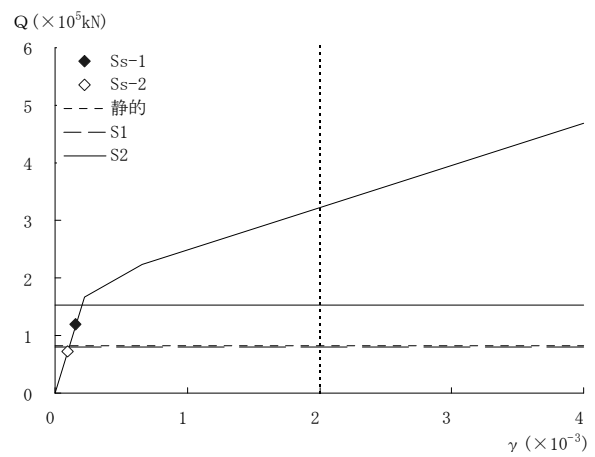
(EW 方向 部材 10)



(NS 方向 部材 10)

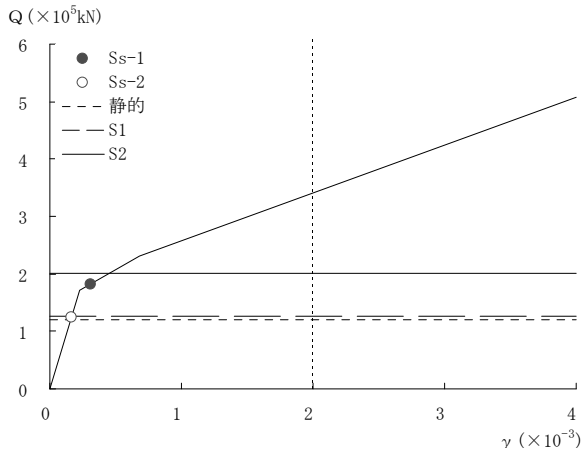


(EW 方向 部材 11)

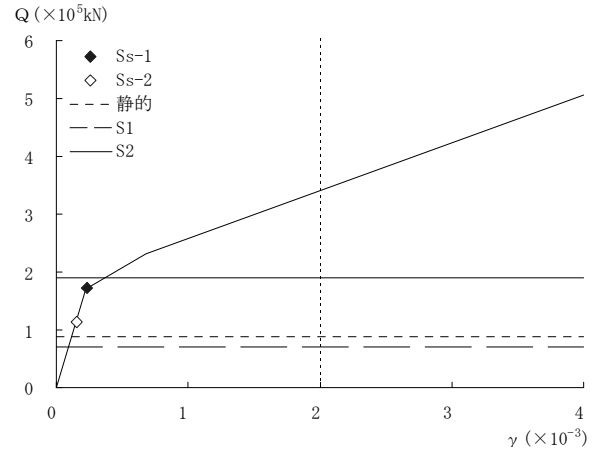


(NS 方向 部材 11)

参考 2.3-1 図(2) 最大応答値(外周コンクリート壁円筒部(2))

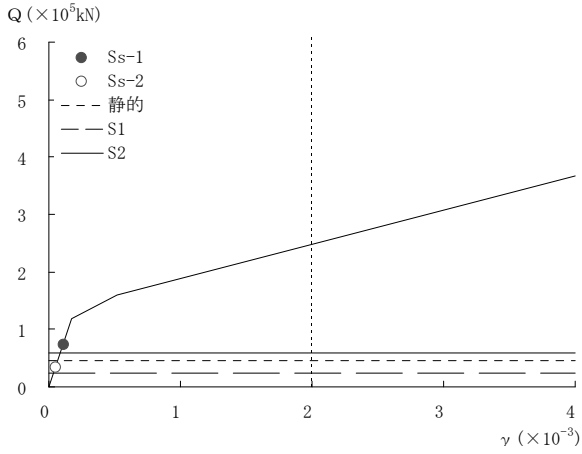


(EW 方向 部材 12)

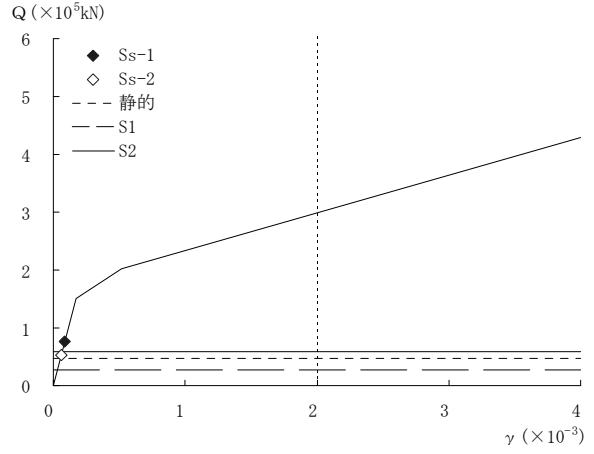


(NS 方向 部材 12)

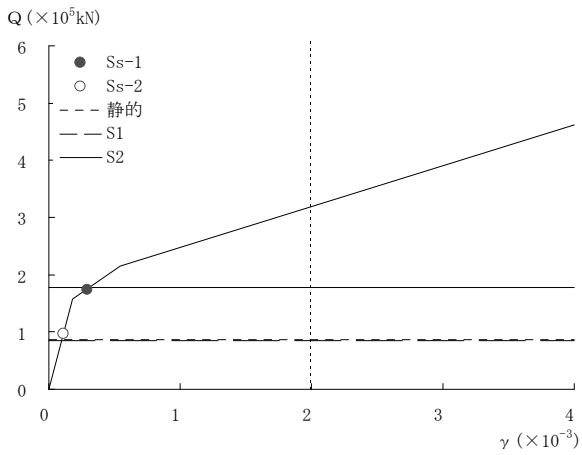
参考 2.3-1 図(3) 最大応答値(外周コンクリート壁円筒部(3))



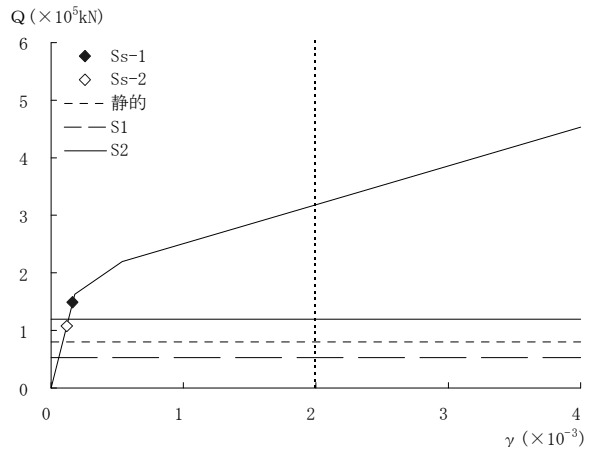
(EW 方向 部材 16)



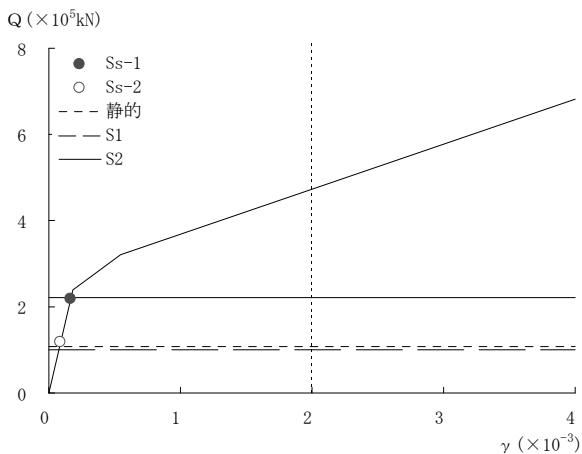
(NS 方向 部材 16)



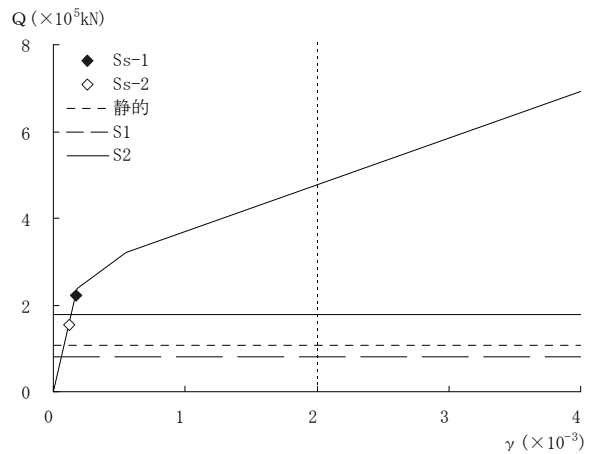
(EW 方向 部材 17)



(NS 方向 部材 17)

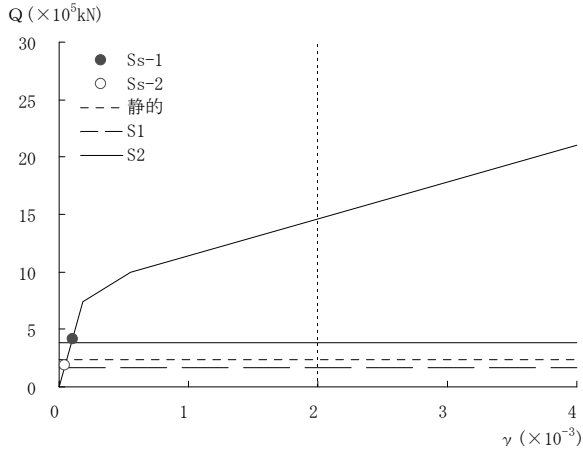


(EW 方向 部材 18)

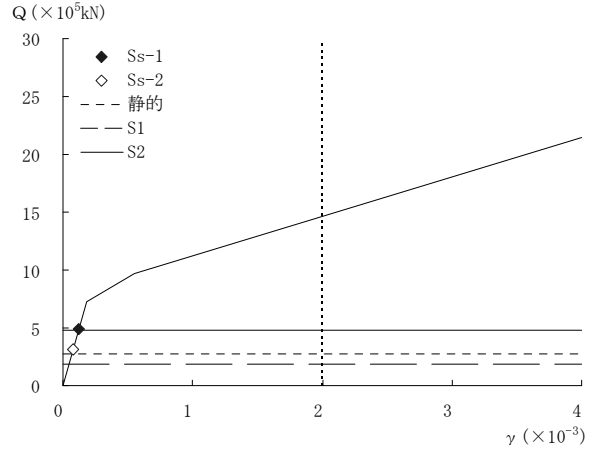


(NS 方向 部材 18)

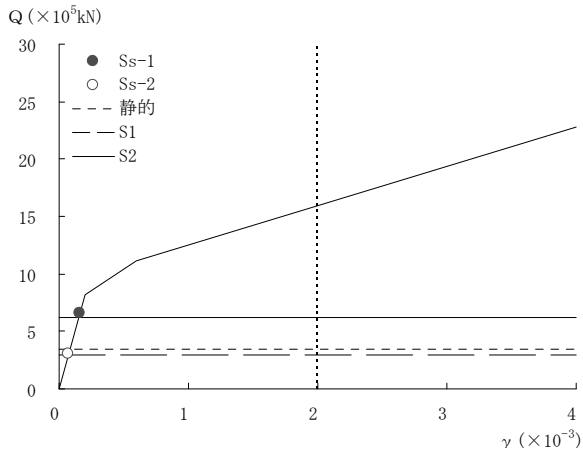
参考 2.3-1 図 (4) 最大応答値 (原子炉周辺補機棟 (1))



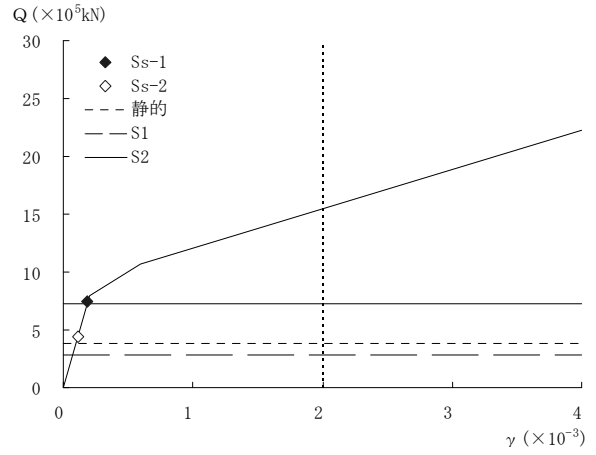
(EW 方向 部材 19)



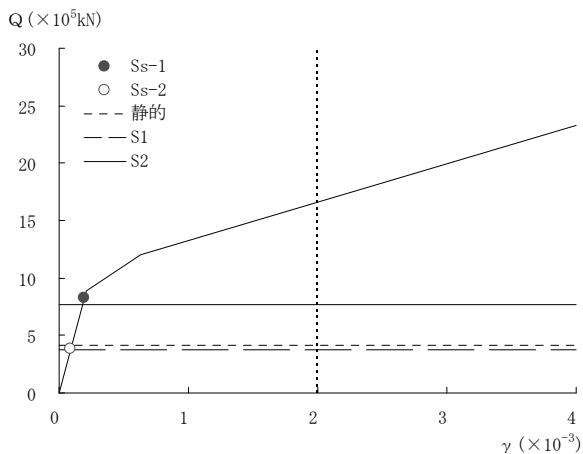
(NS 方向 部材 19)



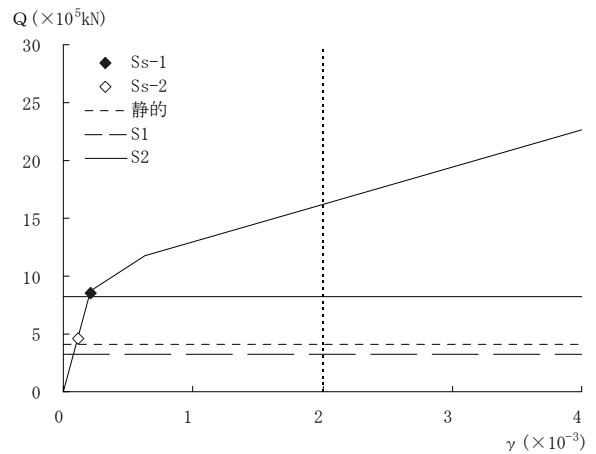
(EW 方向 部材 20)



(NS 方向 部材 20)

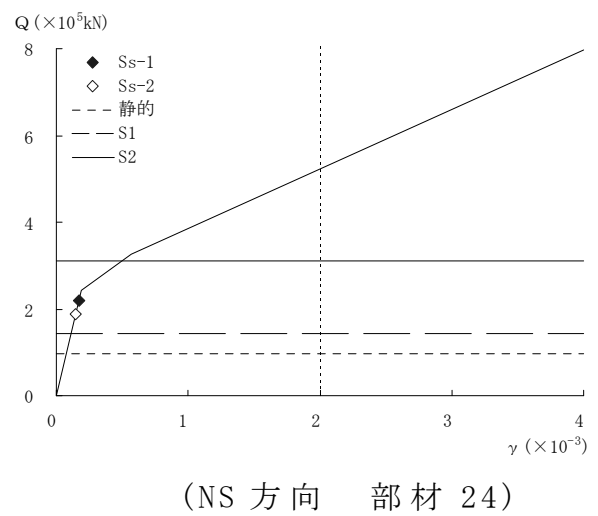
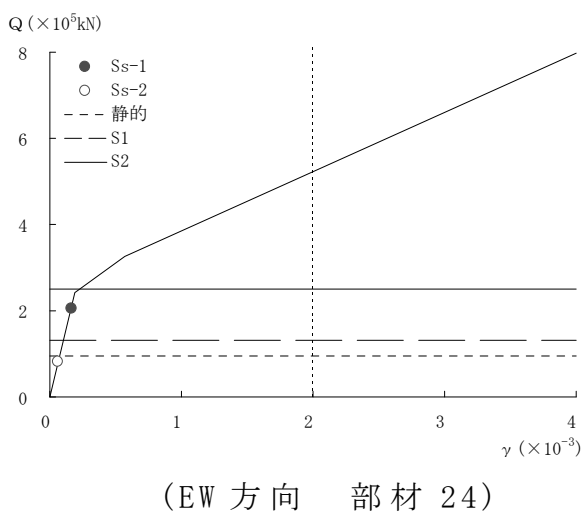
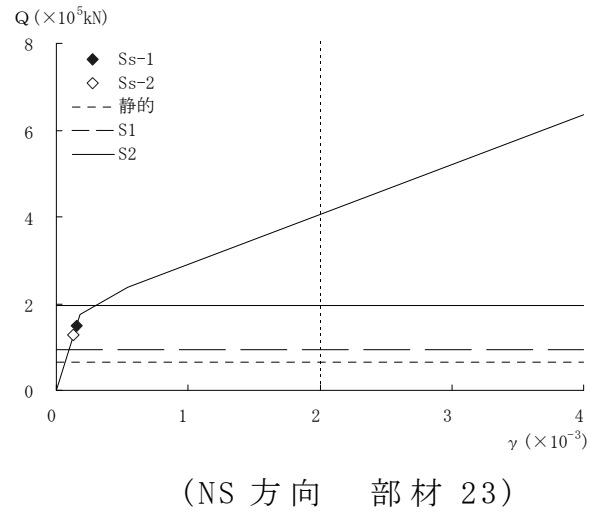
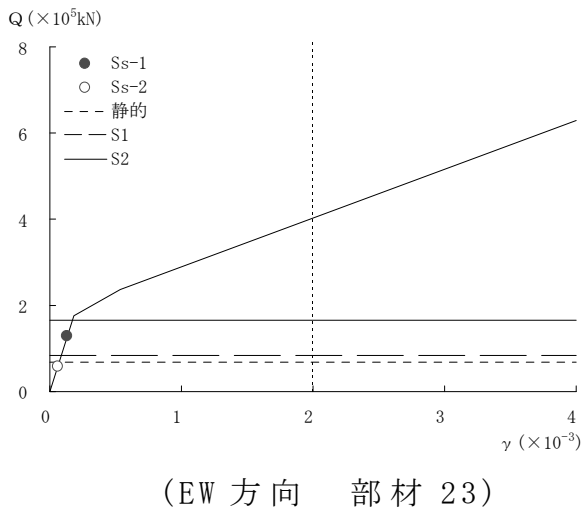
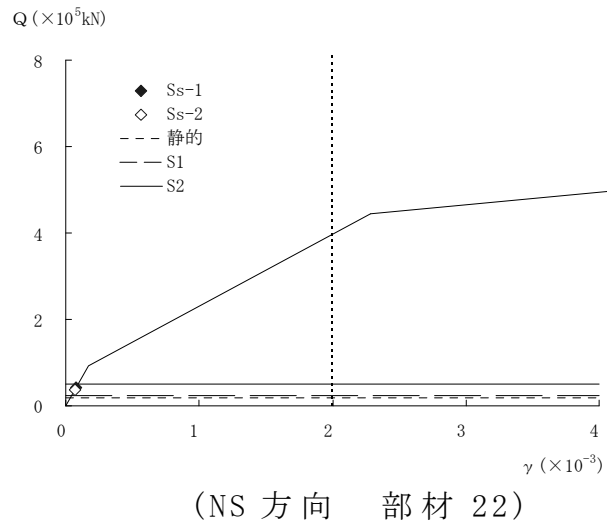
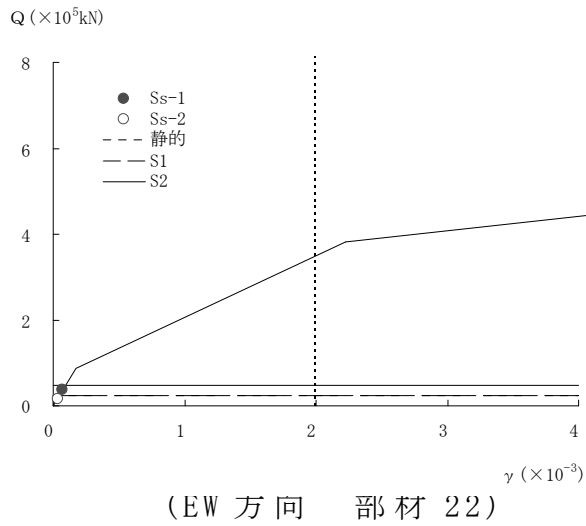


(EW 方向 部材 21)

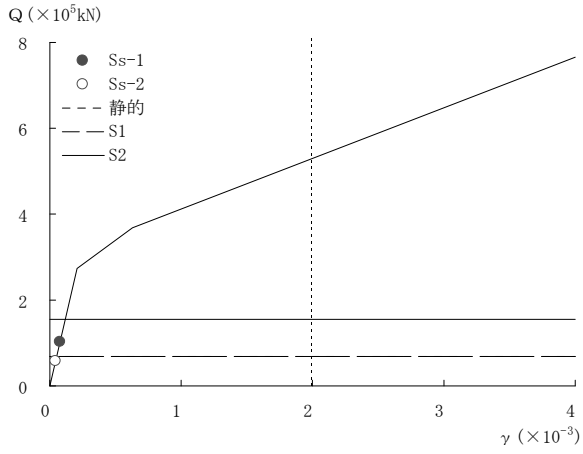


(NS 方向 部材 21)

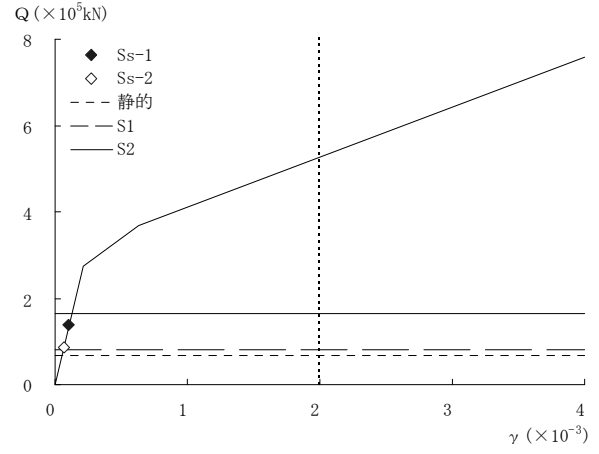
参考 2.3-1 図 (5) 最大応答値 (原子炉周辺補機棟 (2))



参考 2.3-1 図 (6) 最大応答値 (内部コンクリート (1))



(EW 方向 部材 25)



(NS 方向 部材 25)

参考 2.3-1 図 (7) 最大応答値 (内部コンクリート (2))

VII 安全上重要な機器・配管系の 耐震安全性評価

【目次】

1. 評価方針	VII-1
1.1 評価対象	VII-1
1.2 耐震安全性評価の概要	VII-3
1.3 構造強度の評価方法	VII-4
1.4 動的機能維持の評価方法	VII-6
1.4.1 機能確認済加速度との比較	VII-6
1.4.2 詳細評価	VII-6
2. 地震応答解析	VII-8
2.1 地震応答解析モデル	VII-8
2.2 一次冷却設備の地震応答解析	VII-8
2.2.1 一次冷却設備解析モデル	VII-8
2.2.2 固有値解析結果	VII-11
2.3 機器・配管系の地震応答解析	VII-12
2.4 床応答スペクトル	VII-16
2.4.1 水平方向	VII-16
2.4.2 鉛直方向	VII-16
2.5 減衰定数	VII-19
3. 荷重の組み合わせ	VII-20
3.1 運転状態と地震動との組み合わせ	VII-20
4. 評価基準	VII-24
4.1 構造強度の評価基準	VII-24
4.2 動的機能維持の評価基準	VII-25
5. 評価結果	VII-28
5.1 構造強度の評価結果	VII-28
5.2 動的機能維持の評価結果	VII-41
6. 参考文献	VII-49

【添付】

添付資料－1 配管系の減衰定数について

【参考資料】

参考資料－1 使用済燃料ピットのスロッシングに対する影響検討について

参考資料－2 経年変理事象による耐震安全性への影響評価

参考資料－3 MOX（ウラン・プルトニウム混合酸化物）燃料集合体に対する耐震安全性評価

1. 評価方針

1.1 評価対象

「原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加する」、
「原子炉停止後、または原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、
炉心から崩壊熱を除去する」および「原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に、圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐ」等の安全機能が保持されることを確認するため、Sクラスの設備について構造強度評価を実施するとともに、ポンプ、弁および制御棒等の地震時の動的機能が要求される動的機器については動的機能維持評価を実施する。

評価に当たり、同一仕様・同一設計の複数の設備が存在する場合は、代表設備について評価する。また、配管系のように類似設備が多数存在する場合は、仕様および使用条件等の観点から耐震安全評価上適切にグループ化し、その代表設備について評価する。

BクラスおよびCクラス設備のうち、その破損がSクラス設備に波及的破損を生じさせるおそれのある設備については、波及的影響評価を実施する。

具体的には、表 1.1-1 に示す主要設備に属するポンプ、容器、熱交換器等の機器・配管系および補助設備である原子炉補機冷却水系、原子炉補機冷却海水系、非常用電源および計装設備等、ならびにそれらの支持構造物である。

BクラスおよびCクラス設備のうち、使用済燃料ピットクレーン、燃料取扱棟クレーンおよび格納容器ポーラクレーンについては、使用目的上、Sクラス設備の上部を通過する際等に、その破損がSクラス設備に波及的破損を生じさせる可能性があるため評価を実施する。

表 1.1-1 伊方3号機 Sクラス主要設備一覧

Sクラスの定義 (新耐震指針より)		主要設備
i	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉容器 ・原子炉冷却材圧力バウンダリに属する容器，配管，ポンプ，弁
ii	使用済燃料を貯蔵するための施設	<ul style="list-style-type: none"> ・使用済燃料貯蔵設備
iii	原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設，および原子炉の停止状態を維持するための施設	<ul style="list-style-type: none"> ・制御棒クラスタ ・制御棒クラスタ駆動装置 ・ほう酸注入系
iv	原子炉停止後，炉心から崩壊熱を除去するための施設	<ul style="list-style-type: none"> ・主蒸気，主給水設備 ・補助給水設備 ・余熱除去設備
v	原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後，炉心から崩壊熱を除去するための施設	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用炉心冷却設備 ・余熱除去設備
vi	原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故の際に，圧力障壁となり放射性物質の放散を直接防ぐための施設	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉格納容器 ・原子炉格納容器バウンダリに属する配管，弁
vii	放射性物質の放出を伴うような事故の際に，その外部放散を抑制するための設備で上記vi以外の施設	<ul style="list-style-type: none"> ・格納容器スプレイ設備 ・アニュラス空気浄化設備 ・排気筒

1.2 耐震安全性評価の概要

地震時の安全性評価は、基準地震動 S_s を用いた動的解析によることを基本とし、機器・配管系の応答性状を適切に表現できるモデルを設定した上で応答解析を行い、その結果求められた応力値、または応答加速度値等をもとに評価する。基準地震動 S_s を表 1.2-1 に示す。

原子炉容器、蒸気発生器および一次冷却材ポンプ等の安全性評価に当たっては、水平地震動と鉛直地震動による建屋－機器連成応答解析を行い、それぞれの応答結果を二乗和平方根 (SRSS) 法等により組み合わせる。

また、比較的小型の機器等の安全性評価に当たっては、当該設備の据付床の水平方向および鉛直方向それぞれの床応答を用いた応答解析等を行い、それぞれの応答結果を二乗和平方根 (SRSS) 法等により組み合わせる。

構造強度評価に際しては、当該設備の耐震安全機能を確認する観点から重要な評価箇所を、既往評価の評価範囲を参考に選定する。また、選定した評価箇所に対して、地震慣性力による1次応力評価を基本として構造強度評価を行う。

動的機能維持評価に際しては、地震時に動的機能が要求される動的機器を選定する。また、選定した動的機器の設置位置における応答加速度と機能確認済加速度との比較を基本として動的機能維持評価を行う。

表 1.2-1 基準地震動 S_s

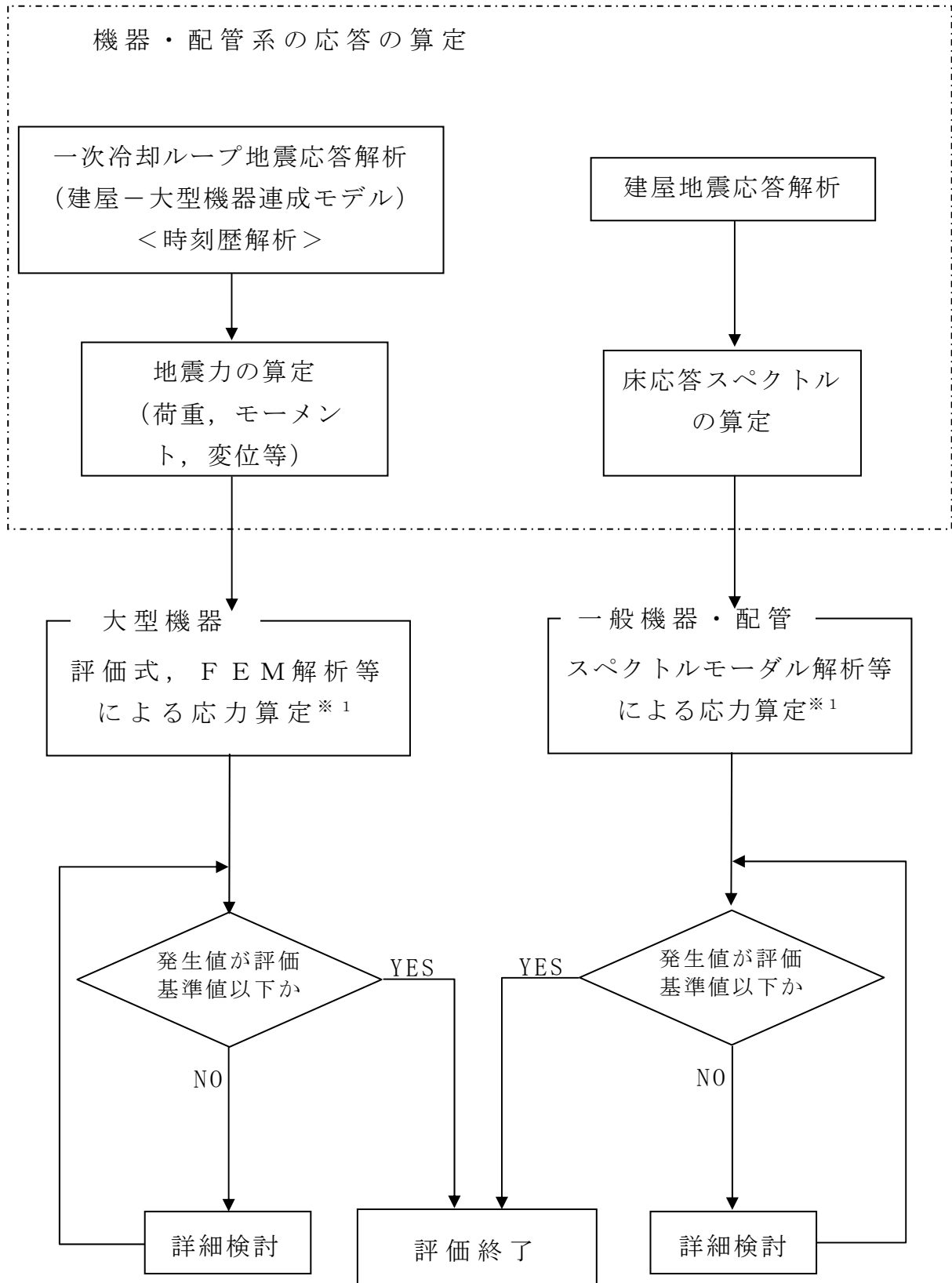
地震動 (水平動, 鉛直動)	備考
S_s-1H, S_s-1V	検討用模擬地震波 (応答スペクトル法)
$S_s-2NS(EW), S_s-2UD$	想定敷地前面海域の断層群による地震 (経験的グリーン関数法, NS成分, EW成分, UD成分)

1.3 構造強度の評価方法

構造強度に関する評価は，以下に示す解析法による詳細評価を行い，発生値を算定し，評価基準値と比較する。

- a. スペクトルモーダル解析法
- b. 時刻歴応答解析法
- c. 定式化された評価式を用いた解析法（床置き機器等）

構造強度の評価手順を図 1.3-1 に示す。



※ 1 : 耐震性向上工事検討用地震動による評価を含む。

図 1.3-1 構造強度の評価手順

1.4 動的機能維持の評価方法

動的機能維持に関する評価は、以下に示す機能確認済加速度との比較により実施する。

動的機能維持の評価手順を図 1.4-1 に示す。

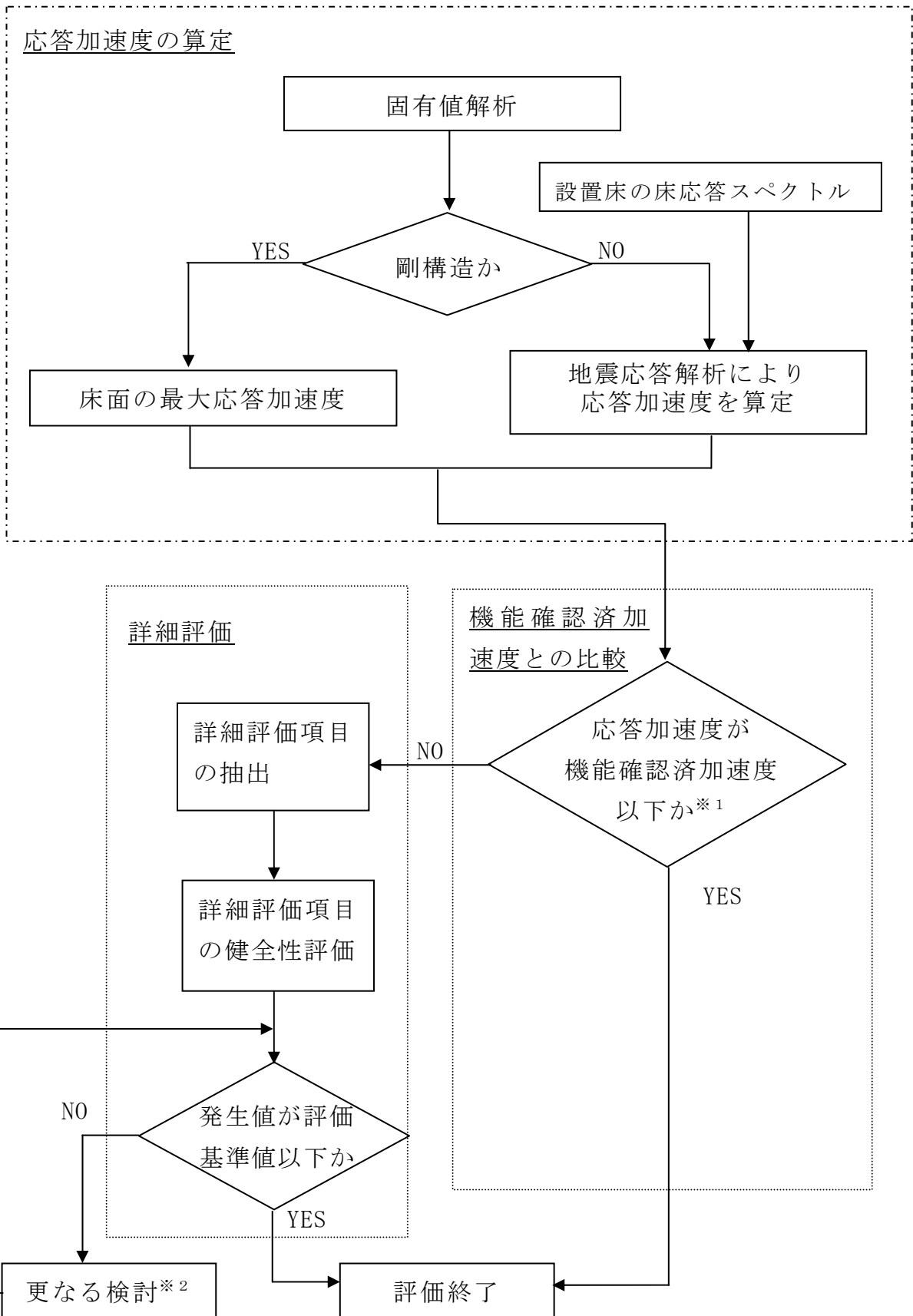
1.4.1 機能確認済加速度との比較

基準地震動 S_s による評価対象機器の応答加速度を求め、その加速度が機能確認済加速度以下であることを確認する。なお、機能確認済加速度とは、立形ポンプ、横形ポンプおよびポンプ駆動用タービン等、機種毎に、試験あるいは解析により、動的機能維持が確認された加速度である。

制御棒の地震時挿入性については、基準地震動 S_s による地震外力を考慮した挿入時間が、規定時間以内であることを確認する。

1.4.2 詳細評価

基準地震動 S_s による応答加速度が、機能確認済加速度を上回る機器については、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」等を参考に、動的機能維持を確認する上で評価が必要となる項目を抽出し、対象部位毎の構造強度評価または動的機能維持評価を行い、発生値が評価基準値を満足していることを確認する。



※ 1 制御棒の地震時挿入性については、基準地震動 S_s による地震外力を考慮した挿入時間が、規定時間以内であることを確認する。

※ 2 解析、試験等による検討。

図 1.4-1 動的機能維持の評価手順

2. 地震応答解析

2.1 地震応答解析モデル

機器・配管系の動的解析のモデルは，その振動特性に応じて，代表的な振動モードが適切に表現でき，応力評価等に用いる地震荷重を適切に算定できるものを使用する。また，解析モデルは既往評価で用いられたものの他，有限要素法等実績がある手法によるモデルを使用する。モデル化に当たって使用する物性値等については，既往評価で用いられたものの他，施設運用上の管理値や実測値等を考慮して設定する。

2.2 一次冷却設備の地震応答解析

一次冷却設備は，原子炉容器を中心として蒸気発生器，一次冷却材ポンプおよび一次冷却材管からなる複数の一次冷却ループから構成されており，また蒸気発生器には主蒸気管，主給水管が接続されている。さらに，これらの機器・配管系は耐震性を考慮して内部コンクリートに設置された各支持構造物により支持されている。

したがって，一次冷却設備の地震応答解析では，一次冷却ループおよび主蒸気管，主給水管を3次元はり質点系にモデル化し，建屋モデルと連成した解析モデルにより基準地震動 S_s による時刻歴応答解析を実施する。

解析は水平方向（NS および EW の両方向）および鉛直方向について実施する。本書では，代表例について地震応答解析モデルおよび地震応答解析結果を示す。

2.2.1 一次冷却設備解析モデル

原子炉本体（原子炉容器）および一次冷却設備（蒸気発生器，一次冷却材ポンプ等）の地震荷重を算定する解析モデルを図 2.2.1-1～2 に示す。

機器・配管系については，配管要素およびはり要素にて3次元はり質点系にモデル化し，支持構造物をモデル化した等価ばね等により建屋モデルとの連成を行う。

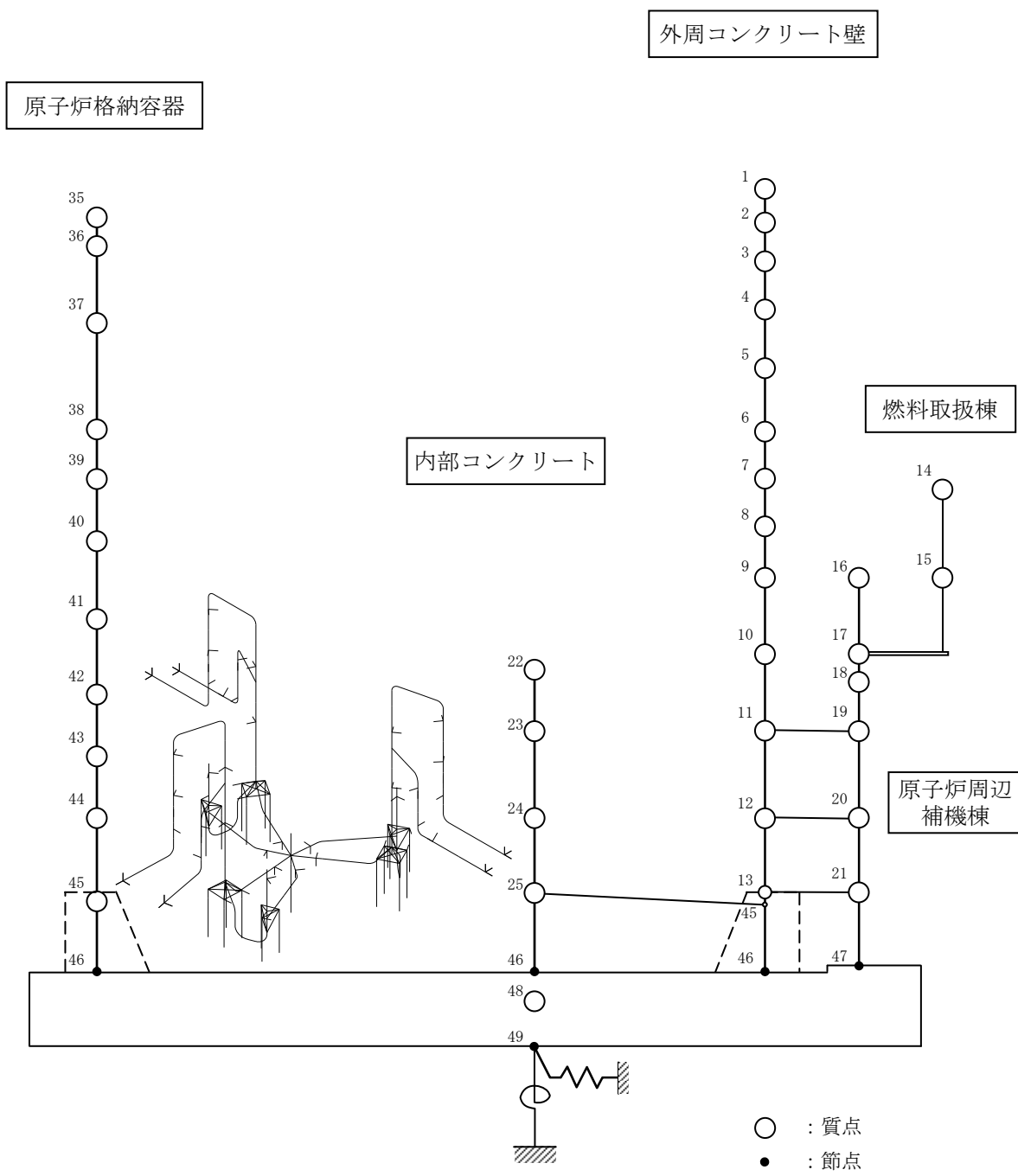


図 2.2.1-1

一次冷却設備の建屋－機器連成解析モデル（水平方向）

原子炉格納容器

外周コンクリート壁

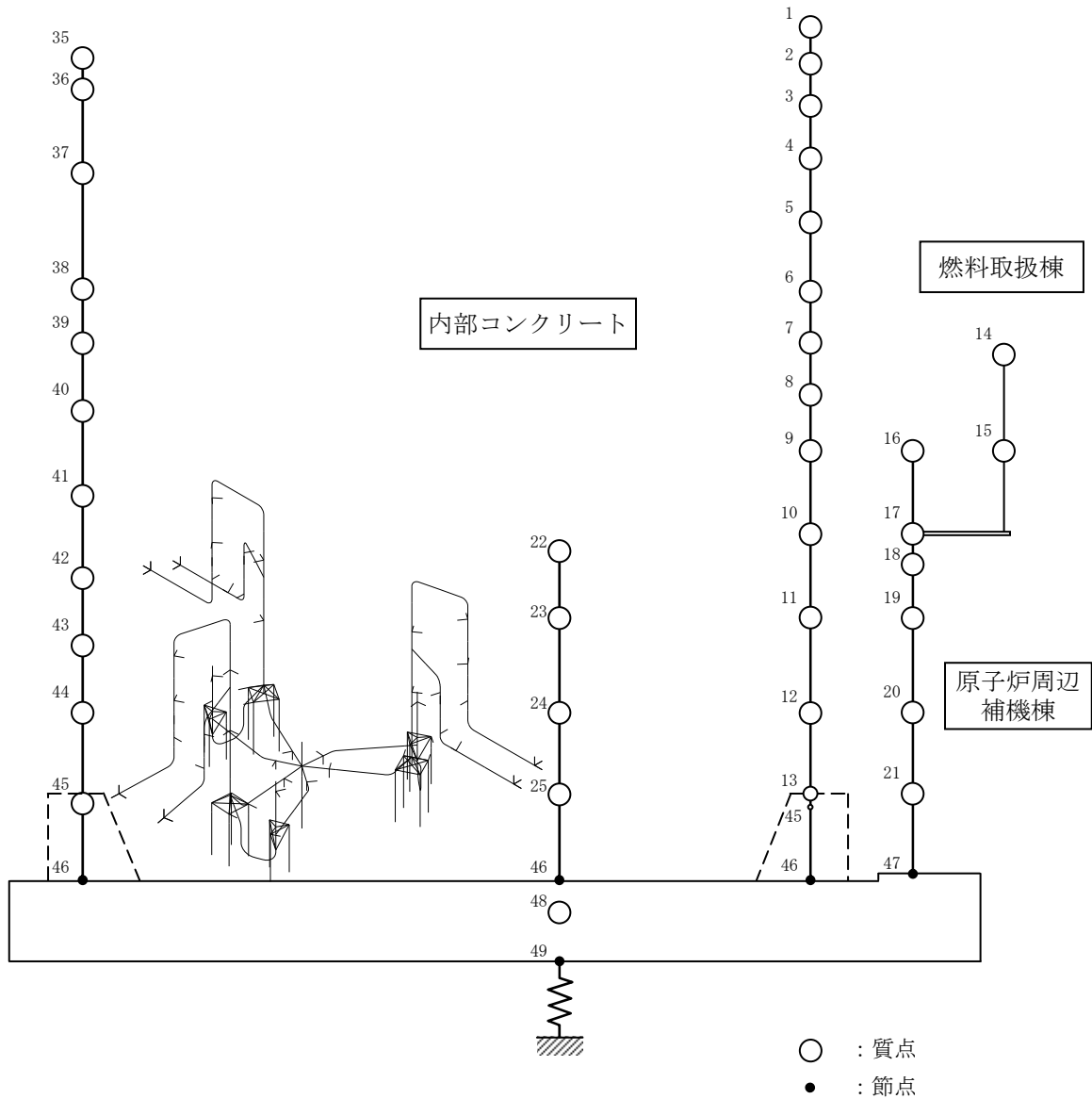


図 2.2.1-2

一次冷却設備の建屋-機器連成解析モデル（鉛直方向）

2.2.2 固有値解析結果

一次冷却設備の建屋－機器連成解析モデルによる固有値解析結果を以下に示す。

(1) 水平方向

水平方向（NS 方向）モデルによる固有周期および固有振動数を表 2.2.2-1 に示す。

表 2.2.2-1 固有周期および固有振動数（水平（NS）方向）

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	備考
8	0.0735	13.6	蒸気発生器 1 次
20	0.0602	16.6	一次冷却材ポンプ 1 次
26	0.0565	17.7	原子炉容器 1 次

(2) 鉛直方向

鉛直方向モデルによる固有周期および固有振動数を表 2.2.2-2 に示す。

表 2.2.2-2 固有周期および固有振動数（鉛直方向）

次数	固有周期 (秒)	固有振動数 (Hz)	備考
11	0.0621	16.1	蒸気発生器 1 次
19	0.0578	17.3	一次冷却材ポンプ 1 次

（参考）原子炉容器 1 次は，0.033 秒以下（30Hz 以上）。

2.3 機器・配管系の地震応答解析

2.2 項にて示した建屋と連成して地震応答解析を行うものの他、一般的な機器・配管系の地震応答解析では、振動特性等に応じて一質点または多質点によるモデル化を行い、床応答スペクトルを用いた地震応答解析を行う。

機器・配管系の地震応答解析モデル例を図 2.3-1～3 に示す。

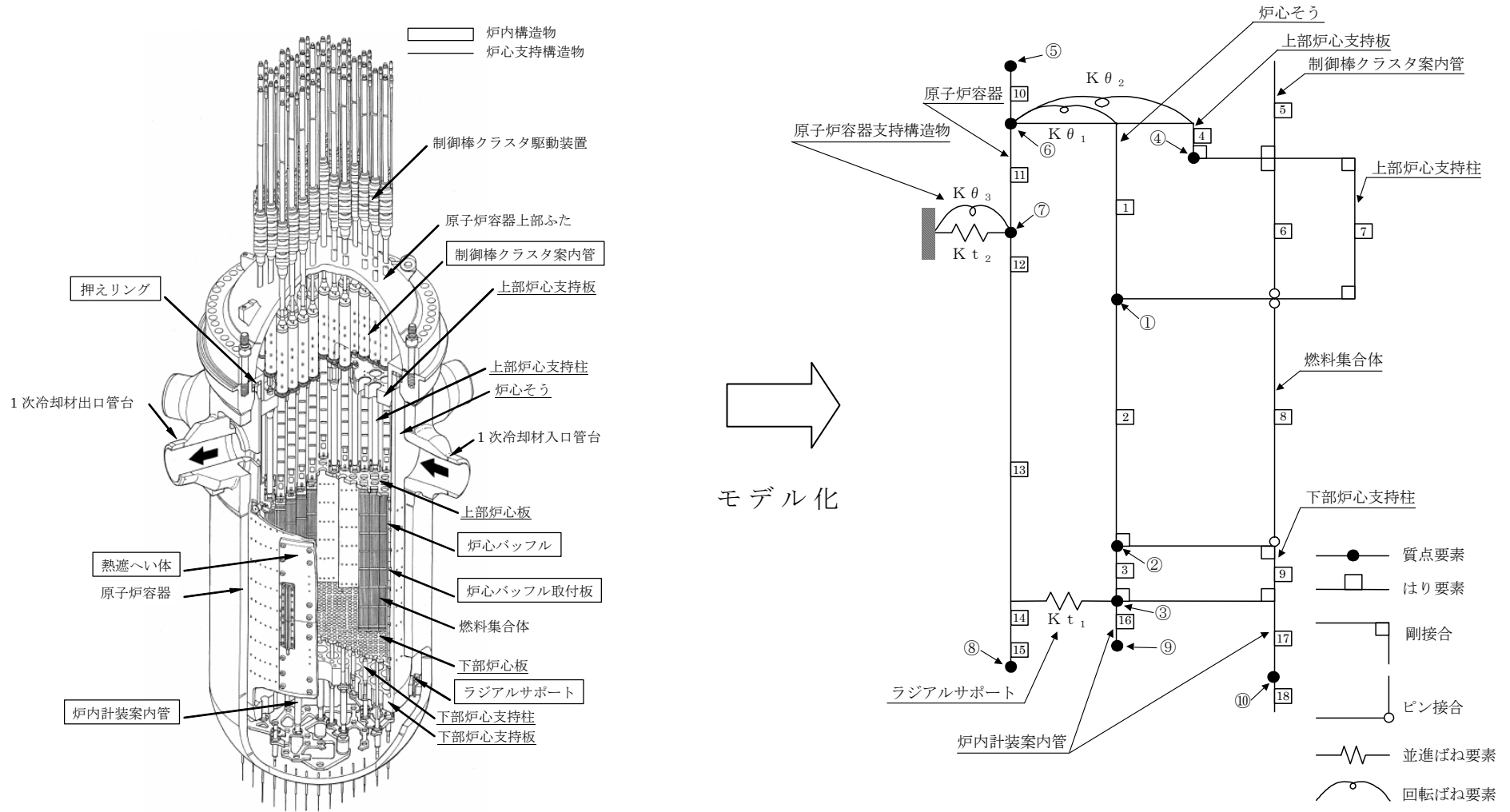
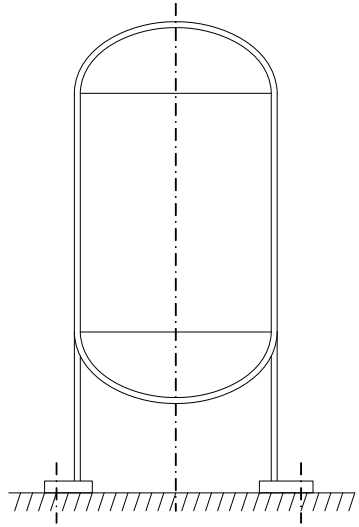
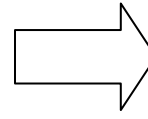
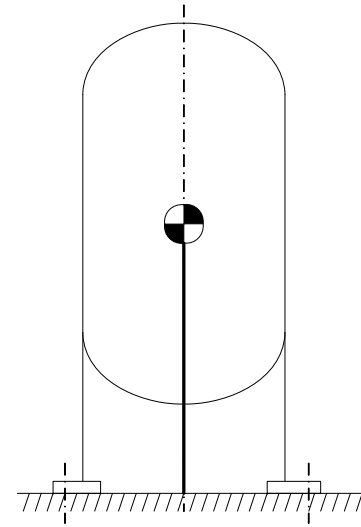


図 2.3-1 地震応答解析モデル（炉心支持構造物等の例）

スカート支持たて置円筒形容器



● : 重心位置
— : はり要素



モデル化

Ⅶ-14

横形ポンプ

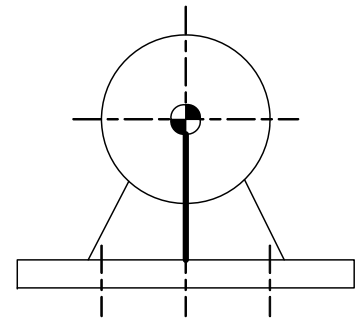
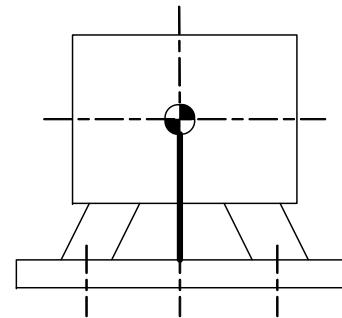
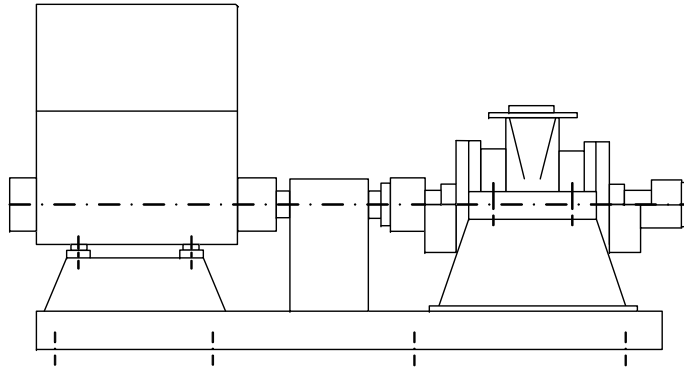
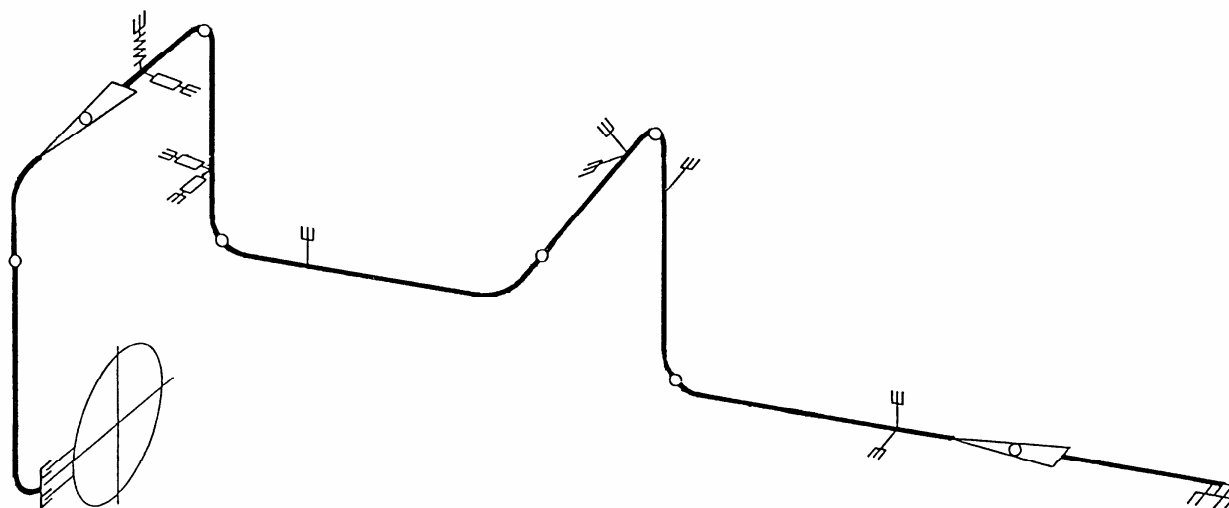


図 2.3-2 地震応答解析モデル（補機の例）



- 記号の説明
- | | | | |
|--|----------|--|---------|
| | アンカサポート | | ガイドサポート |
| | リッドサポート | | 質点 |
| | スナバサポート | | |
| | スプリングハンガ | | |

図 2.3-3 地震応答解析モデル（配管系の例）

2.4 床応答スペクトル

床応答スペクトルは，建物・構築物の地震応答解析で得られた床応答時刻歴を用いて水平方向および鉛直方向について算定する。

床応答スペクトルの算定に当たっては，地盤や建屋の物性等のばらつきが床応答に与える影響を考慮し，「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」等を参考に周期軸方向に±10%拡幅する。

また，配管系等の評価に当たっては，応答スペクトルに基づく手法による地震動 (S_s-1H , S_s-1V) と断層モデルを用いた手法による地震動 ($S_s-2NS(EW)$, S_s-2UD)により評価を行う。

2.4.1 水平方向

基準地震動 S_s による水平方向の床応答スペクトルの例を図 2.4.1-1～図 2.4.1-2 に示す。

2.4.2 鉛直方向

基準地震動 S_s による鉛直方向の床応答スペクトルの例を図 2.4.2-1～図 2.4.2-2 に示す。

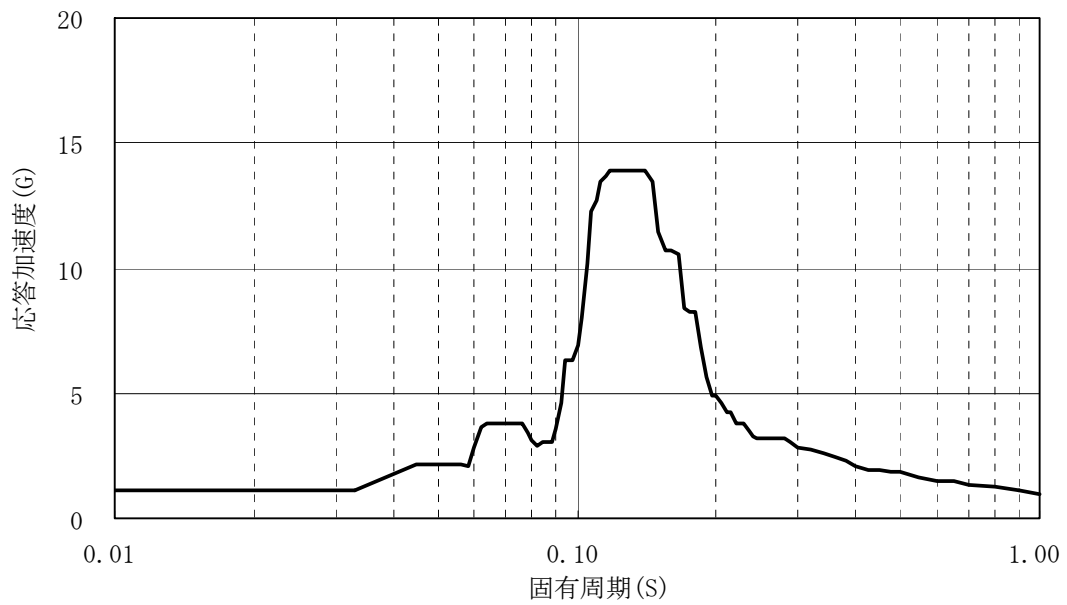


図 2.4.1-1 原子炉建屋水平方向床応答スペクトル
(EL24.0m Ss-1H[NS/EW 包絡] 減衰 1.0%)

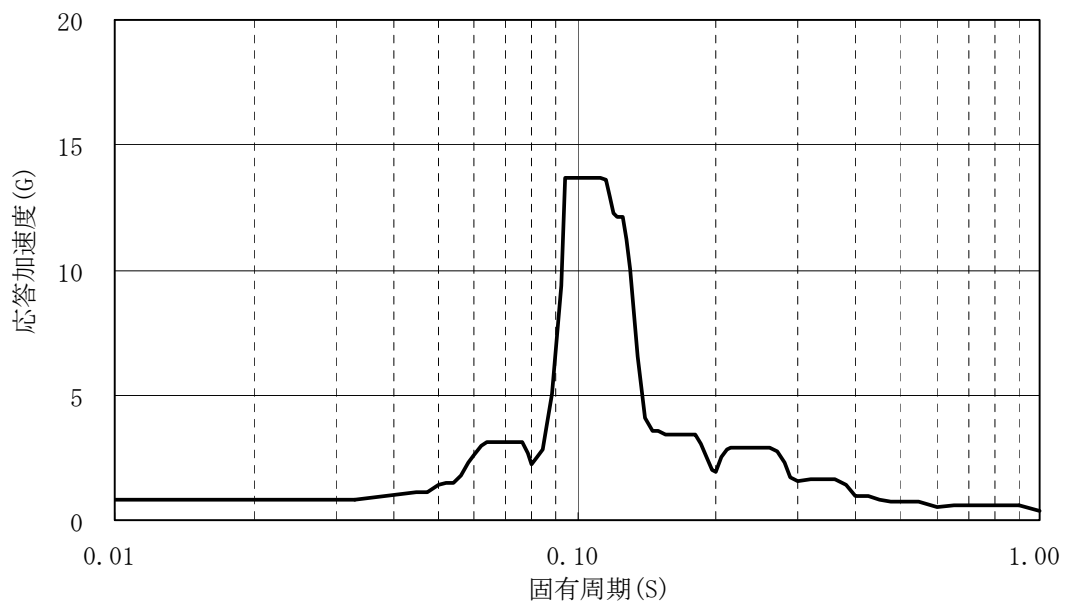


図 2.4.1-2 原子炉建屋水平方向床応答スペクトル
(EL24.0m Ss-2NS/EW 包絡 減衰 1.0%)

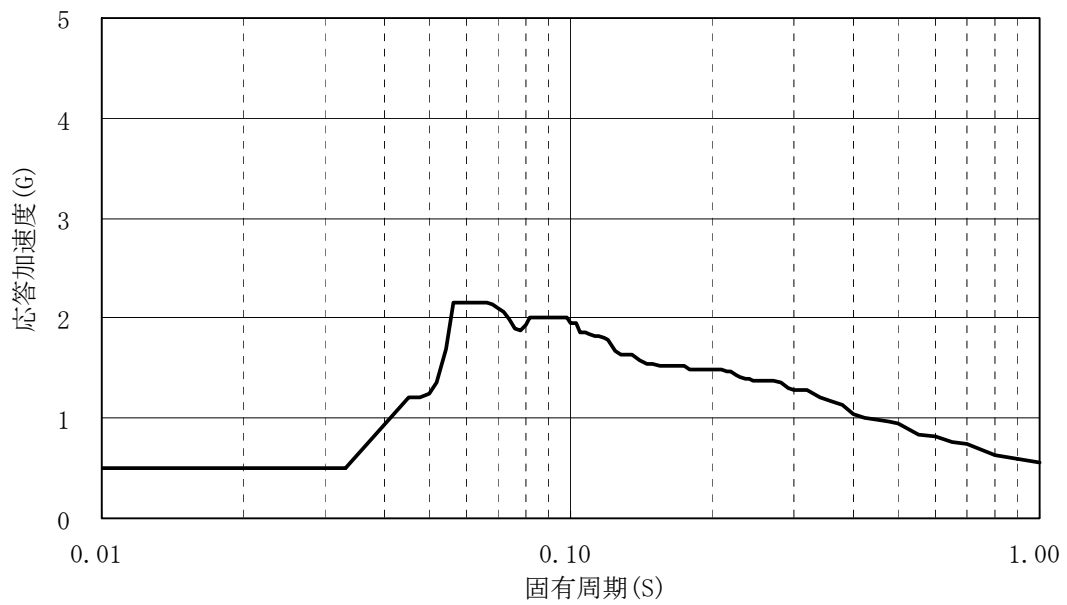


図 2.4.2-1 原子炉建屋鉛直方向床応答スペクトル
(EL24.0m Ss-1V 減衰 1.0%)

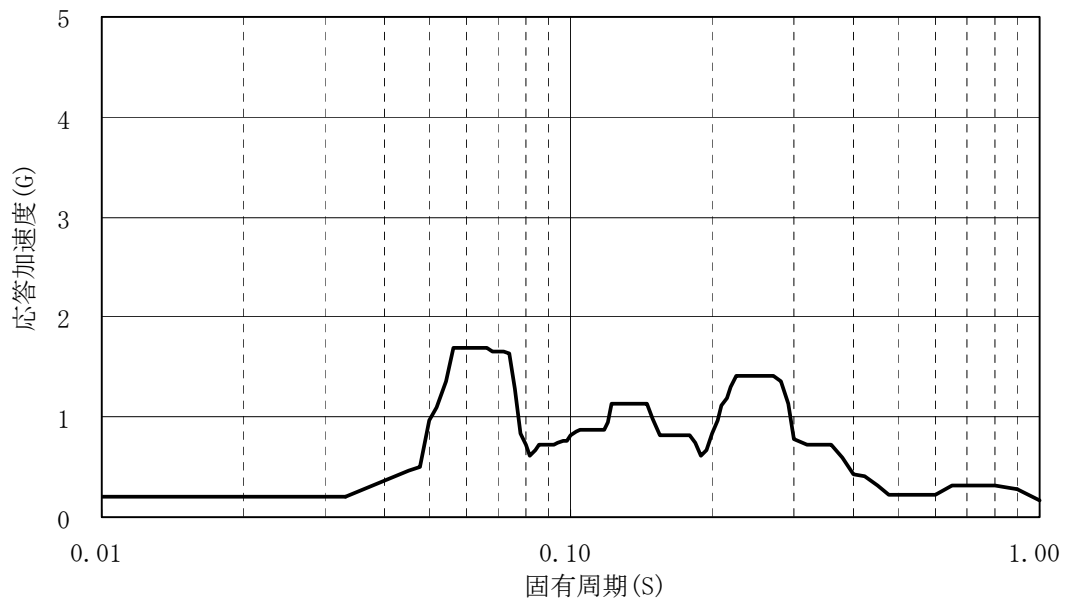


図 2.4.2-2 原子炉建屋鉛直方向床応答スペクトル
(EL24.0m Ss-2UD 減衰 1.0%)

2.5 減衰定数

機器・配管系の地震応答解析に用いる減衰定数を表 2.5-1 に示す。

水平方向の減衰定数は，原則として「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」に規定された値とし，配管，クレーン，蒸気発生器伝熱管については，試験等で妥当性が確認された値も評価に用いる。

鉛直方向の減衰定数は，基本的に水平方向と同様とするが，電気盤や燃料集合体等鉛直地震動に対し剛体挙動する設備は 1.0% とする。

表 2.5-1 機器・配管系の減衰定数

対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
溶接構造物	1.0	1.0
ボルトおよびリベット構造物	2.0	2.0
ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	1.0
電気盤	4.0	1.0
燃料集合体	10.0～15.0	1.0
制御棒クラスタ駆動装置	5.0	1.0
空調用ダクト	2.5	2.5
クレーン	2.0	2.0
一次冷却設備	3.0	1.0
炉内計装引出管	2.5	2.5
蒸気発生器伝熱管	8.0(面外) 15.0(面内)	1.0
使用済燃料ラック	1.0	1.0
配管系	0.5～3.0	0.5～3.0

3. 荷重の組み合わせ

3.1 運転状態と地震動との組み合わせ

通常運転時に生じる荷重および運転時の異常な過渡変化時に生じる荷重と基準地震動 S_s による地震力を組み合わせて評価する。

事故時に生じる荷重と組み合わせる地震動は，事故事象の発生確率と継続時間および基準地震動 S_s の年超過確率を踏まえ，両者が同時に発生する可能性が極めて小さい場合，具体的には「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1984」に基づき 10^{-7} /年以下であれば，基準地震動 S_s ではなく弾性設計用地震動 S_d とする。

伊方発電所における基準地震動 S_s の年超過確率は，図 3.1-1 に示すとおり，試算値において 10^{-4} /年を下回ることより，事故（「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1984」に基づき，発生確率は 10^{-4} /年以下を想定）の同時発生を想定しても 10^{-7} /年を下回るため，事故時に生じる荷重と組み合わせる地震動は，弾性設計用地震動 S_d とする。

弾性設計用地震動 S_d は，基準地震動 S_s による安全機能保持をより確実なものとする観点からは，弾性設計用地震動 S_d と基準地震動 S_s の比率 (S_d/S_s) を 0.5 にすれば十分であるが，基準地震動 S_1 を下回らないよう配慮し，図 3.1-2 に示すとおり応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 S_s を 0.6 倍した地震動とする。

なお，弾性設計用地震動 S_d の年超過確率は，図 3.1-3 に示すとおり，試算値において 10^{-3} /年を下回る。

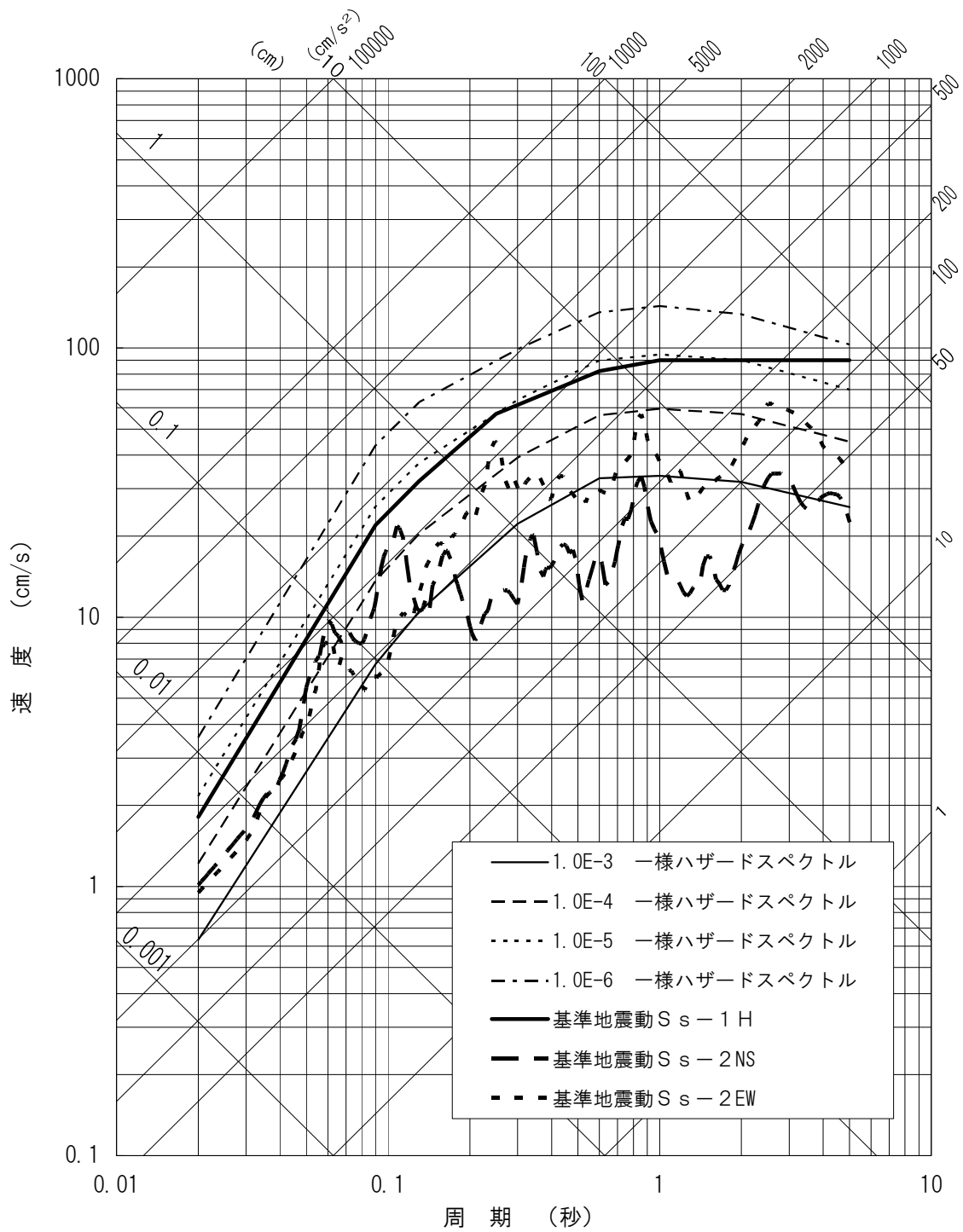


図 3.1-1 基準地震動 Ss の年超過確率

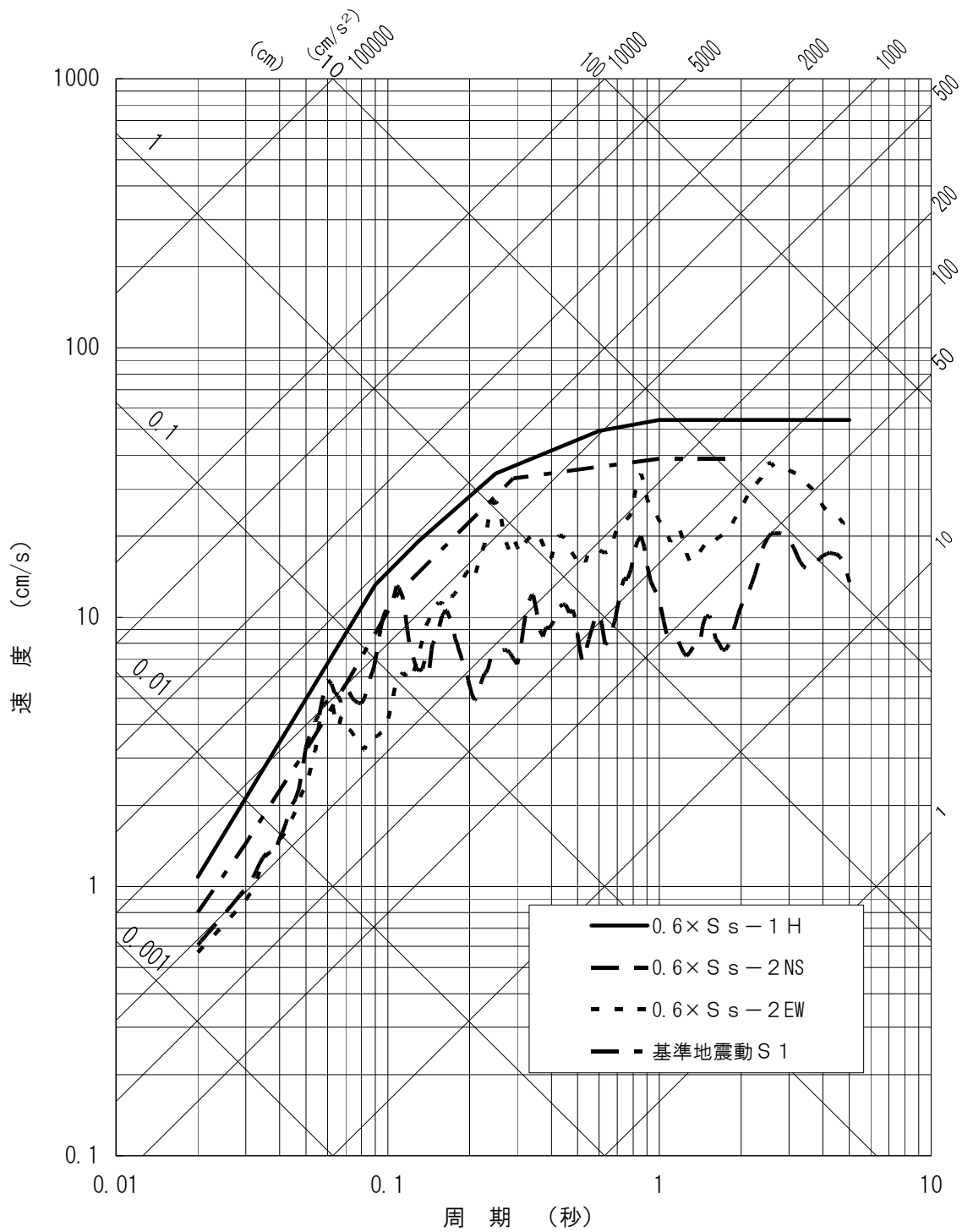


図 3.1-2 応答スペクトルの比較

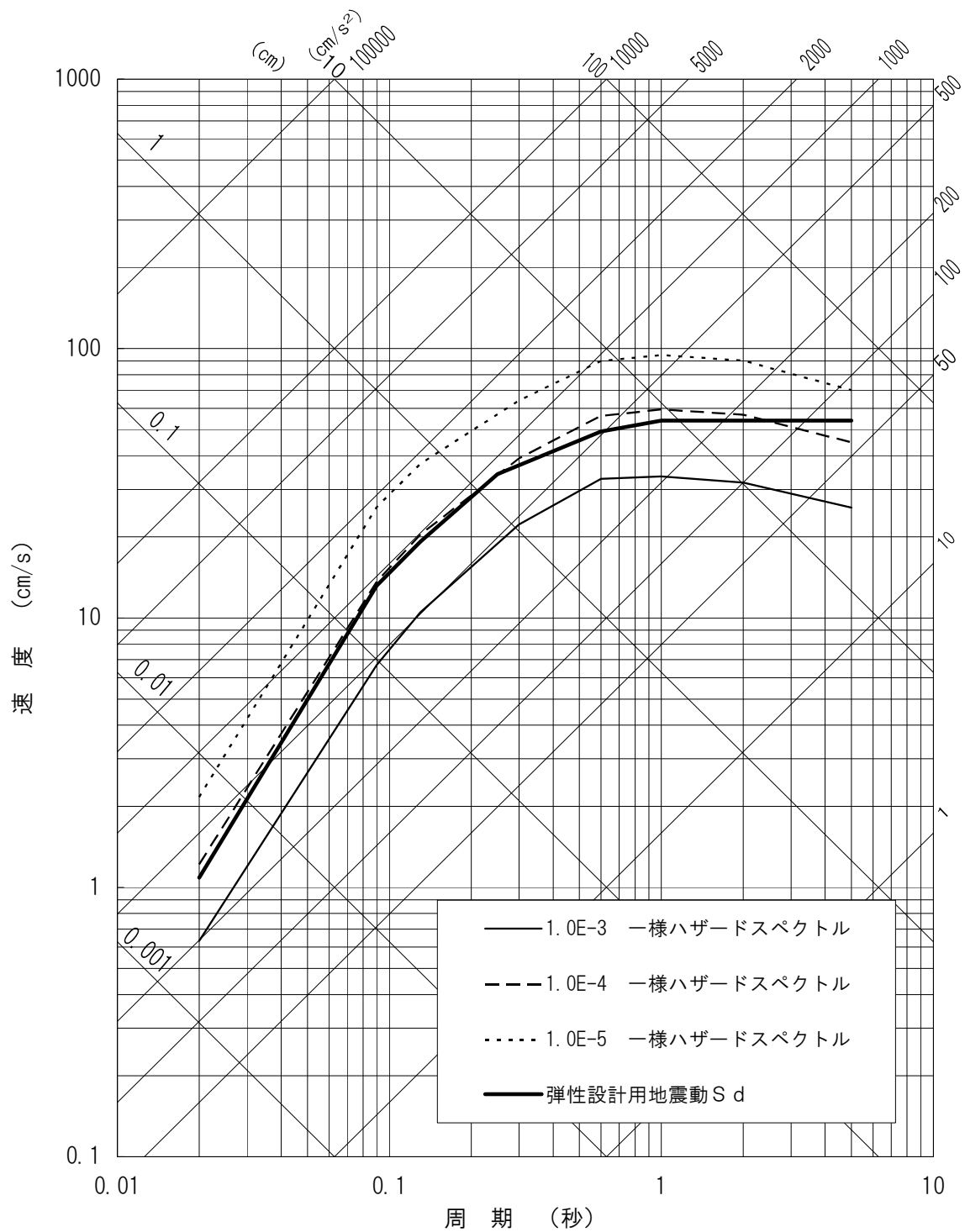


図 3.1-3 弾性設計地震動 Sd の年超過確率

4. 評価基準

4.1 構造強度の評価基準

構造強度評価の評価基準値は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-補・1984, JEAG4601-1987, JEAG4601-1991 追補版」および「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2005」（以下、「設計・建設規格」という。）に準拠するとともに、ほかの規格基準で規定されている値および実験等で妥当性が確認されている値等も用いる。

4.2 動的機能維持の評価基準

機能確認済加速度は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」に準拠するとともに、試験等で妥当性が確認された値も用いる。

機能確認済加速度を表 4.2-1 に示す。

詳細評価における構造強度評価の評価基準値は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」等による。また、部位毎の動的機能維持の評価基準値は、個別に試験等で妥当性が確認されている値を用いる。

なお、制御棒挿入性の評価においては、安全評価解析条件である制御棒クラスタ落下開始から全ストロークの 85% 挿入までの時間 2.2 秒に原子炉トリップ信号発信から制御棒クラスタの駆動軸が制御棒クラスタ駆動装置のラッチを離れるまでの時間 0.30 秒を加えた 2.5 秒を評価基準値とする。

表 4.2-1 機能確認済加速度 (1/2)

種別	機種	加速度 確認部位	機能確認済加速度	
			水平方向 (G※1)	鉛直方向 (G※1)
立形ポンプ	立形斜流ポンプ	コラム 先端部	10.0	1.0
横形ポンプ	横形単段遠心式ポンプ	軸位置	3.2 (軸直角方向)	1.0
	横形多段遠心式ポンプ		1.4 (軸方向)	
ポンプ駆動用 タービン	補助給水ポンプ用 タービン	重心位置	1.0	1.0
電動機	横形ころがり軸受電動機	軸受部	4.7	1.0
	横形すべり軸受電動機		2.6	
	立形ころがり軸受電動機		2.5	
	立形すべり軸受電動機			
ファン	遠心直結型ファン	軸受部および メカニカルシールケーシング*	2.3	1.0
	遠心直動型ファン	軸受部	2.6	
	軸流式ファン		2.4	

※1 $G = 9.80665 (m/s^2)$

表 4.2-1 機能確認済加速度 (2/2)

種別	機種	加速度 確認部位	機能確認済加速度	
			水平方向 (G ^{※1})	鉛直方向 (G ^{※1})
非常用 ディーゼル 発電機	中速形 ディーゼル機関	機関 重心位置	1.7	1.0
		ガバナ 取付位置	1.8	
制御用 空気圧縮機	V型2気筒圧縮機	シリンダ部	2.2	1.0
弁 (一般弁および 特殊弁)	一般弁 (グローブ弁, ゲート 弁, バタフライ弁, 逆 止弁)	駆動部	6.0	6.0
	ゴムダイヤフラム弁		2.7	
	主蒸気隔離弁操作用 電磁弁		2.2	2.0
	加圧器安全弁		13.0	3.0
	主蒸気安全弁		13.0	3.0

※1 $G = 9.80665 (m/s^2)$

5. 評価結果

5.1 構造強度の評価結果

構造強度の評価結果を表 5.1-1 に示す。

なお，本報告では，基本的には工事計画認可申請書（耐震計算書）およびこれまでの耐震安全性評価（バックチェック）を参考に評価対象設備を選定し，評価結果を示している。

機器・配管系の発生値は，いずれも評価基準値を満足していることを確認した。

表 5.1-1 構造強度評価結果 (1/12)

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値	評価基準値	備考	
				MPa	MPa		
原子炉本体	原子炉容器 および炉心	原子炉容器	出口管台	膜応力+ 曲げ応力	266	422	
		炉内構造物	ラジアルサポート (ラジアルキー)	膜応力+ 曲げ応力	258	372	
		炉内構造物のうち 制御棒クラスタ案内管	制御棒クラスタ 案内管	膜応力+ 曲げ応力	41	391	
		炉心支持構造物	下部炉心支持柱 取付ボルト	膜応力+ 曲げ応力	189	483	
		燃料集合体	燃料被覆管	体積平均 相当応力	104	292	※1
			制御棒案内 シングル	膜応力+ 曲げ応力	144	194	※1
			支持格子	衝撃力	※2	22,550	※1 単位：N
	圧力容器 支持構造物	原子炉容器支持構造物	サポートシュ	支圧応力	223	465	
		原子炉容器支持構造物 埋込金物	スタッド	せん断荷重	24,797	35,025	単位：kN

※1 ステップ2燃料集合体に対する評価結果を示す。

※2 支持格子に生じる最大衝撃力が弾性限界荷重を上回っており、支持格子には永久変形（最大0.9mm）が生じるが、その変形量は工事計画認可申請「制御棒クラスタの耐震性に関する説明書」で示す制御棒挿入性に支障を来たさないことが確認された変形量よりも小さいため、制御棒挿入性には影響しない。

表 5.1-1 構造強度評価結果 (2/12)

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値	評価基準値	備考	
				MPa	MPa		
原子炉冷却系統設備	一次冷却設備	蒸気発生器	給水入口管台	膜応力+曲げ応力	259	413	
		蒸気発生器内部構造物	管群外筒支持金物	膜応力+曲げ応力	371	424	
		蒸気発生器支持構造物	上部胴支持構造物 バンド側スナバ 取付ラグ	支圧応力	232	378	
		蒸気発生器支持構造物 埋込金物	支持脚埋込金物 コンクリート	引張荷重	3,201	7,720	単位：kN
		一次冷却材ポンプ	ケーシングボルト	引張応力	211	410	
		一次冷却材ポンプ 支持構造物	下部支持構造物 ブラケット	せん断応力	45	189	
		一次冷却材ポンプ 支持構造物埋込金物	上部支持構造物 埋込金物基礎ボルト	組合せ応力	282	516	
		加圧器	サージ用管台	膜応力+曲げ応力	195	406	
		加圧器支持構造物	上部支持構造物 サポートパイプ	圧縮応力	57	277	
		加圧器支持構造物 埋込金物	下部支持構造物 コンクリート	引張荷重	2,178	8,390	単位：kN
		加圧器ヒータ	シース	膜応力+曲げ応力	47	393	
		一次冷却材管	充てん管台	膜応力+曲げ応力	170	383	

表 5.1-1 構造強度評価結果 (3/12)

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値	評価基準値	備考	
				MPa	MPa		
原子炉冷却系統設備	化学体積 制御設備	再生熱交換器	取付ボルト	組合せ応力	114	135	
		充てんポンプ	基礎ボルト	引張応力	60	210	
		封水注入フィルタ	胴	膜応力+ 曲げ応力	95	253	
	余熱除去 設備	余熱除去冷却器	胴	膜応力+ 曲げ応力	121	334	
		余熱除去ポンプ	原動機取付ボルト	引張応力	22	210	
	安全注入 設備	高圧注入ポンプ	取付ボルト	せん断応力	12	124	
		蓄圧タンク	基礎ボルト	組合せ応力	151	190	
	原子炉補機 冷却水設備	原子炉補機冷却水冷却器	基礎ボルト	引張応力	106	193	
		原子炉補機冷却水ポンプ	原動機取付ボルト	引張応力	22	210	
		原子炉補機冷却水 サージタンク	基礎ボルト	引張応力	223	451	

表 5.1-1 構造強度評価結果 (4/12)

評価対象設備			評価部位	応力分類	発生値	評価基準値	備考
					MPa	MPa	
原子炉冷却系統設備	原子炉補機 冷却海水設備	海水ポンプ	振れ止めボルト	圧縮応力	25	181	
		海水ストレーナ	胴	膜応力+ 曲げ応力	31	236	
	燃料取替 用水設備	燃料取替用水タンク	胴	膜応力+ 曲げ応力	99	267	

表 5.1-1 構造強度評価結果 (5/12)

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値	評価基準値	備考	
				MPa	MPa		
計測制御系統設備	制御材	制御棒クラスタ	制御棒接合部	膜応力+ 曲げ応力	261	398	
	制御棒 駆動装置	制御棒クラスタ駆動装置	耐震サポート タイロッドUリンク	せん断応力	156	219	
	ほう酸注入 機能を有する 設備	ほう酸ポンプ	原動機取付ボルト	せん断応力	6	160	
		ほう酸タンク	基礎ボルト	引張応力	24	210	
		ほう酸フィルタ	胴	膜応力+ 曲げ応力	18	267	
	計測装置	炉内計装引出管	コンジットチューブ	膜応力+ 曲げ応力	202	342	
		主盤および原子炉補助盤	主盤フレーム	組合せ応力	0.41	1.00	※3, 4 単位: なし
	その他の計測 制御系統設備	制御用空気圧縮機	圧縮機取付ボルト	引張応力	25	210	
		制御用空気だめ	胴	膜応力+ 曲げ応力	58	243	

※3 計測装置の代表的な評価対象設備として選定。

※4 組合せ応力に対する評価式により、発生値は評価基準値に対する比率で示す。

表 5.1-1 構造強度評価結果 (6/12)

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値	評価基準値	備考	
				MPa	MPa		
燃料設備	燃料取替用水設備	燃料取替用水タンクポンプ	基礎ボルト	引張応力	10	210	
	使用済燃料貯蔵設備	使用済燃料ラック	固定金具と保持金具の溶接部	せん断応力	108	118	
	燃料取扱装置	使用済燃料ピットクレーン	転倒防止金具つめ	組合せ応力	256	342	
		燃料取扱棟クレーン	ガーダ	組合せ応力	129	244	※5

※5 燃料取扱棟クレーンは、通常時使用済燃料ピット上にはなく、運転中に基準地震動 S_s が発生してもピットを損傷する可能性が小さいため、弾性設計用地震動 S_d に対し、落下しないことを確認している。

表 5.1-1 構造強度評価結果 (7/12)

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値	評価基準値	備考	
				MPa	MPa		
放射線管理設備	放射線管理用計測装置	格納容器 高レンジエリアモニタ	検出器取付ボルト	引張応力	2	210	
	換気設備	アニュラス排気ファン	基礎ボルト	引張応力	57	210	
		中央制御室空調ファン	基礎ボルト	引張応力	50	210	
		中央制御室 非常用給気ファン	基礎ボルト	引張応力	24	210	
		中央制御室再循環ファン	基礎ボルト	引張応力	25	210	
		安全補機室排気ファン	基礎ボルト	引張応力	29	210	
		アニュラス 排気フィルタユニット	基礎ボルト	引張応力	167	210	
		中央制御室非常用 給気フィルタユニット	基礎ボルト	引張応力	34	210	
		安全補機室 排気フィルタユニット	基礎ボルト	引張応力	48	210	

表 5.1-1 構造強度評価結果 (8/12)

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値	評価基準値	備考	
				MPa	MPa		
原子炉格納施設	原子炉格納容器	原子炉格納容器本体	半球部と円筒部の接続部	膜応力+曲げ応力	139	280	※6
			胴	座屈	0.88	1.00	※7 単位：なし
		機器搬入口	取付部	膜応力+曲げ応力	131	280	※6
		エアロック	取付部	膜応力+曲げ応力	131	280	※6
		格納容器貫通部	取付部	膜応力+曲げ応力	133	280	※6
	アニュラスシール	アニュラスシール	梁端ボルト	せん断応力	139	220	

※6 事故時荷重と組み合わせる地震動である弾性設計用地震動 Sd による評価結果を示す。

※7 座屈に対する評価式により、発生値は評価基準値に対する比率で示す。

表 5.1-1 構造強度評価結果 (9/12)

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値	評価基準値	備考	
				MPa	MPa		
原子炉格納施設	圧力低減装置	格納容器スプレイ冷却器	胴	膜応力+ 曲げ応力	109	334	
		格納容器スプレイポンプ	基礎ボルト	せん断応力	18	160	
		よう素除去薬品タンク	基礎ボルト	引張応力	85	210	
		pH調整剤貯蔵タンク	基礎ボルト	引張応力	107	210	
		真空逃がし装置	貫通配管	膜応力+ 曲げ応力	12	315	
排気筒	格納容器排気筒	格納容器排気筒	排気筒本体	曲げ モーメント	97,476	207,000	単位：N・m

表 5.1-1 構造強度評価結果 (10/12)

評価対象設備			評価部位	応力分類	発生値	評価基準値	備考
					MPa	MPa	
蒸気タービン	蒸気タービンに 附属する 給水設備	電動補助給水ポンプ	原動機取付ボルト	引張応力	16	210	
		タービン動補助 給水ポンプ	原動機取付ボルト	引張応力	10	148	
		補助給水タンク	胴	膜応力+ 曲げ応力	117	240	
附帯設備	非常用 ディーゼル 発電機	内燃機関	基礎ボルト	せん断応力	33	223	
		始動空気だめ	胴	膜応力+ 曲げ応力	93	391	
		燃料油サービスタンク	基礎ボルト	せん断応力	10	157	
		発電機	軸受台 台板取付ボルト	引張応力	86	189	
	直流電源 装置	直流電源装置	蓄電池架台はり	組合せ応力	214	279	
クレーン類	クレーン	格納容器ポーラクレーン	ガーダ	組合せ応力	91	336	

表 5.1-1 構造強度評価結果 (11/12)

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生値	評価基準値	備考	
			MPa	MPa		
配管 (系統別)	一次冷却設備配管	配管本体	一次応力	144	342	
	一次冷却設備配管サポート	サポート部材	組合せ応力	214	264	
	主蒸気設備配管	配管本体	一次応力	123	394	
	主蒸気設備配管サポート	サポート部材	組合せ応力	186	245	
	主給水設備配管	配管本体	一次応力	149	380	※ 8
	主給水設備配管サポート	サポート部材	組合せ応力	111	215	
	余熱除去設備配管	配管本体	一次応力	234	401	
	余熱除去設備配管サポート	サポート部材	組合せ応力	214	264	

※ 8 経年変化事象を考慮した評価結果を示す。(参考資料—2 参照)

表 5.1-1 構造強度評価結果 (12/12)

評価対象設備		評価部位	応力分類	発生値	評価基準値	備考
				MPa	MPa	
配管 (系統別)	安全注入設備配管	配管本体	一次応力	135	342	
	安全注入設備配管サポート	サポート部材	組合せ応力	174	264	
	原子炉格納容器スプレイ設備配管	配管本体	一次応力	164	379	
	原子炉格納容器スプレイ設備配管サポート	サポート部材	組合せ応力	106	264	
	化学体積制御設備配管	配管本体	一次応力	83	342	
	化学体積制御設備配管サポート	サポート部材	組合せ応力	66	178	
その他配管	配管	配管本体	一次応力	134	351	※9
	配管サポート	サポート部材	組合せ応力	175	280	※9

※9 工事計画認可申請書(耐震計算書)の「標準支持間隔」に基づき耐震設計されている設備のうち、代表的な評価対象設備として選定。

5.2 動的機能維持の評価結果

動的機能維持の評価結果を表 5.2-1 に示す。

なお、本報告では、基本的には工事計画認可申請書（耐震計算書）およびこれまでの耐震安全性評価（バックチェック）を参考に評価対象設備を選定し、評価結果を示している。

各機器の応答加速度等は、いずれも評価基準値（機能確認済加速度、規定時間）を満足していることを確認した。

表 5.2-1 動的機能維持評価結果 (1/7)

評価対象設備	機能確認済加速度との比較					詳細評価
	評価位置	水平加速度 (G※1)		鉛直加速度 (G※1)		
		応答加速度	機能確認済加速度	応答加速度	機能確認済加速度	
余熱除去ポンプ	軸位置	0.62	1.4	0.35	1.0	—
余熱除去ポンプ用原動機	軸受部	0.62	2.6	0.35	1.0	—
充てんポンプ	軸位置	0.77	1.4	0.38	1.0	—
充てんポンプ用原動機	軸受部	0.77	2.6	0.38	1.0	—
高圧注入ポンプ	軸位置	0.62	1.4	0.35	1.0	—
高圧注入ポンプ用原動機	軸受部	0.62	2.6	0.35	1.0	—
原子炉補機冷却水ポンプ	軸位置	0.62	1.4	0.35	1.0	—
原子炉補機冷却水ポンプ用原動機	軸受部	0.62	2.6	0.35	1.0	—

※1 $G = 9.80665 (m/s^2)$

表 5.2-1 動的機能維持評価結果 (2/7)

評価対象設備	機能確認済加速度との比較					詳細評価
	評価位置	水平加速度 (G※1)		鉛直加速度 (G※1)		
		応答加速度	機能確認済加速度	応答加速度	機能確認済加速度	
海水ポンプ	コラム先端部	1.20	10.0	0.39	1.0	—
海水ポンプ用原動機	軸受部	0.90	2.5	0.39	1.0	—
ほう酸ポンプ	軸位置	0.77	1.4	0.38	1.0	—
ほう酸ポンプ用原動機	軸受部	0.77	4.7	0.38	1.0	—
制御用空気圧縮機	シリンダ部	0.63	2.2	0.36	1.0	—
制御用空気圧縮機用原動機	軸受部	0.63	4.7	0.36	1.0	—
燃料取替用水タンクポンプ	軸位置	0.97	1.4	0.54	1.0	—
燃料取替用水タンクポンプ用原動機	軸受部	0.97	4.7	0.54	1.0	—

※1 $G = 9.80665 (m/s^2)$

表 5.2-1 動的機能維持評価結果 (3/7)

評価対象設備	機能確認済加速度との比較					詳細評価
	評価位置	水平加速度 (G※1)		鉛直加速度 (G※1)		
		応答加速度	機能確認済加速度	応答加速度	機能確認済加速度	
アニュラス排気ファン	軸受部	2.04	2.3	0.64	1.0	—
アニュラス排気ファン用原動機	軸受部	2.04	4.7	0.64	1.0	—
安全補機室排気ファン	軸受部	2.04	2.3	0.64	1.0	—
安全補機室排気ファン用原動機	軸受部	2.04	4.7	0.64	1.0	—
中央制御室空調ファン	軸受部	1.16	2.3	0.64	1.0	—
中央制御室空調ファン用原動機	軸受部	1.16	4.7	0.64	1.0	—
中央制御室再循環ファン	軸受部	1.37	2.4	0.78	1.0	—
中央制御室再循環ファン用原動機	軸受部	1.37	4.7	0.78	1.0	—

※1 $G = 9.80665 (m/s^2)$

表 5.2-1 動的機能維持評価結果 (4/7)

評価対象設備	機能確認済加速度との比較					詳細評価
	評価位置	水平加速度 (G※1)		鉛直加速度 (G※1)		
		応答 加速度	機能確認済 加速度	応答 加速度	機能確認済 加速度	
中央制御室非常用給気ファン	軸受部	1.16	2.3	0.64	1.0	—
中央制御室非常用給気ファン用原動機	軸受部	1.16	4.7	0.64	1.0	—
格納容器スプレイポンプ	軸位置	0.62	1.4	0.35	1.0	—
格納容器スプレイポンプ用原動機	軸受部	0.62	2.6	0.35	1.0	—
タービン動補助給水ポンプ	軸位置	0.63	1.4	0.36	1.0	—
タービン動補助給水ポンプ駆動用タービン	重心位置	0.63	1.0	0.36	1.0	—
電動補助給水ポンプ	軸位置	0.63	1.4	0.36	1.0	—
電動補助給水ポンプ用原動機	軸受部	0.63	2.6	0.36	1.0	—

※1 $G = 9.80665 (m/s^2)$

表 5.2-1 動的機能維持評価結果 (5/7)

評価対象設備	機能確認済加速度との比較				詳細評価	
	評価位置	水平加速度 (G※1)		鉛直加速度 (G※1)		
		応答 加速度	機能確認済 加速度	応答 加速度		機能確認済 加速度
非常用予備発電装置機関本体	機関重心 位置	0.90	1.7	0.37	1.0	—
非常用予備発電装置ガバナ	ガバナ 取付位置	0.90	1.8	0.37	1.0	—

※1 $G = 9.80665 (m/s^2)$

表 5.2-1 動的機能維持評価結果 (6/7)

評価対象設備		機能確認済加速度との比較					詳細評価
		評価位置	水平加速度 (G※1)		鉛直加速度 (G※1)		
種別	弁名称		応答加速度	機能確認済加速度	応答加速度	機能確認済加速度	
一般弁	加圧器水位制御弁	弁駆動部	5.90	6.0	0.50	6.0	—
ゴムダイヤフラム弁	ほう酸タンク出口弁	弁駆動部	0.97	2.7	0.54	6.0	—
主蒸気隔離弁 操作用電磁弁	主蒸気隔離弁 操作用電磁弁	弁駆動部	1.17	2.2	0.60	2.0	—
加圧器安全弁	加圧器安全弁	弁駆動部	5.90	13.0	0.50	3.0	—
主蒸気安全弁	主蒸気安全弁	弁駆動部	2.50	13.0	0.70	3.0	—

※1 $G = 9.80665 (m/s^2)$

表 5.2-1 動的機能維持評価結果 (7/7)

評価対象設備	地震時の挿入時間 [秒]	評価基準値 (規定時間) [秒]	備考
制御棒 (挿入性)	2.23	2.5	※ 2

※ 2 ステップ 2 燃料集合体に対する評価結果を示す。

6. 参考文献

(1) 社団法人 日本電気協会

- ・鉛直方向の設計用床応答スペクトルの拡幅率

第 29 回 耐震設計分科会資料 No.29-4-5-7 平成 20 年 1 月
18 日

(2) 社団法人 日本電気協会

- ・水平及び鉛直方向の設計用減衰定数

第 29 回 耐震設計分科会資料 No.29-4-5-8 平成 20 年 1 月
18 日

(3) 社団法人 日本電気協会

- ・動的機器の地震時機能維持評価法

第 29 回 耐震設計分科会資料 No.29-4-5-9 平成 20 年 1 月
18 日

配管系の減衰定数について

配管系の設計用減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601－1991 追補版」に規定されているが、JEAG4601 の改訂に際しては、配管系の振動試験等をもとに、保温材の付加減衰定数およびUボルトを用いた支持具を有する配管系の減衰定数を定め、現行 JEAG4601 に定める配管系の設計用減衰定数を適正なものに見直している。

保温材とUボルト支持配管系の減衰定数に関する検討結果^(注)を以下に示す。
(表－ 1)

(注)：(社)日本電気協会、「参考資料 4.8 水平および鉛直方向の設計用減衰定数」、第 29 回耐震設計分科会資料 No.29-4-5-8、平成 20 年 1 月 1 8 日

表－ 1 配管系の設計用減衰定数（改訂案）

配管区分		減衰定数 (%) ※1	
		保温材有	保温材無
I	スナバ及び架構レストレイント支持主体の配管系で、その支持具（スナバ又は架構レストレイント）の数が 4 個以上のもの	<u>3.0</u>	2.0
II	スナバ、架構レストレイント、ロッドレストレイント、ハンガ等を有する配管系で、アンカ及びUボルト除いた支持具の数が 4 個以上であり、配管区分 I に属さないもの	<u>2.0</u>	1.0
III	Uボルトを有する配管系で、架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が 4 個以上のもの	<u>3.0</u>	<u>2.0</u>
IV	配管区分 I、II および III に属さないもの	<u>1.5</u>	0.5

※1 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」から変更した箇所を下線で示す。

Uボルト支持配管系（配管区分Ⅲ）の減衰定数について

Uボルト支持配管系の減衰定数については、実規模配管系による振動試験で妥当性を確認した減衰推算法を基に設定している。

減衰推算法の導出過程とその妥当性について、補足説明を示す。

「減衰推算法」とは、現行の JEAG4601-1991 追補版に示す配管系設計用減衰定数^(注1)を設定した際に立案された配管系の減衰定数を推算する方法である。

具体的には、地震時における配管本体と配管支持具の相互作用により減衰を期待できる因子ごとに、要素試験に基づき消散エネルギー^(注2)評価式を配管応答変位または発生荷重による相関式として作成し、これらの式を用いて配管系の地震応答時の減衰定数を推算するものである。

注1（設計用減衰定数）

：減衰定数の変位および振動数依存性、不確定性を考慮して、配管系の設計に使用するために設定された減衰定数。

注2（消散エネルギー）

：配管本体の持つ減衰メカニズム（材料減衰等）、配管支持具の持つ減衰メカニズム（摩擦、ガタ等）、および配管本体と配管支持具との相互作用（摩擦、衝突等）により、消散されるエネルギー。

減衰定数の推算に際しては、まず、配管支持具の種類に応じた支持部における摩擦、衝突等による消散エネルギー ΔE を求める式（消散エネルギー評価式）を要素試験に基づき作成し、対象となる配管系の地震時の応答変位から、配管系全体の歪エネルギー E および配管系の各支持部 j における消散エネルギー ΔE_j を求め、以下の式により減衰定数 h を求める。

$$h = \frac{1}{4\pi E} \sum_j \Delta E_j$$

本手法は、配管系の多岐にわたる減衰要因のうち、評価対象とする因子のみを抽出して評価するものであるため、実機配管系の減衰定数のシミュレーションを目的としたものではなく、当該配管系に期待できる減衰定数を安全側に推定する手法である。

Uボルト支持配管系の減衰推算法の妥当性については、減衰推算法により求められる減衰定数と実規模配管系試験で得られた減衰定数の比較を行い、前者がより安全側の結果を与えることで確認している。（『別添』参照）

Uボルト支持配管系の減衰推算法について

①要素試験および消散エネルギー評価式の策定

Uボルト支持部での減衰メカニズムは、摩擦および衝突が主体であり、架構レストレイントの配管支持部での減衰メカニズムと同様と考えられる。

Uボルト支持配管系の減衰メカニズムのうち、摩擦および衝突について、その減衰メカニズムを把握し、消散エネルギー評価式を導出するための要素試験を実施し、消散エネルギー評価式を策定した。

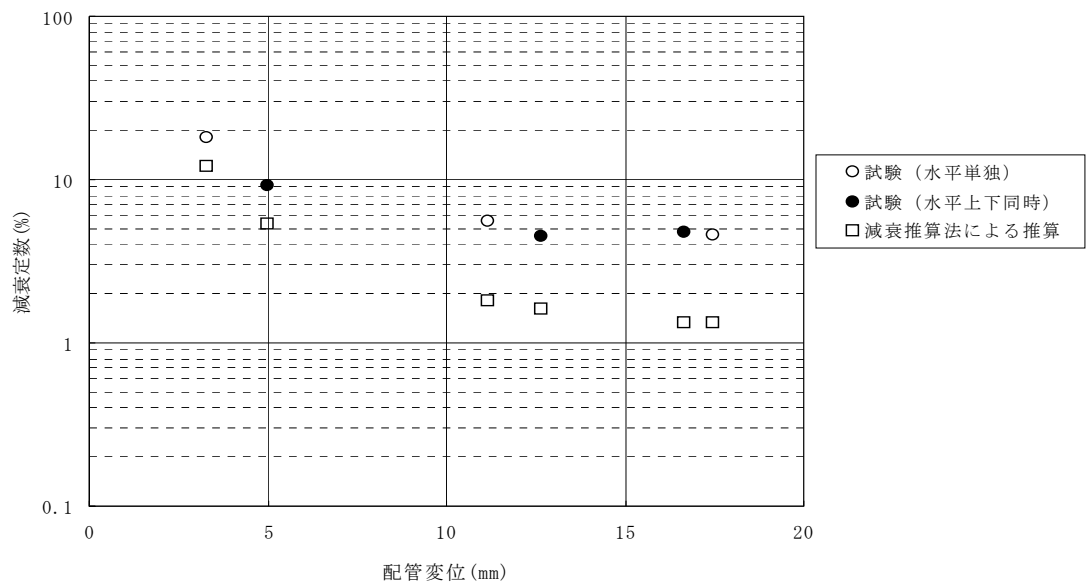
②減衰推算法の妥当性確認

試験により得られた減衰定数と消散エネルギー評価式を用いた減衰推算法により算出される減衰定数（以下、「推算減衰」という。）との比較より、推算減衰は、試験により得られた減衰定数より小さいことを確認した。

（図－１）

試験により得られた減衰定数と推算減衰との差異は、評価対象とする減衰メカニズムとして、配管軸方向摩擦と配管軸直角方向摩擦および衝突のみに着目して推算減衰を算出しているために生じていると考えられる。

したがって、推算減衰は、試験により得られた減衰定数に対して、応答変位によらず、安全側となっており、減衰推算法により減衰定数を算定することは、減衰定数を保守的に評価するという観点から妥当と考えられる。



図－１ 試験結果と減衰推算法による減衰定数の比較

出典：(社)日本電気協会、「参考資料 4.8 水平及び鉛直方向の設計用減衰定数」, 第 29 回耐震設計分科会資料 No.29-4-5-8, 平成 20 年 1 月 1 8 日

使用済燃料ピットのスロッシングに対する影響検討について

1. 検討方針

基準地震動 S_s による使用済燃料ピットのスロッシング評価を行い、ピットからの溢水量を推定し、使用済燃料ピット内の使用済燃料および下階の安全系機器への影響等がないことを確認する。

具体的には、使用済燃料ピットのスロッシングによる溢水事象に対し、以下の検討を行う。

- ・基準地震動 S_s による使用済燃料ピットからの溢水量の推定
- ・溢水による使用済燃料ピット水位低下に対する使用済燃料の遮へいへの影響確認
- ・溢水による下階の安全系機器への影響確認

2. 検討結果

2.1 基準地震動 S_s による溢水量の推定

2.1.1 溢水量の推定方法

使用済燃料ピットのスロッシングによる溢水量は、保守的に使用済燃料ピットA、使用済燃料ピットB、燃料取替用キャナル、キャスクピット、燃料検査ピットの全てが水張りされた状態で流動解析により算定する。

伊方3号機原子炉建屋(E.L. 32.3m)の平面図および断面図、ならびに使用済燃料ピット周辺の概要を図－1～図－3に示す。

2.1.2 溢水量の推定結果

上記2.1.1により算定した基準地震動 S_s における使用済燃料ピットのスロッシングによる溢水量を表－1に示す。

表－1 基準地震動 S_s における使用済燃料ピットのスロッシングによる溢水量

NS 方向地震	EW 方向地震
17.2 m ³	10.7 m ³

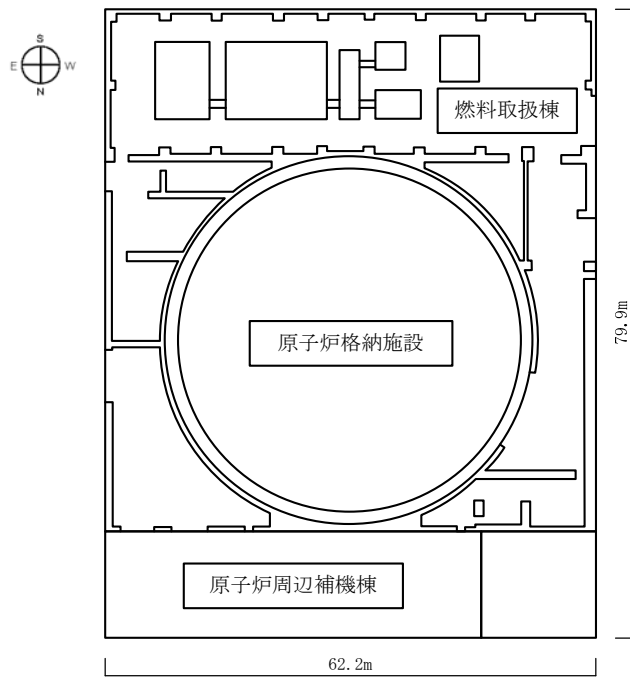


図-1 原子炉建屋(E. L. 32. 3m) 平面図

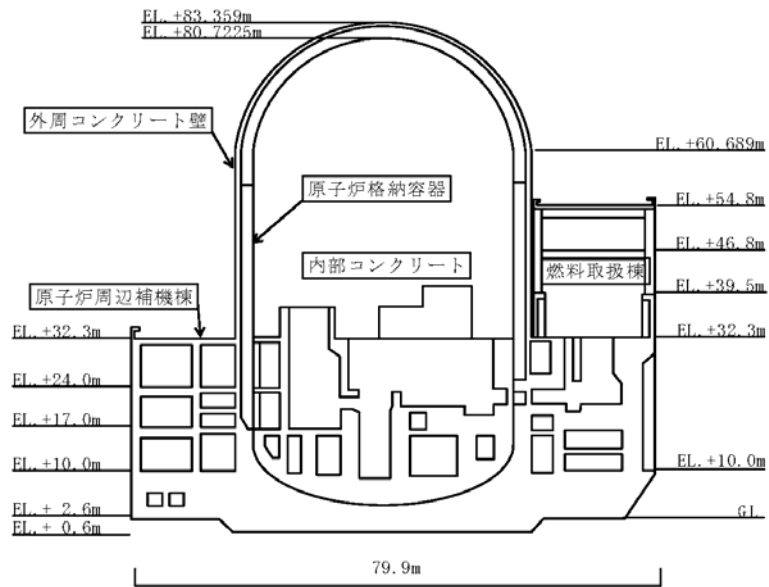


図-2 原子炉建屋(E. L. 32. 3m) 断面図(NS 方向)

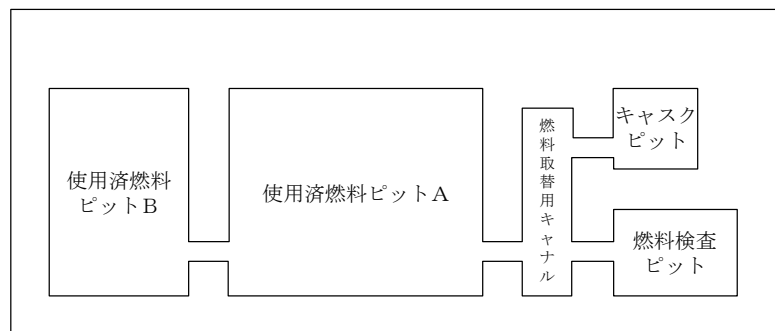


図-3 使用済燃料ピット概要図

2.2 溢水による使用済燃料の遮へいへの影響確認

使用済燃料ピットからの溢水量がピット外に流出した際の使用済燃料ラック上部水位を求め、使用済燃料の遮へいに必要な水深が確保されていることを確認する。

確認結果を表－2に示す。

スロッシングによる溢水後の使用済燃料ラック上部水位は、使用済燃料の遮へいに必要な水位以上に保たれている。

表－2 溢水時の使用済燃料ピット水位確認結果

初期使用済燃料ピット水位	E. L. 31. 93m
NS 方向地震後の使用済燃料ピット水位 ^{※1}	E. L. 31. 84m
EW 方向地震後の使用済燃料ピット水位 ^{※1}	E. L. 31. 87m
遮へいに必要な水位	E. L. 29. 24m

※1：使用済燃料ピットAおよび使用済燃料ピットBの水位を示す。

2.3 溢水による安全系機器への影響確認

2.3.1 溢水に対する設計上の考慮について

安全上重要な系統および機器は多重性、多様性を有するとともに、必要に応じて互いに離隔距離をとる等の配置上の考慮がなされており、その安全機能が喪失しないよう設計されている。

機器・配管系の破損による異常漏えい等の溢水に対しても、安全上重要な系統および機器の安全機能を確保できるよう、配置上の考慮や、堰、床勾配や漏えい検知装置の設置等がなされている。（図－4参照）

2.3.2 溢水に対する安全系機器の影響確認

スロッシングによる使用済燃料ピットからの溢水量が比較的少ない（約17m³程度）こと、また、溢水は床ドレンにより E. L. 3. 3m にある補助建屋サンプタンクに導かれるため、燃料取扱棟を含む管理区域外への流出はない。

以上により、スロッシングによる使用済燃料ピットからの溢水に対する安全系機器への影響はない。

図-4 東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所で確認された主な事象と伊方発電所の対応について

柏崎刈羽原子力発電所の主な事象	伊方発電所の対応
<p>○6号機原子炉建屋内で微量の放射能を含んだ水(1.2 m³)が漏えいし、海へ放出された。 地震の揺れで建屋4階の使用済燃料プールからこぼれた水が、同じフロアのピット(穴)内にある燃料交換機給電ボックスに流入。ボックス内の電線貫通部のシール部(パテ)の隙間から電線管の中に流入して建屋3階に滴下し、床面に溜まった水が排水口等を経由して海に放出されたことが確認された。</p> <div data-bbox="443 850 958 1043"> </div>	<p>○伊方発電所では、燃料交換装置給電ボックス等は同じフロアのピット(穴)内には設置しておらず、電線管等の非管理区域との境界部については、隙間を持たせないような施工やシール処理を行っていること、また、外部と接している箇所については、堰やシャッター等で仕切り、溢水対策を施していることなどから、同様な事態は生じないと考えている。</p> <div data-bbox="1370 799 1789 1112"> </div>

経年変化事象による耐震安全性への影響評価

1. まえがき

発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の改訂に伴い、原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）より求められた新耐震指針に照らした耐震安全性評価に合わせて、参考として経年変化事象による耐震安全性への影響評価についても自主的に行うこととし、耐震安全性評価実施計画書を平成 18 年 10 月 18 日に保安院に提出した。

本書は、耐震安全性評価実施計画書に基づき実施した伊方発電所 3 号機（営業運転開始：1994 年 12 月 15 日）の経年変化事象による耐震安全性への影響評価結果についてまとめたものである。

2. 基本方針

原子力発電所は、運転に伴う設備や部品の経年変化等の知見を踏まえた保全計画に基づく点検や部品交換、補修等の保守管理が継続的に行われており、経年変化事象による耐震安全性への影響は小さいものと考えている。

今回、経年変化事象による耐震安全性への影響評価を実施するに当たり、新耐震指針に照らした既設発電用原子炉施設の耐震安全性評価の対象施設について、伊方 1 号機の高経年化技術評価結果（伊方発電所第 1 号機の高経年化技術評価（平成 18 年 9 月（平成 19 年 7 月一部補正）に保安院へ報告））から、伊方 3 号機でも発生している経年変化事象であるエロージョン・コロージョンに着目し耐震安全性評価を実施した。

3. 対象

新耐震指針に照らした既設発電用原子炉施設の耐震安全性評価の対象施設を対象とし、伊方 1 号機の高経年化技術評価において、耐震安全性評価上着目すべき経年変化事象としてエロージョン・コロージョンが抽出された箇所、代表的な主給水設備配管を選定し、耐震安全性評価を実施した。

4. 経年変化事象による耐震安全性への影響評価

主給水設備配管のエロージョン・コロージョンに対する耐震安全性評価結果から、主給水設備配管に発生する一次応力は全て評価基準値以下であり、耐震安全性に影響のないことを確認した。（表－1）

表－1 評価結果

評価対象設備	一次応力 [MPa]	
	発生応力	評価基準値
主給水設備配管 ^(注)	149	380

(注)：想定する主給水設備配管の減肉範囲は、偏流発生部および周辺で、厚さは最小板厚とする。

MOX（ウラン・プルトニウム混合酸化物）燃料集合体 に対する耐震安全性評価

1. まえがき

ウラン資源の有効利用の観点から、伊方発電所3号機において、使用済燃料を再処理して得られるプルトニウムを利用したウラン・プルトニウム混合酸化物燃料（以下「MOX燃料」という）を使用する計画としている。

この申請に係る原子炉設置変更の経緯は以下のとおりである。

平成16年11月1日：原子炉設置変更許可申請

平成17年7月27日：原子力安全・保安院による審査終了
経済産業大臣から原子力委員会及び原子力安全
委員会へ諮問

平成18年3月16日：答申（原子力安全委員会）

平成18年3月20日：答申（原子力委員会）

平成18年3月28日：許可

MOX燃料装荷工事については、電気事業法施行規則別表第二で「認可を要するもの」とされている原子力発電設備の改造に該当するため、今後、電気事業法第47条に基づき工事計画の認可の申請を行う予定である。

本書は、当社が自主的に実施した、伊方発電所3号機に導入予定のMOX燃料に対する耐震安全性評価結果についてまとめたものである。

2. 評価方針

『『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』等の改訂に伴う既設発電用原子炉施設の耐震安全性の評価等の実施について』（平成18・09・19原院第6号平成18年9月20日）に基づき、基準地震動 S_s に対するMOX燃料の耐震安全性評価を実施する。

3. 評価結果

基準地震動 S_s に対するMOX燃料の耐震安全性評価結果から、構造強度および動的機能維持に関する評価結果は、いずれも評価基準値を満足していることを確認した。
(表－1, 2)

表－1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生値	評価基準値	備考
			MPa	MPa	
MOX燃料	燃料被覆管	体積平均相当応力	98	292	
	制御棒案内シンプル	膜応力＋曲げ応力	129	194	
	支持格子	衝撃力	※1	33,440	単位：N

※1 支持格子に生じる最大衝撃力が弾性限界荷重を上回っており、支持格子には永久変形（最大 1.1mm）が生じるが、その変形量は、これまでも燃料集合体の工事計画認可申請「制御棒クラスタの耐震性に関する説明書」で示す制御棒挿入性に支障を来たさないことが確認された変形量よりも小さいため、制御棒挿入性には影響しない。

表－2 動的機能維持評価結果

評価対象設備	地震時の挿入時間 [秒]	評価基準値 (規定時間) [秒]	備考
制御棒（挿入性）	2.23	2.5	※2

※2 ステップ2燃料集合体に対する評価結果を示す。なお、導入予定のMOX燃料集合体は、ステップ2燃料集合体と比較して地震時変位が小さいため、地震時の挿入時間は本評価結果以下であり、評価基準値を満足している。

VIII 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

【 目 次 】

1.	評価方針	VIII-1
2.	原子炉補機冷却海水ポンプ室	VIII-2
2.1	評価方法	VIII-2
2.1.1	一般事項	VIII-2
2.1.2	評価条件	VIII-2
2.2	地震応答解析	VIII-3
2.2.1	解析手法	VIII-3
2.2.2	解析モデル	VIII-3
2.2.3	入力地震動	VIII-3
2.3	評価基準	VIII-3
2.3.1	評価手法	VIII-3
2.3.2	評価基準値	VIII-3
2.4	評価結果	VIII-4
2.4.1	曲げに対する照査結果	VIII-4
2.4.2	せん断に対する照査結果	VIII-4
3.	原子炉補機冷却海水管ダクト	VIII-5
3.1	評価方法	VIII-5
3.1.1	一般事項	VIII-5
3.1.2	評価条件	VIII-5
3.2	地震応答解析	VIII-6
3.2.1	解析手法	VIII-6
3.2.2	解析モデル	VIII-6
3.2.3	入力地震動	VIII-6
3.3	評価基準	VIII-6
3.3.1	評価手法	VIII-6
3.3.2	評価基準値	VIII-6
3.4	評価結果	VIII-7

3.4.1	曲げに対する照査結果	VIII-7
3.4.2	せん断に対する照査結果	VIII-7
4.	参考文献	VIII-9

【 表 目 次 】

第 2.1-1 表	使用材料	VIII-10
第 2.1-2 表	材料の物性値	VIII-10
第 2.1-3 表	地盤物性値	VIII-11
第 2.1-4 表	基準地震動 S_s	VIII-12
第 2.3-1 表	許容応力度	VIII-13
第 2.4-1(1) 表	曲げに対する鉄筋引張応力度の照査結果(基準地震動 S_s-1)	VIII-14
第 2.4-1(2) 表	曲げに対するコンクリート圧縮応力度の照査結果(基準地震動 S_s-1)	VIII-15
第 2.4-1(3) 表	曲げに対する鉄筋引張応力度の照査結果(基準地震動 S_s-2)	VIII-16
第 2.4-1(4) 表	曲げに対するコンクリート圧縮応力度の照査結果(基準地震動 S_s-2)	VIII-17
第 2.4-2(1) 表	せん断に対する応力度照査結果(基準地震動 S_s-1)	VIII-18
第 2.4-2(2) 表	せん断に対する応力度照査結果(基準地震動 S_s-2)	VIII-18
第 3.1-1 表	使用材料	VIII-19
第 3.1-2 表	材料の物性値	VIII-19
第 3.1-3 表	地盤物性値	VIII-20
第 3.1-4 表	基準地震動 S_s	VIII-21
第 3.3-1 表	許容応力度	VIII-22
第 3.3-2 表	安全係数	VIII-23
第 3.4-1(1) 表	曲げに対する耐力照査結果(基準地震動 S_s-1)	VIII-24
第 3.4-1(2) 表	曲げに対する鉄筋引張応力度の照査結果(基準地震動 S_s-2)	VIII-25
第 3.4-1(3) 表	曲げに対するコンクリート圧縮応力度の照査結果(基準地震動 S_s-2)	VIII-26
第 3.4-2(1) 表	せん断に対する耐力照査結果(基準地震動 S_s-1)	VIII-27
第 3.4-2(2) 表	せん断に対する応力度照査結果(基準地震動 S_s-2)	VIII-27

【 図 目 次 】

第 1-1 図	屋外重要土木構造物配置図	VIII-28
第 2.1-1 図	原子炉補機冷却海水ポンプ室平面図	VIII-29
第 2.1-2 図	原子炉補機冷却海水ポンプ室断面図 (X-X' 断面)	VIII-29
第 2.1-3 図	原子炉補機冷却海水ポンプ室評価フロー	VIII-30
第 2.2-1 図	解析モデル概略 (X-X' 断面)	VIII-31
第 2.2-2 図	地震応答解析モデル (原子炉補機冷却海水ポンプ室)	VIII-32
第 2.2-3 図	入力地震動の作成モデル	VIII-33
第 3.1-1 図	原子炉補機冷却海水管ダクト平面図	VIII-34
第 3.1-2 図	原子炉補機冷却海水管ダクト断面図 (X-X' 断面)	VIII-34
第 3.1-3 図	原子炉補機冷却海水管ダクト評価フロー	VIII-35
第 3.1-4(1) 図	埋戻土の動的非線形特性 ($G/G_0 \sim \gamma$ 曲線)	VIII-36
第 3.1-4(2) 図	埋戻土の動的非線形特性 ($h \sim \gamma$ 曲線)	VIII-36
第 3.2-1 図	解析モデル概略 (X-X' 断面)	VIII-37
第 3.2-2 図	地震応答解析モデル (原子炉補機冷却海水管ダクト)	VIII-38
第 3.2-3 図	入力地震動の作成モデル	VIII-39
第 3.4-1 図	Ss-1 地震時に許容応力度を上回る部位	VIII-40

1. 評価方針

耐震安全上重要な機器・配管を支持する屋外重要土木構造物について、地震時に機器・配管系の安全機能が保持されるように支持することを確認する。

Sクラス設備の間接支持構造物であるポンプ室および配管ダクトを評価対象とし、地盤条件および構造形式から原子炉補機冷却海水ポンプ室および原子炉補機冷却海水管ダクトを代表設備として選定する。

屋外重要土木構造物配置図を第 1-1 図に示す。

2. 原子炉補機冷却海水ポンプ室

2.1 評価方法

2.1.1 一般事項

原子炉補機冷却海水ポンプ室は，EL.+3.0mより上部のポンプ室部と下部の4連の水路部から構成される鉄筋コンクリート造の半地下式構造物であり，三波川変成岩類の塩基性片岩を主とする岩盤に直接支持されている。原子炉補機冷却海水ポンプ室の平面図，断面図を第2.1-1図および第2.1-2図に示す。なお，評価断面は，原子炉補機冷却海水ポンプが設置された断面とする。また，使用材料を第2.1-1表に示す。

原子炉補機冷却海水ポンプ室の耐震安全性評価は，基準地震動 S_s を用いた動的解析を実施し，動的解析により求めた応答値が評価基準値を下回ることを確認することで行う。原子炉補機冷却海水ポンプ室の評価フローを第2.1-3図に示す。

2.1.2 評価条件

動的解析に必要な地盤および屋外重要土木構造物の諸定数は，各種材料試験，地盤調査および文献調査の結果をもとに設定した設計時の値を用いる。

(1) 材料の物性値

材料の物性値を第2.1-2表に示す。

(2) 地盤物性値

地盤物性値を第2.1-3表に示す。

(3) 荷重

a. 常時荷重

常時荷重としては，躯体自重，機器配管荷重，地下水圧および内水圧を考慮する。

b. 地震時荷重

地震時荷重としては，基準地震動 S_s の水平成分と鉛直成分を同時に入力して加振することで考慮する。基準地震動 S_s を第2.1-4表に示す。

2.2 地震応答解析

2.2.1 解析手法

地震応答解析手法は、構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる二次元動的有限要素法による解析（等価線形解析，解析コード：SuperFLUSH/2D）とし，周波数領域において水平地震動と鉛直地震動を同時に考慮した解析により時刻歴の応答値を求める。

2.2.2 解析モデル

解析モデルは，構造物を梁要素でモデル化するとともに，地盤を二次元平面ひずみ要素でモデル化して構築する。地震応答解析モデルの境界条件は，側方境界をエネルギー伝達境界，底面境界を粘性境界とする。構造物のモデル化について第 2.2-1 図に，地震応答解析モデルを第 2.2-2 図に示す。

2.2.3 入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は，解放基盤表面（EL.+10.0m）で定義した基準地震動 S_s を，一次元波動論に基づく地震応答解析によって解析基盤（EL.-80.0m）へ引戻した地震動とする。入力地震動の作成モデルを第 2.2-3 図に示す。

2.3 評価基準

2.3.1 評価手法

原子炉補機冷却海水ポンプ室の耐震安全性評価は，基準地震動 S_s を用いた地震応答解析を実施し，各照査部位について最も厳しい時刻で評価基準値を満足する事を確認することで行う。

2.3.2 評価基準値

耐震安全性の評価指標は，曲げに対してはコンクリートの圧縮応力度および鉄筋の引張応力度とし，せん断に対しては，コンクリートのせん断応力度とする。これらの応力度が許容応力度を超えないことを確認する。各許容応力度を第 2.3-1

表に示す。

2.4 評価結果

2.4.1 曲げに対する照査結果

曲げに対する照査の結果，全ての照査部位において鉄筋の引張応力度およびコンクリートの圧縮応力度が許容応力度を下回ることを確認した。第 2.4-1(1)表～第 2.4-1(4)表に照査結果を示す。なお，表には各層の各部材で最も厳しいケースの照査結果を示す。

2.4.2 せん断に対する照査結果

せん断に対する照査の結果，全ての照査部位においてコンクリートのせん断応力度が許容応力度を下回ることを確認した。第 2.4-2(1)表～第 2.4-2(2)表に照査結果を示す。なお，表には各層の各部材で最も厳しいケースの照査結果を示す。

3. 原子炉補機冷却海水管ダクト

3.1 評価方法

3.1.1 一般事項

原子炉補機冷却海水管ダクトは、鉄筋コンクリート造の単ボックス構造であり、三波川変成岩類の塩基性片岩を主とする岩盤に直接支持する形で構築した後、埋戻している。原子炉補機冷却海水管ダクトの平面図、断面図を第 3.1-1 図および第 3.1-2 図に示す。なお、評価断面は、原子炉補機冷却海水管ダクトの断面うち最も大きな断面とする。また、使用材料を第 3.1-1 表に示す。

原子炉補機冷却海水管ダクトの耐震安全性評価は、基準地震動 S_s を用いた動的解析を実施し、動的解析により求めた応答値が評価基準値を下回ることを確認することで行う。原子炉補機冷却海水管ダクトの評価フローを第 3.1-3 図に示す。

3.1.2 評価条件

動的解析に必要な地盤および屋外重要土木構造物の諸定数は、各種材料試験、地盤調査および文献調査の結果をもとに設定した設計時の値を用いる。

(1) 材料の物性値

材料の物性値を第 3.1-2 表に示す。

(2) 地盤物性値

地盤物性値を第 3.1-3 表に示す。埋戻土の動的非線形特性を第 3.1-4(1) 図～第 3.1-4(2) 図に示す。

(3) 荷重

a. 常時荷重

常時荷重としては、躯体自重、機器配管荷重、土被り荷重を考慮する。

b. 地震時荷重

地震時荷重としては、基準地震動 S_s の水平成分・鉛直成分を同時に入力して加振することで考慮する。基準地震

動 S_s を第 3.1-4 表に示す。

3.2 地震応答解析

3.2.1 解析手法

地震応答解析手法は、構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる二次元動的有限要素法による解析（等価線形解析，解析コード：SuperFLUSH/2D）とし，周波数領域において水平地震動と鉛直地震動を同時に考慮した解析により時刻歴の応答値を求める。

3.2.2 解析モデル

解析モデルは，構造物を梁要素でモデル化するとともに，地盤を二次元平面ひずみ要素でモデル化して構築する。地震応答解析モデルの境界条件は，側方境界をエネルギー伝達境界，底面境界を粘性境界とする。構造物のモデル化について第 3.2-1 図に，地震応答解析モデルを第 3.2-2 図に示す。

3.2.3 入力地震動

地震応答解析モデルへの入力地震動は，解放基盤表面（EL.+10.0m）で定義した基準地震動 S_s を，一次元波動論に基づく地震応答解析によって解析基盤（EL.-80.0m）へ引戻した地震動とする。入力地震動の作成モデルを第 3.2-3 図に示す。

3.3 評価基準

3.3.1 評価手法

原子炉補機冷却海水管ダクトの耐震安全性評価は，基準地震動 S_s を用いた地震応答解析を実施し，各照査部位について最も厳しい時刻で評価基準値を満足する事を確認することで行う。

3.3.2 評価基準値

耐震安全性の評価指標は，曲げに対してはコンクリートの圧縮応力度および鉄筋の引張応力度とし，せん断に対しては，コンクリートのせん断応力度とする。これらの応力度が許容

応力度を超えないことを確認する。各許容応力度を第 3.3-1 表に示す。

応力度照査の結果，発生応力度が許容応力度を上回る場合は，「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル(1992)」⁽¹⁾を参考に，当該部材の剛性残存率を 50%として再度応答解析を実施し，部材の曲げ，せん断に対する照査を行う。この場合の耐震安全性の評価指標は，曲げに対しては曲げモーメント，せん断に対してはせん断力とし，設計断面力の設計断面耐力に対する比に構造物係数を乗じた値が 1.0 を超えない事を確認する。第 3.3-2 表に照査に用いる安全係数を示す。

3.4 評価結果

3.4.1 曲げに対する照査結果

基準地震動 S_s-1 で照査を行った結果，頂版および底版において鉄筋の引張応力度が許容応力度を上回る部位が確認された。このため，両部材の剛性残存率を 50%として再度応答解析を実施し，曲げモーメントを評価指標として照査を行った。その結果，全ての照査部位において設計曲げモーメントの設計曲げ耐力に対する比に構造物係数を乗じた値が 1.0 を下回る事を確認した。第 3.4-1 図に鉄筋の引張応力度が許容応力度を上回った部位を示す。

基準地震動 S_s-2 で照査を行った結果，全ての照査部位において鉄筋の引張応力度およびコンクリートの圧縮応力度が許容応力度を下回ることを確認した。

第 3.4-1(1) 表～第 3.4-1(3) 表に照査結果を示す。なお，表には各部材で最も厳しいケースの照査結果を示す。

3.4.2 せん断に対する照査結果

基準地震動 S_s-1 での照査は，曲げに対する照査において実施した頂版および底版の剛性残存率を 50%とした応答値に基づき，せん断力を評価指標として行う。その結果，全ての照査部位において設計せん断力の設計せん断耐力に対する比に構造物係数を乗じた値が 1.0 を下回る事を確認した。

S_s-2 地震動で照査を行った結果，全ての照査部位において

コンクリートのせん断応力度が許容応力度を下回ることを確認した。

第 3.4-2(1) 表～第 3.4-2(2)表に照査結果を示す。なお，表には各部材で最も厳しいケースの照査結果を示す。

4. 参考文献

- (1) 「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル」土木学会原子力土木委員会，土木学会，1992

第 2.1-1 表 使用材料

コンクリート	設計基準強度 23.5N/mm ²
鉄筋	SD345 相当 (SD35)

第 2.1-2 表 材料の物性値

材 料	鉄筋コンクリート
単位体積重量 (kN/m ³)	24.5
ヤング係数 (kN/m ²)	24.8 × 10 ⁶
せん断弾性係数 (kN/m ²)	10.3 × 10 ⁶
ポアソン比	0.2

第 2.1-3 表 地盤物性値

物 性 区 分		岩 盤					
		I 級			II 級	*1) III 級	
		①	②	③			
常 時	単位体積重量 (kN/m^3)	29.4			27.5	18.6	
	弾性係数 ($\times 10^5 \text{kN}/\text{m}^2$)	36.3			11.8	0.392	
	ポアソン比	0.29			0.32	0.45	
地 震 時	動 的	弾性係数 ($\times 10^5 \text{kN}/\text{m}^2$)	588	422	235	108	1.27
		せん断弾性係数 ($\times 10^5 \text{kN}/\text{m}^2$)	219	159	86.8	40.3	0.439
		せん断波速度 (km/sec)	2.7	2.3	1.7	1.2	0.152
		ポアソン比	0.34			0.36	0.45
		$G/G_0 \sim \gamma$ 関係	—			—	—
		$h \sim \gamma$ 関係 もしくは 減衰定数 (%)	2.0			3.0	10.0

*1) 表土で代表。

第 2.1-4 表 基準地震動 S_s

地震動 (水平動, 鉛直動)	備考
S_s-1H , S_s-1V	設計用模擬地震波
S_s-2^* , S_s-2UD	想定敷地前面海域の断層群による地震

※水平動は S_s-2NS 成分と S_s-2EW 成分を解析断面方向に方位変換して用いた。

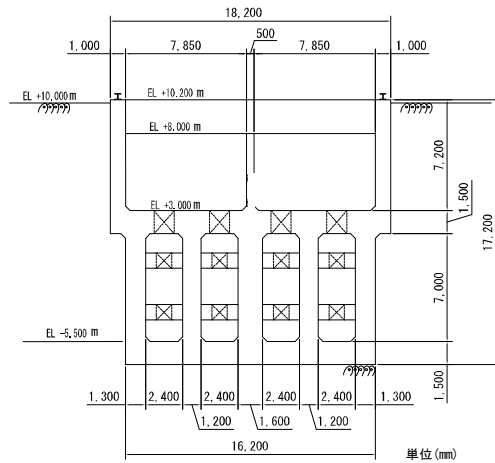
第 2.3-1 表 許容応力度

鉄筋	許容引張応力度 (N/mm^2)	345
コンクリート	許容圧縮応力度 (N/mm^2)	17.6
	許容せん断応力度 (N/mm^2)	0.88

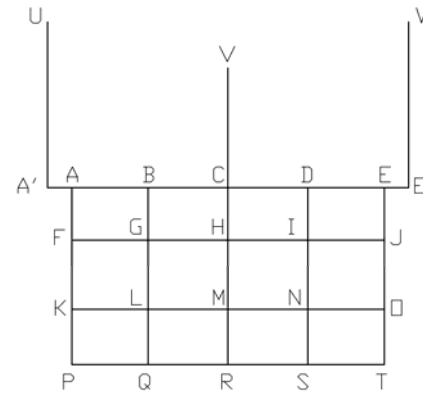
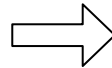
第 2.4-1(1)表 曲げに対する鉄筋引張応力度の照査結果(基準地震動 Ss-1)

地震動			Ss-1							
部材			頂版	上段 サポート	下段 サポート	底版	ポンプ室壁	湛水部上段 側壁	湛水部中段 側壁	湛水部下段 側壁
部位			AB-中央	IJ-J 端	NO-O 端	ST-T 端	VC-C 端	DI-D 端	IN-I 端	OT-T 端
時刻(sec)			20.45	20.45	20.44	17.09	8.63	17.08	17.08	17.08
断面力	曲げモーメント	M(kN・m)	68.1	136.8	246.0	507.0	243.4	183.4	190.2	520.6
	軸力※	N'(kN)	-1278.2	-620.0	-624.4	-1091.0	63.8	135.8	208.2	-525.5
鉄筋の引張応力度		σ_s (N/mm ²)	211.2	200.9	257.0	296.2	341.7	39.9	38.3	182.9
許容応力度		σ_{sa} (N/mm ²)	345	345	345	345	345	345	345	345

※ 軸力については圧縮を+とする。



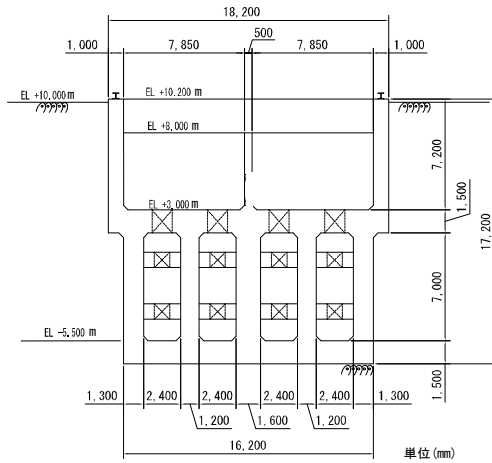
モデル化



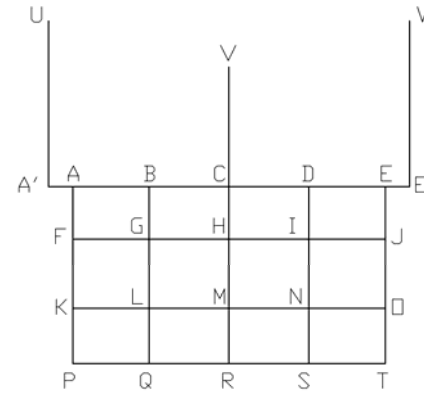
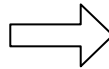
第 2.4-1(2)表 曲げに対するコンクリート圧縮応力度の照査結果(基準地震動 Ss-1)

地震動			Ss-1							
部材			頂版	上段 サポート	下段 サポート	底版	ポンプ室壁	湛水部上段 側壁	湛水部中段 側壁	湛水部下段 側壁
部位			DE-E 端	IJ-J 端	NO-O 端	RS-R 端	VC-C 端	DI-D 端	IN-I 端	NS-S 端
時刻(sec)			17.07	17.08	17.08	17.06	8.63	17.07	17.07	17.08
断面力	曲げモーメント	M(kN・m)	333.2	230.6	340.2	485.4	243.4	188.6	195.5	404.5
	軸力※	N'(kN)	115.2	68.3	-171.3	291.4	63.8	146.3	242.4	338.2
コンクリートの圧縮応力度		σ_c (N/mm ²)	1.4	2.7	4.0	1.6	10.4	1.3	1.5	2.7
許容応力度		σ_{ca} (N/mm ²)	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6

※ 軸力については圧縮を+とする。



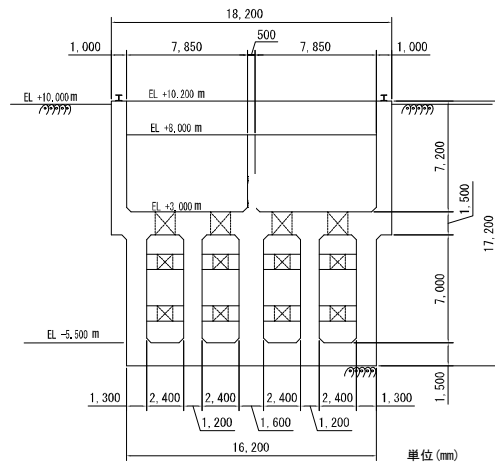
モデル化



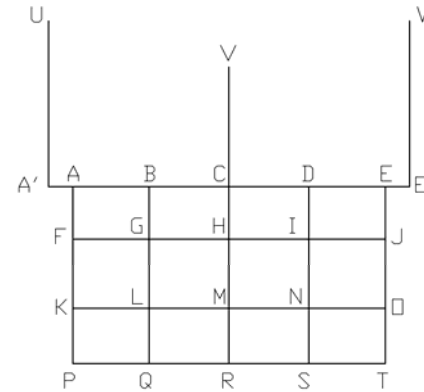
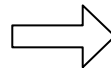
第 2.4-1 (3) 表 曲げに対する鉄筋引張応力度の照査結果(基準地震動 Ss-2)

地震動		Ss-2								
部材		頂版	上段 サポート	下段 サポート	底版	ポンプ室壁	湛水部上段 側壁	湛水部中段 側壁	湛水部下段 側壁	
部位		AB-中央	IJ-J 端	NO-O 端	ST-T 端	VC-C 端	DI-D 端	FK-F 端	OT-T 端	
時刻(sec)		6.22	6.22	6.21	6.21	6.15	6.20	5.31	6.20	
断面力	曲げモーメント	M (kN・m)	60.1	120.1	216.4	273.3	92.4	109.3	176.7	285.0
	軸力※	N' (kN)	-681.2	-218.2	-225.3	-666.1	64.5	196.0	241.8	-45.2
鉄筋の引張応力度		σ_s (N/mm ²)	118.1	107.2	157.6	172.4	118.8	6.6	8.8	69.0
許容応力度		σ_{sa} (N/mm ²)	345	345	345	345	345	345	345	345

※ 軸力については圧縮を+とする。



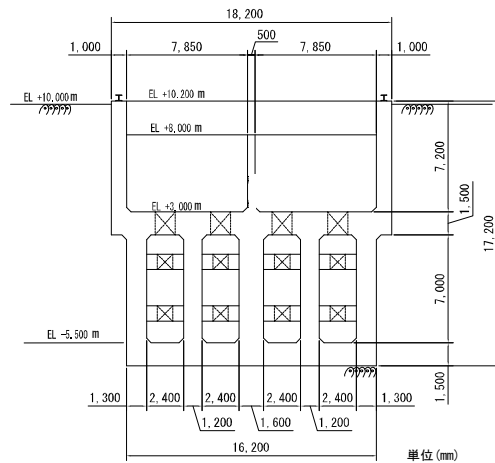
モデル化



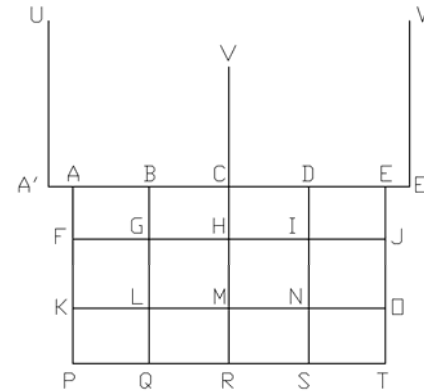
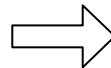
第 2.4-1(4)表 曲げに対するコンクリート圧縮応力度の照査結果(基準地震動 Ss-2)

地震動			Ss-2							
部材			頂版	上段 サポート	下段 サポート	底版	ポンプ室壁	湛水部上段 側壁	湛水部中段 側壁	湛水部下段 側壁
部位			DE-E 端	IJ-J 端	NO-O 端	RS-R 端	VC-C 端	DI-D 端	IN-I 端	OT-T 端
時刻(sec)			6.19	6.20	6.20	6.19	6.15	6.19	6.20	6.20
断面力	曲げモーメント	M(kN・m)	230.3	168.3	238.6	397.5	92.4	92.2	139.9	285.0
	軸力※	N'(kN)	67.7	74.6	-87.8	32.3	64.5	230.3	330.2	-45.2
コンクリートの圧縮応力度		$\sigma_c(N/mm^2)$	0.9	2.0	2.8	1.2	4.0	0.6	0.9	1.4
許容応力度		$\sigma_{ca}(N/mm^2)$	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6

※ 軸力については圧縮を+とする。



モデル化



第 2.4-2(1)表 せん断に対する応力度照査結果(基準地震動 Ss-1)

地震動			Ss-1							
部材			頂版	上段 サポート	下段 サポート	底版	ポンプ室壁	湛水部上段 側壁	湛水部中段 側壁	湛水部下段 側壁
部位			DE-E 端	IJ-J 端	NO-O 端	ST-T 端	VC-C 端	DI-D 端	IN-N 端	NS-S 端
時刻(sec)			17.07	17.07	17.07	17.08	8.63	17.07	17.07	17.08
断面力	せん断力	V(kN)	176.5	130.3	193.3	183.2	66.0	124.1	115.6	230.1
せん断応力度		τ (N/mm ²)	0.15	0.18	0.27	0.16	0.19	0.13	0.13	0.25
許容応力度		τ_a (N/mm ²)	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88

第 2.4-2(2)表 せん断に対する応力度照査結果(基準地震動 Ss-2)

地震動			Ss-2							
部材			頂版	上段 サポート	下段 サポート	底版	ポンプ室壁	湛水部上段 側壁	湛水部中段 側壁	湛水部下段 側壁
部位			DE-E 端	IJ-J 端	NO-O 端	ST-S 端	VC-C 端	EJ-E 端	FK-F 端	NS-S 端
時刻(sec)			6.19	6.19	6.20	6.19	6.15	5.32	5.32	6.20
断面力	せん断力	V(kN)	132.9	97.1	139.8	163.6	24.4	97.4	93.5	142.0
せん断応力度		τ (N/mm ²)	0.11	0.13	0.19	0.14	0.07	0.10	0.09	0.15
許容応力度		τ_a (N/mm ²)	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88

第 3.1-1 表 使用材料

コンクリート	設計基準強度 23.5N/mm ²
鉄筋	SD345 相当 (SD35)

第 3.1-2 表 材料の物性値

材 料	鉄筋コンクリート
単位体積重量 (kN/m ³)	24.5
ヤング係数 (kN/m ²)	24.8 × 10 ⁶
せん断弾性係数 (kN/m ²)	10.3 × 10 ⁶
ポアソン比	0.2

第 3.1-3 表 地盤物性値

物 性 区 分		岩 盤					埋 戻 土	
		I 級			II 級	*1) III 級	水 位 以 浅	
		①	②	③				
常 時	単位体積重量 (kN/m^3)	29.4			27.5	18.6	18.6	
	弾性係数 ($\times 10^5 \text{kN}/\text{m}^2$)	36.3			11.8	0.392	0.108	
	ポアソン比	0.29			0.32	0.45	0.45(0.33) *2)	
地 震 時	動 的	弾性係数 ($\times 10^5 \text{kN}/\text{m}^2$)	588	422	235	108	1.27	2.14
		せん断弾性係数 ($\times 10^5 \text{kN}/\text{m}^2$)	219	159	86.8	40.3	0.439	0.735
		せん断波速度 (km/sec)	2.7	2.3	1.7	1.2	0.152	0.197
		ポアソン比	0.34			0.36	0.45	0.45
		G/G ₀ ~ γ 関係	—			—	—	$1/(1+8.88\gamma^{0.455})$
		h ~ γ 関係 もしくは 減衰定数 (%)	2.0			3.0	10.0	$9.12\gamma^{0.534}+4.6$

*1) 表土で代表

*2) カッコ内は自重解析時に静止土圧係数 $K=0.5$ と等価とするための値

第 3.1-4 表 基準地震動 S_s

地震動 (水平動, 鉛直動)	備考
S_s-1H , S_s-1V	設計用模擬地震波
S_s-2^* , S_s-2UD	想定敷地前面海域の断層群による地震

※水平動は S_s-2NS 成分と S_s-2EW 成分を解析断面方向に方位変換して用いた。

第 3.3-1 表 許容応力度

鉄筋	許容引張応力度 (N/mm^2)	345
コンクリート	許容圧縮応力度 (N/mm^2)	17.6
	許容せん断応力度 (N/mm^2)	0.88

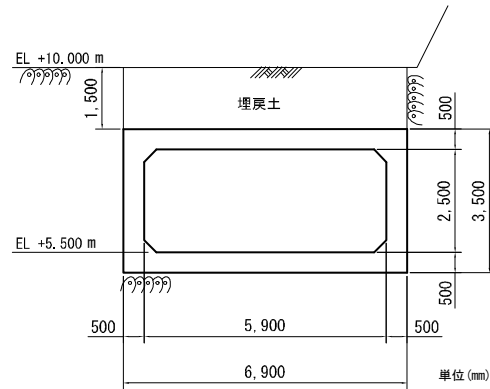
第 3.3-2 表 安全係数

安全係数		断面力による照査		
		応答値算定	限界値算定	
材料係数	コンクリート	1.0	1.3	
	鉄筋	1.0	1.0	
部材係数	曲げ 軸力	曲げ卓越	—	1.15
		軸力卓越	—	1.3
	せん断	コンクリート	—	1.56
		鉄筋	—	1.38
荷重係数		1.0	—	
構造解析係数		1.0	—	
構造物係数		1.0		

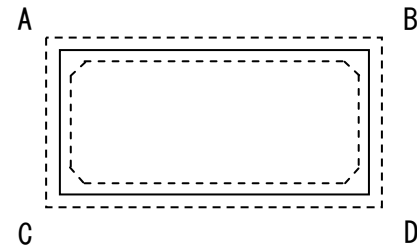
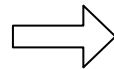
第 3.4-1(1)表 曲げに対する耐力照査結果(基準地震動 Ss-1)

地震動			Ss-1			
部材			頂版	底版	敷地側側壁	斜面側側壁
部位			AB-中央	CD-D 端	AC-A 端	BD-D 端
時刻(sec)			28.99	20.98	21.54	20.98
設計 断面力	曲げモーメント	M_d (kN・m)	113.9	43.2	205.2	43.2
	軸力*	N'_d (kN)	-119.0	-340.5	175.3	-202.2
設計耐力		M_{ud} (kN・m)	159.8	62.3	487.8	86.1
		N'_{ud} (kN)	-166.9	-491.8	416.8	-403.4
$\gamma_i M_d / M_{ud}$ ($\gamma_i = 1.0$)			0.71	0.69	0.42	0.50

※ 軸力については圧縮を+とする。



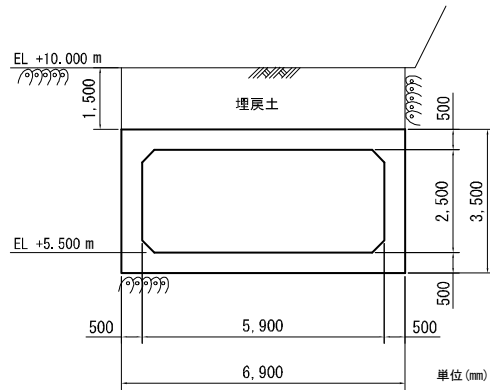
モデル化



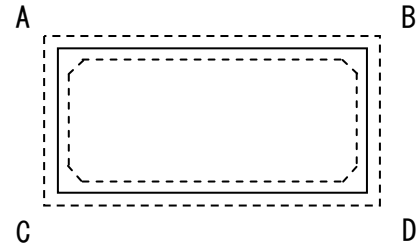
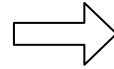
第 3.4-1 (2) 表 曲げに対する鉄筋引張応力度の照査結果(基準地震動 Ss-2)

地震動		Ss-2				
部材		頂版	底版	敷地側側壁	斜面側側壁	
部位		AB-中央	CD-D 端	AC-A 端	BD-B 端	
時刻(sec)		5.89	6.21	6.18	6.18	
断面力	曲げモーメント	M (kN・m)	118.2	17.0	171.4	174.8
	軸力※	N' (kN)	-0.5	-201.8	164.9	166.4
鉄筋の引張応力度		σ_s (N/mm ²)	229.1	133.5	119.2	121.9
許容応力度		σ_{sa} (N/mm ²)	345	345	345	345

※ 軸力については圧縮を+とする。



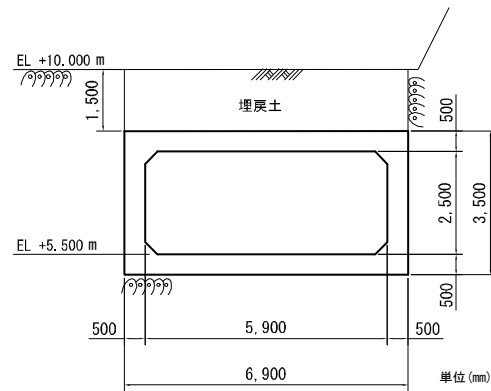
モデル化



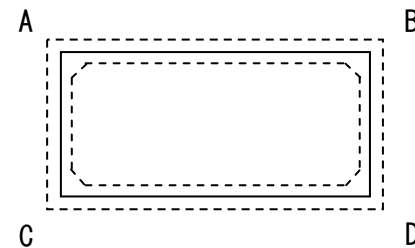
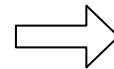
第 3.4-1 (3) 表 曲げに対するコンクリート圧縮応力度の照査結果 (基準地震動 Ss-2)

地震動		Ss-2				
部材		頂版	底版	敷地側側壁	斜面側側壁	
部位		AB-中央	CD-D 端	AC-A 端	BD-B 端	
			支持材前面	支持材前面	支持材前面	
時刻 (sec)		6.19	6.20	6.18	6.18	
断面力	曲げモーメント	M (kN・m)	123.5	17.6	171.4	174.8
	軸力※	N' (kN)	112.8	-175.7	164.9	166.4
コンクリートの圧縮応力度		σ_c (N/mm ²)	5.8	1.0	4.9	5.0
許容応力度		σ_{ca} (N/mm ²)	17.6	17.6	17.6	17.6

※ 軸力については圧縮を+とする。



モデル化

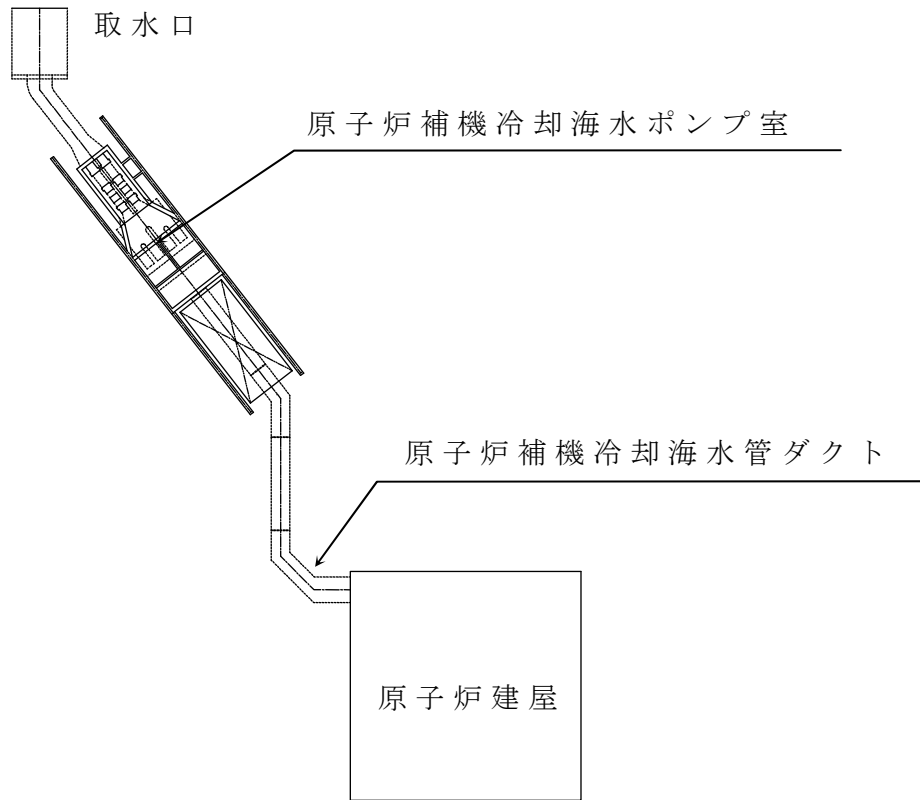


第 3.4-2(1)表 せん断に対する耐力照査結果(基準地震動 Ss-1)

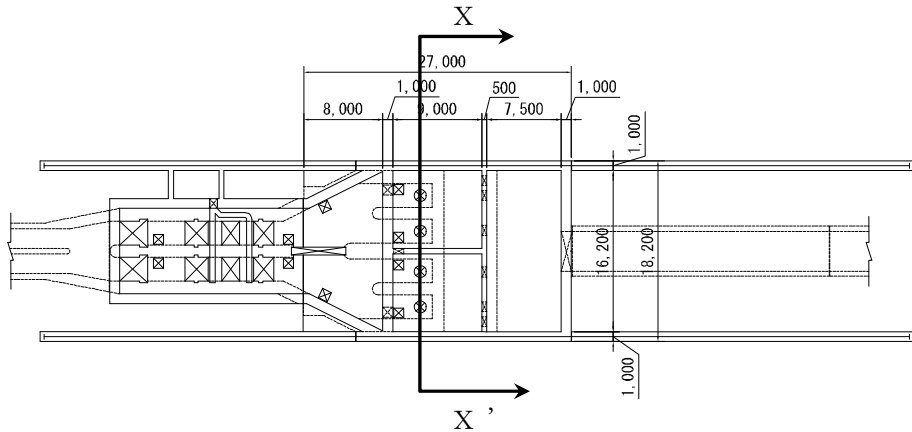
地震動			Ss-1			
部材			頂版	底版	敷地側側壁	斜面側側壁
部位			AB-B 端	CD-D 端	AC-A 端	BD-B 端
時刻(sec)			21.54	20.56	21.54	21.54
設計断面力	せん断力	V_d (kN)	156.2	3.3	165.2	162.0
設計せん断耐力		V_{yd} (kN)	371.9	216.1	386.9	388.2
$\gamma_i V_d / V_{yd}$ ($\gamma_i = 1.0$)			0.42	0.02	0.43	0.42

第 3.4-2(2)表 せん断に対する応力度照査結果(基準地震動 Ss-2)

地震動			Ss-2			
部材			頂版	底版	敷地側側壁	斜面側側壁
部位			AB-B 端	CD-D 端	AC-A 端	BD-B 端
時刻(sec)			6.18	6.16	6.18	6.18
断面力	せん断力	V (kN)	142.3	3.7	135.9	136.9
せん断応力度		τ (N/mm ²)	0.41	0.01	0.39	0.39
許容応力度		τ_a (N/mm ²)	0.88	0.88	0.88	0.88

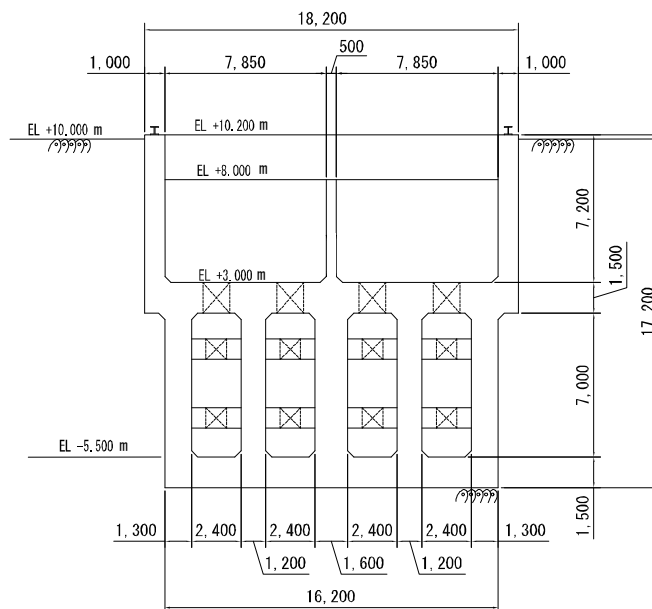


第 1-1 図 屋外重要土木構造物配置図



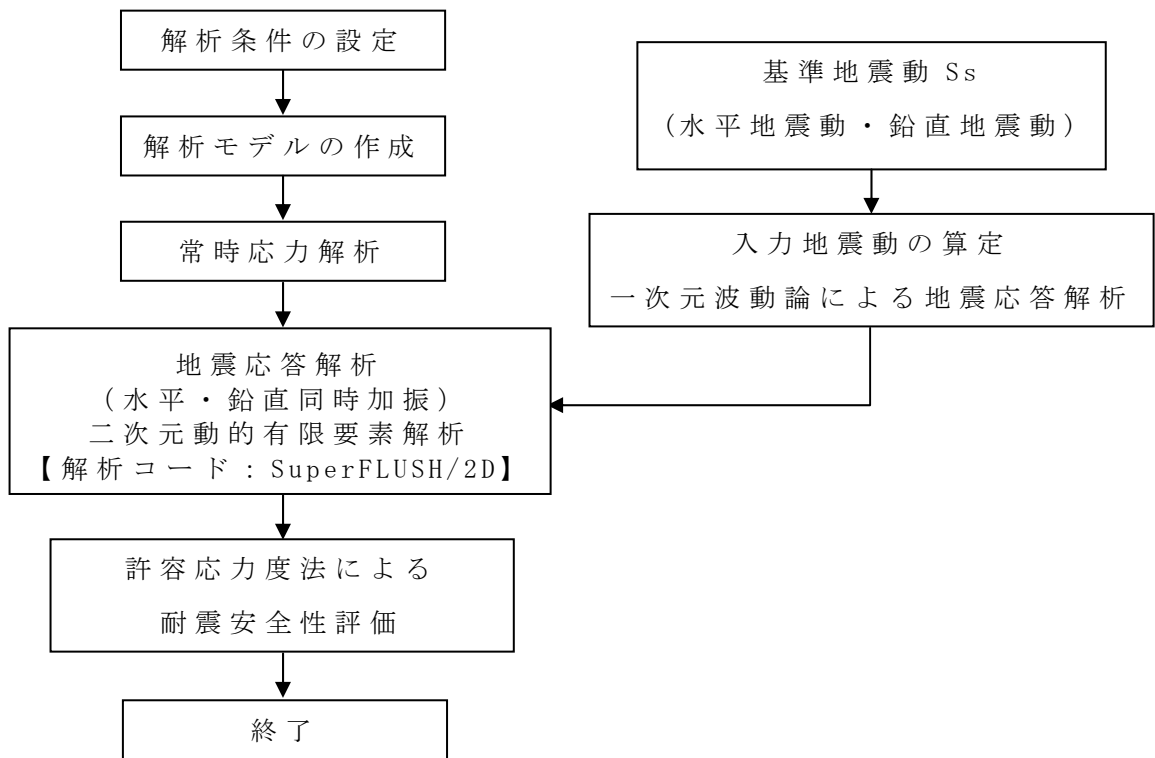
(単位 : mm)

第 2.1-1 図 原子炉補機冷却海水ポンプ室平面図

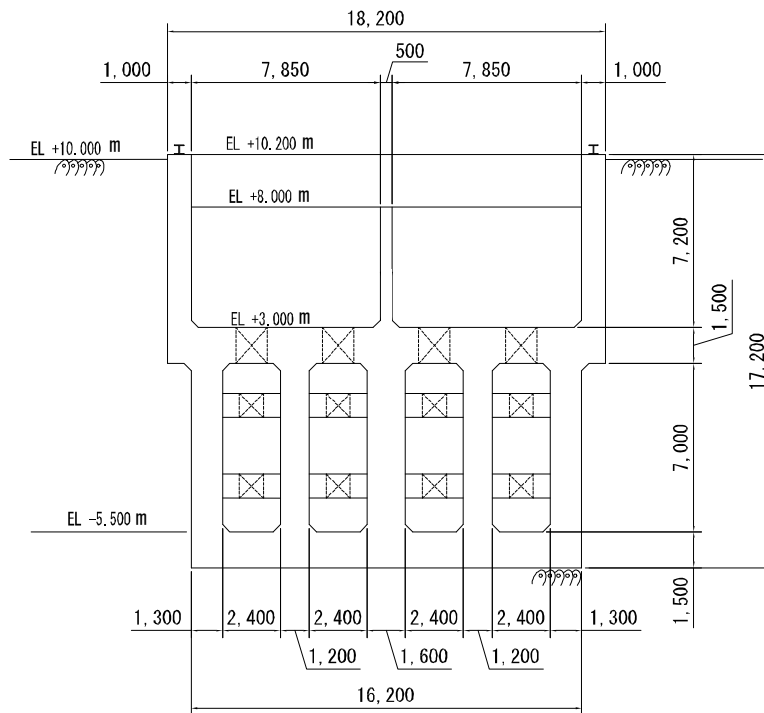


(単位 : mm)

第 2.1-2 図 原子炉補機冷却海水ポンプ室断面図
(X - X' 断面)

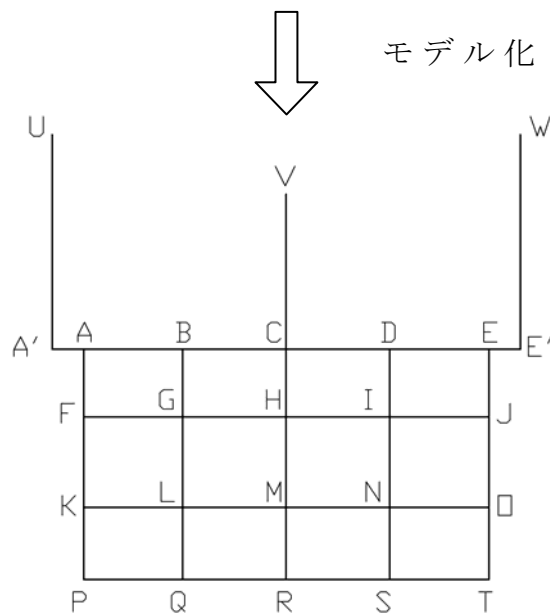


第 2.1-3 図 原子炉補機冷却海水ポンプ室評価フロー



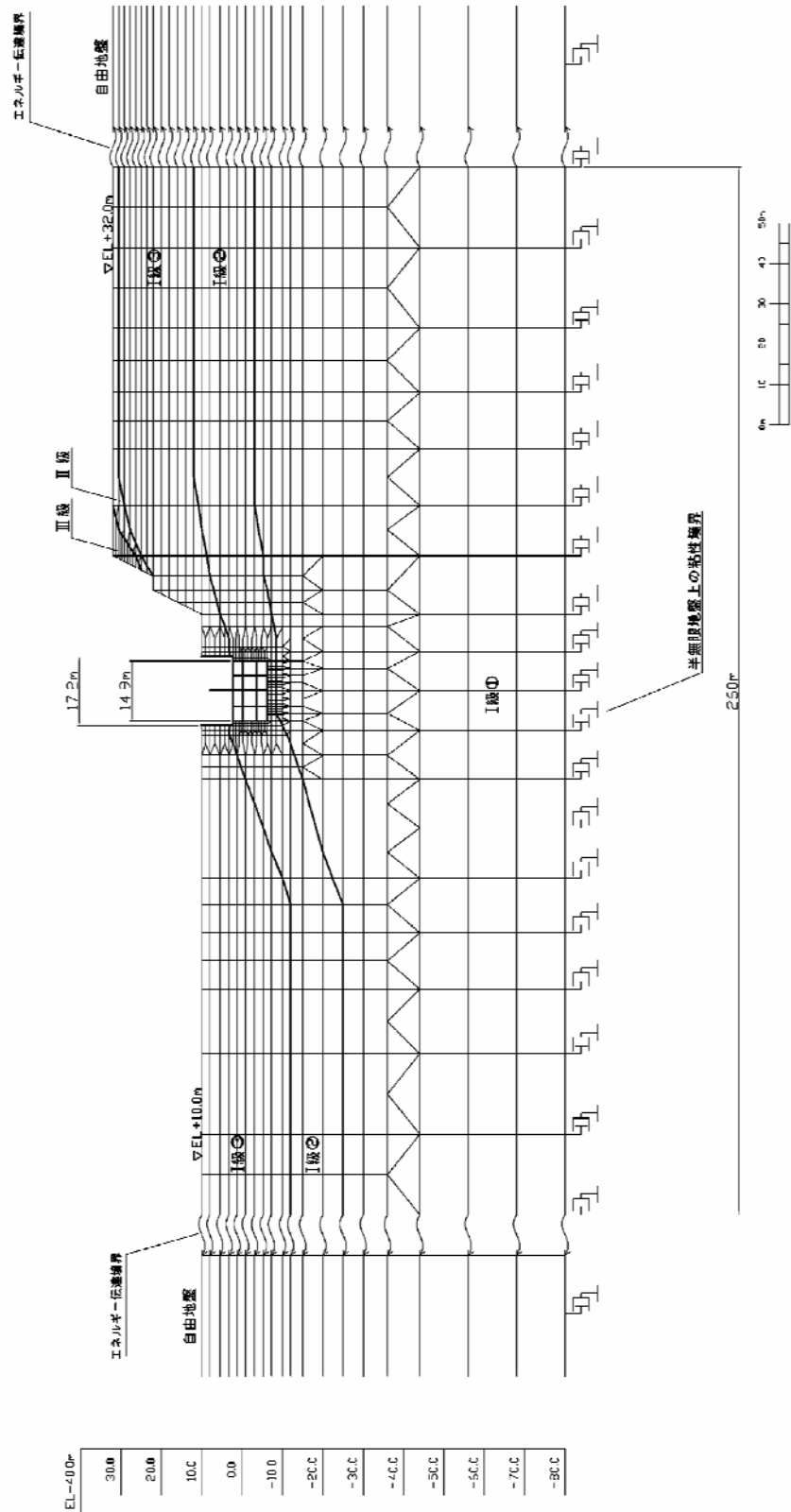
(単位 : mm)

原子炉補機冷却海水ポンプ室断面図

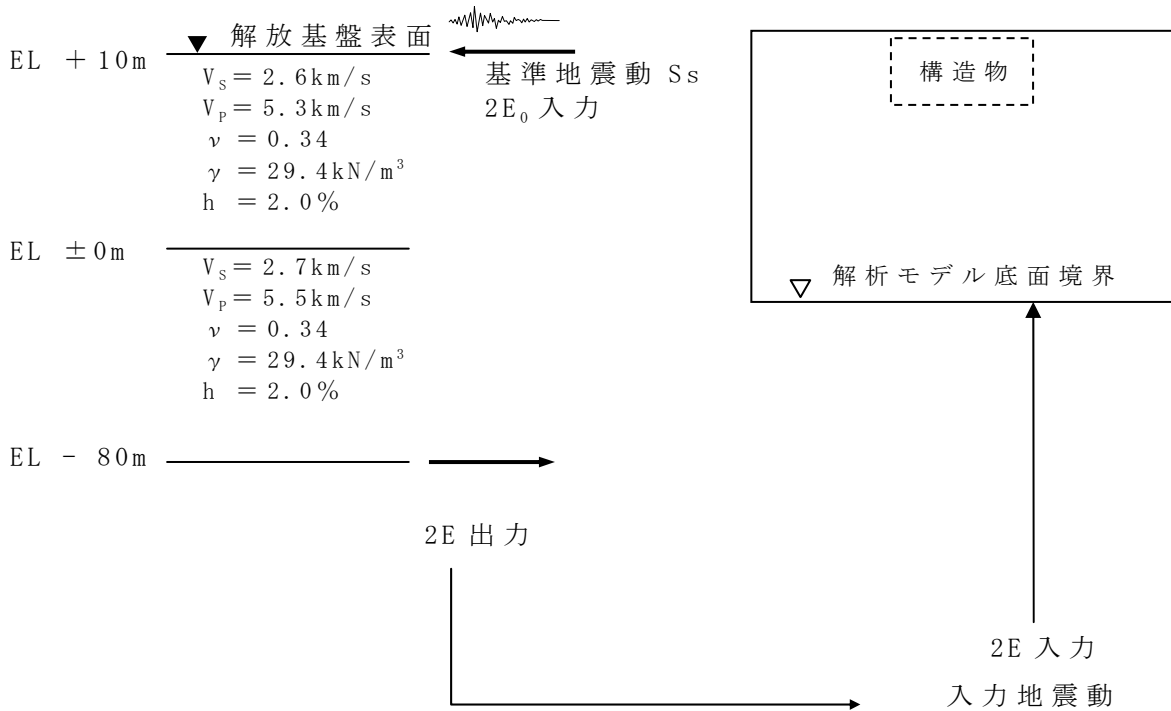


解析モデル図

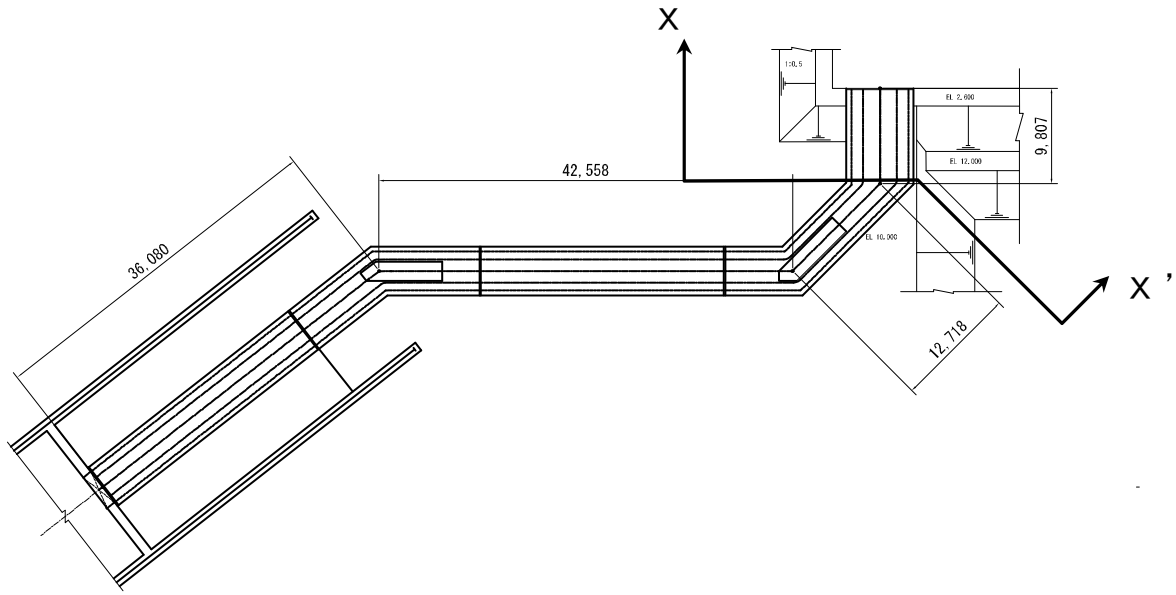
第 2.2-1 図 解析モデル概略 (X-X' 断面)



第 2.2-2 図 地震応答解析モデル
(原子炉補機冷却海水ポンプ室)

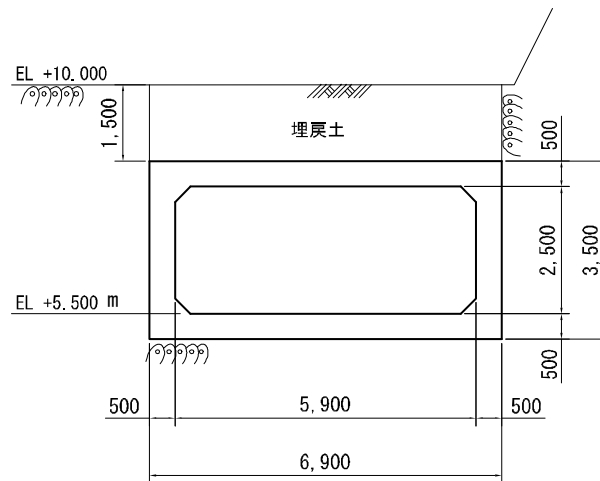


第 2.2-3 図 入力地震動の作成モデル



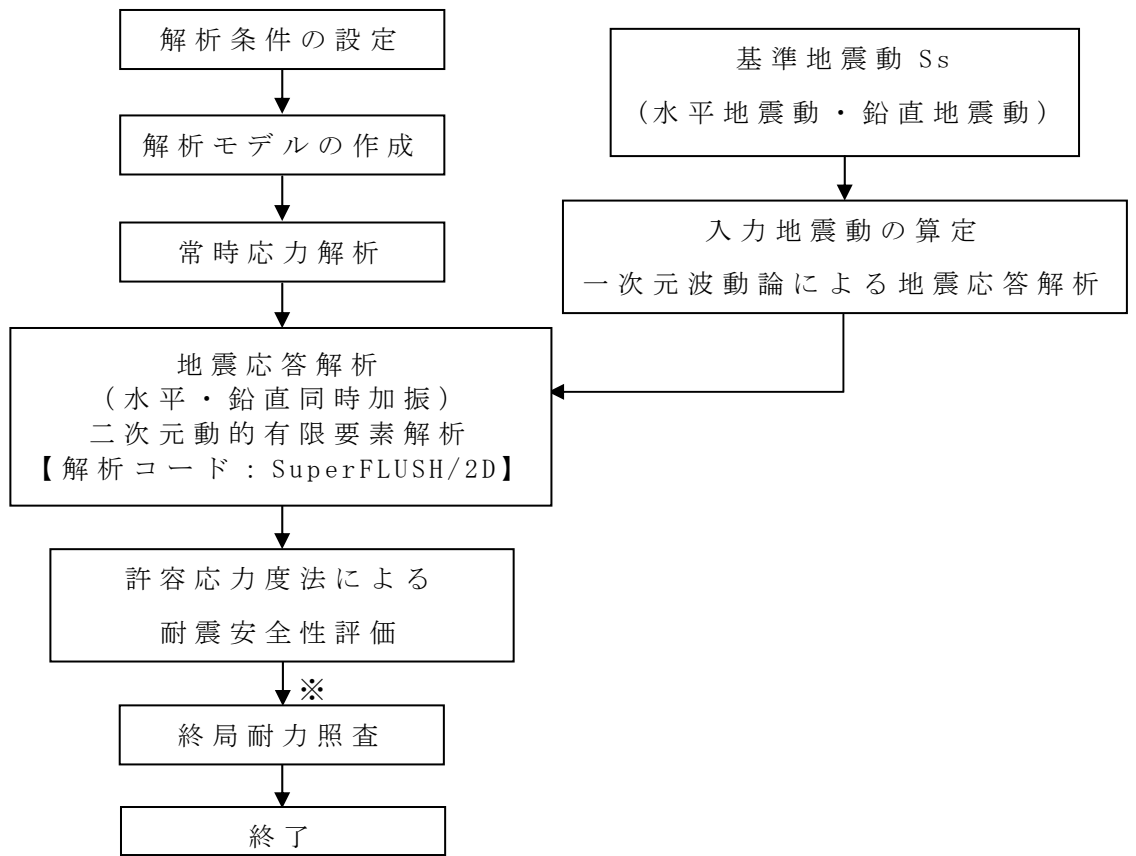
(単位 : mm)

第 3.1-1 図 原子炉補機冷却海水管ダクト平面図



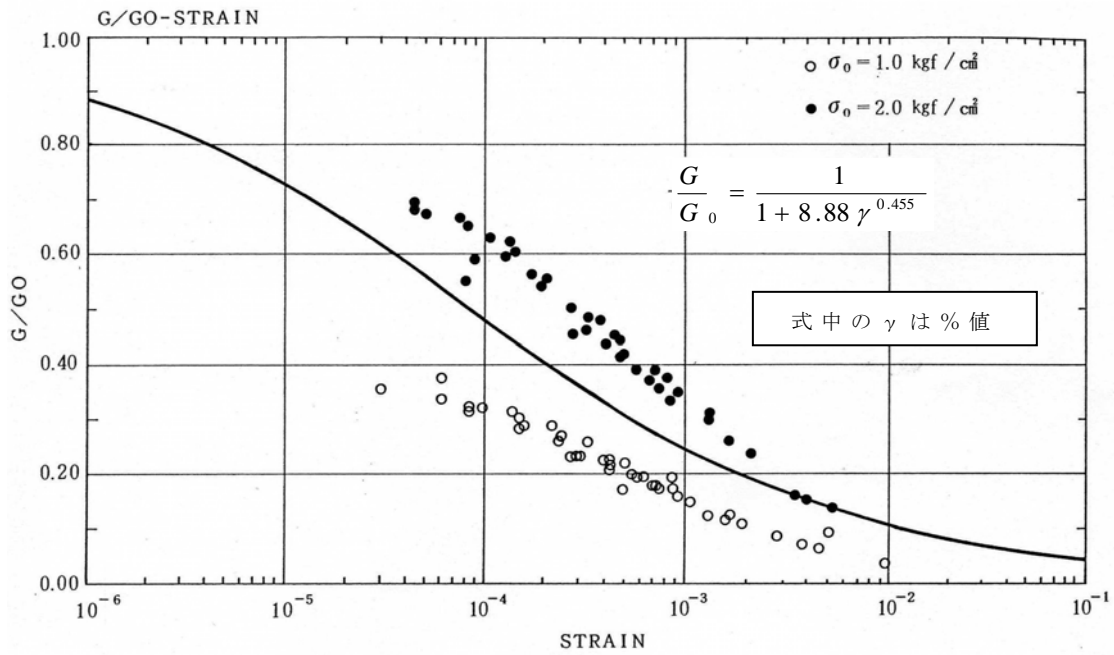
(単位 : mm)

第 3.1-2 図 原子炉補機冷却海水管ダクト断面図
(X - X' 断面)

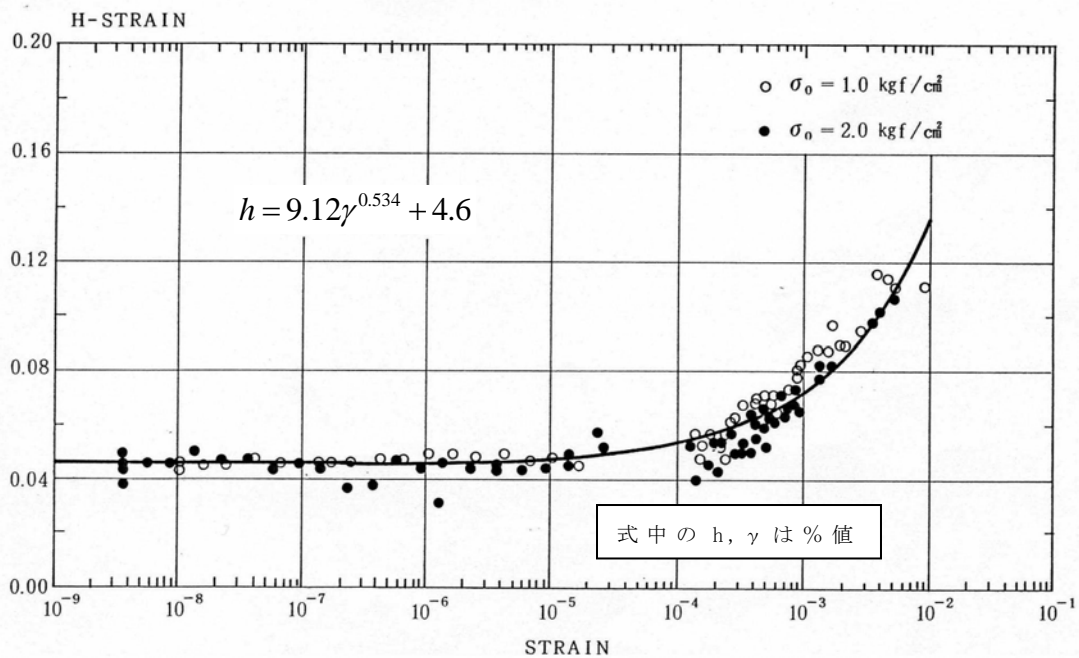


※剛性残存率を 50%に設定して評価

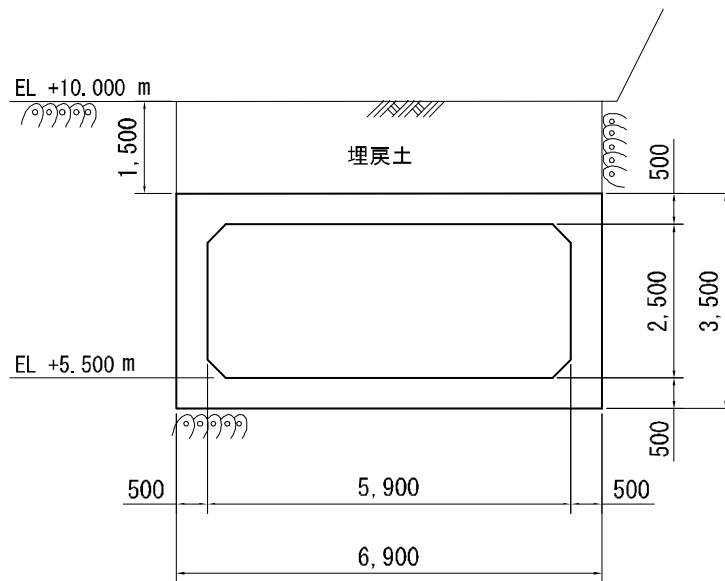
第 3.1-3 図 原子炉補機冷却海水管ダクト評価フロー



第 3.1-4(1) 図 埋戻土の動的非線形特性 ($G/G_0 \sim \gamma$ 曲線)

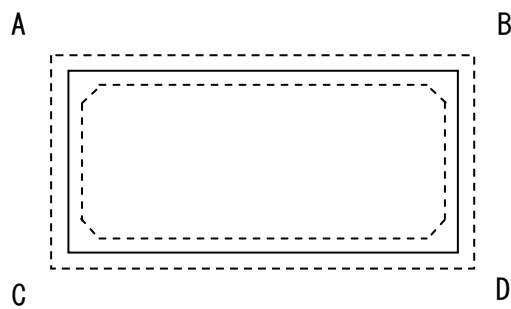
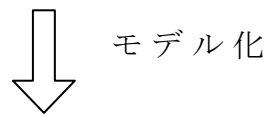


第 3.1-4(2) 図 埋戻土の動的非線形特性 ($h \sim \gamma$ 曲線)



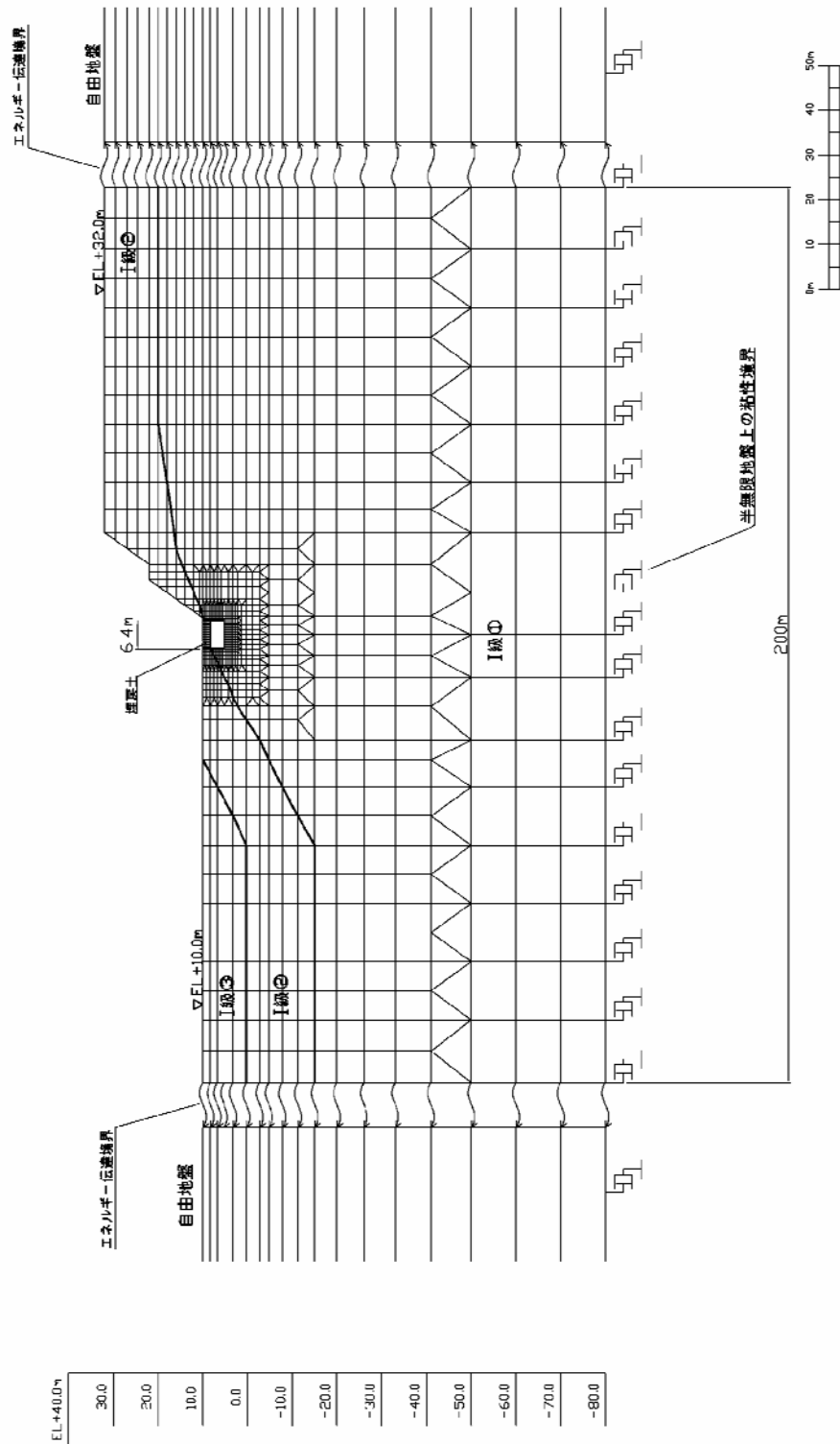
(単位 : mm)

原子炉補機冷却海水管ダクト断面図

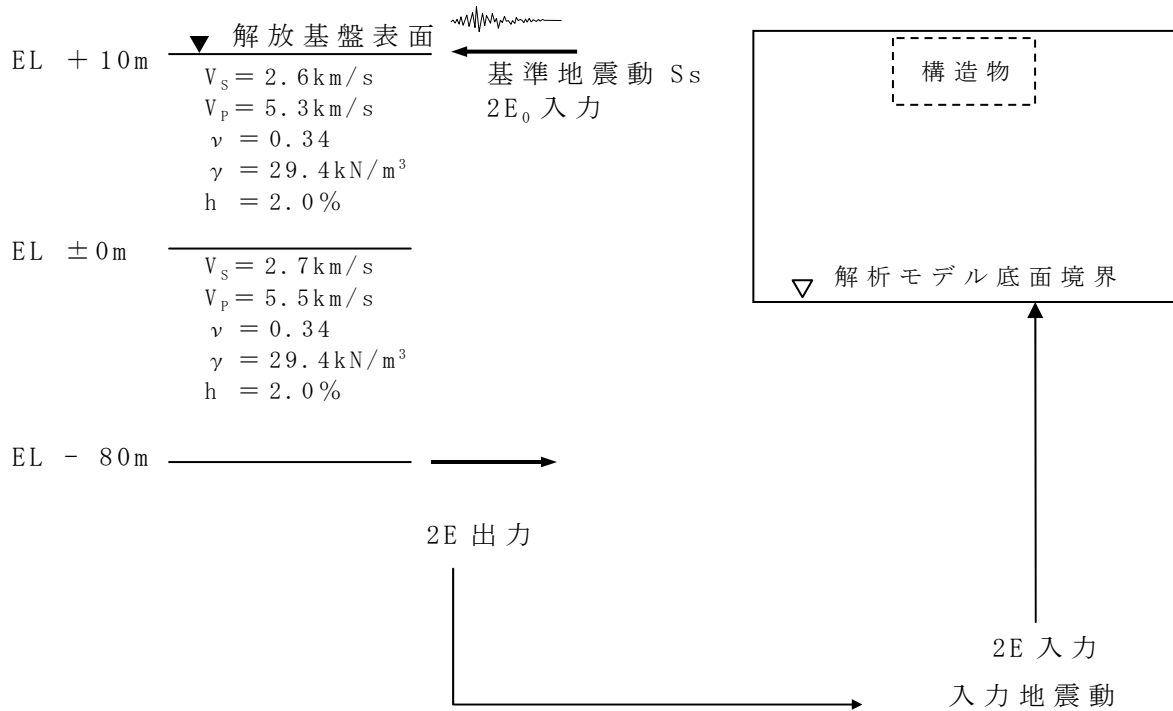


解析モデル図

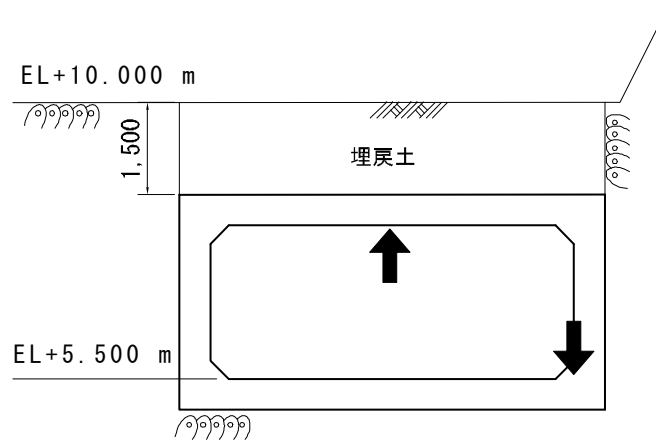
第 3.2-1 図 解析モデル概略 (X - X' 断面)



第 3.2-2 図 地震応答解析モデル
(原子炉補機冷却海水管ダクト)



第 3.2-3 図 入力地震動の作成モデル



(単位 : mm)

↓ : 許容応力を上回る箇所

第 3.4-1 図 Ss-1 地震時に許容応力度を上回る部位

IX 地震随伴事象に対する考慮
(周辺斜面の安定性)

【 目 次 】

1. 評価方針	IX-1
2. 評価斜面の選定	IX-2
3. 評価方法	IX-3
3.1 解析条件	IX-3
3.1.1 解析モデルおよび解析用物性値	IX-3
3.1.2 入力地震動	IX-3
3.1.3 地下水位	IX-3
3.2 解析手法	IX-3
3.3 評価内容	IX-4
4. 評価結果	IX-4
5. 参考文献	IX-5

【 表 目 次 】

第 3.1-1 表	解析用物性値の考え方	IX-6
第 3.1-2 表	解析用物性値	IX-7
第 3.1-3 表	基準地震動 S_s	IX-8
第 4-1 表	すべり安全率 (S_s-1H , S_s-1V)	IX-9
第 4-2 表	すべり安全率 (S_s-2NS , S_s-2UD)	IX-10

【 図 目 次 】

第 2-1 図	敷地平面図	IX-11
第 3.1-1 図	解析用岩盤分類図 (X - X' 断面)	IX-12
第 3.1-2 図	解析用要素分割図 (X - X' 断面)	IX-13
第 3.1-3 図	境界条件	IX-14
第 3.1-4 図	入力地震動の考え方	IX-15
第 3.1-5 図	基準地震動 S_s (S_s-1H , S_s-1V) の時刻歴波形と 加速度応答スペクトル	IX-16
第 3.1-6 図	基準地震動 S_s (S_s-2NS , S_s-2UD) の時刻歴波形と 加速度応答スペクトル	IX-17
第 3.1-7 図	解析用地下水位設定図	IX-18
第 3.2-1 図	斜面安定性評価フロー	IX-19
第 4-1 図	要素ごとの局所安全係数 [(S_s-1H , S_s-1V), $T =$ 24.12 秒]	IX-20
第 4-2 図	要素ごとの局所安全係数 [(S_s-2NS , S_s-2UD), $T =$ 12.20 秒]	IX-21

1. 評価方針

耐震安全上重要な機器・配管系を内包する建屋・構築物等の周辺斜面について、基準地震動 S_s による地震力に対して、施設の安全機能に重大な影響を与えるような崩壊を起こさないことを確認するため、すべりに対する安定性を評価する。

2. 評価斜面の選定

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」⁽¹⁾では、斜面崩壊事例の到達距離に関する分析結果に基づき、安定性評価の対象とすべき斜面は斜面法尻と対象施設の離間距離が約 50m 以内あるいは斜面の高さの約 1.4 倍以内の斜面としている。

第 2-1 図に敷地平面図を示す。

安定性評価の対象とすべき斜面は、原子炉建屋の東側～南側～西側にかけて位置し、斜面高さはおよそ 30m～80m である。斜面勾配は 1 : 0.5～1.0 で、高さ 6 m または 10m ごとに 2～3.5m 幅の小段を設けている。斜面の地質は、敷地内で基盤を構成する三波川変成岩類のうち主に塩基性片岩からなる。

原子炉建屋等と斜面法尻との距離および斜面高さ等を考慮し、斜面高さが最も高い南側斜面を評価対象に選定する。

3. 評価方法

3.1 解析条件

3.1.1 解析モデルおよび解析用物性値

解析断面としては、「V 原子炉建屋基礎地盤の安定性評価」に用いた、3号炉炉心を通る南北断面（X-X'断面）とする。

解析モデルおよび解析用物性値は「V 原子炉建屋基礎地盤の安定性評価」において設定したものをを用いる。

解析用物性値は、各種試験結果を基に荷重の作用方向と片理面の方向による影響や、風化・割れ目の程度を考慮して強度・変形特性を評価した3号炉安全審査で用いた物性値を設定する。解析用物性値設定の考え方を第3.1-1表に、解析用物性値を第3.1-2表に示す。

また、岩盤分類図を第3.1-1図に、解析用要素分割図を第3.1-2図に、境界条件を第3.1-3図に示す。

3.1.2 入力地震動

入力地震動は、解放基盤表面（EL.+10.0m）で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論によって地震応答解析モデルの入力位置で評価したものをを用いる。入力地震動の考え方を第3.1-4図に、基準地震動 S_s を第3.1-3表に、基準地震動 S_s の時刻歴波形と加速度応答スペクトルを第3.1-5図～第3.1-6図に示す。

3.1.3 地下水位

解析用地下水位は、第3.1-7図のように設定する。

3.2 解析手法

基準地震動 S_s に対する地震応答解析を二次元動的有限要素法により行う。地震応答解析は周波数応答解析手法を用い、等価線形化法により動せん断弾性係数および減衰定数のひずみ依存性を考慮する。

地震時の応力は、地震応答解析による動的応力と、静的解析による常時応力を重ね合わせることにより求める。動的応力は水平地震動および鉛直地震動による応答を考慮し、常時応力は地盤の

自重計算により求まる初期応力，建屋基礎掘削に伴う解放力および建屋・盛土の荷重を考慮して求める。

斜面安定性評価フローを第 3.2-1 図に示す。

なお，地盤剛性の非線形性を考慮するため，地震応答解析において最小すべり安全率を示す時刻における地震時慣性力および地震時増分変位を用いた静的非線形解析を併せて実施する。

3.3 評価内容

すべりに対する安定性は，想定すべり面におけるすべり安全率により評価する。

すべり安全率は，変位等の応答値からすべりブロックの移動方向を考慮し，想定したすべり面上の応力状態をもとにすべり面上のせん断抵抗力の和をすべり面上のせん断力の和で除して求める。

想定すべり面は，相対的に強度の小さいⅡ級およびⅢ級岩盤を通過する面や，モビライズド面（応力状態を考慮した想定すべり面）から設定する。

なお，引張応力が発生した要素については，引張面の方向がすべり面方向と±20度以内の角度で交差する場合は強度定数を0とし，それ以外の場合は残留強度を用いる。

また，せん断強度に達した要素については残留強度を用いる。

4. 評価結果

想定すべり面における安全率を第 4-1 表～第 4-2 表に示す。また，要素ごとの局所安全係数を第 4-1 図～第 4-2 図に示す。すべり安全率は基準地震動 S_s のうち設計用模擬地震波 (S_s -1H, S_s -1V) に対する評価において最小となる。この時の最小すべり安全率は 2.1，また，静的非線形解析によるすべり安全率は 2.0 であり，耐震安全性評価手法に示される評価基準値 1.2 を上回ることから，すべりに対して十分な安定性を有している。

以上より，斜面は基準地震動 S_s による地震力に対して，施設の安全機能に重大な影響を与えるような崩壊を起こさないことを確認した。

5. 参考文献

- (1) 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」
社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会, 89P,
170P, 184P, 1987

第 3.1-1 表 解析用物性値の考え方

項目	岩盤			断層	
	I 級	II 級	III 級	固結	未固結
単位体積重量	岩石供試体による物理試験結果	岩石供試体による物理試験結果	表土の物理試験結果	断層部の物理試験結果	断層部の物理試験結果
せん断強度	岩盤せん断試験結果	岩石供試体による三軸圧縮試験結果を参考に岩盤せん断試験から算定	表土の三軸圧縮試験結果	静的ねじりせん断試験結果	原位置断層せん断試験結果
内部摩擦角					
残留強度	岩盤せん断試験結果	同上 (ϕ 成分のみ)	同上 (ϕ 成分のみ)	同上 (ϕ 成分のみ)	同上 (ϕ 成分のみ)
静弾性係数	平板載荷試験結果	孔内水平載荷試験結果を参考に平板載荷試験より算定	表土の三軸圧縮試験結果	静的ねじりせん断試験結果	静的ねじりせん断試験結果
静的ポアソン比	岩石供試体による一軸圧縮試験結果	岩石供試体による一軸圧縮試験結果	表土の三軸圧縮試験結果	II 級岩盤の静的／動的の比率から算定	表土の試験結果を流用
動弾性係数	弾性波探査、PS 検層等より算定	弾性波探査、PS 検層等より算定	PS 検層等より算定	動的ねじりせん断試験より算定	動的ねじりせん断試験より算定
動的ポアソン比	弾性波探査、PS 検層等より算定	弾性波探査、PS 検層等より算定	静的ポアソン比と同じ	II 級と III 級の間	静的ポアソン比と同じ
減衰定数	弾性波探査、PS 検層等より算定	一般的な値	一般的な値	動的ねじりせん断試験より算定	動的ねじりせん断試験より算定

III 級岩盤は、C_L 級岩盤、D 級岩盤および表土を含む。

第 3.1-2 表 解析用物性値

項目	岩盤			断層			
	I 級	II 級	III 級	固結	未固結		
単位体積重量 (kN/m ³)	29.4	27.5	18.6	26.5	19.6		
せん断強度 (kN/m ²)	981	490	39	324	78		
内部摩擦角 (度)	50	41	17	34	24		
残留強度 (kN/m ²)	$\tau = 569 + \sigma \tan 43^\circ$	$\tau = \sigma \tan 41^\circ$	$\tau = \sigma \tan 17^\circ$	$\tau = \sigma \tan 34^\circ$	$\tau = \sigma \tan 24^\circ$		
静弾性係数 (kN/m ²)	3.63×10^6	1.18×10^6	0.0392×10^6	$27000 (\sigma_v)^{0.34}$	$1750 (\sigma_v)^{0.60}$		
静的ポアソン比	0.29	0.32	0.45	0.36	0.45		
動弾性係数 ($\times 10^6$ kN/m ²)	*1 58.8	*2 42.2	*3 23.5	10.8	0.127	$G_d/G_0 =$ *4 $-0.33 \log \gamma - 0.58$ $G_0 = 294000$ (kN/m ²)	$G_d/G_0 =$ *4 $-0.40 \log \gamma - 0.60$ $G_0 = 4130 (\sigma_v)^{0.53}$ (kN/m ²)
動的ポアソン比	0.34	0.36	0.45	0.40	0.45		
減衰定数 (%)	2.0	3.0	10.0	$h = 0.08 \log \gamma + 0.36$ ($\gamma > 10^{-4}$)	$h = 0.17 \log \gamma + 0.58$ ($\gamma \geq 10^{-3}$) $h = 0.017 \log \gamma + 0.091$ ($\gamma < 10^{-3}$)		

III 級岩盤は、C_L 級岩盤、D 級岩盤および表土を含む。

* 1 $V_s = 2.7 \text{ km/s}$

* 2 $V_s = 2.3 \text{ km/s}$

* 3 $V_s = 1.7 \text{ km/s}$

* 4 動せん断弾性係数

第 3.1-3 表 基準地震動 Ss

地震動 (水平動, 鉛直動)	備考
Ss-1H, Ss-1V	設計用模擬地震波
Ss-2NS [*] , Ss-2UD	想定敷地前面海域の断層群による地震

※ 検討用断面が南北方向のため, NS方向の水平動を用いる。

第 4-1 表 すべり安全率 (Ss-1H, Ss-1V)


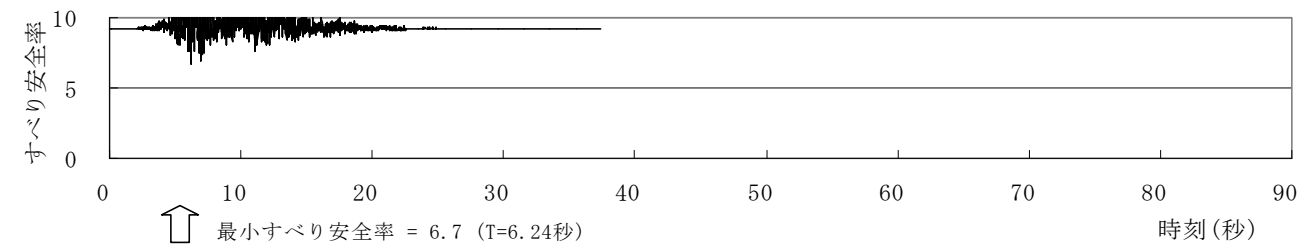
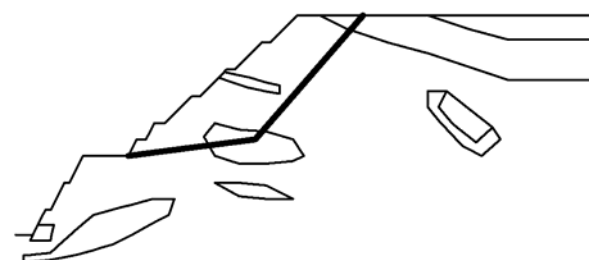
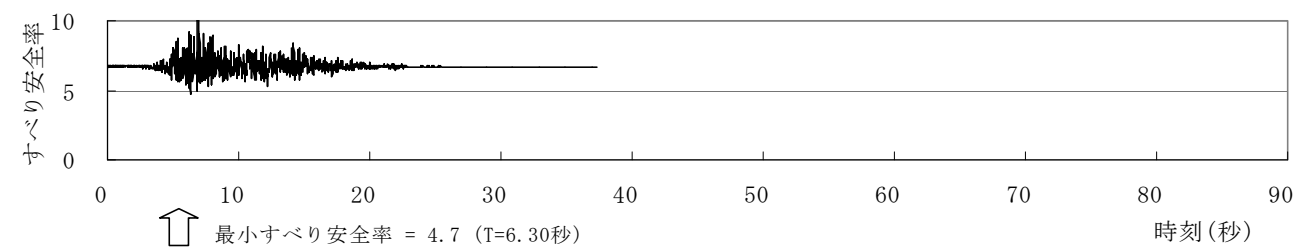

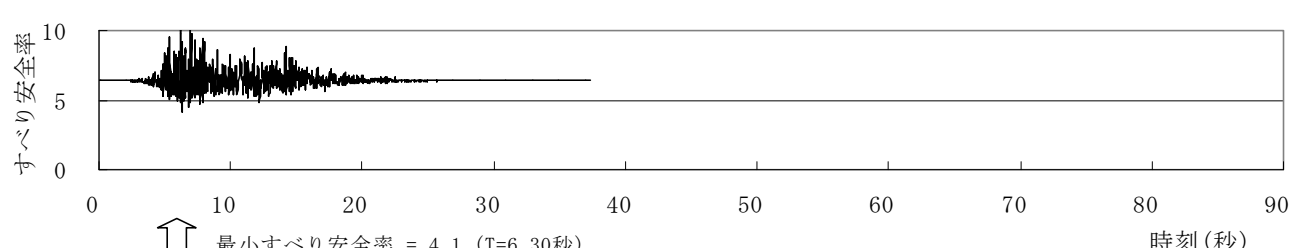
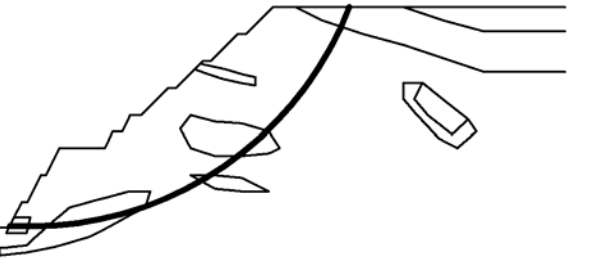
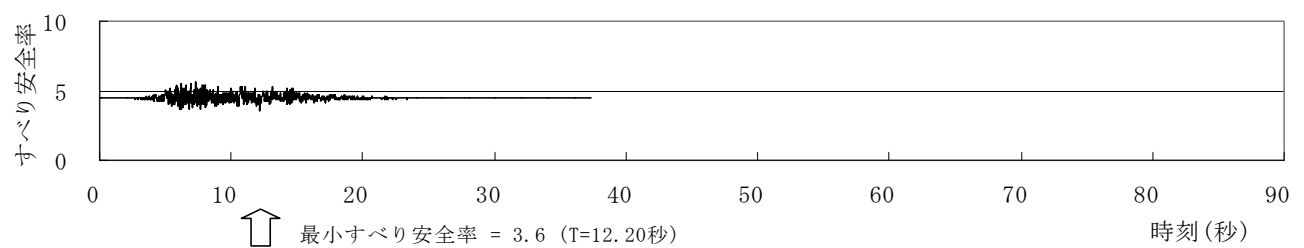
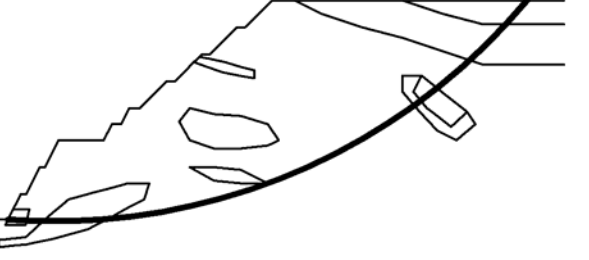
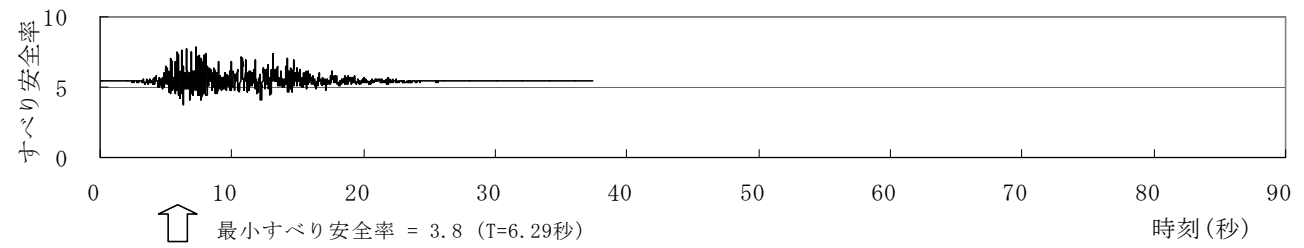
	すべり面形状	最小すべり安全率	時刻 (秒)	すべり安全率タイムヒストリー
1		3.5	21.02	
2		2.9	24.12	
3		2.4	24.12	
4		2.1	17.20	
5		2.1 (2.0)	24.12	

凡例

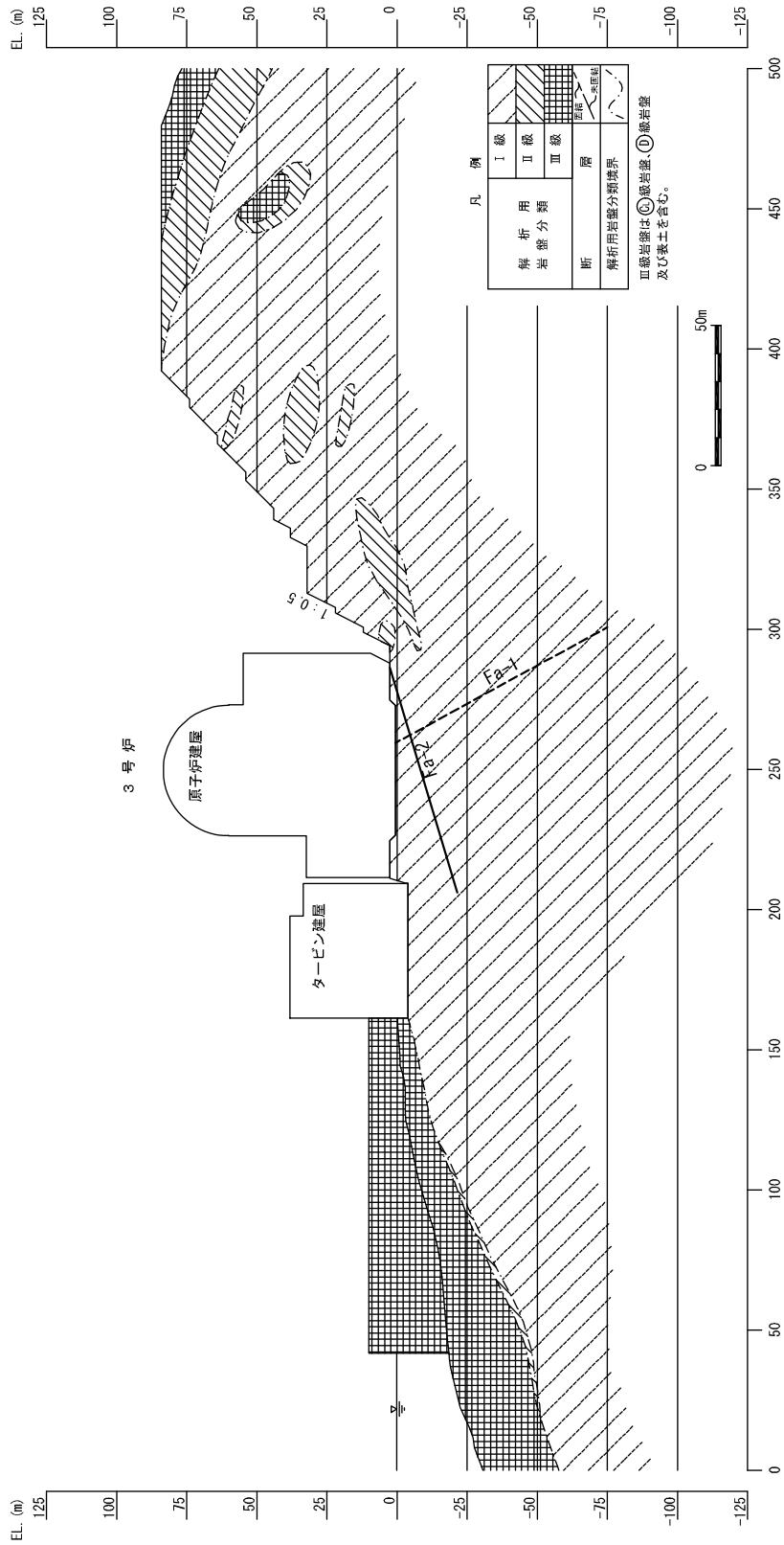
: すべり安全率の最小値 : すべり面

※ () 内の数値は, 最小すべり安全率発生時刻 24.12 秒の加速度応答値等から算定した地震力に対する静的非線形解析結果

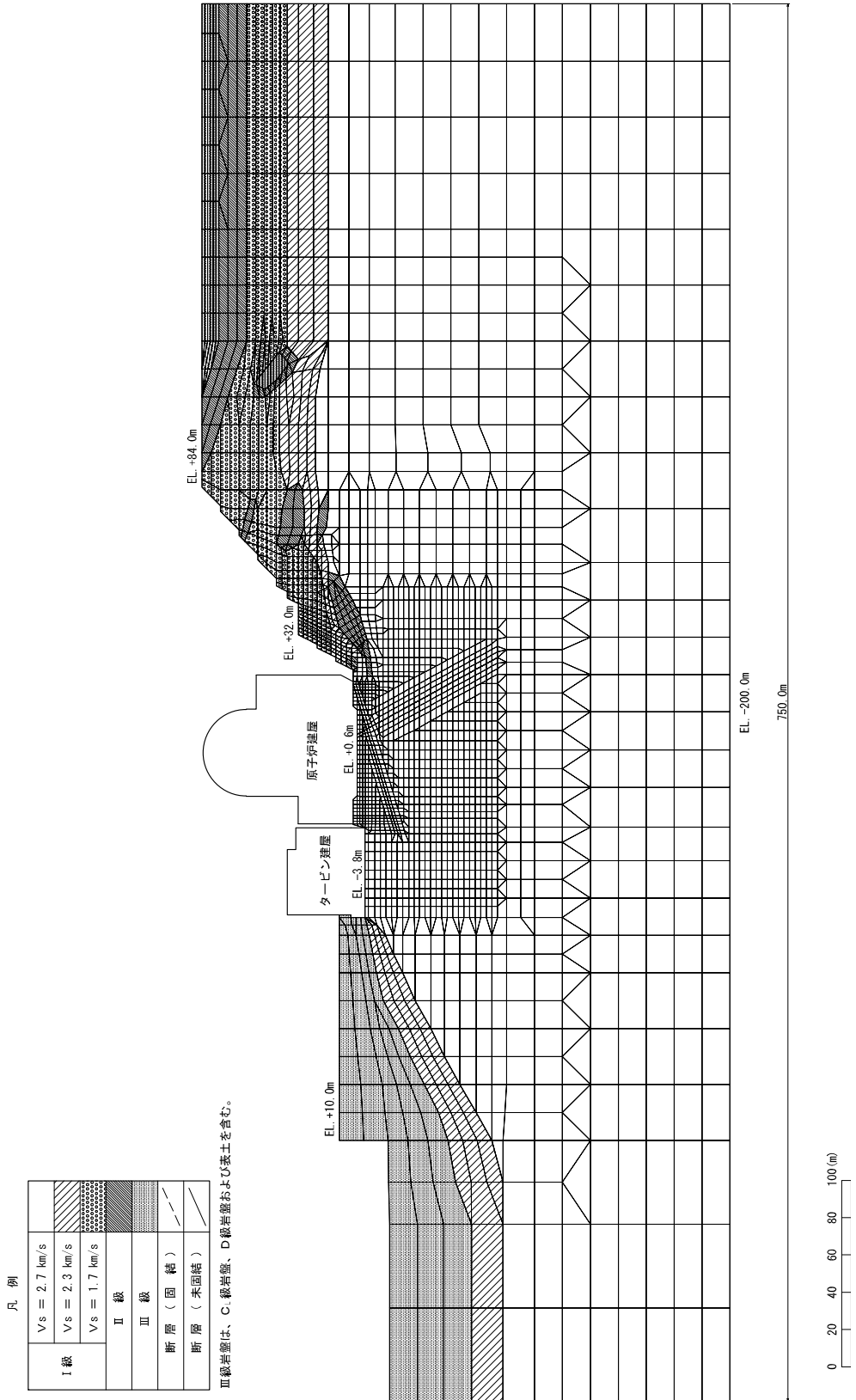
第 4-2 表 すべり安全率 (Ss-2NS, Ss-2UD)

	すべり面形状	最小すべり安全率	時刻 (秒)	すべり安全率タイムヒストリー
1		6.7	6.24	 ↑ 最小すべり安全率 = 6.7 (T=6.24秒)
2		4.7	6.30	 ↑ 最小すべり安全率 = 4.7 (T=6.30秒)
3		4.1	6.30	 ↑ 最小すべり安全率 = 4.1 (T=6.30秒)
4		3.6	12.20	 ↑ 最小すべり安全率 = 3.6 (T=12.20秒)
5		3.8	6.29	 ↑ 最小すべり安全率 = 3.8 (T=6.29秒)

凡例 ○ : すべり安全率の最小 — : すべり面

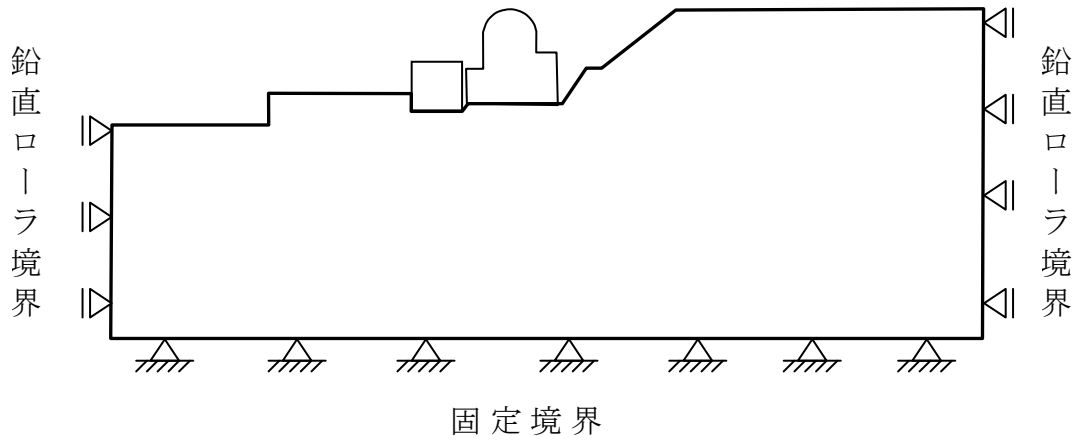


第 3.1-1 図 解析用岩盤分類図 (X - X' 断面)

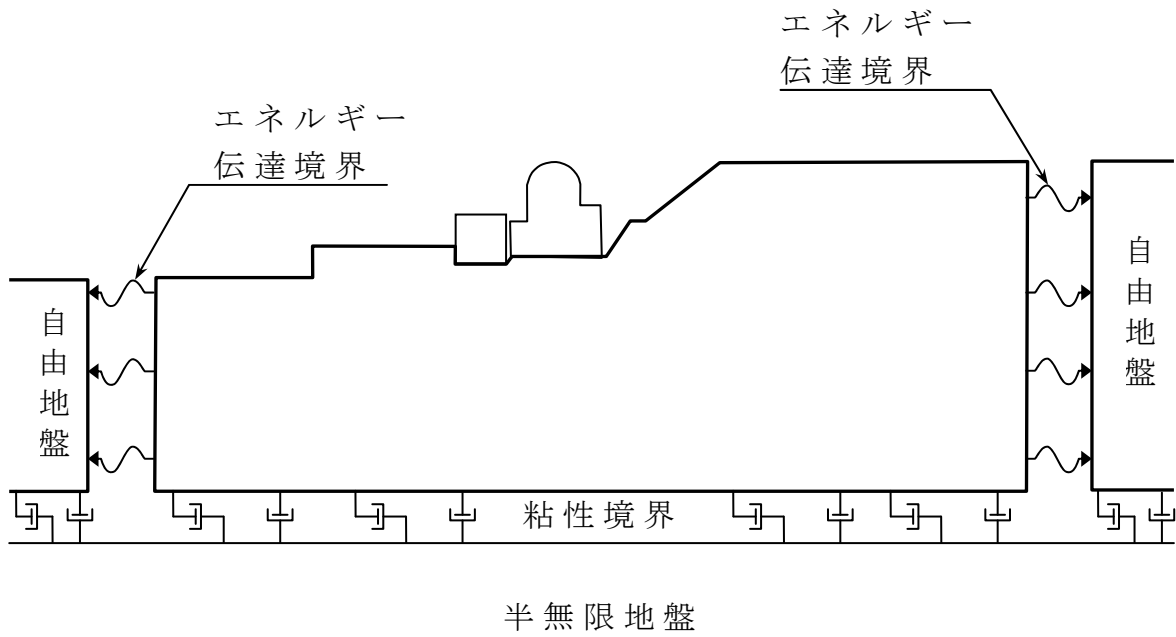


第 3.1-2 図 解析用要素分割図 (X - X' 断面)

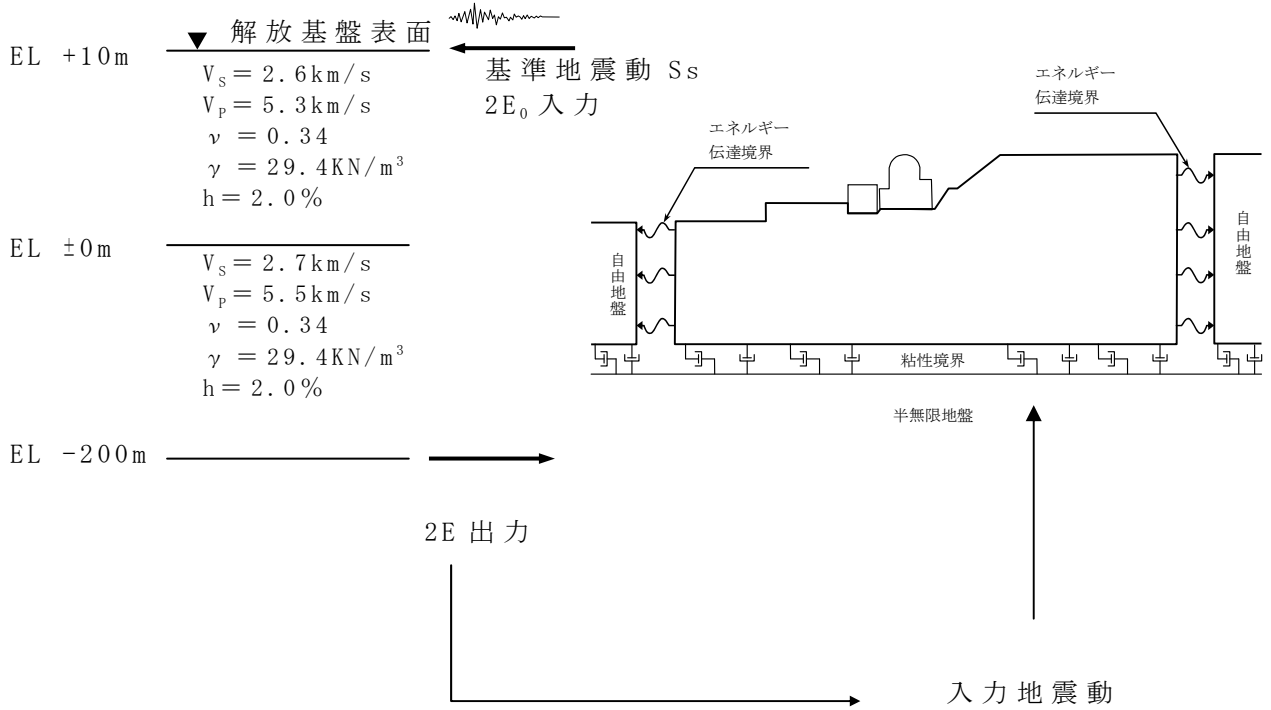
静的解析時



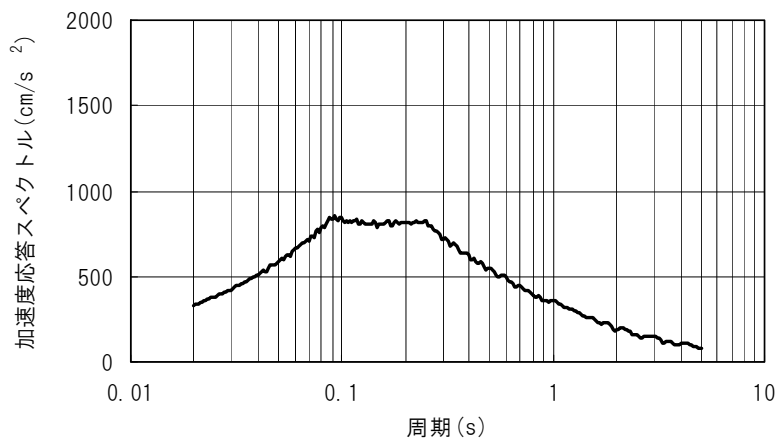
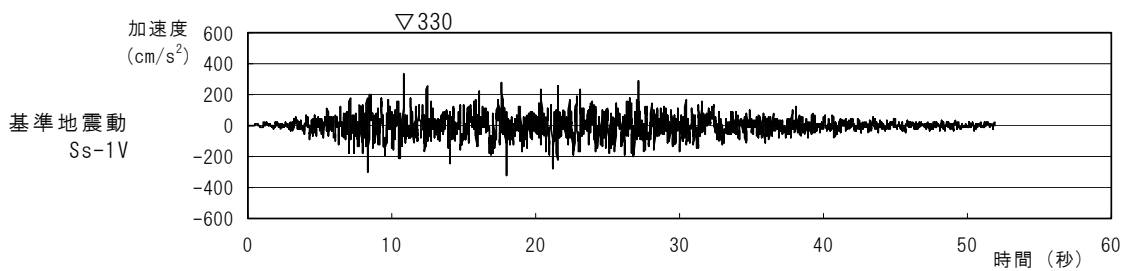
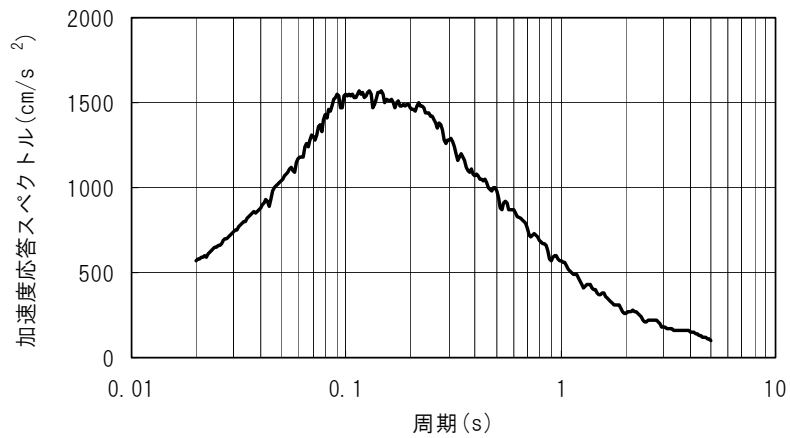
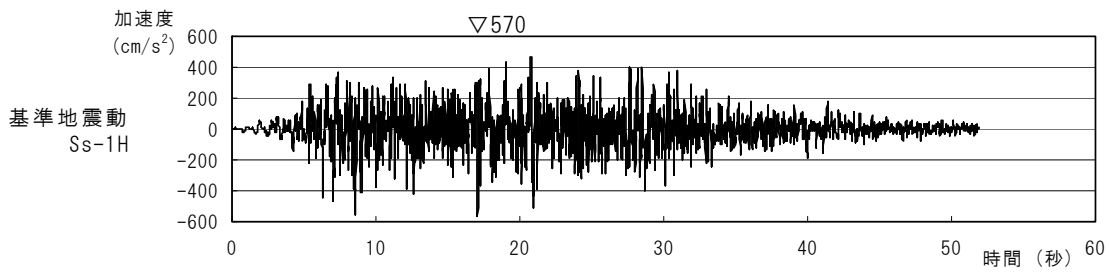
動的解析時



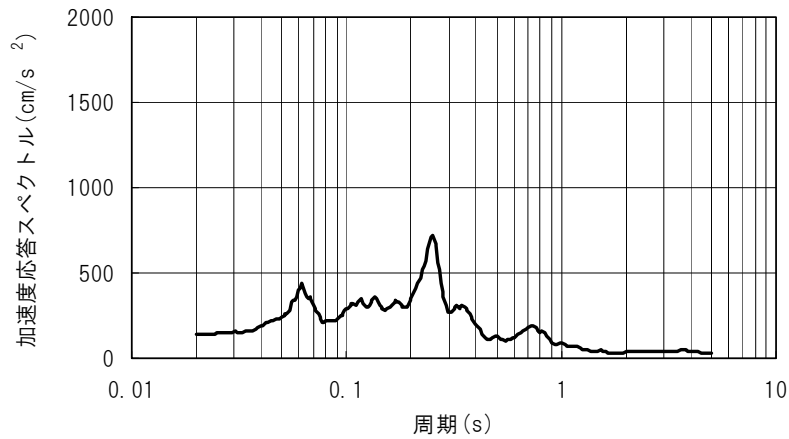
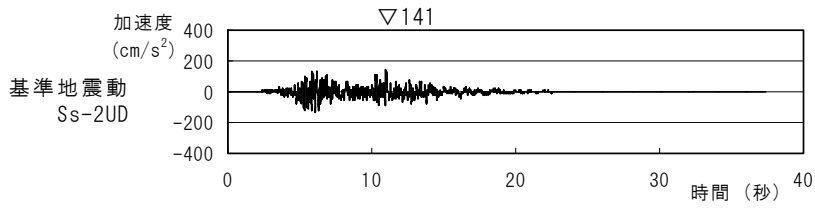
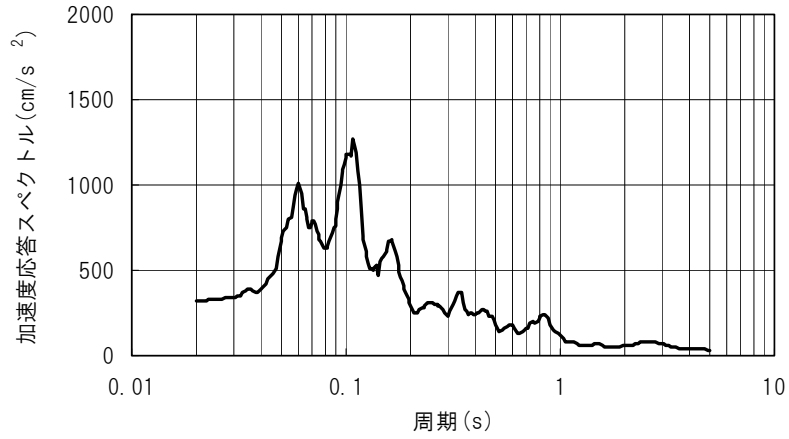
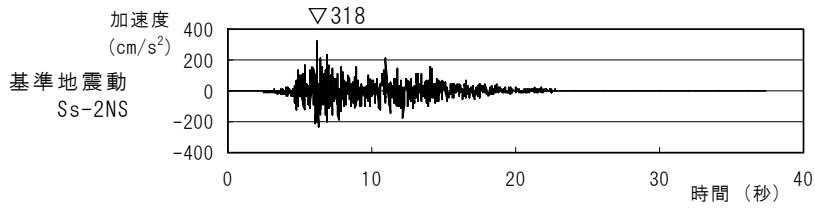
第 3.1-3 図 境界条件



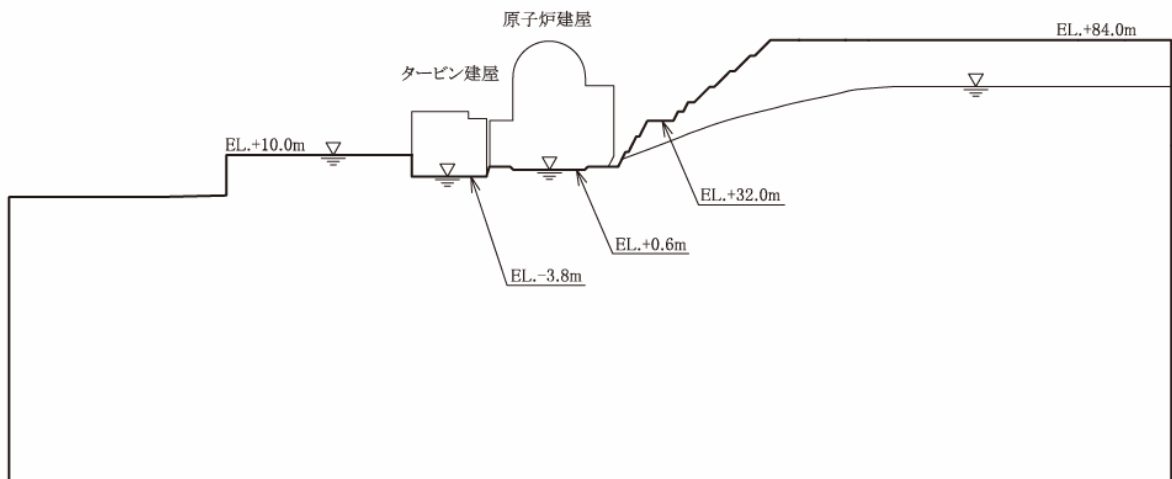
第 3.1-4 図 入力地震動の考え方



第 3.1-5 図 基準地震動 S_s (S_s-1H , S_s-1V) の時刻歴波形と加速度応答スペクトル



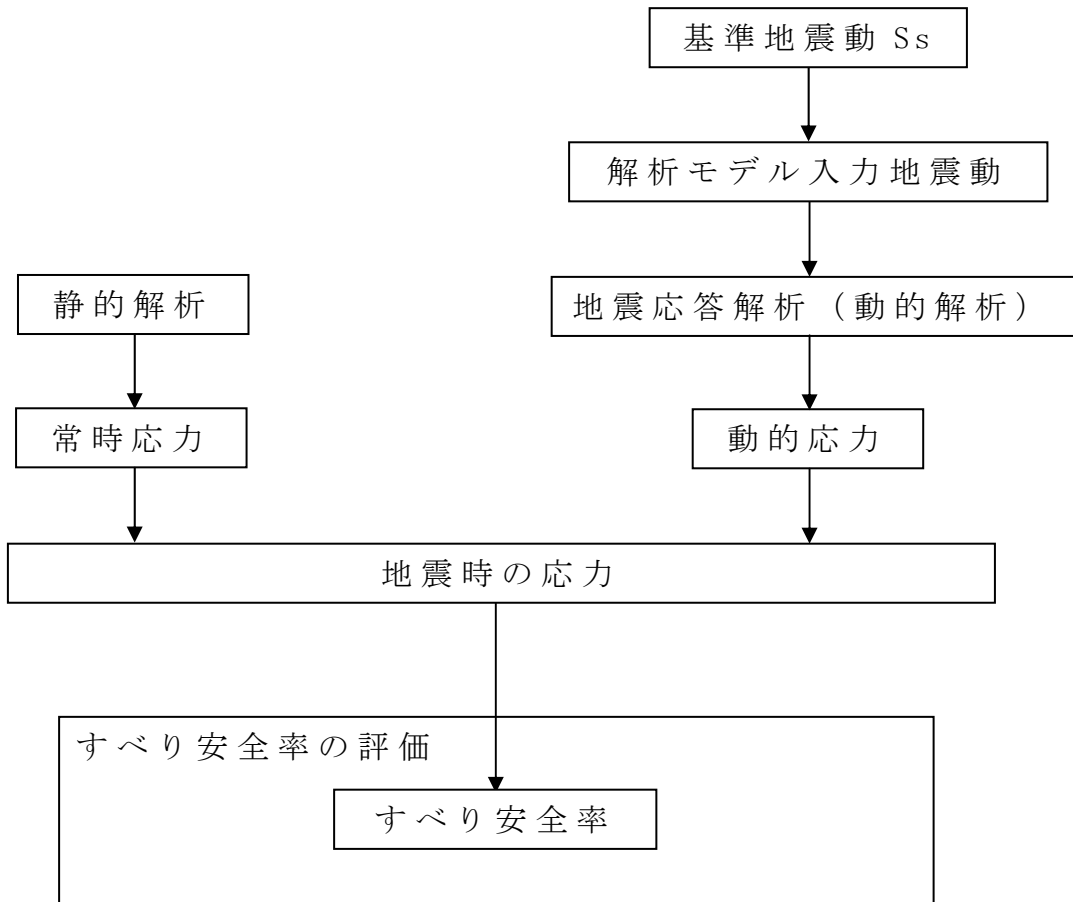
第 3.1-6 図 基準地震動 Ss (Ss-2NS, Ss-2UD) の時刻歴波形と
加速度応答スペクトル



第 3.1-7 図 解析用地下水位設定図







< 常時荷重 >

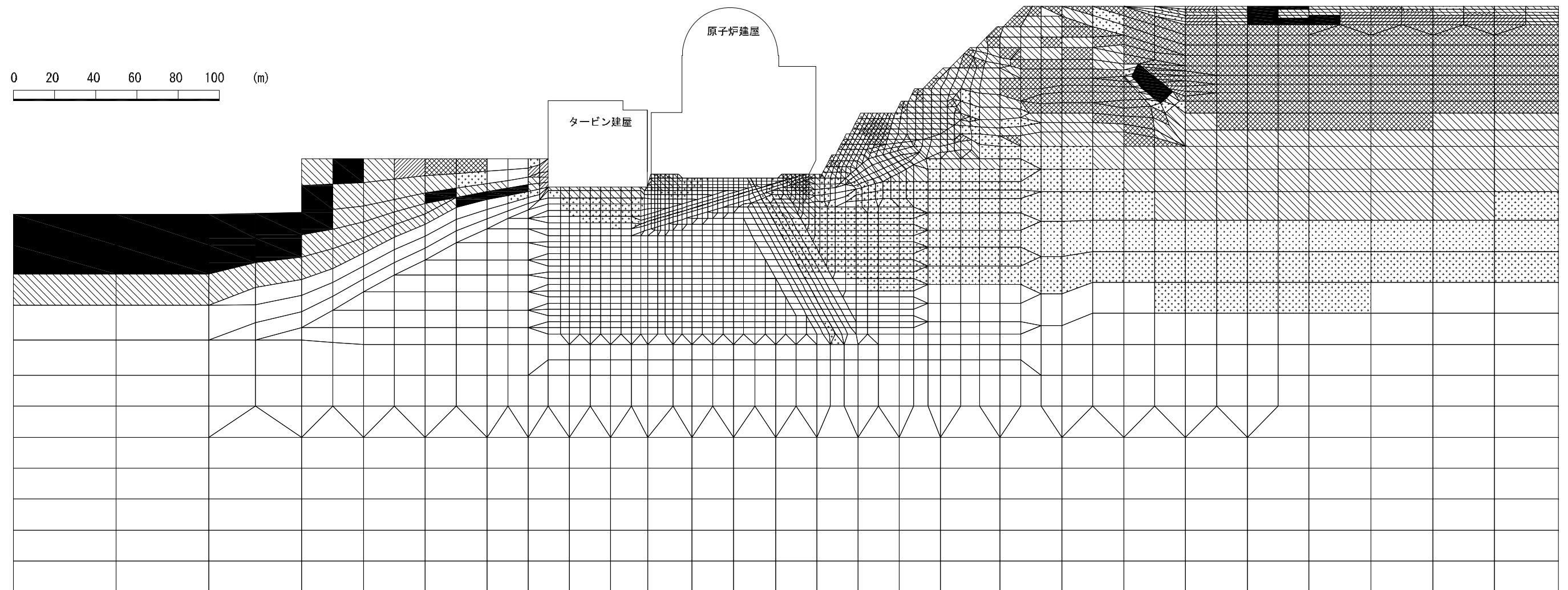
< 地震時荷重 >



第 3.2-1 図 斜面安定性評価フロー







凡 例

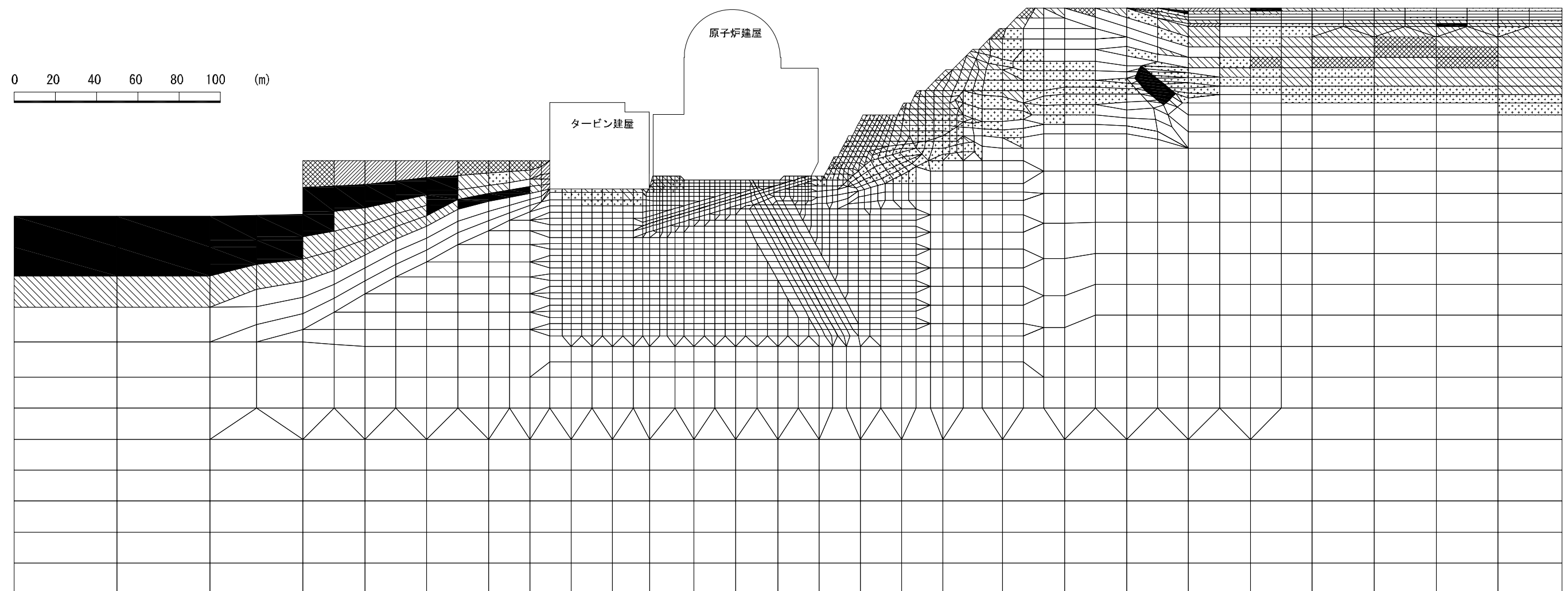
-  : 引張応力が発生した要素
-  : せん断強度に達した要素
-  : 複合破壊した要素
-  : $1.0 \leq f_s < 1.5$
-  : $1.5 \leq f_s < 2.0$
-  : $2.0 \leq f_s$



第 4-1 図 要素ごとの局所安全係数 [(Ss-1H, Ss-1V), T = 24.12 秒]

凡 例

-  : 引張応力が発生した要素
-  : せん断強度に達した要素
-  : 複合破壊した要素
-  : $1.0 \leq f_s < 1.5$
-  : $1.5 \leq f_s < 2.0$
-  : $2.0 \leq f_s$



第 4-2 図 要素ごとの局所安全係数 [($S_s - 2NS$, $S_s - 2UD$), $T = 12.20$ 秒]

X 地震随伴事象に対する考慮
(津波に対する安全性)

【 目 次 】

1.	評価方針.....	X-1
2.	評価方法.....	X-2
3.	津波の想定および数値シミュレーション.....	X-3
3.1	既往津波の検討.....	X-3
3.1.1	文献調査.....	X-3
3.1.2	数値シミュレーションによる津波高さの検討....	X-3
3.2	海域の活断層に想定される地震に伴う津波の検討....	X-6
3.2.1	数値シミュレーションによる津波高さの検討....	X-6
3.3	数値シミュレーション結果のまとめ.....	X-8
4.	津波に対する安全性の評価.....	X-9
4.1	津波水位の評価.....	X-9
4.2	津波に対する安全性の評価.....	X-9
4.2.1	津波による水位上昇に対する安全性.....	X-9
4.2.2	津波による水位下降に対する安全性.....	X-9
4.2.3	水位変動が取水に及ぼす影響.....	X-9
5.	二次的な影響に対する評価.....	X-11
5.1	砂移動に対する評価.....	X-11
5.2	漂流物に対する評価.....	X-11
5.2.1	船舶に対する評価.....	X-11
5.2.2	流木に対する評価.....	X-11
5.2.3	ゴミに対する評価.....	X-11
6.	評価結果.....	X-12
7.	参考文献.....	X-13

【 表 目 次 】

第 3.1-1(1) 表	瀬戸内海沿岸に影響を及ぼしたと考えられる 既往津波高	X-15
第 3.1-1(2) 表	瀬戸内海沿岸に影響を及ぼしたと考えられる 既往津波高	X-16
第 3.1-1(3) 表	瀬戸内海沿岸に影響を及ぼしたと考えられる 既往津波高	X-17
第 3.1-2 表	数値シミュレーションにおける主な計算条件 ..	X-18
第 3.2-1 表	数値シミュレーションにおける主な計算条件 ..	X-19
第 3.3-1 表	数値シミュレーション結果	X-20
第 4.2-1 表	水位変動の数値シミュレーションの計算条件 ..	X-21

【 図 目 次 】

第 2-1 図	評価フロー	X-22
第 3.1-1 図	南海道および近地において津波を引き起こした地震の震央位置	X-23
第 3.1-2 図	計算領域と水深	X-24
第 3.1-3 図	計算領域の格子分割	X-25
第 3.1-4 図	1946 年昭和南海地震のモデル諸元 (相田モデル)	X-26
第 3.1-5 図	1946 年昭和南海地震津波の痕跡高さと計算波高との比較	X-27
第 3.1-6(1) 図	中央防災会議による東南海・南海地震のモデル諸元	X-28
第 3.1-6(2) 図	中央防災会議による東南海・南海地震のモデル諸元	X-29
第 3.1-7(1) 図	1946 年昭和南海地震津波による水位の時系列変化	X-30
第 3.1-8(1) 図	中央防災会議が設定した東南海・南海地震津波による水位の時系列変化	X-32
第 3.1-8(2) 図	中央防災会議が設定した東南海・南海地震津波による水位の時系列変化	X-33
第 3.2-1 図	計算領域と水深	X-34
第 3.2-2 図	計算領域と格子分割	X-35
第 3.2-3 図	敷地前面海域の断層群による地震の津波波源の断層モデル (基準断層モデル)	X-36
第 3.2-4 図	敷地前面海域の断層群による地震津波の波源の断層モデル (パラメータスタディ)	X-37
第 3.2-5 図	パラメータスタディ結果	X-38
第 3.2-6 図	敷地前面海域の断層群による地震津波の時系列変化 (最大水位上昇時)	X-39
第 3.2-7 図	敷地前面海域の断層群による地震津波の時系列変化 (最大水位下降時)	X-40
第 4.2-1 図	取水設備概要図	X-41
第 4.2-2(1) 図	水位変動の検討結果 (水位上昇時)	X-42
第 4.2-2(2) 図	水位変動の検討結果 (水位下降時)	X-43

1. 評価方針

施設の供用期間中に極めて稀であるが発生する可能性のある津波を想定し，想定した津波による水位変動により原子炉施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認する。

また，津波による二次的な影響についても評価し，原子炉施設の安全性に対して問題がないことを確認する。

2. 評価方法

津波の評価においては、文献調査^{(1)~(14)}により抽出した、過去に敷地に影響を及ぼしたと考えられる既往津波を検討対象とするとともに、海域の活断層に想定される地震に伴う津波を設定し、これらを対象とした数値シミュレーションを行うことで津波による水位を算定する。

これらの検討結果から評価用の津波水位を求め、津波水位が原子炉施設へ及ぼす影響を評価する。さらに、求めた津波水位に基づいて取水系統の水理特性を考慮した応答計算を行い、取水設備における水位変動が取水へ及ぼす影響も評価する。

また、津波に伴う砂移動等の水位変動以外の事象に対しても評価する。

評価フローを第 2-1 図に示す。

3. 津波の想定および数値シミュレーション

津波の想定は、文献から敷地周辺における既往津波の状況を調査して行うとともに、海域の活断層を考慮して行う。海域の活断層から想定した津波の数値シミュレーションは、土木学会（2002）⁽¹⁾を参考に、波源の断層モデルにおいて不確かさが存在する因子を合理的な範囲で変化させてパラメータスタディを実施する。

3.1 既往津波の検討

敷地に影響を及ぼしたと考えられる既往津波について、以下のとおり検討する。

3.1.1 文献調査

調査の対象とする文献は、渡辺（1985, 1998）⁽²⁾⁽³⁾、宇佐美（2003）⁽⁴⁾、宇津ほか編（2001）⁽⁵⁾、羽鳥（1988）⁽⁷⁾、村上ほか（1996, 2002）⁽⁸⁾⁽⁹⁾、山本ほか（2001, 2003）⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾、理科年表（2006）⁽⁶⁾、および気象庁の発表とする。

文献調査の結果、瀬戸内海地域を震源とする地震による津波記録としては、1596年に別府湾における豊後の地震による記録があるが、当地震での津波の記録は別府湾沿岸のみに限定されており、敷地周辺において被害があったという記録は見当たらない。

一方、太平洋側では南海トラフ沿いのプレート境界において、過去に概ね 100～150 年間隔でM 8クラスの巨大地震が繰り返し発生している。これらの地震のうち、羽鳥（1988）⁽⁷⁾、村上ほか（1996, 2002）⁽⁸⁾⁽⁹⁾、山本ほか（2001, 2003）⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾は、1707年宝永地震津波、1854年安政南海地震津波および1946年昭和南海地震津波を対象として痕跡高さの評価を実施しているが、これら論文においても瀬戸内海沿岸における津波高さは最大で3 m程度であるとされており、さらに羽鳥（1988）⁽⁷⁾は論文中で宝永・安政津波の波高は、西低東高の分布であると評価している。

瀬戸内海沿岸に影響を及ぼしたと考えられる津波とその痕跡高さを第 3.1-1(1)表～第 3.1-1(3)表に、敷地周辺で津波を引き起こした地震の震央位置を第 3.1-1 図に示す。

3.1.2 数値シミュレーションによる津波高さの検討

数値シミュレーションによる津波高さの検討は、文献調査の

結果から対象津波を選定し，再現計算により数値シミュレーションモデルの妥当性の確認を行った上で行う。

(1) 対象津波の選定

既往津波に関する文献調査の結果，南海トラフ沿いのプレート境界で発生する地震による津波を対象津波とする。

南海トラフ沿いのプレート境界で過去に発生した地震津波の波源における断層モデルは，相田(1981)⁽¹⁴⁾に示される1707年宝永地震津波モデル，1854年安政南海地震津波モデル，1946年昭和南海地震津波モデルがある。

しかしながら本検討では，これらの波源の断層モデルは対象津波として選定せず1707年宝永地震津波や1854年安政南海地震津波等の波高を包絡するように設定された「内閣府中央防災会議 東南海，南海地震等に関する専門調査会(2003)」⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾（以下，「中央防災会議」という。）の「想定東南海・南海地震津波」を対象津波として選定とする。

(2) 数値シミュレーションの手法

数値シミュレーションにおける主な計算条件を第3.1-2表に示す。

計算格子分割は，海上保安庁による最新の地形図⁽¹²⁾等を用いてモデル化した海底地形に基づき，長谷川ほか(1987)⁽¹³⁾の基準に従って水深と津波の周期から推定される津波の波長を基に設定する。

数値シミュレーションに用いた計算領域とその水深を第3.1-2図に，計算領域の格子分割を第3.1-3図に示す。

(3) 再現性の評価方法

計算手法や海底地形等のモデルの妥当性を確認することを目的として再現計算を実施する。再現計算は，地震発生時の地形および津波痕跡高の信頼性の面から，1946年昭和南海地震津波を対象として実施する。

再現計算として数値シミュレーションに用いる1946年昭和南海地震津波の波源における断層モデルは相田(1981)⁽¹⁴⁾に示されているモデルを用いる。波源の断層モデル諸元を第3.1-4図に示す。

数値シミュレーションによる津波の再現性は、村上ほか(1996)⁽⁸⁾に示される 1946 年昭和南海地震による津波高さを用いて評価を実施する。なお、比較地域は痕跡高さが多数ある四国地域の太平洋側沿岸とする。

再現性の評価の指標としては相田(1977)⁽¹⁵⁾による痕跡高と数値シミュレーションにより計算された津波高さとの比から求める幾何平均値 K およびバラツキを表す指標 κ を用いる。

以下に、幾何平均値 K およびバラツキを表す指標 κ の算定式を示す。

$$\log K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log K_i$$
$$\log \kappa = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log K_i)^2 - (\log K)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$
$$K_i = \frac{R_i}{H_i}$$

ここに、 R_i は i 番目の地点の観測値（痕跡高）であり、 H_i は数値シミュレーションにより計算された津波高である。

なお、幾何平均 K およびバラツキを表す指標 κ については、土木学会(2002)⁽¹⁾に示されており、「 $0.95 < K < 1.05$ 、 $\kappa < 1.45$ 」が再現性の目安とされている。

(4) 再現性の検討結果

村上ほか(1996)⁽⁸⁾に示される既往津波高と数値シミュレーションによる津波高さの比較を第 3.1-5 図に示す。

再現性の検討を行った結果、太平洋沿岸においては $K = 1.005$ 、 $\kappa = 1.360$ となった。当評価結果の K および κ は土木学会の再現性の目安を満足しており、十分な再現性を確保しているといえる。

(5) 既往津波の予測計算結果

1946 年昭和南海地震津波を対象とした再現計算の結果、良好な再現性が確認できた。なお、再現計算における 1946

年昭和南海地震津波による敷地周辺での最大水位上昇量および下降量は約 0.1m である。

再現計算によって計算手法やモデルの妥当性が確認できたことから中央防災会議が設定した「想定東南海・南海地震」のモデルを用いた津波シミュレーションを行って敷地周辺における津波予測計算を行う。

主な計算条件を第 3.1-2 表に示し、中央防災会議が設定した想定東南海・南海地震の波源の断層モデル諸元を第 3.1-6(1) 図～第 3.1-6(2) 図に示す。

中央防災会議による想定東南海・南海地震の津波予測計算の結果、敷地周辺における最大水位上昇量は約 0.3m、最大水位下降量は約 0.4m となった。

今回、再現計算を実施した 1946 年昭和南海地震津波の敷地周辺における水位の時系列変化を第 3.1-7(1) 図～第 3.1-7(2) 図に、中央防災会議による想定東南海・南海地震津波の敷地周辺における水位の時系列変化を第 3.1-8(1) 図～第 3.1-8(2) 図に示す。

3.2 海域の活断層に想定される地震に伴う津波の検討

敷地に最も近い海域の活断層は、敷地前面海域の断層群である。当断層群は中央構造線断層帯の一部であり横ずれの断層である。横ずれ断層は地震に伴って津波を生じる可能性は低いが、仮に横ずれ断層である当断層群のすべり角に、鉛直方向の成分を加味して津波を想定した場合には敷地との距離から見て、当該断層群に想定される地震による津波が敷地に最も影響を及ぼすと考えられる。

そこで海域の活断層については敷地前面海域の断層群を対象として検討を行う。

3.2.1 数値シミュレーションによる津波高さの検討

数値シミュレーションは、波源の基準断層モデルを設定するとともに、この波源の断層モデルの諸条件のうち不確かさが存在する因子を合理的と考えられる範囲で変化させてパラメータスタディを実施する。

数値シミュレーションの主な計算条件を第 3.2-1 表に示す。計算格子分割は、海上保安庁による最新の地形図⁽¹²⁾等を用い

てモデル化した海底地形に基づき、長谷川ほか(1987)⁽¹³⁾の基準に従って、水深と津波の周期から推定される津波の波長を基に設定した。数値シミュレーションに用いた計算領域とその水深を第 3.2-1 図に、計算領域の格子分割を第 3.2-2 図に示す。

(1) 波源の基準断層モデルの設定

波源の基準断層モデルは、詳細な地質調査の結果より設定した地震動評価で用いたモデルとする。波源の基準断層モデルを第 3.2-3 図に示す。

(2) パラメータスタディ

基準断層モデルを用いて、第 3.2-4 図に示すようにパラメータを設定する。

断層傾斜角の設定にあたっては敷地前面海域の断層群が横ずれ・高角断層であることを踏まえて、 90° と設定し、さらに地震動評価において、北へ傾斜する地質境界断層と一致する可能性も否定できないことから不確かさの考慮として設定した北傾斜 30° の場合も考慮する。

ここで、モーメントマグニチュードは地震動評価と同様に断層面積より入倉・三宅(2001)⁽¹⁹⁾の関係から地震モーメントを算出し、Kanamori(1977)⁽²¹⁾により設定する。このため、断層傾斜角により断層面積が異なることから、地震モーメントおよびモーメントマグニチュードも断層傾斜角毎に設定することとする。

すべり角については、断層傾斜角に応じて合理的と考えられる範囲でパラメータを設定する。横ずれ・高角断層において正・逆断層成分を有する場合は、すべり角を $\pm 15^\circ$ 程度まで考慮する。よって断層傾斜角 90° のモデルについては、すべり角 180° (右横ずれ) を基本として、 165° 、 180° 、 195° の 3 ケースを設定する。

また、断層傾斜角を 30° としたモデルの場合には、同様にすべり角 180° (右横ずれ) を基本とするが、正・逆断層成分を考慮した場合、すべり角を $\pm 45^\circ$ 程度まで考慮するため、 15° 刻みとし 135° 、 150° 、 165° 、 180° 、 195° 、 210° 、 225° の 7 ケースを設定して数値シミュレーションを実施する。

パラメータスタディを行った結果、敷地前面において水位上昇量および水位下降量が最も大きくなるケースの評価結果を第 3.2-5 図に示す。数値シミュレーションの結果、水位上昇量が最も大きいケースは断層傾斜角 30° 、すべり角 135° の場合であり最大水位上昇量は 1・2 号機敷地前面で 0.73m、3 号機敷地前面では 0.68m となった。水位下降量が最も大きいケースは断層傾斜角 30° 、すべり角 225° の場合であり、1・2 号機取水口および 3 号機補機冷却水取水口における最大水位下降量は、それぞれ 0.65m および 0.63m となった。

波源の断層モデルと初期鉛直変位分布および水位の時系列変化を第 3.2-6 図および第 3.2-7 図に示す。

3.3 数値シミュレーション結果のまとめ

既往津波および海域の活断層に想定される地震に伴う津波の数値シミュレーションを実施した。それらの検討結果を第 3.3-1 表に示す。

これらの結果より敷地に最も影響を与える津波は敷地前面海域の断層群による津波であることから、当津波の数値シミュレーションによる水位を安全評価用の津波水位とする。

4. 津波に対する安全性の評価

評価用の津波水位(水位上昇および水位下降)を想定した場合に、原子炉施設の安全性に対して問題がないことを確認する。確認にあたっては、取水施設の水利特性による水位変動の影響も考慮する。なお、基準面は東京湾平均海面(T.P.)を用いる。

4.1 津波水位の評価

数値シミュレーションによる津波水位の検討結果から、敷地前面における最高水位を与える津波は敷地前面海域の断層群による地震津波であり、最大水位上昇量は1・2号機敷地前面において0.73m、3号機敷地前面で0.68mである。朔望平均満潮位(T.P.+1.62m⁽²³⁾)を初期水位として設定した場合、最高水位は1・2号機敷地前面ではT.P.+2.35m、3号機敷地前面で+2.30mとなる。

また、3号補機冷却水取水口における最低水位を与える津波も同様に敷地前面海域の断層群による地震津波であり、最大水位下降量は0.63mである。評価用の最低水位は朔望平均干潮位(T.P.-1.69m⁽²³⁾)を初期水位として設定した場合、T.P.-2.32mとなる。

4.2 津波に対する安全性の評価

評価用の津波水位に対する原子炉施設の安全性について、数値シミュレーションの結果を考慮して、以下のとおり評価する。

4.2.1 津波による水位上昇に対する安全性

津波による水位上昇は3号機敷地前面でT.P.+2.30mであり、これに対しては、第4.2-1図に示すように原子炉建屋等が設置された敷地高さはT.P.+10mであることから、原子炉施設の安全性に対して問題はない。

4.2.2 津波による水位下降に対する安全性

津波による水位下降(T.P.-2.32m)に対しては、3号機補機冷却水取水口の呑口の上端はT.P.-5.72mであり、評価用の最低水位と比較しても十分深く、津波により水位が下降した場合でも原子炉補機冷却系の海水を取水することが可能である。

4.2.3 水位変動が取水に及ぼす影響

評価用の津波水位のうち、水位上昇および下降のケースにつ

いて水理特性を考慮した取水施設における水位変動を，数値シミュレーションにより以下のとおり評価する。

(1) 数値シミュレーションの手法

数値シミュレーションは，取水口から取水路を経て補機冷却海水ポンプ室に至る取水系について検討する。

取水設備の概要を第 4.2-1 図に，数値シミュレーションの計算条件を第 4.2-1 表に示す。

(2) 評価結果

評価用の津波水位を用いて水位変動の数値シミュレーションを実施した結果，水位上昇について補機冷却海水ポンプ室における最高水位は T.P.+2.28m であり溢水することはない。水位下降については，補機冷却海水ポンプ室における最低水位は T.P.-2.36m であり，補機冷却海水ポンプの設計最低水位 (T.P.-3.57m) より上方であることから取水は十分可能であることから，原子炉施設の安全性に問題はない。

取水施設の水位変動の評価結果を第 4.2-2(1) 図～第 4.2-2(2) 図に示す。

5. 二次的な影響に対する評価

津波の水位変動以外の事象として、津波に伴う砂移動および漂流物が原子炉補機冷却系の取水に及ぼす影響について確認する。

5.1 砂移動に対する評価

敷地周辺の海岸線は塩基性片岩が露岩した岩礁地域であること、3号機の補機冷却水取水口は海底勾配が比較的急な岩礁に位置していることから津波の発生時に砂が移動し、補機冷却系の取水に支障となることはない。

5.2 漂流物に対する評価

津波発生に伴って漂流物になり得る船舶、流木およびゴミが原子炉補機冷却系の取水に支障とならず、原子炉施設の安全性に対して問題がないことを確認する。

5.2.1 船舶に対する評価

敷地前面に港湾施設はなく、津波の発生時に船舶が原子炉補機冷却系の取水に支障となることはない。

5.2.2 流木に対する評価

敷地周辺には貯木場はなく、津波の発生時に木材の流出・散乱の恐れはないことから、津波の発生時に流木が原子炉補機冷却系の取水に支障になることはない。

5.2.3 ゴミに対する評価

3号機補機冷却水取水口は水深約8mに設置されており、ゴミが混入しにくい構造となっている。また、補機冷却海水ポンプ室前面にはスクリーン等を設置しており、ゴミの流入を防止する構造となっていることから、津波の発生時にゴミが原子炉補機冷却系の取水に支障となることはない。

6. 評価結果

以上より，津波による水位変動により原子炉施設の安全機能が重大な影響を受けないことを確認するとともに，津波による二次的な影響についても評価し，原子炉施設の安全性に対して問題がないことを確認した。

7. 参考文献

- (1) 「原子力発電所の津波評価技術」 土木学会原子力土木委員会津波評価部会，2002
- (2) 「日本被害津波総覧」 渡辺偉夫，東京大学出版会，1985
- (3) 「日本被害津波総覧（第2版）」 渡辺偉夫，東京大学出版会，1998
- (4) 「最新版 日本被害地震総覧 416-2001」 宇佐美龍夫，東京大学出版会，2003
- (5) 「地震の事典[第2版]」 宇津徳治ほか編集，朝倉書店，2001
- (6) 「理科年表 平成19年」 国立天文台編，丸善，2006
- (7) 「瀬戸内海・豊後水道沿岸における宝永(1707)・安政(1854)・昭和(1946)南海道津波の挙動」 羽鳥徳太郎，地震2，41，215-221，1988
- (8) 「四国における歴史津波(1605 慶長・1707 宝永・1854 安政)の津波高の再検討」，村上仁士・島田富美男・伊藤禎彦・山本尚明・石塚淳一，自然災害科学，15-1，39-52，1996
- (9) 「四国沿岸域における歴史津波高評価」 村上仁史・島田富美男・山本尚明・上月康則・佐藤広章，月刊 海洋，号外28，61-72，2002
- (10) 「記録に基づく四国4県の歴史地震津波に関する被害状況」 山本尚明・村上仁史・島田富美男・上月康則・佐藤広章，歴史地震，17，117-126，2001
- (11) 「瀬戸内海の歴史南海地震津波について」 山本尚明，歴史地震，19，153-160，2003
- (12) 「沿岸の海の基本図 海底地形図，6386-5，伊予灘北東部」 海上保安庁，2000，他
- (13) 「津波の数値実験における格子間隔と時間積分間隔に関する研究」 長谷川賢一・鈴木孝夫・稲垣和男・首藤伸夫，土木学会論文集，381，111-120，1987
- (14) 「南海道沖の津波の数値実験」 相田勇，東京大学地震研究所彙報，56，713-730，1981
- (15) 「三陸沖の古い津波のシミュレーション」 相田勇，東京大学地震研究所彙報，52，71-10，1977
- (16) 「資料3 中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」(第16回) 東南海、南海地震の強震動と津波の高さ(案)」 内閣府中央防災会議事務局，2003

- (17) 「資料3 中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」(第16回)東南海、南海地震の強震動と津波の高さ(案)図表集」内閣府中央防災会議事務局, 2003
- (18) 「参考資料2 中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」(第16回)6 津波の計算手法」内閣府中央防災会議事務局, 2003
- (19) 「シナリオ地震の強震動予測」入倉孝次郎・三宅弘恵, 地学雑誌, Vol.110, 849-875, 2001
- (20) 「The displacement fields of inclined faults」, Mansinha, L. and Smilie, D.E., Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.61, 5, 1971
- (21) 「The energy release in great earthquakes」, Kanamori, H., J. Geophys. Res., Vol.82, 20, 1977
- (22) 「GIS を利用した津波遡上計算と被害推定」, 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫, 海岸工学論文集, 45, 1998
- (23) 「伊方発電所原子炉設置変更許可申請書」, 四国電力株式会社, 1984
- (24) 「水理公式集〔平成11年版〕」, 土木学会, 713p, 1999
- (25) 「火力・原子力発電所土木構造物の設計－補強改訂版－」, 電力土木技術協会, 1102p, 1995
- (26) 「発電水力演習」, 千秋信一, 学献社, 423p, 1967

第 3.1-1(1)表 瀬戸内海沿岸に影響を及ぼしたと考えられる既往
津波高

(単位：m)

県	市町村名	地名	1707年 宝永地震	1854年 安政南海	1946年 昭和南海	
愛媛県	西条市	西条	1-2 ^{**}			
	西条市	壬生川	1-2 ^{**}			
	松山市	三津浜		1.5 ^{**}	1.2 ^{**}	
	松前町	松前		2 ^{**}		
	伊予市	伊予		2.5 ^{**}		
	愛南町	岩水		3.5-4		
	愛南町	満倉		2-3		
	愛南町	深浦		3-4		
	愛南町	久良		4-5		
	愛南町	貝塚		2-3		
	宇和島市	宇和島	5.1	2-3	1.5	
	宇和島市	吉田	5	3.7	1.5	
	西予市	三瓶			1.2	
	八幡浜市	八幡浜			0.9	
	伊方町	伊方			1.2	
	伊方町	三崎			1.2	
	伊方町	内の浦			0.7	
	香川県	内海町	内海	2 ^{**}		
		直島町	直島		1 ^{**}	
高松市		高松	1.8 ^{**}	1.5 ^{**}	0.9	
高松市		庵治	1.8 ^{**}			
高松市		香西		1.3 ^{**}		
坂出市		木沢浦		1 ^{**}		
坂出市		浜西		1.5 ^{**}		
丸亀市		丸亀	2 ^{**}			
徳島県		鳴門市	撫養		1-2	0.9
	徳島	徳島		1-2	1.4	
	小松島市	小松島		1.5-2	2	
	阿南市	中島		4-5		
	阿南市	橘	3-4	3	4	
	阿南市	椿泊			3.7	
	美波町	阿部		5.5		
	美波町	由岐	6-7	7-8	4	
	美波町	由岐 長円寺		7.2		
	美波町	由岐 八幡神社		7.7		
	美波町	田井 観音		4.3		
	美波町	田井			2	
	美波町	木岐	6-7		4.2	
	美波町	木岐 延命寺		6.5		
	美波町	木岐 大師庵		6.7		
	美波町	日和佐町		2-3	2.5, 3.6	
牟岐町	牟岐	6-7	6-7	4.5		
徳島県	牟岐町	牟岐 杉尾神社	3.6			
	牟岐町	牟岐 石ヶ平	8			
	牟岐町	出羽島		6	3.6	
	牟岐町	牟岐 薬師堂		4.7		

※村上ら(1996, 2002)⁽⁸⁾⁽⁹⁾の津波高さを基本とし、山本ら(2001, 2003)⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾の津波高さのデータを追記したもの

第 3.1-1(2)表 瀬戸内海沿岸に影響を及ぼしたと考えられる既往
津波高

(単位：m)

県	市町村名	地名	1707年 宝永地震	1854年 安政南海	1946年 昭和南海
徳島県	海陽町	浅川	6-7	6.5-7.2	4.7-5.3
	海陽町	那佐 那佐大師堂		5.5	
	海陽町	那佐			4.2
	海陽町	鞆浦	3	3.5	2
	海陽町	宍喰			3.6
	海陽町	宍喰 願行寺	5.5		
	海陽町	宍喰 鈴ヶ峯桜の本		5.3	
	海陽町	宍喰 宍喰川上流		4.5	
	海陽町	宍喰 八幡		3.6	
	海陽町	宍喰 祇園拝殿		3.2	
	海陽町	宍喰 愛宕山		3.9	
	海陽町	宍喰 古目大師堂		7.9	
	海陽町	宍喰 古目御番所		7.7	
	高知県	東洋町	甲浦	6	3.6
室戸町		佐喜浜	5		2.9
室戸町		椎名			4.8
室戸町		津呂			1.9
室戸町		室津	6-7	3	2
奈半利町		奈半利			3
安田町		安田			2.3
安芸市		伊尾木			3
安芸市		安芸	6-7	5	3
香南市		手結	6-7	5	3.3
香南市		下夜須	9.3		
香南市		岸本	5-6	5	1.5
香南市		赤岡	4-5	4	
香南市		古川	4-5		
南国氏		十市	7-8		
高知市		仁井田	6-7		
高知市		種崎	5-6		1.7
高知市		下田	6-7		
高知市		吸江	6-7		
高知市		一宮	7.7		
高知市		潮江	5-6		1.3
高知市		高知	2-3	3	0.5
高知市		御豊瀬	5-6		1.3
高知市		藻州潟		5	2.2
高知市		浦戸	5-6	4.5-5	1.8
高知市		桂浜	5-6	4.5-5	
春野町		甲殿	5-6	5	4.3-5.1
土佐市	宇佐	8-13	5.8-8.9	4.6	
土佐市	福島	7-8	7-8	4	
須崎市	奥浦	3.1			
須崎市	野見			5.6	
須崎市	押岡		7-8		
須崎市	吾井ノ郷	9	7-8		

第 3.1-1(3)表 瀬戸内海沿岸に影響を及ぼしたと考えられる既往
津波高

(単位：m)

県	市町村名	地名	1707年 宝永地震	1854年 安政南海	1946年 昭和南海
高知県	須崎市	多ノ郷	8.7	7.1-8.4	3.5
	須崎市	須崎	8	5.5	4.4
	須崎市	安和			5.1
	中土佐町	久礼	7.5-8	5.6-8.3	2.3, 3.7
	中土佐町	上ノ加江		5-6	2.5-3.1
	中土佐町	矢井賀		7.8	
	四万十町	興津		6	4.3
	黒潮町	佐賀			4.7
	黒潮町	伊田		5-6	
	黒潮町	上川口			4.9
	黒潮町	鞭		8.5	4.0
	黒潮町	入野	8.6	6-6.5	
	四万十市	下田		4-5	3.9
	土佐清水市	布			2.5
	土佐清水市	下ノ加江	10	7.2	3.7
	土佐清水市	大岐	8.1	4.9-5.3	
	土佐清水市	以布利	10	4.3-4.7	3.1
	土佐清水市	窪津		4.4	
	土佐清水市	大浜	8.6	5	
	土佐清水市	土佐清水	5	4	2.3
	土佐清水市	下益野		4-5	
	土佐清水市	三崎	7	5-6	3
	土佐清水市	下川口	7-8	4-5	3
	土佐清水市	貝ノ川	8	4	
	土佐清水市	大津	7		
	大月町	古満目		4	3.5
	大月町	柏島		3.3	
	宿毛市	片島			1.8
	宿毛市	ハイタカ神社	9.8	3.2	2.5
	宿毛市	清宝寺	4.5-5.5		
	宿毛市	和田の奥	4.1		
	宿毛市	天神社		3	
	宿毛市	河戸堰		3.5-4	

第 3.1-2 表 数値シミュレーションにおける主な計算条件

(1946 年昭和南海地震津波)

(中央防災会議 東南海・南海地震モデル)

項目	計算条件
計算領域	・ 四国南方海域を中心として東西約 1000km, 南北 700km の領域
格子分割サイズ	・ 沖合いでの最大 1600m から 800, 400, 200, 100, 50 と 1/2 ずつ徐々に細かい格子を設定。
計算時間間隔	・ 0.5 秒
基礎方程式	・ 非線形長波(浅水理論)の連続式および運動方程式
初期条件	・ Mansinha and Smylie(1971) ⁽²⁰⁾ の方法により計算
沖側境界条件	・ 自由透過条件。ただし関門海峡は波の主成分が反射すると仮定し陸側境界とした。
陸側境界条件	・ 25m および 50m 格子領域は, 小谷(1998) ⁽²²⁾ の遡上境界条件 ・ 上記以外の領域は, 陸上に向かう津波に対して完全反射条件
海底摩擦係数	・ マニングの粗度係数 $n = 0.025\text{m}^{-1/3}\text{s}$ (中央防災会議(2003) ⁽¹⁸⁾ に準拠)
水平渦動粘性係数	・ 考慮しない
計算対象現象時間	・ 発生時間より 15 時間

基礎方程式：非線形長波（浅水理論）の方程式および運動方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/2}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/2}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

ここに,

x, y : 水平方向座標, t : 時間, η : 静水面からの水位

M, N : それぞれ x, y 方向の線流量

D : 全水深 ($D = h + \eta$)

h : 静水位

g : 重力加速度

n : マニングの粗度係数

第 3.2-1 表 数値シミュレーションにおける主な計算条件

(敷地前面海域の断層群による地震津波)

項目	計算条件
計算領域	・南北約 160km, 東西約 180km
格子分割サイズ	・沖合いでの最大 400m から 200, 100, 50, 25 と 1/2 ずつ徐々に細かい格子を設定。
計算時間間隔	・0.25 秒
基礎方程式	・非線形長波(浅水理論)の連続式および運動方程式
初期条件	・Mansinha and Smylie(1971) ⁽²⁰⁾ の方法により計算
沖側境界条件	・自由透過条件。ただし関門海峡は波の主成分が反射すると仮定し陸側境界とした。
陸側境界条件	・静水面より上昇する津波に対して完全反射条件 ・静水面より下降する津波に対して小谷(1998) ⁽²²⁾ の遡上境界条件により海底露出を考慮
海底摩擦係数	・マニングの粗度係数 $n = 0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$
水平渦動粘性係数	・考慮しない
計算対象現象時間	・発生時間より 90 分間

基礎方程式：非線形長波（浅水理論）の方程式および運動方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/2}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/2}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0$$

ここに,

x, y : 水平方向座標, t : 時間, η : 静水面からの水位

M, N : それぞれ x, y 方向の線流量

D : 全水深 ($D = h + \eta$)

h : 静水位

g : 重力加速度

n : マニングの粗度係数

第 3.3-1 表 数値シミュレーション結果

		1946 年昭和 南海地震津波	中央防災会議 による東南海・南海地震 津波	敷地前面海域 の断層群によ る地震津波
水 位 上昇側	1・2号機 敷地前面	+0.10m	+0.33m	+0.73m
	3号機 敷地前面	+0.09m	+0.30m	+0.68m
水 位 下降側	1・2号機 取水口	-0.08m	-0.36m	-0.65m
	3号機 補機冷却 水取水口	-0.07m	-0.34m	-0.63m

第 4.2-1 表 水位変動の数値シミュレーションの計算条件

項目	計算条件
計算領域	3号機側 取水口～取水路～補機冷却海水ポンプ室
計算時間間隔	0.1秒
基礎方程式	非定常管路流の連続式および運動方程式
境界条件	3号機側 : 1.333m ³ /s
取水路の摩擦損失係数	マンニングの粗度係数 $n = 0.02\text{m}^{-1/3}\text{s}$ を採用
局所損失係数	土木学会(1999) ^{(24)~(26)} 等による。
潮位変動条件	水位上昇側 : 朔望平均満水位 T.P. +1.62m 水位下降側 : 朔望平均干潮位 T.P. -1.69m
地盤変動条件	地盤変動を考慮
計算時間	地震発生後 90分

基礎方程式

(1) 管水路の連続式および運動方程式

・連続式 $\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$

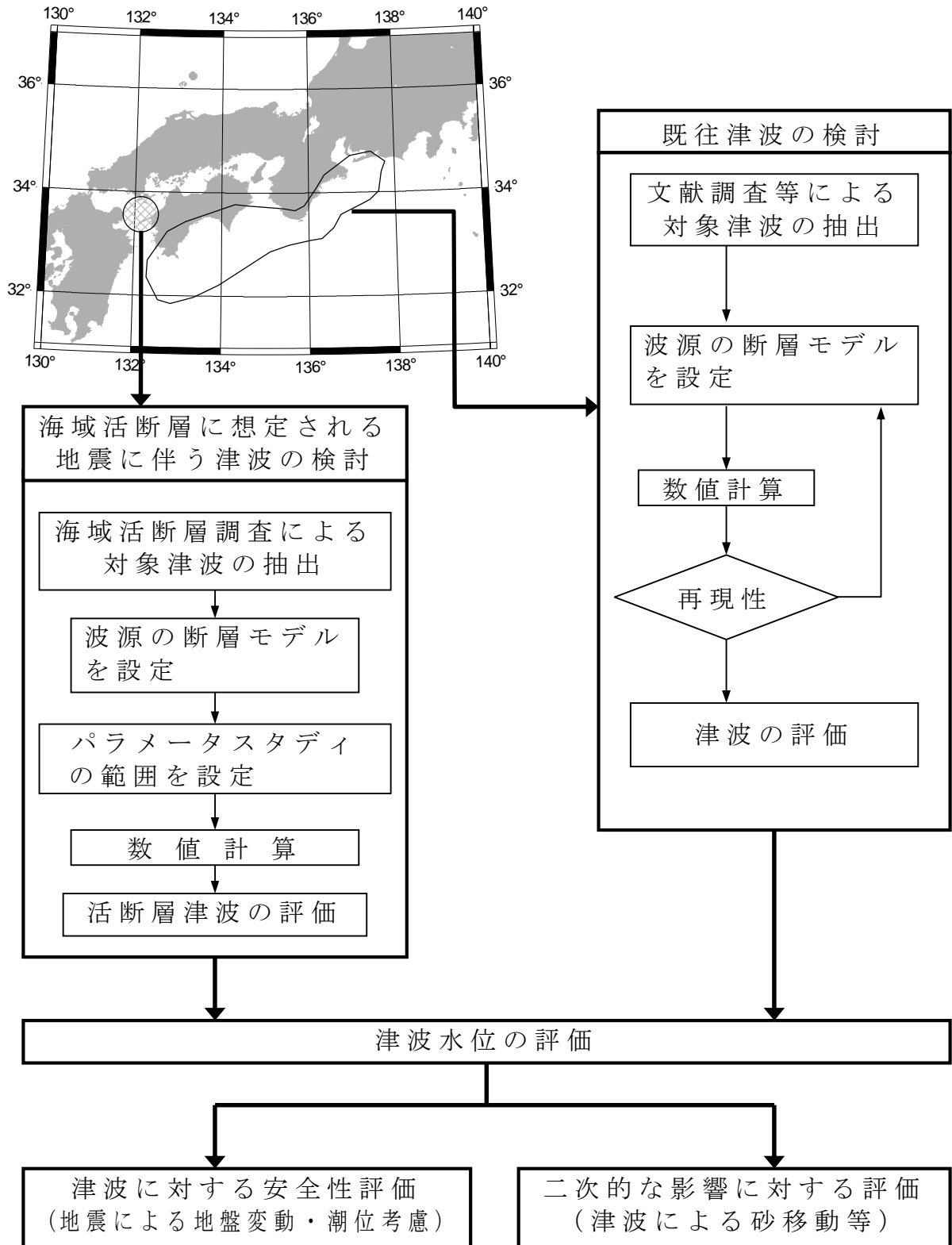
・運動方程式
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gA \left(\frac{n^2 |v|v}{R^{4/3}} + \frac{1}{\Delta x} f \frac{|v|v}{2g} \right) = 0$$

ここに、 t : 時間、 Q : 流量、 v : 管路の流速、 A : 流水断面積
 x : 管底に沿った座標、 H : 圧力水頭 + 位置水頭、
 n : マンニングの粗度係数、 g : 重力加速度、 R : 径深
 Δx : 管路の流れ方向の長さ、 f : 局所損失係数

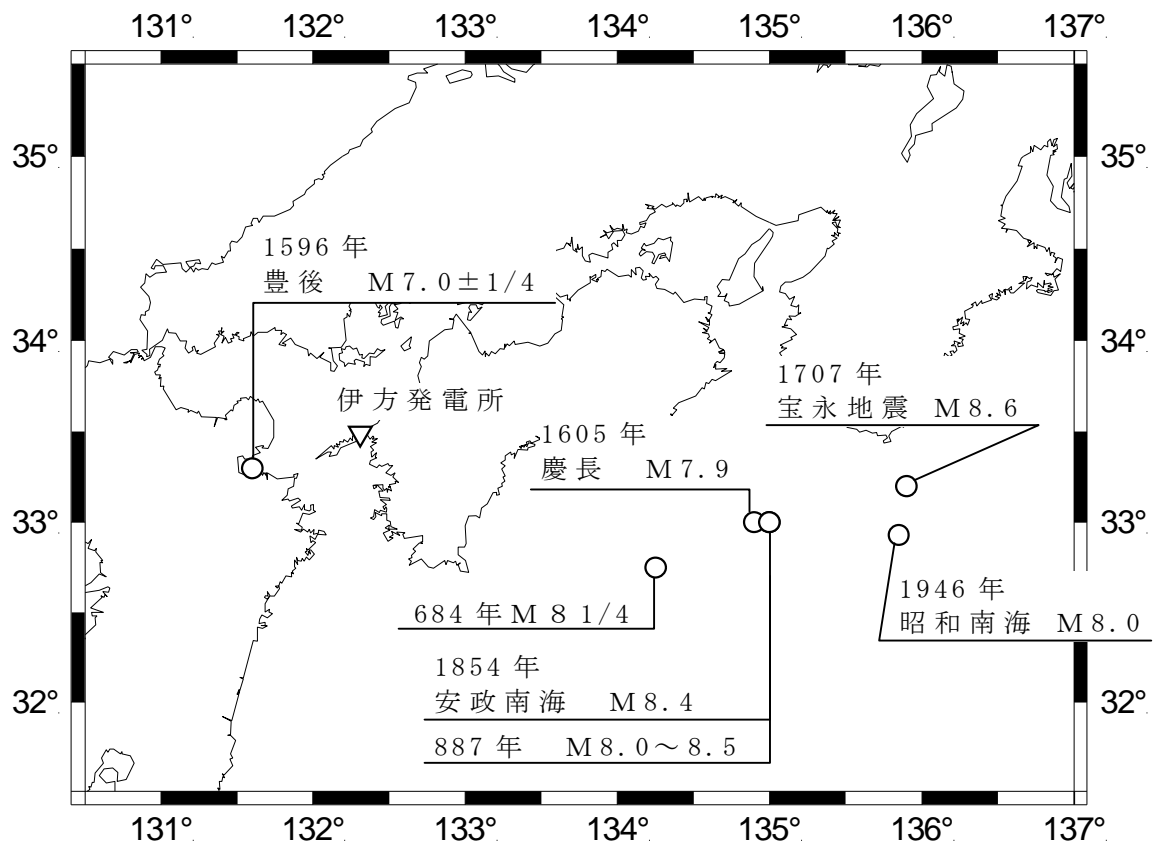
(2) 水槽（補機冷却海水ポンプ室）の連続式

$$A_p \frac{dH_p}{dt} = Q$$

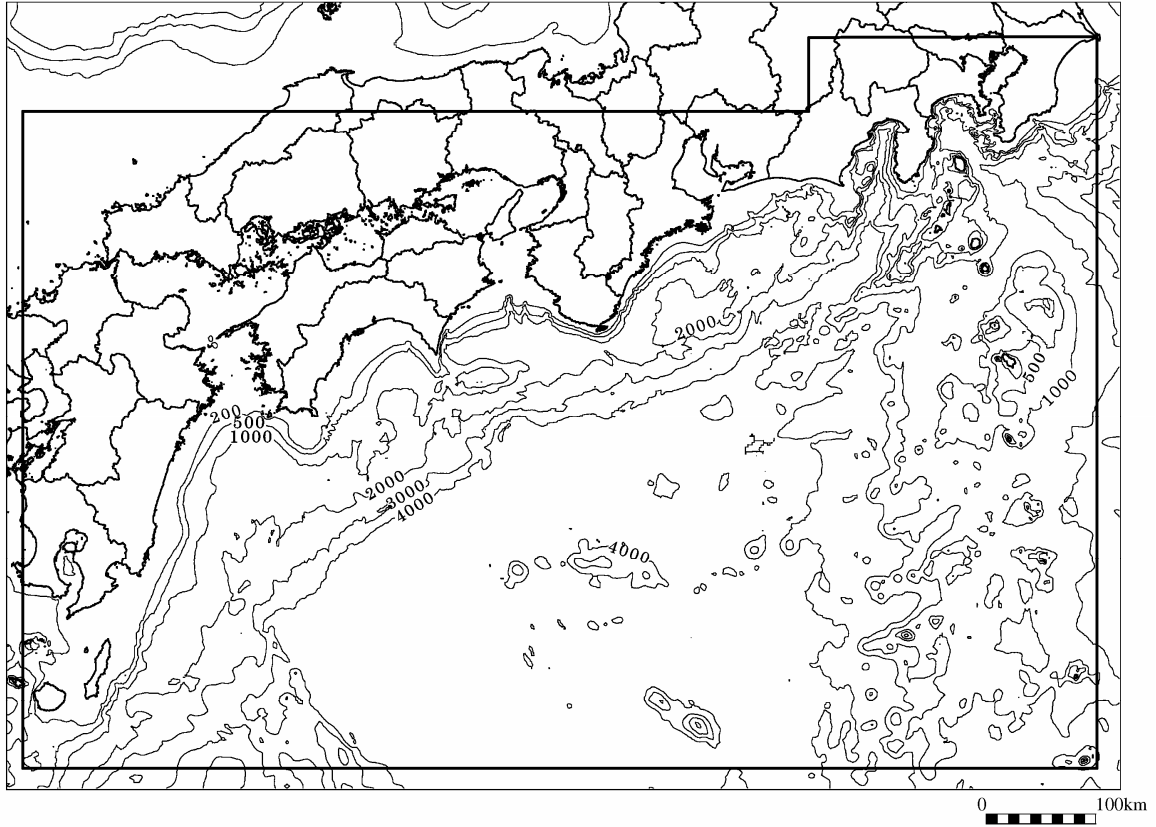
ここに、 H_p : 水槽内の位置水頭
 A_p : 水槽の平面積（水位の関数となる）
 Q : 水槽への流入出量



第 2-1 図 評価フロー

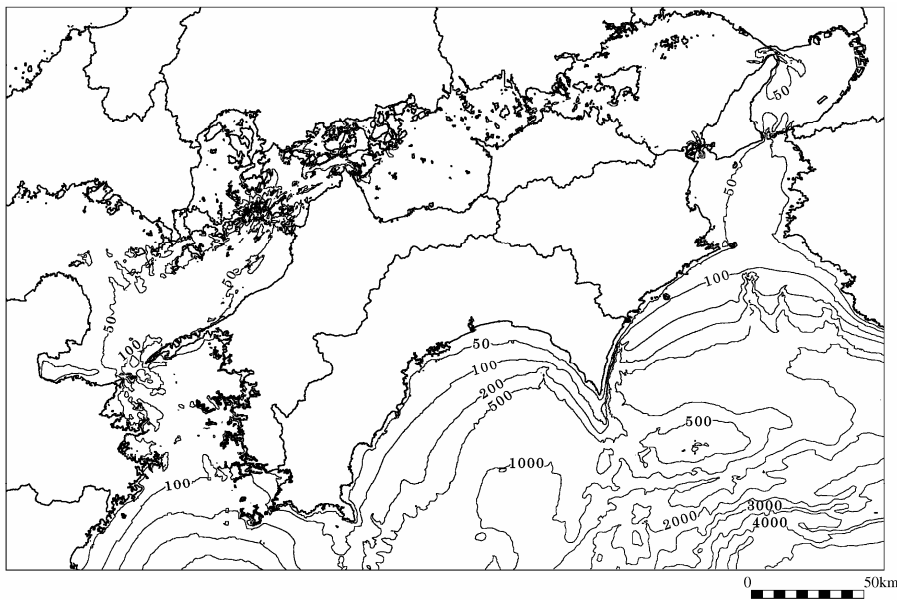


第 3.1-1 図 南海道および近地において津波を引き起こした地震の震央位置



計算領域（全体）

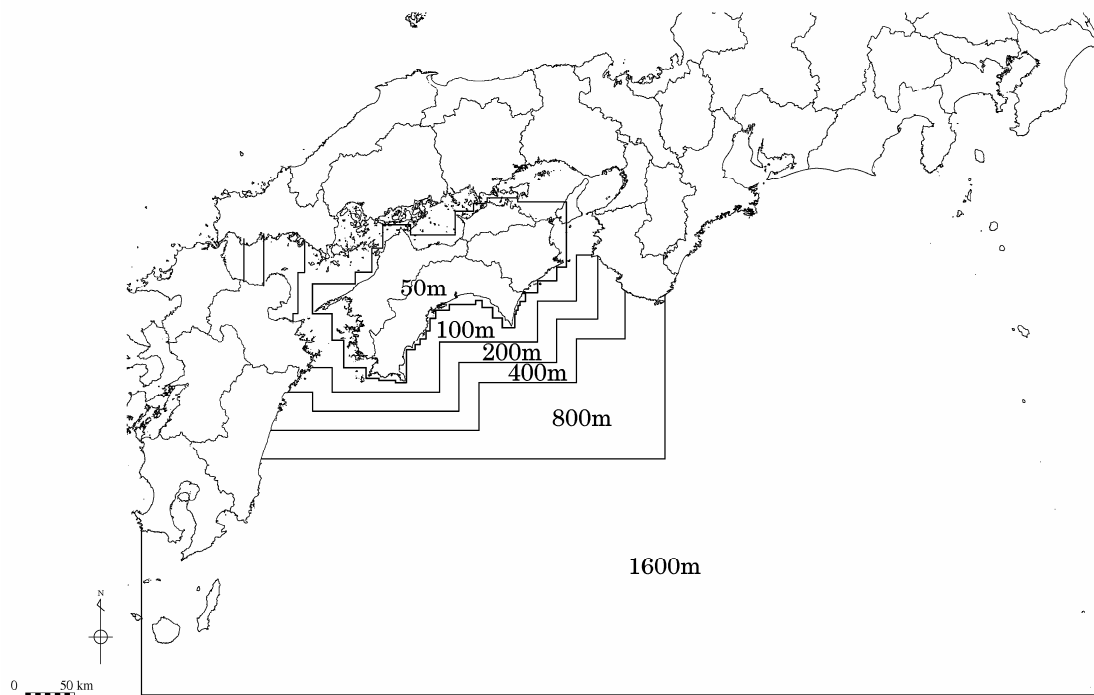
単位：m



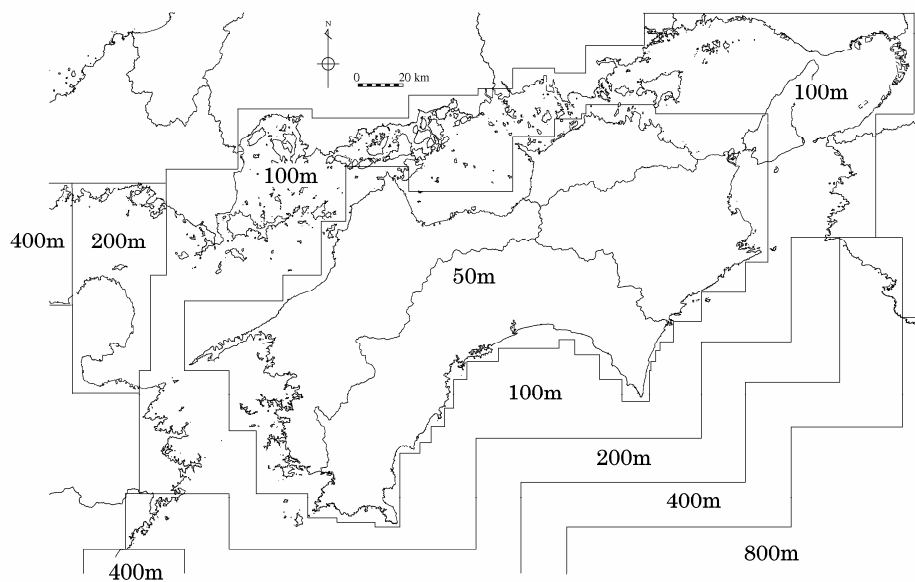
計算領域（四国周辺）

単位：m

第 3.1-2 図 計算領域と水深



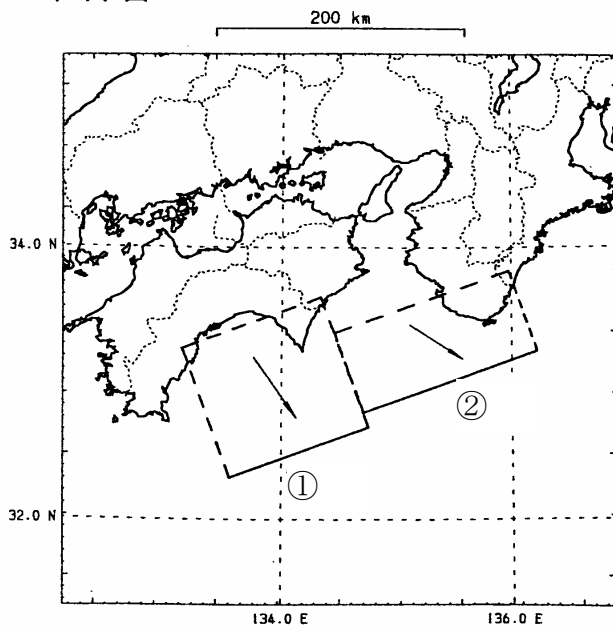
計算領域全体



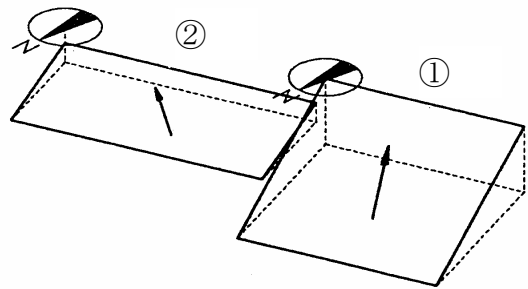
計算領域（四国周辺）

第 3.1-3 図 計算領域の格子分割

・平面図



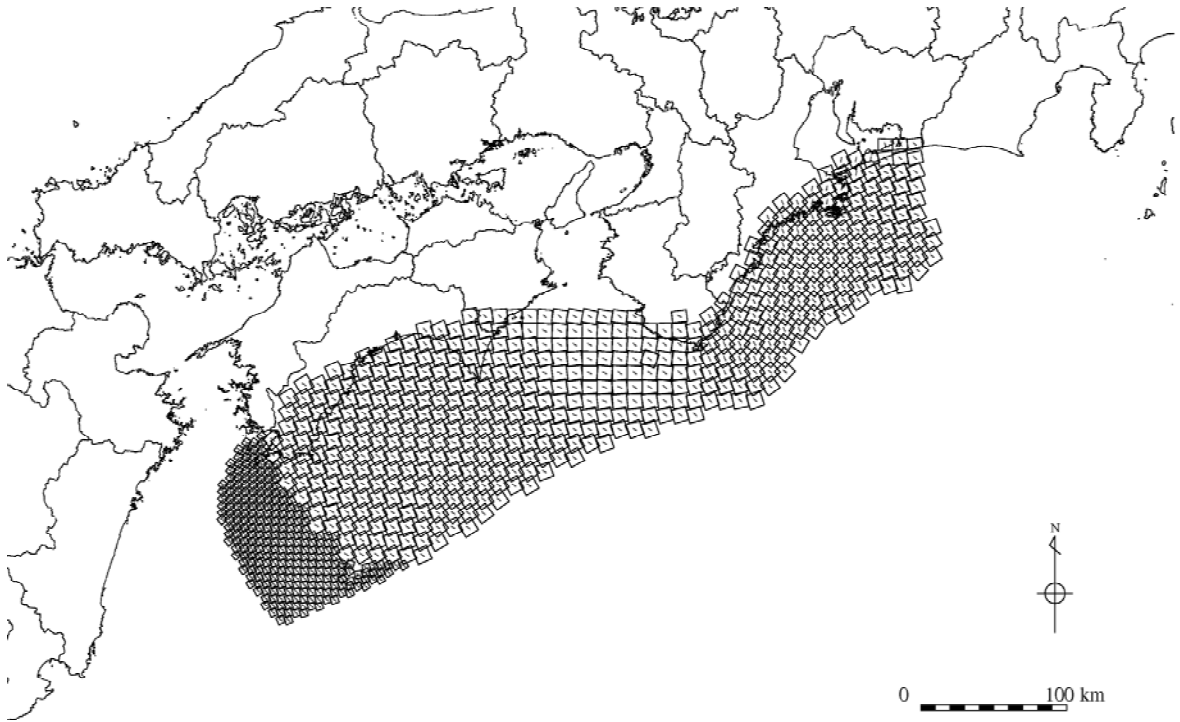
・見取図



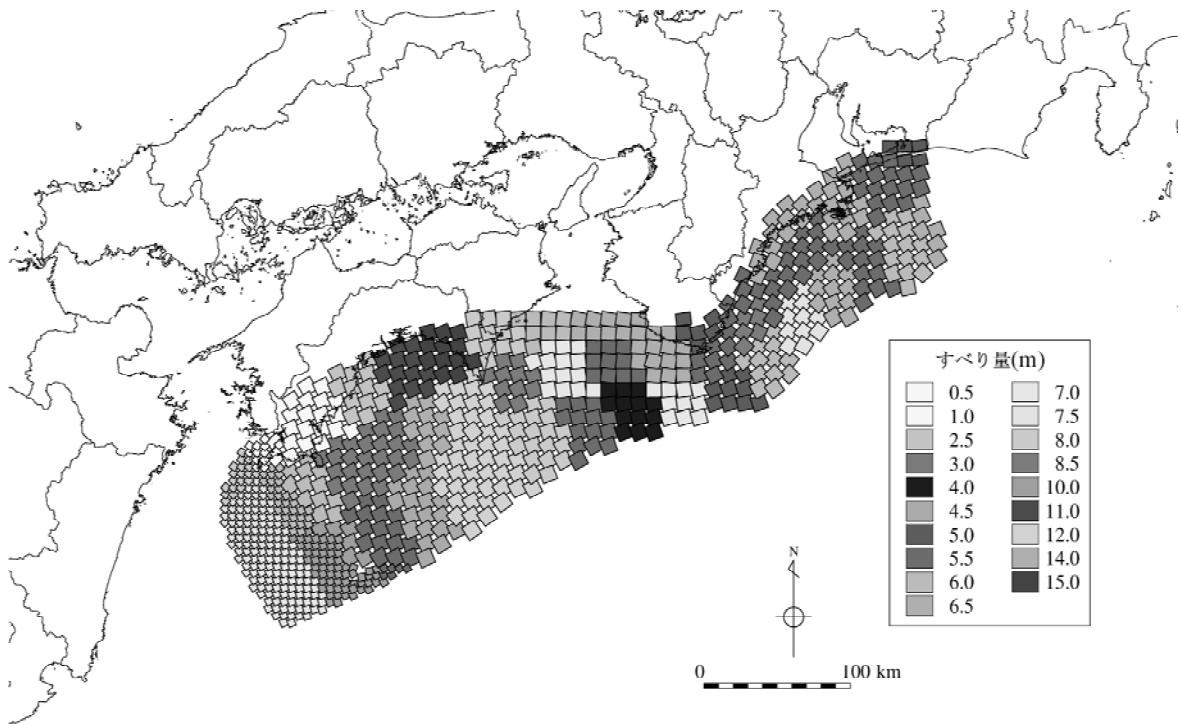
モデル諸元

	断層番号	
	①	②
長さ : L	120km	150km
幅 : W	120km	70km
すべり量 : D	5.0m	4.0m
上縁深さ : d	1km	10km
走向 : θ	250°	250°
断層傾斜角 : δ	20°	10°
すべり角 : λ	104°	127°

第 3.1-4 図 1946 年昭和南海地震のモデル諸元 (相田モデル)

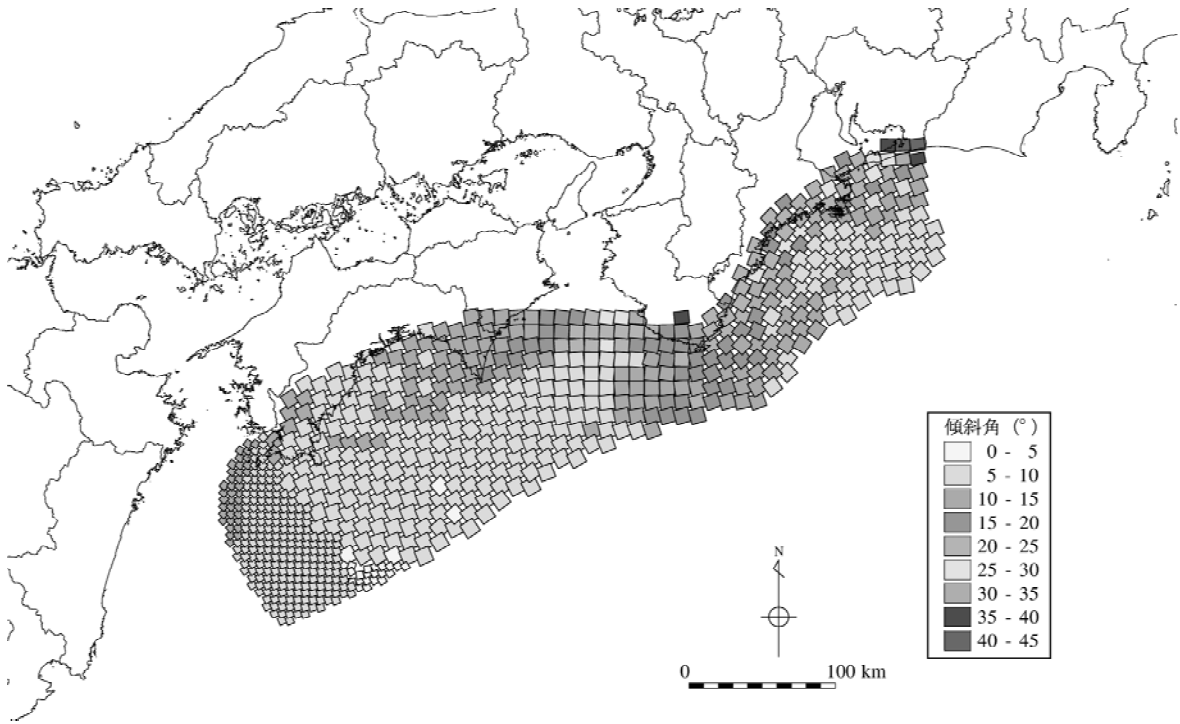


すべり角分布

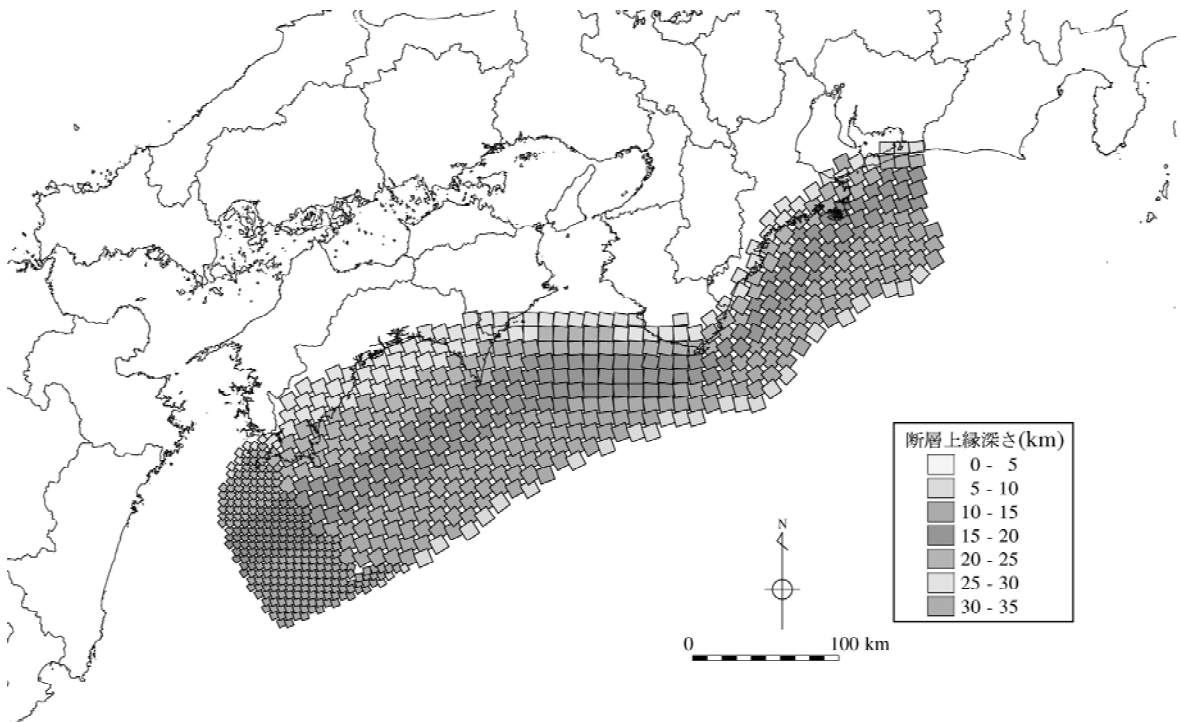


すべり量分布

第 3.1-6(1) 図 中央防災会議による東南海・南海地震のモデル諸元

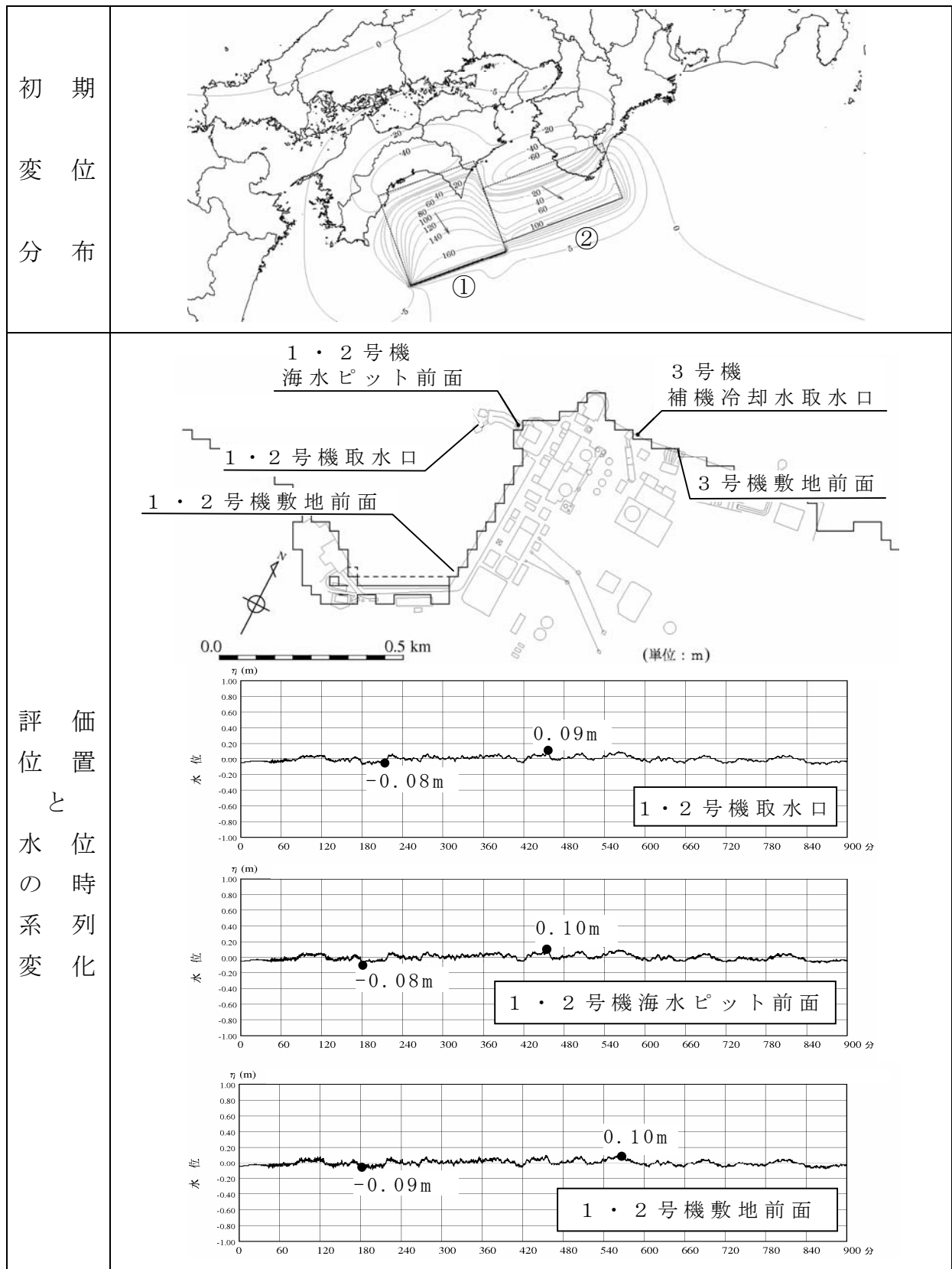


断層傾斜角分布

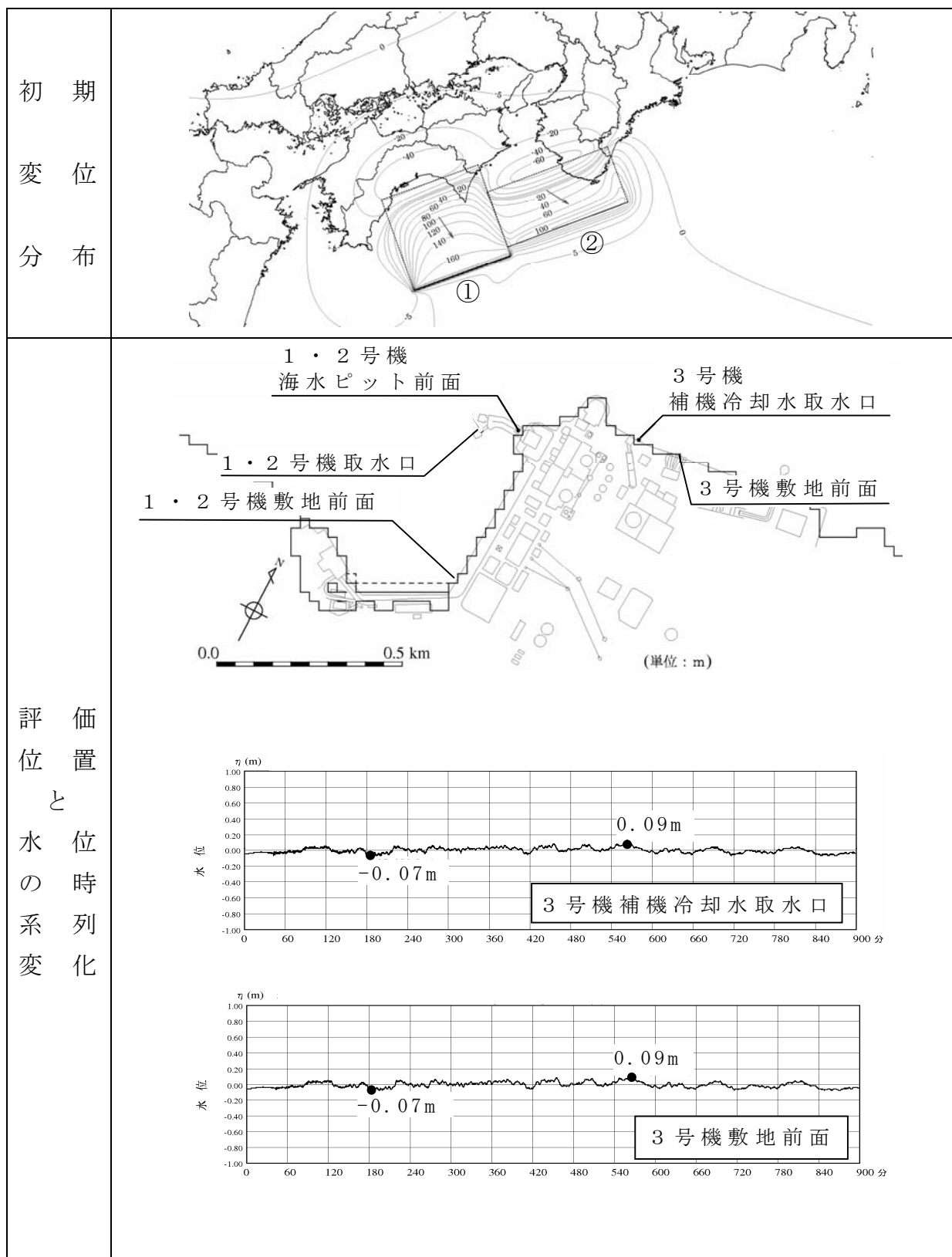


断層上縁深さ分布

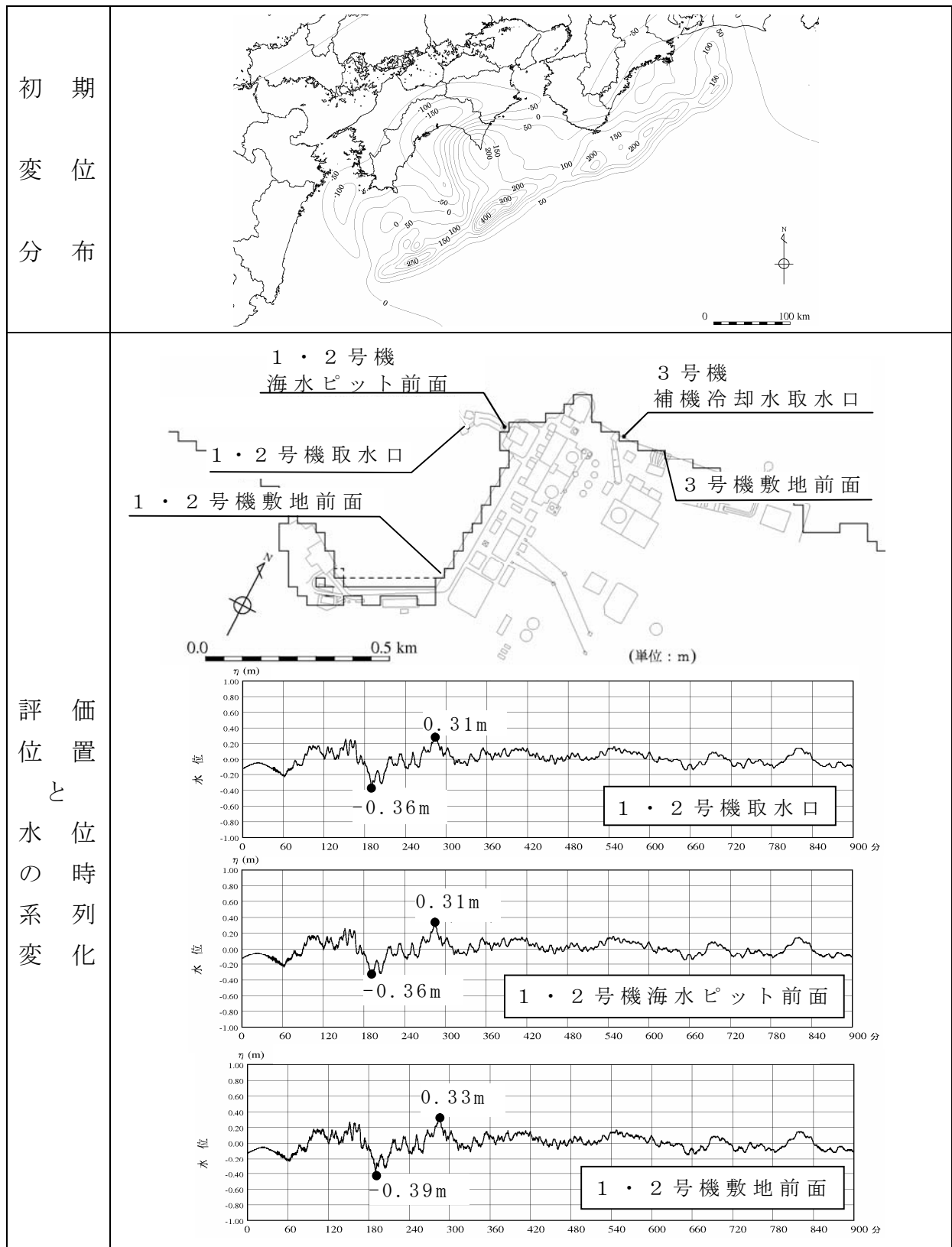
第 3.1-6(2) 図 中央防災会議による東南海・南海地震のモデル諸元



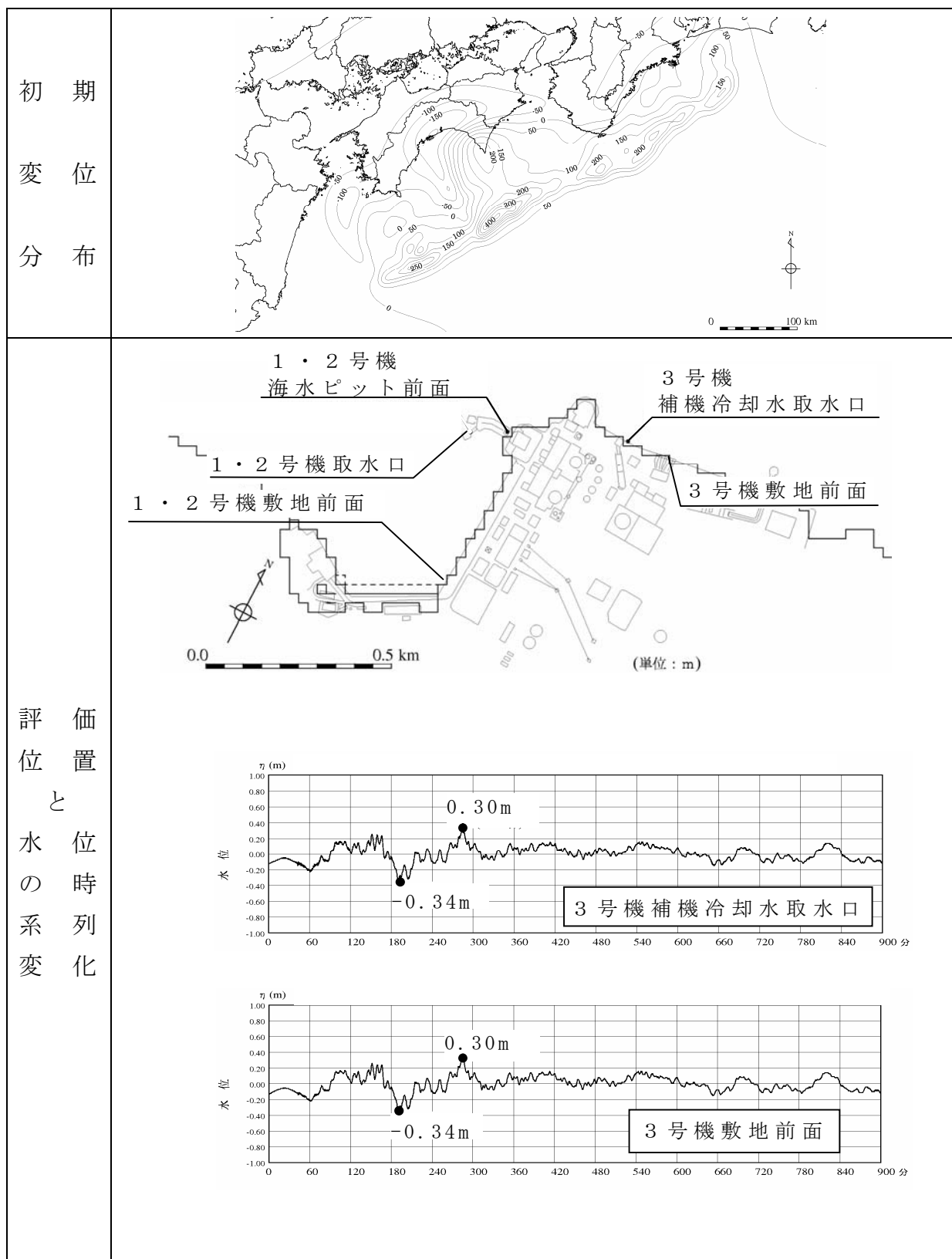
第 3.1-7(1) 図 1946 年昭和南海地震津波による水位の時系列変化



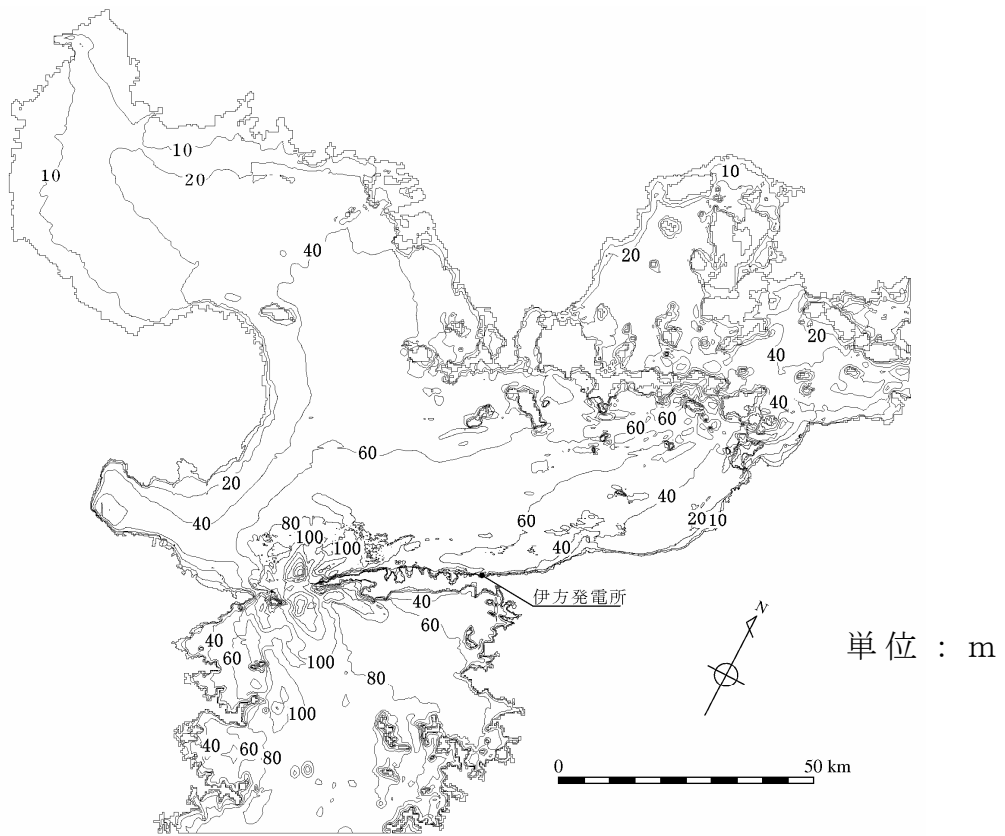
第 3.1-7(2) 図 1946 年昭和南海地震津波による水位の時系列変化



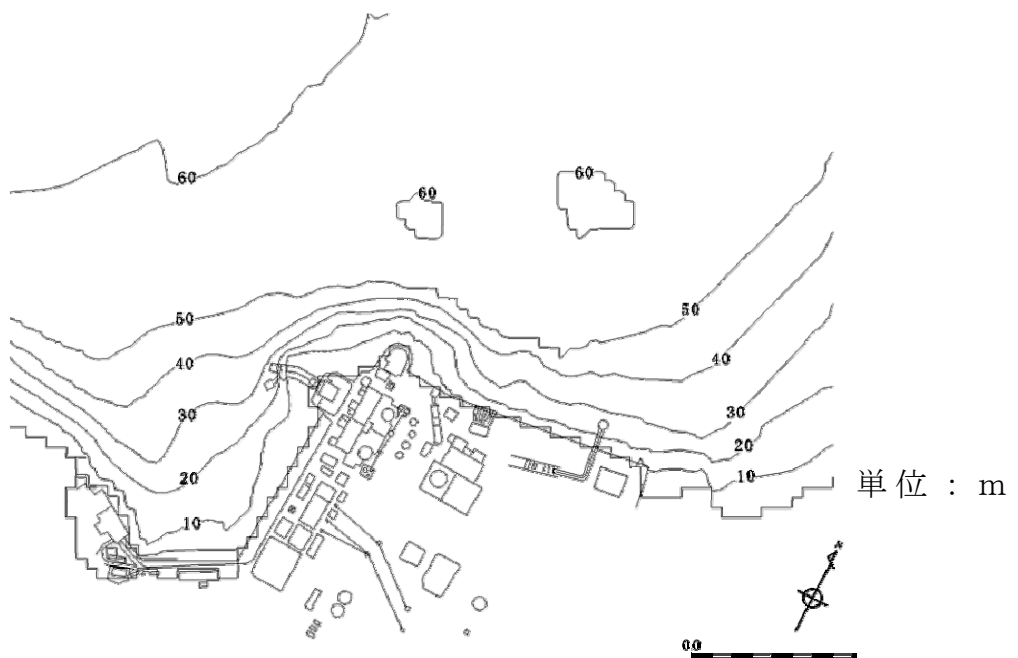
第 3.1-8(1) 図 中央防災会議が設定した東南海・南海地震津波による水位の時系列変化



第 3.1-8(2) 図 中央防災会議が設定した東南海・南海地震津波による水位の時系列変化

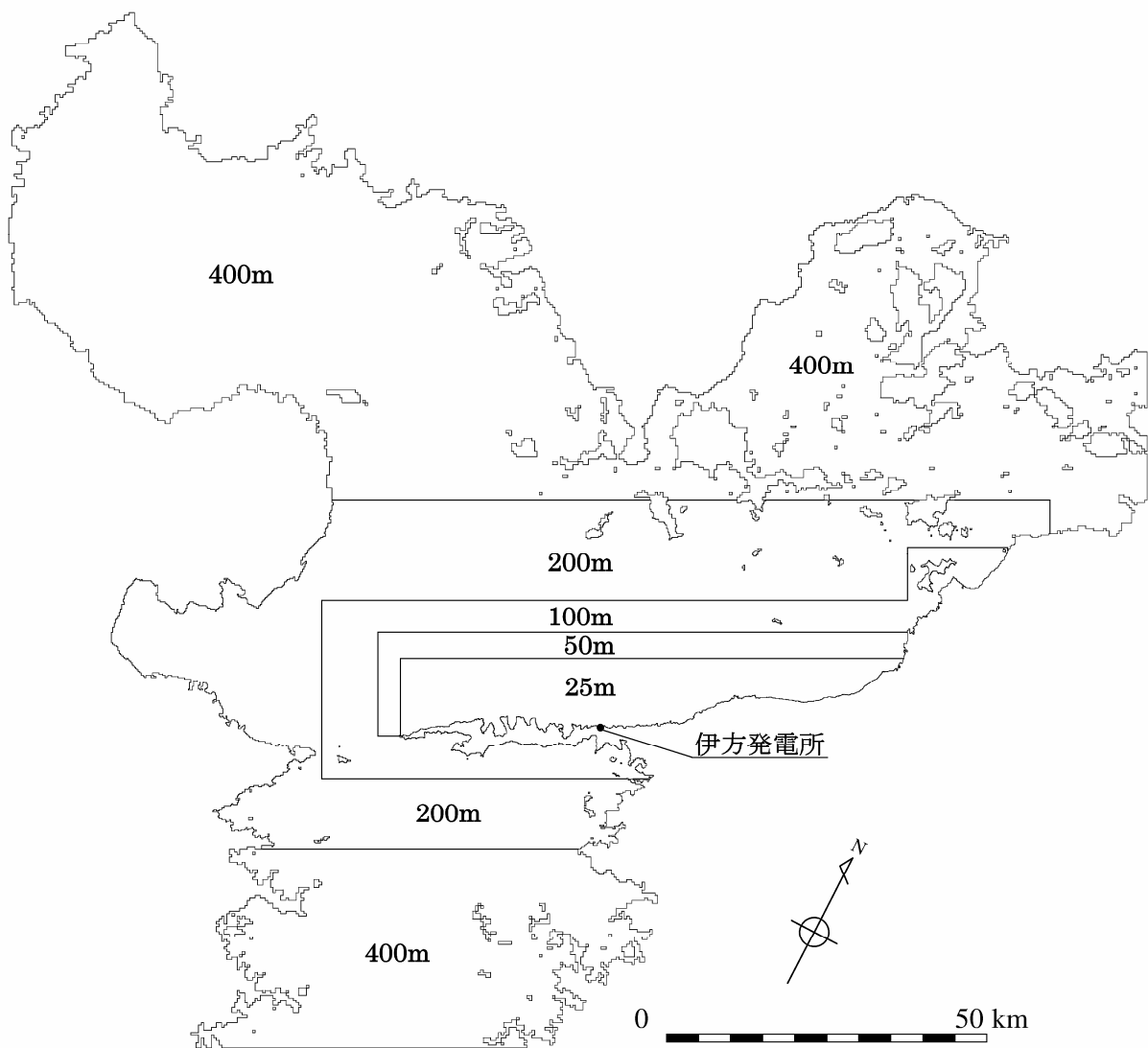


計算領域（全体）



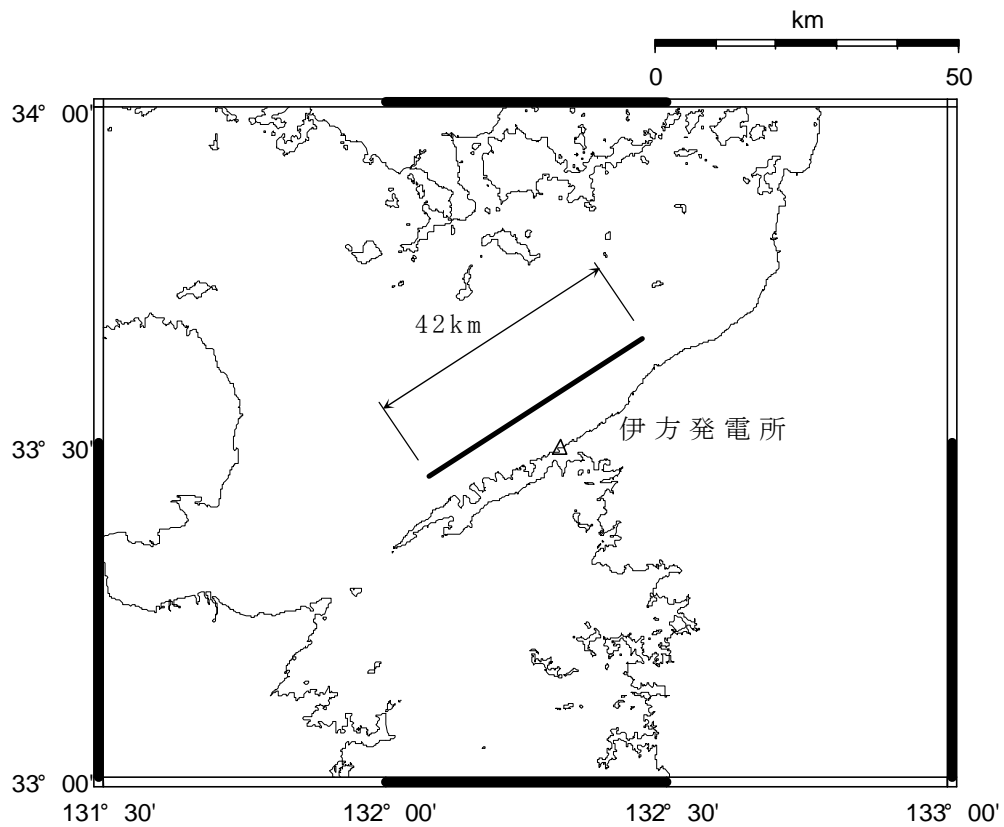
計算領域（敷地周辺）

第 3.2-1 図 計算領域と水深



第 3.2-2 図 計算領域と格子分割

断層パラメータ		備考	
断層長さ	: L	42km	地質調査結果より設定
走 向	: θ	57°	地質調査結果より設定
断層上端深さ		2 km	地質調査結果より設定

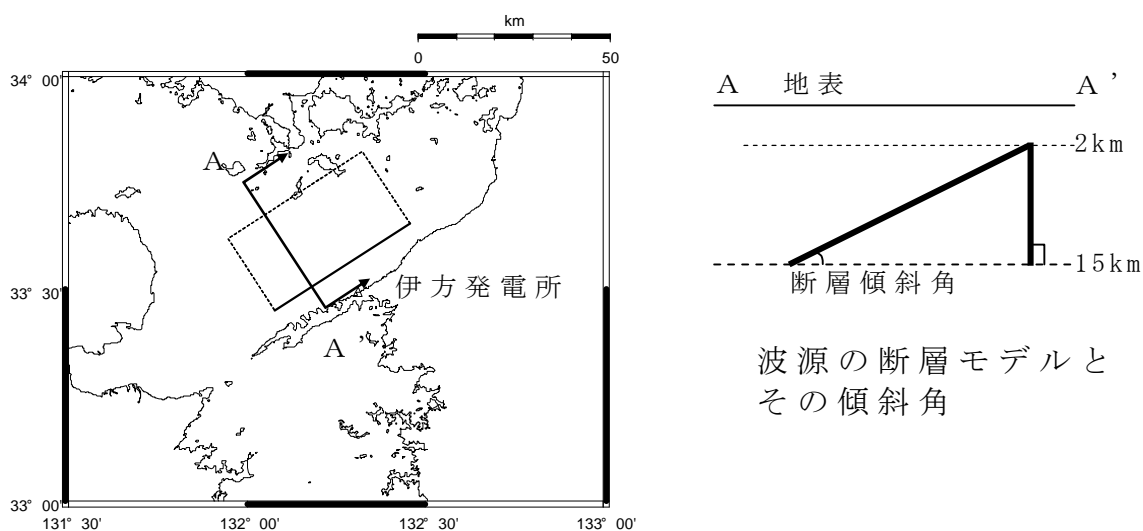


第 3.2-3 図 敷地前面海域の断層群による地震の津波波源の断層モデル（基準断層モデル）

断層傾斜角 (°)	すべり角 (°)	断層長さ (km)	断層幅 (km)	モーメントマグニチュード M _w	すべり量 (m)
90	165	42	13	6.7	0.76
	180				
	195				
30	135		26	7.1	1.52
	150				
	165				
	180				
	195				
	210				
	225				

パラメータスタディの各パラメータ

- ・断層傾斜角：90°，30°の2ケース
- ・すべり角：
 - <断層傾斜角90°の場合>
165°，180°，195°の3ケース
 - <断層傾斜角30°の場合>
135°，150°，165°，180°，195°，210°，225°
の7ケース



波源の断層モデル平面図

第 3.2-4 図 敷地前面海域の断層群による地震津波の波源の断層モデル（パラメータスタディ）

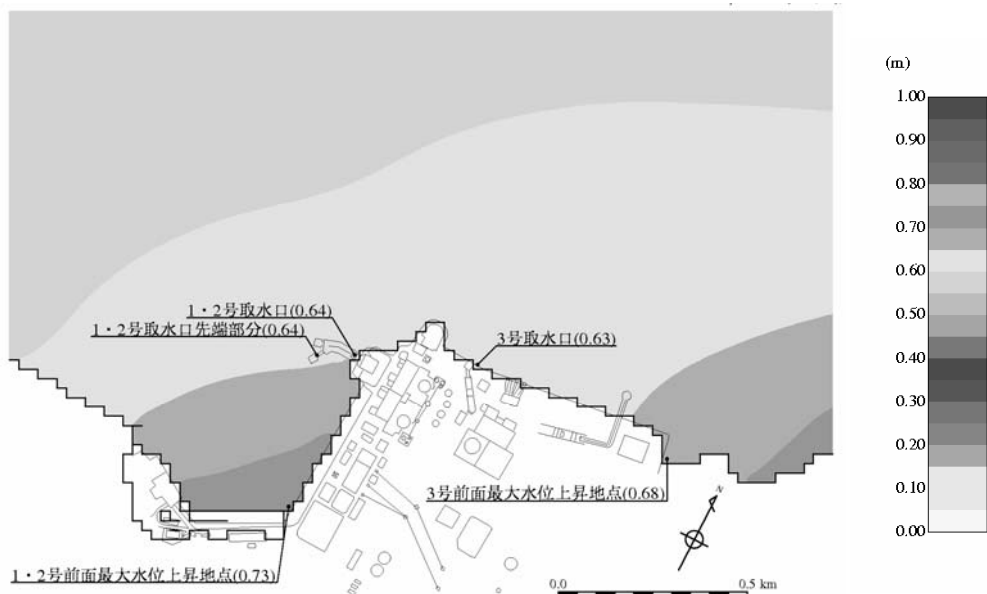
最大水位上昇ケース

断層傾斜角 : 30°

すべり角 : 135°

1・2号機敷地前面 : +0.73m

3号機敷地前面 : +0.68m



最大水位下降ケース

断層傾斜角 : 30°

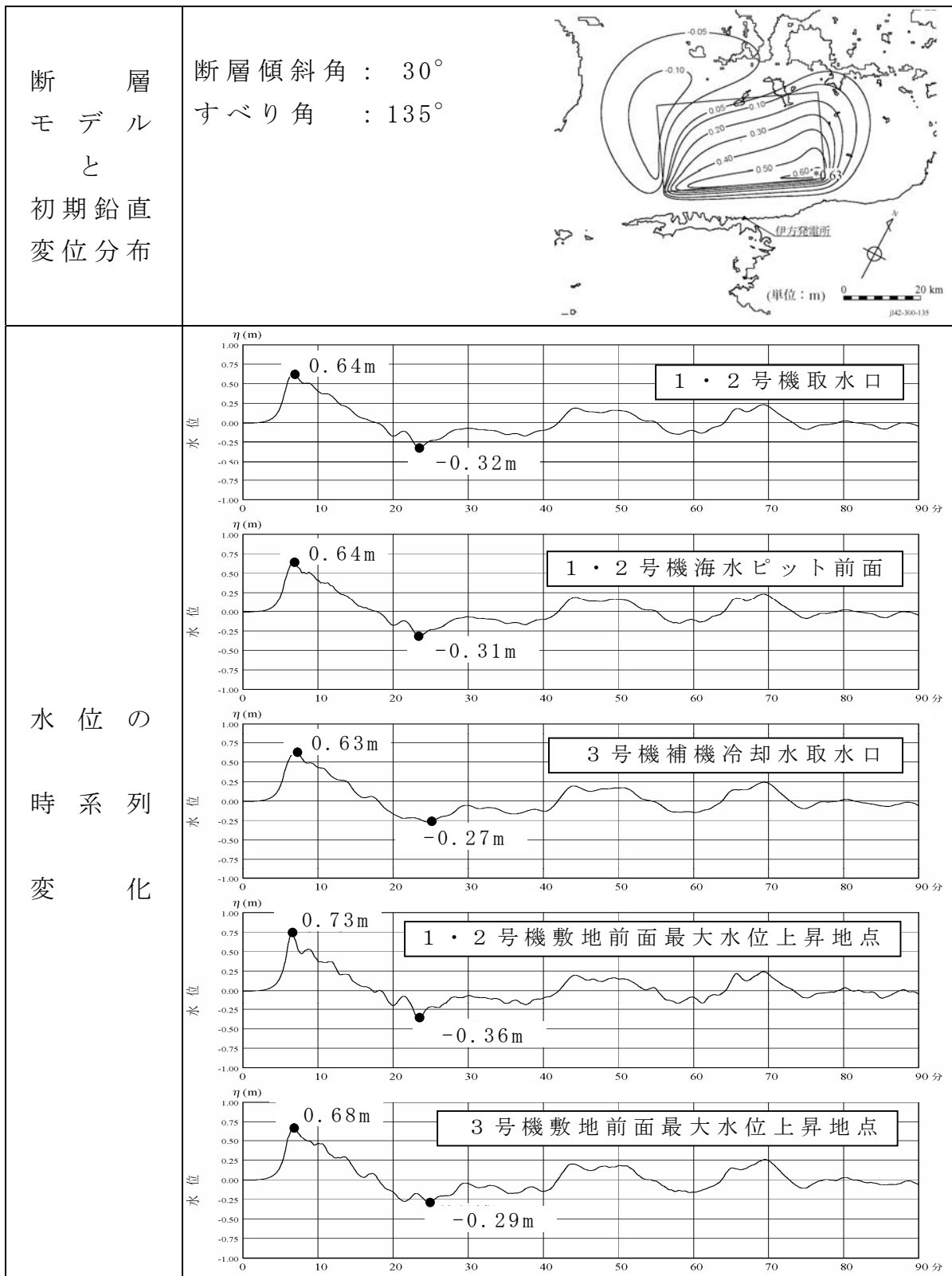
すべり角 : 225°

1・2号機取水口 : -0.65m

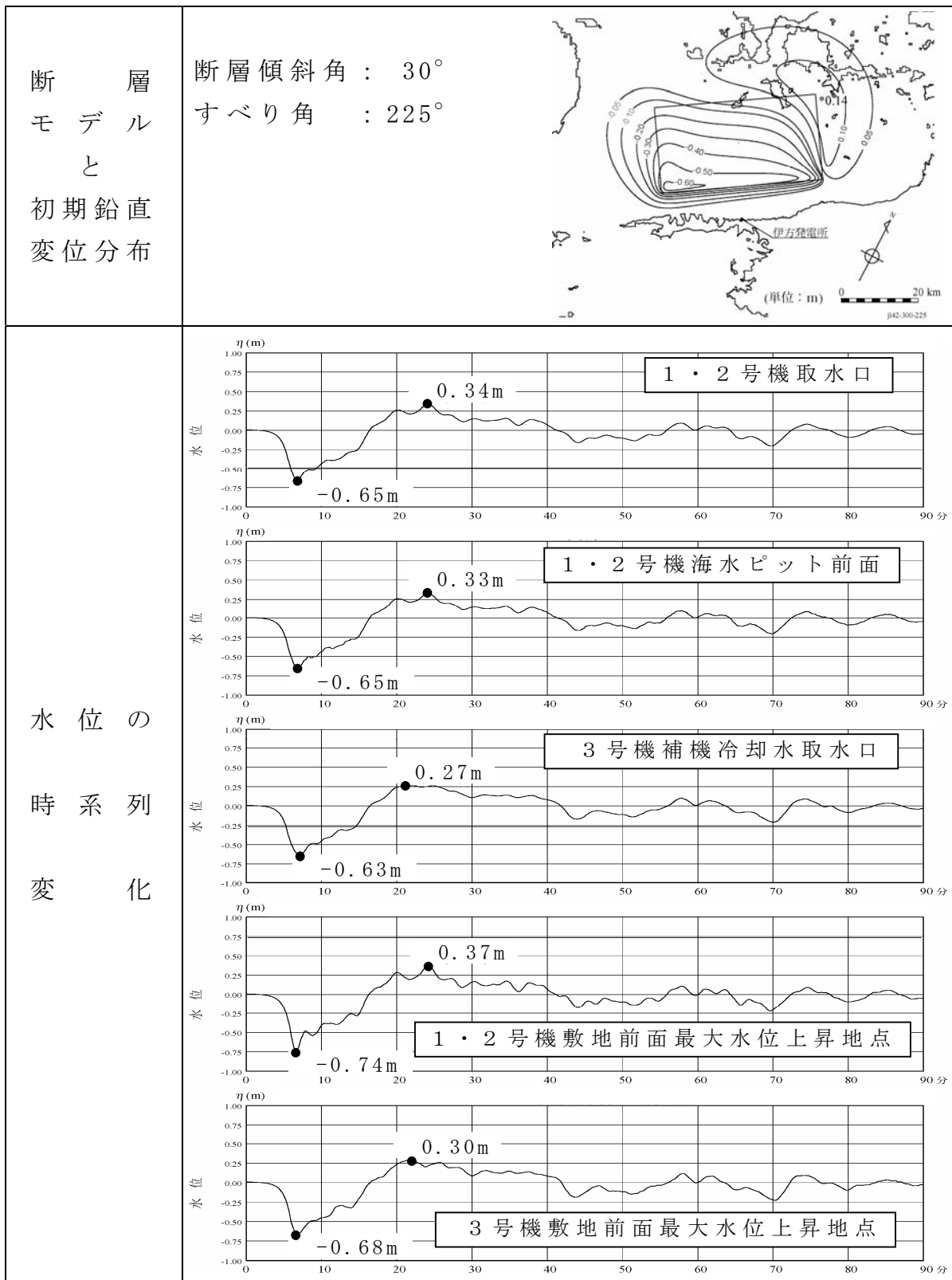
3号機補機冷却水取水口 : -0.63m



第 3.2-5 図 パラメータスタディ結果

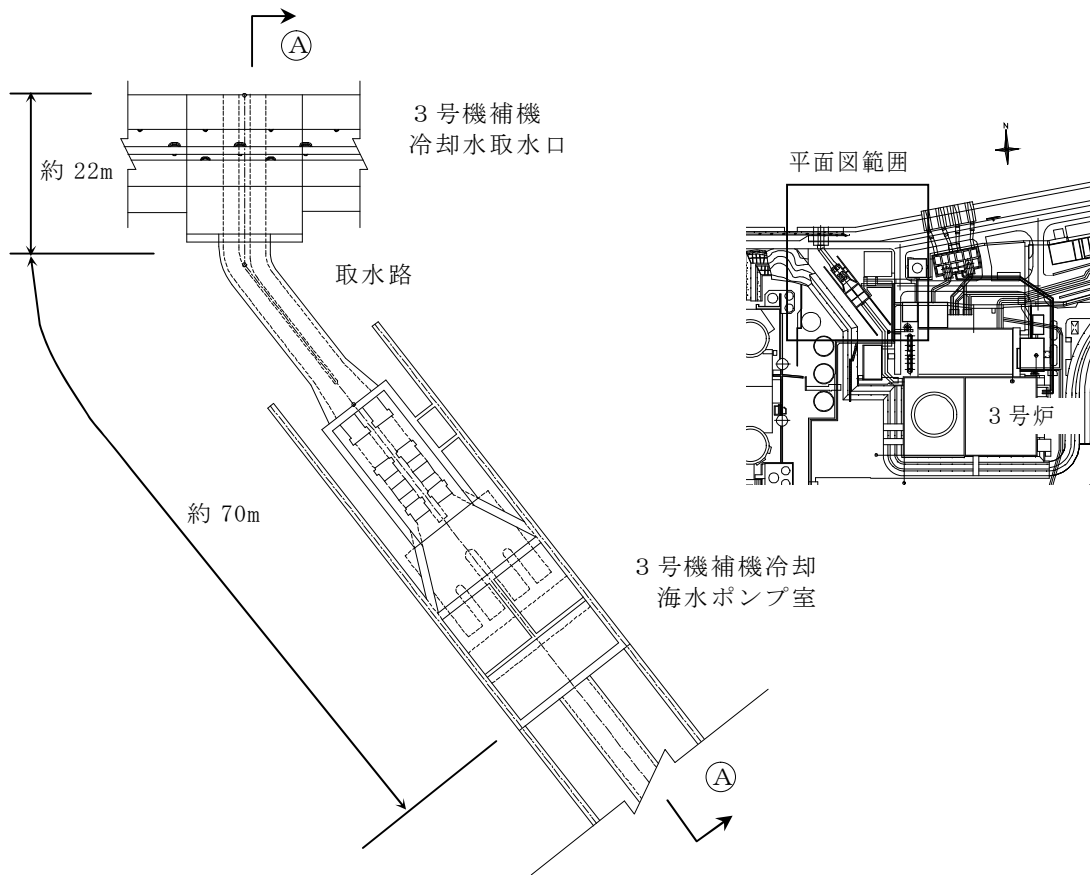


第 3.2-6 図 敷地前面海域の断層群による地震津波の時系列変化 (最大水位上昇時)

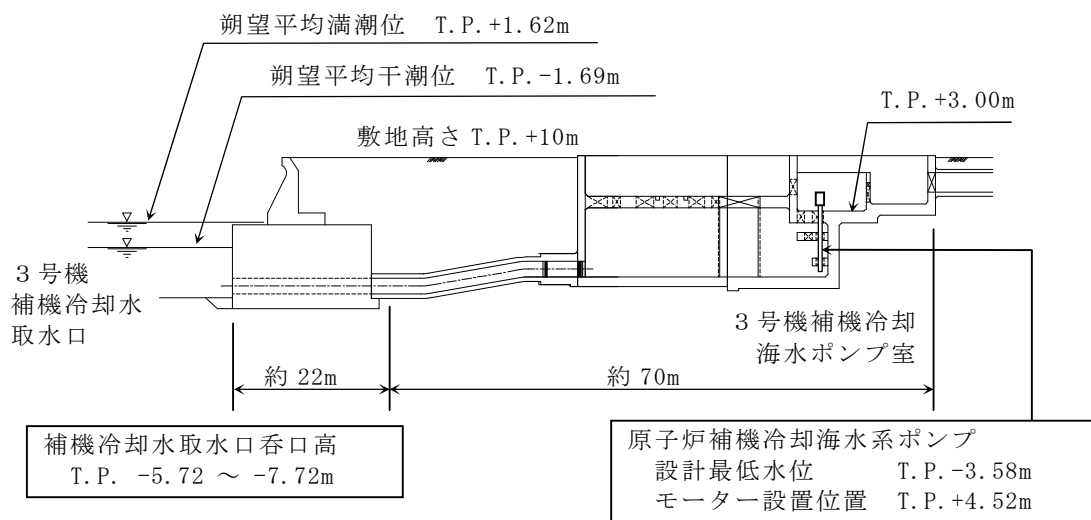


第 3.2-7 図 敷地前面海域の断層群による地震津波の時系列変化 (最大水位下降時)

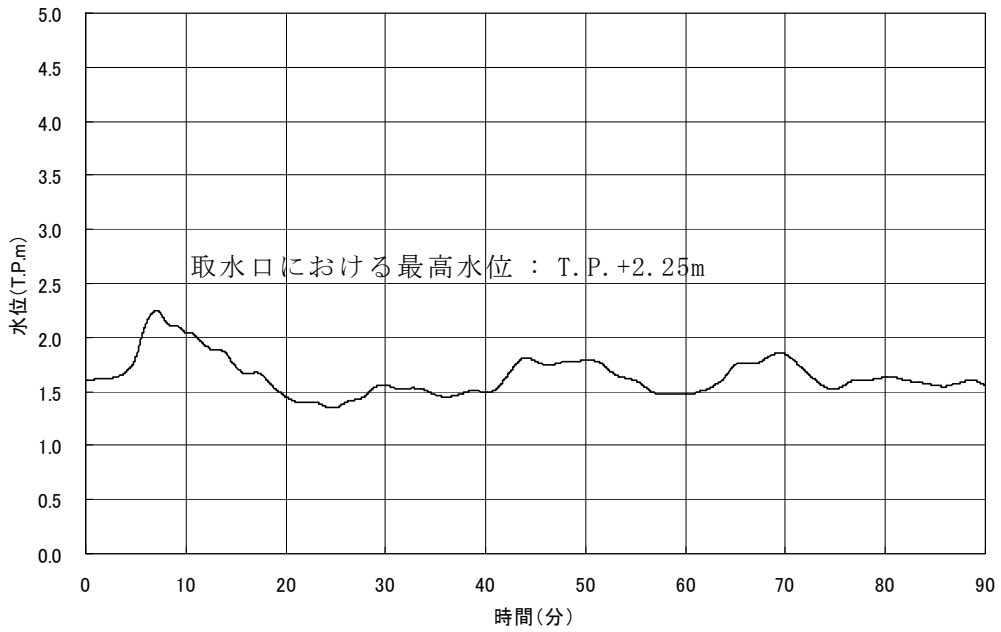
平面図



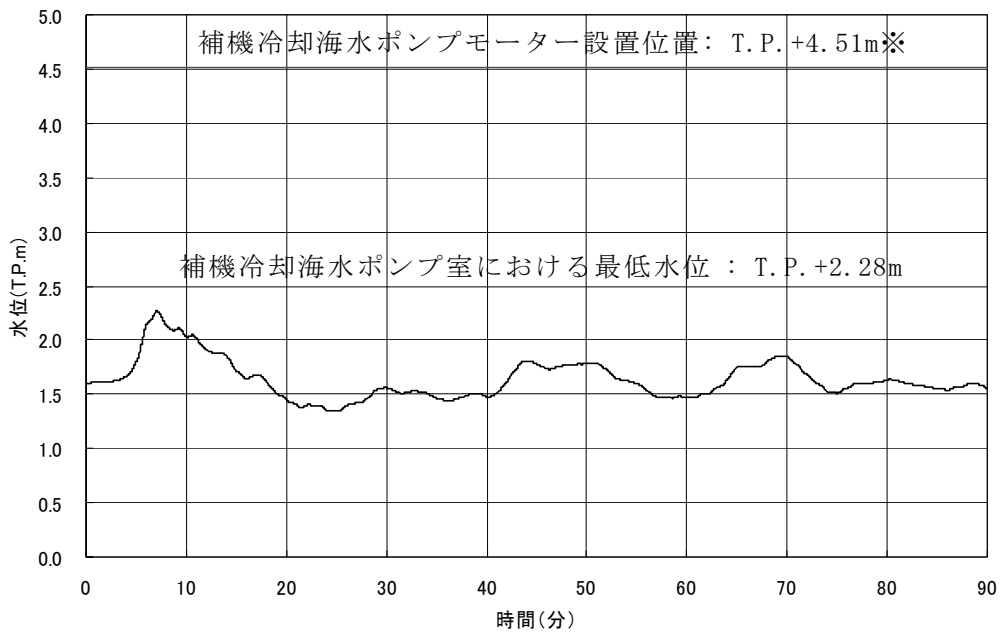
Ⓐ - Ⓐ 断面図



第 4.2-1 図 取水設備概要図



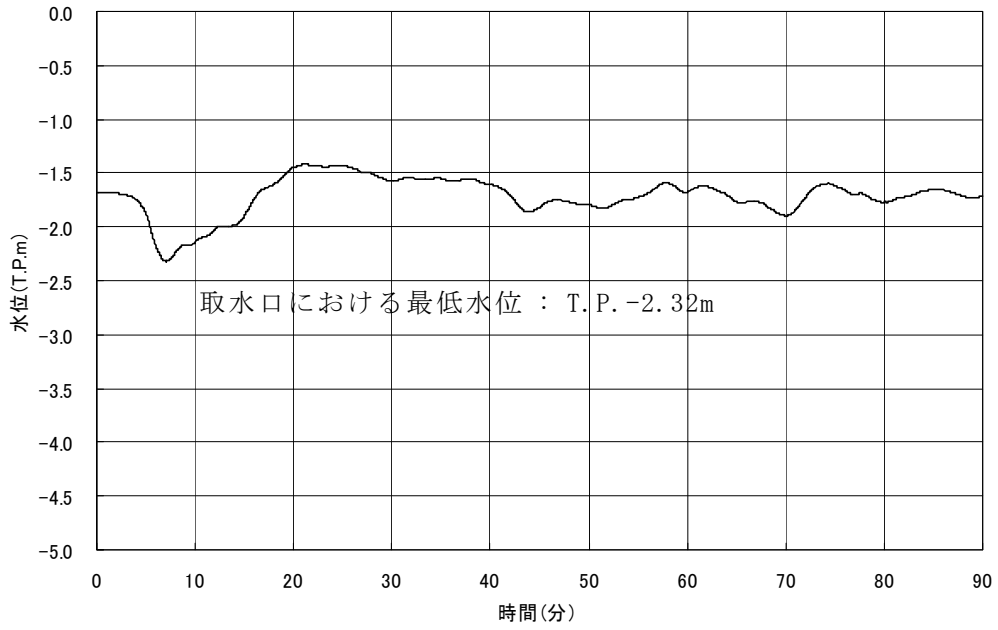
3号機補機冷却水取水口



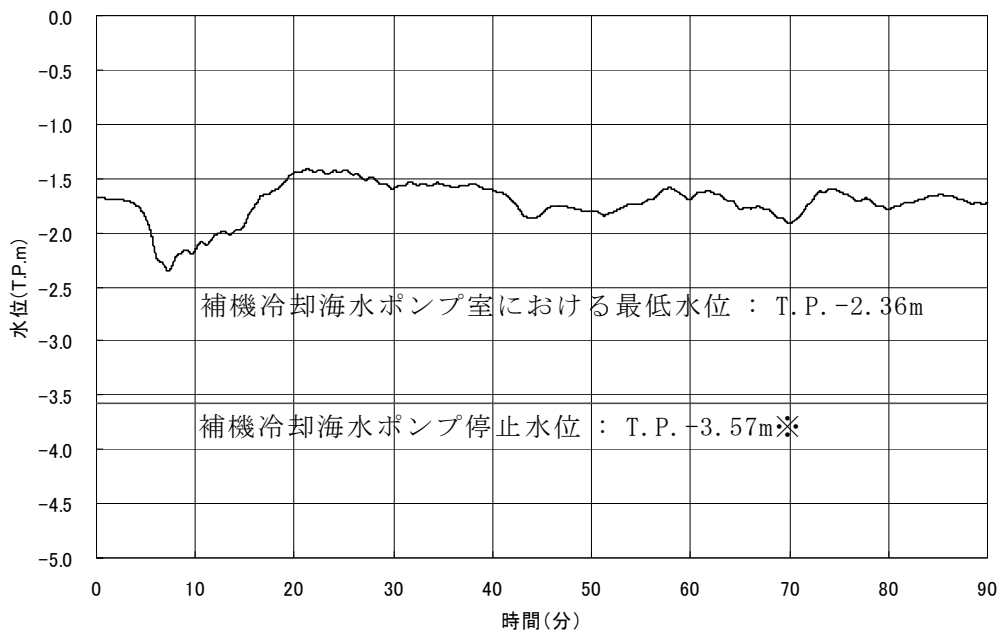
補機冷却海水ポンプ室

※	設計値 ①	地盤変動量 ②	評価水位 (①+②)
補機冷却水海水 ポンプモーター 設置位置	+4.52m	-0.01	+4.51m

第 4.2-2(1) 図 水位変動の検討結果(水位上昇時)



3号機補機冷却水取水口



補機冷却海水ポンプ室

※	設計値 ①	地盤変動量 ②	評価水位 (①+②)
補機冷却海水 ポンプ停止水位	-3.58m	+0.01	-3.57m

第 4.2-2(2) 図 水位変動の検討結果(水位下降時)

XI まとめ

XI まとめ

各種調査・評価結果を踏まえ、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」および「震源を特定せず策定する地震動」を考慮し、地震動策定の不確かさに配慮した基準地震動 S_s を策定した。

この基準地震動 S_s を用いて評価した結果、安全上重要な機能を有する耐震 S クラス施設の耐震安全性が確保されること、および原子炉建屋基礎地盤が十分な支持性能を持つことを確認した。また、地震随件事象についても、原子炉施設の安全性に問題とならないことを確認した。

なお、当社では、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂を機に、その主旨を踏まえ、耐震安全性に関する信頼性を一層向上させるとの観点から、自主的に耐震性向上工事を実施している。

今後とも、耐震性向上対策に関する検討を更に進め、必要に応じて、新たな知見を踏まえた耐震安全性評価および耐震性向上工事を実施していく。

以 上