

図 2-6 配管トレンチ(T21)周辺の地盤改良範囲

2.3 解析方針

配管トレンチ (T21) は、廃止措置計画用設計地震動 (S_s) に対して地震応答解析を実施する。

地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる地盤の液状化強度特性は、構造物への地盤変位に対する保守的な配慮として、ばらつき (-1σ) を設定する。

図 2-7 に配管トレンチ (T21) の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「2. 一般事項」に基づき、「3.2 解析対象断面」にて設定する断面において、「3.1 解析方法」に示す水平地震動と鉛直地震動の同時加振による時刻歴非線形解析にて行う。

時刻歴非線形解析は、「3.4 解析モデル及び諸元」及び「3.5 荷重及び荷重の組合せ」に示す条件を基に、「3.3 入力地震動」により設定する入力地震動を用いて実施する。

地震応答解析による応答加速度は、機器・配管系の設計用床応答曲線の作成に用い、断面力及び接地圧は、配管トレンチ (T21) の耐震性評価に用いる。

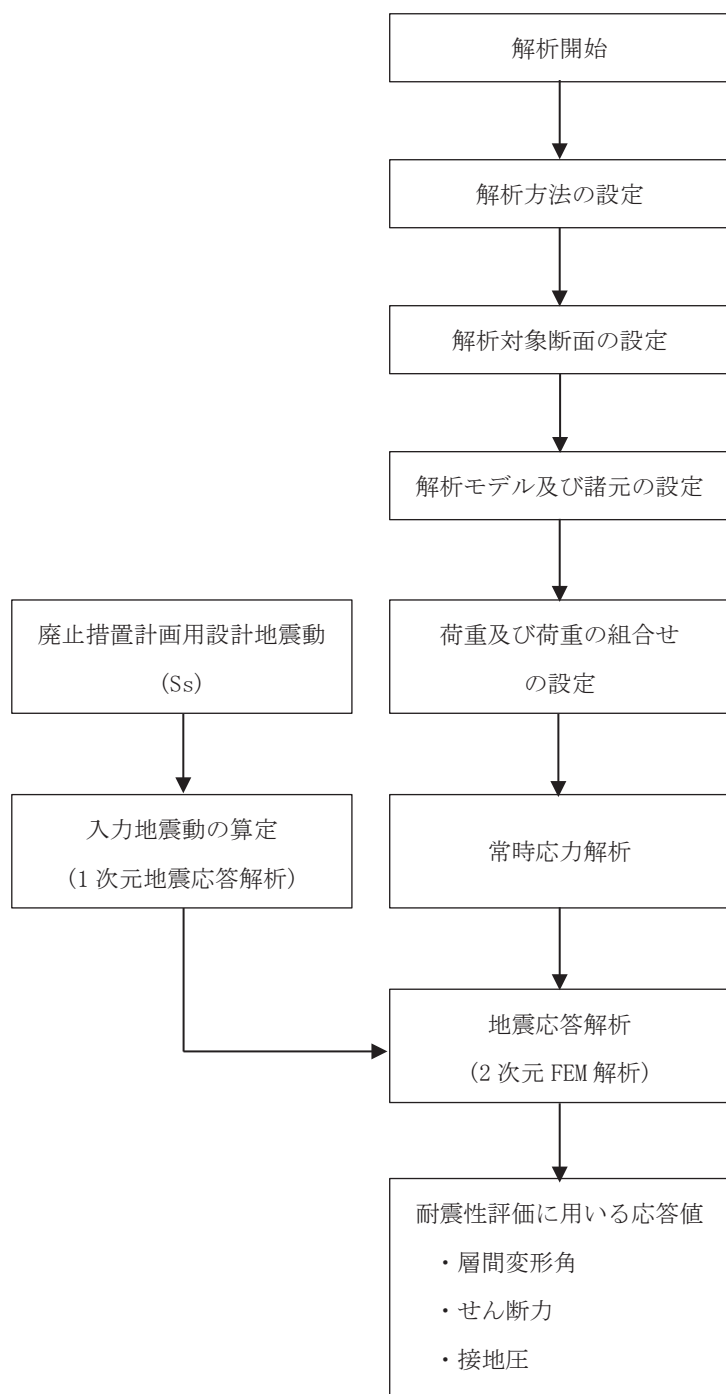


図 2-7 配管トレンチ (T21) の地震応答解析フロー

2.4 準拠規格・基準

配管トレンチ(T21)の地震応答解析において、準拠する規格、基準等を以下に示す。

- ・ コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会)
- ・ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル(土木学会)
(以下「土木学会マニュアル」という)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601(日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601(日本電気協会)
- ・ 道路橋示方書 (I 共通編・IV下部構造編)・同解説(日本道路協会)

2.5 使用材料

配管トレンチ(T21)の使用材料を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造物の使用材料

コンクリート	設計基準強度(N/mm ²) 22.1
鉄筋	SD35(SD345 相当)

3. 地震応答解析

3.1 解析方法

配管トレンチ(T21)の地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、廃止措置計画用設計地震動に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析にて行う。

解析に用いる地盤剛性は、原地盤におけるせん断波速度の原位置試験データの最小二乗法による回帰曲線にて設定する。地盤の液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮し、原地盤の液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差 σ を用いて、液状化強度特性を (-1σ) にて設定する。

地震応答解析に使用する解析コードは、「FLIP(FLIP コンソーシアム)」である。

3.2 解析対象断面

配管トレンチ (T21) の解析対象断面位置図を図 3-1 に示す。構造物の耐震性評価における解析対象断面は図 3-1 の NS 方向断面 (A-A' 断面) とする。

解析対象断面を図 3-2 に示す。

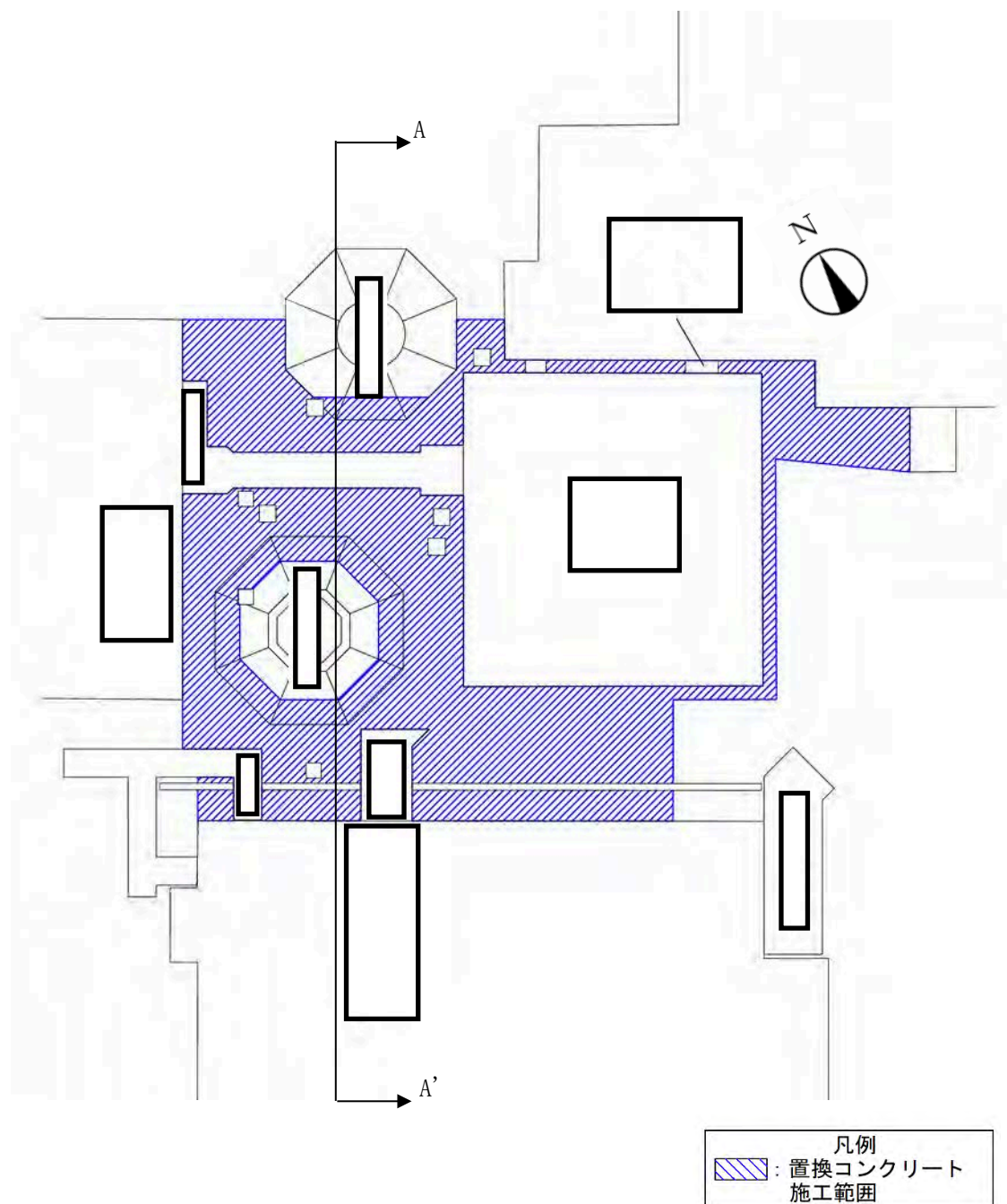


図 3-1 配管トレンチ (T21) の解析対象断面位置図

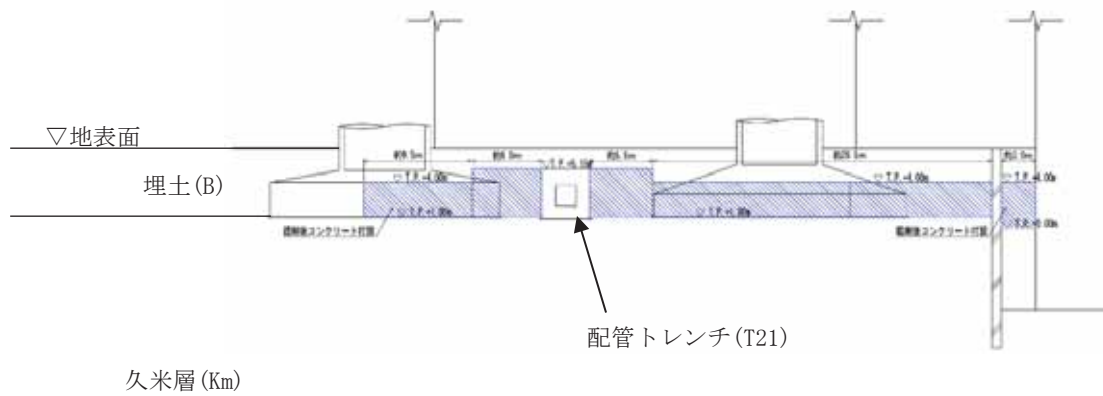


図 3-2 配管トレンチ (T21) の解析対象断面 (A-A' 断面)

3.3 入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される廃止措置計画用設計地震動(Ss)を1次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。

廃止措置計画用設計地震動のうち、NS及びEW方向で個別の地震動が定義されているSs-1及びSs-2については、解放基盤表面への入力前に建家座標系に方位変換する。

入力地震動算定の概念図を図3-3に、地盤の物性値を表3-1に、動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を図3-4に、入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図3-5から図3-7に示す。

入力地震動の算定に使用する解析コードは、「SoilPlus(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)」である。

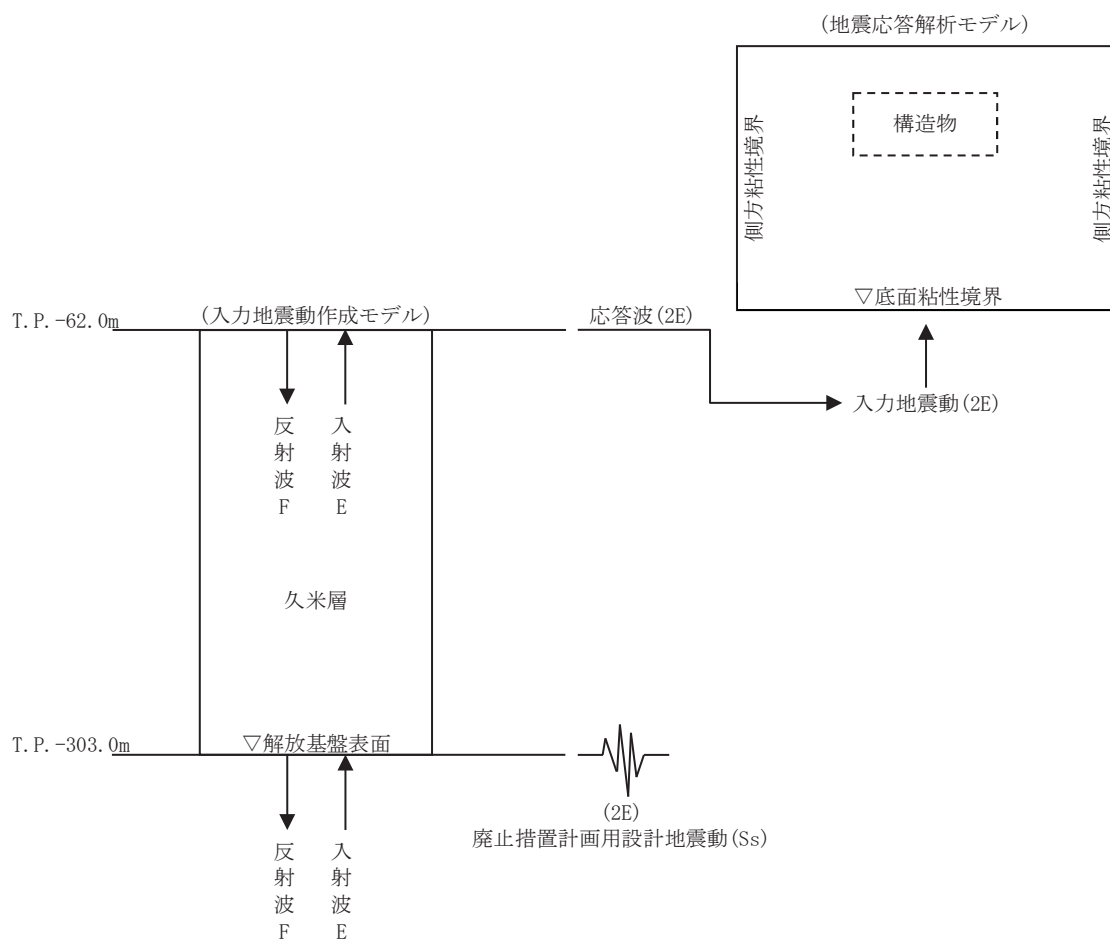
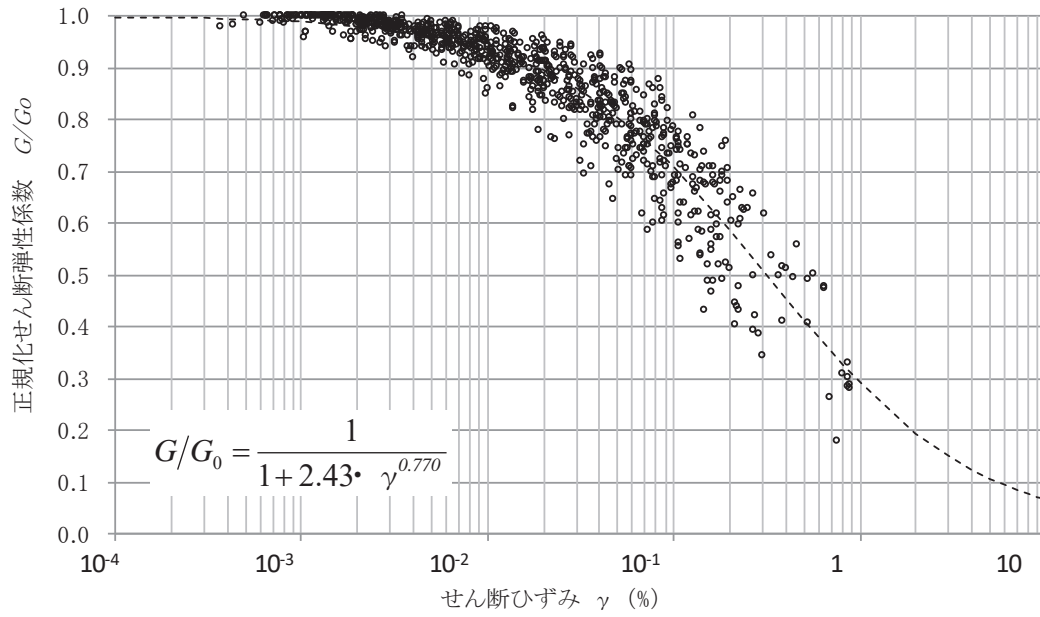


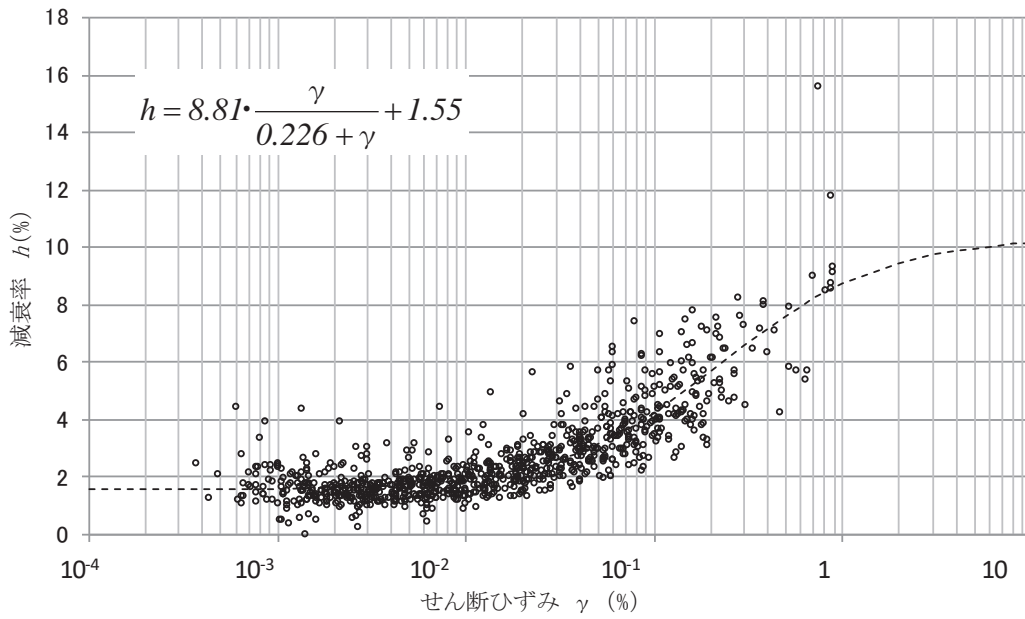
図 3-3 入力地震動算定の概念図

表 3-1 地盤の物性値

標高 T. P. (m)	地層名	地層 分類	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	動ポア ソン比 ν_d	動せん断 弾性係数 G_0 (MN/m ²)
-62.0					
-92.0	久米層	Km3	1.77	0.447	515
-118.0		Km4	1.77	0.444	549
-169.0		Km5	1.77	0.440	596
-215.0		Km6	1.77	0.436	655
-261.0		Km7	1.77	0.431	711
-303.0		▽解放基盤表面	Km8	1.77	0.426
	解放基盤		1.77	0.417	867



(a) 動せん断弾性係数



(b) 減衰定数

図 3-4 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性(久米層)

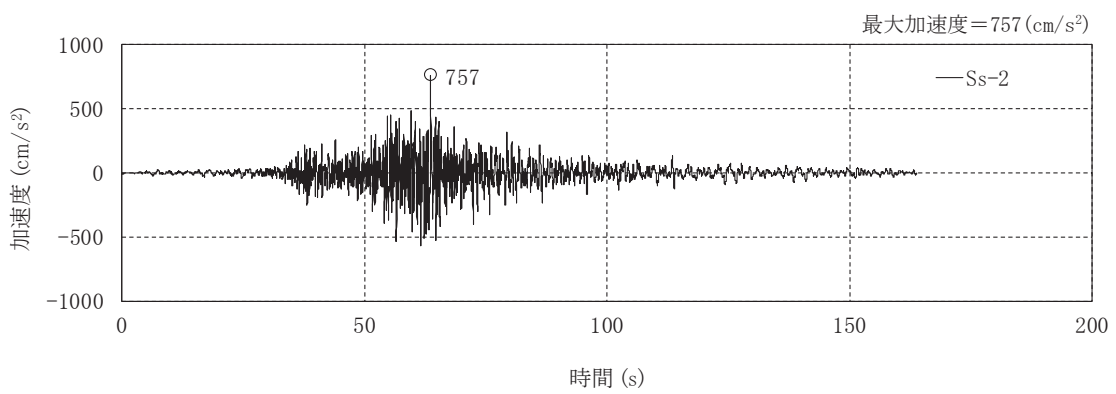
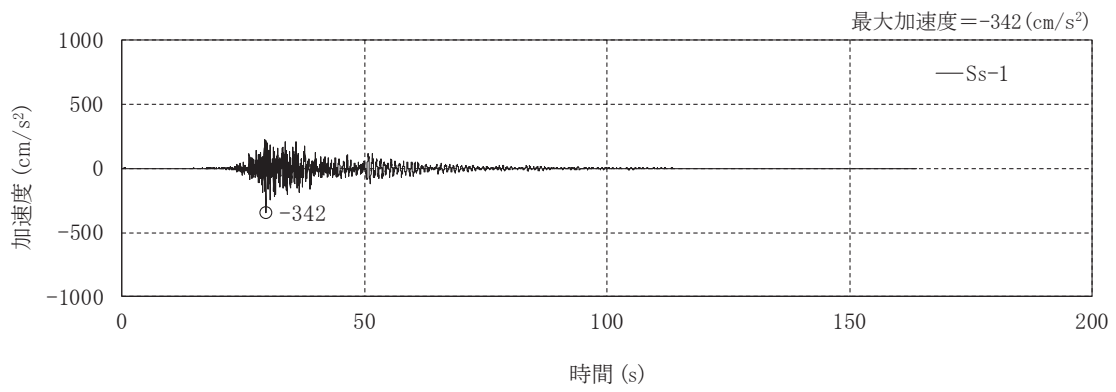
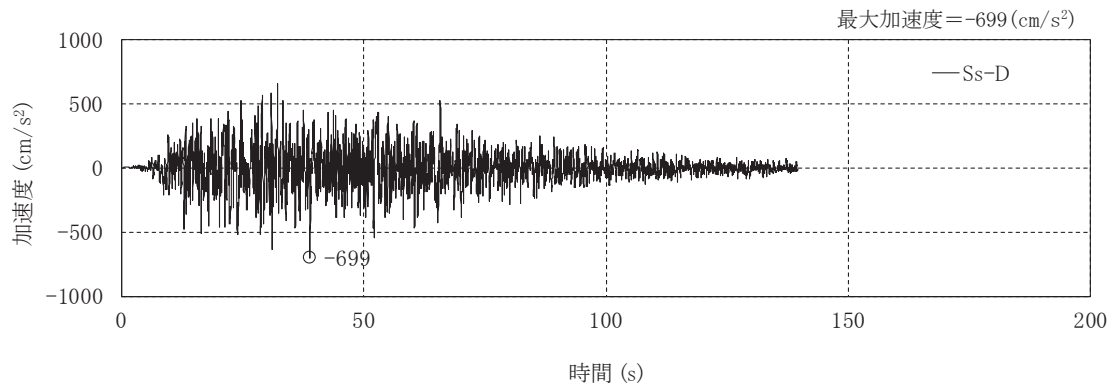


図 3-5 入力地震動の加速度時刻歴波形(水平方向)

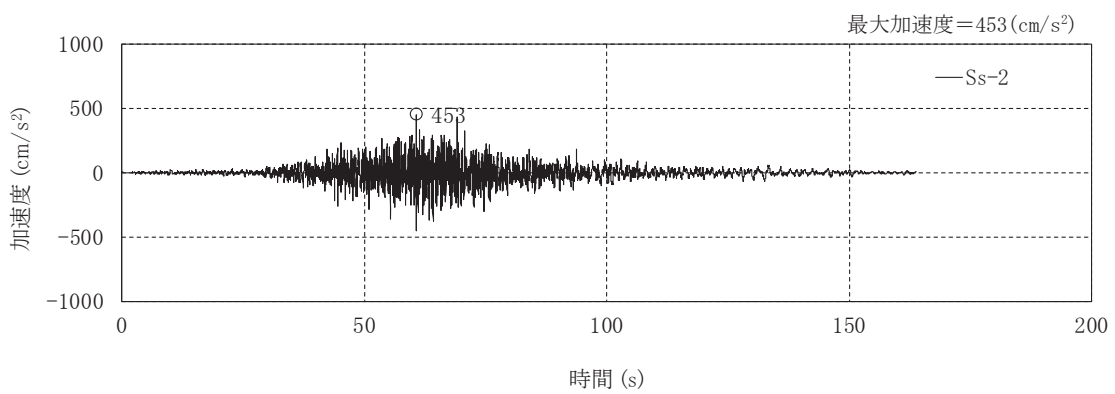
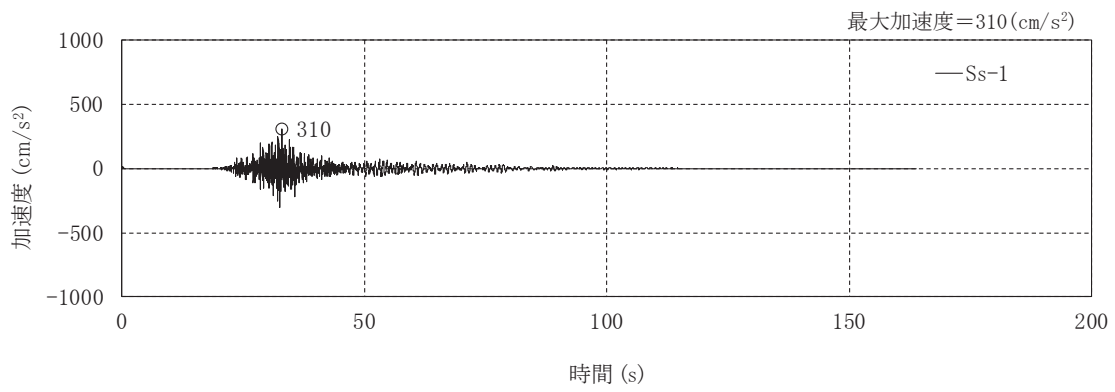
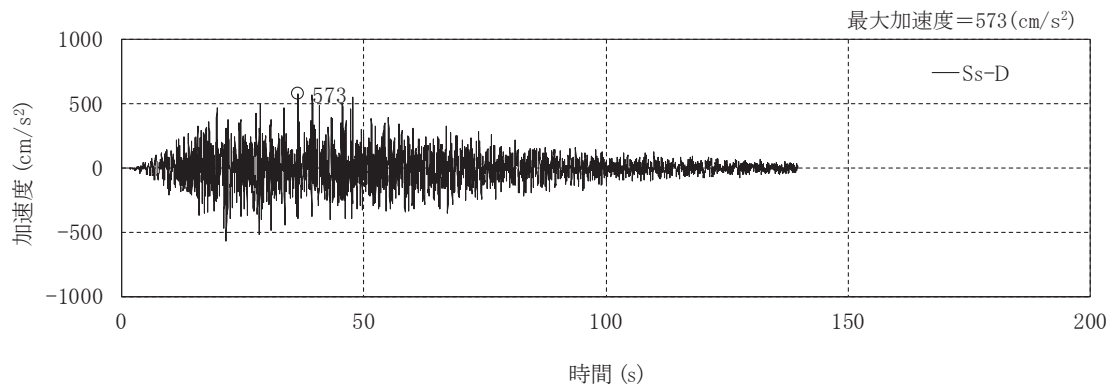
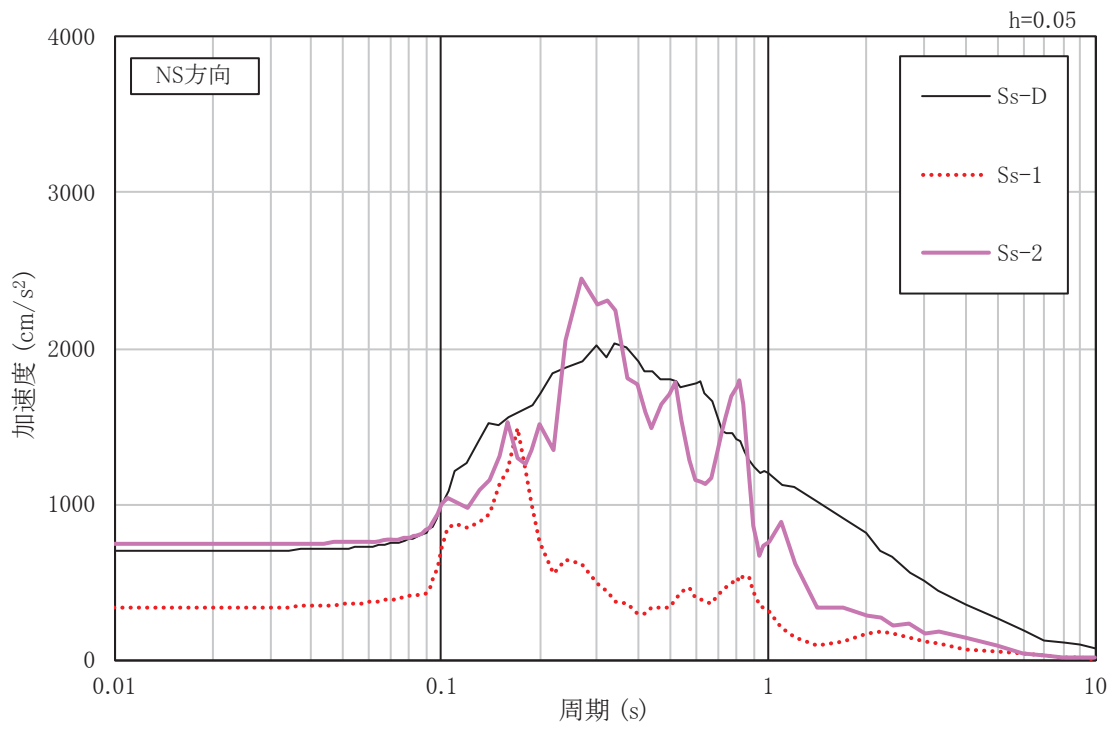
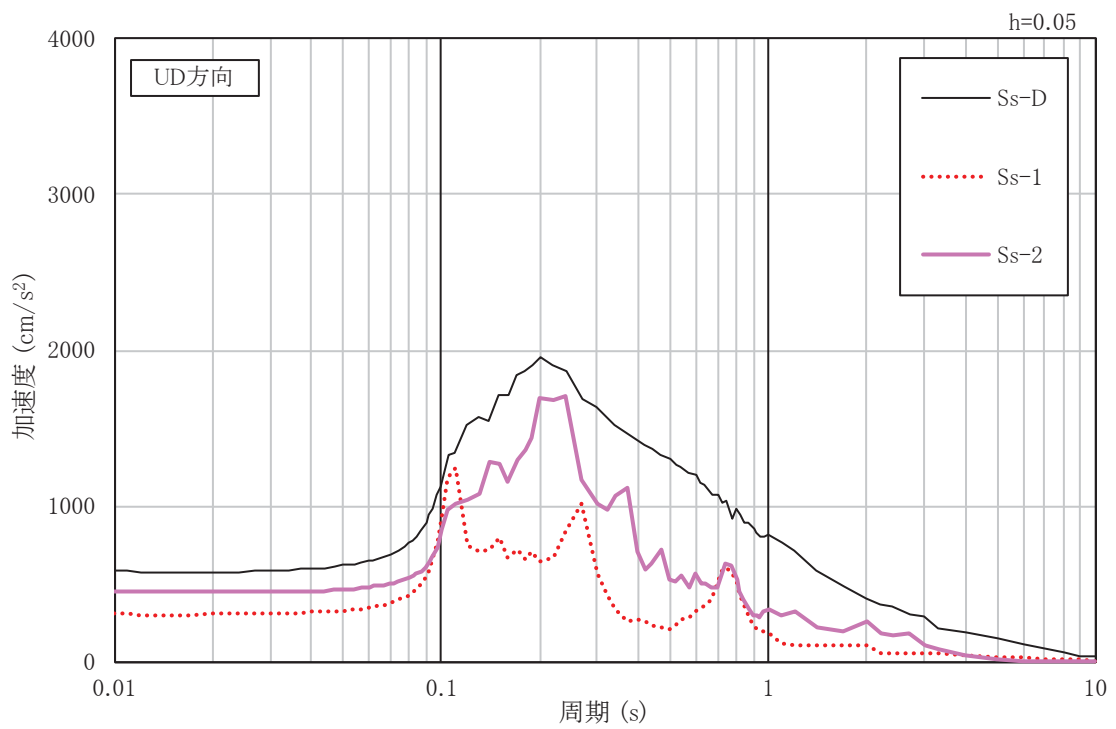


図 3-6 入力地震動の加速度時刻歴波形(鉛直方向)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図 3-7 入力地震動の加速度応答スペクトル

3.4 解析モデル及び諸元

3.4.1 解析モデル

配管トレンチ(T21)の地震応答解析モデルを図 3-8 に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が、構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には、エネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

配管トレンチ(T21)躯体は、頂版、側壁及び底版の断面中心位置に線形梁要素によりモデル化する。

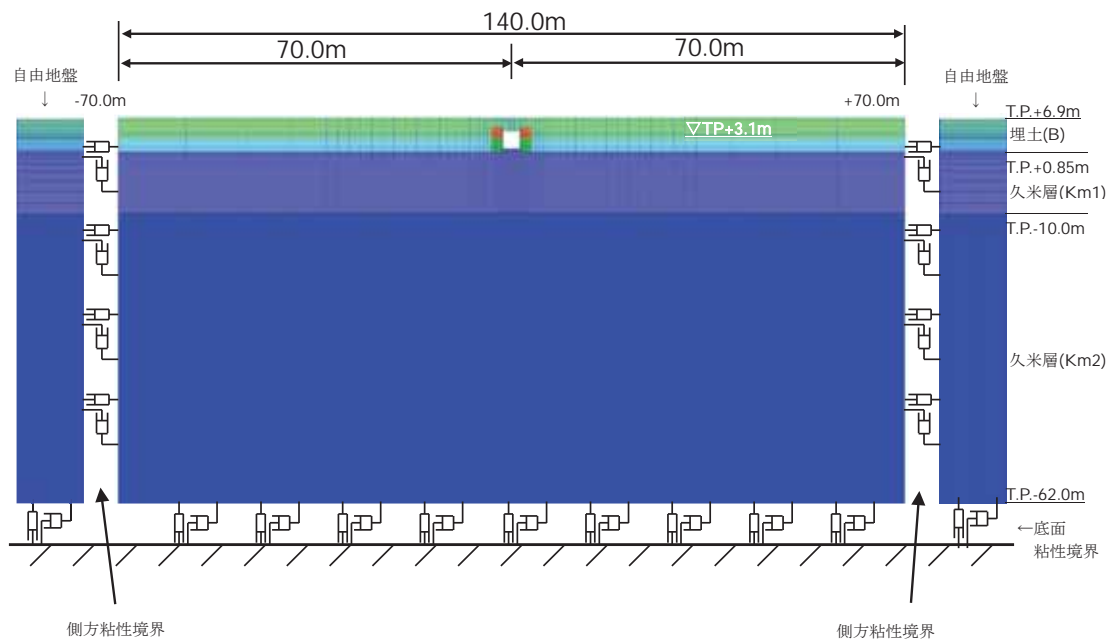
(4) 地盤のモデル化

地盤は、地質断面図に基づき、マルチスプリング要素及び間隙水要素によりモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた地震時挙動を考慮できるよう、非線形せん断応力-せん断ひずみ関係を双曲線モデル(H-D モデル)によりモデル化する。

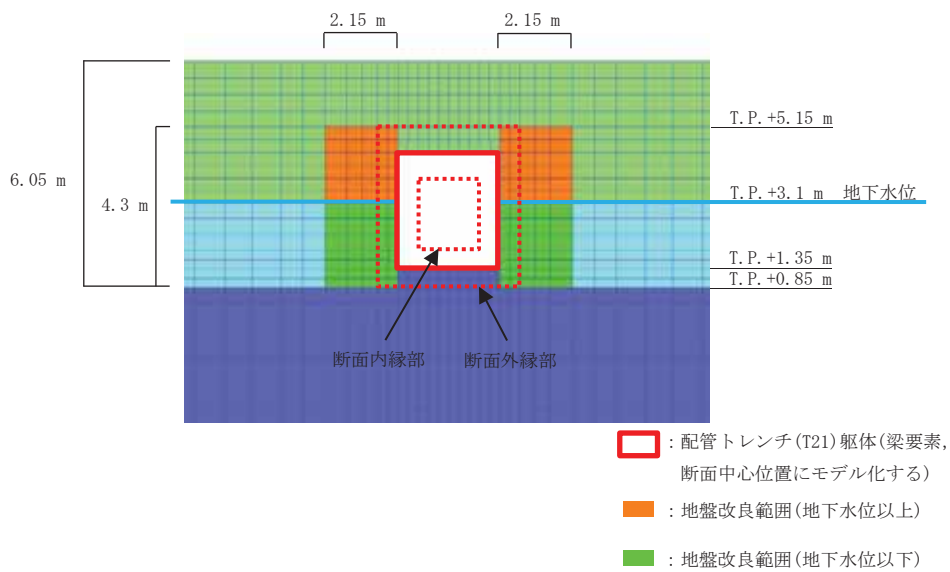
配管トレンチ(T21)側面の地盤改良は、深さ方向に 4.3 m、水平方向に 10 m 以上の範囲で実施するが、解析では保守的な設定として、地盤改良範囲の幅は、深さ方向の 1/2(=2.15 m)までしかないものとしてモデル化する。

(5) 減衰定数

構造物の減衰は剛性比例型減衰とし、1 次固有振動数で減衰定数 3 %に一致するよう設定する。地盤の減衰はレーリー減衰とし、1 次固有振動数を想定する 0.4 Hz 及び 20 Hz の 2 点で減衰定数 1%に一致するよう設定する。



(a) 全体図



(b) 配管トレンチ (T21) 周辺拡大図

図 3-8 配管トレンチ (T21) の地震応答解析モデル

3.4.2 材料の物性値

配管トレンチ(T21)の地震応答解析に用いる材料の物性値を表 3-2 に示す。

表 3-2 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート	24.5	2.43×10^4	0.2	3

3.4.3 地盤の物性値

解析に用いる地盤の物性値及び液状化パラメータを表 3-3 に示す。液状化検討対象層とする埋土(B)について液状化強度特性を設定する。液状化パラメータについては、液状化強度試験結果より設定する。

液状化強度試験結果から設定した解析上の液状化強度曲線を図 3-9 に示す。なお、液状化強度特性が保守的に評価されるよう、液状化強度試験結果値の平均 -1σ の液状化強度特性を再現するよう設定する。

地盤改良に用いる置換コンクリートの設計基準強度を表 3-4 に示す。地盤改良範囲の要素は、久米層(Km1)以上のせん断弾性係数を持つコンクリートで地盤を改良するため、当該要素を久米層(Km1)でモデル化している。

表 3-3 地盤の物性値及び液状化パラメータ

	記号	単位	埋土 B(-1σ)	久米層 Km1	久米層 Km2
密度	ρ	g/cm ³	1.76	1.77	1.77
間隙率	n	—	0.418	0.519	0.519
基準せん断弾性係数	G_{ma}	kN/m ²	75300	428000	466000
基準体積弾性係数	K_{ma}	kN/m ²	109000	5210000	5670000
基準平均有効主応力	σ'_{ma}	kN/m ²	61.83	1	1
拘束圧依存係数	${}_mG, {}_mK$	—	0.5	0	0
ポアソン比	ν	—	0.22	0.46	0.46
内部摩擦角	ϕ	°	40	0	0
粘着力	C	kN/m ²	0	1030	1120
最大減衰定数	h_{max}	—	0.2507	0.1406	0.1406
液状化 パラメータ	ϕ_p	—	28	—	—
	S_1	—	0.005	—	—
	W_1	—	1.267	—	—
	P_1	—	0.355	—	—
	P_2	—	1.2	—	—
	C_1	—	1.59	—	—

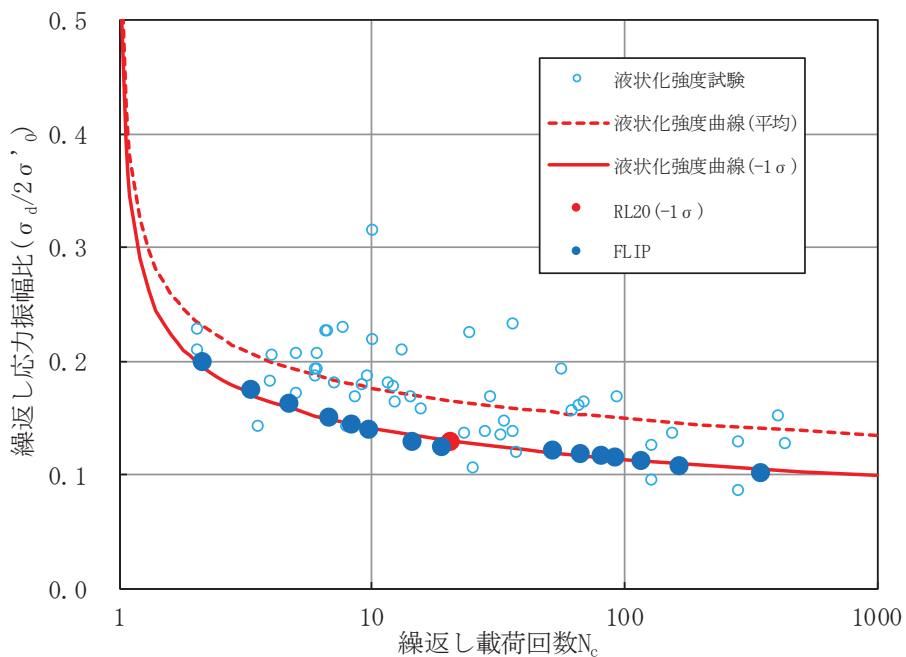


図 3-9 地盤の液状化強度特性(埋土)

表 3-4 置換コンクリートの設計基準強度

	設計基準強度 (N/mm ²)
置換コンクリート	18

3.5 荷重及び荷重の組合せ

3.5.1 荷重

配管トレンチ(T21)の地震応答解折において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重(P)

積載荷重として機器・配管荷重，土圧及び水圧による荷重を考慮する。

(3) 地震荷重(Ks)

廃止措置計画用設計地震動(Ss)による荷重を考慮する。

3.5.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時(Ss)	G+P+Ks

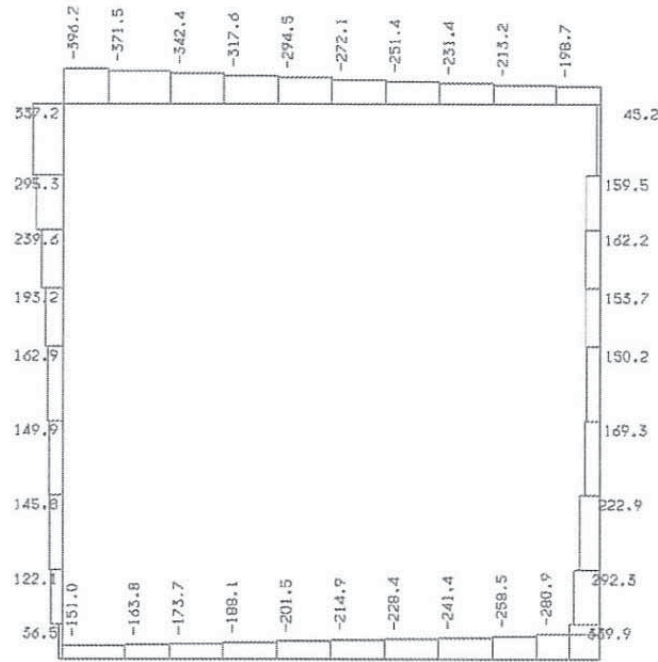
G：固定荷重

P：積載荷重

Ks：地震荷重

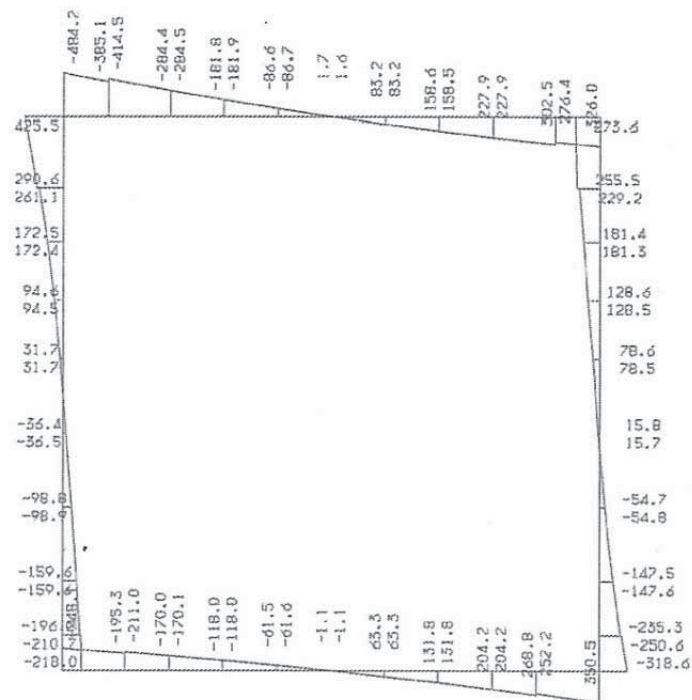
4. 地震応答解析結果

地震応答解析結果のうち、最大の応答値が発生する Ss-D を入力地震動とするケースについて、最大のせん断力が発生する時刻における配管トレンチ (T21) 躯体のせん断力、曲げモーメント及び軸力分布を図 4-1 から図 4-3 に示す。



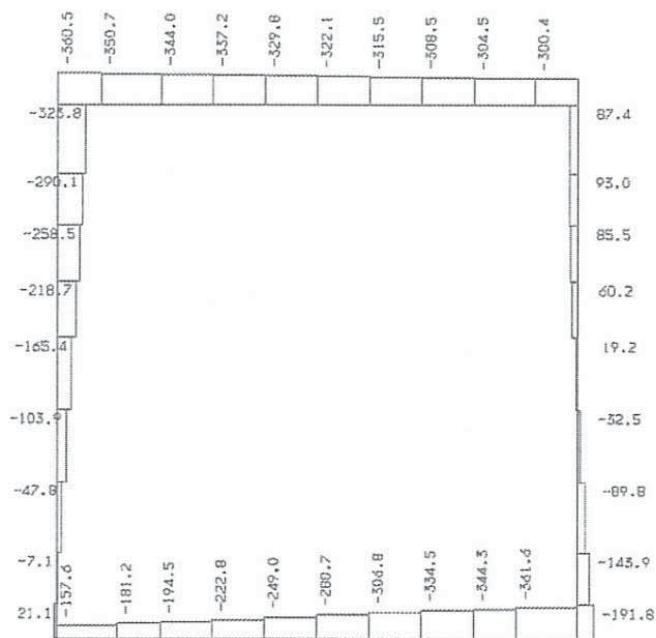
(単位 : kN)

図 4-1 せん断力分布図 (Ss-D, 時刻 t=15.82 s)



(単位 : kN · m)

図 4-2 曲げモーメント分布図(Ss-D, 時刻 t=15.82 s)



(単位 : kN)

図 4-3 軸力分布図(Ss-D, 時刻 t=15.82 s)

5. 耐震性評価

5.1 評価方針

配管トレンチ(T21)の耐震性評価は、「4. 地震応答解析結果」に基づき、表 5-1 に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行うことで、構造強度を有すること及びSクラスの設備を支持する機能を損なわないことを確認する。

構造部材の健全性評価については、構造部材の層間変形角及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の支持性能評価においては、基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

配管トレンチ(T21)の耐震性評価フローを図 5-1 に示す。

表 5-1 配管トレンチ(T21)の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	層間変形角，せん断力が許容限界以下であることを確認	限界層間変形角
				せん断耐力
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力
Sクラスの設備を支持する機能を損なわないこと	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	層間変形角，せん断力が許容限界以下であることを確認	限界層間変形角
				せん断耐力

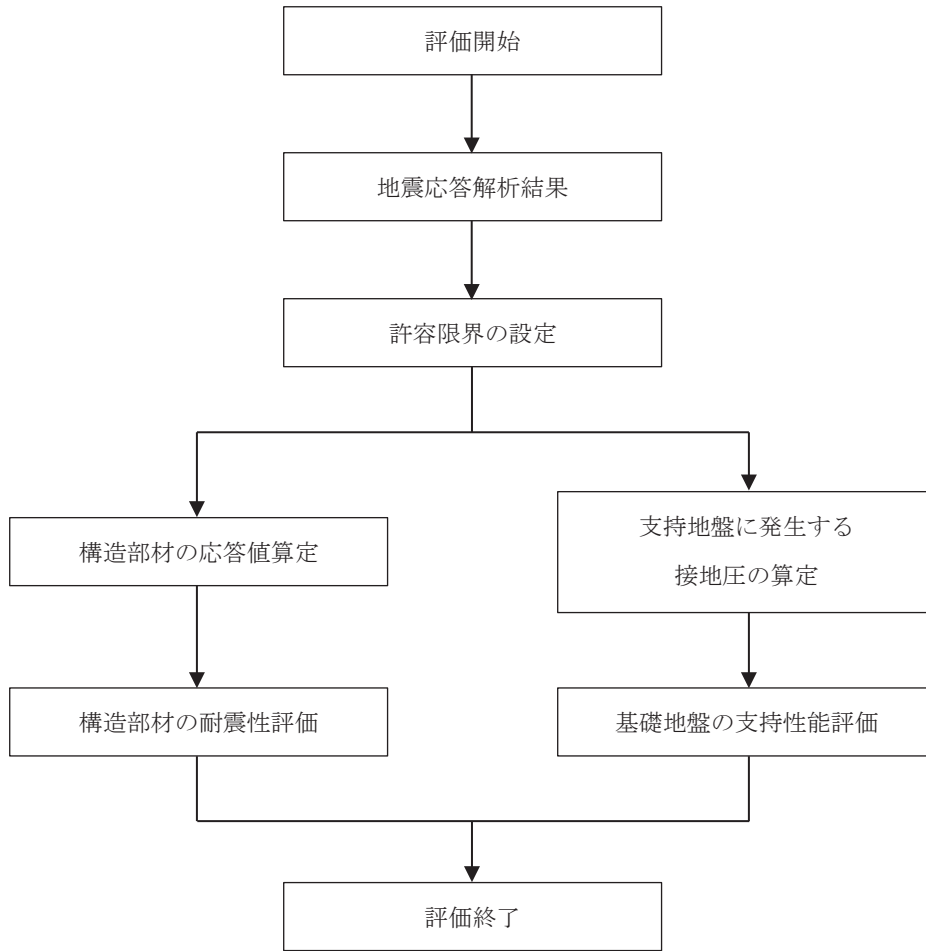


図 5-1 配管トレンチ (T21) の耐震性評価フロー

5.2 許容限界

5.2.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) 曲げに対する許容限界

構造部材の曲げに対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、層間変形角 1/100(以下「限界層間変形角」という)を許容限界とする。

土木学会マニュアルでは、曲げ系の破壊に対する限界状態は、圧縮縁コンクリートひずみが 1.0%に至った状態とされており、層間変形角が 1/100 以下であれば、限界状態に至らないことを保証したものとみなされる。

(2) せん断に対する許容限界

構造部材のせん断力に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、以下のせん断耐力評価式からせん断耐力を算出し、棒部材式とディープビーム式で求まるせん断耐力のうち、いずれか大きい方を許容限界とする。

(a) 棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここで、 V_{cd} ：コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sd} ：せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}}$$

ただし、 $f_{vcd} > 0.72$ (N/mm^2)となる場合は $f_{vcd} = 0.72$ (N/mm^2)

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]})$$

ただし、 $\beta_d > 1.5$ となる場合は $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v}$$

ただし、 $\beta_p > 1.5$ となる場合は $\beta_p = 1.5$

$$\beta_n = 1 + M_0/M_d \quad (N'_d \geq 0)$$

ただし、 $\beta_n > 2.0$ となる場合は $\beta_n = 2.0$

$$= 1 + 2M_0/M_d \quad (N'_d < 0)$$

ただし、 $\beta_n < 0$ となる場合は $\beta_n = 0$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$$

ただし、 $\beta_a < 1.0$ となる場合は $\beta_a = 1.0$

f'_{cd} ：コンクリート圧縮強度の設計用値 (N/mm^2) で設計基準強度 f'_{ck} を材料係数 γ_{mc} (=1.3) で除したもの

$p_v = A_s/(b_w \cdot d)$ ：引張鉄筋比

A_s ：引張側鋼材の断面積

b_w ：部材の有効幅

N'_d ：設計軸圧縮力

M_d ：設計曲げモーメント

$M_0 = N'_d \cdot D/6$ ： M_d に対する引張縁において、軸方向力によって発生する応力

を打ち消すために必要なモーメント(デコンプレッションモーメント)

D : 断面高さ

a/d : せん断スパン比

γ_{bc} : 部材係数(=1.3)

$$V_{sd} = \{A_w f_{wyd} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s\} z / \gamma_{bs}$$

A_w : 区間 s におけるせん断補強鉄筋の総断面積

f_{wyd} : せん断補強鉄筋の降伏強度で、400 (N/mm²) 以下とする。ただし、コンクリート圧縮強度の特性値 f'_{ck} が 60 (N/mm²) 以上の時は、800 (N/mm²) 以下とする。

α : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度

s : せん断補強鉄筋の配置間隔

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で、一般に $d/1.15$ としてよい。

γ_{bs} : 部材係数(=1.1)

(b) ディープビーム式

$$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$$

ここで、 V_{cdd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sdd} : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{dd} = 0.19 \sqrt{f'_{cd}}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]})$$

ただし、 $\beta_d > 1.5$ となる場合は $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v}$$

ただし、 $\beta_p > 1.5$ となる場合は $\beta_p = 1.5$

$$\beta_a = \frac{5}{1+(a/d)^2}$$

γ_{bc} : 部材係数(=1.3)

$$V_{sdd} = \varphi \cdot V_{sd}$$

$$\varphi = -0.17 + 0.3a/d + 0.33/p_{wb} \quad \text{ただし、} 0 \leq \varphi \leq 1$$

p_{wb} : せん断補強鉄筋比(%)

5.2.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に生じる接地圧に対する許容限界は、基礎地盤における平板載荷試験の結果から設定した極限支持力度とする。

表 5-2 に極限支持力度を示す。

表 5-2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

	極限支持力度 (kN/m ²)
基礎地盤(久米層)	2350

5.3 評価方法

配管トレンチ (T21) の耐震性評価は、「4. 地震応答解析結果」により算定した照査用応答値が「5.2 許容限界」において設定した許容限界以下であることを確認する。

5.3.1 構造部材の健全性評価

構造部材の曲げに対する照査は、地震応答解析により算定した照査用層間変形角が許容限界以下であることを確認する。照査用層間変形角は、土木学会マニュアルに基づき、以下の式により算出する。

$$R_d = \gamma_a \cdot \frac{\Delta}{H}$$

ここで、 γ_a : 構造解析係数 (=1.20), Δ : 最大層間変位 (mm), H : 層間高さ (3100 mm)

構造部材のせん断に対する照査は、地震応答解析により算定した照査用せん断力が許容限界以下であることを確認する。照査用せん断力は、土木学会マニュアルに基づき、以下の式により算出する。

$$V_d = \gamma_a \cdot V$$

ここで、 γ_a : 構造解析係数 (=1.05), V : 発生せん断力 (kN)

5.3.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては、基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

6. 耐震性評価結果

6.1 構造部材の健全性に対する評価結果

構造部材の曲げに対する照査の最大照査値を表 6-1 に示す。構造部材のせん断に対する照査の最大照査値を表 6-2 に示す。

配管トレンチ (T21) の構造部材の層間変形角及びせん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 曲げに対する照査の最大照査値

地震動	頂版-底版間 最大層間変位 (mm)	照査用 層間変形角 R_d	限界 層間変形角 R_U	R_d/R_U
Ss-D	2.1	0.0008	0.01	0.08

表 6-2 せん断に対する照査の最大照査値

地震動	照査位置	照査用せん 断力 V_d (kN)	せん断耐力 V_{yd} (kN)	V_d/V_{yd}
Ss-D	頂版	332	1215	0.27
Ss-D	左側壁	186	640	0.29
Ss-D	右側壁	229	721	0.32
Ss-D	底版	252	669	0.38

6.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能照査結果を表 6-3 に示す。

配管トレンチ (T21) の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 6-3 基礎地盤の支持性能照査結果

地震動	最大接地圧 (kN/m ²)	極限支持力度 (kN/m ²)
Ss-D	161	2350

別添 高放射性廃液貯蔵場(HAW)及び
配管トレンチ(T21)周辺の地盤改良工事

1. 概要

高放射性廃液貯蔵場（HAW）は地盤の拘束効果により建物の接地率及び接地圧の向上、配管トレンチ（T21）は躯体の曲げ及びせん断力に対する耐震性を向上させることを目的として、周辺地盤を置換コンクリートにより改良する。

2. 準拠すべき法令、基準及び規格

「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（昭和 32 年法律第 166 号）

「再処理施設の技術基準に関する規則」（令和 2 年原子力規制委員会規則第 9 号）

「再処理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（平成 25 年 原子力規制委員会規則第 27 号）

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（平成 25 年 原子力規制委員会規則第 5 号）

「原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601)」（日本電気協会）

「原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601)」（日本電気協会）

「日本産業規格 (JIS) 」

「コンクリート標準示方書」（土木学会）

「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照査マニュアル」（平成 4 年 9 月 土木学会 原子力土木委員会）

「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・同マニュアル」（平成 17 年 6 月 土木学会 原子力土木委員会）

3. 設計の基本方針

高放射性廃液貯蔵場（HAW）は地盤の拘束効果により建物の接地率及び接地圧の向上、配管トレンチ（T21）は躯体の曲げ及びせん断力に対する耐震性を向上させることを目的として、周辺地盤を置換コンクリートにより改良する。

4. 設計条件及び仕様

(1) 設計条件

表-1 設計条件 1

名 称	高放射性廃液貯蔵場 (HAW)
耐震重要度分類	セル Sクラス (旧 A類) 建家 Bクラス (旧 B類)
構 造	鉄筋コンクリート造

表-2 設計条件 2

名 称	配管トレンチ (T21)
耐震重要度分類	Sクラス (旧 A類)
構 造	鉄筋コンクリート造

(2) 仕様

高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 及び配管トレンチ (T21) の耐震性向上のため、以下の施工を行う。

表-3 設計仕様

名 称	高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 及び配管トレンチ (T21)
仕 様	高放射性廃液貯蔵場 (HAW) 周辺地盤 置換コンクリート：普通コンクリート (JIS A 5308) 設計基準強度 18 N/mm ² 配管トレンチ (T21) 周辺地盤 置換コンクリート：普通コンクリート (JIS A 5308) 設計基準強度 18 N/mm ²
図	別図-1～別図-6

表-4 置換コンクリート工の範囲

対 象	底面 (m) ※1, 2	上面 (m) ※1
高放射性廃液貯蔵場 (HAW)	T.P. ±0.00 以深	T.P. +4.00 以浅
配管トレンチ (T21)	T.P. +0.70 以深	T.P. +5.15 以浅

※1：既設構造物の状況により、改良範囲が異なる場合がある。

※2：久米層の出現深度により、改良範囲が異なる場合がある。

5. 工事の方法

(1) 工事の方法及び手順

本工事は、まず、地表面から、置換コンクリート底面深さである T.P. ±0.00m (配管トレンチ(T21)周辺は T.P. +0.70m)まで掘削する。掘削完了前に久米層が確認された場合は、確認された深さで掘削を止める。掘削床に関して、基面整形を行った後、型枠の組立て及び置換コンクリート上面深さである T.P. +4.00 m(配管トレンチ(T21)周辺は T.P. +5.15m)になるまでコンクリート打設を繰り返す(但し、既設構造物がある場合は改良深さが異なる場合がある)。置換コンクリートの上面深さに達した後、地表面まで埋戻す。この工程を置換コンクリートの施工範囲が完了するまで繰り返す(但し、既設構造物がある場合は改良範囲が異なる場合がある)。なお、ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟近傍の置換コンクリートの直下のみ、地表面から沖積層の地盤補強を実施する。

本工事のフローを別図-7 に示す。また、本工事において実施する試験・検査項目、検査方法、判定基準を以下に示す。

1) 試験・検査項目

試験・検査は、工事の工程に従い、次の項目について実施する。

① 材料検査

方 法： a. 置換コンクリートの強度を圧縮強度試験により確認する。

判 定： a. 置換コンクリートの圧縮強度の平均値が表-3 に示す設計基準強度の値以上であり、かつ、個々の値が表-3 に示す設計基準強度の値の 85%以上であること。

② 寸法検査 1

方 法： a. 置換コンクリートの底面深さを測定する。但し、久米層の出現深度が表-4 より浅い場合には、地盤調査時に採取した土質試料により底面を確認する。

判 定： a. 置換コンクリートの底面深さが表-4 に示す範囲であること。久米層の出現深度が表-4 より浅い場合には、置換コンクリートの底面が別図-3～別図-6 に示す久米層であること。

③ 寸法検査 2

方 法： a. 置換コンクリートの上面深さを測定により確認する。

判 定： a. 置換コンクリートの上面深さが表-4 に示す範囲であること。

④ 外観検査

方 法： a. 置換コンクリートの範囲を目視により確認する。

判 定： a. 置換コンクリートが別図-2 に示す範囲であること。

(2) 工事上の安全対策

本工事に際しては、以下の注意事項に従い行う。

- ① 本工事の保安については、再処理施設保安規定に従うとともに、労働安全衛生法に従い、作業者に係る労働災害の防止に努める。
- ② 本工事においては、作業手順、装備、連絡体制等について十分に検討した上で、作業を実施する。
- ③ 本工事においては、ヘルメット及び保護手袋等の保護具を作業の内容に応じて着用し、災害防止に努める。
- ④ 本工事における火気作業時は、近傍の可燃物を除去した上で実施する。ただし、可燃物を除去できない場合は、不燃シートによる作業場所の養生等を行い、火災を防止する。
- ⑤ 本工事における高所作業時は、墜落制止用器具等の保護具を着用し、災害防止に努める。
- ⑥ 掘削を行う場合は、既設埋設物、既設構築物を図面及び現地にて確認し、既設埋設物、既設構築物の損傷防止に努める。
- ⑦ 本工事においては、重大事故対処設備の操作に支障をきたさぬよう配慮する。

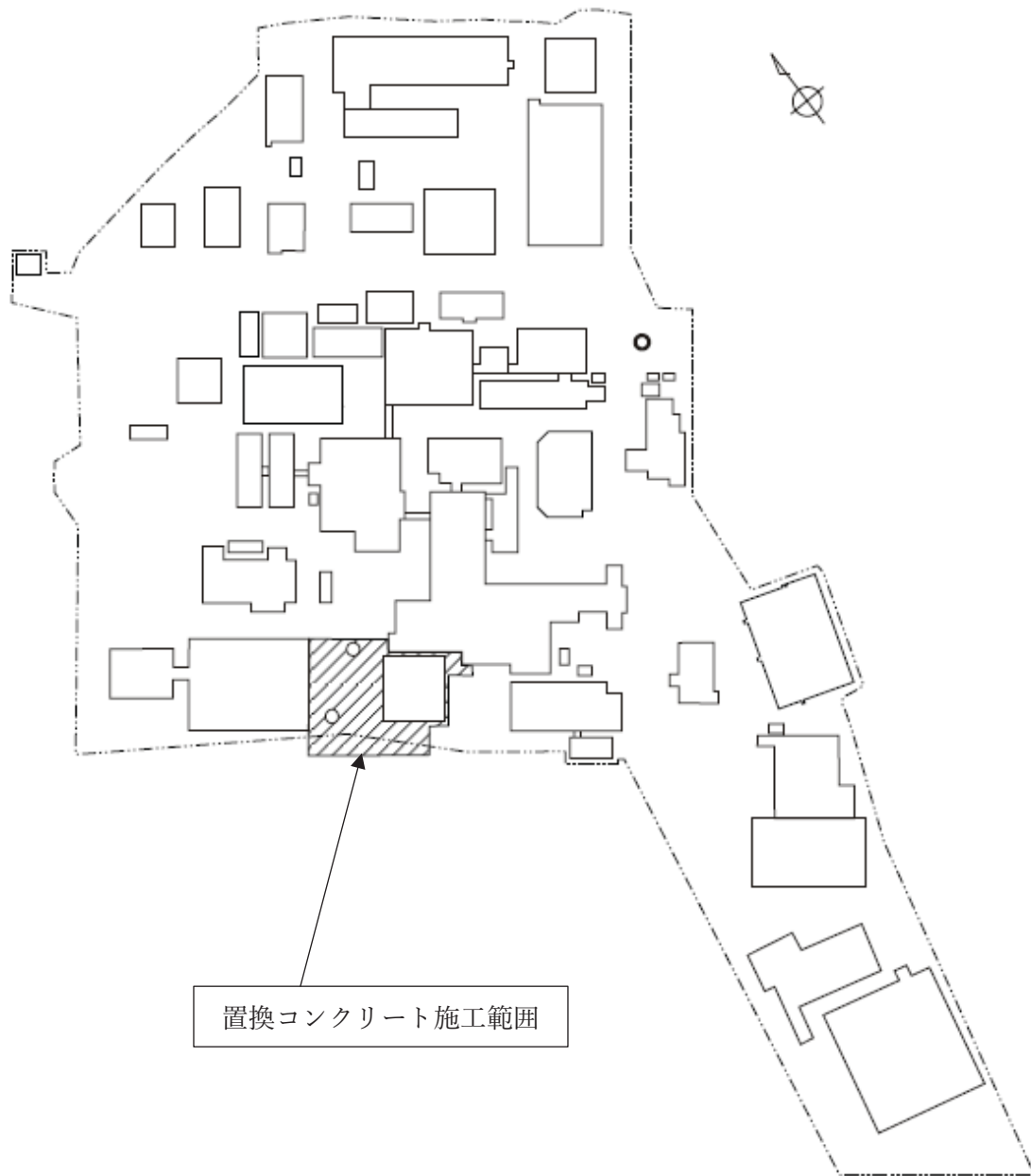
6. 工事の工程

本申請に係る工事の工程を表-6 に示す。

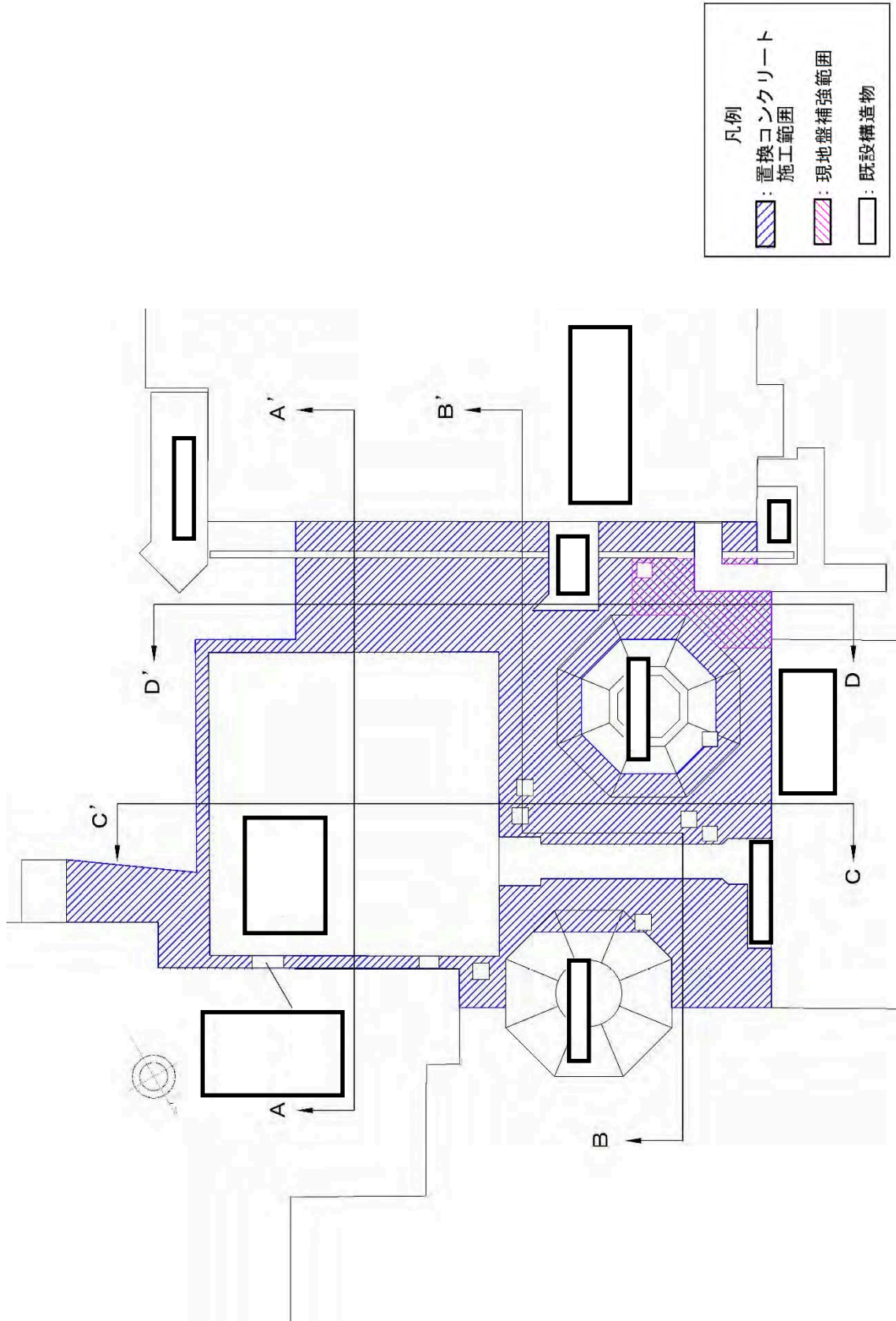
表-6 高放射性廃液貯蔵場(HAW)及び配管トレンチ(T21)周辺の地盤改良工事工程表

	令和2年度		令和3年度		備考
高放射性廃液貯蔵場(HAW) 及び配管トレンチ(T21)周 辺の地盤改良工事	工事				

(別図)

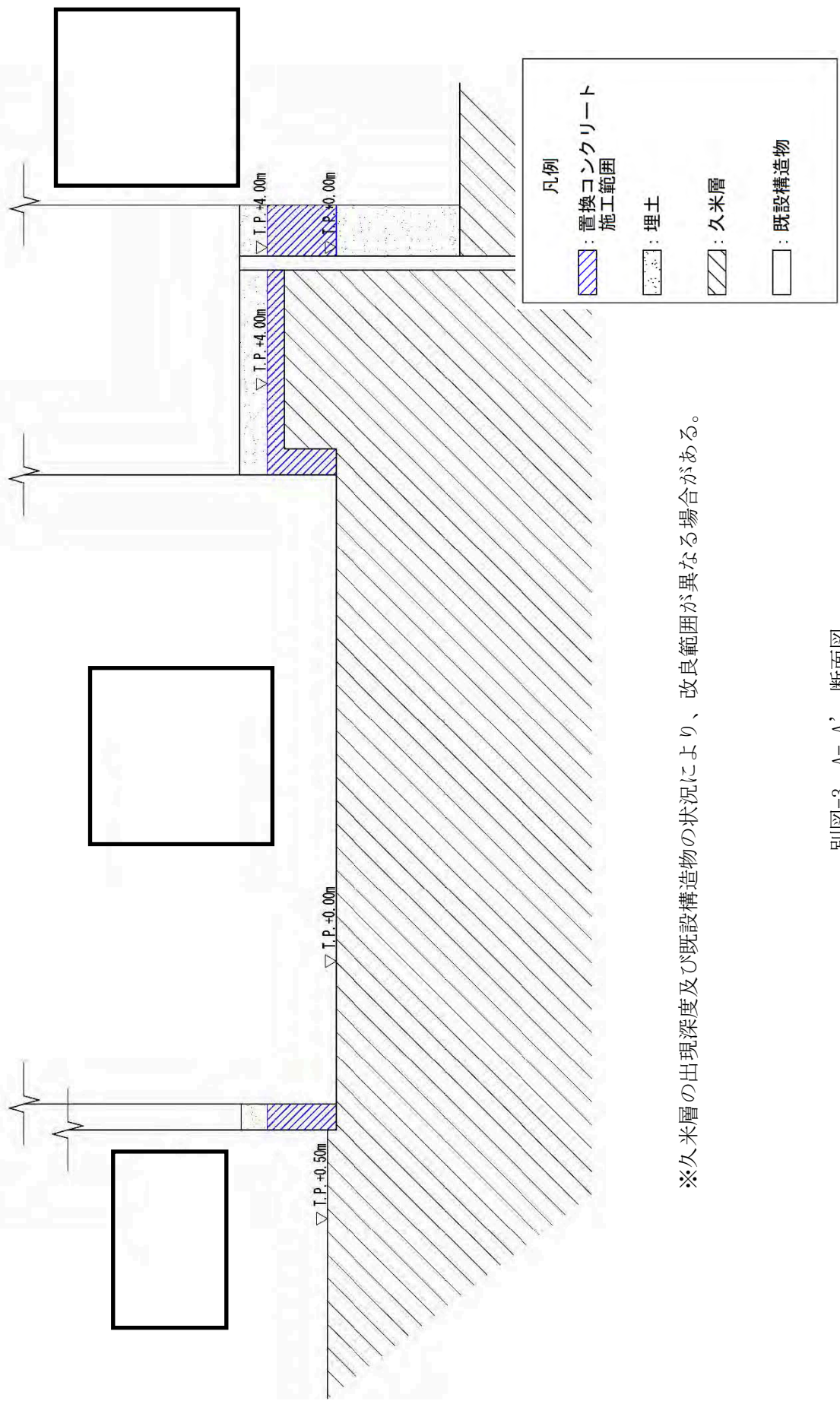


別図-1 再処理施設の構成及び申請範囲



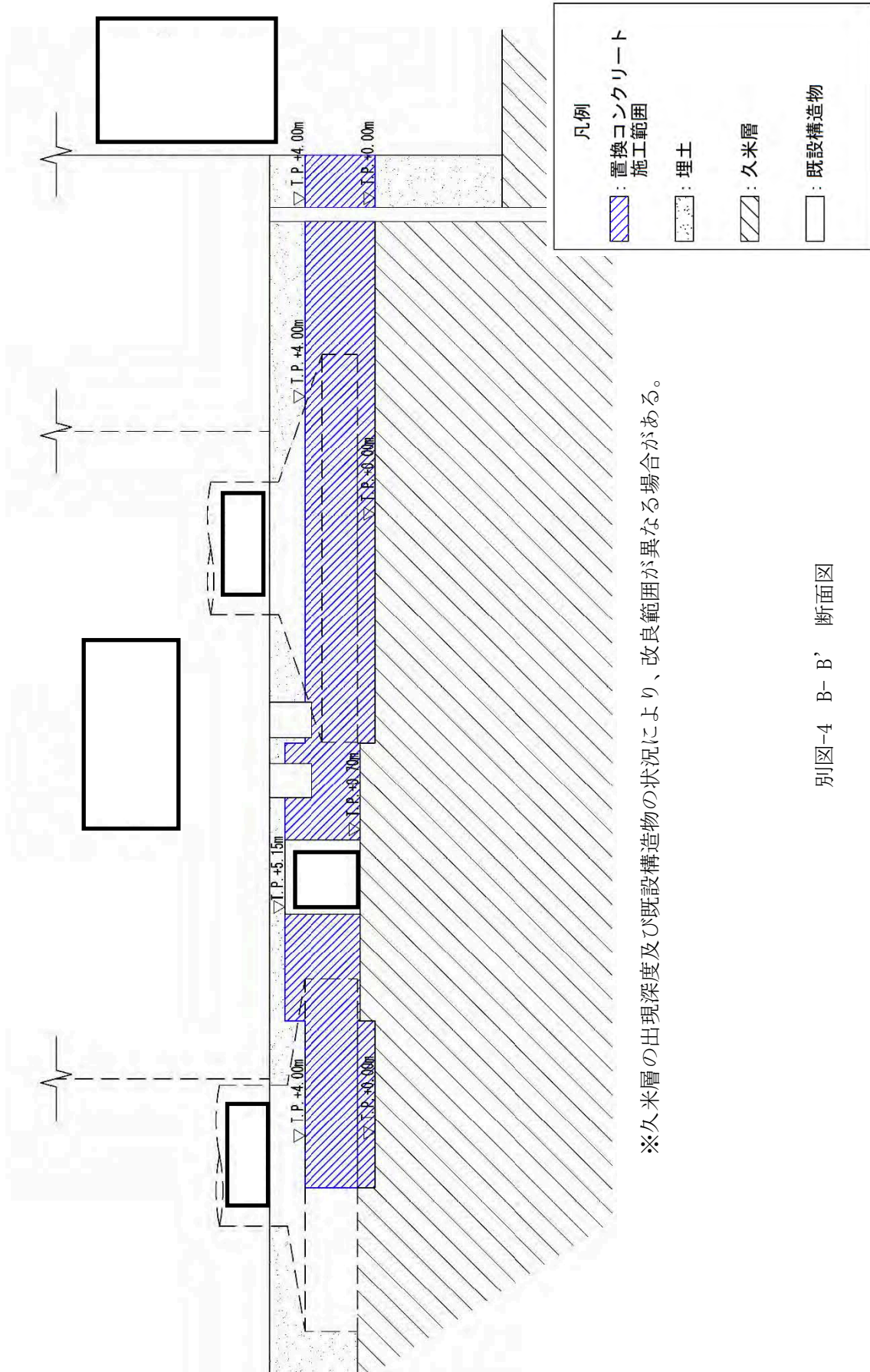
※久米層の出現深度及び既設構造物の状況により、改良範囲が異なる場合がある。

別図-2 置換コンクリート施工範囲平面図

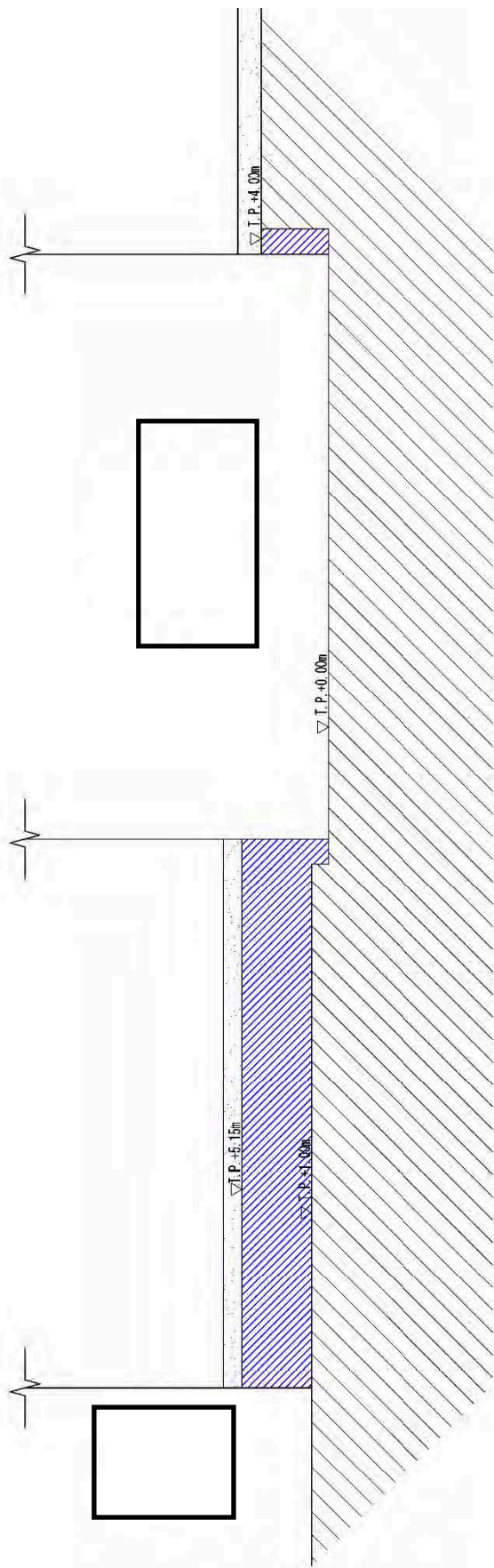


※久米層の出現深度及び既設構造物の状況により、改良範囲が異なる場合がある。

別図-3 A-A' 断面図



別図-4 B-B' 断面図



凡例

■：置換コンクリート
施工範囲

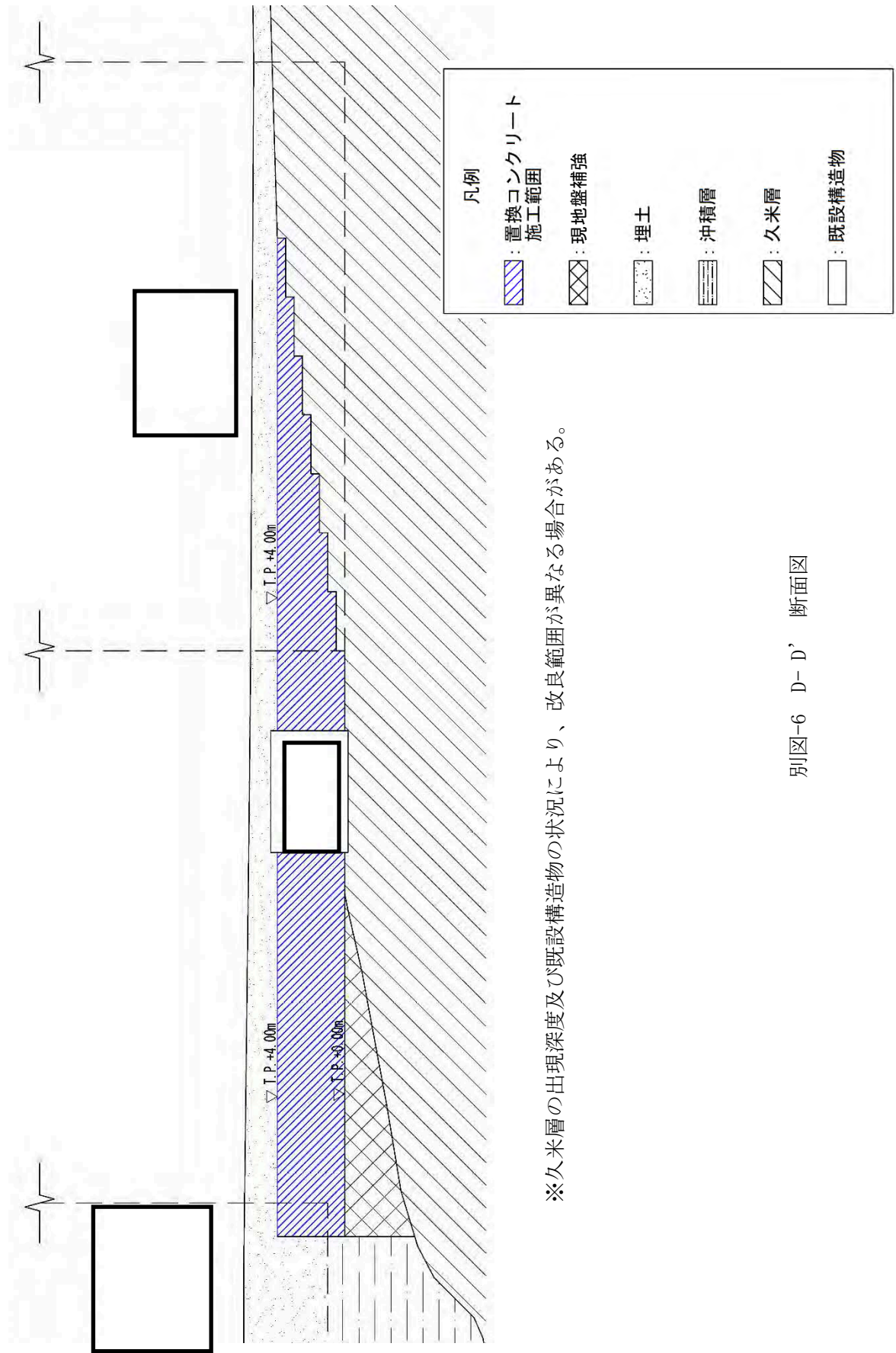
■：埋土

■：久米層

□：既設構造物

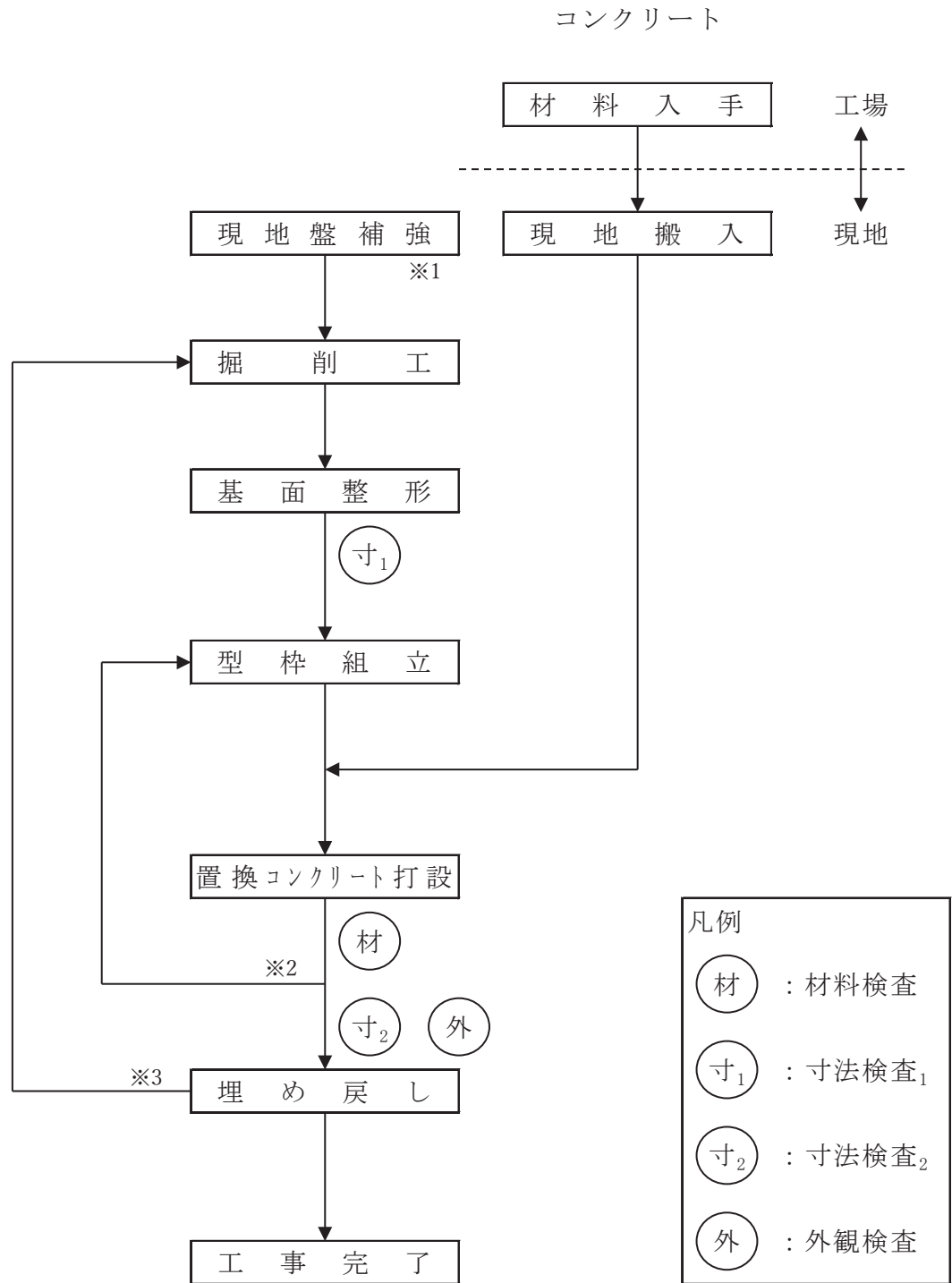
※久米層の出現深度及び既設構造物の状況により、改良範囲が異なる場合がある。

別図-5 C-C' 断面図



※久米層の出現深度及び既設構造物の状況により、改良範囲が異なる場合がある。

別図-6 D-D' 断面図



※1：ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟近傍の置換コンクリートの直下のみ実施する

※2：置換コンクリートが表-4の上面深度に達するまで繰り返す

※3：置換コンクリートの施工範囲が完了するまで繰り返す

別図-7 置換コンクリート工事フロー図

5. TVF 施設建家の地震応答計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	8
2.1 位置	8
2.2 構造概要	9
2.3 評価方針	15
2.4 準拠規格・基準	16
2.5 使用材料	16
3. 入力地震動	17
3.1 水平方向の入力地震動.....	17
3.2 鉛直方向の入力地震動.....	27
4. 解析モデル	32
4.1 水平方向の解析モデル.....	32
4.2 鉛直方向の解析モデル.....	41
5. 解析結果	44
5.1 固有値解析結果	44
5.2 地震応答解析結果.....	54
6. 基礎浮き上がりの検討.....	62
7. 評価結果	64

1. 概要

本資料は、廃止措置計画用設計地震動(Ss)に対して、ガラス固化技術開発施設(TVF)ガラス固化技術開発棟(以下「TVF 開発棟」という)が耐震余裕を有することを説明するものである。

廃止措置計画用設計地震動は、令和2年2月10日付け原規規発第2002103号をもって認可された「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所再処理施設に係る廃止措置計画変更認可申請書」において策定した敷地の解放基盤表面における水平成分及び鉛直成分の地震動とする。策定した廃止措置計画用設計地震動の応答スペクトルを図1-1から図1-3に、時刻歴波形を図1-4から図1-6に示す。解放基盤表面は、S波速度が0.7 km/s以上であるT.P.*-303 m(G.L. -309 m)とする。

※T.P. : 東京湾平均海面

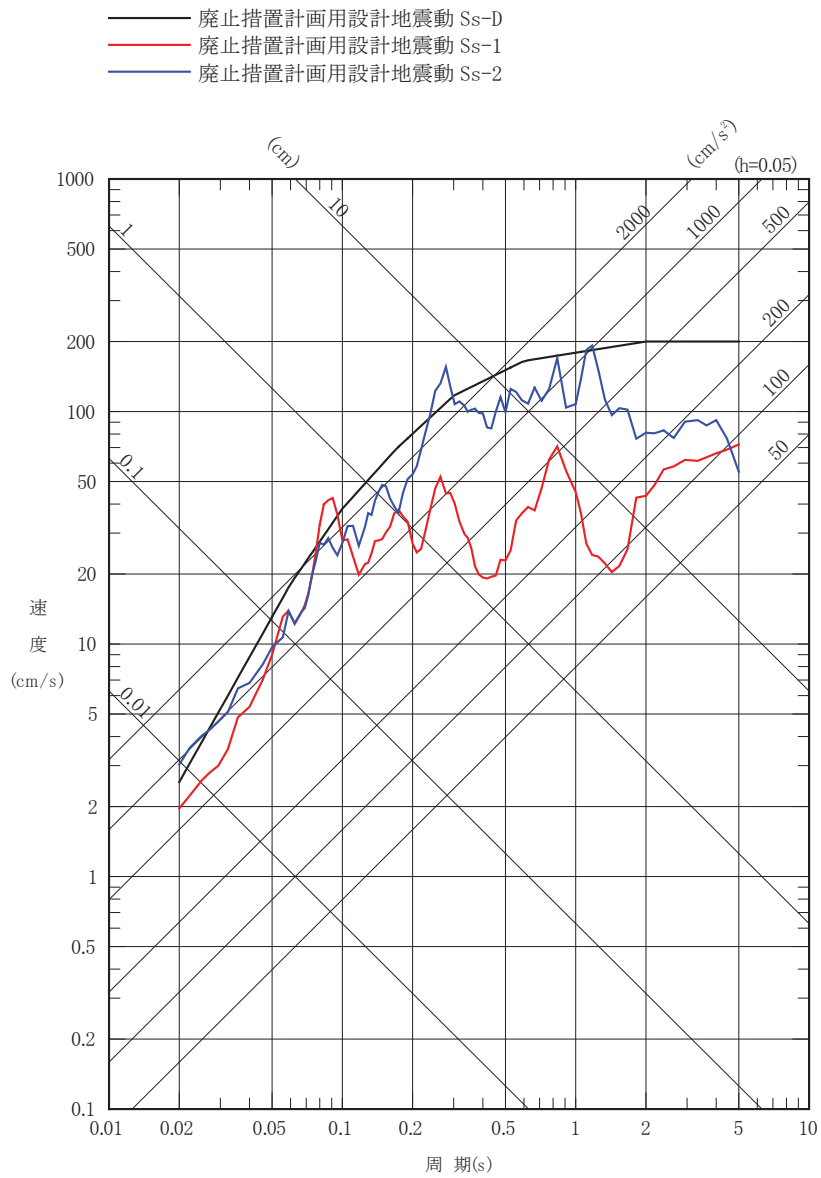


図 1-1 廃止措置計画用設計地震動(Ss)の応答スペクトル(NS成分)

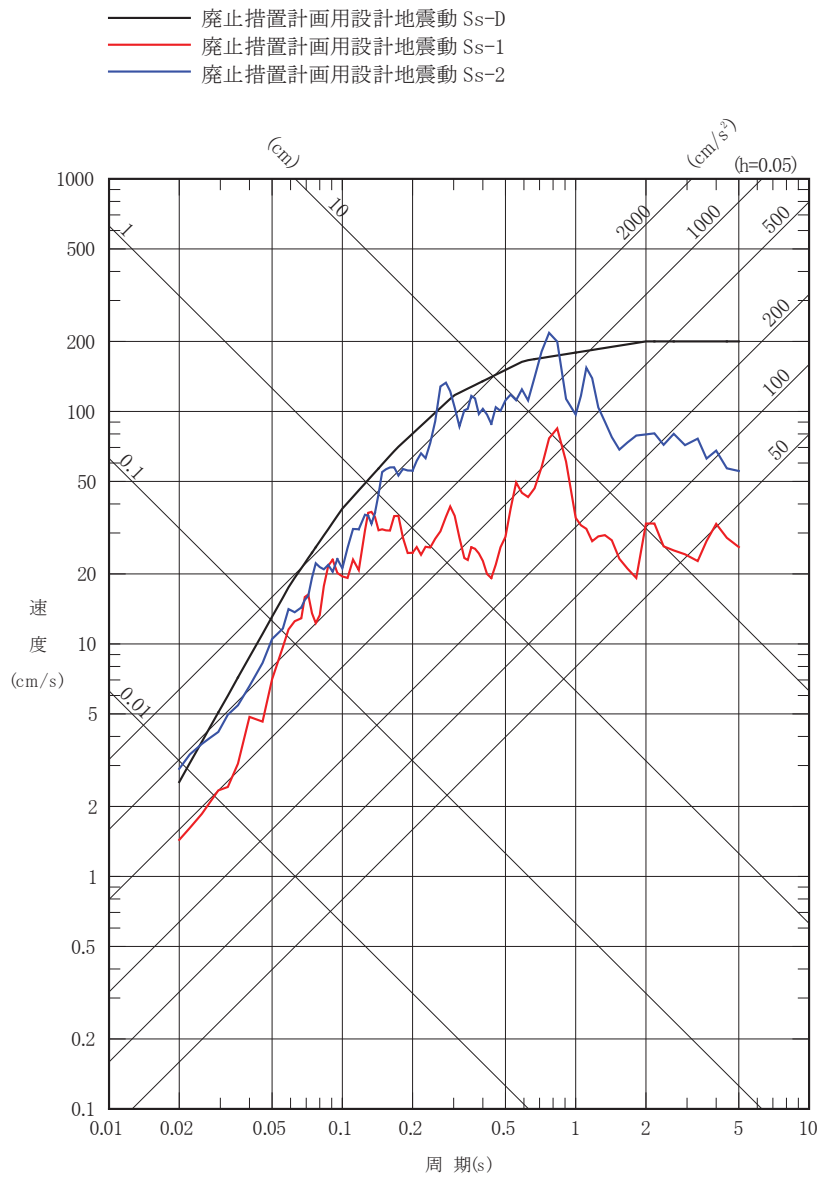


図 1-2 廃止措置計画用設計地震動(Ss)の応答スペクトル(EW成分)

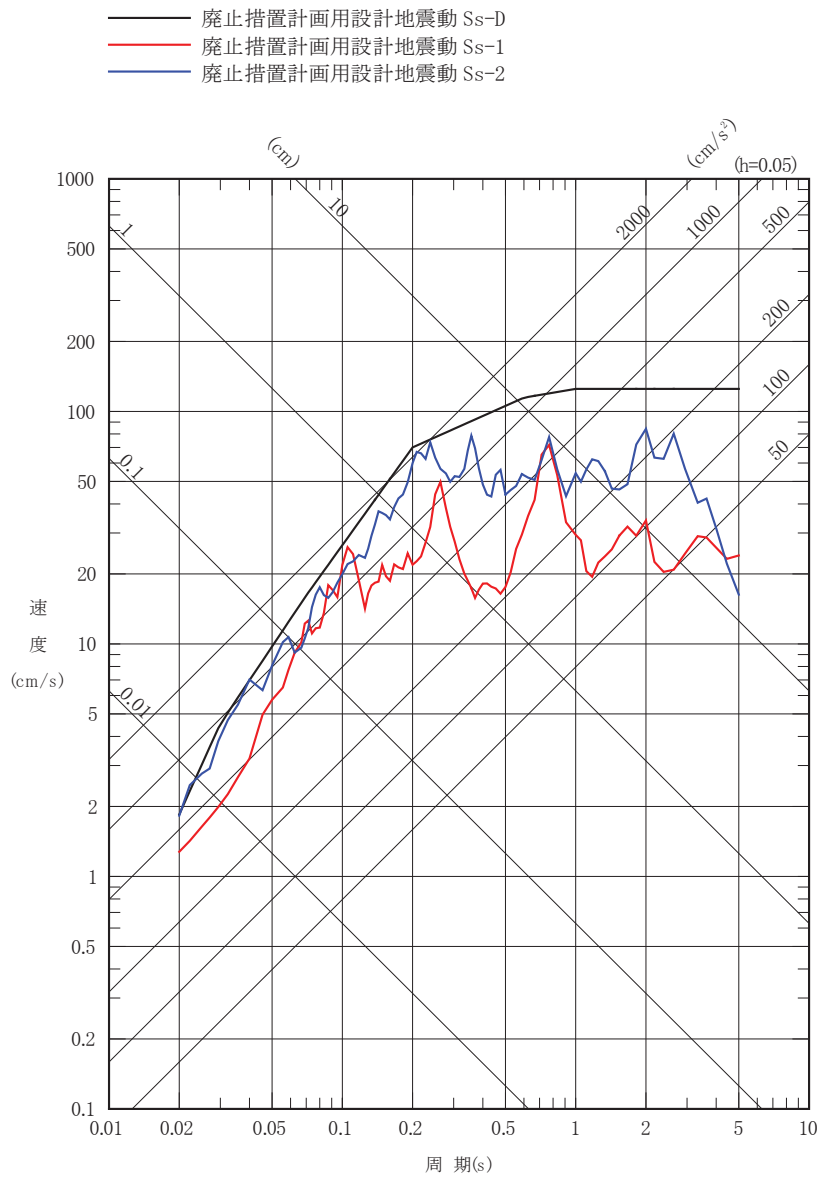
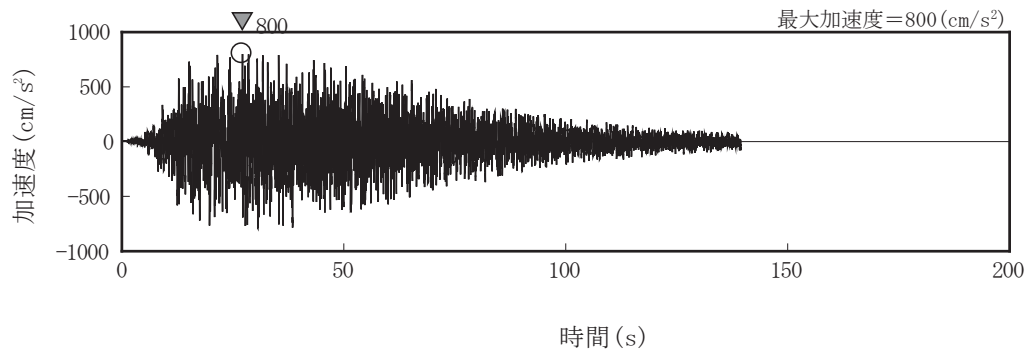
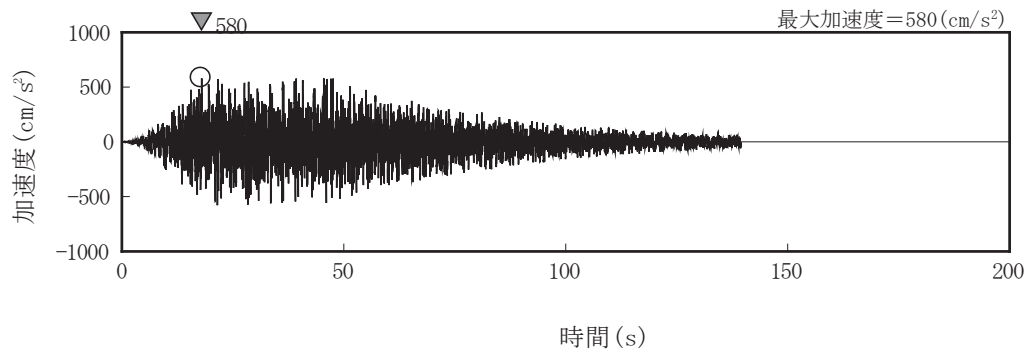


図 1-3 廃止措置計画用設計地震動(Ss)の応答スペクトル(UD成分)

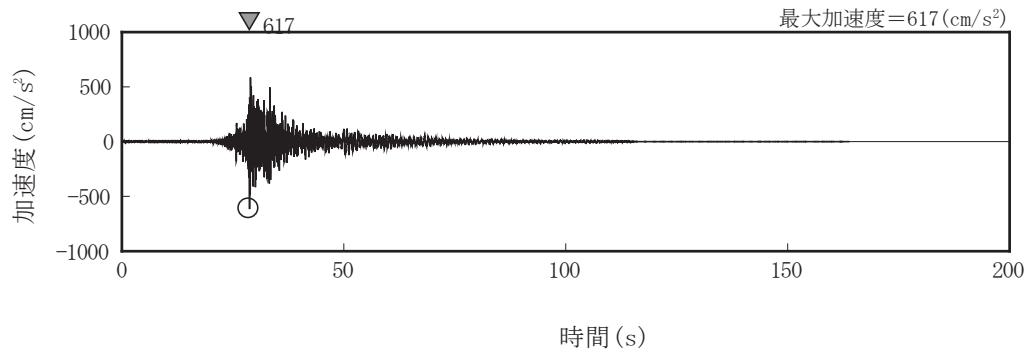


(水平成分)

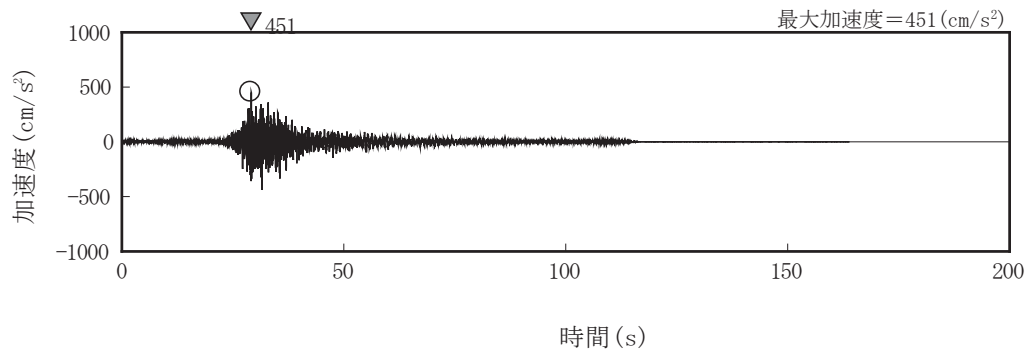


(鉛直成分)

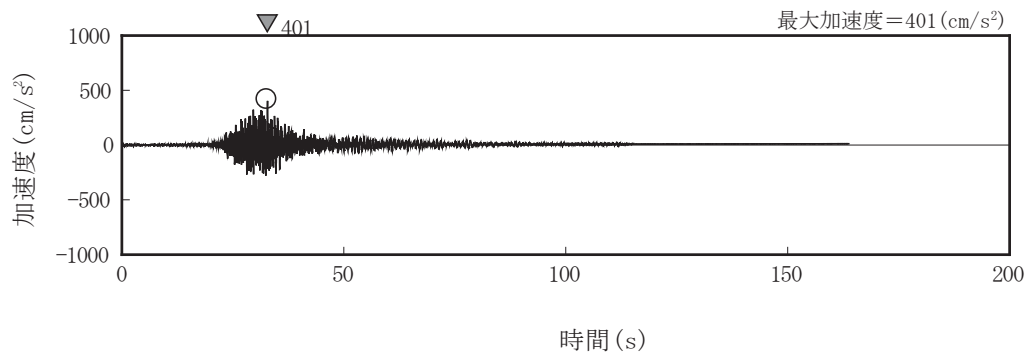
図 1-4 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D)の時刻歴波形



(NS 成分)



(EW 成分)



(UD 成分)

図 1-5 廃止措置計画用設計地震動(Ss-1)の時刻歴波形

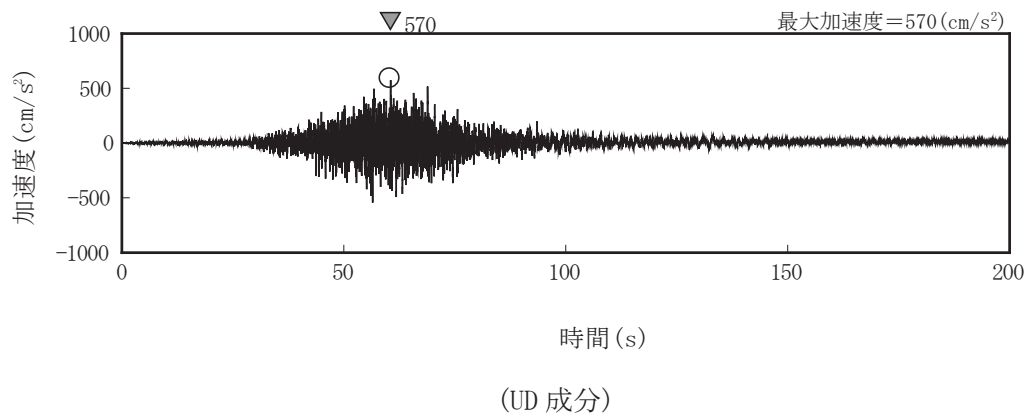
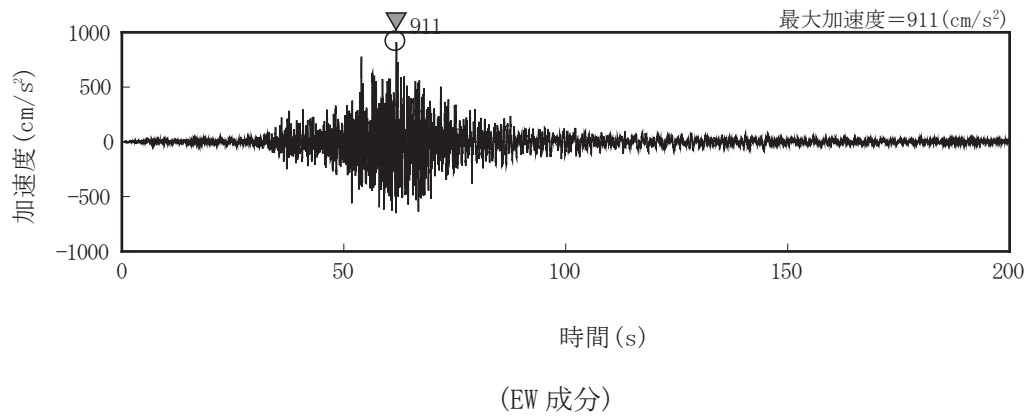
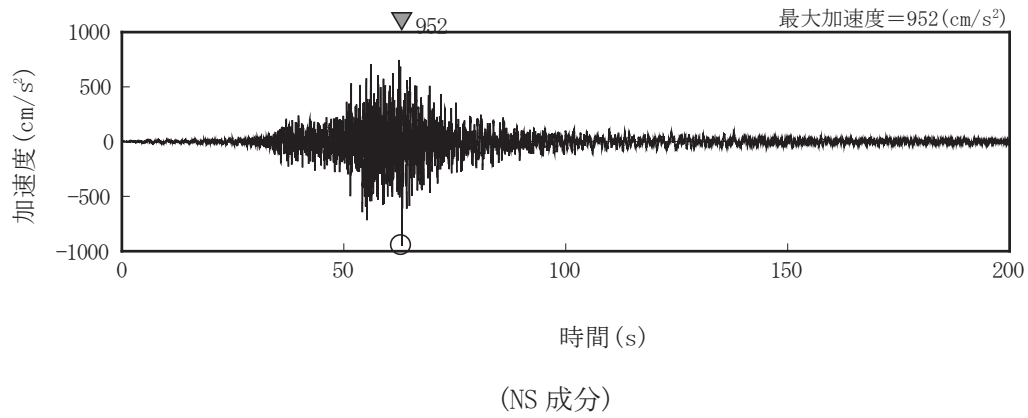


図 1-6 廃止措置計画用設計地震動(Ss-2)の時刻歴波形

2. 一般事項

2.1 位置

TVF 開発棟の位置を図 2-1 に示す。プラントノースと磁北方向の角度差は、 35.7° である。

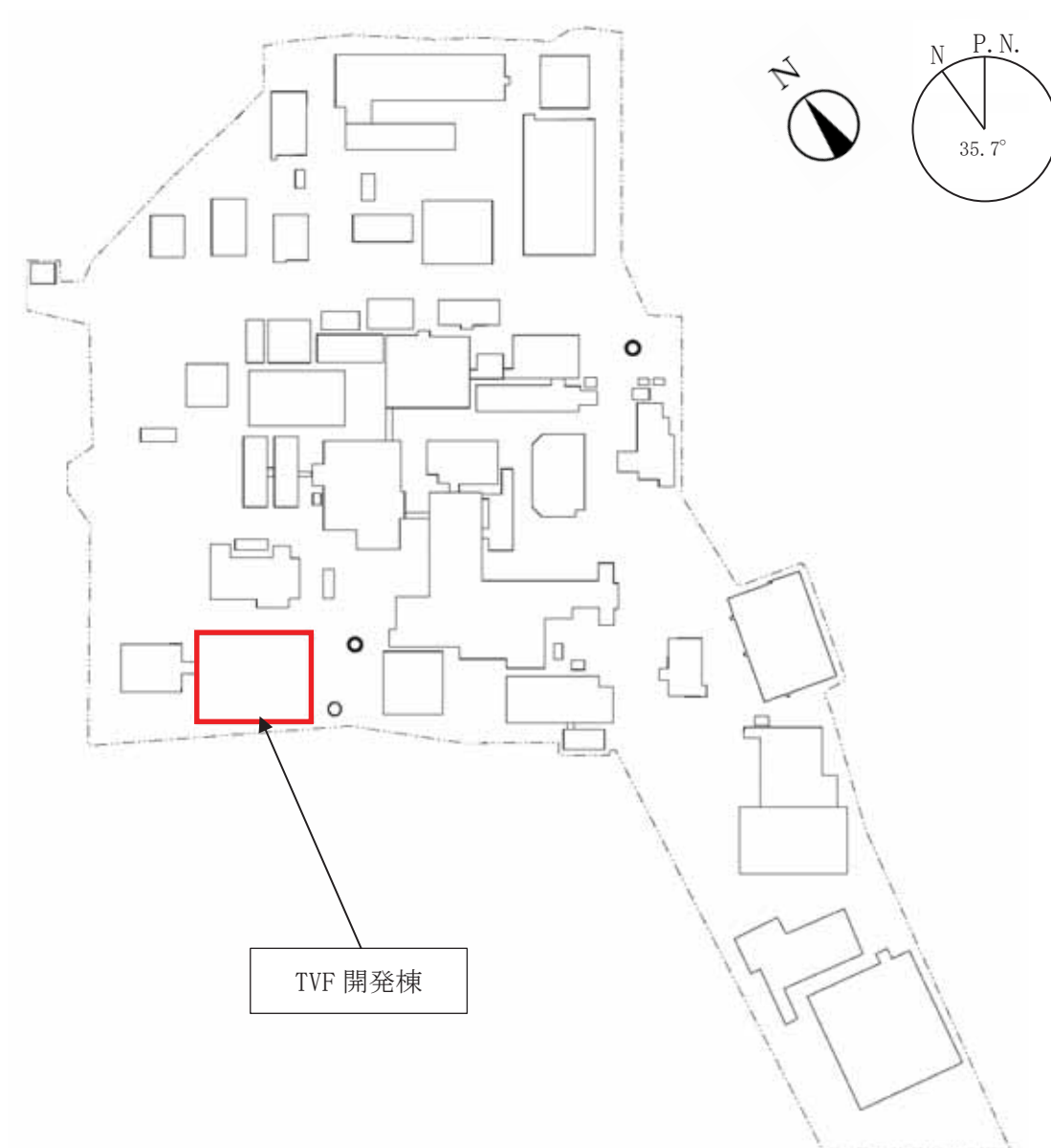


図 2-1 TVF 開発棟の位置

2.2 構造概要

TVF 開発棟は、平面形状が [] の長方形を成しており、地上高さ [] の鉄骨鉄筋コンクリート造の建家である。基礎は、べた基礎とし、支持地盤である新第三系鮮新統の久米層に設置されている。建家の代表的な平面図及び断面図を図 2-2 から図 2-5 に、支持地盤(久米層)の等高線図及び断面図を図 2-6 から図 2-8 に示す。



図 2-2 TVF 開発棟平面図 (地下 2 階)

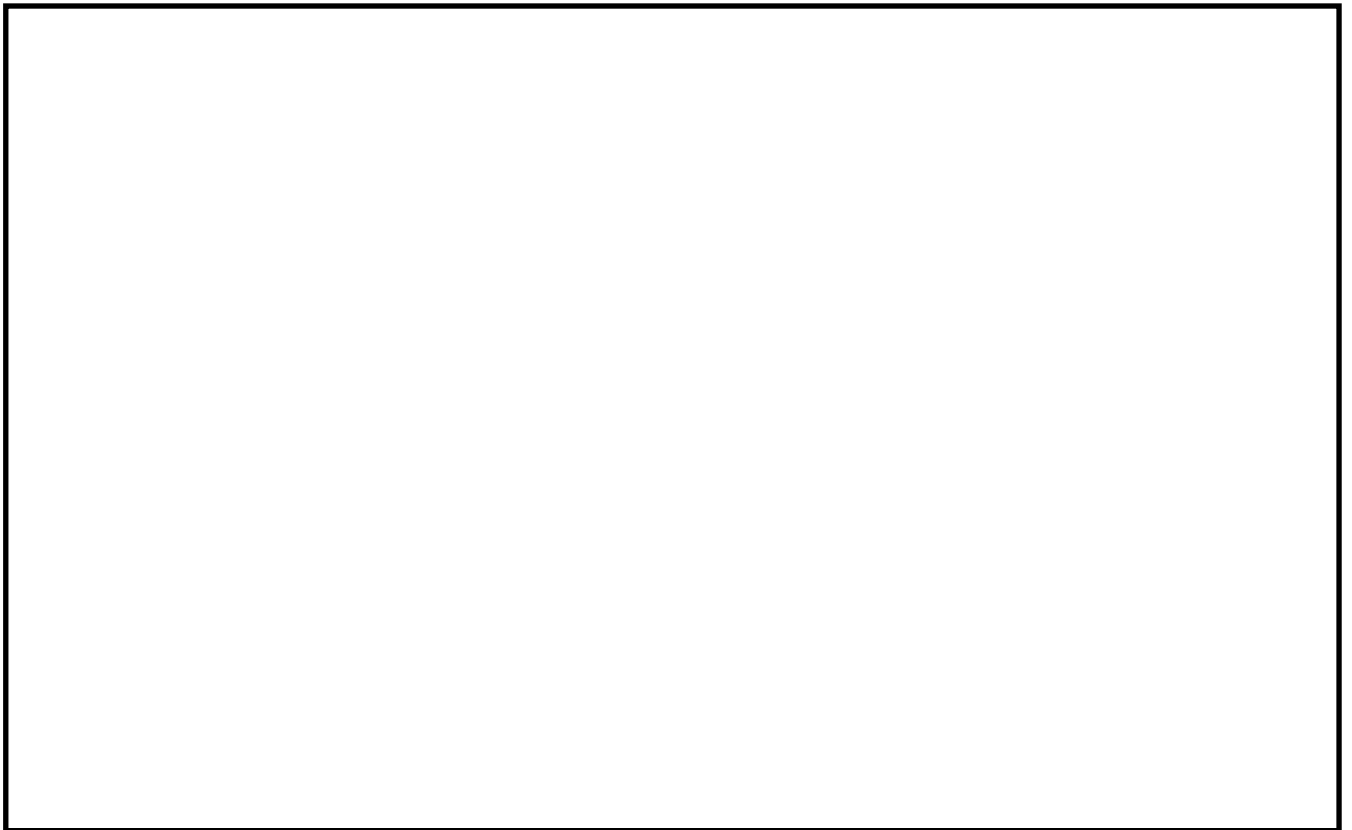


図 2-3 TVF 開発棟平面図 (3 階)

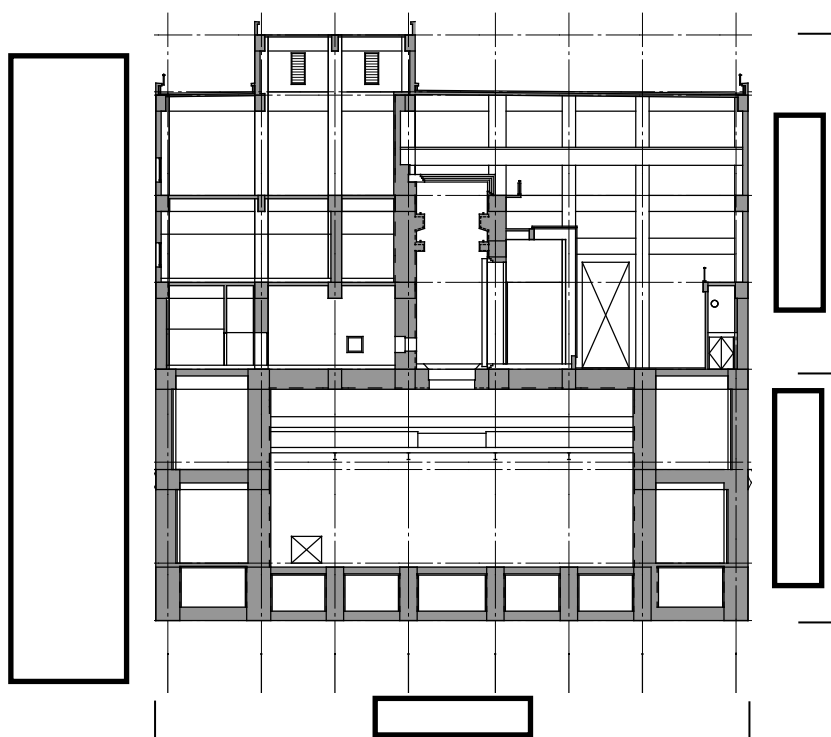


图 2-4 TVF 開發棟断面図 (NS 断面)

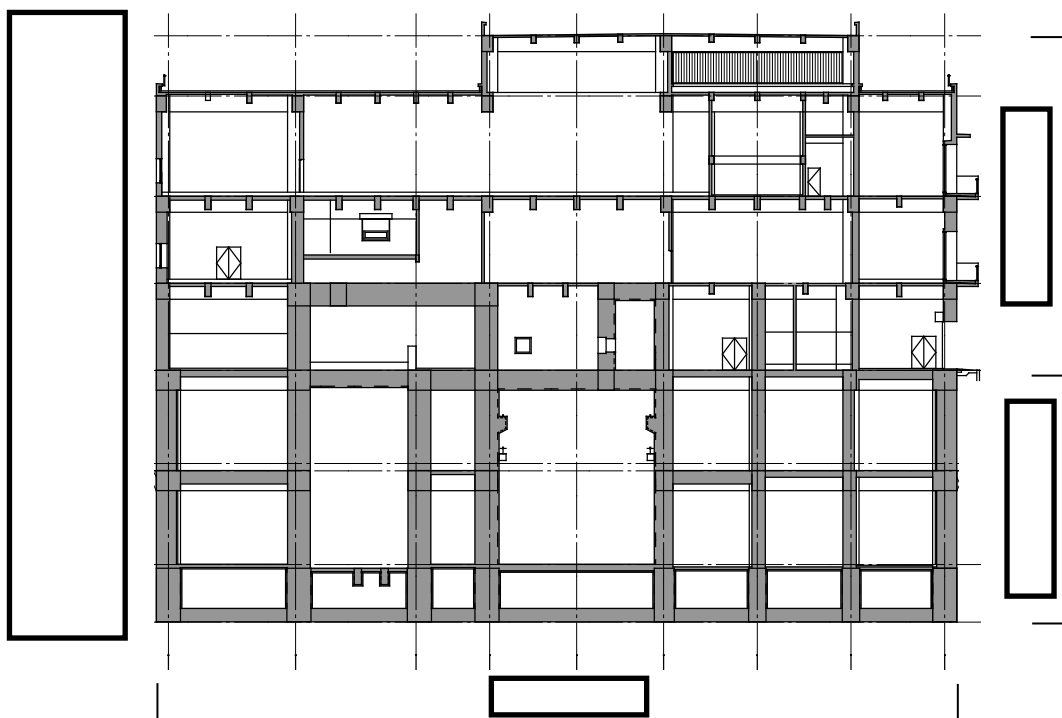


图 2-5 TVF 開發棟断面図 (EW 断面)

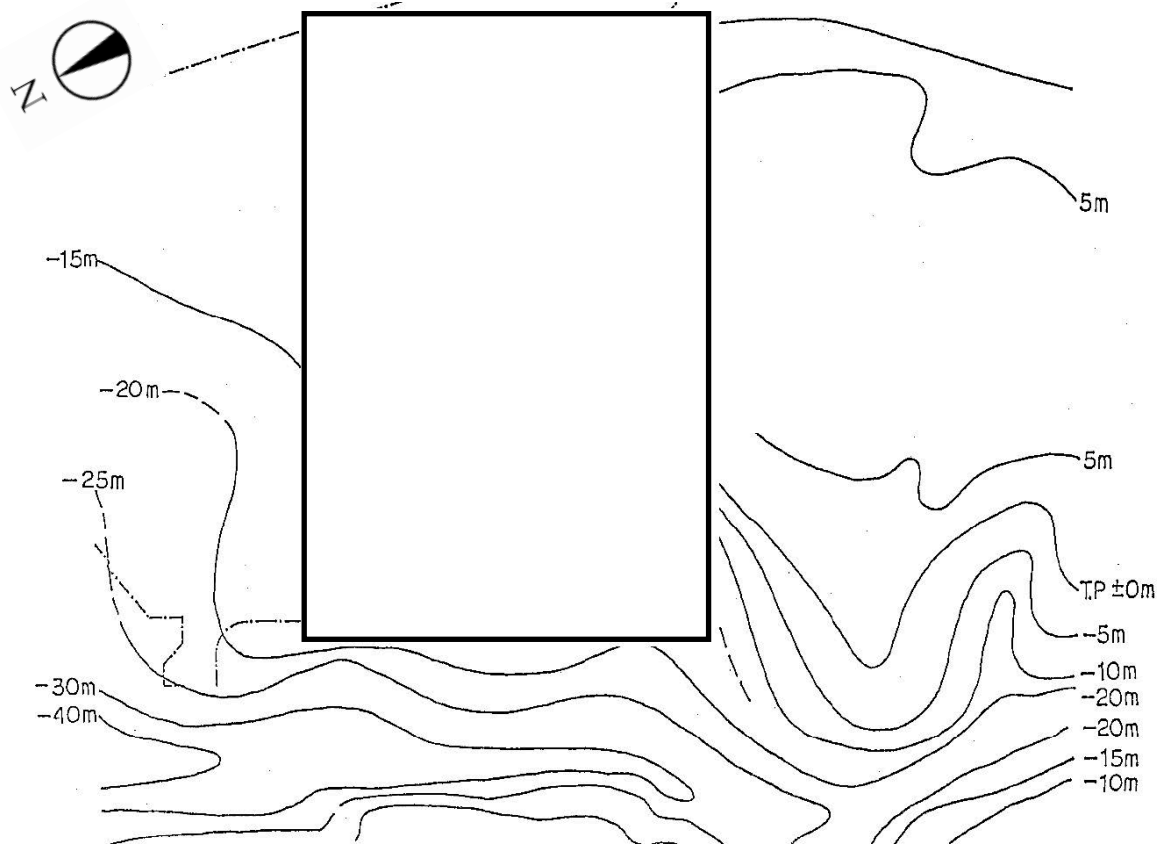
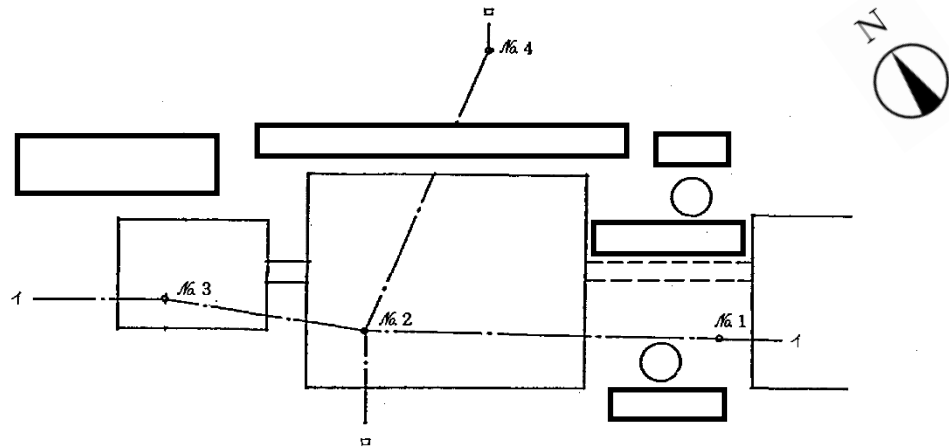


図 2-6 支持地盤(久米層)の等高線図



ボーリング位置図

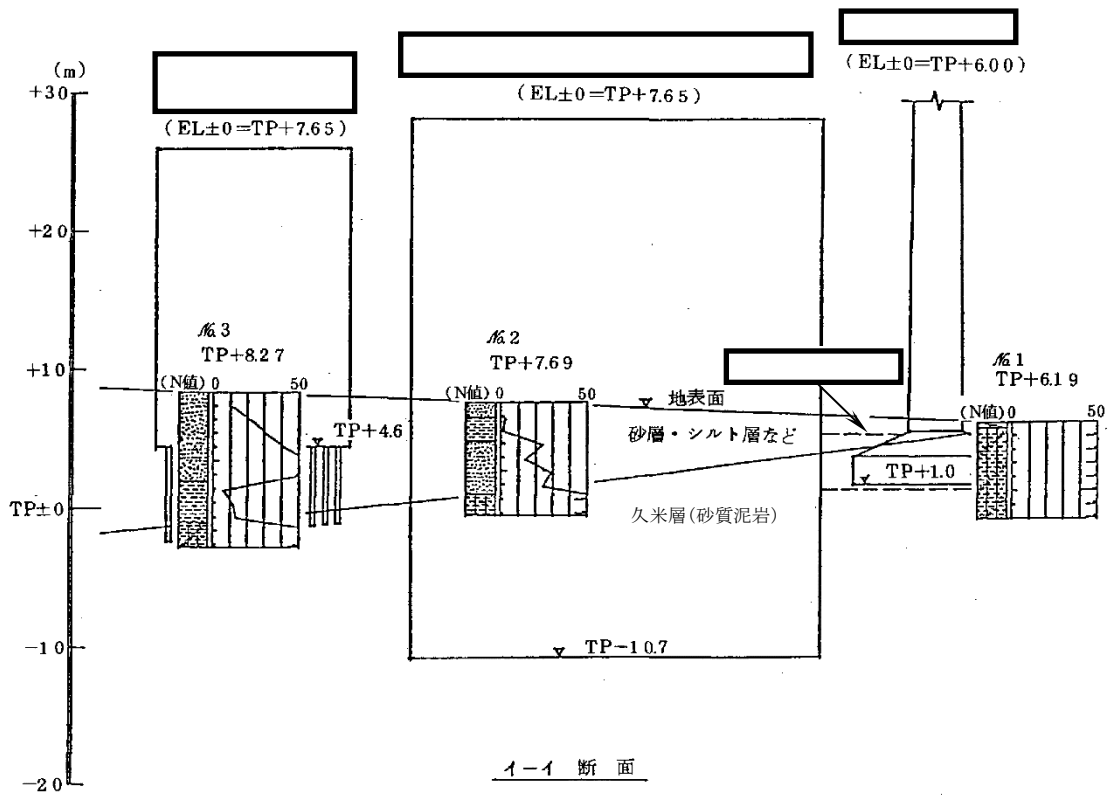


図 2-7 支持層(久米層)の断面図 (その 1)

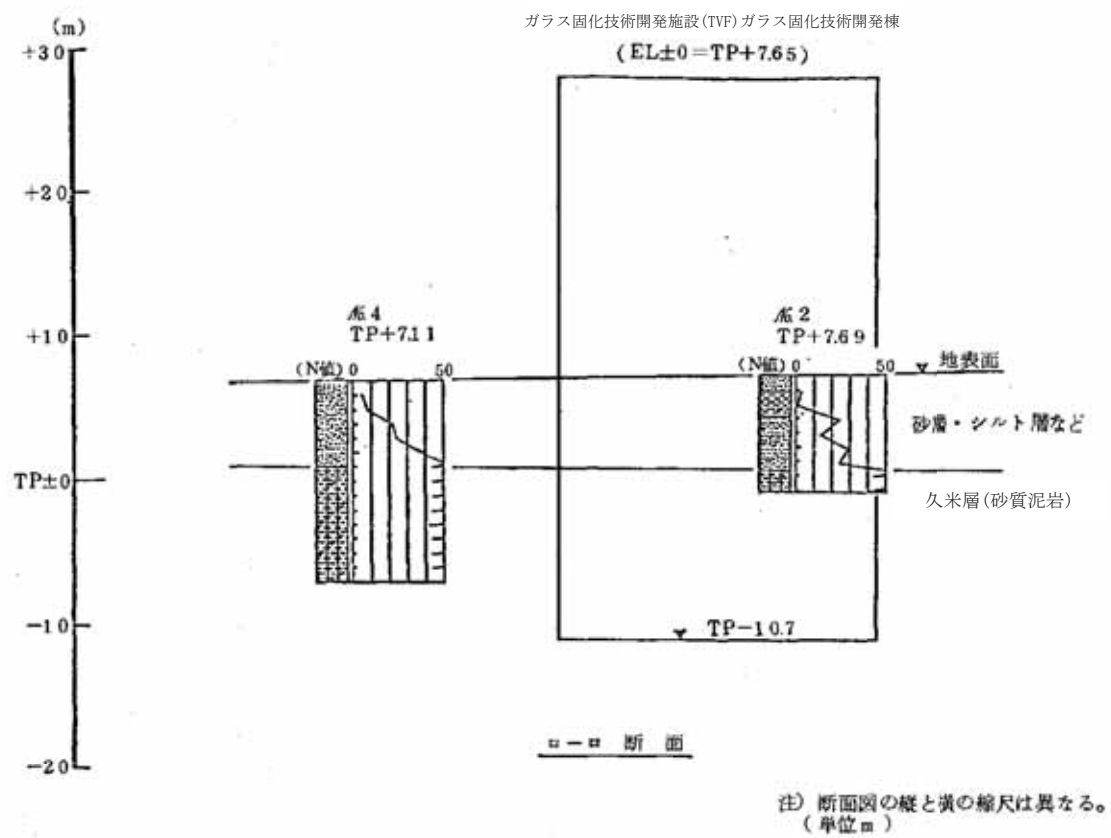


図 2-8 支持層(久米層)の断面図 (その 2)

2.3 評価方針

TVF 開発棟の評価は、廃止措置計画用設計地震動(S_s)による地震応答解析の結果に基づき実施する。

地震応答解析は、建物・構築物の形状、構造特性等を考慮した質点系の解析モデルを水平(NS, EW)方向及び鉛直(UD)方向ごとに設定し実施する。

評価は、耐震壁に生じるせん断ひずみ及び接地圧を算出し、評価基準値を超えないことを確認する。

なお、接地率を算出し、基礎浮き上がりの評価法の適用範囲内であることを確認する。

地震応答解析による応答値は、建物・構築物及び機器・配管系の耐震評価における入力地震動又は入力地震力として用いる。

TVF 開発棟の評価フローを図 2-9 に示す。

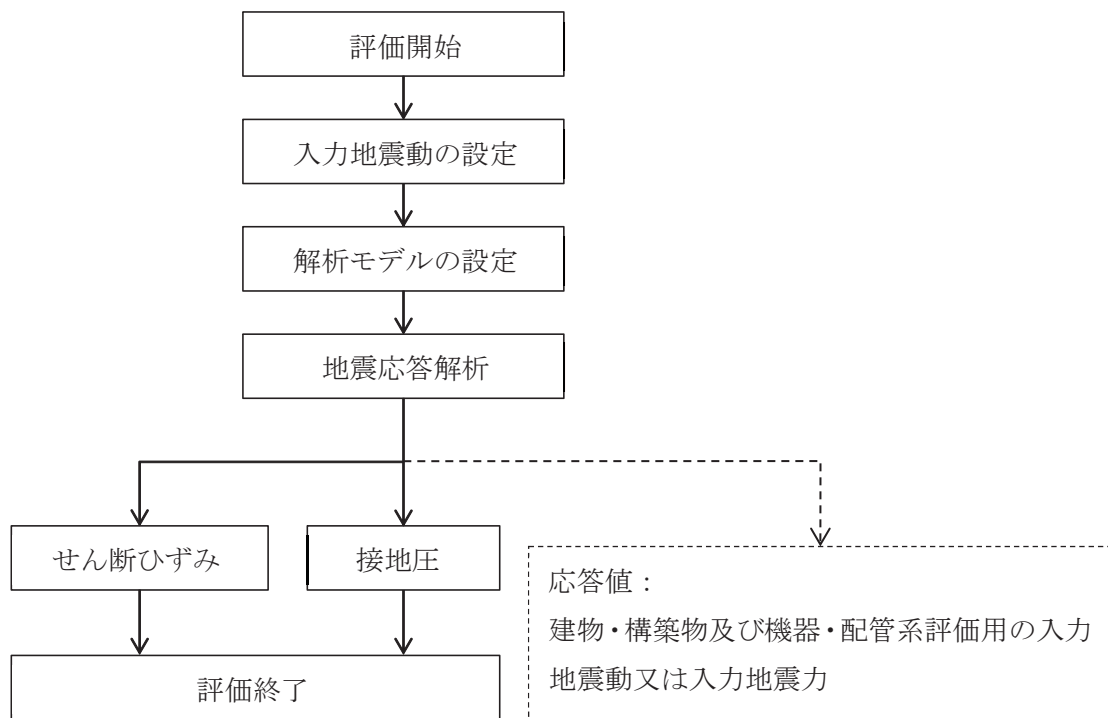


図 2-9 TVF 開発棟の評価フロー

2.4 準拠規格・基準

TVF 開発棟の地震応答解析において、準拠する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601(日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601(日本電気協会)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(日本建築学会)
- ・ 建築基礎構造設計指針(日本建築学会)

2.5 使用材料

地震応答解析に用いるコンクリートの材料定数を表 2-1 に示す。

表 2-1 コンクリートの材料定数

対象	設計基準強度 F_c (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
建家	22.1	2.20×10^4	0.2

3. 入力地震動

3.1 水平方向の入力地震動

水平方向の入力地震動は、廃止措置計画用設計地震動(Ss)を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した建家の基礎底面及び側面地盤ばね位置での応答波とする。

廃止措置計画用設計地震動のうち、NS 及び EW 方向で個別の地震動が定義されている Ss-1 及び Ss-2 については、解放基盤表面への入力前に建家座標系に方位変換する。

算定に用いる地盤モデルは、当該敷地の地層等を考慮して設定された水平成層地盤とし、等価線形化法により地盤の非線形性を考慮する。

水平方向の入力地震動算定の概要を図 3-1 に、地盤の物性値を表 3-1 に、動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を図 3-2 に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「Nshake(株式会社ニュージェック)」である。

廃止措置計画用設計地震動(Ss)による地盤の地震応答解析結果を図 3-3 から図 3-7 に、建家の基礎底面位置における水平方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-8 から図 3-10 に示す。

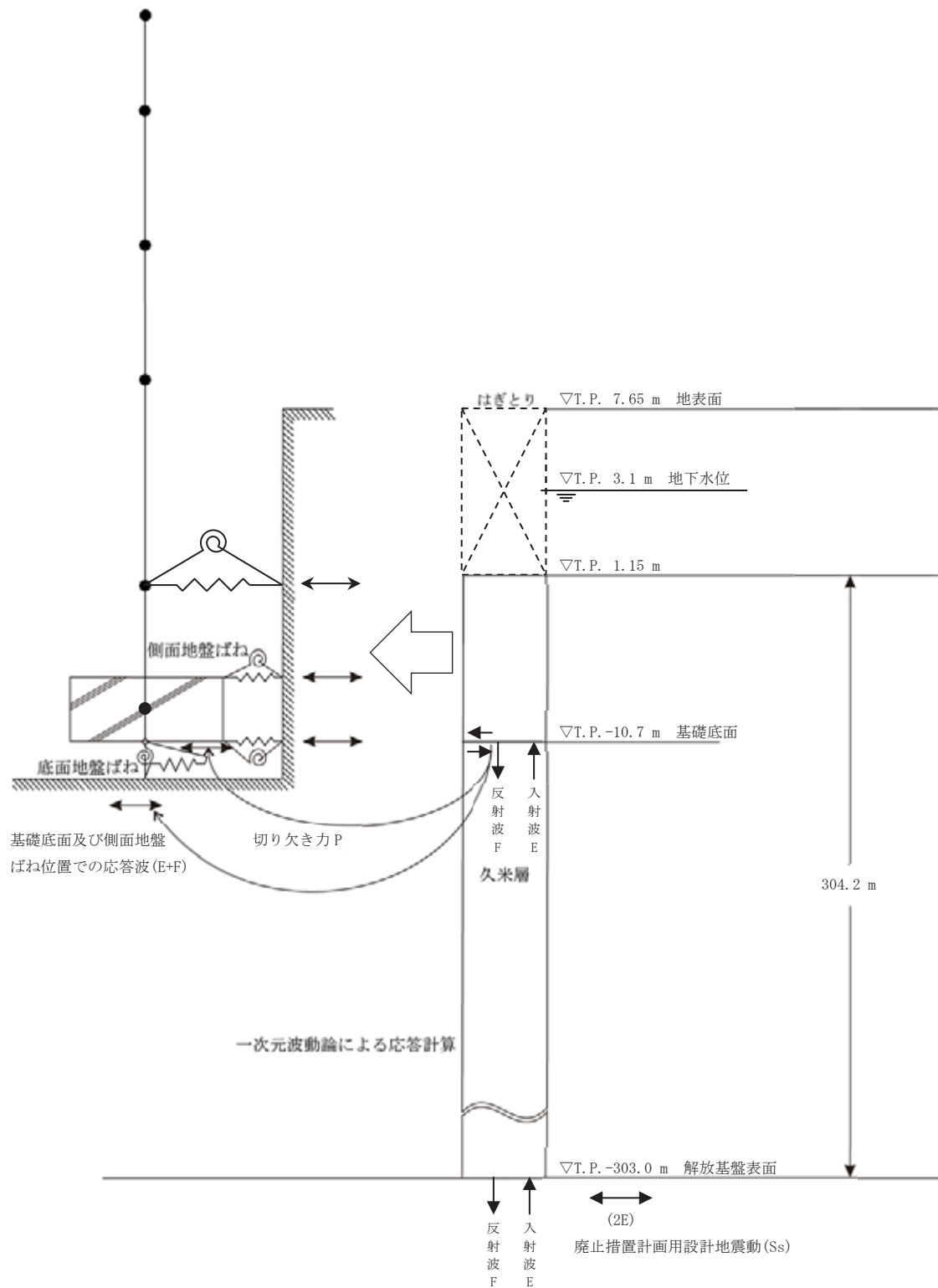
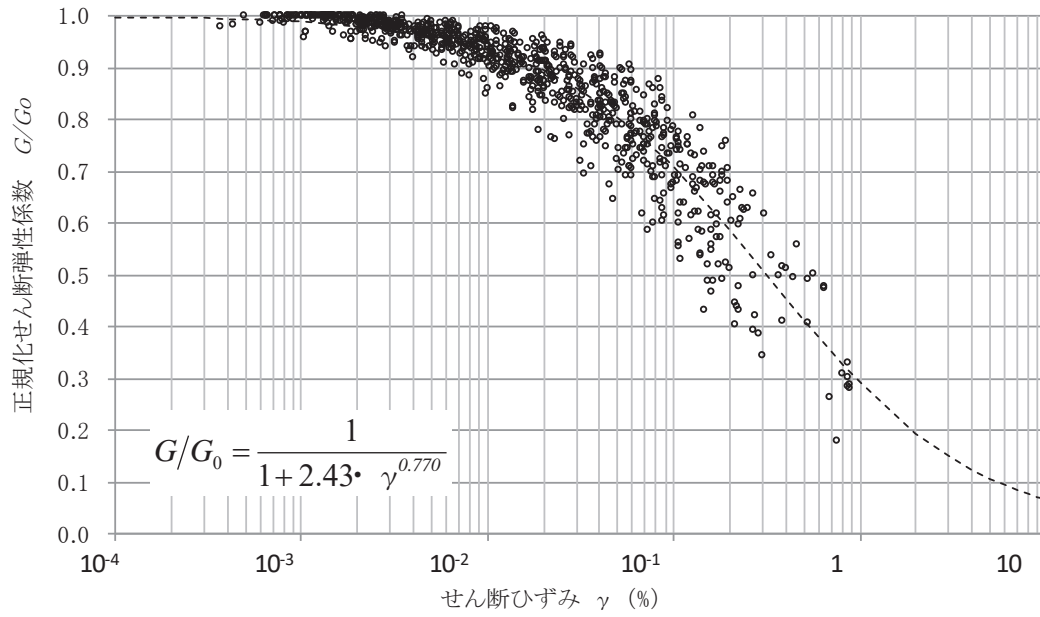


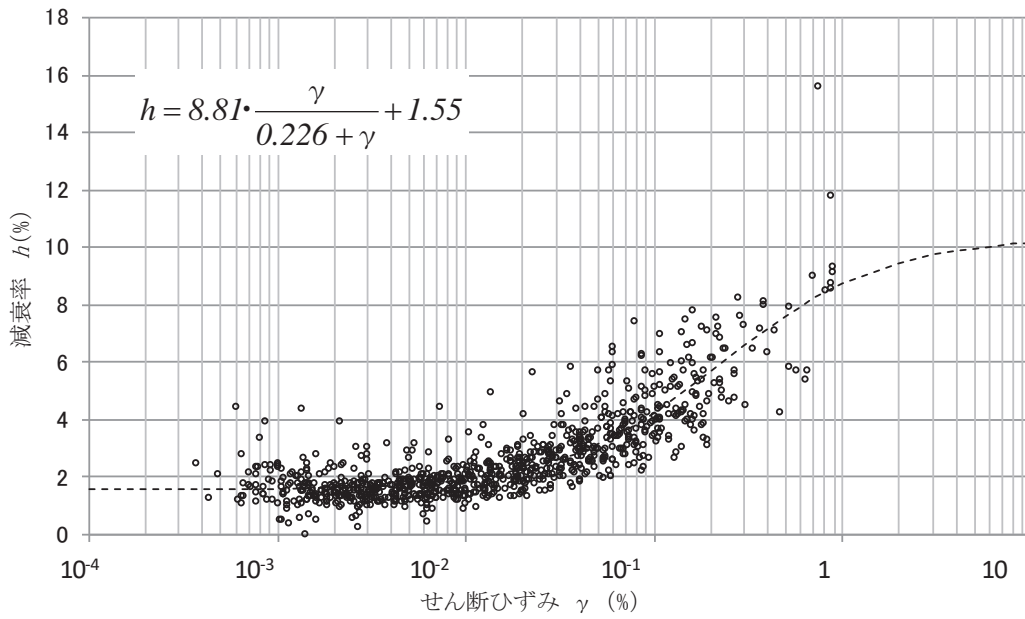
図 3-1 入力地震動算定の概要(水平方向)

表 3-1 地盤の物性値

標高 T. P. (m)	地質名	地層 分類	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	動ポア ソン比 ν_d	動せん断 弾性係数 G ₀ (MN/m ²)
1.15					
-10.0	久米層	Km1	1.77	0.455	427
-62.0		Km2	1.77	0.451	466
-92.0		Km3	1.77	0.447	515
-118.0		Km4	1.77	0.444	549
-169.0		Km5	1.77	0.440	596
-215.0		Km6	1.77	0.436	655
-261.0		Km7	1.77	0.431	711
-303.0		▽解放基盤表面	Km8	1.77	0.426
	解放基盤		1.77	0.417	867



(a) 動せん断弾性係数



(b) 減衰定数

図 3-2 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性(久米層)

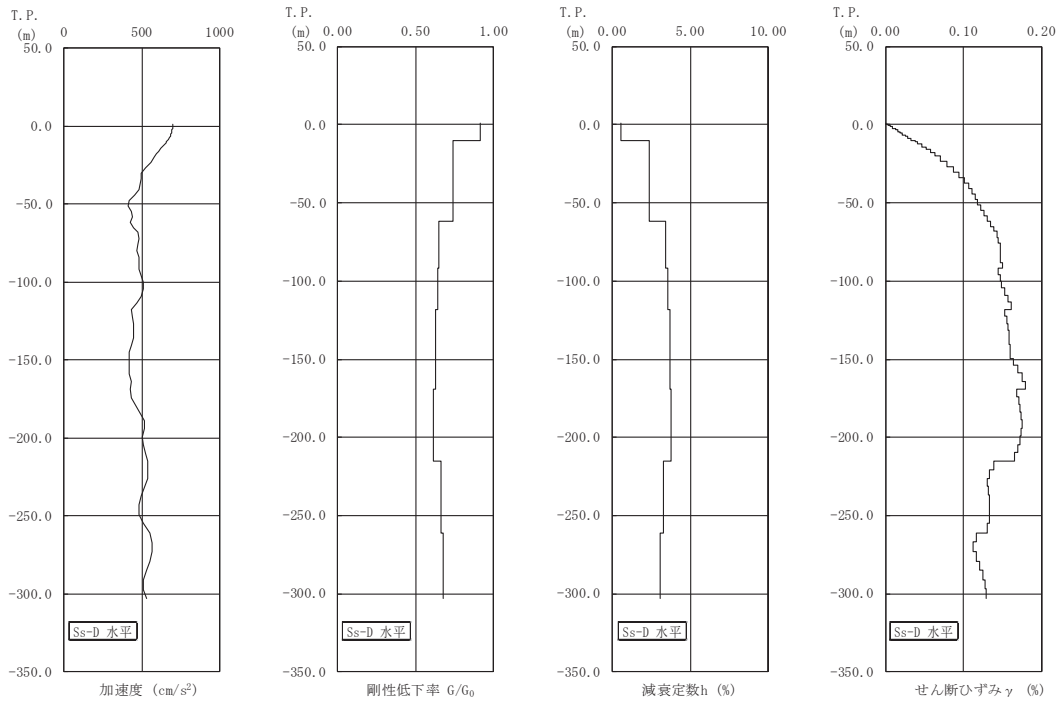


図 3-3 地盤の地震応答解析結果(水平方向, Ss-D)

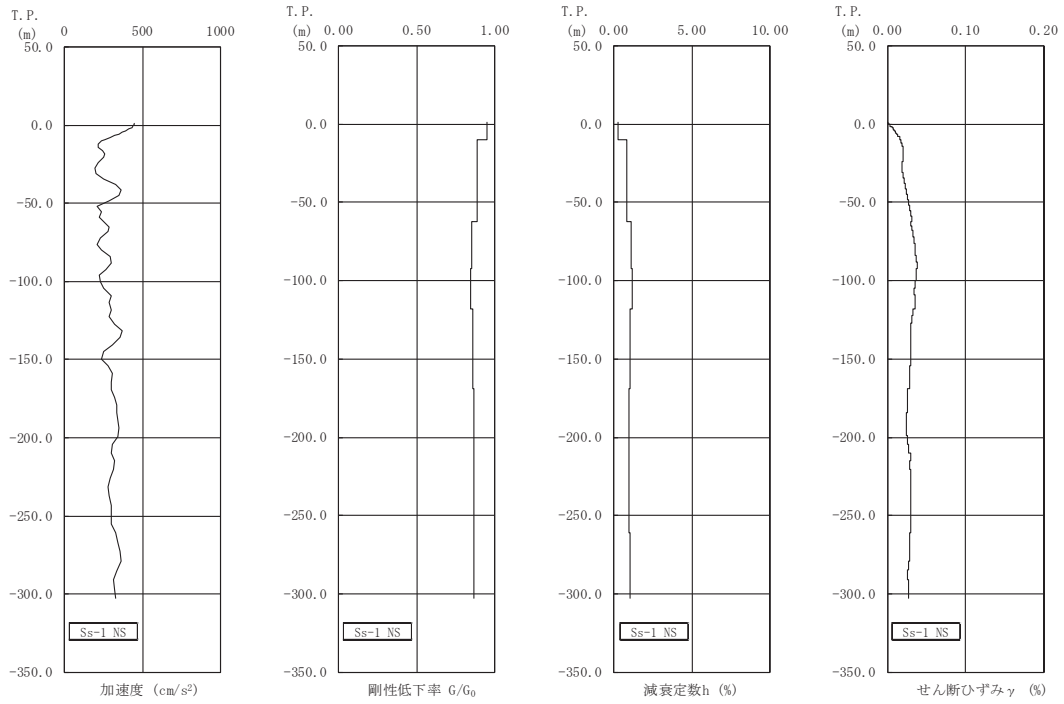


図 3-4 地盤の地震応答解析結果(NS 方向, Ss-1)

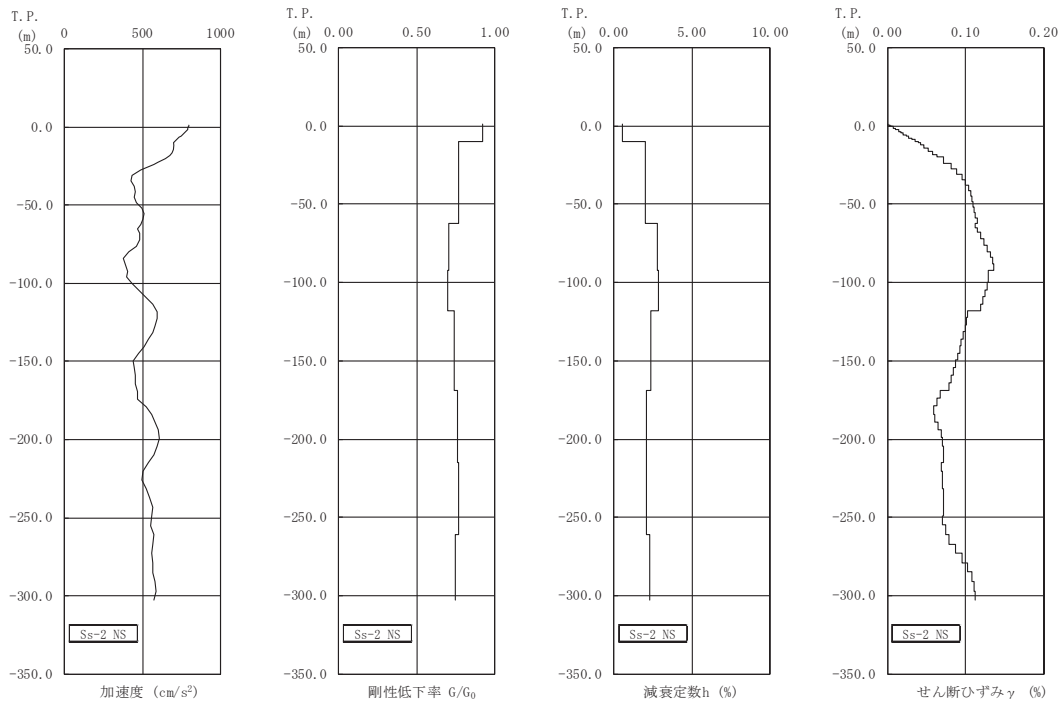


図 3-5 地盤の地震応答解析結果(NS 方向, Ss-2)

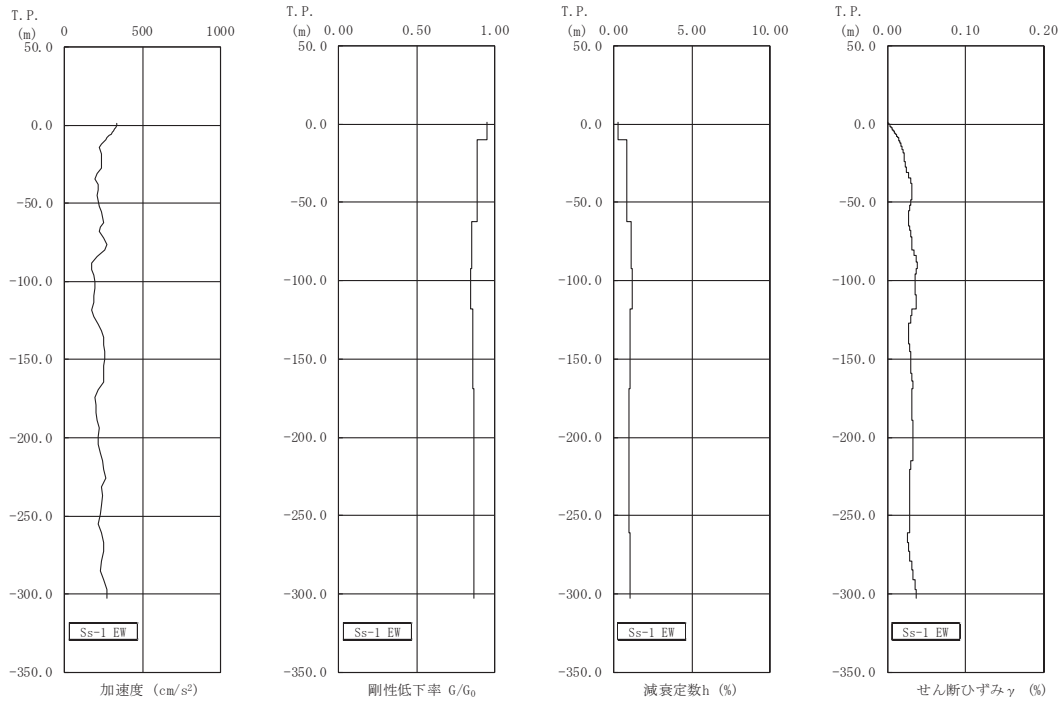


図 3-6 地盤の地震応答解析結果(EW 方向, Ss-1)

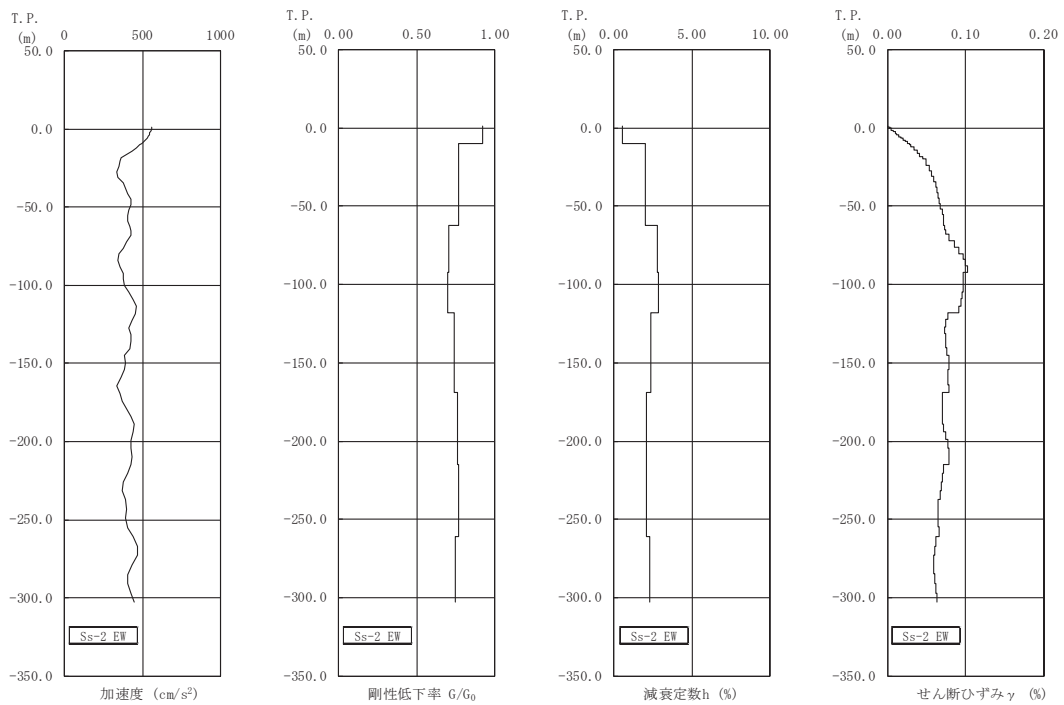


図 3-7 地盤の地震応答解析結果(EW 方向, Ss-2)

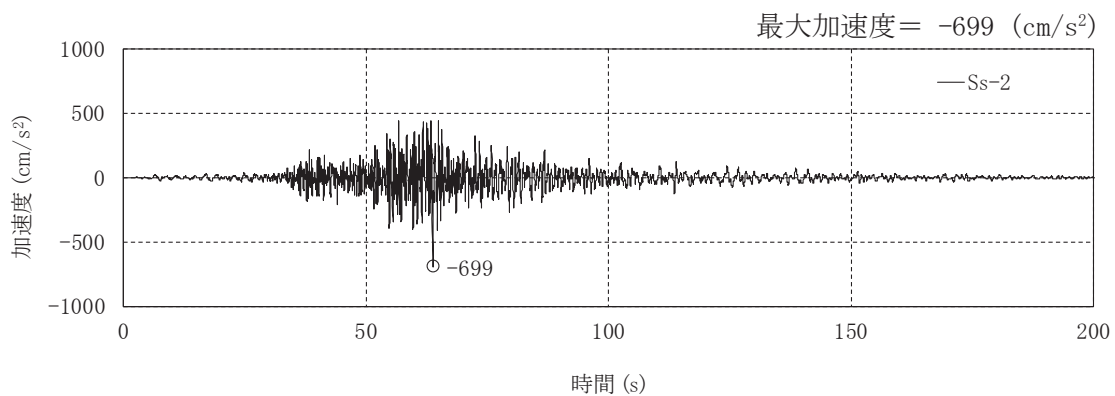
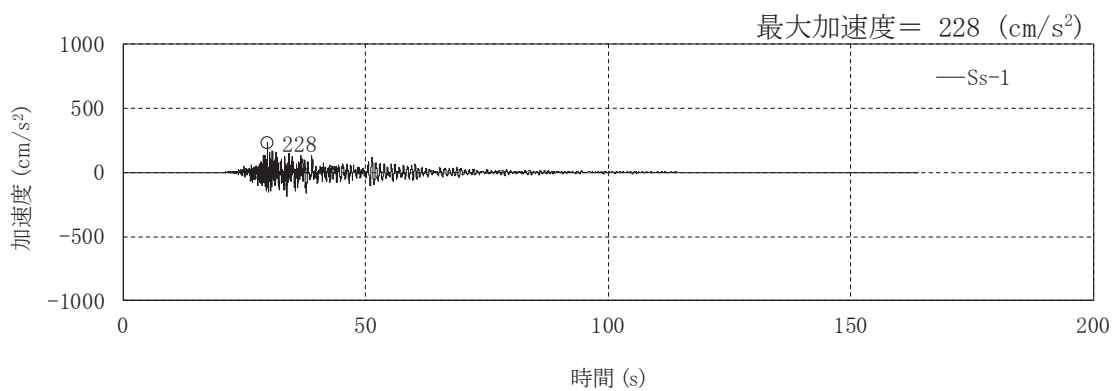
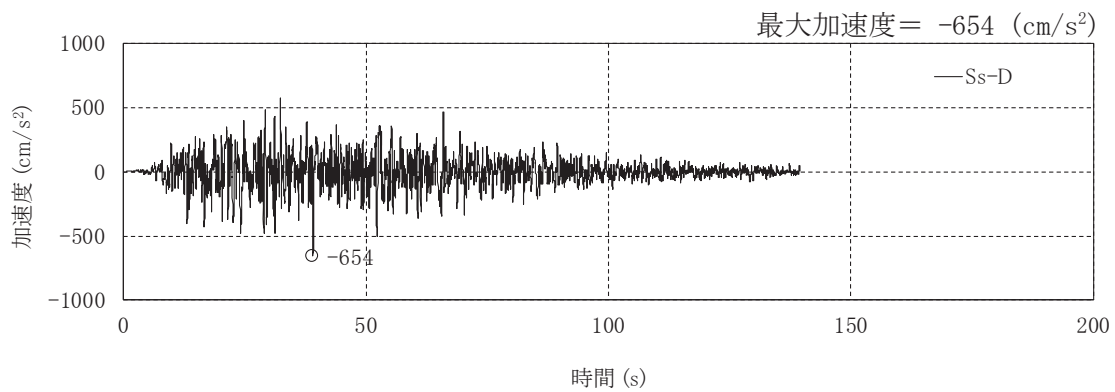


図 3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形(NS 方向, Ss, 基礎底面位置)

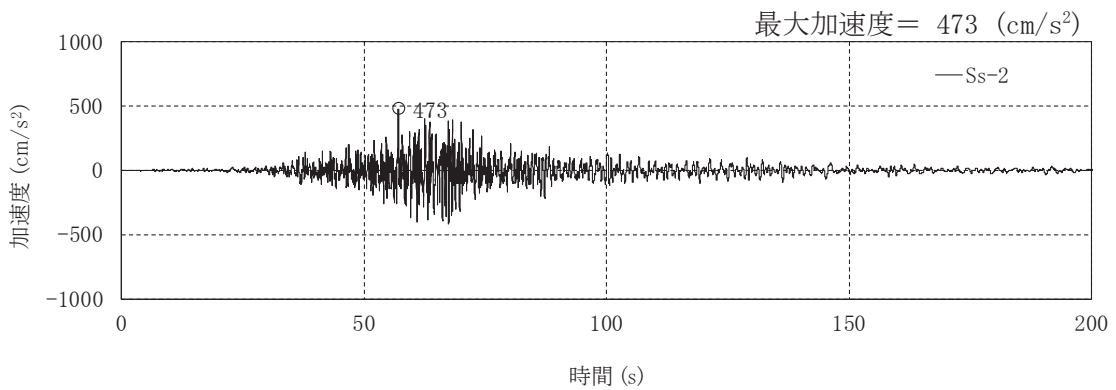
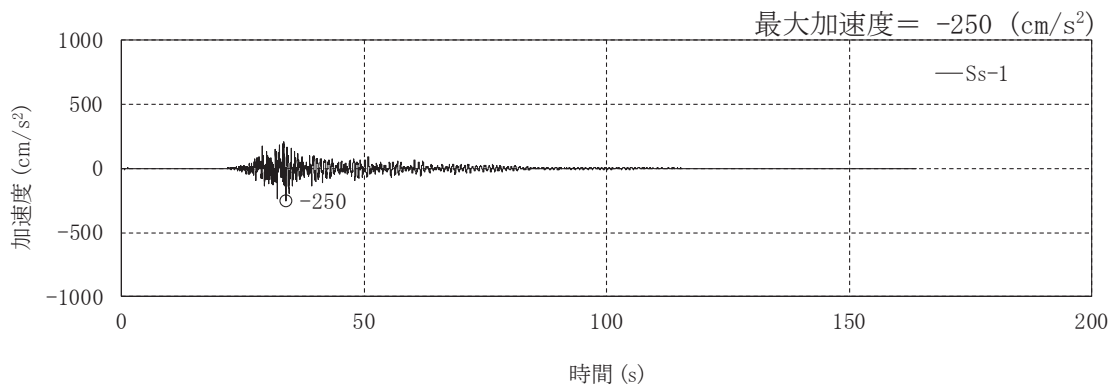
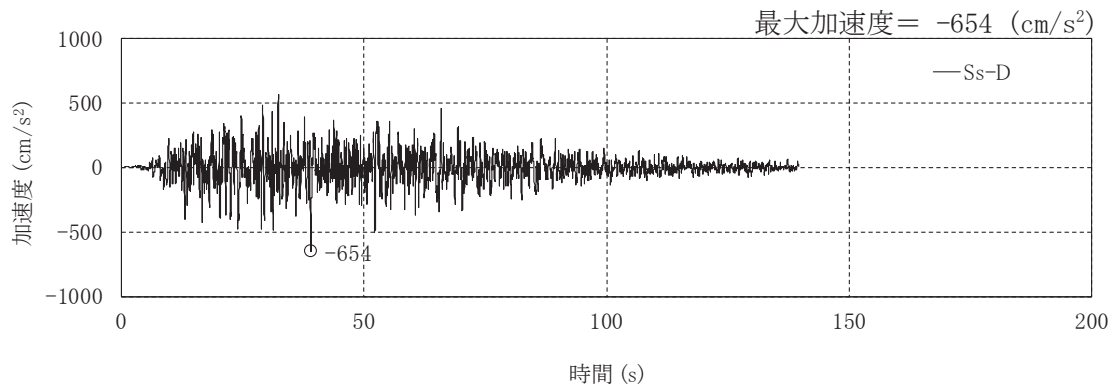
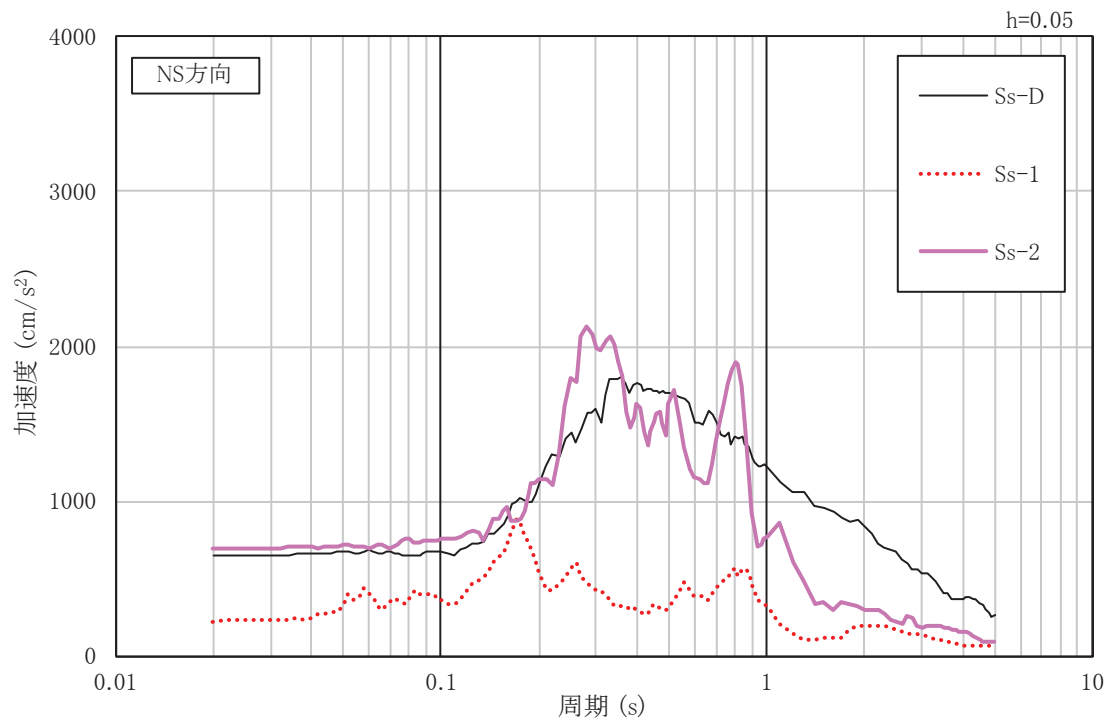
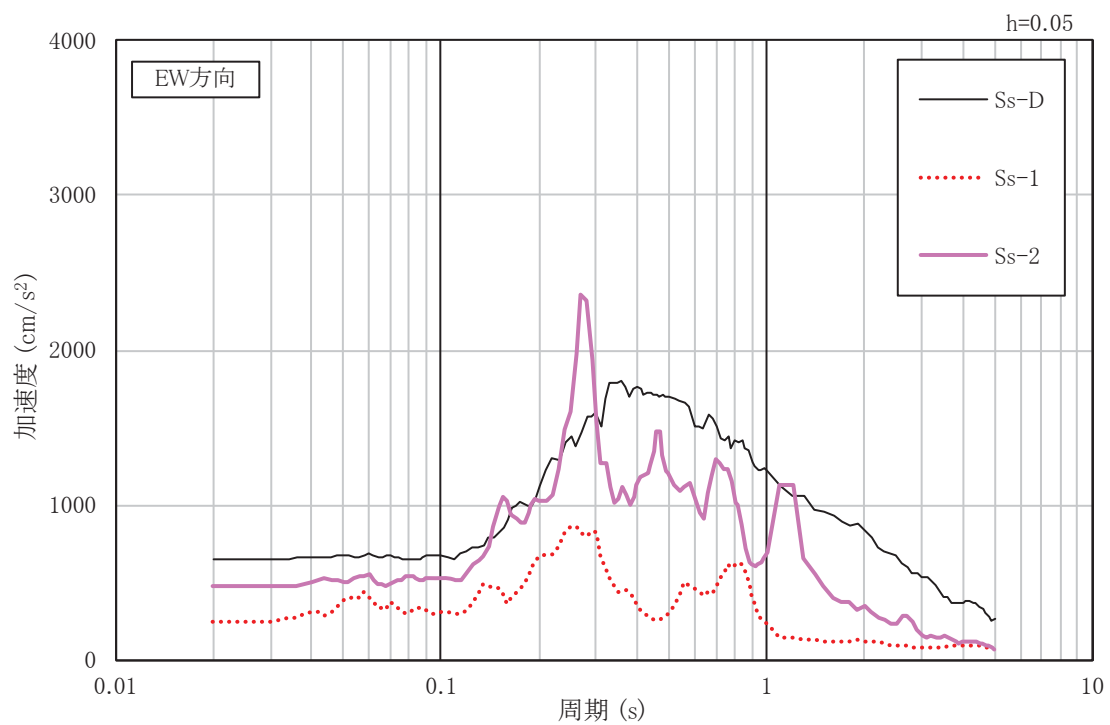


図 3-9 入力地震動の加速度時刻歴波形(EW 方向, Ss, 基礎底面位置)



(a)NS 方向



(b)EW 方向

図 3-10 入力地震動の加速度応答スペクトル(水平方向, Ss, 基礎底面位置)

3.2 鉛直方向の入力地震動

鉛直方向の入力地震動は、廃止措置計画用設計地震動(S_s)を解放基盤表面に入力して一次元波動論により算定した建家の基礎底面位置での応答波とする。

算定に用いる地盤モデルは、水平方向の入力地震動の算定において設定された物性値に基づき、基礎底面位置より上部を剥ぎ取った地盤モデルとする。

鉛直方向の入力地震動算定の概要を図 3-11 に示す。入力地震動の算定に使用する解析コードは「Nshake(株式会社ニュージェック)」である。

廃止措置計画用設計地震動(S_s)による地盤の地震応答解析結果を図 3-12 に、建家の基礎底面位置における鉛直方向の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 3-13 及び図 3-14 に示す。

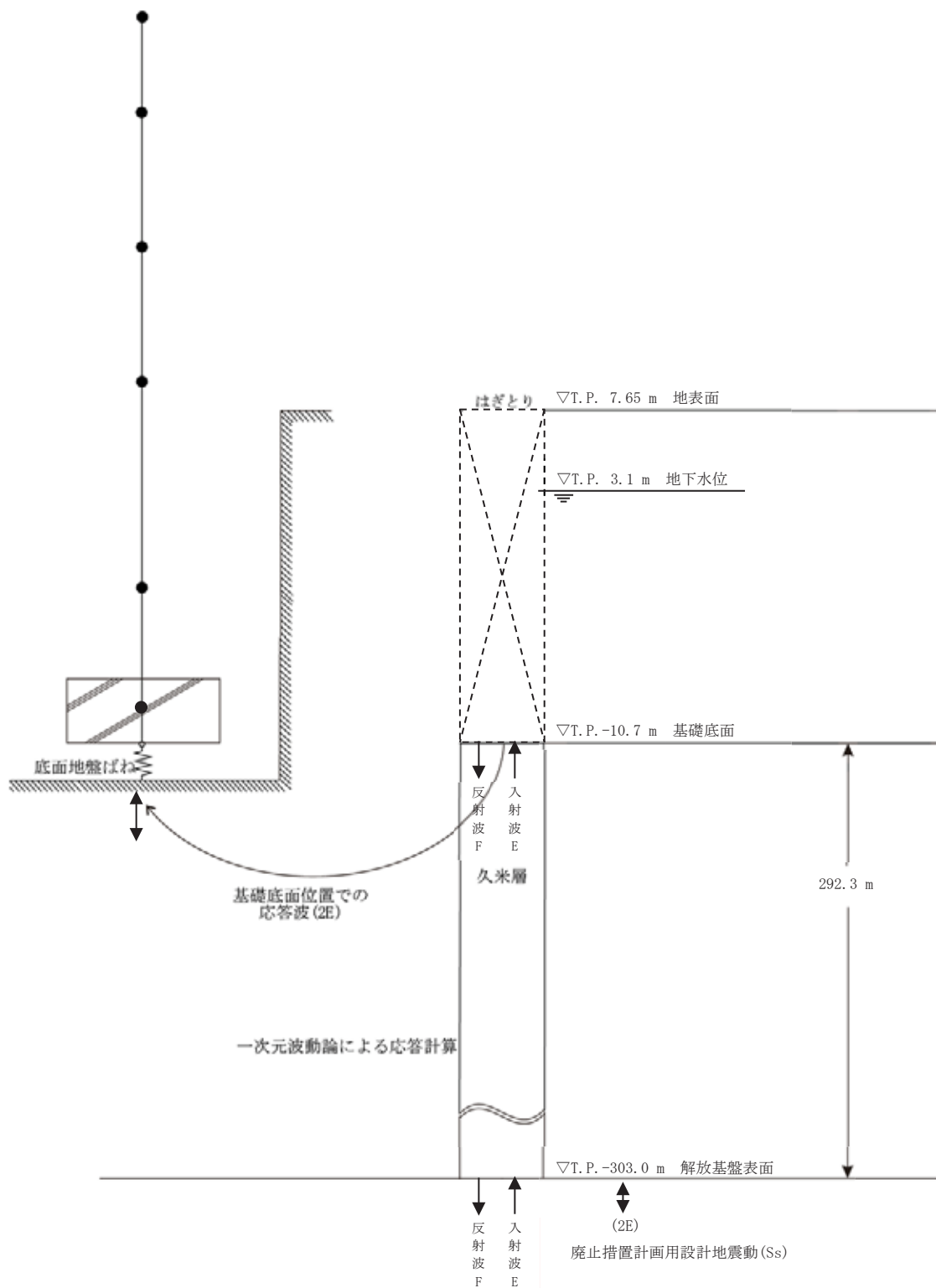
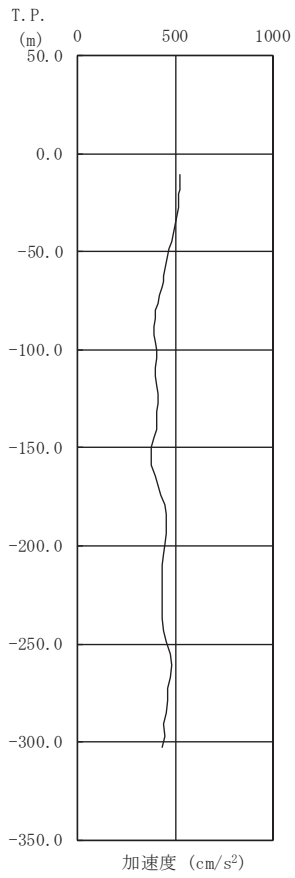
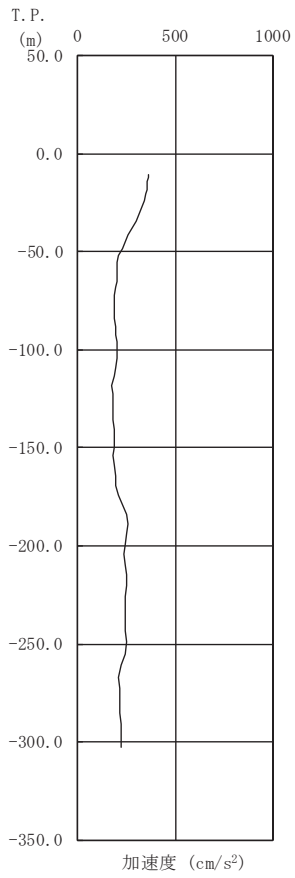


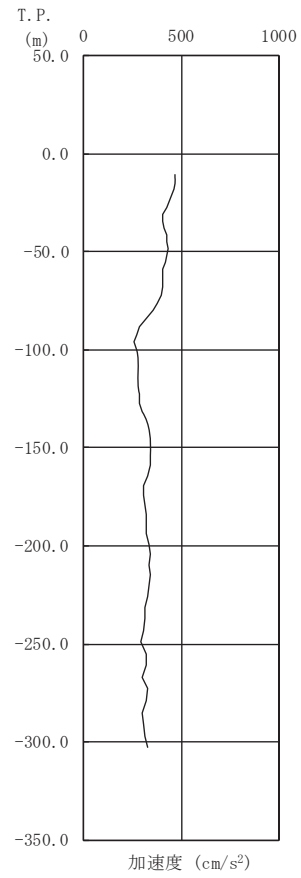
図 3-11 入力地震動算定の概要(鉛直方向)



(a) Ss-D



(b) Ss-1



(c) Ss-2

図 3-12 地盤の地震応答解析結果(鉛直方向, Ss)

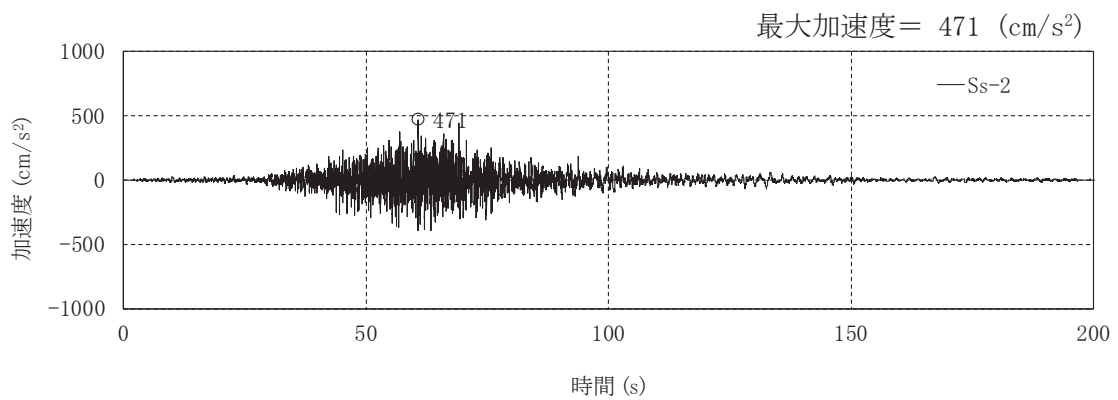
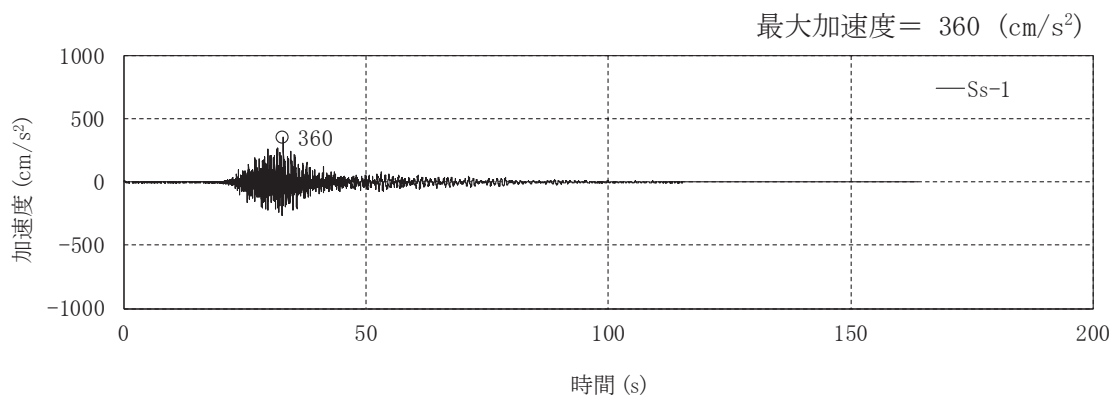
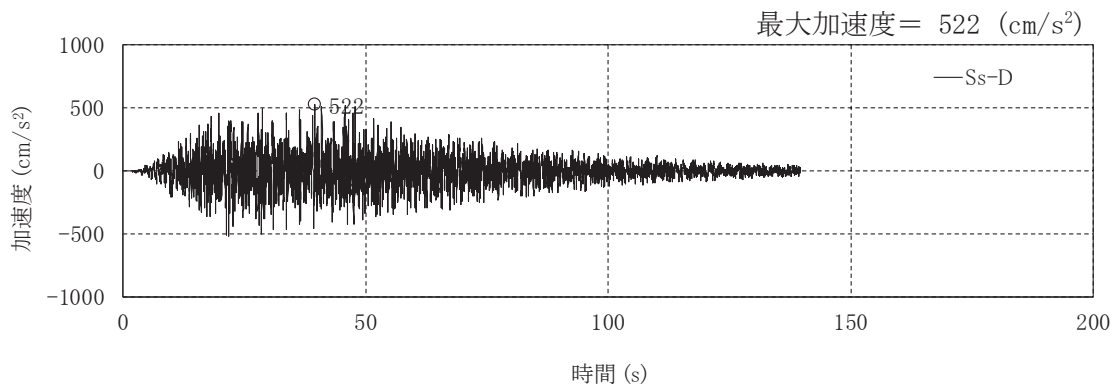


図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形(鉛直方向, Ss, 基礎底面位置)

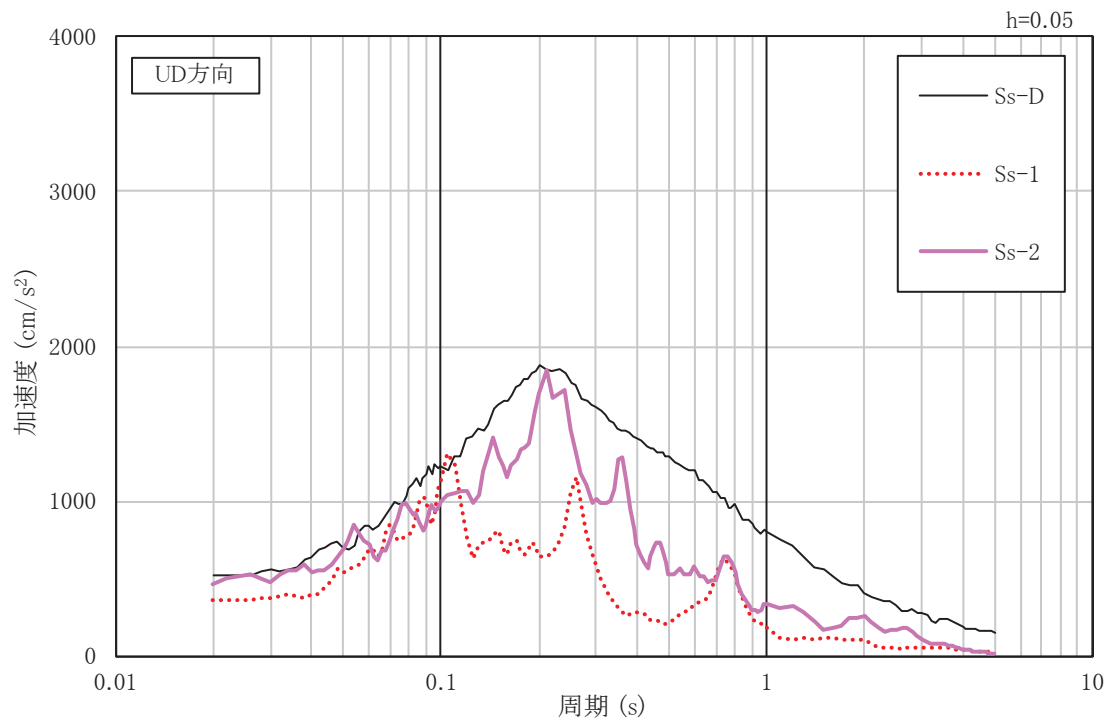


図 3-14 入力地震動の加速度応答スペクトル(鉛直方向, Ss, 基礎底面位置)

4. 解析モデル

4.1 水平方向の解析モデル

水平方向の解析モデルは、建家と地盤の相互作用を考慮した曲げせん断型の多質点系モデルとする。

水平方向の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの諸元を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

耐震壁のせん断の復元力特性は、図 4-2 に示すトリリニア型のスケルトンカーブとし、履歴特性は最大点指向型とする。曲げの復元力特性は、図 4-3 に示すトリリニア型のスケルトンカーブとし、履歴特性はディグレイディングトリリニア型とする。せん断及び曲げのスケルトンカーブを表 4-3 から表 4-6 に示す。

基礎下の底面地盤ばねは、JEAG4601-1991 追補版に基づき、振動アドミッタンス理論により算定する。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「Nbsp1(株式会社ニュージェック)」である。また、埋め込み部分の側面地盤ばねは、Novak の方法により算定する。側面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「Nnovak1(株式会社ニュージェック)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数を表 4-7 及び表 4-8 に、地盤ばね定数及び減衰係数と理論解との関係を図 4-4 に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え、各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算定する。建家の減衰定数は 3 % (鉄筋コンクリート部分) とする。

建家の地震応答解析に使用する解析コードは「TDAP III(株式会社アーク情報システム)」である。

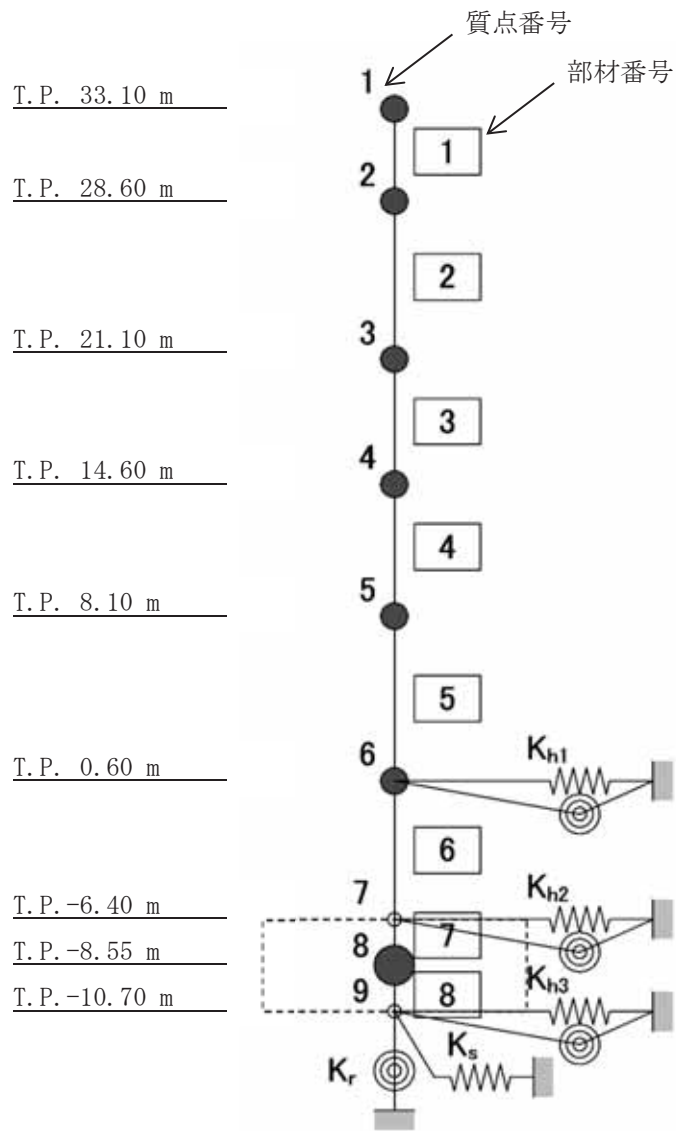


図 4-1 解析モデル(水平方向)

表 4-1 解析モデルの諸元(NS 方向)

質点 番号	高さ T.P.(m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ($\times 10^2$ kN \cdot m 2)	部材 番号	せん断 断面積 (m 2)	断面二次 モーメント (m 4)
1	33.10	6155	742	-	-	-
2	28.60	52990	99047	1	13.7	311
3	21.10	86842	158868	2	61.2	15850
4	14.60	117328	196133	3	125.0	28330
5	8.10	182339	309890	4	213.0	42910
6	0.60	175896	375595	5	372.5	84930
7	-6.40	-	-	6	363.5	94430
8	-8.55	288896	601148	7	-	-
9	-10.70	-	-	8	-	-
				-	-	-

表 4-2 解析モデルの諸元(EW 方向)

質点 番号	高さ T.P.(m)	重量 (kN)	回転慣性 重量 ($\times 10^2$ kN \cdot m 2)	部材 番号	せん断 断面積 (m 2)	断面二次 モーメント (m 4)
1	33.10	6155	4082	-	-	-
2	28.60	52990	183384	1	11.4	275
3	21.10	86842	304987	2	47.3	29820
4	14.60	117328	396189	3	79.0	62810
5	8.10	182339	556037	4	179.2	91300
6	0.60	175896	695291	5	320.2	164940
7	-6.40	-	-	6	373.9	181350
8	-8.55	288896	1068925	7	-	-
9	-10.70	-	-	8	-	-
				-	-	-

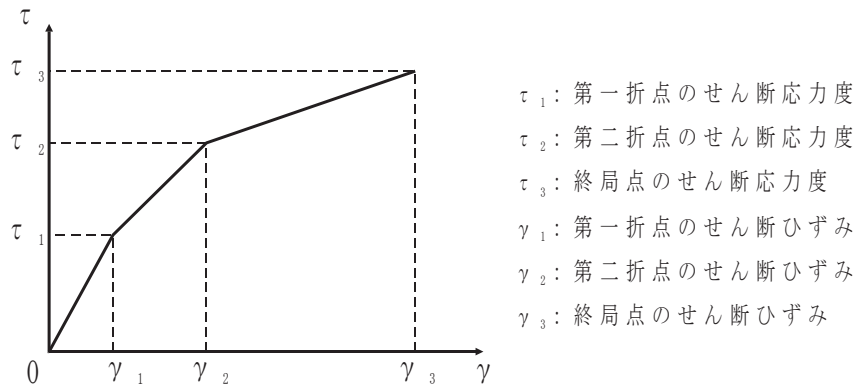


図 4-2 せん断のスケルトンカーブ (τ - γ 関係)

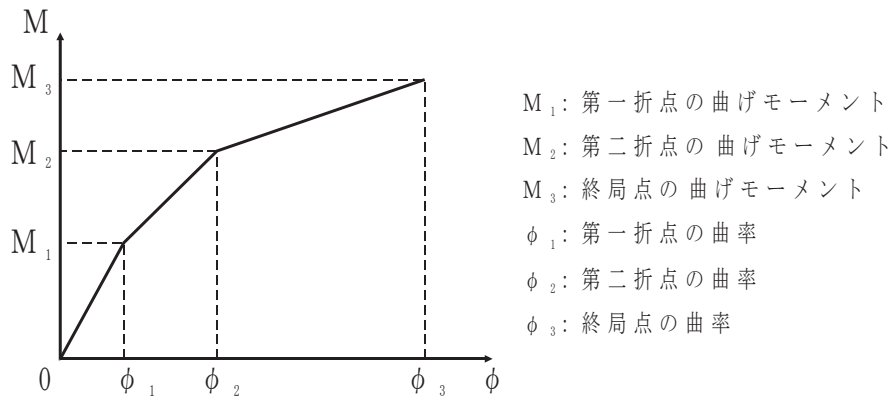


図 4-3 曲げのスケルトンカーブ (M - ϕ 関係)

表 4-3 せん断のスケルトンカーブ (τ - γ 関係, NS 方向)

部材 番号	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
1	1.57	0.171	2.12	0.513	4.67	4.00
2	1.73	0.188	2.34	0.565	4.06	4.00
3	1.83	0.200	2.47	0.599	3.88	4.00
4	1.87	0.204	2.53	0.612	4.25	4.00
5	1.90	0.207	2.57	0.621	4.50	4.00
6	2.07	0.225	2.79	0.676	4.64	4.00

表 4-4 曲げのスケルトンカーブ (M- ϕ 関係, NS 方向)

部材 番号	M ₁ ($\times 10^5$ kN \cdot m)	ϕ_1 ($\times 10^{-5}$ 1/m)	M ₂ ($\times 10^5$ kN \cdot m)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}$ 1/m)	M ₃ ($\times 10^5$ kN \cdot m)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}$ 1/m)
1	0.898	1.31	4.66	17.5	6.21	37.0
2	16.0	0.458	36.5	5.10	51.2	102
3	31.9	0.512	69.0	5.25	96.1	90.3
4	50.4	0.534	132	5.40	186	90.7
5	102	0.546	267	5.48	373	98.4
6	128	0.616	319	5.59	428	102

表 4-5 せん断のスケルトンカーブ (τ - γ 関係, EW 方向)

部材 番号	τ_1 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	τ_2 (N/mm ²)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	τ_3 (N/mm ²)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
1	1.57	0.171	2.12	0.513	4.89	4.00
2	1.61	0.175	2.17	0.526	4.40	4.00
3	1.76	0.192	2.38	0.576	4.43	4.00
4	1.79	0.195	2.42	0.586	4.41	4.00
5	1.83	0.200	2.47	0.599	4.81	4.00
6	1.96	0.214	2.65	0.641	5.38	4.00

表 4-6 曲げのスケルトンカーブ (M- ϕ 関係, EW 方向)

部材 番号	M ₁ ($\times 10^5$ kN \cdot m)	ϕ_1 ($\times 10^{-5}$ 1/m)	M ₂ ($\times 10^5$ kN \cdot m)	ϕ_2 ($\times 10^{-5}$ 1/m)	M ₃ ($\times 10^5$ kN \cdot m)	ϕ_3 ($\times 10^{-5}$ 1/m)
1	0.780	1.29	3.87	16.2	5.45	30.8
2	20.0	0.305	33.9	3.70	47.1	72.2
3	47.7	0.345	64.9	3.76	87.0	70.0
4	73.2	0.364	145	3.87	202	77.2
5	136	0.375	326	3.95	449	78.8
6	169	0.424	409	4.09	561	70.5

表 4-7 地盤ばね定数及び減衰係数 (NS 方向, Ss)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
Ss-D	側面	水平	Kh1	6.998×10^6	1.175×10^6
			Kh2	9.762×10^6	1.639×10^6
			Kh3	3.626×10^6	6.149×10^5
		回転	Kh1	4.269×10^9	2.260×10^8
			Kh2	5.955×10^9	3.153×10^8
			Kh3	2.213×10^9	1.189×10^8
	底面	水平	Ks	5.929×10^7	2.270×10^6
		回転	Kr	3.725×10^{10}	3.857×10^8
	Ss-1	側面	水平	Kh1	7.184×10^6
Kh2				1.002×10^7	1.664×10^6
Kh3				3.854×10^6	6.344×10^5
回転			Kh1	4.383×10^9	2.307×10^8
			Kh2	6.115×10^9	3.219×10^8
			Kh3	2.353×10^9	1.230×10^8
底面		水平	Ks	6.883×10^7	2.442×10^6
		回転	Kr	4.318×10^{10}	4.054×10^8
Ss-2		側面	水平	Kh1	7.018×10^6
	Kh2			9.791×10^6	1.642×10^6
	Kh3			3.670×10^6	6.188×10^5
	回転		Kh1	4.282×10^9	2.269×10^8
			Kh2	5.973×10^9	3.165×10^8
			Kh3	2.240×10^9	1.198×10^8
	底面	水平	Ks	6.174×10^7	2.315×10^6
		回転	Kr	3.868×10^{10}	3.906×10^8

表 4-8 地盤ばね定数及び減衰係数(EW 方向, Ss)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (水平 : kN/m) (回転 : kN・m/rad)	減衰係数 C (水平 : kN・s/m) (回転 : kN・m・s/rad)
	位置	成分	記号		
Ss-D	側面	水平	Kh1	6.998×10^6	1.177×10^6
			Kh2	9.762×10^6	1.641×10^6
			Kh3	3.626×10^6	6.157×10^5
		回転	Kh1	4.269×10^9	2.275×10^8
			Kh2	5.955×10^9	3.174×10^8
			Kh3	2.213×10^9	1.197×10^8
	底面	水平	Ks	5.712×10^7	2.098×10^6
		回転	Kr	5.786×10^{10}	8.143×10^8
Ss-1	側面	水平	Kh1	7.184×10^6	1.194×10^6
			Kh2	1.002×10^7	1.666×10^6
			Kh3	3.854×10^6	6.354×10^5
		回転	Kh1	4.383×10^9	2.323×10^8
			Kh2	6.115×10^9	3.241×10^8
			Kh3	2.353×10^9	1.239×10^8
	底面	水平	Ks	6.632×10^7	2.256×10^6
		回転	Kr	6.706×10^{10}	8.595×10^8
Ss-2	側面	水平	Kh1	7.018×10^6	1.179×10^6
			Kh2	9.791×10^6	1.645×10^6
			Kh3	3.670×10^6	6.197×10^5
		回転	Kh1	4.282×10^9	2.284×10^8
			Kh2	5.973×10^9	3.186×10^8
			Kh3	2.240×10^9	1.206×10^8
	底面	水平	Ks	5.948×10^7	2.140×10^6
		回転	Kr	6.007×10^{10}	8.256×10^8

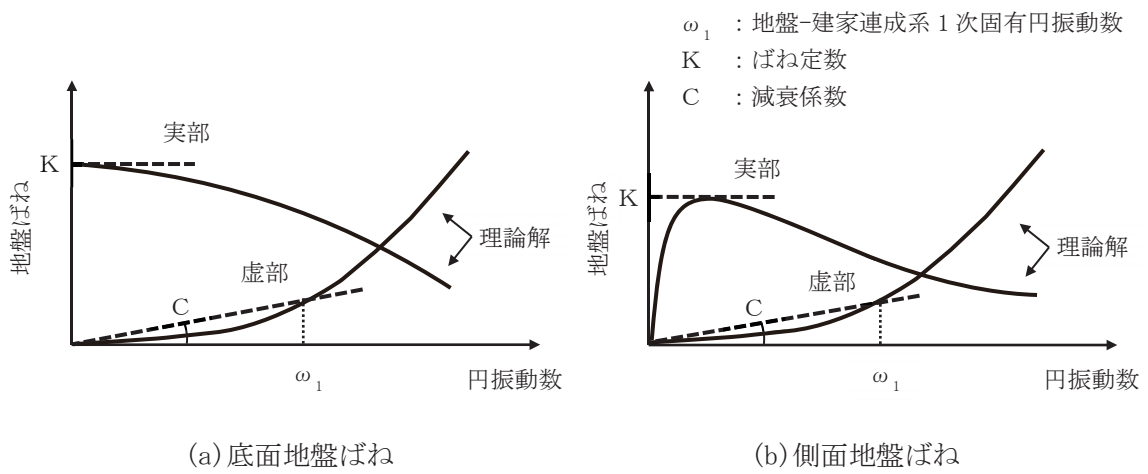


図 4-4 地盤ばね定数及び減衰係数と理論解との関係

4.2 鉛直方向の解析モデル

鉛直方向の解析モデルは、建家と地盤の相互作用を考慮した多質点系モデルとする。建家部分は質点を鉛直方向のばねで連結しモデル化する。

なお、建家の埋め込み部分は考慮しないモデルとする。

鉛直方向の解析モデルを図 4-5 に、解析モデルの諸元を表 4-9 に示す。

基礎下の底面地盤ばねは、JEAG4601-1991 追補版に基づき、振動アドミッタンス理論により算定する。底面地盤ばねの評価に使用する解析コードは「Nbsp1(株式会社ニュージエック)」である。

地盤ばね定数及び減衰係数を表 4-10 に示す。

建家の減衰はモード減衰として与え、各次のモード減衰定数は建家各部のひずみエネルギーに比例した値として算出する。建家の減衰定数は 3 % (鉄筋コンクリート部分) とする。

建家の地震応答解析に使用する解析コードは「TDAP III (株式会社アーク情報システム)」である。

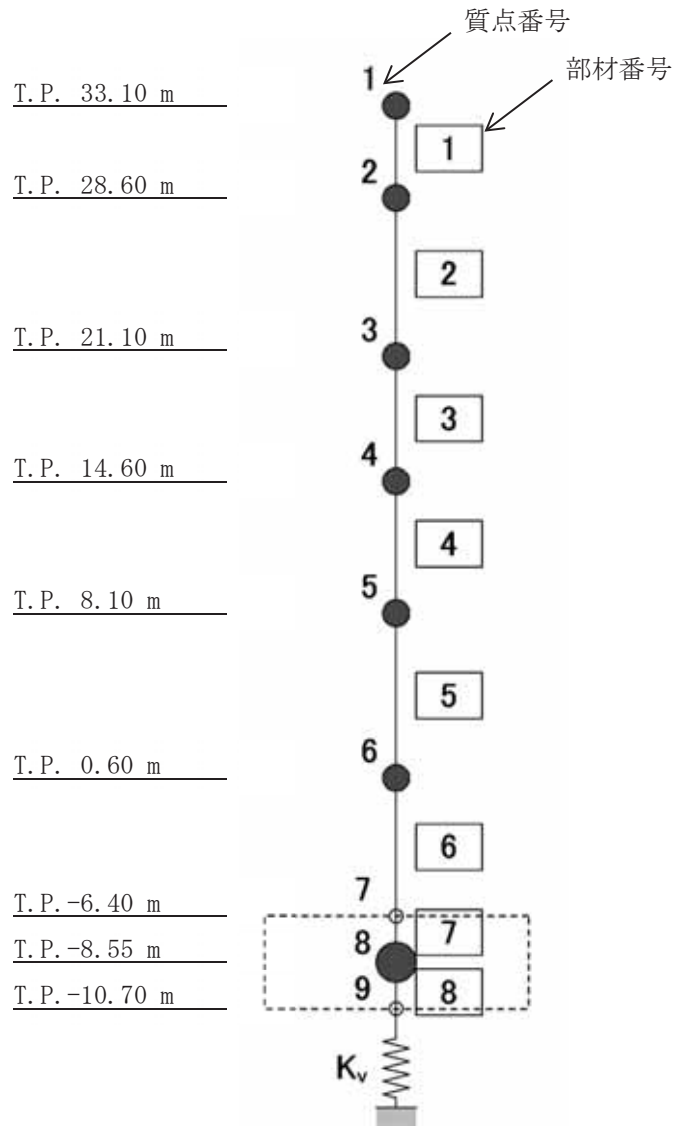


図 4-5 解析モデル(鉛直方向)

表 4-9 解析モデルの諸元(鉛直方向)

質点 番号	高さ T.P.(m)	重量 (kN)	部材 番号	軸断面積 (m ²)
1	33.10	6155	-	-
2	28.60	52990	1	26.2
3	21.10	86842	2	139.9
4	14.60	117328	3	207.7
5	8.10	182339	4	361.7
6	0.60	175896	5	600.9
7	-6.40	-	6	622.2
8	-8.55	288896	7	-
9	-10.70	-	8	-
			-	-

表 4-10 地盤ばね定数及び減衰係数(鉛直方向, S_s)

地震動	地盤ばね			ばね定数 K (kN/m)	減衰係数 C (kN・s/m)
	位置	成分	記号		
S _s -D	底面	鉛直	K _v	8.692×10^7	4.798×10^6
S _s -1	底面	鉛直	K _v	1.023×10^8	5.203×10^6
S _s -2	底面	鉛直	K _v	9.156×10^7	4.923×10^6

5. 解析結果

5.1 固有値解析結果

解析モデルの固有値解析結果を表 5-1 から表 5-3 に示す。刺激関数を S_s-D の結果を代表として、図 5-1 から図 5-6 に示す。

表 5-1 固有値解析結果(Ss-D)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.284	3.52	1.582	全体1次
	2	0.138	7.26	-0.661	
	3	0.066	15.05	0.039	
	4	0.053	18.70	0.073	
	5	0.040	24.93	0.000	
	6	0.036	27.87	-0.056	
	7	0.029	33.96	0.033	
EW	1	0.276	3.63	1.524	全体1次
	2	0.145	6.91	-0.507	
	3	0.081	12.40	-0.112	
	4	0.055	18.07	0.154	
	5	0.043	23.36	-0.008	
	6	0.040	24.78	-0.089	
	7	0.037	27.26	0.030	
UD	1	0.210	4.77	1.070	全体1次
	2	0.040	24.78	-0.095	
	3	0.023	42.69	0.036	
	4	0.017	59.13	-0.016	
	5	0.013	74.83	0.011	
	6	0.013	79.69	-0.006	
	7	0.011	90.16	-0.002	

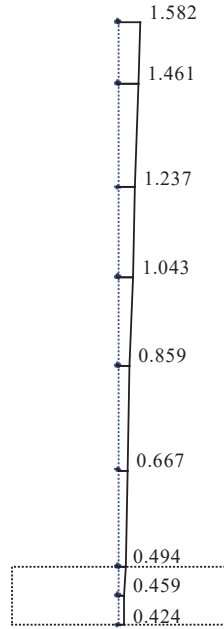
表 5-2 固有値解析結果(Ss-1)

方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.271	3.69	1.598	全体1次
	2	0.131	7.65	-0.696	
	3	0.066	15.21	0.053	
	4	0.053	18.75	0.083	
	5	0.040	25.03	-0.003	
	6	0.036	27.92	-0.064	
	7	0.029	33.96	0.039	
EW	1	0.263	3.81	1.545	全体1次
	2	0.137	7.30	-0.540	
	3	0.080	12.51	-0.113	
	4	0.055	18.12	0.176	
	5	0.043	23.44	-0.012	
	6	0.040	24.82	-0.100	
	7	0.037	27.28	0.035	
UD	1	0.194	5.15	1.082	全体1次
	2	0.040	24.84	-0.111	
	3	0.023	42.72	0.042	
	4	0.017	59.14	-0.019	
	5	0.013	74.84	0.013	
	6	0.013	79.69	-0.008	
	7	0.011	90.17	-0.002	

表 5-3 固有値解析結果(Ss-2)

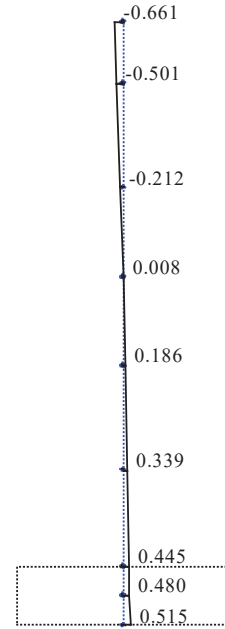
方向	次数	固有周期 (s)	振動数 (Hz)	刺激係数	備考
NS	1	0.280	3.57	1.586	全体1次
	2	0.205	4.89	1.073	UD方向1次
	3	0.136	7.36	-0.670	
	4	0.066	15.08	0.042	
	5	0.053	18.71	0.075	
	6	0.040	24.80	-0.100	
	7	0.040	24.96	-0.001	
EW	1	0.272	3.67	1.529	全体1次
	2	0.143	7.01	-0.515	
	3	0.080	12.43	-0.112	
	4	0.055	18.08	0.159	
	5	0.043	23.38	-0.009	
	6	0.040	24.79	-0.092	
	7	0.037	27.26	0.032	
UD	1	0.205	4.89	1.073	全体1次
	2	0.040	24.80	-0.100	
	3	0.023	42.70	0.038	
	4	0.017	59.13	-0.017	
	5	0.013	74.83	0.012	
	6	0.013	79.69	-0.007	
	7	0.011	90.17	-0.002	

Mode - 1
 $T(s) = 0.284$
 $f(\text{Hz}) = 3.525$
 $\beta h = 1.582$



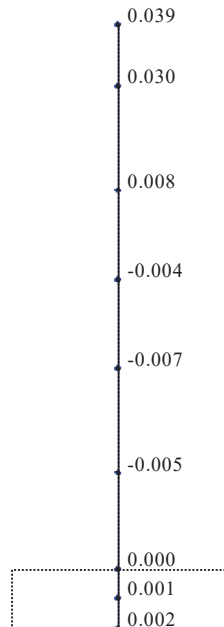
(1 次)

Mode - 2
 $T(s) = 0.138$
 $f(\text{Hz}) = 7.265$
 $\beta h = -0.661$



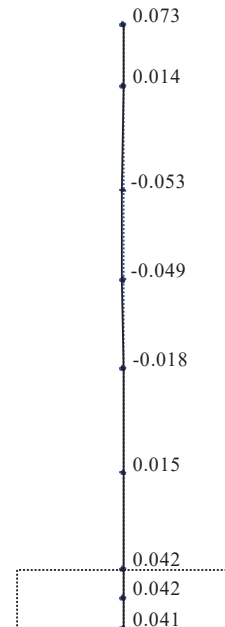
(2 次)

Mode - 3
 $T(s) = 0.066$
 $f(\text{Hz}) = 15.046$
 $\beta h = 0.039$



(3 次)

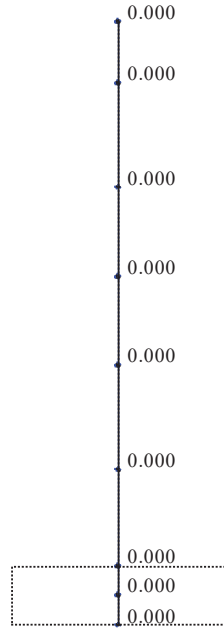
Mode - 4
 $T(s) = 0.053$
 $f(\text{Hz}) = 18.699$
 $\beta h = 0.073$



(4 次)

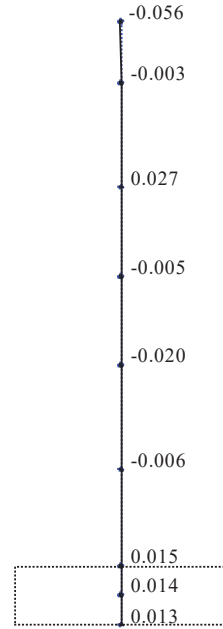
図 5-1 刺激関数(NS 方向, Ss-D, 1~4 次)

Mode - 5
 T (s) = 0.040
 f (Hz) = 24.933
 $\beta h = 0.000$



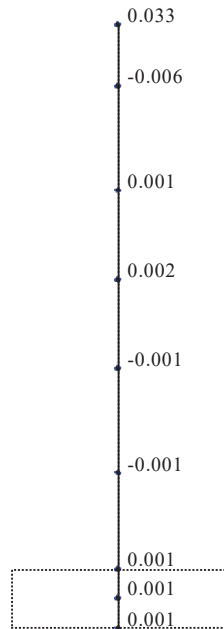
(5 次)

Mode - 6
 T (s) = 0.036
 f (Hz) = 27.870
 $\beta h = -0.056$



(6 次)

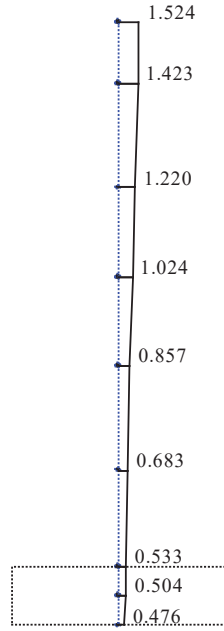
Mode - 7
 T (s) = 0.029
 f (Hz) = 33.961
 $\beta h = 0.033$



(7 次)

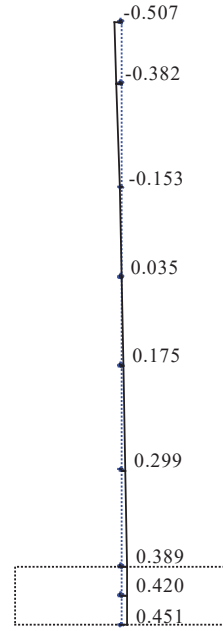
図 5-2 刺激関数(NS 方向, Ss-D, 5~7 次)

Mode - 1
 $T(s) = 0.276$
 $f(\text{Hz}) = 3.630$
 $\beta h = 1.524$



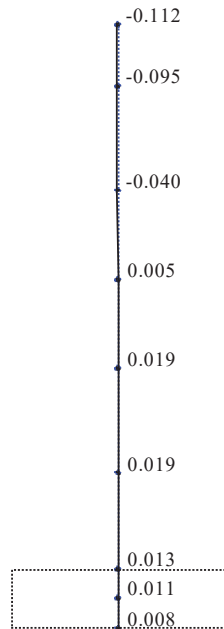
(1 次)

Mode - 2
 $T(s) = 0.145$
 $f(\text{Hz}) = 6.908$
 $\beta h = -0.507$



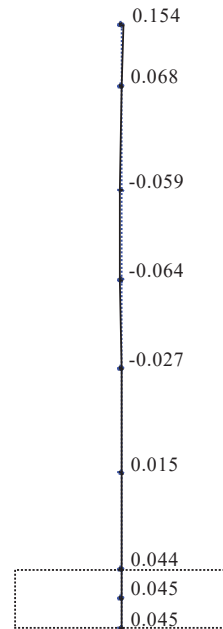
(2 次)

Mode - 3
 $T(s) = 0.081$
 $f(\text{Hz}) = 12.404$
 $\beta h = -0.112$



(3 次)

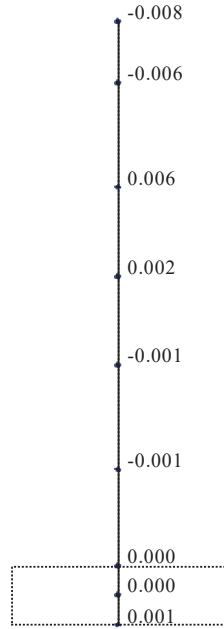
Mode - 4
 $T(s) = 0.055$
 $f(\text{Hz}) = 18.065$
 $\beta h = 0.154$



(4 次)

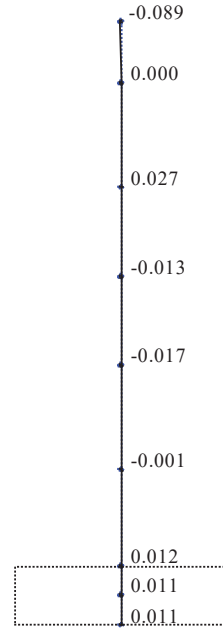
図 5-3 刺激関数(EW 方向, Ss-D, 1~4 次)

Mode - 5
 $T (s) = 0.043$
 $f (Hz) = 23.355$
 $\beta h = -0.008$



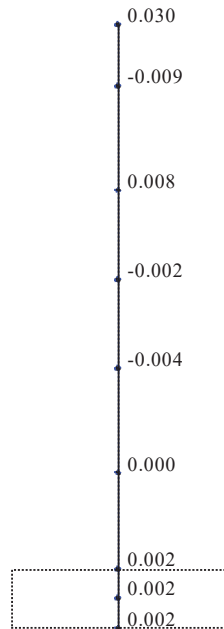
(5 次)

Mode - 6
 $T (s) = 0.040$
 $f (Hz) = 24.784$
 $\beta h = -0.089$



(6 次)

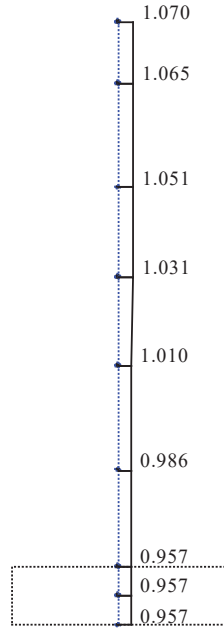
Mode - 7
 $T (s) = 0.037$
 $f (Hz) = 27.257$
 $\beta h = 0.030$



(7 次)

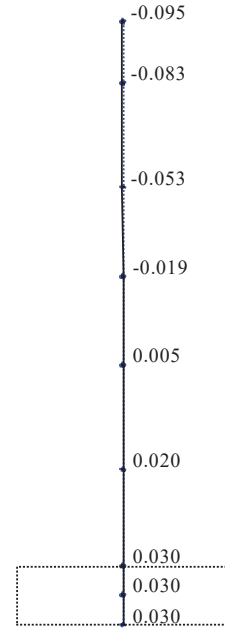
図 5-4 刺激関数(EW 方向, Ss-D, 5~7 次)

Mode - 1
 $T(s) = 0.210$
 $f(\text{Hz}) = 4.766$
 $\beta = 1.070$



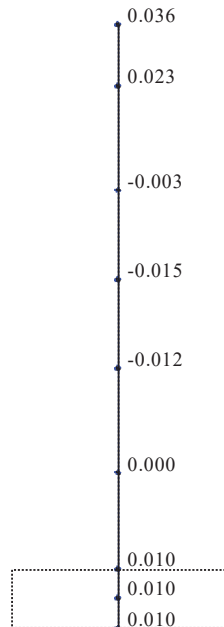
(1 次)

Mode - 2
 $T(s) = 0.040$
 $f(\text{Hz}) = 24.779$
 $\beta = -0.095$



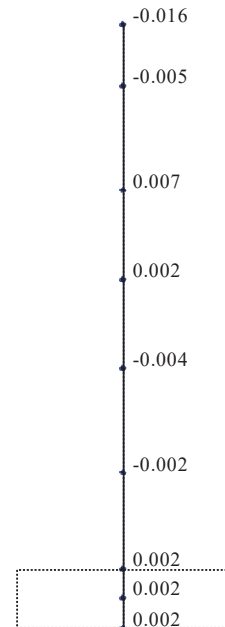
(2 次)

Mode - 3
 $T(s) = 0.023$
 $f(\text{Hz}) = 42.685$
 $\beta = 0.036$



(3 次)

Mode - 4
 $T(s) = 0.017$
 $f(\text{Hz}) = 59.127$
 $\beta = -0.016$

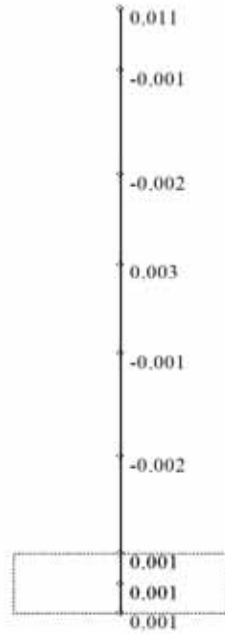


(4 次)

図 5-5 刺激関数(UD 方向, Ss-D, 1~4 次)

Mode - 5

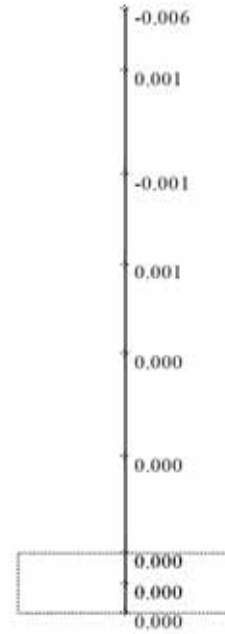
T (s) = 0.013
f (Hz) = 74.834
 β = 0.011



(5 次)

Mode - 6

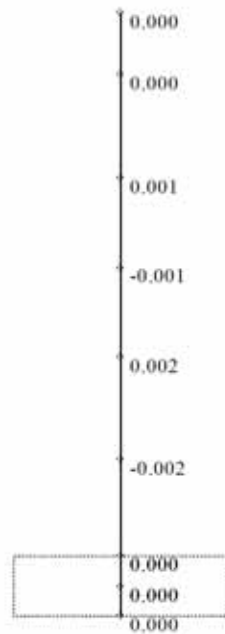
T (s) = 0.013
f (Hz) = 79.691
 β = -0.006



(6 次)

Mode - 7

T (s) = 0.011
f (Hz) = 90.164
 β = -0.002

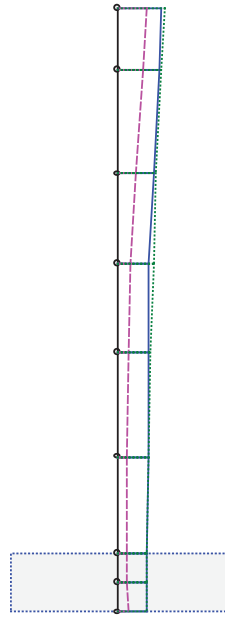
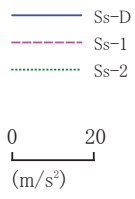


(7 次)

図 5-6 刺激関数(UD 方向, Ss-D, 5~7 次)

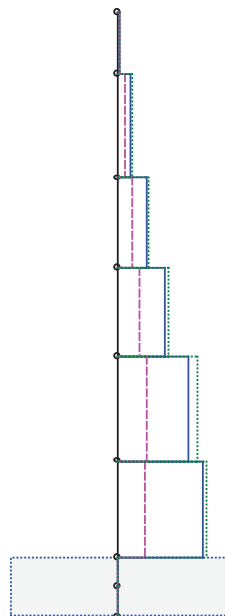
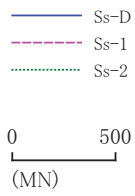
5.2 地震応答解析結果

廃止措置計画用設計地震動(Ss)による水平方向の最大応答加速度，最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントを図 5-7 から図 5-12 に，鉛直方向の最大応答加速度及び最大応答軸力を図 5-13 及び図 5-14 に示す。また，耐震壁のせん断のスケルトンカーブ上の最大応答値を図 5-15 及び図 5-16 に示す。せん断ひずみは最大で 0.18×10^{-3} であり，評価基準値(2.0×10^{-3})を超えないことを確認した。



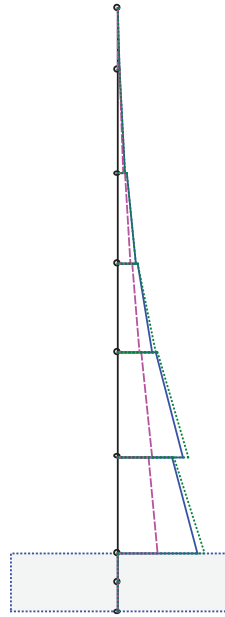
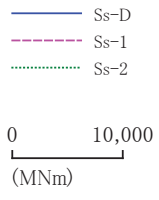
質点	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	10.351	6.800	11.053
2	9.688	5.825	10.450
3	8.413	4.071	9.073
4	7.465	2.948	8.392
5	7.289	2.379	7.885
6	7.111	2.133	7.282
7	6.925	2.165	6.971
8	6.894	2.241	6.941
9	6.863	2.348	6.919

図 5-7 最大応答加速度 (Ss, NS 方向)



部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	6.5	4.3	7.0
2	59.1	35.8	63.6
3	133.0	70.3	144.1
4	220.8	104.4	242.7
5	340.7	140.3	385.2
6	406.0	127.3	424.5
7	-	-	-
8	-	-	-

図 5-8 最大応答せん断力 (Ss, NS 方向)

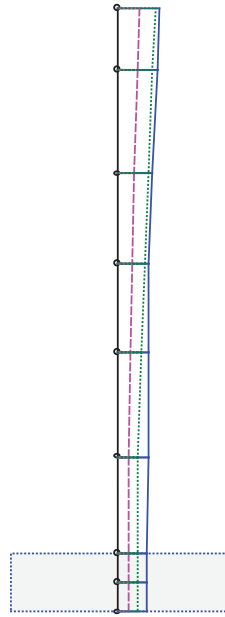


部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
	1.2	1.2	1.0
1	30.0	20.3	31.8
	169.2	160.6	153.7
2	562.7	412.6	587.4
	722.4	584.0	710.1
3	1557.9	1040.9	1623.4
	1691.9	1210.3	1759.7
4	3113.0	1869.2	3325.3
	3357.9	2066.9	3512.7
5	5877.5	3117.2	6401.6
	4801.2	2789.7	4944.4
6	7125.4	3489.1	7878.4
7	=	=	=
8	=	=	=

図 5-9 最大応答曲げモーメント (Ss, NS 方向)

— Ss-D
 - - - Ss-1
 ··· Ss-2

0 20
 (m/s²)

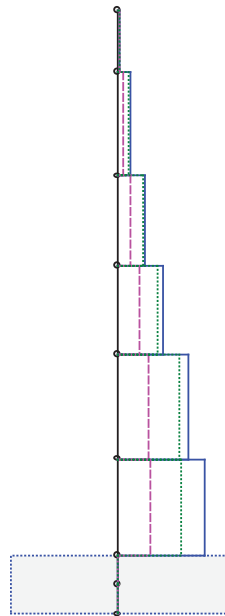


質点	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	9.782	5.119	8.806
2	9.245	4.449	8.319
3	8.200	3.970	7.389
4	7.454	3.249	6.445
5	7.278	2.830	5.612
6	7.100	2.611	4.798
7	6.935	2.574	4.676
8	6.913	2.595	4.684
9	6.892	2.616	4.692

図 5-10 最大応答加速度 (Ss, EW 方向)

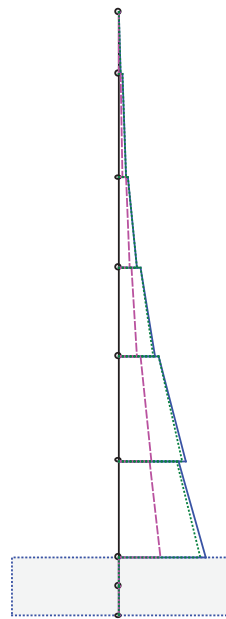
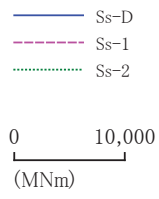
— Ss-D
 - - - Ss-1
 ··· Ss-2

0 500
 (MN)



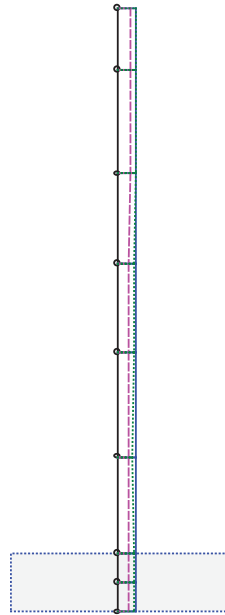
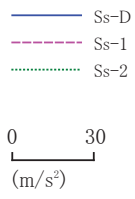
部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	6.2	3.2	5.5
2	56.2	27.4	50.6
3	128.9	61.3	116.0
4	214.7	99.3	193.1
5	339.5	146.5	297.2
6	415.3	157.6	302.7
7	-	-	-
8	-	-	-

図 5-11 最大応答せん断力 (Ss, EW 方向)



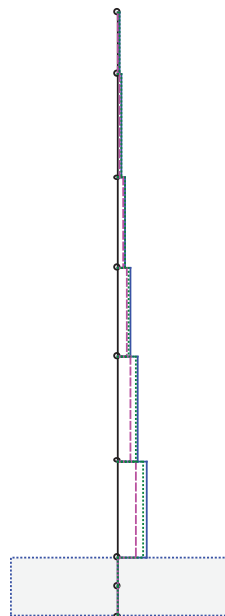
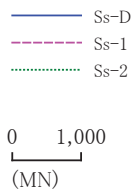
部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
	7.2	5.4	5.9
1	31.3	18.3	28.4
	213.9	142.6	214.2
2	580.6	343.1	554.3
	811.6	520.1	793.9
3	1620.5	883.1	1547.8
	1843.5	1085.0	1843.4
4	3239.1	1628.5	3098.5
	3476.3	1870.5	3462.8
5	5973.6	2938.3	5691.9
	5346.7	2771.4	5182.5
6	7730.0	3721.3	7301.6
7	=	=	=
8	=	=	=

図 5-12 最大応答曲げモーメント (Ss, EW 方向)



質点	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	6.475	4.229	6.276
2	6.439	4.202	6.258
3	6.420	4.115	6.032
4	6.400	3.970	5.660
5	6.371	3.860	5.410
6	6.319	3.705	5.283
7	6.240	3.539	5.336
8	6.240	3.539	5.336
9	6.240	3.539	5.336

图 5-13 最大応答加速度 (Ss, UD 方向)



部材	Ss-D	Ss-1	Ss-2
1	4.1	2.7	4.0
2	39.1	25.5	38.0
3	96.1	62.2	91.7
4	172.6	109.9	159.6
5	290.7	181.8	260.3
6	404.0	248.2	352.5
7	-	-	-
8	-	-	-

图 5-14 最大応答軸力 (Ss, UD 方向)

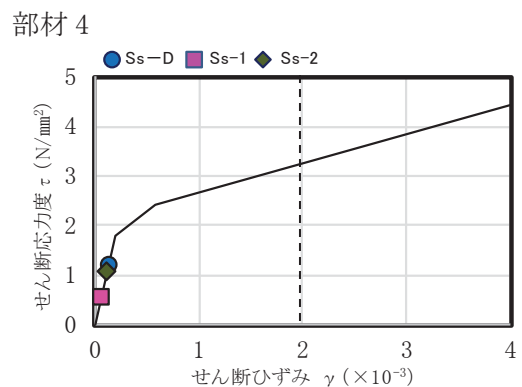
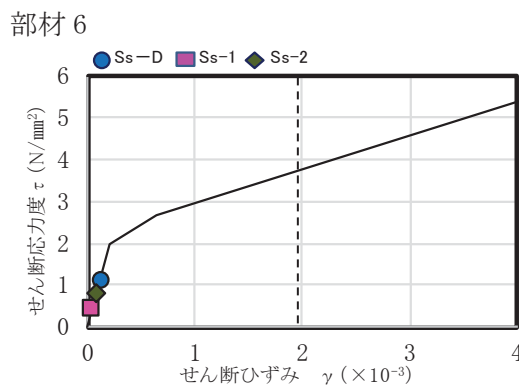
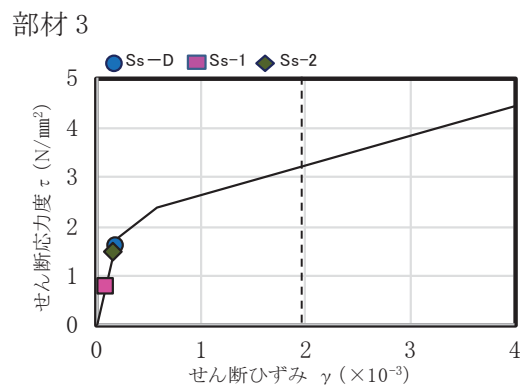
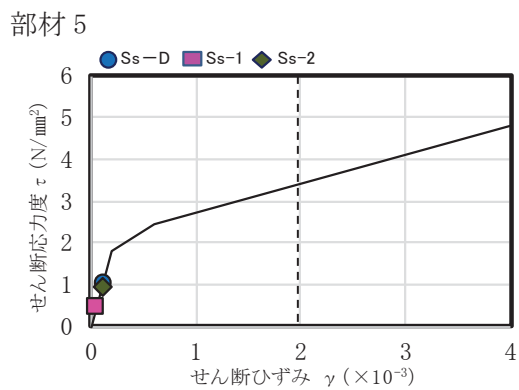
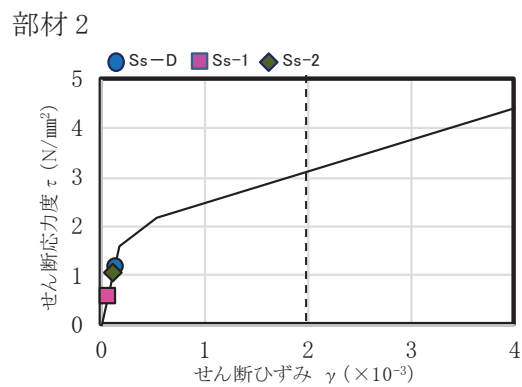
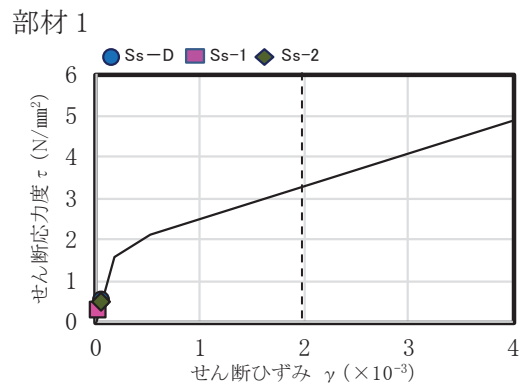
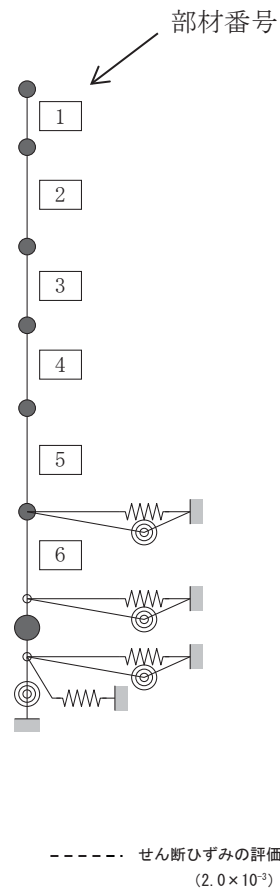


図 5-15 せん断のスケルトンカーブ上の最大応答値(NS 方向, Ss)

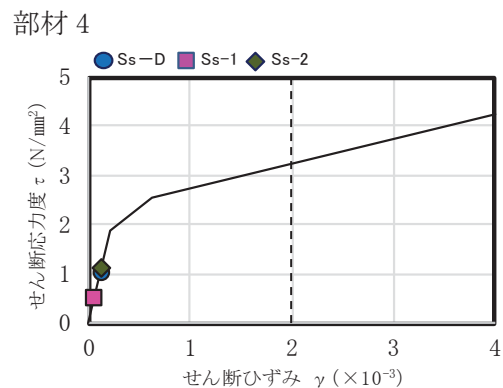
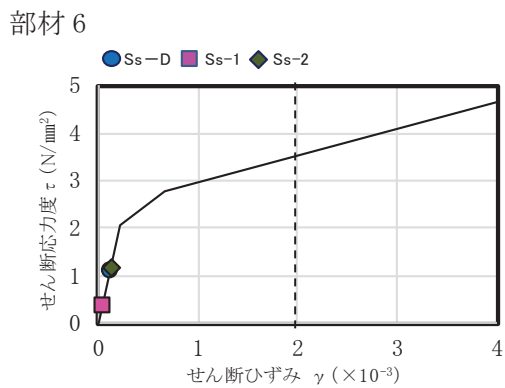
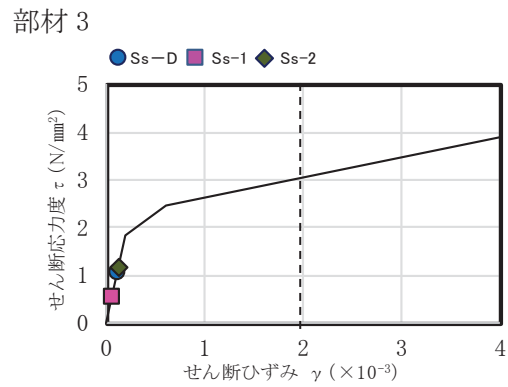
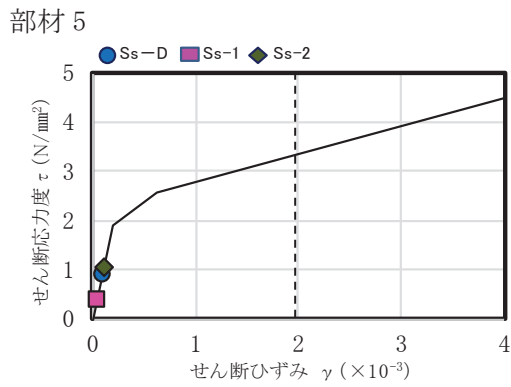
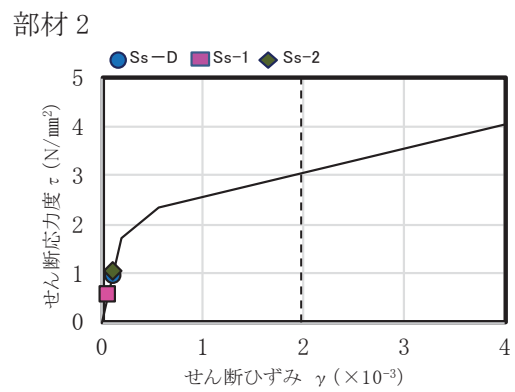
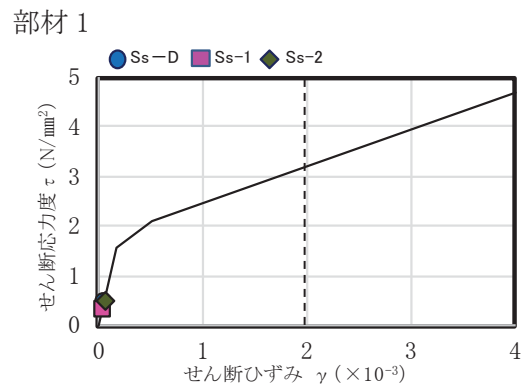
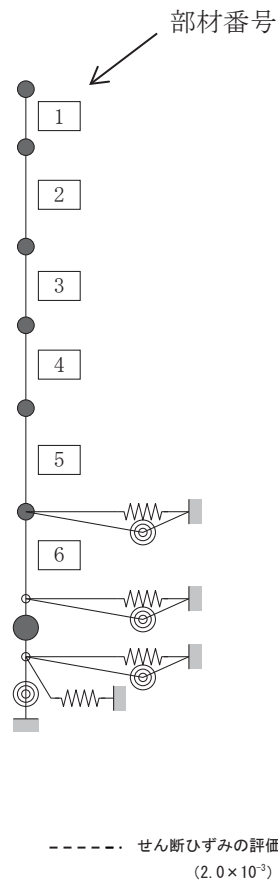


図 5-16 せん断のスケルトンカーブ上の最大応答値(EW 方向, Ss)

6. 基礎浮き上がりの検討

廃止措置計画用設計地震動(S_s)による地震応答解析の結果に基づく最小接地率の一覧表を表 6-1 に示す。地震時の最大接地圧は、地反力分布を三角形分布と仮定し、鉛直方向の地震力を組合せ係数法(組合せ係数 0.4)により考慮して算定する。最大接地圧の一覧表を表 6-2 に示す。

接地率は、誘発上下動を考慮した浮き上がり非線形解析を適用できる基準値(50 %)以上を満足していることを確認した。

接地圧は、基礎地盤における平板載荷試験の結果から設定した極限支持力度 2350 kN/m²を超えないことを確認した。

表 6-1 最小接地率(Ss)

(a)NS 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最大転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最小接地率 (%)
Ss-D	4.08	6.73	67.4
Ss-1		3.00	100.0
Ss-2		7.25	61.1

(b)EW 方向

地震動	浮き上がり限界 転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最大転倒モーメント ($\times 10^6$ kN・m)	最小接地率 (%)
Ss-D	5.50	8.06	76.8
Ss-1		3.75	100.0
Ss-2		7.26	84.0

表 6-2 最大接地圧(Ss)

地震動	方向	最大接地圧 (kN/m ²)
Ss-D	NS	687
	EW	561
Ss-1	NS	379
	EW	367
Ss-2	NS	764
	EW	515

7. 評価結果

TVF 開発棟の耐震性評価として廃止措置計画用設計地震動 (Ss) による地震応答解析を行い、接地率が誘発上下動を考慮した浮き上がり非線形解析を適用できる基準を満足していること、耐震壁に生じるせん断ひずみ及び接地圧が評価基準値を超えないことを確認した。以上により、TVF 開発棟は廃止措置計画用設計地震動 (Ss) に対して耐震余裕を有していることを確認した。

6. TVF 施設の機器・配管系の耐震性についての計算書

6.1 受入槽(G11V10)及び回収液槽(G11V20)
の耐震性についての計算書

【目 次】

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
2.3 記号の説明	1
3. 評価部位	2
4. 構造強度評価	2
4.1 荷重の組み合わせ	2
4.2 許容応力	3
4.3 減衰定数	3
4.4 設計用地震力	4
4.5 計算方法	6
4.6 計算条件	6
4.7 固有周期	8
5. 評価結果	16

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能を構成する受入槽(G11V10)及び回収液槽(G11V20)について、「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

評価対象の受入槽(G11V10)及び回収液槽(G11V20)の構造強度の評価は，有限要素法(FEM)解析により行い，当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601 (日本電気協会)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 (日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 (日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_L	JSME S NC1-2012 SSB-3200 に定める許容荷重	N
F	JSME S NC1-2012 SSB-3121 に定める許容応力算定用基準値	MPa
S_u	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
S_{yd}	JSME S NC1-2012 SSB-3200 に定める最高使用温度における材料の設計降伏点	MPa
S_{yt}	JSME S NC1-2012 SSB-3200 に定める試験温度における材料の設計降伏点	MPa
T_L	JSME S NC1-2012 SSB-3210 に定める荷重試験により支持構造物が破損するおそれのある荷重	N

3. 評価部位

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の構造強度の評価は，評価上厳しくなる胴，ラグ，据付ボルトについて実施する。受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の概要図を図 3-1 に示す。

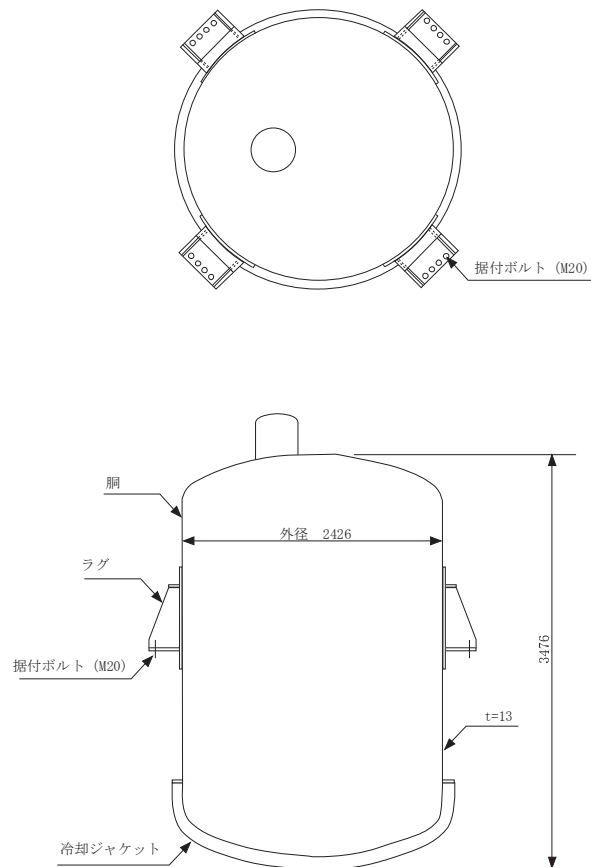


図 3-1 受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組み合わせ

発生応力の算出においては，自重，圧力及び地震による応力を組み合わせた。地震による応力については，水平方向応力と鉛直方向応力を，二乗和平方根 (SRSS) 法に

より組み合わせた。

4.2 許容応力

設備の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012」を準拠又は実験値等で妥当性が確認されているものを用いた。評価にあたっては供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds について、温度は設計温度、圧力については設計圧力、自重については液量を満杯とし、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。

据付ボルトのせん断応力の許容応力について、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012 SSB-3200」では、当該支持構造物と同一の材質及び形状を有する支持構造物がある場合は、その支持構造物で求めた値を使用することができることとしていることから、当該規格に基づき、せん断試験を実施し、その試験から得られた値を用いた。

評価部位	応力分類	許容応力
胴	一次一般膜応力	0.6 Su
胴	一次応力	0.9 Su
ラグ	一次応力	F
据付ボルト	引張応力	1.5 × (F/1.5)
据付ボルト	せん断応力	A_L (許容荷重) = 0.6 $T_L S_{yd}/S_{yt}$

4.3 減衰定数

減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。

使用した減衰定数を表 4-1 に示す。

表 4-1 使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
受入槽 (G11V10) 及び 回収液槽 (G11V20)	1.0	1.0

4.4 設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」に基づき、廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに、各階の床応答スペクトル (Ss-D, Ss-1, Ss-2 の 3 波包絡, 周期軸方向に±10%拡幅したもの) を作成し、これを評価に用いた。

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の解析用の床応答スペクトルは、機器据付階 (地下 1 階) のものを用いた。使用した解析用の床応答スペクトルを表 4-2, 図 4-1 及び図 4-2 に示す。

表 4-2 使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
受入槽 (G11V10) 及び 回収液槽 (G11V20)	解析用の床応答スペクトル (地下 1 階, 減衰定数 1.0%)	解析用の床応答スペクトル (地下 1 階, 減衰定数 1.0%)

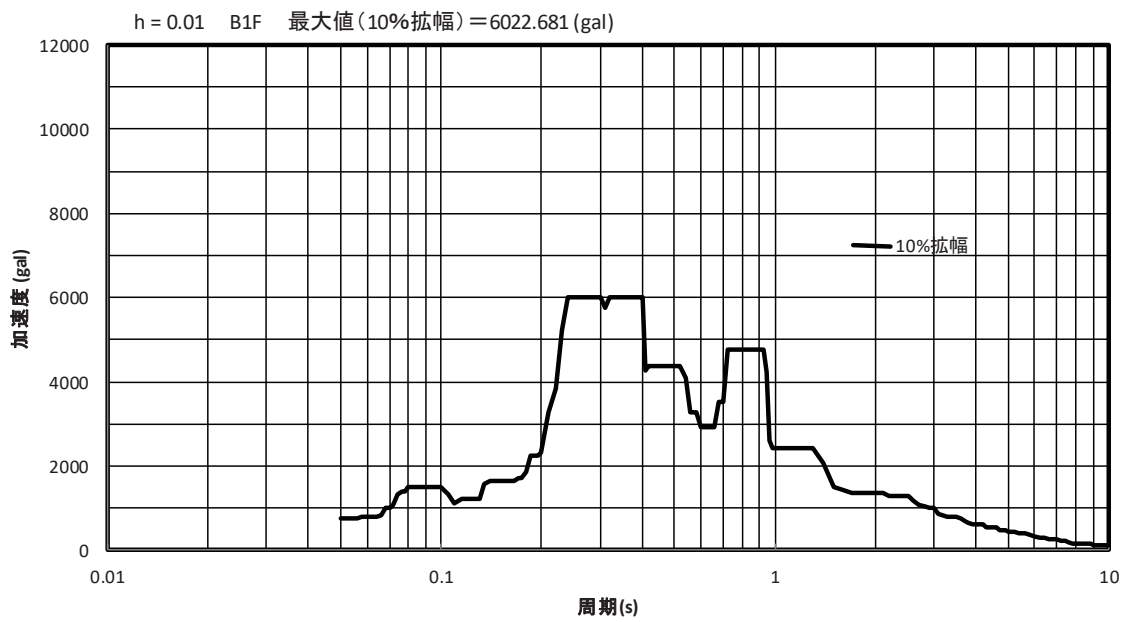


図 4-1 解析用の床応答スペクトル (水平方向, 地下 1 階, 減衰定数 1.0%)

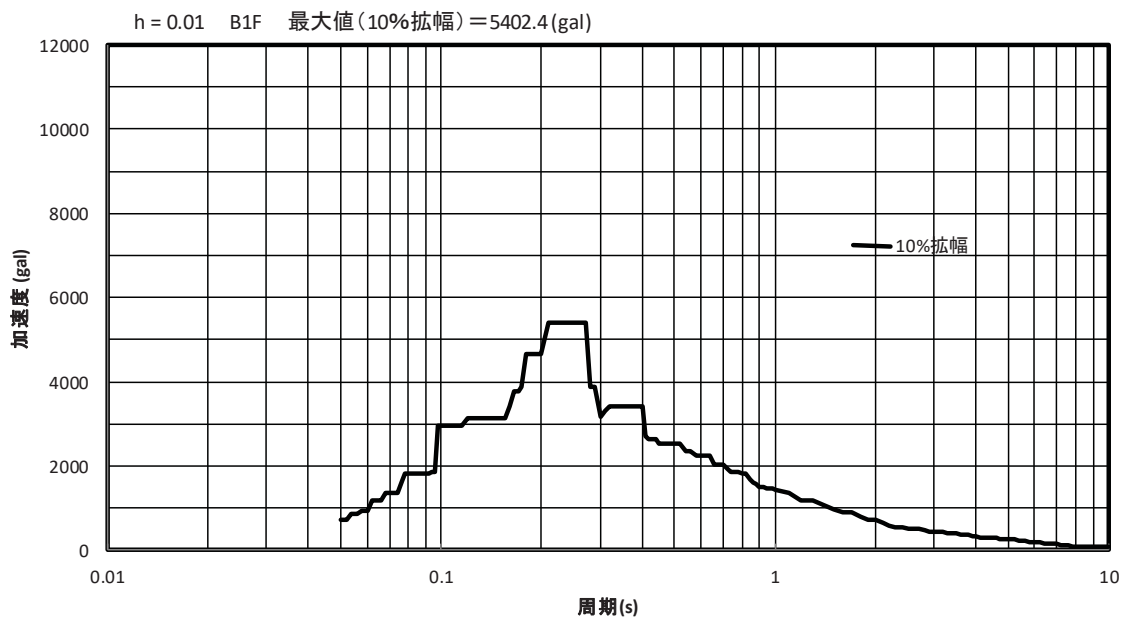


図 4-2 解析用の床応答スペクトル (鉛直方向, 地下 1 階, 減衰定数 1.0%)

4.5 計算方法

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の計算方法について、FEM 解析 (スペクトルモーダル法) により発生応力を算出した。発生応力と許容応力を比較することにより評価を行った。解析コードは FINAS^{※1} を用いた。

※1 日本原子力研究開発機構, 伊藤忠テクノソリューション株式会社, “FINAS 汎用非線形構造解析システム Version 21.0” .

4.6 計算条件

4.6.1 解析モデル

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の解析モデルを図 4-3 に示す。FEM 解析のモデルは、その振動特性に応じ、代表的な振動モードが適切に表現でき、地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

解析モデルにおいて、槽内構造物等の質量は胴板に付加し、高放射性廃液の質量は接液部胴板に付加し、解析モデルの総質量が約 27.07 t となるように、胴板の密度を設定した。

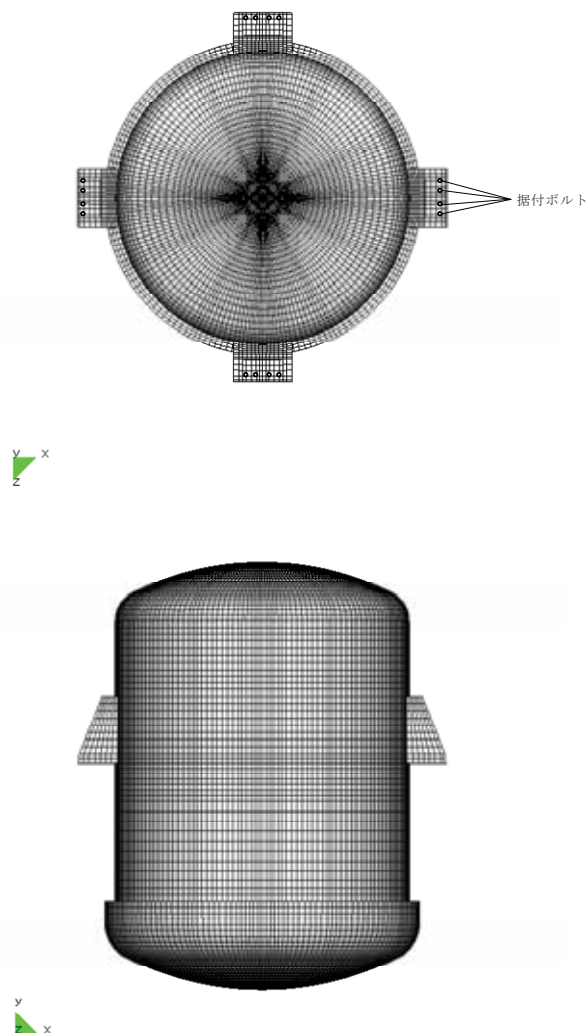
4.6.2 諸元

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
受入槽 (G11V10) 及び 回収液槽 (G11V20)	耐震重要度分類	S クラス
	機器区分	クラス 3
	圧力 (設計圧力)	0.049 (MPa)
	胴外径	2426 (mm)
	胴板厚さ	13 (mm)
	胴高さ (外側)	3476 (mm)
	胴材質	R-SUS304ULC
	胴温度 (設計温度)	95 (°C)
	据付ボルト呼び径	M20
	据付ボルト材質	SUS316
	据付ボルト温度	45 (°C)
	液量 (満杯)	11 (m ³)
	液密度	1.6 (g/cm ³)

	空質量	約 9.47 (t)
	総質量	約 27.07 (t)



拘束条件 ○：固定、－：フリー

部位	並進方向			回転方向		
	x	y	z	θ_x	θ_y	θ_z
据付ボルト	○	○	○	－	－	－

図 4-3 受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の解析モデル

4.7 固有周期

受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) の固有周期及び固有モードを図 4-5 に示す。

1次モード図 固有周期：0.062（秒）

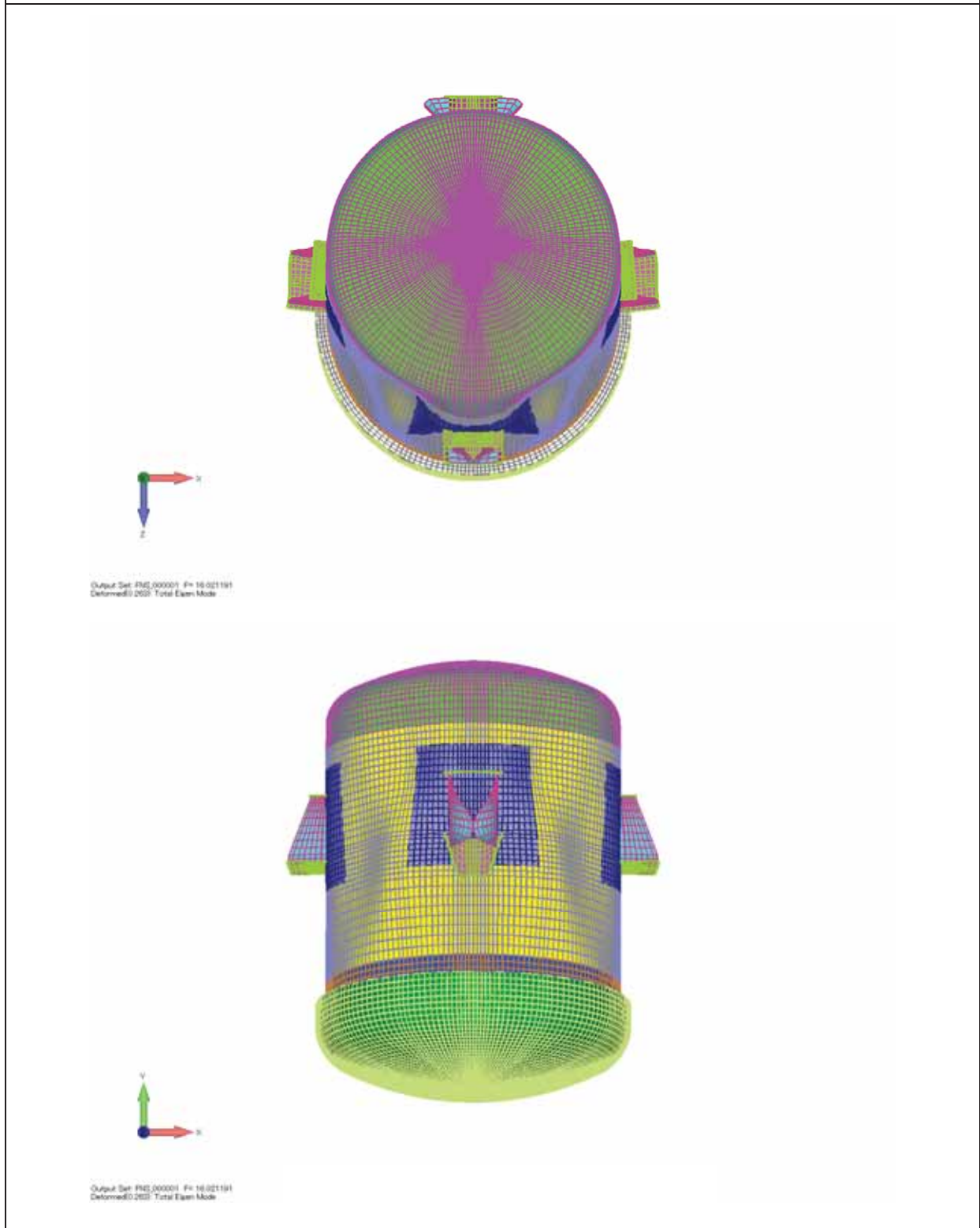


図 4-5 受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) 固有モード図 (1/3)

2次モード図

固有周期：0.062（秒）

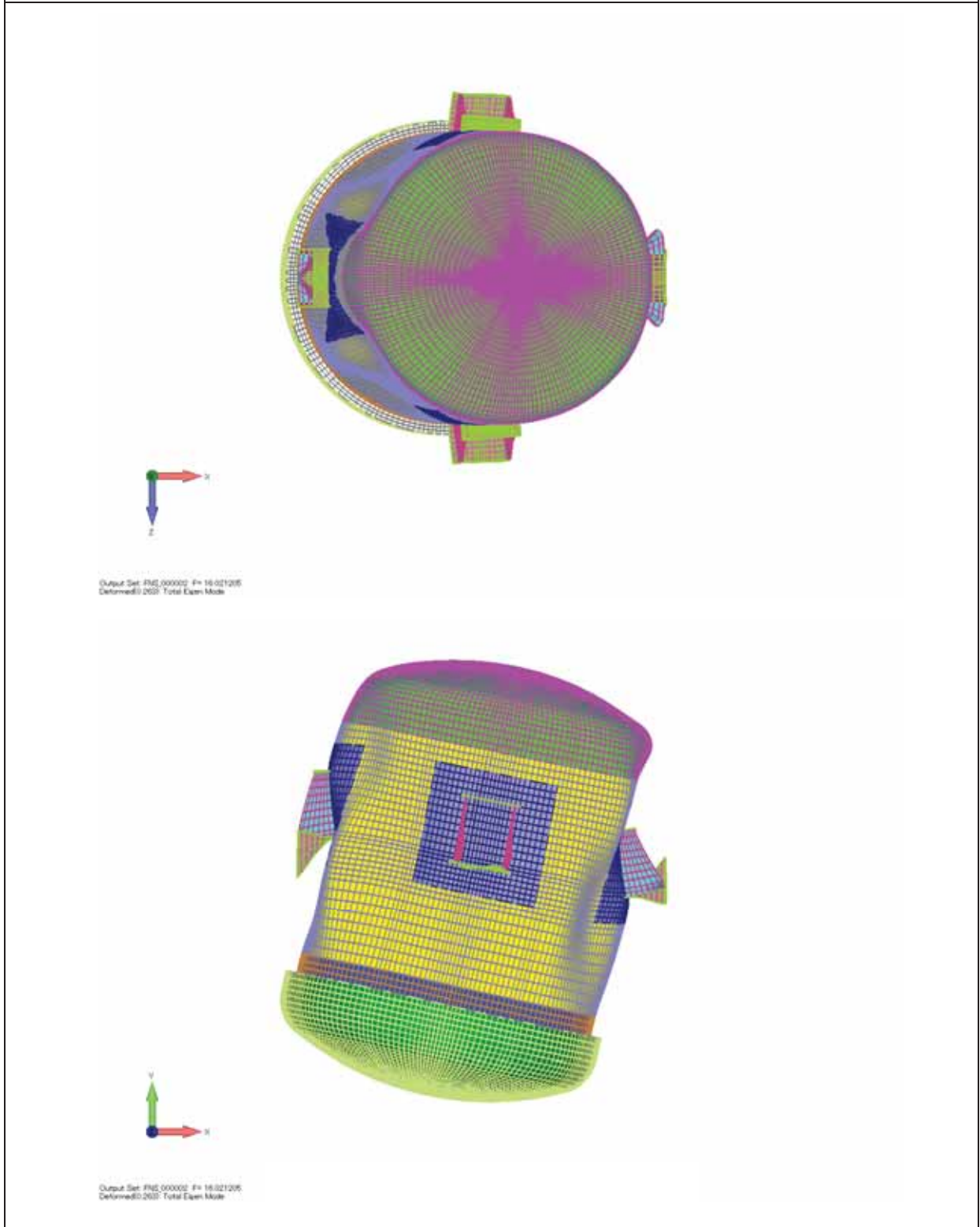


図 4-5 受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) 固有モード図 (2/3)

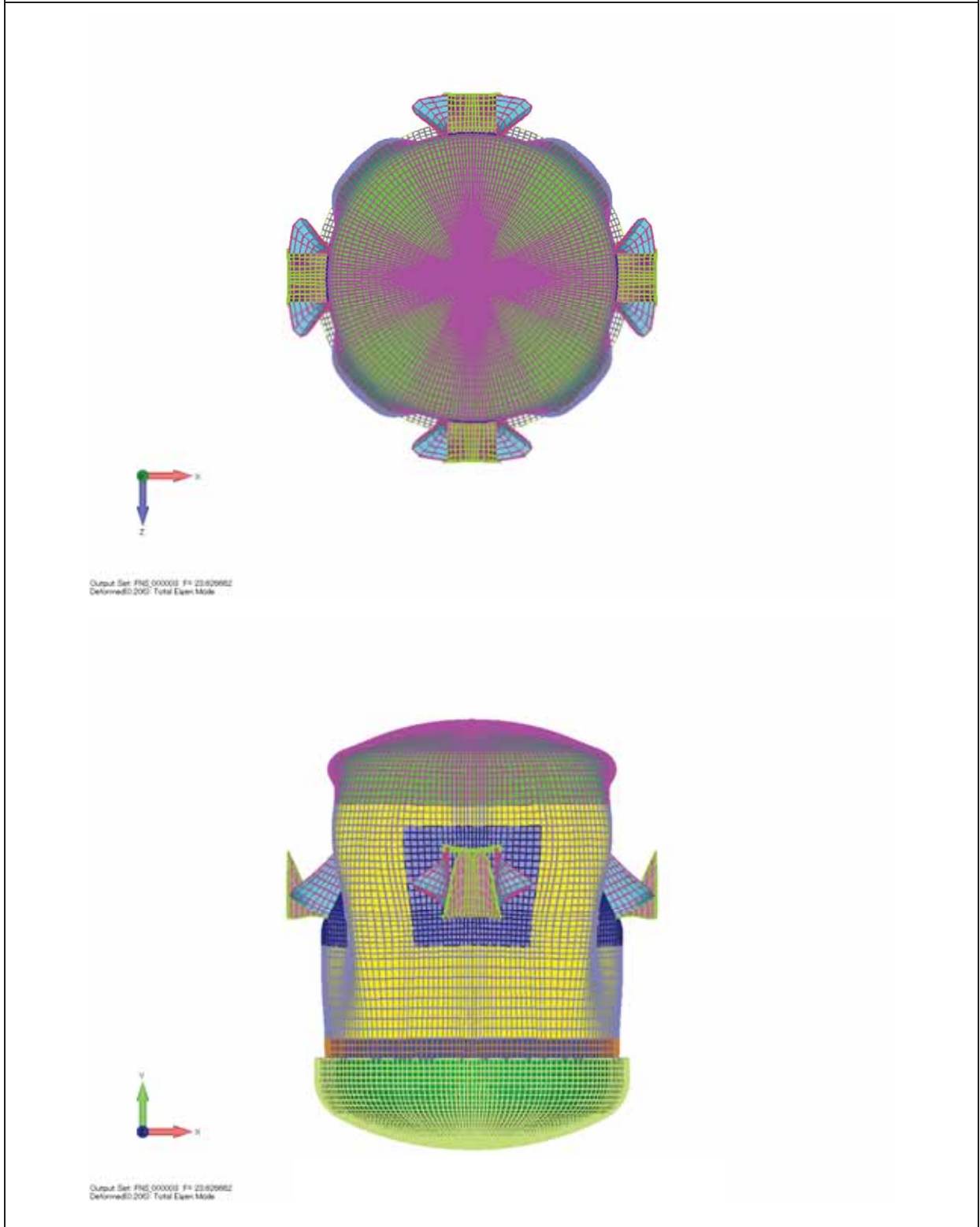


図 4-5 受入槽 (G11V10) 及び回収液槽 (G11V20) 固有モード図 (3/3)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

ガラス固化技術開発施設(TVF)の受入槽(G11V10)及び回収液槽(G11V20)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5-1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
受入槽(G11V10)及 び回収液槽 (G11V20)	胴 (冷却ジャケットを含む)	一次一般膜	103	247	0.42
		一次	152	371	0.41
	ラグ	一次	176	246	0.72
	据付ボルト	引張	139	246	0.57
		せん断	205	290 ^{※2}	0.71

※1 応力比は、発生応力/許容応力を示す。

※2 JSME S NC1-2012 SSB-3200 に基づき実施したせん断試験から得られた A_L をボルトの断面積で除して算出した許容応力。

6.2 1次冷却水系配管(KG11-145)
の耐震性についての計算書

【目次】

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
3. 評価部位	1
4. 構造強度評価	2
4.1 荷重の組み合わせ	2
4.2 許容応力	2
4.3 減衰定数	3
4.4 設計用地震力	3
4.5 計算方法	7
4.6 計算条件	7
4.7 固有周期	9
5. 評価結果	13

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能を構成する 1 次冷却水系配管 (KG11-145) について、「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

評価対象の 1 次冷却水系配管 (KG11-145) の構造強度の評価は，有限要素法 (FEM) 解析により行い，当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

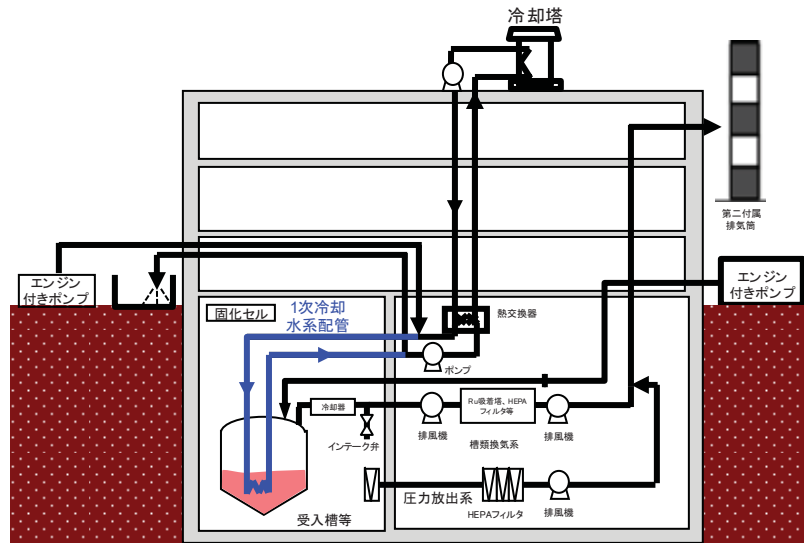
2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601 (日本電気協会)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 (日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 (日本機械学会)

3. 評価部位

1 次冷却水系配管 (KG11-145) の構造強度の評価は，本体の一次応力について実施する。評価の範囲は事故対処設備として機能維持が求められる 1 次冷却水系配管の系統の一部 (図 3.1) とする。



配管系統の評価範囲
 1次冷却水系配管：
 事故対処時にエンジン付きポンプを接続する1次冷却水配管の接続位置から冷却コイルまでの範囲（青線部）。

図 3.1 1次冷却水系配管 (KG11-145) の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組み合わせ

発生応力の算出においては、自重、圧力及び地震による応力を組み合わせた。地震による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2 許容応力

設備の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012」を準拠し、供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds について、温度は設計温度、圧力については設計圧力、配管内部の流体については充填し、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。

評価部位	応力分類	許容応力
配管	一次応力	0.9 Su

4.3 減衰定数

減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。

使用した減衰定数を表 4-1 に示す。

表 4-1 使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
1 次冷却水系配管 (KG11-145)	0.5	0.5

4.4 設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答時刻歴波を評価に用いた。

1 次冷却水系配管 (KG11-145) の床応答時刻歴波は、機器据付階 (地下 1 階) のものを用いた。使用した床応答時刻歴波を表 4-2, 図 4-1, 図 4-2 及び図 4-3 に示す。

表 4-2 使用した床応答時刻歴波

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
1 次冷却水系 配管 (KG11-145)	廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D, Ss-2, Ss-2)による床応答 時刻歴波(地下 1 階)	廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応 答時刻歴波(地下 1 階)

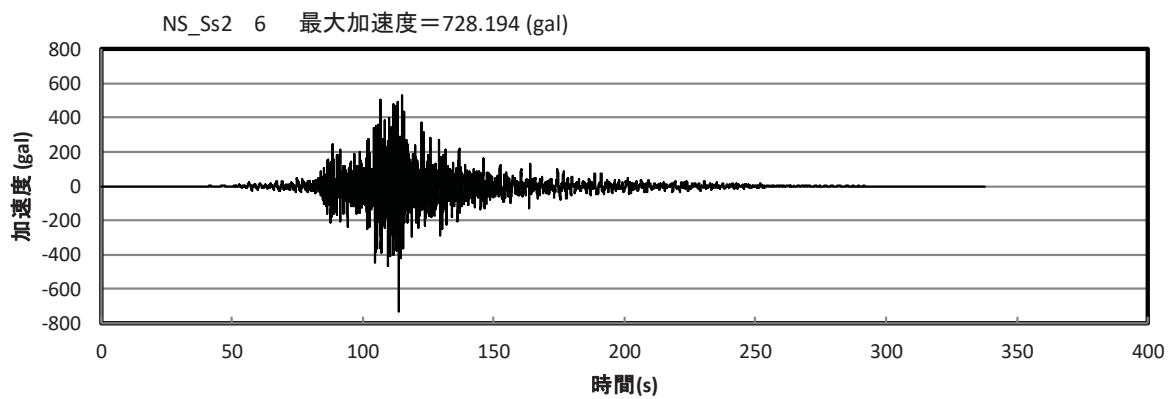
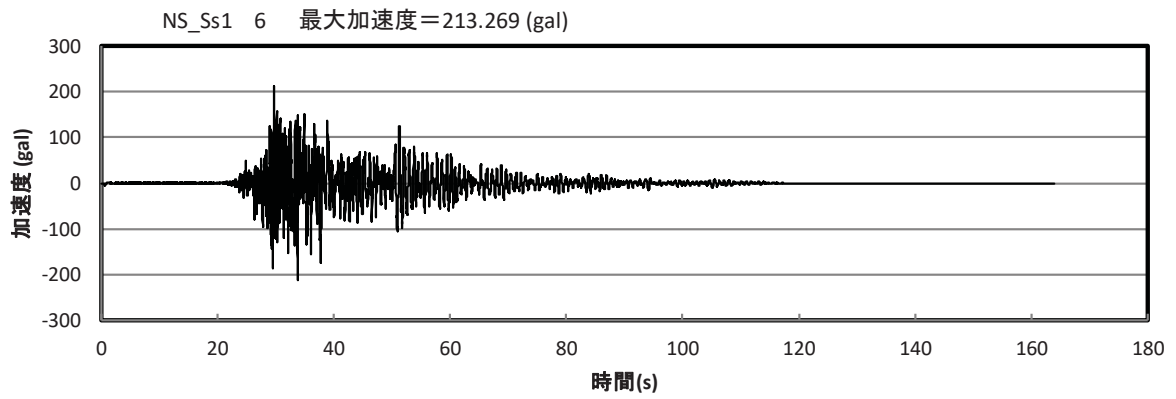
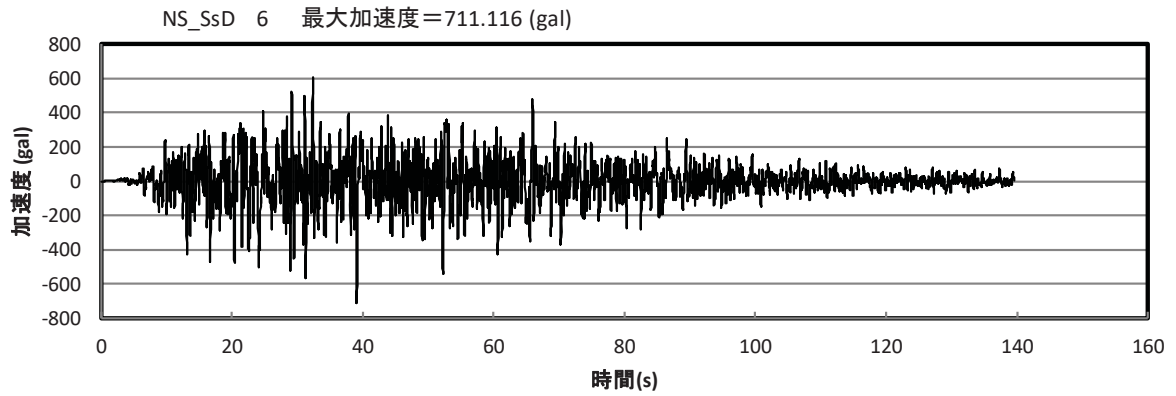


図 4-1 廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 NS 方向)

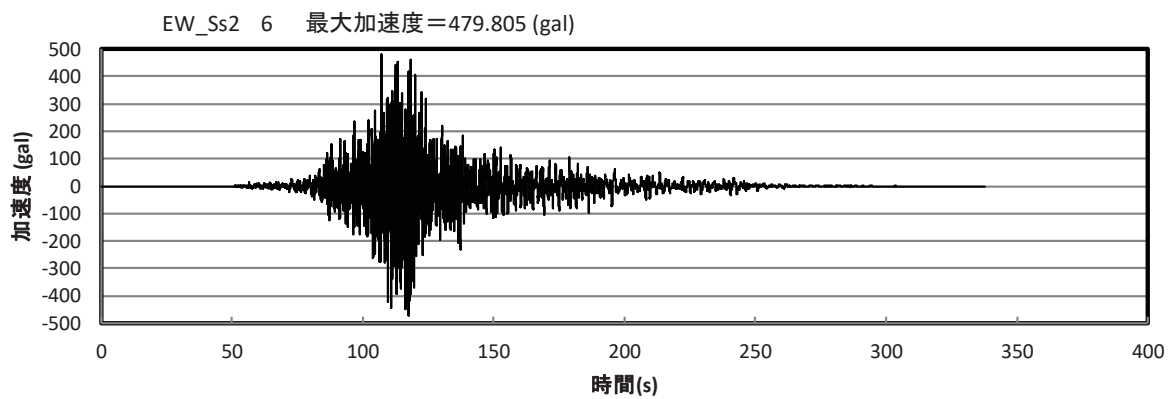
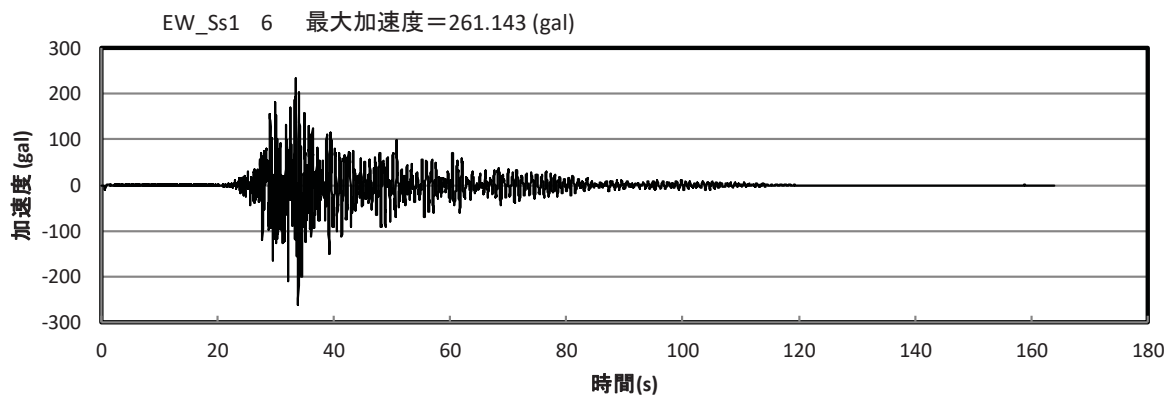
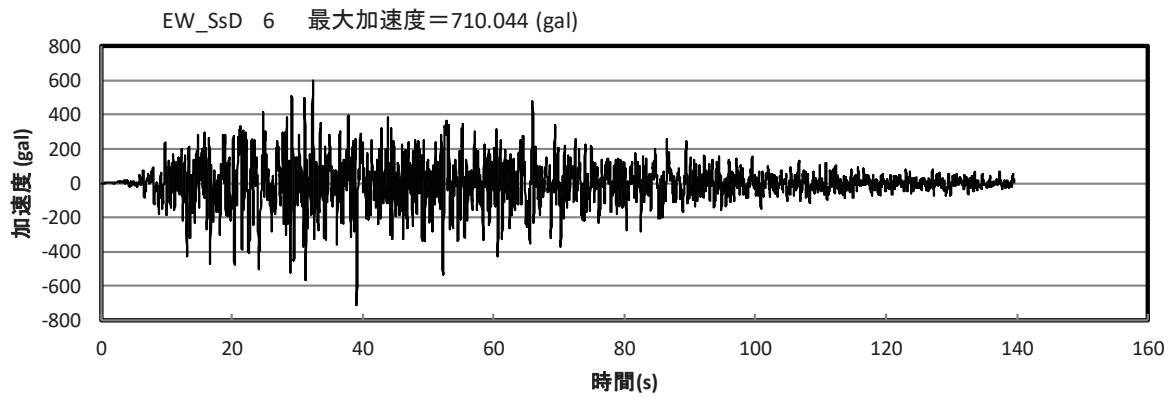


図 4-2 廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 水平 EW 方向)

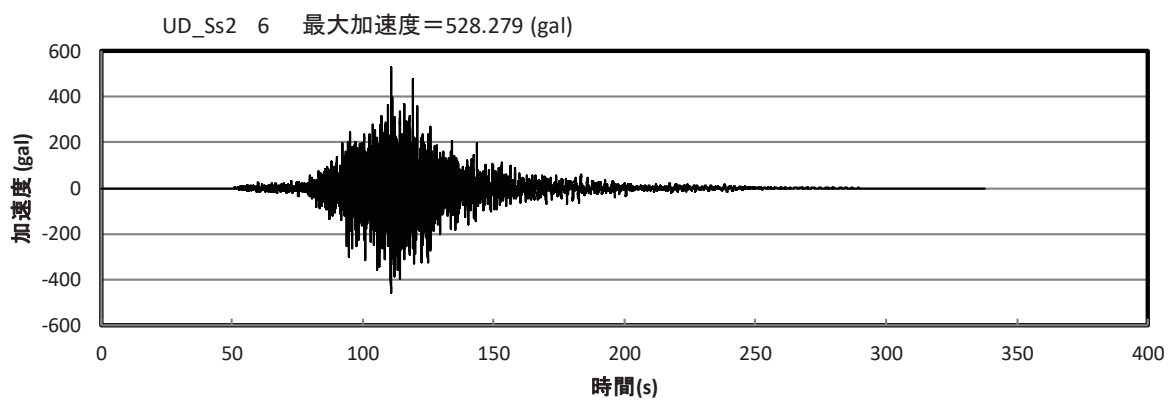
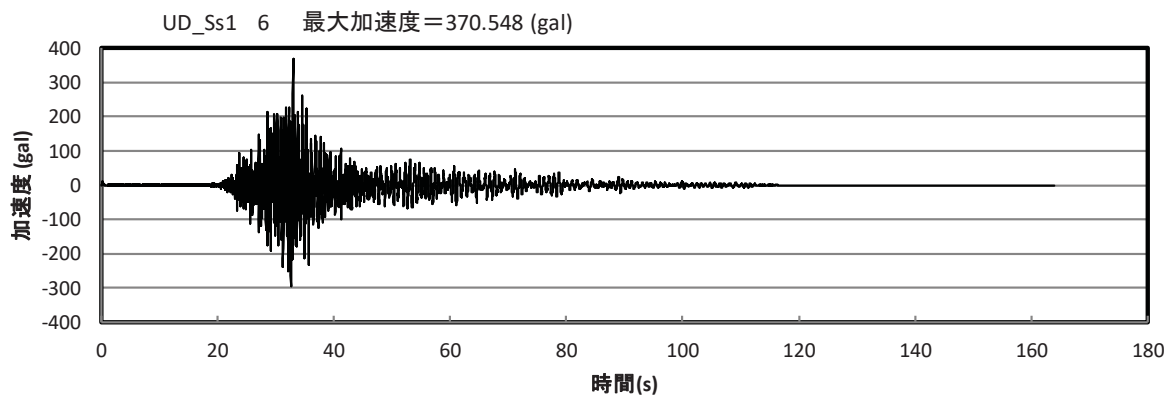
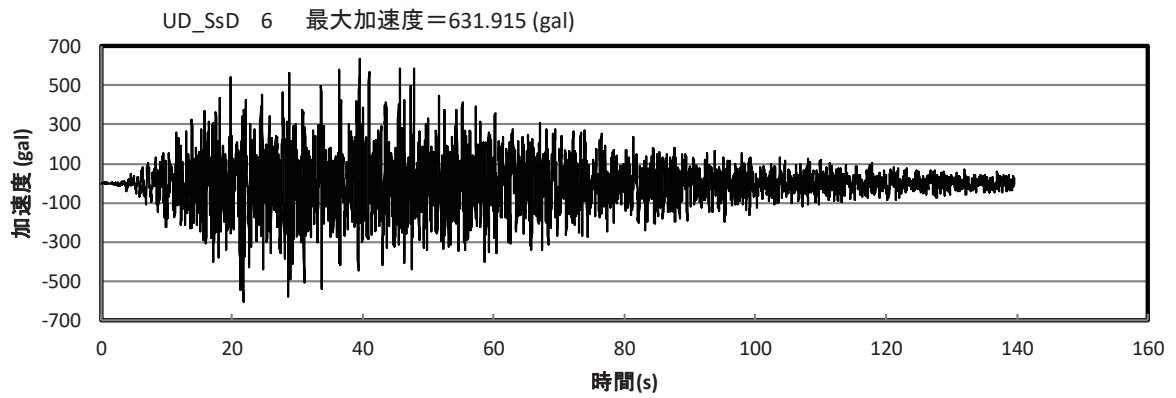


図 4-3 廃止措置計画用設計地震動 Ss(Ss-D, Ss-1, Ss-2)による床応答時刻歴波形
(地下 1 階, 鉛直方向)

4.5 計算方法

1次冷却水系配管(KG11-145)の計算方法について、FEM解析(時刻歴応答解析)により発生応力を算出した。発生応力と許容応力を比較することにより評価を行った。解析コードはFINAS^{※1}を用いた。

※1 日本原子力研究開発機構, 伊藤忠テクノソリューション株式会社, “FINAS 汎用非線形構造解析システム Version 21.0”。

4.6 計算条件

4.6.1 解析モデル

1次冷却水系配管(KG11-145)の解析モデルを図4-4に、拘束条件を図4-5に示す。FEM解析のモデルは、その振動特性に応じ、代表的な振動モードが適切に表現でき、地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

4.6.2 諸元

1次冷却水系配管(KG11-145)の主要寸法・仕様を表4-3に示す。

表4-3 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
1次冷却水系配管 (KG11-145)	耐震重要度分類	Sクラス
	機器区分	クラス3
	流体名	冷却水
	流体の密度	1.0 (g/cm ³)
	材質	SUS304LTP
	保温有無	無
	温度(設計温度)	55 (°C)
	圧力	0.59 (MPa)
	呼び径	15 (A)
	Sch	40

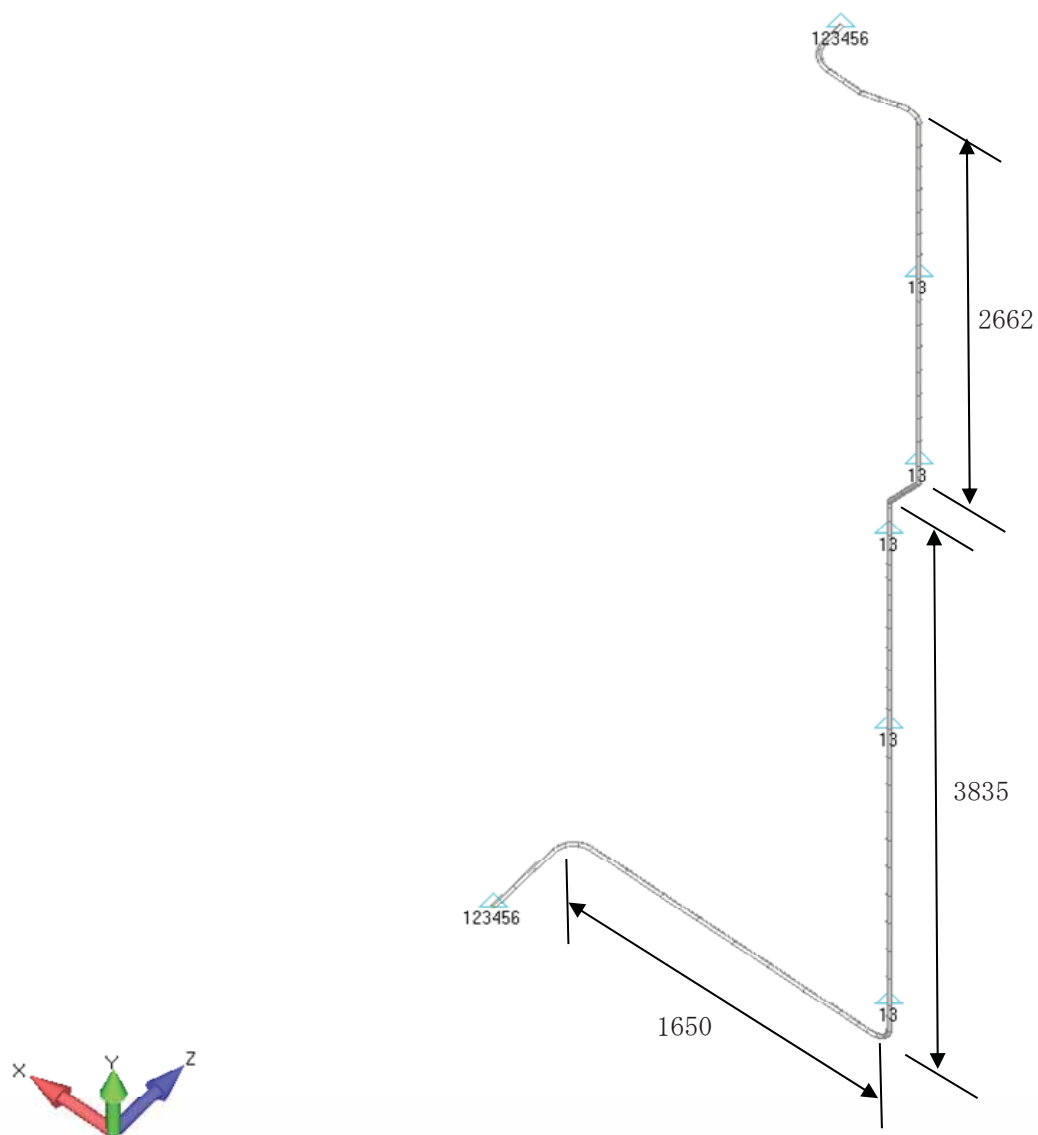


図 4-4 1次冷却水系配管 (KG11-145) の解析モデル

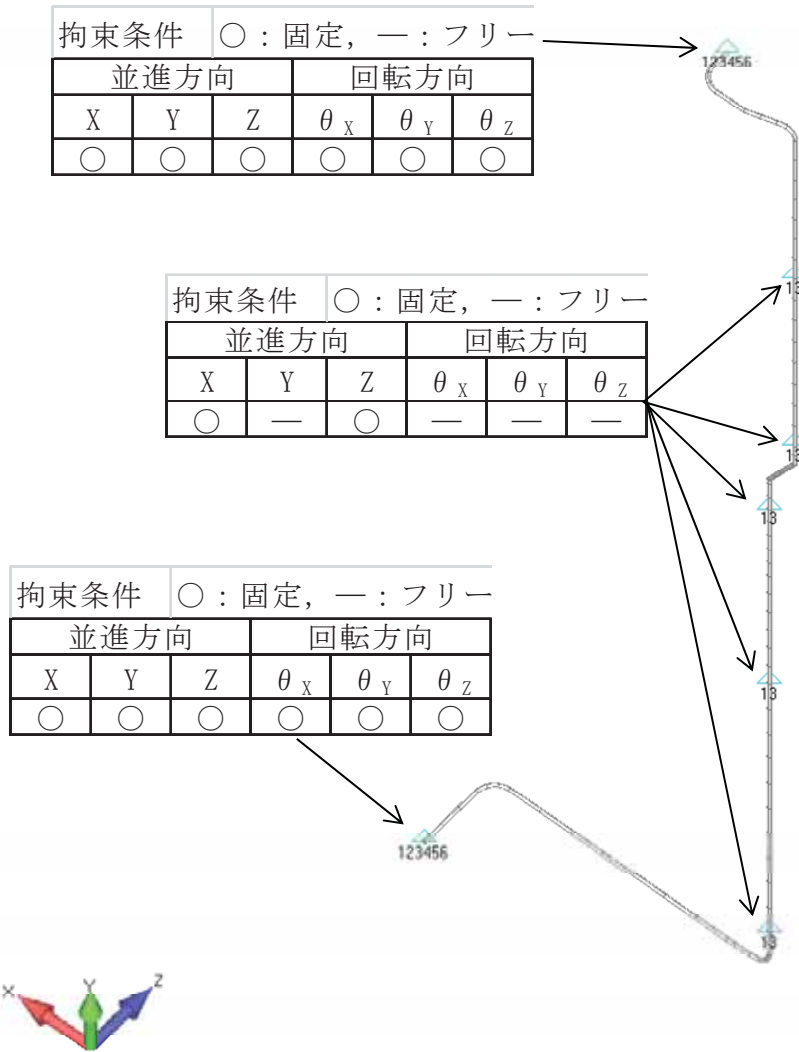


図 4-5 1次冷却水系配管 (KG11-145) の拘束条件

4.7 固有周期

1次冷却水系配管 (KG11-145) の固有周期及び固有モードを図 4-6 に示す。

1次モード図 固有周期：0.114 (秒)

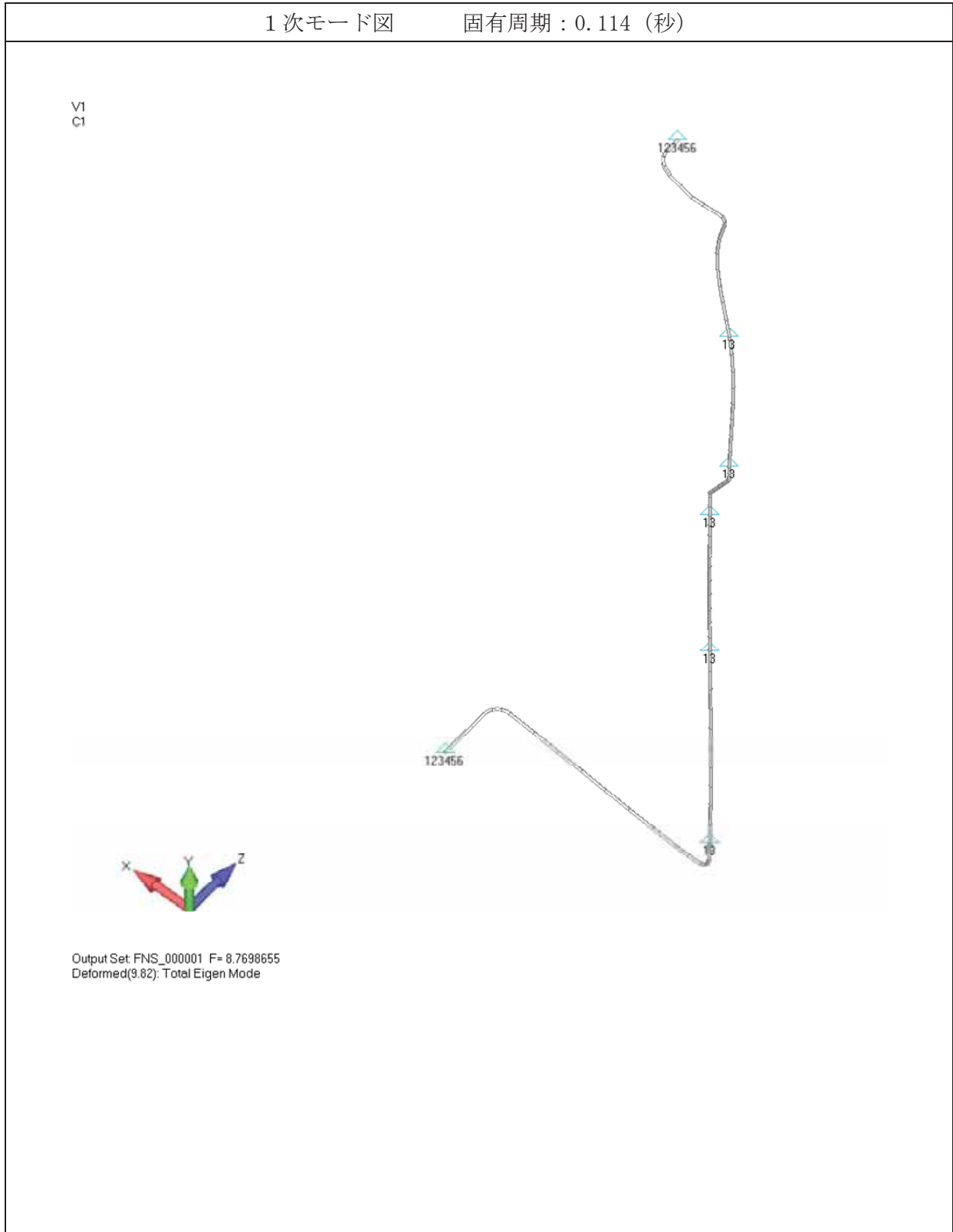


図 4-6 1次冷却水系配管(KG11-145) 固有モード図 (1/3)

2次モード図 固有周期：0.065（秒）

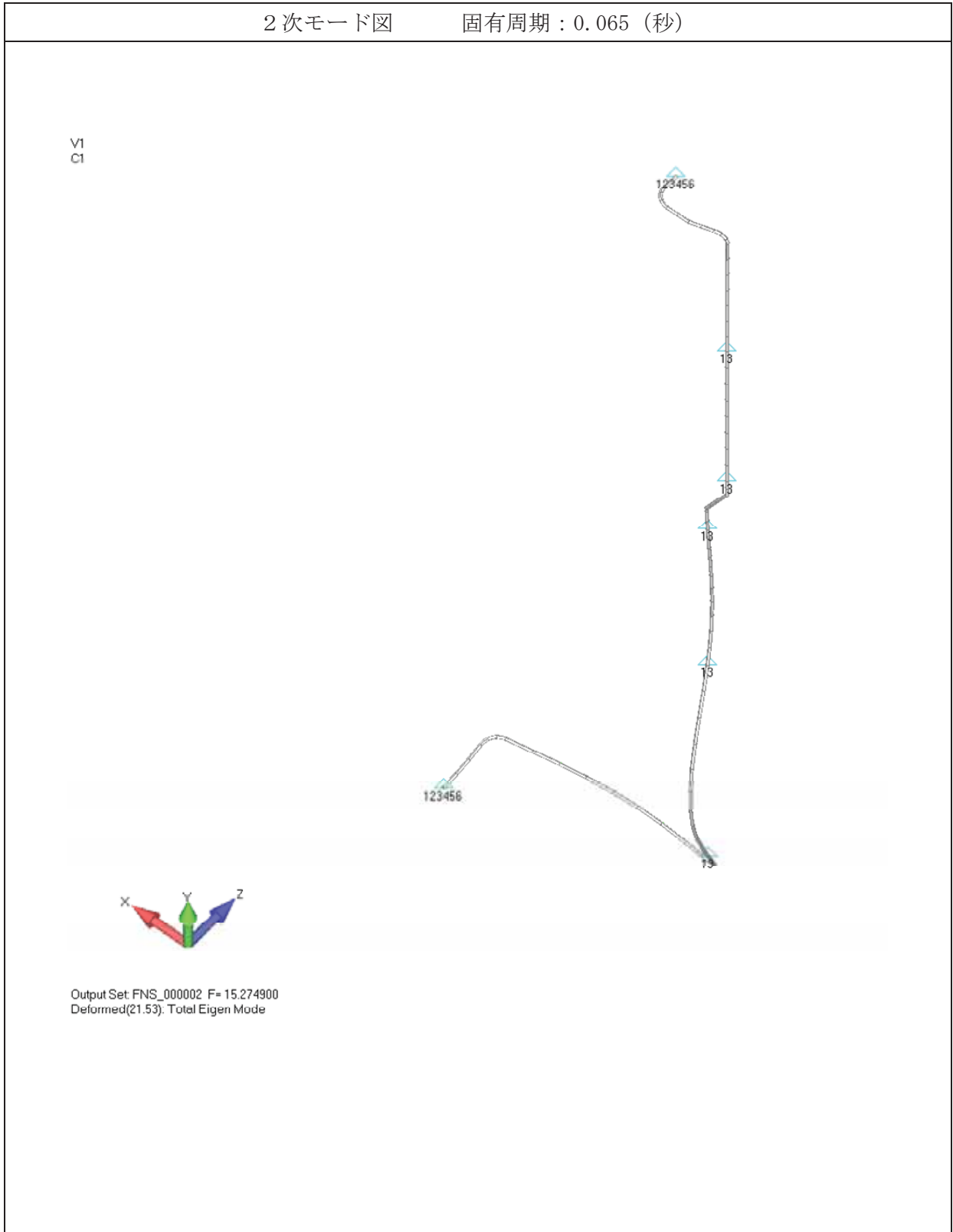


図 4-6 1次冷却水系配管(KG11-145) 固有モード図 (2/3)

3次モード図

固有周期：0.056（秒）

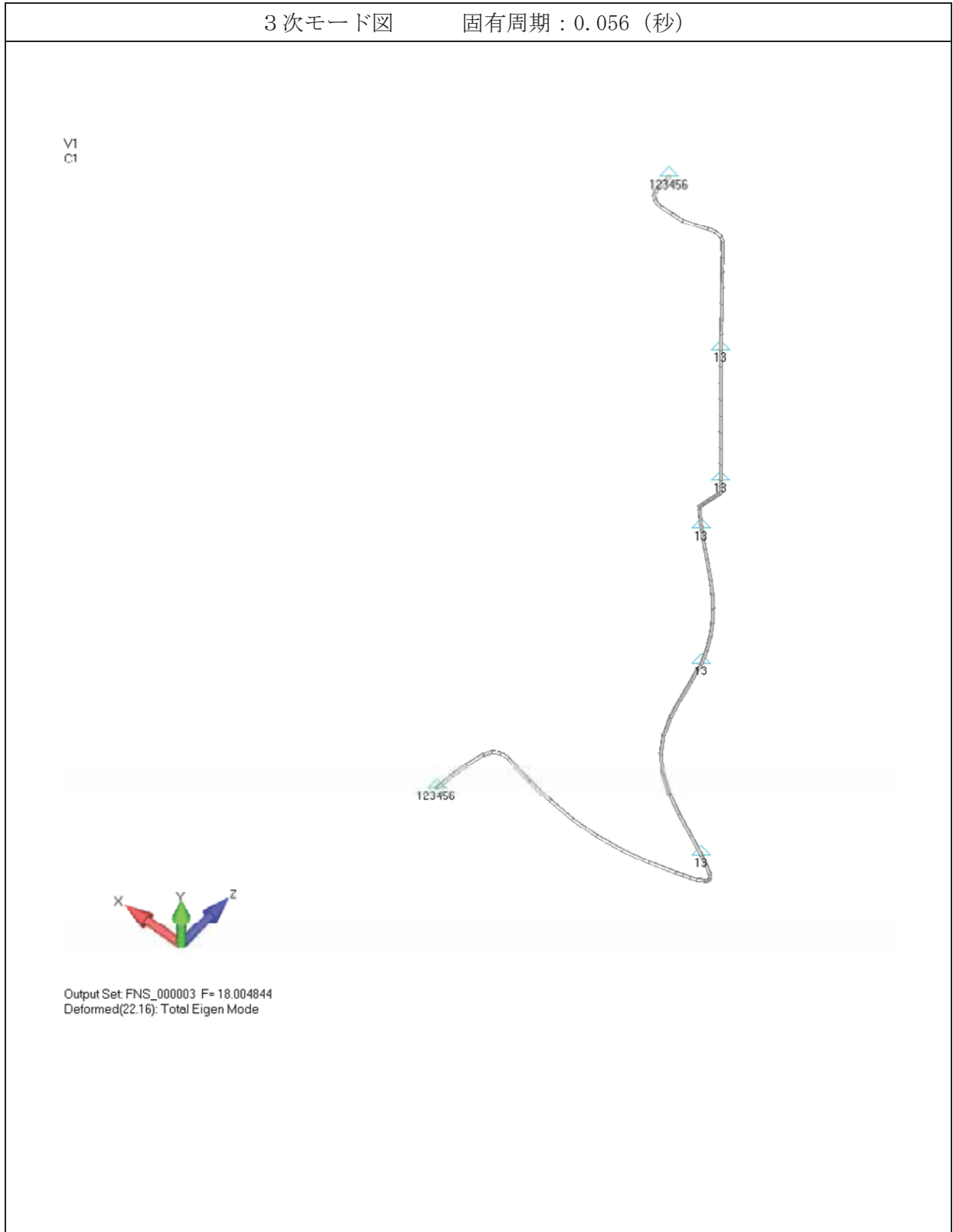


図 4-6 1次冷却水系配管(KG11-145) 固有モード図 (3/3)

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

ガラス固化技術開発施設(TVF)の1次冷却水系配管(KG11-145)の各評価部位の発生応力はいずれも許容応力以下であることを確認した。

表 5.1 構造強度評価結果

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
1次冷却水系 配管(KG11-145)	配管	一次	188	413	0.46

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

6.3 槽類換気系配管 (KG41-265, KG-41-266)
の耐震性についての計算書

【目次】

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用規格・基準等	1
3. 評価部位	1
4. 構造強度評価	2
4.1 荷重の組み合わせ	2
4.2 許容応力	2
4.3 減衰定数	3
4.4 設計用地震力	3
4.5 計算方法	5
4.6 計算条件	5
4.7 固有周期	7
5. 評価結果	11

1. 概要

高放射性廃液の崩壊熱除去機能および閉じ込め機能を構成する槽類換気系配管 (KG41-265, KG-41-266) について、「再処理施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び「耐震設計に係る工認審査ガイド」を踏まえ，廃止措置計画用設計地震動によって生じる地震力が作用したとしてもその安全機能の維持が可能であることを示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

評価対象の槽類換気系配管 (KG41-265, KG-41-266) の構造強度の評価は，有限要素法 (FEM) 解析により行い，当該設備に廃止措置計画用設計地震動時に発生する最大応力を評価し，構造上の許容限界を超えないことを確認する。

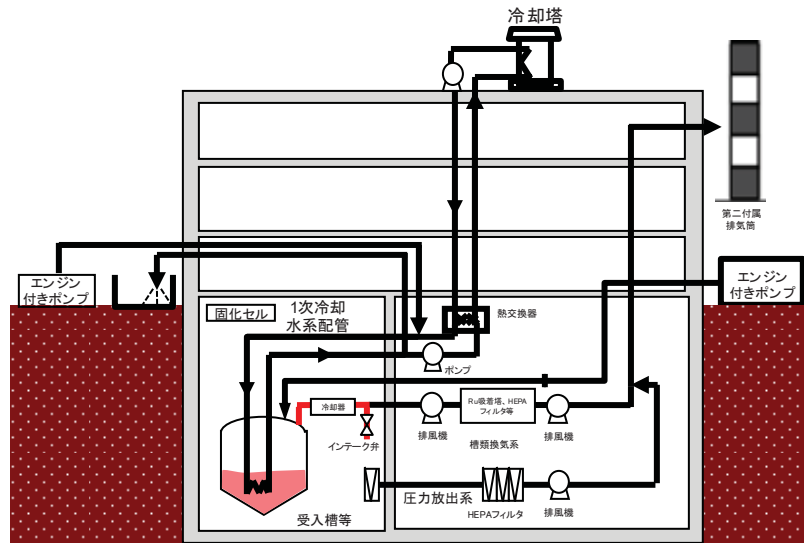
2.2 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601 (日本電気協会)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 (日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 (日本機械学会)

3. 評価部位

槽類換気系配管 (KG41-265, KG-41-266) の構造強度の評価は，本体の一次応力について実施する。評価の範囲は事故対処設備として機能維持が求められる槽類換気系配管の系統の一部(図 3.1)とする。



配管系統の評価範囲
 槽類換気系配管：
 重大事故時に影響緩和のために期待する受入槽からインテーク弁までの放出経路（赤線部）。
 なお、冷却器は別紙で評価する。

図 3.1 槽類換気系配管 (KG41-265, KG-41-266) の概要図

4. 構造強度評価

4.1 荷重の組み合わせ

発生応力の算出においては、自重、圧力及び地震による応力を組み合わせた。地震による応力については、水平方向応力と鉛直方向応力を、二乗和平方根（SRSS）法により組み合わせた。

4.2 許容応力

配管の構造強度の許容応力は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」及び「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1-2012」を準拠し、供用状態 Ds における許容応力を用いた。供用状態 Ds について、温度は設計温度、圧力については設計圧力、配管内部の流体については充填し、それぞれ生じる荷重と廃止措置計画用設計地震動による地震力を組み合わせた状態とした。

評価部位	応力分類	許容応力
配管	一次応力	0.9 Su

4.3 減衰定数

減衰定数は、「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に規定された値を用いた。

使用した減衰定数を表 4-1 に示す。

表 4-1 使用した減衰定数

評価対象設備	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
槽類換気系配管 (KG41-265, KG-41-266)	0.5	0.5

4.4 設計用地震力

「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」に基づき、廃止措置計画用設計地震動による建家の地震応答解析の結果得られる各階の床応答加速度をもとに、各階の床応答スペクトル (Ss-D, Ss-1, Ss-2 の 3 波包絡, 周期軸方向に±10%拡幅したもの) を作成し、これを評価に用いた。

槽類換気系配管 (KG41-265, KG-41-266) の解析用の床応答スペクトルは、機器据付階 (地下 1 階) のものを用いた。使用した解析用の床応答スペクトルを表 4-2, 図 4-1 及び図 4-2 に示す。

表 4-2 使用した解析用の床応答スペクトル

評価対象設備	水平方向	鉛直方向
槽類換気系配管 (KG41-265, KG-41-266)	解析用の床応答スペクトル (地下 1 階, 減衰定数 0.5%)	解析用の床応答スペクトル (地下 1 階, 減衰定数 0.5%)

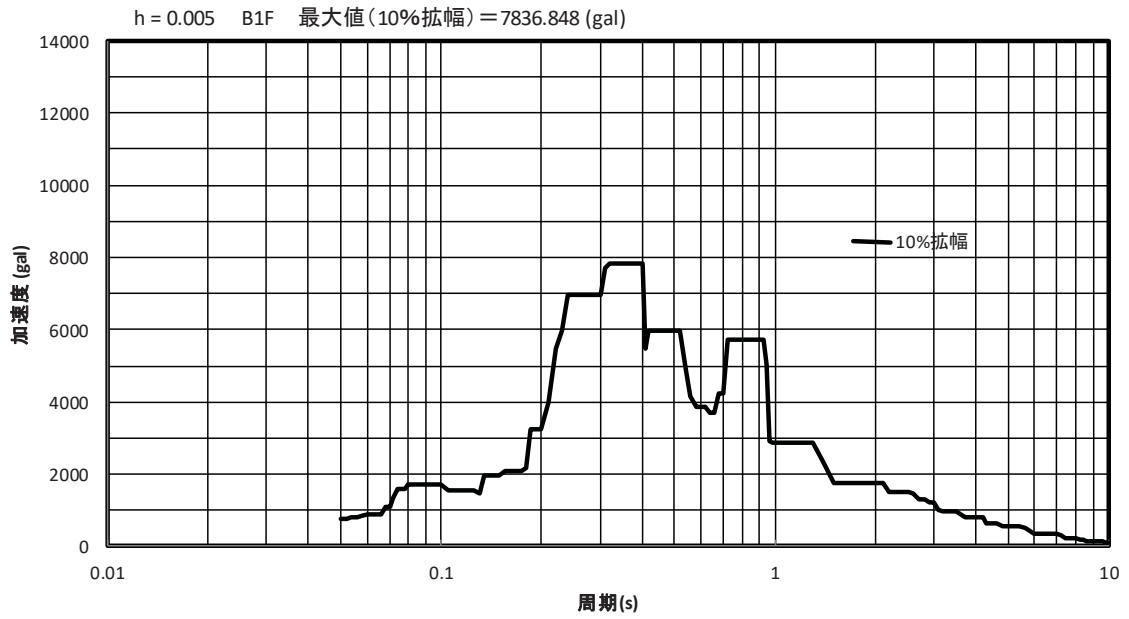


図 4-1 解析用の床応答スペクトル (水平方向, 地下 1 階, 減衰定数 0.5%)

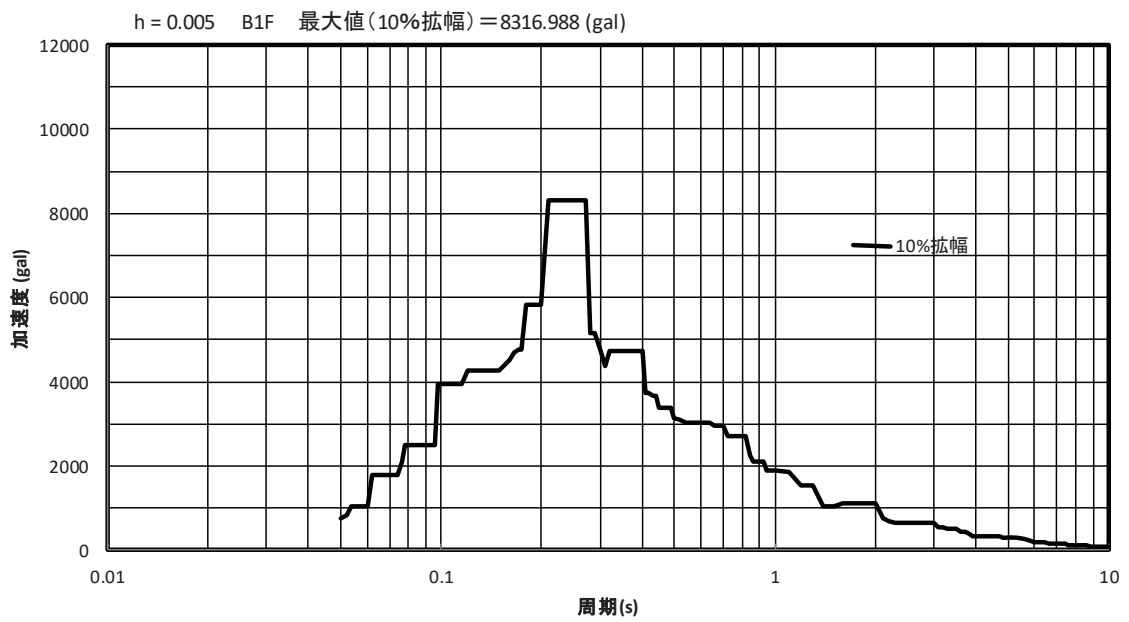


図 4-2 解析用の床応答スペクトル (鉛直方向, 地下 1 階, 減衰定数 0.5%)

4.5 計算方法

槽類換気系配管 (KG41-265, KG-41-266) の計算方法について、FEM 解析（スペクトルモーダル法）により発生応力を算出した。発生応力と許容応力を比較することにより評価を行った。解析コードは FINAS^{※1} を用いた。

※1 日本原子力研究開発機構，伊藤忠テクノソリューション株式会社，“FINAS 汎用非線形構造解析システム Version 21.0”。

4.6 計算条件

4.6.1 解析モデル

槽類換気系配管 (KG41-265, KG-41-266) の解析モデルを図 4-4 に、拘束条件を図 4-5 に示す。FEM 解析のモデルは、その振動特性に応じ、代表的な振動モードが適切に表現でき、地震荷重による応力を適切に算定できるものを用いた。

4.6.2 諸元

槽類換気系配管 (KG41-265, KG-41-266) の主要寸法・仕様を表 4-3 に示す。

表 4-3 主要寸法・仕様

評価対象設備	項目	値
槽類換気系配管 (KG41-265, KG-41-266)	耐震重要度分類	S クラス
	機器区分	クラス 3
	流体名	空気
	流体の密度	—
	材質	SUS304LTP
	保温有無	無
	温度（設計温度）	65 (°C)
	圧力（設計圧力）	—
	呼び径	80 (A)
	Sch	20S