

3.5 1次冷却水系配管及び緊急放出系配管
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	2
3. 評価部位	2
4. 構造強度評価	3
4.1 荷重の組み合わせ	3
4.2 許容応力	3
4.3 設計用地震力	4
4.4 計算方法	5
4.5 計算条件	5
5. 評価結果	7

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 次冷却水系配管及び緊急放出系配管について、「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

評価対象の配管は，振動数基準の定ピッチスパン法により設置している。配管の構造強度の評価は，「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」に基づき，当該配管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。

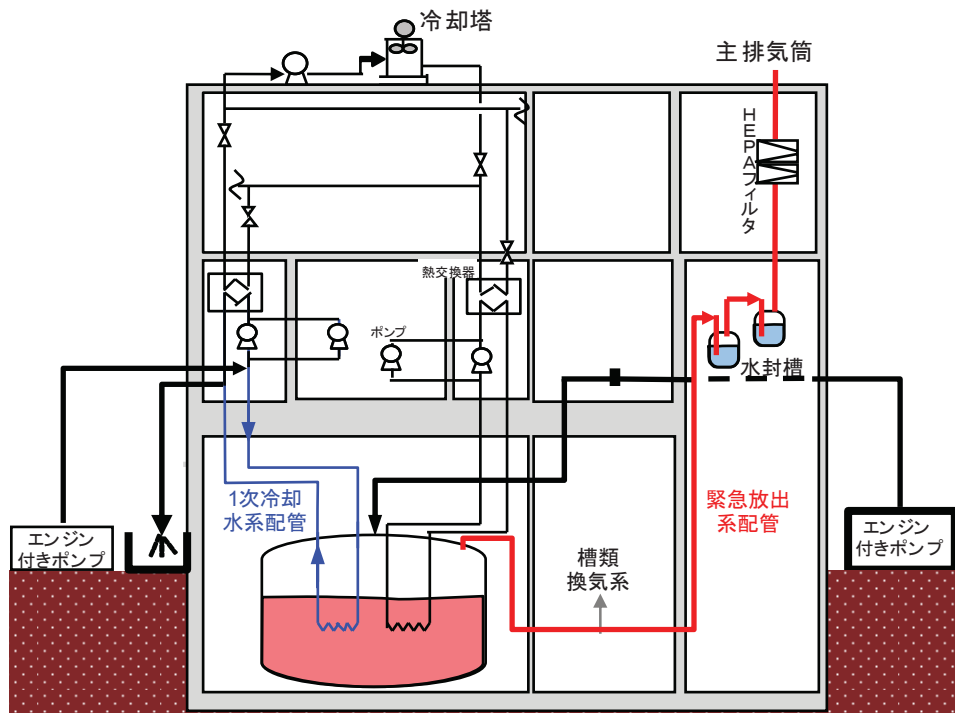
- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 (日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601 (日本電気協会)
- (3) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC1 (日本機械学会)
- (4) 発電用原子力設備規格 材料規格 JSME S NJ1 (日本機械学会)

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_0	管の外径	mm
g	重力加速度	mm/s ²
i_1	設計・建設規格 PPC-3530 及び PPC-3810 に定める応力係数	—
L	最大支持間隔	mm
M_a	機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント	N・mm
M_b	機械的荷重（地震を含めた短期的荷重）により生じるモーメント	N・mm
P	圧力	MPa
S_{prm}	一次応力	MPa
S_u	JSME S NJ1-2012 Part3 に定める材料の設計引張強さ	MPa
t	管の厚さ	mm
w	管の単位長さ当たりの質量	kg/mm
Z	管の断面係数	mm ³

3. 評価部位

配管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 次冷却水系配管及び緊急放出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次冷却水系配管の接続位置から冷却コイルまでの範囲（青線部）。

緊急放出系配管：
重大事故時に影響緩和のために期待する高放射性廃液貯槽から建家出口までの放出経路（赤線部）。排気筒による拡散効果を期待しないため建家外の配管（ダクト）は評価対象外である。
なお、水封槽及びHEPAフィルタは別紙で評価する。

図 3-1 1次冷却水系配管及び緊急放出系配管の概要図

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 D_s における許容応力を用いた。供用状態 D_s 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	備考
配管	一次応力	0.9 Su	弾塑性挙動の範囲に入ることは許容するものの、崩壊防止の観点から制限を課した許容応力

4.3 設計用地震力

廃止措置計画用設計地震動による高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の各階での静的解析用震度を表 4-1 に示す。

1 次冷却水系配管及び緊急放出系配管の静的解析用震度は、配管据付最上階のもの (RF, 水平方向 : 1.41, 鉛直方向 : 0.80) を用いた。

表 4-1 静的解析用震度

階	静的解析用震度 (床応答最大加速度×1.2)	
	水平方向	鉛直方向
RF	1.41	0.80
5F	1.36	0.80
4F	1.24	0.79
3F	1.18	0.79
1F	1.10	0.78
B1F	1.04	0.77

4.4 計算方法

配管の計算方法として、以下に示す「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC4601-2008」の配管の計算式を適用して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。

$$S_{prm} = \frac{PD_0}{4t} + \frac{0.75i_1(M_a + M_b)}{Z}$$

4.5 計算条件

4.5.1 解析モデル

1次冷却水系配管及び緊急放出系配管については、振動数基準の定ピッチスパン法により設置しており、等分布荷重を受ける両端単純支持はりにモデル化した。1次冷却水系配管及び緊急放出系配管の解析モデルを図4-1に示す。

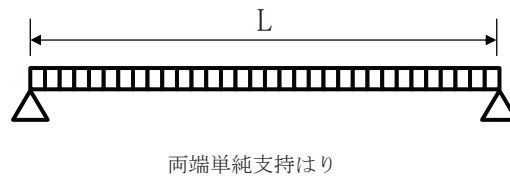


図4-1 1次冷却水系配管及び緊急放出系配管の解析モデル

等分布荷重を受ける両端単純支持はりの M_a は次式で表される。

$$M_a = \frac{wgL^2}{8}$$

また、 M_b については、次式で表される。

$$M_b = \sqrt{(M_a C_H)^2 + (M_a C_V)^2}$$

4.5.2 諸元

1次冷却水系配管及び緊急放出系配管の仕様を表4-2に示す。

表4-2 1次冷却水系配管及び緊急放出系配管の仕様

評価対象 設備	耐震重要 度分類	機器区分	流体名	流体の 密度 (g/cm ³)	材質	保温 有無	温度 (°C)	圧力 (MPa)	呼び径 (A)	Sch	最大支持 間隔 (mm)
1次冷却水 系配管	Sクラス	クラス3	冷却水	1.0	SUS304	無	100	1.37	32	40	2160
									50	20S	2520
									80	10S	2920
									150	10S	3730
									200	10S	4200
緊急放出 系配管	Sクラス	クラス3	空気	—	SUS304LTP	無	100	1.37	80	20S	3380
									200	20S	5310
									400	(9.0 mm) ^{※1}	7340
					SUS304	無	40	—	φ850	(5.0 mm) ^{※1}	11189

※1 () 内は厚さ

5. 評価結果

構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

高放射性廃液貯蔵場 (HAW) の 1 次冷却水系配管及び緊急放出系配管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	呼び径 (A)	Sch	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	応力比 ^{※1}
1 次冷却水系配管	32	40	31	396	0.08
	50	20S	34	396	0.09
	80	10S	41	396	0.11
	150	10S	51	396	0.13
	200	10S	54	396	0.14
緊急放出系配管	80	20S	31	367	0.09
	200	20S	34	367	0.10
	400	(9.0 mm) ^{※2}	38	367	0.11
	φ 850	(5.0 mm) ^{※2}	24	468	0.06

※1 応力比は、発生応力／許容応力を示す。

※2 ()内は厚さ。

4. 配管トレンチの地震応答計算書

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 解析方針	13
2.4 準拠規格・基準	15
2.5 使用材料	15
3. 地震応答解析	16
3.1 解析方法	16
3.2 解析対象断面	17
3.3 入力地震動	19
3.4 解析モデル及び諸元	25
3.5 荷重及び荷重の組合せ	29
4. 地震応答解析結果	30
5. 耐震性評価	32
5.1 評価方針	32
5.2 許容限界	34
5.3 評価方法	37
6. 耐震性評価結果	38
6.1 構造部材の健全性に対する評価結果	38
6.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	38

1. 概要

本資料は、廃止措置計画用設計地震動(Ss)に対して、配管トレンチ(T21)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

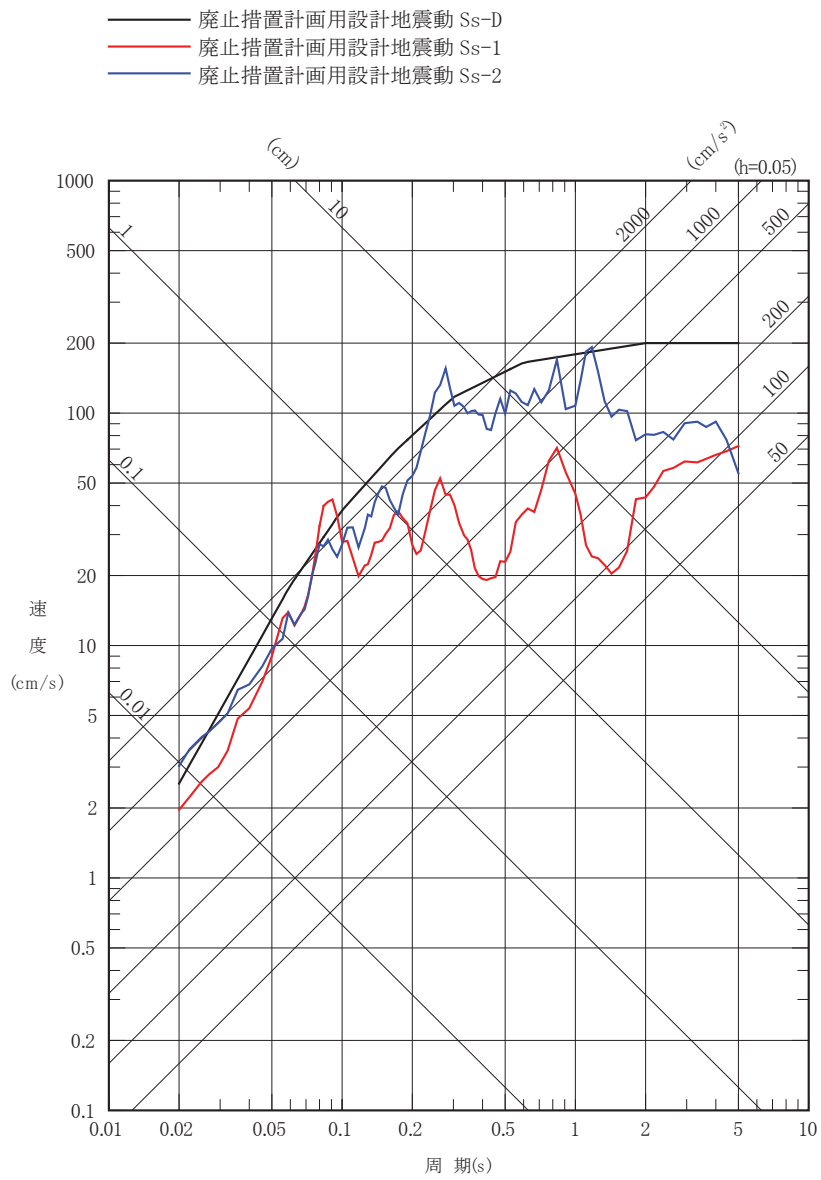


図 1-1 廃止措置計画用設計地震動 (Ss) の応答スペクトル (NS 成分)

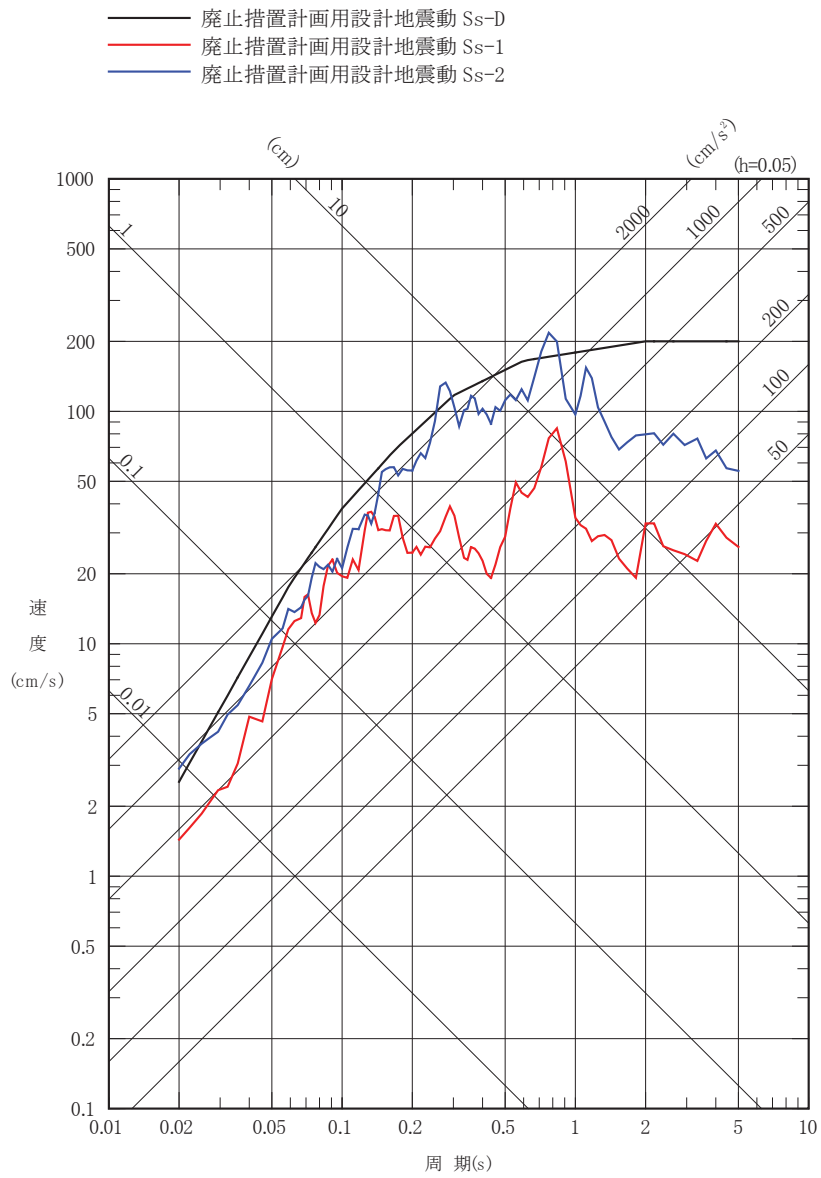


図 1-2 廃止措置計画用設計地震動(Ss)の応答スペクトル(EW成分)

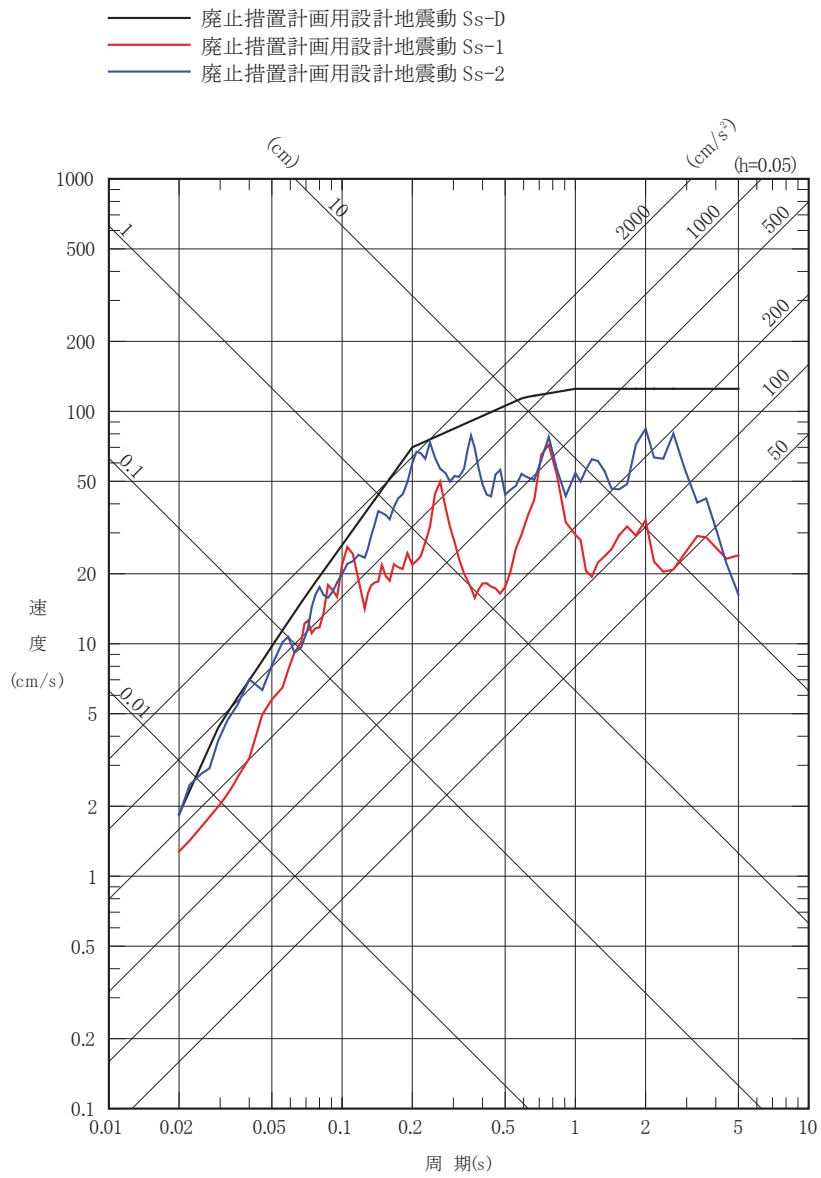


図 1-3 廃止措置計画用設計地震動(Ss)の応答スペクトル(UD成分)

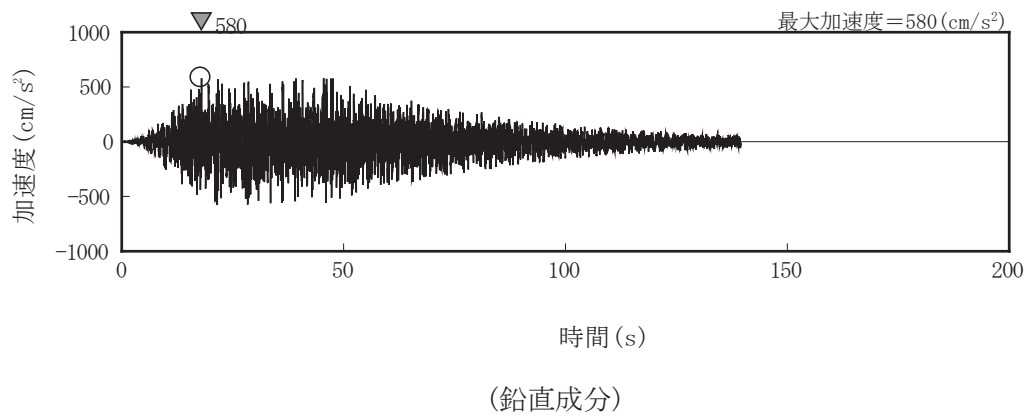
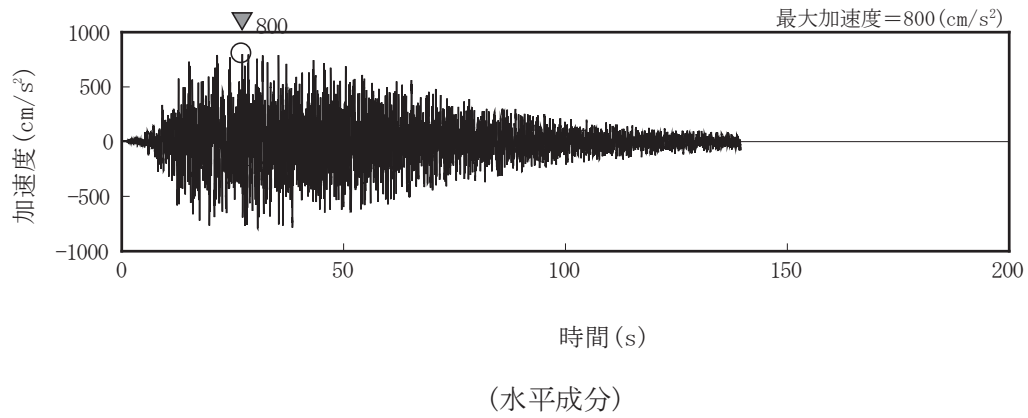


図 1-4 廃止措置計画用設計地震動(Ss-D)の時刻歴波形

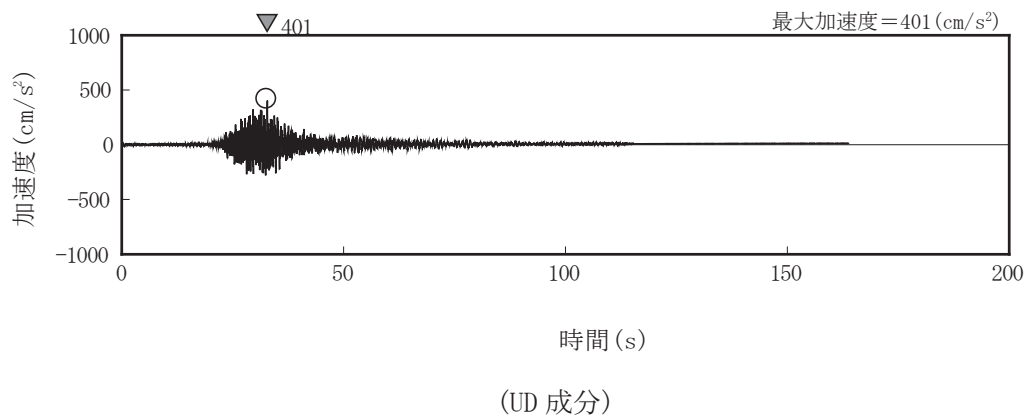
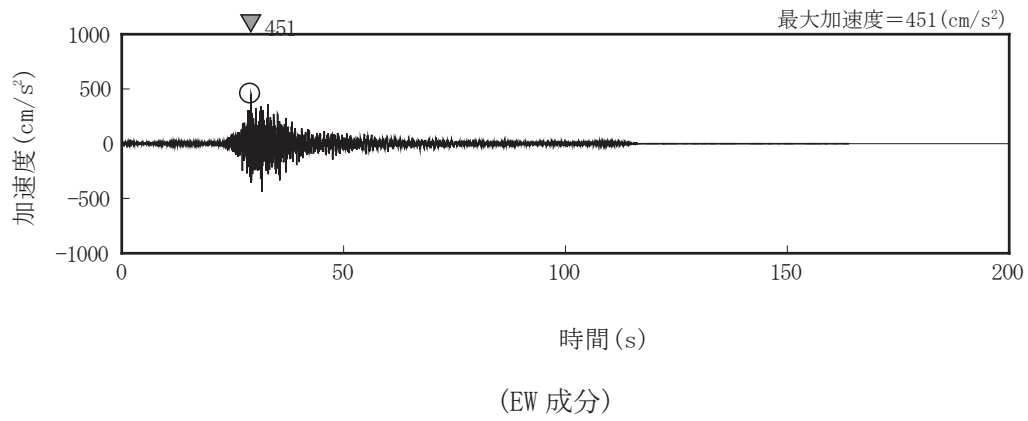
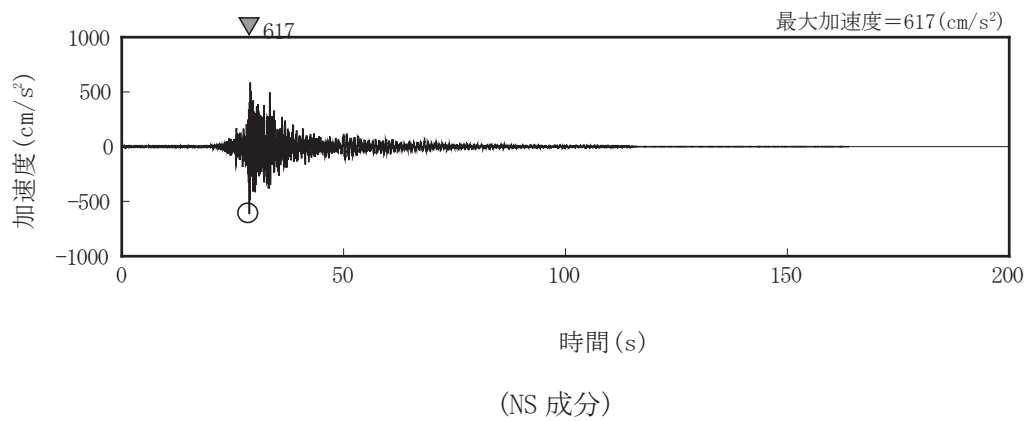


図 1-5 廃止措置計画用設計地震動(Ss-1)の時刻歴波形

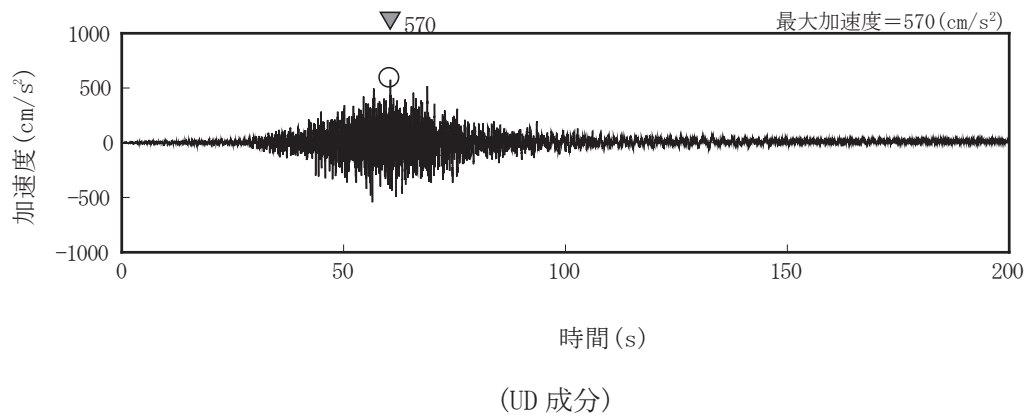
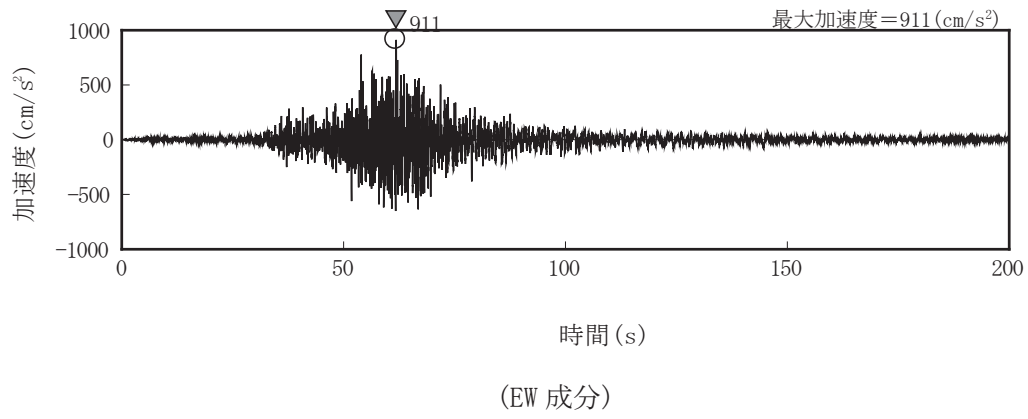
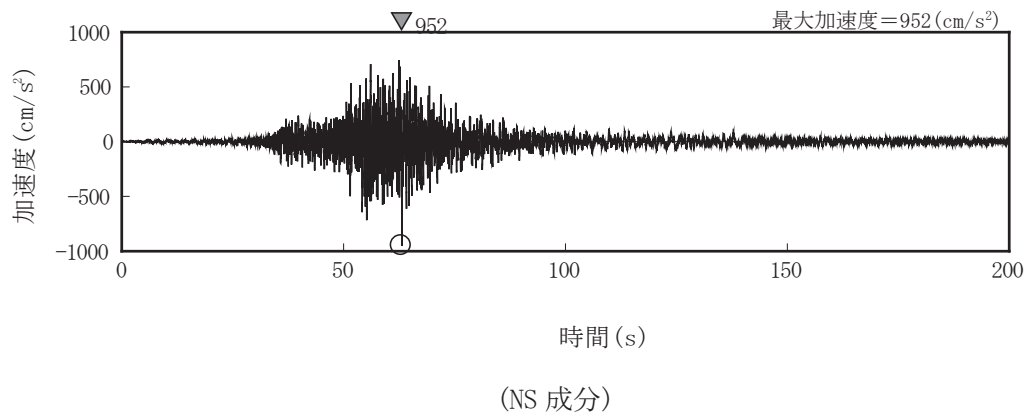


図 1-6 廃止措置計画用設計地震動 (Ss-2) の時刻歴波形

2. 一般事項

2.1 位置

配管トレンチ(T21)の平面配置図を図 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。

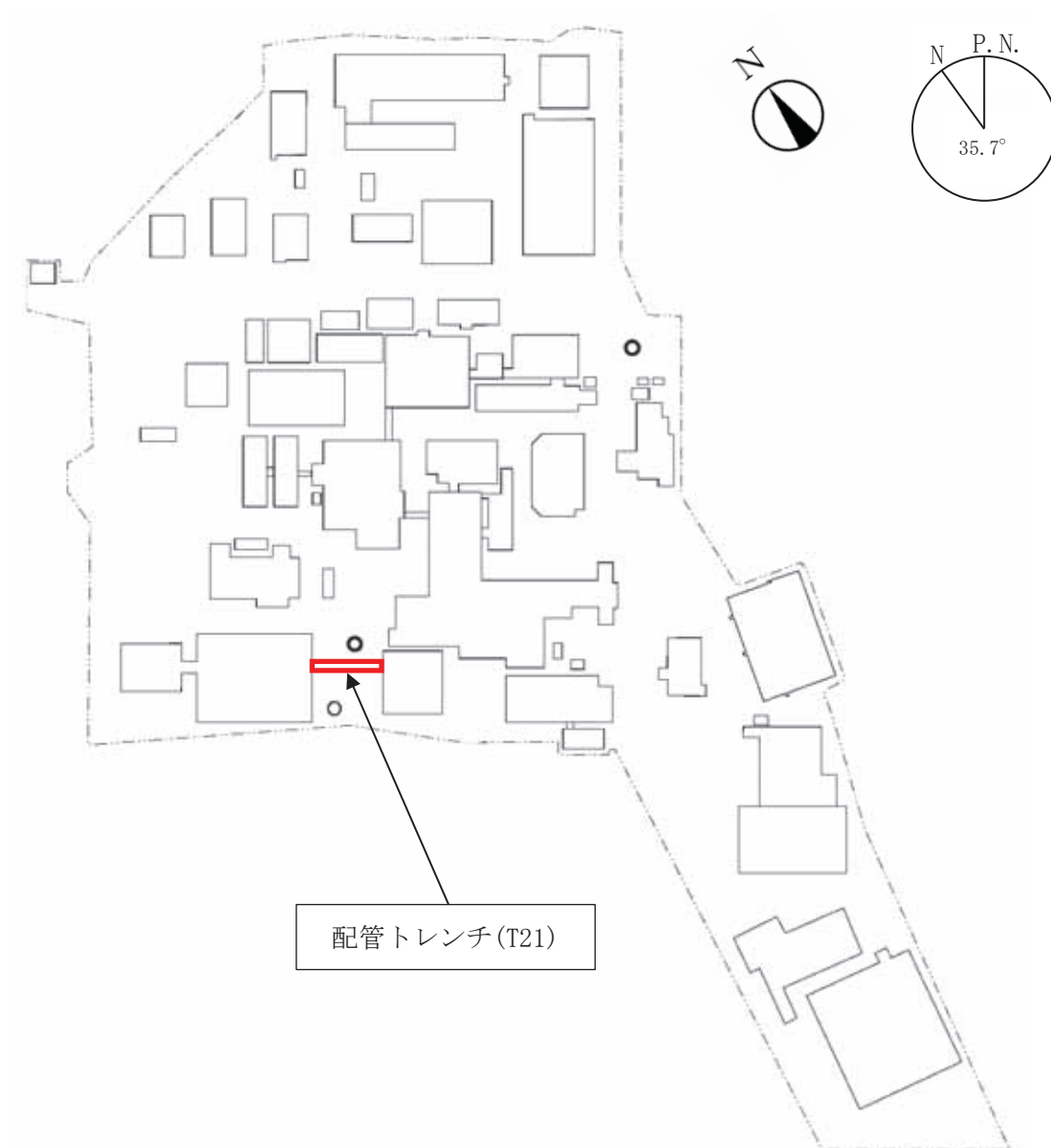


図 2-1 配管トレンチ(T21) 平面配置図

2.2 構造概要

配管トレンチ(T21)は、の鉄筋コンクリート造の地中構造物である。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。

配管トレンチ(T21)の平面図及び断面図を図 2-2 及び図 2-3 に、支持地盤(久米層)の等高線図及び断面図を図 2-4 及び図 2-5 に、配管トレンチ(T21)周辺の地盤改良範囲を図 2-6 に示す。

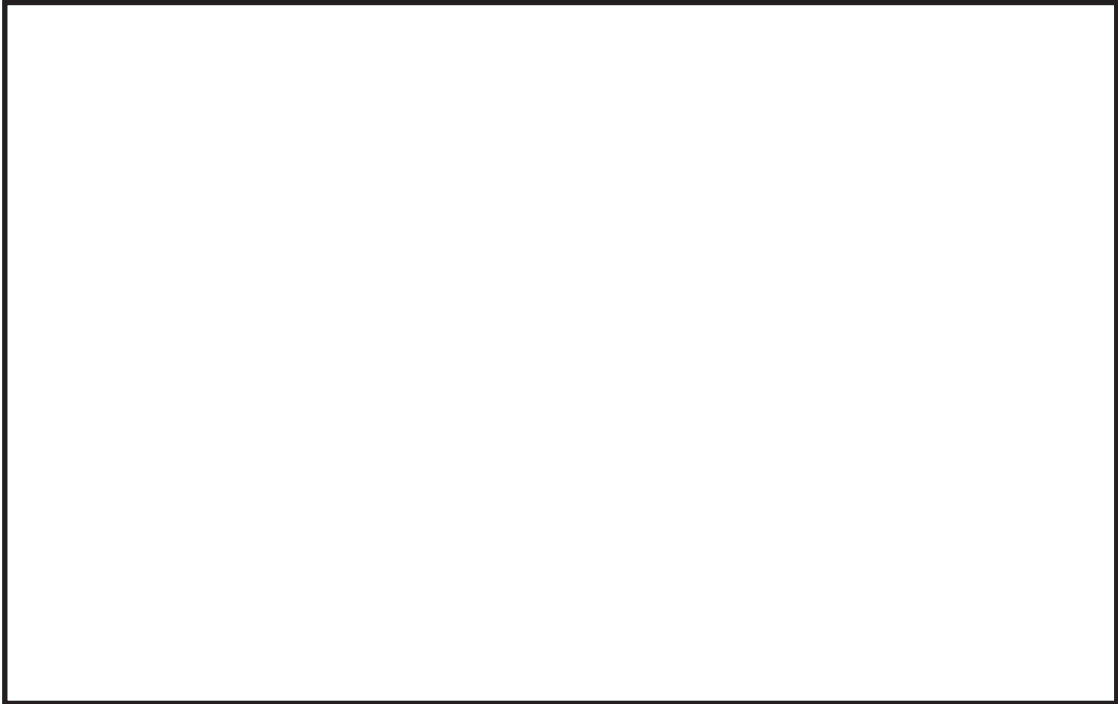


図 2-2 配管トレンチ(T21)の平面図

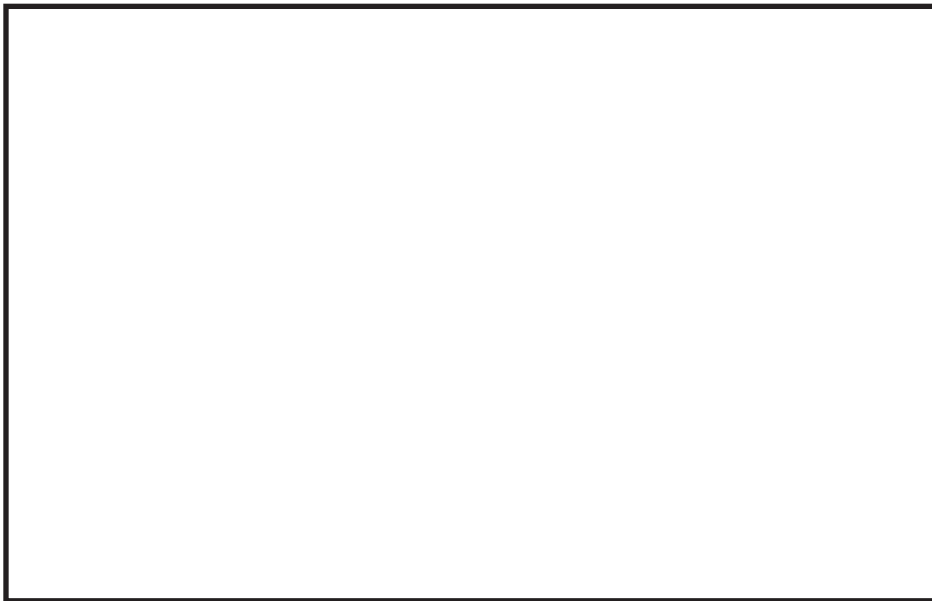


図 2-3 配管トレンチ(T21)の断面図(NS 断面)

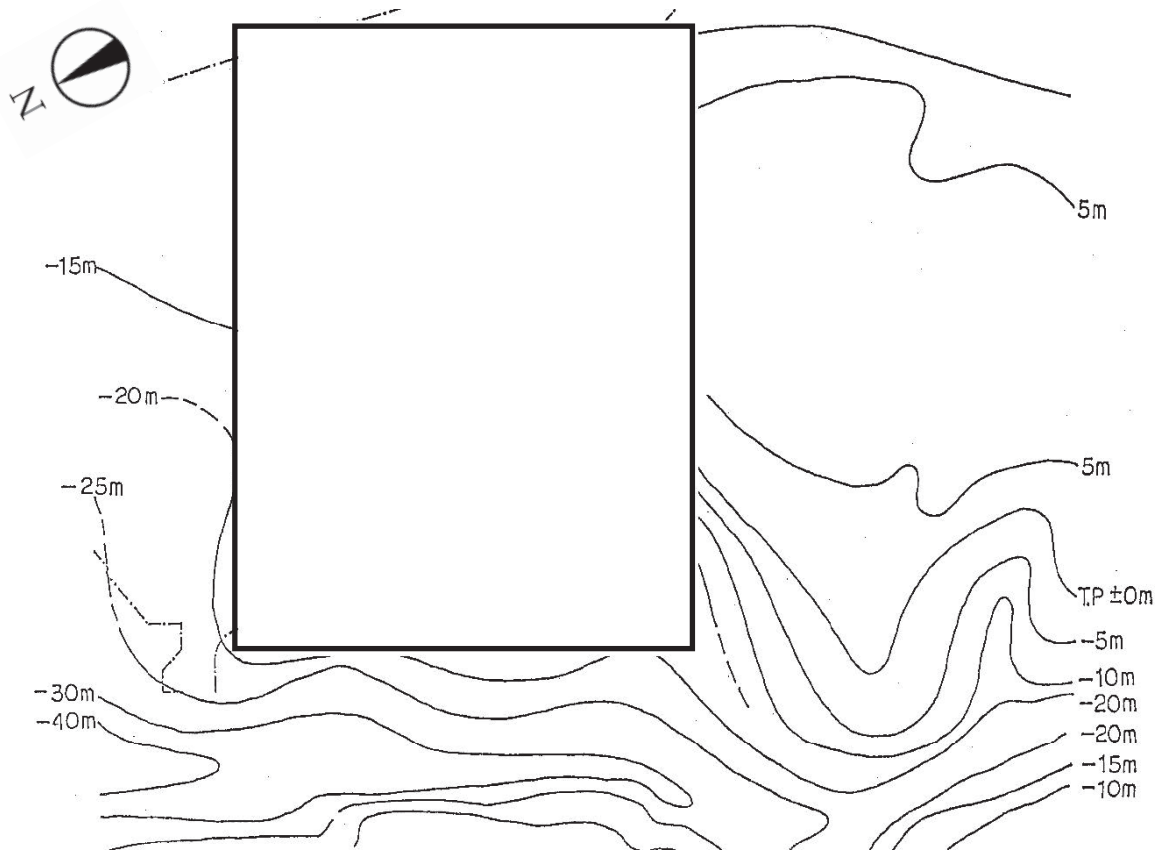
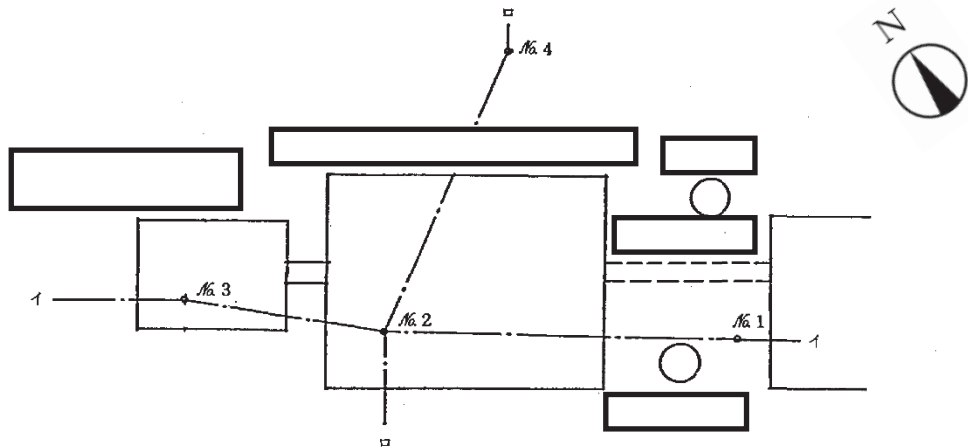


図 2-4 支持地盤(久米層)の等高線図



ボーリング位置図

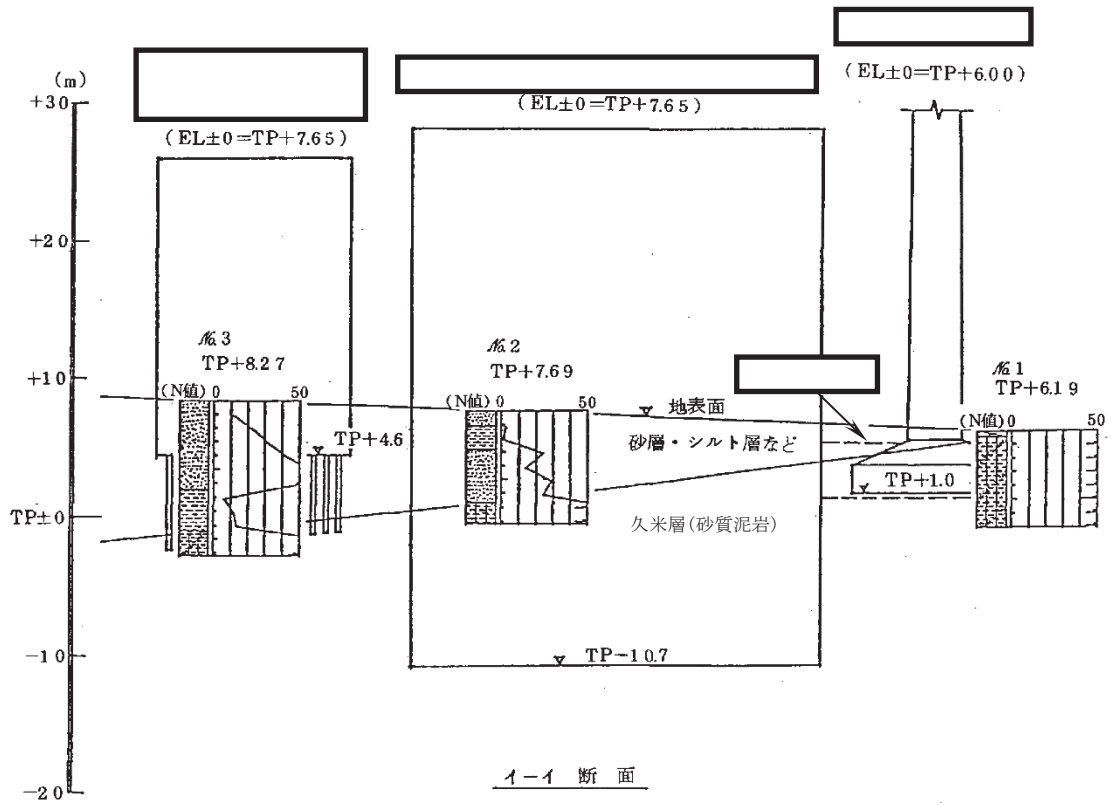


図 2-5 支持地盤(久米層)の断面図

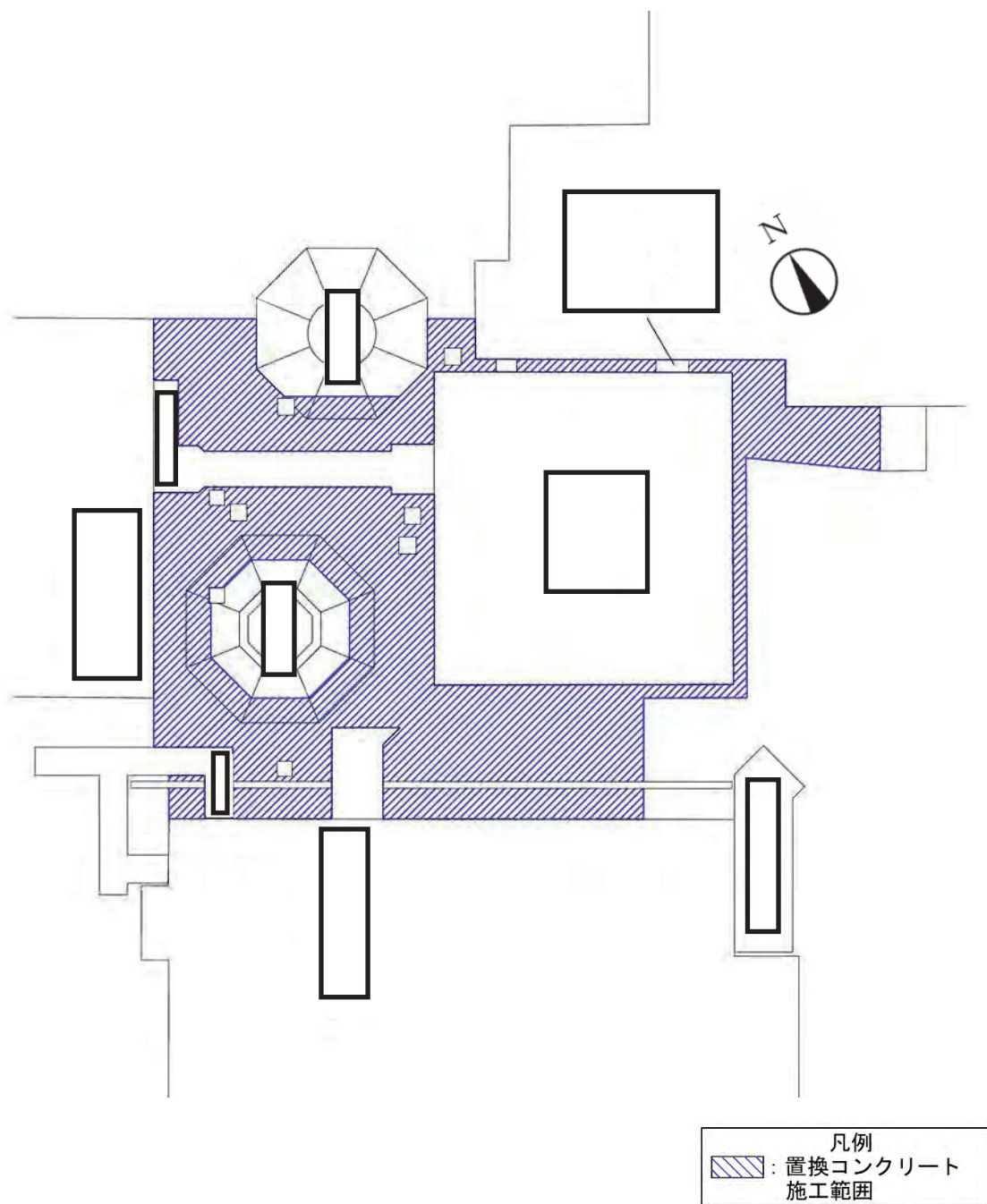


図 2-6 配管トレンチ(T21)周辺の地盤改良範囲

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。

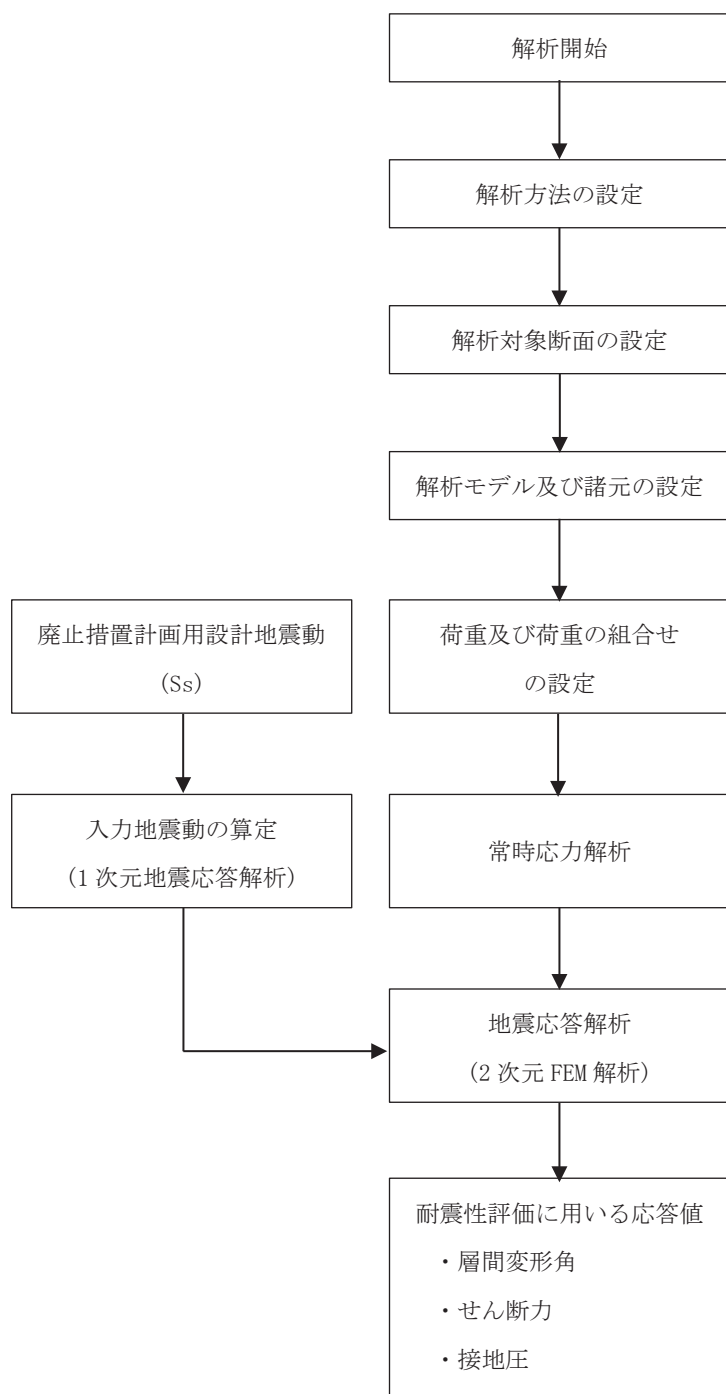


図 2-7 配管トレンチ(T21)の地震応答解析フロー

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。

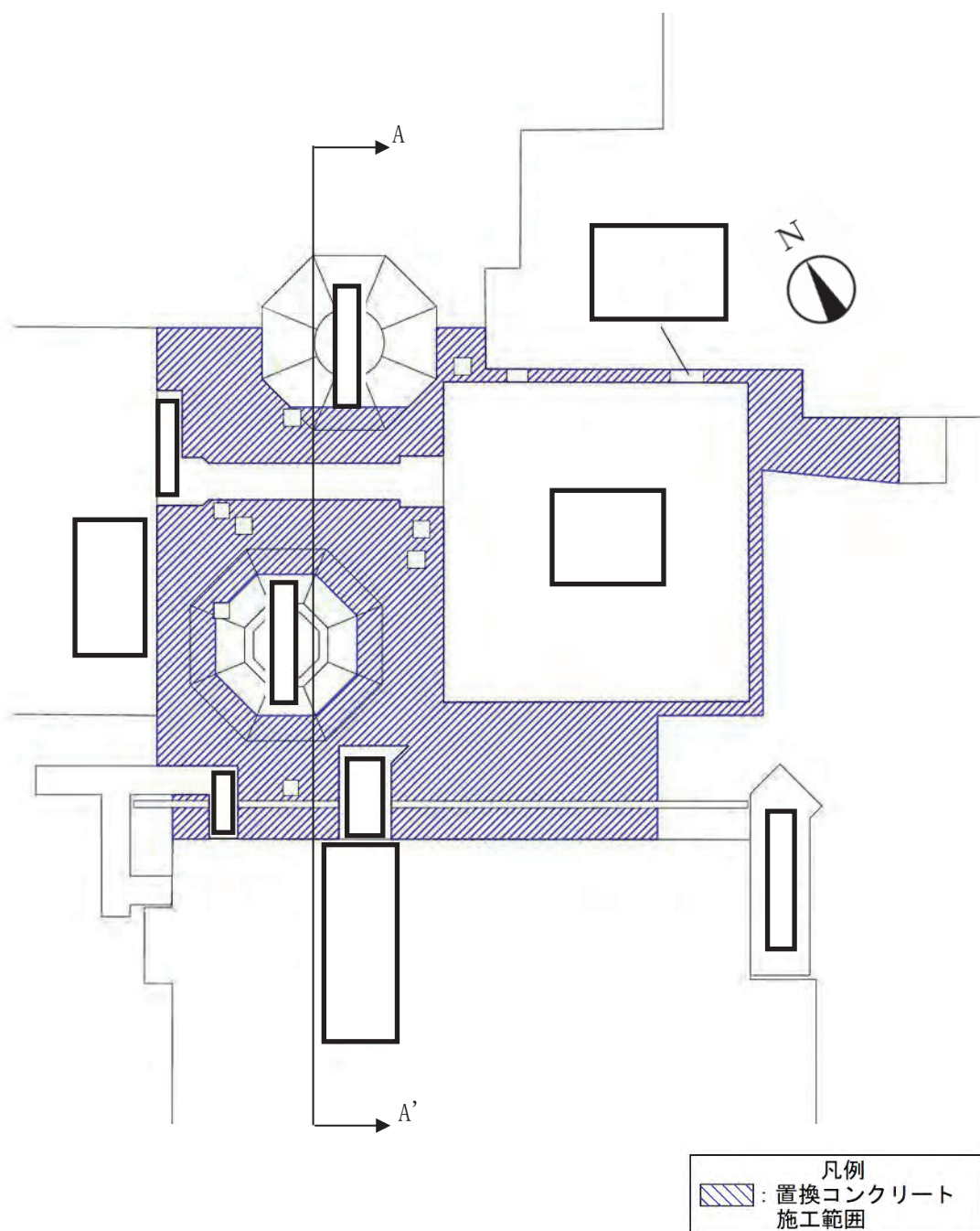


図3-1 配管トレンチ(T21)の解析対象断面位置図

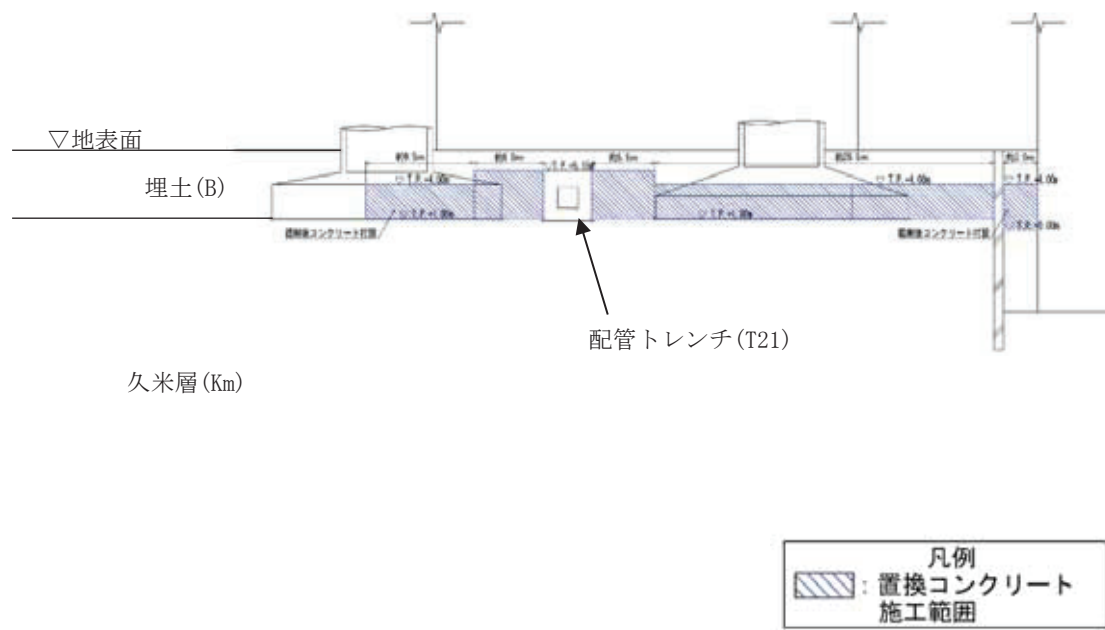


図 3-2 配管トレンチ (T21) の解析対象断面 (A-A' 断面)

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。

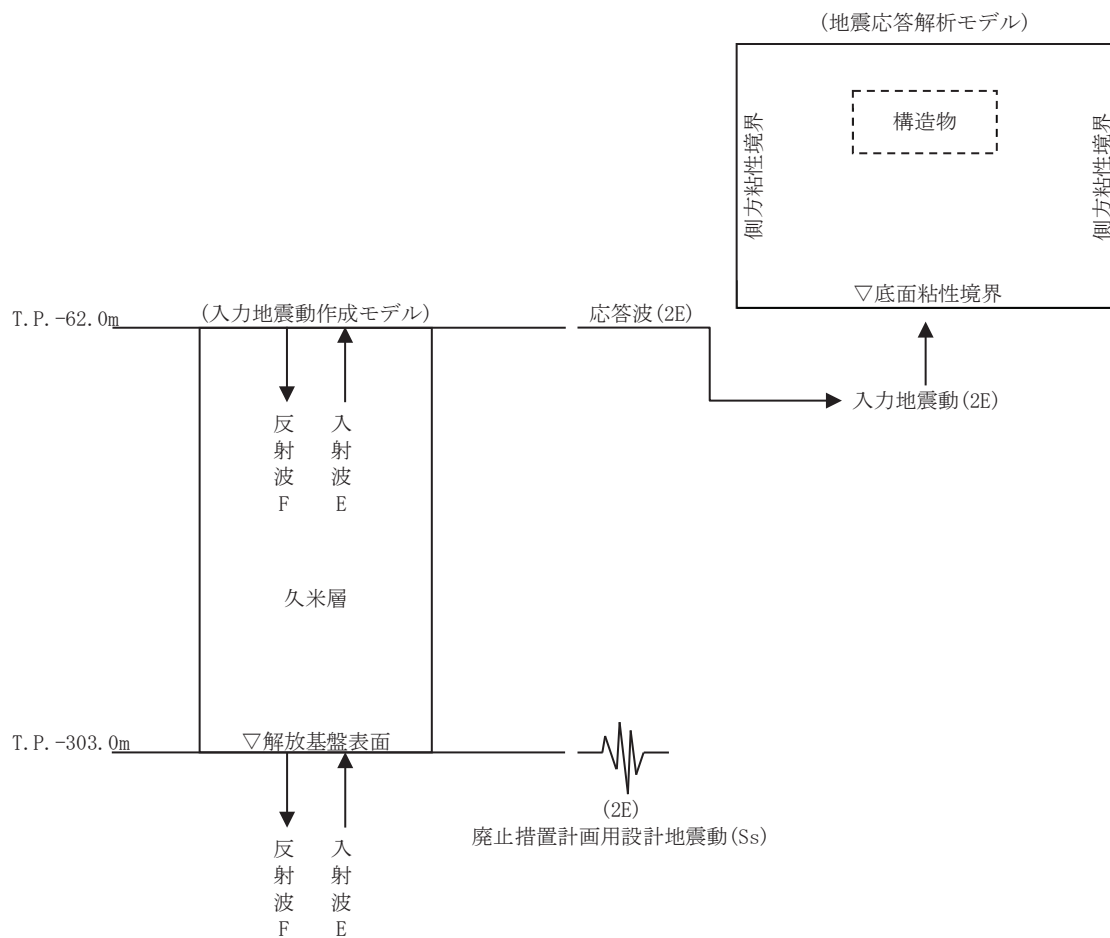
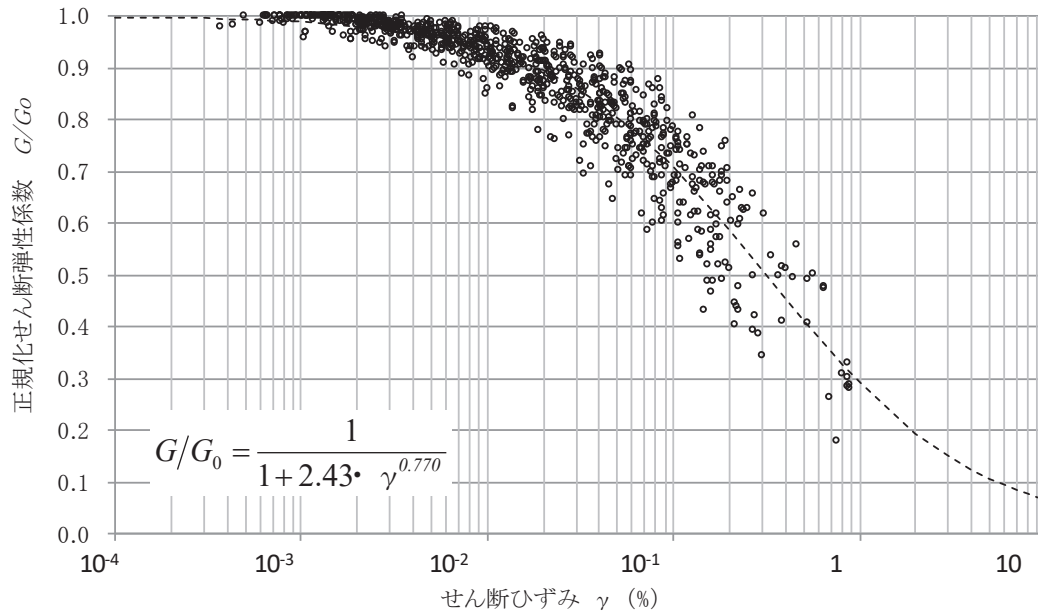


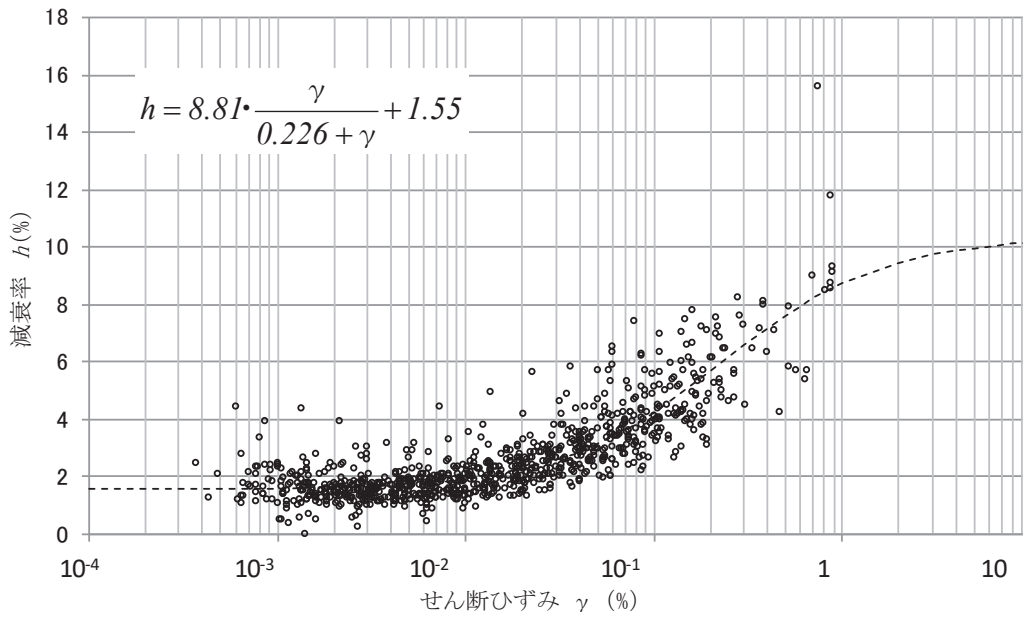
図 3-3 入力地震動算定の概念図

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	764
		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)

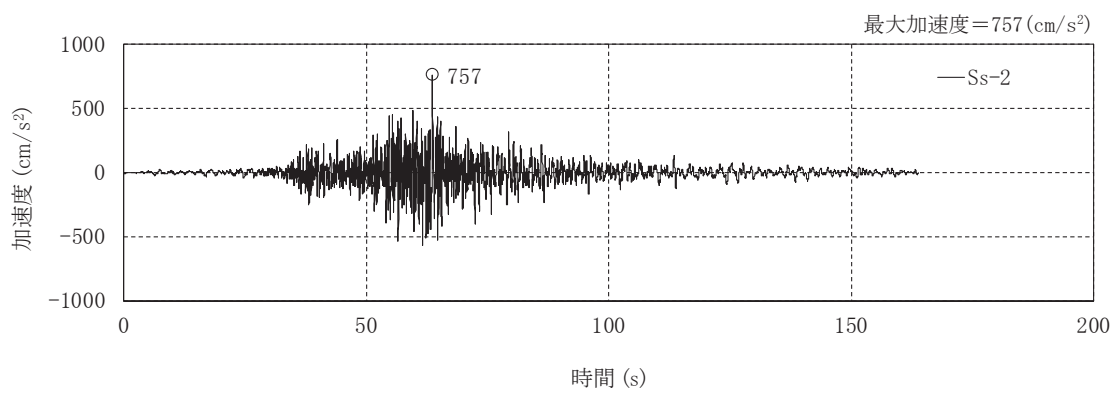
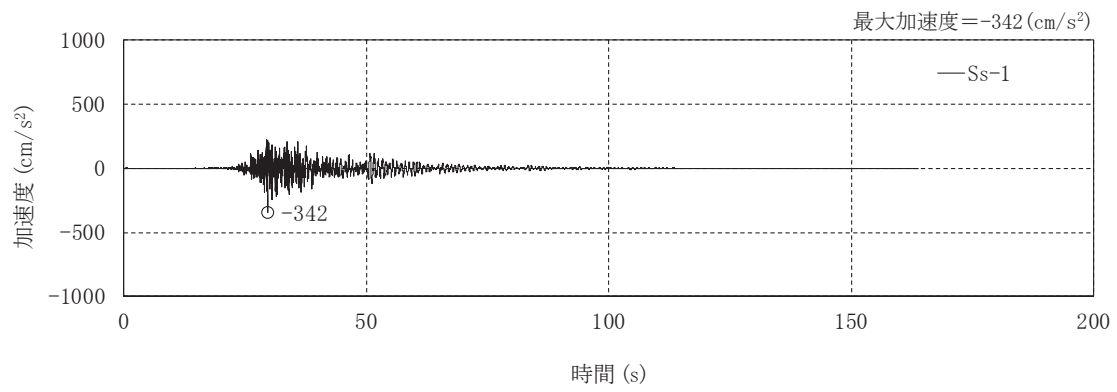
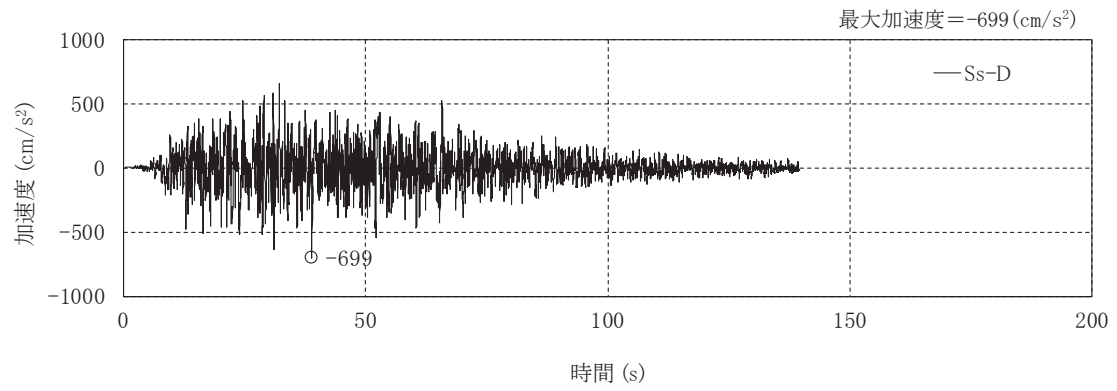


図 3-5 入力地震動の加速度時刻歴波形(水平方向)

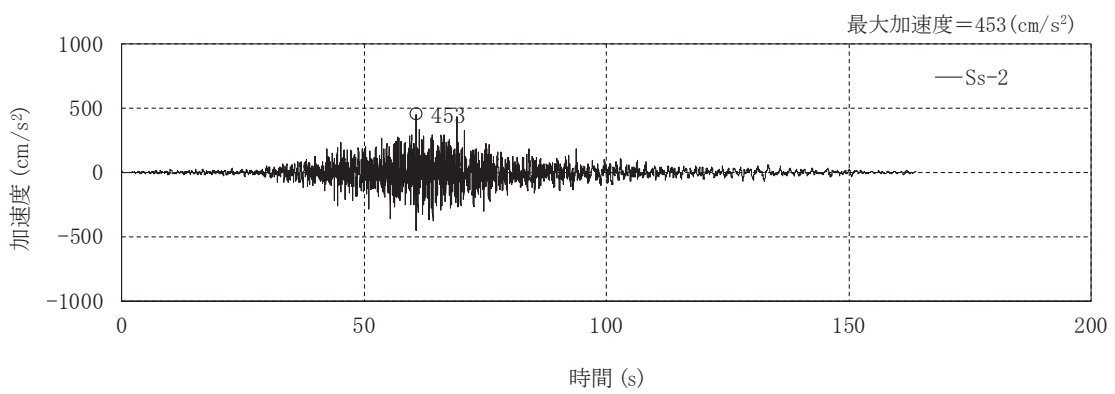
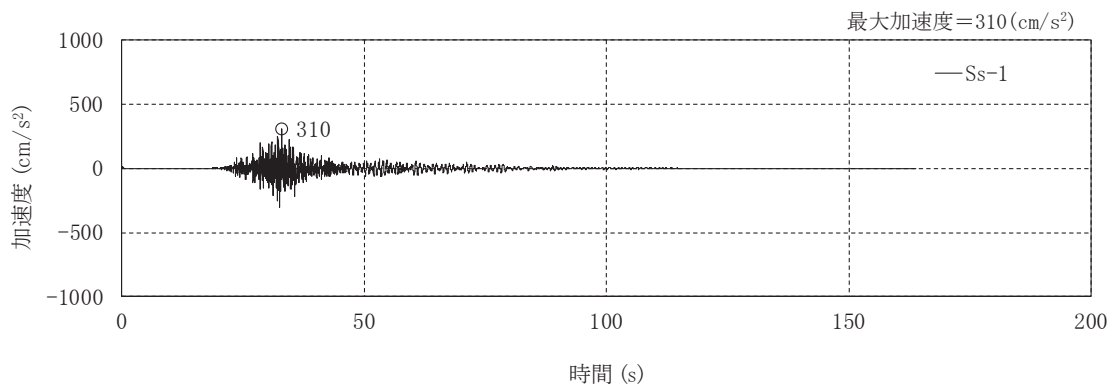
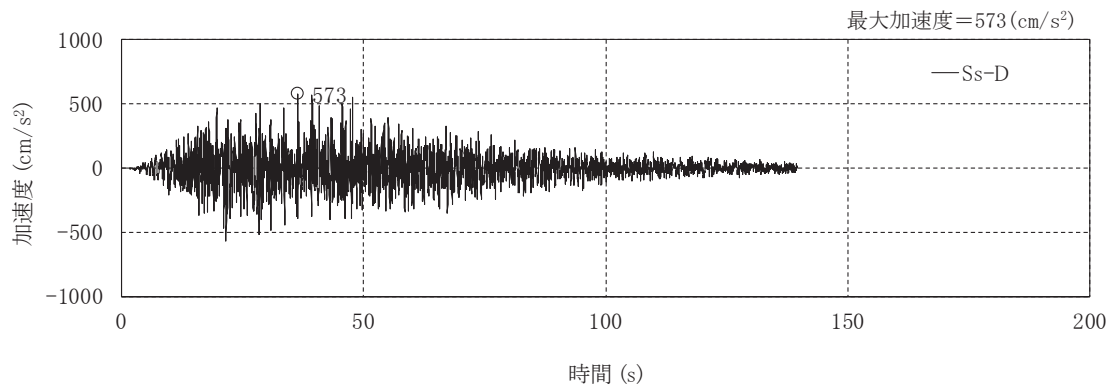
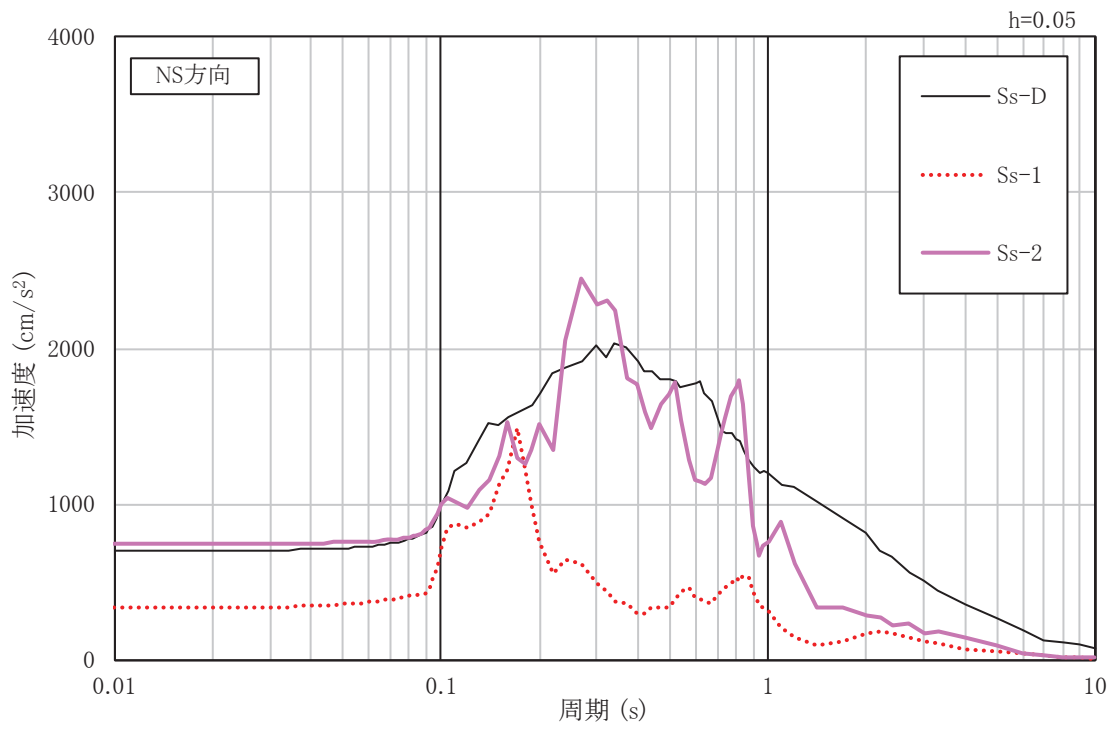
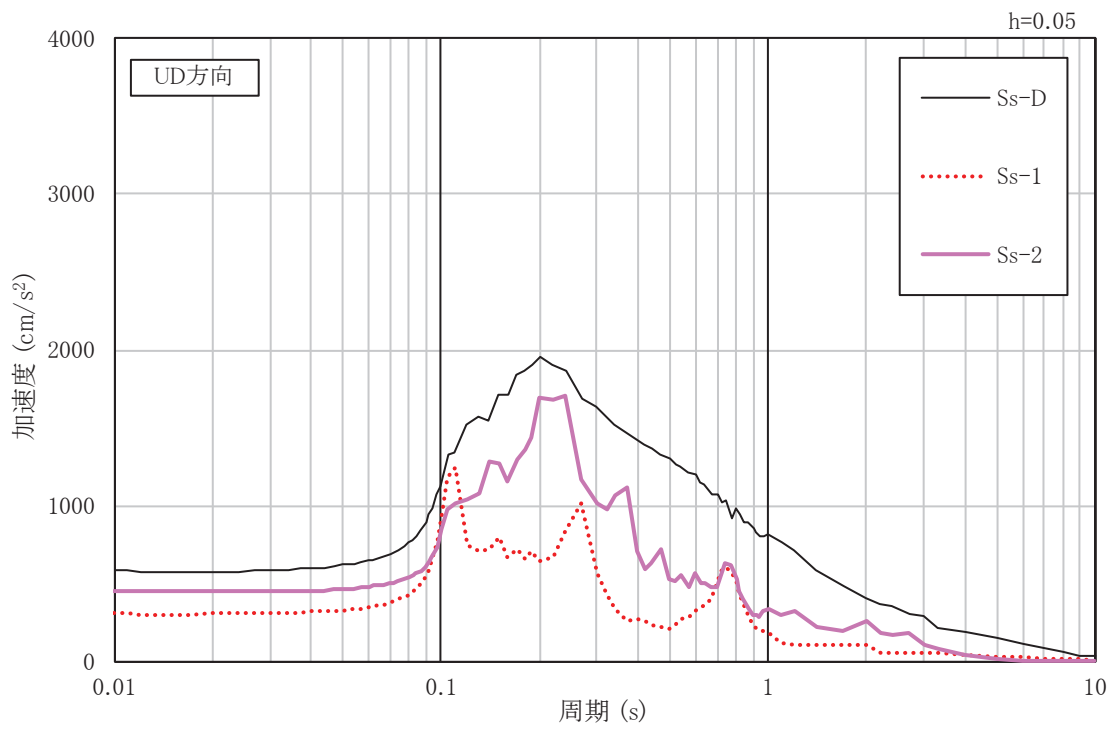


図 3-6 入力地震動の加速度時刻歴波形(鉛直方向)



(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。

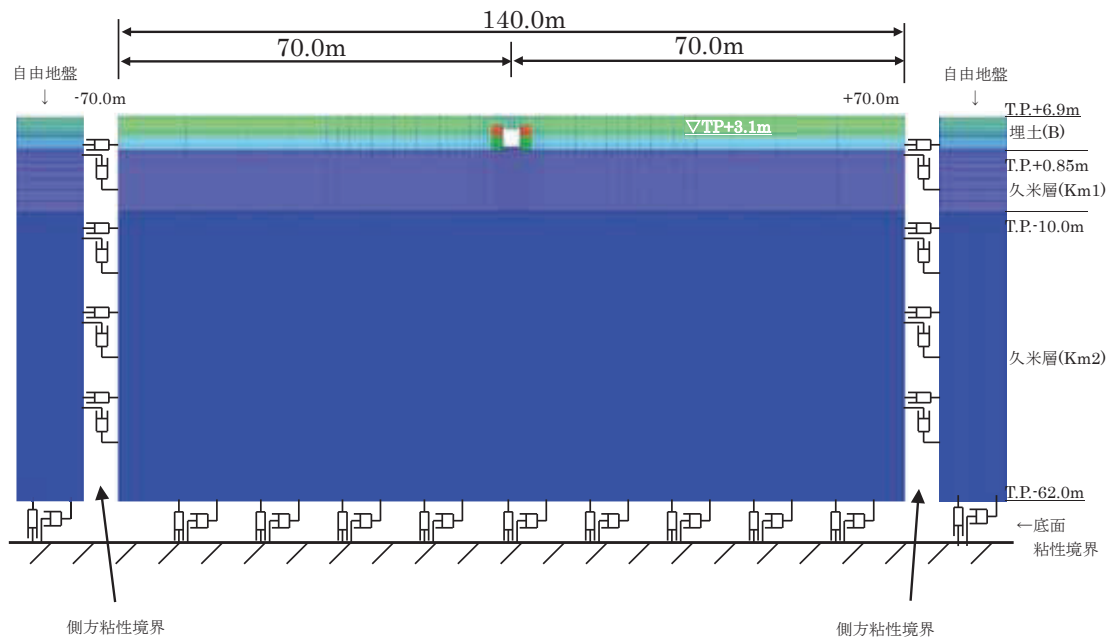
(4) 地盤のモデル化

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。

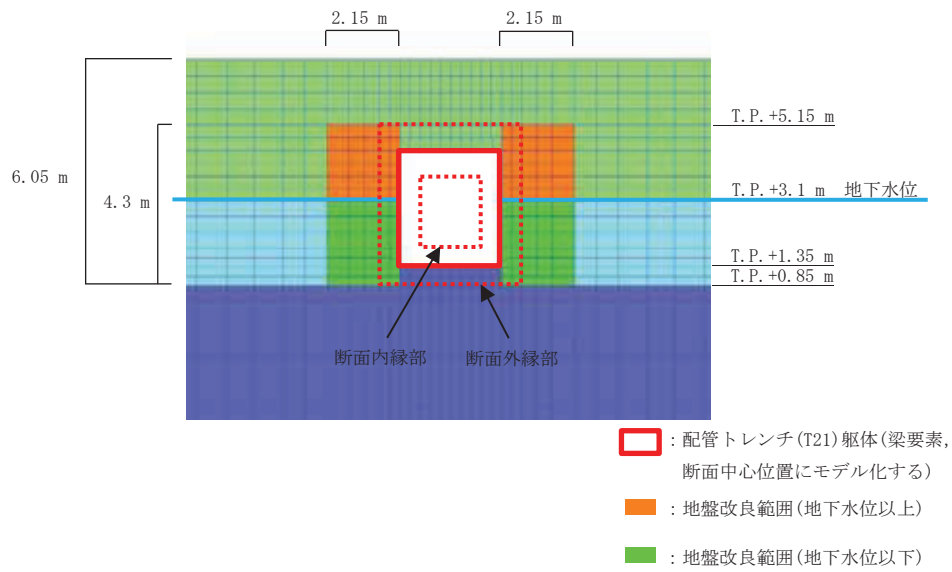
配管トレンチ(T21)側面の地盤改良は、深さ方向に 4.3 m、水平方向に 10 m 以上の範囲で実施するが、解析では保守的な設定として、地盤改良範囲の幅は、深さ方向の $1/2(=2.15 \text{ m})$ までしかないものとしてモデル化する。

(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	—	—

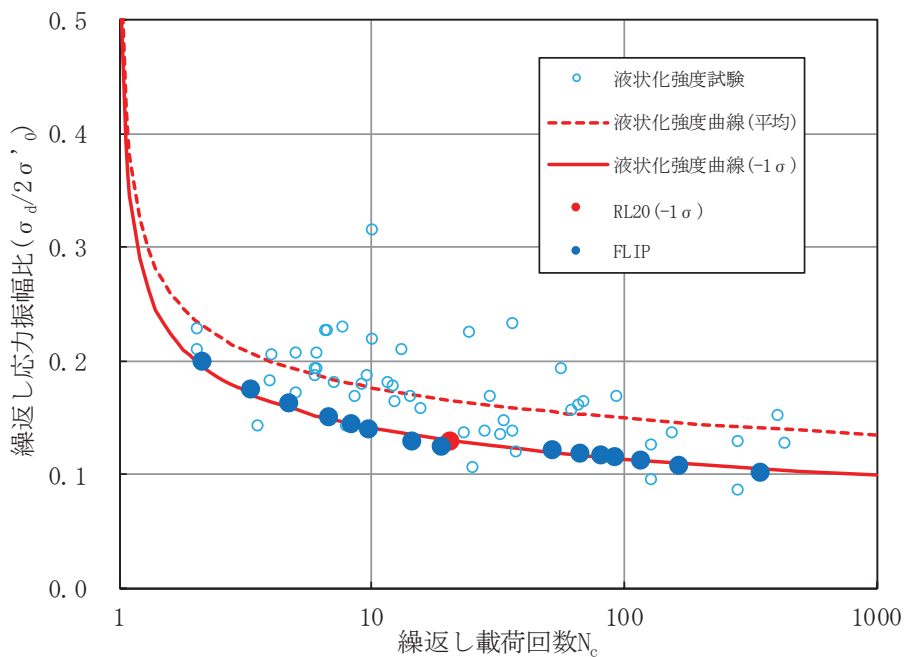


図 3-9 地盤の液状化強度特性(埋土)

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)の地震応答解析において、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

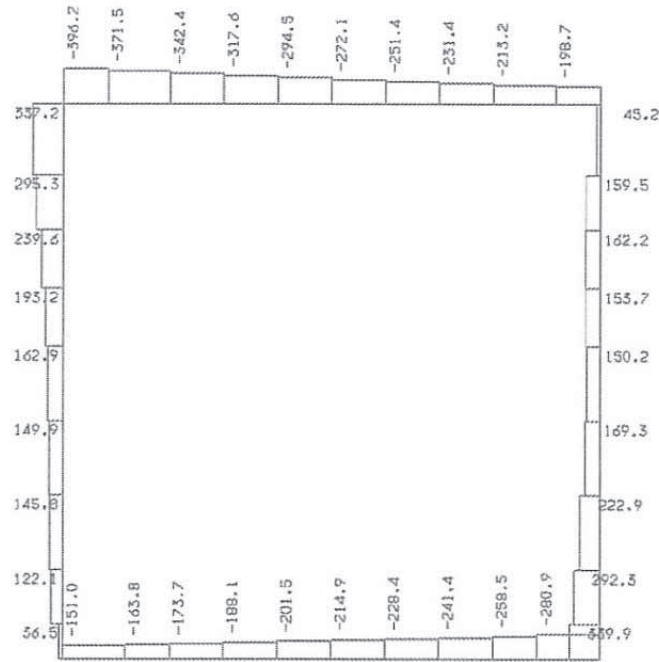
G：固定荷重

P：積載荷重

Ks：地震荷重

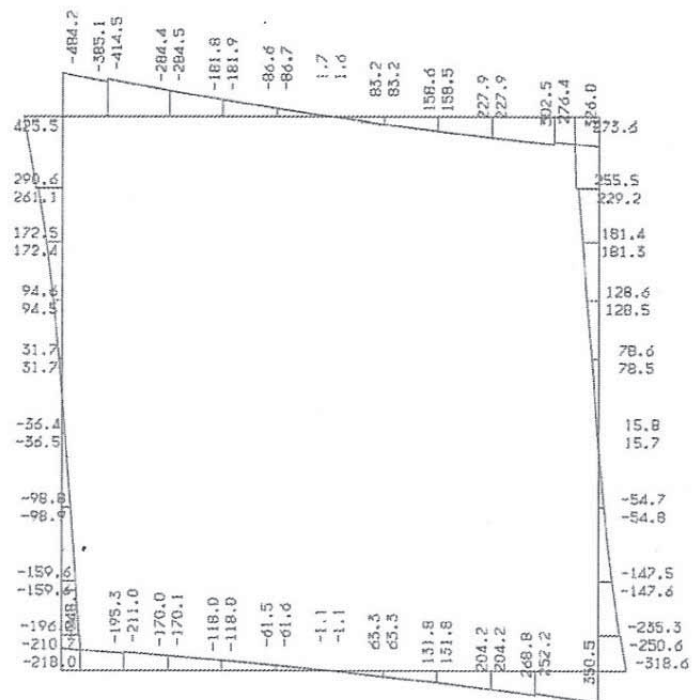
4. 地震応答解析結果

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。



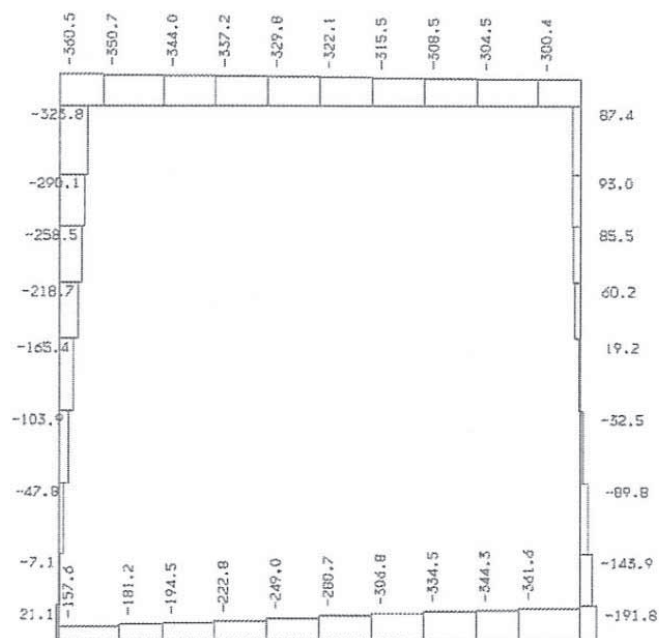
(単位 : kN)

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

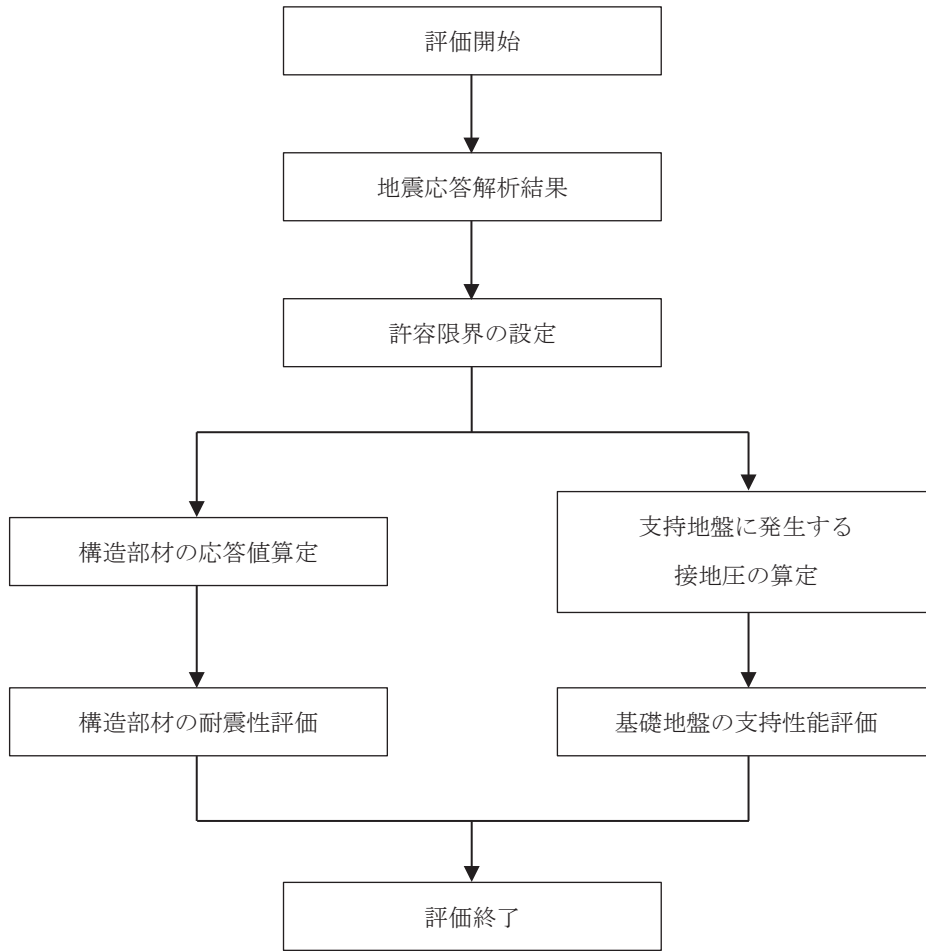


図 5-1 配管トレンチ (T21) の耐震性評価フロー

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 $\beta_p = 1.5$

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

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

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

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 $\gamma_{mc}(=1.3)$ 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。

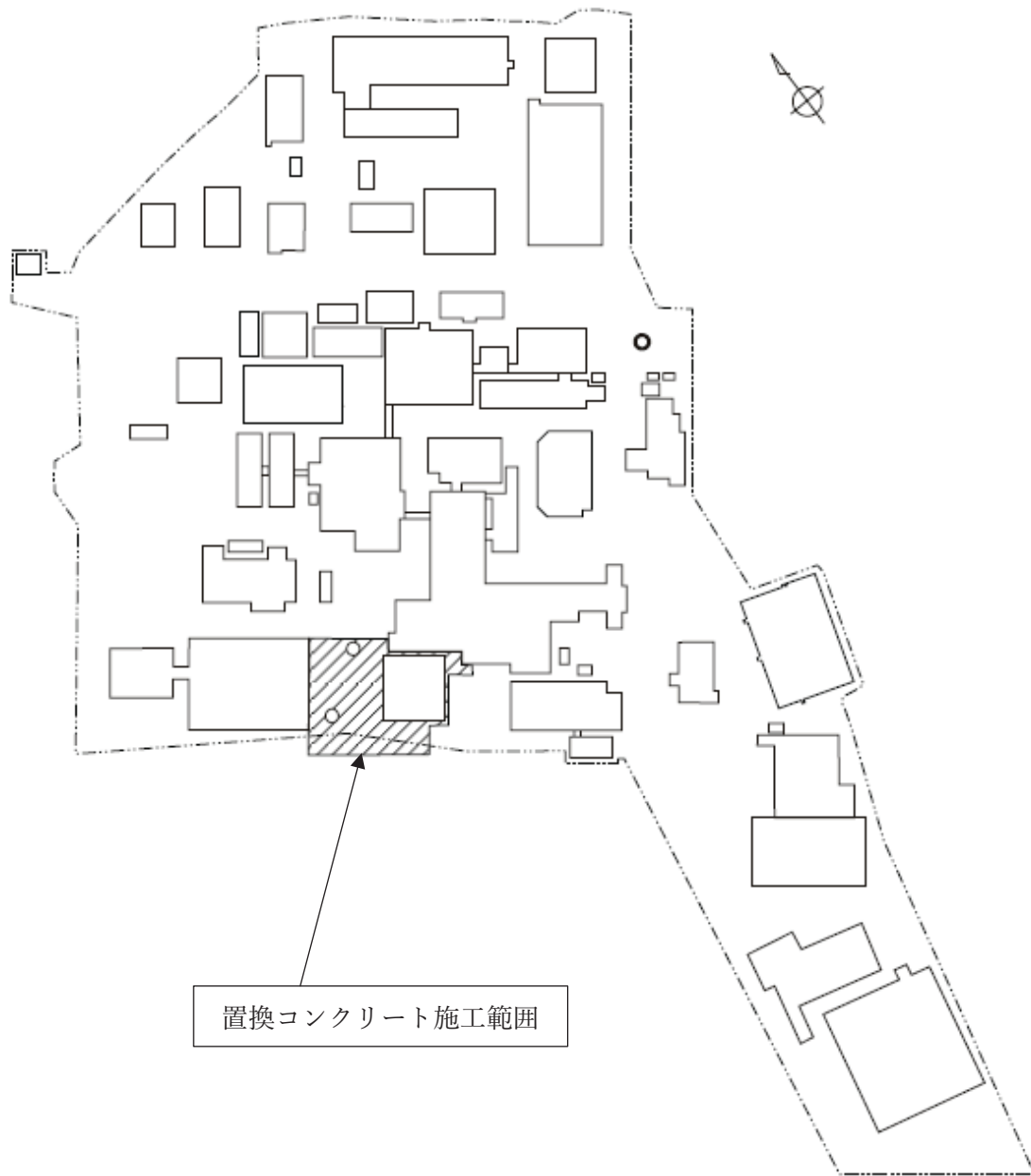
6. 工事の工程

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

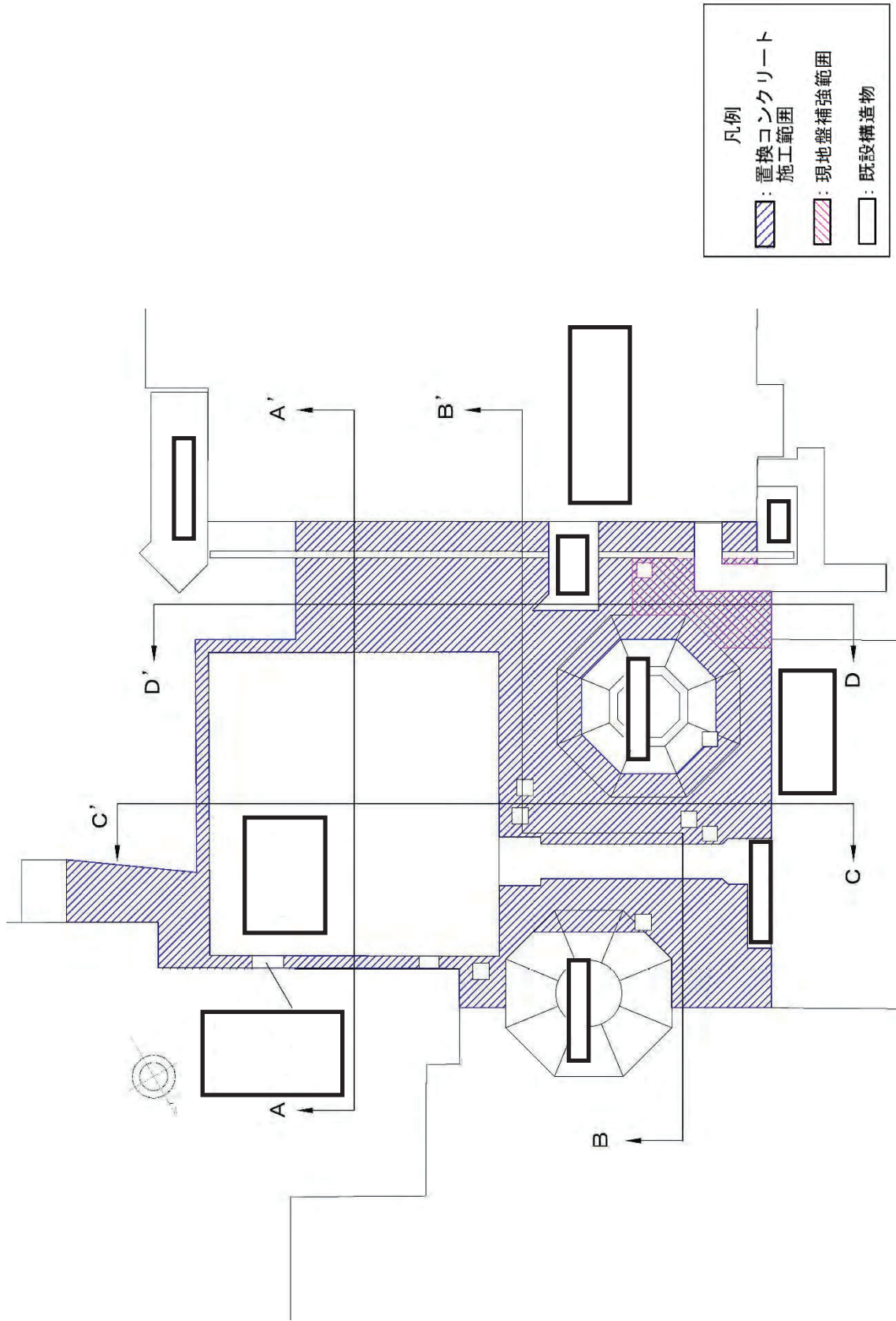
	令和2年度		令和3年度		備考
高放射性廃液貯蔵場(HAW) 及び配管トレンチ(T21)周 辺の地盤改良工事	工事				

(別図)



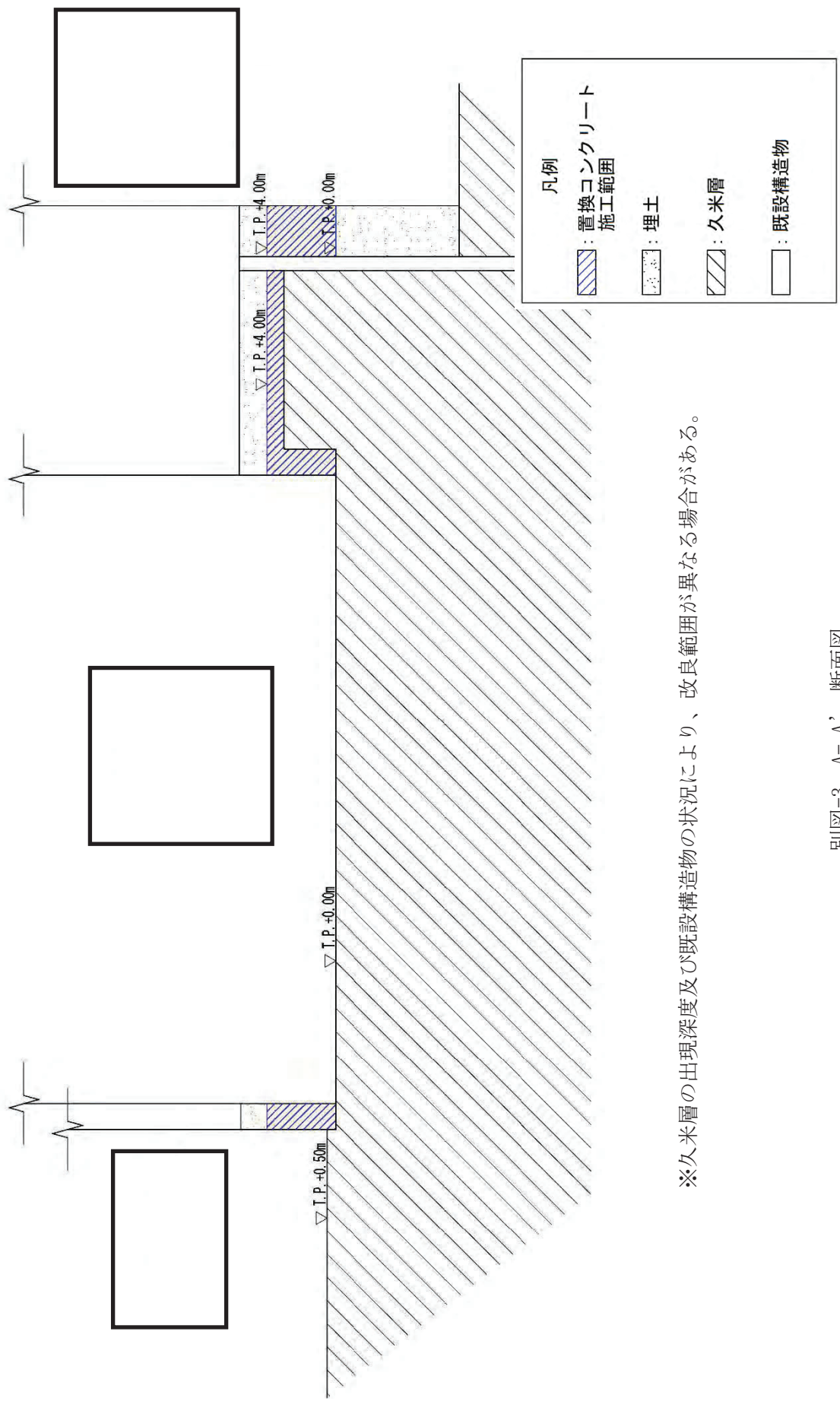
置換コンクリート施工範囲

別図-1 再処理施設の構成及び申請範囲



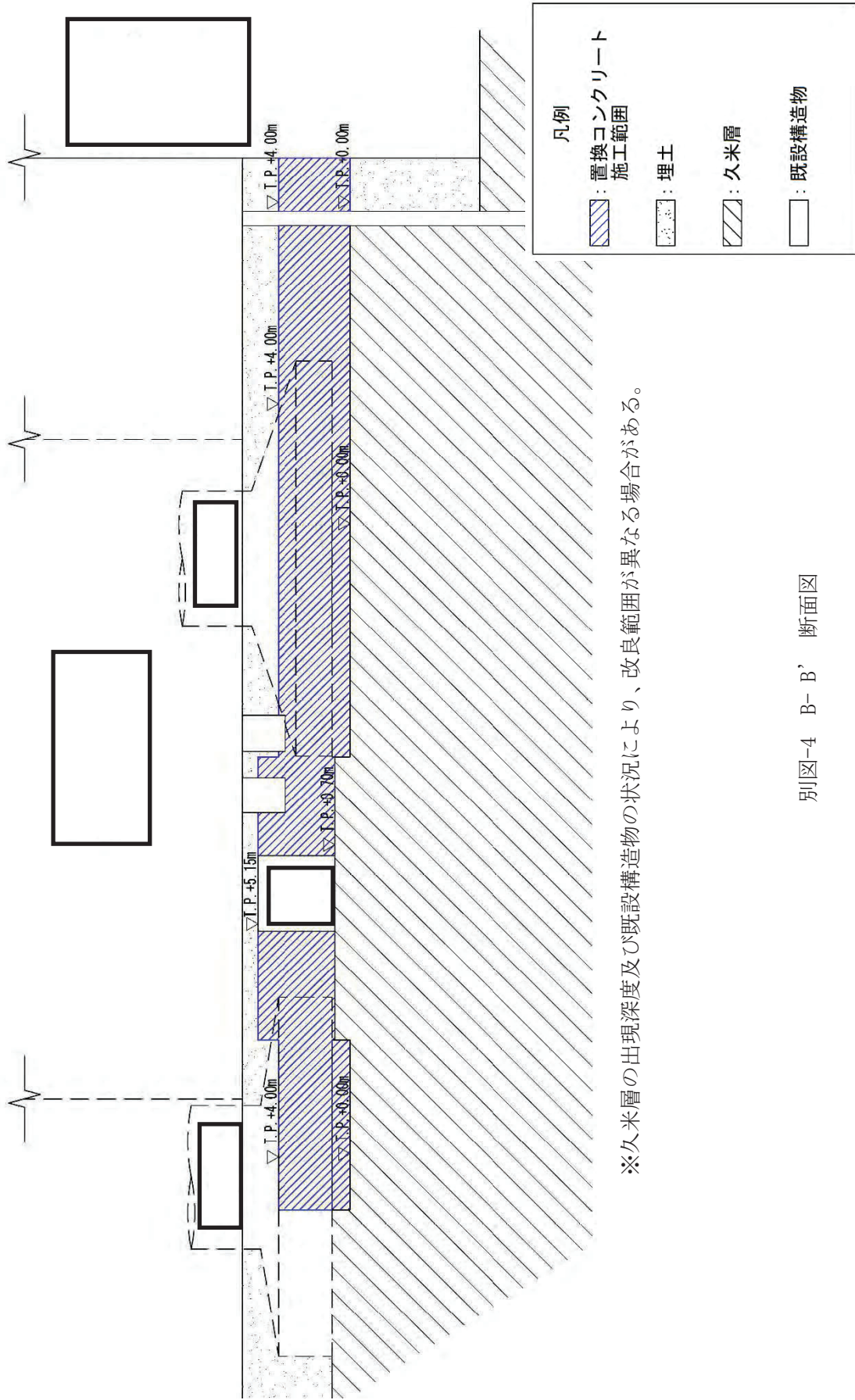
※久米層の出現深度及び既設構造物の状況により、改良範囲が異なる場合がある。

別図-2 置換コンクリート施工範囲平面図

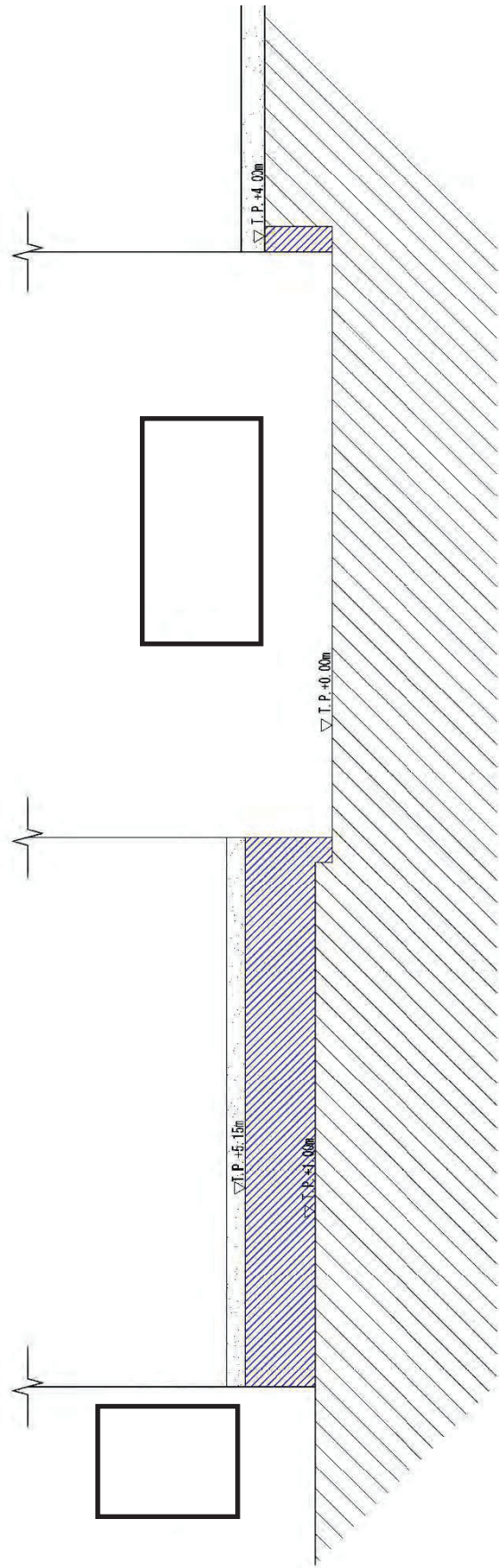


※久米層の出現深度及び既設構造物の状況により、改良範囲が異なる場合がある。

別図-3 A-A' 断面図



別図-4 B-B' 断面図

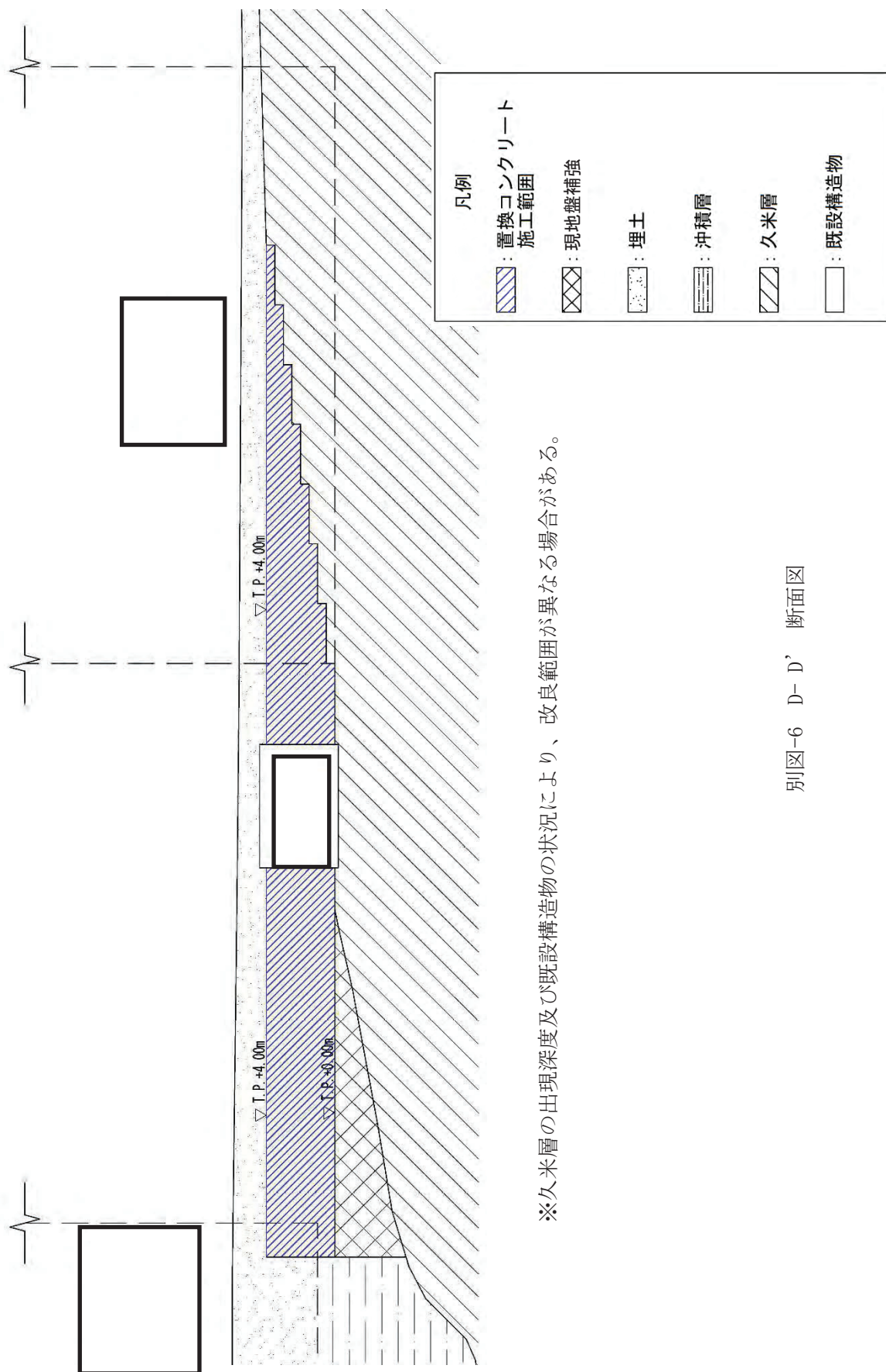


凡例

	: 置換コンクリート 施工範囲
	: 埋土
	: 久米層
	: 既設構造物

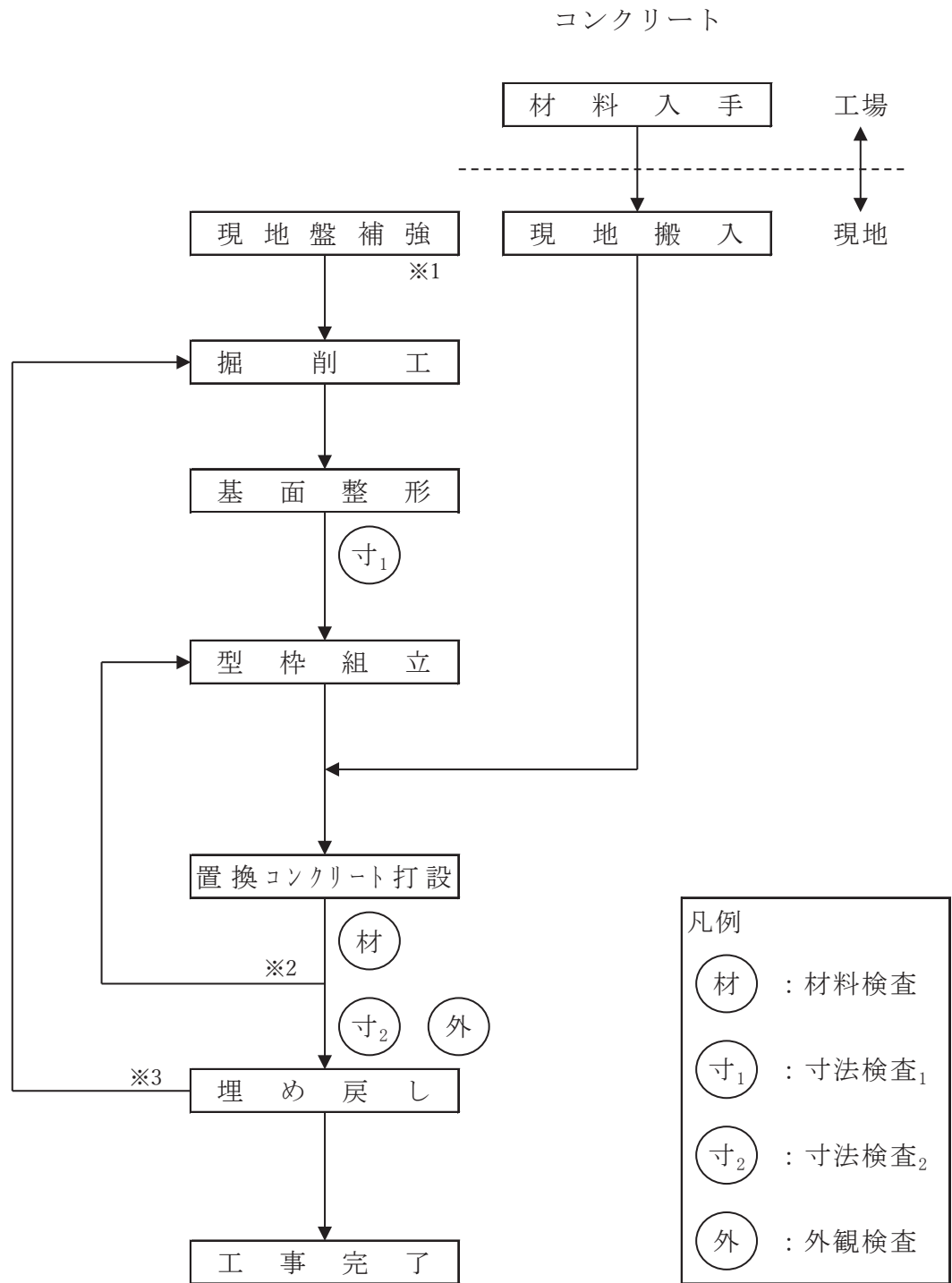
※久米層の出現深度及び既設構造物の状況により、改良範囲が異なる場合がある。

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