

本資料のうち、枠囲みの内容は
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-308 改1
提出年月日	平成30年9月27日

V-2-2-9 屋外二重管の耐震性についての計算書

本書は、屋外二重管の耐震性についての計算書を示すものであり、計算書の構成は以下のとおりとする。

第1章 屋外二重管基礎の耐震性の計算書

第2章 屋外二重管本体の耐震性の計算書

第1章 屋外二重管基礎の耐震性の計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	5
2.4 適用基準	9
3. 耐震評価	10
3.1 評価対象断面	10
3.2 許容限界	15
3.3 評価方法	20
4. 耐震評価結果	31
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	31
4.2 基礎地盤の健全性に対する評価結果	34
4.3 地盤改良体及び基礎地盤の支持性能に対する評価結果	37

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、屋外二重管基礎が基準地震動 S_e に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認するものである。

屋外二重管基礎に要求される機能の維持を確認するに当たっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価、基礎地盤の健全性評価及び支持性能評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

屋外二重管の平面配置図を図 2-1 に示す。



図 2-1 屋外二重管の平面配置図

2.2 構造概要

屋外二重管は、Sクラス機器である残留熱除去系海水系配管、非常用ディーゼル発電機海水系配管及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系配管の間接支持機能を有する延長約 215 m、内径 2.0 m 及び 1.8 m の 2 本の鋼管の地中構造物であり、杭基礎及び地盤改良体を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。排気筒付近に位置する可とう管から海水ポンプ室までの区間は、水平方向の鋼製桁と鉛直方向の鋼管杭を結合したラーメン構造である杭基礎により支持する構造とする。一方、原子炉建屋から排気筒付近に位置する可とう管までの区間は、他構造物（原子炉建屋、排気筒、主排気筒ダクト基礎など）と近接していることから、杭基礎ではなく屋外二重管直下に造成した地盤改良体により支持する構造とする。

屋外二重管の平面図を図 2-2 に、屋外二重管基礎の断面図を図 2-3 に示す。



図 2-2 屋外二重管の平面図

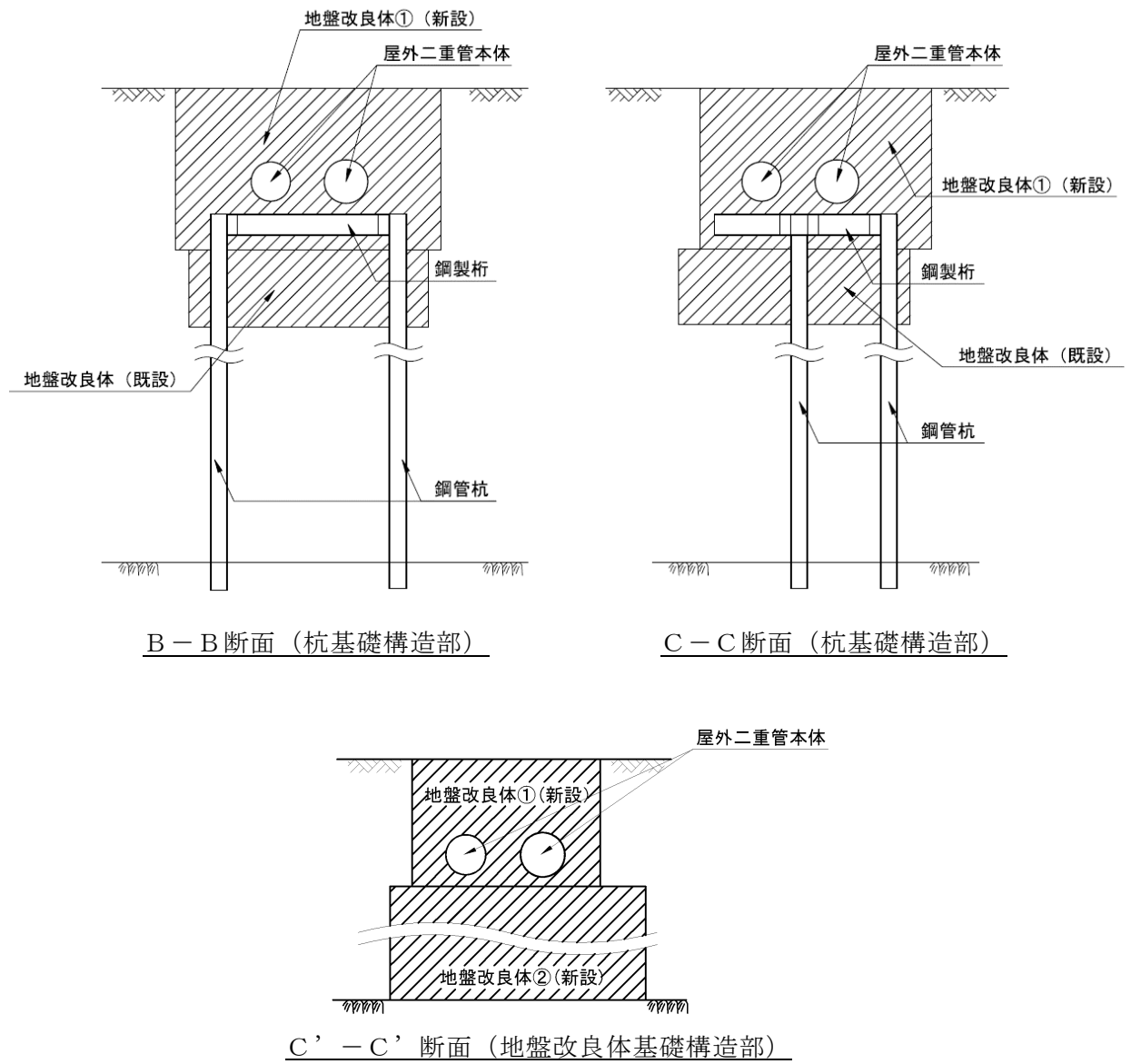


図 2-3 屋外二重管基礎の断面図

2.3 評価方針

屋外二重管は、設計基準対象施設においては、Sクラス施設の間接支持構造物である屋外重要土木構造物に、重大事故等対処施設においては、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設に分類される。

屋外二重管基礎の耐震評価は、添付書類「V-2-2-8 屋外二重管の地震応答計算書」により得られた解析結果に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の評価として、表 2-1 に示すとおり、構造部材の健全性評価、基礎地盤の健全性評価及び支持性能評価を行う。

構造部材の健全性評価を実施することにより、鋼製桁及び鋼管杭の構造強度を有することを確認する。また、基礎地盤の健全性評価及び支持性能評価を実施することにより、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。

基礎地盤の健全性評価及び支持性能評価を実施することで、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、構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の健全性については、地盤改良体の発生応力が許容限界以下であること、又は発生せん断力に対して滑動しないことを確認する。基礎地盤の支持性能評価については、地盤改良体及び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。

屋外二重管基礎の耐震評価フローを図 2-4 に示す。

ここで、屋外二重管は、運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における圧力、温度等について、耐震評価における手法及び条件に有意な差異はなく、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

表 2-1 (1) 屋外二重管基礎の評価項目 (杭基礎構造部)

評価方針	評価項目	部位	役割	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	鋼製桁 鋼管杭	屋外二重管本 体、電路及び 地盤改良体① を支持する。	曲げ軸力、せん 断力に対する発 生応力が許容限 界以下であるこ とを確認する。	短期許容 応力度
	基礎地盤の 健全性	地盤 改良体①	屋外二重管本 体及び電路を 支持する。	発生応力が許容 限界以下である ことを局所安全 係数により確認 する。	圧縮強度* せん断強度* (地盤要素)
	基礎地盤の 支持性能	地盤 改良体①	屋外二重管本 体及び電路を 支持する。	接地圧が許容限 界以下であるこ とを確認する。	極限支持力*
		支持岩盤	杭基礎構造を 支持する。	接地圧が許容限 界以下であるこ とを確認する。	極限支持力*

注記 * : 妥当な安全余裕を考慮する。

表 2-1 (2) 屋外二重管基礎の評価項目 (地盤改良体基礎構造部)

評価方針	評価項目	部位	役割	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	基礎地盤の健全性	地盤改良体①	屋外二重管本体及び電路を支持する。	発生応力が許容限界以下であることを局所安全係数により確認する。	圧縮強度* せん断強度* (地盤要素)
		地盤改良体②	屋外二重管本体、電路及び地盤改良体①を支持する。	発生せん断力に対して滑動しないことをすべり安全率により確認する。	せん断強さ* (仮想すべり面)
	基礎地盤の支持性能	地盤改良体①	屋外二重管本体及び電路を支持する。	接地圧が許容限界以下であることを確認する。	極限支持力*
		地盤改良体②	屋外二重管本体、電路及び地盤改良体①を支持する。	接地圧が許容限界以下であることを確認する。	極限支持力*
		支持岩盤	地盤改良体基礎構造を支持する。	接地圧が許容限界以下であることを確認する。	極限支持力*

注記 * : 妥当な安全余裕を考慮する。

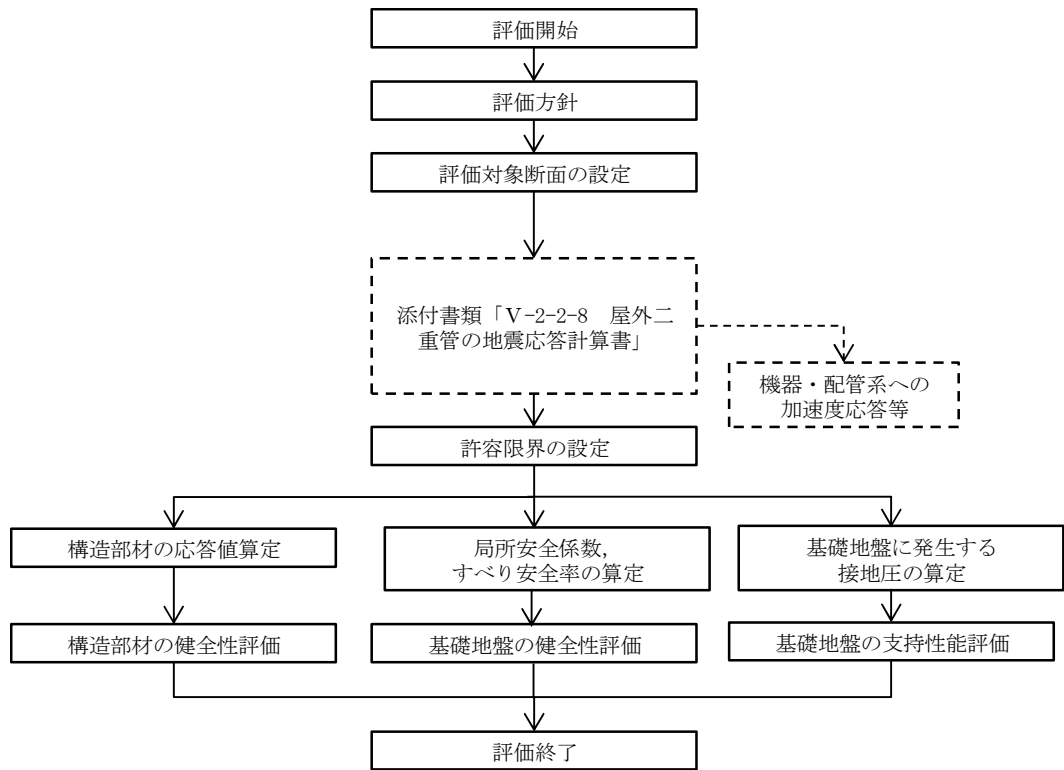


図 2-4 屋外二重管基礎の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・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，平成14年3月）
- ・道路橋示方書（Ⅴ耐震設計編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

評価対象断面は、屋外二重管基礎の構造形状及び周辺地質を踏まえて、図 3-1 に示す A-A 断面、B-B 断面、C-C 断面及び C'-C' 断面を評価対象断面とする。評価対象位置の地質断面図を図 3-2 に示す。

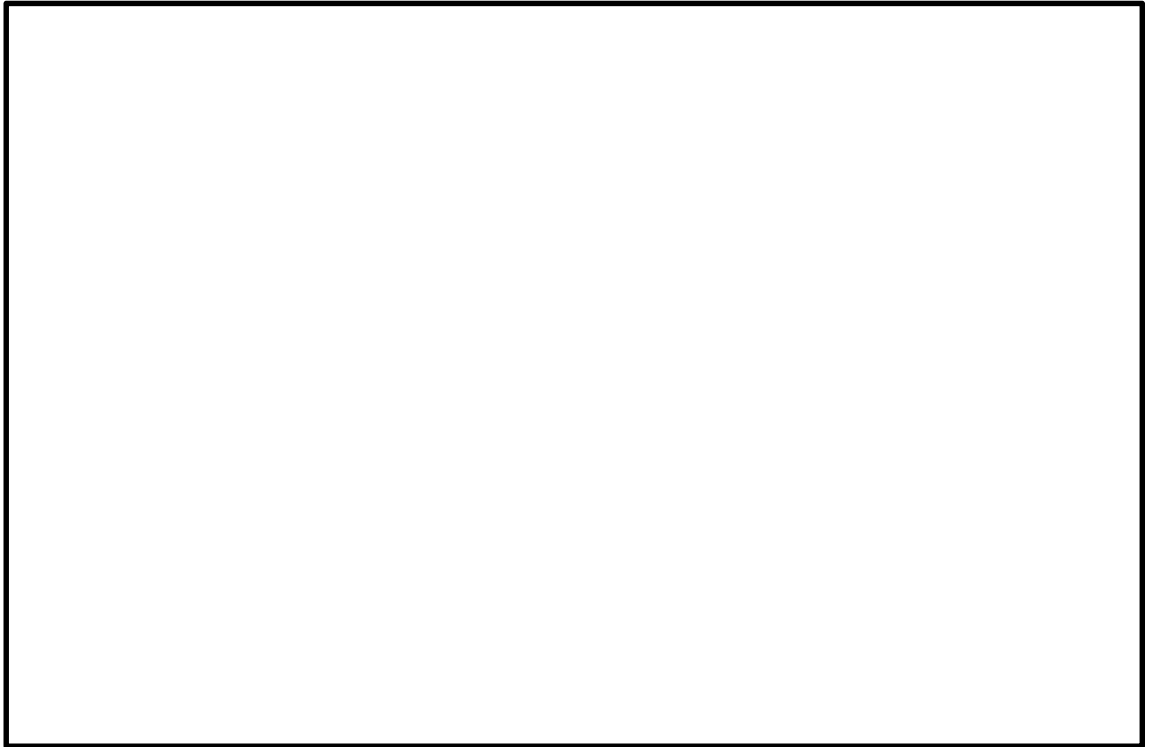


図 3-1 屋外二重管の評価対象断面位置図

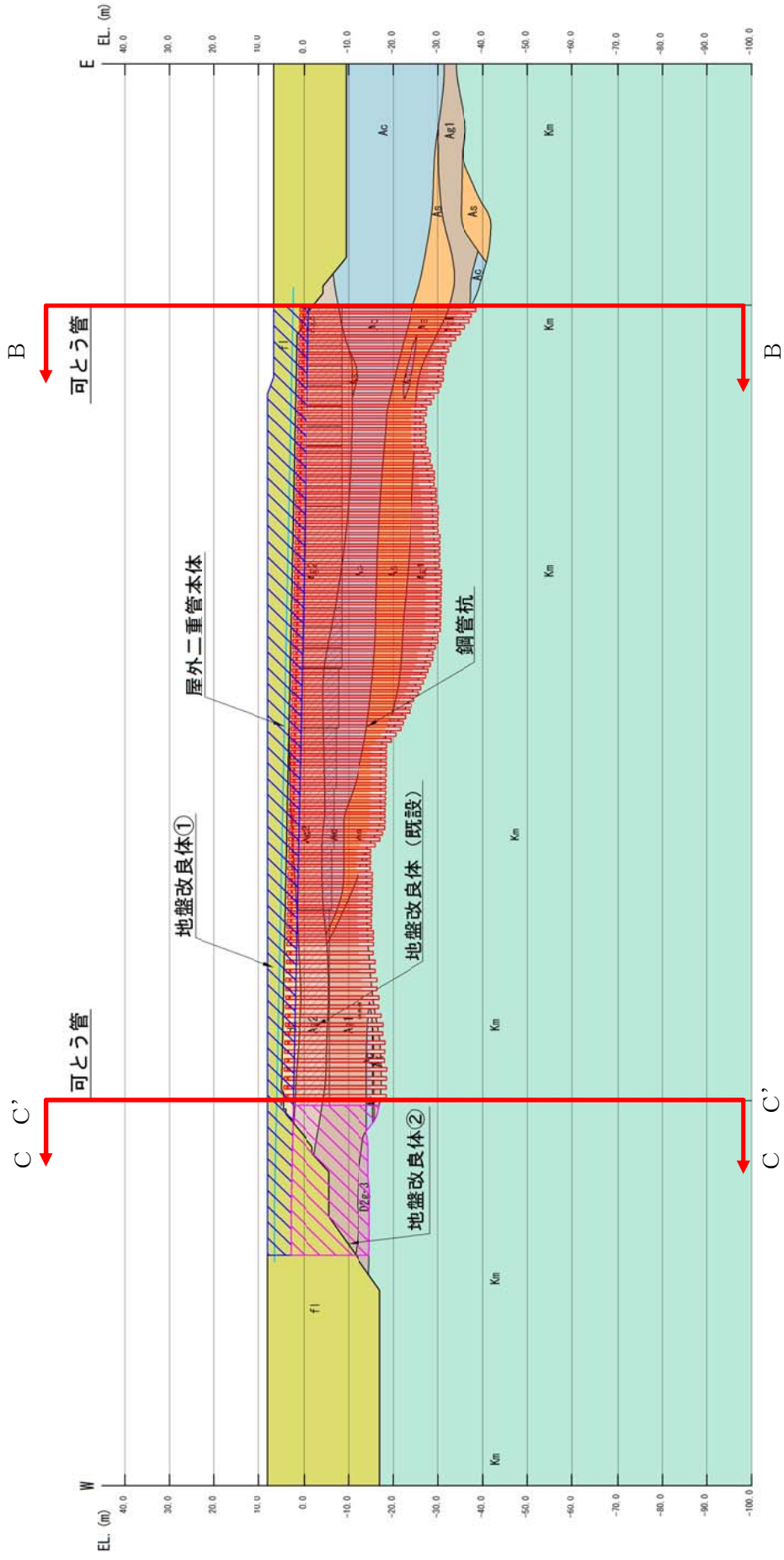


図 3-2 (1) 屋外二重管の評価対象断面図 (A-A 断面)

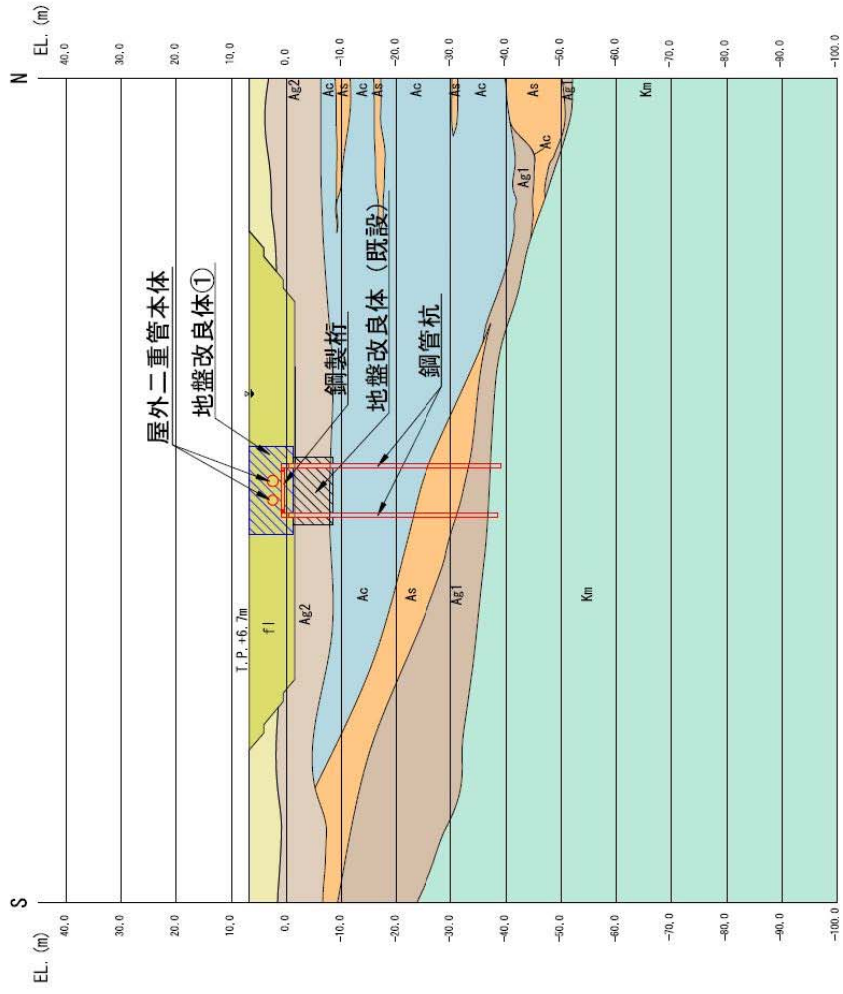


図 3-2 (2) 屋外二重管の評価対象断面図 (B-B 断面)

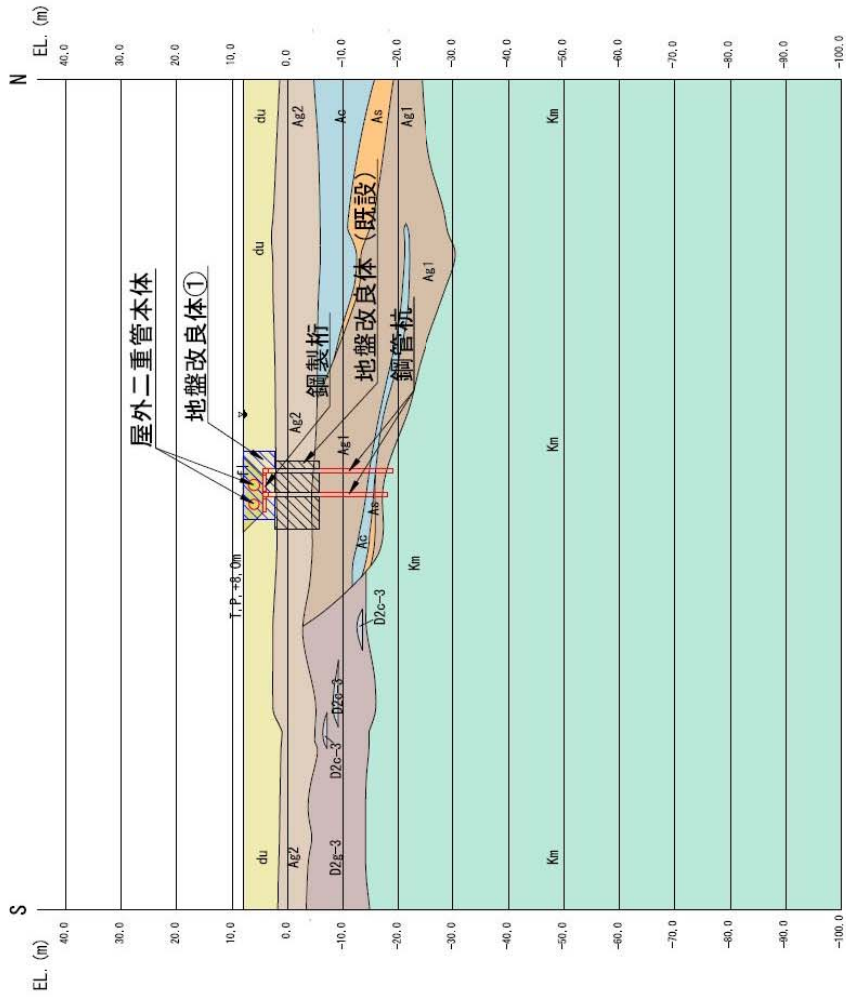


図 3-2 (3) 屋外二重管の評価対象断面図 (C-C 断面)

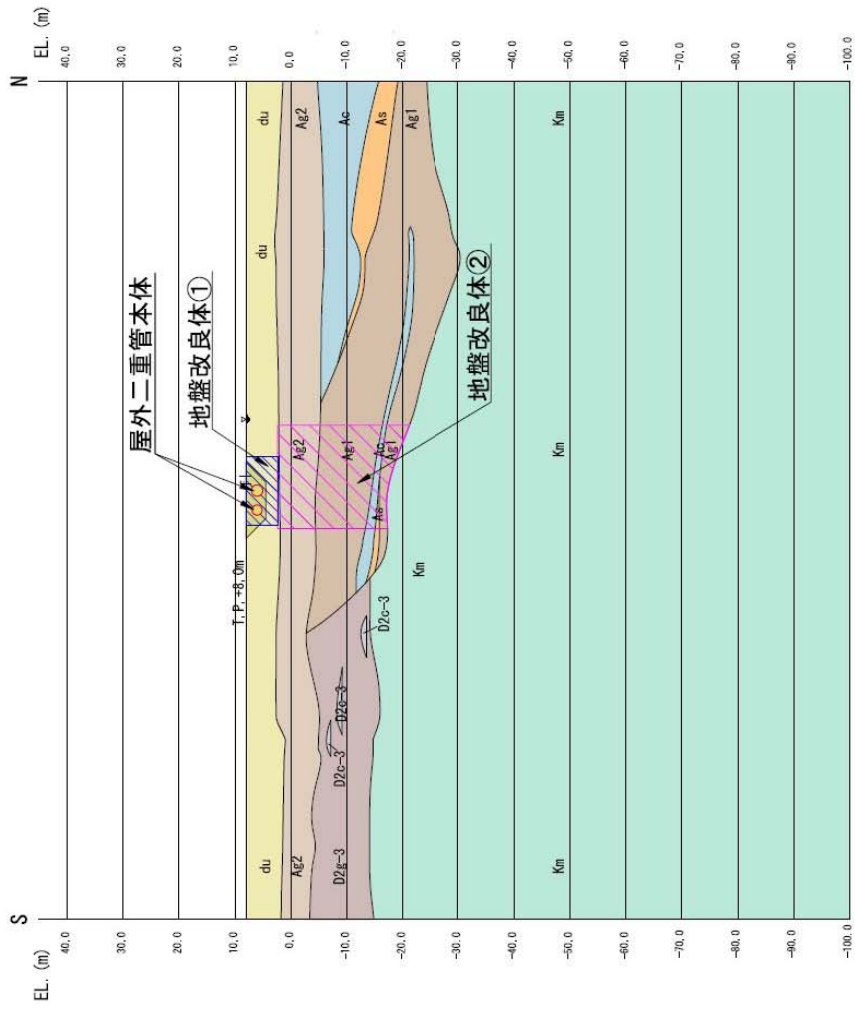


図 3-2 (4) 屋外二重管の評価対象断面図 (C' - C' 断面)

3.2 許容限界

許容限界は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 構造部材及び地盤の健全性に対する許容限界

a. 杭基礎構造部の鋼製桁及び鋼管杭

屋外二重管基礎の構造部材となる杭基礎構造部の鋼製桁及び鋼管杭は、許容応力度法による照査を行う。

表 3-1 に鋼製桁及び鋼管杭の許容限界を示す。

表 3-1 構造部材の健全性に対する許容限界

評価項目			許容限界 (N/mm ²)
鋼製桁	SM400*	短期許容曲げ引張応力度	210.0
		短期許容曲げ圧縮応力度 σ_{sa}	
		短期許容せん断応力度 τ_{sa}	120.0
鋼管杭	SM570*	短期許容曲げ引張応力度	382.5
		短期許容曲げ圧縮応力度 σ_{sa}	
		短期許容せん断応力度 τ_{sa}	217.5

注記 * : 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, 平成 14 年 3 月)

b. 地盤改良体①

屋外二重管本体周りの地盤改良体①の発生応力に対する許容限界は、地盤改良体の一軸圧縮強度及びせん断強度を用いて設定する。基礎地盤の許容限界に対する妥当な安全余裕として、局所安全係数 1.5 以上を考慮する。設定した地盤改良体①の許容限界を表 3-2 に示す。

表 3-2 地盤改良体①の健全性に対する許容限界

評価項目	許容限界*1 (kN/m ²)
一軸圧縮強度 (地盤要素)	1500
せん断強度*2 (地盤要素)	750

注記 *1：妥当な安全余裕を持たせる。

*2：地盤改良体（新設）のせん断強度 $c = q_u/2$

q_u ：地盤改良体（新設）の一軸圧縮強度（=1500 kN/m²）

c. 地盤改良体②

地盤改良体基礎構造部の屋外二重管下方に位置する地盤改良体②の発生応力に対する許容限界は、地盤改良体のせん断強度を用い、仮想すべり面のせん断強さを算定することで設定する。基礎地盤の許容限界に対する妥当な安全余裕として、必要すべり安全率 1.5 以上を考慮する。設定した地盤改良体②の許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 地盤改良体②の健全性に対する許容限界

評価項目	許容限界*1 (kN/m)
せん断強さ*2 (仮想すべり面)	$\Sigma (C_i \times L_i)$

ここで、

C_i ：仮想すべり面の各要素のせん断強度 (kN/m²)

L_i ：仮想すべり面の各要素のすべり面長さ (m)

注記 *1：妥当な安全余裕を持たせる。

*2：仮想すべり面のせん断強さ $\Sigma (C_i \times L_i)$

地盤改良体（新設）のせん断強度 $C_i = q_u/2$

q_u ：地盤改良体（新設）の一軸圧縮強度（=1500 kN/m²）

(2) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

a. 屋外二重管本体下の地盤改良体①

屋外二重管本体下の地盤改良体①の極限支持力は、添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、「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，平成 14 年）」より設定する。なお，評価に用いる最大接地圧は，管周方向の地震応答解析にて求められる地盤改良体①に生じる最大接地圧とする。

極限支持力度を表 3-4 に示す。

表 3-4 基礎地盤の支持性能に対する許容限界（地盤改良体①）

項目	許容限界 (kN/m ²)
極限支持力度 q_d	1775

b. 杭基礎構造部の支持岩盤（Km層）

杭基礎構造部における支持岩盤の極限支持力は、「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、「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，平成 14 年）」より設定する。

極限支持力度を表 3-5 に示す。

表 3-5 (1) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界（支持岩盤：A-A断面）

項目	許容限界 (kN/m ²)	
	評価対象断面位置 (B-B断面)	評価対象断面位置 (C-C断面)
極限支持力度 q_d	5810	5405

表 3-5 (2) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界（支持岩盤：B-B断面）

項目	許容限界 (kN/m ²)	
	左側杭	右側杭
極限支持力度 q_d	5810	5810

表 3-5 (3) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界（支持岩盤：C-C断面）

項目	許容限界 (kN/m ²)	
	左側杭	右側杭
極限支持力度 q_d	5394	5415

c. 地盤改良体基礎構造部の支持岩盤（Km層）及び地盤改良体②

地盤改良体基礎構造部における支持岩盤及び地盤改良体②の極限支持力は、添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、「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，平成14年）」より設定する。

極限支持力度を表3-6に示す。

表3-6 (1) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界（支持岩盤）

項目	許容限界 (kN/m ²)
極限支持力度 q_d	4515

表3-6 (2) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界（地盤改良体②）

項目	許容限界 (kN/m ²)
極限支持力度 q_d	3825

3.3 評価方法

屋外二重管基礎の耐震評価は，添付書類「V-2-2-8 屋外二重管の地震応答計算書」に基づく地震応答解析により算定した照査用応答値が「3.2 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

(1) 構造部材の健全性評価

構造部材である鋼製桁及び鋼管杭は，曲げ軸力照査及びせん断力照査に対して，地震応答解析に基づき算定した発生応力が許容限界以下であることを確認する。

鋼管杭の曲げ軸力照査及びせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 3-5 に示す。

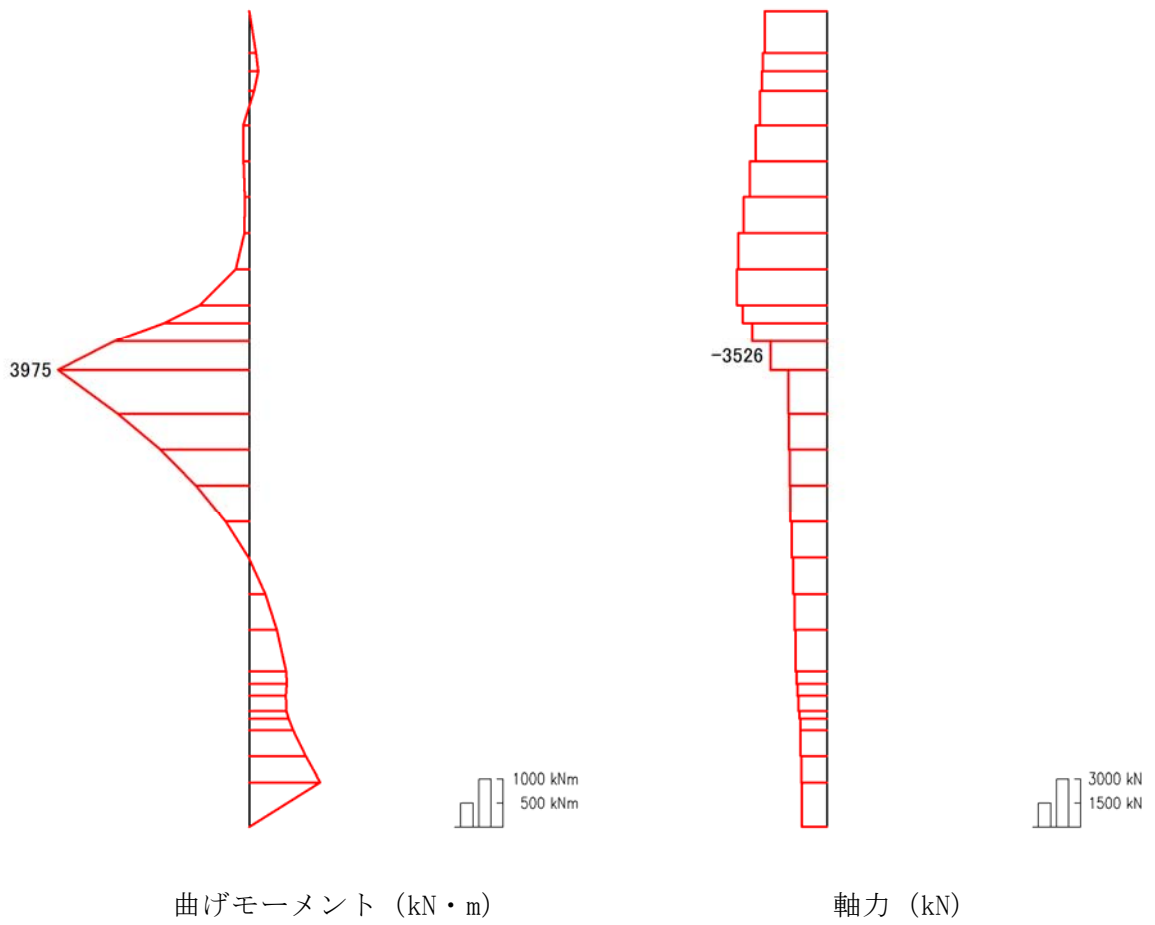


図 3-5 (1) A-A断面の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (S_s-D 1, t = 27.03 s)

(検討ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により
 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース)

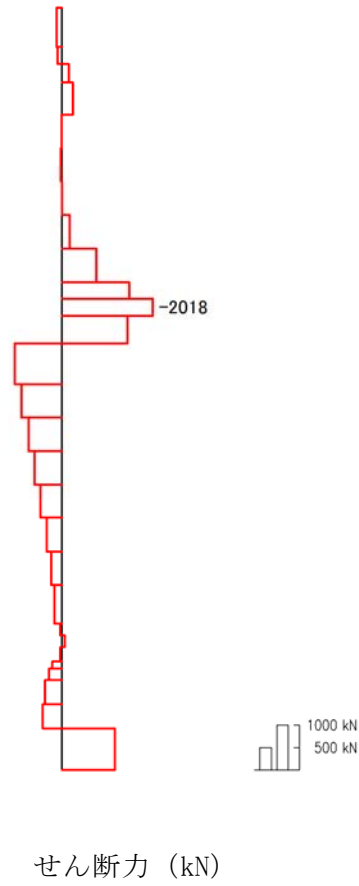


図 3-5 (2) A-A断面のせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
($S_s - D 1$, $t = 27.02 \text{ s}$)
(検討ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により
地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース)

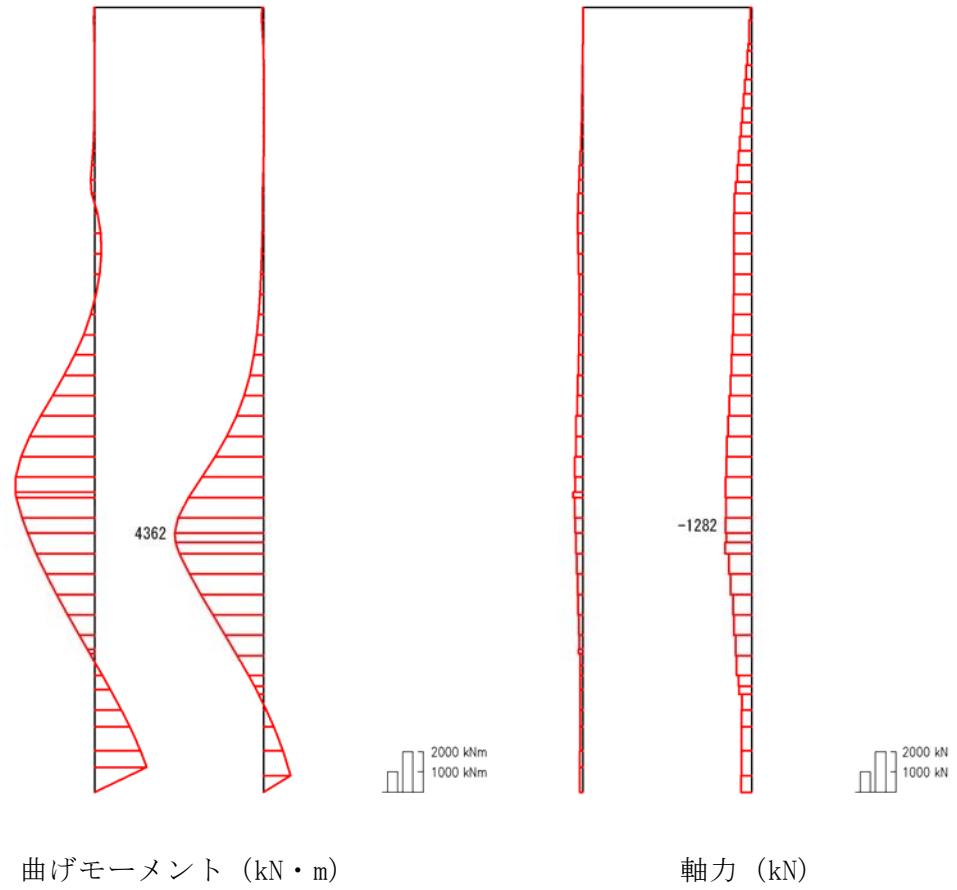


図 3-5 (3) B-B 断面の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 ($S_s = 1.2$, $t = 32.67$ s)

(検討ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により
 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース)

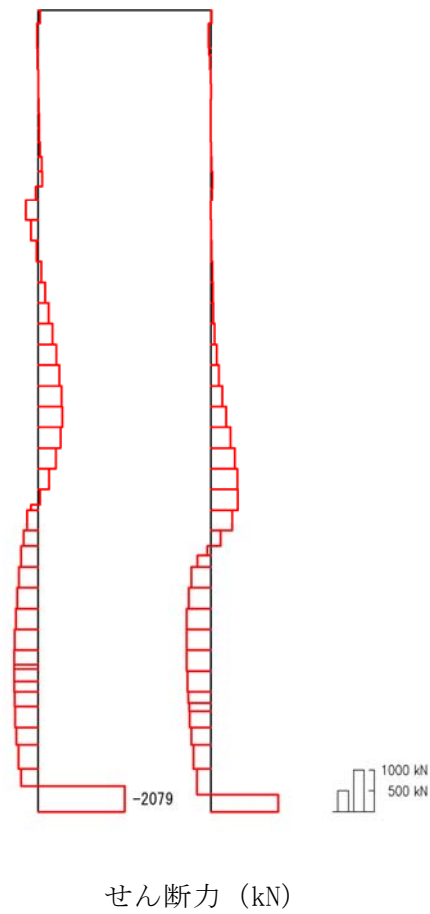


図 3-5 (4) B-B 断面のせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
($S_s = 1.2$, $t = 32.64$ s)

(検討ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により
地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース)

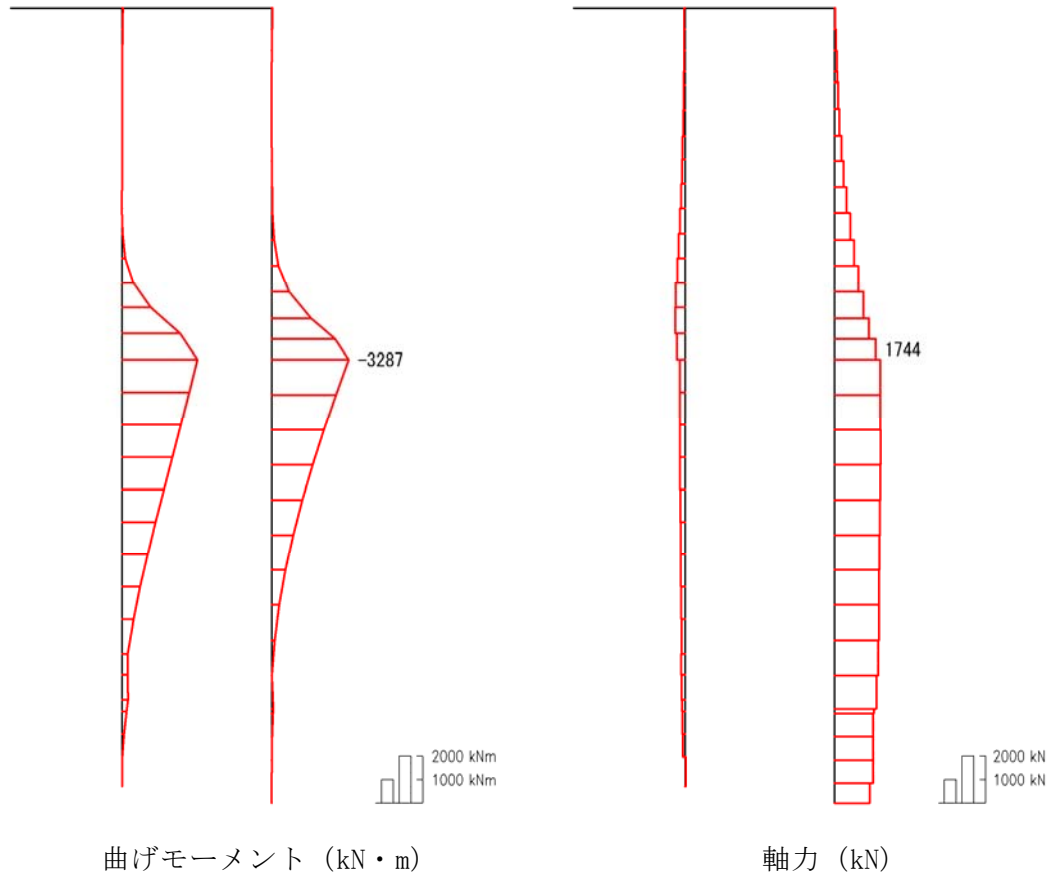


図 3-5 (5) C-C 断面の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 ($S_s - D 1$, $t = 55.96 \text{ s}$)

(検討ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により
 地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース)

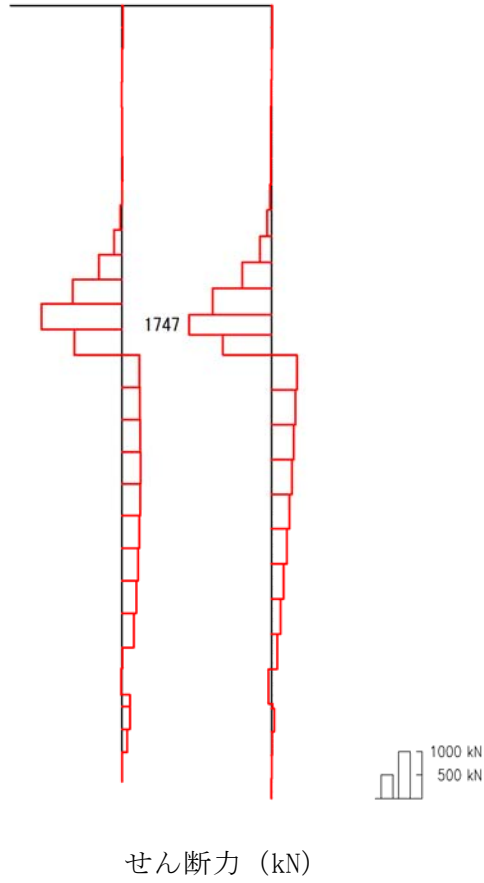


図 3-5 (6) C-C断面のせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
($S_s - D 1$, $t = 55.96$ s)

(検討ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により
地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース)

(2) 基礎地盤の健全性評価

a. 地盤改良体①

屋外二重管本体周りの地盤改良体①の基礎地盤としての健全性評価は、地震応答解析に基づき算定した発生応力が許容限界以下であることを局所安全係数にて確認する。なお、基礎地盤の許容限界に対する妥当な安全余裕として、局所安全係数 1.5 以上を考慮する。

b. 地盤改良体②

地盤改良体基礎構造部の屋外二重管下方に位置する地盤改良体②の基礎地盤としての健全性評価は、仮想すべり面のすべり評価において、地震応答解析に基づき算定した仮想すべり面の発生せん断力が許容限界以下であることを確認する。なお、基礎地盤の許容限界に対する妥当な安全余裕として、必要すべり安全率 1.5 以上を考慮する。

(3) 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、基礎地盤となる地盤改良体及び支持岩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。

接地圧が許容限界に対して最も厳しくなる検討ケースにおいて、地盤改良体及び支持岩盤に生じる最大接地圧分布を図 3-6 に示す。

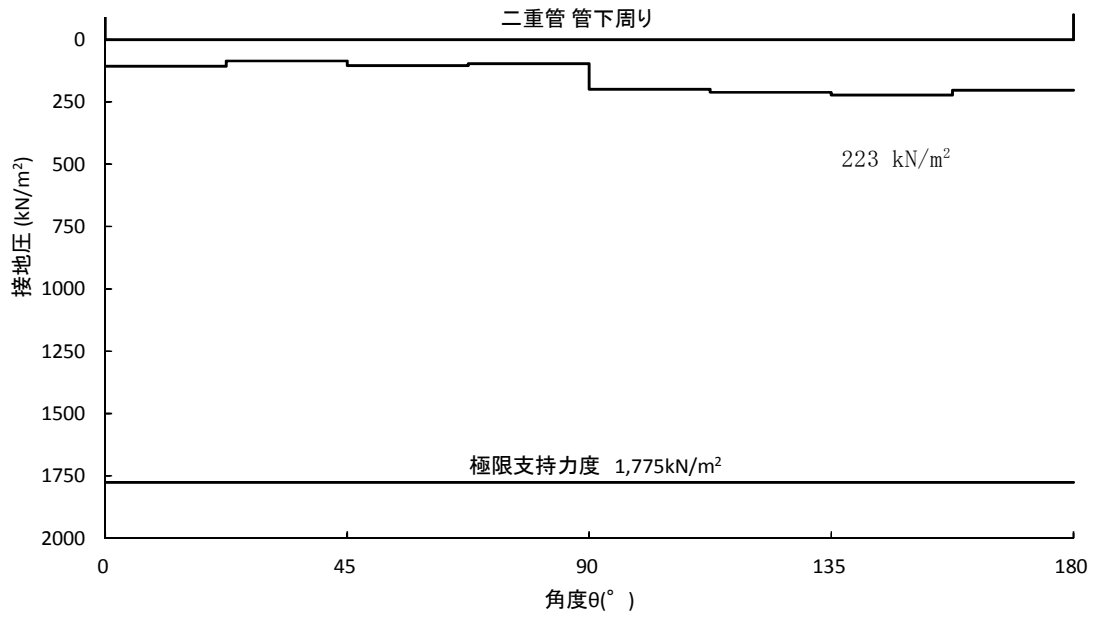


図 3-6 (1) 屋外二重管直下の地盤改良体①の最大接地圧分布図 (B-B 断面)
($S_s - 31$)

(検討ケース①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース)

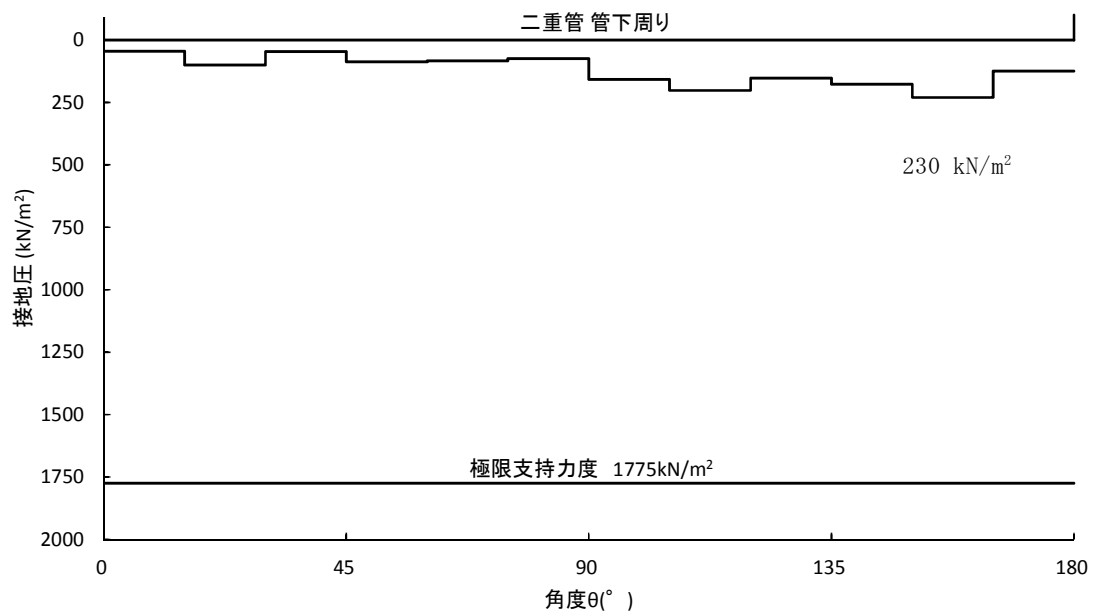


図 3-6 (2) 屋外二重管直下の地盤改良体①の最大接地圧分布図 (C-C 断面)
($S_s - 31$)

(検討ケース①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース)

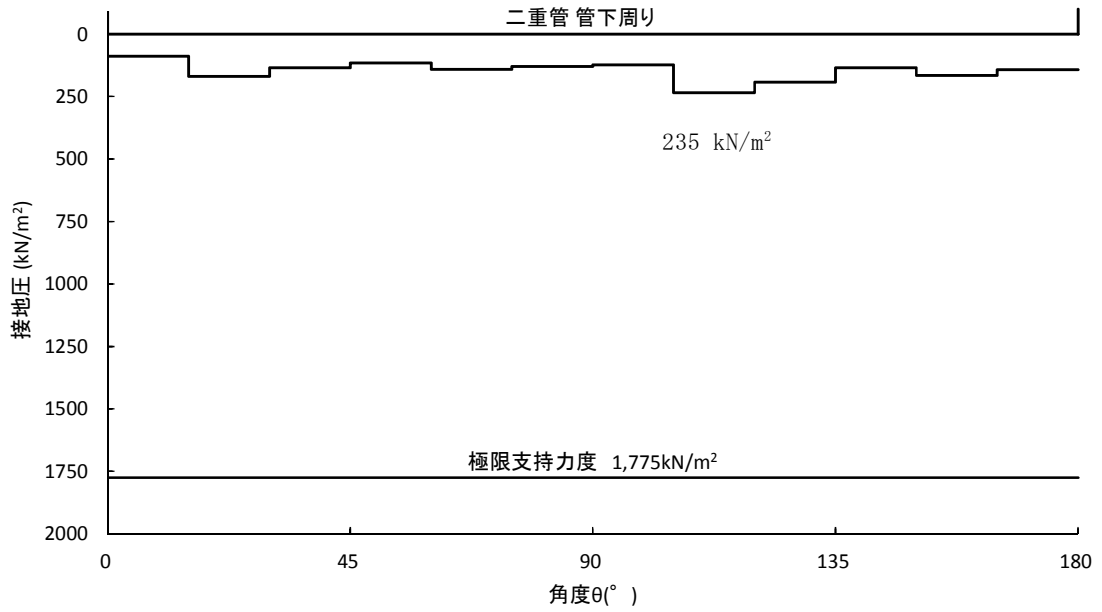


図 3-6 (3) 屋外二重管直下の地盤改良体①の最大接地圧分布図 (C' - C' 断面)
(S_s - D 1)

(検討ケース①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース)

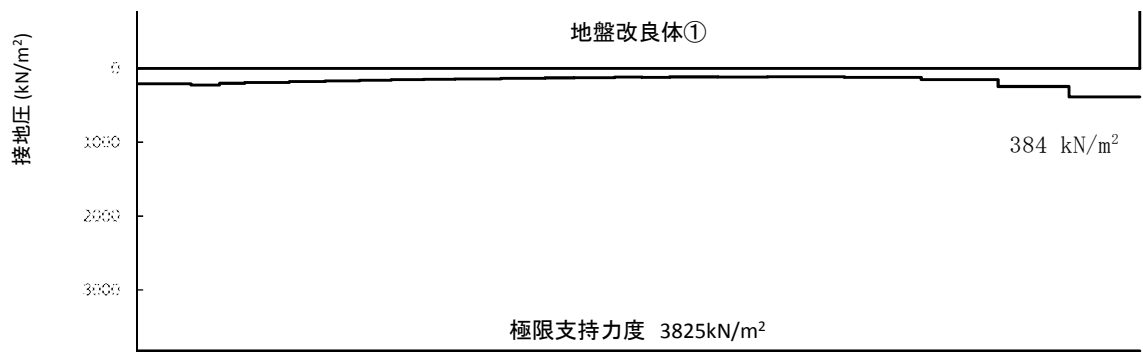


図 3-6 (4) 地盤改良体①下の地盤改良体②の最大接地圧分布図 (C' - C' 断面)
(S_s - D 1)

(検討ケース①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース)

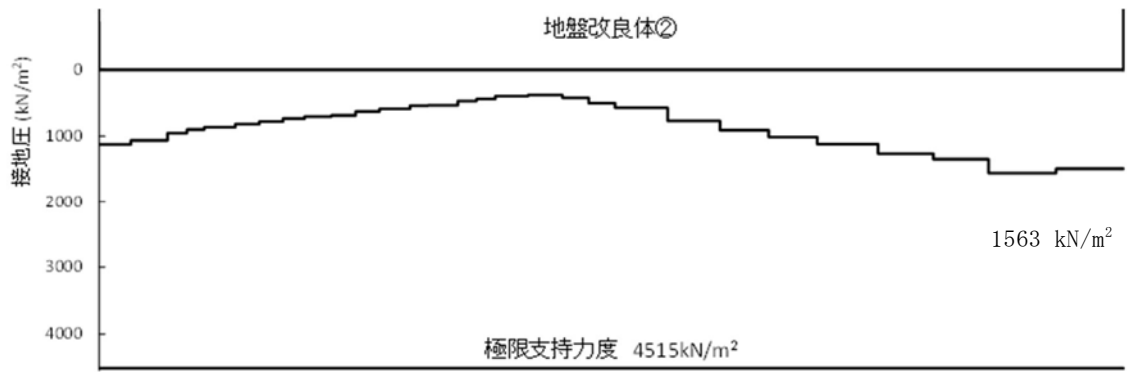


図 3-6 (5) 基礎地盤 (Km 層) の最大接地圧分布図 (C' - C' 断面)
(S_s - 31)

(検討ケース⑥：地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) して
非液状化の条件を仮定した解析ケース)

4. 耐震評価結果

4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

(1) 鋼製桁及び鋼管杭の曲げ軸力に対する照査

評価に用いた鋼製桁及び鋼管杭の断面諸元を表 4-1 に、鋼製桁及び鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値を表 4-2 に示す。屋外二重管基礎の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 鋼製桁 (SM400) 及び鋼管杭 (SM570) の断面諸元

構造物	板厚 (mm)	断面積 (m^2)	断面係数 (m^3)	備考
鋼製桁	39	0.107	0.022	腐食代 1 mm 考慮
鋼管杭	39	0.093	0.017	腐食代 1 mm 考慮

表 4-2 (1) 鋼製桁及び鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (A-A断面)

検討対象	仕様	発生断面力		発生曲げ 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}	解析ケース
		曲げ モーメント (kN・m/本)	軸力 (kN/本)				
鋼管杭 (C-C断面)	SM570	3975	3526	272	382.5	0.72	④ S _s -D 1

注記 ④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース

表 4-2 (2) 鋼製桁及び鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (B-B断面)

検討対象	仕様	発生断面力		発生曲げ 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}	解析ケース
		曲げ モーメント (kN・m/本)	軸力 (kN/本)				
鋼製桁	SM400	464	21	22	210.0	0.11	① S _s -3 1
鋼管杭	SM570	4362	1282	271	382.5	0.71	④ S _s -1 2

注記 ①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース
 ④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース

表 4-2 (3) 鋼製桁及び鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値
(C-C断面・杭基礎構造部)

検討対象	仕様	発生断面力		発生曲げ 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}	解析ケース
		曲げ モーメント (kN・m/本)	軸力 (kN/本)				
鋼製桁	SM400	232	166	13	210.0	0.07	⑤ S _s -D 1
鋼管杭	SM570	3287	1744	213	382.5	0.56	④ S _s -D 1

注記 ④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース
 ⑤：原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース

(2) 鋼製桁及び鋼管杭のせん断力に対する照査

評価に用いた鋼製桁及び鋼管杭の断面諸元を前述の表 4-1 に、鋼製桁及び鋼管杭のせん断力照査における最大照査値を表 4-3 に示す。屋外二重管基礎の構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-3 (1) 鋼製桁及び鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (A-A 断面)

検討対象	仕様	せん断力 (kN/本)	発生せん断 応力 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}	解析ケース
鋼管杭 (C-C 断面)	SM570	2018	44	217.5	0.21	④ S _s -D 1

注記 ④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース

表 4-3 (2) 鋼製桁及び鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (B-B 断面)

検討対象	仕様	せん断力 (kN/本)	発生せん断 応力 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}	解析ケース
鋼製桁	SM400	217	5	120.0	0.05	⑤ S _s -1 2
鋼管杭	SM570	2079	45	217.5	0.21	④ S _s -1 2

注記 ④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース

⑤：原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース

表 4-3 (3) 鋼製桁及び鋼管杭のせん断力照査における最大照査値

(C-C 断面・杭基礎構造部)

検討対象	仕様	せん断力 (kN/本)	発生せん断 応力 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}	解析ケース
鋼製桁	SM400	163	4	120.0	0.04	① S _s -3 1
鋼管杭	SM570	1747	38	217.5	0.18	④ S _s -D 1

注記 ①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース

④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース

4.2 基礎地盤の健全性に対する評価結果

(1) 地盤改良体①に対する評価

屋外二重管を支持する地盤改良体①の圧縮応力に対する局所安全係数を表 4-4 に、せん断応力に対する局所安全係数を表 4-5 に、最小すべり安全率を表 4-6 に示す。これにより、地盤改良体①の発生圧縮応力及び発生せん断応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-4 (1) 地盤改良体①の圧縮応力に対する局所安全係数
(B-B断面)

解析ケース	圧縮応力 (kN/m ²)	局所安全係数
② S _s -1 2	269	5.57

注記 ②：地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) した解析ケース

表 4-4 (2) 地盤改良体①の圧縮応力に対する局所安全係数
(C-C断面・杭基礎構造部)

解析ケース	圧縮応力 (kN/m ²)	局所安全係数
① S _s -3 1	360	4.16

注記 ①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース

表 4-4 (3) 地盤改良体①の圧縮応力に対する局所安全係数
(C'-C'断面・地盤改良体基礎構造部)

解析ケース	圧縮応力 (kN/m ²)	局所安全係数
① S _s -D 1	366	4.09

注記 ①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース

表 4-5 (1) 地盤改良体①のせん断応力に対する局所安全係数
(B-B断面)

解析ケース	せん断応力 (kN/m ²)	局所安全係数
① S _s -3 1	187	4.01

注記 ①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース

表 4-5 (2) 地盤改良体①のせん断応力に対する局所安全係数
(C-C断面・杭基礎構造部)

解析ケース	せん断応力 (kN/m ²)	局所安全係数
① S _s -3 1	298	2.51

注記 ①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース

表 4-5 (3) 地盤改良体①のせん断応力に対する局所安全係数
(C'-C'断面・地盤改良体基礎構造部)

解析ケース	せん断応力 (kN/m ²)	局所安全係数
① S _s -D 1	365	2.05

注記 ①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース

表 4-6 地盤改良体①のすべりに対する安全率

検討対象	解析ケース	すべり安全率
C'-C'断面	① S _s -D 1	7.44

注記 ①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース

(2) 地盤改良体②

地盤改良体②の最小すべり安全率を表 4-7 に示す。これにより、地盤改良体②の発生せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-7 地盤改良体②のすべりに対する安全率
(C' - C' 断面・地盤改良体基礎構造部)

解析ケース	すべり安全率
④ $S_s - 3.1$	1.83

注記 ④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース

4.3 地盤改良体及び基礎地盤の支持性能に対する評価結果

(1) 地盤改良体①に対する評価

地盤改良体①に生じる接地圧に対する支持性能照査結果を表 4-8 に示す。

屋外二重管下にある地盤改良体①に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4-8 (1) 地盤改良体①の支持性能照査結果
(B-B断面)

二重管径	解析ケース	最大接地圧 (kN/m ²)	極限支持力度 (kN/m ²)
φ 1800	① S _s - 3 1	223	1775
φ 2000	① S _s - 2 2	221	1775

注記 ①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース

表 4-8 (2) 地盤改良体①の支持性能照査結果
(C-C断面・杭基礎構造部)

二重管径	解析ケース	最大接地圧 (kN/m ²)	極限支持力度 (kN/m ²)
φ 1800	① S _s - 3 1	230	1775
φ 2000	① S _s - 3 1	186	1775

注記 ①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース

表 4-8 (3) 地盤改良体①の支持性能照査結果
(C'-C'断面・地盤改良体基礎構造部)

二重管径	解析ケース	最大接地圧 (kN/m ²)	極限支持力度 (kN/m ²)
φ 1800	① S _s - D 1	174	1775
φ 2000	① S _s - D 1	235	1775

注記 ①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース

(2) 地盤改良体②に対する照査

地盤改良体①により生じる地盤改良体②の接地圧に対する支持性能照査結果を表 4-9 に示す。地盤改良体①の下にある地盤改良体②に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4-9 地盤改良体②の支持性能照査結果
(C' - C' 断面・地盤改良体基礎構造部)

解析ケース	最大接地圧 (kN/m ²)	極限支持力度 (kN/m ²)
① S _s -D 1	384	3825

注記 ①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース

(3) 基礎地盤に対する照査

a. 杭基礎構造部

杭基礎構造部における基礎地盤（支持岩盤）の支持性能照査結果を表 4-10 に示す。杭基礎構造部の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4-10 (1) 杭基礎構造部における基礎地盤（支持岩盤）の支持性能照査結果
(A-A断面)

検討対象	解析ケース	最大接地圧 (kN/m ²)	極限支持力度 (kN/m ²)
鋼管杭 (C-C断面)	③ S _s -D 1	868	5405

注記 ③：地盤物性のばらつきを考慮（-1σ）した解析ケース

表 4-10 (2) 杭基礎構造部における基礎地盤（支持岩盤）の支持性能照査結果
(B-B断面)

解析ケース	最大接地圧 (kN/m ²)	極限支持力度 (kN/m ²)
④ S _s -1 2	1595	5810

注記 ④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース

表 4-10 (3) 杭基礎構造部における基礎地盤（支持岩盤）の支持性能照査結果
(C-C断面・杭基礎構造部)

解析ケース	最大接地圧 (kN/m ²)	極限支持力度 (kN/m ²)
④ S _s -D 1	1844	5415

注記 ④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース

b. 地盤改良体基礎構造部

地盤改良体基礎構造部における基礎地盤（支持岩盤）の支持性能照査結果を表4-11に示す。地盤改良体基礎構造部の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4-11 地盤改良体基礎構造部における基礎地盤（支持岩盤）の支持性能照査結果
（C' - C' 断面・地盤改良体基礎構造部）

解析ケース	最大接地圧 (kN/m ²)	極限支持力度 (kN/m ²)
④ S _s -3 1	1563	4515

注記 ④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース

第2章 屋外二重管本体の耐震性の計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	5
2.4 適用基準	8
3. 応力解析	9
3.1 管軸方向の応力解析	9
3.2 管周方向の応力解析	20
3.3 荷重及び荷重の組合せ	29
4. 耐震評価	30
4.1 許容限界	30
4.2 評価方法	30
5. 耐震評価結果	31
5.1 管周方向の評価結果	31
5.2 管周方向と管軸方向との合成応力による評価結果	31

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、屋外二重管本体が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認するものである。

屋外二重管本体に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

屋外二重管の平面配置図を第 2-1 図に示す。

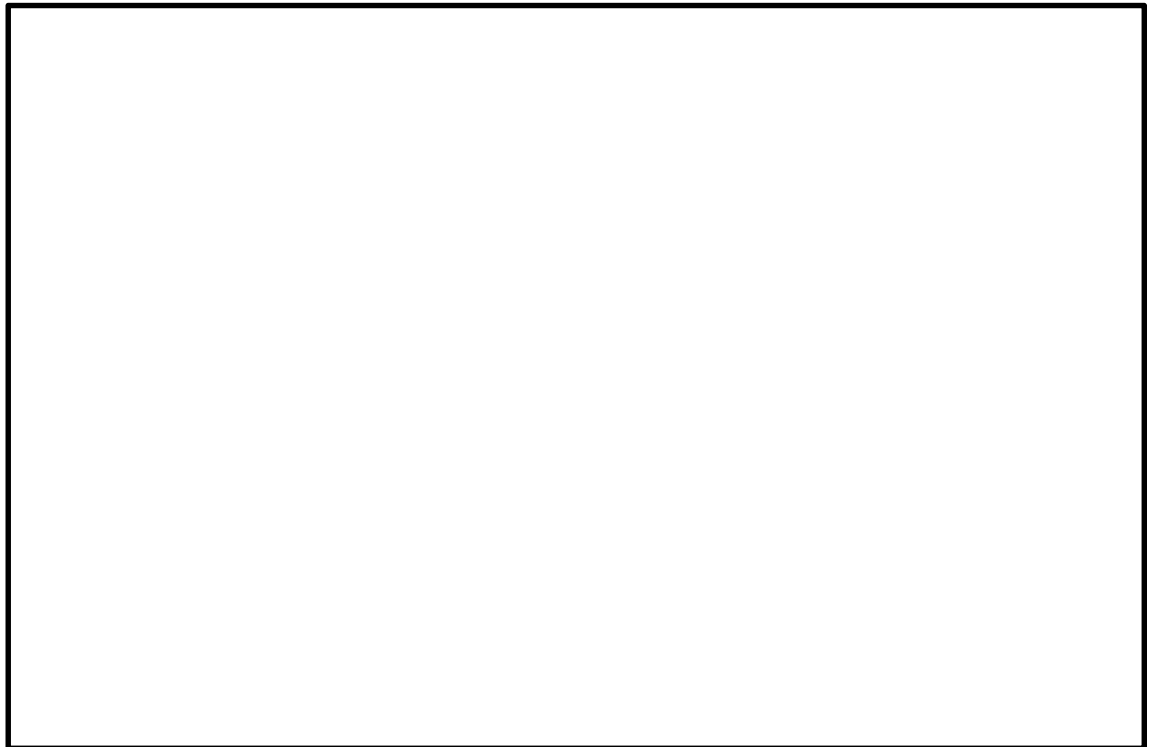


第 2-1 図 屋外二重管の平面配置図

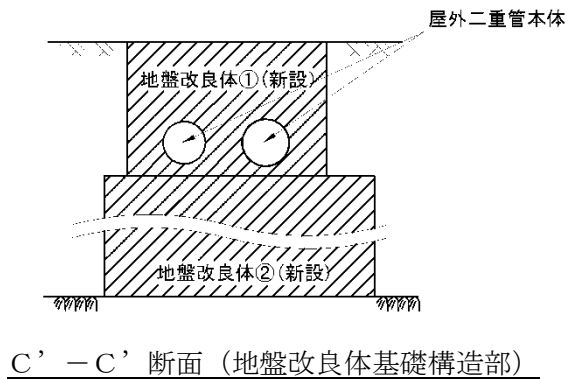
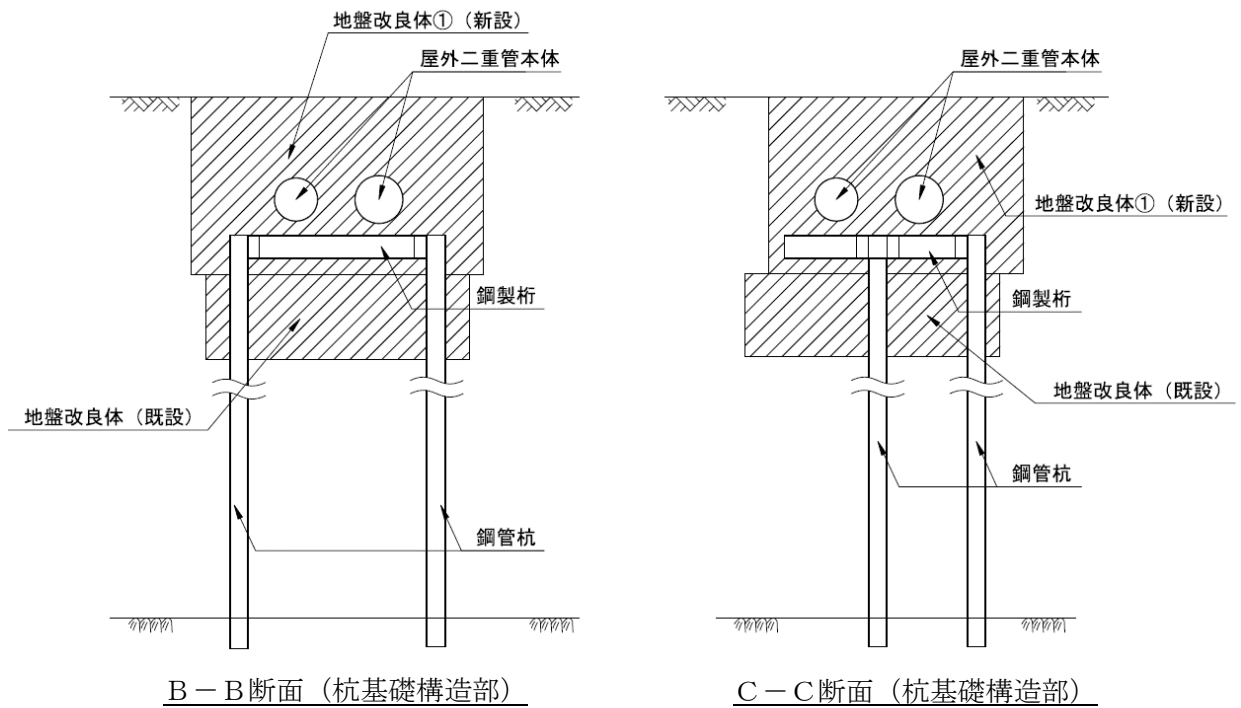
2.2 構造概要

屋外二重管本体は、Sクラス機器並びに常設耐震重要重大事故等防止設備及び常設重大事故等緩和設備である残留熱除去系海水系配管、非常用ディーゼル発電機海水系配管及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機海水系配管の間接支持機能を有する延長約 215 m、内径 2.0 m 及び 1.8 m の 2 本の鋼管の地中構造物であり、杭基礎及び地盤改良体を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。排気筒付近に位置する可とう管から取水構造物までの区間は、水平方向の鋼製桁と鉛直方向の鋼管杭を結合したラーメン構造である杭基礎により支持する構造とする。一方、原子炉建屋から排気筒付近に位置する可とう管までの区間は、他構造物（原子炉建屋、排気筒、主排気筒ダクト基礎など）と近接していることから、杭基礎ではなく屋外二重管直下に造成した地盤改良体により支持する構造とする。

屋外二重管の平面図を第 2-2 図に、屋外二重管の断面図を第 2-3 図に示す。



第 2-2 図 屋外二重管の平面図



第 2-3 図 屋外二重管の断面図

2.3 評価方針

屋外二重管本体は、設計基準対象施設においては、Sクラス施設の間接支持構造物である屋外重要土木構造物に、重大事故等対処施設においては、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設に分類される。

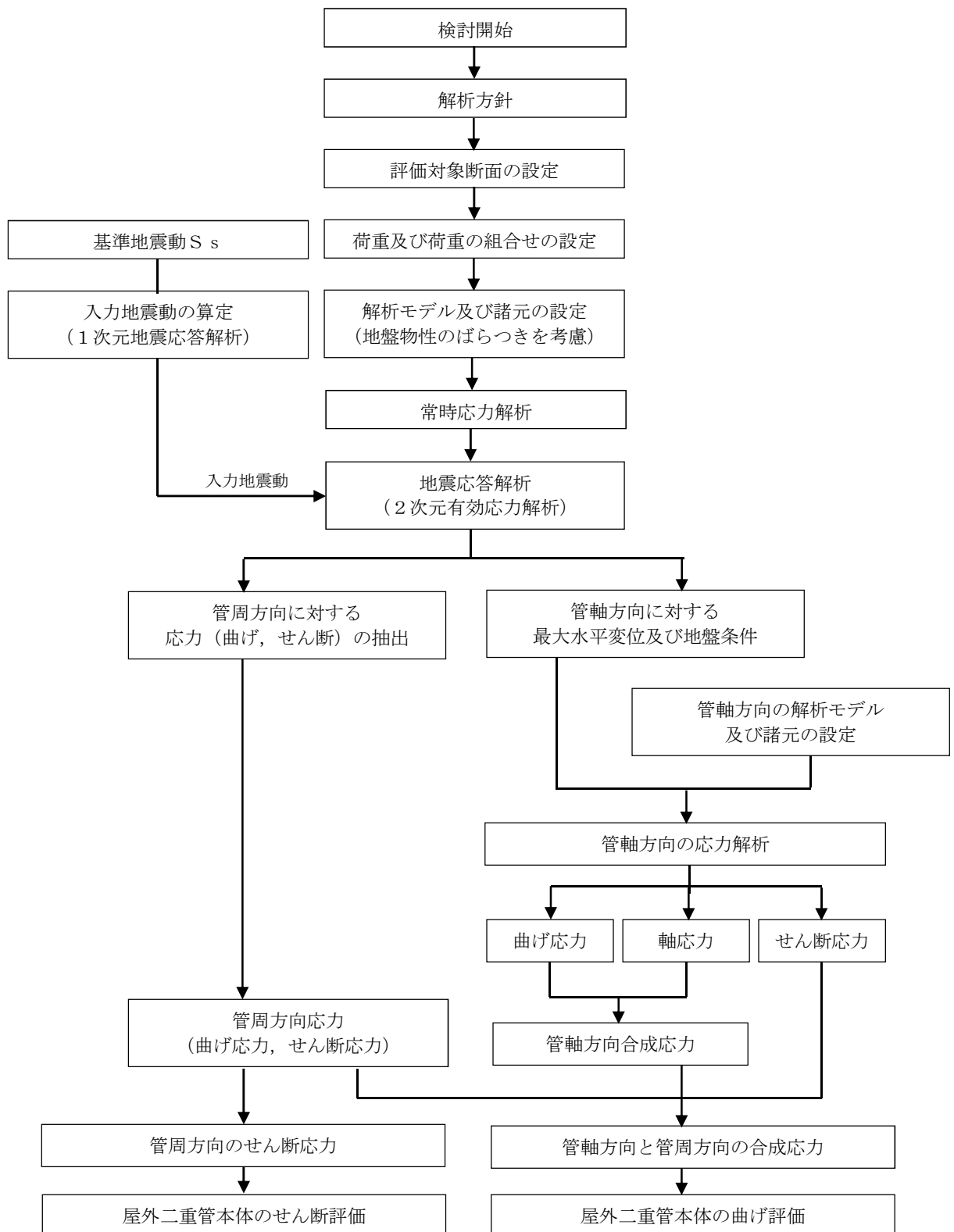
屋外二重管本体の耐震評価は、添付書類「V-2-2-8 屋外二重管の地震応答計算書」により得られた解析結果に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の評価として、第 2-1 表に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。

構造部材の健全性評価については、構造部材の発生応力が許容限界以下であることを確認する。

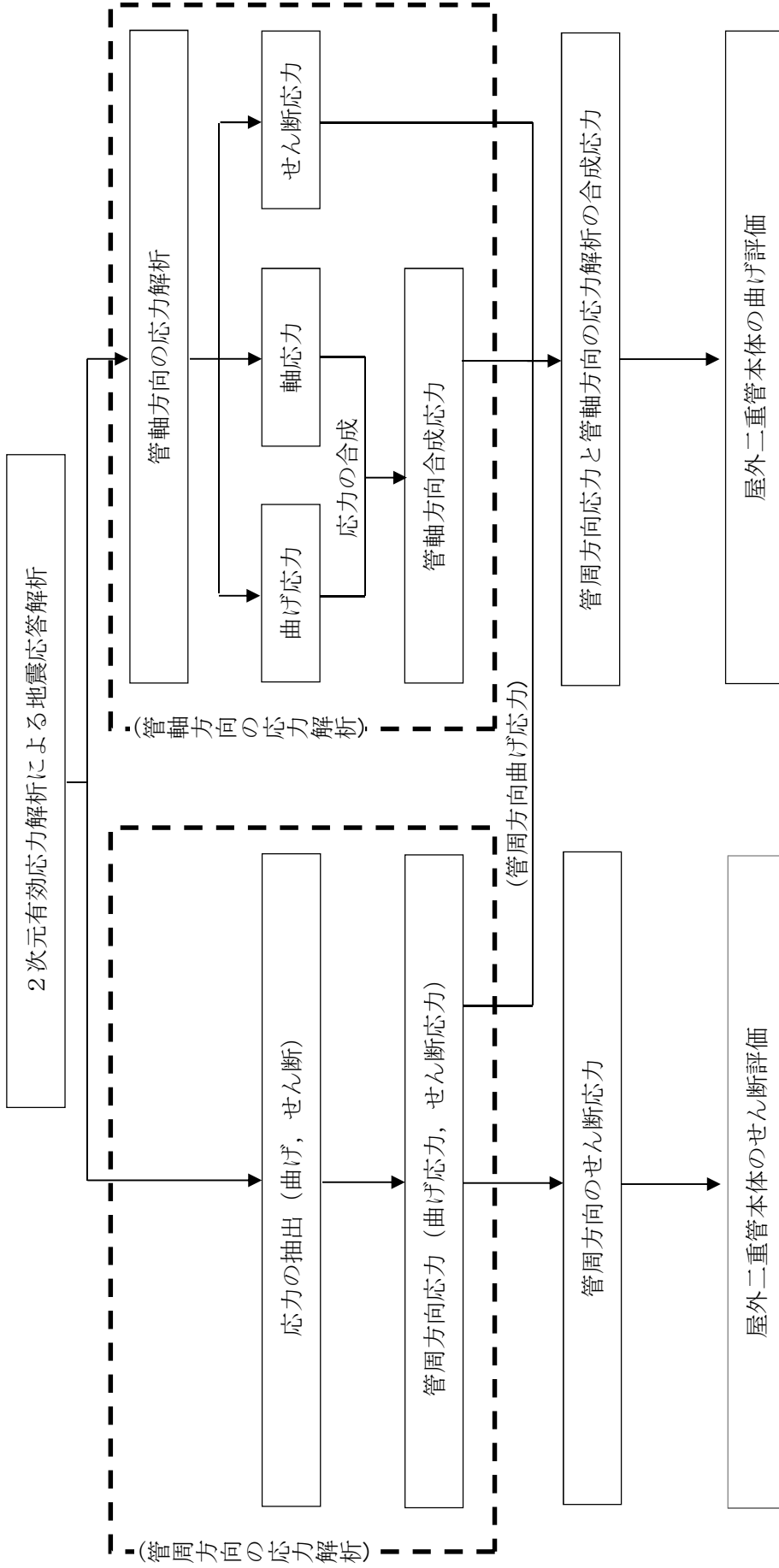
屋外二重管本体の耐震評価フローを第 2-4 図及び第 2-5 図に示す。ここで、屋外二重管は、運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における圧力、温度等について、耐震評価における手法及び条件に有意な差異はなく、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

第 2-1 表 屋外二重管本体の評価項目

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	管体	発生応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度



第 2-4 図 屋外二重管本体の地震応答計算及び耐震性能評価の評価フロー



第2-5図 屋外二重管本体の応力評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準類を以下に示す。

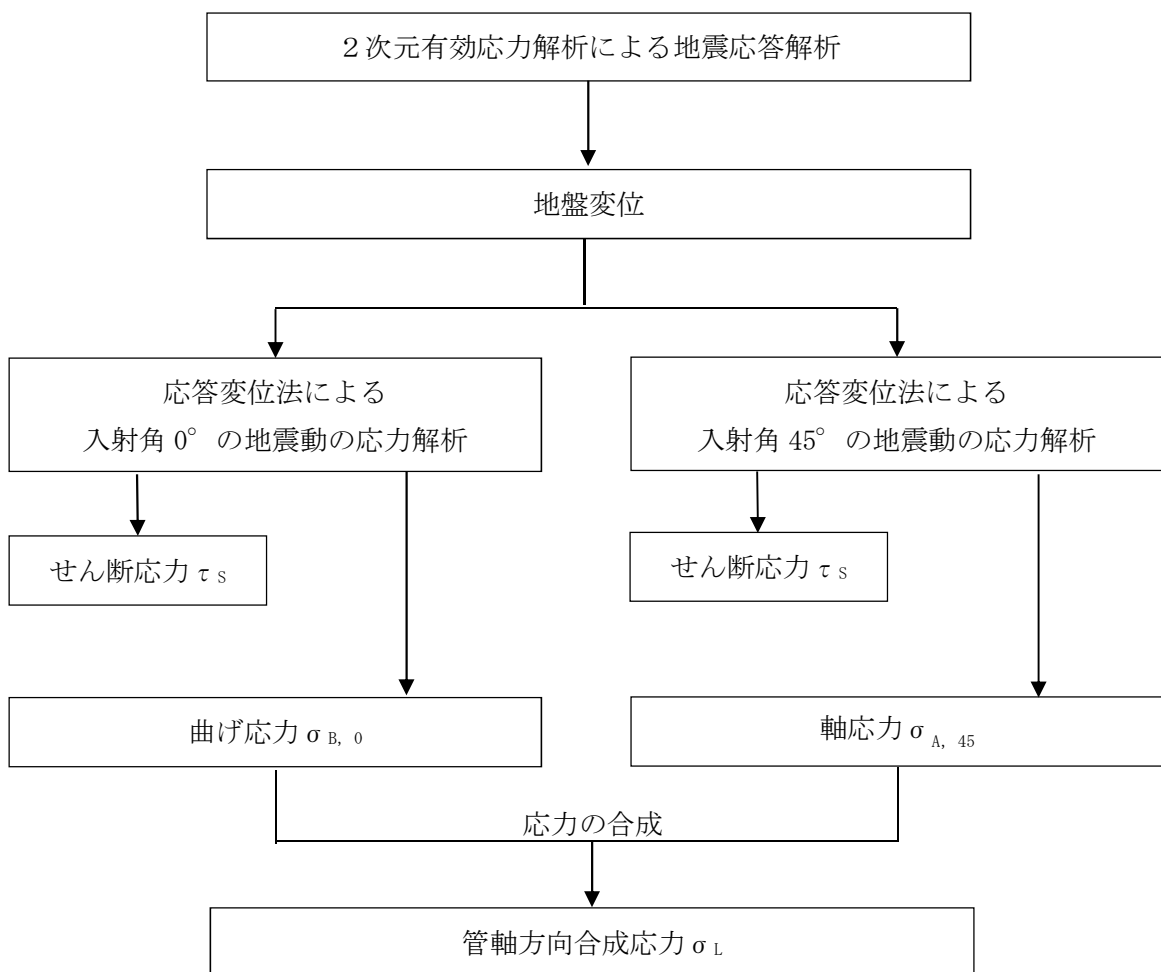
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説 (日本港湾協会, 平成 19 年)
- ・水道施設耐震工法指針・解説 1997 年版 (日本水道協会, 1997 年)
- ・石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準の細目を定める告示 (昭和四十八年九月二十八日通商産業省・運輸省・建設省・自治省告示第一号)

3. 応力解析

3.1 管軸方向の応力解析

管軸方向の応力解析の解析フローを第 3-1 図に示す。応力解析は、添付書類「V-2-2-8 屋外二重管の地震応答計算書」における 2 次元有効応力解析による地震応答解析結果から得られた地盤変位に基づき、応答変位法により管軸方向の応力を算出する。

管軸方向の応力算出に用いる応答変位法には、解析コード「MSC NASTRAN」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。



第 3-1 図 管軸方向の応力解析フロー

(1) 使用材料及び材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005年9月制定）に基づき設定する。構造物の使用材料を第3-1表に，材料物性値を第3-2表に示す。

なお，地盤及び地盤改良体の諸元は，添付書類「V-2-2-8 屋外二重管の地震応答計算書」と同様に添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」に基づいた物性値を用いる。

第3-1表 使用材料

使用箇所	材料	諸元
屋外二重管本体	鋼管	SM400 相当 (SM41B)

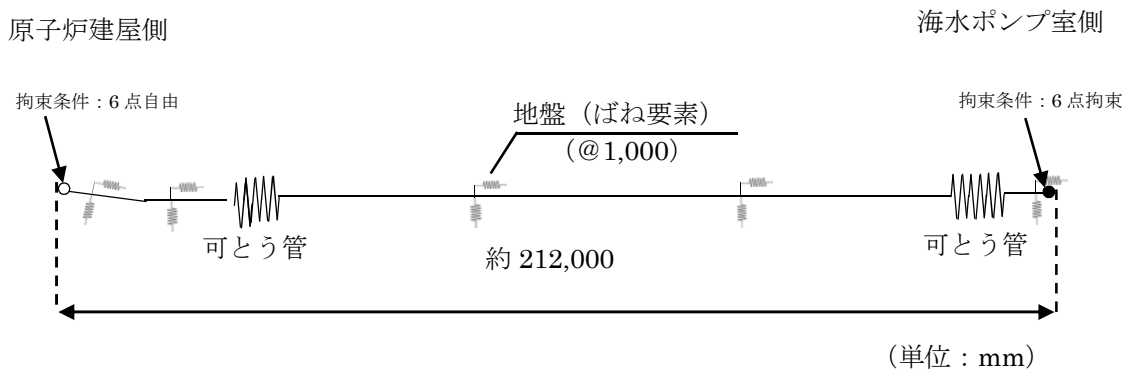
第3-2表 材料の物性値*

材 料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鋼管	77.0	2.05×10 ⁵	0.3

注記 *：鋼構造設計規準に基づき設定した値

(2) 管軸方向解析モデルの設定

屋外二重管本体管軸方向に作用する荷重の解析モデルは第3-2図に示すとおり，屋外二重管本体及び可とう管を線形はり要素，外二重管本体の周辺地盤をばね要素でモデル化する。地盤ばね要素は，管軸方向，軸直方向のばね要素ともに1 mピッチで与える。また，屋外二重管本体の両端の境界条件は，躯体との取り合い構造を考慮して，原子炉建屋側は自由端，海水ポンプ室側は固定端としてモデル化する。



第3-2図 屋外二重管本体の解析モデル図

(3) 地震応答解析ケース

屋外二重管本体の耐震設計における屋外二重管本体基礎構造部の解析ケースを第3-3表に示す。屋外二重管本体に作用する地震荷重は、地盤変位と地盤剛性に支配されるため、すべての基準地震動 S_s に対して実施する検討ケース①（基本ケース）から地盤ひずみが最大となる基準地震動 S_s を選定し、地盤変位が保守的となる条件として、敷地には存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性の検討ケース④（地盤を強制的に液状化させることを仮定）を考慮した地盤条件を用いて屋外二重管本体の耐震評価を行う。

B-B断面杭基礎構造部、C-C断面杭基礎構造部及びC-C断面地盤改良体基礎構造部における基準地震動 S_s ごとの地盤ひずみの評価結果を第3-4表に示す。B-B断面杭基礎構造部は S_s-12 が、C-C断面杭基礎構造部及びC-C断面地盤改良体基礎構造部は S_s-D1 （--）が最大となる。ここで、B-B断面杭基礎構造部とC-C断面杭基礎構造部で地盤ひずみを比較すると、B-B断面杭基礎構造部の地盤ひずみの方が大きいことから、杭基礎構造部についてはB-B断面を代表として評価する。

上記を踏まえた管軸方向の応力評価のケースを第3-5に表示す。管軸方向の応力評価のケースは、B-B断面杭基礎構造部においては S_s-12 、C-C断面地盤改良体基礎構造部においては S_s-D1 （--）とする。

第3-3表 屋外二重管本体の耐震設計における検討ケース

	①	②	③	④	⑤	⑥
検討ケース	原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース（基本ケース）	地盤物性のばらつきを考慮（ $+1\sigma$ ）した解析ケース	地盤物性のばらつきを考慮（ -1σ ）した解析ケース	地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつきを考慮（ $+1\sigma$ ）して非液状化の条件を仮定した解析ケース
液状化強度特性の設定	原地盤に基づく液状化強度特性（標準偏差を考慮）	原地盤に基づく液状化強度特性（標準偏差を考慮）	原地盤に基づく液状化強度特性（標準偏差を考慮）	敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用

第 3-4 表(1) 地盤の最大ひずみ (B-B断面杭基礎構造部)

地震動	最大応答変位 $U_o^{(*1)}$ (m)	波長 L (m)	最大地盤ひずみ (%)
Ss-D1 (++)	2.27×10^{-1}	289	0.5
Ss-D1 (+-)	2.28×10^{-1}	289	0.5
Ss-D1 (-+)	1.98×10^{-1}	278	0.4
Ss-D1 (--)	1.99×10^{-1}	279	0.4
Ss-11	1.51×10^{-1}	268	0.4
Ss-12	2.92×10^{-1}	274	0.7
Ss-13	2.81×10^{-1}	280	0.6
Ss-14	1.78×10^{-1}	260	0.4
Ss-21	1.29×10^{-1}	260	0.3
Ss-22	1.30×10^{-1}	277	0.3
Ss-31 (++)	2.28×10^{-1}	273	0.5
Ss-31 (-+)	2.17×10^{-1}	268	0.5
Ss-12 (豊浦標準砂)	6.60×10^{-1}	303	1.4

注記 *1: 屋外二重管本体中心標高位置 (E.L. +2.475 m) における変位

第 3-4 表(2) 地盤の最大ひずみ (C-C断面杭基礎構造部)

地震動	最大応答変位 $U_o^{(*2)}$ (m)	波長 L (m)	最大地盤ひずみ (%)
Ss-D1 (++)	1.30×10^{-1}	155	0.5
Ss-D1 (+-)	1.28×10^{-1}	155	0.5
Ss-D1 (-+)	1.35×10^{-1}	141	0.6
Ss-D1 (--)	1.37×10^{-1}	140	0.6
Ss-11	3.30×10^{-2}	116	0.2
Ss-12	9.20×10^{-2}	121	0.5
Ss-13	7.20×10^{-2}	130	0.3
Ss-14	5.30×10^{-2}	124	0.3
Ss-21	8.30×10^{-2}	130	0.4
Ss-22	8.30×10^{-2}	130	0.4
Ss-31 (++)	1.14×10^{-1}	136	0.5
Ss-31 (-+)	1.15×10^{-1}	139	0.5
Ss-D1 (--) (豊浦標準砂)	3.08×10^{-1}	166	1.2

注記 *2: 屋外二重管本体中心標高位置 (E.L. +6.032 m) における変位

第3-4表 (3) 地盤の最大ひずみ (C-C断面地盤改良体基礎構造部)

地震動	最大応答変位 U_o (*3) (m)	波長 L (m)	最大地盤ひずみ (%)
Ss-D1 (++)	9.7×10^{-2}	91	0.7
Ss-D1 (+-)	9.7×10^{-2}	92	0.7
Ss-D1 (-+)	1.08×10^{-1}	96	0.7
Ss-D1 (--)	1.08×10^{-1}	98	0.7
Ss-11	1.30×10^{-2}	96	0.1
Ss-12	3.90×10^{-2}	94	0.3
Ss-13	3.80×10^{-2}	94	0.3
Ss-14	3.70×10^{-2}	94	0.2
Ss-21	5.40×10^{-2}	92	0.4
Ss-22	5.90×10^{-2}	98	0.4
Ss-31 (++)	8.20×10^{-2}	88	0.6
Ss-31 (-+)	7.70×10^{-2}	93	0.5
Ss-D1 (--) (豊浦標準砂)	1.66×10^{-1}	92	1.1

注記 *3: 屋外二重管本体中心標高位置 (E. L. +6.032 m) における変位

第3-5表 管軸方向の応力評価ケース

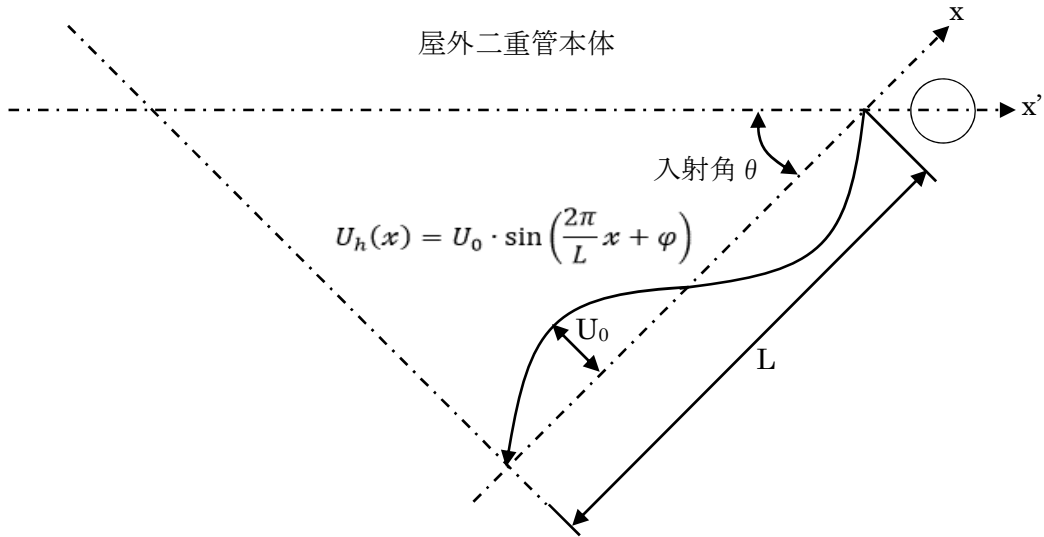
解析ケース	評価用地震動	地盤ばね及び地盤ひずみの設定値
杭基礎部	S s -12	B-B断面杭基礎構造部の地盤条件より設定した値*
地盤改良体基礎構造部	S s -D1 (--)	C-C断面地盤改良体基礎構造部の地盤条件より設定した値

* C-C断面杭基礎構造部と比較し地盤ひずみ大きいB-B断面杭基礎構造部を代表として選定した。

(4) 入射角及び地盤変位

評価に用いる入射角は、管路に発生する曲げ応力が最大となる入射角 0° の場合と管路に発生する軸応力が最大となる入射角 45° の場合とする。

また、地盤変位については、水道施設耐震工法指針・解説 1997 版（日本水道協会，1997）に基づく評価式を用いて地震動の波長より求める（第 3-3 図）。地盤変位の算定結果を第 3-4 図に示す。ケース B-B 断面杭基礎構造部の基準地震動 $S_s - 12$ と C-C 断面地盤改良体基礎構造部の基準地震動 $S_s - D1$ (--) について算定した入射角 0° の場合と入射角 45° の場合の入力地盤変位（最大水平変位 U_h ）を示す。



U_h : 水平変位 (m)

U_0 : 管軸位置の地盤の水平方向最大応答変位*1 (m)
(応答解析の結果より)

L : 地震動の波長*2 (m)

$$L = \frac{2 \cdot L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

$$L_1 = V_{DS} \cdot T_G, \quad L_2 = V_{BS} \cdot T_G$$

ここで,

V_{DS} : 管路中心以浅の地盤の平均せん断弾性波速度 (m/s)

V_{BS} : 管路中心以深の平均せん断弾性波速度 (m/s)

T_G : 管路中心以浅の地盤の固有周期 (s)

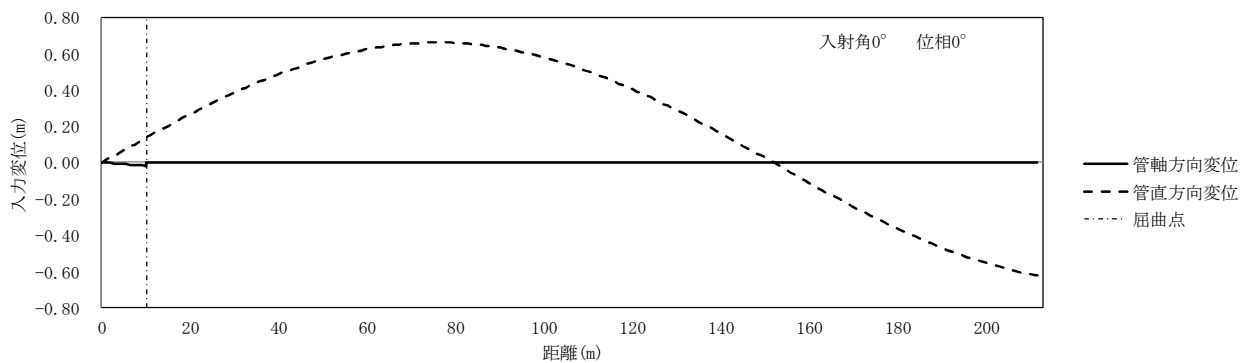
x : 地震動に沿った距離 (m)

φ : 地震動の位相 (°)

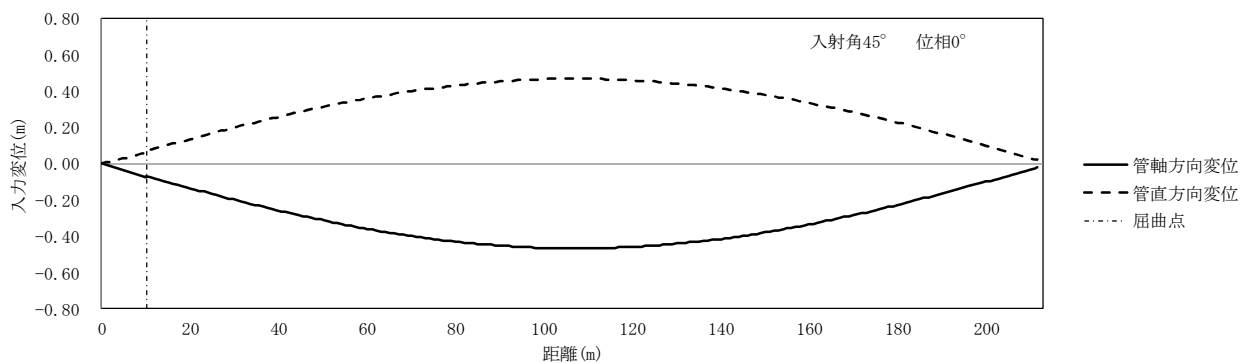
注記 *1: 応力解析における地盤変位は、水道施設耐震工法指針・解説1997 版（日本水道協会，1997）に基づき、管軸位置の水平変位を用いる。

*2: 水道施設耐震工法指針・解説1997 版（日本水道協会，1997）に基づく。

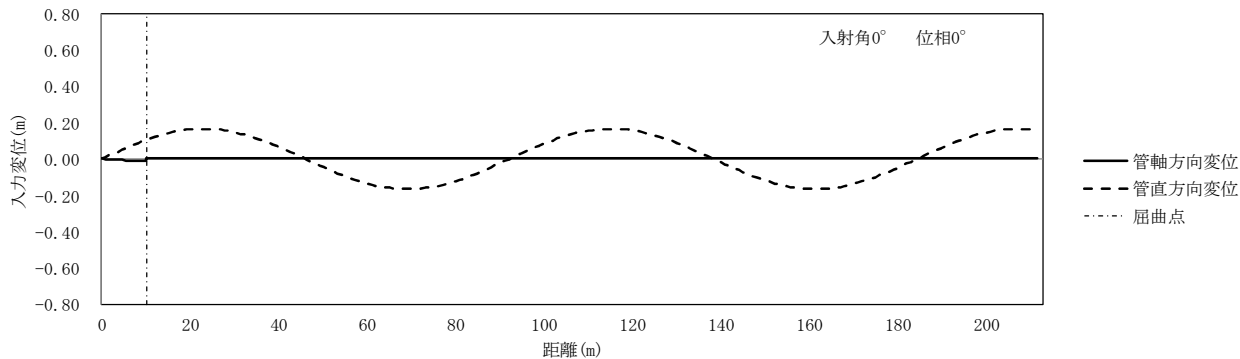
第 3-3 図 管軸方向の評価に用いる地盤変位算定図



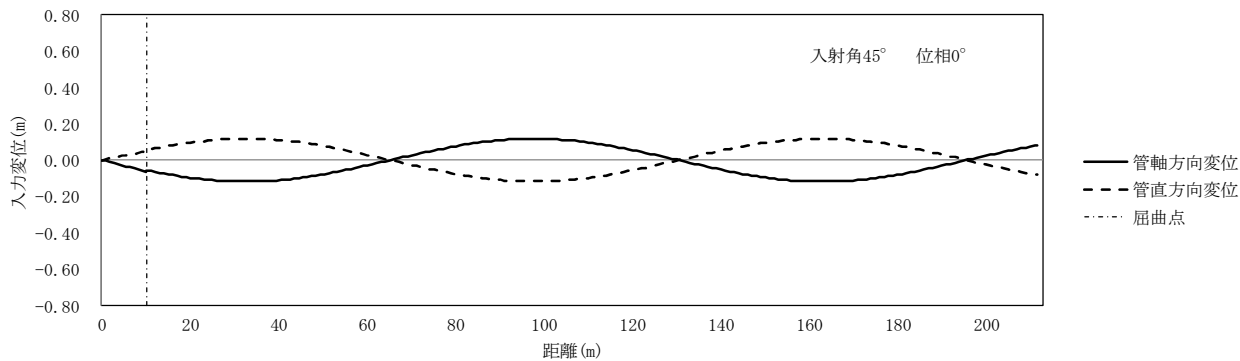
第3-4 図 (1) 入力地盤変位 (B-B断面杭基礎構造部) (入射角 0°)



第3-4 図 (2) 入力地盤変位 (B-B断面杭基礎構造部) (入射角 45°)



第3-4 図 (3) 入力地盤変位 (C-C断面地盤改良体基礎構造部) (入射角 0°)



第3-4 図 (4) 入力地盤変位 (C-C断面地盤改良体基礎構造部) (入射角 45°)

(5) 地震応答解析結果

地震応答解析結果に基づき算定した応力値を第 3-5 図に示す。ここで第 3-5 図に示す合成応力は、入射角 0° 及び 45° の場合の応力から以下の式から算出した。

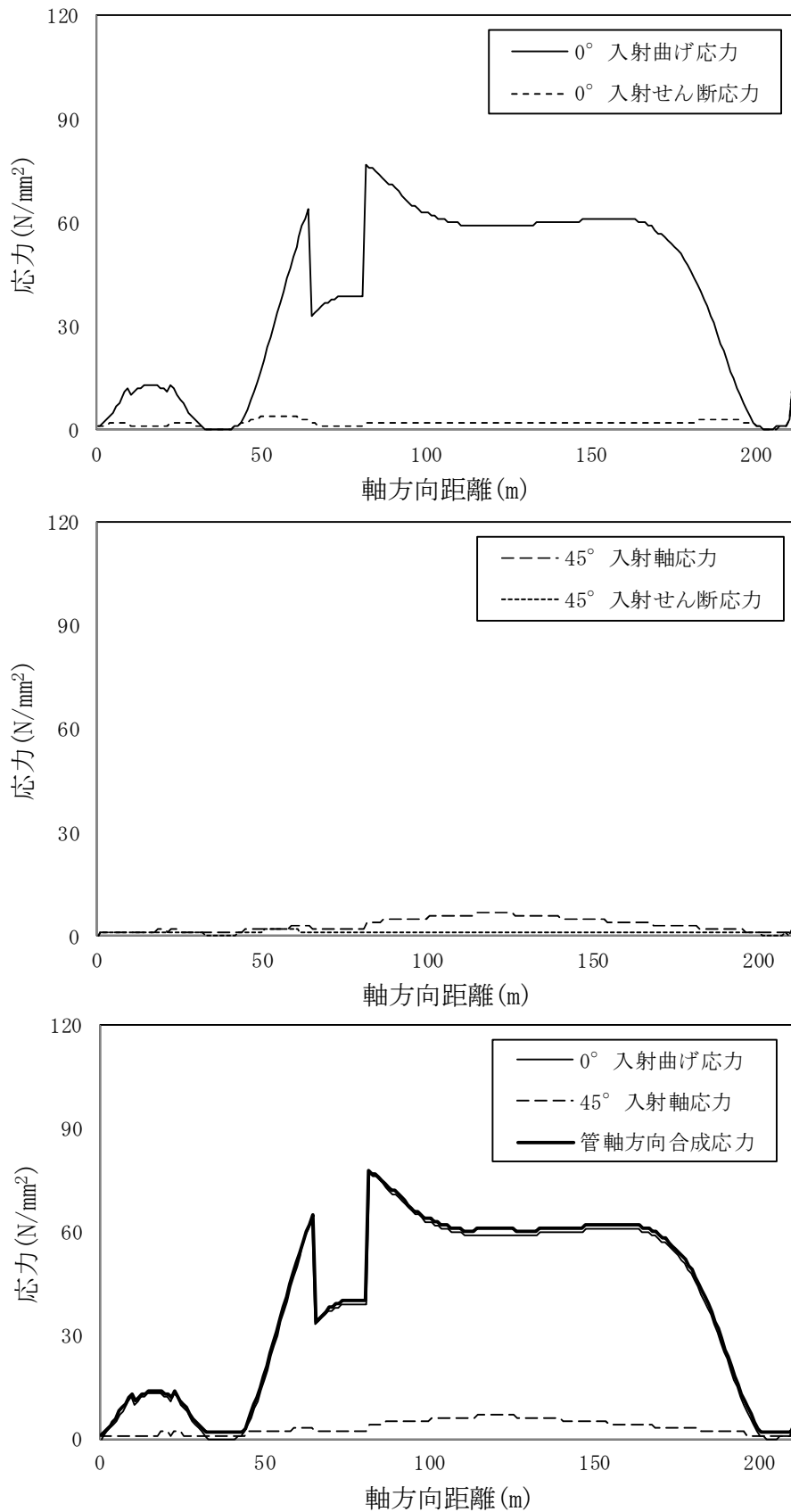
$$\sigma_L = \sqrt{3.12 \times (\sigma_{A,45})^2 + (\sigma_{B,0})^2} \cdot \dots \dots \dots (1)$$

ここで、

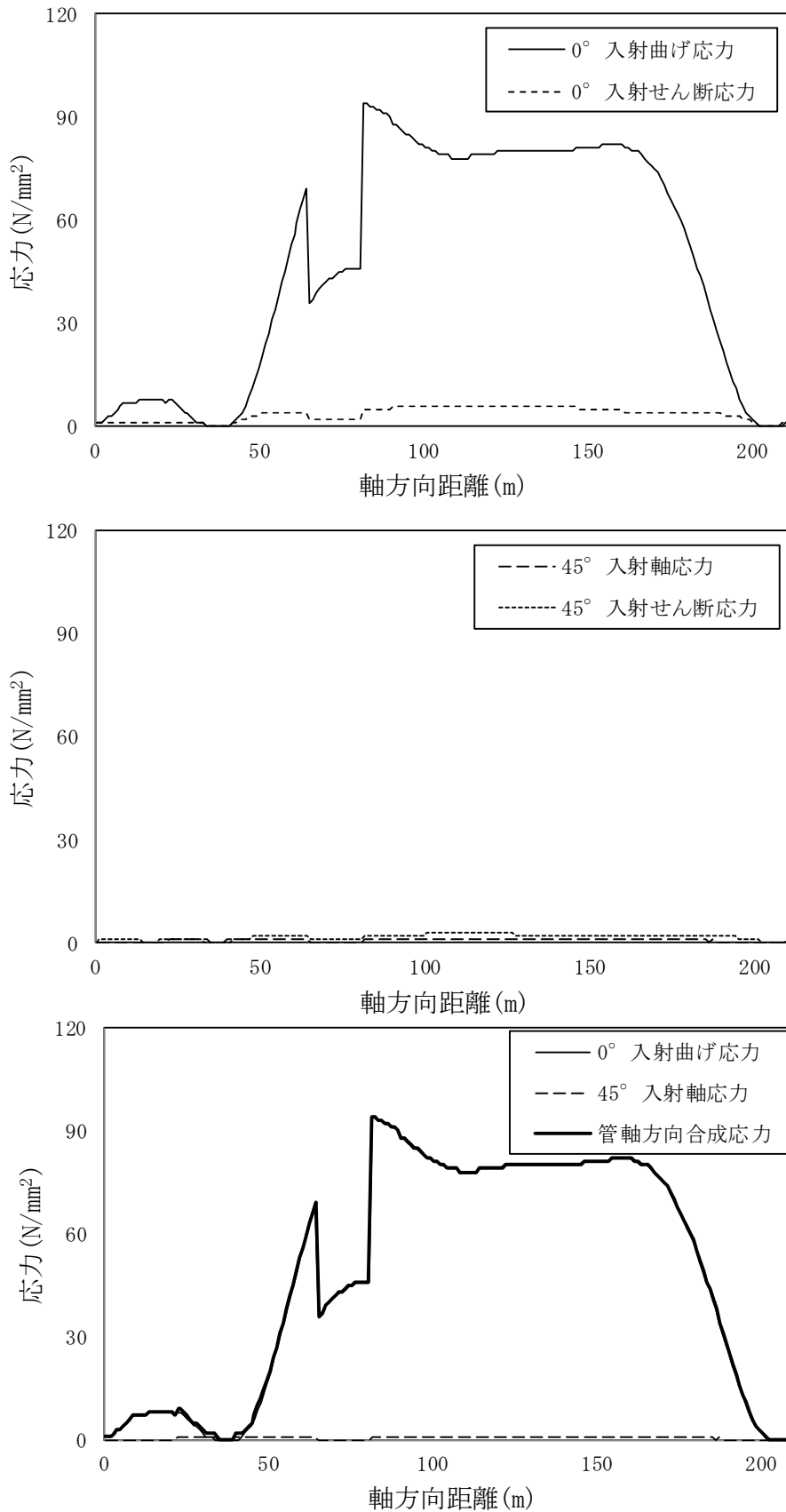
σ_L : 管軸方向の応力

$\sigma_{A,45}$: 入射角 45° の場合の管軸方向応力（軸応力）の最大値

$\sigma_{B,0}$: 入射角 0° の場合の管軸方向応力（曲げ応力）の最大値



第3-5 図 (1) 管軸方向の応力解析結果 (B-B断面杭基礎構造部)



第 3-5 図 (2) 管軸方向の応力解析結果 (C-C 断面地盤改良体基礎構造部)

3.2 管周方向の応力解析

管周方向の応力解析は、添付書類「V-2-2-8 屋外二重管の地震応答計算書」に示す屋外二重管の地震応答解析モデルによる地震応答解析結果から得られる曲げモーメント及びせん断力を用いて行う。なお、曲げモーメント及びせん断力から応力の算定は下式を用いる。

第3-6表～第3-8表に管周方向の曲げ応力及びせん断応力評価結果、第3-6図～第3-8図に各断面において発生応力が最大となる管周方向の応力評価結果の分布図を示す。また、第3-9図及び第3-10図に管軸方向の応力評価の対象として抽出したS_s-12及びS_s-D1(--)の管周方向の応力評価結果の分布図を示す。

a. 曲げ応力

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

ここで、

σ : 管周方向の曲げ応力 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

Z : 断面係数 (mm³)

b. せん断応力

$$\tau = \frac{S}{A}$$

ここで、

τ : 管周方向のせん断応力 (N/mm²)

S : せん断力 (N)

A : せん断面積 (mm²)

第 3-6 表 (1) 管周方向に発生する曲げ応力評価結果

(B-B 断面杭基礎構造部)

地震動	曲げモーメント (kNm/m)	曲げ応力 σ_c (N/mm ²)	備考
Ss-D1 (++)	0.176	3	
Ss-D1 (+-)	0.172	3	
Ss-D1 (-+)	0.207	4	
Ss-D1 (--)	0.196	3	
Ss-11	0.126	2	
Ss-12	0.154	3	
Ss-13	0.143	3	
Ss-14	0.135	2	
Ss-21	0.185	3	
Ss-22	0.193	3	
Ss-31 (++)	0.420	7	発生応力最大
Ss-31 (-+)	0.205	3	
Ss-12 (豊浦標準砂)	0.096	2	管軸方向対象

第 3-6 表 (2) 管周方向に発生するせん断応力評価結果

(B-B 断面杭基礎構造部)

地震動	せん断力 (kN/m)	せん断応力 τ_s (N/mm ²)	備考
Ss-D1 (++)	0.678	1	
Ss-D1 (+-)	0.615	1	
Ss-D1 (-+)	0.833	1	
Ss-D1 (--)	0.844	1	
Ss-11	0.513	1	
Ss-12	0.505	1	
Ss-13	0.490	1	
Ss-14	0.428	1	
Ss-21	0.804	1	
Ss-22	0.708	1	
Ss-31 (++)	1.711	1	発生応力最大
Ss-31 (-+)	0.819	1	
Ss-12 (豊浦標準砂)	0.384	1	管軸方向対象

第 3-7 表 (1) 管周方向に発生する曲げ応力評価結果

(C-C断面杭基礎構造部)

地震動	曲げモーメント (kNm/m)	曲げ応力 σ_c (N/mm ²)	備考
Ss-D1 (++)	0.973	15	
Ss-D1 (+-)	0.395	6	
Ss-D1 (-+)	0.479	8	
Ss-D1 (--)	0.394	6	
Ss-11	0.227	4	
Ss-12	0.241	4	
Ss-13	0.559	9	
Ss-14	0.142	3	
Ss-21	0.535	8	
Ss-22	0.725	11	
Ss-31 (++)	1.891	29	発生応力最大
Ss-31 (-+)	0.386	6	
Ss-D1 (--) (豊浦標準砂)	0.332	5	

第 3-7 表 (2) 管周方向に発生するせん断応力評価結果

(C-C断面杭基礎構造部)

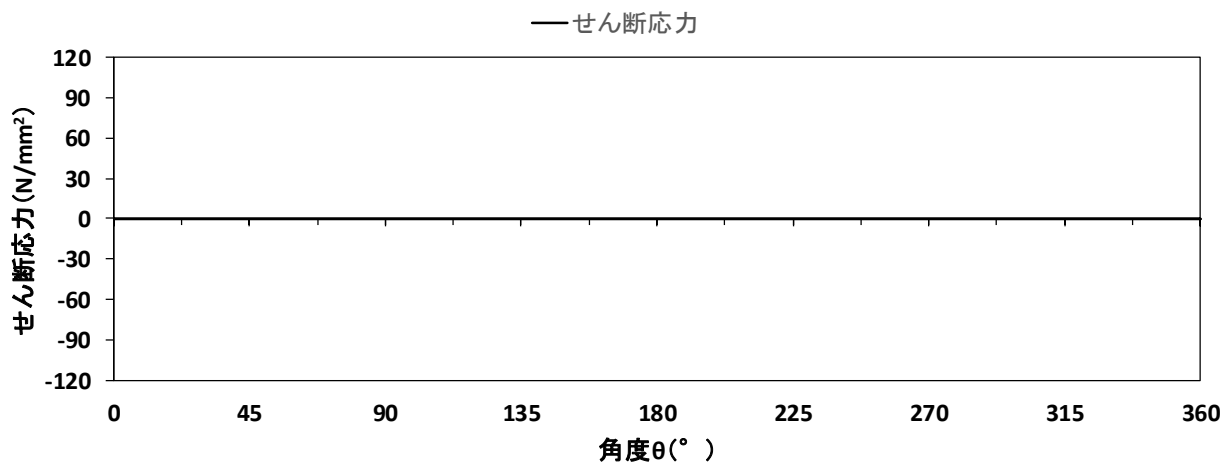
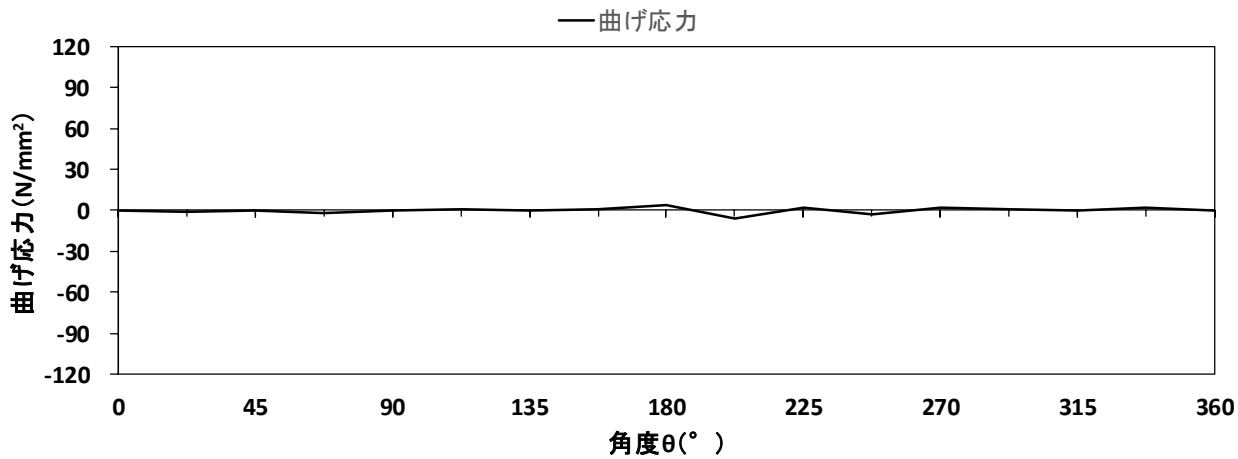
地震動	せん断力 (kN/m)	せん断応力 τ_s (N/mm ²)	備考
Ss-D1 (++)	6.952	1	
Ss-D1 (+-)	2.883	1	
Ss-D1 (-+)	3.325	1	
Ss-D1 (--)	2.881	1	
Ss-11	1.453	1	
Ss-12	1.443	1	
Ss-13	4.229	1	
Ss-14	0.850	1	
Ss-21	3.988	1	
Ss-22	4.424	1	
Ss-31 (++)	12.345	1	発生応力最大
Ss-31 (-+)	2.855	1	
Ss-D1 (--) (豊浦標準砂)	2.509	1	

第 3-8 表 (1) 管周方向に発生する曲げ応力評価結果
(C-C断面地盤改良体基礎構造部)

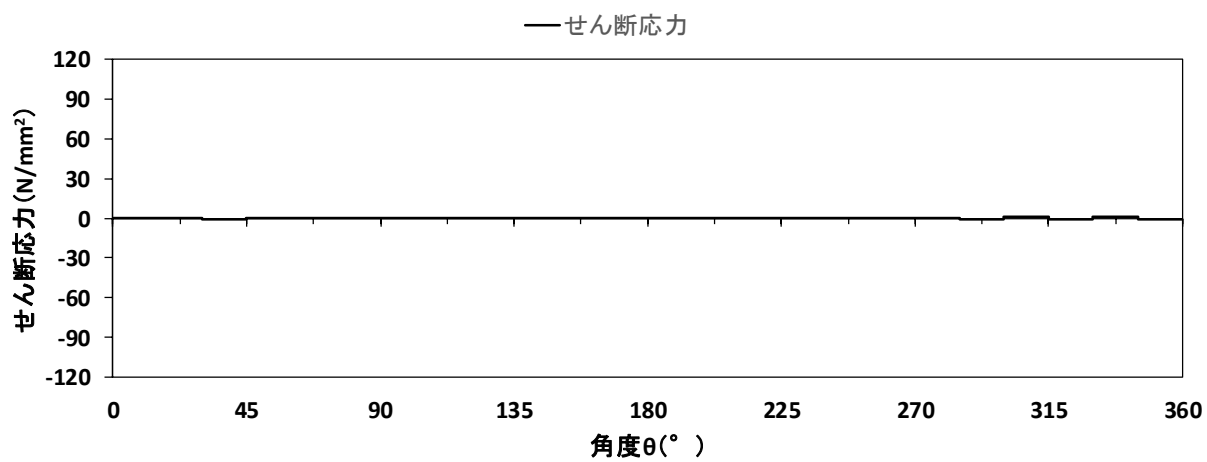
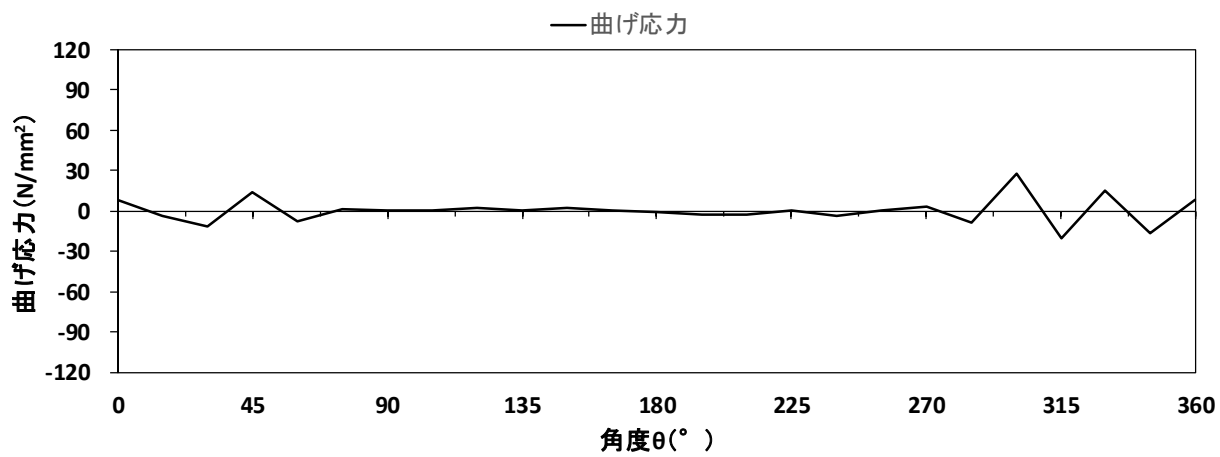
地震動	曲げモーメント (kNm/m)	曲げ応力 σ_c (N/mm ²)	備考
Ss-D1 (++)	2.182	33	発生応力最大
Ss-D1 (+-)	2.121	32	
Ss-D1 (-+)	1.719	26	
Ss-D1 (--)	1.661	25	
Ss-11	0.037	1	
Ss-12	0.063	1	
Ss-13	0.063	1	
Ss-14	0.055	1	
Ss-21	0.162	3	
Ss-22	0.158	3	
Ss-31 (++)	0.125	2	
Ss-31 (+-)	0.173	3	
Ss-D1 (--) (豊浦標準砂)	0.262	4	管軸方向対象

第 3-8 表 (2) 管周方向に発生するせん断応力評価結果
(C-C断面地盤改良体基礎構造部)

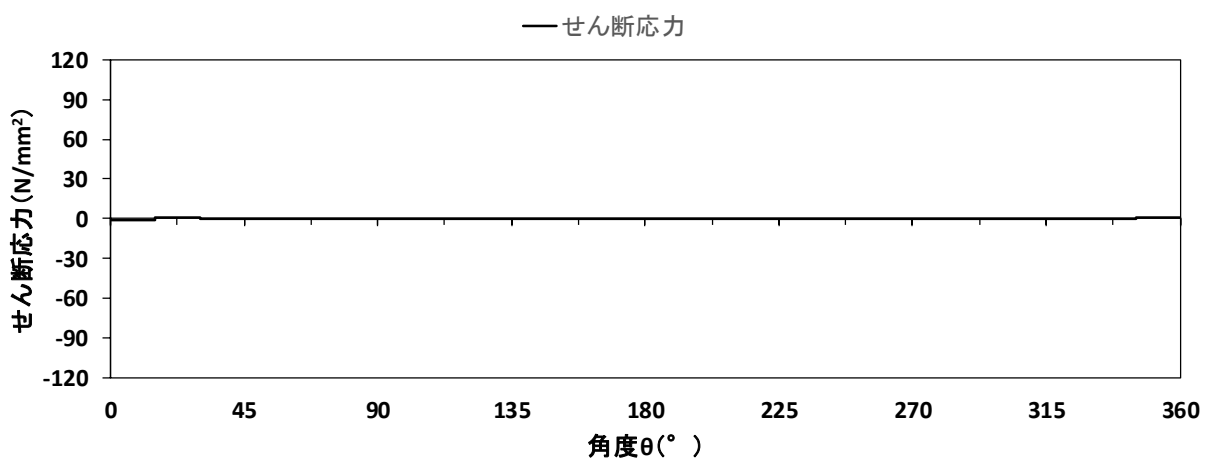
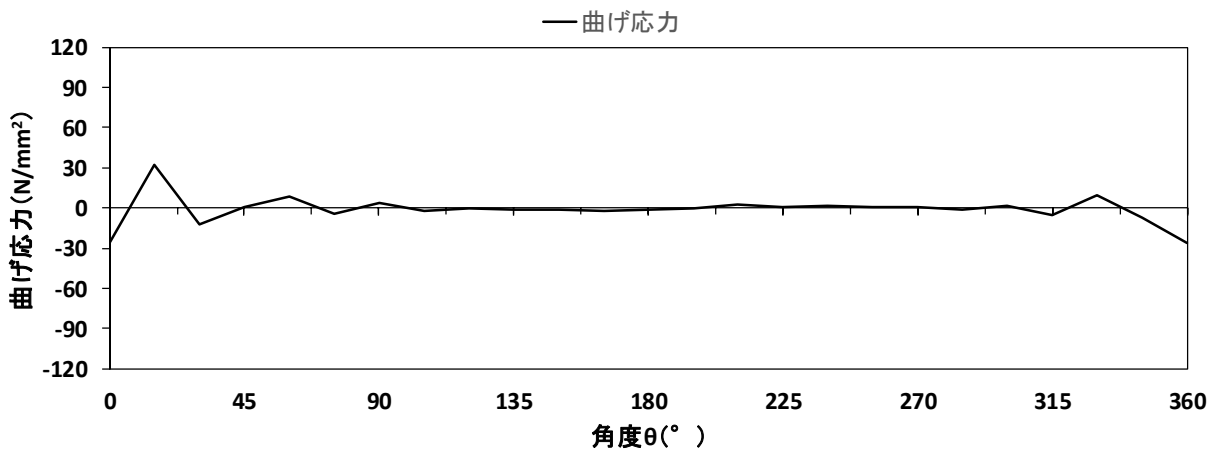
地震動	せん断力 (kN/m)	せん断応力 τ_s (N/mm ²)	備考
Ss-D1 (++)	15.059	2	発生応力最大
Ss-D1 (+-)	14.588	2	
Ss-D1 (-+)	11.607	1	
Ss-D1 (--)	11.462	1	
Ss-11	0.121	1	
Ss-12	0.194	1	
Ss-13	0.193	1	
Ss-14	0.172	1	
Ss-21	0.992	1	
Ss-22	0.990	1	
Ss-31 (++)	0.372	1	
Ss-31 (+-)	0.913	1	
Ss-D1 (--) (豊浦標準砂)	1.777	1	管軸方向対象



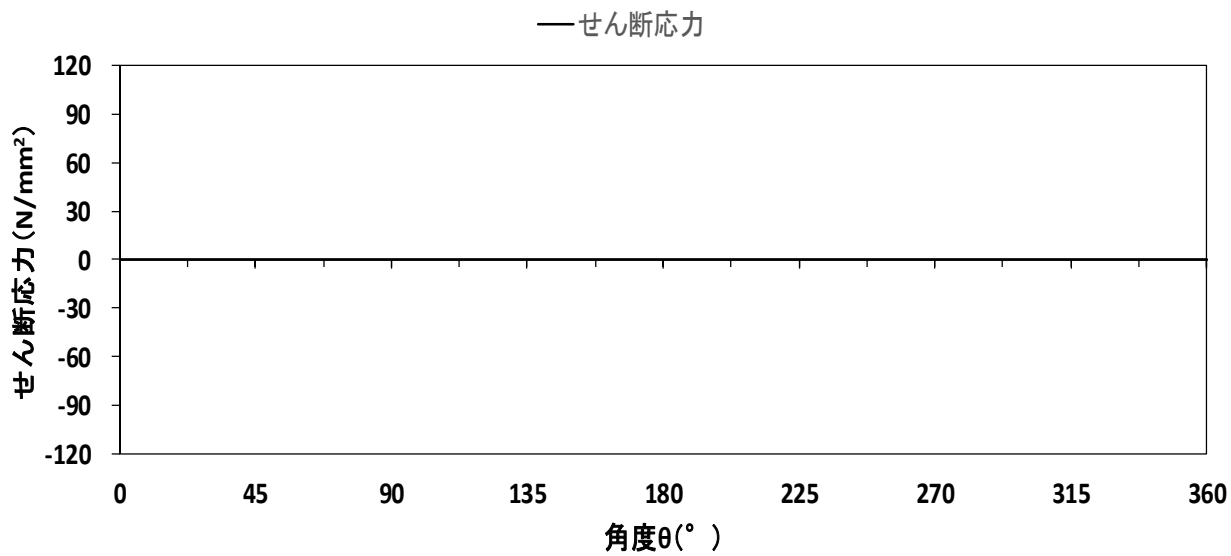
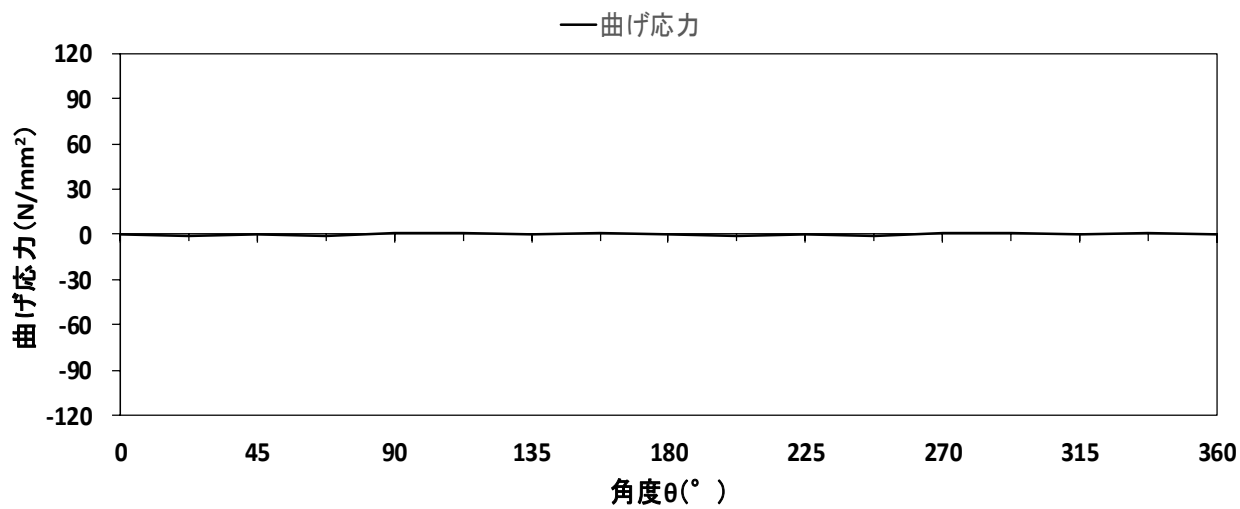
第 3-6 図 管周方向の応力評価結果
 (B-B 断面杭基礎構造部発生応力最大：S_s-31 (++))



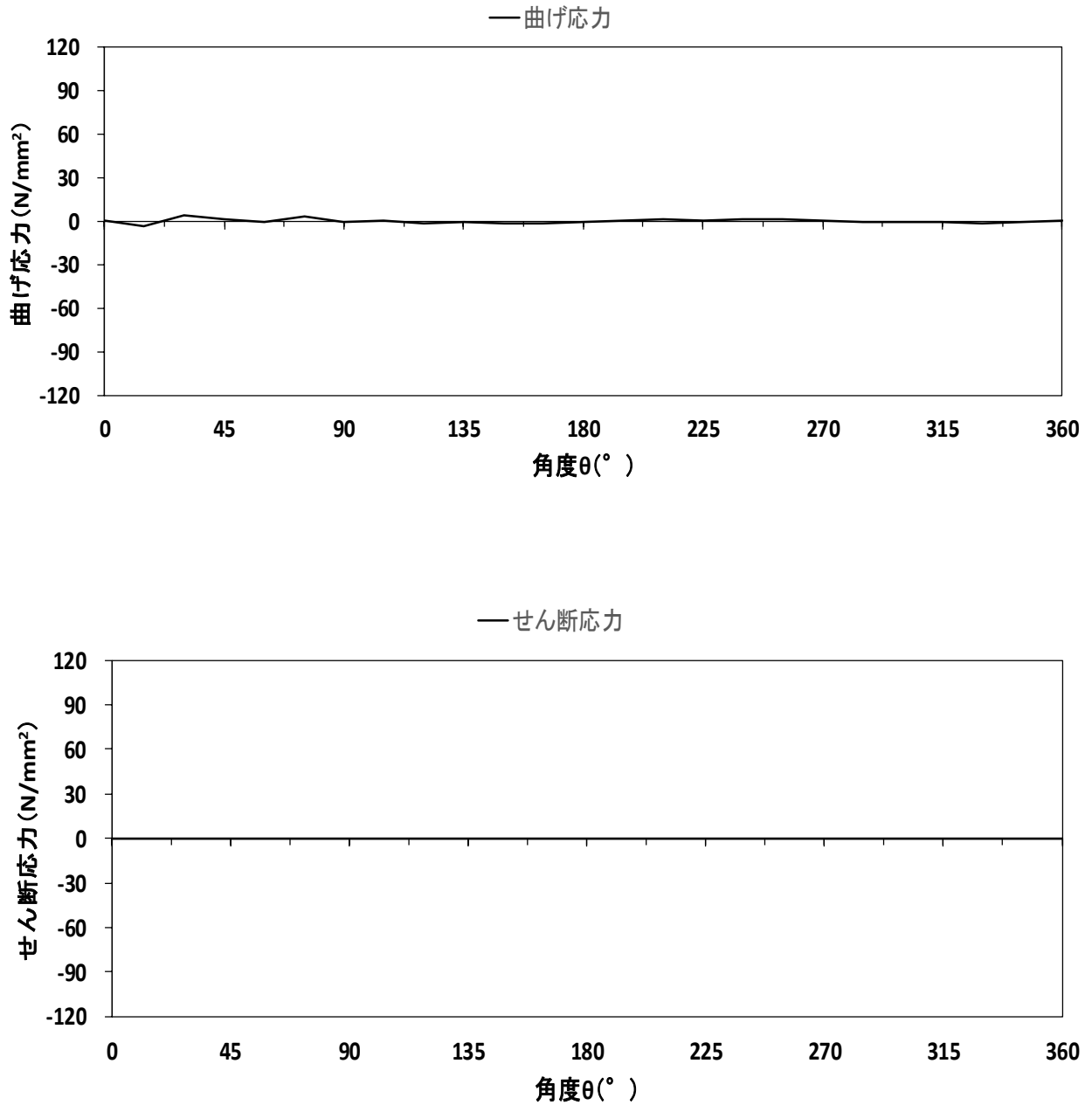
第 3-7 図 管周方向の応力評価結果
 (C-C 断面杭基礎構造部発生応力最大: $S_s - 31$ (++))



第 3-8 図 管周方向の応力評価結果
 (C-C 断面地盤改良体基礎構造部発生応力最大：S_s - D1 (++))



第 3-9 図 管周方向の応力解析結果
(B-B 断面杭基礎構造部管軸方向評価対象)



第 3-10 図 管周方向の応力解析結果
 (C-C 断面地盤改良体基礎構造部管軸方向評価対象)

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

屋外二重管本体の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

埋設構造物であるため、評価に与える影響は軽微であることから積雪荷重、風荷重、温度荷重等は考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

屋外二重管の応力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)

積載荷重として内部水による内水圧及び外水圧による荷重を考慮する。

(3) 地震荷重 (K_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを第 3-9 表に示す。

第 3-9 表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + K_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

K_s : 地震荷重

4. 耐震評価

4.1 許容限界

屋外二重管本体の曲げ及びせん断に対する許容限界は，鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会, 2005 年度 9 月制定）に基づき，第 4-1 表に示す短期許容応力度とする。短期許容応力度は，耐震設計上考慮する荷重が地震荷重であることを考慮し，鋼材の許容応力度に対して 1.5 倍割増しを考慮する。

第 4-1 表 鋼製管の短期許容応力度

項目	短期許容応力度 (N/mm ²)
許容引張応力度 許容曲げ応力度	235.0
許容せん断応力度	135.6

4.2 評価方法

4.2.1 管周方向応力に対する評価

「3.2 管周方向の応力解析」によって算出したせん断応力が「4.1 許容限界」に示す短期許容応力度以下であることを確認する。

4.2.2 管周方向応力と管軸方向応力との合成応力に対する評価

屋外二重管本体に発生する合成応力として，管周方向応力及び管軸方向応力を以下の式にて算定する。算定された合成応力が「4.1 許容限界」に示す短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_C^2 + \sigma_L \times \sigma_C + 3 \times \tau_S^2}$$

ここで，

σ : 合成応力 (N/mm²)

σ_C : 管周方向曲げ応力 (N/mm²)

τ_S : 管軸方向せん断応力 (N/mm²)

5. 耐震評価結果

5.1 管周方向の評価結果

第 5-1 表に管周方向のせん断応力の評価結果に示す。せん断応力は許容限界を下回ることを確認した。

第 5-1 表 管周方向に発生するせん断応力評価結果

評価断面	地震動	せん断応力 τ_s (N/mm ²)	許容限界 τ_a (N/mm ²)
B-B 断面 杭基礎構造部	Ss-31 (++)	1	135
C-C 断面 杭基礎構造部	Ss-31 (++)	1	135
C-C 断面 地盤改良体基礎構造部	Ss-D1 (++)	2	135

5.2 管周方向応力と管軸方向応力との合成応力による評価結果

第 5-2 表に管周方向応力と管軸方向応力との合成応力の評価結果を示す。応力値は許容限界を下回ることを確認した。

第 5-2 表 管周方向応力と管軸方向応力との合成応力の評価結果

評価断面	管周方向	管軸方向		合成応力 σ (N/mm ²)	許容限界 σ_a (N/mm ²)
	曲げ応力 σ_c (N/mm ²)	曲げ応力 σ_L (N/mm ²)	せん断応力 τ_s (N/mm ²)		
B-B 断面 杭基礎構造部	2	78	2	84	235
C-C 断面 地盤改良体基礎構造部	4	94	6	97	235