

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7 添-2-027 改0
提出年月日	2020年6月25日

V-2-2-18 軽油タンク基礎の耐震性についての計算書

K7 ① V-2-2-18 R0

2020年6月

東京電力ホールディングス株式会社

## 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. 耐震評価	9
3.1 評価対象断面	9
3.2 許容限界	12
3.2.1 構造部材の健全性に対する許容限界	12
3.2.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	13
3.3 評価方法	14
3.3.1 構造部材の健全性評価	14
3.3.2 基礎地盤の支持性能評価	22
4. 耐震評価結果	23
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	23
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	27

## 1. 概要

本資料は、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、軽油タンク基礎が基準地震動 $S_s$ 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。

軽油タンク基礎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及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

軽油タンク基礎の位置を図2-1に示す。

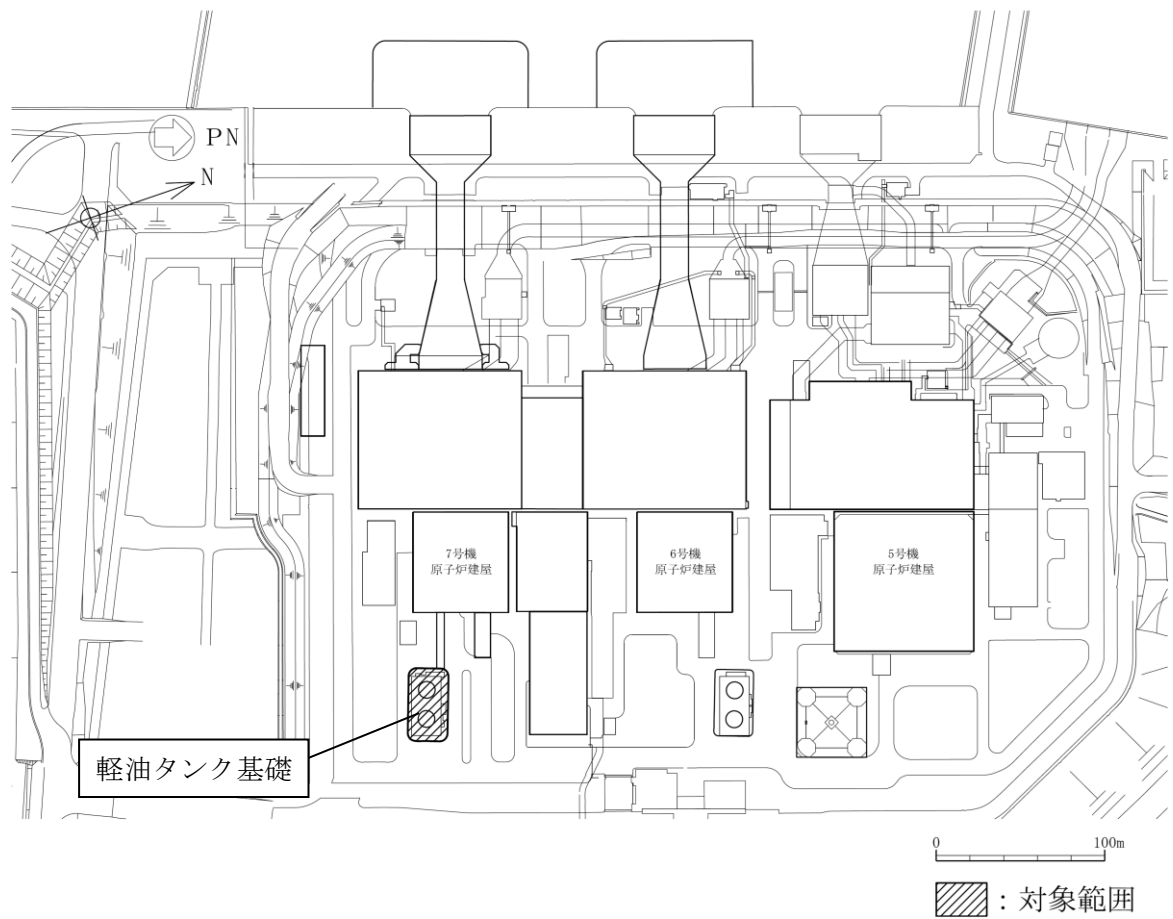
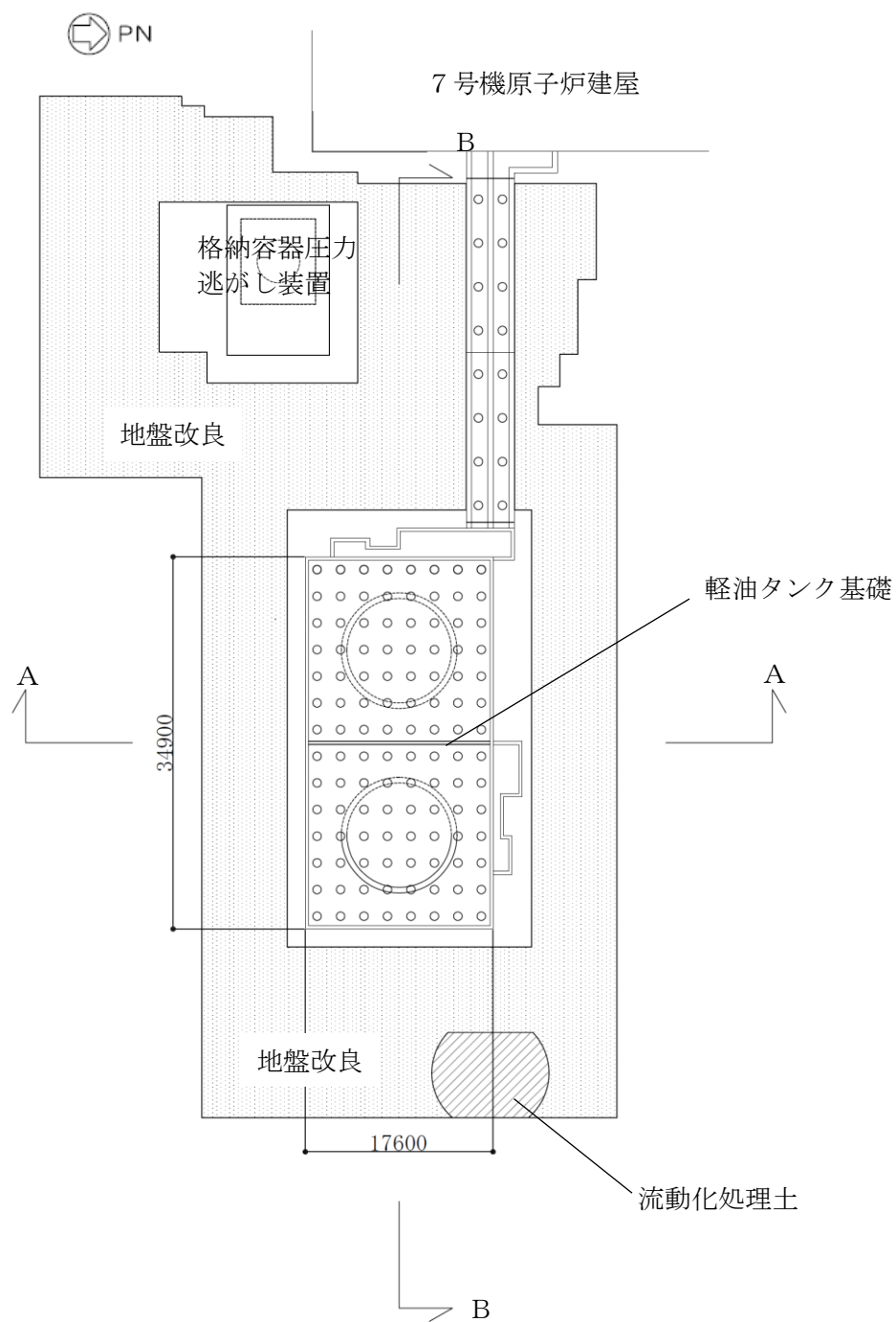


図2-1 軽油タンク基礎の位置図（全体平面図）

## 2.2 構造概要

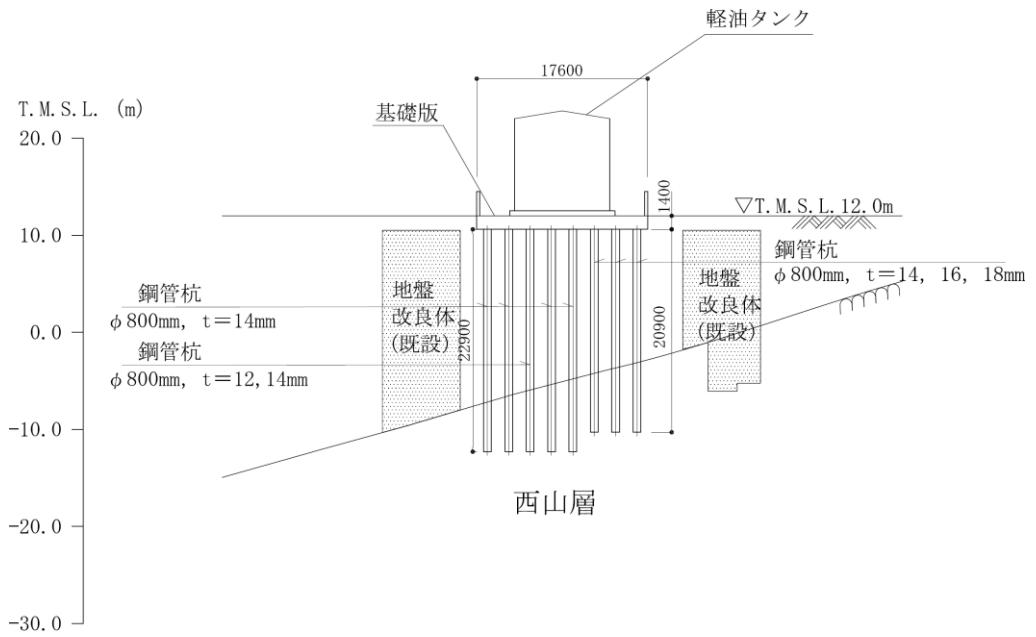
軽油タンク基礎の平面図を図 2-2、断面図を図 2-3 に示す。

軽油タンク基礎は、軽油タンクを間接支持する幅約 18m (NS 方向) × 約 35m (EW 方向)、高さ約 1.4m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、杭を介して十分な支持性能を有する西山層に支持される。



(単位：mm)

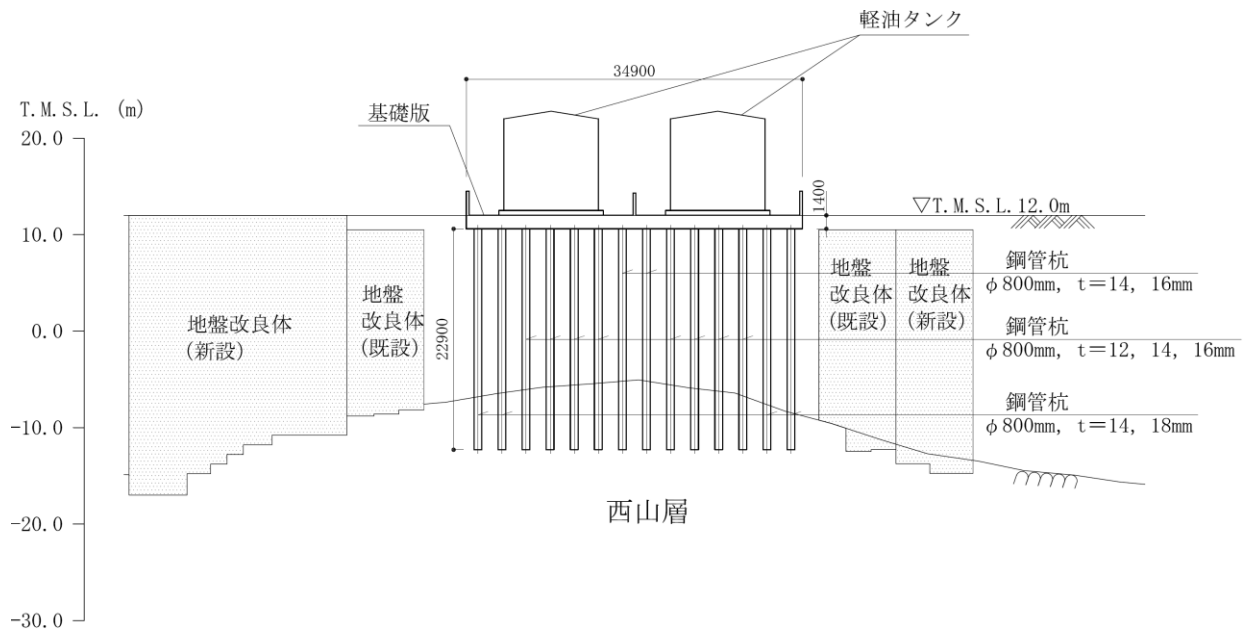
図 2-2 軽油タンク基礎の平面図



(単位：mm)

注：東京湾平均海面（以下、「T.M.S.L.」という。）

図 2-3 (1) 軽油タンク基礎の断面図 (A-A断面)



(単位：mm)

図 2-3 (2) 軽油タンク基礎の断面図 (B-B断面)

### 2.3 評価方針

軽油タンク基礎は、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。

軽油タンク基礎の耐震評価は、V-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、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実施することで、構造強度を有すること及びSクラスの施設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、圧縮縁コンクリートひずみ、せん断力及び曲率が許容限界以下であることを確認する。鉄筋コンクリート部材の圧縮縁コンクリートひずみ及びせん断力は、解析コード「Engineer's Studio Ver.8.0.1」を用いた非線形積層シェル要素による版解析より算定する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

基礎地盤の支持性能評価においては、杭頭に発生する鉛直力が終局鉛直支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

軽油タンク基礎の耐震評価フローを図2-4に示す。

ここで、軽油タンク基礎は、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 軽油タンク基礎の評価項目

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	圧縮縁コンクリートひずみ及びせん断力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	限界ひずみ*
				せん断力	せん断耐力*
		鋼管杭		曲げ軸力	終局曲率*
				せん断力	終局せん断強度*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	杭頭に発生する鉛直力が許容限界以下であることを確認	終局鉛直支持力*	
Sクラスの施設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	圧縮縁コンクリートひずみ及びせん断力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	限界ひずみ*
				せん断力	せん断耐力*
		鋼管杭		曲げ軸力	終局曲率*
				せん断力	終局せん断強度*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	杭頭に発生する鉛直力が許容限界以下であることを確認	終局鉛直支持力*	

注記\* : 妥当な安全余裕を考慮する。



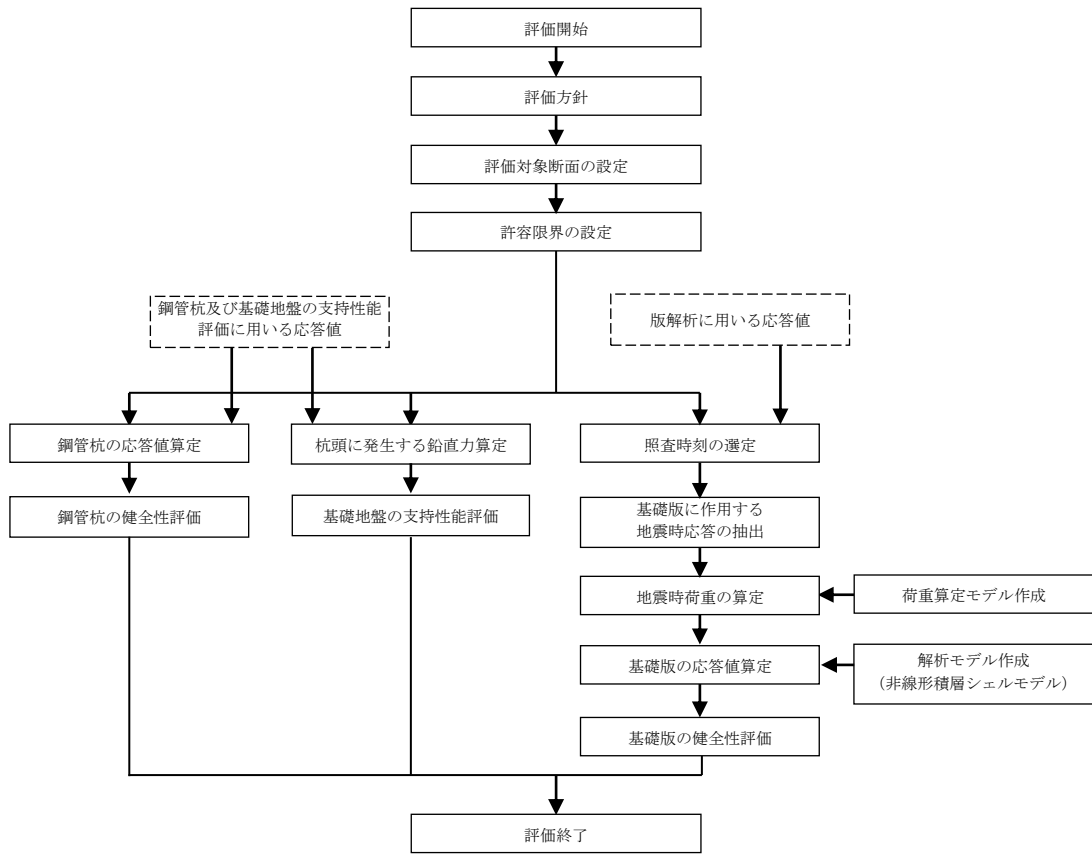


図 2-4 軽油タンク基礎の耐震評価フロー

## 2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

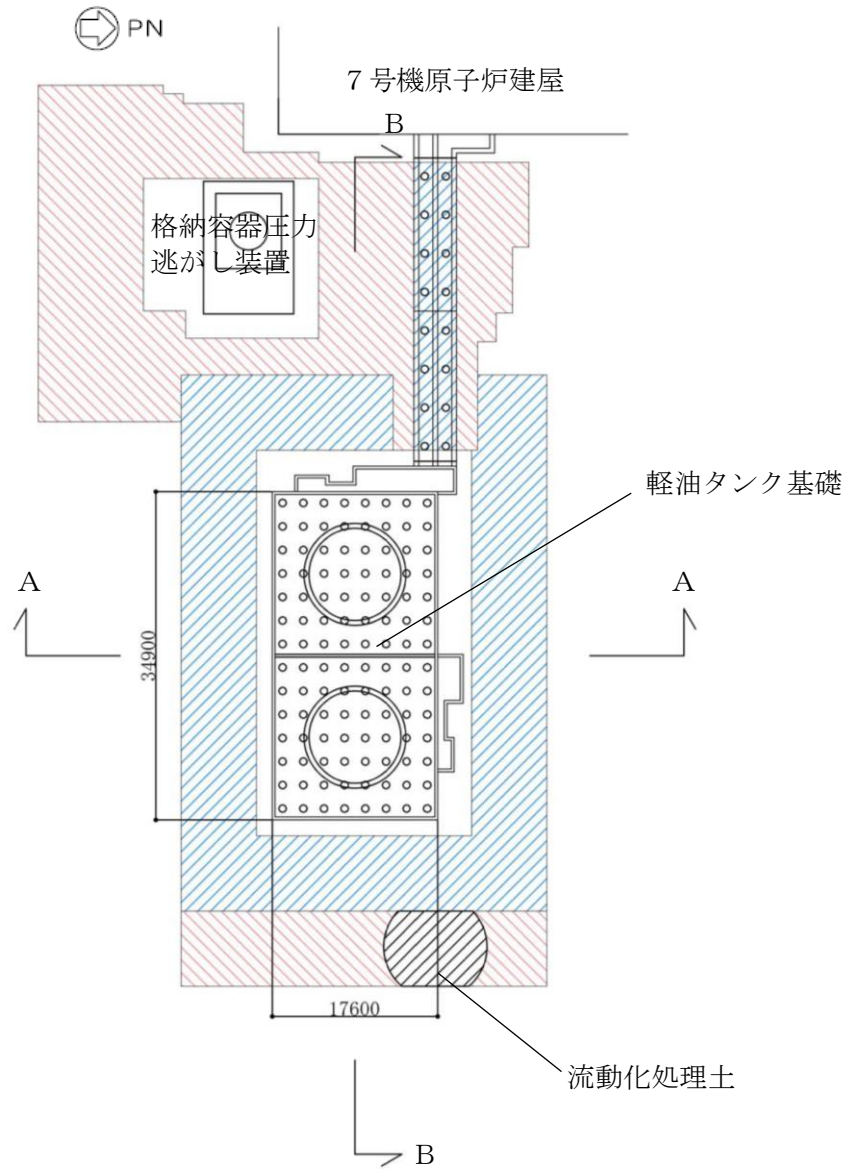
- ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）
- ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（日本電気協会）
- ・乾式キャスクを用いる使用済み燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 J E A C 4 6 1 6-2009（日本電気協会）
- ・鋼・合成構造標準示方書〔耐震設計編〕（土木学会，2008年）

### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面

軽油タンク基礎の評価対象断面位置を図3-1に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面は図3-1のA-A断面及びB-B断面とする。

評価対象断面図を図3-2に示す。

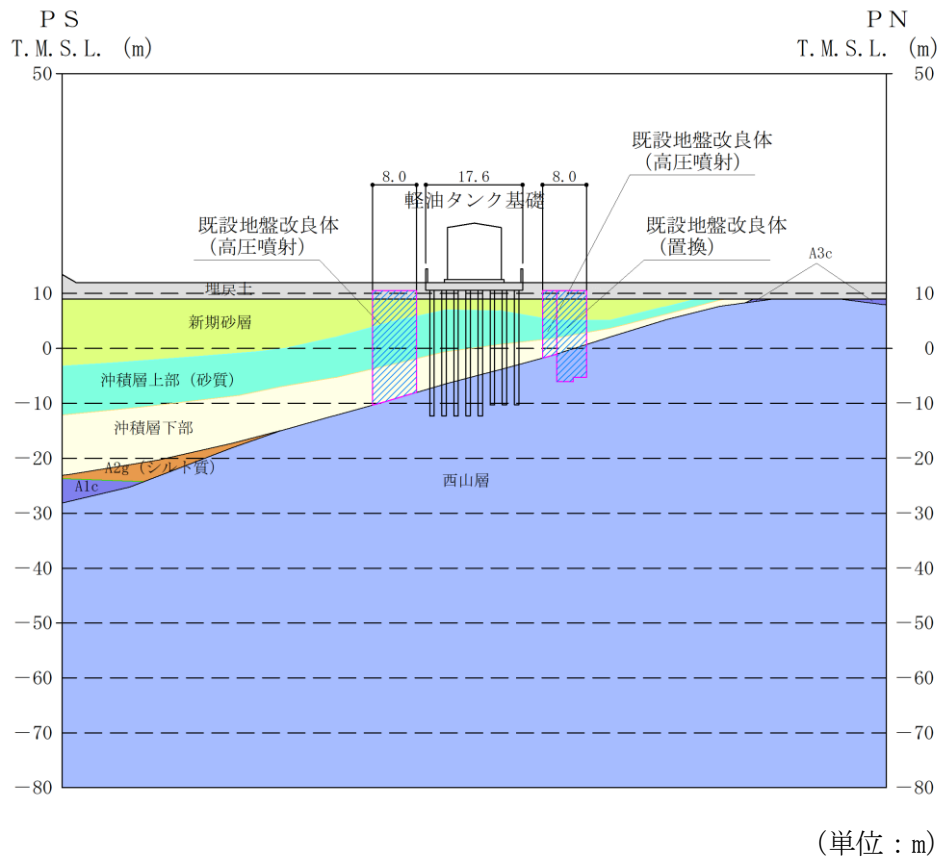


(単位：mm)

既設/新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換(CD掘削)
新設地盤改良体		置換(CD掘削)

注：置換工法(CD掘削)の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換(開削)を適用

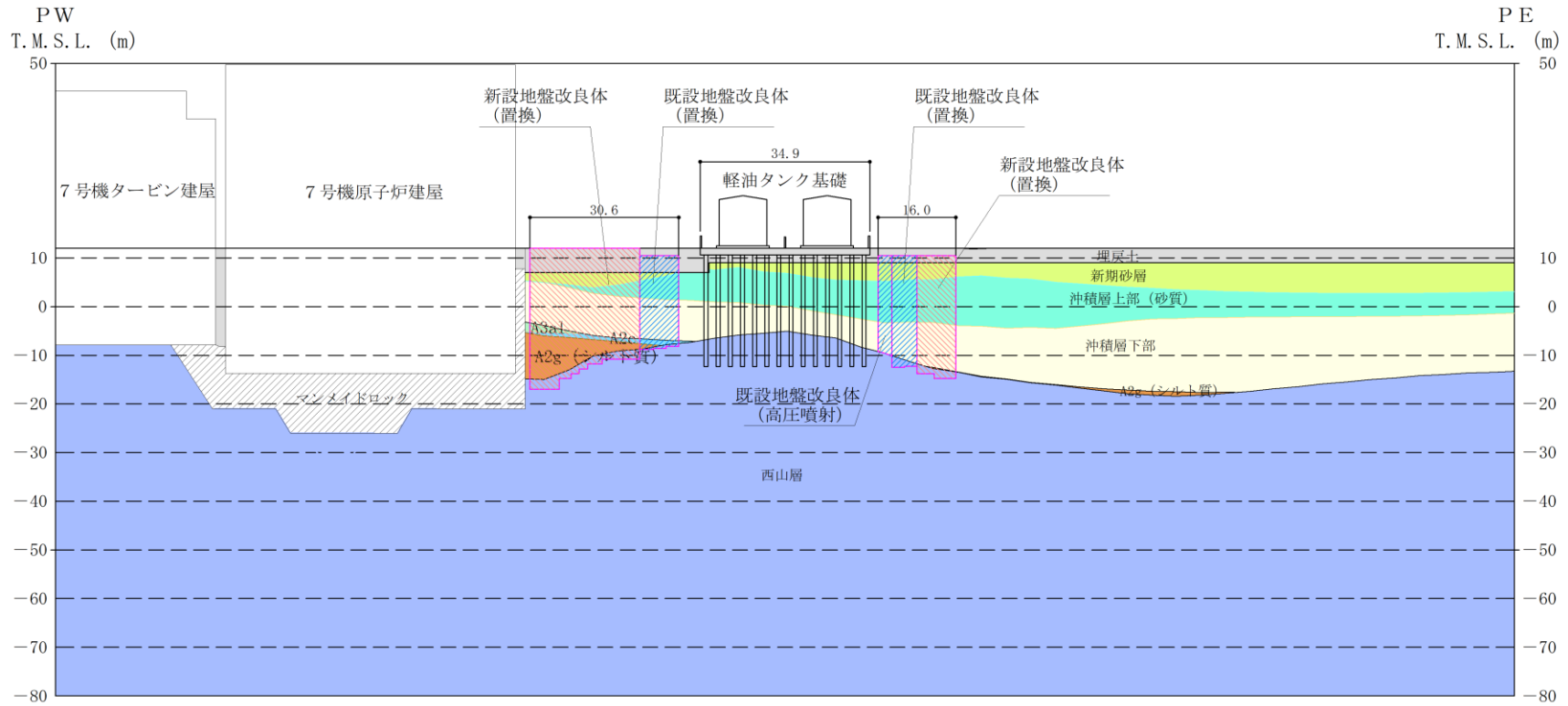
図3-1 軽油タンク基礎の評価対象断面位置図



既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

注：置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換 (開削) を適用

図 3-2 (1) 軽油タンク基礎の評価対象断面図 (A-A断面)



(単位：m)

既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

注：置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換 (開削) を適用

図 3-2 (2) 軽油タンク基礎の評価対象断面図 (B-B断面)

### 3.2 許容限界

許容限界は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

#### 3.2.1 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

###### a. 躯体（鉄筋コンクリート部材）

躯体の曲げ軸力に対する許容限界は、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，2005年）（以下「土木学会マニュアル」という。）に基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）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、コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされている。

圧縮縁コンクリートひずみ1.0%の状態は、かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。

###### b. 鋼管杭

鋼管杭の曲げ軸力に対する許容限界は、乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 J E A C 4 6 1 6 -2009（日本電気協会）（以下「キャスク指針」という。）に基づき、鋼管杭の終局曲率を許容限界とする。

##### (2) せん断に対する許容限界

###### a. 躯体（鉄筋コンクリート部材）

躯体のせん断に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、棒部材式又はディープビーム式で求まるせん断耐力とする。

###### b. 鋼管杭

鋼管杭のせん断に対する許容限界は、キャスク指針に基づき、終局せん断強度とする。

### 3.2.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する鉛直力に対する許容限界は、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 3 月）の杭基礎（中掘り杭工法）より設定する極限支持力に，キャスク指針に基づく安全率を考慮した終局鉛直支持力とする。

### 3.3 評価方法

軽油タンク基礎の耐震評価は、V-2-2-17「軽油タンク基礎の地震応答計算書」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」において設定した許容限界以下であることを確認する。

#### 3.3.1 構造部材の健全性評価

鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査及びせん断力照査に対して、応力解析により算定した圧縮縁コンクリートひずみ及びせん断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対して、地震応答解析により算定した発生曲率及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。

鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻でのひずみ分布を図 3-3 に、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を図 3-4 に、鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での曲率分布を図 3-5 に、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を図 3-6 に示す。



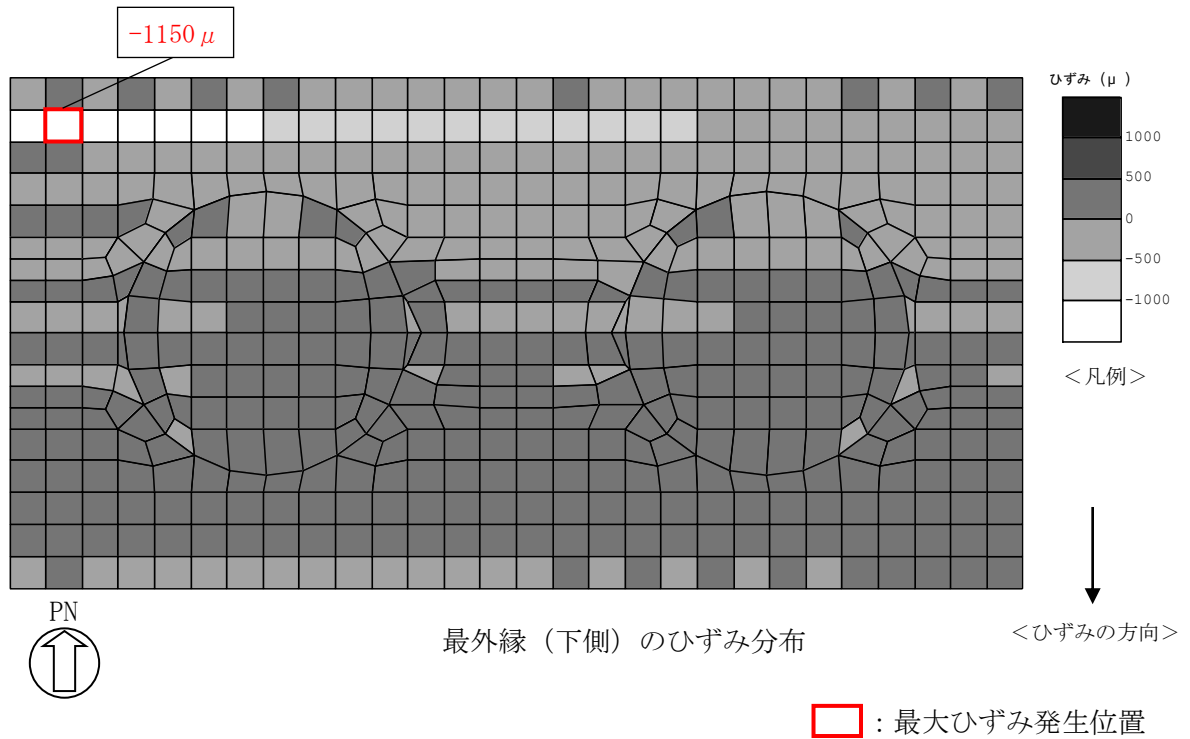
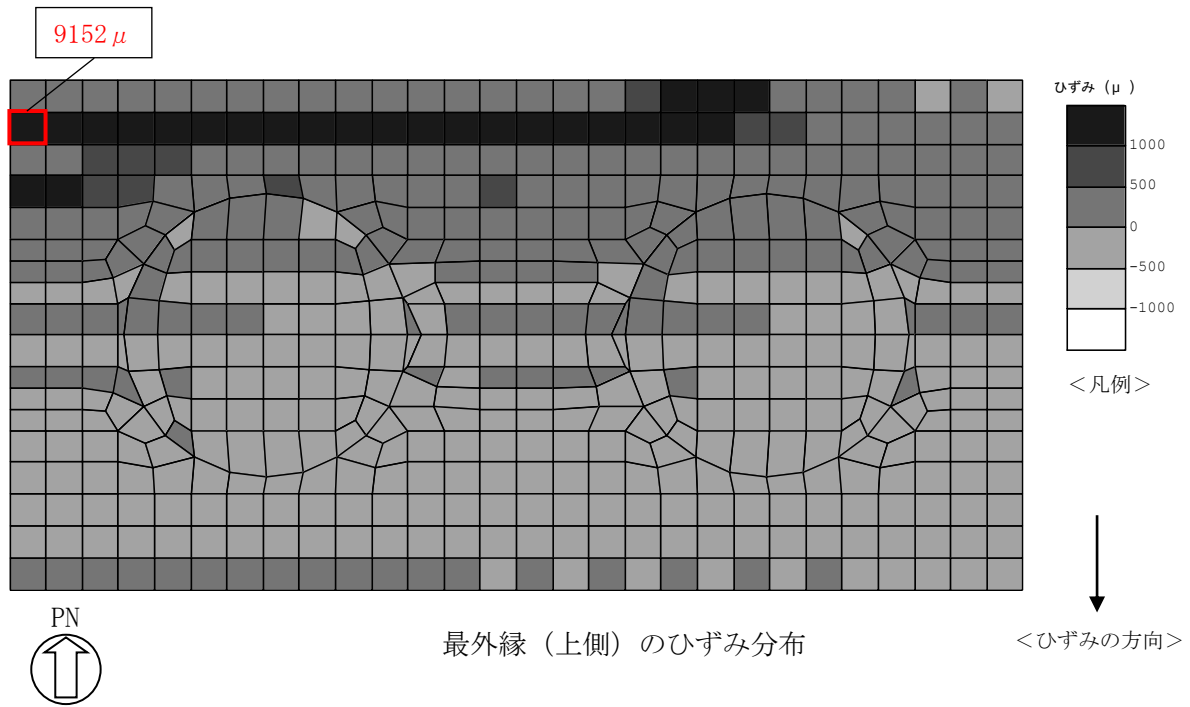


図 3-3 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査における  
最大照査値の評価時刻でのひずみ  
(Ss-1-+, t=5.83s)  
(検討ケース① : 基本ケース)

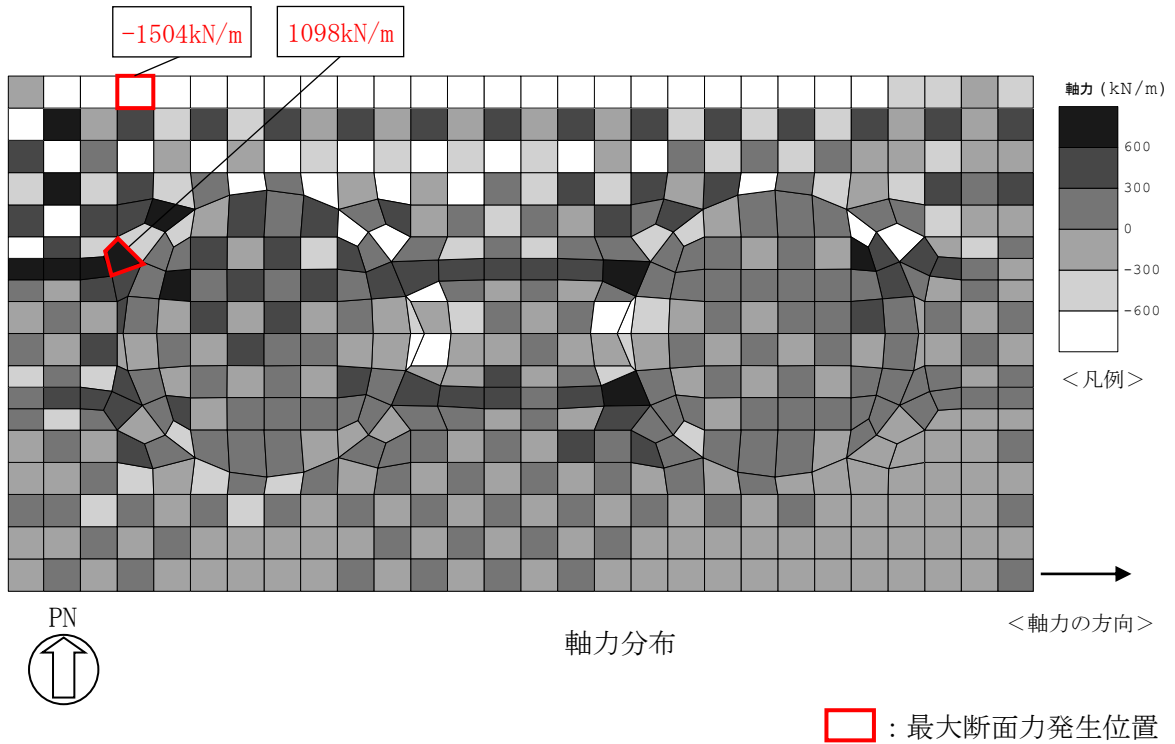
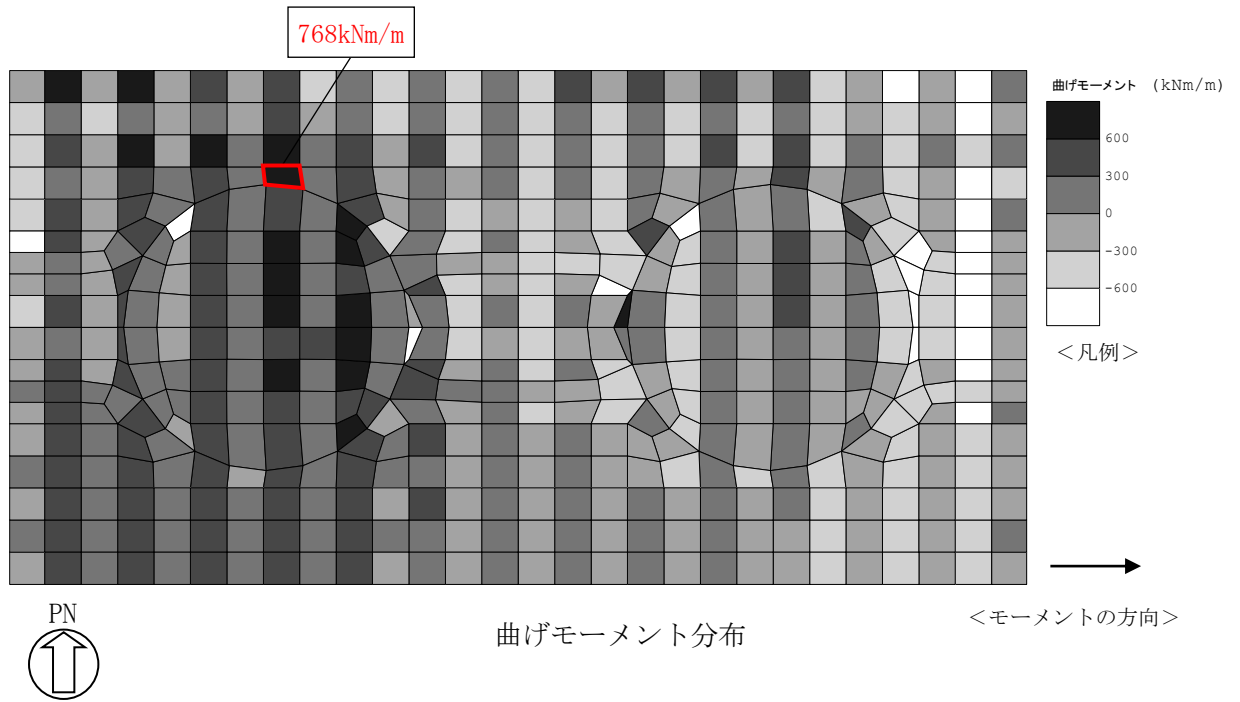


図 3-4 (1) 鉄筋コンクリートのせん断力照査における  
 最大照査値の評価時刻での断面力  
 (Ss-8++, t=8.12s)  
 (検討ケース③: 地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)

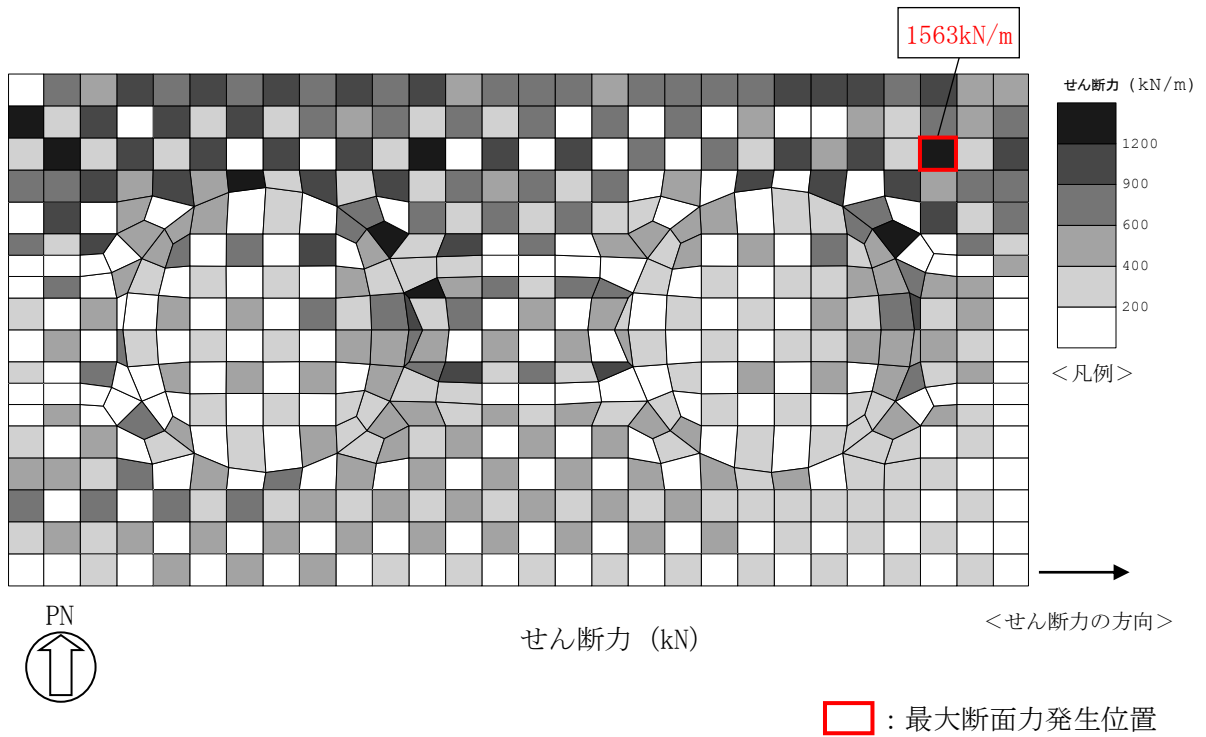
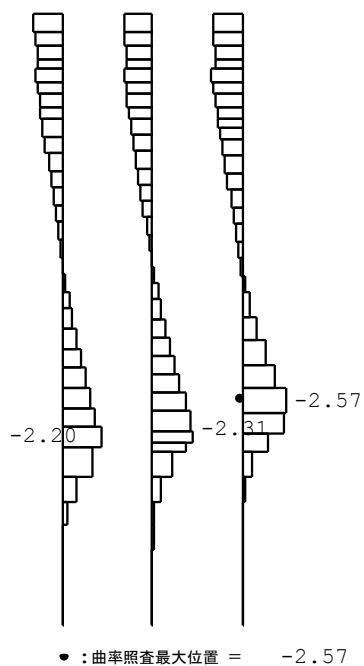


図 3-4 (2) 鉄筋コンクリートのせん断力照査における

最大照査値の評価時刻での断面力

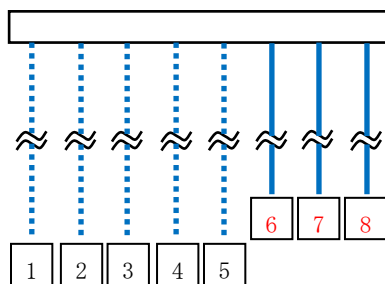
(Ss-8++, t=8.12s)

(検討ケース③：地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)



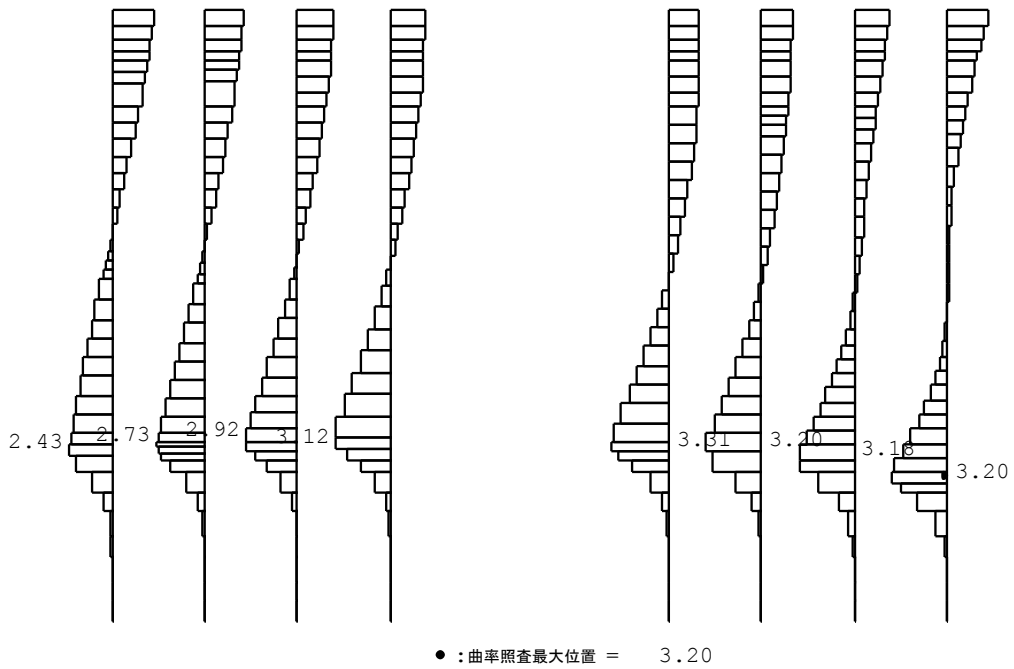
曲率 ( $\times 10^{-3}$  1/m)

照査値が最大となる肉厚 14mm (杭頭部 16mm) の杭



評価位置 (赤字：評価対象)

図 3-5 (1) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での曲率分布図  
 (A-A断面, Ss-3+-, t=36.64s)  
 (検討ケース①：基本ケース)



曲率 ( $\times 10^{-3}$  1/m)  
照査値が最大となる肉厚 12mm の杭

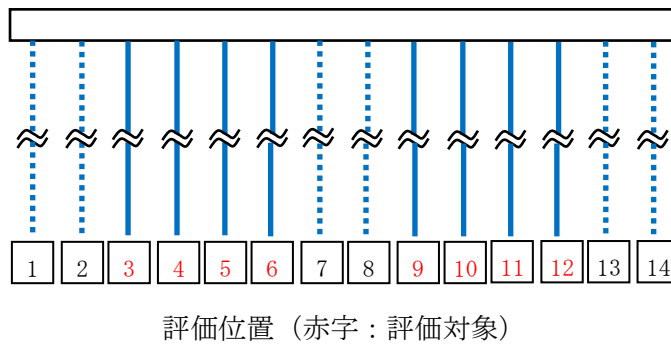
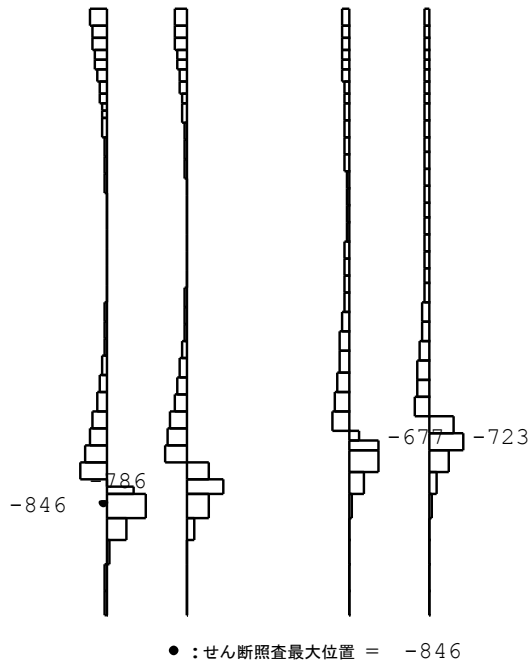


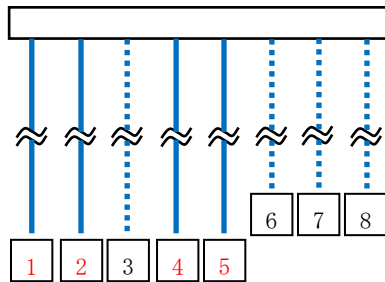
図 3-5 (2) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での曲率分布図  
(B-B断面, S<sub>S</sub>-7EW, t=60.07s)

(検討ケース③：地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)



せん断力 (kN)

照査値が最大となる肉厚 14mm の杭

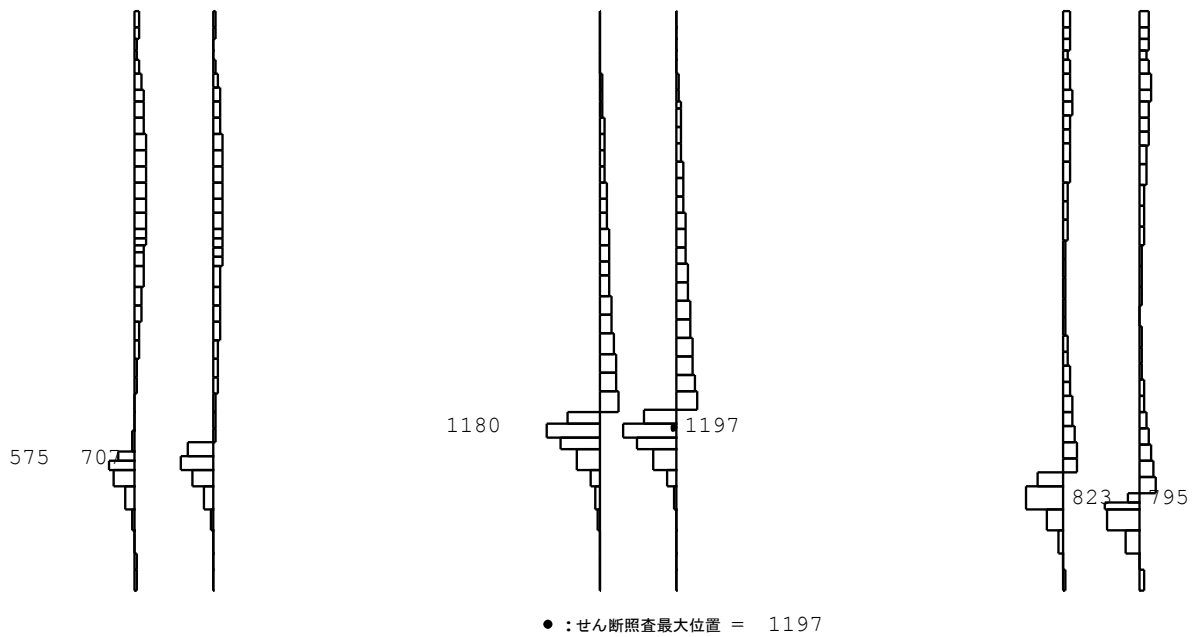


評価位置 (赤字 : 評価対象)

図 3-6 (1) 鋼管杭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 (杭一本あたり)

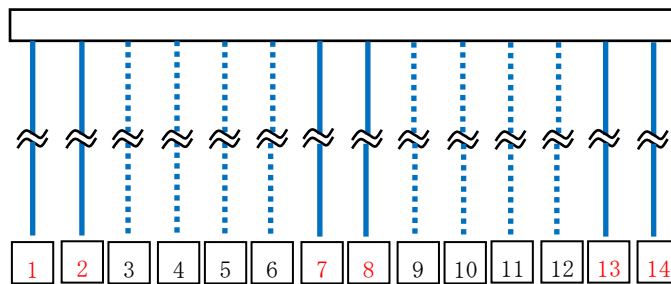
(A-A断面, Ss-3--, t=36.61s)

(検討ケース① : 基本ケース)



せん断力 (kN)

照査値が最大となる肉厚 14mm の杭



評価位置 (赤字 : 評価対象)

図 3-6 (2) 鋼管杭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 (杭一本あたり)  
 (B-B断面,  $S_s$ -7EW,  $t=58.33s$ )  
 (検討ケース③ : 地盤物性のばらつき ( $-1\sigma$ ) を考慮した解析ケース)

### 3.3.2 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、杭頭に発生する鉛直力が終局鉛直支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。



#### 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

鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査における最大照査値を表 4-1 に、鉄筋コンクリートのせん断力照査における最大照査値を表 4-2 に、鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値を表 4-3 に、鋼管杭のせん断力照査における最大照査値を表 4-4 に示す。また、軽油タンク基礎の概略配筋図を図 4-1 に示す。

軽油タンク基礎の構造部材の照査用ひずみ、照査用せん断力、鋼管杭の曲率及びせん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査における最大照査値

解析 ケース	地震動	照査用圧縮ひずみ* $\epsilon_d (\mu)$	限界ひずみ $\epsilon_r (\mu)$	照査値
①	Ss-1-+	1381	10000	0.14

注記\* : 照査用圧縮ひずみ  $\epsilon_d =$  圧縮縁の発生ひずみ  $\epsilon \times$  構造解析係数  $\gamma_a$

表 4-2 鉄筋コンクリートのせん断力照査における最大照査値

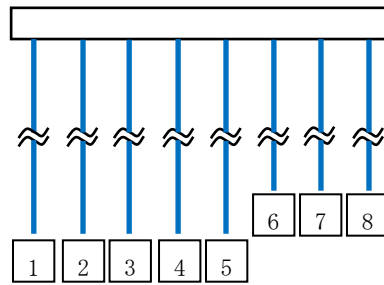
解析 ケース	地震動	照査用せん断力* $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{yd}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{yd}$
③	Ss-8++	1641	2195	0.75

注記\* : 照査用せん断力  $V_d =$  発生せん断力  $\times$  構造解析係数  $\gamma_a$

表 4-3 (1) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (A-A断面)

評価位置	解析ケース	地震動	照査用曲率* $\phi_d$ (1/m)	終局曲率 $\phi_u$ (1/m)	照査値 $\phi_d / \phi_u$
8 (肉厚 14mm [杭頭部 16mm] の杭)	①	Ss-3+-	$2.71 \times 10^{-3}$	$1.24 \times 10^{-2}$	0.22

注記\* : 照査用曲率  $\phi_d$  = 発生曲率 × 構造解析係数  $\gamma_a$

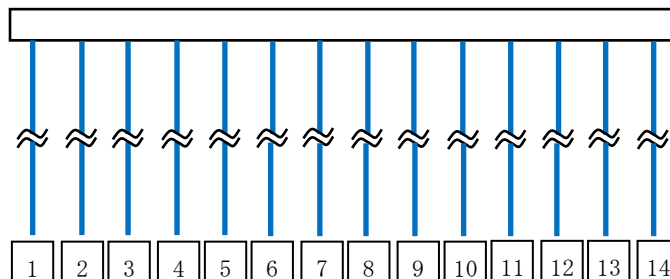


評価位置

表 4-3 (2) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値 (B-B断面)

評価位置	解析ケース	地震動	照査用曲率* $\phi_d$ (1/m)	終局曲率 $\phi_u$ (1/m)	照査値 $\phi_d / \phi_u$
12 (肉厚 12mm の杭)	③	Ss-7EW	$3.37 \times 10^{-3}$	$1.16 \times 10^{-2}$	0.30

注記\* : 照査用曲率  $\phi_d$  = 発生曲率 × 構造解析係数  $\gamma_a$

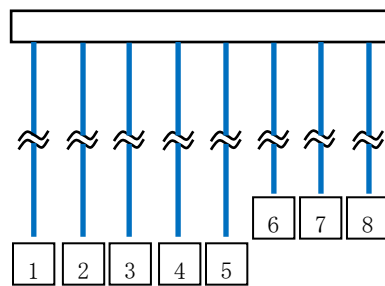


評価位置

表 4-4 (1) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (A-A断面)

評価位置	解析ケース	地震動	照査用せん断力* $Q_d$ (kN)	終局せん断耐力 $Q_u$ (kN)	照査値 $Q_d/Q_u$
1 (肉厚 14mm の杭)	①	Ss-3-+	889	1977	0.45

注記\* : 照査用せん断力  $Q_d =$  発生せん断力  $\times$  構造解析係数  $\gamma_a$

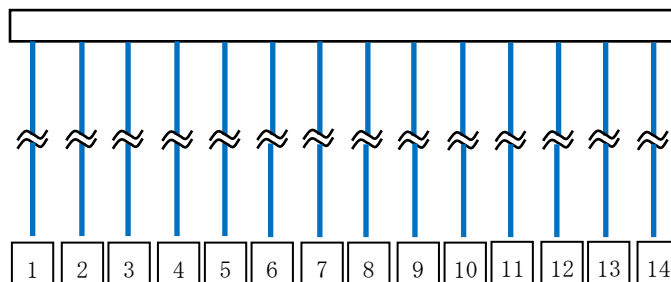


評価位置

表 4-4 (2) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値 (B-B断面)

評価位置	解析ケース	地震動	照査用せん断力* $Q_d$ (kN)	終局せん断耐力 $Q_u$ (kN)	照査値 $Q_d/Q_u$
8 (肉厚 14mm の杭)	③	Ss-7EW	1257	1977	0.64

注記\* : 照査用せん断力  $Q_d =$  発生せん断力  $\times$  構造解析係数  $\gamma_a$



評価位置

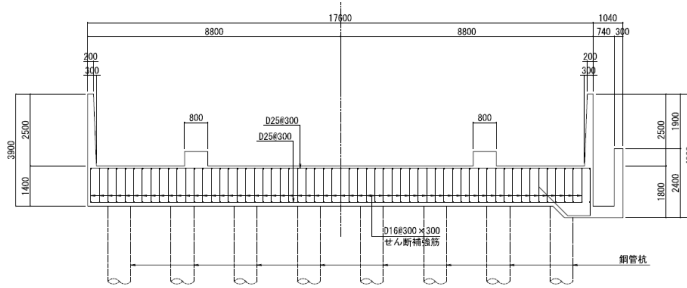


図 4-1 (1) 軽油タンク基礎の概略配筋図 (A-A 断面)

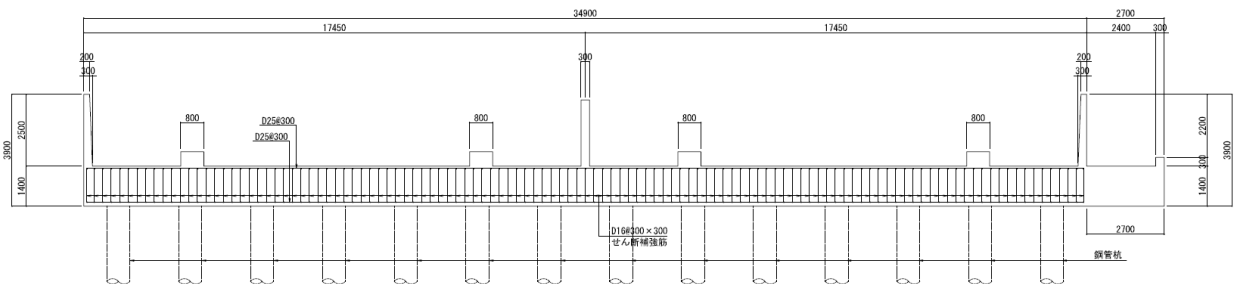


図 4-1 (2) 軽油タンク基礎の概略配筋図 (B-B 断面)

#### 4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

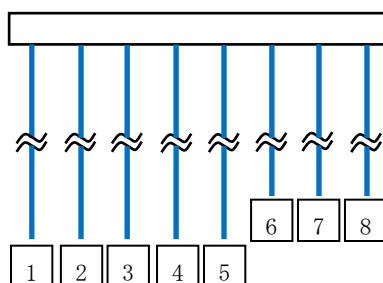
基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 4-5 に示す。

軽油タンク基礎の基礎地盤に発生する鉛直力が終局鉛直支持力以下であることを確認した。

表 4-5 (1) 基礎地盤の支持性能照査結果 (A-A断面)

評価位置	解析ケース	地震動	最大鉛直力 $R_a$ (kN)	終局鉛直支持力* $R_{ua}$ (kN)	照査値 $R_a / R_{ua}$
8 (肉厚 14mm [杭頭部 18mm] の杭)	①	Ss-1++	1499	6426	0.24

注記\* : 終局鉛直支持力  $R_{ua} = \text{極限支持力 } R_u \div \text{安全率}$

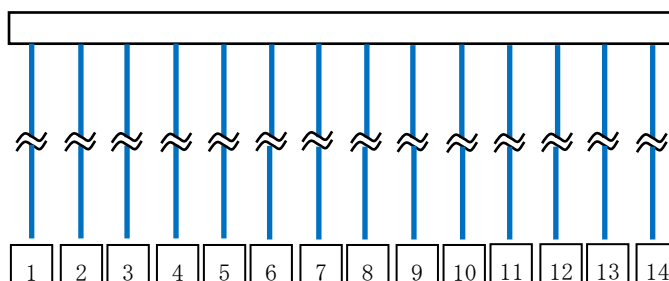


評価位置

表 4-5 (2) 基礎地盤の支持性能照査結果 (B-B断面)

評価位置	解析ケース	地震動	最大鉛直力 $R_a$ (kN)	終局鉛直支持力* $R_{ua}$ (kN)	照査値 $R_a / R_{ua}$
1 (肉厚 14mm [杭頭部 18mm] の杭)	①	Ss-2EW	1991	6356	0.32

注記\* : 終局鉛直支持力  $R_{ua} = \text{極限支持力 } R_u \div \text{安全率}$



評価位置