

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-2-029 改0
提出年月日	2020年7月15日

V-2-2-20 燃料移送系配管ダクトの耐震性についての計算書

K7 ① V-2-2-20 R0

2020年7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	6
2.4 適用基準	9
3. 耐震評価	10
3.1 評価対象断面	10
3.2 使用材料及び材料定数	13
3.3 許容限界	13
3.3.1 鉄筋コンクリート部材に対する許容限界	13
3.3.2 鋼管杭に対する許容限界	14
3.3.3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	14
3.4 評価方法	15
3.4.1 鉄筋コンクリート部材の評価	15
3.4.2 鋼管杭の評価	15
3.4.3 基礎地盤の支持性能評価	15
4. 構造部材の地震時応答	15
4.1 鉄筋コンクリート部材	15
4.2 鋼管杭	19
5. 耐震評価結果	22
5.1 鉄筋コンクリート部材に対する評価結果	22
5.2 鋼管杭に対する評価結果	24
5.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	25

別紙 積雪を考慮した耐震評価

## 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、燃料移送系配管ダクトが基準地震動 $S_s$ 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。

燃料移送系配管ダクト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

燃料移送系配管ダクトの位置図を図 2-1 に示す。

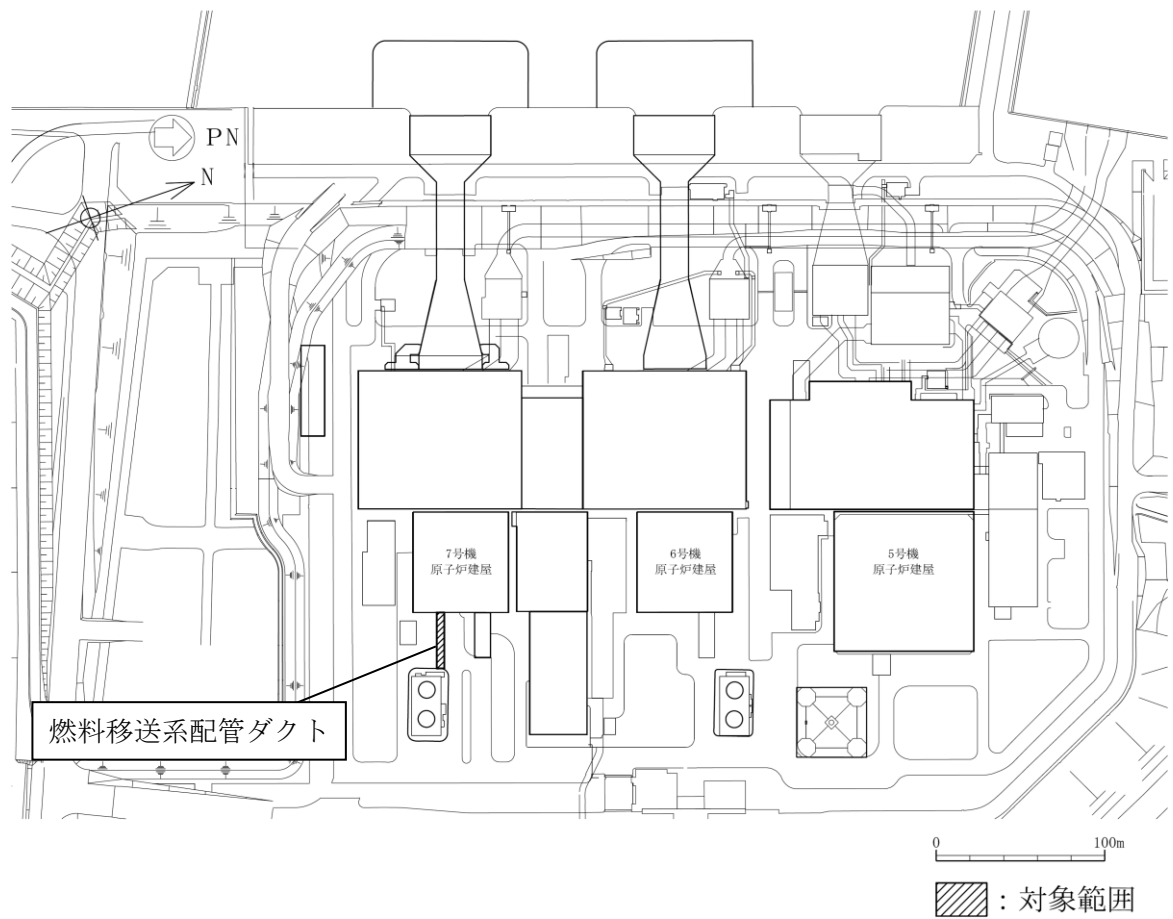


図 2-1 燃料移送系配管ダクトの位置図（全体平面図）

## 2.2 構造概要

燃料移送系配管ダクトの平面図を図 2-2、断面図を図 2-3 に、概略配筋図を図 2-4 に示す。

燃料移送系配管ダクトは、非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管を間接支持する延長約 32m、幅 4.5m、高さ 3.3m 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。

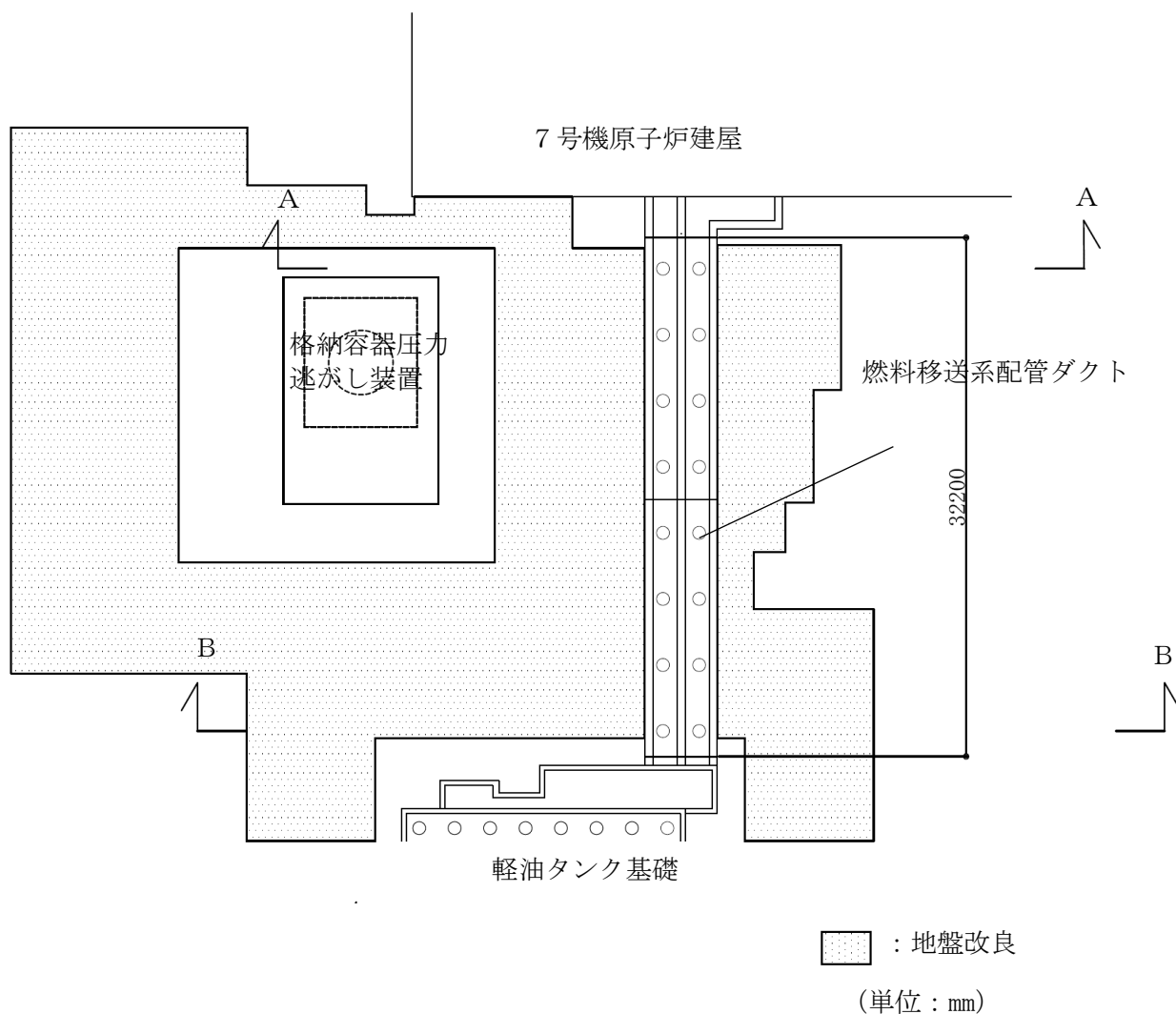
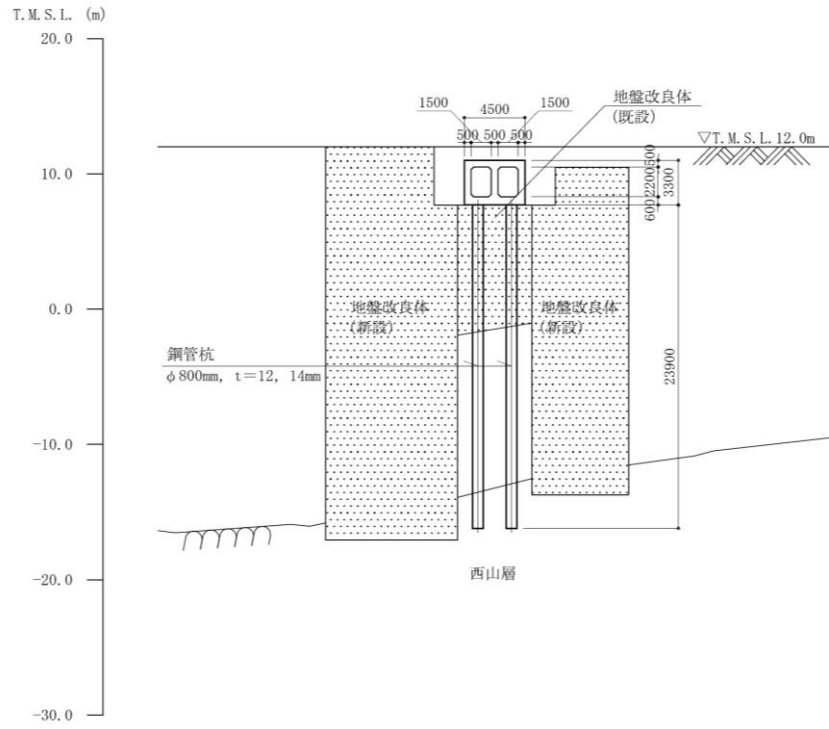


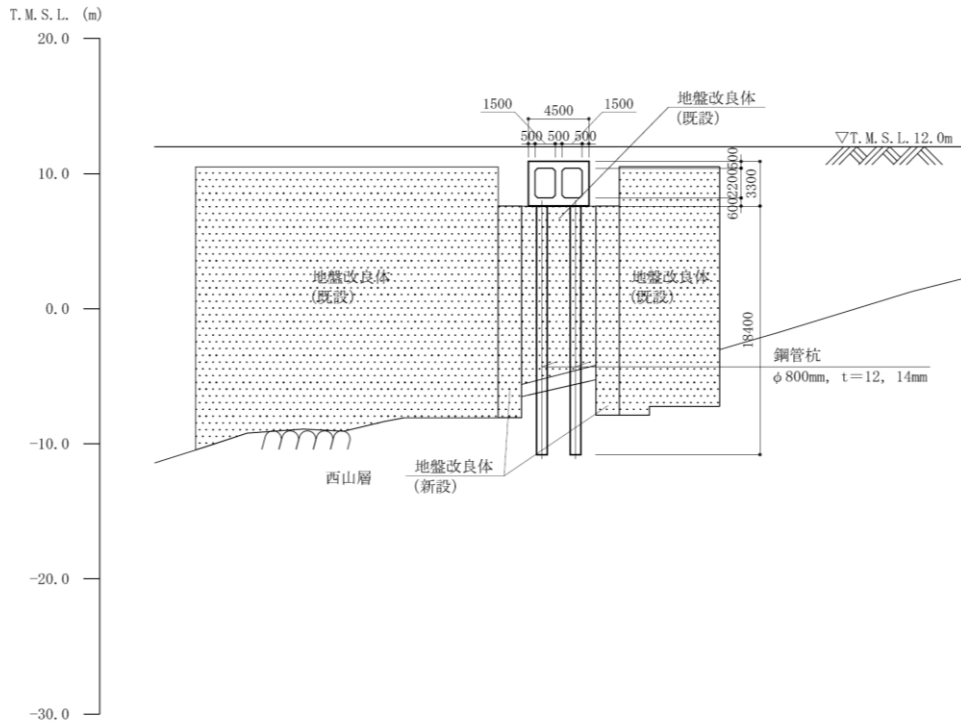
図 2-2 燃料移送系配管ダクトの平面図



(単位：mm)

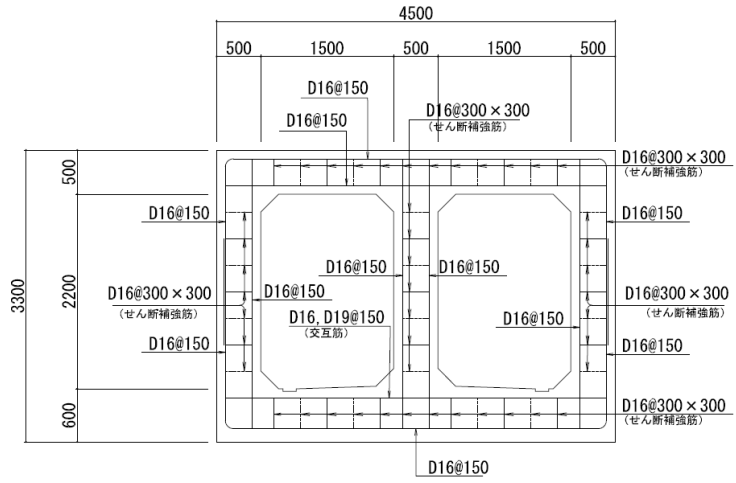
注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 2-3 (1) 燃料移送系配管ダクトの断面図 (A-A断面)



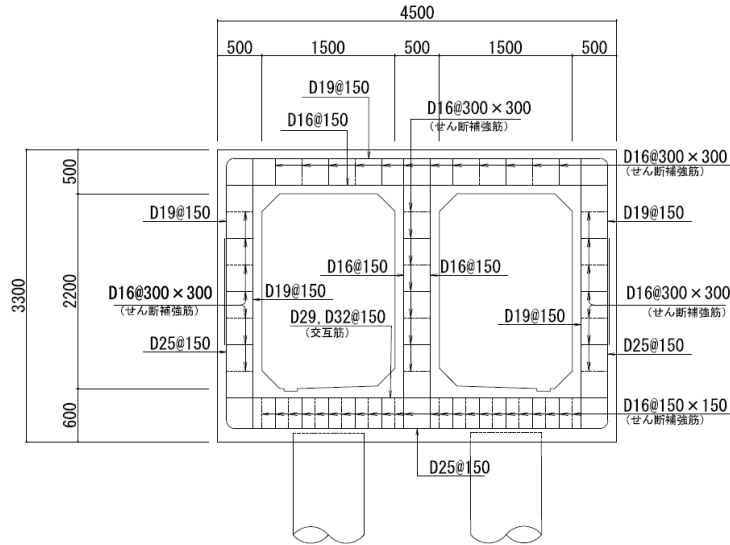
(単位：mm)

図 2-3 (2) 燃料移送系配管ダクトの断面図 (B-B断面)



(単位：mm)

図 2-4 (1) 燃料移送系配管ダクトの概略配筋図 (一般部)



(単位：mm)

図 2-4 (2) 燃料移送系配管ダクトの概略配筋図 (杭頭補強部)

### 2.3 評価方針

燃料移送系配管ダクトは、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、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設に分類される。

燃料移送系配管ダクトの耐震評価フローを図 2-5 に示す。

燃料移送系配管ダクトの耐震評価は、V-2-2-19「燃料移送系配管ダクトの地震応答計算書」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。

燃料移送系配管ダクトを構成する部材のうち、鉄筋コンクリート部材の耐震評価については、V-2-2-19「燃料移送系配管ダクトの地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、鉄筋コンクリート部材に生じる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。

鋼管杭の耐震評価については、V-2-2-19「燃料移送系配管ダクトの地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、鋼管杭に生じる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。

基礎地盤の支持性能評価については、V-2-2-19「燃料移送系配管ダクトの地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、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。

ここで、燃料移送系配管ダクトは、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 燃料移送系配管ダクトの評価項目

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	限界層間変形角*
				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	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	曲げ軸力	限界層間変形角*
				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。

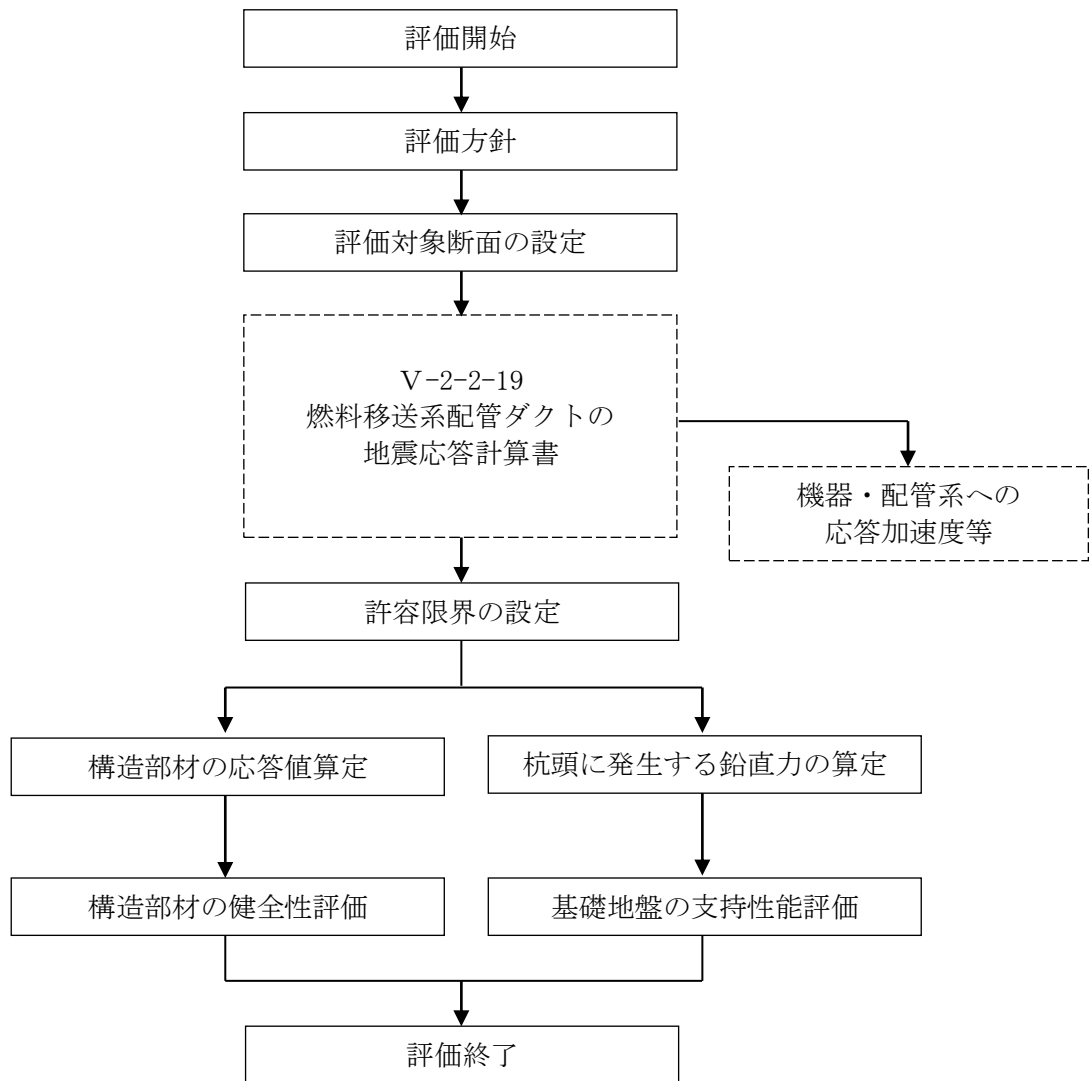


図 2-5 燃料移送系配管ダクトの耐震評価フロー

## 2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

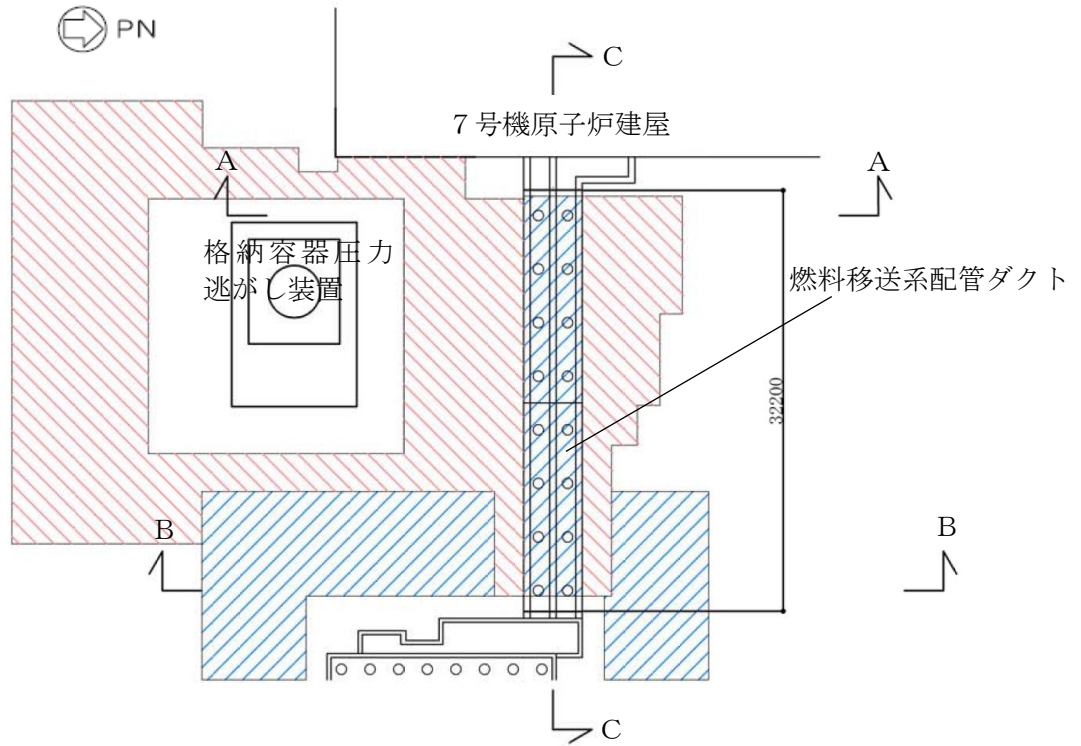
- ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）
- ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（日本電気協会）
- ・乾式キャスクを用いる使用済み燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程 J E A C 4 6 1 6-2009（日本電気協会）
- ・鋼・合成構造標準示方書〔耐震設計編〕（土木学会，2008年）

### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面

燃料移送系配管ダクト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。

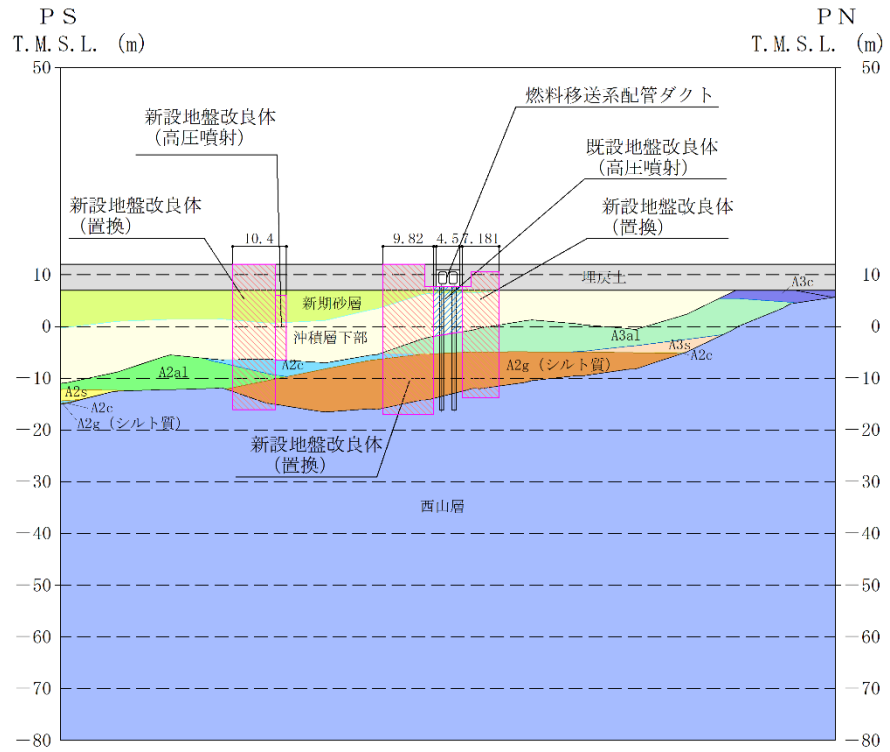


(単位：mm)

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 燃料移送系配管ダクトの評価対象断面位置図

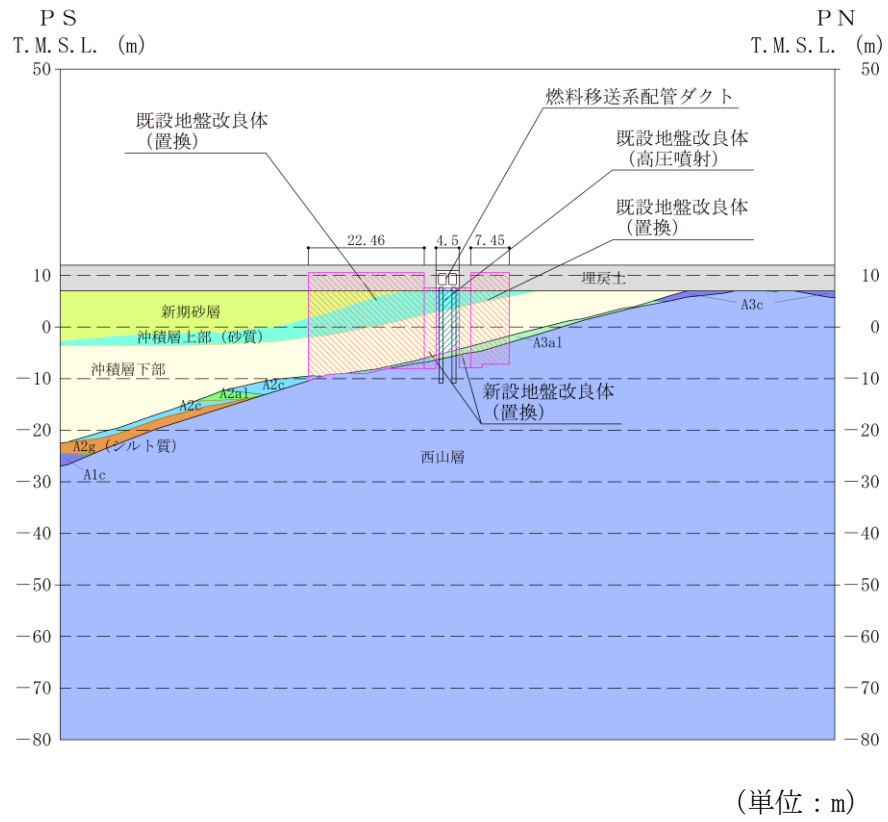


(単位 : m)

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 (1) 燃料移送系配管ダクトの評価対象断面図 (A-A断面)



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) 燃料移送系配管ダクトの評価対象断面図 (B-B断面)

### 3.2 使用材料及び材料定数

構造物の使用材料を表 3-1 に、材料物性値を表 3-2 に示す。

表 3-1 構造物の使用材料

材料	諸元
コンクリート	設計基準強度 23.5 N/mm <sup>2</sup>
鉄筋	SD35 (SD345 相当)
鋼管杭	SKK400 (SKK41 相当)

表 3-2 構造物の材料物性値

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鉄筋コンクリート	23.5*	2.45×10 <sup>4</sup> *	0.2*
鋼管杭	77*	2.06×10 <sup>5</sup> *	0.3*

注記\* : 建設時の設計値に基づく

### 3.3 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。

#### 3.3.1 鉄筋コンクリート部材に対する許容限界

##### (1) 曲げ軸力に対する許容限界

鉄筋コンクリート部材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、限界層間変形角（層間変形角 1/100）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。

層間変形角 1/100 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。

##### (2) せん断力に対する許容限界

鉄筋コンクリート部材のせん断力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。

### 3.3.2 鋼管杭に対する許容限界

#### (1) 曲げ軸力に対する許容限界

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

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。

### 3.3.3 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。



### 3.4 評価方法

#### 3.4.1 鉄筋コンクリート部材の評価

V-2-2-19「燃料移送系配管ダクトの地震応答計算書」に基づく地震応答解析により算定した鉄筋コンクリート部材の発生層間変形角及びせん断力が、「3.3.1 鉄筋コンクリート部材に対する許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

#### 3.4.2 鋼管杭の評価

V-2-2-19「燃料移送系配管ダクトの地震応答計算書」に基づく地震応答解析により算定した鋼管杭の発生曲率及びせん断力が、「3.3.2 鋼管杭に対する許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

#### 3.4.3 基礎地盤の支持性能評価

V-2-2-19「燃料移送系配管ダクトの地震応答計算書」に基づく地震応答解析により算定した杭頭に生じる鉛直力が、「3.3.3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

### 4. 構造部材の地震時応答

#### 4.1 鉄筋コンクリート部材

地震応答解析により算定した鉄筋コンクリート部材の層間変形角の時刻歴波形を図 4-1 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 4-2 に示す。

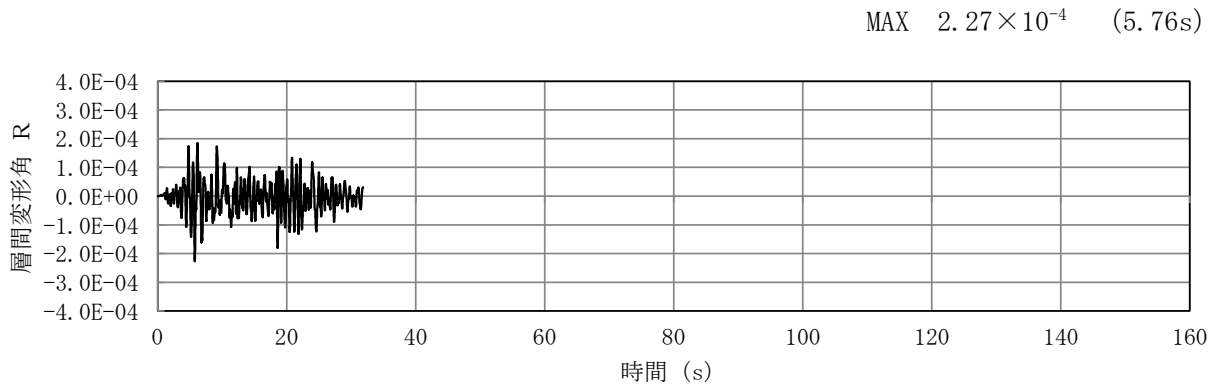


図 4-1 (1) 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査における層間変形角の時刻歴波形  
 (A-A断面, Ss-1+-)  
 (検討ケース①: 基本ケース)

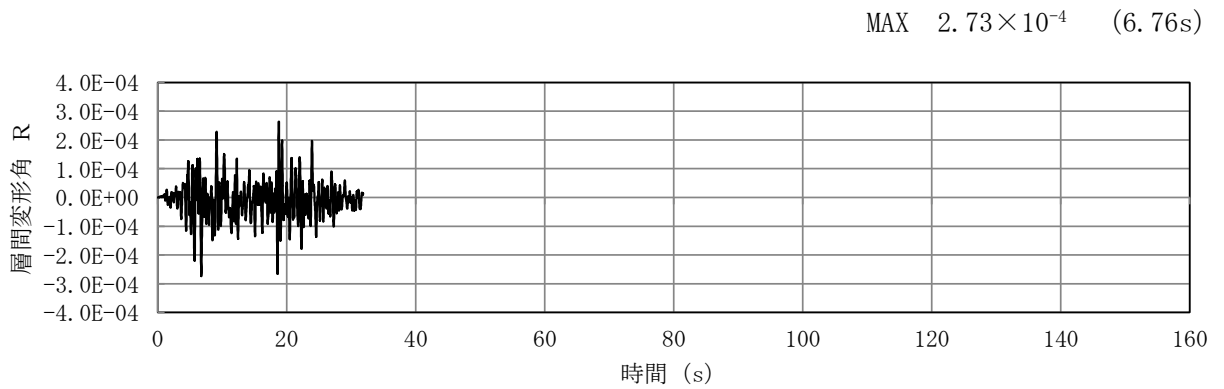
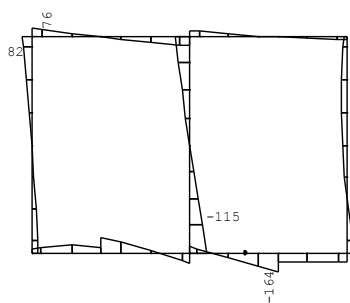
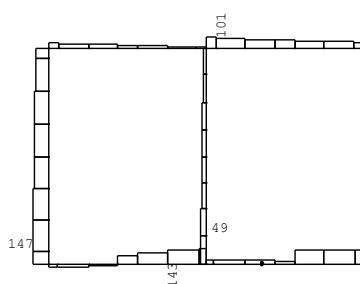


図 4-1 (2) 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査における層間変形角の時刻歴波形  
 (B-B断面, Ss-1++)  
 (検討ケース③: 地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)



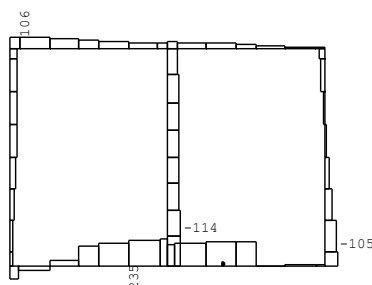
● : せん断力照査最大位置=-82 (kN・m)

曲げモーメント (kN・m)



● : せん断力照査最大位置=39 (kN)

軸力 (kN) (+ : 圧縮, - : 引張)



● : せん断力照査最大位置=216 (kN)

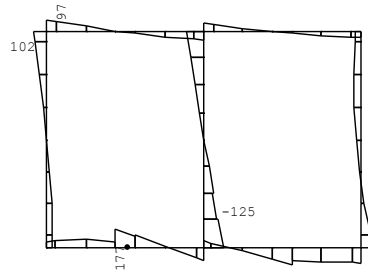
せん断力 (kN)

数値 : 各評価位置の最大断面力

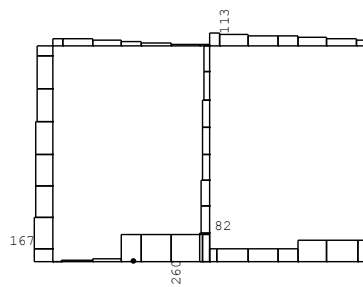
図 4-2 (1) 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力

(A-A断面, Ss-1--, t=6.21s)

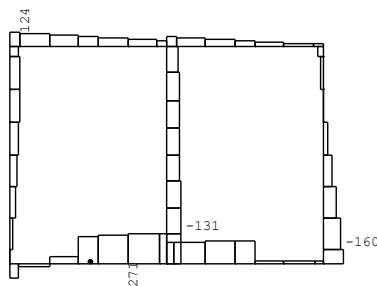
(検討ケース③ : 地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース)



● : せん断力照査最大位置=136 (kN・m)  
 曲げモーメント (kN・m)



● : せん断力照査最大位置=258 (kN)  
 軸力 (kN) (+ : 圧縮, - : 引張)



● : せん断力照査最大位置=252 (kN)  
 せん断力 (kN)

数値 : 各評価位置の最大断面力

図 4-2 (2) 鉄筋コンクリート部材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  
 (B-B断面, Ss-1++, t=6.76s)  
 (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)

## 4.2 鋼管杭

地震応答解析により算定した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 4-3 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 4-4 に示す。

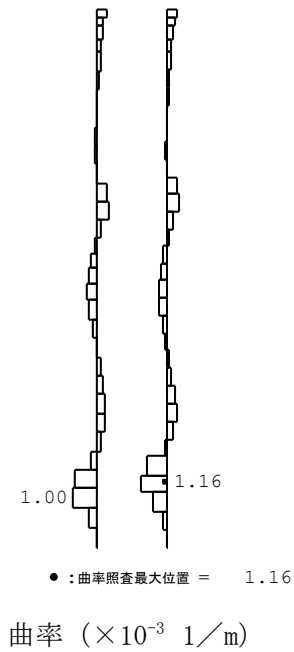


図 4-3 (1) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での曲率分布図  
 (A-A断面, Ss-1--, t=6.90s)  
 (検討ケース③: 地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース)

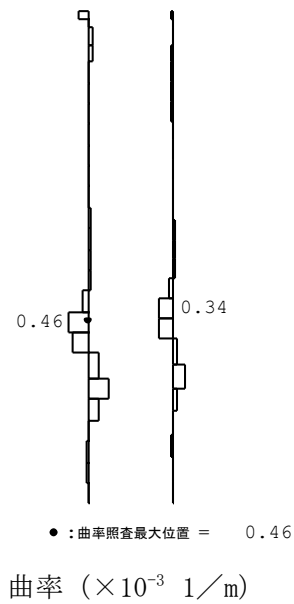


図 4-3 (2) 鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での曲率分布図  
 (B-B断面, Ss-1++, t=6.76s)  
 (検討ケース③: 地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース)



図 4-4 (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-1--, t=5.24s)  
 (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)

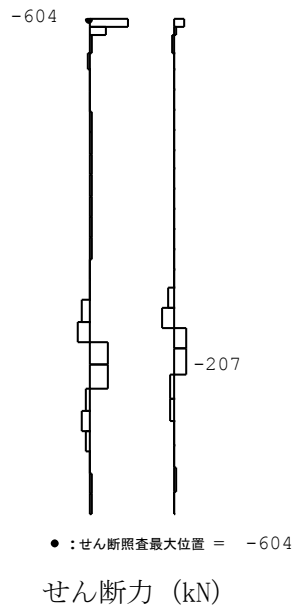


図 4-4 (2) 鋼管杭のせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (杭一本あたり)  
 (B-B断面, Ss-1++, t=6.77s)  
 (検討ケース③: 地盤物性のばらつき (-1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース)

5. 耐震評価結果

5.1 鉄筋コンクリート部材に対する評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査における最大照査値を表 5-1 に、鉄筋コンクリート部材のせん断力照査における各評価位置での最大照査値を表 5-2 に示す。鉄筋コンクリート部材の照査用層間変形角及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 (1) 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査における最大照査値 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	照査用層間変形角* $R_d$	限界層間変形角 $R_u$	照査値 $R_d/R_u$
①	Ss-1+-	$2.73 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-2}$	0.03

注記\* : 照査用層間変形角  $R_d$  = 最大層間変形角  $R$  × 構造解析係数  $\gamma_a$

表 5-1 (2) 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査における最大照査値 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	照査用層間変形角* $R_d$	限界層間変形角 $R_u$	照査値 $R_d/R_u$
③	Ss-1++	$3.28 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-2}$	0.04

注記\* : 照査用層間変形角  $R_d$  = 最大層間変形角  $R$  × 構造解析係数  $\gamma_a$



表 5-2 (1) 鉄筋コンクリート部材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* $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版	①	Ss-1++	118	509	0.24
側壁	④	Ss-1--	134	584	0.23
隔壁	①	Ss-1+-	132	394	0.34
底版	③	Ss-1--	228	425	0.54

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 5-2 (2) 鉄筋コンクリート部材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* $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版	①	Ss-1-+	123	500	0.25
側壁	③	Ss-1++	146	567	0.26
隔壁	③	Ss-1++	140	395	0.36
底版	③	Ss-1++	265	496	0.54

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

## 5.2 鋼管杭に対する評価結果

鋼管杭の曲げ軸力照査における最大照査値を表 5-3 に、鋼管杭のせん断力照査における最大照査値を表 5-4 に示す。鋼管杭の照査用曲率及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-3 (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 $\phi_d / \phi_u$
北側	③	Ss-1--	$1.22 \times 10^{-3}$	$1.35 \times 10^{-2}$	0.10

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

表 5-3 (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 $\phi_d / \phi_u$
南側	③	Ss-1++	$4.80 \times 10^{-4}$	$1.32 \times 10^{-2}$	0.04

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

表 5-4 (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 $Q_d / Q_u$
北側	③	Ss-1--	581	1677	0.35

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

表 5-4 (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 $Q_d / Q_u$
南側	③	Ss-1++	635	1977	0.33

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

### 5.3 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 5-5 に示す。

燃料移送系配管ダクトの杭頭に発生する最大鉛直力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-5 (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 $R_a / R_{ua}$
北側	③	Ss-1--	770	9160	0.09

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

表 5-5 (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 $R_a / R_{ua}$
南側	①	Ss-1+-	847	8011	0.11

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

## 別紙 積雪を考慮した耐震評価

## 目 次

1. 概要 .....	1
2. 評価方針 .....	1
3. 積雪荷重の設定 .....	1
4. 耐震評価結果 .....	1

1. 概要

本資料は、燃料移送系配管ダクトに対し、積雪荷重を考慮した際の耐震評価結果を示すものである。

2. 評価方針

V-2-2-19「燃料移送系配管ダクトの地震応答計算書」に基づく地震応答解析において、積雪荷重を考慮した地震応答解析を実施し、V-2-2-20「燃料移送系配管ダクトの耐震性についての計算書」に示す評価方法で耐震評価を実施する。

耐震評価を実施する解析ケース及び評価対象断面は、V-2-2-20「燃料移送系配管ダクトの耐震性についての計算書」に示す評価結果において、照査値が卓越する鉄筋コンクリート部材のせん断力照査の結果に着目し、頂版、側壁、隔壁及び底版の各照査値のうち、照査値が最も厳しいB-B断面の「解析ケース③、基準地震動  $S_s-1++$ 」とする。

3. 積雪荷重の設定

V-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷防止に関する基本方針」に基づき、積雪荷重を設定する。

4. 耐震評価結果

鉄筋コンクリート部材のせん断力照査における各評価位置での最大照査値を表 4-1 に示す。鉄筋コンクリート部材の照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 鉄筋コンクリート部材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* $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版	③	$S_s-1++$	124	497	0.25
側壁	③	$S_s-1++$	148	561	0.27
隔壁	③	$S_s-1++$	143	396	0.37
底版	③	$S_s-1++$	275	496	0.56

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