

## VI-4 その他の計算書

## VI-4-1 安全弁及び逃がし弁の吹出量計算書

## 目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	1
2.1	記号の定義	2
2.2	容量計算方法	3
3.	原子炉冷却系統施設の安全弁等の容量計算結果	4
3.1	吹出量の計算 (RV222-1A)	5
3.1.1	設計条件	5
3.1.2	吹出量の計算式	5
3.1.3	逃がし弁の吹出量	5
3.1.4	必要吹出量の設定根拠	5
3.1.5	評価結果	6
3.2	吹出量の計算 (RV222-1B)	7
3.2.1	設計条件	7
3.2.2	吹出量の計算式	7
3.2.3	逃がし弁の吹出量	7
3.2.4	必要吹出量の設定根拠	7
3.2.5	評価結果	8
3.3	吹出量の計算 (RV222-1C)	9
3.3.1	設計条件	9
3.3.2	吹出量の計算式	9
3.3.3	逃がし弁の吹出量	9
3.3.4	必要吹出量の設定根拠	9
3.3.5	評価結果	10
3.4	吹出量の計算 (RV222-2)	11
3.4.1	設計条件	11
3.4.2	吹出量の計算式	11
3.4.3	逃がし弁の吹出量	11
3.4.4	必要吹出量の設定根拠	11
3.4.5	評価結果	12
3.5	吹出量の計算 (RV224-1)	13
3.5.1	設計条件	13
3.5.2	吹出量の計算式	13
3.5.3	逃がし弁の吹出量	13
3.5.4	必要吹出量の設定根拠	13
3.5.5	評価結果	14

3.6	吹出量の計算 (RV223-1) .....	15
3.6.1	設計条件 .....	15
3.6.2	吹出量の計算式 .....	15
3.6.3	逃がし弁の吹出量 .....	15
3.6.4	必要吹出量の設定根拠 .....	15
3.6.5	評価結果 .....	16
3.7	吹出量の計算 (RV221-1) .....	17
3.7.1	設計条件 .....	17
3.7.2	吹出量の計算式 .....	17
3.7.3	逃がし弁の吹出量 .....	17
3.7.4	必要吹出量の設定根拠 .....	17
3.7.5	評価結果 .....	18
4.	計測制御系統施設の安全弁等の容量計算結果 .....	19
4.1	吹出量の計算 (RV225-1A, B) .....	20
4.1.1	設計条件 .....	20
4.1.2	吹出量の計算式 .....	20
4.1.3	逃がし弁の吹出量 .....	20
4.1.4	必要吹出量の設定根拠 .....	20
4.1.5	評価結果 .....	21
4.2	吹出量の計算 (RV227-1A, B) .....	22
4.2.1	設計条件 .....	22
4.2.2	吹出量の計算式 .....	22
4.2.3	安全弁の吹出量 .....	23
4.2.4	必要吹出量の設定根拠 .....	23
4.2.5	評価結果 .....	23



## 1. 概要

本計算書は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第20条及び第57条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」の安全弁等の規定に基づき設置された原子炉冷却系統施設、計測制御系統施設及び非常用電源設備の安全弁及び逃がし弁が、必要な吹出量以上の容量を有することを確認するための容量計算の方針及び、これに基づいた計算結果について説明するものである。

設計基準対象施設に関しては、技術基準規則の要求事項に変更がないため、今回の申請において変更は行わない。

重大事故等時に流路となる配管及び容器に附属する安全弁及び逃がし弁が、重大事故等対処設備としての申請範囲となるため、本計算書にて必要吹出量又は容量の算定を行う。

なお、重大事故等対処設備のうち、原子炉冷却系統施設の逃がし安全弁（RV202-1A～H, J～M）及び非常用電源設備の空気だめの安全弁については、設計基準事故時と使用する系統設備及び使用方法に変更がないこと並びに設計基準対象施設に関しては技術基準規則の要求事項に変更がないため、今回の申請において変更は行わない。

## 2. 基本方針

ガス用安全弁及び逃がし弁（以下「安全弁等」という。）の容量計算は、各安全弁等の施設時に適用された「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（昭和55年通商産業省告示第501号（以下「告示第501号」という。））第103条（安全弁等の容量の計算式）の規定に基づいて算定し、算定結果が必要な吹出量以上であることを確認する。

## 2.1 記号の定義

安全弁等の容量計算に用いる記号について、次に説明する。

### (1) ガス用安全弁の容量計算に使用するもの

	記号	単位	定義
ガス用安全弁の容量計算*に使用するもの	$Q_m$	kg/h	公称吹出し量（容量）
	D	mm	弁座口の径
	L	mm	リフト
	P	kg/cm <sup>2</sup> (MPa)	吹出圧力
	C'	—	ガスの断熱指数による係数 (「蒸気用及びガス用ばね安全弁」(日本産業規格 J I S B 8 2 1 0 -1986) 附属書図2による)
	$P_1$	kg/cm <sup>2</sup> (MPa)	公称吹出し量決定圧力の絶対圧力 (特に指定のない場合は、吹出圧力の1.1倍の絶対圧力)
	$P_2$	kg/cm <sup>2</sup> (MPa)	背圧の絶対圧力
	$K_d$	—	公称吹出し係数
	A	mm <sup>2</sup>	吹出し面積 (「蒸気用及びガス用ばね安全弁」(日本産業規格 J I S B 8 2 1 0 -1986) 附属書付図による)
	M	—	ガスの分子量
	Z	—	圧縮係数 (「蒸気用及びガス用ばね安全弁」(日本産業規格 J I S B 8 2 1 0 -1986) 附属書図4による)
	T	K	公称吹出し量決定圧力におけるガスの絶対温度

注記\*：告示第501号第103条第1項第二号による。

(2) 逃がし弁の容量計算に使用するもの

	記号	単位	定義
逃がし弁の容量計算*に使用するもの	W	kg/h	弁の容量
	P	kg/cm <sup>2</sup> (MPa)	吹出圧力
	A	mm <sup>2</sup>	弁の流体通路の最小面積 以下の計算式で求めた最も小さな値を使用する。 ・ $A = \frac{\pi}{4} \cdot d_t^2$ ・ $A = \pi \cdot D \cdot L$
	n	—	流量係数 (0.5又は実験的に求めた値)
	D	mm	弁座口の径
	d <sub>t</sub>	mm	のど部の径
	L	mm	リフト
	△P	kg/cm <sup>2</sup>	逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差
	G	g/cm <sup>3</sup>	入口側の液体の比重

注記\*：告示第501号第103条第1項第三号による。

2.2 容量計算方法

安全弁等の容量については、次の適用基準に基づく計算式により容量を求める。

項目	適用基準	計算式
ガス用安全弁の吹出量 (容量)	① 告示第501号第103条第1項第二号*	$Q_m = C' \cdot K_d \cdot A \cdot P_1 \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot T}} \cdot 0.9$
逃がし弁の容量	② 告示第501号第103条第1項第三号	$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$

注記\*：日本産業規格 J I S B 8 2 1 0 -1986「蒸気用及びガス用ばね安全弁」の「附属書 安全弁の公称吹出し量の算定方法」の「3. ガスに対する公称吹出し量」による。

3. 原子炉冷却系統施設の安全弁等の容量計算結果

以下の安全弁等の容量計算結果及び必要な吹出量を次頁以降に示す。

いずれの安全弁等についても容量計算結果が必要吹出量を上回っていることを確認した。

番号	系統名称	弁番号	適用基準	対象区分
1	残留熱除去系	RV222-1A	②	D B / S A
2	残留熱除去系	RV222-1B	②	D B / S A
3	残留熱除去系	RV222-1C	②	D B / S A
4	残留熱除去系	RV222-2	②	D B / S A
5	高圧炉心スプレイ系	RV224-1	②	D B / S A
6	低圧炉心スプレイ系	RV223-1	②	D B / S A
7	原子炉隔離時冷却系	RV221-1	②	D B / S A

## 3.1 吹出量の計算 (RV222-1A)

## 3.1.1 設計条件

種 類	平衡型	
呼び径 (入 口)	25	A
の ど 部 の 径	$d_t =$	<input type="text"/> mm
弁 座 口 の 径	$D =$	<input type="text"/> mm
リ フ ト	$L =$	<input type="text"/> mm以上
流 体 の 種 類	水	
吹 出 圧 力 (kg/cm <sup>2</sup> )	40.0	(3.92MPa)
最 高 使 用 温 度 (°C)	185	
個 数	1	
必 要 吹 出 量 (kg/h)	<input type="text"/>	

## 3.1.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm<sup>2</sup>)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする。)

$\Delta P$  : 逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差 (kg/cm<sup>2</sup>)

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm<sup>3</sup>) 1.0

## 3.1.3 逃がし弁の吹出量

3.1.2項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \text{} \times \sqrt{1.1 \times \text{

$$= \text{} \text{ kg/h}$$$$

## 3.1.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、原子炉圧力容器バウンダリ隔離弁から残留熱除去系への弁座漏えいが生じた場合に、その漏えい量を全量逃がし得る容量として、質量流量で  kg/h とする。

また、重大事故等時に使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準事故時と変わらないため、必要な吹出量の設計根拠は同じである。

### 3.1.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

### 3.2 吹出量の計算 (RV222-1B)

#### 3.2.1 設計条件

種 類	平衡型	
呼び径 (入 口)	25	A
の ど 部 の 径	$d_t =$	<input type="text"/> mm
弁 座 口 の 径	$D =$	<input type="text"/> mm
リ フ ト	$L =$	<input type="text"/> mm以上
流 体 の 種 類	水	
吹 出 圧 力 (kg/cm <sup>2</sup> )	40.0	(3.92MPa)
最 高 使 用 温 度 (°C)	185	
個 数	1	
必 要 吹 出 量 (kg/h)	<input type="text"/>	

#### 3.2.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm<sup>2</sup>)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする。)

$\Delta P$  : 逃がし弁入口の圧力と逃がし弁出口の圧力との差 (kg/cm<sup>2</sup>)

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm<sup>3</sup>) 1.0

#### 3.2.3 逃がし弁の吹出量

3.2.2項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \text{} \times \sqrt{1.1 \times \text{

$$= \text{} \text{ kg/h}$$$$

#### 3.2.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、原子炉压力容器バウンダリ隔離弁から残留熱除去系への弁座漏えいが生じた場合に、その漏えい量を全量逃がし得る容量として、質量流量で  kg/h とする。

また、重大事故等時に使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準事故時と変わらないため、必要な吹出量の設計根拠は同じである。

### 3.2.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。



### 3.3 吹出量の計算 (RV222-1C)

#### 3.3.1 設計条件

種 類	平衡型	
呼び径 (入 口)	25	A
の ど 部 の 径	$d_t =$	<input type="text"/> mm
弁 座 口 の 径	$D =$	<input type="text"/> mm
リ フ ト	$L =$	<input type="text"/> mm以上
流 体 の 種 類	水	
吹 出 圧 力 (kg/cm <sup>2</sup> )	40.0	(3.92MPa)
最 高 使 用 温 度 (°C)	100	
個 数	1	
必 要 吹 出 量 (kg/h)		<input type="text"/>

#### 3.3.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm<sup>2</sup>)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする。)

$\Delta P$  : 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 (kg/cm<sup>2</sup>)

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm<sup>3</sup>) 1.0

#### 3.3.3 逃がし弁の吹出量

3.3.2項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \text{} \times \sqrt{1.1 \times \text{

$$= \text{} \text{ kg/h}$$$$

#### 3.3.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、原子炉压力容器バウンダリ隔離弁から残留熱除去系への弁座漏えいが生じた場合に、その漏えい量を全量逃がし得る容量として、質量流量で  kg/h とする。

また、重大事故等時に使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準事故時と変わらないため、必要な吹出量の設計根拠は同じである。

### 3.3.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

### 3.4 吹出量の計算 (RV222-2)

#### 3.4.1 設計条件

種 類	平衡型		
呼び径 (入 口)		25	A
の ど 部 の 径	$d_t =$		mm
弁 座 口 の 径	$D =$		mm
リ フ ト	$L =$		mm以上
流 体 の 種 類		水	
吹 出 圧 力 (kg/cm <sup>2</sup> )		14.0	(1.37MPa)
最 高 使 用 温 度 (°C)		185	
個 数		1	
必 要 吹 出 量 (kg/h)			

#### 3.4.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm<sup>2</sup>)  

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする。)  

$\Delta P$  : 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 (kg/cm<sup>2</sup>)  

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm<sup>3</sup>) 1.0

#### 3.4.3 逃がし弁の吹出量

3.4.2項の式よりWは以下となる。

$$\begin{aligned}
 W &= 50.4 \times \text{[ ]} \times \sqrt{1.1 \times \text{[ ]} \times 1.0} \\
 &= \text{[ ]} \text{ kg/h}
 \end{aligned}$$

#### 3.4.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、通常運転時、残留熱除去系に生じる閉塞部分に内包する流体の温度上昇による熱膨張分を全量逃がし得る容量とし、質量流量で   kg/hとする。

また、重大事故等時に使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準事故時と変わらないため、必要な吹出量の設計根拠は同じである。

#### 3.4.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

### 3.5 吹出量の計算 (RV224-1)

#### 3.5.1 設計条件

種 類	非平衡型
呼び径 (入 口)	40 A
の ど 部 の 径	$d_t =$ <input type="text"/> mm
弁 座 口 の 径	$D =$ <input type="text"/> mm
リ フ ト	$L =$ <input type="text"/> mm以上
流 体 の 種 類	水
吹 出 圧 力 (kg/cm <sup>2</sup> )	14.0 (1.37MPa)
最 高 使 用 温 度 (°C)	104
個 数	1
必 要 吹 出 量 (kg/h)	<input type="text"/>

#### 3.5.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm<sup>2</sup>)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする。)

$\Delta P$  : 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 (kg/cm<sup>2</sup>)

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm<sup>3</sup>) 1.0

#### 3.5.3 逃がし弁の吹出量

3.5.2項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \text{} \times \sqrt{1.1 \times \text{} \times 1.0}$$

$$= \text{} \text{ kg/h}$$

#### 3.5.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、通常運転時、高圧炉心スプレイ系に生じる閉塞部分に内包する流体の温度上昇による熱膨張分を全量逃がし得る容量とし、質量流量で  kg/h とする。

また、重大事故等時に使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準事故時と変わらないため、必要な吹出量の設計根拠は同じである。

#### 3.5.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

### 3.6 吹出量の計算 (RV223-1)

#### 3.6.1 設計条件

種 類	非平衡型
呼び径 (入 口)	25 A
の ど 部 の 径	$d_t =$ <input type="text"/> mm
弁 座 口 の 径	$D =$ <input type="text"/> mm
リ フ ト	$L =$ <input type="text"/> mm以上
流 体 の 種 類	水
吹 出 圧 力 (kg/cm <sup>2</sup> )	45.0 (4.41MPa)
最 高 使 用 温 度 (°C)	104
個 数	1
必 要 吹 出 量 (kg/h)	<input type="text"/>

#### 3.6.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm<sup>2</sup>)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする。)

$\Delta P$  : 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 (kg/cm<sup>2</sup>)

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm<sup>3</sup>) 1.0

#### 3.6.3 逃がし弁の吹出量

3.6.2項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \text{} \times \sqrt{1.1 \times \text{

$$= \text{} \text{ kg/h}$$$$

#### 3.6.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、通常運転時、低圧炉心スプレイ系に生じる閉塞部分に内包する流体の温度上昇による熱膨張分を全量逃がし得る容量とし、質量流量で  kg/h とする。

また、重大事故等時に使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準事故時と変わらないため、必要な吹出量の設計根拠は同じである。

### 3.6.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。



### 3.7 吹出量の計算 (RV221-1)

#### 3.7.1 設計条件

種 類	非平衡型
呼び径 (入 口)	40 A
の ど 部 の 径	$d_t =$ <input type="text"/> mm
弁 座 口 の 径	$D =$ <input type="text"/> mm
リ フ ト	$L =$ <input type="text"/> mm以上
流 体 の 種 類	水
吹 出 圧 力 (kg/cm <sup>2</sup> )	14.0 (1.37MPa)
最 高 使 用 温 度 (°C)	66
個 数	1
必 要 吹 出 量 (kg/h)	<input type="text"/>

#### 3.7.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm<sup>2</sup>)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする。)

$\Delta P$  : 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 (kg/cm<sup>2</sup>)

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm<sup>3</sup>) 1.0

#### 3.7.3 逃がし弁の吹出量

3.7.2項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \text{} \times \sqrt{1.1 \times \text{} \times 1.0}$$

$$= \text{} \text{ kg/h}$$

#### 3.7.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、通常運転時、原子炉隔離時冷却系に生じる閉塞部分に内包する流体の温度上昇による熱膨張分を全量逃がし得る容量とし、質量流量で  kg/h とする。

また、重大事故等時に使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準事故時と変わらないため、必要な吹出量の設計根拠は同じである。

### 3.7.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

#### 4. 計測制御系統施設の安全弁等の容量計算結果

以下の安全弁等の容量計算結果及び必要な吹出量を次頁以降に示す。

いずれの安全弁等についても容量計算結果が必要吹出量を上回っていることを確認した。

番号	系統名称	弁番号	適用基準	対象区分
1	ほう酸水注入系	RV225-1A, B	②	D B / S A
2	逃がし安全弁窒素ガス供給系	RV227-1A, B	①	S A

#### 4.1 吹出量の計算 (RV225-1A, B)

##### 4.1.1 設計条件

種 類	非平衡型
呼び径 (入 口)	25 A
の ど 部 の 径	$d_t =$ <input type="text"/> mm
弁 座 口 の 径	$D =$ <input type="text"/> mm
リ フ ト	$L =$ <input type="text"/> mm以上
流 体 の 種 類	水
吹 出 圧 力 (kg/cm <sup>2</sup> )	120.0 (11.8MPa)
最 高 使 用 温 度 (°C)	66
個 数	2
必 要 吹 出 量 (kg/h)	<input type="text"/>

##### 4.1.2 吹出量の計算式

逃がし弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第三号による。

$$W = 50.4 \cdot A \cdot n \cdot \sqrt{1.1 \cdot \Delta P \cdot G}$$

ここで、

W : 弁の容量 (kg/h)

A : 弁の流体通路の最小面積 (mm<sup>2</sup>)

n : 流量係数 (実験的に求めた値以外は0.5とする。)

$\Delta P$  : 逃し弁入口の圧力と逃し弁出口の圧力との差 (kg/cm<sup>2</sup>)

G : 入口側の液体の比重量 (g/cm<sup>3</sup>) 1.0

##### 4.1.3 逃がし弁の吹出量

4.1.2項の式よりWは以下となる。

$$W = 50.4 \times \text{} \times \sqrt{1.1 \times \text{} \times 1.0}$$

$$= \text{} \text{ kg/h}$$

##### 4.1.4 必要吹出量の設定根拠

設計基準対象施設として必要な吹出量は、当該配管にほう酸水注入系ポンプ1台の定格流量が流入した場合に、流入流量を全量逃がし得る容量とし、質量流量で  kg/hとする。

また、重大事故等時に使用する場合においても、使用する系統設備及び使用方法が設計基準事故時と変わらないため、必要な吹出量の設計根拠は同じである。

#### 4.1.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

## 4.2 吹出量の計算 (RV227-1A, B)

### 4.2.1 設計条件

種 類	非平衡型
呼び径 (入 口)	40 A
の ど 部 の 径 $d_t =$	<input type="text"/> mm
弁 座 口 の 径 $D =$	<input type="text"/> mm
リ フ ト $L =$	<input type="text"/> mm
流 体 の 種 類	窒素ガス
吹 出 圧 力 (kg/cm <sup>2</sup> )	18.0 (1.77MPa)
最 高 使 用 温 度 (°C)	66
個 数	2
必 要 吹 出 量 (kg/h)	<input type="text"/>

### 4.2.2 吹出量の計算式

安全弁としての吹出量は、告示第501号第103条第1項第二号により J I S B 8 2 1 0 -1986「蒸気用及びガス用ばね安全弁」の「附属書 安全弁の公称吹出し量の算定方法」の「3. ガスに対する公称吹出し量」に従う。

$$Q_m = C' \cdot K_d \cdot A \cdot P_1 \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot T}} \cdot 0.9$$

ここで、

$Q_m$  : 公称吹出し量 (kg/h)

$C'$  :  $\kappa$  と  $P_2/P_1$  による係数 (「附属書」図2による。)

$\kappa$  : 断熱指数

$P_1$  : 公称吹出し量決定圧力の絶対圧力 (kg/cm<sup>2</sup>)

$P_1 =$   kg/cm<sup>2</sup>

$P_2$  : 背圧の絶対圧力 (kg/cm<sup>2</sup>)

$K_d$  : 公称吹出し係数

$A$  : 吹出し面積 (mm<sup>2</sup>)

$A =$   mm<sup>2</sup>

$M$  : ガスの分子量 28.01

$Z$  : 圧縮係数 (「附属書」図4による。)

$T$  : 公称吹出し量決定圧力におけるガスの絶対温度 (K) 339

#### 4.2.3 安全弁の吹出量

4.2.2項の式より  $Q_m$  は以下となる。

$$Q_m = \boxed{\phantom{000000}} \times \sqrt{\frac{28.01}{\boxed{\phantom{00}} \times 339}} \times 0.9$$
$$= \boxed{\phantom{0000}} \text{ kg/h}$$

#### 4.2.4 必要吹出量の設定根拠

重大事故等対処設備として必要な吹出量は、主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ及び主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータへの窒素供給時、逃がし安全弁窒素ガス供給系の減圧弁が故障により全開となった場合に、供給ガス流量を全量逃がし得る容量として、質量流量で  $\boxed{\phantom{0000}}$  kg/h とする。

#### 4.2.5 評価結果

弁の容量は、必要な吹出量以上であるので容量は十分である。

## VI-4-2 生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書



VI-4-2-1 中央制御室の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び  
熱除去についての計算書

本説明書は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第38条、第54条及び第74条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に基づく生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去について説明するものである。

中央制御室の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算は、添付書類VI-1-7-3「中央制御室の居住性に関する説明書」に含まれている。

VI-4-2-2 緊急時対策所の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び  
熱除去についての計算書

本説明書は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第76条及びその「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に基づく生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去について説明するものである。

緊急時対策所の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算は、添付書類 VI-1-9-4-2 「緊急時対策所の居住性に関する説明書」に含まれている。

VI-4-2-3 屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）  
の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 遮蔽設計評価の基本方針	1
2.2 遮蔽設計の設計基準線量率	1
2.3 遮蔽設計の方法	3
2.4 遮蔽設計の前提条件	3
2.5 熱除去に関する設計	4
3. 線源評価	5
3.1 概要	5
3.2 核分裂生成物の放射能濃度	6
3.3 腐食生成物の放射能濃度	7
3.4 機器等の放射能濃度	8
3.4.1 屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）	8
3.5 機器等の線源強度	8
4. 補助遮蔽評価	9
4.1 計算方法	9
4.2 線量率計算	9
4.2.1 機器室の線量率計算モデル	9
4.2.2 機器室の線量率	12
4.3 貫通部に対する考慮	13
4.3.1 開口部	13
4.3.2 配管等の貫通部	13
5. 熱除去の評価	16
5.1 補助遮蔽の熱除去の評価	16
5.1.1 補助遮蔽における入射線量の設定方法	16
5.1.2 補助遮蔽における温度上昇の計算方法	16
5.2 温度上昇のまとめ	16

## 1. 概要

本説明書は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第42条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」に基づく生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去について説明するものである。

## 2. 基本方針

### 2.1 遮蔽設計評価の基本方針

今回の申請で対象とする生体遮蔽装置は、屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の補助遮蔽であり、具体的な申請箇所はVI-6 図面「7.3 生体遮蔽装置」に示すとおりである。

補助遮蔽は、放射性物質を内包する機器及び配管（以下「機器等」という。）を取り囲む構造物である。この遮蔽は、通常運転時、機器等からの放射線を減衰させ、その外側区域の外部放射線に係る設計基準線量率（以下「設計基準線量率」という。）を満足させるものである。

通常運転時における遮蔽設計評価においては、建物内外を区画し、それぞれの区画に対し表2-1に示す設計基準線量率を定め、生体遮蔽装置厚さに対し、線源となる機器等からの線量率計算結果が、設計基準線量率を満足していることを確認することにより、遮蔽設計が十分であるものと評価する。なお、補助遮蔽は、放射性物質を内包する機器等を隔てる遮蔽と、管理区域外とを隔てる遮蔽があるが、管理区域内の遮蔽設計基準については、放射線業務従事者の立入頻度、滞在時間等を考慮し設定されていることから、補助遮蔽設計評価については、管理区域外（管理区域境界壁外側）で人が容易に接近可能な場所に対する生体遮蔽装置厚さが、その設計基準線量率を満足することを確認する。

### 2.2 遮蔽設計の設計基準線量率

通常運転時、放射線業務従事者の受ける線量が「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」（原子力規制委員会告示第14号）に定められた線量限度を超えないようにするとともに、放射線業務従事者の立入場所における線量を合理的に達成できる限り低減するように、放射線業務従事者の作業性を考慮して、遮蔽、機器等の配置、遠隔操作、放射性物質の漏えい防止、換気等、所要の放射線防護上の措置を講じた設計とする。遮蔽設計に際しては、放射線業務従事者の関係各場所への立入頻度、滞在時間等を考慮した上で、外部放射線に係る線量率が表2-1の設計基準線量率を満足する設計とする。通常運転時における区域区分は、VI-1-1-2「人が常時勤務し、又は頻繁に出入する原子力発電所内の場所における線量に関する説明書」に示すとおりである。

表2-1 遮蔽設計区分及び設計基準線量率

区 分		設計基準線量率
非管理区域	A：非管理区域	1.3mSv/3か月以下*
管理区域	B：週48時間以内立入るところ	0.01mSv/h以下
	C：週10時間以内立入るところ	0.06mSv/h以下
	D：週5時間以内立入るところ	0.12mSv/h以下
	E：ごく短時間しか立入らないところ	0.5mSv/h以下
	F：通常立入らないところ	0.5mSv/h超過

注記\*：設計基準線量率は、500h/3か月を考慮し、0.0026mSv/h以下とする。



### 2.3 遮蔽設計の方法

生体遮蔽装置の遮蔽設計方法は、原則として以下のとおりである。

- (1) 線源となる機器等は、コンクリートの遮蔽壁で囲まれた区画に収容する。
- (2) 線源となる機器等を収容した区画の区域区分を設定する。
- (3) 線源となる機器等の通常運転時又は機器作動時等に予想される線源強度を計算する。
- (4) 遮蔽計算は、対象となる機器等の線源強度及び幾何学的形状を勘案して適切な計算機コードを選択し、機器配置を考慮して生体遮蔽装置外側表面の線量率を計算する。
- (5) 上記の計算結果が、表2-1に示す設計基準線量率を満足するような遮蔽厚さにする。

ただし、実際の生体遮蔽装置の厚さは、構造上の要素も考慮されるため、放射線遮蔽上から要求される厚さより大きくなっている場合もある。

補助遮蔽の放射線の線源計算と線量率の計算手順を図2-1に示す。

### 2.4 遮蔽設計の前提条件

補助遮蔽の遮蔽設計に用いる前提条件は以下のとおりである。

- (1) コンクリート壁は鉄筋コンクリートであるが、評価上コンクリートのみとして評価する。
- (2) コンクリート密度は、 $2.02\text{g}/\text{cm}^3$ とする。
- (3) 遮蔽計算に用いるコンクリート壁の遮蔽厚さは、線量率、熱除去評価上、公称値からマイナス側許容差（一般に5mm）を引いた値を用いる。
- (4) 機器を線源とする場合、機器の線源モデル表面と壁までの距離は、公称値からマイナス側許容差（一般に□mm）を引いた値を用いる。
- (5) 配管を線源とする場合、配管長を□mとし、配管の線源モデル表面と遮蔽壁（線源機器を取り囲む壁、床、天井）内側表面の距離は、原則□mm\*とする。
- (6) 補助遮蔽の線量率の評価は、1区画に複数の機器が収容される機器室の場合、複数の機器を見込む遮蔽壁に対し複数の機器からの線量率を、1つの機器の場合、遮蔽壁に対し1つの機器からの線量率を計算する。

注記\*：設計上確保する距離

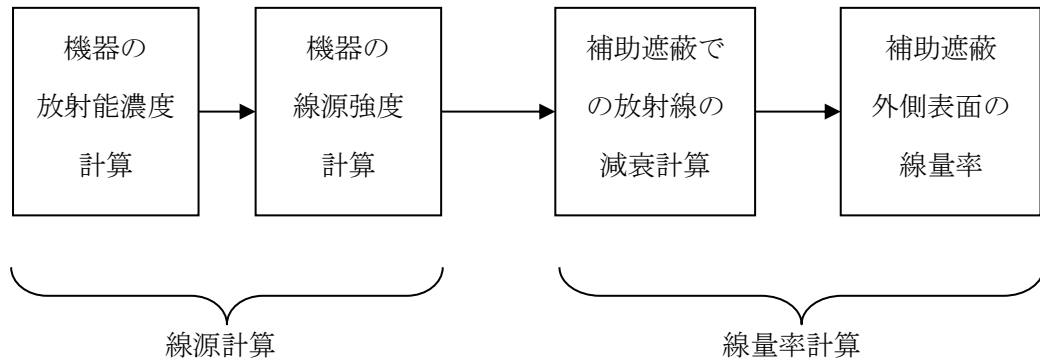


図2-1 放射線の線源計算と線量率計算の手順

## 2.5 熱除去に関する設計

生体遮蔽装置の熱除去に関する設計のために、ガンマ線による補助遮蔽壁での発熱量を評価し、その評価結果が、「遮蔽設計基準等に関する現状調査報告」（1977年、日本原子力学会）において示されている以下の温度制限値以下に収まっていることを確認する。なお、今回の申請対象である屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の生体遮蔽装置は、線源がガンマ線であるため、ガンマ線遮蔽に対する温度制限値が設計基準となる。

- (1) 中性子遮蔽：内部最高温度 88℃／周辺最高温度 71℃
- (2) ガンマ線遮蔽：内部最高温度 177℃／周辺最高温度 149℃

### 3. 線源評価

#### 3.1 概要

補助遮蔽壁の線源は、原子炉冷却材中に含まれる核分裂生成物及び放射化された腐食生成物等があり、補助遮蔽壁の対象となる機器等に応じて放射能濃度を求める。

線源となる機器等から放出するガンマ線エネルギーは、以下に示す代表エネルギー（ガンマ線放出割合  %）\*とする。

代表エネルギー	該当する系統，機器
<input type="text"/> MeV	制御棒駆動系（制御棒駆動水圧系）
<input type="text"/> MeV	上記以外の系統，機器

注記\*：「BWRの遮蔽設計における線源項と線量率区分について」昭和55年3月 電気事業連合会 改良標準化検討会遮蔽設計グループ

3.2 核分裂生成物の放射能濃度

原子炉冷却材中の核分裂生成物の放射能濃度は、希ガス30分減衰時  Bq/sに相当する濃度とし、核種組成及び核種ごとの放射能濃度を表3-1に示す。

表3-1 原子炉冷却材中核分裂生成物放射能濃度 (単位: Bq/g)

核種	放射能濃度	核種	放射能濃度		
I-131	<input type="text"/>	Tc-101	<input type="text"/>		
I-132		Te-129m			
I-133		Te-132			
I-134m		Cs-134			
I-134		Cs-136			
I-135		Cs-137			
I-136m		Cs-138			
I-136		Ba-139			
I-137		Ba-140			
I-138		Ba-141			
Br-83		Ba-142			
Br-84m		Np-239			
Br-84		Zr-95			
Br-85		Zr-97			
Br-86		Nb-95			
Br-87		Ru-103			
Br-88		Ru-106			
Sr-89		Ce-141			
Sr-90		Ce-143			
Sr-91		Ce-144			
Sr-92		Pr-143			
Mo-99		Nd-147			
Tc-99m		-		-	
合計放射能濃度				<input type="text"/>	

### 3.3 腐食生成物の放射能濃度

原子炉冷却材中の腐食生成物の放射能濃度は  Bq/g とし、核種組成及び核種ごとの放射能濃度を表3-2に示す。

表3-2 原子炉冷却材中腐食生成物放射能濃度（単位：Bq/g）

核種	放射能濃度	核種	放射能濃度
Na-24	<input type="text"/>	Co-60	<input type="text"/>
P-32		Ni-63	
Cr-51		Ni-65	
Mn-54		Cu-64	
Mn-56		Zn-65	
Fe-55		Zn-69m	
Fe-59		Ag-110m	
Co-58		W-187	
合計放射能濃度			

### 3.4 機器等の放射能濃度

屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）内機器等の系統内放射能濃度は、3.2項から3.3項で示した原子炉冷却材中の放射能濃度に基づき計算する。

#### 3.4.1 屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）

屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）内には、高圧炉心スプレイ系、原子炉隔離時冷却系、復水輸送系、液体廃棄物処理系及び制御棒駆動系（制御棒駆動水圧系）の配管が通っており、これら配管中の核分裂生成物及び腐食生成物を線源とする。

系統	接続	ガンマ線 エネルギー (MeV)	放射能濃度 (Bq/cm <sup>3</sup> )
高圧炉心スプレイ系	復水貯蔵タンクより	<input type="text"/>	<input type="text"/>
原子炉隔離時冷却系	復水貯蔵タンクより	<input type="text"/>	<input type="text"/>
復水輸送系	復水貯蔵タンクより	<input type="text"/>	<input type="text"/>
液体廃棄物処理系	液体廃棄物処理系 機器 ドレンろ過脱塩器より	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	液体廃棄物処理系 機器 ドレン処理水タンクより	<input type="text"/>	<input type="text"/>
制御棒駆動系（制御 棒駆動水圧系）	復水貯蔵タンクより	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	制御棒駆動水圧ポンプ出 口より	<input type="text"/>	<input type="text"/>

### 3.5 機器等の線源強度

機器等の線源強度は、3.4項で示した機器等の放射能濃度に、ガンマ線放出割合を乗じて求める。ガンマ線放出割合は  %とする。

## 4. 補助遮蔽評価

### 4.1 計算方法

補助遮蔽の計算は、遮蔽内に設けた線源となる機器等に対し、遮蔽壁外側表面において原則として通常人が立ち入る高さの範囲で線量率が最大になる位置について行う。

遮蔽計算には、点減衰核積分法コード「QAD-CGGP2R」を用いる。なお、評価に用いる解析コードQAD-CGGP2Rの検証、妥当性評価については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

計算機コードの主な入力条件は以下の項目である。

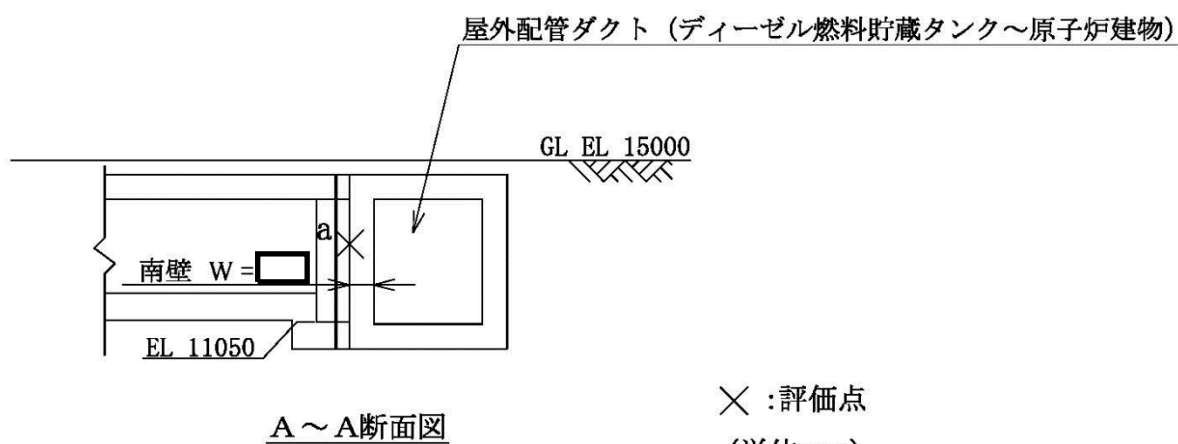
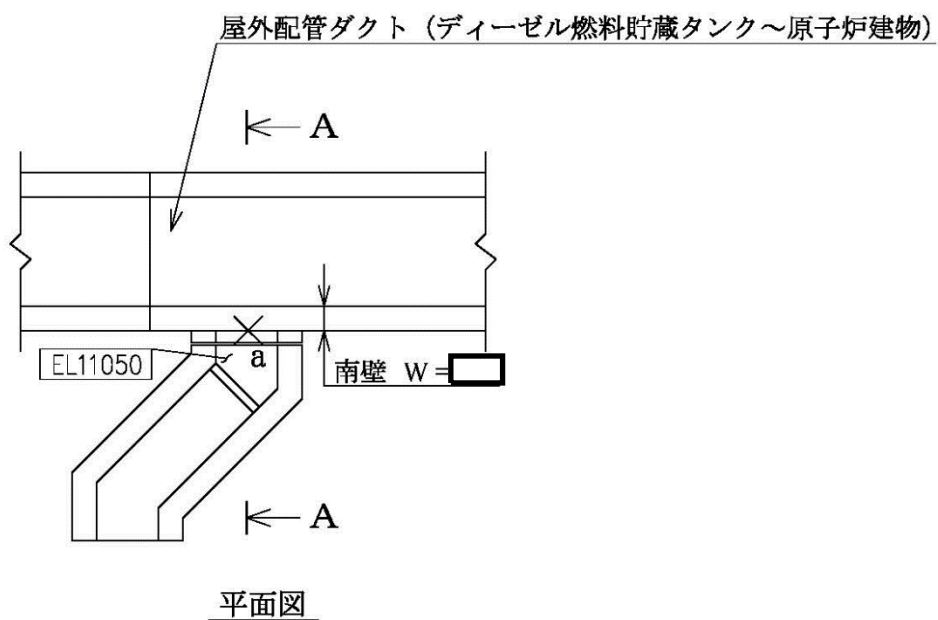
- ・線源強度
- ・遮蔽厚さ
- ・線源からの距離
- ・線源のエネルギー
- ・線源となる機器等の形状
- ・遮蔽体の物質の指定

### 4.2 線量率計算

線量率の計算は、補助遮蔽壁の対象となる機器等ごとに行う。3.4項で選定した機器等周りの補助遮蔽壁外側表面の線量率計算は、4.1項に示した入力条件を計算コードに入力して行う。

#### 4.2.1 機器室の線量率計算モデル

図4-1及び図4-2に屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の計算配置図及び計算モデル図を示す。屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の壁に対する線量率計算では、線源となる配管と評価点の関係は、それぞれの線源の中心軸上に評価点を置き、各評価点での線量率の合計値として計算する。

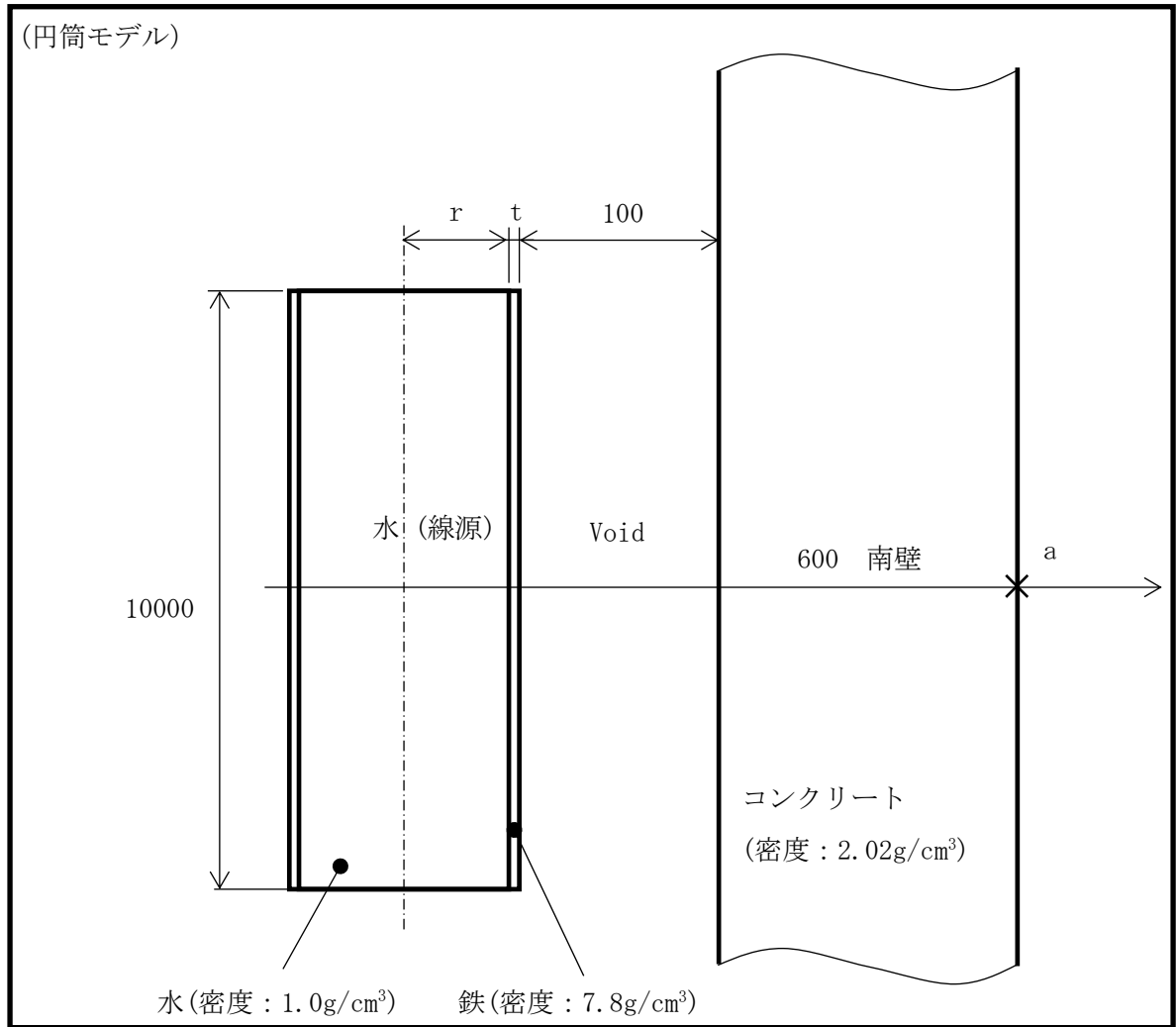


注: 特記なき寸法は公称値を示す。

図4-1 屋外配管ダクト (ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) の計算配置図



配管（線源：屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の配管）



×：評価点

(単位：mm)


配管サイズ	本数	半径 (r)	肉厚 (t)
	<input type="checkbox"/> 本	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> 本	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> 本	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> 本	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> 本	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

注：特記なき寸法は公称値を示す。

図4-2 屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の計算モデル図

#### 4.2.2 機器室の線量率

機器室からの線量率計算結果を下表に示す。機器室の管理区域境界壁外側表面の線量率は、2.2項に示す設計基準線量率を満足することを確認した。

機器室	計算配置図	計算モデル図	評価点	壁厚 (mm)	基準線量率 (mSv/h)	線量率 (mSv/h)
屋外配管ダクト (ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)	図4-1	図4-2	a		0.0026	$3.3 \times 10^{-5}$

#### 4.3 貫通部に対する考慮

生体遮蔽装置に、機器室、配管・弁室及び保守室（以下「機器室等」という。）への放射線業務従事者の出入や物品等の搬出入のための開口部を設置する場合、又は、ダクト、配管、ケーブルトレイ、計装配管等の設置のための貫通部（以下「配管等貫通部」という。）を設置する場合は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第42条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」を遵守し、過度な被ばくを防止するために、必要に応じて、放射線漏えい防止措置を講じることとする。

本項は、生体遮蔽装置のうち補助遮蔽に設置する機器室等及び配管等貫通部に対する放射線の漏えい防止措置の基本方針を示すものである。

##### 4.3.1 開口部

- (1) F区分、E区分、D区分及び不定期線源の機器室等の開口部がB区分及びC区分の範囲に向いている場合は、原則として開口部を迷路構造とする。迷路構造とする補助遮蔽の厚さは、B区分及びC区分の設計基準線量率を満足する厚さとする。開口部の設置例を図4-3に示す。
- (2) (1)項において迷路構造が必要と判断された場合のうち、物品の搬出入、機器の保守、配置上の制約等で、適切な迷路構造とできない開口部については、原則として開口部に遮蔽扉等の対策を講じる。さらに、制約等で適切な構造とできない開口部については、一時的遮蔽の設置等の放射線管理を行う。  
なお、今回申請対象の屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）については、開口部を設けない設計としている。

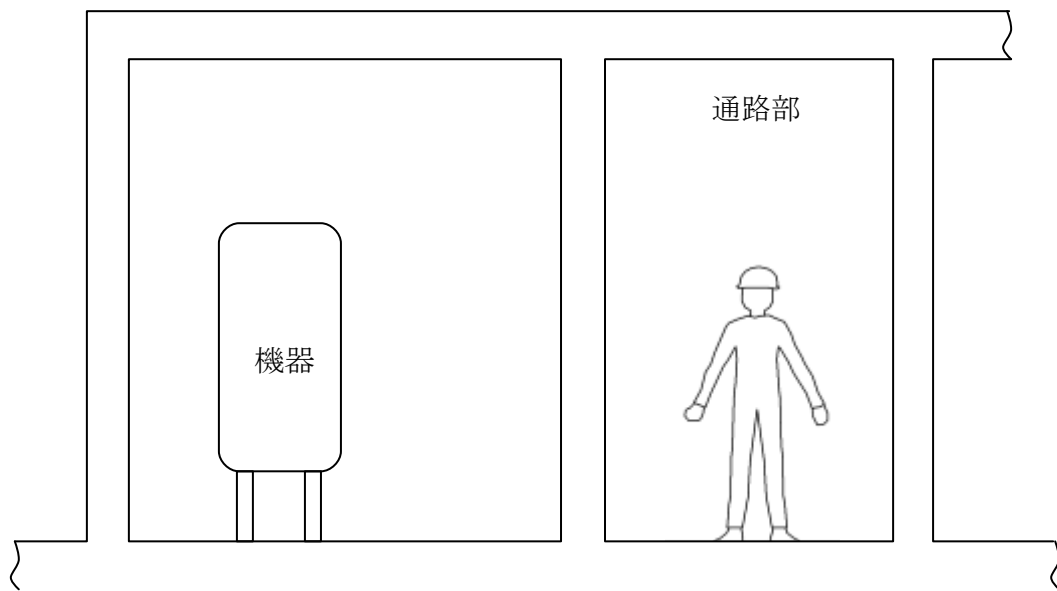
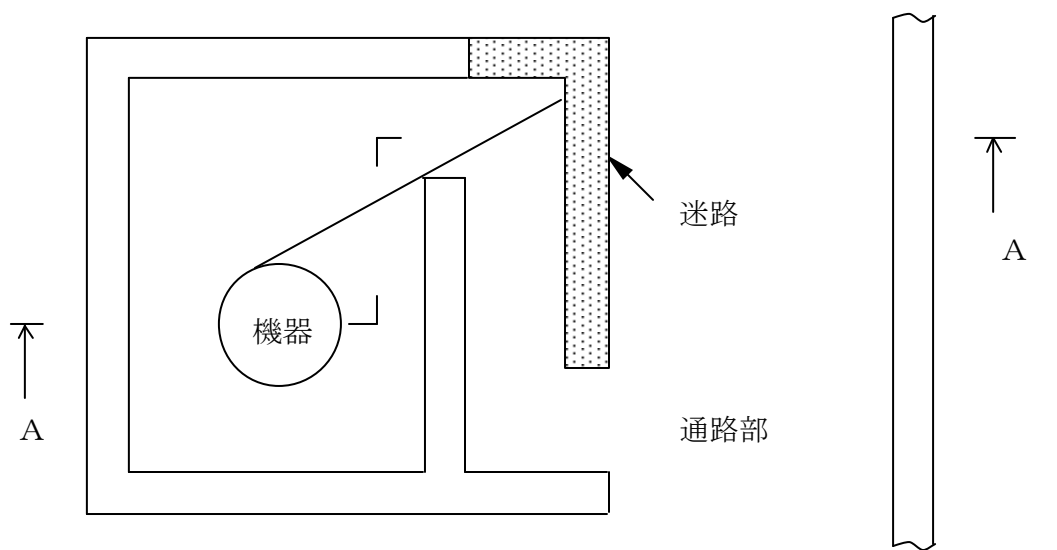
##### 4.3.2 配管等の貫通部

配管等の補助遮蔽壁貫通部は、原則として放射線漏えいが問題とならないよう以下の考え方に従いその位置を決め、放射線漏えいを防止する。

- ・貫通部は、原則として床上2mを超える高い位置に設置する。
- ・貫通部は、原則として貫通部を通して線源となる機器、配管が直接見通せない位置に設置する。
- ・隣接する貫通部は、可能な限り間隔を開ける。
- ・貫通部の大きさは、可能な限り小さくする。

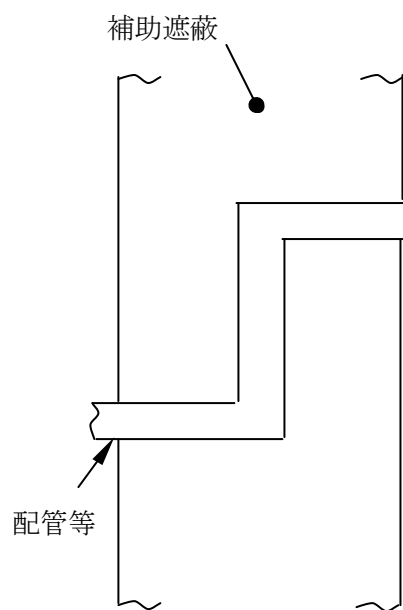
ただし、放射線漏えいが問題となる位置に設置せざるをえない場合は、図4-4に示すように配管貫通部のスリーブに遮蔽補強材を設け、ダクトはオフセットダクトにすること等により、放射線漏えいを防止する。

なお、今回申請対象の屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）については、配管貫通部のスリーブに遮蔽補強材を設け、放射線漏えいを防止する設計としている。



A-A断面図

図4-3 開口部の設置例



(オフセットダクトの例)

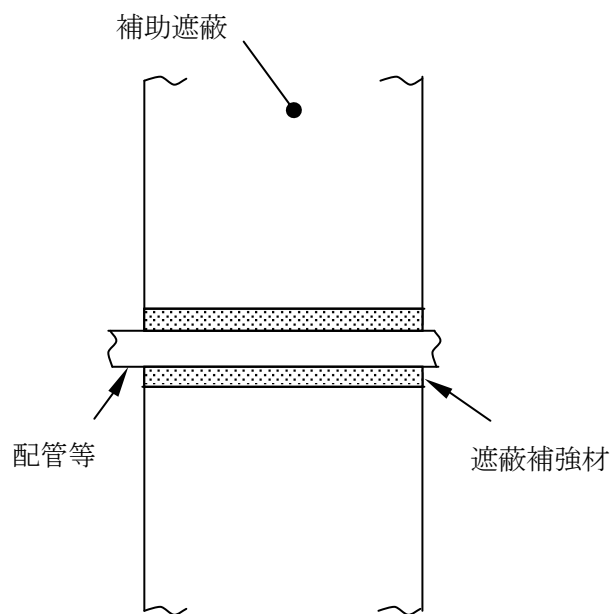


図4-4 配管等の貫通部に対する放射線漏えい防止措置の例

5. 熱除去の評価

遮蔽体の熱除去の評価は、遮蔽体中の温度上昇が厳しい箇所を想定し、伝熱理論に基づいた解析手法により評価する。

5.1 補助遮蔽の熱除去の評価

5.1.1 補助遮蔽における入射線量の設定方法

熱除去の評価に用いる遮蔽体表面の入射線量として、屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）内の各線源配管表面線量率の合計値よりガンマ線の入射線量を設定する。

5.1.2 補助遮蔽における温度上昇の計算方法

遮蔽体は主にコンクリートで構成されており、評価上、コンクリートのみとして評価する。入射線量から遮蔽体表面のガンマ線発熱量を求め、温度上昇を（5.1）式から算出する。入射線量、ガンマ線発熱量及び遮蔽体の温度上昇について表5-1に示す。

$$\Delta T = Q \times 1000 / (c \cdot \rho) \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

$\Delta T$  : 温度上昇(°C/h)

$Q$  : コンクリート表面でのガンマ線発熱量(kJ/(cm<sup>3</sup>・h))

$c$  : コンクリートの比熱(1.05(kJ/(kg・°C))\* )

$\rho$  : コンクリートの密度(2.02(g/cm<sup>3</sup>))

注記\* : 2007年制定 コンクリート標準示方書 構造性能照査編, 土木学会

5.2 温度上昇のまとめ

補助遮蔽のコンクリート遮蔽体表面でのガンマ線による温度上昇は約7×10<sup>-8</sup>°C/hとなり、ガンマ線による温度上昇は無視できる。なお、本温度評価は、保守的にコンクリートの断熱状態を仮定した評価である。

表5-1 補助遮蔽のガンマ線による温度上昇

線源	入射線量(Gy/h)	ガンマ線発熱量 (kJ/(cm <sup>3</sup> ・h))	温度上昇(°C/h)
屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）内の配管	7.2×10 <sup>-5</sup>	1.5×10 <sup>-10</sup>	6.9×10 <sup>-8</sup>

## VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要

## 目 次

- VI-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・FRAME（面内）
- VI-5-2 計算機プログラム（解析コード）の概要・TONBOS
- VI-5-3 計算機プログラム（解析コード）の概要・D t r a n s u - 3 D ・ E L
- VI-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要・SHAKE
- VI-5-5 計算機プログラム（解析コード）の概要・TDAPⅢ
- VI-5-6 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN
- VI-5-7 計算機プログラム（解析コード）の概要・Fluent
- VI-5-8 計算機プログラム（解析コード）の概要・SCALE
- VI-5-9 計算機プログラム（解析コード）の概要・DORT
- VI-5-10 計算機プログラム（解析コード）の概要・NOPS
- VI-5-11 計算機プログラム（解析コード）の概要・QAD-CGGP2R
- VI-5-12 計算機プログラム（解析コード）の概要・ORIGEN2
- VI-5-13 計算機プログラム（解析コード）の概要・ANISN
- VI-5-14 計算機プログラム（解析コード）の概要・G33-GP2R
- VI-5-15 計算機プログラム（解析コード）の概要・HISAP
- VI-5-16 計算機プログラム（解析コード）の概要・ABAQUS
- VI-5-17 計算機プログラム（解析コード）の概要・GOTHIC
- VI-5-18 計算機プログラム（解析コード）の概要・MAAP
- VI-5-19 計算機プログラム（解析コード）の概要・FREMING
- VI-5-20 計算機プログラム（解析コード）の概要・S e i s m i c A n a l y s i s  
S y s t e m ( S A S )
- VI-5-21 計算機プログラム（解析コード）の概要・DYNA2E
- VI-5-22 計算機プログラム（解析コード）の概要・S u p e r F L U S H / 2 D
- VI-5-23 計算機プログラム（解析コード）の概要・ADMITHF
- VI-5-24 計算機プログラム（解析コード）の概要・NUPP4
- VI-5-25 計算機プログラム（解析コード）の概要・NAPISOS
- VI-5-26 計算機プログラム（解析コード）の概要・FINAL
- VI-5-27 計算機プログラム（解析コード）の概要・KANSAS2
- VI-5-28 計算機プログラム（解析コード）の概要・SNAP-LE
- VI-5-29 計算機プログラム（解析コード）の概要・RC断面計算
- VI-5-30 計算機プログラム（解析コード）の概要・m i c r o S H A K E / 3 D
- VI-5-31 計算機プログラム（解析コード）の概要・ANSYS
- VI-5-32 計算機プログラム（解析コード）の概要・FURST
- VI-5-33 計算機プログラム（解析コード）の概要・BSPAN2



- VI-5-34 計算機プログラム（解析コード）の概要・ASHSD2-B
- VI-5-35 計算機プログラム（解析コード）の概要・TACF
- VI-5-36 計算機プログラム（解析コード）の概要・SAP-IV
- VI-5-37 計算機プログラム（解析コード）の概要・PRIME
- VI-5-38 計算機プログラム（解析コード）の概要・Simcenter Nastran
- VI-5-39 計算機プログラム（解析コード）の概要・fapase
- VI-5-40 計算機プログラム（解析コード）の概要・FLIP
- VI-5-41 計算機プログラム（解析コード）の概要・NX NASTRAN
- VI-5-42 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSAP
- VI-5-43 計算機プログラム（解析コード）の概要・Virtual Performance Solution
- VI-5-44 計算機プログラム（解析コード）の概要・LS-DYNA
- VI-5-45 計算機プログラム（解析コード）の概要・SD
- VI-5-46 計算機プログラム（解析コード）の概要・AutoPIPE
- VI-5-47 計算機プログラム（解析コード）の概要・SHAKE
- VI-5-48 計算機プログラム（解析コード）の概要・CARO
- VI-5-49 計算機プログラム（解析コード）の概要・mk\_FRS
- VI-5-50 計算機プログラム（解析コード）の概要・WCOMD Studio
- VI-5-51 計算機プログラム（解析コード）の概要・STAAD.Pro
- VI-5-52 計算機プログラム（解析コード）の概要・NSAFE
- VI-5-53 計算機プログラム（解析コード）の概要・SOLVER
- VI-5-54 計算機プログラム（解析コード）の概要・VA
- VI-5-55 計算機プログラム（解析コード）の概要・dmain2
- VI-5-56 計算機プログラム（解析コード）の概要・FINAS/STAR
- VI-5-57 計算機プログラム（解析コード）の概要・EMRGING
- VI-5-58 計算機プログラム（解析コード）の概要・SAP2000
- VI-5-59 計算機プログラム（解析コード）の概要・S-STAN
- VI-5-60 計算機プログラム（解析コード）の概要・ADVANF
- VI-5-61 計算機プログラム（解析コード）の概要・CPOSTSK

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（1/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
VI -1-1-3-3-2	竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定	資料番号	VI-5-2					
		コード名	TONBOS					
VI-1-1-7- 別添1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	資料番号	VI-5-5	VI-5-40	VI-5-47	VI-5-59	VI-5-60	VI-5-61
		コード名	TDAPIII	FLIP	SHAKE	S-STAN	ADVANF	CPOSTSK
VI-1-1-9-3	溢水評価条件の設定	資料番号	VI-5-7	VI-5-15				
		コード名	Fluent	HISAP				
VI-1-1-9-4	溢水影響に関する評価	資料番号	VI-5-7					
		コード名	Fluent					
VI-1-2-1	原子炉本体の基礎に関する説明書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-1-2-2	原子炉圧力容器の脆性破壊防止に関する説明書	資料番号	VI-5-9	VI-5-10	VI-5-34			
		コード名	DORT	NOPS	ASHSD2-B			
VI-1-3-2	燃料取扱設備, 新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書	資料番号	VI-5-8					
		コード名	SCALE					
VI-1-3-4	使用済燃料貯蔵槽の冷却能力に関する説明書	資料番号	VI-5-12					
		コード名	ORIGEN2					
VI-1-3-5	使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書	資料番号	VI-5-11	VI-5-12	VI-5-15			
		コード名	QAD-CGGP2R	ORIGEN2	HISAP			
VI-1-4-3	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備のポンプの有効吸込水頭に関する説明書	資料番号	VI-5-18					
		コード名	MAAP					
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	資料番号	VI-5-11	VI-5-12	VI-5-13	VI-5-14	VI-5-18	
		コード名	QAD-CGGP2R	ORIGEN2	ANISN	G33-GP2R	MAAP	
VI-1-8-1	原子炉格納施設的设计条件に関する説明書	資料番号	VI-5-11	VI-5-12	VI-5-13	VI-5-14	VI-5-16	VI-5-18
		コード名	QAD-CGGP2R	ORIGEN2	ANISN	G33-GP2R	ABAQUS	MAAP

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（2/23）

目録番号	目録名称	適用コード名					
VI-1-8-2	原子炉格納施設の水素濃度低減性能に関する説明書	資料番号	VI-5-17	VI-5-18			
		コード名	GOTHIC	MAAP			
VI-1-8-4	圧力低減設備その他の安全設備のポンプの有効吸込水頭に関する説明書	資料番号	VI-5-18				
		コード名	MAAP				
VI-1-9-3-1	斜面安定性に関する説明書	資料番号	VI-5-47	VI-5-59	VI-5-60	VI-5-61	
		コード名	SHAKE	S-STAN	ADVANF	CPOSTSK	
VI-1-9-4-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	資料番号	VI-5-11	VI-5-12	VI-5-13	VI-5-14	
		コード名	QAD-CGGP2R	ORIGEN2	ANISN	G33-GP2R	
VI-2-1-3	地盤の支持性能に係る基本方針	資料番号	VI-5-3				
		コード名	Dtransu-3D・EL				
VI-2-1-7	設計用床応答スペクトルの作成方針	資料番号	VI-5-20				
		コード名	Seismic Analysis System(SAS)				
VI-2-2-1	炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書	資料番号	VI-5-21				
		コード名	DYNA2E				
VI-2-2-2	原子炉建物の地震応答計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-22	VI-5-23	VI-5-24	
		コード名	SHAKE	SuperFLUSH/2D	ADMITHF	NUPP4	
VI-2-2-5	制御室建物の地震応答計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-22	VI-5-23	VI-5-24	
		コード名	SHAKE	SuperFLUSH/2D	ADMITHF	NUPP4	
VI-2-2-6	制御室建物の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-16				
		コード名	ABAQUS				
VI-2-2-7	タービン建物の地震応答計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-23	VI-5-24		
		コード名	SHAKE	ADMITHF	NUPP4		
VI-2-2-8	タービン建物の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-16				
		コード名	ABAQUS				
VI-2-2-9	廃棄物処理建物の地震応答計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-23	VI-5-24	VI-5-25	
		コード名	SHAKE	ADMITHF	NUPP4	NAPISOS	

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（3/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-4	VI-5-23	VI-5-24			
VI-2-2-11	緊急時対策所の地震応答計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-23	VI-5-24			
		コード名	SHAKE	ADMITHF	NUPP4			
VI-2-2-12	緊急時対策所の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-2-13	排気筒の地震応答計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-23	VI-5-28			
		コード名	SHAKE	ADMITHF	SNAP-LE			
VI-2-2-14	排気筒の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-28					
		コード名	SNAP-LE					
VI-2-2-15	排気筒の基礎の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-2-16	ガスタービン発電機建物の地震応答計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-23	VI-5-24			
		コード名	SHAKE	ADMITHF	NUPP4			
VI-2-2-17	ガスタービン発電機建物の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-2-18	取水槽の地震応答計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-40	VI-5-47		
		コード名	TDAPIII	micro SHAKE/3D	FLIP	SHAKE		
VI-2-2-19	取水槽の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-56					
		コード名	FINAS/STAR					
VI-2-2-20	屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の地震応答計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-47			
		コード名	TDAPIII	micro SHAKE/3D	SHAKE			
VI-2-2-21	屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-56					
		コード名	FINAS/STAR					
VI-2-2-22	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の地震応答計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-47			
		コード名	TDAPIII	micro SHAKE/3D	SHAKE			
VI-2-2-24	屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の地震応答計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-40	VI-5-47		
		コード名	TDAPIII	micro SHAKE/3D	FLIP	SHAKE		

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（4/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
VI-2-2-25	屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-50					
		コード名	WCOMD Studio					
VI-2-2-26	屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の地震応答計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-40	VI-5-47		
		コード名	TDAP III	micro SHAKE/3D	FLIP	SHAKE		
VI-2-2-28	取水管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-22	VI-5-30	VI-5-41	VI-5-47	
		コード名	TDAP III	SuperFLUSH /2D	micro SHAKE/3D	NX NASTRAN	SHAKE	
VI-2-2-29	取水口の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-6	VI-5-47			
		コード名	TDAP III	MSC NASTRAN	SHAKE			
VI-2-2-30	第1ベントフィルタ格納槽の地震応答計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-40	VI-5-47		
		コード名	TDAP III	micro SHAKE/3D	FLIP	SHAKE		
VI-2-2-31	第1ベントフィルタ格納槽の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-50					
		コード名	WCOMD Studio					
VI-2-2-32	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-47			
		コード名	TDAP III	micro SHAKE/3D	SHAKE			
VI-2-2-34	緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-47				
		コード名	TDAP III	SHAKE				
VI-2-2-35	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書	資料番号	VI-5-21	VI-5-47	VI-5-55			
		コード名	DYNA2E	SHAKE	dmain2			
VI-2-2-36	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-41	VI-5-55				
		コード名	NX NASTRAN	dmain2				
VI-2-2-37	屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-47			
		コード名	TDAP III	micro SHAKE/3D	SHAKE			
VI-2-2-39	屋外配管ダクト（排気筒）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-47			
		コード名	TDAP III	micro SHAKE/3D	SHAKE			

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（5/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-31	VI-5-32	VI-5-33	VI-5-37	VI-5-48	
VI-2-3-2-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-32	VI-5-33	VI-5-37	VI-5-48	
		コード名	ANSYS	FURST	BSPAN2	PRIME	CARO	
VI-2-3-2-2-3	シュラウドサポートの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-34					
		コード名	ASHSD2-B					
VI-2-3-3-1-2	原子炉圧力容器の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-34					
		コード名	ASHSD2-B					
VI-2-3-3-2-2	原子炉格納容器スタビライザの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-3-3-2-4	ジェットポンプ計測配管貫通部シールの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-16					
		コード名	ABAQUS					
VI-2-3-3-3-4	シュラウドヘッドの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-16					
		コード名	ABAQUS					
VI-2-3-3-3-11	原子炉中性子計装案内管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-4-2-1	燃料プール(キャスク置場を含む)の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-4-2-2	使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-36					
		コード名	SAP-IV					
VI-2-4-2-4	燃料プール水位・温度(SA)の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI-2-4-2-5	燃料プール水位(SA)の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-31	VI-5-51				
		コード名	ANSYS	STAAD. Pro				
VI-2-4-3-1-3	管の耐震性についての計算書(燃料プール冷却系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書(燃料プールのスプレイ系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-5-2-1-1	管の耐震性についての計算書(原子炉再循環系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（6/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	適用コード名					
VI -2-5-3-1-2	管の耐震性についての計算書(主蒸気系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -2-5-3-2-1	管の耐震性についての計算書(給水系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -2-5-4-1-2	残留熱除去ポンプの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -2-5-4-1-3	残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -2-5-4-1-4	管の耐震性についての計算書(残留熱除去系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -2-5-4-1-5	ストレーナ部テーパーの耐震性についての計算書(残留熱除去系)	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -2-5-4-1-6	残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -2-5-4-1-7	残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -2-5-5-1-1	高圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -2-5-5-1-3	管の耐震性についての計算書(高圧炉心スプレイ系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -2-5-5-2-1	低圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -2-5-5-2-3	管の耐震性についての計算書(低圧炉心スプレイ系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -2-5-5-3-2	管の耐震性についての計算書(高圧原子炉代替注水系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（7/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	コード名					
VI-2-5-5-4-1	原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-5-5-5-2	管の耐震性についての計算書(低圧原子炉代替注水系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-5-6-1-3	管の耐震性についての計算書(原子炉隔離時冷却系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-5-6-1-4	ストレーナ部テイの耐震性についての計算書(原子炉隔離時冷却系)	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-5-7-1-3	原子炉補機海水ポンプの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-5-7-1-6	管の耐震性についての計算書(原子炉補機冷却系及び原子炉補機海水系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-5-7-2-3	高圧炉心スプレ補機海水ポンプの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-5-7-2-6	管の耐震性についての計算書(高圧炉心スプレ補機冷却系及び高圧炉心スプレ補機海水系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-5-7-3-1	管の耐震性についての計算書(原子炉補機代替冷却系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-5-8-1-1	管の耐震性についての計算書(原子炉浄化系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-6-3-2-1-1	水圧制御ユニットの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-36					
		コード名	SAP-IV					
VI-2-6-3-2-1-2	管の耐震性についての計算書(制御棒駆動水圧系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-6-4-1-3	管の耐震性についての計算書(ほう酸水注入系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					



計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（8/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	コード名					
VI-2-6-5-1	中性子源領域計装／中間領域計装の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-6-5-2	出力領域計装の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-38					
		コード名	Simcenter Nastran					
VI-2-6-5-24	サプレッションプール水温度の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI-2-6-5-27	ドライウェル温度（SA）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI-2-6-5-28	ペDESTAL温度（SA）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI-2-6-5-29	ペDESTAL水温度（SA）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI-2-6-5-30	サプレッションチェンバ温度（SA）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI-2-6-5-31	サプレッションプール水温度（SA）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI-2-6-5-42	ドライウェル水位の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI-2-6-5-44	ペDESTAL水位の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI-2-6-5-45	原子炉建物水素濃度の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI-2-6-5-47	スクラム排出水容器水位の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI-2-6-5-49	主蒸気管トンネル温度の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（9/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
VI-2-6-6-1-1	管の耐震性についての計算書 (逃がし安全弁 室素ガス供給 系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -2-6-7-1-10	静的触媒式水素 処理装置入口温 度の耐震性につ いての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI -2-6-7-3-1-3	衛星電話設備用 アンテナ（中央 制御室）の耐震 性についての計 算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -2-6-7-3-1-5	緊急時対策所 衛星電話設備用 ラックの耐震性 についての計算 書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -2-6-7-3-1-6	衛星電話設備用 アンテナ（緊急 時対策所）の耐 震性についての 計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -2-6-7-3-2-3	無線通信設備用 アンテナ（中央 制御室）の耐震 性についての計 算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -2-6-7-3-2-5	緊急時対策所 無線通信設備用 ラックの耐震性 についての計算 書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -2-6-7-3-2-6	無線通信設備用 アンテナ（緊急 時対策所）の耐 震性についての 計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -2-6-7-3-3-5	統合原子力防災 ネットワークに 接続する通信連 絡設備のうち統 合原子力防災N W用屋外アンテ ナの耐震性につ いての計算書	資料番号	VI-5-31					
		コード名	ANSYS					
VI-2-7-2-1-1	管の耐震性につ いての計算書 (ドレン移送 系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-7-3-1-1	管の耐震性に関 する説明書（サ イトバンカ設 備）	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（10/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
VI-2-8-3-1-1	管の耐震性についての計算書(中央制御室空調換気系)	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI-2-8-3-2-1	管の耐震性についての計算書(中央制御室空気供給系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-8-3-3-1	管の耐震性についての計算書(緊急時対策所換気空調系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-8-4-3	中央制御室遮蔽(1, 2号機共用)の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-26					
		コード名	FINAL					
VI-2-8-4-3	中央制御室遮蔽(1, 2号機共用)の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-26					
		コード名	FINAL					
VI-2-8-4-4	中央制御室待避室遮蔽の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-2-2	サブプレッションチェンバの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-2-3	サブプレッションチェンバサポートの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-2-8	サブプレッションチェンバアクセスハッチの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-2-10	配管貫通部の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-2-11	電気配線貫通部の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-3-1	原子炉建物原子炉等(二次格納施設)の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-39					
		コード名	fappase					
VI-2-9-3-1-2	原子炉建物主蒸気管トンネル室ブローアウトパネルの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（11/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	コード名					
VI-2-9-3-4	原子炉建物基礎スラブの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-16					
		コード名	ABAQUS					
VI-2-9-4-2-1	ダウンカマの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-4-2-2	ベントヘッドの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-4-3	ベント管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-4-4-1-1	ドライウェルスブレイ管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-4-4-1-2	サプレッションチェンバスブレイ管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-9-4-4-2-1	管の耐震性についての計算書(格納容器代替スプレイ系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-9-4-4-3-1	管の耐震性についての計算書(ペDESTAL代替注水系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-9-4-4-4-2	管の耐震性についての計算書(残留熱代替除去系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-9-4-5-1-1	管の耐震性についての計算書(非常用ガス処理系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-9-4-5-1-4	ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-41					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-9-4-5-2-1	管の耐震性についての計算書(可燃性ガス濃度制御系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-9-4-5-3-1	静的触媒式水素処理装置の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-41					
		コード名	NX NASTRAN					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（12/23）

目録番号	目録名称	適用コード名					
VI -2-9-4-5-4-1	管の耐震性についての計算書（窒素ガス代替注入系）	資料番号	VI-5-15				
		コード名	HISAP				
VI -2-9-4-6-1-1	管の耐震性についての計算書（窒素ガス制御系）	資料番号	VI-5-15				
		コード名	HISAP				
VI -2-9-4-7-1-1	管の耐震性についての計算書（格納容器フィルタベント系）	資料番号	VI-5-15				
		コード名	HISAP				
VI -2-9-4-7-1-4	遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6				
		コード名	MSC NASTRAN				
VI -2-10-1-2-1-7	非常用ディーゼル発電設備A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-16				
		コード名	ABAQUS				
VI -2-10-1-2-1-8	非常用ディーゼル発電設備B-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-36				
		コード名	SAP-IV				
VI -2-10-1-2-1-9	管の耐震性についての計算書（非常用ディーゼル発電設備）	資料番号	VI-5-15				
		コード名	HISAP				
VI -2-10-1-2-2-6	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-16				
		コード名	ABAQUS				
VI -2-10-1-2-2-7	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備）	資料番号	VI-5-15				
		コード名	HISAP				
VI -2-10-1-2-3-1	ガスタービン発電機ガスタービン機関及び発電機の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6				
		コード名	MSC NASTRAN				

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（13/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-6					
VI -2-10-1-2-3-2	ガスタービン 発電機励磁装 置及び保護継 電装置の耐震 性についての 計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -2-10-1-2-3-6	管の耐震性に ついての計算 書（ガスタービ ン発電機）	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-10-2-2-1	防波壁（波返重 力擁壁）の地震 応答計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-40	VI-5-47			
		コード名	TDAPⅢ	FLIP	SHAKE			
VI-2-10-2-2-2	防波壁（逆T擁 壁）の地震応答 計算書	資料番号	VI-5-40	VI-5-47				
		コード名	FLIP	SHAKE				
VI-2-10-2-2-3	防波壁（多重鋼 管杭式擁壁）の 地震応答計算 書	資料番号	VI-5-40	VI-5-47				
		コード名	FLIP	SHAKE				
VI-2-10-2-3-1	防波壁（波返重 力擁壁）の耐震 性についての 計算書	資料番号	VI-5-61	VI-5-56	VI-5-57			
		コード名	CPOSTSK	FINAS/STAR	EMRGING			
VI-2-10-2-3-2	防波壁（逆T擁 壁）の耐震性に ついての計算 書	資料番号	VI-5-61	VI-5-41	VI-5-57			
		コード名	CPOSTSK	NX NASTRAN	EMRGING			
VI-2-10-2-3-3	防波壁（多重鋼 管杭式擁壁）の 耐震性につい ての計算書	資料番号	VI-5-61	VI-5-56	VI-5-57			
		コード名	CPOSTSK	FINAS/STAR	EMRGING			
VI-2-10-2-4	防波壁通路防 波扉の耐震性 についての計 算書	資料番号	VI-5-61	VI-5-29	VI-5-40	VI-5-47		
		コード名	CPOSTSK	RC 断面計算	FLIP	SHAKE		
VI-2-10-2-5	1号機取水槽 の地震応答計 算書	資料番号	VI-5-30	VI-5-40	VI-5-30	VI-5-47		
		コード名	micro SHAKE/3D	FLIP	micro SHAKE/3D	SHAKE		
VI-2-10-2-7	屋外排水路逆 止弁の耐震性 についての計 算書	資料番号	VI-5-1	VI-5-29	VI-5-47			
		コード名	FRAME(面内)	RC 断面計算	SHAKE			
VI-2-10-2-8	防水壁の耐震 性についての 計算書	資料番号	VI-5-6	VI-5-27	VI-5-45			
		コード名	MSC NASTRAN	KANSAS2	SD			
VI-2-10-2-9	水密扉の耐震 性についての 計算書	資料番号	VI-5-19	VI-5-27				
		コード名	FREMING	KANSAS2				

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（14/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-6	VI-5-15	VI-5-42			
VI -2-10-2-11	隔離弁、機器・配管の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6	VI-5-15	VI-5-42			
		コード名	MSC NASTRAN	HISAP	MSAP			
VI -2-10-2-12	タービン補機海水系隔離システムの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI -2-10-2-13	堰の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-27					
		コード名	KANSAS2					
VI -2-10-2-16	取水槽水位計の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI -2-10-2-17	津波監視カメラの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -2-11-2-1-1	1号機原子炉建物の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-22	VI-5-25			
		コード名	SHAKE	SuperFLUSH /2D	NAPISOS			
VI -2-11-2-1-2	1号機タービン建物の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-23	VI-5-24			
		コード名	SHAKE	ADMITHF	NUPP4			
VI -2-11-2-1-3	1号機廃棄物処理建物の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-23	VI-5-24			
		コード名	SHAKE	ADMITHF	NUPP4			
VI -2-11-2-1-4	サイトバンカ建物の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-23	VI-5-24				
		コード名	ADMITHF	NUPP4				
VI -2-11-2-1-5	サイトバンカ建物（増築部）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-23	VI-5-24				
		コード名	ADMITHF	NUPP4				
VI -2-11-2-1-6	排気筒モニタ室の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-24					
		コード名	NUPP4					
VI-2-11-2-2	1号機排気筒の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-4	VI-5-23	VI-5-39			
		コード名	SHAKE	ADMITHF	fappase			
VI-2-11-2-3	免震重要棟遮蔽壁の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-47	VI-5-57		
		コード名	TDAPIII	micro SHAKE/3D	SHAKE	EMRGING		

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（15/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-30	VI-5-40	VI-5-47			
VI-2-11-2-4	1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-30	VI-5-40	VI-5-47			
		コード名	micro SHAKE/3D	FLIP	SHAKE			
VI-2-11-2-5	取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-1	VI-5-19				
		コード名	FRAME(面内)	FREING				
VI-2-11-2-6-1	ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-24					
		コード名	NUPP4					
VI-2-11-2-6-2	建物開口部竜巻防護対策設備の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-27					
		コード名	KANSAS2					
VI-2-11-2-7-1	原子炉建物天井クレーンの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-16					
		コード名	ABAQUS					
VI-2-11-2-7-2	燃料取替機の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-16					
		コード名	ABAQUS					
VI-2-11-2-7-3	チャンネル着脱装置の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-36					
		コード名	SAP-IV					
VI-2-11-2-7-4	チャンネル取扱ブームの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-11-2-7-5	制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-36					
		コード名	SAP-IV					
VI-2-11-2-7-7	原子炉浄化系補助熱交換器の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-36					
		コード名	SAP-IV					
VI-2-11-2-7-10	中央制御室天井設置設備の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI-2-11-2-7-13	主排気ダクトの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-58					
		コード名	SAP2000					
VI-2-11-2-7-14	取水槽ガントリクレーンの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-16					
		コード名	ABAQUS					



計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（16/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-15					
VI-2-11-2-8	管の耐震性についての計算書 (波及的影響)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-11-2-10	耐火障壁の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-41					
		コード名	NX NASTRAN					
VI-2-11-2-12	復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-41	VI-5-47		
		コード名	TDAPIII	micro SHAKE/3D	NX NASTRAN	SHAKE		
VI-2-11-2-13	仮設耐震構台の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-47			
		コード名	TDAPIII	micro SHAKE/3D	SHAKE			
VI-2-11-2-14	土留め工（親杭）の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-47			
		コード名	TDAPIII	micro SHAKE/3D	SHAKE			
VI-2-11-2-15	ディーゼル燃料貯蔵タンク室の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-47			
		コード名	TDAPIII	micro SHAKE/3D	SHAKE			
VI-2-別添 1-3-1	ボンベラックの耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-別添 1-3-2	選択弁の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-別添 1-3-4	管の耐震性についての計算書 (消火設備)	資料番号	VI-5-42					
		コード名	MSAP					
VI-2-別添 2-2	溢水源としないB, Cクラス機器の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-15	VI-5-21	VI-5-29	VI-5-30	VI-5-46
		コード名	TDAPIII	HISAP	DYNA2E	RC 断面計算	micro SHAKE/3D	AutoPIPE
		資料番号	VI-5-47	VI-5-54	VI-5-55			
		コード名	SHAKE	VA	dmain2			
VI-2-別添 2-4	燃料プール冷却系弁の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-別添 2-5	大型タンク遮断弁の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（17/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-15					
VI-2-別添 2-6	循環水ポンプ 出口弁及び復 水器水室出入 口弁の耐震性 についての計 算書	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-別添 3-2	可搬型重大 事故等対処 設備の保管 エリア等に おける入力 地震動	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-47	VI-5-49		
		コード名	TDAPⅢ	micro SHAKE/3D	SHAKE	mk_FRS		
VI-2-別添 3-4-1	逃がし安全弁 用窒素ガスボン ベラックの 耐震性につい ての計算書	資料番号	VI-5-16					
		コード名	ABAQUS					
VI-2-別添 3-4-2	中央制御室待 避室正圧化装 置 空気ボン ベラックの耐 震性について の計算書	資料番号	VI-5-16					
		コード名	ABAQUS					
VI-2-別添 3-4-3	緊急時対策所 換気空調系空 気ポンベ加圧 設備 空気ボン ベカードルの 耐震性につい ての計算書	資料番号	VI-5-16					
		コード名	ABAQUS					
VI-2-別添 3-5	可搬型重大事 故等対処設備 のうち可搬型 空気浄化設備 の耐震性につ いての計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-2-別添 4-2	地下水位低下 設備の地震応 答計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-40	VI-5-47		
		コード名	TDAPⅢ	micro SHAKE/3D	FLIP	SHAKE		
VI-2-別添 4-3-2	管の耐震性につ いての計算 書(地下水位低 下設備)	資料番号	VI-5-53					
		コード名	SOLVER					
VI-2-別添 4-3-5	揚水井戸の耐 震性について の計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-19	VI-5-47	VI-5-57		
		コード名	TDAPⅢ	FREING	SHAKE	EMRING		
VI-2-別添 4-3-6	ドレーンの耐 震性について の計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-60				
		コード名	TDAPⅢ	ADVANF				
VI-2-別添 5-2	代替淡水源を 監視するための 設備の耐震 性についての 計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（18/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-40	VI-5-47				
VI-2-別添 6-2	漂流防止装置の耐震性についての計算書	資料番号	VI-5-40	VI-5-47				
		コード名	FLIP	SHAKE				
VI-2-別添 7-2-1	設計用床応答スペクトルの作成方針(掘削前)	資料番号	VI-5-20					
		コード名	Seismic Analysis System(SAS)					
VI-2-別添 7-2-7	管の耐震性についての計算書(低圧原子炉代替注水系)(掘削前)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-別添 7-2-16	管の耐震性についての計算書(格納容器フィルタベント系)(掘削前)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-2-別添 7-2-24	地下水位低下設備の地震応答計算書(掘削前)	資料番号	VI-5-5	VI-5-30	VI-5-40	VI-5-47		
		コード名	TDAPIII	micro SHAKE/3D	FLIP	SHAKE		
VI-2-別添 7-2-28	揚水井戸の耐震性についての計算書(掘削前)	資料番号	VI-5-5					
		コード名	TDAPIII					
VI-2-別添 7-2-29	復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性についての計算書(掘削前)	資料番号	VI-5-60					
		コード名	ADVANF					
VI -3-3-2-2-1-4-2	管の応力計算書(燃料プール冷却系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-2-2-3-2	管の応力計算書(燃料プールのスプレイ系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-3-1-1-1-2	管の応力計算書(原子炉再循環系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-3-2-1-2-2	管の応力計算書(主蒸気系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-3-2-2-1-2	管の応力計算書(給水系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-3-3-3-3-1-3	残留熱除去系ストレナーナの強度計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（19/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	コード名					
VI-3-3-3-3-1-4	ストレーナ部 ティーの応力計算 書（残留熱除去 系）	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-3-3-3-3-1-5	残留熱除去系ス トレーナ取付部 コネクタの強度 計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-3-3-3-3-1-6	残留熱除去系ス トレーナ取付部 サポートの強度 計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -3-3-3-3-1-8-2	管の応力計算書 （残留熱除去系）	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-3-4-1-6-2	管の応力計算書 （高圧炉心スプ レイ系）	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-3-4-2-6-2	管の応力計算書 （低圧炉心スプ レイ系）	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-3-4-3-3-2	管の応力計算書 （高圧原子炉代 替注水系）	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-3-3-3-4-4-1	原子炉隔離時冷 却系ストレーナ の強度計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-3-3-3-4-4-2	ストレーナ部テ ィーの応力計算 書（原子炉隔離時 冷却系）	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI -3-3-3-4-5-2-2	管の応力計算書 （低圧原子炉代 替注水系）	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-3-5-1-3-2	管の応力計算書 （原子炉隔離時 冷却系）	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-3-6-1-6-2	管の応力計算書 （原子炉補機冷 却系及び原子炉 補機海水系）	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-3-6-2-6-2	管の応力計算書 （高圧炉心スプ レイ補機冷却系 及び高圧炉心ス プレイ補機海水 系）	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（20/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-15					
VI -3-3-3-6-3-5-2	管の応力計算書 (原子炉補機代 替冷却系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-3-7-1-1-2	管の応力計算書 (原子炉浄化系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-4-2-1-3-2	管の応力計算書 (制御棒駆動水 圧系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-4-3-1-3-2	管の応力計算書 (ほう酸水注入 系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-4-4-1-2-2	管の応力計算書 (逃がし安全弁 窒素ガス供給系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-6-1-2-2-2	管の応力計算書 (中央制御室空 気供給系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-6-1-3-2-2	管の応力計算書 (緊急時対策所 換気空調系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-3-3-7-1-3	サブプレッション チェンバの強度 計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-3-3-7-1-11	サブプレッション チェンバアクセ スハッチの強度 計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-3-3-7-1-15	配管貫通部の強 度計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-3-3-7-1-18	電気配線貫通部 の強度計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-3-3-7-2-1-1	ベント管の強度 計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-3-3-7-2-1-3	ベント管の強度 計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（21/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-15					
VI -3-3-7-2-2-1-2	管の応力計算書 (格納容器代替 スプレイ系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-7-2-2-3-1-2	管の応力計算書 (ペDESTAL代 替注水系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI -3-3-7-2-2-4-3-2	管の応力計算書 (残留熱代替除 去系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-3-3-7-3-1-1-2	管の応力計算書 (非常用ガス処 理系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-3-3-7-3-2-1-2	管の応力計算書 (窒素ガス代替 注入系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-3-3-7-4-1-2-2	管の応力計算書 (窒素ガス制御 系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-3-3-7-5-1-2-2	管の応力計算書 (格納容器フィ ルタベント系)	資料番号	VI-5-15					
		コード名	HISAP					
VI-3-別添 1-4	竜巻防護鋼板の 強度計算書	資料番号	VI-5-43					
		コード名	Virtual Performance Solution					
VI-3-別添 1-5	架構の強度計算 書	資料番号	VI-5-43					
		コード名	Virtual Performance Solution					
VI-3-別添 1-6	竜巻より防護す べき施設を内包 する施設の強度 計算書	資料番号	VI-5-24	VI-5-44				
		コード名	NUPP4	LS-DYNA				
VI-3-別添 1-10	排気筒の強度計 算書	資料番号	VI-5-43					
		コード名	Virtual Performance Solution					
VI-3-別添 1-13-1	建物の強度計算 書	資料番号	VI-5-24					
		コード名	NUPP4					
VI-3-別添 1-13-4	1号機排気筒の 強度計算書	資料番号	VI-5-43					
		コード名	Virtual Performance Solution					

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（22/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-5					
VI-3-別添 1-13-5	復水貯蔵タンク 遮蔽壁の強度計 算書	資料番号	VI-5-5					
		コード名	TDAPIII					
VI-3-別添 2-5	原子炉建物の強 度計算書	資料番号	VI-5-24	VI-5-39				
		コード名	NUPP4	fappase				
VI-3-別添 2-6	タービン建物の 強度計算書	資料番号	VI-5-24	VI-5-45				
		コード名	NUPP4	SD				
VI-3-別添 2-7	制御室建物の強 度計算書	資料番号	VI-5-24	VI-5-26				
		コード名	NUPP4	FINAL				
VI-3-別添 2-8	廃棄物処理建物 の強度計算書	資料番号	VI-5-24					
		コード名	NUPP4					
VI-3-別添 2-9	排気筒モニタ室 の強度計算書	資料番号	VI-5-24	VI-5-27				
		コード名	NUPP4	KANSAS2				
VI-3-別添 2-10	ディーゼル燃料 貯蔵タンク室及 びB-ディーゼ ル燃料貯蔵タン ク格納槽の強度 計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-6				
		コード名	TDAPIII	MSC NASTRAN				
VI-3-別添 2-12	ディーゼル燃料 移送ポンプ防護 対策設備の強度 計算書	資料番号	VI-5-6					
		コード名	MSC NASTRAN					
VI-3-別添 3-2-1-1	防波壁（波返重 力擁壁）の強度 計算書	資料番号	VI-5-5	VI-5-40	VI-5-44	VI-5-56	VI-5-57	VI-5-61
		コード名	TDAPIII	FLIP	LS-DYNA	FINAS/STAR	EMRGING	CPOSTSK
VI-3-別添 3-2-1-2	防波壁（逆T擁 壁）の強度計算 書	資料番号	VI-5-40	VI-5-41	VI-5-44	VI-5-57	VI-5-61	
		コード名	FLIP	NX NASTRAN	LS-DYNA	EMRGING	CPOSTSK	
VI-3-別添 3-2-1-3	防波壁（多重鋼 管杭式擁壁）の 強度計算書	資料番号	VI-5-40	VI-5-44	VI-5-56	VI-5-57	VI-5-61	
		コード名	FLIP	LS-DYNA	FINAS/STAR	EMRGING	CPOSTSK	
VI-3-別添 3-2-2	防波壁通路防波 扉の強度計算書	資料番号	VI-5-29	VI-5-40	VI-5-44	VI-5-61		
		コード名	RC 断面計算	FLIP	LS-DYNA	CPOSTSK		
VI-3-別添 3-2-5	防水壁の強度計 算書	資料番号	VI-5-27	VI-5-45				
		コード名	KANSAS2	SD				

計算機プログラム（解析コード）を適用している添付書類（23/23）

目録番号	目録名称	適用コード名						
		資料番号	VI-5-19	VI-5-27				
VI-3-別添 3-2-6	水密扉の強度計算書	資料番号	VI-5-19	VI-5-27				
		コード名	FREMING	KANSAS2				
VI-3-別添 3-2-8	隔離弁，機器・配管の強度計算書	資料番号	VI-5-6	VI-5-15	VI-5-42			
		コード名	MSC NASTRAN	HISAP	MSAP			
VI-3-別添 3-2-10	取水槽水位計の強度計算書	資料番号	VI-5-52					
		コード名	NSAFE					
VI-3-別添 3-4-1	防水壁の強度計算書（溢水）	資料番号	VI-5-6	VI-5-19				
		コード名	MSC NASTRAN	FREMING				
VI-3-別添 3-4-2	水密扉の強度計算書（溢水）	資料番号	VI-5-27					
		コード名	KANSAS2					
VI-3-別添 3-4-4	堰の強度計算書	資料番号	VI-5-27					
		コード名	KANSAS2					
VI-3-別添 6-1	炉心支持構造物の強度計算書	資料番号	VI-5-34	VI-5-35				
		コード名	ASHSD2-B	TACF				
VI-4-2-3	屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書	資料番号	VI-5-11					
		コード名	QAD-CGGP2R					



VI-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ F R A M E （面内）

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）FRAME（面内）について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-7	屋外排水路逆止弁の耐震性についての計算書	Ver. 6
VI-2-11-2-5	取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の耐震性についての計算書	Ver. 6

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	FRAME (面内)
使用目的	2次元骨組構造解析 (断面力算出)
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	1998年
使用したバージョン	Ver. 6
コードの概要	<p>FRAME (面内) (以下「本解析コード」という。)は、株式会社フォーラムエイトによって開発された、平面骨組構造解析の汎用市販コードである。</p> <p>本解析コードは、微小変位理論による変位法を用いて、2次元平面骨組モデルの断面力・変位・反力を算出するための構造解析プログラムである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材料力学分野における一般的知見によって解を求めることができる体系について、2次元骨組モデルによる断面力について理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論解に一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、国内の土木建築分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、常設低圧代替注水系ポンプ室及び代替淡水貯槽の平面骨組解析 (断面力算出) に本解析コード (Ver. 5.0.4) が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 6 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において、本解析の使用範囲の結果に影響の無いことを確認している。</li> <li>・本解析コードの理論は、一般的に認知されているものであり、本工事計画で使用する2次元骨組モデルによる断面力算定での適用は妥当である。</li> <li>・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

## VI-5-2 計算機プログラム（解析コード）の概要

・ TONBOS

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

1. はじめに

本資料は、VI-1-1-3-3-2「竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定」において使用した計算機プログラム（解析コード）TONBOSについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。



1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-3-3-2	竜巻の影響を考慮する施設及び固縛対象物の選定	Ver.3

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名
	TONBOS
使用目的	竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価
開発機関	一般財団法人 電力中央研究所
開発時期	2014 年
使用したバージョン	Ver. 3
コードの概要	<p>本解析コードは、一般財団法人電力中央研究所にて開発・保守されているプログラムである。</p> <p>空気中の物体が受ける抗力、揚力による運動を計算することで、竜巻による風速場の中での飛来物の軌跡を解析することができる解析コードであり、飛来物の速度、飛散距離及び飛散高さ等の算出が実施できる。</p> <p>本解析コードでは、風速場モデルとしてフジタモデル DBT-77 (DBT:Design Basis Tornado) とランキン渦モデルを選択できるが、使用する風速場は、地面付近の風速場をよく表現できているフジタモデル DBT-77 とする。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>TONBOS は、竜巻により発生する飛来物の速度及び飛散距離等の評価に使用している。</p> <p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証は、一般財団法人電力中央研究所により実施しており、内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>自動車飛散解析において、フジタスケールの各スケールに対応する被災状況と概ね合致した結果が得られている。</li> <li>パイプ飛散解析において、Grand Gulf 原子力発電所への竜巻襲来事例と概ね合致した結果が得られている。</li> <li>自動車やトラックの飛散解析において、佐呂間竜巻での車両飛散事例と概ね一致した結果を得られている。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>本解析コードは、竜巻により発生する飛来物の速度、飛散距離及び飛散高さ等の評価を目的に開発されたコードであり、使用目的が合致している。</li> <li>今回の評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

VI-5-3 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ D t r a n s u - 3 D ・ E L

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3
3. 解析手法について .....	4
3.1 一般事項 .....	4
3.2 解析コードの特徴 .....	4
3.3 数値解析 .....	4
4. 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation) .....	5
4.1 検証 (Verification) .....	5
4.2 直列モデル .....	5
4.3 並列モデル .....	8
4.4 Thiem の井戸理論 (定常) .....	11
4.5 均質非定常問題 .....	15
4.6 妥当性確認 (Validation) .....	19
4.7 評価結果 .....	19
5. 参考文献 .....	19

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）Dtransu-3D・EL について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
VI-2-1-3	地盤の支持性能に係る基本方針	Ver. 2. 0af90

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	Dtransu-3D・EL
使用目的	浸透流解析
開発機関	岡山大学名誉教授 西垣誠 三菱マテリアル株式会社 株式会社ダイヤコンサルタント
開発時期	2017年（初版開発時期2001年）
使用したバージョン	Ver. 2.0af90
コードの概要	<p>Dtransu-3D・ELは、オイラリアン・ラグランジアン手法による飽和・不飽和浸透流-移流・分散解析プログラムであり、3次元モデルにおける密度勾配を考慮した飽和・不飽和浸透流及び移流・分散問題を対象とした解析コードである。特に、移流・分散解析においてオイラリアン・ラグランジアン手法を用い、高ペクレ数から低ペクレ数の問題に対して安定した解析が可能である。</p> <p>適用事例は、一般的な地下水解析、汚染物質を含む移流・分散解析等多岐にわたる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>本解析コードは、有限要素法を用いた3次元飽和・不飽和浸透流及び移流・分散解析プログラムであり、西垣らにより一般公開され地下水及び移流・分散解析に広く利用されていることを確認している。</li> <li>浸透並びに移流・分散解析の標準的問題を例に、理論解と解析解を比較し、よく一致していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>本解析コードは、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構において、幌延深地層研究計画地点での地下水流動場を理解するための研究に使用された実績がある。</li> <li>上記の他、本解析コードは土木、環境、資源、エネルギー、農林水産、災害・防災などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> </ul>

### 3. 解析手法について

#### 3.1 一般事項

Dtransu-3D・EL は、様々な地下水及び汚染物質を含む移流・分散現象を評価するために、非常に大規模な 3次元非定常問題を高速で解析することを目的として開発されたものである。

#### 3.2 解析コードの特徴

本シミュレーションシステムは、地下水流動及び汚染物質を含む移流・分散について、統一的な数学モデルのもとで同時に扱うことを可能にし、対象とする地下水問題をオイラリアン・ラグランジアン手法により、高ペクレ数から低ペクレ数の問題に対して安定した解析を可能にした解析コードである。

主な適用分野は、トンネル建設や地下構造物による地下水保全問題等の「水資源問題」、農薬や廃棄物による土壌・地下水汚染や放射性廃棄物の地層処分などに代表される「水環境問題」、豪雨時における斜面崩壊などの「水災害問題」である。

#### 3.3 数値解析

空間離散化は、複雑な地形起伏や地盤物性分布、地下構造物形状を 3次元の有限要素を用いてモデル化し、それぞれの有限要素内でダルシー則に従った質量保存則を考慮することで浸透現象を正確に評価する。

また、地下水流動については既に広く使われている飽和・不飽和浸透流解析の手法を用いて計算を行っている。

汚染物質を含む移流・分散解析では、連成問題として、まず浸透（圧力水頭（ $\phi$ ））を解いて、次に移流分散（濃度（ $c$ ））を解く手法を用いている。このように 2段階に分けて各未知量を解き、反復収束解析を行うことで（ $\phi$ ）と（ $c$ ）の連成を行う一般的に使われている実用的な手法を用いている。さらに高ペクレ数から低ペクレ数の問題に対して安定した解析を行うためにオイラリアン・ラグランジアン手法を用いている。



## 4. 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

### 4.1 検証 (Verification)

本コードの検証として、多層地盤における浸透問題の検討を行った。地層が直列に複数存在している場合 (直列モデル) 及び地層が層になっている場合 (並列モデル) での流量の比較を行った。次に、Thiem の井戸理論との比較を行い水面形状や流量の比較を行った。

また、非定常の水面変化について均質非定常問題を解くことで検証した。

### 4.2 直列モデル

#### (1) テストケース

モデルの概念図を図 4-1 に示す。

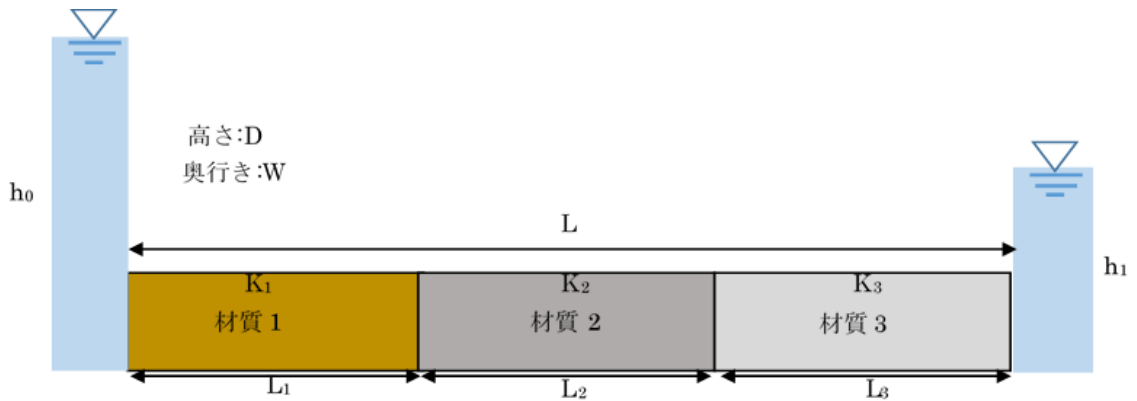


図 4-1 モデルの概念図

ある境界水位を与えた際の右端部境界面における流量 ( $Q[\text{m}^3/\text{sec}]$ ) を求め、理論解と比較する。

また、 $L_1$  と  $L_2$  の境界における水頭 ( $h_a[\text{m}]$ ) を求め、理論解と比較する。

理論解は次式によって与えられる。

$$Q = KIDW$$

$$K = \frac{L}{\left(\frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2} + \frac{L_3}{K_3}\right)}$$

$$I = \frac{h_0 - h_1}{L} = \frac{\Delta H}{L}$$

$$h_a = h_0 - \frac{L_1}{K_1} K \frac{(h_0 - h_1)}{L}$$

ここで、 $K$  は等価透水係数[m/s]、 $I$  は動水勾配、 $L$  は長さ[m]、 $D$  は高さ[m]、 $W$  は奥行き[m]、 $h_0$  及び  $h_1$  は境界の既知全水頭[m]である。

(2)解析モデル

解析に用いる FEM モデルを図 4-2 に、FEM モデルの諸元を表 4-1 に示す。

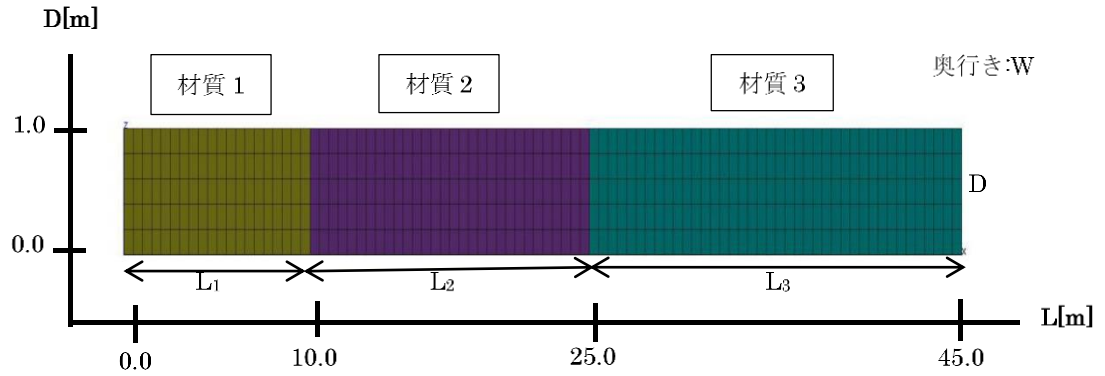


図 4-2 FEM モデル

表 4-1 FEM モデルの諸元

	設定値
節点数	1092
要素数	450
X 方向分割数	90
Y 方向分割数	1
Z 方向分割数	5
$L_1$ [m]	10.0
$L_2$ [m]	15.0
$L_3$ [m]	20.0
$D$ [m]	1.0
$W$ [m]	1.0

## (3) 解析条件

解析に用いる条件について表 4-2, 表 4-3 に示す。

表 4-2 解析条件

	記号	単位	材質 1	材質 2	材質 3
透水係数	K	m/s	$1.00 \times 10^{-5}$	$1.00 \times 10^{-7}$	$1.00 \times 10^{-4}$
間隙率	n	-	0.2	0.2	0.2

表 4-3 境界条件

	記号	単位	設定値
既知全水頭	$h_0$	m	5.0
既知全水頭	$h_1$	m	3.0

## (4) 結果

右端部境界面における流量と  $L_1$ ,  $L_2$  境界における水頭値を比較した。

理論解と Dtransu-3D・EL での計算解の結果を表 4-4, 表 4-5 に示す。

表 4-4 理論解

$K_1$ [m/s]	$K_2$ [m/s]	$K_3$ [m/s]	等価透水係数 [m/s]
$1.00 \times 10^{-5}$	$1.00 \times 10^{-7}$	$1.00 \times 10^{-4}$	$2.98 \times 10^{-7}$

K [m/s]	I	D [m]	W [m]	$K_1$ [m/s]	$L_1$ [m]	理論解 Q [m <sup>3</sup> /s]	理論解 $h_a$ [m]
$2.98 \times 10^{-7}$	0.044	1.0	1.0	$1.00 \times 10^{-5}$	10.0	$1.32 \times 10^{-8}$	4.987

表 4-5 計算解

$L_1$ , $L_2$ 境界における水頭値 (計算解) $h_a$ [m]
4.987

	右端部境界面における流量 (計算解) Q [m <sup>3</sup> /s]	
各節点*	$6.61 \times 10^{-10}$	$6.61 \times 10^{-10}$
	$1.32 \times 10^{-9}$	$1.32 \times 10^{-9}$
	$1.32 \times 10^{-9}$	$1.32 \times 10^{-9}$
	$1.32 \times 10^{-9}$	$1.32 \times 10^{-9}$
	$1.32 \times 10^{-9}$	$1.32 \times 10^{-9}$
	$6.61 \times 10^{-10}$	$6.61 \times 10^{-10}$
合計	$1.32 \times 10^{-8}$	

注記\* : 各節点位置は表の縦方面が解析モデルの高さ,  
横方向が解析モデルの奥行きに対応している。

## 4.3 並列モデル

## (1) テストケース

モデルの概念図を図 4-3 に示す。

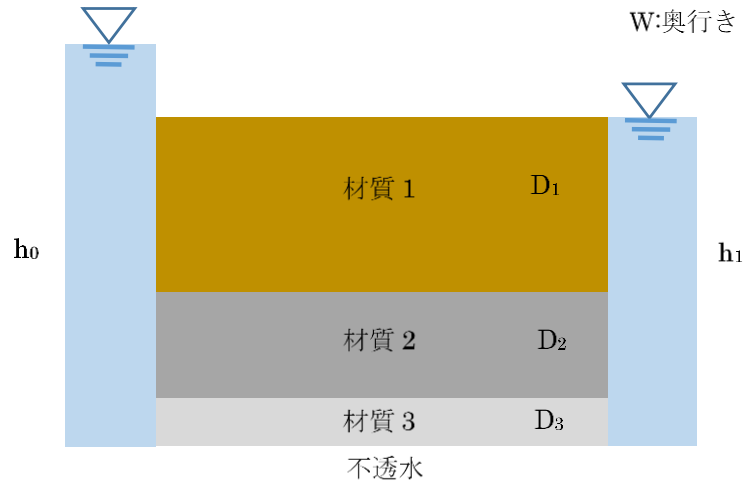


図 4-3 モデルの概念図

ある境界水位を与えた際の境界面における流量(Q)を求め、理論解と比較する。

理論解は次式によって与えられる。

$$Q = (K_1 D_1 + K_2 D_2 + K_3 D_3) I W$$

ここで、各 K は透水係数[m/s]、I は動水勾配、各 D は層厚[m]、W は奥行き[m]である。

## (2) 解析モデル

解析に用いる FEM モデルを図 4-4 に、FEM モデルの諸元を表 4-6 に示す。

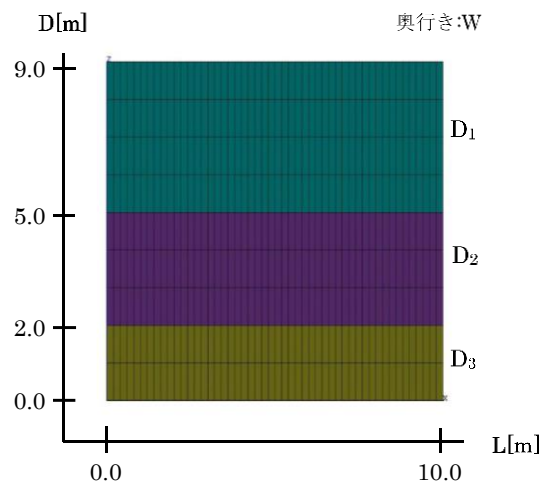


図 4-4 FEM モデル

表 4-6 FEM モデルの諸元

	設定値
節点数	1020
要素数	450
X 方向分割数	50
Y 方向分割数	1
Z 方向分割数	9
D <sub>1</sub> [m]	4.0
D <sub>2</sub> [m]	3.0
D <sub>3</sub> [m]	2.0
L [m]	10.0
W [m]	1.0

## (3) 解析条件

解析に用いる条件について表 4-7, 表 4-8 に示す。

表 4-7 解析条件

	記号	単位	材質 1	材質 2	材質 3
透水係数	K	m/s	$1.00 \times 10^{-7}$	$1.00 \times 10^{-5}$	$1.00 \times 10^{-6}$
間隙率	n	-	0.2	0.2	0.2

表 4-8 境界条件

	記号	単位	設定値
既知全水頭	$h_0$	m	11.0
既知全水頭	$h_1$	m	9.0

(4) 結果

境界面における流量を比較した。

理論解と Dtransu-3D・EL での計算解の結果を表 4-9, 表 4-10 に示す。

表 4-9 理論解

$K_1$ [m/s]	$K_2$ [m/s]	$K_3$ [m/s]	$D_1$ [m]	$D_2$ [m]	$D_3$ [m]	$W$ [m]	$I$	理論解 $Q$ [ $m^3/s$ ]
$1.00 \times 10^{-7}$	$1.00 \times 10^{-5}$	$1.00 \times 10^{-6}$	4.0	3.0	2.0	1.0	$2.00 \times 10^{-1}$	$6.48 \times 10^{-6}$

表 4-10 計算解

	境界面における流量(計算解) $Q$ [ $m^3/s$ ]	
	各節点 *	$5.00 \times 10^{-9}$
$1.00 \times 10^{-8}$		$1.00 \times 10^{-8}$
$1.00 \times 10^{-8}$		$1.00 \times 10^{-8}$
$1.00 \times 10^{-8}$		$1.00 \times 10^{-8}$
$5.05 \times 10^{-7}$		$5.05 \times 10^{-7}$
$1.00 \times 10^{-6}$		$1.00 \times 10^{-6}$
$1.00 \times 10^{-6}$		$1.00 \times 10^{-6}$
$5.50 \times 10^{-7}$		$5.50 \times 10^{-7}$
$1.00 \times 10^{-7}$		$1.00 \times 10^{-7}$
$5.00 \times 10^{-8}$		$5.00 \times 10^{-8}$
合計	$6.48 \times 10^{-6}$	

注記\* : 各節点位置は表の縦方面が解析モデルの高さ,  
横方向が解析モデルの奥行きに対応している。

#### 4.4 Thiem の井戸理論 (定常)

##### (1) テストケース

モデルの概念図を図 4-5 に示す。

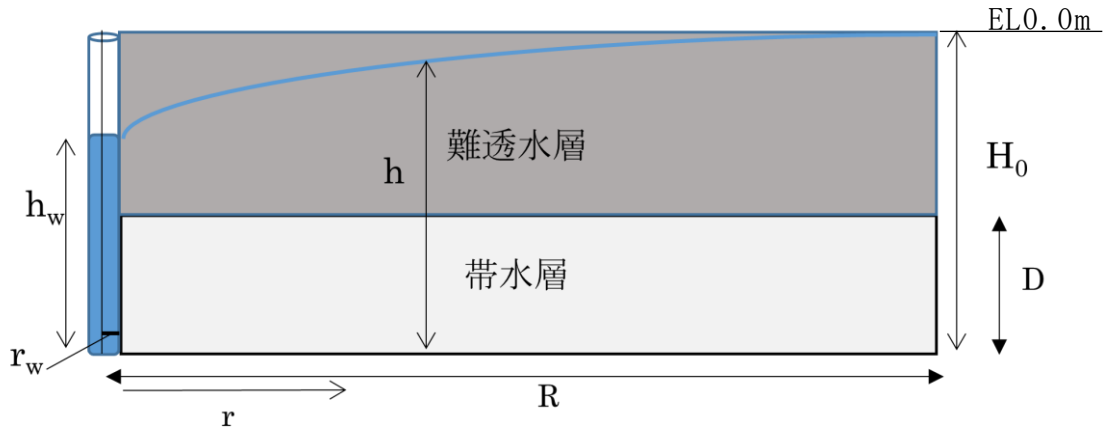


図 4-5 モデルの概念図

ある境界水位と井戸内水位を与えた際の境界面における流量(Q)を求め、理論解と比較する。

また、影響圏における水位(h)を求め、理論解と比較する。

理論解は次式によって与えられる。

$$Q = 2\pi KD \frac{H_0 - h}{\ln(R/r)}$$

$$H_0 - h = \frac{H_0 - h_w}{\ln(R/r_w)} \ln(R/r)$$

ここで、 $r_w$ は井戸半径[m]、 $r$ は井戸からの半径距離[m]、 $R$ は影響圏半径[m]、 $D$ は帯水層の層厚[m]、 $h_w$ は井戸内水位[m]、 $H_0$ は境界水位[m]、 $K$ は透水係数[m/s]である。

(2)解析モデル

解析に用いるモデルは帯水層のみを FEM モデル化した。また，理論解におけるモデルは，井戸周囲 360° あるうちの一部（軸対称モデル）となっているため，FEM モデル化にあたり 1° 分切り出したモデルとした。FEM モデルを図 4-6 に，FEM モデルの諸元を表 4-11 に示す。

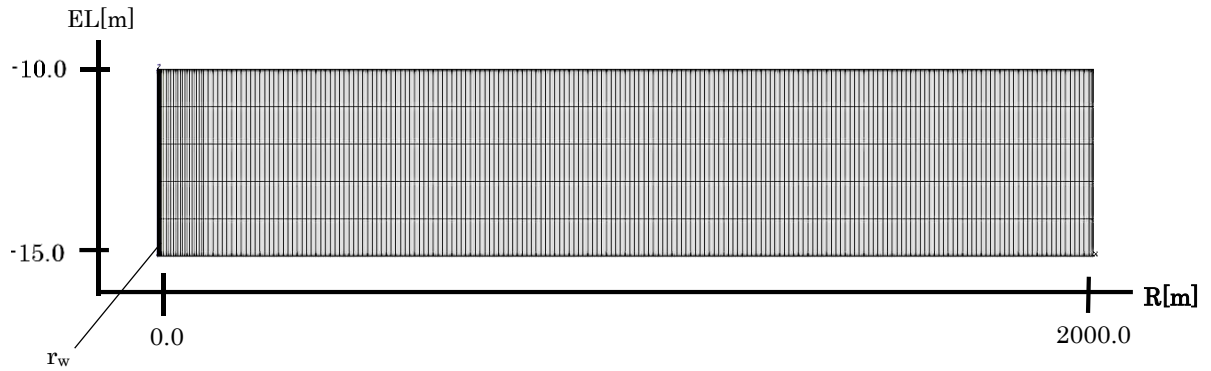


図 4-6 FEM モデル

表 4-11 FEM モデルの諸元

	設定値
節点数	3396
要素数	1410
X 方向分割数	282
Y 方向分割数	1
Z 方向分割数	5
D[m]	5.0
R[m]	2000.0
$r_w$ [m]	0.02



## (3) 解析条件

解析に用いる条件について表 4-12, 表 4-13 に示す。

表 4-12 解析条件

	記号	単位	帯水層
透水係数	K	m/s	$1.00 \times 10^{-6}$
間隙率	n	-	0.2

表 4-13 境界条件

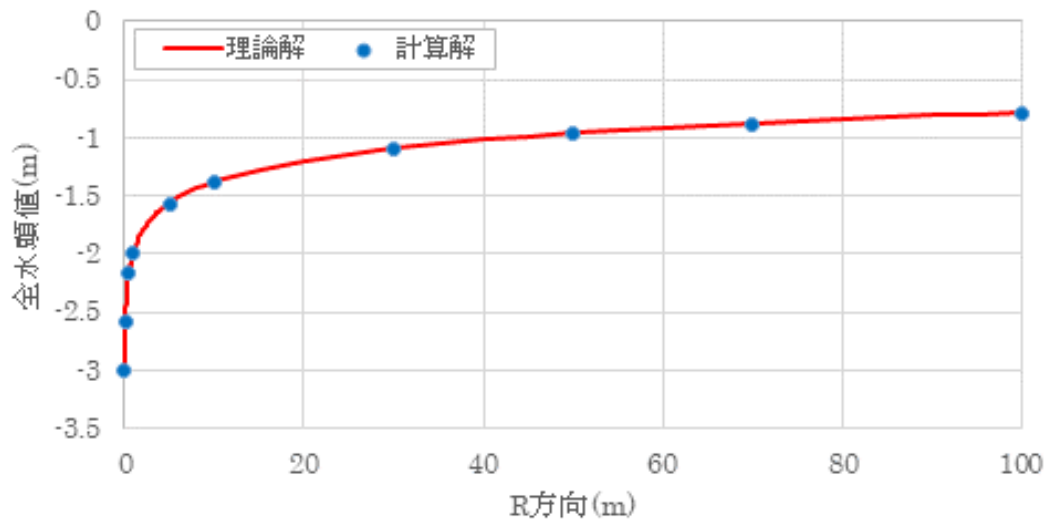
	記号	単位	設定値
井戸内水位*	$h_w$	m	-3.0
既知全水頭	$H_0$	m	0.0

注記\* : 解析モデルは帯水層のみをモデル化しており,  
全水頭の基準は EL0.0m(難透水層の天端)としている。

## (4) 結果

R 方向各地点での全水頭値を比較した。

理論解と Dtransu-3D・EL による計算解の比較結果を図 4-7 に示す。



注記\* : 解析モデルは帯水層のみをモデル化しており,  
全水頭の基準は EL0.0m(難透水層の天端)としている。

図 4-7 理論解と Dtransu-3D・EL による計算解の比較

また、井戸との境界における流量を比較した。

理論解と Dtransu-3D・EL による計算解の結果を表 4-14、表 4-15 に示す。

表 4-14 理論解

r[m]	K[m/s]	D[m]	Ho[m]	h <sub>w</sub> [m]	理論解 Q [m <sup>3</sup> /s]
0.02	1.00×10 <sup>-6</sup>	5.0	0.0	-3.0	8.19×10 <sup>-6</sup>

表 4-15 計算解

	井戸との境界における流量(計算解) Q[m <sup>3</sup> /s]	
	各節点*	9.44×10 <sup>-10</sup>
	1.89×10 <sup>-9</sup>	2.68×10 <sup>-9</sup>
	1.89×10 <sup>-9</sup>	2.68×10 <sup>-9</sup>
	1.89×10 <sup>-9</sup>	2.68×10 <sup>-9</sup>
	1.89×10 <sup>-9</sup>	2.68×10 <sup>-9</sup>
	9.44×10 <sup>-10</sup>	1.34×10 <sup>-9</sup>
合計 (各節点流量計×360)	8.22×10 <sup>-6</sup>	

注記\*：各節点位置は表の縦方面が解析モデルの高さ、  
横方向が解析モデルの奥行きに対応している。

(5) 誤差評価

誤差評価は RMSE (平均二乗平方根誤差) で行った。データ数を N, 理論解を T<sub>i</sub> (i = 1, …, N) とし, Dtransu-3D・EL 計算解を A<sub>i</sub> (i = 1, …, N) とすると, RMSE は次式で表される。誤差評価の結果を表 4-16 に示す。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (T_i - A_i)^2}$$

表 4-16 誤差評価

比較点数	全水頭の RMSE [m]
93	0.0543

## 4.5 均質非定常問題

### (1) テストケース

モデルの概念図を図4-8に示す。

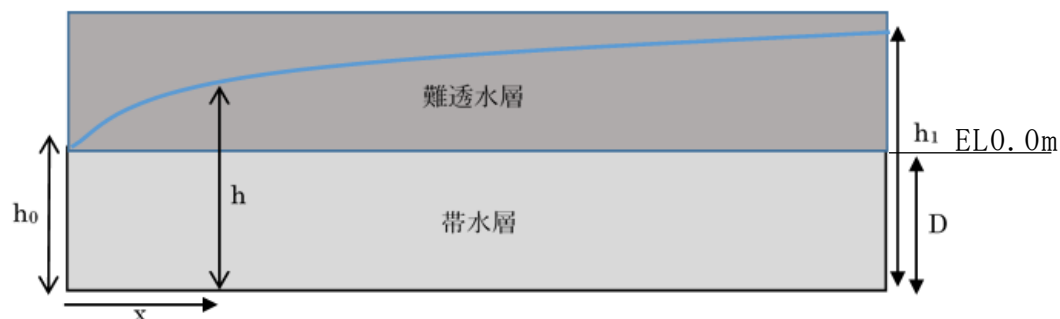


図4-8 モデルの概念図

非定常における理論解は次式によって与えられる。

$$h_1 - h = (h_1 - h_0) \operatorname{erfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{t(k/S_s)}} \right)$$

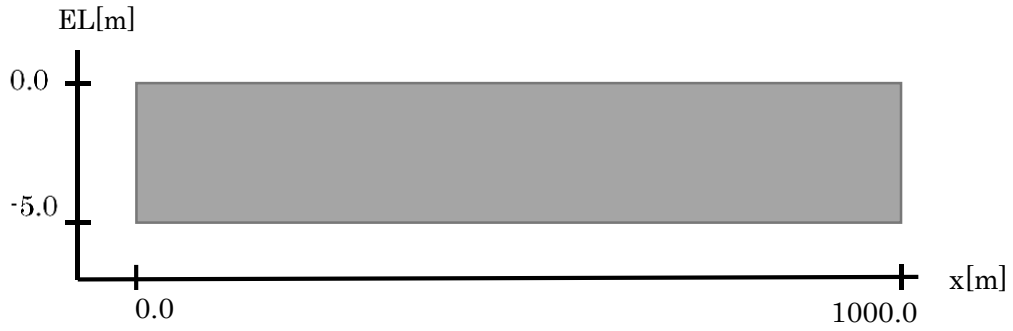
余誤差関数

$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x)$$

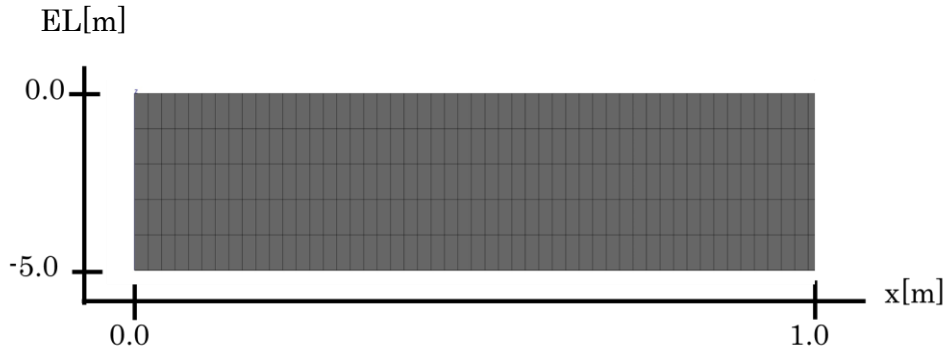
ここで、 $x$  は水平方向の距離[m]、 $k$  は透水係数[m/s]、 $S_s$  は比貯留係数[1/m]、 $t$  は時間[s]、 $D$  は帯水層の層厚[m]、 $h_0$  及び  $h_1$  は境界の既知全水頭[m]である。

## (2) 解析モデル

解析に用いるモデルは帯水層のみを FEM モデル化した。FEM モデルを図 4-9 に、FEM モデルの諸元を表 4-17 に示す。



(a) 全体図



(b) 拡大図

図 4-9 FEM モデル

表 4-17 FEM モデルの諸元

	設定値
節点数	57612
要素数	24000
X 方向分割数	4800
Y 方向分割数	1
Z 方向分割数	5
x [m]	1000.0

(3) 解析条件

解析に用いる条件について表 4-18, 表 4-19 に示す。

表 4-18 解析条件

	記号	単位	帯水層
透水係数	K	m/s	$1.00 \times 10^{-9}$
間隙率	n	-	0.2
比貯留係数	$S_s$	1/m	$1.00 \times 10^{-4}$

表 4-19 境界条件

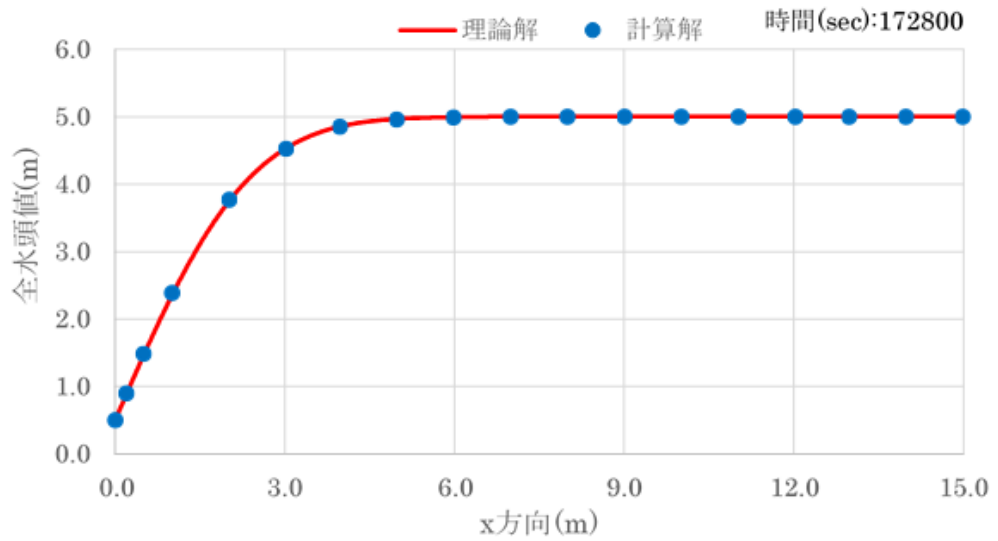
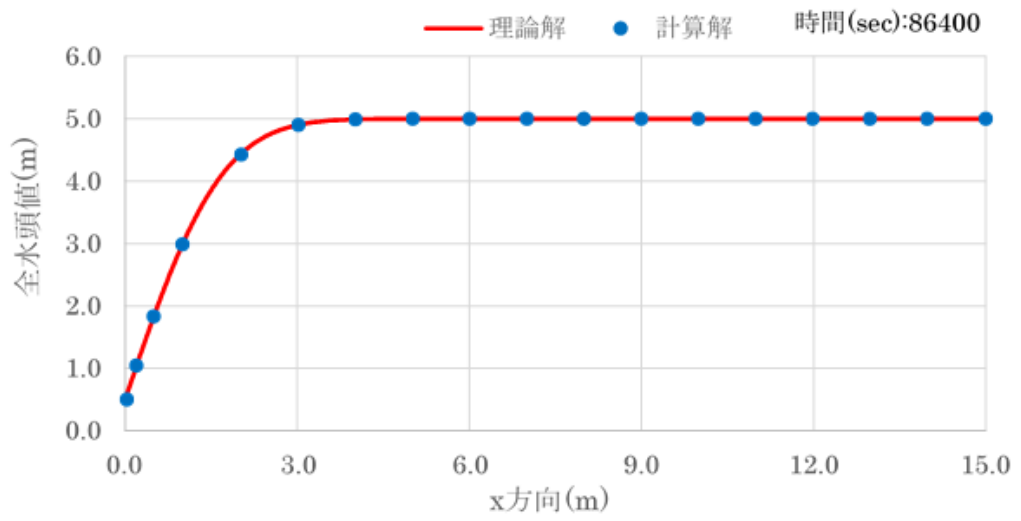
	記号	単位	設定値
既知全水頭*	$h_1$	m	5.0
既知全水頭	$h_0$	m	0.5

注記\* : 解析モデルは帯水層のみをモデル化しており, 全水頭の基準は EL0.0m(帯水層と難透水層の境界)としている。

(4) 結果

x 方向における全水頭値を比較した。

Dtransu-3D・EL 計算解と理論解との比較結果を図 4-10 に示す。



注記\* : 解析モデルは帯水層のみをモデル化しており, 全水頭の基準はEL0.0m(帯水層と難透水層の境界)としている。

図 4-10 計算解と理論解の比較

## (5) 誤差評価

誤差評価は RMSE (平均二乗平方根誤差) で行った。データ数を  $N$ 、理論解を  $T_i (i = 1, \dots, N)$  とし、Dtransu-3D・EL 計算解を  $A_i (i = 1, \dots, N)$  とすると、RMSE は次式で表される。誤差評価の結果を表 4-20 に示す。

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i (T_i - A_i)^2}$$

表 4-20 誤差評価

比較時間(sec)	比較点数	全水頭の RMSE [m]
86400	751	$1.68 \times 10^{-2}$
172800	751	$6.11 \times 10^{-3}$

## 4.6 妥当性確認 (Validation)

本解析コードは、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構において、幌延深地層研究計画地点での地下水流動場を理解するための研究に使用された実績がある。

また、本解析コードは土木、環境、資源、エネルギー、農林水産、災害・防災などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。

## 4.7 評価結果

「4.1 検証 (Verification)」から「4.6 妥当性確認 (Validation)」より、本解析コードを用いることは妥当である。

## 5. 参考文献

- ・ Dtransu-3D・EL 理論マニュアル (2011 年版)

VI-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ S H A K E



## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

## 1. はじめに

本資料は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」等において使用した計算機プログラム（解析コード）SHAKEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-2	原子炉建物の地震応答計算書	Ver. 1.5.1, Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.9
VI-2-2-5	制御室建物の地震応答計算書	Ver. 1.5.1, Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.9
VI-2-2-7	タービン建物の地震応答計算書	Ver. 1.5.1, Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.10
VI-2-2-9	廃棄物処理建物の地震応答計算書	Ver. 1.5.1, Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.10
VI-2-2-11	緊急時対策所の地震応答計算書	Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.9
VI-2-2-13	排気筒の地震応答計算書	Ver. 1.5.1, Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.10
VI-2-2-16	ガスタービン発電機建物の地震応答計算書	Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.9
VI-2-11-2-1-1	1号機原子炉建物の耐震性についての計算書	Ver. 1.5.1, Ver. 1.6.9
VI-2-11-2-1-2	1号機タービン建物の耐震性についての計算書	Ver. 1.5.1, Ver. 1.6.2, Ver. 1.6.8, Ver. 1.6.9
VI-2-11-2-1-3	1号機廃棄物処理建物の耐震性についての計算書	Ver. 1.5.1, Ver. 1.6.2, Ver. 1.6.8, Ver. 1.6.9
VI-2-11-2-2	1号機排気筒の耐震性についての計算書	Ver. 1.5.1, Ver. 1.6.2, Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.9

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SHAKE
使用目的	入力地震動の策定
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1971年
使用したバージョン	Ver. 1.5.1, Ver. 1.6.2, Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.8, Ver. 1.6.9, Ver. 1.6.10
コードの概要	<p>SHAKE（以下「本解析コード」という。）は、米国カリフォルニア大学から発表されたSHAKEを基本に開発されたもので、1次元重複反射理論に某づく地盤の伝達関数や時刻歴波形を算出するプログラムである。</p> <p>地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮することができ、また、鉛直動はS波速度<math>V_s</math>をP波速度<math>V_p</math>として定義することで、各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達関数、応答波形等を求めることが可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードによる弾性地盤の増幅特性の解析結果と公開文献*の理論解を比較し、両者が一致することを確認している。</li> <li>・動作環境を満足する計算機にインストールして使用していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、本解析コードの解析結果と公開文献*の理論解の一致をもって、解析機能の妥当性も確認している。</li> <li>・本工事計画における弾性地盤の応答評価の用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンのうちVer. 1.6.9は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンのうちVer. 1.5.1, Ver. 1.6.2, Ver. 1.6.3, Ver. 1.6.4, Ver. 1.6.5, Ver. 1.6.6, Ver. 1.6.8, Ver. 1.6.10は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> </ul>

注記\*：最新耐震構造解析 柴田明德著 231, 232頁 森北出版株式会社 第3版

VI-5-5 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ T D A P III

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	4
2.1 TDAPIII Ver. 3.04, Ver. 3.07 .....	4
2.2 TDAPIII Ver. 3.05 .....	6
2.3 TDAPIII Ver. 3.08 .....	7
2.4 TDAPIII Ver. 3.11 .....	8
2.5 TDAPIII Ver. 3.12, Ver. 3.13 .....	9

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）TDAPⅢについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-18	取水槽の地震応答計算書	Ver. 3.08 Ver. 3.12
VI-2-2-20	屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の地震応答計算書	Ver. 3.08 Ver. 3.12
VI-2-2-22	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の地震応答計算書	Ver. 3.04 Ver. 3.08
VI-2-2-24	屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の地震応答計算書	Ver. 3.08
VI-2-2-26	屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の地震応答計算書	Ver. 3.08
VI-2-2-28	取水管の耐震性についての計算書	Ver. 3.12
VI-2-2-29	取水口の耐震性についての計算書	Ver. 3.08 Ver. 3.13
VI-2-2-30	第1ベントフィルタ格納槽の地震応答計算書	Ver. 3.12
VI-2-2-31	第1ベントフィルタ格納槽の耐震性についての計算書	Ver. 3.12
VI-2-2-32	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答計算書	Ver. 3.12
VI-2-2-34	緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震性についての計算書	Ver. 3.12
VI-2-2-37	屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答計算書	Ver. 3.08
VI-2-2-39	屋外配管ダクト（排気筒）の耐震性についての計算書	Ver. 3.12
VI-2-10-2-2-1	防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書	Ver. 3.13
VI-2-11-2-3	免震重要棟遮蔽壁の耐震性についての計算書	Ver. 3.04
VI-2-11-2-12	復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性についての計算書	Ver. 3.04
VI-2-11-2-13	仮設耐震構台の耐震性についての計算書	Ver. 3.12
VI-2-11-2-14	土留め工（親杭）の耐震性についての計算書	Ver. 3.07
VI-2-11-2-15	ディーゼル燃料貯蔵タンク室の耐震性についての計算書	Ver. 3.12



使用添付書類		バージョン
VI-2-別添2-2	溢水源としないB, Cクラス機器の耐震性についての計算書	Ver. 3.05 Ver. 3.11 Ver. 3.12
VI-2-別添3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動	Ver. 3.12
VI-3-別添3-2-1-1	防波壁（波返重力擁壁）の強度計算書	Ver. 3.13
VI-2-別添4-2	地下水位低下設備の地震応答計算書	Ver. 3.12
VI-2-別添4-3-5	揚水井戸の耐震性についての計算書	Ver. 3.12
VI-2-別添4-3-6	ドレーンの耐震性についての計算書	Ver. 3.12
VI-3-別添1-13-5	復水貯蔵タンク遮蔽壁の強度計算書	Ver. 3.04
VI-3-別添2-10	ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の強度計算書	Ver. 3.04
VI-2-別添7-2-28	揚水井戸の耐震性についての計算書（掘削前）	Ver. 3.12

## 2. 解析コードの概要

### 2.1 TDAPⅢ Ver. 3.04, Ver. 3.07

項目	コード名
項目	TDAPⅢ
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver. 3.04, Ver. 3.07
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という。）は、2次元及び3次元有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサポートしており、日本国内では、建設部門を中心として、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。</p> <p>本解析の主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 2次元及び3次元有限要素プログラムである。</li> <li>② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。</li> <li>③ 線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。</li> <li>④ 静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。</li> <li>⑤ 地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。</li> </ol>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・橋梁、橋脚、地盤～構造物連成、地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。</li> <li>・関西電力株式会社高浜発電所第3号機において、海水ポンプ室、海水管トレンチ、海水取水トンネル、燃料油貯油そう基礎の2次元有限要素法解析による地震応答解析に本解析コード(Ver. 3.05)が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンは、高浜発電所第3号機の既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> <li>・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

項目 \ コード名	TDAPⅢ
使用目的	2次元有限要素法による静的応力解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver. 3.04
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という。）は、2次元及び3次元の有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサポートしており、日本国内では、建設部門を中心として、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。</p> <p>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 2次元及び3次元有限要素プログラムである。</li> <li>② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。</li> <li>③ 線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。</li> <li>④ 静的解析を引継いだ動的解析を行うことができる。</li> <li>⑤ 地盤及び構造物の非線形を考慮できる。</li> </ol>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・橋梁、橋脚、地盤～構造物連成、地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。</li> <li>・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）、常設低圧代替注水系ポンプ室、代替淡水貯槽の静的応力解析に本解析コード（Ver. 3.08）が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンは、東海第二発電所の既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> <li>・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

2.2 TDAPⅢ Ver. 3.05

項目 \ コード名	TDAPⅢ
使用目的	3次元有限要素法による地震応答解析 3次元有限要素法による静的応力解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver. 3.05
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という。）は、2次元及び3次元有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサポートしており、日本国内では、建設部門を中心として、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。</p> <p>本解析の主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 2次元及び3次元有限要素プログラムである。</li> <li>② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。</li> <li>③ 線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。</li> <li>④ 静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。</li> <li>⑤ 地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。</li> </ol>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・橋梁、橋脚、地盤～構造物連成、地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。</li> <li>・九州電力株式会社川内原子力発電所第1号機において、原子力格納施設の3次元有限要素法解析による地震応答解析に本解析コード(Ver. 2.0.0及びVer. 3.0.1)が使用された実績がある。</li> <li>・九州電力株式会社川内原子力発電所第1号機において、原子力格納施設の3次元有限要素法解析による静的応力解析に本解析コード(Ver. 3.05)が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析及び3次元静的線形FEM解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

2.3 TDAPⅢ Ver. 3.08

項目	コード名 TDAPⅢ
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析 2次元有限要素法による静的応力解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver. 3.08
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という。）は、2次元及び3次元有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサポートしており、日本国内では、建設部門を中心として、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。</p> <p>本解析の主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 2次元及び3次元有限要素プログラムである。</li> <li>② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。</li> <li>③ 線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。</li> <li>④ 静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。</li> <li>⑤ 地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。</li> </ol>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・橋梁、橋脚、地盤～構造物連成、地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。</li> <li>・東北電力株式会社女川原子力発電所第2号機において、ガスタービン発電設備軽油タンク室及び防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部の2次元有限要素法解析による地震応答解析に本解析コード（Ver. 3.08）が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

2.4 TDAPⅢ Ver. 3.11

コード名 項目	TDAPⅢ
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver. 3.11
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という。）は、2次元及び3次元有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサポートしており、日本国内では、建設部門を中心として、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。</p> <p>本解析の主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 2次元及び3次元有限要素プログラムである。</li> <li>② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。</li> <li>③ 線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。</li> <li>④ 静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。</li> <li>⑤ 地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。</li> </ol>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・橋梁、橋脚、地盤～構造物連成、地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。</li> <li>・東北電力株式会社女川原子力発電所第2号機において、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）の2次元有限要素法解析による地震応答解析に本解析コード（Ver. 3.11）が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

2.5 TDAPⅢ Ver. 3.12, Ver. 3.13

コード名 項目	TDAPⅢ
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver. 3.12, Ver. 3.13
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という。）は、2次元及び3次元有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサポートしており、日本国内では、建設部門を中心として、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。</p> <p>本解析の主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 2次元及び3次元有限要素プログラムである。</li> <li>② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。</li> <li>③ 線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。</li> <li>④ 静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。</li> <li>⑤ 地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。</li> </ol>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・橋梁、橋脚、地盤～構造物連成、地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。</li> <li>・東北電力株式会社女川原子力発電所第2号機において、ガスタービン発電設備軽油タンク室及び防潮堤（鋼管式鉛直壁）岩盤部の2次元有限要素法解析による地震応答解析に本解析コード（Ver. 3.08）が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンは、女川原子力発電所第2号機の既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> <li>・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

項目 \ コード名	TDAPⅢ
使用目的	2次元有限要素法による静的応力解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver. 3.12
コードの概要	<p>TDAPⅢ（以下「本解析コード」という。）は、2次元及び3次元の有限要素解析の汎用プログラムである。</p> <p>主として、地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。</p> <p>また、土木・建築分野に特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサポートしており、日本国内では、建設部門を中心として、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。</p> <p>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 2次元及び3次元有限要素プログラムである。</li> <li>② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。</li> <li>③ 線形要素、平面要素、立体要素等を用いることができる。</li> <li>④ 静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。</li> <li>⑤ 地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。</li> </ol>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・橋梁、橋脚、地盤～構造物連成、地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。</li> <li>・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、常設代替高圧電源装置用カルバート（立坑部）、常設低圧代替注水系ポンプ室、代替淡水貯槽の静的応力解析に本解析コード（Ver. 3.08）が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンは、東海第二発電所の既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> <li>・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>



VI-5-6 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・MSC NASTRAN

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	4
2.1 MSC NASTRAN Ver. 2013 .....	4
2.2 MSC NASTRAN Ver. 2013. 1. 1 .....	5
2.3 MSC NASTRAN Ver. 2005 .....	6
2.4 MSC NASTRAN Ver. 2019FP1 .....	7
2.5 MSC NASTRAN Ver. 2006r1 .....	8
2.6 MSC NASTRAN Ver. 2018. 2. 1 .....	9
2.7 MSC NASTRAN Ver. 2005r2 .....	10
2.8 MSC NASTRAN Ver. 2008. 0. 4 .....	11
2.9 MSC NASTRAN Ver. 2011. 1 .....	12
2.10 MSC NASTRAN Ver. 2008. 0. 0 .....	13

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）MSC NASTRAN について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
VI-1-2-1	原子炉本体の基礎に関する説明書	Ver. 2013
VI-2-2-12	緊急時対策所の耐震性についての計算書	Ver. 2013. 1. 1
VI-2-2-15	排気筒の基礎の耐震性についての計算書	Ver. 2013. 1. 1
VI-2-2-17	ガスタービン発電機建物の耐震性についての計算書	Ver. 2013. 1. 1
VI-2-2-29	取水口の耐震性についての計算書	Ver. 2013. 1. 1
VI-2-3-3-2-2	原子炉格納容器スタビライザの耐震性についての計算書	Ver. 2005
VI-2-3-3-3-11	原子炉中性子計装案内管の耐震性についての計算書	Ver. 2019FP1
VI-2-4-2-1	燃料プール（キャスク置場を含む）の耐震性についての計算書	Ver. 2013. 1. 1
VI-2-5-4-1-2	残留熱除去ポンプの耐震性についての計算書	Ver. 2006r1
VI-2-5-4-1-3	残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書	Ver. 2005 Ver. 2019FP1
VI-2-5-4-1-5	ストレーナ部ティーの耐震性についての計算書（残留熱除去系）	Ver. 2019FP1
VI-2-5-4-1-6	残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの耐震性についての計算書	Ver. 2019FP1
VI-2-5-4-1-7	残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの耐震性についての計算書	Ver. 2019FP1
VI-2-5-5-1-1	高圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算書	Ver. 2006r1 Ver. 2018. 2. 1
VI-2-5-5-2-1	低圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算書	Ver. 2006r1
VI-2-5-5-4-1	原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算書	Ver. 2005
VI-2-5-6-1-4	ストレーナ部ティーの耐震性についての計算書（原子炉隔離時冷却系）	Ver. 2005
VI-2-5-7-1-3	原子炉補機海水ポンプの耐震性についての計算書	Ver. 2018. 2. 1
VI-2-5-7-2-3	高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの耐震性についての計算書	Ver. 2018. 2. 1
VI-2-6-5-1	中性子源領域計装／中間領域計装の耐震性についての計算書	Ver. 2005
VI-2-6-7-3-1-3	衛星電話設備用アンテナ（中央制御室）の耐震性についての計算書	Ver. 2005r2
VI-2-6-7-3-1-5	緊急時対策所 衛星電話設備用ラックの耐震性についての計算書	Ver. 2005r2
VI-2-6-7-3-1-6	衛星電話設備用アンテナ（緊急時対策所）の耐震性についての計算書	Ver. 2005r2
VI-2-6-7-3-2-3	無線通信設備用アンテナ（中央制御室）の耐震性についての計算書	Ver. 2005r2
VI-2-6-7-3-2-5	緊急時対策所 無線通信設備用ラックの耐震性についての計算書	Ver. 2005r2
VI-2-6-7-3-2-6	無線通信設備用アンテナ（緊急時対策所）の耐震性についての計算書	Ver. 2005r2
VI-2-8-4-4	中央制御室待避室遮蔽の耐震性についての計算書	Ver. 2013. 1. 1
VI-2-9-2-2	サプレッションチェンバの耐震性についての計算書	Ver. 2019FP1
VI-2-9-2-3	サプレッションチェンバサポートの耐震性についての計算書	Ver. 2019FP1
VI-2-9-2-8	サプレッションチェンバアクセスハッチの耐震性についての計算書	Ver. 2019FP1
VI-2-9-2-10	配管貫通部の耐震性についての計算書	Ver. 2005
VI-2-9-2-11	電気配線貫通部の耐震性についての計算書	Ver. 2005

使用添付書類		バージョン
VI-2-9-3-1-2	原子炉建物主蒸気管トンネル室ブローアウトパネルの耐震性についての計算書	Ver. 2013. 1. 1
VI-2-9-4-2-1	ダウンカマの耐震性についての計算書	Ver. 2019FP1
VI-2-9-4-2-2	ベントヘッダの耐震性についての計算書	Ver. 2019FP1
VI-2-9-4-3	ベント管の耐震性についての計算書	Ver. 2019FP1
VI-2-9-4-4-1-1	ドライウェルスプレイ管の耐震性についての計算書	Ver. 2005
VI-2-9-4-4-1-2	サプレッションチェンバスプレイ管の耐震性についての計算書	Ver. 2019FP1
VI-2-9-4-7-1-4	遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算書	Ver. 2018. 2. 1
VI-2-10-1-2-3-1	ガスタービン発電機ガスタービン機関及び発電機の耐震性についての計算書	Ver. 2008. 0. 4 Ver. 2011. 1
VI-2-10-1-2-3-2	ガスタービン発電機励磁装置及び保護継電装置の耐震性についての計算書	Ver. 2008. 0. 4
VI-2-10-2-8	防水壁の耐震性についての計算書	Ver. 2013. 1. 1
VI-2-10-2-11	隔離弁、機器・配管の耐震性についての計算書	Ver. 2018. 2. 1
VI-2-11-2-7-4	チャンネル取扱ブームの耐震性についての計算書	Ver. 2018. 2. 1
VI-2-別添1-3-1	ボンベラックの耐震性についての計算書	Ver. 2018. 2. 1
VI-2-別添1-3-2	選択弁の耐震性についての計算書	Ver. 2018. 2. 1
VI-2-別添3-5	可搬型重大事故等対処設備のうち可搬型空気浄化設備の耐震性についての計算書	Ver. 2008. 0. 0
VI-3-3-3-3-1-3	残留熱除去系ストレーナの強度計算書	Ver. 2005 Ver. 2019FP1
VI-3-3-3-3-1-4	ストレーナ部ティーの応力計算書（残留熱除去系）	Ver. 2019FP1
VI-3-3-3-3-1-5	残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの強度計算書	Ver. 2019FP1
VI-3-3-3-3-1-6	残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの強度計算書	Ver. 2019FP1
VI-3-3-3-4-4-1	原子炉隔離時冷却系ストレーナの強度計算書	Ver. 2005
VI-3-3-3-4-4-2	ストレーナ部ティーの応力計算書（原子炉隔離時冷却系）	Ver. 2005
VI-3-3-7-1-3	サプレッションチェンバの強度計算書	Ver. 2019FP1
VI-3-3-7-1-11	サプレッションチェンバアクセスハッチの強度計算書	Ver. 2019FP1
VI-3-3-7-1-15	配管貫通部の強度計算書	Ver. 2005
VI-3-3-7-1-18	電気配線貫通部の強度計算書	Ver. 2005
VI-3-3-7-2-1-1	ベントヘッダ及びダウンカマの強度計算書	Ver. 2019FP1
VI-3-3-7-2-1-3	ベント管の強度計算書	Ver. 2019FP1
VI-3-3-7-2-2-1-1	ドライウェルスプレイ管の強度計算書	Ver. 2005
VI-3-3-7-2-2-1-3	サプレッションチェンバスプレイ管の強度計算書	Ver. 2013
VI-3-別添2-10	ディーゼル燃料貯蔵タンク室及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の強度計算書	Ver. 2013. 1. 1
VI-3-別添2-12	ディーゼル燃料移送ポンプ防護対策設備の強度計算書	Ver. 2019FP1
VI-3-別添3-4-1	防水壁の強度計算書（溢水）	Ver. 2013. 1. 1

## 2. 解析コードの概要

### 2.1 MSC NASTRAN Ver. 2013

項目	コード名 MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法（はり要素及びシェル要素）による応力解析
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2013
コードの概要	本解析コードは、航空機の機体強度解析を目的として開発された、有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。適用モデル（主にはり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等様々な分野の構造解析に使用されている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから、検証結果をもって、解析機能の妥当性も確認できる。</li> <li>・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

2.2 MSC NASTRAN Ver. 2013. 1. 1

項目	コード名 MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法（はり要素及びシェル要素）による固有値解析及び応力解析
開発機関	MSC. Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2013. 1. 1
コードの概要	本解析コードは、航空機の機体強度解析を目的として開発された、有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。適用モデル（主にははり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等様々な分野の構造解析に使用されている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について、本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから、検証結果をもって、解析機能の妥当性も確認できる。</li> <li>・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。</li> </ul>

2.3 MSC NASTRAN Ver. 2005

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法（はり要素及びシェル要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2005
コードの概要	本解析コードは，航空機の機体強度解析を目的として開発された，有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。適用モデル（主にははり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について，本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから，検証結果をもって，解析機能の妥当性も確認できる。</li> <li>・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>



2.4 MSC NASTRAN Ver. 2019FP1

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法（はり要素及びシェル要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2019FP1
コードの概要	本解析コードは，航空機の機体強度解析を目的として開発された，有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について，本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから，検証結果をもって，解析機能の妥当性も確認できる。</li> <li>・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

## 2.5 MSC NASTRAN Ver. 2006r1

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析及び地震応答解析
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2006r1
コードの概要	<p>本解析コードは、航空機の機体強度解析を目的として開発された、有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。適用モデル（主にはり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b>            本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b>            本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから、検証結果をもって、解析機能の妥当性も確認できる。</li> <li>・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

2.6 MSC NASTRAN Ver. 2018. 2. 1

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析及び地震応答解析
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2018. 2. 1
コードの概要	本解析コードは、航空機の機体強度解析を目的として開発された、有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。適用モデル（主にはり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等様々な分野の構造解析に使用されている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから、検証結果をもって、解析機能の妥当性も確認できる。</li> <li>・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

2.7 MSC NASTRAN Ver. 2005r2

項目	コード名 MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法（はり要素及びシェル要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2005r2
コードの概要	本解析コードは，航空機の機体強度解析を目的として開発された，有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について，本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから，検証結果をもって，解析機能の妥当性も確認できる。</li> <li>・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

2.8 MSC NASTRAN Ver. 2008. 0. 4

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法（はり要素及びシェル要素）による固有値解析
開発機関	MSC. Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2008. 0. 4
コードの概要	本解析コードは、航空機の機体強度解析を目的として開発された、有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。適用モデル（主にはり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等様々な分野の構造解析に使用されている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材料力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について、3次元有限要素法（はり要素及びシェル要素）による固有値解析について理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画認可申請で使用する3次元有限要素法（はり要素及びシェル要素）による固有値解析に本解析コードが適用できることを確認している。</li> <li>・今回の工事計画認可申請で行う3次元有限要素法（はり要素及びシェル要素）による固有値解析の用途及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。</li> </ul>

2.9 MSC NASTRAN Ver. 2011.1

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
使用目的	1次元有限要素法（はり要素）による変位量算出
開発機関	MSC Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2011.1
コードの概要	<p>本解析コードは、航空機の機体強度解析を目的として開発された、有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。適用モデル（主にはり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b>            本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材料力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について、1次元有限要素法（はり要素）による変位量算出について理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b>            本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画認可申請で使用する1次元有限要素法（はり要素）による変位量算出に本解析コードが適用できることを確認している。</li> <li>・今回の工事計画認可申請で行う1次元有限要素法（はり要素）による変位量算出の用途及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。</li> </ul>

2.10 MSC NASTRAN Ver. 2008. 0. 0

項目 \ コード名	MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法（はり要素及びシェル要素）による固有値解析
開発機関	MSC. Software Corporation
開発時期	1971年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 2008. 0. 0
コードの概要	本解析コードは、航空機の機体強度解析を目的として開発された、有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。適用モデル（主にはり要素、シェル要素、ソリッド要素）に対して、静的解析（線形、非線形）、動的解析（過渡応答解析、周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等様々な分野の構造解析に使用されている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、本解析コードを用いた3次元有限要素法による解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、自動車、航空機、土木、造船、海洋油田、工業設備、化学技術、光学、政府調査等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分確認されている。</li> <li>・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって解析機能の妥当性も確認している。</li> </ul>

VI-5-7 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ F l u e n t



## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3
2.1 Fluent Ver. 18.1.0 .....	3
2.2 Fluent Ver. 18.2.0 .....	4
2.3 Fluent Ver. 2020R1 .....	5

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）Fluentについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-9-3	溢水評価条件の設定	Ver. 18. 1. 0 Ver. 18. 2. 0 Ver. 2020R1
VI-1-1-9-4	溢水影響に関する評価	Ver. 18. 2. 0

## 2. 解析コードの概要

### 2.1 Fluent Ver. 18.1.0

項目 \ コード名	Fluent
使用目的	流体解析（燃料プール，原子炉ウェル及び気水分離器・蒸気乾燥器ピットのスロッシング）
開発機関	ANSYS Inc（アメリカ）
開発時期	2017年（初版開発時期 1983年）
使用したバージョン	Ver. 18.1.0
コードの概要	<p>本解析コードは，CFD解析の初心者からエキスパートまで，幅広い要求に応える使いやすさと多くの機能を備える。有限体積法をベースとした非構造格子に対応するソルバを搭載しており，化学反応，燃焼，混相流等が取り扱える。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは有限体積法を用いた汎用流体解析プログラムであり，数多くの研究機関や企業において，様々な分野の流体解析に広く利用されている。</li> <li>・矩形水槽を用いて正弦波加振によるスロッシング試験を実施し，溢水量と液面変動の試験結果と解析結果がよく一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの製品開発，テスト，メンテナンス，サポートの各プロセスは，United States Nuclear Regulatory Commission（アメリカ合衆国原子力規制委員会）の品質要件を満たしている。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは，航空宇宙，自動車，化学等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。</li> </ul>

2.2 Fluent Ver. 18.2.0

項目 \ コード名	Fluent
使用目的	流体解析（輪谷貯水槽（東側）のスロッシング及び溢水伝播挙動）
開発機関	ANSYS Inc（アメリカ）
開発時期	2017年（初版開発時期 1983年）
使用したバージョン	Ver. 18.2.0
コードの概要	<p>本解析コードは、CFD解析の初心者からエキスパートまで、幅広い要求に応える使いやすさと多くの機能を備える。有限体積法をベースとした非構造格子に対応するソルバを搭載しており、化学反応、燃焼、混相流等が取り扱える。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b>          本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは有限体積法を用いた汎用流体解析プログラムであり、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の流体解析に広く利用されている。</li> <li>・2次元ダムブレイク問題の解析結果と他の数値解法による結果を比較し、よく一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの製品開発、テスト、メンテナンス及びサポートの各プロセスは、United States Nuclear Regulatory Commission（アメリカ合衆国原子力規制委員会）の品質要件を満たしている。</li> <li>・使用する解析モデルは、工事計画認可申請書を基に作成した評価モデルを採用していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b>          本解析コードの妥当性確認内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、航空宇宙、自動車、化学等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・2次元ダムブレイク問題の解析結果と実験結果とを比較し、よく一致することを確認している。</li> </ul>

### 2.3 Fluent Ver. 2020R1

項目 \ コード名	Fluent
使用目的	流体解析（サイトバンカ貯蔵プールのスロッシング）
開発機関	ANSYS Inc（アメリカ）
開発時期	2020年（初版開発時期 1983年）
使用したバージョン	Ver. 2020R1
コードの概要	<p>本解析コードは、CFD解析の初心者からエキスパートまで、幅広い要求に応える使いやすさと多くの機能を備える。有限体積法をベースとした非構造格子に対応するソルバを搭載しており、化学反応、燃焼、混相流等が取り扱える。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b>            本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは有限体積法を用いた汎用流体解析プログラムであり、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の流体解析に広く利用されている。</li> <li>・2次元ダムブレイク問題の解析結果と他の数値解法による結果を比較し、よく一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの製品開発、テスト、メンテナンス及びサポートの各プロセスは、United States Nuclear Regulatory Commission（アメリカ合衆国原子力規制委員会）の品質要件を満たしている。</li> <li>・使用する解析モデルは、工事計画認可申請書を基に作成した評価モデルを採用していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b>            本解析コードの妥当性確認内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、航空宇宙、自動車、化学等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・2次元ダムブレイク問題の解析結果と実験結果とを比較し、よく一致することを確認している。</li> </ul>

VI-5-8 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ S C A L E

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3



## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）SCALE について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-3-2	燃料取扱設備、新燃料貯蔵設備及び使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質が臨界に達しないことに関する説明書	Ver. 6.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SCALE
使用目的	使用済燃料貯蔵設備の未臨界性評価
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	2009年
使用したバージョン	Ver. 6.0
コードの概要	<p>本解析コードは、核燃料物質、構造材等の幾何形状等を入力とし、中性子の飛程を乱数を使用して確率的に計算し、各中性子が吸収されて消滅するか、体系外に漏れるまでの反応過程で発生する核分裂中性子数を計算し、これらの比から実効増倍率を求めるものである。このため、計算体系が3次元の複雑な形状でも精度の高い計算ができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本解析コードに附属のサンプル入力ファイルを用いて計算を実行し、計算結果があらかじめ用意された参照解を再現することを確認した。</li> <li>・ 本解析コードをインストールする計算機の環境が、指定の要件を満たしていることを確認した。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <p>米国 PNL (Pacific Northwest National Laboratory) で行われた臨界実験を対象としたベンチマーク解析を実施し、計算精度を検証した。</p> <p>具体的には、上記臨界試験体系のうち、<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span>  <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span> について、本解析コードを用いて実効増倍率を算出し、当該データをヒストグラム化後統計処理することで、平均値、バイアス、<math>\sigma_{95-95}</math> 等を得た。各実効増倍率の結果は臨界時実効増倍率 (<math>k_{eff}=1</math>) におおむね等しいことから、臨界試験を適切に再現しており、本解析コードを燃料貯蔵設備の未臨界性評価に適用することは妥当であるといえる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ バイアス：実験値と計算値の平均的なずれ</li> <li>・ <math>\sigma_{95-95}</math>：95%信頼度-95%確率の計算の不確かさ</li> </ul> <p>ベンチマーク解析について</p> <p>ベンチマーク解析の対象とした PNL-3602 臨界実験は、国内</p>

	<p>BWR の燃料貯蔵設備と同様に、中性子吸収材、板厚、水ギャップ幅、燃料対減速材比及び燃料濃縮度など、臨界解析で重要と考えられる要因に関し、数種類の異なる体系で実施されている。また、臨界実験に用いられた燃料仕様は、金属キャスクや燃料ラックの臨界評価に用いている燃料仕様と同程度であり、ベンチマーク試験として妥当と考えられる。</p> <p>なお、本検証については、米国オークリッジ国立研究所で行われたベンチマーク解析*が参考になる。</p>
--	--

注記\* : J. J. Lichtenwalter, S. M. Bowman, M. D. DeHart, and C. M. Hopper, “Criticality Benchmark Guide for Light-Water-Reactor Fuel in Transportation and Storage Packages” , NUREG/CR-6361 ORNL/TM-13211, 1997 年 3 月

VI-5-9 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ D O R T

## 目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）DORTについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-2-2	原子炉圧力容器の脆性破壊防止に関する説明書	D00RS3.2a版 DORT



## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	DORT
使用目的	遮蔽解析（原子炉压力容器における中性子の放射線束分布解析）
開発機関	米国オークリッジ国立研究所（（財）高度情報科学技術研究機構）
開発時期	1988年
使用したバージョン	DOORS3. 2a版DORT
コードの概要	<p>本解析コードは、米国オークリッジ国立研究所で開発された、2次元多群輸送方程式を離散座標Sn法で解く計算プログラムである。</p> <p>本解析コードの計算形状は、2次元形状（平板（X-Y体系）、円柱（R-Z体系、R-<math>\theta</math>体系））であり、中性子及びガンマ線の輸送問題等を解くことができる。</p> <p>本解析コードでは、計算形状内での中性子及びガンマ線の線束が計算され、線量率換算係数又はカーマ係数を乗じることにより、線量率又は発熱量を算出することができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2次元輸送計算コードDORTとJENDL-3.2の組合せによる計算値については、JNDC(Japanese Nuclear Data Committee)においてベンチマーク実験との比較検証*が実施されており、鉄、クロム、ナトリウム等の透過放射線測定において、計算値が実験値と良く再現することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> <li>・本解析では断面積ライブラリセットにJSSTDLを使用しており、JSSTDLは評価済み核データライブラリJENDL-3.2から作成された中性子100群・ガンマ線40群の断面積セットである。</li> </ul>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、原子力施設の遮蔽計算に広く用いられており、通常運転時の原子炉周り遮蔽計算等の豊富な実績がある。</li> <li>・本解析コードは、中性子及びガンマ線の放射線束、線量率及び発熱量を算出することができるコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、幾何形状条件である。これら評価条件が与えられれば評価が可能であり、本解析コードは原子炉压力容器における中性子の放射線束分布解析に適用可能であることを確認している。</li> </ul>
--	---

注記\* : Yamano N. et al., Integral Test of JENDL-3.3 with Shielding Benchmarks, J. Nucl. Sci. Technol., Supplement 2, p. 841-846 (Aug. 2002)

VI-5-10 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ N O P S

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）NOPS について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-2-2	原子炉圧力容器の脆性破壊防止に関する説明書	Ver.0

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	NOPS
使用目的	シェル理論及びはり理論による応力計算
開発機関	バブコック日立株式会社
開発時期	1983年
使用したバージョン	Ver. 0
コードの概要	<p>本解析コードは、原子炉圧力容器に対する評価を目的として、円筒殻及び球殻の構造不連続による効果を含まない一次応力を、シェル理論又ははり理論に基づいて計算するプログラムである。</p> <p>荷重は、内圧、外圧及び外荷重を考慮できる。</p> <p>原子炉圧力容器の円筒殻、球殻及びノズル等に内圧及び外圧によって生じる一次一般膜応力並びに外荷重によって生じる一次一般膜応力及び一次膜＋一次曲げ応力の計算を行う。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 代表的な検証用モデルに対し、本解析コードで計算される解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本解析コードのマニュアルにより、今回の工事計画認可申請で使用する応力計算に、本解析コードが適用できることを確認している。</li> <li>・ 本解析コードは、これまで多くの既工事計画で使用実績を有しており、妥当性は十分確認されている。</li> </ul>

VI-5-11 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ QAD-CGGP2R



## 目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）QAD-CGGP2Rについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-3-5	使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書	Ver. 1.04
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	Ver. 1.04
VI-1-8-1	原子炉格納施設の設計条件に関する説明書	Ver. 1.04
VI-1-9-4-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	Ver. 1.04
VI-4-2-3	屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の生体遮蔽装置の放射線の遮蔽及び熱除去についての計算書	Ver. 1.04

## 2. 解析コードの概要

コード名 項目	QAD-CGGP2R
使用目的	燃料プール水深の遮蔽計算 中央制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価 格納容器ベント実施に伴う現場作業の被ばく評価 屋外配管ダクト（ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の 生体遮蔽装置の遮蔽計算
開発機関	日本原子力研究開発機構（（財）高度情報科学研究機構）
開発時期	2001年（初版開発時期 1967年）
使用したバージョン	Ver. 1.04
コードの概要	<p>QAD-CGGP2R（以下「本解析コード」という。）は、米国ロスアラモス国立研究所で開発されたガンマ線の物質透過を計算するための点減衰核積分コード「QAD」をベースとし、旧日本原子力研究所がICRP 1990年勧告の国内関連法令・規則への取入れに合わせて、実効線量を計算できるように改良した計算プログラムである。</p> <p>本解析コードは、線源を直方体、円筒、球の形状に構成でき、任意の遮蔽体で構成される体系のガンマ線実効線量率を計算する。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> <li>・本解析コードは、線量率評価を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、遮蔽体条件である。これら評価条件が与えられれば線量率評価は可能であり、使用目的に記載する評価に適用可能である。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・JRR-4散乱実験室でのコンクリート透過実験の実験値（「原子</li> </ul>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>力第1船遮蔽効果確認実験報告書」JNS-4（日本原子力船開発事業団，1967））と計算値を比較した。実験孔からのガンマ線を遮蔽体に入射させ，遮蔽体透過後のガンマ線の線量率の実験値と本解析コードによる計算値を比較している。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・実験値と計算値を比較した結果，概ね一致していることを確認している。</li><li>・上記妥当性確認では，実験孔からのガンマ線を遮蔽体に入射させ，遮蔽体透過後のガンマ線の線量率の実験値と本解析コードによる計算値を比較している。</li><li>・今回の燃料プール水深の遮蔽計算では，上記妥当性確認における実験体系と同様に，ガンマ線の遮蔽体透過後の線量率を計算する。</li><li>・今回の燃料プール水深の遮蔽計算は上記妥当性確認内容と合致している。</li><li>・また，原子力発電所放射線遮蔽設計規程（J E A C 4 6 1 5 -2020）（日本電気協会 原子力規格委員会 令和2(2020)年1月）では，点減衰核積分コードによるガンマ線の遮蔽体透過後の線量率計算例として，「Q A D」コードが挙げられている。</li></ul>
--	---

VI-5-12 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ORIGEN2

## 目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）ORIGEN2について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。



1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-3-4	使用済燃料貯蔵槽の冷却能力に関する説明書	Ver. 2.2
VI-1-3-5	使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書	Ver. 2.2
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	Ver. 2.2
VI-1-8-1	原子炉格納施設的设计条件に関する説明書	Ver. 2.2
VI-1-9-4-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	Ver. 2.2

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	ORIGEN2
使用目的	使用済燃料の崩壊熱評価 使用済制御棒の線源強度計算 中央制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価 格納容器ベント実施に伴う現場作業の被ばく評価
開発機関	米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)
開発時期	1980年
使用したバージョン	Ver. 2.2
コードの概要	<p>ORIGEN2 (以下「本解析コード」という。) は、使用済燃料等の核種生成量、崩壊熱量並びに中性子及びガンマ線の線源強度を評価するためにORNLで開発され公開された燃焼計算コードであり、原子力発電所施設、再処理施設、廃棄物処理施設等幅広く設計に利用されている。</p> <p>また、国内の最新の使用済燃料についての評価精度向上を目指し、日本原子力研究所シグマ委員会核種生成量評価ワーキンググループにおいてJENDL核データセットに基づく本解析コード用ライブラリが作成され、公開されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は次のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 計算機能が適正であることは、コード配布時に同梱されたサンプル問題の再現により確認している。</li> <li>・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> <li>・ 本解析コードは、燃焼計算によって得られた核種生成量から炉心内蔵量等を評価するコードであり、計算に必要な主な条件は組成、照射条件、核データライブラリである。</li> </ul> <p>これら評価条件が与えられれば評価は可能であり、本解析コードは使用目的に記載する評価に適用可能である。</p> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は次のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 米国原子力学会 (ANS) のNuclear Technology vol.62 (1983</li> </ul>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>年9月)の「ORIGEN2 :A Versatile Computer Code for Calculating the Nuclide Compositions and Characteristic of Nuclear Materials」において、ANS標準崩壊熱との比較及び使用済燃料中のウラン、プルトニウム、アメリシウムなどの組成の実測値との比較により妥当性の確認を行っている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・日本原子力研究所シグマ委員会にて開発されたORLIBJライブラリについては、「JENDL-3.3に基づくORIGEN2用ライブラリ：ORLIBJ33」 JAERI-Data/Code 2004-015 (2004年11月)等において、核種生成量について照射後試験結果と、本解析コードによる計算値を比較することで妥当性の確認を行っている。</li> <li>・今回の使用目的に記載する評価は上記妥当性確認内容と合致しており、本解析コードの使用は妥当である。</li> </ul>
--	--

VI-5-13 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ANISN

## 目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）ANISNについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

### 1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	ANISN-JR
VI-1-8-1	原子炉格納施設的设计条件に関する説明書	ANISN-JR
VI-1-9-4-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	ANISN-JR

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	ANISN
使用目的	中央制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価 格納容器ベント実施に伴う現場作業の被ばく
開発機関	米国オークリッジ国立研究所（（財）高度情報科学研究機構）
開発時期	1977年（初版開発時期1967年）
使用したバージョン	ANISN-JR
コードの概要	ANISN（以下「本解析コード」という。）は、米国オークリッジ国立研究所で開発された、1次元多群輸送方程式を離散座標Sn法で解く計算プログラムである。本解析コードの計算形状は、1次元形状（球、無限平板、無限円筒）であり、中性子及びガンマ線の輸送問題等を解くことができる。本解析コードでは、計算形状内での中性子及びガンマ線の線束が計算され、線量率換算係数又はカーマ係数を乗じることにより、線量率又は発熱量を算出することができる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> <li>・本解析コードは、線量率評価を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、幾何形状条件である。これら評価条件が与えられれば線量率評価は可能であり、使用目的に記載する評価に適用可能である。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・スカイシャインガンマ線について、固体廃棄物貯蔵庫を線源とした線量評価が、本解析コードと「G 3 3」コードの結合計算法によって実施されている。</li> <li>・この固体廃棄物貯蔵庫での測定値と計算値の比較の詳細が、原子力施設散乱放射線挙動専門委員会の成果報告会（昭和54</li> </ul>



<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>年9月，財団法人 原子力安全研究協会) *に示されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・測定値と計算値を比較した結果，概ね一致していることを確認している。</li> <li>・今回の重大事故等時における中央制御室のスカイシャインガンマ線線量評価は，上記妥当性確認内容と合致している。</li> <li>・また，原子力発電所放射線遮蔽設計規程（J E A C 4 6 1 5 -2020）（日本電気協会 原子力規格委員会 令和2(2020)年1月）では，事故時の中央制御室遮蔽のための輸送計算コードとして，本解析コードが挙げられている。</li> </ul>
--	---

注記\*：「ガンマ線スカイシャインの線量評価に関する研究」成果報告会・予稿集  
(昭和54年9月 財団法人 原子力安全研究協会)

VI-5-14 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ G 3 3 - G P 2 R

## 目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）G33-GP2Rについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

### 1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	Ver. 1.00
VI-1-8-1	原子炉格納施設的设计条件に関する説明書	Ver. 1.00
VI-1-9-4-2	緊急時対策所の居住性に関する説明書	Ver. 1.00

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名 G33-GP2R
使用目的	中央制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価 格納容器ベント実施に伴う現場作業の被ばく
開発機関	日本原子力研究開発機構（（財）高度情報科学研究機構）
開発時期	2001年（初版開発時期 1964年）
使用したバージョン	Ver. 1.00
コードの概要	<p>G33-GP2R（以下「本解析コード」という。）は、米国ロスアラモス国立研究所で開発されたガンマ線多群散乱計算プログラム「G33」をベースとし、旧日本原子力研究所がICRP 1990年勧告の国内関連法令・規則への取入れに合わせて、実効線量を計算できるように改良した計算プログラムである。</p> <p>本解析コードは、点等方線源からの一回散乱を計算する。散乱は、クライナー仁科の式に基づき計算する。散乱が起こる領域は直角、球、円筒座標により指定し、遮蔽体は平板、球、円筒又は二次曲面により入力することができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> <li>・本解析コードは、線量率評価を実施するコードであり、計算に必要な主な条件は線源条件、幾何形状条件である。これら評価条件が与えられれば線量率評価は可能であり、使用目的に記載する評価に適用可能である。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・スカイシャインガンマ線について、米国Radiation Research Associates (RRA) が1977年に米国カンザス州立大学において<sup>60</sup>Co線源を用いたベンチマーク試験を実施している。</li> <li>・このRRAでの実験値と計算値を比較の詳細が、ガンマ線遮蔽</li> </ul>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>設計ハンドブック（1988年1月，社団法人 日本原子力学会）に示されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・その結果は，天井遮蔽がないケースでは計算値は実験値とよい一致を示しているが，天井遮蔽があるケースでは，計算値は実験値を過小評価となっている。</li> <li>・この原因は，本解析コードが天井透過中の散乱成分を考慮してないためであり，この成分を考慮するため，天井遮蔽までを「ANISN」コードで計算することを推奨している。今回の重大事故等時における中央制御室のスカイシャインガンマ線線量評価では，この計算手法を採用している。</li> <li>・今回の重大事故等時における中央制御室のスカイシャインガンマ線線量評価は，上記妥当性確認内容と合致している。</li> <li>・また，原子力発電所放射線遮蔽設計規程（JEAC4615-2020）（日本電気協会 原子力規格委員会 令和2(2020)年1月）では，事故時の中央制御室遮蔽のための点減衰核積分コード／散乱線計算コードとして，「QAD」コード／「G33」コードが挙げられている。</li> </ul>
--	---

VI-5-15 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ H I S A P



## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	4

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）HISAP について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
VI-1-1-9-3	溢水評価条件の設定	Ver. 52
VI-1-3-5	使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力に関する説明書	Ver. 52
VI-2-4-3-1-3	管の耐震性についての計算書（燃料プール冷却系）	Ver. 52
VI-2-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書（燃料プールのスプレイ系）	Ver. 52
VI-2-5-2-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉再循環系）	Ver. 52
VI-2-5-3-1-2	管の耐震性についての計算書（主蒸気系）	Ver. 52
VI-2-5-3-2-1	管の耐震性についての計算書（給水系）	Ver. 52
VI-2-5-4-1-4	管の耐震性についての計算書（残留熱除去系）	Ver. 52
VI-2-5-5-1-3	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ系）	Ver. 52
VI-2-5-5-2-3	管の耐震性についての計算書（低圧炉心スプレイ系）	Ver. 52
VI-2-5-5-3-2	管の耐震性についての計算書（高圧原子炉代替注水系）	Ver. 52
VI-2-5-5-5-2	管の耐震性についての計算書（低圧原子炉代替注水系）	Ver. 52
VI-2-5-6-1-3	管の耐震性についての計算書（原子炉隔離時冷却系）	Ver. 52
VI-2-5-7-1-6	管の耐震性についての計算書（原子炉補機冷却系及び原子炉補機海水系）	Ver. 52
VI-2-5-7-2-6	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ補機海水系）	Ver. 52
VI-2-5-7-3-1	管の耐震性についての計算書（原子炉補機代替冷却系）	Ver. 52
VI-2-5-8-1-1	管の耐震性についての計算書（原子炉浄化系）	Ver. 52
VI-2-6-3-2-1-2	管の耐震性についての計算書（制御棒駆動水压系）	Ver. 52
VI-2-6-4-1-3	管の耐震性についての計算書（ほう酸水注入系）	Ver. 52
VI-2-6-6-1-1	管の耐震性についての計算書（逃がし安全弁窒素ガス供給系）	Ver. 52
VI-2-7-2-1-1	管の耐震性についての計算書（ドレン移送系）	Ver. 52
VI-2-7-3-1-1	管の耐震性に関する説明書（サイトバンカ設備）	Ver. 52
VI-2-8-3-2-1	管の耐震性についての計算書（中央制御室空気供給系）	Ver. 52
VI-2-8-3-3-1	管の耐震性についての計算書（緊急時対策所換気空調系）	Ver. 52
VI-2-9-4-4-2-1	管の耐震性についての計算書（格納容器代替スプレイ系）	Ver. 52
VI-2-9-4-4-3-1	管の耐震性についての計算書（ペDESTAL代替注水系）	Ver. 52
VI-2-9-4-4-4-2	管の耐震性についての計算書（残留熱代替除去系）	Ver. 52
VI-2-9-4-5-1-1	管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）	Ver. 52
VI-2-9-4-5-2-1	管の耐震性についての計算書（可燃性ガス濃度制御系）	Ver. 52
VI-2-9-4-5-4-1	管の耐震性についての計算書（窒素ガス代替注入系）	Ver. 52
VI-2-9-4-6-1-1	管の耐震性についての計算書（窒素ガス制御系）	Ver. 52
VI-2-9-4-7-1-1	管の耐震性についての計算書（格納容器フィルタベント系）	Ver. 52
VI-2-10-1-2-1-9	管の耐震性についての計算書（非常用ディーゼル発電設備）	Ver. 52

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-1-2-2-7	管の耐震性についての計算書（高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備）	Ver. 52
VI-2-10-1-2-3-6	管の耐震性についての計算書（ガスタービン発電機）	Ver. 52
VI-2-10-2-11	隔離弁，機器・配管の耐震性についての計算書	Ver. 52
VI-2-11-2-8	管の耐震性についての計算書（波及的影響）	Ver. 52
VI-2-別添 2-2	溢水源としないB，Cクラス機器の耐震性についての計算書	Ver. 52
VI-2-別添 2-4	燃料プール冷却系弁の耐震性についての計算書	Ver. 52
VI-2-別添 2-5	大型タンク遮断弁の耐震性についての計算書	Ver. 52
VI-2-別添 2-6	循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書	Ver. 52
VI-2-別添 7-2-7	管の耐震性についての計算書（低圧原子炉代替注水系）（掘削前）	Ver. 52
VI-2-別添 7-2-16	管の耐震性についての計算書（格納容器フィルタベント系）（掘削前）	Ver. 52
VI-3-3-2-2-1-4-2	管の応力計算書（燃料プール冷却系）	Ver. 52
VI-3-3-2-2-2-3-2	管の応力計算書（燃料プールスプレイ系）	Ver. 52
VI-3-3-3-1-1-1-2	管の応力計算書（原子炉再循環系）	Ver. 52
VI-3-3-3-2-1-2-2	管の応力計算書（主蒸気系）	Ver. 52
VI-3-3-3-2-2-1-2	管の応力計算書（給水系）	Ver. 52
VI-3-3-3-3-1-8-2	管の応力計算書（残留熱除去系）	Ver. 52
VI-3-3-3-4-1-6-2	管の応力計算書（高圧炉心スプレイ系）	Ver. 52
VI-3-3-3-4-2-6-2	管の応力計算書（低圧炉心スプレイ系）	Ver. 52
VI-3-3-3-4-3-3-2	管の応力計算書（高圧原子炉代替注水系）	Ver. 52
VI-3-3-3-4-5-2-2	管の応力計算書（低圧原子炉代替注水系）	Ver. 52
VI-3-3-3-5-1-3-2	管の応力計算書（原子炉隔離時冷却系）	Ver. 52
VI-3-3-3-6-1-6-2	管の応力計算書（原子炉補機冷却系及び原子炉補機海水系）	Ver. 52
VI-3-3-3-6-2-6-2	管の応力計算書（高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ補機海水系）	Ver. 52
VI-3-3-3-6-3-5-2	管の応力計算書（原子炉補機代替冷却系）	Ver. 52
VI-3-3-3-7-1-1-2	管の応力計算書（原子炉浄化系）	Ver. 52
VI-3-3-4-2-1-3-2	管の応力計算書（制御棒駆動水压系）	Ver. 52
VI-3-3-4-3-1-3-2	管の応力計算書（ほう酸水注入系）	Ver. 52
VI-3-3-4-4-1-2-2	管の応力計算書（逃がし安全弁窒素ガス供給系）	Ver. 52
VI-3-3-6-1-2-2-2	管の応力計算書（中央制御室空気供給系）	Ver. 52
VI-3-3-6-1-3-2-2	管の応力計算書（緊急時対策所換気空調系）	Ver. 52
VI-3-3-7-2-2-2-1-2	管の応力計算書（格納容器代替スプレイ系）	Ver. 52
VI-3-3-7-2-2-3-1-2	管の応力計算書（ペDESTAL代替注水系）	Ver. 52
VI-3-3-7-2-2-4-3-2	管の応力計算書（残留熱代替除去系）	Ver. 52
VI-3-3-7-3-1-1-2	管の応力計算書（非常用ガス処理系）	Ver. 52
VI-3-3-7-3-2-1-2	管の応力計算書（窒素ガス代替注入系）	Ver. 52
VI-3-3-7-4-1-2-2	管の応力計算書（窒素ガス制御系）	Ver. 52
VI-3-3-7-5-1-2-2	管の応力計算書（格納容器フィルタベント系）	Ver. 52
VI-3-別添3-2-8	隔離弁，機器・配管の強度計算書	Ver. 52

2. 解析コードの概要

コード名 項目	HISAP
使用目的	3次元有限要素法（はりモデル）による管の固有値解析，地震応答解析及び応力解析
開発機関	株式会社日立製作所
開発時期	1978年
使用したバージョン	Ver. 52
コードの概要	<p>本解析コードは，配管の強度解析を目的として開発された計算機プログラムである。本解析コードは，汎用構造解析コード <input type="checkbox"/> をメインプログラムとし，応力評価プログラム及びそれらのインターフェイスプログラムのサブプログラムから成る。</p> <p>任意の1次元，2次元あるいは3次元形状に対し，静的解析，動的解析を行うことが可能で，反力・モーメント・応力，固有値・刺激係数等の算出が可能である。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】</p> <div style="border: 2px solid black; height: 150px; width: 100%;"></div> <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <div style="border: 2px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div>

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	
---	--

注記\*1：日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」

\*2：原子力発電所耐震設計技術指針

VI-5-16 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ A B A Q U S

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3
2.1 ABAQUS Ver. 6.4-4 .....	3
2.2 ABAQUS Ver. 6.11-1 .....	4
2.3 ABAQUS Ver. 6.11-2 .....	5
2.4 ABAQUS Ver. 6.14-1 .....	6
2.5 ABAQUS Ver. 6.14-3 .....	7



## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）ABAQUS について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-8-1	原子炉格納施設の設計条件に関する説明書	Ver. 6. 11-1, Ver. 6. 11-2
VI-2-2-6	制御室建物の耐震性についての計算書	Ver. 6. 14-3
VI-2-2-8	タービン建物の耐震性についての計算書	Ver. 6. 14-3
VI-2-3-3-2-4	ジェットポンプ計測配管貫通部シールの耐震性についての計算書	Ver. 6. 4-4
VI-2-3-3-3-4	シュラウドヘッドの耐震性についての計算書	Ver. 6. 4-4
VI-2-9-3-4	原子炉建物基礎スラブの耐震性についての計算書	Ver. 6. 14-3
VI-2-10-1-2-1-7	非常用ディーゼル発電設備A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算書	Ver. 6. 11-1
VI-2-10-1-2-2-6	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算書	Ver. 6. 11-1
VI-2-11-2-7-1	原子炉建物天井クレーンの耐震性についての計算書	Ver. 6. 11-1
VI-2-11-2-7-2	燃料取替機の耐震性についての計算書	Ver. 6. 14-1
VI-2-11-2-7-14	取水槽ガントリクレーンの耐震性についての計算書	Ver. 6. 14-1
VI-2-別添3-4-1	逃がし安全弁用窒素ガスボンベラックの耐震性についての計算書	Ver. 6. 11-1
VI-2-別添3-4-2	中央制御室待避室正圧化装置 空気ボンベラックの耐震性についての計算書	Ver. 6. 11-1
VI-2-別添3-4-3	緊急時対策所換気空調系空気ボンベ加圧設備 空気ボンベカードルの耐震性についての計算書	Ver. 6. 11-1

## 2. 解析コードの概要

### 2.1 ABAQUS Ver. 6.4-4

項目	コード名 ABAQUS
使用目的	2次元有限要素法（軸対称ソリッド要素）及び3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析
開発機関	Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc
開発時期	1978年
使用したバージョン	Ver. 6.4-4
コードの概要	<p>本解析コードは、米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc (HKS社) で開発された有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデルは1次元～3次元の任意形状の構造要素及び連続体要素について取り扱うことが可能であり、静的応力解析、動的応力解析、熱応力解析、伝熱解析及び座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、境界条件として、熱流束、温度、集中荷重、分布荷重及び加速度等を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築及び土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・今回使用する適用要素（ソリッド要素）について、本解析コードを用いた解析結果が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。</li> <li>・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築及び土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・使用する解析モデルは、既工事計画及び耐震評価にて実績のある関連規格及び文献を基に作成した評価モデルを採用していることを確認している。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画認可申請で使用する2次元有限要素法（軸対称ソリッド要素）及び3次元有限要素法（ソリッド要素）による応力解析に、本解析コードが適用できることを確認している。</li> </ul>

2.2 ABAQUS Ver. 6.11-1

項目 \ コード名	ABAQUS
使用目的	2次元有限要素法（軸対称ソリッド要素）による温度分布計算 3次元有限要素法（シェル要素及びはり要素）による固有値解析， 地震応答解析及び応力解析
開発機関	ダッソー・システムズ株式会社
開発時期	1978年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc） 2005年（ダッソー・システムズ株式会社）
使用したバージョン	Ver. 6.11-1
コードの概要	<p>本解析コードは，米国Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS社）で開発され，ダッソー・システムズ株式会社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデルは1次元～3次元の任意形状の構造要素及び連続体要素について取り扱うことが可能であり，静的応力解析，動的応力解析，熱応力解析，伝熱解析及び座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり，境界条件として，熱流束，温度，集中荷重，分布荷重及び加速度等を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築及び土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・今回使用する適用要素（軸対称ソリッド要素，シェル要素及びはり要素）について，本解析コードを用いた解析結果が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは，数多くの研究機関や企業において，様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。</li> <li>・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築及び土木等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・使用する解析モデルは，既工事計画及び耐震評価にて実績のある関連規格及び文献を基に作成した評価モデルを採用していることを確認している。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより，今回の工事計画認可申請で使用する2次元有限要素法（軸対称ソリッド要素）による温度分布解析及び3次元有限要素法（シェル要素及びはり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析に，本解析コードが適用できることを確認している。</li> </ul>

2.3 ABAQUS Ver. 6.11-2

項目 \ コード名	ABAQUS
使用目的	3次元有限要素法（ソリッド要素及びシェル要素）による弾塑性解析
開発機関	ダッソー・システムズ株式会社
開発時期	1978年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc） 2005年（ダッソー・システムズ株式会社）
使用したバージョン	Ver. 6.11-2
コードの概要	<p>本解析コードは、米国Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS社）で開発され、ダッソー・システムズ株式会社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデルは1次元～3次元の任意形状の構造要素及び連続体要素について取り扱うことが可能であり、静的応力解析、動的応力解析、熱応力解析、伝熱解析及び座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、境界条件として、熱流束、温度、集中荷重、分布荷重及び加速度等を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築及び土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・今回使用する適用要素（ソリッド要素及びシェル要素）について、本解析コードを用いた解析結果が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。</li> <li>・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築及び土木等様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画認可申請で使用する3次元有限要素法（ソリッド要素及びシェル要素）による弾塑性解析に、本解析コードが適用できることを確認している。</li> </ul>

2.4 ABAQUS Ver. 6.14-1

項目	コード名
項目	ABAQUS
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析及び地震応答解析
開発機関	ダッソー・システムズ株式会社
開発時期	1978年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc） 2005年（ダッソー・システムズ株式会社）
使用したバージョン	Ver. 6.14-1
コードの概要	<p>本解析コードは、米国Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS社）で開発され、ダッソー・システムズ株式会社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデルは、1次元～3次元の任意形状の構造要素及び連続体要素について取り扱うことが可能であり、静的応力解析、動的応力解析、熱応力解析、伝熱解析及び座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、境界条件として、熱流束、温度、集中荷重、分布荷重及び加速度等を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築及び土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードによる地震応答計算結果と振動試験結果の比較による検証*が実施され、本解析コードが検証されたものであることを確認している。</li> <li>・今回使用する適用要素（はり要素）について、本解析コードを用いた解析結果が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。</li> <li>・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築及び土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・使用する解析モデルは、既工事計画及び耐震評価にて実績のある関連規格及び文献を基に作成した評価モデルを採用していることを確認している。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画認可申請で使用する3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析及び地震応答解析に、本解析コードが適用できることを確認している。</li> </ul>

注記\*：独立行政法人 原子力安全基盤機構「平成19年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査」動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書

## 2.5 ABAQUS Ver. 6.14-3

項目	コード名 ABAQUS
使用目的	3次元有限要素法（積層シェル要素）による弾塑性応力解析
開発機関	ダッソー・システムズ株式会社
開発時期	1978年（Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc） 2005年（ダッソー・システムズ株式会社）
使用したバージョン	Ver. 6.14-3
コードの概要	<p>本解析コードは、米国Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc（HKS社）で開発され、ダッソー・システムズ株式会社に引き継がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデルは、1次元～3次元の任意形状の構造要素及び連続体要素について取り扱うことが可能であり、静的応力解析、動的応力解析、熱応力解析、伝熱解析及び座屈解析等の機能を有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であり、境界条件として、熱流束、温度、集中荷重、分布荷重及び加速度等を取り扱うことができる。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築及び土木等の様々な分野で利用されている実績を持つ。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。</li> <li>・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築及び土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画認可申請で使用する3次元有限要素法（積層シェル要素）による弾塑性応力解析に、本解析コードが適用できることを確認している。</li> <li>・鉄筋コンクリート造平板の実験結果のシミュレーション解析から、本解析コードが実験結果をよくシミュレートできることを確認している。</li> <li>・半無限固体の表面温度が上昇するときの固体中の温度解析から、本解析コードが理論解と良く一致していることを確認している。</li> <li>・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

VI-5-17 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ G O T H I C



## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）GOTHIC について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-8-2	原子炉格納施設の水素濃度低減性能に関する説明書	Ver. 8.1

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名
使用目的	シビアアクシデント解析 (シビアアクシデント時の原子炉建物原子炉棟における水素分布評価及び静的触媒式水素処理装置による水素濃度低減性能評価)
開発機関	Electric Power Research Institute, Inc. (EPRI) 及び Numerical Applications, Inc. (NAI)
開発時期	1989年
使用したバージョン	Ver. 8.1
コードの概要	<p>本解析コードは、EPRI/NAI により開発された汎用熱流体解析コードであり、気相、液体連続相及び液体分散相（液滴）の3相について、各々、質量、運動量及びエネルギーの3保存式を解く、完全3流体（9保存式）解析コードである。</p> <p>各相間の質量、運動量及びエネルギーの移動は、構成式で表され、これにより、凝縮・沸騰現象や、凝縮した液体によって随伴される気相の流れ等、複雑な混相流現象を模擬することができる。また、ファン・水素再結合器等の機器モデルが組み込まれており、これらの機器の作動及び制御を模擬できる。</p> <p>このような基本構成により、原子炉建物原子炉棟内における気液混相の熱流動を取り扱うことができる。本解析コードは、主に米国において設計基準事故を想定した原子炉格納容器の設計や環境条件、シビアアクシデント時の水素分布解析などに豊富な使用実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・コードのサンプル問題を実行し、ユーザーマニュアルに示される同一問題の結果と比較を行い、解析解がそれを再現していることを確認している。</li> <li>・1次元熱伝導の理論解に対する解析解が再現していることを確認している。</li> <li>・本解析コードの適用制限について、蒸気表・各種相関式・物性範囲及び数値計算法上の制約に対し問題ないことを確認している。</li> </ul>

検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・実機プラントに対する上記の目的に対しては、検証内容が事故時の状況、機器設備の作動状況、物理現象の模擬などに対し適用可能な範囲にあることを確認している。</li><li>・静的触媒式水素処理装置作動時に見られる重要な物理現象の個別効果及びそれらを重ね合わせた総合効果の再現性を確認している。</li><li>・NUPEC 試験など、実機解析の再現能力、適用範囲と不確かさを考慮した上で、上記目的に対する保守性を有している。</li></ul>
---	---

VI-5-18 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・MAP

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

1. はじめに

本資料は，添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）Modular Accident Analysis Program(MAAP)について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。



## 1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-4-3	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備のポンプの有効吸込水頭に関する説明書	Ver. 4
VI-1-7-3	中央制御室の居住性に関する説明書	Ver. 4
VI-1-8-1	原子炉格納施設的设计条件に関する説明書	Ver. 4
VI-1-8-2	原子炉格納施設の水素濃度低減性能に関する説明書	Ver. 4
VI-1-8-4	圧力低減設備その他の安全設備のポンプの有効吸込水頭に関する説明書	Ver. 4

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名
	Modular Accident Analysis Program(MAAP)
使用目的	シビアアクシデント解析（ソースターム解析，コリウムシールド設計のための侵食量解析及び格納容器フィルタベント系による水素排出性能評価）
開発機関	Electric Power Research Institute, Inc. (EPRI)
開発時期	1983年
使用したバージョン	Ver. 4
コードの概要	<p>本解析コードは，米国産業界が実施した Industry Degraded Core Rulemaking (IDCOR) プログラムにおいて，1980年代の初めに米国 Fauske &amp; Associates, LLC. (FAI 社) によって開発されたコードであり，プログラムの完了に伴い，所有権が米国 EPRI に移管され，EPRI を中心とした MAAP User's Group (MUG) のもとで保守及び改良が進められている。</p> <p>本解析コードは，軽水炉のシビアアクシデント時の原子炉圧力容器，原子炉格納容器及び原子炉建物内の熱水力／核分裂生成物（以下「FP」という。）の放出・移行挙動を同時に一貫して解析できることに特徴があり，確率論的リスク評価やシビアアクシデントマネジメントの策定等において，米国を始め，世界的に広く利用されている。</p> <p>本解析コードは，シビアアクシデントの事象進展の各段階を網羅し，炉心，原子炉圧力容器，原子炉格納容器内で起こると考えられる重要な事故時の物理現象をモデル化するとともに，工学的安全施設や炉心損傷防止対策あるいは格納容器破損防止対策で想定する各種の機器についてのモデルを備えている。また，FPに関する物理現象をモデル化しており，事故時に炉心溶融に伴って原子炉圧力容器や原子炉格納容器内に放出されるFPの挙動についても取り扱うことが可能である。このように，広範囲の物理現象を取り扱うことが可能な総合解析コードであり，シビアアクシデントで想定される種々の事故シーケンスについて，起因事象から安定した状態，あるいは過圧・過温により原子炉格納容器健全性が失われる状態まで計算が可能であることが特徴である。</p> <p>本解析コードはシビアアクシデントを評価するための総合システム解析コンピュータ・コードであり，原子炉圧力容器，再循環ポンプ等を含む原子炉冷却材圧力バウンダリ全体及び原子炉格納</p>

コードの概要	容器における水、水蒸気、水素、FP、熔融炉心等の挙動の評価並びに格納容器フィルタベント系による水素排出評価に使用している。
<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 米国プラントの全交流動力喪失事象に関するユーザーズマニュアルの例題を実施して、解析解が開発元の結果を再現していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 炉心損傷事象に関する国際的な標準問題であるスリーマイル島原子力発電所事故を模擬した解析結果が事故データと比較し、おおむね一致するため、シビアアクシデント時の発電用原子炉内の挙動や運転員操作を含む現象モデル全般が妥当であることを確認している。</li> <li>・ Heiss Dampf Reaktor (HDR) 炉における実機スケール水素混合実験に対する実機解析を実施し、実機データとおおむね一致するため、原子炉格納容器内の伝熱、流動（水素ガス挙動を含む）に関する現象モデルが妥当であることを確認している。</li> <li>・ 熔融燃料あるいは融体金属とコンクリートの相互作用に関する Advanced Containment Experiments (ACE) 実験及び Sustained Uranium-Concrete Interactions (SURC) 実験を模擬した実験解析を実施し、熔融炉心の温度とコンクリート侵食深さの時間変化について、実験データとおおむね一致している結果が得られることを確認している。</li> <li>・ シビアアクシデント時の全体挙動、原子炉格納容器内の水素ガスの挙動、熔融炉心とコンクリートの相互作用による水素発生 の妥当性を確認しているため、本解析コードは水素濃度評価へ適用できる。</li> <li>・ 米国原子力規制委員会で整備された NUREG-1465 における原子炉格納容器内ソースタームと本解析コードにおける解析結果の比較を行い、NUREG-1465 のソースタームとほぼ同等であることを確認しているため、本解析コードはソースターム評価へ適用できる。</li> </ul>

VI-5-19 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ F R E M I N G

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）FREMINGについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-9	水密扉の耐震性についての計算書	Ver. 13. 4H
VI-2-11-2-5	取水槽海水ポンプエリア防護対策設備の耐震性についての計算書	Ver. 13. 4H
VI-2-別添4-3-5	揚水井戸の耐震性についての計算書	Ver. 13. 4H
VI-3-別添3-2-6	水密扉の強度計算書	Ver. 13. 4H
VI-3-別添3-4-1	防水壁の強度計算書（溢水）	Ver. 13. 4H

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	FREMING
使用目的	平面骨組解析による断面力算定
開発機関	富士通Japan株式会社（旧：富士通エフ・アイ・ピー株式会社）
開発時期	1995年
使用したバージョン	Ver. 13. 4H
コードの概要	<p>FREMING（以下「本解析コード」という。）は、富士通エフ・アイ・ピー株式会社によって開発された、平面骨組構造解析の汎用市販コードである。</p> <p>本解析コードは、平面骨組計算プログラムであり、平面構造物にモデル化できる構造物はすべて計算が可能である。</p> <p>適用範囲として、橋梁、鉄塔、トンネル、共同溝等の土木構造物から、ビル、建屋等建築構造物の設計計算に利用可能である。</p> <p>また、面内荷重及び面外荷重において、線形及び非線形解析が可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材料力学分野における一般的知見によって解を求めることができる体系について、平面骨組解析モデルによる解析解（断面力）と理論解と比較し、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、国内の土木建築分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、緊急用海水ポンプピット及び防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））並びに貯留堰の平面骨組解析（断面力算出）に本解析コード（Ver. 14. 1B）が使用された実績がある。</li> <li>・今回の工認申請において使用するバージョンは、既工認において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> <li>・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>



VI-5-20 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ S e i s m i c A n a l y s i s  
S y s t e m ( S A S )

## 目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3
2.1 Seismic Analysis System(SAS) Ver.6.1.0	3
2.2 Seismic Analysis System(SAS) Ver.7.1.0	5

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）Seismic Analysis System(SAS)について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-1-7	設計用床応答スペクトルの作成方針	Ver. 6. 1. 0 Ver. 7. 1. 0
VI-2-別添 7-2-1	設計用床応答スペクトルの作成方針(掘削前)	Ver. 7. 1. 0

## 2. 解析コードの概要

### 2.1 Seismic Analysis System(SAS) Ver. 6.1.0

項目	コード名 Seismic Analysis System (SAS)
使用目的	設計用床応答スペクトルの作成
開発機関	日立GEニュークリア・エナジー株式会社
開発時期	2009年
使用したバージョン	Ver. 6.1.0
コードの概要	<p>本解析コードは、耐震設計に使用する条件を作成することを目的に、地震波時刻歴データの波形書式の変換機能、地震波時刻歴データから応答スペクトルを計算する機能、応答分布図や振動モード図の作成機能等、耐震解析プログラムを統合したシステムである。このうち応答スペクトル作成機能を、建物床応答時刻歴から設計用床応答スペクトルを作成するために使用する。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・別解析コードDYNA2Eによる応答スペクトルと本解析コードで作成した応答スペクトルを比較し、一致していることを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・今回の工事計画認可申請で使用する機能は応答スペクトルの作成機能であるため、同一の入力条件に対する1自由度系の最大応答加速度を固有周期ごとに算定し、別解析コードDYNA2Eと本解析コードの結果を比較することで、妥当性を確認している。</li> <li>・設計用床応答スペクトルを作成する際、入力とする時刻歴データの時間刻み幅、データの形式は、上述の妥当性を確認している範囲内での使用であることを確認している。</li> <li>・周期軸方向の拡幅率 (±10%)、時刻歴波の時間刻みは</li> </ul>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>J E A G 4 6 0 1 -1987に従っており，固有周期計算間隔は J E A G 4 6 0 1 -1987及びREGULATORY GUIDE 1.122記載の値より概ね細かい値を設定しているため，妥当性に問題はない。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 今回の工事計画認可申請において使用するバージョンは，他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</li> <li>• 今回の工事計画認可申請における応答スペクトル，時刻歴データに対し，用途及び方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>
--	--

## 2.2 Seismic Analysis System(SAS) Ver. 7.1.0

項目	コード名 Seismic Analysis System (SAS)
使用目的	設計用床応答スペクトルの作成
開発機関	日立GEニュークリア・エナジー株式会社
開発時期	2009年
使用したバージョン	Ver. 7.1.0
コードの概要	<p>本解析コードは、耐震設計に使用する条件を作成することを目的に、地震波時刻歴データの波形書式の変換機能、地震波時刻歴データから応答スペクトルを計算する機能、応答分布図や振動モード図の作成機能等、耐震解析プログラムを統合したシステムである。このうち応答スペクトル作成機能を、建物床応答時刻歴から設計用床応答スペクトルを作成するために使用する。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析で使用した Seismic Analysis System(SAS) Ver. 7.1.0 に対し、使用実績のある Ver. 6.1.0 からのバージョンアップにおいて、応答スペクトルに差が生じないことをバージョンの検証記録より確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・今回の工事計画認可申請で使用する機能は応答スペクトルの作成機能であるため、検証内容のとおり、バージョンの検証記録により妥当性を確認している。</li> <li>・設計用床応答スペクトルを作成する際、入力とする時刻歴データの時間刻み幅、データの形式は、上述の妥当性を確認している範囲内での使用であることを確認している。</li> <li>・周期軸方向の拡幅率 (±10%)、時刻歴波の時間刻みは J E A G 4 6 0 1 -1987に従っており、固有周期計算間隔</li> </ul>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>は J E A G 4 6 0 1 -1987及びREGULATORY GUIDE 1.122記載の値より概ね細かい値を設定しているため、妥当性に問題はない。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>今回の工事計画認可申請における応答スペクトル, 時刻歴データに対し, 用途及び方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>
--	--



VI-5-21 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ D Y N A 2 E

## 目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3
2.1 DYNA2E Ver. 7.2.48	3
2.2 DYNA2E Ver. 8.0.1	5
2.3 DYNA2E Ver. 8.1.0	7

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）DYNA2Eについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-1	炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書	Ver. 7. 2. 48 Ver. 8. 1. 0
VI-2-2-35	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 8. 0. 1
VI-2-別添 2-2	溢水源としないB，Cクラス機器の耐震性についての計算書	Ver. 8. 0. 1

## 2. 解析コードの概要

### 2.1 DYNA2E Ver. 7.2.48

項目	コード名 DYNA2E
使用目的	固有値解析, 応答解析
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	1972年 (センチュリリサーチセンタ株式会社) 2007年 (伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)
使用したバージョン	Ver. 7.2.48
コードの概要	<p>本解析コードは, 土木・建築分野における骨組構造*を対象として開発された2次元/3次元応答解析コードであり, 市販されている汎用構造計算機プログラムである。固有値解析並びに静的解析(線形)及び動的解析(線形, 非線形)による応答解析が可能である。以下に示す構造に対し, 3種類の解析を行うことができる。</p> <p>&lt;構造&gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 2次元骨組構造</li> <li>2. 3次元骨組構造</li> </ol> <p>&lt;解析&gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 固有値解析</li> <li>2. 静的解析(線形)</li> <li>3. 動的解析(線形, 非線形)</li> </ol>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・一本棒の曲げせん断型モデルについて, 本解析コード及び別解析コード MSC NASTRAN Ver. 2008r1 を用いて得られた固有値解析結果及び応答解析結果を比較して検討し, 本解析コードによる解析結果が妥当であることを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について, 開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・検証内容のとおり, 固有値解析及び応答解析について検証していることから, 解析の目的に照らして今回の解析</li> </ul>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>に適用することは妥当である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>日本原子力発電株式会社東海第二発電所工事計画認可申請書のV-2-3-2「炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」，東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所第7号機工事計画認可申請書のV-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」及びV-2-3-1「炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の地震応答計算書」において，固有値解析及び応答解析に使用された実績がある。</li> <li>今回の工事計画認可申請における構造に対し使用する固有値解析及び応答解析の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>
--	---

注記\*：本解析コードでは，主に曲げせん断はり要素を適用する構造のことをいう。

2.2 DYNA2E Ver. 8.0.1

<p>項目</p>	<p>コード名 DYNA2E</p>
<p>使用目的</p>	<p>固有値解析，地震応答解析</p>
<p>開発機関</p>	<p>伊藤忠テクノソリューションズ株式会社</p>
<p>開発時期</p>	<p>1972年（センチュリリサーチセンタ株式会社） 2007年（伊藤忠テクノソリューションズ株式会社）</p>
<p>使用したバージョン</p>	<p>Ver. 8.0.1</p>
<p>コードの概要</p>	<p>本解析コードは，土木・建築分野における骨組構造*を対象として開発された2次元／3次元応答解析コードであり，市販されている汎用構造計算機プログラムである。固有値解析並びに静的解析（線形）及び動的解析（線形，非線形）による応答解析が可能である。以下に示す構造に対し，3種類の解析を行うことができる。</p> <p>&lt;構造&gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 2次元骨組構造</li> <li>2. 3次元骨組構造</li> </ol> <p>&lt;解析&gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 固有値解析</li> <li>2. 静的解析（線形）</li> <li>3. 動的解析（線形，非線形）</li> </ol>
<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造力学分野における一般的知見により解を求めることが出来る体系について，本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・一本棒の曲げせん断型モデルについて，本解析コード及び別解析コードNX NASTRAN Ver. 8.5 MP1を用いて得られた結果を比較して検討し，本解析コードによる解析結果が妥当であることを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・検証内容のとおり，固有値解析及び応答解析について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。</li> <li>・東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所第7号機工事計画認可申請書の5号機タービン建屋において，固有値解析及び質点系モデル地震応答解析で本解析コード（Ver. 8.0 及び Ver. 8.0.4）が使用された実績がある。</li> <li>・今回の工認申請において使用するバージョンは，先行プラントにおいて使用されているものと異なるが，バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> <li>・本工事における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>
--	--

注記＊：本解析コードでは，主に曲げせん断はり要素を適用する構造のことをいう。



2.3 DYNA2E Ver. 8.1.0

<p>項目</p>	<p>コード名 DYNA2E</p>
<p>使用目的</p>	<p>固有値解析，応答解析</p>
<p>開発機関</p>	<p>伊藤忠テクノソリューションズ株式会社</p>
<p>開発時期</p>	<p>1972年（センチュリリサーチセンタ株式会社） 2007年（伊藤忠テクノソリューションズ株式会社）</p>
<p>使用したバージョン</p>	<p>Ver. 8.1.0</p>
<p>コードの概要</p>	<p>本解析コードは，土木・建築分野における骨組構造*を対象として開発された2次元／3次元応答解析コードであり，市販されている汎用構造計算機プログラムである。固有値解析並びに静的解析（線形）及び動的解析（線形，非線形）による応答解析が可能である。以下に示す構造に対し，3種類の解析を行うことができる。</p> <p>&lt;構造&gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 2次元骨組構造</li> <li>2. 3次元骨組構造</li> </ol> <p>&lt;解析&gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 固有値解析</li> <li>2. 静的解析（線形）</li> <li>3. 動的解析（線形，非線形）</li> </ol>
<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析で使用した DYNA2E Ver. 8.1.0 に対し，使用実績のある Ver. 7.2.48 からのバージョンアップにおいて，本解析で使用するコマンドに関し解析結果に影響を及ぼす変更がないことをバージョンのリリースノートより確認している。</li> <li>・実績のある解析モデルデータでの固有値解析結果及び動的解析結果より，バージョンアップにより解析結果に相違が生じないことを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・検証内容のとおり，固有値解析及び応答解析について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。</li> <li>・今回の工事計画認可申請における構造に対し使用する固有値解析及び応答解析の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>
--	--

注記\*：本解析コードでは，主に曲げせん断はり要素を適用する構造のことをいう。

VI-5-22 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ S u p e r F L U S H / 2 D

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3
2.1 SuperFLUSH/2D Ver. 5.1, Ver. 6.1 .....	3
2.2 SuperFLUSH/2D Ver. 6.2 .....	4

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）SuperFLUSH/2Dについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-2	原子炉建物の地震応答計算書	Ver. 5.1, Ver. 6.1
VI-2-2-5	制御室建物の地震応答計算書	Ver. 5.1, Ver. 6.1
VI-2-11-2-1-1	1号機原子炉建物の耐震性についての計算書	Ver. 5.1, Ver. 6.1
VI-2-2-28	取水管の耐震性についての計算書	Ver. 6.2

## 2. 解析コードの概要

### 2.1 SuperFLUSH/2D Ver. 5.1, Ver. 6.1

項目	コード名 SuperFLUSH/2D
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	株式会社地震工学研究所, 株式会社構造計画研究所
開発時期	1983年
使用したバージョン	Ver. 5.1, Ver. 6.1
コードの概要	<p>SuperFLUSH/2D (以下「本解析コード」という。)は、地盤-構造物系の地震応答解析の汎用コードである。</p> <p>複素応答に基づいた有限要素法を用いた本解析コードは、1974年のLUSH及び1975年に米国カリフォルニア大学から発表されたFLUSHの改良版である。</p> <p>本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、建築、土木等の構造物の地盤と構造物の地震応答解析に広く利用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本工事計画で使用する地震応答解析機能の検証として、水平成層地盤の側方にエネルギー伝達境界を設けたモデルによる地震応答解析結果が、側方半無限性を仮定した1次元重複反射理論に基づく別コードSHAKEによる地震応答解析結果と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、国内の建築・土木分野において使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・九州電力株式会社玄海原子力発電所第3号機の取水管路の地震応答解析に本解析コード(Ver. 6.0)が使用された実績がある。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する2次元有限要素法による地震応答解析に、本解析コードが適用できることを確認している。</li> <li>・本工事計画で行う2次元有限要素法による地震応答解析の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認の範囲内にあることを確認している。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において、本解析の使用範囲の結果に影響の無いことを確認している。</li> </ul>

2.2 SuperFLUSH/2D Ver. 6.2

項目	コード名 SuperFLUSH/2D
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	株式会社地震工学研究所，株式会社構造計画研究所
開発時期	1983年
使用したバージョン	Ver. 6.2
コードの概要	<p>SuperFLUSH/2D（以下「本解析コード」という。）は，地盤－構造物系の地震応答解析の汎用コードである。</p> <p>複素応答に基づいた有限要素法を用いた本解析コードは，1974年のLUSH及び1975年に米国カリフォルニア大学から発表されたFLUSHの改良版である。</p> <p>本解析コードは，数多くの研究機関や企業において，建築，土木等の構造物の地盤と構造物の地震応答解析に広く利用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本工事計画で使用する地震応答解析機能の検証として，水平成層地盤の側方にエネルギー伝達境界を設けたモデルによる地震応答解析結果が，側方半無限性を仮定した1次元重複反射理論に基づく別コードSHAKEによる地震応答解析結果と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは，国内の建築・土木分野において使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・九州電力株式会社玄海原子力発電所第3号機の取水管路の地震応答解析に本解析コード（Ver. 6.0）が使用された実績がある。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより，本工事計画で使用する2次元有限要素法による地震応答解析に，本解析コードが適用できることを確認している。</li> <li>・本工事計画で行う2次元有限要素法による地震応答解析の用途，適用範囲が，上述の妥当性確認の範囲内にあることを確認している。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンは，他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョンの変更において，本解析の使用範囲の結果に影響の無いことを確認している。</li> </ul>



VI-5-23 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ ADM I T H F

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

## 1. はじめに

本資料は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」等において使用した計算機プログラム（解析コード）ADMITHFについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-2	原子炉建物の地震応答計算書	Ver. 1.3.1
VI-2-2-5	制御室建物の地震応答計算書	Ver. 1.3.1
VI-2-2-7	タービン建物の地震応答計算書	Ver. 1.3.1
VI-2-2-9	廃棄物処理建物の地震応答計算書	Ver. 1.3.1
VI-2-2-11	緊急時対策所の地震応答計算書	Ver. 1.3.1
VI-2-2-13	排気筒の地震応答計算書	Ver. 1.1, Ver. 1.3.1
VI-2-2-16	ガスタービン発電機建物の地震応答計算書	Ver. 1.2.1, Ver. 1.3.1
VI-2-11-2-1-2	1号機タービン建物の耐震性についての計算書	Ver. 1.3.1
VI-2-11-2-1-3	1号機廃棄物処理建物の耐震性についての計算書	Ver. 1.3.1
VI-2-11-2-1-4	サイトバンカ建物の耐震性についての計算書	Ver. 1.3.1
VI-2-11-2-1-5	サイトバンカ建物（増築部）の耐震性についての計算書	Ver. 1.3.1
VI-2-11-2-2	1号機排気筒の耐震性についての計算書	Ver. 1.2.1, Ver. 1.3.1

## 2. 解析コードの概要

項目 \ 項目	コード名 ADMITHF
使用目的	質点系地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばね算定
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1982年
使用したバージョン	Ver. 1. 1, Ver. 1. 2. 1, Ver. 1. 3. 1
コードの概要	ADMITHF（以下「本解析コード」という。）は、振動アドミッタンス理論により、矩形基礎の水平動、鉛直動及び回転動に対する地盤の複素ばね剛性を半無限地盤に対する点加振解から、振動数領域で計算する計算機プログラムであり、地震応答解析モデル及び応力解析モデルにおける基礎底面地盤ばねの算定に用いている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは日本国内の原子力施設で多数の工事計画に使用されており、十分な使用実績があるため信頼性がある。</li> <li>・本解析コードによる解析結果と日本建築学会「入門・建物と地盤との動的相互作用」の中で公開されているダイナミカル・グランド・コンプライアンス（DGC）解と比較し、その妥当性を確認している。</li> <li>・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンのうちVer. 1. 3. 1は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンのうちVer. 1. 1, Ver. 1. 2. 1は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> </ul>

VI-5-24 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ N U P P 4

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

## 1. はじめに

本資料は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」等において使用した計算機プログラム（解析コード）NUPP4について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。



1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-2	原子炉建物の地震応答計算書	Ver. 1.3.20, Ver. 1.4.2, Ver. 1.4.7, Ver. 1.4.10, Ver. 1.4.11, Ver. 1.4.13
VI-2-2-5	制御室建物の地震応答計算書	Ver. 1.4.2, Ver. 1.4.3, Ver. 1.4.7, Ver. 1.4.10, Ver. 1.4.11, Ver. 1.4.13
VI-2-2-7	タービン建物の地震応答計算書	Ver. 1.4.2, Ver. 1.4.7, Ver. 1.4.11, Ver. 1.4.13
VI-2-2-9	廃棄物処理建物の地震応答計算書	Ver. 1.4.2, Ver. 1.4.7, Ver. 1.4.10, Ver. 1.4.13
VI-2-2-11	緊急時対策所の地震応答計算書	Ver. 1.4.7, Ver. 1.4.10, Ver. 1.4.13
VI-2-2-16	ガスタービン発電機建物の地震応答計算書	Ver. 1.4.7, Ver. 1.4.11, Ver. 1.4.13
VI-2-11-2-1-2	1号機タービン建物の耐震性についての計算書	Ver. 1.4.2, Ver. 1.4.13
VI-2-11-2-1-3	1号機廃棄物処理建物の耐震性についての計算書	Ver. 1.4.9, Ver. 1.4.10, Ver. 1.4.11, Ver. 1.4.13
VI-2-11-2-1-4	サイトバンカ建物の耐震性についての計算書	Ver. 1.4.2, Ver. 1.4.12
VI-2-11-2-1-5	サイトバンカ建物（増築部）の耐震性についての計算書	Ver. 1.4.13
VI-2-11-2-1-6	排気筒モニタ室の耐震性についての計算書	Ver. 1.4.12, Ver. 1.4.13
VI-2-11-2-6-1	ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備の耐震性についての計算書	Ver. 1.4.13
VI-3-別添1-6	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書	Ver. 1.4.13
VI-3-別添1-13-1	建物の強度計算書	Ver. 1.4.13
VI-3-別添2-5	原子炉建物の強度計算書	Ver. 1.4.13
VI-3-別添2-6	タービン建物の強度計算書	Ver. 1.4.13
VI-3-別添2-7	制御室建物の強度計算書	Ver. 1.4.13
VI-3-別添2-8	廃棄物処理建物の強度計算書	Ver. 1.4.13
VI-3-別添2-9	排気筒モニタ室の強度計算書	Ver. 1.4.13

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	NUPP4
使用目的	固有値解析, 地震応答解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1967年
使用したバージョン	Ver. 1. 3. 20, Ver. 1. 4. 2, Ver. 1. 4. 3, Ver. 1. 4. 7, Ver. 1. 4. 9, Ver. 1. 4. 10, Ver. 1. 4. 11, Ver. 1. 4. 12, Ver. 1. 4. 13
コードの概要	<p>NUPP4 (以下「本解析コード」という。) は, 原子力発電所建屋の地震応答解析用として開発された質点系モデルによる解析計算機コードである。</p> <p>静荷重 (節点荷重), 固有値解析, スペクトルモーダル解析及び動荷重 (節点加振力, 地震入力) を扱うことができる。</p> <p>地震応答解析は, 線形解析及び非線形解析を時間領域における数値積分により行うほか, 線形解析を周波数領域で行うことが可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機能が適正であることは, 後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について, 動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの適用は, 以下のとおり妥当である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの前バージョンであるNUPP及びNUPP II (以下「旧バージョン」という。) は, 日本国内の原子力施設における建築物の地震応答解析において数多くの工事計画に使用されており, 十分な使用実績がある。本解析コードは使用計算機 (OS) の変更に伴うカスタマイズを施したものであり解析に係る部分は旧バージョンから変更していないため, 旧バージョン同様, 信頼性があると判断できる。</li> <li>・固有値解析, 弾性地震応答解析については, 一般産業界において多数の解析で使用実績のあるDYNA2E*<sup>1</sup>を用いて, 同一諸元による解析を行い, 本解析コードによる解析結果とおおむね一致することを確認している。</li> <li>・弾塑性地震応答解析については, 既工事計画において確認している (財)原子力発電技術機構の報告書*<sup>2</sup>による解析結果とおおむね一致することを確認している。</li> <li>・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本工事計画において使用するバージョンのうちVer. 1. 4. 10は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンのうちVer. 1. 3. 20, Ver. 1. 4. 2, Ver. 1. 4. 3, Ver. 1. 4. 7, Ver. 1. 4. 9, Ver. 1. 4. 11, Ver. 1. 4. 12, Ver. 1. 4. 13は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> </ul>
--	---

注記\*1：DYNA2E 販売元 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社

\*2：質点系モデル解析コードSANLUMの保守に関する報告書 平成10年3月（財）原子力発電技術機構原子力安全解析所

VI-5-25 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ N A P I S O S

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

1. はじめに

本資料は、VI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」等において使用した計算機プログラム（解析コード）NAPISOSについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-9	廃棄物処理建物の地震応答計算書	Ver. 2.0
VI-2-11-2-1-1	1号機原子炉建物の耐震性についての計算書	Ver. 2.0

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	NAPISOS
使用目的	地震応答解析
開発機関	電力中央研究所，株式会社竹中工務店
開発時期	1996年（使用開始時期）
使用したバージョン	Ver. 2.0
コードの概要	<p>NAPISOS（以下「本解析コード」という。）は，地盤をソリッド要素で，建物を非線形積層シェル要素や非線形ビーム要素でモデル化することにより，原子力発電所建物の地盤建物連成系3次元非線形地震応答解析が可能である。また，建物基礎と地盤モデル間に，ジョイント要素を設置することにより，基礎浮上り性状を評価することができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・理論解との比較</li> <li>・他コードとの比較</li> <li>・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・検証の内容のとおり，地盤（FEM）－建物（多質点）を連成した地震応答について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。</li> <li>・本工事計画において使用するVer. 2.0は，他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</li> </ul>



VI-5-26 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ F I N A L

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

## 1. はじめに

本資料は、VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」等において使用した計算機プログラム（解析コード）FINALについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-8-4-3	中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書	Ver. 11
VI-3-別添2-7	制御室建物の強度計算書	Ver. 11

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	FINAL
使用目的	3次元有限要素法による静的非線形応力解析
開発機関	株式会社大林組
開発時期	1989年
使用したバージョン	Ver. 11
コードの概要	<p>FINAL（以下「本解析コード」という。）は、コンクリート系構造物を対象とした非線形FEM解析用の汎用コードである。主にコンクリート系の部材や構造物を対象とし、静的応力解析、固有値解析、動的応答解析、熱伝導解析等を行うことができる。また、コンクリートのひび割れ・圧壊、鉄筋・鋼板の降伏に関する材料構成則を考慮した詳細なシミュレーションが可能である。</p> <p>使用実績としては、内圧を受ける原子炉格納容器の解析評価をはじめとして、複雑で大規模な構造物のシミュレーションが行われている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、シェルモデルによる静的応力解析を行い、解析解が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、建築及び土木分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・線形(弾性)解析の妥当性は、汎用FEM解析プログラムMSC NASTRAN (Ver. 2008r1) との比較により計算結果が妥当であることを確認している。</li> <li>・非線形解析の妥当性は、PCCVの内圧限界挙動解析、PCCV縮小模型試験体の水平加力解析、せん断力と水圧を受けるRC造耐震壁の挙動解析等、様々な実験データとの比較により確認している。</li> <li>・本工事計画において使用するVer. 11は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</li> </ul>

VI-5-27 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ K A N S A S 2

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

## 1. はじめに

本資料は、VI-2-11-2-6-2「建物開口部竜巻防護対策設備の耐震性についての計算書」等において使用した計算機プログラム（解析コード）KANSAS2について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。



1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-8	防水壁の耐震性についての計算書	Ver. 6.01
VI-2-10-2-9	水密扉の耐震性についての計算書	Ver. 6.01
VI-2-10-2-13	堰の耐震性についての計算書	Ver. 6.01
VI-2-11-2-6-2	建物開口部竜巻防護対策設備の耐震性についての計算書	Ver. 6.01
VI-3-別添2-9	排気筒モニタ室の強度計算書	Ver. 6.01
VI-3-別添3-2-5	防水壁の強度計算書	Ver. 6.01
VI-3-別添3-2-6	水密扉の強度計算書	Ver. 6.01
VI-3-別添3-4-2	水密扉の強度計算書 (溢水)	Ver. 6.01
VI-3-別添3-4-4	堰の強度計算書	Ver. 6.01

## 2. 解析コードの概要

項目 \ 項目	コード名 KANSAS2
使用目的	応力解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2004年
使用したバージョン	Ver. 6. 01
コードの概要	<p>KANSAS2（以下「本解析コード」という。）は、鹿島建設株式会社により開発された3次元応力解析（FEM要素含む。）の解析計算機コードである。</p> <p>本解析コードは、微小変位理論による変位法を用いて、3次元骨組（FEM要素含む。）の断面力・変位を算出するための構造解析プログラムである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、一般建築分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・はり要素を用いた応力解析について、本解析コードによる解析結果と文献*による一般構造力学による理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンのうちVer. 6. 01は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</li> </ul>

注記\*：成岡昌夫，服部正他 コンピュータによる構造工学講座Ⅱ-1-B，日本鋼構造協会編，骨組構造解析，培風館，昭和46年6月，pp. 20～33

VI-5-28 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ S N A P - L E

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

1. はじめに

本資料は、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」等において使用した計算機プログラム（解析コード）SNAP-LEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-13	排気筒の地震応答計算書	Ver. 6.0.0.4
VI-2-2-14	排気筒の耐震計算書	Ver. 6.0.0.4

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SNAP-LE
使用目的	立体架構モデルによる地震応答解析及び応力解析
開発機関	株式会社構造システム
開発時期	1999年（一般商業用リリース）
使用したバージョン	Ver. 6.0.0.4
コードの概要	<p>SNAP-LE（以下「本解析コード」という。）は、任意形状の構造物に対する静的及び動的応答解析を目的として開発された、構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデル（ビーム要素）に対して、静的線形解析、動的応答解析（弾性、部材レベルの弾塑性）、荷重増分解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、主に建築分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・ 本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本解析コードは、主に建築分野において使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・ 検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから、検証結果を持って、解析機能の妥当性も確認できる。</li> <li>・ 本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> <li>・ 島根2号機排気筒の耐震裕度向上を目的とした工事計画届において、排気筒に対する地震応答解析に本解析コード（Ver. 6.0.0.4）が使用された実績がある。</li> </ul>

VI-5-29 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ R C 断面計算



## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）RC断面計算について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-4	防波壁通路防波扉の耐震性についての計算書	Ver. 8.0.10 大林組改良版Ver. 2.0.2
VI-2-別添2-2	溢水源としないB, Cクラス機器の耐震性についての計算書	Ver. 8.1.6
VI-2-10-2-7	屋外排水路逆止弁の耐震性についての計算書	Ver. 8.1.8
VI-3-別添3-2-2	防波壁通路防波扉の強度計算書	Ver. 8.0.10 大林組改良版Ver. 2.0.2

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	RC断面計算
使用目的	鉄筋コンクリートの応力度計算
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	1998年
使用したバージョン	Ver. 8. 0. 10, Ver. 8. 1. 6, Ver. 8. 1. 8, 大林組改良版Ver. 2. 0. 2
コードの概要	RC断面計算（以下「本解析コード」という。）は、株式会社フォーラムエイトによって、様々な断面形状を持つ鉄筋コンクリート断面に対する応力度計算用に開発された解析コードである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）について理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論解に一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本工事計画に本解析コードを使用することの妥当性は、前述の検証の中で確認している。</li> <li>・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、防潮堤、SA用海水ピット、格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート他の鉄筋コンクリートの応力解析（断面照査）に本解析コード（Ver. 8. 0. 5）が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンのうち Ver. 8. 0. 10, Ver. 8. 1. 6, Ver. 8. 1. 8, 大林組改良版 Ver. 2. 0. 2 は、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において、本解析の使用範囲の結果に影響の無いことを確認している。</li> <li>・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

VI-5-30 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ m i c r o S H A K E / 3 D

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3
2.1 microSHAKE/3D Ver. 2. 1. 0, Ver. 2. 3. 1, Ver. 2. 4. 1 .....	3
2.2 microSHAKE/3D Ver. 2. 2. 3. 311 .....	4

## 1. はじめに

本資料は、VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」等において使用した計算機プログラム（解析コード）microSHAKE/3Dについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類	バージョン	
VI-2-2-18	取水槽の地震応答計算書	Ver. 2. 2. 3. 311
VI-2-2-20	屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の地震応答計算書	Ver. 2. 4. 1
VI-2-2-22	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の地震応答計算書	Ver. 2. 3. 1
VI-2-2-24	屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の地震応答計算書	Ver. 2. 3. 1
VI-2-2-26	屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の地震応答計算書	Ver. 2. 3. 1
VI-2-2-28	取水管の耐震性についての計算書	Ver. 2. 4. 1
VI-2-2-30	第1ベントフィルタ格納槽の地震応答計算書	Ver. 2. 1. 0
VI-2-2-32	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答計算書	Ver. 2. 1. 0
VI-2-2-37	屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答計算書	Ver. 2. 3. 1
VI-2-2-39	屋外配管ダクト（排気筒）の耐震性についての計算書	Ver. 2. 1. 0
VI-2-10-2-5	1号機取水槽の地震応答計算書	Ver. 2. 4. 1
VI-2-11-2-3	免震重要棟遮蔽壁の耐震性についての計算書	Ver. 2. 3. 1
VI-2-11-2-4	1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版の耐震性についての計算書	Ver. 2. 4. 1
VI-2-11-2-12	復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性についての計算書	Ver. 2. 3. 1
VI-2-別添2-2	溢水源としないB、Cクラス機器の耐震性についての計算書	Ver. 2. 4. 1
VI-2-11-2-13	仮設耐震構台の耐震性についての計算書	Ver. 2. 1. 0
VI-2-11-2-14	土留め工（親杭）の耐震性についての計算書	Ver. 2. 1. 0
VI-2-11-2-15	ディーゼル燃料貯蔵タンク室の耐震性についての計算書	Ver. 2. 1. 0
VI-2-別添2-2	溢水源としないB、Cクラス機器の耐震性についての計算書	Ver. 2. 4. 1
VI-2-別添3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動	Ver. 2. 3. 0
VI-2-別添4-2	地下水位低下設備の地震応答計算書	Ver. 2. 4. 1
VI-2-別添7-2-24	地下水位低下設備の地震応答計算書（掘削前）	Ver. 2. 4. 1



## 2. 解析コードの概要

### 2.1 microSHAKE/3D Ver. 2.1.0, Ver. 2.3.1, Ver. 2.4.1

項目	コード名
項目	microSHAKE/3D
使用目的	1次元地震応答解析による入力地震動算定
開発機関	株式会社地震工学研究所
開発時期	2011年
使用したバージョン	Ver. 2.1.0, Ver. 2.3.1, Ver. 2.4.1
コードの概要	<p>microSHAKE/3D（1次元波動伝播解析コード）は、1次元重複反射理論に基づく地盤の地震応答解析を行うことが可能であり、地盤の非線形性はひずみ依存性を用いて等価線形法により考慮することができる。</p> <p>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 1次元重複反射理論に基づくプログラムである。</li> <li>② 地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮することができる。</li> <li>③ 鉛直動は、S波速度 <math>V_s</math> をP波速度 <math>V_p</math> として定義することで対応が可能である。</li> </ol>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードについて、2層のモデル地盤において地震応答解析を行った解析解と、1次元重複反射理論に基づく理論解が一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・検証の内容のとおり、地盤の応答解析について検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。</li> <li>・原子力産業界において、原子力発電所の土木構造物評価をはじめとする多数の解析に本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。</li> <li>・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備等の1次元地震応答解析（入力地震動算定）で本解析コード（Ver. 2.2.3.311）が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画で使用するバージョンは、東海第二発電所の既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> <li>・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

2.2 microSHAKE/3D Ver. 2.2.3.311

項目	コード名 microSHAKE/3D
使用目的	1次元地震応答解析による入力地震動算定
開発機関	株式会社地震工学研究所
開発時期	2011年
使用したバージョン	Ver. 2.2.3.311
コードの概要	<p>microSHAKE/3D（1次元波動伝播解析コード）は、1次元重複反射理論に基づく地盤の地震応答解析を行うことが可能であり、地盤の非線形性はひずみ依存性を用いて等価線形法により考慮することができる。</p> <p>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 1次元重複反射理論に基づくプログラムである。</li> <li>② 地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮することができる。</li> <li>③ 鉛直動は、S波速度 <math>V_s</math> をP波速度 <math>V_p</math> として定義することで対応が可能である。</li> </ol>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードについて、2層のモデル地盤において地震応答解析を行った解析解と、1次元重複反射理論に基づく理論解が一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・検証の内容のとおり、地盤の応答解析について検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。</li> <li>・原子力産業界において、原子力発電所の土木構造物評価をはじめとする多数の解析に本解析コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。</li> <li>・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備等の1次元地震応答解析（入力地震動算定）で本解析コード（Ver. 2.2.3.311）が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

VI-5-31 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ A N S Y S

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3
2.1 ANSYS Ver. 13.0 .....	3
2.2 ANSYS Ver. 14.0 .....	4
2.3 ANSYS Ver. 15.0 .....	6
2.4 ANSYS Ver. 17.2 .....	7

1. はじめに

本資料は、添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）ANSYSについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-3-2-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	Ver. 13.0, Ver. 14.0
VI-2-4-2-5	燃料プール水位（S A）の耐震性についての計算書	Ver. 17.2
VI-2-6-7-3-3-5	統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備のうち統合原子力防災NW用屋外アンテナの耐震性についての計算書	Ver. 15.0

## 2. 解析コードの概要

### 2.1 ANSYS Ver. 13.0

項目	コード名 ANSYS
使用目的	有限要素法による下部端栓溶接部応力評価
開発機関	ANSYS Inc.
開発時期	1970年
使用したバージョン	Ver. 13.0
コードの概要	<p>ANSYS (以下「本解析コード」という。) は、スワンソン・アナリシス・システムズ (現, ANSYS Inc.) により開発された有限要素法による計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードは、広範囲にわたる多目的有限要素法による計算機プログラムである。本解析コードは、伝熱、構造、マルチフィジックス、流体、陽解法による動的、電磁界及び流体力学のシミュレーション並びに解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは、ISO9001及びASME NQA-1の認証を受けた品質保証システムのもとで開発され、アメリカ合衆国原子力規制委員会による10CFR50並びに10CFR21の要求を満たしており、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、開発元のリリースノートの例題集において、多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較により両者が一致することで検証されている。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発元から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。</li> <li>・本解析コードは、原子力分野では、原子炉設置 (変更) 許可申請書における応力解析等、これまで多くの構造解析に対し使用実績があり、9×9燃料 (B型) の原子炉設置 (変更) 許可申請書や燃料体設計認可申請書における下部端栓溶接部の応力評価に対し使用実績があることを確認している。</li> </ul>

2.2 ANSYS Ver. 14.0

項目	コード名 ANSYS
使用目的	有限要素法による下部端栓溶接部応力評価
開発機関	ANSYS Inc.
開発時期	1970年
使用したバージョン	Ver. 14.0
コードの概要	<p>ANSYS (以下「本解析コード」という。) は, スワンソン・アナリシス・システムズ (現, ANSYS Inc.) により開発された有限要素法による計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードは, 広範囲にわたる多目的有限要素法による計算機プログラムである。本解析コードは, 伝熱, 構造, マルチフィジックス, 流体, 陽解法による動的, 電磁界及び流体力学のシミュレーション並びに解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは, ISO9001及びASME NQA-1の認証を受けた品質保証システムのもとで開発され, アメリカ合衆国原子力規制委員会による10CFR50並びに10CFR21の要求を満たしており, 数多くの研究機関や企業において, 航空宇宙, 自動車, 機械, 建築, 土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは, 開発元のリリースノートの例題集において, 多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較により両者が一致することで検証されている。</li> <li>・本コード配布時に同梱されたANSYS Mechanical APDL Verification Testing Packageを入力とした解析により, 上記例題集の検証を再現できることを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について, 開発元から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は, 以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは, 数多くの研究機関や企業において, 航空宇宙, 自動車, 機械, 建築, 土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。</li> <li>・本解析コードは, 原子力分野では, 原子炉設置 (変更) 許可申請書における応力解析等, これまで多くの構造解析に対し使用実績があり, 9×9燃料 (B型) の原子炉設置 (変更) 許可申請書や燃料体設計認可申請書における下部端栓溶接部の応力評価に対し使用実績があることを確認している。</li> </ul>



<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>本解析コードは、既認可の下部端栓溶接部応力解析において使用実績のあるMARCと応力評価モデルは同一であり、同等な解析条件（有限要素モデル、ペレットやジルカロイ被覆管の物性値、荷重条件及び境界モデル）を設定可能なこと、MARCと本解析コードとで同等な解析結果となることを確認している。</li> </ul>
--	---

2.3 ANSYS Ver. 15.0

項目	コード名 ANSYS
使用目的	3次元有限要素法（ソリッド要素）による固有値解析，応答解析
開発機関	ANSYS Inc.
開発時期	1970年
使用したバージョン	Ver. 15.0
コードの概要	<p>ANSYS（以下「本解析コード」という。）は，スワンソン・アナリシス・システムズ（現，ANSYS Inc.）により開発された有限要素法による計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードは，広範囲にわたる多目的有限要素法による計算機プログラムである。本解析コードは，伝熱，構造，マルチフィジックス，流体，陽解法による動的，電磁界及び流体力学のシミュレーション並びに解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは，ISO9001及びASME NQA-1の認証を受けた品質保証システムのもとで開発され，アメリカ合衆国原子力規制委員会による10CFR50並びに10CFR21の要求を満たしており，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は次のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの検証は，開発元のリリースノートの例題集において，多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較が実施されており，理論解と解析解が一致していることを確認している。</li> <li>・本解析コードが適正であることは，コード配布時に同梱されたANSYS Mechanical APDL Verification Testing Packageにより確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境については，開発元から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は次のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。</li> <li>・本解析コードは，原子力分野では，原子炉設置（変更）許可申請書における応力解析等，これまで多くの構造解析に対し使用実績があることを確認している。</li> </ul>

2.4 ANSYS Ver. 17.2

項目	コード名 ANSYS
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，応答解析
開発機関	ANSYS Inc.
開発時期	1970年
使用したバージョン	Ver. 17.2
コードの概要	<p>ANSYS（以下「本解析コード」という。）は，スワンソン・アナリシス・システムズ（現，ANSYS Inc.）により開発された有限要素法による計算機プログラムである。</p> <p>本解析コードは，広範囲にわたる多目的有限要素法による計算機プログラムである。本解析コードは，伝熱，構造，マルチフィジックス，流体，陽解法による動的，電磁界及び流体力学のシミュレーション並びに解析を実施するものである。</p> <p>本解析コードは，ISO9001及びASME NQA-1の認証を受けた品質保証システムのもとで開発され，アメリカ合衆国原子力規制委員会による10CFR50並びに10CFR21の要求を満たしており，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は次のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの検証は，開発元のリリースノートの例題集において，多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較が実施されており，理論解と解析解が一致していることを確認している。</li> <li>・本解析コードが適正であることは，コード配布時に同梱されたANSYS Mechanical APDL Verification Testing Packageにより確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境については，開発元から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は次のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは，数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，機械，建築，土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。</li> <li>・本解析コードは，原子力分野では，原子炉設置（変更）許可申請書における応力解析等，これまで多くの構造解析に対し使用実績があることを確認している。</li> </ul>

VI-5-32 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ F U R S T

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

## 1. はじめに

本資料は、VI-2-3-2-1において使用した計算機プログラム（解析コード）FURSTについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-3-2-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	Ver. 5

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名 FURST
使用目的	弾性解析による被覆管応力解析
開発機関	ゼネラル・エレクトリック社
開発時期	1978年
使用したバージョン	Ver. 5
コードの概要	<p>FURST（以下「本解析コード」という。）は、ゼネラル・エレクトリック社により開発された被覆管応力解析コードである。</p> <p>本解析コードは、燃料被覆管温度、燃料棒内圧、炉心条件、燃料棒寸法及び許容応力の統計的分布を考慮し、被覆管の支持格子間及び支持格子接触部の応力評価をモンテカルロ法により統計的に実施する。</p> <p>地震時には、通常運転時及び過渡時に被覆管に発生する応力の他に、水平及び鉛直地震加速度により被覆管に発生する応力を考慮する。</p> <p>本解析コードは、高燃焼度8×8燃料、9×9燃料及びMOX燃料の設計・許認可解析に適用された実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・被覆管の応力計算式（厚肉円筒）がコードに正しく組み込まれていることを、本解析コードによる解析結果が別法計算による解析結果と一致していることにより確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・コード検討会等規制機関による確認<sup>*1, *2, *3</sup>が実施されていることを確認している。</li> </ul>

注記\*1：沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について（平成10年2月 株式会社日立製作所 HLR-033訂1）

\*2：沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について（平成10年1月 株式会社東芝TLR-045改訂1）

\*3：原子炉安全基準専門部会報告書，発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について（昭和63年5月12日 原子力安全委員会了承）



VI-5-33 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ B S P A N 2

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

1. はじめに

本資料は、VI-2-3-2-1において使用した計算機プログラム（解析コード）BSPAN2について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-3-2-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	Ver. 2.2

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	BSPAN2
使用目的	弾性解析による被覆管応力解析
開発機関	原子燃料工業株式会社
開発時期	2011年
使用したバージョン	Ver. 2.2
コードの概要	<p>BSPAN2（以下「本解析コード」という。）は、原子燃料工業株式会社により開発された被覆管応力解析コードである。</p> <p>本解析コードは、軽水炉向け燃料棒について燃焼中に被覆管に発生する応力を評価し、設計比及び運転モードの変化により発生する応力振幅をモンテカルロ法により評価する解析コードBSPANに、耐震解析用の機能等を統合した改良コードである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・組み込み式は、実験値、文献等の根拠に基づくものであり、当該式の使用が適切であることを確認し、理論解と解析結果が一致していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・改良前のBSPANコードを電力合同プログラム点検にて確認している。</li> <li>・組み込み式が正しく反映されることを理論解と解析結果が一致していることで確認している。</li> <li>・解析コードのバージョンアップ前後の比較により、燃料被覆管応力解析において既許認可の結果を再現できることを確認している。</li> </ul>

VI-5-34 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ A S H S D 2 - B

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）ASHSD2-B について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。



1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-2-2	原子炉圧力容器の脆性破壊防止に関する説明書	Ver.0
VI-2-3-2-2-3	シュラウドサポートの耐震性についての計算書	Ver.0
VI-2-3-3-1-2	原子炉圧力容器の耐震性についての計算書	Ver.0
VI-3-別添6-1	炉心支持構造物の強度計算書	Ver.0

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名 ASHSD2-B
使用目的	2次元有限要素法（軸対称モデル）による応力解析
開発機関	米国カリフォルニア大学及びバブコック日立株式会社
開発時期	1979年
使用したバージョン	Ver. 0
コードの概要	<p>本解析コードは、原子炉圧力容器に対する評価を目的として、有限要素法により軸対称構造物の軸対称及び非軸対称荷重に対する応力を計算する汎用プログラムである。</p> <p>荷重条件としては、内圧、差圧、軸力等の軸対称荷重のほか、水平力、曲げモーメント等非軸対称荷重を扱うことができる。</p> <p>要素としてシェル要素、三角形要素及び四角形要素があり、任意の組合せで構造物をモデル化できる。</p> <p>熱応力計算に当たっては、温度分布解析用解析コード（TACF）の結果をファイルを介して自動的に取り込むことができる。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・内圧を受ける厚肉円筒の弾性解析と、理論解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードのマニュアルにより、今回の工事計画認可申請で使用する応力解析に、本解析コードが適用できることを確認している。</li> <li>・本解析コードは、これまで多くの既工事計画で使用実績を有しており、妥当性は十分確認されている。</li> </ul>

VI-5-35 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ T A C F

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）TACF について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-3-別添6-1	炉心支持構造物の強度計算書	Ver.0

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	TACF
使用目的	2次元有限要素法（軸対称モデル）による応力解析
開発機関	バブコック日立株式会社
開発時期	1982年
使用したバージョン	Ver. 0
コードの概要	<p>本解析コードは、原子炉圧力容器に対する評価を目的として、有限要素法により平面及び軸対称構造物の定常及び非定常温度分布を計算するプログラムである。</p> <p>温度分布計算は、領域を小さなメッシュに分割し、各メッシュについての熱平衡方程式をたて、定常問題は弛緩法*により、非定常問題は微小時間でステップごとの温度分布を順次求める方法による。</p> <p>境界条件としては、強制対流熱伝達のほか、自然対流熱伝達、輻射熱伝達等の非線型熱伝達も扱うことができる。</p> <p>要素として三角形要素及び四角形要素があり、任意の組合せで構造物をモデル化できる。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・平板の1次元熱伝導の温度分布解析と、理論解との比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードのマニュアルにより、今回の工事計画認可申請で使用する応力解析に、本解析コードが適用できることを確認している。</li> <li>・本解析コードは、これまで多くの既工事計画で使用実績を有しており、妥当性は十分確認されている。</li> </ul>

注記\*：エネルギー最小化原理に基づく解法の一つで反復法ともいう。近似解を仮定し、それを修正する計算を反復することによって、真の解に収束させる手法である。

VI-5-36 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ S A P - I V



## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）SAP-IVについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-4-2-2	使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書	CNDYN Ver. 4.1
VI-2-6-3-2-1-1	水圧制御ユニットの耐震性についての計算書	CNDYN Ver. 4.1
VI-2-10-1-2-1-8	非常用ディーゼル発電設備B-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算書	CNDYN Ver. 4.1
VI-2-11-2-7-3	チャンネル着脱装置の耐震性についての計算書	CNDYN Ver. 4.1
VI-2-11-2-7-5	制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算書	CNDYN Ver. 4.1
VI-2-11-2-7-7	原子炉浄化系補助熱交換器の耐震性についての計算書	CNDYN Ver. 4.1

2. 解析コードの概要

項目	コード名 SAP-IV
使用目的	3次元有限要素法（シェル要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析 3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析及び地震応答解析
開発機関	米国カリフォルニア大学 [redacted]
開発時期	1973年（米国カリフォルニア大学） [redacted]
使用したバージョン	CNDYN Ver. 4.1
コードの概要	<p>本解析コードは，カリフォルニア大学が開発した SAP-IV をベースに， [redacted] [redacted] である。任意形状の 3次元モデル（主にはり要素及びシェル要素）に対して，有限要素法を用いて静的解析及び動的解析を行うもので，主として，機器の固有値計算並びに自重，運転時荷重及び地震力による応力計算等に用いる。</p> <p>本解析コードは，機械工学，土木工学，航空工学等の分野において，多くの実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・両持ちはりの単純支持円筒モデルについて，本解析コードによる解析結果と理論解とを比較して検討し，解析解と理論解が一致していることを確認している。</li> <li>・平板のモデルについて，3次元有限要素法（シェル要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析を行い，本解析コードによる解析結果と理論解とを比較して検討し，解析解と理論解が一致していることを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは，機械工学，土木工学，航空工学等の分野において，多くの実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・本解析コードのマニュアルにより，今回の工事計画認可申請で使用する 3次元有限要素法（シェル要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析並びに 3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析及び地震応答解析に，本解析コードが適用できることを確認している。</li> <li>・今回の工事計画認可申請における構造に対して使用する要素及び解析については，既工事計画において使用された実績がある。</li> <li>・今回の工事計画認可申請において使用するバージョンは，既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</li> </ul>

VI-5-37 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ P R I M E

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

1. はじめに

本資料は、VI-2-3-2-1において使用した計算機プログラム（解析コード）PRIMEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-3-2-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	Ver. 1



## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	PRIME
使用目的	燃料棒の熱的挙動及び機械的挙動の評価
開発機関	ゼネラル・エレクトリック社，株式会社東芝，株式会社日立製作所（メーカー共同開発）
開発時期	1985年
使用したバージョン	Ver. 1
コードの概要	<p>PRIME（以下「本解析コード」という。）は，ゼネラル・エレクトリック社，株式会社東芝，株式会社日立製作所で共同開発された燃料棒熱・機械設計コードである。</p> <p>本解析コードは，出力履歴に対応したペレット-被覆管のギャップ幅変化とガスの熱伝導率をもとにペレットと被覆管のギャップ熱伝達係数を求め，燃料棒の熱的挙動を評価すると同時に，軸対称有限要素法(FEM)により，ペレットと被覆管の相互作用等の機械的挙動を評価する。</p> <p>本解析コードは，高燃焼度8×8燃料，9×9燃料及びMOX燃料の設計・許認可解析に適用された実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ハルデン炉の試験燃料データ，商業炉燃料棒の照射後試験データ等に基づいてペレット中心温度，核分裂生成ガス放出率，燃料棒内圧及び被覆管直径変化を対象とした計算値と測定値の比較<sup>*1, *2</sup>が実施され，コードに組み込まれた個々の解析モデルが正しく機能していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ハルデン炉の試験燃料データ等との比較における計算値と測定値のばらつきがコード予測の不確かさとして考慮<sup>*1, *2</sup>されていることを確認している。</li> <li>・コード検討会等規制機関による確認<sup>*1, *2, *3</sup>が実施されていることを確認している。</li> </ul>

注記\*1：沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について（平成10年2月 株式会社日立製作所 HLR-033訂1）

\*2：沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について（平成10年1月 株式会社東芝TLR-045改訂1）

\*3：原子炉安全基準専門部会報告書，発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について（昭和63年5月12日 原子力安全委員会了承）

VI-5-38 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ S i m c e n t e r N a s t r a n

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3
3. 解析手法 .....	4
3.1 一般事項 .....	4
3.2 解析コードの特徴 .....	4
3.3 解析手法 .....	4
3.3.1 固有値解析 .....	4
3.3.2 静的解析 .....	5
3.4 解析フローチャート .....	7
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation) .....	8
3.5.1 検証 .....	8
3.5.2 妥当性確認 .....	15
3.5.3 評価結果 .....	15

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）Simcenter Nastranについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-6-5-2	出力領域計装の耐震性についての計算書	Ver. 1859.0018

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	Simcenter Nastran
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析及び地震応答解析
開発機関	Siemens PLM Software
開発時期	1971年（一般商用リリース）
使用したバージョン	Ver. 1859.0018
コードの概要	<p>本解析コードは、航空・宇宙関係の機体強度解析を目的として開発された有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラムである。</p> <p>適用モデル（主にはり要素、シェル要素及びソリッド要素）に対して、静的解析（線形及び非線形）、動的解析（過度応答解析及び周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析、線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解とおおむね一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから、検証結果によって解析機能の妥当性も確認できる。</li> <li>・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

### 3. 解析手法

#### 3.1 一般事項

本解析コードは、米国 NASA(National Aeronautics and Space Administration)により初期開発され、その後 MSC. Software 社が商用コードとして開発し、現在 Siemens PLM Software が販売している有限要素法 (FEM) による構造解析汎用計算機コードである。

#### 3.2 解析コードの特徴

- (1) 多くの要素が用意されており、様々な種類の機器及び構造物の解析を行うことができる。
- (2) 多自由度を有する大規模問題を効率良く解析することができる。
- (3) 入力データを簡略化できるため、大規模問題を取り扱い易い。
- (4) モデルの確認及び解析結果の確認を図化したデータにより行うことができる。
- (5) 解析における座標系及び拘束条件は、取り扱う問題に応じて選択できる。

#### 3.3 解析手法

##### 3.3.1 固有値解析

構造体の動的な挙動は、時間 $t$ 、質量 $M$ 、減衰 $C$ の要素を考慮した(3.1)式に示す運動方程式で表される。

$$[M] \frac{d^2}{dt^2} \{\delta\} + [C] \frac{d}{dt} \{\delta\} + [K] \{\delta\} = \{F\} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

$[M]$  : 全体質量マトリックス

$[C]$  : 全体減衰マトリックス

$[K]$  : 全体剛性マトリックス

$\{\delta\}$  : 全体節点変位ベクトル

$\{F\}$  : 全体荷重ベクトル

固有値解析では(3.1)式に対し、減衰無し $[C]=0$ 、荷重無し $\{F\}=0$ の自由振動状態を想定する。これを式に表すと、(3.2)式となる。

$$[M] \frac{d^2}{dt^2} \{\delta\} + [K] \{\delta\} = 0 \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

(3.2)式の解 $\{\delta\}$ は単純な調和振動となることが予測できるので、 $\{\delta\}$ を(3.3)式のように置き換える。

$$\{\delta\} = \{\phi\} e^{i\omega t} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

$\{\phi\}$  : 全体変位ベクトル

$i$  : 虚数

$\omega$  : 角速度

(3.3)式について時間  $t$  で1階微分及び2階微分を行うと、(3.4)式及び(3.5)式となる。

$$\frac{d}{dt}\{\delta\} = i\omega\{\phi\}e^{i\omega t} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\frac{d^2}{dt^2}\{\delta\} = -\omega^2\{\phi\}e^{i\omega t} \dots\dots\dots (3.5)$$

(3.3)式及び(3.5)式を(3.2)式に代入すると、(3.6)式となる。

$$-\omega^2[M]\{\phi\}e^{i\omega t} + [K]\{\phi\}e^{i\omega t} = 0 \dots\dots\dots (3.6)$$

(3.6)式の両辺を $e^{i\omega t}$ で除して整理すると、(3.7)式のとおりとなる。

$$([K] - \omega^2[M])\{\phi\} = 0 \dots\dots\dots (3.7)$$

(3.7)式は数学的に一般固有値問題となる。この式を満たす $\omega^2$ と $\{\phi\}$ を求めることが固有値解析となる。ここで $\omega^2$ は固有値、 $\{\phi\}$ は固有ベクトルと呼ばれ、自由度の数だけ存在する。 $[K]$ 及び $[M]$ が $n \times n$ のマトリックスであった場合、固有値及び固有ベクトルの数は $n$ 個となる。 $\omega$ は角速度なので、振動数 $f$ に変換するには(3.8)式を用いる。

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \dots\dots\dots (3.8)$$

### 3.3.2 静的解析

要素内の変位を仮定し、節点変位を使って(3.9)式に示すとおり要素内任意点の変位を表現する。

$$\{U\} = [N]\{\delta^e\} \dots\dots\dots (3.9)$$

$\{U\}$ : 要素内任意点の変位ベクトル

$[N]$ : 形状関数マトリックス

$\{\delta^e\}$ : 節点変位ベクトル

上記の変位を微分して、要素内任意点のひずみを節点変位ベクトルで表すと、(3.10)式のとおりとなる。

$$\{\epsilon\} = [B]\{\delta^e\} \dots\dots\dots (3.10)$$

$\{\epsilon\}$ : 要素内任意点のひずみベクトル

$[B]$ : ひずみ-変位マトリックス

材料物性から求められる応力-ひずみの関係式から(3.11)式により応力が求められる。

(3.11)式にひずみの(3.10)式を代入すると、(3.12)式となるため、応力は要素節点変位から計算される。

$$\{\sigma\} = [D]\{\epsilon\} \dots\dots\dots (3.11)$$

$$\{\sigma\} = [D][B]\{\delta^e\} = [S]\{\delta^e\} \dots\dots\dots (3.12)$$

$\{\sigma\}$ : 要素内任意点の応力ベクトル

$[D]$ : 材料応力-ひずみマトリックス



[B] : ひずみ-変位マトリックス

[S] : 応力マトリックス

物体が力を受けた時の釣り合いを表す仮想仕事の原理は, (3.13)式により表される。

$$\iiint_V \{\delta \varepsilon\}^T \{\sigma\} dv - \iiint_V \{\delta U\}^T \{\bar{G}\} dv - \iint_{S_\sigma} \{\delta U\}^T \{\bar{T}\} ds = 0 \quad \dots\dots\dots (3.13)$$

$\{\delta \varepsilon\}$  : 仮想ひずみベクトル

$\{\delta U\}$  : 仮想変位ベクトル

$\{\bar{G}\}$  :  $\bar{X}, \bar{Y}$  の行ベクトル

$\bar{X}, \bar{Y}$  : X, Y 方向の物体力

$\{\bar{T}\}$  : 表面  $S_\sigma$  での表面力ベクトル

(3.13)式の第1項は内部の変形による内部仕事, 第2項及び第3項は外力による外部仕事であり, 各々全体積  $V$  又は表面積  $S_\sigma$  について積分した仕事が釣り合うことを表している。

ひずみ-変位関係式(3.10)及び応力-ひずみ関係式(3.11)を仮想仕事の(3.13)式に代入し, 要素剛性マトリックスの(3.14)式を導く。

$$[k^e] = \int [B]^T [D] [B] dv \quad \dots\dots\dots (3.14)$$

$[k^e]$  : 要素剛性マトリックス

静的な構造全体の剛性方程式は, 要素剛性方程式を全要素について重ね合わせた(3.15)式で与えられる。

$$[K]\{\delta\} = \{F\} \quad \dots\dots\dots (3.15)$$

全体剛性マトリックスは, 要素剛性マトリックスをその節点に対応するマトリックスの位置に足し合わせることによって計算される。要素数を  $n_e$  とし, 形式的に表現して(3.16)式及び(3.17)式となる。

$$[K] = \sum_{i=1}^{n_e} [k^e] \quad \dots\dots\dots (3.16)$$

$$\{F\} = \sum_{i=1}^{n_e} \{F^e\} \quad \dots\dots\dots (3.17)$$

$\{F^e\}$  : 要素荷重マトリックス

(3.15)式に拘束条件を適用して連立方程式を解けば, 節点変位 $\{\delta\}$ は(3.18)式のように求まる。ここでは形式的に $[K]^{-1}$ と表すが, 連立方程式を解くことを意味しており, 逆行列を計算する必要はない。

$$\{\delta\} = [K]^{-1}\{F\} \quad \dots\dots\dots (3.18)$$

全体節点変位ベクトル $\{\delta\}$ から要素の節点変位 $\{\delta^e\}$ を抽出して(3.12)式に代入すると, 要素応力が計算される。

### 3.4 解析フローチャート

本コードの解析フローチャートを各解析別に，図 3-1 及び図 3-2 に示す。

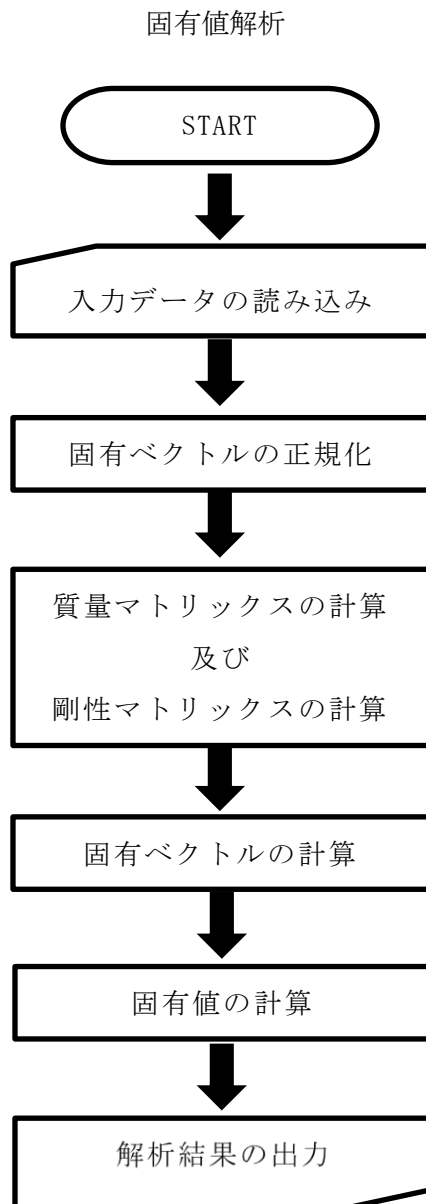


図 3-1 フローチャート（固有値解析）

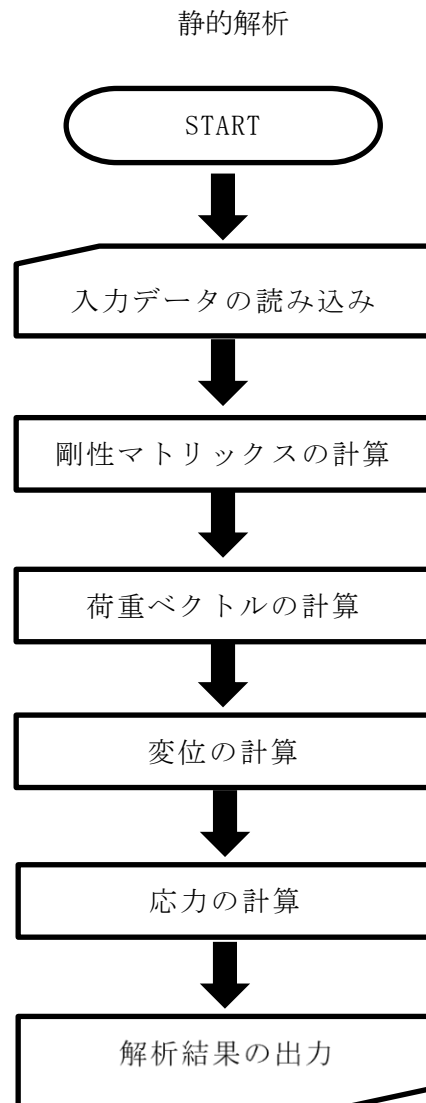


図 3-2 フローチャート（静的解析）

### 3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

#### 3.5.1 検証

##### (1) 両端固定はりの固有値解析

両端固定はりの固有値解析を行い、解析結果を理論解と比較する。両端固定はりの物性値、断面性能及び寸法を表3-1及び図3-3に示す。また、両端固定はりの断面形状を図3-4に示す。

表 3-1 両端固定はりの物性値、断面性能及び寸法

縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 $\nu$	密度 $\rho$ (t/mm <sup>3</sup> )	断面積 A (mm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント I (mm <sup>4</sup> )	長さ $l$ (mm)
$2 \times 10^5$	0.3	$7.9 \times 10^{-9}$	60	180	1000

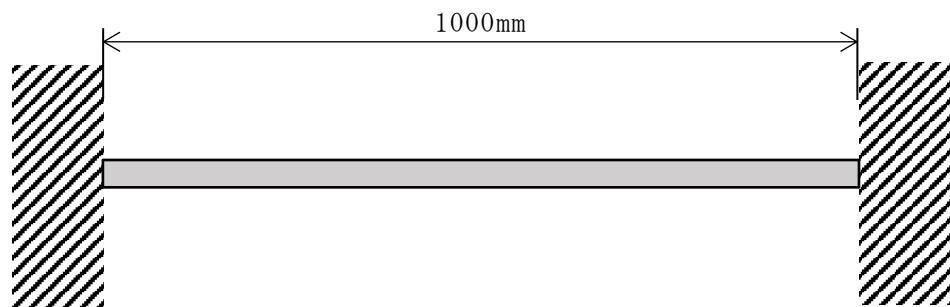


図 3-3 両端固定はりの寸法

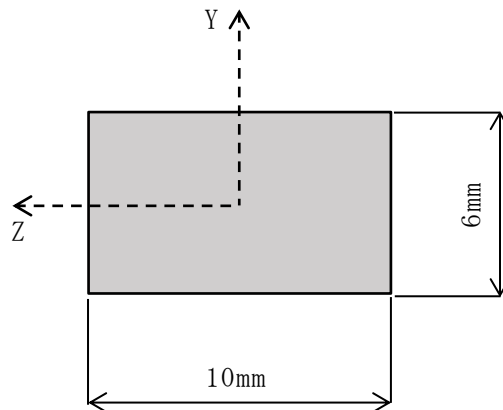


図 3-4 両端固定はりの断面形状

両端固定はりの横振動数の理論解は、(3.19)式により求める。

$$f_n = \frac{\lambda_n^2}{2\pi \cdot \ell^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho \cdot A}} \dots\dots\dots (3.19)$$

n : モード次数, n=1, 2, 3

A : 断面積

I : 断面二次モーメント

E : 縦弾性係数

$\lambda_n$  : 振動次数パラメータ

$\rho$  : 密度 (単位体積当たりの質量)

$\ell$  : 長さ

表3-2に振動次数パラメータ $\lambda_n$ の値を示す。

表 3-2  $\lambda_n$ の値

支持条件	$\lambda_1$ (1次)	$\lambda_2$ (2次)	$\lambda_3$ (3次)
支持-支持	$\pi$	$2\pi$	$3\pi$
固定-自由	1.875	4.694	7.855
固定-支持	3.927	7.069	10.210
自由-自由	4.730	7.853	10.996
固定-固定	4.730	7.853	10.996

出典：機械工学便覧

両端固定はりの1次横振動数の理論解は、(3.20)式により求める。

$$f_1 = \frac{\lambda_n^2}{2\pi \cdot \ell^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho \cdot A}}$$

$$= \frac{4.730^2}{2\pi \cdot 1000^2} \sqrt{\frac{2 \times 10^5 \times 180}{7.9 \times 10^{-9} \times 60}} = 31.0 \text{ (Hz)} \dots\dots\dots (3.20)$$

表3-3に固有振動数の理論解と解析結果の比較を示す。両端固定はりの解析モデルを図3-5に示す。解析モデルには、はり要素を使用し、長さ方向に40要素に分割した。図3-6に固有値解析結果を示す。表3-3に示すとおり、解析結果と理論解は一致しており、本解析コードの妥当性が確認された。

表 3-3 固有振動数の理論解と解析結果の比較 (両端固定はり)

次数	固有振動数 (Hz)	
	理論解	解析結果
1次	31.0	31.0

節点 : 41  
要素 : 40

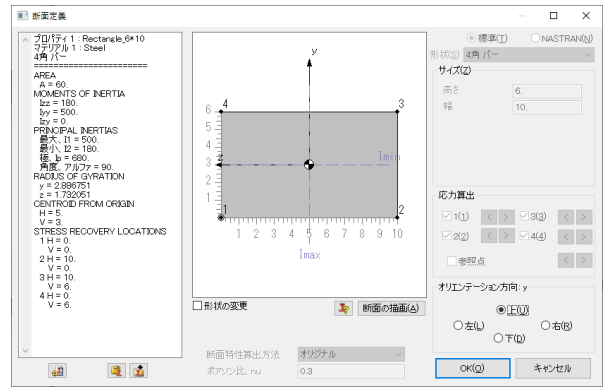
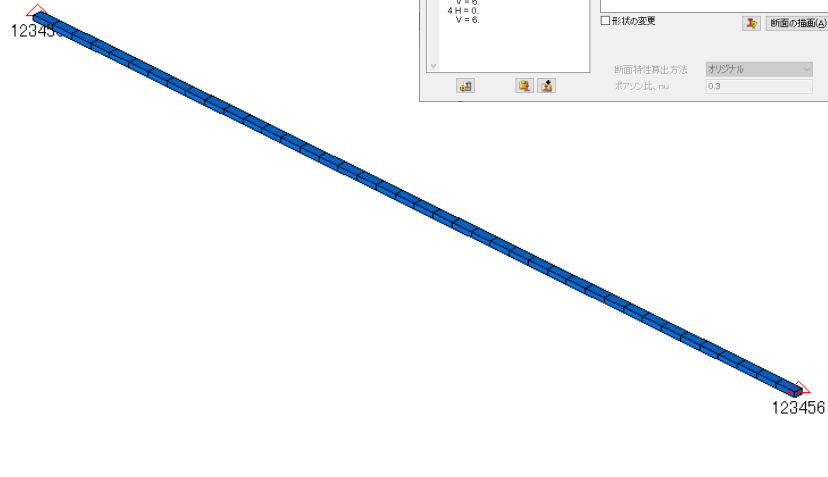
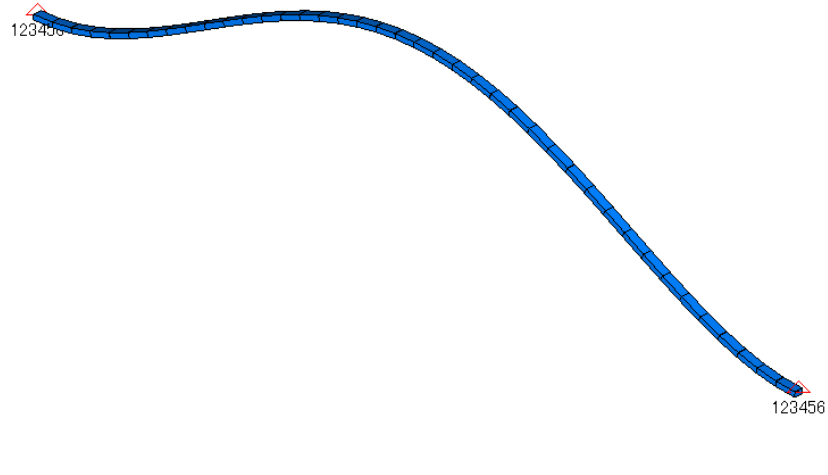


図 3-5 両端固定はりの解析モデル

1 次固有振動数 ( $f_1$ ) = 31.0(Hz)



アウトプットセット: Mode 1, 31.02511 Hz  
変形(72.94): Total Translation

図 3-6 両端固定はりの固有値解析結果

(2) 片持ちはりの自由端への集中荷重解析

片持ちはりの自由端への集中荷重  $F$  による静的解析を行い、たわみと曲げ応力について理論解と比較する。片持ちはりの物性値、断面性能及び寸法を表3-4及び図3-7に示す。また、片持ちはりの断面形状を図3-8に示す。荷重の種類及び値を表3-5に示す。

表 3-4 片持ちはりの物性値、断面性能及び寸法

縦弾性係数 $E$ (MPa)	ポアソン比 $\nu$	密度 $\rho$ (t/mm <sup>3</sup> )	断面積 $A$ (mm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント $I$ (mm <sup>4</sup> )	断面係数 $Z$ (mm <sup>3</sup> )	はりの長さ $l$ (mm)
$2 \times 10^5$	0.3	$7.9 \times 10^{-9}$	480	16000	1600	800

表 3-5 荷重の種類及び値

集中荷重 $F$ (N)
100

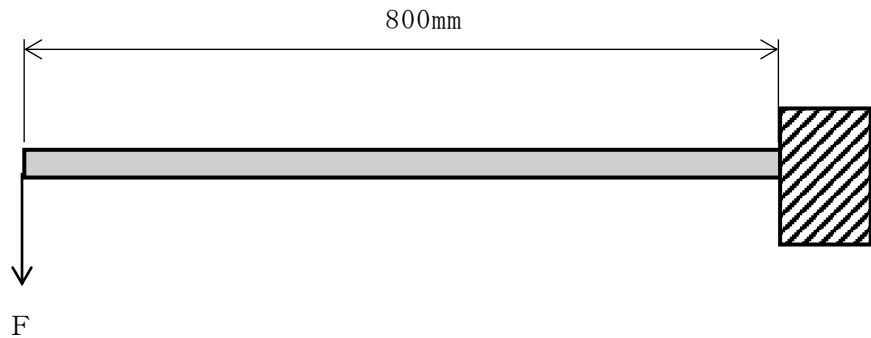


図 3-7 片持ちはりの寸法

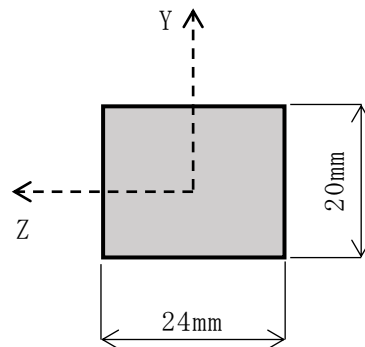


図 3-8 片持ちはりの断面形状

片持ちはりのたわみ  $\delta$  の理論解は，(3.21)式により求める。

$$\delta = \frac{F \cdot \ell^3}{3E \cdot I} \quad \dots\dots\dots (3.21)$$

F : 荷重

$\ell$  : 長さ

E : 縦弾性係数

I : 断面二次モーメント

本解析モデルのたわみの理論解は，(3.22)式のとおり求まる。

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{F \cdot \ell^3}{3E \cdot I} \\ &= \frac{100 \cdot 800^3}{3 \cdot 2.0 \times 10^5 \cdot 16000} = 5.33 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (3.22) \end{aligned}$$

片持ちはりの曲げ応力  $\sigma_M$  の理論解は，(3.23)式及び(3.24)式により求める。

$$M = F \cdot \ell \quad \dots\dots\dots (3.23)$$

M : 曲げモーメント

$$\sigma_M = \frac{M}{Z} \quad \dots\dots\dots (3.24)$$

$\sigma_M$  : 曲げ応力

Z : 断面係数

本解析モデルの固定端の曲げ応力の理論解は，(3.25)式を用いて(3.26)式のとおり求める。

$$\begin{aligned} M &= F \cdot \ell \\ &= 100 \cdot 800 = 80000 \text{ (N} \cdot \text{mm)} \quad \dots\dots\dots (3.25) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_M &= \frac{M}{Z} \\ &= \frac{80000}{1600} = 50 \text{ (MPa)} \quad \dots\dots\dots (3.26) \end{aligned}$$

理論解と解析結果の比較について，たわみの比較を表3-6に，曲げ応力の比較を表3-7に示す。片持ちはりの解析モデルを図3-9に示す。解析モデルには，はり要素を使用し，長さ方向に40要素に分割した。図3-10及び図3-11に解析結果を示す。表3-6及び表3-7に示すとおり，解析結果と理論解はおおむね一致しており，本解析コードの妥当性が確認された。

表 3-6 たわみの理論解と解析結果の比較 (片持ちはり)

自由端からの 軸方向距離 (mm)	たわみ $\delta$ (mm)	
	理論解	解析結果
0	5.33	5.34

表 3-7 曲げ応力の理論解と解析結果の比較 (片持ちはり)

自由端からの 軸方向距離 (mm)	応力 $\sigma_M$ (MPa)	
	理論解	解析結果
800	50.0	50.0

節点 : 41  
要素 : 40

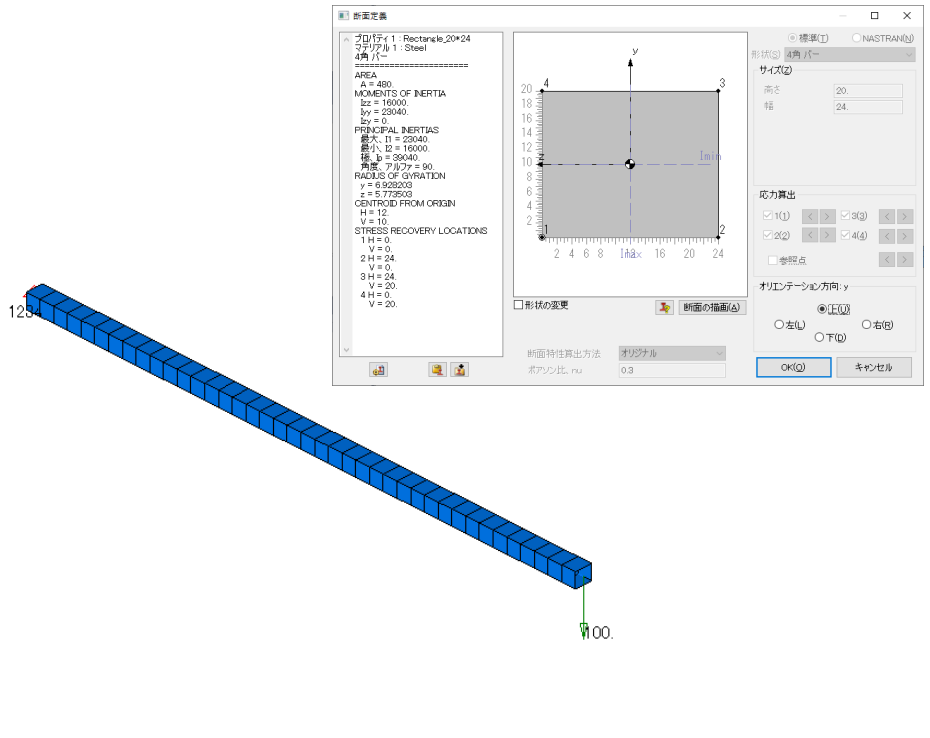


図 3-9 片持ちはりの解析モデル



最大たわみ (Z 方向) = -5.34 (mm)

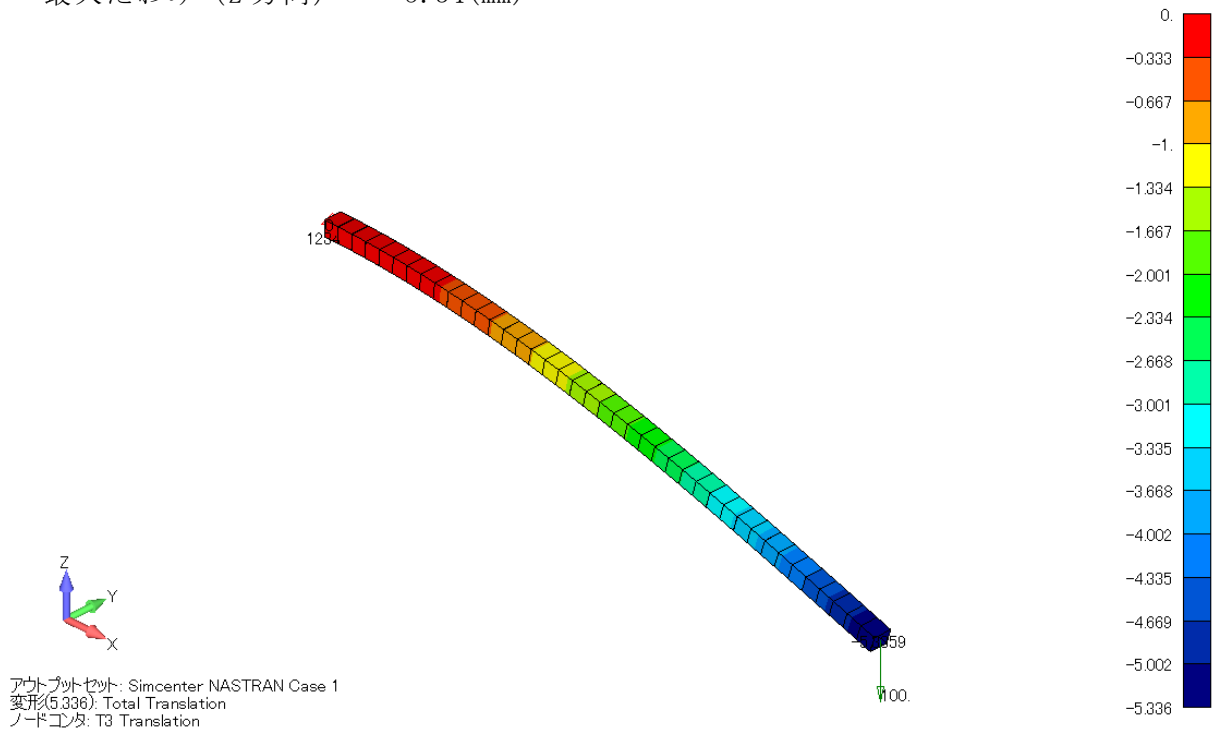


図 3-10 片持ちはりの解析結果 (たわみ)

最大曲げ応力 = 50 (MPa)

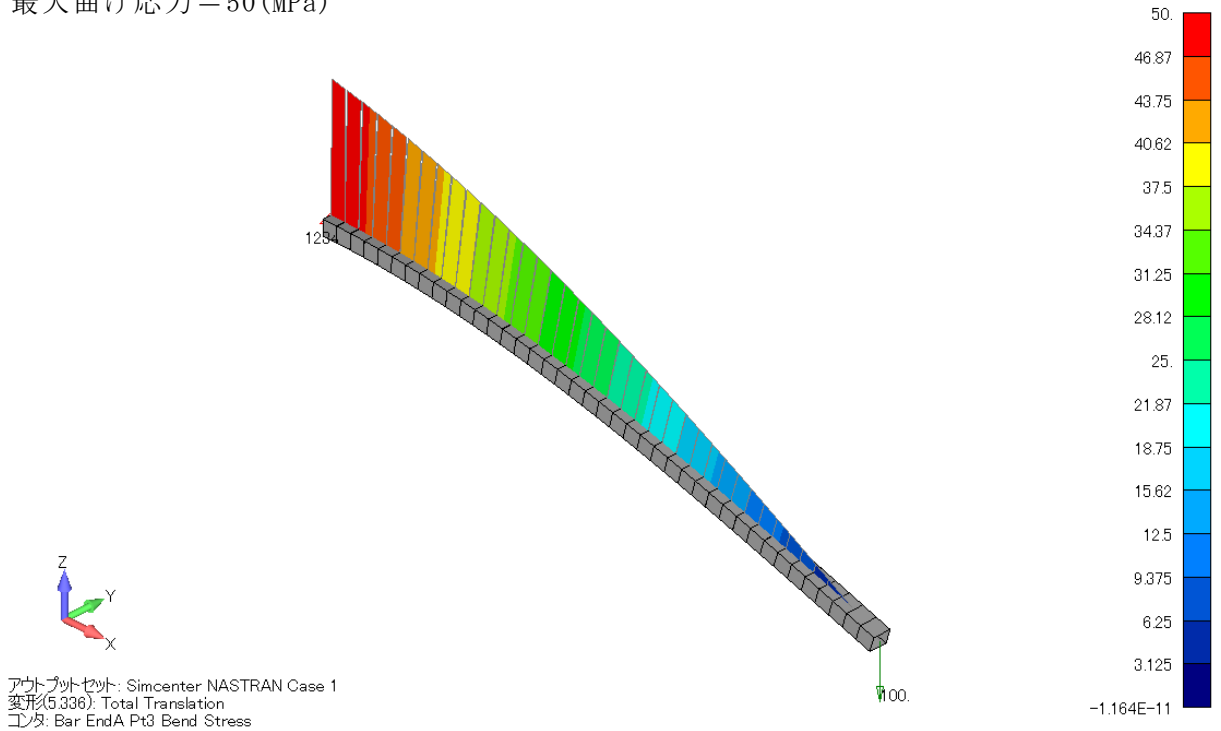


図 3-11 片持ちはりの解析結果 (曲げ応力)

### 3.5.2 妥当性確認

本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。また、検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が同等であることから、検証結果によって解析機能の妥当性も確認できる。なお、今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

### 3.5.3 評価結果

検証及び妥当性確認の内容から、本解析コードを使用状況一覧に示す使用添付書類の解析に用いることは妥当である。

VI-5-39 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ f a p p a s e

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

1. はじめに

本資料は、VI-2-11-2-2「1号機排気筒の耐震性についての計算書」等において使用した計算機プログラム（解析コード）fappaseについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-9-3-1	原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の耐震性についての計算書	Ver. 1.63
VI-2-11-2-2	1号機排気筒の耐震性についての計算書	Ver. 1.62
VI-3-別添2-5	原子炉建物の強度計算書	Ver. 1.63

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	fappase
使用目的	地震応答解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2002年
使用したバージョン	Ver. 1. 62, Ver. 1. 63
コードの概要	<p>fappase（以下「本解析コード」という。）は、超高層建物の非線形地震応答解析用として開発された有限要素を含む汎用解析コードである。</p> <p>材料非線形モデルを数多くサポートしており超高層建物や免震建物の非線形地震応答解析に使用実績がある。</p> <p>固有値解析, 動的解析及び静的解析による応力等の算定が可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・各部別内部粘性型減衰を用いた地震応答解析を別途検証済解析コードNUPP4による等価なダッシュポットを用いた解析と比較し、同一の解析結果が得られることを確認している。</li> <li>・既往文献*に示される1層1スパンX型ブレース（筋違）架構の載荷実験のシミュレーション解析を、本解析コードを用いて同様に実施し、既往文献*におけるシミュレーション解析とおおむね一致することを確認している。</li> <li>・免震構造に用いられる鉛入り積層ゴムのMSS (Multiple Shear Spring) モデルのせん断力-変位関係と一方向ばね要素のせん断力-変位関係を本解析コードにより解析し、同様の関係が得られることを確認している。</li> <li>・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンのうちVer. 1. 63は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</li> </ul>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本工事計画において使用するバージョンのうちVer. 1.62は、他プランの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> </ul>
--	--

注記\*：谷口ほか 鉄骨X型ブレース架構の復元力特性に関する研究 日本建築学会構造工学論文集 37B号 1991年3月



VI-5-40 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ F L I P

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3
2.1 FLIP Ver. 7.1.9 .....	3
2.2 FLIP Ver. 7.4.0, Ver. 7.4.6, Ver. 8.0.3 .....	4

## 1. はじめに

本資料は、VI-1-1-7-別添1「可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート」等において使用した計算機プログラム（解析コード）FLIPについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-7-別添1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	Ver. 7.4.0
VI-2-2-18	取水槽の地震応答計算書	Ver. 7.4.0
VI-2-2-24	屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の地震応答計算書	Ver. 8.0.3
VI-2-2-26	屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の地震応答計算書	Ver. 8.0.3
VI-2-2-30	第1ベントフィルタ格納槽の地震応答計算書	Ver. 7.4.6
VI-2-10-2-2-1	防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書	Ver. 7.1.9
VI-2-10-2-2-2	防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書	Ver. 7.1.9
VI-2-10-2-2-3	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書	Ver. 7.1.9
VI-2-10-2-4	防波壁通路防波扉の耐震性についての計算書	Ver. 7.4.0
VI-2-10-2-5	1号機取水槽の地震応答計算書	Ver. 7.4.0
VI-2-11-2-4	1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版の耐震性についての計算書	Ver. 7.4.0
VI-3-別添3-2-1-1	防波壁（波返重力擁壁）の強度計算書	Ver. 7.1.9
VI-3-別添3-2-1-2	防波壁（逆T擁壁）の強度計算書	Ver. 7.1.9
VI-3-別添3-2-1-3	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の強度計算書	Ver. 7.1.9
VI-3-別添3-2-2	防波壁通路防波扉の強度計算書	Ver. 7.4.0
VI-2-別添4-2	地下水位低下設備の地震応答計算書	Ver. 7.4.6
VI-2-別添6-2	漂流防止装置の耐震性についての計算書	Ver. 7.1.9
VI-2-別添7-2-24	地下水位低下設備の地震応答計算書（掘削前）	Ver. 7.4.6

## 2. 解析コードの概要

### 2.1 FLIP Ver. 7.1.9

項目	コード名
項目	FLIP
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析（有効応力法）
開発機関	FLIPコンソーシアム
開発時期	1988年
使用したバージョン	Ver. 7.1.9
コードの概要	<p>FLIP (Finite element analysis of Liquefaction Program)（以下「本解析コード」という。）は、1988年に運輸省港湾技術研究所（現：港湾空港技術研究所）において開発された平面ひずみ状態を対象とする有効応力解析法に基づく、2次元地震応答解析プログラムである。</p> <p>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①有限要素法に基づくプログラムである。</li> <li>②平面ひずみ状態を解析対象とする。</li> <li>③地盤の有効応力の変化を考慮した地震応答解析を行い、部材の断面力や変形量を計算する。</li> <li>④土の応力-ひずみモデルとしてマルチスプリングモデルを採用している。</li> <li>⑤有効応力の変化は有効応力法により考慮する。そのために必要な過剰間隙水圧算定モデルとして井合モデルを用いている。</li> </ol>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・マニュアルに記載された例題の提示解と本解析コードによる解析解との比較を実施し、解析解が提示解と一致することが確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは港湾施設の設計に用いられる「港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007年版）」において、港湾施設に対して適用性が確認されている解析コードとして扱われており、今回の解析に使用することは妥当である。</li> <li>・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、防潮堤、防潮扉、可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート、取水構造物等の地震応答解析に本解析コード（Ver. 7.3.0_2）が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画で使用するバージョンは、東海第二発電所の既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> <li>・本工事計画における構造に対し使用する地震応答解析の使用目的について、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

2.2 FLIP Ver. 7.4.0, Ver. 7.4.6, Ver. 8.0.3

項目	コード名 FLIP
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析（有効応力法）
開発機関	FLIPコンソーシアム
開発時期	1988年
使用したバージョン	Ver. 7.4.0, Ver. 7.4.6, Ver. 8.0.3
コードの概要	<p>FLIP (Finite element analysis of Liquefaction Program)（以下「本解析コード」という。）は、1988年に運輸省港湾技術研究所（現：港湾空港技術研究所）において開発された平面ひずみ状態を対象とする有効応力解析法に基づく、2次元地震応答解析プログラムである。</p> <p>本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①有限要素法に基づくプログラムである。</li> <li>②平面ひずみ状態を解析対象とする。</li> <li>③地盤の有効応力の変化を考慮した地震応答解析を行い、部材の断面力や変形量を計算する。</li> <li>④土の応力-ひずみモデルとしてマルチスプリングモデルを採用している。</li> <li>⑤有効応力の変化は有効応力法により考慮する。そのために必要な過剰間隙水圧算定モデルとして井合モデルを用いている。</li> </ol>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・マニュアルに記載された例題の提示解と本解析コードによる解析解との比較を実施し、解析解が提示解と一致することが確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは港湾施設の設計に用いられる「港湾施設の技術上の基準・同解説（2007）（社団法人日本港湾協会）」において、港湾施設に対して適用性が確認されている解析コードとして扱われており、今回の解析に使用することは妥当である。</li> <li>・東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所第7号機において、軽油タンク基礎等の地震応答解析に本解析コード（Ver. 7.4.1）が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画で使用するバージョンは、柏崎刈羽原子力発電所第7号機の既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> <li>・本工事計画における構造に対し使用する地震応答解析の使用目的について、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

VI-5-41 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・NX N A S T R A N

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3
2.1 NX NASTRAN Ver. 5mp1 .....	3
2.2 NX NASTRAN Ver. 7.1 .....	4
2.3 NX NASTRAN Ver. 8.1 .....	5
2.4 NX NASTRAN Ver. 8.5, Ver. 8.5mp1 .....	6



## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）NX NASTRANについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

## 1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-28	取水管の耐震性についての計算書	Ver. 8.5
VI-2-2-36	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の耐震性についての計算書	Ver. 8.5mp1
VI-2-9-4-5-1-4	ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書	Ver. 5mp1
VI-2-9-4-5-3-1	静的触媒式水素処理装置の耐震性についての計算書	Ver. 8.1
VI-2-10-2-3-2	防波壁（逆T擁壁）の耐震性についての計算書	Ver. 8.5mp1
VI-2-11-2-10	耐火障壁の耐震性についての計算書	Ver. 7.1
VI-2-11-2-12	復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性についての計算書	Ver. 8.5mp1
VI-3-別添3-2-1-2	防波壁（逆T擁壁）の強度計算書	Ver. 8.5mp1

## 2. 解析コードの概要

### 2.1 NX NASTRAN Ver. 5mp1

項目	コード名 NX NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析
開発機関	Siemens PLM (Product Lifecycle Management) Software Inc.
開発時期	1971年 (The MacNeal-Schwendler Corporation) 2005年 (Siemens PLM Software Inc.)
使用したバージョン	Ver. 5mp1
コードの概要	<p>NX NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は、航空機の機体強度解析を目的としてThe MacNeal-Schwendler Corporationにより開発され、Siemens PLM Software Inc.に引き継がれた有限要素法による構造解析用の汎用プログラムであり、MSC NASTRANと同じ機能を持つ。</p> <p>適用モデル（主にはり要素、シェル要素及びソリッド要素）に対して、静的解析（線形及び非線形）、動的解析（過渡応答解析及び周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析及び線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築及び土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・固有値解析 3次元骨組構造物について、質点及び質量の無い弾性メンバーからなる等価な解析モデルを設定し、解析結果が公開文書*により求めた理論値（以下「理論解」という。）及び別コード (SOLVER) による解析結果と本解析コードによる解析結果とが同等であることを確認している。</li> <li>・応力解析 固有値解析で作成した二層ラーメン構造の解析モデルを使用して自重及び水平1Gを考慮した応力解析を行い、計算された部材応力と支点反力について別コード (SOLVER) による解析結果と本解析コードによる解析結果とが同等であることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、土木及び建築等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析に本解析コードが適用できることを確認している。</li> <li>・検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性を確認している。</li> <li>・本工事計画で行う3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析の用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

注記\*：「振動及び応答解析入門」（川井忠彦，藤谷義信共著 179頁 培風館）

2.2 NX NASTRAN Ver. 7.1

項目 \ コード名	NX NASTRAN
使用目的	2次元有限要素法（はり要素）及び3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析及び地震応答解析
開発機関	Siemens PLM (Product Lifecycle Management) Software Inc.
開発時期	1971年 (The MacNeal-Schwendler Corporation) 2005年 (Siemens PLM Software Inc.)
使用したバージョン	Ver. 7.1
コードの概要	<p>NX NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は、航空機の機体強度解析を目的としてThe MacNeal-Schwendler Corporationにより開発され、Siemens PLM Software Inc.に引き継がれた有限要素法による構造解析用の汎用プログラムであり、MSC NASTRANと同じ機能を持つ。</p> <p>適用モデル（主にはり要素、シェル要素及びソリッド要素）に対して、静的解析（線形及び非線形）、動的解析（過渡応答解析及び周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析及び線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築及び土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材料力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について、2次元有限要素法（はり要素）及び3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析及び地震応答解析を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、自動車、航空宇宙、防衛、重機及び造船等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する2次元有限要素法（はり要素）及び3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析及び地震応答解析に本解析コードが適用できることを確認している。</li> <li>・検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、解析機能の妥当性を確認している。</li> <li>・本工事計画で行う2次元有限要素法（はり要素）及び3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析及び地震応答解析の用途及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</li> </ul>

2.3 NX NASTRAN Ver. 8.1

項目 \ コード名	NX NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法（シェル要素及びはり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析
開発機関	Siemens PLM (Product Lifecycle Management) Software Inc.
開発時期	1971年（The MacNeal-Schwendler Corporation） 2005年（Siemens PLM Software Inc.）
使用したバージョン	Ver. 8.1
コードの概要	<p>NX NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は，航空機の機体強度解析を目的としてThe MacNeal-Schwendler Corporationにより開発され，Siemens PLM Software Inc.に引き継がれた有限要素法による構造解析用の汎用プログラムであり，MSC NASTRANと同じ機能を持つ。</p> <p>適用モデル（主にはり要素，シェル要素及びソリッド要素）に対して，静的解析（線形及び非線形），動的解析（過渡応答解析及び周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析及び線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築及び土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・材料力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について，3次元有限要素法（シェル要素及びはり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは，自動車，航空宇宙，防衛，重機及び造船等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより，本工事計画で使用する3次元有限要素法（シェル要素及びはり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。</li> </ul>

2.4 NX NASTRAN Ver. 8.5, Ver. 8.5mpl

項目	コード名 NX NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法（シェル要素及びはり要素）による応力解析
開発機関	Siemens PLM (Product Lifecycle Management) Software Inc.
開発時期	1971年 (The MacNeal-Schwendler Corporation) 2005年 (Siemens PLM Software Inc.)
使用したバージョン	Ver. 8.5, Ver. 8.5mpl
コードの概要	<p>NX NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は、航空機の機体強度解析を目的としてThe MacNeal-Schwendler Corporationにより開発され、Siemens PLM Software Inc.に引き継がれた有限要素法による構造解析用の汎用プログラムであり、MSC NASTRANと同じ機能を持つ。</p> <p>適用モデル（主にはり要素、シェル要素及びソリッド要素）に対して、静的解析（線形及び非線形）、動的解析（過渡応答解析及び周波数応答解析）、固有値解析、伝熱解析（温度分布解析）、熱応力解析及び線形座屈解析等の機能を有している。</p> <p>数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築及び土木等様々な分野の構造解析に使用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について、3次元有限要素法（シェル要素及びはり要素）による応力解析を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、自動車、航空宇宙、防衛、重機及び造船等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・九州電力株式会社川内原子力発電所1、2号機において、外部遮蔽建屋、中央制御室、ディーゼル建屋、主蒸気管室建屋、屋外タンク基礎、代替緊急時対策所及び燃料油貯蔵タンク基礎の静的応力解析に本解析コード（Ver. 8.5）が使用された実績がある。</li> <li>・今回の工認申請において使用するバージョンは、既工認において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> <li>・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

VI-5-42 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・MSAP

## 目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3



## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）MSAPについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-11	隔離弁，機器・配管の耐震性についての計算書	<input type="text"/>
VI-2-別添1-3-4	管の耐震性についての計算書（消火設備）	<input type="text"/>
VI-3-別添3-2-8	隔離弁，機器・配管の強度計算書	<input type="text"/>

2. 解析コードの概要

<p>コード名 項目</p>	<p>MSAP</p>
<p>使用目的</p>	<p>3次元有限要素法（はり要素）による 固有値解析，地震応答解析，構造解析及び応力算出</p>
<p>開発機関</p>	<p>三菱重工業株式会社</p>
<p>開発時期</p>	<p>[Redacted]</p>
<p>使用したバージョン</p>	<p>[Redacted]</p>
<p>コードの概要</p>	<p>強度及び耐震計算で使用している解析コードMSAPは， [Redacted]</p> <p>対話方式による入力及び構造解析の出力データを基に規格基準の算出式に従った評価が可能である。 [Redacted]</p>
<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 [Redacted] 開発元より発行されている例題集の中で，モデル要素ごとに静的及び動的解析の例題に対して，解析結果と理論モデルによる理論解又は他の計算機プログラムでの計算結果と概ね一致していることを確認している。また，サンプルモデルに対する固有値解析結果が，手計算と一致することを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・対話方式により入力されたデータはインプットファイルとして出力され，入力データと一致していることを確認している。</li> <li>・入力データが正しく構造解析に受け渡されていること，構造解析データが正しく規格計算に受け渡されていることをそれぞれ確認している。</li> </ul>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・構造解析結果として出力されたデータから規格基準に従い、発生応力、疲労累積係数を算出しており、その過程が理論解を再現できることを確認している。</li> <li>・地震動の組合せ処理は、本解析コード内で処理しており、アウトプットファイルと手計算結果が一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの適用制限として使用節点数・要素数があるが、適用範囲内であることを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは日本国内の原子力施設で工事計画認可申請に使用されており、十分な実績があるため信頼性がある。</li> <li>・本設計及び工事の計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</li> <li>・J E A G 4 6 0 1 -1987 6.5.2項の加圧水型原子力発電設備における1次冷却ループの多質点3次元はりモデルによる解析の妥当性確認として、</li> </ul> <div style="border: 2px solid black; height: 200px; width: 100%; margin-top: 10px;"></div>
--	--

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 上記妥当性確認を行ったのは加圧水型原子力発電設備における1次冷却ループの3次元はりモデルであるが、1次冷却ループに含まれる1次冷却材管は今回解析する配管と幾何学的に類似しており、同様の3次元はりモデルを用いてモデル化している。</li> <li>・ 今回の工認申請で行う3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析，構造解析，応力算出の用途，適用範囲が，上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。</li> </ul>
--	--

VI-5-43 計算機プログラム（解析コード）の概要

• V i r t u a l P e r f o r m a n c e S o l u t i o n

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

1. はじめに

本資料は、VI-3-別添 1-4「竜巻防護鋼板の強度計算書」、VI-3-別添 1-5「架構の強度計算書」、VI-3-別添 1-10「排気筒の強度計算書」及びVI-3-別添 1-13-4「1号機排気筒の強度計算書」において使用した計算機プログラム（解析コード）Virtual Performance Solution について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。



1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-3-別添 1-4	竜巻防護鋼板の強度計算書	Ver. 2013
VI-3-別添 1-5	架構の強度計算書	Ver. 2013
VI-3-別添 1-10	排気筒の強度計算書	Ver. 2013
VI-3-別添 1-13-4	1号機排気筒の強度計算書	Ver. 2013

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	Virtual Performance Solution
使用目的	3次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価）
開発機関	ESI Group
開発時期	2002年
使用したバージョン	Ver. 2013
コードの概要	<p>Virtual Performance Solution（以下「VPS」という。）は、ESI Groupにより開発・公開された、構造解析用の汎用市販コードであり、衝撃・衝突現象を含めた、強い非線形性（幾何学的／材料／接触）を伴う現象についても、動的陽解法有限要素法を用いた高速・高精度な解析が可能である。</p>
検証（Verification） 及び 妥当性確認（Validation）	<p>VPSは、動的物性値の設定に用いるパラメータの保守性の確認において、竜巻飛来物に対する竜巻防護鋼板への衝突試験結果と比較するための、3次元有限要素法による衝突解析の計算値の算出に使用している。</p> <p><b>【検証（Verification）】</b></p> <p>今回の使用目的（衝突解析）を踏まえた、本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・下記の文献に示されている衝突事象について、VPSによる解析を実施し、解析結果が文献に記載された理論値と一致することを確認した。</li> </ul> <p>「Ferdinand Beer 他, Vector Mechanics for Engineers: Dynamics, 7th edition」</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・下記の文献において、衝突試験時の損傷状況とVPSによる解析結果が精度よく一致すると報告されていることを確認した。</li> </ul> <p>「翁長他, 3Dスポット溶接モデルの適用による衝突CAEの精度向上」</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認（Validation）】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、国内外の宇宙航空、自動車、機械、建築、土木などの様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> </ul>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、本解析コードの適正な用途及び適用範囲を確認している。</li> <li>・本工事計画で行う 3次元有限要素法 (はり要素, シェル要素, ソリッド要素) による動的解析 (衝突解析) の用途, 適用範囲が上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。</li> <li>・本工事計画における構造に対し使用する要素, 3次元有限要素法による衝突解析 (竜巻飛来物影響評価) の使用目的に対し, 使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>
--	--

VI-5-44 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ L S - D Y N A

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

1. はじめに

本資料は、VI-3-別添1-6「竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書」等において使用した計算機プログラム（解析コード）LS-DYNAについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-3-別添1-6	竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書	Ver. 971
VI-3-別添3-2-1-1	防波壁（波返重力擁壁）の強度計算書	Ver. 971
VI-3-別添3-2-1-2	防波壁（逆T擁壁）の強度計算書	Ver. 971
VI-3-別添3-2-1-3	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の強度計算書	Ver. 971
VI-3-別添3-2-2	防波壁通路防波扉の強度計算書	Ver. 971

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	LS-DYNA
使用目的	3次元有限要素法による衝突解析 (竜巻飛来物影響評価及び漂流物衝突荷重評価)
開発機関	Livermore Software Technology Corporation
開発時期	1987年
使用したバージョン	Ver. 971
コードの概要	<p>LS-DYNA（以下「本解析コード」という。）は、Lawrence Livermore 研究所により開発・公開された陽解法有限要素法DYNA3Dを基に開発された構造解析用の汎用市販コードである。</p> <p>機械・土木建築その他広範な分野に及ぶ要素群、非線形モデルを多数サポートしており、国内外の宇宙航空、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野において多くの利用実績があり、陽的時間積分を用いていることから、衝突問題等、短時間の動的現象のシミュレーションに適している。また、大変形の非線形問題への適用が容易である点に特徴がある。</p> <p>衝突問題や動的荷重を受ける構造物の応力、ひずみや加速度応答等を算出する。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・開発機関マニュアルにおいて提示している3次元有限要素法による衝突解析に関する例題解析を実施し、解析結果がマニュアルに記載された結果と一致することを確認している。</li> <li>・Norwegian University of Science and Technologyにより、シェル要素及びソリッド要素を用いた薄板鋼管の軸方向圧縮破壊試験のシミュレーション解析が行われており、解析結果と実験結果がおおむね一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、国内外の宇宙航空、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、本解析コードの適正な用途、適用範囲を確認している。</li> <li>・本工事計画で行う3次元有限要素法（はり要素、シェル要素、ソリッド要素）による動的解析（衝突解析）の用途、適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内にあることを確認している。</li> <li>・本工事計画において使用するVer. 971は、他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</li> </ul>



検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	・ 本工事計画における構造に対し使用する要素， 3次元有限要素法による衝突解析（竜巻飛来物影響評価及び漂流物衝突荷重評価）の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
---	--

VI-5-45 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ S D

## 目 次

1. はじめに.....	1
1.1 使用状況一覧.....	2
2. 解析コードの概要.....	3

1. はじめに

本資料は、VI-3-別添 2-5「タービン建物の強度計算書」等において使用した計算機プログラム(解析コード) SD について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-8	防水壁の耐震性についての計算書	Ver. 3.2.2
VI-3-別添2-6	タービン建物の強度計算書	Ver. 2.1.0
VI-3-別添3-2-5	防水壁の強度計算書	Ver. 3.2.2

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SD
使用目的	フレームの応力解析
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	1971年
使用したバージョン	Ver. 2. 1. 0, Ver. 3. 2. 2
コードの概要	<p>SD（以下「本解析コード」という。）は、鹿島建設により開発された平面骨組応力解析（平面要素含む。）の解析計算機コードである。</p> <p>本解析コードは、微小変位理論による変位法を用いて、2次元平面骨組（平面要素含む。）の応力・変位を算出するための構造解析プログラムである。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、島根原子力発電所第2号機の既工事計画認可申請（昭和59年2月24日付け58資庁第15180号にて認可された工事計画の添付書類IV-2-4-2「原子炉建物の耐震性についての計算書」及び昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類IV-2-7「タービン建物の耐震性についての計算書」等）他において、フレームの応力解析に使用された実績がある。</li> <li>・本解析コードは、建築分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・はり要素を用いた応力解析について、本解析コードによる解析結果と文献*による一般構造力学による理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。</li> <li>・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンである Ver. 2. 1. 0 及び Ver. 3. 2. 2 は、プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> </ul>

注記\*：成岡昌夫，服部正他：コンピュータによる構造工学講座Ⅱ-1-B，日本鋼構造協会編，骨組構造解析，培風館，昭和46年6月，pp.20～33

VI-5-46 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ A u t o P I P E

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3



1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）AutoPIPEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-別添2-2	溢水源としないB, Cクラス機器の耐震性についての計算書	Ver. 12.00.00.14

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	AutoPIPE
使用目的	有限要素法（はりモデル）による機器の固有値解析及び応力解析
開発機関	株式会社ベントレー・システムズ
開発時期	1986年
使用したバージョン	Ver. 12. 00. 00. 14
コードの概要	<p>AutoPIPE（以下「本解析コード」という。）は、静的及び動的荷重に対する配管の応力を解析する計算機プログラムである。任意形状の3次元モデルに対して、有限要素法により静的解析及び動的解析を行い、応力、反力、変位等を算出することができる。</p> <p>主な解析機能として、内圧・熱膨張・強制変位・摩擦力等を考慮した線形・非線形の静的解析、固有値解析・時刻歴応答解析等の動解析、そしてハンガーサポートの自動選定があり、本解析コードは、工業用配管システム設計、建築・土木工学等の分野において、多くの実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、発電、石油・ガス、原子力等の様々な分野の配管解析に使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・東北電力株式会社女川原子力発電所第2号機において、溢水源としないB、Cクラスの配管の有限要素法（はりモデル）による地震応答解析に本解析コード（Ver. 12. 00. 00. 14）が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンは、女川原子力発電所第2号機の既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画の解析の用途及び適用範囲が妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

VI-5-47 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ S H A K E

## 目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	4
3. 解析手法	5
3.1 一般事項	5
3.2 解析コードの特徴	5
3.3 解析手法	6
3.4 解析フローチャート	9
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	10
3.5.1 検証	10
3.5.2 妥当性確認	12
3.5.3 評価結果	18

## 1. はじめに

本資料は, VI-2-30「第1ベントフィルタ格納槽の地震応答計算書」等において使用した計算機プログラム(解析コード)SHAKEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧, 解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
VI-1-1-7-別添1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	Ver. 2.0
VI-1-9-3-1	斜面安定性に関する説明書	Ver. 2.0
VI-2-2-18	取水槽の地震応答計算書	Ver. 2.0
VI-2-2-20	屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の地震応答計算書	Ver. 2.0
VI-2-2-22	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の地震応答計算書	Ver. 2.0
VI-2-2-24	屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の地震応答計算書	Ver. 2.0
VI-2-2-26	屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の地震応答計算書	Ver. 2.0
VI-2-2-28	取水管の耐震性についての計算書	Ver. 2.0
VI-2-2-29	取水口の耐震性についての計算書	Ver. 2.0
VI-2-2-30	第1 ベントフィルタ格納槽の地震応答計算書	Ver. 2.0
VI-2-2-32	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答計算書	Ver. 2.0
VI-2-2-34	緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震性についての計算書	Ver. 2.0
VI-2-2-35	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 2.0
VI-2-2-37	屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答計算書	Ver. 2.0
VI-2-2-39	屋外配管ダクト（排気筒）の耐震性についての計算書	Ver. 2.0
VI-2-10-2-2-1	防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書	Ver. 2.0
VI-2-10-2-2-2	防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書	Ver. 2.0
VI-2-10-2-2-3	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書	Ver. 2.0
VI-2-10-2-4	防波壁通路防波扉の耐震性についての計算書	Ver. 2.0
VI-2-10-2-5	1号機取水槽の地震応答計算書	Ver. 2.0
VI-2-10-2-7	屋外排水路逆止弁の耐震性についての計算書	Ver. 2.0
VI-2-11-2-3	免震重要棟遮蔽壁の耐震性についての計算書	Ver. 2.0
VI-2-11-2-4	1号機取水槽ピット部及び1号機取水槽漸拡ダクト部底版の耐震性についての計算書	Ver. 2.0

使用添付書類		バージョン
VI-2-11-2-12	復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性についての計算書	Ver. 2.0
VI-2-11-2-13	仮設耐震構台の耐震性についての計算書	Ver. 2.0
VI-2-11-2-14	土留め工（親杭）の耐震性についての計算書	Ver. 2.0
VI-2-11-2-15	ディーゼル燃料貯蔵タンク室の耐震性についての計算書	Ver. 2.0
VI-2-別添2-2	溢水源としないB, Cクラス機器の耐震性についての計算書	Ver. 2.0
VI-2-別添3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動	Ver. 2.0
VI-2-別添4-2	地下水位低下設備の地震応答計算書	Ver. 2.0
VI-2-別添4-3-5	揚水井戸の耐震性についての計算書	Ver. 2.0
VI-2-別添6-2	漂流防止装置の耐震性についての計算書	Ver. 2.0



## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SHAKE
使用目的	1次元地震応答解析による入力地震動の算定
開発機関	中電技術コンサルタント株式会社
開発時期	2008年
使用したバージョン	Ver. 2.0
コードの概要	<p>SHAKE（以下「本解析コード」という。）は、米国カリフォルニア大学から発表されたSHAKEを基本に開発されたもので、1次元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数や時刻歴波形を算出するプログラムである。</p> <p>地盤の非線形性は、ひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮することができ、また、鉛直動はS波速度<math>V_s</math>をP波速度<math>V_p</math>として定義することで、各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達関数、応答波形等を求めることが可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コード (Ver. 2.0) について、2層のモデル地盤において地震応答解析を行った解析解と、1次元重複反射理論に基づく理論解がおおむね一致していることを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして使用していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・入力地震動算定に対して、原子力産業界において1次元重複反射理論に基づく地震応答解析は他プラントの既工事計画において実績があり、同じ理論に基づく解析コードであるshake-91を用いた1次元地震応答解析を行った解析解と、本解析コードによる解析解を比較したコードベンチマーキングを行った結果、双方の解がおおむね一致していることを確認している。</li> <li>・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

### 3. 解析手法

#### 3.1 一般事項

本資料は、解析コード SHAKE Ver. 2.0 (以下「本解析コード」という。) の概要である。

本解析コードは、重複反射理論に基づく地震応答解析を行うことが可能であり、1次元地震応答解析(入力地震動算定)に使用している。

#### 3.2 解析コードの特徴

本解析コードにおける地盤の非線形性は、ひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮することができる。

本解析コードの主な特徴として、①～③を挙げることができる。

- ① 1次元重複反射理論に基づくプログラムである。
- ② 地盤の非線形性は、ひずみ依存特性を用いて等価線形化法により考慮できる。
- ③ 鉛直動は、S波速度  $V_s$  をP波速度  $V_p$  として定義することで対応が可能である。

### 3.3 解析手法

図 3-1 に示す線形粘弾性系を通過するせん断波による応答を考える。線形粘弾性系は、均質、等方性であり、厚さが  $h$ 、密度が  $\rho$ 、せん断弾性係数が  $G$ 、臨界減衰比が  $\beta$  で定義されているとする。せん断波の伝播は水平変位  $u=u(x, t)$  のみによる。これは、次の波動方程式を満足しなければならない。

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} \quad (3.1)$$

波動方程式(3.1)の解は、振動数  $\omega$  に対し、次式で与えられる。

$$u(x, t) = E e^{i(kx + \omega t)} + F e^{-i(kx - \omega t)} \quad (3.2)$$

ここに、

$$k^2 = \frac{\rho \cdot \omega^2}{G + i \omega \cdot \eta} = \frac{\rho \cdot \omega^2}{G^*} \quad (3.3)$$

である。式(3.2)の第1項は、 $X$ のマイナス方向(上向き)に伝わる入射波を示し、第2項は  $X$ のプラス方向(下向き)に伝わる反射波を示している。また、水平方向におけるせん断応力度の定義は次式で与えられる。

$$\tau(x, t) = G \frac{\partial u}{\partial x} + \eta \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} = G^* \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3.4)$$

式(3.4)に式(3.2)を代入すると、

$$\tau(x, t) = ikG^* (E \cdot e^{ikx} - F \cdot e^{-ikx}) \cdot e^{i\omega t} \quad (3.5)$$

となる。

式(3.1)は図 3-1 の各層にて成り立つ。各層の局所座標系  $X$  で表される  $m$  層の最上部  $x=0$  及び最下部  $x=h_m$  における変位は、第  $m$  層における厚さ  $h_m$ 、密度を  $\rho_m$ 、せん断弾性係数を  $G_m$ 、臨界減衰比を  $\beta_m$  で定義すると、それぞれ次のように表せる。

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (3.6)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m \cdot e^{ik_m h_m} + F_m \cdot e^{-ik_m h_m}) e^{i\omega t} \quad (3.7)$$

ここで、任意の  $m$  層と  $m+1$  層の変位及びせん断応力との連続性を考慮すると次の循環公式が求まる。

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m) \cdot e^{ik_m h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m) \cdot e^{-ik_m h_m} \quad (3.8)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m) \cdot e^{ik_m h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m) \cdot e^{-ik_m h_m} \quad (3.9)$$

ここに、 $\alpha_m$  は複素インピーダンス比と呼ばれる定義で、次式で定義されている。

$$\alpha_m = \frac{k_m G_m^*}{k_{m+1} G_{m+1}^*} = \left( \frac{\rho_m G_m^*}{\rho_{m+1} G_{m+1}^*} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.10)$$

この複素インピーダンス比  $\alpha_m$  は、周期に対して独立である。自由面におけるせん断応力度  $\tau=0$  と式(3.7)より  $E_1=F_1$  が得られる。循環公式(3.8)、(3.9)を繰り返し用いて、次のような層と表層の振幅の関係を導き出すことができる。

$$E_m = e_m(\omega) E_1 \quad (3.11)$$

$$F_m = f_m(\omega) F_1 \quad (3.12)$$

伝達関数  $e_m$  及び  $f_m$  は、単なる  $E_1 = F_1 = 1$  に対する倍率であり、 $E_1 = F_1 = 1$  を上式に代入して解けば求まる。

他の伝達関数は  $e_m$   $f_m$  から簡単に得られる。n 層及び m 層表面での変位を関係づける伝達関数  $A_{n,m}(\omega)$  を次のように定義する。

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} \quad (3.13)$$

式(3.13)に式(3.4)、式(3.11)及び(3.12)を代入して整理すると次式を得る。

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{e_m(\omega) + f_m(\omega)}{e_n(\omega) + f_n(\omega)} \quad (3.14)$$

これらの式より、伝達関数  $A(\omega)$  は、系のいかなる 2 つの層の間においても定められる。

故に、任意の層の動的変位が判れば、他の層の動的変位も計算できる。式(3.2)より、加速度  $\ddot{u}(x, t)$ 、ひずみ  $\gamma(x, t)$  は次のように得られる。

$$\ddot{u}(x, t) = \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} = -\omega^2 \left( E e^{i(kx + \omega t)} + F e^{-i(kx - \omega t)} \right) \quad (3.15)$$

$$\gamma(x, t) = \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} = ik \left( E e^{i(kx + \omega t)} - F e^{-i(kx - \omega t)} \right) \quad (3.16)$$

振幅  $E$  及び  $F$  は、系全体の層において求めることができるので、加速度及びひずみも求めることができる。

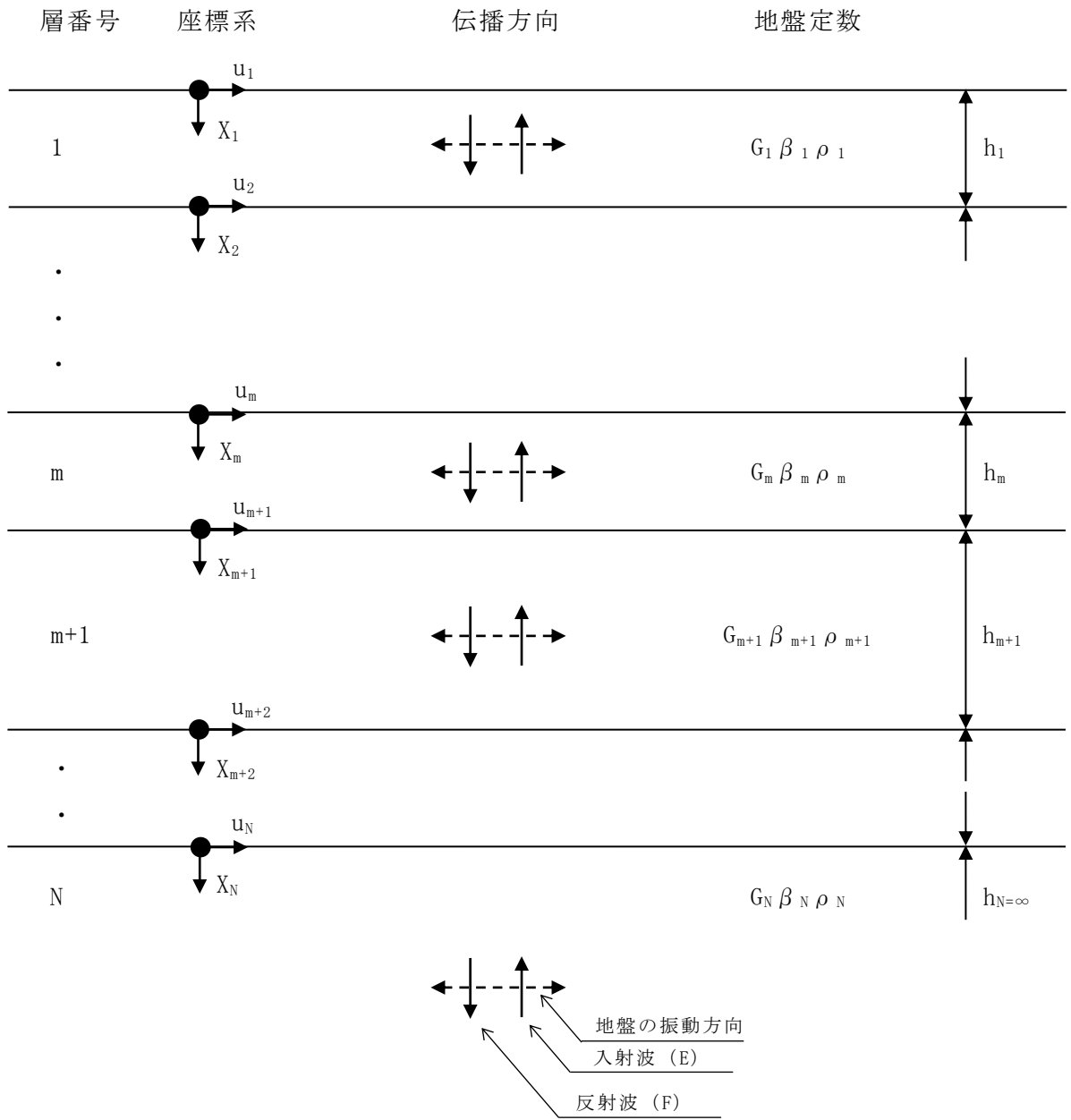


図 3-1 1次元地盤モデル

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図3-2に示す。

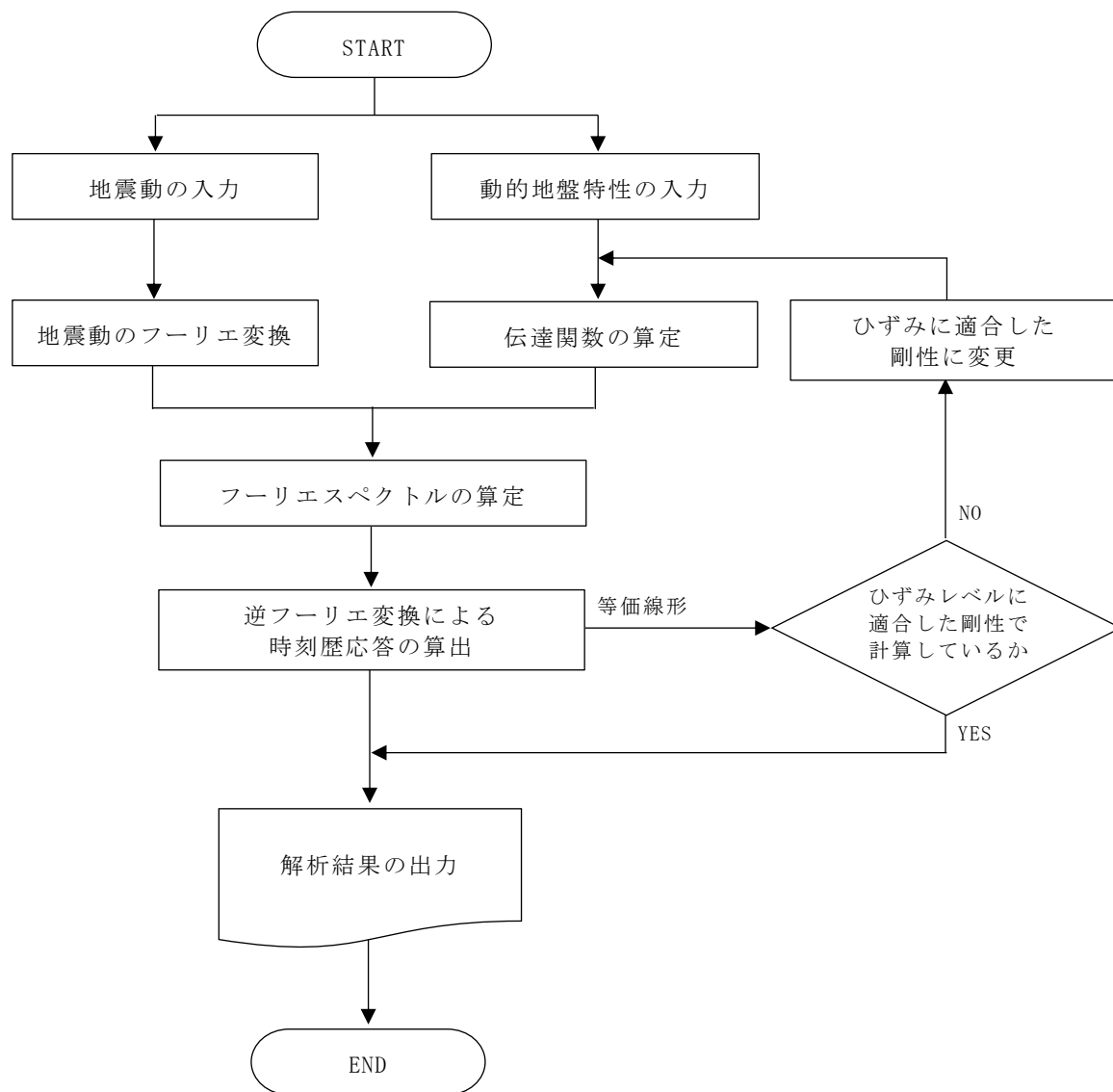


図3-2 解析フローチャート

### 3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

本解析コードを本解析に用いるにあたり、検証として理論解との比較を実施した。妥当性確認として類似プログラムとの比較を実施した。その詳細な内容については下記のとおりとする。

#### 3.5.1 検証

2層のモデル地盤において、1次元重複反射理論に基づく伝達関数の理論解との比較を行った。

##### (1) 検証モデル及び検討条件

図3-3に検討地盤モデルを示す。

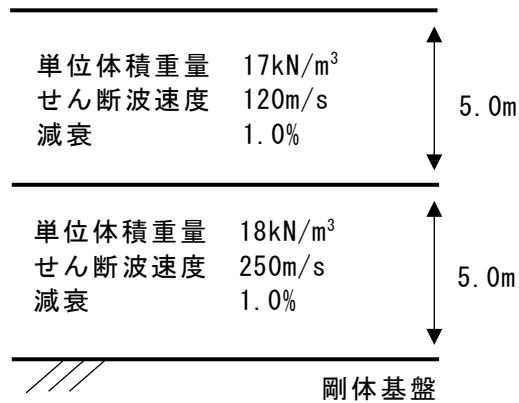


図3-3 地盤モデル諸元

##### <検討条件>

- ・重力加速度は  $9.80\text{m/s}^2$  とする。
- ・検討する振動数は  $0\sim 20\text{Hz}$  までとする。

(2) 比較結果

理論解との伝達関数の比較結果を図3-4に示す。

図より、本解析コードと理論解の結果は一致していることが確認できる。

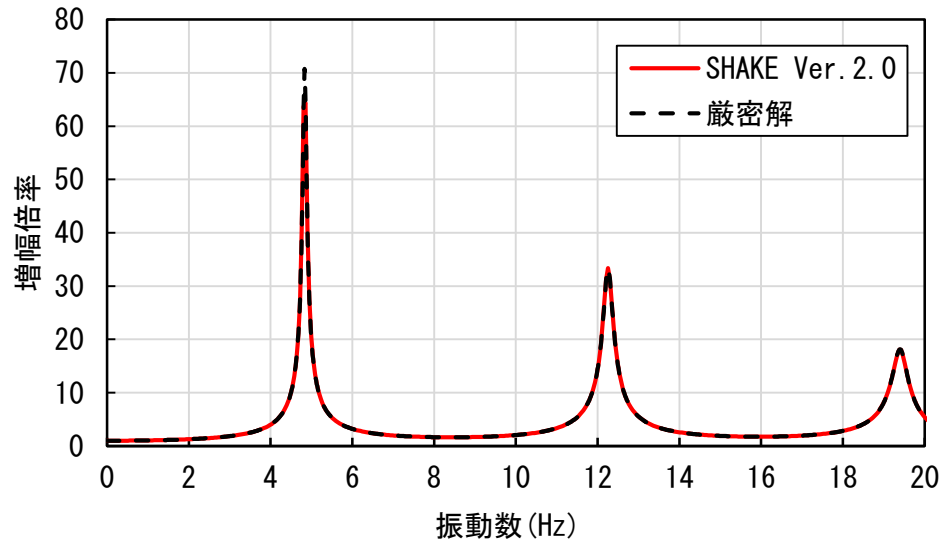


図3-4 理論解との伝達関数の比較



### 3.5.2 妥当性確認

カリフォルニア大学バークレー校が有償配布している1次元地盤の等価線形解析プログラム shake-91 との比較を実施した。

#### (1) 検証モデル及び検討条件

表3-1に検討地盤モデルを示し、図3-5～図3-10にひずみ依存特性を示す。

表3-1 地盤モデル諸元

区分	層厚 (m)	分割 (m)	深度 (m)	湿潤単位 体積重量 $\gamma_t$ ( $\text{kN/m}^3$ )	動的せん断 弾性係数 Gd ( $\text{kN/m}^2$ )	せん断 波速度 Vs (m/s)	減衰定数 h
第1粘性土層	4.00	1.00	1.00	17	21000	110	0.030
		1.00	2.00	17	21000	110	0.030
		1.00	3.00	17	21000	110	0.030
		1.00	4.00	17	21000	110	0.030
第2粘性土層	10.80	1.20	5.20	16	25000	124	0.020
		1.20	6.40	16	25000	124	0.020
		1.20	7.60	16	25000	124	0.020
		1.20	8.80	16	25000	124	0.020
		1.20	10.00	16	25000	124	0.020
		1.20	11.20	16	25000	124	0.020
		1.20	12.40	16	25000	124	0.020
		1.20	13.60	16	25000	124	0.020
第3粘性土層	9.60	1.60	16.40	16	43000	162	0.020
		1.60	18.00	16	43000	162	0.020
		1.60	19.60	16	43000	162	0.020
		1.60	21.20	16	43000	162	0.020
		1.60	22.80	16	43000	162	0.020
		1.60	24.40	16	43000	162	0.020
第1砂質土層	1.20	1.20	25.60	19	159000	286	0.020
第4粘性土層	8.00	2.00	27.60	17	110000	252	0.020
		2.00	29.60	17	110000	252	0.020
		2.00	31.60	17	110000	252	0.020
		2.00	33.60	17	110000	252	0.020
第2砂質土層	2.00	2.00	35.60	19	273000	375	0.010
礫層(基盤)				20	398000	442	0.010

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.985	2.30
0.0005	0.930	2.80
0.001	0.880	3.20
0.002	0.819	3.60
0.005	0.729	4.40
0.01	0.648	5.10
0.02	0.578	5.70
0.05	0.459	7.30
0.1	0.381	9.20
0.2	0.300	11.00
0.5	0.198	14.00
1	0.129	16.10
2	0.078	17.60
5	0.028	19.20
10	0.014	20.00

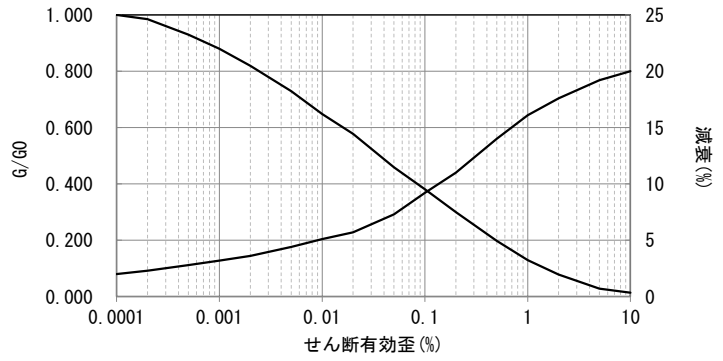


図 3-5 ひずみ依存特性 (第 1 粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.989	2.30
0.0005	0.952	2.80
0.001	0.916	3.20
0.002	0.874	3.60
0.005	0.811	4.40
0.01	0.752	5.10
0.02	0.698	5.70
0.05	0.601	7.30
0.1	0.500	9.20
0.2	0.394	11.00
0.5	0.259	14.00
1	0.170	16.10
2	0.102	17.60
5	0.036	19.20
10	0.018	20.00

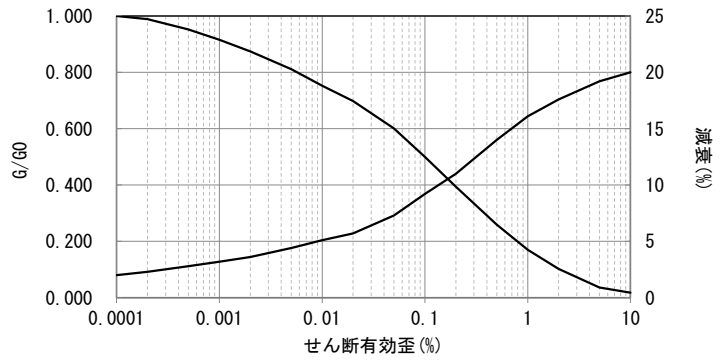


図 3-6 ひずみ依存特性 (第 2 粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.991	2.30
0.0005	0.963	2.80
0.001	0.934	3.20
0.002	0.902	3.60
0.005	0.853	4.40
0.01	0.807	5.10
0.02	0.764	5.70
0.05	0.684	7.30
0.1	0.569	9.20
0.2	0.448	11.00
0.5	0.295	14.00
1	0.193	16.10
2	0.116	17.60
5	0.041	19.20
10	0.021	20.00

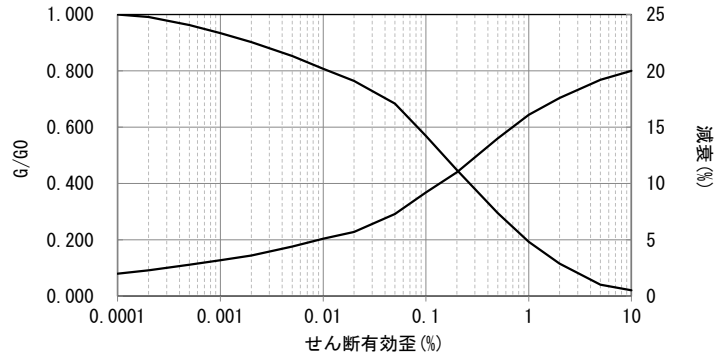


図 3-7 ひずみ依存特性 (第 3 粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	2.00
0.0002	0.991	2.30
0.0005	0.980	2.80
0.001	0.962	3.20
0.002	0.933	3.60
0.003	0.910	4.40
0.005	0.873	5.10
0.01	0.797	5.70
0.02	0.699	7.30
0.03	0.616	9.20
0.05	0.512	11.00
0.1	0.367	14.00
0.2	0.237	16.10
0.3	0.177	17.60
0.5	0.113	19.20
1	0.061	20.00

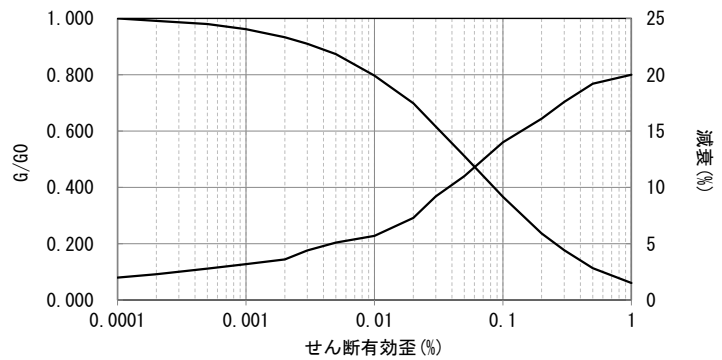


図 3-8 ひずみ依存特性 (第 1 砂質土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	0.700
0.0002	0.990	0.900
0.0005	0.970	1.300
0.001	0.950	1.600
0.002	0.928	1.900
0.003	0.908	2.300
0.005	0.880	2.800
0.01	0.834	3.700
0.02	0.769	5.000
0.03	0.715	6.300
0.05	0.627	8.400
0.07	0.563	9.900
0.1	0.491	11.900
0.15	0.415	14.200
0.2	0.362	15.800
0.3	0.288	18.300
0.5	0.200	21.700
0.7	0.145	23.300
1	0.085	26.400

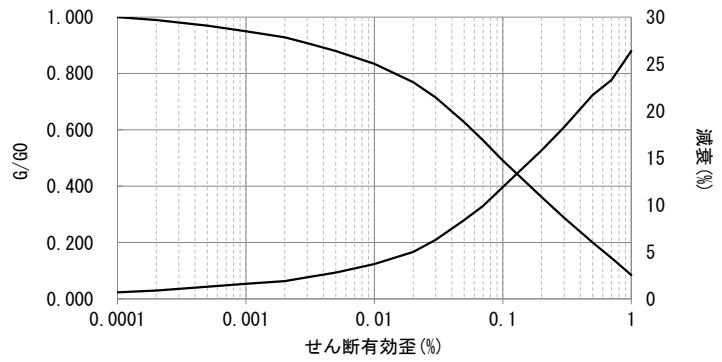


図 3-9 ひずみ依存特性 (第 4 粘性土層)

せん断有効歪 (%)	G/G0	減衰 (%)
0.0001	1.000	0.00
0.0002	0.997	0.08
0.0005	0.991	0.28
0.001	0.977	0.70
0.002	0.953	1.41
0.003	0.932	2.04
0.005	0.899	3.02
0.01	0.832	5.03
0.02	0.740	7.79
0.03	0.661	10.16
0.05	0.563	13.10
0.1	0.418	17.46
0.2	0.277	21.70
0.3	0.209	23.73
0.5	0.134	25.97
1	0.072	27.83

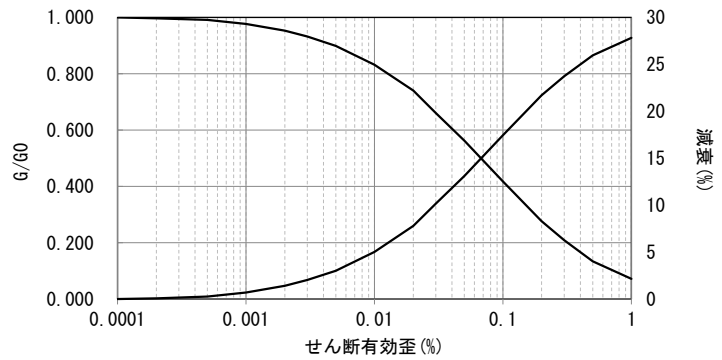


図 3-10 ひずみ依存特性 (第 2 砂質土層)

(2) 検討条件

以下に、検討条件を示す。

- ・重力加速度は  $9.80\text{m/s}^2$
- ・等価線形解析とする。
- ・検討する振動数は  $0\sim 20\text{Hz}$  までとする。

(3) 入力地震動

入力波は水平 1 方向に入力する。図 3-11 に入力地震動（2E 波）の加速度時刻歴を示す。

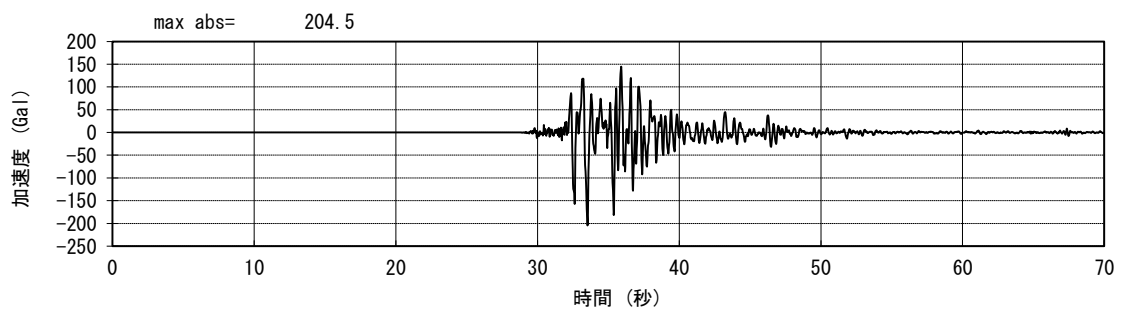


図 3-11 入力地震動加速度時刻歴

## (4) 検討結果比較

地表面伝達関数比較を図 3-12 に、加速度最大分布図を図 3-13 に、地表面加速度時刻歴比較を図 3-14 及び地表面加速度応答スペクトル比較を図 3-15 に示す。各図より、伝達関数及び加速度の解析解は、一致していることが確認できる。

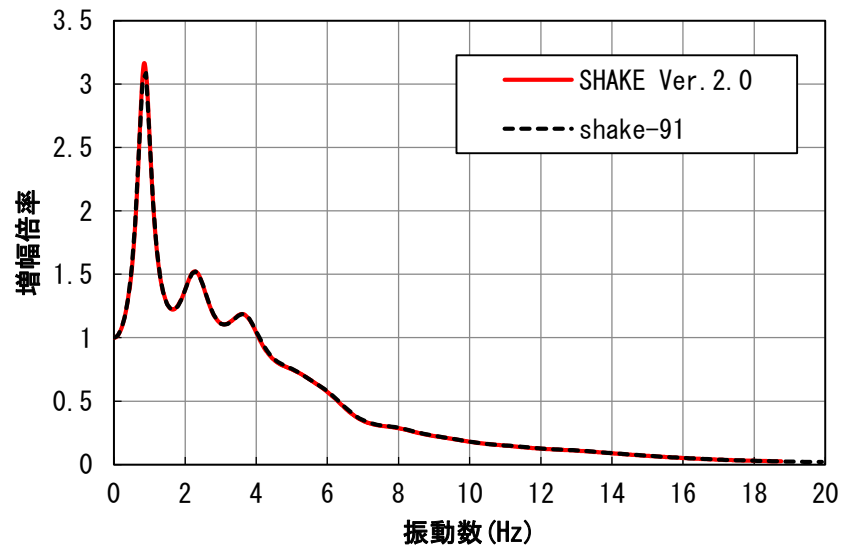


図 3-12 地表面伝達関数比較

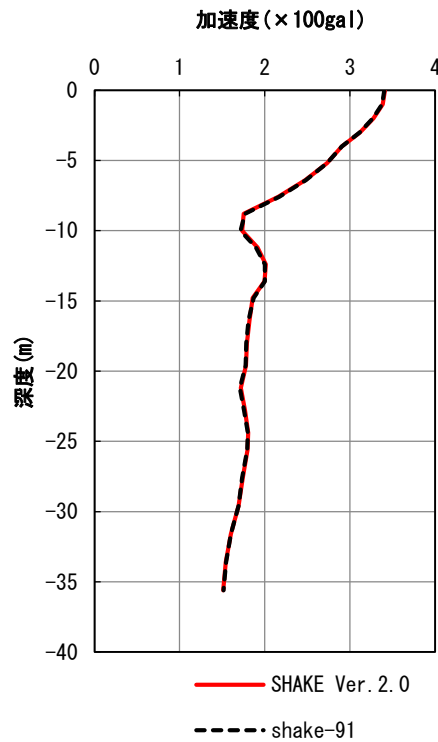


図 3-13 加速度最大分布図

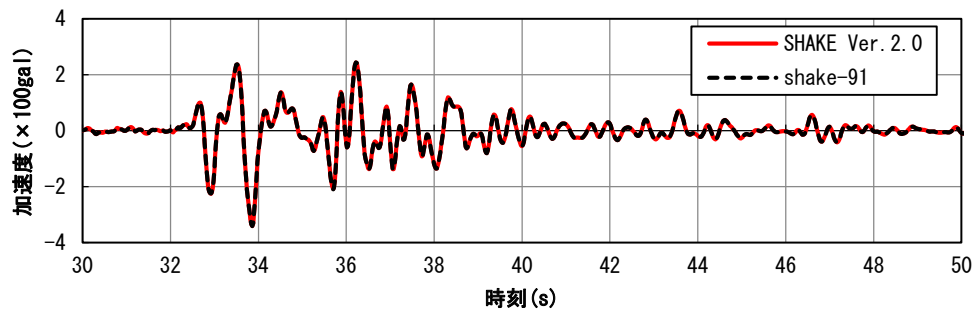


図 3-14 地表面加速度時刻歴比較

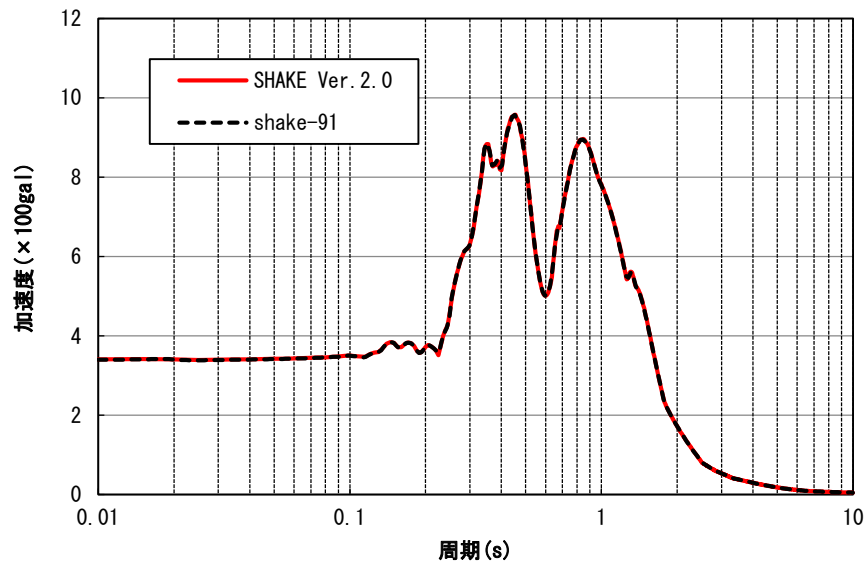


図 3-15 地表面加速度応答スペクトル比較

### 3.5.3 評価結果

本解析コードの解析結果と理論解を比較し、理論解と解析解が一致していることを確認した。また、類似解析コードである shake-91 と比較し、解析解が一致していることを確認した。したがって、本解析に本解析コードを使用することは妥当である。

VI-5-48 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ C A R O



## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

1. はじめに

本資料は、VI-2-3-2-1において使用した計算機プログラム（解析コード）CAROについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-3-2-1	燃料集合体の耐震性についての計算書	Ver. 1

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名 CARO
使用目的	燃料棒の熱的挙動及び機械的挙動の評価
開発機関	Kraftwerk Union社
開発時期	1981年
使用したバージョン	Ver. 1
コードの概要	<p>CARO (以下「本解析コード」という。) は、Kraftwerk Union社により開発された燃料棒熱・機械設計コードである。</p> <p>本解析コードは、出力履歴に対応したペレット-被覆管のギャップ幅変化とガスの熱伝導率をもとにペレットと被覆管のギャップ熱伝達係数を求め、燃料棒の熱的挙動を評価すると同時に、軸対称有限要素法(FEM)により、ペレットと被覆管の相互作用等の機械的挙動を評価する。</p> <p>本解析コードは、高燃焼度8×8燃料及び9×9燃料の設計・許認可解析に適用された実績がある。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ハルデン炉の試験燃料データ、商業炉燃料棒の照射後試験データ等に基づいてペレット中心温度、核分裂生成ガス放出率、燃料棒内圧及び被覆管直径変化を対象とした計算値と測定値の比較*1が実施され、コードに組み込まれた個々の解析モデルが正しく機能していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ハルデン炉の試験燃料データ等との比較における計算値と測定値のばらつきがコード予測の不確かさとして考慮*1されていることを確認している。</li> <li>・コード検討会等規制機関による確認*1、*2 が実施されていることを確認している。</li> </ul>

注記\*1：沸騰水型軽水炉用燃料の設計手法について（昭和62年12月 原子燃料工業株式会社  
NLR-14）

\*2：原子炉安全基準専門部会報告書，発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について（昭和63年5月12日 原子力安全委員会了承）

VI-5-49 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ m k \_ F R S

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3
3. 解析手法 .....	4
3.1 一般事項 .....	4
3.2 解析コードの特徴 .....	4
3.3 解析手法 .....	4
3.4 解析フローチャート .....	6
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation) .....	7
3.5.1 検証 .....	7
3.5.2 妥当性確認 .....	10
3.5.3 評価結果 .....	10

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）mk\_FRSについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-別添3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動	Ver. 8.1



## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	mk_FRS
使用目的	床応答スペクトルの作成
開発機関	中電技術コンサルタント株式会社
開発時期	2021年
使用したバージョン	Ver. 8.1
コードの概要	<p>本解析コードは、耐震設計に使用する床応答スペクトルを作成することを目的としており、加速度応答時刻歴から応答スペクトルを計算する機能、複数の応答スペクトルの包絡値を求める機能を有する。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b>            本解析コードの検証内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・別解析コードISCEFによる応答スペクトルと本解析コードで作成した応答スペクトルを比較し、一致していることを確認している。</li> <li>・包絡機能については、手計算により包絡した床応答スペクトルと、本解析コードで作成した算出値を比較し、一致していることを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b>            本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・今回の工事計画認可申請で使用する機能は応答スペクトルの作成機能であるため、同一の入力条件に対する1自由度系の最大応答加速度を固有周期ごとに算定し、別解析コードISCEFと本解析コードの結果を比較することで、妥当性を確認している。</li> <li>・応答スペクトルを作成する際、入力とする加速度応答時刻歴の時間刻み幅、データの形式は、上述の妥当性を確認している範囲内での使用であることを確認している。</li> <li>・加速度応答時刻歴の時間刻み、固有周期計算間隔は J E A G 4 6 0 1-1987に従っており、妥当性に問題ない。</li> <li>・今回の工事計画認可申請における床応答スペクトル、加速度応答時刻歴に対し、使用用途及び方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

### 3. 解析手法

#### 3.1 一般事項

本書は、建物・構築物の地震応答解析から算出される加速度応答時刻歴から応答スペクトルを作成する解析コードである mk\_FRS (以下「本解析コード」という。)の説明書である。

本解析コードは、一定の固有周期及び減衰定数を有する 1 質点系の与えられた加速度応答時刻歴に対する最大応答加速度を計算し、応答スペクトルを求める。また、固有周期と減衰定数が同一の系で計算された複数の応答スペクトルの包絡値を求めて、床応答スペクトルの作成を行う。

#### 3.2 解析コードの特徴

解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・ 加速度応答時刻歴から固有周期及び減衰定数に応じた応答スペクトルの算出  
(最大応答加速度の計算においては、1自由度系(1質点)の運動方程式の解を数値積分法により求める。本解析コードでは、数値積分法としてニガム法を用いる。)
- ・ 複数の応答スペクトルを包絡した床応答スペクトルの作成

#### 3.3 解析手法

質点の相対変位を  $x$ ，固有円振動数を  $\omega$ ，減衰定数を  $h$ ，地動の加速度時刻歴を  $\ddot{y}(t)$  としたとき，系の運動方程式は，

$$\ddot{x} + 2 \cdot h \cdot \omega \cdot \dot{x} + \omega^2 \cdot x = -\ddot{y}(t) \quad (3.1)$$

と表される。  $t$  は一定時間間隔  $\Delta t$  ごとに与えられて、  $\ddot{y}_i$  と  $\ddot{y}_{i+1}$  の間を直線によって補間し、  $t_i$  を原点とする区間  $t_i \sim t_{i+1}$  内の局所的な時間を  $\tau$ ，  $\Delta \ddot{y} = \ddot{y}_{i+1} - \ddot{y}_i$  とすれば，

$$\ddot{y}(t) = \frac{\Delta \ddot{y}}{\Delta t} \cdot \tau + \ddot{y}_i \quad 0 \leq \tau \leq \Delta t$$

と表される。(3.1)式は区間的に

$$\ddot{x}(\tau) + 2 \cdot h \cdot \omega \cdot \dot{x}(\tau) + \omega^2 \cdot x(\tau) = -\frac{\Delta \ddot{y}}{\Delta t} \cdot \tau - \ddot{y}_i \quad 0 \leq \tau \leq \Delta t$$

となる。

この非同時微分方程式を解いて、区間のはじめ時刻  $t_i$  における初期条件

$$\tau = 0 : x = x_i, \quad \dot{x} = \dot{x}_i$$

を与えれば、区間の終わり  $\tau = \Delta t$  (時刻  $t_{i+1} = t_i + \Delta t$ ) における相対変位応答及び相対速度応答は次のような形で求まる。

$$x_{i+1} = A_{11} \cdot x_i + A_{12} \cdot \dot{x}_i + B_{11} \cdot \ddot{y}_i + B_{12} \cdot \ddot{y}_{i+1} \quad (3.2)$$

$$\dot{x}_{i+1} = A_{21} \cdot x_i + A_{22} \cdot \dot{x}_i + B_{21} \cdot \ddot{y}_i + B_{22} \cdot \ddot{y}_{i+1}$$

ここで、 $A, B$ は $\omega, h, \Delta t$ が定まれば一意に定まる係数である。 $x_{i+1}, \dot{x}_{i+1}$ が定められれば、絶対加速度応答は(3.1)式より

$$(\ddot{x}+\ddot{y})_{i+1} = -(2 \cdot h \cdot \omega \cdot \dot{x}_{i+1} + \omega^2 \cdot x_{i+1}) \quad (3.3)$$

によって求められる。したがって、 $t=0$ における応答の初期値

$$x_1 = 0$$

$$\dot{x}_1 = -\ddot{y}_1 \cdot \Delta t$$

$$(\ddot{x}+\ddot{y})_1 = 2 \cdot h \cdot \omega \cdot \dot{y}_1 \cdot \Delta t$$

を与えれば、後は(3.2)式と(3.3)式によって応答値が算出される。

### 3.4 解析フローチャート

本解析コードを用いて行う解析フローチャートを図3.4-1に示す。

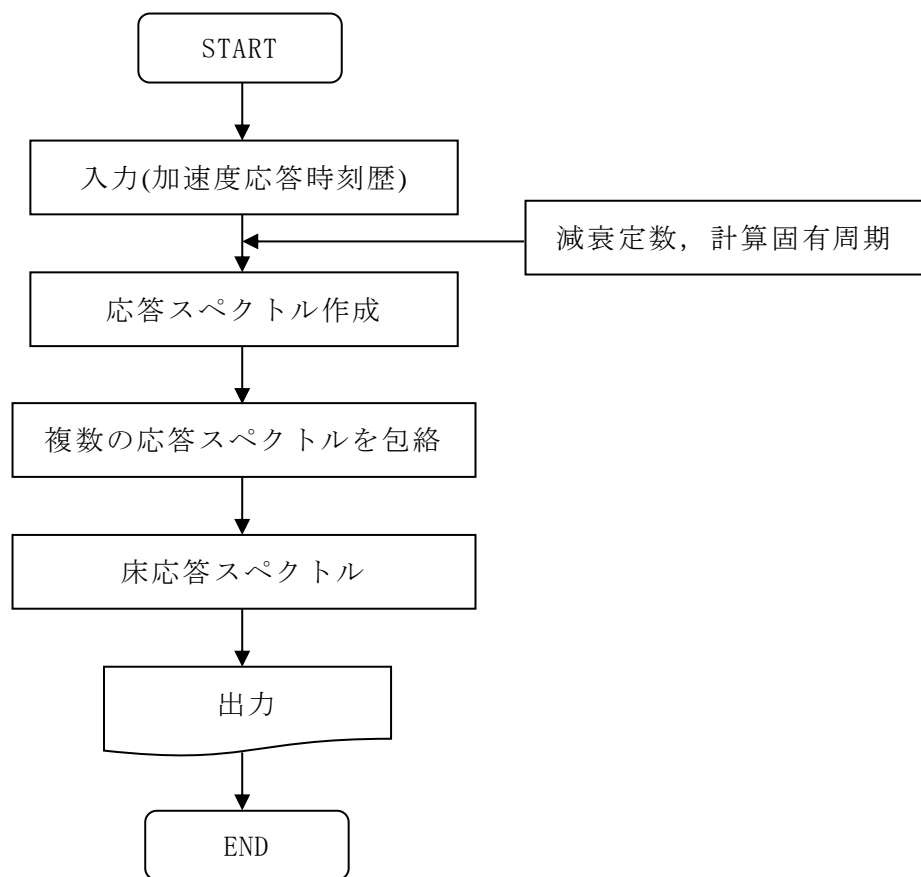


図3.4-1 解析コード「mk\_FRS」を用いた解析フローチャート

### 3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

#### 3.5.1 検証

##### (1) 応答スペクトル作成機能

別解析コードISCEFによる応答スペクトルと本解析コードで作成した応答スペクトルを比較することで、本解析コードの検証を行った。

検証に用いた加速度応答時刻歴を図3.5-1に示す。また、別解析コードと本解析コードで作成した応答スペクトルを比較したものを図3.5-2に示す。図3.5-2より、本解析コードの結果は、別解析コードの結果と、よく一致していることが分かる。

##### (2) 包絡機能

包絡は、同一の計算固有周期で算定された複数の応答スペクトルに対して、各計算固有周期の最大値を選定して作成する。本解析コードの包絡機能は、2つの応答スペクトルをプロットした図を確認して選定した手計算値と、本解析コードで作成した算出値の比較により検証した。図3.5-3に本解析コードによる包絡結果を示すように、正しく包絡されていることが分かる。

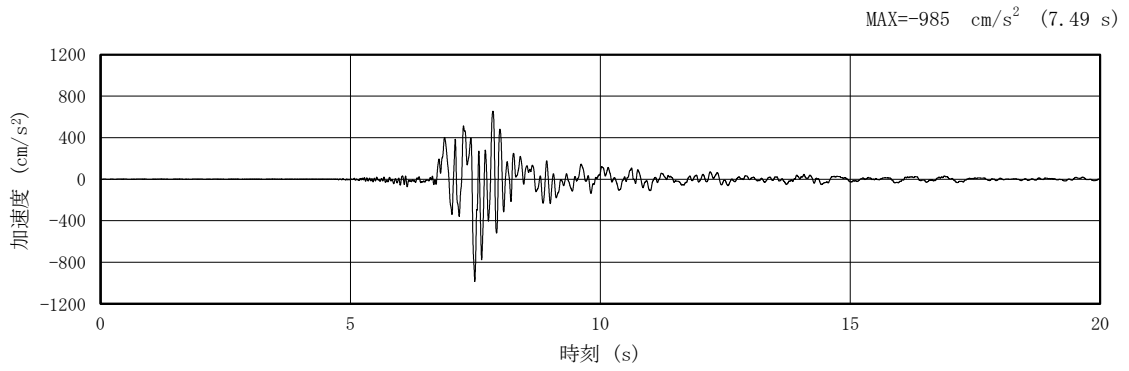


図3.5-1 検証に用いた加速度応答時刻歴の波形

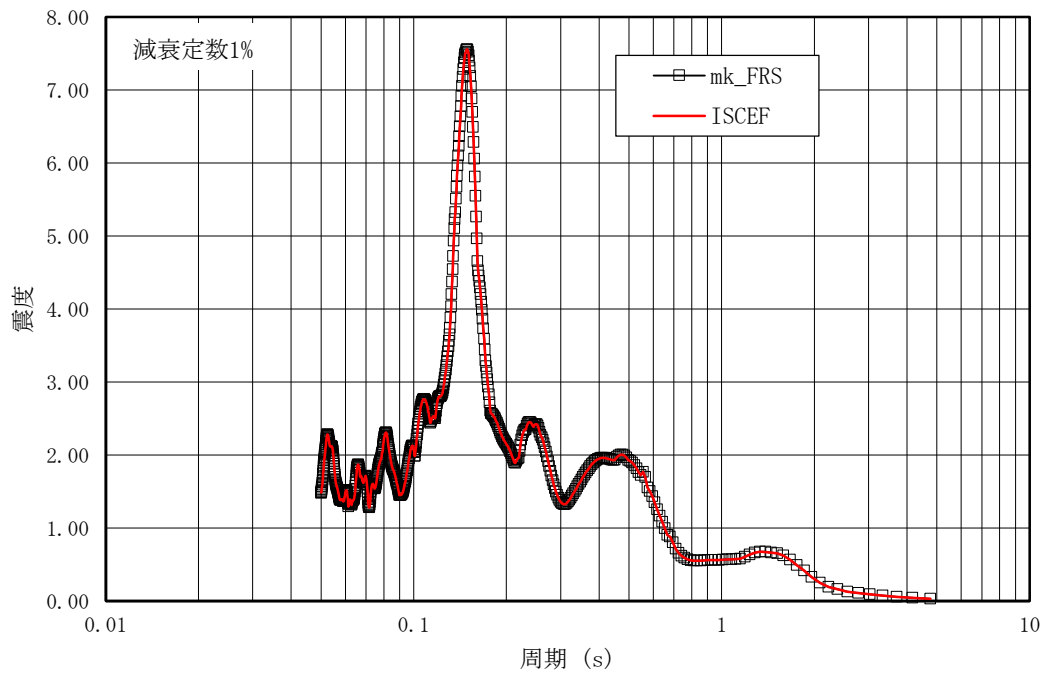


図3.5-2 応答スペクトルの解析結果比較

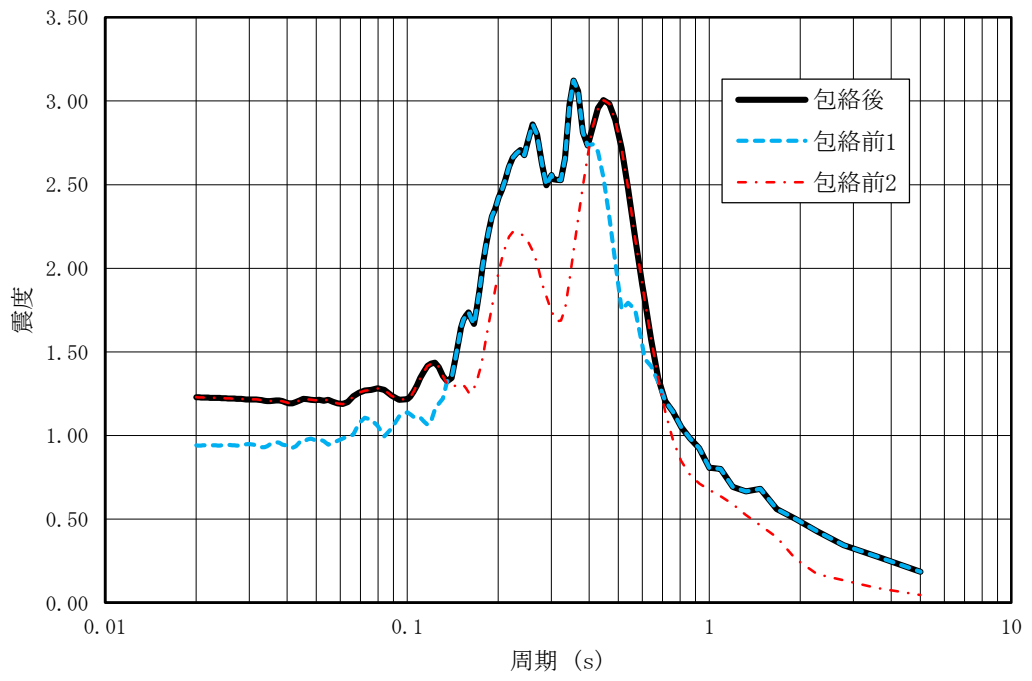


図3.5-3 包絡結果

### 3.5.2 妥当性確認

本解析コードの妥当性確認内容は、以下のとおりである。

- ・今回の工事計画認可申請で使用する機能は、応答スペクトルの作成機能であるため、同一の入力条件に対する1自由度系の最大応答加速度を固有周期ごとに算定し、別解析コードであるISCEFと本解析コードの結果を比較することで、妥当性を確認している。
- ・応答スペクトルを作成する際、入力とする加速度応答時刻歴の時間刻み幅、データの形式は、上述の妥当性を確認している範囲内での使用であることを確認している。
- ・加速度応答時刻歴の時間刻み、固有周期計算間隔はJ E A G 4 6 0 1-1987に従っており、妥当性に問題ない。
- ・今回の工事計画認可申請における床応答スペクトル、加速度応答時刻歴に対し、使用用途及び方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

### 3.5.3 評価結果

3.5.1及び3.5.2より、本解析コードを使用目的に示す床応答スペクトルの作成に用いることは妥当である。



VI-5-50 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ W C O M D S t u d i o

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

## 1. はじめに

本資料は、VI-2-2-25「屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の耐震性についての計算書」等において使用した計算機プログラム（解析コード）WCOMD Studio について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

### 1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-25	屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の耐震性についての計算書	Ver. 1.3.3
VI-2-2-31	第1ベントフィルタ格納槽の耐震性についての計算書	Ver. 1.3.3

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	WCOMD Studio
使用目的	2次元有限要素法（非線形平面要素）による静的解析
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	2015年
使用したバージョン	Ver. 1.3.3
コードの概要	<p>WCOMD Studio（以下「本解析コード」という。）は、東京大学コンクリート研究室で開発された、鉄筋コンクリート構造物の2次元有限要素法解析を行う計算機コード「WCOMD」に、株式会社フォーラムエイトがプリ・ポストプロセッサを整備して製品化したものである。</p> <p>コンクリートに関する数多くの実験と理論的検証結果に基づいた高精度の構成則を用いており、ひび割れを生じた様々な鉄筋コンクリート構造物の2次元非線形動的解析・静的解析を行う。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・せん断耐力式によるせん断耐力と解析によるせん断耐力がおおむね一致していることを確認している。また、鉄筋コンクリートはりの載荷試験の結果と解析結果がおおむね一致していることを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・九州電力株式会社川内原子力発電所において、2次元非線形静的解析による取水路の応力解析（せん断耐力の算定）に本解析コード（Ver.2）が使用された実績があり、本工事計画で使用する鉄筋コンクリートはりと同様の適用をしている。</li> <li>・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事計画において使用されているものと異なるが、バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、本工事計画で使用する2次元非線形有限要素法解析（応力解析）に、本解析コードが適用できることを確認している。</li> </ul>

VI-5-51 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ S T A A D . P r o

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3
2.1 STAAD.Pro Ver. 20.07.11.33 .....	3

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）STAAD.Proについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。



1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-4-2-5	燃料プール水位（S A）の耐震性についての計算書	Ver. 20.07.11.33

## 2. 解析コードの概要

### 2.1 STAAD.Pro Ver. 20.07.11.33

項目	コード名 STAAD.Pro
使用目的	3次元有限要素法（シェル要素及びはり要素）による固有値解析
開発機関	株式会社ベントレー・システムズ
開発時期	1972年
使用したバージョン	Ver. 20.07.11.33
コードの概要	<p>STAAD.Pro（以下「本解析コード」という。）は、3次元架構構造モデルの構造解析を目的に、任意形状の3次元モデルの静的解析及び動的解析を有限要素法にて行うものである。</p> <p>引張・圧縮・せん断等の一般的な静解析から、地震等の動解析までサポートしており、本解析コードは、プラント設計、建築・土木工学等の分野で世界的に広く実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本計算機コードの検証の内容は次のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造力学分野における一般知見により解を求めることができる体系について、解析の結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解とおおむね一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発元から提示された要件を満足していることを確認している。</li> <li>・本解析コードは、有限要素法を用いた汎用構造解析プログラムであり、数多くの研究機関や企業において、様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は次のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画認可申請で使用する3次元有限要素法（シェル要素及びはり要素）による固有値解析に、本解析コードが適用できることを確認している。</li> <li>・本解析コードは、原子力分野では、工事計画認可申請における応力解析等、これまで構造解析に対し使用実績があることを確認している。</li> <li>・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

VI-5-52 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ N S A F E

## 目次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

## 1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）NSAFEについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-4-2-4	燃料プール水位・温度（S A）の耐震性についての計算書	Ver. 5
VI-2-6-5-24	サプレッションプール水温度の耐震性についての計算書	Ver. 5
VI-2-6-5-27	ドライウエル温度（S A）の耐震性についての計算書	Ver. 5
VI-2-6-5-28	ペDESTAL温度（S A）の耐震性についての計算書	Ver. 5
VI-2-6-5-29	ペDESTAL水温度（S A）の耐震性についての計算書	Ver. 5
VI-2-6-5-30	サプレッションチェンバ温度（S A）の耐震性についての計算書	Ver. 5
VI-2-6-5-31	サプレッションプール水温度（S A）の耐震性についての計算書	Ver. 5
VI-2-6-5-42	ドライウエル水位の耐震性についての計算書	Ver. 5
VI-2-6-5-44	ペDESTAL水位の耐震性についての計算書	Ver. 5
VI-2-6-5-45	原子炉建物水素濃度の耐震性についての計算書	Ver. 5
VI-2-6-5-47	スクラム排出水容器水位の耐震性についての計算書	Ver. 5
VI-2-6-5-49	主蒸気管トンネル温度の耐震性についての計算書	Ver. 5
VI-2-6-7-1-10	静的触媒式水素処理装置入口温度の耐震性についての計算書	Ver. 5
VI-2-10-2-12	タービン補機海水系隔離システムの耐震性についての計算書	Ver. 5
VI-2-8-3-1-1	管の耐震性についての計算書（中央制御室空調換気系）	Ver. 5
VI-2-10-2-16	取水槽水位計の耐震性についての計算書	Ver. 5
VI-2-11-2-7-10	中央制御室天井設置設備の耐震性についての計算書	Ver. 5
VI-3-別添3-2-10	取水槽水位計の強度計算書	Ver. 5

2. 解析コードの概要

<p>項目</p>	<p>コード名 NSAFE</p>
<p>使用目的</p>	<p>3次元有限要素法（はり要素）による支持構造物の固有値解析，地震応答解析及び応力解析</p>
<p>開発機関</p>	<p>株式会社日立プラントコンストラクション</p>
<p>開発時期</p>	<p>1982年</p>
<p>使用したバージョン</p>	<p>Ver. 5</p>
<p>コードの概要</p>	<p>本解析コードは，支持構造物の強度解析を目的として開発された計算機プログラムである。本解析コードは，汎用構造解析コード <input type="text"/> <input type="text"/> をメインプログラムとし，応力評価プログラム及びそれらのインターフェイスプログラムのサブプログラムから成る。</p> <p>任意の1次元，2次元あるいは3次元形状に対し，静的解析，動的解析を行うことが可能で，反力・モーメント・応力，固有値・刺激係数等の算出が可能である。</p> <p>原子力の分野における使用実績を有している。</p>
<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証内容は次のとおりである。</p> <div data-bbox="632 1066 1493 1644" style="border: 1px solid black; height: 258px; width: 540px;"></div> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認内容は次のとおりである。</p> <div data-bbox="632 1787 1493 2029" style="border: 1px solid black; height: 108px; width: 540px;"></div>

項目	コード名 NSAFE
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	



VI-5-53 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ S O L V E R

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

1. はじめに

本資料は、VI-2-別添4-3-2「管の耐震性についての計算書（地下水位低下設備）」において使用した計算機プログラム（解析コード）SOLVERについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-別添4-3-2	管の耐震性についての計算書（地下水位低下設備）	Rev 02.05

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SOLVER
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析
開発機関	株式会社東芝
開発時期	1988年
使用したバージョン	Rev 02.05
コードの概要	<p>SOLVER（以下「本解析コード」という。）は，構造物の静的及び動的解析のメインプログラムである SAP を基に作られている。SAP は，米カリフォルニア大学にて開発された計算機プログラムである。</p> <p>任意の3次元形状に対し，有限要素法により静的解析，動的解析を行い，反力・モーメント・応力，固有振動数・刺激係数等の算出が可能である。</p> <p>本解析コードは，原子力分野の配管設計において，多くの実績を有している。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本解析コードの検証内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の多い配管解析プログラムの一つである解析コード“ADL Pipe Static-Thermal-Dynamic Pipe Stress Analysis”（Arthur D. Little. Inc., Cambridge, Massachusetts, January 1971）による解析結果を比較し，結果が合致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本解析コードの妥当性確認内容は，以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは，他プラントの既工事計画において使用実績があることを確認している。</li> <li>・本工事計画で行うはりモデルの固有値解析，地震応答解析及び応力解析の使用目的に照らして，用途及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲であることを確認している。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより，本工事計画で使用する3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析及び応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。</li> </ul>

VI-5-54 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ V A

## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）VAについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。



1.1 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
VI-2-別添2-2	溢水源としないB, Cクラス機器の耐震性についての計算書	Ver. 2

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	VA
使用目的	振動アドミッタンス理論に基づく地盤ばね（実部，虚部）の算定
開発機関	大成建設株式会社
開発時期	1991年
使用したバージョン	Ver. 2
コードの概要	VA（以下「本解析コード」という。）は，振動アドミッタンス理論により，基礎の水平，鉛直及び回転に対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証(Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードを用いて評価した地盤ばねが薄層法及びダイナミック・グラウンド・コンプライアンスで算出した結果とおおむね一致していることを確認している。</li> <li>・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・九州電力株式会社川内原子力発電所において，原子炉格納施設の地震応答解析モデル及び応力解析モデルにおける基礎底面地盤ばね算定に本解析コード（ver. 2）が使用された実績がある。</li> <li>・本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

VI-5-55 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ d m a i n 2

## 目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3
3. 解析手法	4
3.1 一般事項	4
3.2 解析コードの特徴	4
3.3 解析手法	4
3.4 解析フローチャート	6
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	7
3.5.1 検証	7
3.5.2 妥当性確認	10
3.5.3 評価結果	10

## 1. はじめに

本資料は, VI-2-2-35「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書」等において使用した計算機プログラム(解析コード) dmain2について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧, 解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-2-35	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 1.0
VI-2-2-36	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の耐震性についての計算書	Ver. 1.0
VI-2-別添2-2	溢水源としないB, Cクラス機器の耐震性についての計算書	Ver. 1.0

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	dmain2
使用目的	振動アドミッタンス理論に基づく地盤ばね（実部，虚部）の算定
開発機関	中電技術コンサルタント株式会社
開発時期	2000年
使用したバージョン	Ver. 1.0
コードの概要	dmain2（以下「本解析コード」という。）は，振動アドミッタンス理論により，基礎の水平，鉛直及び回転に対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは，ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答解析及び3次元静的線形FEM解析における水平，鉛直及び回転に対する基礎底面地盤ばねを評価するために使用している。</p> <p><b>【検証(Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>本解析コードを用いて評価した地盤ばねが文献（「基礎-地盤複素剛性解析コードSANBANEの保守に関する報告書(原子力発電技術機構，1998年)」）に記載されている理論モデルによる基礎底面の水平ばね，回転ばね及び鉛直ばねの評価例とよく一致していることを確認している。</li> <li>動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認(Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>検証の内容のとおり，水平，鉛直及び回転に対する地盤ばねについて検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。</li> <li>ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答解析における地盤ばねの算定に本解析コードを使用することは，本解析の適用範囲に対して検証されており，妥当である。</li> </ul>

### 3. 解析手法

#### 3.1 一般事項

本解析コードは、田治見の振動アドミッタンス理論に基づき、基礎の水平、鉛直及び回転に対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。本解析コードは、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答解析及び3次元静的線形 FEM 解析における水平、鉛直及び回転に対する基礎底面地盤ばねを評価するために使用している。

#### 3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・振動アドミッタンス理論に基づき、底面地盤ばねを振動数領域で算定できる。
- ・点加振解を用いているため、高振動数領域に対しても適用可能。
- ・任意の正方形要素を組み合わせて表現することができるため、任意の基礎形状にも対応可能。

#### 3.3 解析手法

基礎底面の地盤ばねは、振動アドミッタンス理論に基づき、地盤を半無限弾性体と仮定した地盤の動きを弾性波動論に基づき解析した地表面の点加振解(力-変位関係)から算定する。

振動アドミッタンス理論では、半無限弾性体上の基礎マット面に、鉛直、水平、回転の動的な力  $Pe^{i\omega t}$  を加えたとき、それに対応する変位  $W$  との関係を下式で示している。

$$W = \frac{Pe^{i\omega t}}{K_f} \{g_1(\omega) - ig_2(\omega)\} \quad (3.1)$$

ここで、 $K_f$  : 静的地盤ばね剛性

上式の比例係数  $g_1(\omega) - ig_2(\omega)$  を振動アドミッタンスと名付けており、地盤ばねは振動アドミッタンスの逆数の関係にあるため、次式によって求められる。

$$K(\omega) = K_f \cdot \frac{1}{g_1(\omega) - ig_2(\omega)} \quad (3.2)$$

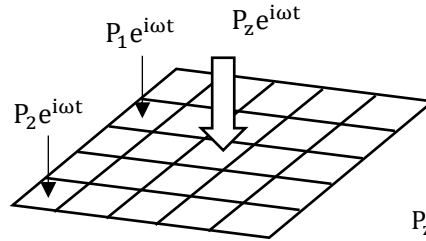
ここで、 $K(\omega)$  : 動的抵抗係数

(3.2) 式を変形すると、地盤ばねは複素剛性の形にすることができ、実数部  $K_R(\omega)$  を剛性成分、虚数部  $iK_I(\omega)$  を減衰成分として、以下の式で表される。

$$K(\omega) = K_R(\omega) + iK_I(\omega) \quad (3.3)$$



振動アドミッタンス理論では、図3-1に示すように基礎を小領域に分割し、小領域に点加振した場合の変位を求めた後、基礎底面の応力分布（水平・鉛直ばねは一様分布、回転ばねは三角形分布）を仮定し、小領域の点加振解を基礎面について積分することによって、基礎全体加振力と基礎の代表変位（平均変位）の関係を求め、基礎の動的地盤ばねを評価する。



$P_z e^{i\omega t}$  : 基礎の加振力

$P_n e^{i\omega t}$  : 小領域の点加振力

図3-1 基礎の分割

振動アドミッタンス理論では、点加振した場合の変位は、妹沢の解として知られている3次元波動方程式の解を用い、境界条件を満たす点加振解を求めている。

図3-2に示すように、x方向の点加振 $P_x e^{i\omega t}$ が作用するときの地表面の任意点 $(r, \theta)$ におけるx方向の変位 $u_x$ 及びy方向の変位 $u_y$ は下式で与えられる。

$$u_x = \frac{P_x e^{i\omega t}}{4\pi G} \frac{1}{r} \{ (2 - \nu)(f_{H1} + if_{H2}) + \nu \cos 2\theta (g_{H1} + ig_{H2}) \} \quad (3.4)$$

$$u_y = \frac{P_x e^{i\omega t}}{4\pi G} \frac{1}{r} \nu \sin 2\theta (g_{H1} + ig_{H2}) \quad (3.5)$$

同様にz方向の点加振 $P_z e^{i\omega t}$ が作用するときのz方向変位 $u_z$ は下式で与えられる。

$$u_z = \frac{P_z e^{i\omega t}}{2\pi G} \frac{1 - \nu}{r} (f_{V1} + if_{V2}) \quad (3.6)$$

ここに、 $G$  : 地盤のせん断剛性

$\nu$  : 地盤のポアソン比

$(f_{H1} + if_{H2})$ ,  $(g_{H1} + ig_{H2})$ ,  $(f_{V1} + if_{V2})$  : 加振振動数 $\omega$ の関数

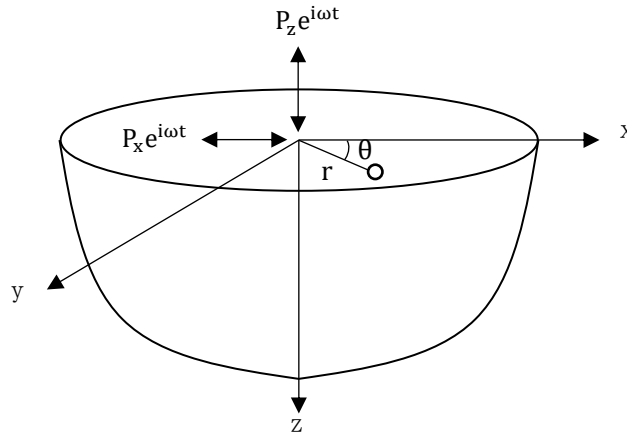


図3-2 座標系

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-3 に示す。

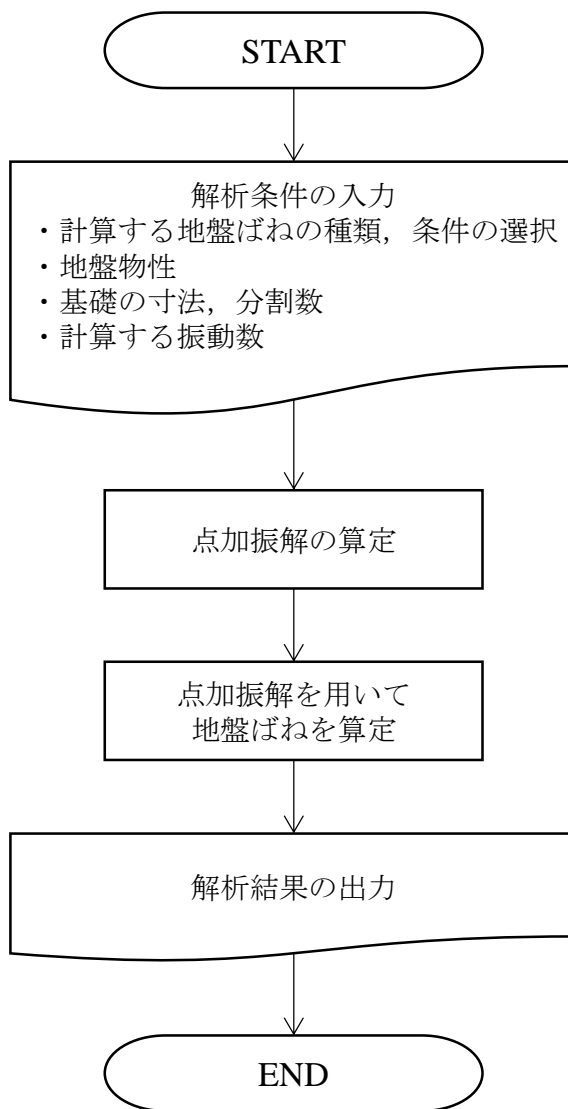


図 3-3 解析フローチャート

### 3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

#### 3.5.1 検証

本解析コードの検証は、公開文献（「基礎-地盤複素剛性解析コード SANBANE の保守に関する報告書(原子力発電技術機構, 1998 年)」）（以下「文献」という。）に示されている振動アドミッタンス理論による理論解との比較により行う。

解析条件を表 3-1 に示す。地盤反力分布は、一様応力分布とし、基礎の代表変位は、鉛直及び水平ばねの場合は相加平均変位、回転ばねについては荷重重み付平均変位とする。

表 3-1 解析条件

地盤	ポアソン比	0.40
	重量密度 $\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	2.00
	せん断波速度 $V_s$ (m/s)	1000
基礎	寸法(縦(m)×横(m))	72.0×100.0
	分割(縦(m)×横(m))	20 分割×20 分割

表 3-2 及び図 3-4 に文献と本解析コードによる比較結果を比較したものを示す。両者はおおむね一致していることが確認できる。

表 3-2 文献と本解析コードによる比較結果

(a) 水平ばね ( $\times 10^7 \text{t/m}$ )

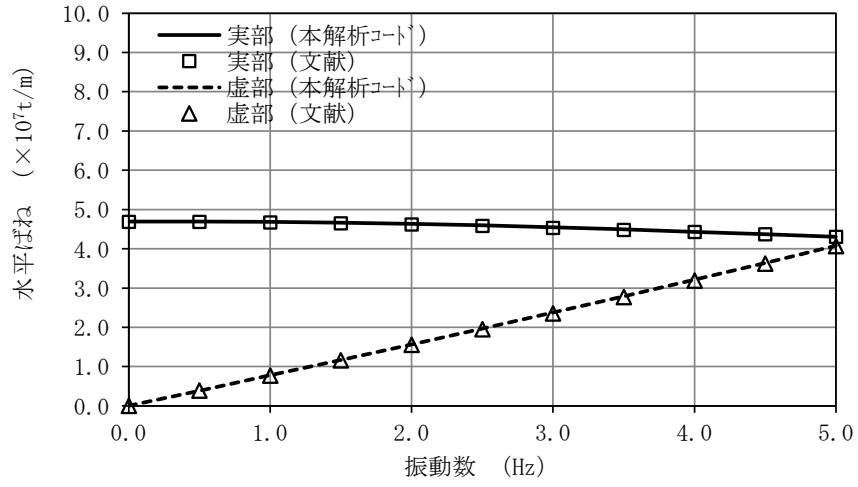
振動数 (Hz)		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
実部	本解析コード	4.694	4.694	4.684	4.664	4.634	4.595	4.547	4.492	4.431	4.369	4.306
	文献	4.686	4.682	4.668	4.646	4.615	4.577	4.532	4.480	4.424	4.365	4.304
虚部	本解析コード	0.000	0.387	0.776	1.169	1.566	1.968	2.375	2.789	3.210	3.638	4.077
	文献	0.000	0.385	0.771	1.159	1.552	1.949	2.354	2.767	3.189	3.623	4.069

(b) 回転ばね ( $\times 10^{10} \text{t}\cdot\text{m/rad}$ )

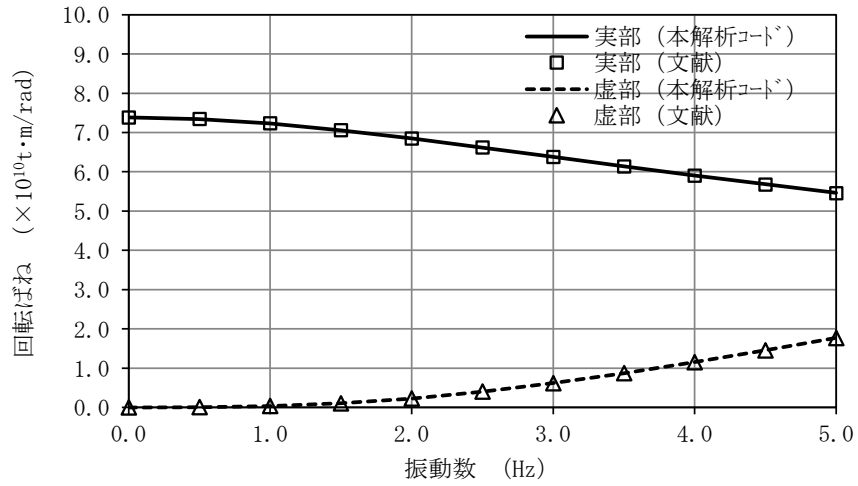
振動数 (Hz)		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
実部	本解析コード	7.383	7.344	7.230	7.058	6.848	6.616	6.378	6.140	5.908	5.682	5.462
	文献	7.385	7.346	7.232	7.060	6.849	6.616	6.376	6.137	5.903	5.675	5.453
虚部	本解析コード	0.000	0.004	0.033	0.104	0.226	0.399	0.616	0.870	1.152	1.455	1.774
	文献	0.000	0.005	0.034	0.106	0.228	0.400	0.617	0.869	1.150	1.451	1.768

(c) 鉛直ばね ( $\times 10^7 \text{t/m}$ )

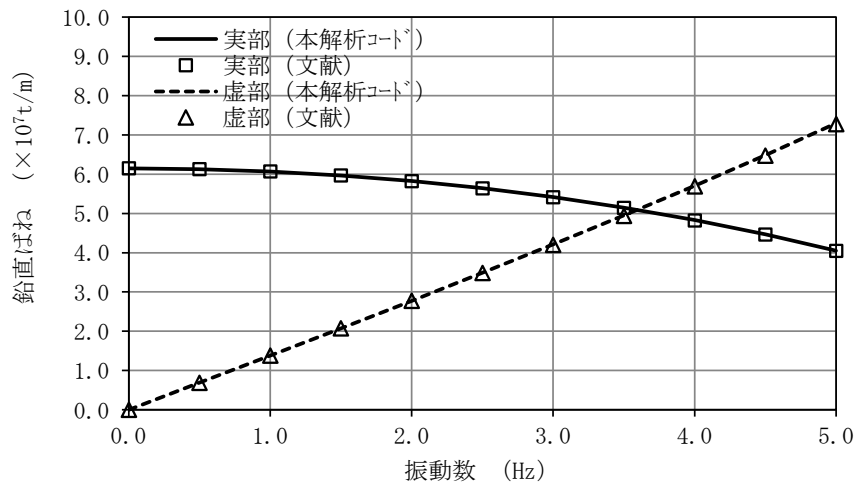
振動数 (Hz)		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
実部	本解析コード	6.146	6.127	6.068	5.968	5.827	5.644	5.417	5.146	4.830	4.466	4.054
	文献	6.153	6.131	6.069	5.967	5.824	5.639	5.412	5.141	4.824	4.461	4.048
虚部	本解析コード	0.000	0.689	1.379	2.075	2.777	3.488	4.210	4.948	5.705	6.486	7.297
	文献	0.000	0.690	1.380	2.074	2.774	3.483	4.202	4.938	5.692	6.471	7.280



(a) 水平ばね



(b) 回転ばね



(c) 鉛直ばね

図3-4 文献との比較結果

### 3.5.2 妥当性確認

本解析コードの検証は、水平、鉛直及び回転に対する地盤ばねに対してなされており、本解析の適用範囲と合致している。したがって、検証結果より、本解析コードを今回の解析に使用することは、妥当である。

### 3.5.3 評価結果

水平、鉛直及び回転に対する地盤ばねに対する本解析コードの解析結果が、文献の理論解とおおむね一致していることを確認した。

本解析コードの検証は、本解析の適用範囲に対して実施されたものであることから、本解析コードを今回の解析に使用することは妥当である。

VI-5-56 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ F I N A S / S T A R

## 目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3
3. 解析手法	5
3.1 一般事項	5
3.2 解析コードの特徴	5
3.3 解析手法	6
3.3.1 有限要素法の考え方	6
3.3.2 要素剛性方程式の導入	8
3.3.3 全体モデルの剛性方程式	9
3.3.4 非線形解析手法	10
3.3.5 分割ひび割れ鉄筋コンクリートモデル	12
3.4 解析フローチャート	15
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	16
3.5.1 検証	16
3.5.2 妥当性確認	28
3.5.3 評価結果	28



VI-5-57 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ E M R G I N G

## 目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3
2.1 EMRGING Ver. 12.4C	3
2.2 EMRGING Ver. 13.1	4
3. 解析手法	5
3.1 一般事項	5
3.2 解析コードの特徴	5
3.3 解析手法	6
3.3.1 計算方法	6
3.3.2 応力発生状態の判定	7
3.3.3 応力度の算定	8
3.4 解析フローチャート	9
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	10
3.5.1 検証	10
3.5.2 妥当性確認	13
3.5.3 評価結果	13

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）EMRGINGについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-10-2-3-1	防波壁（波返重力擁壁）の耐震性についての説明書	Ver. 12.4C Ver. 13.1
VI-2-10-2-3-2	防波壁（逆T擁壁）の耐震性についての説明書	Ver. 12.4C
VI-2-10-2-3-3	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震性についての計算書	Ver. 13.1
VI-2-11-2-3	免震重要棟遮蔽壁の耐震性についての計算書	Ver. 12.4C
VI-2-別添4-3-5	揚水井戸の耐震性についての計算書	Ver. 12.4C
VI-3-別添3-2-1-1	防波壁（波返重力擁壁）の強度計算書	Ver. 12.4C Ver. 13.1
VI-3-別添3-2-1-2	防波壁（逆T擁壁）の強度計算書	Ver. 12.4C
VI-3-別添3-2-1-3	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の強度計算書	Ver. 13.1

## 2. 解析コードの概要

### 2.1 EMRGING Ver. 12.4C

項目	コード名 EMRGING
使用目的	鉄筋コンクリートの応力度計算
開発機関	富士通Japan株式会社（旧：富士通エフ・アイ・ピー株式会社）
開発時期	1999年
使用したバージョン	Ver. 12.4C
コードの概要	<p>EMRGING（以下「本解析コード」という。）は、富士通エフ・アイ・ピー株式会社によって開発された、鉄筋コンクリート断面に対する応力度計算用の市販コードである。</p> <p>本解析コードは、様々な断面形状を持つ鉄筋コンクリート断面の応力度計算に利用可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・今回の工認申請で使用する機能の検証として、材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）について理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論解とおおむね一致することを確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された動作環境を満足する計算機にインストールして用いている。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、国内の土木分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工認申請で使用する矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）に本解析コードが適用できることを確認している。</li> <li>・本解析コードは検証の体系と今回の工認申請で使用する体系が同等であることから検証で実施した解析解が理論解とおおむね一致をもって、解析機能の妥当性を確認できる。</li> <li>・今回の工認申請で行う矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内であることを確認している。</li> </ul>

2.2 EMRGING Ver. 13.1

項目 \ コード名	EMRGING
使用目的	鉄筋コンクリートの応力度計算
開発機関	富士通Japan株式会社（旧：富士通エフ・アイ・ピー株式会社）
開発時期	1999年
使用したバージョン	Ver. 13.1
コードの概要	<p>EMRGING（以下「本解析コード」という。）は、富士通エフ・アイ・ピー株式会社によって開発された、鉄筋コンクリート断面に対する応力度計算用の市販コードである。</p> <p>本解析コードは、様々な断面形状を持つ鉄筋コンクリート断面の応力度計算に利用可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b>            本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された動作環境を満足する計算機にインストールして用いている。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b>            本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本解析コードは、国内の土木分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工認申請で使用する矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）に本解析コードが適用できることを確認している。</li> <li>・今回の工認申請において使用するバージョンは、「3.5 検証」において妥当性を確認したVer. 12.4Cと異なるが、バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。</li> <li>・今回の工認申請で行う矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内であることを確認している。</li> </ul>

### 3. 解析手法

#### 3.1 一般事項

本解析コードは、鉄筋コンクリート断面に対する応力度計算用の市販コードである。

#### 3.2 解析コードの特徴

本解析コードの特徴は多数の断面に適用可能なことであり、定形パターンとして7種類及び任意断面に適用可能である。応力度計算の断面系パターンと出力一覧を表3-1に示す。なお、本解析コードの開発に際しては以下の文献を参考としている。

- (1) コンクリート標準示方書[設計編]（（社）土木学会，2007年制定）
- (2) コンクリート標準示方書[設計編]（（社）土木学会，2012年制定）
- (3) 道路橋示方書・同解説（I 共通編・IIIコンクリート橋編）（（社）日本道路協会，平成14年3月）
- (4) 道路橋示方書・同解説（I 共通編・IV下部構造編）（（社）日本道路協会，平成14年3月）
- (5) 道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）（（社）日本道路協会，平成14年3月）

表3-1 応力度計算の断面形パターンと出力一覧

		矩形 断面	円形 断面	円環 断面	任意 断面	箱形 断面	I形,T形 小判形	SRC 矩形
一軸 曲げ	コンクリート圧縮応力度	●	●	●	●	●	●	
	鉄筋引張応力度	●	●	●	●	●	●	
	鉄筋圧縮応力度	●			●	●	●	
二軸 曲げ	コンクリート圧縮応力度	●				●		
	鉄筋引張応力度	●				●		
	鉄筋圧縮応力度	●				●		
	最大せん断応力度	●	●	●		●		
	平均せん断応力度	●	●	●		●		

●：計算可

### 3.3 解析手法

本解析コードは主に RC 矩形断面の曲げ応力度の照査に用いることから、以下にその解析理論を示す。

#### 3.3.1 計算方法

断面寸法  $b$ ,  $d$  を仮定し、次の諸値を算定する。

- (1) 軸力  $N$ , 曲げモーメント  $M$  並びにせん断力  $Q$  が加わる場合

$$f = \frac{M}{N} + u, \quad \frac{f}{d}$$

$$u = \frac{d+d'}{2} - d'$$

$$M' = M + Nu, \quad \frac{M'}{bd^2}, \quad \frac{Q}{bd}$$

( $N$  の符号は圧縮が正, 引張が負とする)

( $f$ : 荷重偏心量,  $M'$ : 換算モーメント)

- (2) 軸力  $N = 0$  の場合

$$\frac{f}{d} = \infty, \quad M' = M \text{ とする。}$$

鉄筋のヤング係数とコンクリートのヤング係数との比は,  $n = \frac{E_s}{E_c}$

$u$  は軸力  $N$  の加わる点から引張鉄筋までの距離である。一般には軸力  $N$  の加わる点を部材の中心点とする。

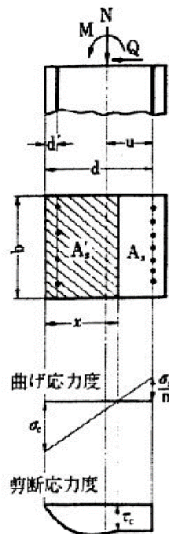


図 3-1 RC 矩形断面



### 3.3.2 応力発生状態の判定

側方鉄筋のない矩形断面の場合、応力発生状態は次のように判断する。

#### (1) 全断面圧縮

設計軸力 $N > 0$ で、

$$\left| \frac{N}{db} \right| - \frac{6M}{d^2b} > 0$$

となる場合は全断面圧縮となる。

#### (2) 全断面引張

$N < 0$ で、

$$\left| \frac{N}{db} \right| - \frac{6M}{d^2b} > 0$$

又は、

$$\frac{f}{d} = \frac{1}{d} \left( \frac{M}{N} + u \right) > 0$$

となる場合は全断面引張となる。

### 3.3.3 応力度の算定

鉄筋を配置して，次の諸数値を算定する。

$$\alpha = \frac{d'}{d} \quad , \quad \beta = \frac{f}{d} \quad , \quad np = n \frac{As}{bd} \quad , \quad \gamma = \frac{A's}{As}$$

下式に上記諸数値を代入してkを求める。

(1)  $N \neq 0$ の場合

$$\frac{k^3}{3} - k^2(1 - \beta) - 2knp\{\gamma(1 - \alpha - \beta) - \beta\} + 2np\{\alpha\gamma(1 - \alpha - \beta) - \beta\} = 0$$

(2)  $N = 0$  ( $\beta = \infty$ )の場合

$$k^2 + 2knp(\gamma + 1) - 2np(\alpha\gamma + 1) = 0$$

ただし， $\alpha < k < 1$

このkを下式に代入してC, S, Zを求める。

$$C = \frac{2k}{k^2(1 - k/3) + 2\gamma np(k - \alpha)(1 - \alpha)}$$

$$S = C \frac{1 - k}{k}$$

$$Z = \frac{np(1 - \varepsilon)}{1/3k^3 - k^2\varepsilon + k\varepsilon^2 + np\{(1 - \varepsilon)^2 + \gamma(\varepsilon - \alpha)^2\}}$$

$$\text{ただし， } \varepsilon = \frac{1/2k^2 + np(1 + \alpha\gamma)}{k + np(1 + \gamma)}$$

これからコンクリートと鉄筋の曲げ応力度 $\sigma_c$ ， $\sigma_s$ 並びにコンクリートのせん断応力度 $\tau_c$ を次式によって算定する。

$$\sigma_c = \frac{M'}{bd^2} C \quad , \quad \sigma_s = \frac{M'}{bd^2} S n \quad , \quad \tau_c = \frac{Q}{bd} Z$$

また，中立軸の位置xは次式によって求められる。

$$x = kd = \frac{C}{C + S} d$$

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図3-2に示す。

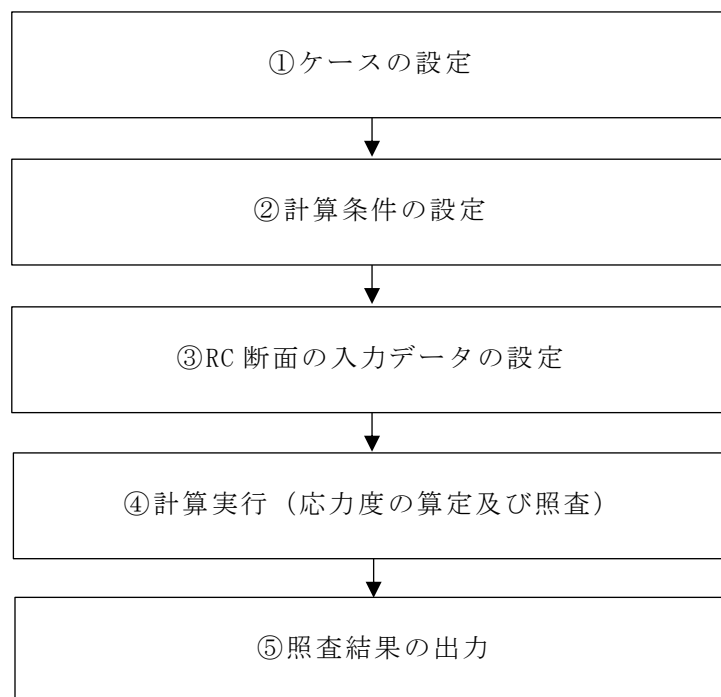


図3-2 解析フローチャート

### 3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

本解析コードは、国内の土木分野における使用実績を有しており、解析機能全般について、十分に妥当性が確認されている。また、「3.3 解析手法」に示した一般性を有する理論モデルそのままに構築されたものであることから、解析解の適切さは、当該分野で公知の理論モデルにより得られる理論解との比較により確認可能である。

以下には、「EMRGING」Ver. 12.4C の解析解と、理論モデルにより得られる理論解との比較に基づく検証及び妥当性確認結果を示す。

#### 3.5.1 検証

解析解と理論モデルにより得られる理論解との比較を、図 3-3 の RC 断面で行う。

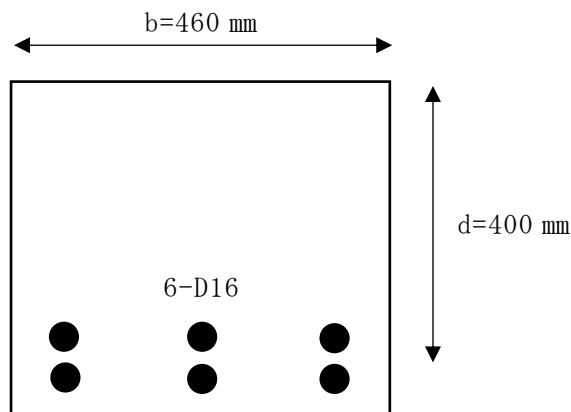


図3-3 解析モデル

図 3-3 のような RC 断面が  $M = 48kN \cdot m$  の曲げモーメントを受けるとき、鉄筋の曲げ引張応力度  $\sigma_s$ 、コンクリートの圧縮応力度  $\sigma'_c$  について比較を行った。理論式\*を以下に示す。

注記\*：鉄筋コンクリート工学（1997 鹿島出版会）

$$\sigma_s = \frac{M}{Asjd}$$

$$\sigma'_c = \frac{2M}{kjbd^2}$$

ここで、

$A_s$  : 鉄筋量 (1192 mm<sup>2</sup>)

$k$  : 0.355

$j$  : 0.882

解析コードの検証結果を図 3-4 に、理論式による手計算結果と計算機コードの結果の比較を表 3-2 に示す。検証の結果、手計算結果と計算機コード結果がおおむね一致することを確認した。

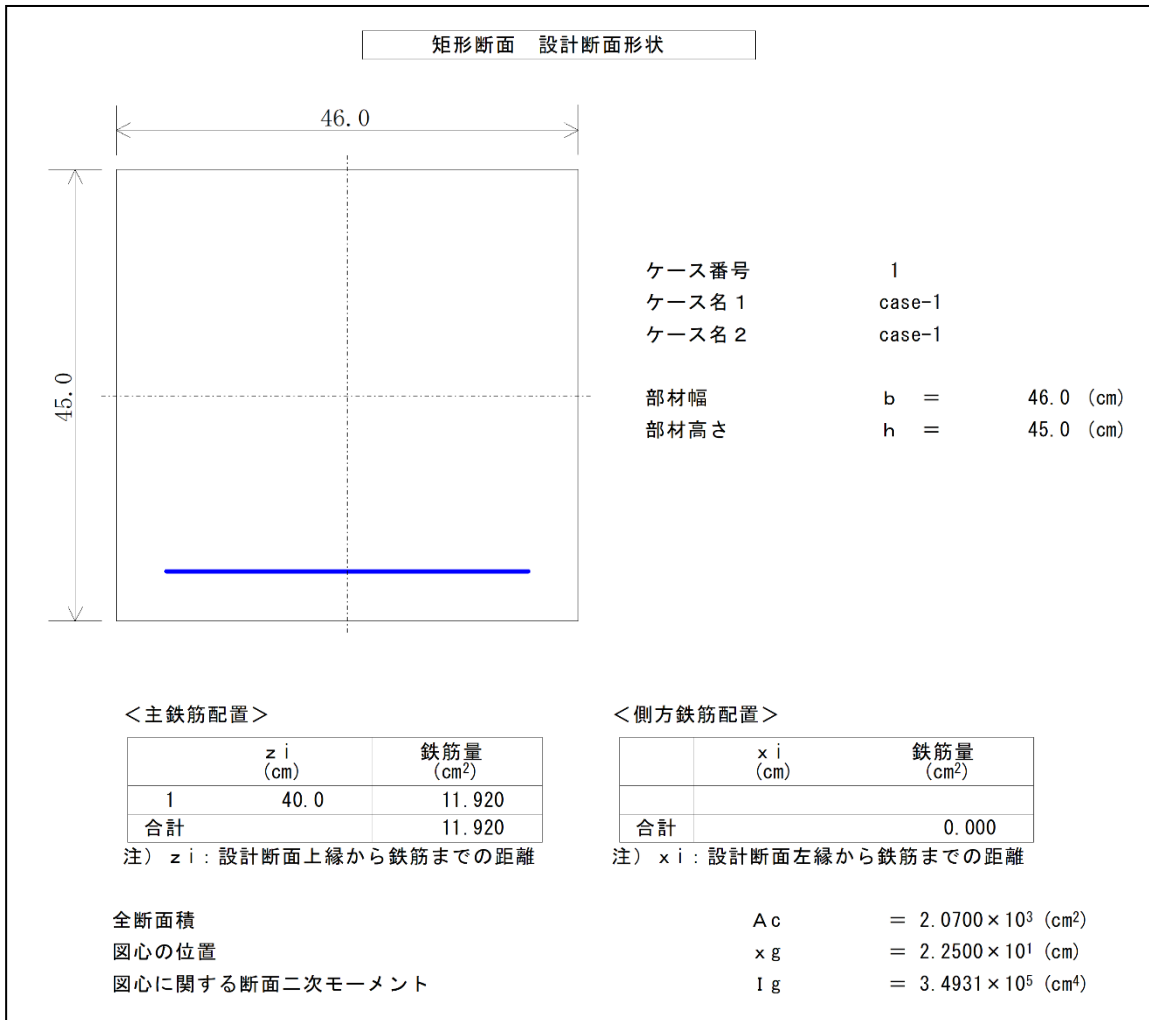


図3-4 (1) 解析コードの検証結果

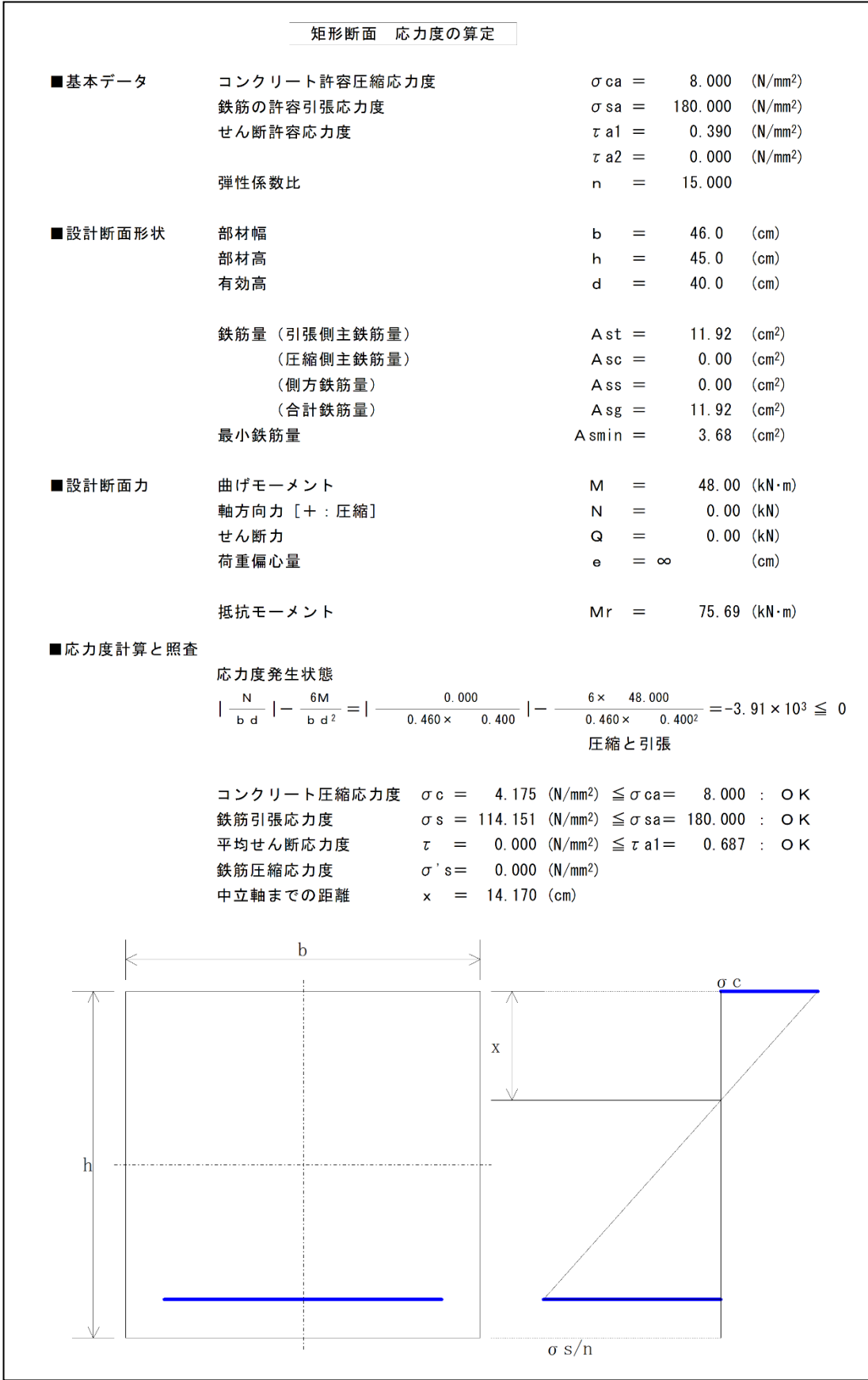


図3-4 (2) 解析コードの検証結果

表3-2 理論式による手計算結果と計算機コードの結果の比較

項目	理論値 (N/mm <sup>2</sup> )	解析コード結果 (N/mm <sup>2</sup> )
鉄筋曲げ $\sigma_s$	114.14	114.15
コンクリート圧縮 $\sigma'_c$	4.17	4.18

### 3.5.2 妥当性確認

以上に述べた様に、本解析コードは、材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）について理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論解とおおむね一致することを確認した。

また、上記以外にも、開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工認申請で使用する矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）に、本解析コードが適用できることを確認している。

### 3.5.3 評価結果

以上から本解析コードを今回の解析に使用することは妥当である。

VI-5-58 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ S A P 2 0 0 0



## 目 次

1. はじめに .....	1
1.1 使用状況一覧 .....	2
2. 解析コードの概要 .....	3

## 1. はじめに

本資料は、VI-2-11-2-7-13「主排気ダクトの耐震性についての計算書」において使用した計算機プログラム（解析コード）SAP2000 Ver. 14 について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-2-11-2-7-13	主排気ダクトの耐震性についての計算書	Ver. 14

## 2. 解析コードの概要

項目	コード名 SAP2000
使用目的	3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析
開発機関	Computers and Structures, Inc. (CSI)
開発時期	1996年
使用したバージョン	Ver. 14
コードの概要	<p>耐震計算で使用している計算機プログラムSAP2000は，カリフォルニア大学のE. L. Wilson教授らによって開発された線形構造計算プログラムSAPをベースに，米国Computers and Structures, Inc. が，改良・整備を行った汎用市販コードである。</p> <p>建築・土木・プラント・機械構造物の構造解析・耐震解析プログラムとして広く利用されている。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>SAP2000 Ver. 14は，主排気ダクトおよび支持構造物の3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析で使用している。</p> <p><b>【検証 (Verification)】</b></p> <p>本コードの検証の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 3次元有限要素法による固有値解析，地震応答解析に関するSoftware Verification Manualの検証例題について，SAP2000 Ver. 14による解析解がVerification Manualの記載値と一致することを確認している。</li> <li>・ 本コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b></p> <p>本コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本コードは，建築，土木，プラント，機械構造物等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。</li> <li>・ 今回の解析と類似するものとして，米国CSI社が実施した鋼材や鋼板を対象とする3次元有限要素法の固有値解析，地震応答解析の事例がある。（SAP2000Software Verification Manual）</li> <li>・ 開発機関が提示するマニュアルにより，3次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析に本コードが適用できることを確認している。</li> </ul>

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・他コードの解析解との比較による検証 はり要素による固有値解析，地震応答解析において工認実績のあるNX NASTRAN Ver. 5. 0による解析結果とSAP2000 Ver. 12による解析結果との比較を行い，概ね一致することを確認している。</li> <li>・今回使用するバージョンと，他コードの解析解との比較による検証で使用したバージョンとは異なるものを適用するが，バージョンアップにおいて，今回使用する解析機能に影響が生じていないことを確認している。</li> <li>・今回の工認申請における構造に使用する要素，使用目的（固有値解析，地震応答解析）に対し，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>
--	---

VI-5-59 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ S - S T A N

## 目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3
3. 解析手法	4
3.1 一般事項	4
3.2 解析コードの特徴	4
3.3 解析手法	4
3.4 解析フローチャート	6
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	7
3.5.1 検証	7
3.5.2 妥当性確認	9
3.5.3 評価結果	11

## 1. はじめに

本資料は、添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）S-STANについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。



1.1 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
VI-1-1-7-別添1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	Ver. 20_SI
VI-1-9-3-1	斜面安定性に関する説明書	Ver. 20_SI

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	S-STAN
使用目的	2次元有限要素法による常時応力解析
開発機関	中電技術コンサルタント株式会社
開発時期	2010年（初版開発時期1999年）
使用したバージョン	Ver. 20_SI
コードの概要	<p>S-STAN（以下「本解析コード」という。）は、2次元有限要素法解析を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 2次元有限要素法による解析プログラムである。</li> <li>② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。</li> <li>③ 地盤の掘削過程を考慮したステップ解析が可能である。</li> <li>④ 荷重伝達法による静的非線形解析（応力再配分解析）が可能である。</li> </ul>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 半無限弾性地盤におけるブシネスクの理論解と、本解析コードによる解析解との比較を実施し、解析解が理論解とおおむね一致することを確認している。</li> <li>・ 本解析コードの運用環境について、動作確認を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原子力産業界において実績のあるTDAPⅢを用いた自重解析結果と、本解析コードによる自重解析結果を比較し、解がおおむね一致することを確認している。</li> </ul>

### 3. 解析手法

#### 3.1 一般事項

本資料は、静的解析（常時応力算出用）解析コード S-STAN の概要である。

本解析コードは、中電技術コンサルタント株式会社によって開発された 2次元有限要素法解析を行う解析コードである。

#### 3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴として、以下の①～④を挙げることができる。

- ① 2次元有限要素法による解析プログラムである。
- ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。
- ③ 地盤の掘削過程を考慮したステップ解析が可能である。
- ④ 荷重伝達法による静的非線形解析（応力再配分解析）が可能である。

#### 3.3 解析手法

地盤の FEM 解析では、土は連続体として仮定している。通常、全応力解析手法を用いて、地盤の変形、破壊をシミュレートする。ここで、静的全応力解析の理論基礎について説明する。

##### (1) 釣合い方程式

静的解析では、慣性力は無視できるので  $x$ - $y$  平面上の微小領域に  $F_x$ ,  $F_y$  の荷重が作用する場合の釣合い方程式は (3.1) 式で表せる。

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + F_x = 0 \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + F_y = 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

##### (2) 変位とひずみの関係

要素内部の変位  $\{u\}$  は、その要素を構成する節点の変位  $\{\delta\}$  を用いて (3.2) 式のように関係づけられる。

$$\{u\} = [N]\{\delta\} \quad (3.2)$$

ここに  $[N]$  は形状関数と呼ばれる。これらを用いて、ひずみ  $\{\varepsilon\}$  は (3.3) 式のように表される。

$$\{\varepsilon\} = [\bar{D}]\{u\} = [\bar{D}][N]\{\delta\} = [B]\{\delta\} \quad (3.3)$$

ここに,  $[\bar{D}]$  は, ひずみと要素内変位を関係づけるマトリックス,  $[B]$  は, 要素を構成する節点の変位とひずみを関係づけるマトリックスを表す。

(3) 応力とひずみの関係

応力-ひずみ関係は次式のようにになる。

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} \quad (3.4)$$

ここに,  $\{\sigma\}$  は応力,  $\{\varepsilon\}$  はひずみ,  $[D]$  は応力-ひずみマトリックスを表す。

(4) 有限要素の定式化

有限要素のひずみエネルギー及び外力によるポテンシャルエネルギーの和, すなわち全ポテンシャルエネルギーを求め, ポテンシャルエネルギー最小の原理を適用して有限要素の定式化を行う。その結果, 式 (3.5) に示すような要素剛性方程式が導かれる。

$$[k]\{\delta\} = \{f_b\} + \{f_q\} + \{f_p\} \quad (3.5)$$

ここに,  $[k]$  は, 要素剛性マトリックス,  $\{\delta\}$  は節点変位,  $\{f_b\}$  は物体力,  $\{f_q\}$  は要素表面力,  $\{f_p\}$  は節点集中荷重を表す。

全要素について, 要素剛性方程式を組み合わせると, 連続体を近似する連立方程式を得ることができる。最終的に, この連立方程式を解くことにより, 変位が得られる。

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図3-1に示す。

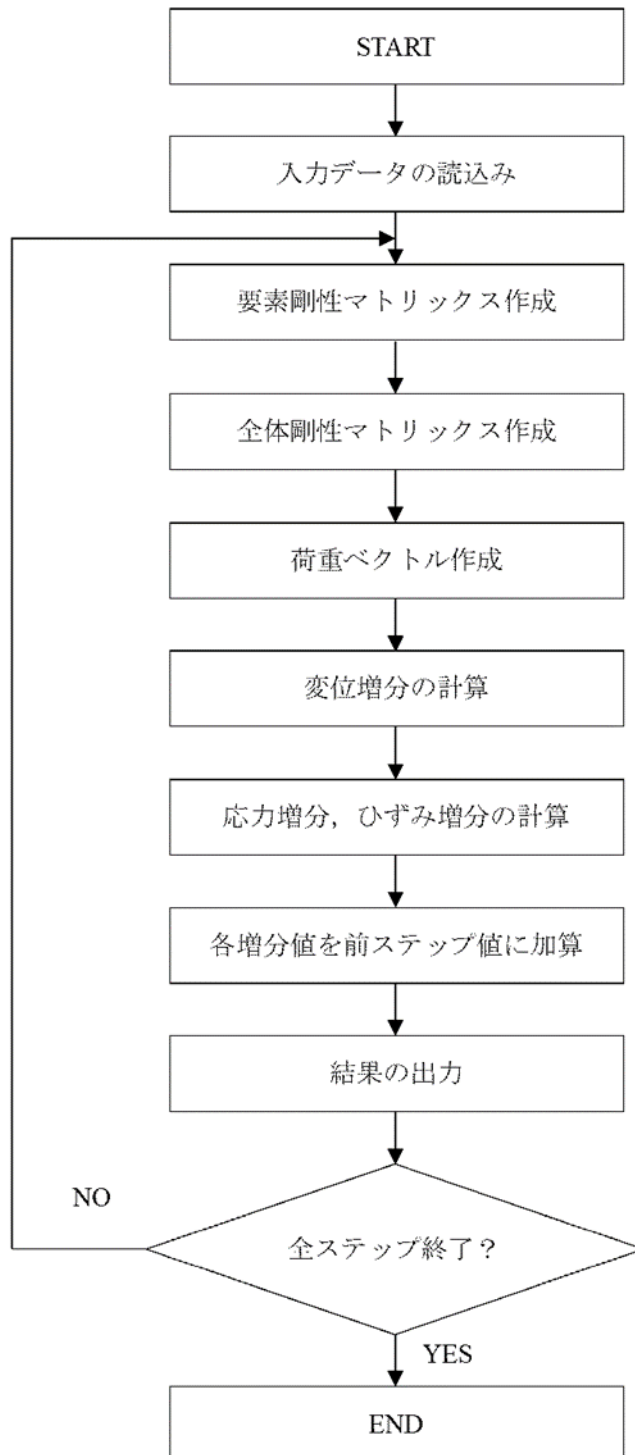


図3-1 解析フローチャート

### 3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

本解析コードを本解析に用いるにあたり、検証として半無限弾性地盤におけるブシネスク (Boussinesq) の理論解と本解析コードによる解析解との比較を、妥当性確認として類似の汎用構造解析プログラム TDAPⅢによる解析結果と、本解析コードによる解析結果との比較を実施した。その詳細な内容については以下のとおりとする。

#### 3.5.1 検証

平面ひずみ要素の鉛直応力を半無限弾性地盤におけるブシネスク (Boussinesq) の理論解と比較した。図 3-2 に解析対象とした地盤モデルを示す。

比較結果より、解析解が理論解とおおむね一致することを確認した。

##### (1) 解析モデル

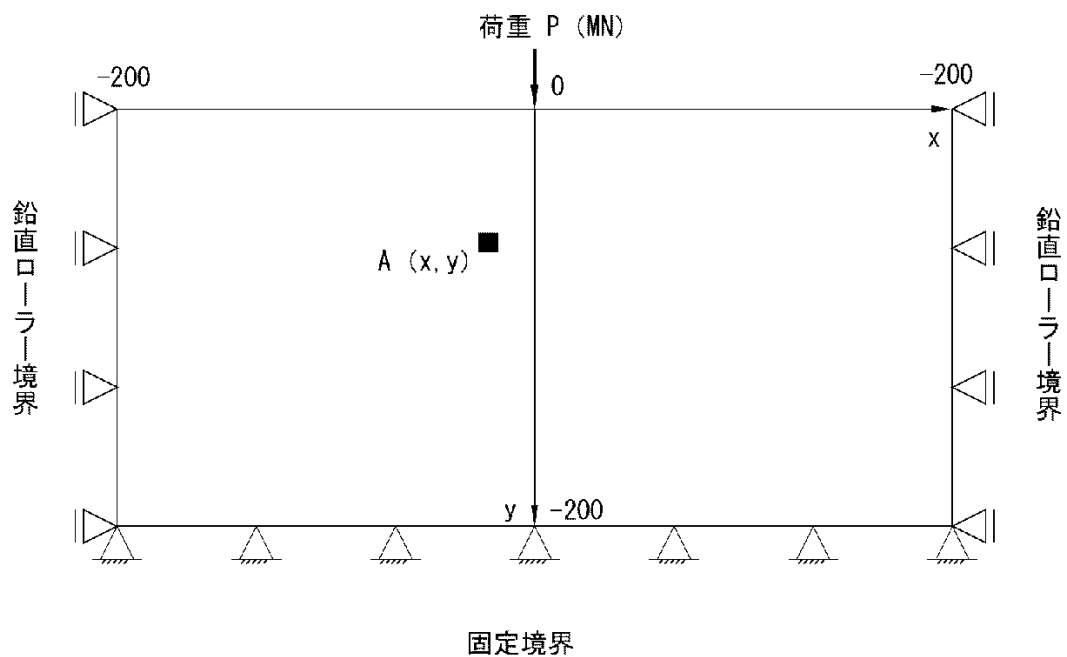


図 3-2 解析対象とした地盤モデル

##### (2) 解析条件

モデルサイズ	: X400m×Y200m
物性値	: $E=1.0 \times 10^6 \text{kN/m}^2$ , $\nu=0.49$
境界条件	: 底面固定, 側方鉛直ローラー
荷重条件	: $P=100 \text{kN}$ ( $X=0$ , $Y=0$ )

## (3) 鉛直応力

等方均質な半無限弾性地盤の表面に鉛直方向の集中荷重  $P$  が載荷されたときに弾性体内部で発生する応力は 1885 年にブシネスク (Boussinesq) によって求められている。

線荷重が載荷された場合の地盤内応力については、平面変形条件として取り扱うことができ、奥行方向に集中荷重が無限に並んでいると考える。そのとき図 3-2 における点 A の鉛直応力  $\sigma_y$  の理論解は以下の式 (3.6) で求められる。

$$\sigma_y = \frac{2PY^3}{\pi(X^2 + Y^2)^2} \quad (3.6)$$

今回は自重成分を除き、外力による純粋な応力伝播のみを予測する。検証結果を図 3-3 に示す。

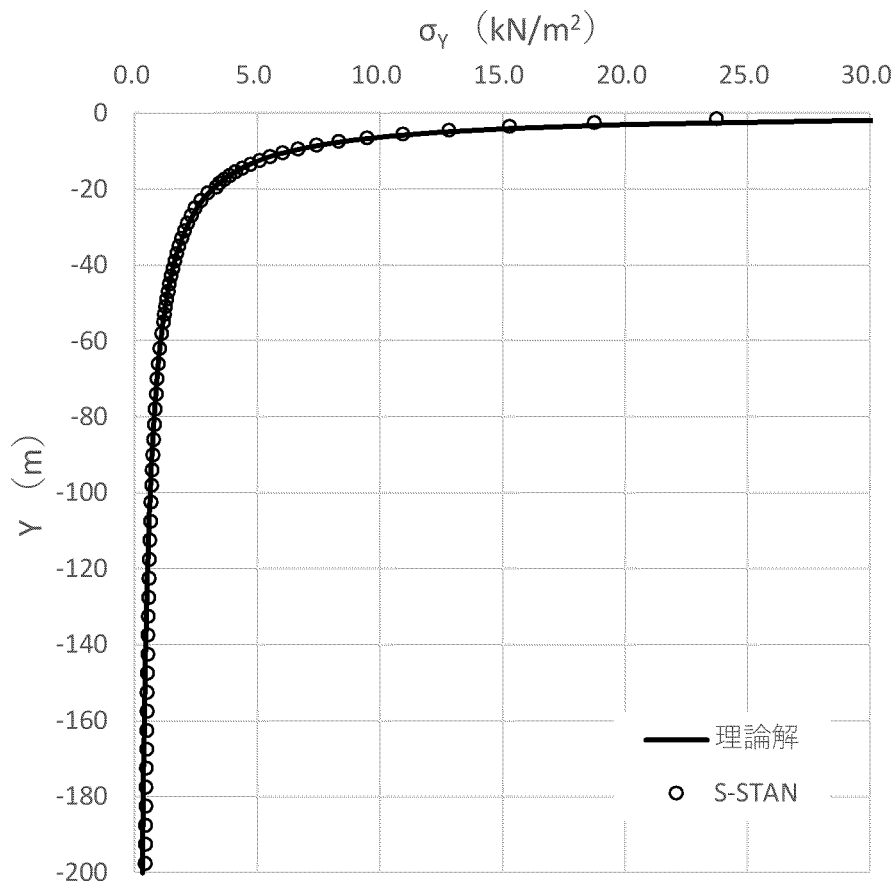


図 3-3 検証結果

### 3.5.2 妥当性確認

土木・建築向け汎用構造解析プログラム TDAPⅢとの自重解析結果による比較を実施した。

#### (1) 解析モデル

解析モデルを図3-4に示す。

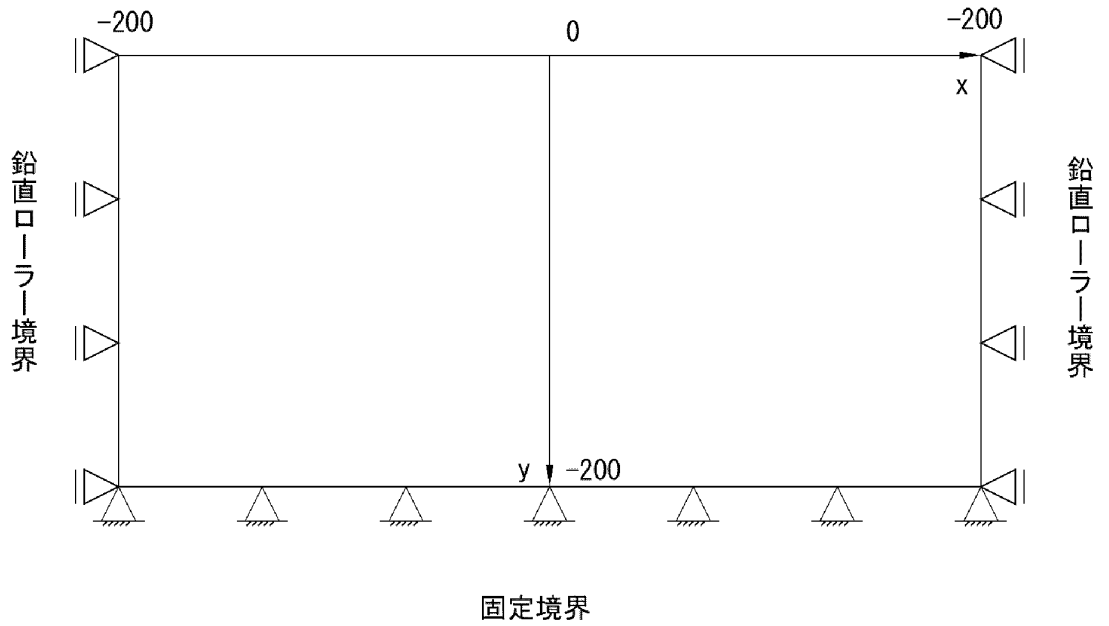


図3-4 解析モデル

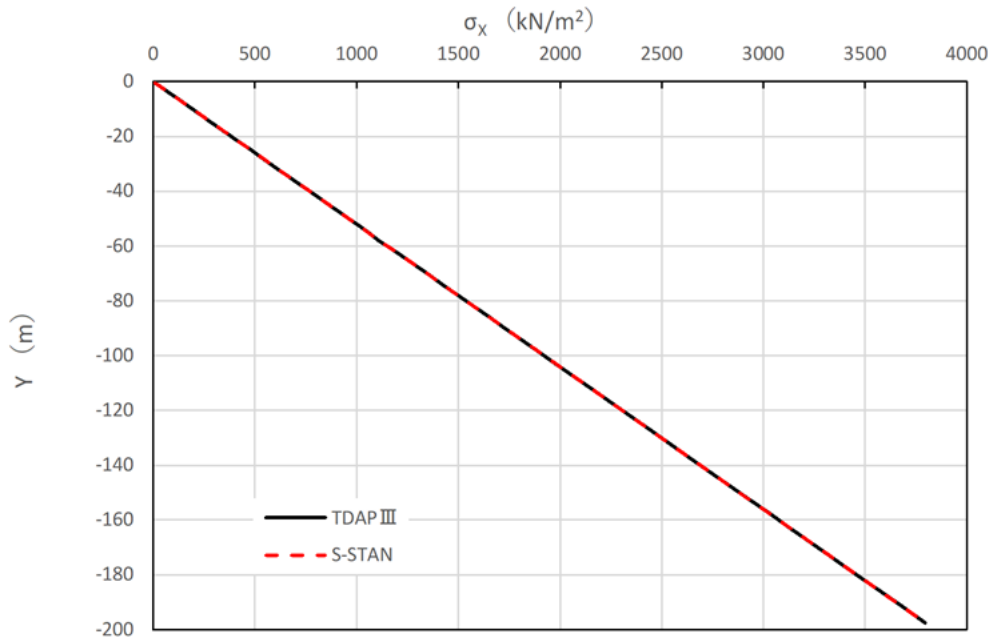
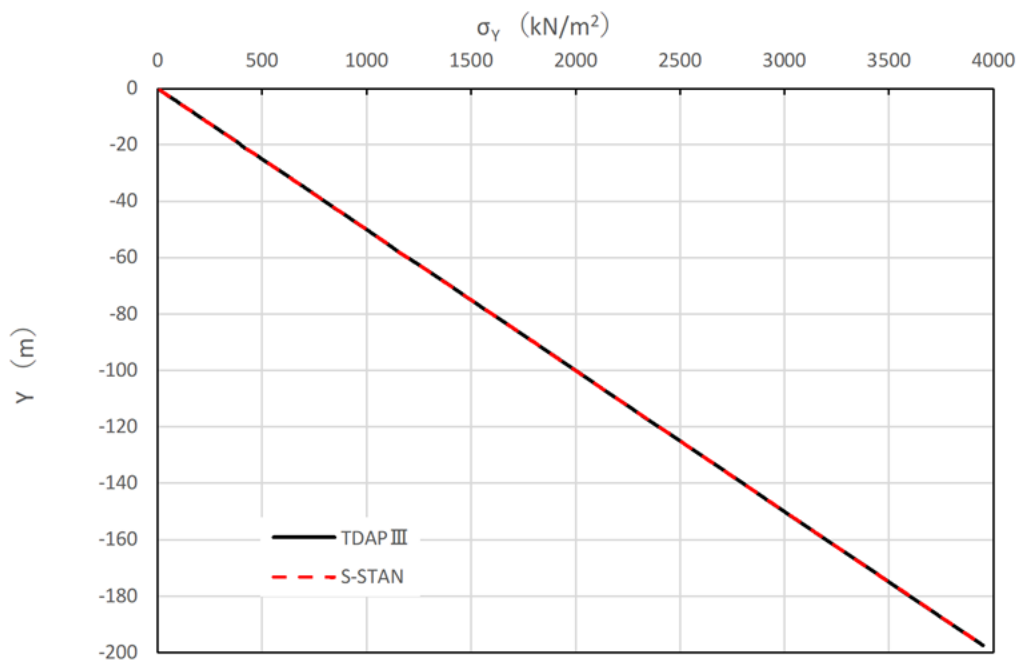
#### (2) 解析条件

モデルサイズ	: X400m×Y200m
物性値	: $E=1.0 \times 10^6 \text{kN/m}^2$ , $\nu=0.49$ , $\gamma=20 \text{kN/m}^3$
境界条件	: 底面固定, 側方鉛直ローラー
荷重条件	: 自重のみ



## (3) 解析結果

解析結果の応力分布図を図3-5, 図3-6に示す。各図より結果はおおむね一致していることを確認した。

図3-5 水平応力  $\sigma_x$ 図3-6 鉛直応力  $\sigma_y$

### 3.5.3 評価結果

本解析コードの解析解とブシネスクの理論解との比較を行い、解析解が理論解とおおむね一致していることを確認した。また類似の汎用構造解析プログラム TDAPⅢの解析結果と本解析コードによる解析結果の比較を行い、解がおおむね一致していることを確認した。

以上のことから、本解析コードを本解析に使用することは妥当である。

VI-5-60 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ADV AN F

## 目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3

1. はじめに

本資料は、添付資料等において使用した計算機プログラム（解析コード）ADVANF について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-7-別添1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	Ver. 4.0
VI-1-9-3-1	斜面安定性に関する説明書	Ver. 4.0
VI-2-別添4-3-6	ドレーンの耐震性についての計算書	Ver. 4.0
VI-2-別添7-2-29	復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性についての計算書（掘削前）	Ver. 4.0

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	ADVANF
使用目的	2次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	株式会社地盤ソフト工房
開発時期	2012年（初版開発時期1996年）
使用したバージョン	Ver. 4.0
コードの概要	<p>ADVANF（以下「本解析コードという。」は、2次元有限要素法による地震応答解析を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 2次元有限要素法による周波数領域の解析プログラムである。</li> <li>② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。</li> <li>③ 地盤の非線形性はひずみ依存性を用いて等価線形化法により考慮できる。</li> <li>④ エネルギー伝達境界によりモデル側方、粘性境界によりモデル下方に伝わるエネルギーの逸散効果を考慮できる。</li> </ul>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。</li> <li>・ 動作環境を満足する計算機にインストールして使用していることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本解析コードは、土木やエネルギー、災害・防災など様々な分野に使用されており、十分な仕様実績があるため信頼性がある。</li> <li>・ 原子力産業界において実績のあるSuperFLUSHを用いた地震応答解析結果と、本解析コードによる解析結果を比較し、解がおおむね一致することを確認している。</li> <li>・ 本工事計画における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。</li> </ul>

VI-5-61 計算機プログラム（解析コード）の概要  
・ C P O S T S K



## 目 次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3
3. 解析手法	4
3.1 一般事項	4
3.2 解析コードの特徴	4
3.3 解析手法	4
3.4 解析フローチャート	5
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	7
3.5.1 検証	7
3.5.2 妥当性確認	10

## 1. はじめに

本資料は、添付資料において使用した計算機プログラム（解析コード）CPOSTSK について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
VI-1-1-7-別添1	可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート	Ver. 19.1
VI-1-9-3-1	斜面安定性に関する説明書	Ver. 19.1
VI-2-10-2-3-1	防波壁（波返重力擁壁）の耐震性についての説明書	Ver. 19.1
VI-2-10-2-3-2	防波壁（逆T擁壁）の耐震性についての説明書	Ver. 19.1
VI-2-10-2-3-3	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震性についての計算書	Ver. 19.1
VI-2-10-2-4	防波壁通路防波扉の耐震性についての計算書	Ver. 19.1
VI-3-別添3-2-1-1	防波壁（波返重力擁壁）の強度計算書	Ver. 19.1
VI-3-別添3-2-1-2	防波壁（逆T擁壁）の強度計算書	Ver. 19.1
VI-3-別添3-2-1-3	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の強度計算書	Ver. 19.1
VI-3-別添3-2-2	防波壁通路防波扉の強度計算書	Ver. 19.1

## 2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	CPOSTSK
使用目的	すべり安全率の算定
開発機関	中電技術コンサルタント株式会社
開発時期	2013年（初版開発時期1999年）
使用したバージョン	Ver. 19.1
コードの概要	<p>CPOSTSK（以下「本解析コード」という。）は、すべり安全率算定を行う解析コードである。本解析コードの主な特徴は、以下のとおりである。</p> <p>① 2次元有限要素法による地震応答解析プログラムの地盤応力から、任意のすべり線の安全率を時刻歴で算定することができる。</p> <p>② 要素の破壊状態により、各要素の強度をピーク強度、残留強度、強度なしから判定することができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p><b>【検証 (Verification)】</b> 本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ すべり線が通過する要素ごとの起動力と抵抗力の解析解が、理論解と一致することを確認している。</li> <li>・ 本解析コードの運用環境について、動作確認を満足する計算機にインストールして用いていることを確認している。</li> </ul> <p><b>【妥当性確認 (Validation)】</b> 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 検証の内容のとおり、すべり安全率算定に関して検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。</li> </ul>

### 3. 解析手法

#### 3.1 一般事項

本資料は、すべり安全率算定用解析コード CPOSTSK の概要である。

本解析コードは、中電技術コンサルタント株式会社によって開発されたすべり安全率算定を行うプログラムである。

#### 3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴として、以下の①、②を挙げることができる。

- ① 2次元有限要素法による地震応答解析プログラムの地盤応力から、任意のすべり線の安全率を時刻歴で算定することができる。
- ② 要素の破壊状態により、各要素の強度をピーク強度、残留強度、強度なしから判定することができる。

#### 3.3 解析手法

静的解析から得られる常時応力と動的解析から得られる地震時増分応力を足し合わせて、時刻歴のすべり安全率（想定すべり線に沿った要素を対象とした各時刻におけるせん断力とせん断抵抗力の比）を式（3.1）のように計算する。

$$\begin{aligned} \text{すべり安全率 } F_s &= \frac{\text{すべり線が通る要素の抵抗力の総和の瞬間値}}{\text{すべり線が通る要素の起動力の総和の瞬間値}} \\ &= \frac{\sum R_i \cdot L_i}{\sum \tau_i \cdot L_i} \quad (3.1) \end{aligned}$$

なお、すべり安全率を算定する際、破壊要素の抵抗強度に関しては、各時間断面の破壊状態により以下に示した強度低下を考慮する。

##### (1) せん断破壊

せん断破壊した要素の強度定数には、残留強度を用いる。

##### (2) 引張破壊あるいは複合破壊

引張応力の発生により引張破壊あるいは複合破壊した要素の強度定数は、その要素を通るすべり面の直応力  $\sigma_n$  により以下に示した強度定数を用いる。

- ・直応力  $\sigma_n$  が圧縮の場合、強度定数に残留強度を用いる。
- ・直応力  $\sigma_n$  が引張の場合、強度定数を 0 とする。

### 3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図3-1に示し、破壊判定のフローチャートを図3-2に示す。

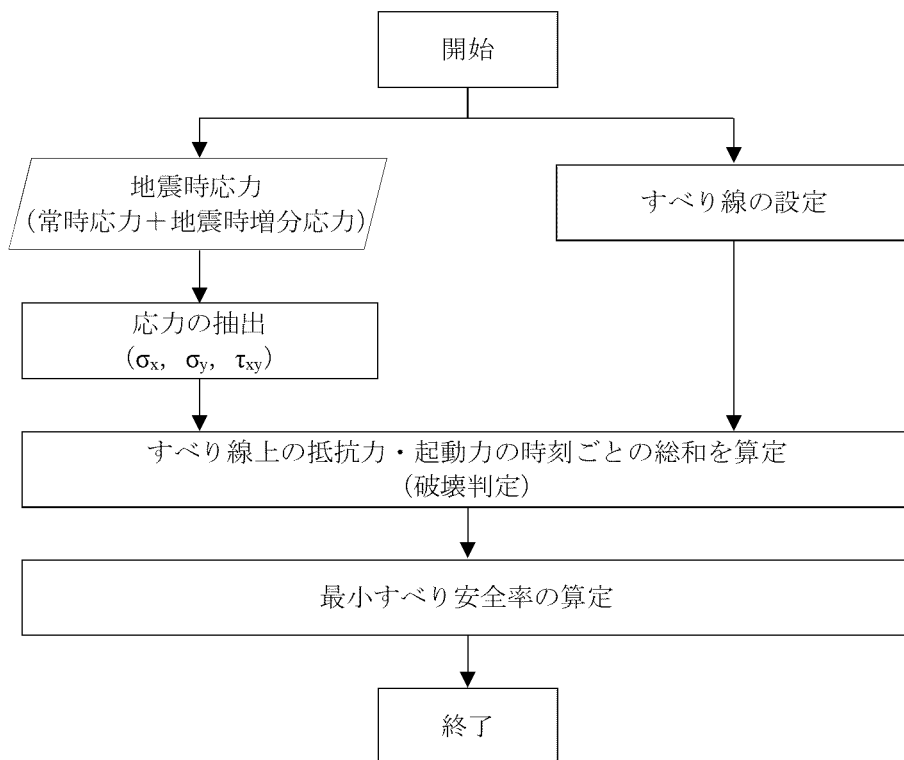


図3-1 解析フローチャート

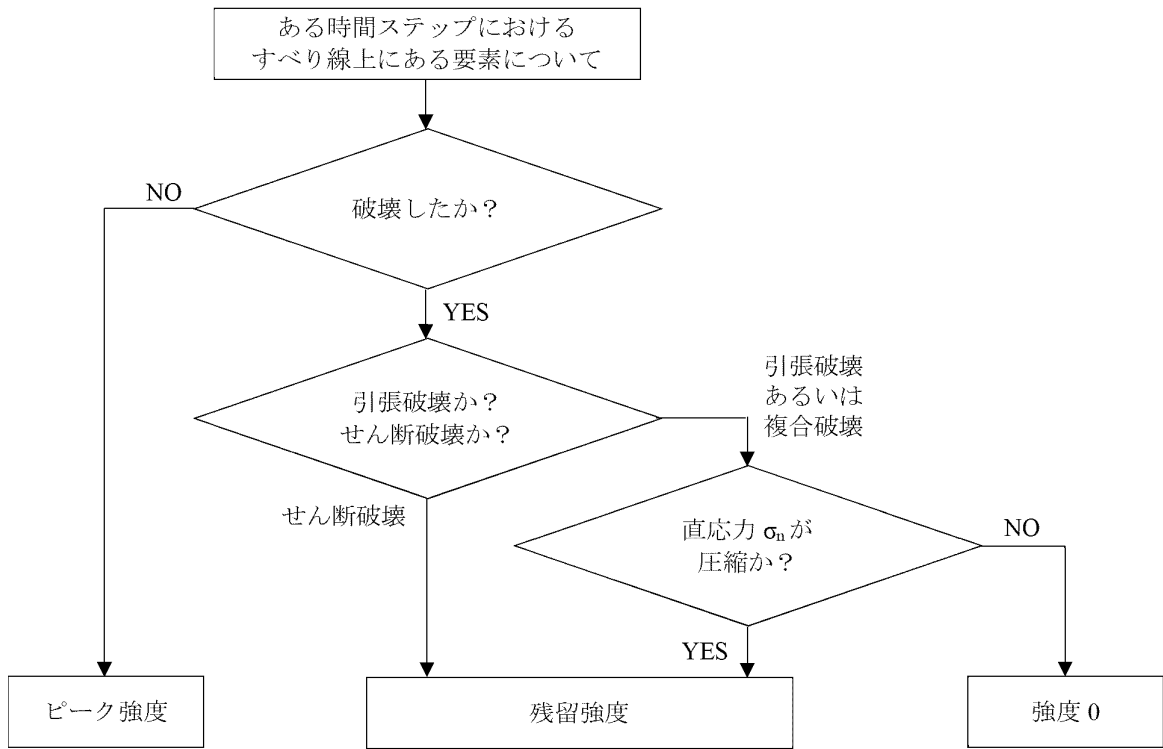


図3-2 破壊判定フローチャート

### 3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

本解析コードを本解析に用いることについて、動作確認 (動作検証) として理論解との比較を、また妥当性確認を実施した。詳細な内容については下記のとおりとする。

#### 3.5.1 検証

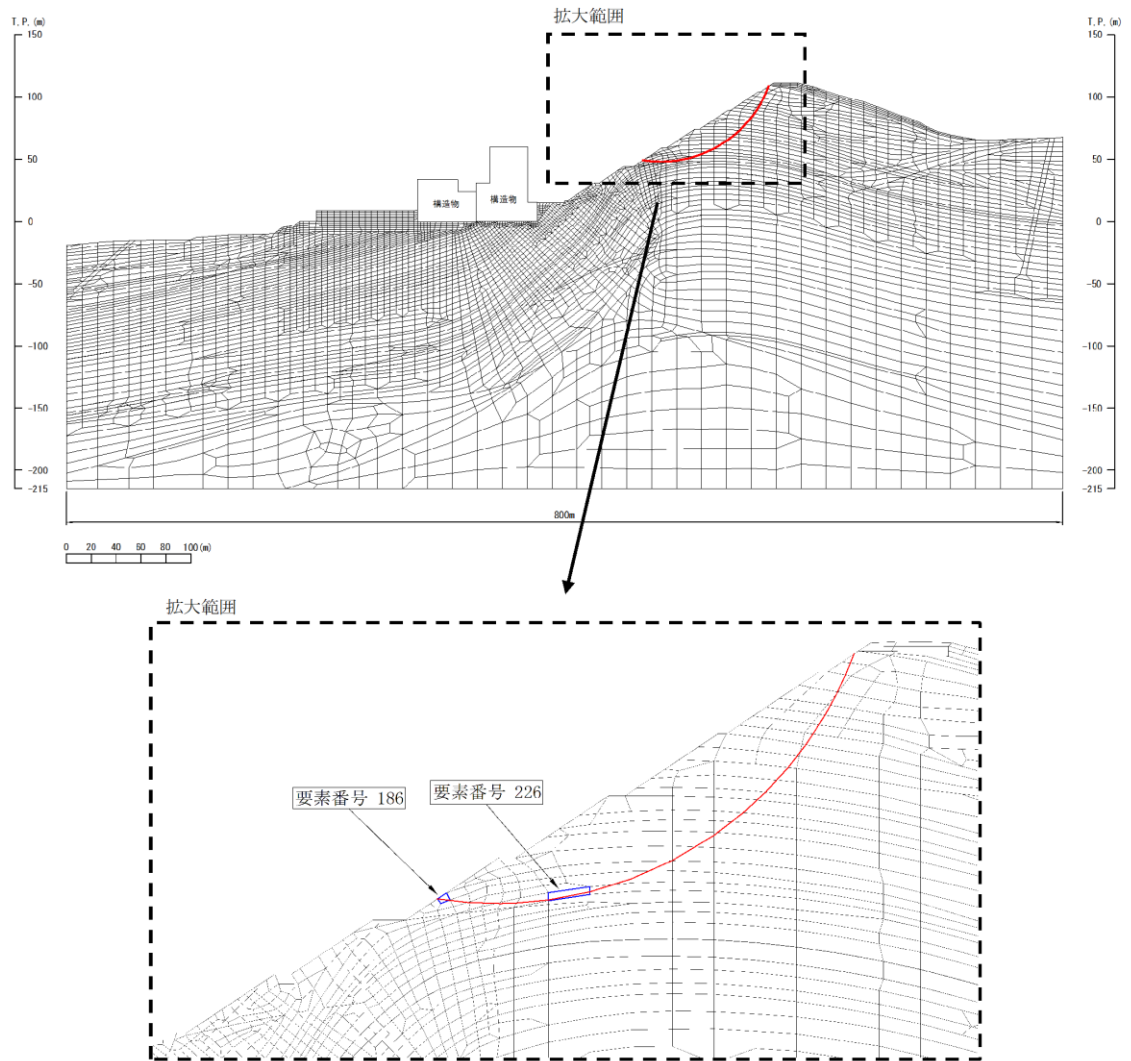


図3-3 解析モデル及び検証用すべり線



表3-1 解析コードCPOSTSKによる解析解と論理解との比較

<<< SFMIN >>> *** PASS ELEMENT *** (CIRC_01)											CPOSTSK		理論解	
ELEM	MAT	SIG1	SIG3	THETA	ALFA	L	SIGN	TAUF	TAUS	IDN	抵抗力 (kN/m)	起動力 (kN/m)	抵抗力 (kN/m)	起動力 (kN/m)
185	132	19.65	216.05	-48.77	-6.70	0.03	127.88	407.88	-97.68	0	12.64	-3.03	12.64	-3.03
186	132	27.25	200.00	-45.63	-6.70	2.77	131.77	411.77	-84.44	0	1140.20	-233.83	1140.20	-233.83
187	132	35.55	217.94	-41.38	-6.70	0.28	158.87	438.87	-85.35	0	122.88	-23.90	122.88	-23.90
191	132	31.50	211.35	-35.01	-6.70	4.24	170.87	450.87	-75.11	0	1913.51	-318.75	1913.51	-318.75
192	132	29.77	225.37	-31.86	-1.90	0.58	176.58	456.58	-84.64	0	265.27	-49.17	265.27	-49.17
198	132	32.94	215.53	-23.07	-1.90	3.32	191.70	471.70	-61.50	0	1567.94	-204.42	1567.94	-204.42
204	132	21.61	221.10	-18.32	-1.90	3.02	205.16	485.16	-54.09	0	1463.24	-163.13	1463.24	-163.13
202	332	-17.02	228.26	-14.66	-1.90	1.09	216.29	148.73	-52.86	2	161.67	-57.46	161.67	-57.46
208	332	-35.74	254.05	-10.83	1.82	3.91	240.15	157.38	-61.92	2	614.71	-241.86	614.71	-241.86
217	332	-55.31	289.90	-8.55	5.42	7.67	269.78	167.58	-80.88	2	1284.83	-620.08	1284.83	-620.08
226	332	-83.30	328.64	-6.27	10.99	10.19	292.42	175.03	-116.67	2	1783.05	-1188.47	1783.05	-1188.47
240	332	-99.65	403.51	-2.86	17.42	5.81	343.03	190.79	-163.63	2	1108.48	-950.67	1108.48	-950.67
239	132	-80.14	356.99	-0.50	17.42	4.67	315.60	182.39	-127.98	2	851.96	-597.79	851.96	-597.79
251	132	-61.45	449.53	2.23	24.10	4.71	378.66	201.25	-176.62	2	947.87	-831.87	947.87	-831.87
250	122	-12.65	408.80	4.55	24.10	5.97	361.60	196.30	-132.91	2	1171.51	-793.21	1171.51	-793.21
249	132	-104.58	358.78	6.35	24.10	0.28	315.74	182.44	-134.51	2	50.53	-37.26	50.53	-37.26
262	132	-82.42	453.52	7.32	31.15	6.35	366.00	197.59	-198.10	2	1254.28	-1257.53	1254.28	-1257.53
261	122	-80.80	396.83	8.58	31.15	5.34	326.45	185.75	-169.30	2	991.37	-903.54	991.37	-903.54
277	122	-89.00	501.31	10.53	37.59	1.12	379.15	201.39	-239.14	2	225.56	-267.84	225.56	-267.84
276	132	-96.14	458.28	12.50	37.59	4.27	358.58	195.41	-212.91	2	834.03	-908.72	834.03	-908.72
275	332	-127.20	424.97	13.71	37.59	3.57	334.52	188.22	-204.37	2	671.94	-729.59	671.94	-729.59
274	132	-139.87	386.90	15.45	42.66	3.95	276.76	169.91	-214.21	2	670.46	-845.28	670.46	-845.28
289	132	-93.44	481.07	17.81	42.66	0.61	379.60	201.52	-219.09	2	122.12	-132.77	122.12	-132.77
288	122	-172.28	426.48	15.93	42.66	2.80	305.35	179.17	-240.54	2	501.50	-673.26	501.50	-673.26
287	322	-139.78	388.54	17.85	47.48	3.92	259.45	164.08	-227.02	2	643.21	-889.91	643.21	-889.91
286	322	-130.57	332.65	19.03	47.48	4.16	227.52	152.85	-194.03	2	636.32	-807.73	636.32	-807.73
298	232	-116.25	278.31	20.63	52.16	3.52	170.46	130.78	-175.85	2	459.83	-618.29	459.83	-618.29
299	232	-126.95	236.00	19.44	52.16	1.24	130.00	112.98	-165.03	2	139.76	-204.14	139.76	-204.14
314	232	-108.28	356.44	22.62	52.16	2.20	243.46	158.54	-199.35	2	349.11	-438.96	349.11	-438.96
315	232	-103.94	326.91	22.47	56.98	3.10	188.66	138.15	-201.13	2	427.57	-622.49	427.57	-622.49
70	331	-100.88	274.20	25.41	56.98	2.70	171.42	131.18	-167.29	2	353.54	-450.86	353.54	-450.86
71	331	-65.00	264.64	26.94	56.98	2.74	182.04	135.51	-142.84	2	371.16	-391.24	371.16	-391.24
73	331	-44.98	222.48	28.49	61.62	2.72	142.59	118.76	-122.41	2	322.80	-332.72	322.80	-332.72
74	231	-5.02	178.81	33.00	61.62	3.16	136.63	116.06	-77.30	2	366.28	-243.95	366.28	-243.95
69	231	-7.06	132.10	23.65	61.62	0.49	79.43	86.59	-67.49	2	42.00	-32.73	42.00	-32.73
72	231	46.30	95.72	22.41	65.00	4.50	73.08	318.86	-24.62	0	1435.82	-110.87	1435.82	-110.87
75	231	51.43	74.19	-67.18	68.15	3.16	62.94	313.47	11.38	0	990.55	35.95	990.55	35.95
78	231	34.88	79.94	-88.14	68.15	2.28	72.65	318.63	16.59	0	726.47	37.82	726.47	37.82

	CPOSTSK		理論解	
Σ =	26996.0	-17103.5	26996.0	-17103.5
安全率Fs =	1.578		1.578	

(Fs=抵抗力/起動力)

ここに、

- ELEM : すべり線が通過する要素番号
- MAT : すべり線が通過する要素の材料番号
- SIG1 : 最小主応力
- SIG3 : 最大主応力
- THETA : x 軸と最大主応力方向のなす角度
- ALFA : x 軸とすべり線のなす角度
- L : 要素を通過するすべり線長さ
- SIGN : すべり線上に作用する垂直力 ( $\sigma_n$ )
- TAUF : すべり線上に作用する強度 ( $\tau_f$ )
- TAUS : すべり線上に作用するせん断力 ( $\tau_s$ )
- IDN : 要素の破壊タイプ
- 0 : 非破壊
- 1 : せん断破壊
- 2 : 引張破壊
- 抵抗力 : すべり線上に作用する抵抗力 (TAUF×L)
- 起動力 : すべり線上に作用する起動力 (TAUS×L)

要素番号		186	
<b>【すべり線】</b>			
	X座標	Y座標	
始点	55.717	49.120	
終点	58.467	48.797	
すべり線長			2.77 (m)
すべり線角度 (x軸となす角度α)			-6.70 (度)
<b>【応力】</b>			
	静的解析	動的解析	静的+動的
最小主応力 $\sigma_1$			27.25 (kN/m <sup>2</sup> )
最大主応力 $\sigma_3$			200.00 (kN/m <sup>2</sup> )
x軸と $\sigma_3$ 方向のなす角度 $\theta$			-45.63
垂直応力 $\sigma_n$			131.77 (kN/m <sup>2</sup> )
せん断応力 $\tau_n$			-84.44 (kN/m <sup>2</sup> )
$\sigma_n = \sigma_1 \sin^2(\alpha - \theta) + \sigma_3 \cos^2(\alpha - \theta)$ $\tau_s = (\sigma_1 - \sigma_3) \sin(\alpha - \theta) \cos(\alpha - \theta)$			
<b>【強度】</b>			
粘着力 C			280.0 (kN/m <sup>2</sup> )
内部摩擦角度 $\phi$			45 (度)
残留強度 $\alpha$			8.156
残留強度 $\beta$			0.54
せん断強度 $\tau$			411.77 (MN/m <sup>2</sup> )
※要素186は破壊していないことからピーク強度を用いる。			
<b>【理論解】</b>			
起動力			-233.83 (MN/m)
抵抗力			1140.20 (MN/m)
		すべり長 × せん断応力 $\tau_s$	
		すべり長 × せん断強度 $\tau$	

図3-4 すべり線の要素番号186の理論解

要素番号		226	
<b>【すべり線】</b>			
	X座標	Y座標	
始点	82.500	48.853	
終点	92.500	50.794	
すべり線長			10.19 (m)
すべり線角度 (x軸となす角度α)			10.98 (度)
<b>【応力】</b>			
	静的解析	動的解析	静的+動的
最小主応力 $\sigma_1$			-83.30 (kN/m <sup>2</sup> )
最大主応力 $\sigma_3$			328.64 (kN/m <sup>2</sup> )
x軸と $\sigma_3$ 方向のなす角度 $\theta$			-6.27
垂直応力 $\sigma_n$			292.42 (kN/m <sup>2</sup> )
せん断応力 $\tau_n$			-116.67 (kN/m <sup>2</sup> )
$\sigma_n = \sigma_1 \sin^2(\alpha - \theta) + \sigma_3 \cos^2(\alpha - \theta)$ $\tau_s = (\sigma_1 - \sigma_3) \sin(\alpha - \theta) \cos(\alpha - \theta)$			
<b>【強度】</b>			
粘着力 C			600.0 (kN/m <sup>2</sup> )
内部摩擦角度 $\phi$			28 (度)
残留強度 $\alpha$			8.156
残留強度 $\beta$			0.54
せん断強度 $\tau$			175.03 (MN/m <sup>2</sup> )
※要素226は引張破壊しており、かつ $\sigma_n$ が圧縮であることから残留強度を用いる。			
<b>【理論解】</b>			
起動力			-1188.47 (MN/m)
抵抗力			1783.05 (MN/m)
		すべり長 × せん断応力 $\tau_s$	
		すべり長 × せん断強度 $\tau$	

図3-5 すべり線の要素番号226の理論解

### 3.5.2 妥当性確認

すべり安全率の算定に本解析コードを使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・ 検証の内容のとおり、すべり安全率算定に関して検証していることから、解析の目的に照らして本解析に適用することは妥当である。