

9-6. 地震応答解析に用いる鉄筋コンクリート造部の減衰定数に関する検討

## 目 次

	頁
1. 概 要 .....	1
2. 既往の知見の整理 .....	2
2.1 既往の検討結果 .....	3
2.2 システム同定による減衰定数の評価 .....	12
2.3 地震応答解析モデルによる検討 .....	18
3. 連絡通路の地震応答解析モデルに用いる RC 造部の減衰定数 .....	25
4. まとめ .....	27

## 1. 概 要

本資料は、添付資料 9-6「地震応答解析の基本方針」において設定している、緊急時対策棟（連絡通路）（以下「連絡通路」という。）の地震応答解析モデルに設定した鉄筋コンクリート造（以下「RC 造」という。）の減衰定数の妥当性について説明するものである。

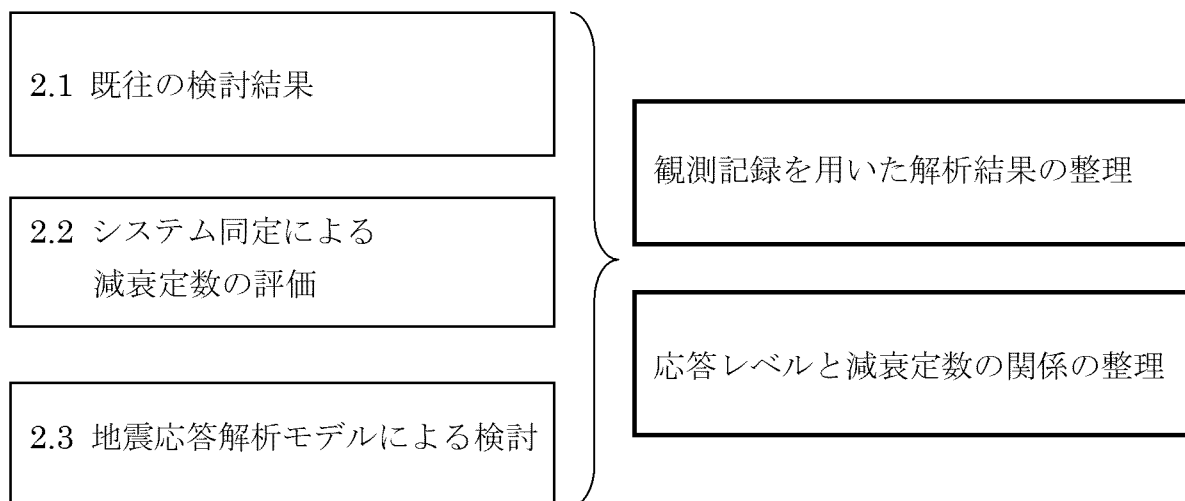
地震応答解析モデルに用いる RC 造部の減衰定数について、平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された工事計画に係る補足説明資料 10-4「地震応答解析に用いる鉄筋コンクリート造部の減衰定数に関する検討」（以下「新規制基準工認補足 10-4」という。）における知見を整理し、連絡通路の基準地震動  $S_s$  に対する応答レベルを確認した上で、入力地震動並びに建物・構築物の構造及び形状を踏まえた考察を行い、妥当性を確認する。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料 9-13-1「緊急時対策棟（連絡通路）の地震応答解析」

## 2. 既往の知見の整理

既往の検討結果、システム同定による減衰定数の評価、地震応答解析モデルによる検討を整理し、連絡通路の地震応答解析に用いる RC 造部の減衰定数の検討を行う。また、減衰定数には振幅依存性があることを踏まえ、観測記録を用いて評価した減衰と応答レベルの関係にも着目して整理する。既往の知見を用いた減衰定数の検討フローを第 2-1 図に示す。



第 2-1 図 既往の知見を用いた減衰定数の検討フロー



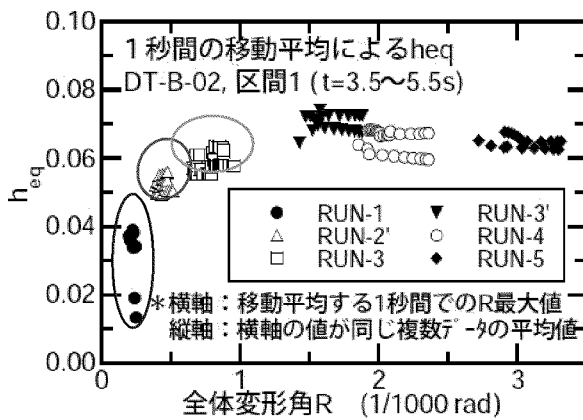
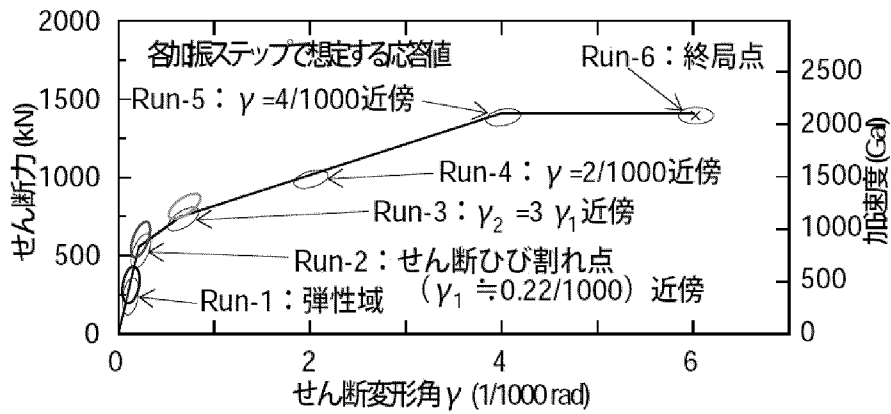
## 2.1 既往の検討結果

### 2.1.1 RC 耐震壁試験

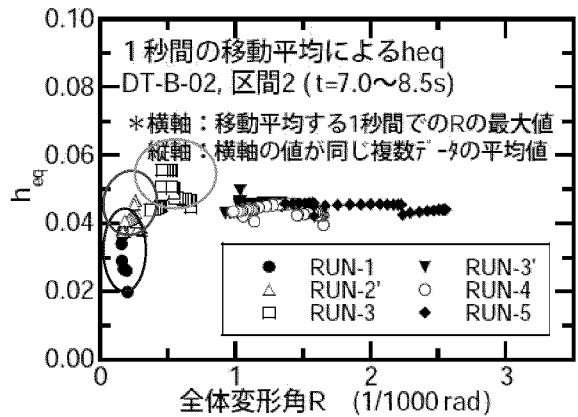
(財)原子力発電技術機構において、ボックス型 RC 耐震壁が多方向から同時に地震力を受ける際の動的挙動の調査を目的とした 3 次元振動台を用いた加振試験（以下「RC 耐震壁試験」という。）が行われている。RC 耐震壁試験結果<sup>(注1)</sup>を第 2.1.1-1 図に、RC 耐震壁試験結果による等価粘性減衰の評価を第 2.1.1-1 表に示す。試験結果によると、等価粘性減衰定数は、履歴減衰をあまり含まない弾性域で 2~4%程度、第 1 折点付近で 4%程度、第 2 折点付近で 4~5%程度となっている。また、等価粘性減衰定数は、第 1 折点付近までは応答レベルに応じて大きくなる傾向を示している。

履歴減衰を含む場合の結果は、あまり含まない場合よりも、第 1 折点付近でも 1%程度大きくなっている。さらに、第 2 折点以降では 2%程度大きくなっており、応答レベルが大きくなり非線形化するにつれ、履歴減衰は大きくなる傾向がある。

(注 1) 松本ほか：論文 RC 耐震壁の多方向同時入力振動台試験 コンクリート工学年次論文集、Vol.25、No.2、2003



履歴減衰を含む場合



履歴減衰をあまり含まない場合

第 2.1.1-1 図 RC 耐震壁試験結果

(松本ほか：論文 RC 耐震壁の多方向同時入力振動台試験 コンクリート工学年次論文集、Vol.25、No.2、2003 に加筆)

第 2.1.1-1 表 RC 耐震壁試験結果による等価粘性減衰の評価

応答レベル	弾性域	第1折点 付近	第2折点 付近	許容限界 $\gamma = 2/1,000$	終局点付近 $\gamma = 4/1,000$
履歴減衰を含む場合	1~4%程度	5%程度	6~7%程度	6~7%程度	6~7%程度
履歴減衰をあまり 含まない場合	2~4%程度	4%程度	4~5%程度	4~5%程度	4~5%程度

## 2.1.2 実構造物の起振試験

「原子炉施設の実機試験・観測と評価」に関する調査報告書（日本建築学会構造委員会(2001)）<sup>(注2)</sup>によれば、原子炉建屋(PWR)での起振機による振動試験結果において、弾性域（微小振幅レベル）での減衰定数は2～7%程度となっている。また、得られた減衰定数は地盤減衰を含むと考えられる。原子炉施設の振動試験と解析評価比較一覧を第2.1.2-1表に示す。

第2.1.2-1表 原子炉施設の振動試験と解析評価比較一覧

項目	文献P(V)-1~3	文献P(V)-4~6	文献P(V)-7,8	文献P(V)-9,103	文献P(V)-11	文献P(V)-12
サイト	敦賀2	玄海3	大飯3	川内1	泊1	伊方2
建屋 [炉型]	原子炉建屋 [4-loop]	原子炉建屋 [4-loop]	原子炉建屋 [4-loop]	原子炉建屋 [3-loop]	原子炉建屋 [2-loop]	原子炉建屋 [2-loop]
起振機 [加振力]	大型起振機 [150tx2] 小型起振機 [3t]	大型起振機 [10t] 小型起振機 [3t]	大型起振機 [10tx2] 小型起振機 [3t]	大型起振機 [50t]、[10t]	大型起振機 [50t]、[10t]	大型起振機 [50t]、[10t]
測定箇所	・ I/C ・ PCCV(オ-ハ) #振動測定も含む ・ REB ・ E/B	・ I/C ・ PCCV(オ-ハ) #振動測定も含む ・ REB	・ I/C ・ PCCV(オ-ハ) #振動測定も含む ・ REB	・ O/S(オ-ハ) #振動測定も含む ・ I/C	・ O/S(オ-ハ) #振動測定も含む ・ I/C ・ C/V	・ O/S(オ-ハ) #振動測定も含む ・ I/C ・ C/V
地盤条件	Vs=1600m/s	Vs=1350m/s	Vs=2230m/s	Vs=1500m/s	Vs=1400m/s	Vs=2300m/s
固有振動数 (1次)	試験 PCCV: 4.86 Hz I/C: 7.57 Hz E/B: 3.15 Hz	PCCV: 4.97Hz (NS) I/C : 9.62Hz (NS) 9.71Hz (EW)	PCCV: 5.01Hz (NS) 4.97Hz (EW) I/C : 9.79Hz (NS) 10.82Hz (EW)	O/S: 4.7Hz I/C: 9.4Hz (X) 10.6Hz (Y)	O/S : 5.4Hz (X) 5.6Hz (Y) I/C : 11.9Hz (X) 12.9Hz (Y)	O/S : 6.9~7.18Hz I/C : 13.7~13.9Hz (X) 11.3~11.8Hz (Y) C/V : 8.1Hz
	解析 PCCV: 4.92 Hz I/C: 7.66 Hz	-	PCCV: 5.5(NS) 5.5(EW) I/C : 9.4(NS) 10.5(EW)	O/S: 4.1Hz I/C: 9.6Hz (X) 10.2Hz (Y)	O/S : 5.1Hz (X) 5.9Hz (Y) I/C : 11.9Hz (X) 12.8Hz (Y)	O/S : 6.81Hz I/C : 13.17Hz (X) 11.67Hz (Y) C/V : 7.96Hz
減衰定数	試験 PCCV: 2.2% I/C: 3.4% E/B: 2.2% (NS)	PCCV: 2.6%(NS) I/C: 3.0%(NS) 3.6%(EW)	PCCV: 1.7%(NS) 1.5%(EW) I/C : 3.0%(NS) 2.0%(EW)	O/S: 3.6% I/C: 2.6%(X) 2.0%(Y)	O/S : 7.0%(X) 5.8%(Y) I/C : 4.6%(X) 2.9%(Y)	O/S : 3.3% I/C : 2.8%(X) 3.1%(Y)
	解析 PCCV: 2.0% I/C: 4.0%	PCCV: 2.0% I/C: 3.0%	PCCV: 2.0% I/C : 3.0%(NS) 3.0%(EW)	試験値と同じ値を採用	O/S : 5.5%(X) 8.3%(Y) I/C : 4.4%(X) 3.1%(Y)	試験値と同じ値を採用

(注2) 「原子炉施設の実機試験・観測と評価」に関する調査報告書

〔日本建築学会構造委員会(2001)〕に加筆

### 2.1.3 原子炉建屋(PWR)での地震観測

原子炉建屋(PWR)における地震観測記録の分析結果に基づく論文<sup>(注3～注5)</sup>を第 2.1.3-1 表に整理した。地盤減衰の影響が小さいと考えられる上部構造物と基礎上端の記録に基づく文献を選定している。得られた観測記録レベルでの減衰定数は1～4%程度となっている。

第 2.1.3-1 表 原子炉建屋(PWR)における地震観測記録の分析結果に基づく論文

	基礎上端最大加速度 (推定される入力レベル)	減衰定数	備考
川内1号 <sup>(注3)</sup>	1～68cm/s <sup>2</sup> 程度 (弾性域)	外部遮蔽建屋： 1～4%程度	1997年3月26日、5月13日 鹿児島県北西部地震 (余震を含む24地震)
伊方1号 <sup>(注4)</sup>	約25 cm/s <sup>2</sup> (弾性域)	内部コンクリート：3% 外周コンクリート壁：3.5%	1979年7月13日 周防灘の地震
泊1号 <sup>(注5)</sup>	約40 cm/s <sup>2</sup> (弾性域)	外部遮蔽建屋、 内部コンクリート、 周辺補機棟の平均：4.1%	1993年7月12日 北海道南西沖地震

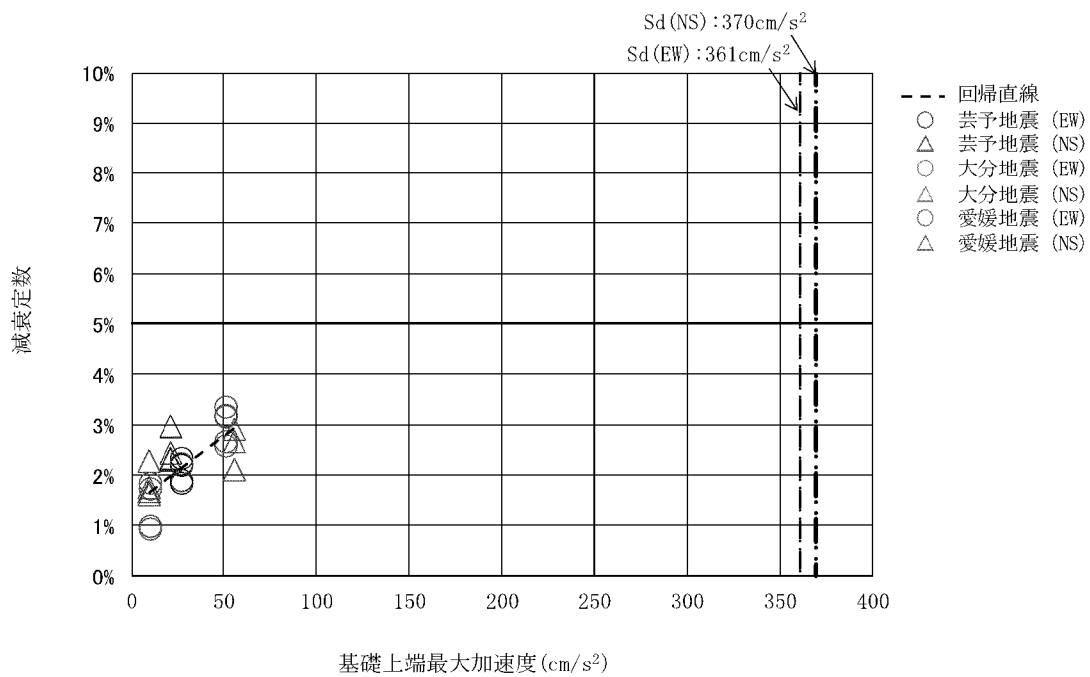
(注3) 児玉ほか：鹿児島県北西部地震による川内原子力発電所の地震動観測とシミュレーション解析 日本建築学会学術講演梗概集 1998-07-30 より抜粋

(注4) 原子力発電所の地震動観測とその解析 日本建築学会学術講演梗概集 1981 より抜粋

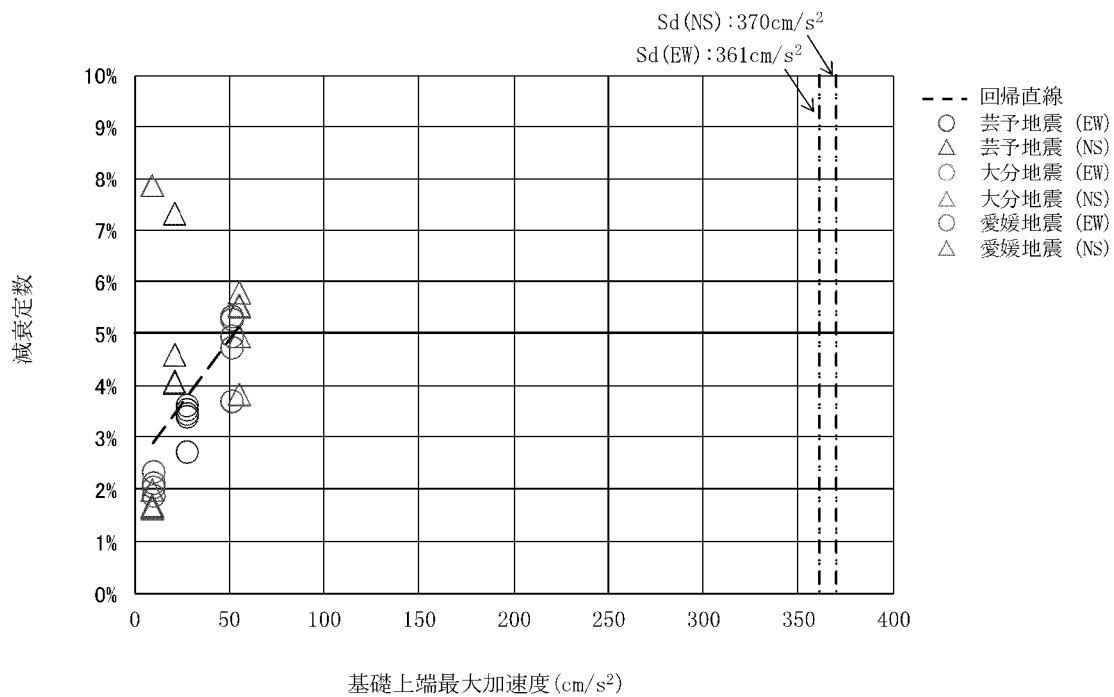
(注5) 泊発電所の地震動とシミュレーション解析 日本建築学会学術講演梗概集 1996 より抜粋

また、四国電力(株)伊方3号機のシステム同定による評価<sup>(注6)</sup>における、減衰定数と入力加速度レベルの関係を第 2.1.3-1 図に示す。減衰定数は基礎上端加速度レベルに応じて大きくなる傾向を示しており、検討に用いている地震観測記録の基礎上端最大加速度(10～50 cm/s<sup>2</sup>程度)よりも大きいレベルでは、更に大きな減衰が推定できる。

(注6) 伊方発電所3号機 工事計画認可申請書 工事計画に係る補足説明資料(四国電力(株)、2016)



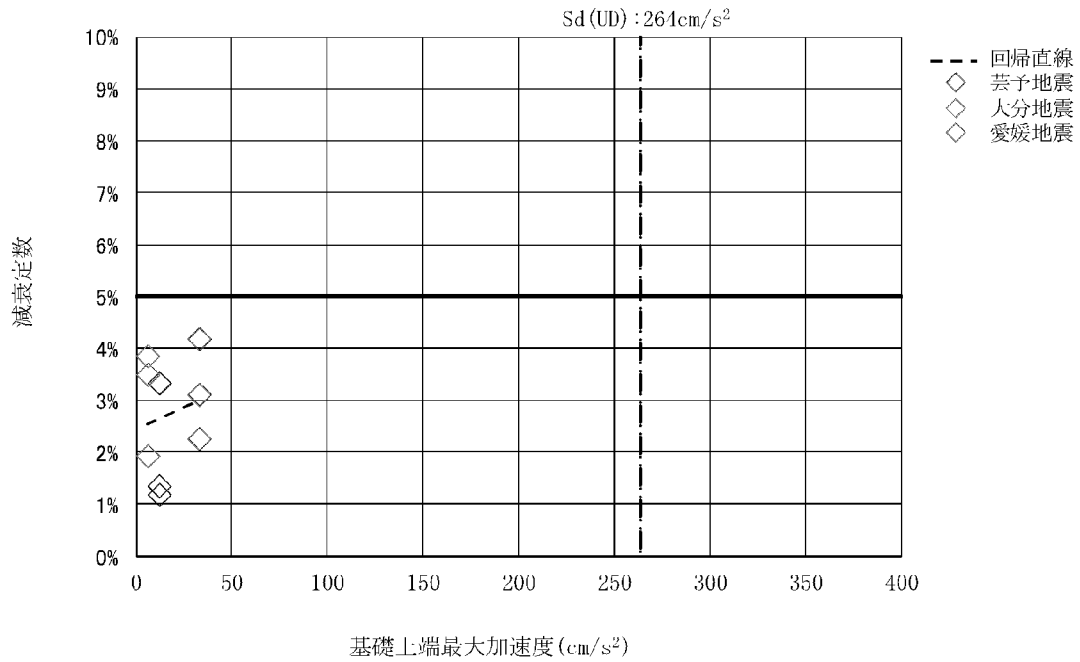
(a) 外周コンクリート壁 (水平方向)



(b) 内部コンクリート (水平方向)

第 2.1.3-1 図 四国電力(株)伊方 3 号機 減衰定数と入力加速度レベルの関係(1/2)

(伊方発電所 3 号機 工事計画認可申請書 工事計画に係る補足説明資料 (四国電力(株)、2016) より抜粋)



(c) 外周コンクリート壁 (鉛直方向)

第 2.1.3-1 図 四国電力(株)伊方 3 号機 減衰定数と入力加速度レベルの関係(2/2)

(伊方発電所 3 号機工事計画に係る説明資料 (耐震性に関する説明書) 資料番号 CP-400 改 14 より抜粋)

#### 2.1.4 原子炉建屋(BWR)での地震観測

東北電力(株)女川 2 号機及び 3 号機原子炉建屋シミュレーション解析結果<sup>(注7)</sup>を第 2.1.4-1 表に示す。基礎上端と上部構造の観測記録を用いているため、解析結果に対する地盤減衰の影響は小さいと考えられるものの、建屋が地盤に埋め込まれていることによる減衰への影響が考えられる。累積的影響が小さいと考えられる、東北地方太平洋沖地震(2011.03.11)までの地震観測記録の分析結果によると、減衰定数は 1~8%程度となっている。

減衰定数と入力加速度レベルの関係を第 2.1.4-1 図に示す。基礎版上加速度が 500cm/s<sup>2</sup> 程度までは、加速度レベルに応じて大きくなる傾向がある。

第 2.1.4-1 表 東北電力(株)女川 2 号機及び 3 号機原子炉建屋シミュレーション解析結果

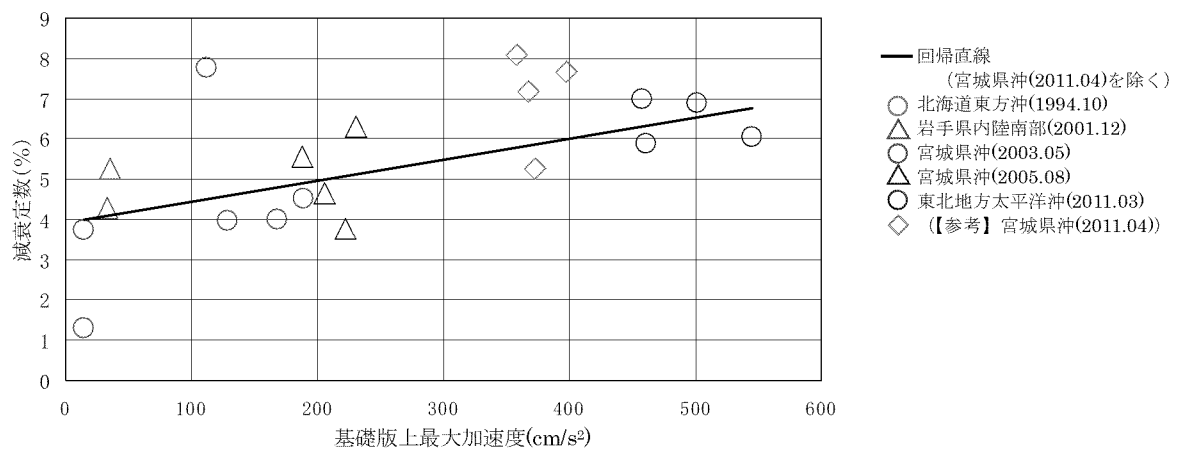
女川2号機原子炉建屋 固有振動数と減衰定数の傾向

地震名	NS方向			EW方向		
	基礎版上加速度 2RB-6(cm/s <sup>2</sup> )	振動数(Hz) 減衰定数(%)	比率※	基礎版上加速度 2RB-6(cm/s <sup>2</sup> )	振動数(Hz) 減衰定数(%)	比率※
1994.10.04 22:22 北海道東方沖 マグニチュード8.2 震央距離758km	15	6.74	1.40	15	6.50	1.32
		1.31	-		3.73	-
2003.05.26 18:24 宮城県沖 マグニチュード7.1 震央距離48km	112	5.55	1.15	168	5.29	1.08
		7.77	-		4.01	-
2005.08.16 11:46 宮城県沖 マグニチュード7.2 震央距離73km	230	5.44	1.13	206	5.24	1.07
		6.30	-		4.63	-
2011.03.11 14:46 東北地方太平洋沖 マグニチュード9.0 震央距離123km	501	4.42	0.92	461	4.43	0.90
		6.88	-		5.87	-
2011.04.07 23:32 宮城県沖 マグニチュード7.1 震央距離43km	358	4.31	0.89	367	4.36	0.89
		8.08	-		7.19	-

女川3号機原子炉建屋 固有振動数と減衰定数の傾向

地震名	NS方向			EW方向		
	基礎版上加速度 3RB-1(cm/s <sup>2</sup> )	振動数(Hz) 減衰定数(%)	比率※	基礎版上加速度 3RB-1(cm/s <sup>2</sup> )	振動数(Hz) 減衰定数(%)	比率※
2001.12.02 22:02 岩手県内陸南部 マグニチュード6.4 震央距離112km	33	6.23	1.25	35	5.75	1.17
		4.29	-		5.25	-
2003.05.26 18:24 宮城県沖 マグニチュード7.1 震央距離48km	129	5.78	1.16	189	5.31	1.08
		3.95	-		4.51	-
2005.08.16 11:46 宮城県沖 マグニチュード7.2 震央距離73km	222	5.55	1.11	188	5.20	1.06
		3.78	-		5.57	-
2011.03.11 14:46 東北地方太平洋沖 マグニチュード9.0 震央距離123km	545	4.72	0.94	458	4.58	0.93
		6.03	-		7.00	-
2011.04.07 23:32 宮城県沖 マグニチュード7.1 震央距離43km	373	4.57	0.91	398	4.48	0.91
		5.27	-		7.66	-

(注7) 東北電力(株)女川 2 号機及び 3 号機原子炉建屋建屋シミュレーション解析について (コメント回答) (建築物・構造 6-3-2(2012)) に加筆



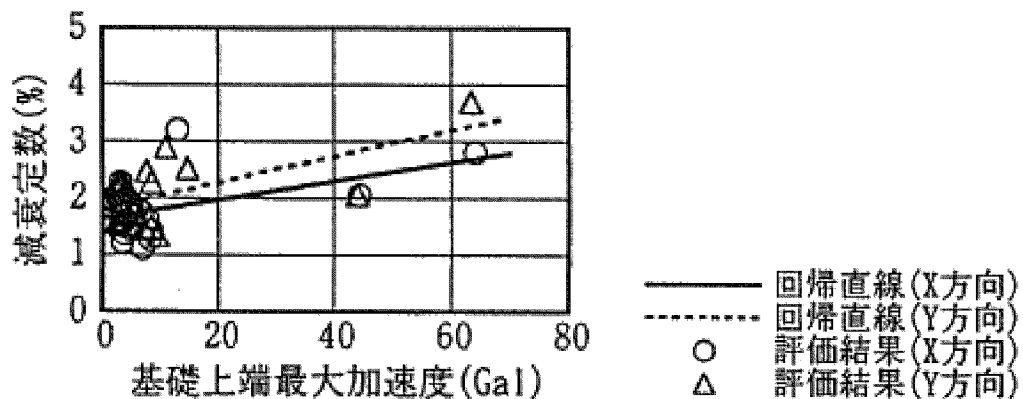
第 2.1.4-1 図 減衰定数と入力加速度レベルの関係



### 2.1.5 川内原子力発電所での地震観測

1997年鹿児島県北西部地震の本震及び余震の観測記録を用いて、川内原子力発電所の外部遮蔽建屋における、基礎上端最大加速度と減衰定数の関係性を評価している。評価結果を第2.1.5-1図に示す<sup>(注8)</sup>。

減衰定数は、入力加速度レベルに応じて大きくなる傾向を示しており、検討に用いた地震観測記録の基礎上端最大加速度よりも大きいレベルでは、更に大きな減衰が推定できる。



第2.1.5-1図 外部遮蔽建屋の基礎上端の最大加速度と減衰定数の関係

(注8) 児玉ほか：鹿児島県北西部地震による川内原子力発電所の地震動観測とシミュレーション解析 日本建築学会学術講演梗概集 1998-07-30 より抜粋

## 2.2 システム同定による減衰定数の評価

新規制基準工認補足 10-4 では、RC 部の減衰定数を観測記録より評価するため、川内 1 号機における地震観測記録である 1997 年 3 月 26 日 17 時 31 分頃発生した鹿児島県北西部地震本震（M6.6、震源深さ 11.85km）の記録を用いて、システム同定により減衰定数を評価している。

また、その他複数の地震観測記録を用いて、減衰定数の振幅依存性に関する検討についても実施している。

ここでは、観測記録を用いたシステム同定による検討結果を示す。評価方法等の詳細な内容については、新規制基準工認補足 10-4-別紙 1「地震観測記録を用いたシステム同定による減衰定数の評価」に示す。

### 2.2.1 鹿児島県北西部地震本震による検討結果

川内 1 号機の外部遮蔽建屋、内部コンクリート、原子炉補助建屋について、固有振動数及び減衰定数の同定結果を第 2.2.1-1 表に示す。システム同定により評価した減衰定数について、水平方向は、外部遮蔽建屋で 3%程度、内部コンクリートで 5~8%程度、原子炉補助建屋で 5~10%程度、鉛直方向は、3~4%程度となった。

第 2.2.1-1 表 固有振動数及び減衰定数の同定結果 (川内 1 号機)

検討ケース	入力データ					出力データ					同定結果	
	設置箇所			成分	最大 加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	設置箇所			成分	最大 加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	減衰定数 (%)	一次固有 振動数 (Hz)
	施設名	EL. (m)	地震計 名称			施設名	EL. (m)	地震計 名称				
1	O/S	-2.0	No.41	EW	56.3	O/S	74.5	No.47	EW	409.4	3.1	4.16
2				EW	56.3		65.1	No.44	EW	362.4	3.4	4.13
3				EW	56.3		42	No.43	EW	376.5	3.2	4.10
4		65.1	No.44	鉛直	172.6		71.3	No.46	鉛直	393.2	3.1	15.03
5				鉛直	172.6		74.5	No.47	鉛直	604.2	4.1	15.19
6	I/C	-9.4	No.21	EW	64.4	I/C	13.3	No.23	EW	133.0	7.6	8.88
7				NS	64.4				NS	129.2	4.8	9.65
8				鉛直	38.4				鉛直	71.9	2.9	24.20
9	A/B	-9.0	No.1	EW	68.4	A/B	29.4	No.3	EW	113.1	7.3	8.48
10				NS	64.0				NS	264.6	5.4	6.08
11				EW	68.4		13.8	No.2	EW	69.7	10.3	8.17
12				NS	64.0				NS	118.2	5.8	6.08
13				鉛直	45.8				鉛直	86.1	3.6	13.02

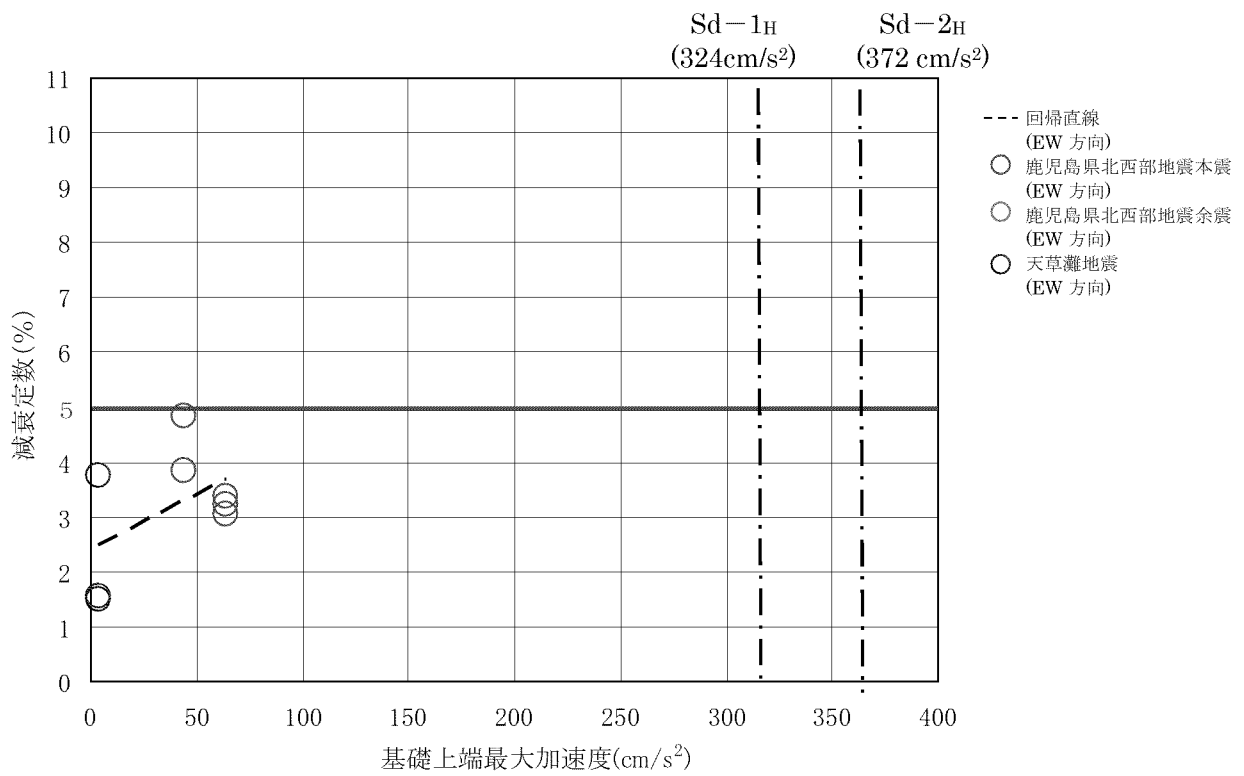
### 2.2.2 振幅依存性に関する複数の観測記録を用いた検討結果

複数の観測記録を用いて、システム同定により評価した減衰定数及び基礎上端最大加速度を比較した結果を第 2.2.2-1 図に示す。

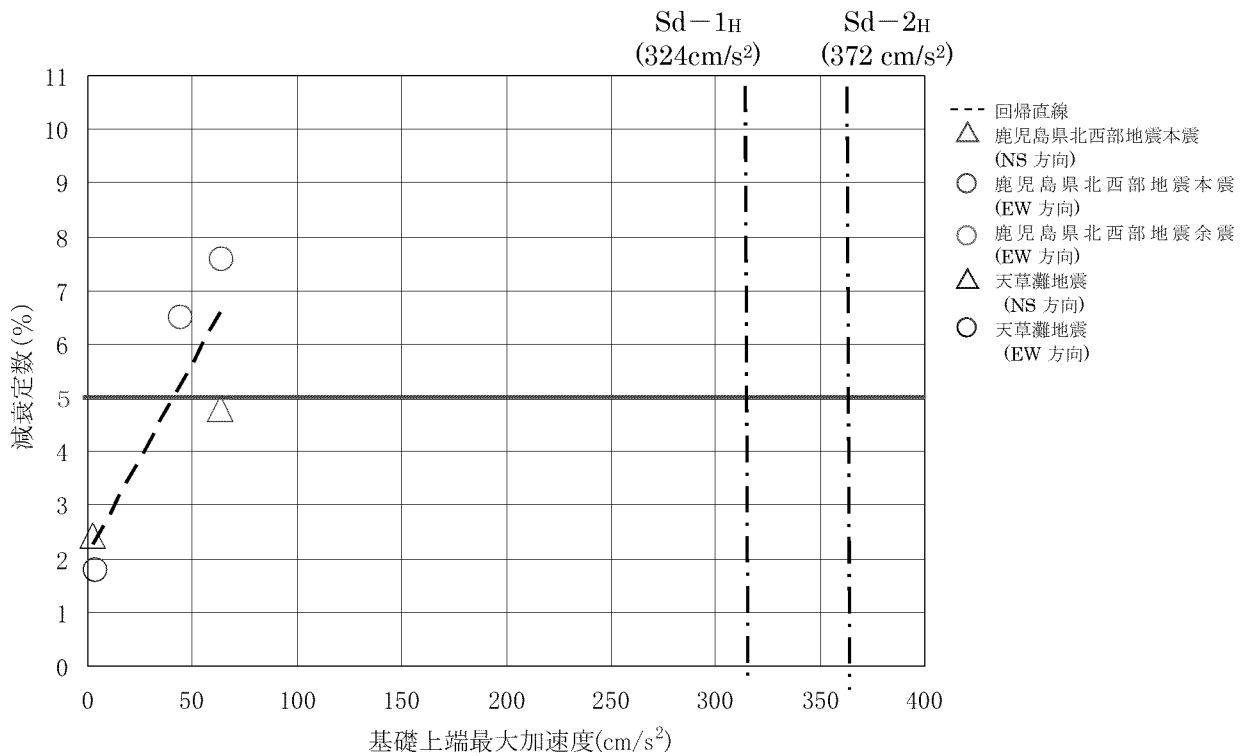
川内 1 号機について、システム同定により評価した減衰定数は、入力地点の加速度レベルに応じて大きくなる傾向を示しており、検討に用いた地震観測記録の入力地点の加速度よりも大きいレベルでは、更に大きな減衰が推定できる。

水平方向は、外部遮蔽建屋で 2～5%程度、内部コンクリートで 2～8%程度、原子炉補助建屋で 2～10%程度、鉛直方向は、2～5%程度となった。

一次卓越モードにおける固有振動数及び減衰定数の同定結果を第 2.2.2-1 表に示す。

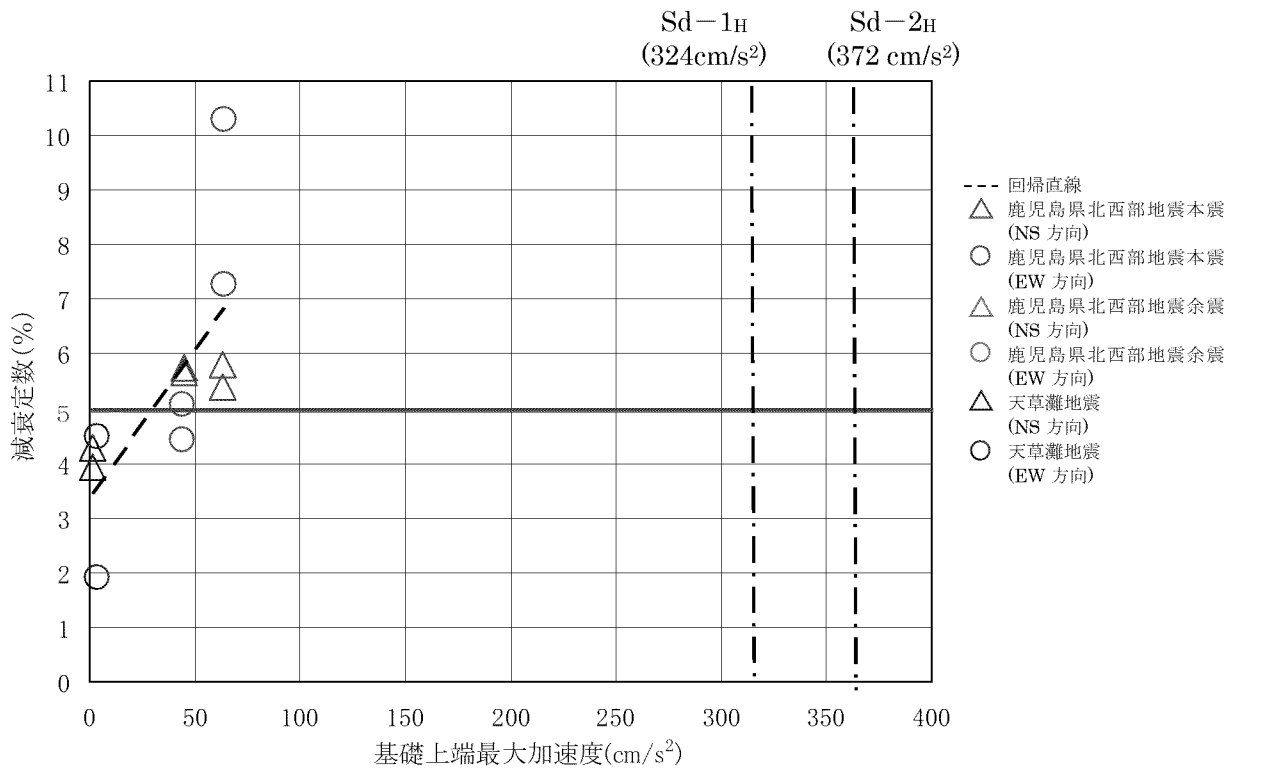


(a) 外部遮蔽建屋 (水平方向)

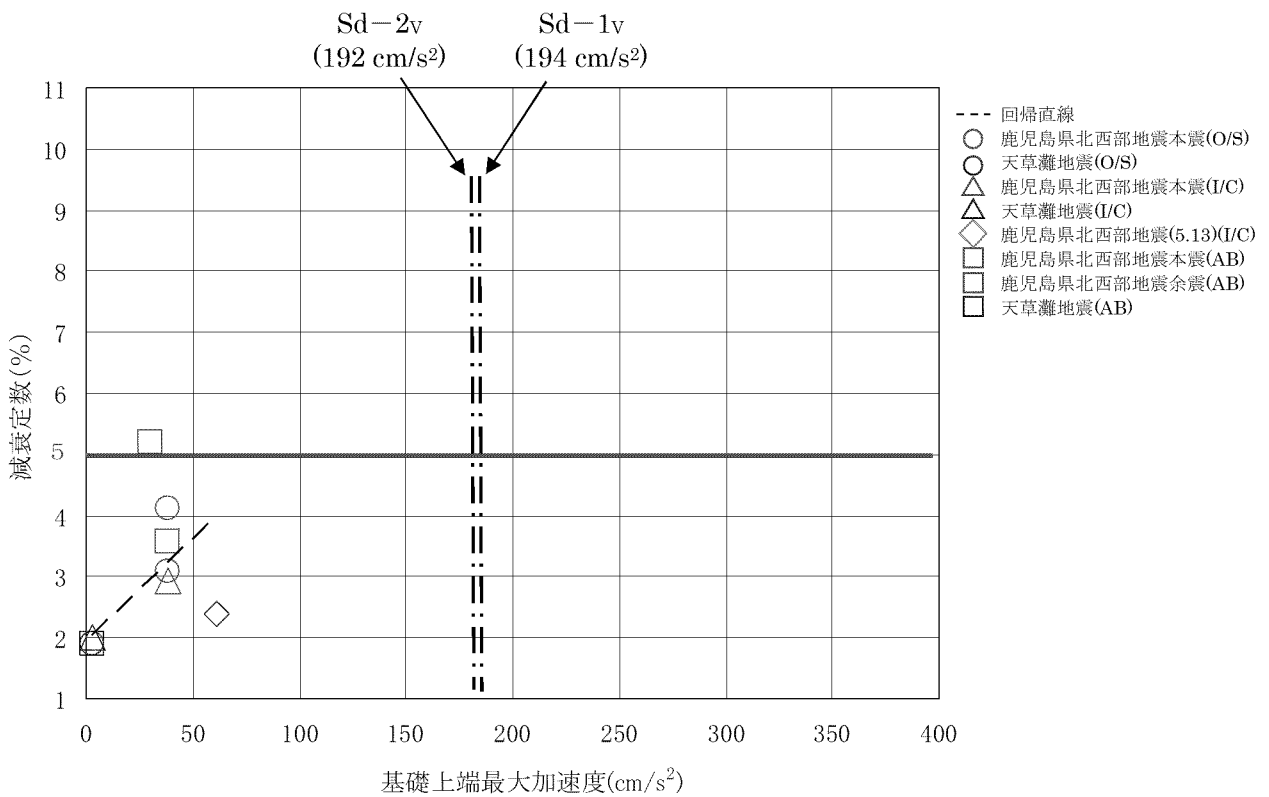


(b) 内部コンクリート (水平方向)

第 2.2.2-1 図 基礎上端最大加速度と減衰定数の関係(1/2)



(c) 原子炉補助建屋 (水平方向)



(d) 外部遮蔽建屋、内部コンクリート、原子炉補助建屋 (鉛直方向)

第 2.2.2-1 図 基礎上端最大加速度と減衰定数の関係(2/2)

第 2.2.2-1 表 固有振動数及び減衰定数の同定結果（川内 1 号機）

検討 ケース	入力データ				出力データ				同定結果			
	設置箇所			成分	設置箇所			成分	鹿児島北西部地震余震 (1997.04.03)		天草灘地震 (2012.08.17)	
	建屋名	EL. (m)	観測点 名称		建屋名	EL. (m)	観測点 名称		減衰 定数	一次固有 振動数 (Hz)	減衰 定数	一次固有 振動数 (Hz)
1	O/S	-2.0	No.41	EW	O/S	74.5	No.47	EW	3.8	4.26	1.6	4.55
2				EW				4.8	4.26	1.5	4.55	
3				EW				-	-	3.7	4.61	
4		65.1	No.44	鉛直		71.3	No.46	鉛直	-	-	1.9	14.02
5				鉛直		74.5	No.47	鉛直	-	-	-	-
6	I/C	-9.4	No.21	EW	I/C	13.3	No.23	EW	6.5	8.27	1.8	9.11
7				NS				-	-	2.4	9.96	
8				鉛直				-	-	2.0	23.76	
9	A/B	-9.0	No.1	EW	A/B	29.4	No.3	EW	4.4	7.55	4.5	8.30
10				NS				5.8	6.07	3.9	6.56	
11				EW				5.1	7.45	1.9	8.33	
12				13.8		No.2	NS	5.7	6.03	4.3	6.54	
13							鉛直	-	-	-	-	

(注) 鉛直方向については、評価結果を考察するための記録を充実させるため、内部コンクリート 1 ケース、原子炉補助建屋 2 ケースを追加で実施。

## 2.3 地震応答解析モデルによる検討

新規制基準工認補足 10-4 において、川内原子力発電所 1 号機の外部遮蔽建屋、内部コンクリート及び原子炉補助建屋について、減衰定数を 3%とした 3次元 FEM モデル及び 5%とした 3次元 FEM モデルにより、観測記録（鹿児島県北西部地震本震）を用いた地震応答解析を行い、床応答スペクトルを算定して、観測記録との比較を行っている。

原子炉格納施設及び原子炉補助建屋の解析結果について、床応答スペクトルを第 2.3-1 表～第 2.3-3 表に、最大応答加速度及び応答ピークの加速度を第 2.3-4 表及び第 2.3-5 表に示す。

単純な一次モードが支配的となる外部遮蔽建屋では、解析結果に比べ、観測記録のピーク周期が短周期側になり、ピーク周期の整合がよくないものもあった。コンクリート剛性にはひずみ依存性があるが、今回、地震観測記録は振幅レベルが小さいため、コンクリート剛性が高めになったことが影響していると考えられる。

内部コンクリート及び原子炉補助建屋については、解析結果と観測記録が良く整合した。応答ピークの加速度について、水平方向は、減衰定数の違いによる床応答の差はほとんど見られなかった。また、鉛直方向は、減衰定数を 5%とした解析モデルによる地震応答解析の方が、観測記録との整合が良い結果となった。



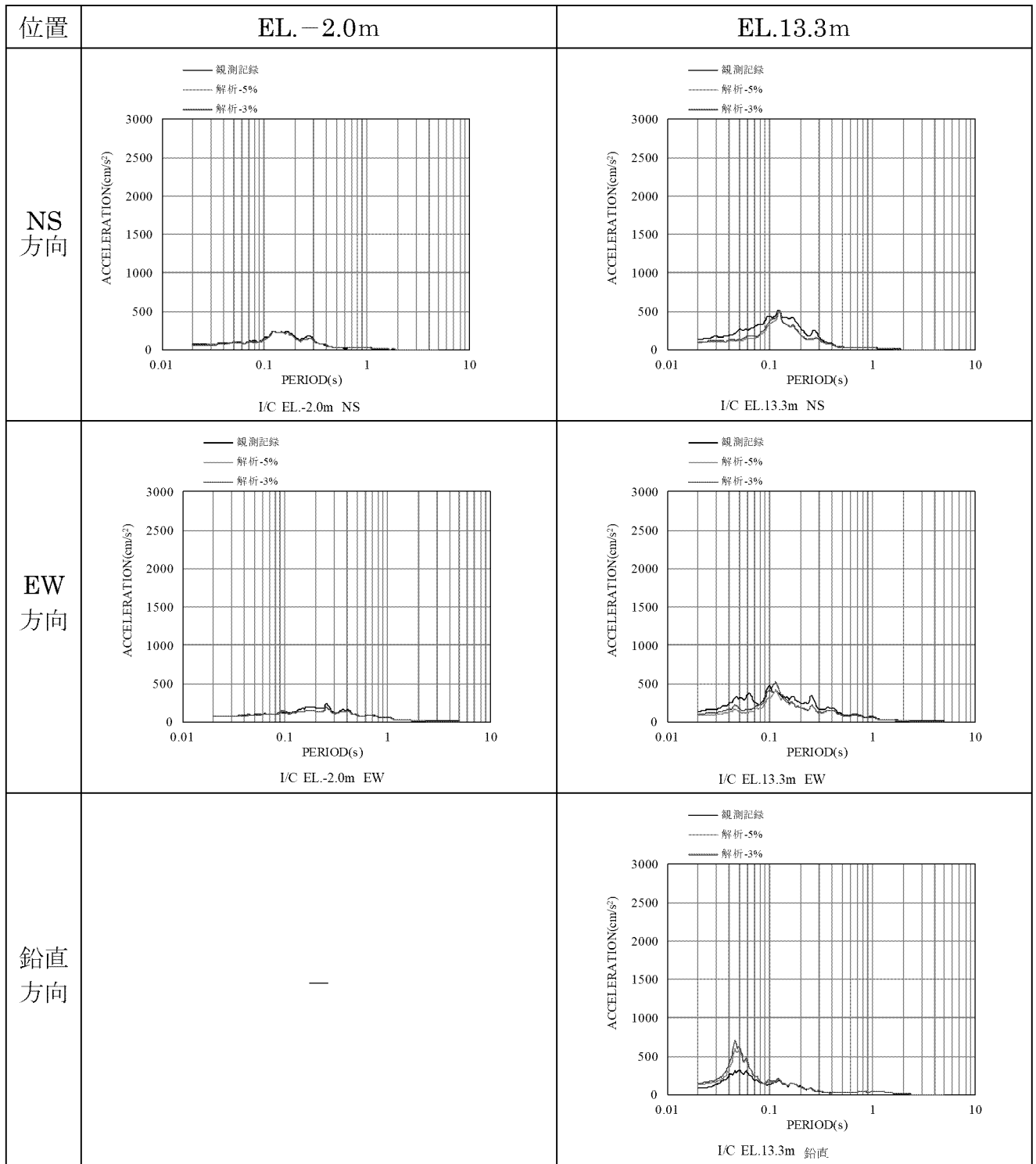
第 2.3-1 表 床応答スペクトル【原子炉格納施設】(O/S)(1/2)

位置	EL.-2.0m	位置	EL.65.1m
EW 方向	<p>O/S脚部 EL.-2.0m EW</p>	<p>O/Sドーム端部 EL.65.1m NS</p>	
位置	EL.13.3m	位置	EL.65.1m
EW 方向	<p>O/S円筒部 EL.13.3m EW</p>	<p>O/Sドーム端部 EL.65.1m EW</p>	
位置	EL.42.0m	位置	EL.65.1m
EW 方向	<p>O/S円筒部 EL.42.0m EW</p>	<p>O/Sドーム端部 EL.65.1m 鉛直</p>	

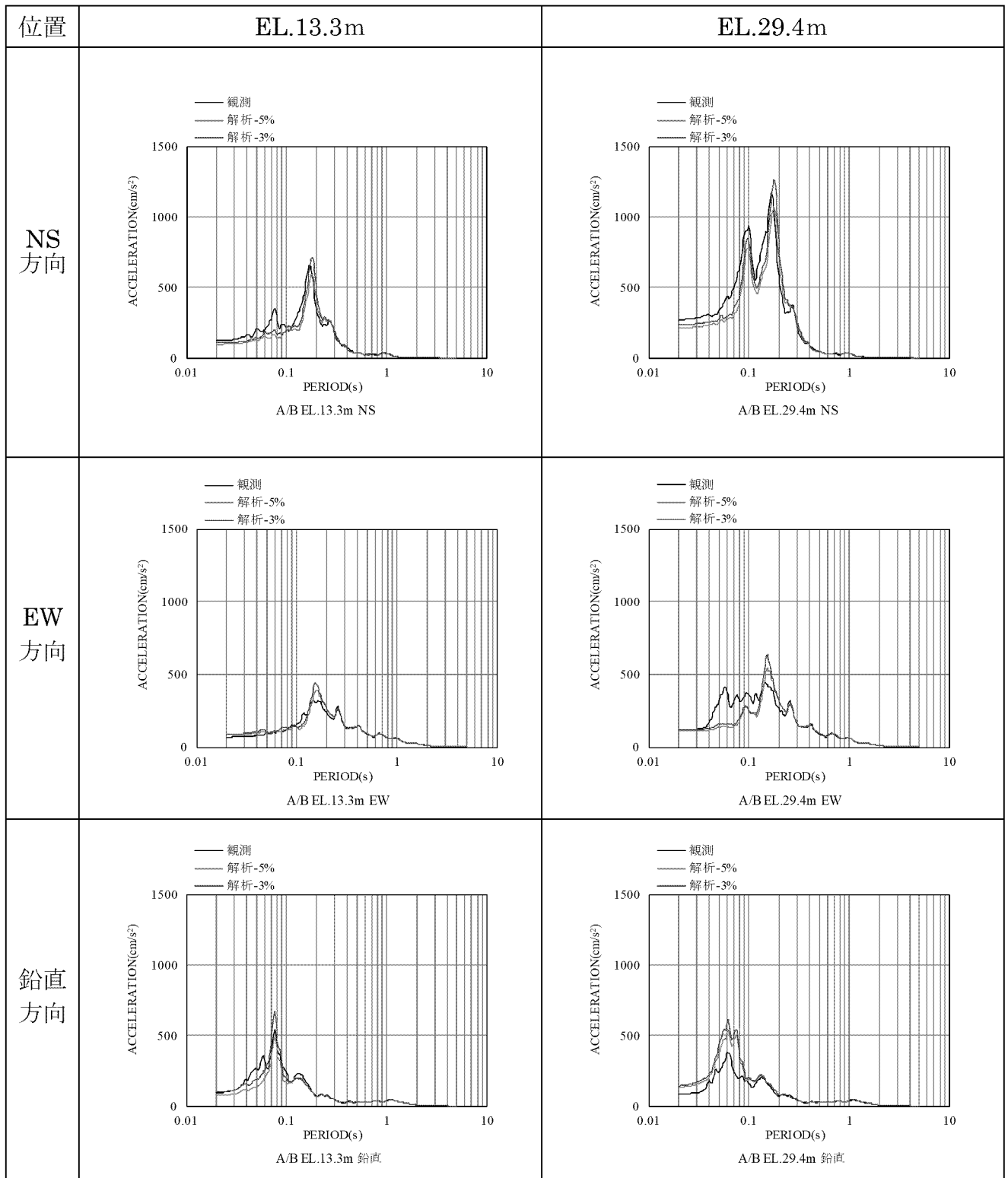
第 2.3-1 表 床応答スペクトル【原子炉格納施設】(O/S)(2/2)

位置	EL.71.3m	EL.74.5m
NS 方向	—	<p>O/Sドーム頂部 EL.74.5m NS</p>
EW 方向	—	<p>O/Sドーム頂部 EL.74.5m EW</p>
鉛直 方向	<p>O/Sドーム中間部 EL.71.3m 鉛直</p>	<p>O/Sドーム頂部 EL.74.5m 鉛直</p>

第 2.3-2 表 床応答スペクトル【原子炉格納施設】(I/C)



第 2.3-3 表 床応答スペクトル【原子炉補助建屋】



第 2.3-4 表 最大応答加速度及び応答ピークの加速度一覧表【原子炉格納施設】

評価点			最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )			応答ピークの加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		
部位	レベル	方向	観測 記録	減衰 5%	減衰 3%	観測 記録	減衰 5%	減衰 3%
O/S 脚部	EL.-2.0m	EW	57.5	66.8	67.5	235.1	171	168.7
O/S 円筒部	EL.13.3m	EW	126.9	86.6	90.7	471.8	332.4	432.8
	EL.42.0m	EW	392.6	120.6	134.9	1,794.4	594.9	729
O/S ドーム 端部	EL.65.1m	NS	309.5	215.9	273.6	1,529.8	1,410.3	1,858.5
		EW	378.3	210.2	244.9	2,445.4	973.2	1,112.9
		鉛直	173.7	112.7	134.4	785.8	610.9	797.9
O/S ドーム 中間部	EL.71.3m	鉛直	438.8	229.1	267.1	2,540.1	1,035.3	1,386.4
O/S ドーム 頂部	EL.74.5m	NS	319.9	240.2	302.5	1,687.9	1,579.5	2,077.3
		EW	411.4	216.3	244.7	2,708.4	1,095.2	1,236.2
		鉛直	661.6	528.5	735.1	4,106.6	2,197.4	3,471
I/C	EL.-2.0m	NS	66.7	65.7	63.2	245.8	238.5	244.5
		EW	72.6	69.1	72.1	236.9	190.9	190
	EL.13.3m	NS	140.4	96.0	109.8	513.4	482.3	515
		EW	140.3	87.2	108.7	485.3	416.3	521.3
		鉛直	84.4	132.1	149.8	319	603.1	703.6

第 2.3-5 表 最大応答加速度及び応答ピークの加速度一覧表【原子炉補助建屋】

評価点		最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )			応答ピークの加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		
レベル	方向	観測記録	減衰 5%	減衰 3%	観測記録	減衰 5%	減衰 3%
EL.13.3m	NS	122.2	97.4	109.2	657	592.8	714.8
	EW	70.0	87.1	90.4	324.6	393.7	447.9
	鉛直	93.3	75.3	100.5	542.9	490.3	671.8
EL.29.4m	NS	271.6	212.7	235.1	1,169.1	1,069.7	1,265.1
	EW	116.9	112.2	117.6	444.9	542	637.1
	鉛直	84.4	133.9	145.0	379.1	544	611.5

### 3. 連絡通路の地震応答解析モデルに用いる RC 造部の減衰定数

基準地震動  $S_s$  に対する連絡通路の応答レベルと、既往の知見との関係を確認し、連絡通路の地震応答解析モデルに用いる RC 造部の減衰定数を 5% とすることの妥当性を確認する。

基準地震動  $S_s$  に対する連絡通路の最大せん断ひずみは、添付資料 9-13-1 「緊急時対策棟（連絡通路）の地震応答解析」より、第 1 折点未満である。したがって、既往の知見における線形領域（微小振幅領域～第 1 折点未満）の減衰定数に着目し、連絡通路の地震応答解析モデルに用いる RC 造部の減衰定数について、考察を行う。連絡通路の応答レベルと既往の知見との関係を第 3-1 表に示す。

第 3-1 表 連絡通路の応答レベルと既往の知見との関係

応答レベル	線形		非線形		
	微小振幅領域	第 1 折点 未満	第 1 折点 付近	第 2 折点 付近	許容限界 付近
連絡通路		基準地震動 $S_s$			
RC 耐震壁試験 ※履歴減衰を あまり含まない		2~4% 程度 1~数% 程度以上	4% 程度	4~5% 程度	4~5% 程度
システム同定 による評価 <sup>(注)</sup>	3~10% 程度	3~10% 程度以上	5% 程度以上	5% 程度以上	5% 程度以上
3次元 FEM モデル を用いた検討	5%程度	5%程度			

(注) 川内 1 号機外部遮蔽建屋の減衰 3~5%程度 (1~60  $\text{cm/s}^2$  程度)

伊方 3 号機外周コンクリート壁の減衰 3%程度 (10~50  $\text{cm/s}^2$  程度)

女川 2 号機、3 号機原子炉建屋の減衰 6~7%程度 (500  $\text{cm/s}^2$  程度)

RC 耐震壁試験について、履歴減衰があまり含まれない場合の線形領域（微小振幅領域～第 1 折点未満）における減衰定数は、2~4%程度となっている。

システム同定による評価について、線形領域（微小振幅領域～第 1 折点未満）における減衰定数は、3~10%程度以上となっており、微小振幅領域である観測記録地震動レベルにおいて、5%を超える減衰定数が得られている。また、単純な形状の建物・構築物である外部遮蔽建屋に着目すると、3%~5%程度の減衰定数が

得られている。

3次元 FEM モデルを用いた検討について、複雑な形状の建物・構築物である内部コンクリート及び原子炉補助建屋についての検討結果は、減衰定数の違いによる床応答スペクトルの差はわずかであるか、または、減衰定数を 5%とした解析結果の方が、3%とした解析結果と比較して観測記録との整合が良い結果となった。

また、「2.1.1 RC 耐震壁試験」、「2.1.3 原子炉建屋(PWR)での地震観測」で参照した伊方 3 号機のシステム同定による評価、「2.1.5 川内原子力発電所での地震観測」及び「2.2 システム同定による減衰定数の評価」では、減衰定数は入力加速度レベルに応じて大きくなる傾向があり、振幅依存性が確認できることを示している。

さらに、「2.1.4 原子炉建屋(BWR)での地震観測」において、女川 2 号機、3 号機の地震観測記録を参照した結果、 $500\text{cm/s}^2$ 程度まで振幅依存性が確認できる。

以上の知見を踏まえ、連絡通路の地震応答解析モデルに用いる RC 造部の減衰定数について考察を行う。

連絡通路は、複数の耐震壁から構成された 3 次元的な広がりを持つ構造体であり、このような構造体は、地震時の接合部及び直交部材の挙動により、減衰効果が得られると考えられる。したがって、連絡通路の減衰定数は、RC 耐震壁試験から得られた減衰定数 (2~4%程度) より大きな減衰定数であると推定される。

また、「2.2 システム同定による減衰定数の評価」において、単純な形状の建物・構築物である外部遮蔽建屋のシステム同定結果は、観測記録地震動レベル ( $1\sim 60\text{ cm/s}^2$ 程度) で 3%~5%程度の減衰定数が得られたこと、「2.1.4 原子炉建屋(BWR)での地震観測」におけるシステム同定結果より、 $500\text{cm/s}^2$ 程度まで振幅依存性が確認できたこと及び  $500\text{cm/s}^2$ 程度で 6~7%の減衰が得られたことを踏まえれば、連絡通路の基準地震動  $S_s$  レベル (最大  $1,170\text{cm/s}^2$ 程度) の入力加速度に対しては、RC 造部の減衰定数が 5%程度以上得られると考えられる。

以上のことから、連絡通路は、5%程度以上の減衰定数が得られるものと考えられる。よって、連絡通路の地震応答解析に用いる RC 造部の減衰定数は、5%が妥当である。ただし、連絡通路は、内部コンクリート及び原子炉補助建屋のような多数の耐震壁及び構造床から構成される構造ではなく、地震観測を実施していないことから、3%とした場合を減衰定数の不確かさとして考慮する。



#### 4. まとめ

地震応答解析モデルに用いる RC 造部の減衰定数について、新規制基準工認補足 10-4 における知見を整理し、連絡通路の基準地震動  $S_s$  に対する応答レベルを確認した上で、入力地震動並びに建物・構築物の構造及び形状を踏まえた考察を行った。

考察の結果、連絡通路の地震応答解析モデルに用いる RC 造部の減衰定数は、基準地震動  $S_s$  に対して、5%が妥当である。

ただし、連絡通路は、内部コンクリート及び原子炉補助建屋のような多数の耐震壁及び構造床から構成される構造ではなく、地震観測を実施していないことから、減衰定数の設定に起因する不確かさとして、3%とした場合を考慮する。

## 9-7. 1次元地盤モデルの妥当性検討

## 目 次

	頁
1. 概 要1	
1.1 検討概要 .....	1
1.2 検討方針 .....	3
2. MMR の影響確認 .....	5
2.1 解析モデル .....	5
2.2 解析結果 .....	8
3. まとめ .....	10
(参考 1) 緊急時対策棟（指揮所）入力地震動算定用地盤モデルの 1 次元地盤モデルと 2 次元地盤モデルの比較 .....	11
(参考 2) 地盤物性の違いによる地盤の相対変位について .....	23

## 1. 概要

### 1.1 検討概要

緊急時対策棟（連絡通路）（以下「連絡通路」という。）の地震応答解析モデルに入力する地震動は、炉心位置における EL.−18.5m の解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  を EL.−200.00m まで引き戻した上で、1次元波動論による地震応答解析により、基礎底面位置(EL.24.00m)で評価したものをを用いている。

1次元地盤モデルについて、連絡通路に隣接する緊急時対策棟（指揮所）（以下「指揮所棟」という。）の基礎底面より深い部分については、令和元年6月3日付け原規規発第1906035号にて認可された指揮所設置工事（第1期工事）（以下「既工認」という。）の補足説明資料にて、その妥当性を示している。参考として、末尾に既工認の補足説明資料を再掲する。

本検討では、既工認において確認できていない指揮所棟の基礎底面よりも浅い部分について、1次元地盤モデルの妥当性を検討する。

今回、連絡通路に隣接する指揮所棟の基礎跳ね出し部上部にはマンメイドロック（以下「MMR」という。）を施工しており、連絡通路の一部は MMR 上に設置される。連絡通路直下の断面イメージ図を第1-1図に示す。

連絡通路の地震応答解析モデルに入力する地震動の算定において、基礎底面直下の地盤条件については、ボーリング調査の結果を基に、現状地盤の地盤物性を設定しているが、指揮所棟側の MMR については、MMR の範囲が部分的であるため、考慮していない。

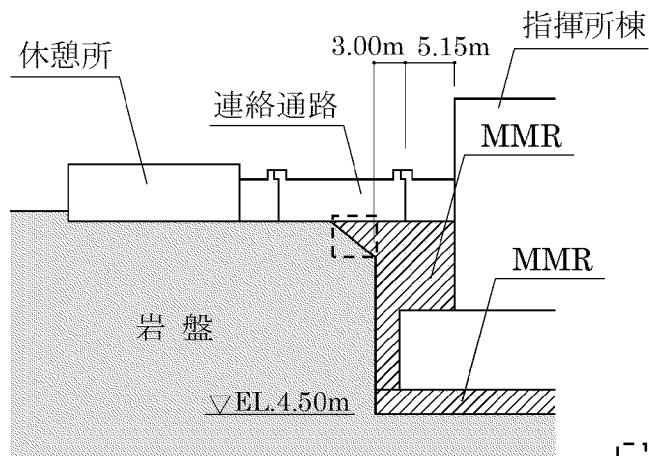
本資料は、入力地震動の算定に用いる1次元地盤モデルの妥当性を検討するため、指揮所棟側の MMR の影響を考慮した地盤モデルを用いて、1次元波動論による地盤の地震応答解析により、基礎底面位置における地震動を算定し、添付資料 9-13-1「緊急時対策棟（連絡通路）の地震応答解析」に示した基礎底面位置における基準地震動  $S_s$ （以下「今回工認の入力地震動」という。）と比較することで、今回工認の入力地震動の妥当性について確認するものである。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料 9-13-1「緊急時対策棟（連絡通路）の地震応答解析」

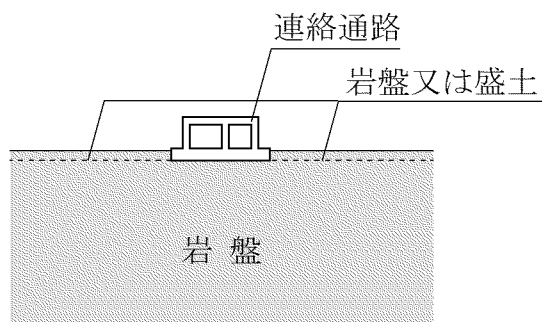


EL.25.20m 平面図  
(KEY PLAN)



□: 現場の施工状況に合わせ調整

(A-A 断面)



(B-B 断面)

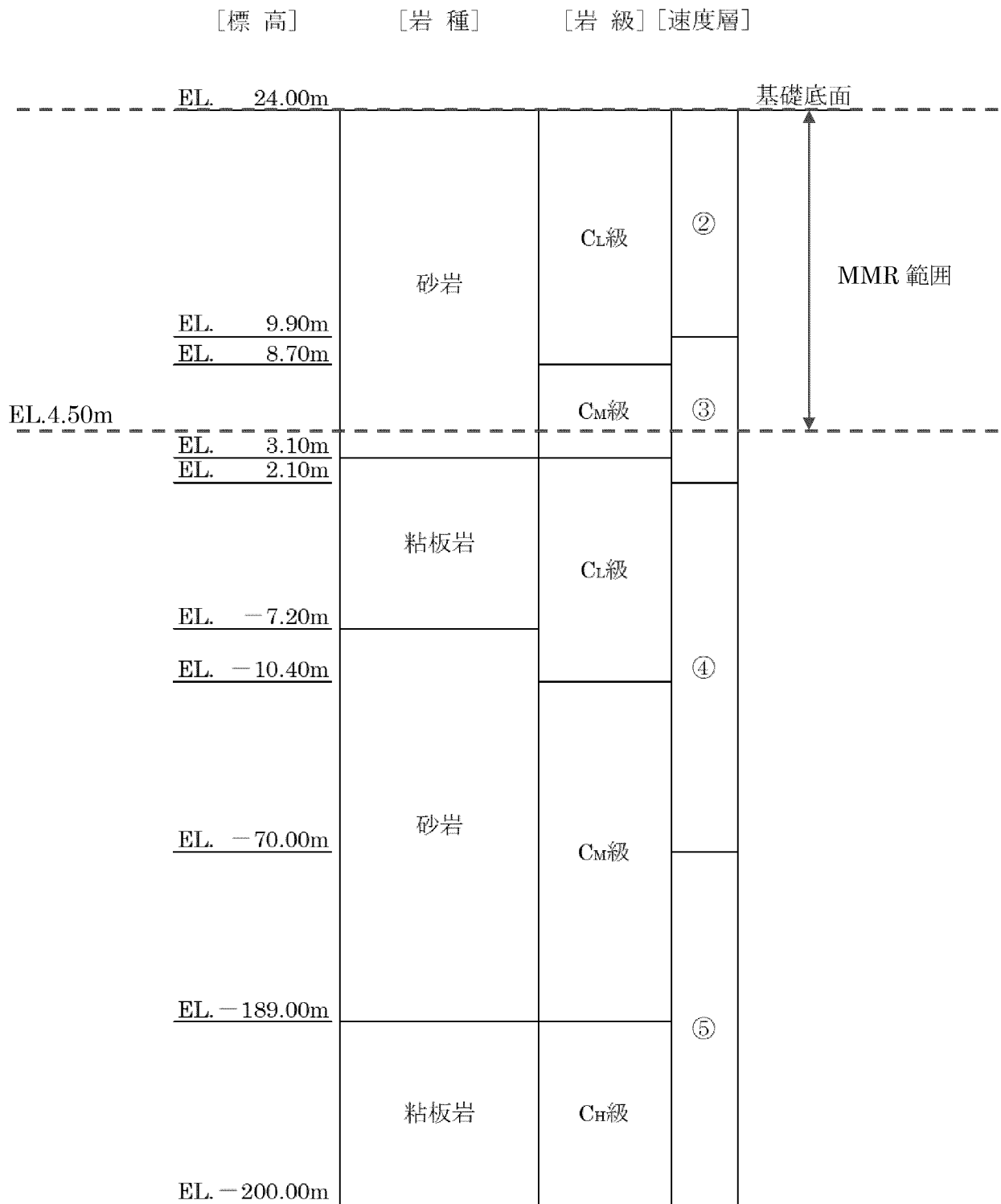
第 1-1 図 連絡通路直下の断面イメージ図

## 1.2 検討方針

今回工認の入力地震動の算定に用いた 1 次元応答解析用地盤モデル（以下「工認地盤モデル」という。）を第 1-2 図に示す。基礎底面位置直下は、②～⑤速度層により構成されているが、連絡通路の一部については、EL.4.50m～EL.24.00m の範囲が、実際には MMR に置き換えられることとなっている。

そこで、EL.4.50m～EL.24.00m の②速度層及び③速度層の地盤物性を MMR の物性に置き換えた 1 次元応答解析用地盤モデル（以下「MMR 考慮モデル」という。）を作成し、1 次元波動論による地盤の地震応答解析により基礎底面位置の地震動を算定する。検討に用いる地震動は、応答スペクトルに基づく地震動である基準地震動  $S_s-1$  とする。

基礎底面直下の MMR を考慮した地震動と今回工認の入力地震動とを比較することで、今回工認の入力地震動の妥当性を確認する。



第 1-2 図 工認地盤モデル

## 2. MMR の影響確認

### 2.1 解析モデル

解析モデルは、第 1-2 図に示した工認地盤モデルを基に、EL.4.50m～EL.24.00m の MMR 範囲について、②速度層及び③速度層の地盤物性を MMR の物性に置き換えたモデルとする。

MMR 考慮モデルを第 2-1 図、解析に用いた弾性波速度を第 2-1 表、MMR の物性値を第 2-2 表に示す。



[標高] [岩種] [岩級] [速度層]

標高	岩種	岩級	速度層
EL. 24.00m	MMR	—	—
EL. 4.50m	砂岩	C <sub>M</sub> 級	③
EL. 3.10m			
EL. 2.10m	粘板岩	C <sub>L</sub> 級	④
EL. -7.20m			
EL. -10.40m	砂岩	C <sub>M</sub> 級	⑤
EL. -70.00m			
EL. -189.00m	粘板岩	C <sub>H</sub> 級	⑤
EL. -200.00m			

基礎底面

第 2-1 図 MMR 考慮モデル

第2-1表 弾性波速度

区分	V <sub>s</sub> <sup>(注1)</sup> (km/s)	V <sub>p</sub> <sup>(注2)</sup> (km/s)	備考
MMR	1.91 <sup>(注3)</sup>	3.12 <sup>(注3)</sup>	EL.24.00m～EL.4.50m
②速度層	0.52	1.86	—
③速度層	0.90	2.51	—
④速度層	1.37	3.40	—
⑤速度層	2.05	4.33	—

(注1) V<sub>s</sub> : S波速度

(注2) V<sub>p</sub> : P波速度

(注3) 第2-2表に示すMMRの物性値より算出した値

第2-2表 MMRの物性値<sup>(注)</sup>

部位	設計基準強度 F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	密度 ρ (g/cm <sup>3</sup> )	せん断弾性 係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν	減衰定数 h (%)
MMR	18.0	2.35	8.58×10 <sup>3</sup>	0.20	5

(注) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会、2005  
制定) により物性値を算出

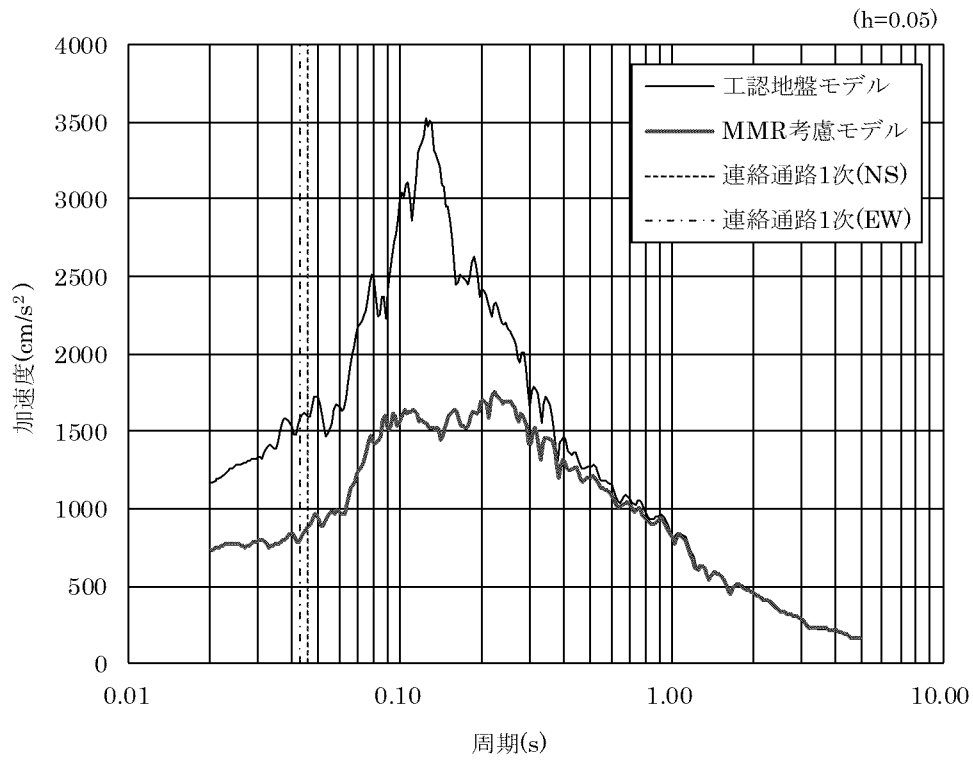
## 2.2 解析結果

基準地震動  $S_s-1$  の基礎底面位置における加速度応答スペクトルの比較を第 2-2 図及び第 2-3 図に示す。

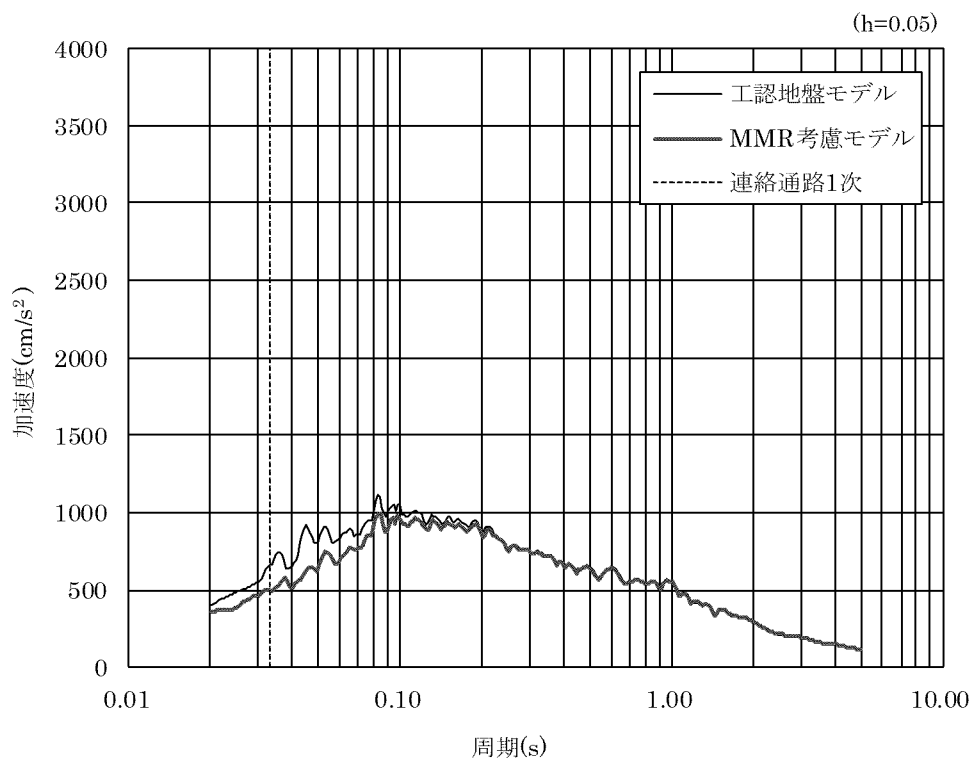
水平方向について、0.02 秒～1.0 秒程度の周期帯において、MMR 考慮モデルによる加速度応答スペクトルが、工認地盤モデルによる加速度応答スペクトルに包絡されており、今回工認の入力地震動の方が保守的となっている。その他の周期帯においては、MMR 考慮モデルによる加速度応答スペクトルは、工認地盤モデルによる加速度応答スペクトルと概ね同等となっている。

鉛直方向について、0.02 秒～1.0 秒程度の周期帯において、MMR 考慮モデルによる加速度応答スペクトルが、工認地盤モデルによる加速度応答スペクトルに包絡されており、今回工認の入力地震動の方が保守的となっている。その他の周期帯においては、MMR 考慮モデルによる加速度応答スペクトルは、工認地盤モデルによる加速度応答スペクトルと概ね同等となっている。

以上より、今回工認の入力地震動は、MMR を考慮した場合の地震動に比べて、保守的又は概ね同等となっていることを確認した。



第 2-2 図 基礎底面位置における加速度応答スペクトルの比較 (水平方向)



第 2-3 図 基礎底面位置における加速度応答スペクトルの比較 (鉛直方向)

### 3. まとめ

基礎底面直下の **MMR** の物性を考慮した地盤モデルを用いて、1次元波動論による地盤の地震応答解析により、基礎底面位置における地震動を算定し、今回工認の入力地震動と比較することで、**MMR** が基礎底面位置の地震動に及ぼす影響及び今回工認の入力地震動の妥当性について確認を行った。

その結果、今回工認の入力地震動は、**MMR** を考慮した場合の地震動に比べて、保守的又は概ね同等となっていることを確認した。

(参考 1) 緊急時対策棟（指揮所）入力地震動算定用地盤モデルの 1 次元地盤モデルと 2 次元地盤モデルの比較

令和元年 6 月 3 日付け原規規発第 1906035 号にて認可された指揮所設置工事（第 1 期工事）の補足説明資料 7-5「入力地震動算定用地盤モデルの 1 次元地盤モデルと 2 次元地盤モデルの比較」を引用する。

## 1. 概 要

緊急時対策棟（指揮所）（以下「指揮所棟」という。）、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）（以下「加圧設備棟」という。）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）（以下「燃料設備棟」という。）の地震応答解析モデルに入力する地震動は、炉心位置における **EL. -18.5m** の解放基盤表面で定義される基準地震動 **Ss** を、1次元波動論による地震応答解析（以下「1次元地盤モデル」という。）にて、基礎底面位置で評価したものをを用いている。

本資料は、指揮所棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の1次元地盤モデルを用いた入力地震動と、周辺地盤の地質・速度構造を考慮した2次元動的 **FEM**（以下「2次元地盤モデル」という。）を用いた地震応答解析により評価した地震動との比較を行い、1次元地盤モデルの妥当性を確認するものである。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料 11-16-1「緊急時対策棟（指揮所）、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の地震応答解析」

## 2. 1次元地盤モデルと2次元地盤モデルの比較

### 2.1 解析モデル

1次元地盤モデルは、指揮所棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の入力地震動策定に用いるモデルとし、指揮所棟、加圧設備棟及び燃料設備棟直下の地盤条件に基づきモデル化する。1次元地盤モデルを第2-1図に示す。

2次元地盤モデルは、設置変更許可申請書（添付六）における指揮所棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎地盤の安定性評価に用いた解析モデルとし、指揮所棟、加圧設備棟及び燃料設備棟を通る直交2断面（NS方向：X断面、EW方向：Y断面）とする。2次元地盤モデルを第2-2図に示す。

1次元地盤モデルと2次元地盤モデルの比較を第2-1表に示す。

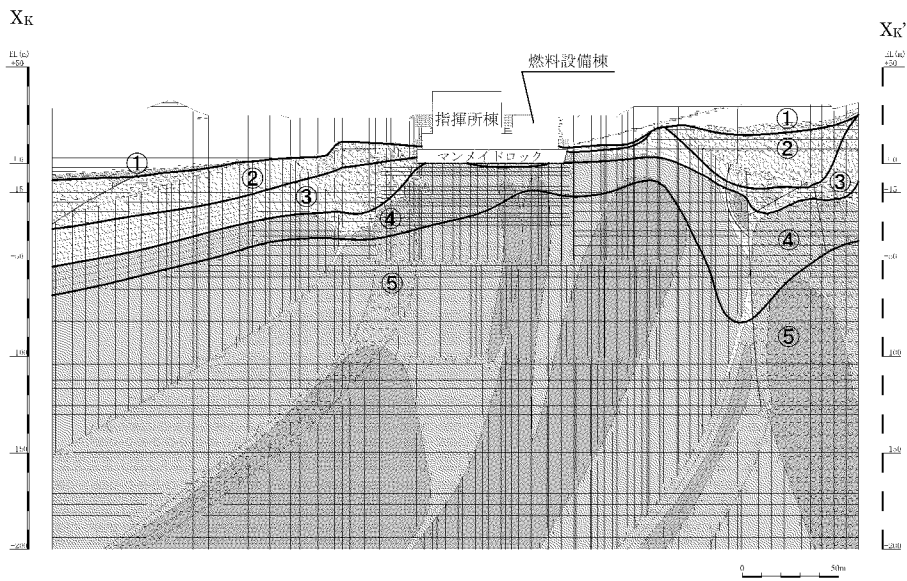
ここで、指揮所棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎には、厚さ7mのマンメイドロックが設置されるが、第2-2表に示すとおり、マンメイドロックのせん断剛性は、周辺岩盤のせん断剛性よりも大きく、また、その分布が局所的であることから、水平成層を仮定する1次元地盤モデルでは、マンメイドロック部のせん断剛性は、保守的にマンメイドロックを設置する前の地山のせん断剛性を用いる。



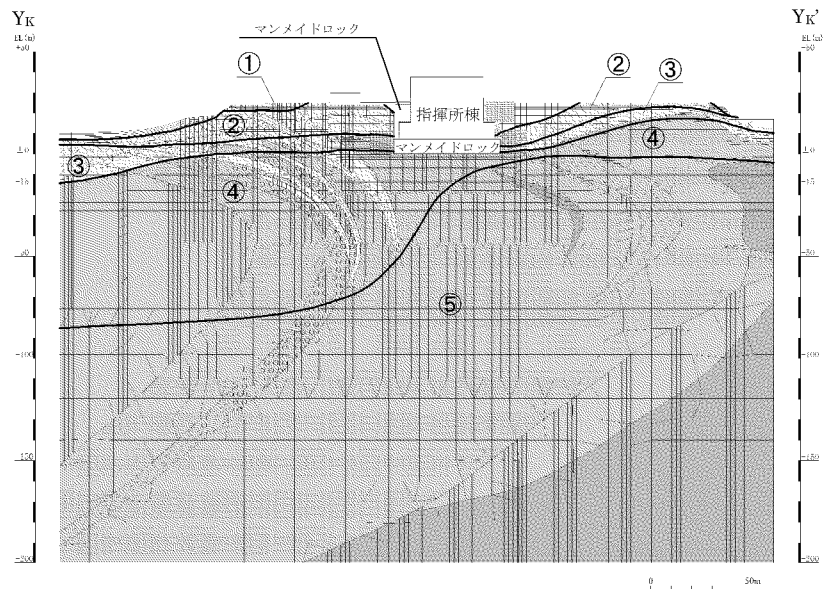
速度層 区分	V <sub>P</sub> (km/s)	V <sub>S</sub> (km/s)
①	1.17	0.28
②	1.86	0.52
③	2.51	0.90
④	3.40	1.37
⑤	4.33	2.05

[標高]	[岩種]	[岩級]	[速度層]	
EL. 25.00 m				地表面
EL. 20.00 m	埋戻土	—	—	地下水位
EL. 10.10 m				
EL. 7.00 m	砂岩	C <sub>L</sub> 級	②	基礎底面
EL. 5.30 m				③
EL. 1.00 m		C <sub>M</sub> 級	④	
EL. -29.50 m				⑤
EL. -171.40 m	粘板岩	B, C <sub>H</sub> 級		
EL. -174.50 m				
EL. -200.00 m				

第2-1図 1次元地盤モデル（指揮所棟、加圧設備棟及び燃料設備棟）



(a) X断面



(b) Y断面

地質凡例		岩級凡例	
	埋戻土		B, C <sub>II</sub> 級
	溶結凝灰岩		C <sub>III</sub> 級
	北薩火山岩類II		C <sub>I</sub> 級
	みやま層		D級
	北薩火山岩類I		みやま層
	混在岩		北薩火山岩類I
	粘板岩・頁岩		混在岩
	砂岩		断層 (破砕部を含む)
	礫岩		
	変はんれい岩類の破砕部		
	変はんれい岩類		



(注) モデル中の数字は速度層区分を示す。各速度層の Vs、Vp は第 2-1 図と同様。

第 2-2 図 2次元地盤モデル (指揮所棟、加圧設備棟及び燃料設備棟)

第2-1表 1次元地盤モデルと2次元地盤モデルの比較

		1次元地盤モデル	2次元地盤モデル
解析手法		一次元波動論	周波数応答解析
解析モデル	地盤モデル	建屋直下の1次元の地質・速度構造を水平成層として仮定	地質図及び速度構造図を基に要素分割
	下端標高	EL.-200m	同 左
	建屋モデル	建屋はモデル化しない	等価な剛性を持つ平面ひずみ要素でモデル化
入力地震動	策定方法	基準地震動 $S_s$ を炉心位置における解放基盤表面より1次元波動論により引き戻した地震動	同 左
	入力方法	水平・鉛直個別加振	水平・鉛直同時加振
地震動取出位置		EL.7.00m	同左（指揮所棟直下）

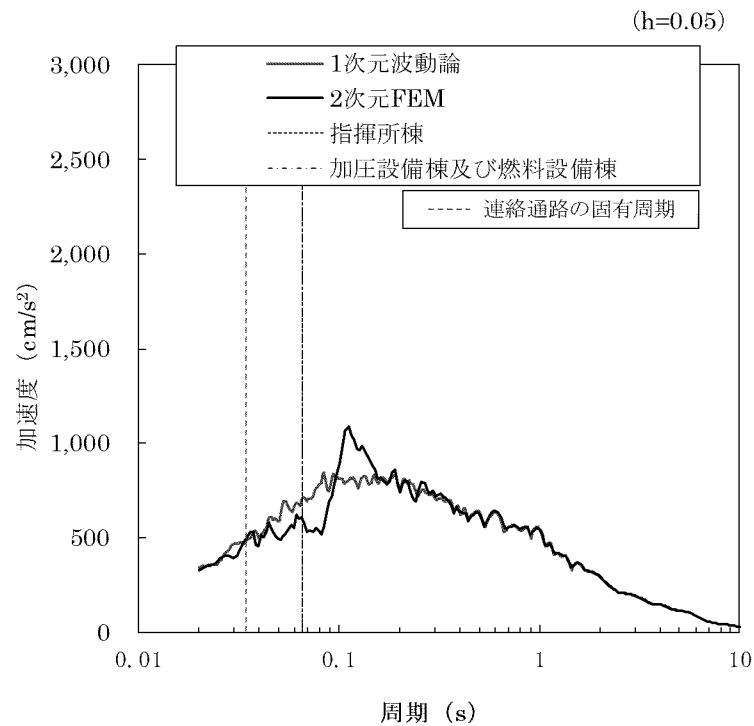
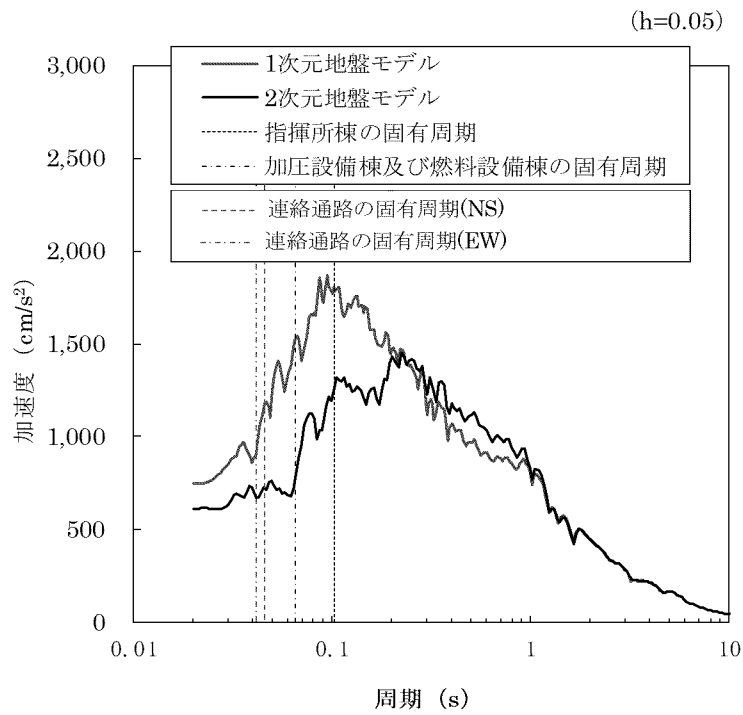
第2-2表 マンメイドロックと周辺地盤のせん断剛性の比較

		せん断剛性 (kN/m <sup>2</sup> )	備考
マンメイドロック		$8.58 \times 10^6$	設計基準強度：18.0N/mm <sup>2</sup>
周辺岩盤	②速度層 ( $V_s=520\text{m/s}$ )	$0.62 \times 10^6$	砂岩 C <sub>L</sub> 級（密度 2.28g/cm <sup>3</sup> ）の場合
	③速度層 ( $V_s=900\text{m/s}$ )	$1.85 \times 10^6$	砂岩 C <sub>L</sub> 級（密度 2.28g/cm <sup>3</sup> ）の場合
	④速度層 ( $V_s=1,370\text{m/s}$ )	$5.01 \times 10^6$	砂岩 C <sub>M</sub> 級（密度 2.70g/cm <sup>3</sup> ）の場合

## 2.2 地震応答解析結果

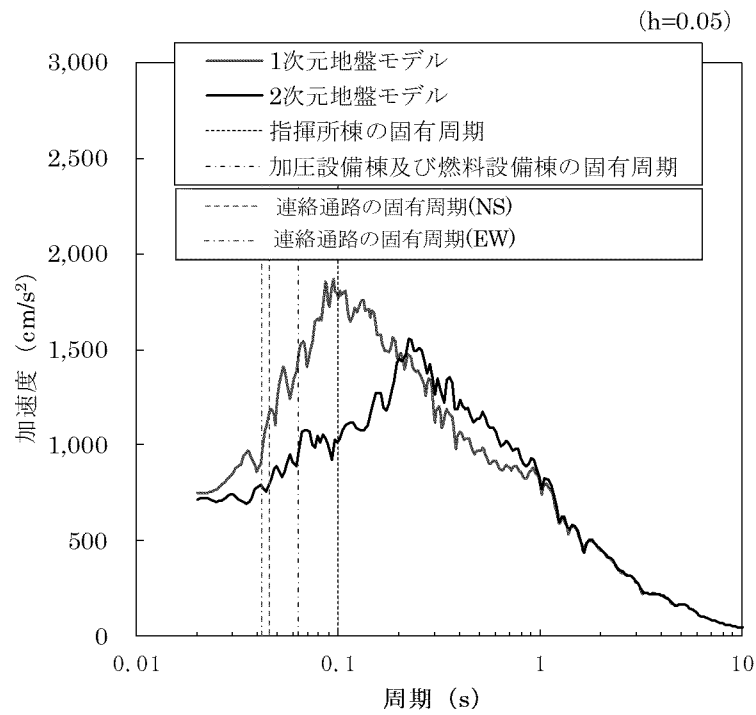
1次元地盤モデル及び2次元地盤モデルの建屋基礎底面位置(EL.7.00m)における加速度応答スペクトルを第2-3図～第2-6図に示す。

同図より、指揮所棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の固有周期付近では、1次元地盤モデルの応答加速度が2次元地盤モデルの応答加速度を概ね上回っている。

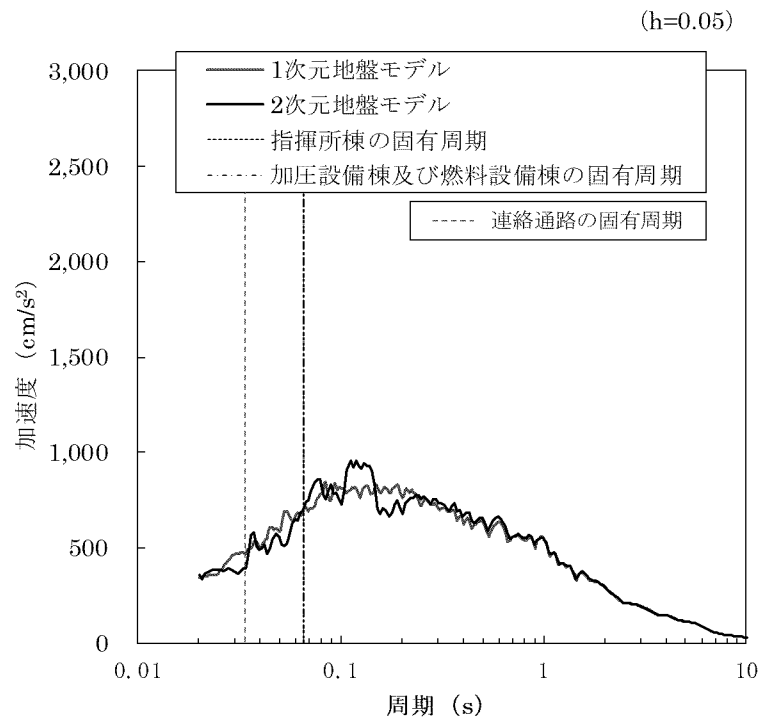


(注) 連絡通路の固有周期を加筆

第 2-3 図 1 次元地盤モデルと 2 次元地盤モデルの地震応答解析結果の比較  
(X 断面、 $S_s-1$ )



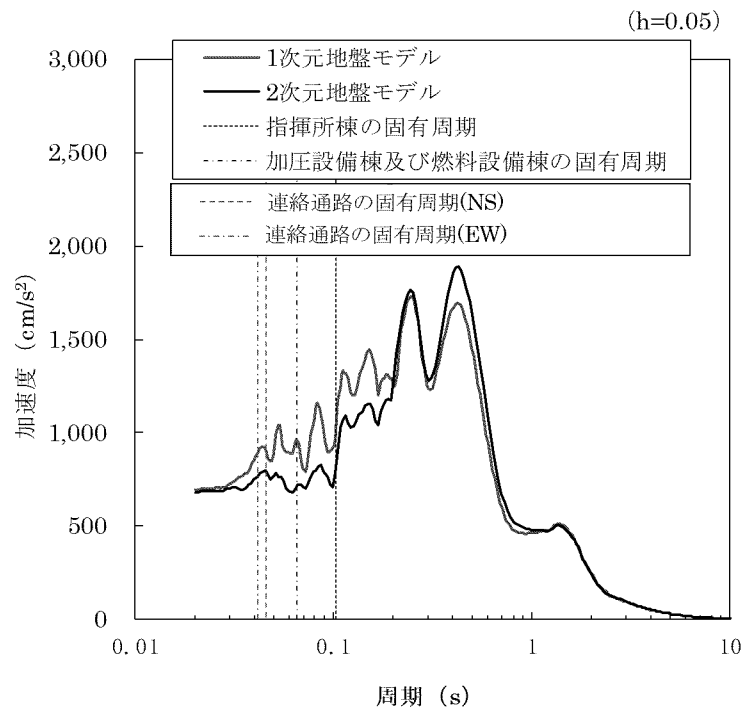
(a) 水平方向



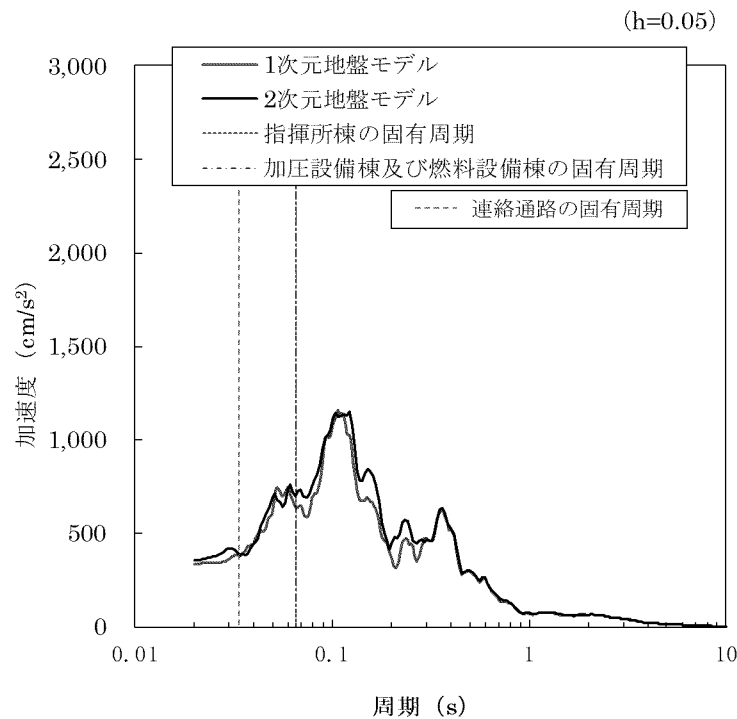
(b) 鉛直方向

(注) 連絡通路の固有周期を加筆

第 2-4 図 1次元地盤モデルと 2次元地盤モデルの地震応答解析結果の比較  
(Y断面、Ss-1)



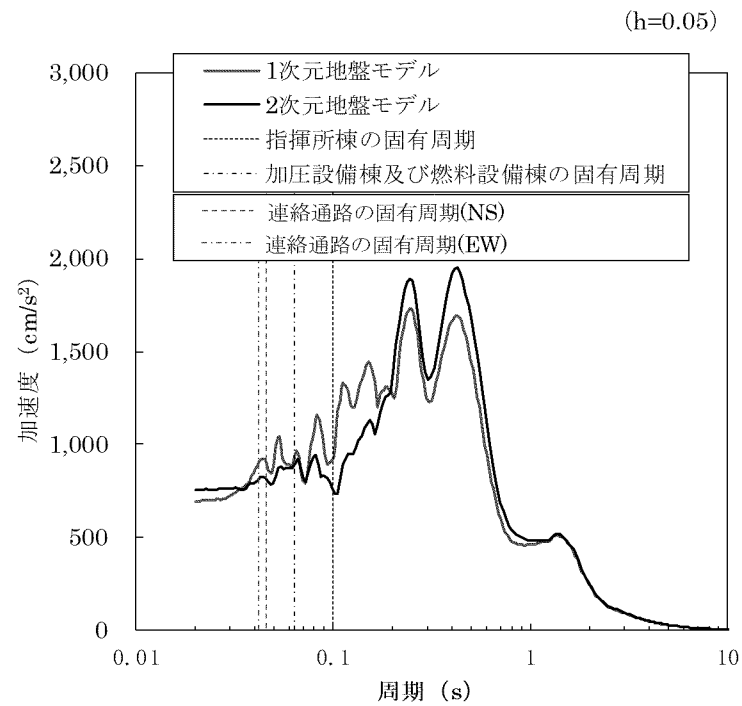
(a) 水平方向



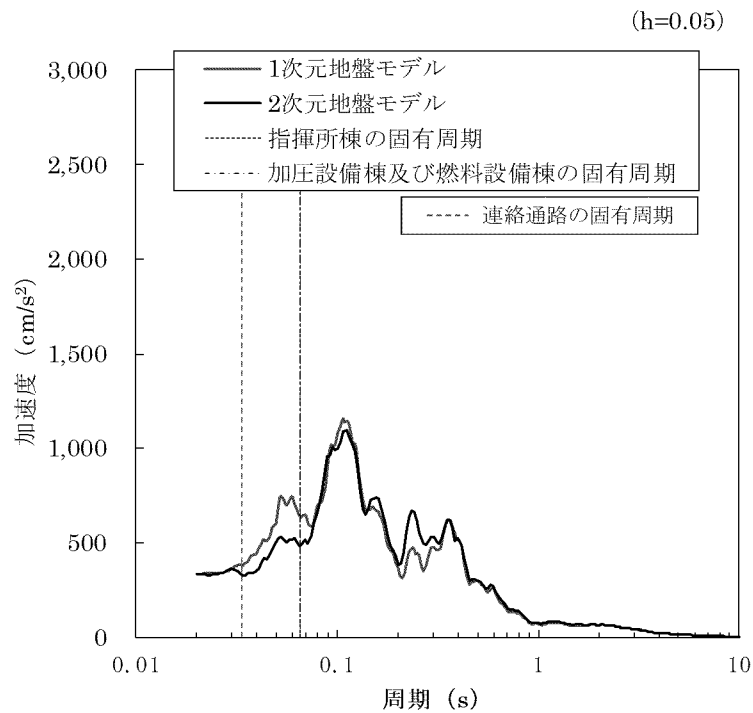
(b) 鉛直方向

(注) 連絡通路の固有周期を加筆

第 2-5 図 1次元地盤モデルと 2次元地盤モデルの地震応答解析結果の比較  
(X断面、Ss-2)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

(注) 連絡通路の固有周期を加筆

第 2-6 図 1次元地盤モデルと 2次元地盤モデルの地震応答解析結果の比較  
(Y断面、Ss-2)



### 3. まとめ

指揮所棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデルの入力地震動の妥当性確認を目的に、1次元地盤モデルと2次元地盤モデルを用いて指揮所棟、加圧設備棟及び燃料設備棟底面位置での地盤応答の比較を行った。

その結果、指揮所棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の固有周期付近の地盤の応答加速度は、周辺地盤の地質・速度構造をより詳細にモデル化した2次元地盤モデルよりも、1次元地盤モデルの方が概ね大きいことを確認した。

以上のことから、1次元地盤モデルを用いた指揮所棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の入力地震動は妥当であると判断される。

## (参考 2) 地盤物性の違いによる地盤の相対変位について

### 1. 検討概要

第 1-1 図に示す通り、連絡通路に隣接する指揮所棟の基礎跳ね出し部上部には MMR を施工しており、連絡通路の一部は MMR 上に設置される。

本資料では、地盤物性の違いによる地盤の相対変位を算出し、相対変位が連絡通路及び指揮所棟の連結部の離隔 100mm を超えないことを確認する。

### 2. 解析モデル

解析モデルは、第 1-2 図に示した工認地盤モデル及び第 2-1 図に示した MMR 考慮モデルとする。解析に用いた弾性波速度を第 2-1 表、MMR の物性値を第 2-2 表に示す。

地盤の相対変位は、MMR 考慮モデルにおいて、MMR の物性に置き換えている EL.4.50m～EL.24.00m の範囲について算出する。工認地盤モデル及び MMR 考慮モデルのそれぞれで EL.4.50m～EL.24.00m の範囲における最大応答変位を算出し、それらを足し合わせて相対変位を算出する。

### 3. 解析結果

工認地盤モデル及び MMR 考慮モデルにおける地盤の相対変位を参考 2-1 表に示す。MMR 考慮モデルの変位量は工認地盤モデルの変位量よりも十分小さく、保守的に両者の変位量を足し合わせても、変位量は連結部の離隔 100mm に対して十分小さいことを確認した。

また、地震応答解析から算出した建屋間（連絡通路～指揮所棟）の相対変位を参考 2-2 表に、地盤及び建屋間の最大相対変位を参考 2-3 表に示す。地盤の相対変位及び建屋間の相対変位を足し合わせても、連結部の離隔 100mm に対して十分小さいことを確認した。

参考 2-1 表 地盤の相対変位

方向	地震動	最大応答変位(mm)		相対変位 (mm)
		工認地盤モデル	MMR 考慮モデル	
Ss-1	水平動	5.0	0.4	5.4
	鉛直動	0.2	0.1	0.3
Ss-2	水平動	4.8	0.5	5.3
	鉛直動	0.2	0.1	0.3

参考 2-2 表 建屋間（連絡通路～指揮所棟）の相対変位

方向	地震動	最大応答変位 <sup>(注1)</sup> (mm)		相対変位 (mm)
		連絡通路	指揮所棟	
NS	Ss-1H	1.1 <sup>(注2)</sup>	4.4	5.5
	Ss-2H	0.8	3.3	4.1
EW	Ss-1H	0.8	4.0	4.8
	Ss-2H	0.7	3.1	3.8
鉛直	Ss-1v	0.2 <sup>(注2)</sup>	0.5	0.7
	Ss-2v	0.2	0.4	0.6

(注1) 材料物性のばらつき等を考慮した最大値

(注2) 誘発上下動を考慮して算出した値

参考 2-3 表 地盤及び建屋間の最大相対変位

地震動	最大相対変位(mm)			クリアランス (mm)
	地盤の 相対変位	建屋間の 相対変位	合計	
水平動	5.4	5.5	10.9	100
鉛直動	0.3	0.7	1.0	100

#### 4. まとめ

連絡通路について、基礎底面直下の地盤物性の違いによる相対変位を算出し、連絡通路及び指揮所棟の連結部の離隔を超えないことを確認した。また、地盤物性の違いによる相対変位と、連絡通路及び指揮所棟の建屋間の相対変位を足し合わせても、連結部の離隔を超えないことを確認した。

## 9-8. 応力解析モデル及び解析手法の概要

## 目 次

	頁
1. 概 要 .....	1
2. 応力解析モデル及び解析手法 .....	2
別紙 1 応力解析モデルの鳥瞰図及び層分解図	
別紙 2 耐震重要度分類 C クラス施設としての耐震評価について	

## 1. 概 要

本資料は、緊急時対策棟（連絡通路）（以下「連絡通路」という。）の応力解析モデル及び解析手法の概要を示すものである。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料 9-13-2 「緊急時対策棟（連絡通路）の耐震計算書」

## 2. 応力解析モデル及び解析手法

連絡通路の応力解析モデル及び解析手法の概要を第 2-1 表に示す。また、新規制基準適合性に係る審査における工事計画認可申請添付資料（以下「新規制基準工認」という。）のうち、平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された川内 1 号機の工事計画の添付資料 3-16-23「代替緊急時対策所の耐震計算書」における緊急時対策棟（休憩所）（以下「休憩所」という。）の応力解析モデル及び解析手法並びに令和元年 6 月 3 日付け原規規発第 1906035 号にて認可された工事計画の添付資料 11-16-2「緊急時対策棟（指揮所）の耐震計算書」における川内 1 号機緊急時対策棟（指揮所）（以下「指揮所棟」という。）、加圧設備棟及び燃料設備棟の応力解析モデル及び解析手法を、併せて示す。



第2-1表 応力解析モデル及び解析手法の概要(1/3)

項目	今回工認		参考(新規基準工認)		備考
	川内1号機 連絡通路	川内1号機 休憩所	川内1号機 指揮所棟、加圧設備棟、燃料設備棟及び基礎版		
解析手法	3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析 (静的解析)		耐震壁： 水平方向の質点系モデルによる地震応答解析  基礎版： 一方向版とみなした解析モデルによる応力解析  屋根スラブ： 3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析 (静的解析)	3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析 (静的解析)	
解析コード	NX-NASTRAN Ver.12.0.2		地震応答解析：TDAPIII Ver.3.05 弾性応力解析：NX-NASTRAN Ver.9.0	NX-NASTRAN Ver.10.2	
モデル化	モデル化 範囲	建屋全体について、壁、屋根及び基礎版をモデル化	壁：建屋全体 基礎版：基礎版のみ 屋根スラブ：屋根スラブのみ	建屋全体(加圧設備棟、燃料設備棟及び基礎版を含む)について、壁、床、屋根、基礎版、柱及びはりをモデル化	
	材料物性	コンクリートのヤング係数： E=24.4kN/mm <sup>2</sup>  コンクリートのポアソン比： ν=0.2	コンクリートのヤング係数： E=24.4kN/mm <sup>2</sup>  コンクリートのポアソン比： ν=0.2	コンクリートのヤング係数 指揮所棟部分： EL.15.00m より上部 : E=25.9kN/mm <sup>2</sup> EL.15.00m 以下 (ピット部分) : E=22.7kN/mm <sup>2</sup>  加圧設備棟部分： E=24.4kN/mm <sup>2</sup>  燃料設備棟部分： EL.15.00m より上部 : E=24.4kN/mm <sup>2</sup> EL.15.00m 以下 (ピット部分) : E=22.7kN/mm <sup>2</sup>  基礎版部分： E=22.7kN/mm <sup>2</sup>  コンクリートのポアソン比 ν=0.2	①
	使用要素	壁、屋根及び基礎版：シェル要素	屋根スラブ：シェル要素	壁、床及び屋根：シェル要素 柱及びはり：はり要素 基礎版：ソリッド要素 (一部の基礎版はシェル要素)	
	境界条件	基礎版下端に3方向の地盤ばねを考慮 基礎版下端の地盤ばねは、浮上り考慮	耐震壁： 水平ばね及び回転ばねを考慮  基礎版： 一方向版の両端に、壁による拘束を考慮  屋根スラブ： 4辺固定とした場合と4辺ピンとした場合を考慮	基礎版下端に3方向の地盤ばねを考慮 基礎版下端の地盤ばねは、浮上り考慮	

【表の備考欄に対応】

①：原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会、2005 制定) 及び鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法- ((社) 日本建築学会、1999 改定) に基づき設定。

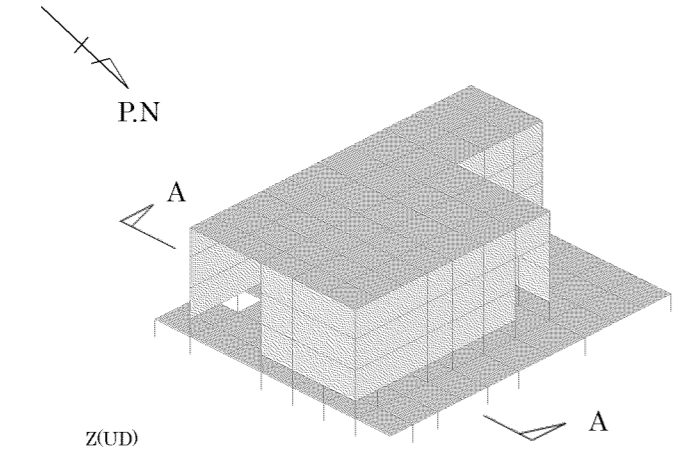
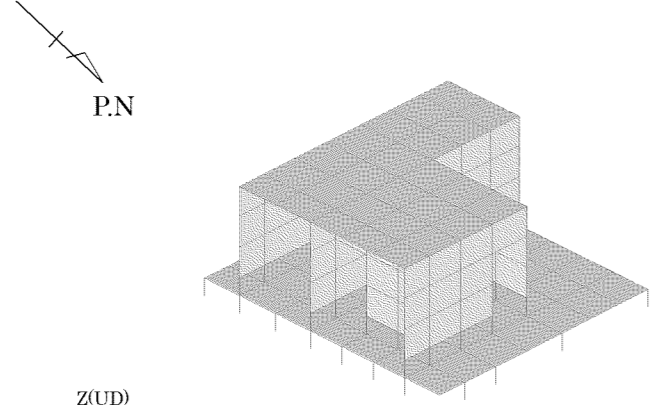
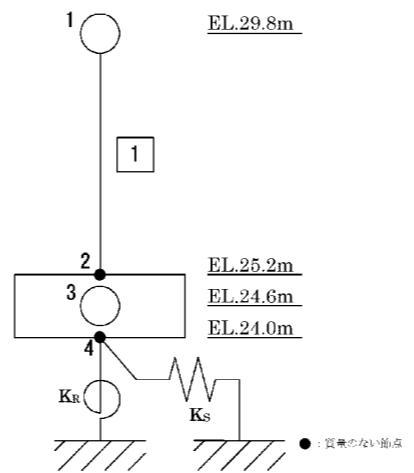
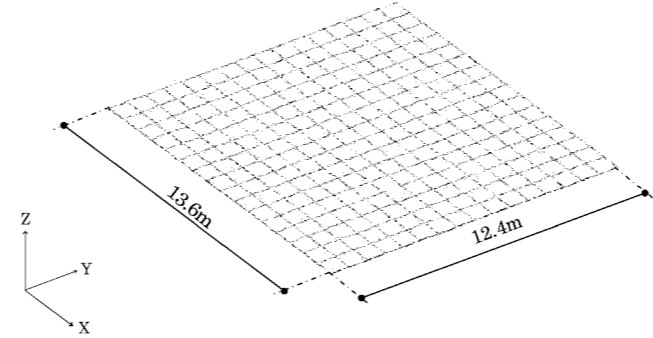
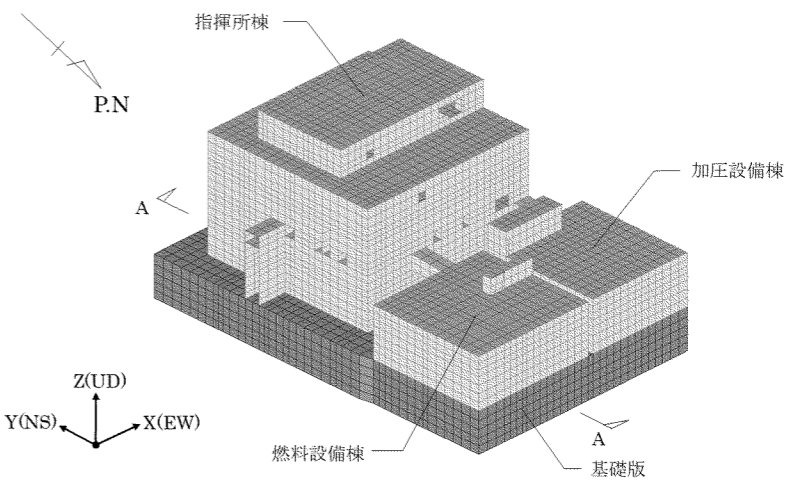
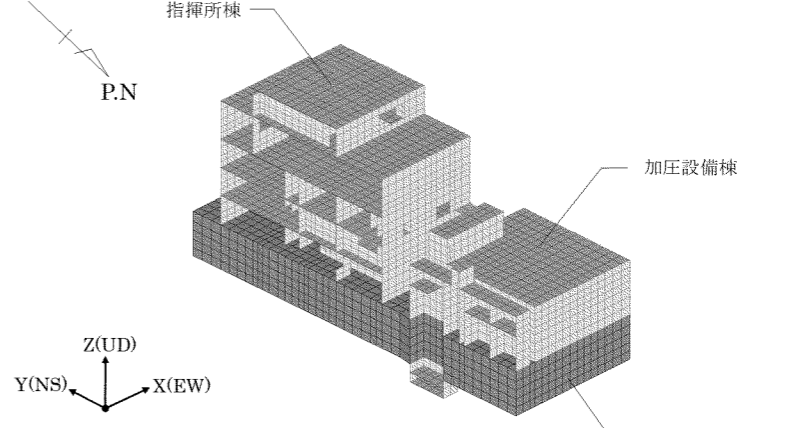
第2-1表 応力解析モデル及び解析手法の概要(2/3)

項目		今回工認		参考（新規制基準工認）		備考		
		川内1号機 連絡通路		川内1号機 休憩所			川内1号機 指揮所棟、加圧設備棟、燃料設備棟及び基礎版	
荷重の組合せ		<b>D+L+Ks</b> D : 固定荷重 L : 積載荷重 Ks : Ss 地震荷重		<b>G+P+K</b> G : 固定荷重 P : 積載荷重 K : 地震荷重		<b>D+L+E<sub>0</sub>+K+Es</b> D : 固定荷重 L : 積載荷重 E <sub>0</sub> : 常時土圧荷重 K : 地震荷重 Es : 地震時増分土圧荷重		
荷重 の 設定	固定荷重 積載荷重	モデル化範囲に対する固定荷重及び積載荷重を考慮		同左		同左		
	常時 土圧荷重	—		—		壁に作用する土圧を考慮		
	地震 荷重	慣性力	各層の固定荷重及び積載荷重に対する慣性力を考慮		同左（質点系モデルに対しては、設置（変更）許可（平成26年9月10日）を受けた基準地震動 Ss を基に、建物底面位置で算定した地震動を入力）		各層の固定荷重及び積載荷重に対する慣性力を考慮	
		増分 土圧	—		—		地震時の増分土圧荷重を考慮 （JEAG4601-1991 追補版による加力側及び支持側増分土圧の包絡値）	
評価内容		常時： 発生応力が長期許容応力度に基づく許容値を超えないことを確認  Ss 地震時： 発生応力が短期許容応力度に基づく許容値を超えないことを確認		Ss 地震時： 発生応力が短期許容応力度に基づく許容値を超えないことを確認		常時： 発生応力が長期許容応力度に基づく許容値を超えないことを確認  Ss 地震時： 指揮所棟及び基礎版： 発生応力が短期許容応力度に基づく許容値を超えないことを確認  加圧設備棟及び燃料設備棟： 発生応力が終局強度に基づく許容値を超えないことを確認		

【表の備考欄に対応】

- ①：長期許容応力度に基づく許容値、短期許容応力度に基づく許容値及び終局強度に基づく許容値は、原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会、2005 制定）に基づき算出。
- ②：今回工認及び新規制基準工認のうち、指揮所棟及び基礎版については、施設全体の更なる安全性を確保するため、基準地震動 Ss による地震力との組合せに対して、弾性範囲に収める設計とする。
- ③：新規制基準工認のうち、加圧設備棟及び燃料設備棟は、Ss 地震時において、発生応力が短期許容応力度に基づく許容値を超えないことを確認することで、発生応力が終局強度に基づく許容値を超えないことを確認している。

第2-1表 応力解析モデル及び解析手法の概要(3/3)

項目	今回工認	参考（新規制基準工認）		備考
	川内1号機 連絡通路	川内1号機 休憩所	川内1号機 指揮所棟、加圧設備棟、燃料設備棟及び基礎版	
解析モデル	 <p>(a) 全体</p>  <p>(b) A-A断面</p>	 <p>(a) 耐震壁</p>  <p>(b) 屋根スラブ</p>	 <p>(a) 全体</p>  <p>(b) A-A断面</p>	<p>①</p> <p>②</p> <p>③</p>

【表の備考欄に対応】

- ① : 新規制基準工認のうち、指揮所棟、加圧設備棟、燃料設備棟及び基礎版は、建屋全体をモデル化し、共通の解析モデルを用いて応力解析を行っている。
- ② : 休憩所について、耐震壁の応力解析は、質点系モデルを用いて行っている。屋根スラブの応力解析は、屋根部分を取り出したモデルを用いて行っている。また、基礎版については、一方向版としての検討であるため、平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された川内 1 号機の工事計画の添付資料 3-16-23 「代替緊急時対策所の耐震計算書」において、解析モデルを掲載していない。
- ③ : 今回工認において、応力解析モデル（3次元 FEM モデル）でモデル化している壁は、応答解析モデル（質点系モデル）で剛性を評価している壁と一致している。

9-8-別紙 1. 応力解析モデルの鳥瞰図  
及び層分解図

## 目 次

	頁
1. 概 要 .....	別 1 - 1
2. 解析モデル概要 .....	別 1 - 2
3. 解析モデルの鳥瞰図及び層分解図 .....	別 1 - 3
4. まとめ .....	別 1 - 5

## 1. 概 要

本資料は、緊急時対策棟（連絡通路）（以下「連絡通路」という。）の応力解析に用いる解析モデルについて示すものである。

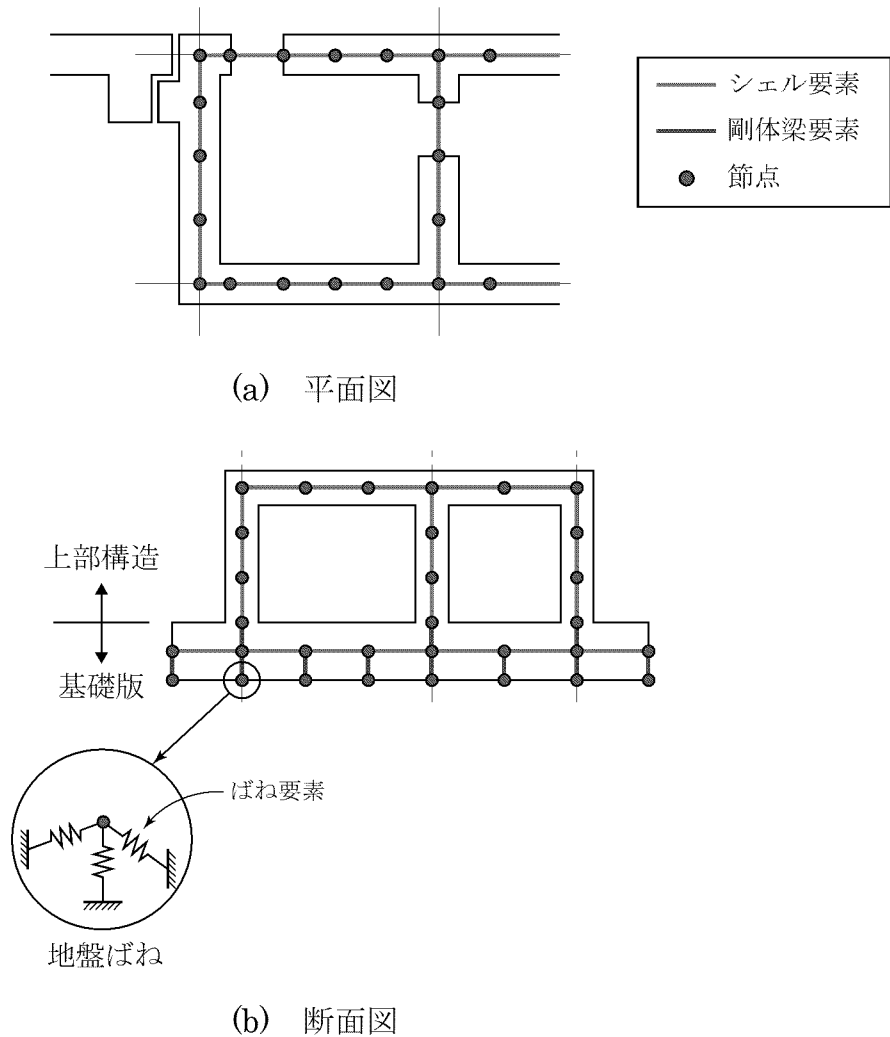
また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料 9-13-2 「緊急時対策棟（連絡通路）の耐震計算書」

## 2. 解析モデル概要

建屋を構成するスラブ、壁及び基礎版はシェル要素でモデル化し、シェル要素は構造芯である部材厚中心に配置する。また、基礎版厚の中心に配置した基礎版シェル要素及び上部構造のシェル要素並びに基礎版シェル要素及び地盤ばねを模擬したばね要素はいずれも剛体梁要素で接続する。

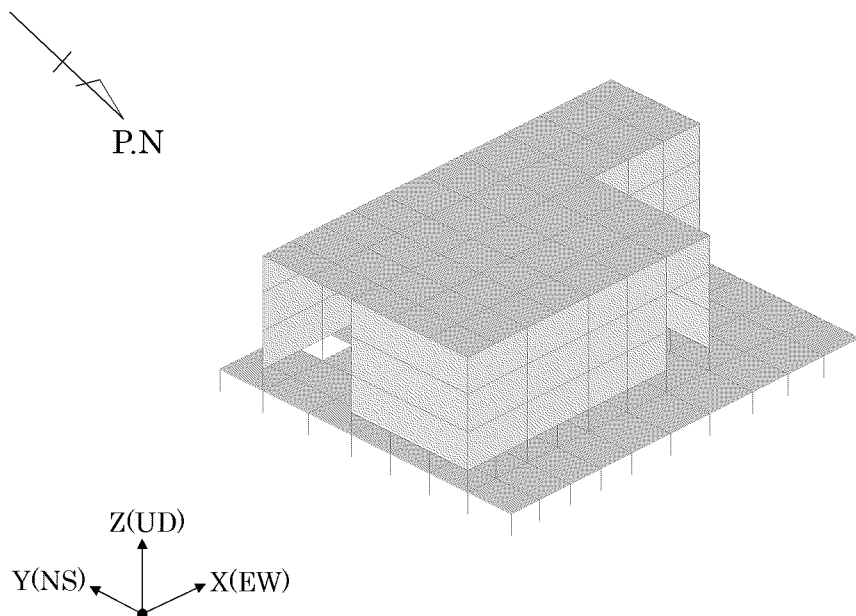
応力解析に用いる解析モデルの概念図を第2-1図に示す。



第2-1図 応力解析に用いる解析モデルの概念図

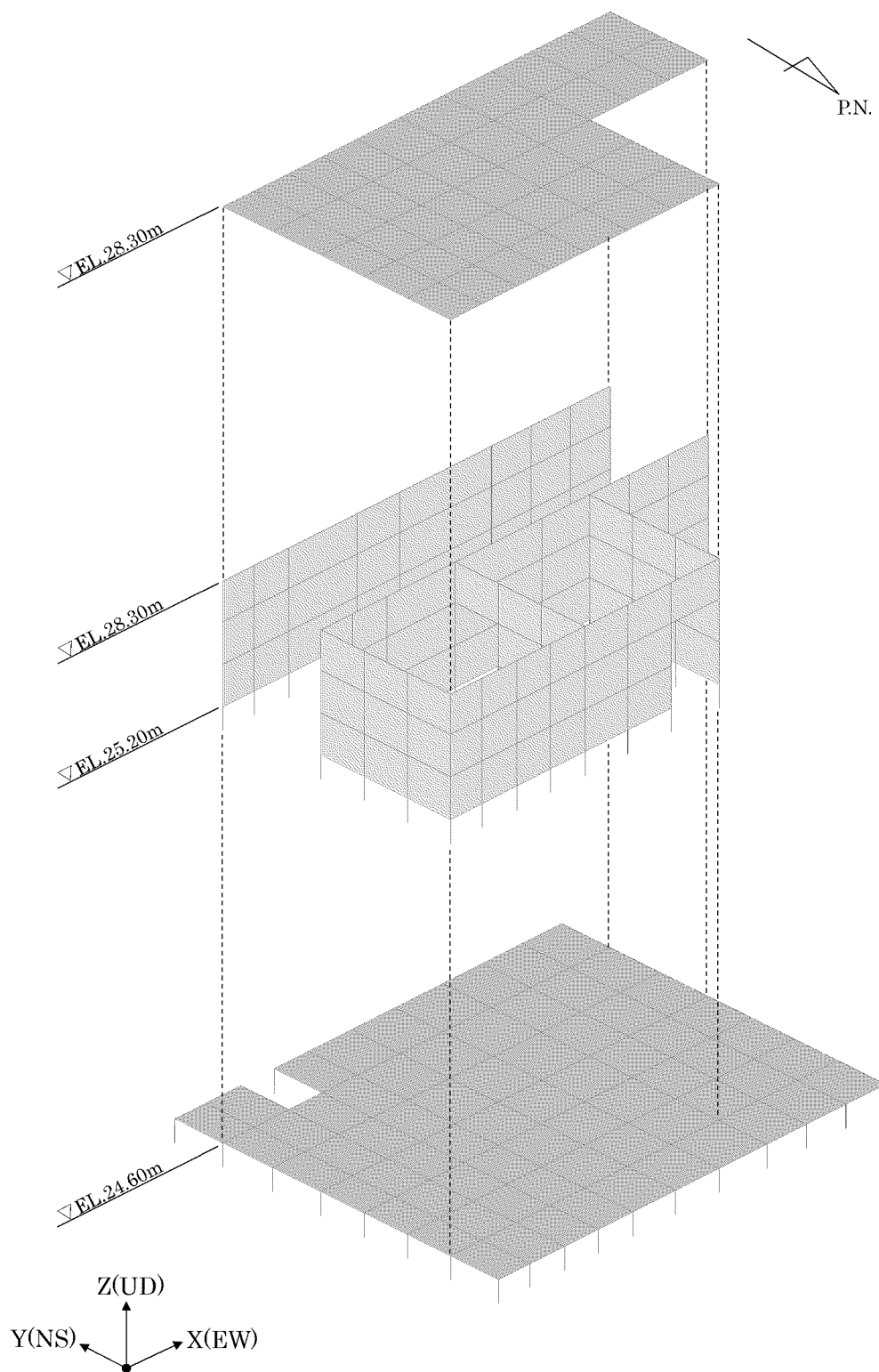
### 3. 解析モデルの鳥瞰図及び層分解図

連絡通路について、解析モデルの鳥瞰図及び層分解図を第3-1図及び第3-2図に示す。



第3-1図 連絡通路の解析モデル（鳥瞰図）





第 3-2 図 連絡通路の解析モデル (層分解図)

#### 4. まとめ

連絡通路の応力解析に用いる解析モデル図について示した。

9-8-別紙 2. 耐震重要度分類 C クラス施設  
としての耐震評価について

## 目 次

	頁
1. 概 要 .....	別 2 - 1
2. 包絡性について .....	別 2 - 2
3. ま と め .....	別 2 - 6

## 1. 概 要

緊急時対策棟（連絡通路）（以下「連絡通路」という。）は、重大事故等対処施設においては常設重大事故緩和設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物に分類される。また、設計基準対象施設においては、重大事故時の緊急時対策棟（指揮所）、緊急時対策棟（休憩所）及び緊急時対策棟（連絡通路）の設計の一貫性を踏まえ、設計基準対象施設上も一貫性を持つように、Cクラス施設相当として位置付けている。

本資料は、緊急時対策棟（連絡通路）（以下「連絡通路」という。）の耐震評価について、耐震重要度分類 C クラスの施設としての評価が、重大事故等対処施設としての評価に包絡されることを説明するものである。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料 9-13-2 「緊急時対策棟（連絡通路）の耐震計算書」

## 2. 包絡性について

重大事故等対処施設の評価として、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して、地震応答解析による評価及び応力解析による評価を行っている。

地震応答解析による評価の許容限界を第 2-1 表、応力解析による評価の許容限界を第 2-2 表に示す。

地震応答解析による評価の許容限界は、耐震壁のせん断ひずみ、地盤の接地圧及び保有水平耐力について、それぞれ、弾性範囲、短期許容支持応力度、必要保有水平耐力としている。また、応力解析による評価の許容限界は、短期許容応力度としている。これらの許容限界は、C クラス施設としての評価である静的地震力に対する評価における許容限界と同じである。

C クラス施設としての評価における静的地震力と基準地震動  $S_s$  による地震力との比較を第 2-3 表及び第 2-4 表に示す。C クラス施設としての評価における静的地震力は、基準地震動  $S_s$  による地震力に包絡される。

以上より、C クラス施設としての評価が、重大事故等対処施設としての評価に包絡されることを確認した。

第2-1表 地震応答解析による評価の許容限界<sup>(※)</sup>

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
構造強度	構造強度を確保すること	基準地震動 Ss	耐震壁	最大せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	弾性範囲 (注1)(注2)
		基準地震動 Ss	基礎地盤	最大接地圧が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	短期許容支持力度 6.53N/mm <sup>2</sup> (注1)
		— (常時荷重に対する検討)			長期許容支持力度 3.26N/mm <sup>2</sup>
		保有水平耐力	構造物全体	保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認	必要保有水平耐力
遮蔽性	遮蔽性を維持すること	基準地震動 Ss	耐震壁	最大せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	弾性範囲 (注1)(注2)
気密性	建屋内への放射性物質の進入を防止するために気密性を維持すること	基準地震動 Ss	耐震壁	最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	弾性範囲 (注2)(注3)
支持機能	設備を支持する機能を維持すること	基準地震動 Ss	耐震壁	最大せん断ひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	弾性範囲 (注1)(注2)

(注1) 施設全体の更なる安全性を確保するため、基準地震動 Ss による地震力との組合せに対して、耐震壁については弾性範囲に、基礎地盤については最大接地圧を短期許容支持力度に収める設計とする。

(注2) 耐震壁のせん断ひずみが、せん断スケルトンカーブにおける第1折点のせん断ひずみ以下であることを「弾性範囲」とする。

(注3) 基本として、事故時においては、換気性能とあいまって居住性を維持できる気密性を有する設計とするが、基準地震動 Ss に対して、最大せん断ひずみが弾性範囲であることを確認することで、地震時及び地震後においてもその機能を維持できる設計とする。

(※) 添付資料 9-13-2 「緊急時対策棟(連絡通路)の耐震計算書」第3-1表の再掲

第2-2表 応力解析による評価の許容限界<sup>(※)</sup>

要求機能	機能設計上の性能目標	外力の状態	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
構造強度	構造強度を確保すること	Ss 地震時	壁 屋根 基礎版	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	RC-N 規準における短期許容応力度に基づく許容値 <sup>(注1)</sup>
		— (常時に対する検討)			RC-N 規準における長期許容応力度に基づく許容値
遮蔽性	遮蔽性を維持すること	Ss 地震時	屋根 基礎版	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	RC-N 規準における短期許容応力度に基づく許容値 <sup>(注1)</sup>
気密性	建屋内への放射性物質の侵入を防止するために気密性を維持すること	Ss 地震時	屋根 基礎版	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	RC-N 規準における短期許容応力度に基づく許容値 <sup>(注2)</sup>
支持機能	設備を支持する機能を維持すること	Ss 地一震時	屋根 基礎版	部材に生じる応力が支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	RC-N 規準における短期許容応力度に基づく許容値 <sup>(注1)</sup>

(注1) 施設全体の更なる安全性を確保するため、基準地震動 Ss による地震力との組合せに対して、弾性範囲に収める設計とする。

(注2) 基本として、事故時においては、換気性能とあいまって居住性を維持できる気密性を有する設計とするが、Ss 地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし、許容限界を短期許容応力度に基づく許容値とすることで、地震時及び地震後においてもその機能を維持できる設計とする。

(※) 添付資料 9-13-2 「緊急時対策棟(連絡通路)の耐震計算書」第4-10表の再掲



第 2-3 表 静的地震力と Ss 地震荷重との比較 (せん断力)

(単位 :  $\times 10^3 \text{kN}$ )

部材 番号	方向	静的地震力	Ss 地震荷重
1	NS	1.15	3.51
	EW	1.15	3.46

第 2-4 表 静的地震力と Ss 地震荷重との比較 (軸力)

(単位 :  $\times 10^3 \text{kN}$ )

部材 番号	静的地震力	Ss 地震荷重
1	0.574	1.11

### 3. まとめ

連絡通路の耐震評価について、Cクラス施設としての評価が重大事故等対処施設としての評価に包絡されることを示した。

9-9. FEM モデルを用いた応力解析による  
評価における断面の評価対象部位の選定

## 目 次

	頁
1. 概 要 .....	1
2. 連絡通路の断面の評価対象部位の選定 .....	3

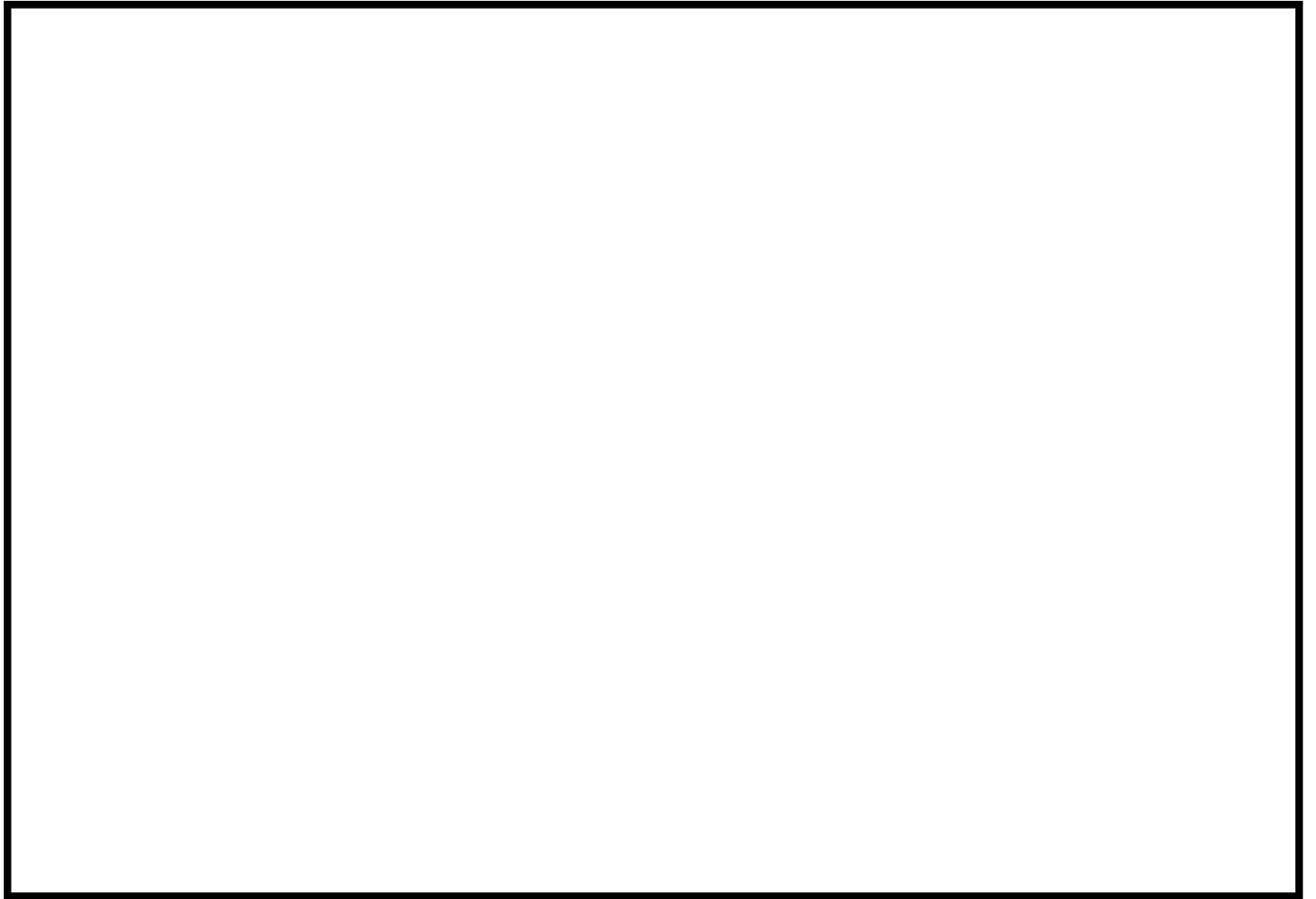
## 1. 概 要

本資料は、FEM モデルを用いた応力解析による評価における断面の評価対象部位の選定に関し、耐震計算書における断面の評価対象要素の選定結果について示すものである。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料 9-16-2 「緊急時対策棟（連絡通路）の耐震計算書」

緊急時対策棟（連絡通路）（以下「連絡通路」という。）の概略平面図を第 1-1 図に示す。



第 1-1 図 連絡通路の概略平面図

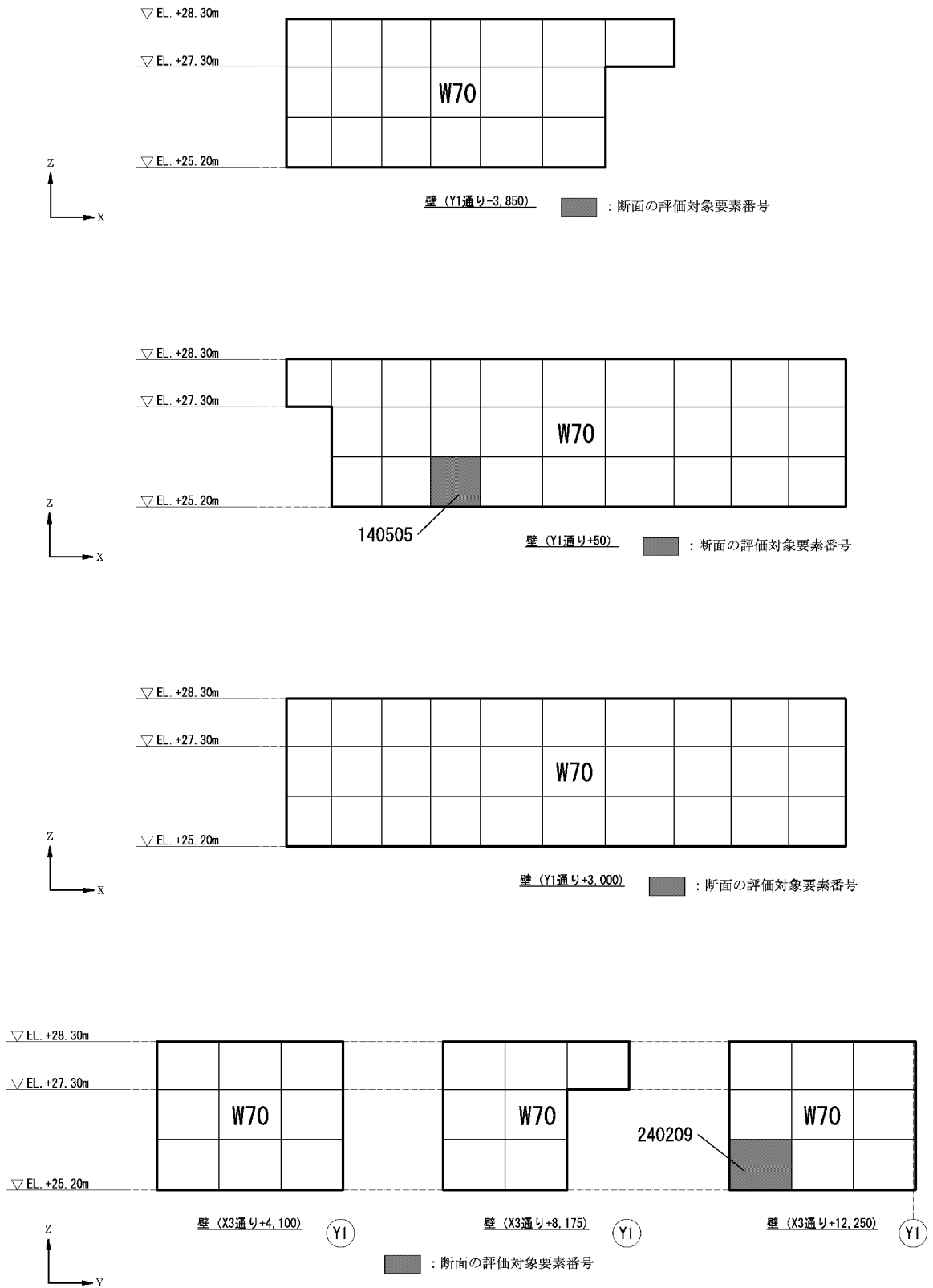
2. 連絡通路の断面の評価対象部位の選定

連絡通路の荷重の組合せケースを第 2-1 表、分類領域及び断面の評価対象要素番号を第 2-1 図、分類領域ごとの配筋を第 2-2 表に示す。

各評価項目の検定値一覧を第 2-3 表、応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果を第 2-2 図に示す。

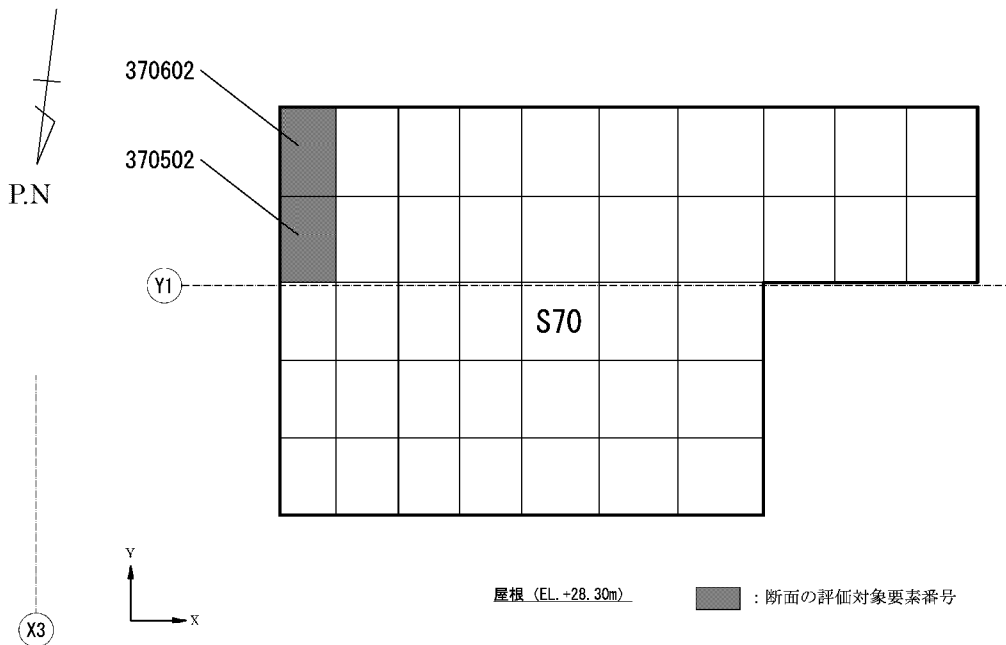
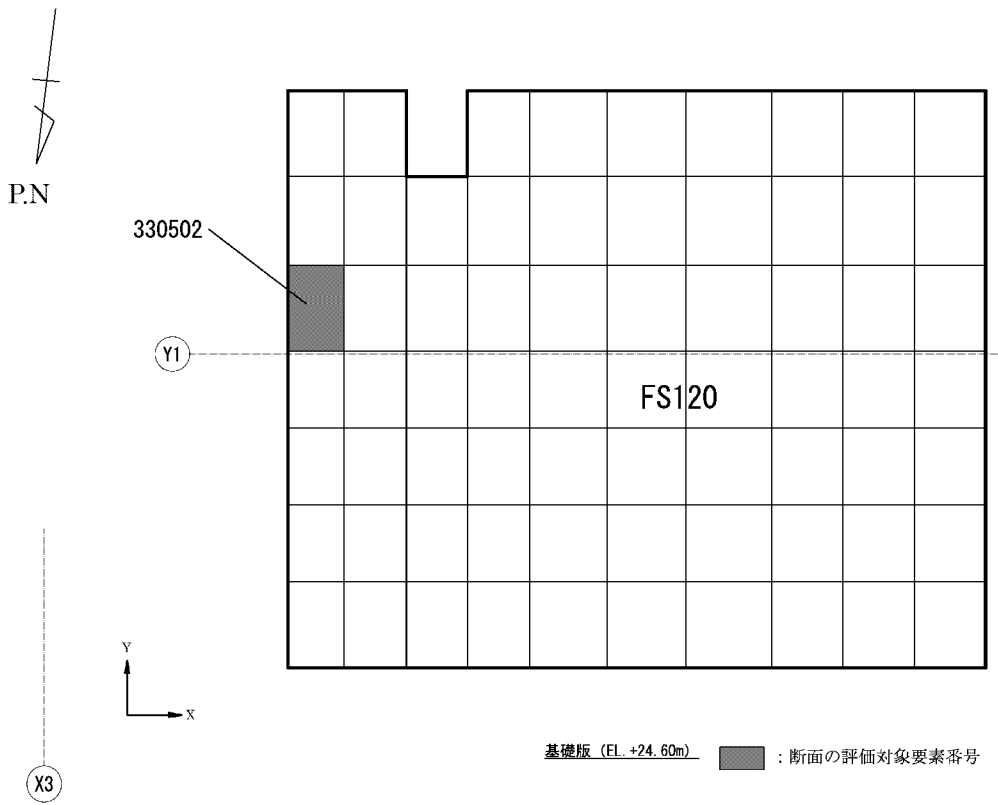
第 2-1 表 荷重の組合せケース

	ケース No.	荷重の組合せケース
Ss 地震時	1	$D+L+1.0K_{SNS}+0.4K_{SUD}$
	2	$D+L+1.0K_{SNS}-0.4K_{SUD}$
	3	$D+L-1.0K_{SNS}+0.4K_{SUD}$
	4	$D+L-1.0K_{SNS}-0.4K_{SUD}$
	5	$D+L+1.0K_{SEW}+0.4K_{SUD}$
	6	$D+L+1.0K_{SEW}-0.4K_{SUD}$
	7	$D+L-1.0K_{SEW}+0.4K_{SUD}$
	8	$D+L-1.0K_{SEW}-0.4K_{SUD}$
	9	$D+L+0.4K_{SNS}+1.0K_{SUD}$
	10	$D+L+0.4K_{SNS}-1.0K_{SUD}$
	11	$D+L-0.4K_{SNS}+1.0K_{SUD}$
	12	$D+L-0.4K_{SNS}-1.0K_{SUD}$
	13	$D+L+0.4K_{SEW}+1.0K_{SUD}$
	14	$D+L+0.4K_{SEW}-1.0K_{SUD}$
	15	$D+L-0.4K_{SEW}+1.0K_{SUD}$
	16	$D+L-0.4K_{SEW}-1.0K_{SUD}$
常時	17	$D+L$



第 2-1 図 断面の評価対象要素番号(1/2)






第 2-1 図 断面の評価対象要素番号(2/2)

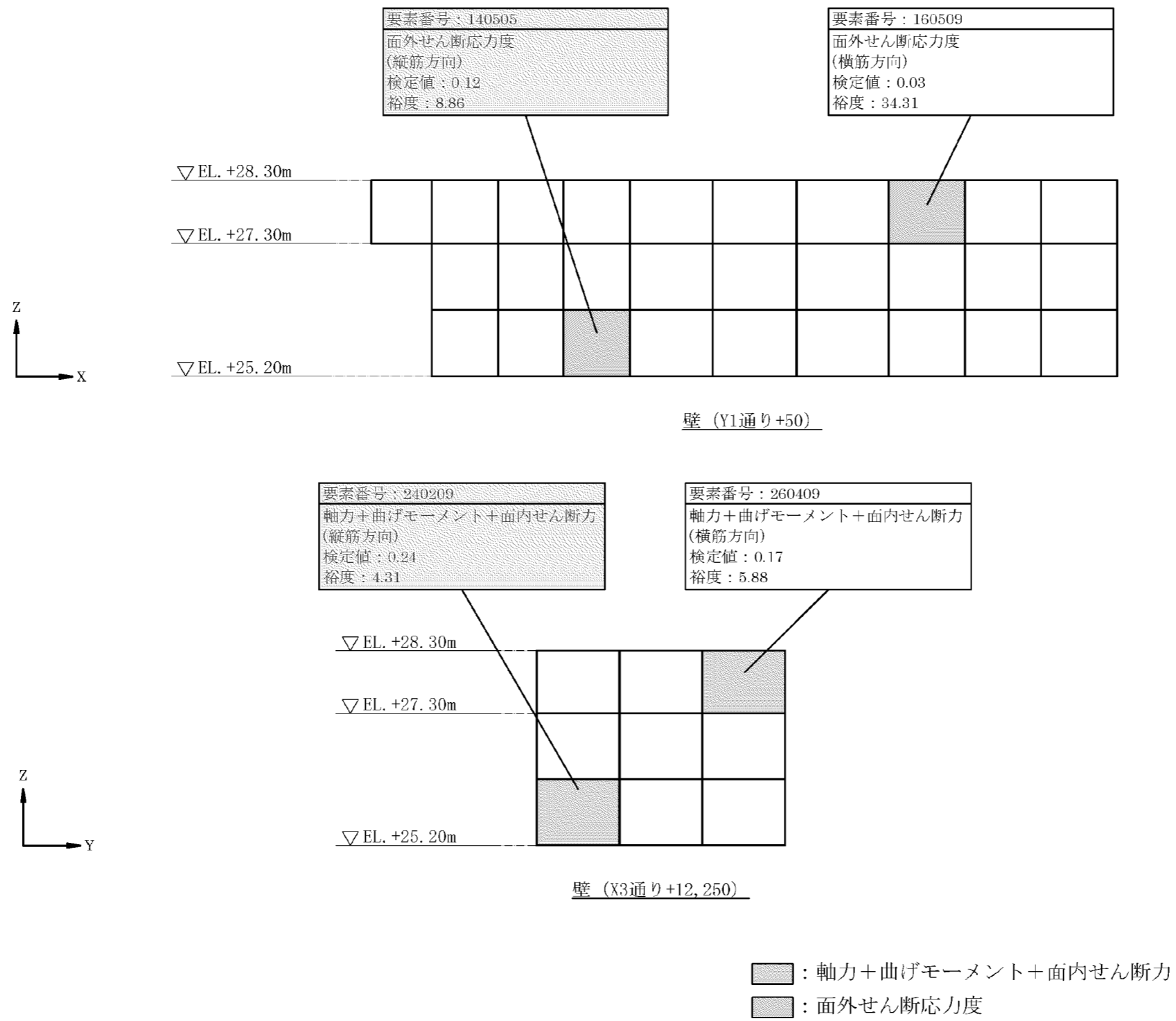
第 2-2 表 分類領域ごとの配筋

部位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD390)			鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外 せん断 補強筋
			位置	方向			
壁	W70	700	両側共	縦筋	1 段 D29@200	3,210	—
				横筋	1 段 D29@200	3,210	
屋根 ・ 基礎版	FS120	1,200	上端、 下端共	NS	1 段 D29@200	3,210	—
				EW	1 段 D29@200	3,210	
基礎版	S70	700	上端、 下端共	NS	1 段 D29@200	3,210	—
				EW	1 段 D29@200	3,210	

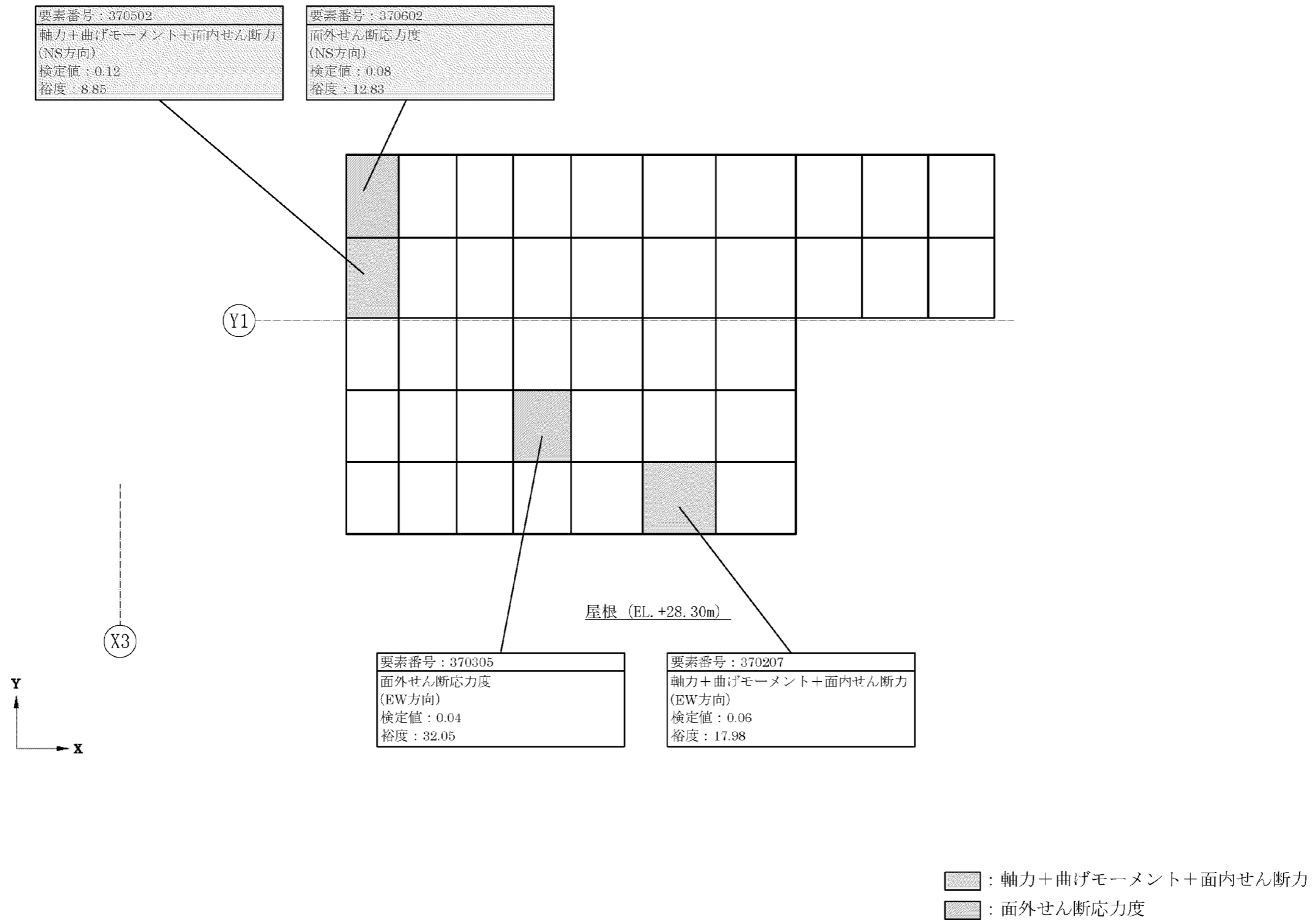
第2-3表 各評価項目の検定値一覧

部位	領域	検定値											
		軸力+曲げモーメント+面内せん断力						面外せん断応力度					
		横筋方向/EW方向			縦筋方向/NS方向			横筋方向/EW方向			縦筋方向/NS方向		
		要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.
壁	W70	260409	0.17	4	240209	0.24	4	160509	0.03	2	140505	0.12	3
屋根 ・ 基礎版	FS120	330108	0.08	6	330502	0.13	2	330604	0.11	5	330502	0.17	3
	S70	370207	0.06	2	370502	0.12	3	370305	0.04	2	370602	0.08	3

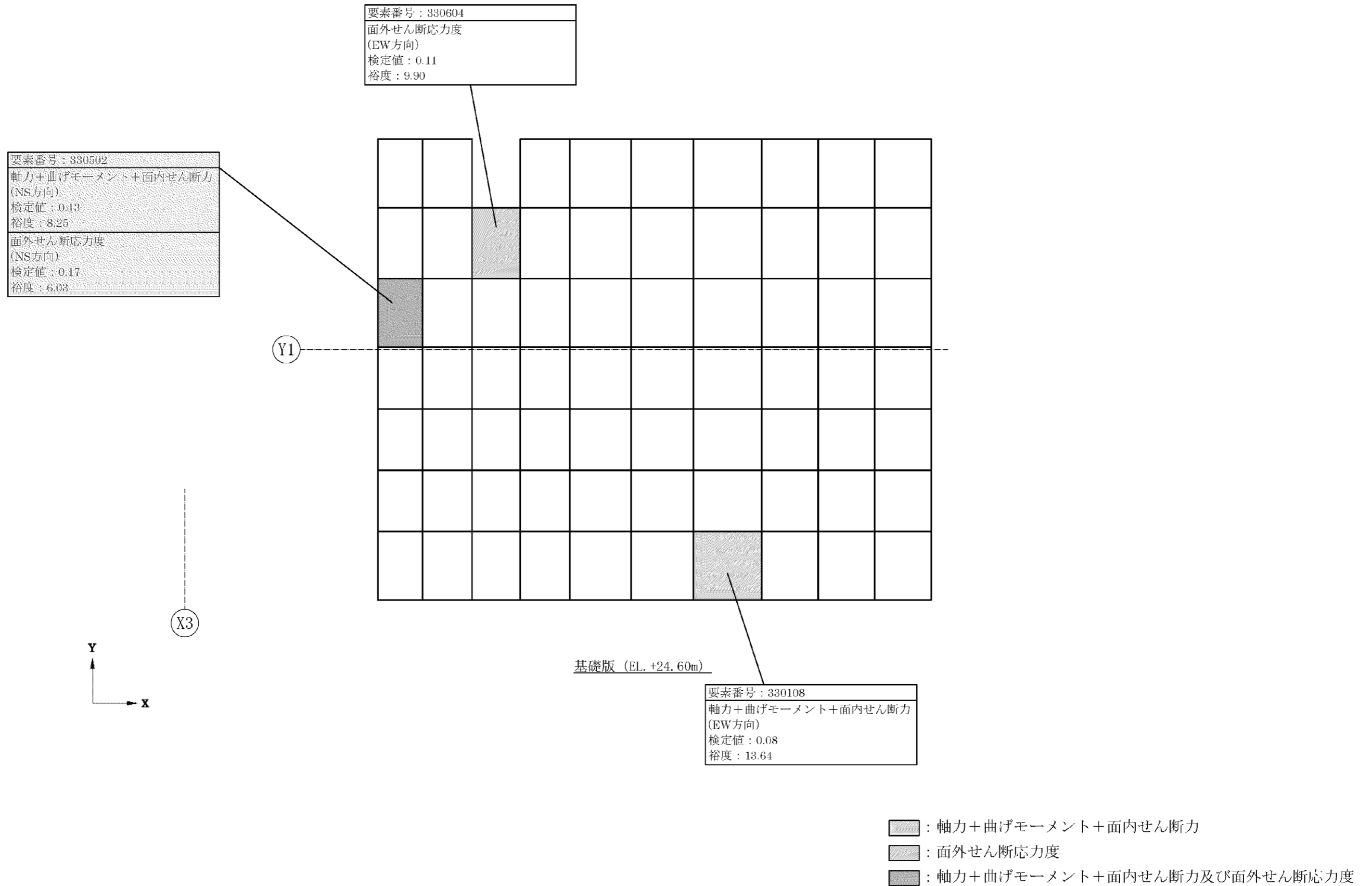
(注)  は、断面の評価対象部位を示す。



第 2-2 図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(1/3)



第2-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(2/3)



第 2-2 図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(3/3)

## 9-10. 応力解析における地震荷重の入力方法

## 目 次

	頁
1. 概 要 .....	1
2. 地震荷重の入力方法 .....	2
3. まとめ .....	6



## 1. 概 要

本資料は、緊急時対策棟（連絡通路）（以下「連絡通路」という。）の 3 次元 FEM モデルを用いた応力解析における地震荷重の入力方法について説明するものである。

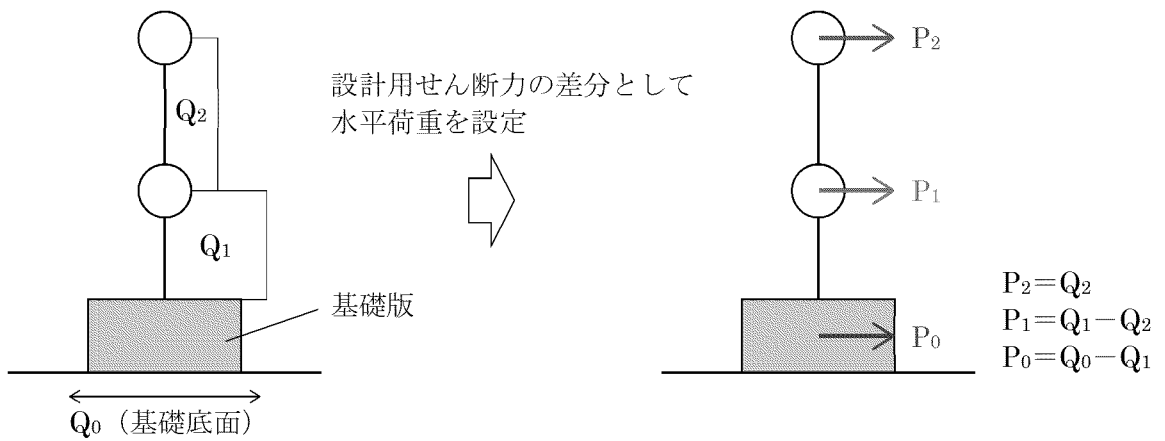
また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料 19-13-2 「緊急時対策棟（連絡通路）の耐震計算書」

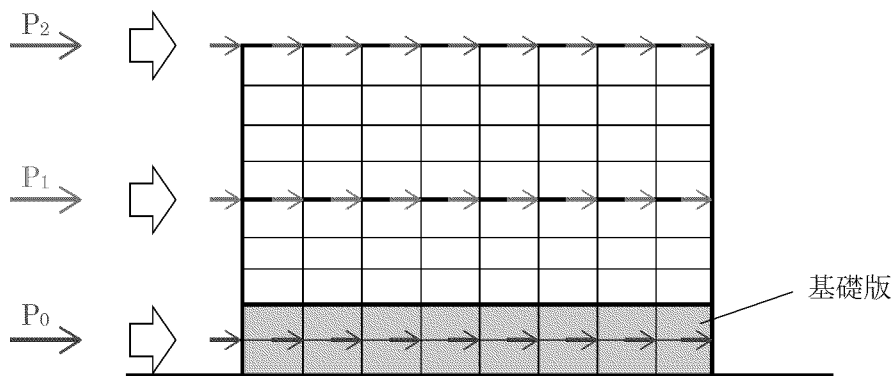
## 2. 地震荷重の入力方法

水平地震力は、地震応答解析より得られた各部材の最大応答値及び静的地震力に基づき設計用せん断力を設定し、この設計用せん断力より算出した水平力を、床レベルの各節点の重量分布に応じて分配して、節点荷重として入力する。鉛直地震力は、地震応答解析より得られた各部材の最大応答値及び静的地震力に基づき設計用軸力を設定し、この設計用軸力より算出した鉛直力を、床レベルの各節点の重量分布に応じて分配して、節点荷重として入力する。また、水平力により各層に作用する曲げモーメントが、地震応答解析及び静的地震力より得られた各部材の最大曲げモーメントを下回る場合は、その不足分の曲げモーメントを等価な鉛直力に置換し、当該床レベルの各節点の重量分布と中立軸からの節点距離に応じて分配し、節点荷重として入力する。

3次元 FEM モデルへ作用させる地震荷重の概念図を第 2-1 図～第 2-3 図に示す。

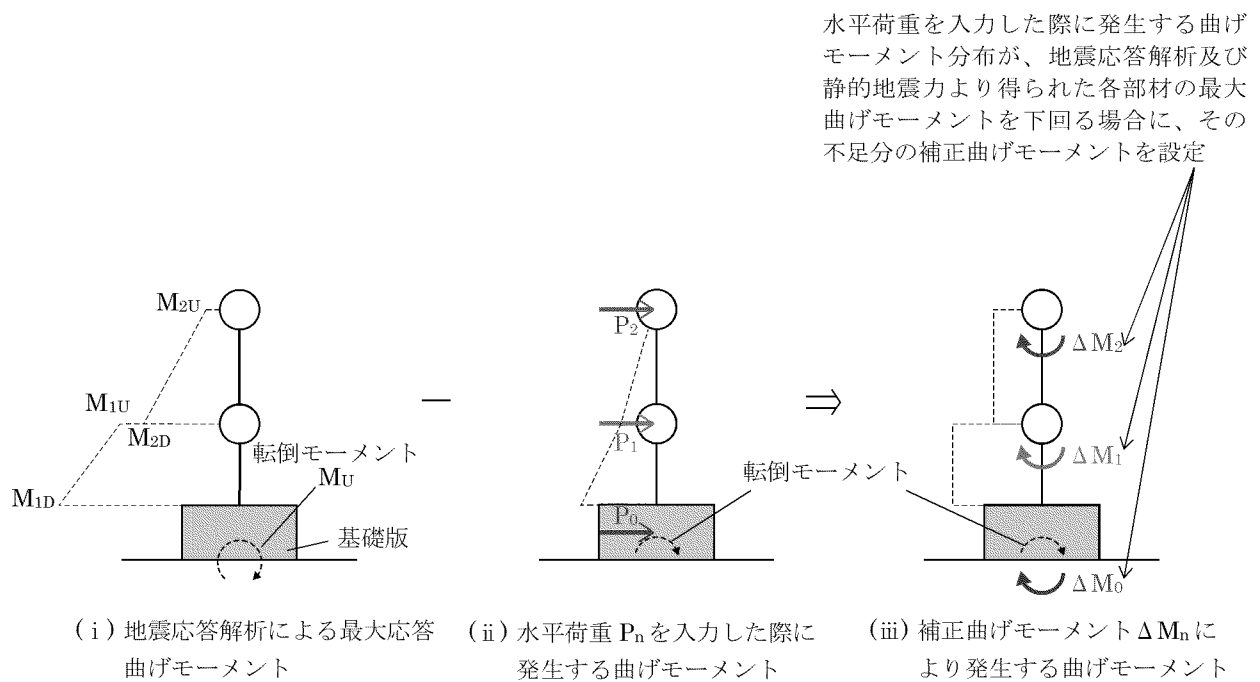


(a) 地震荷重の設定方法 (最大応答せん断力  $Q_n$  と水平荷重  $P_n$  の関係)

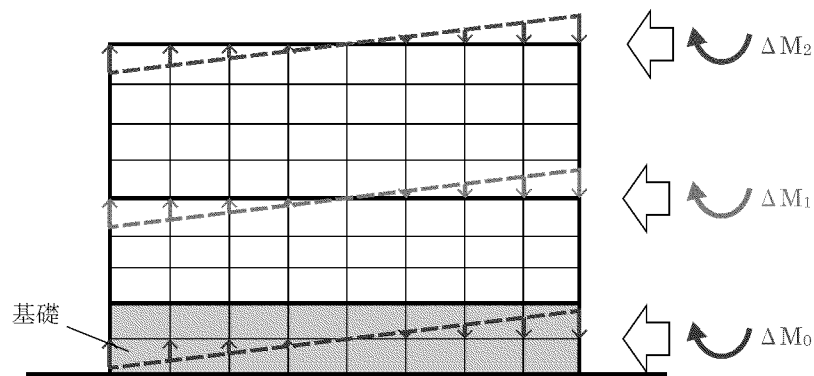


(b) FEM モデルに作用させる水平力

第 2-1 図 3次元 FEM モデルへ作用させる地震荷重の概念図 (水平力)

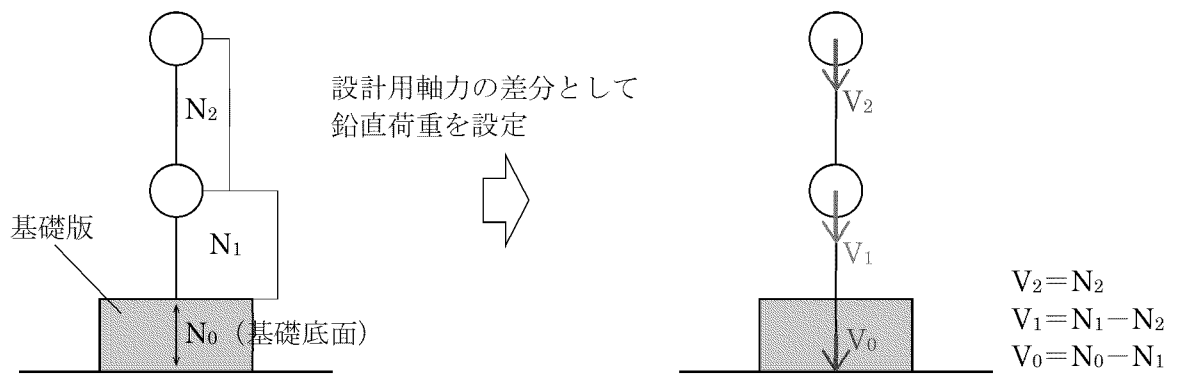


(a) 地震荷重の設定方法

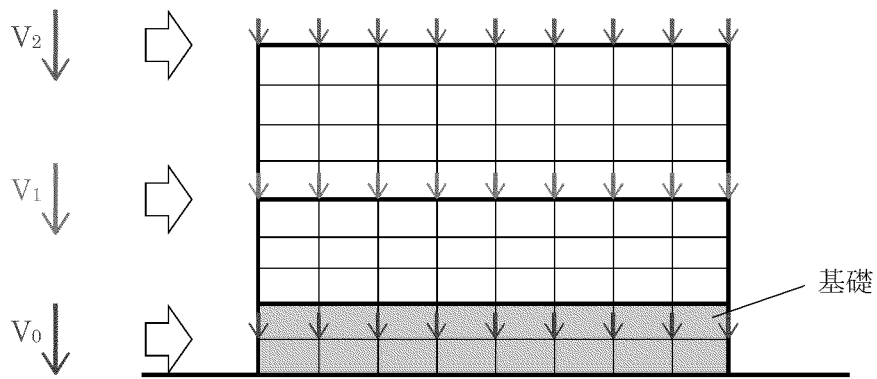


(b) FEM モデルに作用させる鉛直力

第 2-2 図 3次元 FEM モデルへ作用させる地震荷重の概念図 (補正曲げモーメント)



(a) 地震荷重の設定方法 (最大応答軸力  $N_n$  と鉛直荷重  $V_n$  の関係)



(b) FEM モデルに作用させる鉛直力

第 2-3 図 3 次元 FEM モデルへ作用させる地震荷重の概念図 (鉛直力)

### 3. まとめ

連絡通路の 3 次元 FEM モデルを用いた応力解析における地震荷重の入力方法について示した。

9-11. 建物・構築物の耐震評価における  
組合せ係数法の適用

## 目 次

	頁
1. 概 要 .....	1
1.1 検討概要 .....	1
1.2 評価対象部位及び検討方針 .....	3
2. 検討結果 .....	8
2.1 基礎地盤の検討 .....	8
2.2 上部構造の検討 .....	11
3. まとめ .....	16



## 1. 概 要

### 1.1 検討概要

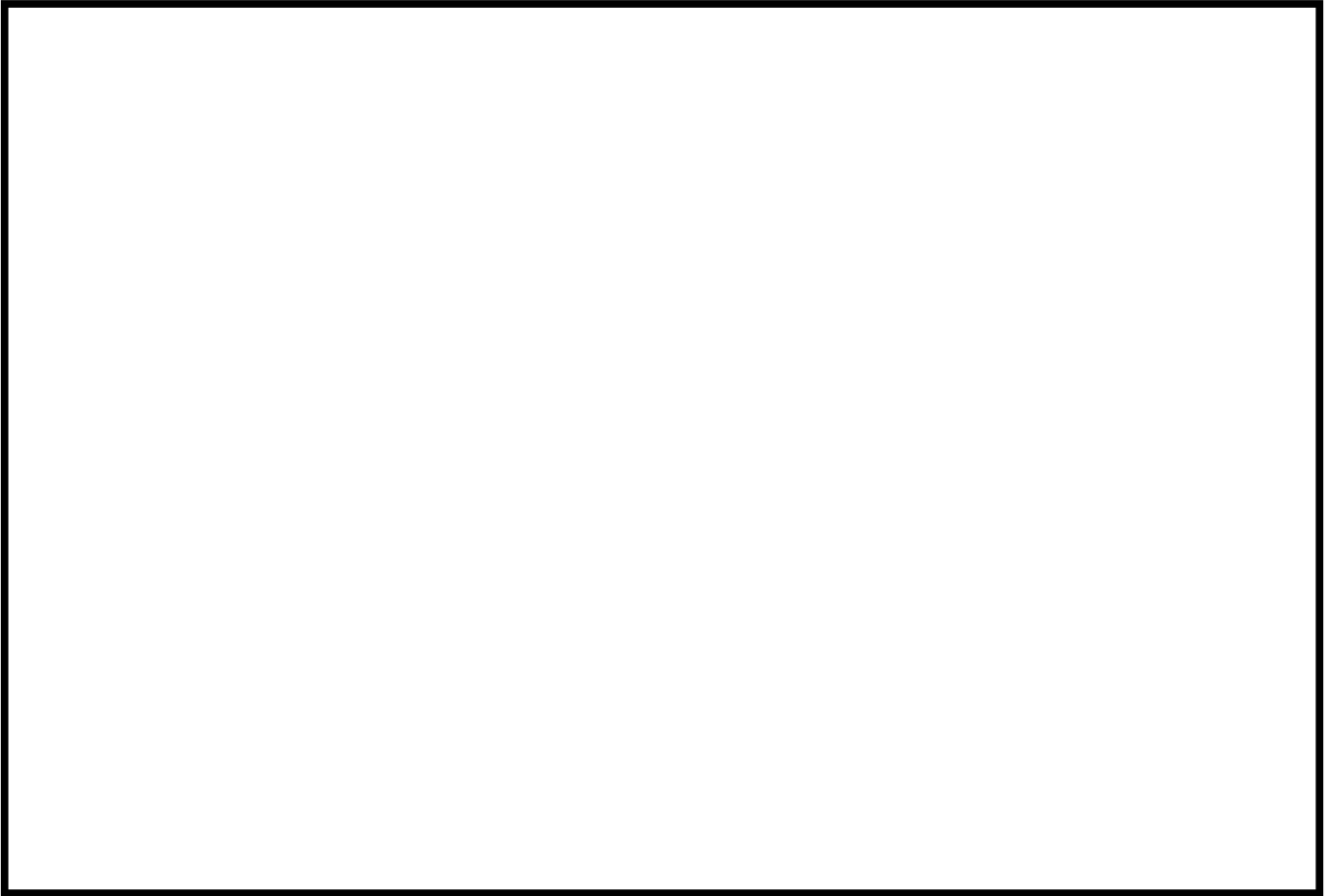
本資料は、川内原子力発電所の緊急時対策棟（連絡通路）（以下「連絡通路」という。）の耐震評価における組合せ係数法の適用性について説明するものである。

連絡通路の耐震評価において、水平方向及び鉛直方向の荷重の組合せに組合せ係数法を適用した評価結果と、水平方向及び鉛直方向の地震応答を時々刻々重ね合わせた評価結果との比較を行うことで、組合せ係数法の適用性を確認する。

連絡通路の概略平面図を第 1-1 図に示す。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料 9-13-2 「緊急時対策棟（連絡通路）の耐震計算書」



第 1-1 図 連絡通路の概略平面図

## 1.2 評価対象部位及び検討方針

### 1.2.1 評価対象部位

連絡通路の耐震評価に考慮する荷重の組合せにおいては、以下に示す組合せ係数法を適用し、水平方向及び鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして、評価を行っている。

- ①  $1.0 \times$  水平地震力による荷重  $+ 0.4 \times$  鉛直地震力による荷重
- ②  $0.4 \times$  水平地震力による荷重  $+ 1.0 \times$  鉛直地震力による荷重

耐震評価に組合せ係数法を用いている評価対象部位を第 1-1 表に示す。基礎地盤については、地震応答解析による評価において、接地圧の評価を行っており、その他の部位については、応力解析による評価において、断面の評価を行っている。

第 1-1 表 耐震評価に組合せ係数法を用いている評価対象部位

建物・構築物	評価対象部位	評価方法	地震動
連絡通路	壁、床及び屋根	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 Ss
	基礎地盤	地震応答解析による評価 (接地圧の評価)	基準地震動 Ss
	基礎版	応力解析による評価 (断面の評価)	基準地震動 Ss

## 1.2.2 検討方針

連絡通路の耐震評価において、水平方向及び鉛直方向の荷重の組合せに組合せ係数法を適用した場合の評価結果が、水平方向及び鉛直方向の地震応答を時々刻々重ね合わせた場合の評価結果と同等又は保守的であることを確認する。

ここで、建物・構築物の耐震評価における組合せ係数法の適用性については、平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された工事計画に係る補足説明資料 11-4「建物・構築物の耐震評価における組合せ係数法の適用」（以下「新規制基準工認」という。）において、基準地震動  $S_s-1$  及び  $S_s-2$  並びに弾性設計用地震動  $S_d-1$  及び  $S_d-2$  に対する評価を行い、建物・構築物の耐震評価において、組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認している。

但し、添付資料 9-13-1「緊急時対策棟（連絡通路）の地震応答解析」において算定した連絡通路の接地率が小さく、浮き上がりによる非線形性の影響が大きいことから、新規制基準工認における建物・構築物と異なる地震応答特性となることが考えられる。したがって、本資料では、連絡通路の組合せ係数法の適用性を検討する。

組合せ係数法を用いて評価している部位は、大きく「基礎地盤」、「基礎」及び「上部構造物」に分類される。

基礎地盤（接地圧）の検討は、組合せ係数法を適用した場合の接地圧が時々刻々重ね合わせた場合の接地圧と同等又は保守的であることを確認する。同等又は保守的と言えない場合は、時々刻々重ね合わせた場合の接地圧を用いて、接地圧評価への影響検討を行う。

基礎の検討は、基礎への地震荷重の入力と関連が深い接地圧の検討において、組合せ係数法を適用した場合の接地圧が時々刻々重ね合わせた場合の接地圧を下回る場合について、検討を行う。検討においては、基礎への地震荷重の入力という観点で、基準地震動  $S_s$  を包絡し、組合せ係数法を適用して算出した接地圧が時々刻々重ね合わせた場合の接地圧と同等又は保守的であることを確認する。同等又は保守的と言えない場合は、時々刻々重ね合わせた場合の接地圧を用いて、基礎の応力解析による評価への影響検討を行う。

上部構造物の検討は、壁の縁応力度に対する検討を行うこととし、基準地震動  $S_s$  を包絡し、組合せ係数法を適用して算出した縁応力度が、時々刻々重ね合わせた場合の縁応力度と同等又は保守的であることを確認する。

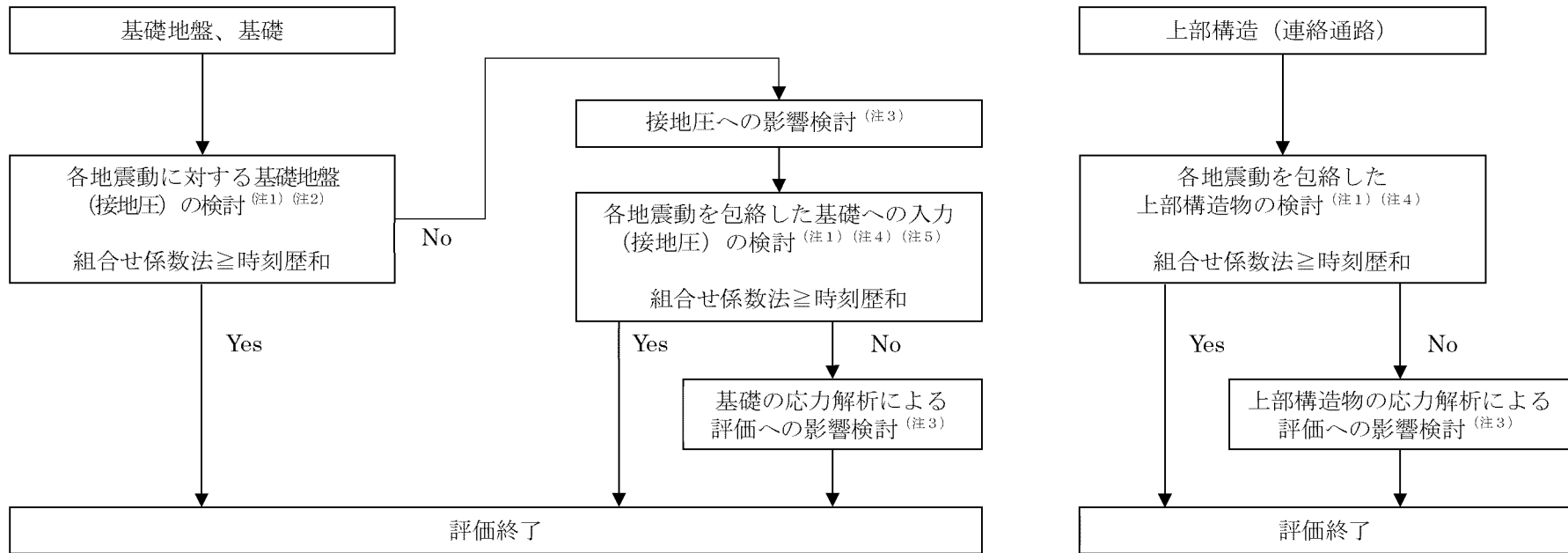
同等又は保守的と言えない場合は、時々刻々重ね合わせた場合の縁応力度を用いて、壁の応力解析による評価への影響検討を行う。

組合せ係数法を適用した場合の評価結果と、水平方向及び鉛直方向の地震応答を時々刻々重ね合わせた場合の評価結果との比較は、添付資料 9-13-1「緊急時対策棟（連絡通路）の地震応答解析」に示す基本ケースの結果を用いる。

接地圧評価への影響検討並びに基礎及び上部構造物の応力解析による評価への影響検討を行う場合は、地盤定数を含む材料物性のばらつき及び減衰定数の設定に起因する不確かさ（以下「材料物性のばらつき等」という。）を考慮した応力評価結果に、上述の基本ケースの結果を用いて算出した割増係数を乗じて影響検討を行う。

検討フローを第 1-2 図に示す。

連絡通路の基本ケースに用いる地震応答解析モデルを第 1-3 図に示す。



(注1) 基本ケースによる検討

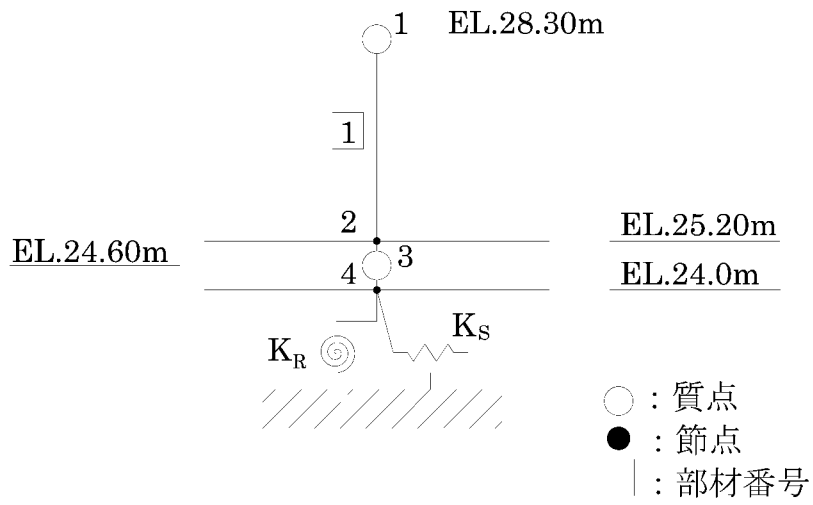
(注2) 基準地震動  $S_s$  各波に対する検討

(注3) 材料物性のばらつき等を考慮した検討

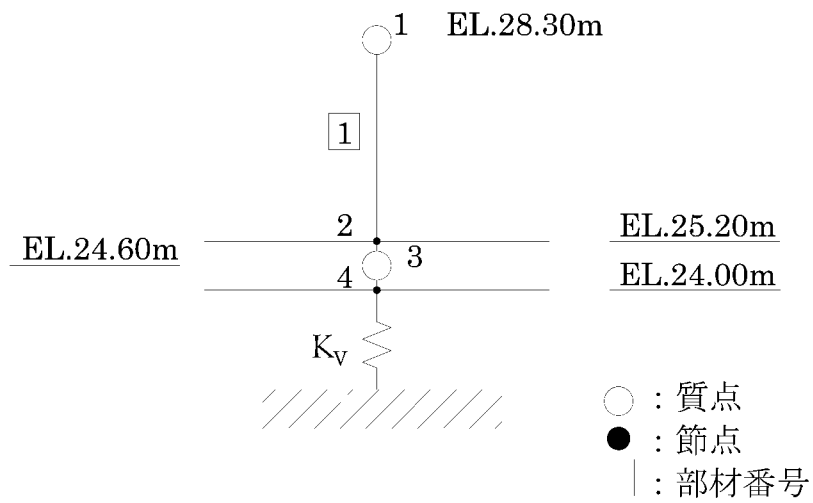
(注4) 基準地震動  $S_s$  各波を包絡した検討

(注5) 基礎へ入力される地震荷重は、接地圧との関連が深いので、基礎への入力の検討は、接地圧による検討を行う。

第1-2図 検討フロー



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

第 1-3 図 連絡通路の地震応答解析モデル

## 2. 検討結果

### 2.1 基礎地盤の検討

#### 2.1.1 検討内容

連絡通路について、組合せ係数法による最大接地圧と時刻歴和による接地圧の最大値とを比較して、組合せ係数法による最大接地圧が、時刻歴和による接地圧の最大値と同等又は保守的であることを確認する。

組合せ係数法による最大接地圧が、時刻歴和による接地圧の最大値と同等又は保守的と言えない場合には、接地圧への影響検討として、材料物性のばらつき等を考慮した組合せ係数法による最大接地圧に、最大接地圧の比による割増し係数を乗じた値が許容限界を超えないことを確認する。

以上より、接地圧の評価において、組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認する。

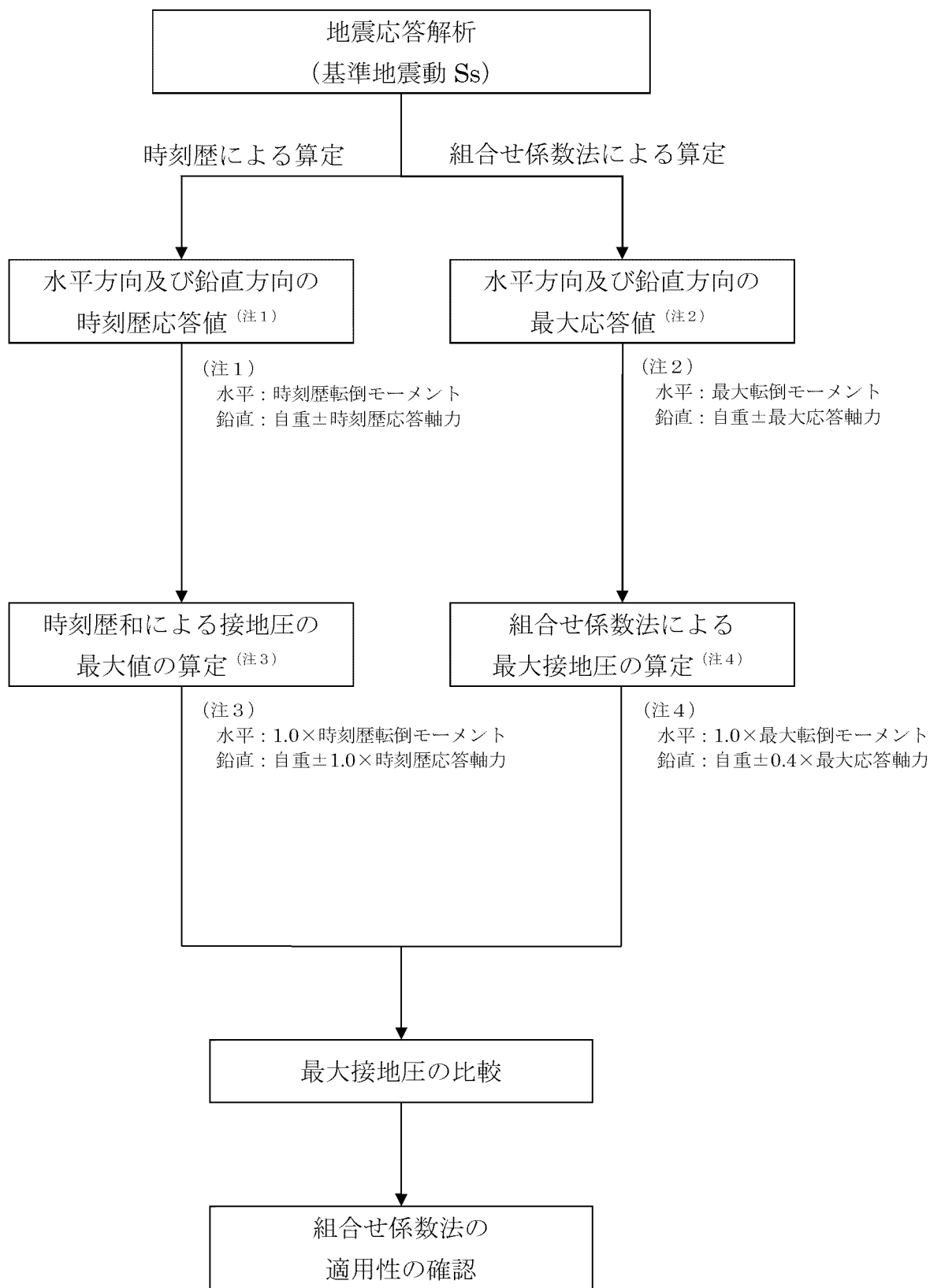
検討に用いる地震動は、基準地震動  $S_s-1$  及び  $S_s-2$  とする。

組合せ係数法による最大接地圧は、自重、最大転倒モーメント及び最大応答軸力に 0.4（組合せ係数）を乗じた鉛直力から算定する。

これに対して、時刻歴和による接地圧の最大値は、自重、時刻歴転倒モーメント及び時刻歴応答軸力から、時刻ごとに算定した接地圧の最大値とする。

基礎地盤の検討フローを第 2-1 図に示す。





第 2-1 図 基礎地盤の検討フロー

### 2.1.2 検討結果

連絡通路について、組合せ係数法による最大接地圧 (①)、時刻歴和による接地圧の最大値 (②) 及び最大接地圧の比 (①/②) を第 2-1 表に示す。

検討の結果、組合せ係数法による最大接地圧が、時刻歴和による接地圧の最大値に比べて保守的な値となっていることから、接地圧の評価において、組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

第 2-1 表 最大接地圧の比較<sup>(注)</sup>

(a) 基準地震動 Ss-1

	NS 方向		EW 方向	
	+鉛直方向	-鉛直方向	+鉛直方向	-鉛直方向
①組合せ係数法による最大接地圧(N/mm <sup>2</sup> )	0.200		0.152	
②時刻歴和による接地圧の最大値(N/mm <sup>2</sup> )	0.181	0.183	0.147	0.144
最大接地圧の比 (①/②)	1.10	1.09	1.03	1.06

(b) 基準地震動 Ss-2

	NS 方向		EW 方向	
	+鉛直方向	-鉛直方向	+鉛直方向	-鉛直方向
①組合せ係数法による最大接地圧(N/mm <sup>2</sup> )	0.155		0.137	
②時刻歴和による接地圧の最大値(N/mm <sup>2</sup> )	0.148	0.148	0.130	0.127
最大接地圧の比 (①/②)	1.05	1.05	1.05	1.08

(注) 基本ケースによる検討結果を示す。

## 2.2 上部構造の検討

### 2.2.1 検討内容

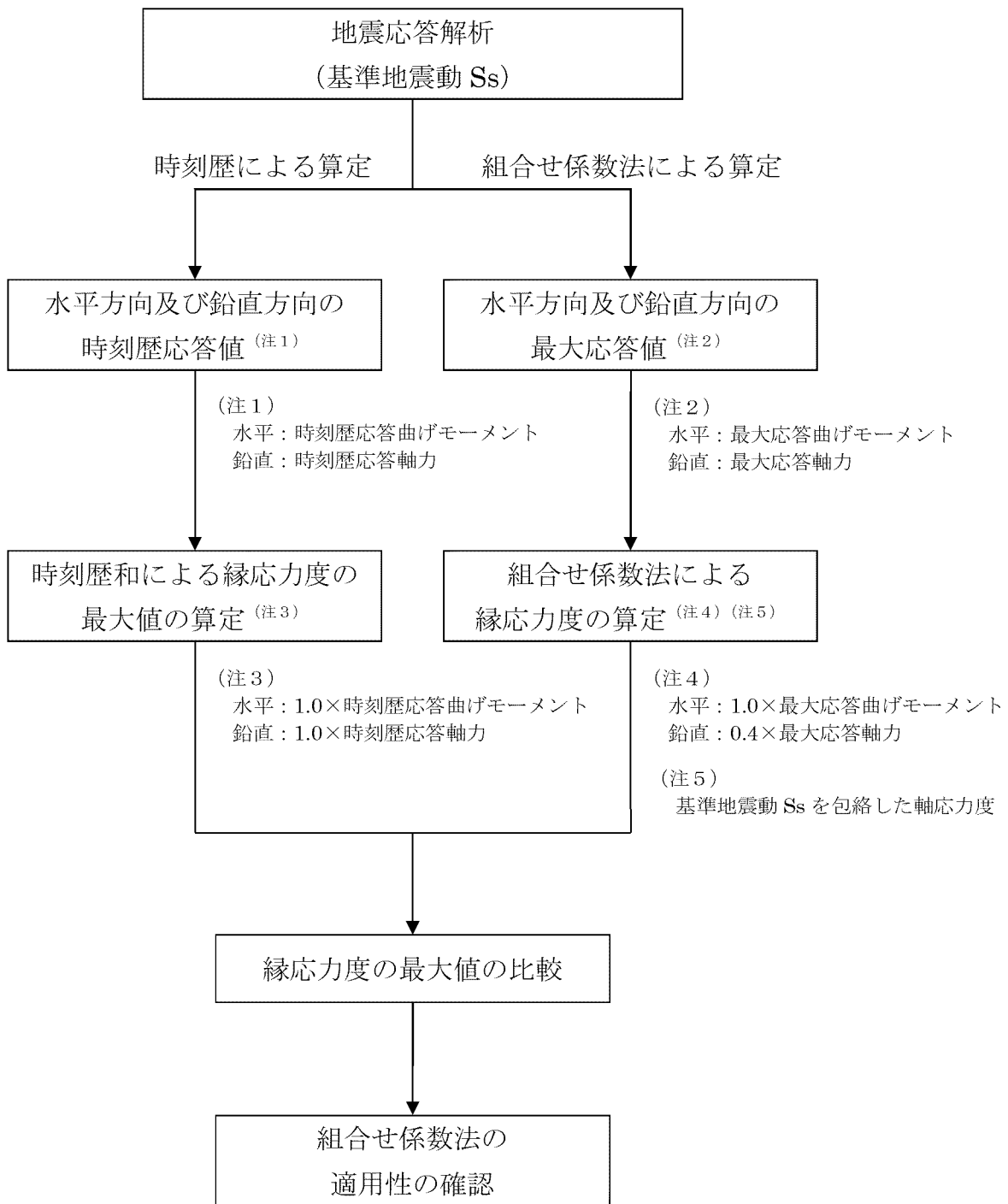
連絡通路の壁について、組合せ係数法による縁応力度と時刻歴和による縁応力度の最大値とを比較し、組合せ係数法による縁応力度が時刻歴和による縁応力度の最大値と同等又は保守的であることを確認することにより、上部構造の評価において、組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認する。

検討に用いる地震動は、基準地震動  $S_s-1$  及び  $S_s-2$  とする。

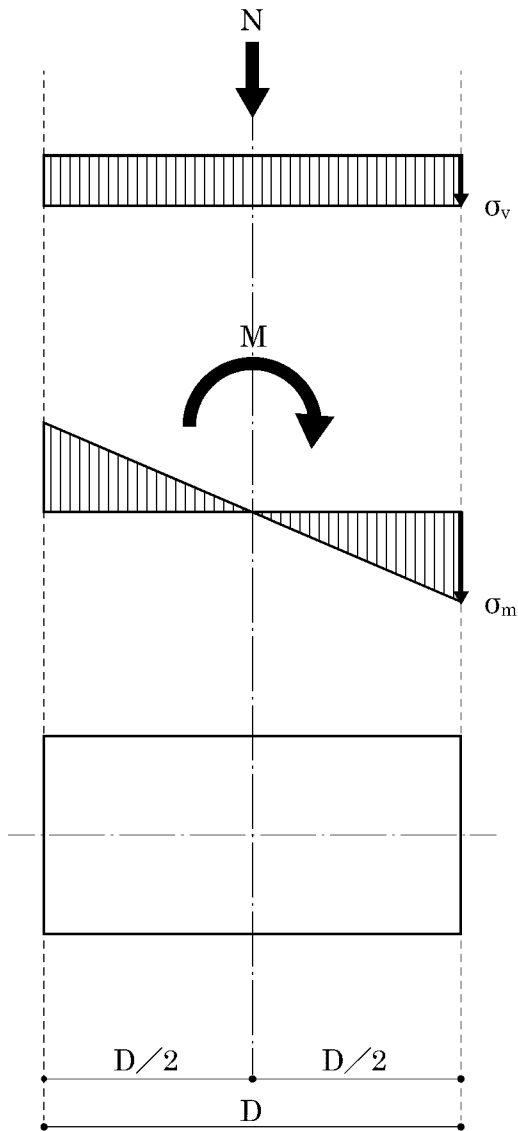
壁の縁応力度は、最大応答曲げモーメント及び最大応答軸力に 0.4（組合せ係数）を乗じた鉛直力から算定している。

これに対して、時刻歴和による縁応力度の最大値は、選定した地震動を用い、時刻ごとに、時刻歴応答曲げモーメントから算定した縁応力度と時刻歴応答軸力から算定した軸応力度の和の最大値とする。

上部構造の検討フローを第 2-2 図に、軸力による軸応力度及び曲げモーメントによる縁応力度の算定方法を第 2-3 図に示す。



第 2-2 図 上部構造の検討フロー



軸力  $N$  による軸応力度  $\sigma_v$  及び曲げモーメント  $M$  による縁応力度  $\sigma_m$  は、以下のとおり算定される。

$$\sigma_v = \frac{N}{A_i}$$

ここで、

$\sigma_v$  : 鉛直地震動による軸応力度  
( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$N$  : 応答軸力( $\text{N}$ )

$A_i$  :  $i$  層の断面積( $\text{mm}^2$ )

$$\sigma_m = \frac{M}{Z_i}$$

ここで、

$\sigma_m$  : 水平地震動による縁応力度  
( $\text{N}/\text{mm}^2$ )

$M$  : 応答曲げモーメント  
( $\text{N} \cdot \text{mm}$ )

$Z_i$  :  $i$  層の断面係数( $\text{mm}^3$ )

$$Z_i = \frac{I_i}{(D/2)}$$

$I_i$  :  $i$  層の断面 2 次モーメント( $\text{mm}^4$ )

$D$  : 建屋幅( $\text{mm}$ )

第 2-3 図 軸力による軸応力度及び曲げモーメントによる縁応力度の算定方法

### 2.2.2 検討結果

連絡通路について、地震動ごとに組合せ係数法を適用して算出した縁応力度 (①)、基準地震動  $S_s$  による応答値を包絡し、組合せ係数法を適用して算出した縁応力度 (②)、時刻歴和による縁応力度の最大値 (③)、縁応力度の最大値の比 (①/③及び②/③) を第 2-2 表に示す。

検討の結果、組合せ係数法による縁応力度の最大値が、時刻歴和による縁応力度の最大値に比べて保守的な値となっていることから、上部構造の応力解析による評価において、組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

第2-2表 最大縁応力度の比較 (壁) (注)

(a) 基準地震動 Ss-1

方向	部材 番号	組合せ係数法 における縁応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		③ 時刻歴和に よる 縁応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	縁応力度の 最大値の比 (①/③)	縁応力度の 最大値の比 (②/③)
		① Ss-1	② Ss 包絡			
NS	1	1.13	1.13	1.12	1.01	1.01
EW	1	0.260	0.261	0.250	1.04	1.04

(b) 基準地震動 Ss-2

方向	部材 番号	組合せ係数法 における縁応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		③ 時刻歴和に よる 縁応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	縁応力度の 最大値の比 (①/③)	縁応力度の 最大値の比 (②/③)
		① Ss-2	② Ss 包絡			
NS	1	0.933	1.13	0.919	1.02	1.23
EW	1	0.216	0.261	0.204	1.06	1.28

(注) 基本ケースによる検討結果を示す。

### 3. まとめ

連絡通路の耐震評価における組合せ係数法の適用性を確認する目的で、水平方向及び鉛直方向の荷重の組合せに組合せ係数法を適用した場合と、水平方向及び鉛直方向の地震応答を時々刻々重ね合わせた場合との評価結果の比較を行い、以下の結果が得られた。

#### (1) 基礎地盤の検討結果

組合せ係数法による最大接地圧が、時刻歴和による接地圧の最大値に比べて保守的な値となっていることから、接地圧の評価において、組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

#### (2) 上部構造物の検討結果

組合せ係数法による縁応力度の最大値が、時刻歴和による縁応力度の最大値に比べて保守的な値となっていることから、上部構造物の評価において、組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。

以上の結果より、連絡通路の耐震評価において、組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認した。



9-12. 水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せ  
に関する検討

## 目 次

	頁
1. 検討の目的 .....	1
2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動 .....	2
2.1 川内原子力発電所の基準地震動 .....	2
2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動 .....	4
3. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価 .....	5
3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方 .....	5
3.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価方法 .....	7
3.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出 .....	11
3.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出結果 .....	26
3.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価方針 .....	27
3.6 基礎（矩形の基礎版）の検討 .....	28
3.7 まとめ .....	51

## 1. 検討の目的

新たに制定された「実用発電用原子炉及びその付属施設の技術基準に関する規則（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第 6 号）」は、従前の耐震設計審査指針から充実が図られている。

そのうち、新たに要求された水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せについて、「耐震設計に係る工認審査ガイド」において、以下の内容が示されている。

### 耐震設計に係る工認審査ガイド（抜粋）

#### 3.5.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せ（4.4.2 及び 5.5.2 も同様）

水平方向及び鉛直方向地震力の組合せを適切に行っていることを確認する。

##### (1) 動的な地震力の組合せ

水平 2 方向及び鉛直方向の地震力による応力の組合せを簡易的に行う際には、各方向の入力地震動の位相特性や建物・構築物の構造、応答特性に留意し、非安全側の評価にならない組合せ方法を適用していること。

各方向の入力地震動の位相特性や建物・構築物の三次元応答特性により応答の同時性を考慮する必要がある場合は、各方向の各時刻歴での応答を逐次重ね合わせる等の方法により、応答の同時性を考慮していること。

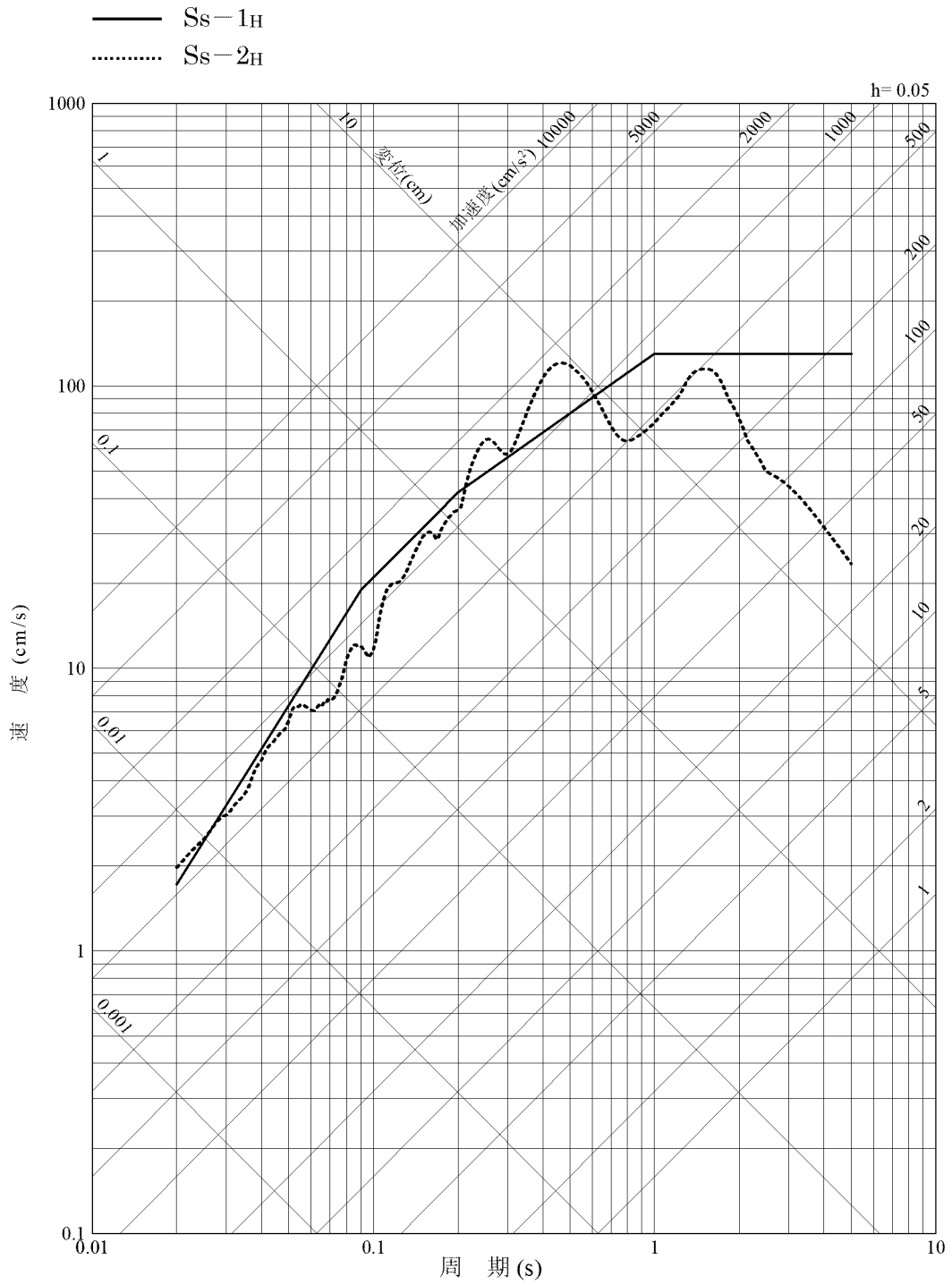
上記審査ガイドを踏まえ、従来の設計手法における水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算に対して、施設の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性があるものを抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

## 2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

### 2.1 川内原子力発電所の基準地震動

川内原子力発電所の基準地震動  $S_s$  は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」と「震源を特定せず策定する地震動」を評価して、これらの評価結果に基づき策定している。「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」としては、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を行い、その評価結果を踏まえ、応答スペクトルに基づく地震動として基準地震動  $S_{s-1}$  を策定している。また、「震源を特定せず策定する地震動」として基準地震動  $S_{s-2}$  を策定している。

基準地震動  $S_{s-1}$  及び  $S_{s-2}$  の応答スペクトル（水平方向）を第 2.1-1 図に示す。



第 2.1-1 図 基準地震動の応答スペクトル (水平方向)

## 2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価には、川内原子力発電所の基準地震動  $S_s-1$  及び  $S_s-2$  を用いる。基準地震動  $S_s$  については、平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された工事計画の添付資料 3-2「基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  の概要」による。

### 3. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価

#### 3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

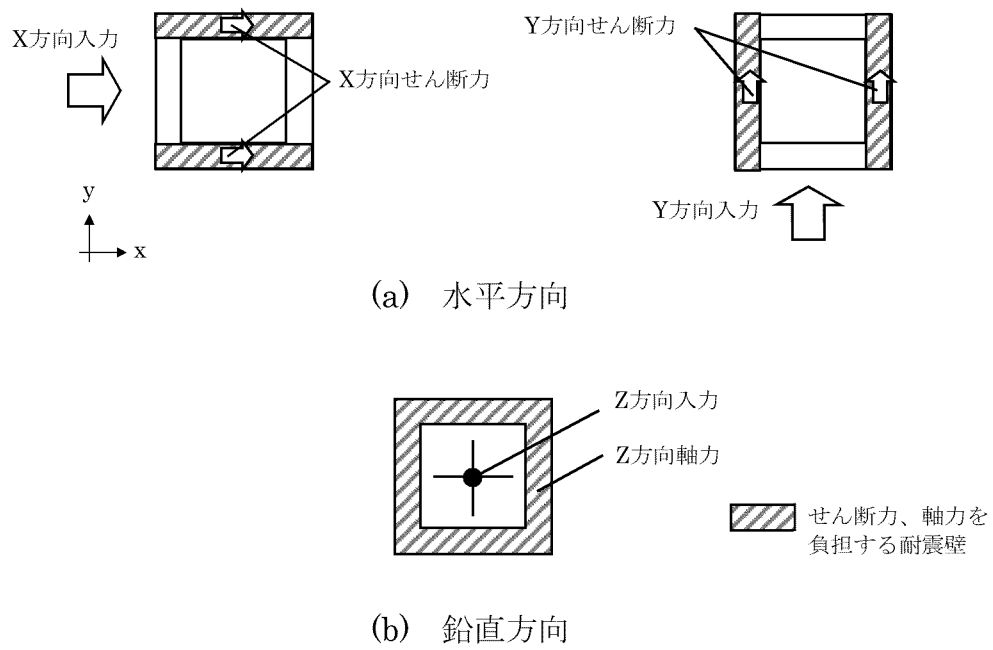
従来の設計手法では、建物・構築物の地震応答解析において、水平方向及び鉛直方向の地震動を、質点系モデルに対して方向ごとに入力し、解析を行っている。また、原子力発電所施設における建物・構築物は、全体形状及び平面レイアウトから、地震力を主に耐震壁で負担する構造であり、剛性の高い設計としている。

水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、建物・構築物に生じるせん断力に対して、地震時の力の流れが明解となるように、直交する 2 方向に釣合いよく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。地震応答解析は、水平 2 方向の耐震壁に対して、それぞれ剛性を評価し、各水平方向に対して解析を行っている。したがって、建物・構築物に対し水平 2 方向の入力がある場合、各方向から作用する地震力を負担する部位が異なるため、水平 2 方向の入力がある場合の評価は、水平 1 方向にのみ入力がある場合と同等な評価となる。

鉛直方向の地震力に対しては、軸力について評価することを基本としている。建物・構築物に生じる軸力に対して、鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

入力方向ごとの耐震要素について、第 3.1-1 図に示す。

また、添付資料 9-13 「耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震計算書」における建物・構築物の応力解析による評価は、地震応答解析により算出された応答を水平 1 方向及び鉛直方向に組み合わせて行っている。



第 3.1-1 図 入力方向ごとの耐震要素



### 3.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価方法

緊急時対策棟（連絡通路）（以下「連絡通路」という。）において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した場合に影響を受ける可能性がある部位の評価を行う。

評価対象は、耐震重要施設及びその間接支持構造物、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を行う部位とする。

対象とする部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性から、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位を抽出する。

応答特性から抽出された、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位は、従来の設計手法による荷重又は応力の算出結果等を水平 2 方向及び鉛直方向に組み合わせ、各部位に発生する荷重や応力を算出し、各部位が有する耐震性への影響を確認する。

各部位が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価のフローを第 3.2-1 図に示す。

#### ① 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し、連絡通路において該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。

#### ② 応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性を整理する。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び 3 次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理する。

#### ③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

整理した耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性のうち、荷重の組合せによる応答特性を検討する。水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、荷重の組合せによる応答特性により、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

④ 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、3次元的な応答特性を検討する。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、3次元的な応答特性により、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

⑤ 3次元 FEM モデルによる精査

3次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位について、3次元 FEM モデルを用いた精査を行い、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

また、3次元的な応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位についても、局所応答の観点から、3次元 FEM モデルによる精査を行い、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、有する耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

⑥ 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては、添付資料9-13「耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震計算書」に示す水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価の荷重又は応力の算出結果等を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 Regulatory Guide 1.92<sup>(注)</sup>の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法(1.0 : 0.4 : 0.4)に基づいて地震力を設定する。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する組合せ係数法(1.0 : 0.4 : 0.4)の適用性については、平成27年3月18日付け原規規発第1503181号にて認可された工事計画に係る補足説明資料-3の補足1「水平2方向及び鉛直方向地震力における組合せ係数法の適用について」による。

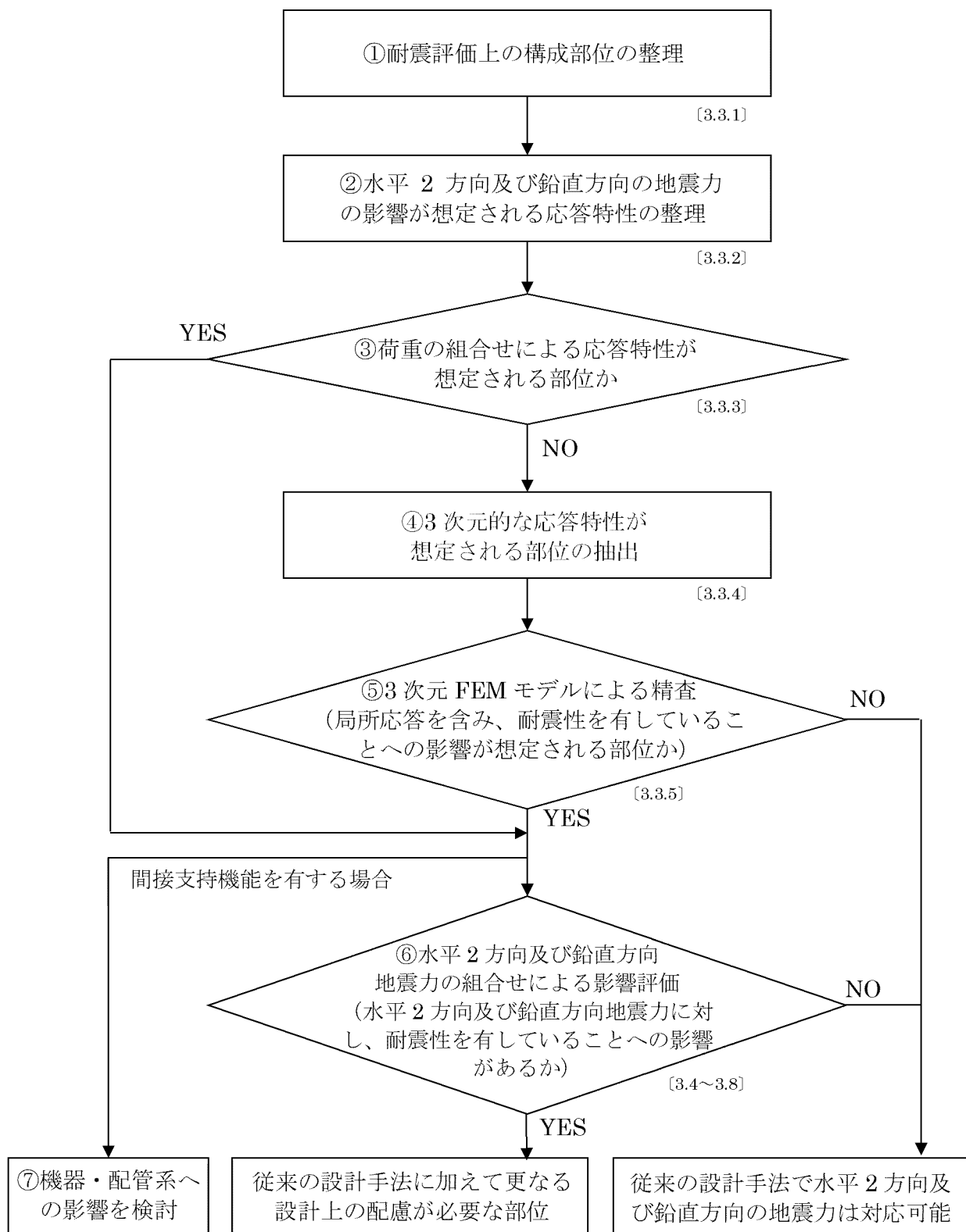
評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、荷重又は構造部材の発生応力を適切に組み合わせることで、各部位の設計上の許容値に対する評価を行い、各部位が有する耐震性への影響を評価する。

(注) Regulatory Guide (RG) 1.92 “ Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis ”

⑦ 機器・配管系への影響検討

評価対象として抽出された部位が、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系の間接支持機能を有する場合、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響が確認された場合、機器・配管系の影響評価に反映する。



(注) [ ] 内は、検討内容を記載した箇所を示す。

第 3.2-1 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価のフロー

### 3.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出

#### 3.3.1 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し、連絡通路において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を第 3.3-1 表に示す。

第 3.3-1 表 連絡通路における耐震評価上の構成部材の整理

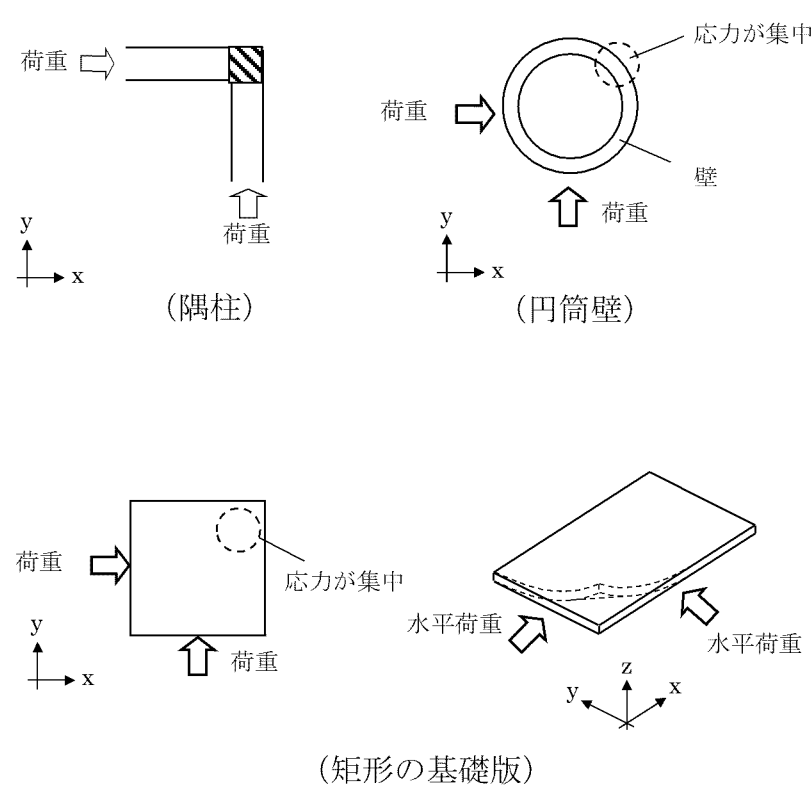
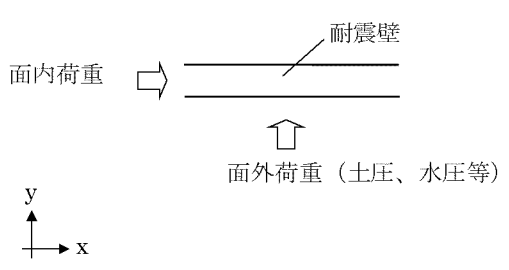
耐震評価部位		連絡通路
柱	一般部	—
	隅部	—
	地下部	—
はり	一般部	—
	地下部	—
	鉄骨トラス	—
壁	一般部	○
	斜め部	—
	地下部	—
	鉄骨ブレース	—
	水密扉	—
床・屋根	一般部	○
基礎	矩形	○

凡例 ○：対象の部材有り、—：対象の部材なし

### 3.3.2 応答特性の整理

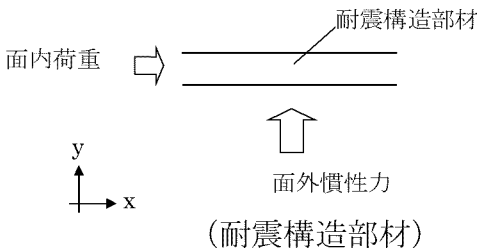
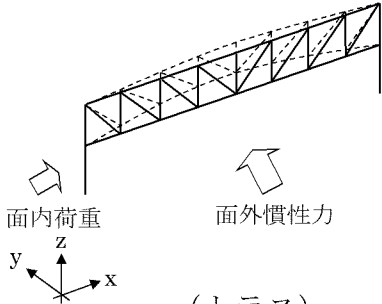
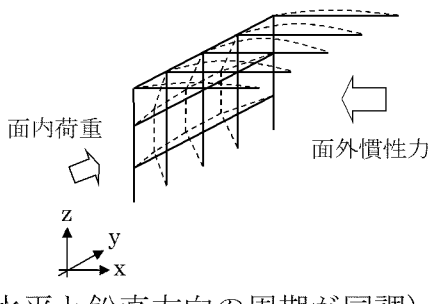
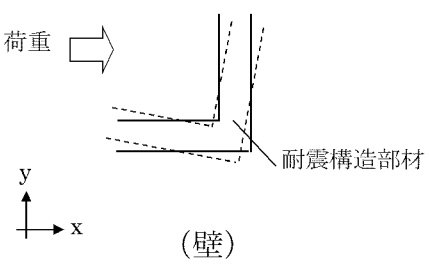
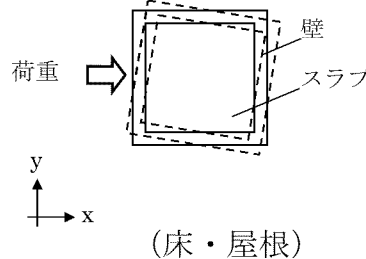
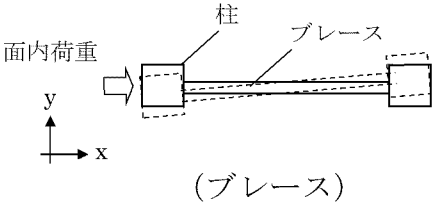
建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び 3 次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を第 3.3-2 表及び第 3.3-3 表に示す。また、応答特性を踏まえ、耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力のを考え方を第 3.3-4 表に示す。

第 3.3-2 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる  
影響が想定される応答特性（荷重の組合せによる応答特性）

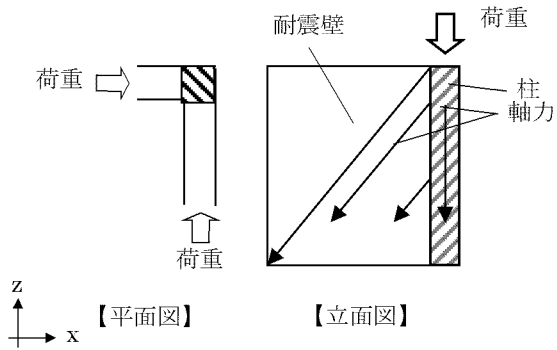
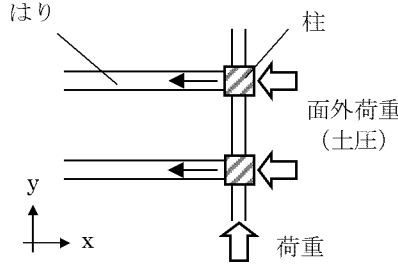
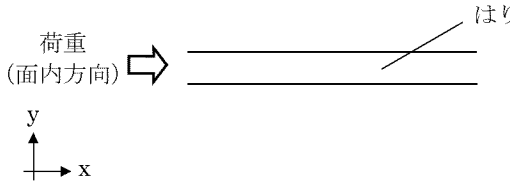
荷重の組合せによる 応答特性	影響想定部位
<p>①-1</p> <p>直交する水平 2 方向の荷重 が、応力とし て集中</p>	<p>応力の集中する隅柱等 (例)</p>  <p>(隅柱)</p> <p>(円筒壁)</p> <p>(矩形の基礎版)</p>
<p>①-2</p> <p>面内方向の荷 重を負担しつ つ、面外方向 の荷重が作用</p>	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するピット等 (例)</p>  <p>耐震壁</p> <p>面内荷重</p> <p>面外荷重（土圧、水圧等）</p>



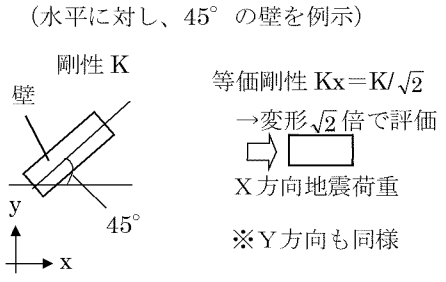
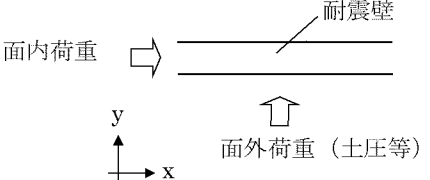
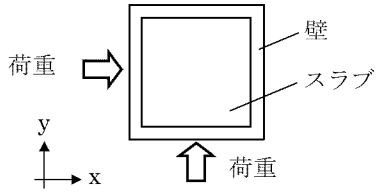
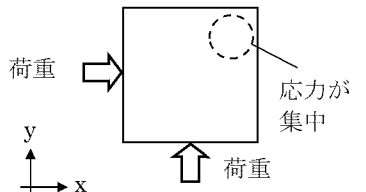
第 3.3-3 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる  
影響が想定される応答特性 (3 次元的な応答特性)

3 次元的な応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹抜部に設置された部位</p> <p>(例)</p>  <p>面内荷重 → 耐震構造部材</p> <p>↑ 面外慣性力 (耐震構造部材)</p> <p>↑ y → x</p>  <p>面内荷重 → 面外慣性力 ↑</p> <p>↑ y → x ↑ z</p> <p>(トラス)</p>  <p>面内荷重 → 面外慣性力 ←</p> <p>↑ z → y → x</p> <p>(水平と鉛直方向の周期が同調)</p>
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方向に励起される振動が発生</p>	<p>塔状構造物等を含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物</p> <p>(例)</p>  <p>荷重 → 耐震構造部材</p> <p>↑ y → x</p> <p>(壁)</p>  <p>荷重 → 壁 → スラブ</p> <p>↑ y → x</p> <p>(床・屋根)</p>  <p>面内荷重 → 柱 → ブレース</p> <p>↑ y → x</p> <p>(ブレース)</p>

第 3.3-4 表 耐震評価上の各部位に対する水平 2 方向入力の方(1/2)

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力の方
柱	一般部	耐震壁付の構造の場合、水平入力による影響は小さい。
	隅部 (端部含む)	<p>直交する地震荷重が同時に作用。 但し、耐震壁付きの隅柱は、軸力が耐震壁に分散されることで、影響は小さい。</p> 
	地下部	<p>外周部耐震壁付のため、水平入力による影響は小さい。 土圧が作用する方向にあるはり及び壁が応力を負担することで、水平面外入力による影響は小さい。</p> 
はり	一般部	<p>1 方向のみ地震荷重を負担し、床による面外地震荷重負担による影響は小さい。 吹抜部にあるはりの面外地震荷重の影響未把握。</p> 
	地下部	<p>外周部耐震壁付のため、水平入力による影響は小さい。 地下部分のりは、直交する方向からの地震時面外土圧荷重も受けるが、はりに床が接続される（吹抜けとならない）場合、水平入力による影響は小さい。</p>
	鉄骨トラス	<p>1 方向のみ地震荷重を負担するため水平入力による影響は小さい。 床による拘束があるため、面外荷重の影響は小さい。</p>
壁	一般部	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することを基本。直交する方向（面外）及びねじれによる荷重増分は影響未把握。</p>

第 3.3-4 表 耐震評価上の各部位に対する水平 2 方向入力の方(2/2)

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力の方
壁	斜め部	<p>1 方向地震荷重は角度に応じた等価なせん断剛性としたひずみで評価。 直交する方向（面外）及びねじれによる荷重増分は影響未把握。</p> <p>(水平に対し、45° の壁を例示)</p> 
	地下部	<p>地下部分の耐震壁は、直交する方向からの地震時面外土圧荷重も受ける。</p> 
	鉄骨ブレース	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することを基本。ねじれによる荷重増分は影響度未把握。</p>
床、屋根	一般部	<p>スラブは四方が壁で固定され、水平方向に変形しにくい構造となっており、水平地震力の影響は小さい。ねじれによる荷重増分は影響未把握。</p> 
基礎	基礎版(矩形)	<p>直交する水平 2 方向の地震力により、集中応力が作用する。</p> 

### 3.3.3 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

第 3.3-1 表に示す耐震評価上の構成部位のうち、第 3.3-2 表に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を第 3.3-5 表に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位として、連絡通路の基礎を抽出した。

#### (1) 壁

矩形の壁は、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。

また、①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位も存在しない。

#### (2) 床及び屋根

床及び屋根は、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。

また、①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位も存在しない。

#### (3) 基礎

①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位としては、矩形の基礎版が考えられる。

連絡通路の矩形の基礎版は、隅部への応力集中が考えられるため、①-1に該当するものとして抽出した。

また、①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、基礎版は該当しない。

第 3.3-5 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる  
影響の確認が必要な部位の抽出  
(荷重の組合せによる応答特性によるスクリーニング)

耐震評価部位		連絡通路
柱	一般部	—
	隅部	—
	地下部	—
はり	一般部	—
	地下部	—
	鉄骨トラス	—
壁	一般部	該当なし
	斜め部	—
	地下部	—
	鉄骨ブレース	—
	水密扉	—
床・屋根	一般部	該当なし
基礎	矩形	①-1 要

凡例 要：評価必要

①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

### 3.3.4 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

第 3.3-1 表に示す耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、第 3.3-3 表に示す 3次元的な応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を第 3.3-6 表に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位及び応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動が発生」する部位として、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が必要な部位は抽出されなかった。

#### (1) 壁

連絡通路の一般部の壁について、面外慣性力の影響が大きくなるような大スパン又は吹抜部の壁は存在しないことから、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位には該当しない。また、連絡通路の壁は、各方向にバランスよく耐震壁が配置されており、ねじれの無い構造のため、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動の発生」する部位には該当しない。

#### (2) 床及び屋根

床及び屋根は、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位としては、該当しない。

また、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動が発生」する部位としては、該当しない。

#### (3) 基礎

矩形の基礎版は、3.3.3 で抽出されているため、該当しない。

第 3.3-6 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる  
影響の確認が必要な部位の抽出  
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震評価部位		連絡通路
柱	一般部	—
	隅部	—
	地下部	—
はり	一般部	—
	地下部	—
	鉄骨トラス	—
壁	一般部	否
	斜め部	—
	地下部	—
	鉄骨ブレース	—
	水密扉	—
床・屋根	一般部	否
基礎	矩形	要

- 凡例 要：荷重の組合せによる応答特性によるスクリーニングで抽出済み、  
否：評価不要、  
②-1：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」  
②-2：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動が発生」

### 3.3.5 3次元 FEM モデルによる精査

連絡通路について、応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位及び応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動が発生」する部位として、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が必要な部位は抽出されなかった。

但し、3 次元的な応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位を含め、耐震評価部位全般について、局所応答の観点から、3 次元 FEM モデルによる精査を行った。

連絡通路は、平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された工事計画の添付資料 3-19「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」において局所応答の検討を行った原子炉補助建屋と同様に、各方向にバランスよく耐震壁が配置され、地震力を主に耐震壁で負担する構造である。したがって、平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された工事計画の添付資料 3-19「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」及び平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された工事計画に係る補足説明資料-3 の知見を用いて、局所応答に対する 3 次元 FEM モデルによる精査を行った。3 次元 FEM モデルを用いた精査の結果を第 3.3-7 表に示す。

平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された工事計画の添付資料 3-19「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」及び平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された工事計画に係る補足説明資料-3 では、原子炉補助建屋について、水平 2 方向及び鉛直方向入力時の最大応答加速度から、水平 1 方向入力時に対する増分を考慮して、局所応答を踏まえた耐震壁のひずみを評価し、その影響を検討している。その結果、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、建屋が有する耐震性への影響は想定されず、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う必要がある部位は抽出されなかったとしている。平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された工事計画の添付資料 3-19「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」及び平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された工事計画に係る補足説明資料-3 より、原子炉補助建屋の 3 次元 FEM モデルの概要図を第 3.3-1 図に示す。また、3 次元 FEM モデルによる精査の詳細については、平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された工事計画に係る補足説明資料-3 の別



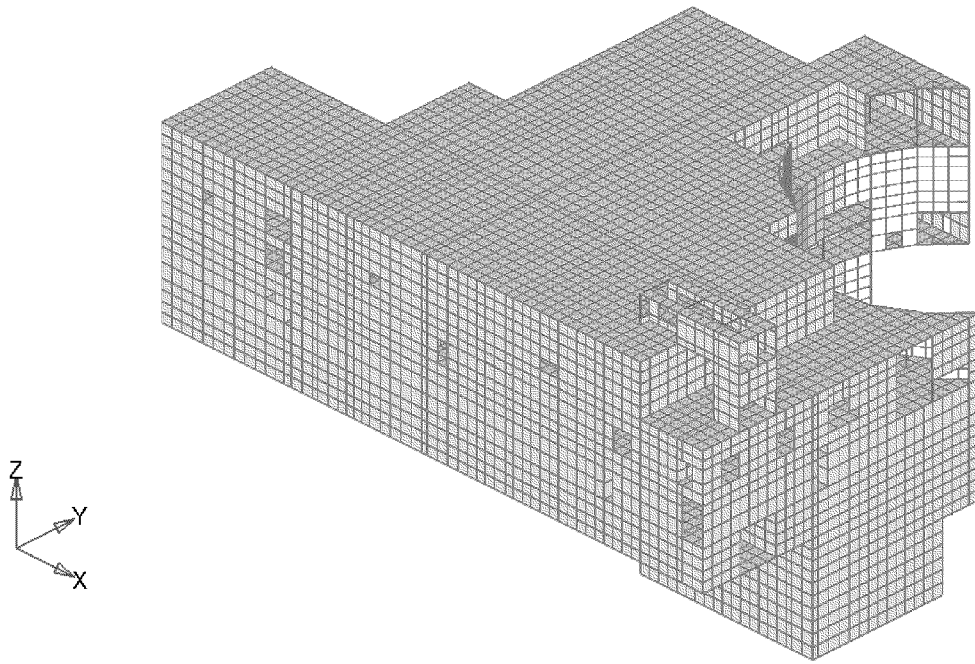
紙 2 に示す。

以上より、連絡通路についても、建屋が有する耐震性への影響は想定されないことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う必要がある部位は抽出しない。

第 3.3-7 表 3 次元 FEM モデルを用いた精査

対 象		3 次元的な 応答特性 (②-1、 ②-2)	3 次元 FEM モデルを 用いた精査方法	3 次元 FEM モデルを 用いた精査結果
耐震 評価部位	建物・構築物 <sup>(注)</sup>			
耐震評価 部位全般	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 連絡通路</li> <li>・ <u>原子炉補助建屋</u></li> </ul>	局所的な 応答	水平 2 方向及び鉛直方向入力時の最大応答加速度から、水平 1 方向入力時に対する増分を考慮して、局部応答を踏まえた耐震壁のひずみを評価し、影響を検討	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、原子炉補助建屋が有する耐震性への影響は想定されないため抽出しない。

(注) 下線は、評価する建物・構築物を示す。なお、局所応答に対する 3 次元 FEM モデルを用いた精査については、平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された工事計画の添付資料 3-19 「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」及び平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された工事計画に係る補足説明資料-3 の知見を用いて評価を行っている。したがって、原子炉補助建屋は、今回工認における評価対象建屋ではないが、建物・構築物に含まれている。



構造部材

- ・ 壁、屋根、床、基礎 : シェル要素
- ・ 柱、はり : はり要素

第 3.3-1 図 原子炉補助建屋の 3 次元 FEM モデルの概要図

### 3.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出結果

#### 3.4.1 連絡通路における影響評価部位の抽出結果

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定されるとして抽出した部位を第 3.4-1 表に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位として、連絡通路の基礎について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

#### 3.4.2 機器・配管系への影響が考えられる部位の抽出

連絡通路において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響から、機器・配管系への影響の可能性のある部位を抽出した。

連絡通路の基礎は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力が集中する部位であるが、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

第 3.4-1 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる  
影響の確認が必要な部位

応答特性	耐震評価 部位		対象建物・構築物
	基礎	矩形	
①-1	基礎	矩形	・連絡通路

凡例 ①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」

### 3.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価方針

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位として抽出された部位について、基準地震動 Ss を用い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を評価した。影響評価は、添付資料 9-13 「耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震計算書」の各部位の解析モデル及び地震力を用いた。影響評価に用いる地震動を第 3.5-1 表に示す。

また、影響評価に用いる地震力は、基準地震動 Ss の各方向地震成分により個別に計算した最大応答値を用い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 Regulatory Guide 1.92<sup>(注)</sup> の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法(1.0 : 0.4 : 0.4)に基づいて評価する。

(注) Regulatory Guide (RG) 1.92 “ Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis ”

第 3.5-1 表 影響評価に用いる地震動

影響評価部位		対象建物・構築物	影響評価に用いる地震動	備考
基礎	矩形	連絡通路	基準地震動 Ss-1 Ss-2	添付資料 9-13-2 「緊急時対策棟（連絡通路）の耐震計算書」の評価結果を用いるため、Ss-1 及び Ss-2 を包絡した地震力とする。

### 3.6 基礎（矩形の基礎版）の検討

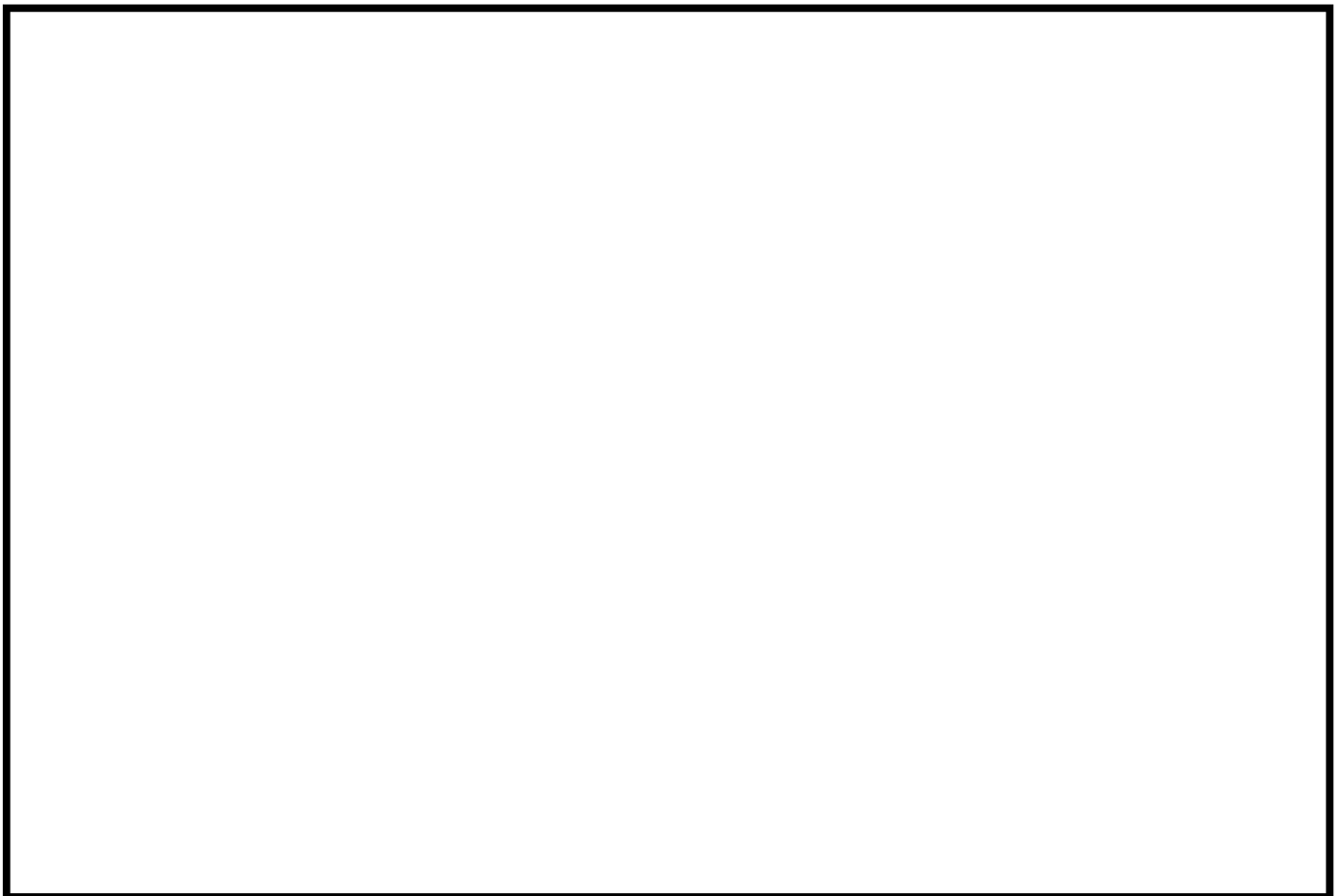
#### 3.6.1 概要

矩形の基礎版は、「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位であり、隅部等に応力が集中する可能性がある。

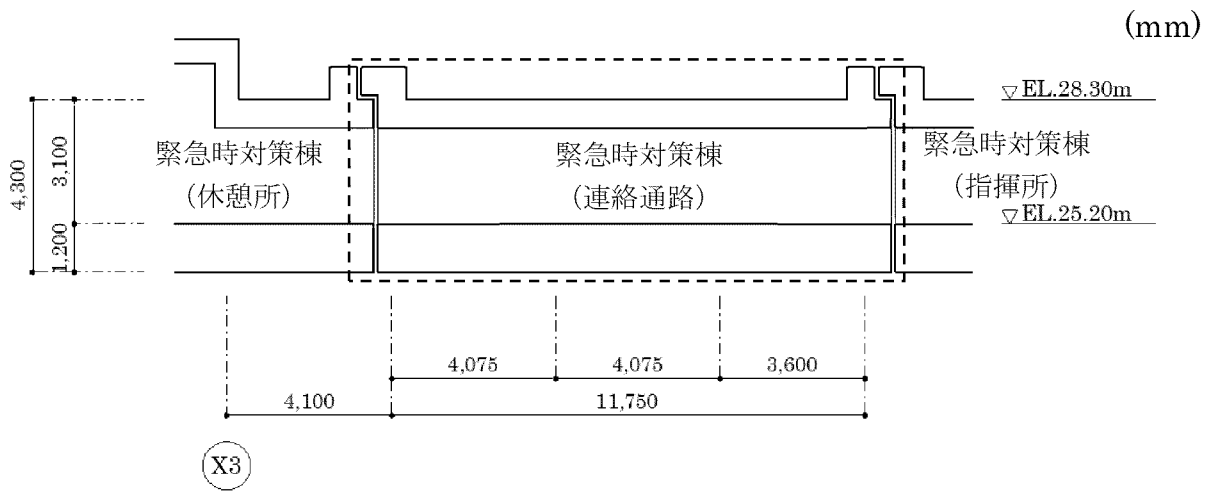
検討は、連絡通路の基礎を評価対象物として、基礎版に対して地震力を水平 2 方向及び鉛直方向から作用させた場合の検討を行う。

連絡通路の基礎の主要構造は、平面形状が東西方向約 12m、南北方向約 10m、厚さが約 1.2m の鉄筋コンクリート造べた基礎であり、岩盤に設置している。

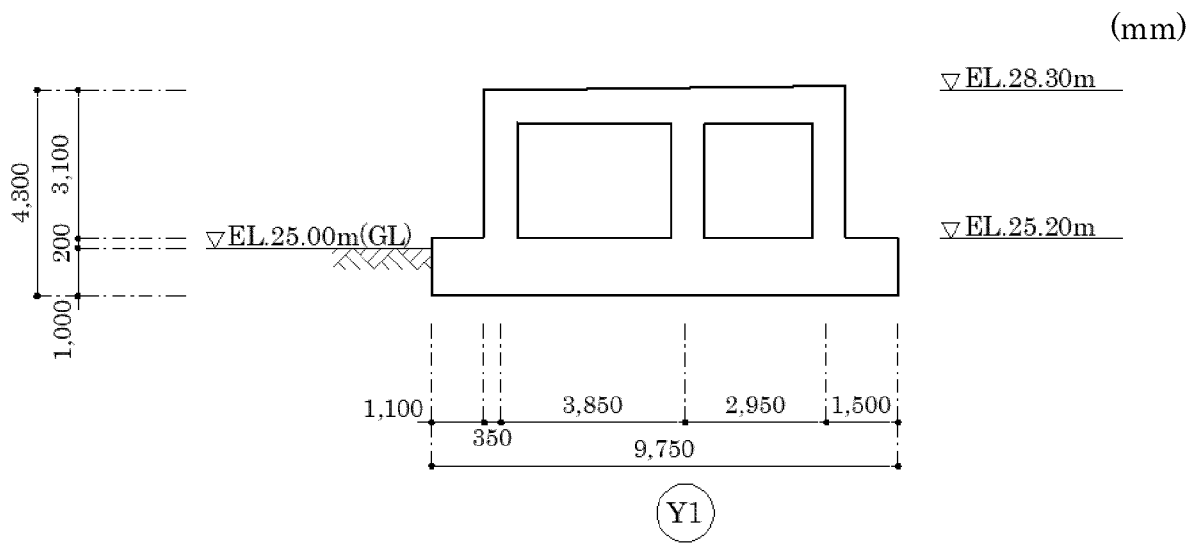
連絡通路の概略平面図及び概略断面図を第 3.6-1 図及び第 3.6-2 図に示す。



第 3.6-1 図 連絡通路の概略平面図



(a) A-A 断面



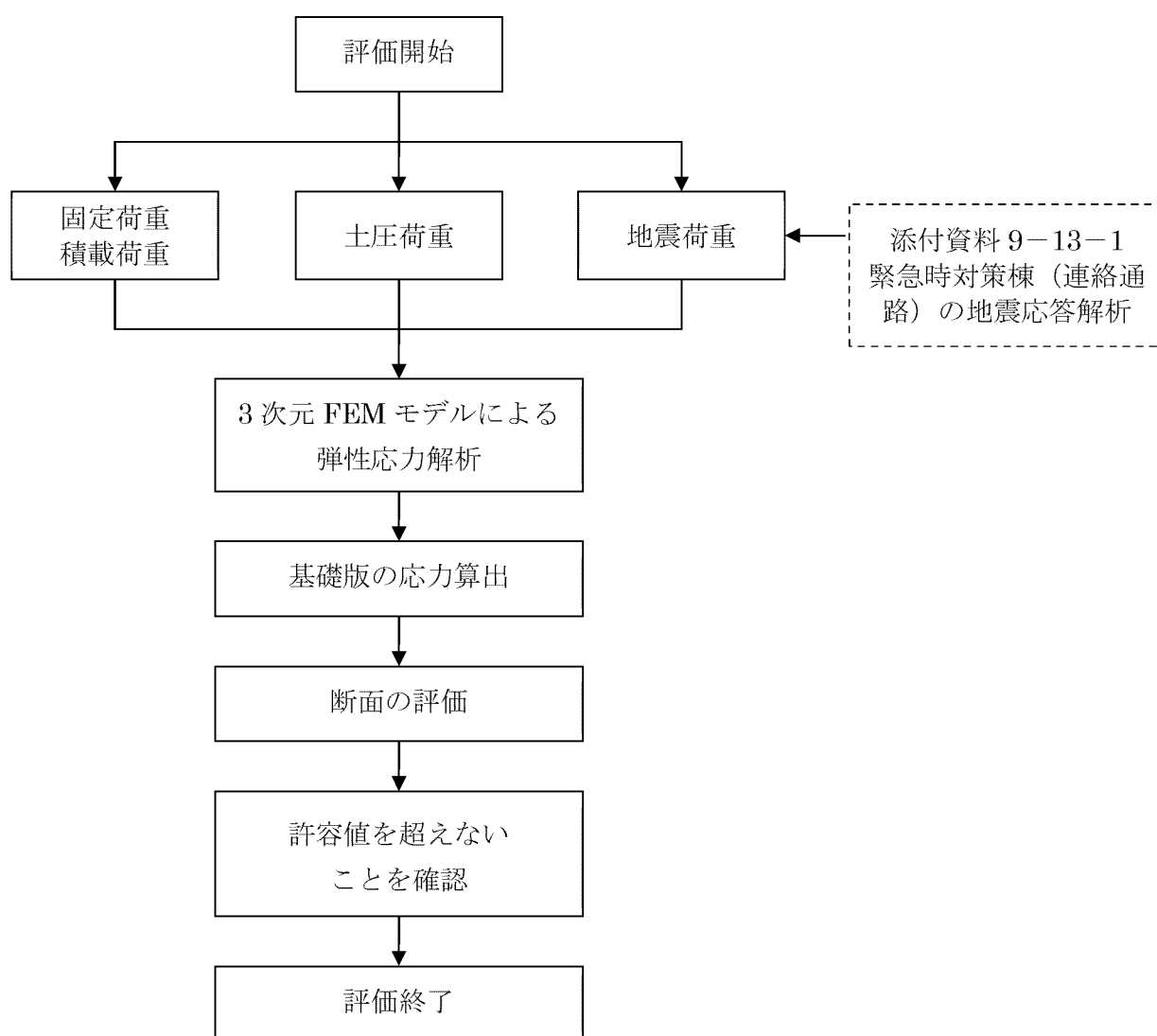
(b) B-B 断面

第 3.6-2 図 連絡通路の概略断面図

### 3.6.2 検討方針

「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位である連絡通路の基礎について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、3次元 FEM モデルによる弾性応力解析を行う。基準地震動  $S_s$  による地震力が作用する状態（以下「 $S_s$  地震時」という。）を対象として、基礎版について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を評価する。

連絡通路の基礎について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討フローを第 3.6-3 図に示す。



第 3.6-3 図 連絡通路の基礎の検討フロー



### 3.6.3 荷重及び荷重の組合せ

#### (1) 荷 重

##### a. 固定荷重 D 及び積載荷重 L

固定荷重は、壁、屋根及び基礎版の躯体重量及び仕上げ重量を考慮する。固定荷重を第 3.6-1 表に示す。

積載荷重は、屋根及び基礎版の単位面積当たりの積載荷重に加えて、機器荷重及び配管荷重を考慮する。積載荷重を第 3.6-2 表に示す。

第 3.6-1 表 固定荷重

部位	荷重 (kN/m <sup>2</sup> )	備考
壁	24.0 <sup>(注)</sup> t	t : コンクリートの厚さ(m)
屋根	24.0 <sup>(注)</sup> t + W	t : コンクリートの厚さ(m) W : 仕上げ重量(kN/m <sup>2</sup> )
基礎版	24.0 <sup>(注)</sup> t	t : コンクリートの厚さ(m)

(注) 鉄筋コンクリートの単位体積重量

第 3.6-2 表 積載荷重

(単位 : kN/m<sup>2</sup>)

部位	荷重
屋根	0.8 + 機器荷重 + 配管荷重
基礎版	0.5 + 機器荷重 + 配管荷重

b. 地震荷重  $K_s$

地震荷重として、 $S_s$  地震荷重を考慮する。

$S_s$  地震荷重は、添付資料 9-13-1 「緊急時対策棟（連絡通路）の地震応答解析」による地盤定数を含む材料物性のばらつき及び減衰定数の設定に起因する不確かさ（以下「材料物性のばらつき等」という。）を考慮した基準地震動  $S_s$  に対する地震応答解析結果に基づき、基準地震動  $S_{s-1}$  及び  $S_{s-2}$  により算出される動的地震力を包絡して設定する。材料物性のばらつき等を考慮した解析ケースを第 3.6-3 表に示す。また、 $S_s$  地震時の材料物性のばらつき等を考慮した最大応答せん断力及び最大応答軸力を第 3.6-4 表及び第 3.6-5 表に示す。

水平地震荷重と鉛直地震荷重との組合せは、組合せ係数法を用いて次のとおりとする。

- ①  $1.0 \times NS$  方向地震力 +  $0.4 \times EW$  方向地震力 +  $0.4 \times$  鉛直地震力
- ②  $0.4 \times NS$  方向地震力 +  $1.0 \times EW$  方向地震力 +  $0.4 \times$  鉛直地震力
- ③  $0.4 \times NS$  方向地震力 +  $0.4 \times EW$  方向地震力 +  $1.0 \times$  鉛直地震力

但し、本検討が水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の評価を目的としているため、①及び②の鉛直方向地震力の係数 0.4 のケースに対して検討を行う。

第 3.6-3 表 材料物性のばらつき等を考慮した解析ケース

解析ケース	地盤のせん断波速度 $V_s$ (km/s)	ヤング係数 $E$ ( $N/mm^2$ )	減衰定数 $h$ (%)
基本ケース	0.52	$1.80 \times 10^3$	5
地盤物性のばらつき を考慮 ( $-1\sigma$ )	0.46	$1.41 \times 10^3$	5
地盤物性のばらつき を考慮 ( $+1\sigma$ )	0.58	$2.24 \times 10^3$	5
減衰定数の設定に起因 する不確かさを考慮	0.52	$1.80 \times 10^3$	3

第 3.6-4 表 材料物性のばらつき等を考慮した最大応答せん断力 (Ss 地震時)<sup>(注)</sup>

(a) NS 方向

(単位 :  $\times 10^5 \text{kN}$ )

部材 番号	NS 方向		
	Ss-1	Ss-2	設計用地震力
①	3.50	2.88	3.51

(b) EW 方向

(単位 :  $\times 10^5 \text{kN}$ )

部材 番号	EW 方向		
	Ss-1	Ss-2	設計用地震力
①	3.45	2.79	3.46

(注) Ss-1 及び Ss-2 の最大応答せん断力は、解析結果を四捨五入した数値であり、設計用地震力は、それらを包絡して安全側に切り上げた数値である。

第 3.6-5 表 材料物性のばらつき等を考慮した最大応答軸力 (Ss 地震時)<sup>(注)</sup>

(単位 :  $\times 10^5 \text{kN}$ )

部材 番号	鉛直方向		
	Ss-1	Ss-2	設計用地震力
①	0.993	1.10	1.11

(注) Ss-1 及び Ss-2 の最大応答軸力は、解析結果を四捨五入した数値であり、設計用地震力は、それらを包絡して安全側に切り上げた数値である。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せは、添付資料 9-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。荷重の組合せを第 3.6-6 表に示す。

地震荷重及び風荷重の組合せについて、連絡通路はコンクリート構造物であり、自重の大きな施設であることから、風荷重の影響は小さいため、地震荷重及び風荷重の組合せは考慮しない。

また、積雪荷重は、地震荷重及び積載荷重の組合せで考慮される。

第 3.6-6 表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
Ss 地震時	D+L+Ks

D : 固定荷重

L : 積載荷重

Ks : Ss 地震荷重

### 3.6.4 使用材料の許容応力度

コンクリート及び鉄筋の許容応力度を第 3.6-7 表及び第 3.6-8 表に示す。

第 3.6-7 表 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

設計基準強度 $F_c$	短期	
	圧縮	せん断
30.0	20.0	1.18

第 3.6-8 表 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm<sup>2</sup>)

鉄筋種類	短期	
	引張 圧縮	せん断
SD390	390	390

### 3.6.5 評価方法

#### (1) 解析モデル

##### a. モデル化の基本方針

###### (a) 基本方針

応力解析は、3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析とする。連絡通路の壁、屋根及び基礎版を含む建屋全体の解析モデルを作成し、各荷重ケースに対して解析を行う。解析モデルは、添付資料 9-13-2「緊急時対策棟（連絡通路）の耐震計算書」で構築したモデルを使用する。

応力解析には、解析コード「NX-NASTRAN」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

###### (b) 使用要素

解析モデルに使用する FEM 要素は、壁、屋根並びに基礎版をシェル要素でモデル化する。メッシュの分割は、1m～2m 幅を基本とする。解析モデルを第 3.6-4 図に示す。解析モデルの節点数は 429、要素数は 600 である。

##### b. 境界条件

添付資料 9-13-1「緊急時対策棟（連絡通路）の地震応答解析」に示す質点系モデルの地盤ばねを離散化して、水平方向及び鉛直方向のばねを基礎底面に設ける。また、水平方向及び鉛直方向の地盤ばねについて、基礎浮上りによって基礎と地盤の界面に引張力が作用する部分は、応力を伝達しないものとする。

###### (a) 水平方向の地盤ばね

添付資料 9-13-1「緊急時対策棟（連絡通路）の地震応答解析」に示す質点系モデルの水平ばねから下式によって、節点の支配面積に応じて離散化する。

$$kh_i = \frac{A_i}{\Sigma A_i} K_h$$

ここで、

$kh_i$  : 各節点位置の水平ばね

- $A_i$  : 各節点の支配面積
- $\Sigma A_i$  : 基礎版の面積
- $K_h$  : 添付資料 9-13-1 「緊急時対策棟（連絡通路）の地震応答解析」に示す質点系モデルの水平ばね

(b) 鉛直方向の地盤ばね

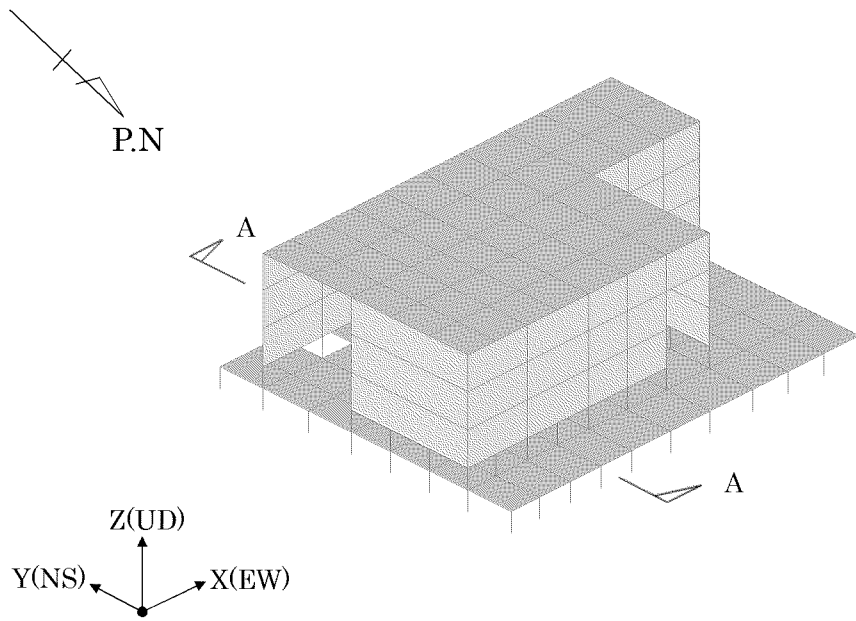
添付資料 9-13-1 「緊急時対策棟（連絡通路）の地震応答解析」に示す質点系モデルによる回転ばねから下式によって、節点の支配面積に応じて離散化する。鉛直方向の地盤反力係数は、NS 方向及び EW 方向のうち、地震力が支配的となる方向（組合せ係数法の組合せ係数が 1.0 となる方向）の回転ばねより算出する。

$$kv_i = kv \cdot A_i$$

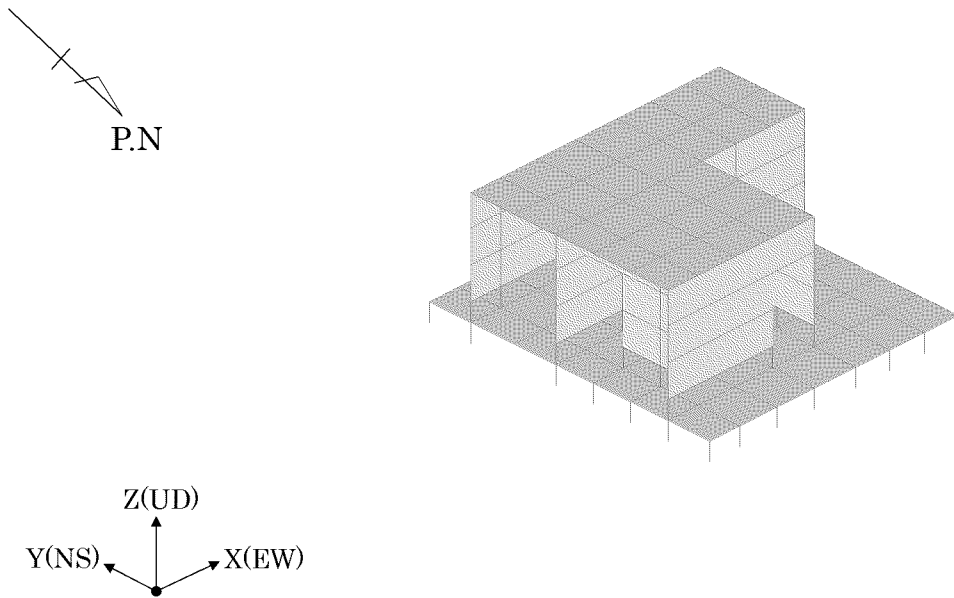
$$kv = \frac{K_R}{I}$$

ここで、

- $kv_i$  : 各節点位置の鉛直ばね
- $kv$  : 地盤反力係数
- $A_i$  : 各節点の支配面積
- $K_R$  : 添付資料 9-13-1 「緊急時対策棟（連絡通路）の地震応答解析」に示す質点系モデルの回転ばね
- $I$  : 基礎版の断面二次モーメント



(a) 全体



(b) A-A 断面

第 3.6-4 図 解析モデル (鳥瞰図)



(2) 解析諸元

使用材料の物性値について、コンクリート及び鉄筋の材料定数を第 3.6-9 表及び第 3.6-10 表に示す。

第 3.6-9 表 コンクリートの材料定数

設計基準強度 Fc (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν
30.0	2.44×10 <sup>4</sup>	0.2

第 3.6-10 表 鉄筋の材料定数

鉄筋種類	降伏強度 Fy (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )
SD390	390	2.05×10 <sup>5</sup>

(3) 応力解析方法

連絡通路の基礎は、Ss 地震時に対して、3次元 FEM モデルによる弾性応力解析を行う。

a. 荷重ケース

Ss 地震時の応力は、以下に示す荷重ケースを組み合わせて求める。

D+L : 固定荷重+積載荷重

K<sub>SNS</sub> : Ss 地震荷重 (NS 方向)

K<sub>SEW</sub> : Ss 地震荷重 (EW 方向)

K<sub>SUD</sub> : Ss 地震荷重 (鉛直方向)

b. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースは、米国 Regulatory Guide 1.92<sup>(注)</sup>の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法(1.0 : 0.4 : 0.4)に基づいて評価する。荷重の組合せケースは、本検討が水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の評価を目的としているため、鉛直方向地震力の係数 0.4 のケースに対して検討を行う。水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる荷重の組合せケースを第 3.6-11 表に示す。

また、参考として、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対しても検討を行う。水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる荷重の組合せケースを第 3.6-12 表に示す。

荷重の組合せケースにおいて、地震荷重は、S→N 方向、W→E 方向及び鉛直上向きを「+」、N→S 方向、E→W 方向及び鉛直下向きを「-」とする。

(注) Regulatory Guide (RG) 1.92 “ Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis ”

第 3.6-11 表 荷重の組合せケース（水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ）

	ケース No.	荷重の組合せケース
Ss 地震時	1	$D + L + 1.0K_{SNS} + 0.4K_{SEW} + 0.4K_{SUD}$
	2	$D + L + 1.0K_{SNS} + 0.4K_{SEW} - 0.4K_{SUD}$
	3	$D + L + 1.0K_{SNS} - 0.4K_{SEW} + 0.4K_{SUD}$
	4	$D + L + 1.0K_{SNS} - 0.4K_{SEW} - 0.4K_{SUD}$
	5	$D + L - 1.0K_{SNS} + 0.4K_{SEW} + 0.4K_{SUD}$
	6	$D + L - 1.0K_{SNS} + 0.4K_{SEW} - 0.4K_{SUD}$
	7	$D + L - 1.0K_{SNS} - 0.4K_{SEW} + 0.4K_{SUD}$
	8	$D + L - 1.0K_{SNS} - 0.4K_{SEW} - 0.4K_{SUD}$
	9	$D + L + 0.4K_{SNS} + 1.0K_{SEW} + 0.4K_{SUD}$
	10	$D + L + 0.4K_{SNS} + 1.0K_{SEW} - 0.4K_{SUD}$
	11	$D + L - 0.4K_{SNS} + 1.0K_{SEW} + 0.4K_{SUD}$
	12	$D + L - 0.4K_{SNS} + 1.0K_{SEW} - 0.4K_{SUD}$
	13	$D + L + 0.4K_{SNS} - 1.0K_{SEW} + 0.4K_{SUD}$
	14	$D + L + 0.4K_{SNS} - 1.0K_{SEW} - 0.4K_{SUD}$
	15	$D + L - 0.4K_{SNS} - 1.0K_{SEW} + 0.4K_{SUD}$
	16	$D + L - 0.4K_{SNS} - 1.0K_{SEW} - 0.4K_{SUD}$

第 3.6-12 表 荷重の組合せケース（水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ）

	ケース No.	荷重の組合せケース
Ss 地震時	101	$D+L+1.0K_{SNS}+0.4K_{SUD}$
	102	$D+L+1.0K_{SNS}-0.4K_{SUD}$
	103	$D+L-1.0K_{SNS}+0.4K_{SUD}$
	104	$D+L-1.0K_{SNS}-0.4K_{SUD}$
	105	$D+L+1.0K_{SEW}+0.4K_{SUD}$
	106	$D+L+1.0K_{SEW}-0.4K_{SUD}$
	107	$D+L-1.0K_{SEW}+0.4K_{SUD}$
	108	$D+L-1.0K_{SEW}-0.4K_{SUD}$
	109	$D+L+0.4K_{SNS}+1.0K_{SUD}$
	110	$D+L+0.4K_{SNS}-1.0K_{SUD}$
	111	$D+L-0.4K_{SNS}+1.0K_{SUD}$
	112	$D+L-0.4K_{SNS}-1.0K_{SUD}$
	113	$D+L+0.4K_{SEW}+1.0K_{SUD}$
	114	$D+L+0.4K_{SEW}-1.0K_{SUD}$
	115	$D+L-0.4K_{SEW}+1.0K_{SUD}$
	116	$D+L-0.4K_{SEW}-1.0K_{SUD}$

c. 荷重の入力方法

(a) 固定荷重及び積載荷重

固定荷重は、3次元 FEM モデルの各要素に、材料の単位体積重量に基づく重量を与える。また、仕上げ重量等の固定荷重及び積載荷重は、各層の床に対する一様な分布荷重として入力する。

(b) 地震荷重

イ 水平方向

水平地震力は、第 3.6-4 表に示す最大応答せん断力に基づき設定した水平力を、屋根及び基礎版の重量分布に応じて分配し、節点荷重として入力する。

ロ 鉛直方向

鉛直地震力は、第 3.6-5 表に示す最大応答軸力に基づき設定した鉛直力を、屋根及び基礎版の重量分布に応じて分配し、節点荷重として入力する。

(4) 断面の評価方法

断面の評価は、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説（（社）日本建築学会、2005 制定）」（以下「RC-N 規準」という。）に基づき、基礎版の断面に生じる軸力及び曲げモーメント、面内せん断力並びに面外せん断力が、短期許容応力度に基づく許容値を超えないことを確認する。

断面の評価には、解析コード「DANSANPRO」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

- a. 軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力に対する断面の評価方法  
 軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力に対する断面の評価は、次の仮定に従い計算する。

- ・ ひずみは、中立軸からの距離に比例する。
- ・ コンクリートの圧縮応力度は、中立軸からの距離に比例する。
- ・ コンクリートの引張強度は無視する。

基礎版の断面について、軸力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として必要鉄筋量 $a_t$ を算出する。

また、断面に生じる面内せん断力が、コンクリートの許容せん断力以上となる場合において、断面に生じる面内せん断力を鉄筋で全て負担するものとし、必要せん断補強筋比 $p_s$ から必要鉄筋量 $a_s$ を算出する。必要せん断補強筋比 $p_s$ は、次式により算出する。

$$p_s = \frac{\tau}{f_t}$$

ここで、

$p_s$  : 必要せん断補強筋比

$f_t$  : 鉄筋のせん断補強用許容引張応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$\tau$  : せん断応力度(=Q/A)(N/mm<sup>2</sup>)

Q : 設計用水平せん断力(N)

A : 断面積(mm<sup>2</sup>)

軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力により算出されたそれぞれの必要鉄筋量を次式のように加算した必要鉄筋量 $a_g$ が、設計配筋量 $a_g'$ を超えないことを確認する。必要鉄筋量 $a_g$ は、NS方向及びEW方向各々について、算出する。

$$\text{必要鉄筋量 } a_g = a_t + a_s$$

b. 面外せん断力に対する断面の評価方法

基礎版に生じる面外せん断応力度 $\tau$ が短期許容せん断応力度 $\tau_A$ を超えないことを確認する。短期許容せん断応力度 $\tau_A$ は、次式により算出する。

$$\tau_A = \frac{Q_A}{A}$$

$$Q_A = \alpha \cdot f_s \cdot b \cdot j$$

ここで、

$\tau_A$  : 短期許容せん断応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$Q_A$  : 短期許容せん断力(N)

$A$  : 断面積(=  $b \cdot j$ )(mm<sup>2</sup>)

$\alpha$  : 割増係数であり、次式により計算した値

( $1 \leq \alpha \leq 2$ とする)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

$M$  : 曲げモーメント(N・mm)

$Q$  : せん断力(N)

$d$  : 断面の有効せい(mm)

$f_s$  : コンクリートの許容せん断応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$b$  : 材の幅(mm)

$j$  : 材の応力中心間距離(=  $\frac{7}{8}d$ ) (mm)

但し、せん断補強筋を考慮する場合の許容せん断力 $Q_A$ は、次式により算出する。

$$Q_A = b \cdot j \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot {}_w f_t (p_w - 0.002) \}$$

ここで、

${}_w f_t$  : せん断補強筋の許容引張応力度(N/mm<sup>2</sup>)

$p_w$  : せん断補強筋比

### 3.6.6 評価結果

連絡通路の基礎について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した Ss 地震時における応力解析結果を示す。また、基礎版の FEM 要素を、厚さ及び配筋ごとに分類し、第 3.6-11 表に示す荷重組合せに基づいて組み合わせた応力に対して、断面の評価を行う。

断面の評価対象部位は、分類領域ごとに、軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力に対する検定値が最大となる要素、面外せん断力に対する検定値が最大となる要素をそれぞれ選定する。基礎版の断面の評価対象要素番号を第 3.6-5 図、分類領域ごとの配筋を第 3.6-13 表に示す。

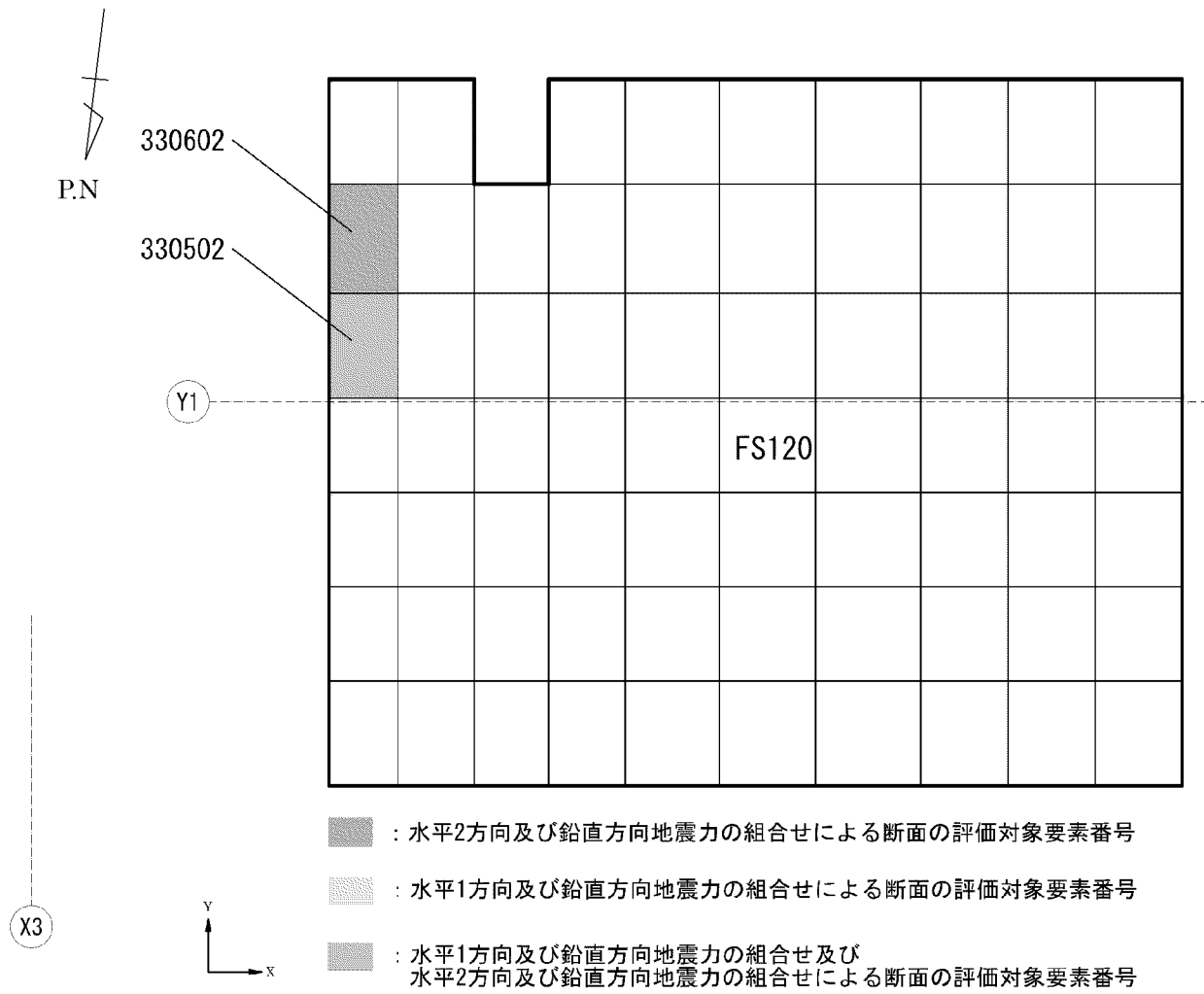
基礎版の応力の方向を第 3.6-6 図、軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力に対する断面の評価結果を第 3.6-14 表、面外せん断力に対する断面の評価結果を第 3.6-15 表に示す。また、断面の評価結果には、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる結果も併せて示す。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力に対し、必要鉄筋量が設計配筋量を超えないことを確認した。また、面外せん断応力度が短期許容せん断応力度を超えないことを確認した。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する断面の評価結果と水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する断面の評価結果とを比較すると、軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力の検定値は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、0.14（領域 FS120）であり、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、0.13（領域 FS120）である。面外せん断応力度の検定値は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、0.22（領域 FS120）であり、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、0.17（領域 FS120）となり、増加傾向であることを確認している。

以上のことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、連絡通路の基礎が有する耐震性への影響はないことを確認した。

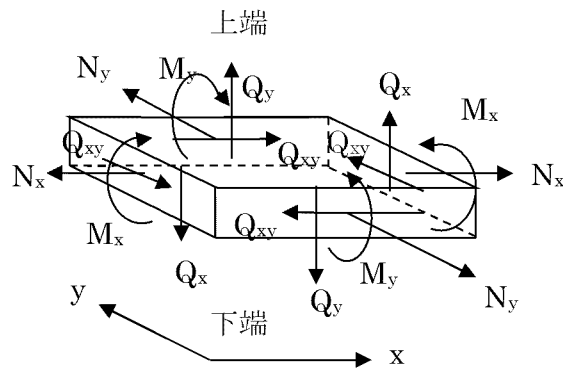




第 3.6-5 図 断面の評価対象要素番号

第 3.6-13 表 分類領域ごとの配筋

領域	厚さ (mm)	主筋 (SD390)		鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断 補強筋	
		位置	方向			
FS120	1,200	上端、 下端共	NS	1 段 D29@200	3,210	—
			EW	1 段 D29@200	3,210	



- $N_x, N_y$  : 軸力 (引張 : +)  
 $M_x, M_y$  : 曲げモーメント (下端引張 : +)  
 $Q_{xy}$  : 面内せん断力  
 $Q_x, Q_y$  : 面外せん断力

第 3.6-6 図 応力の方向

第 3.6-14 表 断面の評価結果（軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力）

(a) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

領域	要素番号	方向	ケース No.	組合せ応力			必要鉄筋量 $a_g$ (mm <sup>2</sup> /m)	設計配筋量 $a_g'$ (mm <sup>2</sup> /m)	検定値	判定
				N (kN/m)	M (kN・m/m)	Q <sub>xy</sub> (kN/m)				
FS120	330602	NS	9	209	56	-42	429	3,210	0.14	可

(b) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

領域	要素番号	方向	ケース No.	組合せ応力			必要鉄筋量 $a_g$ (mm <sup>2</sup> /m)	設計配筋量 $a_g'$ (mm <sup>2</sup> /m)	検定値	判定
				N (kN/m)	M (kN・m/m)	Q <sub>xy</sub> (kN/m)				
FS120	330502	NS	102	155	-69	61	389	3,210	0.13	可

第 3.6-15 表 断面の評価結果（面外せん断応力度）

(a) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

領域	要素番号	方向	ケース No.	面外せん断応力度 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容せん断応力度 $\tau_A$ (N/mm <sup>2</sup> )	検定値	判定
FS120	330502	NS	5	0.516	2.36	0.22	可

(b) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

領域	要素番号	方向	ケース No.	面外せん断応力度 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容せん断応力度 $\tau_A$ (N/mm <sup>2</sup> )	検定値	判定
FS120	330502	NS	103	0.391	2.36	0.17	可

### 3.6.7 検討のまとめ

矩形の基礎版は、水平 2 方向の地震動入力に対して、「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位であり、隅部等に応力が集中する可能性があることから、連絡通路の基礎について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、3 次元 FEM モデルによる弾性応力解析を行った。

その結果、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力に対し、必要鉄筋量が設計配筋量を超えないこと、面外せん断応力度が短期許容応力度を超えないことを確認した。

また、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する断面の評価結果と水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する断面の評価結果とを比較すると、水平 2 方向の地震力の影響により、軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力の検定値、面外せん断応力度の検定値は、増加傾向であることを確認した。

以上のことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、連絡通路の基礎が有する耐震性への影響はないことを確認した。

### 3.7 まとめ

連絡通路について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の検討を行った。

はじめに、連絡通路の全ての部位から、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が懸念される部位を想定される応答特性に基づいて抽出した。水平 2 方向の荷重の組合せによる応答特性によるスクリーニングにおいて、①-1「直行する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位及び①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位の 2 つの応答特性について着目して抽出した。その結果、応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位として、連絡通路の基礎を抽出し、応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位として、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響評価が必要な部位は抽出されなかった。

3 次元的応答特性によるスクリーニングにおいて、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動が発生」する部位の 2 つの応答特性について着目して抽出した。その結果、応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位及び応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動が発生」する部位として、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が必要な部位は抽出されなかった。

また、3 次元的な応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位を含め、耐震評価部位全般に対し、局所的な応答について、3 次元 FEM モデルによる精査を行った。精査した結果、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う必要がある部位は抽出されなかった。

次に、スクリーニングにより抽出された連絡通路の基礎について水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の検討を行った。

その結果、連絡通路の基礎について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、建物・構築物が有する耐震性への影響がないことを確認した。

また、機器・配管系への影響の可能性のある部位については、抽出されなかった。

9-13. 緊急時対策棟（連絡通路）接続工事  
による重量増加に対する緊急時対策棟（休憩所）  
の影響評価

## 目 次

	頁
1. 概 要 .....	1
2. 地震応答解析による影響評価 .....	2
2.1 影響評価方針 .....	2
2.2 休憩所増設部の接続について .....	12
2.3 影響評価結果 .....	12
3. 応力解析による影響評価 .....	38
3.1 影響評価方針 .....	38
3.2 影響評価結果 .....	42
4. まとめ .....	49

## 1. 概 要

緊急時対策棟（連絡通路）（以下「連絡通路」という。）と緊急時対策棟（指揮所）との接続工事において、緊急時対策棟（休憩所）（以下「休憩所」という。）の壁、床及び屋根の増設並びに新規開口の設置を行う。

本資料は、休憩所について、増設及び新規開口の設置による影響を考慮した地震応答解析による評価及び応力解析による評価を行い、建屋の有する耐震性への影響がないことを確認するものである。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料 9-13-3 「緊急時対策棟（休憩所）の地震応答解析」
- ・添付資料 9-13-4 「緊急時対策棟（休憩所）の耐震計算書」



## 2. 地震応答解析による影響評価

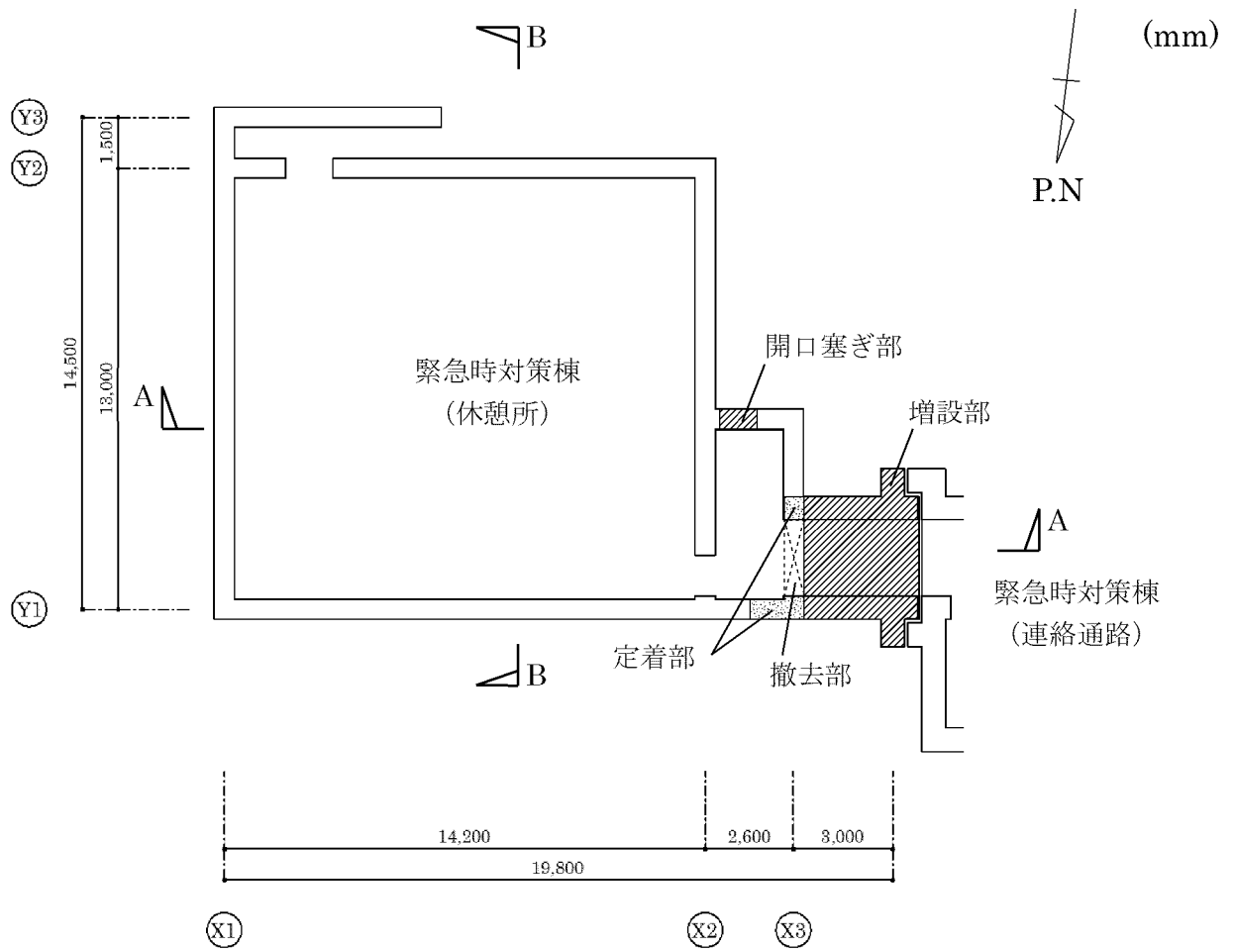
### 2.1 影響評価方針

平成 27 年 3 月 18 日付け原規規発第 1503181 号にて認可された川内 1 号機の工事計画の添付資料 3「耐震性に関する説明書」(以下「新規制基準工認」という。)における地震応答解析モデル(以下「新規制基準工認モデル」という。)を基に、増設及び新規開口の設置を考慮した地震応答解析モデル(以下「影響確認用モデル」という。)を構築する。休憩所の概略平面図及び概略断面図を第 2-1 図及び第 2-2 図に示す。増設による影響について、フレーム外の壁の増設であるため、剛性は評価しないものとし、地震応答解析モデルの質点重量の変動として、影響確認用モデルに反映する。また、新規開口の設置による影響について、地震応答解析モデルのせん断断面積及び断面二次モーメントの変動として、影響確認用モデルに反映する。

休憩所の地震応答解析モデルを第 2-3 図及び第 2-4 図、新規制基準工認モデル及び影響確認用モデル諸元を第 2-1 表～第 2-6 表に示す。

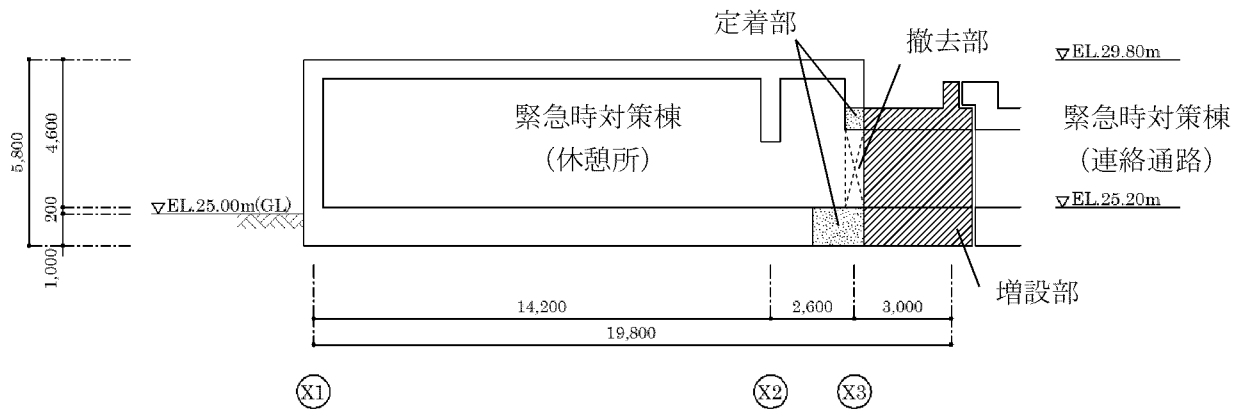
影響確認用モデルを用いて固有値解析を行い、固有値解析結果(固有周期及び固有振動数)及び刺激関数図の比較を行うことで、増設及び新規開口の設置が建屋の振動特性に与える影響を確認する。

また、影響確認用モデルを用いて地震応答解析を行い、休憩所の最大応答値及び最大せん断ひずみを比較するとともに、最大せん断ひずみが許容限界( $2.0 \times 10^{-3}$ )未満となることを確認する。



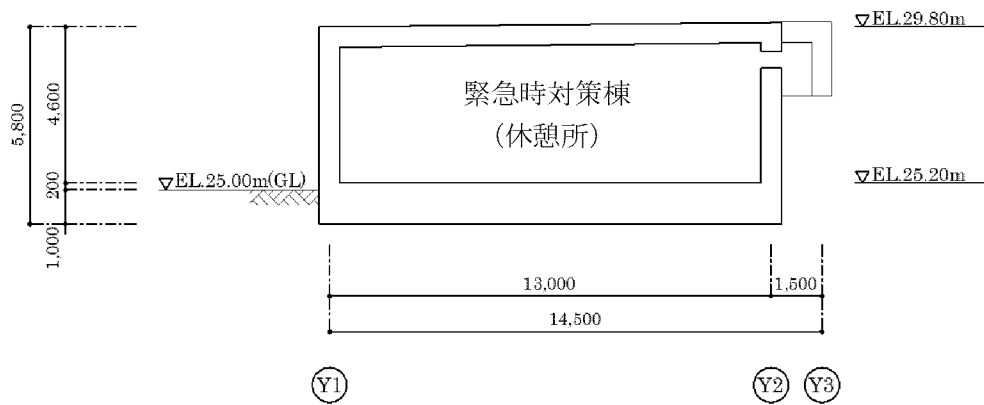
第 2-1 図 概略平面図

(mm)



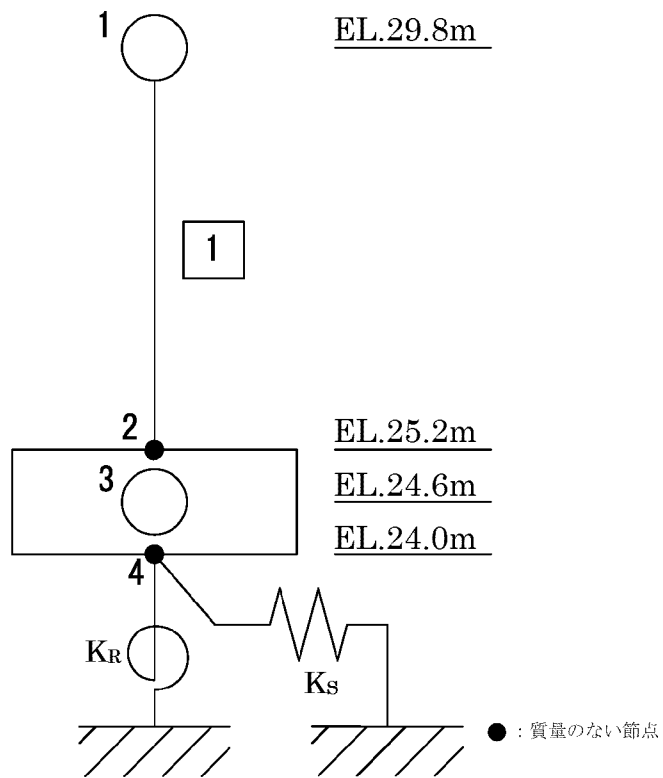
(a) A-A 断面

(mm)

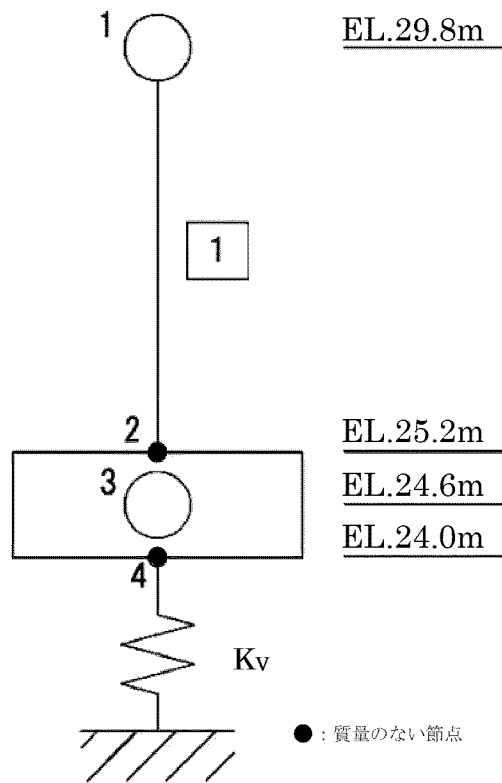


(b) B-B 断面

第 2-2 図 概略断面図



第 2-3 図 地震応答解析モデル (水平方向)



第 2-4 図 地震応答解析モデル（鉛直方向）

第 2-1 表 地震応答解析モデル諸元 (水平方向) (1/2)

(a) 新規制基準工認モデル

部位	質点 節点 番号	高さ EL. (m)	重量 (kN)	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )		断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	
					NS	EW	NS	EW
休憩所	1	29.8	$5.60 \times 10^3$	1	15	17	335	473
	2	25.2	—	Rigid				
	3	24.6	$8.70 \times 10^3$					
	4	24.0	—					

(b) 影響確認用モデル

部位	質点 節点 番号	高さ EL. (m)	重量 (kN)	部材 番号	せん断 断面積 (m <sup>2</sup> )		断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	
					NS	EW	NS	EW
休憩所	1	29.8	$6.07 \times 10^3$	1	14	17	313	486
	2	25.2	—	Rigid				
	3	24.6	$9.41 \times 10^3$					
	4	24.0	—					

第 2-1 表 地震応答解析モデル諸元 (水平方向) (2/2)

(a) 新規制基準工認モデル

部位	質点 節点 番号	回転慣性 (kN・m <sup>2</sup> )	
		NS	EW
休憩所	1	$8.68 \times 10^4$	$1.03 \times 10^5$
	2	—	—
	3	$1.36 \times 10^5$	$1.61 \times 10^5$
	4	—	—

(b) 影響確認用モデル

部位	質点 節点 番号	回転慣性 (kN・m <sup>2</sup> )	
		NS	EW
休憩所	1	$9.42 \times 10^4$	$1.12 \times 10^5$
	2	—	—
	3	$1.48 \times 10^5$	$1.75 \times 10^5$
	4	—	—

第 2-2 表 地盤ばね定数及び減衰係数 (水平方向)

(a) 新規制基準工認モデル

基礎底面 水平ばね	K <sub>S</sub>	ばね定数 (kN/m)		減衰係数 (kN・s/m)	
		NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
		$2.37 \times 10^7$	$2.34 \times 10^7$	$2.12 \times 10^5$	$2.06 \times 10^5$
基礎底面 回転ばね	K <sub>R</sub>	ばね定数 (kN・m/rad)		減衰係数 (kN・m・s/rad)	
		NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
		$1.38 \times 10^9$	$1.56 \times 10^9$	$4.18 \times 10^6$	$5.08 \times 10^6$

(b) 影響確認用モデル

基礎底面 水平ばね	K <sub>S</sub>	ばね定数 (kN/m)		減衰係数 (kN・s/m)	
		NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
		$2.57 \times 10^7$	$2.49 \times 10^7$	$2.52 \times 10^5$	$2.33 \times 10^5$
基礎底面 回転ばね	K <sub>R</sub>	ばね定数 (kN・m/rad)		減衰係数 (kN・m・s/rad)	
		NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
		$1.54 \times 10^9$	$2.10 \times 10^9$	$4.90 \times 10^6$	$8.03 \times 10^6$



第 2-3 表 地震応答解析モデル諸元 (鉛直方向)

(a) 新規制基準工認モデル

部位	質点 節点 番号	高さ EL. (m)	重量 (kN)	部材 番号	断面積 (m <sup>2</sup> )
休憩所	1	29.8	$5.60 \times 10^3$	1	31
	2	25.2	—	Rigid	
	3	24.6	$8.70 \times 10^3$		
	4	24.0	—		

(b) 影響確認用モデル

部位	質点 節点 番号	高さ EL. (m)	重量 (kN)	部材 番号	断面積 (m <sup>2</sup> )
休憩所	1	29.8	$6.07 \times 10^3$	1	30
	2	25.2	—	Rigid	
	3	24.6	$9.41 \times 10^3$		
	4	24.0	—		

第 2-4 表 地盤ばね定数及び減衰係数 (鉛直方向)

(a) 新規制基準工認モデル

基礎底面 鉛直ばね	K <sub>v</sub>	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN·s/m)
		$3.42 \times 10^7$	$4.35 \times 10^5$

(b) 影響確認用モデル

基礎底面 鉛直ばね	K <sub>v</sub>	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN·s/m)
		$3.67 \times 10^7$	$5.08 \times 10^5$

第2-5表 せん断スケルトンカーブ ( $\tau - \gamma$  関係)

(a) 新規制基準工認モデル

方向	部材番号	第1折点		第2折点		第3折点	
		$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
NS	1	1.80	0.177	2.44	0.531	5.48	4.000
EW	1	1.80	0.177	2.44	0.531	5.54	4.000

(b) 影響確認用モデル

方向	部材番号	第1折点		第2折点		第3折点	
		$\tau_1$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_1$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_2$ ( $\times 10^{-3}$ )	$\tau_3$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_3$ ( $\times 10^{-3}$ )
NS	1	1.81	0.178	2.45	0.533	5.49	4.000
EW	1	1.81	0.178	2.45	0.533	5.54	4.000

第2-6表 曲げスケルトンカーブ ( $M - \phi$  関係)

(a) 新規制基準工認モデル

方向	部材番号	第1折点		第2折点		第3折点	
		$M_1$ ( $\times 10^5$ kN $\cdot$ m)	$\phi_1$ ( $\times 10^{-5}$ /m)	$M_2$ ( $\times 10^5$ kN $\cdot$ m)	$\phi_2$ ( $\times 10^{-5}$ /m)	$M_3$ ( $\times 10^5$ kN $\cdot$ m)	$\phi_3$ ( $\times 10^{-5}$ /m)
NS	1	1.10	1.35	2.13	14.8	3.64	295
EW	1	1.43	1.24	3.01	13.7	4.92	273

(b) 影響確認用モデル

方向	部材番号	第1折点		第2折点		第3折点	
		$M_1$ ( $\times 10^5$ kN $\cdot$ m)	$\phi_1$ ( $\times 10^{-5}$ /m)	$M_2$ ( $\times 10^5$ kN $\cdot$ m)	$\phi_2$ ( $\times 10^{-5}$ /m)	$M_3$ ( $\times 10^5$ kN $\cdot$ m)	$\phi_3$ ( $\times 10^{-5}$ /m)
NS	1	0.919	1.20	1.92	14.7	3.38	293
EW	1	1.42	1.19	2.91	13.6	4.86	272

## 2.2 休憩所増設部の接続について

休憩所の既設躯体と接続する増設部の躯体については、増設部の鉄筋が既設躯体に十分定着する長さを確保し、一体化となる設計とする。

増設部の躯体の構築にあたり、鉄筋については、事前に休憩所の既設躯体の定着部である打ち継ぎ部の処理を行うことで増設部の配筋が十分な定着長さを確保するものとし、既設躯体と増設部を一体化するものとする。

コンクリートについては、既設躯体の定着部と増設部の躯体を構築するにあたり、一体で打設する。

開口塞ぎ部についてはケミカルアンカーを用いて接続し、躯体を構築する。

これらの施工については「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5N 原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事」((社)日本建築学会、2013 改定)に基づき決定し、設計図書に定める。

上記施工を行うことで、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して必要な機能である「構造強度」「支持機能」について確保する設計とする。

## 2.3 影響評価結果

新規制基準工認モデル及び影響確認用モデルの固有値解析結果（固有周期及び固有振動数）を第 2-7 表～第 2-9 表、刺激関数図を第 2-10 表～第 2-12 表に示す。各モードの固有周期及び固有振動数に大きな差異はみられないことから、振動特性への影響がないことを確認した。

新規制基準工認モデル及び影響確認用モデルの基準地震動  $S_s$  に対する最大応答値を第 2-13 表～第 2-23 表に示す。また、最大応答値を第 2-5 図～第 2-12 図の耐震壁のスケルトンカーブ上にプロットして示す。

最大応答値に大きな差異はみられないこと、影響確認用モデルの最大せん断ひずみは  $0.0592 \times 10^{-3}$  (NS 方向) であり、許容限界( $2.0 \times 10^{-3}$ )を超えないことを確認した。

第2-7表 固有値解析結果（NS方向）

次数	新規制基準工認モデル		影響確認用モデル		備考
	周期 (s)	振動数 (Hz)	周期 (s)	振動数 (Hz)	
1	0.058	17.31	0.058	17.17	地盤連成
2	0.030	33.05	0.030	32.90	
3	0.016	62.58	0.017	59.28	
4	0.010	97.54	0.011	91.73	

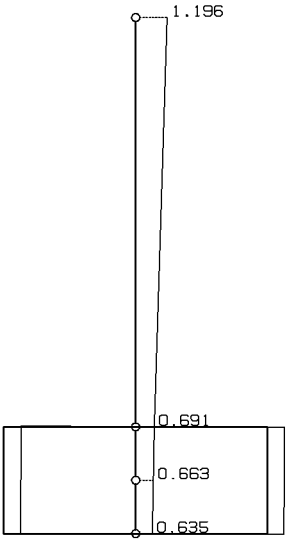
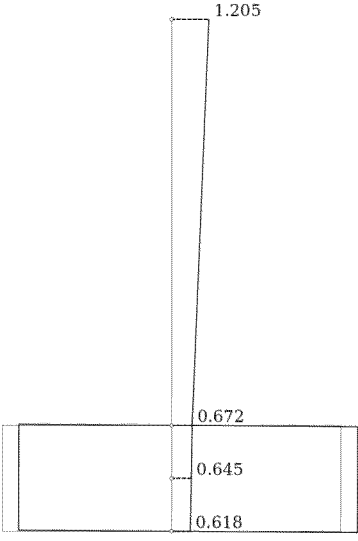
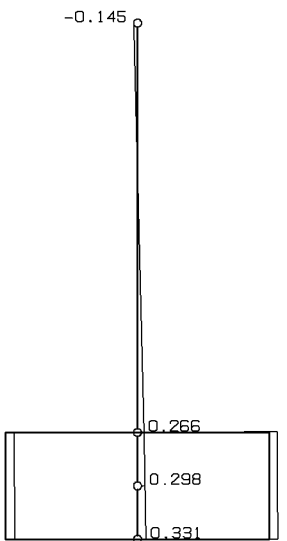
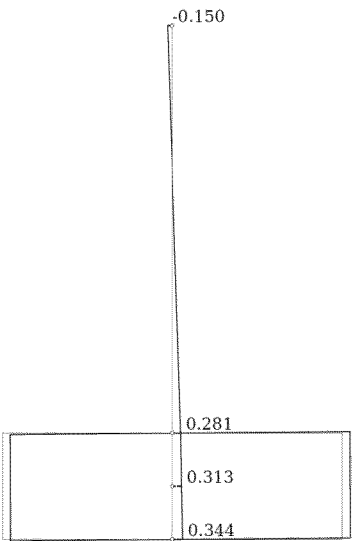
第2-8表 固有値解析結果（EW方向）

次数	新規制基準工認モデル		影響確認用モデル		備考
	周期 (s)	振動数 (Hz)	周期 (s)	振動数 (Hz)	
1	0.057	17.59	0.056	17.70	地盤連成
2	0.030	33.24	0.028	35.12	
3	0.015	64.72	0.016	63.54	
4	0.010	104.9	0.010	103.8	

第2-9表 固有値解析結果（鉛直方向）

次数	新規制基準工認モデル		影響確認用モデル		備考
	周期 (s)	振動数 (Hz)	周期 (s)	振動数 (Hz)	
1	0.042	23.97	0.042	23.83	地盤連成
2	0.009	110.6	0.009	105.4	

第2-10表 刺激関数図 NS方向(1/2)

	新規制基準工認モデル	影響確認用モデル
1次モード	<p>FREQUENCY=17.31 (Hz)</p>  <p>SWAYING ..... <math>6.346 \times 10^{-1}</math> ROCKING ..... <math>-4.727 \times 10^{-2}</math></p>	<p>FREQUENCY=17.17 (Hz)</p>  <p>SWAYING ..... <math>6.448 \times 10^{-1}</math> ROCKING ..... <math>-4.509 \times 10^{-2}</math></p>
2次モード	<p>FREQUENCY=33.05 (Hz)</p>  <p>SWAYING ..... <math>3.308 \times 10^{-1}</math> ROCKING ..... <math>5.437 \times 10^{-2}</math></p>	<p>FREQUENCY=32.90 (Hz)</p>  <p>SWAYING ..... <math>3.125 \times 10^{-1}</math> ROCKING ..... <math>5.265 \times 10^{-2}</math></p>

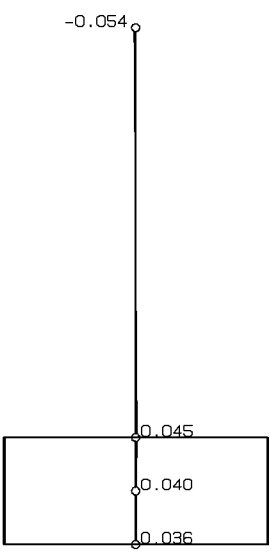
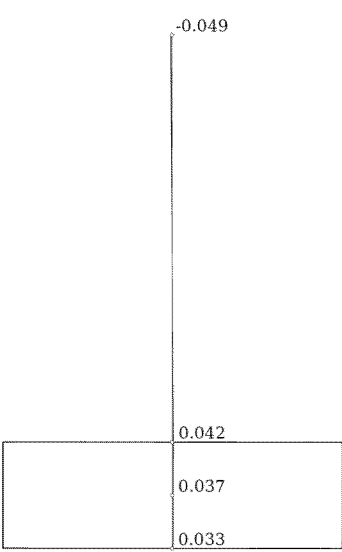
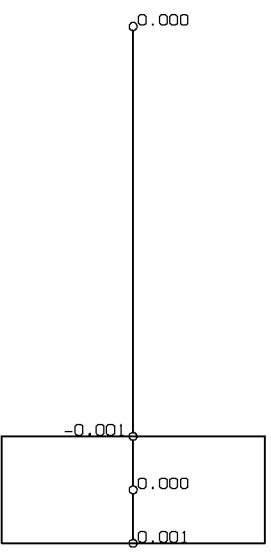
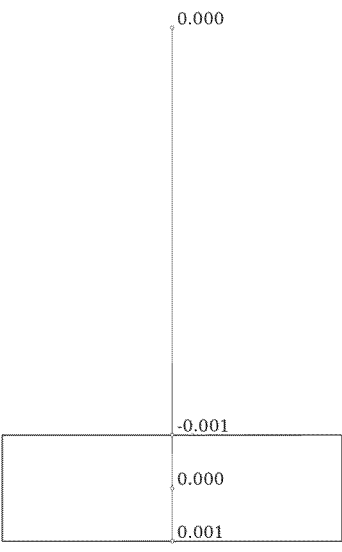
第2-10表 刺激関数図 NS方向(2/2)

	新規制基準工認モデル	影響確認用モデル
3次モード	<p>FREQUENCY=62.58 (Hz)</p> <p>SWAYING ..... <math>3.368 \times 10^{-2}</math> ROCKING ..... <math>-8.636 \times 10^{-3}</math></p>	<p>FREQUENCY=59.28 (Hz)</p> <p>SWAYING ..... <math>4.272 \times 10^{-2}</math> ROCKING ..... <math>-9.351 \times 10^{-3}</math></p>
4次モード	<p>FREQUENCY=97.54 (Hz)</p> <p>SWAYING ..... <math>9.367 \times 10^{-4}</math> ROCKING ..... <math>1.531 \times 10^{-3}</math></p>	<p>FREQUENCY=91.73 (Hz)</p> <p>SWAYING ..... <math>-5.743 \times 10^{-6}</math> ROCKING ..... <math>1.784 \times 10^{-3}</math></p>

第2-11表 刺激関数図 EW方向(1/2)

	新規制基準工認モデル	影響確認用モデル
1次モード	<p>FREQUENCY=17.59 (Hz)</p> <p>SWAYING ..... <math>6.790 \times 10^{-1}</math> ROCKING ..... <math>-4.365 \times 10^{-2}</math></p>	<p>FREQUENCY=17.70 (Hz)</p> <p>SWAYING ..... <math>7.396 \times 10^{-1}</math> ROCKING ..... <math>-3.435 \times 10^{-2}</math></p>
2次モード	<p>FREQUENCY=33.24 (Hz)</p> <p>SWAYING ..... <math>2.847 \times 10^{-1}</math> ROCKING ..... <math>5.023 \times 10^{-2}</math></p>	<p>FREQUENCY=35.12 (Hz)</p> <p>SWAYING ..... <math>2.233 \times 10^{-1}</math> ROCKING ..... <math>4.071 \times 10^{-2}</math></p>

第2-11表 刺激関数図 EW方向(2/2)

	新規制基準工認モデル	影響確認用モデル
3次モード	<p>FREQUENCY=64.72 (Hz)</p>  <p>SWAYING ..... <math>3.558 \times 10^{-2}</math> ROCKING ..... <math>-7.646 \times 10^{-3}</math></p>	<p>FREQUENCY=63.54 (Hz)</p>  <p>SWAYING ..... <math>3.717 \times 10^{-2}</math> ROCKING ..... <math>-7.459 \times 10^{-3}</math></p>
4次モード	<p>FREQUENCY=104.91 (Hz)</p>  <p>SWAYING ..... <math>6.700 \times 10^{-4}</math> ROCKING ..... <math>1.062 \times 10^{-3}</math></p>	<p>FREQUENCY=103.82 (Hz)</p>  <p>SWAYING ..... <math>2.013 \times 10^{-1}</math> ROCKING ..... <math>1.100 \times 10^{-2}</math></p>



第2-12表 刺激関数図 鉛直方向

	新規制基準工認モデル	影響確認用モデル
1次モード	<p>FREQUENCY=23.97 (Hz)</p> <p>1.049</p> <p>0.966</p> <p>0.966</p> <p>0.966</p> <p>VERTICAL ..... <math>9.655 \times 10^{-1}</math></p>	<p>FREQUENCY=23.83 (Hz)</p> <p>1.054</p> <p>0.962</p> <p>0.962</p> <p>0.962</p> <p>VERTICAL ..... <math>9.620 \times 10^{-1}</math></p>
2次モード	<p>FREQUENCY=110.62 (Hz)</p> <p>-0.049</p> <p>0.034</p> <p>0.034</p> <p>0.034</p> <p>VERTICAL ..... <math>3.447 \times 10^{-2}</math></p>	<p>FREQUENCY=105.42 (Hz)</p> <p>-0.054</p> <p>0.038</p> <p>0.038</p> <p>0.038</p> <p>VERTICAL ..... <math>3.804 \times 10^{-2}</math></p>

第2-13表 最大応答加速度 (NS 方向)

(a) 基本ケース

(単位 : cm/s<sup>2</sup>)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	1,348	1,355	1.01
	2	1,221	1,203	0.99
Ss-2	1	959	960	1.00
	2	835	833	1.00

(b) 地盤物性のばらつき考慮 (-1σ)

(単位 : cm/s<sup>2</sup>)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	1,357	1,364	1.01
	2	1,235	1,215	0.98
Ss-2	1	952	953	1.00
	2	854	849	0.99

(c) 地盤物性のばらつき考慮 (+1σ)

(単位 : cm/s<sup>2</sup>)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	1,313	1,321	1.01
	2	1,155	1,145	0.99
Ss-2	1	913	924	1.01
	2	803	798	0.99

(d) 減衰定数の設定に起因する不確かさ考慮

(単位 : cm/s<sup>2</sup>)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	1,348	1,356	1.01
	2	1,222	1,204	0.99
Ss-2	1	961	963	1.00
	2	836	834	1.00

第2-14表 最大応答変位 (NS方向)

(a) 基本ケース

(単位: mm)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	1.3	1.3	1.00
	2	0.8(0.76)	0.7(0.74)	0.88(0.97)
Ss-2	1	0.8	0.8	1.00
	2	0.5	0.5	1.00

(b) 地盤物性のばらつき考慮 (-1σ)

(単位: mm)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	1.4	1.4	1.00
	2	0.9	0.9	1.00
Ss-2	1	0.9	0.9	1.00
	2	0.6	0.6	1.00

(c) 地盤物性のばらつき考慮 (+1σ)

(単位: mm)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	0.8	0.8	1.00
	2	0.4	0.4	1.00
Ss-2	1	0.5(0.53)	0.6(0.56)	1.20(1.06)
	2	0.3	0.3	1.00

(d) 減衰定数の設定に起因する不確かさ考慮

(単位: mm)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	1.3	1.3	1.00
	2	0.8(0.76)	0.7(0.74)	0.88(0.97)
Ss-2	1	0.8	0.8	1.00
	2	0.5	0.5	1.00

第2-15表 最大応答せん断力 (NS方向)

(a) 基本ケース

(単位：×10<sup>3</sup>kN)

地震動	部材番号	新規制基準工認モデル (①)	影響確認用モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	7.70	8.39	1.09
Ss-2	①	5.47	5.94	1.09

(b) 地盤物性のばらつき考慮 (-1σ)

(単位：×10<sup>3</sup>kN)

地震動	部材番号	新規制基準工認モデル (①)	影響確認用モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	7.76	8.45	1.09
Ss-2	①	5.43	5.89	1.08

(c) 地盤物性のばらつき考慮 (+1σ)

(単位：×10<sup>3</sup>kN)

地震動	部材番号	新規制基準工認モデル (①)	影響確認用モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	7.49	8.16	1.09
Ss-2	①	5.22	5.72	1.10

(d) 減衰定数の設定に起因する不確かさ考慮

(単位：×10<sup>3</sup>kN)

地震動	部材番号	新規制基準工認モデル (①)	影響確認用モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	7.71	8.40	1.09
Ss-2	①	5.48	5.95	1.09

第2-16表 最大応答曲げモーメント（基本ケース、NS方向）

(a) 基本ケース

(単位： $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

地震動	部材番号	新規制基準工認モデル (①)	影響確認用モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	3.57	3.86	1.08
Ss-2	①	2.66	2.89	1.09

(b) 地盤物性のばらつき考慮 ( $-1\sigma$ )

(単位： $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

地震動	部材番号	新規制基準工認モデル (①)	影響確認用モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	3.63	3.91	1.08
Ss-2	①	2.64	2.87	1.09

(c) 地盤物性のばらつき考慮 ( $+1\sigma$ )

(単位： $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

地震動	部材番号	新規制基準工認モデル (①)	影響確認用モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	3.51	3.82	1.09
Ss-2	①	2.50	2.75	1.10

(d) 減衰定数の設定に起因する不確かさ考慮

(単位： $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

地震動	部材番号	新規制基準工認モデル (①)	影響確認用モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	3.57	3.87	1.08
Ss-2	①	2.67	2.90	1.09

第2-17表 最大応答加速度 (EW 方向)

(a) 基本ケース

(単位 : cm/s<sup>2</sup>)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	1,357	1,380	1.02
	2	1,226	1,210	0.99
Ss-2	1	939	926	0.99
	2	830	825	0.99

(b) 地盤物性のばらつき考慮 (-1σ)

(単位 : cm/s<sup>2</sup>)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	1,367	1,387	1.01
	2	1,240	1,221	0.98
Ss-2	1	936	925	0.99
	2	850	843	0.99

(c) 地盤物性のばらつき考慮 (+1σ)

(単位 : cm/s<sup>2</sup>)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	1,323	1,351	1.02
	2	1,165	1,159	0.99
Ss-2	1	886	878	0.99
	2	813	816	1.00

(d) 減衰定数の設定に起因する不確かさ考慮

(単位 : cm/s<sup>2</sup>)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	1,358	1,382	1.02
	2	1,227	1,210	0.99
Ss-2	1	941	927	0.99
	2	831	825	0.99

第2-18表 最大応答変位 (EW 方向)

(a) 基本ケース

(単位 : mm)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	1.2(1.16)	1.1(1.11)	0.92(0.96)
	2	0.8	0.8	1.00
Ss-2	1	0.8(0.78)	0.7(0.75)	0.88(0.96)
	2	0.5	0.5	1.00

(b) 地盤物性のばらつき考慮 (-1σ)

(単位 : mm)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	1.3	1.3	1.00
	2	0.9	0.9	1.00
Ss-2	1	0.9(0.89)	0.8(0.85)	0.89(0.96)
	2	0.6	0.6	1.00

(c) 地盤物性のばらつき考慮 (+1σ)

(単位 : mm)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	0.7	0.7	1.00
	2	0.4	0.4	1.00
Ss-2	1	0.5	0.5	1.00
	2	0.3	0.3	1.00

(d) 減衰定数の設定に起因する不確かさ考慮

(単位 : mm)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	1.2(1.17)	1.1(1.11)	0.92(0.95)
	2	0.8	0.8	1.00
Ss-2	1	0.8(0.78)	0.7(0.75)	0.88(0.96)
	2	0.5	0.5	1.00

第2-19表 最大応答せん断力 (EW 方向)

(a) 基本ケース

(単位:  $\times 10^3 \text{kN}$ )

地震動	部材 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	7.76	8.54	1.10
Ss-2	①	5.37	5.73	1.07

(b) 地盤物性のばらつき考慮 ( $-1\sigma$ )

(単位:  $\times 10^3 \text{kN}$ )

地震動	部材 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	7.82	8.59	1.10
Ss-2	①	5.34	5.72	1.07

(c) 地盤物性のばらつき考慮 ( $+1\sigma$ )

(単位:  $\times 10^3 \text{kN}$ )

地震動	部材 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	7.56	8.36	1.11
Ss-2	①	5.07	5.44	1.07

(d) 減衰定数の設定に起因する不確かさ考慮

(単位:  $\times 10^3 \text{kN}$ )

地震動	部材 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	7.76	8.55	1.10
Ss-2	①	5.37	5.74	1.07



第2-20表 最大応答曲げモーメント (EW方向)

(a) 基本ケース

(単位:  $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

地震動	部材番号	新規制基準工認モデル (①)	影響確認用モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	3.60	4.03	1.12
Ss-2	①	2.61	2.76	1.06

(b) 地盤物性のばらつき考慮 ( $-1\sigma$ )

(単位:  $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

地震動	部材番号	新規制基準工認モデル (①)	影響確認用モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	3.62	4.06	1.12
Ss-2	①	2.60	2.76	1.06

(c) 地盤物性のばらつき考慮 ( $+1\sigma$ )

(単位:  $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

地震動	部材番号	新規制基準工認モデル (①)	影響確認用モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	3.56	3.97	1.12
Ss-2	①	2.43	2.59	1.07

(d) 減衰定数の設定に起因する不確かさ考慮

(単位:  $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )

地震動	部材番号	新規制基準工認モデル (①)	影響確認用モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	3.60	4.04	1.12
Ss-2	①	2.62	2.77	1.06

第2-21表 最大応答加速度（鉛直方向）

(a) 基本ケース

(単位：cm/s<sup>2</sup>)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認モ デル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	367	365	0.99
	2	367	366	1.00
Ss-2	1	357	352	0.99
	2	362	359	0.99

(b) 地盤物性のばらつき考慮（-1σ）

(単位：cm/s<sup>2</sup>)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	365	364	1.00
	2	365	364	1.00
Ss-2	1	362	356	0.98
	2	368	365	0.99

(c) 地盤物性のばらつき考慮（+1σ）

(単位：cm/s<sup>2</sup>)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	368	366	0.99
	2	370	369	1.00
Ss-2	1	351	349	0.99
	2	356	356	1.00

(d) 減衰定数の設定に起因する不確かさ考慮

(単位：cm/s<sup>2</sup>)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	367	365	0.99
	2	367	366	1.00
Ss-2	1	357	352	0.99
	2	362	360	0.99

第2-22表 最大応答変位（鉛直方向）

(a) 基本ケース

(単位：mm)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	0.1	0.1	1.00
	2	0.1	0.1	1.00
Ss-2	1	0.1	0.1	1.00
	2	0.1	0.1	1.00

(b) 地盤物性のばらつき考慮（ $-1\sigma$ ）

(単位：mm)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	0.2	0.2	1.00
	2	0.2	0.2	1.00
Ss-2	1	0.2	0.2	1.00
	2	0.1	0.1	1.00

(c) 地盤物性のばらつき考慮（ $+1\sigma$ ）

(単位：mm)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	0.1	0.1	1.00
	2	0.1	0.1	1.00
Ss-2	1	0.1	0.1	1.00
	2	0.1	0.1	1.00

(d) 減衰定数の設定に起因する不確かさ考慮

(単位：mm)

地震動	質点 節点 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	1	0.1	0.1	1.00
	2	0.1	0.1	1.00
Ss-2	1	0.1	0.1	1.00
	2	0.1	0.1	1.00

第2-23表 最大応答軸力（鉛直方向）

(a) 基本ケース

(単位：×10<sup>3</sup>kN)

地震動	部材 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	2.09	2.26	1.08
Ss-2	①	2.04	2.18	1.07

(b) 地盤物性のばらつき考慮（-1σ）

(単位：×10<sup>3</sup>kN)

地震動	部材 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	2.08	2.25	1.08
Ss-2	①	2.08	2.22	1.07

(c) 地盤物性のばらつき考慮（+1σ）

(単位：×10<sup>3</sup>kN)

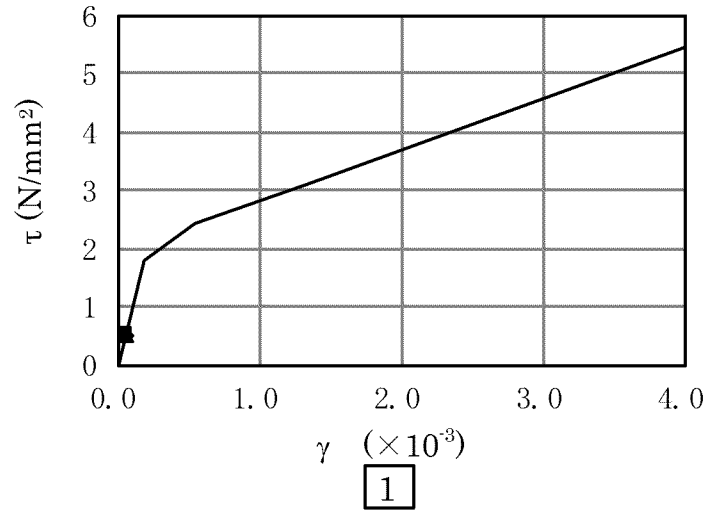
地震動	部材 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	2.10	2.27	1.08
Ss-2	①	2.01	2.16	1.07

(d) 減衰定数の設定に起因する不確かさ考慮

(単位：×10<sup>3</sup>kN)

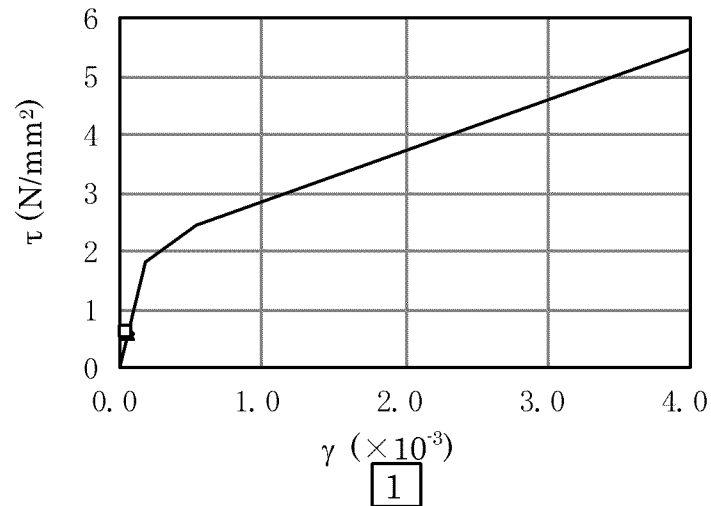
地震動	部材 番号	新規制基準工認 モデル (①)	影響確認用 モデル (②)	変動率 (②/①)
Ss-1	①	2.09	2.26	1.08
Ss-2	①	2.04	2.18	1.07

- Ss-1H (基本ケース、新規制基準工認モデル)
- ◆ Ss-1H (地盤物性-1 $\sigma$ 、新規制基準工認モデル)
- ▲ Ss-1H (地盤物性+1 $\sigma$ 、新規制基準工認モデル)
- Ss-1H (h=3%、新規制基準工認モデル)



(a) 新規制基準工認モデル

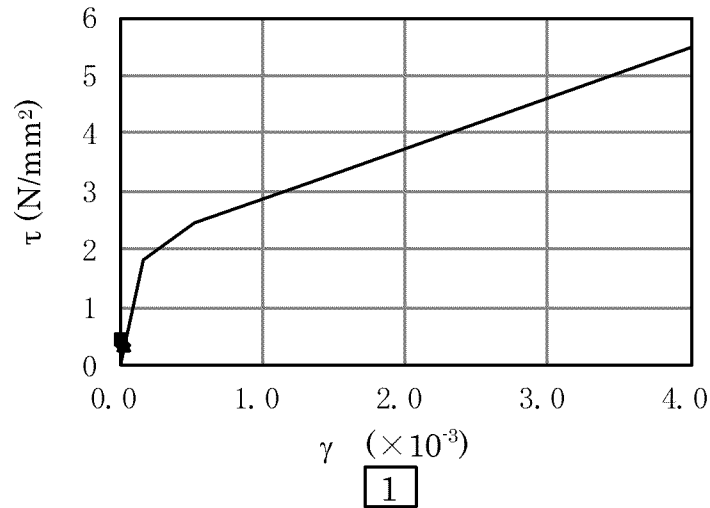
- Ss-1H (基本ケース、影響確認用モデル)
- ◇ Ss-1H (地盤物性-1 $\sigma$ 、影響確認用モデル)
- △ Ss-1H (地盤物性+1 $\sigma$ 、影響確認用モデル)
- Ss-1H (h=3%、影響確認用モデル)



(b) 影響確認用モデル

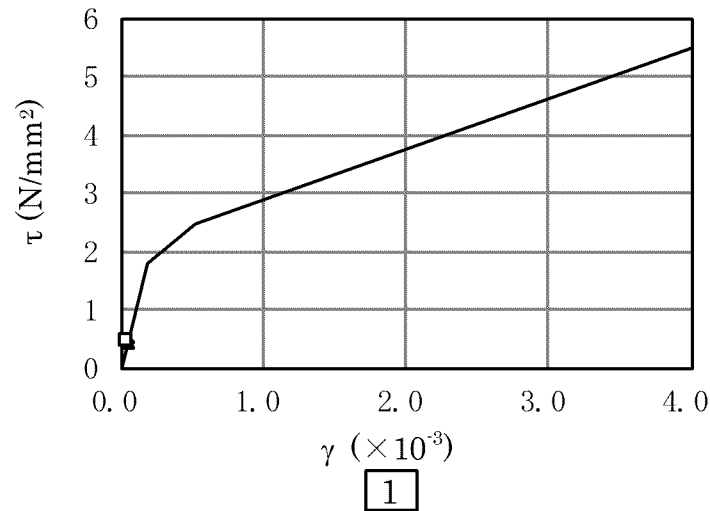
第 2-5 図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値  
(NS 方向 : Ss-1H)

- Ss-2H (基本ケース、新規制基準工認モデル)
- ◆ Ss-2H (地盤物性-1σ、新規制基準工認モデル)
- ▲ Ss-2H (地盤物性+1σ、新規制基準工認モデル)
- Ss-2H (h=3%、新規制基準工認モデル)



(a) 新規制基準工認モデル

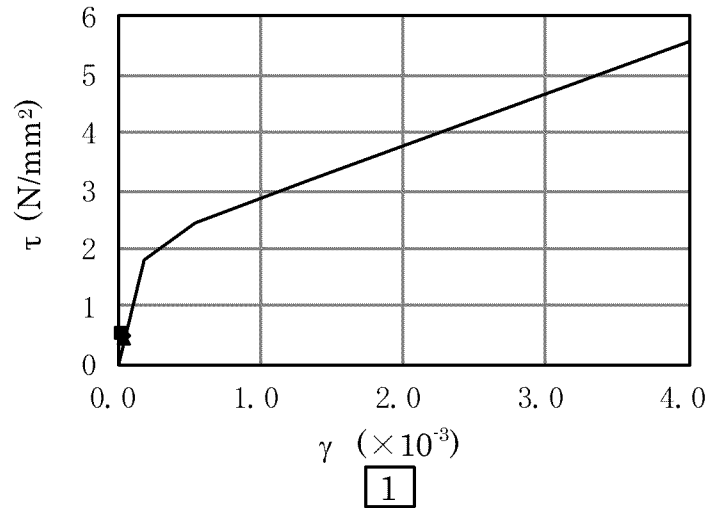
- Ss-2H (基本ケース、影響確認用モデル)
- ◇ Ss-2H (地盤物性-1σ、影響確認用モデル)
- △ Ss-2H (地盤物性+1σ、影響確認用モデル)
- Ss-2H (h=3%、影響確認用モデル)



(b) 影響確認用モデル

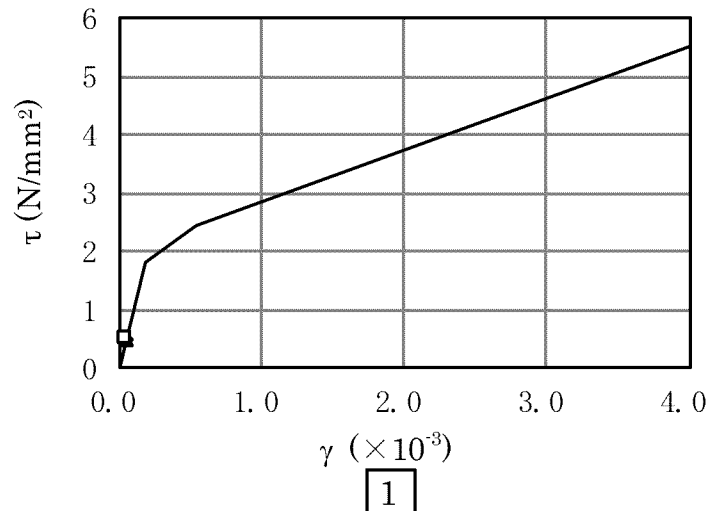
第2-6図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値  
(NS方向：Ss-2H)

- Ss-1H (基本ケース、新規制基準工認モデル)
- ◆ Ss-1H (地盤物性-1 $\sigma$ 、新規制基準工認モデル)
- ▲ Ss-1H (地盤物性+1 $\sigma$ 、新規制基準工認モデル)
- Ss-1H (h=3%、新規制基準工認モデル)



(a) 新規制基準工認モデル

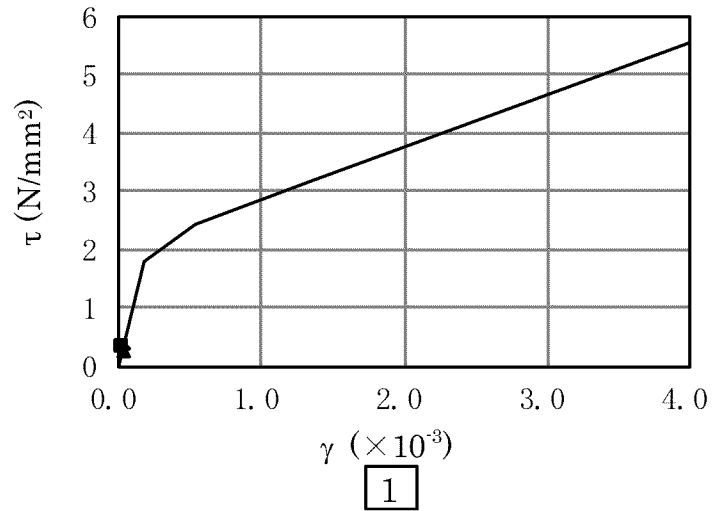
- Ss-1H (基本ケース、影響確認用モデル)
- ◇ Ss-1H (地盤物性-1 $\sigma$ 、影響確認用モデル)
- △ Ss-1H (地盤物性+1 $\sigma$ 、影響確認用モデル)
- Ss-1H (h=3%、影響確認用モデル)



(b) 影響確認用モデル

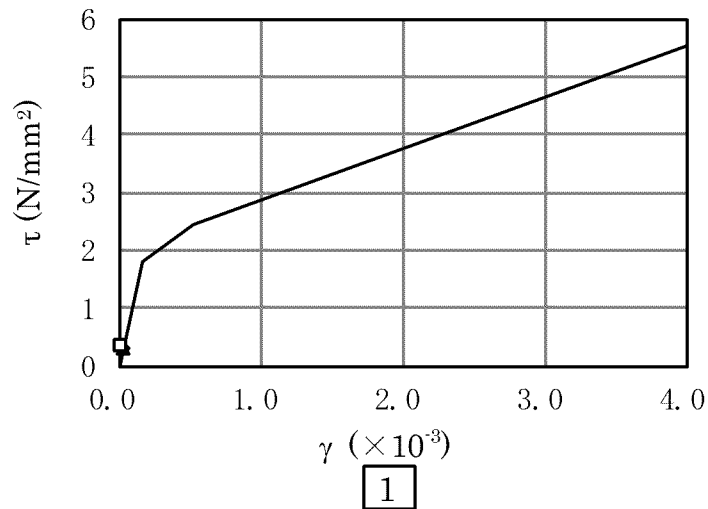
第 2-7 図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値  
(EW 方向 : Ss-1H)

- Ss-2H (基本ケース、新規制基準工認モデル)
- ◆ Ss-2H (地盤物性-1 $\sigma$ 、新規制基準工認モデル)
- ▲ Ss-2H (地盤物性+1 $\sigma$ 、新規制基準工認モデル)
- Ss-2H (h=3%、新規制基準工認モデル)



(a) 新規制基準工認モデル

- Ss-2H (基本ケース、影響確認用モデル)
- ◇ Ss-2H (地盤物性-1 $\sigma$ 、影響確認用モデル)
- △ Ss-2H (地盤物性+1 $\sigma$ 、影響確認用モデル)
- Ss-2H (h=3%、影響確認用モデル)

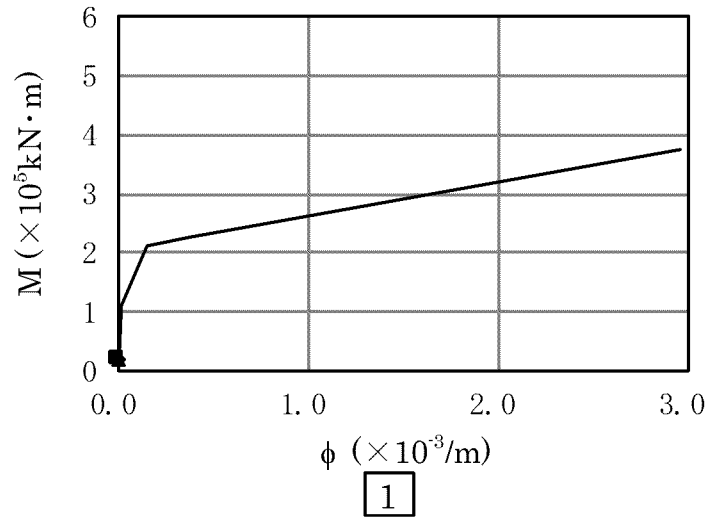


(b) 影響確認用モデル

第2-8図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値  
(EW方向: Ss-2H)

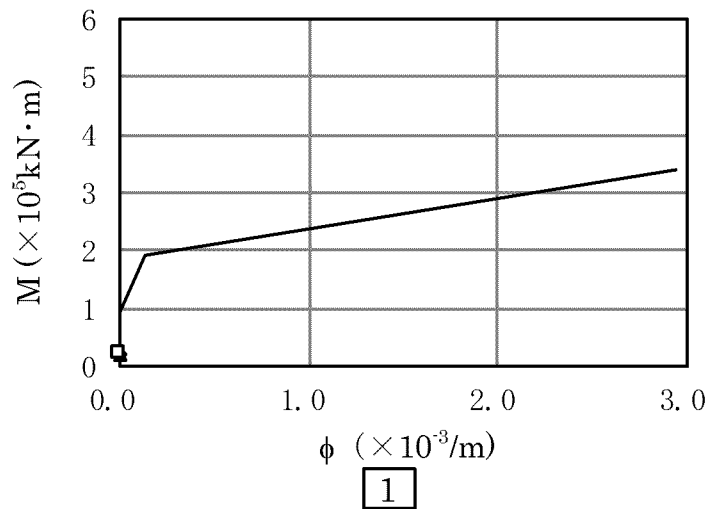


- Ss-1H (基本ケース、新規制基準工認モデル)
- ◆ Ss-1H (地盤物性-1σ、新規制基準工認モデル)
- ▲ Ss-1H (地盤物性+1σ、新規制基準工認モデル)
- Ss-1H (h=3%、新規制基準工認モデル)



(a) 新規制基準工認モデル

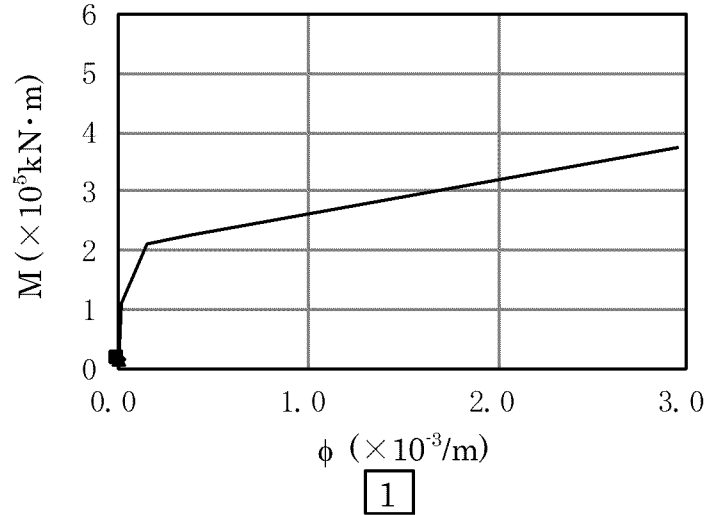
- Ss-1H (基本ケース、影響確認用モデル)
- ◇ Ss-1H (地盤物性-1σ、影響確認用モデル)
- △ Ss-1H (地盤物性+1σ、影響確認用モデル)
- Ss-1H (h=3%、影響確認用モデル)



(b) 影響確認用モデル

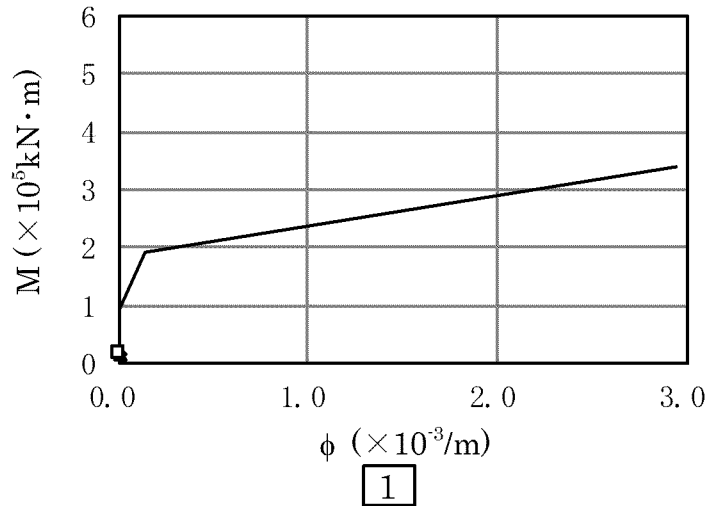
第2-9図 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値  
(NS方向: Ss-1H)

- Ss-2H (基本ケース、新規制基準工認モデル)
- ◆ Ss-2H (地盤物性-1σ、新規制基準工認モデル)
- ▲ Ss-2H (地盤物性+1σ、新規制基準工認モデル)
- Ss-2H (h=3%、新規制基準工認モデル)



(a) 新規制基準工認モデル

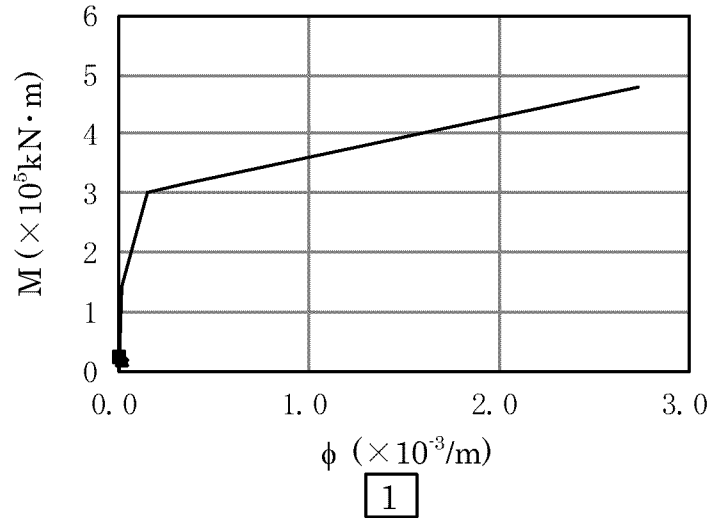
- Ss-2H (基本ケース、影響確認用モデル)
- ◇ Ss-2H (地盤物性-1σ、影響確認用モデル)
- △ Ss-2H (地盤物性+1σ、影響確認用モデル)
- Ss-2H (h=3%、影響確認用モデル)



(b) 影響確認用モデル

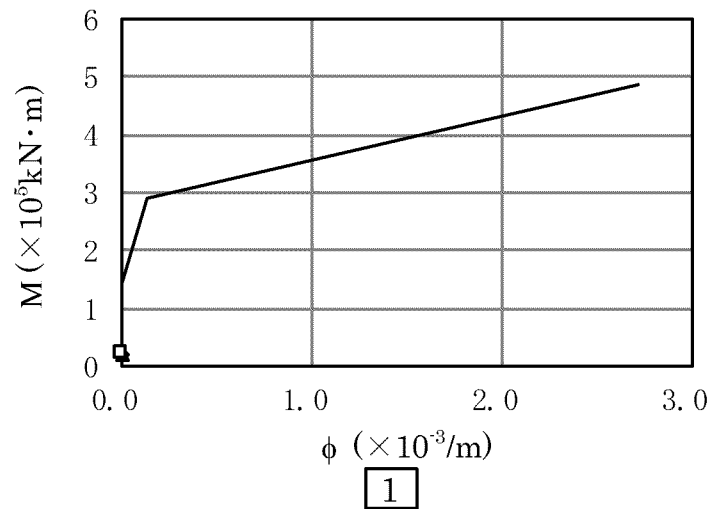
第2-10図 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値  
(NS方向：Ss-2H)

- Ss-1H (基本ケース、新規制基準工認モデル)
- ◆ Ss-1H (地盤物性-1σ、新規制基準工認モデル)
- ▲ Ss-1H (地盤物性+1σ、新規制基準工認モデル)
- Ss-1H (h=3%、新規制基準工認モデル)



(a) 新規制基準工認モデル

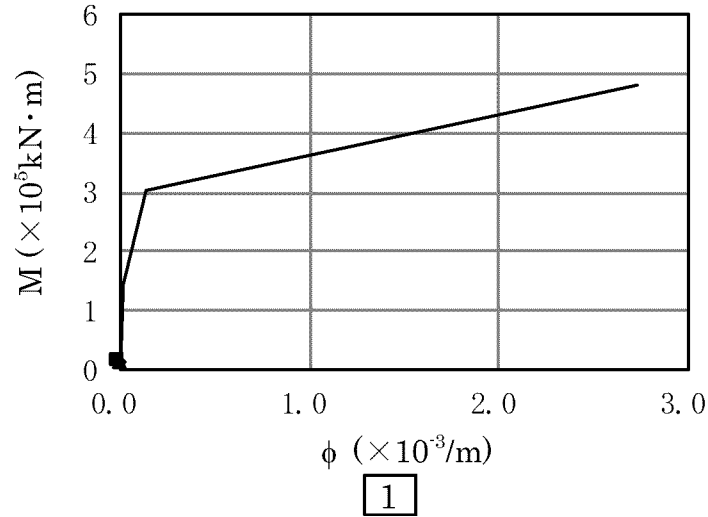
- Ss-1H (基本ケース、影響確認用モデル)
- ◇ Ss-1H (地盤物性-1σ、影響確認用モデル)
- △ Ss-1H (地盤物性+1σ、影響確認用モデル)
- Ss-1H (h=3%、影響確認用モデル)



(b) 影響確認用モデル

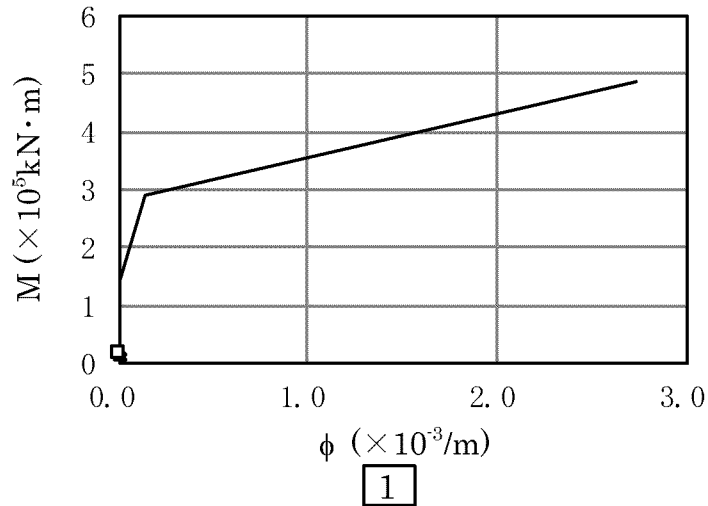
第2-11図 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値  
(EW方向: Ss-1H)

- Ss-2H (基本ケース、新規制基準工認モデル)
- ◆ Ss-2H (地盤物性-1σ、新規制基準工認モデル)
- ▲ Ss-2H (地盤物性+1σ、新規制基準工認モデル)
- Ss-2H (h=3%、新規制基準工認モデル)



(a) 新規制基準工認モデル

- Ss-2H (基本ケース、影響確認用モデル)
- ◇ Ss-2H (地盤物性-1σ、影響確認用モデル)
- △ Ss-2H (地盤物性+1σ、影響確認用モデル)
- Ss-2H (h=3%、影響確認用モデル)



(b) 影響確認用モデル

第2-12図 曲げスケルトンカーブ上の最大応答値  
(EW方向: Ss-2H)

### 3. 応力解析による影響評価

#### 3.1 影響評価方針

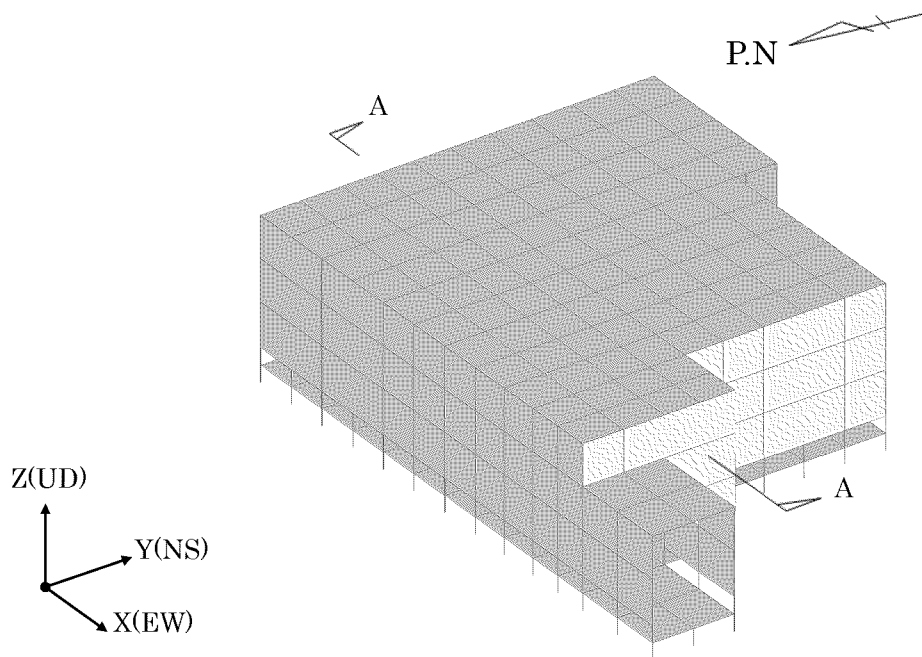
影響確認用モデルの地震応答解析結果を用いて、3次元 FEM モデルによる弾性応力解析を行う。3次元 FEM 解析による断面の評価は、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会、2005 制定）」（以下「RC-N 規準」という。）に基づき、壁、屋根及び基礎版に生じる軸力及び曲げモーメント、面内せん断力並びに面外せん断力が、短期許容応力度に基づく許容値を超えないことを確認する。

地震荷重は、基準地震動  $S_s-1$  及び  $S_s-2$  により算出される動的地震力を包絡して設定する。その他、固定荷重及び積載荷重を考慮する。

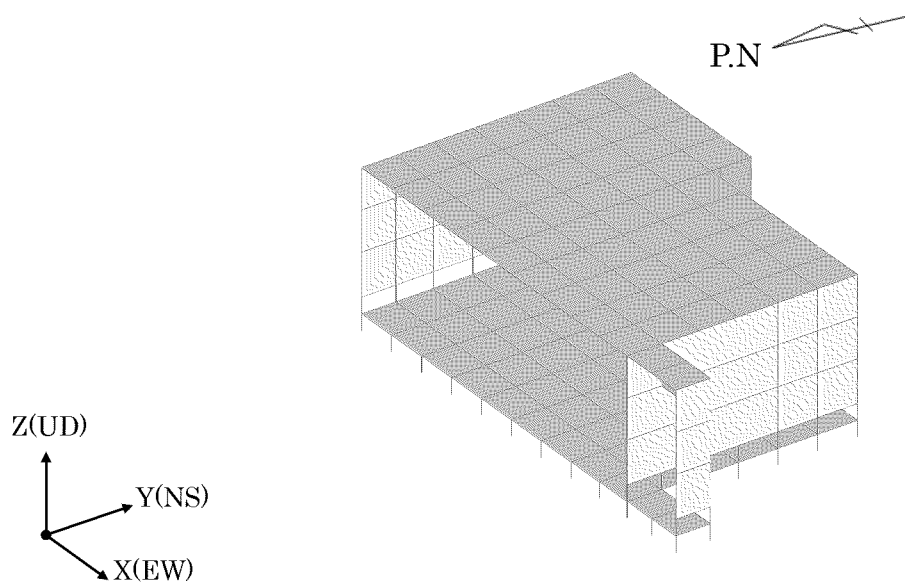
荷重の組合せは、資料 9-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。地震荷重及び風荷重の組合せについて、休憩所がコンクリート構造物であり、自重の大きな施設であることから、風荷重の影響は小さいため、地震荷重及び風荷重の組合せは考慮しない。また、積雪荷重は、地震荷重及び積載荷重の組合せで考慮される。

休憩所の 3次元 FEM モデルは、壁、屋根及び基礎版をシェル要素でモデル化する。また、地震応答解析モデルの地盤ばねを離散化して、水平方向及び鉛直方向のばねを基礎底面に設ける。解析モデルを第 3-1 図、コンクリート及び鉄筋の材料定数を第 3-1 表及び第 3-2 表に示す。

なお、新規制基準工認時の休憩所の応力解析は、屋根スラブのみを 3次元 FEM でモデル化していたが、今回、新規制基準工認以降の審査実績を踏まえ、建屋全体を 3次元 FEM でモデル化した。休憩所の新規制基準モデルと今回解析を実施した影響確認用モデルの解析手法の比較を第 3-3 表に示す。



(a) 全体



(b) A-A 断面

第 3-1 図 解析モデル (鳥瞰図)

第 3-1 表 コンクリートの材料定数

設計基準強度 Fc (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν
30.0	2.44×10 <sup>4</sup>	0.2

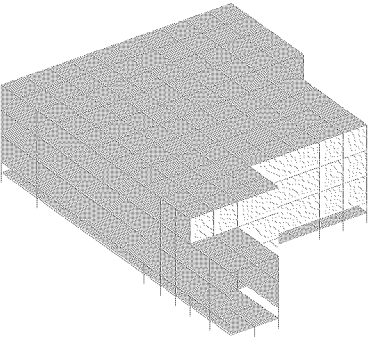
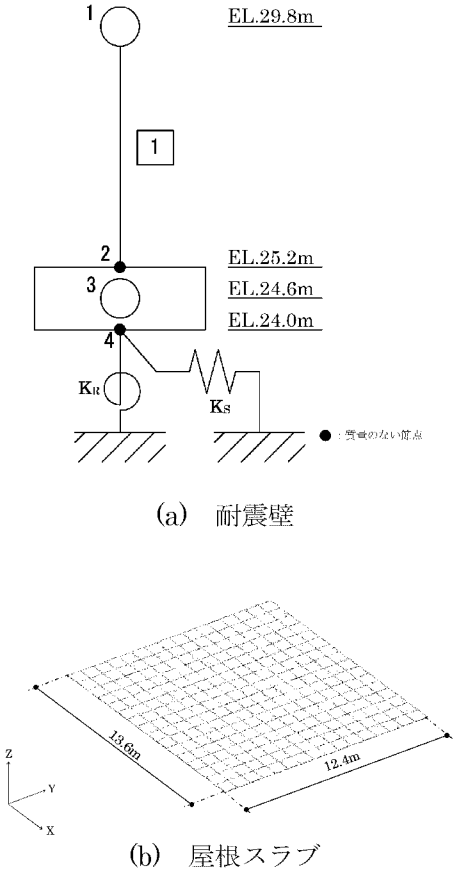
第 3-2 表 鉄筋の材料定数

鉄筋種類	降伏強度 Fy (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )
SD345	345	2.05×10 <sup>5</sup>
SD390	390	2.05×10 <sup>5</sup>

第 3-3 表 新規制基準モデルと影響確認用モデルの比較 (1/2)

項目	影響確認用モデル	新規制基準モデル (代替緊急時対策所)
解析手法	3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析 (静的解析)	耐震壁： 水平方向の質点系モデルによる地震応答解析  基礎版： 一方向版とみなした解析モデルによる応力解析  屋根スラブ： 3次元 FEM モデルを用いた弾性応力解析 (静的解析)
モデル化	モデル化範囲	建屋全体について。壁、屋根及び基礎版をモデル化  壁：建屋全体 基礎版：基礎版のみ 屋根スラブ：屋根スラブのみ
	材料物性	コンクリートのヤング係数： E=24.4kN/mm <sup>2</sup>  コンクリートのポアソン比： ν=0.2  同左

第 3-3 表 新規制基準モデルと影響確認用モデルの比較 (2/2)

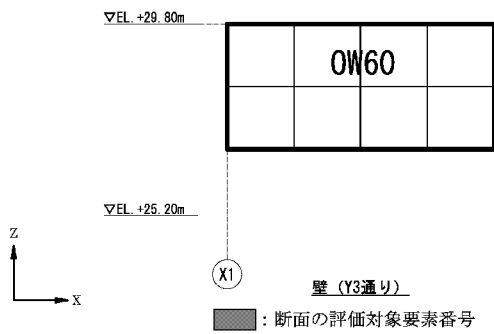
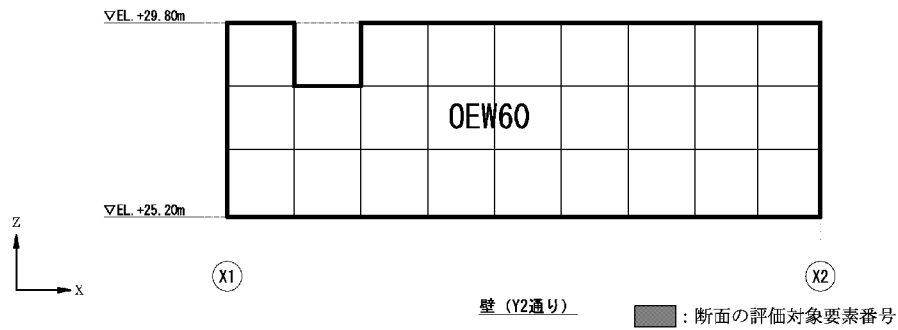
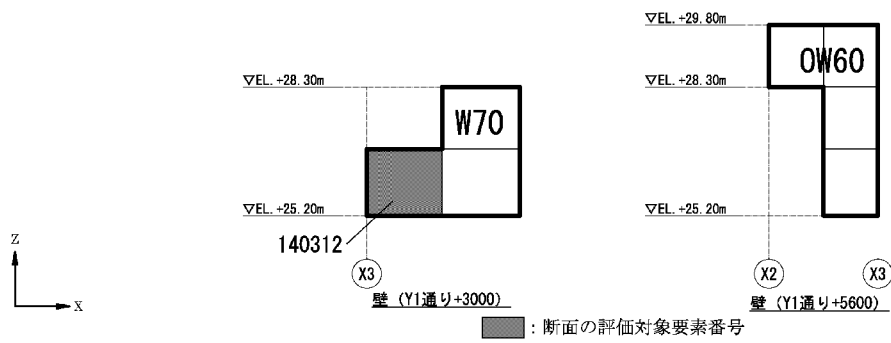
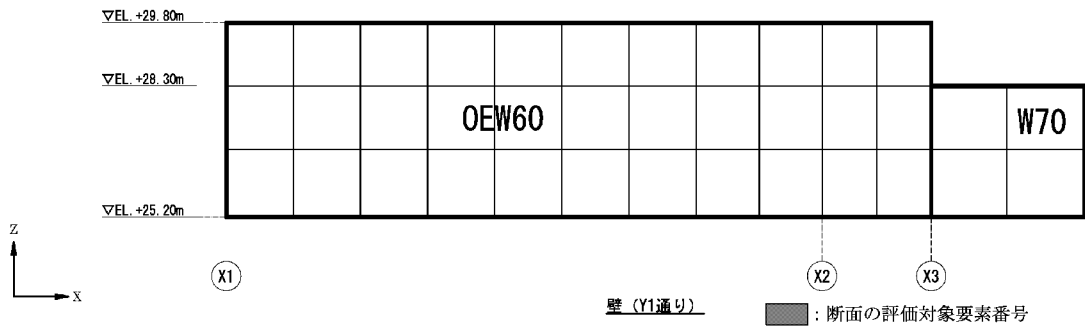
項目		影響確認用モデル	新規制基準モデル (代替緊急時対策所)
モデル化	使用要素	壁、屋根及び基礎版：シェル要素	屋根スラブ：シェル要素
	境界条件	基礎版下端に 3 方向の地盤ばねを考慮 基礎版下端の地盤ばねは、浮上り考慮	耐震壁： 水平ばね及び回転ばねを考慮  基礎版： 一方向版の両端に、壁による拘束を考慮  屋根スラブ： 4 辺固定とした場合と 4 辺ピンとした場合を考慮
解析モデル		 <p>第 3-1 図を再掲</p>	 <p>(a) 耐震壁</p> <p>(b) 屋根スラブ</p>



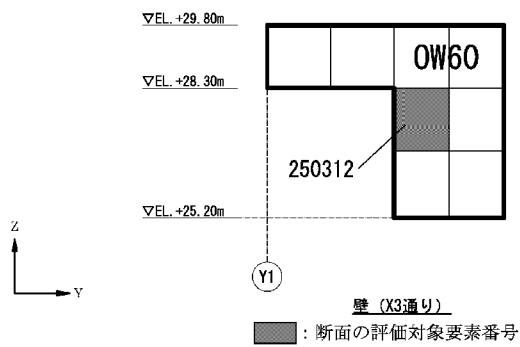
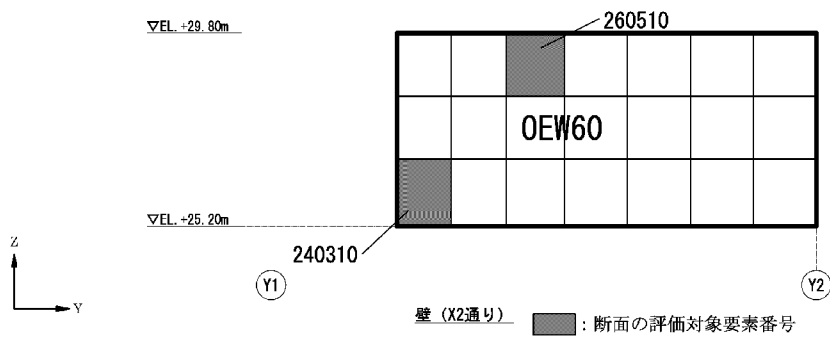
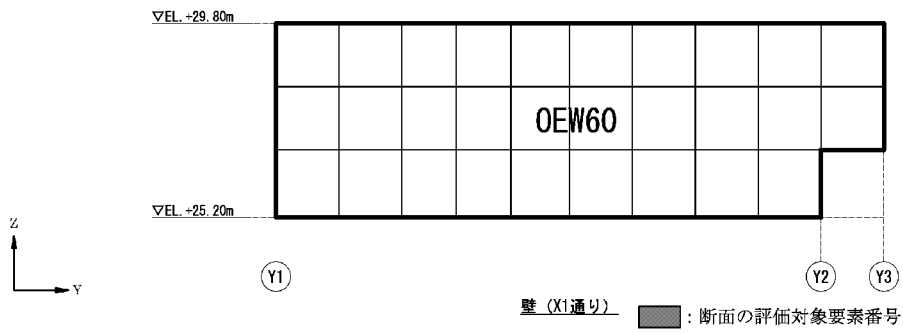
### 3.2 影響評価結果

3次元 FEM 解析による断面の評価対象要素番号を第 3-2 図、分類領域ごとの配筋を第 3-4 表に、断面の評価結果を第 3-5 表及び第 3-6 表に示す。

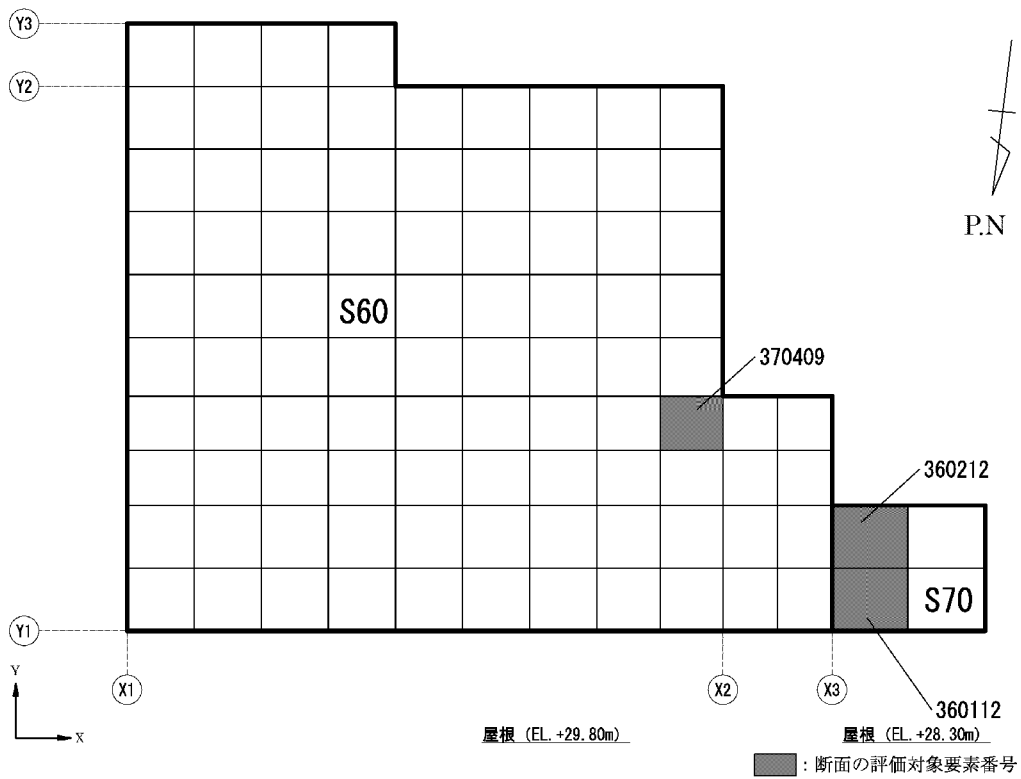
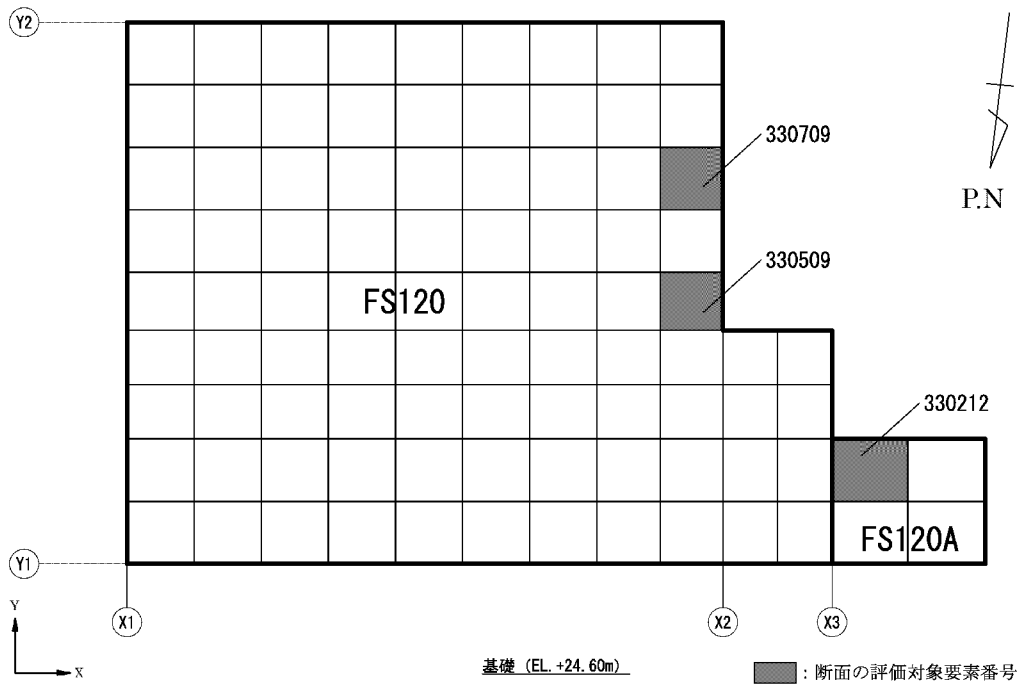
評価の結果、影響確認用モデルから算出された地震力の組合せによる軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力に対し、必要鉄筋量が設計配筋量を超えないことを確認した。また、面外せん断応力度が短期許容せん断応力度を超えないことを確認した。



第 3-2 図 断面の評価対象要素番号(1/3)



第 3-2 図 断面の評価対象要素番号(2/3)



第 3-2 図 断面の評価対象要素番号(3/3)

第3-4表 分類領域ごとの配筋(1/2)

部位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD345、SD390) <sup>(注)</sup>		鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断 補強筋	
			位置	方向			
壁	OEW60	600	両側 共	縦筋	1段 D25@200	2,535	—
				横筋	1段 D25@200	2,535	
	OW60	600	両側 共	縦筋	1段 D25@200	2,535	—
				横筋	1段 D25@200	2,535	
	W70	700	両側 共	縦筋	1段 D29@200	3,210	—
				横筋	1段 D29@200	3,210	

(注) 主筋の鉄筋種別について、D19~D25はSD345、D29以上はSD390とする。

第3-4表 分類領域ごとの配筋(2/2)

部位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD345、SD390) <sup>(注)</sup>		鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断 補強筋	
			位置	方向			
屋根・ 基礎版	FS120	1,200	上端、 下端共	NS	1段 D29@200	3,210	—
				EW	1段 D29@200	3,210	
	FS120A	1,200	上端、 下端共	NS	1段 D32@200	3,970	—
				EW	1段 D32@200	3,970	
	S60	600	上端、 下端共	NS	1段 D25@200	2,535	—
				EW	1段 D25@200	2,535	
	S70	700	上端、 下端共	NS	1段 D29@200	3,210	—
				EW	1段 D29@200	3,210	

(注) 主筋の鉄筋種別について、D19~D25はSD345、D29以上はSD390とする。

第 3-5 表 断面の評価結果 (軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力)

部位	領域	要素 番号	方向	ケース No.	組合せ応力			必要 鉄筋量 $a_g$ (mm <sup>2</sup> /m)	設計 配筋量 $a_g'$ (mm <sup>2</sup> /m)	検定値	判定
					N (kN/m)	M (kN・m/m)	Q <sub>xy</sub> (kN/m)				
壁	OEW60	240310	縦筋	3	876	7	319	1,792	2,535	0.71	可
	OW60	250312	横筋	1	261	8	-357	958	2,535	0.38	可
	W70	140312	横筋	7	95	-12	244	500	3,210	0.16	可
屋根 ・ 基礎版	S60	370409	EW	17	70	-102	-7	1,249	2,535	0.50	可
	S70	360212	NS	1	203	28	-57	421	3,210	0.14	可
	FS120	330509	NS	5	898	92	11	1,414	3,210	0.45	可
	FS120A	330212	NS	4	54	-84	-22	285	3,970	0.08	可

第3-6表 断面の評価結果（面外せん断応力度）

部位	領域	要素番号	方向	ケースNo.	面外せん断 応力度 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容せん断 応力度 $\tau_A$ (N/mm <sup>2</sup> )	検定値	判定
壁	OEW60	260510	縦筋	12	0.223	1.61	0.14	可
	OW60	250312	縦筋	7	0.124	2.36	0.06	可
	W70	140312	縦筋	1	0.149	1.81	0.09	可
屋根 ・ 基礎版	S60	370409	EW	16	0.319	1.50	0.22	可
	S70	360112	NS	1	0.211	2.36	0.09	可
	FS120	330709	NS	3	0.661	2.36	0.29	可
	FS120A	330212	NS	1	0.339	2.36	0.15	可

#### 4. まとめ

増設及び新規開口の設置を考慮した影響確認用モデルについて、固有値解析及び地震応答解析を行い、新規制基準工認モデルの解析結果との比較を行った。固有値解析結果より、建屋の振動特性に大きな差異がみられないこと、地震応答解析結果より、最大応答値に大きな差異がみられないこと、最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認した。

また、3次元 FEM 解析による断面の評価を行い、壁、屋根及び基礎版に生じる各応力が、許容限界を超えないことを確認した。

以上より、連絡通路接続工事に伴う増設及び新規開口の設置が建屋の有する耐震性へ与える影響はないことを確認した。



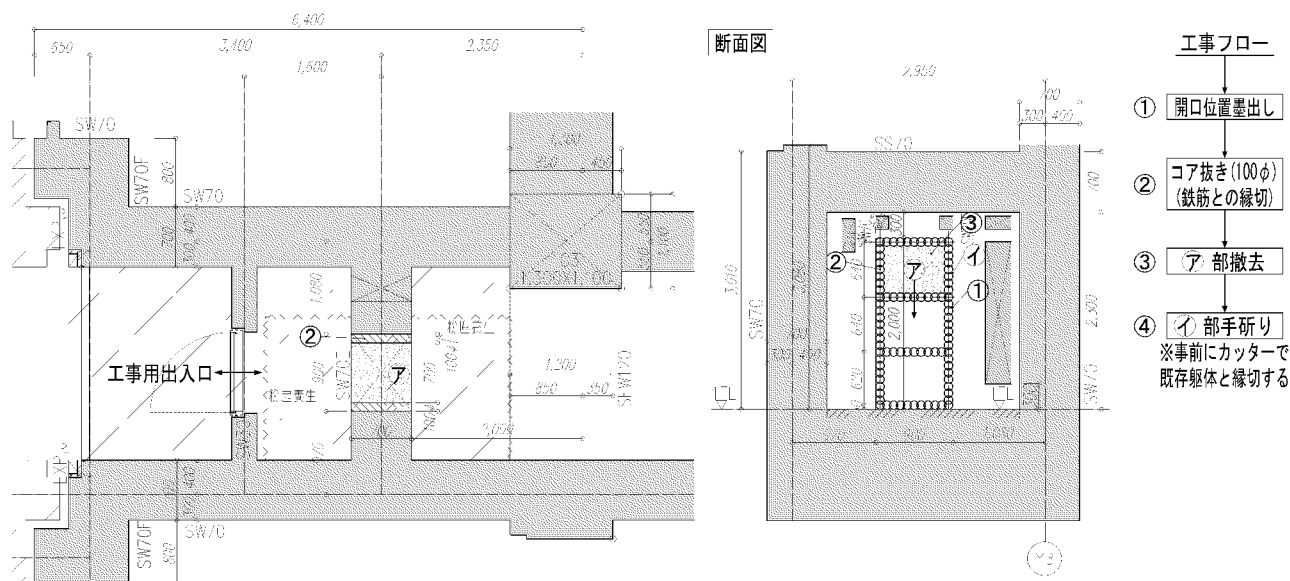
9-14. 緊急時対策棟（指揮所）の遮へい体の  
撤去方法と耐震評価への影響について

## 1. 概要

緊急時対策棟（指揮所）においては、一部遮へい体の撤去を実施する。遮へい体撤去工の工事の方法と撤去による指揮所の耐震評価への影響を確認するものである。

## 2. 工事の方法

遮へい体撤去工事の手順（予定）を第 1 図に示す。遮へい体の撤去においては、撤去躯体周りの縁切りを実施したのち、遮へい体部分の撤去を実施する。



第 1 図 遮へい体撤去工事の手順（予定）

## 3. 指揮所の耐震評価への影響

指揮所の耐震評価への影響について、当該壁は、指揮所設置工事（1 期工事）に係る工事計画認可申請において、応答解析にて評価を実施していることから、以下の(1),(2),(3)の観点で確認を実施した。

### (1) 建屋の剛性への影響について

今回撤去範囲については、既評価において剛性を評価する際に考慮した壁ではなく、せん断断面積、断面二次モーメントへの影響はないため剛性への影響はない。

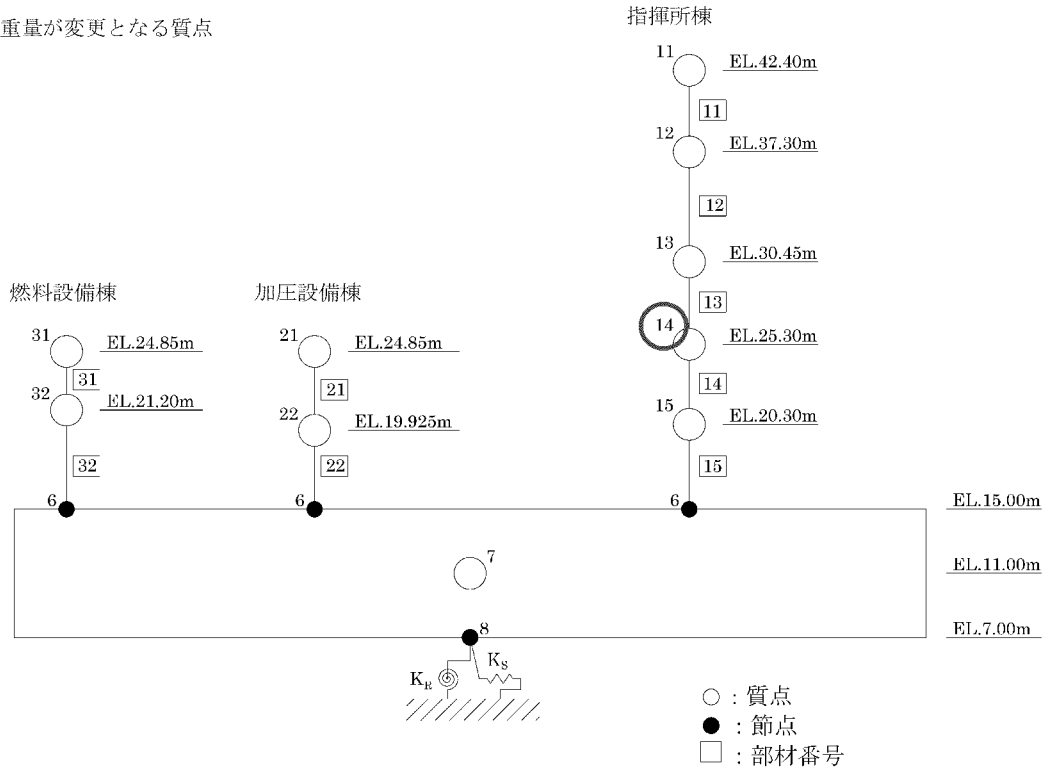
### (2) 撤去工事中の周辺躯体への影響について

既評価において考慮している周辺躯体とは縁切りをした後に撤去を実施するため、影響はない。

### (3) 質点重量の変更について

指揮所の地震応答解析モデルを第 2 図に、質点重量の変更内容と変動率について第 1 表に示す。重量の変更は軽微であり、指揮所の耐震評価に影響はない。

○ : 重量が変更となる質点



第2図 地震応答解析モデル

第1表 質点重量の変更内容と変動率

部位	質点番号	高さ EL. (m)	質点重量(kN)		重量の変動率(%) (②/①)
			指揮所 評価時 (①)	撤去による 減重量 (②)	
	14	25.30	$6.50 \times 10^4$	$\blacktriangle 0.0031 \times 10^4$	$\blacktriangle 0.05\%$

9-15. 緊急時対策棟（連絡通路、指揮所、休憩所）  
における耐震壁、シール材の気密性の維持について

## 1. 概要

緊急時対策所（緊急時対策棟内）については、居住性の確保に関する機能が要求されており、十分な気密性を維持する設計とすることが要求されている。このうち、耐震壁、シール材について設計上の位置付けを整理するものである。

## 2. 耐震壁について

連絡通路の耐震壁の評価は、資料 9-13-1「緊急時対策棟（連絡通路）の地震応答解析」による解析結果に基づき行う。気密性を維持することの確認は、基準地震動  $S_s$  に対して、最大せん断ひずみが許容限界を超えないことによる確認により行う。第 1 表に地震応答解析による評価の許容限界を示す。第 1 表の通り、最大せん断ひずみを弾性範囲に収めることで気密性を維持する。

第 1 表 地震応答解析による評価の許容限界

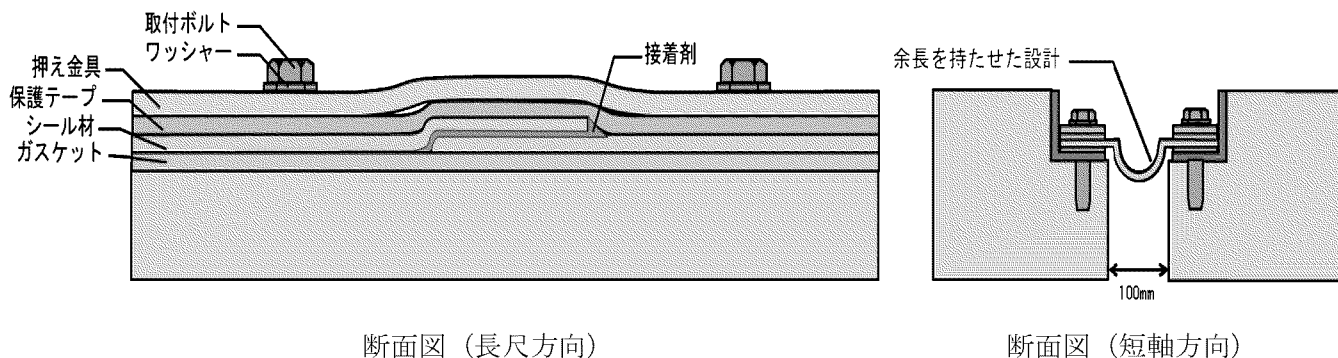
要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
気密性	建屋内への放射性物質の進入を防止するために気密性を維持すること	基準地震動 $S_s$	耐震壁	最大せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	弾性範囲 (注1)(注2)

(注1) 耐震壁のせん断ひずみが、せん断スケルトンカーブにおける第 1 折点のせん断ひずみ以下であることを「弾性範囲」とする。

(注2) 基本として、事故時においては、換気性能とあいまって居住性を維持できる気密性を有する設計とするが、基準地震動  $S_s$  に対して、最大せん断ひずみが弾性範囲であることを確認することで、地震時及び地震後においてもその機能を維持できる設計とする。

### 3. シール材について

シール材圧着部及びシール材同士の接合部に関しては、現地施工時、接着剤等を用いて適切に接合させ、気密性を高める設計としている。また、シール材は余長（間隙100mm に対して、シール材長さ 200mm 程度）を設けているため、相対変位に対して気密性を損なうおそれはない。シール部の断面図を第1図に示す。



第1図 シール部断面図

## 緊急時対策棟（休憩所）に設置する通信連絡設備について

代替緊急時対策所は、緊急時対策棟設置工事の連絡通路接続工事によって、緊急時対策所の機能を緊急時対策所（指揮所）へ移行後に緊急時対策棟（休憩所）として使用する。

緊急時対策所の機能を代替緊急時対策所から緊急時対策所（指揮所）へ移行することに伴い、代替緊急時対策所に設置している通信連絡設備は全て廃止するが、一部の通信連絡設備については、緊急時対策棟（休憩所）としての使用時に再度使用する。

については、以下に緊急時対策棟（休憩所）で使用する通信連絡設備に関して、具体的な対象等を説明する。

## 1. 技術基準規則における要求事項

緊急時対策棟（休憩所）は、作業員等が休憩のために滞在することから、技術基準規則第 47 条第 4 項において「工場等には、一次冷却系統に係る発電用原子炉施設の損壊又は故障の際に発電用原子炉施設内の人に対し必要な指示ができるよう、警報装置及び多様性を確保した通信連絡設備を施設しなければならない」と要求されている。

## 2. 緊急時対策棟（休憩所）に設置する通信連絡設備

## (1) 設置する対象設備

技術基準規則の要求設備	設置する設備	備 考
警報装置	運転指令設備 電力保安通信電話設備	・異なる通信連絡設備を設置することで多様性を確保
通信連絡設備		

## (2) 具体的な設置方法

緊急時対策棟（休憩所）は、元々代替緊急時対策所であったことから、その当時に警報装置をはじめとした通信連絡設備を設置している。

これらの設備のうち、緊急時対策棟（指揮所）の新設による緊急時対策所機能の緊急時対策所（指揮所）への移行に伴い、SPDS データ表示装置や衛星携帯電話設備等は廃止する。一方、運転指令設備及び電力保安通信電話設備は、一時的に使用を停止して、連絡通路接続工事が完了し緊急時対策棟（休憩所）として使用するタイミングに合わせて設置（再使用）する。

## 3. その他

中央制御室を除く既設建屋内の他エリア及び緊急時対策棟（指揮所）の多目的エリア・ミーティングエリアにおいても 1. 項で述べた技術基準規則における要求事項に基づき、警報装置及び多様性を確保した通信連絡設備を設置している。

なお、緊急時対策棟（連絡通路）については、緊急時対策棟（休憩所）と緊急時対策棟（指揮所）の建屋間を移動するために施設するものであり、緊急時対策所（緊急時対策棟内）に該当しないこと及び人が滞在するエリアではないことから、技術基準規則第 47 条第 4 項で要求される警報装置等の設置は不要である。

## 緊急時対策所（指揮所）設置工事と重複する工事について

本設計及び工事計画における工事のうち令和元年 6 月 3 日付け原規規発第 1906035 号にて認可を受けた工事計画（以下「指揮所工認」という。）による工事と重複する工事は、指揮所工認に係る工事計画に基づく使用前検査合格後に、前述の機能に影響を与えないように工事を実施することとしており、当該内容を工事工程表に記載している。

本設工認と指揮所工認で重複する設備等及び本設工認における工事の概要について下表に示す。

設 備 等	本設工認における工事の概要
放射線管理施設	
緊急時対策所エリアモニタ	・ 2 台のうち 1 台の取付箇所を休憩室に変更
空気ボンベ（緊急時対策所用）	・ 空気の供給先について、緊急時対策所（指揮所）から緊急時対策所（緊急時対策棟内）へ変更（使用用途の変更）
緊急時対策所非常用空気浄化ファン	・ 同 上
緊急時対策所遮蔽 （緊急時対策所（緊急時対策棟内））	・ 緊急時対策棟（指揮所）部分遮蔽体を撤去
火災防護設備	
火災防護区域及び火災区画構造物 （緊急時対策棟）	・ 接続工事に伴い休憩所、指揮所、連絡通路を一体の火災区域として再設定 ・ 緊急時対策棟（指揮所）内の火災区画「通路（1 階 3）」に連絡通路部を加え火災区画「通路（1 階 3 及び連絡通路）」として設定
ハロンガスボンベ（緊急時対策棟（指揮所）用）	・ ハロンガスの供給先について火災区画「通路（1 階 3 及び連絡通路）」が追加（使用用途の変更） 但しハロン消火区画の空間容積が最大である区画に変更はない
緊急時対策所	
緊急時対策所（緊急時対策棟内）	・ 緊急時対策所の運用性を向上させることを目的として、緊急時対策所（指揮所）と代替緊急時対策所を一体運用するため、緊急時対策所（指揮所）を緊急時対策所（緊急時対策棟内）に変更
[基本設計方針対象設備] 酸素濃度計, 二酸化炭素濃度計	・ 使用箇所について、緊急時対策所（指揮所）における本部・執務エリアと多目的エリアから緊急時対策所（緊急時対策棟内）における本部・執務エリアと休憩室へ変更。なお、保管場所については変更なし。



## 緊急時対策棟（連絡通路）の連結部に関する補足説明資料

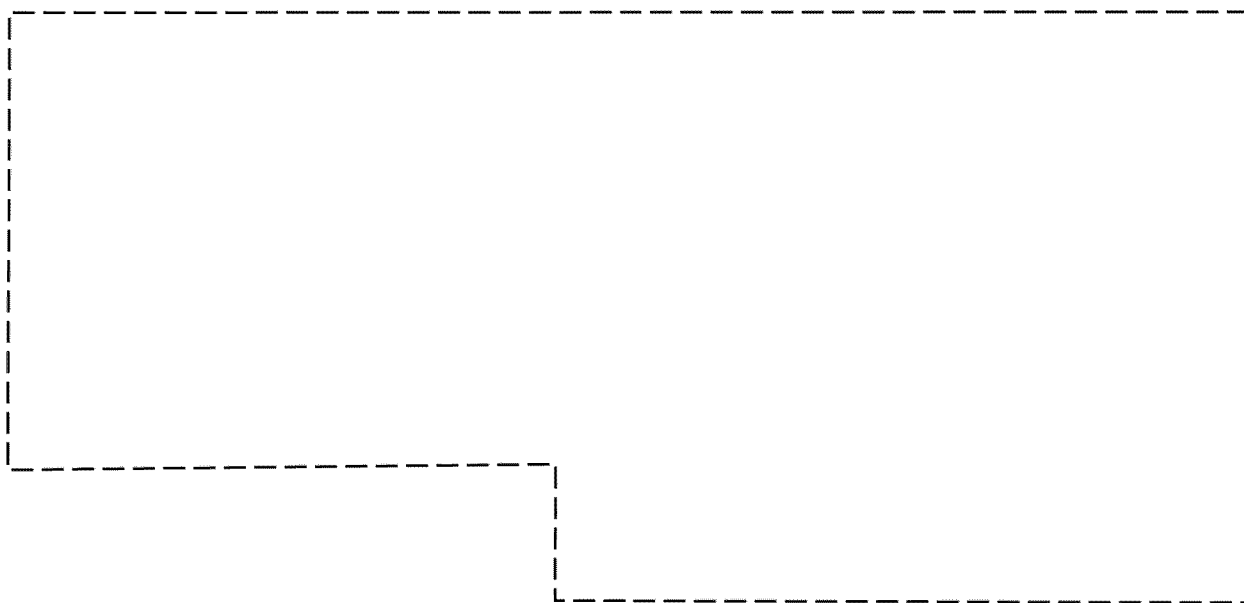
## 1. 概要

緊急時対策棟の連結部については、地震時の各建物の相対変位を考慮して約 100mm の隙間を設けることとしているが、設計及び工事計画において具体的な相対変位の評価結果を示し、当該連結部が相対変位の影響を考慮した設計となっていることを示す。

なお、連絡通路連結部の設計は、設置変更許可時から設計及び工事計画認可申請時において変更はない。連結部の設計上の考慮事項を以下に示す。

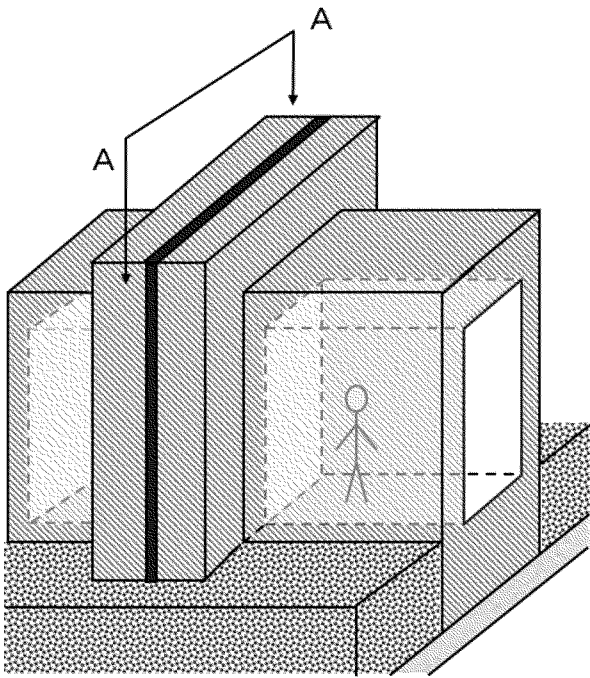
- ① 連結部は、地震時の各建物の相対変位を考慮して約 100mm の隙間を設ける。隙間は、ラビリンス構造とし、適切な遮へい厚を確保することで放射線防護対策を行う。
- ② 連結部のシール構造は、国内の原子力発電所の建屋間の接続部等で実績のある構造とし、材料は、当社の原子力発電所の配管貫通部シールとして使用実績のあるシリコンゴムを使用する。
- ③ 連結部の隙間の内側と外側の両方にシール材を取り付ける。内側シール材は、連絡通路内の空気ボンベ加圧対象エリアを正圧に維持することを目的とし、外側シール材は、連結部の隙間への放射性物質の侵入防止を目的とする。

緊急時対策棟の連絡通路連結部を第 1 図に、緊急時対策棟の連絡通路連結部の概略図を第 2 図及び第 3 図に示す。

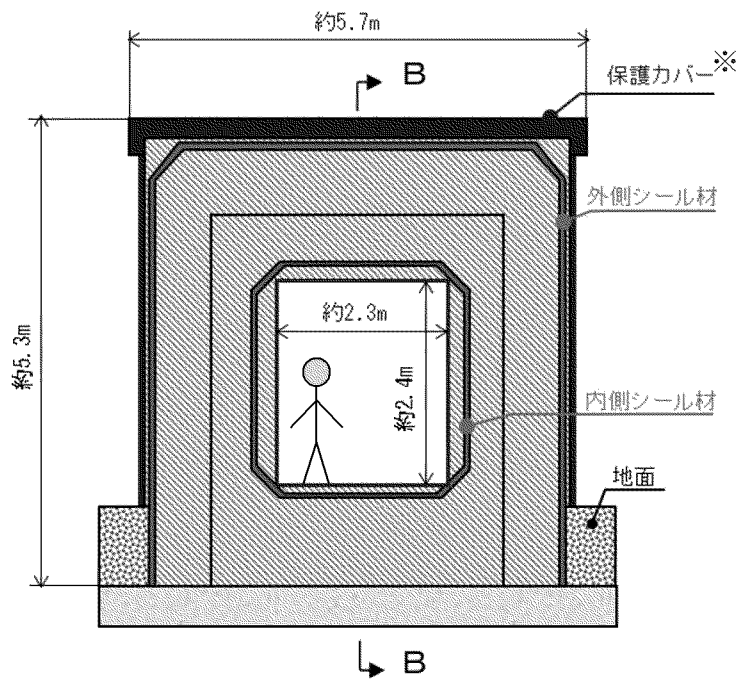


第 1 図 緊急時対策棟の連絡通路連結部

※ 枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

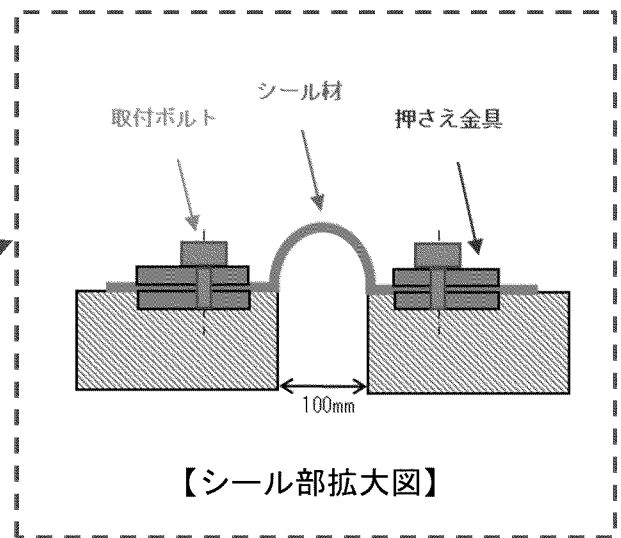
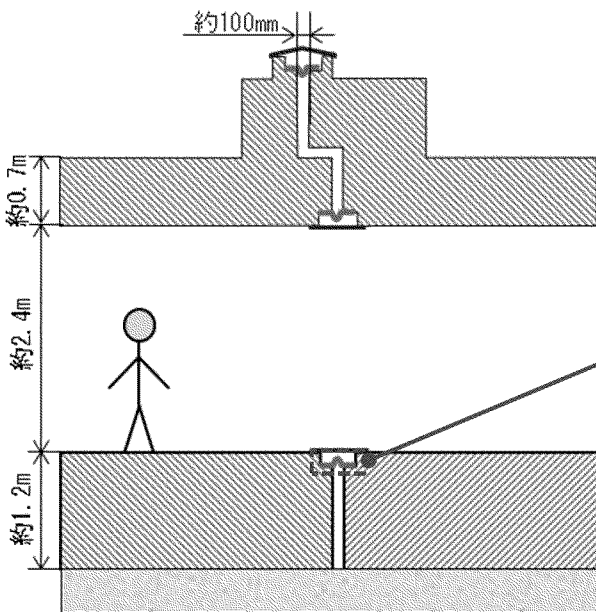


【鳥瞰図】



【A-A：正面から見た図】

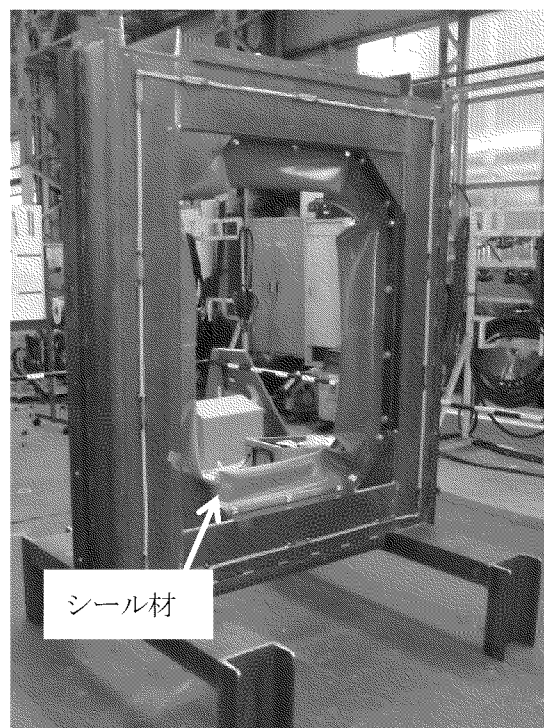
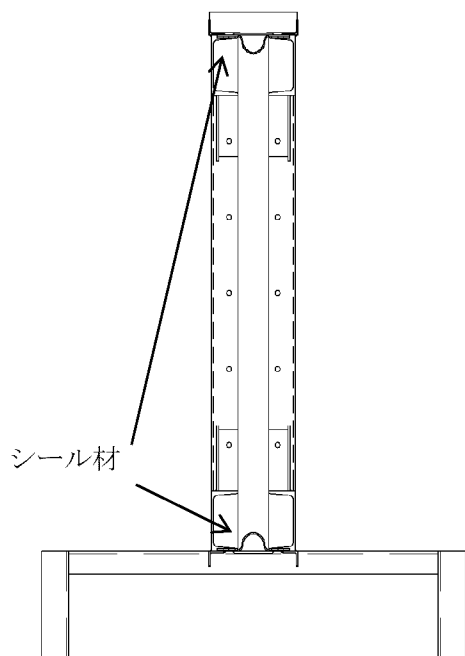
※：雨水避けを目的として設置  
(シールに対する遮光の機能も持つ)



【シール部拡大図】

【B-B：横から見た図】

第2図 緊急時対策棟の連絡通路連結部の概略図



第3図 緊急時対策棟の連絡通路連結部のモックアップ

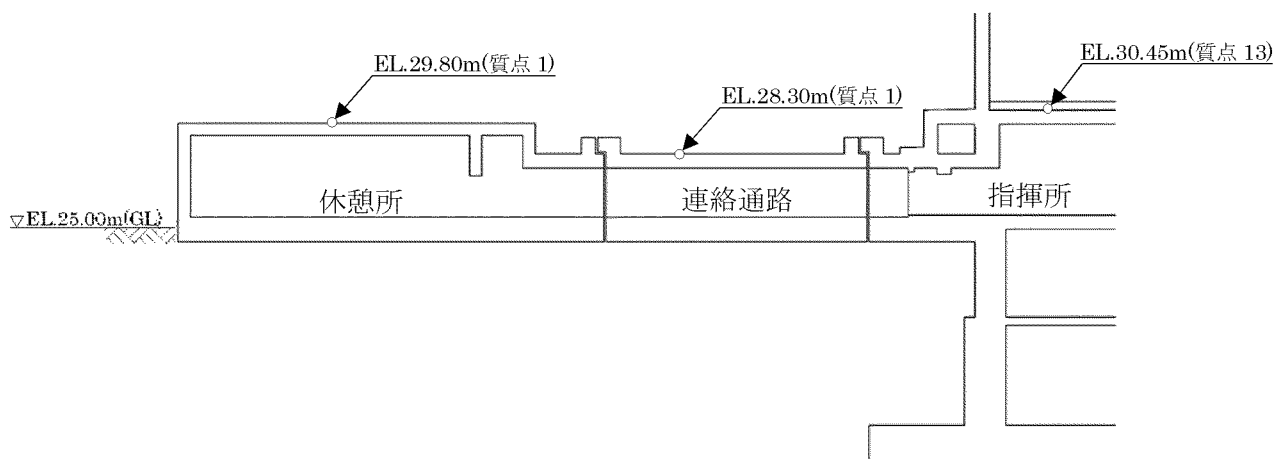
## 2. 相対変位の評価結果

### (1) 相対変位の評価方法

連結部が接触しないことの評価方法は、 $S_s$ 地震時における緊急時対策棟（連絡通路）と緊急時対策棟（指揮所）及び緊急時対策棟（休憩所）との相対変位を算出し、各建屋間の離隔(100mm)を超えないことを確認する。

相対変位は、質点系モデルによる非線形地震応答解析を行い、各建屋の最大変位を足し合わせて算出する。

相対変位の算出位置は、緊急時対策棟（連絡通路）は EL.28.30m（屋根スラブ、質点 1）、緊急時対策棟（指揮所）は EL.30.45m（2 階床スラブ、質点 13）、緊急時対策棟（休憩所）は EL.29.80m（屋根スラブ、質点 1）の最大応答変位を算出して、各建屋の相対変位を算出する。第 4 図に各建屋の概略断面図を、第 1 表に各建屋の地震応答解析モデルを示す。



第 4 図 各建屋の概略断面図

第1表 各建屋の地震応答解析モデル

項目	今回工認		川内1号機 緊急時対策棟（指揮所）、 加圧設備棟及び燃料設備棟	川内1号機 緊急時対策棟（休憩所） （代替緊急時対策所）
	川内1号機 緊急時対策棟（連絡通路）			
モデル図	水平方向			
	鉛直方向			

(2) 相対変位の評価結果

「(1) 相対変位の評価方法」に示す方法による相対変位の評価結果を第2表及び第3表に示す。

緊急時対策棟（連絡通路）と緊急時対策棟（指揮所）及び緊急時対策棟（休憩所）のSs地震時における相対変位の最大値は5.1mm程度となり、各建屋間の離隔(100mm)を超えず、連結部が接触しないことを確認した。なお、地盤物性のばらつき及び減衰定数の不確かさを考慮した最大応答変位については、相対変位が最大となる連絡通路～指揮所間の結果を代表して記載する。

第2表 地震応答解析結果（相対変位）（連絡通路～指揮所）

方向	地震動	最大応答変位（ばらつきを考慮した最大値）		相対変位の最大値 (mm)
		緊急時対策棟 (連絡通路) (mm)	緊急時対策棟 (指揮所) (mm)	
NS	Ss-1H	0.9(1.1 <sup>*</sup> )	4.2(4.4)	5.1(5.5)
	Ss-2H	0.7(0.8)	3.0(3.3)	3.7(4.1)
EW	Ss-1H	0.7(0.8)	3.8(4.0)	4.5(4.8)
	Ss-2H	0.6(0.7)	2.8(3.1)	3.4(3.8)
鉛直	Ss-1v	0.1(0.2 <sup>*</sup> )	0.5(0.5)	0.6(0.7)
	Ss-2v	0.1(0.2)	0.4(0.4)	0.5(0.6)

※誘発上下動モデルを考慮して算出した値

第3表 地震応答解析結果（相対変位）（連絡通路～休憩所）

方向	地震動	最大応答変位		相対変位の最大値 (mm)
		緊急時対策棟 (連絡通路) (mm)	緊急時対策棟 (休憩所) (mm)	
NS	Ss-1H	0.9	1.3	2.2
	Ss-2H	0.7	0.8	1.5
EW	Ss-1H	0.7	1.2	1.9
	Ss-2H	0.6	0.8	1.4
鉛直	Ss-1v	0.1	0.2	0.3
	Ss-2v	0.1	0.2	0.3

## 連絡通路接続部シールの屋外環境下における健全性について

### 1. 既プラントにおける採用実績

連絡通路の接続部については、耐圧性及び耐熱性等に優れたシリコーンゴムによるシールを行っており、原子力プラントにおいても、建屋間相対変位が発生する可能性がある接続部に採用している実績がある。特に玄海3,4号のアニュラスシールにおいては、連絡通路接続部シールと同様、屋外環境下に設置しており、保護カバーや耐火繊維の設置等、同様の設計を採用している。

また、水密性能を期待する箇所に対してのシールとしての採用実績も多数あり、原子力プラントにおいて一般的に用いられるものである。

### 2. シールの環境条件に対する実証試験

接続部シールは、第4表に示す通り多数の試験を行っている。

第4表 接続シールの試験内容

試 験 項 目	試 験 内 容 (判定値はメーカー社内基準による)
引 張 強 さ	耐熱性試験後及び耐屈曲性試験後、引張試験機により引張速さ 300±25mm/min で引張り、破断荷重が 196 N/10mm 以上あることを確認。
剥 離 強 さ	一端をナイフ等で剥離させた後、引張試験機により剥離速さ 300±25mm/min で剥離させ、剥離荷重が 9.8 N/25mm 以上あることを確認。
耐 圧 性	980±98 kPa の水圧を 1min～1min15s 付加し、破裂しないことを確認。
空 気 透 過 性	N <sub>2</sub> ガスまたは空気を 98±10 kPa にて 5～6min 付加し、石鹸水を用いて浸透漏洩のないことを確認。
耐 熱 性	250±2℃で 70～72h 加熱後、外観に異常のないことを確認。
耐 屈 曲 性	デマチャ式試験機 50000 回以上屈曲させ、き裂のないことを確認。
耐放射線性	2.58×10 <sup>3</sup> C/kg のγ線を照射後、劣化のないことを確認。
耐 候 性	キセノンウェザーメータで一定条件の紫外線を 200h 照射後、劣化のないことを確認。

### 3. シリコーンゴムの耐候性について

シリコーンゴムは様々な薬品を取り扱う工業分野や、人体に長期間埋め込むような医療分野等、耐環境性能が高い素材として広く産業界で用いられている。環境劣化に対する知見としては、US Army Material Commandによる長期間の曝露試験結果(1977年)<sup>[1]</sup>が知られる。曝露試験の結果を第5表に示す。これによると、保護カバーを設置しない状態で、複数の環境条件下で10年間放置した場合の性能変化を確認しており、いずれも劣化は小さいことを確認している。以上より、接続部シールのように屋外条件下にさらされた状況下で、仮に結露が発生した場合においても、シールが健全性を損なうことはない。

### 4. 保護カバーの設置について

上述の通り、接続部シールは耐環境性能が高い素材を用いているが、接続部シール上部に保護カバーを設置することで、通常待機時に日光や降雨の影響を受けない設計としている。併せて保護カバーについては、巡視の際に外観確認を行い、破損がないことを確認する。SA事象発生時は、仮に保護カバーの機能が喪失した場合においても、前述の実証試験等により、シールの機能が喪失することはない。

### 5. 連絡通路接続部シールの保全について

緊急時対策所機能はプラント供用期間の使用を想定しており、その期間中に重大事故等が発生した場合に、技術基準規則第54条第1項第1号における環境条件に対して、重大事故等発生後7日間その機能を発揮する設計としている。

連絡通路接続部シールについては要員の居住性を確保するための気密性の機能を期待しており、使用期間中の機能維持については、点検等の保全を実施することで担保する計画である。具体的な保全内容については現在検討中ではあるが、緊急時対策棟全体を加圧する試験を定期的実施し連絡通路接続部シールの気密が維持できていることを確認するとともに、10年を迎える前に外観点検を行うことを計画している。なお、点検等の保全については緊急時対策所機能を維持しつつ行うこととしており、構造上保修や取替えが可能な設計としている。

なお、類似設備としては玄海3,4号機に用いられるアニュラスシール(第5図)があるが、本設備も接続部シールと同様に保全を前提として使用しており、定期的な負圧試験に加え10サイクルに一度の外観点検を行っている。また、玄海3号機のアニュラスシールについては、平成19年の10サイクル目の外観点検においては異常が認められなかったため、平成6年の供用開始以来現在も継続使用中であり、シリコーンゴムシールは実力的には10年以上の耐力があると考えられる。

#### 【参考】

[1] 伊藤 邦雄(1985)ゴム材料の環境劣化と対策 日本ゴム協会誌58巻 12号 pp. 832-841



第5表 US Army Material Commandによる長期間曝露試験

第58巻 第12号 (1985)

伊藤 邦 雄

表7 HTV シリコンゴム屋外曝露環境

	平均気温 (°F)				降雨量 (inch)				平均湿度 (%)			
	AL	RI	PA <sup>1)</sup>	PA <sup>2)</sup>	AL	RI	PA <sup>1)</sup>	PA <sup>2)</sup>	AL	RI	PA <sup>1)</sup>	PA <sup>2)</sup>
Jan	-27.4	14.3	81	80	0.01	2.01	2.14	1.50	84	66	87	90
Feb	-7.6	24.8	81	80	1.75	0.89	0.71	0.64	87	63	83	85
Mar	-2.5	39.2	80	78	0.34	0.85	1.85	2.44	66	58	83	84
Apr	27.1	47.2	80	78	0.32	3.96	7.26	8.70	50	57	83	89
May	45.4	56.3	77	77	0.38	6.39	22.87	18.30	48	52	93	98
Jun	63.3	70.5	76	80	0.19	4.25	4.49	4.24	34	54	90	96
Jul	62.5	77.9	78	78	0.83	7.74	16.57	11.80	37	52	93	97
Aug	57.1	70.6	80	77	0.59	0.77	19.90	19.80	43	53	94	100
Sep	50.1	62.9	79	79	0.15	2.80	15.15	11.25	42	52	93	99
Oct	24.3	52.5	78	78	0.29	4.38	16.01	19.62	65	46	93	99
Nov	0.6	41.7	77	78	2.06	1.12	33.50	34.76	78	61	93	99
Dec	-20.1	28.1	78	78	0.16	2.52	18.40	14.65	60	70	92	98
					7.07	37.68	158.85	147.70				

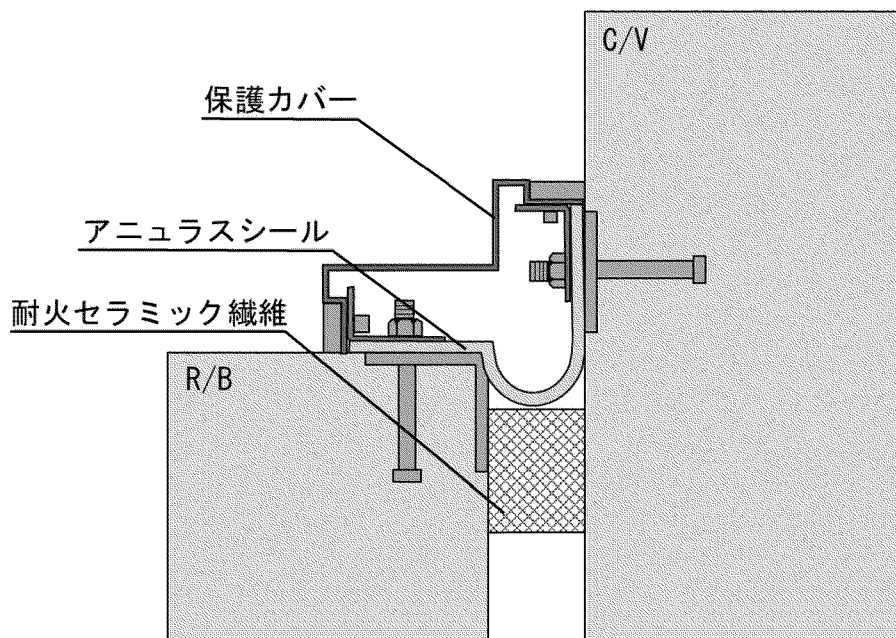
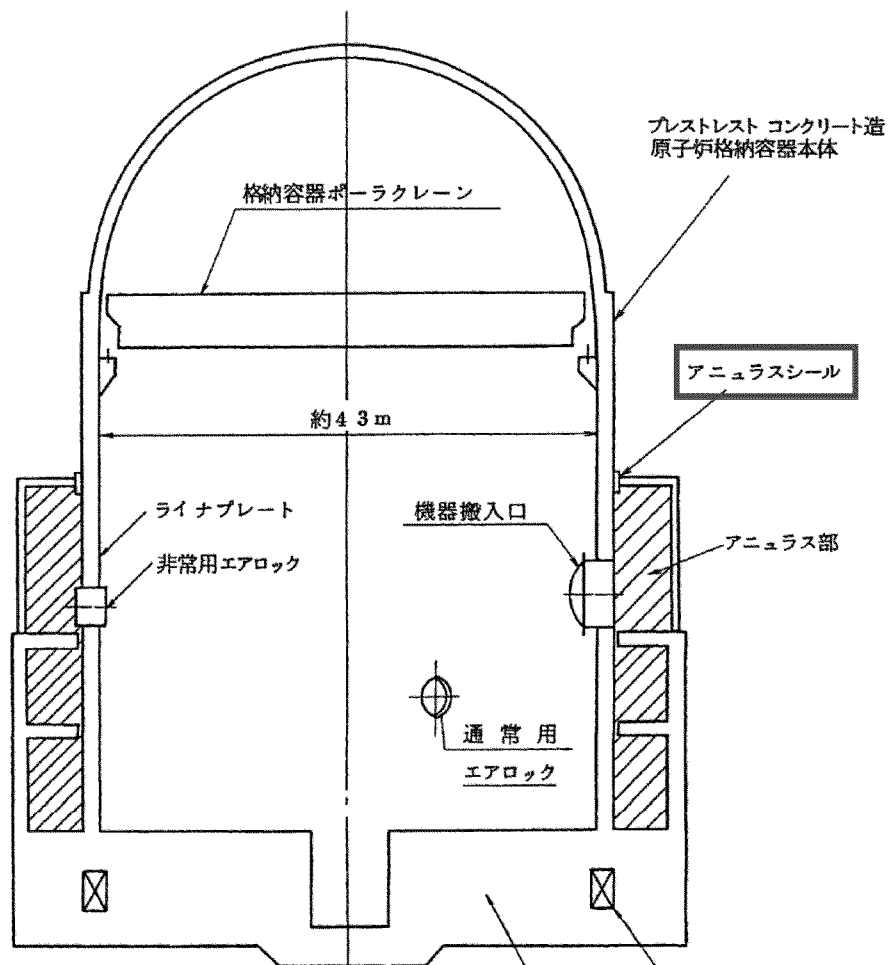
AL: アラスカ, RI: ロックアイランド, PA<sup>1)</sup>: パナマ (Sun), PA<sup>2)</sup>: パナマ (Rain Forest)

表8 HTV シリコンゴムの耐候性 (10~75%低下するまでの年月)

	VMQ	PVMQ	PVMQ	FVMQ
硬 さ (ショア-A)	60	49	47	45
伸 び (%)	250	580	900	690
引張り強さ (psi)	830	1550	1360	690

種 類	暴 露 場 所	引張り強さの変化				伸びの変化			
		10%	25%	50%	75%	10%	25%	50%	75%
VMQ	パ ナ マ (OS)	5YR	7YR	>10YR	—	3.5YR	7.5YR	>10YR	—
	パ ナ マ (RF)	2.5YR	6.5YR	>10YR	—	7.5YR	9.5YR	>10YR	—
	ロックアイランド (OS)	7YR	>10YR	—	—	9.5YR	>10YR	—	—
	ロックアイランド (室内)	6YR	>10YR	—	—	5.5YR	>10YR	—	—
	アラスカ (OS)	>10YR	—	—	—	>10YR	—	—	—
	加熱促進400°F	>1D	1D	>14D	—	>14D	—	—	—
PVMQ	パ ナ マ (OS)	<6M	<6M	1YR	2YR	<6M	<6M	1YR	5.5YR
	ロックアイランド (OS)	<6M	<6M	1YR	6YR	<6M	<6M	2YR	10YR
	ロックアイランド (室内)	7YR	>10YR	—	—	1YR	6.5YR	>10YR	—
	アラスカ (OS)	<6M	1.5YR	6YR	>10YR	<6M	1.5YR	5YR	>10YR
	加熱促進400°F	<1D	2D	>14D	—	<1D	1D	>14D	—
PVMQ (FT プラック添加)	パ ナ マ (OS)	1YR	9YR	>10YR	—	1YR	3YR	>10YR	—
	ロックアイランド (OS)	<6M	2YR	>10YR	—	<6M	1.5YR	>10YR	—
	ロックアイランド (室内)	6YR	>10YR	—	—	2.5YR	6.5YR	>10YR	—
	アラスカ (OS)	3.5YR	>10YR	—	—	2YR	>10YR	—	—
	加熱促進400°F	<1D	2.5D	14D	>14D	<1D	1D	7D	>14D
FVMQ	パ ナ マ (OS)	1.5YR	3.5YR	6.5YR	>10YR	<6M	<6M	6M	>10YR
	ロックアイランド (OS)	>10YR	—	—	—	<6M	1YR	4YR	>10YR
	アラスカ (OS)	1YR	3.5YR	>10YR	—	6M	1.5YR	>10YR	—
	加熱促進400°F	5D	10D	>14D	—	<1D	2D	>14D	—

\* 全グレードとも10年放置後の外観異常は認められない。



※アニュラスシールは地震による相対変位や格納容器の熱膨張及び内圧上昇による変位量を吸収するために設置している。

第5図 アニュラスシール概要

## 連絡通路接続部の機能及び検査について

## 1. 連絡通路接続部の機能について

連絡通路接続部は緊急時対策所の居住区画の一部であり、当該部については居住性を確保するための機能（遮蔽性、気密性）が要求される。連絡通路は隣接する構造物と分離するという目的上間隙を設けており、その間隙の処置として、遮蔽の観点からは外側から直視できない迷路構造とすること、気密の観点からはシール処置をすることで正圧維持可能とすることとしている。気密性能としては、指揮所、休憩所及び連絡通路が一体となった加圧バウンダリの空間体積に対してアウトリーク率を 0.15 回/h 以下に抑えることを設計目標としている。このアウトリーク率より連絡通路接続部シールの設置エリアの空間体積をおよそ 10m<sup>3</sup> とすると、シール部の許容漏えい量は 20ℓ/min となり、これを満足するようなシール構造とする。なお、連絡通路シール部の漏えい量については、供試体での実証試験により許容漏えい量 20ℓ/min を十分下回る構造となっていることを確認している。

## 2. 連絡通路接続部の基本設計方針での記載について

## 2. 1. 遮蔽の記載について

遮蔽に設ける間隙の仕様については、貫通部の設計と同様、必要に応じ以下の放射線漏えい防止措置を講じた設計とすることとして基本設計方針に記載している。連絡通路接続部については、下記のうち「線源機器と貫通孔の位置関係により、貫通孔から線源機器が直視できない措置」を講じている。

なお、緊急時対策棟（指揮所）等に設置される既設の大口径貫通部については、下記のうち「開口部を設ける場合、人が容易に接近できないような場所（通路の行き止まり部、高所等）への開口部設置」を講じている。

*生体遮蔽は、(中略) 遮蔽性を維持する設計とする。生体遮蔽に開口部又は配管その他の貫通部があるものにあつては、必要に応じて次の放射線漏えい防止措置を講じた設計とする。*

- ・ 開口部を設ける場合、人が容易に接近できないような場所（通路の行き止まり部、高所等）への開口部設置
- ・ 貫通部に対する遮蔽補強（スリーブと配管との間隙への遮蔽材の充てん等）
- ・ 線源機器と貫通孔の位置関係により、貫通孔から線源機器が直視できない措置

## 2. 2. 気密の記載について

基本設計方針においては、以下の通り正圧維持可能であることを記載している。

*緊急時対策所（緊急時対策棟内）の気密性並びに緊急時対策所遮蔽及び外部遮蔽の性能とあいまって、居住性に係る判断基準を満足する設計とする。*

*緊急時対策所換気設備は、地震時及び地震後においても、緊急時対策所（緊急時対策棟内）の建物の気密性とあいまって緊急時対策所（緊急時対策棟内）内を正圧に加圧でき（後略）*

### 3. 連絡通路接続部の添付資料（添付図面）での記載について

#### 3. 1. 遮蔽の記載について

連絡通路接続部の遮蔽性については、迷路構造を設ける設計としており、添付図面「放射線管理施設の構造図（生体遮蔽装置） 緊急時対策所遮蔽」においてその構造を示している。

また、貫通部に係る設計は休憩所遮蔽を透過せずに配管その他の貫通部を透過する放射線による線量を考慮していないが、考慮した場合でも評価結果に影響を与えることはなく（休憩所遮蔽を透過するガンマ線の合計線量の約  $35\text{mSv}/7$  日間に対して、約  $3.4 \times 10^{-2}\text{mSv}/7$  日間）、居住性に係る被ばく評価の判断基準（ $100\text{mSv}/7$  日間）を満足することを確認する旨を記載している。

#### 3. 2. 気密の記載について

連絡通路接続部の気密性については、シール処置を実施することで担保しているが、添付資料においては居住区画全体の設計として、「 $100\text{Pa}[\text{gage}]$ を目標圧力として正圧維持すること」及び居住区画全体のアウトリーク率「 $0.15$ （回/h）」を居住性の添付資料に記載している。

### 4. 連絡通路接続部の検査について

#### 4. 1. 遮蔽の検査について

連絡通路接続部の遮蔽構造については、基本設計方針の記載通り「線源機器と貫通孔の位置関係により、貫通孔から線源機器が直視できない措置」を講じた迷路構造であることを確認する。具体的には、添付図面のとおり迷路構造が設けられており、当該部から外部が直視できない構造であることを目視により確認する。

なお、大口径貫通部についても、基本設計方針の記載の通り「開口部を設ける場合、人が容易に接近できないような場所（通路の行き止まり部、高所等）への開口部設置」を講じており、貫通部の位置等を目視により確認している。また、配管貫通部の位置や寸法等について、補足説明資料 13 に示している図のようになっているかを確認することにより、貫通部を考慮しても居住性に係る被ばく評価の判断基準を満足することを確認している。緊急時対策棟（休憩所）の既工事計画にて設けられた貫通部については、検討段階ではあるが記録確認を行うことを考えている。

#### 4. 2. 気密の検査について

気密の検査については、基本設計方針の記載の通り「正圧維持が可能」であることを確認する。具体的には加圧設備を用いて、加圧ラインより設計風量以下の流量にて居住区画全体を加圧し、気密バウンダリ内（居室）圧力を  $100\text{Pa}$  以上、1 時間保持できることを確認する。なお、設計風量は、添付資料「設定根拠に関する説明書」に記載しているアウトリーク率  $0.15$  回/h から設定され、当該風量以下の風量で加圧し、気密バウンダリ内（居室）が  $100\text{Pa}$  以上を維持できることを確認することでアウトリーク率が  $0.15$  回/h 以下であることを確認できる。

## 緊急時対策所（緊急時対策棟内）のダクト貫通部に係る被ばく評価について

### 1. 概要

緊急時対策所（緊急時対策棟内）の居住性に係る被ばく評価では、重大事故等時の緊急時対策所（緊急時対策棟内）にとどまる要員（以下「要員」という。）の実効線量は、その滞在場所により遮蔽及び換気設備等の条件が異なることから、第1図に示す指揮所バウンダリ範囲（以下「指揮所」という。）に7日間滞在した場合の実効線量と休憩所バウンダリ範囲（以下「休憩所」という。）に7日間滞在した場合の実効線量を個別に評価する。

遮蔽構造については一部簡略化しており、指揮所が厚さ700mm（公称値。以下、遮蔽厚さについて同様。）の緊急時対策所遮蔽（緊急時対策所（緊急時対策棟内）のうち指揮所部（以下「指揮所遮蔽」という。）及び休憩所が厚さ600mmの緊急時対策所遮蔽（緊急時対策所）のうち休憩所部（以下「休憩所遮蔽」という。）で囲まれたモデルとして評価している。一方で、緊急時対策所遮蔽（緊急時対策所（緊急時対策棟内））にはダクト等を施設するために必要な貫通部を設けることとしており、貫通部を考慮したモデルの評価は、現状の評価手法では散乱による減衰効果等を厳密に模擬できないため困難である。このため、評価モデルでは考慮できない緊急時対策所遮蔽を透過せずに貫通部を通過して緊急時対策所へ入射する放射線による被ばく評価について以下に示す。

なお、指揮所における貫通部を考慮したモデルの評価は指揮所工認時の審査時から変更はない（別添参照）。指揮所工認より前の新規制基準適合性確認工認では貫通部を考慮したモデルの評価を実施していなかったため、休憩所遮蔽を透過せずに貫通部を通過して休憩所へ入射する放射線による被ばく評価について、要員の実効線量に対する影響が軽微であることを説明する。

### 2. 評価モデルにおける被ばく評価

#### 2.1 被ばく評価イメージ

要員が休憩所に7日間滞在した場合の被ばく評価では、「①直接線及びスカイシャイン線」、「②放射性雲からのガンマ線」、「③ガンマ線吸入摂取」及び「④グランドシャイン線」を考慮しており、このうち①、②及び④については、休憩所遮蔽の遮蔽効果を期待している。

評価イメージを第2図に示す。

#### 2.2 被ばく評価モデル

「①直接線及びスカイシャイン線」、「②放射性雲からのガンマ線」及び「④グランドシャイン線」の居住性に係る被ばく評価では、それぞれ線源を設定し、施設の位置、遮蔽構造等を考慮しているが、遮蔽構造については一部簡略化し、休憩所が厚さ600mmの休憩所遮蔽で囲まれたモデルとして評価している。

### 3. ダクト貫通部に係る被ばく評価

#### 3.1 ダクト貫通部の被ばく低減策

実設備では第3図に示すように、ダクトを施設するために必要な貫通部を設けることとしており、必要に応じて「人が容易に接近できないような場所への設置」、「貫通部に対する遮蔽補強」または「線源と貫通部との位置関係により、貫通部から線源が直視できない措置」を行うことで、貫通部からの要員への被ばくを低減し、被ばく評価上の

休憩所遮蔽と同等の遮蔽効果を期待できる設計としている。具体的には、休憩所遮蔽に設けるダクト貫通部は、緊急時対策所の床上 3m 程度の高さに設置し、人が容易に接近できないような位置とする。また、線源と貫通部との位置関係を第 4 図に示す。

### 3.2 評価方法

ダクト貫通部に係る被ばく評価にあたり、評価が必要な被ばく経路及び貫通部を抽出し、QAD コード及びアルベド方式（注）を用いて当該貫通部の線量評価を行った。影響評価対象抽出フローを第 5 図に、線量評価イメージを第 6 図に示す。

（注）アルベド方式の散乱線量は財団法人原子力安全技術センター「放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル 2015」の Chilton と Huddreston の経験式を用いて計算する。

#### 3.2.1 被ばく経路の抽出

ダクト貫通部から線源を直視できない「①直接線及びスカイシャイン線」による被ばく経路については、評価対象外とする。

ダクト貫通部から線源を直視できる「②放射性雲からのガンマ線」及び「④グラウンドシャイン線」については、線源から休憩所遮蔽のダクト貫通部を通過するガンマ線（以下「ストリーミング線」という。）が休憩所に入射することから貫通部ごとにストリーミング線の線量評価を行う。

#### 3.2.2 評価点の位置

今回のストリーミング線の評価点は、居住性評価で用いたモデルでは考慮できない貫通部からのストリーミング線の線量による感度を確認する観点から、居住性評価の評価点と整合させている。

ここで、休憩所の居住性評価は、休憩所周辺に最も支配的な被ばく経路であるグラウンドシャイン線の線源が複雑に分布しており、線源に対し評価点との距離や遮蔽を透過する距離が変動するため、線量が最大となる評価点を特定することが困難であることから、評価点を、要員が滞在する場所の代表として休憩室中心（床上 1.5m）としている。なお、評価点を休憩室中心から各方位の壁面にずらした場合、線源までの距離及び遮へい壁との位置関係による線量の増減は 1mSv 未満であり、評価結果に与える影響は軽微である。以上より、休憩所の居住性評価の評価点を、休憩室中心とすることは妥当である。

#### 3.2.3 ダクト貫通部

第 7 図に示す居住エリアを直接取り囲む休憩所遮蔽に対するダクト貫通部(1)、(2)、(3)及び(4)について、ストリーミング線の線量評価を行う。

#### 3.2.4 クラウド線源による貫通部線量評価

##### (1) 評価条件

クラウド線源による貫通部線量評価は、居住性評価と同様に評価点を休憩室中心に設定して評価を実施する。ストリーミング線はダクト貫通部外側のクラウド線源から評価点に対して散乱回数 1 回で到達するガンマ線を評価対象とし、線源範囲はダクト貫通部の正面の範囲とする。また、線源強度は居住性評価と同等とする。

クラウド線源と評価点の関係を第 8 図に示す。

## (2) 評価結果

ダクト貫通部のクラウド線源による線量評価結果を第 1 表に示す。ストリーミング線の合計線量は  $5.2 \times 10^{-3} \text{mSv/7 日間}$  となる。

### 3.2.5 グランド線源による貫通部線量評価

#### (1) 評価条件

グランド線源による貫通部線量評価は、居住性評価と同様に評価点を休憩室中心に設定して評価を実施する。ストリーミング線はダクト貫通部外側のグランド線源から評価点に対して散乱回数 1 回で到達するガンマ線の評価対象とし、線源範囲はダクト貫通部の正面の範囲とする。また、線源強度は居住性評価と同等とする。

なお、ダクト貫通部(3)及び(4)については、ダクト貫通部から評価点までの散乱回数は第 9 図に示すとおり、2 回以上確保されており、休憩所遮蔽と同等の減衰効果を期待できる(※)ため、評価対象外とする。

グランド線源と評価点の関係を第 10 図に示す。

(※)休憩所における散乱による減衰効果は 1 回散乱で約 0.04 である。休憩所遮蔽の減衰効果は約 0.02 であるため、2 回の散乱( $0.04 \times 0.04 = 0.0016$ )で休憩所遮蔽と同等の減衰効果が期待できる。

#### (2) 評価結果

ダクト貫通部のグランド線源による線量評価結果を第 2 表に示す。ストリーミング線の合計線量は  $2.9 \times 10^{-2} \text{mSv/7 日間}$  となる。

### 3.2.6 その他

ダクト貫通部のストリーミング線量は、評価点までの散乱角及び距離の影響を受ける。評価点が貫通部に近くなると距離は近くなるが、散乱による減衰効果が大きくなる、逆に貫通部から離れると散乱しない又は散乱による減衰効果は小さくなるが、距離は遠くなる、といった相反する効果がある。

また、休憩所内でダクト貫通部を通じてクラウド線源が直視できる場所を評価点とした場合、線量の増加は  $0.1 \text{mSv/7 日間未満}$  である。

なお、評価点の高さを現行よりも高くした場合、ダクト貫通部のストリーミング線の影響は増加するが、居住性評価において支配的なグランドシャイン線の線量は減少する。

以上より、ダクト貫通部のストリーミング線の線量は、判断基準に対して大きく影響を与えるものではないため、ダクト貫通部からのストリーミング線の評価で、休憩室中心を評価点とすることは妥当である。

## 4. まとめ

3.2 の結果より、「①直接線及びスカイシャイン線」、「②放射性雲からのガンマ線」、「③ガンマ線吸入摂取」及び「④グランドシャイン線」の各被ばく経路における貫通部を考慮した実効線量 (7 日間) を第 3 表に示す。休憩所遮蔽を透過するガンマ線の合計線量 (7 日間) の約  $35 \text{mSv}$  に対し、ストリーミング線の合計線量 (7 日間) は約  $3.4 \times 10^{-2} \text{mSv}$  であるため、ストリーミング線を考慮した場合でも、休憩所の実効線量 (7 日間) の合計値

は約 35mSv となり、評価結果に影響はない。また、休憩所の実効線量（7 日間）の評価値が変化しないため、緊急時対策所（緊急時対策棟内）の実効線量（7 日間）である約 26mSv にも影響を与えず、居住性に係る被ばく評価の判断基準を満足する。



第1表 クラウド線源によるダクト貫通部からの被ばく評価結果

ダクト 番号	実効線量 (mSv/7日間)
(1)	約 $1.9 \times 10^{-3}$
(2)	約 $3.3 \times 10^{-3}$
(3)	約 $1.7 \times 10^{-5}$
(4)	約 $3.2 \times 10^{-5}$
合計	約 $5.2 \times 10^{-3}$

第2表 グランド線源によるダクト貫通部からの被ばく評価結果

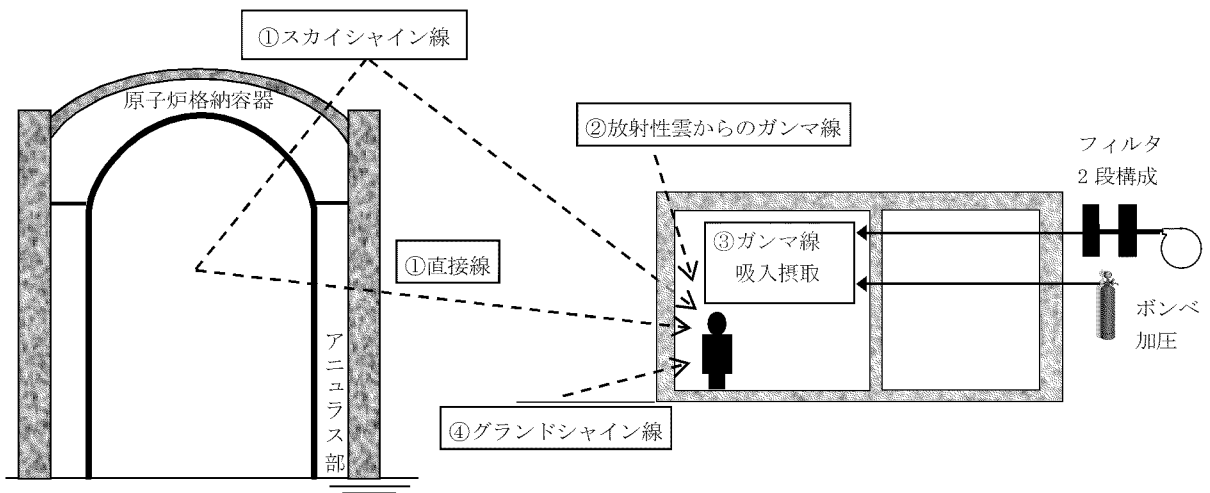
ダクト 番号	実効線量 (mSv/7日間)
(1)	約 $6.3 \times 10^{-3}$
(2)	約 $2.3 \times 10^{-2}$
(3)	—
(4)	—
合計	約 $2.9 \times 10^{-2}$

第3表 休憩所の居住性に係る被ばく評価結果

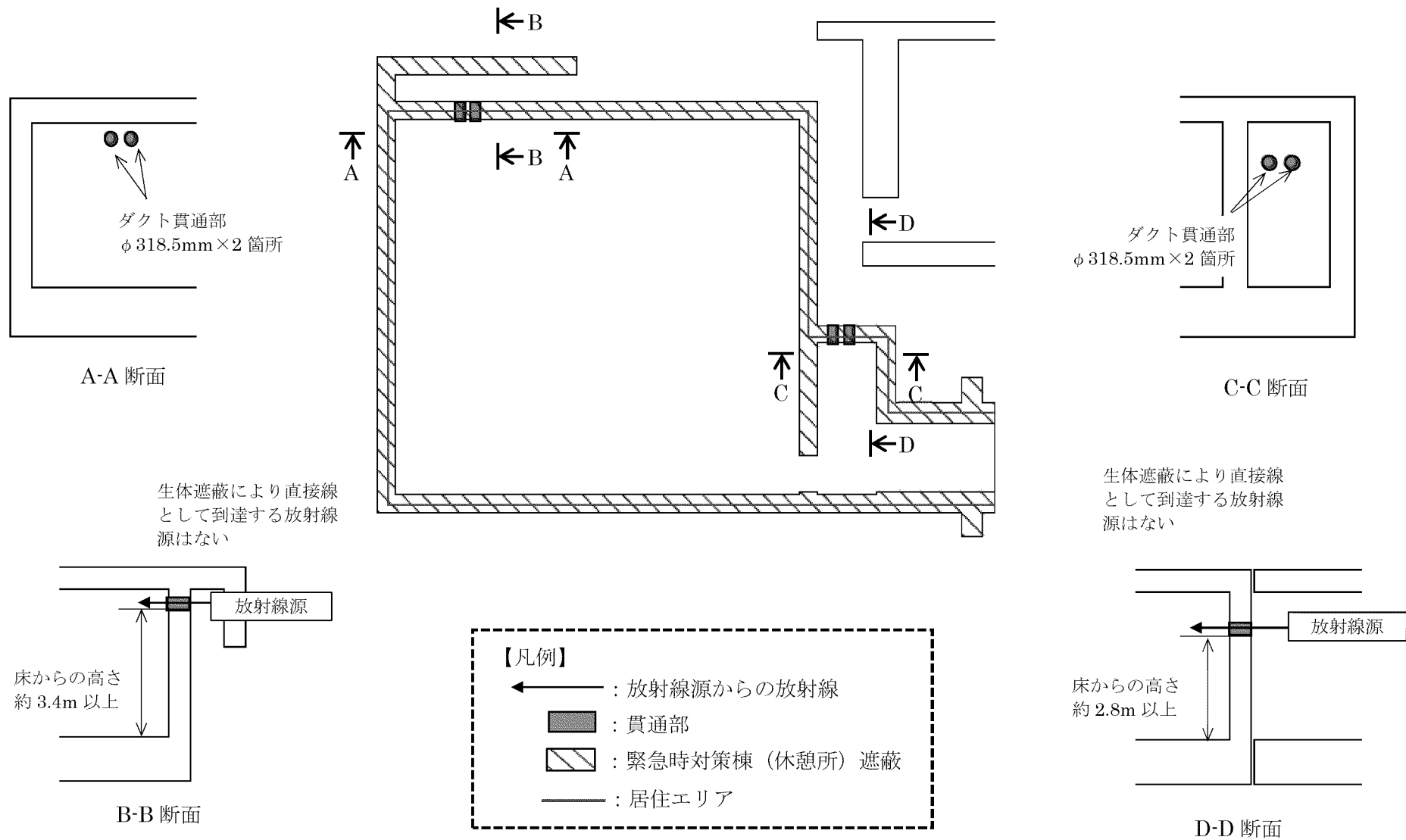
被ばく経路		実効線量 (mSv/7日間)		
		ダクト貫通部に係る 線量評価	休憩所遮蔽を透過す る線量評価	合計
①	直接線及び スカイシャイン線	—	約 $3.0 \times 10^{-2}$	約 $3.0 \times 10^{-2}$
②	放射性雲からのガンマ線	約 $5.2 \times 10^{-3}$	約 $1.6 \times 10^{-1}$	約 $1.6 \times 10^{-1}$
③	ガンマ線吸入摂取	—	約 $9.4 \times 10^0$	約 $9.4 \times 10^0$
④	グランドシャイン線	約 $2.9 \times 10^{-2}$	約 $2.5 \times 10^1$	約 $2.5 \times 10^1$
合計 (①+②+③+④)		約 $3.4 \times 10^{-2}$	約 $3.5 \times 10^1$	約 $3.5 \times 10^1$ (注)

(注) 有効数字2桁で切り上げた値

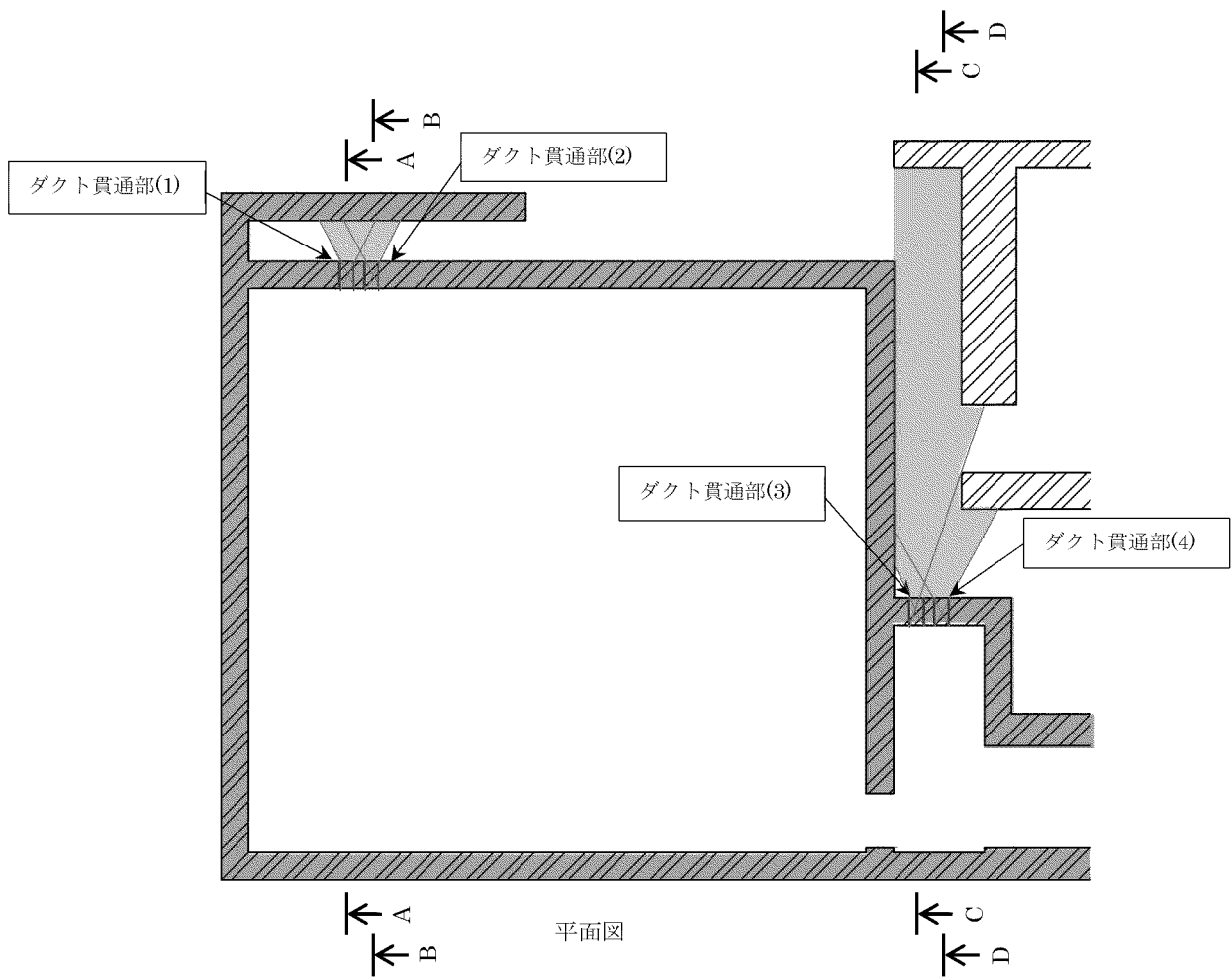
第1図 指揮所及び休憩所のバウンダリ体積



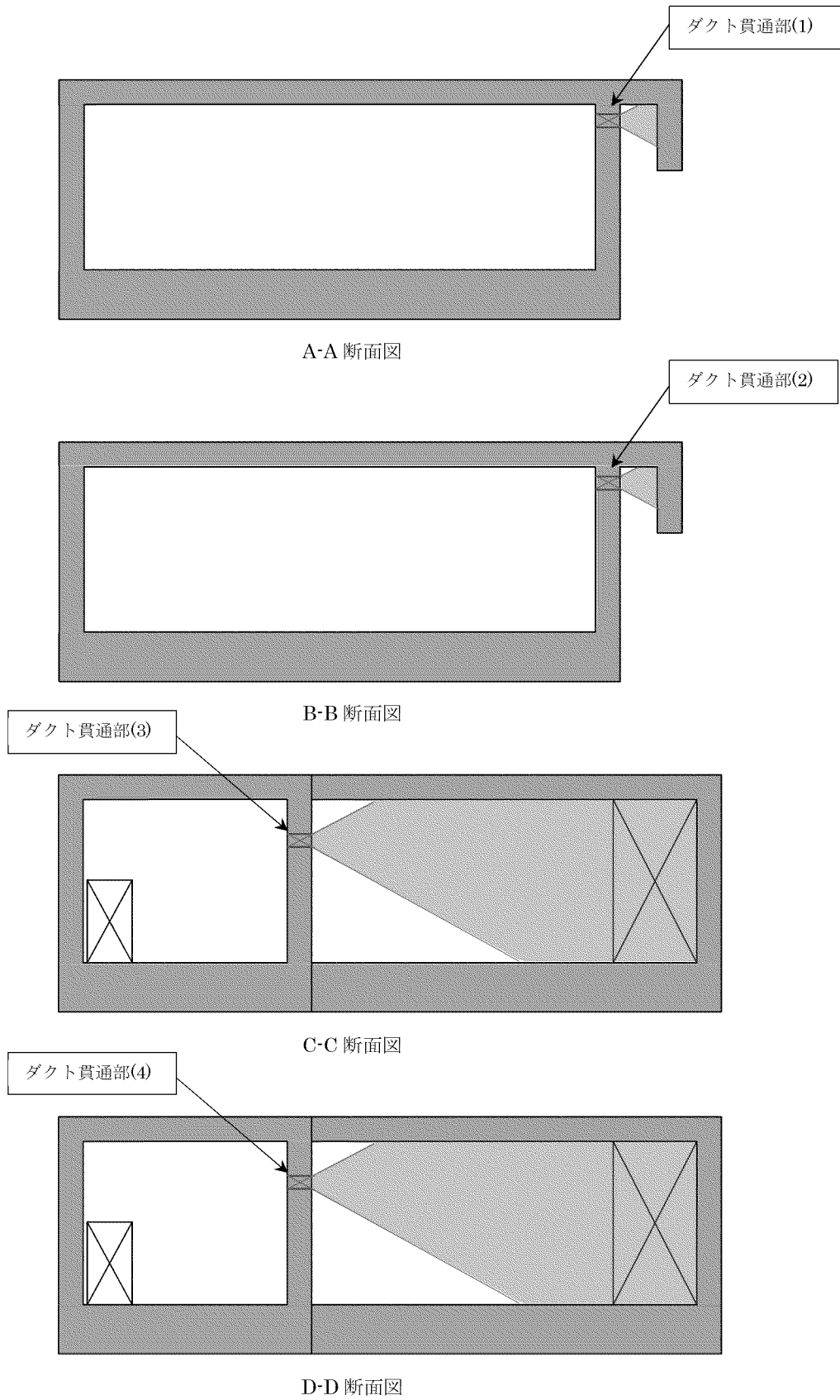
第2図 評価イメージ



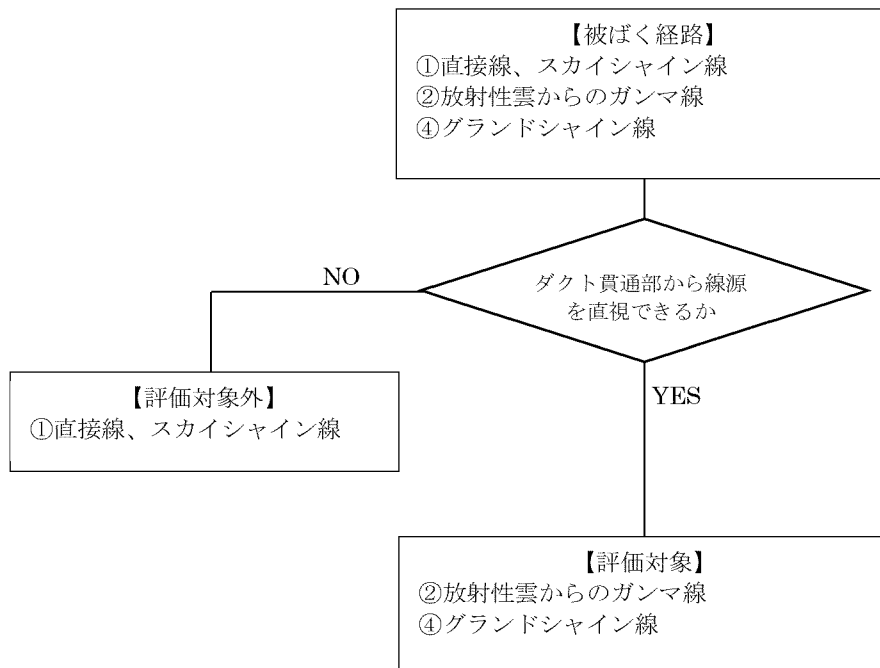
第 3 図 緊急時対策棟（休憩所）貫通部に関する遮蔽概要



第4図 ダクト貫通部から線源を直視できる範囲 (1/2)

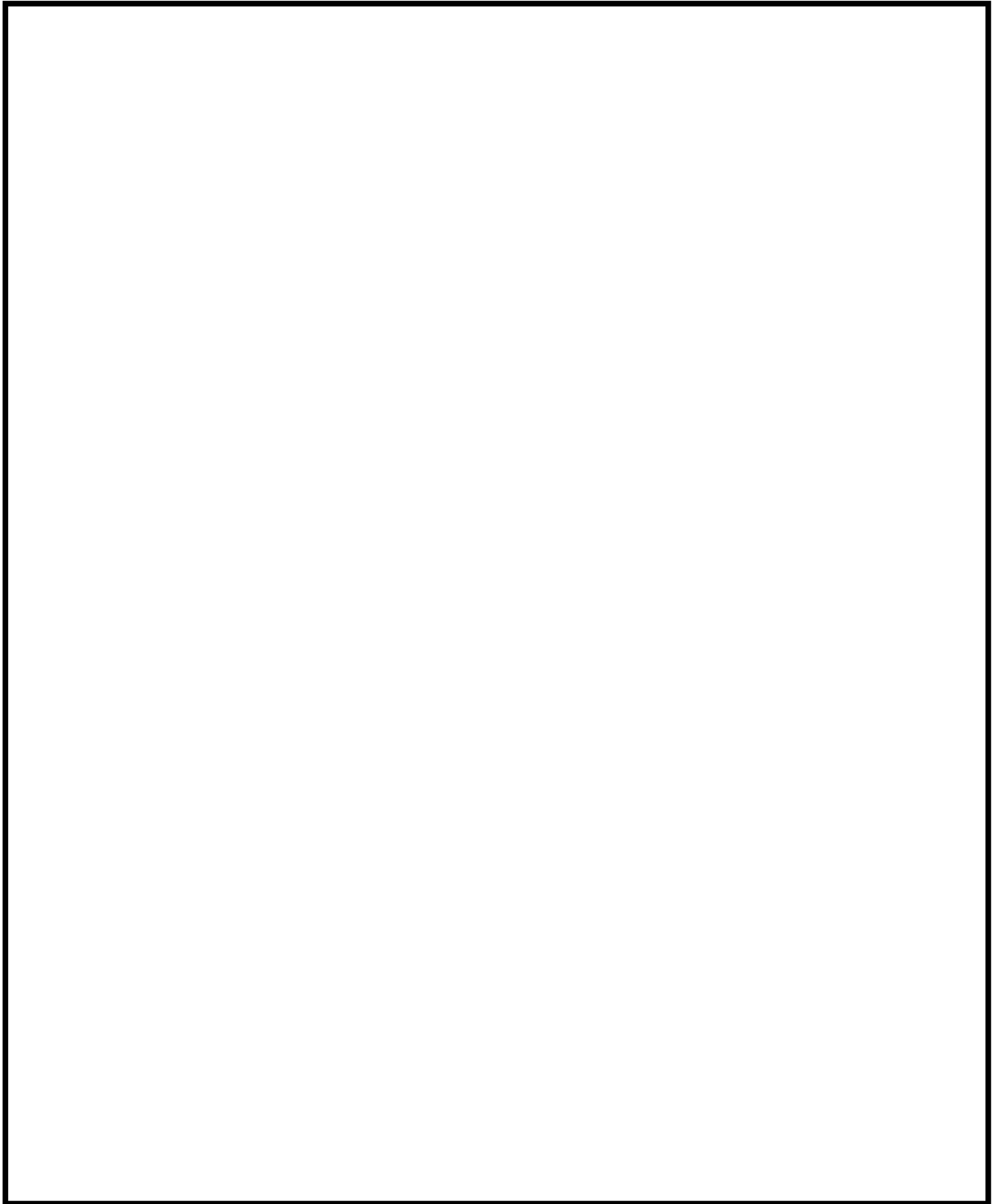


第4図 ダクト貫通部から線源を直視できる範囲 (2/2)



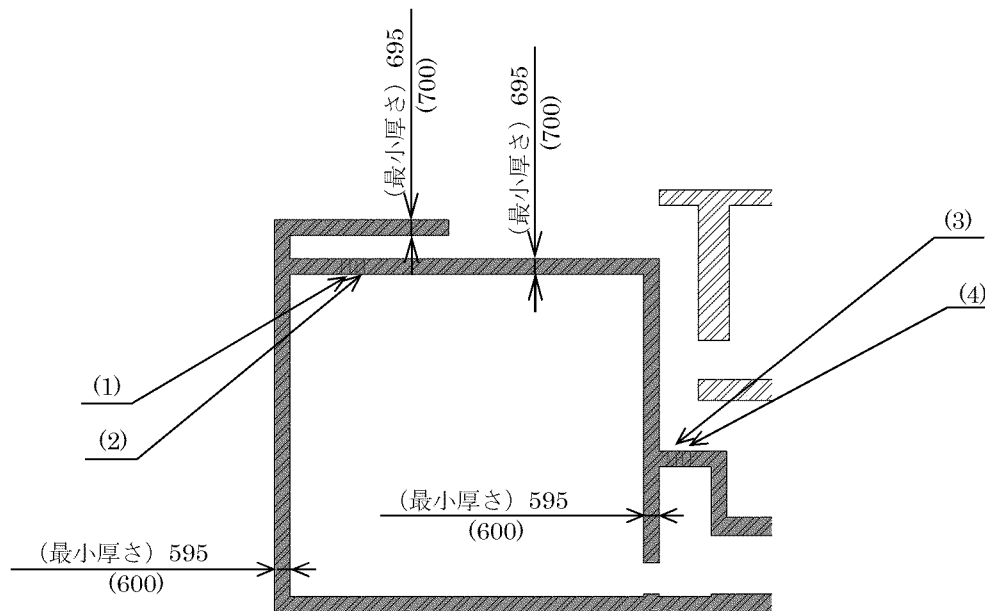
被ばく経路の抽出

第 5 図 影響評価対象抽出フロー



第6図 線量評価イメージ





緊急時対策棟（休憩所）EL.25.2m

【凡 例】

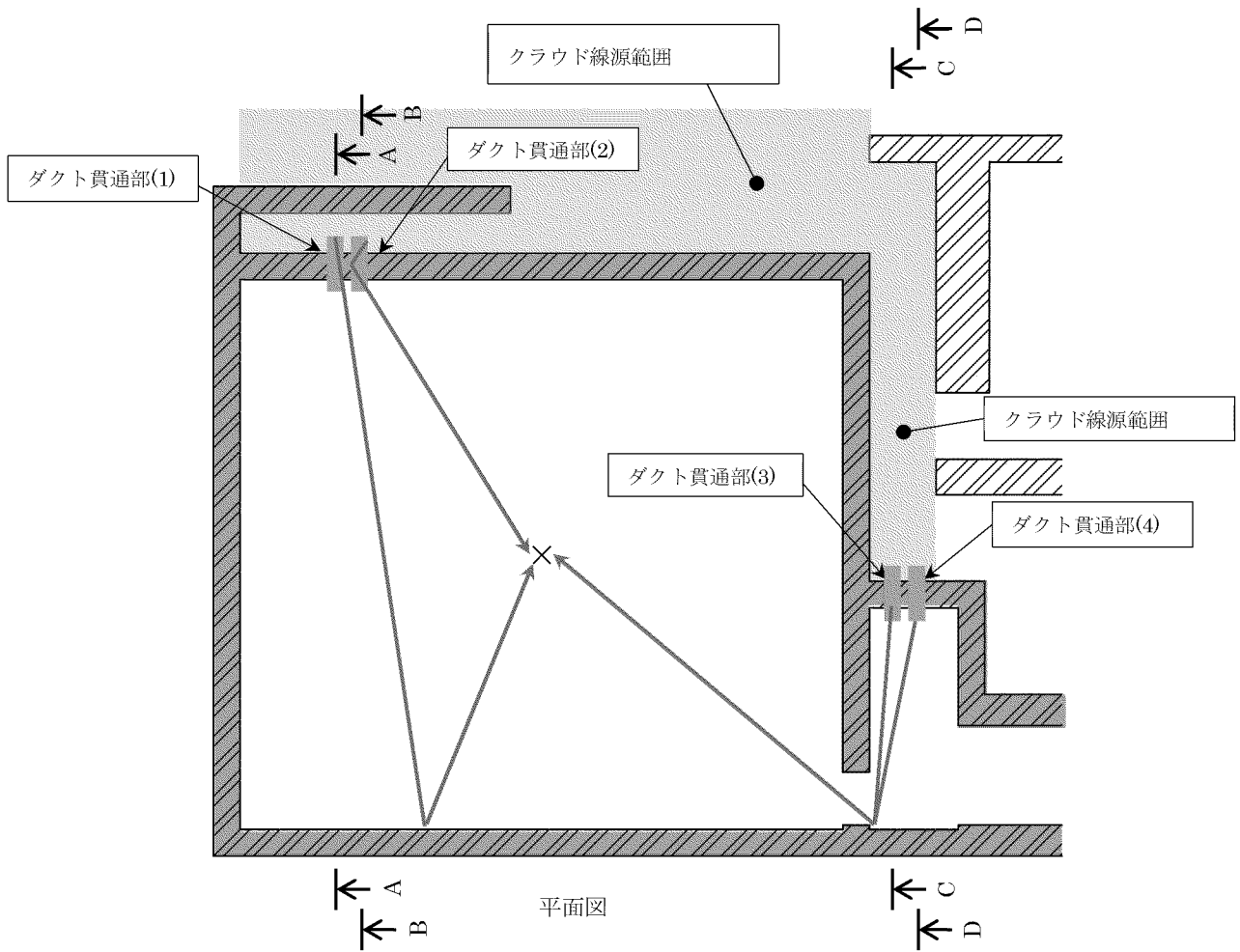
- ▨ : ハロンボンベ保管エリア遮蔽
- : 休憩所遮蔽

【貫通部】

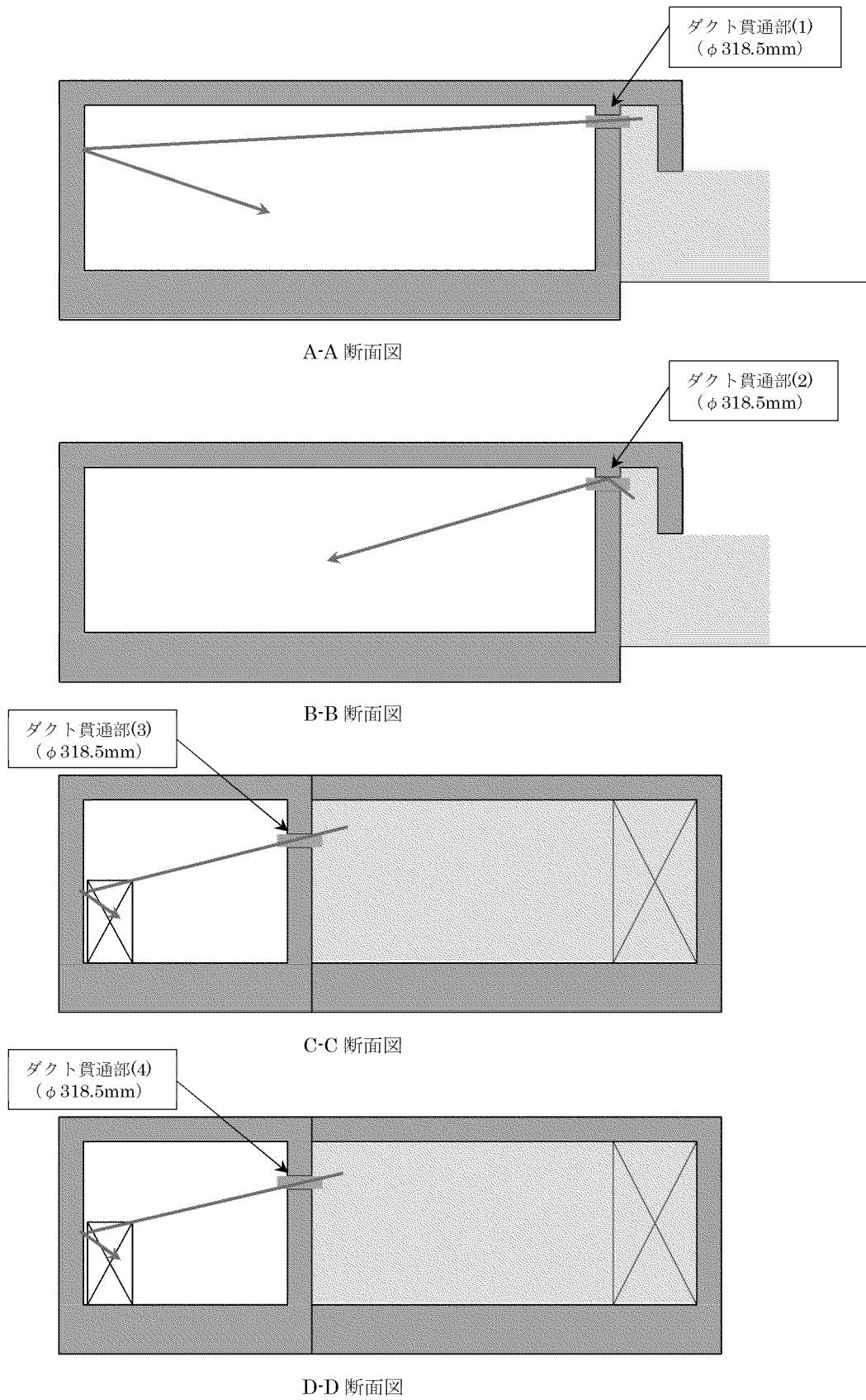
- (1) ダクト貫通部（1箇所）EL.28.8m
- (2) ダクト貫通部（1箇所）EL.28.8m※
- (3) ダクト貫通部（1箇所）EL.28.2m※
- (4) ダクト貫通部（1箇所）EL.28.2m

※接続工事にて閉止予定、本評価ではダクト貫通部として扱う。

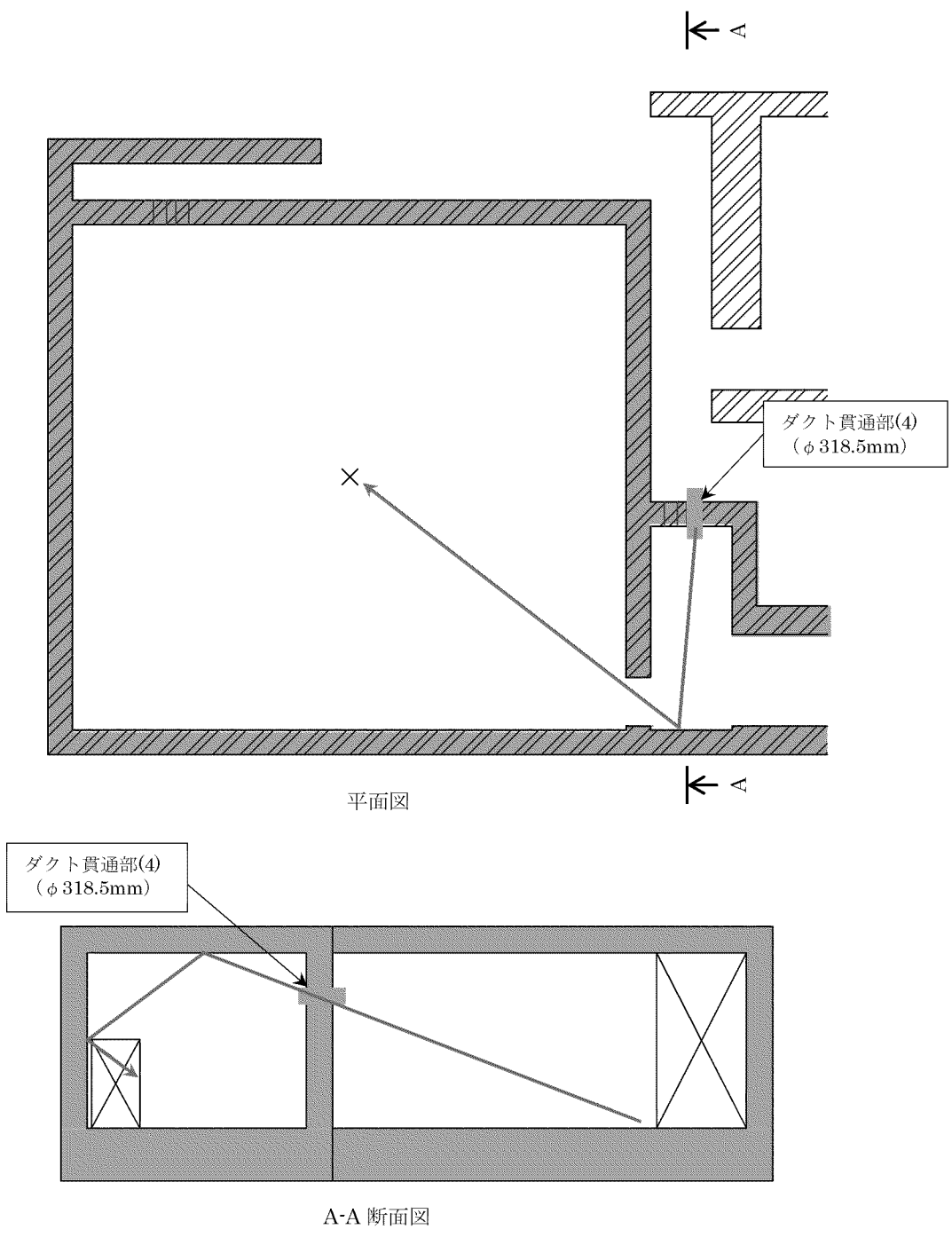
第7図 休憩所遮蔽における貫通部の配置



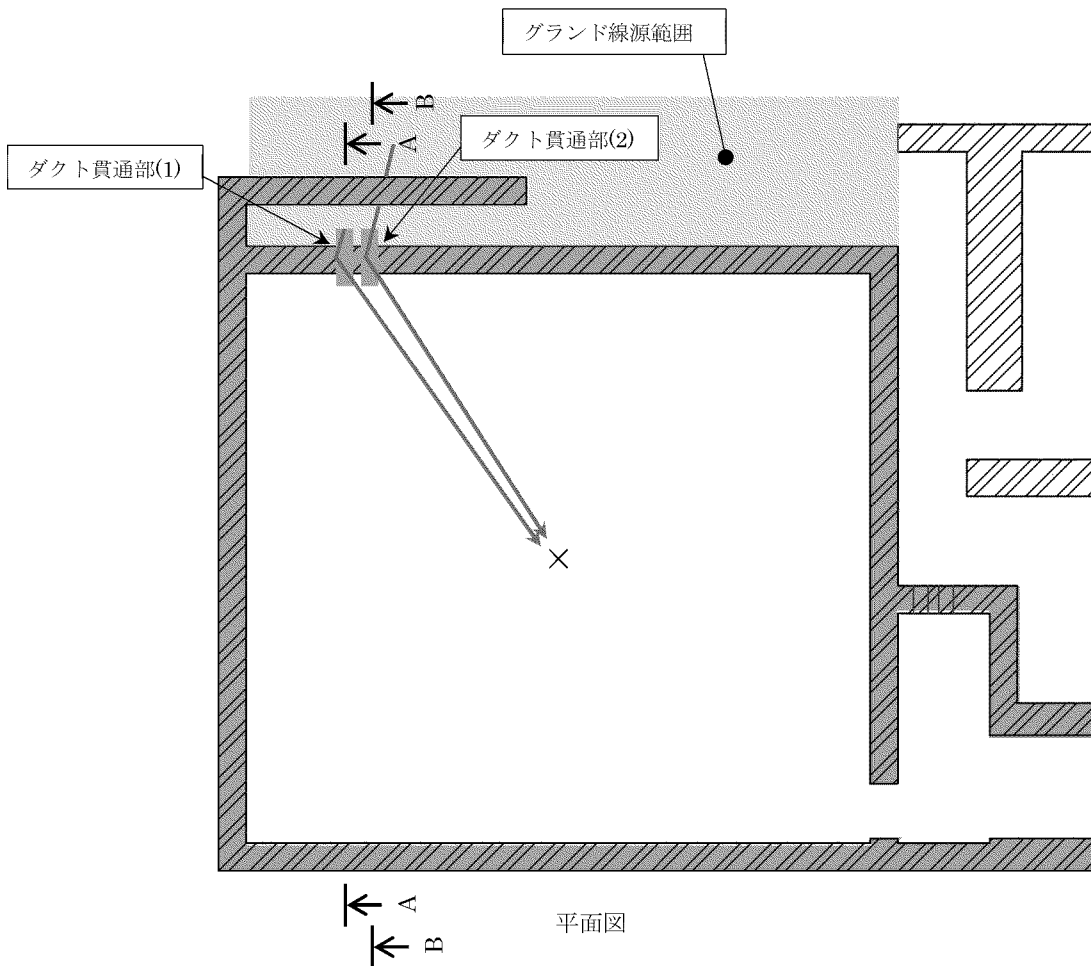
第8図 クラウド線源と評価点及び散乱経路（代表例）(1/2)



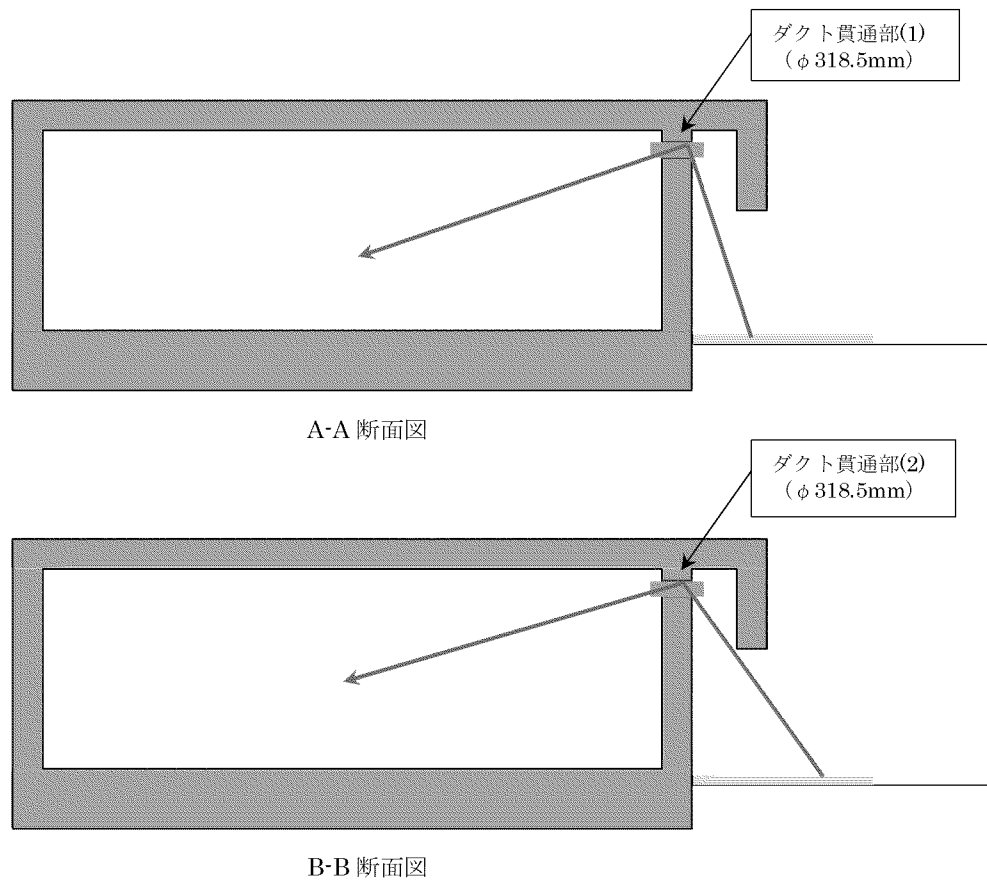
第 8 図 クラウド線源と評価点及び散乱経路（代表例）(2/2)



第9図 ダクト貫通部(4)から評価点までの散乱経路 (代表例)



第 10 図 グランド線源と評価点及び散乱経路（代表例）（1/2）



第 10 図 グランド線源と評価点及び散乱経路（代表例）（2/2）

## 補足説明資料 12

緊急時対策所（指揮所）のダクト貫通部に係る  
被ばく評価について

※令和元年6月3日付け原規規発第1906035号にて認可された工事計画の補足説明資料  
「川内原子力発電所 第1号機 工事計画認可申請書 補足説明資料【緊急時対策棟（指揮所）設置工事】  
補足説明資料12 緊急時対策所（指揮所）のダクト貫通部に係る被ばく評価について」  
にて示した内容に同じ。

## 1. 概 要

緊急時対策所（指揮所）（以下「緊急時対策所」という。）の居住性に係る被ばく評価では、遮蔽構造については一部簡略化し、緊急時対策所が厚さ 700mm（公称値。以下、遮蔽厚さについて同様。）の緊急時対策所遮蔽（緊急時対策所（指揮所））（以下「緊急時対策所遮蔽」という。）で囲まれたモデルとして評価している。一方で、緊急時対策所遮蔽にはダクト等を施設するために必要な貫通部を設けることとしており、貫通部を考慮したモデルの評価は、現状の評価手法では散乱による減衰効果等を厳密に模擬できないため困難である。

このため、評価モデルでは考慮できない緊急時対策所遮蔽を透過せずに貫通部を通過して緊急時対策所へ入射する放射線による被ばく評価について以下に示す。

## 2. 評価モデルにおける被ばく評価

### 2.1 被ばく評価イメージ

緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価では、緊急時対策所内にとどまる要員（以下「要員」という。）に対して、「①直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線」、「②放射性雲からのガンマ線」、「③ガンマ線吸入摂取」及び「④グランドシャインガンマ線」を考慮しており、このうち①、②及び④については、緊急時対策所遮蔽の遮蔽効果を期待している。

評価イメージを第 1 図に示す。

### 2.2 被ばく評価モデル

「①直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線」、「②放射性雲からのガンマ線」及び「④グランドシャインガンマ線」の居住性に係る被ばく評価では、それぞれ線源を設定し、施設の位置、遮蔽構造等を考慮しているが、遮蔽構造については一部簡略化し、緊急時対策所が厚さ 700mm の緊急時対策所遮蔽で囲まれたモデルとして評価している。例として、グランドシャインガンマ線評価モデルを第 2 図に示す。

なお、実設備では、緊急時対策棟（指揮所）内の屋内線源について出入管理エリアも含め、緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットを介して緊急時対策所非常用空気浄化ファンにより加圧換気するため放射性物質の流入を低減でき、散乱による減衰効果や生体遮蔽以外の構造物等の遮蔽効果が期待できる。緊急時対策所の換気設備の運用を第 3 図に示す。

評価手法及び評価モデルは、屋内ではあるが放射性物質濃度を外気と同じにするとともに、線源から緊急時対策所遮蔽を透過するまでの散乱による減衰効果やその他構造物等の遮蔽効果などを無視しており、保守的な扱いとしている。

## 3. ダクト貫通部に係る被ばく評価

### 3.1 ダクト貫通部の被ばく低減策

実設備では第 4 図に示すように、ダクトを施設するために必要な貫通部を設けることとしており、必要に応じて「人が容易に接近できないような場所への設置」、「貫通部に対する遮蔽補強」及び「線源と貫通部との位置関係により、貫通部から線源が直視できない措置」を行うことで、貫通部からの要員への被ばくを低減し、被ばく評価上の緊急時対策所遮蔽と同等の遮蔽効果を期待できる設計としている。具体的には、緊急時対策所遮蔽に設けるダクト貫通部は、緊急時対策所の床上 3m 程度の高さに設



置し、人が容易に接近できないような位置とする。また、線源と貫通部との位置関係及び緊急時対策棟（指揮所）内の補償遮蔽により、第 5 図に示すとおり貫通部から屋外の線源が直視できない設計としている。なお、補償遮蔽は厚さ 700mm であり、被ばく評価で用いる緊急時対策所遮蔽の厚さと同等である。

### 3.2 評価方法

ダクト貫通部に係る被ばく評価にあたり、評価が必要な被ばく経路及び貫通部を抽出し、QAD コード及びアルベド方式<sup>(注)</sup>を用いて当該貫通部の線量評価を行った。影響評価対象抽出フローを第 6 図に、線量評価イメージを第 7 図に示す。

(注) アルベド方式の散乱線量は財団法人原子力安全技術センター「放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル 2015」の Chilton と Huddreston の経験式を用いて計算する。

#### 3.2.1 被ばく経路の抽出

ダクト貫通部から線源を直視できない以下の被ばく経路については、貫通部からの放射線は緊急時対策所に入射する前に補償遮蔽で減衰又は散乱する遮蔽効果に期待できることから、当該被ばく経路の評価モデルと同等であるため評価対象外とする。

- ・「①直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線」による被ばく
- ・「②放射性雲からのガンマ線」のうち屋外線源による被ばく
- ・「④グランドシャインガンマ線」のうち屋外線源による被ばく

ダクト貫通部から線源を直視できる「②放射性雲からのガンマ線」のうち屋内線源（以下「クラウド屋内線源」という。）及び「④グランドシャインガンマ線」のうち屋内線源（以下「グランド屋内線源」という。）については、線源から緊急時対策所遮蔽のダクト貫通部を通過するガンマ線（以下「ストリーミングガンマ線」という。）が緊急時対策所に入射することから貫通部ごとにストリーミングガンマ線の線量評価を行う。

#### 3.2.2 緊急時対策棟（指揮所）の各エリアの屋内線源範囲

第 1 表に示すとおり、設計で考慮している加圧換気方法等から緊急時対策棟（指揮所）へ放射性物質の流入があるエリアを特定し、これに基づいた線源範囲を設定する。

緊急時対策棟（指揮所）の各エリアを示した平面図を第 8 図に、設定した線源範囲を第 9 図に示す。

#### 3.2.3 ダクト貫通部の抽出

第 4 図に示す 6 箇所のダクト貫通部のうち、ダクト貫通部(2)及び(5)については、第 9 図に示すとおり線源がダクト貫通部外側エリアにないため、評価対象外とする。

また、ダクト貫通部(4)については、ダクト貫通部から評価点までの散乱回数は第 10 図に示すとおり、2 回以上確保されており、緊急時対策所遮蔽と同等の減衰効果を期待できる(※)ため、評価対象外とする。

(※)緊急時対策棟（指揮所）における散乱による減衰効果は 1 回散乱で約 0.07 である。緊急時対策所遮蔽の減衰効果は約 0.007 であるため、2 回の散乱( $0.07 \times 0.07 = 0.0049$ )で緊急時対策所遮蔽と同等の減衰効果が期待できる。

以上より、ダクト貫通部外側エリアに線源があり、ダクト貫通部から評価点までの散乱回数が 1 回のダクト貫通部(1)、(3)及び(6)について、ストリーミングガンマ線の線量評価を行う。

### 3.2.4 クラウド屋内線源による貫通部線量評価

#### (1) 評価条件

クラウド屋内線源による貫通部線量評価は、居住性評価と同様に評価点を緊急時対策所中心に設定して評価を実施する。ストリーミングガンマ線はダクト貫通部外側のグランド屋内線源から評価点に対して散乱回数 1 回で到達するガンマ線の評価対象とし、線源範囲はダクト貫通部の正面の範囲とする。また、線源強度は居住性評価と同等とする。

クラウド屋内線源と評価点の関係を第 11 図に示す。

#### (2) 評価結果

ダクト貫通部(1)、(3)及び(6)の線量評価結果を第 2 表に示す。抽出されたダクト貫通部からのストリーミングガンマ線の合計線量は  $7.2 \times 10^{-4} \text{mSv/7 日間}$  となる。

### 3.2.5 グランド屋内線源による貫通部線量評価

#### (1) 評価条件

グランド屋内線源による貫通部線量評価は、居住性評価と同様に評価点を緊急時対策所中心に設定して評価を実施する。

ストリーミングガンマ線はダクト貫通部外側のグランド屋内線源から評価点に対して散乱回数 1 回で到達するガンマ線の評価対象とし、線源範囲はダクト貫通部外側の建屋構造を考慮し、線源から貫通部を通じて内側を直視できる範囲とする。また、線源強度は居住性評価と同等とする。

グランド屋内線源と評価点の関係を第 12 図に示す。

#### (2) 評価結果

ダクト貫通部(1)、(3)及び(6)の線量評価結果を第 3 表に示す。抽出されたダクト貫通部からのストリーミングガンマ線の合計線量は  $0.053 \text{mSv/7 日間}$  とする。

## 4. まとめ

3.2 の結果より、「①直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線」、「②放射性雲からのガンマ線」、「③ガンマ線吸入摂取」及び「④グランドシャインガンマ線」の各被ばく経路における貫通部を考慮した実効線量（7 日間）を第 4 表に示す。抽出されたダクト貫通部からのストリーミングガンマ線の合計線量（7 日間）は約  $0.054 \text{mSv}$  であり、遮蔽を透過するガンマ線の合計線量（7 日間）は約  $17 \text{mSv}$  であることから、実効線量（7 日間）の合計は約  $18 \text{mSv}$  であり、居住性に係る被ばく評価の判断基準を満足することを確認した。

第1表 緊急時対策棟（指揮所）の各エリアの加圧換気方法及び線源条件(1/2)

エリア	加圧換気方法		放射性物質 の流入	線源条件	被ばく評価条件設定理由
	ブルーム 通過中	ブルーム 通過中以外			
ブルーム通過中の 加圧エリア 以外のエリア	① 緊急時対策所(指揮所)	緊急時対策所 加圧設備 (空気ポンベ (緊急時対策所用))	緊急時対策所非 常用空気浄化フ ァーン、フィルタユ ニット	無	ブルーム通過中は緊急時対策所加圧設備による加圧、 ブルーム通過中以外は緊急時対策所非常用空気浄化 ファーン及び緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユ ニットによる加圧換気により、放射性物質の流入な し。
	② 出入管理エリア	緊急時対策所非常 用空気浄化ファ ーン、フィルタユ ニット	緊急時対策所非 常用空気浄化フ ァーン、フィルタユ ニット	有	ブルーム通過中は、フィルタで除去し難い希ガスの流 入が想定されるため、外気と同等として設定
	③ 緊急時対策所(指揮所) 出入口	無	無	無	ブルーム通過中は、二重の気密扉を閉止することによ り気密性が確保されるため、放射性物質の流入なし。 緊急時対策所（指揮所）及び出入管理エリアは、ブル ーム通過前より加圧換気を継続するため、気密扉のリ ークを想定した場合でも出入管理エリア内の圧力を 超える状態が維持されることから、放射性物質の流入 なし。（第1表(2/2)参照）
	④ 非加圧エリア	無	無	有	加圧されていないため、当該エリアに外気が流入する ものとして設定

(※)具体的な配置は第8図に示す。

第1表 緊急時対策棟（指揮所）の各エリアの加圧換気方法及び線源条件(2/2)

緊急時対策所（指揮所）出入口には、高い気密性を有する気密扉を設置するが、当該扉にリークを想定した場合における緊急時対策所（指揮所）出入口内の圧力について検討した。緊急時対策所（指揮所）及び出入管理エリア内はプルーム通過前より加圧換気を継続するため、プルーム通過中においても緊急時対策所（指揮所）出入口内への放射性物質の流入はない。また、プルーム通過前においては、設計上想定される③の状態に加え、運用上定められている非常事態対策基準等による要員の出入により①と②の状態となる。

エリア	事故状態	プルーム通過前	プルーム通過中	備考		
①緊急時対策所 (指揮所)	加圧換気方法 ファン※ <sup>1</sup> フィルタ※ <sup>2</sup> ポンペ※ <sup>3</sup>	○ プルーム通過の24時間前より実施	—	※1 緊急時対策所非常用空気浄化ファン		
	エリア内圧力 放射線物質	— 100Pa 無	○ 100Pa 無	※2 緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニット		
	加圧換気方法 ファン※ <sup>1</sup> フィルタ※ <sup>2</sup> ポンペ※ <sup>3</sup>	○	○	※3 緊急時対策所加圧設備（空気ポンペ（緊急時対策所用））		
②出入管理エリア	加圧換気方法 ファン※ <sup>1</sup> フィルタ※ <sup>2</sup> ポンペ※ <sup>3</sup>	—	—	※4 緊急時対策所（指揮所）及び出入管理エリアが加圧されているため、緊急時対策所（指揮所）への要員の入室等による気密扉の開閉を考慮しても、少なくとも60Paに加圧される。		
	エリア内圧力 放射線物質	— 60Pa 無	— 60Pa 有			
	エリア内圧力 放射線物質	— 加圧イメージ参照※ <sup>4</sup> 無	— 80Pa（平衡状態） 無			
③緊急時対策所 (指揮所) 出入口	加圧イメージ	 ① 100Pa → 80Pa 0 Pa → 80Pa 60Pa	 ① 100Pa 60Pa < 60Pa 60Pa	 ① 100Pa 60Pa < P < 100Pa 60Pa	 ① 100Pa 80Pa 60Pa	【凡 例】 

第2表 クラウド屋内線源によるダクト貫通部からの被ばく評価結果

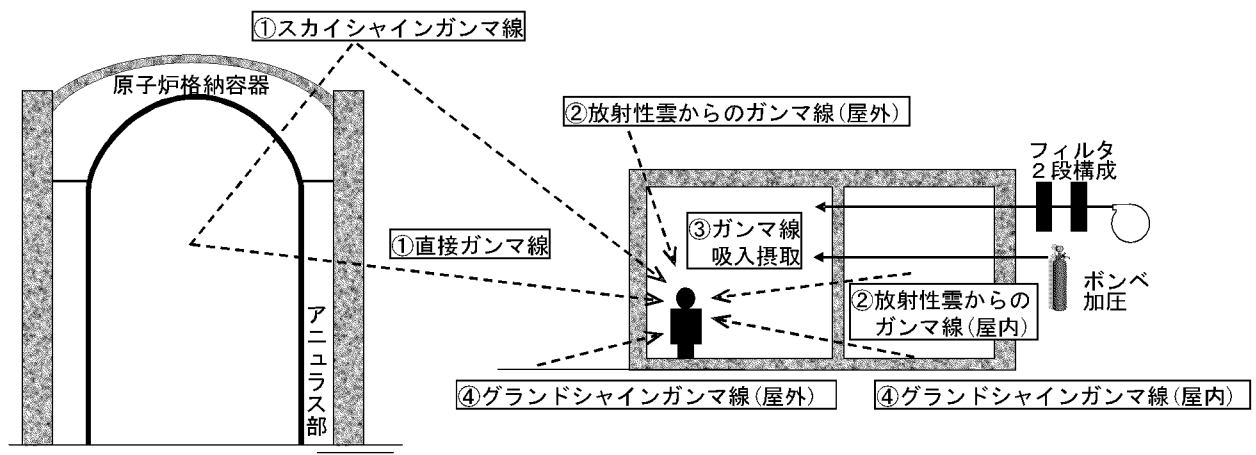
ダクト 番号	実効線量 mSv/7日間
(1)	約 $1.0 \times 10^{-4}$
(3)	約 $3.4 \times 10^{-4}$
(6)	約 $2.8 \times 10^{-4}$
合計	約 $7.2 \times 10^{-4}$

第3表 グランド屋内線源によるダクト貫通部からの被ばく評価結果

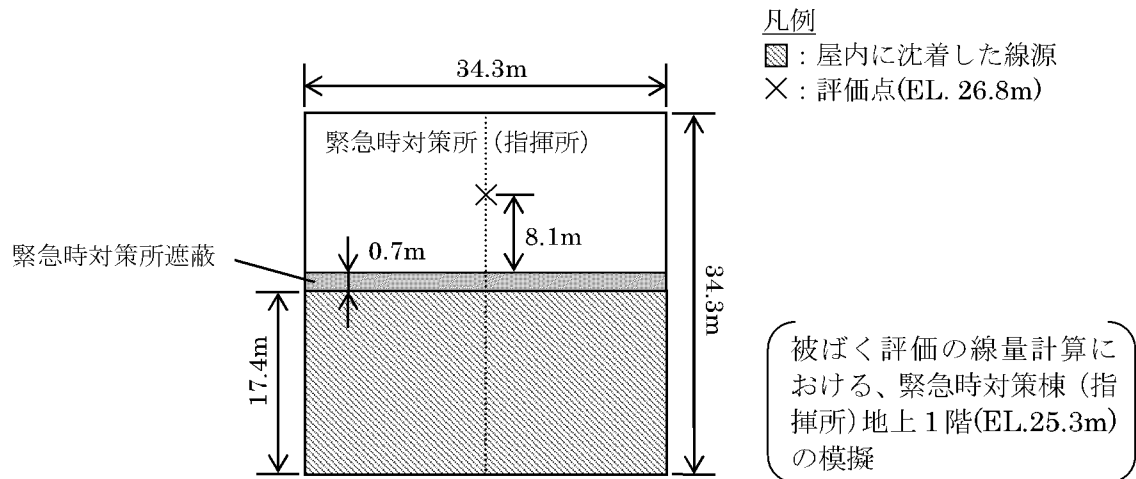
ダクト 番号	実効線量 mSv/7日間
(1)	約 $2.4 \times 10^{-2}$
(3)	約 $2.6 \times 10^{-2}$
(6)	約 $2.6 \times 10^{-3}$
合計	約 $5.3 \times 10^{-2}$

第4表 緊急時対策所（指揮所）の居住性に係る被ばく評価結果

被ばく経路		実効線量(mSv/7日間)		
		ダクト貫通部に係る 線量評価	緊急時対策所遮蔽 に係る線量評価	合計
①	直接ガンマ線及び スカイシャインガンマ線	—	約 $1.3 \times 10^{-2}$	約 $1.3 \times 10^{-2}$
②	放射性雲からのガンマ線	約 $7.2 \times 10^{-4}$	約 $1.2 \times 10^{-1}$	約 $1.3 \times 10^{-1}$
③	ガンマ線吸入摂取	—	約 9.5	約 9.5
④	グランドシャインガンマ線	約 $5.3 \times 10^{-2}$	約 7.4	約 7.4
合計 (①+②+③+④)		約 $5.4 \times 10^{-2}$	約 17	約 18

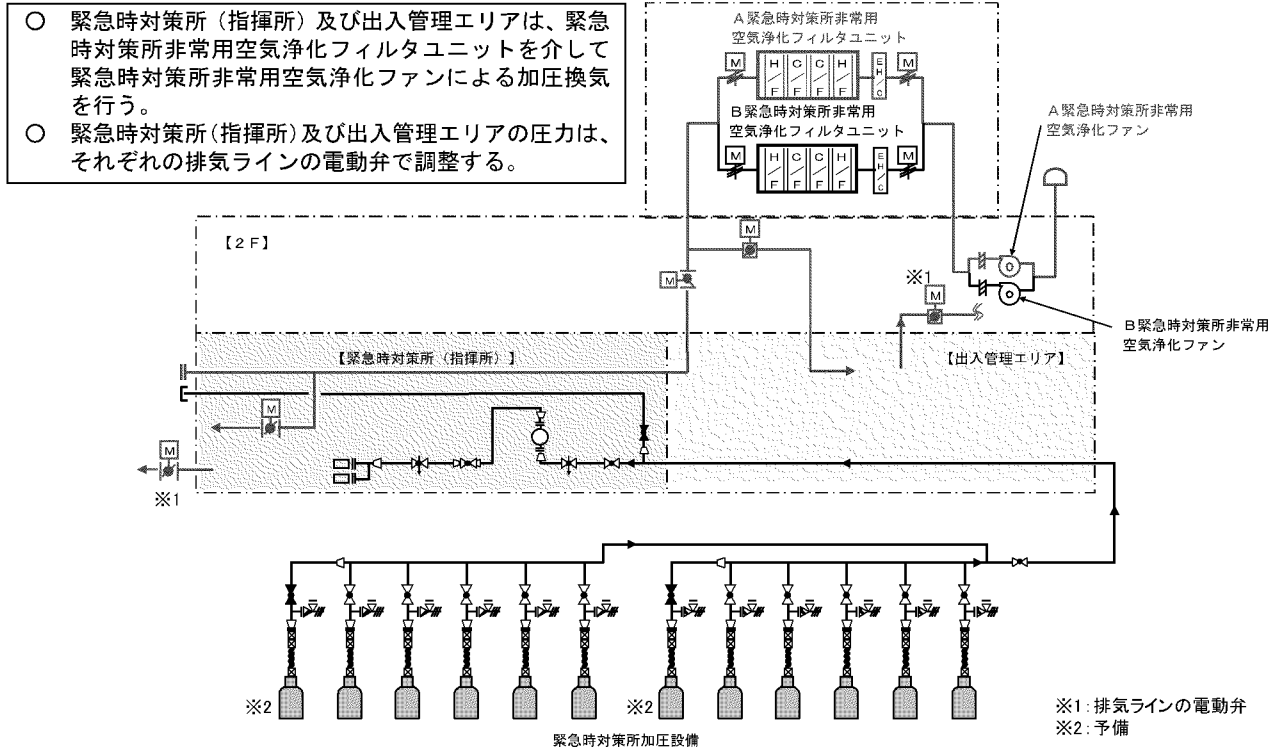


第1図 評価イメージ

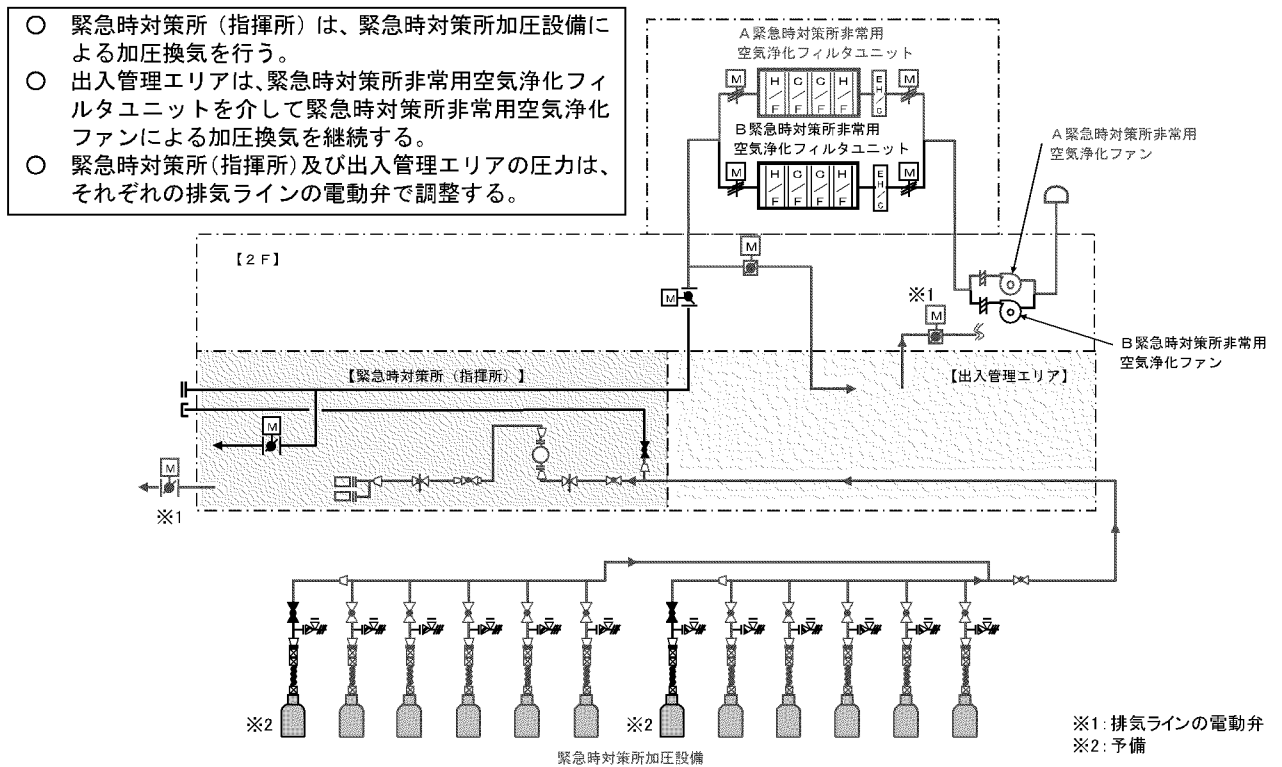


第2図 グランドシャインガンマ線評価モデル

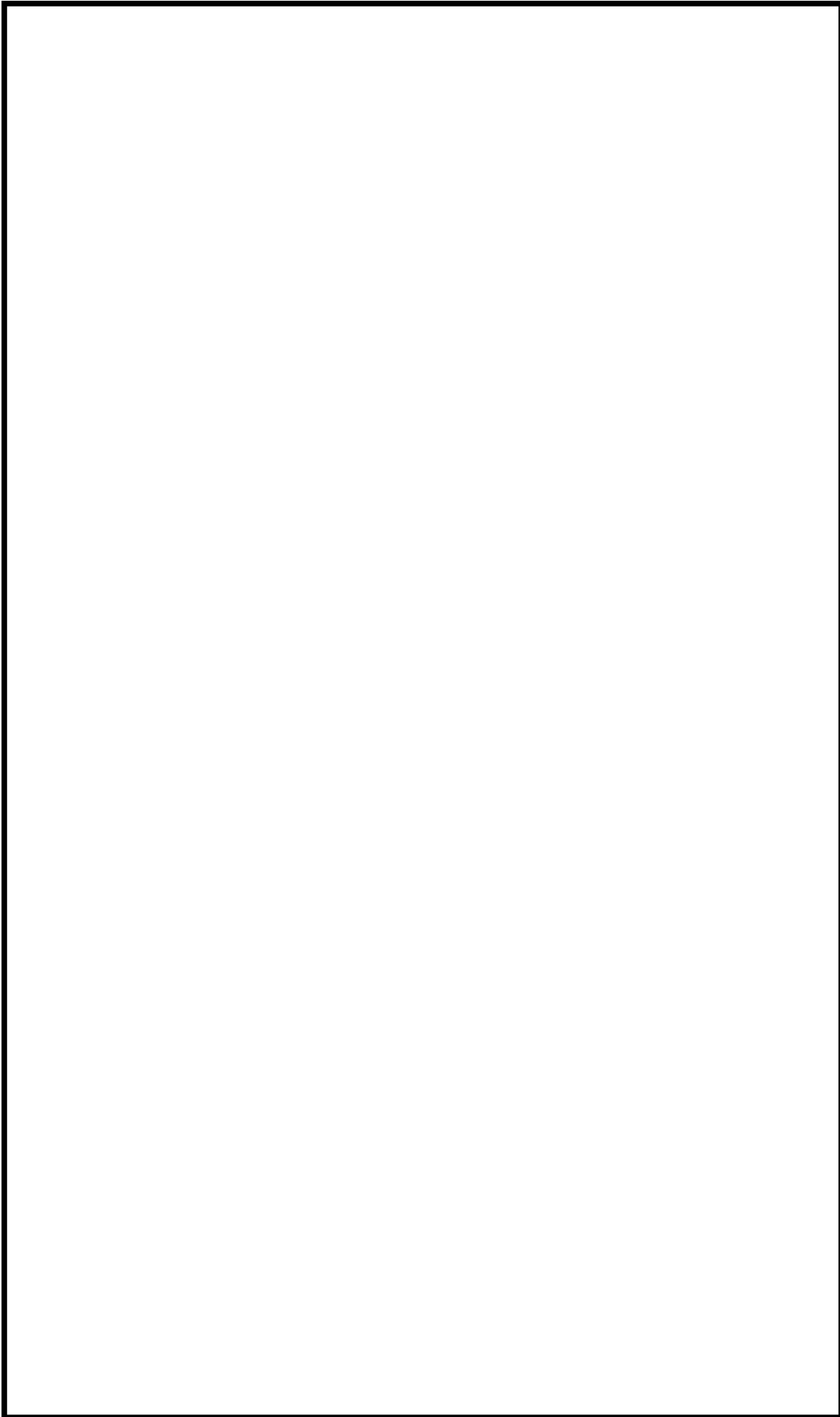
<重大事故等発生時（プルーム通過中を除く）の換気設備の運用>



<プルーム通過中の換気設備の運用>



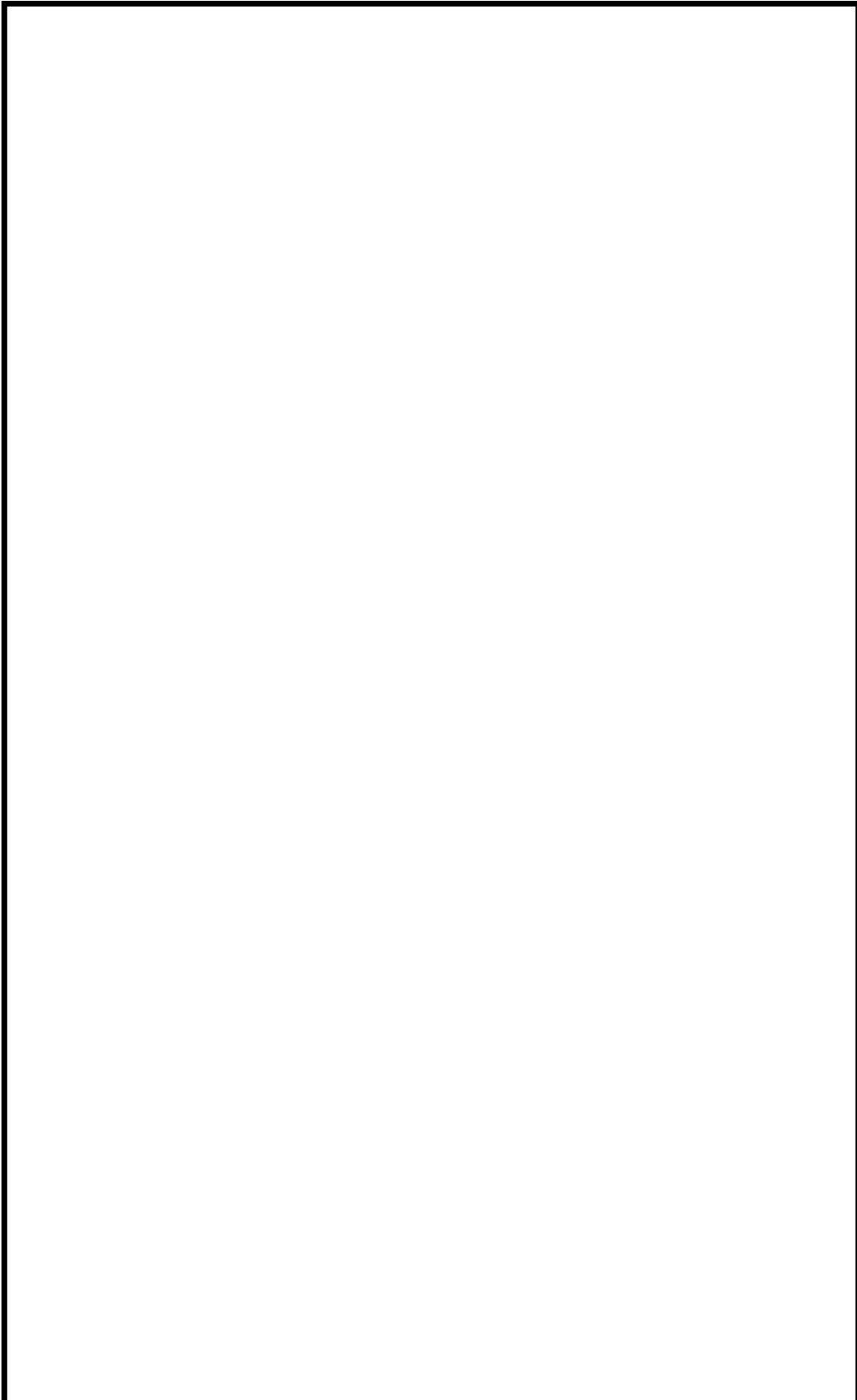
第3図 緊急時対策所（指揮所）の換気設備の運用



第4図 緊急時対策所遮蔽における貫通部の配置

※ 枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。

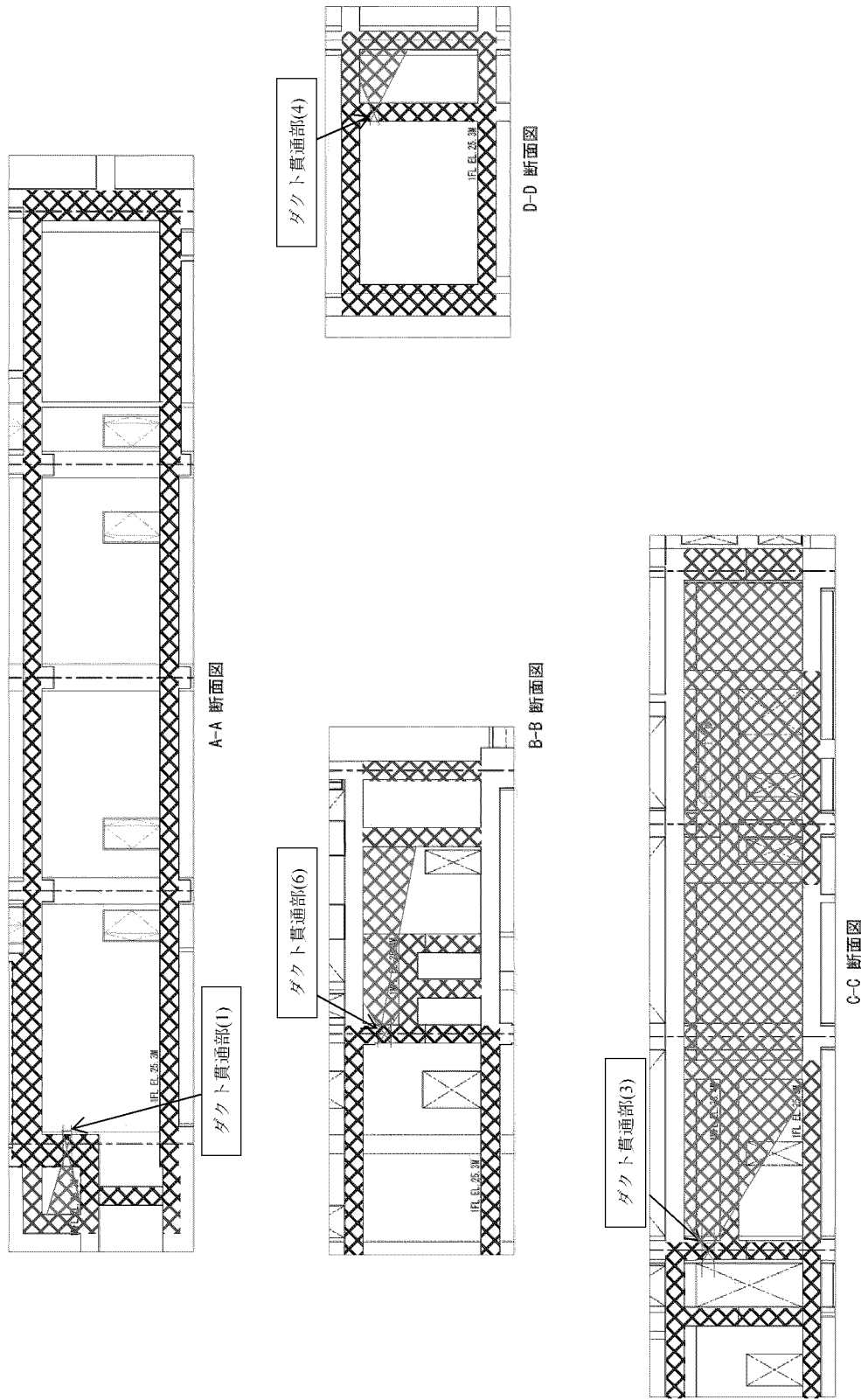




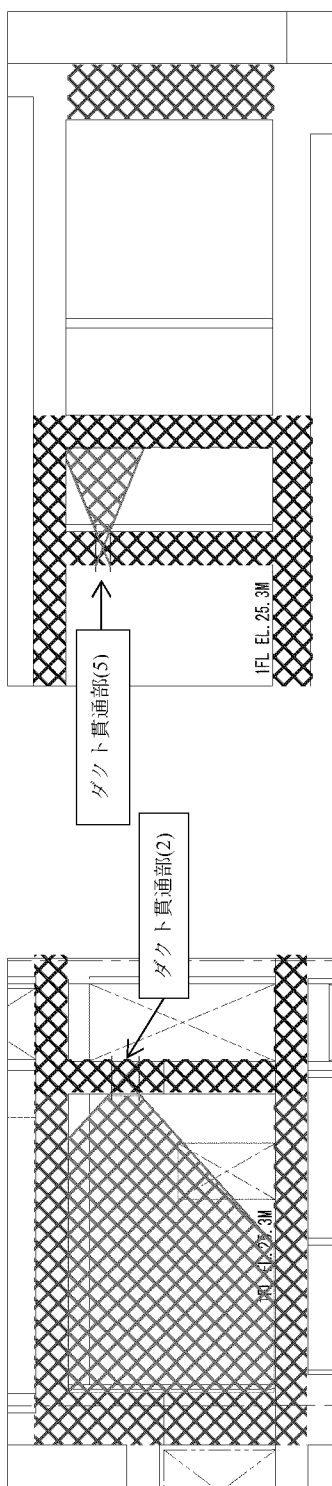
第5図 ダクト貫通部から屋外側を直視できる範囲（平面図）（1/3）（EL.28.8m）

— 10 —

※ 枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。



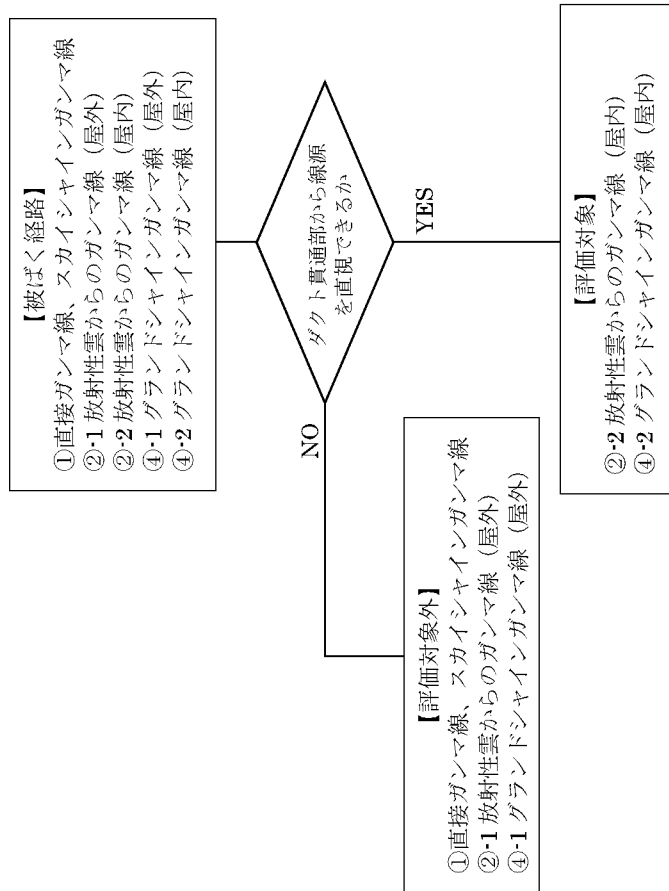
第5図 ダクト貫通部から屋外側を直視できる範囲 (断面図) (2/3)



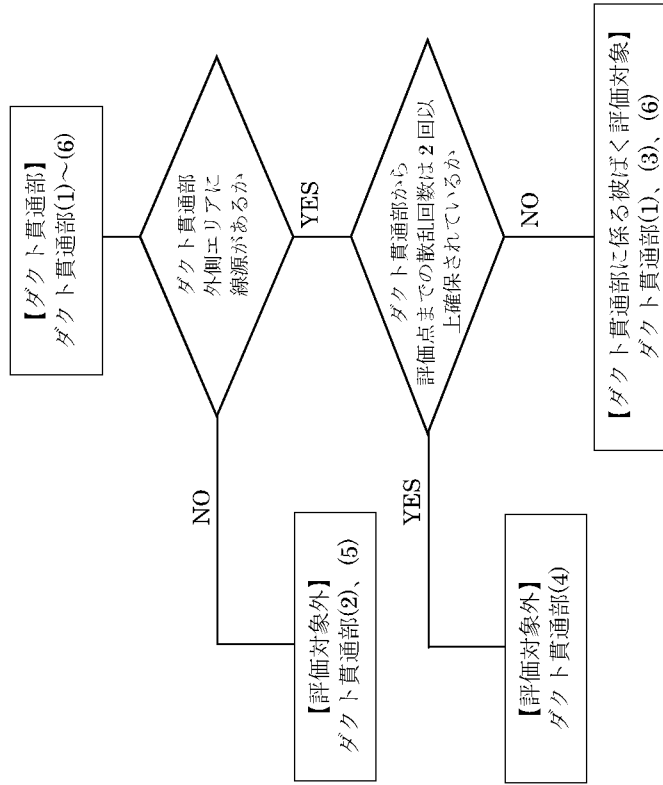
E-E 断面図

F-F 断面図

第5図 ダクト貫通部から屋外側を直視できる範囲 (断面図) (3/3)

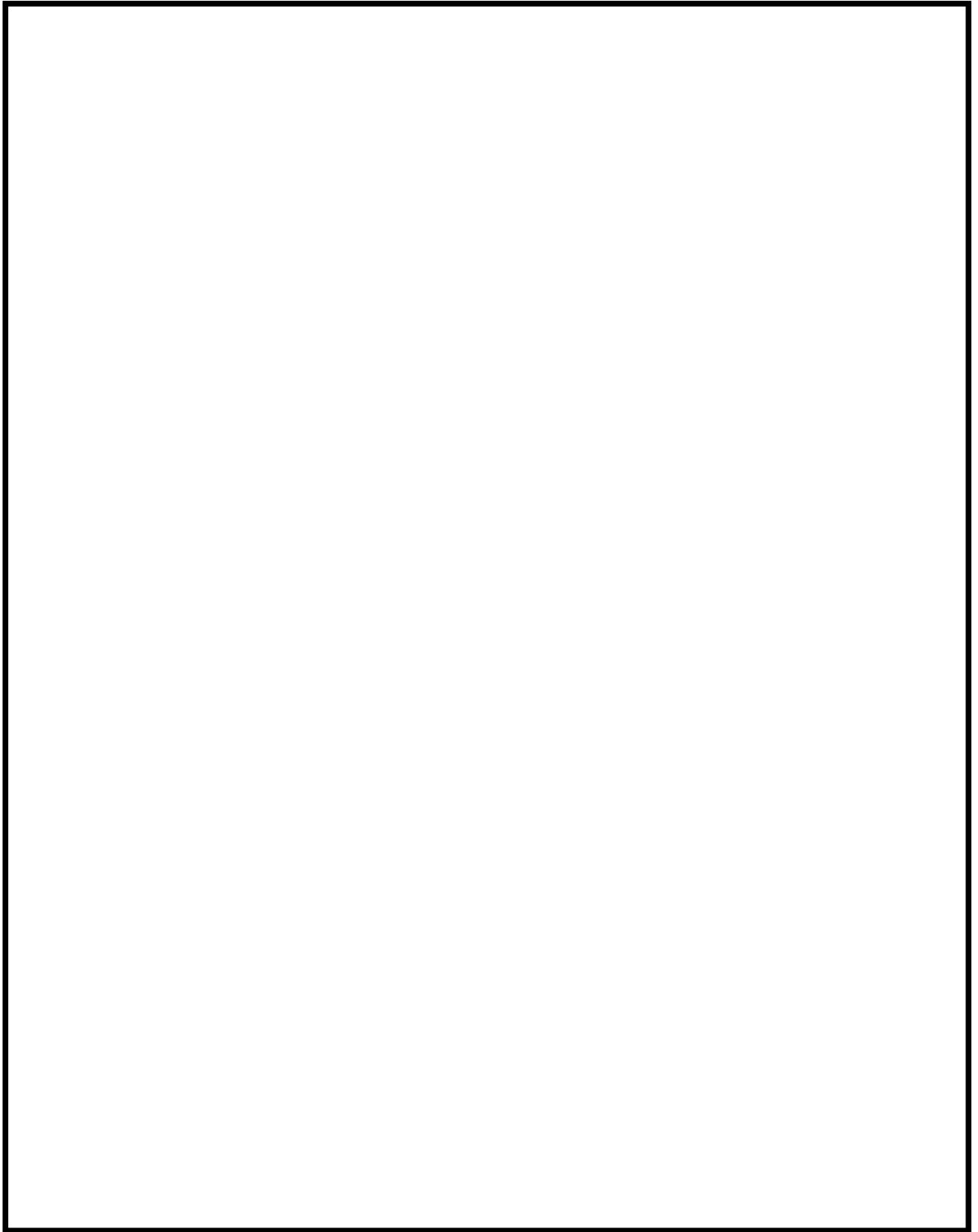


被ばく経路の抽出

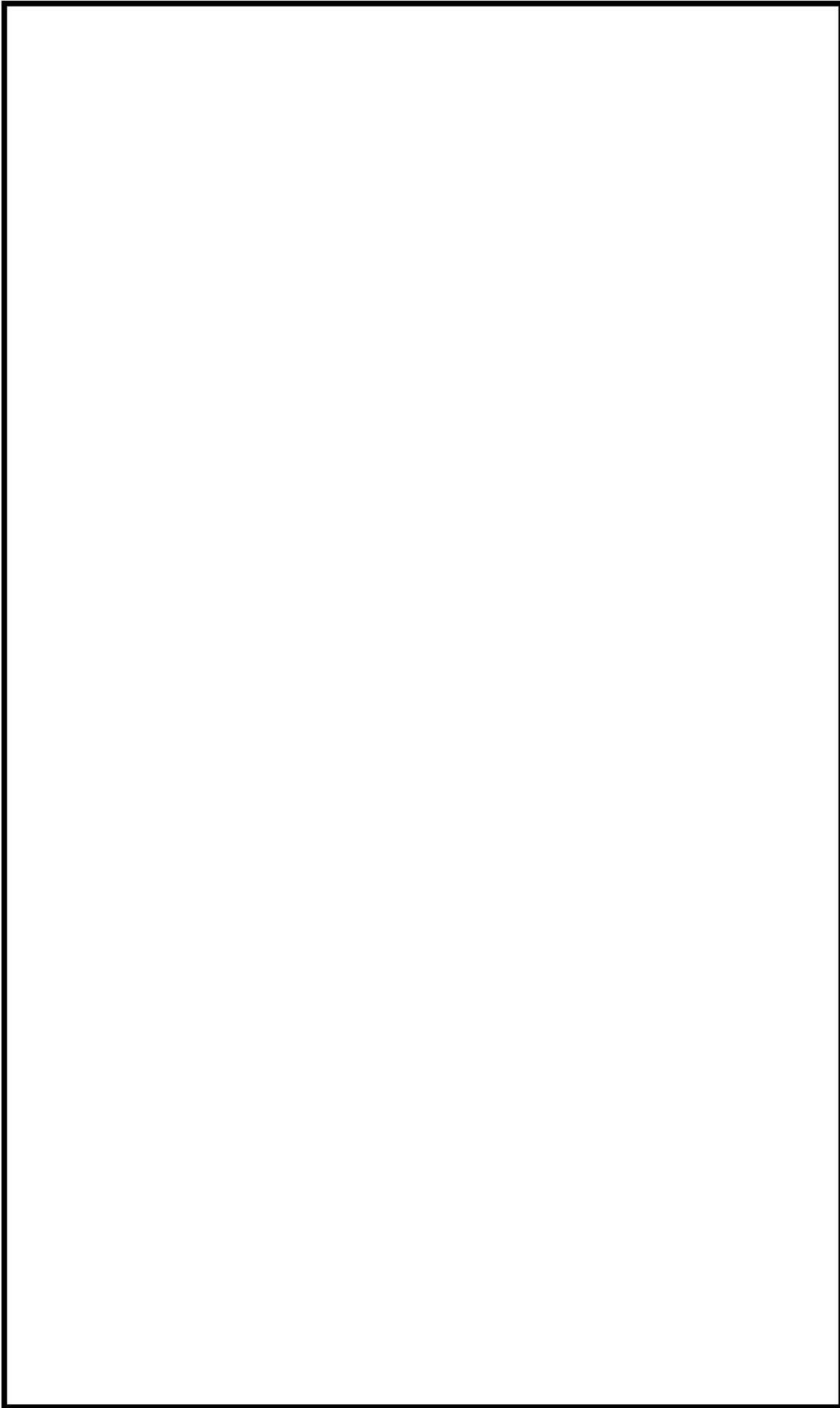


ダイクト貫通部の抽出

第6図 影響評価対象抽出フロー



第7図 線量評価イメージ



第8図 緊急時対策棟（指揮所）平面図

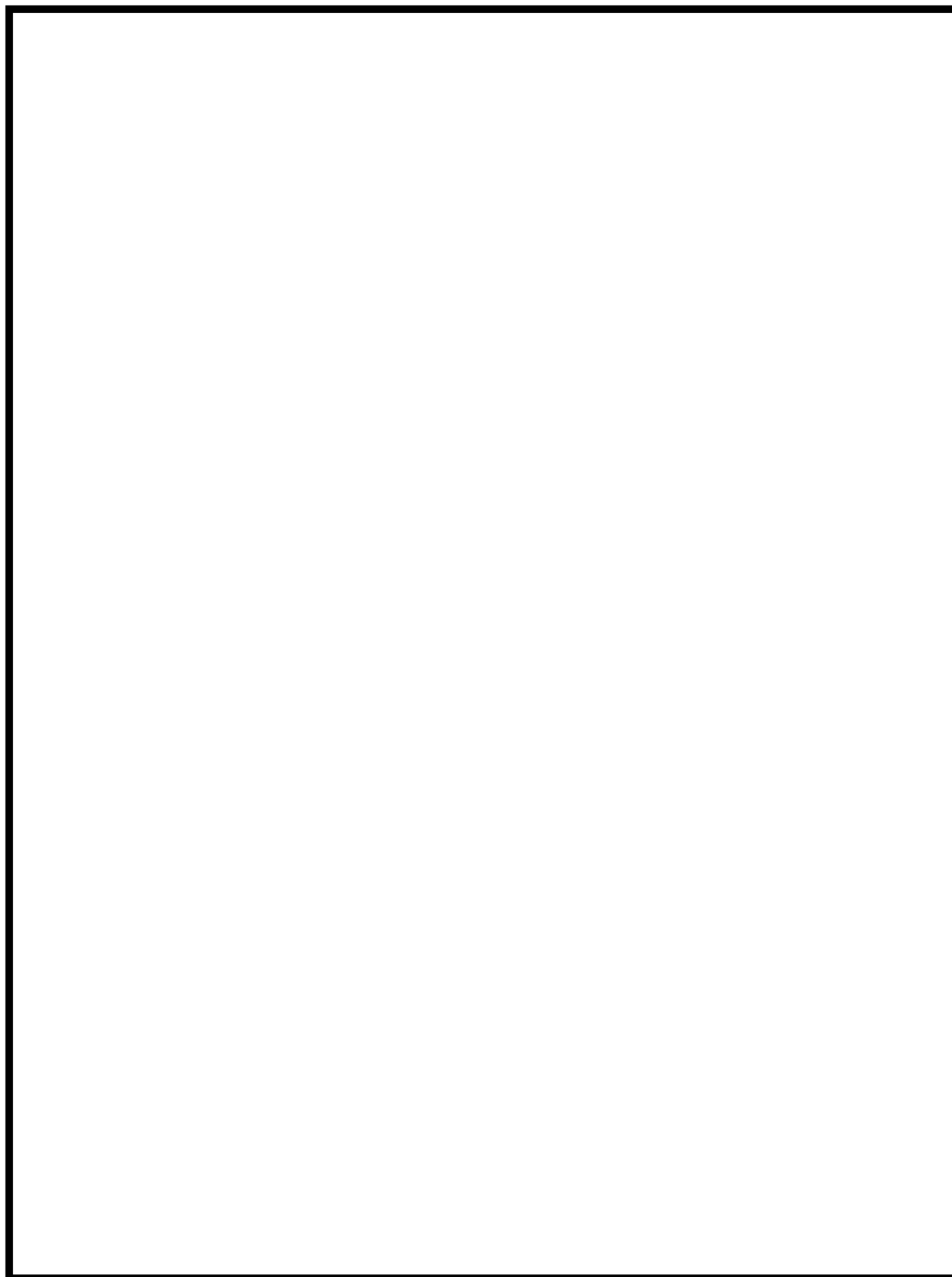
※ 枠囲みの内容は、商業機密あるいは防護上の観点から公開できません。



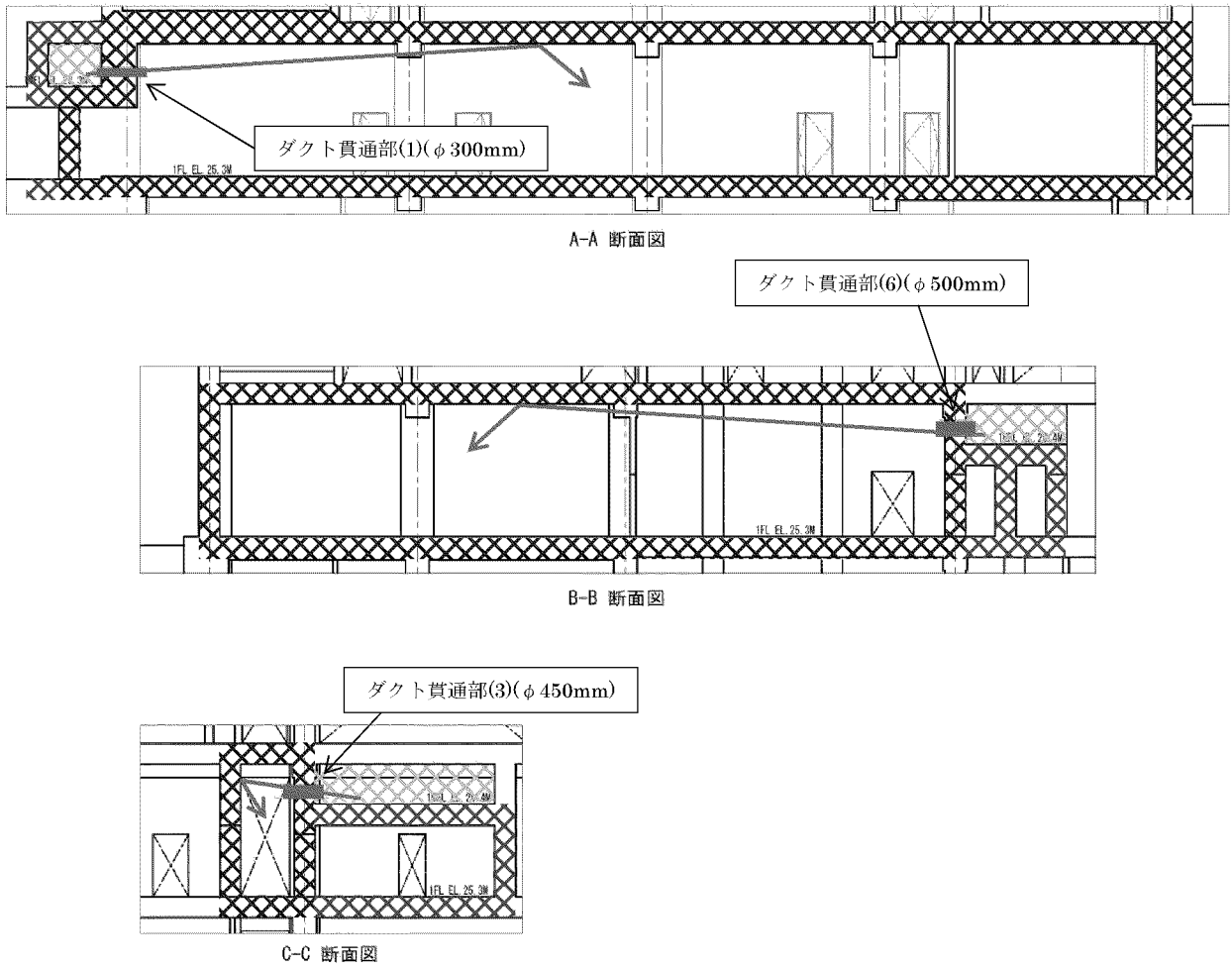


第10図 ダクト貫通部(4)から評価点までの散乱経路 (代表例) (平面図) (E.L.28.8m)

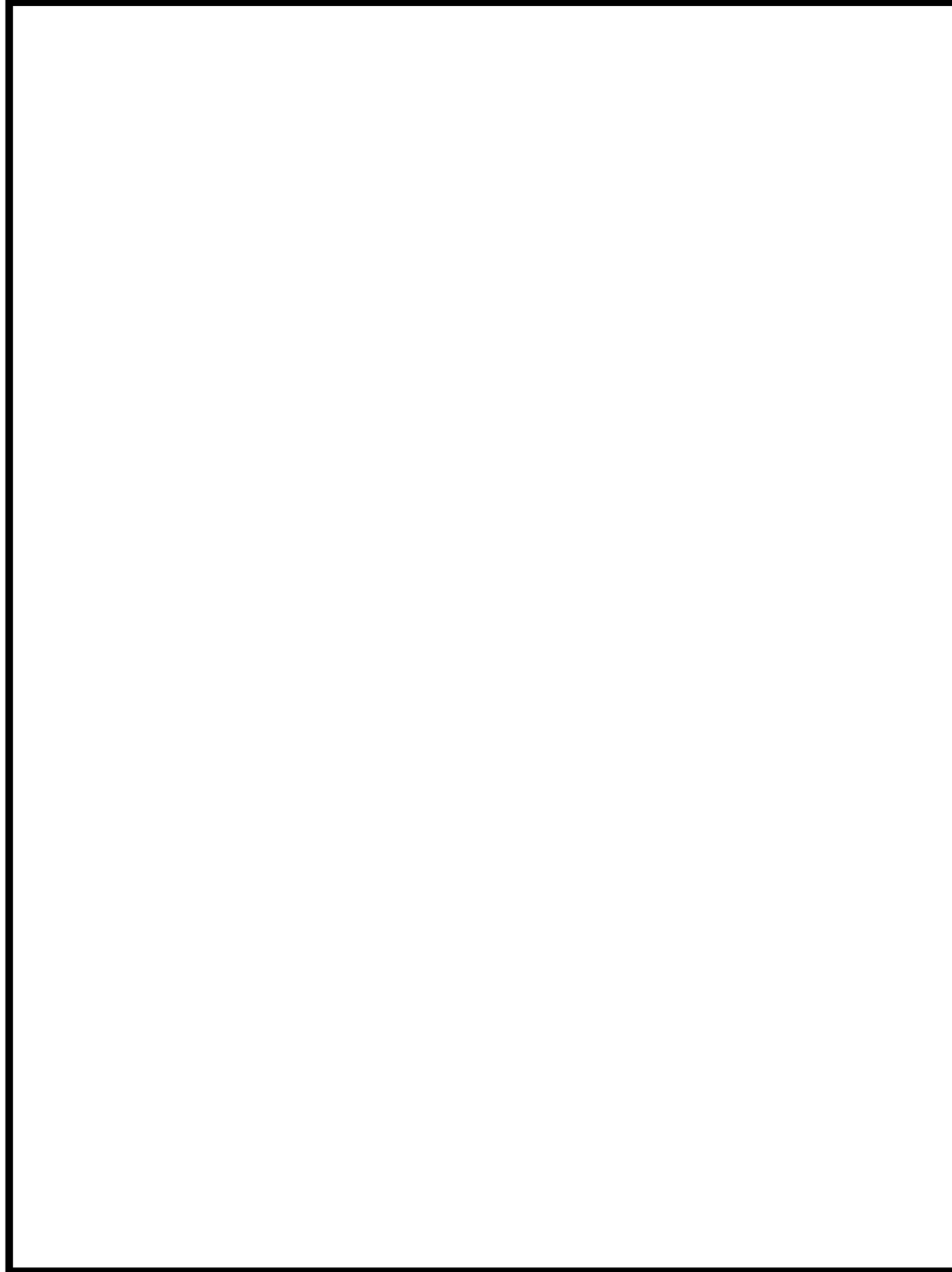




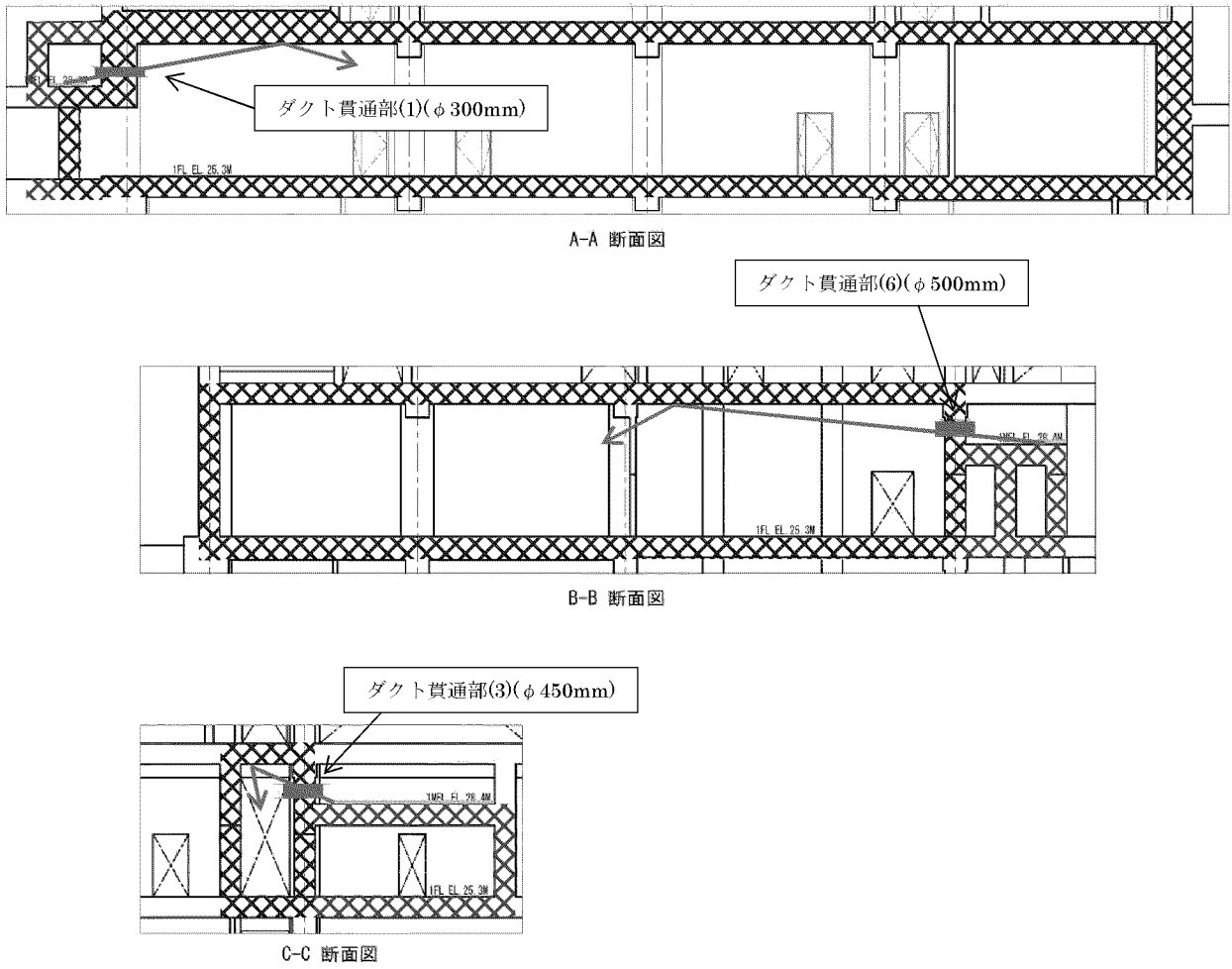
第 11 図 クラウド屋内線源と評価点及び散乱経路 (1/2) (EL.28.8m)



第 11 図 クラウド屋内線源と評価点及び散乱経路（代表例）（断面図）（2/2）



第 12 図 グラウンド屋内線源と評価点及び散乱経路（代表例）（平面図）（1/2）（E.L.28.8m）



第 12 図 グランド屋内線源と評価点及び散乱経路（代表例）（断面図）（2/2）

## 緊急時対策棟における落雷に対する防護設計について

## 1. 概要

本資料では、緊急時対策棟における落雷に対する防護設計について説明する。

## 2. 緊急時対策棟の落雷に対する防護設計

緊急時対策棟の落雷に対する防護設計としては、建築基準法に基づき地盤面から高さ 20m を超える部分を電撃から保護するように避雷設備等を設置する。

具体的な設置設備については、建築基準法に基づき「JIS A 4201 建築物等の雷保護」に準拠する。

第 1 表に緊急時対策棟に設置する落雷からの防護設備を示す。

第 1 表 緊急時対策棟 落雷からの防護設備

建 屋	設置設備	
指揮所	避雷設備	指揮所のうち通信連絡設備のアンテナを設置する箇所について、地盤面から高さ 20m を超えるため、当該部を保護する避雷設備を設置。 なお、指揮所全体が当該避雷設備の保護範囲内となっている。
	接地設備	避雷設備が受雷した場合に雷電流を大地に放流（分散）させるため及び落雷時の影響（ノイズ等）を防止するために設置。
連絡通路	接地設備	落雷時の影響（ノイズ等）を防止するために設置。
休憩所	避雷設備	休憩所は地盤面から高さ 20m 以下であるが、休憩所内の設備に対する落雷による影響低減のため、休憩所全体が保護範囲内となるように自主的に設置。 (代替緊急時対策所用として設置した避雷設備を流用。)
	接地設備	避雷設備が受雷した場合に雷電流を大地に放流（分散）させるため及び落雷時の影響（ノイズ等）を防止するために設置。 (代替緊急時対策所用として設置した接地設備を流用。)