

## 7-3-2. 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. 緊対棟の断面の評価対象部位の選定 .....	3
3. 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎の断面の評価対象部位の選定 .....	45
4. 燃料設備棟の断面の評価対象部位の選定 .....	54
5. 加圧設備棟の断面の評価対象部位の選定 .....	77

## 1. 概 要

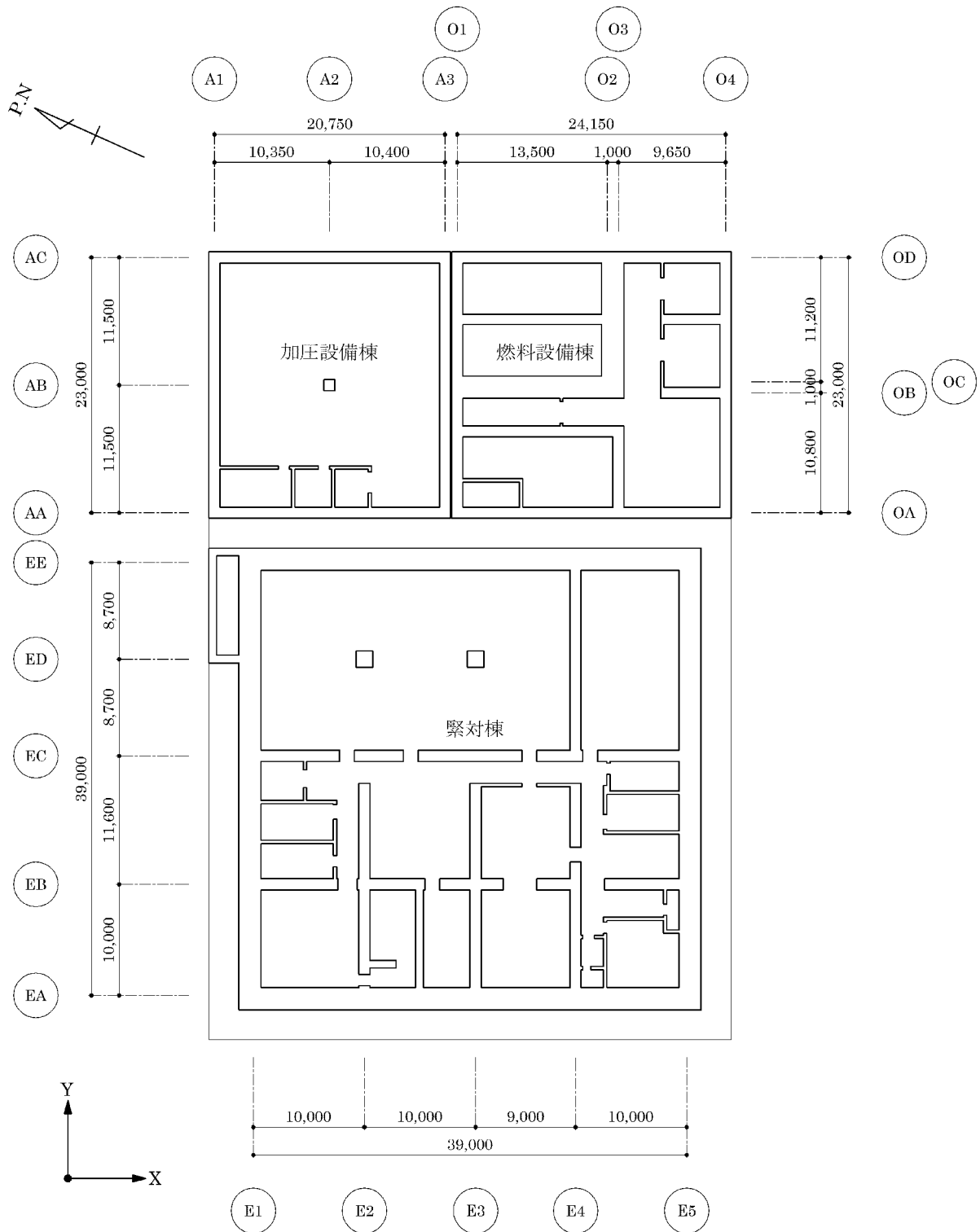
本資料は、FEM モデルを用いた応力解析による評価における断面の評価対象部位の選定に関し、耐震計算書における断面の評価対象要素の選定結果について示すものである。

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 12-16-2 「緊急時対策棟の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-3 「緊急時対策棟、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）の基礎の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-4 「緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-5 「緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）の耐震計算書」

ここで、緊急時対策棟（以下「緊対棟」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。）は、建屋の向きがプラントノースに対して東側に  $65.8^\circ$  傾いているため、基礎版の短辺方向を X 方向、長辺方向を Y 方向と定義する。緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略平面図を第 1-1 図に示す。

(mm)



第 1-1 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略平面図 (地下 2 階)

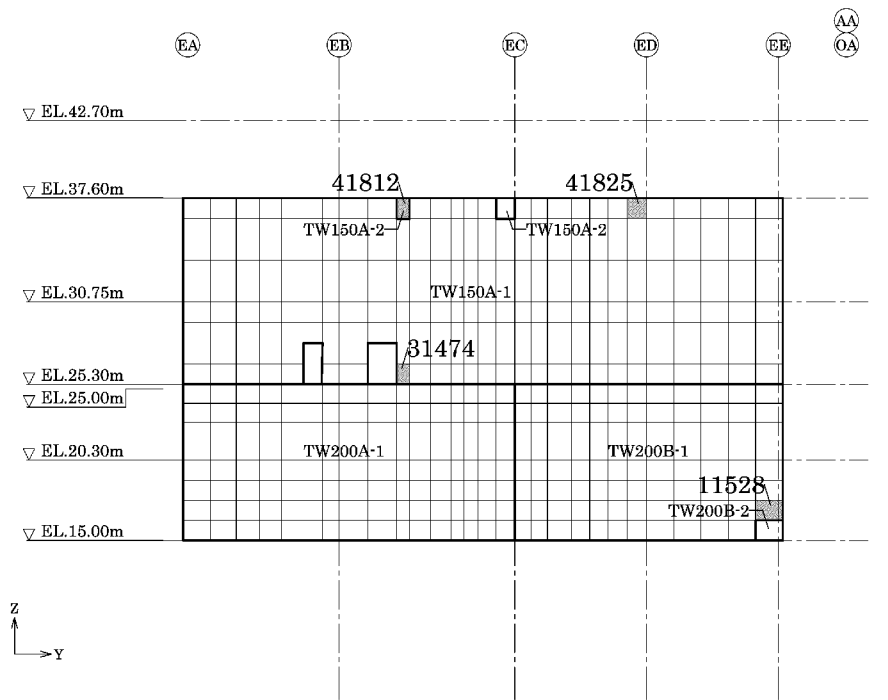
2. 緊対棟の断面の評価対象部位の選定

緊対棟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。

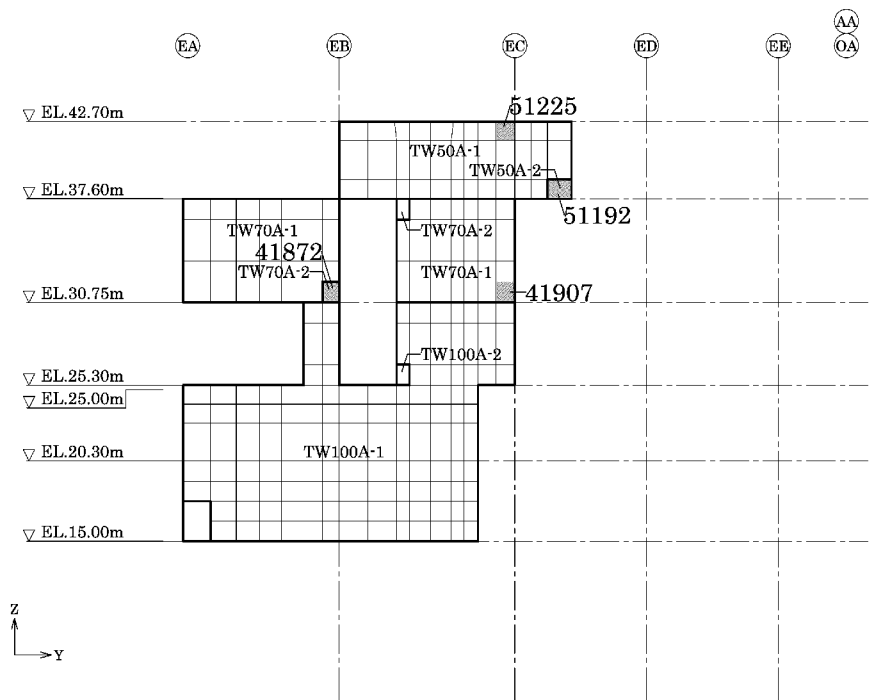
各評価項目の検定値一覧を第 2-3 表、応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果を第 2-2 図に示す。

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	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	2	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	3	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	4	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	5	$D + L + E_0 + 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	6	$D + L + E_0 + 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	7	$D + L + E_0 - 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	8	$D + L + E_0 - 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	9	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	10	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	11	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	12	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	13	$D + L + E_0 + 0.4K_{SY} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
	14	$D + L + E_0 + 0.4K_{SY} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
	15	$D + L + E_0 - 0.4K_{SY} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
	16	$D + L + E_0 - 0.4K_{SY} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
常時	17	$D + L + E_0$

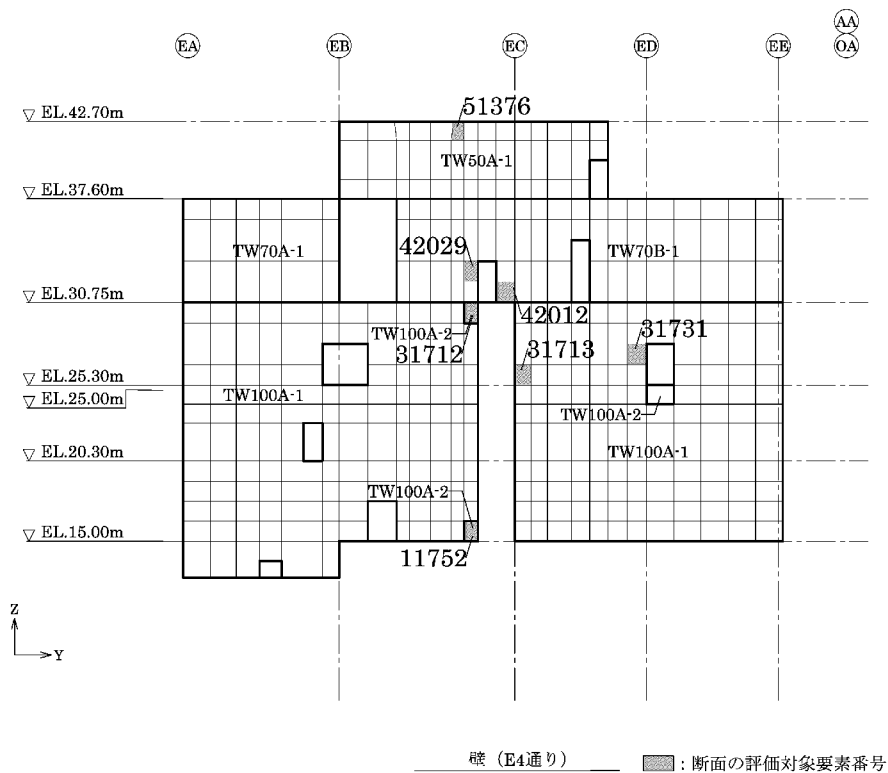
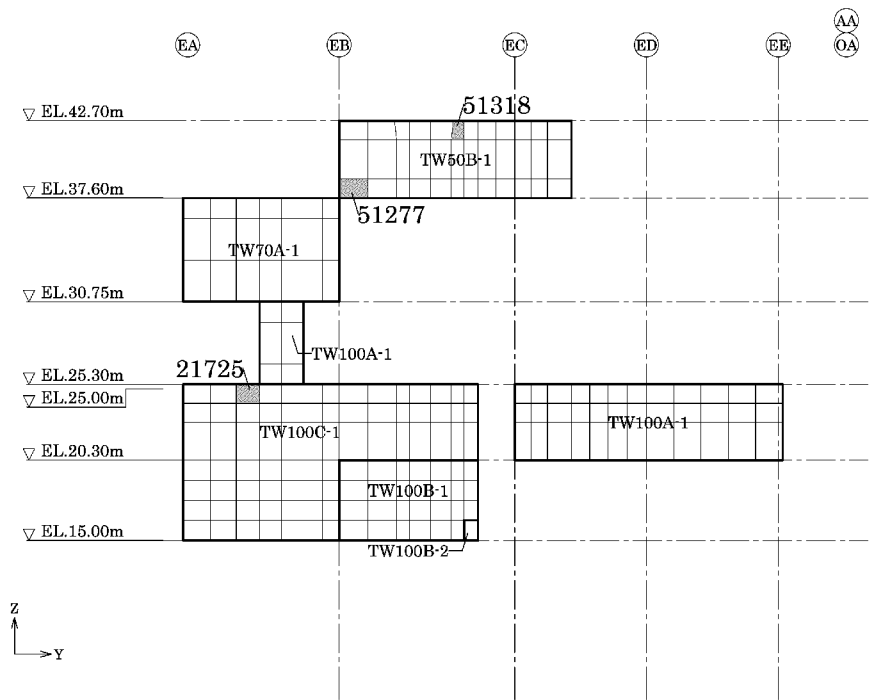


壁 (E1通り)      ■ : 断面の評価対象要素番号

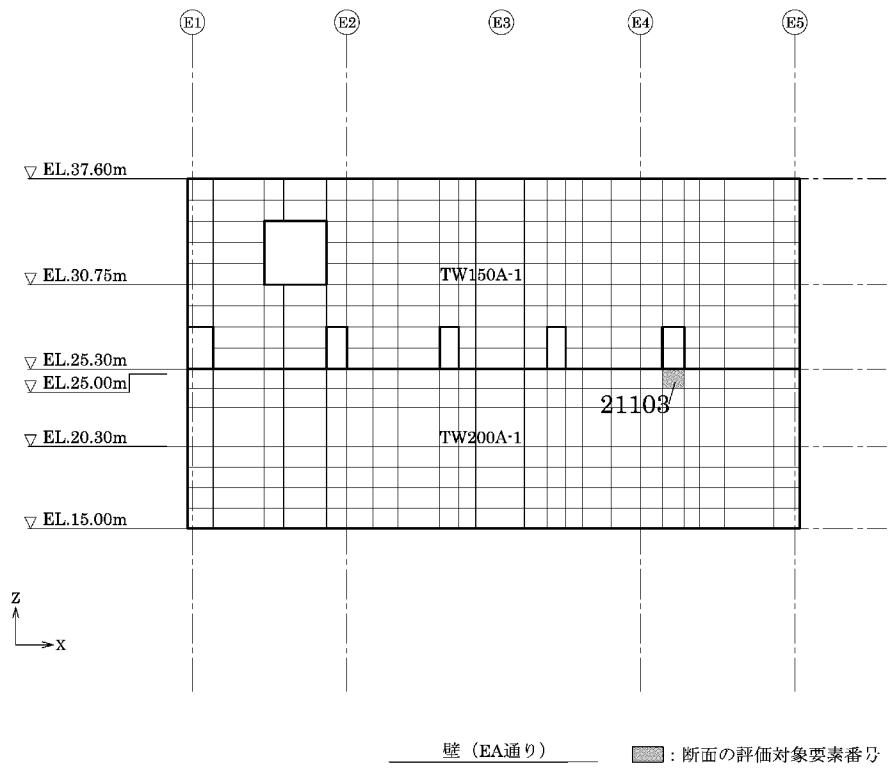
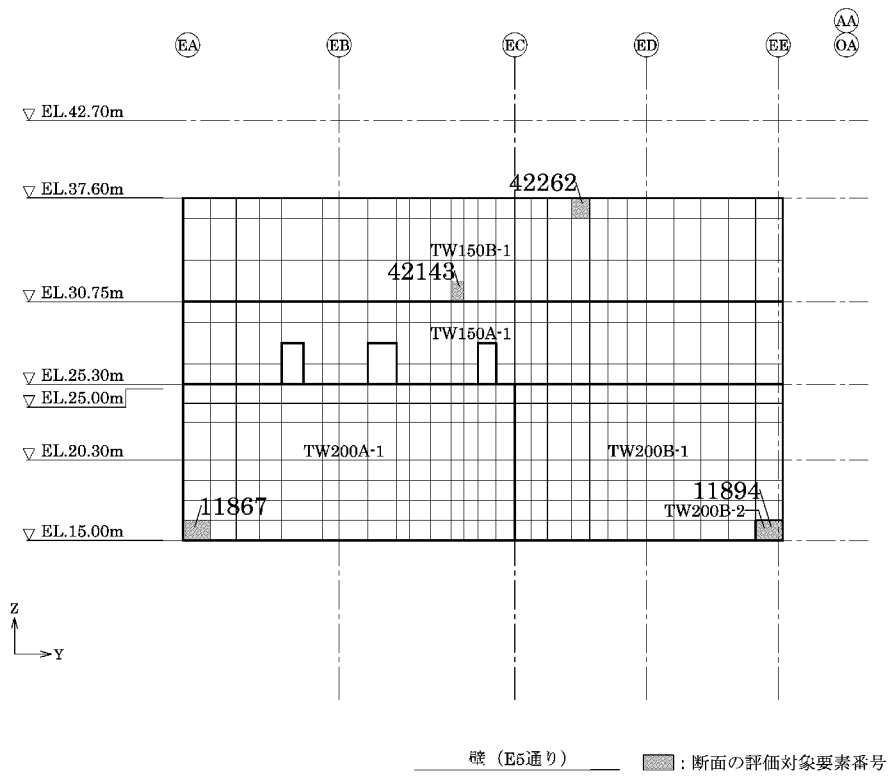


壁 (E2通り)      ■ : 断面の評価対象要素番号

第 2-1 図 断面の評価対象要素番号(1/13)

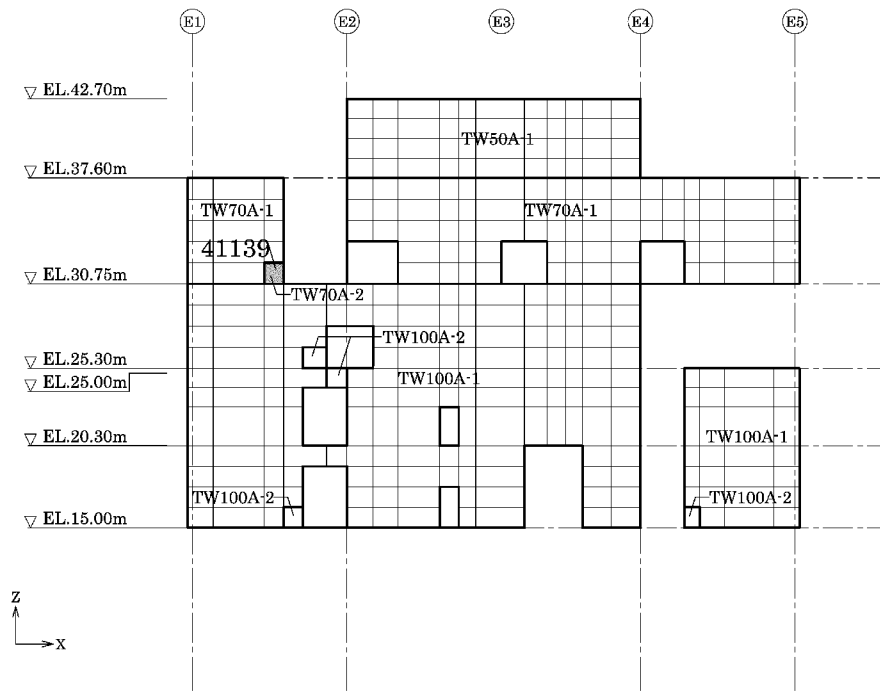


第2-1図 断面の評価対象要素番号(2/13)

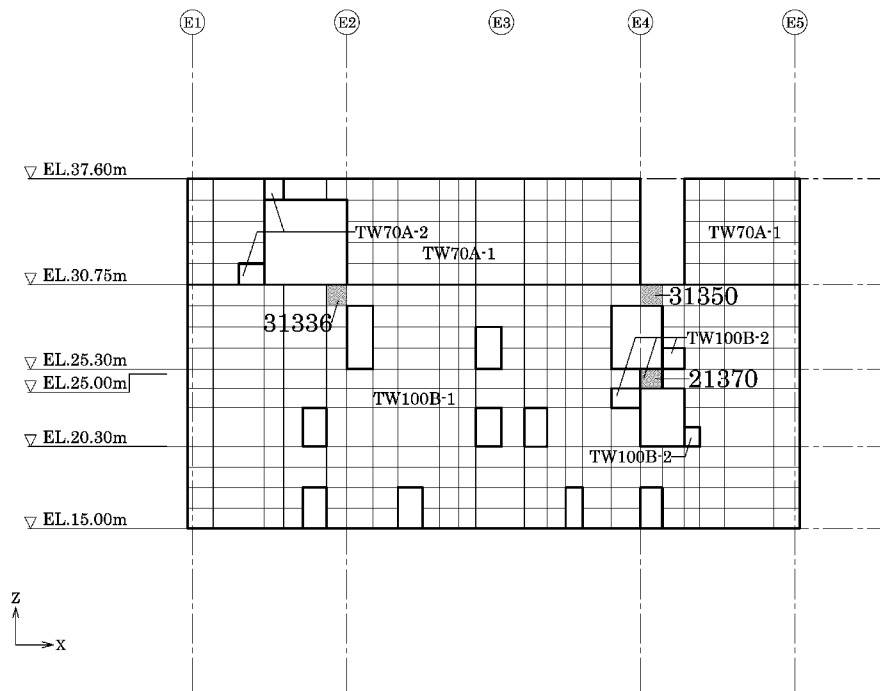


第 2-1 図 断面の評価対象要素番号(3/13)



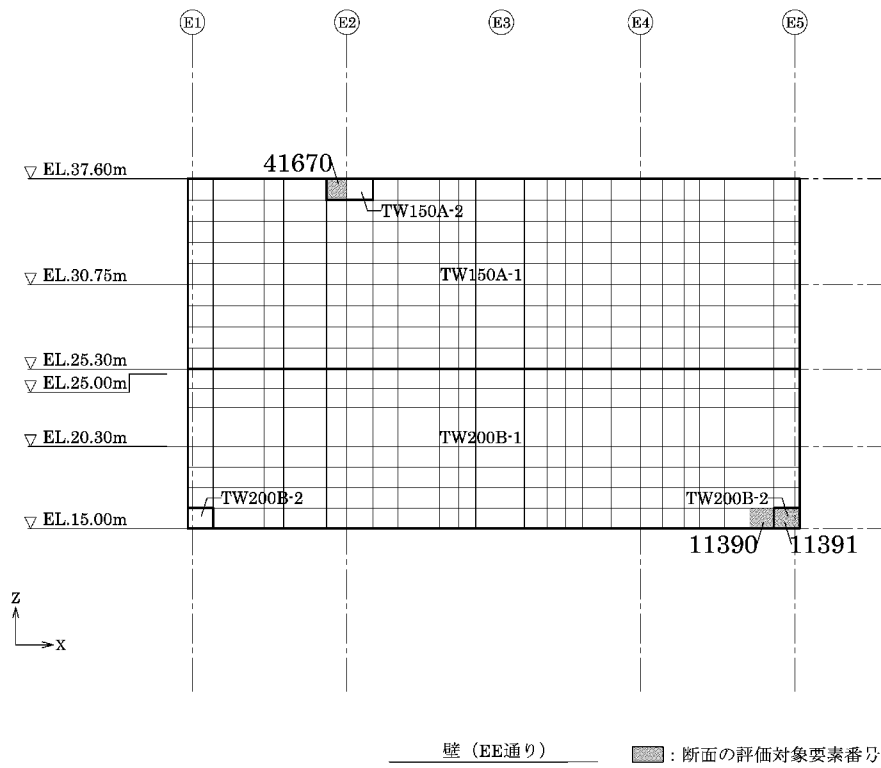
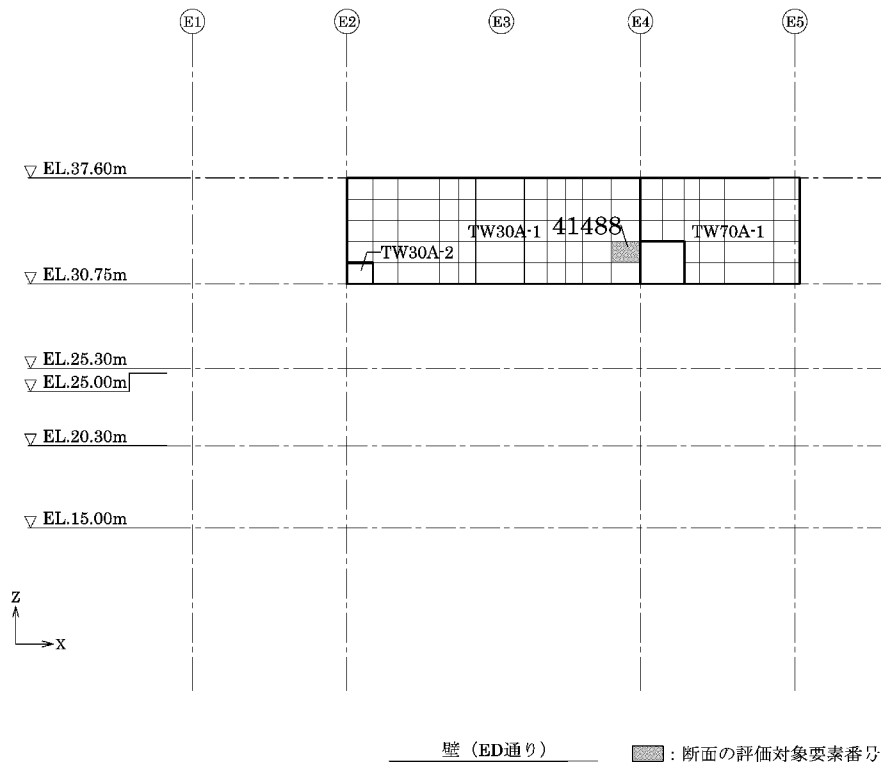


壁 (EB通り)      ■ : 断面の評価対象要素番号

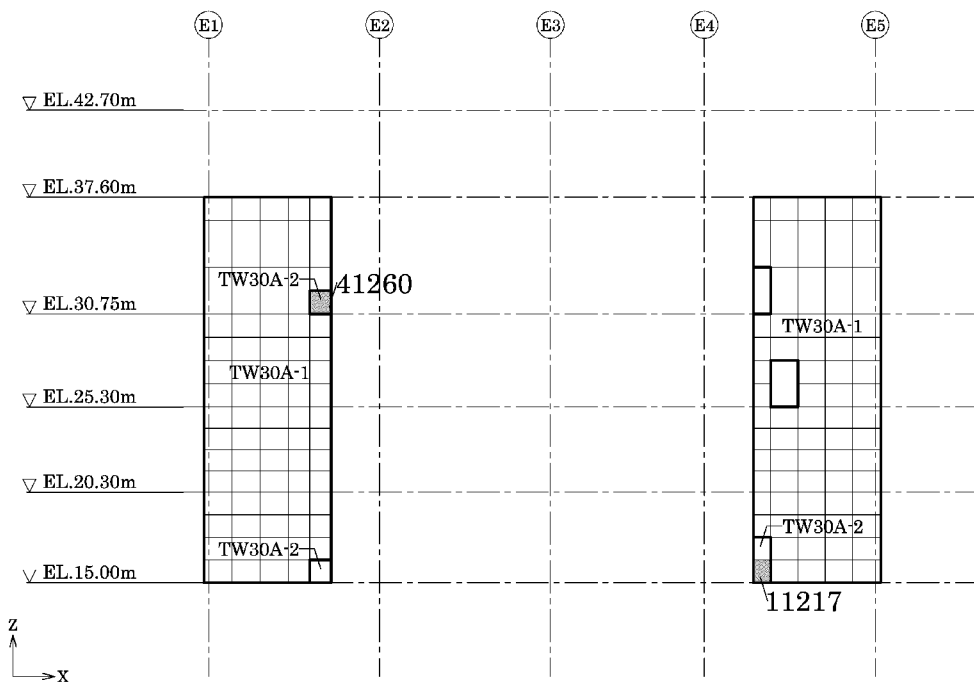


壁 (EC通り)      ■ : 断面の評価対象要素番号

第 2-1 図 断面の評価対象要素番号(4/13)

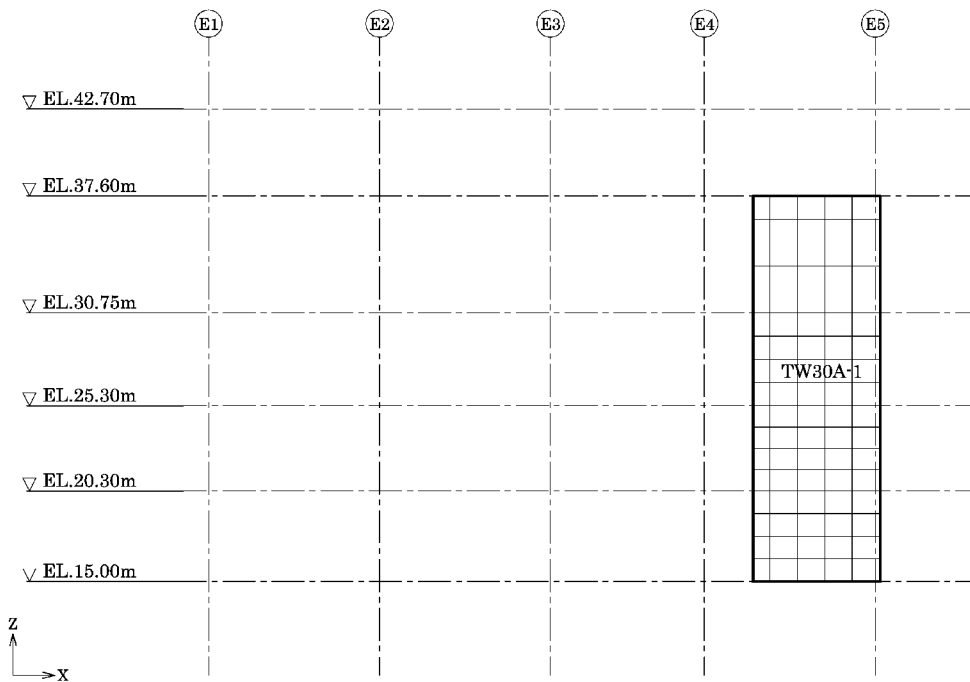


第2-1図 断面の評価対象要素番号(5/13)



壁 (EB通り+3800mm、EB通り+4650mm)

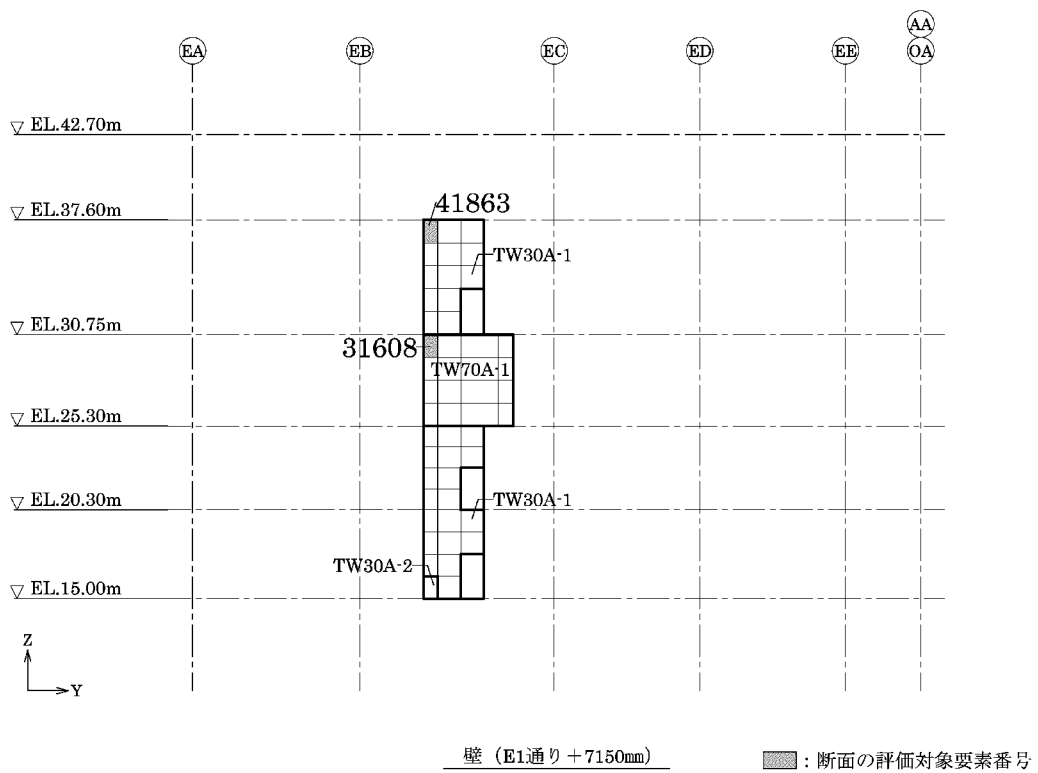
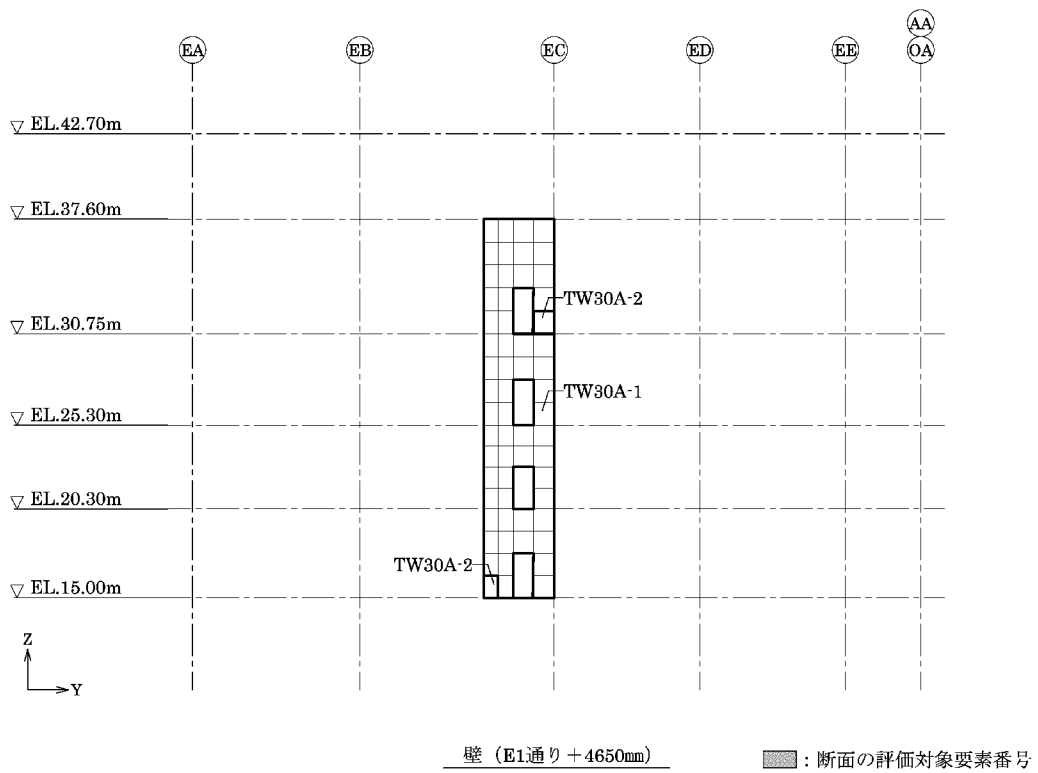
■ : 断面の評価対象要素番号



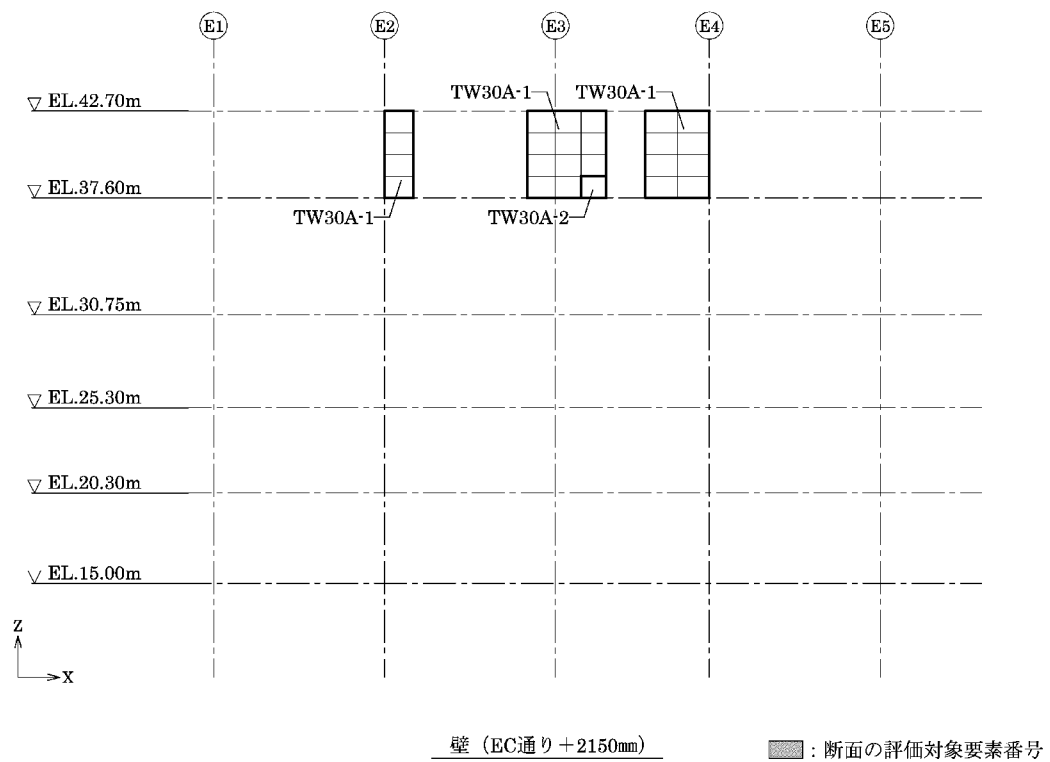
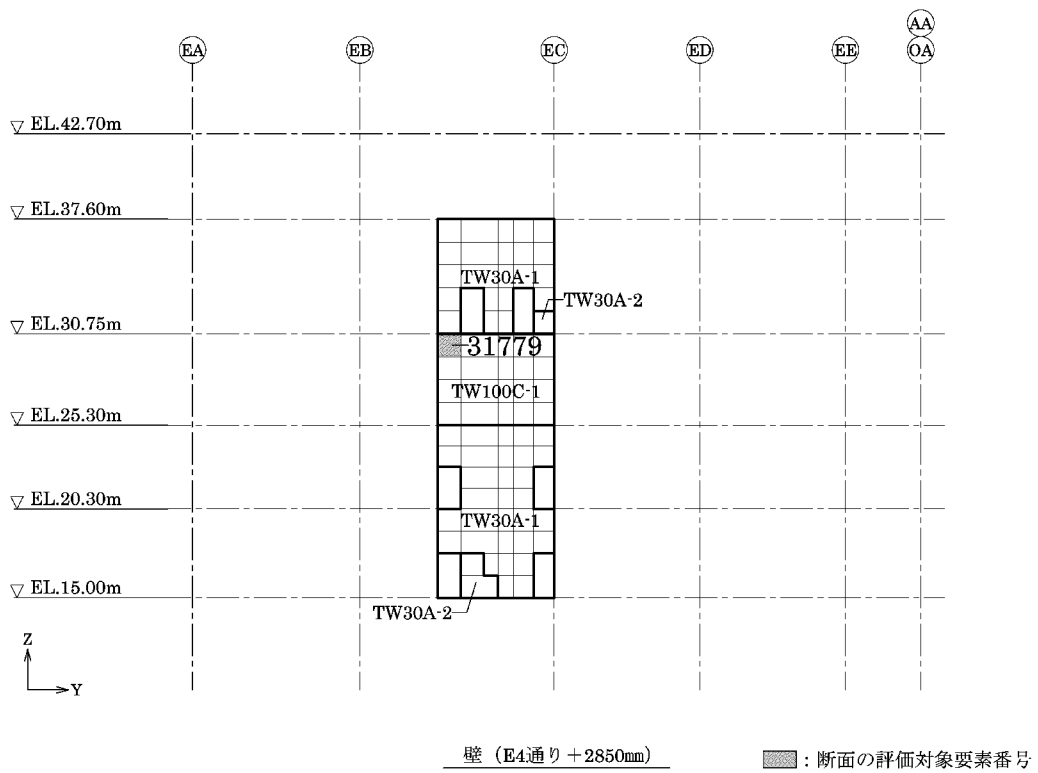
壁 (EB通り+8250mm)

■ : 断面の評価対象要素番号

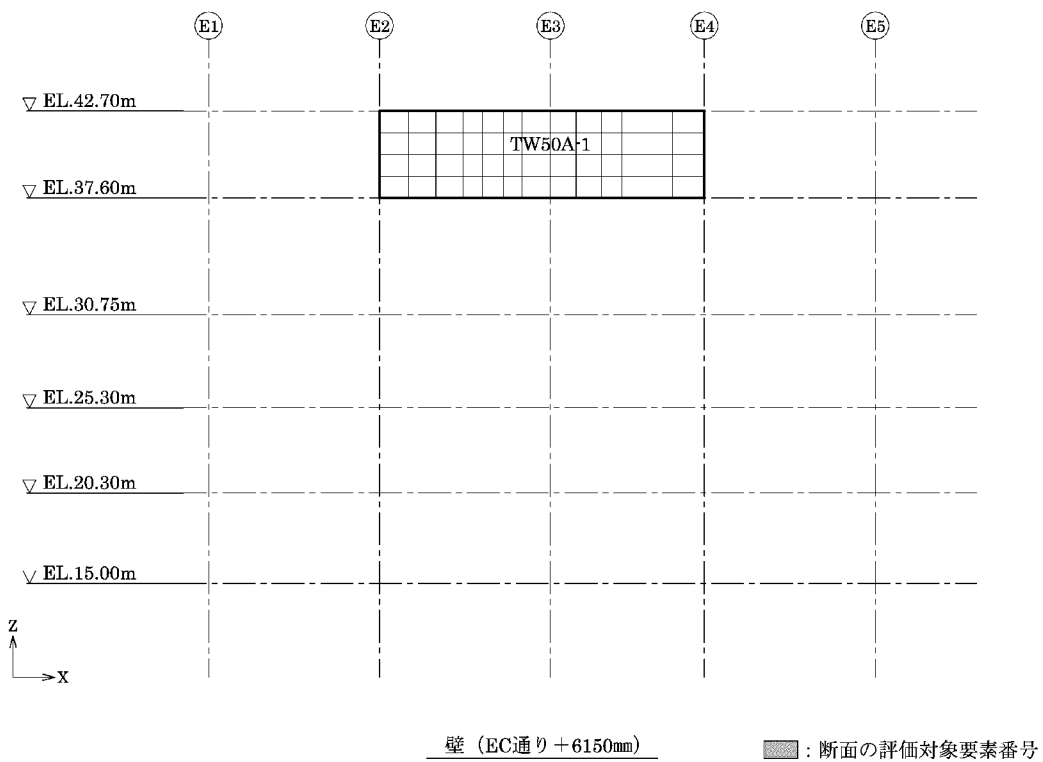
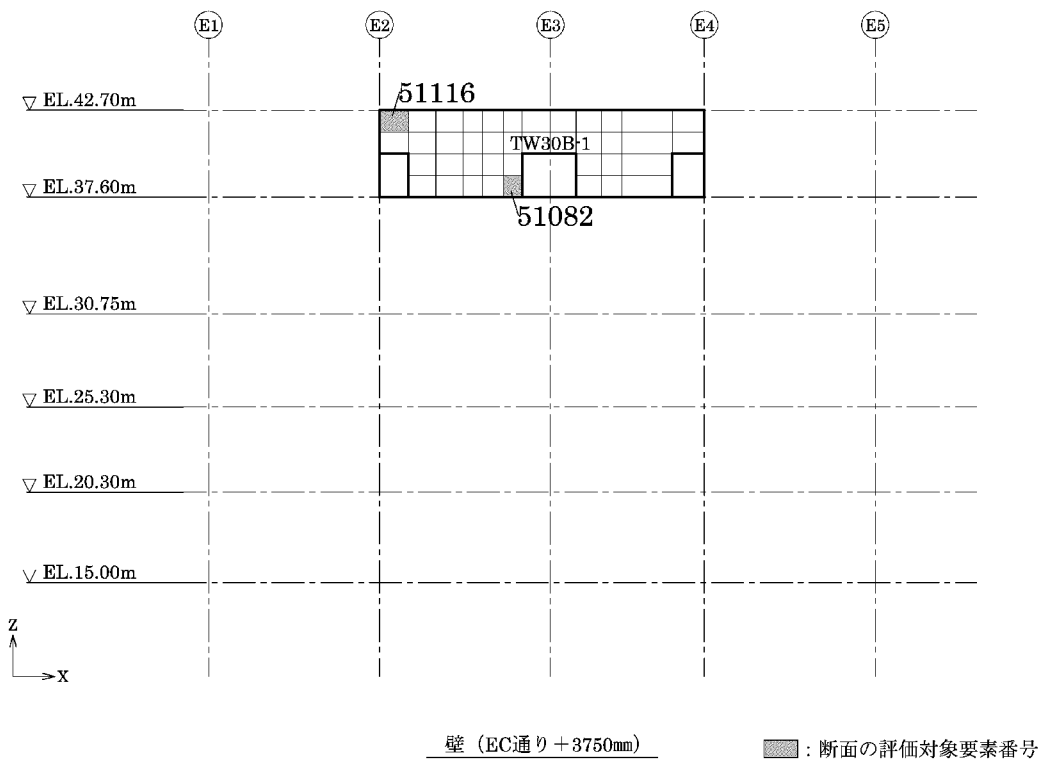
第 2-1 図 断面の評価対象要素番号(6/13)



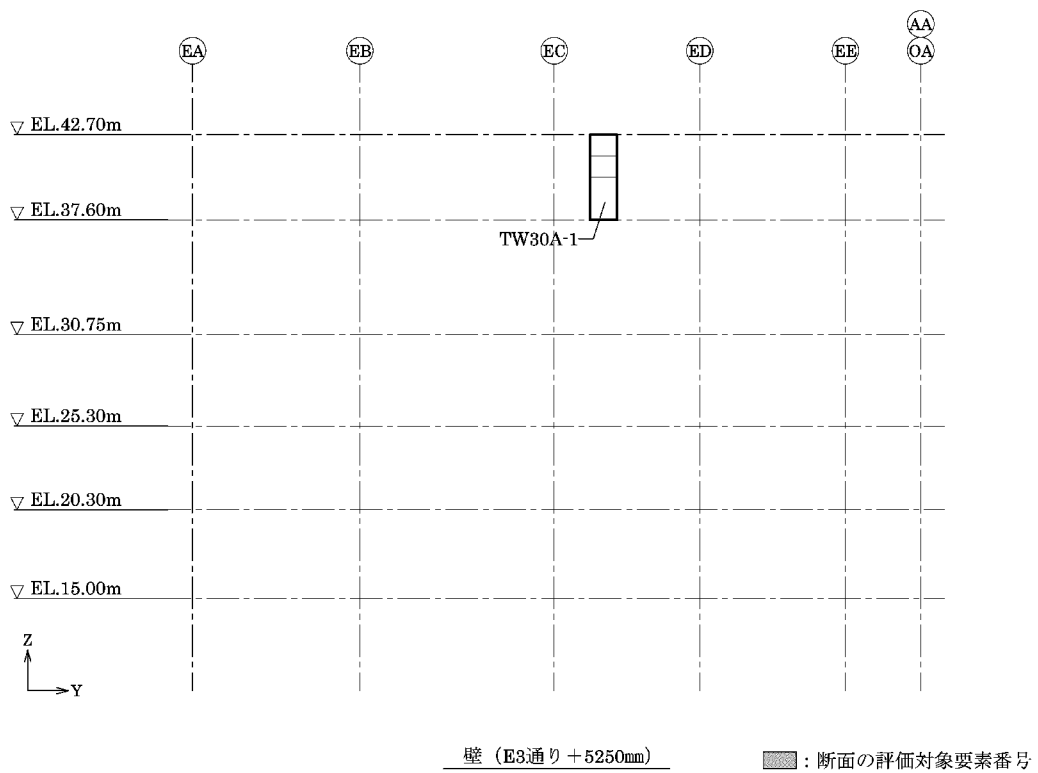
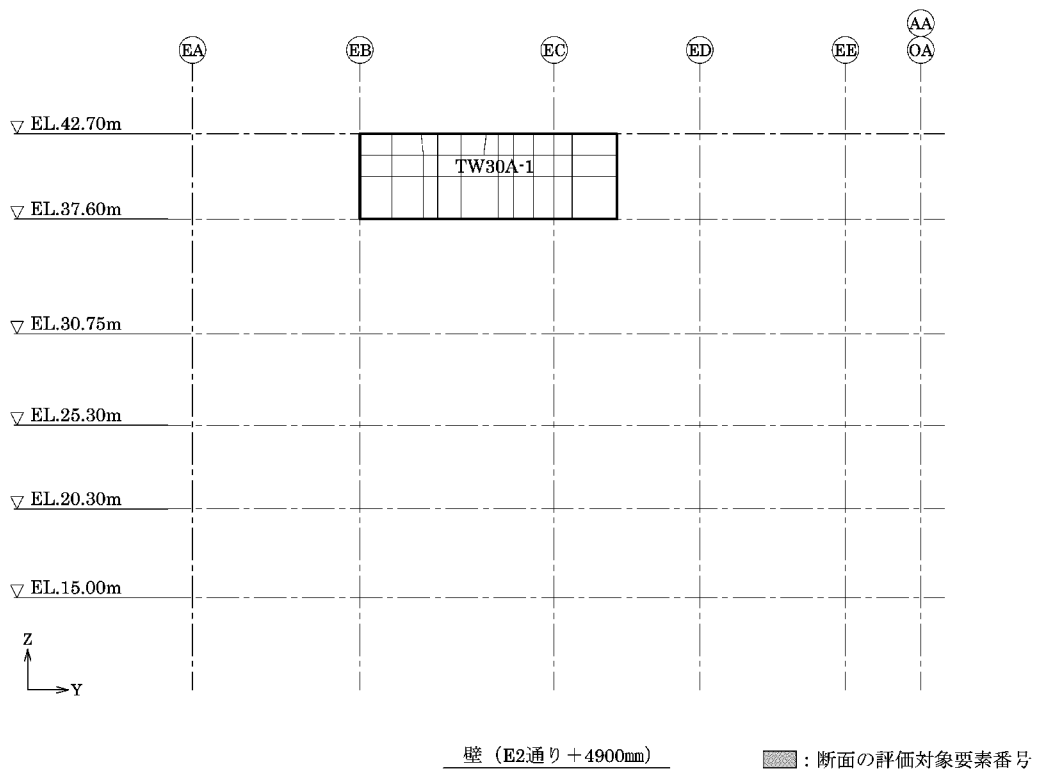
第2-1図 断面の評価対象要素番号(7/13)



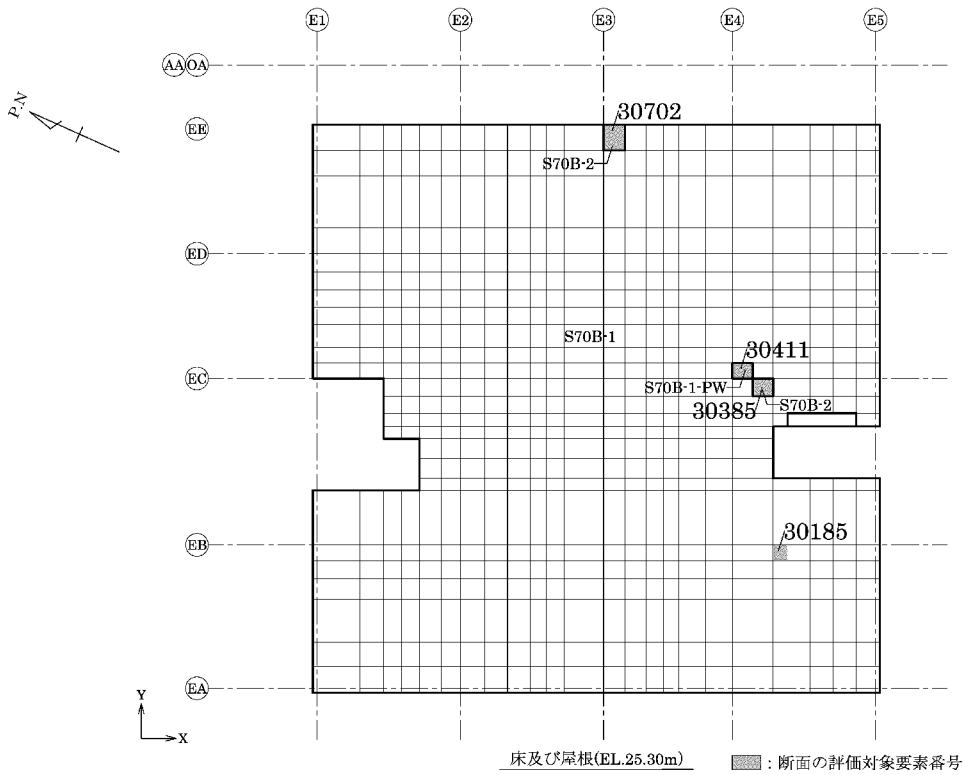
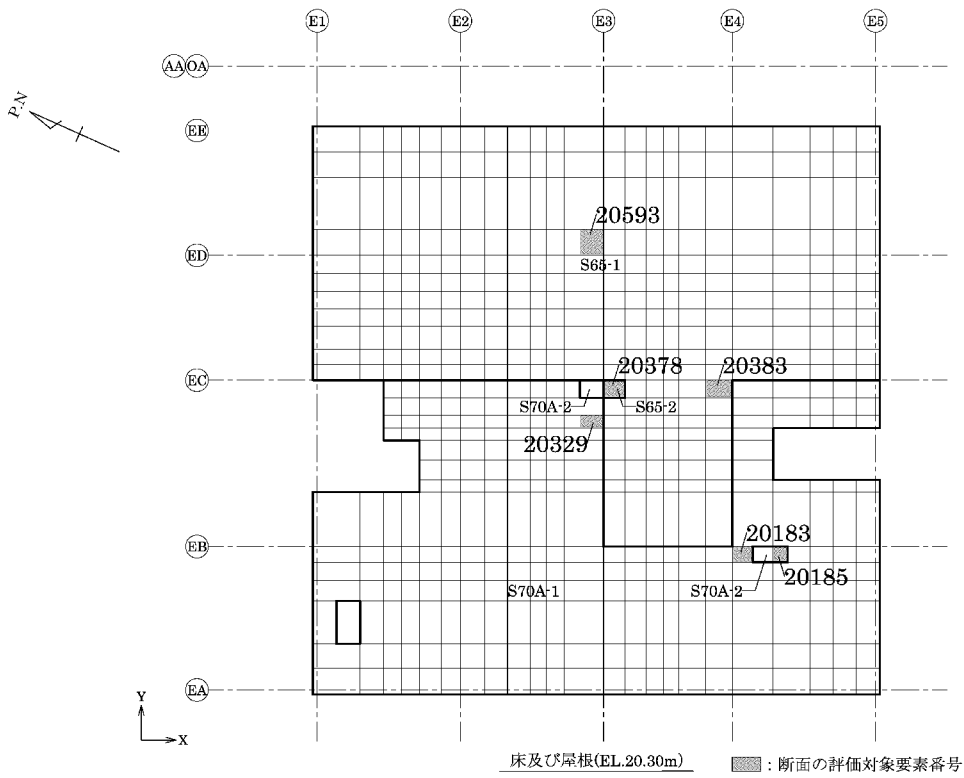
第 2-1 図 断面の評価対象要素番号(8/13)



第 2-1 図 断面の評価対象要素番号(9/13)

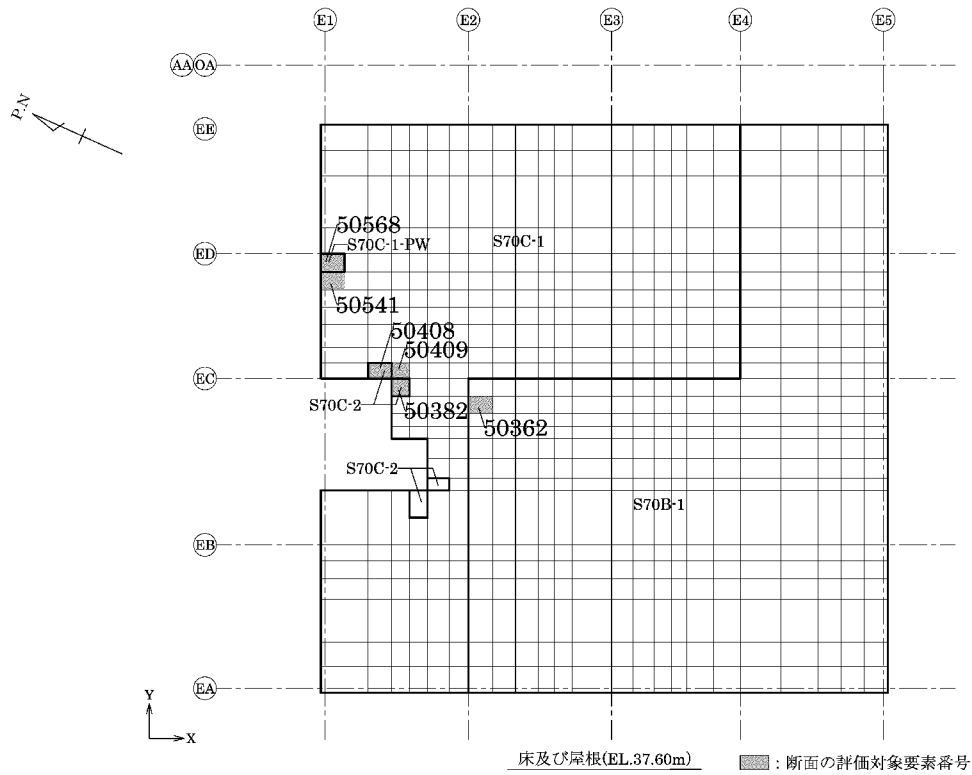
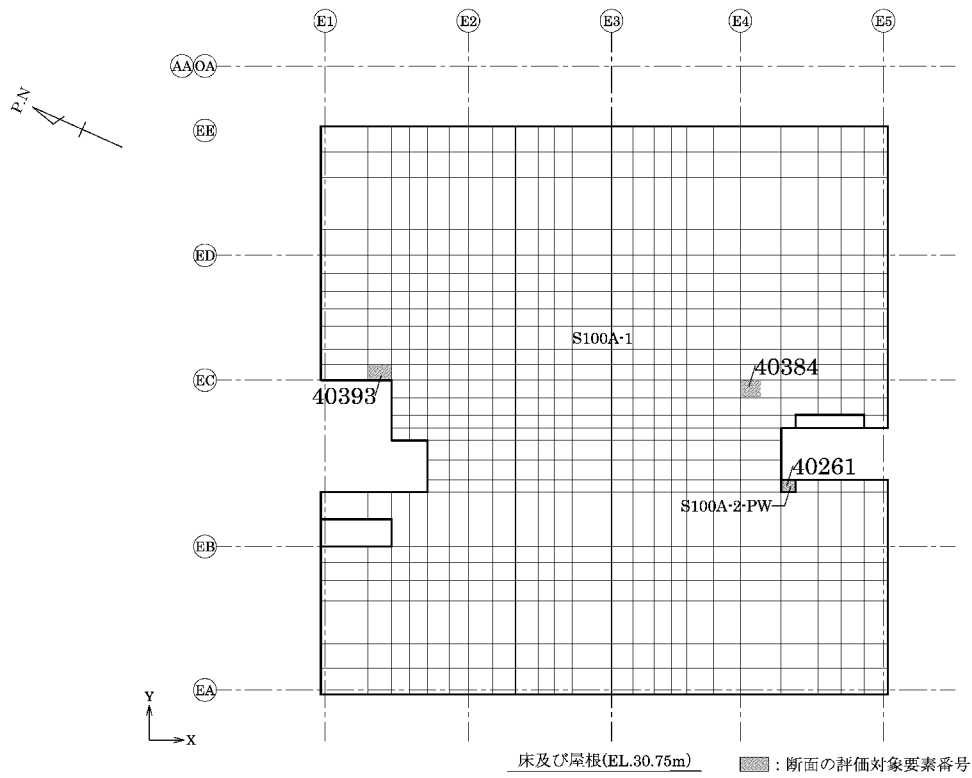


第 2-1 図 断面の評価対象要素番号(10/13)

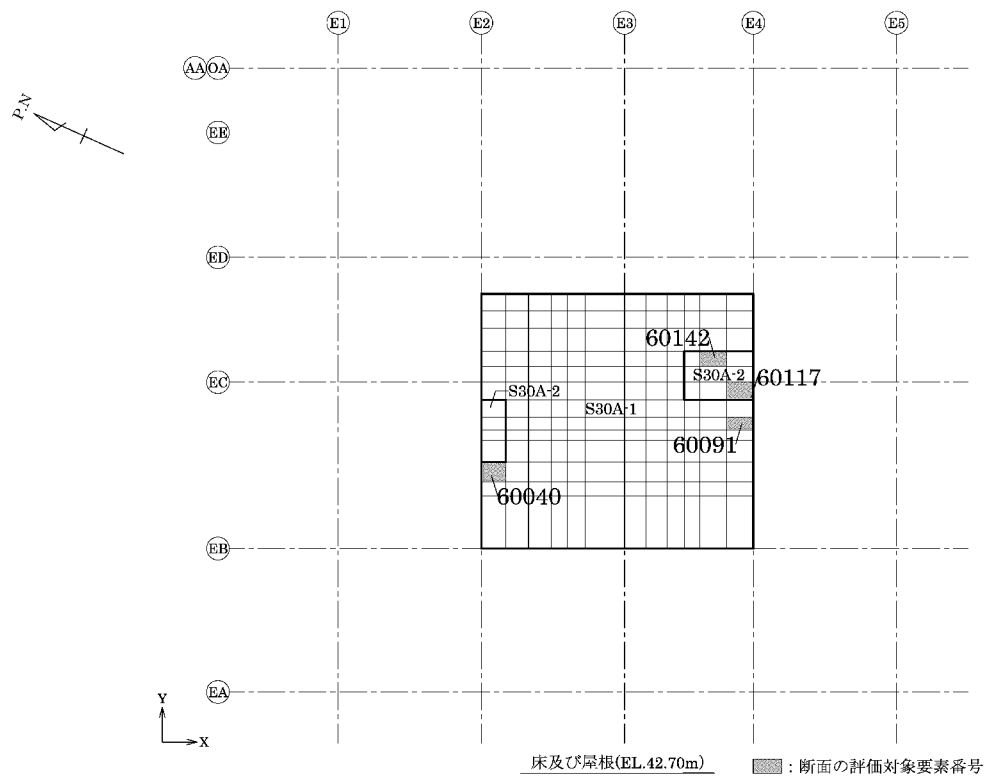


第 2-1 図 断面の評価対象要素番号(11/13)





第 2-1 図 断面の評価対象要素番号(12/13)



第 2-1 図 断面の評価対象要素番号(13/13)

第 2-2 表 分類領域ごとの配筋(1/4)

部位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD345)		鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断 補強筋	
			位置	方向			
壁	TW200A-1	2,000	両側共	縦筋	2 段 D38@200	11,400	—
				横筋	2 段 D38@200	11,400	
	TW200B-1	2,000	両側共	縦筋	2.5 段 D38@200	14,250	—
				横筋	2.5 段 D38@200	14,250	
	TW200B-2	2,000	両側共	縦筋	2.5 段 D38@200 + 1 段 D38@200	19,950	—
				横筋	2.5 段 D38@200	14,250	
	TW150A-1	1,500	両側共	縦筋	2 段 D38@200	11,400	—
				横筋	2 段 D38@200	11,400	
	TW150A-2	1,500	両側共	縦筋	2 段 D38@200	11,400	—
				横筋	2 段 D38@200 + 1 段 D38@200	17,100	
	TW150B-1	1,500	両側共	縦筋	1.5 段 D38@200	8,550	—
				横筋	1.5 段 D38@200	8,550	
	TW100A-1	1,000	両側共	縦筋	1.5 段 D38@200	8,550	—
				横筋	1.5 段 D38@200	8,550	
TW100A-2	1,000	両側共	縦筋	1.5 段 D38@200 + 1 段 D38@400	11,400	—	
			横筋	1.5 段 D38@200 + 1 段 D38@400	11,400		
TW100B-1	1,000	両側共	縦筋	2 段 D38@200	11,400	—	
			横筋	2 段 D38@200	11,400		
TW100B-2	1,000	両側共	縦筋	2 段 D38@200 + 1 段 D38@200	17,100	—	
			横筋	2 段 D38@200 + 1 段 D38@200	17,100		

第2-2表 分類領域ごとの配筋(2/4)

部位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD345)		鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断 補強筋	
			位置	方向			
壁	TW100C-1	1,000	両側共	縦筋	1段 D38@200	5,700	—
				横筋	1段 D38@200	5,700	
	TW70A-1	700	両側共	縦筋	1段 D38@200	5,700	—
				横筋	1段 D38@200	5,700	
	TW70A-2	700	両側共	縦筋	1段 D38@200+ 1段 D38@400	8,550	—
				横筋	1段 D38@200+ 1段 D38@400	8,550	
	TW70B-1	700	両側共	縦筋	1.5段 D38@200	8,550	—
				横筋	1.5段 D38@200	8,550	
	TW50A-1	500	両側共	縦筋	1段 D38@200	5,700	—
				横筋	1段 D38@200	5,700	
	TW50A-2	500	両側共	縦筋	1段 D38@200+ 1段 D38@200	11,400	—
				横筋	1段 D38@200	5,700	
	TW50B-1	500	両側共	縦筋	1段 D29@200	3,210	—
				横筋	1段 D29@200	3,210	
	TW30A-1	300	両側共	縦筋	1段 D25@200	2,535	—
				横筋	1段 D25@200	2,535	
TW30A-2	300	両側共	縦筋	1段 D25@200+ 1段 D25@200	5,070	—	
			横筋	1段 D25@200+ 1段 D25@200	5,070		
TW30B-1	300	両側共	縦筋	1段 D25@150	3,380	—	
			横筋	1段 D25@150	3,380		

第 2-2 表 分類領域ごとの配筋(3/4)


部位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD345)			鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断 補強筋
			位置	方向			
床 ・ 屋根	S100A-1	1,000	上端、 下端共	X	2 段 D32@200	7,940	—
				Y	2 段 D32@200	7,940	
	S100A-2-PW	1,000	上端、 下端共	X	2 段 D32@200+ 1 段 D32@200	11,910	D19 @400×@200
				Y	2 段 D32@200	7,940	
	S70A-1	700	上端、 下端共	X	1 段 D29@200	3,210	—
				Y	1 段 D29@200	3,210	
	S70A-2	700	上端、 下端共	X	1 段 D29@200	3,210	—
				Y	1 段 D29@200+ 1 段 D29@200	6,420	
	S70B-1	700	上端、 下端共	X	1 段 D35@200	4,785	—
				Y	1 段 D35@200	4,785	
	S70B-1-PW	700	上端、 下端共	X	1 段 D35@200	4,785	D19 @400×@200
				Y	1 段 D35@200	4,785	
	S70B-2	700	上端、 下端共	X	1 段 D35@200+ 1 段 D35@200	9,570	—
				Y	1 段 D35@200+ 1 段 D35@200	9,570	
	S70C-1	700	上端、 下端共	X	2 段 D35@200	9,570	—
				Y	2 段 D35@200	9,570	
S70C-1-PW	700	上端、 下端共	X	2 段 D35@200	9,570	D19 @400×@200	
			Y	2 段 D35@200	9,570		
S70C-2	700	上端、 下端共	X	2 段 D35@200+ 1 段 D35@200	14,355	—	
			Y	2 段 D35@200+ 1 段 D35@200	14,355		

第 2-2 表 分類領域ごとの配筋(4/4)

部位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD345)			鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断 補強筋
			位置	方向			
床 ・ 屋根	S65-1	650	上端、 下端共	X	1 段 D29@200	3,210	—
				Y	1 段 D29@200	3,210	
	S65-2	650	上端、 下端共	X	1 段 D29@200	3,210	—
				Y	1 段 D29@200+ 1 段 D29@200	6,420	
	S30A-1	300	上端、 下端共	X	1 段 D25@200	2,535	—
				Y	1 段 D25@200	2,535	
	S30A-2	300	上端、 下端共	X	1 段 D25@200	2,535	—
				Y	1 段 D25@200+ 1 段 D25@200	5,070	

第2-3表 各評価項目の検定値一覧(1/3)

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			縦筋方向			横筋方向			縦筋方向		
		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	TW200A-1	21103	0.68	1	21103	0.68	1	11867	0.38	1	11484	0.35	2
	TW200B-1	11499	0.57	7	11528	0.80	7	11418	0.40	5	11390	0.76	7
	TW200B-2	11500	0.58	7	11894	0.70	7	11391	0.35	5	11391	0.62	7
	TW150A-1	41811	0.64	7	31474	0.68	5	41819	0.32	5	41825	0.36	4
	TW150A-2	41812	0.51	7	41670	0.34	4	41812	0.33	5	41670	0.34	6
	TW150B-1	42262	0.52	1	42144	0.40	5	42143	0.10	1	42246	0.10	2
	TW100A-1	31731	0.78	5	31744	0.77	5	11619	0.29	3	31713	0.57	1
	TW100A-2	21175	0.64	3	11752	0.70	7	21175	0.09	6	31712	0.38	1
	TW100B-1	31350	0.73	1	31350	0.73	1	11257	0.25	5	31336	0.47	8
	TW100B-2	21370	0.57	1	21370	0.62	1	21370	0.27	5	21370	0.28	5
	TW100C-1	21725	0.80	8	21725	0.80	8	31775	0.15	1	31779	0.46	1
	TW70A-1	41338	0.70	4	41907	0.74	1	41411	0.34	7	31608	0.46	3
	TW70A-2	41414	0.50	8	41139	0.62	3	41414	0.23	7	41872	0.54	3
	TW70B-1	42020	0.50	5	42029	0.68	5	42094	0.16	2	42012	0.63	1

(注)  は、断面の評価対象部位を示す。

第2-3表 各評価項目の検定値一覧(2/3)

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/X方向			縦筋方向/Y方向			横筋方向/X方向			縦筋方向/Y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	TW50A-1	51225	0.68	4	51013	0.67	4	51380	0.19	2	51376	0.42	2
	TW50A-2	51192	0.51	4	51192	0.43	4	51192	0.04	2	51192	0.35	4
	TW50B-1	51277	0.74	8	51277	0.74	8	51322	0.13	4	51318	0.22	4
	TW30A-1	41488	0.73	2	51053	0.65	4	41850	0.33	7	41863	0.43	4
	TW30A-2	41456	0.28	4	11217	0.49	1	41834	0.16	5	41260	0.21	7
	TW30B-1	51103	0.71	4	51082	0.76	4	51103	0.09	4	51116	0.22	8
床 ・ 屋根	S100A-1	40553	0.56	6	40393	0.64	8	40384	0.74	1	40360	0.64	8
	S100A-2-PW	40261	0.29	1	40261	0.23	1	40261	0.30	6	40261	0.33	1
	S70A-1	20329	0.56	8	20186	0.50	2	20183	0.54	1	20384	0.50	6
	S70A-2	20377	0.14	16	20185	0.38	2	20185	0.48	1	20185	0.53	1
	S70B-1	50362	0.65	8	30185	0.63	2	30282	0.59	1	30185	0.66	2
	S70B-1-PW	30411	0.19	6	30411	0.11	2	30411	0.63	1	30411	0.29	1
	S70B-2	30385	0.31	1	30702	0.27	5	30385	0.13	1	30702	0.27	5
	S70C-1	50541	0.56	6	50409	0.65	8	50541	0.79	4	50708	0.68	6

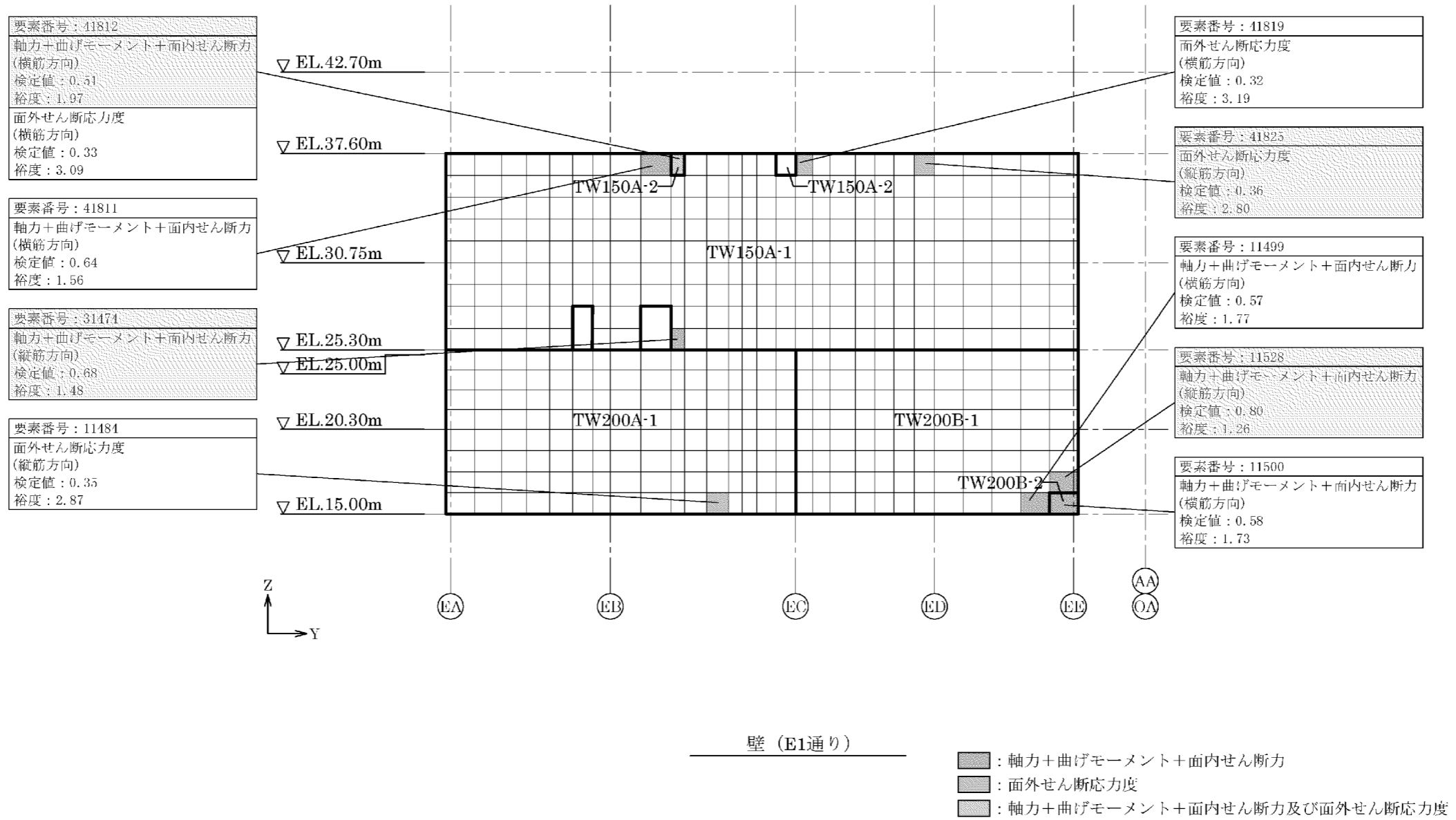
(注)  は、断面の評価対象部位を示す。



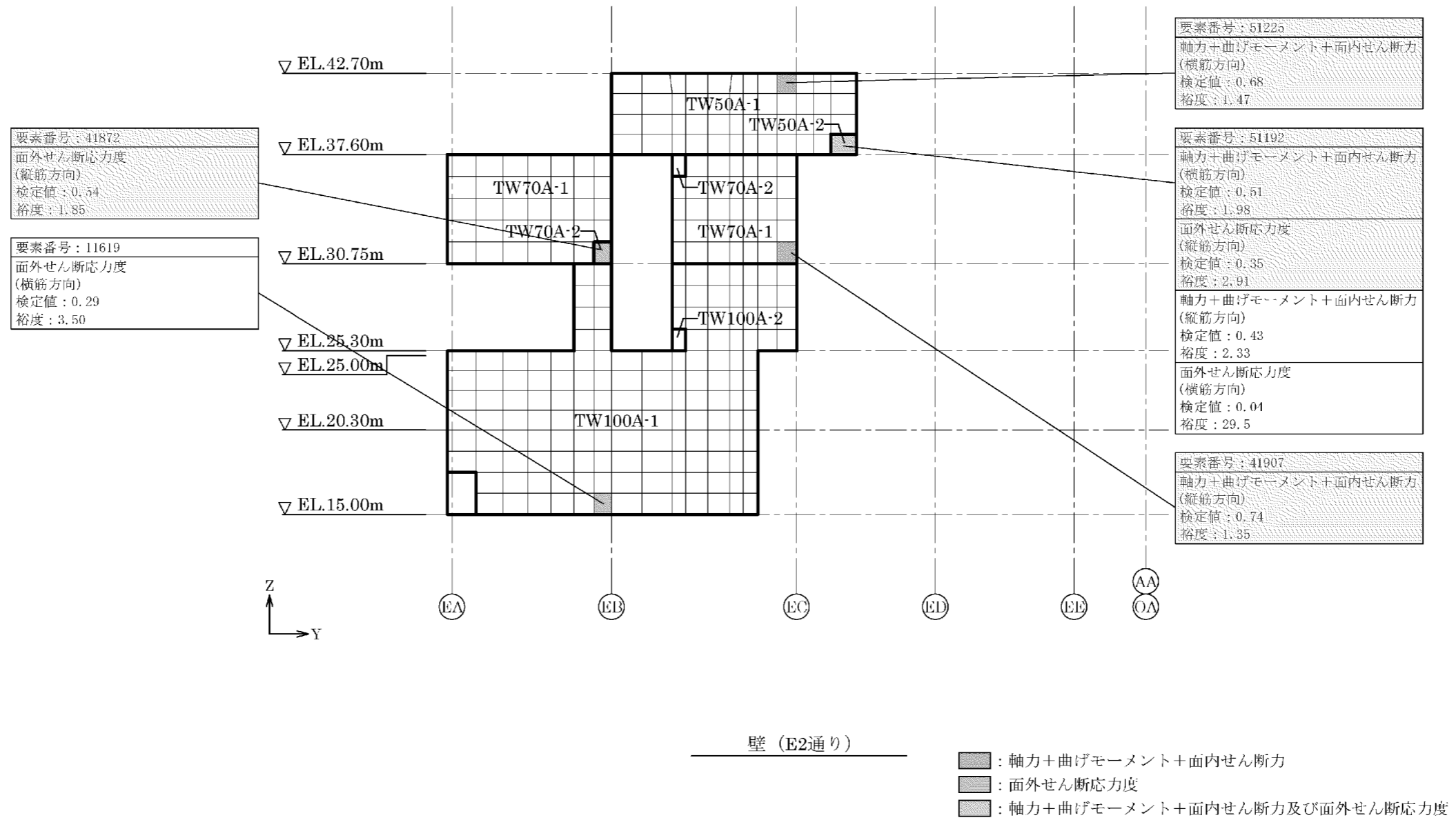
第2-3表 各評価項目の検定値一覧(3/3)

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/X方向			縦筋方向/Y方向			横筋方向/X方向			縦筋方向/Y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.
床 ・ 屋根	S70C-1-PW	50568	0.59	6	50568	0.35	6	50568	0.59	4	50568	0.09	4
	S70C-2	50408	0.48	8	50382	0.52	8	50221	0.39	3	50408	0.49	4
	S65-1	20593	0.71	6	20647	0.45	5	20411	0.42	1	20383	0.50	6
	S65-2	20378	0.11	14	20378	0.20	6	20378	0.11	4	20378	0.38	5
	S30A-1	60008	0.69	4	60040	0.74	4	60091	0.45	2	60076	0.35	10
	S30A-2	60117	0.53	6	60142	0.50	2	60092	0.35	4	60142	0.43	2

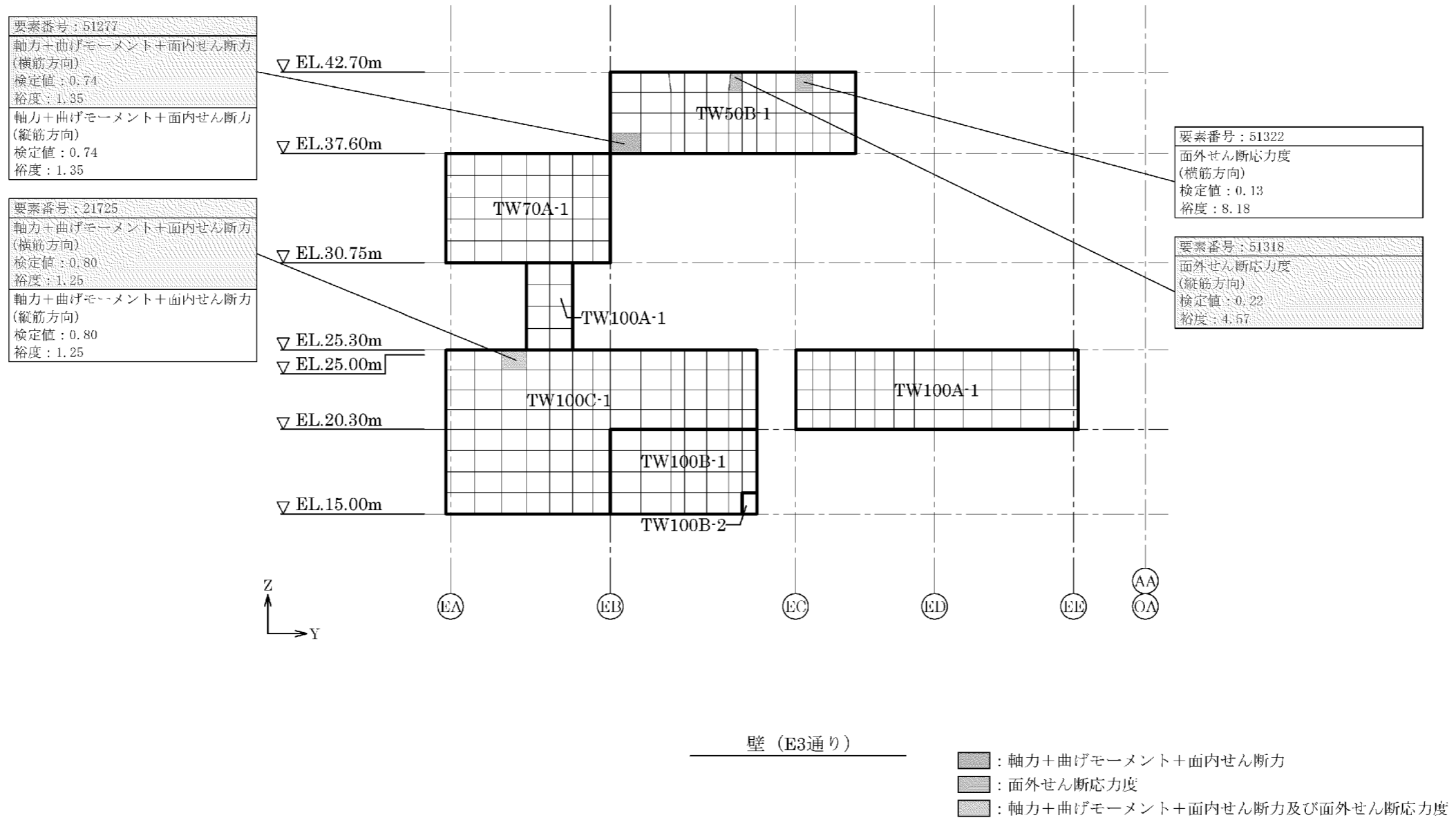
(注)  は、断面の評価対象部位を示す。



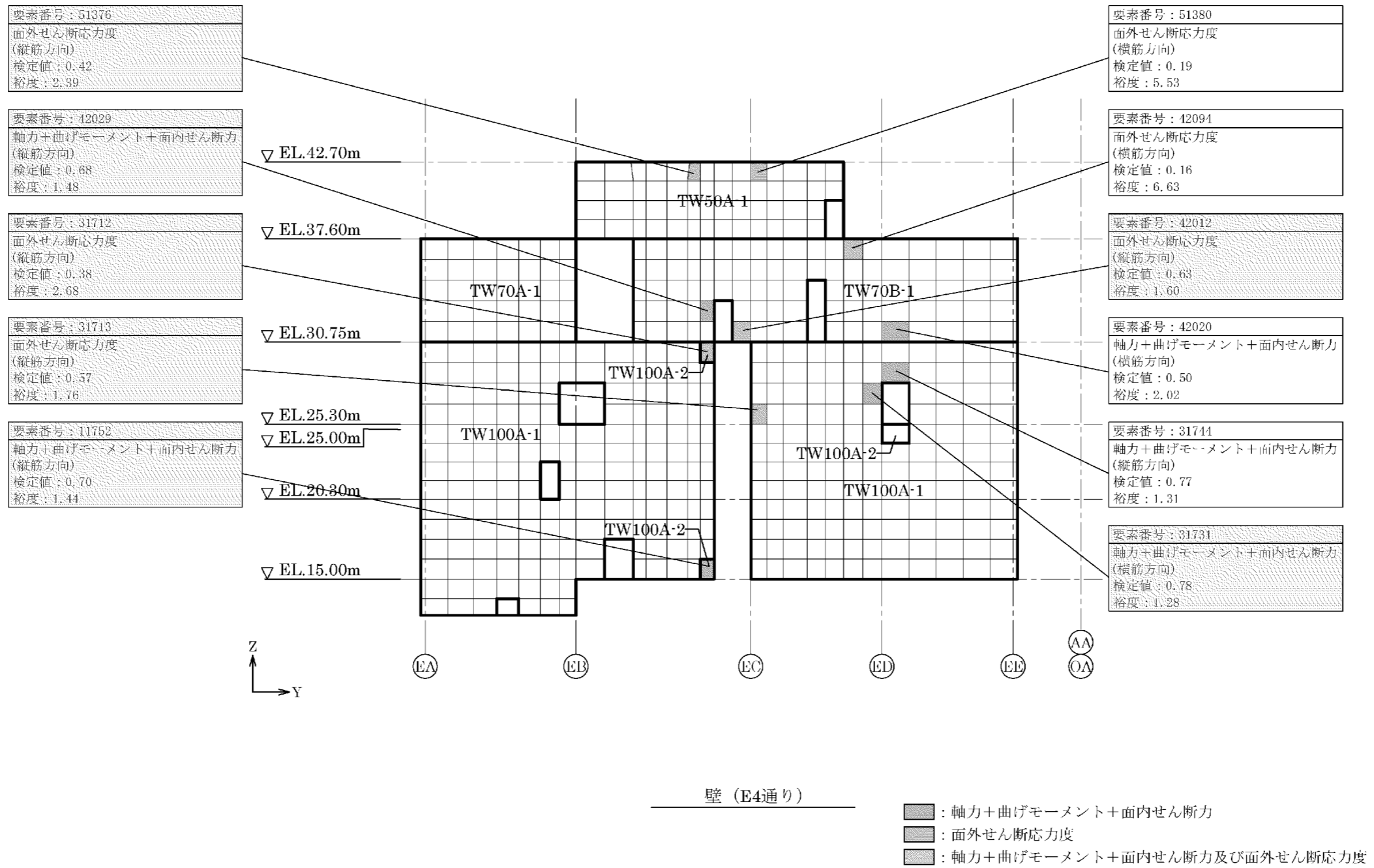
第2-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(1/21)



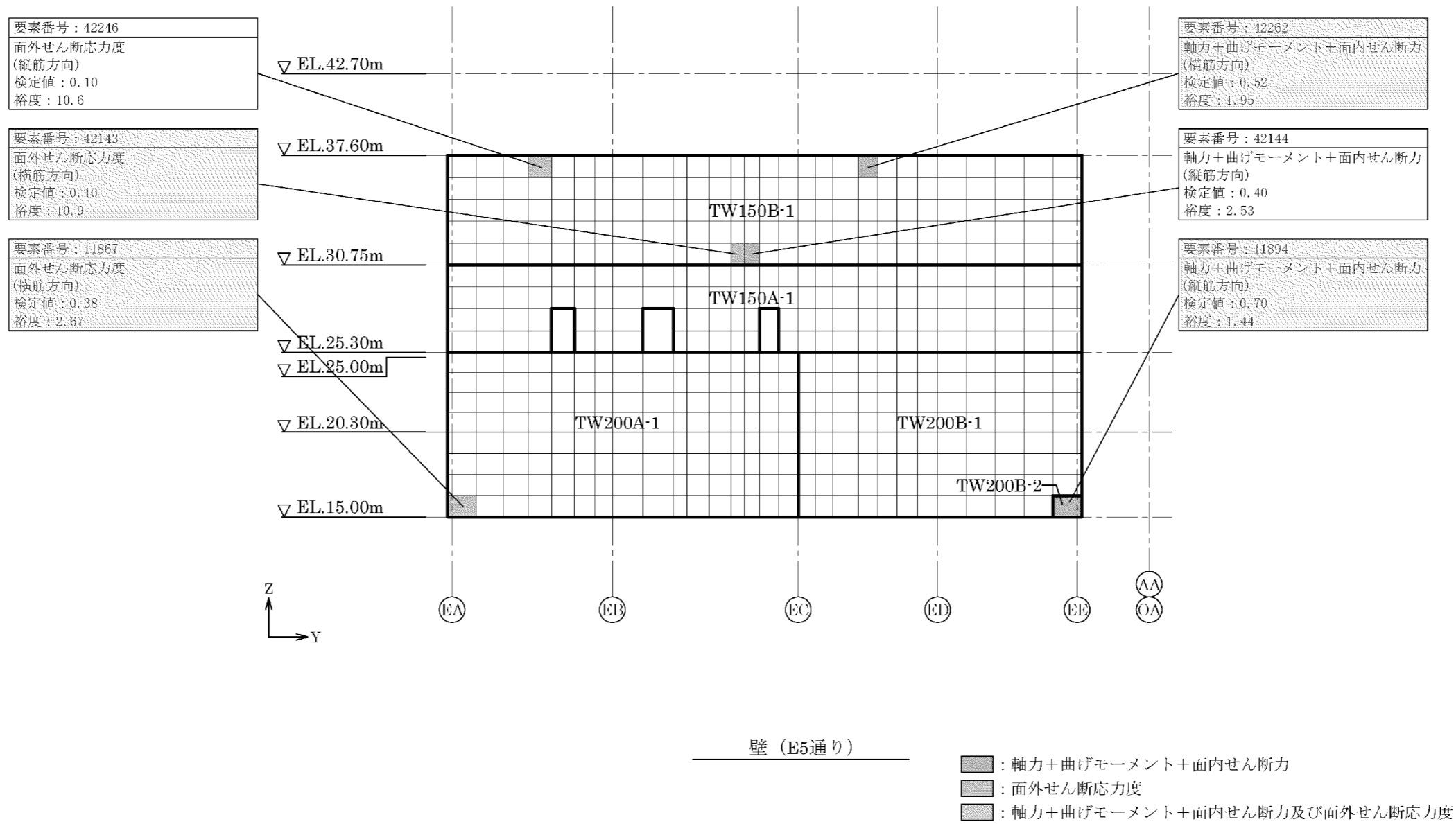
第2-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(2/21)



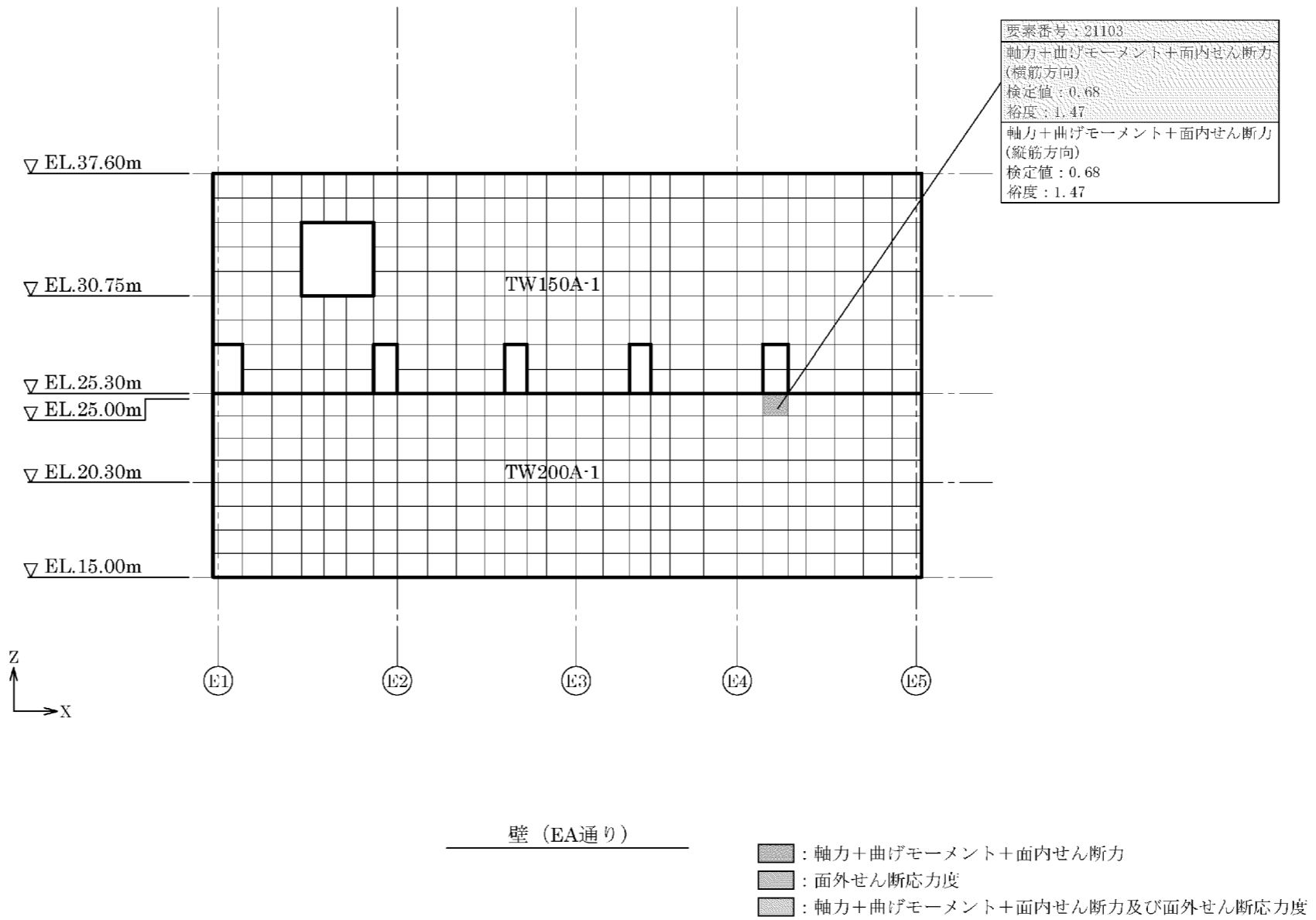
第2-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(3/21)



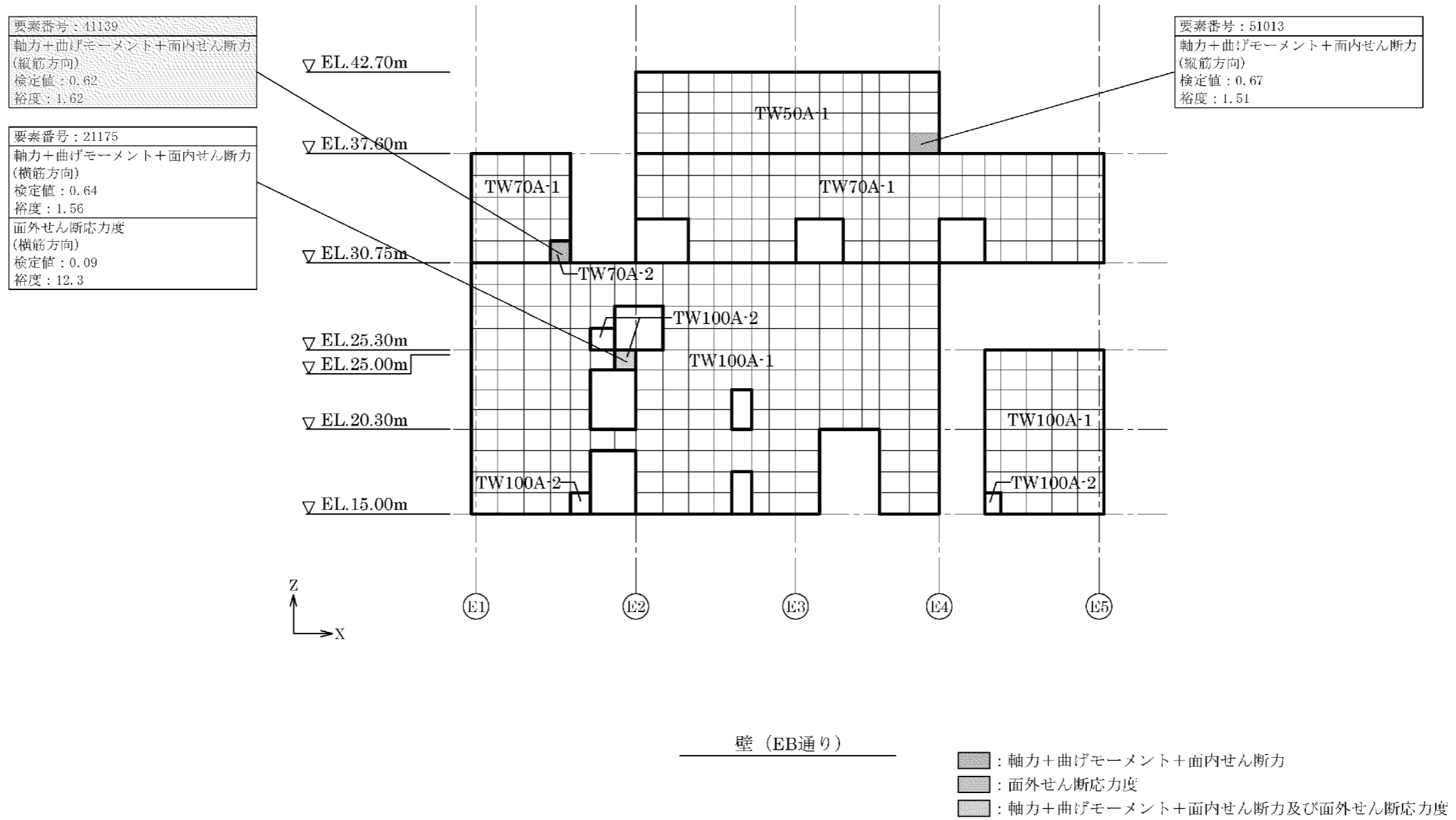
第2-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(4/21)



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(5/21)

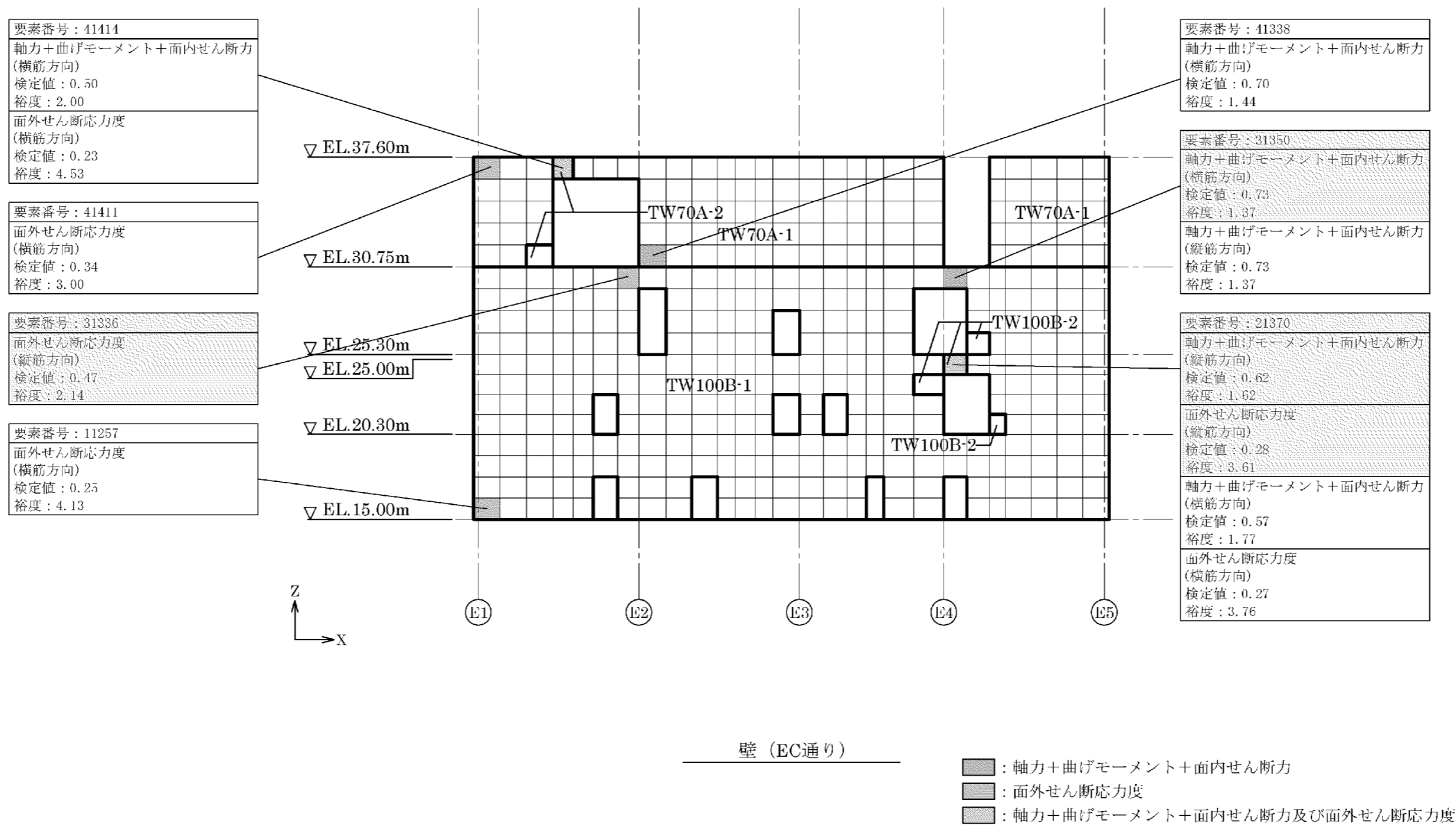


第2-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(6/21)

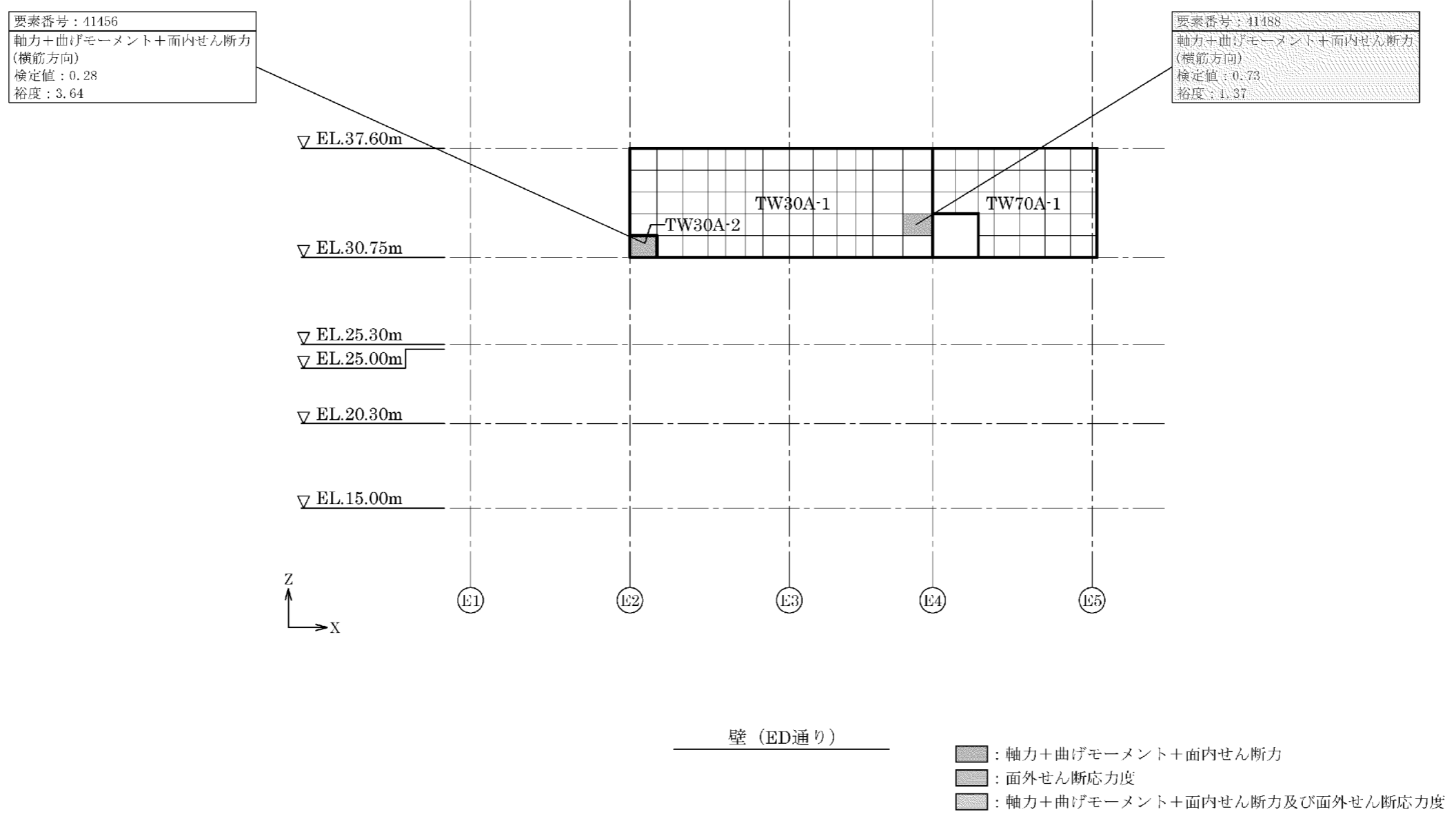


第2-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(7/21)

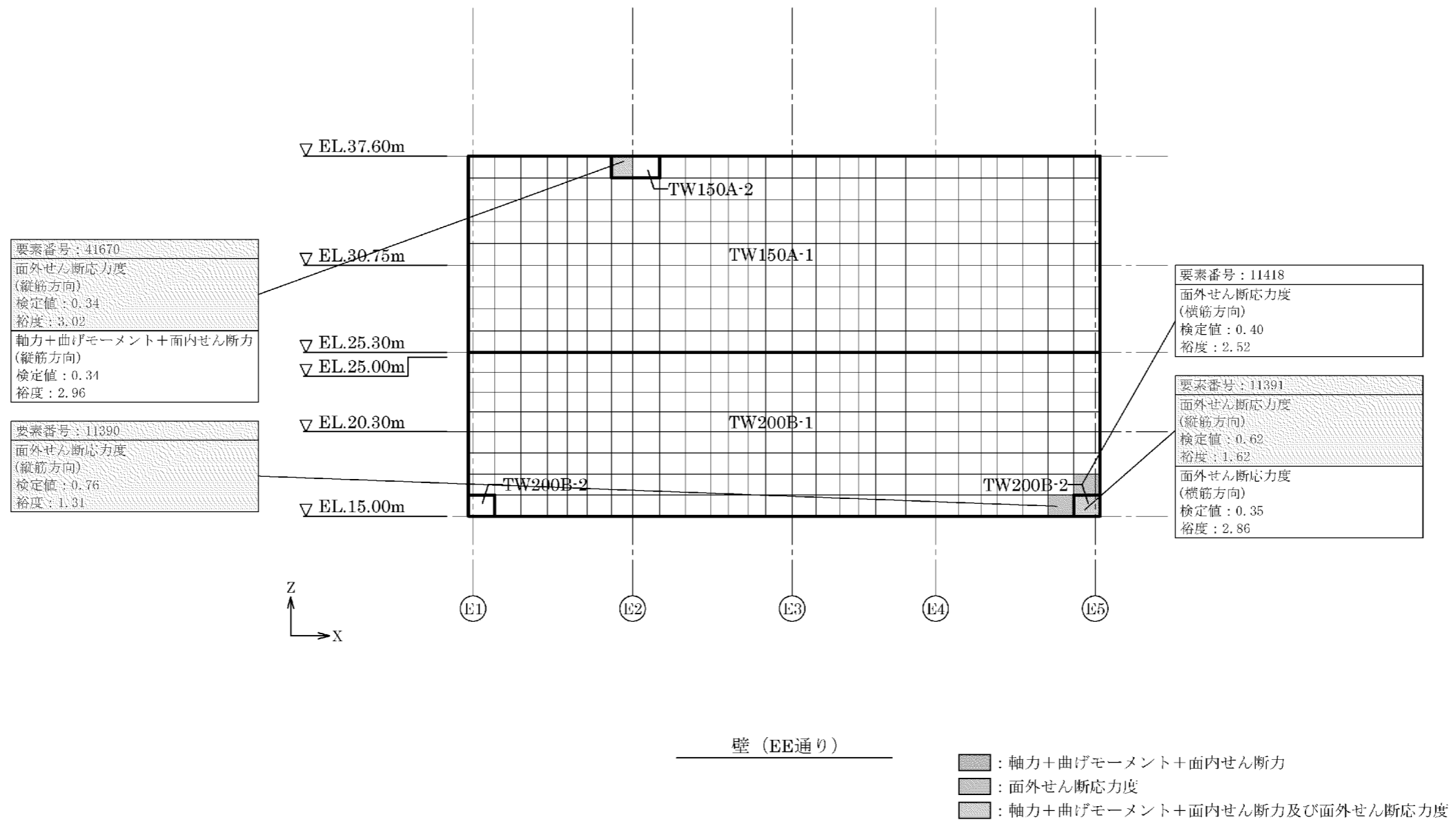




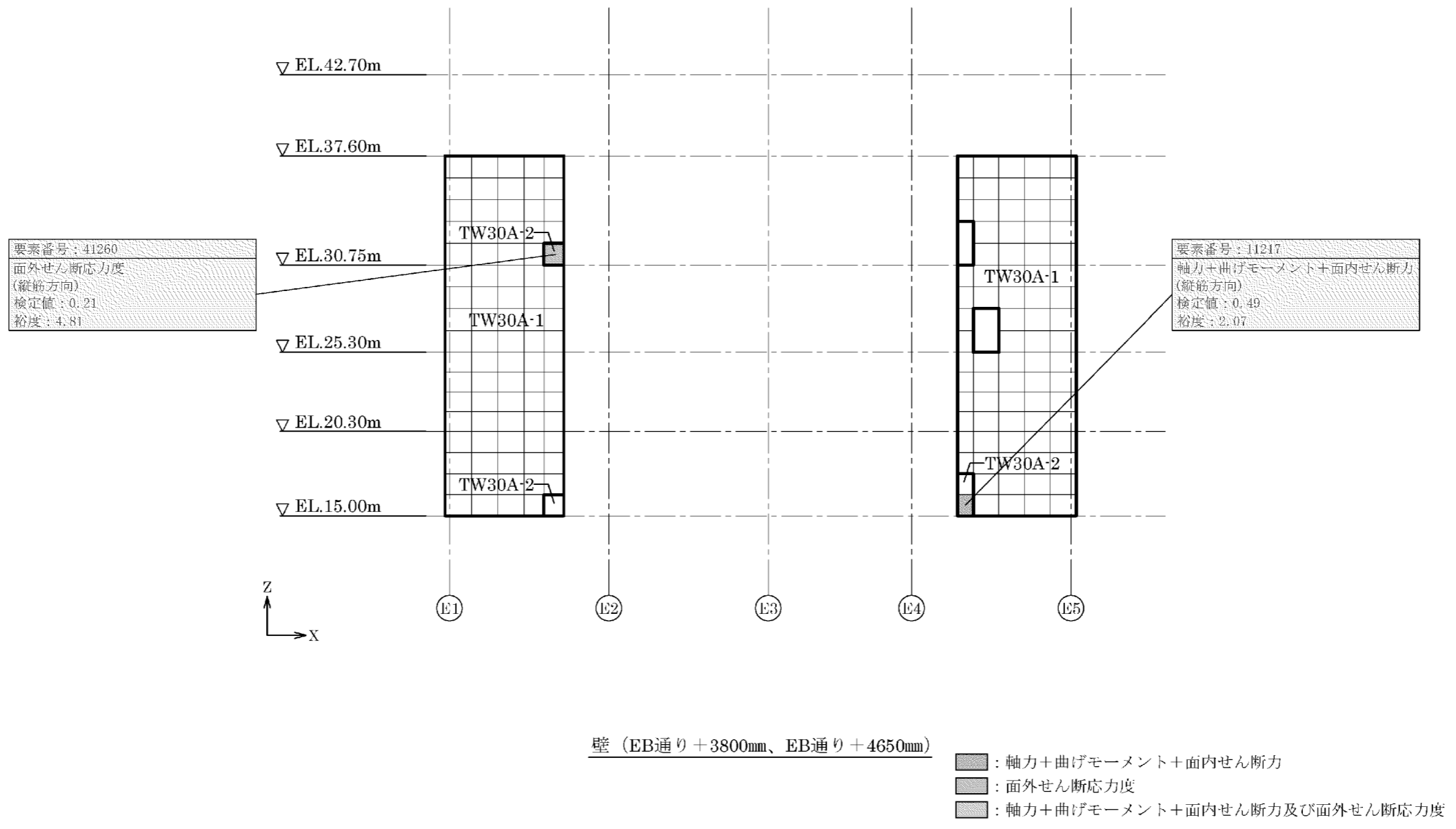
第2-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(8/21)



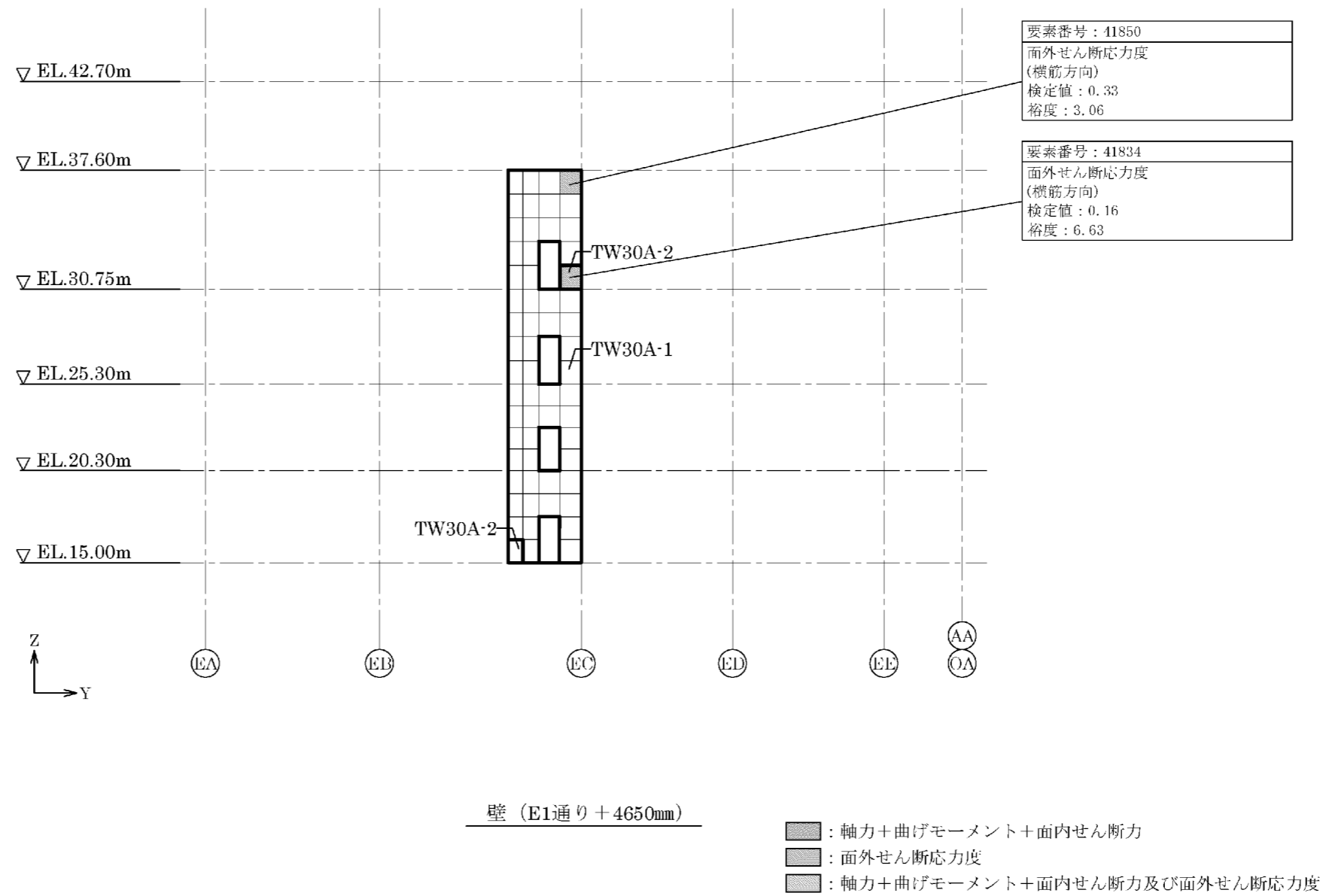
第2-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(9/21)



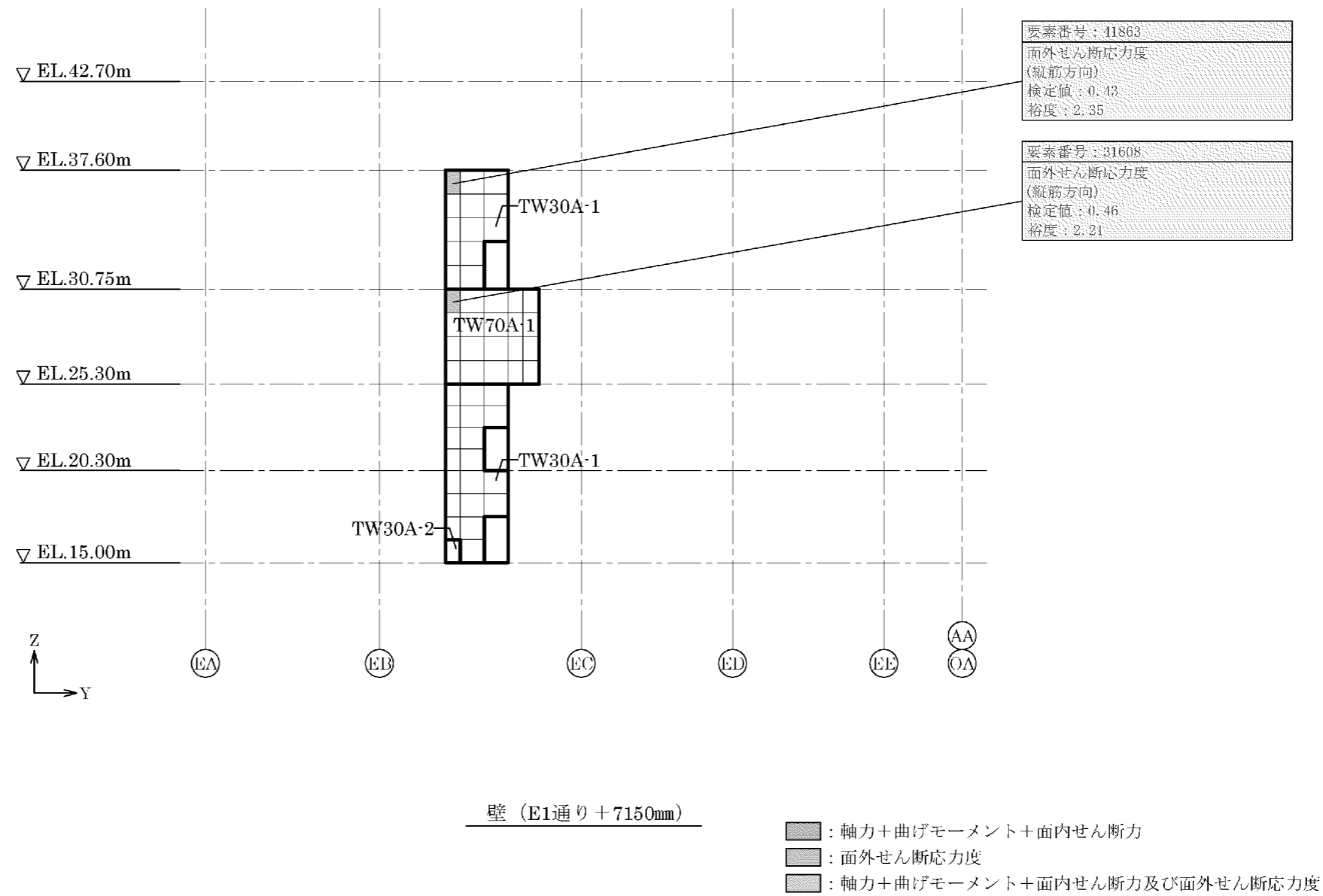
第 2-2 図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(10/21)



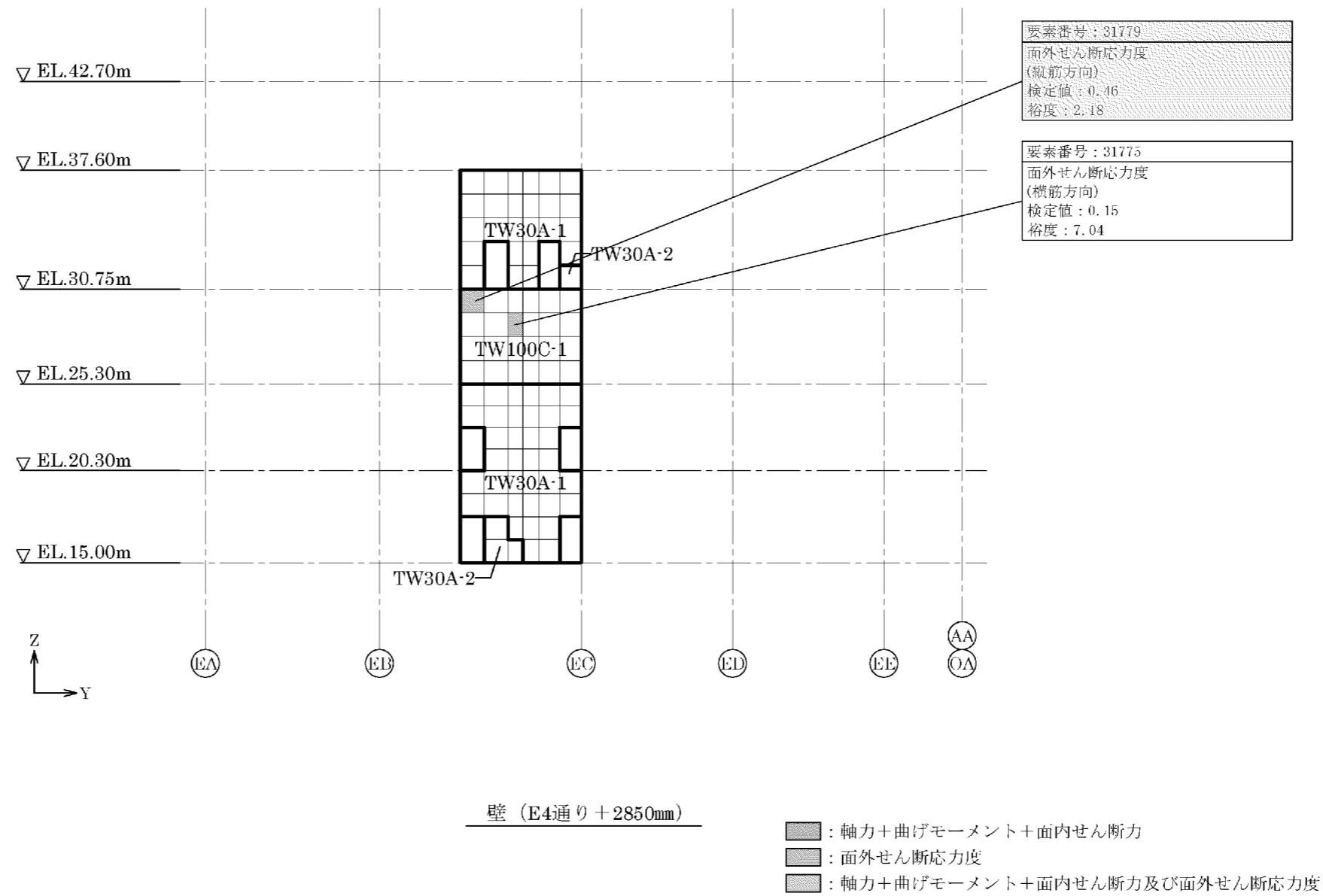
第 2-2 図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(11/21)



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(12/21)

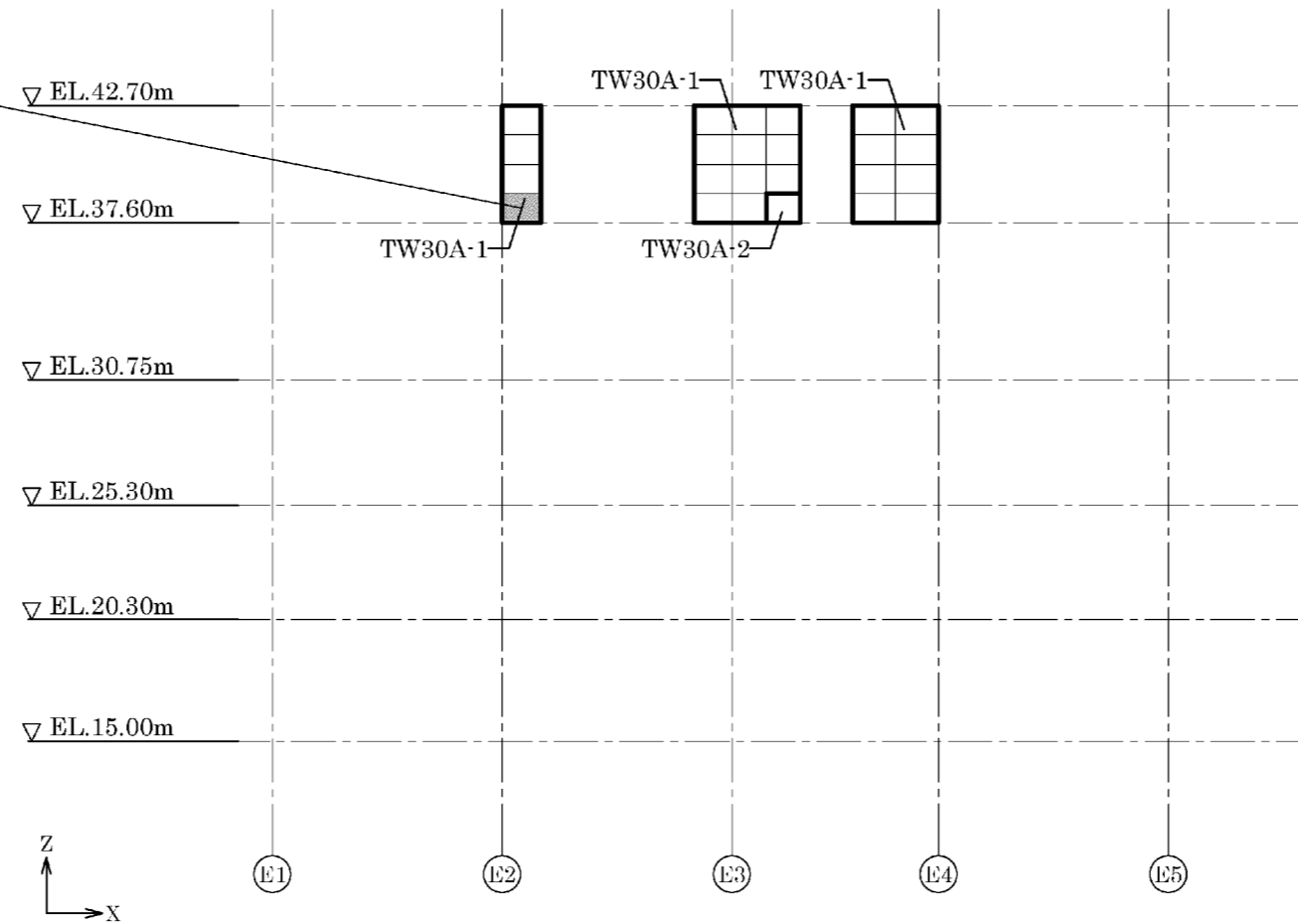


第 2-2 図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(13/21)



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(14/21)

要素番号：51053  
 軸力+曲げモーメント+面内せん断力  
 (縦筋方向)  
 検定値：0.65  
 裕度：1.55

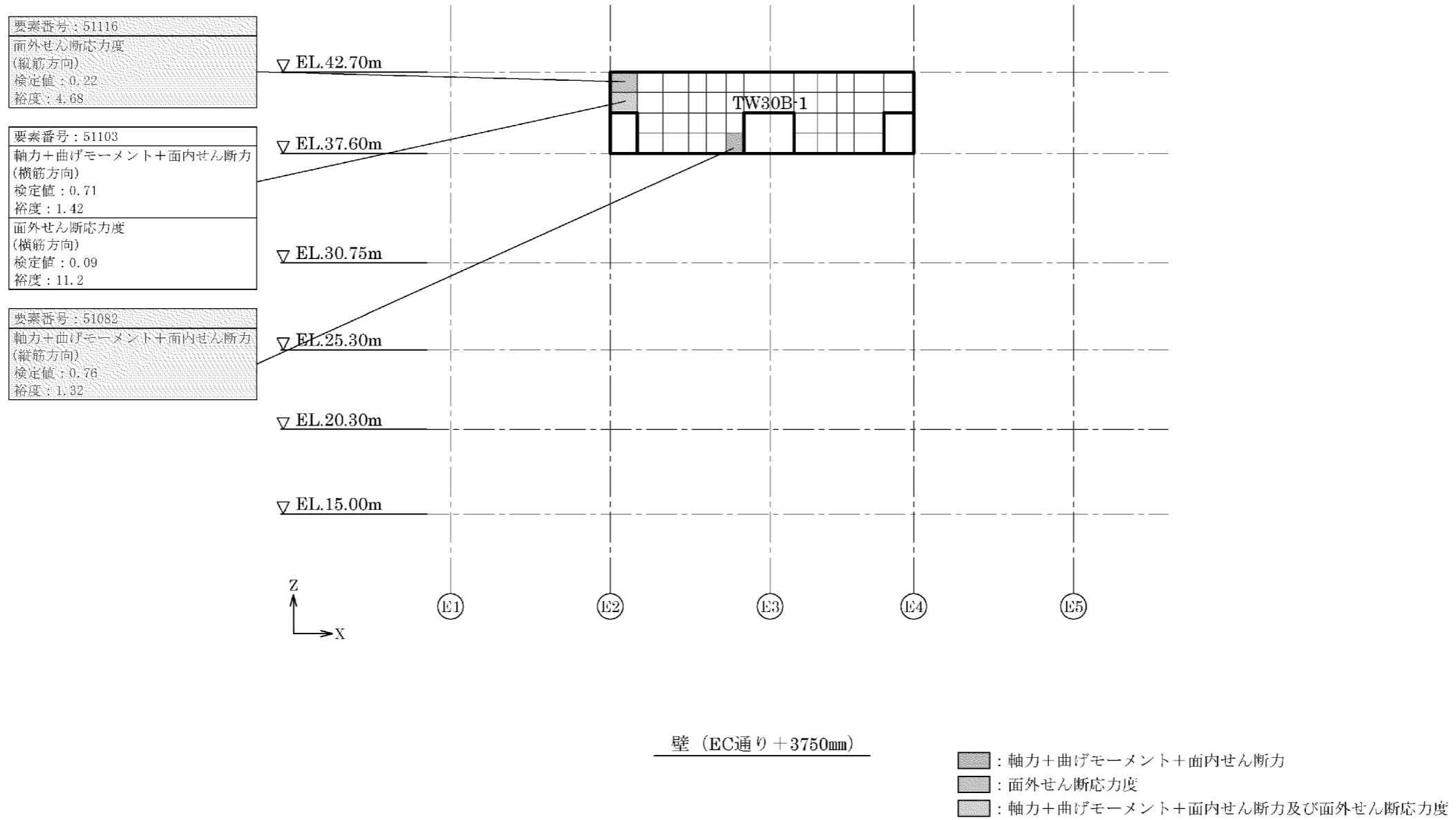


壁 (EC通り+2150mm)

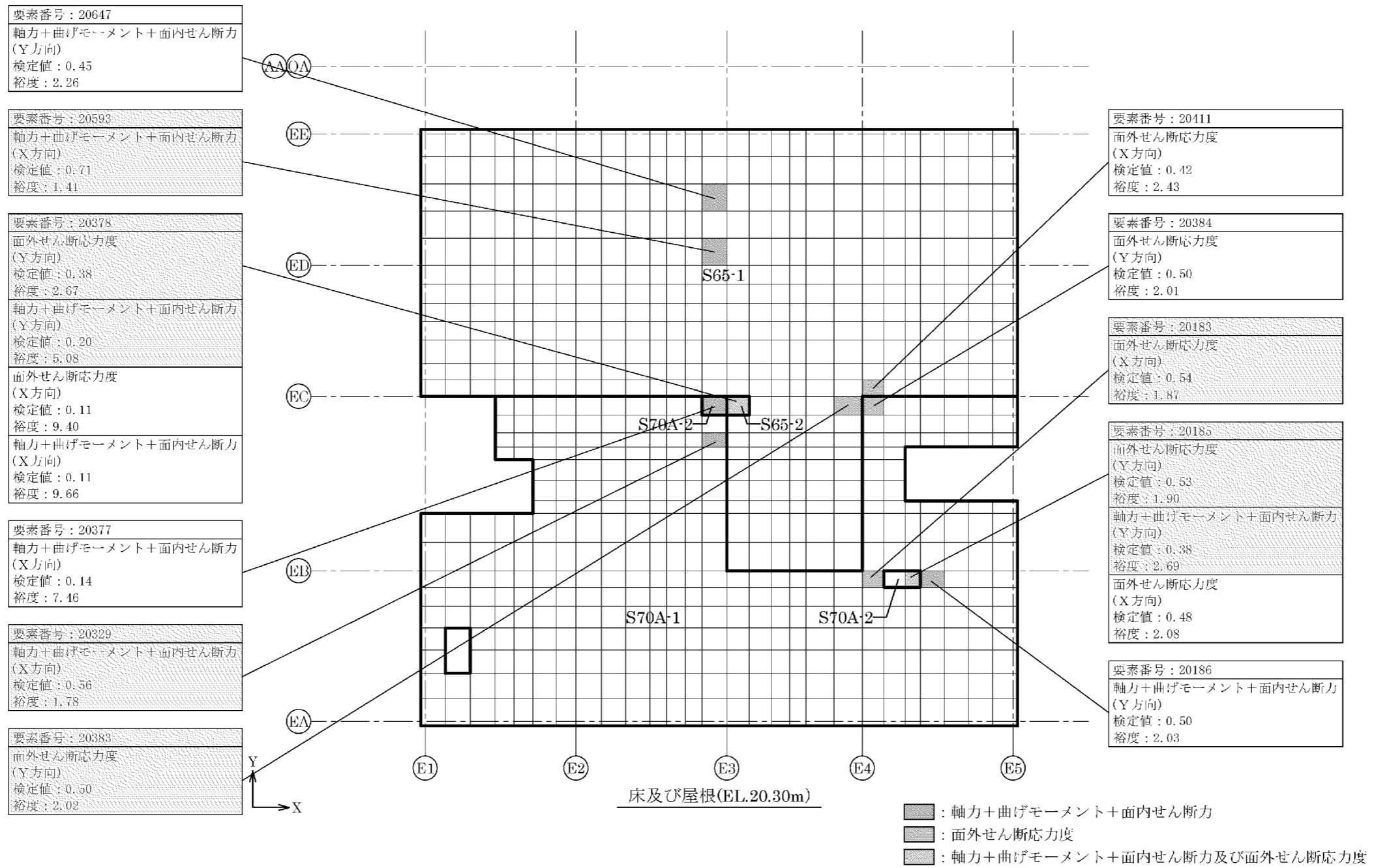
- : 軸力+曲げモーメント+面内せん断力
- : 面外せん断応力度
- : 軸力+曲げモーメント+面内せん断力及び面外せん断応力度

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(15/21)

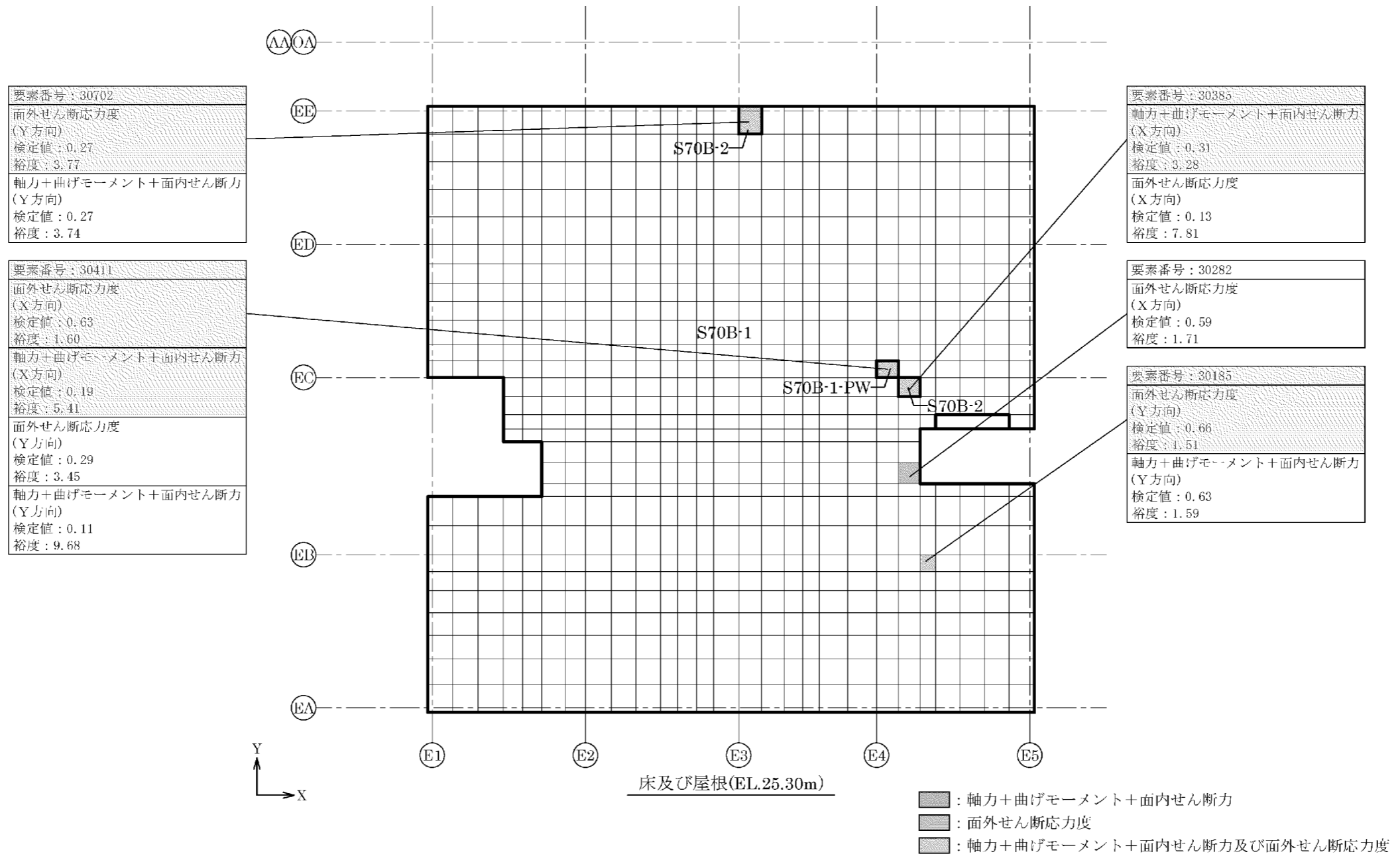




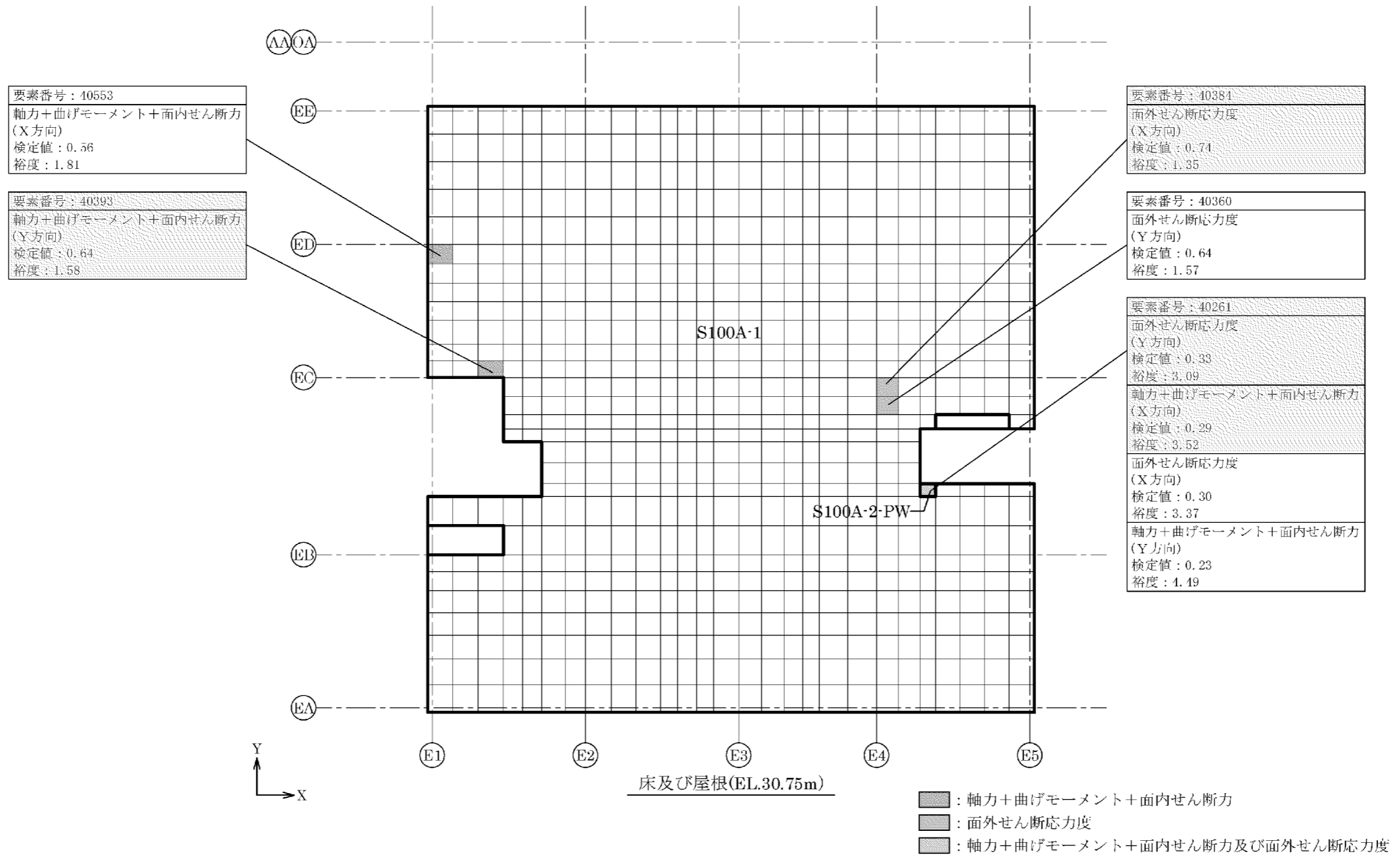
第 2-2 図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(16/21)



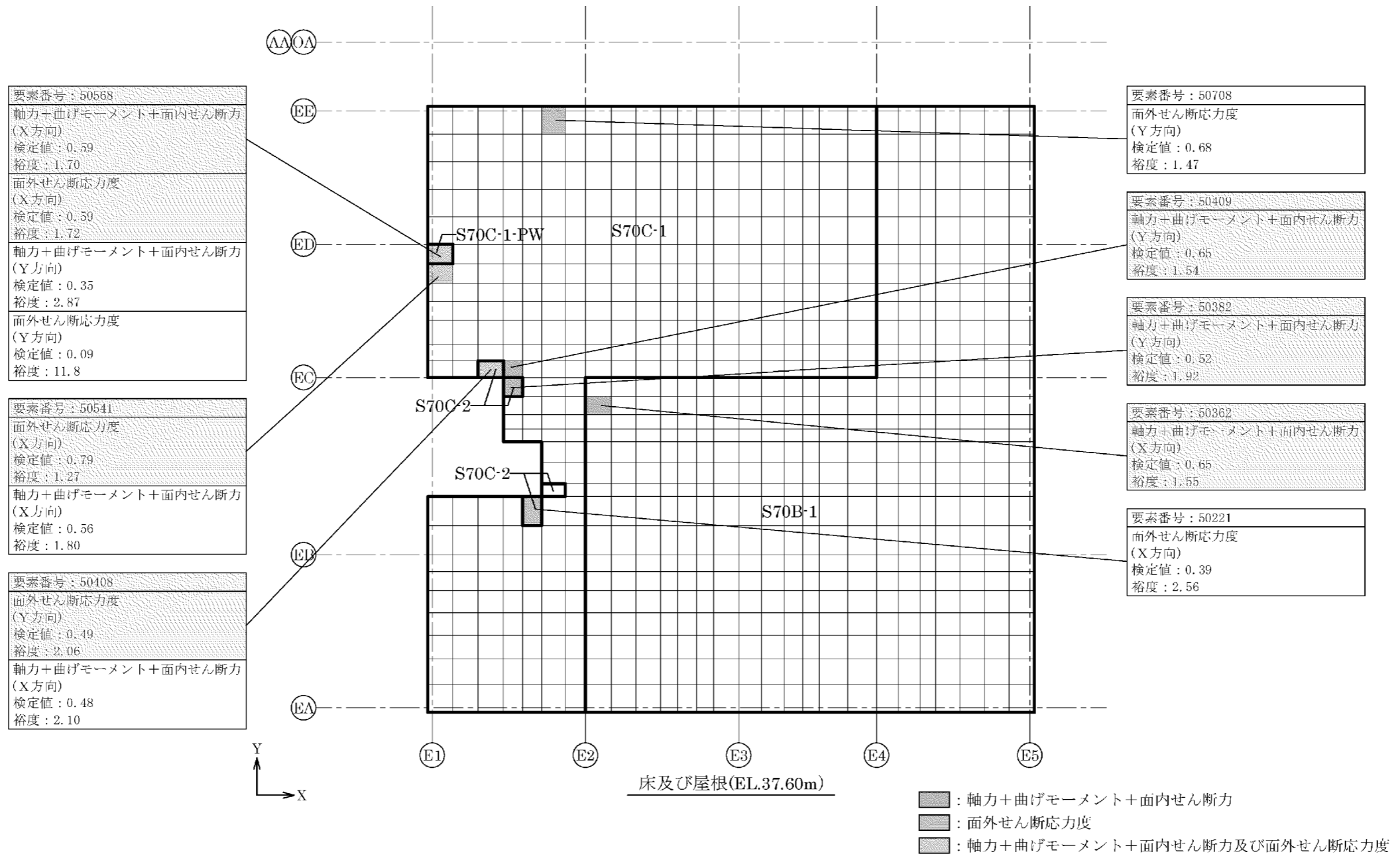
第 2-2 図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(17/21)



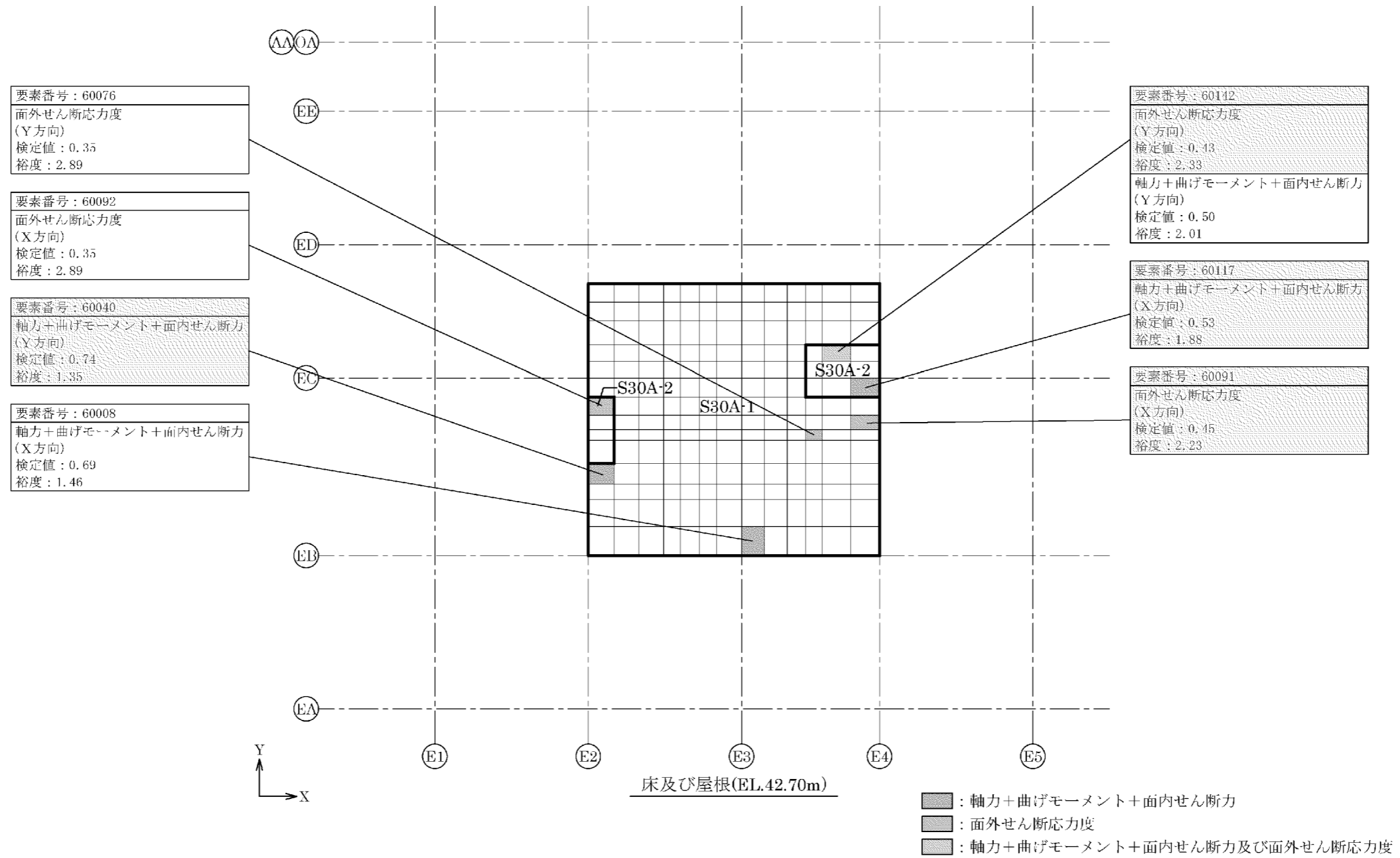
第 2-2 図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(18/21)



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(19/21)



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(20/21)



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(21/21)

3. 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎の断面の評価対象部位の選定

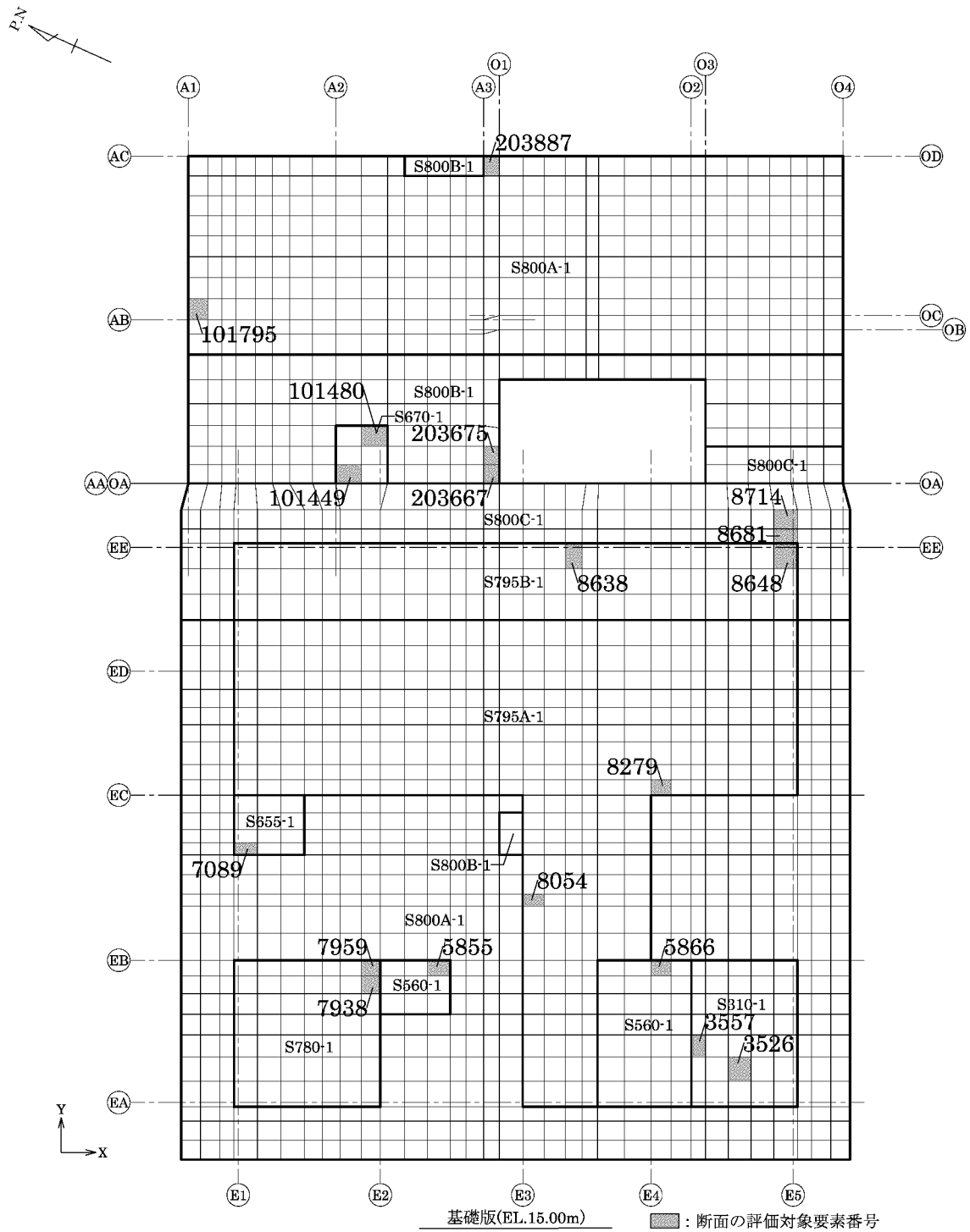
緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎の荷重の組合せケースを第 3-1 表、分類領域及び断面の評価対象要素番号を第 3-1 図、分類領域ごとの配筋を第 3-2 表に示す。

各評価項目の検定値一覧を第 3-3 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 3-2 図に示す。

第3-1表 荷重の組合せケース

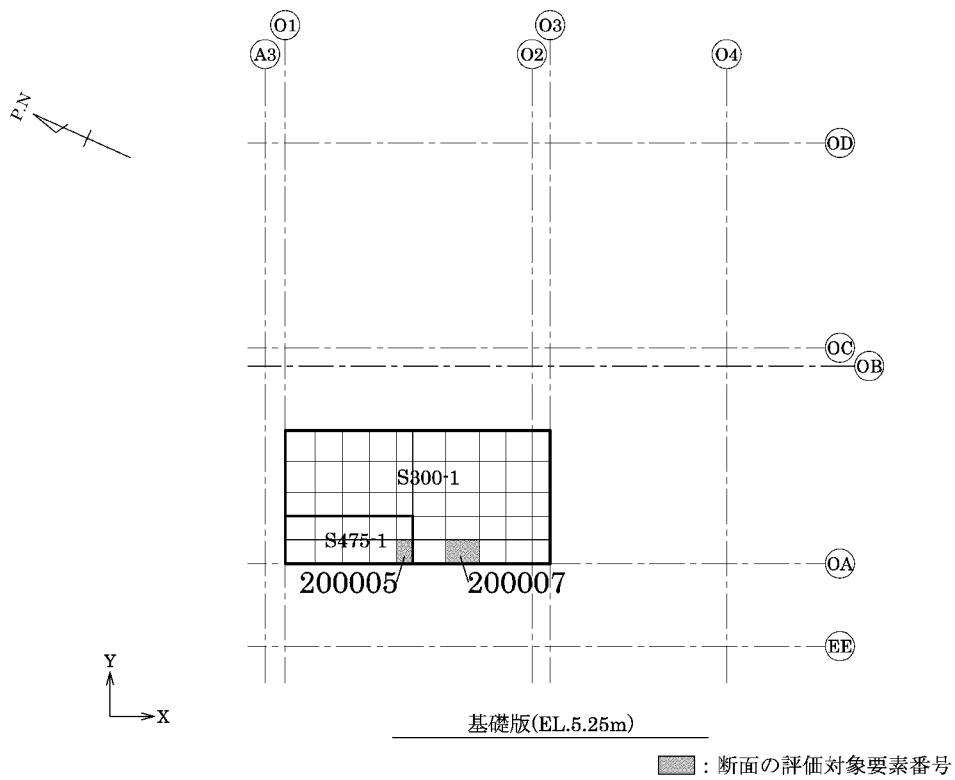
	ケース No.	荷重の組合せケース
Ss 地震時	1	$D+L+E_0+1.0K_{SX}+0.4K_{SUD}+1.0E_{SX}$
	2	$D+L+E_0+1.0K_{SX}-0.4K_{SUD}+1.0E_{SX}$
	3	$D+L+E_0-1.0K_{SX}+0.4K_{SUD}+1.0E_{SX}$
	4	$D+L+E_0-1.0K_{SX}-0.4K_{SUD}+1.0E_{SX}$
	5	$D+L+E_0+1.0K_{SY}+0.4K_{SUD}+1.0E_{SY}$
	6	$D+L+E_0+1.0K_{SY}-0.4K_{SUD}+1.0E_{SY}$
	7	$D+L+E_0-1.0K_{SY}+0.4K_{SUD}+1.0E_{SY}$
	8	$D+L+E_0-1.0K_{SY}-0.4K_{SUD}+1.0E_{SY}$
	9	$D+L+E_0+0.4K_{SX}+1.0K_{SUD}+0.4E_{SX}$
	10	$D+L+E_0+0.4K_{SX}-1.0K_{SUD}+0.4E_{SX}$
	11	$D+L+E_0-0.4K_{SX}+1.0K_{SUD}+0.4E_{SX}$
	12	$D+L+E_0-0.4K_{SX}-1.0K_{SUD}+0.4E_{SX}$
	13	$D+L+E_0+0.4K_{SY}+1.0K_{SUD}+0.4E_{SY}$
	14	$D+L+E_0+0.4K_{SY}-1.0K_{SUD}+0.4E_{SY}$
	15	$D+L+E_0-0.4K_{SY}+1.0K_{SUD}+0.4E_{SY}$
	16	$D+L+E_0-0.4K_{SY}-1.0K_{SUD}+0.4E_{SY}$
常時	17	$D+L+E_0$





(a) EL.15.00m

第 3-1 図 断面の評価対象要素番号(1/2)



(b) EL.5.25m


第 3-1 図 断面の評価対象要素番号(2/2)

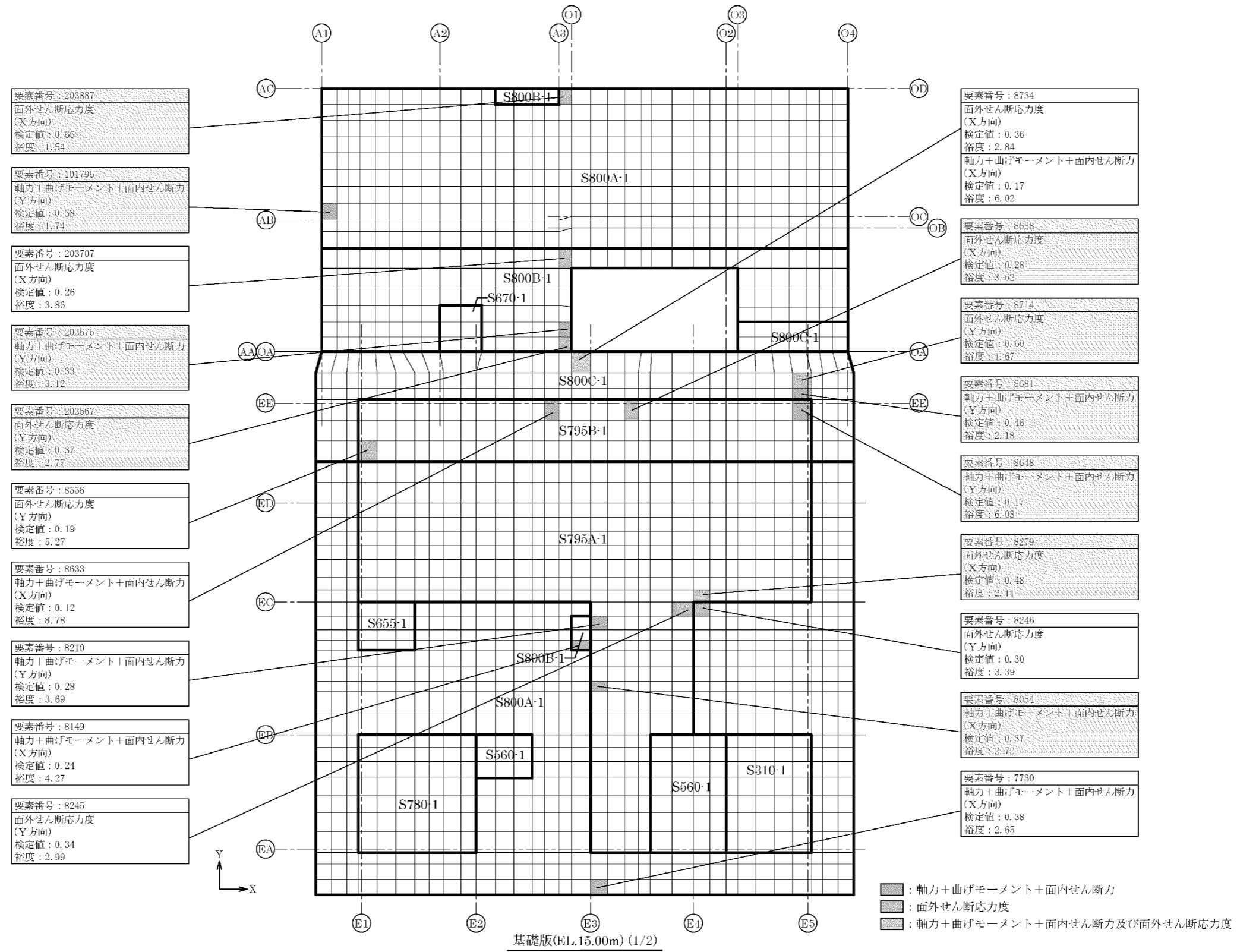
第3-2表 分類領域ごとの配筋

領域	厚さ (mm)	主筋 (SD345)			鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断 補強筋
		位置	方向			
S800A-1	8,000	上端、 下端共	X	2段 D38@200	11,400	—
			Y	2段 D38@200	11,400	
S800B-1	8,000	上端、 下端共	X	3段 D38@200	17,100	—
			Y	3段 D38@200	17,100	
S800C-1	8,000	上端、 下端共	X	4段 D38@200	22,800	—
			Y	6段 D38@200	34,200	
S795A-1	7,950	上端、 下端共	X	2段 D38@200	11,400	—
			Y	2段 D38@200	11,400	
S795B-1	7,950	上端、 下端共	X	4段 D38@200	22,800	—
			Y	6段 D38@200	34,200	
S780-1	7,800	上端、 下端共	X	2段 D38@200	11,400	—
			Y	2段 D38@200	11,400	
S670-1	6,700	上端、 下端共	X	3段 D38@200	17,100	—
			Y	3段 D38@200	17,100	
S655-1	6,550	上端、 下端共	X	2段 D38@200	11,400	—
			Y	2段 D38@200	11,400	
S560-1	5,600	上端、 下端共	X	2段 D38@200	11,400	—
			Y	2段 D38@200	11,400	
S475-1	4,750	上端、 下端共	X	2段 D38@200	11,400	—
			Y	2段 D38@200	11,400	
S310-1	3,100	上端、 下端共	X	2段 D38@200	11,400	—
			Y	2段 D38@200	11,400	
S300-1	3,000	上端、 下端共	X	2段 D38@200	11,400	—
			Y	2段 D38@200	11,400	

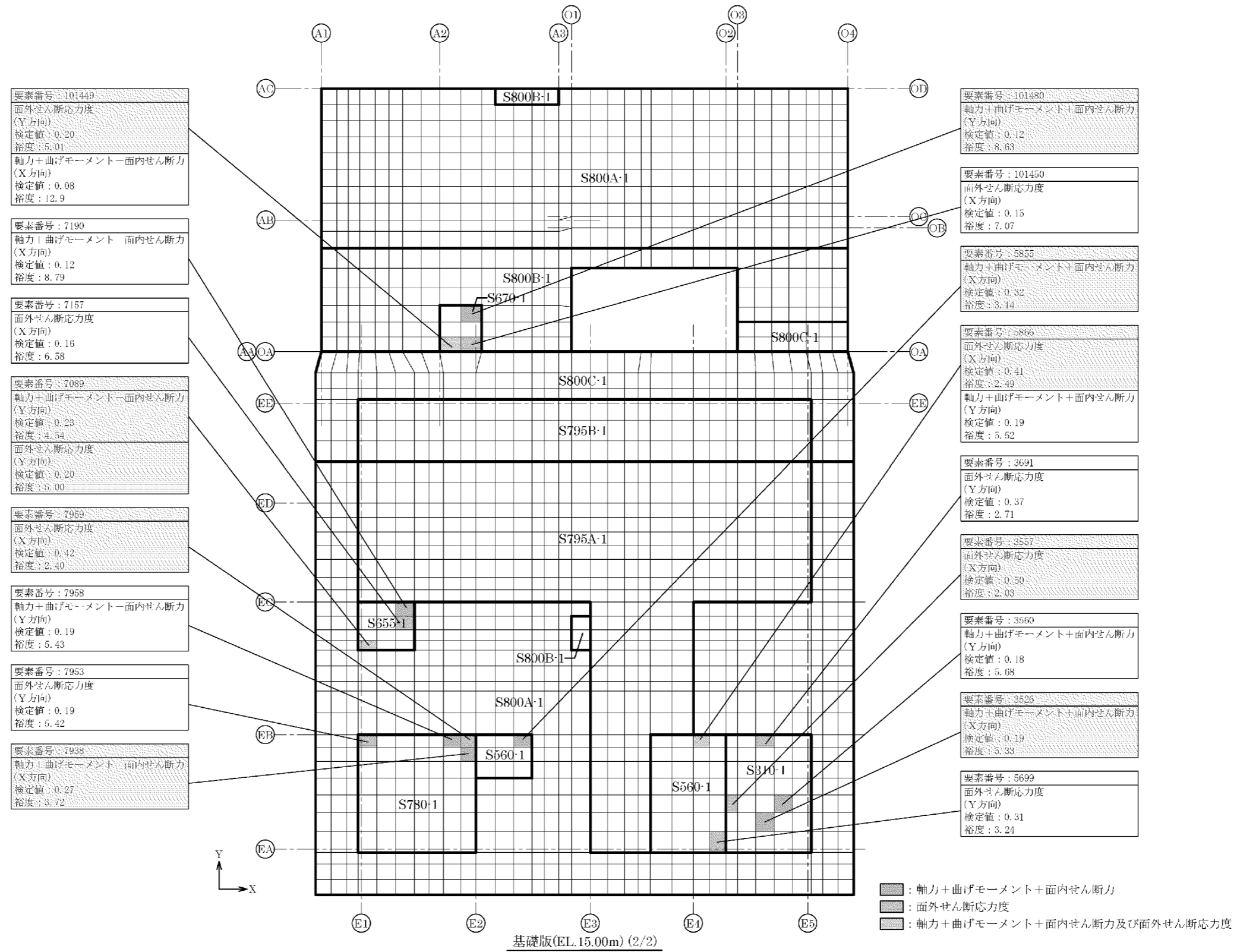
第3-3表 各評価項目の検定値一覧

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					
	X方向			Y方向			X方向			Y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.
S800A-1	7730	0.38	6	101795	0.58	2	203887	0.65	1	8246	0.30	8
S800B-1	8149	0.24	5	203675	0.33	1	203707	0.26	3	203667	0.37	5
S800C-1	8734	0.17	7	8681	0.46	7	8734	0.36	1	8714	0.60	5
S795A-1	8054	0.37	5	8210	0.28	8	8279	0.48	1	8245	0.34	8
S795B-1	8633	0.12	7	8648	0.17	8	8638	0.28	1	8556	0.19	5
S780-1	7938	0.27	5	7958	0.19	1	7959	0.42	3	7953	0.19	8
S670-1	101449	0.08	1	101480	0.12	1	101450	0.15	3	101449	0.20	5
S655-1	7190	0.12	1	7089	0.23	2	7157	0.16	3	7089	0.20	6
S560-1	5855	0.32	5	5866	0.19	3	5866	0.41	1	5699	0.31	8
S475-1	200005	0.14	5	200005	0.22	7	200005	0.19	4	200005	0.35	5
S310-1	3526	0.19	8	3560	0.18	2	3557	0.50	1	3691	0.37	8
S300-1	200006	0.21	5	200007	0.21	7	200031	0.22	2	200007	0.47	5

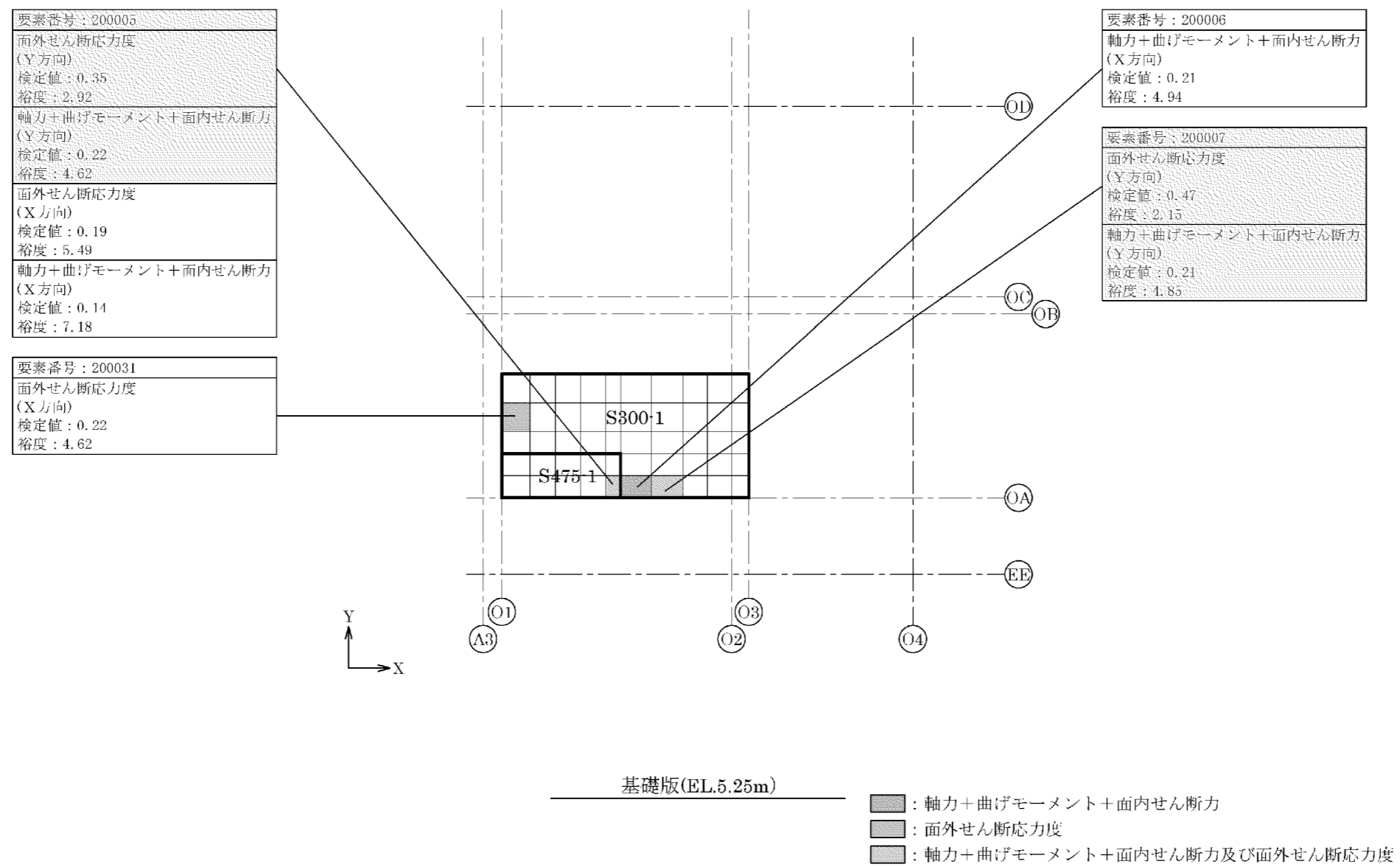
(注)  は、断面の評価対象部位を示す。



第 3-2 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3-2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 3-2 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)

4. 燃料設備棟の断面の評価対象部位の選定

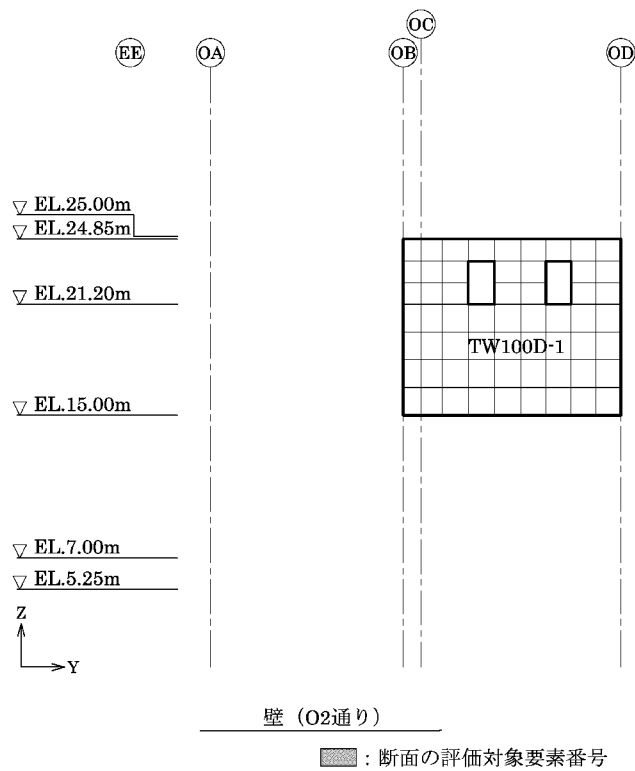
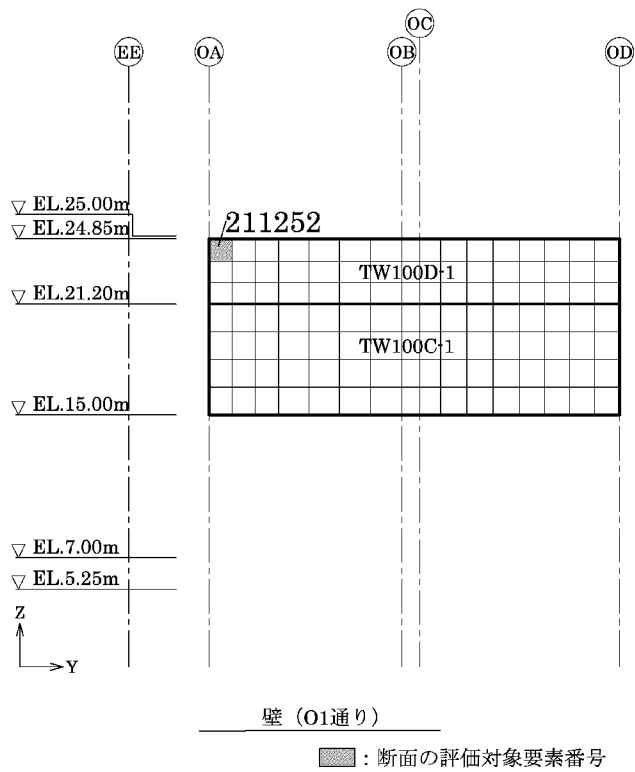
燃料設備棟の荷重の組合せケースを第 4-1 表、分類領域及び断面の評価対象要素番号を第 4-1 図、分類領域ごとの配筋を第 4-2 表に示す。

各評価項目の検定値一覧を第 4-3 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 4-2 図に示す。

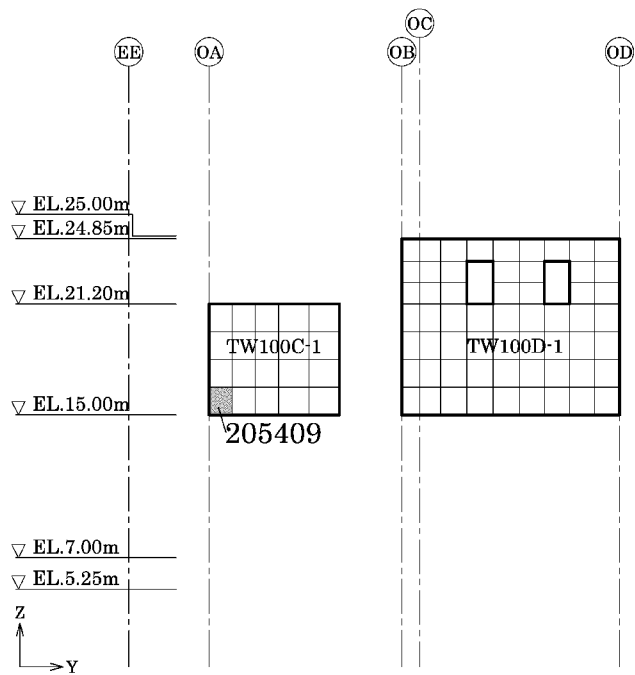
第 4-1 表 荷重の組合せケース

	ケース No.	荷重の組合せケース
Ss 地震時	1	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	2	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	3	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	4	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	5	$D + L + E_0 + 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	6	$D + L + E_0 + 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	7	$D + L + E_0 - 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	8	$D + L + E_0 - 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	9	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	10	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	11	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	12	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	13	$D + L + E_0 + 0.4K_{SY} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
	14	$D + L + E_0 + 0.4K_{SY} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
	15	$D + L + E_0 - 0.4K_{SY} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
	16	$D + L + E_0 - 0.4K_{SY} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
常時	17	$D + L + E_0$



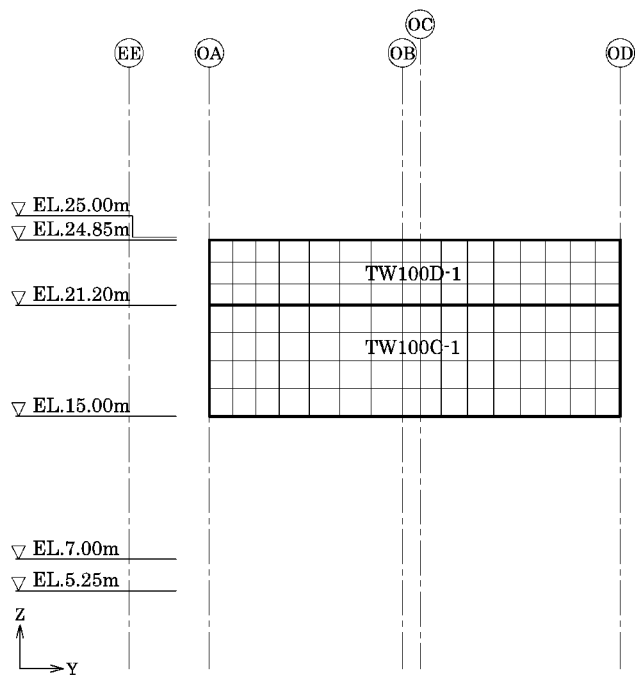


第 4-1 図 断面の評価対象要素番号(1/8)



壁 (O3通り)

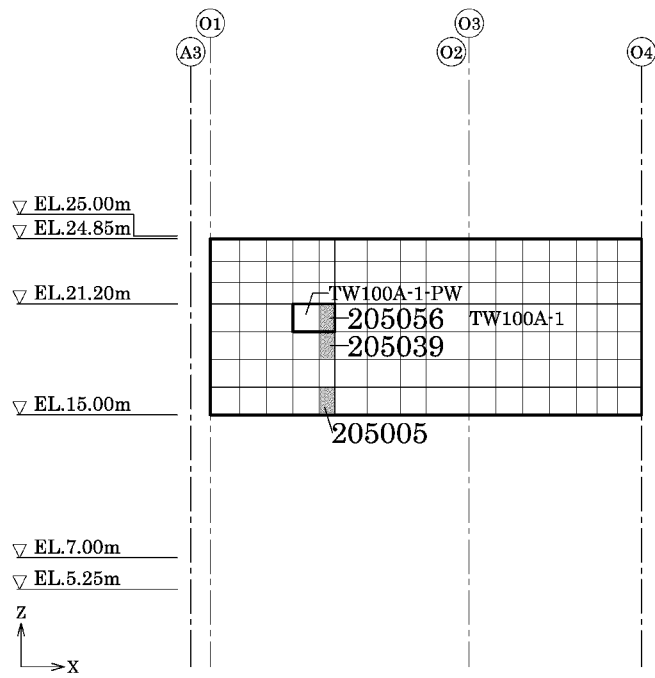
■ : 断面の評価対象要素番号



壁 (O4通り)

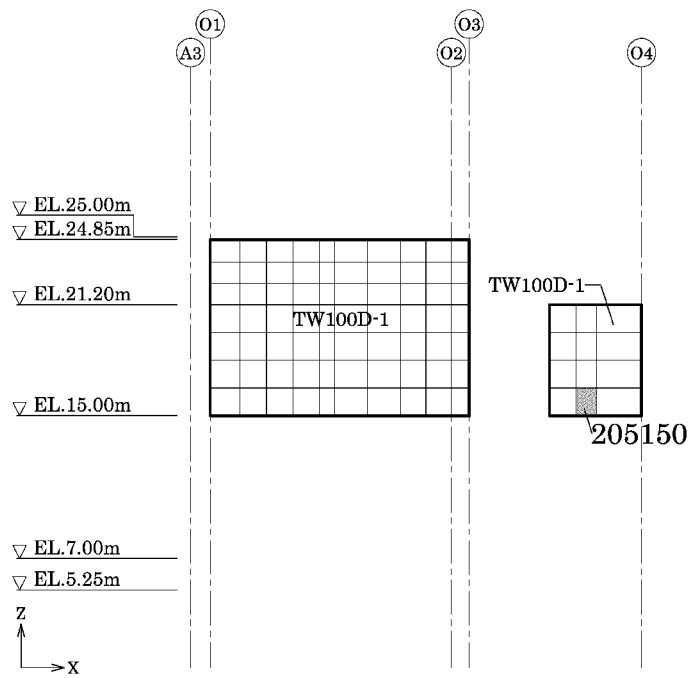
■ : 断面の評価対象要素番号

第 4-1 図 断面の評価対象要素番号(2/8)



壁 (OA通り)

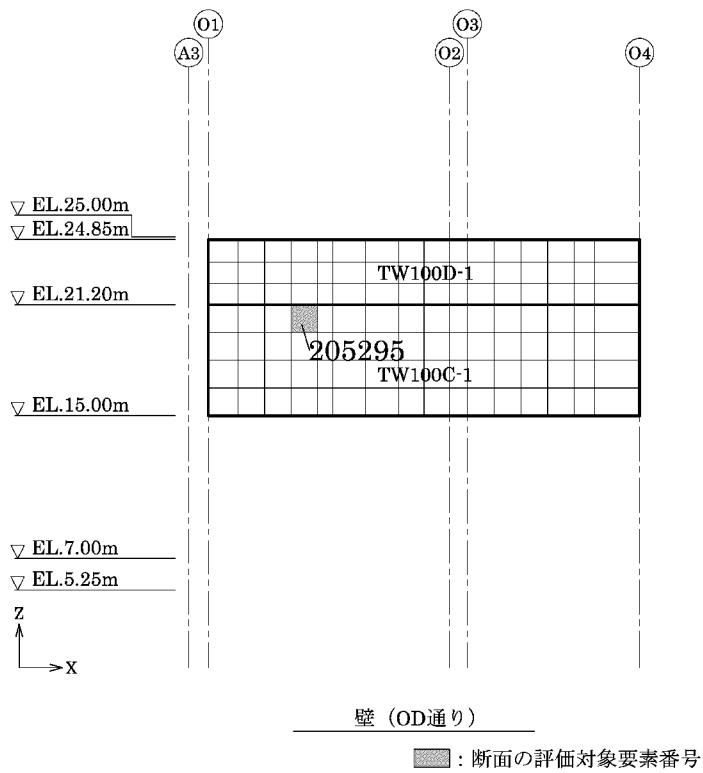
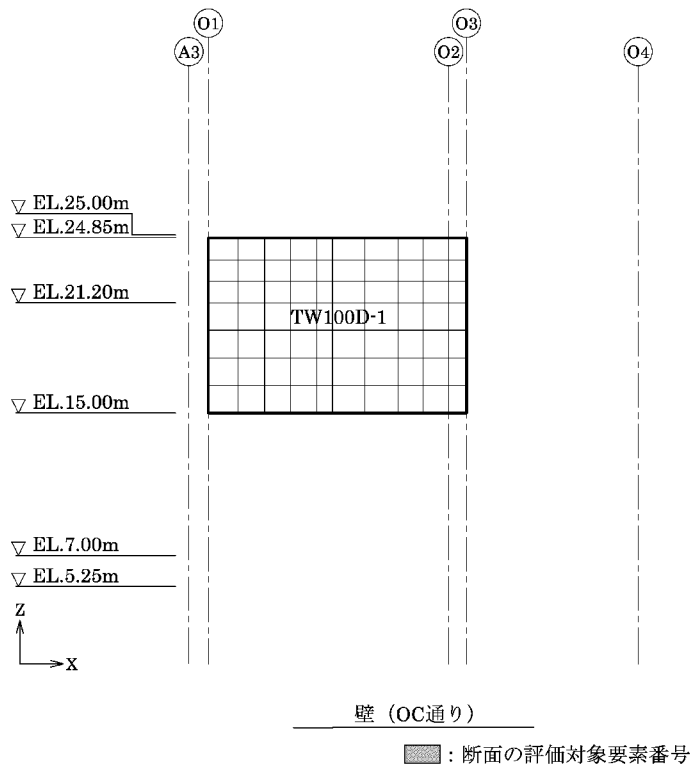
■ : 断面の評価対象要素番号



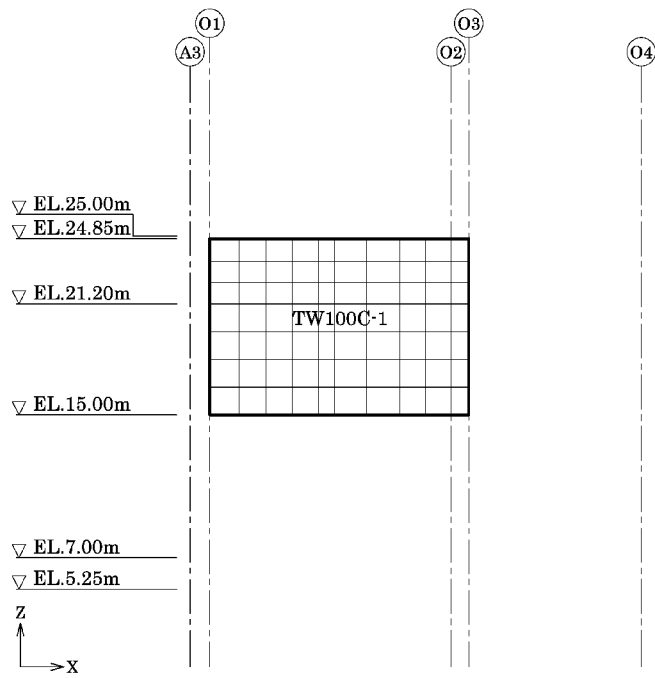
壁 (OB通り)

■ : 断面の評価対象要素番号

第 4-1 図 断面の評価対象要素番号(3/8)

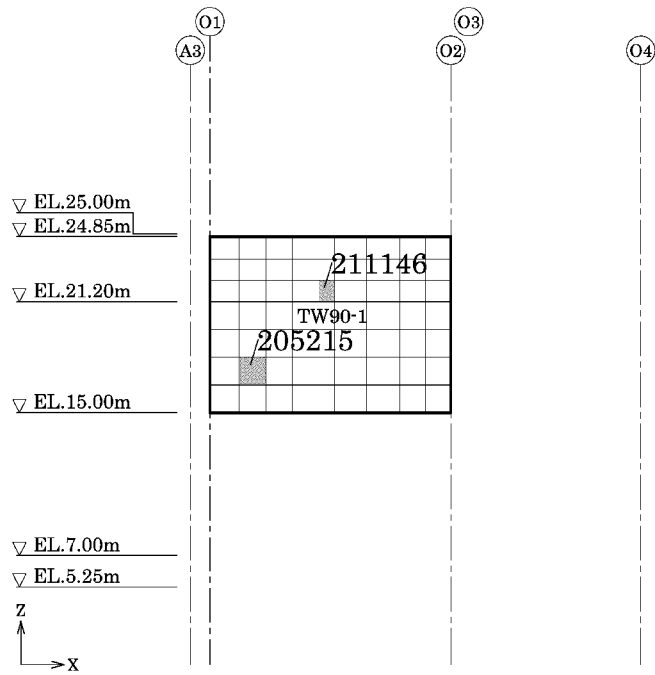


第 4-1 図 断面の評価対象要素番号(4/8)



壁 (OA通り+7300mm)

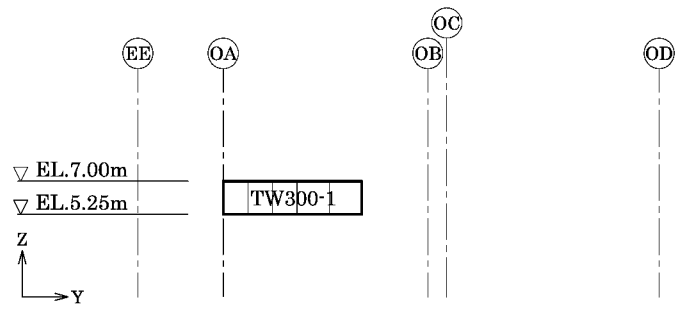
■ : 断面の評価対象要素番号



壁 (OC通り+5600mm)

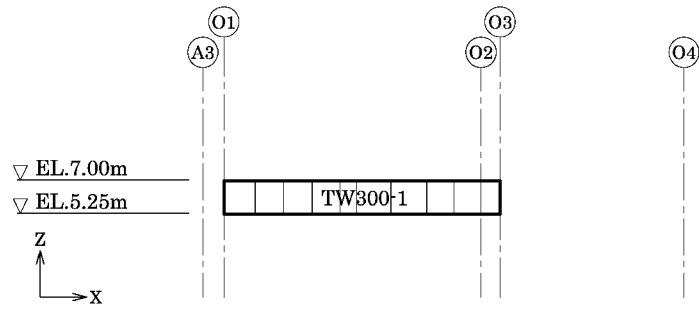
■ : 断面の評価対象要素番号

第 4-1 図 断面の評価対象要素番号(5/8)



壁 (O3通り)

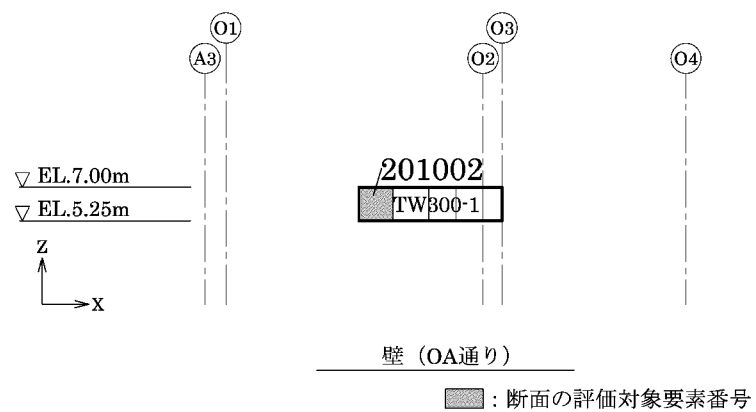
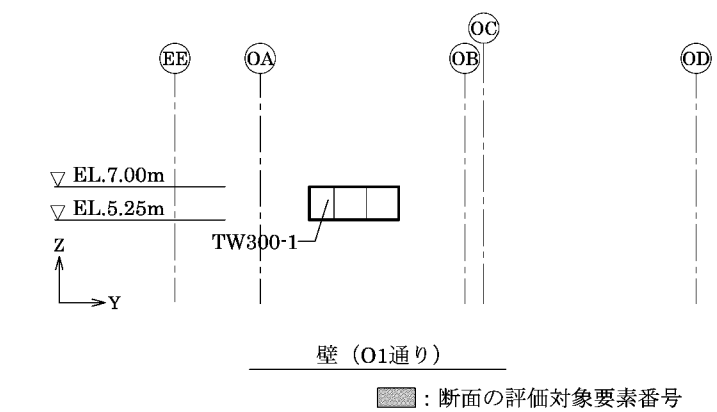
■ : 断面の評価対象要素番号



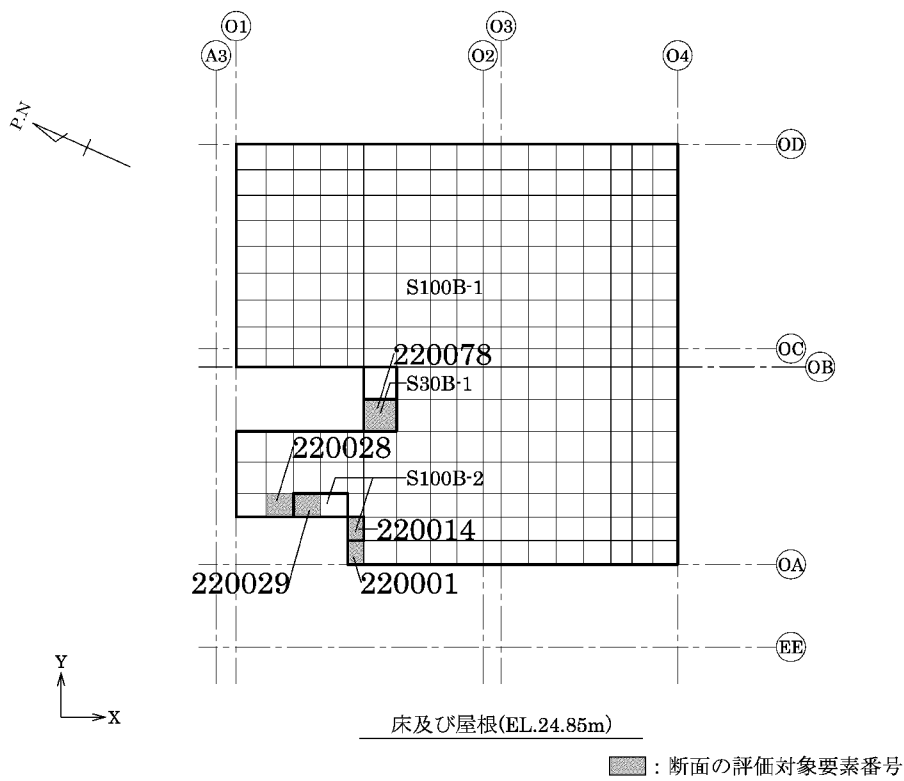
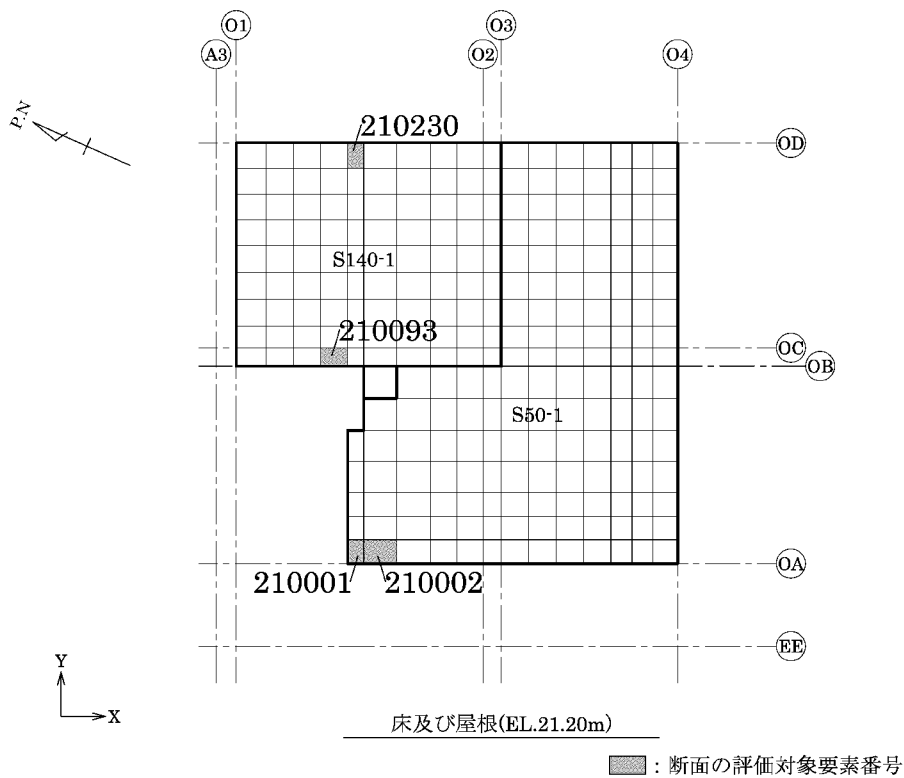
壁 (OA通り+730mm)

■ : 断面の評価対象要素番号

第 4-1 図 断面の評価対象要素番号(6/8)



第 4-1 図 断面の評価対象要素番号(7/8)



第4-1図 断面の評価対象要素番号(8/8)



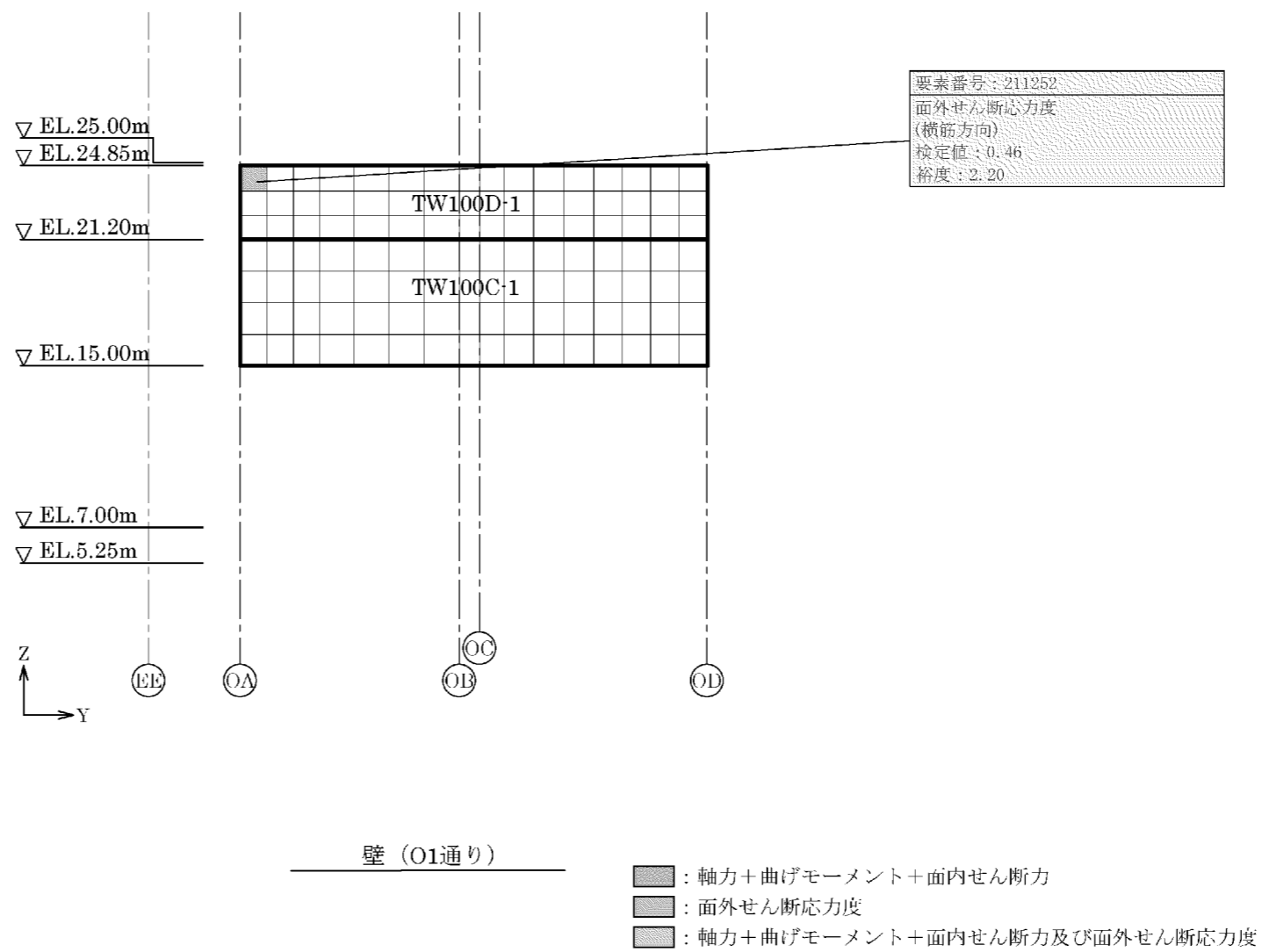
第4-2表 分類領域ごとの配筋

部位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD345)			鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断 補強筋
			位置	方向			
壁	TW300-1	3,000	両側共	縦筋	2段 D38@200	11,400	—
				横筋	2段 D38@200	11,400	
	TW100A-1	1,000	両側共	縦筋	1.5段 D38@200	8,550	—
				横筋	1.5段 D38@200	8,550	
	TW100A-1 -PW	1,000	両側共	縦筋	1.5段 D38@200	8,550	D19 @400×@200
				横筋	1.5段 D38@200	8,550	
	TW100C-1	1,000	両側共	縦筋	1段 D38@200	5,700	—
				横筋	1段 D38@200	5,700	
	TW100D-1	1,000	両側共	縦筋	1段 D35@200	4,785	—
				横筋	1段 D35@200	4,785	
	TW90-1	900	両側共	縦筋	1段 D32@200	3,970	—
				横筋	1段 D32@200	3,970	
床 ・ 屋根	S140-1	1,400	上端、 下端共	X	1段 D29@200	3,210	—
				Y	1段 D29@200	3,210	
	S100B-1	1,000	上端、 下端共	X	1段 D29@200	3,210	—
				Y	1段 D29@200	3,210	
	S100B-2	1,000	上端、 下端共	X	1段 D29@200+ 1段 D29@200	6,420	—
				Y	1段 D29@200+ 1段 D29@200	6,420	
	S50-1	500	上端、 下端共	X	1段 D25@200	2,535	—
				Y	1段 D25@200	2,535	
	S30B-1	300	上端、 下端共	X	1段 D16@200	995	—
				Y	1段 D16@200	995	

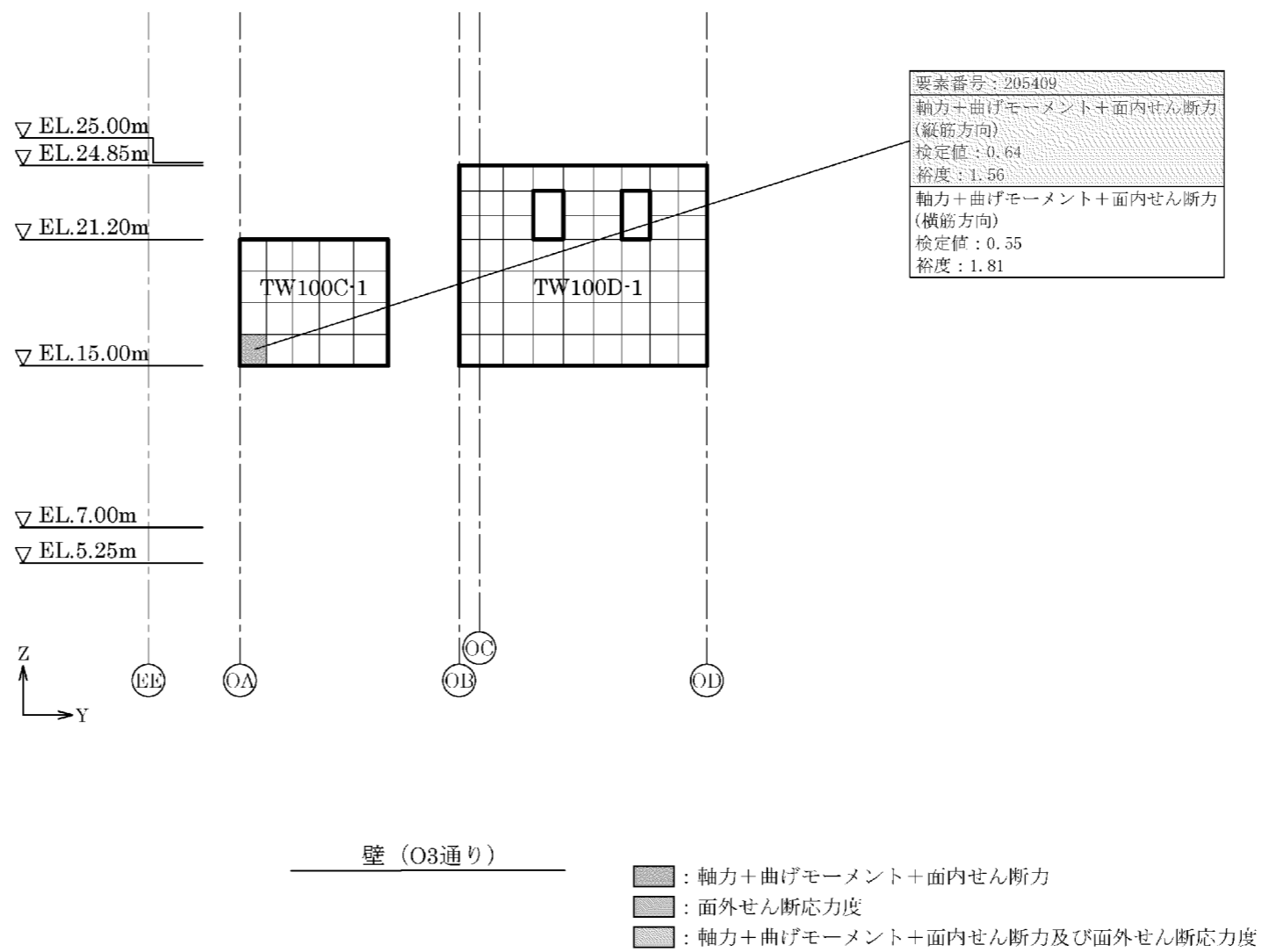
第4-3表 各評価項目の検定値一覧

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/X方向			縦筋方向/Y方向			横筋方向/X方向			縦筋方向/Y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	TW300-1	201024	0.25	7	201002	0.28	7	201016	0.19	5	201002	0.30	5
	TW100A-1	211037	0.42	8	205039	0.50	5	211038	0.62	5	205005	0.66	6
	TW100A-1-PW	205056	0.18	7	205056	0.23	5	205055	0.54	7	205056	0.82	7
	TW100C-1	205409	0.55	6	205409	0.64	6	205504	0.44	3	205295	0.56	5
	TW100D-1	205150	0.48	4	205150	0.48	4	211252	0.46	5	211360	0.32	2
	TW90-1	205215	0.52	3	205215	0.52	3	205232	0.05	7	211146	0.12	5
床 ・ 屋根	S140-1	210093	0.26	8	210141	0.16	3	210167	0.15	4	210230	0.16	6
	S100B-1	220028	0.59	8	220002	0.40	8	220077	0.25	2	220001	0.53	8
	S100B-2	220029	0.32	8	220014	0.15	4	220030	0.15	8	220014	0.36	8
	S50-1	210001	0.42	6	210001	0.42	6	210174	0.39	17	210002	0.39	8
	S30B-1	220078	0.17	3	220078	0.29	4	220078	0.03	5	220078	0.10	8

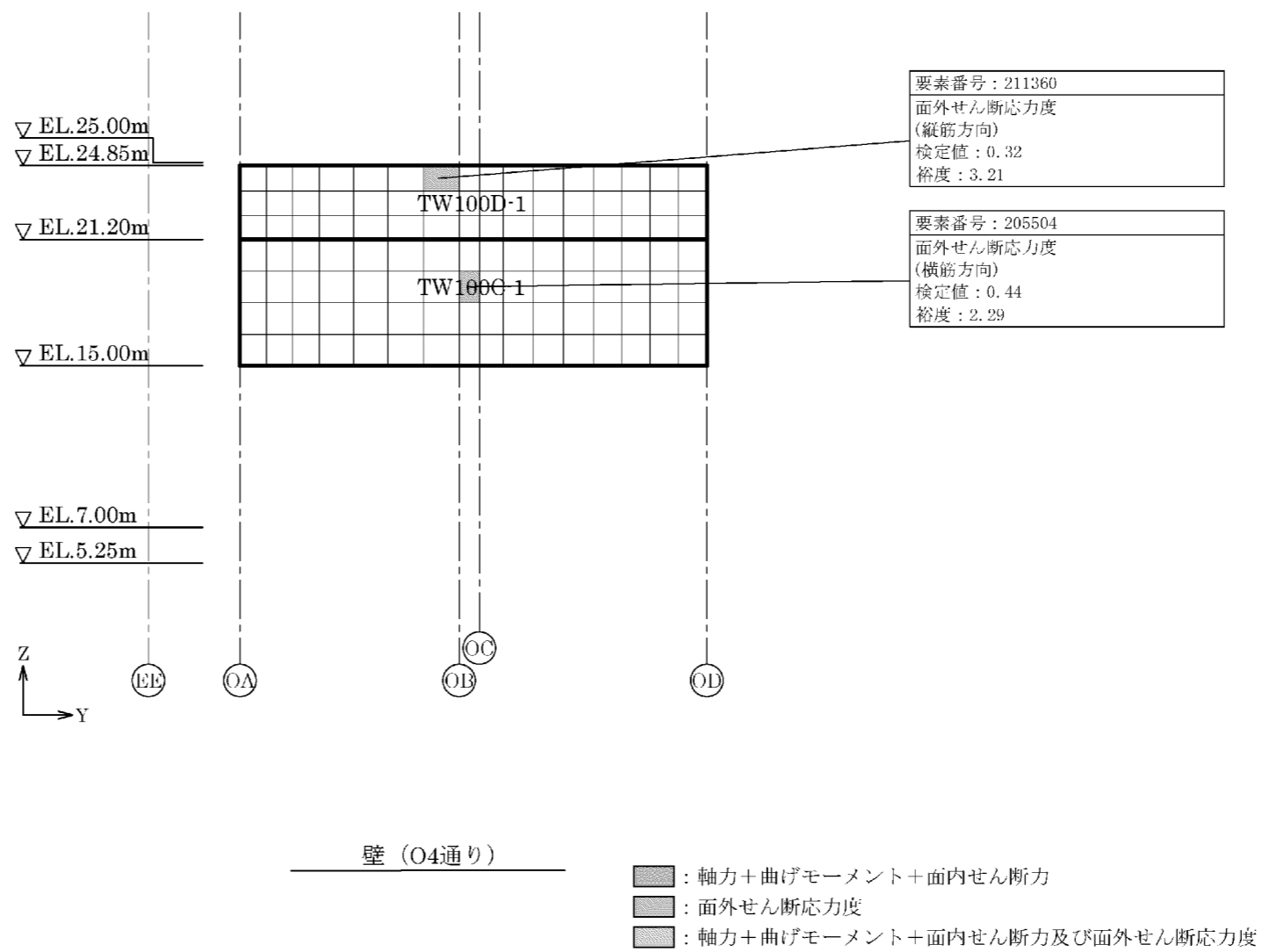
(注)  は、断面の評価対象部位を示す。



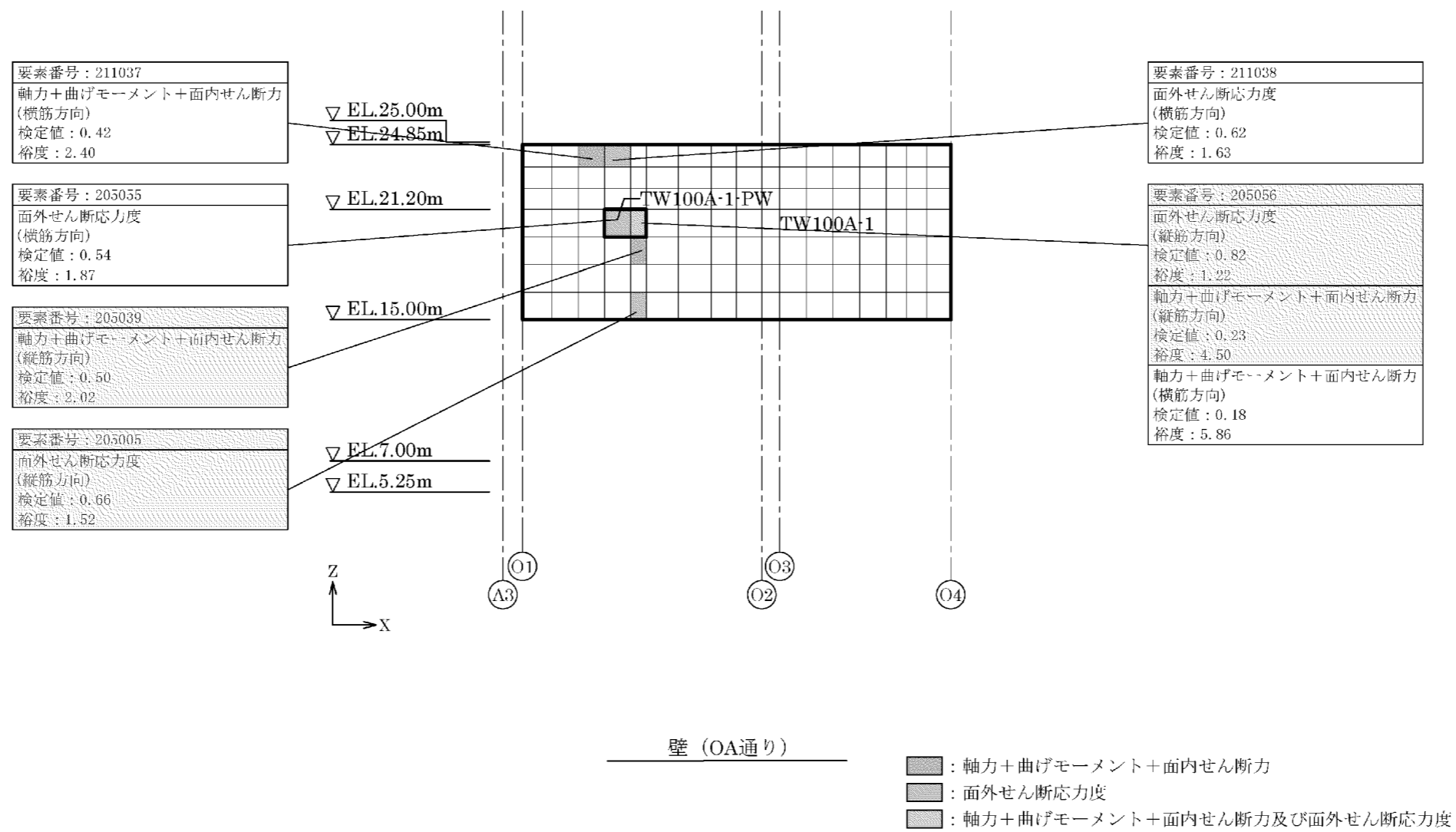
第4-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(1/12)



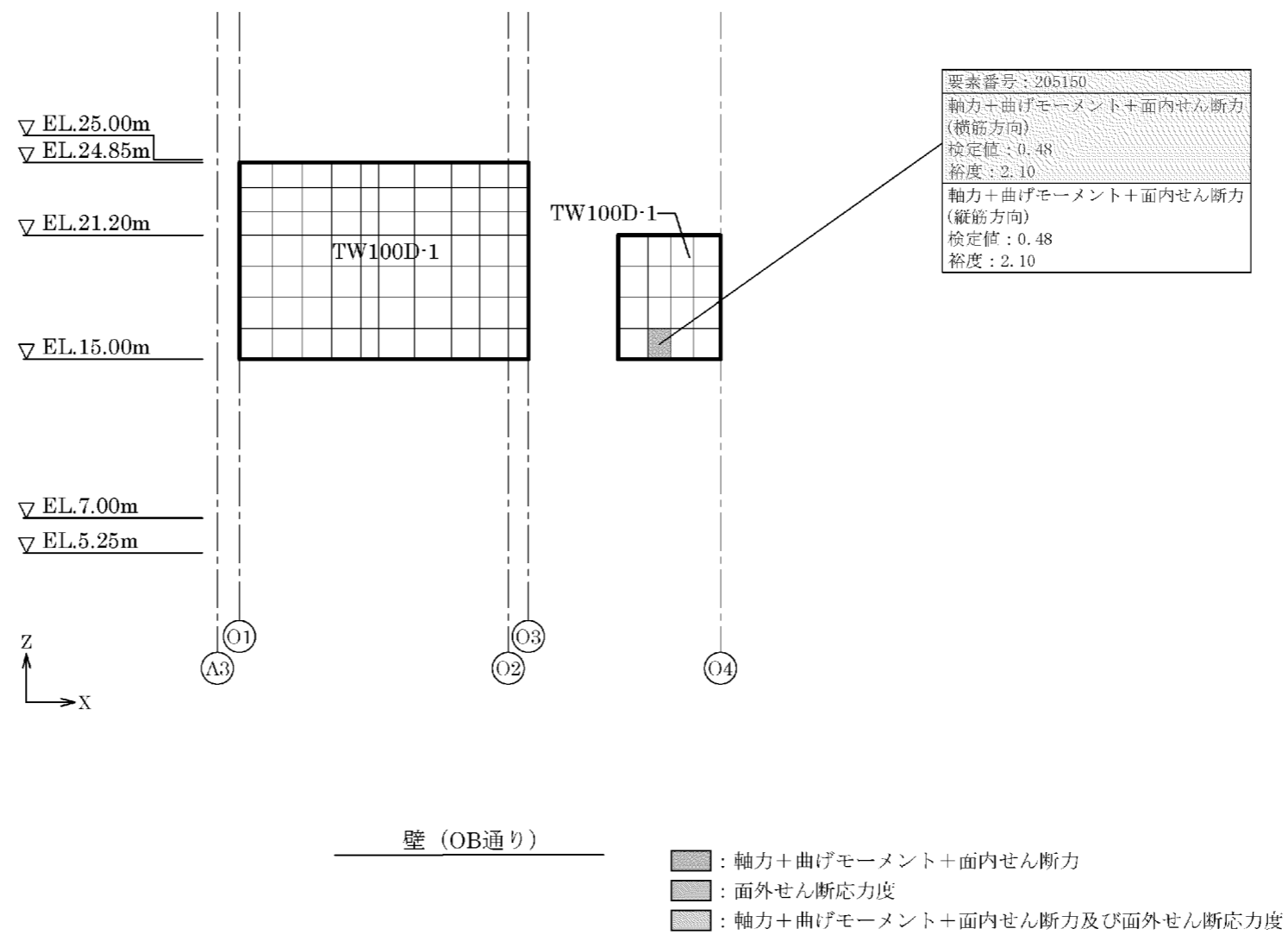
第4-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(2/12)



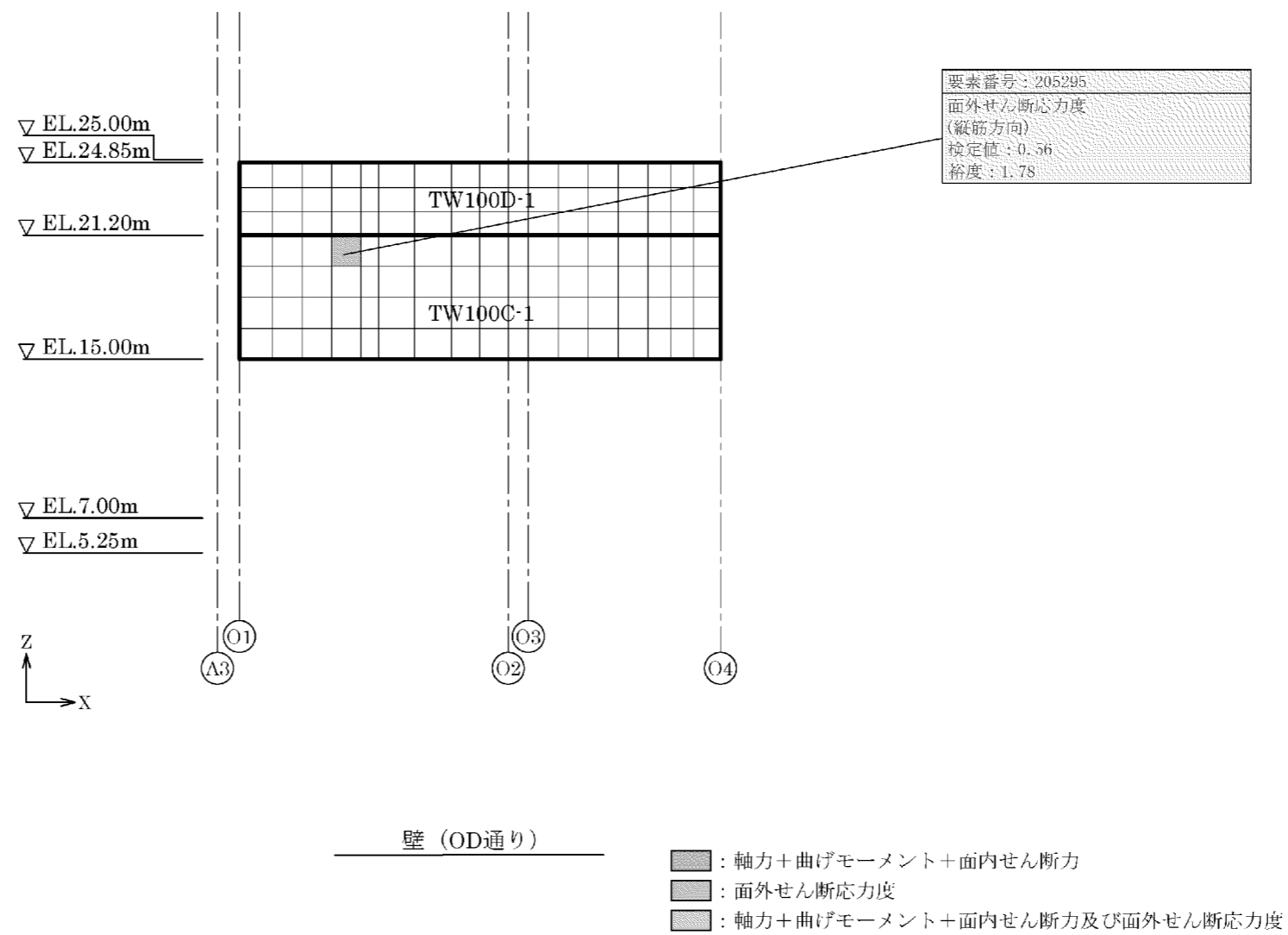
第4-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(3/12)



第4-2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(4/12)

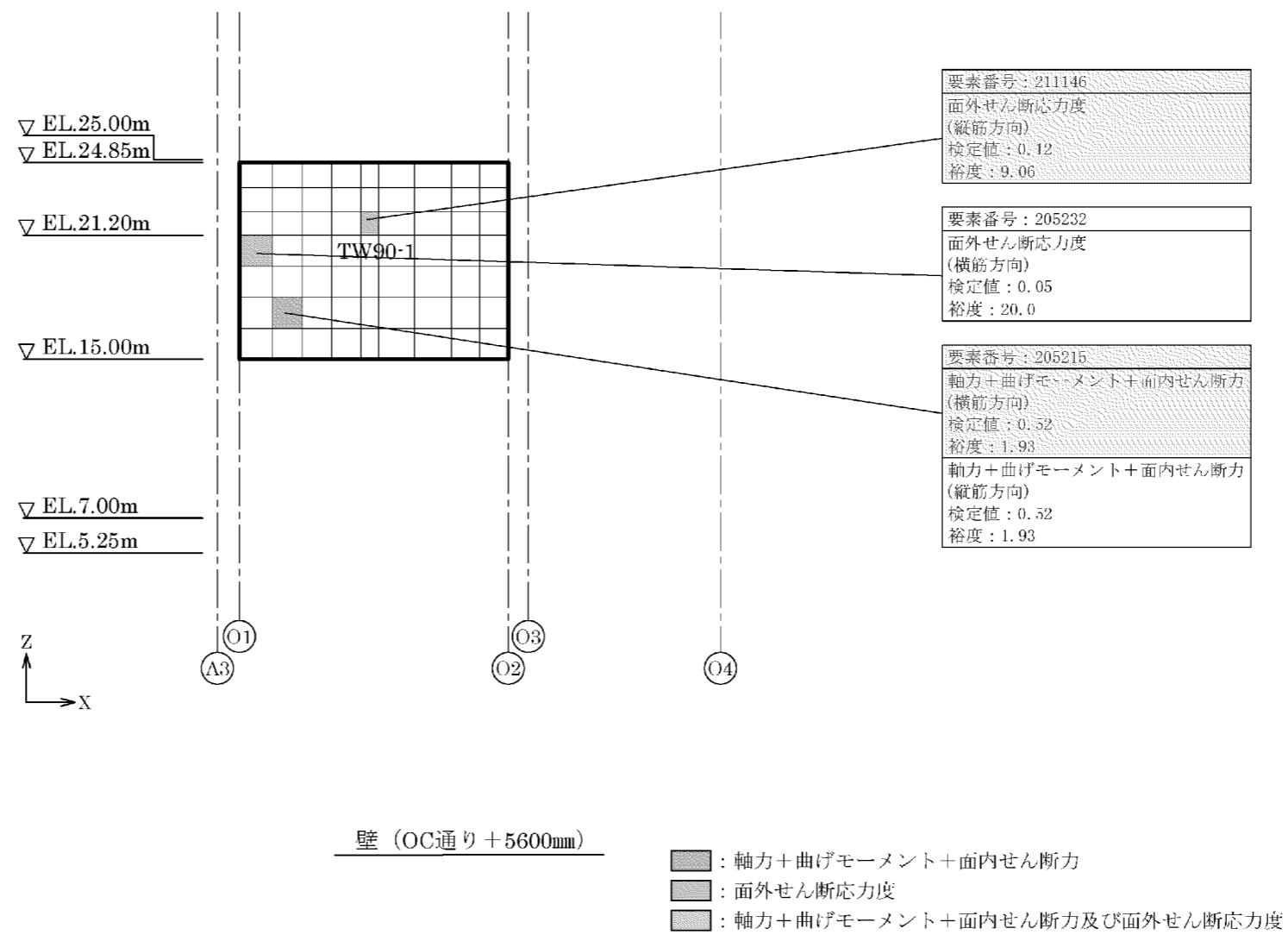


第4-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(5/12)

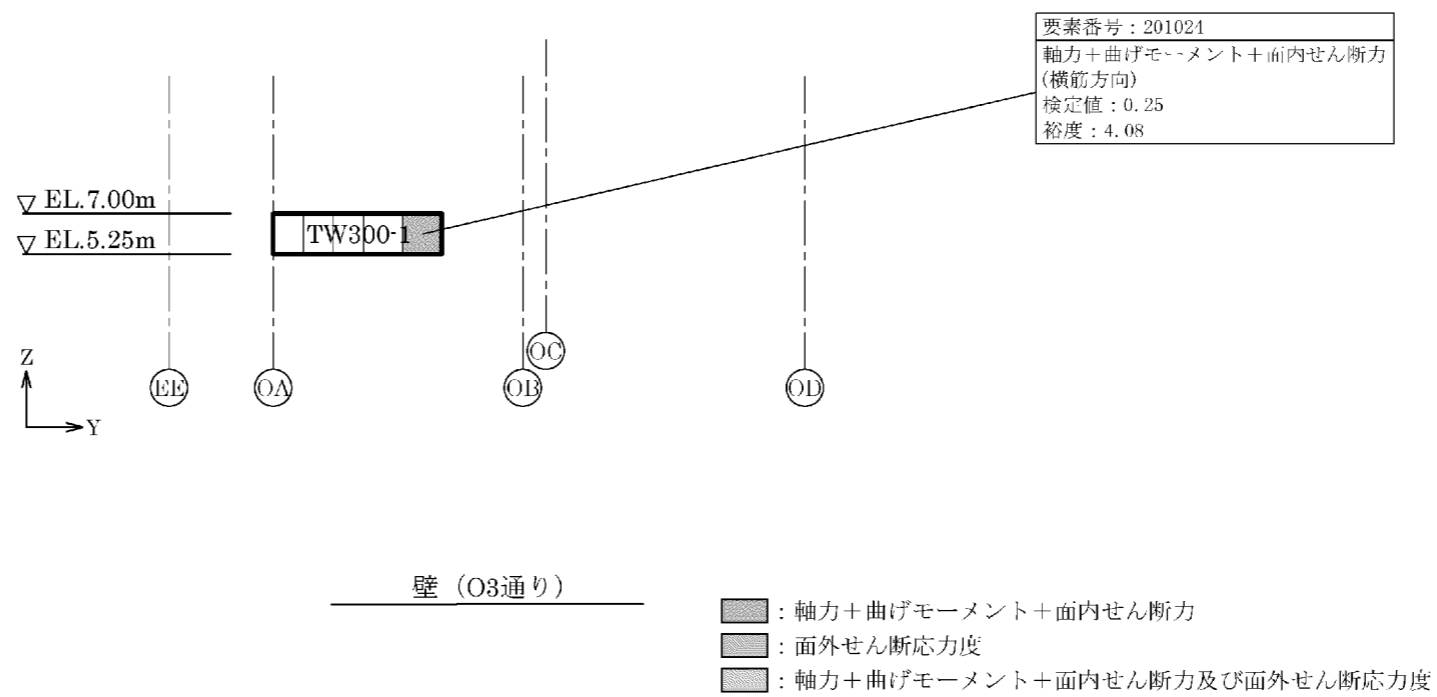


第4-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(6/12)

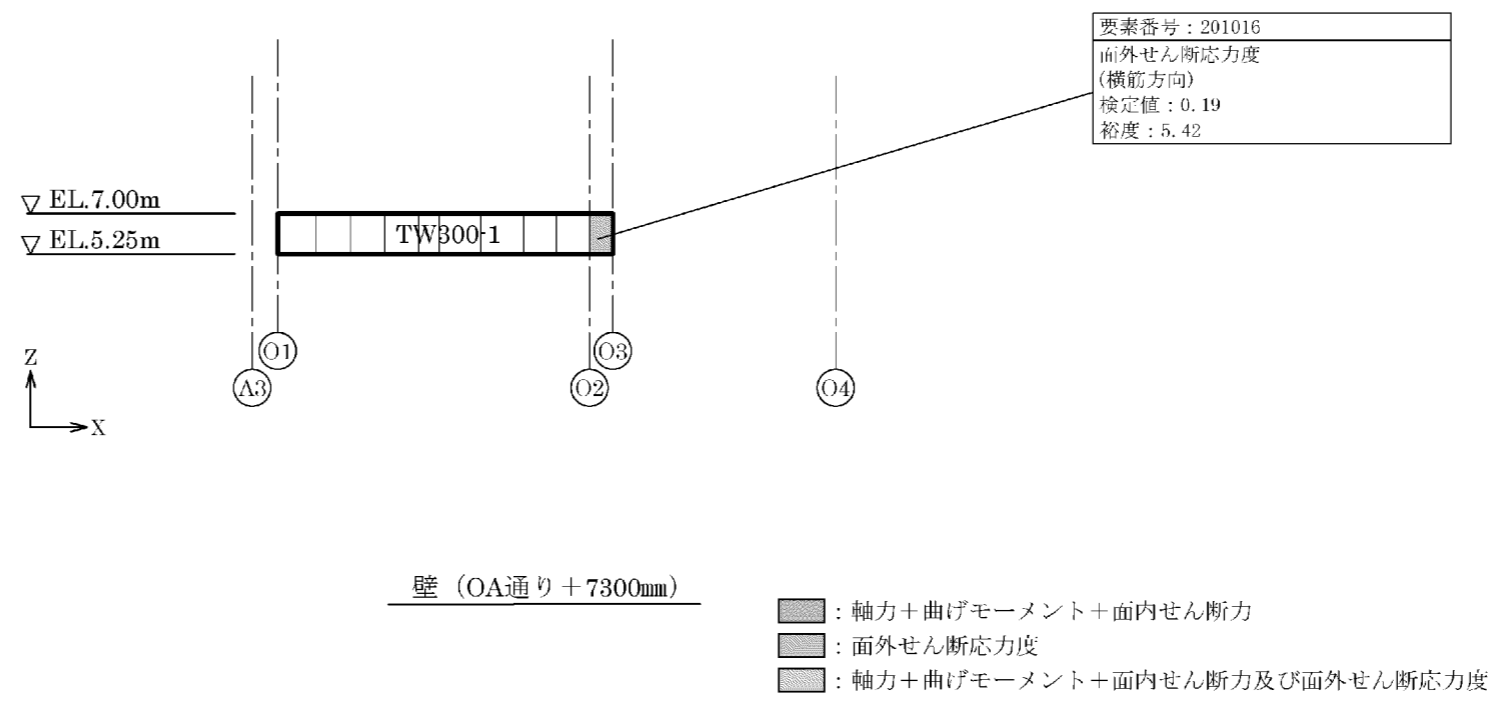




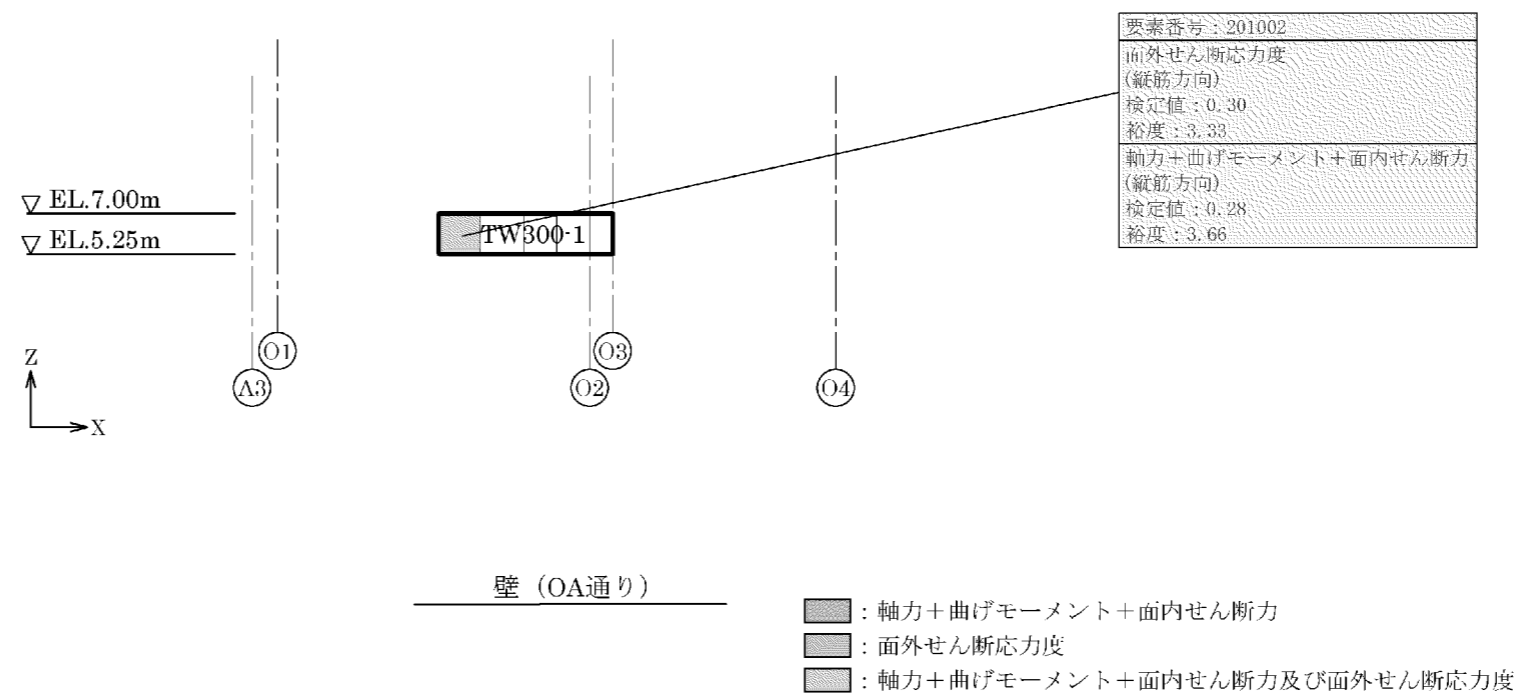
第4-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(7/12)



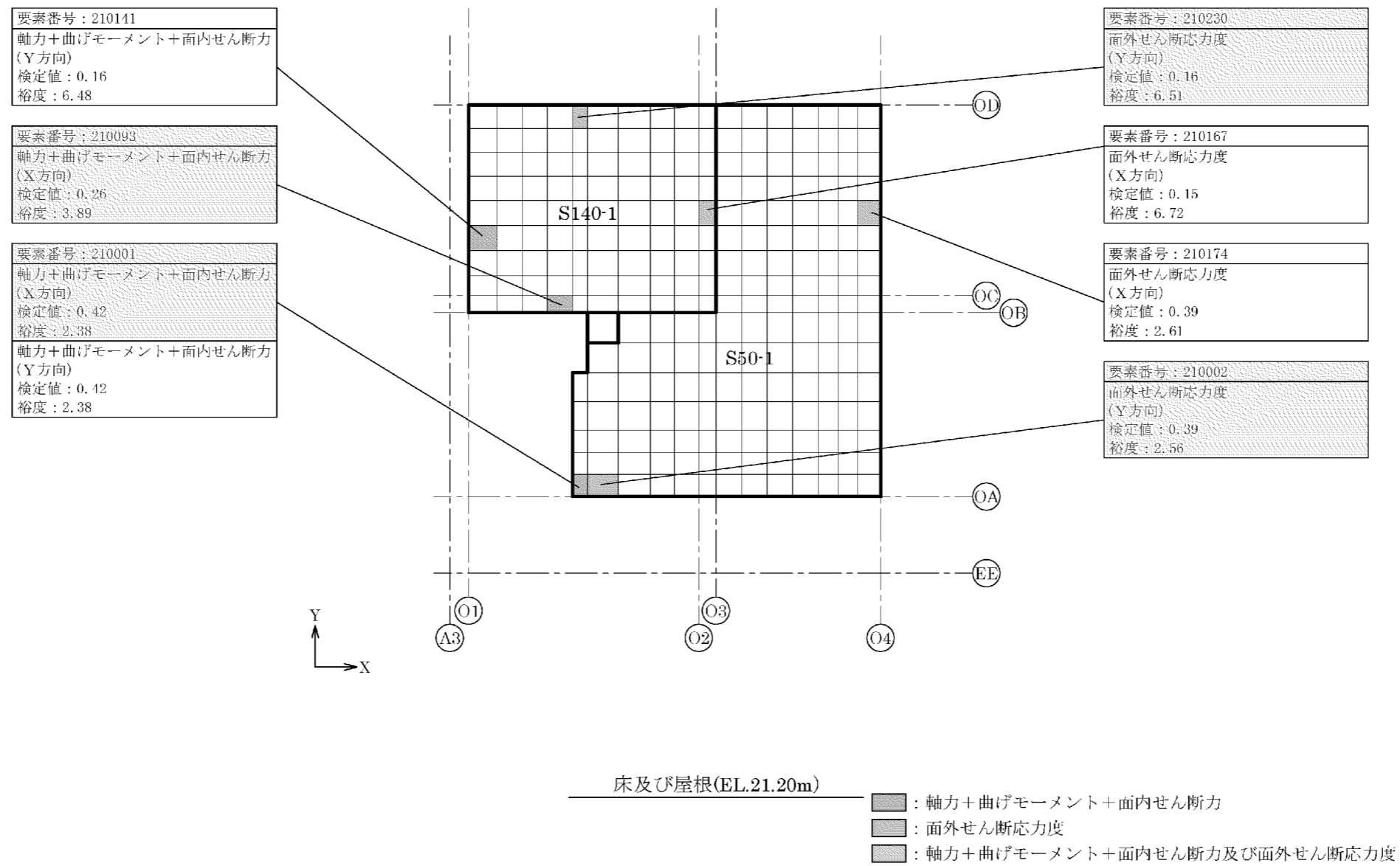
第4-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(8/12)



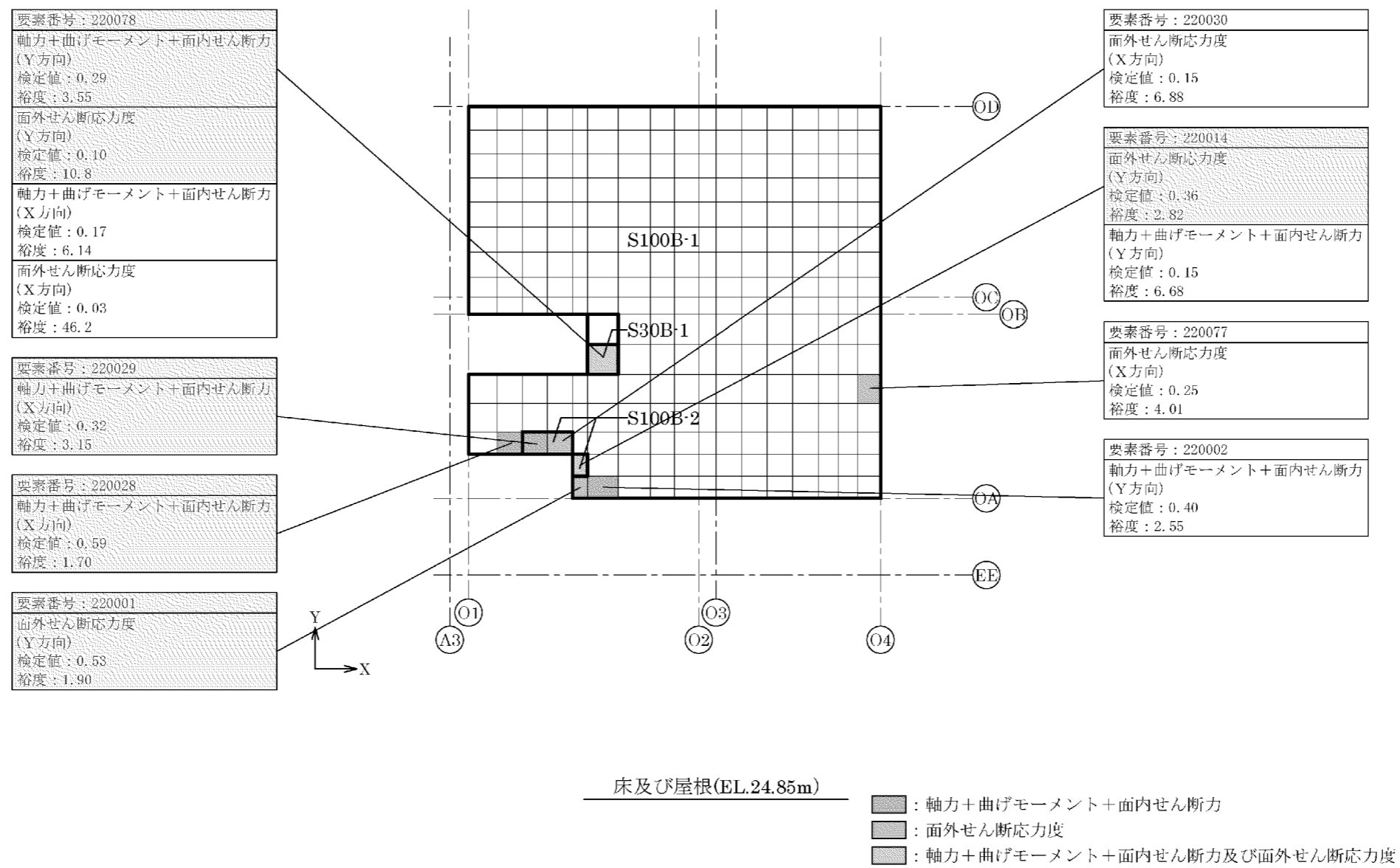
第4-2図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(9/12)



第 4-2 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(10/12)



第 4-2 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(11/12)



第 4-2 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(12/12)

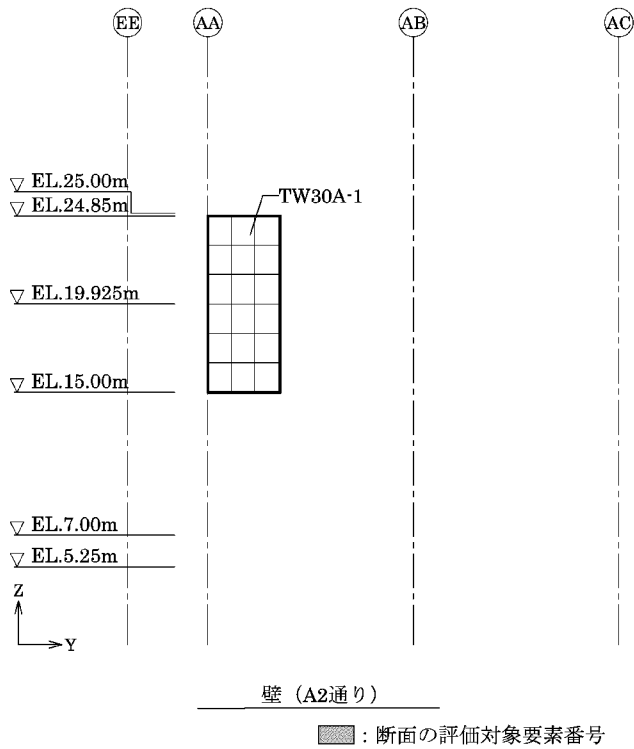
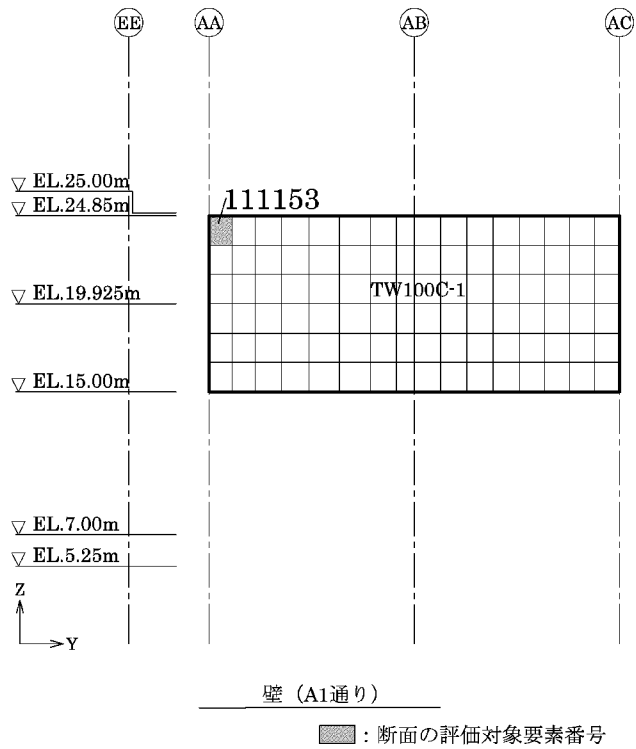
5. 加圧設備棟の断面の評価対象部位の選定

加圧設備棟の荷重の組合せケースを第 5-1 表、分類領域及び断面の評価対象要素番号を第 5-1 図、分類領域ごとの配筋を第 5-2 表に示す。

各評価項目の検定値一覧を第 5-3 表に、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 5-2 図に示す。

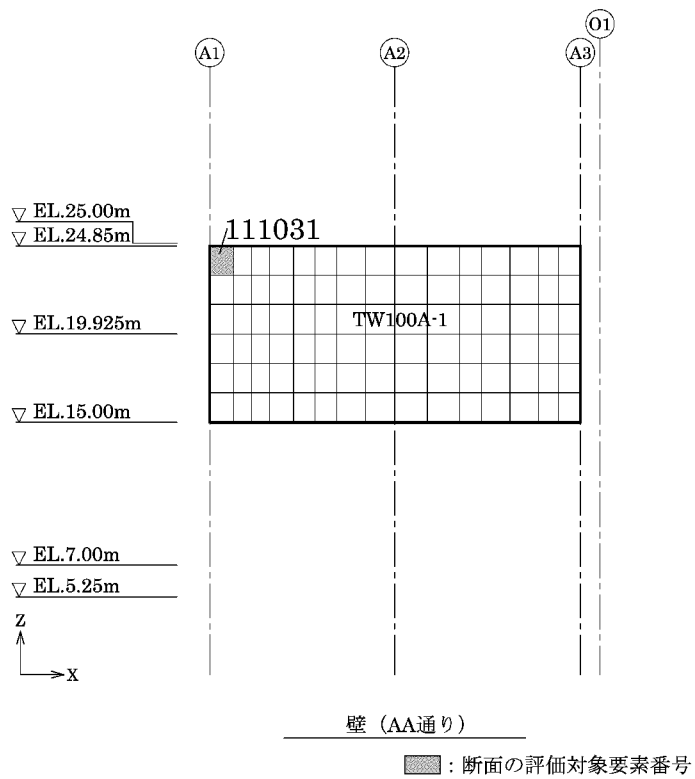
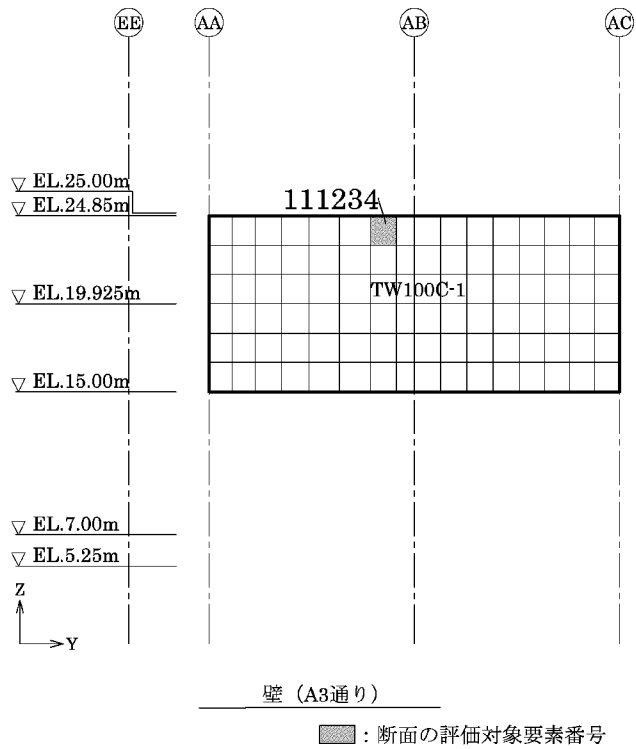
第 5-1 表 荷重の組合せケース

	ケース No.	荷重の組合せケース
Ss 地震時	1	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	2	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	3	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	4	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	5	$D + L + E_0 + 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	6	$D + L + E_0 + 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	7	$D + L + E_0 - 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	8	$D + L + E_0 - 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	9	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	10	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	11	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	12	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	13	$D + L + E_0 + 0.4K_{SY} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
	14	$D + L + E_0 + 0.4K_{SY} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
	15	$D + L + E_0 - 0.4K_{SY} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
	16	$D + L + E_0 - 0.4K_{SY} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
常時	17	$D + L + E_0$

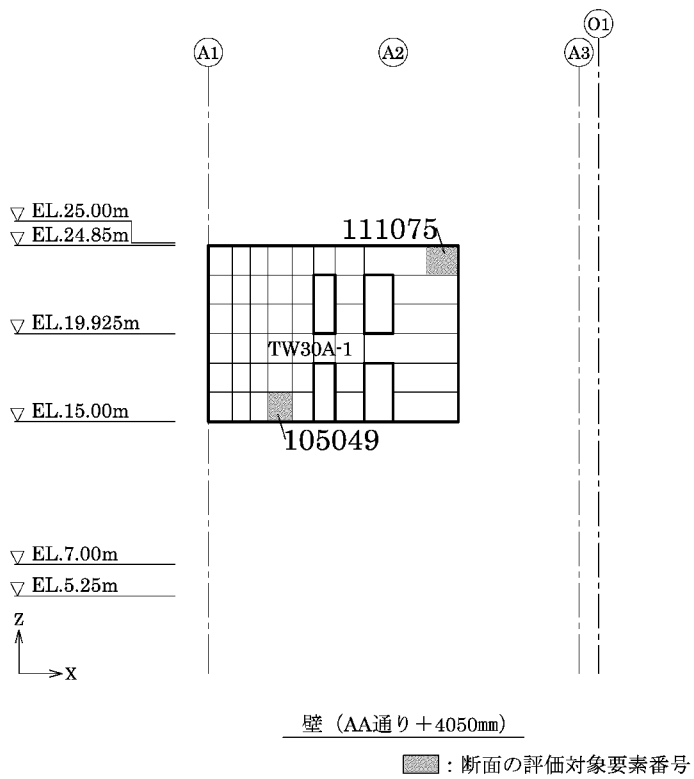
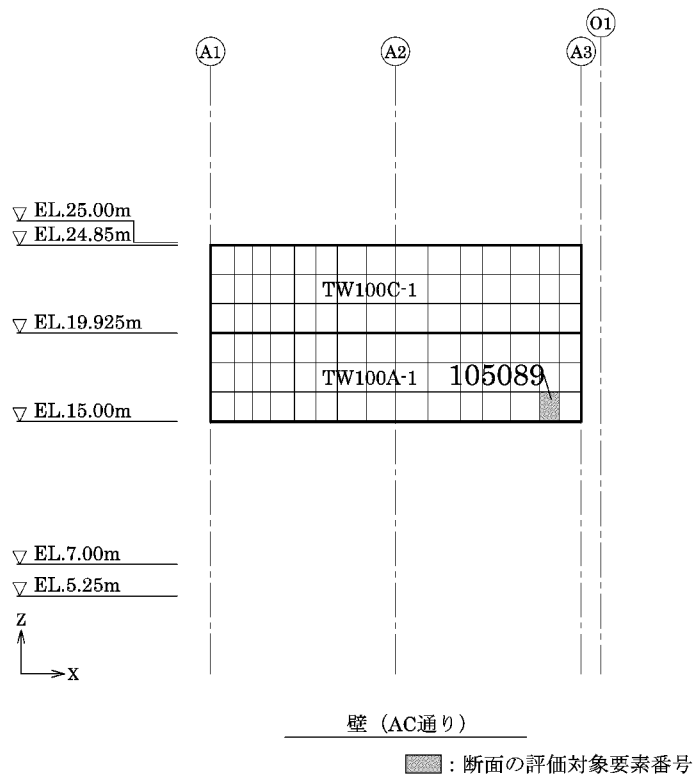


第 5-1 図 断面の評価対象要素番号(1/5)

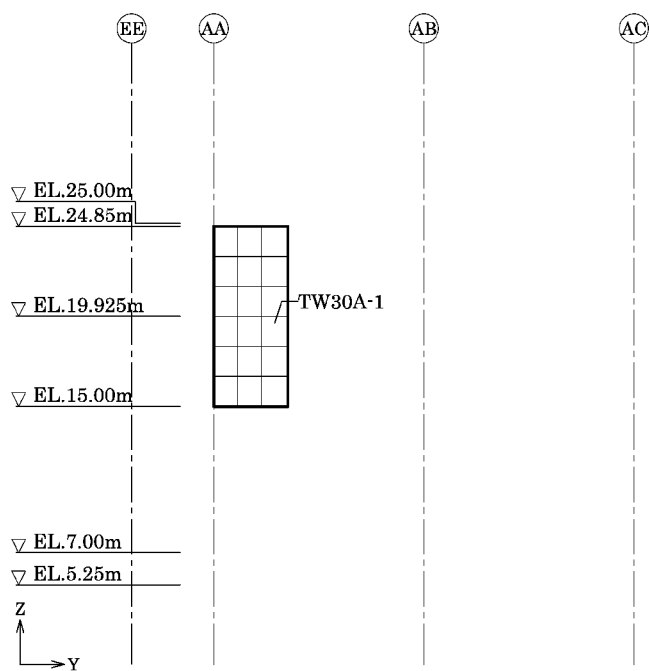




第 5-1 図 断面の評価対象要素番号(2/5)

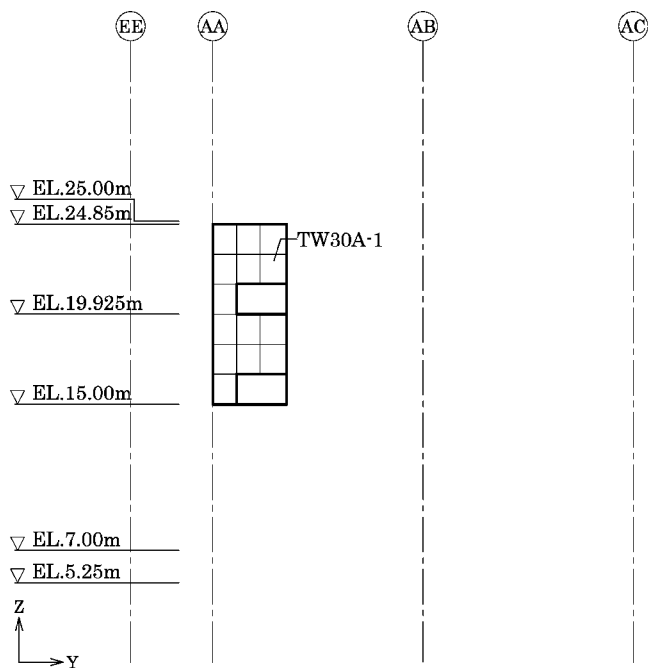


第 5-1 図 断面の評価対象要素番号(3/5)



壁 (A1通り + 7100mm)

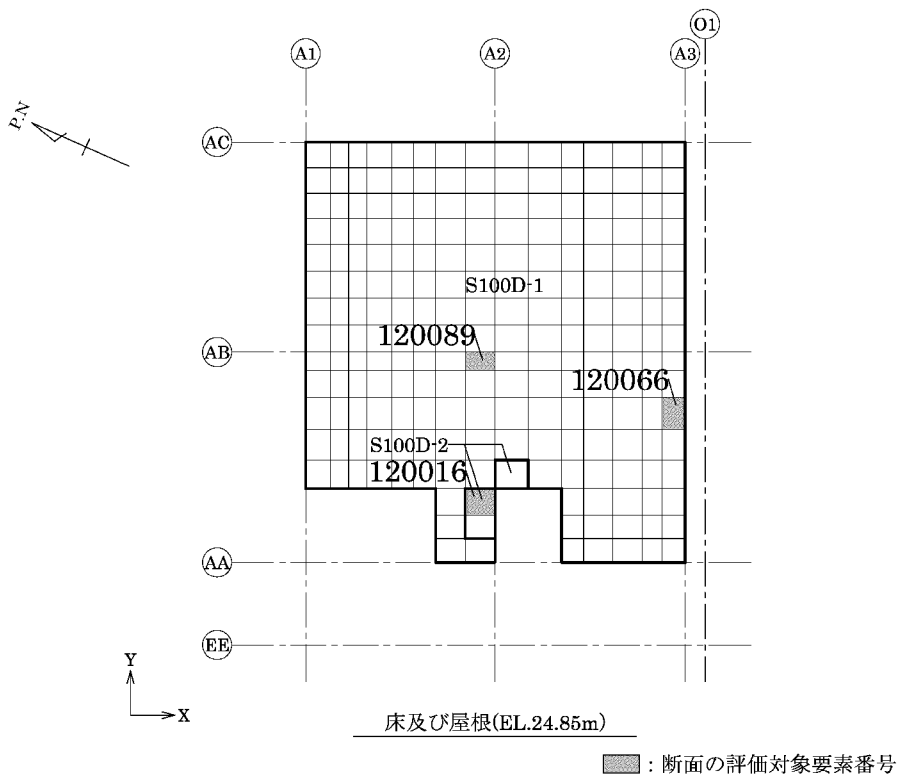
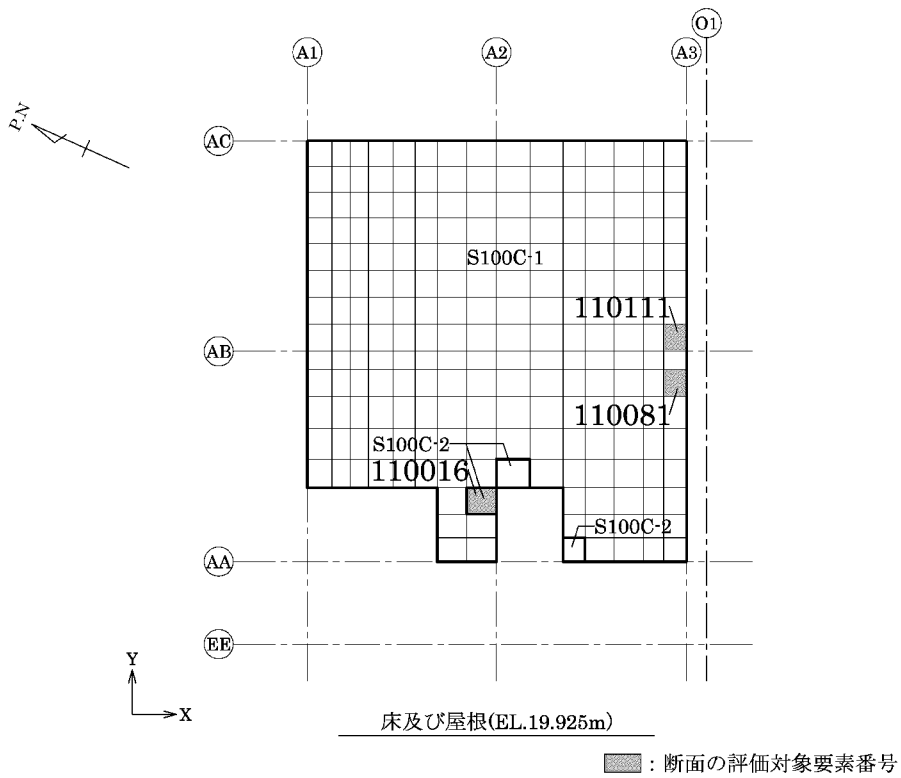
■ : 断面の評価対象要素番号



壁 (A2通り + 3650mm)

■ : 断面の評価対象要素番号

第 5-1 図 断面の評価対象要素番号(4/5)



第 5-1 図 断面の評価対象要素番号(5/5)

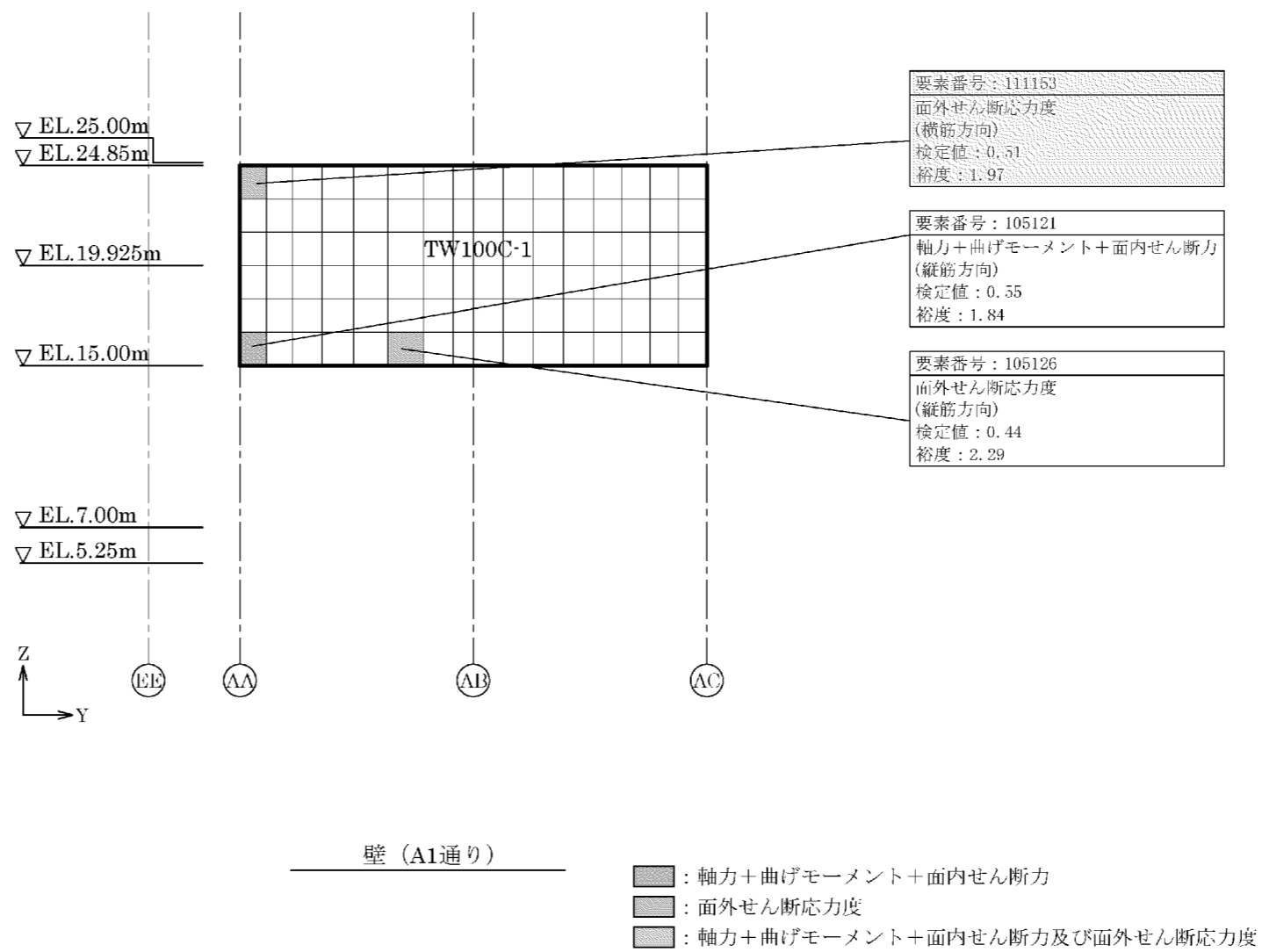
第5-2表 分類領域ごとの配筋

部位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD345)		鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断 補強筋	
			位置	方向			
壁	TW100A-1	1,000	両側共	縦筋	1.5 段 D38@200	8,550	—
				横筋	1.5 段 D38@200	8,550	
	TW100C-1	1,000	両側共	縦筋	1 段 D38@200	5,700	—
				横筋	1 段 D38@200	5,700	
	TW30A-1	300	両側共	縦筋	1 段 D25@200	2,535	—
				横筋	1 段 D25@200	2,535	
床 ・ 屋根	S100C-1	1,000	上端、 下端共	X	1 段 D32@200	3,970	—
				Y	1 段 D32@200	3,970	
	S100C-2	1,000	上端、 下端共	X	1 段 D32@200	3,970	—
				Y	1 段 D32@200+ 1 段 D32@200	7,940	
	S100D-1	1,000	上端、 下端共	X	1 段 D35@200	4,785	—
				Y	1 段 D35@200	4,785	
	S100D-2	1,000	上端、 下端共	X	1 段 D35@200	4,785	—
				Y	1 段 D35@200+ 1 段 D35@200	9,570	

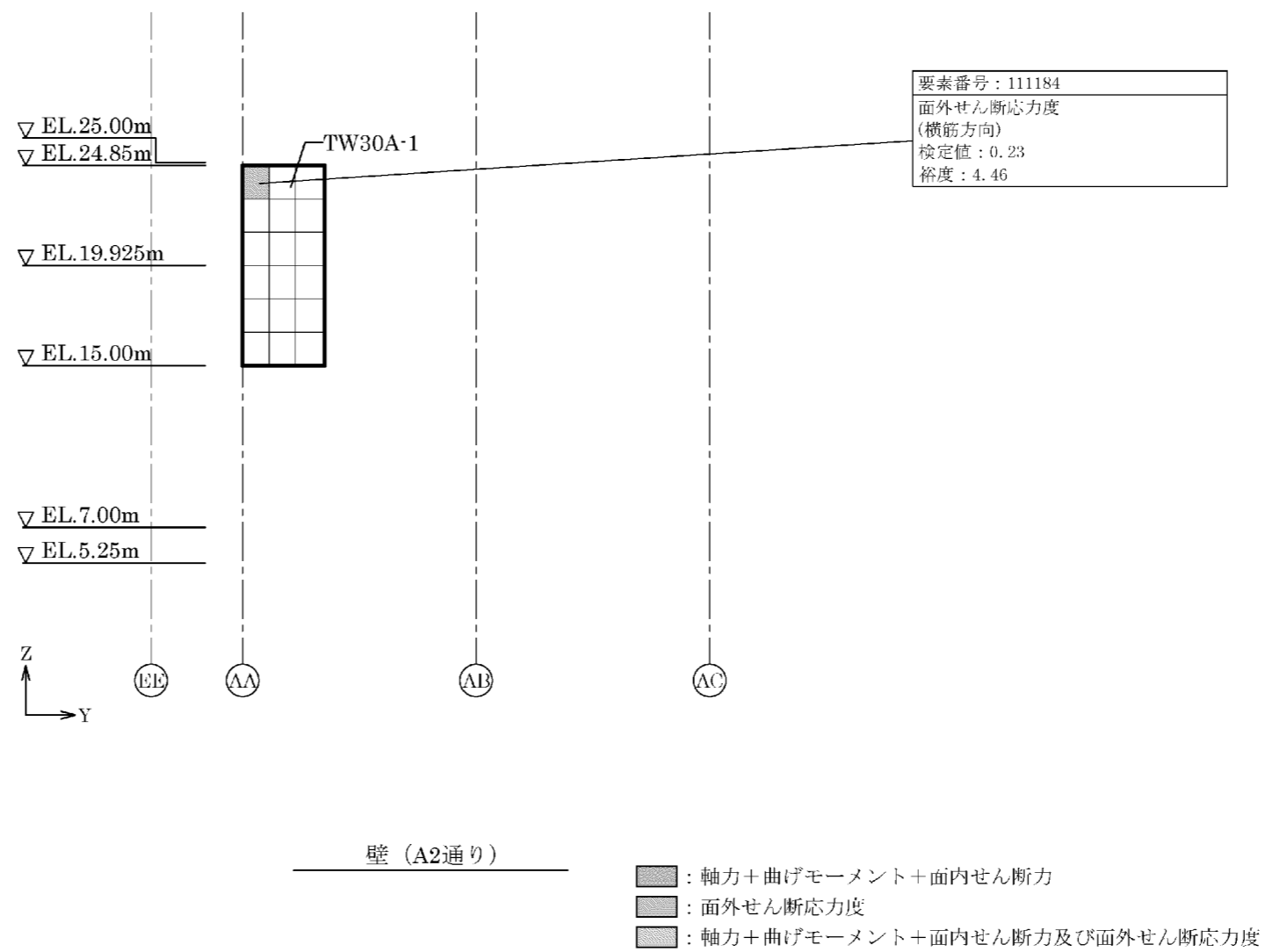
第5-3表 各評価項目の検定値一覧

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/X方向			縦筋方向/Y方向			横筋方向/X方向			縦筋方向/Y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	TW100A-1	105089	0.56	1	105089	0.56	1	111031	0.73	5	105004	0.53	5
	TW100C-1	111234	0.66	1	105121	0.55	5	111153	0.51	5	105126	0.44	2
	TW30A-1	105049	0.79	2	105049	0.79	2	111184	0.23	2	111075	0.32	8
床 ・ 屋根	S100C-1	110111	0.73	2	110009	0.56	2	110081	0.37	2	110209	0.28	17
	S100C-2	110030	0.17	8	110016	0.33	2	110030	0.14	2	110016	0.19	8
	S100D-1	120004	0.63	2	120066	0.65	2	120089	0.43	14	120089	0.42	14
	S100D-2	120009	0.51	2	120016	0.66	2	120030	0.08	2	120016	0.29	16

(注)  は、断面の評価対象部位を示す。

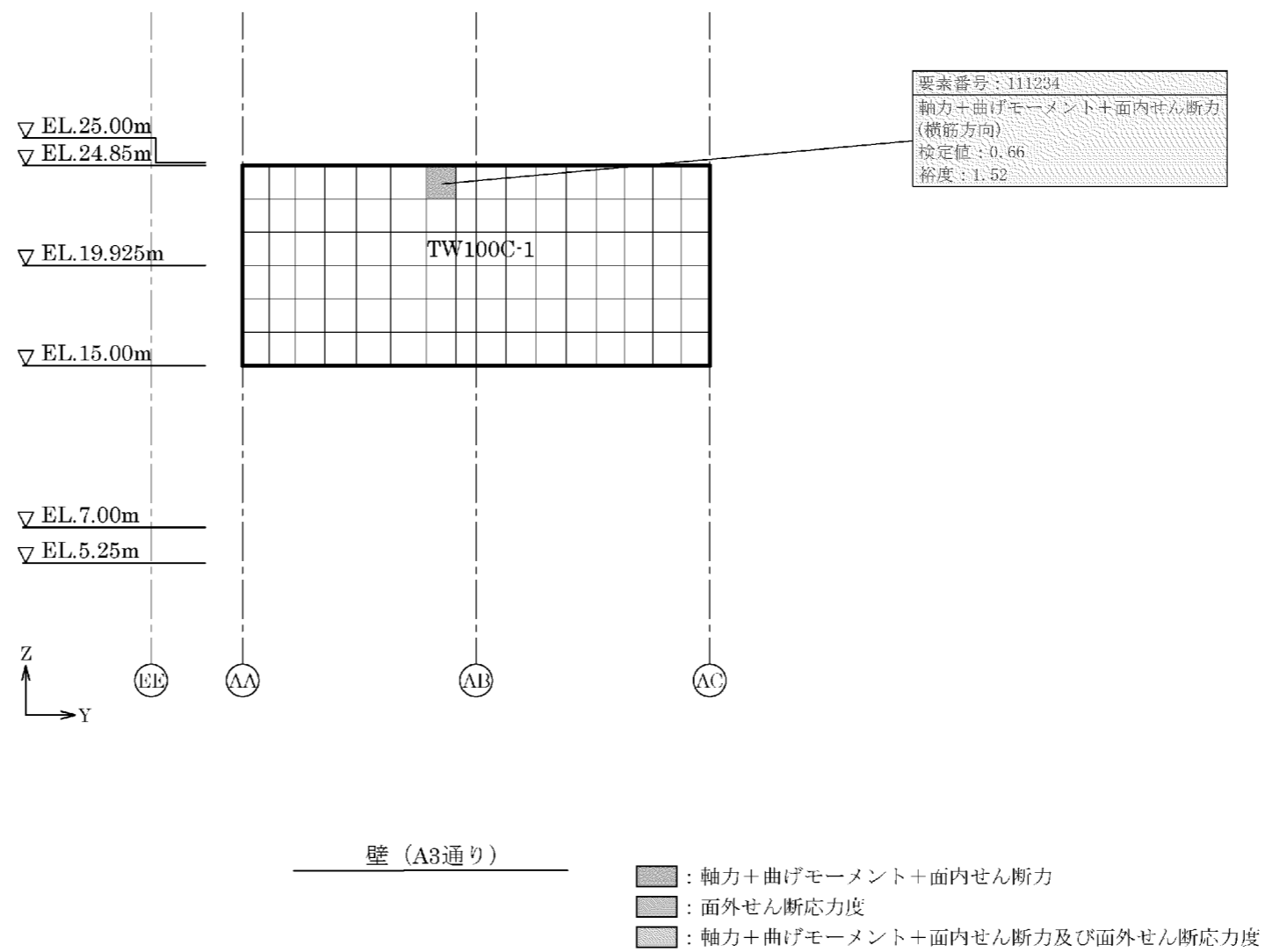


第 5-2 図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(1/8)

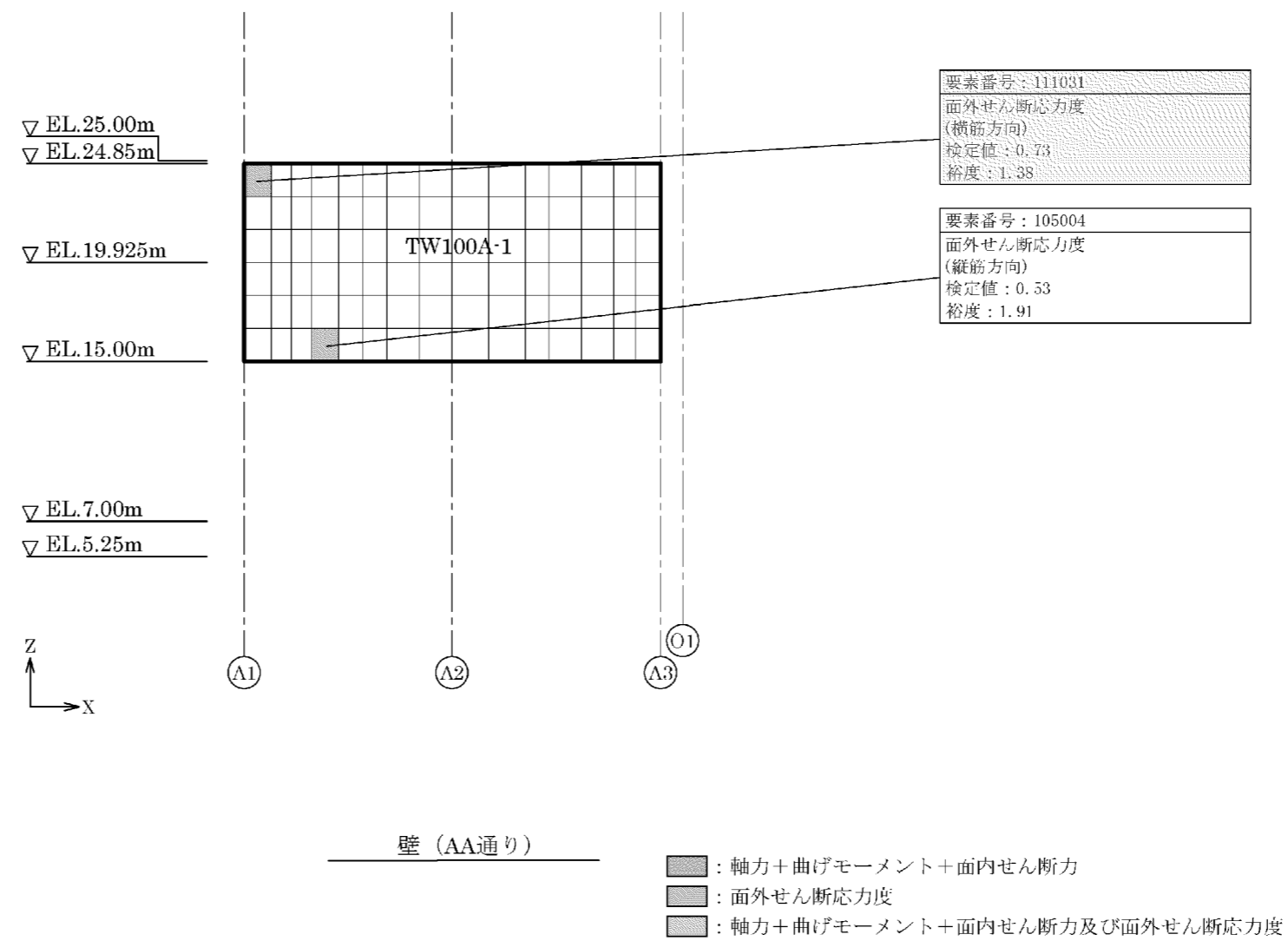


第 5-2 図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(2/8)

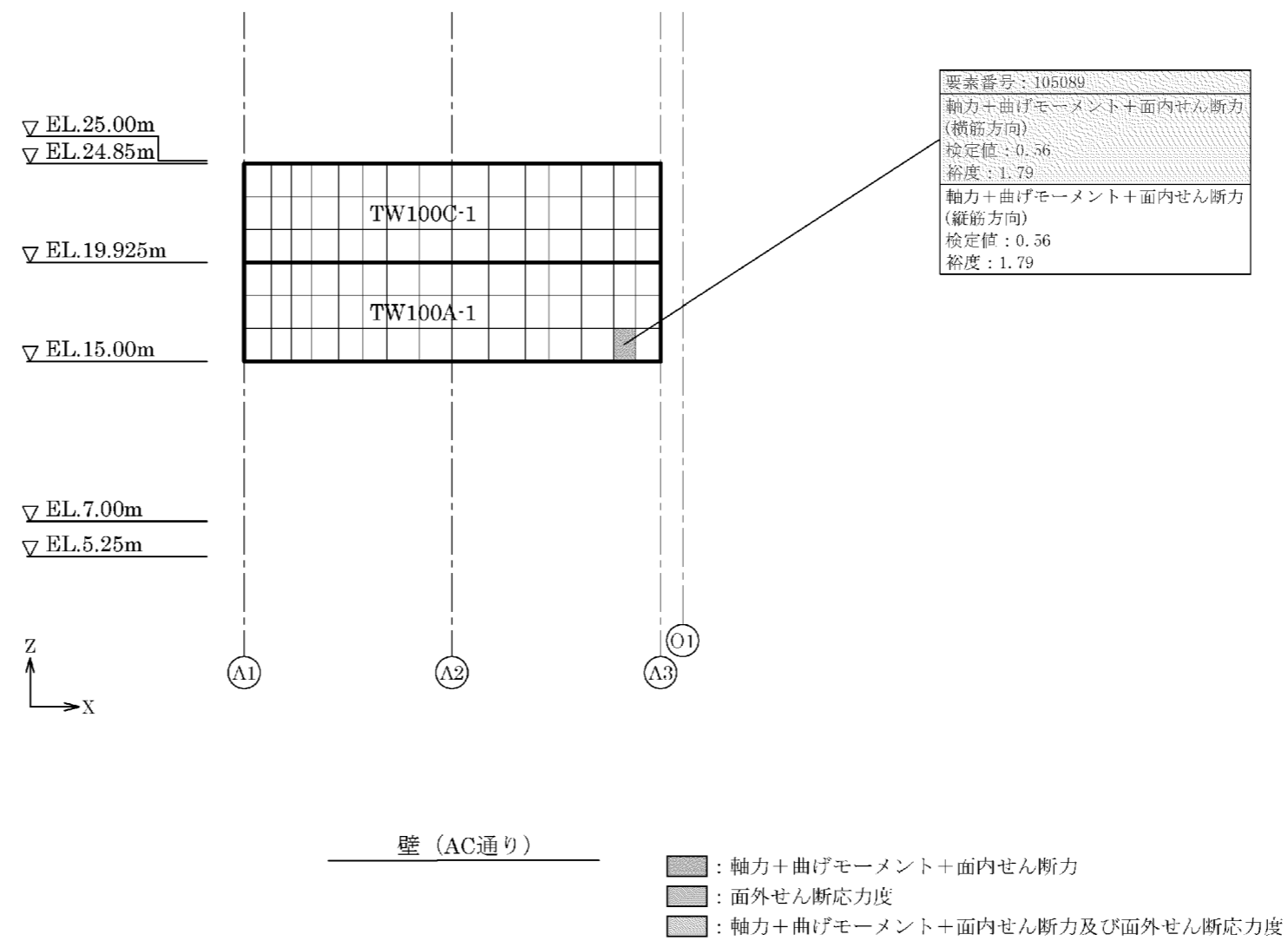




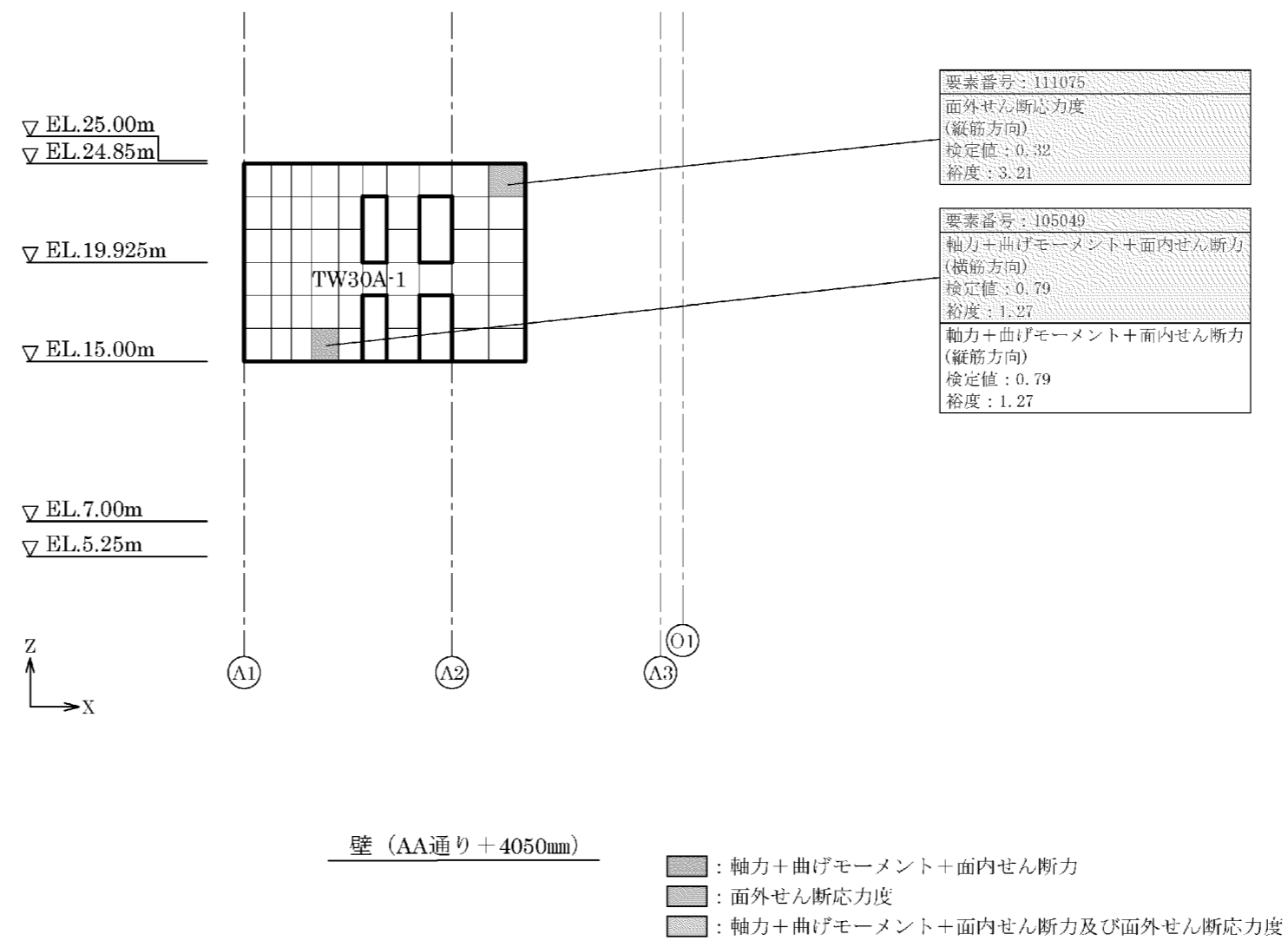
第 5-2 図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(3/8)



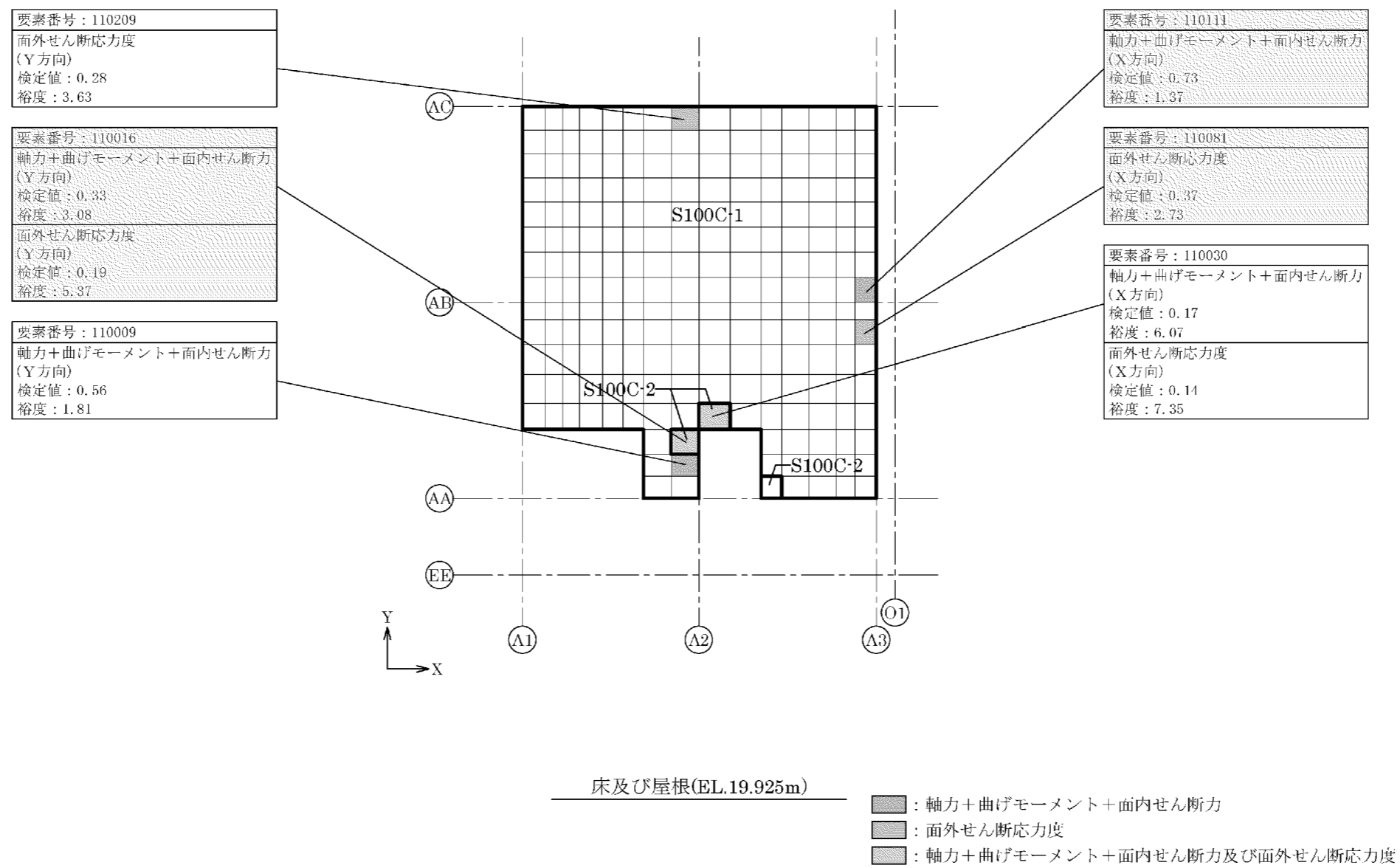
第 5-2 図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(4/8)



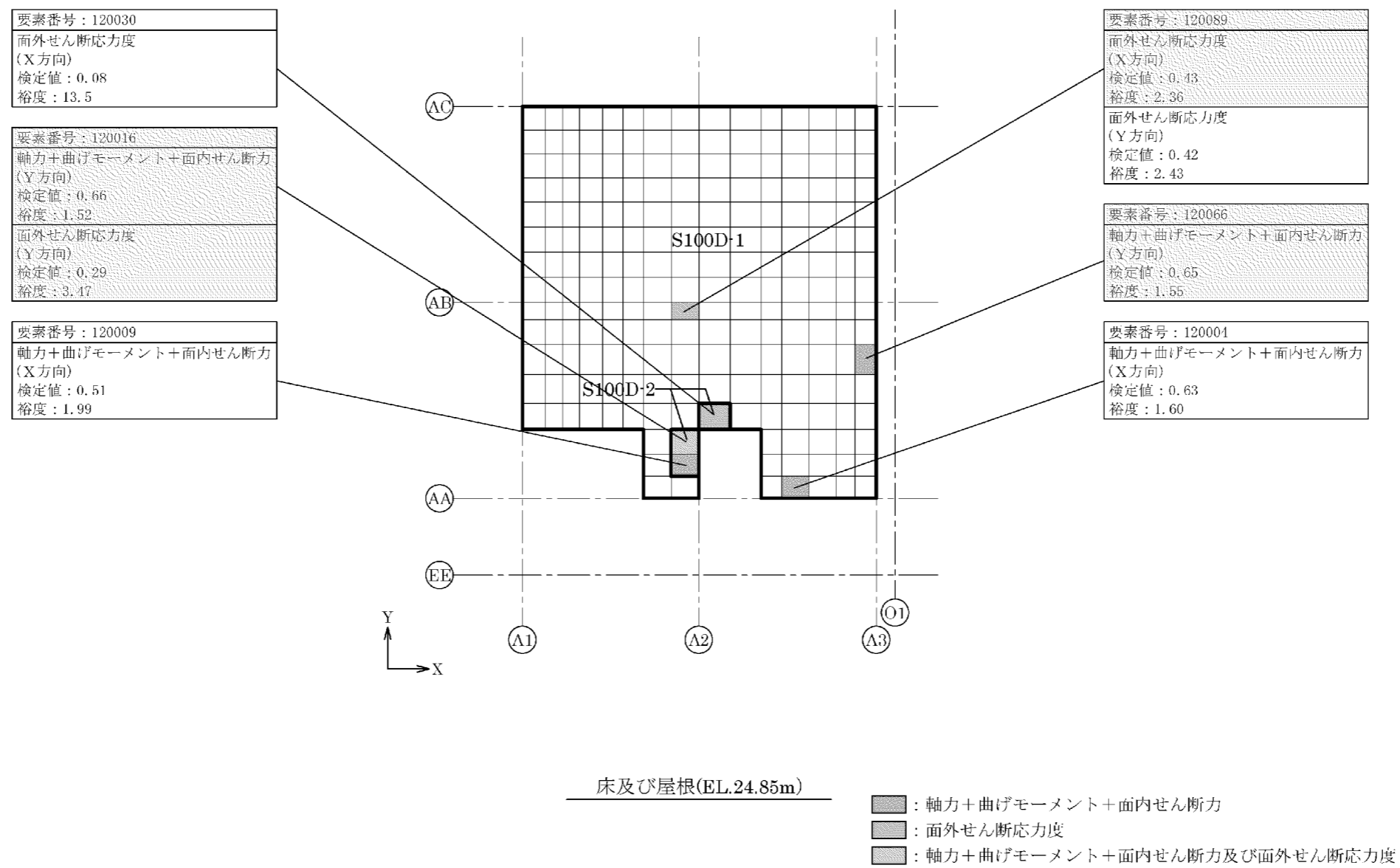
第 5-2 図 応力ごとの検定値が最大となる要素及び断面の評価結果(5/8)



第 5-2 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(6/8)



第 5-2 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(7/8)



第 5-2 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(8/8)

### 7-3-3. 応力解析における地震荷重等の入力方法

## 目 次

	頁
1. 概 要 .....	1
2. 地震荷重等の入力方法 .....	2
2.1 地震荷重 .....	2
2.2 土圧荷重 .....	6
3. まとめ .....	8

別紙 1 応力解析における土圧荷重の算出

別紙 2 土圧荷重の算定において JEAG4601-1991 追補版を用いることの妥当性



## 1. 概 要

本資料は、緊急時対策棟、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3次元 FEM モデルを用いた応力解析における地震荷重等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。

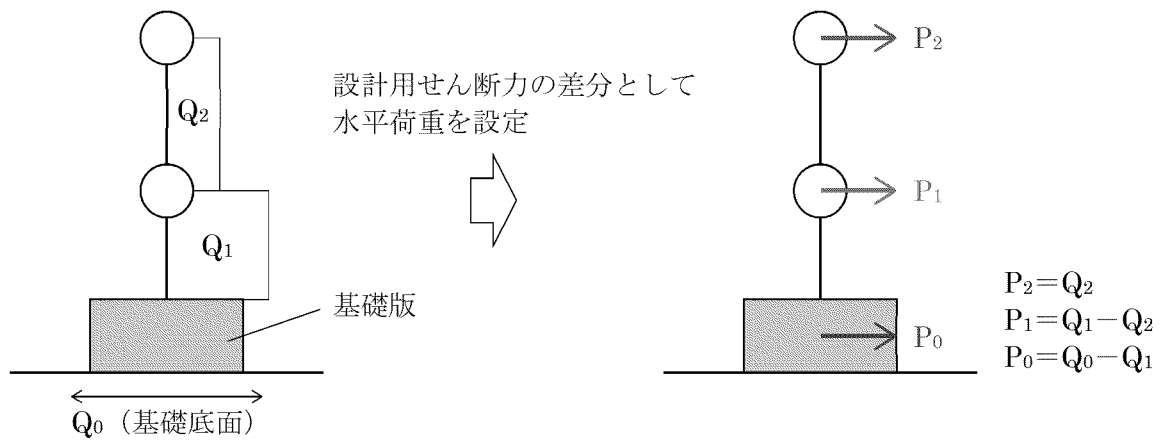
- ・添付資料 12-16-2 「緊急時対策棟の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-3 「緊急時対策棟、緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）及び緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の基礎の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-4 「緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-5 「緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）の耐震計算書」

## 2. 地震荷重等の入力方法

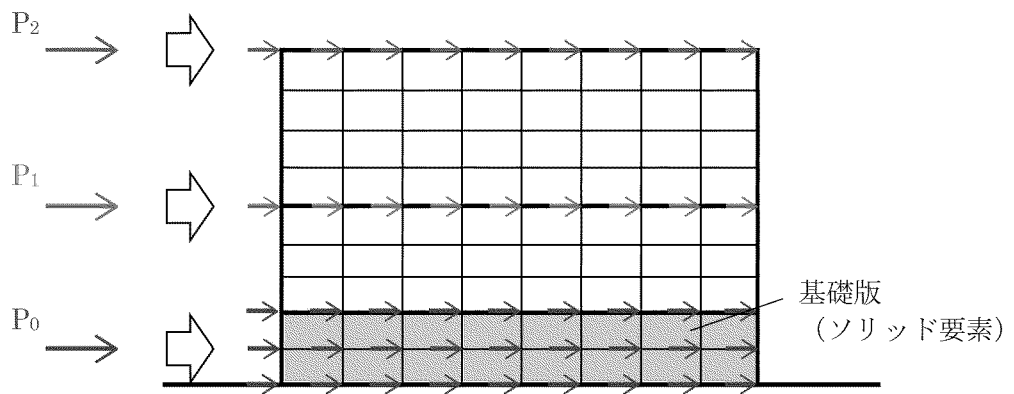
### 2.1 地震荷重

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。

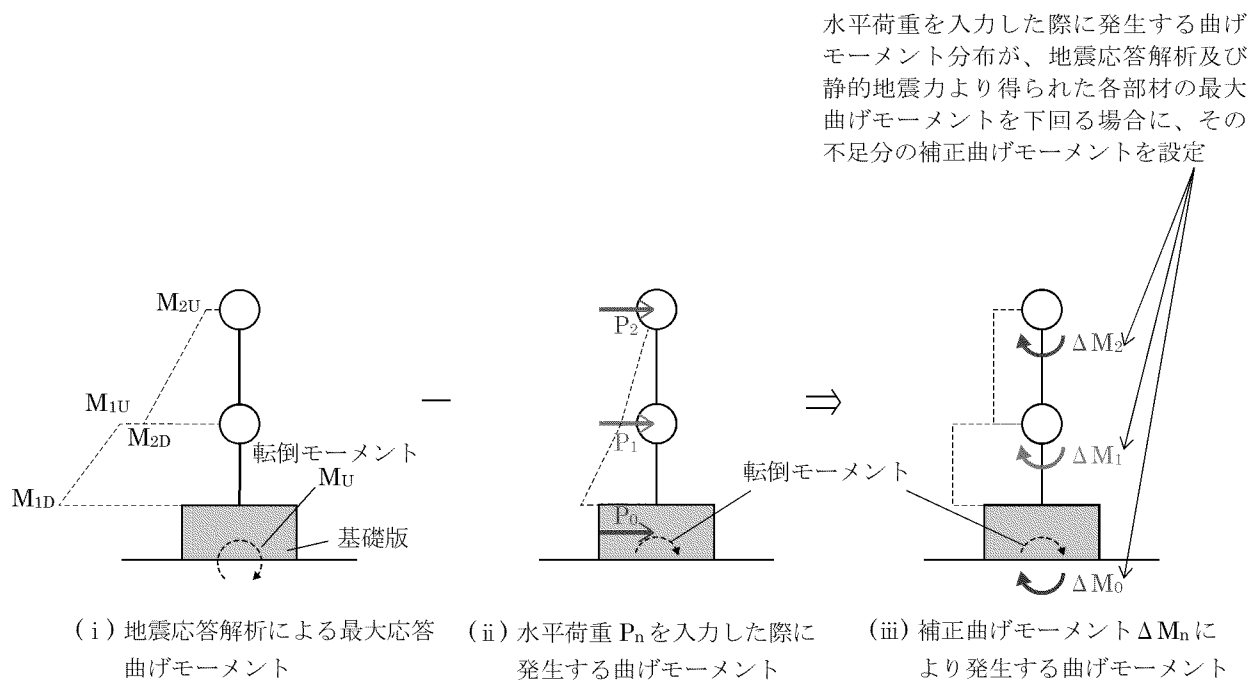


(a) 地震荷重の設定方法（最大応答せん断力  $Q_n$  と水平荷重  $P_n$  の関係）

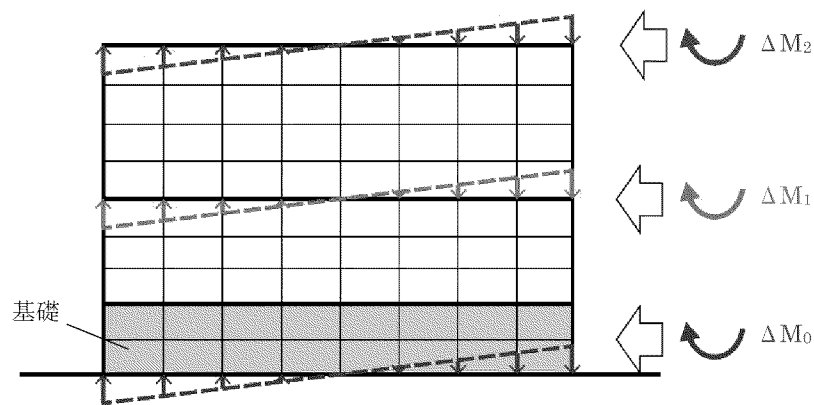


(b) FEM モデルに作用させる水平力

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）

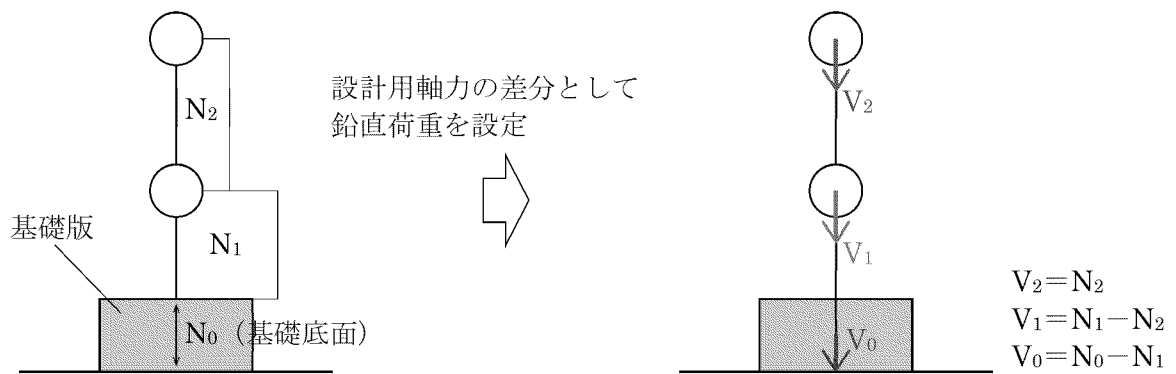


(a) 地震荷重の設定方法

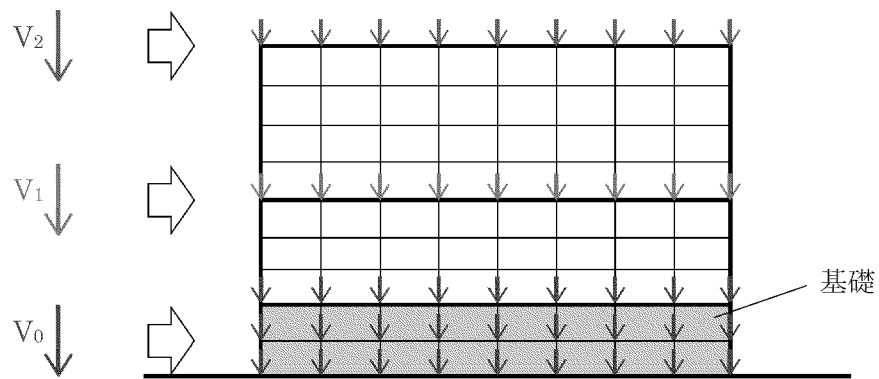


(b) FEM モデルに作用させる鉛直力

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）

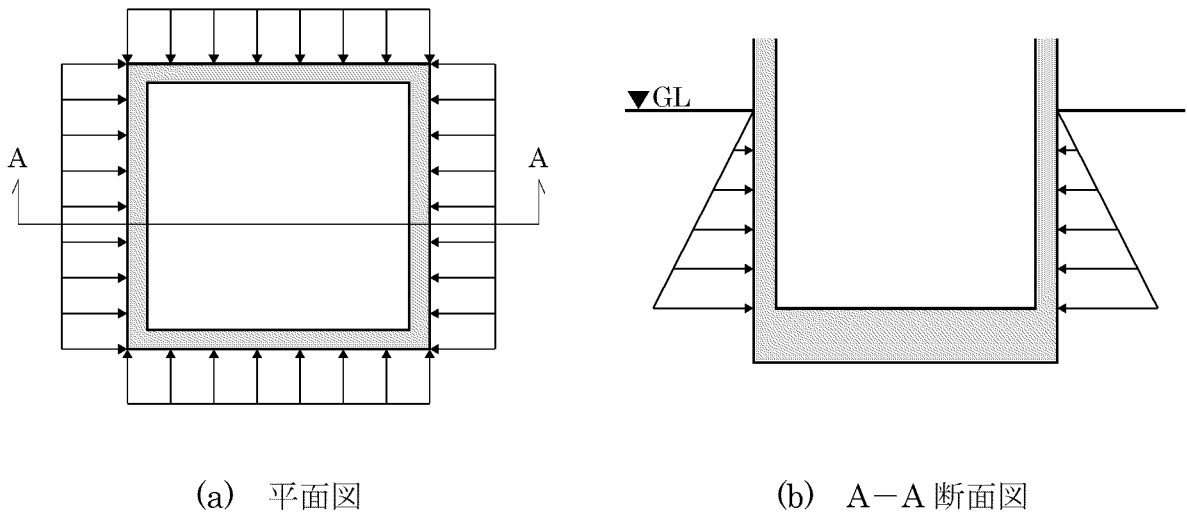
## 2.2 土圧荷重

常時土圧荷重は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（(社)日本電気協会）」（以下「JEAG4601-1991 追補版」という。）に基づき算出し、地下外壁に対して内向きの荷重として入力する。

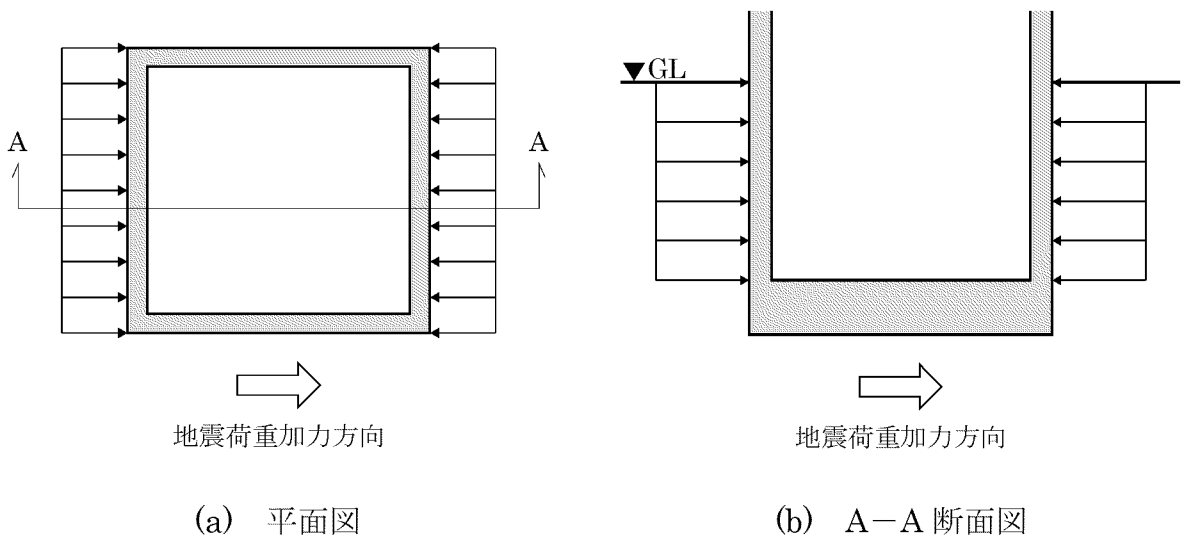
地震時増分土圧荷重は、JEAG4601-1991 追補版に基づき設定する。ここで、地震時増分土圧は、加力側及び支持側に対してそれぞれ算出されるが、評価においては、両者の包絡値を加力側及び支持側両方に考慮する。地震時増分土圧荷重を入力する壁は、地震荷重加力方向に直交する地下外壁とし、内向きの荷重として入力する。

常時土圧荷重の入力概念図を第 2-4 図、地震時増分土圧荷重の入力概念図を第 2-5 図に示す。

また、土圧荷重の算出方法、算出条件及び算出結果並びに土圧荷重の算定において JEAG4601-1991 追補版を用いることの妥当性について、補足説明資料 7-3-3-別紙 1「応力解析における土圧荷重の算出」及び補足説明資料 7-3-3-別紙 2「土圧荷重の算定において JEAG4601-1991 追補版を用いることの妥当性」に示す。



第 2-4 図 常時土圧荷重の入力概念図



第 2-5 図 地震時増分土圧荷重の入力概念図

### 3. まとめ

緊急時対策棟、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3次元 FEM モデルを用いた応力解析における地震荷重等の入力方法について示した。



### 7-3-3-別紙1. 応力解析における土圧荷重の算出

## 目 次

	頁
1. 概 要 .....	別 1 - 1
2. 土圧荷重の算出方法 .....	別 1 - 2
2.1 常時土圧荷重 .....	別 1 - 2
2.2 地震時増分土圧荷重 .....	別 1 - 3
3. 常時土圧荷重及び地震時増分土圧荷重の算出結果 .....	別 1 - 5
4. まとめ .....	別 1 - 7

## 1. 概 要

本資料は、3次元 FEM モデルを用いた応力解析における土圧荷重の算出方法及び算出結果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 12-16-2 「緊急時対策棟の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-3 「緊急時対策棟、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）の基礎の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-4 「緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-5 「緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）の耐震計算書」

## 2. 土圧荷重の算出方法

常時土圧荷重及び地震時増分土圧荷重は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（(社)日本電気協会）」（以下「JEAG4601-1991 追補版」という。）に基づき算出している。ここで、緊急時対策棟（以下「緊対棟」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。）周辺の地下水は排水することから、地下水は考慮しない。

各土圧荷重の算出方法を以下に示す。

### 2.1 常時土圧荷重

常時土圧荷重は、JEAG4601-1991 追補版に基づき、下式により算出している。

- ・ 地下水位面以浅

$$p_0 = K_0(\gamma \cdot h_0 + q)$$

- ・ 地下水位面以深

$$p_0 = K_0\{\gamma \cdot H_1 + \gamma'(h_0 - H_1) + q\} + \gamma_w(h_0 - H_1)$$

ここで、

$p_0$  : 単位面積当たりの常時土圧荷重(tf/m<sup>2</sup>)

$K_0$  : 静止土圧係数で 0.5 とする。

$H_1$  : 地表面から地下水位面までの深さ(m) <sup>(注)</sup>

$h_0$  : 地表面から土圧を求めようとする位置までの深さ(m)

$\gamma$  : 土の単位体積重量(tf/m<sup>3</sup>)

側方地盤の単位体積重量を用いる。

$\gamma'$  : 土の水中単位体積重量(= $\gamma - \gamma_w$ )(tf/m<sup>2</sup>) <sup>(注)</sup>

$\gamma_w$  : 地下水の単位体積重量(tf/m<sup>3</sup>) <sup>(注)</sup>

$q$  : 地表面に作用する表面載荷荷重(tf/m<sup>2</sup>)

(注) 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地下水は排水することから、地下水は考慮しない。

## 2.2 地震時増分土圧荷重

地震時増分土圧荷重は、JEAG4601-1991 追補版に基づき、建屋に対し加力側に作用する加力側増分土圧荷重と建屋を支える支持側に作用する支持側増分土圧荷重を包絡した値とする。

### 2.2.1 加力側増分土圧荷重

加力側増分土圧荷重は、JEAG4601-1991 追補版に基づき、下式より算出している。

$$p_a = 0.6 \cdot r \cdot \rho \cdot H_a \cdot \alpha_{\max}$$

ここで、

$p_a$  : 加力側増分土圧(tf/m<sup>2</sup>)

$\rho = \gamma / g$  : 地盤一般部の密度(tf・s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)

$\gamma$  : 地盤の単位体積重量(tf/m<sup>3</sup>)

地盤一般部については側方地盤の単位体積重量を用いる。

$g$  : 重力加速度(m/s<sup>2</sup>)

$H_a$  : 地盤一般部の厚さ(m)

$\alpha_{\max}$  : 地表面の最大加速度(m/s<sup>2</sup>)

1次元波動論による地盤の地震応答解析に基づき算出した地表面加速度を用いる。

$r$  : 補正係数

### 2.2.2 支持側増分土圧荷重

支持側増分土圧荷重は、JEAG4601-1991 追補版に基づき、下式より算出している。

$$\bar{p}_{si} = \beta_i \cdot F / (B \cdot H_i)$$

ここで、

$\bar{p}_{si}$  : i 層の支持側増分土圧の平均値(tf/m<sup>2</sup>)

$\beta_i$  : 建屋の慣性力に対する側方地盤部 i 層の分担率

F : 建屋の慣性力(t)

$$F = \Sigma m_i \alpha_i$$

$m_i$  : 建屋各質点の質量

$\alpha_i$  : 建屋各質点の最大応答加速度

添付資料 12-16-1 「緊急時対策棟、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」で示した質点系モデルの最大応答加速度に基づき設定する。

B : 建屋の奥行幅(m)

$H_i$  : i 層の厚さ(m)

3. 常時土圧荷重及び地震時増分土圧荷重の算出結果

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟について、土圧荷重算出における地盤条件を第3-1表、土圧荷重の算出結果を第3-1図及び第3-2図に示す。ここで、地盤の物性値は、添付資料12-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

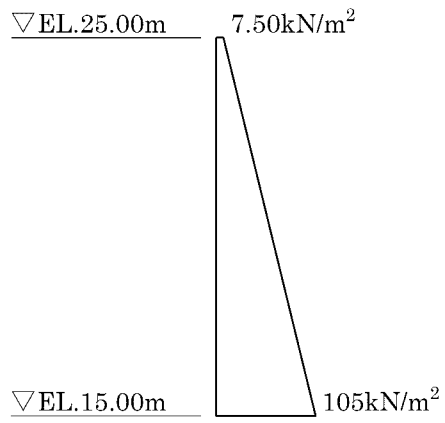
第3-1表 土圧荷重の評価条件

高さ EL.	土質	せん断波速度 (km/s)
25.00m～19.62m	埋戻土	0.09
19.62m～16.86m	埋戻土 <sup>(注1)</sup> (玄武岩) <sup>(注2)</sup>	0.14 (0.26) <sup>(注3)</sup>
16.86m～15.27m	埋戻土 <sup>(注1)</sup> (八ノ久保砂礫層) <sup>(注2)</sup>	0.15 (0.26) <sup>(注3)</sup>
15.27m～15.00m	埋戻土 <sup>(注1)</sup> (砂岩) <sup>(注2)</sup>	0.16 (0.26) <sup>(注3)</sup>

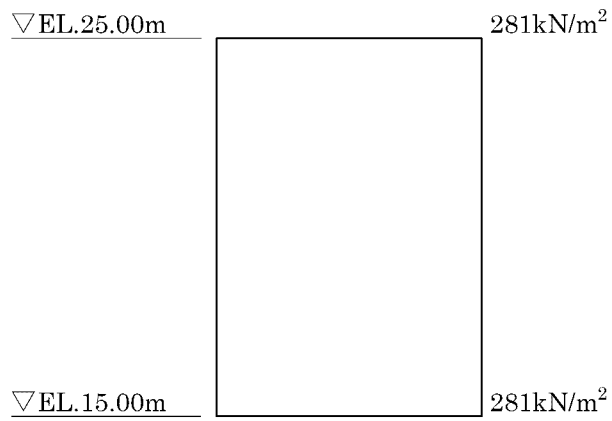
(注1) 現状地盤は岩盤であるが、施工時の掘削に伴い埋戻土として評価

(注2) 現状地盤の岩種

(注3) 現状地盤のせん断波速度



第 3-1 図 常時土圧荷重



第 3-2 図 地震時増分土圧荷重 (Ss 地震時)



#### 4. まとめ

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟について、常時土圧荷重及び地震時増分土圧荷重の算出方法を示した。また、常時土圧荷重及び地震時増分土圧荷重の算出結果を示した。

7-3-3-別紙2. 土圧荷重の算定において  
JEAG4601-1991追補版を用いることの妥当性

## 目 次

	頁
1. 概 要 .....	別 2 - 1
2. 妥当性の確認 .....	別 2 - 2
2.1 JEAG4601-1991 追補版による適用条件 .....	別 2 - 2
2.2 JEAG 式による土圧荷重と 2次元地盤 FEM モデルによる土圧荷重との比較 .....	別 2 - 4
3. まとめ .....	別 2 - 14

## 1. 概 要

緊急時対策棟（以下「緊対棟」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 3次元 FEM モデルを用いた応力解析における土圧荷重は、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（（社）日本電気協会）（以下「JEAG4601-1991 追補版」という。）に示す算出式（以下「JEAG式」という。）に基づき算出している。土圧荷重の具体的な算出式については、補足説明資料 7-3-3-別紙 1「応力解析における土圧荷重の算出」に示したとおりである。

本資料は、JEAG4601-1991 追補版における土圧荷重の適用条件及び応力解析に用いる地震荷重及び土圧荷重の考え方を整理し、土圧荷重の算出において JEAG 式を用いることの妥当性を確認する。

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 12-16-2「緊急時対策棟の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-3「緊急時対策棟、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）の基礎の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-4「緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-5「緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）の耐震計算書」

## 2. 妥当性の確認

### 2.1 JEAG4601-1991 追補版による適用条件

#### 2.1.1 常時土圧荷重

JEAG4601-1991 追補版では、常時土圧荷重は、地盤一般部及び岩盤部に分けて算出するものとしている。ここで、岩盤部は建屋支持岩盤と剛性が同程度の地盤、地盤一般部は岩盤部を除く埋戻し土・表層等の地盤であることから、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の応力解析における土圧荷重は、地盤一般部として算出する。

地盤一般部の常時土圧荷重は、建築基礎構造設計指針（（社）日本建築学会）に従い、静止土圧係数を 0.5 として算出する。

また、常時土圧の算出式の適用条件としては、

- ① 建屋地下壁と岩盤部間は、岩盤部と剛性が同等以上の材料で充填されるものとする。
- ② 岩盤部の算定式は、地盤一般部の地層厚さが薄い場合を対象とする。
- ③ 上載圧が作用する場合は別途考慮する。
- ④ 水圧に関しては別途考慮する。

という 4 点が挙げられており、①及び②については、岩盤部についての適用条件であるため、地盤一般部の常時土圧荷重の算出においては適用条件から除外する。③については、上載圧(15.0kN/m<sup>2</sup>)を別途考慮する。④については、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟周辺の地盤は、湧水配管により地下水を排水していることから水圧は考慮しない。

以上より、常時土圧荷重については、JEAG4601-1991 追補版に示す適用条件を満たしており、JEAG 式を用いることは妥当であると考えられる。

### 2.1.2 地震時増分土圧荷重

JEAG4601-1991 追補版では、地震時増分土圧荷重についての JEAG 式は、建屋の設計に離散系地震応答解析モデルが用いられていない場合を想定して、土圧発生メカニズムを考慮した地震時増分土圧の簡便な算定法であり、地震時増分土圧の概算値をほぼ安全側に算出する方法である、とされている。

また、JEAG 式の適用条件については、地盤一般部に液状化が予想される場合を適用外としているが、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟周辺の地盤については、湧水配管により地下水を排水していることから、液状化は生じないと考えられるため、適用可能と判断する。

以上より、地震時増分土圧荷重については、JEAG 式がほぼ安全側に算出する方法であること、JEAG4601-1991 追補版に示す適用条件を満たしていることから、JEAG 式を用いることは妥当であると考ええる。

## 2.2 JEAG 式による土圧荷重と 2 次元地盤 FEM モデルによる土圧荷重との比較

本節では、離散系地震応答解析モデルを用いて建屋に作用する土圧荷重を算定し、JEAG 式を用いて算出した土圧荷重との比較により、JEAG 式を用いて土圧荷重を算定することの妥当性を確認する。

### 2.2.1 検討方法

離散系地震応答解析モデルは、添付資料 12-16-1 「緊急時対策棟、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」に示す地震応答解析モデルを、周囲の地盤を模擬した 2 次元 FEM モデルに組み込むことで建屋と地盤の相互作用を考慮した地震応答解析モデル（以下「2 次元地盤 FEM モデル」という。）とする。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の設置位置における速度層断面を第 2-1 図に示す。2 次元地盤 FEM モデルは、第 2-1 図に示す B<sub>1</sub> 断面及び B<sub>2</sub> 断面について、地盤の岩盤分類及び速度層区分に基づき平面ひずみ要素でモデル化する。

2 次元地盤 FEM モデルにおける建屋の地中部の各質点及び節点には、水平方向の剛梁要素を設け、地盤と接続している。また、建屋側面の剛梁要素と地盤の節点との境界には、引張力に対する建屋と地盤との剥離を考慮するため、圧縮方向のみを伝達するジョイント要素を設けている。

本検討においては、2 次元地盤 FEM モデルの地震応答解析による各ジョイント要素の最大反力を土圧荷重として、JEAG 式による土圧荷重との比較を行い、土圧荷重の算出に JEAG 式を用いることの妥当性を確認する。

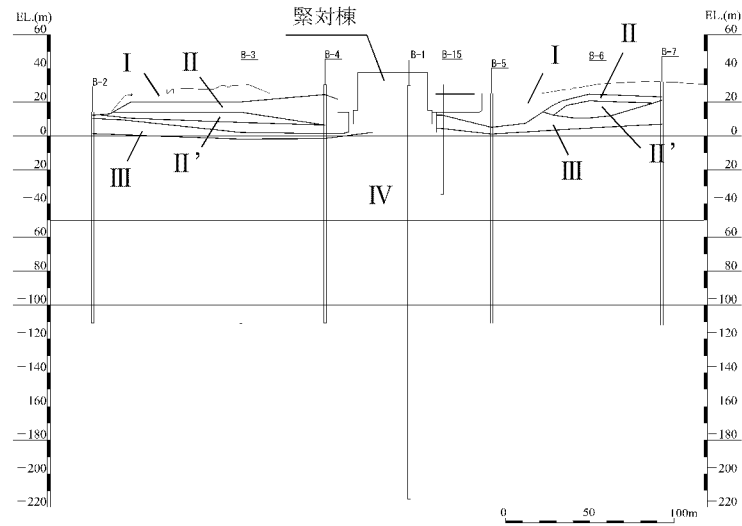
検討に用いる地震動は、応答スペクトルに基づく地震動である基準地震動 S<sub>s-1</sub> とする。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデルを第 2-2 図及び第 2-3 図、地盤定数を第 2-1 表、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟と地盤間の結合の概念図を第 2-4 図に示す。

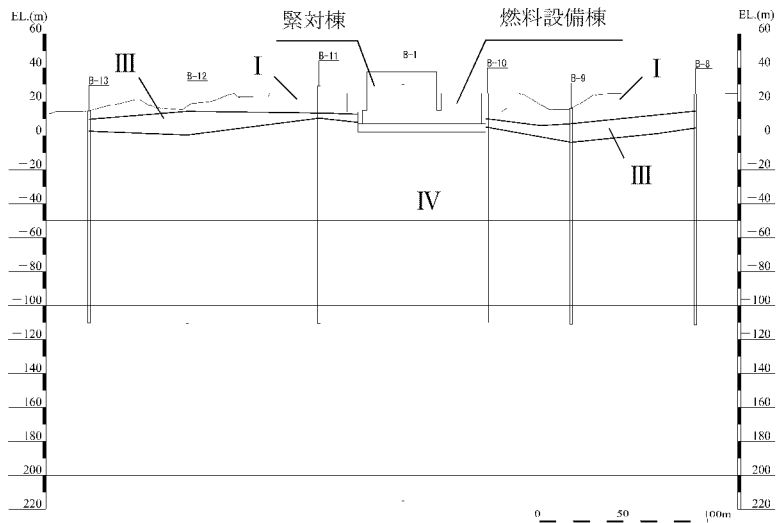


速度層 区分	Vs (注) (km/s)	Vp (注) (km/s)
I	0.26	0.92
II	0.84	2.06
II'	2.32	4.46
III	0.75	2.22
IV	1.62	3.36

(注) Vs は S 波速度、Vp は P 波速度を示す。



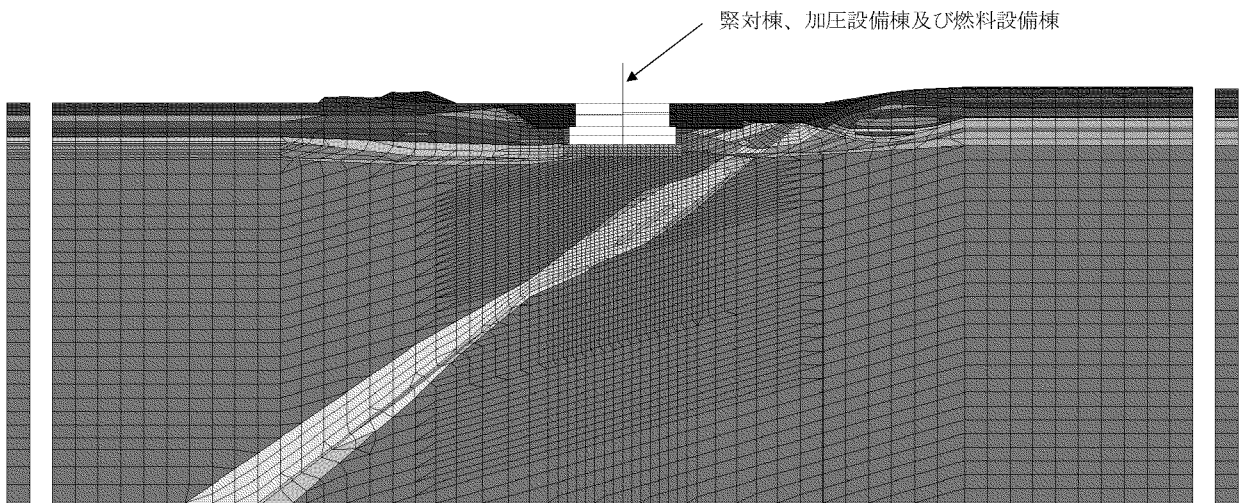
(a) B<sub>1</sub>断面



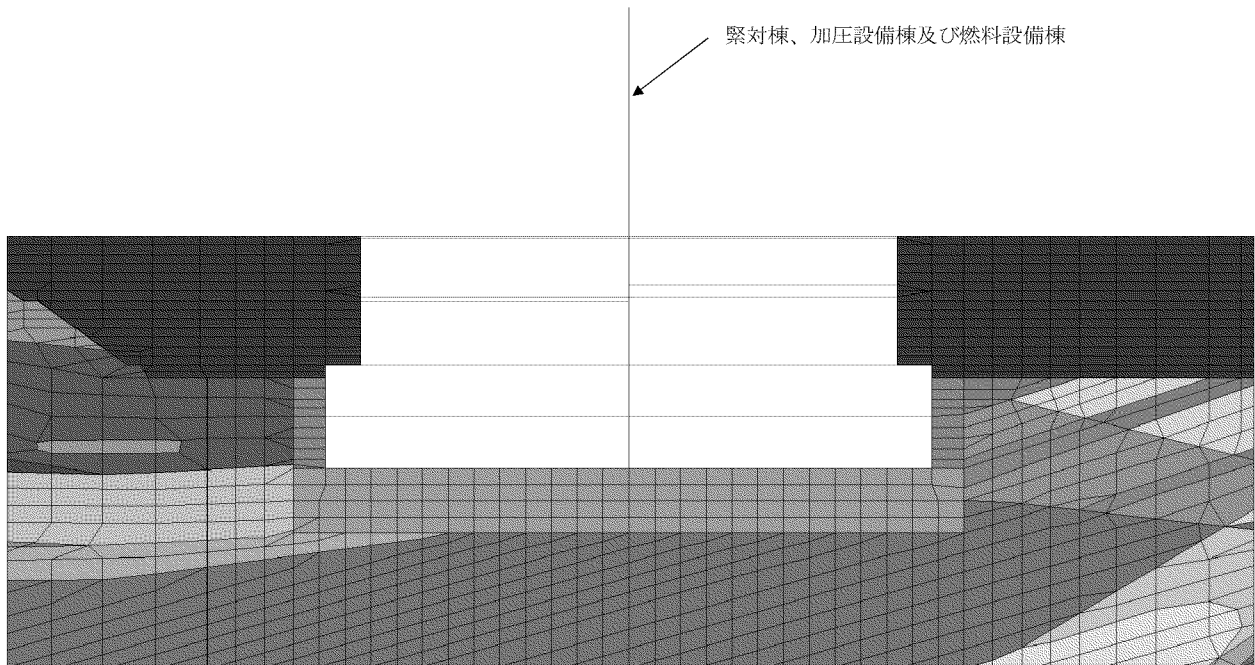
(b) B<sub>2</sub>断面

第 2-1 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟設置位置の速度層断面図



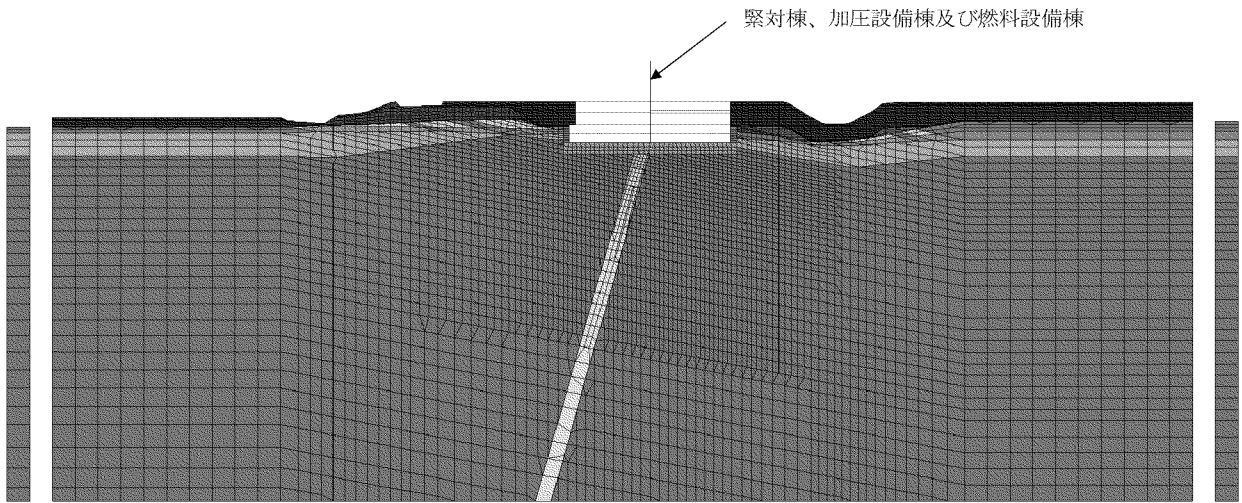


(a) B<sub>1</sub>断面

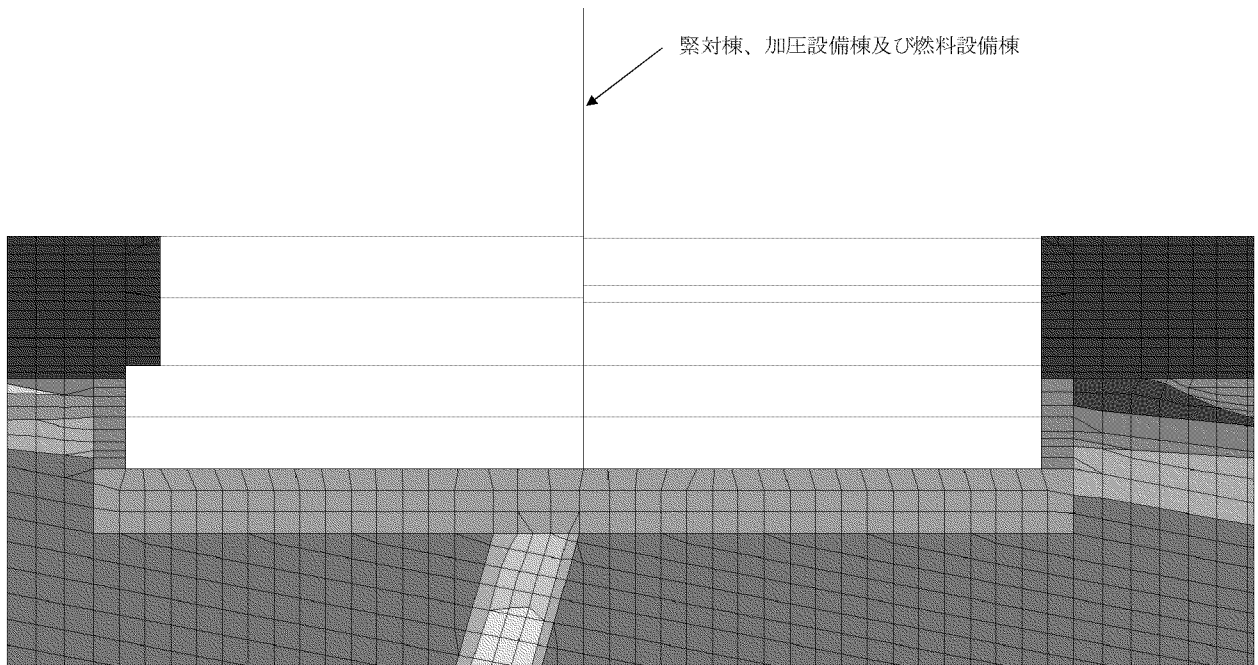


(b) 建屋周辺拡大図

第2-2図 地震応答解析モデル (B<sub>1</sub>断面)




























(a) B<sub>2</sub>断面



(b) 建屋周辺拡大図

第2-3図 地震応答解析モデル (B<sub>2</sub>断面)

第2-1表 地盤定数(1/2)

岩種	岩級	速度層	せん断波 速度 Vs (km/s)	単位 体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	せん断 弾性係数 G (kN/m <sup>2</sup> )	凡例 <sup>(注)</sup>	
砂岩	㉔	I	0.26	22.3	0.46	$1.53 \times 10^5$		
		III	0.75	22.3	0.44	$1.28 \times 10^6$		
		IV	1.62	22.3	0.35	$5.96 \times 10^6$		
頁岩	㉔	I	0.26	20.2	0.46	$1.39 \times 10^5$		
		III	0.75	20.2	0.44	$1.16 \times 10^6$		
		IV	1.62	20.2	0.35	$5.41 \times 10^6$		
砂・頁岩	㉔㉕	III	0.75	23.0	0.44	$1.32 \times 10^6$		
		IV	1.62	23.0	0.35	$6.17 \times 10^6$		
玄武岩	㉔	II'	2.32	27.7	0.31	$1.52 \times 10^7$		
	㉕	I	0.26	24.0	0.46	$1.66 \times 10^5$		
		II	0.84	24.0	0.40	$1.73 \times 10^6$		
		II'	2.32	24.0	0.31	$1.32 \times 10^7$		
	㉔	I	0.26	19.7	0.46	$1.36 \times 10^5$		
		II	0.84	19.7	0.40	$1.42 \times 10^6$		
		II'	2.32	19.7	0.31	$1.08 \times 10^7$		
		III	0.75	19.7	0.44	$1.13 \times 10^6$		
	玢岩	㉔	IV	1.62	26.5	0.35	$7.09 \times 10^6$	
			㉕	III	0.75	26.3	0.44	$1.51 \times 10^6$
IV		1.62		26.3	0.35	$7.03 \times 10^6$		
㉔		I	0.26	20.8	0.46	$1.43 \times 10^5$		
		III	0.75	20.8	0.44	$1.19 \times 10^6$		
		IV	1.62	20.8	0.35	$5.56 \times 10^6$		
凝灰岩	㉔	I	0.26	18.6	0.46	$1.28 \times 10^5$		
		II	0.84	18.6	0.40	$1.34 \times 10^6$		
八ノ久保 砂礫層	-	I	0.26	19.6	0.46	$1.35 \times 10^5$		
		III	0.75	19.6	0.44	$1.13 \times 10^6$		

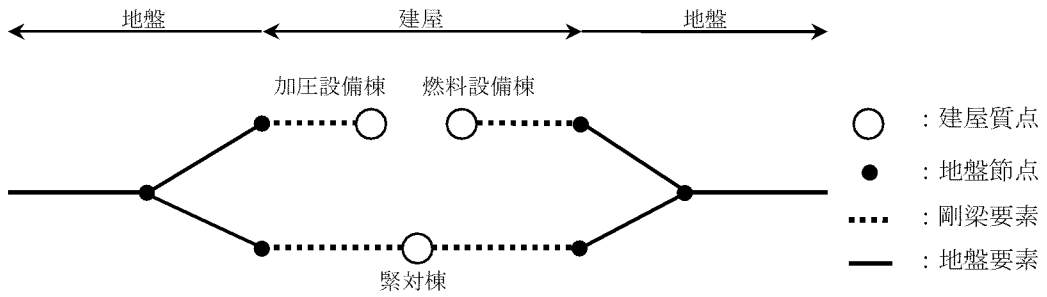
(注) 第2-2図及び第2-3図に対応する凡例を示す。

第 2-1 表 地盤定数(2/2)

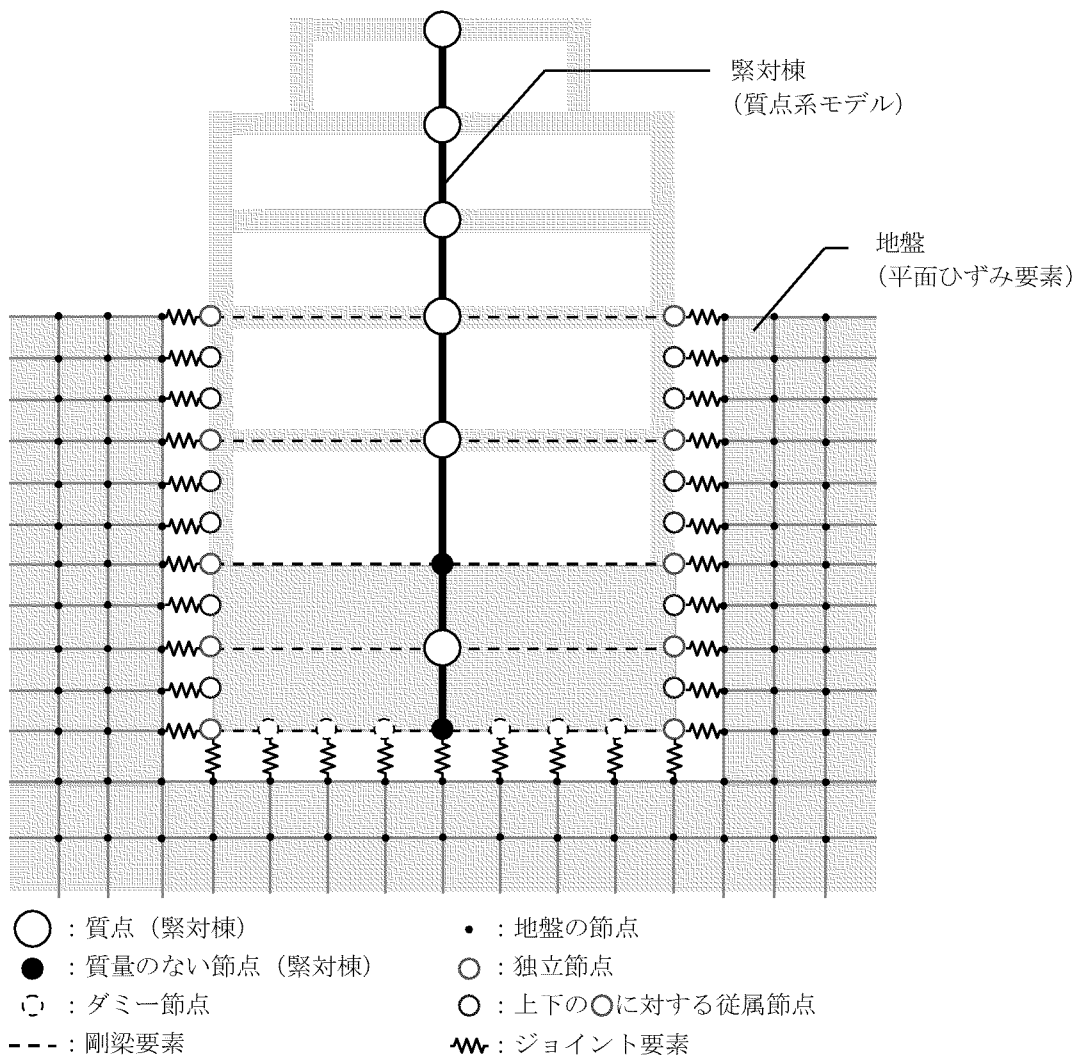
岩種		せん断波 速度 Vs (km/s)	単位 体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 $\nu$	せん断 弾性係数 G (kN/m <sup>2</sup> )	凡例 <sup>(注2)</sup>
埋戻土 <sup>(注1)</sup>	EL.25.00～ 14.00m	0.09	19.5	0.45	1.69×10 <sup>4</sup>	■
	EL.14.00～ 4.00m	0.15	19.5	0.45	4.23×10 <sup>4</sup>	■
マンメイド ロック	18N/mm <sup>2</sup>	1.95	23.5	0.20	9.17×10 <sup>6</sup>	■

(注1) 埋戻土は、ひずみ依存特性を考慮する。

(注2) 第 2-2 図及び第 2-3 図に対応する凡例を示す。



(a) 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟と地盤との結合 (B<sub>1</sub>断面)



(b) 緊対棟と地盤との結合要素 (B<sub>1</sub>断面)

第 2-4 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟と地盤間の結合の概念図

### 2.2.2 検討結果

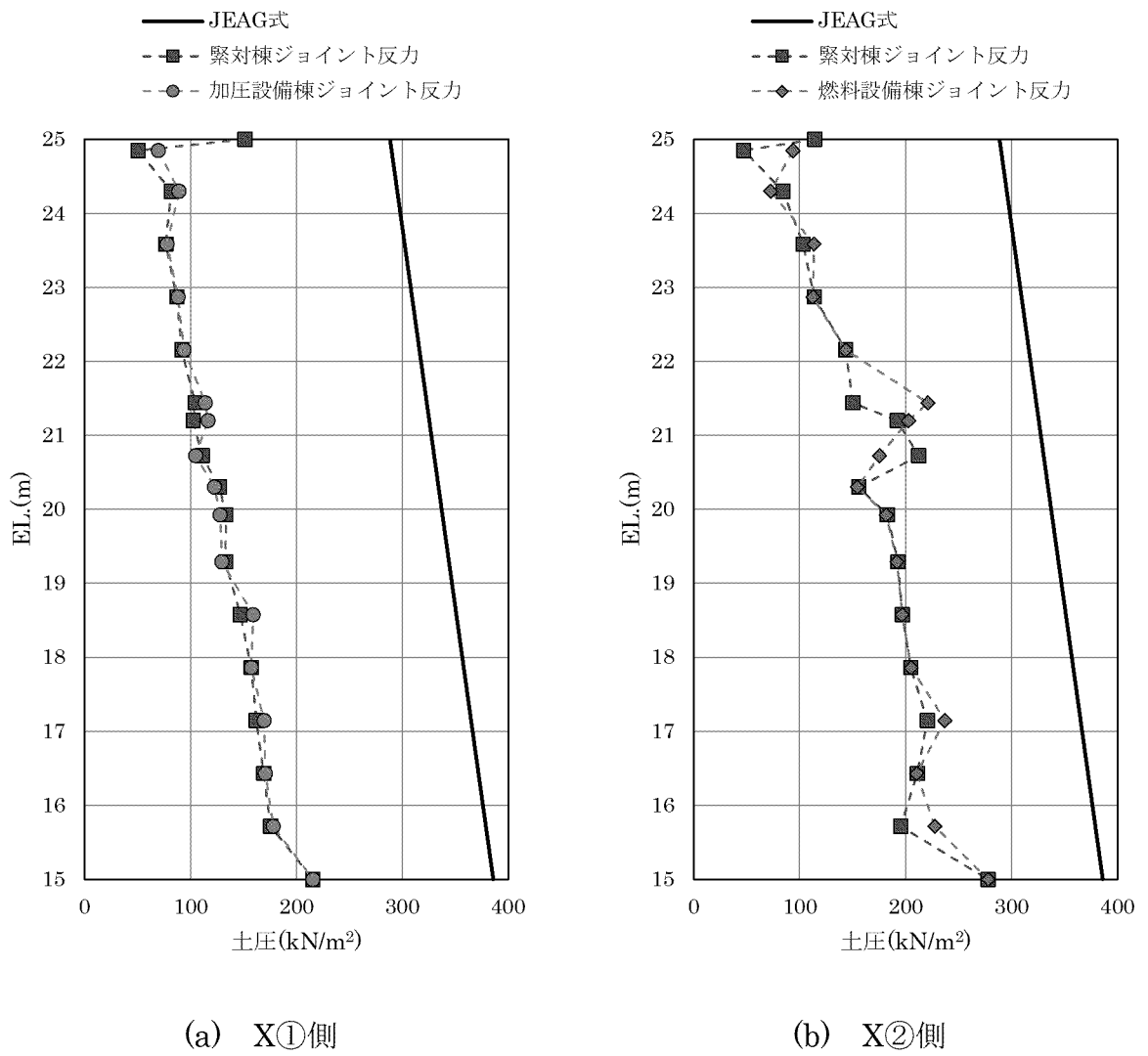
2次元地盤 FEM モデルの地震応答解析により算定した土圧荷重分布と JEAG 式による土圧荷重分布との比較結果を第 2-5 図及び第 2-6 図に示す。

図中の黒線は、添付資料 12-16-2「緊急時対策棟の耐震計算書」に示した常時土圧荷重と地震時増分土圧荷重を足し合わせることで算出した地震時土圧である。その他の線は、2次元地盤 FEM モデルのジョイント要素の反力より算出した常時土圧と地震時増分土圧の和である。

第 2-5 図より、土圧荷重が作用する EL.15.00m～EL.25.00m までの全域において、JEAG 式による土圧荷重がジョイント反力による土圧荷重を上回っており、JEAG 式により算出した土圧荷重が保守的な値となっていることが確認できる。



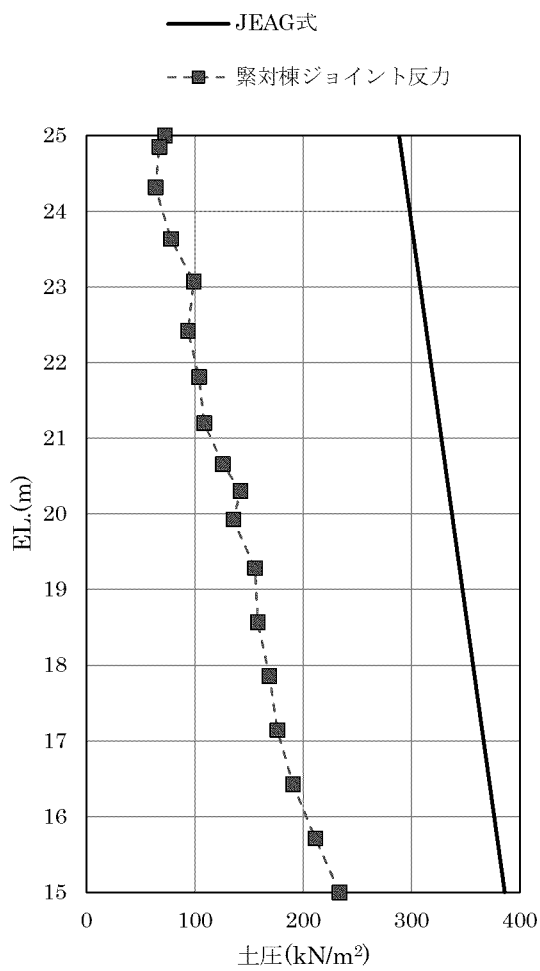
KEY PLAN



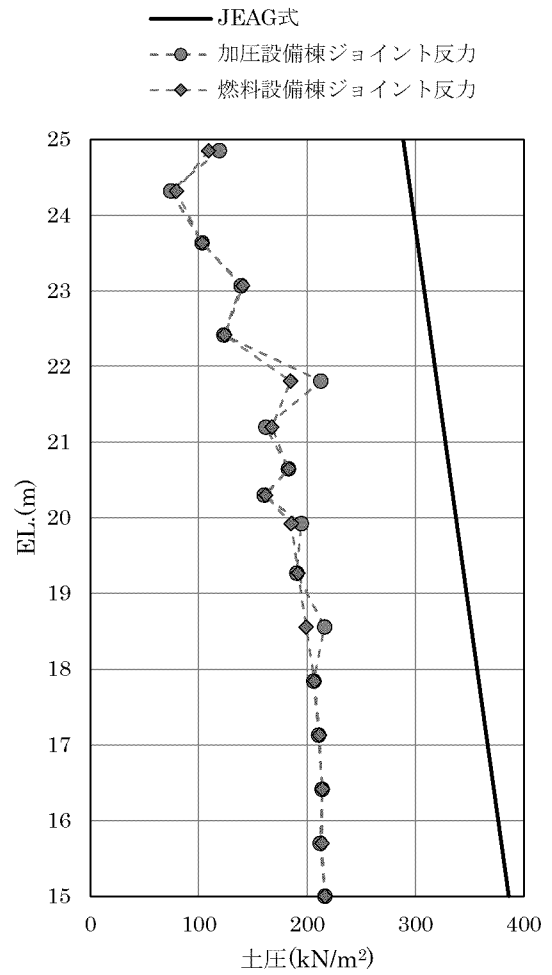
第2-5図 土圧荷重分布の比較 (B<sub>1</sub>断面)



KEY PLAN



(a) Y①側



(b) Y②側

第2-6図 土圧荷重分布の比較 (B<sub>2</sub>断面)



### 3. まとめ

JEAG4601-1991 追補版における土圧荷重の適用条件を確認し、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟が適用条件を満たすことを確認した。

また、JEAG 式により算出した土圧荷重と 2 次元地盤 FEM モデルの各ジョイント要素の最大反力より算出した土圧荷重との比較により、JEAG 式より算出した土圧荷重が保守的であることを確認した。

以上より、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の応力解析に用いる土圧荷重の設定において、JEAG 式により算定した土圧荷重を用いることの妥当性を確認した。

7-3-4. 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 .....	10
2.1 基礎地盤の検討 .....	10
2.2 上部構造の検討 .....	13
3. まとめ .....	18

## 1. 概 要

### 1.1 検討概要

本資料は、玄海原子力発電所の建物・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説明するものである。

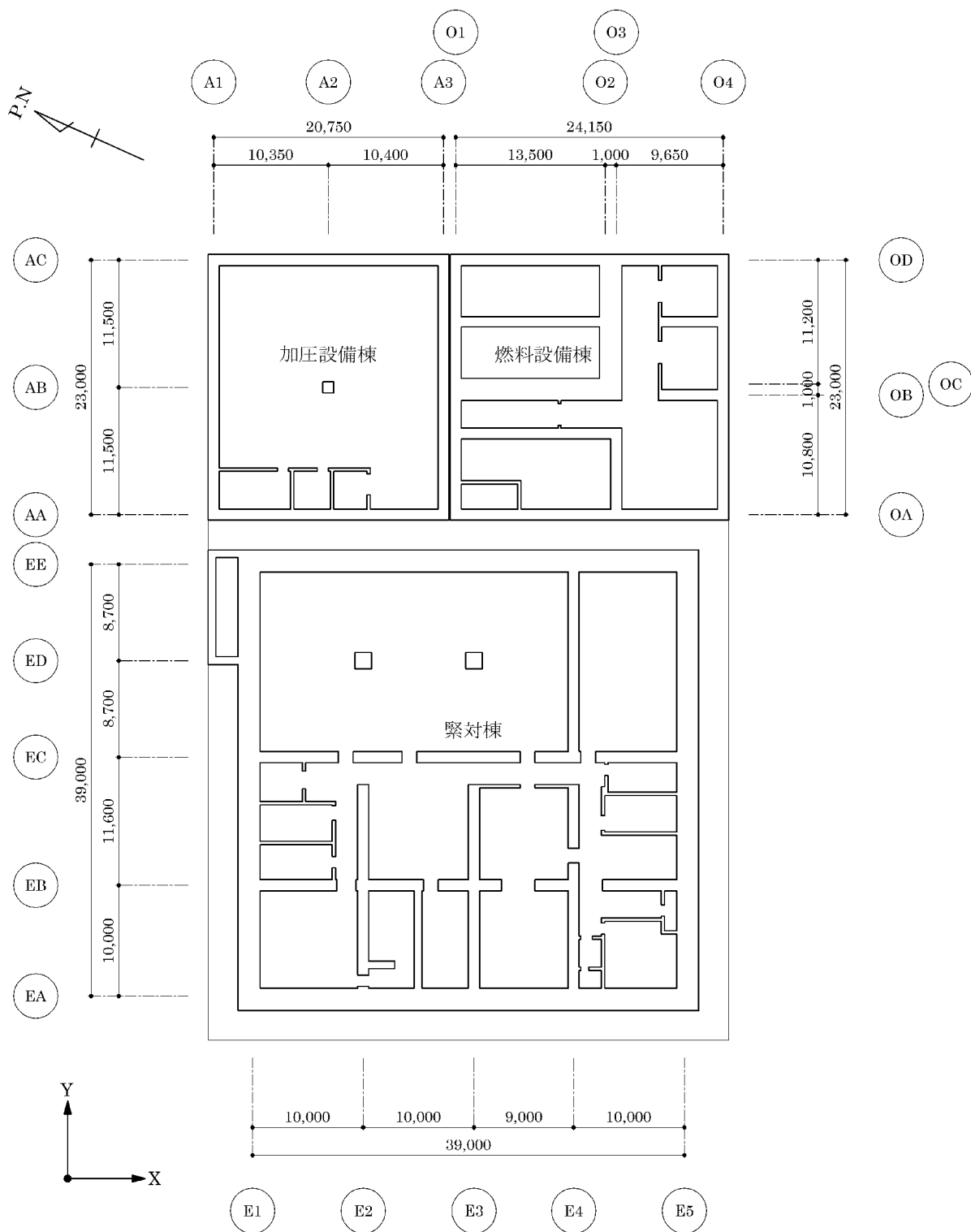
建物・構築物の耐震評価において、水平方向及び鉛直方向の荷重の組合せに組合せ係数法を適用した評価結果と、水平方向及び鉛直方向の地震応答を時々刻々重ね合わせた評価結果との比較を行うことで、組合せ係数法の適用性を確認する。

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 12-16-2 「緊急時対策棟の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-3 「緊急時対策棟、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）の基礎の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-4 「緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-5 「緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）の耐震計算書」

ここで、緊急時対策棟（以下「緊対棟」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。）は、建屋の向きがプラントノースに対して東側に  $65.8^\circ$  傾いているため、基礎版の短辺方向を X 方向、長辺方向を Y 方向と定義する。緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略平面図を第 1-1 図に示す。

(mm)



第 1-1 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略平面図 (地下 2 階)

## 1.2 評価対象部位及び検討方針

### 1.2.1 評価対象部位

建物・構築物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建物・構築物を第 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建物・構築物及び評価対象部位

建物・構築物	評価対象部位	評価方法	地震動
緊対棟	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
緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎	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
加圧設備棟	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
燃料設備棟	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

### 1.2.2 検討方針

建物・構築物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 29 年 8 月 25 日付け原規規発第 1708253 号にて認可された工事計画に係る補足説明資料 11-9「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  $S_s-1$ ～ $S_s-5$  並びに弾性設計用地震動  $S_d-1$ ～ $S_d-5$  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。

今回の緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の耐震評価については、新規制基準工認と同様に、基準地震動  $S_s-1$ ～ $S_s-5$  に対する評価を行っている。また、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の構造特性は、新規制基準工認における評価対象建屋である原子炉補助建屋等と類似しており、非線形性の影響が小さい場合であれば、地震応答特性は同等であると考えられるため、組合せ係数法を適用しても安全上支障がないと考えられる。

但し、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟は、同一基礎版上に設置された建物であり、地震応答解析モデルは、並列多質点系曲げせん断棒モデルとなっている。したがって、それぞれの建屋の構造特性が既設建屋に類似している場合であっても、単独建屋の地震応答特性とは異なる可能性がある。

以上を踏まえ、本資料では、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の組合せ係数法の適用性を検討する。

検討に用いる地震動は、基準地震動  $S_s$  を対象とし、応答スペクトルに基づく地震動である  $S_s-1$  に加えて、断層モデルに基づく地震動 ( $S_s-2$  及び  $S_s-3$ ) 及び震源を特定せず策定する地震動 ( $S_s-4$  及び  $S_s-5$ ) のうち接地圧が最も大きくなる地震動を選定して用いるものとする。

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、水平地震力の影響を受けやすい、アスペクト比の大きい緊対棟を代表として検討を行う。各建物・構築物のアスペクト比を第 1-2 表に示す。上部構造物の検討として、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 12-16-1「緊急時対策棟、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」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。

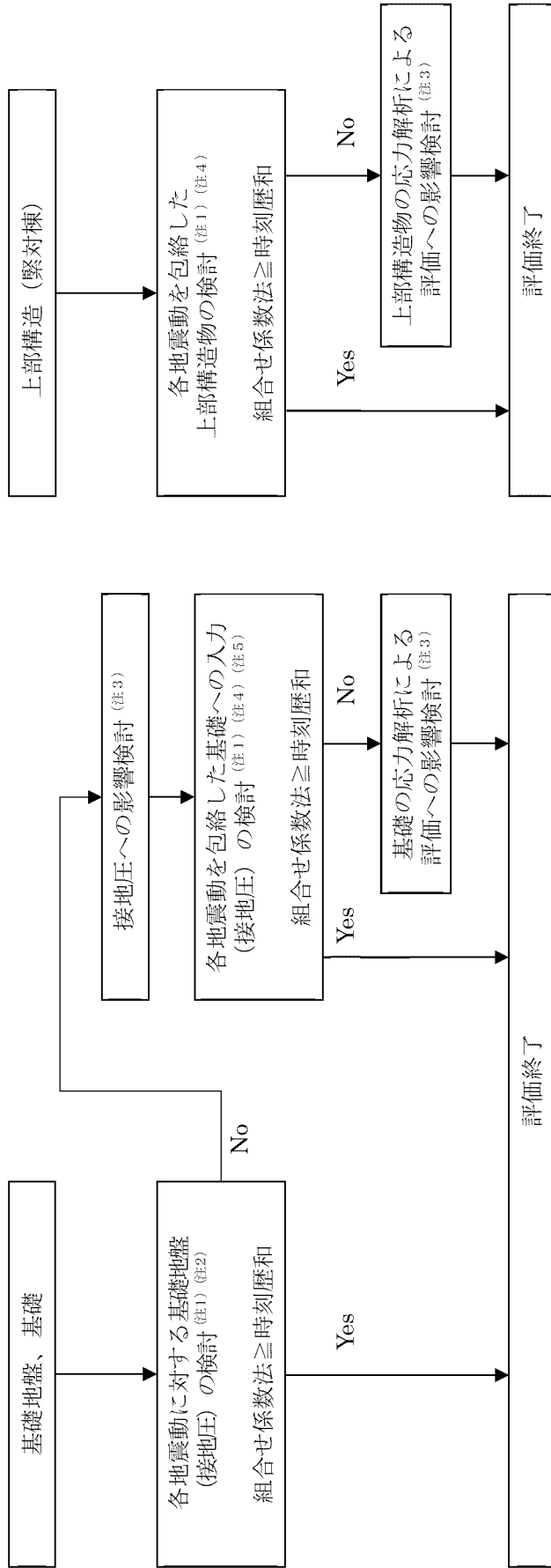
検討フローを第 1-2 図に示す。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデルを第 1-3 図に示す。



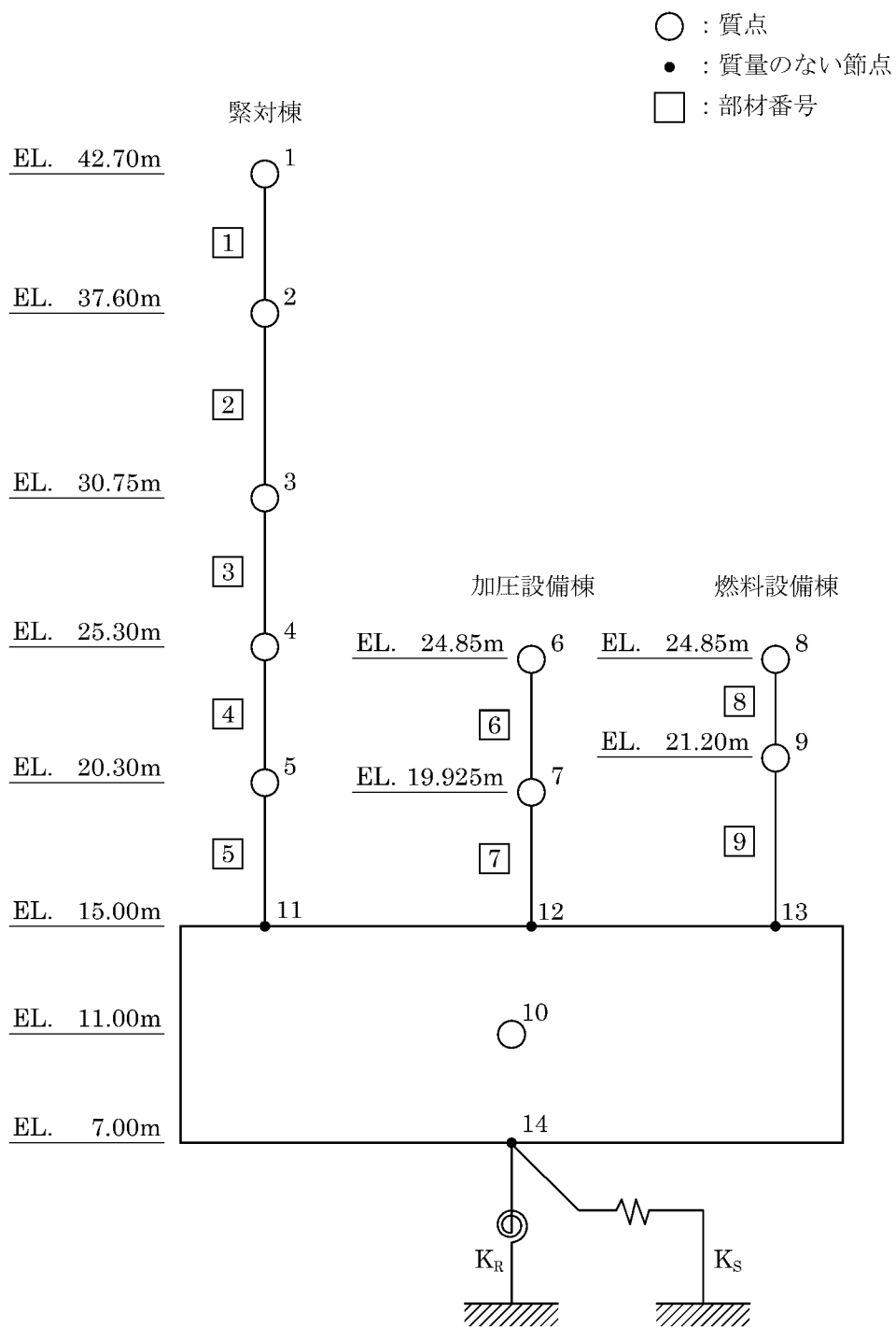
第1-2表 建物・構築物のアスペクト比

建物・構築物	アスペクト比 (高さ／短辺幅)
緊対棟	0.71
加圧設備棟	0.47
燃料設備棟	0.43



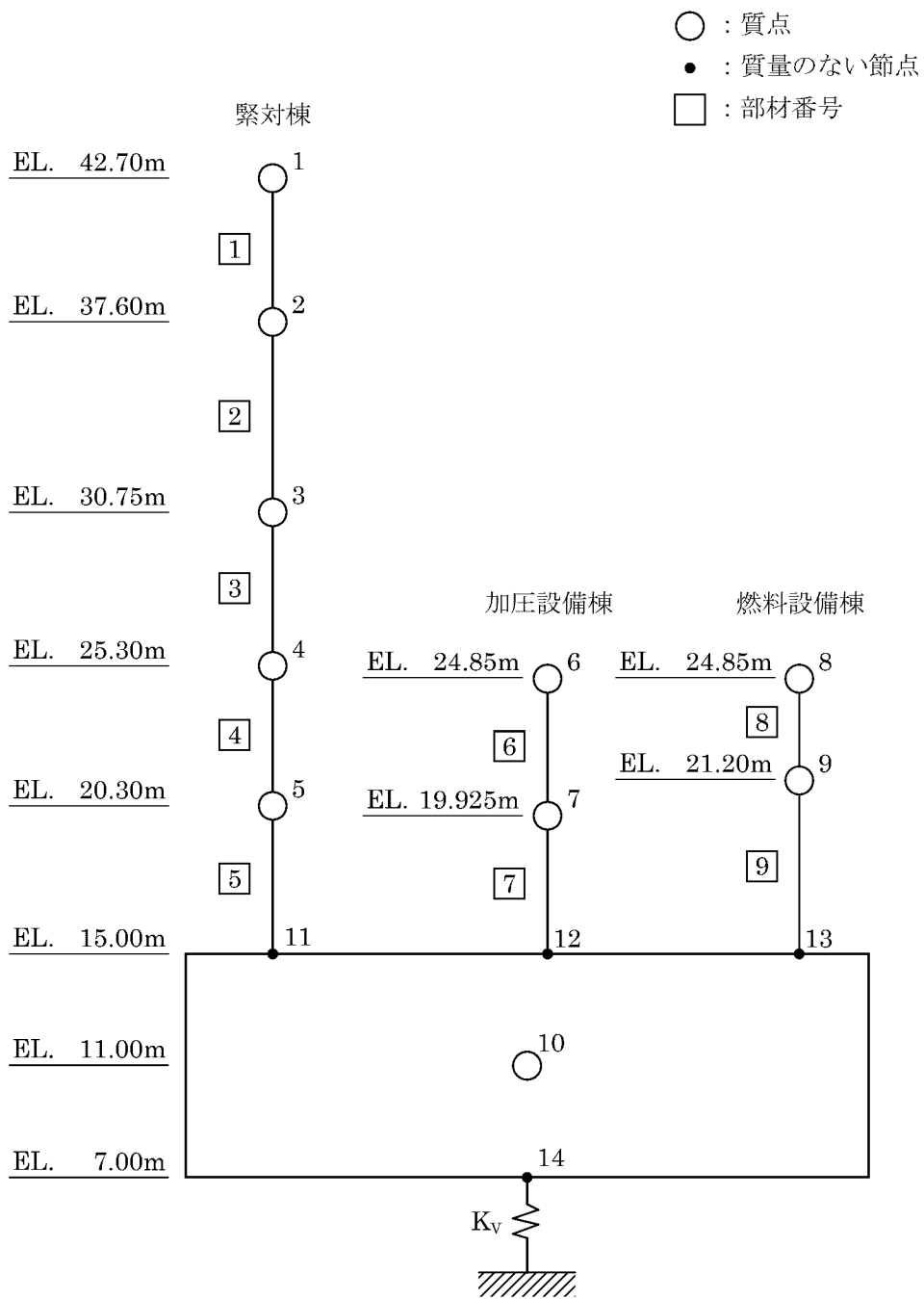
- (注1) 基本ケースによる検討
- (注2) 基準地震動  $S_s$  各波に対する検討
- (注3) 材料物性のばらつき等を考慮した検討
- (注4) 基準地震動  $S_s$  各波を包絡した検討
- (注5) 基礎へ入力される地震荷重は、接地圧との関連が深いため、基礎への入力の検討は、接地圧による検討を行う。

第1-2図 検討フロー



(a) 水平方向

第 1-3 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデル(1/2)



(b) 鉛直方向

第 1-3 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地震応答解析モデル(2/2)

## 2. 検討結果

### 2.1 基礎地盤の検討

#### 2.1.1 検討内容

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟について、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。

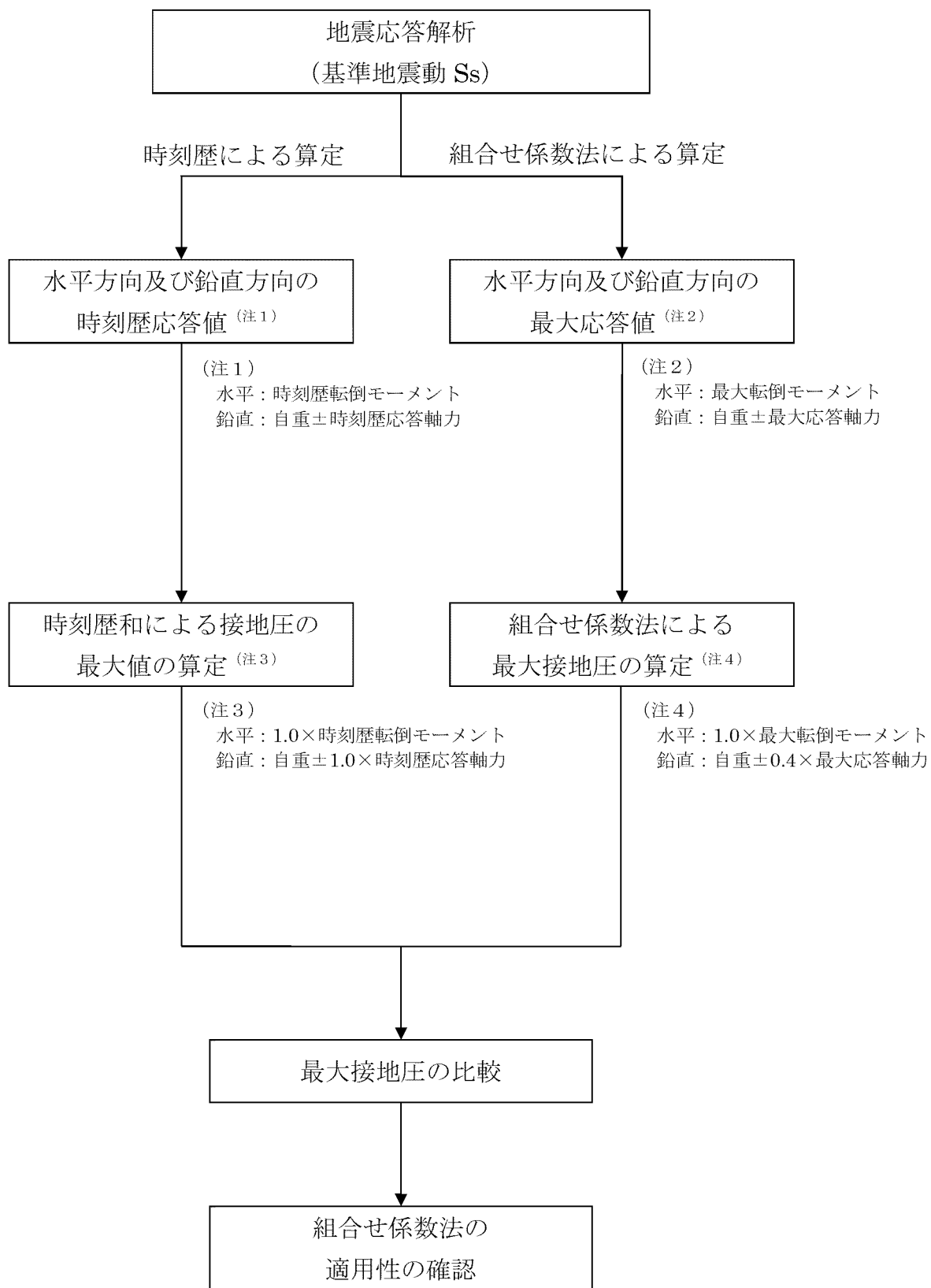
以上より、接地圧の評価において、組合せ係数法を適用しても安全上支障がないことを確認する。

検討に用いる地震動は、基準地震動  $S_s$  とし、応答スペクトルに基づく地震動である  $S_s-1$  及び震源を特定せず策定する地震動である  $S_s-4$  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

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟について、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 (緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟) (注)

#### (a) 基準地震動 Ss-1

	X 方向		Y 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> )	0.906		0.749	
②時刻歴和による接地圧の最大値(N/mm <sup>2</sup> )	0.872	0.874	0.690	0.733
最大接地圧の比 (①/②)	1.04	1.04	1.09	1.02

#### (b) 基準地震動 Ss-4

	X 方向		Y 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> )	0.784		0.643	
②時刻歴和による接地圧の最大値(N/mm <sup>2</sup> )	0.738	0.762	0.595	0.634
最大接地圧の比 (①/②)	1.06	1.03	1.08	1.01

(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

緊対棟の壁について、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。

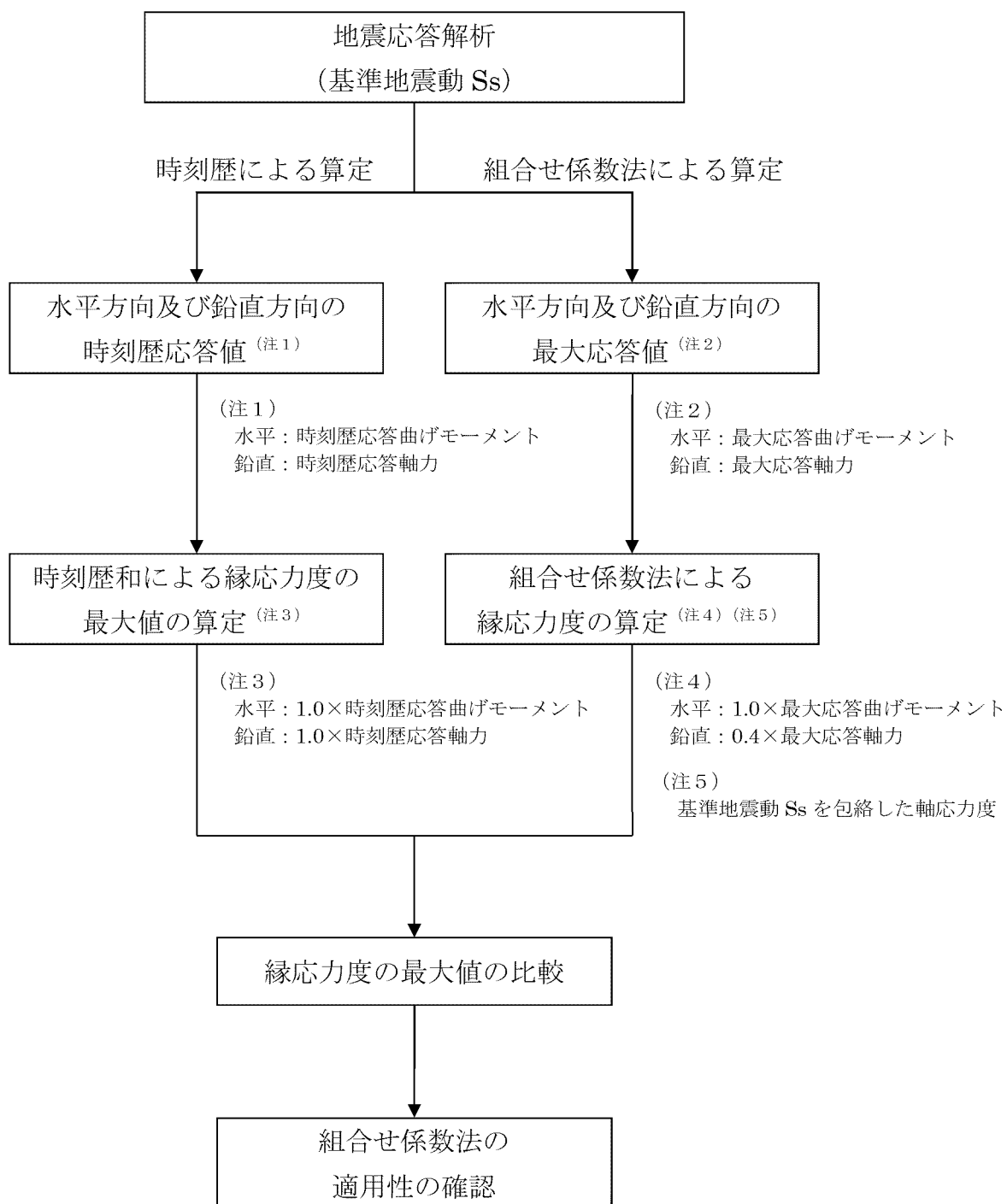
検討に用いる地震動は、基準地震動  $S_s$  とし、応答スペクトルに基づく地震動である  $S_s-1$  及び震源を特定せず策定する地震動である  $S_s-4$  とする。

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。

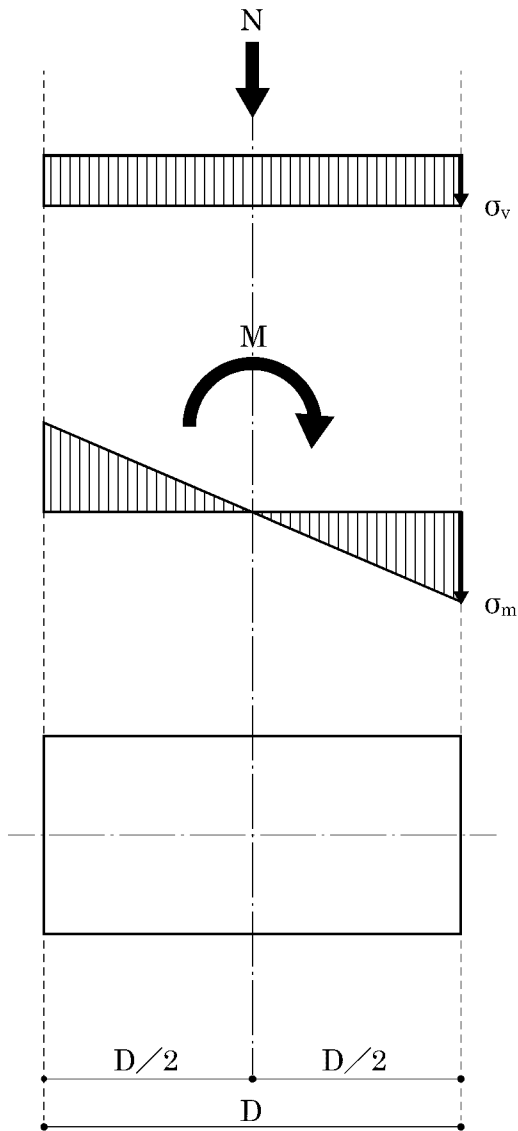
これに対して、時刻歴和による縁応力度の最大値は、選定した地震動を用い、時刻ごとに、時刻歴応答曲げモーメントから算定した縁応力度と時刻歴応答軸力から算定した軸応力度の和の最大値とする。

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

緊対棟について、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（緊対棟（壁））<sup>(注)</sup>

(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			
X	①	2.23	2.23	2.20	1.01	1.01
	②	0.906	0.906	0.877	1.03	1.03
	③	1.86	1.86	1.80	1.03	1.03
	④	2.13	2.13	2.07	1.03	1.03
	⑤	2.91	2.91	2.84	1.02	1.02
Y	①	1.95	1.95	1.92	1.02	1.02
	②	0.932	0.932	0.902	1.03	1.03
	③	2.03	2.03	1.98	1.03	1.03
	④	2.05	2.05	2.00	1.03	1.03
	⑤	2.95	2.95	2.87	1.03	1.03

(b) 基準地震動 Ss-4

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-4	② Ss 包絡			
X	①	0.799	2.23	0.790	1.01	2.82
	②	0.375	0.906	0.349	1.07	2.60
	③	0.849	1.86	0.804	1.06	2.31
	④	1.07	2.13	1.03	1.04	2.07
	⑤	1.63	2.91	1.59	1.03	1.83
Y	①	0.771	1.95	0.762	1.01	2.56
	②	0.378	0.932	0.368	1.03	2.53
	③	0.906	2.03	0.856	1.06	2.37
	④	1.02	2.05	0.942	1.08	2.18
	⑤	1.64	2.95	1.53	1.07	1.93

(注) 基本ケースによる検討結果を示す。

### 3. まとめ

建物・構築物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、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟を対象として、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、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た。

### 7-3-5. 応力解析における応力集中部位の確認

## 目 次

	頁
1. 概 要 .....	1
2. 検討概要 .....	3
3. 応力集中部位の確認結果 .....	4
3.1 緊対棟 EC 通り壁 (要素番号 21370) .....	4
3.2 緊対棟 EL.37.60m の床 (要素番号 50382) .....	8
4. まとめ .....	12

## 1. 概 要

本資料は、緊急時対策棟（以下「緊対棟」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3次元 FEM モデルを用いた応力解析における応力集中部位について説明するものである。

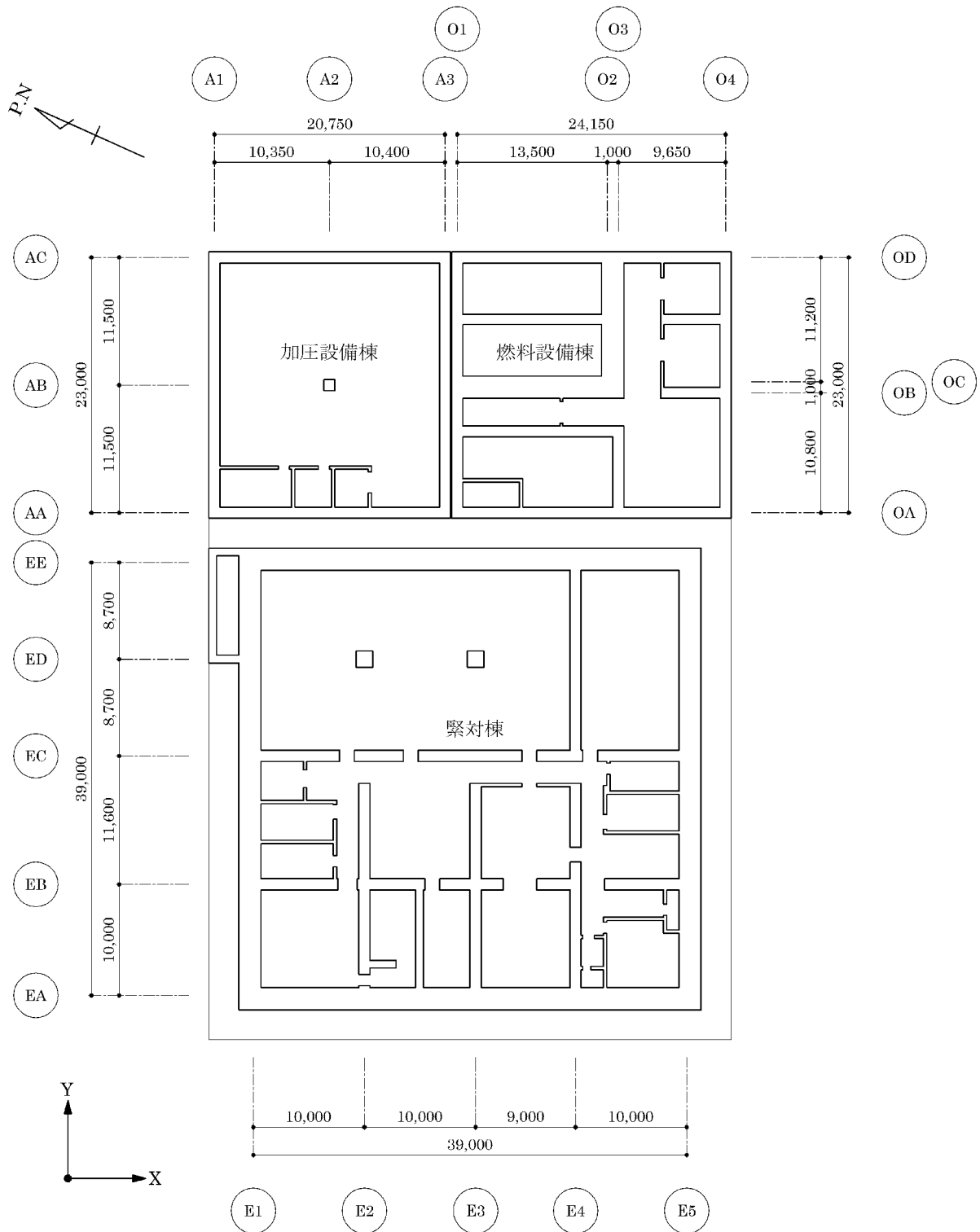
また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付資料 12-16-2 「緊急時対策棟の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-3 「緊急時対策棟、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）の基礎の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-4 「緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の耐震計算書」
- ・添付資料 12-16-5 「緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）の耐震計算書」

ここで、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟は、建屋の向きがプラントノースに対して東側に  $65.8^\circ$  傾いているため、基礎版の短辺方向を X 方向、長辺方向を Y 方向と定義する。緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略平面図を第 1-1 図に示す。



(mm)



第 1-1 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略平面図 (地下 2 階)

## 2. 検討概要

添付資料 12-16-2「緊急時対策棟の耐震計算書」、添付資料 12-16-3「緊急時対策棟、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）の基礎の耐震計算書」、添付資料 12-16-4「緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）の耐震計算書」及び添付資料 12-16-5「緊急時対策棟屋外地下エリア（加圧設備）の耐震計算書」において、3次元 FEM モデルによる応力解析を行い、部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認している。

本資料では、3次元 FEM モデルによる応力解析結果より得られる応力コンター図により、周辺の要素と比較して局所的に大きな応力が生じている要素を抽出し、当該要素に応力が集中する要因について考察を行う。さらに、当該要素について断面の評価を行い、発生する応力が許容限界を超えないことを確認することで、応力解析における応力の集中に対し、建物・構築物が有する耐震性への影響がないことを確認する。

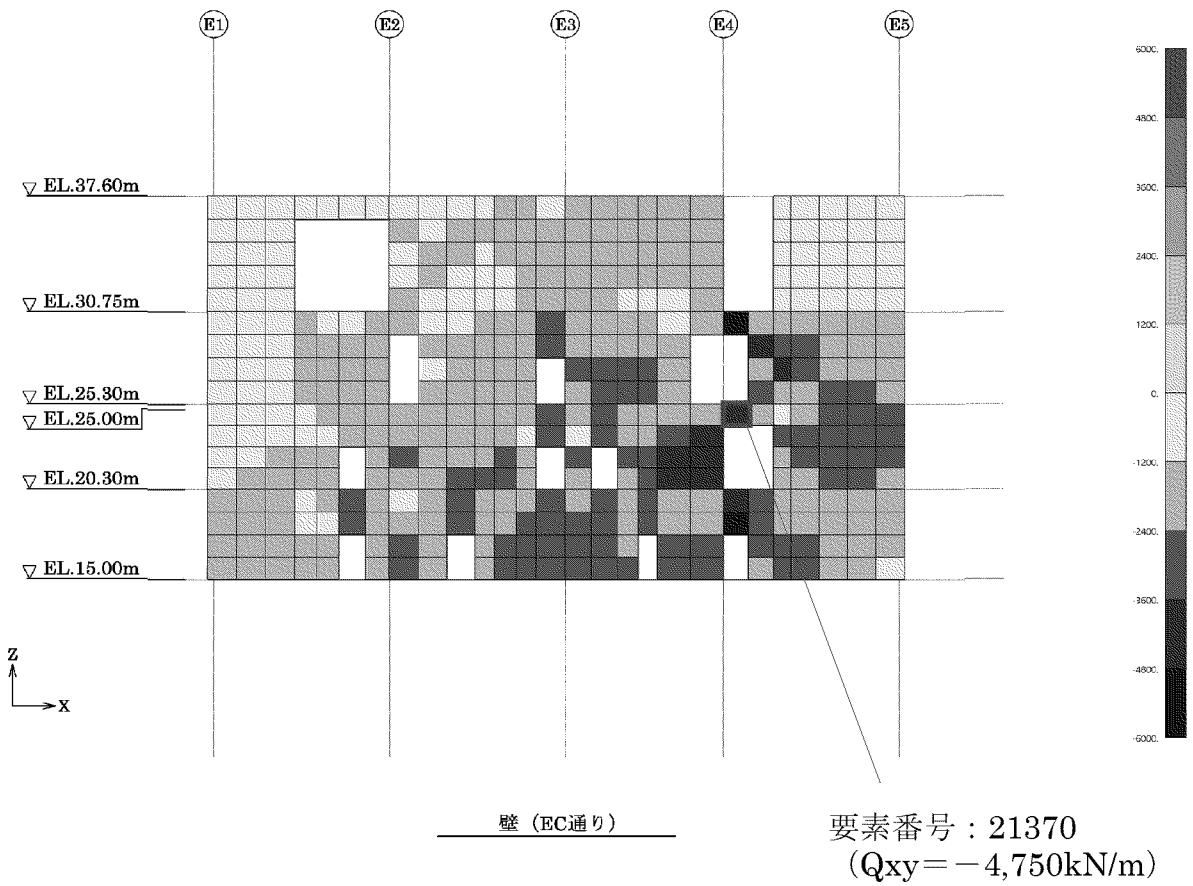
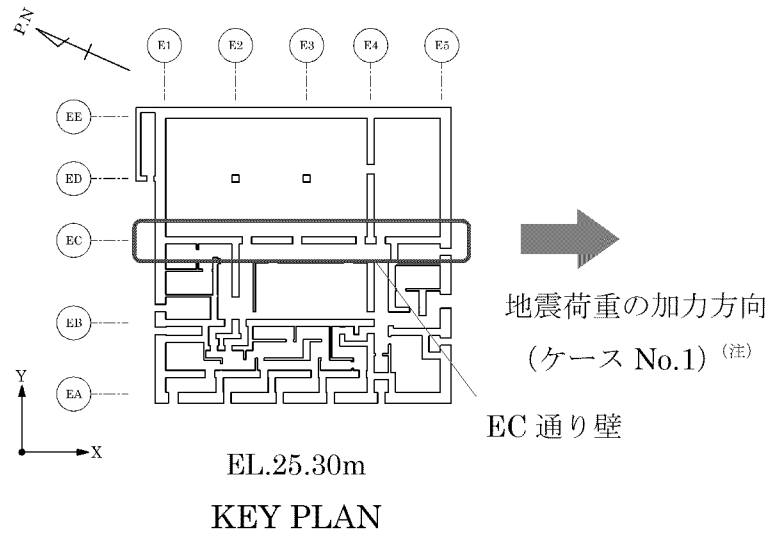
### 3. 応力集中部位の確認結果

#### 3.1 緊対棟 EC 通り壁（要素番号 21370）

##### 3.1.1 応力解析結果

緊対棟の EC 通り壁の応力コンター図（面内せん断力  $Q_{xy}$ 、ケース No.1）を第 3-1 図に示す。応力コンター図より、要素番号 21370 付近に応力（面内せん断力）が集中していることが確認できる。

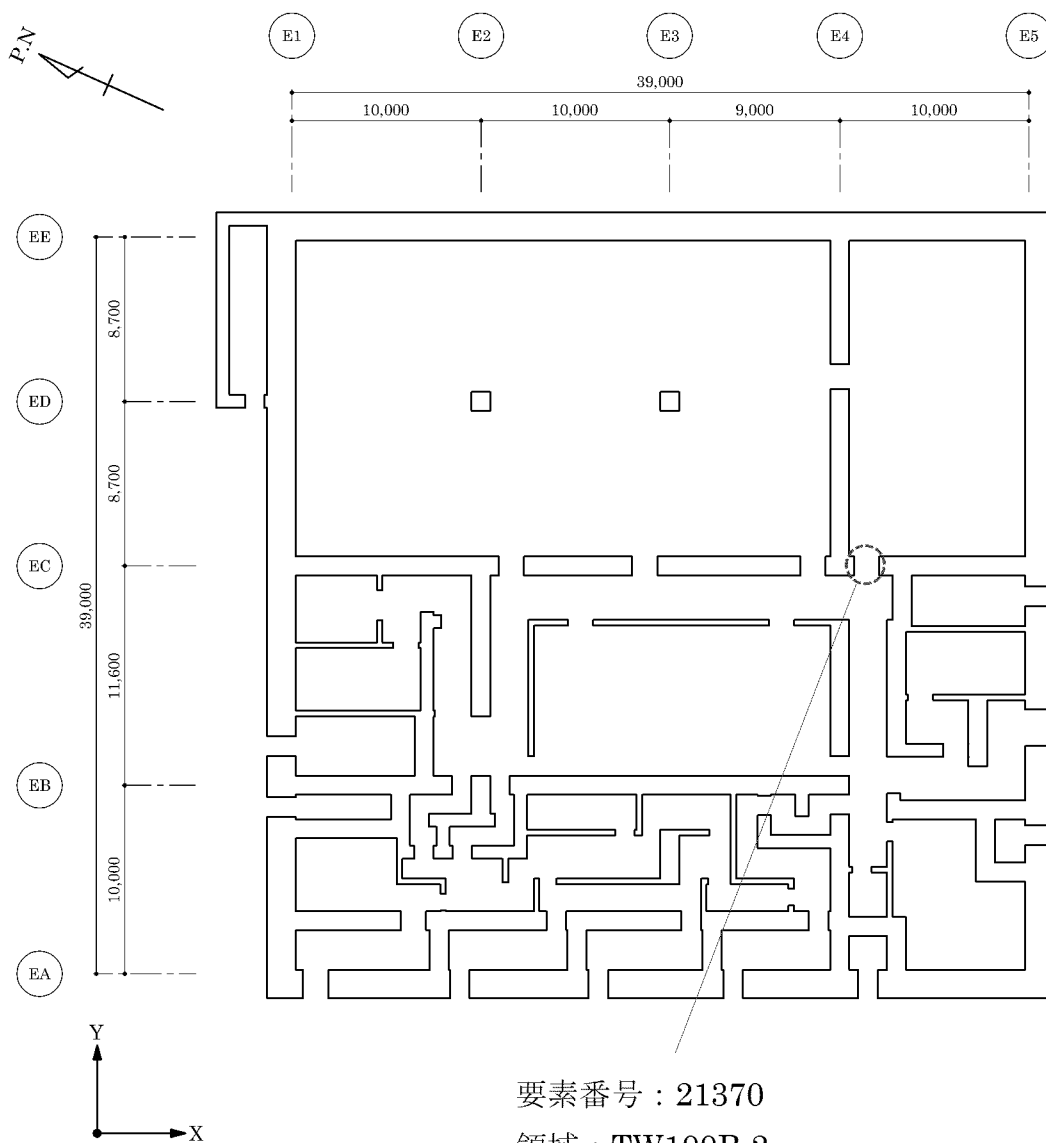
ここで、応力集中要素（要素番号 21370）の位置図を第 3-2 図に示す。応力コンター図及び応力集中要素位置図より、要素番号 21370 は、壁開口周りの要素である。また、地下 1 階及び 1 階の壁開口に挟まれる要素であることから、応力（面内せん断力）が集中しやすい部位であることが確認できる。



(注) ケース No.1 :  $D + L + E_0 + 1.0K_{sX} + 0.4K_{sUD} + 1.0E_{sX}$

第 3-1 図 応力コンター図 (緊対棟、EC 通り壁、ケース No.1、 $Q_{xy}$ )

(mm)



要素番号 : 21370

領域 : TW100B-2

(壁開口下に配置される壁の要素)

概略平面図(EL.25.30m)

第 3-2 図 応力集中要素位置図 (要素番号 21370)

### 3.1.2 断面の評価結果

応力の集中する要素として抽出した要素番号 21370 について、配筋を第 3-1 表、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 3-2 表に示す。

断面の評価結果より、部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認した。

以上より、応力の集中する要素番号 21370 について、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。

第 3-1 表 配筋 (要素番号 21370)

部位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD345)		鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断 補強筋	
			位置	方向			
壁	TW100B-2	1,000	両側共	縦筋	2 段 D38@200 + 1 段 D38@200	17,100	—
				横筋	2 段 D38@200 + 1 段 D38@200	17,100	

第 3-2 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)

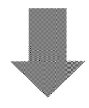
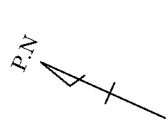
部位	領域	要素 番号	方向	ケース No.	組合せ応力			必要 鉄筋量 a <sub>g</sub> (mm <sup>2</sup> /m)	設計 配筋量 a <sub>g</sub> ' (mm <sup>2</sup> /m)	検定値	判定
					N (kN/m)	M (kN・m/m)	Q <sub>xy</sub> (kN/m)				
壁	TW100B-2	21370	縦筋	1	2,143	74	-4,750	10,523	17,100	0.62	可

## 3.2 緊対棟 EL.37.60m の床（要素番号 50382）

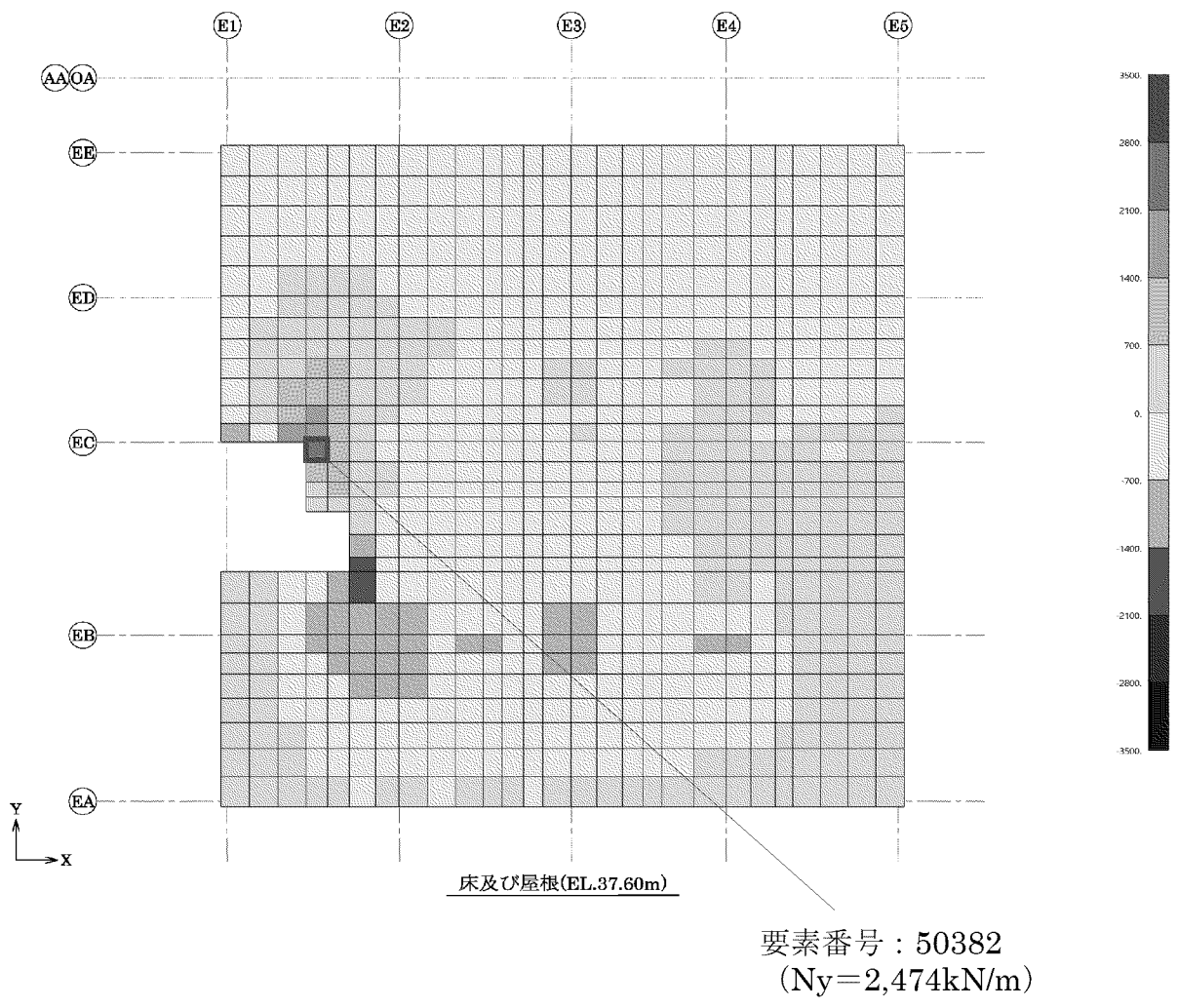
### 3.2.1 応力解析結果

緊対棟の EL.37.60m の床の応力コンター図（軸力  $N_y$ 、ケース No.8）を第 3-3 図に示す。応力コンター図より、要素番号 50382 付近に応力（軸力）が集中していることが確認できる。

ここで、応力集中要素（要素番号 50382）の位置図を第 3-4 図に示す。応力コンター図及び応力集中要素位置図より、要素番号 50382 は、床開口周りの要素であり、応力（軸力）が集中しやすい部位であることが確認できる。



地震荷重の加力方向  
(ケース No.8) (注)

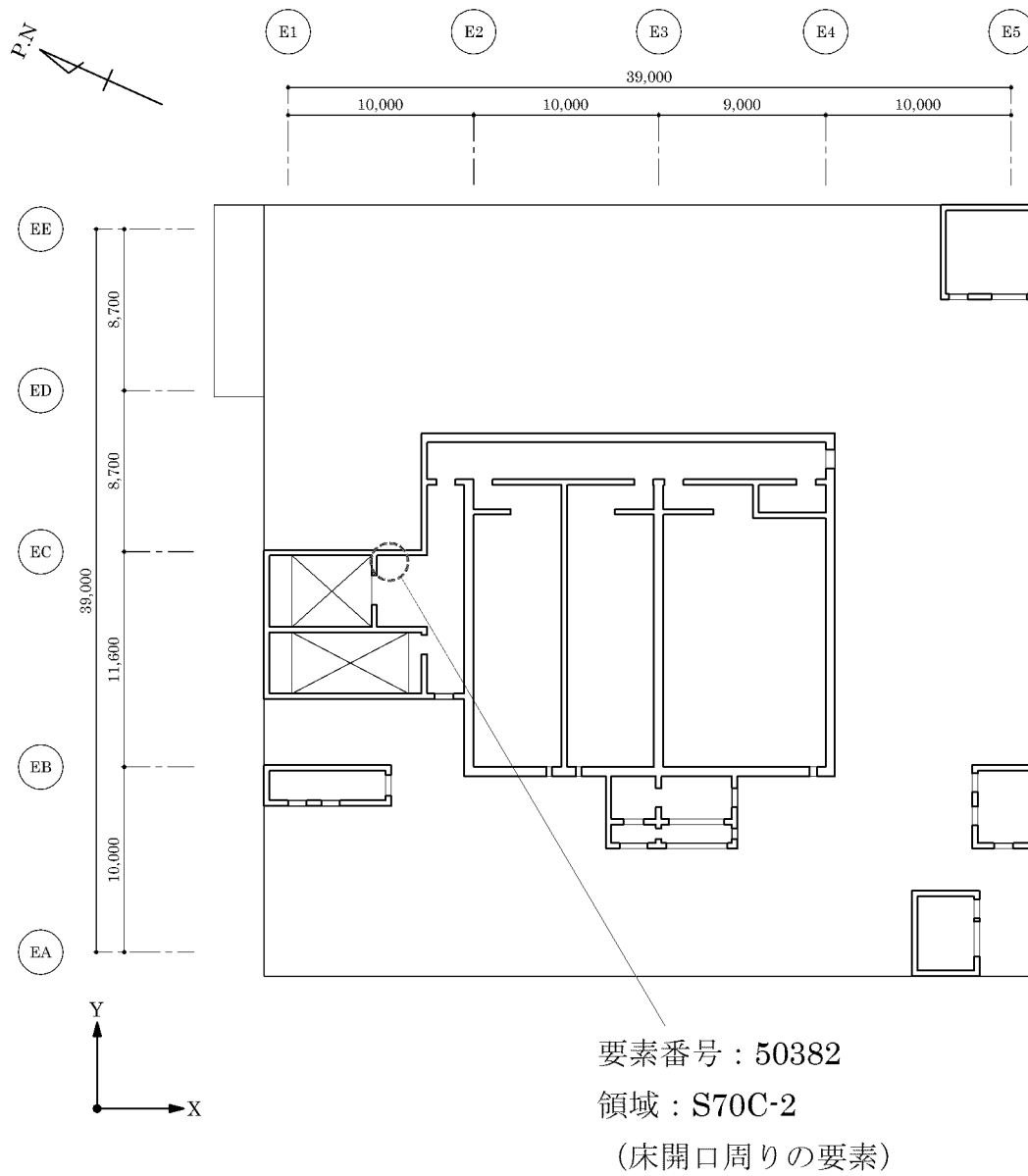


(注) ケース No.8 :  $D + L + E_0 - 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$

第3-3図 応力コンター図 (緊対棟、EL.37.60m床、ケース No.8、 $N_y$ )



(mm)



概略平面図(EL.37.60m)

第 3-4 図 応力集中要素位置図 (要素番号 50382)

### 3.2.2 断面の評価結果

応力の集中する要素として抽出した要素番号 50382 について、配筋を第 3-3 表、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 3-4 表に示す。

断面の評価結果より、部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認した。

以上より、応力の集中する要素番号 50382 について、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。

第 3-3 表 配筋 (要素番号 50382)

部位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD345)		鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断 補強筋	
			位置	方向			
床	S70C-2	700	上端、 下端共	X	2 段 D35@200+ 1 段 D35@200	14,355	—
				Y	2 段 D35@200+ 1 段 D35@200	14,355	

第 3-4 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 <sub>g</sub> (mm <sup>2</sup> /m)	設計 配筋量 a <sub>g</sub> ' (mm <sup>2</sup> /m)	検定値	判定
					N (kN/m)	M (kN・m/m)	Q <sub>xy</sub> (kN/m)				
床	S70C-2	50382	Y	8	2,474	-134	-1,628	7,453	14,355	0.52	可

#### 4. まとめ

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟について、応力解析における応力の集中する部位を確認し、応力が集中する要因についての考察を行った。また、当該要素に生じる応力が許容限界を超えないことを確認した。

以上より、応力解析における応力の集中に対し、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。

7-3-6. 緊急時対策棟気密扉の基準地震動  $S_s$   
による地震力に対する気密性の維持について

## 目 次

	頁
1. 概 要 .....	1
2. 気密扉の構造概要 .....	2
3. 基準地震動 $S_s$ による地震力に対する気密性の維持 .....	3
4. まとめ .....	5

## 1. 概 要

本資料は、緊急時対策棟（以下「緊対棟」という。）気密扉の基準地震動 $S_s$ による地震力に対する気密性の維持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。

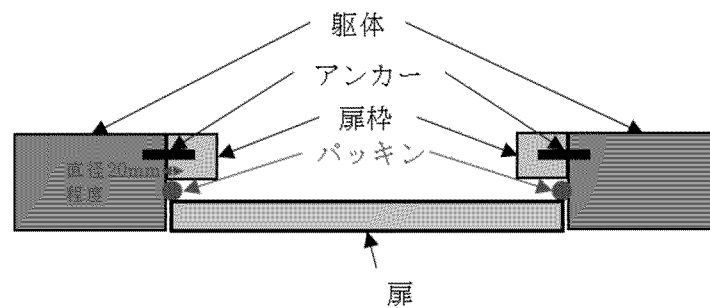
- ・添付資料12-16-2「緊急時対策棟の耐震計算書」

## 2. 気密扉の構造概要

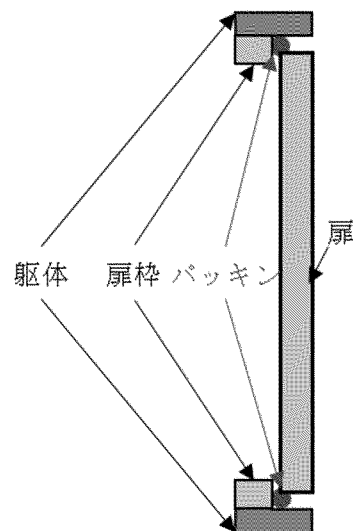
気密扉は、片側を扉枠に対してヒンジ等で支持しており、扉枠は建屋躯体に固定している。また、扉枠は、建屋躯体に対してアンカー等で緊結しているため、建屋躯体と一体で挙動し、建屋躯体の層間変形に追従する。

気密扉の気密性は、扉と扉枠間のパッキン（直径 20mm 程度）が密着することにより確保している。

気密扉の概要平面図を第 2-1 図、概略断面図を第 2-2 図に示す。



第 2-1 図 気密扉の概略平面



第 2-2 図 気密扉の概略断面

### 3. 基準地震動 $S_s$ による地震力に対する気密性の維持

地震力が作用した状態における扉枠及び扉の位置関係の概略図を第 3-1 図、地震力が作用した状態における建屋躯体の層間変形の概略図を第 3-2 図に示す。

気密扉の気密性は、扉と扉枠間のパッキンが密着することにより確保しているため、扉の変形量がパッキンの半径  $r$  (10mm 程度) を超えなければ気密性は確保される。

扉枠は、建屋躯体に対してアンカー等で緊結しているため、建屋躯体の層間変形に追従する。一方、扉は片側のみ扉枠に固定しているため、扉の形状を維持した状態で、回転することとなる。扉の変形量は、この回転による変形量であり、下式の通りである。

$$d = W \times \theta$$

ここで、

$d$  : 扉の変形量(mm)

$W$  : 扉の幅(mm)

$\theta$  : 扉 (扉枠) の変形角

$$\theta = \delta / h$$

$\delta$  : 扉枠の最大層間変位(mm)

$h$  : 扉枠の高さ(mm)

ここで、扉枠の最大層間変位  $\delta$  は、建屋躯体の最大層間変位  $\Delta$  より、下式にて求めることができる。

$\delta$  : 扉枠の最大層間変位(mm)

$$\delta = \Delta \times h / H$$

$\Delta$  : 建屋躯体の最大層間変位(mm) <sup>(注)</sup>

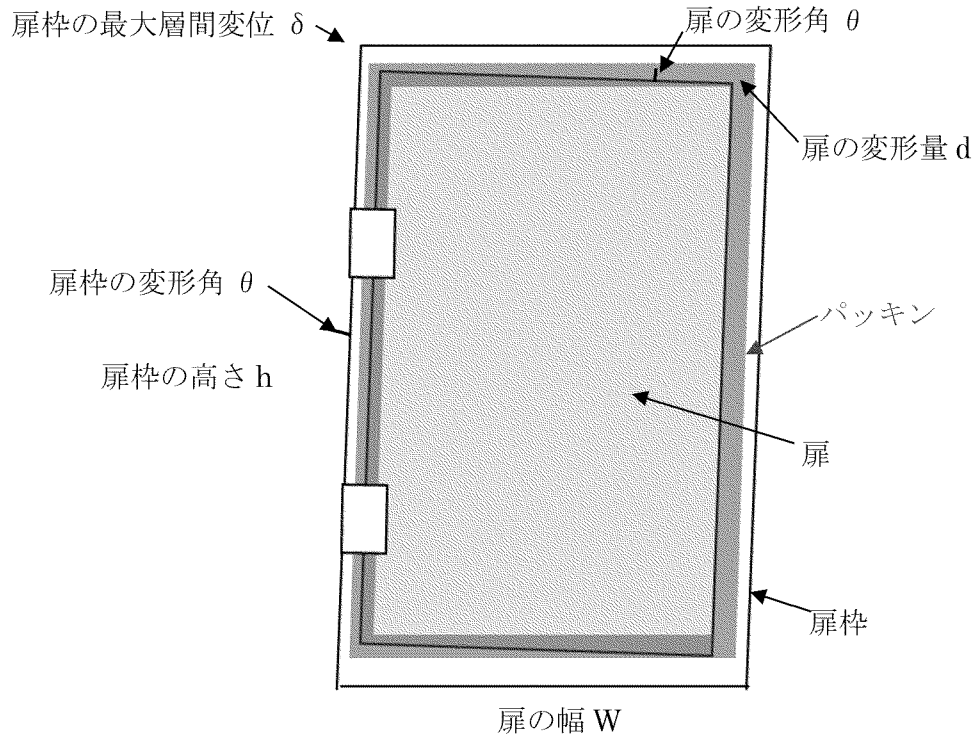
$H$  : 建屋躯体の高さ(mm)

(注) : 添付資料 12-16-1 「緊急時対策棟、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」における地震応答解析結果に基づき算出

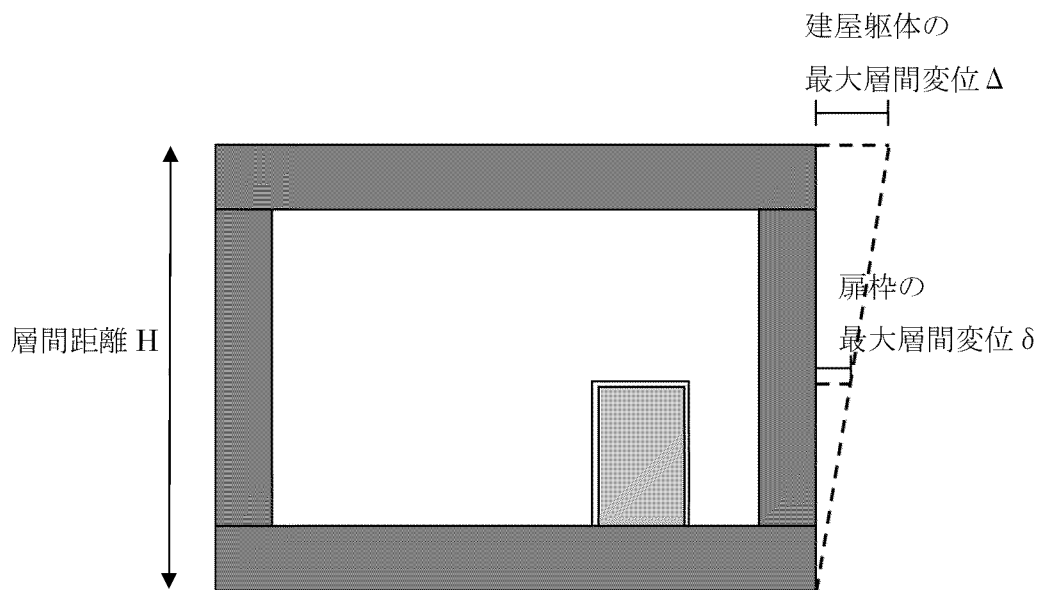
建屋躯体の最大層間変位  $\Delta$  は、1.4mm 程度である。このため、扉枠の最大層間変位  $\delta$  は、1.4mm より小さな値となり、扉の変形量  $d$  についても 1mm 以下程度と小さい値となる。よって、扉の変形量  $d$  は、扉と扉枠間のパッキンの半径



r(10mm)を超えることはないため、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して、気密扉の気密性は維持される。



第 3-1 図 扉枠及び扉の位置関係の概略



第 3-2 図 建屋躯体の層間変形の概略

#### 4. まとめ

気密扉の構造概要を示した。また、基準地震動 $S_s$ による地震力に対して、気密扉の気密性が維持されることを示した。

7-4. 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 玄海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 .....	5
3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価 .....	6
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 .....	6
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 .....	8
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 .....	12
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 .....	29
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 .....	31
3.6 緊対棟（土圧等が作用する壁）の検討 .....	32
3.7 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎（矩形の基礎版）の検討 .....	67
3.8 まとめ .....	90

## 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。

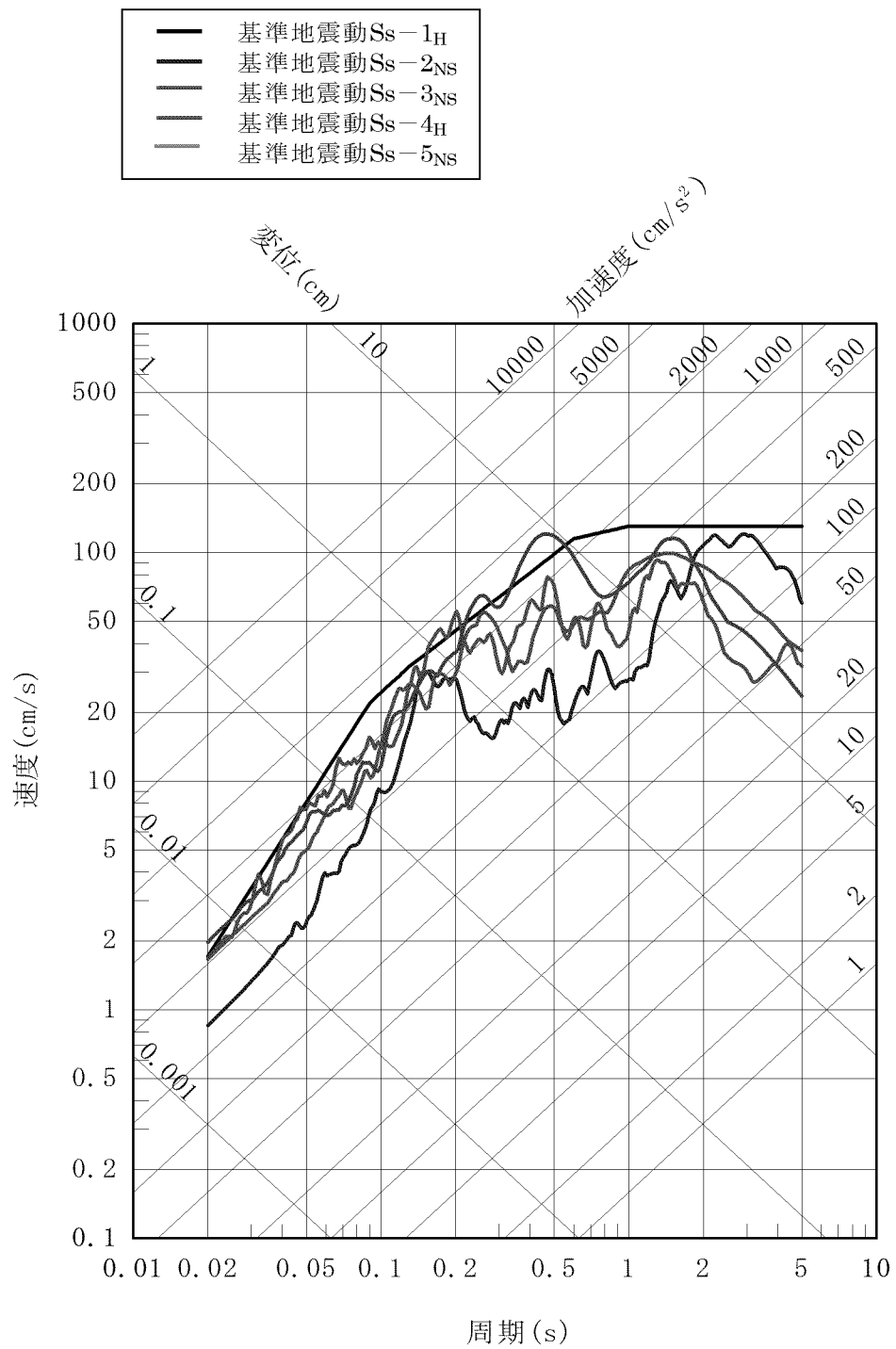
上記審査ガイドを踏まえ、従来の設計手法における水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算に対して、施設の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性があるものを抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

## 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

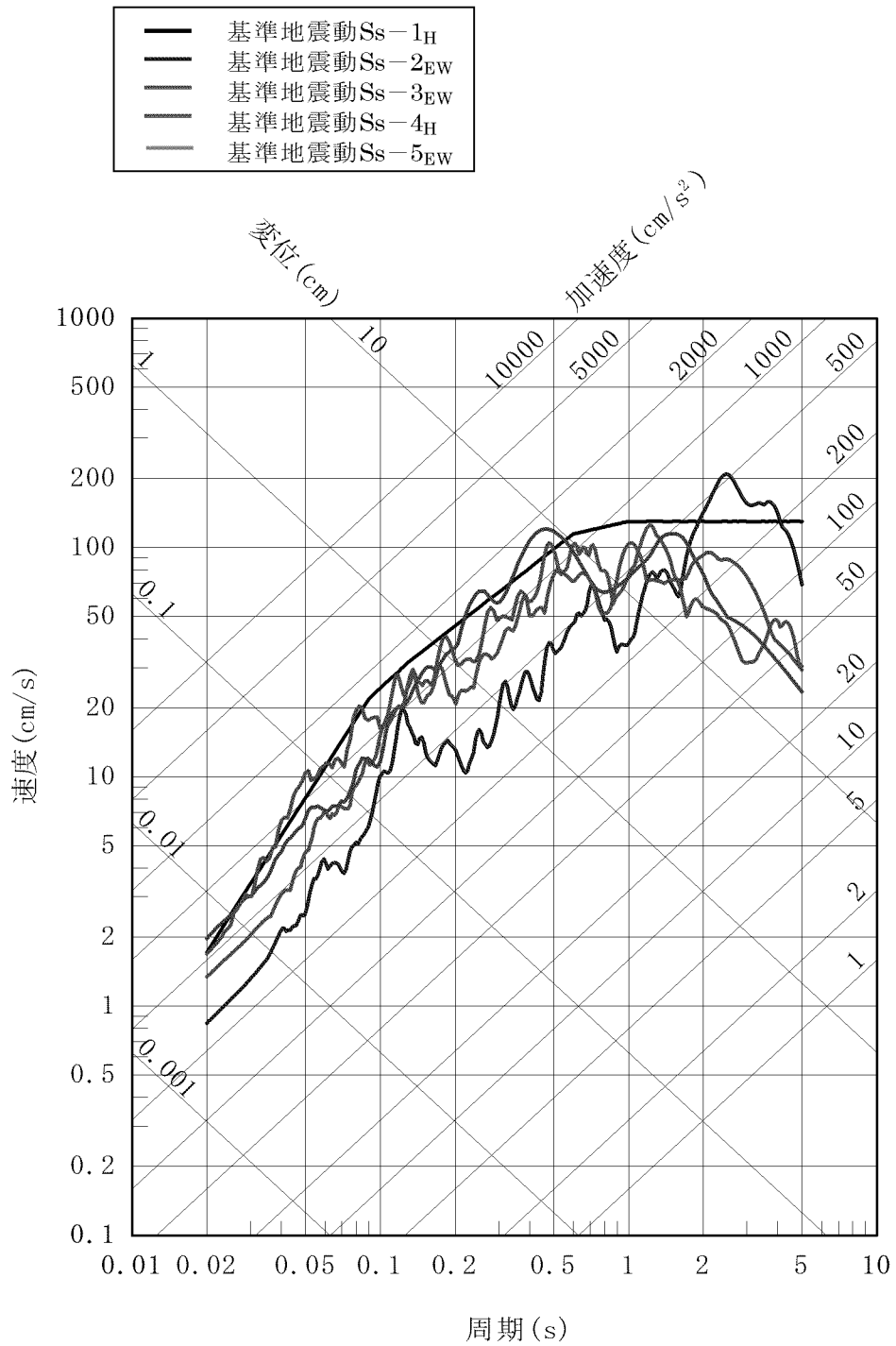
### 2.1 玄海原子力発電所の基準地震動

玄海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  $S_s-1$ 、断層モデルを用いた手法による地震動として基準地震動  $S_s-2$  及び  $S_s-3$  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  $S_s-4$  及び  $S_s-5$  を策定している。

基準地震動  $S_s-1$ ～ $S_s-5$  の応答スペクトル（水平方向）を第 2.1-1 図及び第 2.1-2 図に示す。



第 2.1-1 図 基準地震動の応答スペクトル (NS 方向)



第 2.1-2 図 基準地震動の応答スペクトル (EW 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、玄海原子力発電所の基準地震動  $S_s-1 \sim S_s-5$  を用いる。基準地震動  $S_s$  については、平成 29 年 8 月 25 日付け原規規発第 1708253 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. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価

#### 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

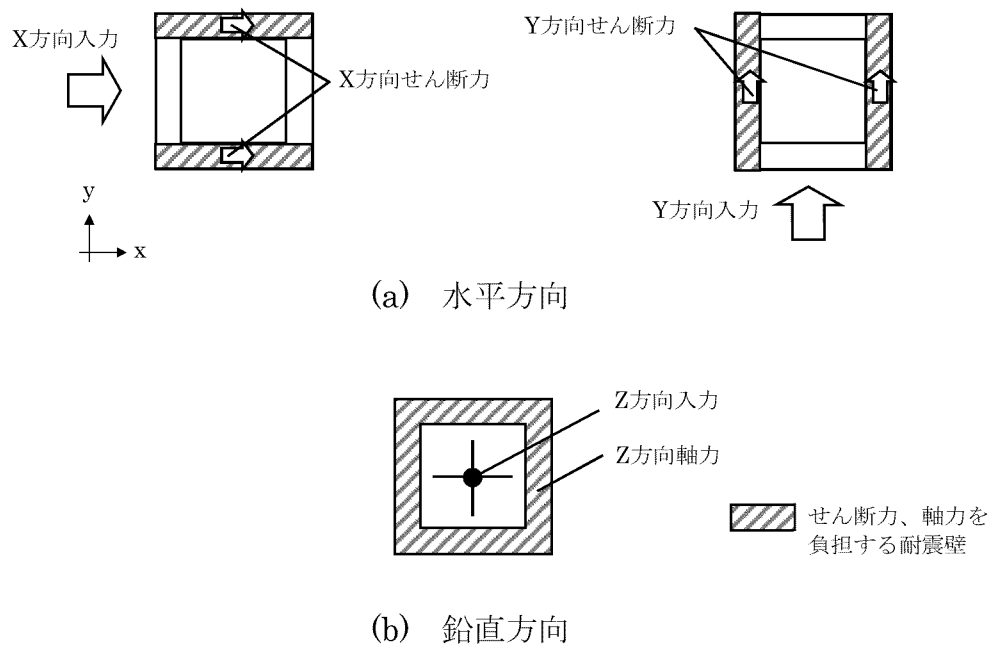
従来の設計手法では、建物・構築物の地震応答解析において、水平方向及び鉛直方向の地震動を、質点系モデルに対して方向ごとに入力し、解析を行っている。また、原子力発電所施設における建物・構築物は、全体形状及び平面レイアウトから、地震力を主に耐震壁で負担する構造であり、剛性の高い設計としている。

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 12-16 「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

建物・構築物において、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し、具体的には、緊急時対策棟（以下「緊対棟」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。）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、各建屋において、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 12-16 「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 29 年 8 月 25 日付け原規規発第 1708253 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。

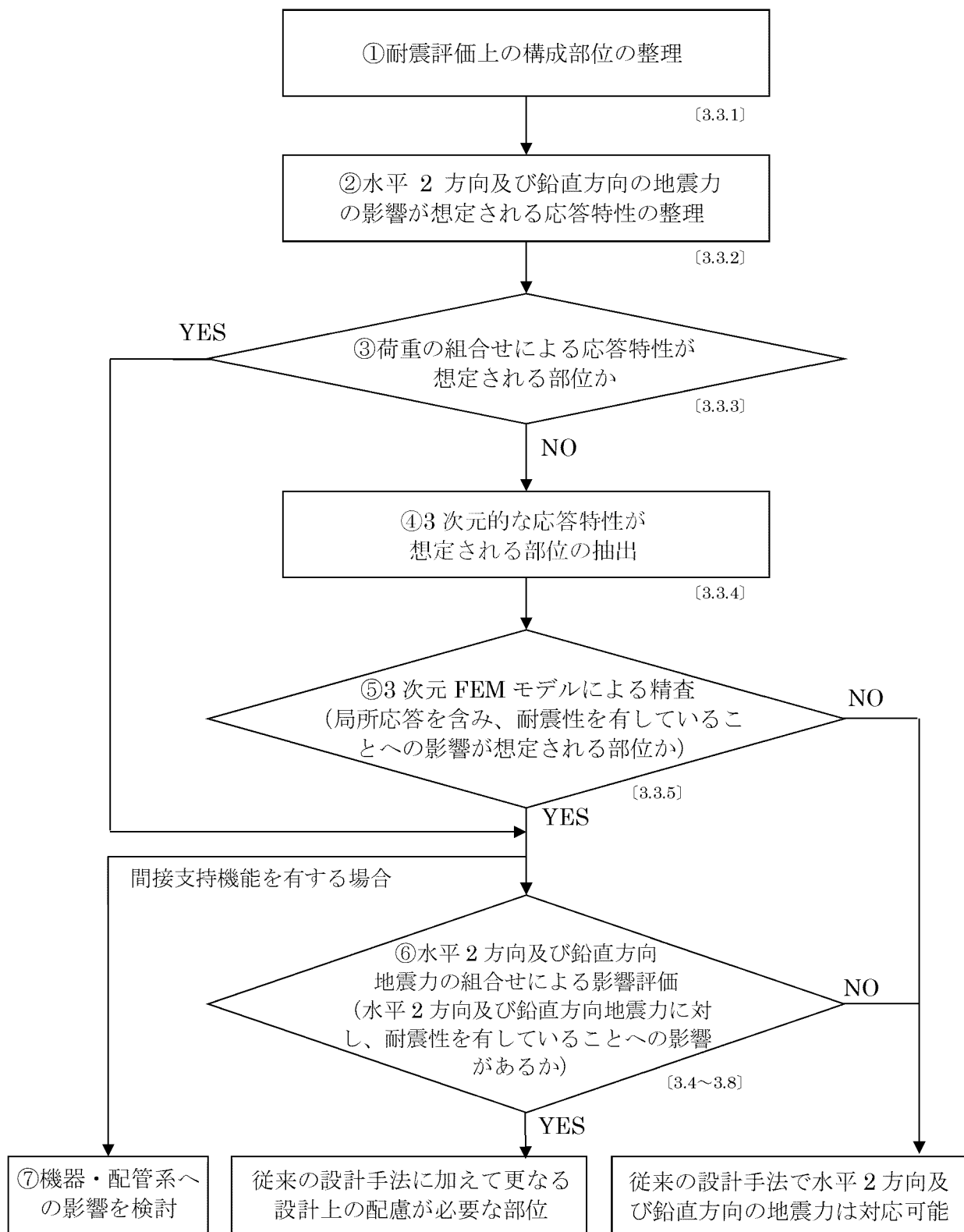
評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、荷重又は構造部材の発生応力を適切に組み合わせることで、各部位の設計上の許容値に対する評価を行い、各部位が有する耐震性への影響を評価する。

(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、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟において、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 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理

耐震評価部位		緊対棟	加圧設備棟	燃料設備棟
柱	一般部 <sup>(注)</sup>	○	○	—
	隅部	—	—	—
	地下部	—	—	—
はり	一般部 <sup>(注)</sup>	○	—	○
	地下部	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—
	一般部	○	○	○
	斜め部	—	—	—
壁	地下部	○	○	○
	鉄骨ブレース	—	—	—
	水密扉	—	—	—
	一般部 (地下室を含む)	○	○	○
基礎	矩形	○	○	

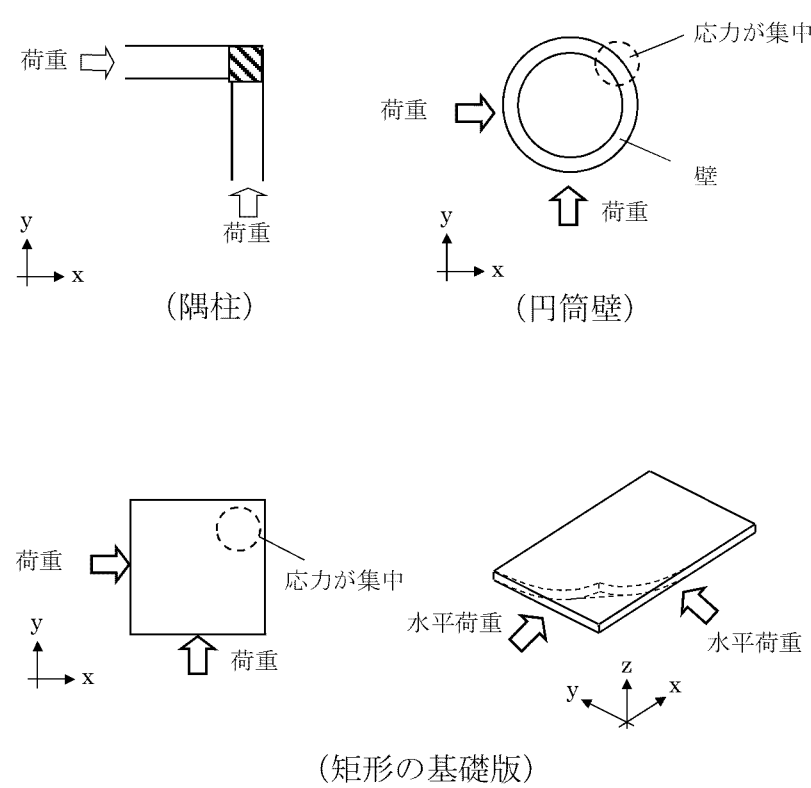
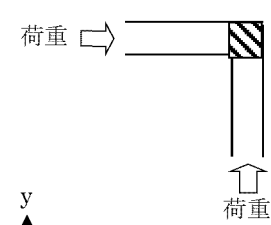
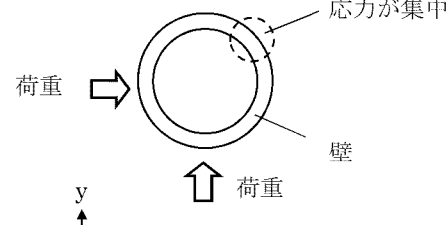
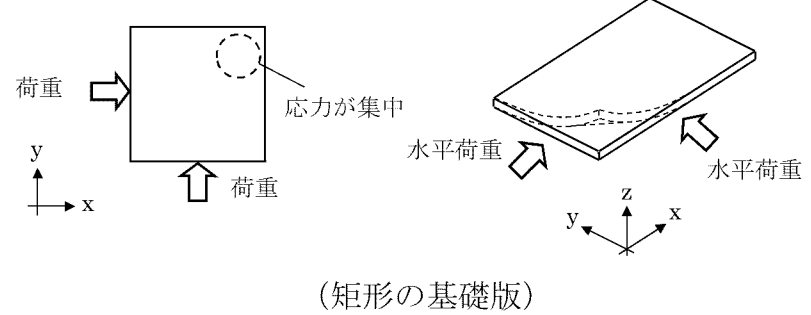
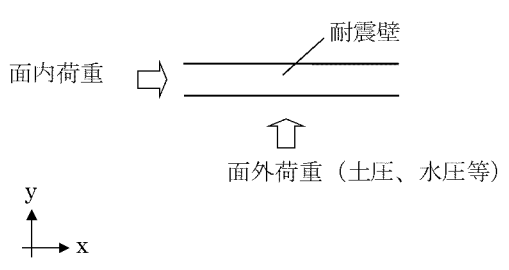
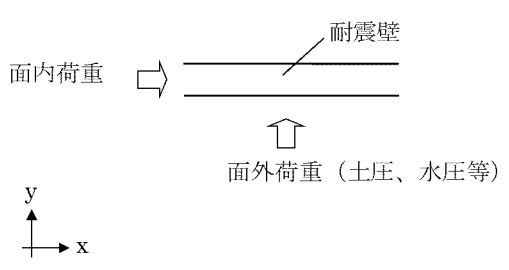
凡例 ○：対象の部材有り、—：対象の部材なし

(注) 地下部の耐震評価部位のうち、外周部ではなく土圧の影響を受けない部位は、一般部として扱う。

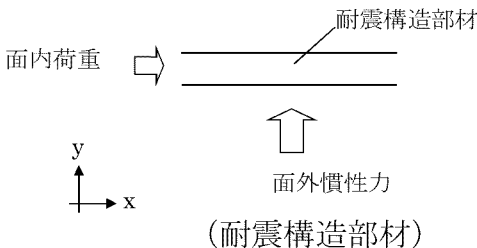
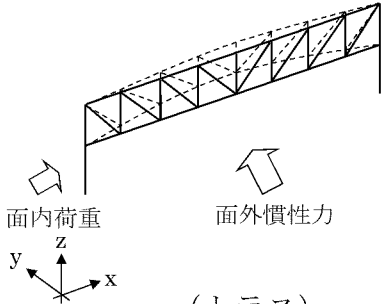
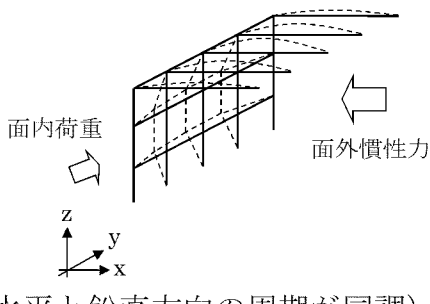
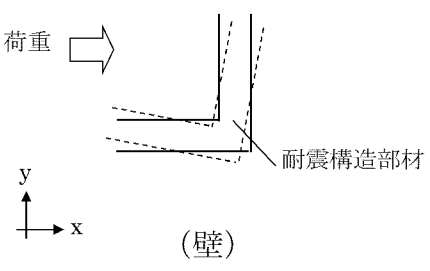
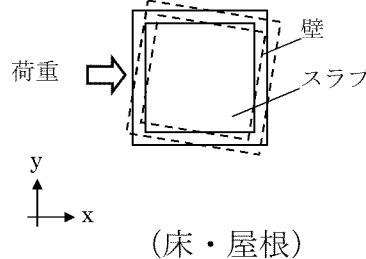
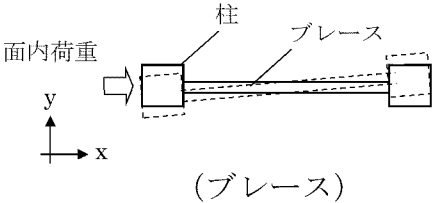
### 3.3.2 応答特性の整理

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。

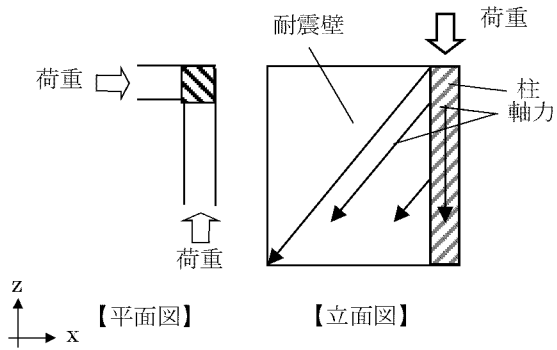
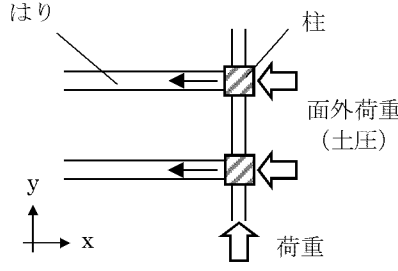
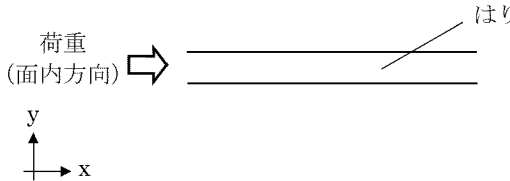
第 3.3-2 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる  
影響が想定される応答特性（荷重の組合せによる応答特性）

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>荷重 →  (隅柱)</p> <p>荷重 →  (円筒壁)</p> <p>荷重 →  (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>面内荷重 →  耐震壁</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>  <p>【平面図】 【立面図】</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、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎を抽出した。

また、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」する部位として緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地下外壁を抽出した。

#### (1) 柱

柱は、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、隅部（端部柱を含む）が考えられるが、該当する部位は存在しない。緊対棟及び加圧設備棟の中柱等の一般部は、応力が集中することがなく、該当しない。

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、地下外周部柱が考えられるが、該当する部位は存在しない。

#### (2) はり

はりは、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。

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、地下外周部が考えられるが、該当する部位は存在しない。

#### (3) 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。

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、地下部が考えられ、地下部の壁を有する緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟が、①-2 に該当するものとして抽出した。

#### (4) 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。

(5) 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。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の矩形の基礎版は、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		緊対棟	加圧設備棟	燃料設備棟
柱	一般部	該当なし	該当なし	—
	隅部	—	—	—
	地下部	—	—	—
はり	一般部	該当なし	—	該当なし
	地下部	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—
	一般部	該当なし	該当なし	該当なし
壁	斜め部	—	—	—
	地下部	①-2要	①-2要	①-2要
	鉄骨ブレース	—	—	—
	水密扉	—	—	—
	一般部 (地下部含む)	該当なし	該当なし	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) 柱

緊対棟及び加圧設備棟の柱は各部とも、両方向に対して断面の評価を行っており、また、柱自身の慣性力により影響が生じるような階高を有する柱はなく、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、対象建屋は、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っており、地震力のほとんどを耐震壁が負担する。ねじれ振動の影響が懸念されるような偏心の大きな建屋はなく、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動が発生」する部位についても該当しない。

#### (2) はり

緊対棟及び燃料設備棟のはりは、剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面外方向の変形を抑制することから、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」する部位には該当しない。

#### (3) 壁

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の地下部の壁は、3.3.3 で抽出されているため、その他の壁について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の発生」する部位の検討を行う。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟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、各建屋の壁は、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。

(4) 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。

(5) 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	緊対棟	加圧設備棟	燃料設備棟
柱	一般部	否	—
	隅部	—	—
	地下部	—	—
はり	一般部	否	否
	地下部	—	—
	鉄骨トラス	—	—
壁	一般部	否	否
	斜め部	—	—
	地下部	要	要
	鉄骨ブレース	—	—
	水密扉	—	—
	一般部 (地下部含む)	否	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

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の各建屋について、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。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟は、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り、構造特性については、平成29年8月25日付け原規規発第1708253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格納容器及び原子炉周辺建屋と類似している。したがって、平成29年8月25日付け原規規発第1708253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29年8月25日付け原規規発第1708253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29年8月25日付け原規規発第1708253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29年8月25日付け原規規発第1708253号にて認可された工事計画に係る補足説明資料-3では、原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋について、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29年8月25日付け原規規発第1708253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29年8月25日付け原規規発第1708253号にて認可された工事計画に係る補足説

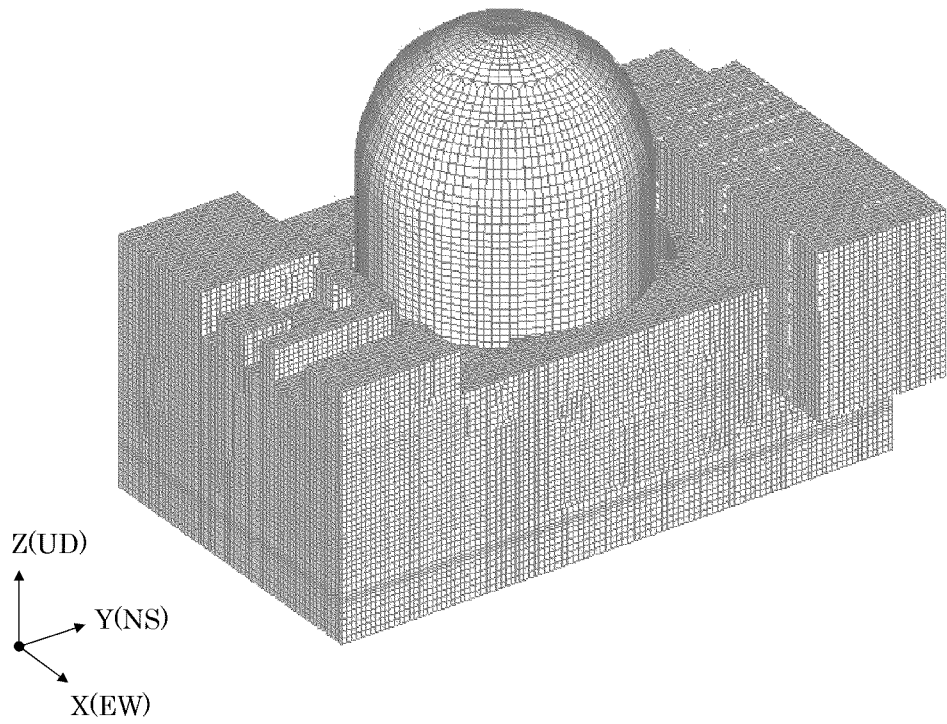
明資料-3 より、原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋の 3 次元 FEM モデルの概要図を第 3.3-1 図に示す。また、3 次元 FEM モデルによる精査の詳細については、平成 29 年 8 月 25 日付け原規規発第 1708253 号にて認可された工事計画に係る補足説明資料-3 の別紙 2 に示す。

以上より、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の各建屋についても、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
建物・構築物 <sup>(注)</sup> ・ 緊対棟 ・ 加圧設備棟 ・ 燃料設備棟 ・ <u>原子炉格納容器及び 原子炉周辺建屋</u>		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、原子炉格納容器及 び原子炉周辺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29年8月25日付け原規規発第1708253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29年8月25日付け原規規発第1708253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、原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋は、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

- ・ 原子炉格納容器 : シェル要素
- ・ 内部コンクリート : シェル要素
- ・ 蒸気発生器 : はり要素
- ・ 原子炉周辺建屋 : シェル要素
- ・ 基礎版 : ソリッド要素

第 3.3-1 図 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 建物・構築物における影響評価部位の抽出結果

建物・構築物において、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、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎について、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。

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、建屋規模が大きく、重要な施設を内包する緊対棟の地下外壁について、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

建物・構築物において、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。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎は、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り、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。

緊対棟の地下外壁は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、面内力と面外力が同時に作用する部位であり、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 <sup>(注)</sup>	評価部位
①-1	基礎	矩形	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎</u></li> </ul>	緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎版を評価する。
①-2	壁	地下部	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>緊対棟</u></li> <li>・ 加圧設備棟</li> <li>・ 燃料設備棟</li> </ul>	建屋規模が大きく、重要な施設を内包する緊対棟の壁を評価する。

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」、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」

(注) 下線は、評価する建物・構築物を示す。

### 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  $S_s$  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 12-16 「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  $S_s$  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
壁	地下部	緊対棟	基準地震動 $S_s-1$ $S_s-2$ $S_s-3$ $S_s-4$ $S_s-5$	添付資料 12-16-2 「緊急時対策棟の耐震計算書」の評価結果を用いるため、 $S_s-1$ ~ $S_s-5$ を包絡した地震力とする。
基礎	矩形	緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎	基準地震動 $S_s-1$ $S_s-2$ $S_s-3$ $S_s-4$ $S_s-5$	添付資料 12-16-3 「緊急時対策棟、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）の基礎の耐震計算書」の評価結果を用いるため、 $S_s-1$ ~ $S_s-5$ を包絡した地震力とする。

### 3.6 緊対棟（土圧等が作用する壁）の検討

#### 3.6.1 概要

地下部分の耐震壁は、「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位であり、水平 2 方向の地震力の影響を受ける。

検討は、建屋規模が大きく、重要な施設を内包する緊対棟を評価対象構造物として、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。

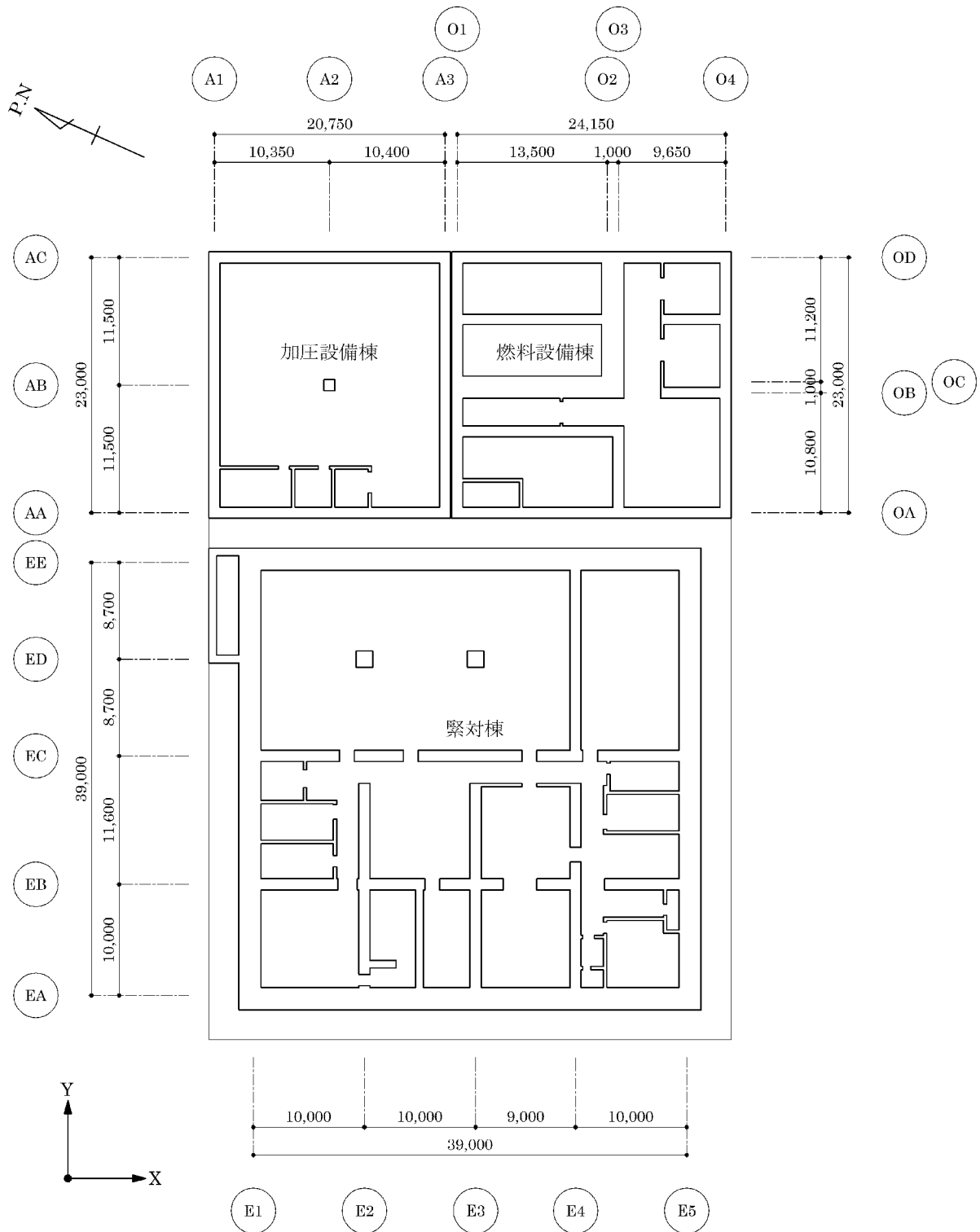
緊対棟は、第 6 保管エリアに配置されており、加圧設備棟及び燃料設備棟とともに、同一基礎版上に設置された構造物である。

ここで、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟は、建屋の向きがプラントノースに対して東側に  $65.8^\circ$  傾いているため、基礎版の短辺方向を X 方向、長辺方向を Y 方向と定義する。

主要構造は、地上 2 階、地下 2 階の鉄筋コンクリート造の壁式構造で、平面形状は、X 方向約 39m、Y 方向約 39m であり、地上高さは約 19m、埋込深さは約 18m である。

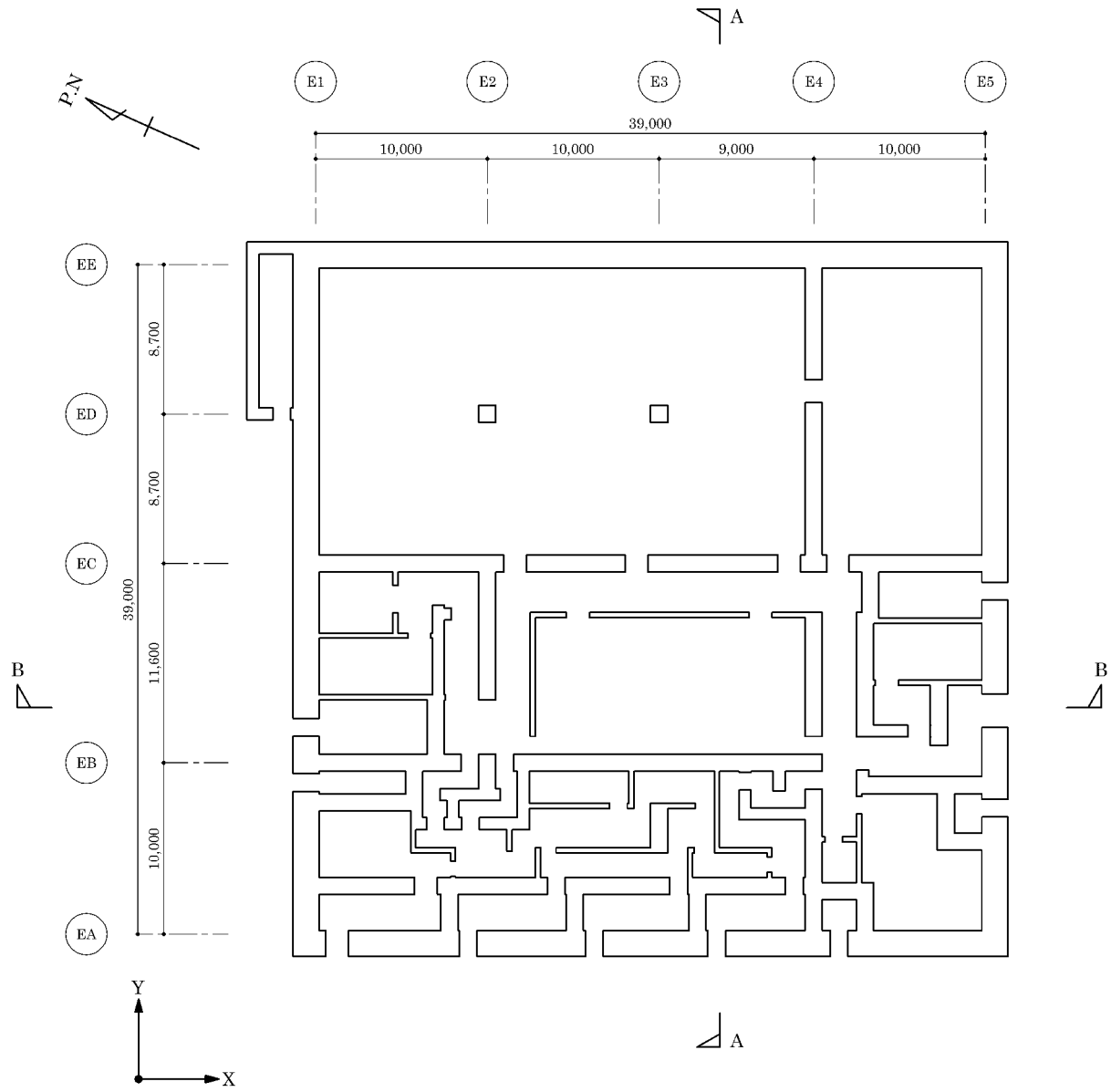
緊対棟の概略配置図を第 3.6-1 図、概略平面図及び概略断面図を第 3.6-2 図及び第 3.6-3 図に示す。

(mm)



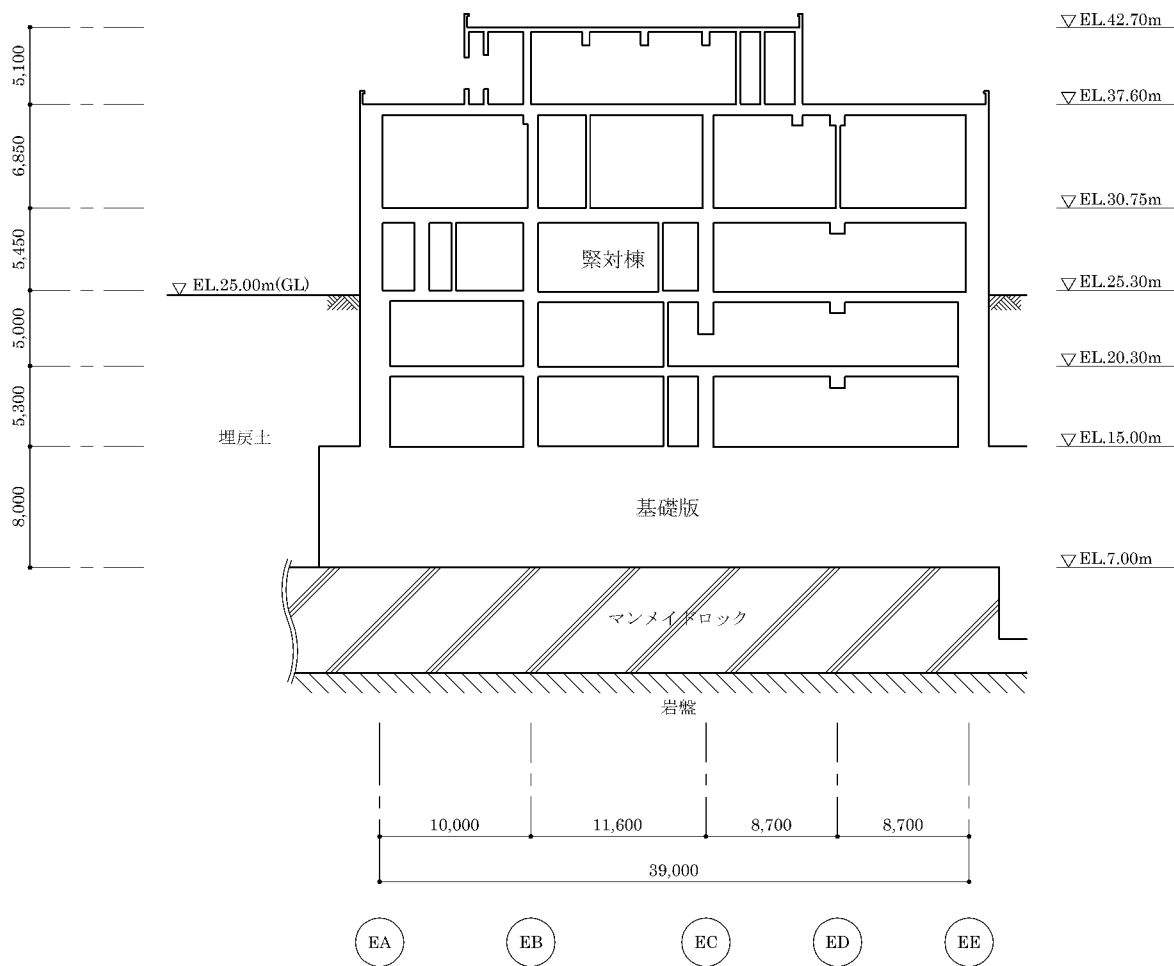
第 3.6-1 図 緊対棟の概略配置図 (地下 2 階)

(mm)



第 3.6-2 図 緊対棟の概略平面図(EL.25.30m)

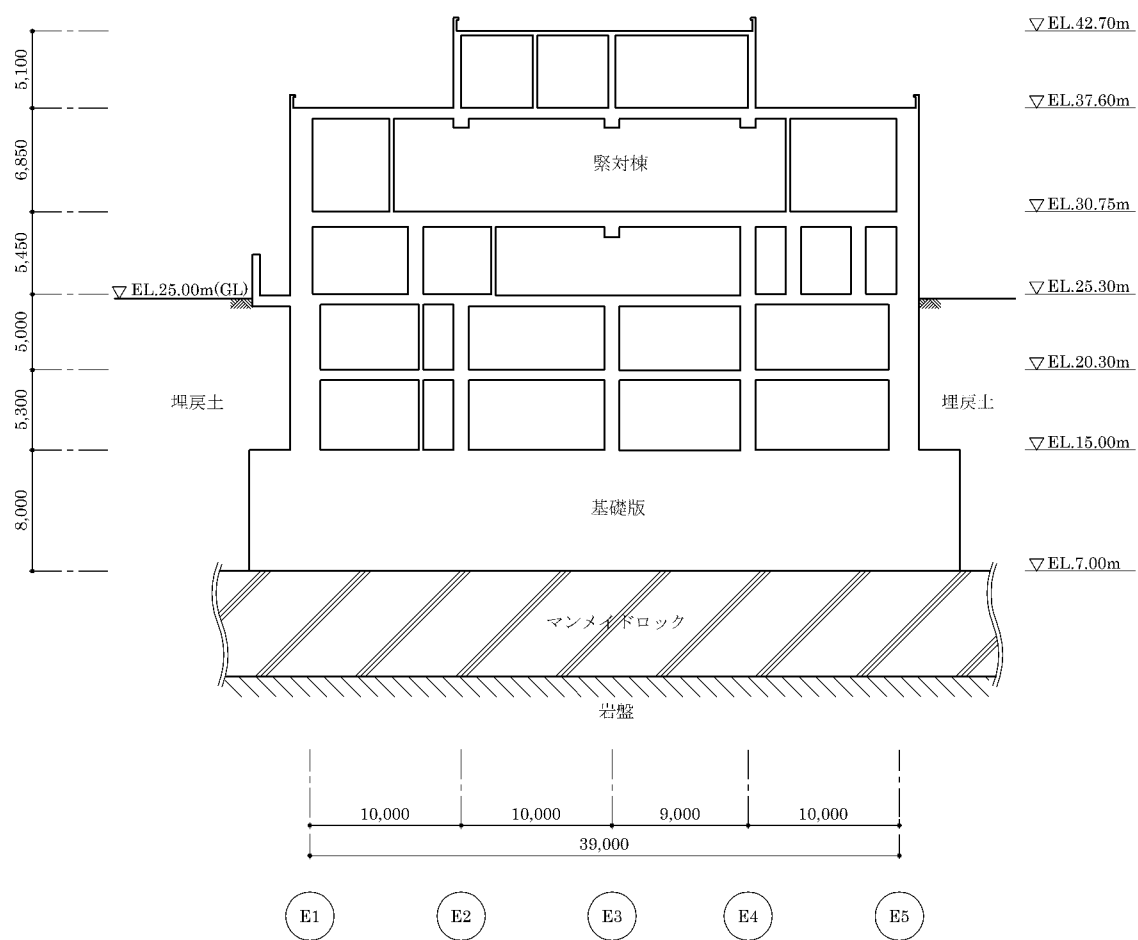
(mm)



(a) A-A 断面

第 3.6-3 図 緊対棟の概略断面図(1/2)

(mm)



(b) B-B 断面

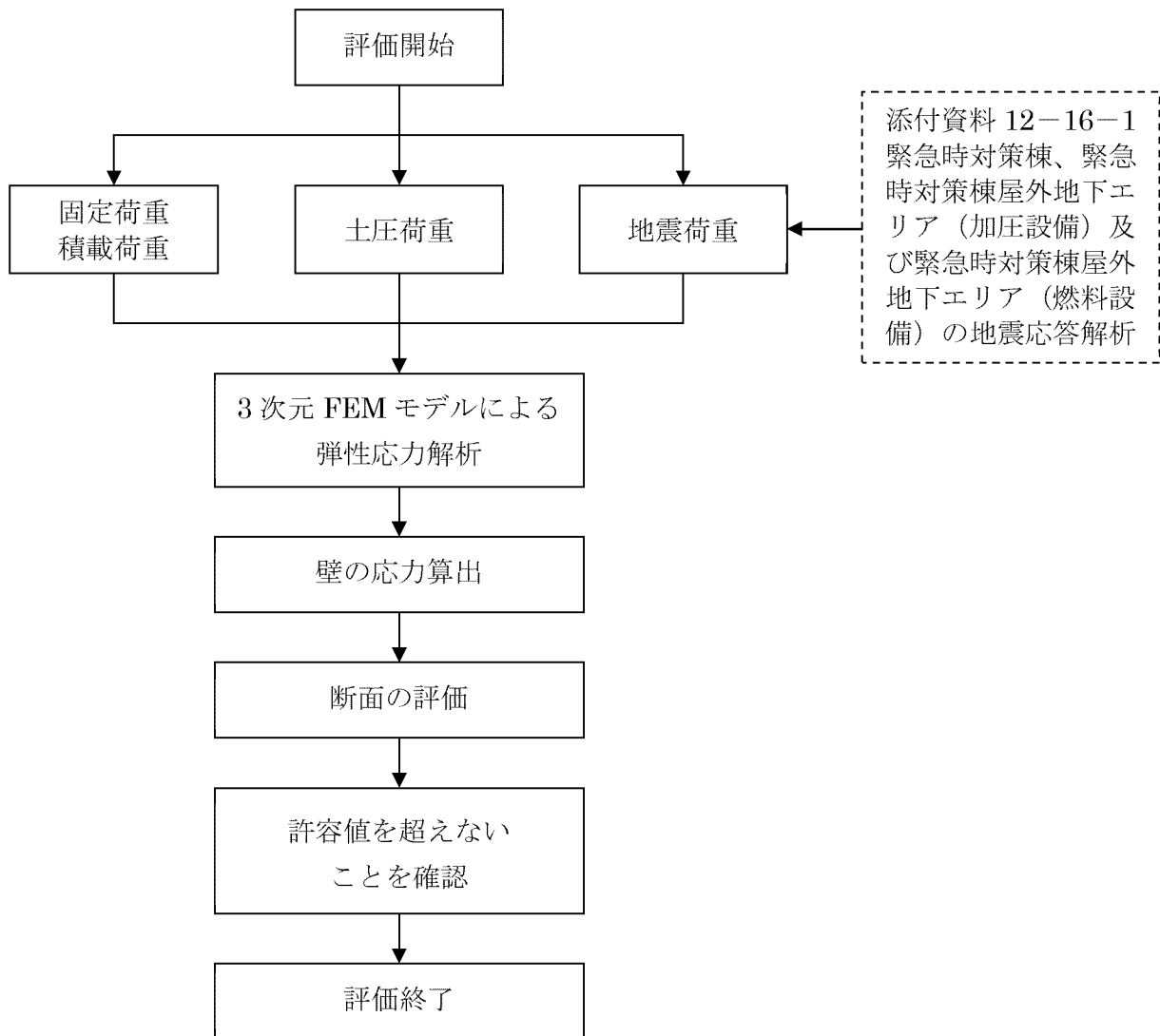
第 3.6-3 図 緊対棟の概略断面図(2/2)



### 3.6.2 検討方針

「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位である緊対棟の地下外壁について、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 モデルを用いた弾性応力解析を行う。基準地震動 Ss による地震力が作用する状態（以下「Ss 地震時」という。）を対象として、土圧を受ける EE 通り及び E1 通りの壁について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価する。

緊対棟の水平 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 3.6-4 図に示す。



第 3.6-4 図 緊対棟の検討フロー

### 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、屋根、床、壁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、床、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、床、屋根、 基礎版	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> )

(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

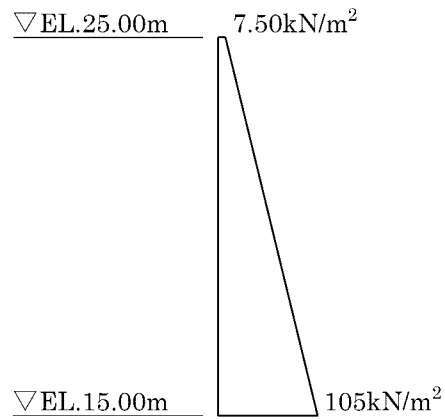
(単位 : kN/m<sup>2</sup>)

部位		荷重
屋根	緊対棟	0.7+機器荷重+配管荷重
	加圧設備棟、燃料設備棟	15.0 <sup>(注)</sup> +機器荷重+配管荷重
床、基礎版		0.5+機器荷重+配管荷重

(注) 地表面上載荷重を含む

b. 常時土圧荷重  $E_0$

常時土圧荷重は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（(社) 日本電気協会）」（以下「JEAG4601-1991 追補版」という。）に基づき算出する。常時土圧による荷重分布を第 3.6-5 図に示す。



第 3.6-5 図 常時土圧による荷重分布

c. 地震荷重  $K_s$ 、 $E_s$

地震荷重として、 $S_s$  地震荷重及び地震時増分土圧荷重を考慮する。

$S_s$  地震荷重は、添付資料 12-16-1 「緊急時対策棟、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」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。

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(1/4)

解析ケース	高さ (m)	速度層	地盤の せん断波速度 Vs (km/s)	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)
基本ケース	EL.7.00～ EL.6.40	Ⅲ	0.75	3.80×10 <sup>3</sup>	5
	EL.6.40～ EL.5.74	Ⅲ	0.75	3.34×10 <sup>3</sup>	
	EL.5.74～ EL.4.92	Ⅲ	0.75	3.80×10 <sup>3</sup>	
	EL.4.92～ EL.-215.00	Ⅳ	1.62	1.67×10 <sup>4</sup>	

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(2/4)

解析ケース	高さ (m)	速度層	地盤の せん断波速度 Vs (km/s)	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)
地盤物性の ばらつき を考慮 (-1σ)	EL.7.00～ EL.6.40	Ⅲ	0.59	2.37×10 <sup>3</sup>	5
	EL.6.40～ EL.5.74	Ⅲ	0.59	2.08×10 <sup>3</sup>	
	EL.5.74～ EL.4.92	Ⅲ	0.59	2.37×10 <sup>3</sup>	
	EL.4.92～ EL.-215.00	Ⅳ	1.54	1.52×10 <sup>4</sup>	

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(3/4)

解析ケース	高さ (m)	速度層	地盤の せん断波速度 Vs (km/s)	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)
地盤物性の ばらつき を考慮 (+1σ)	EL.7.00～ EL.6.40	Ⅲ	0.91	5.54×10 <sup>3</sup>	5
	EL.6.40～ EL.5.74	Ⅲ	0.91	4.86×10 <sup>3</sup>	
	EL.5.74～ EL.4.92	Ⅲ	0.91	5.54×10 <sup>3</sup>	
	EL.4.92～ EL.-215.00	Ⅳ	1.70	1.82×10 <sup>4</sup>	

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(4/4)

解析ケース	高さ (m)	速度層	地盤の せん断波速度 Vs (km/s)	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	減衰定数 h (%)
減衰定数の 設定に起因 する不確か さを考慮	EL.7.00～ EL.6.40	Ⅲ	0.75	3.80×10 <sup>3</sup>	3
	EL.6.40～ EL.5.74	Ⅲ	0.75	3.34×10 <sup>3</sup>	
	EL.5.74～ EL.4.92	Ⅲ	0.75	3.80×10 <sup>3</sup>	
	EL.4.92～ EL.-215.00	Ⅳ	1.62	1.67×10 <sup>4</sup>	

(a) Ss 地震荷重 Ks

水平地震力及び鉛直方向地震力は、基準地震動 Ss-1～Ss-5 により算出される動的地震力を包絡して設定する。Ss 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  $1.0 \times X$  方向地震力 +  $0.4 \times Y$  方向地震力 +  $0.4 \times$  鉛直地震力
- ②  $0.4 \times X$  方向地震力 +  $1.0 \times Y$  方向地震力 +  $0.4 \times$  鉛直地震力
- ③  $0.4 \times X$  方向地震力 +  $0.4 \times Y$  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 3.6-4 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) (1/2) (注)  
(単位:  $\times 10^5 \text{kN}$ )

部位	部材 番号	X 方向						設計用 地震力
		Ss-1H	Ss-2x	Ss-3x	Ss-4H	Ss-5NS	Ss-5EW	
緊対棟	①	0.433	0.0892	0.155	0.155	0.185	0.228	0.447
	②	1.95	0.487	0.855	0.921	0.904	1.09	2.01
	③	3.20	0.902	1.56	1.79	1.54	1.87	3.30
	④	3.86	1.19	2.06	2.51	1.99	2.32	3.98
	⑤	4.17	1.40	2.43	3.12	2.47	2.57	4.30
加圧 設備棟	⑥	0.295	0.0925	0.162	0.208	0.245	0.292	0.305
	⑦	0.463	0.150	0.268	0.356	0.404	0.450	0.477
燃料 設備棟	⑧	0.244	0.0865	0.147	0.226	0.207	0.257	0.265
	⑨	0.457	0.165	0.283	0.433	0.400	0.466	0.481

(注) Ss-1~Ss-5 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 3.6-4 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) (2/2) (注)  
(単位:  $\times 10^5 \text{kN}$ )

部位	部材 番号	Y 方向						設計用 地震力
		Ss-1H	Ss-2y	Ss-3y	Ss-4H	Ss-5NS	Ss-5EW	
緊対棟	①	0.395	0.135	0.255	0.157	0.203	0.230	0.408
	②	1.93	0.721	1.41	0.912	1.02	1.13	1.99
	③	3.17	1.29	2.60	1.77	1.75	1.93	3.27
	④	3.84	1.68	3.45	2.45	2.18	2.36	3.96
	⑤	4.20	1.97	4.10	3.04	2.45	2.58	4.35
加圧 設備棟	⑥	0.234	0.117	0.185	0.190	0.200	0.245	0.253
	⑦	0.384	0.199	0.316	0.329	0.341	0.381	0.409
燃料 設備棟	⑧	0.278	0.134	0.211	0.233	0.235	0.308	0.318
	⑨	0.505	0.251	0.400	0.441	0.444	0.530	0.547

(注) Ss-1~Ss-5 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 :  $\times 10^5 \text{kN}$ )

部位	部材 番号	鉛直方向					設計用 地震力
		Ss-1v	Ss-2UD	Ss-3UD	Ss-4v	Ss-5UD	
緊対棟	①	0.0777	0.0374	0.0714	0.0719	0.131	0.135
	②	0.463	0.222	0.432	0.424	0.759	0.783
	③	0.920	0.443	0.860	0.834	1.48	1.53
	④	1.31	0.635	1.23	1.18	2.06	2.13
	⑤	1.68	0.812	1.57	1.48	2.55	2.63
加圧 設備棟	⑥	0.105	0.0533	0.104	0.0903	0.145	0.150
	⑦	0.186	0.0959	0.189	0.161	0.255	0.263
燃料 設備棟	⑧	0.123	0.0623	0.123	0.104	0.154	0.160
	⑨	0.241	0.123	0.244	0.205	0.303	0.313

(注) Ss-1~Ss-5 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。

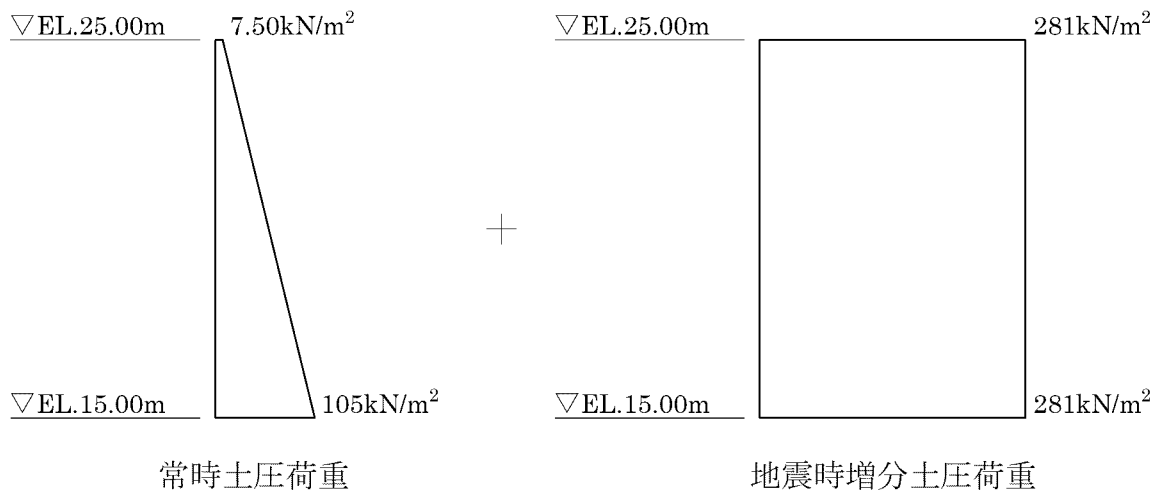
(b) 地震時増分土圧荷重  $E_s$

地震時増分土圧荷重は、JEAG4601-1991 追補版により算出する。  
Ss 地震時の設計用増分土圧荷重を第 3.6-6 表、地震時土圧による荷重分布を第 3.6-6 図に示す。

第 3.6-6 表 Ss 地震時の設計用増分土圧荷重

(単位 :  $\text{kN/m}^2$ )

高さ (m)	Ss 地震時増分土圧荷重
EL.25.00~ EL.15.00	281



第 3.6-6 図 地震時土圧による荷重分布

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せは、添付資料 12-9「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 3.6-7 表に示す。

地震荷重及び風荷重の組合せについて、緊対棟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 3.6-7 表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
Ss 地震時	D+L+E <sub>0</sub> +K <sub>s</sub> +E <sub>s</sub>

D : 固定荷重

L : 積載荷重

E<sub>0</sub> : 常時土圧荷重

K<sub>s</sub> : Ss 地震荷重 (水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

E<sub>s</sub> : 地震時増分土圧荷重

### 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 3.6-8 表及び第 3.6-9 表に示す。

第 3.6-8 表 コンクリートの許容応力度

(単位 : N/mm<sup>2</sup>)

部位	設計基準強度 F <sub>c</sub>	短期	
		圧縮	せん断
EL.15.00m より上部	30.0	20.0	1.18

第 3.6-9 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
SD345	345	345

### 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。緊対棟、加圧設備棟、燃料設備棟及び基礎版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 12-16-2 「緊急時対策棟の耐震計算書」で構築したモデルを使用する。

応力解析には、解析コード「MSC-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、柱及びはりをはり要素、壁、床及び屋根並びに基礎版の一部をシェル要素、基礎版をソリッド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 3.6-7 図に示す。解析モデルの節点数は 25,856、要素数は 34,634 である。

##### b. 境界条件

JEAG4601-1991 追補版に基づき、振動アドミッタンス理論により評価した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 12-16-1 「緊急時対策棟、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」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 12-16-1「緊急時対策棟、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」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 12-16-1「緊急時対策棟、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」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、X 方向及び Y 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、

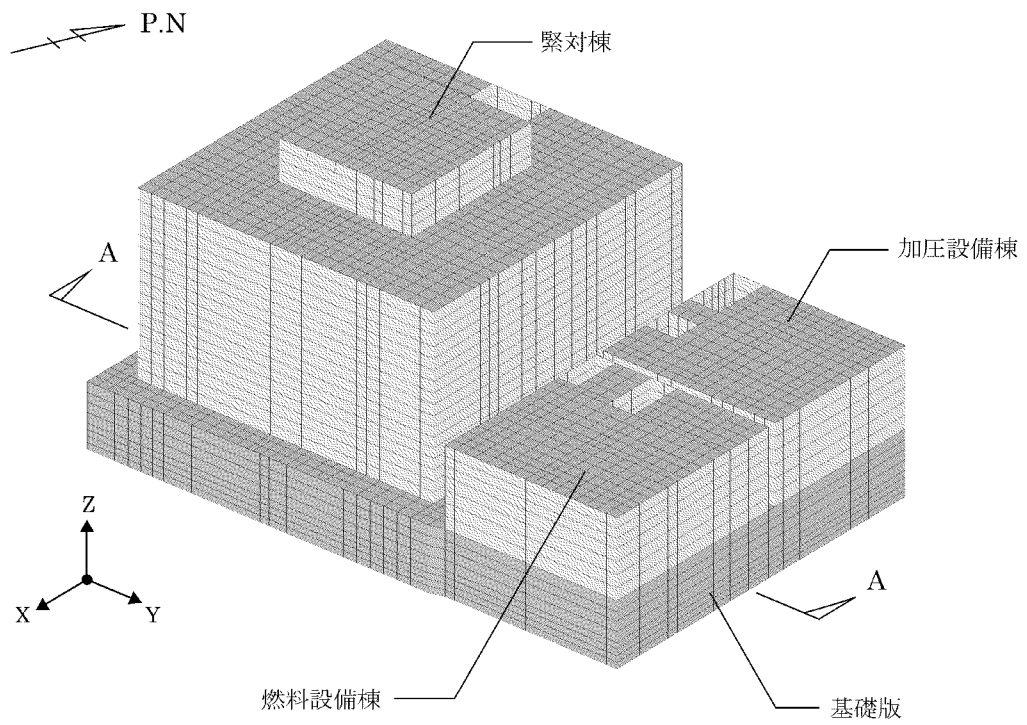
$kv_i$  : 各節点位置の鉛直ばね

$kv$  : 地盤反力係数

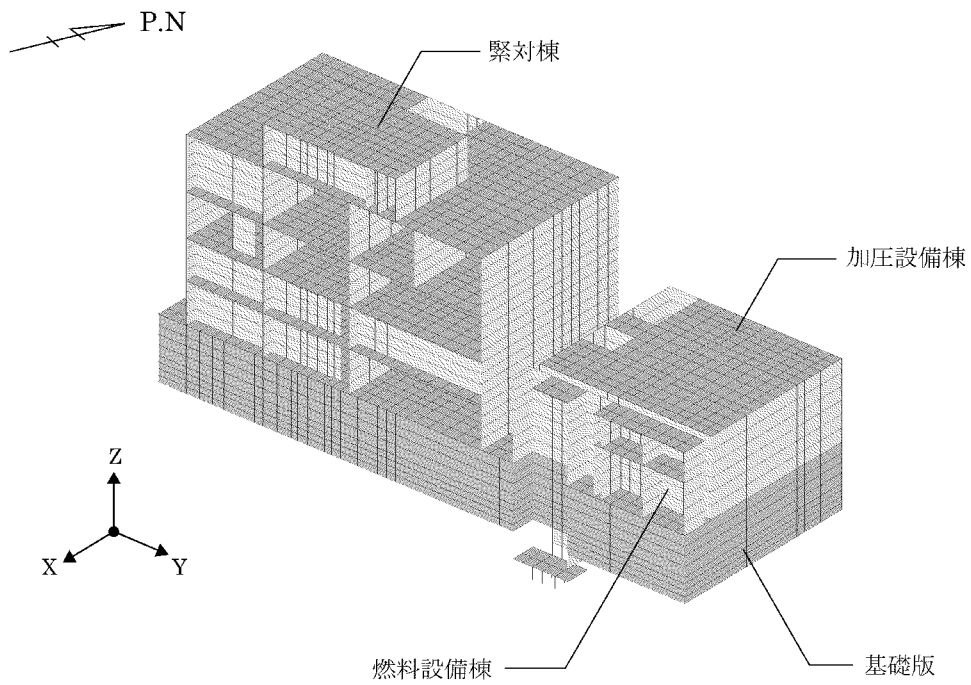
$A_i$  : 各節点の支配面積

$K_R$  : 添付資料 12-16-1「緊急時対策棟、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」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 3.6-7 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 3.6-10 表及び第 3.6-11 表に示す。

第 3.6-10 表 コンクリートの材料定数

部位		設計基準強度 F <sub>c</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 ν
緊対棟	EL.15.00m より上部	30.0	2.44 × 10 <sup>4</sup>	0.2
加圧設備棟	EL.15.00m より上部	30.0	2.44 × 10 <sup>4</sup>	0.2
燃料設備棟	EL.15.00m より上部	30.0	2.44 × 10 <sup>4</sup>	0.2
	EL.15.00m 以下 (ピット部分)	24.0	2.27 × 10 <sup>4</sup>	0.2
基礎版		24.0	2.27 × 10 <sup>4</sup>	0.2

第 3.6-11 表 鉄筋の材料定数

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



(3) 応力解析方法

緊対棟の壁は、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

E<sub>0</sub> : 常時土圧荷重

K<sub>SX</sub> : Ss 地震荷重 (X 方向)

K<sub>SY</sub> : Ss 地震荷重 (Y 方向)

K<sub>SUD</sub> : Ss 地震荷重 (鉛直方向)

E<sub>SX</sub> : Ss 地震時増分土圧荷重 (X 方向)

E<sub>SY</sub> : Ss 地震時増分土圧荷重 (Y 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 3.6-12 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 3.6-13 表に示す。

荷重の組合せケースにおいて、地震荷重は、X 軸の+方向、Y 軸の+方向及び鉛直上向きを「+」、X 軸の-方向、Y 軸の-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 3.6-12 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	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} + 0.4K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX} + 0.4E_{SY}$
	2	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} + 0.4K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX} + 0.4E_{SY}$
	3	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} - 0.4K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX} + 0.4E_{SY}$
	4	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} - 0.4K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX} + 0.4E_{SY}$
	5	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} + 0.4K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX} + 0.4E_{SY}$
	6	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} + 0.4K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX} + 0.4E_{SY}$
	7	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} - 0.4K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX} + 0.4E_{SY}$
	8	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} - 0.4K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX} + 0.4E_{SY}$
	9	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} + 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 0.4E_{SX} + 1.0E_{SY}$
	10	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} + 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 0.4E_{SX} + 1.0E_{SY}$
	11	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} - 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 0.4E_{SX} + 1.0E_{SY}$
	12	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} - 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 0.4E_{SX} + 1.0E_{SY}$
	13	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} + 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 0.4E_{SX} + 1.0E_{SY}$
	14	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} + 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 0.4E_{SX} + 1.0E_{SY}$
	15	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} - 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 0.4E_{SX} + 1.0E_{SY}$
	16	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} - 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 0.4E_{SX} + 1.0E_{SY}$

第 3.6-13 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	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	102	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	103	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	104	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	105	$D + L + E_0 + 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	106	$D + L + E_0 + 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	107	$D + L + E_0 - 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	108	$D + L + E_0 - 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	109	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	110	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	111	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	112	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	113	$D + L + E_0 + 0.4K_{SY} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
	114	$D + L + E_0 + 0.4K_{SY} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
	115	$D + L + E_0 - 0.4K_{SY} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
	116	$D + L + E_0 - 0.4K_{SY} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$

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、各層の壁及び床に対する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、床、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、床、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。

(c) 土圧荷重

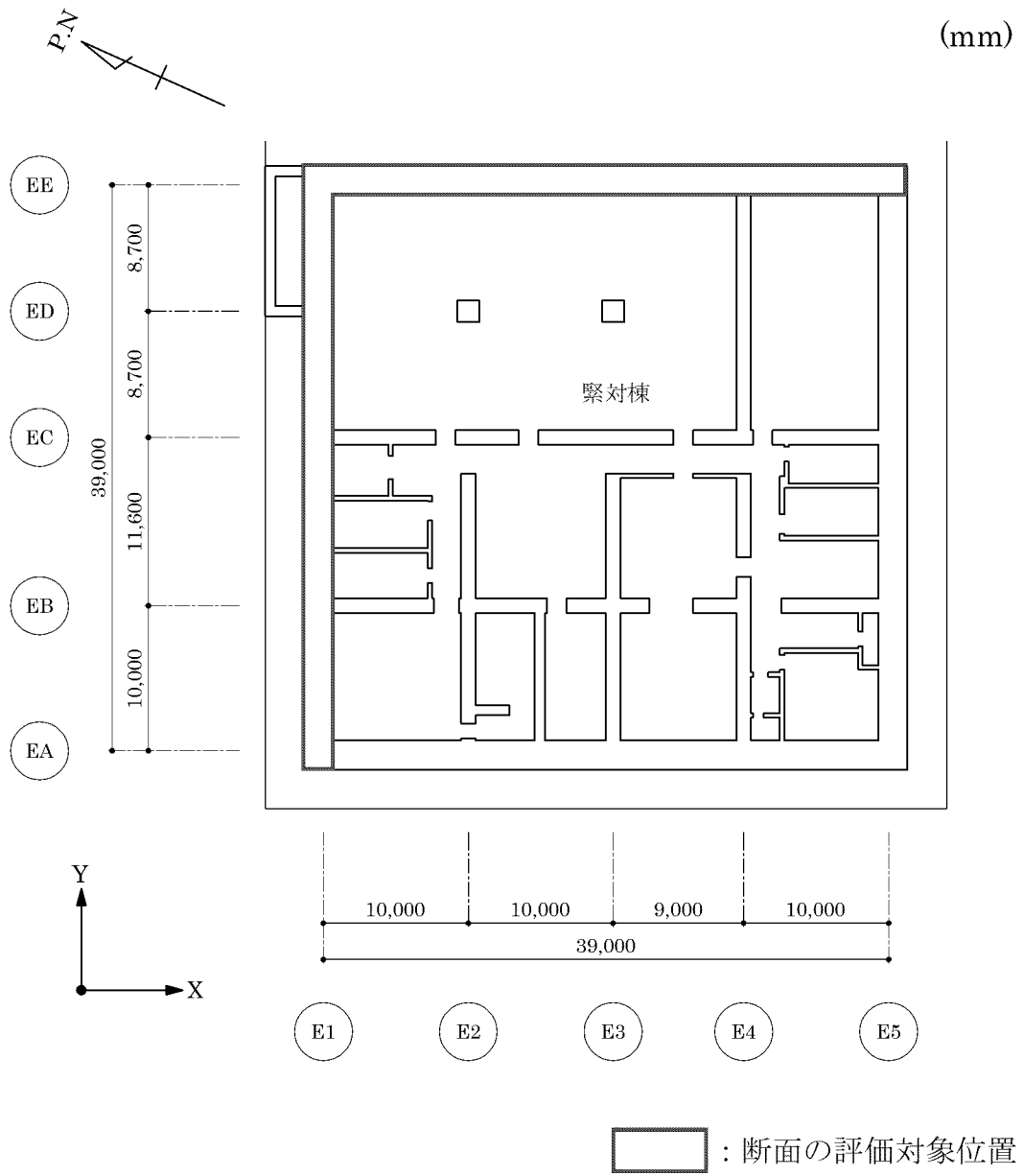
土圧荷重は、第 3.6-5 図及び第 3.6-6 図に示す土圧荷重分布をもとに、壁に対して分布荷重として入力する。

(4) 断面の評価方法

断面の評価対象位置を第 3.6-8 図に示す。「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位に対して水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の評価を目的としていることから、土圧を受ける壁を対象とし、添付資料 12-16-2「緊急時対策棟の耐震計算書」における断面の評価結果（検定値）が最も厳しい EE 通り及び E1 通りの壁を、断面の評価対象位置とする。

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「FEDM」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。



第 3.6-8 図 断面の評価対象位置

- 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。

壁の断面について、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。

$$p_s = \frac{\tau}{f_{st}}$$

ここで、

- $p_s$  : 必要せん断補強筋比
- $f_{st}$  : 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。必要鉄筋量は、縦筋方向及び横筋方向各々について、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

壁に生じる面外せん断応力度 $\tau$ が、短期許容せん断応力度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

緊対棟の壁について、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、壁の FEM 要素を、厚さ及び配筋ごとに分類し、第 3.6-12 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。

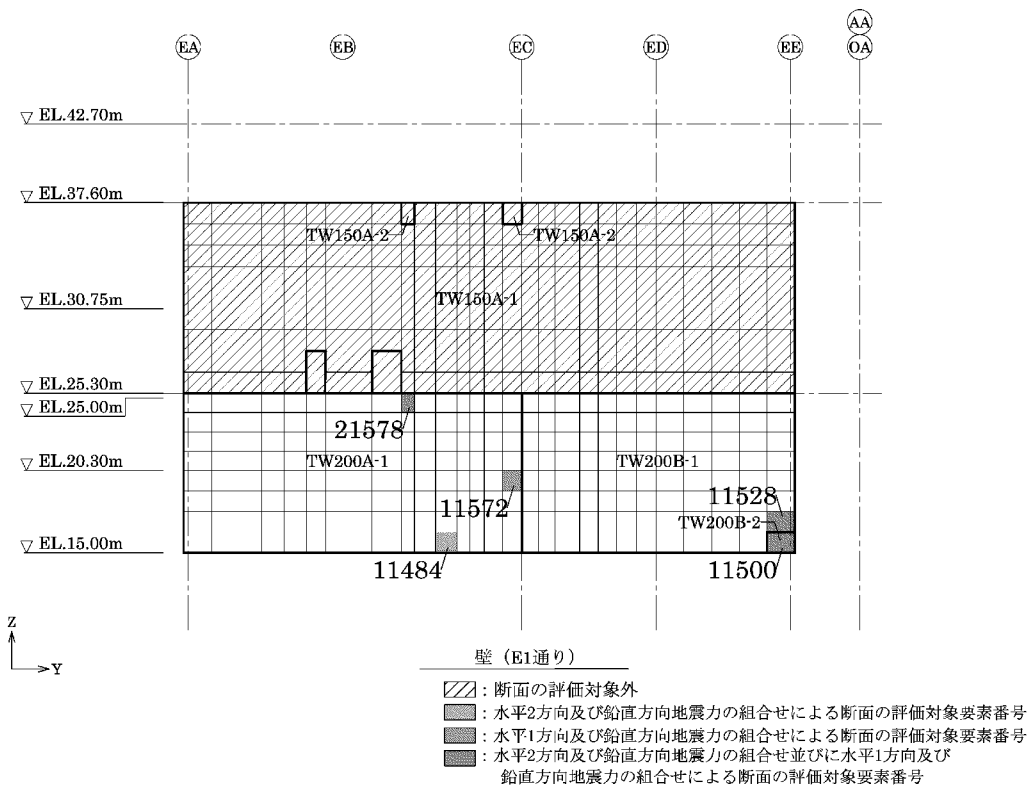
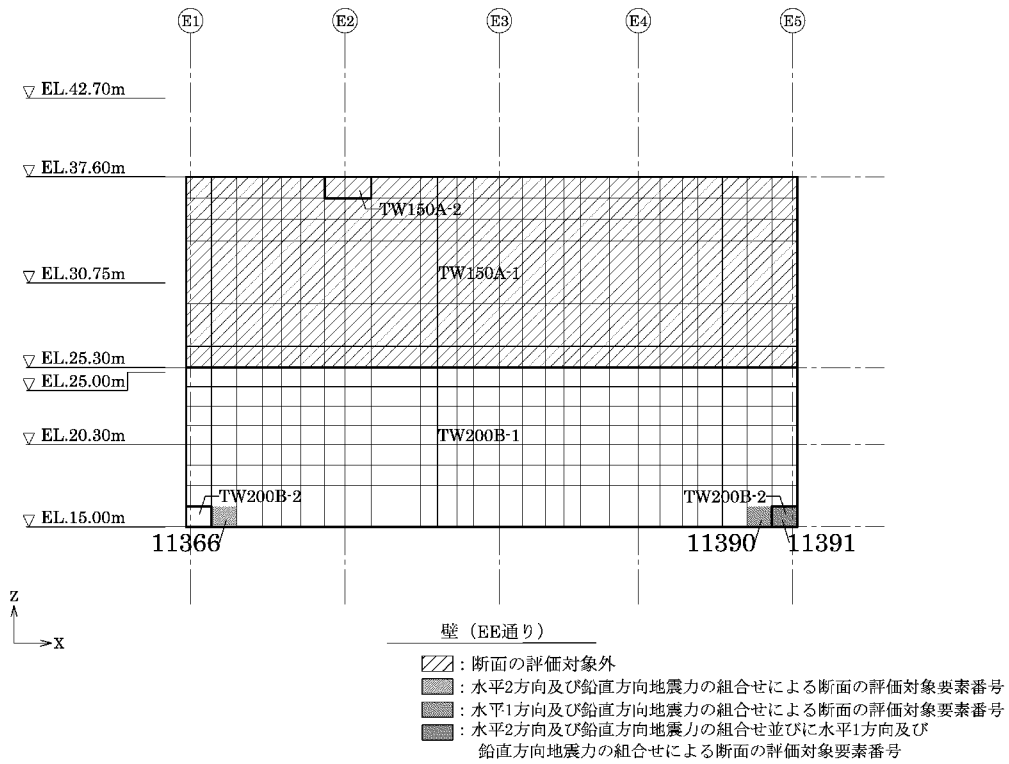
断面の評価対象部位は、分類領域ごとに、軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力に対する検定値が最大となる要素、面外せん断力に対する検定値が最大となる要素をそれぞれ選定する。壁の断面の評価対象要素番号を第 3.6-9 図、分類領域ごとの配筋を第 3.6-14 表に示す。

壁の応力の方向を第 3.6-10 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評価結果を第 3.6-15 表、面外せん断力に対する断面の評価結果を第 3.6-16 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、0.88（領域 TW200B-1）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、0.80（領域 TW200B-1）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 0.78（領域 TW200B-1）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、0.76（領域 TW200B-1）となり、増加傾向であることを確認している。

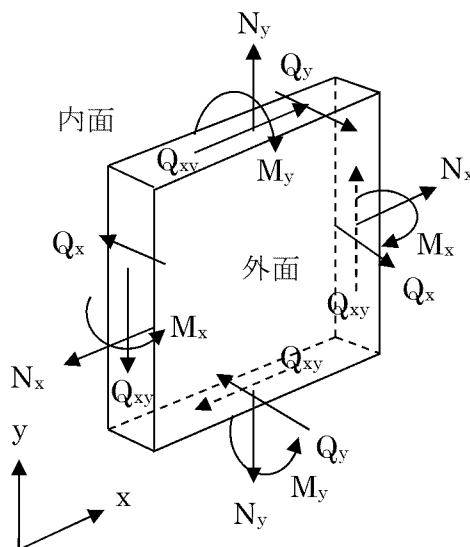
以上のことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、緊対棟の壁が有する耐震性への影響はないことを確認した。



第 3.6-9 図 断面の評価対象要素番号

第 3.6-14 表 分類領域ごとの配筋

部位	領域	厚さ (mm)	主筋 (SD345)		鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断 補強筋	
			位置	方向			
壁	TW200A-1	2,000	両側共	縦筋	2 段 D38@200	11,400	—
				横筋	2 段 D38@200	11,400	
	TW200B-1	2,000	両側共	縦筋	2.5 段 D38@200	14,250	—
				横筋	2.5 段 D38@200	14,250	
	TW200B-2	2,000	両側共	縦筋	2.5 段 D38@200 + 1 段 D38@200	19,950	—
				横筋	2.5 段 D38@200	14,250	



$N_x, N_y$  : 軸力 (引張 : +)  
 $M_x, M_y$  : 曲げモーメント (内面引張 : +)  
 $Q_{xy}$  : 面内せん断力  
 $Q_x, Q_y$  : 面外せん断力  
 (x 方向は横筋方向、y 方向は縦筋方向)

第 3.6-10 図 応力の方向

第 3.6-15 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

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	TW200A-1	21578	縦筋	13	2,166	-138	-3,237	8,126	11,400	0.72	可
	TW200B-1	11528	縦筋	11	5,376	21	3,236	12,530	14,250	0.88	可
	TW200B-2	11500	縦筋	12	6,788	-355	3,707	16,041	19,950	0.81	可

(b) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

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	TW200A-1	21578	縦筋	105	2,128	-143	-2,507	7,021	11,400	0.62	可
	TW200B-1	11528	縦筋	107	4,220	12	3,539	11,274	14,250	0.80	可
	TW200B-2	11500	縦筋	107	5,378	-59	4,002	13,733	19,950	0.69	可

第 3.6-16 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

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	TW200A-1	11484	縦筋	4	0.848	2.36	0.36	可
	TW200B-1	11366	縦筋	11	0.911	1.18	0.78	可
	TW200B-2	11391	縦筋	15	0.805	1.18	0.69	可

(b) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

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	TW200A-1	11572	横筋	103	0.832	2.36	0.36	可
	TW200B-1	11390	縦筋	107	0.896	1.18	0.76	可
	TW200B-2	11391	縦筋	107	0.728	1.18	0.62	可

### 3.6.7 検討のまとめ

地下部分の耐震壁は、「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位であり、水平 2 方向の地震力の影響を受けることから、緊対棟の壁について、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、面内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。

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、緊対棟の壁が有する耐震性への影響はないことを確認した。

### 3.7 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎（矩形の基礎版）の検討

#### 3.7.1 概要

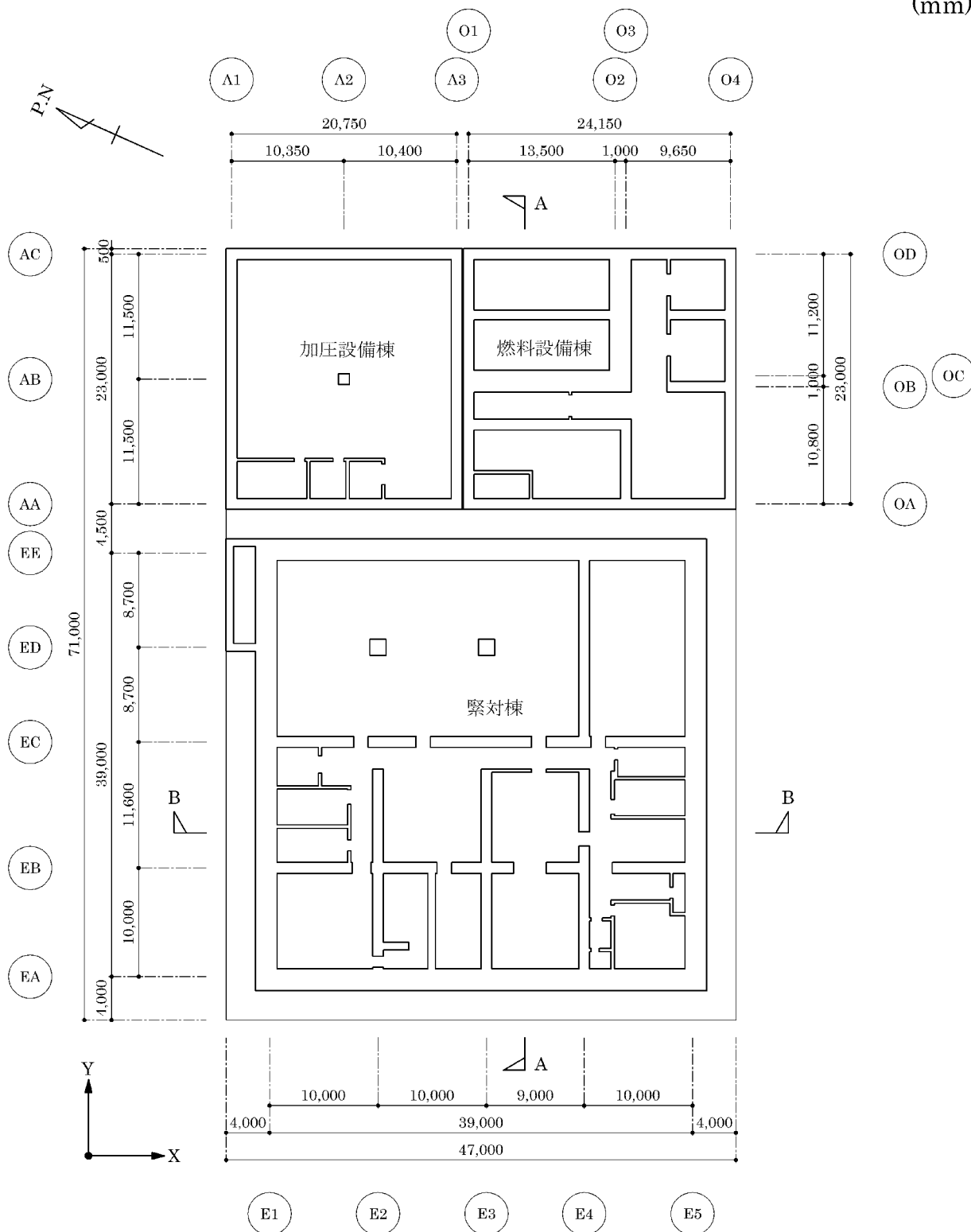
矩形の基礎版は、「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位であり、隅部等に応力が集中する可能性がある。

検討は、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎を評価対象構造物として、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。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎の主要構造は、平面形状が X 方向約 47m、Y 方向約 71m、厚さが約 8.0m の鉄筋コンクリート造べた基礎であり、岩盤上のマンメイドロックに設置している。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略平面図及び概略断面図を第 3.7-1 図及び第 3.7-2 図に示す。

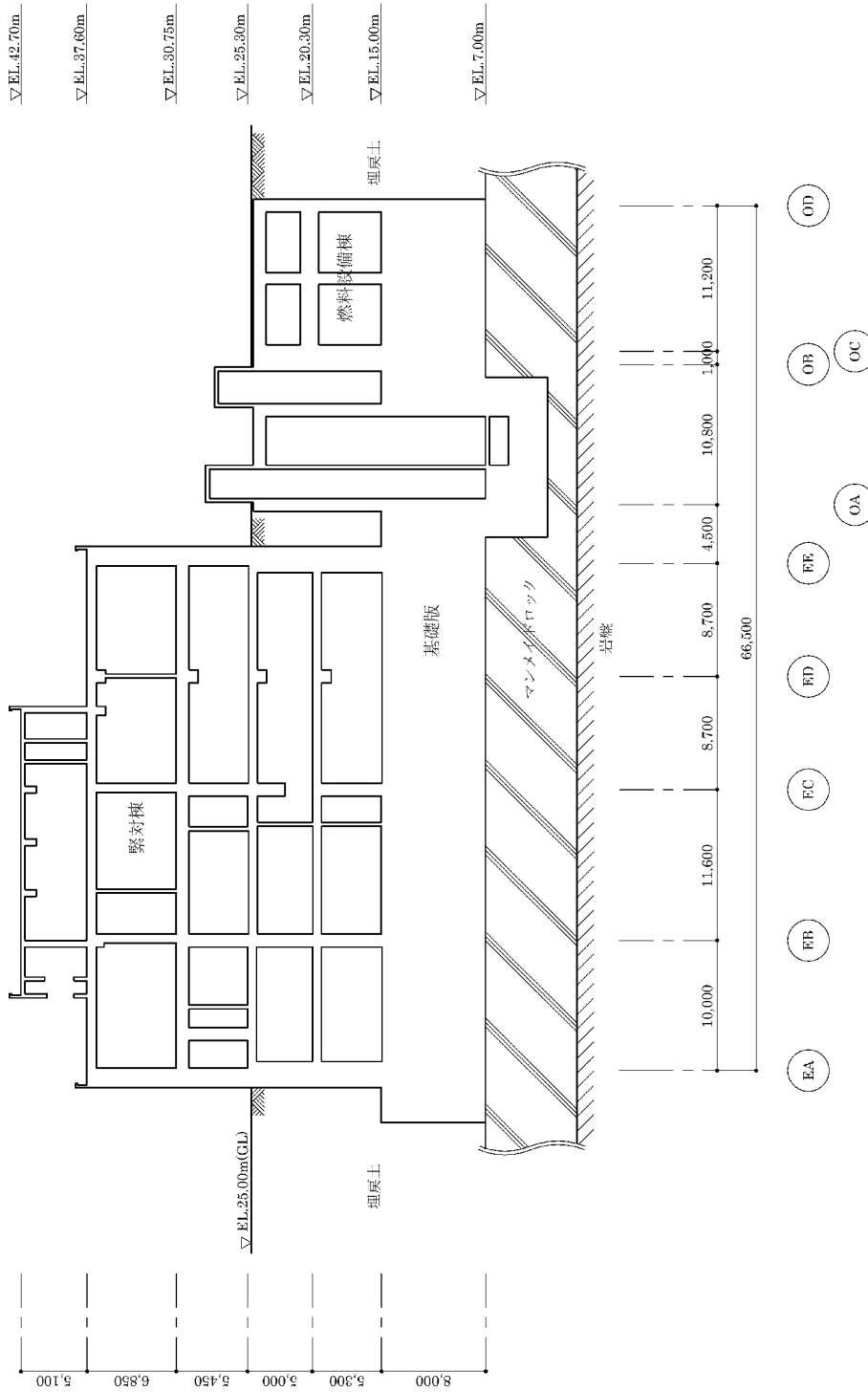
(mm)



第 3.7-1 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略平面図 (地下 2 階)



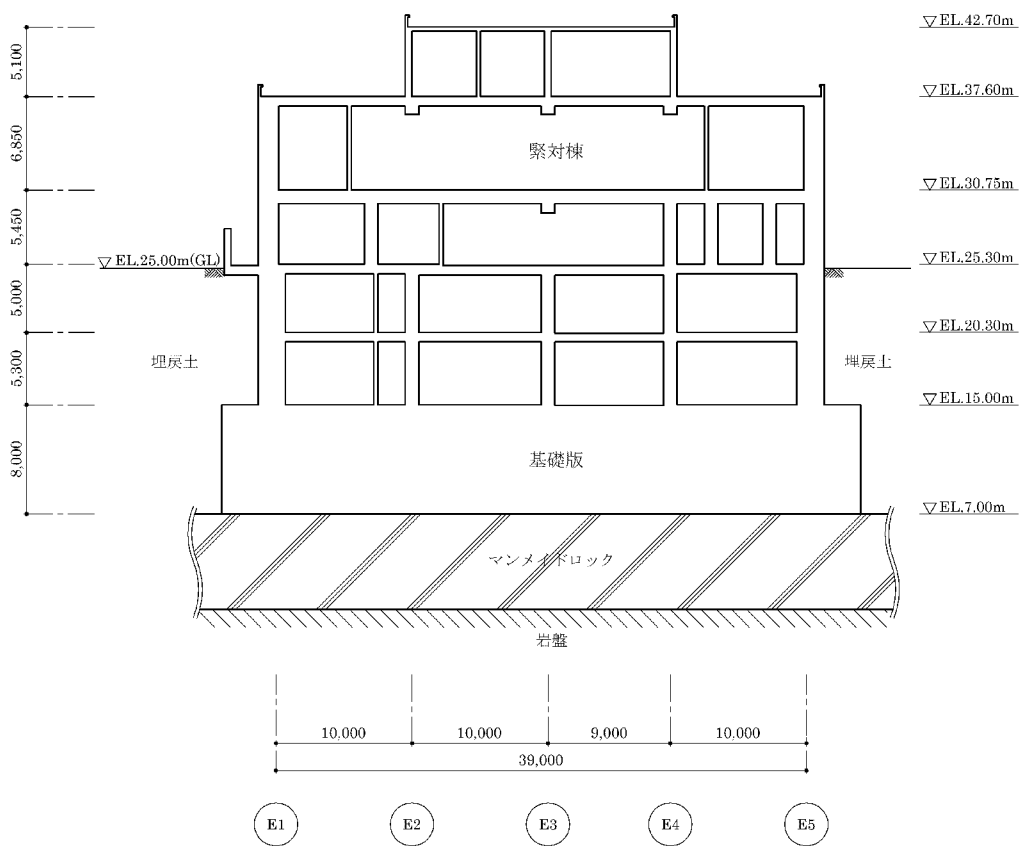
(mm)



(a) A-A 断面

第 3.7-2 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略断面図(1/2)

(mm)



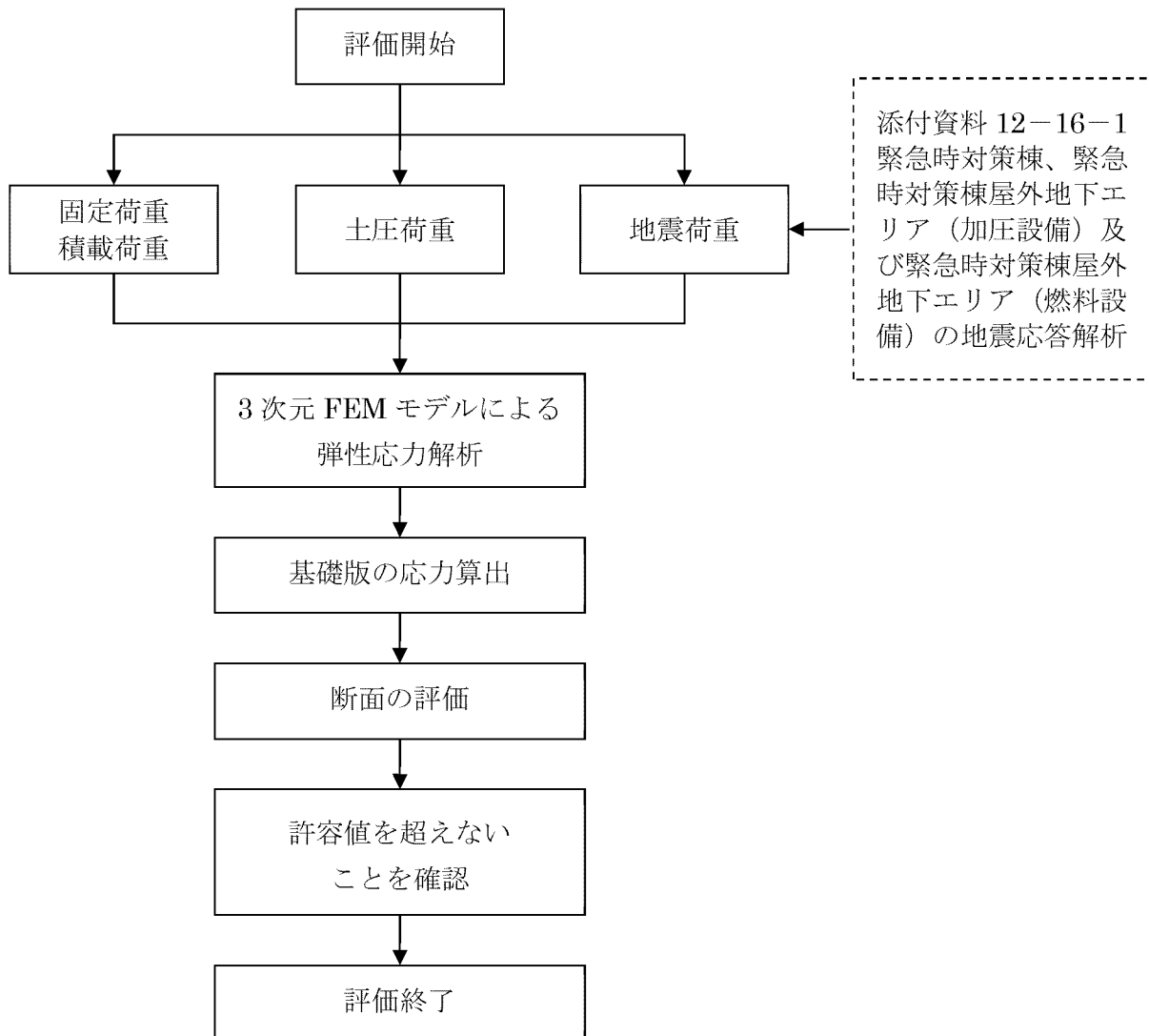
(b) B-B 断面

第 3.7-2 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の概略断面図(2/2)

### 3.7.2 検討方針

「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位である緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎について、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  $S_s$  による地震力を水平 2 方向及び鉛直方向に作用させ、基礎版に生じる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し、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。

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎について、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 3.7-3 図に示す。



第 3.7-3 図 緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎の検討フロー

### 3.7.3 荷重及び荷重の組合せ

#### (1) 荷重

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎は、固定荷重、積載荷重、常時土圧荷重及び地震荷重を考慮する。荷重は、「3.6 緊対棟（土圧等が作用する壁）の検討」の「3.6.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重とする。

#### (2) 荷重の組合せ

荷重の組合せは、添付資料 12-9「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 3.7-1 表に示す。

地震荷重及び風荷重の組合せについて、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟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 3.7-1 表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
Ss 地震時	D+L+E <sub>0</sub> +K <sub>s</sub> +E <sub>s</sub>

D : 固定荷重

L : 積載荷重

E<sub>0</sub> : 常時土圧荷重

K<sub>s</sub> : Ss 地震荷重（水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ）

E<sub>s</sub> : 地震時増分土圧荷重

### 3.7.4 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 3.7-2 表及び第 3.7-3 表に示す。

第 3.7-2 表 コンクリートの許容応力度

(単位 :  $\text{N/mm}^2$ )

設計基準強度 $F_c$	短期	
	圧縮	せん断
24.0	16.0	1.09

第 3.7-3 表 鉄筋の許容応力度

(単位 :  $\text{N/mm}^2$ )

鉄筋種類	短期	
	引張 圧縮	せん断
SD345	345	345

### 3.7.5 評価方法

#### (1) 解析モデル

解析モデルは、「3.6 緊対棟（土圧等が作用する壁）の検討」の「3.6.5 評価方法」に示すモデルとし、添付資料 12-16-3「緊急時対策棟、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）の基礎の耐震計算書」で構築したモデルを使用する。

#### (2) 解析諸元

解析諸元は、「3.6 緊対棟（土圧等が作用する壁）の検討」の「3.6.5 評価方法」に示す解析諸元とする。

#### (3) 応力解析方法

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎は、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

E<sub>0</sub> : 常時土圧荷重

K<sub>SX</sub> : Ss 地震荷重 (X 方向)

K<sub>SY</sub> : Ss 地震荷重 (Y 方向)

K<sub>SUD</sub> : Ss 地震荷重 (鉛直方向)

E<sub>SX</sub> : Ss 地震時増分土圧荷重 (X 方向)

E<sub>SY</sub> : Ss 地震時増分土圧荷重 (Y 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 Guide1.92<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 3.7-4 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 3.7-5 表に示す。

荷重の組合せケースにおいて、地震荷重は、X 軸の+方向、Y 軸の+方向及び鉛直上向きを「+」、X 軸の-方向、Y 軸の-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 ”

c. 荷重の入力方法

荷重の入力方法は、「3.6 緊対棟（土圧等が作用する壁）の検討」の「3.6.5 評価方法」に示す方法とする。

第 3.7-4 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	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} + 0.4K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX} + 0.4E_{SY}$
	2	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} + 0.4K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX} + 0.4E_{SY}$
	3	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} - 0.4K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX} + 0.4E_{SY}$
	4	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} - 0.4K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX} + 0.4E_{SY}$
	5	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} + 0.4K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX} + 0.4E_{SY}$
	6	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} + 0.4K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX} + 0.4E_{SY}$
	7	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} - 0.4K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX} + 0.4E_{SY}$
	8	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} - 0.4K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX} + 0.4E_{SY}$
	9	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} + 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 0.4E_{SX} + 1.0E_{SY}$
	10	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} + 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 0.4E_{SX} + 1.0E_{SY}$
	11	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} - 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 0.4E_{SX} + 1.0E_{SY}$
	12	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} - 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 0.4E_{SX} + 1.0E_{SY}$
	13	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} + 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 0.4E_{SX} + 1.0E_{SY}$
	14	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} + 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 0.4E_{SX} + 1.0E_{SY}$
	15	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} - 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 0.4E_{SX} + 1.0E_{SY}$
	16	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} - 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 0.4E_{SX} + 1.0E_{SY}$



第 3.7-5 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）

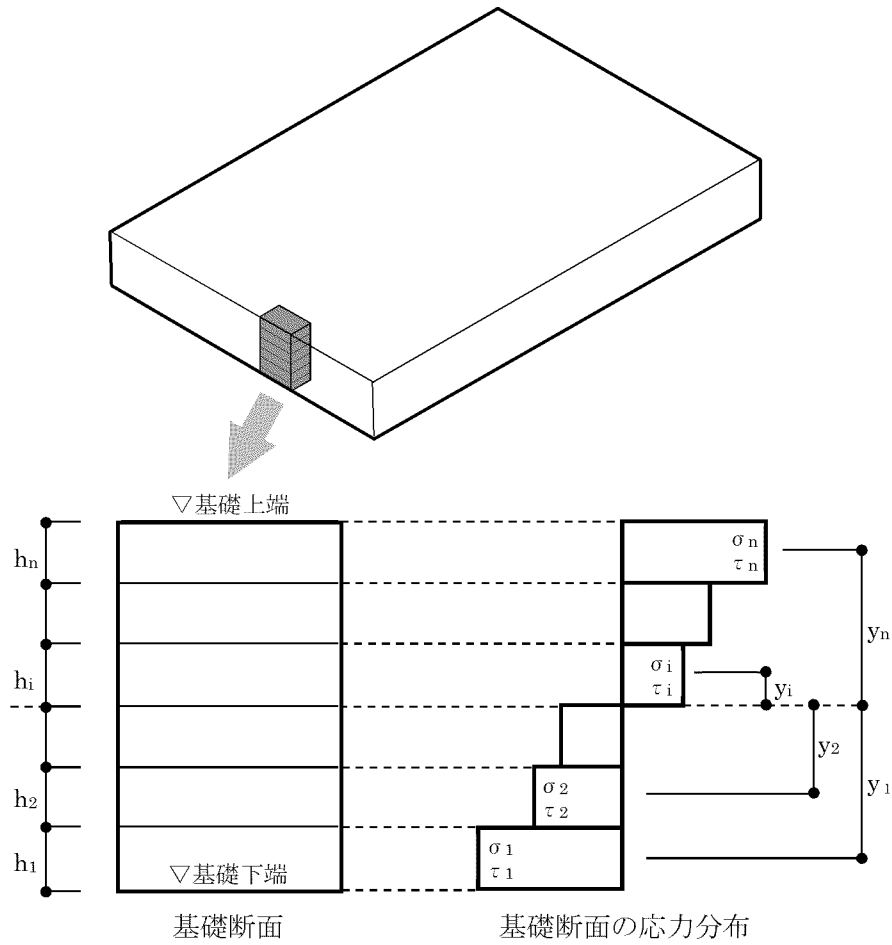
	ケース No.	荷重の組合せケース
Ss 地震時	101	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	102	$D + L + E_0 + 1.0K_{SX} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	103	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	104	$D + L + E_0 - 1.0K_{SX} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SX}$
	105	$D + L + E_0 + 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	106	$D + L + E_0 + 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	107	$D + L + E_0 - 1.0K_{SY} + 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	108	$D + L + E_0 - 1.0K_{SY} - 0.4K_{SUD} + 1.0E_{SY}$
	109	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	110	$D + L + E_0 + 0.4K_{SX} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	111	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	112	$D + L + E_0 - 0.4K_{SX} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SX}$
	113	$D + L + E_0 + 0.4K_{SY} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
	114	$D + L + E_0 + 0.4K_{SY} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
	115	$D + L + E_0 - 0.4K_{SY} + 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$
	116	$D + L + E_0 - 0.4K_{SY} - 1.0K_{SUD} + 0.4E_{SY}$

(4) 断面の評価方法

RC-N 規準に基づき、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。

ソリッド要素については、応力解析から得られた **FEM** 要素の応力を、軸力、曲げモーメント、面内せん断力及び面外せん断力の断面力に変換し、断面の評価を行う。断面力評価方法を第 3.7-4 図に示す。

断面の評価には、解析コード「**FEDM**」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。



軸力 
$$N = \sum_{i=1}^n (\sigma_i \cdot h_i)$$

曲げモーメント 
$$M = \sum_{i=1}^n (\sigma_i \cdot h_i \cdot y_i)$$

せん断力 
$$Q = \sum_{i=1}^n (\tau_i \cdot h_i)$$

ここで、

- $\sigma_i$  : ソリッド要素の軸方向応力度
- $h_i$  : 要素厚
- $y_i$  : 断面中心から要素中心までの距離
- $\tau_i$  : ソリッド要素のせん断応力度

第 3.7-4 図 断面力評価方法

- 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、X方向及びY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

### 3.7.6 評価結果

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎について、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 3.7-4 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。

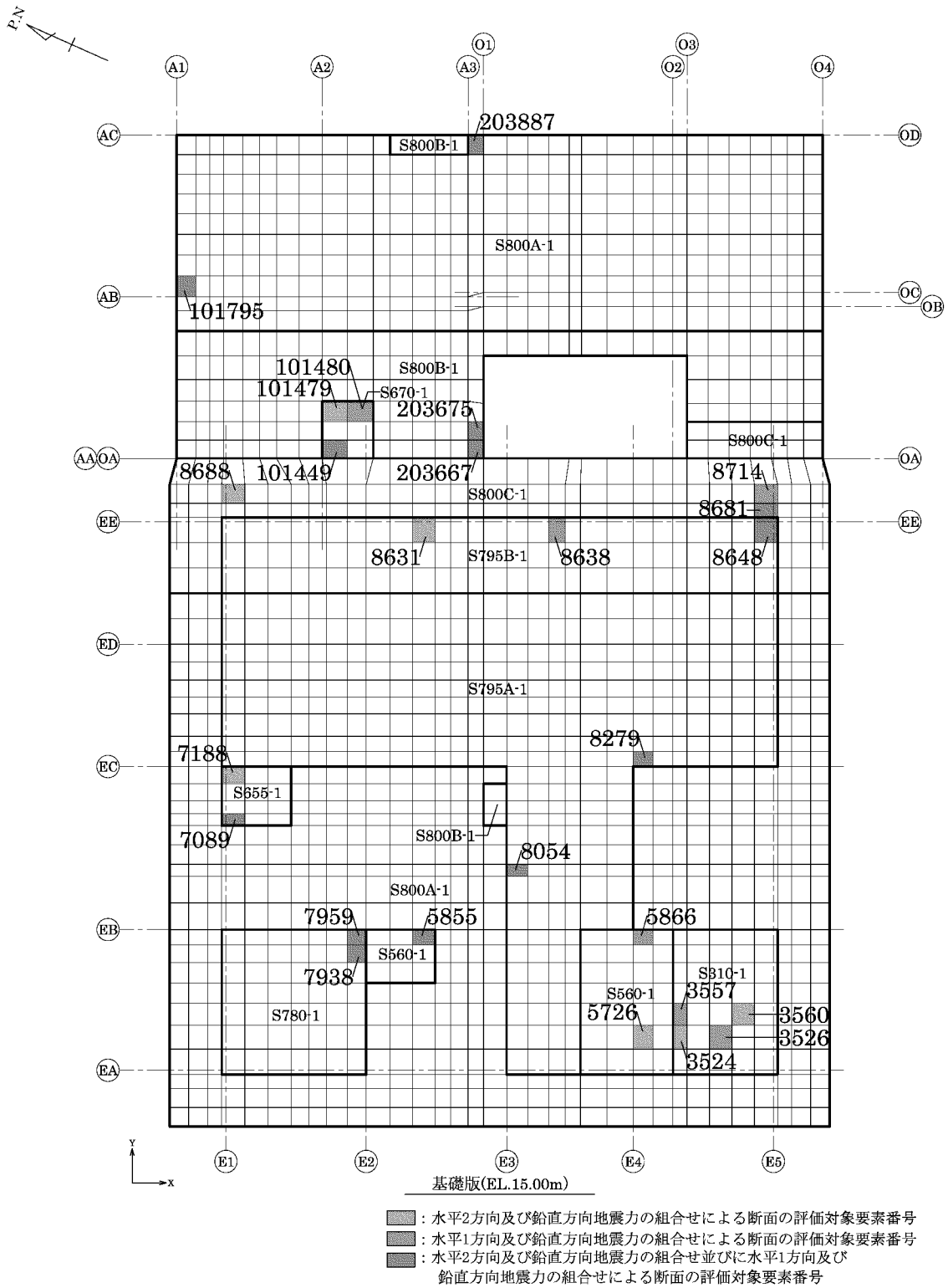
断面の評価対象部位は、分類領域ごとに、軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力に対する検定値が最大となる要素、面外せん断力に対する検定値が最大となる要素をそれぞれ選定する。基礎版の断面の評価対象要素番号を第 3.7-5 図、分類領域ごとの配筋を第 3.7-6 表に示す。また、第 3.7-5 図(a)の要素番号は、断面の評価用に集約して設定した要素番号である。

基礎版の応力の方向を第 3.7-6 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 3.7-7 表、面外せん断力に対する断面の評価結果を第 3.7-8 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。

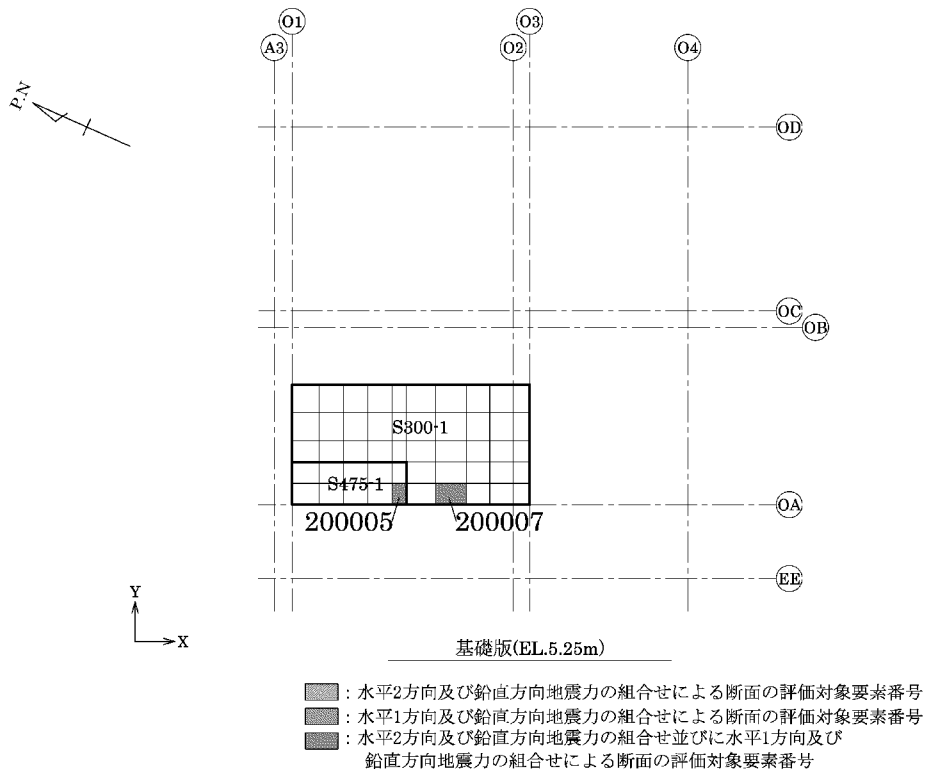
水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する断面の評価結果と水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する断面の評価結果とを比較すると、軸力及び曲げモーメント並びに面内せん断力の検定値は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、0.62 (領域 S800A-1) であり、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、0.58 (領域 S800A-1) である。面外せん断応力度の検定値は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、0.78 (領域 S800C-1) であり、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、0.60 (領域 S800C-1) となり、増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、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎が有する耐震性への影響はないことを確認した。



(a) EL.15.00m

第 3.7-5 図 断面の評価対象要素番号(1/2)



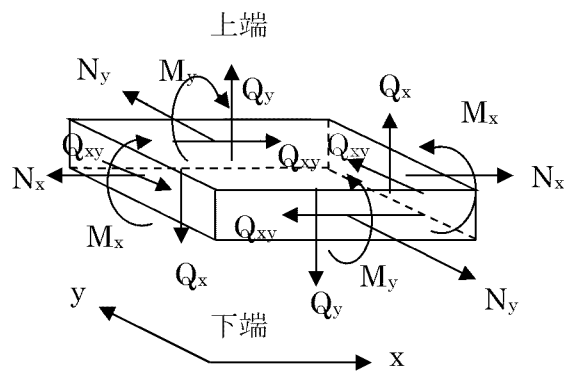
(b) EL.5.25m

第 3.7-5 図 断面の評価対象要素番号(2/2)



第 3.7-6 表 分類領域ごとの配筋

領域	厚さ (mm)	主筋 (SD345)			鉄筋量 (mm <sup>2</sup> /m)	面外せん断 補強筋
		位置	方向			
S800A-1	8,000	上端、 下端共	X	2 段 D38@200	11,400	—
			Y	2 段 D38@200	11,400	
S800B-1	8,000	上端、 下端共	X	3 段 D38@200	17,100	—
			Y	3 段 D38@200	17,100	
S800C-1	8,000	上端、 下端共	X	4 段 D38@200	22,800	—
			Y	6 段 D38@200	34,200	
S795A-1	7,950	上端、 下端共	X	2 段 D38@200	11,400	—
			Y	2 段 D38@200	11,400	
S795B-1	7,950	上端、 下端共	X	4 段 D38@200	22,800	—
			Y	6 段 D38@200	34,200	
S780-1	7,800	上端、 下端共	X	2 段 D38@200	11,400	—
			Y	2 段 D38@200	11,400	
S670-1	6,700	上端、 下端共	X	3 段 D38@200	17,100	—
			Y	3 段 D38@200	17,100	
S655-1	6,550	上端、 下端共	X	2 段 D38@200	11,400	—
			Y	2 段 D38@200	11,400	
S560-1	5,600	上端、 下端共	X	2 段 D38@200	11,400	—
			Y	2 段 D38@200	11,400	
S475-1	4,750	上端、 下端共	X	2 段 D38@200	11,400	—
			Y	2 段 D38@200	11,400	
S310-1	3,100	上端、 下端共	X	2 段 D38@200	11,400	—
			Y	2 段 D38@200	11,400	
S300-1	3,000	上端、 下端共	X	2 段 D38@200	11,400	—
			Y	2 段 D38@200	11,400	



- $N_x, N_y$  : 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 3.7-6 図 応力の方向

第 3.7-7 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 $a_g$ ( $\text{mm}^2/\text{m}$ )	設計 配筋量 $a_g'$ ( $\text{mm}^2/\text{m}$ )	検定値	判定
				N ( $\text{kN}/\text{m}$ )	M ( $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ )	Qxy ( $\text{kN}/\text{m}$ )				
S800A-1	101795	Y	1	3,106	6,067	-98	7,000	11,400	0.62	可
S800B-1	203675	Y	3	3,546	9,085	669	8,967	17,100	0.53	可
S800C-1	8681	Y	16	5,077	-22,216	-1,797	17,000	34,200	0.50	可
S795A-1	8054	X	13	215	8,003	895	3,540	11,400	0.32	可
S795B-1	8648	Y	16	1,161	-10,853	-2,393	6,307	34,200	0.19	可
S780-1	7938	X	13	786	4,032	563	2,824	11,400	0.25	可
S670-1	101479	Y	11	1,460	3,393	1,429	3,822	17,100	0.23	可
S655-1	7089	Y	2	924	2,906	-633	2,809	11,400	0.25	可
S560-1	5855	X	13	1,355	2,658	177	3,563	11,400	0.32	可
S475-1	200005	Y	15	1,153	-2,882	-741	3,733	11,400	0.33	可
S310-1	3560	Y	4	211	-1,806	-679	2,318	11,400	0.21	可
S300-1	200007	Y	15	767	-1,763	-929	3,189	11,400	0.28	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 $a_g$ ( $\text{mm}^2/\text{m}$ )	設計 配筋量 $a_g'$ ( $\text{mm}^2/\text{m}$ )	検定値	判定
				N ( $\text{kN}/\text{m}$ )	M ( $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ )	Qxy ( $\text{kN}/\text{m}$ )				
S800A-1	101795	Y	102	3,215	4,533	105	6,525	11,400	0.58	可
S800B-1	203675	Y	101	2,361	4,885	-524	5,480	17,100	0.33	可
S800C-1	8681	Y	107	5,051	-19,085	-1,810	15,637	34,200	0.46	可
S795A-1	8054	X	105	1,002	6,688	-273	4,177	11,400	0.37	可
S795B-1	8648	Y	108	1,448	-8,289	-1,589	5,667	34,200	0.17	可
S780-1	7938	X	105	1,007	3,761	-286	3,059	11,400	0.27	可
S670-1	101480	Y	101	703	1,850	-978	1,980	17,100	0.12	可
S655-1	7089	Y	102	1,200	1,530	193	2,509	11,400	0.23	可
S560-1	5855	X	105	1,581	2,215	-310	3,624	11,400	0.32	可
S475-1	200005	Y	107	605	-2,247	-238	2,465	11,400	0.22	可
S310-1	3526	X	108	199	-1,661	-385	2,138	11,400	0.19	可
S300-1	200007	Y	107	492	-1,398	-390	2,348	11,400	0.21	可

第 3.7-8 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
S800A-1	203887	X	1	1.50	2.18	0.69	可
S800B-1	203667	Y	13	0.876	2.18	0.41	可
S800C-1	8688	Y	13	1.68	2.18	0.78	可
S795A-1	8279	X	3	1.08	2.18	0.50	可
S795B-1	8631	X	5	0.700	2.18	0.33	可
S780-1	7959	X	7	0.916	2.18	0.43	可
S670-1	101449	Y	13	0.573	2.18	0.27	可
S655-1	7188	Y	13	0.592	2.18	0.28	可
S560-1	5726	X	3	0.877	2.18	0.41	可
S475-1	200005	Y	9	0.795	2.18	0.37	可
S310-1	3524	X	3	1.22	2.18	0.56	可
S300-1	200007	Y	9	1.17	2.18	0.54	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
S800A-1	203887	X	101	1.41	2.18	0.65	可
S800B-1	203667	Y	105	0.787	2.18	0.37	可
S800C-1	8714	Y	105	1.30	2.18	0.60	可
S795A-1	8279	X	101	1.03	2.18	0.48	可
S795B-1	8638	X	101	0.594	2.18	0.28	可
S780-1	7959	X	103	0.905	2.18	0.42	可
S670-1	101449	Y	105	0.435	2.18	0.20	可
S655-1	7089	Y	106	0.436	2.18	0.20	可
S560-1	5866	X	101	0.873	2.18	0.41	可
S475-1	200005	Y	105	0.746	2.18	0.35	可
S310-1	3557	X	101	1.07	2.18	0.50	可
S300-1	200007	Y	105	1.01	2.18	0.47	可

### 3.7.7 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、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎について、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、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎が有する耐震性への影響はないことを確認した。

### 3.8 まとめ

緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟について、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、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の全ての部位から、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、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、緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎を抽出した。

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、緊対棟の地下外壁を抽出した。

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建物・構築物のうち、緊対棟の壁及び緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟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、緊対棟の壁及び緊対棟、加圧設備棟及び燃料設備棟の基礎について、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。

補足説明資料 7-5 緊急時対策所（緊急時対策棟内）の  
居住性評価に係る条件とその耐震性について

緊急時対策所（緊急時対策棟内）（以下「緊急時対策所」という。）の居住性については、実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（以下「技術基準規則」という。）第七十六条に基づき居住性評価を行い、実効線量が7日間で100mSvを超えないことを確認している。

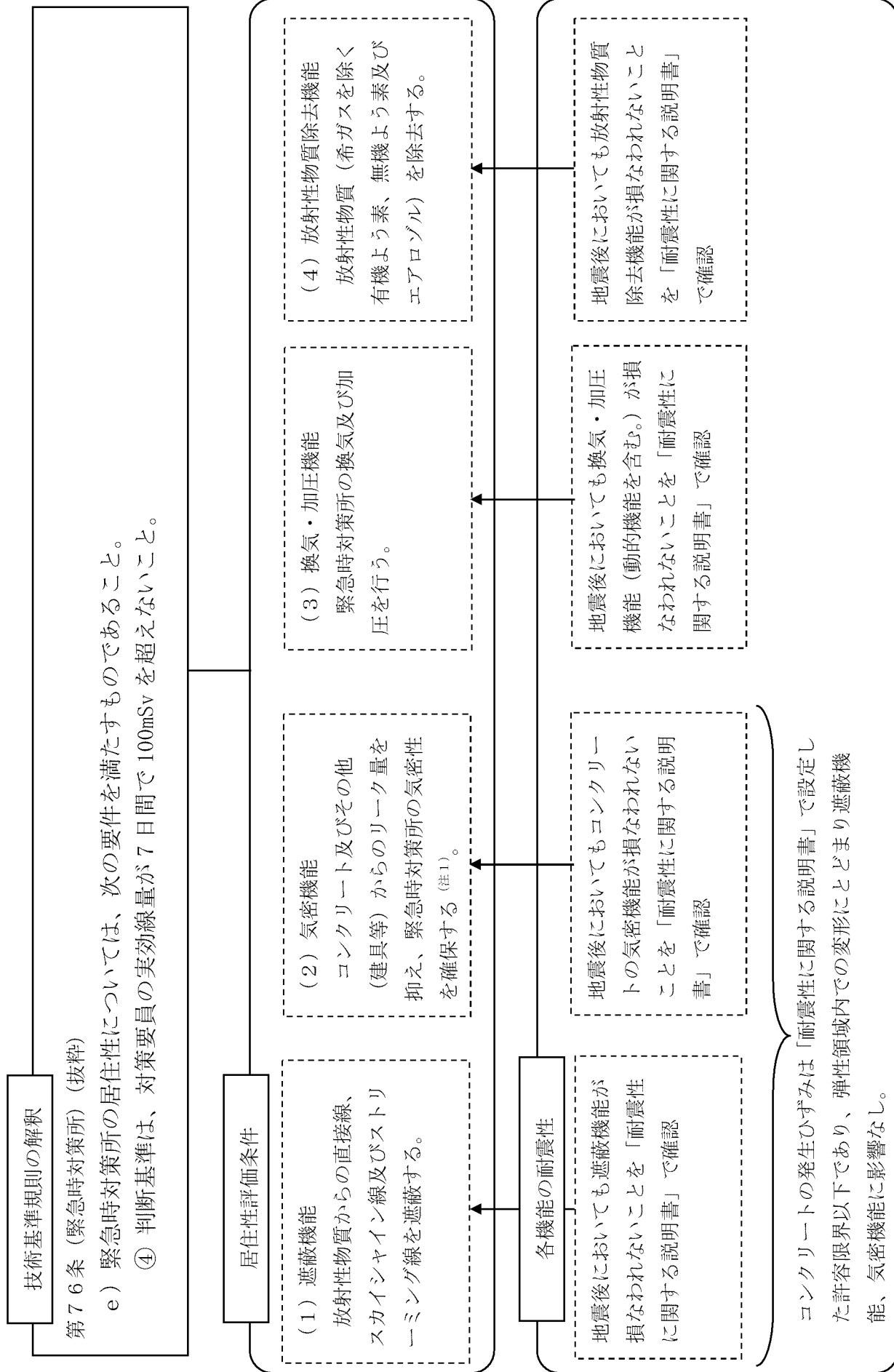
技術基準規則の解釈 第76条（緊急時対策所）（抜粋）

e) 緊急時対策所の居住性については、次の要件を満たすものであること。

④ 判断基準は、対策要員の実効線量が7日間で100mSvを超えないこと。

緊急時対策所の居住性評価に係る条件である「(1) 遮蔽機能」、「(2) 気密機能」、「(3) 換気・加圧機能」、「(4) 放射性物質除去機能」の各々については、地震後においてもその機能が損なわれないことについて確認している。

なお、最終的な居住性評価（被ばく評価）においては、耐震性を確認しているコンクリート、換気・加圧機能を有する設備及び放射性物質除去設備（フィルタ）の他、設計値の妥当性を検査により確認する気密機能や、放射性物質除去設備（フィルタ）では除去できない希ガスの影響を考慮した評価を行っている。





## 補足説明資料 9

健全性に関する説明書に関する補足説明資料

## 目 次

補足説明資料 9-1	屋外アクセスルートから緊急時対策棟までの地震時のアクセス性について
補足説明資料 9-2	重大事故等対処設備（緊急時対策所）の共通要因による機能喪失の防止について
補足説明資料 9-3	重大事故等対処設備（緊急時対策所）の重大事故等発生時の系統構成操作について
補足説明資料 9-4	緊急時対策棟屋外地下エリアの屋外の天候に対する設計について
補足説明資料 9-5	緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットのよう素除去フィルタ用活性炭の外気温度低下に対する健全性について
補足説明資料 9-6	第 6 保管エリアにおける RC 床版の施工計画について

## 補足説明資料 9-1 屋外アクセスルートから緊急時対策棟までの 地震時のアクセス性について

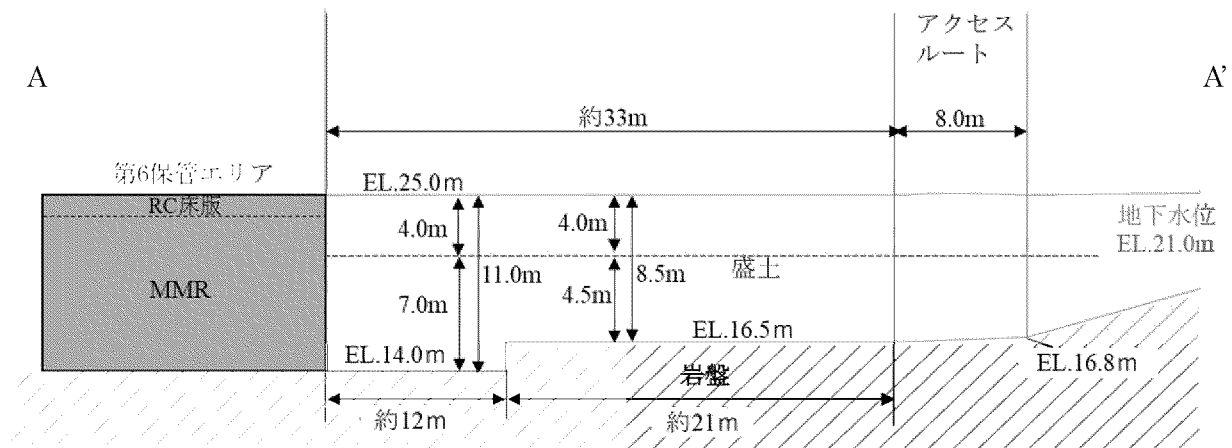
緊急時対策棟周辺は盛土地盤となるため、アクセスルートから緊急時対策棟までのアクセス性について地震時の影響を確認する。具体的には地震による盛土地盤の沈下量を算出し、地表面の断面的な状況を踏まえ、緊急時対策棟本部要員（以下「対策要員」という。）が徒歩により通行可能であることを確認する。なお、重大事故等時においては、緊急時対策棟及び第 6 保管エリアを発着する緊急時対策所用発電機車の移動とユニック車等の資機材を用いた可搬型重大事故等対処設備の運搬はない。

地震時において、対策要員はアクセスルートのうち、建屋周辺の敷地高さと同じ高さである **EL.25m** の範囲を通行し、緊急時対策棟にアクセスする。今回の影響確認においては、緊急時対策棟に隣接する第 6 保管エリア基礎は **MMR** を介して岩盤上に設置するため、地震による沈下の影響がないことを踏まえ、アクセスルートから第 6 保管エリアを経由して緊急時対策棟に入る動線を想定し、最短ルートとなる盛土地盤の沈下量を算定する。評価対象ルートの位置を第 1 図に、評価対象ルートの断面図を第 2 図に示す。

地下水位については、緊急時対策棟用湧水サンプポンプにより、建屋周辺の地下水位は低下するが、保守的に建屋設置予定地周辺で観測している No.3 水位計の、2019 年 8 月から 2020 年 8 月までの平均観測水位を参考に **EL.21.0m** に設定する。

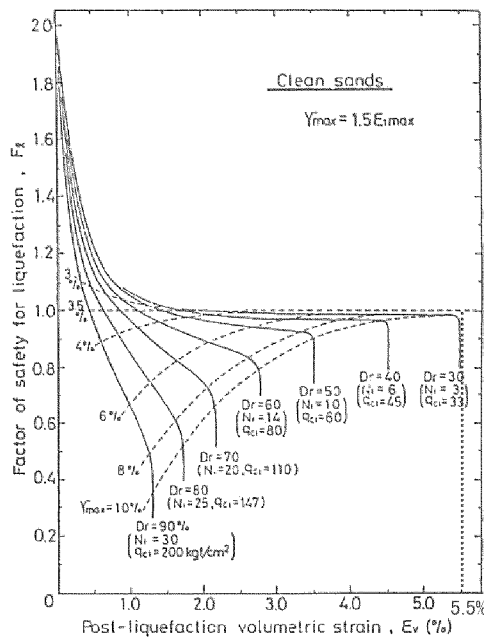


第 1 図 評価対象ルートの位置



第2図 評価対象ルートの断面図

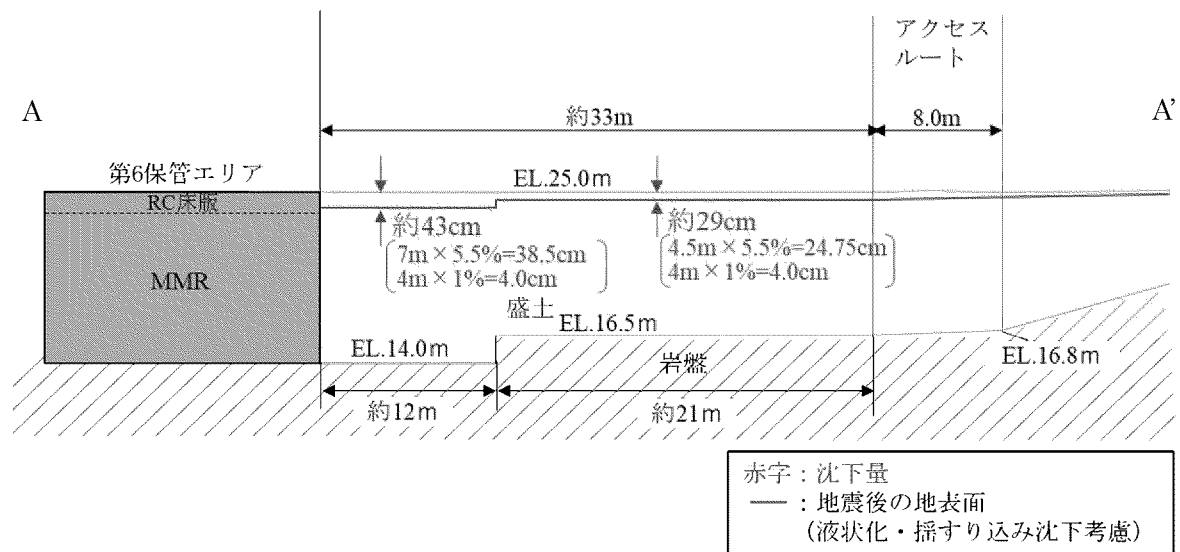
地震時の沈下量は、液状化及び揺すり込みによる沈下量の合計とする。液状化による沈下量は、地下水位以深の盛土層を対象層とし、第3図に示す体積ひずみと液状化抵抗率の関係から層厚の5.5%を沈下量として算定する。また、揺すり込みによる沈下量は、液状化対象層を除く盛土層を対象層とし、新潟県中越沖地震時における東京電力柏崎刈羽原子力発電所の沈下実績に基づき、層厚の1%を沈下量として算定する。



引用文献  
 Kenji Ishihara and Mitsutoshi Yoshimine (1992): Evaluation Of Settlements In Sand Deposits Following Liquefaction During Earthquakes: Soils And Foundations Vol.32, No.1, 173-188.  
 に一部加筆

第3図 体積ひずみと液状化抵抗率の関係

沈下量の算定結果を第4図に示す。沈下量については、最大約43cm ( $7\text{m} \times 5.5\% + 4\text{m} \times 1\% = 42.5\text{cm}$ ) の沈下が生じるが、評価対象ルートを断面的に見た場合、岩盤形状及び盛土層の分布状況から地表面はほぼ一様に沈下するため、局所的な段差は発生しないと想定される。また、第6保管エリアと盛土地盤の境界で段差が発生するが、通行に支障をきたすほどの段差ではない。以上より、地震時においても、対策要員はアクセスルートから緊急時対策棟へ通行が可能である。なお、評価対象ルート周辺には地下構造物はないため、液状化による地下構造物の隆起の影響はない。



第4図 沈下量の算定結果

補足説明資料9-2 重大事故等対処設備（緊急時対策所）の共通要因による  
機能喪失の防止について

1. 概 要

本資料は、重大事故等対処設備（緊急時対策所）の共通要因（環境条件、自然現象、外部人為事象、溢水及び火災）（以下「共通要因」という。）による機能喪失防止に係る設計（技術基準規則第54条第1項第1号、第2項第3号、第3項第5号、第7号及び第76条並びにそれらの解釈）について説明する。

2. 重大事故等対処設備（緊急時対策所）の共通要因による機能喪失防止に係る設計

重大事故等対処設備（緊急時対策所）に対する共通要因による機能喪失防止に係る設計のうち、環境条件（技術基準規則第54条第1項第1項及びその解釈の要求事項）及び環境条件を除く共通要因による機能喪失防止（技術基準規則第54条第2項第3号、第3項第5号、第7号及び第76条並びにそれらの解釈の要求事項）に対する設計上の考慮事項を第1表に、各共通要因に対する重大事故等対処設備（緊急時対策所）への設計上の考慮内容を第2表に示す。

また、第2表に記載している設備のうち、屋外の重大事故等対象設備（緊急時対策所）（配管、ケーブルを除く。）を以下に示す。

設 備 名 称	常設／可搬
SPDSデータ表示装置用衛星アンテナ （統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備と兼用）	常設
衛星携帯電話設備用アンテナ	常設
無線連絡設備用アンテナ	常設
緊急時対策所遮蔽（緊急時対策棟内）	常設
緊急時対策所用発電機車接続盤	常設
緊急時対策所用発電機車	可搬

※緊急時対策棟屋上及び緊急時対策棟屋外地下エリアのうち壁に囲まれた区画は、屋内として整理する。

なお、これらの要求事項のうち技術基準規則第54条第2項第3号及び第3項第7号は、重大事故防止設備に対する要求であり、重大事故緩和設備である重大事故等対処設備（緊急時対策所）にはその代替機能を有する設計基準事故対処設備等がないため、第76条に基づき重大事故等対象設備（緊急時対策所）との同時機能喪失を防止する対象を中央制御室とする。

第1表 共通要因による機能喪失防止に係る設計上の考慮事項

技術基準規則	項目		設計上の考慮事項
第54条 第1項第1号	共通 要因 故障 防止	環境条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>重大事故等対処設備（緊急時対策所）は、重大事故等発生時に想定される環境条件に対して、重大事故等に対処するために必要な機能を有効に発揮できる設計とする。</li> </ul>
第76条		自然現象	<ul style="list-style-type: none"> <li>重大事故等対処設備（緊急時対策所）は、自然現象、外部人為事象、溢水及び火災により中央制御室と同時に機能喪失しないよう、中央制御室と位置的分散を図り、中央制御室とは離れた位置に設置又は保管する設計とする。</li> </ul>
第54条 第3項第5号		外部人為事象	
〔第54条 第2項第3号 第3項第7号〕		溢水	
	火災		

第2表 各共通要因に対する重大事故等対処設備（緊急時対策所）への設計上の考慮内容(1/2)

技術基準規則	項目	屋内の常設重大事故等対処設備（緊急時対策所） （例：緊急時対策所非常用空気浄化ファン）	屋外の常設重大事故等対処設備（緊急時対策所） （例：緊急時対策所用発電機車接続盤）	
第54条 第1項第1号	環境条件	圧力、温度 湿度、放射線	・事故時に想定される環境圧力（大気圧）、環境温度（40℃）、環境湿度（100%）、環境放射線（≦10mGy/h）にて機能を損なわない設計とする。	
		地震荷重	・横滑りを含めて地震による荷重を考慮して、機能を損なわない設計とする。	
		風（台風）、竜巻のうち風荷重	・外部からの衝撃による損傷の防止が図られた緊急時対策棟建屋内に設置する。	・風荷重を考慮し、機能を損なわない設計とする。
		積雪及び火山影響による荷重	・外部からの衝撃による損傷の防止が図られた緊急時対策棟建屋内に設置する。	・必要により除雪又は除灰を行う設計とする。
		凍結、降水	－（屋内設備であるため考慮不要）	・凍結防止対策及び防水対策を行う設計とする。
		電磁的障害	・電磁波によりその機能が損なわれないよう、鋼製筐体や金属付シールド付ケーブルを適用し電磁波の侵入を防止等の措置を講じた設計とする。	
		周辺機器等からの悪影響	・地震の波及的影響により機能を喪失しないように、技術基準規則第50条「地震による損傷の防止」に基づく設計とする。 ・火災の波及的影響により機能を喪失しないように、技術基準規則第52条「火災による損傷の防止」に基づく設計とする。 ・溢水の波及的影響により機能を喪失しないように、想定される溢水水位よりも高所に設置する。	
第76条  第54条 第2項第3号	自然現象、外部人為事象、溢水、火災 共通		・重大事故等対処設備（緊急時対策所）は、共通要因により中央制御室と同時に機能喪失しないよう、中央制御室とは離れた位置に設置する。	
	自然現象	地震	・技術基準規則第49条「重大事故等対処施設の地盤」に基づく地盤上に設置する。 ・技術基準規則第50条「地震による損傷の防止」に基づく設計とする。	
		津波	・技術基準規則第51条「津波による損傷の防止」に基づく設計とする。	
		風（台風）、竜巻	・環境条件と同じ。	
		凍結、降水	・環境条件と同じ。	
		積雪、火山	・環境条件と同じ。	
		落雷	・避雷設備及び接地設備により防護する設計とする。	・必要に応じ、接地設備により防護する設計とする。
		生物学的事象	・小動物に対して、侵入防止対策が図られた緊急時対策棟建屋内に設置する。	・小動物に対して、侵入防止対策により必要な機能が損なわれるおそれのない設計とする。
		森林火災	－（位置的分散以外の防護設計なし）	
	外部人為事象	高潮	・高潮の影響を受けない敷地高さに設置する。	
		飛来物（航空機落下等）、爆発、 近隣工場等の火災、危険物を搭載した車両、有毒ガス、船舶の衝突	－（位置的分散以外の防護設計なし）	
		電磁的障害	・環境条件と同じ。	
		故意による大型航空機の衝突その他テロリズム	－（可搬型重大事故等対処設備に対する要求であるため考慮不要。）	
	溢水	・没水、被水及び蒸気の影響を評価し、没水、被水及び蒸気の影響により要求される機能を損なうおそれがない設計とする。 ・想定される溢水水位に対して機能を喪失しない位置に設置する。	・EL. 11.0mより高い敷地高さに設置する。	
	火災 <sup>(注)</sup>	・技術基準規則第52条「火災による損傷の防止」に基づく設計とする。		

（注）緊急時対策棟屋上及び緊急時対策棟屋外地下エリアは「屋外」とする。



第2表 各共通要因に対する重大事故等対処設備（緊急時対策所）への設計上の考慮内容(2/2)

技術基準規則	項目	屋内の可搬型重大事故等対処設備（緊急時対策所） (例：酸素濃度計)	屋外の可搬型重大事故等対処設備（緊急時対策所） (例：緊急時対策所用発電機車)				
第54条 第1項第1号	環境条件	圧力、温度、湿度、放射線	・事故時に想定される環境圧力（大気圧）、環境温度（40℃）、環境湿度（100%）、環境放射線（≤10mGy/h）にて機能を損なわない設計とする。				
		地震荷重	・横滑りを含めて地震による荷重を考慮して機能を損なわない設計とするとともに、地震後においても機能及び性能を保持する設計とする。				
		風（台風）、竜巻のうち風荷重	・外部からの衝撃による損傷の防止が図られた緊急時対策棟建屋内に保管する。	・浮き上がり又は横滑りを拘束することにより、機能を損なわない設計とするか、あるいは同じ機能を有する他の重大事故等対処設備にこれらの措置を講じることにより、重大事故等に対処するために必要な機能を有効に発揮する設計とする。			
		積雪及び火山影響による荷重	・外部からの衝撃による損傷の防止が図られた緊急時対策棟建屋内に保管する。	・必要により除雪又は除灰を行う設計とする。			
		凍結、降水	－（屋内設備であるため考慮不要）	・凍結防止対策及び防水対策を行う設計とする。			
		電磁的障害	・電磁波によりその機能が損なわれないよう、鋼製筐体や金属付シールド付ケーブルを適用し電磁波の侵入を防止する等の措置を講じた設計とする。				
		周辺機器等からの悪影響	・油内包機器による地震随伴火災の影響や、地震随伴溢水の影響により機能を喪失しない場所に保管する。 ・火災の波及的影響により機能を喪失しないように、火災防護対策を火災防護計画に策定する。 ・溢水の波及的影響により機能を喪失しないように、必要により想定される溢水水位よりも高所に保管する。	・自然現象及び外部人為事象による波及的影響に起因する周辺機器等からの悪影響により、必要な機能を損なわないように、全てを一つの保管場所又は隣接した保管場所に保管することなく、一部は離れた位置の保管場所に分散配置する。 ・地震により生ずる敷地斜面のすべり、液状化及び揺すり込みによる不等沈下、地盤支持力の低下及び地下構造物の崩壊等を受けない位置に保管する。 ・火災の波及的影響により機能を喪失しないように、火災防護対策を火災防護計画に策定する。 ・溢水の波及的影響により機能を喪失しないように、必要により想定される溢水水位よりも高所に保管する。			
第76条  第54条 第3項第5号  第54条 第3項第7号	自然現象、外部人為事象、溢水、火災 共通	・重大事故等対処設備（緊急時対策所）は、共通要因により中央制御室と同時に機能喪失しないよう、中央制御室とは離れた位置に保管する。					
			自然現象	地震	・技術基準規則第49条「重大事故等対処施設の地盤」に基づく地盤上に設置された緊急時対策棟建屋内に保管する。 ・技術基準規則第50条「地震による損傷の防止」にて考慮された設計とする。 ・複数個所に分散して保管する。	・地震による影響（周辺構造物の倒壊や周辺斜面の崩壊、道路面のすべり、液状化及び揺すり込みによる不等沈下、地盤支持力の不足並びに地下構造物及び水路等の損壊等）により必要な機能を喪失しない位置に保管する。 ・技術基準規則第50条「地震による損傷の防止」にて考慮された設計とする。 ・複数個所に分散して保管する。	
					津波	・技術基準規則第51条「津波による損傷の防止」に基づく設計とする。	
					風（台風）、竜巻	・環境条件と同じ。	
					凍結、降水	・環境条件と同じ。	
					積雪、火山	・環境条件と同じ。	
					落雷	・避雷設備及び接地設備により防護する設計とする。	・複数個所に分散して保管する。 ・必要に応じ、接地設備により防護する設計とする。
					生物学的事象	・小動物に対して、侵入防止対策が図られた緊急時対策棟建屋内に保管する。	・複数個所に分散して保管する。
			森林火災	－（位置的分散以外の防護設計なし）	・複数個所に分散して保管する。		
			高潮	・高潮の影響を受けない敷地高さに保管する。	・複数個所に分散して保管する。 ・高潮の影響を受けない敷地高さに保管する。		
				・複数個所に分散して保管する。			
			外部人為事象	飛来物（航空機落下等）、爆発、近隣工場等の火災、危険物を搭載した車両、有毒ガス、船舶の衝突	－（位置的分散以外の防護設計なし）	・複数個所に分散して保管する。	
				電磁的障害	・環境条件と同じ。		
			故意による大型航空機の衝突その他テロリズム	－（位置的分散以外の防護設計なし）	・複数個所に分散して保管する。		
溢水	・没水、被水及び蒸気の影響を評価し、没水、被水及び蒸気の影響により要求される機能を損なうおそれがない設計とする。 ・想定される溢水水位に対して機能を喪失しない位置に保管する。 ・複数個所に分散して保管する。	・EL. 11.0mより高い敷地高さに保管する。 ・複数個所に分散して保管する。					
	火災 <sup>(注)</sup>	・火災防護対策を火災防護計画に策定する。 ・複数個所に分散して保管する。					

(注) 緊急時対策棟屋上及び緊急時対策棟屋外地下エリアは「屋外」とする。

## 補足説明資料 9-3 重大事故等対処設備（緊急時対策所）の 重大事故等発生時の系統構成操作について

### 1. 概 要

本資料は、重大事故等発生時に系統構成を行う設備の操作場所及び操作内容（操作方法含む。）について説明するものである。

### 2. 重大事故等発生時に系統構成を行う設備の操作に関する設計

操作に関する設計については、添付資料 4「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」の「2.3 環境条件等」にて以下のとおり記載している。

- ・重大事故等対処設備（緊急時対策所）の設置場所は、想定される事故等が発生した場合においても操作及び復旧作業に支障がないように、遮蔽の設置や線源からの離隔距離により放射線量が高くなるおそれの少ない場所を設置場所として選定した上で、設置場所で操作可能又は放射線の影響を受けない異なる区画若しくは離れた場所から遠隔で操作可能な設計とする。
- ・重大事故等対処設備（緊急時対策所）は、放射線量が高くなるおそれがある場合、放射線の影響を受けない異なる区画又は離れた場所から遠隔で操作可能な設計とする。

そのため、重大事故等発生時に系統構成を行う設備である緊急時対策所加圧設備、緊急時対策所非常用空気浄化設備及び非常用電源設備について、系統構成に係る操作場所及び操作内容を第 1 表に示す。

第1表 重大事故等対処設備（緊急時対策所）の重大事故等発生時の系統構成操作

		緊急時対策所加圧設備	緊急時対策所非常用 空気浄化設備	非常用電源設備
重大事故等発生時 （緊急時対策所 立ち上げ時）	操作場所	緊急時対策棟屋外地下エリア	緊急時対策所（緊急時対策棟内） <sup>(注)</sup>	屋外 緊急時対策所（緊急時対策棟内） <sup>(注)</sup>
	操作内容 （操作方法）	ホースの接続（手動） 手動弁の操作（手動）	【緊急時対策所（緊急時対策棟内） <sup>(注)</sup> 】 ファンの起動（遠隔） 電動弁／ダンパの操作（遠隔）	【屋外】 ホース・ケーブルの接続（手動） 【緊急時対策所（緊急時対策棟内） <sup>(注)</sup> 】 発電機車の起動（遠隔） 電源系統の切替操作（遠隔） 給油ポンプの起動（遠隔）
ブルーム通過時	操作場所	緊急時対策所（緊急時対策棟内） <sup>(注)</sup>	緊急時対策所（緊急時対策棟内） <sup>(注)</sup>	操作なし
	操作内容 （操作方法）	手動弁の操作（手動）	電動弁／ダンパの操作（遠隔）	
ブルーム通過後	操作場所	緊急時対策所（緊急時対策棟内） <sup>(注)</sup>	緊急時対策所（緊急時対策棟内） <sup>(注)</sup>	操作なし
	操作内容 （操作方法）	手動弁の操作（手動）	電動弁／ダンパの操作（遠隔）	

(注) 緊急時対策所（緊急時対策棟内）は、遮蔽内である。

## 補足説明資料9-4 緊急時対策棟屋外地下エリアの屋外の天候に対する設計について

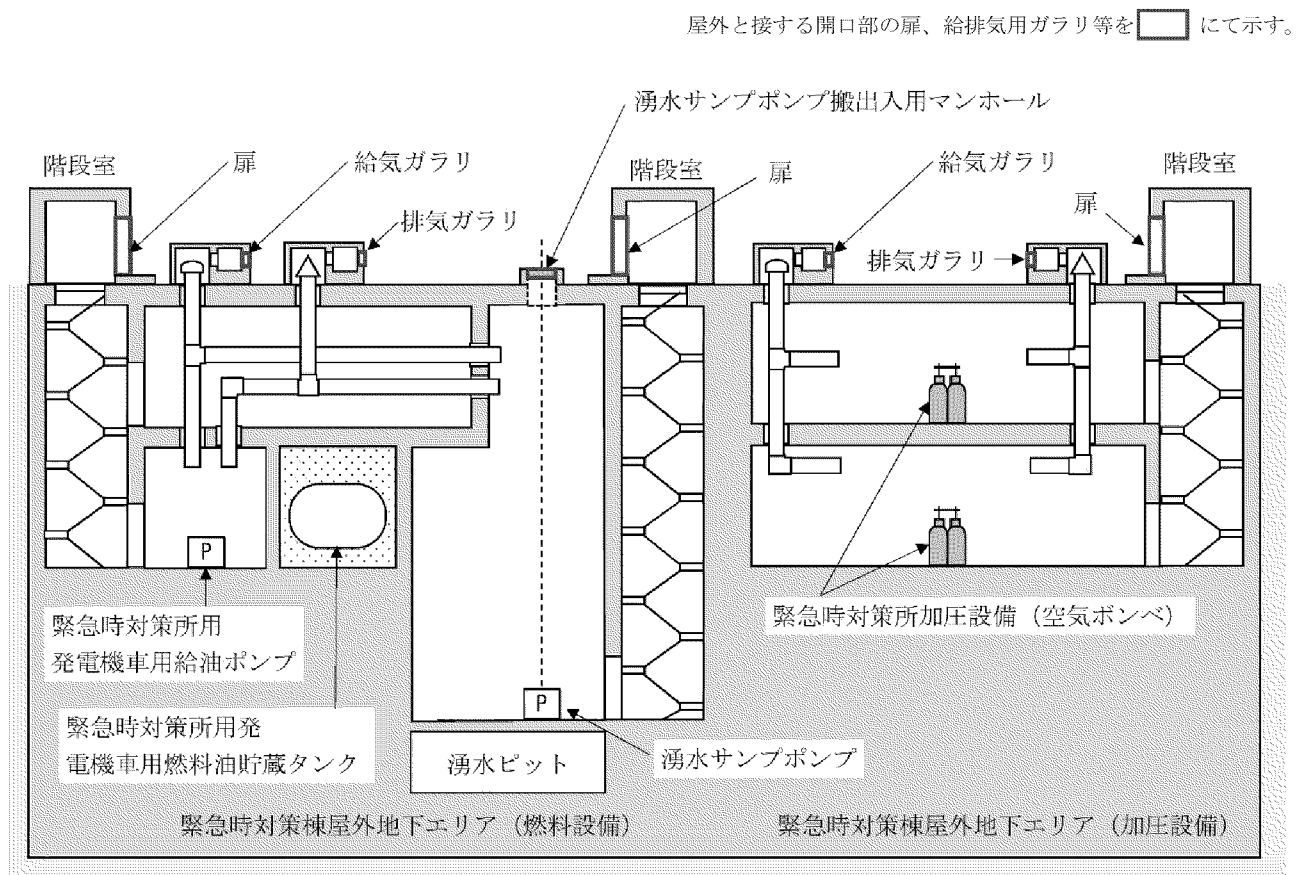
### 1. はじめに

本資料は、緊急時対策棟屋外地下エリアが屋外の天候による影響を受けることのない設計であることを説明する。

### 2. 緊急時対策棟屋外地下エリアの構造と屋外の天候に対する設計

緊急時対策棟屋外地下エリアは、屋外と接する開口部を扉、給排気用ガラリ等により、屋外の天候による影響を受けることがない設計としている。

緊急時対策棟屋外地下エリアの概要図を第1図に示す。



第1図 緊急時対策棟屋外地下エリアの概要図

## 補足説明資料9-5 緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットの よう素除去フィルタ用活性炭の外気温度低下に対する健全性について

### 1. はじめに

本資料は、緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットのよう素除去フィルタ用活性炭の外気温度低下に対する健全性について説明する。

### 2. よう素除去フィルタ用活性炭の外気温度低下に対する健全性

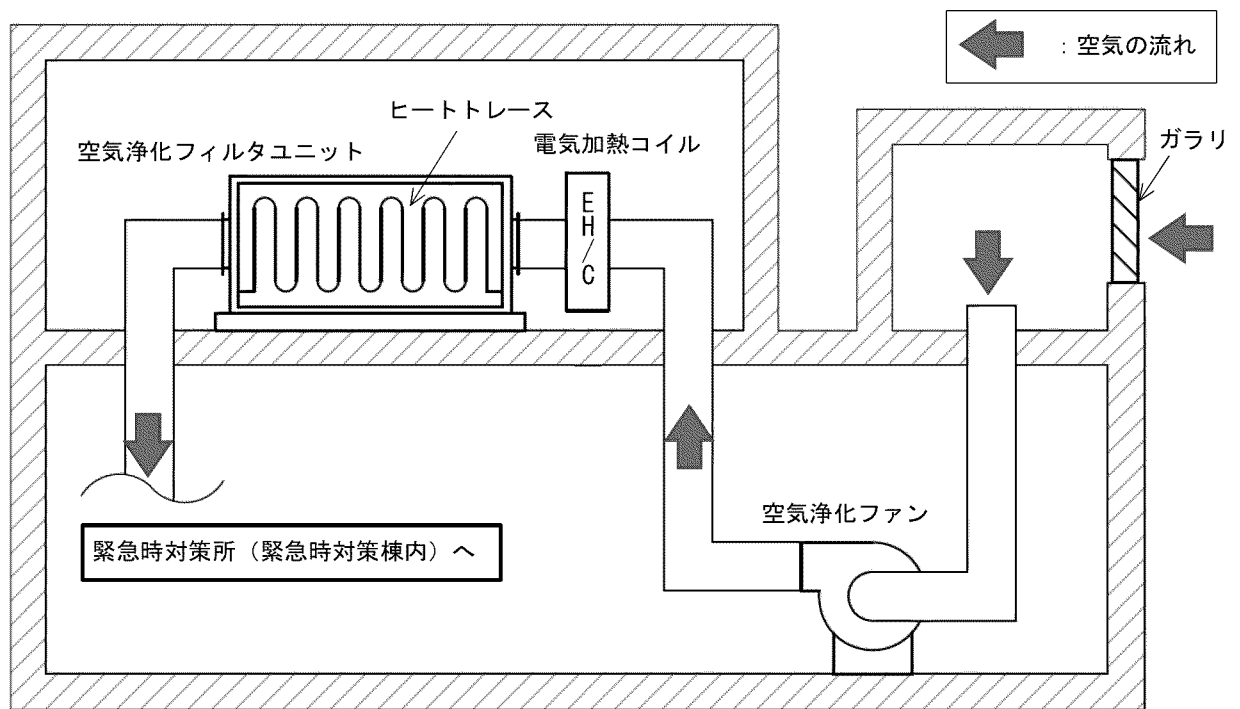
緊急時対策所非常用空気浄化フィルタユニットは、屋内設備であるが、緊急時対策所非常用空気浄化ファンにより外気を吸入して使用する設備であるため、外気温度低下に対するよう素除去フィルタ用活性炭への影響を考慮して、待機時はヒートトレース設備、使用時は電気加熱コイルによりフィルタユニット内温度が10℃以上となるよう管理している。第1表及び第1図にヒートトレース設備及び電気加熱コイルの概要を示す。

なお、考慮する最低外気温度は、平戸特別地域気象観測所の観測記録（1951～2012年）の、-5.8℃（1977年2月16日）とする。

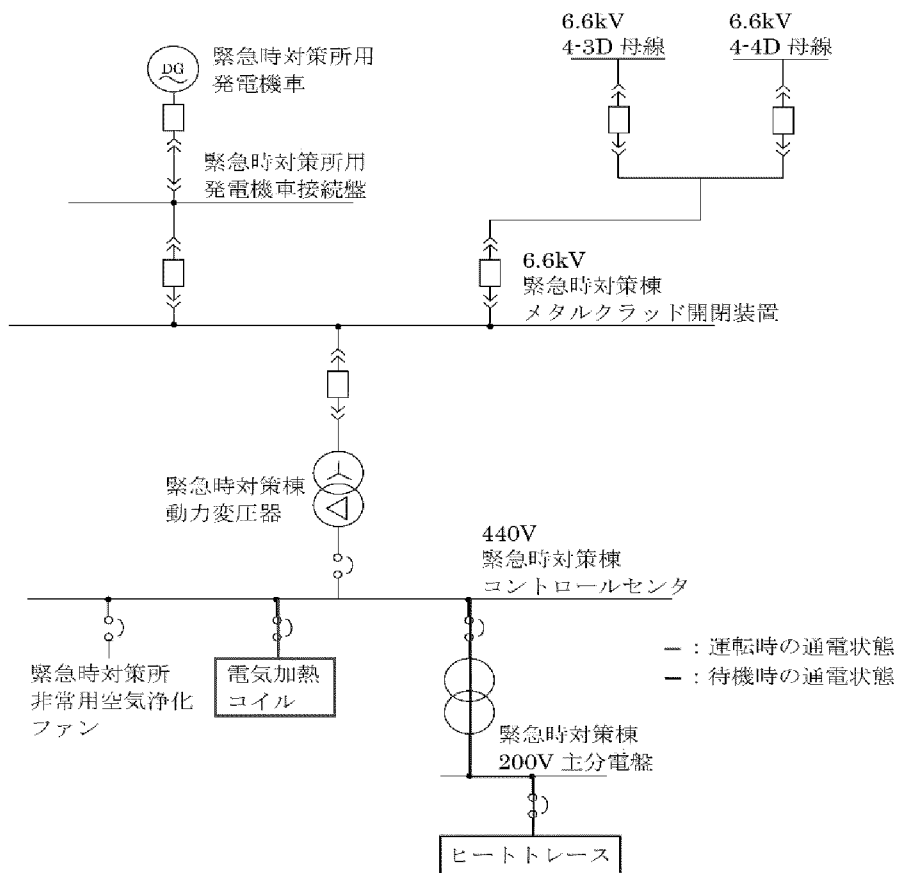
また、ヒートトレース設備及び電気加熱コイルは第2図に示す非常用母線より常時接続、受電可能な設計としている。

**第1表 ヒートトレース設備及び電気加熱コイルの概要**

1. 設 備	ヒートトレース設備	電気加熱コイル
2. 設 置 目 的	よう素フィルタ用活性炭劣化防止	
3. 機 能	待機時のフィルタユニット内の 温度維持（常時接続）	使用時の流入空気加熱 （常時接続）
4. 電 源	緊急時対策棟 200V主分電盤	緊急時対策棟 コントロールセンタ
5. 加熱目標温度	10℃	



第1図 ヒートトレース設備及び電気加熱コイルの概要図



第2図 ヒートトレース設備及び電気加熱コイルの電源系統図

## 補足説明資料 9-6 第 6 保管エリアにおける RC 床版の施工計画について

第 6 保管エリアには、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（以下「技術基準規則」という。）」第 54 条及び第 76 条の要求に適合する可搬型重大事故等対処設備のうち緊急時対策所用発電機車を 2 台（約 52 t / 台）保管する。なお、緊急時対策所用発電機車の構造については添付図面第 15-1 図「その他発電用原子炉の付属施設非常用電源設備の構造図」に示す。

緊急時対策所用発電機車の保管場所は、RC 床版及びマンメイドロックを介して岩盤に支持される構造である。緊急時対策所用発電機車の保管場所については、長期供用による維持補修を考慮した RC 床版を配置する計画とする。

RC 床版は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対する耐震性を考慮した設計とし、マンメイドロックと一体化した構造となるように施工する計画である。

また、隣接する緊急時対策棟屋外地下エリア（燃料設備）との間には目地材を設置する計画である。

RC 床版の構造イメージ図を図 1 に示す。

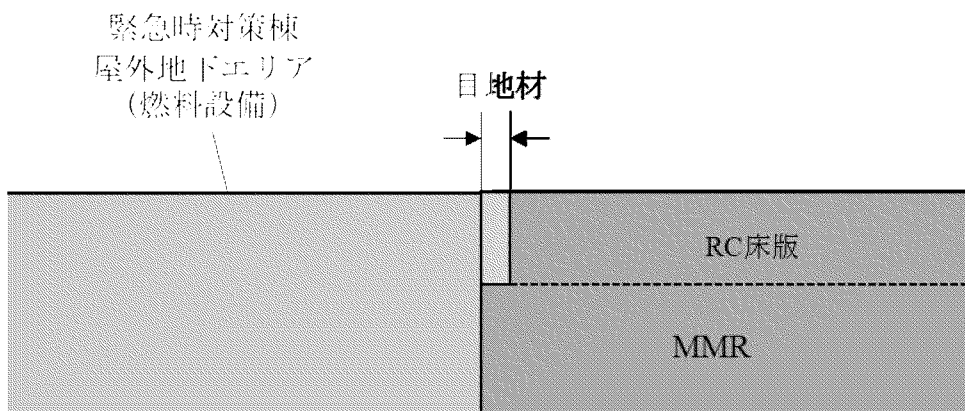


図 1 RC 床版の構造イメージ図