

TK-1-1866 改0
平成30年8月28日
日本原子力発電株式会社

本資料は、建物・構築物の耐震計算についての補足説明資料 補足-370-11【原子炉建屋の耐震性評価に関する補足説明】に含める説明内容を記載したものである。

建設工認時のせん断力分配解析について

目次

1. 概要.....	1
2. 建設工認時のせん断力分配解析.....	1
3. 地震荷重の分布形状による分配率への影響検討.....	7
4. 床スラブ及び基礎スラブの柔性を考慮した分配率.....	11

1. 概要

「補足 370-11 原子炉建屋の耐震性評価についての補足説明」において、建設工認時の各耐震壁のせん断力分配結果より算出した、各層のせん断力に対する各耐震壁の分配率を示している。ここでは、建設工認時のせん断力分配解析について示す。

また、地震荷重が変わった際の分配率の変化及び床スラブ及び基礎スラブの柔性を考慮した場合の分担せん断力についても検討する。

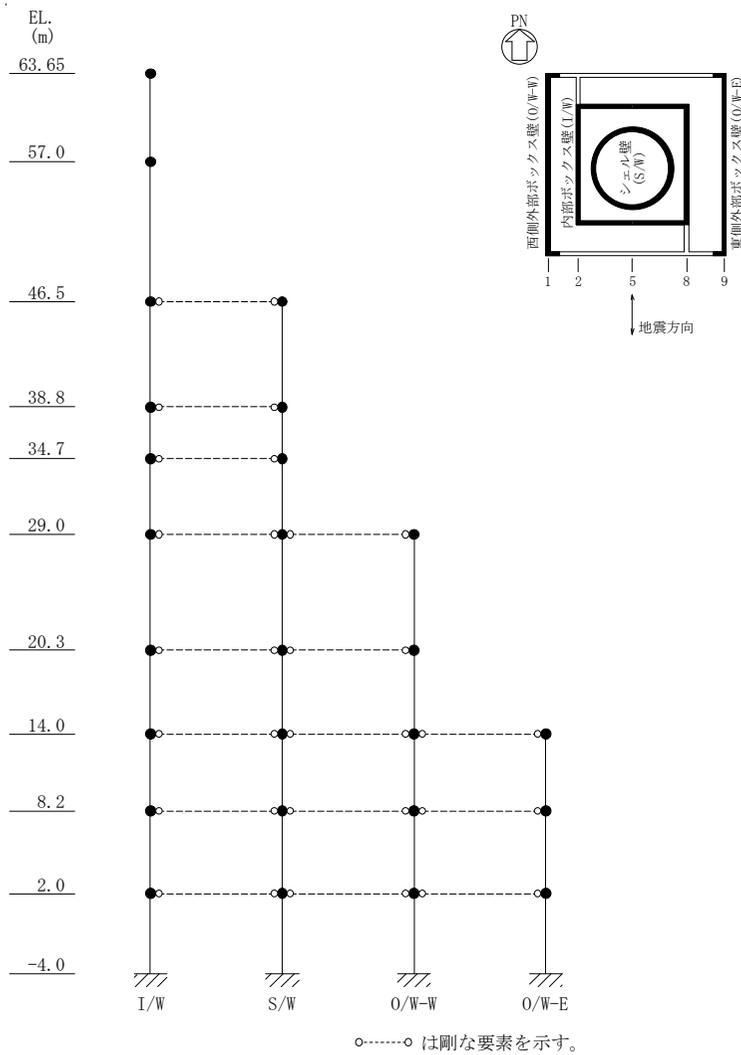
2. 建設工認時のせん断力分配解析

(1) 解析モデル

解析モデル及び諸元を表 2-1 に、材料定数を図 2-1 に、各節点に作用する地震荷重を表 2-2 に示す。解析モデルは、各耐震壁（シェル壁（S/W）、内部ボックス壁（I/W）、外部ボックス壁（O/W））を梁要素でモデル化し、耐震壁の基部を固定、各階床位置を両端ピン支持とした剛な要素で接続し水平方向変位を同一としている。なお、外部ボックス壁については、東西側もしくは南北側の 2 軸に分割している。

(2) 解析結果

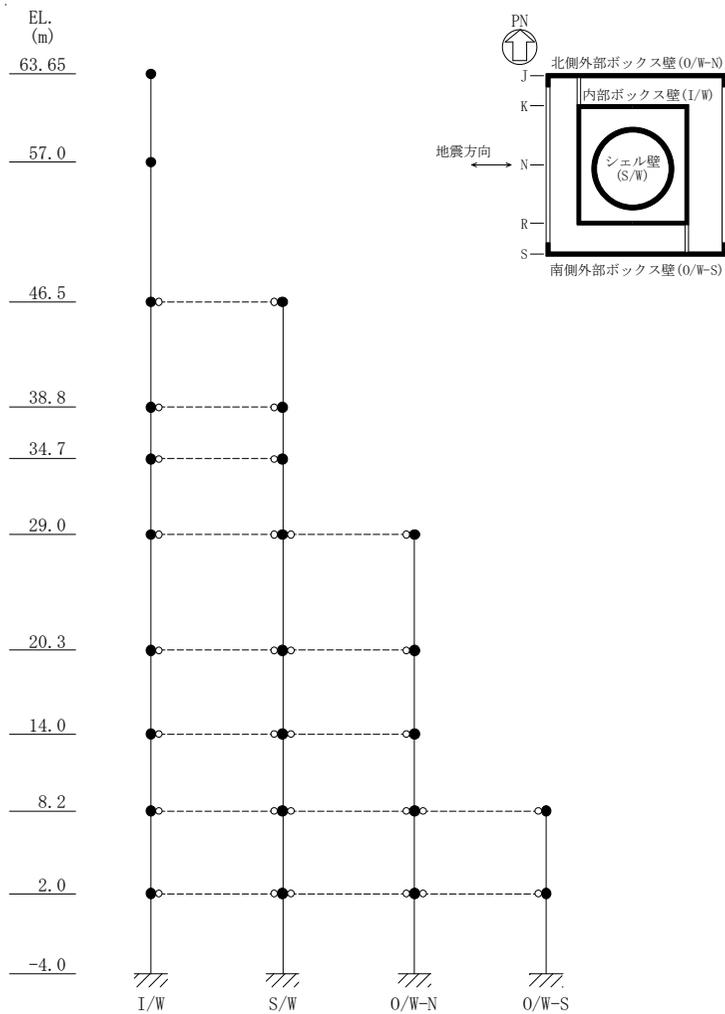
せん断力ならびに曲げモーメントの分布図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。



EL. (m)	せん断面積 (m ²)				断面2次モーメント (m ⁴)			
	(I/W)	(S/W)	(O/W-W)	(O/W-E)	(I/W)	(S/W)	(O/W-W)	(O/W-E)
63.65								
57.0	27				22111			
46.5	27				24350			
38.8	42	170			26623	36814		
34.7	57	44			41115	2304		
29.0	57	50			41115	3531		
20.3	82	63	36		52845	6962	8222	
14.0	91	75	36		55767	11860	8222	
8.2	137	84	40	102	80888	18021	9138	58235
2.0	137	84	102	102	80888	18021	58235	58235
-4.0	137	84	102	102	80888	18021	58235	58235

(a) NS 方向

図 2-1 (1/2) 解析モデル及び諸元 (建設工認時)



○---○ は剛な要素を示す。

EL. (m)	せん断面積 (m ²)				断面2次モーメント (m ⁴)			
	(I/W)	(S/W)	(O/W-N)	(O/W-S)	(I/W)	(S/W)	(O/W-N)	(O/W-S)
63.65	26	0			19940			
57.0	26	0			25745			
46.5	39	115			24005	10705		
38.8	65	44			34612	2304		
34.7	65	50			34612	3531		
29.0	88	63	53		46183	6962	14611	
20.3	85	75	24		50224	11860	3493	
14.0	128	84	102		72762	18021	50815	
8.2	128	84	102	102	72762	18021	57447	57447
2.0	128	84	102	102	72762	18021	57447	57447
-4.0	128	84	102	102	72762	18021	57447	57447

(b) EW 方向

図 2-1 (2/2) 解析モデル及び諸元 (建設工認時)

表 2-1 材料定数 (建設工認時)

鉄筋 コンクリート	ヤング係数	2.1×10^6 tf/m ²
	ポアソン比	1/6
	せん断弾性係数	0.9×10^6 tf/m ²

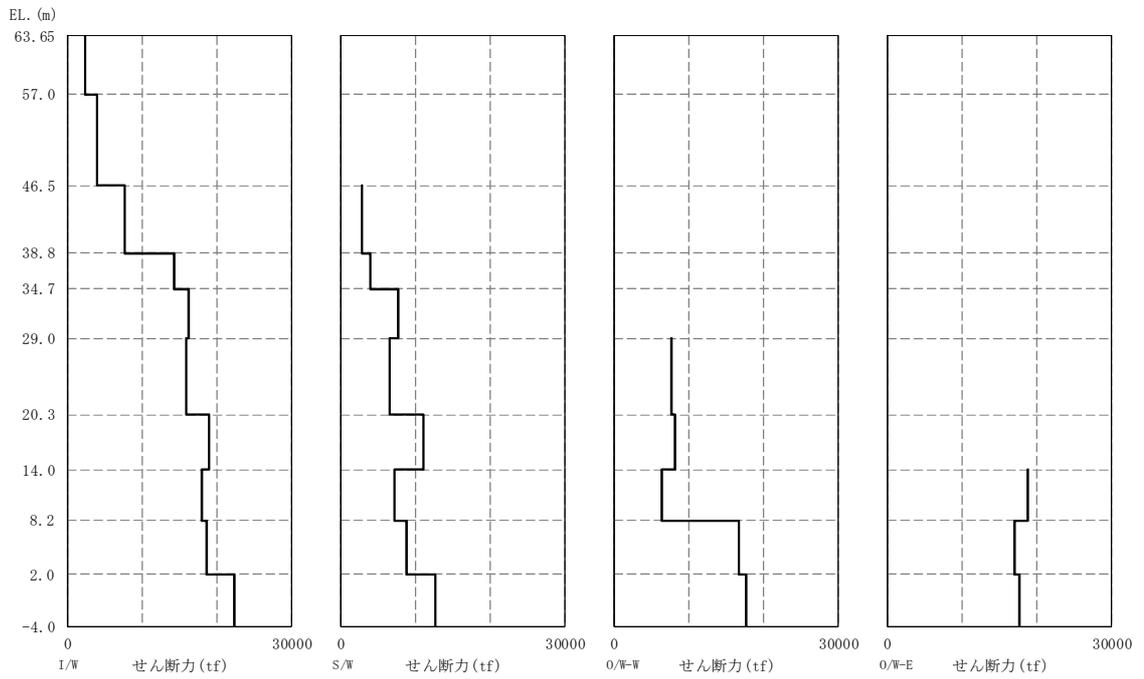
表 2-2 地震荷重 (建設工認時)

(a) NS 方向

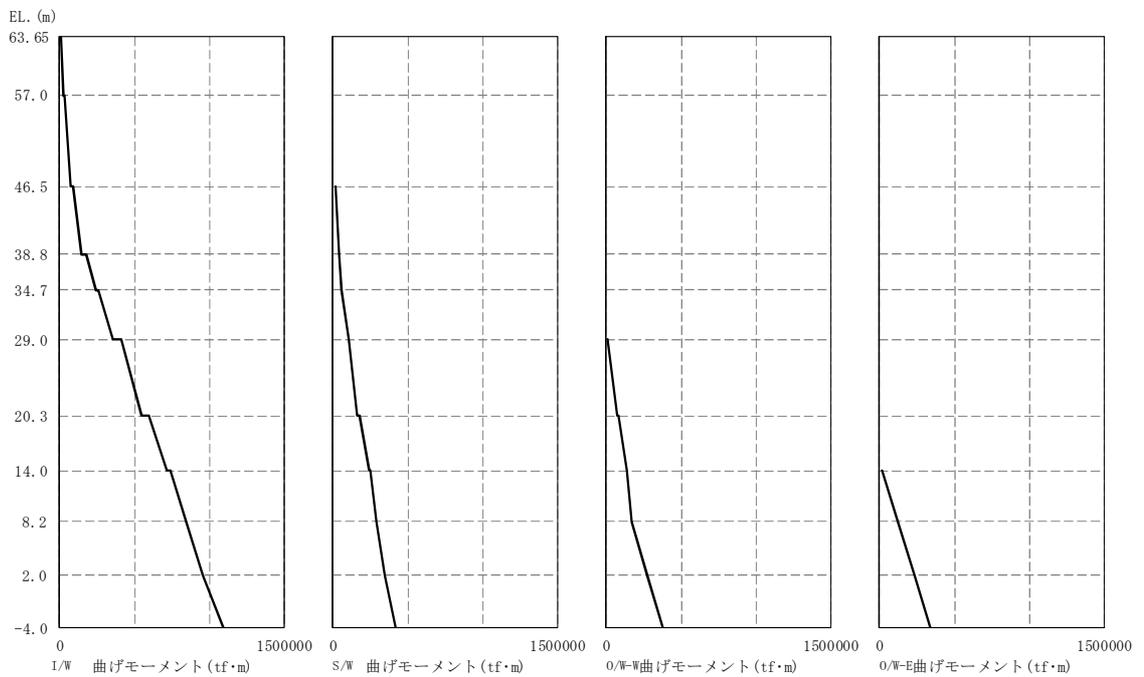
EL. (m)	節 点 水平力 (tf)	節点モーメント (tf・m)			
		I/W	S/W	O/W-W	O/W-E
63.65	2320	8245	—	—	—
57.0	1722	10354			
46.5	6612	11017	15259		
38.8	7594	33203	1861		
34.7	5663	22136	1901		
29.0	6247	54523	7183	8483	
20.3	7913	50577	10756	7456	
14.0	12115	23500	5235	2654	16918
8.2	10830	—			
2.0	9374	—			

(b) EW 方向

EL. (m)	節 点 水平力 (tf)	節点モーメント (tf・m)			
		I/W	S/W	O/W-N	O/W-S
63.65	2392	7675	—	—	—
57.0	1764	9808			
46.5	6729	16374	7302		
38.8	7626	20838	1387		
34.7	5657	13558	1383		
29.0	6824	31523	4752	9973	
20.3	7928	59056	13746	4107	
14.0	11266	31151	7715	21755	
8.2	10830	—			
2.0	9374	—			

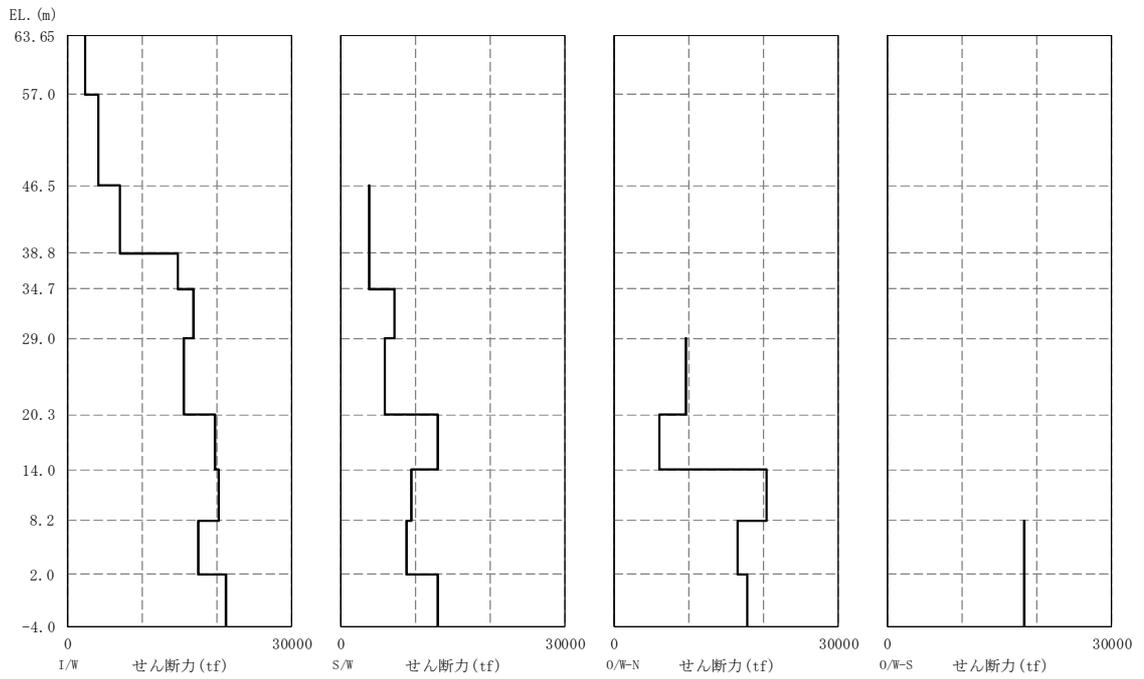


(a) せん断力

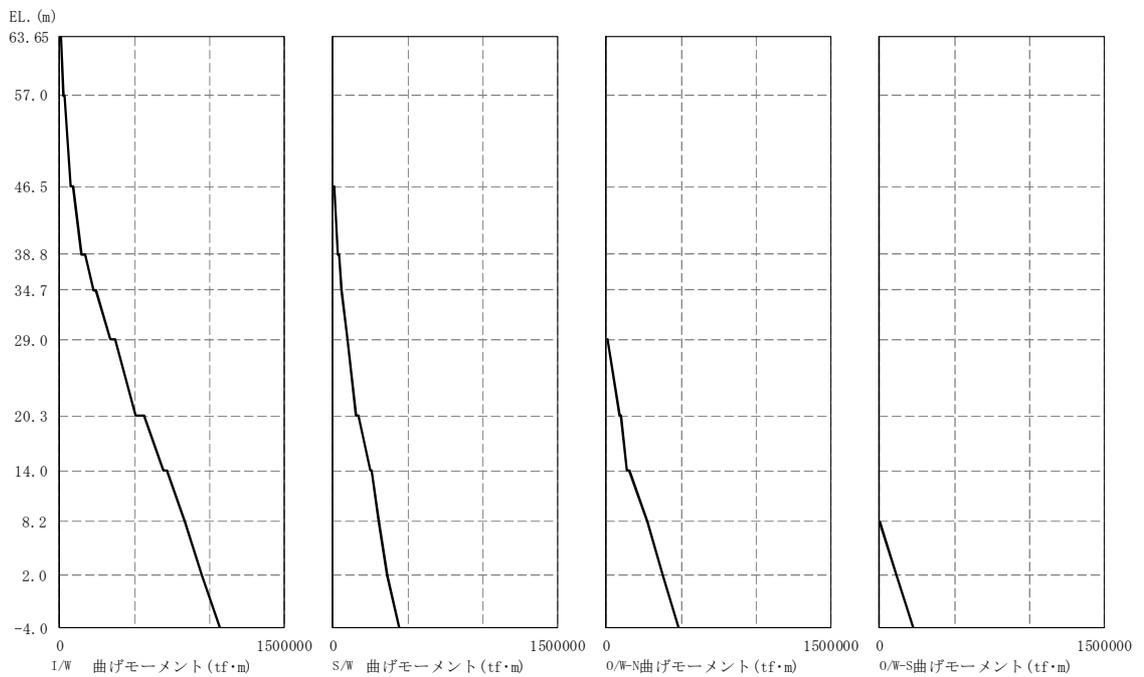


(b) 曲げモーメント

図 2-2 せん断力分配解析結果 (建設工認時, NS 方向)



(a) せん断力



(b) 曲げモーメント

図 2-3 せん断力分配解析結果 (建設工認時, EW 方向)

3. 地震荷重の分布形状による分配率への影響検討

(1) 検討概要

今回工認では建設工認時から地震荷重が変更になることから、地震荷重が変わった際の分配率の変化について検討する。

(2) 解析モデル及び地震荷重

解析モデルは「2. 建設時のせん断力分配解析」で用いたものとする。

分配率の検討に用いる地震荷重は、 S_s 包絡地震荷重及び S_d^* 地震荷重（ S_d 地震力と静的地震力の包絡荷重）とする。各節点に作用する地震荷重をそれぞれ表 3 及び表 3-2 に示す。

(3) 解析結果

基礎盤の応力解析への入力という観点から、基礎上端位置（EL. -4.0 m）でのせん断力及び曲げモーメントの分配率を表 3-3 及び表 3-4 に示す。

表 3-3 より、せん断力の分配率は地震荷重を変更しても最大で基礎上端の層せん断力の 0.2% 程度の変化となり、地震荷重の変更による影響は受けないものと判断できる。

表 3-4 より、曲げモーメントの分配率は地震荷重を変更すると最大で基礎上端曲げモーメントの 2.6% 程度の変化となり、せん断力に比べると地震荷重の変更による影響を受けるが、最も変化の大きい壁は内部ボックス壁（I/W）であり、分配率は減少している。また、内部ボックス壁（I/W）とシェル壁（S/W）の分配率の合計値も小さくなっており、基礎盤の検定比の厳しい面外せん断力に対しては、内部ボックス壁（I/W）及びシェル壁（S/W）の曲げモーメントの分配率が減少した場合、発生する応力も減少するため、建設時工認の比率を用いて曲げモーメントを分配することは保守的な評価となる。

以上より、せん断力分配解析において地震荷重の変更がせん断力及び曲げモーメントの分配率に与える影響はないと判断できる。

表 3-1 地震荷重 (S_s包絡)

(a) NS 方向

EL. (m)	節 点 水平力 (kN)	節点モーメント (kN・m)			
		I/W	S/W	O/W-W	O/W-E
63.65	26300	99500	—	—	—
57.0	20700	132606			
46.5	66000	108804	150697		
38.8	85000	274516	15383		
34.7	65000	136480	11721		
29.0	109000	396868	52285	61747	
20.3	115000	215866	45908	31826	
14.0	141000	103078	22965	11645	74211
8.2	92000	21632	4819	15574	15574
2.0	142000	—	—	—	—

(b) EW 方向

EL. (m)	節 点 水平力 (kN)	節点モーメント (kN・m)			
		I/W	S/W	O/W-N	O/W-S
63.65	24500	76200	—	—	—
57.0	19600	101876			
46.5	58900	149348	66602		
38.8	86000	156484	10417		
34.7	80000	22776	2324		
29.0	104000	25014	3771	7914	
20.3	113000	—	—	—	
14.0	157000	176306	43666	123128	
8.2	85000	166484	41233	131442	131442
2.0	120000	136696	33856	107924	107924

表 3-2 地震荷重 (S_d^*)

(a) NS 方向

EL. (m)	節 点 水平力 (kN)	節点モーメント (kN・m)			
		I/W	S/W	O/W-W	O/W-E
63.65	16600	53900	—	—	—
57.0	15000	59710			
46.5	48600	36980	51220		
38.8	60800	36420	2041		
34.7	47000	—	—		
29.0	59000	46842	6171	7288	
20.3	61000	—	—	—	
14.0	76000	—	—	—	—
8.2	60000	—	—	—	—
2.0	57000	—	—	—	—

(b) EW 方向

EL. (m)	節 点 水平力 (kN)	節点モーメント (kN・m)			
		I/W	S/W	O/W-N	O/W-S
63.65	17100	40300	—	—	—
57.0	15200	34986			
46.5	49000	37934	16916		
38.8	60700	—	—		
34.7	47000	—	—		
29.0	59000	—	—	—	
20.3	61000	—	—	—	
14.0	75000	—	—	—	
8.2	60000	—	—	—	—
2.0	57000	—	—	—	—

表 3-3 基礎上端位置 (EL. -4.0 m) のせん断力分配率

(a) NS 方向

地震荷重	I/W	S/W	O/W-W	O/W-E
建設工認時	0.318	0.181	0.250	0.251
S _s 包絡	0.319	0.182	0.249	0.250
S _d *	0.320	0.180	0.249	0.251

(b) EW 方向

地震荷重	I/W	S/W	O/W-N	O/W-S
建設工認時	0.302	0.184	0.253	0.261
S _s 包絡	0.304	0.185	0.251	0.260
S _d *	0.304	0.184	0.252	0.260

表 3-4 基礎上端位置 (EL. -4.0 m) の曲げモーメント分配率

(a) NS 方向

地震荷重	I/W	S/W	O/W-W	O/W-E
建設工認時	0.489	0.189	0.171	0.151
S _s 包絡	0.475	0.193	0.177	0.155
S _d *	0.469	0.199	0.179	0.153

(b) EW 方向

地震荷重	I/W	S/W	O/W-N	O/W-S
建設工認時	0.483	0.199	0.218	0.100
S _s 包絡	0.457	0.201	0.228	0.114
S _d *	0.464	0.208	0.222	0.106

4. 床スラブ及び基礎スラブの柔性を考慮した分配率

(1) 検討概要

原子炉建屋は、シェル壁の剛性が相対的に小さく、外部ボックス壁の剛性が相対的に大きいいため、床スラブ及び基礎スラブの柔性を考慮した場合の各耐震壁の分配率について検討する。

(2) 解析モデル

解析モデルを図 4-1 に、床スラブ及び基礎スラブの柔性を表すばねの剛性を表 4-1 に示す。解析モデルは、内部ボックス壁についても東西側もしくは南北側の 2 軸に分割した 5 軸モデルとし、耐震壁の基部の並進自由度を固定とする。また、床スラブの面内せん断変形による柔性をせん断ばねとして、基礎スラブの面外変形による柔性を回転ばねとしてモデル化する。ここで、分割した内部ボックス壁の諸元は、建設工認時の諸元を等分して設定している。

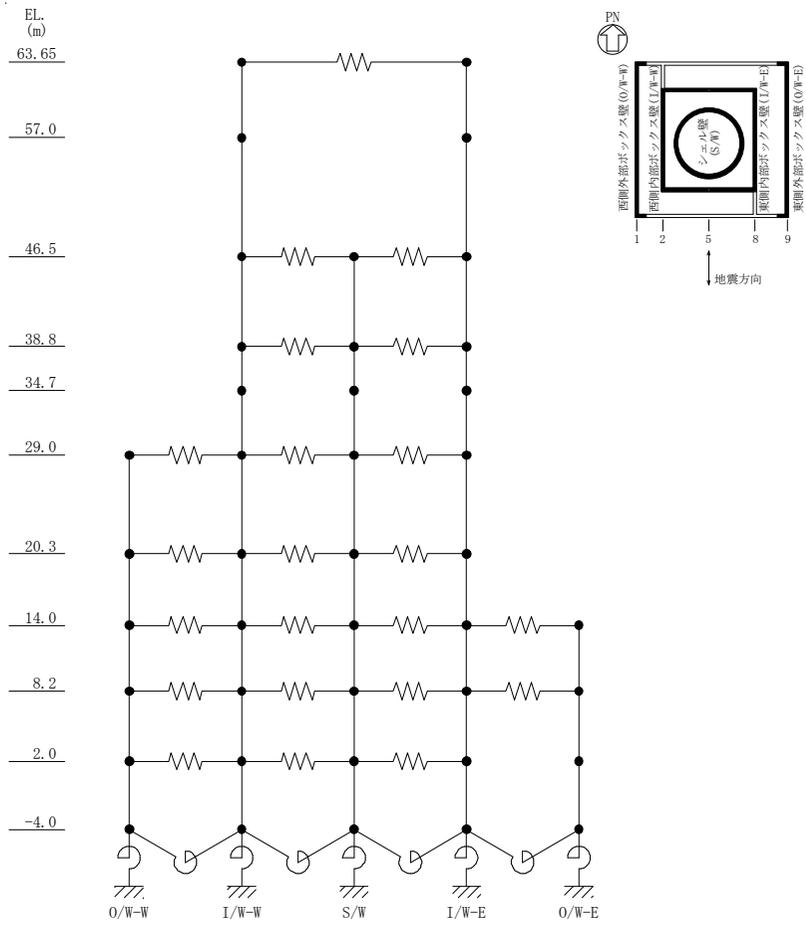
(3) 解析結果

せん断力ならびに曲げモーメントの分布図を図 4-2 及び図 4-3 に示す。なお、比較として偏心によるねじれの影響を補正した建設工認時の結果を SI 単位 ($1 \text{ tf}=9.80665 \text{ kN}$) に換算し示している。

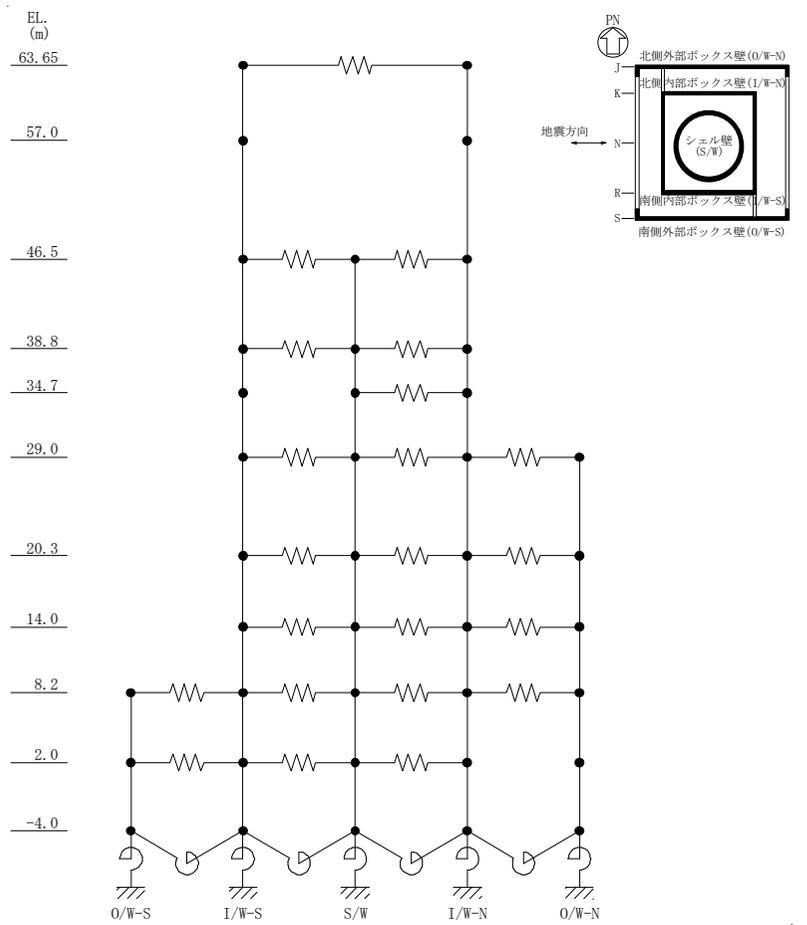
基礎盤の応力解析への入力という観点から、基礎上端位置 (EL. -4.0 m) でのせん断力及び曲げモーメントの分配率を表 4-2 及び表 4-3 に示す。

床柔モデルに変更することにより、シェル壁と内部ボックス壁が負担するせん断力及び曲げモーメント分配率の増分は、NS 方向のせん断力で 0.030、曲げモーメントで 0.028、EW 方向のせん断力で 0.042、曲げモーメントで 0.032 である。

なお、底部コンクリートマットの最大の検定比は、添付書類「V-2-9-2-2 原子炉格納容器底部コンクリートマットの耐震性についての計算書」に示すように、組合せケース「荷重状態 V・(異常+地震)時 (5)」の面外せん断力に対して 0.765、原子炉棟基礎及び付属棟基礎の最大の検定比は、添付書類「V-2-9-3-4 原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」に示すように、 S_s 地震時の面外せん断力に対して 0.868 であり、シェル壁及び内部ボックス壁が負担する地震力が 6%程度 ($0.042/0.685=6.1\%$) 増加しても耐震性は十分確保されていると判断できる。



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 4-1 解析モデル (床柔モデル)

表 4-1 床スラブ及び基礎スラブのばね剛性

(a) NS 方向

EL. (m)	せん断ばね ($\times 10^5$ kN/m)				
	O/W-W	I/W-W	S/W	I/W-E	O/W-E
63.65			1.80		
57.0			—		
46.5			198	248	
38.8			205	241	
34.7			—	—	
29.0		131	206	118	
20.3		338	172	147	
14.0		174	1000	856	358
8.2		442	244	317	387
2.0		349	316	306	—

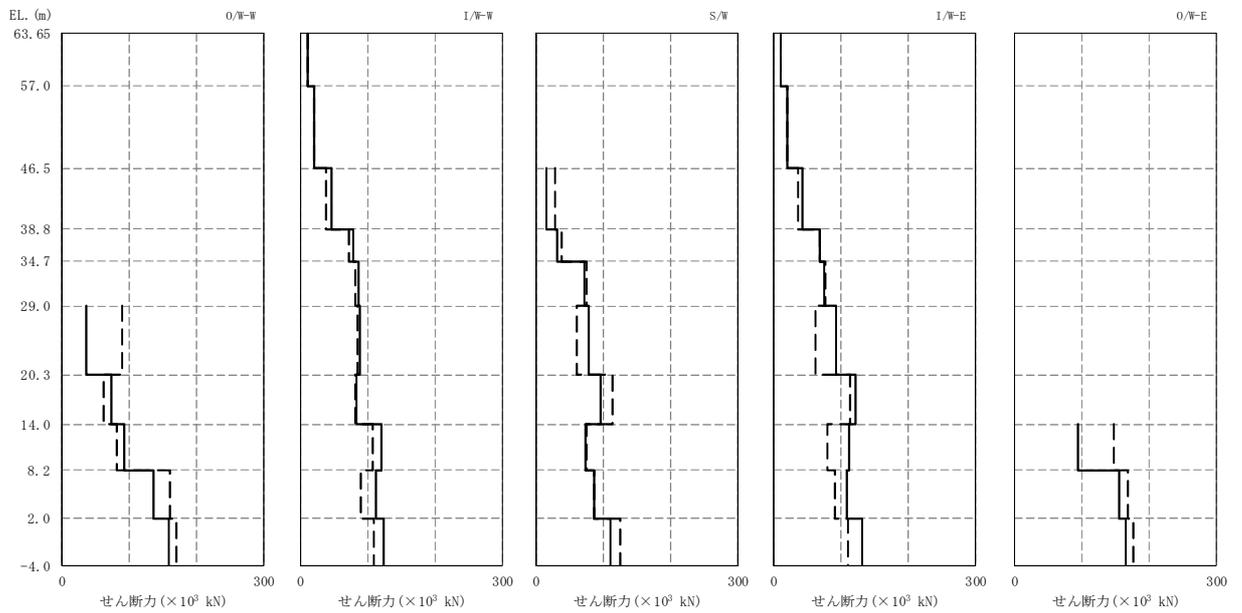
EL. (m)	回転ばね ($\times 10^{10}$ kN·m/rad)				
	O/W-W	I/W-W	S/W	I/W-E	O/W-E
-4.0		2.51	2.44	2.33	1.91
	1.46	2.70	0.22	2.94	1.66

(b) EW 方向

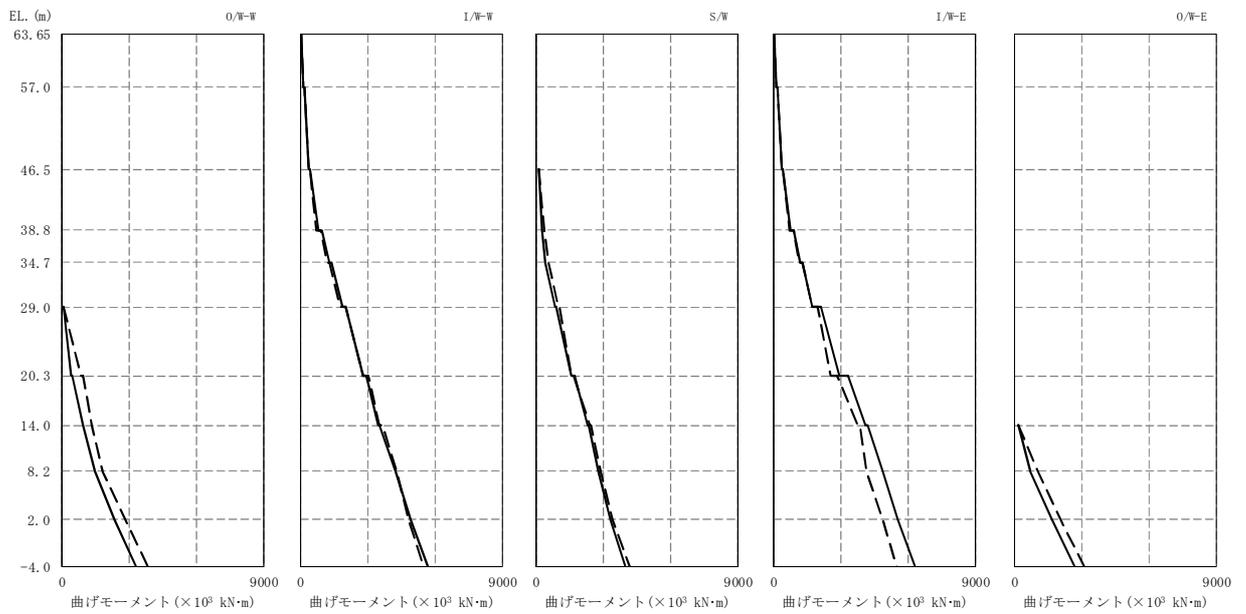
EL. (m)	せん断ばね ($\times 10^5$ kN/m)				
	O/W-S	I/W-S	S/W	I/W-N	O/W-N
63.65			1.56		
57.0			—		
46.5			82.6	72.4	
38.8			106	49.2	
34.7			—	147	
29.0			170	147	246
20.3			136	222	388
14.0			906	657	433
8.2		697	251	134	514
2.0		189	312	187	—

EL. (m)	回転ばね ($\times 10^{10}$ kN·m/rad)				
	O/W-S	I/W-S	S/W	I/W-N	O/W-N
-4.0		2.29	3.13	2.45	2.47
	1.49	2.29	0.22	2.28	1.61

--- 建設工認時 — 床柔モデル



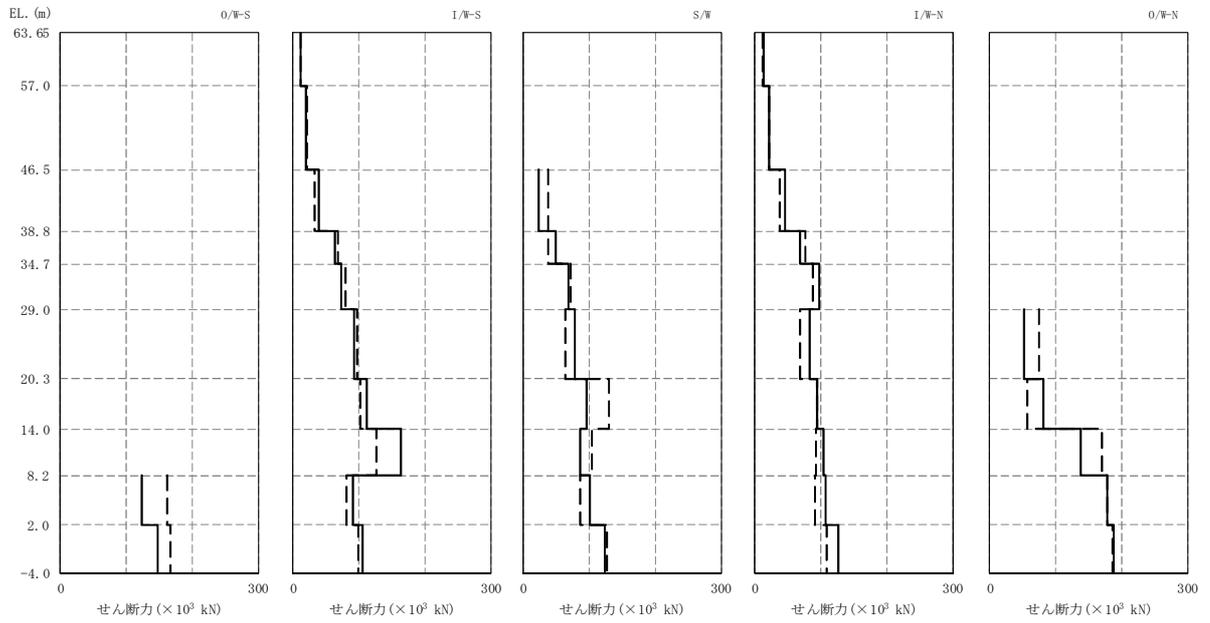
(a) せん断力



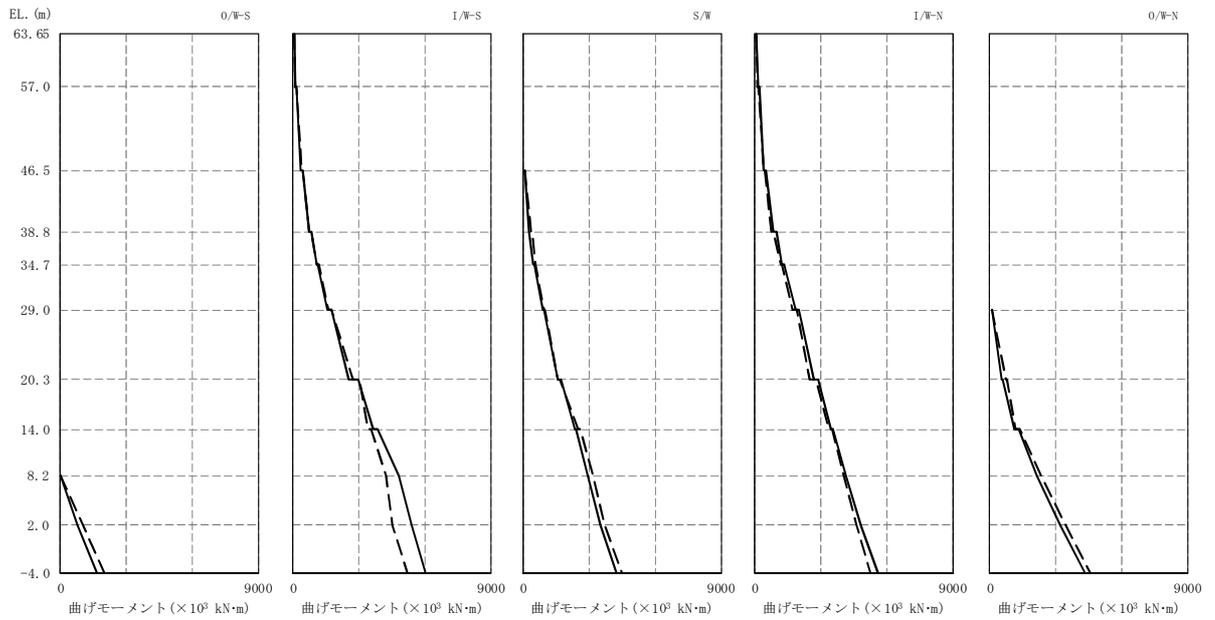
(b) 曲げモーメント

図 4-2 せん断力分配解析結果 (NS 方向)

--- 建設工認時 — 床柔モデル



(a) せん断力



(b) 曲げモーメント

図 4-3 せん断力分配解析結果 (EW 方向)

表 4-2 基礎上端位置 (EL. -4.0 m) のせん断力分配率

(a) NS 方向

地震荷重	O/W-W	I/W-W	S/W	I/W-E	O/W-E	S/W+I/W
建設工認時	0.246	0.158	0.181	0.160	0.255	0.499
床柔モデル	0.231	0.179	0.160	0.190	0.240	0.529
分配率増減※	-0.015	0.021	-0.021	0.030	-0.015	0.030

※建設工認時に対する床柔モデルの分配比の増減を示す

(b) EW 方向

地震荷重	O/W-S	I/W-S	S/W	I/W-N	I/W-N	S/W+I/W
建設工認時	0.174	0.248	0.189	0.248	0.141	0.685
床柔モデル	0.151	0.258	0.181	0.288	0.122	0.727
分配率増減※	-0.023	0.010	-0.008	0.040	-0.019	0.042

※建設工認時に対する床柔モデルの分配比の増減を示す

表 4-3 基礎上端位置 (EL. 4.0 m) の曲げモーメント分配率

(a) NS 方向

地震荷重	O/W-W	I/W-W	S/W	I/W-E	O/W-E	S/W+I/W
建設工認時	0.243	0.144	0.184	0.158	0.271	0.486
床柔モデル	0.213	0.153	0.178	0.183	0.273	0.514
分配率増減※	-0.030	0.009	-0.006	0.025	0.002	0.028

※建設工認時に対する床柔モデルの分配比の増減を示す

(b) EW 方向

地震荷重	O/W-S	I/W-S	S/W	I/W-N	I/W-N	S/W+I/W
建設工認時	0.094	0.242	0.207	0.245	0.212	0.694
床柔モデル	0.075	0.275	0.195	0.256	0.199	0.726
分配率増減※	-0.019	0.033	-0.012	0.011	-0.013	0.032

※建設工認時に対する床柔モデルの分配比の増減を示す