

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-024-2 改3
提出年月日	2020年6月25日

耐震性に関する説明書に係る補足説明資料

(耐震評価対象の網羅性, 既工認との手法の相違点の整理について)

2020年6月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

1.	柏崎刈羽原子力発電所7号機における耐震評価について	1
1.1	耐震Sクラス施設の評価（耐震Sクラス施設への波及的影響評価及び非常用取水設備の評価を含む）	3
1.1.1	基準地震動 S_s による評価	3
(1)	別表第二を踏まえた対象設備の網羅性について	3
(2)	対象設備の評価部位の網羅性について	3
(3)	対象設備の評価項目（応力分類）の網羅性について	6
(4)	対象設備の耐震重要度分類の区分（主要設備等）を踏まえた整理について	7
(5)	別表第二の対象外である耐震Sクラス施設の耐震安全性評価	7
(6)	地震応答解析が記載されていない設備の扱いについて	7
1.1.2	弾性設計用地震動 S_d による評価	8
1.1.3	静的地震力による評価	9
1.2	耐震Bクラス施設の評価	10
1.3	耐震Cクラス施設の評価	10
1.4	耐震Sクラス設備の間接支持構造物の評価	10
1.5	耐震Bクラス設備の間接支持構造物の評価	10
1.6	耐震Cクラス設備の間接支持構造物の評価	10
2.	既工認との手法の相違点の整理について	11
2.1	既工認との手法の整理一覧	11
2.2	相違点及び適用性の説明	11
2.2.1	機器・配管系	11
2.2.1.1	手法の相違点	11
(1)	原子炉本体基礎への非線形復元力特性について	11
(2)	原子炉建屋クレーンの時刻歴応答解析の適用について	12
(3)	たて軸ポンプの解析モデルの精緻化について	12
(4)	最新知見として得られた減衰定数について	12
(5)	水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根（SRSS）法による組合せについて	12
(6)	回転体の回転により働くモーメント及び回転体の振動による加速度の考慮について	12
(7)	鉛直方向応答解析モデルの追加について	13
(8)	排除水体積質量減算について	13
2.2.1.2	手法の変更項目に対する柏崎刈羽原子力発電所7号機への適用性	13
(1)	先行プラントの知見反映を基本として変更する手法	13

(2) 鉛直方向地震の動的な取扱いを踏まえて適用する手法	13
(3) より現実的な応答を模擬する観点から採用する手法	14
2.2.2 建物・構築物，屋外重要土木構造物	16
2.2.2.1 建物・構築物	16
(1) 地震応答解析における解析手法	16
(2) 耐震性についての計算書における解析手法	17
2.2.2.2 屋外重要土木構造物	19
(1) 地震応答解析における解析手法	19
(2) 耐震性についての計算書における解析手法	19
2.2.2.3 浸水防護施設	20

添 付 資 料

添付-1 別表第二を踏まえた対象設備の網羅性について

添付-2 対象設備の評価部位の網羅性について

 添付 2-1 原子炉補機冷却水系熱交換器基礎ボルトの評価省略理由について

 添付 2-2 補機類のアンカー定着部の評価について

 添付 2-3 鉛直方向動的地震力の導入による影響検討について

添付-3 対象設備の評価項目（応力分類）の網羅性について

添付 4-1 対象設備の耐震重要度分類の区分（主要設備等）を踏まえた整理について

添付 4-2 既施設（建物・構築物及び土木構造物）の耐震評価フロー並びに評価対象一覧

添付-5 別表第二に記載のない耐震 S クラス施設の耐震安全性評価

添付-6 既工認との手法の整理一覧表

 添付 6-1 原子炉建屋クレーンの時刻歴応答解析の適用について

 添付 6-2 たて軸ポンプの解析モデルの精緻化について

 添付 6-3 最新知見として得られた減衰定数について

添付 6-4 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根（SRSS）法による組合せについて

添付 6-5 回転体の回転により働くモーメント及び回転体の振動による加速度の考慮について

添付-7 耐震計算書に地震応答解析が記載されていない設備の整理

: 今回提出範囲

別表第二を踏まえた対象設備の網羅性（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）

別表第二記載項目	柏崎刈羽原子力発電所第7号機 今回工事記載内容 Sクラス設備 ^{注1}	(参考) 柏崎刈羽原子力発電所第7号機 建設工事記載 Sクラス設備 (建設時A s, A) ^{注2}	備考	
原子炉本体	炉型式、定格熱出力、過剰反応度及び反応度係数並びに減速材	—	設備ではないため対象外	
	炉心	炉心形状、格子形状、燃料集合体数、炉心有効高さ及び炉心等価直径	—	設備ではないため対象外
		燃料体最高燃焼度及び核燃料物質の最大装荷量	燃料集合体	—
		燃料材の最高温度	—	設備ではないため対象外
		熱的制限値	—	設備ではないため対象外
	燃料体	—	—	設備ではないため対象外
	チャンネルボックス	チャンネルボックス	チャンネルボックス	—
	反射材	—	—	設備ではないため対象外
		炉心シユラウド及びシユラウドサポート	炉心シユラウド シユラウドサポート	—
	炉心支持構造物	上部格子板	上部格子板	—
		炉心支持板	炉心支持板	—
		燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	燃料支持金具* *：建設時耐震計算なし
		制御棒案内管	制御棒案内管	制御棒案内管
—		—	—	

別表第二を踏まえた対象設備の網羅性（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）

別表第二記載項目	柏崎刈羽原子力発電所第7号機 今回工認記載内容 Sクラス設備 ^{注1}	(参考) 柏崎刈羽原子力発電所第7号機 建設工認記載 Sクラス設備 (建設時A s, A) ^{注2}	備考	
原子炉補機冷却設備	容器	原子炉補機冷却水系サージタンク	—	
	ろ過装置	原子炉補機冷却海水系ストレーナ	原子炉補機冷却海水系ストレーナ	
	安全弁及び逆がし弁	—	該当設備なし	
	主要弁	P21-F007A, B, C, D, E, F* P21-F011A, B, C* P21-F042A, B, C* P21-F048A, B, C, D, E, F* P41-F004A, B, C, D, E, F*	—	*：動的機能維持の要求あり
	主配管	原子炉補機冷却水系配管 (サブポート含む)	原子炉補機冷却水系配管	—
		原子炉補機冷却海水系配管 (サブポート含む)	原子炉補機冷却海水系配管	—
	送風機並びに原動機	—	—	該当設備なし
	排風機並びに原動機	—	—	該当設備なし
	熱交換器	—	—	Sクラス以外の設備
	ポンプ並びに原動機	—	—	Sクラス以外の設備
	ろ過装置	—	—	Sクラス以外の設備
	安全弁及び逆がし弁	—	—	該当設備なし
原子炉冷却材浄化設備	G31-F002 ^{*1} G31-F003 ^{*1} G31-F017 ^{*3} G31-F018 ^{*3}	G31-F002 ^{*2} G31-F003 ^{*2} G31-F017 ^{*2} G31-F018 ^{*2}	*1：動的機能維持の要求あり *2：建設時震計算なし *3：動的機能維持の要求なし	
原子炉格納容器内の原子炉冷却材の漏えいを監視する装置	主配管	原子炉冷却材浄化水配管 (サブポート含む)	原子炉冷却材浄化水配管	
	—	—	—	
蒸気タービン本体	蒸気タービン本体	—	—	
	車室、円板、隔板、噴口、翼、車軸並びに管	—	—	

別表第二を踏まえた対象設備の網羅性（柏崎刈羽原子力発電所第7号機）

別表第二記載項目	柏崎刈羽原子力発電所第7号機 今回工設記載内容 Sクラス設備 ^{注1}	(参考) 柏崎刈羽原子力発電所第7号機 建設工設記載 Sクラス設備 (建設時As, A) ^{注2}	備考		
原子炉建屋	原子炉建屋原子炉棟	原子炉建屋原子炉区域 (二次格納施設)	原子炉建屋原子炉区域 (二次格納施設)	—	
	機器搬出入口	原子炉建屋機器搬出入口*	原子炉建屋機器搬出入口*	*：建設時耐震計算なし	
	エアロック	原子炉建屋エアロック*	原子炉建屋エアロック*	*：建設時耐震計算なし	
	原子炉建屋基礎スラブ	原子炉建屋基礎スラブ	原子炉建屋基礎スラブ	—	
	真空破壊装置	真空破壊弁 ^{*1}	真空破壊弁 ^{*2}	*1：動的機能維持の要求あり *2：建設時耐震計算なし	
	ダイヤフラムフロア	ダイヤフラムフロア	ダイヤフラムフロア	—	
	ダウンカム	—	—	該当設備なし	
	ベント管	ベント管	ベント管	—	
	ベントヘッド	—	—	該当設備なし	
	原子炉格納施設	圧力低減設備その 他の安全設備	冷却塔又は冷却池	—	該当設備なし
			熱交換器	—	該当設備なし
			ポンプ並びに原動機	—	該当設備なし
			圧縮機並びに原動機	—	該当設備なし
容器			—	該当設備なし	
貯蔵槽			—	該当設備なし	
ろ過装置			—	該当設備なし	
安全弁及び逃がし弁			—	該当設備なし	
主要弁			—	該当設備なし	
主配管 (スプレイヘッドを含む。)			原子炉格納容器スプレイ管 (ドライウェル側) 原子炉格納容器スプレイ管 (サブプレッションチェーン側)	原子炉格納容器スプレイ管 (ドライウェル側) 原子炉格納容器スプレイ管 (サブプレッションチェーン側)	— —

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 対象設備の耐震重要度分類表の区分（主要設備など）を踏まえた整理

別表第二記載項目	主要設備	補助設備（注1）	直接支持構造物（注2）	間接支持構造物	波及的影響に係る耐震評価を実施する設備		
炉心 チャンネルボックス	燃料集合体	—	炉心支持構造物	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—		
	(他の耐震Sクラス設備の補助設備)	チャンネルボックス	炉心支持構造物	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—		
炉心 炉心支持構造物	炉心シュラウド及びシュラウドサポート	炉心シュラウド シュラウドサポート	原子炉圧力容器	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—		
	上部格子板	上部格子板	原子炉圧力容器	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—		
	炉心支持板	炉心支持板	原子炉圧力容器	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—		
	燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	原子炉圧力容器	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—		
	制御棒案内管	制御棒案内管	原子炉圧力容器	原子炉本体基礎 原子炉建屋	原子炉遮蔽壁		
	原子炉圧力容器本体並びに監視試験片	原子炉圧力容器	原子炉圧力容器	原子炉本体基礎 原子炉建屋	原子炉遮蔽壁		
	支持構造物	(他の耐震Sクラス設備の直接支持構造物)	原子炉圧力容器スカート	原子炉本体基礎 原子炉建屋	原子炉遮蔽壁		
	基礎ボルト	(他の耐震Sクラス設備の直接支持構造物)	原子炉圧力容器基礎ボルト	原子炉本体基礎 原子炉建屋	原子炉遮蔽壁		
	原子炉圧力容器付	(他の耐震Sクラス設備の直接支持構造物)	原子炉圧力容器スタビライザ	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—		
	制御棒駆動機構ハウジング	制御棒駆動機構ハウジング	制御棒駆動機構ハウジングプレストレストビーム	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—		
	制御棒駆動機構ハウジング支持金具	制御棒駆動機構ハウジング	制御棒駆動機構ハウジングプレストレストビーム	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—		
	原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング	原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング	原子炉圧力容器	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—		
	主蒸気流量制限器	主蒸気流量制限器	原子炉圧力容器	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—		
	蒸気乾燥器の蒸気乾燥ユニット及び蒸気乾燥機ハウジング	蒸気乾燥機ハウジング	原子炉圧力容器	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—		
	原子炉圧力容器内	汽水分離器及びスタンドバイ	—	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—		
部構造物	シュラウドヘッド	—	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—			
スパージャ及び内部配管	給水スパージャ	—	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—			
中性子束計測案内管	高圧炉心注水スパージャ	—	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—			
中性子束計測案内管	低圧注水スパージャ	—	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—			
中性子束計測案内管	高圧炉心注水配管(原子炉圧力容器内部)	—	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—			
使用済燃料貯蔵槽	使用済燃料貯蔵プール	—	原子炉建屋	燃料取扱機 原子炉建屋クレーン			
使用済燃料運搬用容器ピット	キャスクピット	—	原子炉建屋	燃料取扱機 原子炉建屋クレーン			
使用済燃料貯蔵ラック	使用済燃料貯蔵ラック	—	原子炉建屋	燃料取扱機 原子炉建屋クレーン			
破損燃料貯蔵ラック	制御棒・破損燃料貯蔵ラック	—	原子炉建屋	燃料取扱機 原子炉建屋クレーン			
制御棒貯蔵ラック	燃料プール冷却浄化配管(サポート含む)	—	原子炉建屋	燃料取扱機 原子炉建屋クレーン			
使用済燃料貯蔵槽 冷却浄化設備	原子炉冷却材再循環ポンプ(インターナルポンプ：RIP)	—	原子炉圧力容器	原子炉本体基礎 原子炉建屋	—		
核燃料物質 の施設 及び貯	容器	主蒸気通がし安全弁通がし弁機能用アキュムレータ 主蒸気通がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ	—	原子炉建屋	—		
	安全弁及び通がし弁	主蒸気通がし安全弁 B21-F001A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N, P, R, S, T, U	—	原子炉建屋	—		
	原子炉冷却材の備 置設備	主蒸気弁	B21-F002A, B, C, D B21-F003A, B, C, D B21-F0051A, B B21-F0052A, B	—	原子炉建屋	—	
		主配管	主蒸気系配管(サポート含む) 復水給水系配管(サポート含む)	—	原子炉建屋	—	
		熱交換器	残留熱除去系熱交換器	—	原子炉建屋	—	
		ポンプ並びに原動機	残留熱除去系ポンプ	—	原子炉建屋	—	
		ろ過装置	残留熱除去系ストレーナ	—	原子炉建屋	—	
	残留熱除去設備	安全弁および通がし弁	E11-F0039A, B, C E11-F0042A, B, C E11-F0051A, B, C	—	原子炉建屋	—	
		主蒸気弁	E11-F0044A, B, C E11-F0055A, B, C E11-F0068, C E11-F0085A, B, C E11-F0105A, B, C E11-F0111A, B, C E11-F0135A, B, C E11-F0198, C E11-F0295A, B, C	—	原子炉建屋	—	
			主配管(使用済燃料貯蔵槽の補給及び冷却に用いるものを含む。)	残留熱除去系配管(サポート含む)	—	原子炉建屋	—
			—	—	—	原子炉建屋	—

既工認との手法の整理一覧表（機能維持評価）

(※1) 共通適用例あり：規格・基準類等に基づきプラントの仕様等によらず適用性が確認されたプラント共通の適用例がある手法 個別適用例あり：プラント個別に適用性が確認されたプラント個別の適用例がある手法

評価対象設備			既工認と今回工認時との比較														他プラントを含めた既工認での適用例					
			解析手法 (公式等による評価、スペクトルモーダル解析、時刻歴解析他)			解析モデル				減衰定数				その他 (評価条件の変更等)			備考 (左欄にて比較した自プラント既工認)	(※1) ○：共通適用例あり □：個別適用例あり ×：適用例なし	内容	参照した設備名称	減衰定数の実績 ○：構造上の差異なし ×：構造上の差異あり (適用可能であること の理由も記載)	
			○：同じ ●：異なる -：該当なし	相違内容		○：同じ ●：異なる -：該当なし	工認	解析種別	相違内容		○：同じ ●：異なる -：該当なし	工認	解析種別	相違内容		○：同じ ●：異なる -：該当なし						工認
放射線管理施設	換気設備	中央制御室再循環送風機		-	既工認				応答解析	-				既工認	応答解析		水平	-	既工認	応答解析	水平	
			鉛直			-	鉛直	-	鉛直	-												
			応力解析			-	応力解析	水平	-	応力解析	水平	-										
		今回工認	応答解析		各設備の固有値に基づく応答加速度による評価	今回工認	応答解析	水平	-	今回工認	応答解析	水平	-	今回工認	応答解析	水平	-					
			鉛直		-		鉛直	-	鉛直		-											
			応力解析		-		応力解析	水平	-		応力解析	水平	-									
	中央制御室再循環送風機用電動機	-	既工認	応答解析	-	既工認	応答解析	水平	-	既工認	応答解析	水平	-	-	既工認	-						
				鉛直	-		鉛直	-	鉛直		-											
				応力解析	-		応力解析	水平	-		応力解析	水平	-									
	今回工認	応答解析	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価	今回工認	応答解析	水平	-	今回工認	応答解析	水平	-	今回工認	応答解析	水平	-							
		鉛直	-		鉛直	-	鉛直		-													
		応力解析	-		応力解析	水平	-		応力解析	水平	-											
中央制御室排風機	-	既工認	応答解析	-	既工認	応答解析	水平	-	既工認	応答解析	水平	-	-	既工認	-							
			鉛直	-		鉛直	-	鉛直		-												
			応力解析	-		応力解析	水平	-		応力解析	水平	-										
	今回工認	応答解析	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価	今回工認	応答解析	水平	-	今回工認	応答解析	水平	-	今回工認	応答解析	水平	-							
		鉛直	-		鉛直	-	鉛直		-													
		応力解析	-		応力解析	水平	-		応力解析	水平	-											
中央制御室排風機用電動機	-	既工認	応答解析	-	既工認	応答解析	水平	-	既工認	応答解析	水平	-	-	既工認	-							
			鉛直	-		鉛直	-	鉛直		-												
			応力解析	-		応力解析	水平	-		応力解析	水平	-										
	今回工認	応答解析	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価	今回工認	応答解析	水平	-	今回工認	応答解析	水平	-	今回工認	応答解析	水平	-							
		鉛直	-		鉛直	-	鉛直		-													
		応力解析	-		応力解析	水平	-		応力解析	水平	-											
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	真空破壊弁	-	既工認	応答解析	-	既工認	応答解析	水平	-	既工認	応答解析	水平	-	-	既工認	-	(解析手法) 応答解析：○	(解析手法) 応答解析：大間1号建設工認での共通適用例のある解析手法。 ※KK7補足-028-10-38「真空破壊弁の機能維持確認済加速度について」にて逆止弁と同構造であることを示しており、逆止弁の機能確認済加速度を適用し評価している。	一般弁 (逆止弁)	-	
					鉛直	-		鉛直	-	鉛直		-										
					応力解析	-		応力解析	水平	-		応力解析	水平	-								
				今回工認	応答解析	各設備の固有値に基づく応答加速度による評価	今回工認	応答解析	水平	-	今回工認	応答解析	水平	-	今回工認	応答解析	水平					-
					鉛直	-		鉛直	-	鉛直		-										
					応力解析	-		応力解析	水平	-		応力解析	水平	-								

水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根（SRSS）法による組合せについて

1. 概要

今回工認の耐震設計では、これまで静的な取扱いのみであった鉛直方向の地震力について、動的な地震力を考慮することとなるとともに、水平方向及び鉛直方向の動的な地震力による荷重を適切に組み合わせることが必要となる。

従来の水平方向及び鉛直方向の荷重の組み合わせは、静的な地震力による鉛直方向の荷重には地震継続時間や最大加速度の生起時刻のような時間の概念がなかったことから、水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の最大値同士の絶対値の和としていた。（以下「絶対値和法」という。）

一方、水平方向及び鉛直方向の両者がともに動的な地震力である場合、両者の最大加速度の生起時刻に差があるという実挙動を踏まえると、従来と同じように絶対値和法を用いるのではなく、時間的な概念を取り入れた荷重の組み合わせ法を検討する必要がある。

本資料では、水平方向及び鉛直方向の動的な地震力の組み合わせに関する既往研究⁽¹⁾をもとに、二乗和平方根法（以下「SRSS法（Square Root of the Sum of the Squares）」という。）による組み合わせ法の妥当性について説明するものである。

なお、SRSS法による組み合わせは、大間1号機の建設工認において適用実績のある手法である。

2. 水平方向と鉛直方向の地震力の組み合わせ法

静的な地震力による組合せ（静的な地震力と動的な地震力を組み合わせる場合も含む。）については、従来どおり絶対値和法を用いて評価を行う。また、動的な地震力同士による組合せについては、既往知見に基づき、SRSS法を用いて評価を行うことも可能である。

3. 水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の組み合わせ法に関する研究の成果

3.1 荷重の組み合わせ法の概要

絶対値和法と SRSS 法の概要を以下に示す。

(1) 絶対値和法

本手法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）※を絶対値和で組み合わせる方法である

この方法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重が同時刻に同位相で生じることを仮定しており、組合せ法の中で最も大きな荷重を与える。本手法は、主に地震力について時間の概念がない静的地震力による荷重の組合せに使用する。

$$\text{組合せ荷重（又は応力）} = |M_H|_{\max} + |M_V|_{\max}$$

M_H ：水平方向地震力による荷重（又は応力）

M_V ：鉛直方向地震力による荷重（又は応力）

(2) SRSS 法

本手法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）※を二乗和平方根で組み合わせる方法である。

この方法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重の生起時刻に時間的なずれがあるという実挙動を考慮しており、水平方向及び鉛直方向地震動の同時入力による時刻歴応答解析結果との比較において平均的な荷重を与える。本手法は、動的な地震力による荷重同士の組合せに使用する。

$$\text{組合せ荷重（又は応力）} = \sqrt{(M_H)_{\max}^2 + (M_V)_{\max}^2}$$

M_H ：水平方向地震力による荷重（又は応力）

M_V ：鉛直方向地震力による荷重（又は応力）

※：荷重の段階で組み合わせる場合と、荷重により発生した応力の段階で組み合わせる場合がある。（次頁の「補足」参照）

応力で組み合わせる場合は、妥当性を確認した上で適用する。

(補足) 荷重または応力による組み合わせについて

水平方向及び鉛直方向の動的地震力を SRSS 法で組み合わせる際、評価対象の機器の形状や部位に応じて荷重の段階で組み合わせる場合と、荷重により発生した応力の段階で組み合わせる場合がある。ここでは、その使い分けについて具体例を用いて説明する。

A. 荷重の段階で組み合わせを行う場合

横形ポンプの基礎ボルトの引張応力の評価を例とすると、以下の式 1、式 2 で示すように水平方向地震力と鉛直方向地震力の組み合わせは、荷重である水平方向地震力によるモーメント ($m \cdot g \cdot C_H \cdot h$) と鉛直方向地震力によるモーメント ($m \cdot g \cdot C_V \cdot \lambda_1$) を組み合わせる (図 1)。

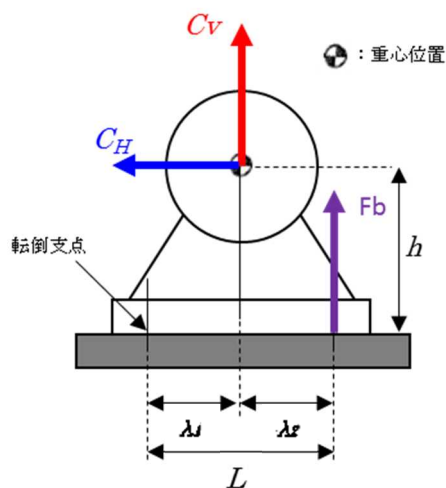
本手法については、非同時性を考慮する地震荷重についてのみ SRSS 法で組み合わせしており、実績のある妥当な手法である。

【絶対和】

$$F_b = \frac{1}{L} \{ mg(C_H h + C_V \lambda_1) + mgC_p(h + \lambda_1) + M_p - mg\lambda_1 \} \quad \dots \text{(式 1)}$$

【SRSS 法】

$$F_b = \frac{1}{L} \{ mg\sqrt{(C_H h)^2 + (C_V \lambda_1)^2} + mgC_p(h + \lambda_1) + M_p - mg\lambda_1 \} \quad \dots \text{(式 2)}$$



F_b	: 基礎ボルトに生じる引張力
C_H	: 水平方向震度
C_V	: 鉛直方向震度
C_p	: ポンプ振動による震度
g	: 重力加速度
h	: 据付面から重心までの距離
λ_1, λ_2	: 重心と基礎ボルト間の水平方向距離 ($\lambda_1 \leq \lambda_2$)
L	: 支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる基礎ボルトまでの距離
m	: 機器の運転時質量
M_p	: ポンプ回転により働くモーメント

図 1 横形ポンプに作用する震度

B. 応力による組み合わせを行う場合

横置円筒容器の第1脚の組合せ応力の評価を例とすると、第1脚には、水平方向地震力による曲げモーメント $M_{\lambda 1}$ 及び鉛直方向荷重 P_{λ} 、鉛直方向地震力による鉛直荷重 $(R_1+m_{s1}g) C_v$ が作用する。(図2)

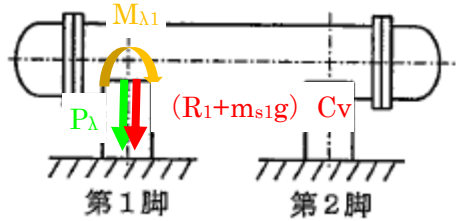


図2 横置円筒容器の脚部に作用する荷重

水平地震力による圧縮応力 σ_{s2} 及び鉛直方向地震力による圧縮応力 σ_{s4} は式3、式4で表され、第1脚の組合せ応力の評価の際はこれらの応力をSRSS法により組み合わせる式B-4を用いて評価を行う。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{\lambda 1}}{Z_{sy}} + \frac{P_{\lambda}}{A_s} \quad \dots \text{(式3)}$$

σ_{s2} : 水平方向地震力により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和
 $M_{\lambda 1}$: 水平方向地震力により第1脚底面に作用する曲げモーメント
 P_{λ} : 水平方向地震力により胴の第1脚つけ根部に作用する鉛直方向荷重
 Z_{sy} : 第1脚の断面係数
 A_s : 脚の断面積

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1}g}{A_s} C_v \quad \dots \text{(式4)}$$

σ_{s4} : 鉛直方向地震力により第1脚に生じる圧縮応力
 R_1 : 第1脚が受ける自重による荷重
 m_{s1} : 第1脚の質量
 g : 重力加速度
 C_v : 鉛直方向震度

【絶対和】

$$\sigma_{s\lambda} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3\tau_{s2}^2} \quad \dots \text{(式5)}$$

【SRSS法】

$$\sigma_{s\lambda} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3\tau_{s2}^2} \quad \dots \text{(式6)}$$

$\sigma_{s\lambda}$: 水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の第1脚の組合せ応力
 σ_{s1} : 運転時質量により第1脚に生じる圧縮応力
 τ_{s2} : 水平方向地震力により第1脚に生じるせん断応力