

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添-2-077
提出年月日	2020年5月14日

V-2-2-別添 1-4 地下水排水設備に係る施設の水平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

2020年5月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 建物・構築物の影響評価	1
2.1 基本方針	1
2.2 評価条件及び評価方法	1
2.3 評価結果	4
2.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出	4
2.3.2 抽出部位の検討	6
2.3.3 検討評価結果	6
2.3.4 まとめ	6
3. 機器・配管系の影響評価	8
3.1 基本方針	8
3.2 評価条件及び評価方法	8
3.3 評価結果	10
3.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出	10
3.3.2 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出	10
3.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価	10
3.3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	11
3.3.5 まとめ	11

1. 概要

本資料は、V-2-2-別添 1-1「地下水排水設備に係る施設の耐震計算書の方針」の4.4「水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮」に基づき、7号機及び5号機地下水排水設備に係る施設について、基準地震動 S_s による地震力に対して、耐震性を有することを確認しているため、水平2方向及び鉛直方向の組合せに関する影響評価について説明するものである。

2. 建物・構築物の影響評価

2.1 基本方針

地下水排水設備に係る施設に関する、水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、V-2-1-8「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方針」の「4.1 建物・構築物」の評価方針及び評価方法を踏まえて、設備が有する耐震性への影響を評価する。

2.2 評価条件及び評価方法

V-2-1-8「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方針」の「4. 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対する影響評価方針」を踏まえて、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震評価を実施する設備のうち、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（以下「従来の計算」という。）に対して、設備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の可能性のあるものを抽出し、影響を評価する。影響評価のフローを図2-1に示す。

(1) 影響評価部位の抽出

① 耐震評価上の構成部位の整理

耐震評価上の構成部位を整理し、該当する構成部位を確認する。

② 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性の整理

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の影響が想定される応答特性を整理する。

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に対し、荷重の組合せによる応答特性により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のうち、3次元的な応答特性が想定される部位を検討する。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

ルを用いた精査を実施し、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実施し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

(2) 影響評価手法

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、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局部評価の荷重又は応力の算出結果を組み合わせることにより評価を行う場合は、米国 Regulatory Guide 1.92*の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、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。

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、構造部材の発生応力等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実施し、各部位が有する耐震性への影響を評価する。

⑦ 機器・配管系への影響検討

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が確認された構造物が、機器・配管系の間接支持構造物である場合、機器・配管系に対して、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。

注記* : REGULATORY GUIDE (RG) 1.92 “COMBINING MODAL RESPONSES AND SPATIAL COMPONENTS IN SEISMIC RESPONSE ANALYSIS”

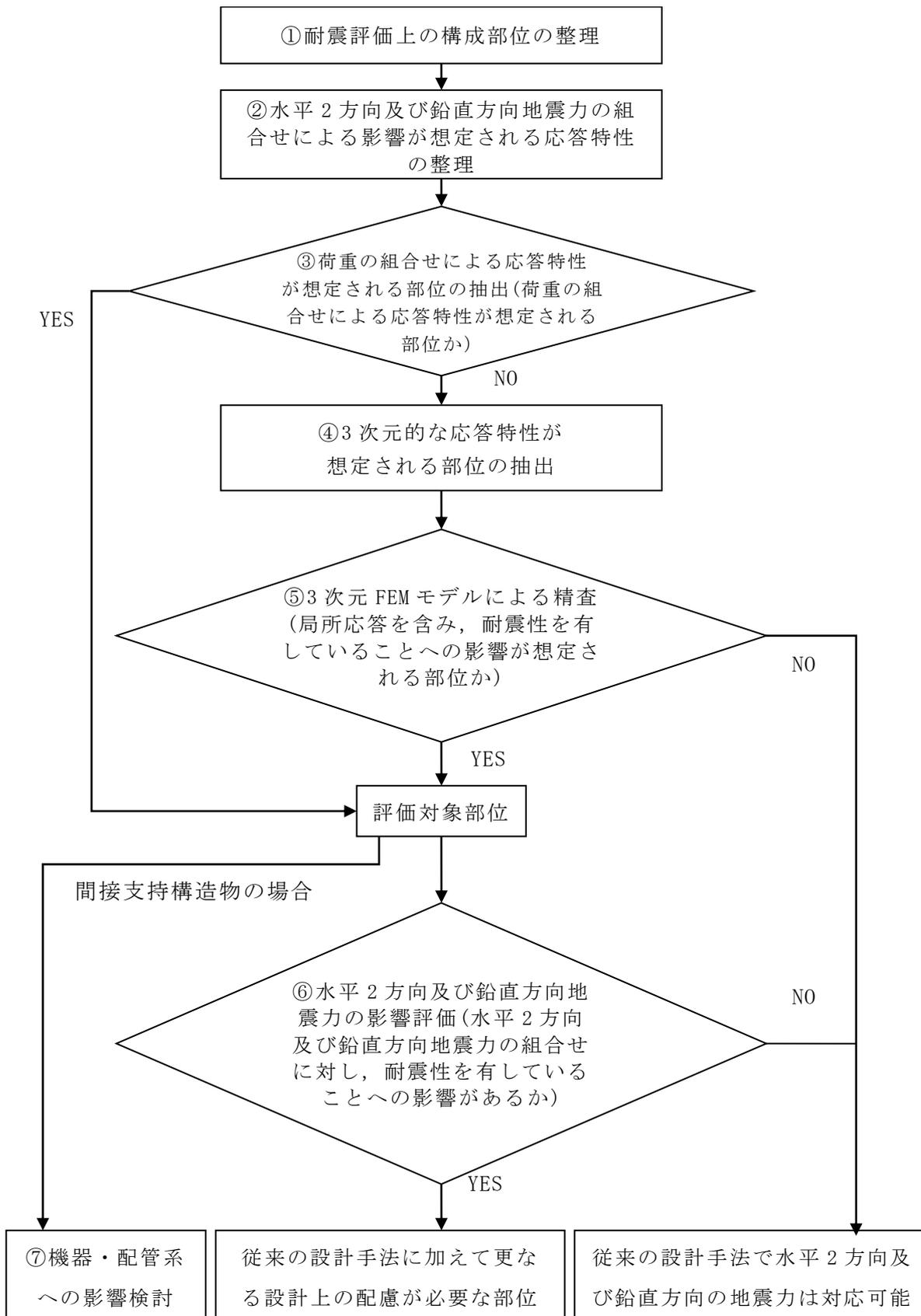


図 2-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価のフロー

2.3 評価結果

2.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

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の影響が想定される応答特性から、水平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。

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

耐震評価上の構成部位を表2-1に示す。

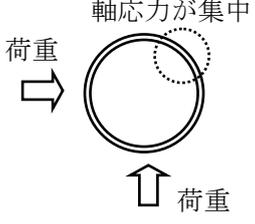
表2-1 地下水排水設備構成部位一覧表

名 称
サブドレンシャフト
サブドレンピット
集水管
サブドレン管

(2) 応答特性の整理と評価部位の抽出

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影響が想定される応答特性を整理し、応答特性を踏まえた影響評価が必要な部位を表2-2に示す。

表 2-2 応答特性の整理と影響評価が必要な部位

耐震評価上の構成部材	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性	影響評価の必要性
サブドレンシャフト 管軸方向	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本 円筒型のシャフトは直行する水平 2 方向の 地震力により，集中応力が作用する。</p> 	要
サブドレンピット 上部スラブ	サブドレンシャフト下部に生じる反力を上部スラブが受けるため影響がある。	要
集水管	鉛直荷重は，上載土による鉛直土圧，水平土圧を考慮する。水平力は，岩盤を掘り込んだ空隙内に設置されていることから，土圧の影響を受けないため考慮しない。	不要
サブドレン管	鉛直荷重は，岩盤を掘り込んだ建屋基礎スラブ底面の空隙内に設置されているため，空隙内の充填材（砂）の上載土圧を考慮する。水平力は空隙内に設置されていることから，土圧の影響を受けないため考慮しない。	不要

2.3.2 抽出部位の検討

「2.3.1 影響評価結果」より、直行する水平2方向の荷重が応力として集中する部位として、サブドレンシャフトについて検討する。また、サブドレンシャフトの荷重影響を考慮し、サブドレンピット上部スラブについても検討することとし、基準地震動 S_s における平行成層地盤の応答変位を用いた応答変位法解析を実施し、水平2方向及び鉛直方向の組合せを考慮した応答評価を行う。

(1) 検討方針

本検討に用いる応力は、「V-2-2-別添 1-2-6 サブドレンシャフトの耐震性についての計算書」及び「V-2-2-別添 1-3-6 サブドレンシャフトの耐震性についての計算書」における、地盤物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動（基準地震動 S_s-1 , S_s-2 , S_s-3 , S_s-8 ）について、線形はり-地盤ばねモデルによる応答変位法解析より算定した、サブドレンシャフトの最大応力とする。

(2) 組合せ応力

水平2方向及び鉛直方向の組合せにおける応答の確認として、地盤物性の不確かさを考慮した検討に用いる地震動における、NS方向入力およびEW方向入力の応答結果より、組合せ係数法を用いて算定した組合せ応力について、サブドレンシャフト及びピット上部スラブの検討を行う。組合せ応力は、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 Guide1.92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）に基づいた評価により実施した。

表2-3に組合せ応力を示す。

表2-3 組合せ係数法における組合せ応力

ケース	応力方向の組み合わせ
1	1.0NS + 0.4EW + 0.4UD
2	0.4NS + 1.0EW + 0.4UD
3	0.4NS + 0.4EW + 1.0UD

2.3.3 検討評価結果

組合せ応力によるサブドレンシャフト及びピット上部スラブの検討結果を表2-4に示す。

建物・構築物の検討評価において、機器・配管系への影響がある部位としてサブドレンシャフトが抽出された。

2.3.4 まとめ

地下水排水設備の建物・構築物について、水平2方向及び鉛直方向の組合せを考慮した応答評価を行い、全ての評価対象部位で、許容値以下となることを確認した。

表 2-4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果

建屋名	部位名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価					
		方向	応力分類	従来の設計による発生値	2 方向想定発生値	許容値	判定
7 号機 原子炉 建屋	サブドレン シャフト	管軸 方向	曲げ応力度 (N/mm ²)	228	245	258	○
			圧縮応力度 (N/mm ²)	1.51	1.51	255	○
			せん断応力度 (N/mm ²)	45.1	48.7	148	○
	サブドレン ピット 上スラブ	曲げモーメント (kN・m)		578	608	838	○
		せん断力 (kN・m)		1350	1410	1530	○
7 号機 タービン 建屋	サブドレン シャフト	管軸 方向	曲げ応力度 (N/mm ²)	206	222	258	○
			圧縮応力度 (N/mm ²)	1.50	1.50	255	○
			せん断応力度 (N/mm ²)	45.1	48.4	148	○
	サブドレン ピット 上スラブ	曲げモーメント (kN・m)		295	310	535	○
		せん断力 (kN・m)		931	971	1480	○
5 号機 原子炉 建屋	サブドレン シャフト	管軸 方向	曲げ応力度 (N/mm ²)	351	378	440	○
			圧縮応力度 (N/mm ²)	2.54	2.54	429	○
			せん断応力度 (N/mm ²)	178	191	254	○
	サブドレン ピット 上スラブ	曲げモーメント (kN・m)		151	154	757	○
		せん断力 (kN・m)		816	803	1040	○

注：表 2-3 に示す，最大となる組合せ応力での値を示す。

3. 機器・配管系の影響評価

3.1 基本方針

地下水排水設備に係る施設に関する、水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、V-2-1-8「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方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針及び評価方法を踏まえて、設備が有する耐震性への影響を評価する。

3.2 評価条件及び評価方法

V-2-1-8「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方針」の「4. 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対する影響評価方針」を踏まえて、基準地震動 S_s による地震力に対して耐震評価を実施する設備のうち、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（以下「従来の計算」という。）に対して、設備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の可能性のあるものを抽出し、設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。影響評価のフローを図3-1に示す。

(1) 評価対象となる設備の整理

地下水排水設備に係る施設のうち、基準地震動 S_s による地震力に対して構造強度又は機能維持を確認する設備を評価対象とする。(図3-1①)

(2) 構造上の特徴による抽出

構造上の特徴から水平2方向の地震力が重畳する観点、若しくは応答軸方向以外の振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点にて検討を行い、水平2方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出する。(図3-1②)

(3) 発生値の増分による抽出

水平2方向の地震力による影響の可能性のある設備に対して、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

また、建物・構築物の検討において、機器・配管系への影響の可能性のある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。(図3-1③)

(4) 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価

「(3) 発生値の増分による抽出」の検討において算出された荷重や応力を用いて、設備が有する耐震性への影響を検討する。(図3-1④)

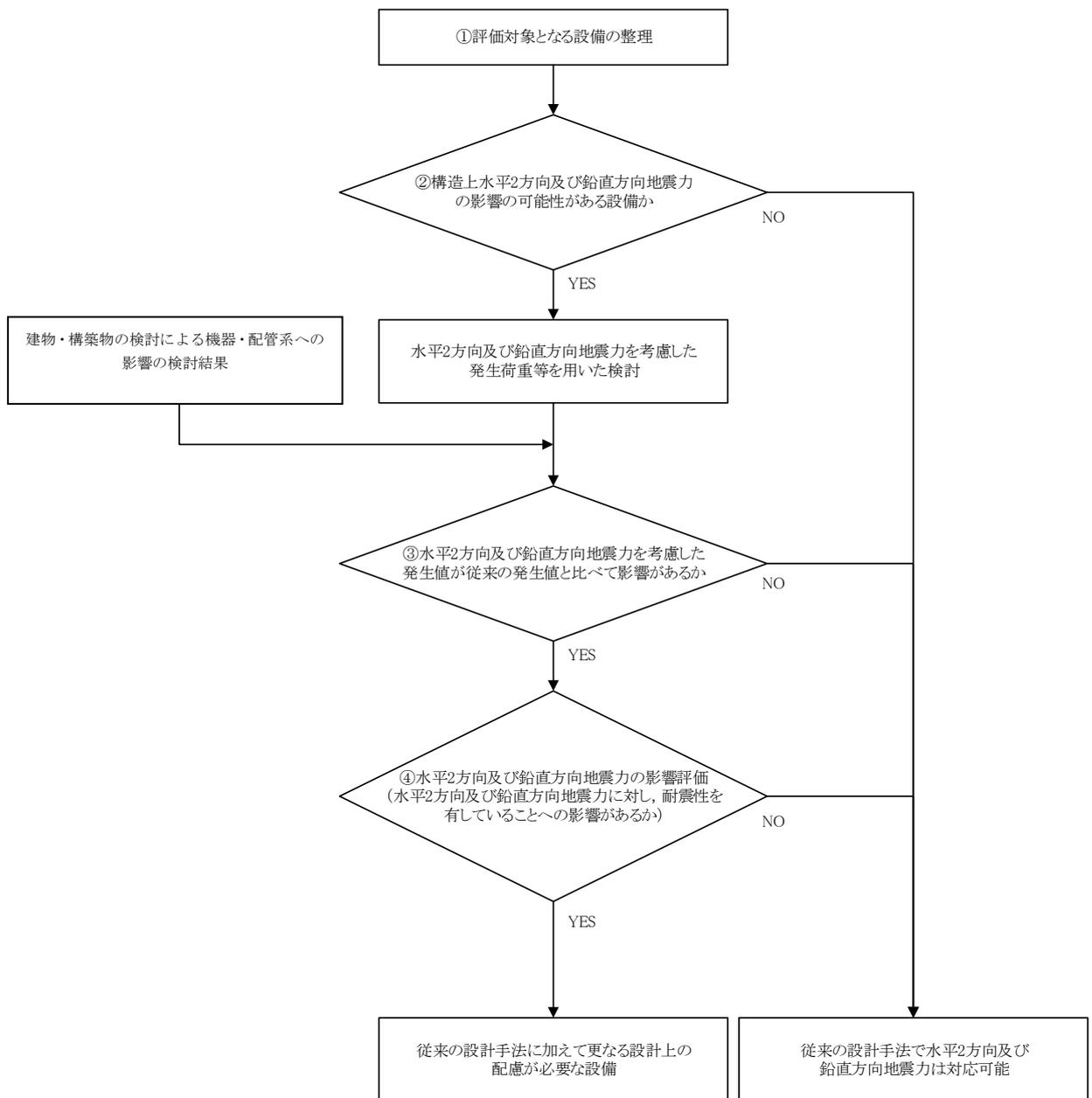


図 3-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した影響評価フロー

3.3 評価結果

3.3.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

地下水排水設備に係る施設の評価対象設備を表3-1に示す。V-2-1-8「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方針」の「4. 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対する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価設備（部位）抽出方法を踏まえ、評価対象設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から、水平2方向の地震力による影響を以下の項目により検討し影響の可能性がある設備を抽出した。

(1) 水平2方向の地震力が重畳する観点

評価対象設備は、水平1方向の地震に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重畳した場合、水平2方向の地震力による影響検討が必要となる可能性があるものとして抽出した。

(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性がある設備を抽出した。

(3) 水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)及び(2)にて影響の可能性がある設備について、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の計算による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

3.3.2 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

サブドレンポンプ、及び地下水排水設備水位は、V-2-2-別添 1-2-1「地下水排水設備設置位置の地盤応答」及びV-2-2-別添 1-3-1「地下水排水設備設置位置の地盤応答」に基づく地盤応答による設計用地震力を用いるため、建物・構築物の影響を受けない。

2.3.3項に示す建物・構築物の検討において、機器・配管系への影響の可能性がある部位としてサブドレンシャフトが抽出された。機器・配管系への影響を検討した結果、サブドレンシャフトによる応答を用いる設備として配管（地下水排水設備）が抽出された。

V-2-12「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」に示す原子炉建屋の検討において、サブドレン動力制御盤への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

3.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

表3-2にて抽出された設備について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を、「V-2-1-8 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方針」の「4.2 機器・配管系」の方法にて算出した。

3.3.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

「3.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価」の影響評価条件にて算出した発生値に対して、設備が有する耐震性への影響を評価した。影響評価結果を表3-3に示す。

3.3.5 まとめ

地下水排水設備に係る施設について、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した場合でも地下水排水設備に係る施設が有する耐震性への影響がないことを確認したため、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計手法に加えて更なる設計上の配慮が必要な設備はない。

表3-1 水平2方向入力の影響検討対象設備

設備名称	評価対象部位
サブドレンポンプ	基礎ボルト・ポンプ取付ボルト・ポンプ
配管（地下水排水設備）	配管本体・サポート
地下水排水設備水位	基礎ボルト・伝送器
サブドレン動力制御盤	基礎ボルト・取付ボルト・制御盤

表 3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (1/4)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	3.3.1 (1) の観点 ○：影響あり △：影響軽微	3.3.1 (2) の観点 ×：発生しない ○：発生する	3.3.1 (3) の観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果
サブドレンポンプ	△ (基礎ボルト, ポンプ取付ボルト) 一次応力 (引張)	×	－	ボルトは矩形配置であり, 水平 2 方向入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果, 水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより, 影響は軽微となる。
	△ (基礎ボルト, ポンプ取付ボルト) 一次応力 (せん断)	×	－	水平 2 方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果, 水平 2 方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより, 影響は軽微となる。
	△ (基礎ボルト, ポンプ取付ボルト) 一次応力 (組合せ)	×	－	上記の引張応力及びせん断応力は水平 2 方向の影響が軽微のため, 組合せ応力も水平 2 方向の影響は軽微である。

表 3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (2/4)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	3.3.1 (1) の観点 ○：影響あり △：影響軽微	3.3.1 (2) の観点 ×：発生しない ○：発生する	3.3.1 (3) の観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果
配管 (地下水排水設備)	○ (配管本体, サポート) 一次応力	○	－	配管系は, 水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は, 3 次元モデルを用いた解析により, ねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため, 水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
	○ (配管本体, サポート) 一次+二次応力	○	－	配管系は, 水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 配管系は, 3 次元モデルを用いた解析により, ねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため, 水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
地下水排水設備 水位	○ (基礎ボルト) 一次応力 (引張)	×	○	評価結果は表 3-3 参照
	△ (基礎ボルト) 一次応力 (せん断)	×	－	壁掛けのボルトは, 壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため, 水平 2 方向入力の影響はない。
	○ (基礎ボルト) 一次応力 (組合せ)	×	○	評価結果は表 3-3 参照

表 3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (3/4)

(1) 構造強度評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	3.3.1 (1) の観点 ○：影響あり △：影響軽微	3.3.1 (2) の観点 ×：発生しない ○：発生する	3.3.1 (3) の観点 ○：影響あり －：該当なし	抽出結果
サブドレン 動力制御盤	○ (基礎ボルト, 取付 ボルト) 一次応力 (引張)	×	○	評価結果は表 3-3 参照
	△ (基礎ボルト, 取付 ボルト) 一次応力 (せん断)	×	－	壁掛けのボルトは, 壁と平行方向の水平地震力と鉛直地震力のみによりせん断力が発生するため, 水平 2 方向入力の影響はない。
	○ (基礎ボルト, 取付 ボルト) 一次応力 (組合せ)	×	○	評価結果は表 3-3 参照

表 3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果 (4/4)

(2) 機能維持評価

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			抽出結果
	3.3.1 (1) の観点 ○：影響あり △：影響軽微	3.3.1 (2) の観点 ×：発生しない ○：発生する	3.3.1 (3) の観点 ○：影響あり －：該当なし	
サブドレンポンプ	○	○	－	水平 2 方向と鉛直方向を同時に入力した加振試験結果に基づき機能維持評価を行い、健全性を確認していることから、水平 2 方向入力の影響は考慮済みである。
地下水排水設備 水位	△	×	－	各水平方向で共振点はなく出力変動を生じないため、水平 2 方向でも共振することなく出力変動が生じない。
サブドレン 動力制御盤	△	×	－	電気盤、制御盤等に取り付けられているリレー、遮断器等の電気品は、基本的に 1 次元的な接点の ON-OFF に関わる比較的単純な構造をしている。加えて、基本的には全て梁、扉等の強度部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答はないと考えられる。したがって、電気品は水平 1 方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平 2 方向入力の影響は軽微である。

表 3-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果 (1/2)

(1) 構造強度評価

(単位 : MPa)

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性					
	評価部位	応力分類	従来の設計 による 発生値	2 方向想定 発生値	許容値	判定
7 号機 地下水排水設備 水位	基礎ボルト	一次応力 (引張)	1	2	126	○
		一次応力 (組合せ)	1	2	126	○
5 号機 地下水排水設備 水位	基礎ボルト	一次応力 (引張)	1	2	126	○
		一次応力 (組合せ)	1	2	126	○
7 号機 サブドレン 動力制御盤 (H21-P751)	基礎ボルト	一次応力 (引張)	22	32	154	○
		一次応力 (組合せ)	22	32	154	○
	取付ボルト	一次応力 (引張)	18	26	193	○
		一次応力 (引張)	18	26	193	○
7 号機 サブドレン 動力制御盤 (H21-P752)	基礎ボルト	一次応力 (引張)	28	40	154	○
		一次応力 (組合せ)	28	40	154	○
	取付ボルト	一次応力 (引張)	23	33	193	○
		一次応力 (組合せ)	23	33	193	○

表 3-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果 (2/2)

(1) 構造強度評価

(単位: MPa)

設備名称	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性					
	評価部位	応力分類	従来の設計 による 発生値	2 方向想定 発生値	許容値	判定
5 号機 サブドレン 動力制御盤 (H21-P573)	基礎ボルト	一次応力 (引張)	23	33	154	○
		一次応力 (組合せ)	23	33	154	○
	取付ボルト	一次応力 (引張)	19	27	193	○
		一次応力 (組合せ)	19	27	193	○
5 号機 サブドレン 動力制御盤 (H21-P574)	基礎ボルト	一次応力 (引張)	23	33	154	○
		一次応力 (組合せ)	23	33	154	○
	取付ボルト	一次応力 (引張)	19	27	193	○
		一次応力 (組合せ)	19	27	193	○