

東海第二発電所

耐津波設計方針について

〔 第520回審査会合(平成29年10月17日)時
の指摘事項に対する回答 〕

平成29年10月23日

日本原子力発電株式会社

指摘事項



No.	指摘事項	説明頁	該当資料
12	止水板の追従性として、解析での確認に加え、試験についても検討し、方針及び実施時期を示した上で、設置許可断面と工認断面の範囲を整理して示すこと。	1	
13	止水機構の多重性又は多様性について、損傷モードを含めて検討し、設計方針について設置変更許可申請書及びまとめ資料に反映すること。	1	
14	止水板に衝突する漂流物として、小型植生以外に石の衝突を考慮した止水板の健全性について評価すること。	12	

【指摘事項】

止水板の追従性として、解析での確認に加え、試験についても検討し、方針及び実施時期を示した上で、設置許可断面と工認断面の範囲を整理して示すこと。

止水機構の多重性又は多様性について、損傷モードを含めて検討し、設計方針について設置変更許可申請書及びまとめ資料に反映すること。

【回答概要】

1. 止水板の水密ゴムの止水性については、実規模大の漏水試験等により漏水性能を確認するとともに、水密ゴムの損傷及び止水板の損傷を想定した漏水によっても、重要な安全機能を有する海水ポンプへの影響がないことを確認した。また、二次元動的解析及び三次元動的解析による地震時の止水板の追従性を確認することとしている。(第520回審査会合にて説明)

上記試験及び解析に加えて、止水板の地震時の追従性について実証試験により確認する。具体的には、止水機構の構成部材を模擬した実規模大の試験装置を製作し、基準地震動 S_g による地震動に対して、止水板が正常に追従できること、水密ゴムの噛み込みや亀裂・破損が生じないことを確認する。

実施時期としては、実証試験計画の策定、試験装置の設計・製作完了後、速やかに開始することとし、その結果について工認審査段階で説明する。

2. 止水機構については、現状の止水機構(以下「1次止水機構」という。)の損傷又は保守時の機能喪失を考慮して、2次止水機構を設置する。

2次止水機構については、1次止水機構との共通要因故障による機能喪失を回避するため、多様化を図ることとし、止水膜又はシートジョイントによる止水構造を採用する。また、1次止水機構の保守時の取り外しに伴い、漂流物が2次止水機構まで到達する可能性を考慮し、2次止水機構の損傷を防止するために2次止水機構前面に防衝板を設置する。

これら対策の津波防護区分は、1次止水機構は基準津波の遡上波の地上部からの到達、流入防止対策として外郭防護1、2次止水機構は1次止水機構からの漏水対策として外郭防護2、防衝板は2次止水機構の機能確保のための関連系として2次止水機構の一部として扱い外郭防護2に位置付ける。

次葉以降に止水機構の実規模大実証試験の概要及び止水機能の追加設置案を示す。

1. 止水機構の実規模大実証試験の概要(1/2)

1. 止水機構の実証試験の目的

止水機構が基準地震動 S_g による地震動を受けた時の止水板の挙動を確認することにより、変位追従性、水密ゴムの健全性を確認することを目的に実規模大の試験装置を用いた試験を実施する。

2. 実証試験装置の概要

(1) 加振装置

○加振装置：大型3軸加振台（場所：茨城県つくば市 図1参照） ○装置仕様：表1のとおり。

表1 大型3軸加振台基本仕様

項目		基本仕様		
加速度自由度		3軸6自由度		
最大積載質量		80tf		
テーブル寸法		6m × 4m		
定格値	方向	X方向	Y方向	Z方向
	最大変位	±300mm	±150mm	±100mm
	最大加速度	1G	3G	1G



図1 大型3軸加振台鳥瞰図

1. 止水機構の実規模大実証試験の概要(2/2)

(2) 試験装置(図2参照)

- 供試体: 実機と同仕様の実規模サイズの供試体を製作
- 模擬範囲: 止水体2枚(各2m)を連結

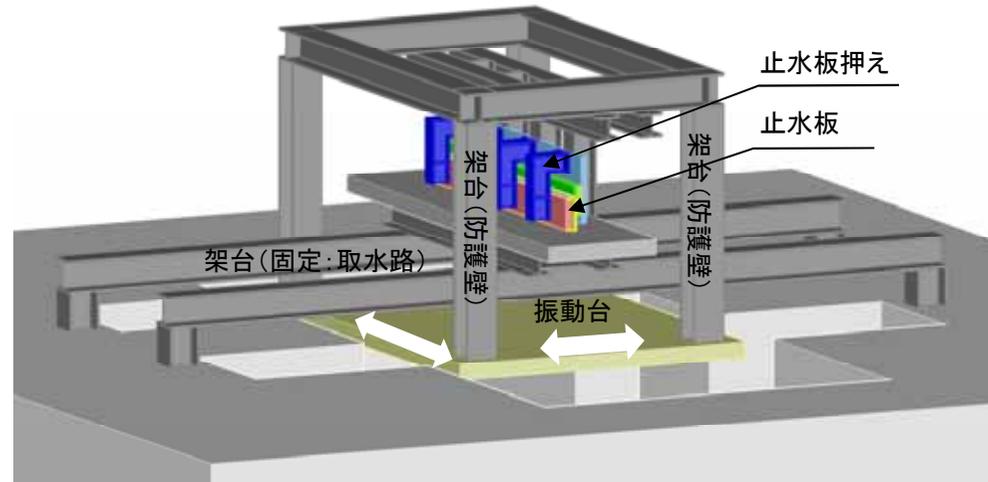


図2 試験装置(参考)

※試験計画の検討により変更の可能性あり

(3) 試験条件

地震動: 基準地震動 S_s による鋼製防護壁の応答加速度を入力(水平・鉛直加速度を同時入力)

(4) 実証試験項目

- 止水板の地震時の追従性: 止水板の動作に異常(浮上り, ガタなど)がないことを確認する。
- 水密ゴムの機能保持: 止水板による水密ゴムの噛み込み, 摺動による亀裂・破損・摩耗等がないことを確認する。
- 止水機構構成部材の機能保持: 試験を通じて構成部材に異常(変形, 損傷など)がないことを確認する。

(5) 実施時期・説明時期

試験計画の策定, 試験装置の設計・製作完了後, 速やかに実施(平成30年5月頃からの開始を想定)し, 試験結果については平成30年7月頃に説明する。

2. 止水機能の追加設置案(1/5)

1. 止水機構の追加設置

止水機構の損傷又は保守に伴う一時的な機能喪失時においても、津波に対する防護機能が維持できるよう、現状の止水機構(以下「1次止水機構」という。)のバックアップとして、2次止水機構を設置する。

2. 2次止水機構の設計方針 (図1参照)

- (1) 2次止水機構の追加設置に当たっては、共通要因故障(止水板の追従性不良等)による同時機能喪が生じないように多様性を図ることとし、1次止水機構の構造と異なる止水膜又はシートジョイントによる構造を採用する(表1, 表2)。
- (2) 止水膜及びシートジョイントについては、想定する津波荷重に対して十分な耐性を有するものを採用するが、1次止水機構の取り外し時に津波の襲来を想定すると、漂流物が2次止水機構に到達する可能性があることから、2次止水機構前面に防衝板を設置し、漂流物による損傷を防止する設計とする。
- (3) さらに、2次止水機構の後段には、2次止水機構からの漏水の可能性を考慮し、漏水を収集・排水可能な排水溝を設置する設計とする。排水は、構内排水路の防潮堤内側の集水枘に収集され、構内排水路逆流防止設備を通して排水する。
- (4) また、2次止水機構及び防衝板の点検・保守を考慮して、鋼殻内に点検用マンホールを設置し、アクセス可能な設計とし、開口部に対して止水処置を講じる。
- (5) これら対策により、基準津波の遡上波の重要な安全機能を有する海水ポンプが設置されたエリアへの到達、流入防止を確実なものとする。

2. 止水機能の追加設置案(2/5)

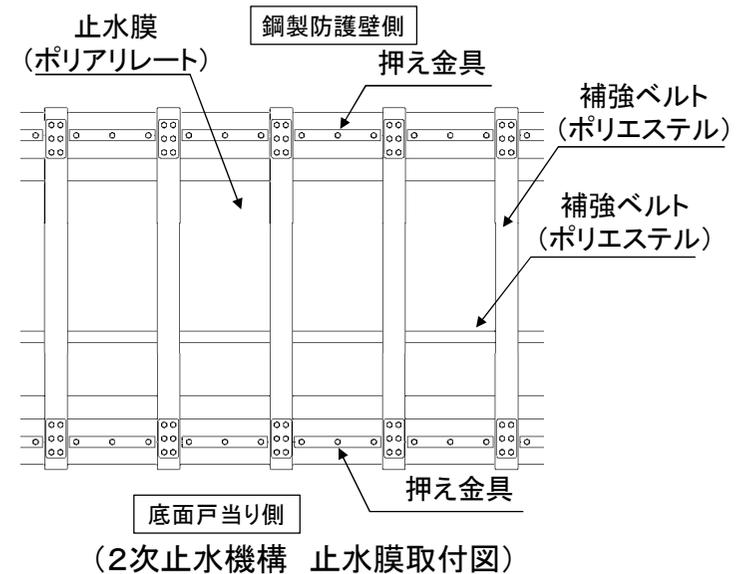
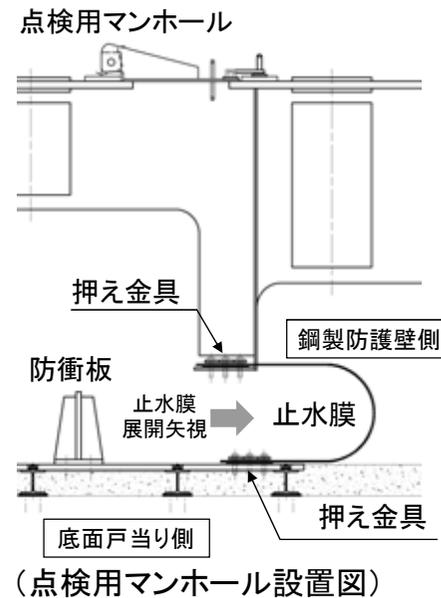
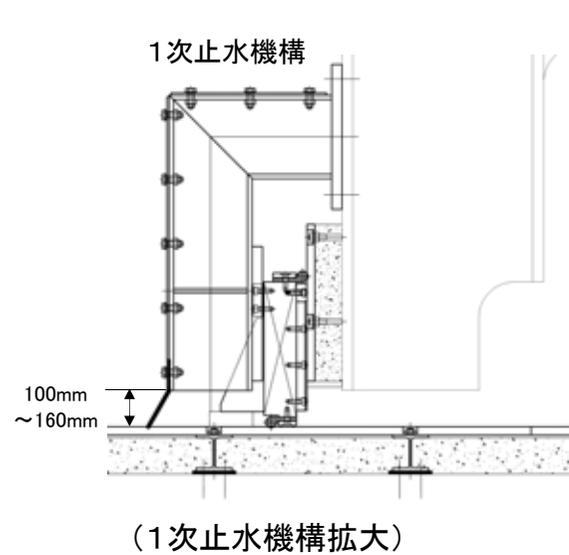
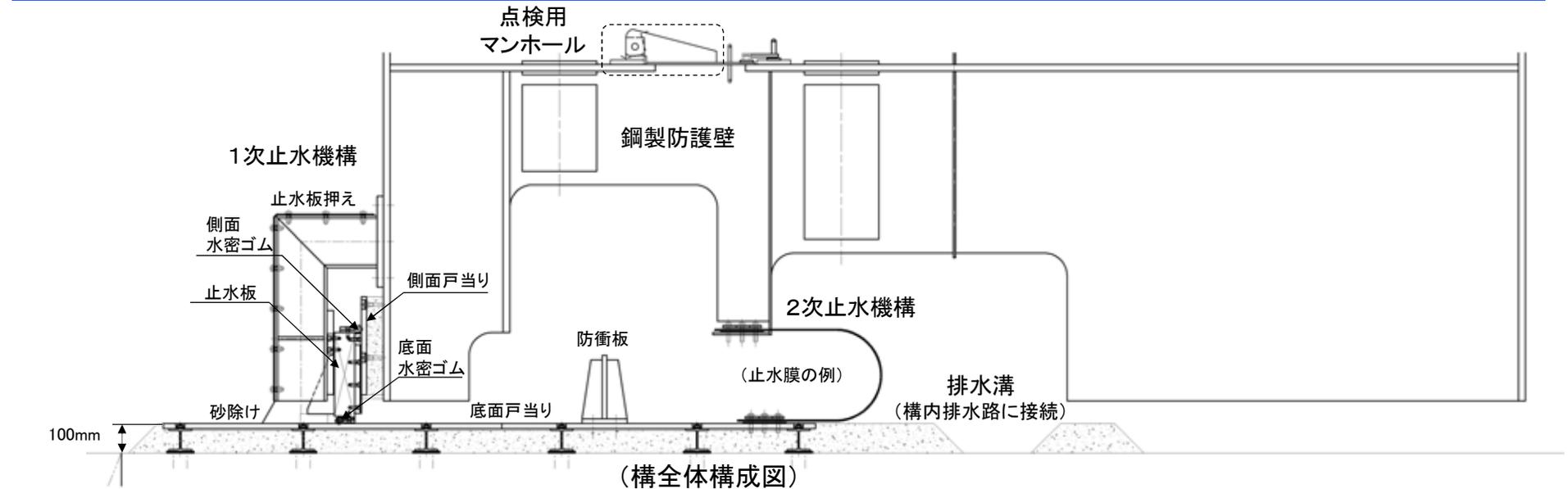


図1 止水機構の全体構造概要

2. 止水機能の追加設置案(3/5)

◆ 止水板による1次止水機構に想定される主な損傷モードを抽出するとともに、抽出結果に基づき、2次止水機構の構造（多重性又は多様性）について検討した。検討の結果、共通要因故障を考慮すると、2次止水機構は止水膜又はシートジョイントによる多様性を図る方が、止水機構全体としての信頼性に優れると判断した。

表1に1次止水機構に想定される主な損傷モードの抽出結果及び2次止水機構の構造選定検討結果を示す。また、合せて、表2に2次止水機構の多重性・多様性のメリット・デメリットについて整理した。

表1 1次止水機構に想定される主な損傷モードの抽出結果及び2次止水機構の構造選定検討結果

1次止水機構	主な損傷モード	2次止水機構	
		止水板による止水機構	止水膜又はシートジョイントによる止水機構
止水板による 止水機構	地震時に止水板の追従性が失われ、止水性が喪失する。	× 同一構造のため、共通要因故障により、同時に機能喪失に至る。	○ 構造が異なるため、同時に機能喪失しない。
	地震時に止水板が水密ゴムの噛み込み、止水性が喪失する。		
	水密ゴムの摺動により亀裂、破損、摩耗が発生し、止水性が損失する。		
	地震時の止水板の浮き上がり、ガタにより戸当りが損傷し、止水性を喪失する。		
	漂流物が止水板に衝突し、止水性が喪失する。	○ 1次止水機構がある場合は、漂流物は1次止水機構で留まり、2次止水機構までは到達せず、2次止水機構の機能は保持される。	○ 1次止水機構の保守に伴う取り外し時においても、防衝板があるため、漂流物は2次止水機構まで到達せず、2次止水機構の機能は維持される。
評価		×	○

2. 止水機能の追加設置案(4/5)

表2 2次止水機構の多重性・多様性のメリット・デメリット

構成部材の設計		設計事項	設計概要	評価
多重性	メリット	○止水板を二重に設置するため、1次止水機構の機能が喪失しても2次止水機構で機能は維持できる。	<p>図 多重性の止水機構の例</p>	<p>△</p> <p>共通要因故障により、同時機能喪失のリスクがある</p>
	デメリット	○現在、止水板の地震時の追従性が未確認につき、同一の構造の場合、共通要因故障により同時に止水機構の機能が喪失する。		
多様性	メリット	○構造が異なるため、共通要因故障による機能喪失がなく、一つの止水機構が喪失しても残りの止水機構の機能は維持できる。	<p>図 多様性の止水機構の例</p>	<p>○</p> <p>漂流物に対する防護が必要になるが、防衝板により対応可能</p>
	デメリット	○構造が異なるため、それぞれの機能に差があり、同一の防護レベルにならない。		

2. 止水機能の追加設置案(5/5)

3. 止水機構の追加設置

1次止水機構, 2次止水機構及び防衝板並びに点検用マンホールの止水処置の津波に対する防護区分について, それぞれの目的, 機能要求に基づき設定した。

表1 止水機能等の津波に対する防護区分の検討結果

対策設備	施設・設備区分	防護区分	目的／機能要求	備考
一次止水機構	浸水防止設備	外郭防護1	基準津波の遡上波の鋼製防護壁下部と取水路間の隙間から重要な安全機能を有する海水ポンプの設置されたエリアへの流入, 到達を防止する。	
二次止水機構 (防衝板含む※)	浸水防止設備	外郭防護2	<p>二次止水機構は, 一次止水機構からの漏えいを考慮して, 重要な安全機能を有する海水ポンプの設置されたエリアへの漏水を防止する。また, 安全機能への影響確認として, 海水ポンプ設置エリア(防護壁外側)への浸水量評価を実施し, 安全機能への影響がないことを確認する。</p> <p>防衝板は, 一次止水機構の損傷又は保守に伴う取り外し時の漂流物の二次止水機構への到達の可能性を考慮し, 漂流物から二次止水機構を防護し, 二次止水機構の機能を確保する。</p>	※:防衝板は, 二次止水機構の機能を確保するための関連系として, 二次止水機構の一部として扱う
点検用マンホール	浸水防止設備	外郭防護2	一次止水機構からの漏えいを考慮して, 鋼製防護壁鋼殻内への漏水を防止する。	

3. 2次止水機構の機能について(1/2)

2次止水機構にて止水する部材は、止水膜とシートジョイントを使用する。
以下に止水膜及びシートジョイントについての仕様を示す。

1. 止水膜の物性値

止水膜の物性値は以下の通り(表1)。

◆主部材: ポリアリレート繊維

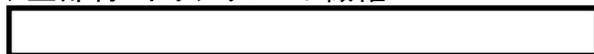


表1 止水膜の物性値

項目	物性値
引張り強さ(N/3cm)	6200
伸び(%)	8.3
密度(本/inch)	22

2. 水圧試験の確認結果

試験結果は、以下の通り(表2, 図1)。

◆試験規格 : 「JIS L 1092 繊維製品の防水試験方法に基づく耐水試験」

◆使用水圧 : 170KPa以上

(防潮堤天端高さ(T.P.+20m)から設置地盤標高(T.P.+3m)を差し引いた値)

◆試験圧力 : 500KPa以上 (使用圧力の約3倍の試験圧力)

表2 止水膜の水圧試験

止水膜材料	使用圧力	試験圧力	判定	備考
	170KPa	500KPa以上	○	5回実施

3. 採用実績

膜材料の主部材



は、港湾施設、空港、工場施設において、津波・洪水対策などに採用されている(図2)。

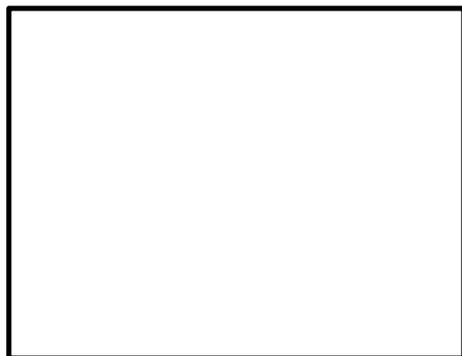


図2 メーカー試験状況

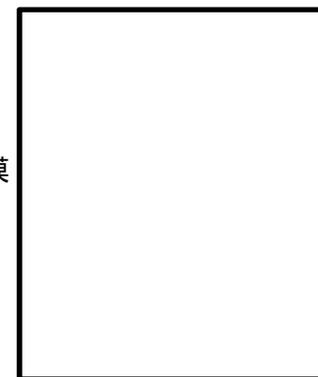


止水膜サンプル

・左:
・右:



止水膜



水圧試験状況

図1 耐圧試験にて使用する止水膜と試験状況

3. 2次止水機構の機能について(2/2)

4. シートジョイントについて

シートジョイントは、防潮壁に設置するものと同等の仕様で、他プラントにおいても使用実績がある。
以下に防潮堤に設置するシートジョイントの例を示す。

21. 止水ジョイント部の成立性検討結果

止水ジョイント性能試験(1/7)

■ 止水ジョイント(ゴムジョイント, シートジョイント)等の仕様は、津波荷重に耐え、構造物間の相対変位に追従して、止水機能を維持できる材料を選定し、性能試験(耐圧性, 漏水性)によってこれらを確認する。

■ 試験水圧: ①0.26Mpa ⇒ (基準津波+余震の動水圧)
②0.55Mpa ⇒ (T.P.+24m津波+余震の動水圧)に安全裕度を考慮

■ 変位量許容値: ゴムジョイント ⇒ 合成変位量で水平200mm, 鉛直200mm, 軸直角方向200mm以内
(※ 特注品のためメーカー既製品の規格値を参考とした。)

シートジョイント ⇒ 合成変位量で地盤表面0.66m以内(0.55Mpa作用), 躯体天端2.00m以内

■ 試験項目

(1) ゴムジョイント

I 引張試験, 耐圧試験
(変位量3ケース×圧力2ケース=6ケース)

・ゴムジョイントの耐候性については、メーカーによる試験結果より、ゴムの伸びが半減する期間が約38年(気温条件: 30°C)で、ゴムの伸びが半減しても有意な硬化はなく、十分な変形性能(伸び率225%)を有している。

(2) シートジョイント

II 引張試験, 耐圧試験
II-1: 圧力2ケース(耐圧試験)
II-2: 角度2ケース(繰返し载荷)
II-3: 角度2ケース(繰返し後, 継続载荷)

○ 耐候性試験(5年, 10年, 15年: 3ケース)(試験中)



ゴムジョイント(ゴム製)



シートジョイント(土木シート: #800×2重, 遮水シート: 塩ビシート)

4. 止水機構の漏水量評価

- ◆ここでは、安全側の評価として【ケース1】1次止水機構の止水板1枚の機能が喪失した場合及び【ケース2】1次止水機構の止水板1枚の喪失+2次止水機構の止水膜が喪失した場合の漏水量評価を実施した。
- ◆評価の結果、隣接する安全系ポンプの安全機能に影響を与える浸水深ではなかった。

	【ケース1】 止水板1枚の機能が喪失した場合	【ケース2】 止水板1枚の機能喪失+2次止水機構止水膜が喪失した場合
概要	1次止水機構の止水板1枚(2m)の機能が喪失した場合の敷地の浸水深を評価する。(開口部は止水板がない場合の鋼製防護壁と底面戸当りの隙間部(最大170mm)から評価した。)	1次止水機構の止水板1枚(2m)の機能喪失+2次止水機構の止水膜の喪失を想定した場合の敷地の浸水深を評価する。(開口部は止水板がない場合の鋼製防護壁と底面戸当りの隙間部(最大170mm)から評価した。)
説明図		
漏水量／浸水深	◆ 止水板1枚喪失時の漏水量 3726m ³ /10分, 浸水深 約1.6m(T.P.+3m盤より)	2次止水機構の止水膜が喪失した場合, 1次止水機構からの漏水は, 2次止水機構の止水膜を通じて, 敷地内に浸水するため, 漏水量及び浸水深はケース1に同じとなる。
許容高さ	T.P.約+6.6m (海水ポンプ室壁高さ)	
継続時間	<p>時刻歴波形 (取水口前面)</p>	
浸水エリア	<p>(平面図)</p>	<p>(断面図)</p>

図3 海水ポンプ室浸水エリア

【指摘事項】

止水板に衝突する漂流物として、小型植生以外に石の衝突を考慮した止水板の健全性について評価すること。

【回答概要】

止水板への小型の植生の衝突を想定した評価に加え、石の衝突を考慮した評価を実施した。

評価に当たっては、止水機構前面で想定される石は、周辺状況から砂利程度と考えられるが、地震によるコンクリート路盤等の損傷・剥離による塊状コンクリートや、津波により敷地周辺から同伴される石を想定するとともに、止水機構の最大隙間16cmを考慮し、保守的に□16cmの石(約13kg)を考慮した。

評価の結果、石の衝突を考慮しても止水板の機能は保持できることを確認した。

1. 石の衝突による止水板の健全性評価

◆止水板への小型漂流物の衝突を想定し、止水板の健全性について評価した。

【目的】

止水機構は、鋼製防護壁の底面と既設取水路の応答変位の違いにより相対変位が生じるため、①止水板押えと⑤底面戸当りの間に100～160mmの隙間を考慮している。

小型の漂流物を想定すると上記の隙間に入り込む可能性があることから、小型の漂流物による④止水板への影響について評価する。図1に小型漂流物の流入経路について示す。

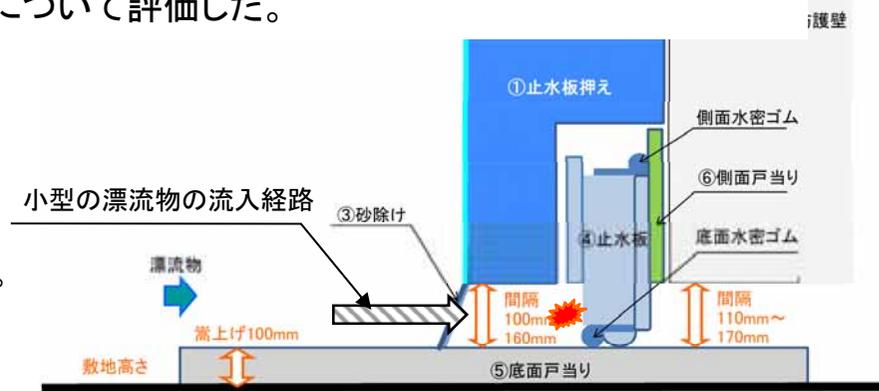


図1 小型漂流物の流入経路

【小型漂流物の衝突荷重の評価】

止水板まで通過する可能性が高い砂、礫、小型植生(枝葉、樹皮)、その他小物の異物のうち、小型の植生及び石を選定した。

(1) 植生の漂流物荷重の算定

敷地北側の植生調査(H28年度)より、想定する漂流物は

①止水板押えと⑤底面戸当りの隙間に流入する可能性がある0.12mの植生とした。

・平均直径:0.12m ・平均樹高:12m

・重量の算定式(建築空間の緑化手法1988より)

$$W = k \cdot \pi \cdot (d/2)^2 \cdot H \cdot w(1+p) = 89.5\text{kg} \approx 90\text{kg}$$

d=目通直径 0.12m(平均直径)

H=樹高 12m (8m+成長分4m)

k=樹幹形状係数(概算の場合0.5)

w=樹幹の単位体積重量(1100kg/m³)

p=枝葉の多少による割合(1.2)

◆小型植生の漂流物荷重の算定(道路橋示方書)

$$P = 0.1 \cdot W \cdot V$$

$$= 0.1 \times 90 \times 9.8 \times 10 = 0.89\text{kN}$$

P : 漂流物衝突荷重(kN)

W : 漂流物の重量(kg) V : 流速(m/s) 10m/s (取水口前面)

(2) 石の漂流物荷重の想定

①止水板押えと⑤底面戸当りの隙間が0.16mであるため、石の大きさを0.16m×0.16m×0.16m(仮定)とした。

◆石の衝突荷重の算定 (Rieraの式:飛来物衝突荷重の算定式)

衝突荷重の算定に当たっては、飛来物の衝突評価の式を用いた。

$$F = mv^2 / L = 7.7\text{kN}$$

m : 評価対象物の質量

(単位体積当たり密度(kg/m³) 3×10³kg/m³)

v : 流速(m/s) 10m/s (取水口前面)

L : 各辺の長さ(m) 0.16

(参考)道路橋示方書の場合 : 0.12kN

【評価結果】

○止水板の許容限界は240kN

・許容限界 : 短期許容応力度×1.5倍

・許容応力 : 240kN

○漂流物荷重は、植生(0.89kN)及び石(7.7kN)に対し許容応力は240kNであり十分な裕度を確認した。

○なお、想定した石の寸法が増加しても、許容応力に十分な余裕があるため問題ない。