

河川構造物(樋門・水門・堰)における耐震補強検討

エンジニアリング本部 防災・環境解析部 環境情報課

出原 啓司

瀬戸 孝欣

1. はじめに

河川構造物を取り巻く環境として、平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震を契機に、従来の耐震設計が大きく見直され、既存構造物に関しては耐震点検、耐震対策が進められてきた。¹⁾²⁾また、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震以降、道路橋示方書の改定などが実施されたことから、構造物の耐震性に関する関心の高まりがうかがえる。今までの既存河川構造物に対する耐震検討業務では、耐震性能照査(現況診断)の実施に留まることが多かったが、最近では、具体的な耐震対策の提示が求められている。

本稿では、当社が業務を通じて得た経験を踏まえ、河川構造物、特に樋門の門柱部及び水門、堰における静的照査方法(地震時保有水平耐力法)を用いた場合の耐震補強検討手順に関する一例を示し、留意点を述べる。

2. 耐震性能照査の流れ

河川構造物の耐震性能照査フローを図1に示す。当該フローは「地震時保有水平耐力法に基づく水門・堰の耐震性能照査に関する計算例」³⁾に加筆したものである。当該フローは水門の検討を示したものであるが、樋門の門柱及び、堰に関しては、「破壊順序の特定」は行わず、それぞれ門柱及び堰柱の照査を行うこととなる。

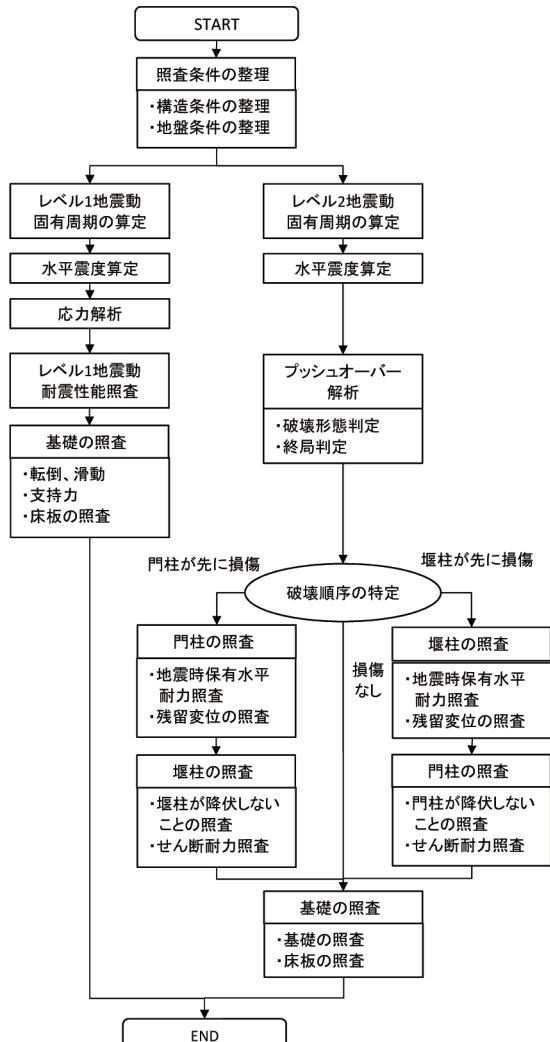


図-1 耐震性能フロー

3. 事例(水門の単堰柱)

3.1 既存躯体の現況照査

図2に照査対象の水門を示す。本水門は、杭基礎であり、下部より底版、堰柱、門柱、ゲート操作室からなる構造である。

現況の耐震性能照査を実施した際は、底版と堰柱下部の界面できりはなし、堰柱下部を固定とし、堰柱、門柱、ゲート操作室で構成される上部構造の照査を実施し、杭、底版については作用する外力を算出し別途検討を実施した。本稿では、上部構造に関する補強量の算出について詳細を示す。

現況照査結果の概略を表1に示す。水流直角方向については、主たる塑性化位置は堰柱基部であり、曲げ耐力不足のため照査基準を満足しない。堰柱部終局時は地震時保有水平耐力不足であるため、門柱部の照査結果は参考値となる。

一方、水流方向については、主たる塑性化位置は門柱部でせん断破壊型となり、韌性を考慮出来ない。また門柱部の照査結果は曲げ及びせん断耐力不足となる。堰柱部は、既定の水平震度を作用させた状態で弾性範囲内に収まっていない。

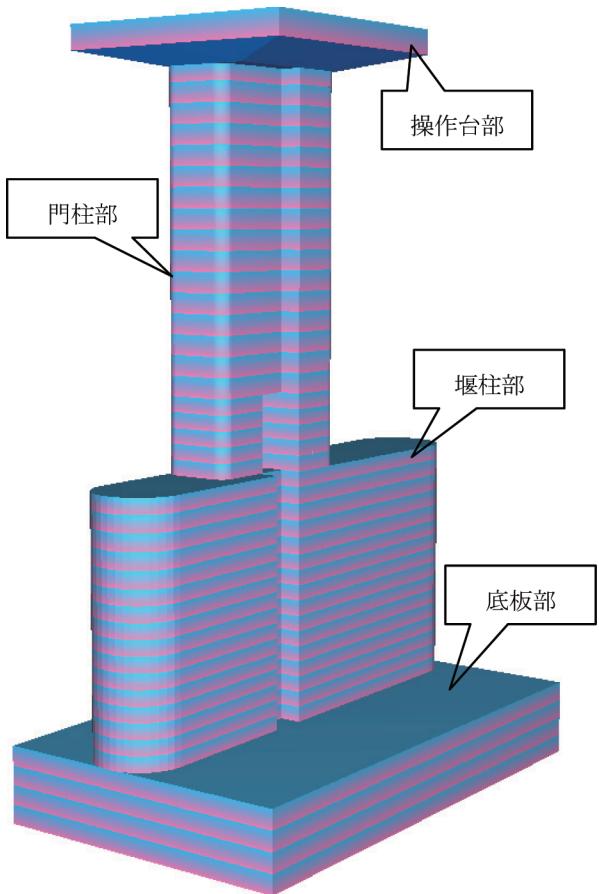


図2 モデルイメージ図

表1 現況照査結果

載荷方向		水流直角方向				水流方向			
		左一右	右一左	左一右	右一左	下一上	上一下	下一下	上一下
対象地震動		レベル2-1		レベル2-1		レベル2-1		レベル2-2	
地盤種別									
地域別補正係数		1.0							
固有周期[sec]	解析	1.354				0.582			
水平震度標準値		0.70		0.83		0.70		2.00	
塑性化部位		堰柱基部	堰柱基部	堰柱基部	堰柱基部	門柱基部	門柱基部	門柱基部	門柱基部
破壊形態の判定		曲げ破壊型	移行型	曲げ破壊型	曲げ破壊型	せん断破壊型	せん断破壊型	せん断破壊型	せん断破壊型
終局水平震度		0.30	0.20	0.30	0.20	0.50	0.62	0.50	0.62
構造物特性補正係数		0.29	1.00	0.21	0.21	1.00	1.00	1.00	1.00
水平震度		0.40	0.70	0.40	0.40	0.70	0.70	2.00	2.00
照査結果	門柱部	曲げ	NG ^(注1)	OK ^(注1)	NG ^(注1)	OK ^(注1)	NG	NG	NG
	せん断	OK ^(注1)	NG	NG	NG				
	堰柱部	曲げ	NG	NG	NG	NG	OK	NG	NG
	せん断	注2)				OK	NG	NG	NG

注 1) 堰柱部終局時は地震時保有水平耐力不足であるため、門柱部の照査は参考値となる。

注 2) 曲げ耐力が不足する事から、既定の水平震度を作用させた状態での解析が実施できないため、せん断耐力の照査が実施できない。

3.2 補強方針の検討

水門の場合、門柱が先に損傷する場合と、堰柱が先に損傷する場合では、照査フローが異なる(図1参照)。よって、補強検討の際は、新設の設計と同様に破壊順序の特定を行う必要がある。

水流直角方向については、運用の問題から堰柱部に大掛かりな補強が出来ない制約があつたため補強後の主たる塑性化位置を堰柱下部とした。

一方、水流方向については、主たる塑性化位置を門柱基部から堰柱基部になるよう補強量を算出することとした。更に、水門全体に対して韌性を十分考慮出来るよう曲げ破壊型となるようにせん断耐力を増加させることとした。

上記の補強方針のポイントは以下の2点である。

(1)主たる塑性化位置

門柱基部を主たる塑性化位置とすると堰柱に作用させる既定の水平震度は破壊形態にかかわらず、構造物特性補正係数(以降 Cs)を考慮できない。本水門は、水平震度の標準値の最大値が2.0と大きいためこれを満足する事は容易ではないため、塑性化位置を堰柱基部とすることで Cs を考慮できるようにする。

(2)曲げ破壊型

主たる塑性化位置が堰柱基部となっても水門全体が曲げ破壊型とならない場合は、Cs を考慮出来ないため十分なせん断耐力となるよう補強量を算出した。

3.3 補強量の算出

(1)水流直角方向

<門柱部>

曲げ耐力とせん断耐力を向上させる必要がある。補強方針で、主たる塑性化位置を堰柱下部とした

ことで、門柱部に作用する水平震度は構造物の固有周期と地盤種別で決まる水平震度の標準値を超えることはない(実際には、補強後の固有値解析を実施し確定となる)。つまり、門柱部の補強量は、この水平震度を門柱基部より上部に作用させたときに、門柱部が弾性範囲内に収まることが目安になる。工法としては、コンクリートの増厚(曲げ、せん断に有効)、AT-P工法(曲げに有効)、鋼板巻立(曲げ、せん断に有効)が効果的である。

種々の制約を考慮し、幾つかの補強後の断面を想定し、応力解析を実施し、必要な曲げ耐力、せん断耐力を満足する断面を確定した結果、本水門では、以下の工法を用いることとした。コンクリートの増厚が実施できない河道側は AT-P 工法、反対側は 250mm のコンクリート増厚で曲げ耐力の向上をさせ、更に、ゲートの戸当たり部を除いた位置に 40mm の鋼板貼付とし、更なる曲げ耐力、せん断耐力を向上させた。

<堰柱部>

門柱部の補強量(重量)を考慮して堰柱部の補強量を算出する。この際、曲げ破壊型となるように補強量を決める。門柱部と同様に幾つかの補強後の断面を想定し、プッシュオーバー解析を実施し、必要な曲げ耐力を満足する断面を確定した結果、本水門では、以下の工法を用いた。河道側は戸当たり部を避けて 25mm の鋼板貼付とし、反対側は大幅な曲げ耐力向上が必要であったため、1200mm のコンクリートの増厚を施し、十分な引張鉄筋を配置した。この段階で曲げ終局時に発生するせん断力が確定する。このせん断力を上回るようせん断補強を実施する。これ以上の曲げ耐力向上は必要がないためせん断耐力のみを向上させる後施工アンカーアンカー工法をとし、必要な挿入筋の量

を算出した。

(2)水流方向

水流直角方向の補強を実施した結果、水流方向の曲げ耐力、せん断耐力も向上している。よって、確定した補強量による解析モデルで水流方向のブッシュオーバー解析を実施した。

解析の結果、水平震度の標準値の最大値、約1.5倍にあたる水平震度3.0を作用させてもヒンジ(塑性化)となる部位が現れない結果となった。よって、本水門では、通常の手順の照査を行わず、水平震度3.0を載荷した時点での曲げモーメントが各部位での曲げ降伏モーメント以下である事、せん断力がせん断耐力以下であることを確認することとした。

3.4 補強後の照査結果

補強を施した状況での照査結果の概要を表2に示す。

4.まとめ

今回の検討では、水流直角方向の補強量を算出する際に相当数の断面を作成し都度、ブッシュオーバー解析を実施し確認を行った。

“最適な補強量”の定義は色々な条件が複雑に関係し一概には言えないが、“補強量”としては、

鉄筋の径を少しでも細く少なくし、増設するコンクリートの厚みは数ミリでも薄くすることが望ましいと考える。一言で補強量の算出と言ってしまえば簡単に済まされるが、補強量の算出を実施する目的、実施可能な条件などをある程度絞りこむ必要があると考える。幸いにも、本水門の補強量の検討業務においては、上記の内容をしっかりと役所と協議して頂き、ある程度狭められた条件下で実施する事が出来たため、現実に即した補強量検討が実施できたものと考える。

<参考文献>

- 「河川構造物の耐震性能照査指針(案)・同解説」(国土交通省河川局治水課、平成19年3月)
- 「河川構造物の耐震性能照査指針(案)一問一答」(国土交通省河川局治水課、平成19年11月)
- 「地震時保有水平耐力法に基づく水門・堰の耐震性能照査に関する計算例」(独立行政法人土木研究所、平成20年3月)
- 「河川構造物の耐震性能照査指針・同解説」(国土交通省水管理・国土保全局治水課、平成24年2月)
- 「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」(日本道路協会、平成14年3月)

表2 対策検討結果

載荷方向		水流直角方向				水流方向					
		左→右	右→左	左→右	右→左	下→上	上→下	下→上	上→下		
対象地震動		レベル2-1				レベル2-2					
地盤種別						I種地盤					
地域別補正係数						1.0					
固有周期[sec] 解析	固有周期[sec]	0.455				0.207					
	水平震度標準値	0.70		2.00		0.70		1.56			
ブッシュ オーバー 解析	塑性化部位	堰柱基部	堰柱基部	堰柱基部	堰柱基部	水平震度3.0載荷時で曲げについて は門柱部、堰柱部ともに弾性範囲 内となり、また、せん断については、 せん断耐力以下となる事を確認し た。					
	破壊形態の判定	曲げ 破壊型	曲げ 破壊型	曲げ 破壊型	曲げ 破壊型						
	終局水平震度	1.94	1.97	1.94	1.97						
	構造物特性補正係数	0.74	0.67	0.61	0.54						
	水平震度	0.52	0.47	1.22	1.08						
照査結果	門柱部	曲げ	OK	OK	OK	OK	水平震度3.0載荷時で曲げについて は門柱部、堰柱部ともに弾性範囲 内となり、また、せん断については、 せん断耐力以下となる事を確認し た。				
		せん断	OK	OK	OK	OK					
	堰柱部	曲げ	OK	OK	OK	OK					
	せん断	OK	OK	OK	OK	OK					