

動的解析による水門の耐震性能照査に関する一考察

(株)R A T E C H 正会員 ○大原 隆一郎
新潟大学 自然科学系(工学部)建設学科 正会員 大竹 雄

1. はじめに

水門・堰などの河川構造物は、計画高水位以下の水位の流水の作用に対して安全な構造となるように設計された堰柱と、ゲートを引き上げることを目的とし設計された門柱からなる。これら門柱と堰柱は、断面形状が大きく異なることから、地震時の応答も複雑のものとなる。

河川構造物の耐震性能照査は指針¹⁾により基本的な方針が規定されている。また、水門・堰については、計算例²⁾により、静的解析である地震時保有水平耐力法による照査手法が参考資料として示されている。これにより、実務においては同手法による照査が一般化している。しかし、道路橋のように必ずしもトップヘビーでなく、構造も複雑であるため、地震時保有水平耐力法の適用は注意を要するところである。さらに、照査結果の評価には解析者の技量に依るところが多く、照査結果も異なってくる可能性が大きい。そこで、地震動波形を構造物に直接作用させる動的解析による照査の方が、照査結果が直感的でわかりやすく、さらに、静的解析よりも実現象を捉えた効果的な耐震対策設計が実施できると考えられる。

本稿は、このように門柱と堰柱からなる水門に対しての耐震性能照査を動的解析により実施した結果とその課題を取りまとめたものである。

2. 検討条件

対象構造物は、逆T型形式の既設水門とする。既設構造物は建設当時の基準や種々の条件等により、断面形状および鉄筋量は異なることから、本検討においては次に示す手順で検討を実施した。①断面形状は一定とし、門柱・堰柱の軸方向主鉄筋径を同じ鉄筋径でD13,D16,D19,D22,D25,D29,D32,D35,D38と変化して解析した。②①の結果で水流直角方向の門柱がNGとなるケースの内、軸方向主鉄筋径がD19,D22,D25,D29,D32の5ケースについて、堰柱の鉄筋径は変えずに門柱の曲げ耐力がOKとなる耐震設計解析を実施した。③検討①、②の断面について固有値解析を実施し、応答スペクトルの比較を行った。なお、解析には道路橋示方書(H14)におけるⅡ種地盤の地震動波形を使用した。

表 1 検討条件一覧		
地盤種別		Ⅱ種地盤
門柱	高さ(m)	10.0
	長さ(m)	5.0
	幅(m)	2.5
堰柱	高さ(m)	6.0
	長さ(m)	13.0
	幅(m)	2.5
基礎形式		杭基礎※

※支持条件:堰柱床版固定(簡易のため)

解析手法	動的解析(時刻歴直接積分法)
使用ソフト	Engineer's Studio (FORUM8)

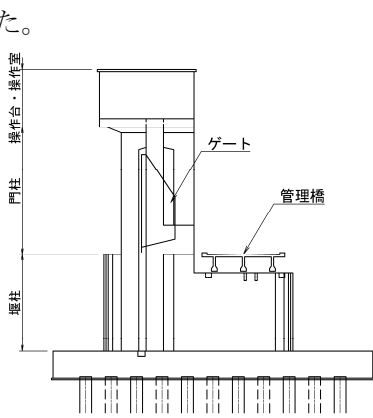


図 1 対象構造図

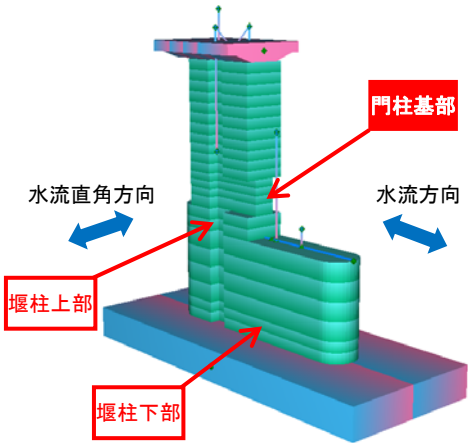


図 2 検討モデル図

3. 検討結果

①門柱・堰柱の軸方向主鉄筋径を D13~D38 と変化させると、表 2 に示すように水流直角方向における門柱で、概ね曲げ耐力が NG となる。門柱・堰柱の軸方向主鉄筋が同じ鉄筋径の場合、D38ctc300 (表 2 赤枠内)

キーワード 河川構造物, 水門, 耐震設計, 動的解析

連絡先 〒503-0848 岐阜県大垣市古宮町 1376-1 (株)R A T E C H TEL0584-84-8801

〒950-2181 新潟市西区五十嵐 2 の町 8050 番地 新潟大学自然科学系(工学部)建設学科 TEL025-262-7204

の鉄筋量が必要となる。

②表 3 に門柱の曲げ耐力が OK となる鉄筋径における鉄筋比、および堰柱の鉄筋比を基準(1.000)とした場合における

門柱の鉄筋比の比率を示す。検討①(表 3 最左列)では門柱・堰柱の鉄筋径は同じであるため、全ての鉄筋径(D13~D38)において比率は同値となる(門柱基部/堰柱下部の比率:2.184、門柱基部/堰柱上部の比率:1.373)。耐震設計解析 5 ケースでは、門柱基部/堰柱下部の比率は 4.897~3.135、門柱基部/堰柱上部の比率は 3.078~1.970 となる。門柱の曲げ耐力を OK にするためには鉄筋比を増加する必要があるが、堰柱の鉄筋比が増加すると鉄筋比の比率は減少する。

③固有値解析の結果は、1 次モードと 2 次モードが卓越周期となるが、3

次モードの刺激係数も 1 次モードと比較して大きな値を示し、門柱基部を变形軸とするような振動モードであることから、門柱基部に対しては 3 次モードの揺れが影響していると考えられる。図 4 に標準加速度応答スペク

トルと 1 次モードおよび 3 次モードにおける設計解析 5 ケースの固有周期を重ねた図を示す。3 次モードでは周期が短く、堰柱の鉄筋比が大きくなるケースほど、応答は小さくなるのがわかる。(レベル 2 タイプ II 地震動で顕著)

4. まとめ

門柱・堰柱からなる水門

に対して耐震設計解析を実施する際は、門柱と堰柱の鉄筋比の相対的なバランスを考慮する必要があることが分かった。水門構造のように複雑な振動モードを有する構造物に対しては、橋梁の橋脚のように 1 次モードを基本とした設計法では、適切に設計できない可能性が指摘できる。一方で、動的解析を用いる設計計算は作業が煩雑であり、入力地震動の波形特性(周期、位相、継続時間など)に依存するため、設計に要求されるロバスト性の確保が課題となる。また、鉄筋比に比較的敏感に応答が変化するため、設計における意思決定の手順も明確にする必要がある。今後は、動的解析結果と静的解析結果を比較検証するなどして、水門構造物のロバストな設計方法の提案に向けて研究を進めていきたい。

参考文献

1) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針 2012 年 2 月
2) 土木研究所：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 2008 年 3 月

表 2 検討①結果一覧

照査方向	鉄筋径	D13		D16		D19		D22		D25		D29		D32		D35		D38	
		タイプ1	タイプ2	タイプ1	タイプ2	タイプ1	タイプ2	タイプ1	タイプ2	タイプ1	タイプ2	タイプ1	タイプ2	タイプ1	タイプ2	タイプ1	タイプ2	タイプ1	タイプ2
水流方向	門柱	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	堰柱	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
水流直角方向	門柱	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	○	×	○	○
	堰柱	×	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

※配筋ピッチは300mmとした。
※○は曲げ耐力OK(発生曲げモーメント≦曲げ耐力)、×は曲げ耐力NG(発生曲げモーメント>曲げ耐力)を示す。
※太枠で囲ったD19~D32の5ケースについて、耐震補強解析を実施した。(D38 断面積 11.40cm²)

表 3 検討②結果一覧

照査部位	検討①D13~D38		門柱D29、堰柱D19		門柱D32、堰柱D22		門柱D35、堰柱D25		門柱D38、堰柱D29		門柱D38、堰柱D32	
	鉄筋比(%)	比率	鉄筋比(%)	比率	鉄筋比(%)	比率	鉄筋比(%)	比率	鉄筋比(%)	比率	鉄筋比(%)	比率
堰柱下部	0.169	1.000	0.169	1.000	0.229	1.000	0.299	1.000	0.380	1.000	0.469	1.000
門柱基部	0.370	2.184	0.829	4.897	1.025	4.481	1.234	4.124	1.471	3.876	1.471	3.135
堰柱上部	0.269	1.000	0.269	1.000	0.364	1.000	0.476	1.000	0.604	1.000	0.747	1.000
門柱基部	0.370	1.373	0.829	3.078	1.025	2.816	1.234	2.591	1.471	2.436	1.471	1.970

※配筋ピッチは300mmとした。
※鉄筋比は部材断面積に対する鉄筋断面積の割合を示す。
※門柱基部における比率は、堰柱下部および堰柱上部の鉄筋比を基準(1.000)とした場合の値を示す。

表 4 固有値解析結果一覧(検討①)

固有周期(s)	D13	D16	D19	D22	D25	D29	D32	D35	D38
1次モード	1.085	0.997	0.917	0.849	0.787	0.733	0.687	0.647	0.611
2次モード	0.340	0.311	0.286	0.264	0.244	0.227	0.213	0.200	0.189
3次モード	0.262	0.240	0.220	0.204	0.189	0.176	0.165	0.155	0.147

表 5 固有値解析結果一覧(検討②)

固有周期(s)	D29+D19	D32+D22	D35+D25	D38+D29	D38+D32
1次モード	0.866	0.803	0.746	0.697	0.663
2次モード	0.251	0.233	0.218	0.205	0.199
3次モード	0.193	0.180	0.169	0.159	0.154

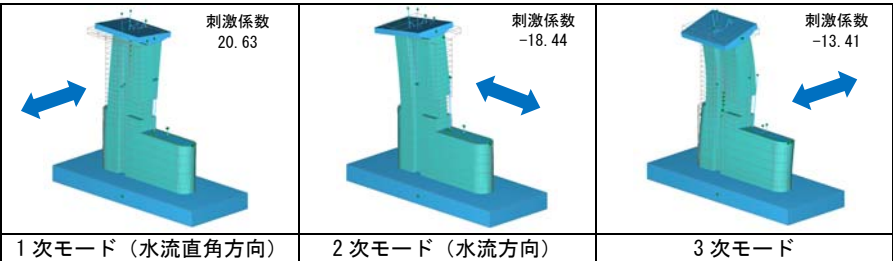


図 3 固有値解析結果図(刺激係数は門柱 D29、堰柱 D19 における数値)

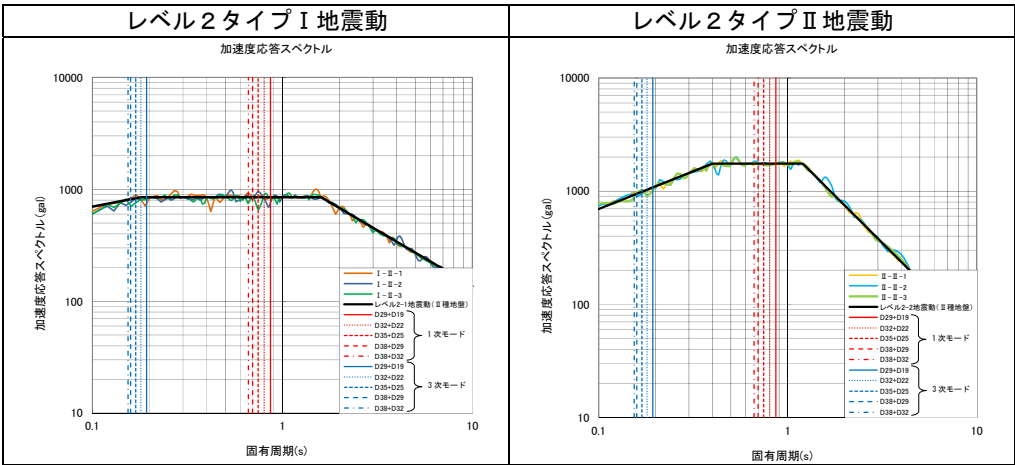


図 4 加速度応答スペクトル