

門柱コンクリートの動的解析事例

REPORT 技術第1部 水工グループ
佐々木健悟 技術士補 (技術士補:建設部門)
北村 明 技術士 (総合技術監理部門/建設部門)



佐々木健悟



北村 明

概要

レベル2地震動に対する樋門門柱の照査には静的照査法である「地震時保有水平耐力法」を用いることが一般的である。本稿では、動的照査法を試験的に導入し、得られる情報・結果を確認するとともに、静的照査と動的照査でどの程度の違いが表れるかを把握・検証するものである。

キーワード ● 動的解析 ● 樋門 ● 門柱 ● FEM ● L2 地震動 ● 時刻歴応答解析法

1. はじめに

わが国は過去幾度となく大地震による多大な被害を被ってきた。中でも土木技術分野に大きな影響を及ぼしたのが1995年1月の兵庫県南部地震(阪神淡路大震災)である。これを契機に大規模地震時における土木構造物の安全性に対する社会的要請が高まり、土木学会からは土木構造物の耐震基準に関する3次にわたる提言(1995年,1996年,2000年)が示され、構造物の耐震性能は(現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動として定義される)レベル2地震動対応へと引き上げられた。

現在わが国における樋門門柱の耐震設計は、『河川構造物の耐震性能照査指針』(以下、「指針」という。)に基づき、所定の性能を満足する範囲で塑性域の損傷を許容する「地震時保有水平耐力法」(以下、保耐法という。)により行われている。狭義には、構造物全体を1自由度系に置き換え、プッシュオーバー解析とエネルギー一定則を組み合わせる静的に非線形応答を算定する手法を地震時保有水平耐力法と呼んでいる。

本稿は、標準的形状の樋門門柱において、動的解析による耐震照査を試みたものである。

2. 耐震設計法の分類

(1) 静的解析と動的解析

比較的単純な(塑性化の部位が明確な)構造物である門柱は、一般に静的照査法により耐震性能の照査が可能である。ただし塑性化する部位が不明確だったり、地震時の挙動が複雑(2つの系が連成するような場合)だったりする構造物では動的解析が必要となる。

現在の樋門設計では静的解析が標準である。動的解析で耐震

照査を行うことを基準化している構造物としては、橋梁とコンクリートダムがある。

(2) 骨組みモデルとFEMモデル

樋門を含む構造解析には、対象を梁、柱などの線部材(軸線)の集合体として扱う骨組みモデルが一般的である。一方、対象を三角や四角の有限要素にメッシュ分割して扱うFEMモデルも、長く用いられているが、現在の樋門設計では骨組みモデルが標準である。

表-1 耐震構造解析法の種類

耐震構造解析法	分類	モデル	一般適用例
震度法(修正震度法)	静的	骨組み	L1全般
地震時保有水平耐力法	静的	骨組み	門柱、堰柱
応答スペクトル法	動的	FEM	橋梁L2
時刻歴応答解析法	動的	FEM	橋梁、ダムL2

本事例は今後の耐震設計に関する可能性の一端を提案すべく、実験的に樋門門柱の動的FEM解析を行ったものである。

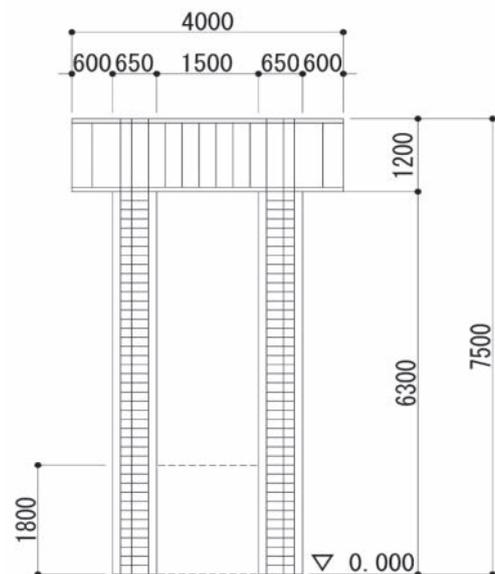


図-1 FEMモデル化した樋門門柱 [標準設計 TYPE-B]

3. 調耐動的解析の条件

(1) 解析モデル

動的解析結果と静的解析結果の比較を行うため、動的解析モデルは標準設計として静的解析結果が公表されている、「北海道開発局標準設計 TYPE-B 門柱部」と全く同じ寸法形状(図-1 参照)とした。

(2) 解析プログラム

動的解析には「DIANA ver10.1」(JIPテクノロジス)を使用した。

(3) 地震動の定義

入力地震動は「指針」に示す、標準加速度応答スペクトル S1(L2-1)、S2(L2-2)のモデルとなった2波形の時刻歴波形を使用した。以下に2波形を示す。

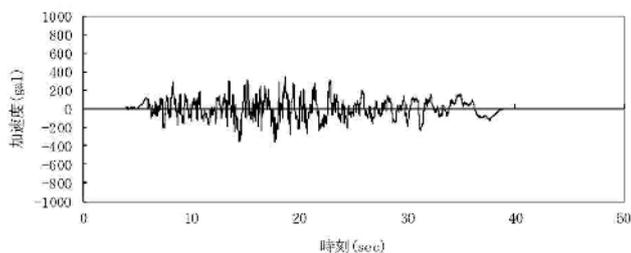


図-2 板島橋 (L2-1) 最大加速度 362.617gal

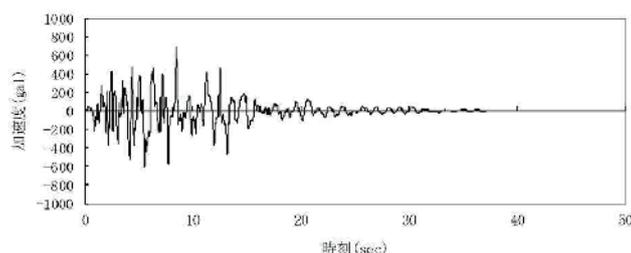


図-3 JR 西日本鷹取駅 (L2-2) 最大加速度 686.831gal

4. 解析結果

(1) 耐震照査結果の比較

主要な照査結果の比較と、最大せん断力と残留変位の比較値を表-2に示す。

表-2 照査結果の比較

耐震照査結果	時刻歴応答解析法 【動的解析】		地震時保有水平耐力法 【静的解析】	
	L2-1	L2-2	L2-1	L2-2
[横方向]				
コンクリート	圧壊しない	圧壊しない	圧壊しない	圧壊しない
鉄筋	破断しない	破断しない	破断しない	破断しない
ゲート	開閉可能	開閉可能	開閉可能	開閉可能
最大せん断力 (kN)	625.10	1015.00	1023.18	1025.25
残留変位 (mm)	0.1	7.3	0.0	41.0

同一寸法形状、同一材料条件において、静的解析(開発局標準設計)で安全と判定される項目(コンクリート圧壊、鉄筋破断)については、動的解析でも安全との結果が得られた。またゲートの開閉についても、静的解析・動的解析ともに残留変位が許容値

を下回っており、開閉可能の結果が得られた。

ここで、最大せん断力に着目すると、静的解析では地震動タイプの違いは、ほとんど応答値に影響を与えていないことがわかる。一方、動的解析では地震動タイプL2-2の最大せん断力が、L2-1のせん断力を大きく上回る結果となった。

また、静的解析と動的解析の残留変位量を比較すると、静的解析の方がより変位量が大きくなる傾向が得られた。特に地震タイプL2-2において大きな差が出ており、解析手法の違いが顕著に表れる結果となった。

(2) 動的解析結果の利点

動的解析特有の結果として、部材のひずみ位置と変位量を可視化出来る点がある。図-4にコンクリート圧縮ひずみ位置と、変位後の門柱メッシュ図を示す。

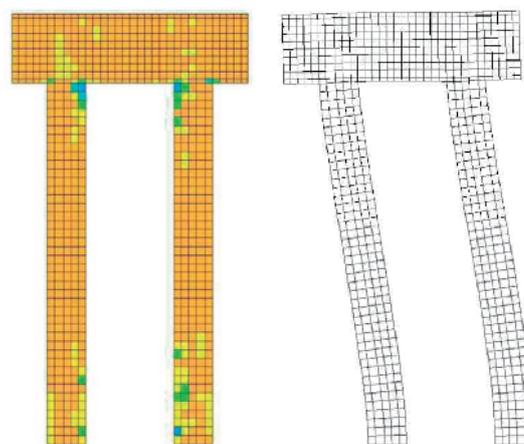


図-4 左: コンクリート圧縮最大ひずみ図 (L2-2)
右: 最大変位発生時の変形図 (L2-2.4.53 秒時)

部材のひずみ(損傷)位置と変形時刻が特定出来ることで、応力(加速度)の伝搬経路や損傷順序による免震効果の把握等に役立つと考えている。

5. おわりに

本稿では、樋門門柱の耐震照査について、試験的に動的解析(時刻歴応答解析法)を行い、一般的な方法である静的解析(地震時保有水平耐力法)結果との相違点を検討した。その結果、耐震設計法の違いにより、算定値が大きく異なる可能性が示唆された。

今回は標準的な形状と条件で試験的な検討を行ったものであるが、今後より詳細な検証を行うことで、動的解析を利用した効率的で経済的な耐震設計法を提案して行きたいと考えている。

本成果は国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所「凍害劣化した樋門コンクリートの耐久性に関する動的解析業務」(2017年3月)より、発注者了承のうえ掲載したものである。ここに感謝の意を表します。