

ファイバーモデルを用いた可動堰の地震時損傷形態の予測 Estimating seismic damage of gated weir using fiber model analysis

○渡嘉敷勝*, 浅野 勇*, 森 充広*, 西原正彦*

TOKASHIKI Masaru, ASANO Isamu, MORI Mitsuhiko and NISHIHARA Masahiko

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震はM9.0の地震であり、宮城県栗原市で震度7が観測され、同市内に設置された防災科学技術研究所の強震観測網K-NET 築館で最大加速度2,933.7 gal（合成）が観測された。同じ震度7を観測した2004年新潟県中越地震（M6.6）においては、可動堰である妙見堰が門柱のかぶりコンクリートの剥落および一部鉄筋の破断という大きな損傷を受けた¹⁾。しかしながら、著者らが宮城県において頭首工の被害調査を実施したところ、土構造物である護岸・堤防の被害は多いものの、コンクリート構造物である可動堰の堰柱および門柱に対する大きな損傷は見受けられなかった²⁾。また、過去の地震の文献調査からも妙見堰のような損傷事例は見当たらない。可動堰のように断面形状の異なる堰柱および門柱で構成されるコンクリート構造物の地震時の挙動および損傷を予測することは、今後の防災・減災計画を策定する上で重要となるが、損傷事例が少なく十分な知見が得られていないのが現状である。本報では、形状を単純化した可動堰をファイバーモデルで構成して時刻歴応答解析を実施し、損傷形態について検討した結果を報告する。

2. 解析モデルおよび解析条件

解析に用いた可動堰モデルは、構造形状を単純化した矩形断面を有する堰柱、門柱（1、2および4本）、フーチングおよび操作台で構成（Fig. 1）し、門柱の数とその位置による偏心の影響を検討するために堰柱の軸心と一致させた軸心モデルおよび門柱位置を堰柱の端部に移動させた偏心モデルの6モデル（Fig. 2）を解析した。解析では、部材断面を分割した小要素（セル）毎の応力-ひずみ構成則を用いて材料非線形性を考慮するファイバーモ

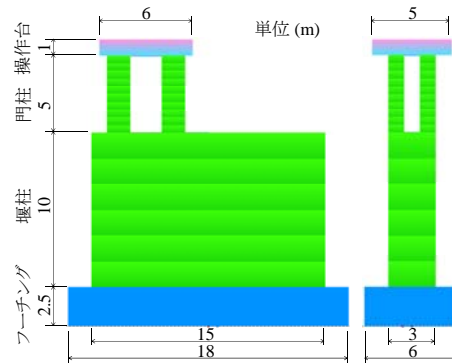


Fig. 1 可動堰モデルの概要 (4門柱)
Dimensions of weir model with 4 gateposts

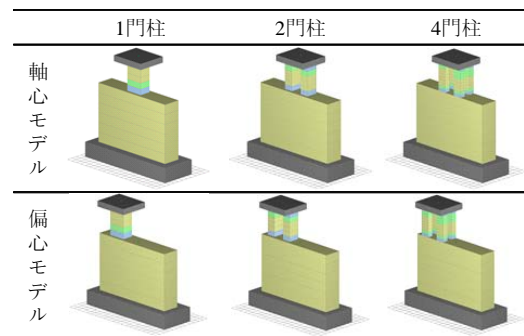


Fig. 2 軸心および偏心門柱モデル
Centered and decentered gatepost model

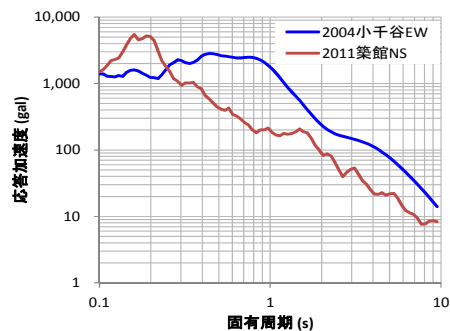


Fig. 3 入力地震波の加速度応答スペクトル
Acceleration response spectrum of the seismic input

デルを用いた。入力地震波には、2004年新潟県中越地震（K-NET 小千谷EW）および2011年東北地方太平洋沖地震（K-NET 築館NS）から最大加速度を含む20 sec区間を抽出して使用した（Fig. 3）。地震波の入力方向は、各

* (独) 農研機構 農村工学研究所 National Institute for Rural Engineering

キーワード：ファイバーモデル、可動堰、地震

モデルに対して堰軸方向，上下流方向，堰軸 45° 方向の 3 方向とした。解析の際には，操作台の中央に上屋および巻上機の重量に相当する 402 kN を集中荷重として載荷した後に観測地震波を入力して時刻歴応答解析を実施した。なお，解析には動的非線形解析プログラム Engineer's Studio を用いた。

3. 結果および考察

損傷レベルの高い圧縮レベル 4（コンクリートが圧縮応力に対して抵抗していない状態）を示した可動堰の部位は，1 門柱および 2 門柱モデルにおいては門柱基部，また，4 門柱モデルにおいては門柱基部および頭部の塑性ヒンジ箇所であった（Fig. 4）。一方，堰柱部には大きな損傷は生じなかった。他のモデルにおいても程度の差はあるが，構造物中における損傷レベルの高い部位は同様であった。

地震波の入力方向による損傷の形態を Fig. 5 に示す。堰軸方向および上下流方向に地震波を入力した場合は，入力方向と直交する 2 面において損傷が進展した。一方，堰軸 45° 方向では，門柱の隅角部から損傷が始まり，これが 4 面に進展し，隅角部においてはコアコンクリートに達するなど，損傷範囲が大きくなった。これは，堰軸 45° 方向の入力が水平 2 方向の入力と同じ作用を及ぼし，門柱に 2 軸曲げの作用が生じた結果と考えられる。この結果は，地震波の入力方向の相違が可動堰の損傷に大きな影響を及ぼすことを示している。

地震波の相違では，全てのモデルにおいて小千谷 EW の損傷レベルが高い傾向を示した。例えば，堰軸方向入力における門柱頭部の応答変位において，小千谷 EW は築館 NS に比較して 3.4 倍の応答変位が生じた。また，地震による構造物の揺れの程度を表す地震動指標である応答速度に基づく SI 値（Spectral Intensity）は，小千谷 EW が 192 kine，築館 NS が 61 kine であり，小千谷 EW が 3.1 倍大きな値であった。これらのことより，築館 NS は，最大加速度では大きな値を示したものの，構造物に損傷を与える影響が小さかったこと

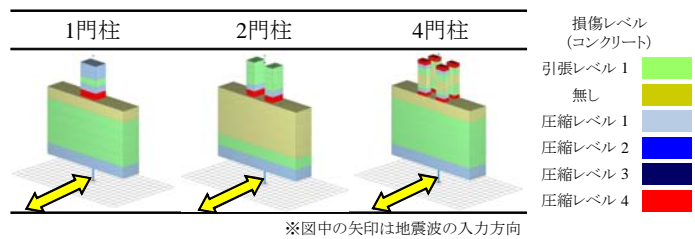


Fig. 4 損傷レベルの分布
Distribution of damage level

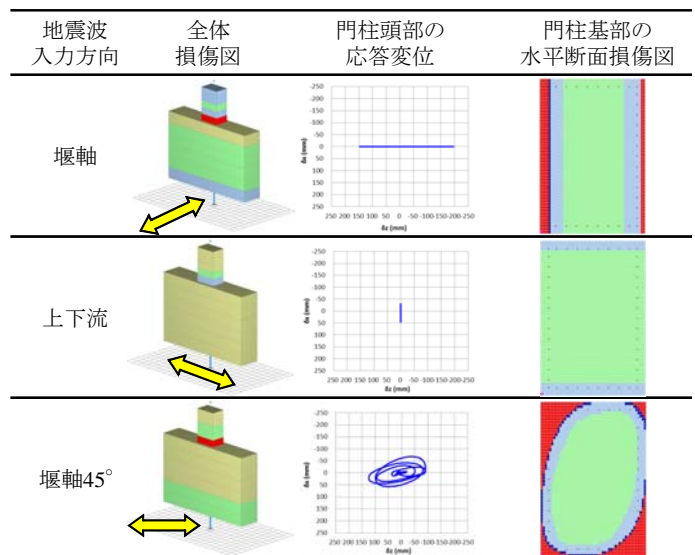


Fig. 5 地震波入力方向による損傷形態の相違（小千谷 EW）
Difference in the form of damage to the input direction of seismic waves (Ojiya EW)

が示唆される。

偏心モデルでは，堰軸方向入力において応答変位に入力方向と直角方向の変位が生じた。これは，堰柱の振動にねじれが生じたためと考えられる。その結果，損傷形態は隅角部において若干の損傷進展が見られた。

4. おわりに

現在実施される非線形動的解析による可動堰の耐震性能照査は，堰軸方向あるいは上下流方向の別々に地震動を作用させているが，実際の地震動と同様な水平 2 方向の作用についての検討が今後必要である。

なお，解析用の地震波は防災科学技術研究所の K-NET の強震記録を使わせていただきました。ここに記して感謝の意を表します。
参考文献 1) 杉田ほか (2006)：第 6 編 河川施設，土木研究所報告，No.203，pp.126-131。 2) 渡嘉敷ほか (2012)：平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震による宮城県内の頭首工および水門の被害，農村工学研究所技報，No.213，pp.117-143。