

有限要素法による鉄道無筋コンクリート橋脚の地震時破壊メカニズムの解明

京都大学 学生員 ○川松 裕汰
京都大学 正会員 古川 愛子
京都大学 正会員 清野 純史

1. 研究の背景と目的

現在でも、全国に無筋コンクリート橋脚を有する在来鉄道が多数存在し、地震時に被害が発生している。典型的な被害形態は、打継目での水平ずれと、打継目下部コンクリートの破壊である（図1）。打継目上部は破壊せず、打継目下部だけが破壊する現象が知られているが、そのメカニズムは未だ解明されていない。本研究では、有限要素法を用いて打継目上下に作用する応力状態を解析し、無筋コンクリート橋脚の破壊メカニズムを解明することを目的とする。



図1 新潟県中越地震で被災した魚野川橋梁 14P 橋脚¹⁾

2. 有限要素法による解析

本研究では、西日本旅客鉄道（株）によって行われた振動台実験²⁾の供試体を解析対象とした。供試体を図2に、解析モデルを図3に示す。x 軸を加振方向、y 軸を鉛直方向とする。平面応力要素による2次元解析を行った。要素毎に奥行き長さを設定することで側方の半円形状を表現した。物性値には実験時の要素試験結果を用いた。密度はコンクリートが $2.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、鋼製錘が $4.045 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、ヤング率はコンクリートが $2.2 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ 、鋼製錘が $2.0 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ 、ポアソン比はコンクリートが 0.2、鋼製錘が 0.3 である。コンクリートには引張軟化型の構成則を採用し、引張強度は $2.784 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ 、引張軟化係数は $3.9 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ とした。打継目の摩擦係数は 0.64 である。自重と水平加速度を作用させた。



図2 供試体
(西日本旅客鉄道(株)提供)

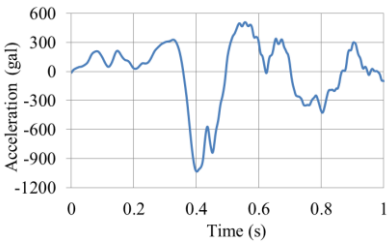


図4 振動台実験での慣性力の加速度²⁾

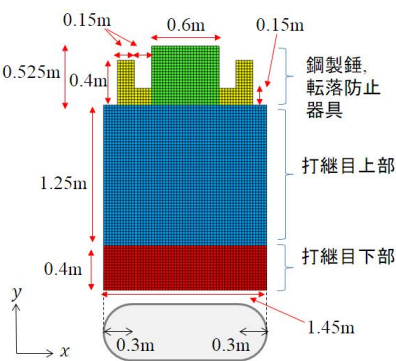


図3 解析モデル

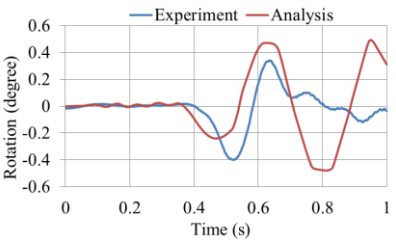


図5 回転角の実験値²⁾と解析値

検討に先立ち、振動台実験の入力地震動を解析モデルに入力する。今回の解析では計算時間短縮のために、特に振幅の大きかった1秒間のみを抽出して用いた。慣性力として作用させた加速度²⁾を図4に示す。回転角と水平変位の実験値と解析値を図5、6に示す。回転角、水平変位ともに約0.6秒までは実験値と解析値で多少の誤差はあるものの、挙動の傾向は一致していたが、それ以降は大きく異なった。要因としては、実験では打継目下部が大きく剥落しているが、解析ではコンクリートの剥離を考慮していないことが考えられる。以上のことから、解析モデルは妥当であると判断した。また、地震動入力時は応力状態が複雑で結果の解釈が困難であった。そこで、現象を理解し易く

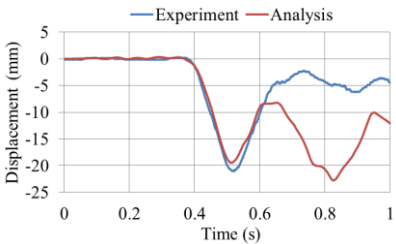


図6 水平変位の実験値²⁾と解析値

キーワード 有限要素法 無筋橋脚 破壊メカニズム

連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 TEL 075-383-3252

するために正弦波を入力した。ケース 1 は 2Hz, ケース 2 は 5Hz の正弦波で, 振幅はいずれも 1000gal とした。解析結果を図 7~10 に示す。図 7,8 において回転角とは打継目上部の回転角のことで時計回りを正とする。純水平変位とは打継目上部の水平変位から回転の影響を除去したもので, 右方向を正とする。図 9,10 において応力は引張が正で, 正の最大主応力は引張応力を意味する。

まずケース 1 について考察する。図 9 の最大主応力分布より, 引張応力は打継目下部にのみ生じている。図は省略するが, ケース 1 では打継目下部に引張破壊が生じた。打継目下部にのみ引張応力が作用するメカニズムを図 11 に示す。図 7 より, 0.4 秒後の回転の方向と滑動の方向(変位の変化方向)は同方向であり, 打継目上部は反時計回りに傾いた状態で左方向に滑動している。このとき, 打継目下部には摩擦力が左方向に作用し, 摩擦力作用位置より右側には引張応力が作用する。一方, 打継目上部に対しては摩擦力の向きが反対であることから, 圧縮応力が作用する。以上が, 打継目下部だけに引張応力が生じるメカニズムであり, 引張応力が引張強度を超えた場合, 打継目下部だけに破壊が生じることになる。

次にケース 2 について考察する。図 10 より

り, 打継目上部にのみ引張応力が作用している。図は省略するが, ケース 2 では打継目上部に引張破壊が生じた。打継目上部にのみ引張応力が作用するメカニズムを図 12 に示す。図 8 より, 0.3 秒後の回転と滑動(変位変化)方向は逆方向であり, 打継目上部は反時計回りに傾いた状態で右方向に滑動している。したがって, 摩擦力作用方向がケース 1 と逆方向になるため, 打継目上部にのみ引張応力が作用すると考えられる。

以上の結果より, 入力の振動数が低い時は打継目上部の回転と滑動が同方向となり, 打継目下部に引張応力が生じること, 振動数が高い時は打継目上部の回転と滑動が逆方向となり打継目上部に引張応力が生じることが確認できた。しかし, 過去の被害で打継目上部の被害は見られない。その要因は, 高振動数成分が卓越し, かつ引張応力が引張強度を上回るほどに高振動数成分の大きい地震動の発生するケースが少ないからであると推察される。

3. 結論

入力振動数の違いにより, 打継目上下に作用する摩擦力の向きが変わり, 打継目下部に引張応力が生じる場合と打継目上部に引張応力が生じる場合のあることが明らかとなった。

参考文献 1) 九州工業大学災害調査団: 平成 16 年新潟県中越地震—第二次被害調査速報版—, 2004, 2) (公財) 鉄道総合技術研究所: 受託業務報告書 無筋橋脚耐震対策確認試験, 2015。

謝辞 西日本旅客鉄道(株)には振動台実験結果を提供していただきました。京都大学インフラ先端技術共同講座の先生方にはデジタルコリレーションシステムを貸していただきました。ここに記して謝意を表します。

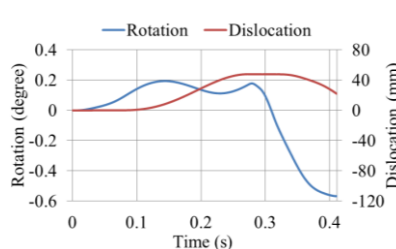


図 7 ケース 1 の回転角と純相対変位

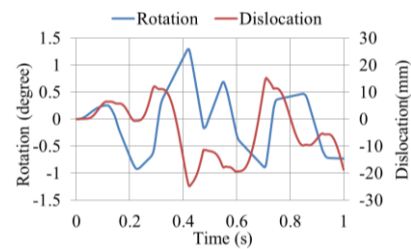


図 8 ケース 2 の回転角と純相対変位

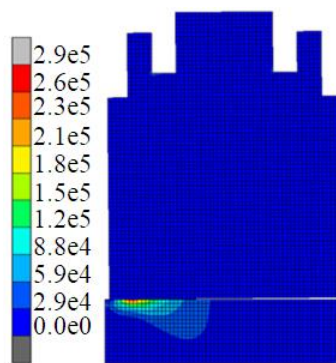


図 9 ケース 1 の最大主応力分布(0.4 秒後)

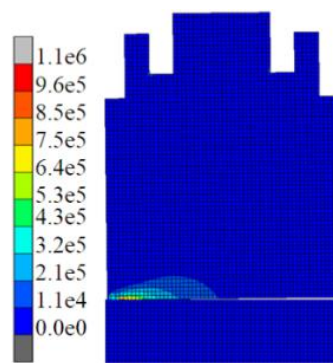


図 10 ケース 2 の最大主応力分布(0.3 秒後)

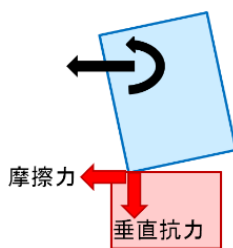


図 11 打継目下部破壊のメカニズム

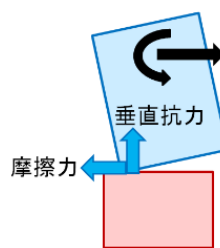


図 12 打継目上部破壊のメカニズム