無筋コンクリート橋脚の振動台実験挙動の再現解析に関する研究

京都大学工学部 学生員 〇矢野 翔大 京都大学大学院 正会員 古川 愛子 京都大学大学院 正会員 清野 純史

1. 研究の背景と目的

全国の在来鉄道において、地震による無筋コンクリ ート橋脚の被害が発生している.典型的な被害形態は、 打継目における水平ずれと打継目下側コンクリート端 部の剥落である.これらの被害を受けて耐震性の検討 が急務であり、無筋コンクリート橋脚に適した地震時 挙動の解析手法の開発が望まれる.2015年1月に西日 本旅客鉄道(株)によって振動台実験が実施され¹⁾,改良 版個別要素法²⁾を用いて同実験の再現解析が行われた が³⁾,回転角の過小評価や破壊状況の再現性に課題を 残している.そこで本研究では、改良版個別要素法の ばねモデルの改良、および解析モデルの改良によって、 振動台の破壊状況を再現できるようにすることを目的 とした.

2. 改良版個別要素法

個別要素法では、構造物を剛体要素の集合体とモデ ル化し、接触要素間にばねとダッシュポットを配置し 相互作用を表現する.改良版個別要素法では、要素表 面をセグメントに分割し各セグメントにばね等を設置

(図1左)することで、理論的にばね定数を決定する ことが可能になった¹⁾. 従来の手法では、図1中のよ うに分割し、頂点、辺、面にばね等を設置していた.

3. 振動台実験の再現解析

3.1 供試体および解析モデル

図2左に供試体、右に解析モデルを示す.フーチング は幅2.29m、奥行き1.5m、高さ0.6m、橋脚は幅1.45m、 奥行き0.66m、高さ1.65mであり、0.4mの高さに打継目 を有する.要素分割に関しては、要素境界が縦方向に 一直線とならないようにした.要素サイズは箇所によ って異なり、両端の20cm幅の領域(破壊部)を幅の小 さい要素で、それ以外(非破壊部)を幅の大きい要素 で分割した.破壊部の要素幅は、5cmを基本として偶 数段の両端のみ3.75cmとするモデル1と、2.5cmを基本 として偶数段の両端のみ1.25cmとするモデル2を考え た.要素高さは、打継目上側の1段目以下を5cm、2段 目以上を10cmとした. 奥行きは1分割とした. 鋼製錘 は幅0.6m, 奥行き0.45m, 高さ0.525mとした.

解析に用いた材料特性は供試体の要素試験結果に基 づき設定した¹⁾. コンクリートの密度2.3×10³kg/m², ヤ ング率2.2×10¹⁰N/m², ポアソン比0.2, 圧縮強度2.784 ×10⁷N/m², 引張強度とせん断強度は圧縮強度の1/10, 1/4とした. 鋼製錘は質量810kg, ヤング率2.0×10¹¹N/m², ポアソン比0.3とした. 減衰定数は臨界減衰の1.0とした. 打継目は表面加工され平坦であることから, 引張強度 は0とし, 摩擦係数は試験結果¹⁾である0.64を採用した.

3.2 入力地震動

振動台実験では鉄道構造物等設計標準⁴の L2 地震 動スペクトル II (G2)の地表面地震動を振幅調整した 波形に相似則を適用したものが用いられた.解析では, 打継目下部に破壊が生じた最大加速度 1000, 1200gal の2ケースを対象とし,振動台上で計測された加速度 波形²⁾の振幅の大きい3秒間を入力した.

3.3 回転運動の再現性における問題点と改善策

従来の改良版個別要素法では,要素間の引っ掛かり が原因で摩擦係数を上手く再現できなかった.そこで, 2015 年度の研究³⁾では,要素の面のみにばねを設置す ることで引っ掛かりを解消し,摩擦係数を再現できる ことが確認された.しかし,このばねモデルでは抵抗 モーメントの過小評価により回転運動を上手く再現で きなかった.そこで本研究では,端のばねを頂点によ





図1 要素表面のばね設置の様子とばね設置点(黒点)(左:ばね設置の様子,中:従来,右:提案)





図2 供試体(左)および解析モデル(右)

キーワード 改良版個別要素法 無筋コンクリート橋脚 振動台実験 ばね配置 回転運動 破壊メカニズム 連絡先 〒615-8510 京都府京都市西京区京都大学桂 矢野 翔大 yano.shota.77s@st.kyoto-u.ac.jp り近い位置に設置するようにした. 図1右のように, 要素の辺の長さを1としたときに,端部から0.001の 位置にばねを設置した. これにより,滑動とロッキン グにおいて理論解と数値解析解が一致することが確認 され,今回改良したばねモデルを用いた改良版個別要 素法の信頼性が確認された.

3.4 打継目下部の破壊のメカニズム

図3に打継目下部の破壊メカニズムを示す.加振後,約0.38s で右(x軸の正)側に滑動を始める.その後,約0.5s で時計回りに回転し打継目下部の右側が破壊する.さらに約0.65s で左側に滑動し反時計回りに回転する.その時に打継目下部の左側が破壊し,打継目下部の両端が破壊した状態となった.

3.5 振動台実験の再現結果

図4に加振後の打継目付近の破壊状況を示す.モデ ル1において、1000galのケースでは右(正)側に滑動 するだけで破壊は生じなかったが、1200galのケースで は、打継目下部右側に破壊が生じた(図4(a)).要素幅 3.75cmに対して、1000galのケースの滑動量は約2cm、 1200galのケースの滑動量は約4cmであり、滑動量が 要素幅より大きい場合に破壊を再現することができた.

モデル 2 に関しては、要素幅 1.75cm が 1000gal、 1200gal のいずれのケースの滑動量よりも小さいため, 打継目下部の両端に破壊が生じた(図4(b)(c)). 1000gal のケースにおいては前述した破壊メカニズム通りに再 現できた.しかし、1200galのケースでは打継目上部に も破壊が生じた.この理由として考えられるのは,破 壊部と非破壊部で要素の幅が不連続となっており, そ の要素が接触したときに大きな力が発生し亀裂が生じ るということである. 図 5(a)(b)では左に打継目の水平 ずれ,右に回転角を示す.水平ずれは実験と解析結果 が途中まで一致したが、破壊が進展するにつれて一致 しなくなった.次に上下動の影響を考慮した.実験で は x 軸方向のみに加速度が入力されたが、制御誤差に より y 方向の揺れも観測された. そこで, z 軸方向に x 軸方向の3%の大きさの加速度も入力した.その結果, 図 5(c)のように水平ずれおよび回転角の再現性がわず かに向上し、打継目上部の破壊を抑制することができ た.

4. 結論

本研究では、改良版個別要素法において、回転運動

を理論通りに再現できるようなばねモデルを提案した. また、振動台実験の再現解析のモデルの改良を行い、 打継目下部の剥離をメカニズム通りに再現できるよう になった.しかし、打継目上部の破壊も生じ、回転角 の再現性にも課題を残した.

参考文献

1)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. 2) A. Furukawa et. al., Journal of Disaster Research Vol.6, No.1, 2011. 3) 古川愛子他,地 震工学研究発表会論文集,Paper No. C23-892,2016. 4) 鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計,丸善,2012.

謝辞 西日本旅客鉄道(株)による振動台実験結果を使 用させて頂きました.



(赤線:実験,青線:解析)

-164-