損傷抑制型結合方式を用いた杭基礎構造の地震時挙動
その３　模型振動実験の再現解析

鉄道総合技術研究所　正会員　○佐名川 太亮　村田 和哉
東海旅客鉄道株式会社　正会員　岩田 秀治　鈴木 亨　高橋 佑斗
中央大学　正会員　西岡 英俊

１．目的

本稿では，杭頭部に損傷が生じた場合の杭基礎全体の動的挙動評価を目的として実施した大型模型振動実験 [1),2)]を対象に再現解析を行い，数値解析による基礎損傷時の挙動の再現性について検討を行う．

２．実験概要

実験は，1/10 スケールの橋脚模型を対象として実施した．実験の概要を図１に示す．詳細は参考文献 1)，2)を参考にされたい．

３．再現解析に用いる数値解析モデル

（１）**骨組みモデル**：鉄道構造物の耐震設計で一般的に用いられる多質点系の梁ばね解析モデルを用いた．骨組みモデルの概要を図２に示す．上部工－下部工－杭周辺の地盤ばねの他に，地盤およびせん断土槽の質量を有する土柱および非線形応力ひずみ関係を有する自由地盤ばねを設定し，土柱と各杭節点の水平地盤ばねを接続している

（２）部材のモデル化：杭頭以外の部材（杭体，柱，上スラブ，フーチング）については線形梁要素でモデル化した．杭については，曲げ試験ならびに圧縮試験から求めた断面剛性を設定し，柱，上スラブ，フーチングについては，ヤング率を 2.05×10^8kN/m^2 として，寸法から算出される断面二次モーメントおよび断面積から設定した．

杭頭および柱基部の塑性ヒンジ模型の曲げ変形特性については M-φ 関係を適用し，鉄道構造物等設計標準・同解説　コンクリート構造物に準拠し断面諸元から算出した．なお，この骨格曲線は別途実施した塑性ヒンジ模型の載荷試験結果を概ね再現できることを確認している．また，履歴曲線は修正武田モデルを採用した．

M-φ 関係の骨格曲線は軸力によって変化するため，本解析においては，動的解析から求められる時々刻々の杭頭軸力に応じて塑性ヒンジ模型の M-φ 関係を変化させて解析を実施した．

(3) 地盤ばねのモデル化：水平地盤ばねは，過去に実施した鋼管杭模型の水平載荷試験結果を基に設定し，非線形特性には

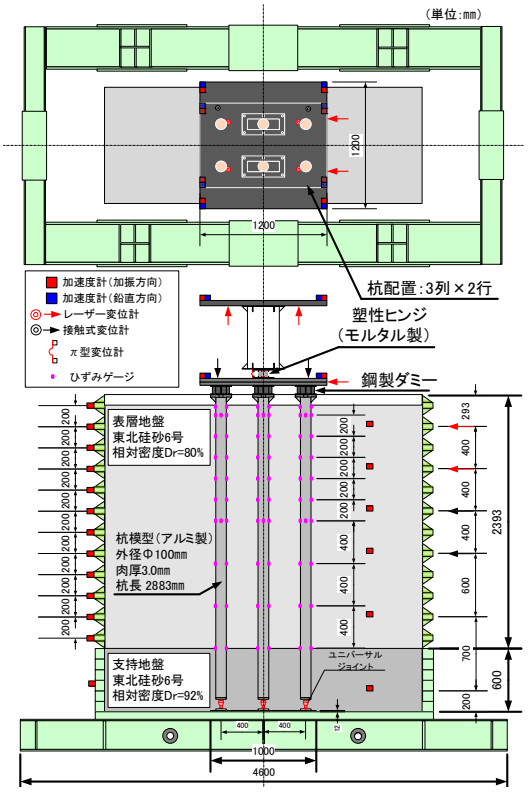


図１　模型振動実験の概要 [1)]

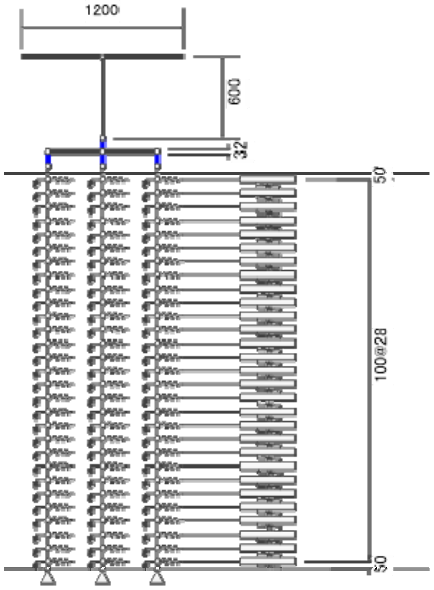


図２　骨組みモデルの概要

キーワード　杭基礎，模型実験，耐震設計
連絡先　〒185-8540　東京都国分寺市光町 2-8-38　（公財）鉄道総合技術研究所　ＴＥＬ042-573-7261

© Japan Society of Civil Engineers

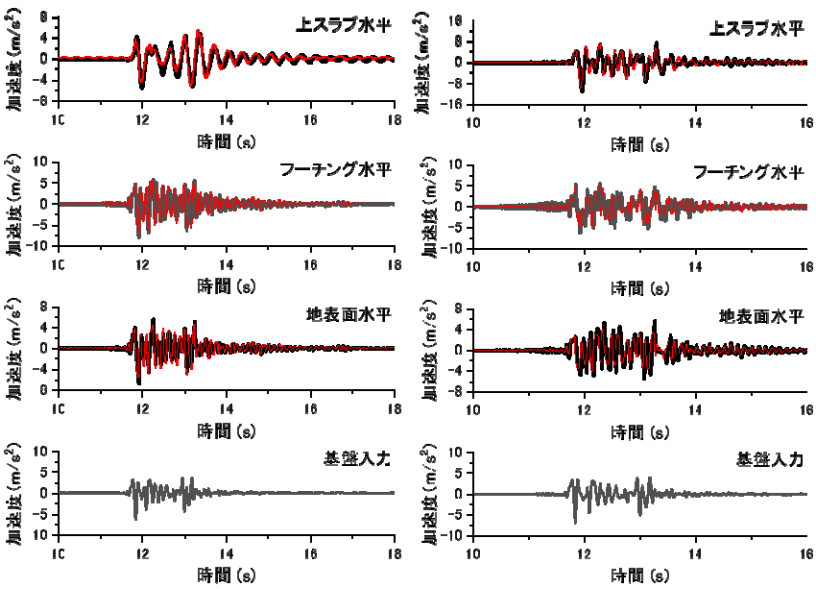
RO モデルを適用した．鉛直地盤ばねについては，引抜試験結果を基とし，線形ばねとして設定している．

(4) 自由地盤モデル：自由地盤モデル（土柱モデル）の節点質量には，地盤とせん断枠の質量を与え，土柱間のせん断ばね（自由地盤ばね）の非線形モデルに関しては HD モデルを使用し，乾燥東北珪砂 6 号で実施した三軸試験から得られている G_{50} と内部摩擦角 φ からパラメータを設定した．

(5) 減衰の設定：部材ならびに地盤ばねの履歴減衰についてはそれぞれの非線形モデルで考慮されるが，これ以外の減衰の効果としてレーリー減衰を適用した．パラメトリックスタディにより，α=0.5，β=0.0005 と設定した．減衰定数としては，構造物と地盤の固有振動数付近において，およそ 0.018 となる．

(6) 入力条件：解析ケースとしては，杭頭損傷と柱基部の損傷を模擬した 2 ケースとした．再現解析の対象とする加振条件は，鉄道構造物等設計標準・同解説に記載されている内陸活断層によるレベル 2 地震動（L2 地震動スペクトル II）とした．

(7) 動的解析条件：時間積分手法としては Newmark の平均加速度法（β=1/4）を用いた．Δt を調整し，最終的に解析に用いた Δt は 0.00025 秒である．



(a) 杭頭損傷時　　(b)柱基部損傷時

図３　応答加速度の時刻歴波形（黒：実験，赤：解析）

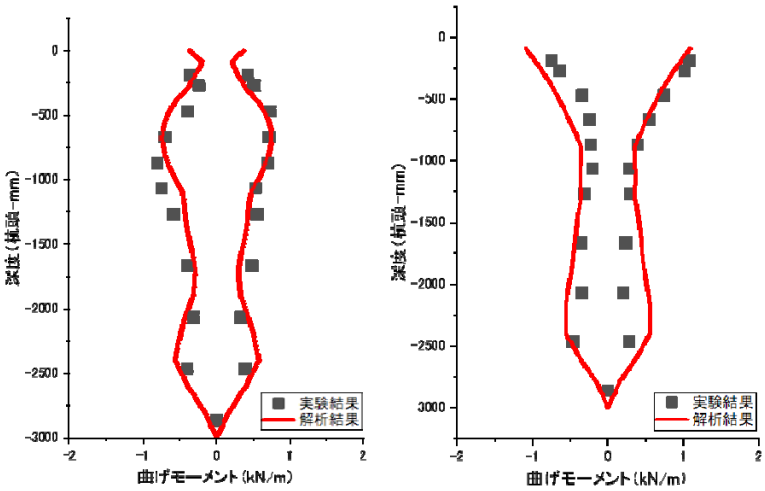


図４　最大曲げモーメント分布図（黒：実験，赤：解析）

４．解析結果

解析結果として，橋脚の応答加速度を図３に，杭体の最大曲げモーメント分布を図４に示す．杭頭および柱基部に損傷が生じた場合の橋脚全体の動的挙動を梁ばね解析モデルにより概ね再現できることが確認された．

５．まとめ

本稿では，杭頭損傷時ならびに柱基部損傷時を模擬した模型振動実験を対象に，梁ばね解析モデルを用いた再現解析を実施した．部材の変形特性や地盤ばねの非線形特性を詳細にモデル化することで，実験結果を精度よく再現できることが示された．今後は，様々な条件下における杭頭損傷時の動的挙動について，数値実験により検証を行う予定である．

参考文献

1) 村田和哉，佐名川太亮，西岡英俊，岩田秀治，鈴木亨，高橋佑斗：杭頭部の損傷を模擬した大型橋脚模型の振動実験　その１（実験概要），第 54 回地盤工学研究発表会，2019（投稿中）

2) 佐名川太亮，村田和哉，西岡英俊，岩田秀治，鈴木亨，高橋佑斗：杭頭部の損傷を模擬した大型橋脚模型の振動実験　その２（実験結果），第 54 回地盤工学研究発表会，2019（投稿中）

© Japan Society of Civil Engineers