

列車走行安全性に影響の少ない杭頭免震に関する解析検討

中央復建コンサルタンツ 正会員 ○目野 豊、本 晴彦
同 上 (前, 鉄道総合技術研究所) 正会員 今村年成
鉄道総合技術研究所 正会員 羅 休

1. はじめに 前報¹⁾では、鉄道構造物への適用を念頭においた新しいタイプの杭頭免震デバイスを提案し、その有用性を模型実験により確認した。しかしながら、実験ケースによって杭先端の境界条件が異なるなど、得られた結果が杭頭免震デバイスによる影響なのか、境界条件の影響なのか不明確な点が残っている。本報では、模型実験を補足する意味で、数値解析を行い、剛結合およびピン結合と比較することで、提案デバイスの有用性について確認した。また、提案デバイスの免震メカニズムについて検討を行った。

2. 解析条件 解析対象構造物は、前報の模型橋脚である。解析モデルを図1に示す。杭頭の接合条件は、(a)剛接合、(b)ピン接合、(c)水平回転ピン接合(提案デバイス)の3種類である。解析手法は3次元骨組みによるプッシュオーバー解析とした。

く体および杭は、ビーム要素でモデル化し、線形弾性体とした。

地盤はばね要素でモデル化した。その非線形特性は双曲線モデルあるいはバイリニアモデルを用いて表現することとしたが、地盤の拘束圧依存性を考慮しつつ、剛性および上限値は、剛接合での模型橋脚の正負交番載荷試験から得られた荷重変位関係を表現できるように試行錯誤的に設定した。具体的な設定法は次のとおりである。

杭前面の水平ばねには、双曲線モデルを用いた。初期剛性は、地盤の拘束圧依存性を考慮するために、神田ら²⁾あるいは室野ら³⁾の提案する方法を用いて設定した。上限値は、鉄道の設計基準⁴⁾を参考にして受動土圧の α 倍として設定することとし、 α の値は、剛接合での模型橋脚の正負交番載荷試験の結果が説明できるように試行錯誤的に求めた。結果的に、 $\alpha = 4$ と設定した。

杭周面の鉛直ばねにも双曲線モデルを用いた。初期剛性は地盤の変形係数の β 倍と仮定し、かつ地盤の変形係数は拘束圧の平方根に比例するものと仮定した。 β の値は杭径に依存すると考えられるが、その値は、剛接合での模型橋脚の実験結果を説明できるように試行錯誤的に求めた。上限値は、別途実施している鉛直貫入試験の結果に基づき設定した。

杭先端の鉛直ばねには、バイリニアモデルを用いた。初期剛性は剛接合の実験結果を説明できるように試行錯誤的に値を求めて設定し、上限値は模型橋脚の鉛直貫入試験の結果に基づき設定した。

以上により得られた数値シミュレーション結果を図2に示す。

水平回転ピン接合の構造を図3に示す。このデバイスは、上下2枚の羽根の間での摩擦抵抗によって、ある荷重レベルまでは回転が生じず、しきい値となる荷重レベルを超えると同図の点bを中心にして回転を始める構造である。解析においても、点bに水平面内に対する回転ばねを設け、その非線形特性は、剛塑性モデルで表

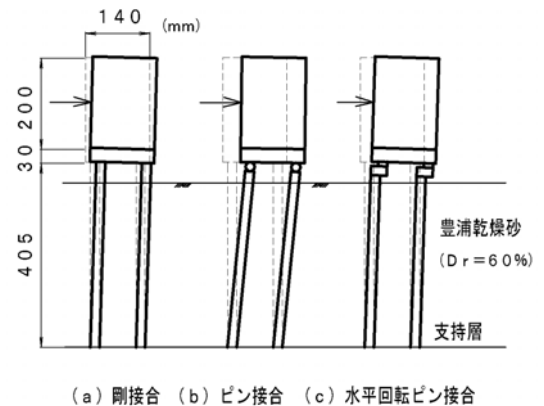
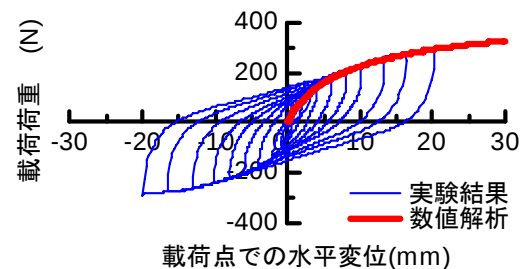
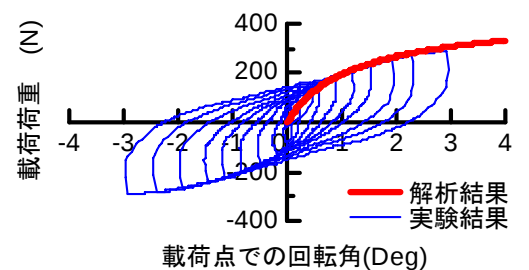


図-1: 解析モデル

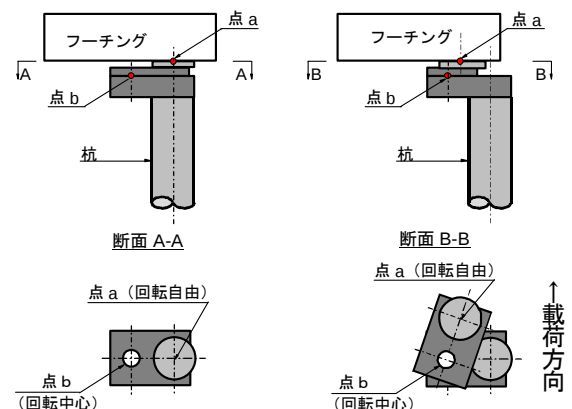


(a) 荷重点での荷重～水平変位関係



(b) 荷重点での荷重～回転角関係

図-2: 剛接合の数値シミュレーション結果



(a) 移動前 (b) 移動後
図-3: 水平回転ピン接合の構造

キーワード 免震基礎、杭頭デバイス、水平回転ピン接合、幾何学非線形

連絡先 〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10 中央復建コンサルタンツ(株) Tel 06-6160-2312

現することにした。ただし、その上限値はディバイスに作用する鉛直力に依存するはずであるが、今回の解析では、計算の安定を図るために、軸力依存を考慮せずに実験結果をある程度表現できるような値を試行錯誤的に求めて計算を行った。なお、水平回転ピン接合の解析では、ディバイスが面外方向に変位する構造であるため、幾何学非線形を考慮した計算を行った。

3. 解析結果 荷重点での荷重変位曲線を図4に示す。ピン接合は、荷重の初期段階では剛接合と同程度の剛性を有しているが、荷重レベルが大きくなると、剛接合よりも低い剛性で変形が進んでいく様子が確認できる。水平回転ピン接合では、免震ディバイスが回転するまでは剛接合と同じ剛性であるが、免震ディバイスが回転を始めると急激に剛性が低下し始める(図5参照)。ここで、変形が進むにつれて硬化しているのは、免震ディバイスが変形を始めると、分力の関係で、構造物に作用させている水平荷重のうちディバイスの回転に寄与する成分が徐々に小さくなるためである。

杭の曲げモーメントを図6に示す。ここでは、免震ディバイスのメカニズムについて考察するために、杭頭部での曲げモーメントに着目する。水平回転ピン接合では、図7に示すようなメカニズムによって、剛接合に比べて、引抜杭では杭頭モーメントが大きくなり、押込杭では大きくなると考えられる。それに反し、解析では、剛接合に比べて、引抜杭では杭頭モーメントが小さく、押込杭では大きくなるという結果が得られた。その原因については、フーチングのモデル化で剛性が実構造よりも大きくなっていることなど、いろいろな要因が考えられるが、今後、検討してゆく必要がある。

4. まとめ 提案した杭頭免震ディバイスの特性を明らかにするために、数値解析を行った。荷重点での荷重～変位関係などは実験結果と整合する解析結果が得られたが、杭の曲げモーメント分布については実験結果に反する結果が得られ、その原因については、今後、検討してゆく必要がある。

なお、地盤や構造物の条件によって、提案ディバイスは有利・不利があると考えられるので、実構造物への適用性についても検討してゆく必要がある。また、提案ディバイスには、地震後に残留変位を残す構造であるので、今後は、復元力により地震後の残留変位を抑制するようなディバイスの開発を考えている。

謝辞: 杭の鉛直支持力の評価では、鉄道総合技術研究所の西岡英俊氏による考察結果を利用させていただきました。また、幾何学非線形の解析では、伊藤忠テクノソリューションズの馬淵倉一氏のご協力を得ました。ここに、感謝の意を示します。

参考文献 1) 羅休, 出羽利行, 今村年成, 濱田吉貞: 列車走行安全性に影響の少ない杭頭免震に関する実験的な検討, 第62回土木学会年次学術講演回論文集, 2007, (投稿中)。2) 神田政幸, 竹村次郎, 日下部治: 砂地盤中の単杭のp-y関係のモデル化, 土木学会論文集, No.645/III-50, pp.191-207, 2001。3) 室野剛隆, 村上昌彦, 畠中仁, 棚村史郎: 地盤変位を受ける単杭のp-y関係に関する検討, 第11回日本地震工学シンポジウム論文集, CD-ROM, 2002。4) (財) 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, 1999。

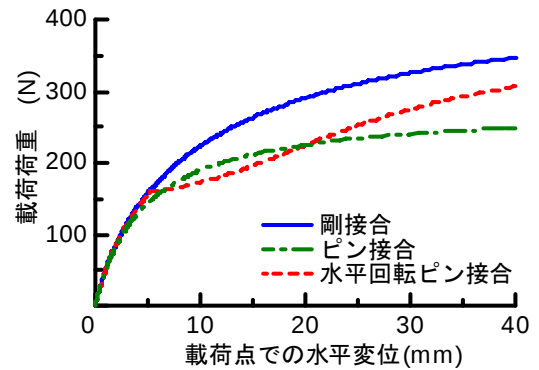


図-4: 荷重点での荷重～荷重方向変位の関係

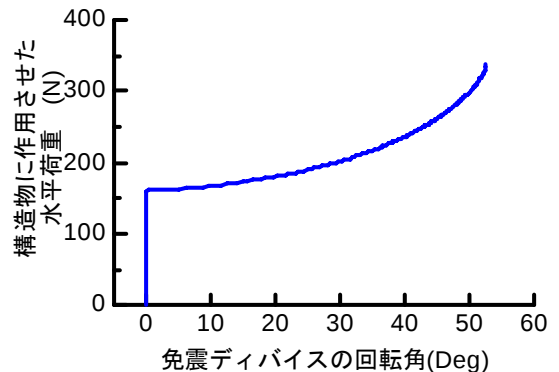


図-5: 水平回転ピン接合における、構造物への作用荷重～免震ディバイスの回転角の関係

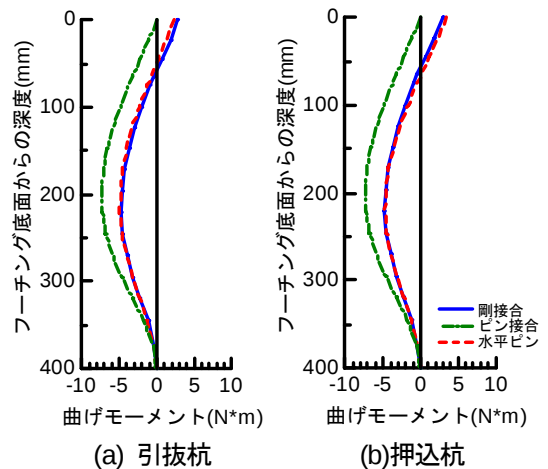


図-6: 杭の曲げモーメント図 (200N 荷重時)

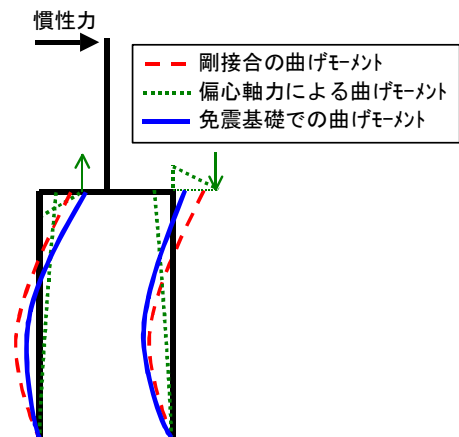


図-7: 提案ディバイスのメカニズム