

残留変位の少ない応答方向変換型免震基礎に関する模型実験（その1 - 静的繰返し載荷実験）

免震基礎 走行安全性 模型実験

株式会社複合技術研究所 正会員 太田 剛弘
 (財)鉄道総合技術研究所 国際会員 羅 休
 (財)鉄道総合技術研究所 正会員 川西 智浩

1.はじめに

大地震に対する構造物の安全性を経済的に高めるために、免震基礎の適用は一つ有効な方法である。ただし、既存の免震基礎（例えば、参考文献1）では構造物の応答を低減し構造物をスリム化する効果はあるものの構造物の動的変位が増大することから、地震時列車走行安全性に不利な影響を与える場合がある。本研究では、このような不利な影響を極限に抑えるために、構造物応答方向の制御が可能、しかも地震後の残留変位が少ない新しい滑り系免震デバイスを考案した。また、新しい免震デバイスも模型を試作して、静的繰返し載荷実験と振動台実験を行い、従来方式の杭頭剛接合の場合と比較して、免震効果と応答性状を把握した。本文（その1 - 静的繰返し載荷実験）は、免震デバイスのメカニズムと静的繰返し載荷実験の結果を紹介し、続く（その2 - 振動台加振実験）では、動的載荷実験の結果と分析を紹介する。

2.新しい免震デバイスのメカニズム

本研究は、図1に示すように、免震による列車走行安全性に及ぼす影響の大きい線路直角方向の応答変位を線路方向へ転換することを目的としている。そのため、今までに各種の応答変位方向転換可能な免震デバイス（水平回転ピン、加振方向と45°の鉛直回転ピンなど）を考案し、実験的な検討を行ってきた²⁾。その結果、一定な免震効果と走行安全性の改善が見られたが、地震後の残留変位が大きい問題が浮き上がった。したがって、今回考案したデバイスは地震後の残留変位を残さないため、すり鉢状の下方受台を採用し、地震の後に上部工の自重によりすべり球が原点（下方受台の最低点）に戻る力が発揮し易いように配慮した。デバイスの下方受台と線路直角方向の加振に対する角度を持つガイド溝を写真1、上盤可動部分を写真2に示す。この上盤は、蓋の役割もあるが、ガイド溝との摩擦を低減するために、蓋の裏側に4点のフリーベアリングを設置した。フリーベアリング（すべり球）とガイド溝を図2に示す。フリーベアリングは規格品で許容荷重 10N、直径 20.5mm を使用した。すり鉢状の下方受台は直径 80mm、高さ 22mm とすり鉢状の形状を今回使用のフリーベアリングと残留変位が残らないようにする兼ね合いから R75 とした。ガイド溝の幅は、4点のすべり球が何の支障も無くスムーズに可動するように、すべり球の直径 20.5mm に対して 0.75mm のクリアランスをとり 22mm とした。

橋脚側の上盤可動部分の直径は 296mm、杭頭側の下盤受台の直径は 222mm とした。今回の模型で、写真2の上盤可動部分にいくつかの穴を開けているのは、デバイスの可動状況を確認する為と、剛接合杭模型との重量を統一する為である。また、上盤可動部分は、最大変位時には、杭頭側の下盤受台が上盤可動部分のストッパーとなって滑落防止、また、転倒防止の仕組みにもなっている。

デバイス角度の調整は、今回は0度、15度、30度、45度、60度に、各すり鉢状の下方受台が設置できるように、下盤受台にあらかじめ0度、15度、30度、45度、60度で固定する為のねじ穴を設計し固定しました。

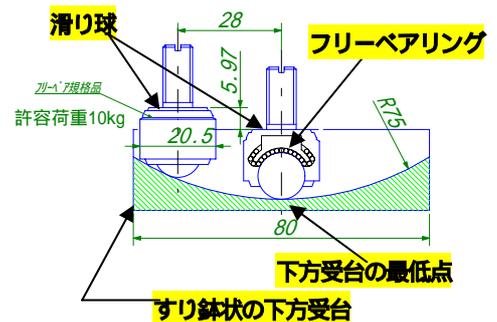


図2 すり鉢状の下方受台と滑り球

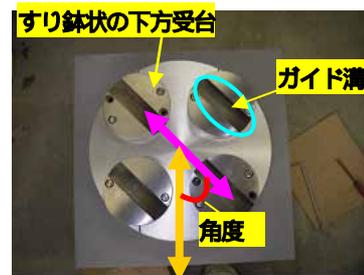


写真1 下方受台とガイド溝（杭頭側）



写真2 上盤可動部分（橋脚側）

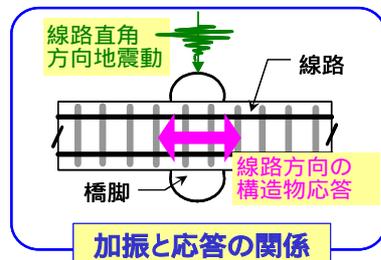


図1 載荷方向と構造物応答方向の関係

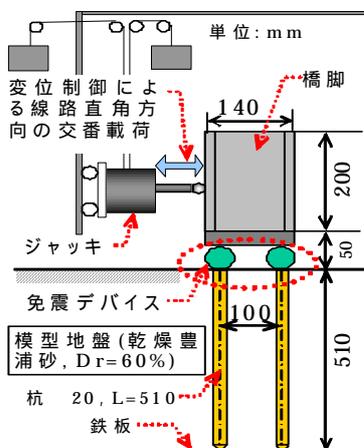


図3 静的繰返し載荷実験概要図

3. 静的繰返し载荷実験

図3に示すように、模型実験は、剛接合模型と免振デバイス模型の二つを作成し、载荷に対する変位、荷重、傾き、また、杭模型に働く軸力、曲げモーメントを測定しました。杭模型は杭長510mmで今回は作成し、素材は真鍮製の中空管(20mm, 肉厚t=1mm)を用い、閉塞した杭先端部が基礎面の金属板の上に支持された状態で試験を行った。ひずみゲージは図4に示すよう1本の杭に対して先端支持から杭頭までの順番で測定点4箇所、軸力(Axial_1~4)、曲げモーメント(Bend_1~4)を4本杭全部で剛接合模型に軸力16箇所、曲げモーメント16箇所、同様に免振デバイス模型にも配置した。剛接合フーチング模型と免振デバイス模型共に死荷重も同じ、模型高さ50mm、橋脚模型高さ200mm×幅140mm、载荷点高さは地表面から150mm、地盤相対密度は60%の条件下で免振デバイスは载荷方向に対して角度は0度、15度、30度、45度、60度に設定し剛接合とあわせて6ケースの静的繰返し载荷実験を行った。

静的繰返し载荷実験の結果を図5、図6、図7に示す。実験の結果は、载荷水平変位±14mm時の結果をまとめたものである。これは、デバイス角度で角度60度に対して载荷方向水平変位が14mmで限界であるために、他の剛接合または免振デバイス0度~45度までは最大载荷点水平変位を±20mmまで载荷実験を行ったが、60度との比較の為に水平変位は±14mm時の値でまとめたものである。

免振デバイスを用いた場合と、接合部を従来型の杭頭剛接合とした場合の縮小模型による静的繰返し载荷実験を行った結果。载荷点の荷重と変位関係(図5)と、正方向载荷変位とB杭頭部近傍(Bend_4)のモーメント(図6)、および杭モーメントの深さ方向の分布(図7)から、剛接合による構造の全体剛性は、抵抗の最も大きい転換角60度のデバイス接合と比べて水平荷重で約4倍も高く(図5)、それによる杭の負担が杭頭部近傍モーメントや地中部最大モーメント約7倍と、はるかに大きいことが分かった(図6、図7)。また、デバイスの加振方向に対する変位転換角度が0度、15度、30度、45度、60度と大きくなるに連れて、デバイスによる水平抵抗が増え、载荷荷重および杭に負担するモーメントが増える傾向を確認した。

4. まとめ

列車走行安全性を配慮した新しい滑り系デバイスの模型を試作し、静的繰返し载荷実験を行い、荷重と変位および杭モーメントなどとの関係を検討した。これらの検討は、慣性力の影響が入っていない、振動実験が必要であるため、変位転換角度60度のデバイスを用いて、振動台加振実験を行った。その結果について、本報に引き続きその2で紹介する。

参考資料:

- 1) 羅休, 宮本岳史, 今村年成: 地震時列車走行安全性に及ぼす免震基礎の影響に関する研究, 第12回日本地震工学シンポジウム, CD-ROM, No.230, 2006/11.
- 2) 羅休, 出羽利行, 今村年成, 濱田吉貞: 応答変位方向を制御できる免震基礎に関する模型実験, 第42回地盤工学会年次研究発表会講演集, CD-ROM, No.640, 2007/7.

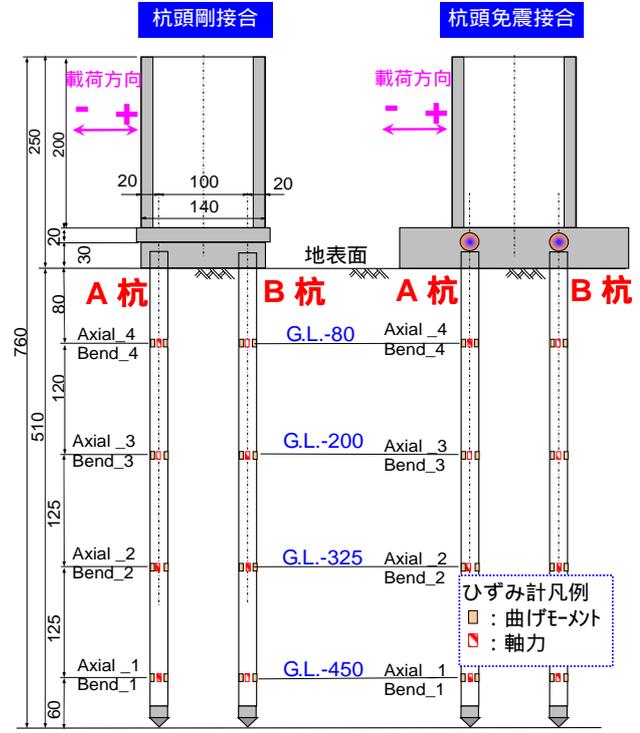


図4 载荷変位方向規定とひずみゲージ配置図

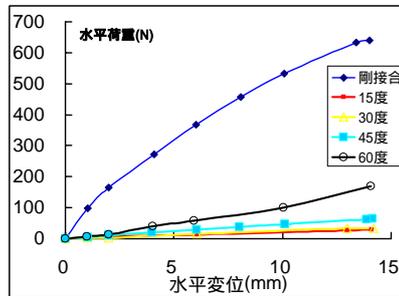


図5 水平変位と水平荷重

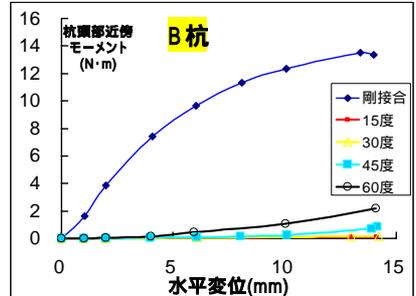


図6 水平変位と杭頭部近傍モーメント

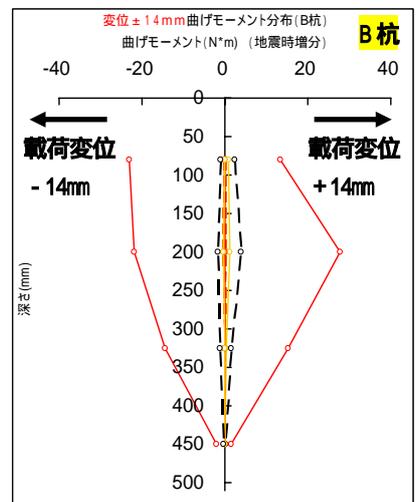
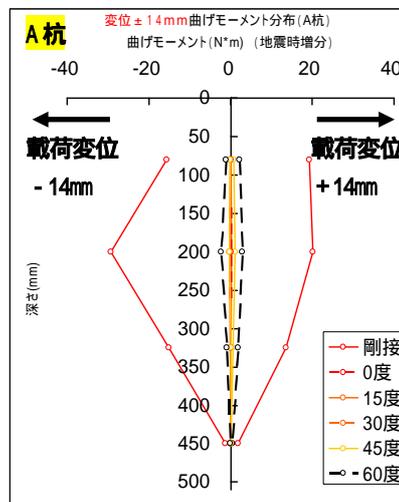


図7 曲げモーメント分布(水平変位±14mm時)