

補強した構造物・軌道一体型模型を用いた地震時軌道座屈安定性の評価

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○吉川 秀平 中村 貴久 桃谷 尚嗣
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 伊地知卓也 木次谷一平

1. はじめに

橋台と盛土の接続部のような構造物境界部のバラスト軌道は、地震時において橋台の変位とともに橋台背面盛土が沈下し、一般部よりも座屈安定性が低下しやすいと考えられる。一方、構造物においては橋台背面の沈下を抑制して地震時の列車走行安全性を確保するために、軌道面から柱列状改良体を施工して橋台と連結する工法（以下、橋台背面对策工）が開発されている¹⁾。この橋台背面对策工に軌道座屈対策工を組み合わせることで、軌道の座屈安定性を高める効果が期待される。そこで、特に地震時の座屈安定性が低下すると想定される橋台背面盛土について、橋台背面对策工で補強した構造物模型上に軌道座屈対策工がない条件とある条件の軌道模型（複線）を設置し、大型振動台試験²⁾（図1）により地震時における軌道座屈安定性を評価した。

2. 試験方法

構造物・軌道一体型模型を図2～図4に示す。土構造物の相似則³⁾に従い、模型寸法を設定した。模型は縮尺1/9として、橋台、橋台背面盛土、RC桁式橋りょう、複線の軌道を模擬した。橋台背面对策工は機械攪拌等により、まくらぎ両端付近にφ800mm程度の地盤改良体を柱列状に施工したものを想定し、模型ではアルミ製フレームの内部に発泡モルタルを打設して製作した。橋台模型はアルミ・鋼製とし、橋台背面对策工模型と橋台模型は、橋台前面からボルトで連結した。軌道座屈対策工側の橋台背面对策工模型には、改良深さが段階的に浅くなる逆台形状の改良を模擬して、橋台背面对策工模型端部に延長200mmごとに改良深さが200mmずつ浅くなるように木材を設置した。模型地盤材料は、気乾状態の東北硅砂6号を使用し、支持層を相対密度 $D_r=90\%$ 、前面盛土および背面盛土を相対密度 $D_r=60\%$ で構築した。本試験では背面盛土枠により、背面盛土が線路直角方向に崩壊しない条件とした。模型端部での軌道座屈を防止する目的で橋台背面盛土側の軌道模型端部から500mmの範囲はセメント改良れき区間を設けて沈下対策を行った。路盤模型は、5.6mm以下のふるいを通過したクラッシュランを層厚30mmで乾燥密度 1.97t/m^3 ($D_c=93\%$)で締め固めた。軌道座屈対策工を設置した側の軌道直下のみ、路盤改良を実施した。路盤改良は、上記の路盤材にセメントを路盤材の乾燥重量の10%添加したセメント安定処理材を用い、 2.26t/m^3 ($D_c=96\%$)で作製した。バラスト模型および軌道模型

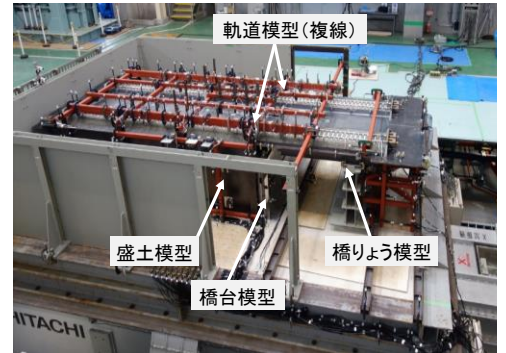


図1 大型振動台試験の状況

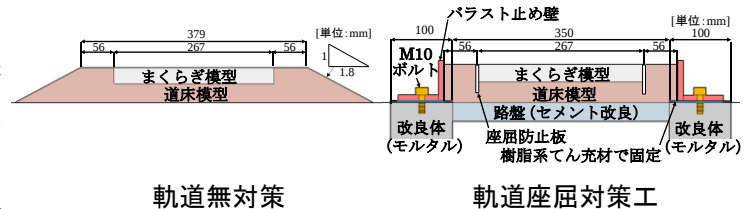


図2 軌道模型

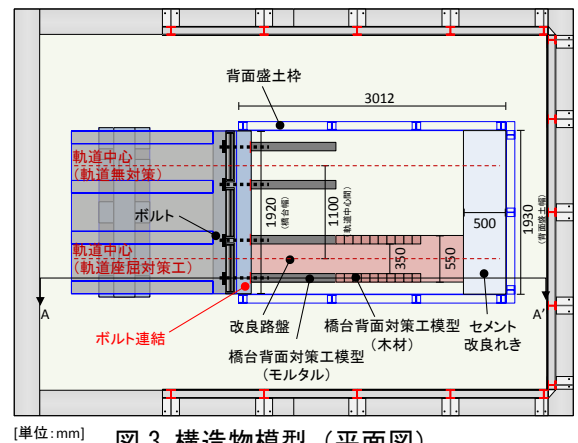


図3 構造物模型（平面図）

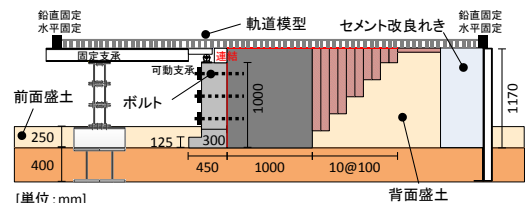


図4 構造物模型（A-A'断面図）

キーワード バラスト軌道、構造物境界部、大型振動台試験、地震時座屈安定性、橋台背面对策工、軌道座屈対策工
 連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 Tel 042-573-7276 Fax 042-573-7413

は参考文献 4)を参照した。軌道座屈対策工は座屈防止板およびバラスト止め壁を組み合わせたものとした。橋台背面盛土上のバラスト止め壁は橋台背面对策工模型と一体化させ、バラスト止め壁の滑動・転倒を防止する構造とした。加振前には、模型レール頭頂面に電熱線をアルミテープで接着させ、加熱装置を用いて $\Delta t=40^{\circ}\text{C}$ で軌道模型に軸力を与えた。加振条件は、相似則³⁾に従い加振波を調整し、実地震波の地表面地震動の時間軸を圧縮した波形および正弦波(2方向同時、線路方向3Hz、線路直角方向9Hz)とし、2方向(線路、線路直角方向)で与えた。実地震波は、十勝沖地震における八戸港湾での観測(以下、八戸波)、兵庫県南部地震における神戸での観測(以下、神戸波)の応答波を用いた。加振はL1地震動(1方向ずつ)、L2地震動(八戸波、神戸波)、正弦波100gal、200galの順に700galまでステップ加振した。加振波の例を図5に示す。

3. 試験結果

図6および図7にまくらぎ水平変位の分布を示し、まくらぎ水平変位には初期変位2mmを加えておらず、ステップ加振の累積変位とした。神戸波加振後のまくらぎ水平変位は軌道無対策が最大4.1mm、軌道座屈対策工では最大2.6mmであった。正弦波400gal加振後のまくらぎ水平変位は、軌道無対策が最大3.2mm、軌道座屈対策工では最大3.3mmであり、600gal加振では軌道無対策が最大38mm、軌道座屈対策工では最大6.3mmであり、軌道無対策は大きく座屈した。また、軌道無対策では、橋台背面盛土で浮きまくらぎが生じるとともに道床形状が大きく崩れた。一方、軌道座屈対策工では改良体にバラスト止め壁を一体化することで、バラスト止め壁の転倒が抑制され、正弦波700galの加振に対してもまくらぎ水平変位が最大12.5mm(軌道無対策は最大71mm)であり、軌道の座屈を抑制する効果が得られることを確認した(図8)。

4. まとめ

橋りょうと盛土の構造物境界部において、橋台背面对策工の効果により橋台背面盛土の沈下量は低減したが、軌道無対策の場合では、背面盛土の体積圧縮に伴うゆすり込み沈下およびまくらぎ肩部のバラストが崩壊することで道床横抵抗力が低下し、軌道座屈が発生した。一方、橋台背面对策工にバラスト止め壁を一体化させ、座屈防止を設置する軌道座屈対策工を組み合わせると、正弦波700galの加振に対しても座屈を抑制する効果が得られた。

参考文献 1) 池本宏文、高崎秀明、藤原寅士良、佐名川太亮、西岡英俊：柱列状改良体の連結による橋台耐震補強工法に関する実験的検討、土木学会論文集 A1、Vol.73、No.4、pp.I_679-I_693

2) 牛田貴士、佐名川太亮、西岡英俊、中村貴久、桃谷尚嗣：耐震補強した橋台・背面盛土・軌道一体模型の大型振動台実験(その1：実験方法)、地盤工学研究発表会概要集、Vol.53、2018(投稿中)

3) 香川崇章：土構造物の模型振動実験における相似則、土木学会論文集、No.275、1978。

4) 中村貴久、吉川秀平、桃谷尚嗣、伊地知卓也、木次谷一平：構造物・軌道一体型模型を用いた大型振動台試験による軌道座屈安定性の評価、第73回土木学会年次講演会、2018.9(投稿中)

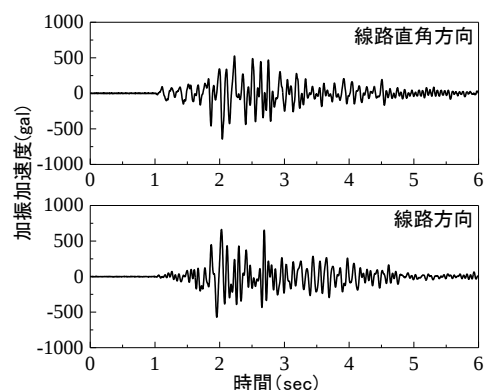


図5 加振波の例(神戸波)

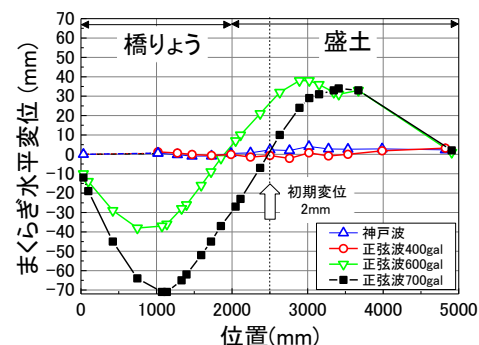


図6 水平変位と位置(軌道無対策)

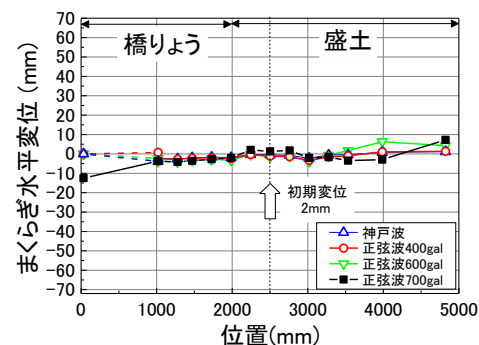


図7 水平変位と位置(軌道座屈対策工)



図8 加振後の状況(正弦波700gal後)