

実物大模型による FWD を用いた軌道支持剛性評価法の検証

公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 ○伊藤孝記 中村貴久 村本勝己

1. はじめに

筆者らは、まくらぎ端部において小型 FWD (以下、FWD) ¹⁾ 測定を行うことで、軌道補修の高品質化を目的とした軌道補修後の力学的な施工管理方法 (以下、軌道支持剛性評価法) の開発を進めている ²⁾。

本評価法は、FWD 測定から得られるまくらぎの支持剛性を評価するまくらぎ支持ばね係数 (以下、 K_s) と、まくらぎの支持状態を評価する応答変位遅延時間 (以下、 T_D) を評価指標として用いるものである。これまでに試験線および営業線の軌道補修においてその有効性を検討したところ、軌道補修前後のつき固め補修効果を定量的に評価できるが、経時変化に伴う軌道変位の推移との関連に課題があった。

そこで、新バラストと細粒土混入バラストの道床を用いた実物大模型に対して繰返し載荷試験を行い、 K_s および T_D ならびにまくらぎ変位振幅の関係性を定量的に把握することとした。本報では、得られた知見を報告する。

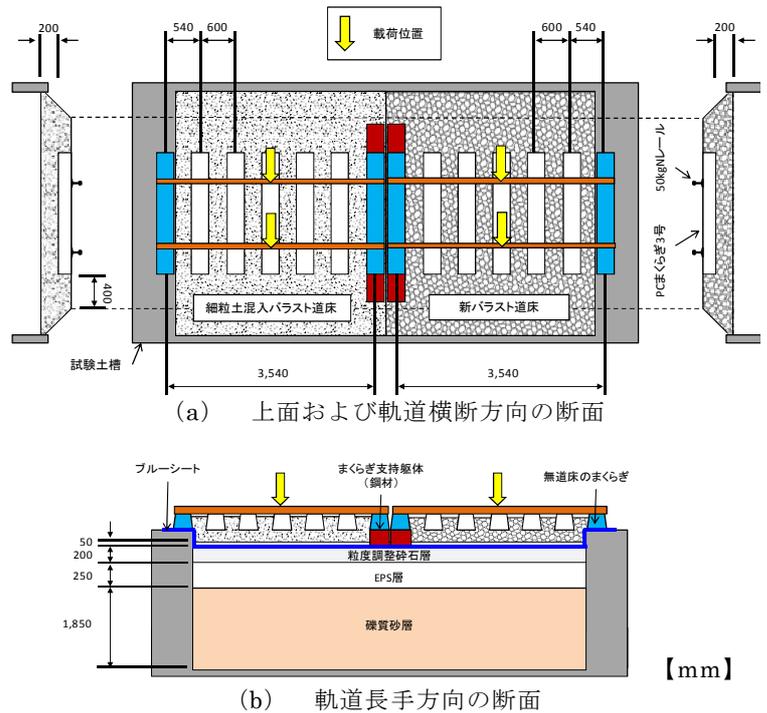
2. 実物大模型試験

本評価法の評価指標である K_s および T_D とまくらぎ変位の関係を検討するため、新バラストと細粒土混入バラストの道床を用いた実物大模型軌道による繰返し載荷試験を行った。

図 1 に実物大模型の概要を示す。模型路盤は、軌道変位進みが比較的大きくなるように、路盤剛性を比較的低い K_{30} 値 50MN/m^3 に設定し、FEM 解析を用いて層構成を決定した。軌道模型は、まず、路盤上に細粒土混入バラストもしくは新バラストを厚さ 180mm となるように投入して振動バイブレーターで締め固め、軌きょうを設置する。その後、道床厚 200mm となるように 20mm 打上してタイタンパー補修を行い、レールレベルを調整した。細粒土混入バラストは、M-40 の乾燥重量に対して 10% のカオリンを添加して作製した。なお、列車の繰返し通過により密に締め固まった道床状態を模擬するため、新バラストは単位体積重量試験結果を考慮して密度 1.6t/m^3 、細粒土混入バラストは密度 2.0t/m^3 (締め固め密度比 D 値 $=90\%$)

で締め固めて構築した。図 2 に各ケースの道床状態を、図 3 にバラストの粒度分布を示す。また、軌道模型の両端のまくらぎを無道床とすることで、浮まくらぎが発生しやすい条件とした。

載荷条件は、載荷荷重が $5\sim 105\text{kN}$ と $5\sim 165\text{kN}$ の 2 条件で、載荷周波数 5Hz の正弦波、載荷回数 60 万回とした。また、 30 万回載荷後に降雨時の影響を考慮するため、まくらぎ周辺に散水 (10L/m^2) を行った。FWD 測定は、表 1 に示す載荷回数において、載荷を中断して実施した。FWD の載荷条件は、重錘 10kg 、落下高さ 500mm (作用荷重 7kN 程度) とした。



(a) 上面および軌道横断方向の断面
(b) 軌道長手方向の断面
図 1 実物大模型の概要

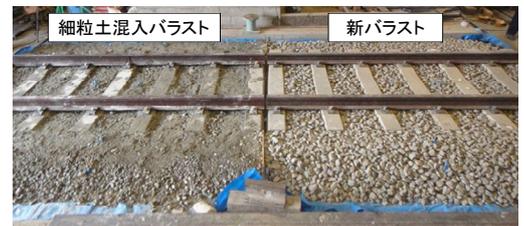


図 2 各ケースの道床状態

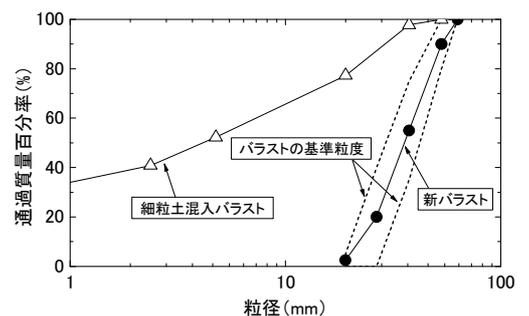


図 3 バラストの粒度分布

表 1 FWD 測定のタイミング

FWD測定を行った載荷回数	備考
載荷前	載荷試験前
100回載荷後	
1,000回載荷後	
10,000回載荷後	
300,000回載荷後 (散水前)	
300,000回載荷後 (散水後)	散水後
300,100回載荷後	載荷荷重 $5\sim 105\text{kN}$ のみ実施
301,000回載荷後	
310,000回載荷後	
600,000回載荷後	載荷試験後

キーワード：FWD、軌道支持剛性、まくらぎ支持ばね係数、応答変位遅延時間

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 軌道・路盤 tel 042-573-7276

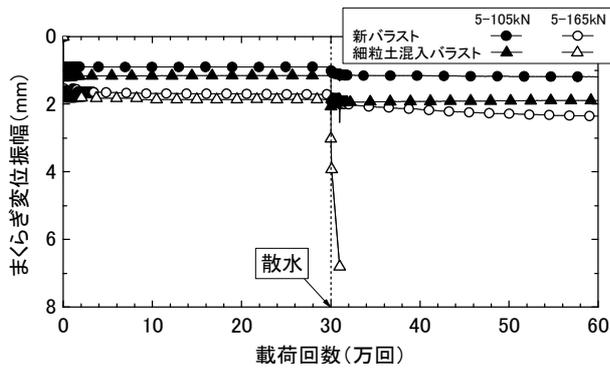


図4 まくらぎ変位振幅の推移

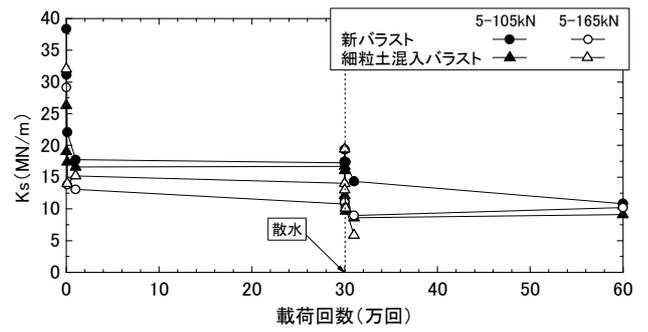


図5 K_sの推移

図4に、各ケースの荷点直下のまくらぎにおけるまくらぎ変位振幅（まくらぎ両端の平均値）の推移を示す。各荷条件ともに散水直後に変位振幅が進行する傾向を示した。なお、細粒土混入バラストの荷重5～165kNにおいて、散水直後（31万回）に著大な変位が発生したため、荷試験を中断した。

図5および図6に、K_sおよびT_Dの推移を示す。K_sおよびT_Dは、まくらぎ両端の平均値を用いた。K_sは各ケースともに荷1万回までに顕著に減少し、その後30万回まで一定に推移した。散水後に若干減少したものの、荷31万回以降概ね一定に推移した。K_sの推移とまくらぎ変位振幅の推移を比較すると、概ね同様の傾向であることが確認された。

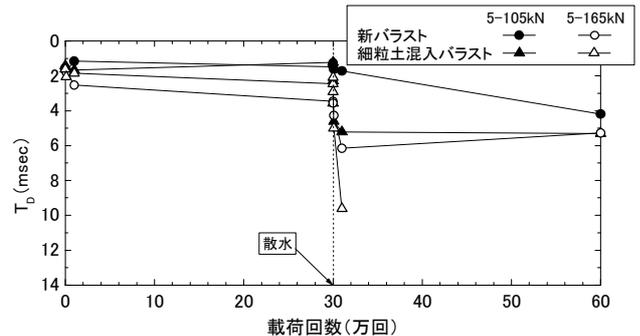


図6 T_Dの推移

T_Dは各ケースともに荷30万回まで概ね一定に推移し、散水後には新バラストの荷重5～105kNと細粒土混入バラストの荷重5～165kNにおいて増加が確認されたが、その他のケースにおいては荷60万回まで概ね一定に推移した。T_Dの推移とまくらぎ変位振幅の推移を比較すると、K_sの推移と同様に、概ね同様の傾向であることが確認された。

3. まくらぎ変位振幅と軌道支持剛性ととの関係

実物大模型試験により、K_sおよびT_Dの推移とまくらぎ変位振幅に相関関係があることが確認されたことから、その関係の定式化を行った。表1に示す荷回数における、各ケースの各荷重におけるK_sおよびT_Dとまくらぎ変位振幅で整理した。なお、ここではまくらぎ端部毎で整理することとした。

図7に荷点直下におけるまくらぎ端部毎のK_sとT_Dの関係を示す。同図より、K_sとT_Dは、非線形の相関関係にあることを確認した。

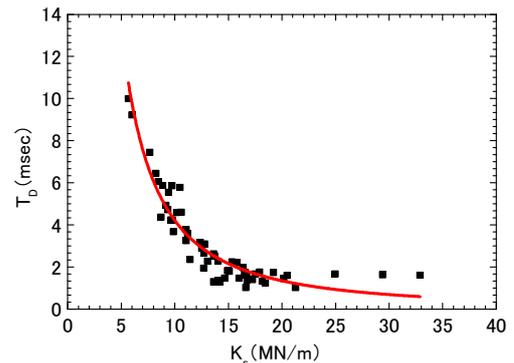


図7 K_sとT_Dとの関係

図8にまくらぎ端部毎のK_sとまくらぎ変位振幅の関係を示す。同図より、曲線近似により定式化することで、K_sから原位置におけるまくらぎ変位振幅(H_{Ks})を推定することが可能となる。

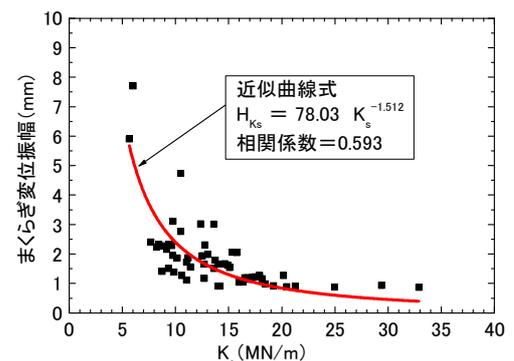


図8 K_sとまくらぎ変位振幅の関係

4. まとめ

以上の結果より、近似式を用いることで、FWD測定結果から、列車荷重（1軸）が作用した際の原位置におけるまくらぎ変位振幅を推定することができると考えられる。

なお、本報で示すK_sとまくらぎ変位振幅の関係式は、軌道諸元が50kgNレール、PCまくらぎ3号および実物大模型の路盤条件の結果を基にしたものであり、軌道諸元が異なる場合では、K_sとまくらぎ変位振幅の関係式を、別途、試験および解析等によって検討する必要がある。

(参考文献)

- 1) 舗装工学委員会編：FWDおよび小型FWD運用の手引き，土木学会，2002。
- 2) 伊藤老記，中村貴久，佐野禎：FWDを用いた軌道支持状態の評価に関する研究，日本鉄道施設協会誌，第52巻，2014.2