

各種軌道条件下におけるバラスト軌道の支持剛性に関する 3 次元線形 FEM 解析

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○谷川 光 中村貴久 桃谷尚嗣

1. はじめに

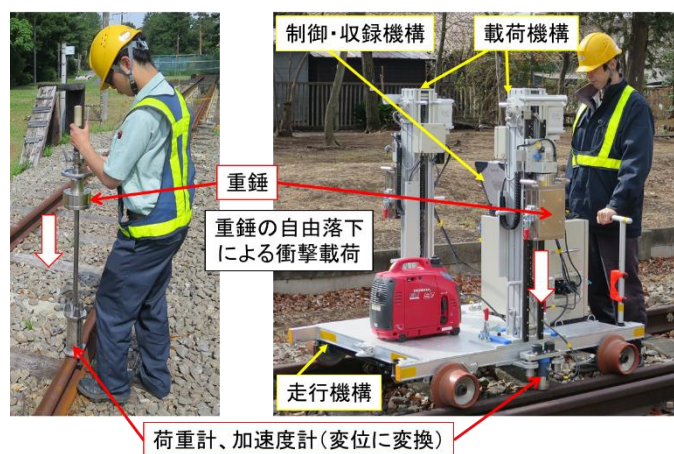
鉄道総研では、バラスト軌道上で重錘落下試験を行い、その支持剛性を評価する方法を開発している¹⁾。これまでに、小型 FWD 試験装置（レール片側またはまくらぎに 7kN 荷重。以下、小型 FWD）や軌道支持剛性測定装置（両レールに軸重 40kN 荷重。以下、RFWD）を用いた検討を行っている（図 1）。その結果、測定結果から浮きまくらぎを判別することができ、測定された軌道支持剛性と軌道変位が類似した分布形状を示すことなどがわかっている。しかしながら、荷重方法の違いやレール種別、まくらぎ間隔、路盤・路床剛性といった各種軌道条件が測定される軌道支持剛性に及ぼす影響については検討が不十分であった。

そこで、本研究では、各種軌道条件および荷重方法をパラメータとした 3 次元線形 FEM 解析を行い、得られた軌道支持剛性について考察を行った。

2. 解析モデル

解析モデルの形状を図 2 に、要素の物性値を表 1 に示す。解析モデルは、まくらぎ 7 本分の延長とし、3 号 PC まくらぎを使用した在来線直線区間のバラスト軌道を想定した形状とした。荷重は、小型 FWD（レール片側に 7kN）または RFWD（両レールに軸重 40kN）を用いた試験を想定し、軌きょう中央のまくらぎ位置のレールに静的に与えた。軌道条件のパラメータは、①レール種別（50kgN レール・60kg レール）、②まくらぎ間隔（568mm・676mm・764mm）、③道床厚（150mm・200mm・250mm）、④路盤・路床剛性（ K_{30} 値=30MN/m³・70MN/m³・110MN/m³・140MN/m³）の 4 種類とした。

解析モデルのまくらぎ要素下面とバラスト道床上面の間には、接触要素を設け、節点は共有していない条件とした。なお、まくらぎ要素下面とバラスト道床上面の間には隙間は設けていないことから、本解析で得られる結果はつき固め補修直後の軌道状態に相当するものとなる（浮きまくらぎは考慮していない）。解析結果は、与えた荷重（片レール分）を載荷位置のレール鉛直変位で除して「軌道ばね係数（MN/m）」を算出して整理した。



a) 小型 FWD b) RFWD

図 1 軌道支持剛性の測定状況

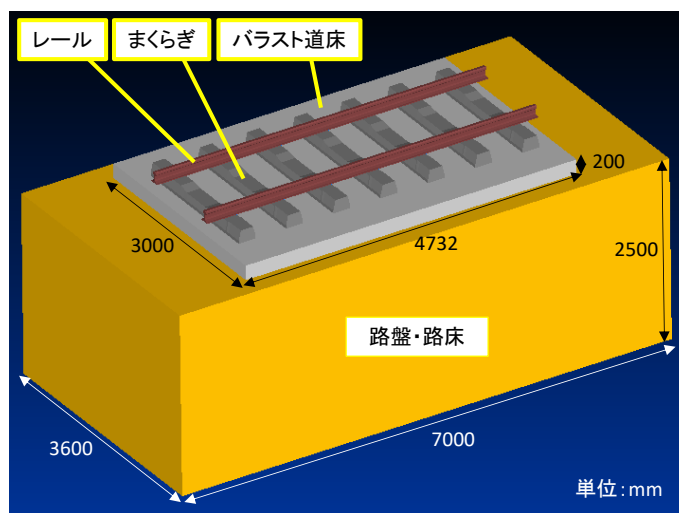


図 2 解析モデルの形状

(まくらぎ間隔 676mm, 道床厚 200mm の場合)

表 1 要素の物性値

要素	要素の種類	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比	備考
レール	ソリッド	206000	0.3	
軌道バッド	スプリング	—	—	110MN/m
まくらぎ	ソリッド	35000	0.2	
バラスト道床	ソリッド	100	0.3	基準粒度内のバラストを想定
路盤・路床	ソリッド	18.3	0.3	K_{30} 値=30MN/m ³ を想定
		42.6	0.3	K_{30} 値=70MN/m ³ を想定
		67	0.3	K_{30} 値=110MN/m ³ を想定
		85.3	0.3	K_{30} 値=140MN/m ³ を想定

キーワード バラスト軌道, 軌道支持剛性, 軌道条件, 3 次元線形 FEM 解析

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 TEL042-573-7276

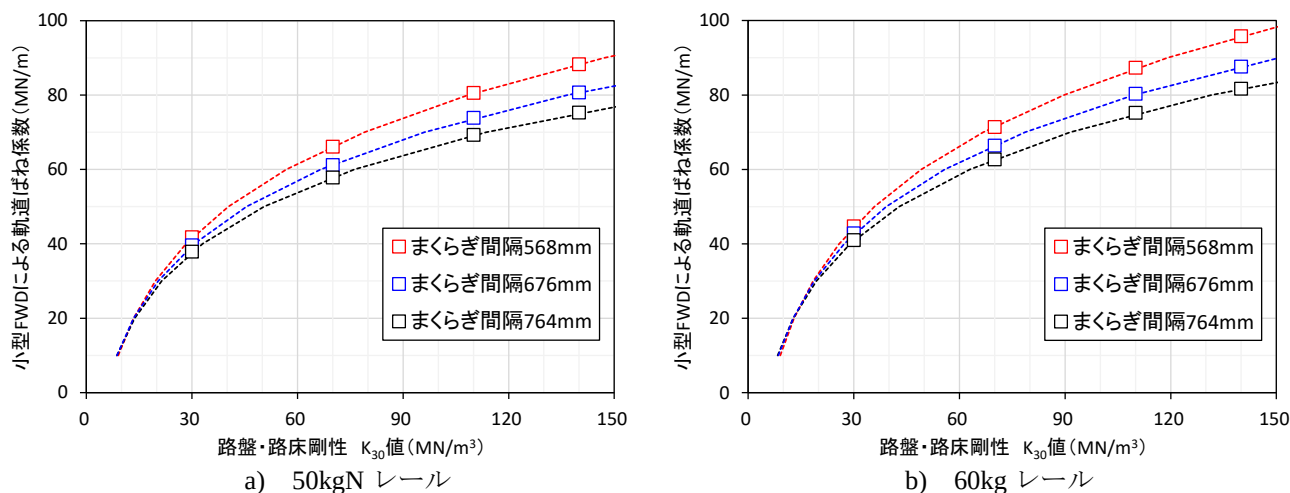


図3 解析結果 (小型 FWD 試験想定ケース：レール片側に 7kN 载荷)

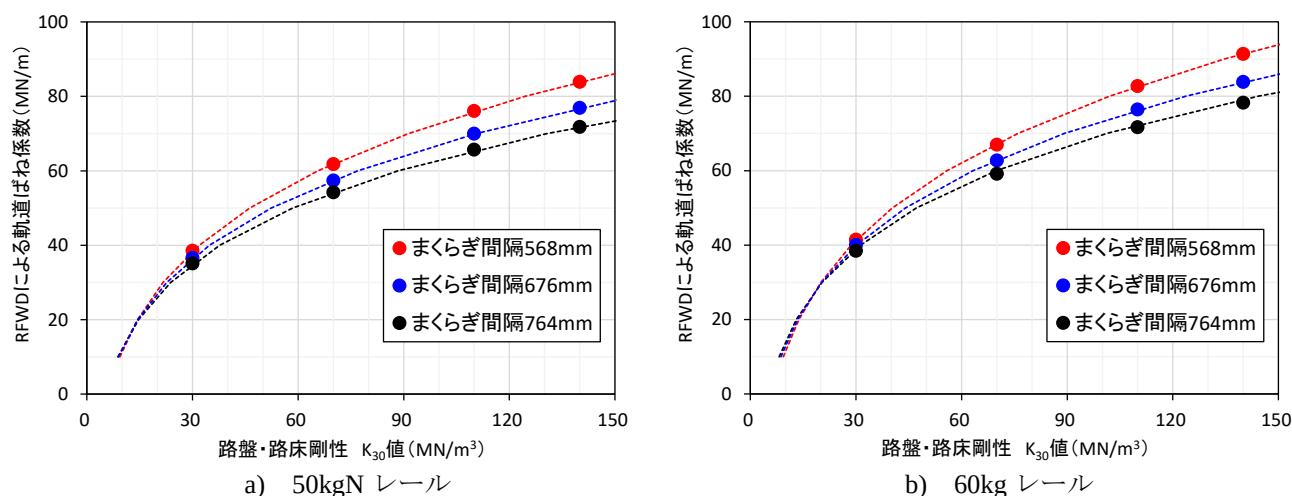


図4 解析結果 (RFWD 試験想定ケース：両レールに軸重 40kN 载荷)

3. 解析結果と考察

図3および図4に、路盤・路床剛性と「軌道ばね係数」の関係およびそれぞれの結果に対する回帰線を示す。なお、道床厚のパラメータに関しては、道床厚によらず「軌道ばね係数」は概ね同値となることが確認されたことから、道床厚の影響は非常に小さいことがわかった。

解析結果より、軌道および路盤・路床の条件によって「軌道ばね係数」が変化することがわかる。本解析は、浮きまくらぎは考慮しておらず、つき固め補修直後の軌道状態を想定したものとなっている。そのため、本解析の結果から、軌道および路盤・路床の条件によってつき固め直後の「軌道ばね係数」の上限値が異なると考えられる。

レール種別に着目すると、試験方法 (小型 FWD, RFWD) によらず、50kgN レールに比べて 60kg レールの「軌道ばね係数」は、7~10%程度大きくなる結果となった。また、まくらぎ間隔および路盤・路床剛性に着目すると、試験方法 (小型 FWD, RFWD) によらず、まくらぎ間隔が小さくなるか路盤・路床剛性が大きくなると、「軌道ばね係数」が大きくなることもわかる。载荷方法の違いについては、小型 FWD を想定したケースでは RFWD を想定したケースに比べて「軌道ばね係数」が 4~9%程度大きくなった。

「軌道ばね係数」は路盤・路床剛性の影響を強く受けることから、小型 FWD または RFWD で得られた「軌道ばね係数」を用いて、軌道直下の路盤・路床剛性を推定できる可能性があると考えられる。軌道上からの路盤剛性の推定に関しては、今後検証を進めていく予定である。

参考文献

- 1)中村, 桃谷, 谷川, 吉川, 木次谷: バラスト軌道における軌道支持剛性評価方法の開発, 鉄道総研報告, Vol.31, No.12, pp.29-34, 2017.12