

小型 FWD による鉄まくらぎのレール支持ばね係数の推定

日本貨物鉄道(株) 正会員 ○岡本 学
 日本貨物鉄道(株) 吾郷 太寿
 北海学園大学 正会員 上浦 正樹

1. はじめに

JR 貨物では、木まくらぎの腐食による軌間拡大等の対策として、交換周期が長く安価に軌間拡大を防ぐことができるとして、鉄まくらぎを導入している。鉄まくらぎは開放形状(おわん形で空洞となっている)をしていることから、鉄まくらぎの中空内部にバラストを充填するが、充填が十分でない鉄まくらぎの曲げ剛性(EI)と単位長さあたりのレール支持ばね係数(k)に影響を与える。一方、鉄まくらぎの中空内部におけるバラストの充填状態は外部から観察できない。そこで本研究ではまくらぎの曲げ剛性(EI)と単位長さあたりのレール支持ばね係数(k)を推定する方法¹⁾により、これらの値から鉄まくらぎの単位長さあたりのレール支持ばね係数(k)を求め、バラストの充填状態を推定することとした。

2. 小型 FWD による载荷

小型 FWD は重錘を落下させてハーバーサイン波形の衝撃荷重を与え、その変位を測定するものである。これを用いた既往の研究では木まくらぎの曲げ剛性(EI)は健全なもので $5\sim 8(\times 10^9 \text{ Ncm}^2)$ であった。また単位長さあたりの支持ばね係数(k)は $1.5\sim 2(\times 10^3 \text{ N/cm}^2)$ であった¹⁾。また充填が十分な鉄まくらぎの曲げ剛性(EI)は $3.75(\times 10^9 \text{ Ncm}^2)$ と報告されている²⁾。今回使用した小型 FWD の重錘の質量は 15kg であり、その落下高さは 40cm であった。これにより小型 FWD 試験の载荷荷重の最大値は約 10kN であり、载荷の開始からピークまでの時間は約 9ms であった。加えて外部たわみセンサーを用いて载荷時の変位を測定した。荷重と変位ともサンプリング間隔は 0.05ms であった。これらに基づき载荷により発生する鉄まくらぎの変位を測定し、鉄まくらぎ全体のたわみ曲線(A)を推定した。

3. 弾性支承上の有限はりモデル¹⁾

鉄まくらぎの剛性を $EI(\text{Ncm}^2)$ とし、鉄まくらぎ内のバラストがフランジ下面の道床バラストと一体として考えて単位長さあたりのレール支持ばね係数(k : N/cm^2)を用いて、鉄まくらぎと道床を支承上の有限はりモデル(図-1)と仮定した。このモデルにおいて有限はりに荷重 P で载荷したときのたわみ曲線(B)を推定する。ここで鉄まくらぎがレールに締結している条件としてレールバネ定数 K を 500 N/cm 、レールのねじり剛性 C は 100 Ncm^2 を用いた。

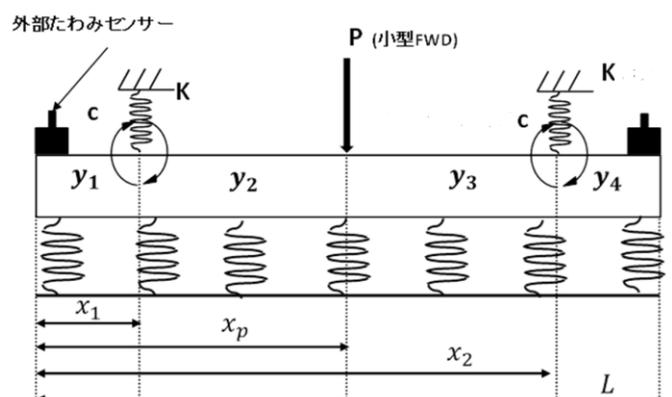


図-1 弾性支承上の有限はりモデル

位置を x_i とたわみ量を y_i における4ケースの局所座標(x_i, y_i)において、解析条件として左右のレール下や载荷点では、変位、せん断力、たわみ角、モーメントの各連続性を満たすこととした。鉄まくらぎの曲げ剛性(EI)と単位長さあたりのレール支持ばね係数(k)の最適値を確定するため、 EI は $1 \times 10^8 \sim 50 \times 10^8(\text{Ncm}^2)$ の間の $1 \times 10^8(\text{Ncm}^2)$ の刻みとし、 k は $100 \sim 2,000(\text{N/cm}^2)$ の間の $10(\text{N/cm}^2)$ の刻みとした。本モデルにこれらの値を組み合わせ、小型 FWD 試験の载荷荷重からたわみ曲線(B)を求めた。以上から小型 FWD 試験から求めたたわみ

キーワード 鉄まくらぎ, レール支持ばね係数, 小型 FWD, 有限はりモデル, 曲げ剛性

連絡先 〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷 5-33-8 サウスゲート新宿

日本貨物鉄道株式会社 鉄道ロジスティクス本部 保全工事事部 TEL 03-5367-7408

曲線(A)と本モデルによるたわみ曲線(B)の差が最少となる鉄まくらぎの曲げ剛性(EI)と単位長さあたりのレール支持ばね係数(k)の組み合わせを求めた。

4. 室内試験

室内試験ではコンクリート床上に縦2.5m, 横1.5m, 深さ0.5mの土槽にフランジ下面から20cmまでバラストを敷設し鉄まくらぎを設置した。鉄まくらぎ内のバラスト充填率0%における小型FWD試験で得られたたわみ曲線(A)の例を図-2に示す。次に有限はりモデルによるEI, kを各刻みに従って計算したたわみ曲線(B)とたわみ曲線(A)との差によるコンター図(図-3)を示す。ここで赤色が濃いほど差が小さいことを示す。以上から, EIは $2.9(\times 10^9 \text{ Ncm}^2)$ で, 既往の研究で充填が十分な鉄まくらぎのEIの77%であった。また, kは $1.04(\times 10^3 \text{ N/cm}^2)$ であった。一方, 鉄まくらぎ内のバラスト充填率100%における小型FWD試験において同様の方法で得られたEIは $3.7(\times 10^9 \text{ Ncm}^2)$ で, 既往の研究で充填が十分な鉄まくらぎのEIとほぼ同じであった。また, kは $1.32(\times 10^3 \text{ N/cm}^2)$ であった。

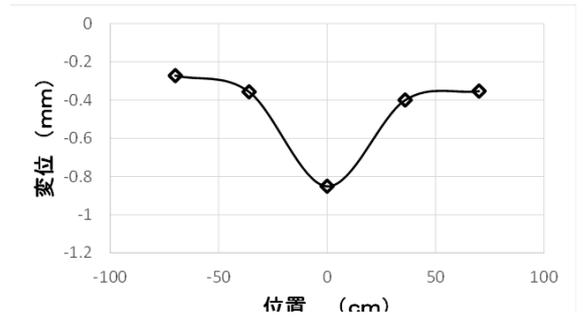


図-2 たわみ曲線(A) (室内: 充填率 0%)

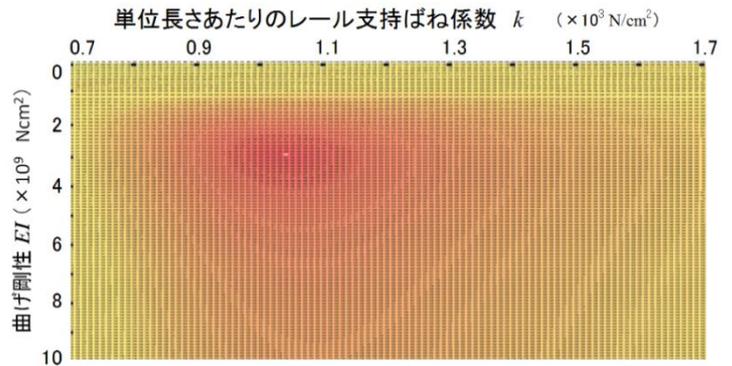


図-3 コンター図 (室内: 充填率 0%)

5. 現場試験

JR 貨物札幌貨物ターミナルの荷役線において土路盤上のバラスト道床(厚さ150mm)に敷設された鉄まくらぎに対し室内試験と同様な方法で試験を行った。ここで充填状態の判定は小型FWDによる沈下量が500kNに対して0.25mm以下の充填状態を良とし, 0.5mm以上の充填状態を不良とした。図-4は充填状態が良における小型FWD試験で得られたたわみ曲線(A)と有限はりモデルによるたわみ曲線(B)の差のコンター図である。この結果から, 差の最小値におけるEIは $3.9(\times 10^9 \text{ Ncm}^2)$ でkは $1.32(\times 10^3 \text{ N/cm}^2)$ であった。同様の方法で充填状態が不良において求めたEIは $3.0(\times 10^9 \text{ Ncm}^2)$, kは $0.752(\times 10^3 \text{ N/cm}^2)$ であった。

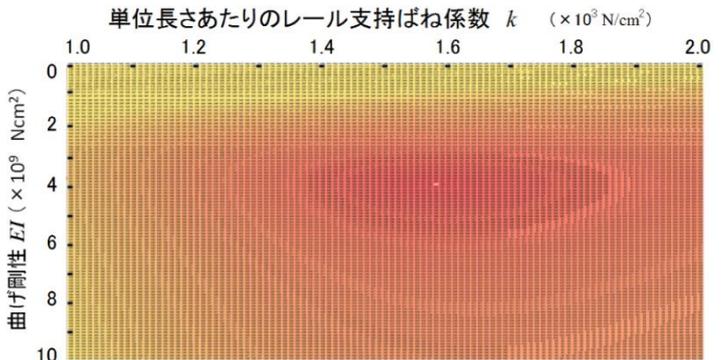


図-4 コンター図 (現場: 充填状態 良)

6. まとめ

以上から, kの値において現場での充填状態の不良が室内0%より小さいのは土路盤とコンクリート床の違いに起因しているものと思われるが, 現場試験における充填状態の良と不良ではkの値が2倍近く異なる。よって本研究の方法により単位長さあたりのレール支持ばね係数(k)を指標に鉄まくらぎの充填状態の良・不良の判定が可能であることが明らかになった。

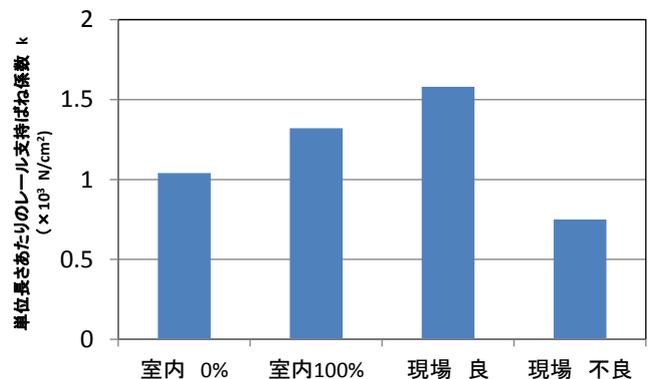


図-5 充填状態の比較

参考文献

1) 上浦, 高橋: HFWDを用いた木まくらぎ検査の一手法 土木学会第49回年次学術講演会1994, 2) 上浦ら: 鉄まくらぎ分岐器のまくらぎ間隔拡大に関する研究, 土木学会論文集 No.667/IV-50 pp157-164, 2001