

レール面上載荷による軌道バラスト強度推定に関する研究

Research on the stiffness of the ballast loaded on the one-side of the track

北海学園大学工学部土木工学科	○学生員	大崎佳裕 (Yoshihiro Ohsaki)
北海学園大学大学院	学生員	皆木孝英 (Takahide Minaki)
北海学園大学工学部	正 員	上浦正樹 (Masaki Kamiura)

1. はじめに

軌道の基本構造は『レール』、『枕木』、『バラスト』、『路盤』等で構成されている。この軌道は、列車の荷重を繰り返し受けることなどにより、枕木下部が欠損し、枕木の支持力が失われたり、道床の材料であるバラストが細粒化、または固結を起こし、レールの沈下等が発生するという現状におかれている。このような軌道狂いは、基準値内に維持し、安全性を確保すべきであるが、基準値を超えると補修を行わなければならない^{1) 2)}。

2. 研究目的

本研究では、軌道狂いの原因となるバラストの劣化に着目し、小型 FWD を用いてレール上に衝撃荷重を与え、左右のレール方向（縦方向）、及び枕木方向（横方向）のたわみを測定する。また、実験での締結装置については、“両締結”・“片側締結解除”・“両締結解除”の3パターンで測定を行い、各点で得られるたわみからレール支持バネ係数・枕木支持バネ係数を比較する。

さらに、バラスト軌道の剛性を確保する事により効果的な軌道の保守計画を行う為、維持・管理・補修の指標である枕木支持バネ係数 k_2 を求め、その値について検討する。

3. 小型FWD

小型 FWD とは、FWD を小型・簡略化し持ち運びを可能にしたもので、落下重錘を落して速度計とロードセルにより測定した変位量と荷重から、弾性係数 E や地盤反力係数 k を推定する機器である。鉄道において小型 FWD は、狭間で道路の平板載荷試験や FWD による測定が困難な箇所や、施工延長が短く測定数の少ない盛土工事などの品質管理に用いることを基本としている。小型 FWD を図-3に示す。

4. 試験方法

小型 FWD を使用し、レール上に衝撃荷重を与え、レール方向・枕木方向それぞれのたわみを測定する。測定内容を以下に示す。

- ①締結装置・解除無し 枕木方向たわみ測定
- ②締結装置・解除無し 左右レール方向たわみ測定
- ③締結装置・片側解除 枕木方向たわみ測定
- ④締結装置・片側解除 左右レール方向たわみ測定
- ⑤締結装置・片側解除 枕木方向たわみ測定

※⑤では、締結装置を両方解除している為、小型

FWD の載荷位置は枕木中央となる。

試験場所は函館本線、苗穂駅構内の着発2番線（50N レール、PC枕木、砕石道床で厚さ200mm）の線路において2001年11月7日に現場試験を行った。実施



図-1 試験実施場所



図-2 実験風景

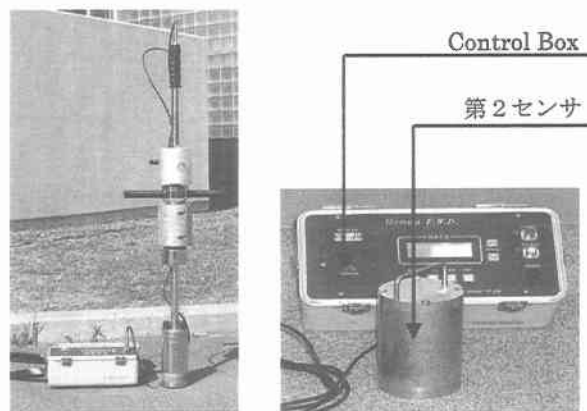


図-3 小型FWD

場所を図-1に、実験現場の風景を図-2に示す。

5. 試験結果

現場実験で得られたデータより、レール・枕木・バラスト・路盤という要素で構成される多層弾性理論により逆解析する。現場実験から得られたデータによる各点でのたわみの分布図を図-5、図-6に示す。

・締結装置・解除無し 左右レール方向

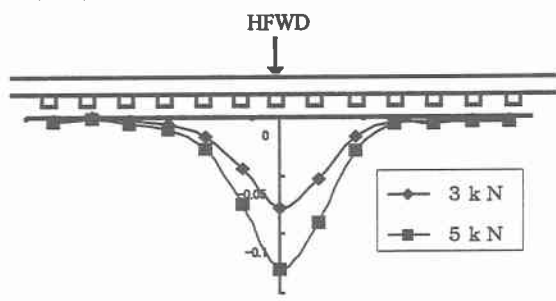


図-5 現場実験たわみ（左右レール方向）

・締結装置・解除無し 枕木方向

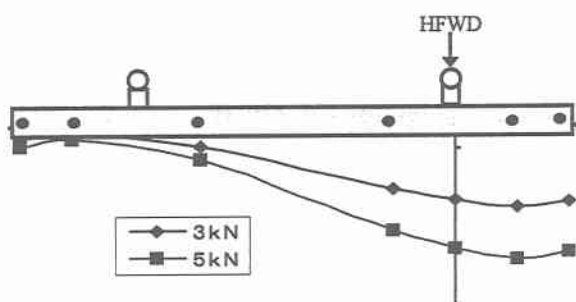


図-6 現場実験たわみ（枕木方向）

6. 解析方法

左右レール方向（縦方向）で得られた実験データから、レール支持バネ係数 k_1 を算出する。

$$P = k_1 \cdot \sum \delta_i \quad \dots\dots(1)$$

$$\left[\begin{array}{l} P : \text{落下荷重 (kN)} \\ k_1 : \text{レール支持バネ係数 (kN/m)} \\ \sum \delta_i : \text{左右レール方向測定時の総たわみ (m)} \end{array} \right]$$

次にレール支持バネ係数 k_1 を用い、実際に枕木やレールに伝達する荷重 P_0 を算出する。

$$P_0 = k_1 \cdot \delta_0 \quad \dots\dots(2)$$

$$\left[\begin{array}{l} P_0 : \text{枕木・レールに実際に伝達する荷重 (kN)} \\ \delta_0 : \text{レール上の小型FWD直下のたわみ (m)} \end{array} \right]$$

以上を用い、枕木方向（横方向）のデータから枕木支持バネ係数 k_2 を算出する。

$$P_0 = k_2 \cdot \sum \delta_j \quad \dots\dots(3)$$

$$\left[\begin{array}{l} k_2 : \text{枕木支持バネ係数 (kN/m)} \\ \sum \delta_j : \text{枕木方向測定時の総たわみ (m)} \end{array} \right]$$

上式より算出したレール支持バネ係数 k_1 、 P_0 、枕木支持バネ係数 k_2 の各落下荷重ごとにまとめたものを表-1に示す。

7. 解析結果

現場実験から得られた枕木支持バネ係数 k_2 は、枕木距離（PC枕木：2.0 m）を枕木方向の測定部位（5個）で割った値である0.4 mで割ったものが最終的な枕木支持バネ係数 k_2 となる。

表-1 バネ係数結果表

荷重 (kN)	k_1 (kN/m)	P_0 (kN)	k_2 (kN/m)
3kN	12685.526	9.876	3177.095
5kN	12686.170	16.460	3177.358

表-2 理論たわみプログラム結果表

荷重 (kN)	$k_2/0.4$ (kN/m ²)	E I (kN・m ²)
3kN	7942.737	1.06E+04
5kN	7943.396	

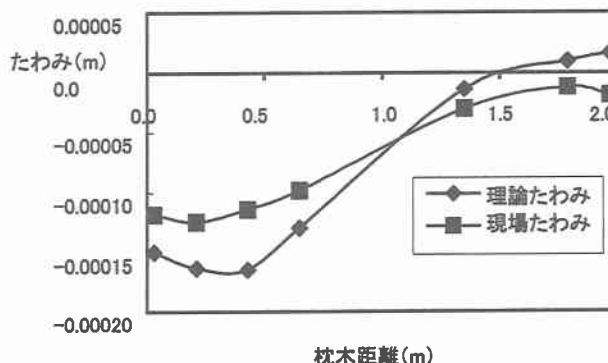


図-7 理論たわみと現場たわみの比較

この k_2 を0.4 mで除算した値を用いて、縦方向は3連モーメント、横方向では枕木変位を考慮した有限弾性梁支承モデルによるプログラムを使用し、曲げ剛性 EI とバネ係数 k を与えることでたわみの理論値曲線を算定する。

このプログラムから得られた理論たわみの値、及び曲げ剛性 EI を導いたものを表-2に示す。

8. 考察

現在までの実験結果では、落下荷重10 kNでレール上に小型FWDを落下させると、反対方向のレールにまで影響が及ぶと考えられていた。

今回の実験では、3 kNと5 kNで測定を行ったが、両締結と片締結での実験で得られた枕木支持バネ係数 k_2 には、ほぼ差がないという結果が得られた。よって、5 kNまでは反対方向のレールの締結を解除する必要があるということが分かった。

9. おわりに

今後の展望としては、積雪後の軌道の凍結状態での実験、及び小型FWDの第2センサから得られる変位置と、動ひずみ計から得られた変位置を比較し、両者の変位置より第2センサの変位置の正確さを立証し、更なる検討を行いたい。

最後に、今回御協力頂いたJR貨物北海道支社 保全課の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐藤吉彦：新軌道力学、pp.1-10、1997.
- 2) 高原清介：新軌道材料、pp.387-416、1985.