

道床バラストにおける剛性評価に関する一考察

北海学園大学大学院 学生会員 ○皆木 孝英
 北海学園大学 工学部 正会員 上浦 正樹
 (財)鉄道総合技術研究所 正会員 関根 悦夫
 室蘭工業大学 工学部 正会員 木幡 行宏

1. はじめに

道床バラストの剛性評価は、地盤支持力係数 K 値、弾性係数 E を用いて行われる。そしてその測定方法には平板載荷試験、FWD 試験、小型 FWD 試験、大型三軸試験、¹⁾ 表面波探査法等がある。そこで今回は道床バラストの剛性を測定する方法として、^{2) 3)} 物理探査のうち弾性波探査法の PS 検層法による測定を行った。

本研究は、弾性係数 E を小型 FWD の変位置量 d の測定から逆解析から求められる方法と ⁴⁾ Gurp らの提案式から求める方法、弾性探査法の弾性波 P 波・ S 波から求める方法とを比較し、道床バラストの剛性評価に対する弾性波探査法の適用性について検討したものである。

2. 試験試料

本試験に使用した試料は、実際の鉄道の道床部に用いられているものである。図-1に粒径加積曲線を示す。最大粒径 $D_{\max}=57.3\text{mm}$ 、平均粒径 $D_{50}=38.4\text{mm}$ 、均等係数 $U_c=1.60$ である。

3. 試験方法

すべての試験は、土槽（縦・横 1m、高さ 0.6m）に道床バラストを高さ 0.2m まで敷き詰め、ランマーによって突き固めたもので行った。密度 $\rho=1.54 \times 10^3 \text{kg/m}^2$ である。

3. 1 小型 FWD

小型 FWD を用いて、地盤に与えた最大衝撃荷重 F と地盤の変位置量 d を測定する。測定方法は小型 FWD を土槽の中心に設置し、重錘を落下させ、最大衝撃荷重 F と変位置量 d を測定する。図-2に小型 FWD 概要図を示す。

3. 2 PS 検層法

PS 検層法を用いて、原位置での P 波速度 V_P 、 S 波速度 V_S を測定する。測定方法は震源と地中 0.1m 部分に加速度計を配置し、重錘落下法・板たたき法により振動を発生させ、道床バラストを伝播する弾性波を 2 個の加速度計で検知し、加速度計検出間の位相時間差と震源距離とを計算することで弾性波速度を得る。板たたき法の場合には右打ちと左打ちの測定を行う。重錘落下法とは重錘を地面に落下させ衝撃を与えることによって P 波を発生させるための方法である。板たたき法とは地面に密着させた板を、水平方向に打撃することによって S 波を発生させる方法として用いられている。図-3に試験概要図を示す。

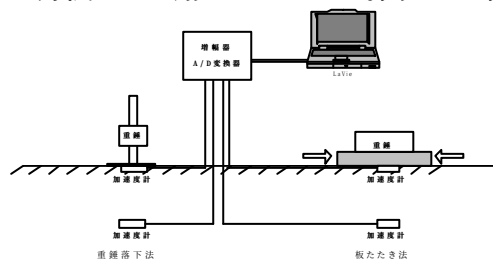


図-3 試験概要図

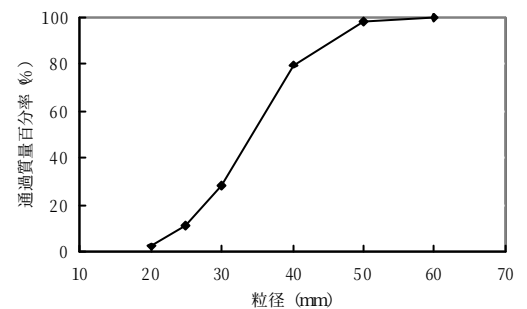


図-1 粒径加積曲線

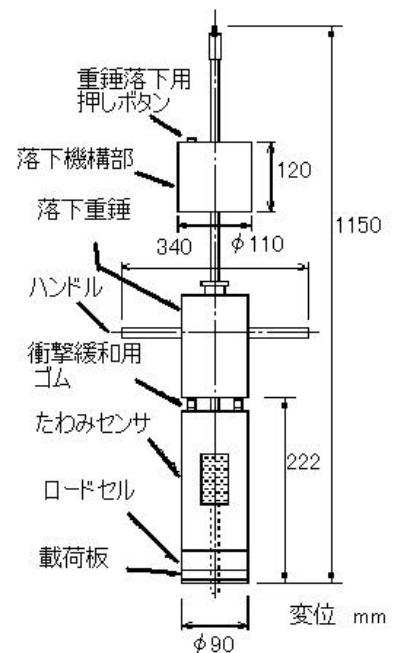


図-2 小型 FWD 概要図

キーワード：道床バラスト、弾性波探査、PS 検層法、逆解析、小型 FWD

連絡先：〒064-0926 北海道札幌市中央区南 27 条西 11 丁目 1-1、TEL：011-841-1161(内 767)、FAX：011- 551-2951

〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38、TEL：81-42-573-7276、FAX：81-42-573-7413

〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1、TEL：0143-46-5281、FAX：0143-46-5283

3. 測定結果

3. 1 小型 FWD

重錘を数回落下させ、荷重と変位がそれぞれ一定の値に収束した時に測定した結果、最大衝撃荷重 $F=1.94\text{kN}$ 、変位量 $d=0.301\text{mm}$ と値が得られた。

3. 2 PS 検層法

P 波と S 波の検出確認方法として、P 波は波形の立ち上がりの良し悪しを、S 波も同様に波形の立ち上がりとさらに右打ちと左打ちでは波形が反転していることを確認する。P 波の速度が、弾性波到達時間 0.0003s と震源距離 0.100m から $V_p=333.3\text{m/s}$ という結果が得られた。図-4 からも波形の立ち上がりも良く、P 波は検出できたと考えられる。S 波の速度については、弾性波到達時間 0.0007s と震源距離 0.105m から $V_s=150\text{m/s}$ という結果が得られた。図-5 から波形の立ち上がりも良く、右打ちと左打ちで波形が反転していることから、S 波も検出できたとはいえる。

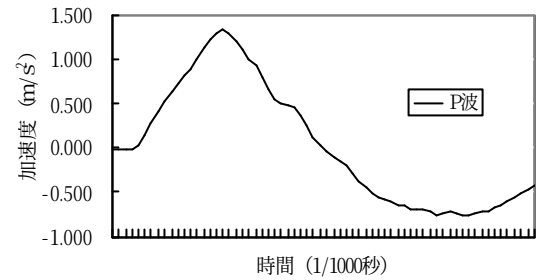


図-4 P 波形記録

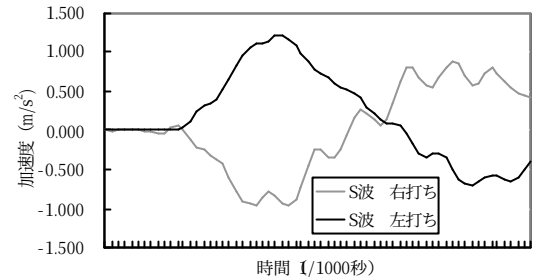


図-5 S 波形記録

4. 試験結果と考察

4. 1 小型 FWD—逆解析

小型 FWD の測定結果から弾性係数 E を逆解析にて求める。逆解析ソフトは ELSA を使用し、逆解析の条件として 2 層解析の上層 20cm の道床バラスト、下層をコンクリート路盤と設定して解析した結果、 $E_{\text{逆解析}}=67.3\text{Mpa}$ という値が得られた。

4. 2 小型 FWD—Gurp らの提案式

小型 FWD の測定結果から弾性係数 E を次式より求める。

そこで応力分散係数 $S=2$ 、ポアソン比 $\mu=0.35$ 、载荷盤半径 $a=45\text{mm}$ を式に代入する。

$$\text{弾性係数 } E = \frac{S \cdot (1-n^2) \cdot F}{p \cdot a \cdot d} \quad ; \quad E_{\text{Gurp}} = 90.0\text{Mpa} \quad \cdot \text{応力分散係数 } S=2 \quad \text{剛性板による载荷}$$

$$S=\pi/2 \quad \text{均一状態の载荷}$$

4. 3 PS 検層法

測定結果の $V_p=333.3\text{m/s}$ と $V_s=150\text{m/s}$ から弾性係数 E を次式より求める。

$$\text{ポアソン比 } n = 1/2 \cdot ((V_p/V_s)^2 - 2) / ((V_p/V_s)^2 - 1) \quad ; \quad \mu = 0.37$$

$$\text{剛性率 } G = r \cdot V_s^2 \quad ; \quad G = 34.7\text{MPa} \quad \text{弾性係数 } E = 2 \cdot (1+n) \cdot G \quad ; \quad E_{\text{PS}} = 87.4\text{MPa}$$

5. 考察

各試験結果から得られた弾性係数 E について比較する。PS 検層法と Gurp らの提案式から求めた値については、等しい結果が得られたといえる。PS 検層法と逆解析から求めた値については、やや離れた値となっているものの、試料の締固め具合や、測定機器の設置等を考慮するとほぼ同じ結果が得られたといえる。

6. おわりに

以上により、PS 検層法は小型 FWD から推定する方法と比較して妥当であることが明らかになり、本研究の方法においても道床バラストの剛性評価に適用できると考えられる。

今後の課題として、弾性探査法による道床バラストの剛性評価に関して現場での適用性を高めるために、弾性波探査データを蓄積し、他の試験結果との対比等、検討を深めていく必要がある。

<参考文献>

- 1) 村田修：「表面波探査法による道床バラストの剛性評価」年次学術講演会講演概要集 III-A359 1999.9
- 2) 土質工学会：「土質工学ハンドブック」社団法人 土質工学会 s51.11.15 p499-508
- 3) 佐々宏一、芦田譲、菅野強：「建設・防災技術者のための 物理探査」森北出版株式会社 1993
- 4) Christ van Gurp & Jacob Groenendijk：「Experience with various types of foundation tests」Unbound Aggregates in Road Construction 2000 p239-246