

弾性波（P波）速度を用いた鉄道バラストの剛性評価に関する研究

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○福中力也 桃谷尚嗣 中村貴久 木次谷一平 権藤 徹

1. はじめに

バラスト軌道で用いられるバラストは繰返しの列車荷重やタイタンパによるつき固め補修により、破碎・細粒化が進行すると、軌道沈下や道床噴泥などを引き起こす要因となる。バラスト軌道の維持管理の観点から、バラストの破碎・細粒化に伴う道床の状態を定量的に捉えることは重要である。

本研究では、建設分野や地盤調査分野等で広く用いられている弾性波に着目して、弾性波測定によるバラストの剛性評価を行った。バラストの破碎・細粒化度合い（以下、細粒化度合）に関する弾性波速度評価の基礎的検討を行ったので報告する。

2. 供試体を用いた弾性波測定の概要

本試験は、細粒分含有率（Fc）が異なる4つの試料でバラストの細粒化度合を設定した。細粒土混入バラストを再現するため、新品砕石とクラッシュラン、カオリン粘土を表1に示す割合で配合し、新品（Fc0%）からFc12%までを再現した。試料の粒度分布を図1に示す。本試験では、新品（Fc0%）、Fc4%、Fc8%、Fc12%の4つの試料で乾燥状態（絶乾にした試料を使用）・湿潤状態の計8ケースを実施した。なお、湿潤状態に用いた試料は、新品（Fc0%）は4日間浸水したもの、Fc4%からFc12%については、最適含水比となるよう混ぜ合わせたものである。

供試体は塩化ビニール製モールドの底面にアルミニウム製の筐体²⁾を設置し、その筐体内部の上面に加速度計を固定した後に、試料を入れ、締め固めて作製した。作製した供試体の目標締固め度と各密度および湿潤状態の含水比を表2に、乾燥・湿潤状態の供試体を図2から図5に示す。

P波速度測定は、バラスト表面に石膏を用いて水平に固定したアルミニウム板をインパルスハンマーで打撃しP波を発生させる方法とし、測定概要を図6に示す。

表1 試料の配合率(%)

	砕石 (安山岩)	クラッシュラン (C-30)	カオリン粘土 (NSF)
試料① 新品	100.0	0.0	0.0
試料② Fc:4%	44.0	52.1	3.9
試料③ Fc:8%	39.0	52.4	8.6
試料④ Fc:12%	32.0	54.9	13.1

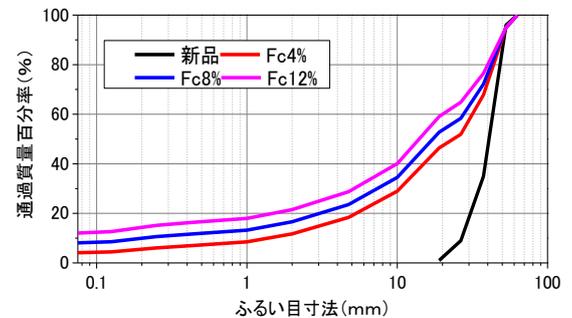


図1 試料の粒度分布

表2 供試体の密度・含水比

	新品	Fc4%	Fc8%	Fc12%
目標締固め度	90%	90%	90%	90%
乾燥密度 (g/cm ³)	1.54	2.1	2.07	2.04
湿潤密度 (g/cm ³)	1.55	2.23	2.22	2.25
湿潤時含水比	1.50%	5.20%	6.40%	7.20%



図2 新品 供試体



図3 Fc=4% 供試体



図4 Fc=8% 供試体



図5 Fc=12% 供試体

キーワード : 弾性波、破碎、細粒化、剛性評価、ヤング率、バラスト

連絡先 : 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38

Tel 042-573-7276 Fax 042-573-7413

P波速度の算出は、加振点から加速度計上面までの距離 H をインパルスハンマーと加速度計で計測した波形の立ち上がり時間の時間差 T で割ることでP波速度を算出した。なお、立ち上がり時間は初動ピークに対して10%の電圧が記録された時間を波の立ち上がり時間とした。図7に測定波形例と立ち上がり時間差 T を示す。

3. 弾性波測定の結果

各供試体において10回ずつ測定し、平均の測定結果を図8に示す。同図より、乾燥状態の供試体においては、Fc4%までは、P波速度が235m/s程度であったが、Fcが増加するとともに遅くなり、Fc8%では210m/s程度、Fc12%では、180m/s程度となった。一方、湿潤状態の供試体については、新品(Fc0%)では、乾燥状態と比較して、安山岩の孔隙が水で満たされ、体積弾性率が大きくなった影響³⁾でP波速度が40m/s程度速くなったが、Fcが増加するにつれて遅くなった。Fc4%では、220m/s程度、Fc8%では、185m/s程度、Fc12%では、130m/s程度のP波速度となった。細粒分含有率とP波速度の関係性は、バラストの含水比を上げることで顕著に現れることを確認した。

P波速度 V_p は、ヤング率 E と密度 ρ およびポアソン比 μ と密接な関係がある⁴⁾。計測したP波速度から式(1)を適用して湿潤状態のバラストのヤング率を推定した。

$$E = \rho \cdot V_p^2 \cdot (1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu) / (1 - \mu) \dots \text{式(1)}$$

P波速度から推定したヤング率を表2に示す。既往の研究より解析で用いられるバラスト(新品)のヤング率は100MPaが多く用いられている⁵⁾ことから、本測定で推定したヤング率は、近い値を示した。また、Fcが増加するにつれ、含水比が増加する影響で強度も低下すると考えられる⁶⁾が、推定したヤング率も大きく低下することを確認した。

4. まとめ

バラストの状態を定量的に捉えるために、バラストの弾性波(P波)に着目して、剛性を評価する基礎的な研究を行った結果、バラストにおいても弾性波測定による剛性評価は有効であることが分かった。特に、湿潤状態においては、P波速度の差が顕著に現れた。引き続き、弾性波とバラストの関係性を明らかにするために、S波速度についても検証し、弾性波によるバラストの剛性評価の精度を向上させていきたい。

【参考文献】

- 1) 中村, 桃谷, 伊地知, 吉川, 木次谷. :バラストの破碎・細粒化に関する要素試験, 地盤工学研究発表会, 2018
- 2) 相川明. :実軌道測定に基づくバラストに加わる衝撃荷重とその減衰特性, 鉄道総研報告特集論文 vol127, No4, Apr, 2013 p41-46
- 3) 大久保彪, 寺崎晃. :岩石の物理的性質と弾性波速度, No. 631, July, 1971.
- 4) 尼崎. :コンクリートの弾性定数と弾性波速度の関係, コンクリート工学年次論文集, Vol. 29, No. 2, 2007 p631-636
- 5) 中村, 桃谷, 伊藤, 村本. :発生バラストを活用した既設線路盤改良工法の開発, 鉄道総研報告 vol127, No4, Apr, 2013 p23-28
- 6) 石川, 松谷, 所, 中村, 桃谷. :不飽和鉄道バラストの力学特性に及ぼす細粒分の影響評価, 土木学会論文集 E1, Vol. 72, No. 3, I_151-I_158, 2016



図6 測定概要

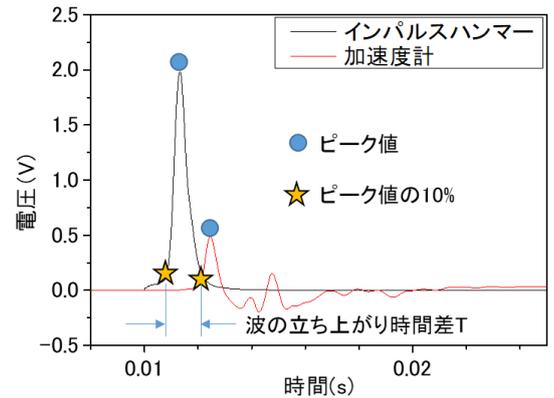


図7 測定波形例と立ち上がり時間差の例

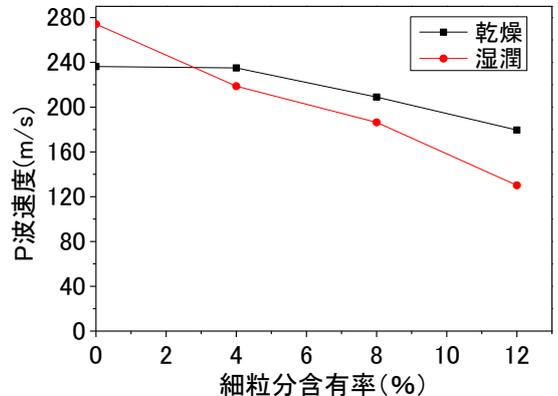


図8 測定結果(P波速度と細粒分含有率)

表2 湿潤状態のバラストの推定ヤング率

供試体	湿潤状態			
	密度(g/cm3)	P波速度	標準偏差	ヤング率(MPa)
新品	1.55	274.18	13.49	87
Fc4%	2.23	218.69	8.26	79
Fc8%	2.22	186.41	5.53	57
Fc12%	2.25	130.18	2.64	28