

土砂が混入したバラストの健全度評価方法

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○高浦真行 中村貴久 景山隆弘

1. はじめに

バラスト軌道は、経年の列車荷重やつき固め作業に伴いバラストの破碎・細粒化が進行した場合、つき固め作業を繰り返し行ってもすぐに沈下が大きくなり、保守頻度が増大しやすい。そのため、バラストを掘削して目視によりバラストの状態を検査し、検査結果や保守頻度等を勘案して道床交換の判定を行うが、掘削には労力を要する上、判定結果には検査者の主観によるばらつきが生じやすい。そこで、鉄道総研では、非掘削かつ定量的にバラストの状態を評価可能な透過音法¹⁾(以下、透過音試験)を開発した。本研究では、繰返し载荷試験によりバラストの状態の評価指標を検討し、現地測定試験により評価指標の妥当性を検証した。

2. 透過音試験によるバラスト状態の評価方法

2.1 透過音試験の方法

本試験では、破碎・細粒化が進行するほどバラスト内を透過する音が小さくなる特性を利用して、現地バラストの透過音を測定し、透過音レベルの大きさから健全度を判定する。図1に透過音試験の測定方法を示す。まず、まくらぎを挟むように両脇に2本の中空杭をまくらぎ下面から深さ100mmの位置まで打ち込み(杭間隔330mm)、片方の杭から2.5-8kHz間のホワイトノイズを発生させる。次に、もう片方の杭でその透過音を10秒間測定し、2.5-8kHz間の音圧レベルを合成したパーシヤルオーバーオール(以下、透過音レベル)を算出する。

2.2 健全度の評価指標の検討

既往の研究²⁾では、バラストの状態の評価指標として細粒分含有率 F_c (粒径0.075mm以下の質量の割合)を用いており、現地測定により透過音レベルと F_c の関係を求め、保守頻度の多い区間の F_c から $F_c \geq 6\%$ を不健全と判定していた。本研究では、海外においてバラストの劣化指標として一般的に用いられている FI ²⁾(Fouling Indexの略)を健全度の評価指標として検討した。 FI は4.75mm以下および0.075mm以下の粒径の割合の和であり、 F_c よりも大きい粒径の割合を評価しつつ、 F_c を2度加えることで重みづけする指標となっている。

評価指標 FI および F_c とバラストの沈下特性の関係を検討するため、繰返し载荷試験を実施した(図2)。供試体は、直径750mm、高さ450mmの円柱モールドに飽和度80%に含水調整したバラスト試料を締め度95%となるように締め固めて作製した。本試験では、経年劣化によるものだけでなく、冠水等により粘性土や砂質土などの特定の粒径の粒子だけがバラストに混入した状態も想定した。そのため、試験ケースは、 FI および F_c を変化させたバラストの粒度分布が異なる8ケースとした。使用したバラスト試料の粒度分布を図3に示す。試料は、バラスト、クラッシュラン、砂質土(東北珪砂)もしくは粘性土(カオリン粘土)を混合して作製した。

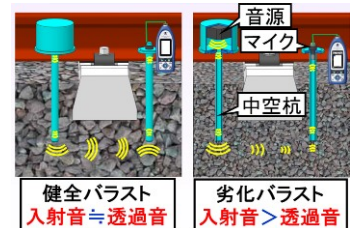


図1 透過音試験の方法



図2 繰返し载荷試験

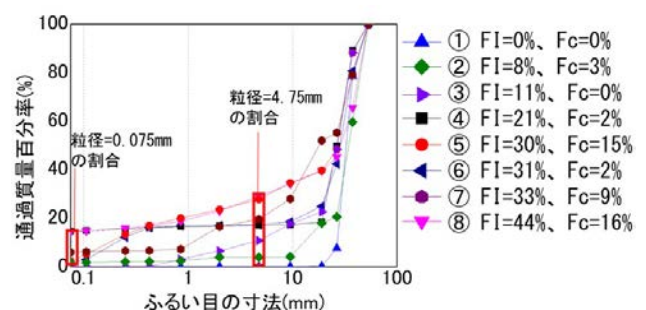


図3 バラストの粒度分布

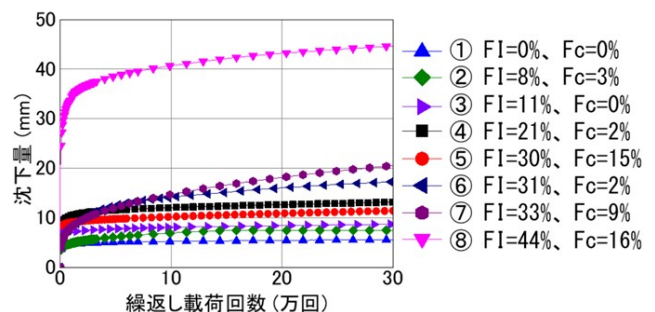


図4 バラストの沈下量

キーワード 透過音試験、粒度試験、現地測定、細粒土混入バラスト

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 TEL 042-573-7276

荷重条件は、最小荷重 0.4kN および最大荷重 14.8kN（荷重振幅 14.4kN）とし、荷重周波数 5Hz の正弦波で 30 万回荷重した。荷重振幅は、設計軸重（車輪 1 軸当たりの車両重量）160kN に対してレールおよびまくらぎによる列車荷重の分散（荷重分担率 0.5）を考慮し、PC まくらぎ 3 号のまくらぎ底面に作用する応力と同等になるように設定した。図 4 に繰返し荷重試験結果を示す。FI および Fc が 0% の新品のケース①は沈下量が最も小さく、FI および Fc が最も大きいケース⑧の沈下量が最も大きかった。

図 5 に 30 万回荷重後の沈下量と FI および Fc の関係を示す。新品バラストに砂分を与えたケース④は、Fc が 2% 以下と小さかったが、FI が 21% であり、新品のケース①の 2 倍以上の沈下が生じた。ケース⑤とケース⑧を比較したところ、どちらも Fc が 15% を超えているものの、FI が大きいケース⑧の沈下量の方がより大きかった。つまり、Fc よりも FI を用いた方が沈下量との相関性が強くなる結果となった。また、その他のケースにおいても FI と沈下量に強い相関性が見られたため、FI を現地測定時の健全度の評価指標とした。ここで、文献 2 では $FI \geq 20\%$ を不健全判定としており、本試験結果においても、 $FI \geq 20\%$ で新品の条件（ケース①）の 2 倍以上の沈下が生じたことから、 $FI = 20\%$ を健全度の判定値とした。

3. 透過音試験による現地測定

現地で透過音試験を実施し、測定位置より採取したバラストの粒度試験より得られた FI と透過音レベルの関係を整理した。なお、測定結果のうち、周囲の作業騒音が大きく、暗騒音（音源より音を出さない状態）が 20dB 以上の測定結果は除外した。図 6 に透過音試験を実施した 56 地点のバラストの粒度分布を、図 7 に透過音レベルと FI の関係を示す。図 7 より、透過音レベルと FI の関係の対数近似線を求めると決定係数 0.89 と強い相関関係にあることがわかった。また、この結果より FI が 20% となる透過音レベルは 30dB であった。本判定結果より、健全および不健全と判定された地点のバラストの状態の例を図 8 および図 9 に示す。FI が 9.7% で健全な判定となったバラストには、粒子間の空隙に土砂の混入が見られなかった（図 8）。また、FI が 39.3% で不健全な判定となったバラストは、空隙が土砂で満たされていた（図 9）。

4. おわりに

本研究では、土砂が混入したバラストの状態の評価指標 FI を用いて、透過音試験の現地測定により FI と透過音レベルの関係を検証した。今後は、本検討結果を「道床交換判定マニュアル」に反映し、透過音試験の計測システムを実用化する。

参考文献1) 福中力也・中村貴久・桃谷尚嗣・木次谷一平・北川敏樹・宇田東樹：音の透過特性を用いた道床バラストの健全度評価方法の開発、第24回鉄道工学シンポジウム、土木学会、2020。

2) Selig, E.T.: Ballast for heavy duty track. In: Track Technology, Proceedings of a Conference organized by the Institute of Engineers (ICE), Nottingham, 245–252, 1985.

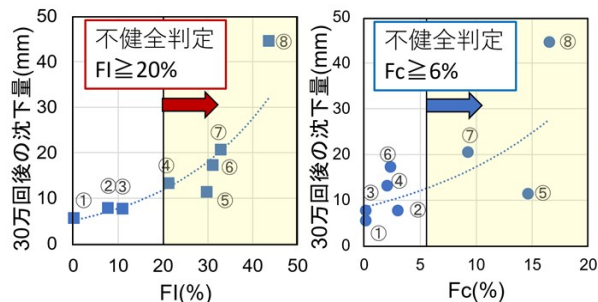


図 5 沈下量と FI および Fc の関係

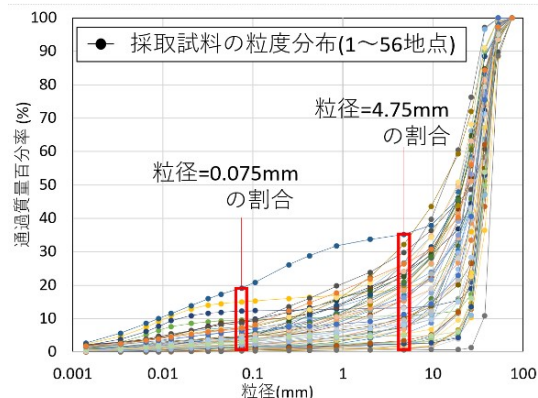


図 6 現地の粒度分布

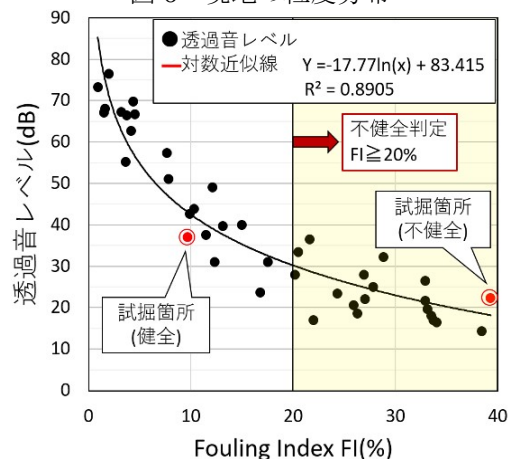


図 7 透過音レベルと FI の関係



図 8 健全なまくらぎ下面のバラスト



図 9 不健全なまくらぎ下面のバラスト