

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

透過音でバラスト軌道の 砕石の劣化状態を検査する

バラスト軌道は、砕石(バラスト)が経年劣化により細粒化し、これが泥土となってまくらぎ下から噴出すると軌道の沈下が増大します。軌道の沈下の進行が速いほど、これに対応するための保守頻度が多くなるため、新しいバラストに交換して保守頻度の低減を図ります。しかし、保守頻度が多くてもバラストの細粒分が少ないことがあり、この状態では交換しても改善されないことから、バラストの劣化状態を定量的に評価する手法の開発が求められていました。ここでは、バラスト内を透過する音の大きさを劣化状態を評価する方法を紹介します。

はじめに

バラスト軌道は、列車荷重やつき固め補修のくりかえしにより徐々に砕石(バラスト)の破碎・細粒化などの劣化が進行します¹⁾。まくらぎ下の細粒分が、雨水の滞水により泥土となってまくらぎ下から噴出(以下、噴泥)するようになると(図1)、つき固め補修をくりかえしてもすぐに沈下が増大するため、保守量を低減するために新しいバラストに交換(以下、道床交換)します。一方、バラストの定期検査はバラストを掘削して目視により判断するため、掘削作業が必要なうえ、検査者の主観による判定のばらつきが生じます。また、道床交換は、バラストの劣化状態と保守頻度などを考慮してその必要性を判定します。しかし、レールや路盤の状態が悪い区間では、保守

頻度が多くても、バラストの細粒分が少ないこともあり、道床交換だけでは保守頻度が改善されない場合もあります。そのため、道床交換の判定に際して、バラストの劣化状態を定量的に評価する手法が求められていました。

そこで、バラスト内部を透過する音の大きさから、バラストの劣化の程度を迅速かつ定量的に評価する方法を開発したので、以下に紹介します。

劣化バラストの現地調査

実際のバラスト軌道において、保守頻度が少ない地点と多い地点の経年したバラストの劣化の程度を評価するために、各レール継目部付近のまくらぎの直下からバラストを採取し、バラストの粒度を調査しました。全11地点のうち、高低変位の進みが小さく保守頻度が少



中村 貴久
Takahisa Nakamura
軌道技術研究部
軌道・路盤研究室
主任研究員



桃谷 尚嗣
Yoshitsugu Momoya
軌道技術研究部
軌道・路盤研究室長



木次谷 一平
Ippei Kijiyama
軌道技術研究部
軌道・路盤研究室
研究員



北川 敏樹
Toshiki Kitagawa
前 環境工学研究部
騒音解析研究室長
(現 鉄道国際規格センター
担当部長)



宇田 東樹
Toki Uda
環境工学研究部
騒音解析研究室
主任研究員



図1 細粒化が進行したバラスト
(B地点：まくらぎ移動後)



図2 細粒化が進行していないバラスト
(I地点：まくらぎ移動後)

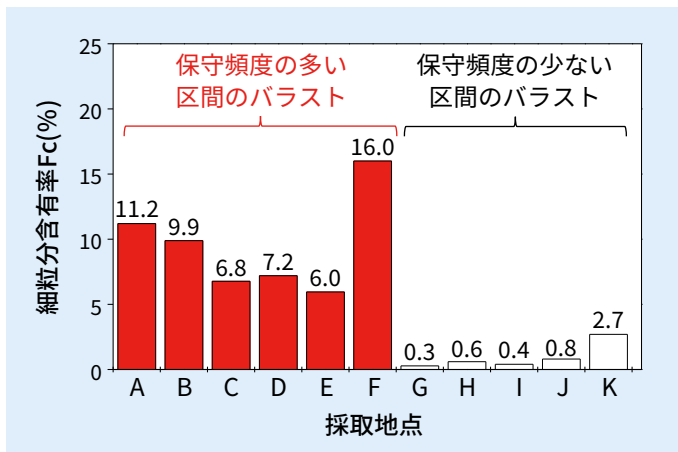


図3 現地採取したバラストの細粒分含有率

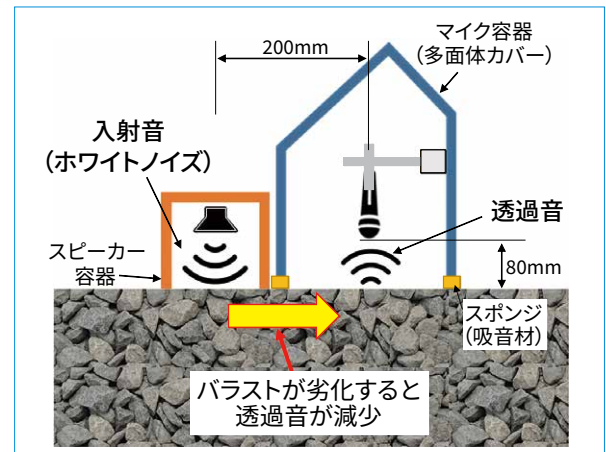


図4 透過音法 (表面方式) の測定方法



図5 バラストの供試体の外観

ない地点のバラスト(図2)は、外観で大きなバラスト粒子が多く散見されましたが、保守頻度が多い地点のバラストは、噴泥が発生していました(図1)。

図3に現地で採取したバラストの細粒分含有率を示します。ここで、地盤工学会では地盤材料を粒径で工学的に区分しており²⁾、粒径が0.075mm以下を細粒分(粘土およびシルト)、0.075mmから75mmの範囲の粒径を粗粒分(砂および礫)としています。保守頻度が少ない地点の多くは、0.075mm以下の粒径の割合(以下、細粒分含有率)が1%以下でした。一方、保守頻度が多い地点では、バラストの細粒分含有率が最大16%(F地点)、最小6%(E地点)でした。

以上より、保守頻度が多い地点では6%以上の細粒分含有率を含むことがわかりました。また、細粒分含有率が増加すると透水性が低下して、噴泥に

至ることが考えられることから、細粒分含有率をバラストの劣化程度の指標としました。

バラストの劣化状態の評価方法

一般的に、入射音が遮蔽物に向かって発射されると、反射音、吸収音、透過音の3つの成分に分解されます。遮蔽物をバラストに置き換えると、バラストが劣化するほど細粒分が空隙を満たすことで、音が伝わりにくくなり、透過音が小さくなることが考えられます。また、劣化したバラストは湿潤状態になるほど沈下が増加する特性がありますが³⁾、隙間に着目した測定方法にすることで、含水状態の影響を受けにくくなります。

上述の考えのもと、バラストの音の透過特性を活用してバラストの状態を評価する方法として、バラストの表面にマイクを設置してバラストの透過音を測定する方法を開発しました(以下、

透過音法(表面方式))。

透過音法(表面方式)の測定方法は図4のとおりであり、スピーカー側の容器からは、入射音としてホワイトノイズ(広い周波数帯域で強さが一定の音)を発生させます。マイク側の容器は音の反響を最小限とするため、平行面のない多面体の容器を使用し、凹凸のあるバラストの表面と多面体の容器との境界面に吸音スポンジを設置して音漏れの影響を小さくしました。計測した透過音を、別途バラストによる吸音の影響が強いことを確認した2.5kHz~8.0kHzの成分を合成した騒音レベル(以下、透過音レベル)の10秒間の測定の平均値にして、バラストの劣化程度を評価します。本方法の妥当性を検討するため、バラストの供試体を用いた測定試験を行いました。各供試体の外観を図5に示します。

試料は新品バラストと劣化バラスト

トであり、劣化バラストは細粒分含有が4%（噴泥には至らない程度）および12%（噴泥に至る程度）の2種類となるように、バラスト、クラッシュラン（道路の路盤材料に用いられる碎石の一種）、カオリン粘土（カオリナイトとよばれる鉱物を主成分とする粘土の一種）を混ぜ合わせて作製しました。0.9m四方の試験土槽に各バラスト試料を投入し、列車荷重によりバラストの密度が増加した場合を想定して、締め固め度Dc（締め固めの程度を表す指標で、現密度と、その材料を所定の方法で締め固めたときの密度に対する比を、百分率で示したもの）が90%および95%となるよう締め固めて供試体を作製しました。

測定試験は、締め固め度90%で、大気中で十分に放置した状態（以下、気乾状態）および雨天を想定して散水した後の湿潤状態、締め固め度を95%に締め固め直した後の湿潤状態、および時間経過後の気乾状態において実施されました。

図6に、含水状態および締め固め条件と透過音レベルの関係を示します。含水状態の影響を比較したところ、3ケースとも気乾状態と湿潤状態の透過音レベルは1dB以下の差異であり、水の影響が小さいことがわかりました。また、締め固め度を増加させると、含水状態によらず2種類の劣化バラストの透過音レベルはともに2~3dB程度小さくなりましたが、透過音レベルは10%以内の変化であり、締め固め程度の変化（密度変化）の影響を大きく受けなかったことがわかりました。

以上より、バラストの音の透過特性は、現場の含水状態や密度に影響されにくいことがわかりました。

透過音法^{（杭方式）}

透過音法（表面方式）では、列車荷

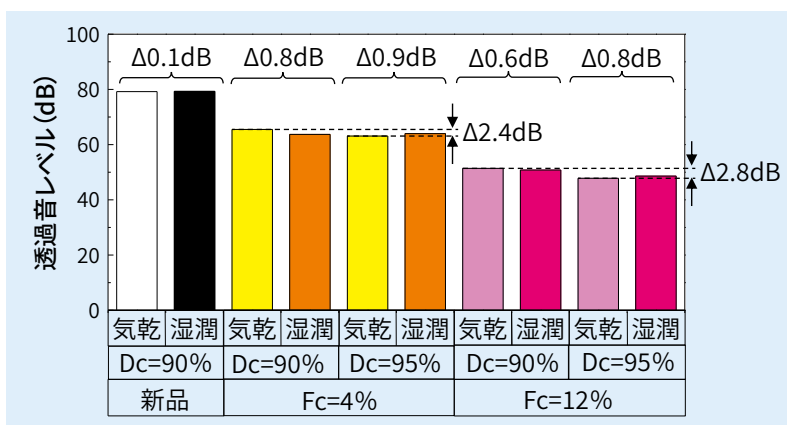


図6 透過音レベルと締め固め条件および試験条件の関係

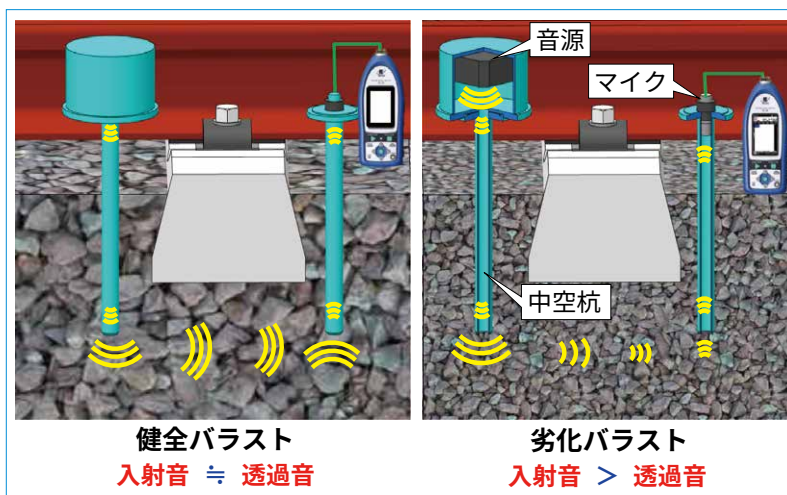


図7 透過音法（杭方式）の測定方法

重が作用するまくらぎ直下までバラストを掘削する必要がありました。そこで、バラスト軌道上で掘削せずにまくらぎ直下の任意の高さでバラストの劣化状態を評価する方法として、まくらぎ両脇から中空杭を挿入して、片方の杭先端から音を出し、もう片方の杭で透過音を測定する方法（以下、透過音法（杭方式））を開発しました（図7）。杭間の距離は、種々のまくらぎ幅に対応できるように、在来線よりも一回り大きい新幹線のまくらぎ幅と同じ330mmとしました。測定手順を以下に示します。

①杭をまくらぎ両脇に杭間隔330mm、まくらぎ底面より100mmの位置まで打ち込む。

②片方の杭よりホワイトノイズを発生させる。

③マイクおよび騒音レベル計のマイクで透過音を10秒間収録し、透過音レベルの平均値を求める。

本評価方法の適用性を検討するために、Φ750mmの円柱モールドに新品バラスト、Fc=4%（噴泥に至らない程度）およびFc=8%（噴泥に至る程度）の劣化バラストを想定した供試体を締め固め度95%、気乾条件で作製し、透過音レベルを測定しました（図8）。

その結果、図9より細粒分含有率が増加すると、透過音レベルが低下することを確認しました。また、新品バラストと噴泥に至らない程度のFc=4%

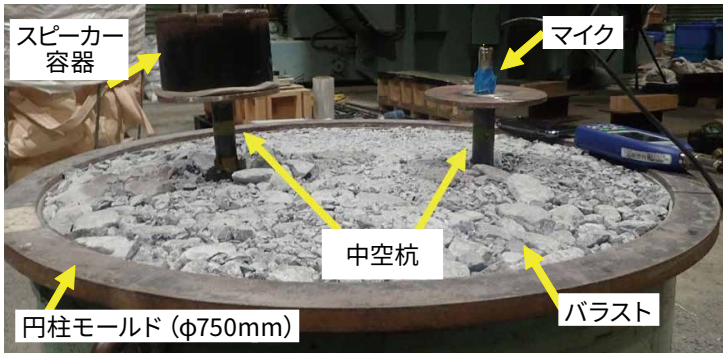


図8 透過音法 (杭方式) の測定試験

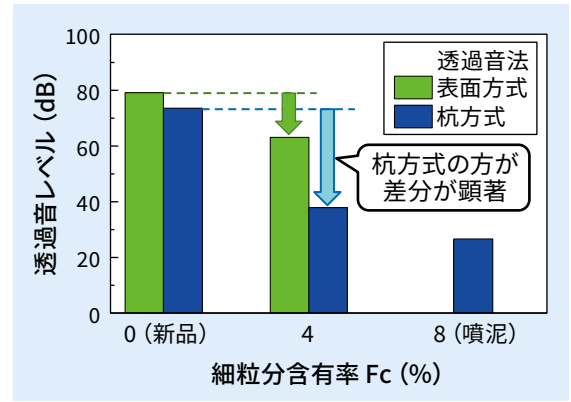


図9 透過音レベルと細粒分含有率の関係



図10 透過音法 (杭方式) の測定状況

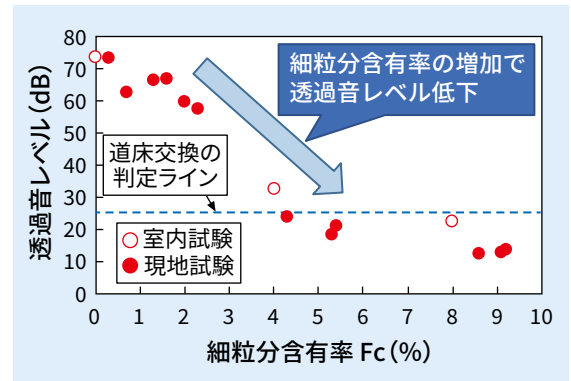


図11 透過音レベルと細粒分含有率の関係

の間の差分は透過音法 (表面方式) よりも透過音法 (杭方式) の方が大きくなっており、バラストの劣化の程度をより明瞭に評価できると考えられます。

現地測定試験

透過音法 (杭方式) によるバラストの劣化状態評価方法の測定精度を確認するために現地測定試験を実施し (図10)、測定箇所のまくらぎ下より採取したバラストの細粒分含有率との関係を求めました。

図11に室内試験結果および現地試験結果を示します。バラストの細粒分含有率が増加するほど透過音レベルが低下する傾向にあることがわかります。また、前述の現地調査より細粒分

含有率が6%以上になると噴泥に至る可能性があることから、透過音レベル25dBを道床交換の判定値に設定しました。

以上より、現地のバラストに対しても、精度良く細粒分含有率を推定できることを確認しました。

おわりに

ここでは、バラスト内を透過する音の大きさからバラストの劣化状態を定量的に評価する方法を紹介しました。今後は、効率的な道床交換の保守計画の策定を目指し、現地試験により本評価方法の精度の検証を進め、信頼性を高めていきたいと考えています。また、透過音法 (杭方式) の測定時の録

音、透過音の分析、道床状態の判定を現地でリアルタイムに実施するスマートフォンのアプリケーションを開発し、実用展開を図ります。[RRR]

文献

- 1) 中村貴久, 桃谷尚嗣, 木次谷一平: バラストの破碎・細粒化メカニズムの解明と余寿命予測方法の提案, 鉄道総研報告, Vol.35, No.4, pp.35-40, 2021
- 2) 地盤工学会室内試験規格・基準委員会: 地盤材料試験の方法と解説 (第一回改訂版), 地盤工学会, 2020
- 3) 中村貴久, 桃谷尚嗣, 野村清順, 木次谷一平: バラスト軌道の道床健全度と道床沈下特性に関する実物大模型試験, 第51回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.989-990, 2016