論文 バラストの破砕・細粒化メカニズムと 残存寿命予測に関する基礎検討

中村 貴久1・福中 力也2・桃谷 尚嗣3・木次谷 一平4・石川 達也5

1正会員	公益財団法人鉄道総合技術研究所	軌道技術研究部	(〒185-8540	東京都国分寺市光町	丁 2-8-38)
	E-mail: naka	amura.takahisa.19@	rtri.or.jp		

²正会員 公益財団法人鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38) E-mail: fukunaka.rikiya.56@rtri.or.jp

³正会員 公益財団法人鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38) E-mail: momoya.yoshitsugu.29@rtri.or.jp

⁴正会員 公益財団法人鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38) E-mail: kijiya.ippei.83@rtri.or.jp

⁵フェロー会員 博士(工) 北海道大学大学院工学研究院(〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8) E-mail: t-ishika@eng.hokudai.ac.jp

経年によりバラストの破砕および細粒化が進行して噴泥に至ると沈下が急進することから、保守コスト の高い道床交換が必要となる.これまでにバラストの劣化に関する研究は行われているが、新品のバラス ト状態から噴泥に至るまでのバラストの破砕・細粒化メカニズムは十分に解明されていない.そこで、本 研究では、現地調査により噴泥したバラストの粒度分布を検討し、円柱モールドを用いた載荷試験・タイ タンパ試験により、バラストの破砕・細粒化に及ぼす要因を評価した.その試験結果をもとに累積通トン 数や保守履歴から劣化したバラストの粒度分布を推定する手法を提案した.さらに、提案した推定手法を 用いてバラストの残存寿命を現時点の粒度分布から予測する方法について基礎的な検討を実施したので報 告する.

Key Words: ballast, grain size distribution, crushing and grain refining, field survey, laboratory test, remaining lifetime evaluation

1. はじめに

長期間にわたって交換されていないバラスト道床は, 経年によりバラストの破砕および細粒化が進行して細粒 分含有率が高くなり、タイタンパによるつき固め補修後 は密度変化の影響により初期沈下が大きくなりやすい. また,細粒分含有率が増加し,排水性が低下して噴泥に 至ると,強度が低下して沈下が急進することから,保守 コストの高い道床交換が必要となる.

これまでにバラストの劣化に関する研究が行われてお り、細粒化したバラストの現地調査および各種試験によ り、現地の軌道条件、荷重条件およびつき固め補修作業 が破砕・細粒化に影響を及ぼすことがわかっている^{1),} ^{2),3)}.しかし、新品のバラスト状態から噴泥に至るま でのバラストの破砕・細粒化メカニズムおよび上記要因 が及ぼす影響度は十分に解明されていない. そこで、本研究では、まず、現地調査により現地のバ ラストを採取して保守頻度の多い噴泥したバラストの粒 度分布を検討した.次に、円柱モールドを用いた繰返し 載荷試験およびタイタンパ試験により、バラストの破 砕・細粒化に及ぼす要因を検討した.また、その試験結 果をもとに粒度分布の変化率を定式化し、累積通トン数 および保守履歴から劣化したバラストの粒度分布を推定 する手法を提案し、妥当性を現地バラストの粒度分布と 比較することで検証した.さらに、粒度分布の推定手法 を用いて、バラストの残存寿命を現時点の粒度分布から 予測する方法について基礎的な検討を実施した.

2. 劣化バラストの現地調査

保守頻度が少ない地点と多い地点のバラストの粒度分



図-1 健全な軌道状態のバラストの状態(地点5)



図-3 現地採取したバラストの粒度分布

布を検討するために、現地のバラストを採取して粒度試 験を行った.レール継目部付近でバラストを採取し、列 車荷重を支持するまくらぎ下のバラストを 0.1m 程度の 深さまでの範囲から採取した.全11地点のうち、地点1 から地点5は軌道の状態が健全で高低変位の進みおよび 保守頻度が少なく(図-1),地点6から地点11は噴泥し ており保守頻度が多い(図-2). 粒度試験は、地盤工学 会の「JISA1204 土の粒度試験方法」⁴に準拠して実施し た.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、0.075mm 以下を細粒分(粘土およびシルト)とし、 0.075mm から75mm の範囲を粗粒分(砂および礫)とし ている.基準粒度範囲内のバラストは全体の95%以上 が粒径 20mm 以上の礫である.

図-3に粒度試験の結果を示す. 高低変位が小さく健全 な軌道状態のバラストの粒度分布は, 経年劣化により 20mm 以下の粒径の割合が増加して基準粒度から外れて いるものがあるが, 地点 1~4 では粒径 2mm 以下の割合 は3%以下であった. 地点5のみ, 20mm以下の粒径がバ ラスト全体の 50%を超えているものの, 細粒分の割合 は3%以下とわずかであった.

噴泥したバラストでは、健全な箇所のバラストよりも 20mm 以下の粒径の割合が多く、基準粒度から大きく外 れていた.ただし、噴泥したバラストでは粒度分布にば らつきがあり、地点 6, 8, 9, 10 では 20mm 以下の粒径 がバラスト全体の 50%を占めており、比較的大きな粒 径のバラストの破砕が進行するとともに摩耗して細粒分 が増加したと考えられる.一方、地点 7 では 20mm 以下 の粒径が全体の 20%程度であるものの、細粒分は地点 6



図-2 噴泥したバラストの状態(地点7)



スキャン結果(健全 な箇所・地点3)

図-5 不攪乱バラストのCTスキャン結果(噴泥した箇所・ 地点8)

と同程度で 10%を超えており,バラストの破砕が少な いことから摩耗が進行したものか,もしくは路盤土の混 入により,噴泥に至ったと考えられる.また,噴泥した 地点7と健全な地点5を比較すると,2mm以上の粒度は 地点7の方が下側に位置して破砕は大きくは進行してい ないものの,2mm以下の粒径から粒度分布の上下が逆 転しており,地点5の細粒分含有率は2.7%に対して,地 点7の細粒分含有率は9.9%であった.噴泥したバラスト の細粒分含有率は6%以上と健全な箇所のバラストの2 倍以上であったことから,細粒分が増加することで透水 性が低下し,バラスト表層に水が滞水しやすくなって噴 泥に至ったと考えられる.

また,まくらぎ下の現地バラストを不攪乱のままパラ フィンで拘束して採取した不攪乱バラストをX線CTス キャンし,バラストの内部構造を可視化した(図-4およ び図-5). 高低変位進みの小さい健全な箇所の地点3で は,大きなバラスト粒子同士が骨格構造を形成している のに対して,高低変位進みの大きい噴泥した箇所の地点 8では,バラスト粒子間に細粒分が密に堆積した構造で あることを確認した.

以上より,噴泥したバラストは,経年によりバラスト の破砕・細粒化が進むことで20mm以下の粒径が増加し て,細粒分含有率は概ね6%以上であることがわかった.

3. 要素試験による破砕・細粒化要因の検討

(1) タイタンパによるつき固め補修作業の影響

タイタンパによるつき固め補修作業が破砕・細粒化に 与える影響を検討するため、円柱モールド内のバラスト に対してタイタンパによるつき固め補修作業を繰返し行 い、バラストの粒度分布の変化を評価した.使用したタ イタンパは、人力のハンドタイタンパ(以下、HTT)お よびマルチプルタイタンパ(以下、MTT)の2種類であ る(図-6および図-7).試料は、各試験で同じ粒度分布 となるように粒度調整した新品バラストとした.バラス トの岩種は安山岩である.供試体は、直径 300mm およ び高さ 300mm の鉄製の円柱モールド内に、粒度調整し た新品バラストを投入して乾燥密度 1.6g/cm³となるよう に締め固めて作製した.HTTの場合は、つき固め補修作 業中に円柱モールドが大きく移動しないようにその下の 鋼材に固定し、MTT の場合は実軌道のバラスト内に円 柱モールドを埋設して、つき固め補修作業を実施した.

図-8にHTTおよびMTTの1回あたりの軌道整正作業 におけるまくらぎ1本に対するつき固めツールの挿入位 置を示す.ここで、つき固め補修作業によるバラストの 挙動およびその影響範囲はこれまでに十分に解明されて いない.そのため、円柱モールドを用いることで実軌道 とは異なる境界条件になることが考えられるが、本試験 では実軌道におけるタイタンパのつき固めによる影響範 囲を図-8に示すように設定し、つき固め回数およびつき 固めツールの挿入時間を実作業に合わせることで、粒度 分布の変化から評価することとした.

HTTの実作業では、つき固めツールを1箇所あたりに つき6回挿入して各10秒間加振しながらつき固め作業 を実施する方法が標準とされている⁵⁰.本試験では、経 年劣化によりつき固め時間が10秒/箇所より長くなる場 合を想定し、つき固めツールの挿入時間を 15 秒、つき 固め回数を 6 回とし、つき固めツールの加振周波数は 45Hz 程度である.また、まくらぎ下のバラスト状態を 評価するにあたり、本試験の円柱モールドによる評価範 囲は片レール下の挿入箇所4箇所分とし、両レール下の バラストは一様に劣化すると仮定した.従って、まくら ぎ1本あたりの軌道整正作業におけるつき固めツールの 挿入回数を本試験条件に換算すると、HITTでは4回/箇所 ×6箇所で24回を軌道整正1回分とした.

MTT の実作業では、つき固めツールの加振周波数が 35Hz程度であり、つき固めツール2本を用いており、つ き固め時間は 1~2 秒程度で実施されている.本試験で は、円柱モールドのサイズを考慮して、つき固めツール を1本、スクイズ動作はせずにつき固めツールを挿入す る条件とし、挿入回数は経年劣化によりつき固め回数が 増加する場合を想定して2回とし、挿入時間は実際と同 様の1~2秒程度とした.まくらぎ1本あたりの軌道整 正作業におけるつき固めツールの挿入回数を本試験条件 に換算すると、MTTでは2回/つき固めツール1本×2本 で4回を軌道整正1回分とした.

試験条件は,HTTのツール挿入回数を100回(軌道整 正4回分),200回(軌道整正8回分)および800回(軌 道整正33回分)とし,MTTのツール挿入回数を20回 (軌道整正5回分),40回(軌道整正10回分),100回 (軌道整正25回分)として,各試験後にバラストの粒 度試験を実施した.

図-9 および図-10 につき固め後の粒度分布を示す. つき固め回数が増加するごとに粒度分布が変化しているこ



図-6 つき固め状況 (HTT の場合)





図-7 つき固め状況 (MIT の場合)





図-8 つき固め位置



とがわかる. つき固め回数 100 回で比較すると, 細粒分 含有率はHTTが4.4%増加したのに対して, MTTが2.7% であった. しかし, 2mm 以上から 26.5mm 以下の割合は, 試験前が8.0%であるのに対して, HTTは10.4%と比較的 変化が小さかったが, MTTは33.9%とHTTの3倍以上に 増加した.

図-11 につき固め後のバラスト状態を示す. HTT はつ き固め回数800回(軌道整正33回分)後の状態であり, バラストが摩耗して丸みを帯びていることがわかる. MTT はつき固め 100回(軌道整正 25回分)後の状態で あり,大きな粒径の粒子は少なく破砕および細粒化した ことを確認した.

以上より、つき固め補修作業を繰り返し実施すること で、HIT では MIT に比べて挿入時間が長いことから、 バラストが加振により摩耗して細粒分が増加し、MIT では、挿入時間が HIT により短いもののバラストが小 粒径化したことから、つき固めツールの挿入時にバラス トが破砕および細粒化したものと考えられる.

(2) 繰返し載荷の影響

繰返し載荷が破砕・細粒化に与える影響を検討するた め、列車荷重を想定した繰返し載荷試験を実施し、試験 後に粒度試験を行った.供試体は「3.(1)タイタンパによ るつき固め補修作業の影響」と同じ o 300mm×H300mm の円柱モールドに入れたバラストとし,載荷板はφ 300mm の鉄板とした.円柱モールドの底面には、地盤 反力係数 K30値が 50~60MN/m3相当の軟弱路盤を想定し てゴムシートを設置し、ゴムシートの厚さは FEM 解析 により設定した. 繰返し載荷試験には油圧アクチュエー タの試験装置(図-12)を使用した.載荷応力は最小応 力 6kPa, 最大応力 266kPa, 応力振幅 260kPa とした. こ こで、参考文献 6) では、衝撃荷重の影響を検討するた めに、落重試験機を用いた繰返し載荷試験を実施してバ ラストに衝撃荷重波形を作用させたが、12万回の繰返 し載荷では、破砕・細粒化に与える影響は小さいことが わかっている. そこで、本試験では、一般的な列車荷重 である静止軸重 160kN に対して、継目部の衝撃による変

動輪重ⁿを2倍とし、さらにレールの荷重分散効果による車輪直下のまくらぎ1本の荷重分担率0.4⁸を考慮して設定した.載荷周波数は25Hz,載荷波形は正弦波,載荷回数は1000万回とした.

粒度試験結果を図-13 に示す. 1000 万回の繰返し載荷 の前後では粒度分布の形状に大きな変化は見られなかっ たものの,細粒分含有率は 0.7%に増加した.図-14 に 1000 万回の繰返し荷重載荷後のバラストの状態を示す. 試験前の粒子形状と変わらず角張りがあり,破砕・細粒 化の進展はほとんど見られなかった.

以上より,バラストの破砕・細粒化が進行するように 衝撃荷重を想定した荷重レベルに設定し,さらに軟弱路 盤を想定してバラストのひずみが増加しやすい載荷条件 で1000万回の繰返し載荷を正弦波で実施した.その結 果,連続した繰返し載荷がバラストの破砕・細粒化に与 える影響は,つき固め補修作業に比べて小さいことがわ かった.

4. 劣化バラストの余寿命評価方法

(1) バラストの粒度推定手法

「3.要素試験による破砕・細粒化要因の検討」の結果 をもとに、現地の保守履歴および累積通トン数を用いて バラストの粒度分布を推定する方法を検討した. なお、 本推定方法では、つき固めによる要因(HTT・MTT)と 繰返し荷重による要因に着目し、その他の要因(衝撃荷 重等)については今後の検討課題とした.

算出手順を以下に示す.

- 前回の道床交換から現時点までの累積通トン数お よび現地の保守履歴よりMTTおよびHTTの軌道整 正の回数を求める.
- 2) 試験結果より求めた HTT および MTT によるつき固め回数を軌道整正1回あたりに、繰返し載荷回数を 累積通トン数1万トンあたりに変換して、粒度分布の変化率の計算シート(表-3)の各項目に入力して粒度分布を求める.



図-12 繰返し載荷試験の載荷状況





図-14 試験後のバラスト状態

	HTTの影響(%/回)		MTTの影響(%/回)				
粉杯	推定1	推定1	推定1	推定1	推定1	推定1	繰返し
<u> イエ1主</u> ()	0~4回	5~8回	9~33回	0~5回	6~8回	9~25回	載荷
(mm)	推定2	推定2	推定2	推定2	推定2	推定2	(%/万トン)
	0~25回	26~50回	51~200回	0~5回	6~8回	9~25回	
75	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0.E+00
53	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0.E+00
37.5	0.060	0.043	-0.014	0.620	0.100	0.358	1.2.E-05
26.5	0.033	0.047	-0.005	0.245	0.455	0.327	3.2.E-05
19	0.072	0.022	0.001	0.250	0.270	0.288	2.1.E-05
9.5	0.065	0.017	0.004	0.165	0.205	0.160	1.8.E-05
4.75	0.060	0.017	0.004	0.110	0.170	0.112	1.6.E-05
2	0.057	0.018	0.005	0.070	0.130	0.078	1.5.E-05
0.85	0.055	0.018	0.005	0.050	0.095	0.063	1.5.E-05
0.425	0.054	0.018	0.005	0.035	0.075	0.053	1.5.E-05
0.25	0.052	0.020	0.005	0.030	0.060	0.047	1.4.E-05
0.106	0.044	0.021	0.006	0.020	0.035	0.032	1.4.E-05
0.075	0.041	0.022	0.005	0.015	0.035	0.028	1.4.E-05

表-3 各要因の粒度分布の変化率



図-15 HTT つき固め回数と細粒分含有率の関係



図-16 MIT つき固め回数と細粒分含有率の関係



ここで,HTT および MTT の細粒分含有率とつき固め 回数の関係を図-15および図-16に示す.細粒分含有率の 変化率と回数の非線形が強いことから,HTT の場合は 100回,200回,800回の3段階で,MTTは20回,40回, 100回の3段階で変化率の傾きを線形で変化させる条件 とした.また,本推定方法における「2.要素試験による 破砕・細粒化要因の検討」では,MTT および HTT の軌 道整正1回分のつき固め回数を2種類設定し,推定法(1) は、要素試験と同様に、MTTを4回,HTTを24回とし た.推定法(2)では、後述の検討によりHTTのつき固 め回数が細粒分含有率の増加量に大きく影響したことか ら、MTTを4回のままとして、HTTを4回とした.推定 法(2)のHTTの回数については、円柱モールドと実際 のまくらぎ下のつき固めの影響を受けるバラストの体積 等を考慮して設定した.

本推定手法の妥当性を検討するために、まず、タイタ ンパによるつき固め補修作業と繰返し載荷試験を交互に 実施した後のバラストの粒度分布と比較した.供試体は 3 章で用いた \$ 300mm × H300mm の円柱モールドに入れ たバラストである.試験条件は、繰返し載荷 125 万回ご とに載荷を中断して、つき固め補修作業を 20 回実施す る試験手順を 7 セット繰り返し、繰返し載荷回数を計 1000 万回、つき固め回数を計 140 回とした.つき固め補 修方法および荷重条件は、「3(1)タイタンパによるつき 固め補修作業の影響」および「3(2)繰返し載荷の影響」 と同条件とした.

試験後の粒度分布および推定した粒度分布を図-17 に 示す.1000万回の連続載荷のみの細粒分が0.7%であった のに対して,つき固め補修作業と繰返し載荷試験を交互 に実施することで 5.5%に細粒分が増加した.繰返し載 荷回数を1000万回,つき固め回数を140回とし,本手法 により粒度分布を推定したところ,推定法(1)の細粒 分が4.8%,推定法(2)の細粒分が4.9%であり,推定法 (1)および推定法(2)とも試験結果と概ね同様の粒度 分布であった.

以上より、タイタンパによるつき固め補修作業と繰返 し載荷のそれぞれの影響を個別に評価して粒度分布を推 定する本手法を用いて、それらを交互に組み合わせた本 試験条件の粒度分布の変化を概ね評価できた.しかし、 破砕・細粒化に影響を及ぼす各要因を組み合わせた条件 は複雑に絡み合っており、本手法の妥当性は今後の課題 である.

次に、本推定手法の妥当性を現地バラストの粒度分布 と比較することで検証した.検証対象とした3地点(地 点 A,地点 B,地点 C)の軌道構造は、ロングレール、 PC まくらぎ、土路盤であり、バラストの岩種は室内試 験と同じ安山岩である.表-4に現地の3地点における前 回の道床交換から現在までの保守履歴等を示す.

推定した粒度分布と現地バラストの粒度分布を図-18 から図-20 に示す.現地バラストの細粒分含有率は地点 Aが10.5%,地点Bが1.7%,地点Cが9.2%であるのに 対して,推定粒度1では地点Aが12.5%,地点Bが3.8%, 地点Cが17.6%であった.推定法(2)では,地点Aが9.1%, 地点Bが3.3%,地点Cが12.3%であり,推定法(1)よりも 推定法(2)の方がより現地バラストに近い粒度分布を示

表-4 前回の道床交換から現在までの保守履歴等

	HTT	MTT	累積通トン数
	(回)	(回)	(億トン)
地点A	38	23	11.1
地点B	1	20	7.7
地点C	75	31	14.8







図-19 推定した粒度分布(地点B)



した.地点Bでは,推定法(1)および推定法(2)とも 実際の粒度分布に近いものの,地点Aおよび地点Cでは 細粒分含有率が多くなるほど推定法(1)の粒度分布が



実際の粒度分布より離れる傾向を示した.これは,HTT が細粒分含有率の増加量に強く影響をしていることから, HTT の回数を補正した推定法(2)の方がより実際の粒 度分布に近くなった.

推定した細粒分含有率に対する各要因の増加量を図-21 に示す. 地点 A の細粒分含有率のうち, MTT による 増加量は 2.5%, HTT による増加量は 5.2%, 累積通トン の増加量は15%であった.地点BはMTTによる増加量 が 2.1%, HTT による増加量は 0.2%, 累積通トンの増加 量は1.1%であった.地点CはMTTによる増加量が3.4%, HTT による増加量は 6.8%,累積通トンの増加量は 2.2% であった. 細粒分含有率の増加量に対する HTT および MTT によるつき固め補修作業の増加量の合計の割合は, 地点Aで0.84,地点Bで0.69,地点Cで0.83と細粒分含 有率の増加に大きく影響していることがわかる.地点 A および地点Cの細粒分含有率は噴泥する可能性が高いほ ど多いのに対して、地点Bの細粒分含有率は、地点Aお よび地点 C の 1/5 程度とかなり少ない. これは、地点 B のHTTの回数が1回であり、地点Aの38回および地点 Cの75回と比較してかなり少ないためであり、現地のバ ラスト状態に HTT が大きく影響していると考えられる. 以上より、推定した細粒分含有率は実測と比較してや や大きいものの、現地のバラストの粒度分布を概ね推定 できる見通しが得られた.

(3) 残存寿命予測方法

「4.(1)バラストの粒度推定手法」と同様の方法により、 今後想定される保守量および累積通トン数より今後の粒 度分布を予測し、現時点の粒度から噴泥に至るまでの残 存寿命の予測方法を検討した.算出手順を以下に示す.

- 対象箇所の現地バラストの粒度試験より,現時点の粒度分布を求める.
- 2) 推定年数までに実施される MTT および HTT の軌道 整正の回数および累積通トン数を現状の保守量を 基に設定して,表-3 に示す推定法(2)の計算シー トに入力し,粒度分布の変化率を求める.
- 3) 現時点の粒度分布に,推定年数後の粒度分布の変



化率を加えて,推定年数後の粒度分布を算出する.

4) 「噴泥発生ライン」*を道床交換の判定ラインとして、算出した推定年数後の細粒分含有率と比較し、 残存寿命を推定する.

※ここで、「2.劣化バラストの現地調査」より、噴泥 が発生した箇所の細粒分含有率は最も低い箇所で 6%で あったことから、6%を噴泥発生率が高くなる「噴泥発 生ライン」とした.

図-22に5年後、10年後および15年後の細粒分含有率の推定結果を示す.累積通トン数および MTT 回数は過去2年間分を参考に今後も同様であると仮定して MTT の回数は1回/年とした.HTTの回数は劣化の進行とともに保守量が増加することを考慮して、0回/年、1回/年、2回/年の条件で算出した.その結果、HTTの回数が0回/年の場合は、15年後の細粒分含有率が4.4%で噴泥には至らないが、HTTの回数が1回/年では15年後に7.8%、HTTの回数が2回/年では10年後に8.1%となり、噴泥発生ラインの6%を超えることから噴泥に至る可能性が高くなることがわかった.

5. まとめ

バラストの破砕・細粒化メカニズムを解明するために 室内試験および現地試験を実施し,残存寿命の予測方法 を提案した.得られた結果を以下に示す.

- 高低変位進みが大きい保守多投入箇所の多くは噴泥 を伴っており、道床交換の対象となることから、現 地試験によりバラストの粒度分布を評価した.バラ ストの排水性に影響する細粒分含有率に着目したと ころ、保守頻度が少ない軌道のバラストでは細粒分 含有率が3%以下であったが、噴泥したバラストでは 6%を超えており、細粒分含有率とバラストの劣化程 度に関係があることがわかった.また、バラストの 噴泥発生ラインを細粒分含有率6%とした.
- バラストの破砕・細粒化のメカニズムを解明するため、タイタンパによるつき固め補修作業、列車の繰

返し荷重載荷の影響によるバラストの粒度の変化率 を室内試験により検討したところ,つき固め作業の 影響が大きく,つき固め補修作業を繰り返し実施す ることで,人力のハンドタイタンパでは細粒分が増 加し,マルチプルタイタンパでは2mm以上の粒径の 砕石が小粒径化することで,破砕・細粒化が進展す ることを明らかにした.

- ・室内試験結果より、各要因による粒度分布の変化率 を定式化し、現地の保守履歴および累積通トン数を 用いて、劣化したバラストの粒度分布を推定する方 法を提案した。
- 劣化したバラストの推定方法の妥当性を検討するため、タイタンパによるつき固め補修作業と繰返し載荷試験を交互に実施したところ、粒度分布の変化を概ね推定できることを確認した.さらに、3箇所の現地バラストの粒度分布を概ね推定できる見通しが得られた.
- バラスト粒度の推定方法を用いて、現時点の粒度分 布をもとに、今後の通トンや保守頻度の状況を考慮 して、数十年先の粒度分布を予測して噴泥に至るま での残存寿命を算定する手法を開発した。

謝辞:現地調査にご協力いただいた東海旅客鉄道株式会社,西日本旅客鉄道株式会社,四国旅客鉄道株式会社の関係者の皆様に御礼申し上げる.また,X線CTスキャンの解析にご協力いただいた北見工業大学の川尻峻三准教授に御礼申し上げる.

参考文献

- 大島洋志,樋口岩雄,中林好範:道床バラストの劣 化・細粒化と品質管理,鉄道技術研究資料,36巻, 5号,pp.21,1979.
- 片山守彦,高木喜内:東海道新幹線高架橋上における道床固結の特性とその処理方法,鉄道技術研究報告,No.1358,1987.
- 須長誠,池内久満:道床バラストの締固めと沈下特 性,鉄道総研報告,9巻,7号, pp.13-17, 1995.
- 4) 地盤工学会:地盤材料試験の方法と解説, pp.115-136, 2009.
- 5) 渡辺幹夫編:近代絵とき保線工学,交友社, pp.116, 1977.
- 中村貴久,福中力也,木次谷一平,桃谷尚嗣:線路 部門道床の破砕・細粒化過程に関する研究,日本鉄 道施設協会誌,58巻,1号,17-20,2020.
- (公財)鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計 標準・同解説軌道構造,pp.264-298,丸善,2012.
- (公財)鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計 標準・同解説軌道構造,pp.363-371,丸善,2012.

(2020.4.3受付)

BASIC STUDY ON BALLAST CRUSHING AND GRAIN REFINING PROGRESS AND REMAINING LIFE PREDICTION

Takahisa NAKAMURA, Rikiya FUKUNAKA, Yoshitsugu MOMOYA, Ippei KIJIYA, and Tatsuya ISHIKAWA

As the ballast crushing and grain refining progresses and the content of fine particles increases, it leads to mud pumping. As a result, the strength of ballast decreases, and the settlement of ballast tend to increase. Therefore, in such a ballast condition, it is necessary to replace the ballast with new ballast. Although the research on the fouled ballast has been conducted so far, the mechanism of crushing and grain refining from the new ballast to the mad pumping has not been fully clarified.

In this research, we conducted a field survey to investigate the condition of the ballast that mud pumping had occurred, and cyclic loading test and tie tamper test using a cylindrical mold to evaluate the factors affecting the ballast crushing and grain refining. Based on the test results, we proposed a method for estimating the particle size distribution of fouled ballast from the accumulated tonnage and maintenance history on sites. In addition, we performed a basic study on a method to predict the remaining ballast life from the current particle size distribution using the proposed estimation method.