

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

道床交換せずに劣化したバラストの性能を取り戻す

経年劣化により道床バラストの破碎・細粒化が進むと、排水性が低下することで降雨時に強度が低下することが考えられます。また、沈下進みが增大することから、新品バラストに交換することが保守量低減の抜本的な対策となりますが、維持管理コストの観点から道床交換によらない補修方法が望まれます。そこで、現地の道床にグラウトを浸透させ、固化後に破碎することで、劣化したバラストを造粒化して機能を回復させる補修工法を紹介します。



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
【専門分野】バラスト軌道、地盤工学



桃谷 尚嗣
Yoshitsugu Momoya
軌道技術研究部
軌道・路盤研究室
室長
【専門分野】バラスト軌道、省力化軌道、地盤工学



木次谷 一平
Ippei Kijiyama
軌道技術研究部
軌道・路盤研究室
研究員
【専門分野】バラスト軌道、地盤工学

はじめに

バラスト軌道は、まくらぎをバラスト（碎石）で支持するもっとも一般的な軌道の形式であり、鉄道で広く使われていますが、列車の繰り返し荷重により、徐々に軌道の変位が成長するため、タイタンパーという補修機械を用いた定期的な軌道変位の保守が必要になります（図1）。

しかしながら、長期間にわたって列車の繰り返し荷重を受け、保守作業を繰り返し実施したバラストは徐々に細粒化が進み、バラストの細粒分含有

率（※参照）が高くなります。図2に細粒分含有率が高い経年したバラスト（以下、劣化バラスト）の例を示します。このような状態になると、タイタンパーなどのつき固め補修を行っても沈下が生じやすく、保守量が增大してしまいます。そのため、劣化バラストに対して、道床を新品のバラストに交換することが補修量を低減する抜本的な対策となりますが、道床交換はコストが高いため、軌道の維持管理コスト低減のためには、道床交換せずに補修効果が持続する沈下抑制対策工が求め

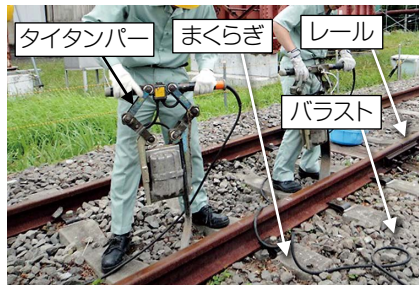


図1 バラスト軌道のつき固め作業



図2 経年による劣化バラストの例

※ バラストの細粒分含有率

バラストに含まれる細粒分（ふるい目 75μm を通過した粒径）の質量の割合です。細粒分を多く含んだバラストは、いったん水を含むと、抜けにくく強度が低下しやすくなります。また、まくらぎ下のバラストの細粒分含有率が高くなり、含水比が高くなると噴泥（バラスト軌道の表面に噴出した泥土）の原因となります。



図3 グラウト材の注入状況



図4 造粒化したバラスト

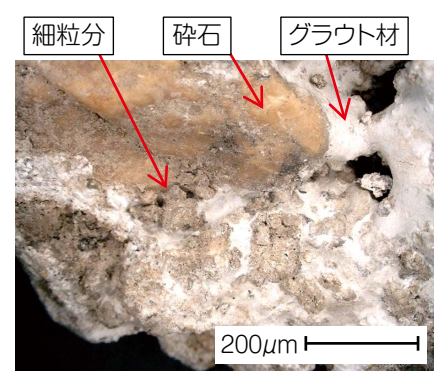


図5 造粒化した細粒分の状態

られています。そこで、劣化バラストに混入した細粒分を造粒化してバラストの機能を回復させる補修方法（以下、造粒化工法）を開発しました。ここでは、造粒化したバラストの要素試験による沈下特性の評価、実物大試験による造粒化工法の沈下抑制効果の検討および営業線への導入事例について紹介します。

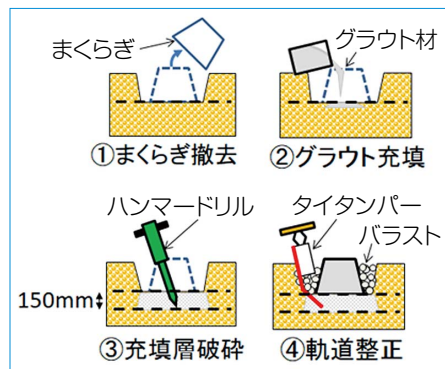


図6 造粒化工法の施工手順

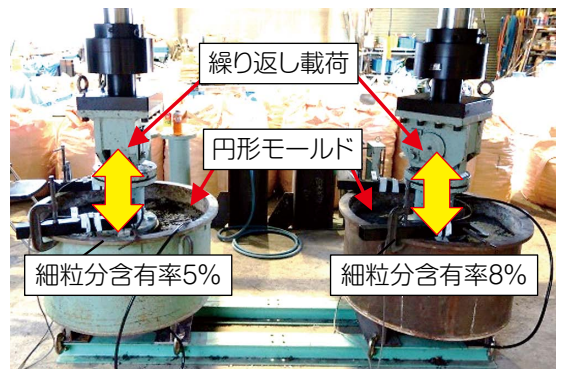


図7 繰り返し载荷試験の状況

造粒技術を活用した補修方法

本補修方法は、劣化したバラストの隙間に浸透させる注入材として、セメント系グラウト材を使用し、硬化した後にハンマードリルで破碎して細粒土を造粒化させることで、沈下の進展を抑制するものです。グラウト材の注入状況を図3に、劣化バラストを造粒化した粒子の例を図4および図5に示します。セメント系のグラウト材によって、バラスト粒子および細粒分が取り込まれている様子を確認できます。ここで、セメント系のグラウト材には、通常のセメントよりも粒子が小さく、グラウトの浸透性が高い超微粒子セメントミルク¹⁾を使用しました。また、本工法を施工するにあたり、営業線では夜間の時間帯に実施して数時間後には初列車が通過することから、充填するグラウト材には列車荷重を支持する早期の強度発現が求められます。そこで、硬化剤などを配合して硬化時間を

調整したグラウト材を開発しました²⁾。本グラウト材を用いることで、劣化バラストに対して、浸透性を確保するとともに、細粒分を取り込んで造粒することができます。

図6に造粒化工法の施工手順を示します。まず、まくらぎを撤去し、次に撤去したまくらぎ下のバラストにグラウト材を充填します。1時間養生した後にハンマードリルで充填範囲を破碎します。その後、まくらぎを元の位置に戻してタイタンパーによる軌道整正を実施します。

造粒化したバラストの沈下特性

本グラウト材を用いたバラスト軌道の適用事例として、既設のバラスト道床に浸透させることで省力化軌道化する「SFCでん充道床軌道」が開発されています。劣化バラストの細粒分含有率が8%を超えると、グラウト材が

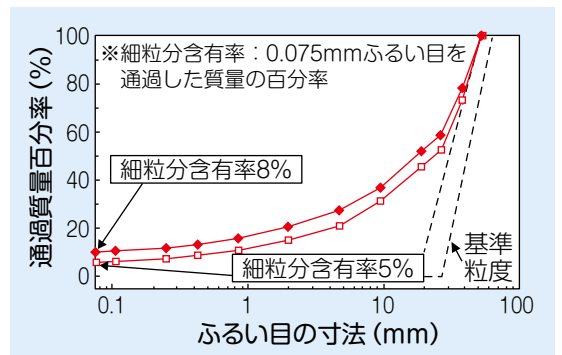


図8 劣化バラストの粒度分布

浸透しにくくなるのがわかっています²⁾。そこで、細粒分含有率は8%を上限とし、造粒化したバラストの沈下特性に与える影響を評価するため、図7に示すように、円形モールドを用いた繰り返し载荷試験を実施しました。

本試験で使用したバラストは、経年で劣化した現地のバラストに近い粒度分布となるように粒度調整した細粒分含有率5%のものと、細粒分含有率がさらに多い8%の2種類としました。ここで、細粒分含有率が10%を超えると、噴泥が生じやすいバラストとなります。図8に本試験で使用したバラ

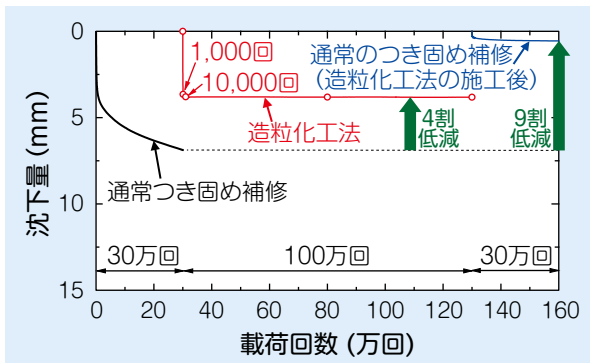


図9 繰り返し载荷試験の結果(細粒分含有率5%)

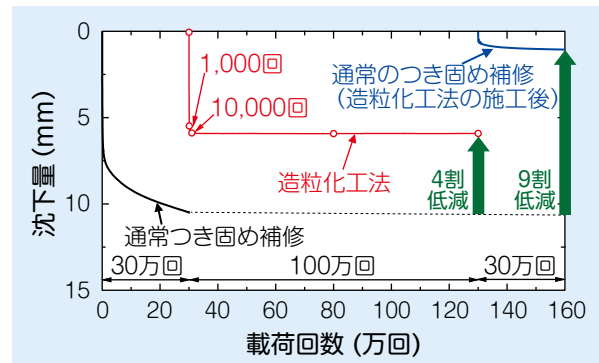


図10 繰り返し载荷試験の結果(細粒分含有率8%)



図11 実物大試験の試験状況

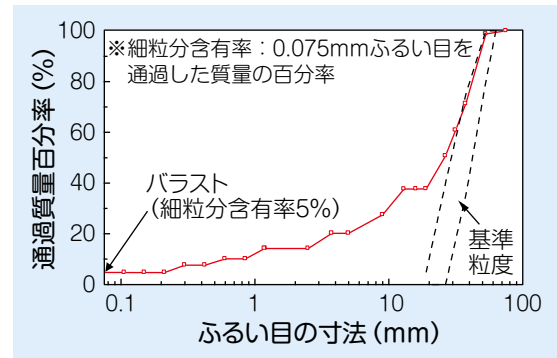


図12 バラストの粒度分布

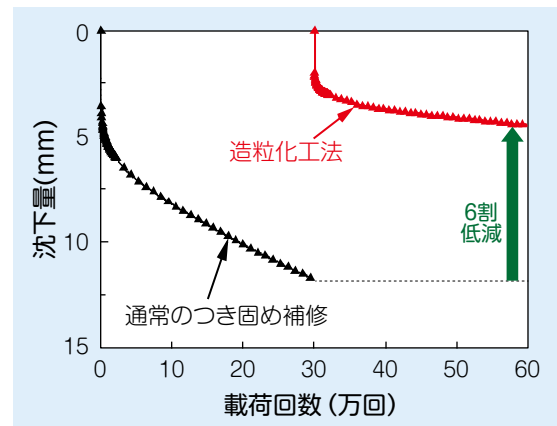


図13 繰り返し载荷試験の結果

造粒化工法の沈下抑制効果

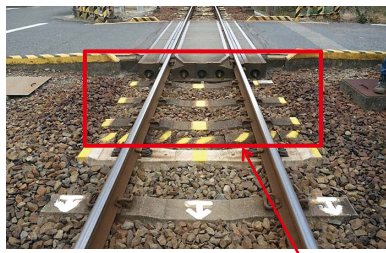
造粒化工法の沈下低減効果を確認するため、PCまくらぎ1本からなる実物大バラスト軌道模型を作製し、繰り返し载荷試験を実施しました(図11)。バラストは、細粒分含有率が5%となるように作製しました(図12)。

载荷荷重は軸重160kNに対する荷重分散を考慮してまくらぎ1本に対し、80kNとし、5Hzで繰り返し载荷しました。また、降雨などによる高含水状態において、強度が低下して沈下が増加することが考えられることから、繰り返し载荷前に30ℓ/m²の水を散布しま

ストの粒度分布を示します。

本試験では、列車荷重がまくらぎを介して底面のバラストに作用する応力を想定して、直径300mmの円形载荷盤の面積あたりに換算した荷重を、10Hzで载荷しました。列車荷重は160kNの軸重に対して、レールとまくらぎによる荷重の分散によりその半分の荷重80kNがまくらぎ1本に作用する条件を想定しました。また、営業線への適用にあたり、グラウト材には列車荷重を支持する早期強度が求められることから、グラウトを注入してから数時間後に列車が通過する場合を想定し、列車荷重の载荷回数と沈下量の関係を把握する試験条件としました。造粒化工法の施工直後から1時間経過ごとに3時間後まで繰り返し载荷1000回ずつ繰り返し载荷を行い(累計0.3万回)、4時間経過後に繰り返し载荷7000回(累計1万回)とステップ载荷を実施しました。その後、造粒化

施工から1日経過した後に100万回まで繰り返し载荷を行ったところ、通常につき固め補修の30万回载荷後の沈下量よりも、細粒分含有率5%および8%とも、造粒化工法による沈下量の方が100万回载荷後で4割低減することを確認しました(図9および図10)。また、造粒化施工後の供試体において100万回の繰り返し载荷後に通常につき固め補修のみを実施し、さらに30万回の繰り返し载荷試験を実施したところ、通常につき固め補修のみの30万回後と比較して、細粒分含有率5%および8%とも、沈下量を9割低減できることを確認しました。以上の結果より、通常につき固め補修に比べて、造粒化工法を施工することでその後も沈下を抑制できることがわかりました。



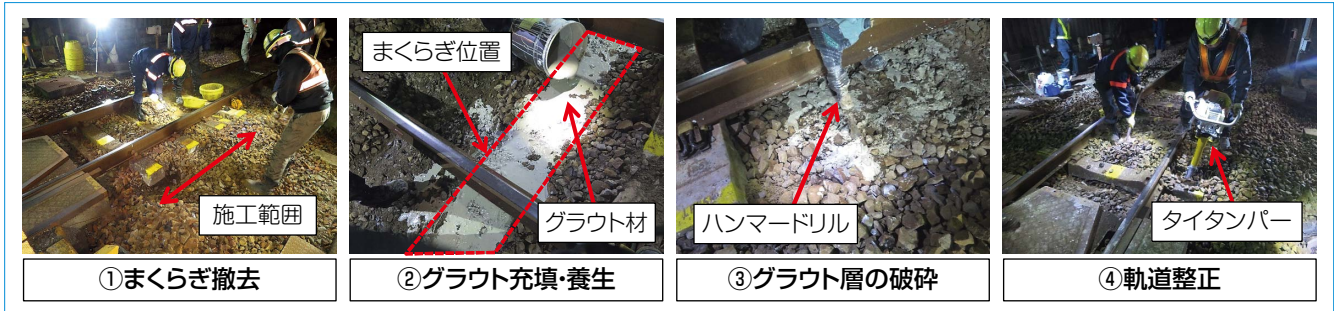
施工延長：まくらぎ3本分
 接続軌道との境界部

図14 営業線の試験施工箇所状況



グラウト材

図15 グラウト材の浸透確認状況



①まくらぎ撤去

②グラウト充填・養生

③グラウト層の破碎

④軌道整正

図16 営業線における試験施工の様子

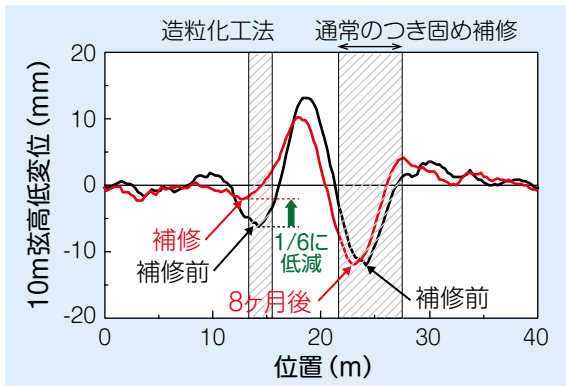


図17 造粒化工法による補修前後の高低変位

した。まず、通常につき固め補修を行った後に30万回の繰り返し荷重を実施し、その後、造粒化工法を実施してさらに30ℓ/m²散水し、2時間後に30万回の繰り返し荷重を実施しました。その結果、繰り返し荷重30万回後の沈下量は、通常につき固め補修に対して、造粒化工法の施工後を施工することで、6割に低減することを確認しました(図13)。

以上の結果より、実物大のバラスト軌道に対しても、通常につき固め補修に比べて、造粒化工法による沈下抑制効果が発揮されることを確認しました。

造粒化工法の現地試験施工

在来線の踏切(接続軌道)との境界

部におけるバラスト軌道のまくらぎ間をまくらぎ下の深さまでかき出して、グラウトを注入(図15)、バラストに浸透することを確認しました。造粒化工法の施工は、踏切に隣接したまくらぎ3本に対し、最終電車から初列車までの夜間帯に実施しました。施工状況を図16に示します。まず、バラストを掘削してまくらぎを撤去し、まくらぎ下のバラストにグラウトを充填しました。次に、1時間の養生後にグラウトを充填した層を破碎し、まくらぎを戻して軌道整正を行いました。

本工法の施工時には、踏切の反対側においてタイタンパーによる通常につき固め補修を合わせて実施し、造粒化

部におけるバラスト軌道において、造粒化工法を試験的に施工しました(図14)。まず、当該箇所よりバラストを採取し、粒度分布を求めたところ、噴泥までは至っていないが、バラストの細粒分含有率は $F_c = 8.5\%$ と比較的高い箇所でした。次に、当該箇所のバ

工法と補修効果の比較を行いました。施工8か月後では、通常につき固め補修が補修前と同程度まで沈下が生じているのに対して、造粒化工法による軌道補修を行うことで、1/6程度に沈下が抑制されていることを確認しました(図17)。

おわりに

造粒化工法により、噴泥には至らないものの、経年により細粒分含有率が高くなったバラスト軌道の沈下を抑制し、保守量の低減が期待できることを確認しました。今後は施工性の改善とともにさらに浸透性の高いグラウト材を検討し、実用的な施工方法の開発を進めていきたいと考えています。[RRR]

文献

- 1) 米田俊一, 中川浩二: 粒子径を変えた各種セメントグラウトの基礎的性質と浸透性比較, 土木学会論文集, No.462, VI-18, pp.101-110, 1993
- 2) 洲上翔太, 中村貴久, 高橋貴蔵, 桃谷尚嗣: 細粒分含有率が高いバラストを活用した充道床軌道に関する研究, 土木学会論文集E1(舗装工学), Vol.73, No.3, p.L179-I187, 2017