

細粒土混入バラストの造粒化による軌道補修工法に関する研究

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○伊地知卓也 中村貴久 桃谷尚嗣 木次谷一平

1. はじめに

鉄道のバラスト軌道は、列車の繰返し載荷やタイタンパなどのつき固め補修履歴により、道床の細粒化に伴い道床内部の細粒分含有率が高くなる。そのような状態になると、タイタンパなどのつき固め補修を行っても沈下が生じやすく、補修量が増大する。そのため、細粒分含有率が高いバラスト道床に対して、道床更換を行うことが補修量低減の基本的な対策となるが、道床更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、補修効果が持続する沈下抑制対策工が求められている。そこで、細粒土混入バラストに対してグラウト材を充填させ、固化した後に破碎させることで細粒土を造粒化させる工法（以下、造粒化工法）を開発した（図1）。本研究では、細粒分含有率が造粒化したバラストの強度特性に与える影響を検討するため、円形モールドを用いた繰返し載荷試験を行い、本工法の補修効果を確認した。

2. 造粒化工法の概要

本工法で用いるセメント系のグラウト材には、既往の研究¹⁾で実績のある超微粒子セメントミルクとした。超微粒子セメントミルクは、平均粒径 $4\mu\text{m}$ の超微粒子セメントを用いた注入材であり、浸透性が高いため軟弱地盤の改良工事や亀裂性岩盤の止水工事等に用いられている。既存のバラストに自然流下でグラウト材を注入することができるため、細粒分含有率の高いバラスト道床に対して、浸透性を確保し、細粒分を取り込んだ粒子を作製することができる。図2に造粒化工法の施工手順を示す。

- ① 施工区間のまくらぎを一旦撤去する。
- ② まくらぎ下面のバラスト表層 150mm に、グラウト材を自然流下で充填する。
- ③ 1 時間養生後に、ハンマードリルを用いてグラウト充填層を 0.1m 程度の粒子サイズとなるように破碎する。
- ④ まくらぎを元の位置に戻して軌道を復旧し、タイタンパを用いたつき固め補修により軌道整正する。

3. 円形モールドを用いた繰返し載荷試験の方法

本試験前に、細粒土混入バラストの実物大模型を用いた繰返し載荷試験を行い²⁾、本工法の補修効果を確認している。本研究では、細粒分含有率の違い、施工直後における列車荷重の影響および再つき固めの作業性と効果について確認した。

図3に本研究で使用した細粒土混入バラストの粒度分布を示す。細粒土混入バラストは、新品バラストにクラッシュランおよびカオリンを添加して作製した。細粒分含有率を実物大模型試験と同じ細粒分含有率（粒径 $75\mu\text{m}$ 未満） $F_c=5\%$ とそれよりも細粒分が多い $F_c=8\%$ の2ケースとした。

図4に繰返し載荷試験の状況を示す。試験で用いた円形モールドは直径 750mm の高さ 450mm であり、供試体高さが 300mm となるよう、

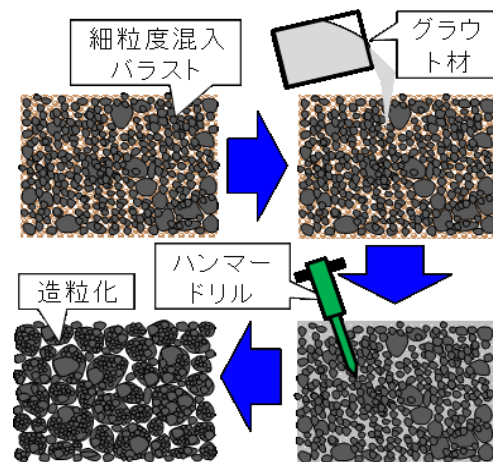


図1 造粒化工法のイメージ

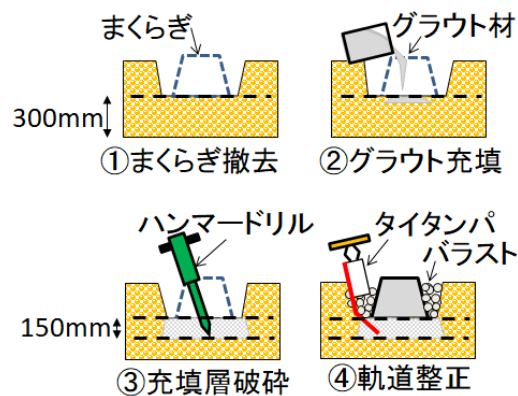


図2 造粒化工法の施工手順

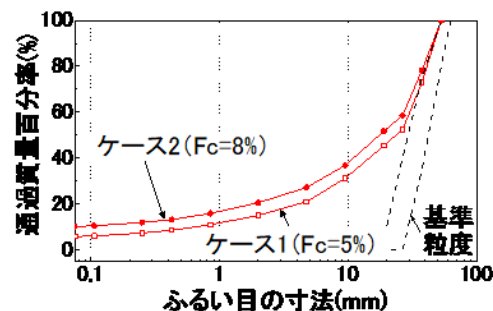


図3 細粒土混入バラストの粒度分布

キーワード : 細粒土混入バラスト、造粒化、軌道補修工法、繰返し載荷試験

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

その中に試料を投入し、締固め度 95%となるように締め固めて供試体を構築した。載荷荷重は最小荷重 0.4kN および最大荷重 14.8kN (荷重振幅 14.4kN) であり、載荷周波数 5Hz の正弦波で行った。

図 5 に試験手順を示す。供試体作製後、造粒化前の通排水および繰返し載荷 30 万回を行った。ここで、通排水とは円形モールドの下面に取付けた開閉コックから水を注水・排水する作業である。次に造粒化施工と通排水を行った後に、施工直後における列車荷重の影響を確認するため、造粒化 1 時間後に繰返し載荷 1000 回、造粒化 2 時間後に繰返し載荷 1000 回 (計 0.2 万回)、造粒化 3 時間後に繰返し載荷 1000 回 (計 0.3 万回)、造粒化 4 時間経過後に繰返し載荷 7000 回 (計 1 万回) とステップ載荷を行った。その後、造粒化 1 日経過後に 100 万回の繰返し載荷を行った。さらに 20 日経過後後につき固め補修を行い、30 万回の繰返し載荷を行った。

3. 試験結果

図 6 に載荷板変位と載荷回数の関係 ($F_c=5\%$) を示す。通常につき固め補修では、繰返し載荷 30 万回後の沈下量が 6.8mm であったのに対して、造粒化工法では繰返し載荷 100 万回後の沈下量が 3.8mm であり、44%低減した。造粒化工法を適用した後に通常につき固め補修を実施したところ、繰返し載荷 30 万回後の沈下量は 0.6mm となり、通常につき固め補修と比べて 91%低減した。また、造粒化工法施工直後の列車荷重を想定したステップ載荷により、施工後の 2 時間程度までに初期沈下が生じるものの、その後は沈下がほとんど進まなかった。

図 7 に載荷板変位と載荷回数の関係 ($F_c=8\%$) を示す。通常につき固め補修では、繰返し載荷 30 万回後の沈下量が 10.4mm であったのに対して、造粒化工法では繰返し載荷 100 万回後の沈下量が 5.9mm であり、43%低減した。造粒化工法を適用した後に通常につき固め補修を実施したところ、繰返し載荷 30 万回後の沈下量は 1.0mm となり、通常につき固め補修と比べて 90%低減した。また、 $F_c=5\%$ と同様に、造粒化工法の施工直後の 3 時間程度で初期沈下が生じるものの、その後の沈下を抑制する効果を発揮した。

以上より、通常につき固め補修のみに比べて、造粒化工法を施工することで沈下を抑制できることを確認できた。さらに、細粒分含有率が 8%であっても、造粒化工法の施工後の 2~3 時間以内に沈下が生じるものの、それ以降の沈下は小さくなった。

4. おわりに

円形モールドを用いた繰返し載荷試験により、造粒化したバラストの沈下特性を検討した結果、細粒分含有率が 8%であっても造粒化工法の補修効果を発揮することを確認した。本工法の開発に際して、様々なご指導をいただきました横浜国立大学の早野先生に深謝いたします。

【参考文献】

- 1) 瀧上他：細粒分含有率が高いバラストを活用したてん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
- 2) 中村他：造粒技術を活用した細粒土の混入率が高いバラスト道床の補修方法に関する実物大模型試験,第 52 回地盤工学研究発表会,2017.7

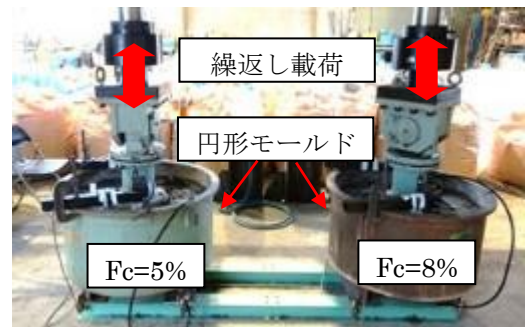


図 4 繰返し載荷試験の状況

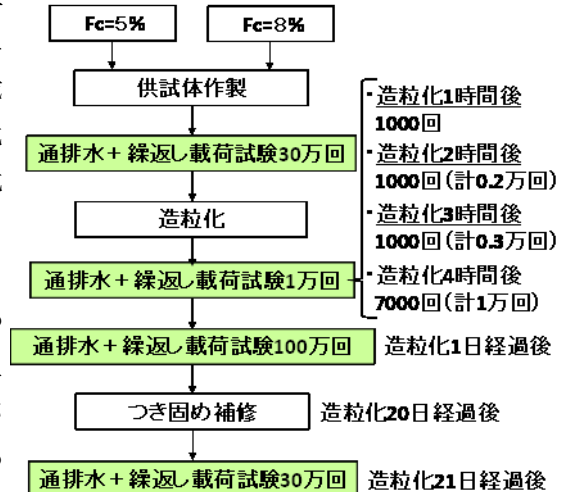


図 5 試験手順

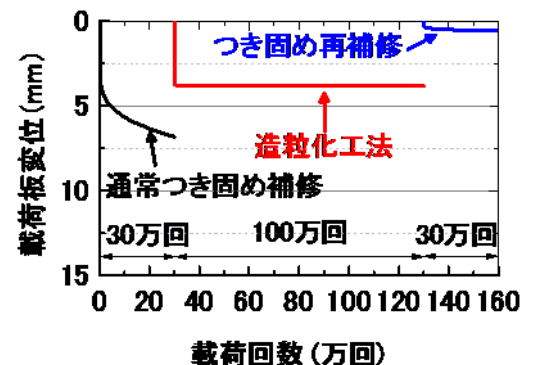


図 6 載荷板変位と載荷回数の関係 ($F_c=5\%$)

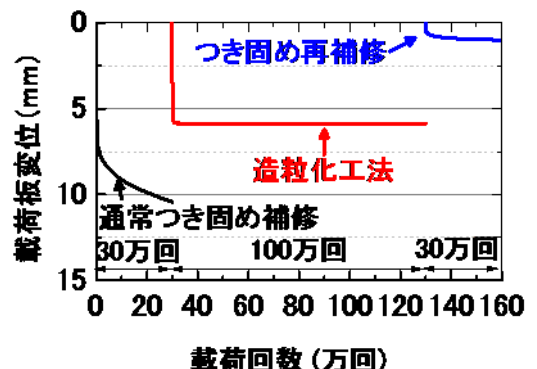


図 7 載荷板変位と載荷回数の関係 ($F_c=8\%$)