

細粒土の混入率が高いバラスト道床に対する超低強度安定処理工法の検討

(公財)鉄道総合技術研究所 正) ○景山 隆弘 中村 貴久 木次谷 一平 桃谷 尚嗣

1. 目的

鉄道のバラスト軌道は、列車の繰返し載荷やタイタンパによるつき固め補修によりバラストの細粒分含有率が高くなると、つき固め補修を行っても沈下が生じやすく、保守頻度が増大する。そのため、細粒分含有率が高いバラストは交換することが保守量低減の基本的な対策となるが、施工コストが高いことから列車間合いで施工可能であり補修効果が持続する低コストな沈下抑制対策工が求められている。そこで、本研究ではタイタンパを用いて細粒土混入バラストに超速硬セメントおよび高分子系固化材（以下、補修材）を混合し、施工後もつき固め作業ができるようにバラストを超低強度で安定処理して沈下を抑制する補修方法（以下、超低強度安定処理工法）を開発した。本研究では、繰返し三軸試験により超低強度安定処理工法の補修材の添加量を検討し、実物大模型を用いた繰返し載荷試験により沈下抑制効果を確認した。

2. 補修材の添加量に関する繰返し三軸圧縮試験

試料は、細粒分含有率 F_c （粒径 $75\mu\text{m}$ 未満の割合）を変えた 2 種類（ $F_c=8\%$ および $F_c=12\%$ ）のバラストとし、現地より採取したバラストに近い粒度分布となるように、新品バラストにクラッシュランおよびカオリンを混合して作製した（図 1）。三軸圧縮試験は、JGS 0524（圧密・排水）に準拠して供試体寸法を直径 100mm 、高さ 200mm の円柱形とし、供試体寸法と最大粒子径を考慮して試料の尖頭粒度を調整した。供試体は円柱モールドに含水比 8% （ $F_c=8\%$ 、 $S_r=68\%$ ）もしくは 10% （ $F_c=12\%$ 、 $S_r=77\%$ ）に含水調整した試料を 5 層に分けて入れ、締固め度 $92\%^{1)}$ を目標に締め固めて作製した。含水比は最適含水比より湿潤側とし、沈下量が大きくなる条件とした。試験手順は、最初に負圧 20kPa で等方圧密させた後、ハーバーサイン波で繰返し載荷を行った。載荷条件は、載荷回数 5000 回、載荷周波数 0.5Hz 、拘束圧 20kPa とし、鉛直応力振幅は $F_c=8\%$ が 133kPa 、 $F_c=12\%$ が 88.6kPa とした。鉛直応力振幅は、軸重 160kN に対してレールによる荷重分担率を $0.4^{2)}$ とし、次章の実物大試験に使用するまくらぎの底面積で除した値とした。超低強度安定処理したケースの養生時間は夜間の作業間合で初列車まで時間を考慮して 2 時間とした。補修材は、超速硬セメントと高分子系固化材を $1:1$ の割合で混合したものであり、補修材の添加量は、乾燥試料に対する質量%で示す。

$F_c=8\%$ と $F_c=12\%$ の沈下量と載荷回数の関係をそれぞれ図 2 と図 3 に示す。図 2 と図 3 より、無対策のケースと比較して、 $F_c=8\%$ のケースの沈下量は補修材を 0.2% 以上添加することで約 $1/8$ 、 $F_c=12\%$ のケースの沈下量は補修材を 0.3% 以上添加することで約 $1/7$ になった。一方、実施工ではタイタンパを用いてバラストに混合することから、現場での強度のばらつきを考慮し、次章の実物大試験では $F_c=8\%$ のケースでは補修材を 2% 添加し、 $F_c=12\%$ のケースでは補修材を 3% 添加することとした。ここで、タイタンパを用いたつき固めが可能な補修材の添加量を検討するため、直径 300mm の円柱モールドでタイタンパを用いたつき固め作業を実施したところ、補修材を 8% 添加したバラストに対して、問題なくつき固め作業を行うことができることを確認した。

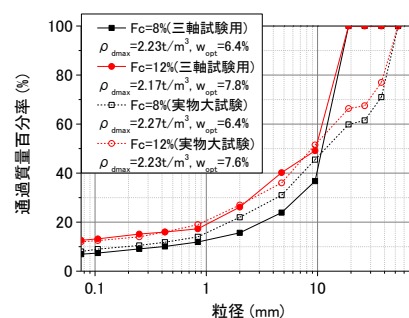


図 1 試料の粒度分布

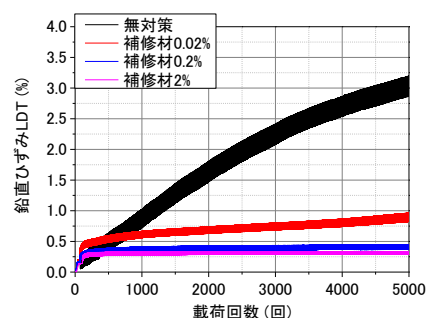


図 2 鉛直ひずみの推移($F_c=8\%$)

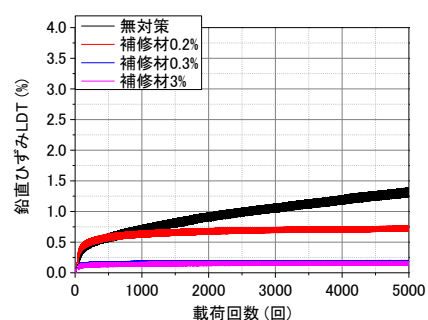


図 3 鉛直ひずみの推移 ($F_c=12\%$)

キーワード 繰返し、三軸圧縮試験、実物大模型試験、超低強度安定処理、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

3. 実物大試験による検証

実物大軌道模型はまくらぎ 1 本のバラスト軌道とした。試験ケースは、 $F_c=8\%$ で PC3 号まくらぎを用いた供試体（ケース 1）と $F_c=12\%$ で PC3H まくらぎを用いた供試体（ケース 2）の 2 ケースとした。バラストの粒度分布は、図 1 に示した通りである。載荷条件は、載荷回数 30 万回、載荷周波数 5Hz、載荷荷重は最小荷重 5kN および最大荷重 85kN とした。ケース 1 およびケース 2 の試験条件をそれぞれ図 4 および図 5 に示す。超低強度安定処理工法の施工ではまくらぎ 1 本あたり 8 箇所エンジン付きタイタンパでまくらぎ下まで削孔し、そこに補修材を投入する（図 6）。その後バラストを埋め戻して従来のタイタンパで通常のつき固め補修を実施する（図 7）手順とした。

図 8 にケース 1 のまくらぎ沈下量を示す。無対策のケースでは、載荷開始から沈下が急進し、その後も沈下がなだらかに増加して、30 万回の繰返し載荷で 32mm 程度の沈下が生じた。それに対し、補修材を 2%添加して安定処理することで、30 万回後の沈下量が 5.6mm 程度となり、無対策と比較して約 1/6 になった。ここで、三軸試験では沈下抑制効果が得られた補修材 0.2%の添加では、30 万回後の沈下量が 26mm 程度であり、無対策のケースと比較して約 20%の低減であった。これは、先に述べたタイタンパでの施工による強度のばらつきによるものと考えられる。図 9 にケース 2 のまくらぎ沈下量を示す。無対策のケースでは、ケース 1 と同様に載荷開始から沈下が大きく、30 万回の繰返し載荷で 27mm 程度の沈下が生じた。これに対して補修材を 2%添加することで、30 万回後の沈下量が 6mm 程度となり、無対策のケースと比較して約 1/5 になった。再度、補修材を 2%添加すること、沈下量が 3.5mm 程度となり、無対策のケースと比較して約 1/8 になった。さらに、タイタンパを用いて通常のつき固めを行い、30 万回載荷しても沈下量は 6mm 程度であったことから、超低強度安定処理後もつき固めは問題なく実施できると考えられる。

4. まとめ

本研究より、超低強度安定処理工法を施工することでまくらぎの沈下進みを抑制できることを確認した。今後、営業線での試験施工により本工法の保守効果を検証する予定である。

参考文献:1) 青柳智之, 石川達也, 松屋真吾, 中村貴久, 木次谷一平:

鉄道バラストの繰返し変形特性に及ぼす細粒分と含水状態の影響評価, 第

53 回地盤工学研究発表会, pp. 1185-1186, 2018. 2) 公益財団法人鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説一軌道構造, 丸善, pp. 363-371, 2012.



図 4 ケース 1 の試験条件

図 5 ケース 2 の試験条件



図 6 補修材を投入



図 7 つき固め補修

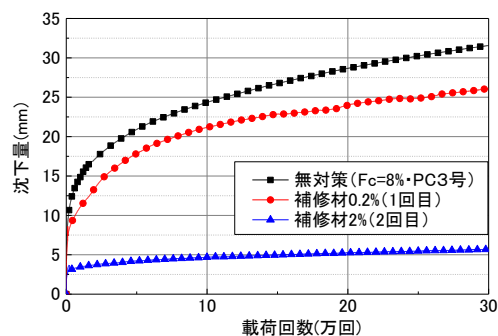


図 8 まくらぎ沈下量 (ケース 1)

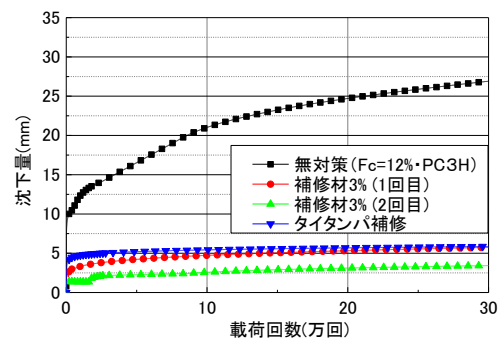


図 9 まくらぎ沈下量 (ケース 2)