

発生バラストを活用した営業線路盤改良工法の開発

軌道技術研究部 軌道・路盤研究室

主任研究員 桃谷尚嗣

1. はじめに

バラスト軌道において、路盤条件の悪い箇所では、軌道の沈下により大きな高低変位が生じるため、セメント安定処理土や鉄鋼スラグなどの強度の高い材料に置き換える路盤改良が行われる。しかしながら、これらの工法は入念に締固めを行う必要があるため十分な作業時間を確保する必要があり、夜間の短い作業時間では施工できる延長が限られる。

そこで、本研究では発生バラストを活用することで、短時間で簡易に施工することのできる新しい路盤改良工法を開発することとした。路盤改良が必要とされるような箇所では、バラストの細粒化や路盤土の混入により、タイタンパーでつき固めても十分な補修効果が得られない¹⁾ことから、路盤改良にあわせて道床交換を行うのが一般的である。そこで、これまで処分していた発生バラストを再利用し、グラウトと混合することで、路盤改良材として用いる方法を検討した。この工法では、これまで処分していた発生バラストを再利用するので、発生バラストの運搬及び処分の費用を削減できることに加え、環境負荷も軽減することができる。

ここでは、発生バラストを活用した路盤改良材の一軸圧縮試験、実物大繰返し載荷試験及び現地試験施工を行った結果について報告する。

2. 路盤改良材の一軸圧縮試験

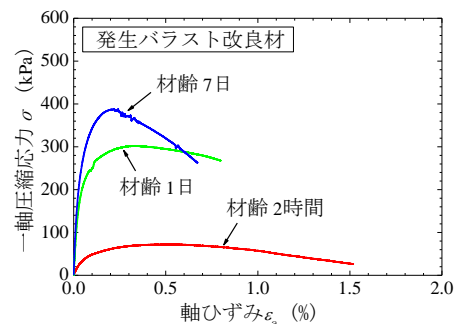
一軸圧縮試験は、バラストに珪砂を混合して発生バラストを模擬し、グラウト材で改良した「発生バラスト改良材」、土砂が混合していない新バラストをグラウト材で改良した「新バラスト改良材」、及びクラッシュラン (C-30) にセメントを 10% 加えて締め固めた「セメント安定処理材」について実施した。路盤改良材に使用するグラウト材の配合を表 1 に示す。グラウト材は 2 液式のセメント系固化材であり、ゲルタイムは 1 分程度である。

供試体の寸法は、発生バラスト改良材及び新バラスト改良材については直径 300mm、高さ 600mm、セメント安定処理については直径 100mm、高さ 200mm とした。

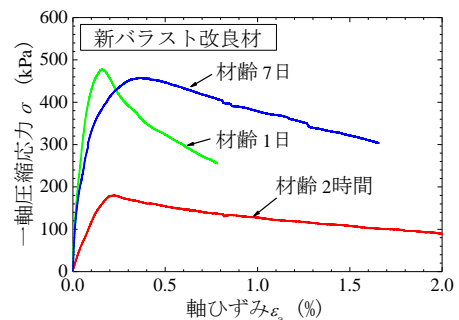
一軸圧縮試験の結果を図 1 に示す。グラウト材を用いたものについては、発生バラスト改良材と新バラスト改良材で、概ね同程度の強度となることが確認された。材齢 7 日におけるこれらの路盤改良材の変形係数は、列車荷重が作用した場合のひずみレベル $10^{-5} \sim 10^{-4}$ において約 1000MPa であった。試験施工を行う箇所の砂質土路盤の変形係

表 1 グラウト材の配合 (80l あたり)

A 液 (40l)	高炉セメント B 種	25kg
	促進剤	2.4 kg
	混練水	30.8 kg
B 液 (40l)	硬化剤	4.8 kg
	混練水	39.2 kg



(a) 発生バラスト改良材



(b) 新バラスト改良材

図 1 一軸圧縮試験の結果

数が約 100MPa であったので、路盤改良材として十分な剛性を有していると判断できる。

一方、セメント安定処理材については、材齢 7 日の変形係数が約 15000MPa であり、非常に高い剛性を有することを確認した。

3. 実物大繰返し載荷試験

(1) 試験条件

実物大繰返し載荷試験は、試験 A として発生バラスト改良路盤及び新バラスト改良路盤、試験 B としてセメント安定処理路盤及び未対策路盤の合計 4 ケースを実施した。試験条件を図 2 及び図 3 に示す。

試験土槽は幅 3.5m、長さ 7m、深さ 2.5m であり、土槽底部には厚さ 1000mm の EPS ブロックを入れることにより路盤の動的変位が大きくなる条件とした。EPS の上部は礫質砂を締め固めた路床とした。路盤表面から深さ 300mm の位置に遮水シートを敷き、その上に 5 号珪砂を用いた砂路盤を構築した。

路盤改良層の厚さについては、発生バラスト改良路盤及び新バラスト改良路盤は 200mm とした。

グラウト材を用いた路盤改良工法の施工状況を図 4 に示す。発生バラスト改良路盤の施工ではバラストと珪砂を混合した発生バラストを投入しながらグラウトを注入して路盤改良層を構築した。新バラスト改良路盤については、はじめにバラストを厚さ 200mm に撒き出し、その上からグラウト材を注入した。

なお、セメント安定処理路盤については、非常に高い剛性を有することを考慮し、発生バラスト改良路盤及び新バラスト改良路盤と同程度の施工時間となるよう、一層で締め固められる 100mm とした。

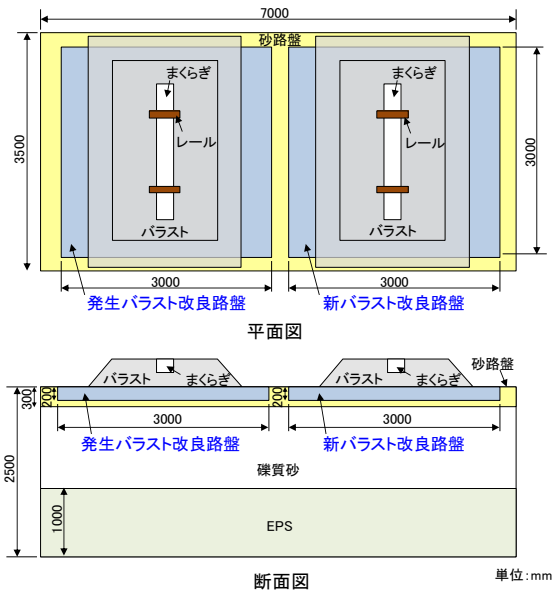


図 2 実物大試験の条件 (試験 A)

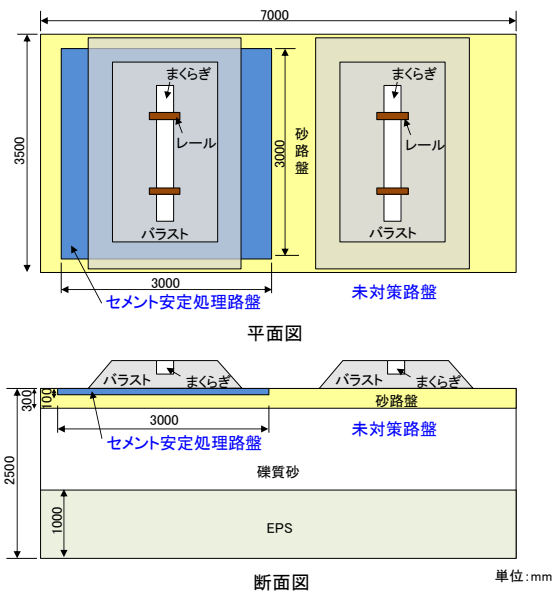


図 3 実物大試験の条件 (試験 B)



(a) 発生バラスト改良路盤



(b) 新バラスト改良路盤

図 4 グラウト材を用いた路盤改良工法の施工状況

路盤表面での地盤反力係数 K_{75} は発生バラスト改良路盤が 106MN/m^3 、新バラスト改良路盤が 80.0MN/m^3 、セメント安定処理路盤が 120.8MN/m^3 、未対策路盤が 52.8MN/m^3 であった。

それぞれの路盤の上にまくらぎ 1 本のバラスト軌道模型を設置して、載荷周波数 5Hz、最大荷重 85kN、最小荷重 5kN とし、100 万回の繰返し載荷を行った。試験開始時の水位は路盤表面から約 200mm 下がった位置とし、繰返し載荷回数約 30 万回で 150 リットル、約 45 万回、約 75 万回および約 85 万回で各 75 リットルをバラスト軌道上に散水した。散水後の水位は路盤表面と同程度となった。また 80 万回～90 万回の間は、路盤からポンプで水を汲み上げてまくらぎ上に散水する「水循環」を行った。

(2) 試験結果

路盤の残留変位を図 5 に示す。100 万回載荷後における路盤の残留変位は発生バラスト改良路盤が 3.3mm、新バラスト改良路盤が 3.0mm、セメント安定処理路盤が 1.0mm、未対策路盤は 4.0mm となった。セメント安定処理路盤の残留沈下量が最も小さくなったのは、路盤改良層の剛性が非常に高いことに加え、路盤の施工時に入念に締め固めたことにより、路盤改良層の下の砂路盤も締め固められたためであると考えられる。未対策路盤は散水した後に残留変位が大きくなったが、路盤改良したケースでは散水による残留変位量の変化は見られなかった。

路盤の変位振幅（全振幅）を図 6 に示す。100 万回載荷後の路盤の変位振幅は発生バラスト改良路盤が 0.80mm、新バラスト改良路盤が 0.63mm、セメント安定処理路盤が 0.58mm、未対策路盤が 0.87mm であった。

まくらぎの残留変位を図 7 に示す。100 万回載荷後のまくらぎの残留変位は発生バラスト改良路盤が 10.9mm、新バラスト改良路盤が 9.9mm、セメント安定処理路盤が 7.0mm、未対策路盤が 18.7mm であった。すべてのケースにおいて、散水とともにまくらぎの残留沈下が大きくなったが、散水を始めた約 30 万回載荷後から 100 万回載荷後までの残留変位量で比較すると、未対策路盤は 7.7mm であったのに対し、発生バラスト改良路盤が 3.4mm、新バラスト改良路盤が 3.7mm、セメント安定処理路盤が 3.4mm であり、路盤改良した場合の残留変位量は 3 ケースとも同程度であった。さらに、散水量を増加させた 75 万回から 100 万回までの残留変位量で比較すると、未対策路盤は約 2mm であったのに対し、路盤改良したケースは 3 ケースとも 0.3mm 程度であり、まくらぎの残留沈下量は非常に小さくなることが確認された。

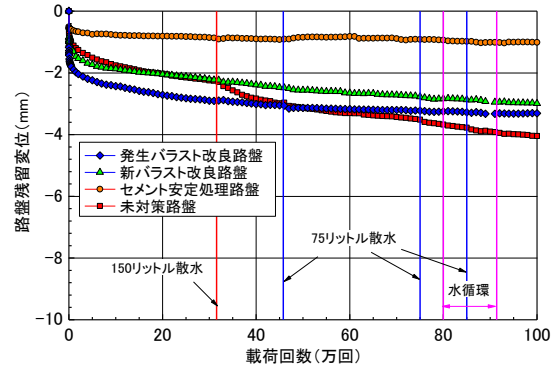


図 5 路盤の残留変位

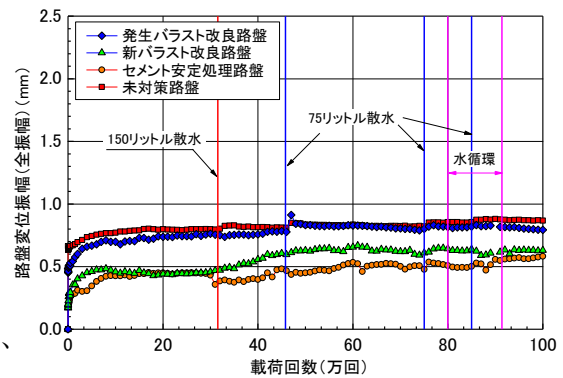


図 6 路盤の変位振幅（全振幅）

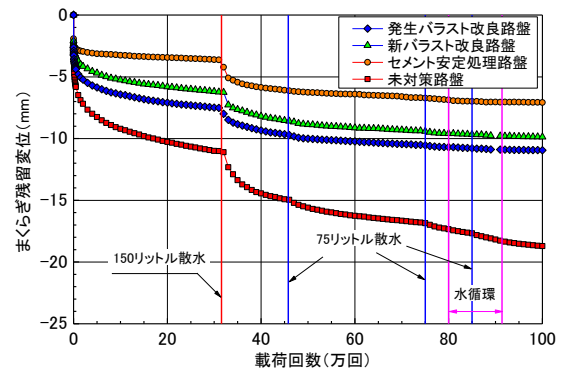


図 7 まくらぎの残留変位

4. 現地試験施工

現地試験施工はJR九州が実施した。現地試験施工では発生バラスト改良路盤及び新バラスト改良路盤について、それぞれ5mの延長で実施した。施工箇所は海岸近くの砂質土路盤であり、バラストは土砂混入した状態で排水性が悪く、噴泥を伴っていた。路盤改良層の厚さは、実物大繰返し載荷試験の結果を踏まえ、200mmとした。

路盤改良層に用いるグラウト材は図8に示すようにA液（セメント及び促進剤）及びB液（硬化剤）用にそれぞれ300リットルの大型容器を用意し、そこから泥水ポンプでくみ上げ、ホースの先端に取り付けた充填管内で混合しながら注入した。

発生バラスト改良路盤の施工において、本試験施工では比較的状態の良い道床肩部のバラストを主に使用することとした。撤去した発生バラストを線路脇に仮置きし、路盤を所定の深さまで掘削した後、発生バラストを厚さ100mmずつ撒き出してグラウト材を注入し、2層に分けて200mmの路盤改良層を構築した（図9、図10）。

新バラスト改良路盤の施工では、路盤を所定の深さまで掘削した後、ホッパー車でバラストを200mm撒き出し、その上からグラウト材を注入した。

軌道の撤去開始から工事終了までに要した時間は3時間程度であり、このうち、路盤改良層の構築に要した時間は1時間程度であった。本試験施工では十分余裕を持った工程であったので、一晩あたりの施工延長はさらに増加させることが可能であると考えられる。

試験施工後約3か月の時点で、高低変位の進展は見られず、良好な状態を維持していることを確認した。

5. おわりに

本研究では、路盤の剛性としては比較的高い砂路盤を対象として実物大試験及び現地試験施工を行った。今後は、路盤の剛性がより小さい粘性土路盤を対象として実物大試験による評価を行い、現地試験施工を行う計画としている。現地試験施工において、JR九州施設部保線課及び博多保線区にご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 伊藤壱記, 村本勝己, 中村貴久: タイタンパー補修に伴う道床バラストの密度変化, 第46回地盤工学研究発表会, 2011



図8 グラウト材（A液及びB液）



図9 発生バラストの撒き出し



図10 グラウト材の注入