

細粒土混入率が高いバラスト軌道における補修方法の開発

軌道技術研究部 軌道・路盤研究室
副主任研究員 中村 貴久

1 はじめに

バラスト軌道は、列車の繰返し荷重を受けて軌道が沈下すると、タイタンパーを用いてまくらぎ下にバラストをつき固めて軌道整正を行う。バラスト道床が健全な場合は、列車荷重を受けることによるバラストの密度変化が小さいことから、つき固め補修後の軌道沈下が小さく、補修効果の持続が期待できる。一方、細粒土混入率の高いバラスト（以下、細粒土混入バラストという）道床の場合、細粒土混入バラストは密度変化が大きく、さらに雨水等で飽和度が増加すると強度の低下が考えられることから、つき固め補修後の軌道沈下が大きくなりやすく、補修効果が持続しにくい。そのため、細粒土混入率が高いバラスト軌道では、道床交換を行うことが保守量低減の抜本的な対策となる。しかし、閑散線区では、維持管理コストを削減するために、できるだけ道床交換を行わずに軌道整正を行なうことが望まれている。

そこで、閑散線区の道床不良区間における補修方法として、生分解性ポリマーを用いた軌道補修方法の開発を行うこととした。本工法はタイタンパーのつき固め補修を応用したものであり、つき固め補修時に補修材を投入することで、沈下低減効果が期待できるものである。

本研究では、細粒土混入バラストを用いた実物大バラスト軌道模型を構築し、本補修方法の補修効果を検討した。また、営業線での試験施工により、施工性および補修効果の検証を行った。

2 ポリマーを用いた軌道補修方法

細粒土混入率が高いバラスト軌道においてバラスト交換を行わずに軌道補修を行う方法として、ポリマー安定処理工法を開発した。本工法は、つき固め補修時に補充用砕石および補修材を投入した後にタイタンパーのつき固め補修を行うことで、まくらぎ下の細粒土混入バラスト道床を安定処理し、補修後の軌道沈下を抑制して補修効果を保持するものである。図1に本工法の概要を示す。

補修材は、ポリビニルアルコール水溶液（以下、ポリマー水溶液という）と、珪酸ソーダを主成分とする反応促進剤の2剤で構成される（図2）。表1に本補修材の成分を示す。本補修材は、2剤を混合後数分で硬化を開始するものである。ポリマー水溶液と反応促進剤を混合させるとポリマーのゲル化が開始し、細

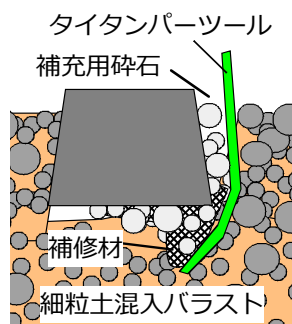


図1 ポリマー安定処理工法の概要



図2 反応促進剤とポリマー水溶液

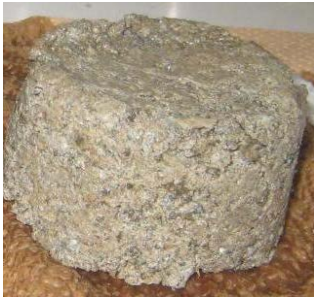


図3 補修材を混合した細粒土混入バラスト

表1 補修材の成分

材料	諸元	備考
ポリマー水溶液	ポリビニルアルコール (PVA)水溶液	地盤改良材
反応促進剤	珪酸ソーダ造粒体	地盤改良材

粒土混入バラストと攪拌混合させることで細粒土混入バラスト道床を安定処理することができる(図3)。また、施工に際して特殊な施工装置を不要とし、補修材と同時に投入する補修用の砕石が短期的な支持力を発揮するため、日中の列車間合いでの施工も可能である。なお、補修用の砕石は、バラストよりも小粒径の砕石を使用することとし、本検討では入手しやすい砕石として、コンクリート用骨材 4020 を用いることとした。

本工法は、混合した補修材をつき固め箇所に流し込むことにより、2 剤を無駄なく反応させることができ、強度発現のばらつきを抑制できる。また、補修材がまくらぎ下面へ押し込まれる過程でバラストと補修材が混合して一体化するので、補修効果のばらつきを抑制できる。

3 実物大模型軌道の載荷試験による施工性と効果の確認

3.1 繰返し載荷試験の方法

ポリマー安定処理工法の補修効果を確認するため、実物大軌道模型を構築し、繰返し載荷試験を行った。実物大模型の概要を図4に示す。バラスト軌道模型は、模型延長がまくらぎ5本分であり、道床厚は200mmである。模型道床は、現場の噴泥発生箇所より採取したバラストと同様の粒度分布となるように粒度調整した細粒土混入バラストを用いた。バラストの粒度分布を図5に示す。細粒土混入バラストは、粒径30mm以下から基準粒度を大きく外れており、細粒分を多く含むことがわかる。模型路盤は、軟弱路盤とし

表2 載荷条件

繰返し載荷回数	60万回
載荷周波数	5Hz
押え荷重	5kN
載荷荷重振幅	160kN
載荷波形	正弦波
散水タイミング	30万回載荷後

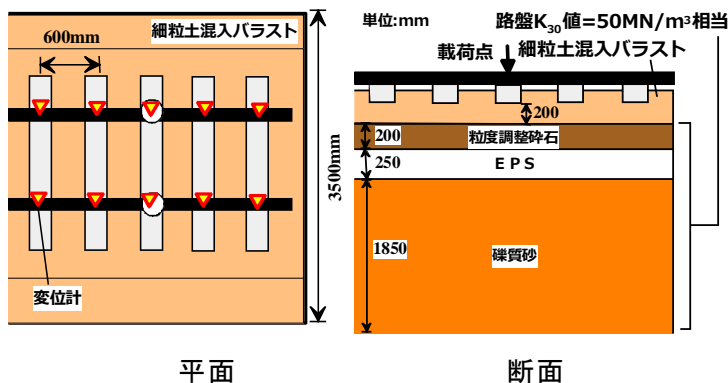


図4 実物大模型の概要

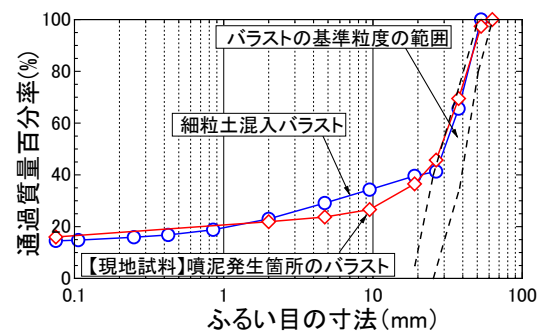


図5 バラストの粒度分布



図6 ポリマー安定処理工法の施工状況

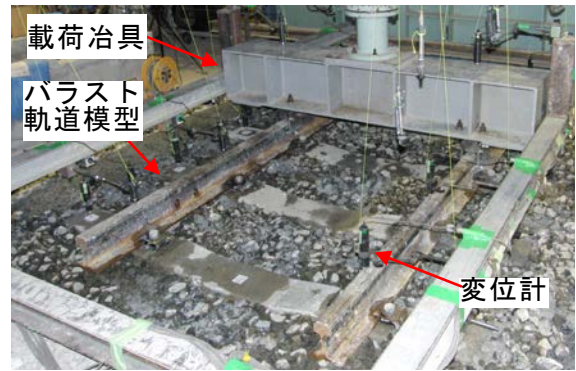


図7 荷重試験状況

て軌道変位進みが比較的大きくなるように、地盤反力係数 (K_{30} 値) が 50MN/m^3 の条件と同等となるよう、FEM 解析を用いて層構成を決定した。試験ケースは、タイタンパーによるつき固め補修を行った場合（以下、通常補修ケースという）およびポリマー安定処理工法による軌道補修を行った場合（以下、ポリマーケースという）の2ケースである。

通常補修ケースの軌道模型構築手順を以下に示す。

- ① 仕上り厚が 180mm となるように、細粒土混入バラストを試験土槽内にまき出し、まくらぎ5本分の軌きょう（締結間隔： 600mm ）を設置する。
- ② 軌きょうを 20mm 扛上して道床厚 200mm とし、タイタンパーを用いた軌道整正を行う。
- ③ 中央のまくらぎ上に、1万回の繰返し荷重を荷重振幅 160kN 、周波数 5Hz で行い、散水後 (10L/m^2)、さらに1万回の繰返し荷重を同条件で行う。
- ④ 軌きょうを 20mm 扛上し、タイタンパーを用いた軌道整正を行う。

ポリマーケースの軌道模型は、通常補修ケースの60万回荷重試験後の軌道模型を用いて、軌きょうを 20mm 扛上後、ポリマー安定処理工法による軌道補修を行ったものである。本工法による施工状況を図6に示す。なお、ポリマー安定処理工法の養生時間は4時間とした。

荷重条件を表2に示す。各ケースとも降雨の影響を検討するため、30万回荷重後にまくらぎ周辺に散水 (10L/m^2) を行った。試験では、まくらぎの中央部および左右両端部に変位計を設置し、まくらぎ変位を計測した。荷重試験状況を図7に示す。

3.2 試験結果

図8に荷重時における荷重点直下のレール変位の推移を示す。通常補修ケースの場合、繰返し荷重直後から1千回程度までのレール変位が急増し、その後、30万回まで沈下が漸増した。また、30万回目で散水するとさらに変位進みが増加していることがわかる。荷重直後の初期沈下は、タイタンパーによるつき固めにより、まくらぎ下のバラストの密度が低下したことによるものであり、散水後の変位進みの増加は、含水比が増加して細粒土混入バラスト道床の強

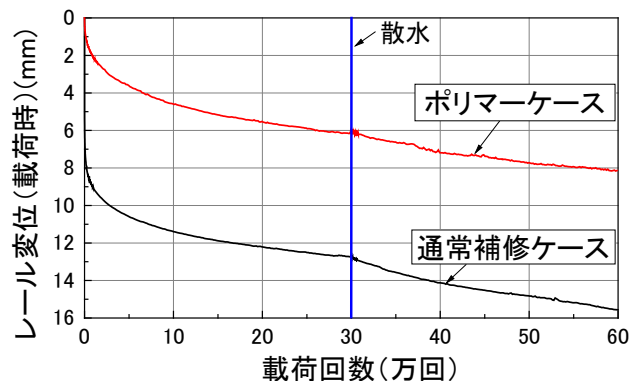


図8 レール変位の推移（荷重時・荷重点直下）

度が低下したことによるものと考えられる。

ポリマーケースの場合、繰返し载荷直後から1千回程度までのまくらぎ変位が通常補修ケースの1/8程度に低減していることがわかる。また、その後の変位進みは通常補修ケースと同程度であるが、散水後の変位進みは30~60万回で通常補修ケースよりも3割程度低減していることを確認した。これは、つき固め時に投入した補修用の小粒径砕石による支持力の増加と細粒土混入バラスト道床のポリマーによる強度増加により、つき固め補修直後の強度低下が抑制されたものであり、さらに細粒土混入バラスト道床が改良され、散水による変位進みが低減したのと考えられる。

以上より、ポリマー安定処理工法は、補修材の強度が発現されることでつき固め補修時の初期沈下を抑制でき、含水比の増加による細粒土混入バラスト道床の強度低下を抑制することで、散水後の沈下の進行を抑制する効果を発揮することを確認した。

4 現地試験による補修効果の検証

4.1 試験概要

ポリマー安定処理工法の補修効果を確認するため、営業線において試験施工を行った。当該箇所はバラストの細粒土混入率が高く、継目落ちが発生しており、タイタンパー補修では補修効果が保持できない保守多投入箇所である。年間通過トン数は400万トン程度、軌道諸元は50kgNレール、PCまくらぎ（継目部は大判まくらぎ）、道床厚200mmであり、単線の直線区間である。支持構造物は浅い切土である。施工延長は継目部のまくらぎを含む前後のまくらぎ2本目までであり、計まくらぎ5本を補修した。

4.2 補修効果

施工前後の10m弦高低変位の推移を図9に示す。なお、当該箇所では、通常のタイタンパー補修を行ってから3ヶ月が経過した時点で、ポリマー安定処理工法による補修を行っている。ポリマー安定処理工法を施工してから10ヶ月が経過し、施工前（タイタンパー補修3ヶ月後）の高低変位よりも沈下が抑制されていることがわかる。また、軌道変位進みが0.2mm程度/月とタイタンパー補修に比べて格段に小さくなり、軌道状態は良好に推移している。一方、本施工結果は実物大模型試験結果よりも沈下進みの抑制効果が発揮されているが、これは道床状態が試験条件よりも良好であったことによるものと考えられる。

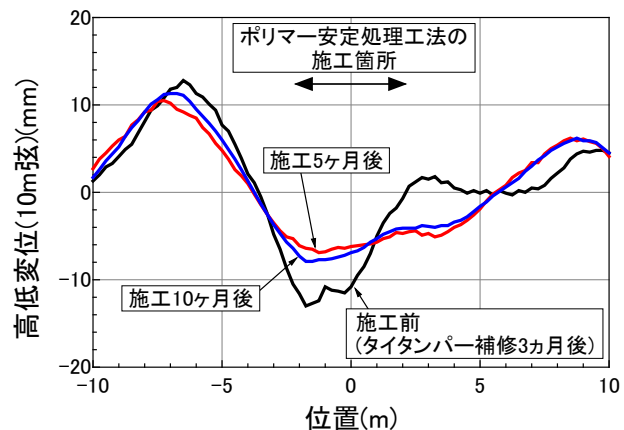


図9 施工後の軌道変位の推移

5 おわりに

通常のタイタンパーによるつき固め補修では補修効果が持続しない細粒土混入バラスト区間で、ポリマー安定処理工法による軌道補修を行い、高い補修効果が得られることを確認した。本工法の開発は終了し、今後は、試験施工箇所の経過観察により補修効果の検証を行うとともに、実用化に向けて補修材の低コスト化を図る予定である。