

バラストを用いたプレパックドコンクリートによる路盤の強化方法

- [土]中村貴久 [土]桃谷尚嗣 [土]高橋貴蔵 (鉄道総合技術研究所)
 [土]渡邊明之 [土]佐伯和浩 [土]中出千博 (東日本旅客鉄道株式会社)

Reinforced roadbed with prepacked concrete using ballast aggregate

○Takahisa Nakamura, Yoshitsugu Momoya, Takatada Takahashi (Railway Technical Research Institute)

Akiyuki Watanabe, Kazuhiro Saeki, Kazuhiro Nakade (East Japan Railway Company)

At the structural transition between a concrete structure and an earth structure, much maintenance work is generally necessary because the local track settlement is likely to occur. At the structural transition, an approach blocks have been introduced in the recent railway constructions; however, it is difficult to construct them for the existing lines. Moreover no effective countermeasure has been developed for the structural transition area in the existing line.

For the countermeasure against the track settlement at the structural transitions, authors developed a reinforced roadbed with the concrete blocks. In this study, we performed a moving-wheel loading test and a full-scale track model test in order to clarify the deformation characteristics of concrete block roadbed. Consequently, we confirmed that the countermeasure was effective against track settlement.

キーワード：構造物境界、プレパックドコンクリート、路盤、軌道支持剛性、模型試験

Key Words : structural transition, prepacked concrete, roadbed, track stiffness, model test

1. はじめに

ボックスカルバートや橋台等のコンクリート構造物と盛土等の土構造物の接続部では、軌道の沈下が生じやすく、軌道保守上の弱点箇所となることが多い。そのため、盛土を新設する際には図1に示すようなアプローチブロックを設けることによって軌道の支持剛性を滑らかに変化させ、局所的な軌道沈下が生じないような対策をとっている。しかしながら、既設の盛土にはアプローチブロックを持たない構造が多く、このような盛土では構造物境界部における軌道沈下が問題となることが多い。既設盛土に新たにアプローチブロックを設けるのは困難であるが、軌道側からの沈下対策についてもこれまで効果的な方法がなかった。

アプローチブロックを設けずに構造物境界部の軌道沈下を抑制する方法としては、路盤の強化が有効であることがこれまでの検討で明らかとなっていたが¹⁾、営業線の夜間

作業で剛性の高い路盤を構築できる具体的な工法が提案されていなかった。そこで、営業線の夜間作業で施工できる方法として、バラストを骨材に用いたプレパックドコンクリートによる路盤強化について検討を行うこととした。構造物境界部の軌道沈下を抑制するためには剛性の高い路盤構造が求められるが、その一方で盛土に変形が生じた場合にはその変形に追従できることが望ましい。そのような条件を満足する路盤の強化工法として、バラストを骨材に用いたプレパックドコンクリートの路盤をブロック状に分割して施工する方法について検討することとした。

本研究では模型を用いた移動荷重載荷試験および実物大のまくらぎ繰返し載荷試験を行い、プレパックドコンクリートをブロック状に分割した路盤（プレパックドブロック路盤）の軌道沈下抑制効果およびその施工性について評価を行った。

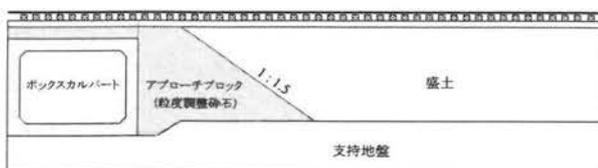


図1 アプローチブロックの概要

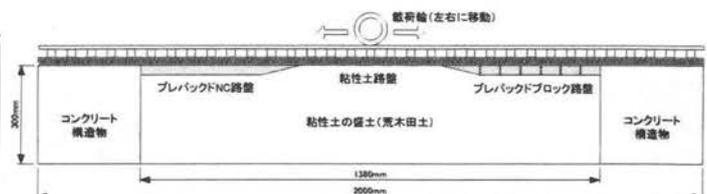


図2 模型実験の条件

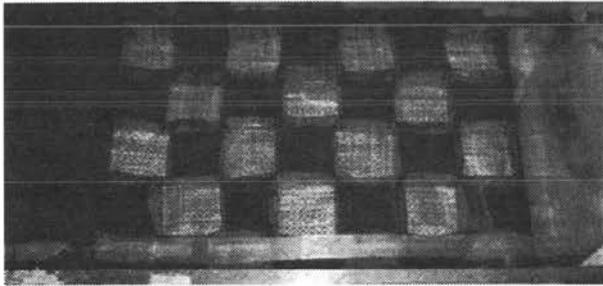


図 3 プレパックドブロックのPP製角型袋の配置

2. 移動荷重載荷試験

2.1 供試体作製

移動荷重載荷試験装置²⁾を用いた模型実験の条件を図2に示す。模型の縮尺は1/10とし、模型の両端にコンクリート構造物、模型の中央部に粘性土（荒木田土）の盛土を設けた。荒木田土の最大乾燥密度 ρ_{dmax} (E-c法)は1.693g/cm³であり、模型の盛土は乾燥密度1.605 g/cm³（締固め度94.8%）で作製した。バラスト層には単粒度砕石（7号）を用い、まくらぎ模型（幅24mm、長さ200mm、高さ20mm）およびレール模型（幅20mm、高さ10.56mm、 $I=1.96 \times 103mm^4$ ）は鉄製とした。

2.2 試験条件

試験条件は模型左側の構造物境界部にプレパックド NC 路盤（無筋コンクリートのコンクリート版）、右側にプレパックドブロック路盤を設けて比較を行った。なお、プレパックド NC 路盤およびプレパックドブロック路盤の模型については、縮尺1/10のスケールではバラスト間にモルタルを充填することが困難であるため、モルタルのみで作製した。プレパックドブロック路盤については図3に示すように、PP（ポリプロピレン）製の角型袋を市松模様を設置した状態でモルタルを流し込むことでブロック状に分割した。

載荷荷重を1.2kNとし、載荷輪の移動速度10mm/secで2500回（1250往復）の移動荷重載荷を行った。

2.3 試験結果

2500回目の載荷時および除荷時におけるまくらぎ位置と変位の関係を図4に示す。支持剛性の高いコンクリート構造物上ではまくらぎ沈下量が小さく、支持剛性の小さい粘性土盛土ではまくらぎ沈下量が大きくなる状況が模型において再現できていることが確認できる。このような構造物境界部における路盤の構造にはコンクリート構造物上か

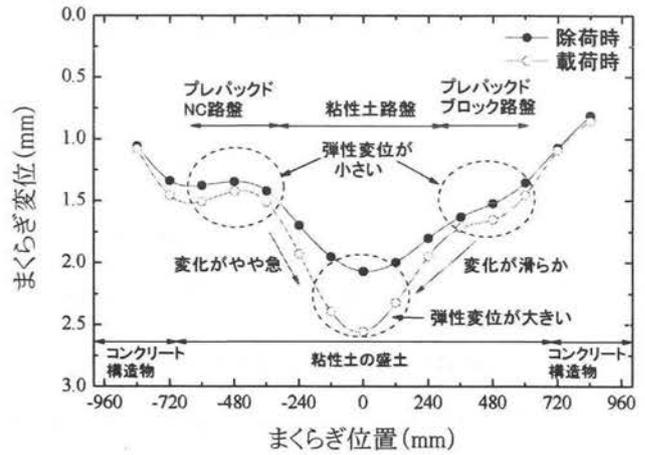


図 4 まくらぎ沈下量の比較

ら粘性土盛土上へできるだけ滑らかにまくらぎ沈下量を変化させる機能が求められる。

プレパックドブロック路盤は沈下量の絶対値としてはプレパックド NC 路盤よりもやや大きいものの、粘性土路盤と比較すると十分小さく、構造物境界部における軌道沈下を抑制できていることがわかる。また弾性変位（載荷時と除荷時の変位の差）も十分小さく、プレパックド NC 路盤と粘性土路盤の境界部ではまくらぎ沈下量の変化がやや急であるのに対し、プレパックドブロック路盤と粘性土路盤の境界部では変化が滑らかである。これらの結果から、プレパックドブロック路盤は適切な支持剛性を有しつつ、コンクリート構造物から盛土へ軌道沈下量を滑らかに変化させる機能を有していると判断できる。

3. 実物大模型試験

プレパックドブロック路盤の変形特性を検討するため、実物大模型を用いた繰返し載荷試験を行った。

試験は、「プレパックドブロック路盤」と「土路盤」の2ケースである。

3.1 供試体作製

図5に模型概要を示す。土路盤は、 K_{30} 値で50MN/m³程度の剛性が得られるように、砂質礫およびEPS（発泡スチロール）を用いて作製しており、締固め度95%に締め固めた砂質礫の上に、EPSブロック（幅500mm×奥行き500mm×厚さ250mm）を設置し、その上に砂質礫（厚さ300mm）を締め固めて構築した。プレパックドブロック路盤につい

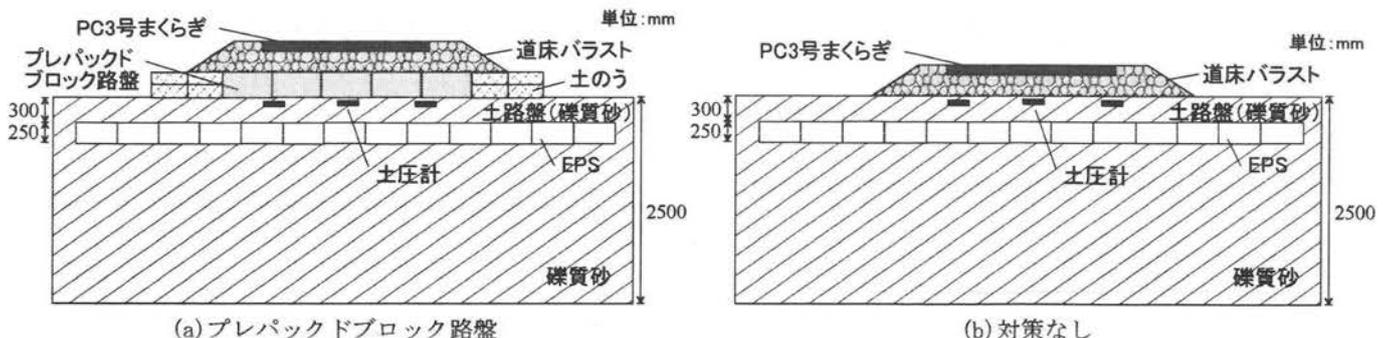


図 5 実物大模型試験概要（まくらぎ長手方向における断面）



図 6 コンテナバッグの配置

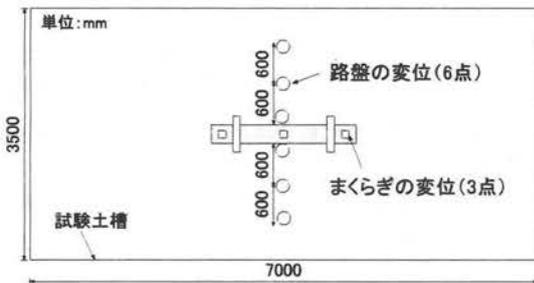


図 7 変位計の配置 (模型上面)

では、土路盤上にバラストを入れたコンテナバッグ (幅 600mm×奥行き 600mm×高さ 300mm) を図 6 のように配置し、コンテナバッグの間にもバラストを充填した後、不織布の内側のバラスト内にプレパックドコンクリート用モルタル (設計基準強度 60MN/m²) を注入し、コンテナバッグで分割されたコンクリートブロックを構築した。

軌道は、PC3号まくらぎ 1 本からなる有道床軌道である。道床厚は 250mm であり、締固め度が 95% となるようにバラストを締固めて作製した。なお、土路盤内の土圧は、図 5 に示す路盤表面より 50mm の深さに埋設した土圧計 (3 箇所) により、路盤変位は、路盤表面に設置した変位計 (計 6 本) により、まくらぎ変位はまくらぎ上に設置した変位計 (計 3 本) により計測した。変位計の配置を図 7 に示す。

3.2 試験条件

レールを介してまくらぎ 1 本に対して、繰返し載荷試験を行った。載荷試験の概要を図 8 に示す。載荷荷重は、押さえ荷重を 5kN とし、片レールあたり 30kN の荷重振幅により 50 万回の繰返し載荷を行った後、50kN で 50 万回の繰返し載荷を行った。載荷周波数は 7Hz であり、載荷波形は正弦波とした。プレパックドブロック路盤ケースに関しては、繰返し載荷試験後に破壊試験として、降伏するまで静的載荷を行った後に、載荷荷重 50kN で 1 万回の繰返し載荷を行った。

3.3 試験結果

(1) 繰返し載荷試験

図 9 に、まくらぎ、路盤および道床 (まくらぎ変位と路盤変位との差) の各部材における残留変位量の推移を示す。同図より、土路盤ケースのまくらぎ変位は、30kN 作用時に載荷初期の変位が著しく、その後、ゆるやかに増加し、

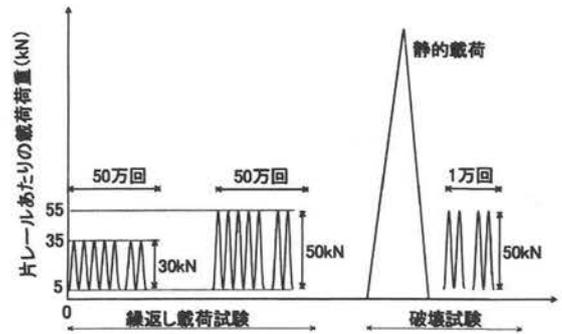


図 8 載荷試験の概要

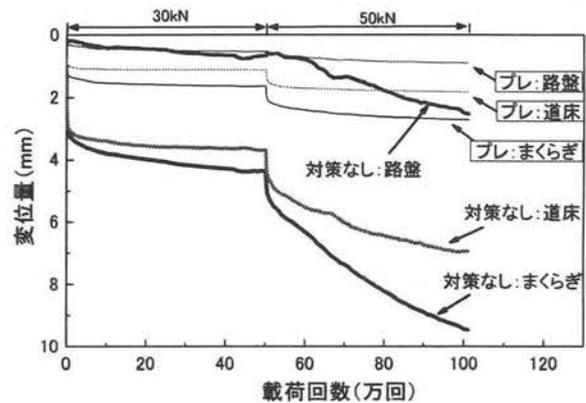


図 9 各部材における残留変位量の推移

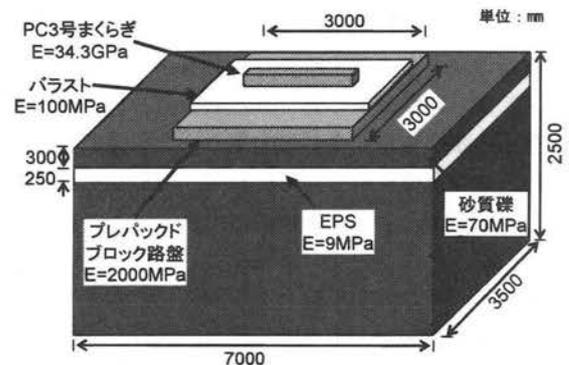


図 10 試験断面の解析モデル概要 (プレパックドブロック路盤の場合)

累積 50 万回で 4.4mm 程度の残留沈下が発生した。50kN に荷重を増加させると、載荷直後にまくらぎ変位が大きくなり、その後も変位が増加し、累積 100 万回で 9.4mm 程度の残留変位が発生した。一方、プレパックドブロック路盤ケースの場合は、どちらの載荷荷重に対しても載荷初期からすぐに変位は収束し、土路盤に対して 30kN 載荷後の残留変位が 63%程度、50kN 載荷後で 71%程度の変位抑制効果が確認された。また、路盤および道床 (まくらぎ変位と載荷点付近の路盤変位との差分) における変位の推移から、道床変位に比べると路盤変位は小さく、道床の変形が軌道沈下の主な原因であると判断できる。

ここで、図 10 に示す解析条件により、両ケースについて、実験断面をモデル化した 3 次元静的 FEM 解析を行い、実験結果との比較を行った。比較する実験条件は、路盤表面における変位振幅および土圧の振幅についてであり、載荷荷重 30kN、50 万回載荷時の場合とした。なお、振幅と

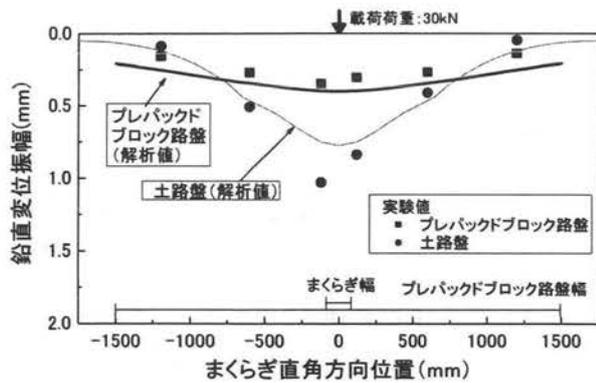


図11 路盤変位振幅とまくらぎ直角方向位置との関係

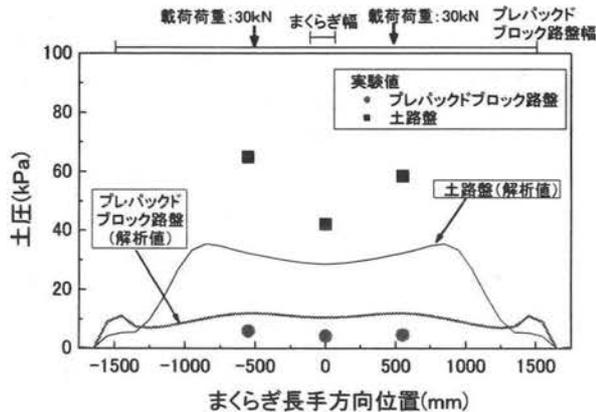


図12 土圧の振幅とまくらぎ長手方向位置との関係

は最大荷重時と最小荷重時の差である。

図11は、路盤表面における変位振幅とまくらぎ直角方向位置との関係を示したものである。土路盤ケースの実験結果は、荷重点直下付近の変位振幅が解析結果よりやや大きく、路盤端部との変位振幅差が大きいことがわかる。一方、プレバッドブロック路盤ケースでは、解析結果と概ね一致しており、荷重点直下と路盤端部との変位振幅差は小さく、荷重荷重が分散されている。また、土路盤ケースの実験結果に比べて、荷重点直下付近の変位振幅が60%程度低減されており、荷重初期からの変位振幅に変化が見られなかったことから、高い支持剛性を保持しているものと考えられる。

図12は、土圧の振幅とまくらぎ長手方向位置との関係を示したものである。土路盤ケースの実験結果から、荷重点直下付近で70kPa程度の土圧が発生しており、まくらぎ直下で解析結果よりも高い値を示している。これは、実バラスト道床の場合、荷重荷重が荷重点直下付近に集中しやすいためであり、まくらぎ中央部との差が大きいのも不連続体としての傾向が強いことによるものと考えられる。一方、プレバッドブロック路盤ケースの実験結果から、荷重点直下付近の土圧が土路盤ケースの80~90%程度に低減されており、解析結果が概ね一致している。これは、道床から伝達された荷重が、プレバッドブロック路盤によって分散され、路盤下に作用していることによるものと考えられる。

(2) 破壊試験

プレバッドブロック路盤に対し、変位制御により静的

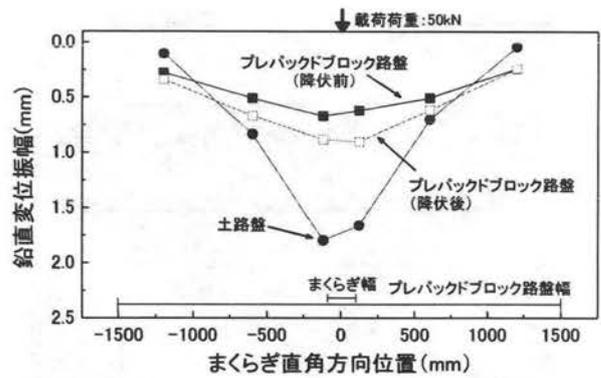


図13 土圧の振幅とまくらぎ長手方向位置との関係

載荷を行った。その結果、荷重荷重が片レールあたり200kN程度から増加しなくなったことから、降伏に至ったと判断した。図13は降伏後の路盤表面における変位振幅とまくらぎ直角方向位置との関係を示したものである。なお、実験条件は、荷重荷重50kNの場合について整理している。同図より、降伏したことによりプレバッドブロック路盤における荷重点付近の変位振幅は39%程度増加しているが、土路盤ケースの1/2程度であることがわかる。つまり、仮に著大輪重が作用して降伏に至ると支持剛性はやや低下するものの、土路盤と比較して2倍程度の支持剛性を保持するものと考えられる。

4. まとめ

構造物境界に対して、プレバッドコンクリートによる路盤の強化方法について検討したところ、以下の知見が得られた。

- ① 1/10スケールの模型試験から、プレバッドブロック路盤は適切な支持剛性を有しつつ、コンクリート構造物から盛土へ軌道沈下量を滑らかに変化させる機能を有していることがわかった。
- ② 実物大模型試験から、プレバッドブロック路盤と土路盤の両者を比較したところ、プレバッドブロック路盤を設置することにより、路盤に作用する荷重を低減させ、まくらぎ変位を60%程度低減できることがわかった。
- ③ プレバッドブロック路盤は、5倍輪重程度の著大輪重によって降伏すると、支持剛性がやや低下するが、それでも土路盤と比較して2倍以上の支持剛性を示すことがわかった。

今後は、試験施工により、プレバッドブロック路盤を構造物境界に設置した場合の軌道変位抑制効果について検討する予定である。

【参考文献】

- 1) 桃谷尚嗣, 関根悦夫, 高橋貴蔵, 中村貴久: 構造物境界部の路盤強化による軌道沈下抑制効果, 日本鉄道施設協会誌, 日本鉄道施設協会, 2008
- 2) 桃谷尚嗣, 関根悦夫: 小型模型を用いた鉄道路盤の移動荷重載荷実験, 第57回年次学術講演会, 土木学会, 2002