

水平加振によりバラストを締め固めて 酷暑期のつき固め作業制限を緩和する



中村 貴久
Takahisa Nakamura
軌道技術研究部
軌道・路盤研究室
主任研究員



高浦 真行
Maiku Takaura
軌道技術研究部
軌道・路盤研究室
研究員



景山 隆弘
Takahiro Kageyama
軌道技術研究部
軌道・路盤研究室
研究員



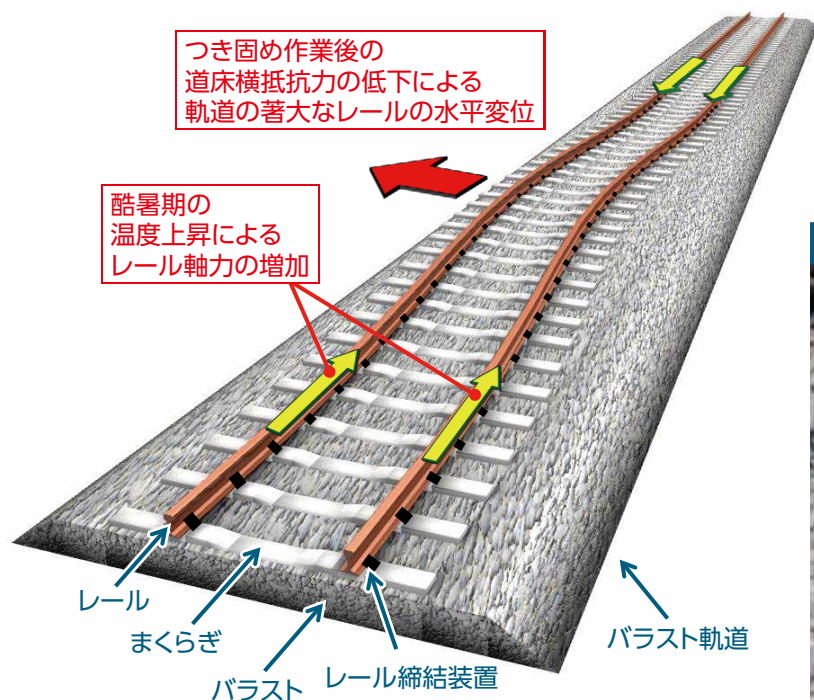
早川 容平
Yohei Hayakawa
元 軌道技術研究部
軌道・路盤研究室
研究員

はじめに

バラスト軌道は、バラスト、まくらぎ、レール、レール締結装置などから構成される軌道構造です(図1)。酷暑期には、レール温度の上昇にともないレールが伸長しようとしてレールの軸方向の圧縮力(以下、レール軸力)が大きくなり、軌きょうを横方向に変位(以下、レールの水平変位)させようとする力が作用しますが、これに対して、まくらぎ周辺のバラストが抵抗力を発揮(以下、道床横抵抗力という)してレール

の水平変位を防止します。一方、バラスト軌道の上を列車が何度も走行すると、まくらぎを支持するバラストが徐々に沈下してレール面に相対変位が生じるため、**タイタンパー**を用いたつき固め作業を行い、レール面を整流します。このつき固め作業によりバラストが緩められ、酷暑期に道床横抵抗力が低下すると、図2に示すような著大なレールの水平変位が生じやすくなることから、多くの鉄道事業者では酷暑期につき固め作業を制限しています。

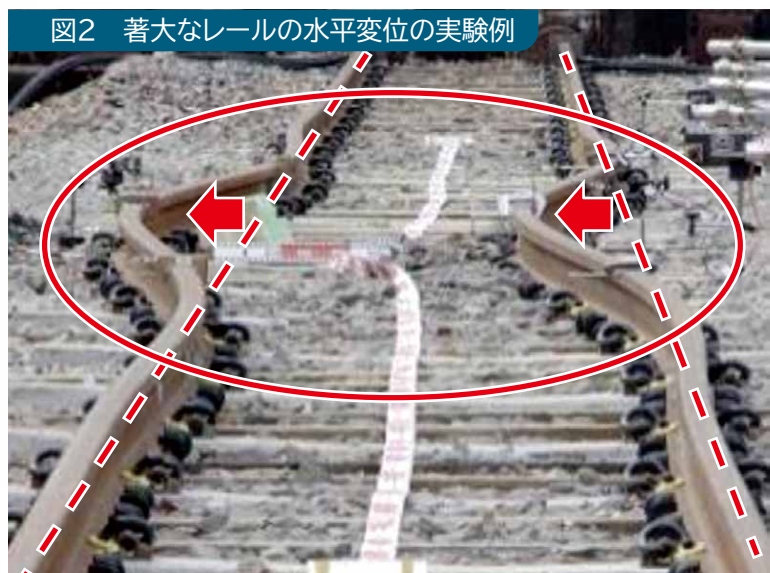
図1 バラスト軌道の構造



タイタンパー

軌道の沈下を整流するためのバラストのつき固めを行う専用の機械をタイタンパーとよびます。タイタンパーの先端のタンピングツールが振動することで、まくらぎ下にバラストを容易につき込むことができます。人力で操作するものをハンドタイタンパーとよび、自走可能なつき固め専用の鉄道車両をマルチプルタイタンパーとよびます。

図2 著大なレールの水平変位の実験例



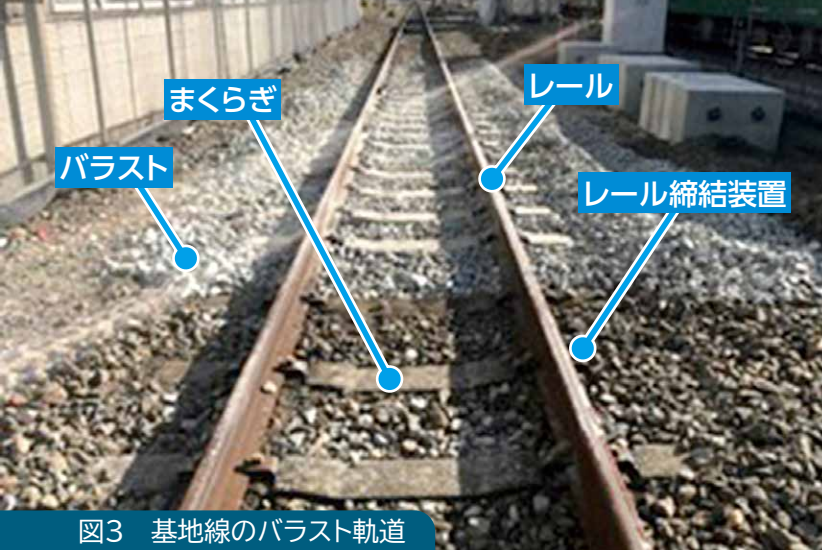


図3 基地線のバラスト軌道



図4 つき固め作業 (タンピングユニット)

一部の鉄道事業者では年間を通じた作業量の平準化を目的に酷暑期でも作業を実施することが検討されています。つき固め作業により道床横抵抗力が低下したバラスト軌道に対して、レール上を走行しながら水平方向に水平加振を行い、バラストを締め固める作業（以下、道床安定作業という）を実施する道床安定作業車（以下、スタビライザーという）の導入が検討されていました。これにより、つき固め直後のバラストを締め固めることが可能となりますが、つき固め作業および道床安定作業が道床横抵抗力に与える影響については、十分な検討が行われていませんでした。そこで、つき固め作業を行うマルチプルタイタンパー（以下、MTTという）および道床安定作業を行うスタビライザーによる作業後の道床横抵抗力の特性を検討するため、現地試験を実施しました。また、MTTおよびスタビライザーを模擬した1/5縮尺の小型模型

を製作し、小型模型試験により、道床横抵抗力の回復メカニズムを検討しました。ここではこれらの取り組みについて紹介します。

現地試験による道床横抵抗力の評価

基地線にて（図3）、MTTによるつき固め作業およびスタビライザーによる道床安定作業を実施し、作業前後における道床横抵抗力の特性を評価しました。本試験では、つき固め作業を行うタンピングユニットと、道床安定作業を行うスタビライザーユニットが搭載されたMTTを使用しました（図4および図5）。また、まくらぎ1本を水平方向にジャッキで載荷する試験（以下、道床横抵抗力試験という）を実施し（図6）、計測した荷重とまくらぎ変位の関係から、まくらぎの水平変位2mm時の荷重（以下、2mm時の道床横抵抗力）に加え、まくらぎの水平変位20～30mm時の荷重（以下、最終道

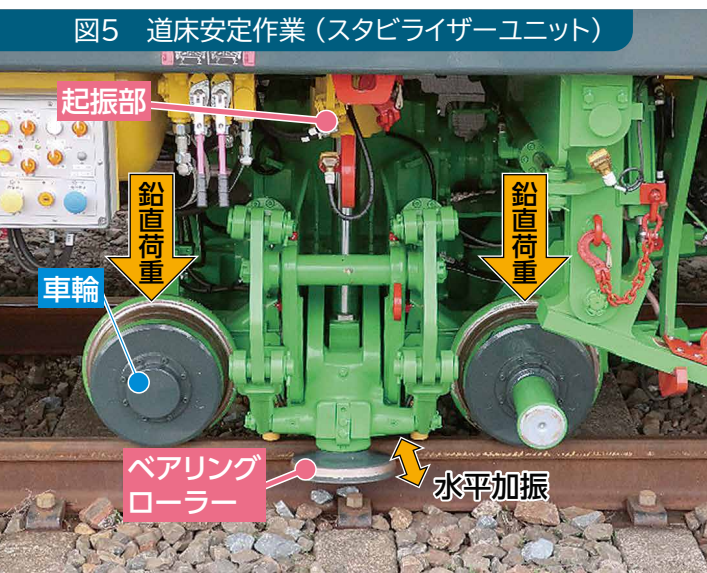


図5 道床安定作業 (スタビライザーユニット)



図6 道床横抵抗力試験の方法

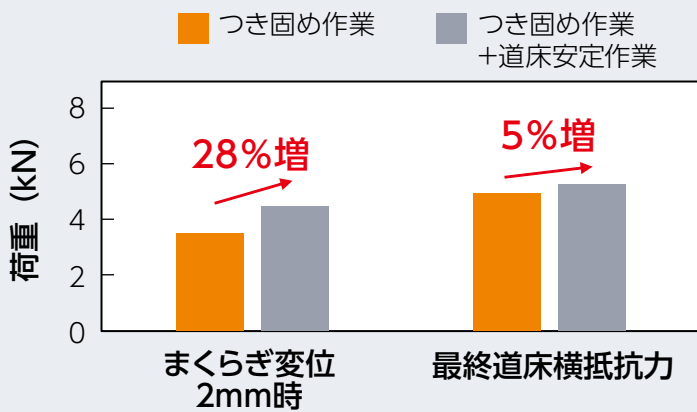


図7 道床横抵抗力試験の結果

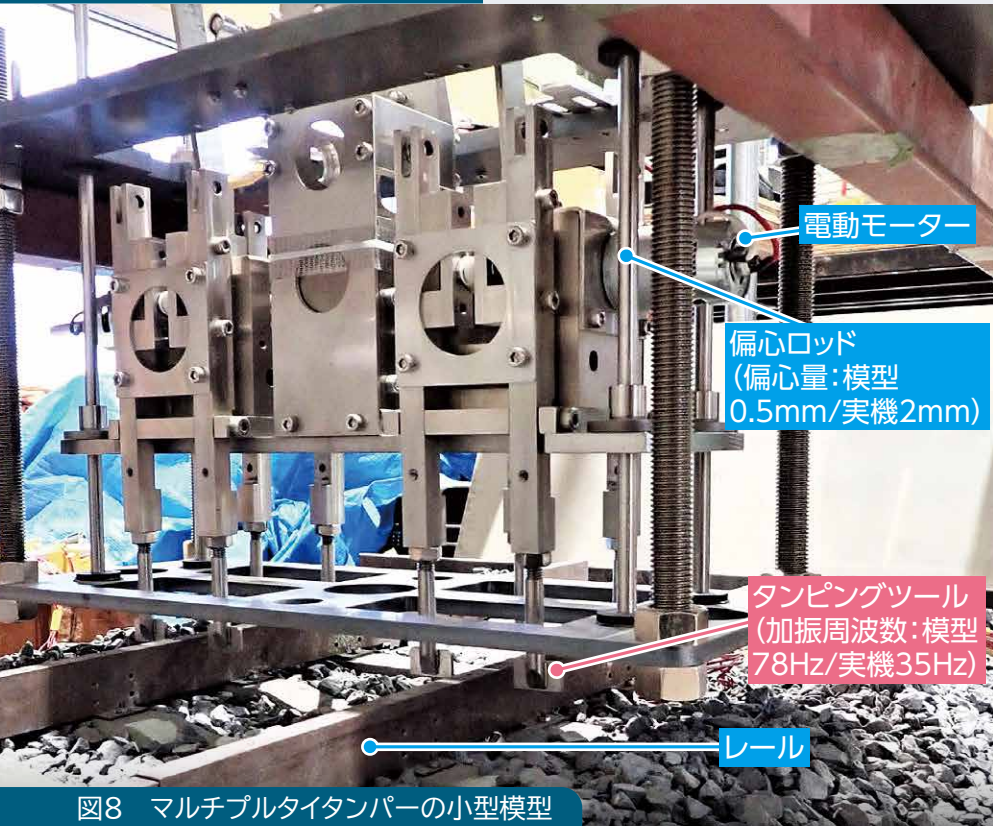


図8 マルチプルタイタパーの小型模型

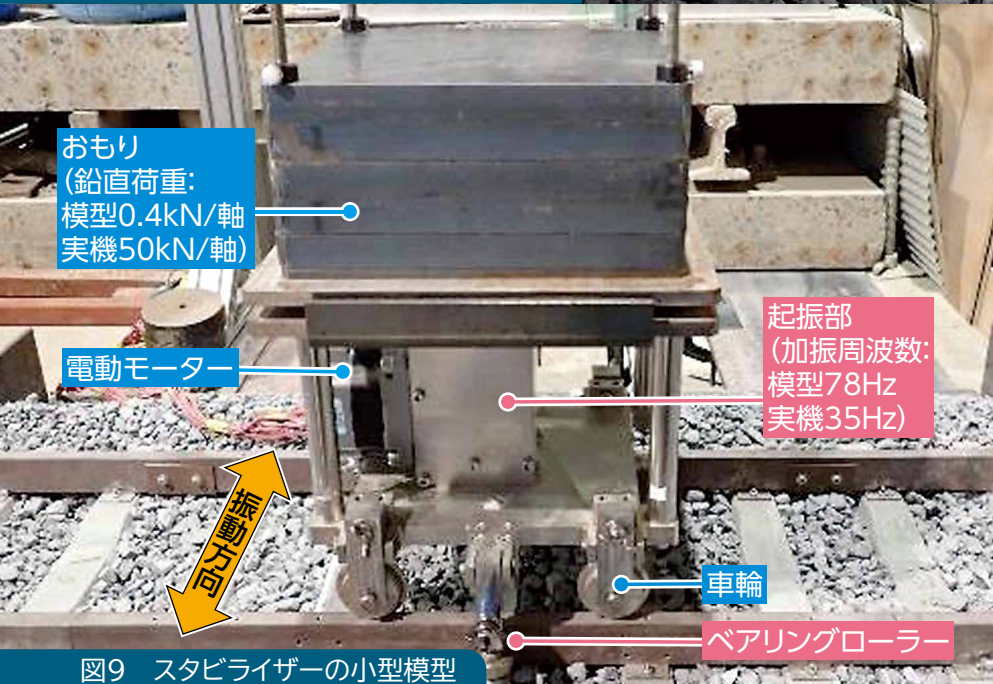


図9 スタビライザーの小型模型

床横抵抗力) を用いて、道床横抵抗力特性を評価しました。

ここで、著大なレールの水平変位が生じる場合は軌きょう全体が横方向に移動することから、軌きょうの最終道床横抵抗力を管理する必要があります。しかし、実軌道での列車の間合いや作業環境下で、軌きょうの道床横抵抗力試験を実施するには、多大な労力と時間を要します。そのため、簡易な試験方法として、レールの締結装置を取り外してまくらぎ1本の道床横抵抗力試験を実施し、まくらぎ変位2mm時の道床横抵抗力で評価しています¹⁾。これは、まくらぎ1本の場合のまくらぎ変位2mm時の道床横抵抗力が軌きょうの場合のまくらぎ1本あたりの最終道床横抵抗力の70～80%程度となること、およびまくらぎ1本の場合の道床横抵抗力が、軌きょうの場合のまくらぎ1本あたりの道床横抵抗力と比較して15～20%程度高くなることを考慮しています。

試験結果より、つき固め作業のみの場合と比較して、つき固め作業後に道床安定作業を実施することで、2mm時の道床横抵抗力が28%増加し、最終道床横抵抗力が5%増加することを確認しました(図7)。

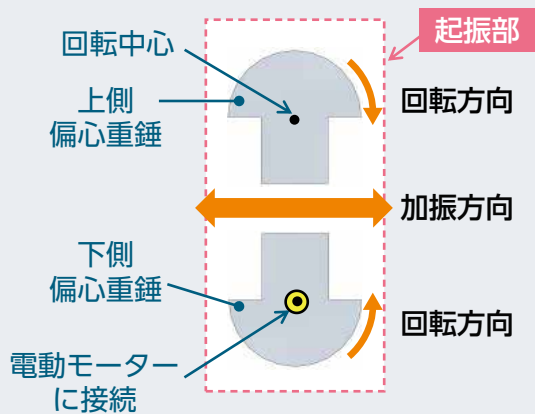


図10 起振部の偏心重錘と加振方向

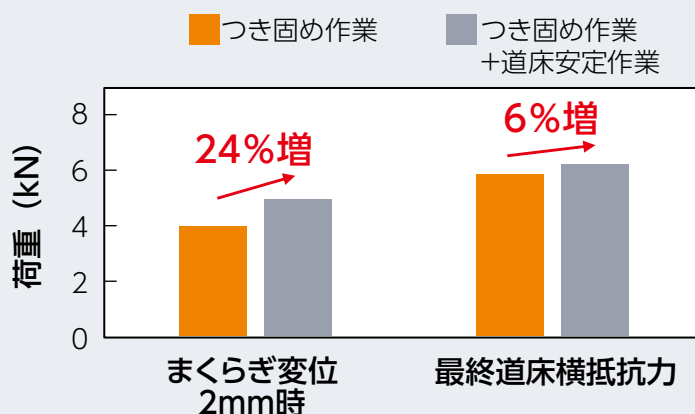


図11 道床横抵抗力試験の結果 (小型模型試験)

小型模型試験による道床横抵抗力の回復メカニズムの検討

MTTおよびスタビライザーの1/5縮尺模型

バラスト軌道におけるつき固め作業後および道床安定作業後の道床横抵抗力の特性を評価するにあたり、MTTおよびスタビライザーの振動機構を精緻に再現した1/5縮尺模型を作製しました。

MTT模型は、実機のタンピングユニットを参考に、タンピングツールをバラスト内に挿入する深さなどのつき固め作業工程およびタンピングツールの周波数や振幅などの振動特性について、相似則を考慮した構造としました(図8)。タンピングツールの起振部は、実機と同様に電動モーターの回転軸に取り付けた偏心ロッドにより、変位振幅を強制的にタンピングツールに生じさせる構造としました。

スタビライザー模型は、実機の加振ユニットを参考に、走行速度、車輪軸間の距離、鉛直方向の荷重について相似則を考慮した構造としました(図9)。起振部については、実機と同様に同じ偏心重錘を上下に配置し、電動モーターで回転させることで、レール直角方向のみの水平振動を生じさせる構造

としました(図10)。実機と同様に前後の車輪と前後車輪間の中心位置に設けたベアリングローラーにより、レールをはさみ込むように拘束することで、水平振動を軌きょうに伝達させました。作業時に軌道に作用させる鉛直荷重はおもりを積載することで再現しました。さらに、道床安定作業時におもりによる慣性力が加振力に影響を与えないよう、おもり積載部と起振部の間に振動方向(レール直角方向)の摩擦を低

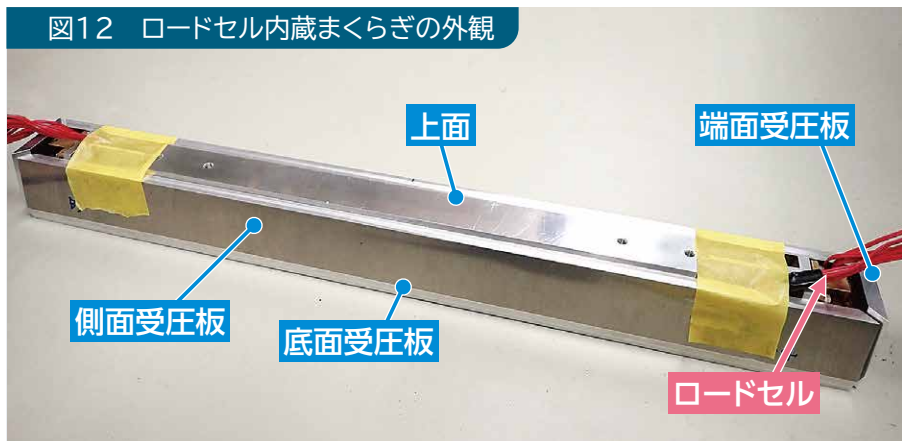


図12 ロードセル内蔵まくらぎの外観

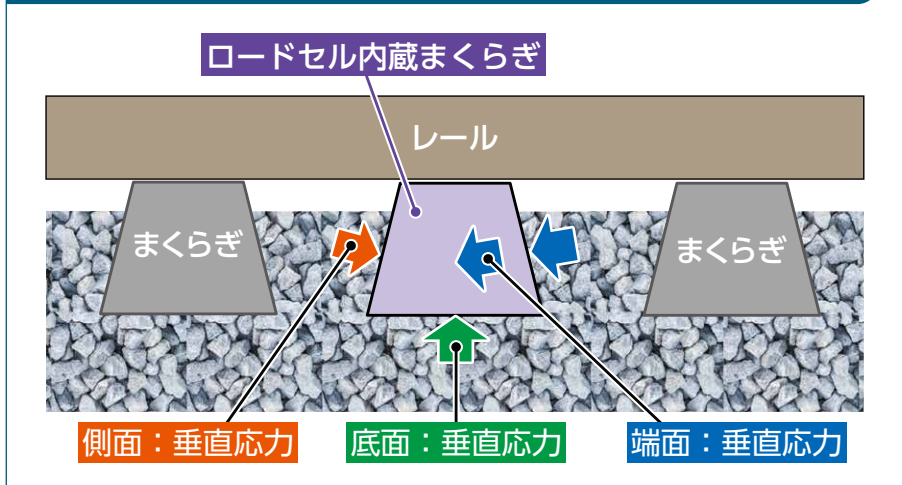


図13 つき固め作業・道床安定作業時に計測するまくらぎの垂直応力

減するためのリニアガイドを設けました。

小型模型試験による再現精度を検証するため、実機による現地試験結果(図7)と比較した結果、小型模型試験におけるつき固め作業後および道床安定作業後の道床横抵抗力は、縮尺を考慮すると実機と同程度になることを確認しました(図11)。また、道床安定作業時のまくらぎ変位振幅も小型模型と実機で同程度であることを確認しました。

各作業後の道床横抵抗力特性の評価

既往の研究により、バラストのレール直角方向の断面形状およびまくらぎの形状と土質試験から求められるバラスト粒子間の摩擦係数から、バラスト軌道の道床横抵抗力を評価する方法が提案されています²⁾³⁾。それによると、道床横

抵抗力は、まくらぎの水平荷重に対して、まくらぎの端面、側面、底面とバラストの間で生じる抵抗力の合計値であることが示されています。まくらぎの端面の抵抗力は垂直応力であり、まくらぎの側面と底面の抵抗力は、バラストとの摩擦力に基づくせん断応力です。したがって、道床横抵抗力に対して、まくらぎ端面の垂直応力は直接的に、まくらぎ側面・底面の垂直応力は間接的に影響を与えるものと考えられます。

そこで、つき固め作業および道床安定作業で増減する垂直応力を、ロードセルを内蔵した模型まくらぎを用いて各作業の前後に測定しました。また、道床横抵抗力試験時(図14)におけるまくらぎ各面の抵抗力を検討するため、まくらぎ底面と側面のせん断応力および端面の垂直

図14 道床横抵抗力試験の方法(小型模型)

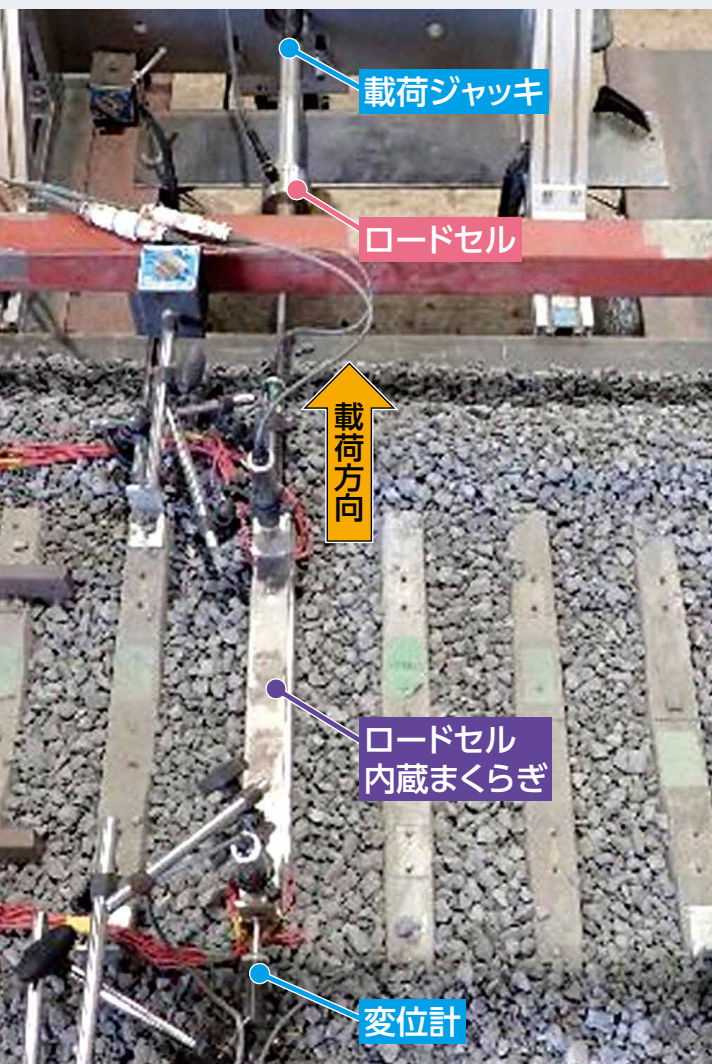


図15 道床横抵抗力試験時に計測するまくらぎの垂直応力およびせん断応力

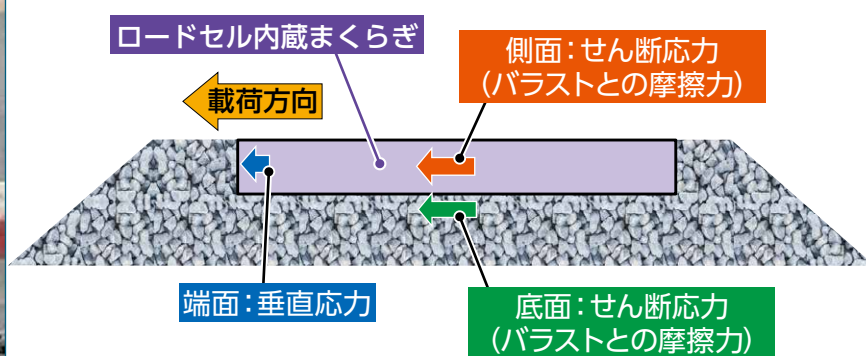
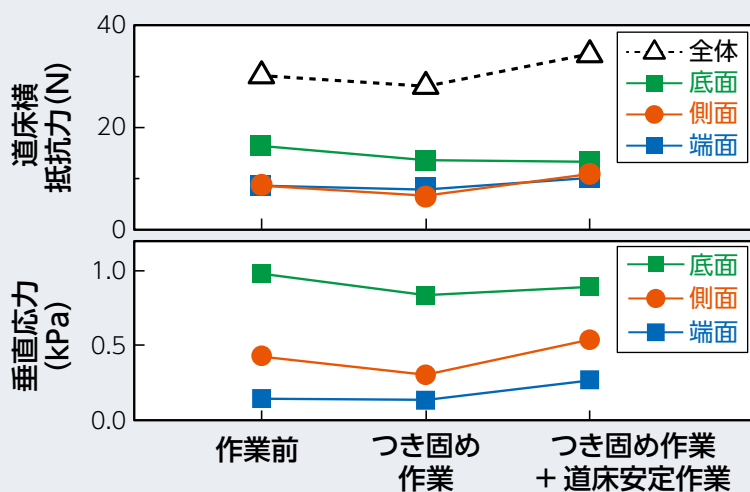


図16 各保守作業時の道床横抵抗力と垂直応力の関係



応力 (図15) を測定しました。その結果、つき固め作業によりまくらぎの側面の垂直応力が低下して道床横抵抗力が低下しますが、その後の道床安定作業によりまくらぎの側面および端面に作用する垂直応力が増加し、道床横抵抗力が作業前より上昇することがわかりました (図16)。

また、つき固め作業時および道床安定作業時におけるバラスト粒子の移動を、アクリル板越しに高速度カメラで撮影して画像解析を実施しました (図17)。その結果、つき固め作業時に、タンピングツールの挿入位置のまくらぎ側面のバラストが乱されるとともに緩みますが、道床安定作業によりバラスト粒子がまくらぎの下面方向に移動しながら締め固められることがわかりました (図18, 図19)。

おわりに

軌道の保守作業の平準化へ向けて、本成果を活用することにより、つき固め作業の夏期の作業制限を緩和するための支援ができると考えます。また、本小型模型を用いた試験により、MTTやスタビライザーによる道床横抵抗力の増強効果を定量的に評価することができると考えます。

RRR

文献

- 1) 国土交通省鉄道局監修、鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造、丸善出版、2012
- 2) L.M. Le Pen and W.Powrie : Contribution of Base, Crib, and Shoulder Ballast to the Lateral Sliding Resistance of Railway Track, Journal of Rail and Rapid Transit, 2011
- 3) 市川拓真, 早野公敏, 中村貴久, 桃谷尚嗣, 小池陽平：極限釣り合い法を用いた鉄道バラスト軌道の道床横抵抗力の推定, 土木学会論文集 E1, Vol.70, No.3, I_71-I_77, 2015

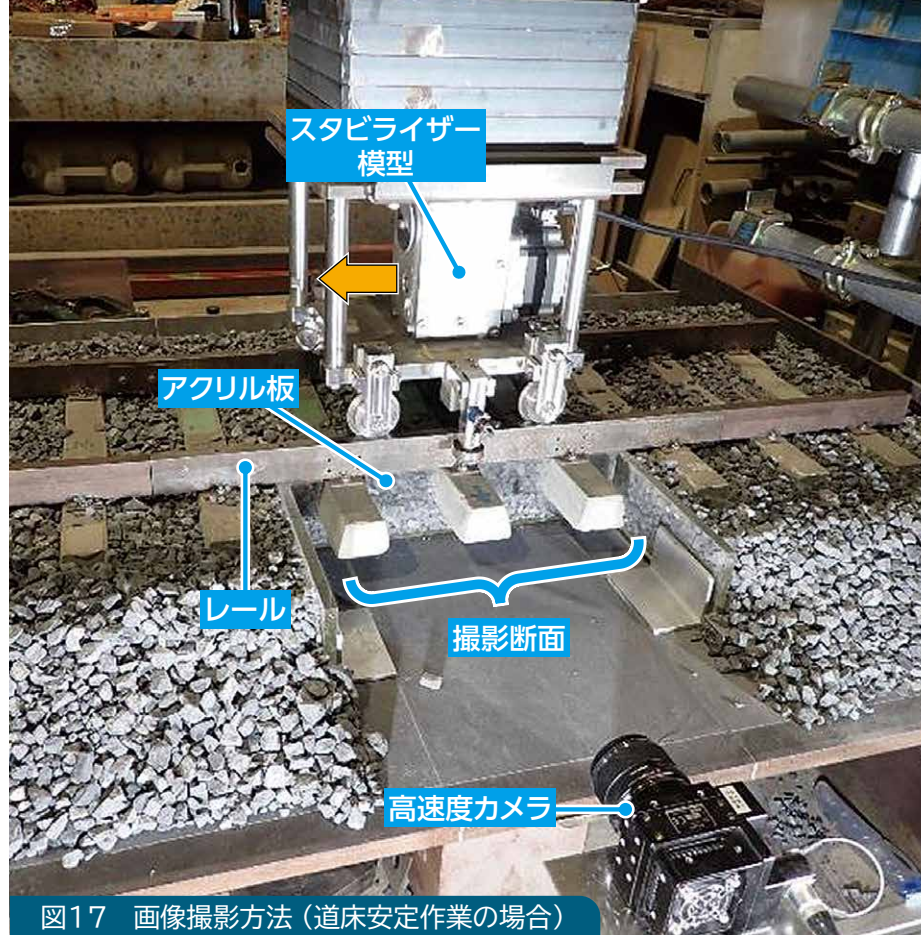


図17 画像撮影方法 (道床安定作業の場合)

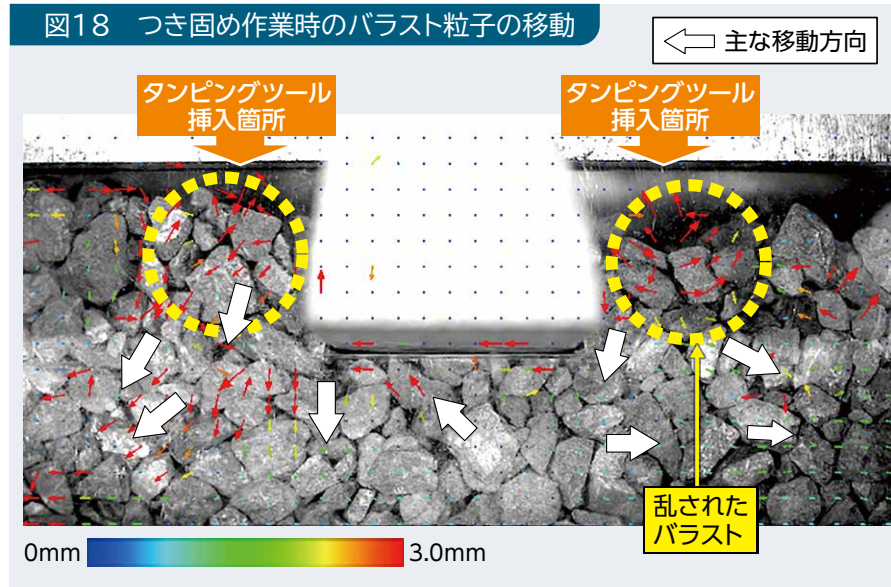


図18 つき固め作業時のバラスト粒子の移動

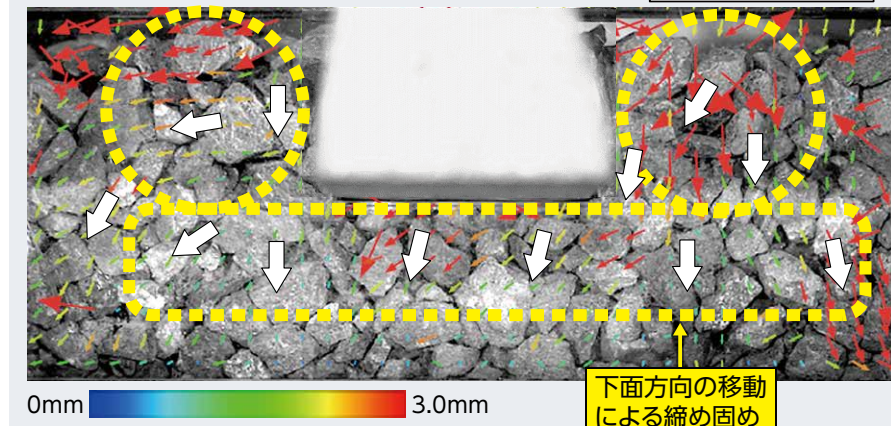


図19 道床安定作業時のバラスト粒子の移動