

論文 大型保線機械によるつき固め作業後の 道床横抵抗力特性の検証試験

吉川 秀平¹・高尾 賢一²・桃谷 尚嗣³・中村 貴久⁴・伊藤 壱記⁵

¹正会員 西日本旅客鉄道株式会社 施設部 施設技術室 (〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田 2-4-24)
E-mail: syuuhei-kikkawa@westjr.co.jp (Corresponding Author)

²正会員 西日本旅客鉄道株式会社 施設部 施設技術室 (〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田 2-4-24)
E-mail: kenichi-takao@westjr.co.jp

³正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 (〒185-0034 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail: momoya.yoshitsugu.29@rtri.or.jp

⁴正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 (〒185-0034 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail: nakamura.takahisa.19@rtri.or.jp

⁵正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 (〒185-0034 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail: ito.kazuki.29@rtri.or.jp

バラスト軌道における道床横抵抗力は、温度上昇等により生じるレール軸力に対する軌道の座屈安定性に関して、重要な役割を果たす。マルチプルタイタンパー（以下、MTT）による道床つき固め作業は道床横抵抗力が低下することに加え、過去に発生した軌道変状事象を鑑みて、夏期における MTT 作業は原則禁止している。これが MTT の稼働率を著しく低下させ、非効率な MTT 配備に加え、工事平準化を妨げている。MTT 作業の夏期作業が実現すれば、MTT 稼働率向上による配備台数減や工事平準化が図られ、大きな収支改善効果が期待できる。本研究では、夏期保守作業制限緩和の検討の一環として、実軌道においてスタビライザーが搭載された MTT を用いて MTT 作業後、スタビライザー作業後に道床横抵抗力試験を行い、各種条件が道床横抵抗力特性に与える影響を評価した。

Key Words: ballasted track, tamping, large machine for track maintenance, lateral ballast resistance force, dynamic track stabilizer

1. はじめに

バラスト軌道における道床横抵抗力は、温度上昇等により生じるレール軸力に対する軌道の座屈安定性に関して、重要な役割を果たす。我が国では、1970年頃まで道床横抵抗力の特性について十分に明らかにされていなかった。軌道の座屈防止策として実施している夏期の道床を緩める作業の制限（以下、夏期保守作業制限）および道床横抵抗力確保を考慮したまくらぎ設計の観点から、道床横抵抗力の特性に関する研究が1970年頃から始まった。

実験槽内でまくらぎ2本分の実物軌道に対する試験により、道床横抵抗力の増加特性、バラスト細粒化の影響の他、主として最終道床横抵抗力に着目してまくらぎ各面の分担率をまくらぎの材質および形状特性に関連して定量的な評価がなされた¹⁾。また、道床横抵抗力の漸増

部の特性、まくらぎ端面の最終道床横抵抗力の推定式の提案、道床肩幅および余盛、ならびに座屈防止板による最終道床横抵抗力が増加する効果、新品バラスト条件では降雨により道床抵抗力は減少しないこと等が明らかになった²⁾。さらに、営業線において道床横抵抗力の実態に関する調査が行われた。その結果、営業線の十分締め固まった軌道の最終道床横抵抗力は室内試験結果と比較して2~3.5倍の大きさであり、バラスト軌道の軌道整備に用いる大型保線機械であるマルチプルタイタンパー（以下、MTT）やタイタンパーによる道床つき固め作業により、道床横抵抗力は十分締め固まった状態の50~60%に減少することが明らかにされた³⁾。

上記のような道床横抵抗力特性に加え、過去に発生した軌道変状事象を鑑みて、MTTによる道床つき固め作業（以下、MTT作業）等の道床を緩める作業は、多くの鉄道事業者で夏期保守作業制限を設けている。この夏

期保守作業制限は軌道工事平準化の妨げとなっており、夏期保守作業制限の緩和が実現すれば、高価な MTT 配備台数を減じることによるコスト低減に加え、軌道保守作業の労働生産性向上が図られる。各鉄道事業者においては、将来に亘り安定的に鉄道を維持するためには、コスト低減や労働生産性向上の取組みは不可欠であるが、全てにおいて安全の確保が大前提となる。近年、部材の長寿命化を目的とした木まくらぎの PC まくらぎ化工事については、夏期保守作業制限の緩和策が見出され⁴⁾⁵⁾、夏期作業を実施している事例が報告されている⁶⁾⁷⁾。今回、MTT 作業を対象に夏期保守作業制限の緩和の検討を行うこととした。

夏期保守作業制限の緩和は、作業後に低下した道床横抵抗力特性を把握することに加え、低下した道床横抵抗力を回復させる有効な対策が必要となる。前者は、過去に検討が実施されているものの³⁾、まくらぎ 1 本に対してまくらぎ抵抗測定器を使用した道床横抵抗力試験のため、まくらぎ変位 10mm までの試験であり、最終道床横抵抗力および軌きょうの道床横抵抗力を把握できていない。軌きょうの道床横抵抗力は、隣接するまくらぎの影響（以下、群杭効果）により、まくらぎ 1 本の道床横抵抗力試験で得られる抵抗力より小さくなることが知られているため⁸⁾、試験により確認する必要があると考える。

低下した道床横抵抗力を回復させる対策として、道床弛緩作業後（MTT 作業、道床交換作業）に軌道に強制加振を加える機械であるスタビライザーが挙げられる。スタビライザーによる軌道強制加振（以下、スタビライザー作業）は、初期沈下促進による軌道狂い進み抑制と道床横抵抗力を向上させる効果があるとされているが⁹⁾、道床横抵抗力が回復するメカニズムは不明な点が多い。

そこで、基準粒度のバラストを対象とした縮尺 1/5 の

バラスト軌道、MTT 模型、スタビライザー模型を製作し、まくらぎ 5 本からなる軌きょう、まくらぎ 1 本の道床横抵抗力試験および MTT 作業、スタビライザー作業時のバラスト粒子移動の画像解析により道床横抵抗力特性の基礎検討を行った¹⁰⁾。その結果、スタビライザー作業によりまくらぎ側面および端面の抵抗力がバラスト再配列によりバラストが締固められて増加することで、道床横抵抗力はまくらぎ変位 2mm 時で MTT 作業後から約 20%増加し、スタビライザー作業速度を遅くすることで、道床横抵抗力がさらに増加することを確認している。

今回、実軌道においてスタビライザーが搭載された MTT を用いた検証試験を行い、道床肩幅、道床状態およびまくらぎ状態が道床横抵抗力特性に与える影響を評価し、スタビライザー作業による夏期作業制限緩和に向けて検討した。

2. 道床横抵抗力試験

密度管理した試験軌道に対し、スタビライザー機能を搭載した MTT によるスタビライザー作業時に加振力、加振変位等を測定し、MTT 作業、スタビライザー作業後に道床横抵抗力試験を行った。

(1) 試験概要

試験軌道の平面図を図-1 に示す。保線材料線の既設バラスト軌道に対し、道床交換およびまくらぎ交換により試験軌道を構築した。まくらぎ間隔は 641mm(39 本/25m) で試験軌道延長は 12.4m である。本試験ではまくらぎ状態、道床状態を変えて試験した。既設のまくらぎを新品の 3 号 PC まくらぎ 19 本に交換し、新品まくらぎでの検

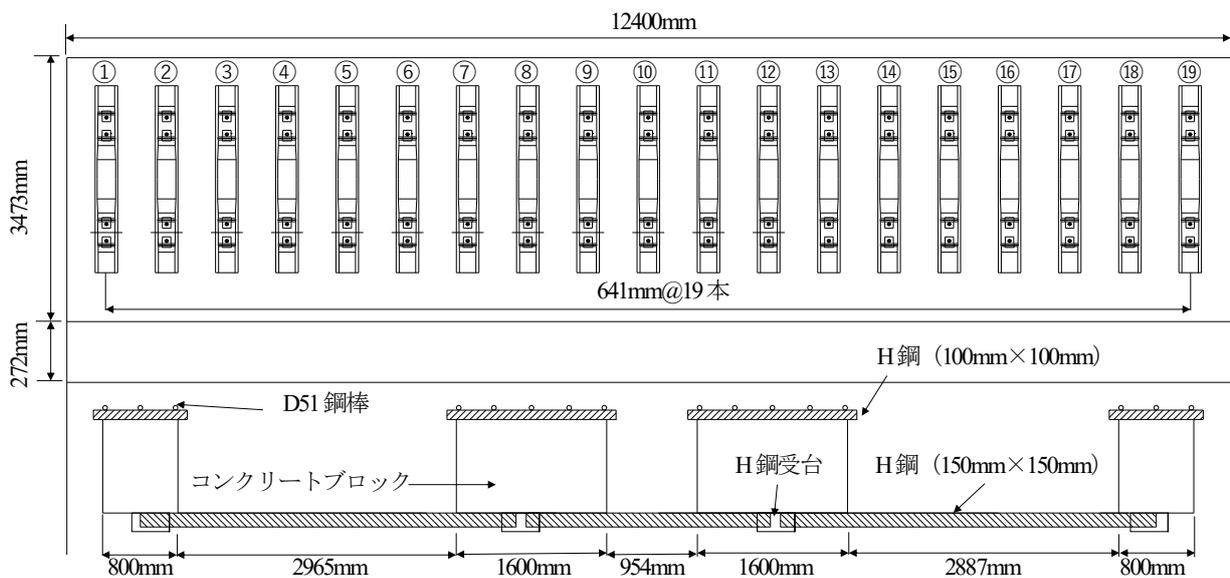


図-1 試験軌道の平面図

証を行った。その後、まくらぎ番号⑫～⑰のまくらぎは、経年によりまくらぎ側面および端面の凹凸や底面のすり減り状態の影響を確認するため、試験に合わせて営業線に敷設されていた経年3号PCまくらぎに交換した。試験軌道の断面図を図-2に示す。本試験では、載荷側のレール腹部にM24のあいボルトを設置し、コンクリートブロック外側に設置したH鋼(150mm×150mm)にチェーンリング、ロードセルおよびストロークジャッキを固定し、コンクリートブロックを反力としてまくらぎを水平方向に真直ぐ引抜く方法(以下、まくらぎの水平引抜き式)で道床横抵抗力を測定した。また、試験方法による影響を評価するため、まくらぎ抵抗測定器による測定も合わせて行った。コンクリートブロックが転倒、滑動しないようにコンクリートブロック内側に異形鉄筋D51およびH鋼(100mm×100mm)を設置した。使用したバラストの粒度分布の一例を図-3に示す。新品バラストは基準粒度内の粒度分布であるのに対し、経年バラストは細粒含有率Fcが道床肩部6.80%、まくらぎ下面8.00%であった。締固め試験は、ふるい分けにより37.5mm以下の粒径のバラストを試料として用い、JIS A

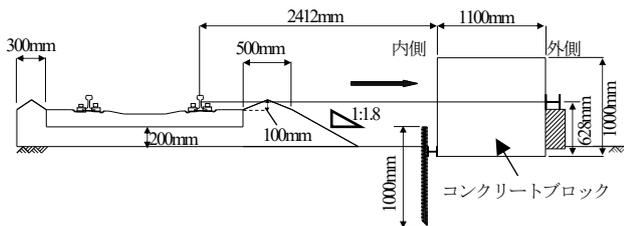


図-2 試験軌道の断面図

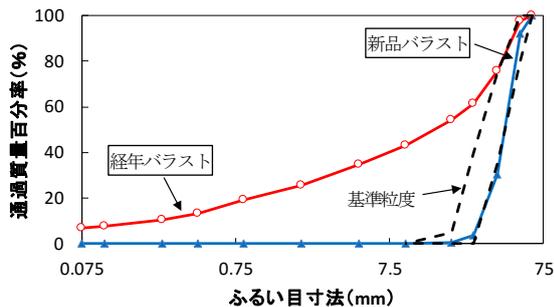
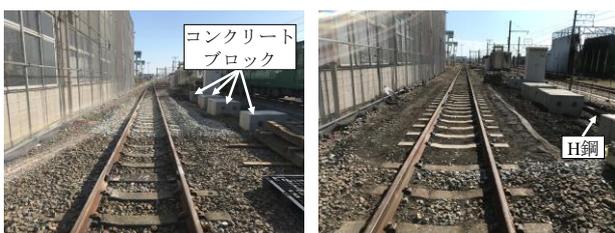


図-3 使用したバラストの粒度分布の一例



(a)新品バラスト軌道 (b)経年バラスト軌道

図-4 構築した試験軌道

1210に準拠した方法で試験した結果、最大乾燥密度は 2.18g/cm^3 であった。試験軌道のバラスト密度は、新品バラスト 1.60g/cm^3 、経年バラストが締固め度86.5%で 1.89g/cm^3 で試験軌道を構築した。試験軌道構築にあたり、投入バラストは車両重量計を用いて10kg単位で測定し、試験箇所散布した。構築手順は、まくらぎ下面以下を所定密度になるように2層に分けて高さ管理しながらバラストを投入し、プレートランマーで締固め後、まくらぎ上面までバラストを散布し、プレートランマーにより再度締固めて構築した。構築した試験軌道を図-4に示す。

また、試験軌道においてスタビライザー作業時の加振力、加振時の変位振幅を把握するための測定を行った。センサーの設置は、レールに輪重ゲージ、横圧ゲージを貼付け、まくらぎ中央および端部に3方向圧電型ピックアップ(PV-93)を設置した。

(2) 試験条件

MTT作業条件、まくらぎ状態、道床状態を変えて、まくらぎ5本の軌きょう引き、1本引きの道床横抵抗力試験およびまくらぎ抵抗測定器を用いた道床横抵抗力試験(以下、測定器による試験)を表-1のとおり実施した。まくらぎ1本引き試験において、まくらぎ底面に凹凸がある場合、平滑な場合と比較して30%程度大きいことが示唆されていることから、試験試番17～28でまくらぎ底面の抵抗力を検証した。まず、各種試験軌道構築後、MTT作業を行った。MTT作業によるこう上量の影響を確認するため、まくらぎ1本引きの試番7、8はこう上量を大きくした。MTT作業後、道床表面および道床肩部を整理した。スタビライザー作業条件では、MTT作業後に施工始点に一旦戻り、作業速度 0.4km/h 、スタビライザー作業により軌道を軌道横方向に振動させる際の周波数35Hz、垂直プレロード圧 6MPa で軌道に強制加振を与えた。スタビライザー作業時の加振力を把握する上で、ひずみゲージを設置したレールに高周波成分が生じる懸念があったことから、新品バラスト条件でサンプリング周波数24kHzにより1回測定した。その後、軌道内外をプレートランマーで締め固めた。

MTT作業時の軌道こう上量、スタビライザー作業後の軌道沈下量を把握するため、各作業後にレベル測定を行った。上記作業後、試験軌道内のまくらぎ①、②、⑱、⑲位置で測定器による試験をまくらぎ変位10mmまで測定し、0.5mm毎に抵抗力を記録した。まくらぎの水平引抜き式による道床横抵抗力試験を行うため、既設の25mレールを撤去し、軌きょう引き用レール3.2m、まくらぎ1本引き用レール0.64mに左右レールを交換した。

各種条件の試験終了後、25mレールに復旧し、同様の手順で試験した。経年バラストは含水比の影響があることから、降雨条件も合わせて試験した。

表-1 試験条件

試番	試験方法	作業条件	道床状態	まくらぎ状態	道床肩幅	含水比	抵抗力測定対象
軌きょう-1	まくらぎの水平引抜き式による試験	MTT作業後	新品	新品	500mm	0.26%	まくらぎ全面
軌きょう-2			経年			6.60%	
軌きょう-3		スタビライザー作業後	新品			0.26%	
軌きょう-4			経年			4.80%	
1本引き-1		MTT作業後	新品			0.26%	
1本引き-2			経年			6.60%	
1本引き-3		スタビライザー作業後	経年(降雨条件)			9.70%	
1本引き-4			新品			0.26%	
1本引き-5			経年			5.40%	
1本引き-6		スタビライザー作業後	経年(降雨条件)			7.10%	
1本引き-7			新品	350mm	0.26%		
1本引き-8		400mm					
1本引き-9							
1本引き-10		MTT作業後	経年	6.60%			
1本引き-11					経年(降雨条件)	9.70%	
1本引き-12		スタビライザー作業後	新品	0.26%			
1本引き-13					経年	5.34%	
1本引き-14		経年(降雨条件)	8.92%				
1本引き-15				MTT作業後	新品	0.26%	
1本引き-16		経年	6.60%				
1本引き-17				経年(降雨条件)	9.70%		
1本引き-18		スタビライザー作業後	新品			0.26%	
1本引き-19				経年	5.40%		
1本引き-20		経年(降雨条件)	7.10%				
1本引き-21				MTT作業後	新品	0.26%	
1本引き-22		経年	6.60%				
1本引き-23				経年(降雨条件)	9.70%		
1本引き-24		スタビライザー作業後	新品			0.26%	
1本引き-25	経年			5.34%			
1本引き-26		経年(降雨条件)	8.92%				
1本引き-27	MTT作業後			新品	0.26%		
1本引き-28		経年	6.60%				
1本引き-29	経年(降雨条件)			9.70%			
1本引き-30		スタビライザー作業後	新品		0.26%		
1本引き-31	新品			経年		6.60%	
1本引き-32		新品	経年		5.40%		
1本引き-33	MTT作業後			新品		0.26%	
1本引き-34		経年	6.60%				
1本引き-35	スタビライザー作業後			新品	5.40%		
1本引き-36		経年	6.60%				
1本引き-37	新品			9.70%			
1本引き-38		新品	0.26%				
1本引き-39	経年			5.34%			
1本引き-40		経年(降雨条件)	8.92%				

降雨条件は図-5 に示すように、線路直角方向 3.35m、線路方向 0.7m の 2.345m² の散水範囲に対して 20 分をかけて 118ℓ を散水し、散水完了 10 分後に道床横抵抗力試験を行った。道床横抵抗力試験直後のバラストを採取し、含水比を測定した結果は表-1 のとおりである。新品バラストは自然含水比において値がほぼ変化しないため、含水比が 0.26% で一律であった。一方で、細粒分が多い経年バラストの含水比は変化しやすいため、天候や試験の時間帯、散水条件の影響もあり含水比が 4.80~9.70% となった。

また、まくらぎの水平引抜き式による道床横抵抗力試



図-5 降雨条件の試験状況

験前に、まくらぎの支持状態の違いが試験結果に影響を及ぼす可能性があることから、図-6 に示す小型 FWD 試験¹⁾を行った。

ストロークジャッキの荷重速度は油圧ジャッキで 2mm/min を目標に変位制御し、まくらぎ水平変位が 40mm になるまで行った。測定項目はロードセル荷重、まくらぎ水平変位であり、静ひずみ計 (TDS530) で収録した。今回、ロードセルの最大荷重を最終道床横抵抗力とし、本試験結果は測定器による試験と比較した。MIT による作業状況を図-7、軌きょう引き試験を図-8、まくらぎ 1 本引き試験を図-9、測定器による試験の状況を図-10 に示す。測定器の設置のため、レール締結装置を取り外して試験するため、まくらぎ上にレール重量相当の人が載った状態で試験した。

3. 試験結果

(1) 加振力、加振時の変位測定結果

スタビライザー作業時の加振力および加振時のまくらぎ変位の把握を目的に測定した結果、各測定項目の最大値は、輪重 26.7kN、横圧 31.5kN、まくらぎ上下変位



図-7 MITによる作業状況



図-8 軌きょう引き試験の状況

2.45mm、まくらぎ左右変位 2.12mm であった。

MIT 作業、スタビライザー作業後に測定したレベル測定の結果、試番 7, 8 を除く試験したまくらぎの平均こう上量は 9mm、試番 7 が 18mm、試番 8 は 30mm であった。スタビライザー作業後の平均まくらぎ沈下量は 2mm であった。

(2) 軌きょう引きの道床横抵抗力特性の評価

軌きょう引き試験前に測定した小型 FWD 試験結果を図-11 に示す。最大荷重と最大変位が発生した時の時刻の差である応答変位遅延時間 T_d (以下、 T_d)¹⁾により軌道支持状態を確認すると、すべての試番で軌きょうの両端部で T_d が大きい傾向であった。経年バラスト条件の方が良好な支持状態であり、 T_d の平均値はスタビライザー作業後の方が小さいことからスタビライザー作業により支持状態が改善され、経年バラストの方がその効果が発揮されやすいと考えられる。

軌きょう引き試験結果を図-12 に示す。軌きょう-4ではまくらぎ変位 2mm 付近でストロークジャッキの動作が悪かったため、一度油圧を下げても再度試験した。まくらぎ変位 2mm までの荷重-変位関係は、再試験前と変わらなかったことから評価精度への影響はないと考えられる。一般的に、まくらぎ変位 2mm となる時の抵抗力をまくらぎの道床横抵抗力とすることから²⁾、まくらぎ変位 2mm 時と最終道床横抵抗力で評価する。MIT 作業後を軌きょう-1, 2 でみると、道床横抵抗力は経年バラストの方が大きかった。

スタビライザー作業の効果について、スタビライザー作業後と MIT 作業後の道床横抵抗力を比較すると、まくらぎ変位 2mm 時で新品バラスト条件の軌きょう-1 と



図-9 まくらぎ 1 本引き試験の状況



比較して軌きょう-3 ではロードセル荷重が 4.5kN 増加し、経年バラスト条件の軌きょう-2 と比較して軌きょう-4 では 2.3kN 増加した。最終道床横抵抗力でも新品バラスト条件の軌きょう-1 と比較して軌きょう-3 でロードセル荷重が 1.0kN 増加し、経年バラスト条件の軌きょう-2 と比較して軌きょう-4 では 7.8kN 増加した。

以上より、スタビライザー作業の効果により、道床状態によらず道床横抵抗力が大きくなる効果が得られたが、最終道床横抵抗力については経年バラスト条件の方がより高い効果が得られた。これは、経年バラストの密度が新品バラストに比べて大きいことが要因の一つと考えられるが、詳細は今後更なる検討が必要である。

(3) まくらぎ1本引きの道床横抵抗力特性の評価

a) スタビライザー作業の効果

まくらぎ1本引きの道床横抵抗力試験結果一覧を表-2、図-13~14 に示す。Td 平均値より、試番 9, 10 以外は同等のまくらぎ支持状態となっている。これは、試験前に道床肩幅を試験条件に合わせるための作業が影響した可能性が考えられる。まくらぎ状態の違いで道床横抵抗力を比較した結果、まくらぎ状態の影響は小さく、軌きょう引きと同様に、スタビライザー作業の効果を確認した。

一方、試番 11, 14 の比較ではスタビライザー作業後より MTT 作業後の道床横抵抗力の方が大きかった。これは、試番 11 が MTT 作業の影響を受けず、道床横抵抗力が低下しなかったためと考えられる。軌きょう引き試験をまくらぎ1本引きに換算した値と同一条件のまくらぎ1本引き試験を比較した結果、前者の方が小さく、比

率は 0.71~0.92 であり、群杭効果を確認した。経年バラスト条件で降雨の影響を確認すると、MTT 作業後の新品バラスト条件の試験結果より道床横抵抗力が小さくなったが、スタビライザー作業の締め効果の方が高含水比状態によるバラストの強度低下より上回ることから、スタビライザー作業は道床状態によらず効果があると考えられる。

新品バラストのスタビライザー作業後の条件で、こう上量および道床肩幅の影響を比較した結果を図-15~16 に示す。まくらぎ変位 2mm 時の道床横抵抗力は、こう上量によらず同程度であった。最終道床横抵抗力ではこう上量を増加させることで、最大 0.43kN 増加したが、こう上量の影響は小さいと考えられる。道床肩幅の影響は図-16 より、最終道床横抵抗力は道床肩幅 50mm で約 0.2kN の変化があった。

b) まくらぎ底面の抵抗力に着目した評価

表-2 まくらぎ1本引き試験結果一覧

試番	道床状態	作業	Td 平均 (msec)	まくらぎ変位 2mm 時 (kN)	最終道床横抵抗力 (kN)
1	新品	MTT	25	3.45	5.48
2	経年		30	5.85	8.35
3	経・雨		32	3.23	5.00
4	新品	スタビライザー	22	4.43	5.83
5	経年		25	5.95	11.10
6	経・雨		27	4.13	7.15
7	新品		18	4.48	5.98
8	新品		19	4.48	6.25
9	新品		5.1	4.03	5.43
10	新品	5.9	4.45	5.58	
11	新	MTT	29	4.45	6.38
12	経		30	4.40	7.00
13	経・雨		33	3.70	5.05
14	新	スタビライザー	1.7	4.15	5.70
15	経		2.1	5.58	10.15
16	経・雨		3.1	3.83	8.93

※1~10は新品まくらぎ、11~16が経年まくらぎ

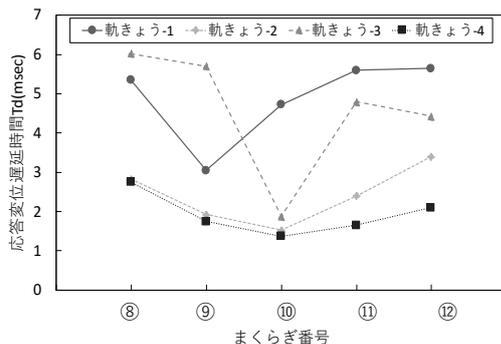


図-11 小型 FWD 試験結果

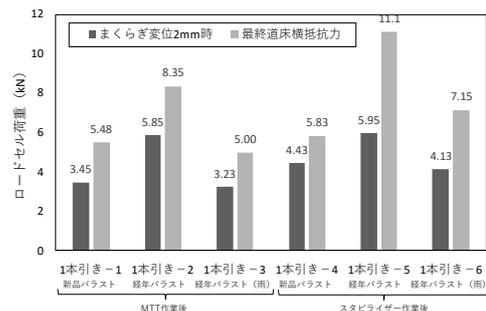


図-13 新品まくらぎの試験結果 (試番1~6)

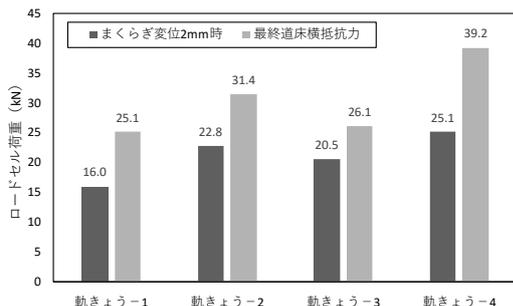


図-12 軌きょう引き試験結果

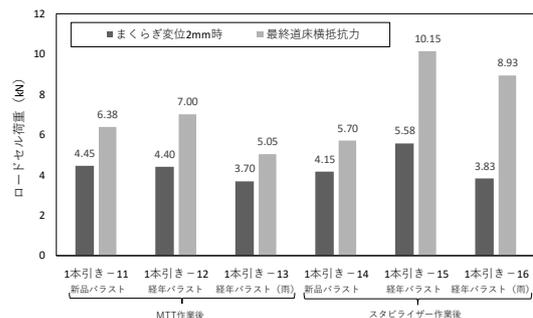


図-14 経年まくらぎの試験結果 (試番11~16)

表-3 の試験結果より、Td 平均値は道床横抵抗力試験前のまくらぎ支持状態に大きな違いはない。摩擦係数の平均値は0.87であった。まくらぎ底面抵抗力最大値より、道床状態、降雨の影響、まくらぎ状態および MTT やスタビライザー作業の影響は小さく、まくらぎ底面抵抗力の大小は試験のばらつきによるものと考えられる。

(4) 試験方法の違いによる道床横抵抗力特性の評価

試験結果を図-17~18 に示す。同一条件の軌きょうの最終道床横抵抗力、まくらぎ 1本引きの荷重-変位関係および最終道床横抵抗力、測定器による試験結果ならびに測定器による試験結果の平均値と式(1)³⁾より算出した推定式で比較した。

$$g = g_0 \times \frac{y}{y+a} \quad (1)$$

ここで、

g : 道床横抵抗力 (kN)

g₀ : 最終道床横抵抗力 (kN)

y : まくらぎ変位 (mm)

a : 初期特性 (g₀/2時のまくらぎ変位) (mm)

まくらぎ 1本引きの 2mm 変位時における道床横抵抗力は、軌きょうの最終道床横抵抗力と同程度とされている。

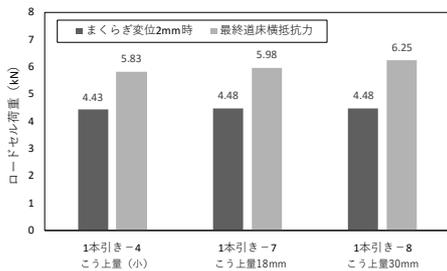


図-15 こう上量の違う試験軌道の試験結果比較

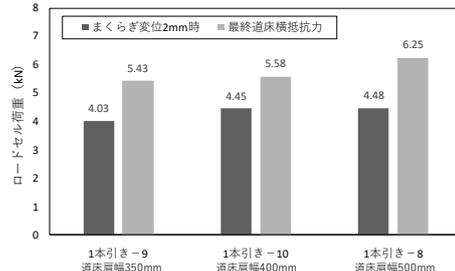
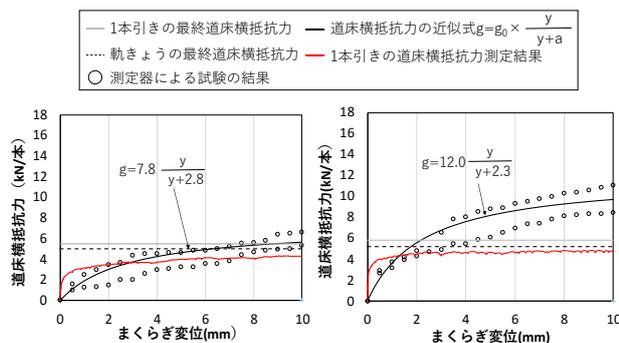


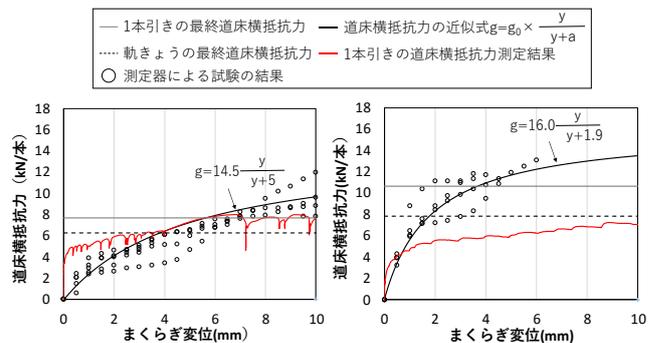
図-16 道床肩幅の違う試験軌道の試験結果比較

表-3 まくらぎ底面の抵抗力試験一覧

試番	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
作業別	MTT作業後			スタビライザー作業後			MTT作業後			スタビライザー作業後			
まくらぎ状態	新品						経年						
道床状態	新品	経年	経年・雨	新品	経年	経年・雨	新品	経年	経年・雨	新品	経年	経年・雨	
Td平均 (msec)	2.7	2.5	2.8	2.1	3.0	2.2	2.5	2.2	3.2	2.2	2.2	2.3	
抵抗力 (kN)	平均	2.16			2.08			2.20			2.29		
	最大	2.00	2.40	2.08	2.00	2.25	1.98	2.03	2.18	2.40	2.28	1.95	2.65
摩擦係数	0.80	0.96	0.83	0.80	0.90	0.79	0.81	0.87	0.96	0.91	0.78	1.06	



(a) MTT 作業後 (b) スタビライザー作業後
図-17 試験方法の違いによる比較 (新品バラスト)



(a) MTT 作業後 (b) スタビライザー作業後
図-18 試験方法の違いによる比較 (経年バラスト)

るとおり¹²⁾、スタビライザー作業後では測定器による試験から求めた推定式によるまくらぎ変位 2mm 時で軌きょうの最終道床横抵抗力と同程度となった。

一方、MTT 作業後では、従来の知見と異なり、新品バラスト条件でまくらぎ変位 6mm、経年バラスト条件ではまくらぎ変位 4mm で軌きょうの最終道床横抵抗力となった。また、推定式から求めた最終道床横抵抗力とまくらぎ 1本引きによる最終道床横抵抗力を比較すると 1.3~2.0 倍であり、試験方法による違いがあることを確認した。営業線の測定値が室内試験結果の 2~3.5 倍³⁾とされているが、これは列車による繰返し荷重の影響に加え、上記の試験方法の違いが影響している可能性が高く、今後の検討課題である。

4. まとめ

本研究では、MTT 作業の夏期保守作業制限緩和に向けた検討の一環として、スタビライザーが搭載された MTT を用いた検証試験を行い、道床肩幅、道床状態およびまくらぎ状態が道床横抵抗力特性に与える影響を評価した。得られた知見は以下のとおりである。

- (1) MTT 作業後の道床横抵抗力は、道床状態によらず、スタビライザー作業により道床横抵抗力が大きくなることを確認した。
 - (2) 経年によるまくらぎ側面および端面の凹凸、底面のすり減りといったまくらぎ状態の違いが道床横抵抗力に与える影響はほとんどなかった。
 - (3) 経年バラストは降雨の影響で高含水比になると MTT 作業後およびスタビライザー作業後に道床横抵抗力が低下するが、スタビライザー作業後の道床横抵抗力は新品バラスト条件と同程度かそれ以上であった。
 - (4) MTT 作業時のこう上量を変えても、スタビライザー作業後の道床横抵抗力は概ね同程度となることを確認した。
 - (5) 道床肩幅の影響について、道床肩幅が 50mm 広がることで最終道床横抵抗力が 0.2kN 程度増加することを確認した。
 - (6) まくらぎ底面の抵抗力に対し、MTT 作業、スタビライザー作業、道床状態および経年によるまくらぎ底面の凹凸、すり減りといったまくらぎ状態の違いが与える影響は小さいことを確認した。
 - (7) 最終道床横抵抗力は、まくらぎの水平引抜き式による測定より抵抗測定器による測定の方が 1.3~2.0 倍大きくなり、試験方法により道床横抵抗力の特性が変わることを確認した。
- 今後は本知見をもとに、軌道座屈安定性を評価することで、スタビライザー作業を前提とした夏期保守作業制限の緩和条件を検討する。

参考文献

- 1) 佐藤吉彦, 宮井徹: 各種有道床まくらぎ軌道の道床横抵抗力とその特性, 鉄道技術研究所速報, No.76-

- 150, 1976.
- 2) 佐藤吉彦, 浜崎郷広: 道床横抵抗力の特性に関する試験結果, 鉄道技術研究所速報, No.82-1010, 1982.
- 3) 宮井徹, 飯田啓善, 細川岳洋, 浜崎郷広: 営業線における道床横抵抗力試験, 鉄道技術研究所速報, No.82-142, 1982.
- 4) 福中力也: 下級線用 PC まくらぎを活用した座屈防止杭の効果の検証, 新線路, Vol.69, No.1, pp.29-32, 2015.
- 5) 藪中嘉彦, 高尾賢一, 吉川秀平: 杭工法による道床横抵抗力増加メカニズムと座屈発生点を考慮した座屈安定性の検証, 鉄道工学シンポジウム論文集, Vol.23, pp.261-266, 2019.
- 6) 古本幸彦, 野口卓也, 村山陽一郎, 木下隆介: 酷暑期間における芸備線 PC まくらぎ化施工, 日本鉄道施設協会誌, Vol.58, No.1, pp.21-24, 2020.
- 7) 児谷吉紘: JR 四国における酷暑期対策, 新線路, Vol.74, No.2, pp.19-21, 2019.
- 8) 小山詠美梨, 高橋龍太郎, 早野公敏, 伊藤壱記, 桃谷尚嗣: 「群杭効果」がバラスト軌道の道床横抵抗力に及ぼす影響, 第 54 回地盤工学会研究発表会, 2019.
- 9) 高井秀之: ダイナミック・トラック・スタビライザー (DTS) に関する文献調査, 日本鉄道施設協会誌, Vol.30, No.11, pp.44-47, 1992.
- 10) 吉川秀平, 藪中嘉彦, 高尾賢一: バラスト保守作業による道床横抵抗力特性への影響に関する研究, 鉄道工学シンポジウム論文集, Vol.24, pp.243-250, 2020.
- 11) 谷川光, 中村貴久, 桃谷尚嗣: 小型 FWD を用いた軌道支持剛性評価法における浮きまくらぎの影響の検討, 鉄道工学シンポジウム論文集, Vol.20, pp.243-250, 2016.
- 12) 公益財団法人鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造, 丸善, 2012.

(Received April 2, 2021)

(Accepted June 4, 2021)

VERIFICATION TEST OF LATERAL BALLAST RESISTANCE FORCE CHARACTERISTICS OF AFTER TAMPING WITH A LARGE MACHINE FOR TRACK MAINTENANCE

Shuhei KIKKAWA, Kenichi TAKAO, Yoshitsugu MOMOYA,
Takahisa NAKAMURA and Kazuki ITO

Lateral ballast resistance force in the ballasted track plays an important role in the track buckling stability against the lateral rail pressure. Previous studies have shown that tamping by MTT reduces lateral ballast resistance force. Therefore, in principle, many railway companies prohibit tamping by MTT in the summer. We would like to be able to use the stabilizers to work with MTT in the summer. If summer work of tamping by MTT is realized, labor productivity will be improved by leveling the track maintenance work.

In this study, the lateral ballast resistance force tests were performed after the tamping and after the dynamic track stabilizers using the MTT equipped with the stabilizers in the actual ballasted track. The effects of the shoulder ballast width, the condition of the ballasts and the sleepers on the lateral ballast resistance force characteristics, and the lateral ballast resistance force characteristics after tamping by MTT and after dynamic track stabilizers were evaluated.