

論文 スタビライザー作業を前提とした MTT作業の夏期作業条件の検討

吉川 秀平¹・楠田 将之²

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: masanobu-kusuda@westjr.co.jp

バラスト軌道ではレール温度上昇に伴い軌道の座屈安定性が低下することに加え、道床つき固め作業により道床横抵抗力が減少するため、多くの鉄道事業者で夏期の道床つき固め作業を原則禁止している。夏期作業制限のうち、マルチプルタイタンパーによるつき固め作業（以下、「MTT作業」という）について、スタビライザーによる道床安定化作業を対策として夏期作業が実現すれば、軌道保守作業の労働生産性向上が図られる。そこで、営業線および試験軌道において MTT 作業前後、スタビライザーによる道床安定化作業後に道床横抵抗力試験を行い、スタビライザーの効果を確認した。試験軌道で得られた各種条件の道床横抵抗力特性を用いた FEM 解析により軌道の座屈安定性を評価し、スタビライザー作業を前提とした MTT 作業の夏期作業が可能な条件を明らかにした。

Key Words: lateral ballast resistance force, dynamic track stabilizer, track buckling, FEM, critical buckling temperature

1. はじめに

バラスト軌道では、レール温度上昇に伴い軌道の座屈安定性が低下する。さらに、バラスト軌道の軌道整備に用いる保線機械であるマルチプルタイタンパー（以下、「MTT」という）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¹⁾。このつき固め作業後の道床横抵抗力特性に加え、過去に発生したレール張り出し事象等に鑑みて、MTTによる道床つき固め作業（以下、「MTT作業」という）等の道床を緩める作業は、多くの鉄道事業者で夏期作業制限を設けている。この夏期作業制限は軌道工事平準化の妨げとなっており、夏期作業制限の緩和が実現すれば、MTT 配備台数を減じることによる導入費および機械の維持管理コストの低減に加え、軌道保守作業の労働生産性向上が図られる。

一方、夏期にレール張り出しが発生した場合、列車脱線リスクを伴うことから、夏期作業制限緩和は安全確保がされていることが必須条件となる。筆者らは、夏期作業の実現による効果が大きい MTT 作業の夏期作業の実現に向けてこれまで取り組んできた。夏期作業の実現に

は、MTT 作業により低下した道床横抵抗力を回復させる対策が必要である。その対策として、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」という）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知られているが²⁾、道床横抵抗力が回復する定量的な検証結果が不足していた。

そこで、縮尺 1/5 の軌道模型、MTT およびスタビライザー模型を製作し、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を検討した³⁾。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増加し、道床横抵抗力はまくらぎ変位 2mm 時で MTT 作業直後から約 20% 増加することを確認した。

今回、スタビライザー作業を前提とした MTT 作業について、営業線および試験軌道において道床横抵抗力試験を実施し、試験軌道で得られた道床横抵抗力を用いた FEM 解析による軌道の座屈安定性を評価して夏期作業条件を検討した。

2. 営業線での検証試験

本検証は「MTT 作業前」, 「MTT 作業直後」および「MTT 作業にあわせたスタビライザー作業後」の3つの条件別の道床横抵抗力を確認するため, 営業線において道床横抵抗力試験を行った。

(1) 試験概要

本検証に用いた MTT は, 図-1 に示す **Plasser & Thuerer** 社製の **09-16Dynamic** である。本体にスタビライザーを搭載しており, MTT 作業を実施しながらスタビライザー作業ができることが特徴である。本検証の軌道条件を表-1 に示す。今回, 道床横抵抗力の測定結果の分析に用いることを目的に各検証区間にてまくらぎ間のバラストを採取し, 粒度試験を行った。各箇所の粒度試験結果を図-2 に示す。No.1 が基準粒度から最も外れており, No.2~4 は同程度であった。これは, No.1 の区間が長らく道床



図-1 検証に用いた MTT(09-16Dynamic)

表-1 本検証の軌道条件

No	軌道条件 (全て複線区間)				
	レール	線形	PC まくらぎ	道床肩幅	余盛
1	50kgN	直線	3号	400~600mm	27~150mm
2	60kg	直線		405~800mm	61~190mm
3		R803 m C=75mm		430~840mm	30~140mm
4		R603 m C=80mm		6号	500~650mm

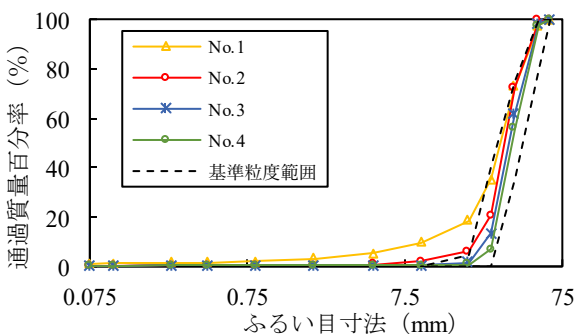


図-2 各箇所の粒度試験結果

を交換していないことが影響していると考えられる。道床形状の影響を確認するため, 50 kgN レールと 60 kg レールを直線条件で比較した。また, 検討を行う対象の線形を曲線半径 600 m 以上としたため, 曲線半径 603 m, 803 m の区間で検証した。まくらぎ種別は 3号 PCまくらぎを基本とし, 曲線半径 603 m の区間のみ 6号 PCまくらぎであった。道床横抵抗力試験に先立ち, 「MTT 作業直後」条件はつき固め作業後に道床整理のみを実施した。「MTT 作業にあわせたスタビライザー作業後」条件は, スタビライザーの加振周波数 35 Hz, 垂直プレロード圧 4 MPa, 作業速度 0.4 km/h としてつき固めと軌道加振を同時に行い, 道床整理にあわせてプレートコンパクターによる軌間内外の締固めを実施した。なお, No.2 の軌道条件についてはスタビライザー作業速度の影響を確認するため, 0.6 km/h とした。

道床横抵抗力試験状況は図-3 のとおりであり, デジタル式簡易まくらぎ抵抗測定器を用いて直線では上下線間の反対方向にまくらぎを 5~10 本引き抜いた。曲線では引き抜き方向を外軌側 5 本, 内軌側 5 本とした。測定結果は, 外軌側, 内軌側および内外軌測定結果を平均した値 (以下, 「混合条件」という) で整理した。

(2) 試験結果

実測による道床横抵抗力の測定においては, まくらぎ横変位が 2 mm となる時の抵抗力をまくらぎの道床横抵抗力として評価する⁴⁾。各軌道条件別の道床横抵抗力測定結果を図-4~図-6, 各作業条件における道床横抵抗力回復率を表-2 に示す。道床横抵抗力の回復率は, 「MTT



図-3 道床横抵抗力の測定状況

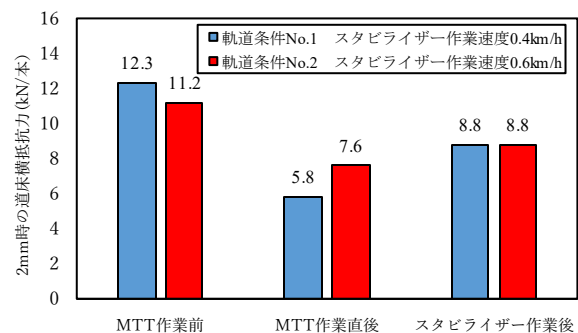


図-4 道床横抵抗力測定結果 (軌道条件 No.1,2)

作業前」を 100%として各作業条件で求めた。今回の検証により、MTT 作業直後の道床横抵抗力は 41~68%に減少と従来の知見と同様の結果が得られた。スタビライザー作業後の道床横抵抗力は 71~79%となっており、回復効果を確認した。一方、No.3についてのみ外軌側の値に回復がみられなかった。これは、No.4の外軌側のスタビライザー作業後と同程度の値であることから、MTT 作業直後に道床横抵抗力を測定したまくらぎが MTT 作業の影響を殆ど受けず道床横抵抗力が低下していなかったため、相対的に回復していないようにみえる状態である。なお、No.3 の MTT 作業直後に道床横抵抗力が殆ど低下しなかった原因は不明である。

No.1 と No.2 の比較より、MTT 作業前の道床横抵抗力が 50kgN レール区間の方が大きいのは、基準粒度範囲外の粒径を多く含むバラストであった No.1 の方が列車荷重によりバラストが締固められていた可能性が考えられる。スタビライザー作業の速度は No.2 の方が 1.5 倍速いが、道床横抵抗力の回復効果に影響していなかった。No.2 と No.3 (混合条件) の同種レール条件の比較より、各条件で測定した道床横抵抗力は直線と曲線で大きな違

いはなく、直線および曲線の道床形状の違いが道床横抵抗力に与える影響は小さい⁹⁾という知見と合致した。

No.3 と No.4 の比較より、3号 PCまくらぎの方が6号 PCまくらぎの道床横抵抗力より僅かに大きく、過去の営業線での測定試験¹⁾と同様の結果であった。3号 PCまくらぎより6号 PCまくらぎの方が重量が重く、まくらぎ端部高さは高い。そのため、6号 PCまくらぎの方が道床横抵抗力は大きくなるはずであるが、実測結果が違った原因は今後検証していきたい。なお、両曲線において内軌側の道床横抵抗力が大きかったのは、複線区間での検証であり、内軌側が隣接線側となっており、外軌側より道床肩幅が大きかったためと考えられる。

3. 試験軌道での検証試験⁶⁾

基地線にて道床バラストの密度や寸法を管理し構築した試験軌道において、2章と同様の MTT を用いて検証した。「MTT 作業直後」および「MTT 作業にあわせたスタビライザー作業後」の2条件に対し、道床横抵抗力試験を行った。本検証では、実物大軌道においてスタビライザー作業による最終道床横抵抗力の回復効果の確認、座屈解析に用いる道床横抵抗力特性を得ることを目的とした。

(1) 試験概要

基地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を行い営業線と同等の試験軌道を構築した。本検証ではまくらぎ、道床バラスト状態をそれぞれ新品と経年品を使用した。結果、経年バラストは自然含水時から高含水状態になると道床横抵抗力は低下するが、高含水状態でも新品バラストと同程度以上の道床横抵抗力を有していた⁹⁾。ここでの試験結果は、文献6の試験結果の一部を引用している。試験軌道の断面は図7に示すとおりであり、試験軌道の延長は 124 m。まくらぎ間隔は 641 mm(39本/25 m)とした。試験軌道は、重量計で軽量したバラストをまくらぎ下面の深さまで2層に分けて投入し、高さを管理しながらプレートコンパクターで締め固めた。その後、まくらぎ上面までバラストを散布し、プレートコンパクターにより再度締め固めて構築した。

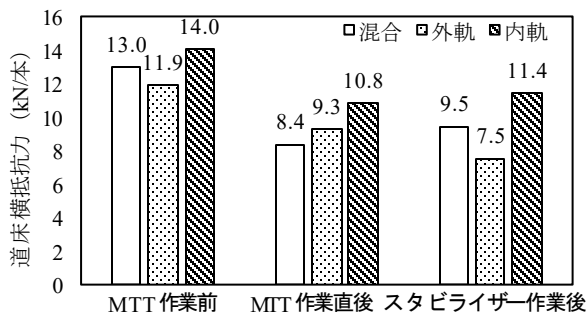


図-5 道床横抵抗力測定結果 (軌道条件 No.3)

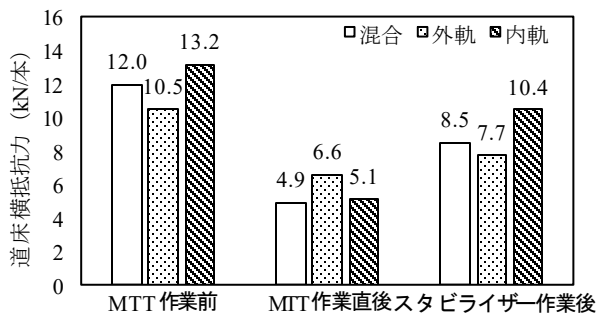


図-6 道床横抵抗力測定結果 (軌道条件 No.4)

表-2 各試験条件における道床横抵抗力回復率

条件 No.	MTT 作業直後	スタビライザー作業後
1	47%	72%
2	68%	79%
3 (混合条件)	65%	73%
4 (混合条件)	41%	71%

※ MTT作業前の道床横抵抗力を 100%として回復率を算出

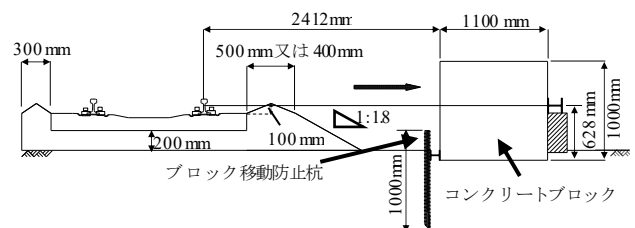
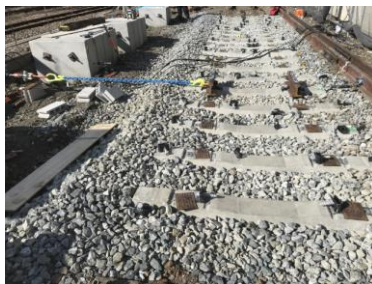


図-7 試験軌道の断面

締め固め後の密度は 1.6 t/m^3 であった。MTT 作業によるこう上量は $9\sim 30 \text{ mm}$ であった。スタビライザー作業は2章と同様の条件であり、つき固めと軌道加振を同時に行い、道床整理にあわせてプレートコンパクターによる軌間内外の締め固めを実施した。MTT 作業直後および MTT 作業にあわせたスタビライザー作業後に、まくらぎ1本およびまくらぎ5本の軌きょうに対して、ストロークジャッキを用いて水平荷重 2 mm 分の载荷速度で作用させる道床横抵抗力試験（以下、「1本引き試験」および「軌きょう引き試験」という）を行った。試験の状況を図-8、各道床横抵抗力試験の一覧を表-3に示す。道床形状は道床肩幅 500 mm 、余盛 100 mm の条件を基本とし、一部 50 kgN レールの標準断面である道床肩幅 400 mm 、余盛 100 mm の条件で MTT 作業にあわせたスタビライザー作業後は1本引き試験のみ行った。

(2) 試験結果

試験結果はまくらぎの横変位 2 mm 時の荷重（以下、「 2 mm 時の道床横抵抗力」という）とロードセルの最大荷重を最終道床横抵抗力を用いて評価した。



(a)1本引き試験



(b)軌きょう引き試験

図-8 道床横抵抗力試験の状況

表-3 試験条件

試番 ⁶⁾	作業条件	道床肩幅
1本引き-1	MTT 作業直後	500 mm
1本引き-4	スタビライザー作業後	
1本引き-7		
1本引き-8		
1本引き-10	スタビライザー作業後	400mm
軌きょう引き-1 軌きょう引き-1	MTT 作業直後	500 mm
軌きょう引き-3	スタビライザー作業後	

1本引き試験の結果を表-4に示す。MTT 作業直後（1本引き-1）と比較して、道床肩 500 mm 条件（1本引き-4,7,8）では MTT 作業にあわせたスタビライザー作業後の条件において 2 mm 時の道床横抵抗力が $28\sim 30\%$ 増加し、最終道床横抵抗力が $6\sim 14\%$ 増加した。MTT 作業にあわせたスタビライザー作業後の条件において道床肩幅 400 mm と比較して、道床肩幅 500 mm では 2 mm 時の道床横抵抗力は同程度、最終道床横抵抗力が $4\sim 12\%$ （平均約 7% ）大きかった。2章の営業線におけるまくらぎ1本に対する道床横抵抗力試験結果と比較すると、本試験で得られた最終道床横抵抗力の方が小さかった。営業線での値が大きいのは、列車荷重により道床が十分締め固められていることが大きく影響していると考えられる。

軌きょう引き試験の結果を図-9に示す。MTT 作業直後と比較して、MTT 作業にあわせたスタビライザー作業後の条件において 2 mm 時の道床横抵抗力が 28% 増加し、最終道床横抵抗力が 4% 増加した。まくらぎ1本あたりの最終道床横抵抗力に換算すると、MTT 作業直後 5.0 kN 、MTT 作業にあわせたスタビライザー作業後 5.2 kN であった。1本引き試験の最終道床横抵抗力と比較すると、MTT 作業直後 94% 、MTT 作業にあわせたスタビライザー作業後 $83\sim 93\%$ であり、従来の知見⁴⁾と同様に群杭効果の影響により軌きょう引きの値の方が大きかった。よって、安全側の検討をするため、4章の解析では軌きょう引き試験の値を用いることとした。

以上より、実物大の試験軌道においてスタビライザーによる道床横抵抗力の回復効果を 2 mm 時の道床横抵抗力、最終道床横抵抗力において確認した。また、座屈解析に用いる各作業条件の道床横抵抗力特性を得た。

表-4 まくらぎ1本引き試験結果

試番	まくらぎ変位 2 mm 時(kN)	最終道床横 抵抗力(kN)
1本引き-1	3.45	5.48
1本引き-4	4.45	5.58
1本引き-7	4.43	5.83
1本引き-8	4.48	5.98
1本引き-10	4.48	6.25

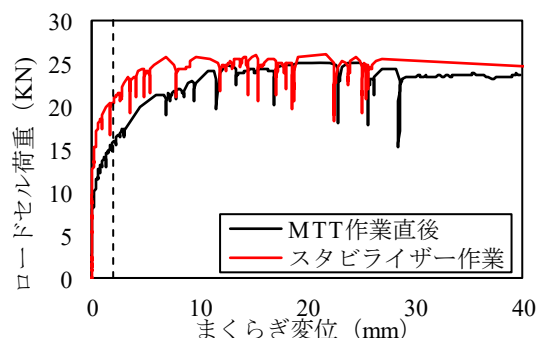


図-9 軌きょう引き試験結果

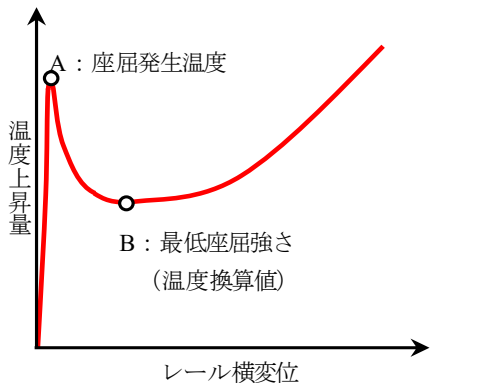
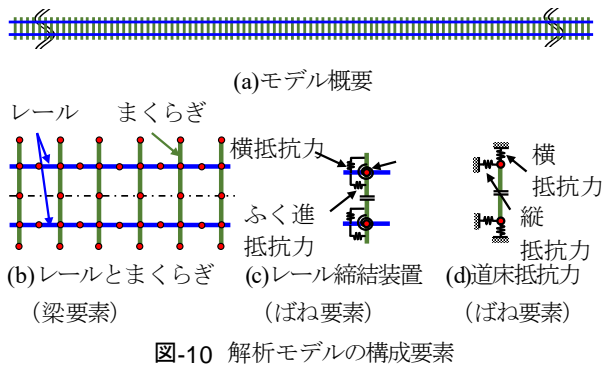
4. FEM解析

3章の試験結果より、軌きょうの道床横抵抗力特性を用いて、ロングレールを対象としたFEM解析により夏期作業条件を検討した。FEM解析ツールは、個々の部材に任意の特性等の細かい条件設定が可能であり、実物大軌道座屈試験の再現解析により妥当性が確認されているものを用いた。

(1) 解析モデル

図-10に解析モデルの構成要素を示す。レールとまくらぎを梁要素、道床横抵抗力、道床縦抵抗力、レール締結装置の横抵抗力、ふく進抵抗力および回転抵抗力をばね要素でモデル化している。本解析では、レールの全節点に対して温度荷重を均一に与えた場合の静的な座屈解析を対象としている。本解析では非線形弾性および幾何学的非線形性(有限変位, 微小ひずみ)を考慮し、解析初期の安定時には荷重増分法、座屈直前からの不安定時には弧長増分法を用いている。本解析で得られた温度上昇量とレール横変位の関係の一例を図-11に示す。極大点(A)の温度上昇量を座屈発生温度とし、極小点(B)の温度上昇量を最低座屈強さ(温度換算値)(以下、「最低座屈強さ」という)としている。

(2) 解析条件



解析モデルの軌道は全長 1700m の直線および曲線とし、MTT作業にあわせたスタビライザー作業を 600m の施工とした。初期不整の波形の形状として図-12に示す第I波形と第II波形があり、最低座屈強さは双方で得られる値はほぼ等しく、座屈発生温度は曲線半径 600m 以上では第II波形の方が低いまたは同等である⁹⁾。そこで、本解析の初期不整は第II波形として式(1)～(3)で与えた。

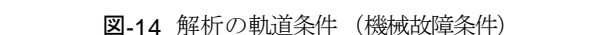
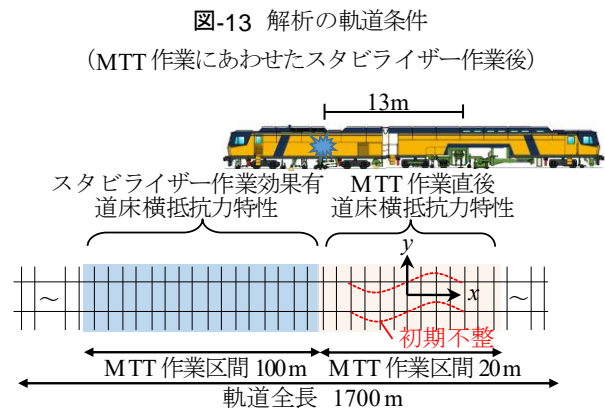
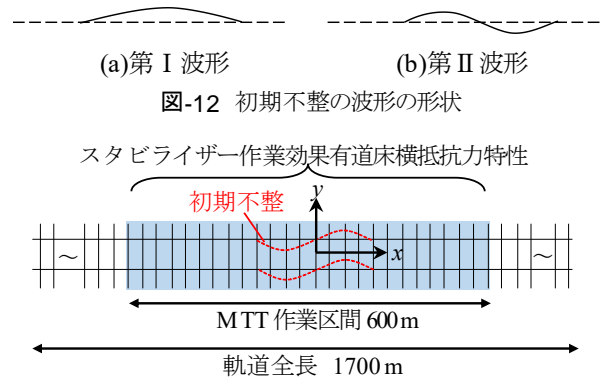
$$y = \frac{h}{2} \left\{ \cos \frac{3\pi}{L} \left(x - \frac{L}{6} \right) - 1 \right\}, \quad \left(-\frac{L}{2} \leq x \leq \frac{L}{6} \right) \quad (1)$$

$$y = h \cdot \sin \frac{3\pi}{L} x, \quad \left(-\frac{L}{6} \leq x \leq \frac{L}{6} \right) \quad (2)$$

$$y = \frac{h}{2} \left\{ 1 + \cos \frac{3\pi}{L} \left(x - \frac{L}{6} \right) \right\}, \quad \left(\frac{L}{6} \leq x \leq \frac{L}{2} \right) \quad (3)$$

ここで、 x : 初期不整中心を基準とするレール方向の座標、 y : 位置 x における軌道の横変位、 L : 初期不整の全長 (15m)、 h : 初期不整の実波高である。

本解析の軌道条件を図-13、図-14に示す。図-13はMTT作業区間全体においてスタビライザー作業を実施した条件である。図-14は機械が施工途中で故障し、MTT作業区間 120mのうち、100mがスタビライザー作業施工済で、20mがMTT作業直後状態とした。この20mは検証で用いたMTTのタンピングユニットからスタビライザーユニットまでの距離が約13mであり、機械故障発生認識後からMTT作業を停止するまでの時間差



を考慮し決定した。解析モデルの拘束条件は、全節で z 軸の並進変位および x, y 軸の回転変位を拘束し、左右レールの両端の接点は完全拘束とした。

解析に用いた道床横抵抗力特性を図-15~図-17に示す。MTT 作業区間外の道床横抵抗力は、十分に締め固まった状態の値 5.3 kN/m とした⁹⁾。60kg レール区間の MTT 作業直後およびスタビライザー作業効果有の道床横抵抗力特性は、図-9の軌きょう引き試験結果をまくらぎ 1 本分に換算し、測定値のばらつきや浮きまくらぎ状態を考慮した安全率として実効値 0.7 を乗じた値とした。50kgN レール区間については、3章の道床肩幅 400 mm と 500 mm の 1 本引き試験の比較結果から、60kg レール区間の道床横抵抗力特性を 7% 低減した値とした。

MTT 作業区間外の道床横抵抗力は、図-15にまくらぎ間隔を乗じて、まくらぎ 1 本分の特性値とした。なお、解析モデルに与える道床横抵抗力特性は、まくらぎ 1 本分の特性値を半分にしてばね要素 1 本分の値とした。その他の解析に用いた材料特性は表-5のとおりである。

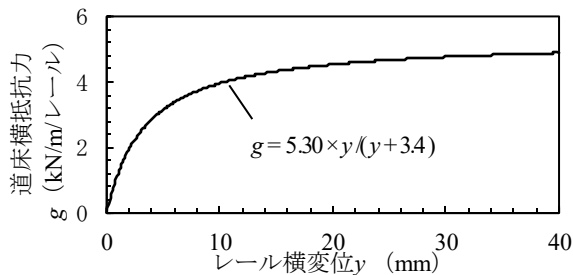


図-15 MTT作業区間外の道床横抵抗力特性 (50kgN, 60kg レール共通)

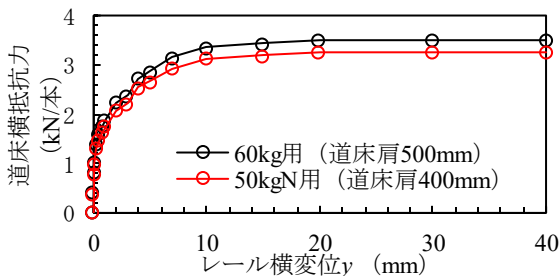


図-16 MTT作業直後の道床横抵抗力特性 (60 kg用道床肩 500mm, 50kgN用道床肩 400mm)

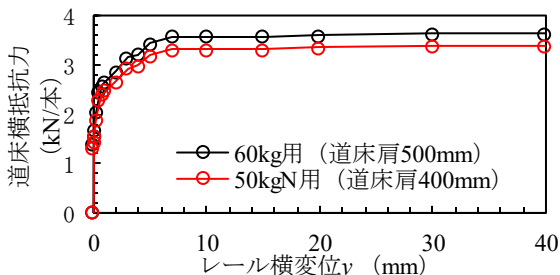


図-17 スタビライザー作業効果有の道床横抵抗力特性 (60 kg用道床肩 500mm, 50kgN用道床肩 400mm)

(3) 解析ケースおよび解析結果

表-6に本解析ケースおよび解析結果を示す。また、座屈解析結果の一例として解析ケース No.18 の解析結果を図-18に示す。まくらぎ間隔はロングレールの適合みなし仕様⁴⁾における最大まくらぎ間隔とし、3章の試験軌道の間隔よりも広い条件とした。線形は直線および最小曲線半径を 600 m とした 6 つの曲線半径条件で解析した。初期不整は MTT 作業後の仕上がり基準値をもとに、10m 弦正矢量で 7 mm (式(1)~(3)における実波高 h では 4.67 mm) で与えた。本解析結果から、曲線半径が小さくなるほど座屈発生温度および最低座屈強さが小さくなった。また、同一解析条件で軌道条件図-13, 図-14 を比較すると、機械故障を考慮した条件である図-14の方が座屈発生温度および最低座屈強さが小さかった。

今回、ロングレールの設計における座屈安定性評価指標である最低座屈強さ 35℃を基準とした。解析結果のうち、最低座屈強さが 35℃以上の条件であればスタビライザー作業を前提とした MTT 作業の夏期作業が可能であると評価した。MTT 作業にあわせてスタビライザー作業を施工した場合、曲線半径 600 m でも最低座屈強さが 35℃以上確保されることを確認した。また、参

表-5 解析に用いた材料特性

項目		値
60kg レール	ヤング率	$2.058 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
	ポアソン比	0.3
	線膨張係数	$1.14 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
	断面積	$7.75 \times 10^3 \text{ mm}^2$
	断面 2 次モーメント (z 軸周り)	$5.12 \times 10^6 \text{ mm}^4$
50kgN レール	ヤング率	$2.058 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
	ポアソン比	0.3
	線膨張係数	$1.14 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
	断面積	$6.42 \times 10^3 \text{ mm}^2$
	断面 2 次モーメント (z 軸周り)	$3.22 \times 10^6 \text{ mm}^4$
PC まくらぎ	ヤング率	$2.2 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
	ポアソン比	0.2
	断面 2 次モーメント (z 軸周り)	$1.14 \times 10^8 \text{ mm}^4$
道床	横抵抗力	図-15~図-17
	縦抵抗力	横抵抗力 $\times 1.5$
レール 締結装置	ふく進抵抗力	$\tau = k \times \sqrt{x}$ $k = 1.24 \times 10^4 \text{ N/mm}^{1/2}$
	回転抵抗力	$2.76 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm/rad}$
初期不整 ※	波形	第 II 波形
	全長 L (m)	15
	波高 c (m)	7 (4.67)

※初期不整の波高 c は 10m 弦正矢量に換算した値
括弧内は式 (1) ~ (3) の h の値

考値として座屈に至るとされる座屈発生温度は、曲線半径 600m時で 60kg レール区間 (No.11) で 49.5℃, 50kgN レール区間 (No.23) で 51.8℃であった。

一方、MTT 作業中に機械故障が発生するといった不慮の事態を想定した場合では、60 kg レール区間で曲線半径 1600 m (No.3), 50kgN レール区間で曲線半径 1000 m (No.18) 時に最低座屈強さが 35℃以上であることを確認した。参考値である座屈発生温度は、60kg レール区

間 (No.3) で 57.8℃, 50kgN レール区間 (No.23) で 52.7℃であった。

5. まとめ

本稿では、スタビライザー作業を前提とした MTT 作業について、営業線および試験軌道において道床横抵抗力試験を行うとともに、試験で得られた各種条件の道床横抵抗力特性を用いた FEM 解析により夏期作業条件を検討した。結果は以下のとおりである。

- (1) 営業線において、MTT 作業にあわせてスタビライザー作業を実施することで MTT 作業により低下した道床横抵抗力が回復することを確認した。
- (2) スタビライザー作業速度について、0.4km/h から 0.6 km/h と 1.5 倍にしてもスタビライザー作業による道床横抵抗力の回復効果への影響は確認されなかった。
- (3) 直線と曲線の道床横抵抗力は同程度であり、曲線の座屈解析に用いる道床横抵抗力は直線と同様の値を用いても問題ないと考えられる。
- (4) 実物大軌道の軌きょう引き試験結果より、スタビライザー作業により 2mm 時の道床横抵抗力が 28%、最終道床横抵抗力が 4% 回復する効果を確認した。
- (5) スタビライザー作業を前提とした MTT 作業の夏期作業条件を検討した結果、本検討条件ではレール種別問わず、曲線半径 600 m でも最低座屈強さが 35℃以上確保されることを確認した。
- (6) MTT 作業中にスタビライザーが故障した条件では、本検討条件では 50 kgN レールで曲線半径 1000 m、60 kg レールで曲線半径 1600m 時に最低座屈強さが 35℃以上確保されることを確認した。

表-6 解析ケースおよび解析結果

座屈発生温度 (°C)	最低座屈強さ (°C)	No.	曲線半径 R (m)	軌道条件	MTT 作業区間 道床横抵抗力 MTT 作業外 共通 (図-15)
77.5	37.4	1	直線	図-13	図-17
62.8	35.8	2	直線	図-14	図-16, 図-17
57.8	35.0	3	1600	図-14	図-16, 図-17
56.5	34.9	4	1400	図-14	図-16, 図-17
59.7	36.4	5	1000	図-13	図-17
52.5	34.6	6	1000	図-14	図-16, 図-17
55.3	35.9	7	800	図-13	図-17
49.4	34.2	8	800	図-14	図-16, 図-17
52.6	35.7	9	700	図-13	図-17
47.4	33.9	10	700	図-14	図-16, 図-17
49.5	35.3	11	600	図-13	図-17
44.7	33.6	12	600	図-14	図-16, 図-17
81.0	37.4	13	直線	図-13	図-17
63.6	36.1	14	直線	図-14	図-16, 図-17
57.6	35.6	15	1600	図-14	図-16, 図-17
56.3	35.4	16	1400	図-14	図-16, 図-17
61.7	36.5	17	1000	図-13	図-17
52.7	35.0	18	1000	図-14	図-16, 図-17
57.6	36.2	19	800	図-13	図-17
49.9	34.8	20	800	図-14	図-16, 図-17
55.0	36.0	21	700	図-13	図-17
47.9	34.5	22	700	図-14	図-16, 図-17
51.8	35.7	23	600	図-13	図-17
45.4	34.1	24	600	図-14	図-16, 図-17

No.1~12 (60kg レール), No.13~24 (50kgN レール)
全試番共通: まくらぎ間隔 657mm (38本/25m)

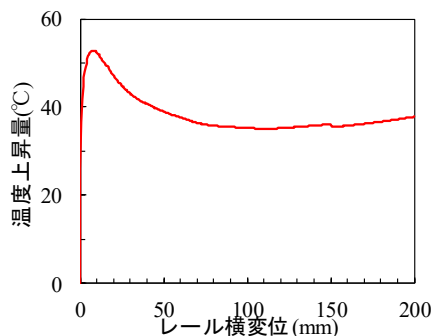


図-18 解析結果の一例

(解析 No.18 50kgN レール, 機械故障条件)

6. おわりに

本検討では、機械故障を考慮した条件での解析を実施した。しかし、MTT 作業中の機械故障によりスタビライザーの未作業区間に対し、道床横抵抗力を回復させる有効な対策工があれば、さらに夏期作業条件を緩和できると考える。また、スタビライザー作業後のプレートコンパクターによる締め固め作業について、スタビライザー作業のみで道床横抵抗力が回復するのであれば、作業が省略でき保守費用の低減にもつながる。未検討である機械故障時の対策工やスタビライザー作業後のプレートコンパクターによる締め固めの必要性について、今後検討したい。

REFERENCES

- 1) 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. [Miyai, T., Ida, H., Hosokawa, T., and Hamasaki, S.: Lateral ballast resistance force test on commercial lines, *Railway technical research institute preliminary report*, No. 82-142, 1982.]
- 2) 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. [Takai, H.: Literature research on dynamic track stabilizer (DTS): *Japan Railway Civil Engineering Association*, Vol.30, No.11, pp.44-47, 1992.]
- 3) 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. [Kikkawa, S., Yabunaka, Y., and Takao, K.: Study on the effect of ballast maintenance work on the lateral ballast resistance force, *Journal of railway engineering*, VoL.24, pp.243-250, 2021.]
- 4) 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, 2012.1 [Railway Technical Research Institute: *Design Standards for Railway Structures and Commentary(track structure)*, Maruzen-to-sho, 2012.1]
- 5) 中村貴久, 桃谷尚嗣, 早野公敏, 小川隆太: 地震時におけるバラスト軌道の道床横抵抗力特性, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.70, No.3 (舗装工学論文集第 19 巻), I_79-I_86, 2014. [Nakamura, T., Momoya, Y., Hayano, K. and Ogawa, R.: Characteristics of lateral resistance of ballasted tracks under seismic conditions, *Transaction of the Japan Society of Civil Engineers E1(journal of pavement engineering Vol.19)*, Vol.70, No.3, I_79-I_86, 2014.]
- 6) 吉川秀平, 高尾賢一, 桃谷尚嗣, 中村貴久, 伊藤孝記: 大型保線機械によるつ固め作業後の道床横抵抗力特性の検証試験, 鉄道工学シンポジウム論文集, VoL.25, pp. 77-84, 2021. [Kikkawa, S., Takao, K., Momoya, Y., Nakamura, T., and Ito, K.: Verification test of lateral ballast resistance force characteristics of after tamping with a large machine for track maintenance, *Journal of railway engineering*, VoL.25, pp. 77-84, 2021.]
- 7) 玉川新悟, 西宮裕騎: FEM 解析ツールを用いた実物大軌道座屈試験の再現解析, 鉄道工学シンポジウム論文集, VoL.23, pp. 267-274, 2019. [Tamagawa, S., and Nishinomiya, Y.: FEM simulation of buckling test of full size track, *Journal of railway engineering*, VoL.23, pp.267-274, 2019.]
- 8) 西宮裕騎, 片岡宏夫: 座屈発生点を考慮したロングレールの座屈安定性の評価法に関する一考察, 鉄道工学シンポジウム論文集, VoL.20, pp. 9-15, 2016. [Nishinomiya, Y., and Kataoka, H.: Study of the stability of continuous welded rail in consideration of a critical buckling temperature increase, *Journal of railway engineering*, VoL.20, pp.9-15, 2016.]
- 9) 太田晋一, 清末敦博: 夏期保守作業制限の見直しに関する検討, 新線路, VoL.72, No.2, 2018. [Ota, S., and Kiyosue, A.: Examination of review of summer maintenance work restrictions, *Shinsenro*, VoL.72, No.2, 2018.]

(Received April 1, 2022)

(Accepted June 3, 2022)

STUDY OF SUMMER WORKING CONDITIONS FOR TAMPING BY MTT ON THE PREMISE OF BALLASTED TRACK STABILIZATION

Shuhei KIKKAWA and Masanobu KUSUDA

In a ballasted track, the track buckling stability decreases as the rail temperature rises. In addition, the lateral ballast resistance force is reduced by the tamping work. Therefore, railway operators basically prohibit tamping work in the summer. In order to realize the summer work of tamping using the track maintenance machine(MTT), we will take measures to stabilize the track with a dynamic track stabilizer. If summer work is realized by countermeasures, labor productivity of track maintenance work will be improved. Therefore, we conducted a lateral ballast resistance force tests on the commercial line and the test track to confirm the effect of a dynamic track stabilizer. The track buckling stability was evaluated by FEM buckling analysis using the lateral ballast resistance force characteristics obtained in the test. Based on the above, we have clarified the conditions under which MTT work that assumes a dynamic track stabilizer is possible in the summer.