

冬季低温時のマルチプルタイタンパーによる軌道保守作業が
ロングレール曲線区間のレール軸力に与える影響

○ [土] 山岡 大樹（鉄道総合技術研究所） [土] 玉川 新悟（鉄道総合技術研究所）
[土] 西宮 裕騎（鉄道総合技術研究所） [土] 太田 晋一（鉄道総合技術研究所）
中野 哲也（鉄道総合技術研究所） [土] 山本 智之（鉄道総合技術研究所）

Effect on Rail Axial Force in Curve Section of Continuous Welded Rail
by Track Maintenance Work with Multiple Tie Tampers at Low Temperatures in Winter

○Daiki Yamaoka, (Railway Technical Research Institute)
Shingo Tamagawa, (Railway Technical Research Institute)
Yuuki Nishinomiya, (Railway Technical Research Institute)
Shinichi Ota, (Railway Technical Research Institute)
Tetsuya Nakano, (Railway Technical Research Institute)
Tomoyuki Yamamoto, (Railway Technical Research Institute)

For continuous welded rail maintenance work at low temperatures, work restrictions are set from the viewpoint of preventing inward displacement of the rail and changes in rail axial force in curved sections, but the current work restrictions do not match the actual work conditions recently. Therefore, as part of the reexamination of work restrictions, we measured changes in rail axial force in curved section of the continuous welded rail due to track maintenance work with multiple tie tampers (MTT work) at low temperature in winter, and clarified the impact on changes in rail axial force by MTT work.

キーワード：ロングレール、低温時保守作業、作業制限、マルチプルタイタンパー、レール軸力

Key Words：Continuous Welded Rail, Maintenance Work at Low Temperature, Work Restriction, Multiple Tie Tamper, Rail Axial Force

1. 概要

軌道構造として広く敷設されているバラスト軌道は、列車荷重が繰り返し載荷されることで、軌きょうを支持するバラスト道床に徐々に沈下が生じる。沈下したバラスト道床は高低変位の成長を促し、大きな高低変位が発生した箇所では、列車の乗り心地や走行安全性が低下するため、保線の現場ではこれを復旧させることを目的とした軌道保守作業が定期的に行われている。

バラスト軌道における軌道保守作業には、マルチプルタイタンパー（以下、MTT という）が一般的に用いられる。図 1 に示すように MTT には、その車体下部にタンピング

ユニット（図中①）とリフティング・ライニングユニット（図中②）が備わっており、①はまくらぎ下のバラストを突き固める役割、②は軌きょうの位置修正を行う役割をそれぞれ担っている。

しかしながら MTT による軌道保守作業（以下、MTT 作業という）をロングレール曲線区間において実施すると、施工箇所の道床が緩むことで道床抵抗力が低下し、特に冬季等の低温時にはロングレール不動区間においてレール引張軸力が緩和され、レール軸力が圧縮側へ遷移することが懸念される。また松丸ら¹⁾により MTT 作業後に軸力が圧縮側へ遷移する挙動が実際に確認されている。このように低温時にレール引張軸力が緩和される箇所では、夏期高温

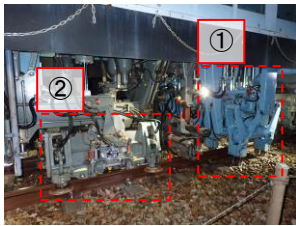


図 1 MTT の下部構造



図 2 現場の状況

表 1 現場の各諸元

項目	内容
線区	複線区間上り線
曲線半径	400m
軌道構造	バラスト軌道 ロングレール不動区間
レール種別	50kgN レール
まくらぎ種別	6号 PC まくらぎ
締結装置種別	9形レール締結装置
道床諸元	肩幅：400mm 以上 余盛：50mm 以上
周辺介在物	バラスト止め・側壁
レール設定温度	37℃

時にレール圧縮軸力が設計上の値を上回る可能性があり、座屈に対する安全余裕度が低下することとなる。

冬季などの低温時にロングレール曲線区間において軌道保守作業を実施する際には、レール軸力変動に伴うレールの曲線内方への移動（以下、レール内方変位）を考慮して1980年代に定められた保守作業制限²⁾に基づいて保守作業を実施することが定められている。その一方で、軌道保守作業により生じるレール軸力変動やそれに伴うレール内方変位が、作業種別・作業条件等によってどの程度生じるかは具体的に明らかにされていない。

そこで本稿では、冬季低温時に実施されるMTT作業が、ロングレール曲線区間のレール軸力に与える影響を把握することを目的に、曲線半径400mのロングレール不動区間において冬季に実施されたMTT作業の前後のレール軸力を、レール温度と併せて測定することで、既往の研究では詳細に検討されてこなかった、MTT作業によるレール軸力への影響について定量的に把握することとした。

2. MTT 作業および現地測定の詳細

2.1 現場の概要

図2にMTT作業を実施した現場の写真を示す。本現場は、曲線半径400mの急曲線ロングレール区間である。また、起点方・終点方ともにロングレール端からの距離が100m以上離れており、設計上は温度変化に伴うレール伸縮を生じない不動区間に該当する。

表1に現場の各諸元を示す。まくらぎとレール締結装置は、急曲線のバラスト軌道で一般的に使用されるものである。また現場近傍には、線路下に車道用トンネルが通っており、車道の安全を確保するためのバラスト止めおよび側壁が設置されている。

本現場の敷設レールの設定温度は37℃である。なお、現

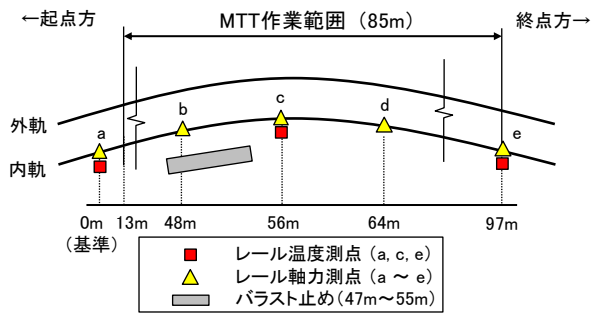


図 3 MTT 作業の施工範囲および各測点の位置関係

行のロングレール保守作業制限には道床突き固め（扛上量20mm以上あるいは20mm未満）に関する作業制限が定められているが、これに準拠すると対象施工箇所・連続施工延長に関する制限は設けられていない。一方、設定温度からの許容温度下降幅の制限は-30℃（扛上量20mm以上）あるいは-40℃（扛上量20mm未満）となっているため、これに基づくと本現場における作業時のレール温度は最低7℃あるいは-3℃まで許容できるということになる。

2.2 MTT 作業の工程

本現場で実施されたMTT作業は、タンピングユニットによる道床突き固めと、リフティングユニットによる高低変位の整正であり、ライニングユニットによる通り変位の整正は行っていない。本現場ではこの作業を起点方から終点方にかけて実施している。なお、このMTT作業の11日前には同現場の一部区間にて道床交換を実施している。

2.3 現地測定の概要

本測定は冬季に該当する2020年1月31日から2月1日にかけて実施されたMTT作業に合わせて実施した。図3に本現場におけるMTT作業の施工範囲およびレール温度・レール軸力の測点箇所について示す。MTT作業延長は85mであり、測点aから終点方向に13m離れた地点を作業開始位置とし、測点eまでMTT作業を実施した。バラスト止めは測点aを基準として47m～55mの範囲で設置されている。

3. レール軸力・温度の測定方法および測定結果

3.1 測定方法

レール軸力の測定は、軌間内外それぞれのレール腹部の中立軸位置付近に2軸ひずみゲージを貼り付けることで行った。なお内軌と外軌で敷設環境が概ね同じであることからレールの挙動は同様の傾向となると想定し、内軌側でのみ測定を行った。測定方法は4アクティブゲージ法（直交配置法）を採用している。本測定方法においては、既設レールへひずみゲージを貼付けたため、貼付け時には既にレール軸力が発生している。そこで、レール軸力の絶対量を把握するために、2020年10月に実施されたレール交換の際に発生した切断レールから、レール軸力が解放された時のひずみを測定し、その解放時のひずみと測定期間の任意



図4 ひずみゲージ・熱電対の貼付け状況（測点 e）

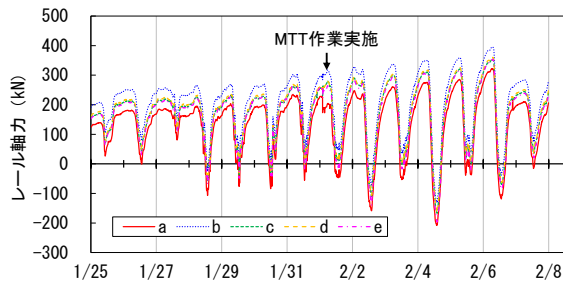


図5 レール軸力の時刻歴波形
(2020/1/25～2020/2/8)

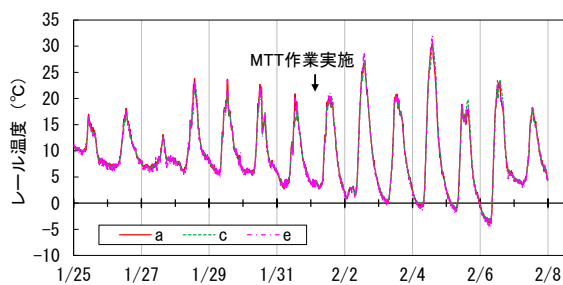


図6 レール温度の時刻歴波形
(2020/1/25～2020/2/8)

時刻におけるひずみの差分を算出し、レール軸力に換算した。4 アクティブゲージ法を用いた場合、レール軸力 P は以下の式(1)で換算される。

$$P = \frac{EA}{2(1+\nu)}(\varepsilon - \varepsilon_0) \quad (1)$$

ここで、 E : レールのヤング率 (210kN/mm^2)、 ν : レールのポアソン比 (0.3)、 A : 50kgN レールの断面積 (6420mm^2)、 ε_0 : レール軸力解放時のひずみ値、 ε : 任意時刻のひずみ値、をそれぞれ示している。

レール温度の測定は、ひずみゲージ貼付け位置の近傍のレール腹部に、熱電対 (T 型) を接触させて測定した。

図4にひずみゲージおよび熱電対の貼付け状況について示す。ひずみゲージはレール軸力の測点ごとに、軌間内外それぞれに1枚ずつ貼付けし、熱電対は軌間外に1本を貼り付けている。また、軌道保守作業による測定ケーブル破断などの損傷を防ぐためにシリコンおよび鋼製カバーで測点箇所を養生した。各測点において、ひずみゲージまたは熱電対を貼り付けて養生した後、施工基面に設置した静ひ

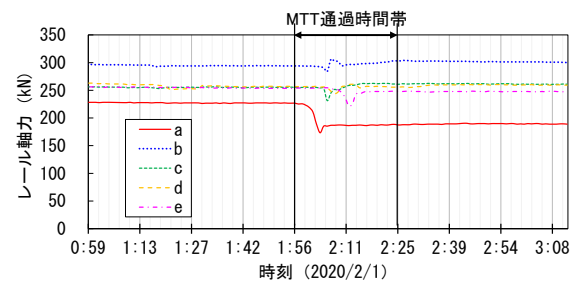


図7 レール軸力の時刻歴波形
(2020/2/1 MTT 作業時)

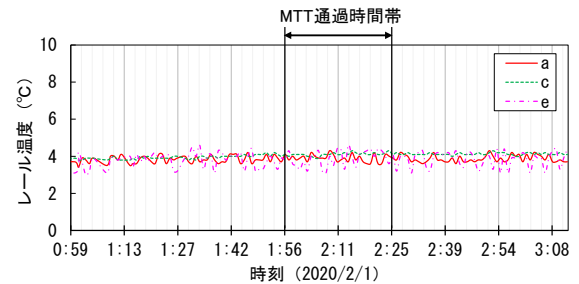


図8 レール温度の時刻歴波形
(2020/2/1 MTT 作業時)

ずみ測定器に各ケーブルを接続し連続測定を実施した。

3.3 測定結果および考察

図5・6に、MTT 作業1週間前から MTT 作業1週間後までのレール軸力とレール温度の時刻歴波形をそれぞれ示す。レール軸力の符号は引張方向を正、圧縮方向を負とする。図5からは、レール軸力が日中に圧縮方向に変化し、夜間には引張方向に変化している様子が伺える。また図6からは、日中にレール温度が上昇し、夜間になると下降している傾向が各日で捉えられている。各測点間でレール温度に関しては大きな差異は現れていないが、レール軸力に関しては相対的に最も乖離が大きかった測点 a・b 間で平均 77kN 、最大 130kN の軸力差が生じていた。ただし不動区間内で実際に発生するレール軸力には、列車通過などによるふく進などを要因として、ある程度のばらつきが生じることも考えられる。また、各測点におけるレール軸力変動幅を確認すると、それぞれ同程度の変動幅を示していることから、測定結果は妥当なものであると考えられる。

続いて、本稿で検討対象としている、MTT 作業によるレール軸力の変化について着目した。図7・8は、MTT 作業時間帯を含むおよそ2時間のレール軸力、レール温度の時刻歴波形を示したものである。図中に示した通り、施工日の1:56～2:25の間に MTT が各測点を通っている。図7より、各測点において MTT 通過時間帯にレール軸力が瞬間的に低下、すなわちレール軸力が圧縮方向へ変動している。この変動は、時系列でみると測点 a→e の順に生じており、本現場では MTT は起点方から終点方に向けて走行していることからこの変動は MTT の作用によるものと考えられる。レール軸力が瞬間的に圧縮方向へ転じた理由としては、MTT の自重が軌きょうに加わったこと、

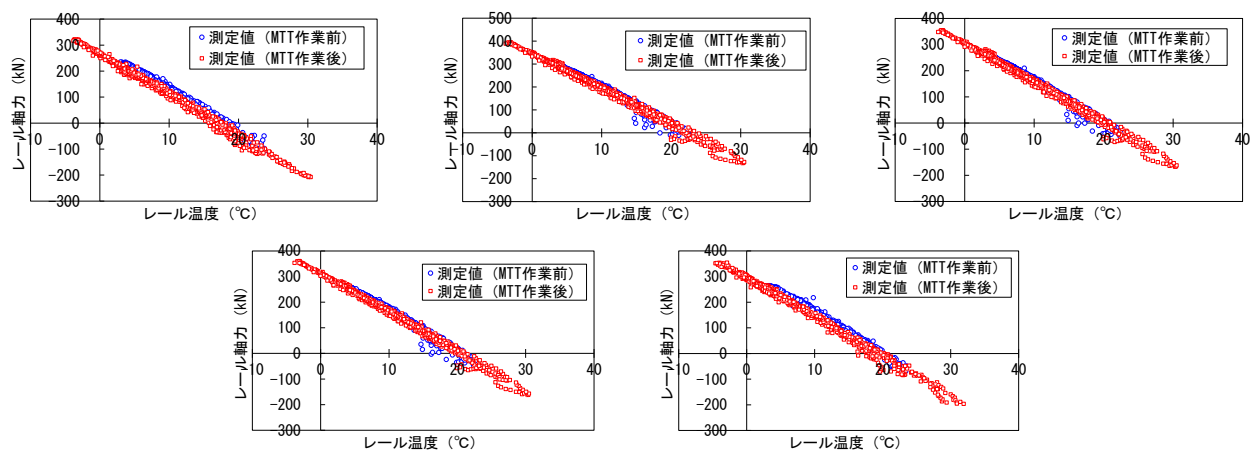


図9 レール軸力とレール温度の相関（上段：左から測点 a , b , c 下段：左から測点 d , e）

あるいはリフティングユニットによりレールが扛上されたことでレールの弾性変形が生じたことが考えられる。また図8より、レール温度は各測点とも MTT 作業前後、作業中で概ね一定の値で推移していることが確認できる。次に図7において、レール軸力が瞬間的に低下した時点から5分前（MTT 作業直前）より以前、および5分後（MTT 作業直後）より以降の、それぞれの時間におけるレール軸力の平均値の差を調べた。測点 b～e に関しては MTT 作業前後で-6.8kN～+8.3kN と大きな差ではなかったが、測点 a に関しては-38.8kN と他の測点に比べて相対的に大きな差が生じた。この差が現れた原因としては、測点 a より起点方で MTT による通り変位整正が実施された可能性が考えられたが、測点 a より起点方では高低変位整正のみしか実施されておらず、明確な原因は特定困難である。

次に、MTT 作業1週間前から MTT 作業直前（MTT 作業前）、MTT 作業直後から MTT 作業1週間後（MTT 作業後）、各期間におけるレール軸力とレール温度の相関を求めた。図9にその結果を示す。全測点において、MTT 作業前後でレール軸力が大きく変動していないことが分かる。

MTT 作業前後のレール軸力の変動をより定量的に示すために、図9のグラフから線形回帰により MTT 作業前後の中立温度（レール軸力が0となるレール温度）の変化量を算出した。表2にその結果を示す。各測点で中立温度の変化量は-1.29～0.05℃となった。玉川ら⁴⁾によると、急曲線ロングレール区間の道床状態が良好な場合において、ロングレール設定替や道床整備が必要となる換算付加温度は3.5℃程度であるが、これと比較して小さい値を示したことから、本現場において MTT 作業がレール軸力に与えた影響は小さかったと考えられる。

4. まとめ

本稿では、冬季低温時にロングレール曲線区間における MTT 作業前後のレール軸力を測定することで、MTT 作業がレール軸力に与える影響について把握した。結果として、MTT 作業時には瞬間的にレール軸力が圧縮方向に変動する傾向が認められたが、これは MTT の自重、あるいはリ

表2 MTT 作業前後の中立温度の変化量（℃）

測点 a	-1.29
測点 b	0.05
測点 c	-0.10
測点 d	-0.14
測点 e	-0.99

フティングユニットによるレール扛上によるレールの弾性変形によるものと考えられる。また MTT 作業前後のレール軸力変動量を、中立温度の変化量に換算した結果、ロングレール設定替や道床整備が必要となる換算付加温度と比べて小さい値を示した。よって本研究で検討したロングレール曲線区間において、MTT 作業がレール軸力に与えた影響は小さかったものと考えられる。

一方で、過去には松丸ら¹⁾が曲線半径 300m 区間における MTT 作業時のレール軸力変動について同様の検討を行っているが、この検討では MTT 作業による中立温度の変化が-4.5℃であったと報告されている。また、本研究においても測点 a について、MTT 作業前後で変動は小さかったものの原因不明のレール軸力変動が生じている。そのため、MTT 作業時のレール軸力の挙動をより詳細に把握するには、今後測定データ数を増やし実態を明らかにしていく必要がある。

参 考 文 献

1) 松丸和貴, 山口義信: 急曲線ロングレール管理における一考察, 土木学会第 67 回年次学術講演会, VI-502, 2012.
2) 家田仁: ロングレール敷設区間における保守作業制限の改正 (案) および解説, 鉄道線路, pp.18-22, 1983.
3) 保線工学編集委員会編: 保線工学 (上), pp.321, 鉄道現業者, 2016.
4) 玉川新悟, 西宮裕騎, 太田晋一, 中野哲弥: 冬季低温時の道床交換作業が急曲線ロングレールのレール内方変位とレール軸力の変化に及ぼす影響, 日本機械学会論文集, 86 巻 889 号, 2020.