

営業線のロングレール区間のふく進量の実態調査と
レール軸力の長期測定に基づく中立温度の変化特性松谷 真吾* 西宮 裕騎*
玉川 新悟* 細見 章人**Neutral Temperature Characteristics of Continuous Welded Rail Based on Rail Creeping Surveys and
Long-Term Axial Force MeasurementsShingo MATSUTANI Yuki NISHINOMIYA
Shingo TAMAGAWA Akito HOSOMI

Continuous welded rail management controls rail axial force using its equivalent temperature, taking into account rail creeping and maintenance work. Furthermore, changes in neutral temperature are appropriately updated after resetting. However, track buckling has still occurred, even under such management, suggesting that unexpected rail axial forces may be generated by temporal changes in neutral temperature after resetting. This study analyzed changes in the amount of rail creeping, focusing on the track structures, and measured the axial force and temperature over a long term from the time of long-welded rail installation to understand the variations in neutral temperature characteristics. As a result, the authors confirmed the quantitative impact of the factors contributing to rail creeping and found that the possibility of a large rail axial force occurring due to temporal changes in the neutral temperature after resetting is low.

キーワード：ロングレール，中立温度，レールふく進，レール軸力

1. はじめに

ロングレール敷設時におけるレール温度の設定可能領域は、図 1 に示すように、敷設箇所で予想される最高レール温度と最低レール温度、および夏季の著大通り変位の防止と冬季のレール破断時の開口量を制限する観点から定められている。また、設定可能領域の範囲内から、敷設箇所の状況に合わせて設定した温度を設定温度という。ロングレールは、設定温度でレール軸力が 0 になるように緊張器等により、設定温度と敷設時のレール温度の差に相当するレール軸力を付加した状態で敷設される。このように、現行のロングレール管理では、レール軸力が 0 となるレール温度である中立温度が、ロングレール敷設直後においては設定温度と等しくなることを前提としている。また、敷設後については、レールのふく進や保守作業の投入等により、中立温度が変化することを想定して、現場状況に応じてレールのふく進や保守作業により付加されるレール軸力の温度換算値である換算付加温度を用い、中立温度を適宜更新することによりレール軸力を管理している。一方で、このような管理下でも軌道の著大通り変位は発生しており、輸送障害や補修作業に苦慮している。この原因について、現行のロングレール管理を踏まえると、以下の 2 つの仮説が考えられる。

- (1) レール敷設直後の中立温度と設定温度の不一致
- (2) 敷設後の中立温度の経時変化により想定以上のレール軸力の発生

* 軌道技術研究部 軌道構造研究室

** 元 軌道技術研究部 軌道構造研究室

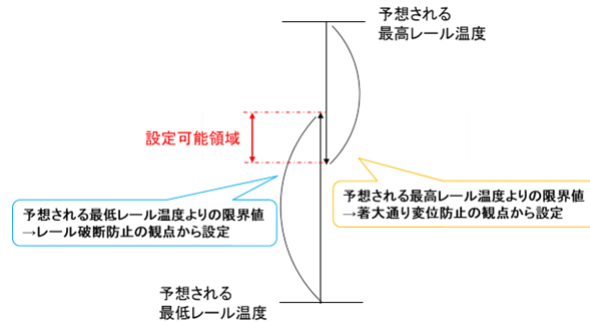


図1 ロングレール敷設時のレール温度の設定可能領域

(1)の仮説について検討するため、緊張器を用いたロングレールの部分的な交換箇所を対象に、ロングレール敷設直後のレール軸力およびレール温度を測定した¹⁾。測定した結果から算出した中立温度と設定温度の差が、設定替えや道床整備が必要となる換算付加温度 3.5°C ²⁾ よりも小さい値であったことを確認した。過去の測定結果³⁾からも、緊張器を用いた設定替えの精度が確認されており、(1)の仮説が問題となる状況は考えにくい。一方で、(2)の仮説について、敷設後の中立温度の経時的な変化については不明な点が多い。

そこで本研究では、ロングレールにおける中立温度の変化特性を把握するため、営業線のふく進量の変化を軌道構造に着目し分析するとともに、ロングレール区間において、レール軸力とレール温度を敷設時から長期間測定した⁴⁾。

2. 営業線のロングレールふく進検査データを用いたふく進の要因分析

本章では、ふく進により中立温度が変化している箇所を網羅的に把握するため、ふく進の要因を整理し、営業線におけるロングレールふく進検査（以下、「ふく進検査」という）で測定したふく進量を用いて、統計的に要因の影響分析を行った。

2.1 分析対象と分析項目

2.1.1 分析対象

分析対象とした線区およびふく進検査の概要を表1に示す。分析対象とした線区は、全区間が複線であり、上下線および左右レールを別々のデータとした結果、ふく進杭（以下、「杭」という）の総数は3798箇所であった。次に、分析対象としたふく進検査は、2014年から2023年に行った定期検査または臨時検査とした。以上の分析対象について、ふく進検査で測定したふく進量を杭毎に確認したところ、検査データに何らかの異常値が含まれている杭（ふく進量が999mm等）が1232箇所、検査回数が5回未満と少ない杭が1322箇所みられたため、検査データに異常値が含まれておらず、かつ検査数が5回以上の杭を分析対象とした。結果、分析対象の杭は1239箇所となった。

2.1.2 分析項目

分析項目を表2に示す。既往の研究⁵⁾では、ふく進が発生しやすい箇所の特徴のひとつとして、列車の制動の影響を受ける箇所が報告されている。そこで、列車の制動の影響を確認するため、列車の制動が多いと想定される駅構内と、その他区間である駅間のふく進量の違いを分析することとした。

軌道構造については、バラスト軌道と直結系軌道の違いによるふく進量の違いを分析することとした。なお、直結系軌道は構造物の温度伸縮による影響範囲を考慮して、無道床橋りょうやスラブ軌道等の直結系軌道区間を含む前後100mの範囲を対象とした。線形については、直線と曲線の違い、曲線半径の大きさ

表1 分析対象の概要

軌道延長	187km287m
単線・複線	複線
検査年	2014～2023 年
検査回数	定期検査 18 回＋臨時検査
ふく進杭の総数	3798 箇所
分析対象のふく進杭の数	1239 箇所

表2 分析項目

分析項目	内容	閾値
駅構内・駅間	駅構内・駅間	-
軌道構造	バラスト軌道・直結系軌道	-
線形	直線・曲線	-
	曲線半径の大きさ	600 m
	曲線の内軌・外軌	-
勾配	勾配の大きさ	5・10 ‰
	下り勾配・上り勾配	-
伸縮継目から杭の距離	伸縮継目から杭の距離	250・500 m
ロングレールの全長	ロングレールの全長	1・2 km

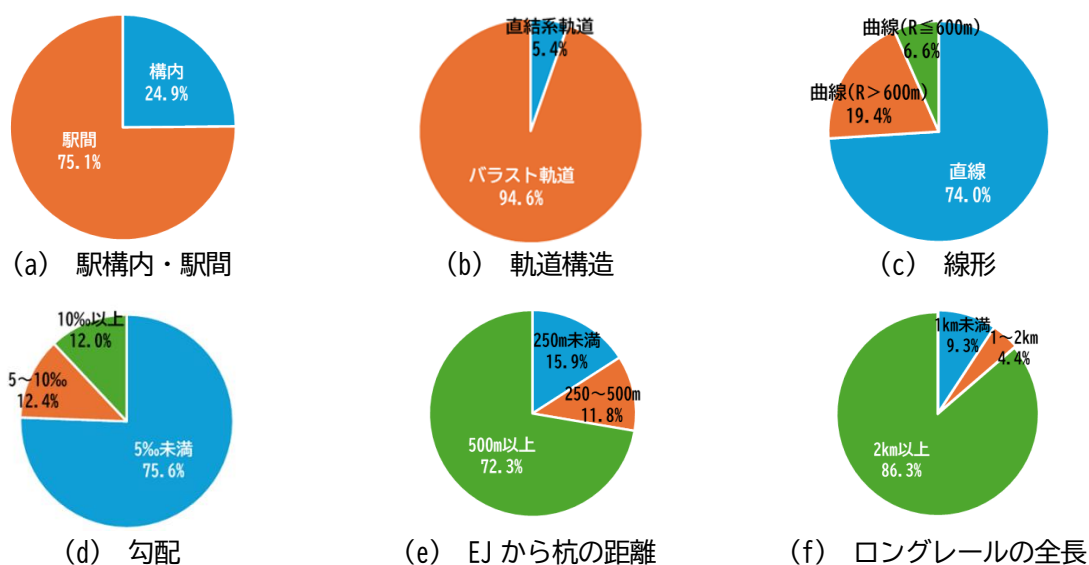


図2 分析対象の杭の位置における各分析項目の割合

および内軌・外軌の違いによる影響を確認するため、直線区間と曲線区間を分けるとともに、曲線区間については、曲線半径 600m を閾値とし、また、内軌・外軌を分けて分析することとした。勾配については、勾配の大きさおよび下り勾配・上り勾配による影響を確認するため、絶対値で 5‰ および 10‰ を閾値とするとともに、勾配が 10‰ 以上の箇所における下り勾配・上り勾配を分けて分析することとした。伸縮継目（以下、「EJ」という）から杭の距離については、可動区間に近い杭の方がふく進が発生しやすいと想定されるため、250m および 500m を閾値とし分析することとした。ロングレールの全長については、ロングレール長が短いほどふく進が発生しやすいと想定されるため、1km および 2km を閾値として分析することとした。

図 2 に各分析項目における杭位置の割合を示す。分析対象の軌道構造は主にバラスト軌道で、直結系軌道は全体の 5.4% であった。線形については、直線は 74.0%、曲線半径が 600m 以下の曲線は 6.6% であった。勾配については、5‰ 未満の箇所は 75.6%、10‰ 以上の箇所は 12.0% であった。EJ から杭の距離については、250m 未満の箇所は 15.9%、500m 以上の箇所は 72.3% であった。ロングレールの全長については、1km 未満の箇所は 9.3%、2km 以上の箇所が 86.3% であった。

2.2 分析方法

ふく進検査で測定するふく進量は、レールに設置したターゲット等が基準とする位置から、レール長手方向へ移動した量を指す。一方で、同一期間における各杭位置でのふく進の変化量を分析に用いるため、今回の分析で用いるふく進量は、同じ杭におけるふく進検査で測定したふく進量の最大値から最小値を引

いた値とした。また、分析対象とした期間にレール交換や設定替えの作業を行っている場合は、作業によるふく進量の変化の影響を除外する必要がある。そこで、作業前後の期間でそれぞれ前述の方法によりふく進量を算出し、算出したふく進量のうち最大の値を用いることとした。分析対象とした杭位置で、ふく進量の大きさ毎に、ふく進量と各分析項目における杭位置の割合を求め、ふく進量と各分析項目の相関性を確認することとした。なお、ふく進量の大きさが 50mm 以下の箇所は、0mm 以上 10mm 以下のように 10mm 毎の分布で、50mm より大きい箇所はまとめて分析することとした。

2.3 分析結果

2.3.1 ふく進量の分布

図 3 にふく進量の分布を示す。図 3 より、ふく進量が 10mm より大きく 20mm 以下の箇所の割合が最も高く、20mm 以下の箇所の割合は全体の 61.0%を占めていた。ふく進量が 20mm より大きい箇所では、ふく進量が増加するにつれて割合が低くなり、50mm より大きい箇所は全体の 2.3%であった。なお、検査データに明らかな異常値を含む杭は分析対象外としているものの、レール交換や設定替え、および基準点の再設置等によるものと考えられる一時的な値の急変が生じているデータも分析対象としているため、実際よりもふく進量が大きく算出されている箇所も含まれていると考えられる。

2.3.2 駅構内と駅間

図 4 にふく進量と駅構内・駅間の関係を示す。図 4 より、ふく進量が 10mm 以下の箇所における駅構内の割合は 33.4%であった。一方で、50mm より大きい箇所では 13.8%であった。分析対象の杭全体における駅構内の割合は 24.9%であることから、ふく進量が小さい箇所で駅構内の割合が高くなる傾向であった。既往の研究より、列車の制動荷重の影響により、駅構内でふく進量が増加する傾向になると予想したが、分析結果では逆の傾向を示しており、このような結果となった要因は特定できていない。

2.3.3 軌道構造

図 5 にふく進量とバラスト軌道および直結系軌道の関係を示す。図 5 より、ふく進量が 10mm 以下の箇所における直結系軌道区間の割合は 2.3%であった。一方で、50mm より大きい箇所では 10.3%であった。分析対象の杭全体における直結系軌道区間の割合は 5.4%であることから、ふく進量の大きい箇所で直結系軌道区間の割合が高くなる傾向であった。この結果は、直結系軌道においては、レール押さえ力がバラスト軌道区間と比較して小さい影響や、下部構造物の温度伸縮による付加軸力の影響等を受けるためと考えられる。

2.3.4 線形

図 6 にふく進量と直線および曲線の関係、曲線区間を曲線半径 600m で分けた場合の関係および曲線区間を内軌・外軌で分けた場合の関係をそれぞれ示す。図 6 (a)より、ふく進量が 10mm 以下の箇所における曲線区間の割合は 20.3%であった。一方で、50mm より大きい箇所では 37.9%であった。分析対象の杭全体

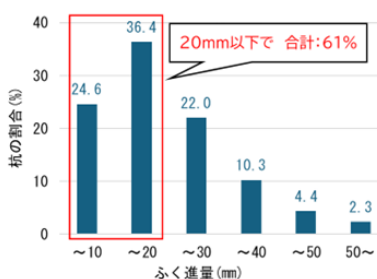


図 3 ふく進量の分布

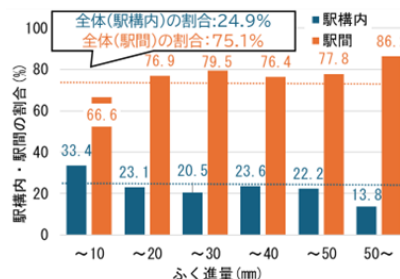


図 4 駅構内・駅間とふく進の関係

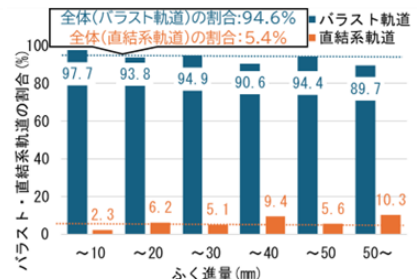


図 5 軌道構造とふく進の関係

における曲線区間の割合は 26.0%であることから、ふく進量の大きい箇所では曲線の割合が高くなる傾向であった。

曲線半径の違いに着目すると、図 6 (b)より、ふく進量が 10mm 以下の箇所では、曲線半径が 600m より大きい曲線および 600m 以下の曲線の割合はそれぞれ 14.1%および 6.2%であった。一方で、50mm より大きい箇所では、それぞれ 27.6%および 10.3%であった。分析対象の杭全体におけるそれぞれの割合は、19.4%および 6.6%であることから、曲線半径の大きさにかかわらず、ふく進量の大きい箇所では曲線の割合が高くなる傾向であり、曲線半径が 600m 以下の曲線で割合がより高くなった。

内軌・外軌の違いに着目すると、図 6 (c)より、ふく進量が 10mm 以下の箇所では、内軌・外軌の割合はそれぞれ 8.2%および 12.1%であった。一方で、50mm より大きい箇所では、それぞれ 24.1%および 13.8%であった。分析対象の杭全体におけるそれぞれの割合は、いずれも 13.0%であることから、内軌・外軌にかかわらず、ふく進量の大きい箇所では曲線の割合が高くなる傾向であり、内軌側で割合がより高くなった。

以上の結果は、曲線区間の内軌側は、特定の条件下で接線力の作用が列車進行方向と同方向に働く⁶⁾ことから、外軌側よりふく進量が大きくなったと考えられる。

2.3.5 勾配

図 7 にふく進量と勾配の大きさの関係および勾配が 10‰以上の箇所の下り勾配・上り勾配の関係をそれぞれ示す。図 7 (a)より、ふく進量が 10mm 以下の箇所では、勾配が 5‰未満および 10‰以上の箇所の割合はそれぞれ 79.3%および 7.5%であった。一方で、50mm より大きい箇所では、62.1%および 31.0%であった。分析対象の杭全体におけるそれぞれの割合は 75.6%および 12.0%であることから、ふく進量の大きい箇所では勾配が 10‰以上の箇所の割合が高くなる傾向であった。

勾配 10‰以上の下り勾配・上り勾配の違いに着目すると、図 7 (b)より、ふく進量が 10mm 以下の箇所では、勾配 10‰以上の下り勾配・上り勾配の割合がそれぞれ 4.3%および 3.3%であった。一方で、50mm より大きい箇所では、それぞれ 17.2%および 13.8%であった。分析対象の杭全体におけるそれぞれの割合は 4.9%および 7.1%であることから、下り勾配・上り勾配にかかわらず、ふく進量の大きい箇所では勾配の大きい箇所の割合が高くなる傾向であり、下り勾配で割合がより高くなった。

以上の結果は、勾配の大きい区間では、列車の力行・制動の影響を受けるためと考えられる。特に下り勾配では制動荷重が上り勾配と比べて大きいことから、上り勾配と比べふく進量が大きくなったと考えられる。

2.3.6 EJ から杭の距離

図 8 にふく進量と EJ から杭の距離の関係を示す。図 8 より、ふく進量が 10mm 以下の箇所では、EJ から杭の距離が 250m 未満および 500m 以上の箇所の割合がそれぞれ 15.1%および 75.1%であった。一方で、50mm より大きい箇所では、それぞれ 31.0%および 62.1%であった。分析対象の杭全体におけるそれぞれの

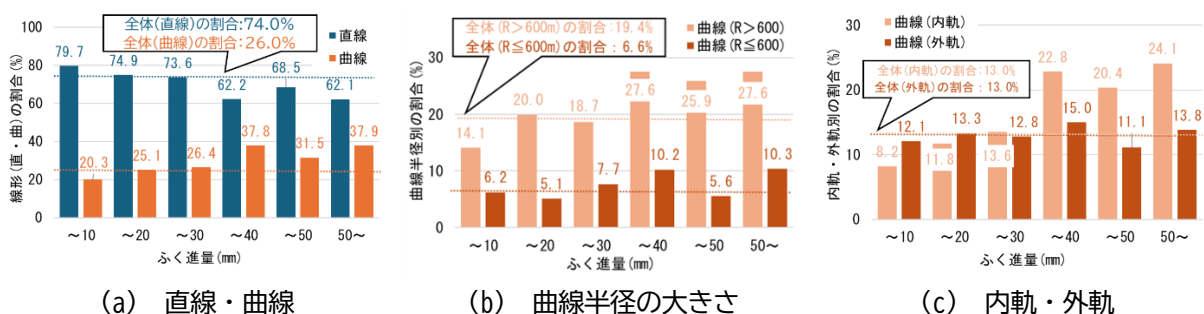


図 6 線形とふく進の関係

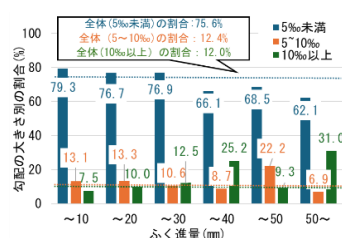
割合は 15.9%および 72.3%であることから、ふく進量の大きい箇所では、EJ から杭の距離が短い箇所の割合が高くなる傾向であった。この結果は、EJ から杭の距離が短い箇所において、可動区間の影響を受けやすいとと考えられる。

2.3.7 ロングレールの全長

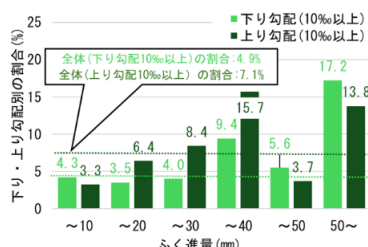
図 9 にふく進量とロングレールの全長の関係を示す。図 9 より、ふく進量が 10mm 以下の箇所では、ロングレール長が 1km 未満および 2km 以上の箇所の割合が、それぞれ 11.8%および 83.9%であった。一方で、50mm より大きい箇所では、それぞれ 13.8%および 82.8%であった。分析対象の杭全体におけるそれぞれの割合は 9.3%および 86.3%であった。ロングレール長が短いほど可動区間の影響を受けふく進しやすいと想定したが、ロングレール長とふく進量に明確な相関性は確認できなかった。この結果より、ロングレール長がふく進に与える影響はその他項目と比較し小さいと考えられる。

2.4 分析項目の影響分析

分析項目のふく進に対する影響を比較するため、図 10 に分析対象とした杭全体での各分析項目の割合に対する、その項目のふく進量が 50mm より大きい箇所の割合の比を示す。分析項目の中で、当該割合が最も大きい項目は、勾配が 10‰以上の箇所であり、分析対象の杭全体での割合と比較すると 2.6 倍程度であった。また、下り勾配・上り勾配の違いに着目すると、下り勾配の方が割合が大きく、杭全体での割合と比較すると 3.6 倍程度であった。一方で、当該割合が小さい項目は、駅構内のみであり、分析対象の杭全体での割合と比較すると 0.6 倍程度であった。その他項目に着目すると、EJ から杭の距離が 250m 未満の箇所、直結系軌道区間、曲線区間およびロングレールの長さが 1km 未満の箇所の順で、ふく進量が 50mm より大きい箇所での割合が大きかった。



(a) 勾配の大きさ



(b) 下り勾配・上り勾配(10‰以上)

図 7 勾配とふく進の関係

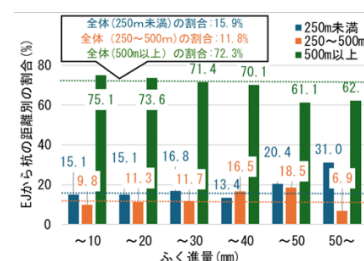


図 8 EJ から杭の距離とふく進の関係

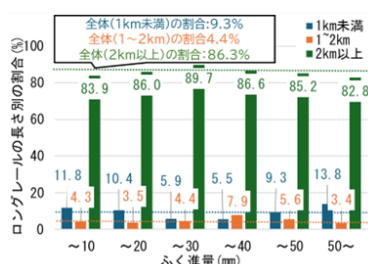


図 9 ロングレール全長とふく進の関係

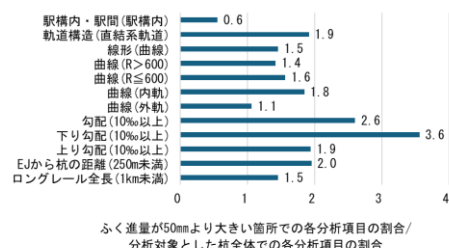


図 10 分析項目のふく進に与える影響の大きさ

3. ロングレール軸力の長期計測

ロングレールにおける中立温度の経時変化特性の把握を目的に、建物の日陰や無道床橋りょうの介在が

ない直線区間のロングレールを対象に、営業線で約2年間、レール軸力とレール温度を長期計測した。

3.1 現地試験の概要

表3に現地試験箇所の概要、図11に測定項目と測定位置、図12に測定器の設置状況をそれぞれ示す。レール軸力およびレール温度は、それぞれレールに設置したひずみゲージおよび熱電対を用いて測定した。また、レールのふく進量は、各測点に設置された杭等の不動点を基準に、レールに設置したターゲットがレール長手方向に移動した量を測定した。

試験箇所の選定にあたっては、特異な敷設条件のない以下のような特徴を有する一般的なロングレールを対象とした。

- ・全区間直線かつバラスト軌道であること
- ・レール締結装置種別が極力統一されていること
- ・踏切や無道床橋りょう等の構造物の介在がないこと
- ・建物の日陰がかからないこと
- ・EJから十分離れた400m以上の不動区間であること

上記のような箇所を選定した理由は、ふく進により中立温度を変化させる外的要因は前章のとおり多数考えられ、試験箇所において外的要因が多いとそれぞれの影響の評価が困難と考えたためである。また、レール軸力が0の状態を精度良く求める観点から、レール交換前にひずみゲージ設置が可能な箇所を選定した。なお、記載のキロ程は起点方のEJを0kmとして換算した値で示す。

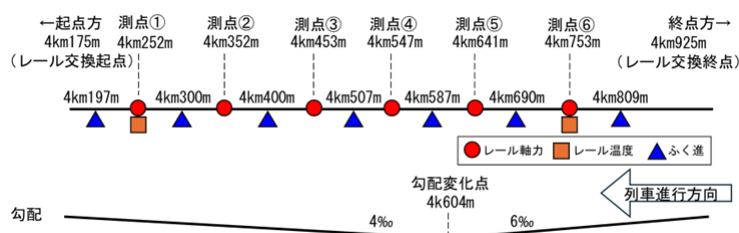


図11 現地試験の測定項目と測定位置

表3 現地試験箇所の概要

ロングレール全長	11km227m
ロングレール交換区間	4km175m～4km925m
ロングレール設定温度	30℃
線形	直線
勾配	－4‰・6‰(勾配変更点 4km604m)
軌道構造	50kgN レール、PC まくらぎ3号、5形レール締結装置
道床種別	バラスト
近傍の構造物	なし
走行車両	通勤型、特急型、機関車、貨車

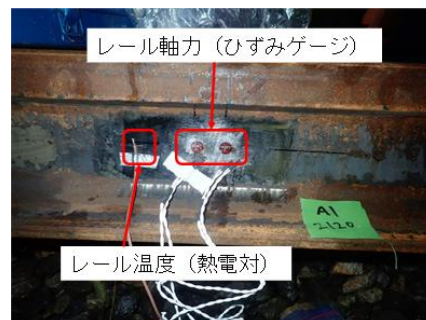


図12 測定器の設置状況

3.2 試験結果

試験期間中に、測定機器の故障により全測定点での欠測が2回生じた。測点④および測点⑥では、上記に加え個別の不具合により、それぞれ欠測が1回生じた。また、測点③では板ばねの近傍にひずみゲージが配置されたため、レール交換時のレール締結装置の再締結によりひずみ値に顕著な変化がみられたため、ひずみゲージの貼り直しを実施した。

図13にレール軸力とレール温度の関係を示す。なお、本試験では、レール軸力の算出は、以下の式(1)に

より実施した。レール軸力の算出にあたっては、ロングレール敷設前に測定したひずみのダイレクト値をレール軸力が0の状態における測定値と仮定している。また、式(1)の変動ひずみはロングレール敷設後のダイレクト値から敷設前のダイレクト値を差し引いた値を示す。

$$P = \Delta\varepsilon \frac{2}{K_s} \frac{1}{2(1+\nu)} EA \times 10^{-6} \quad (1)$$

P : レール軸力 (kN)

$\Delta\varepsilon$: 変動ひずみ ($\mu\varepsilon$)

K_s : 使用したゲージのゲージ率=2.08

ν : ポアソン比=0.3

E : レール鋼のヤング係数 (kN/mm²)

A : レール断面積 (mm²)

また、レールが軸方向に完全に拘束されている理想的な条件下では、レール軸力とレール温度の変化量の関係は以下の式(2)で表すことができる。

$$P = -EA\beta\Delta t \quad (2)$$

β : レール鋼の線膨張係数=1.14×10⁻⁵ (1/°C)

Δt : レール温度の変化量 (°C)

式(2)より、50kgN レールの場合、レール温度に対するレール軸力の変化は、 $EA\beta=15.08$ kN/°Cとなる。一方で、本試験で用いたひずみゲージでは、ひずみ量に対するレール軸力の感度は0.49kN/ $\mu\varepsilon$ 程度であり、ひずみゲージの貼付け精度、リード線の長さの違いおよび湿度による絶縁抵抗の減少等が精度に影響すると考えられる。そこで、レール軸力とレール温度の傾きは、式(2)によらず、測定点毎の測定結果より、最小2乗法による線形近似を用い算出することとした。図13(a)より、測点①の中立温度は30°C±4°Cであり、設

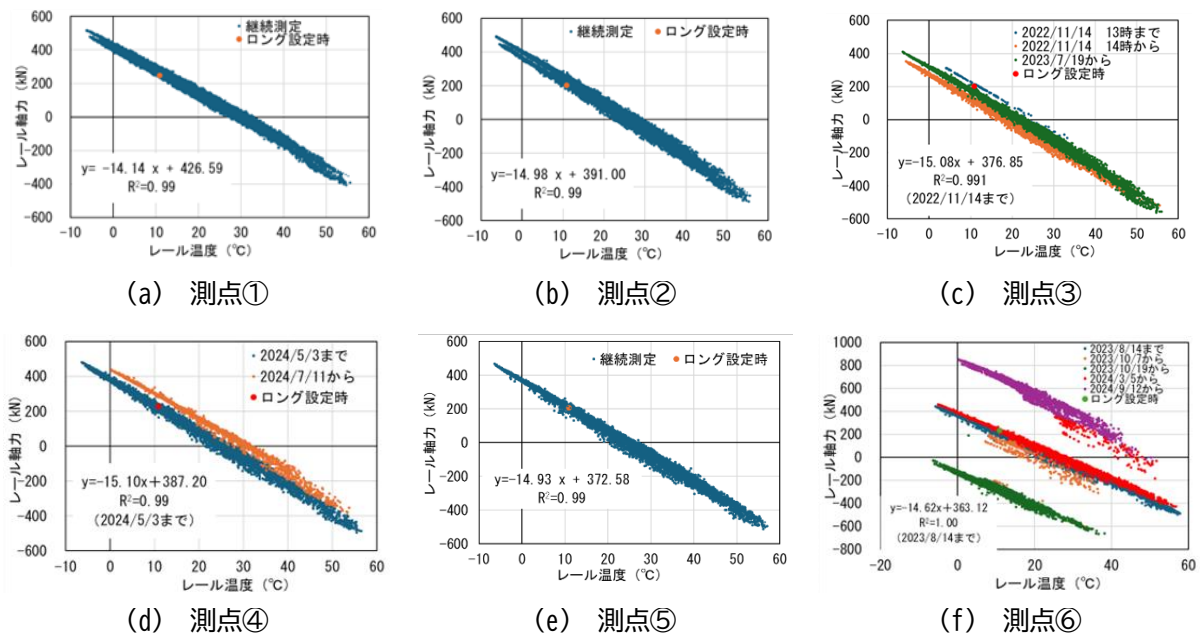


図13 レール軸力とレール温度の関係

定温度と同程度だった。図 13 (b)より、測点②の中立温度は $26^{\circ}\text{C}\pm 4^{\circ}\text{C}$ であり、設定温度より低い傾向がみられた。図 13 (c)より、測点③は前述の不具合により、測定値がシフトしている傾向がみられ、シフト後の中立温度は $20^{\circ}\text{C}\pm 4^{\circ}\text{C}$ であり、設定温度より低い傾向であった。図 13 (d)より、測点④についても不具合の復旧前後で値がシフトしていた。この影響を除けば、中立温度は 30°C 程度であり、設定温度と同程度であった。図 13 (e)より、測点⑤の中立温度は $24^{\circ}\text{C}\pm 4^{\circ}\text{C}$ であり、設定温度より低い傾向がみられた。図 13 (f)より、測点⑥は不具合の復旧の前後で値がシフトしていた。それ以外の時期においてレール軸力とレール温度の関係をみると、概ね線形の範囲にある傾向がみられた。

図 14 に、各測点における中立温度の経時変化を示す。なお、中立温度は、以下の式(3)より算出した。

$$T_n = \frac{P}{EA\beta} + T_d \quad (3)$$

T_n : 中立温度 ($^{\circ}\text{C}$)

T_d : レール温度の測定値 ($^{\circ}\text{C}$)

図 14 (a),(b)より、測点①②の中立温度は、長期的にみて概ね上昇傾向にあり、測定期間中に約 4°C の上昇がみられた。図 14 (c)より、測点③の中立温度は、前述の不具合により、レール締結装置の再緊締によるひずみ値の変化を受け、中立温度が急変している。その後は長期的にみて上昇傾向であった。図 14 (d)より、測点④の中立温度は、測点①②③と同様に上昇傾向であるが、不具合の影響を除いた増加量は $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 程度

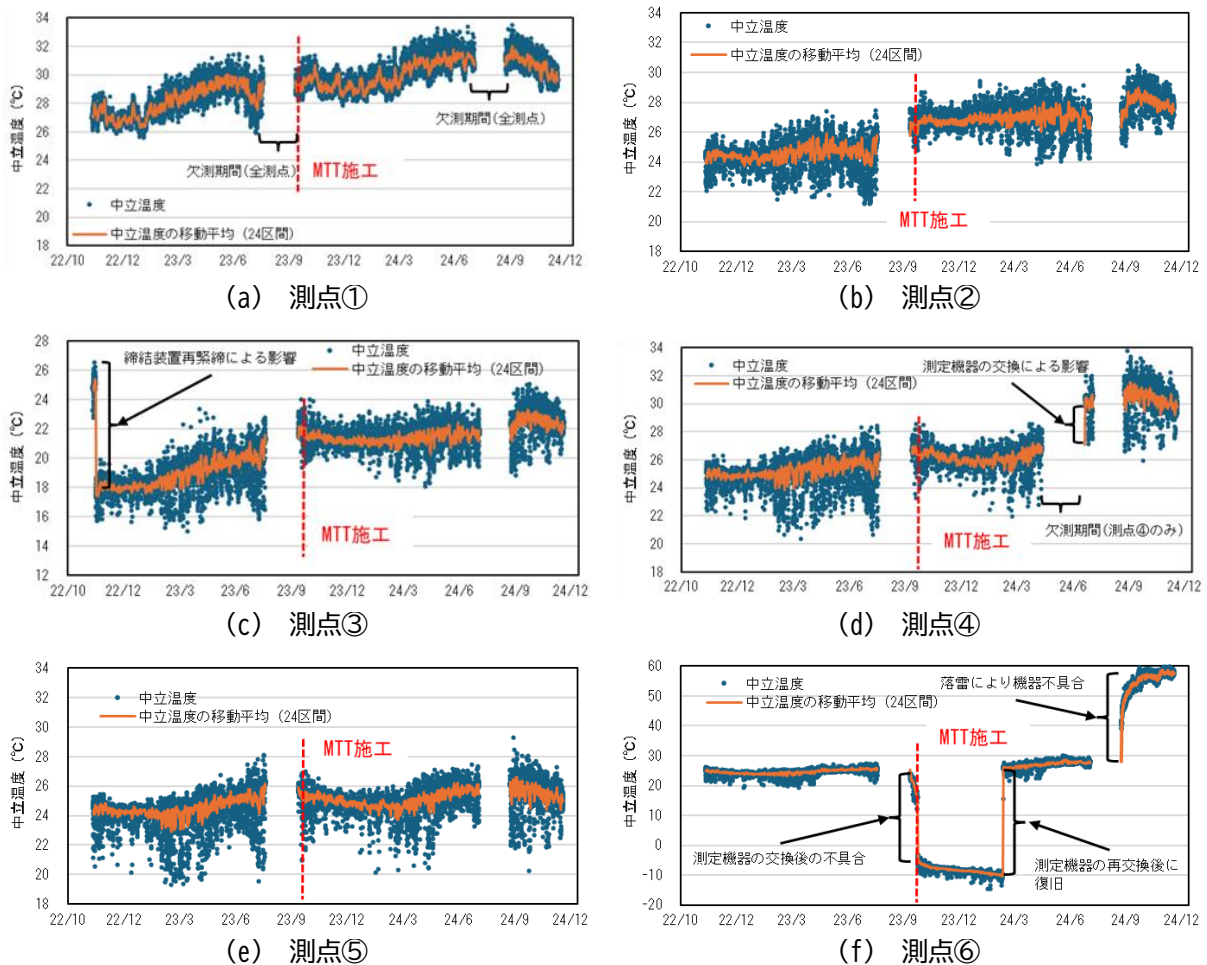


図 14 各測点の中立温度の変化

と測点①②③より小さい傾向であった。図 14(e)より、測点⑤の中立温度は、平均値 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 程度の範囲で増減を繰り返す傾向がみられた。図 14(f)より、測点⑥の中立温度は、不具合による復旧の前後で急変しているものの、それ以外の期間では変化が少なく、安定した傾向がみられた。

以上の結果より、中立温度の経時変化の傾向を確認すると、測点①②③④では増加傾向であったが、測点⑤⑥では明確な傾向がみられなかった。このような結果となった理由として、測点④付近は、図 11 で示すように列車進行方向からみて 6‰の下り勾配から 4‰の上り勾配への勾配方向が変化する箇所であり、測点①②③は上り勾配区間であることから列車の力行の影響を受けた可能性があるが、他に裏付ける結果は得られなかった。また、全測点において中立温度が低下する傾向がみられなかったことから、今回の検討した条件では、中立温度の経時変化により、想定を上回るレール軸力が発生する可能性は低いと考えられる。

次に、保守作業による中立温度の変化を確認すると、測点③では、前述の不具合によりレール交換時のレール締結装置の再緊締によるレール応力の増加により、見かけ上の中立温度は急変したが、それ以外の測点においては変化がみられなかったため、レール締結装置の再緊締が及ぼす中立温度への影響は小さいと考えられる。また、マルチプルタイタンパ（以下、「MTT」という）によるつき固め作業が 4km130m から 4km975m のロングレール交換の全範囲にわたって実施されたが、施工前後で中立温度は測点⑥以外では顕著な変化はみられなかった。測点⑥においても、測定機器の再交換後の中立温度が、MTT 作業前の中立温度と同程度となったことから、MTT 作業が及ぼす中立温度への影響は小さいと考えられる。以上の結果は、試験箇所が直線区間のため、保守作業によるレール軸力の変化が小さかったものと考えられる。そのため、線形等の条件が異なる箇所では結果が異なる可能性があることは留意が必要である。

図 15 にレールのふく進量の推移およびレール軸力の測定位置におけるレールの伸縮量を示す。なお、図中のふく進量に記載の矢印はふく進方向を表しており、レールの伸縮量は収縮側を正とし記載している。レール軸力の測定箇所におけるレール伸縮は、測定点により伸縮方向が異なっており、測点①③では収縮側で、測点②⑤⑥では膨張側で、測点④は収縮側および膨張側を繰り返すように推移していた。この結果より、中立温度の経時変化とレールの伸縮方向の関係は、測点①②③④では、前述のとおり中立温度の経時変化は増加傾向であったが、レールの伸縮方向は測点により方向が異なっていた。特に、測点②では中立温度が減少する膨張側で推移しており逆の傾向であった。測点⑤⑥では、前述のとおり中立温度の経時変化に明確な傾向はみられなかったが、レールの伸縮方向はいずれも膨張側で推移していた。

以上の結果のとおり、中立温度の経時変化とレール伸縮方向の傾向が一致しない箇所が確認された。理由として、ふく進量の測定誤差の影響も想定されるが、ふく進量 1mm が中立温度 0.88°C 相当であることを考えると測定誤差のみが原因である可能性は低いと考えられる。その他の理由として、局所的な範囲で中立温度の変化が生じており、今回実施したふく進測定ではその変化をとらえられなかったことも可能性として考えられる。

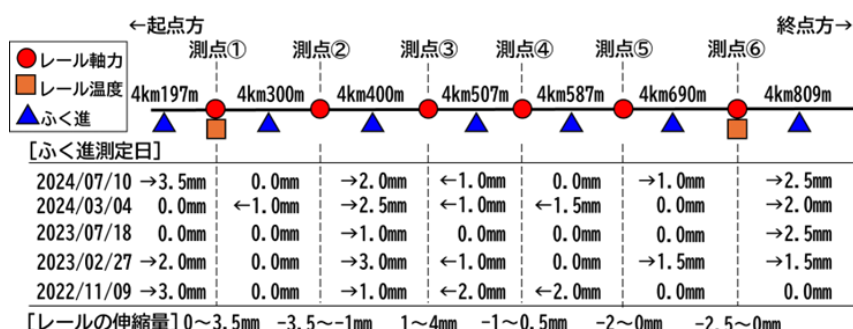


図 15 各測点のレールふく進量とレールの伸縮量

4. まとめ

本研究では、中立温度の変化特性を把握するため、営業線のふく進量の変化を軌道構造に着目し分析するとともに、ロングレールのレール軸力とレール温度を敷設時より長期間測定した。得られた主な知見を以下に示す。

- (1) 駅構内および駅間、軌道構造、線形、勾配、EJ から杭の距離およびロングレールの全長を分析項目とし、ふく進量との相関性を確認した結果、ふく進量が多い箇所において、直結系軌道区間、曲線区間、10%以上の勾配箇所および EJ から杭の距離が 250m 未満の箇所の割合が高くなることを確認した。
- (2) 今回検討した条件および分析項目では、ふく進に与える影響は、勾配の大きさが 10%以上の箇所、EJ から杭の距離が 250m 未満の箇所、直結系軌道区間、曲線区間、ロングレールの全長が 1km 未満の箇所の順で大きいことがわかった。
- (3) レール軸力およびレール温度を長期測定した結果、測定箇所において中立温度は増加側に変化する傾向であった。また、MTT 作業等の保守作業に起因する中立温度の変化の可能性が低いことがわかった。ただし、今回の測定では中立温度の変化傾向を把握したものの、軌道構造等との関係性については未解明な点も多く、体系化には今後の検証や追加の測定が必要となる。

文 献

- 1) 佐藤弘規, 西宮裕騎, 玉川新悟: 緊張器を用いたロングレール敷設直後の中立温度の評価, 土木学会全国大会 第 78 回年次学術講演会, VI-540, 2023
- 2) 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, Vol.86, No.889, 2020
- 3) 柏谷賢治: 磁気レール軸力計とその適用法, 新線路, Vol.49, No.3, pp.23-25, 1995
- 4) 松谷 真吾, 西宮 裕騎, 玉川 新悟, 細見 章人: 営業線のロングレール軸力の長期計測とふく進量の実態調査に基づく中立温度の変化特性, 鉄道工学シンポジウム論文集, Vol.29, No.1, pp.57-64, 2025
- 5) 宮本俊光, 渡辺偕年 編: 線路-軌道の設計・管理, p539, 1980
- 6) 片岡宏夫, 岩佐裕, 大塚孝, 渡部弘信, 佐古武彦: まくらぎ直角変位の発生メカニズムと抑制策, 鉄道総研報告, Vol.22, No.8, pp.17-22, 2008