

# 3607 急曲線ロングレールの軸力挙動分析

正 [土] ○松丸 和貴 (JR西日本)

正 [土] 千代 誠 (JR西日本)

## Analysis of the axial force in continuous welded rail in high degree curve

Kazutaka MATSUMARU, Makoto SENDAI, West Japan Railway Company 2-4-24, Shibata, Kita-ku, Osaka

To analyze the behavior of high degree curve(R=300m), Authors measured axial force of continuous welded rail by setting the strain gauge measurement at fixed interval, and the sleeper movement of rail by setting the pile at fixed interval. The influence between sunny place and shade place are considered with the data of strain gauge. Based on the result of this measurement, consideration was carried out.

**Keywords :** continuous welded rail, high degree curve

### 1. 試験目的

現在、ロングレールの座屈安定性の照査の一つとして、レール長手方向の移動量を測定し、ロングレールの安全度を算出する「レールふく進」管理を行っている。急曲線ロングレールにおいては、これまで冬期のMTT作業等で軌道が内方に変位する現象が一部認められることがあり、直線区間に比べ通常のふく進管理では捕捉できない挙動をしている可能性がある。そこで、急曲線(R<600m)ロングレールの挙動を調査し、管理手法へ活かす知見を得ることを目的として、ひずみゲージ式軸力測定装置(以下、「装置」と称す。)を急曲線ロングレールに敷設して調査を行った。

### 2. 試験内容

#### 2.1 軸力測定装置の設置

R=300mの急曲線ロングレール区間において、50m間隔に装置9箇所(左右レールに計18箇所:図-1、写真-1)を取付け、レール長手方向の10m間隔で杭を建植した。また、10m間隔の杭からレールのまくらぎ方向の移動量測定を行った(図2)。

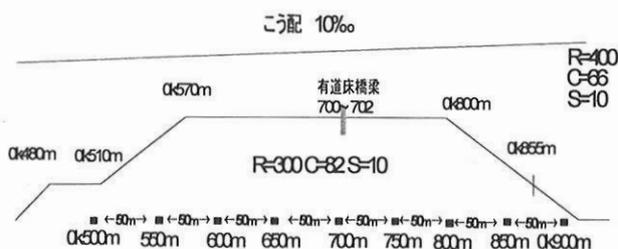


図1 軸力測定装置設置箇所



写真1 ひずみゲージ式軸力測定装置

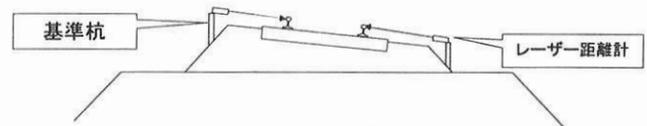


図2 レールのまくらぎ方向移動量測定

#### 2.2 軸力測定装置の原理

装置による軸力測定は、測定されるひずみ値を温度換算することで行う。その出力結果は「中立温度」という指標が用いられる。中立温度とは、レール内部の軸力が0の時のレール温度のことを指し、次に示す計算式で表される。

$$N = T + S$$

{N: 中立温度 T: 測定時のレール温度(設定替を行い、軸力を開放した際の温度を基準とする) S: ひずみ値から換算された温度(+が引張)}

ここで、発生軸力は  $P = EA\beta S$  となる。

(E: レールの弾性係数(kgf/cm<sup>2</sup>) A: レール断面積(cm<sup>2</sup>) β: レールの線膨張係数)

### 3. MTT 施工によるまくらぎ方向移動量と軸力変化の関係

#### 3.1 レールのまくらぎ方向移動量の温度換算について

レールのまくらぎ方向移動量の換算温度は、 $\Delta T = \Delta R / (\beta * R)$  ( $\Delta R$ : 曲線半径のまくらぎ方向の変化量、 $\beta$ : レールの線膨張係数、 $\Delta T$ : 温度変化量、 $R$ : 曲線半径) で表され、 $R=300$  の曲線区間においては、約 3.4mm のレールのまくらぎ方向移動量 (以下、「移動量」と称す。) で 1°C の温度変化が起こる。

#### 3.2 MTT 施工による軸力変化について

H23.3月にMTT施工を行った際の中立温度の変化を図3に示す。図3に示すように、MTT施工により中立温度の低下が確認された。また、施工前後で、移動量測定を行った結果、曲線内方側への移動が確認された。ここで、図3に示す箇所は、測点の中でも大きな移動量であった0k750mの結果である。レールのまくらぎ方向移動量とその温度換算値、装置による中立温度の変化量を表1に示す。表1に示すように、レールのまくらぎ方向移動量の温度換算値と装置の中立温度の変化量はほぼ一致しており、レールのまくらぎ方向の移動による軸力の変化が理論通り確認された。

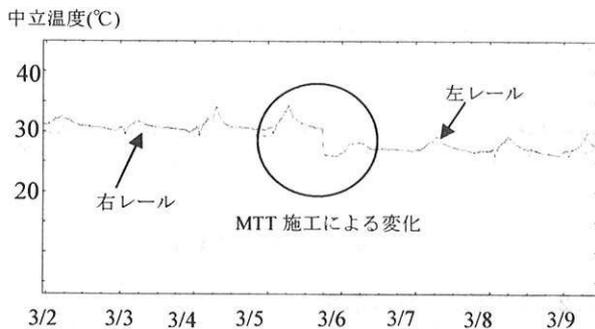


図3 MTT 施工による中立温度低下 時間(日)

表1 まくらぎ方向移動による軸力の変化

	移動量(mm)	移動量の温度換算値(°C)	中立温度変化量(°C)
左	14.8	4.4	4.5
右			4.0

### 4. 日照条件による軸力の変動について

ひずみゲージ式軸力測定装置では1日ごとの温度変化と軸力変化を詳細に確認できる。今回設置した急曲線ロングレールでの装置設置箇所ごとの軸力挙動の違いを確認するために、日照条件の違いに着目してレール軸力に与える影響についての考察を行った。ここで、「理論値」とは、レール温度から算出した軸力値、「実測値」とは、装置を用いて実際に測定した軸力値である。

#### 4.1 直線・緩和曲線・円曲線部における挙動

図4に左レールの3箇所の測点におけるH23.12の晴天の一日の温度変化を示す。0k500m、0k550mは地形的に一日中日陰区間となっているため、レール温度の上昇が日向区間の0k600mに比べて小さいことが分かる。図5～図7にそれぞれの測点での温度と軸力の関係を示す。0k500mではレール温度と軸力が理論通りに比例しており、不動区間の挙動を示しているが、0k550mや0k600mでは異なった挙動を示している。

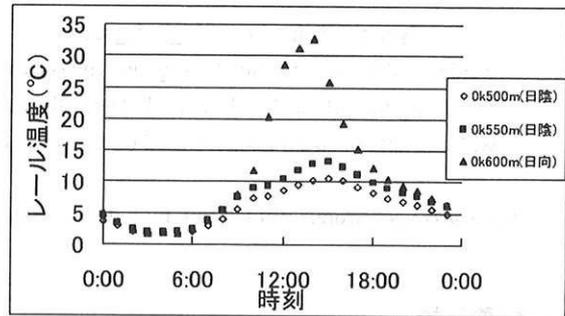


図4 : 3 測点における時刻とレール温度の関係

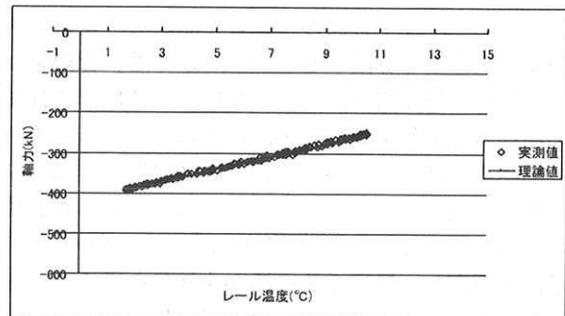


図5 : 0k500m(日陰)のレール温度と軸力の関係

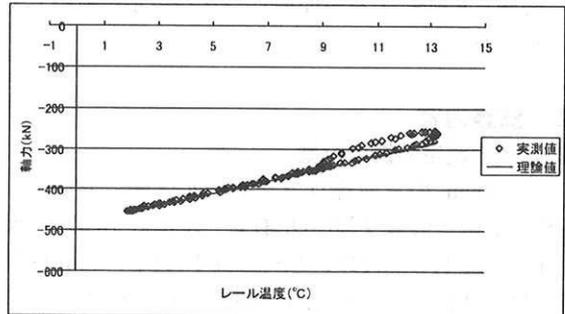


図6 : 0k550m(日陰)のレール温度と軸力の関係

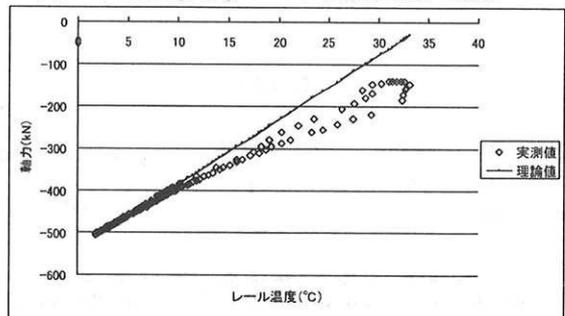


図7 : 0k600m(日向)のレール温度と軸力の関係

0k550m では実測値が理論値よりも高い箇所があるが、0k600m では理論値よりも低い箇所がある。この変化を時間的に比較したものを図 8、図 9 に示す。図 8 では比較的溫度上昇が緩やかな 7:00~10:00 におけるレール温度と軸力を比較した。図 8 から、この時間帯においては 0k550m、0k600m の両測点とも理論通りの軸力変化をしていることが分かる。同一日の 10:00~13:40 までのレール温度と軸力の関係を図 9 に示している。ここで、13:40 は 0k600m における最高レール温度を記録した時間であり、このとき 0k600m と 0k550m におけるレール温度差が最大となる。この時間帯において、両測点のレール温度上昇幅に大きな差が見られる。また、実測値と理論値が乖離し始めており、両測点の特異な軸力変化が起こり始めていることが分かる。

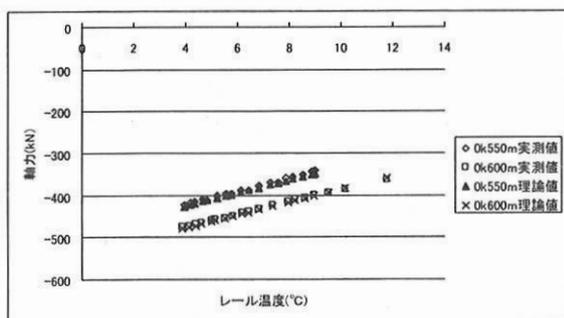


図 8 : 0k550m、0k600m における軸力変化(7:00~10:00)

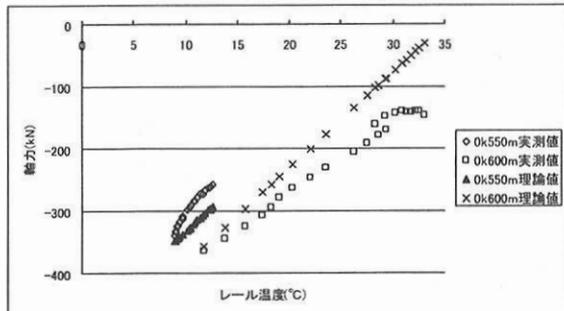


図 9 : 0k550m、0k600m における軸力変化(10:00~13:40)

図 9 において、0k600m では温度上昇にともなって理論値に対して実測値の軸力が小さくなっているのに対して、0k550m では温度上昇に伴い、理論値に対して実測値の軸力が大きくなっている。つまり、この時間帯では 0k550m には付加的な軸力が存在し、0k600m には逆に軸力減少が確認される。そこで、両者の関係を調べるために、それぞれの時間帯での 0k550m、0k600m における理論値と実測値の差の関係を調べた。これを図 10 に示す。また、図 11 に 0k550m と 0k600m の合計軸力の時間変化を示す。

図 10 から 0k550m と 0k600m における理論値と実測値の差には相関が確認された。また図中の○で示した箇所は 10:00~13:40 の時間帯に対応したもので、特

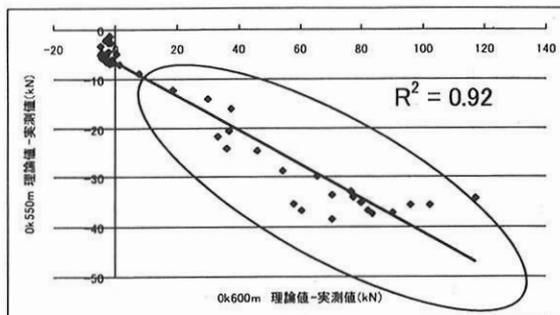


図 10 : 理論値と実測値の差の関係( 7:00~13:40)

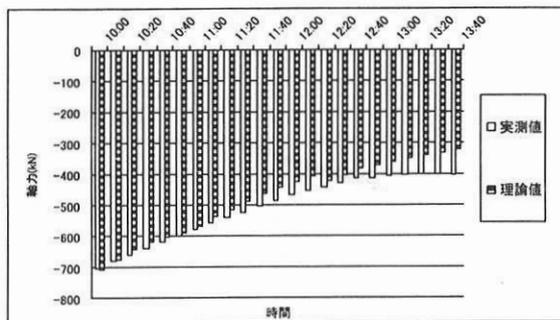


図 11 : 0k550m(日陰)と 0k600m(日向)の合計軸力

に温度上昇時の時間帯で相関が高くなっていることが分かる。このことからレール温度上昇時に、日向区間で生じた軸力の減少と日陰区間の付加的な軸力とが関係している可能性が考えられる。

図 11 から、0k550m と 0k600m における軸力の合計は理論値と実測値がほぼ一致しているものの、実測値の方が理論値よりも低い傾向があり、2 地点の温度差が最大となる 13:40 には 100kN 程度の差が確認された。

#### 4.2 直線・緩和曲線・円曲線部における挙動についての考察

4.1 による温度上昇時における日向区間と日陰区間の挙動について考察を行う。0k600m については、温度上昇に伴い軸力の減少が生じていることから、軸力が解放されている可能性が考えられる。この原因としては軌道の動きが考えられる。また、0k500m については一日を通して全くの不動区間の挙動を示していることからこの測点は不動点であることが考えられる。よって、0k600m で生じた軌道の動きが 0k550m の測点を押し込める働きをすることにより、0k550m に付加的な軸力を生じることが推察される。

#### 4.3 日照条件の変化による挙動の変化

図 12 に図 4 とは別の H23. 11 のある一日の左レール 4 測点における温度変化を示す。日照の関係から H23. 12 には日向だった 0k600m が日陰になっている。

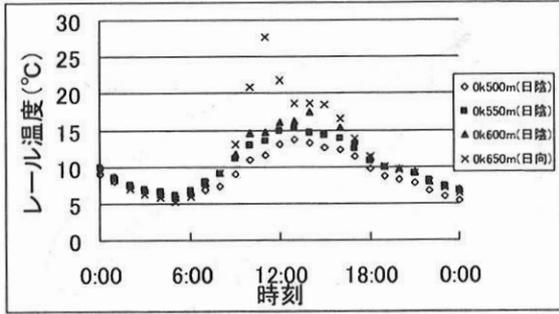


図 12:4 測点における時刻とレール温度の関係

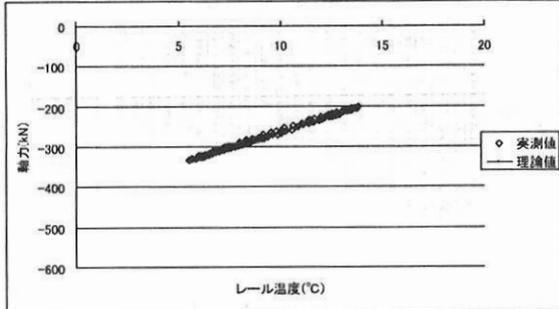


図 13 : 0k500m(日陰)のレール温度と軸力の関係

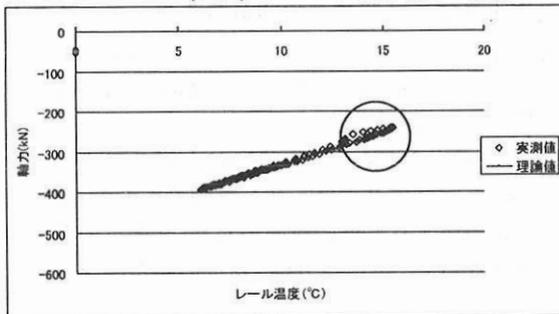


図 14:0k550m(日陰)のレール温度と軸力の関係

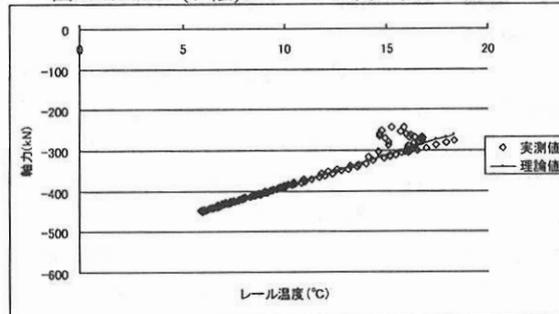


図 15:0k600m(日陰)におけるレール温度と軸力の関係

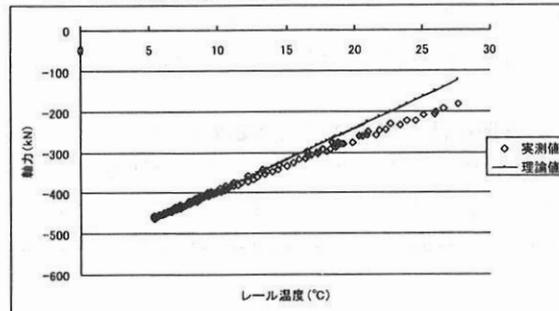


図 16:0k650m(日向)におけるレール温度と軸力の関係

このときのレール温度と軸力の関係を図 13~16 に示す。日向区間となる 0k650m では理論値に対して実測値の減少が確認される(図 16)。また、4.1 とは異なり 0k600m が日陰区間となり、レール温度上昇とともに軸力が増加していることが分かる(図 15)。また、0k550m でも○印の部分で軸力の増加が確認できる(図 14)。4.1 と同様に 0k500m は理論値通りの軸力挙動を示している(図 13)。このように、日照条件の変化により、日陰・日向区間が変化することで軸力挙動にも変化を及ぼすことが確認された。

## 5. まとめ

今回、ひずみゲージ式軸力測定装置を R=300 の急曲線区間に取り付け、MTT 施工によるまくらぎ方向の移動量の測定結果との比較や装置自体の測定結果の比較を行うことで得られた考察を以下に示す。

1. レールのまくらぎ方向移動量がレール軸力に与える影響については、MTT 施工による内方変位による軸力の変化を通して理論通りであることが確認できた。
2. 日陰区間と日向区間におけるある一日のレール軸力の変化について、日向区間についてはレール温度上昇とともに理論値に対して軸力の減少が、隣接の日陰区間については軸力の増加がある箇所があることが分かった。また、季節的な日照条件の変化により、日陰区間と日向区間が変わっても同様の傾向が確認された。
3. 日陰区間の理論値に対する軸力の増加と日向区間の軸力の減少には相関があることが分かった。

今後は、今回確認した 1 日の変動と季節的な変動の関係や、レールふく進や軌道狂いといった軌道の動きとの関わりを検討していきたい。

謝辞：本研究に当っては、住友金属テクノロジー株式会社及び関係各所の皆様に多大なご協力を頂きました。この場をお借りしましてお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 植原健治：急曲線区間におけるロングレール安全度判定に関する一考察，土木学会第 59 回年次学術概要集，IV-052，pp103-104，2004.9
- 2) 出井洋司：軸力測定を用いたロングレール挙動に関する一考察，土木学会第 59 回年次学術概要集，IV-053，pp.105-106，2004.9
- 3) 阿部和久・桑山卓也・元好茂：空間的・時間的な温度変化を受けるロングレールの軸力分布解析，第 16 回鉄道工学シンポジウム論文集，pp101-108，2012.7