

2方向ひずみによるレール軸力の測定

J R 東海 正会員 ○平尾博樹
日本機械保線(株) 正会員 前田昌克

1. はじめに

筆者らは、ロングレール軸力の検査や調査を効果的に行うために、モニタリング装置の開発に取り組んでいる。長期にわたるモニタリングを実現するためには、装置の耐久性・省メンテナンス性が重要になる。そこで、ひずみゲージによる軸力測定法に着目してさまざまなセンサを検討した結果、よりコンパクトで低消費電力なひずみセンサ（株）グローセル製、Streal、以下「軸力ゲージ」という）を採用した。このセンサは、 piezo 抵抗素子・温度計素子・計測ブリッジ・アンプなどを集積した 2.5cm 四方の IC チップで、2方向ひずみの差分を出力する特徴を持つ。

これまで、ひずみによる軸力測定は、レール軸方向の1軸ひずみを用いるのが一般的であった¹⁾。そこで、2方向ひずみの差分による軸力測定の妥当性を確認するために模型試験を行ったので報告する。また、レールの基礎的な挙動についてロングレール理論²⁾と比較した結果もあわせて報告する。

2. 2方向ひずみによるレール軸力測定原理

図1のように、軸力の作用しない状態からレールを温度 Δt で膨張させて両側から ΔP の力で押し込んだ状態を考える。図には本稿で用いる主な記号の説明を加えた。ヤング係数 E とレール断面積 A を用いると、レール軸力 ΔP と高さ方向ひずみ ε_y は式(1)・式(2)となる。ここで2方向のひずみの差を a ($=\varepsilon_x - \varepsilon_y$) として、 ΔP を整理すると式(3)になる。さらに、 $1 + \beta\Delta t \doteq 1$ ($\beta = 1.14 \times 10^{-5} (1/^\circ\text{C})$, $\Delta t = \text{最大 } 40^\circ\text{C}$, $\beta\Delta t = 4.56 \times 10^{-4}$ 程度) から式(4)を得られる。

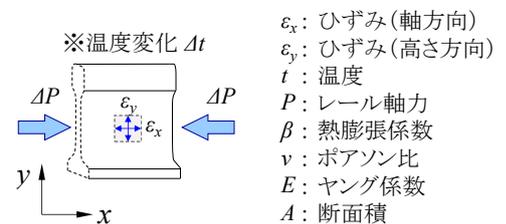


図1 レールに作用する軸力

式(4)より、2方向ひずみの差に係数を乗じることで容易に軸力を求められることがわかる。また、温度に依存することなくひずみだけで軸力を把握できる。これらはこの測定法の長所である。ただし、得られる軸力はゲージ設置からの変化量なので、絶対量を把握するためには初期値を適切に与える必要がある。

$$\Delta P = EA \frac{\beta\Delta t - \varepsilon_x}{1 + \beta\Delta t} \quad \dots (1) \quad \varepsilon_y = \beta\Delta t + \nu \frac{\beta\Delta t - \varepsilon_x}{1 + \beta\Delta t} \quad \dots (2) \quad \frac{\Delta P}{EA} = -\frac{a}{1 + \beta\Delta t + \nu} \quad \dots (3) \quad \frac{\Delta P}{EA} = -\frac{a}{1 + \nu} \quad \dots (4)$$

3. 模型試験

(1) 試験概要

試験の目的は、2方向のひずみ差分による軸力測定の精度とロングレールの基礎的な挙動を確認することである。温度および荷重の条件を変えて表1に示す3つの試験を行った。供試体は1/6スケールの50Nレールとし、長さ100mmの模型を実物のレールから切り出して作製した。図2に試験装置、供試体、測定項目の概要を示す。試験装置は载荷装置と恒温槽からなり、荷重と温度それぞれを別に制御できる。

表1 試験ケース

試験	温度の条件	荷重の条件
1 等温载荷	25, 50, 70°C	0~24.5 kN
2 両端固定	40, 50, 60, 70°C	伸縮量がゼロになるよう調整
3 自由伸縮	-10~70°C	荷重なし

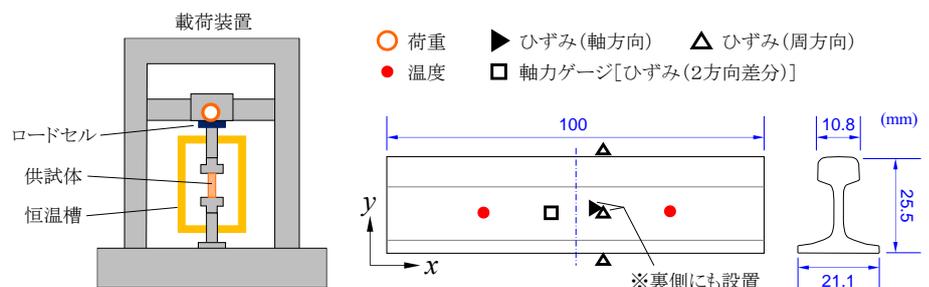


図2 試験装置・供試体・測定項目の概要

キーワード：レール軸力，2方向ひずみ，モニタリング，模型試験，ロングレール管理

連絡先：〒485-0801 愛知県小牧市大山1545番33 JR東海 技術開発部 メンテナンスイノベーションチーム (0568)47-5364

(2) 等温载荷試験

図3～図5に70°C等温のケースの結果を示す。図3は0～25kNの範囲で载荷・除荷を3回繰返したときの ε_x , ε_y とロードセル荷重の関係である。レールは、圧縮により軸方向に縮むと同時に高さ方向には膨らむことがわかる。 ε_x , ε_y , ΔP の関係から求めたポアソン比とヤング係数は、それぞれ0.284と $2.06 \times 10^8 \text{kN/m}^2$ であった。これらは材料によって決まる値であり、双方とも一般に知られている鋼鉄の数値とよく一致した。

図4では、軸力ゲージ出力(a)を2方向ひずみの差分($\varepsilon_x - \varepsilon_y$)と比較した。ひずみ域にかかわらずよく一致していることがわかる。図5は、軸力ゲージ出力から式(4)により算出した軸力とロードセル荷重を比較したものである。荷重レベルにかかわらず両者はよく一致している。

25°C, 50°Cのケースでも全く同様の結果を得たことから、2軸ひずみの差分による測定方法は妥当であり、軸力ゲージの精度および算出した軸力の精度は十分に高いといえる。

(3) 両端固定試験・自由伸縮試験

両端固定試験は、温度・荷重の双方が変化する実際のレールの動きを再現し、その挙動を評価する目的で行った。40、50、60、70°Cの各温度帯で、供試体の変位がゼロになる荷重を狙って载荷・除荷を細かく繰返した。図6に供試体の変位とロードセル荷重を示す。ここで供試体変位は、直接の測定が困難なため、载荷装置の载荷点変位をもとにして治具の膨張および変形の影響を補正したものを用いた。図中の赤丸が供試体変位ゼロになる点である。

図7に軸力センサの出力から求めた軸力を温度ごとに示す。図6の供試体変位ゼロの点に対応するデータを赤丸で示した。破線はロングレール不動区間における理論値²⁾である。測定値と理論値はおおむね一致しており、両端を固定したレールは不動区間のロングレールと同様の挙動をすることを確認した。

自由伸縮試験は载荷せずに温度だけを-10～70°C変化させた。軸力ゲージ出力から算出した軸力を図7に加えて示す。軸力は温度にかかわらず約0kNであった。

4. おわりに

本試験により、2方向ひずみの差分を出力する軸力センサは、実用に耐えうる十分な精度をもつことを確認した。引き続き、より少ない人で効率的に線路を保守できるよう、実効性の高いモニタリング装置の実現にむけて開発を進める。

参考文献 1) 福田徹：ロングレール状態監視装置の開発, 土木学会第60回年次学術講演会, 2005.09 2) 例えば, 松原健太郎：新幹線の軌道 pp.99-100, 日本鉄道施設協会, 1964.10

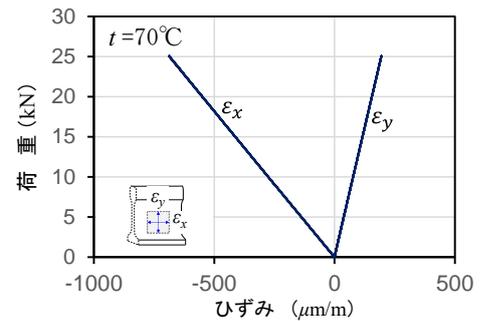


図3 レールの挙動 (ひずみ～荷重)

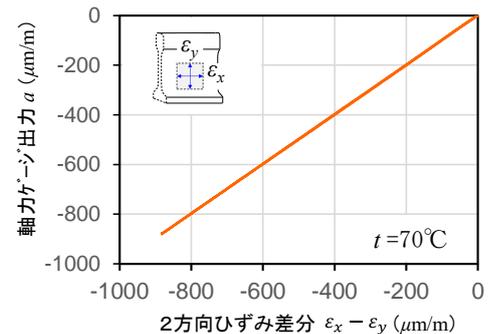


図4 軸力ゲージの精度

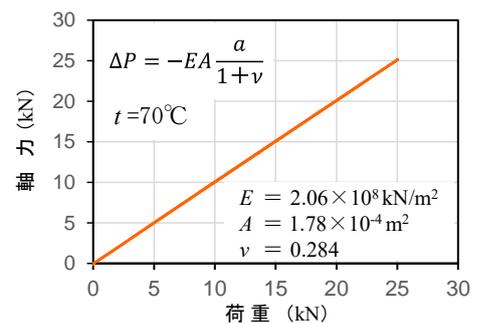


図5 測定した軸力の精度

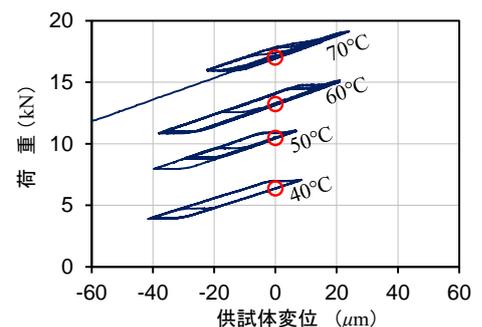


図6 供試体変位とロードセル荷重

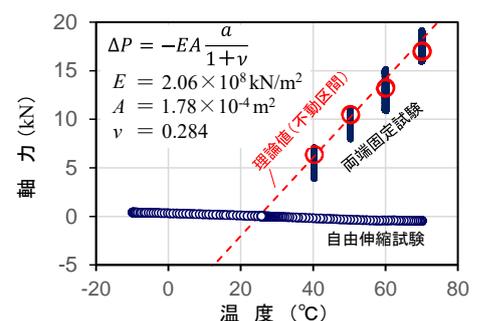


図7 レールの挙動 (温度～軸力)