

適正な設計レールふく進抵抗力の算定手法に関する検討

鉄道総合技術研究所      正会員    ○野口   雅人  
鉄道総合技術研究所      正会員      佐藤   慎司  
鉄道総合技術研究所      正会員      弟子丸   将  
鉄道総合技術研究所      正会員      片岡   宏夫

1. 目 的

日本の直結系軌道で使用されるレール締結装置では、桁や支承といった構造物への力の伝達およびその影響を考慮して、一般にレール締結装置がレールを固定してレールの長手方向への移動（レールふく進）を抑制する作用であるレールふく進抵抗力が制限される。本研究では、線ばね形レール締結装置の適正なふく進抵抗力を算定する手法を提案し、そのケーススタディとして対象レール締結装置のふく進抵抗力および先端ばね定数を測定し、最適なふく進抵抗力となるレール底面高さの算定を行った。また、算定したレール底面高さに調整した場合のふく進抵抗力を測定し、提案手法の妥当性を確認した。

2. 直結系軌道のレールふく進抵抗力

直結系軌道のスラブ軌道の場合、構造物の設計条件により定まるロングレール縦荷重は一般に 1 軌道あたり 10kN/m である<sup>1)</sup>。これはレールあたりに換算すると 5kN/m であり、レール締結間隔が 625mm の場合はレール締結装置 1 組あたりのふく進抵抗力が 3.13kN/組となる。これがレール締結装置に要求されるふく進抵抗力の目標値であり、事実上の上限値となる。一方で、レール締結間隔が異なる場合は目標とするレールふく進抵抗力が変化する。

板ばね形レール締結装置については、所定のふく進抵抗力となるように締結ばねの開口量が設計されており、また締結トルク等で調整が可能となっている。一方、線ばね形レール締結装置については、設計時に設定された締結ばねがレールを押さえる高さによりふく進抵抗力が 1 つに定まる。本件では、後者の線ばね形レール締結装置について、締結間隔に対応した適正なふく進抵抗力を算定する手法を提案し、その検証を行った。

3. 標準締結状態の先端ばね定数とふく進抵抗力

本件では、鉄道総研が開発した S 型弾性まくらぎ直結軌道用の線ばね形レール締結装置（PR113A 形クリップ、タイププレート式）を検討対象とした。軌道構造の概要を表 1 に、構成部材を図 1 に示す。

この締結装置の標準締結状態の先端ばね定数、締結ばねのレール押え力とふく進抵抗力を把握するため先端ばね定数試験を実施した。図 2 に当該レール締結装置の先端ばね定数の測定結果を示す。締結ばね 1 個あたりのレール押え力は 2.7kN、1 組あたりのふく進抵抗力は 2.5kN であった。一方、レール締結間隔 750mm 時の目標レールふく進抵抗力は 3.75[kN/組]であり、試験結果は目標値に対して 1.25[kN/組]だけ低い結果であった。

4. 最適なふく進抵抗力の算定手法

前章の試験結果を踏まえ、対象レール締結装置で適正なふく進抵抗力が得られるレール押え力となるレール底面高さを算定した。まず、図 3 に示すレールの締結状態を模擬した簡易モデルより

表 1 対象としたレール締結装置の概要

| 項 目      | 内 容              |
|----------|------------------|
| 軌道構造     | S 型弾性まくらぎ直結軌道    |
| レール締結装置  | タイププレート式 PR クリップ |
| レール下ばね   | 60MN/m           |
| まくらぎ支持ばね | 30MN/m           |
| レール締結間隔  | 750mm            |
| 曲線半径     | 600m≧R           |

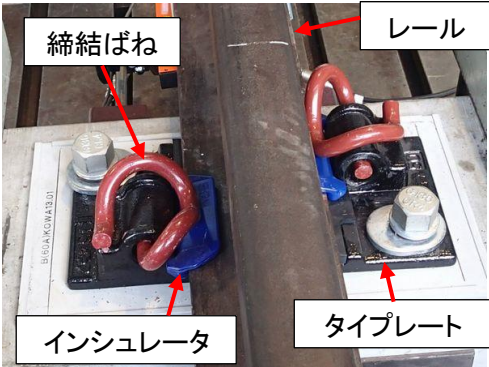


図 1 構成部材の概要

キーワード    レール締結装置，ふく進抵抗力，レール押え力，先端ばね定数

連絡先            〒185-8540    東京都国分寺市光町 2-8-38    （公財）鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部    TEL042-573-7275

レール押え力とふく進抵抗量の関係は次式で表すことができる<sup>1)</sup>。

$$\gamma = 2 \cdot P_0 \cdot \mu_1 + 2 \cdot P_0 \cdot \mu_2 \cdots \text{式(1)}$$

$$\mu_2 = \gamma_1 / (2 \cdot P_0) - \mu_1 \cdots \text{式(2)}$$

$$\mu_1 = \gamma_2 / (2 \cdot P_0) - \mu_2 \cdots \text{式(3)}$$

$$P_0 = \gamma_3 / \{2 \cdot (\mu_2 - \mu_1)\} \cdots \text{式(4)}$$

ここに、 $\gamma$  はふく進抵抗力[kN/組]、 $P_0$  はレール押え力[kN/個]、 $\mu_1$  はレールと締結ばねもしくはインシュレータ間の摩擦係数、 $\mu_2$  はレールと軌道パッドの摩擦係数である。本件で対象としたレール締結装置では、このモデルを用い、以下の①～④の手順により適正なふく進抵抗力が得られるレール底面高さを算定した。

- ① 金属材料であるレールと締結ばねの摩擦係数 $\mu_1$ を0.25と仮定し、式(2)より $\mu_2=0.25$ を得る<sup>2)</sup>。
- ② 標準締結状態でのふく進抵抗力 $\gamma_2$ と①で仮定した $\mu_2$ 、および式(3)より、レール・インシュレータ間の摩擦係数 $\mu_1=0.21$ を得る。
- ③ 締結間隔 750mm の目標ふく進抵抗力 $\gamma_3=3.75$ [kN/組]となるレール押え力を式(4)より推定し、 $P_0=4.08$ [kN/個]を得る。
- ④ 図2に示す荷重・変位曲線の近似式より、③で得られたレール押え力となる場合のレール下面高さ $X$ は3.6[mm]となる。

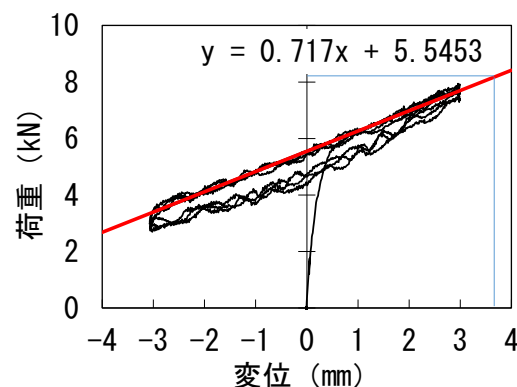


図2 先端ばね定数試験結果

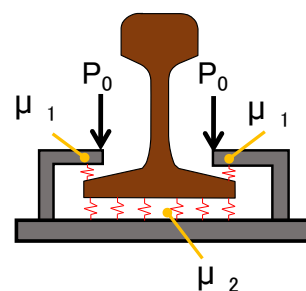


図3 レール締結モデル

## 5. 推定ふく進抵抗力の検証試験

前章において、締結間隔 750mm 間隔の目標ふく進抵抗力 3.75[kN/組]が得られる適正なレール底面高さは3.6mmと算定された。この算定手法を用いて得られたレール底面高さにより適正ふく進抵抗力が得られることを検証するため、軌道パッド厚さを3.5mm増加させた供試体を用いた場合のふく進抵抗力を測定した。

図4にふく進抵抗試験の結果を示す。ふく進抵抗力は2回目と3回目の平均で3.6kNとなった。これは目標ふく進抵抗力である3.75kN/組と概ね一致している。この結果より、適正なふく進抵抗力となるレール下の高低調整量の算定手法が妥当なものであることを確認した。

本算定手法については、他の線ばね形レール締結装置にも適用可能である。ただし、本研究で実施したレール締結装置のようにレール底面高さを増加させる必要がある場合、締結ばね表面に生じる平均応力の増加に伴う疲労耐久性の悪化が懸念されるため、疲労破壊に関する安全性の照査を併せて検討する必要がある点を留意すべきである。

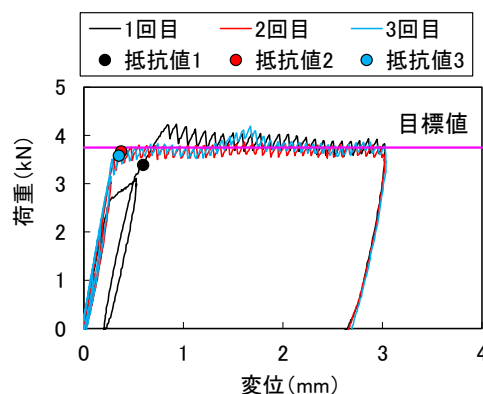


図4 推定ふく進抵抗力の検証試験

## 6. まとめ

本研究では、先端ばね定数試験により求まるレール押え力とレール底面高さの関係より、適正な設計レールふく進抵抗力を推定する算定手法を提案した。この算定手法を用いて算定したレール底面高さとなるよう、軌道パッドの厚さを3.5mm厚くしてふく進抵抗試験を実施した結果、目標ふく進抵抗力が得られ、提案した算定手法の妥当性を確認した。なお、レール底面高さを増加させる必要がある場合は、締結ばね表面の平均応力が上昇することから、疲労破壊に関する安全性の照査を併せて検討する必要がある。

## 参考文献

- 1) 国土交通省監修、「鉄道構造物等設計標準・同解説 - 軌道構造」, 丸善, 2012
- 2) 佐藤吉彦他,「線路工学」, 日本鉄道施設協会, 1987