

## 吊り上げ式レール軸力測定法の改善に関する一検討

新潟大学大学院自然科学研究科 学生員 遠藤 一彰  
 新潟大学工学部 正会員 阿部 和久  
 新潟大学工学部 正会員 紅露 一寛

### 1. はじめに

ロングレールは、その両端の可動区間を除けば、まくらぎ締結によりふく進がほぼ拘束される。そのため、不動区間のレール内には温度変化に伴って引張または圧縮の温度応力が発生し、レール破断や座屈に至る危険性があり、軌道保守上その把握は重要となる。

軌道管理のためには、レール軸力の絶対量を知る必要があり、絶対値が測定可能なものとして唯一「吊り上げ式レール軸力測定法<sup>1) 2)</sup>」が実用化されている。海外で考案・実用化された当該測定法は VERSE と呼ばれており、引張軸力発生時のみを対象とした手法ではあるが、良好な精度で軸力の評価が可能となっている<sup>3)</sup>。VERSE の具体的測定手順としては、まず 30m にわたりレール締結を解放し、続いて解放端から 5m の位置にブロックを挿入してレールを支持し、その下でレール中央部を専用ジャッキで吊り上げ、その間に吊り上げ量と吊り上げ力を測定するというものである(図 1)。はりのたわみ剛性の軸力依存性を利用して、荷重 たわみ曲線の傾きの変化から軸力を評価しているものと考えられる。

我国において VERSE を導入する場合、30m の解放区間長が作業制限に抵触するため、そのままでの適用はできない。作業量軽減のためには、解放区間長のさらなる短縮が望まれる。緩解長を 20m まで短縮可能との結論が文献<sup>4)</sup>によって得られ、国内での適用が可能となったものの、作業量軽減のためには、解放区間長のさらなる短縮が望まれる。しかし緩解部以外の軌道状態(締結剛性、まくらぎ重量、道床剛性など)の影響により、これより短く設定すると所定の精度確保が困難となる。

### 2. 提案測定法の原理

図 2 に示す様に、区間長  $L$  にわたり軌道の左右レール何れか一方の締結を解放し、その中央を吊り上げるものとする。図 2 には、軌道長手方向の対象条件を考慮して、吊り上げ位置より右半分のみを示している。吊り上げ過程において、吊り上げ位置(A 点)と、そこから  $l$  離れた箇所(B 点)におけるレール曲げモーメントと相対たわみ量とを測定する。なお曲げモーメントは、鉛直たわみによって発生するレール断面強軸(水平軸)回りの成分を対象とする。当該の曲げモーメントは、例えばひずみゲージ貼付によって評価するものとする。また B 点の位置は、A 点との相対たわみ量が十分な精度で測定可能な程度に大きな値をとる様に、A 点から離すも

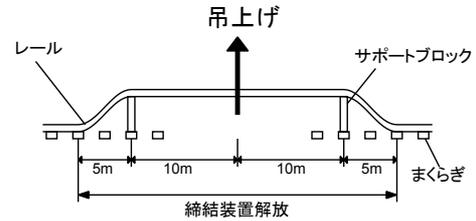


図 1 VERSE による軸力測定法の概要

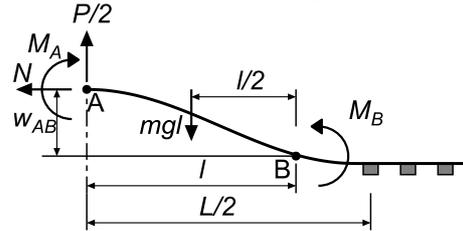


図 2 提案測定法の概略図

のとするが、その条件をみだす限り設定位置は任意である。B 点におけるモーメントのつり合い式より次式を得る。

$$M_A - M_B - N \cdot w_{AB} + \frac{Pl}{2} - \frac{mgl^2}{2} = 0 \quad (1)$$

ここで、 $M_A$ 、 $M_B$  はそれぞれ A、B 点における曲げモーメントであり、その正の向きは図-2 のように定義する。また、 $N$  は引張軸力、 $w_{AB}$  は A、B 点間の相対たわみ、 $P$  はレール中央に作用している吊り上げ力、 $m$  はレール単位長さ当りの質量、 $g$  は重力加速度である。

式(1)をレール軸力  $N$  について解くと次式を得る。

$$N = \frac{1}{w_{AB}} \left( M_A - M_B + \frac{Pl}{2} - \frac{mgl^2}{2} \right) \quad (2)$$

式(2)の右辺には締結解放区間より遠方におけるレール拘束条件などの軌道構造に依存する未知量が一切含まれていない。したがって、VERSE とは異なり、理論上は解放区間長を任意に設定可能となる。

### 3. 解析結果に基づく検討

#### (1) 解析条件

本研究では有道床軌道を対象とし、軌きょうを 3 次元モデルにより表現して、それに基づく数値実験を通して、本測定法の妥当性について検討する。レールについては、50kgN、および 60kg レールの 2 種類を検討対象とし、まくらぎは PC まくらぎを想定した。

#### (2) レール解放区間長の検討

十分な精度で測定可能な相対たわみ量として、0.05m および 0.1m の 2 ケースを設定し、その下でレール断面に作用す

る最大曲げひずみが弾性域内に十分収まる様に  $1000 \times 10^{-6}$  を上限ひずみ量として、当該条件をみたくレール解放区間長  $L$  について調べた。なお、たわみ・曲げモーメント測定点  $B$  は、解放端から一つ内側のまくらぎ位置とした。各レールに対する結果を図3、図4に示す。0.05mの相対たわみ量であれば、レール種別・軸力によらず  $L = 8.4\text{m}$  まで短縮可能であることがわかった。

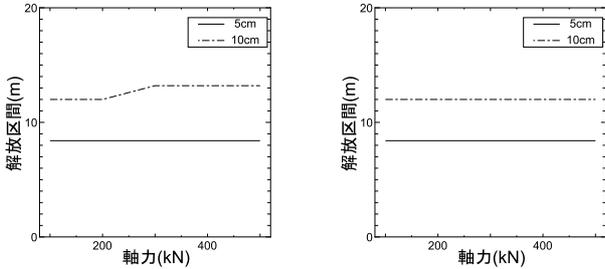


図3 最小レール解放区間長 (50kgN レール) 図4 最小レール解放区間長 (60kg レール)

(3) レール頭頂部磨耗が精度に及ぼす影響

式(2)による軸力算出において、レールの曲げモーメント  $M_A, M_B$  は曲げひずみ  $\varepsilon$  から次式により求めることを想定している。

$$M = \frac{EI\varepsilon}{z_n} \tag{3}$$

ここで、 $z_n$  はレール中立軸からひずみ測定箇所までの距離、 $E$  はヤング率、 $I$  は断面二次モーメントである。レールの断面二次モーメントと中立軸位置に公称値を用いる場合を想定すると、レール頭頂部磨耗により、式(3)から算出される曲げモーメントは真値とは異なる値を与えることとなる。磨耗しているレールの断面二次モーメントと中立軸からひずみ測定箇所までの距離をそれぞれ  $I', z'_n$  とすると、式(2)よりこれらに起因する軸力測定誤差  $\Delta N$  は次式で与えられる。

$$\Delta N = \frac{M_A - M_B}{w_{AB}} \left( \frac{I' - I}{I} - \frac{z'_n - z_n}{z_n} \right) \tag{4}$$

曲げモーメントの評価誤差に因る軸力測定誤差を定量評価するために、具体例としてレール頭頂面が4mm磨耗した断面形状について検討した。各レールについて、式(4)より求めた軸力の誤差を表1に示す。軸力測定誤差は、それが最大となるケース(60kgレール、相対たわみ量0.05m)においても、軸力によらず60kN程度と比較的小さく、実用上大きな支障を生じない範囲内に精度が保たれるということがわかった。

4. おわりに

本研究では、吊り上げ式レール軸力測定法を対象に、レール締結の解放区間長の短縮を可能とする新たな手法について、数値モデルを用いて基礎的検討を行った。その結果、提案法では解放長を10m前後にまで短縮可能であることが確認できた。

表1 レール磨耗が及ぼす影響

50kgN レール 5cm たわみ		
解放長 (m)	設定軸力 (kN)	誤差 (kN)
8.4	100	39.256
8.4	200	39.417
8.4	300	39.718
8.4	400	40.030
8.4	500	40.203
50kgN レール 10cm たわみ		
解放長 (m)	設定軸力 (kN)	誤差 (kN)
12.0	100	23.948
12.0	200	24.030
13.2	300	21.819
13.2	400	21.031
13.2	500	22.072
60kg レール 5cm たわみ		
解放長 (m)	設定軸力 (kN)	誤差 (kN)
8.4	100	61.118
8.4	200	61.431
8.4	300	61.555
8.4	400	61.931
8.4	500	62.166
60kg レール 10cm たわみ		
解放長 (m)	設定軸力 (kN)	誤差 (kN)
12.0	100	38.356
12.0	200	38.471
12.0	300	38.734
12.0	400	38.940
12.0	500	39.185

また、レール頭頂面の磨耗による軸力算出値への影響について検討した。その結果、60kgレールで相対たわみを0.05mと比較的小さく設定した場合、レール軸力測定誤差が60kN程度なり検討したケースの中では最も大きな値をとるものの、実用上支障を来さず程の精度低下には至らないということがわかった。以上より、提案測定法によれば、VERSEに比べ大幅な解放区間長の短縮が期待できることがわかった。

参考文献

- 1) van Tonder, J.P.A.: Determining the stress-free temperature of continuous welded rails (CWR), UIC-ERRI Interactive Conf., Paris, 1-6, 1998.
- 2) Lemon, C. and Gostling, R.J.: The non-destructive measurement of stress-free temperature in continuous welded rail, WCRR99, DS3-3, 1999.
- 3) Vortok International : An operator's guide to VERSE - A non-destructive method of stress free temperature (SFT) measurement, United Kingdom Version, 2000.8.
- 4) 田中洋介, 阿部和久, 元好 茂 : 吊り上げ式レール軸力測定法に関する解析的検討, 鉄道工学シンポジウム論文集, Vol.15, pp.112-119, 2011.