

Ⅳ-268 音弾性法によるレール軸力の評価

○東日本旅客鉄道（株） 正会員 中川 昌弥
 東日本旅客鉄道（株） 正会員 小山 弘男
 大阪大学基礎工学部 戸田 裕己

1. はじめに

レール継目部は、軌道の高低狂いや騒音の発生源となる等、軌道保守の上での弱点箇所となる。それを解消するために、ロングレール化が推進されている。ロングレールにおける張り出しやレール破断の防止のためレール軸力の評価は重要項目であり、簡便で正確な軸力の測定法の開発が求められている。

軸力の測定法には、ひずみゲージ等によりレール伸縮量を測定し軸応力を算出する一般的な方法や磁気異方性を利用した方法¹⁾などがあるが、ここでは音弾性法則に基づいた測定法についていくつかの検討を行い、さらに実敷設レールにおいて測定試験を行った結果について報告する。

2. 音弾性法に基づくレール軸力測定法

2-1 超音波縦波によるレール軸力の測定

物体を伝播する音速の変化が応力状態に依存する性質を音弾性則という。レール軸力測定への適用については、伝播させる波としてクリーピング波を用いる方法²⁾や表面SH波を用いる方法³⁾が報告されている。それぞれ応力評価の容易さや無応力状態での測定の必要性、評価する対象領域等で一長一短があるが、本開発では、レールの長さ1m程度の平均軸力を評価することを目指して、レール腹部対向面で一回反射する超音波縦波を用いた。測定部位についてはレール頭部でも検討したが、車輪通過による材料の組織の変化や摩擦による断面変状が予想されたため腹部としている。超音波縦波の音弾性則を一般的な式で表現すると、

$$\frac{T_0 - T}{T_0} = C_A \sigma \quad \text{ここで、} \quad \begin{array}{ll} T_0: \text{無負荷状態での伝播時間} & C_A: \text{音弾性定数} \\ T: \text{負荷状態での伝播時間} & \sigma: \text{応力} \end{array} \quad (1)$$

である。(1)式により、無負荷状態での伝播時間を測定しておけば、敷設状態(負荷状態)での伝播時間を測定することで、初期残留応力に関わらずレール軸力状態が評価できることを示している。

2-2 測定装置概略

測定装置概略を図-1に示す。送受信子間距離を1mとし、レール面と送・受信子間は水で浸す水浸法を用いている。取付角度は臨界角の14.5度付近で、受信のモニタ波形が最大になるよう設置している。周波数は2.25MHz、伝播時間の測定精度を向上させるためにシングアラウンド法により、1000回の伝播時間を計測している。

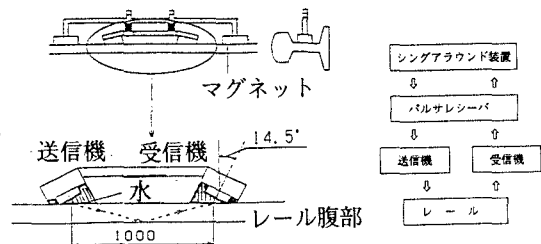


図-1 測定装置概略

3. レールの音弾性定数の把握

本装置を用いて音弾性による測定の基礎となるレールの音弾性定数を実測した結果が図-2である。敷設レールで想定される種々の温度下で、引張試験機により载荷したレールにおける軸応力と伝播時間変化率の関係求めた。式(1)より図中の実線の傾きが音弾性定数となるが、温度に因らず一定で 1.28×10^{-5}

(1/MPa)であることを明らかにした。

4. 実数設レールにおける測定試験結果

4-1 温度変化に伴う軸応力変化の測定

本装置での実数設レールでの測定の可否を確認するとともに、日照下でのレール温度変化に伴う軸応力変化量の測定を行い、その有効性について調査した。本手法では、絶対的な軸応力値を算出するためには、無負荷状態の伝播時間を測定しておく必要があるが、ここでは相対的な応力の変化量を測定している。活線ロングレールの中央部付近において測定したレール温度変化と軸応力の変化を示したのが図-3である。ロングレール中央部付近ではレールは完全に拘束されており伸縮しないと仮定できるが、その上で得られる理論解($\sigma = E \cdot \rho \Delta T$)が図中の実線である。理論的に求められる温度変化による軸応力変化率は2.35(MPa/°C)であるが、図中6カ所の軸応力変化率はそれぞれ2.06~2.70(MPa/°C)、平均で2.39(MPa/°C)となった。

4-2 ロングレール敷設直後の軸応力測定

絶対的な軸応力の評価と測定精度検証のために、ロングレール交換箇所において、配列時にあらかじめ無応力状態(無負荷状態)の伝播時間を測定しておき、設定替後に再測定して軸応力分布を求めたのが図-4である。精度検証の比較としたのはひずみゲージであるが、2軸ゲージをレール腹部両面に貼付する4ゲージ法で行い、レールの曲がりや温度変化の影響を受けないようにしている。軸応力分布は伸縮継目部から右上がりになり、途中からほぼ一定値になることが知られているが、ひずみゲージでも概ねそのような傾向が見られた。しかしながら、音弾性法による測定値はバラつきが大きかった。原因はレールの表面凹凸による誤差と思われる。これまで新品あるいはそれに近い状態のレールに対し、サンドペーパーで研磨する程度で測定を行っていたが、経年による表面凹凸では、測定装置とレール面との距離を一定に保つのが困難であったためと考えている。

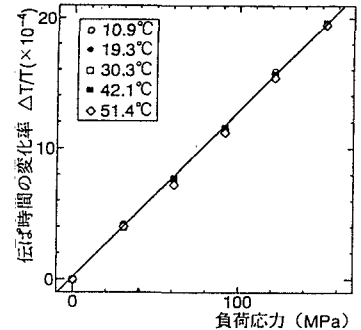


図-2 軸応力-伝播時間変化率

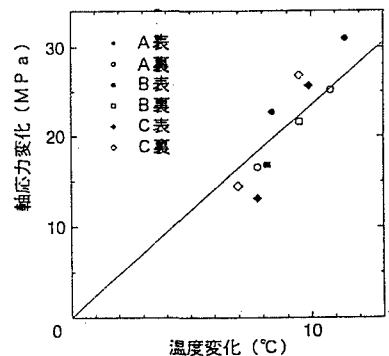


図-3 温度変化-軸応力変化

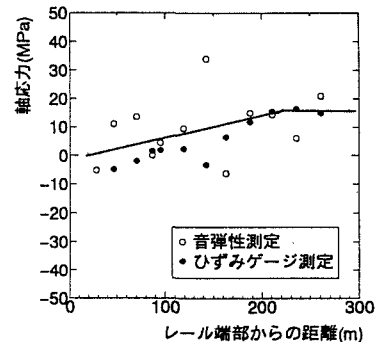


図-4 ロングレール軸応力分布

5. おわりに

以上、音弾性法則に基づくレール軸応力評価について、実数設レールにおいても表面状態の問題を除けば測定が可能であることを確認してきたが、精度向上のためにレール表面状態に影響されない装置への改良を加え、再度データ収集を実施したいと考えている。

【参考文献】

- 1) 柏谷:磁気ひずみによるレール軸力測定, 鉄道技術研究所報告, No. R82101, (1990)
- 2) J. Deputat, J. Szelazek, A. Kwaszczynzka-Klimek, A. Miernik: Residual Stress in Rails, O. Orringer et al. (eds.), Kluwer Academic Publ. Vol.1, pp.169-183, (1992)
- 3) G.A. Alers, et al., Reviews of Progress in QNDE, Vol.9, D.O. Thompson (ed.), Plenum Press, pp.1757-1761, (1990)