

温度変化を受ける曲線ロングレールの力学挙動

新潟大学大学院自然科学研究科 学生員 曾根川大治
 新潟大学工学部建設学科 正会員 阿部 和久
 新潟大学大学院自然科学研究科 正会員 紅露一寛

1. はじめに

現在、鉄道軌道のロングレール化は乗り心地の向上や、振動・騒音の低減、軌道保守の低減などに有効となるため、積極的に導入が進められている。しかし、ロングレールは温度座屈の危険性を有しており、特に曲線軌道においては、座屈に至らないまでも、大きな軌道変位を生じる恐れがある。そのため、軌道管理上、道床横抵抗力の把握が望ましく、当研究室では過去に、まくらぎ横変位に基づく最終道床横抵抗力の同定を目的とした解析手法の構築¹⁾を試みた。しかし、例えば最低座屈強さに相当する軸力を生ずる際の軌道横変位は、その曲率半径に依存するものと思われ、道床横抵抗力の終局値のみならず、初期剛性も把握することが望ましいと思われる。そこで本研究では、軌道の曲率半径がその力学特性に及ぼす影響について、数値解析に基づき検討する。

2. 対象とする問題

図1のような曲線軌道モデルを対象とし、軌道設定時からの相対温度 t における軸力作用下での水平面内の変形を考える。曲線軌道の変形解析に当り、レールは Euler ばりでモデル化する。Euler ばりは、はり要素により離散近似する。なお、解析対象とする区間長は216 m と設定した。全区間長のうち、両端から4分の1ずつを緩和曲線区間とし、さらに円弧部に sin 波形状に振幅 3 cm の初期変位を加えた。道床横抵抗力 F_s は次式で与えられるものとする(図2)²⁾。

$$F_s(u) = f_0 \frac{u}{a+u} \tag{1}$$

ここで、 u はまくらぎの横変位、 f_0 は最終横抵抗力であり、定数 a は横抵抗力が最終横抵抗力の2分の1となる横変位とする。

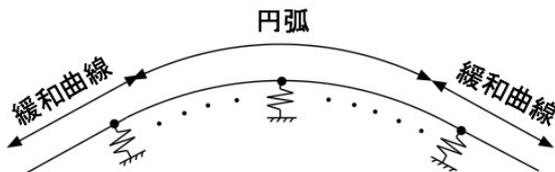


図1 軌道モデル

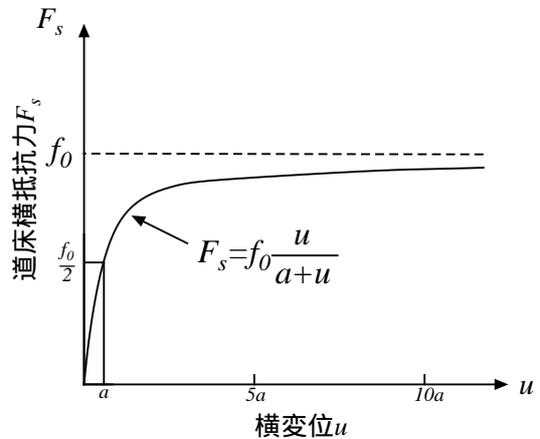


図2 式(1)関係図

最低座屈強さは軌道の曲率半径に依存するが、ここではレール軸力 500 kN に概ね対応する相対温度 30 を一つの目安として、当該温度におけるまくらぎ横変位や道床横抵抗力などの力学状態について調べた。

3. 温度変化を受けるレールの有限変位解析

軌道系におけるレールのつり合い式は、次式で与えられる。

$$KU + B^T \tilde{F}_S = t \{F_T\} \tag{2}$$

ここで、 K はレールの剛性行列、 U はレール節点変位ベクトル、 B はレール直角方向成分を抽出する行列、 \tilde{F}_S は道床横抵抗力ベクトル、 t はレール温度、 $\{F_T\}$ は温度変化によりレールに作用する節点力モードである。

\tilde{F}_S は図2のような非線形性を有するので、 t $t + \Delta t$ における増分計算において Newton-Raphson 法を用いる。

式(2)において、 $t + \Delta t$, $U + \Delta U$ でのつり合い式は次式で与えられる。

$$[K + \Delta K] \{U + \Delta U\} + B^T \frac{\partial \tilde{F}_S}{\partial u} \Delta u + B^T \tilde{F}_S = (t + \Delta t) \{F_T\} \tag{3}$$

Δu は道床横抵抗力作用位置における非弾性バネの変位増分であり、レール節点変位増分 ΔU より、次式の様に表すことができる。

$$\Delta u = B \Delta U \tag{4}$$

式(3)、(4)より、レールの接線剛性行列 K_T を用い、次式を得る。

$$[K_T + B^T \frac{\partial \tilde{F}_S}{\partial u} B] \{\Delta U\} = (t + \Delta t) \{F_T\} - \{KU + B^T \tilde{F}_S\} \tag{5}$$

式(5)を解くことにより、 $\{\Delta U\}$ を得る。

4. 解析結果

50 kgN レールを対象とし、レールの曲率半径 r を 300 m から 1000 m まで、50 m 毎に設定した。各種設定値は表1に示す通りである。中央まくらぎでのまくらぎ横変位と道床

伸び剛性 EA (N)	1.3194×10^9
曲げ剛性 EI ($N \cdot m^2$)	4.0376×10^6
熱膨張係数 α (/)	1.2×10^{-5}
式(1)の f_0 (N)	1200
式(1)の a (m)	0.001
まくらぎ間隔 (m)	0.6

横抵抗力との関係を図3に示す。図中実線は式(1)を表しており、各曲率半径における相対温度 30 の時の状態である。曲率半径が大きい程、横変位が小さくなり、道床横抵抗力が弾性状態に近い範囲内に止まっていることがわかる。

次に、相対温度 30 における曲率半径とまくらぎ横変位との関係を図4に、曲率と軸力との関係を図5に示す。曲率半径が 400 m 以上では、まくらぎ横変位、軸力がほぼ一定であり力学状態には大きな差異がない。一方、それ以下の曲率半径ではまくらぎ横変位は急増加、軸力は急減少しており、曲率半径 400 m 前後を境に軌道の挙動が変化することがわかる。

5. おわりに

温度変化を受ける軌道において、曲率半径が力学特性に及ぼす影響を把握することを目的とし、数値解析を行った。その結果、道床横抵抗力は曲率が小さい程、変位量が大きくなるため終局値に近づくが、曲率半径が 400 m 以上になると変位が小さくなり、力学状態は弾性的になることがわかった。よってよって、その様な軌道においては、道床横抵抗力の初期剛性を把握することが必要となる。一方、曲率半径が小さい場合では道床横抵抗力が終局値に近づくため、その値についても把握する必要がある。

参考文献

- 1) 曾根川 大治, 上坂 健太郎, 阿部 和久, 紅露 一寛: ロングレールの温度横変位による道床横抵抗力の同定, 土木学会関東支部第42回技術研究発表会論文集, 2015.
- 2) 宮井 徹: エネルギー法による軌道座屈の数値解析, 鉄道技術研究報告, NO. 1271, 1984. 7.

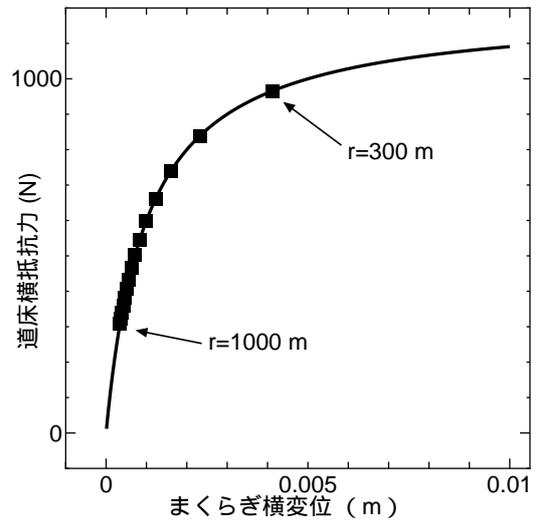


図3 相対温度 30 における $u - F_s$ 関係

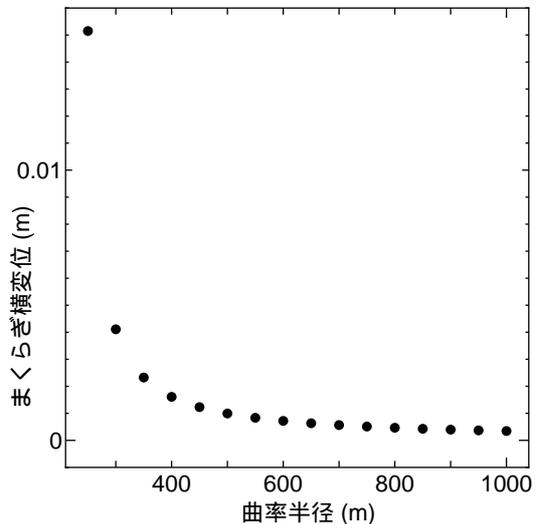


図4 曲率半径とまくらぎ横変位との関係

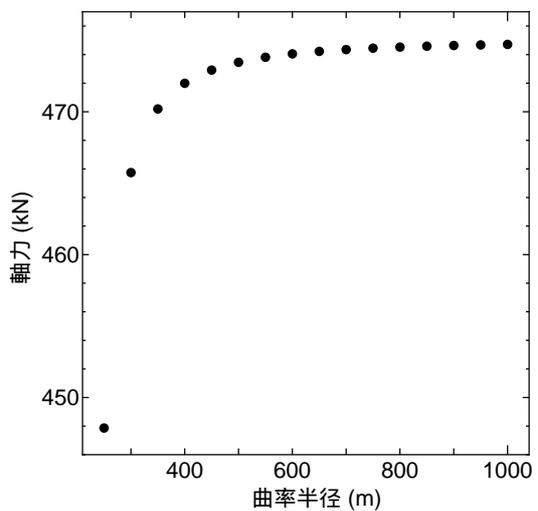


図5 曲率半径と軸力との関係