

初期のレール断面力および道床抵抗力が 軌道の座屈強さに及ぼす影響

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○玉川 新悟
(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 片岡 宏夫

1. はじめに

ロングレール軌道では、レールを所定の曲率で敷設した際の変形や敷設後の軌道変位により、中立温度であってもレール断面力や道床抵抗力が生じると考えられる。軌道の座屈安定性に着目した既往の解析^{1)~3)}では、軌道の初期形状を想定する際にレール断面力や道床抵抗力を考慮しているものの、その取り扱いには各々の仮定が置かれており、これらが軌道の座屈強さに及ぼす影響は十分に明らかでない。

本稿では一連の FEM 解析を実施し、初期形状におけるレール断面力および道床抵抗力が軌道の座屈強さに及ぼす影響について考察した。

2. 解析概要

曲線半径 $R=600\text{m}$ のバラスト軌道を対象とし、レールに温度上昇を付与する座屈解析を実施した。解析手法は、汎用 FEM 解析プログラム (ABAQUS) による弧長制御法とした。図 1 に解析モデルを、表 1 に解析諸元を示す。レールとまくらぎは梁要素、レール締結装置および道床抵抗力はばね要素でモデル化した。なお、道床縦抵抗力の特性値 g_{x0} は 2.63kN と 5.26kN の 2 通りを設定した。

軌道の初期形状として、曲線形状については式(1)を、初期変位については式(2)を用いた。

$$\text{曲線形状: } y_R = -x^2/2R \quad (1) \quad \text{初期変位: } y_0 = c/2(1 + \cos \pi x/l), \quad l = 5\text{m}, c = 20\text{mm} \quad (2)$$

本解析では上記の初期形状について、その成立に関する条件が異なる以下の 3 ケースを設定した。

- ・ケース 1 : 曲線形状および初期変位がレール断面力や道床抵抗力により成立するケース
- ・ケース 2 : 初期変位のみがレール断面力や道床抵抗力により成立するケース
- ・ケース 3 : 曲線形状および初期変位が単に幾何形状として成立するケース (断面力・抵抗力無し)

ケース 1 は、実軌道の敷設過程を想定したケースである。まず、直線形状のレールの端部に曲げモーメントを負荷し、レールを曲線形状にした (ステップ 1)。この際に、レール以外に応力は生じないようにした。次に、道床横抵抗力を模擬したばね要素の固定点に y 方向の強制変位を付加し初期変位を与え、道床横抵抗力を生じさせた (ステップ 2)。最後に温度上昇を与え、座屈解析を実施した。

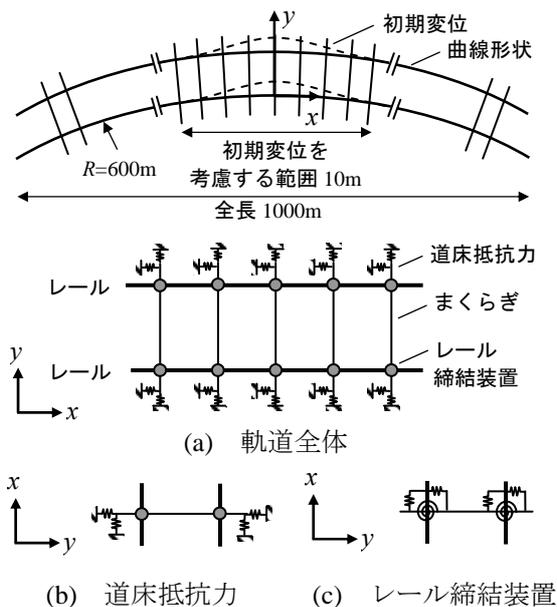


図 1 軌道の座屈解析モデル

表 1 解析諸元

| 項目 | | 値 |
|--------------|-------------|--|
| 50kgN レール | 縦弾性係数 | 206 GPa |
| | ポアソン比 | 0.3 |
| | 線膨張係数 | $1.14 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ |
| | 断面積 | 6.42×10^3 |
| PC まくらぎ | 縦弾性係数 | 22 GPa |
| | ポアソン比 | 0.2 |
| | 断面積 | 3.46×10^4 |
| まくらぎ間隔 | | 658 mm |
| レール 締結装置 | ばね定数 x 方向 | 37.5 MN/m |
| | ばね定数 y 方向 | $\tau_0=4.0 \text{ kN/mm}, M=\tau_0 \times \sqrt{y}$ |
| | 回転ばね定数 | $\tau_0=26 \text{ kN/m}, M=\tau_0 \times \sqrt{\theta}$ |
| 道床抵抗力 | 縦抵抗力* | $g_{x0}=2.63 \text{ kN}, g_x=g_{x0} \times x/(x+1)$ $g_{x0}=5.26 \text{ kN}, g_x=g_{x0} \times x/(x+1)$ |
| | 横抵抗力* | $g_{y0}=2.63\text{kN}, g_y=g_{y0} \times y/(y+1)$ |

※ばね 1 本あたりの値

キーワード ロングレール、レール断面力、道床抵抗力、座屈強さ、FEM 解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7275

ケース2では、ケース1のステップ1と同じ曲線形状のモデルについて、ケース1と同様に強制変位を付加して初期変位を与えた後、温度上昇を与えて座屈解析を実施した。ただし、曲線形状の成立時において、レールを含む各要素に応力は生じないようにした。

ケース3では、ケース1のステップ2と同じ初期形状のモデルに対し、温度上昇を与えて座屈解析を実施した。ただし、初期形状の成立時において、レールを含む各要素に応力は生じないようにした。

以上のケース1～3は、座屈解析の開始時にいずれも同じ初期形状を有するが、レールを含む各要素に生じる初期応力が異なる。

3. 解析結果および考察

図2にケース1～3 ($g_{x0}=5.26kN$) の初期形状の成立時におけるレールの曲げモーメント分布と道床横抵抗力分布を示す。ケース1は、ケース2と比べて大きな曲げモーメント生じている。一方で、道床横抵抗力は両ケースで一致している。なお、ケース1とケース2ではレール軸力も生じているが、その値は座屈発生時のレール軸力に比べて十分に小さい。一方、ケース3ではレールの曲げモーメントおよび道床横抵抗力は生じていない。

図3にケース1～3 ($g_{x0}=2.63kN$ 、 $5.26kN$) で得られた温度上昇量とレールの横変位量(解析モデル中央部のy方向変位)の関係を示す。ケース1とケース2では、座屈発生点および最低座屈強さが一致している。これは、ケース1において初期形状の成立時に曲げモーメントが生じるものの、これが座屈に寄与しなかったためと考えられ、幾何剛性マトリクスが軸力に依存することからも理解できる。

一方、ケース1とケース3を比較すると、座屈発生点、最低座屈強さともにケース1の方が大きい。これは、初期形状の成立時の道床横抵抗力によるものと考えられる。すなわちケース1では、初期形状の成立時において、座屈発生時と正負が逆の道床横抵抗力が生じた結果(図4)、座屈発生までの抵抗力が実質的に大きくなったためと考えられる。

4. おわりに

本研究では、軌道の初期形状におけるレール断面力および道床抵抗力が軌道の座屈強さに及ぼす影響について調べた。結果として、初期のレール断面力は、軌道の座屈強さに影響を及ぼさないことが分かった。一方、初期変位により生じる道床横抵抗力は、軌道の座屈強さに影響を及ぼし、これを考慮した場合は考慮しない場合に比べて座屈強さが大きくなった。なお、本結果は初期変位により生じる道床横抵抗力の有無が及ぼす影響の評価であり、初期変位が無い場合は、有る場合に比べて座屈強さが大きくなる。

【参考文献】

- 1) 沼田実：「ロングレールの座屈強さ」、鉄道技術研究報告、No.721、1970、pp.1-109
- 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、pp.1-19
- 3) 浅沼ら：「弾塑性有限変位解析によるバラスト軌道の座屈温度特性値に関する検討」、土木学会論文集A2、Vol.68、No.1、2012、pp.78-91

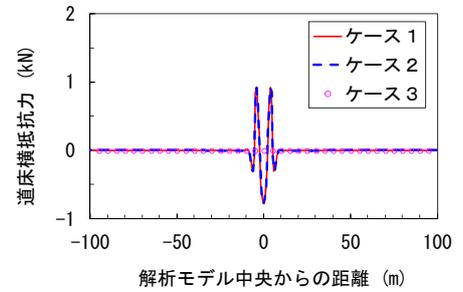
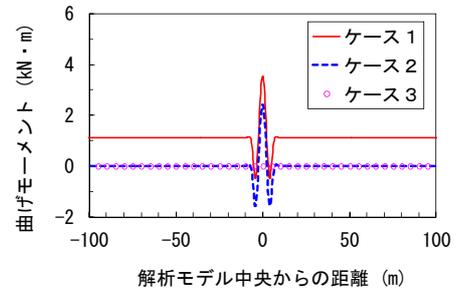


図2 初期形状成立時の曲げモーメントと道床横抵抗力

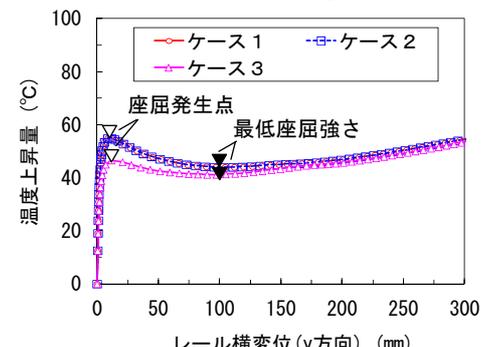
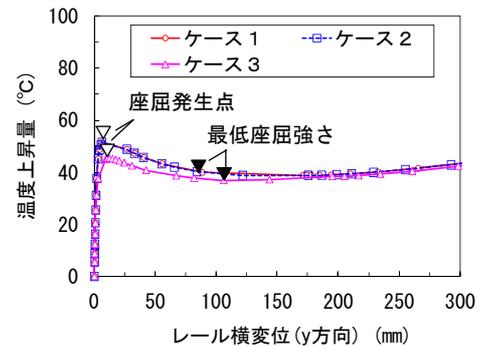


図3 温度とレール横変位の関係

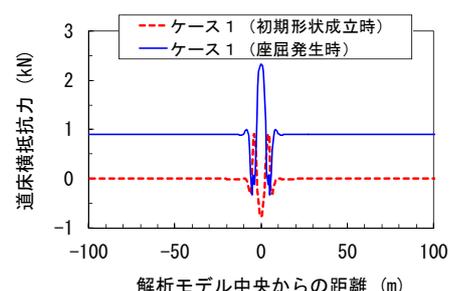


図4 道床横抵抗力の変化 ($g_{x0}=5.26kN$)