

## N-377

## 遊間シミュレーションの提案について

J R西日本 正会員 ○青野 正  
 " 正会員 福井 義弘  
 " 藤原 武実  
 " 正会員 山口 義信  
 " 徳岡 研三

## 1. はじめに

列車走行安全に直接関わる機能として、概ね最高60℃まで変化するレール温度に対応しなければならないという条件がある。この機能を満足させるため、レール継目部に適当な「遊間」を設けてレールを伸縮させることにより発生するレール軸力を軽減させ、軌道座屈(レール張り出し)の防止に努めている。このレール遊間量が適正な範囲内に維持されているか否かを判定する手法が遊間管理である。現在、広く採用されている遊間管理手法は、実務レベルでは十分な実績があるものの、一部のファクターを過去の経験値から一定にしてその効率化を図っている。本研究ではこうしたファクターをより多くの実データから確率変数とし、新たに提案したレール発生軸力シミュレーションを用いて、現行の遊間管理手法をモンテカルロ法による統計確率論的に検証した。

## 2. 現行の遊間管理手法

国鉄時代から遊間管理手法は、実務レベルで幾多の改善がなされてきたが、現在、J R西日本で採用されている手法は表1のとおりである。ここでの課題は、管理面での簡素化を目的にレール軸力に直接影響を及ぼす継目板拘束力、道床横抵抗力を経験値から一定としていることと不確定要素の大きい「ふく進量」を無視していることである。

## 3. 各因子の統計的調査

継目板拘束力(N=3,412)、道床横抵抗力(N=63)、レールふく進量(N=229)について実測した結果、継目板拘束力および道床横抵抗力については正規分布になることがわかった。また、レールふく進については三角形分布と全くのランダム分布になるものの2種類の傾向があることがわかった。

## 4. 軸力モデルの提案

シミュレーションに用いる軸力モデルは次式を用い、温度ステップ0.3℃で差分法により発生軸力を求めることにした。なお、従来一定値としていた継目板拘束力、道床横抵抗力、レールふく進量については、先述した正規分布よりモンテカルロ法を用いて正規乱数を発生させ入力した。乱数の発生個数は1ケースあたり500回とした。

表1 現行の遊間管理手法

| 項 目                   | 概 要                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 現場の計測<br>1 回測定法       | ①レール温度上昇時<br>②レール温度下降時(オンレール機器での計測可能)                                                                                                                                         |
| 継目遊間図                 | ①規定遊間線を採用<br>②最低レール温度が-10℃以下とならない中下級線区は、規定遊間線に1mmを加算する。                                                                                                                       |
| 遊間管理図                 | 制定(OAシステム化)                                                                                                                                                                   |
| 遊間量の扱い                | 前後継目を含めて3継目を平均として表す。                                                                                                                                                          |
| 安全度の考え方<br>(1)遊間の判定基準 | 「測定遊間±継目板拘束力換算量」を用いて安全度の判定を行う。(規定遊間量との対比は行わない)<br>±は温度下降・上昇を表す                                                                                                                |
| (2)評価種別               | 軌道座屈側および継目板ボルト破断側                                                                                                                                                             |
| (3)評価する継目数            | 連続5継目                                                                                                                                                                         |
| (4)座屈側の安全度評価          | ①危険度 $\alpha$ は「発生軸力/最低座屈強さ」で示す。<br>②遊間整正の対象下限を $\alpha > 65\%$ に限定<br>③ロングレールの安全度判定との整合を図り、ロングレールと同等の安全度を有する場合は、前②の対象であっても遊間整正の対象とはしない。<br>④ $\alpha$ は連続5継目の最大値を採用(3ランクに区分) |
| (5)道床横抵抗力の評価          | つき固め直後の値を採用(軌道構造により区分)                                                                                                                                                        |
| (6)継目板ボルト破断側評価        | ①破断側限度線算出に継目板ボルトの力学的強度を採用<br>②評価区分として2ランク設定                                                                                                                                   |
| その他                   | 50mレールの取り扱いを付加                                                                                                                                                                |

(キーワード) レール遊間, シミュレーション, モンテカルロ法, レール軸力

(連絡先) 〒530 大阪市北区芝田2-4-24 TEL 06-375-8960 FAX 06-375-8915

継目部軸力 :  $P(N) = Rf(N) + EA\beta \Delta t n'$

レール最高軸力 :  $Pa(N) = 1/2 \{ P(N) + P(N+1) + r l n \}$

可動区間長 :  $X(N, 1) = \{ Pa(N) - P(N) \} / r$

$X(N, 0) = \{ Pa(N-1) - P(N) \} / r$

ここで、 $P(N)$  : 継目部軸力,  $Rf(N)$  : 継目板拘束力

$E$  : レール鋼のヤング率 ( $2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ )

$A$  : レールの断面積 (50Nレールの場合、 $64.3 \text{ cm}^2$ )

$\beta$  : レール鋼の線膨張係数 ( $0.0114 \text{ mm/}^\circ\text{C/m}$ )

$\Delta t n'$  : 遊間が0になってからの温度上昇

$Pa(N)$  : レール最高軸力,  $r$  : 道床縦抵抗力,  $l n$  : レール長

$X(N, 1)$  : 継目Nに接するレールの終点方可動区間長

$X(N, 0)$  : 継目Nに接するレールの起点方可動区間長

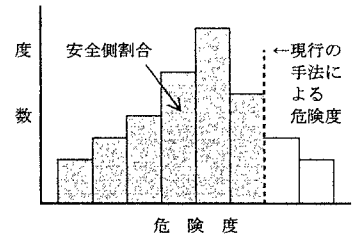


図1 シミュレーションの出力形式

## 5. シミュレーション分析結果

現行の手法では、次式により最高レール温度における発生軸力を算出し、最低座屈強さとの比から危険度を求めている。

$$Pa = EA\beta(t_{\max} - t_0 - y_0 / \beta l)$$

そこでシミュレーションの出力形式を図1のようにし、現行の手法によって算出した危険度（但し道床縦抵抗力分は補正済み）以内に入っている頻度（安全側割合）を百分率で表した。

シミュレーションの組み合わせ条件を表2、木まくらぎ、砕石、Cランク発生の遊間実データ入力の場合の結果を表3に示す。

表2 シミュレーションの組み合わせ条件

| まくらぎ | レール   | 曲線半径   | 道床種別 | 組 み 合 わ せ 条 件                                                                                                                   |
|------|-------|--------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 木    | 5 0 N | 1,000m | 砕 石  | 1) 発生軸力<br>○道床縦抵抗力は2種類で行う(確率変数)<br>○ふく進量は0, 三角分布, 分散形(確率変数)の3種類で行う<br>○継目板拘束力は1種類で行う(確率変数)<br>2) 最低座屈強さ<br>○軌きよう剛性は, 1.0の1種類で行う |
|      |       | 500m   |      |                                                                                                                                 |
|      |       | 300m   | ふるい  |                                                                                                                                 |

## 6. 考察およびまとめ

表3より現行の遊間管理手法の有している危険度は、危険度が大きい、すなわち軌道座屈の安全性の観点では危険領域にある部分で、十分な信頼性を持っていることが定量的に確認された。このことは、現行の手法が導入されて以来、軌道座屈による鉄道事故がほとんど発生していないことを理論的に証明するものである。また、本研究で用いたモンテカルロ法による遊間シミュレーションは、実態に即しており、軌道座屈の危険度評価に際して十分活用できるものと考えられる。今後はさらにデータの蓄積を行い、コンピュータ・プログラムの改修を実施して、なお一層効率的かつ高信頼性を有する遊間管理手法に改良していきたい。

表3 シミュレーション計算結果例（木まくらぎ、砕石、Cランク発生）

| 軌道構造 | ふく進<br>入力条件 | 軌きよう<br>剛性 | 曲線半径<br>[m] | 危険度<br>シミュレーション | 現行の<br>危険度 | 安全側<br>割合% |
|------|-------------|------------|-------------|-----------------|------------|------------|
| 木 砕石 | なし          | 1.0        | 1000        | 0.53~0.84       | 0.80       | 98.6       |
|      |             |            | 500         | 0.53~0.86       | 0.82       | 99.6       |
|      |             |            | 300         | 0.55~0.91       | 0.85       | 97.2       |
|      | ランダム        | 1.0        | 1000        | 0.38~0.86       | 0.80       | 99.2       |
|      |             |            | 500         | 0.39~0.88       | 0.82       | 99.2       |
|      |             |            | 300         | 0.41~0.93       | 0.85       | 99.0       |
|      | 三角分布        | 1.0        | 1000        | 0.61~0.96       | 0.80       | 67.0       |
|      |             |            | 500         | 0.62~0.98       | 0.82       | 67.2       |
|      |             |            | 300         | 0.64~1.00       | 0.85       | 67.2       |

（参考文献） 福井，米沢：「レールふく進の実態調査」，新線路，1997年2月号，鉄道現業社