

IV-260

マルコフ過程を用いたシェリングのき裂進展の推定について

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 石田 誠

正会員 松尾浩一郎

1. はじめに

現在、新幹線および在来線においてころがり接触疲労傷であるレールシェリング（以下、「シェリング」と略称）の発生により、多大な保守コストが必要とされている。このため、シェリングの発生機構とその対策の確立が急がれている。本研究は、すでに発生したシェリングのき裂進展を新幹線情報管理システム（Shinkansen Management Information System-以下「SMIS」と略称）のデータを利用して、き裂の推移をマルコフ過程を仮定し、それをZ変換によりレール細密検査周期の0.5年を単位とした離散型の応答行列を求めたもの¹⁾を、ラプラス変換を用いて通トン単位とした連続型の応答行列に拡張し、通トンによるシェリングのき裂進展を推定可能にした。

2. 東海道および山陽新幹線のシェリング進展の推移

2.1 SMISのデータ

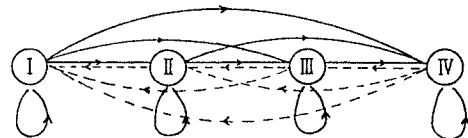
SMISのデータについては、既報¹⁾において詳しく述べているので説明を省略するが、推移表を作成するために、使用したデータファイルを以下に示す。

- (1) レール台帳ファイル（昭和61年6月13日現在）
- (2) 軌道環境ファイル（昭和61年1月31日現在）
- (3) レール細密検査ファイル
 - (a) 昭和59年上期, (b) 昭和59年下期,
 - (c) 昭和60年上期, (d) 昭和60年下期

これまでの研究成果を踏まえ、レール細密検査ファイルは昭和59年以降のデータであれば現場からの検査報告の統一性および整合性が図られたと判断できるので、昭和59年上期から、また、昭和60年頃からレール削正車の稼働率が一段とアップしたことから、ここでは削正効果をできるだけ除いてシェリングの進展を推定することを目的とするため、昭和60年下期までのデータを採用した。

2.2 シェリング進展モデルと推移確率行列

シェリング進展モデルを図1に、シェリング判定基準とSMISのコードおよび進展モデルにおける状態を表1に示す。図1のモデルは、すでに福岡²⁾が提案したシェリングの発生および取替を含めたモデルを基本に、進展にのみ着目したものである。このモデルにおいては、レール交換によりシェリングが除去された場合は、ロングレール交換によるものはデータから除外し、シェリングの除去を目的とする主に短尺レール交換によるものを図1のIVの状態（表1参照）を経て交換されたシェリングデータとして扱うこととした。データ分析の対象とするシェリングは、その発生に影響する因子に注目し、これらの因子が進展にも影響することが考えられることと、分析する上である程度のデータ数が必要であることから、(a) 累積通トン3～4億トン（昭和61年6月13日現在）、(b) 有道床明かり区間、曲線半径2500m以上および走行



I～IVは表1による

——；進行あるいは停滞
；誤差

図1 シェリング進展モデル

表1 シェリング判定基準とSMISのコードおよび進展モデルにおける状態

判定	コード	内 容	状態
A1	54	水平裂（黒斑）あるいは表面き裂が存在する場合、または厚さ計を用いて起点から列車進行方向に20mm未満の水平裂が検知された場合。	I
A2	55	厚さ計を用いて20mm以上の水平裂が検知された場合、または斜角70°で深さ15mm以上の横裂が検知された場合。	II
B	56	厚さ計を用いて50mm以上の水平裂が検知された場合、または斜角70°で深さ15mm以上の横裂が検知された場合。	III
C	57	厚さ計を用いて100mm以上の水平裂が検知された場合、または斜角70°で深さ30mm以上の横裂が検知された場合。	IV
—		レール交換によって除去された場合。	

表2 東海道新幹線
推移確率行列

0.29	0.25	0.15	0.31
0	0.36	0.31	0.33
0	0	0.44	0.56
0	0	0	1.0

表3 山陽新幹線
推移確率行列

0.23	0.43	0.27	0.07
0	0.33	0.58	0.09
0	0	0.56	0.44
0	0	0	1.0

速度200km/h以上（昭和61年1月31日現在）の条件のレールに発生したものとし、図1のモデルに基づき、検査周期0.5年の推移を平均化し、東海道および山陽新幹線に関して求めた推移確率行列を表2および3に示す。表4に各推移表の条件を示し、推移表の例として、山陽新幹線の59年下期から59年上期のものを表5に示す。

表4 各推移表の条件

新幹線別	累積通トン	前期	次期	推移期間	推移期間の通トン
東海道	3～4億トン	59年上期	59年下期	0.5年	17.8×10 ⁶ トン
〃	〃	59年下期	60年上期	〃	〃
〃	〃	60年上期	60年下期	〃	〃
山陽	〃	59年上期	59年下期	〃	11.0×10 ⁶ トン
〃	〃	59年下期	60年上期	〃	〃
〃	〃	60年上期	60年下期	〃	〃

3. シェリングのき裂進展の推定

表2の推移確率行列を用いて、シェリングのき裂進展がマルコフ過程に従うという仮定の下に、通トンとしてtトン経過後のシェリングの状態確率がわかる連続型応答行列を求める。ここで、離散型推移確率行列をP、連続型推移確率行列をQおよび状態確率の行ベクトルをA(t)とする。連続型における状態確率の推移は、

$$\frac{d}{dt} A(t) = A(t)Q \quad \text{-----} (1)$$

となる。A(t)をA(0)を用いて表すと、 $A(t) = A(0)e^{Qt}$ となる。

そこで、 e^{Qt} を求めるためにラプラス変換を利用する。(1)式のラプラス変換をとり、A(t)のラプラス変換をD(s)とすると、 $sD(s) - A(0) = D(s)Q$ となり、整理すると、 $D(s) = A(0)(sI - Q)^{-1}$ が得られる。

この式でIは単位行列、 $(sI - Q)^{-1}$ は $(sI - Q)$ の逆行列である。

ここで、離散型の場合は $A(n) = A(0)P^n$ であるので、 $e^Q = P$ より、 $Q = \ln P$ になることがわかる。表2の離散型推移確率行列をPとして求めると、

$$Q = \begin{pmatrix} -1.24 & 0.779 & 0.128 & 0.341 \\ 0 & -1.02 & 0.784 & 0.240 \\ 0 & 0 & -0.822 & 0.822 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad sI - Q = \begin{pmatrix} s+1.24 & 0.779 & -0.128 & -0.341 \\ 0 & s+1.02 & -0.784 & -0.240 \\ 0 & 0 & s+0.822 & -0.822 \\ 0 & 0 & 0 & s \end{pmatrix}$$

となる。H(t)を $(sI - Q)^{-1}$ の逆ラプラス変換とすると、 $A(t) = A(0)H(t)$ となり、これを求めると、

$$H(t) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} + e^{-0.0697t} \begin{pmatrix} 1 & -3.57 & 6.38 & -3.81 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + e^{-0.0573t} \begin{pmatrix} 0 & 3.57 & -1.38 & 10.3 \\ 0 & 1 & -3.88 & 2.88 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + e^{-0.0461t} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 7.46 & -7.46 \\ 0 & 0 & 3.88 & -3.88 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

となる。

(t: 通トン×10⁶)

山陽新幹線の離散型推移確率行列表3の1.5年（通トン3300万トン相当）後の推移確率行列と、東海道新幹線の表2から求めた連続型推移確率行列で通トン3300万トン後の推移確率行列を表6および7とすると、これらは、概ね同じと考えられることから、両新幹線のシェリングのき裂進展の通トン効果は同程度であると考えられる。

表7 東海道（3300万トン）推移確率行列

0.01	0.10	0.42	0.47
0	0.04	0.35	0.61
0	0	0.17	0.83
0	0	0	1.00

表6 山陽（1.5年）推移確率行列

0.10	0.18	0.18	0.54
0	0.15	0.26	0.59
0	0	0.22	0.78
0	0	0	1.00

4. 結 論

求めた連続型応答行列により、シェリングのき裂進展を通トンで推定可能となった。また、それを用いた東海道新幹線と山陽新幹線のシェリングき裂の進展は同程度であると考えられる。

文献① 石田 誠：レールシェリングのき裂進展に関する一考察，鉄道総研報告，第5巻第1号，1991年1月

② T102グループ研究班：レールシェリング対策，鉄道技術研究所速報A-87-81，1987年3月