

IV-252 推移行列を用いた軌道状態の予測手法

JR西日本 正会員 山口義信
 東京大学工学部 正会員 家田 仁
 正会員 岩本俊也

1. はじめに

有道床軌道では、軌道状態や、保守作業量を予測することが必要であり、同時に基本的な軌道の劣化特性あるいは保全特性を明らかにすることが重要な課題となっている。この課題については多くの研究が行われているが、①劣化あるいは保全特性を表す値としては、平均値が用いられ、そのバラツキが考慮されていない。②軌道の劣化速度は、軌道状態に係わらず一定として扱われている。

そこで本稿では軌道狂いが増加する過程に、推移行列の考えを導入して、上記の問題点の解消を図り、劣化と保全の基本特性のより深い理解を目指すとともに、これを用いて軌道状態を的確に予測する方法について述べるものである。

2. 推移行列を用いた軌道状態の記述

ある区間の中での軌道狂いの分布は、連続的な確率分布であるが、ここでは簡便化を考慮して軌道狂いの値によりN個に区分された離散的な確率分布として扱う。軌道狂い値Xが第j番目の狂いをとる発現確率を P_j とすると、

$$\text{Prob. } (X = j) = P_j \quad (1)$$

全体の確率分布は $P_1, P_2, \dots, P_N$ となり、これはベクトル P として表わされる。従ってある時点 $(k-1)$ からある時点 (k) の間で軌道狂い分布は P^{k-1} から P^k へ移行するわけである。時点 $(k-1)$ で、ある箇所の軌道狂い X^{k-1} がjの値（即ち $X^{k-1} = j$ ）であったとき、この箇所の軌道狂いが時点kでiの値（即ち $X^k = i$ ）となる確率を p_{ij} とすると、この関係は

$$\text{Prob. } (X^k = i \mid X^{k-1} = j) = p_{ij} \quad (2)$$

と表される。従って時点kで狂い値がiの値となる確率は、条件付き確率の定義や式（1）、（2）を用いて

$$P_j^k = \sum_{j=1}^N p_{ij} \cdot P_j^{k-1} \quad (3)$$

となる。これらをすべてのjについて統一的に記述するため、行列を用いて表わされ、この p_{ij} により構成される行列が推移行列と呼ばれるものである。

時点 $(k-1)$ と時点 (k) の間で劣化が進んだ時の推移行列を劣化特性行列 D とし、同間で保全が行われた場合の推移行列を保全特性行列 R と呼ぶことにすると、時点 $(k-1)$ と (k) の間で劣化する場合には、式（3）は、 $P^k = D \cdot P^{k-1}$ 、保全する場合には、 $P^k = R \cdot P^{k-1}$ 、と表されることになるから、これらの推移行列が明らかになれば、すでに得られている軌道状態から、将来の軌道状態を予測することが可能となる。

3. 推移行列の推定

マヤチャートの高低狂いデータ（25mロットに分割し各ロット内の最大絶対値に着目し、そのピーク位置での狂い量が次の検測時にどのような値をとるかを読み取った。）から得られた推移行列の解析結果について述べる。

図-1に代表的な劣化特性行列を視覚的に3次元図化したものを、図-2にその特性を各行列毎に平均値と標準偏差で表したものを示す。ここで特に狂い量が大きい程狂いがより速く進む傾向が示されている。又同様に保全の場合事例を図-3、4に示す。これによれば、劣化特性の場合と同様に保全効果が指数分布的な特性を持つとも見られる傾向を示した。

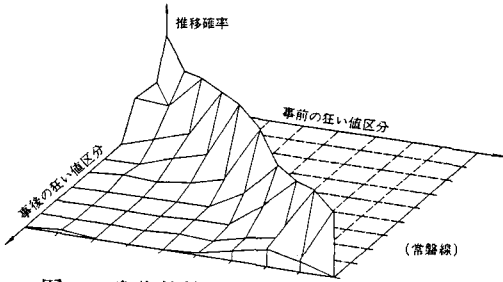


図-1 劣化特性行列の例
(行列の各要素の値を上下方向に図示)

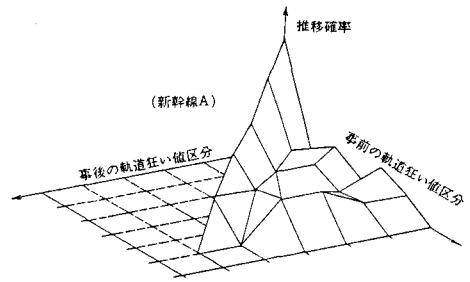


図-3 安全特性行列の例
(行列の各要素の値を上下方向に図示)

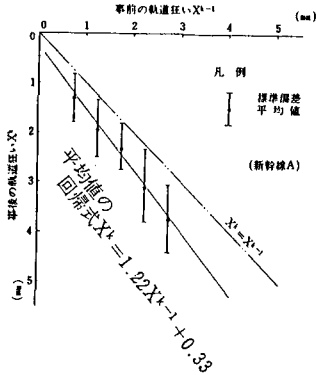


図-2 劣化特性行列の狂い平均値

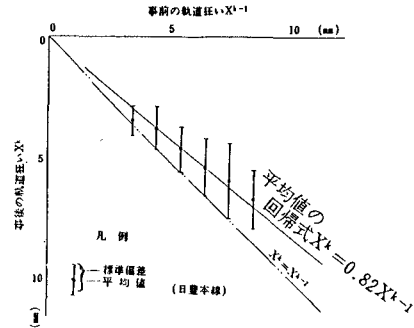
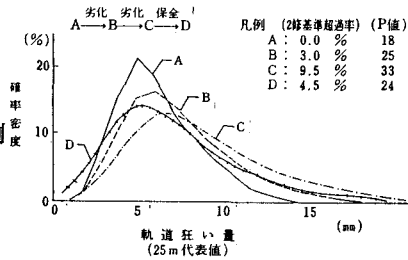


図-4 安全特性行列の狂い平均値

図-5 軌道狂い状態推移
のシュミレーション結果例



4. 軌道狂い状態の予測シュミレーション

前節で得られた行列では、データが限定されていること等により、そのままでは直ちに狂い分布の予測に用いることはできない。そこでその要素 p_{ij} が指数分布に従うものと仮定して推移行列をより一般的に推定し直した。こうして、推移行列が定められると、前述のように行列演算をすることにより、初期の狂いを前提にして、軌道狂い分布を予測することができる。図-5は狂い状態の予測シュミレーションを行った結果を示した例である。このように任意の時点での軌道狂いの分布が容易に予測されることから、P値や乙修整備基準超過率等も簡単に予測出来る。また何回かの試行錯誤をすれば、ある軌道状態にするために必要な作業量を推定することも可能である。

5. まとめ

以上の内容を要約すれば次のとおりである。

- ① 推移行列を用いることにより、軌道状態の推移特性の解析や軌道状態の予測を行うことが出来る。
- ② 推移行列による軌道状態の予測は、狂いの分布として示されることから従来の手法に比べその活用範囲が広いと考えられる。

最後に、本研究を実施するにあたり、国鉄本社および各鉄道管理局保線課の各位に多大な協力を戴いたことを記し、謝意を表する。