

鉄道総合技術研究所 正会員 三和 雅史
 鉄道総合技術研究所 正会員 内田 雅夫

1. はじめに

状態監視保全モデルの軌道狂いへの適用による期待総保全費用が最小となる保守施策の決定方法^[1]では、要求される軌道状態の達成を考慮していなかったため、ここでは劣化量が安全限度や乗り心地限度を超過した際に生じる損失を考慮した施策の決定方法を提案する。また、施策の決定を適切に行なうため、劣化速度と残存率の実測値による入力情報の逐次更新方法を示す。

2. モデルの定式化

2.1 モデルの概要（図1）

本モデルでは、当期に保守を投入する（PM）か次期検測時まで放置する（Keep）かという施策を、各施策の期待総費用 $TCK(n)$, $TCp(n)$ の比較により決定する。また、得られたデータを用いて情報を更新し、次期の入力情報とする。

2.2 言葉、記号の定義

- 期 τ : ある状態監視時点から次の状態監視時点までの時間
- 劣化速度 k : 劣化量の単位時間あたりの増加量
- 残存率 g : 保守前の劣化量に対する保守後の劣化量の割合
- 良（不良）状態時間 : 劣化量が乗り心地限度を超過していない（している）状態を良（不良）状態と呼び、良（不良）状態1回あたりの長さを良（不良）状態時間と呼ぶ

D_0 : 現在の劣化量 D_j : 時刻 $j\tau$ における劣化量 $\phi(D_j;*)$: 施策*のときの D_j の確率密度 C_b, C_p : 1回あたり事後保守費用, 予防保守費用 D_{lg} : 劣化量の乗り心地限度 D_{cri} : 劣化量の安全限度 $v^{(n)}(D_0)$: 劣化量 D_0 から今後 n 期にわたって最適な施策をとり続けたときの期待総費用 $E[T_{uj};*], E[L_j;*]$: 施策*のときの第 j 期の期待良状態時間, 期待損失

2.3 定式化の前提

- ① 状態監視間隔 τ は n 期を通じて一定とする。
- ② 劣化速度・残存率は確率分布により与えられる。
- ③ 劣化量は累積劣化モデルに従って増加する。
- ④ 劣化量が事後保守基準 D_b を超えていると診断されたときは直ちに事後保守（BM）を施す。
- ⑤ 保守により劣化量が増加することはないものとする。
- ⑥ 劣化量の診断や保守に要する時間は無視できるものとする。

2.4 安全限度と乗り心地限度に関する評価方法

2.4.1 劣化量が安全限度を超過した場合の評価

この場合に生じる損失を金額で評価することは困難である。よって、この損失を避ける基準として安全限度超過確率限度 p を政策的に与え、見積もられる安全限度超過確率 $Prob(D_{jt} \geq D_{cri})$ が限度 p 以上になる施策は採用しないという制約条件 [式(1)] を設定する。劣化量 D_0 に対する各施策ごとの安全限度超過確率と限度 p との関係の例 ($n = 1$) を図2に示す。図から施策Keepは $D_0 \geq 4.3$ では保守施策としての資格を失う。

$$Prob(D_{jt} \geq D_{cri}) < p \quad 0 < p < 1 \quad \dots \dots \dots (1)$$

2.4.2 劣化量が乗り心地限度を超過した場合の評価

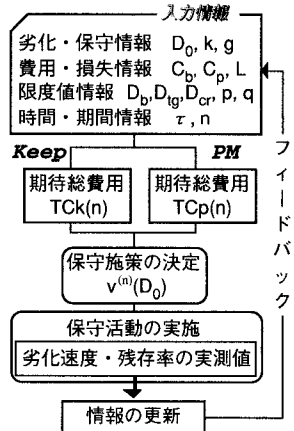


図1 モデルの概要

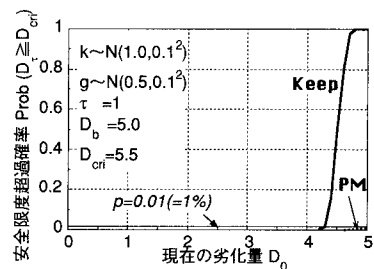


図2 劣化量と安全超過確率

この場合の損失は、金額で評価できる場合と評価できない場合の2通りを想定する。

(1) 金額で評価できる場合

損失は不良状態時間について発生する。施策Keep時の1期目の良状態時間の期待値 $E[T_{ui};k]$ は式(2)のように、また、このときの期待損失 $E[L_i;k]$ は単位時間あたりの損失 L を用いて式(3)のように表される。劣化量 D_0 に対する各施策ごとの期待不良状態時間の例 ($n=1$) を図3に示す。

$$E[T_{ui};k] = \int_0^{\tau} \int_{D_0}^{D_{ig}} \phi_k(D_t) dD_t dt \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$E[L_i;k] = (L - E[T_{ui};k]) \quad \dots\dots\dots (3)$$

(2) 金額で評価できない場合

不良状態時間の状態監視間隔に対する割合の下限 q を政策的に与え、期待不良状態時間の状態監視間隔に対する割合が q 以上になる施策は採用しないという制約条件 [式(4)] を設定する。

$$\frac{\tau - E[T_{uj};*]}{\tau} < q \quad 0 < q < 1 \quad \dots\dots\dots (4)$$

2.5 評価関数

以上から本問題に対する評価関数は式(5)のように表される。

$$\left. \begin{array}{l} \text{最小化} \quad v^{(n)}(D_0) \\ \text{条件} \quad \text{Prob}(D_j \geq D_{crit}) < p \quad 0 < p < 1 \\ \quad \left(\frac{\tau - E[T_{uj};*]}{\tau} < q \quad 0 < q < 1 \right) \end{array} \right\} \dots\dots (5)$$

2.6 実測値による情報の更新

本研究では基礎的な検討として劣化速度・残存率が従う分布の平均値を更新対象とする。更新には主観的な予測をとり入れることができ、実測値を得るごとに逐次更新が可能なベイズの手法^[2]を用いる。密度関数 $f(x|\mu_x)$ 及び事前密度 $\xi(\mu_x)$ が存在し劣化速度や残存率 x が観測されたとき、事後密度 $\xi(\mu_x|x)$ はベイズの定理により式(6)のように表される。

$$\xi(\mu_x|x) = \frac{f(x|\mu_x) \xi(\mu_x)}{\int_0^{\infty} f(x|\mu_x) \xi(\mu_x) d\mu_x} \quad \text{⊙: 母数}(\mu_x) \text{空間} \quad (6)$$

3. 数値シミュレーション

乗り心地限度を超過した場合の損失を金額で評価できる場合について数値シミュレーションを行なった。シミュレーション結果(20期, $n=3$)を図4に示す。このときの劣化速度、残存率の値を図5に示す。図から更新した値が実際の値に追従し、同時に予防保守投入のタイミングが早くなることわかる。

4. おわりに

要求される軌道状態の達成を考慮した軌道狂いへの保守施策の決定方法を示した。また実測値による情報の更新方法を示し、シミュレーションによりその性質を調べた。状態監視保全モデルはこのような保守に関する多面的な検討が可能な点において優れていると言える。

参考文献

[1] 三和他：“状態監視保全モデルの軌道狂いへの適用”，第50回土木学会講演概要集第4部，IV-279，1995
 [2] 鈴木：“統計解析”，筑摩書房，pp.135-191，1978

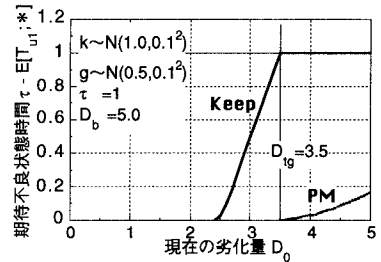


図3 劣化量と期待不良状態時間

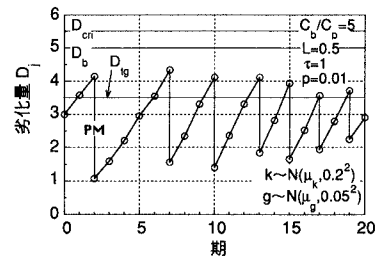


図4 劣化量の推移

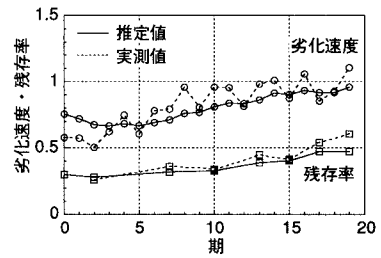


図5 劣化速度と残存率の推移