

N-279

状態監視保全モデルの軌道狂いへの適用

鉄道総合技術研究所 正員 三和 雅史

鉄道総合技術研究所 正員 内田 雅夫

1. はじめに

軌道狂いへの適用を前提とした状態監視保全モデルを設定し、数値例を用いて最も経済的な保全施策を解析した。具体的には軌道の劣化モデルとして物理モデルの累積劣化モデルと反応論モデル¹⁾を用い、劣化量の増分は確率分布により与える²⁾。一方保全モデルでは劣化量の残存率を定義し、保全後の劣化量を確率分布で与える。これらを用いて動的計画法により最も経済的な保全施策を決定する手法について検討した。

2. モデルの定式化

2.1 想定する問題とモデルの概要

保全対象となる設備の劣化状態を表す劣化特性値が状態監視により得られたとする。問題はこの得られた劣化特性値を持つ設備に予防保全を施す(PM)かそのまま次の状態監視時まで放置する(Keep)かという施策を決定することである。本モデルでは図1に示すように各施策の期待総保全費用を比較して費用の小さい方の施策を選ぶ。

2.2 言葉・記号の定義

- 期 : 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 : 単位時間あたりの劣化量の増加量
 劣化速度傾向値 : 劣化履歴から推定して得られる劣化速度の予測値
 劣化量 : 状態監視により得られる設備の劣化状態を表す量
 劣化傾向値 : 劣化速度傾向値と劣化量から推定して得られる劣化量の予測値
 残存率 : 保全前の劣化量に対する保全後の劣化量の割合
 残存率傾向値 : 残存率履歴から推定して得られる残存率の予測値
 CV_k : 劣化速度の変動係数 $D(j\tau)$: 時刻 $j\tau$ での劣化傾向値 $D_{j\tau}$: 時刻 $j\tau$ での劣化量 $D_{j\tau+dt}$: $D_{j\tau}$ への保全後の劣化量 G : 残存率傾向値
 sg : 残存率の標準偏差 $\varphi(D_{j\tau})$: $D_{j\tau}$ の確率 $\psi^{(n)}(D_{j\tau})$: $D_{j\tau}$ から出発して最適な施策を取り続けたときの期待総保全費用 ECK_j : 施策Keep時第 j 期終了時正常な場合の総期待費用 BCK_j : 同第 j 期の期待事後保全費用 $TCk(n)$: 同第 n 期までの期待総保全費用 $\Psi(D_{j\tau+dt})$: $D_{j\tau+dt}$ の確率 ECp_j : 施策PM時第 j 期終了時正常な場合の期待総保全費用 BCp_j : 同第 j 期の期待BM費用 $TCp(n)$: 同第 n 期までの期待総保全費用 $q(D_{j\tau+dt}; D_{j\tau})$: 保全前の劣化量が $D_{j\tau}$ のとき保全後の劣化量が $D_{j\tau+dt}$ になる条件付確率

2.3 定式化

劣化量の推移と劣化量の分布を図2に示す。過去に得られた劣化量の劣化推移履歴(劣化履歴)・保全による回復履歴(保全履歴)によって劣化速度 k ・残存率 g の従う分布を規定する。現在の劣化量 D_0 と事後保全基準 Db が与えられたとき、Keep・PM各施策

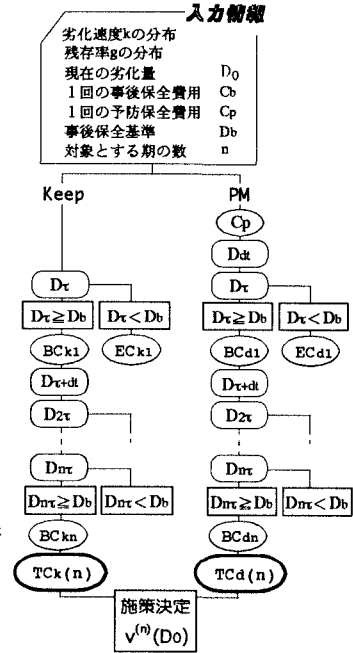


図1 本モデルの流れ

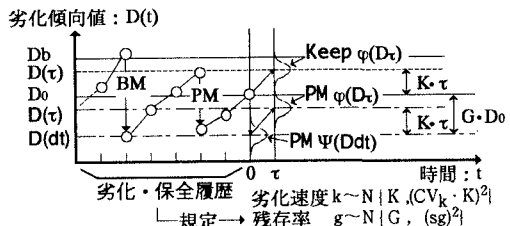


図2 劣化量の推移と劣化量の分布

の期待総保全費用は図1のフローに従って次のように得ることができる。なお以下のような前提を設ける。

- ・ 状態監視間隔 τ は n 期を通じて一定とする。
- ・ 劣化速度は劣化速度傾向値の周りに劣化速度傾向値を平均とする正規分布に従って分布する。
- ・ 劣化量が事後保全基準を超えていると診断された時は直ちに事後保全(BM)を施す。
- ・ 残存率は残存率傾向値の周りに残存率傾向値を平均とする正規分布に従って分布する。
- ・ 設備の劣化量の診断・保全に要する時間は無視できるものとする。

施策Keepのときの劣化量 $D\tau$ は劣化傾向値 $D(\tau)$ を平均とする正規分布に従う。ここで EC_{k1} は $D\tau$ が Db を超えないときの期待費用であるから $D\tau$ の従う分布の密度関数 $\varphi(D\tau)$ と $v^{(n)}(D\tau)$ を用いて式(1)のように表される。一方 BC_{k1} は1期目に発生したBMの期待費用であるから $D\tau$ が Db を超える確率と Cb の積で表せる。このときBM後の劣化量 $D\tau + dt$ の確率は条件付確率 $q_1(D\tau + dt | D\tau)$ を用いて式(2)のように表される。以下同様な計算を繰り返すことにより各期待費用の総和として $TC_k(n)$ は式(3)のように表される。次に施策PMのときのPM後の劣化量 Ddt は $G \cdot D_0$ を平均とする正規分布に従う。以下 Ddt について施策Keepのときと同様にして $TC_d(n)$ は式(4)のように表される。以上2つの施策の各総期待保全費用を比較し費用が小さい方の施策を選ぶ。

$$EC_{k1} = \int_0^{D_b} \varphi(D\tau) v^{(n-1)}(D\tau) dD\tau \quad (1)$$

$$\Psi(D\tau + dt) = \int_{D_b}^{\infty} \varphi(D\tau) q_1(D\tau + dt | D\tau) dD\tau \quad (2)$$

$$TC_k(n) = \sum_{i=1}^n (BC_{ki}) + \sum_{i=1}^{n-1} (EC_{ki}) \quad (3)$$

$$TC_p(n) = \sum_{i=1}^n (BC_{pi}) + \sum_{i=1}^{n-1} (EC_{pi}) + C_p \quad (4)$$

表1 数値例

	数値
K	1.0
CV _k	0.3
sg	0.05
Db	20

3. 保全施策の解析

3.1 数値例

表1に示す数値例を用いて数値解析をした。本モデルを有効に設定するためには、これらのパラメータを、蓄積したデータを基に適切に抽出・同定することが必要である。

3.2 解析結果

3種類の G の下での現在の劣化量 D_0 に対する $v^{(n)}(D_0)$ の変化を図3に示す。 G が大きい程 $v^{(n)}(D_0)$ の増加に影響すること、施策が変わる D_0 の値は G が変化しても同じであることがわかる。3種類の Cb/C_p の下での D_0 に対する $v^{(n)}(D_0)$ の変化を図4に示す。 Cb/C_p が大きくなると $v^{(n)}(D_0)$ は増加し、施策が変わる D_0 が小さくなることがわかる。また3種類の τ の下での D_0 に対する $v^{(n)}(D_0)/5\tau$ (単位時間あたりの期待総保全費用) の変化を図5に示す。 τ を長くとると $v^{(n)}(D_0)/5\tau$ が大きくなり、施策が変わる D_0 が小さくなることがわかる。

4. おわりに

保全後の劣化量を表すのに残存率という確率変数を定義して、最も経済的な保全施策の決定法を示し、数値例により解析した。状態監視による保全施策のモデル化では、このような故障物理・確率・統計モデルを用いた検討が合理的であると思われる。今後、軌道狂いへの適用に向けてモデルの妥当性の検討・改良を図る必要がある。

文 献

- (1) 塩見：“累積則による劣化量予測”，電子通信学会雑誌，50，12，（1967）。
- (2) 船木他：“劣化型故障をするシステムの定期状態監視による予防保全モデルの設定”，日本経営工学会誌，45，4，（1994）

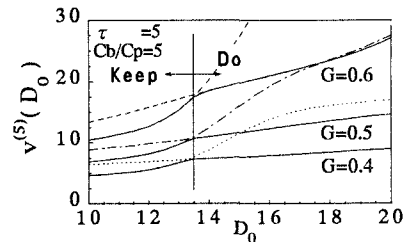


図3 $v^{(5)}(D_0)$ の変化 ($G=0.3 \sim 0.6$)

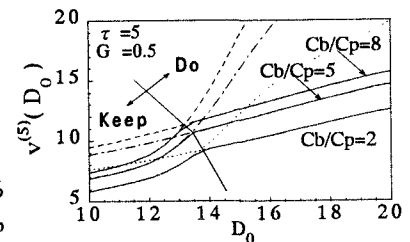


図4 $v^{(5)}(D_0)$ の変化 ($Cb/C_p=2 \sim 8$)

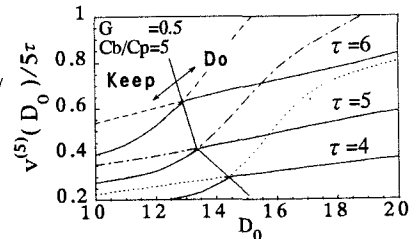


図5 $v^{(5)}(D_0)/n\tau$ の変化 ($\tau=4 \sim 6$)