

IV-254 非線形劣化システム保全計画理論の基本概念

東京大学工学部土木工学科 正会員 家 田 仁
西日本旅客鉄道株式会社 “ 山 口 義 信

1. 従来の保全計画の基本的前提とM-D曲線

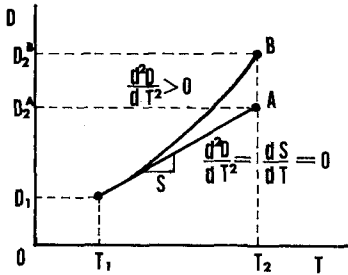


図-1 状態変数劣化特性の前提

鉄道線路や道路舗装などの劣化システムは、注目する状態変量Dの推移特性と保全によるDの改善特性を基本的コンセプトとして成り立ち、Dの管理水準を定めたときの所要保全量の推定などの計画実務に活用されている。しかしながら、状態変量Dの劣化特性は取扱の容易さもあって図-1 Aに示すように時間Tの経過に伴うDの変化をみたとき、Dの変化率は一様、すなわち劣化速度は状態変量に依らないことが暗黙の前提とされてきた。¹⁾

この場合、期初の状態変量を D_1 、期末の状態変量を D_2 とすると図-2左に示すようにこの期間で保全量 $M=0$ の場合、 D_2 は D_1 に較べ一定量だけ増大する。またある任意の保全量 M_1 が投入された場合には、 $M=0$ の場合に較べてFを焦点として一定の比率で D_2 が低下する。¹⁾従

ってこの場合、初期の状態変量がどのような値（例えば図中の D_1 や D_2 ）であっても究極的には、Dは均衡状態変量 D_{eq} に収束する。この均衡値は任意の保全量に対して存在するから、右の図（M-D曲線）のようにどのような状態変数管理水準を設定しても保全は可能で、また逆にどのように設定した保全量でも長期に安定な状態が実現することとなる。

2. 非線形劣化システムの基本特性

しかしながら走行路のような劣化システムが、基本的には状態変量を入力とする車両システムの振動によってさらに状態変量が増加するという自動的な特性を持つ力学的性質に加え、最も経済的な保全水準を達成することのニーズからも、前述の前提を見直す必要が高まっている。

そこで自動的な特性を踏まえて、図-1 Bのような劣化特性を仮定して同様の分析をする。この場合図-3左図のとおり、状態変量の推移を示す曲線は図-2における直線から下に凸の曲線に変化する。この時例えば

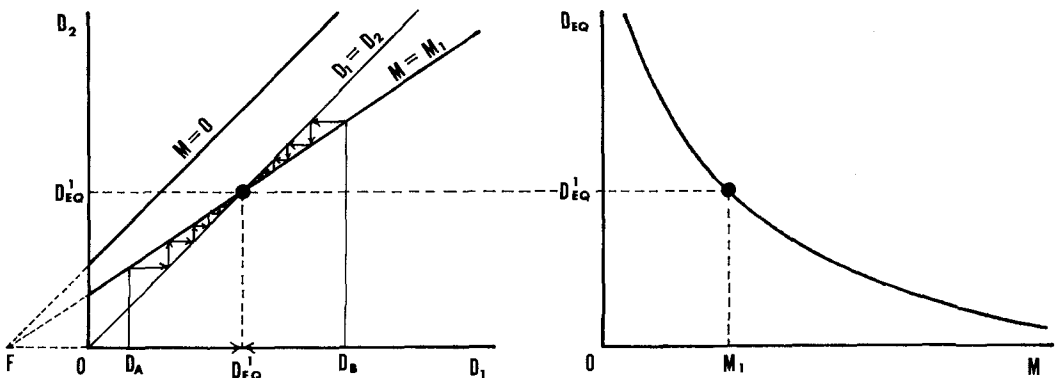


図-2 $d^2D/dT^2=0$ の場合のDの推移とM-D曲線

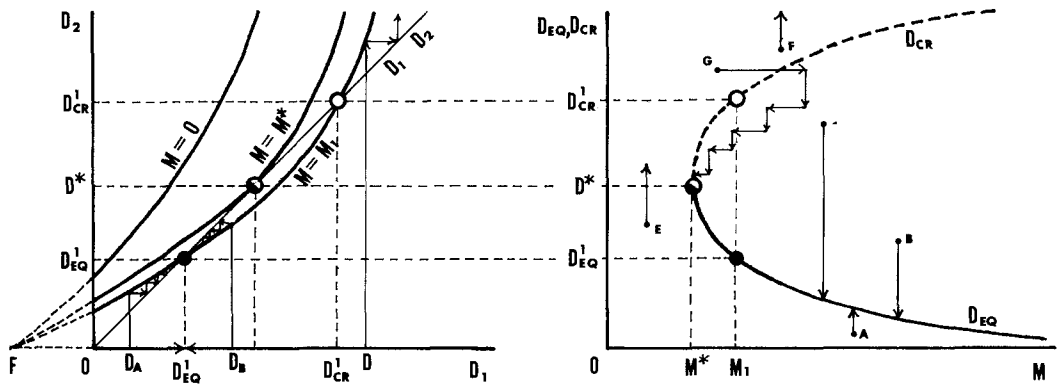


図-3 $d^2D/dT^2 > 0$ の場合のDの推移とM-D曲線

保全量が M_1 の時に均衡状態変量は D_{EQ}^1 となるが、初期値が D_A や D_B の場合には D_{EQ}^1 に収束するのに対して、 D_{CR}^1 より大きい D_C を初期値とする場合には状態変量は次第に発散してしまうのである。
 $M=M^*$ の曲線はこの収束限界値 D_{CR} と均衡状態変量 D_{EQ} が一致する場合である。図-2と同様にM-D曲線を右に示す。この図からわかるとおり、限界保全量 M^* を下回る保全量ではいかなる状態も維持することができず、同時に長期の状態変量管理水準は限界状態変量 D^* を上回って設定することはできない。すなわち実現可能な均衡状態は図中の実線上に限られるわけである。また安定な保全量であっても初期値が収束限界値 D_{CR} を上回る場合には実線上に収束することはできない。例えば図中、A,B,Cの各点はそれぞれ収束するがEやF点は発散してしまうわけである。限界状態変量 D^* を限界保全量 M^* で維持するのが最も経済的な保全となるが、例えばG点のような状態からでも図に示すようなルートをとればこの状態に至ることができるのである。

3. まとめ

上記の結果をまとめると以下のとおりとなる。

$\frac{dD}{dT} = \text{CONST.}$	$\frac{d^2D}{dT^2} > 0$
- 任意のMに対してD_{EQ}が存在 - 任意のD_{EQ}に対してMが存在 - 任意のDはD_{EQ}に収束	- 限界保全量M^*の存在 - 限界状態変量D^*の存在 (i.e. $D_{EQ} \leq D^*$) - 収束限界値D_{CR}の存在 $\longrightarrow M < M^*: D \rightarrow \infty$ $M \geq M^*:$ $D > D_{CR}: D \rightarrow \infty$ $D \leq D_{CR}: D \rightarrow D_{EQ}$

以上のように劣化特性の非線形性を仮定することによって、従来のパラダイムとはかなり異なった保全理念が構成されることが明らかとなったが、今後は実証的適用検討も含めて検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 家田他：保全特性関数による鉄道走行路面状態の推移モデル，土木学会論文集第383号／IV-7，pp.123-132，1987年7月