

第26回青葉工学研究奨励賞



インフラマネジメントにおける 数理工学的手法の高度化

東北大学大学院工学研究科
土木工学専攻
助教 水谷 大二郎

橋梁、道路構造物、上下水道などの社会基盤施設（インフラ）は、我々の共有の資産（アセット）である。インフラの管理者は、“インフラの価値を最大化する”よう、点検・補修・更新・廃棄といったマネジメント行為を通じて、日常より適切なインフラマネジメントを行ってゆく必要がある。このようなマネジメント活動は、アセットマネジメントとも呼ばれ、i) 高度経済成長期に建設された膨大なインフラの老朽化、ii) 2012年の笹子トンネル天井板落下事故、iii) 2014年のISO55000シリーズの発行及びその取得国内企業の増加、などの情勢も相まって、実務的にも学術的にも、様々な取り組みや研究が近年行われている。

全てのインフラはやがて劣化する。物理的劣化に加え、機能的劣化や経済的劣化が生じることもある。“インフラの価値を最大化する”ということ、“インフラの安全性を満足しつつマネジメント（維持管理）費用を最小化する”と読み替えると、インフラの劣化・補修過程やインフラマネジメントの良し悪しを数理的に表現し易くなる。そのため数理工学的手法として、本研究では、i) 統計的劣化予測手法、ii) マネジメント施策最適化手法、のそれぞれにおいて、複数の新たな方法論を提案している。ここでは、それらの手法のうち、代表的なものを以下で紹介する。

統計的劣化予測では、インフラの劣化過程を表す確率過程を、インフラの点検データから統計的に推定する。このような手法は、力学的な劣化予測手法と違って物理的な劣化メカニズムを持たない反面、i) 管理する多種多様かつ膨大なインフラへの汎用性が高い点、ii) 確率モデルとして実用状況下での劣化過程の不確実性を柔軟に表現できる点、を特徴として持つ。図-1に、国内の高速道路床版の劣化予測結果[1]を示す。インフラの劣化状態は、健全度と呼ばれる離散的指標で表され、健全度1が最良、4が最悪の状態を示す。同図では、健全度間の寿命の期待値を結んだ期待劣化パスを示している。ここでは、混合マルコフ過程（連鎖）として劣化状態を推定し、個々の橋梁ごとに劣化パスを推定している。このような劣化予測結果により、インフラ群の平均的な劣化過程に加えて、個々の管理単位での劣化過程のばらつきも定量化することができる。

マネジメント施策最適化では、劣化予測結果をインプット情報として、数理最適化手法によりマネジメント施策（いつどのインフラに点検や補修などを行うか）を最適化する。その際、ライフサイクル費用（現時点及び将来の全ての時点で必要となる（劣化リスク費用も含む）費用の合計値）の最小化問題を解くことが考え得る。マルコフ連鎖モデルとして推定した劣化過程をインプット情報とした場合、単

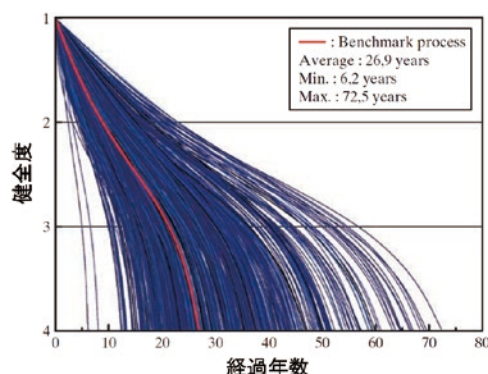


図-1 橋梁ごとの劣化過程の推定結果

一のインフラの最適マネジメント施策（何年間隔で点検を行い、その際どの程度まで劣化が進展していれば補修を行うか）は、マルコフ決定過程により数学的に容易に導出できる。一方で、個々のインフラの劣化過程やマネジメント費用に相互依存関係があるようなインフラシステムに対して最適マネジメント施策の厳密解を導出することは数学的に極めて困難である。また、仮に厳密解が導出されたとしても解自体が煩雑（インフラの個々の劣化状態の組合せごとの、どのインフラを補修するのかの組合せ）となる。それに対し、本研究では、マネジメント施策を決定するための簡便的なルールを用いて、問題を近似的に解き、実務者にとっても取り扱い易い形で、現実的な計算時間で実用的な解を導出するための方法論を提案している[2]。

数理工学的手法により、劣化予測結果や最適マネジメント施策を獲得することができ、意思決定のための客観的根拠の1つとなる。人口減少、少子高齢化により、今後、インフラマネジメントを取り巻く状況、ひいてはインフラの在り方が大きく変化してゆくであろう。東北地方においても、自然が豊かである一方で、広範囲に分散するインフラを少ない人口でマネジメントしてゆく必要がある。このような状況において、インフラを通じて少しでも人々の生活を豊かにするための方法論を、今後も開発してゆく所存である。

この度は、栄誉ある賞を頂戴し、心より感謝申し上げます。これまで、ご指導・ご鞭撻を頂いた先生方、日頃よりお世話になっているスタッフや学生、共同研究などでご協力頂いている実務者の方々に深く御礼申し上げます。

[1] Mizutani et al., 2013, Struct. Eng. Int., 23(4), 394-401.

[2] Mizutani et al., 2020, Transp. Res. C, 120, 102797.