

# 点検ビッグデータ時代におけるインフラマネジメント ～インフラの劣化予測～



研究ノート

貝戸清之\*

Infrastructure Management based on Inspection Big Data  
- Focusing on Deterioration Prediction of Infrastructures -

Key Words : Infrastructure Management, Visual Inspection Data,  
Statistical Deterioration Prediction

## はじめに

橋梁と道路などに代表されるインフラ施設の老朽化が段階的に進展している。厳しい財政状況下において、国民や道路利用者に対して、インフラ施設に対する維持管理の重要性、それに伴う予算確保の必要性を説明していくことが重要である。もちろん、従来からインフラ管理者や維持管理業務に携わる専門技術者は、構造物の健全性を点検によって把握し、その結果に基づいて劣化予測を行い、経済状況を勘案しながら補修・補強に対する意思決定を行ってきた。著者の研究分野であるインフラマネジメントは、専門技術者の暗黙知による経験的な意思決定過程を、形式知による体系的な意思決定過程へと視覚化していくことにある。

暗黙知は専門技術者個々に蓄積される。形式知はそれに関わる組織内で集約されるだけでなく、修正や改善が可能であることから共有知となり得る。最終的には、形式知の共有化を通して、1) インフラ施設の維持管理に対する説明責任を果たすこと、2) インフラ管理者の組織内において知識の共有化を図り、技術を継承すること（ナレッジマネジメントを実施すること）、が可能となる。さらに、暗黙知で形成された従来の意思決定過程を単純に形式知化するだけではなく、現場におけるデータ収集、分析過程の高度化、業務の効率化を通じて、インフラマネジメントを戦略的に高度化することも重要である。

前置きが長くなったが、著者はインフラ施設の劣化予測、特に目視点検データに基づく統計的劣化予測手法の開発に力を注いでいる。この理由は、多くのインフラ管理者は劣化予測や寿命評価がインフラ施設の維持管理には不可欠であり、その予測・評価が現状では目視点検や定期点検のデータに基づいてなされているからである。実際に、意思決定を実施するための情報は現場に蓄積されている。しかし、これらの情報は紙媒体でしか保存されていないことが少なくない上に、1つ1つが不完全情報であり、単純な統計分析では有意な情報をもたらさない。したがって、これまでインフラ施設の劣化予測結果は専門技術者の頭の中だけに描かれていた。一方で、構造化されていない膨大な不完全情報がビッグデータと総称されるようになり、インフラ施設に生じ得る複雑な劣化事象を記述するための確率モデルと、その推計手法としてのベイズ統計学が大きく発展してきている。

## インフラマネジメントの概念

マネジメントの概念を単純化すると、図-1のように「情報」「知識」「意思決定」という3つのプロセスが循環する構造となる。マネジメントとは、最終的に何らかの意思決定（インフラ施設を補修するか否か、更新するか否かなど）を行う行為であると考えられる。当然ながら、「意思決定」には「知識」が必要となり、「知識」を獲得するためには「情報」が不可欠である。ただし、単に情報と言っても、高度知識社会と呼ばれる今日において、我々が手にすることができる情報はまさにビッグデータである。このビッグデータから真に有益かつ高度な情報を抽出することがマネジメントの第一歩となるだけでなく、意思決定の質を大きく左右する。しかし残念ながら、インフラ施設から収集可能な情報は未だに限定的であることも否定できない。



\* Kiyoyuki KAITO

1972年12月生まれ  
東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤工学専攻 博士後期課程 (2000年)  
現在、大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻 准教授 博士(工学)  
インフラマネジメント, 確率論, 数理統計学  
TEL : 06-6879-7630  
E-mail : kaito@civil.eng.osaka-u.ac.jp

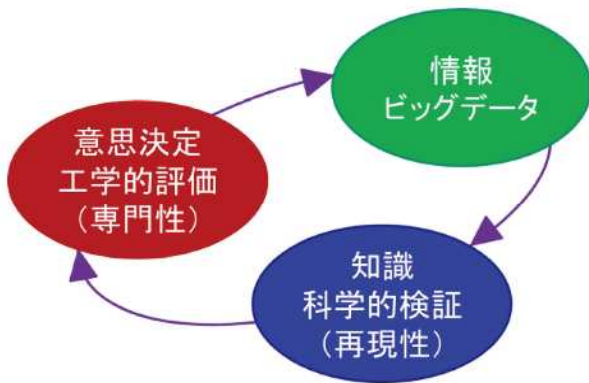


図-1. インフラマネジメントの概念

また、最終的な意思決定に至るまでには、通常何らかの制約が課せられる。インフラマネジメントであれば、管理する構造物の数量、経年、種類、状態などが、さらに管理者の人員、技術力、予算などの組織体制も制約となる。また、管理者の所属する組織の体質、文化や歴史、その時々々の社会情勢も制約になる。このような制約条件は、インフラ管理者個々によって多かれ少なかれ異なる。管理者は、個々に課せられた制約の下で試行錯誤して意思決定を下し、長年に亘る意思決定過程の中で経験（ノウハウ）を獲得していく。一般的に、インフラマネジメントや維持管理が経験に依存するという所以はこのような事情によると考えられる。したがって、インフラマネジメントの本質は、専門技術者の経験を視覚化する、すなわち経験に基づく知識という暗黙知をモデル化することにあるといえる。従来、ヒトからヒトへ直接的に伝えられてきた経験や知識に対して、視覚化された方法論をヒトとヒトとの間に介在させることで、より広範に、より普遍的に技術継承を行うことができる。理想的なインフラマネジメントは、新しい技術継承の在り方を提供し、その持続可能性に貢献するような方法論でもある。

### 意思決定のためのマネジメント曲線

インフラマネジメントの意義を狭義に解釈し、現有のインフラ施設の長寿命化を達成するためのマネジメントとして位置づけた場合、インフラマネジメントを実践する第1の目的は、ライフサイクル費用の最小化を達成するような最適補修戦略を決定することである。単純に述べると、ライフサイクル費用は、インフラ施設を維持管理していく上で必要となる費用を見積り、その投資タイミングを決定するだ

けであり、ライフサイクル費用の最小化問題は概念的には受け入れ易い。ところが、ライフサイクル費用評価に対して、懐疑的な見解が多いことも事実である。ライフサイクル費用を構成する2つの要素（費用と投資タイミング）のうち、費用に関しては過去の実績や補修データベースをもとに信頼性の高い数値を算出することが可能である。また仮に費用に関する情報が存在しなくとも、実際の損傷状態から、補修工法に対してある程度精緻な積算を行うことができる。したがって、ライフサイクル費用評価に対する懐疑的な見解は、もう一方の要素である投資タイミング、すなわち劣化過程のモデル化に関する信頼性の低さに集約される。

劣化予測手法には大別すると、力学的手法と統計的手法がある。力学的手法は、模型実験などを通して、劣化・損傷のメカニズムを解明した上で理論的検討、あるいは経験則に基づいて予測式を導出する手法である。一方、統計的手法は膨大な量の点検データの背後に存在する統計的規則性を記述する手法である。したがって、力学的手法は特定のインフラ施設や部材を対象とするミクロな視点での劣化予測には有利であり、統計的手法はその反対にインフラ施設全体を対象とするマクロな劣化予測に有利であると言われている。力学的手法と統計的手法のいずれをインフラマネジメントの劣化予測手法として採用するかは、当然ながらその最終目的に大きく依存する。しかしながら、力学的手法は対象とする劣化・損傷ごとに必要となる情報や予測式が異なること、予測に必要となる情報が通常の点検業務で獲得できないことが少なくないことから実践上不利であることは否めない。これとは対照的に、統計的手法は、全てのインフラ施設に日常・定期点検（一般的には目視点検）が義務付けられていること、点検結果が離散的な健全度として評価されているならば、対象となるインフラ施設や劣化・損傷の種別が異なっても普遍的に劣化予測（例えば、マルコフ連鎖モデルの適用）が可能であることから実務との整合性が高く、実践上有利である。

インフラマネジメントにおいて管理者がまず知るべきは、インフラ施設の設計上の構造的な性能（パフォーマンス）ではない。現実のインフラ施設で発生している劣化特性であり、補修・補強を実施するためのタイミングやそのために採用すべき工法に関する実践的な情報である。統計的劣化予測手法による劣

化予測の結果は縦軸に健全度を取る。健全度は点検の結果として得られる、離散的な評価指標（点検データ）であり、構造物の損傷・劣化と関連しているが、健全度そのものはあくまでも目視点検等で視認できる表面上の損傷の程度であって、実際の構造性能をとらえているとは言い難い。しかし、重要なポイントは、点検マニュアルに記載された健全度の定義には、その工学的意味だけでなく、補修・補強に関わるマネジメント上の基本方針が明記されていることである。したがって、ある健全度に到達する年数を統計的手法で把握すれば、投資タイミングに関する重要なマネジメント情報が得られる。維持補修計画を立案するインフラ管理者にとって、投資タイミングを把握することが中心的なマネジメント課題になる。このような意味において、統計的手法で算出される予測結果は単なる劣化パフォーマンス曲線ではない。それは投資タイミングを決定するためのマネジメント曲線である。したがって、点検データを用いた劣化予測とはいえ、それは構造物の健全性や耐用年数を予測することが主要な目的ではなく、むしろ当該管理者における過去の維持補修、投資行動のパフォーマンスを事後評価し、今後のマネジメントの高度化に活用することを本来の目的としている。

### 点検データに基づく橋梁部材の劣化予測

開発した統計的劣化予測手法（マルコフ劣化ハザードモデル）の具体的な適用事例を示す。米国ニューヨーク市（以下、NY市）の橋梁RC床版に対する目視点検の結果は、健全度1から7の整数値で評価される。NY市では約10年間に亘って、このような目視点検の結果（サンプル）が32,902データ蓄積されている。また、条件による劣化の相違を表現するための特性変数として、大型車交通量を採用した。なお、大型車交通量以外の情報を特性変数として採用することは容易ではあるが、NY市のデータベースの制約上の問題と、未知パラメータの増加に伴う推計精度の低下を考慮して、ここでは1変数にとどめた。

劣化予測結果（期待劣化パス）を図-2に示す。マルコフ劣化ハザードモデルの未知パラメータの推定に関しては、一般的には最尤法やベイズ推定を援用する。図中の太線が全32,902サンプル中の平均値を示しており、特にベンチマークと呼んでいる。

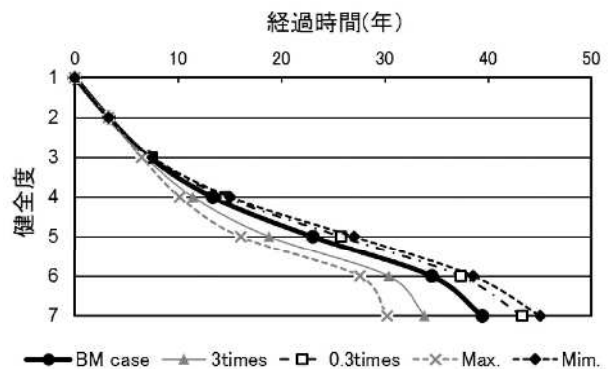


図-2. 橋梁RC床版の期待劣化パス

ベンチマークで確認すると、NY市のRC床版の期待寿命（健全度1から健全度7に到達する期間）は約40.6年である。次に交通量のみを最小値、平均値の0.3倍、平均値の3倍、最大値に変動させることで、交通量の多寡による期待劣化パスの変動を定量的に評価することができる。その解析結果を図-2に併記している。同図より、NY市のRC床版の寿命は交通量により30年から45年まで変動することが読み取れる。このような劣化予測結果を用いることによって、ライフサイクル費用を算出することが可能となり、5年から10年といった長期の維持管理計画を立案することができるようになる。現在では、すでに個々の橋梁部材に対応したミクロな劣化予測手法、観測誤差を考慮した劣化予測手法や、複数の劣化事象が相互に影響を及ぼすような劣化予測手法など、数々の統計的劣化予測手法の開発を手掛けている。

### 参考文献

- 1) 貝戸清之, 小林潔司: ビッグデータによるインフラマネジメント: アセットメトリクスにむけて, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 土木学会, Vol.70, No.5, pp.I\_21-I\_30 (2014)
- 2) 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.68-82 (2005)
- 3) 小濱健吾, 岡田貢一, 貝戸清之, 小林潔司: 劣化ハザード率評価とベンチマーキング, 土木学会論文集 A, Vol.64, No.4, pp.857-874 (2008)
- 4) 水谷大二郎, 小濱健吾, 貝戸清之, 小林潔司: 社会基盤施設の多面的劣化過程モデル, 土木学会論文集 D3, Vol.72, No.1, pp.34-51 (2016)