

各種パラメータを考慮した BMS の感度解析に関する研究

Study of Sensitivity analyses on BMS in consideration of damage level, length of life, UC and the value of bridges.

北海学園大学 ○正会員 小幡 卓司 (Takashi Obata)
 苫小牧工業高等専門学校 正会員 松尾 優子 (Yuko Matsuo)
 北海道土木設計 (株) 正会員 和田 隆宏 (Takahiro Wada)

1. まえがき

わが国における交通社会資本は、いわゆる高度成長期に多数建造された構造物が供用後 50 年を超えつつあり、これらの構造物の長寿命化対策を効率的に行うことが喫緊の問題となっている¹⁾。橋梁構造物においては、国土交通省の橋梁点検要綱など、近接目視を行い、竣工後あるいは現時点から 100 年程度の供用を目指し、5 年サイクルで全橋梁の点検を実施して予防保全も含めた維持管理・補修補強を行うことが基本方針となっている^{2~4)}。しかし、橋梁点検では橋の変状はわかるが、それが具体的に橋梁の寿命を何年低下させるかは、筆者らの知る限りにおいては明確には示されていない。また、LCC の解釈が、割引率を無視した単年度の維持管理や補修補強費用になっており、輸送路線の寿命に応じて、200~300 年の長期間にわたって考慮すべきものなのか判然としない面を含んでいるなど、補修順位決定には更なる研究が必要と思われる。

以上より、筆者らの一部では、損傷度評価による橋梁構造物の現状把握、信頼性理論に基づいた劣化予測、道路の供用期間を 200 年、橋梁の寿命を 100 年程度とした LCC、ならびに対象橋梁が通行不能になった場合の迂回損失便益としての UC、橋梁の現在価値をパラメータとした BMS の開発を行ってきた¹⁾。この手法を用いて、どのパラメータが支配的であるか感度解析を実施し、比較検討を行ったのでここに報告するものである。

2. 包絡分析法 (DEA) を用いた

橋梁維持管理システム (BMS)

効率的な橋梁維持管理を行うためには、対象橋梁群を評価するためのパラメータの選定が非常に重要である。通常では、現状の損傷状態の他にも、今後予測される劣化状況や LCC・UC のような経済面など、その判断材料となるものは様々な存在すると考えられている。本研究では、維持管理の重要な判断材料になると考えられるパラメータを設定し、包絡分析法 (以下、DEA と称す) を用いて、実際の橋梁台帳に基づいた橋梁群における補修優先順位を算定した。DEA とは同種の入出力関係を有する複数の事業体、活動などに対して、比率尺度を用いて効率性を比較する方法であり、最も高い効率性を有する活動を基準とした効率値と、効率性が劣った活動の入出力の改善案が結果として得られる手法である⁵⁾⁶⁾。

本研究においては、維持管理マネジメントの判断材料として、目視点検に基づいた損傷を階層分析法(AHP)で数値化し、信頼性解析による余寿命、路線の寿命を 200 年、その中で維持管理と 2 回の架け替えを行なって社会的割引率 4% を考慮した LCC、周辺の交通流解析から求められる UC、同一の橋梁を建設するとして、その材料費をベースとした橋梁の現在価値を算出し、これらをパラメータとすることで DEA 解析を実施して各橋梁の効率性にに基づいた BMS を構築した。図-1 に本研究で用いた BMS の概念を示す。

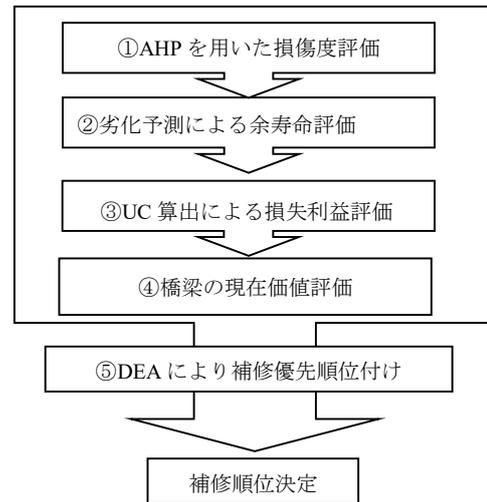


図-1 BMS の概念

3. 要素解析技術と感度解析

本研究では BMS のパラメータとなる損傷度、余寿命、UC の各要素を、以下のように算出した。

まず、現況の損傷度評価は、階層分析法(AHP)を用いた⁷⁾。AHP は様々な問題の意志決定を行う手法であり、評価基準を階層構造化して取り扱い、比率尺度で評価する。本研究では、旧土木研究所による「橋梁点検要領(案)」等に基づいて階層図を作成し、道路管理者・実務技術者の計 80 名を対象に、アンケート調査を実施して一対比較を行った。その結果から橋梁点検データに基づいて得られた総合ウエイトを、損傷度として扱うこととした²⁾。

劣化予測による余寿命の推定は、経年変化による構造物の劣化度を求めることにより、橋梁構造物が機能停止に至るまでの寿命を推定するもので、信頼性理論を用いて解析を行った。劣化を生じさせる原因としては、鋼材の腐食に着目し、構造物の耐力の経年劣化を求めた¹⁾。また、UC 算出は、交通ネットワークモデルを構築し、その中に含まれる橋梁が通行不能になった際のノード間における損失時間を算出し、これに時間価値を乗ずることで金額に換算して用いることとした。橋梁の再建設費用は、現在において対象となる橋梁を再建設する際に、全く同様の形式で再建設するために必要な材料のボリュームを求め、これを金額に換算することにより、現在における橋梁の価値として評価した。感度解析については、比較すべき橋梁 (本研究では 6 橋) の、例えば損傷度を 1 橋だけ大きくし、他の橋梁はその 1/2 から 1/4 程度として解析を繰り返し、最も影響の大きいパラメータを見つけていくこととした。計算回数は 1 つのパラメータに対し、6 回繰り返すことで、合計 144 回の計算を行った。

4. 解析結果とその考察

前述の通り、解析対象とした橋梁モデルは6橋であり、いずれも RC 床版を有する鋼板桁橋を想定した。感度解析を行ったパラメータは、損傷度、UC、余寿命、橋梁の現在価値である。LCC は、考え方の相違で大きく異なるため、あえて比較対象とはしなかった。図-2 に感度解析の結果を示す。ここで、グラフの縦軸は BMS の解析結果であり、数字が小さいほど補修順位も上位になる。横軸は解析ケースであり、(a)における「xy01」では、A 橋のパラメータに対して、他の橋梁のパラメータを2倍に設定したことを表している。

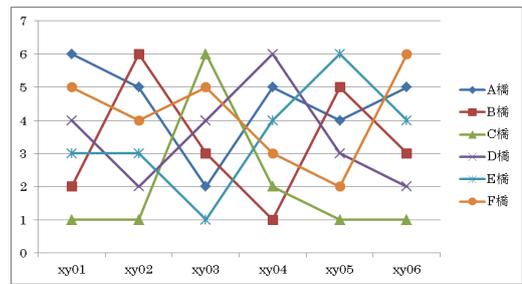
図-2 に着目すると、(a)の損傷度による変動が非常に大きく、補修優先順位は損傷度に準じている結果となっている。損傷度の感度解析においては、各橋梁の損傷度が2倍に設定された際にグラフの縦軸が最大値、すなわち補修順位が最下位になっており、際立って影響度が高いことがわかる。他のパラメータを2倍に設定しても、UC に関して一部順位が逆転しているだけで、余寿命、橋梁の現在価値においては、全く順位変動が生じないことが判明した。UC や余寿命などにおいても、4 倍程度まで変化させれば相応の順位変動が見られるが、例えばある橋梁の余寿命が 20 年とすれば、他の橋梁は 5 年となり、全く現実的ではない。また、UC に関しては若干の変動が生じているが、例えば北海道では、十勝川・石狩川などの流域で、場所によってはある地区を結ぶ橋が通行止めになれば、迂回距離が 50km 以上になるケースもあり、都市部以外で UC をパラメータとすること自体がナンセンスである。よって、今回の解析結果では、損傷度が補修順位決定に支配的な要素であり、他の要素は解析的に考慮する意味が低いと考えられる結果が得られた。

仮に損傷度だけを考慮するならば、橋梁部材の損傷ランクの積み重ね、すなわち足し算で補修順位の計算が可能となり、Excel ベースでの簡便な BMS が構築可能であると考えられる。本研究においても、道路橋に関する基礎データ収集要領(案)³⁾に準拠し、Excel による損傷ランクを積み重ねるシートを作成し、市町村で実施された文献 3)に基づいた実際の点検データを入力したところ、現実の損傷状況と矛盾しない結果を得ることができた。これらの結果から、Excel ベースで損傷度の積み重ねによって暫定的な順位付けを行って、後は予算(狭義の LCC)、路線の区分などを加味することにより、有意なバックデータに基づいた補修順位決定が行える可能性を有することが判明した。本手法は、ある程度の橋梁の維持管理に関する知識を有する人ならば容易に扱うことが可能であり、点検データの活用で補修順位の決定を支援できるシステム構築に資する知見が得られた。

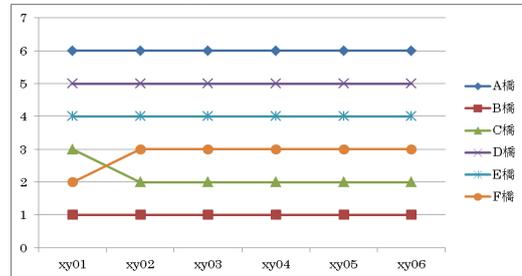
5. あとがき

以上のように、本研究では各種パラメータを取り扱える BMS を用いて、感度解析を行うことにより、補修順位に大きく寄与するパラメータを特定し、それに応じた簡便な補修順位支援を行なえる手法について検討を加えたものである。

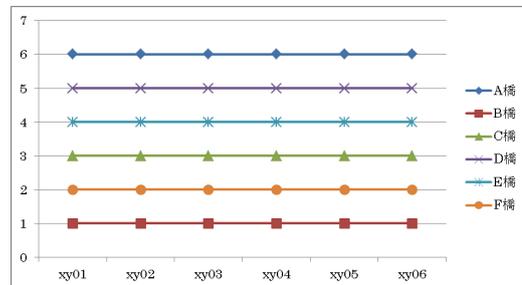
解析結果からは、今回取り扱ったパラメータのうち、補修順位に対して損傷度が突出して高い影響を及ぼすことが判明した。他のパラメータの影響はあまり小さくなく、解析的に考慮する必要性が少ないものと考えられ、簡便かつ実用的な補修順位支援プログラムの開発は、ある程度容易に行えるものと判断できる結果が得られた。



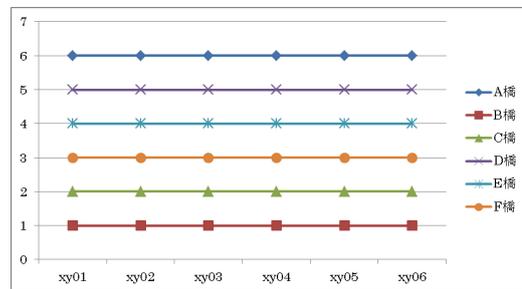
(a) 損傷度



(b) ユーザーコスト



(c) 余寿命



(d) 橋梁の現在価値

図-2 感度解析結果

【参考文献】

- 1) 小幡卓司：橋梁の損傷度・余寿命および UC と再建設費用を考慮した BMS 構築に関する研究，土木学会論文集 A, Vol 64, 2008.6, pp.488-501.
- 2) 橋梁点検要領，国土交通省道路局，平成 26 年 6 月。
- 3) 道路橋に関する基礎データ収集要領(案)，国土技術政策総合研究所，平成 19 年 5 月。
- 4) 橋梁点検・維持管理要領，北海道建設部土木局道路課，平成 27 年 5 月。
- 5) 刀根薫：経営効率性の測定と改善 一包絡分析法 DEA による一，日科技連出版社，1993
- 6) 今野浩：線形計画法，日科技連出版社，1987.
- 7) 小幡卓司，井田俊輔，宮森保紀，林川俊郎，佐藤浩一：橋梁点検データと意識調査に基づいた劣化順位決定手法に関する一考察，構造工学論文集，Vol50A, pp.675-684, 2004.