各種パラメータを考慮したBMSにおける感度解析について

北海学園大学　正会員　○小幡　卓司
宮地エンジニアリング（株）　　丹生谷　祥平
苫小牧工業高等専門学校　正会員　　松尾　優子
北海道土木設計（株）　正会員　　和田　隆宏

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吃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，原則として近接目視を行い，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，それが物理的，具体的に橋梁の寿命を何年低下させる損傷なのかは，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，道路分類に関しても，重要度は緊急輸送路のランクが1番となっており，陸の孤島化を招く可能性などには言及されていない．さらに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なのか，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，対象となる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，今後の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存在すると考えられている．そこで本研究では，橋梁維持管理の判断材料と思われるものをパラメータに設定し，包絡分析法（以下，DEAと称す）を用いて，仮定した橋梁群における補修橋梁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，製品などに対して，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に関する入出力の改善案が結果として得られる手法である[5),6)]．

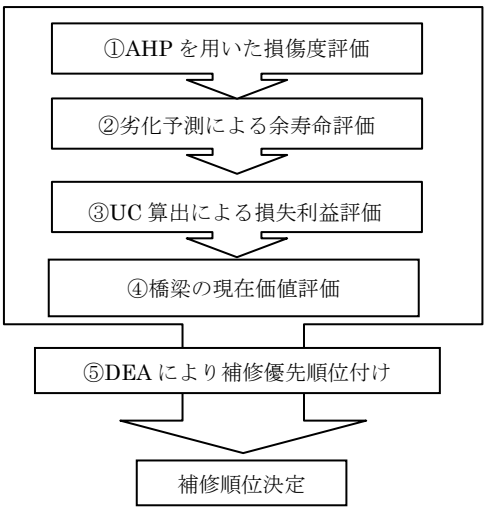


図-1　BMSの概念

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，現状の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，同一の橋梁を現在架設するとして，その材料費をベースとした橋梁の現在価値をそれぞれ算出し，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．

３．要素解析技術と感度解析

本研究ではDEAを用いた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．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)]．

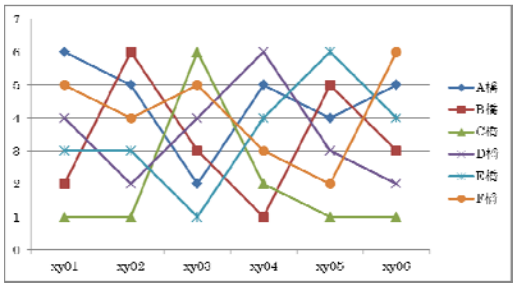
劣化予測による余寿命の推定は，経年変化による構造物の劣化度を求めることにより，橋梁構造物が機能停止に至るまでの寿命を推定するもので，信頼性理論を用いて解析を行った．劣化を生じさせる主な原因としては，鋼材の腐食に着目し，構造物の耐力の経年劣化を求めた[1)]．また，UC算出は，交通ネットワークモデルを構築し，その中に含まれる橋梁が通行不能になった際のノード間における損失時間を算出し，これに時間価値を乗ずることで金額に換算して用いることとした．橋梁の再建設費用は，現在において対象となる橋梁を再建設する際に，全く同様の形式で再建設するために必要な材料のボリュームを求め，これを金額に換算することにより，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1/10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ることとした．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．

キーワード　BMS，損傷度，余寿命，LCC，UC，橋梁の現在価値，感度解析
連絡先　〒064-0926　札幌市中央区南26条西11丁目1-1　北海学園大学工学部　TEL：011-841-1161

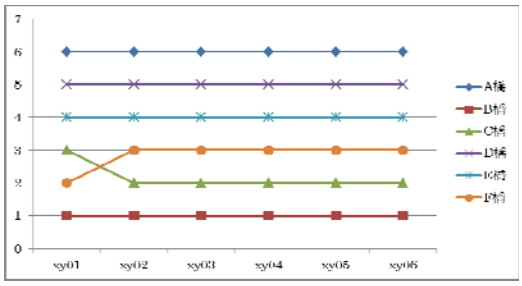
４．解析結果とその考察

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 床版を有する鋼鈑桁橋を想定した．設定した主な緒元は，支間長や主桁断面等の設計情報，供用年数および現時点での損傷状況，本線と迂回路の交通量データである．これらのデータから，まず損傷度の算定，余寿命の解析と UC と再建設費用の計算を行い，この 4 者のパラメータを DEA における感度解析の対象とした．LCC は，考え方の相違で大きく異なるため，あえてここでは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，数字が大きいほど補修順位も上位になる．横軸は解析ケースであり，例えば(a)における「xy01」では，A 橋の損傷度を他の橋梁の 10 倍程度に設定したことを表している．

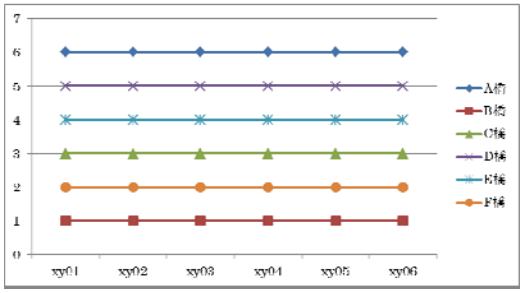
図-2 に着目すると，(a)の損傷度による変動が非常に大きく，補修優先順位は損傷度に準じている結果となっている．損傷度の感度解析においては，各橋梁の損傷度が 10 倍に設定された際にグラフの縦軸が最大値，すなわち補修順位が 1 位になっており，他のパラメータに比して際立って影響度が高いことがわかる．他のパラメータについては，UC に関して一部順位が逆転しているだけで，余寿命，橋梁の現在価値においては，全く順位変動が生じないことが判明した．したがって，本研究の解析結果を見る限りにおいては，損傷度が補修順位決定に支配的な要素であり，他の要素はほとんど考慮する必要がないと考えられる結果が得られた．UC 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，場所によってはその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．余寿命や現在価値は，大きく変動させても差異は生じないことから，補修順位決定には影響しないと判断できる．仮に損傷度だけを考慮するなら，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 ベースでの簡単な 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，現実の補修順位に矛盾しない結果を得ることができた．これらの結果から，とりあえず 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．



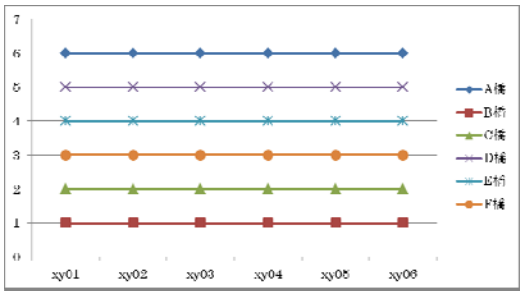
(a)　損　傷　度



(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

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内，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非常に小さく，無視できるものと考えられ，簡便な補修順位支援プログラムの開発は，容易に行えるものと判断できる結果が得られた．

【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　ー包絡分析法 DEA によるー，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.