社会的サービス効果を考慮した橋梁の維持管理計画手法に関する研究

○北見工業大学　正会員　三上　修一　　㈱　長　　大　正会員　向井　隆行
北見工業大学　フェロー　大島　俊之　　北見工業大学　正会員　山崎　智之
ズコーシャ　　正会員　高田　直幸

1. はじめに

近年，橋梁の維持管理において地震などの災害時におけるユーザーコストを考慮したライフサイクル評価に関する研究が活発に行われ[1]，道路利用者の視点がより重視されるようになってきた．そこで本研究では，これまで筆者らが維持管理水準として用いてきた橋梁健全度指数（Bridge Health Index，BHI）[2]のような資産的評価値とともに，物流におけるサービス効果などの社会的評価値を考慮した補修優先度指数を用いた維持管理計画手法について検討する．ただし，補修優先度指数における各評価値の重み付けには管理者の主観的な判断が伴うことから，包絡分析法（Data Envelopment Analysis，DEA）による客観的な評価結果と比較することで合理的な重みを提示し，管理者の政策決定を支援することを主な目的としている．

2. 橋梁の資産的評価[2]

本研究では，現時点で同様の機能を有する橋梁を再建設する場合に要する経費として初期資産（建設費）を評価する．これは，全ての部材が健全な状態（建設当初）の橋梁全体の建設費と同義である．そして，橋梁点検で得られる各部材の損傷度ランクに応じて比例的に変化させた損傷係数を資産価値の低下率と見なして初期資産を割引し，部材に損傷を有する状態の現在資産を評価する．また，初期資産に対する現在資産の百分率を橋梁健全度指数（BHI）と定義し，各橋梁の維持管理水準に採用する．

3. 橋梁の社会的評価

1）迂回による社会的損失

道路ネットワークに点在する橋梁群が被害を受けて通行不能となった場合，道路利用者が迂回することにより走行経費の損失が発生する．走行経費は，走行時間費用と走行費用の合計とし，当該路線の交通量を用いて計算する．そして，通常路および迂回路における走行経費の差分を損失走行経費（ユーザーコスト）として算定する．

2）物流におけるサービス効果[3]

ユーザーコストとは別に地域相互間の輸送量を用いて，橋梁上を通過する物資およびトラック燃料費等の貨幣価値を物流におけるサービス効果として評価する．輸送量は地域における市町村毎の産業別生産額および商品販売額に応じて搬入出量として振り分けた．また，発着地は便宜的に各市町村の役場と仮定し，各役場間の輸送ルートは電子地図における一般優先ルートと仮定した．以上より算定される市町村毎のサービス価値を輸送ルートに沿って各橋梁に分配する．分配の方針は同じ市町村内の橋梁群には同等の価値を与え，その後は輸送ルートに沿って市町村毎のサービス価値を加算した．

4. 複数のパラメータを考慮した補修順位決定法

1）補修優先度指数

前述した橋梁の資産的評価および社会的評価における各パラメータを以下のように基準化し，各評価値に任意の重みを付けて補修優先度指数を評価する．ただし，資産的評価値では橋梁の規模が大きいほど多額の補修費が必要となることを考慮し，LCC 低減の観点から物理的劣化度を初期資産（建設費）の規模で割増した．また，社会的評価値では物流におけるサービス効果が大きいほど迂回による社会的損失が増大するものと考え，ユーザーコストをサービス価値の規模で割増した．なお，各評価値の重みは管理者の政策判断に基づき，任意に設定する．

$$P = w_A P_A + w_U P_U \tag{1}$$

$$P_A = \left(1 + \frac{A_i}{A_a}\right)\frac{\Delta A_i}{A_i},\quad P_U = \left(1 + \frac{S_i}{S_a}\right)\frac{\Delta C}{C_u} \tag{2}$$

ただし，P：補修優先度指数，P_A：資産的評価値，w_A：資産的評価値の重み，P_U：社会的評価値，w_U：社会的評価値の重み，A_i/A_a：資産規模（i 橋の初期資産／開発建設部毎の平均初期資産），ΔA_i：i 橋の損傷による減少資産，S_i/S_a：サービス係数（i 橋のサービス価値／開発建設部毎の平均サービス価値），$\Delta C/C_u$：迂回係数（迂回による損失走行経費／通常路走行経費）

2）DEA 解析[4]

DEA は，投入（入力）に対する産出（出力）の比から各事業体の効率性を求める手法であり，D 効率値という指標で評価される．基本的に入力が小さく，出力が大きいものが効率的と判断されるため，1 入力 3 出力（入力 : BHI，出力 1 : 資産規模，出力 2 : 迂回係数，出力 3 : サービス係数）を設定し，CCR モデルで解析した．

キーワード：橋梁の維持管理（BMS），橋梁健全度指数（BHI），補修優先度指数，サービス効果，包絡分析法（DEA）
連絡先（北海道北見市公園町 165 番地　北見工業大学　TEL：0157-26-9485　FAX：0157-23-9408

目的関数：$\max \theta_i = \sum_{s=1}^{n} u_s y_{si} \Big/ \sum_{r=1}^{m} v_r x_{ri}$　　(3)

制約条件：$\theta_i \le 1$，$v_r \ge 0$，$u_s \ge 0$　　(4)

ただし，θ_i：D 効率値，x_{ri}：入力パラメータ，y_{si}：出力パラメータ，v_r：入力の重み，u_s：出力の重み，m=1，n=3

3) 実橋データに基づく各評価法の比較・検証

ここでの補修優先度指数, DEA 解析は北海道の 1 開発建設部において各評価値のデータが揃っている橋長 15m 以上の国道橋 235 橋を対象とし，物流のサービス効果は北海道 7 地域相互間の輸送量を用いて補修順位をつけた．補修優先度指数では各評価値の重みを各々0.1～0.9 まで 0.1 刻みで相互に変化させた 9 ケース[(Case1－w_A=0.9, w_U=0.1), (Case2－w_A=0.8, w_U=0.2), ･･･, (Case9－w_A=0.1, w_U=0.9)］と DEA 解析による補修順位を求め, 各評価値の比較を行った．**図-1, 2** は資産的評価の重みが高い Case と社会的評価の重みが高い Case 代表的な結果, **図-3** は DEA 解析から得られた結果で, 補修順位の上位 30 橋に対する各評価値を表わしたグラフである．図の左縦軸は DEA 解析に用いた出力パラメータ，右縦軸は入力パラメータを示している．**図-1, 2** では管理者が重視した評価値のパラメータが高く評価されていて，平均的にも評価値が高い橋梁群となった．それに対して**図-3** の DEA 解析では 1 個でも高い評価値があれば総合的にも高く評価される傾向にあり，順位毎に諸数値の大小が交互に現れている．

一方，橋梁健全度指数（BHI）が高い水準を維持している場合でも，特に社会的評価値が著しく大きければ上位にランクされており，これらの橋梁には予防保全的対策が必要であることを数値として裏付けている．したがって，今後増えていくと思われる予防保全型の維持管理において本手法が有効的に活用されることが期待できる．

図-4 に補修優先度指数の各 Case と DEA 解析の補修順位との相関係数を示す．この結果から Case3, 4 の優先度順位が客観的に評価される DEA 解析の順位と比較的高い相関性が見られる．ことからから Case3, 4 の重みが合理的であると判断できるとともに, DEA では資産的評価グループのパラメータが多少重視される傾向にあることが推察される．

5. まとめ

本研究で得られた結果を以下に要約する．

(1) 物流における橋梁サービス価値の評価法を検討し，総合的な補修順位に反映させることができた．

(2) 今回の対象橋梁群には，補修優先度指数における各評価値の重みが 7 対 3（Case3），もしくは 6 対 4（Case4）の比率で維持管理することが合理的である．

(3) 物理的劣化度以外に社会的評価値が考慮されることで BHI が高い橋梁に対する予防保全の必要性が高まる．

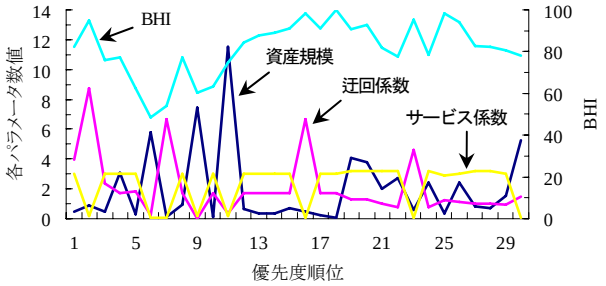

図-1　Case3 補修優先度指数上位 30 橋の各評価

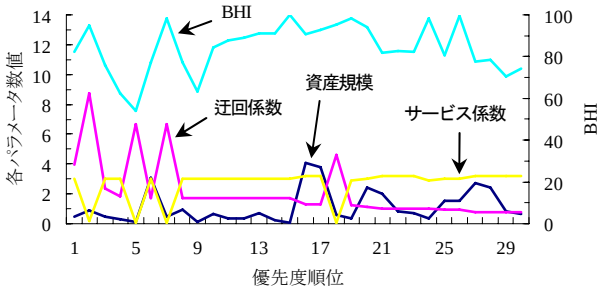

図-2　Case7 補修優先度指数上位 30 橋の各評価

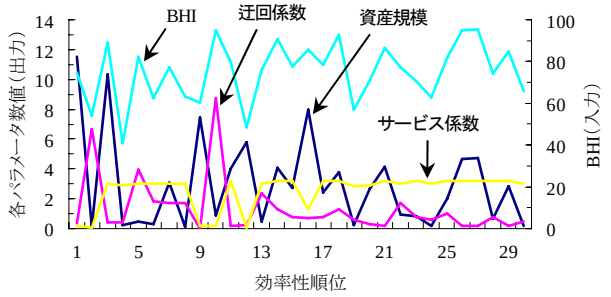

図-3　DEA 解析上位 30 橋の各評価値

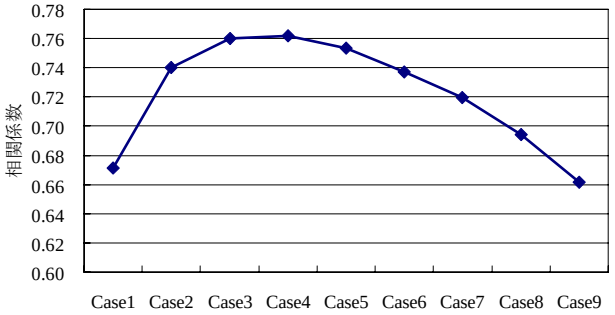

図-4　優先度順位と DEA 順位の相関係数

参考文献

1) 杉本博之，首藤論，後藤晃，渡邊忠朋，田村亨：北海道の橋梁のユーザーコストの定量化の試みとその利用について，土木学会論文集，No.682/ I -56，pp.347-357，2001.

2) 大島俊之，三上修一，丹波郁恵，佐々木聡，池田憲二：橋梁各部材の資産的評価と橋梁健全度指数の解析，土木学会論文集，No.703/ I -59，pp.53-65，2002.

3) 財団法人運輸政策研究機構：貨物・旅客地域流動調査, 2004.

4) 小幡卓司，佐藤圭太：各種パラメータを考慮した BMS における超包絡分析法の適用性，土木学会北海道支部論文報告集，第 63 号，A-2，2006.