第Ⅰ部門　　各種パラメータを考慮した橋梁マネジメントシステムに関する一考察

大阪府立工業高等専門学校　正会員　小幡　卓司

１．まえがき

わが国における交通社会基盤施設の年齢は，壮年期を迎えつつあると言われており，これらの老朽化はこのまま無対策で経緯すれば急速に進むことが予測されている[1)]．よって，今後は維持管理を強化し，必要に応じて補修を行うことにより橋梁の長寿命化を目指すことが重要であるが，効率的・効果的な橋梁構造物のマネジメントのためには，構造物の損傷状態や様々な要因による今後の劣化状況の把握などの技術的な面の他，LCC などの経済的な面も含めて，それぞれ異なる物理量で表現される判断要因となるものを考慮する必要があると考えられる．

本研究では，鋼橋を対象として，損傷度評価による現状把握，信頼性理論に基づいた劣化予測，対象橋梁のユーザーコスト（UC），ならびに橋梁の現状における価値として再建設費用を算出し，これらの異なるパラメータを包絡分析法（Data Envelopment Analysis, DEA）を適用して解析することにより，補修優先橋梁の選定が行えるような手法に関して基礎的な検討を行うことを目的とする．具体的には，ある管理管内におけるいくつかの橋梁群を仮定し，各橋梁の点検データに対する AHP を用いた現在の損傷度評価，信頼性理論に基づいた劣化予測による余寿命，また，交通ネットワークモデル解析を用いたユーザーコストの算出，ならびに橋梁のボリュームレベルを基準とした現在での初期投資額を再建設費用とし，これらのパラメータに対して DEA 解析を実施することで橋梁維持管理計画におけるその適用性および有効性等に関して検討を加えたので，ここに報告するものである．

２．解　析　手　法

(1)　DEA を用いた橋梁維持管理システム（BMS）

本研究では，鋼橋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，製品等に対して，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．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度，信頼性解析による余寿命，周辺の交通量データから求められるユーザーコストをそれぞれ算出し，それらをパラメータとすることで DEA を用いた解析を実施して各橋梁の効率性と改善案を算出した．

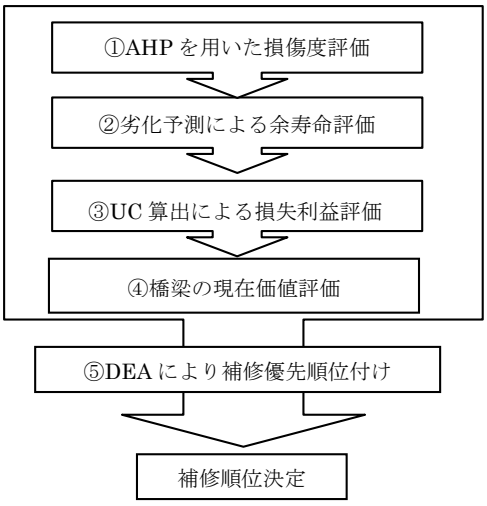

図-1　BMS 全体像

(2)　要素解析技術

本研究では DEA のパラメータとなる損傷度，余寿命，ユーザーコストの各要素を，以下のように算出した．

まず，現況の損傷度評価に関しては，階層分析法（AHP）を用いて行うこととした．AHP は様々な問題の意志決定を行う手法のひとつであり，「問題」・「評価基準」・「代替案」の関係を階層構造化して取り扱う．この階層構造の各項目に対し一対比較を実施して，各々の重要度を算出し，個々の代替案における各ウエイトの積を求めることにより，比率尺度による評価を行うものである．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．その結果から個々の要素におけるウエイトを計算し，最終的な総合ウエイトを全体の幾何平均を求め，現状の橋梁点検データを入力することにより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．本研究では，耐力や荷重の平均値と分散を用いて，信頼性指標 β を求める二次モーメント法によって構造物の劣化予測を行うこととした．ここでは，解析で得られた β による劣化曲線において，許容信頼性指標 β*を下回る年数から現時点までの供用年数を引いたものを，対象となる鋼橋の余寿命と定義した．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[3)]．なお，β*は各種の文献を参考に，3.72 に設定した．

また，本研究におけるユーザーコスト算出は，本来，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[4)]．

さらに，橋梁の再建設費用は，現在において対象となる橋梁が何らかの要因で再建設が必要になった場合，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，現在においてその橋梁が有する価値を評価することとした．

Takashi OBATA

表-4　DEA 解析結果

橋梁 No.	補修優先順位	D 効率	スラック解		入力データ		改善案	
					単位	値	効率値	差
A	6 位	1.0000	余剰	0.0000	損傷度	0.011	0.011	0.000
			不足	0.0000	現在価値	20.14	20.14	0.000
			不足	0.0000	ユーザーコスト	284.06	284.06	0.000
			不足	0.0000	余寿命	23	23.00	0.000
B	1 位	0.1528	余剰	0.0000	損傷度	0.097	0.0148	-0.0822
			不足	5.06	現在価値	220.85	84.40	-13.65
			不足	189.23	ユーザーコスト	193.63	218.82	25.18
			不足	0.0000	余寿命	31	31.00	0.000
C	2 位	0.2911	余剰	0.0000	損傷度	0.046	0.0134	-0.0326
			不足	8.295	現在価値	16.23	13.02	-3.21
			不足	130.20	ユーザーコスト	215.61	192.96	-22.65
			不足	0.0000	余寿命	28	28.00	0.000
D	5 位	0.7726	余剰	0.0000	損傷度	0.026	0.020	-0.006
			不足	16.70	現在価値	20.09	32.22	12.13
			不足	343.32	ユーザーコスト	175.40	478.83	313.44
			不足	0.0000	余寿命	42	42.00	0.000
E	4 位	0.4065	余剰	0.0000	損傷度	0.040	0.0162	-0.0237
			不足	14.67	現在価値	15.11	20.81	5.70
			不足	144.72	ユーザーコスト	275.20	256.58	-18.62
			不足	0.0000	余寿命	34	34.00	0.000
F	3 位	0.3471	余剰	0.0000	損傷度	0.062	0.0215	-0.0405
			不足	20.21	現在価値	19.21	26.87	7.667
			不足	328.30	ユーザーコスト	227.47	407.25	179.78
			不足	0.0000	余寿命	45	45.00	0.000

３．解析結果とその考察

本研究における橋梁の維持管理手法について，その適用性を検討するため，ある橋梁群についてその構造緒元，立地条件や損傷等を仮定して，それらの補修順位決定のために DEA による解析を実施する．

本研究において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である．対象橋梁の損傷状態として仮定したものを表-2 に示す．なお表中の下部工の損傷での A は橋台を，P は橋脚である．今回仮定した鋼橋群のモデルは，一般国道等に架かる中規模の橋梁を想定し，道路橋示方書（平成 14 年改訂版）に基づき試設計を行った．

上記のように算定された 4 種類のパラメータにおいて損傷度を入力とし，出力はユーザーコスト，余寿命および現在価値に設定して，DEA による解析より得られた D 効率値の低い橋梁から改善の必要な橋梁と順位付けた．解析結果を表-4 に示す. 今回の解析結果では全橋を通じて, 損傷度が大きい橋梁が補修順位の上位にくる傾向が強く，よって改善案として損傷度を小さくする案が全体的に他のパラメータを改善するよりも効果的であるという結果が得られた．また，損傷度が比較的小さくても，ユーザーコストの値も大きければ，D 効率の値も高くなっていたことから，ユーザーコストもパラメータとして重要な評価要素のひとつであると考えられる．

４．あとがき

以上のように，本研究では AHP を用いた損傷度評価，信頼性理論に基づいた劣化予測による余寿命の推定，ユーザーコストならびに現在価値の算定を行い，それらのパラメータに対し DEA 解析を実施することで，橋梁維持管理計画における意思決定支援への適用性および有効性等に関して考察を加えたものである．

解析結果からは，現状での損傷度が大きい橋梁ほど補修順位が高くなる傾向が確認され，また，ユーザーコストが大きい場合にも D 効率が上昇することから，これも維持管理における重要なパラメータであると考えられる．今後の予定としては，例えば最も効率性の劣る橋梁のパラメータを変化させて感度解析を行い，各パラメータ毎の影響を検討する必要がある．さらに，実際の道路ネットワークのデータを用いた解析を行って，本研究の実用性・有効性等の検証を実施することが重要であると思われる．

【参考文献】

1) 西川和廣：道路橋の寿命と維持管理，土木学会論文集，No.501/I-29，pp.1-10，1994.　2) 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.　3) 小幡卓司，倉戸亮，林川俊郎，佐藤浩一，井田俊輔：鋼橋の劣化度予測における信頼性解析の適用について，土木学会北海道支部論文報告集，第 60 号，pp.258-261，2004.　4) 杉本博之，首藤諭，後藤晃，田村亨：橋梁のユーザーコスト算定に関する一考察，土木学会北海道支部論文報告集，第 56 号，2000，pp.282-287.