

橋梁の健全度・余命とユーザーコストを考慮したマネジメントシステムに関する基礎的検討

北海道大学大学院工学研究科 正員 小幡卓司
 中央コンサルタント(株) 正員 井田俊輔
 北海道大学工学部土木工学科 学生員 倉戸 亮
 北海道大学大学院工学研究科 F会員 林川俊郎
 北海道大学大学院工学研究科 F会員 佐藤浩一

1. まえがき

わが国における交通社会資本の整備は、昭和40年～50年代のいわゆる高度経済成長期に数多く行われ、それから約30年経った今日では、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、これらの構造物の老朽化は、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。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を行っていくためには、その構造物の損傷状態や様々な要因によって予測され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考えられる。

以上より、本研究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、ならびに対象橋梁のユーザーコストを算出し、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、各橋梁に対するAHPを用いた現在の損傷度評価²⁾、信頼性理論に基づいた劣化予測による補修を考慮しない場合の各橋梁の余寿命³⁾、また、周辺の交通状況等からユーザーコストを算出し⁴⁾、こ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. 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・ユーザーコスト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^{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、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。

3. 要素解析技術

本研究では補修橋梁選定にDEAを適用するにあたり、そ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それぞれ以下のように算出した。

まず、現状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²⁾。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^{7),8)}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。これらを用いて、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は全体の幾何平均を求めることで得るものである。このような手法を用いることで、現状の橋梁点検データを入力することにより、求めた総合ウエイトを損傷度として扱うこととした。

次に、劣化予測による寿命の推定は、経年変化による構造物の耐力劣化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余寿命を推定する。具体的には、信頼性理論と呼ばれる確率論的手法を用いて橋梁の劣化を推定し、余寿命を算出した。本研究では、耐力や荷重の確率密度関数は用いずに、これらの平均値と分散を用いて破壊確率 P_f に対応した信頼性指標 β を求める、いわゆ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。解析で得られた β による劣化曲線から、各橋梁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、対象となる橋梁の余寿命とした。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の推定を行った。

また、本研究におけるユーザーコスト算出は、本来、迂回路交通による走行時間の増加の評価以外にも、運輸交通にかかる経済評価、交通事故などの社会的評価等が含まれるが、ここでは最初の迂回路交通による走行時間の増加の評価のみを評価項目として考えて、そのコストを算出した⁴⁾。

キーワード 橋梁マネジメントシステム, 損傷度, 余寿命, 信頼性解析, ユーザーコスト

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

4. 解析結果とその考察

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。これらのデータは、道路橋示方書（平成14年改訂版）⁹⁾あるいは文献⁴⁾等を参考として仮定した。これらのデータから、まず損傷度の算定、余寿命の解析とユーザーコストの計算を行い、この3者をパラメータとしてDEAを適用して、補修優先順位の選定を試みた。表-1に補修優先順位等の解析結果を示す。

表-4 DEA解析結果

| 橋梁 | 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 | 5位 | 1.0000 | 余剰 | 0.0000 | 損傷度 | 0.011 | 0.011 | 0.000 |
| | | | 不足 | 0.0000 | ユーザーコスト | 380.589 | 380.589 | 0.000 |
| | | | 不足 | 0.0000 | 余寿命 | 23 | 23.000 | 0.000 |
| B | 1位 | 0.1561 | 余剰 | 0.0000 | 損傷度 | 0.097 | 0.015 | -0.082 |
| | | | 不足 | 0.0004 | ユーザーコスト | 143.904 | 143.904 | 0.000 |
| | | | 不足 | 0.0000 | 余寿命 | 31 | 31.000 | 0.000 |
| C | 3位 | 0.4177 | 余剰 | 0.0000 | 損傷度 | 0.046 | 0.019 | -0.027 |
| | | | 不足 | 0.0000 | ユーザーコスト | 1069.408 | 1069.408 | 0.000 |
| | | | 不足 | 3.38985 | 余寿命 | 28 | 31.390 | 3.390 |
| D | 5位 | 1.0000 | 余剰 | 0.0000 | 損傷度 | 0.026 | 0.026 | 0.000 |
| | | | 不足 | 0.0000 | ユーザーコスト | 1430.881 | 1430.881 | 0.000 |
| | | | 不足 | 0.0000 | 余寿命 | 42 | 42.000 | 0.000 |
| E | 4位 | 0.6739 | 余剰 | 0.0000 | 損傷度 | 0.040 | 0.027 | -0.013 |
| | | | 不足 | 0.0000 | ユーザーコスト | 1502.950 | 1502.950 | 0.000 |
| | | | 不足 | 10.11541 | 余寿命 | 34 | 44.115 | 10.115 |
| F | 2位 | 0.3523 | 余剰 | 0.0000 | 損傷度 | 0.062 | 0.022 | -0.040 |
| | | | 不足 | 0.0003 | ユーザーコスト | 475.663 | 475.663 | 0.000 |
| | | | 不足 | 0.0000 | 余寿命 | 45 | 45.000 | 0.000 |

表-1に着目すると、補修優先順位

は損傷度に準じている結果となっている。まず、B橋およびF橋の場合は損傷度が他に比してかなり大きく、ユーザーコストの大小や余寿命に関わらず、補修によって損傷度の低減が必要であることが改善案の結果から理解できる。C橋に関しても、補修を行うことが第一であり、寿命の伸延はわずかで良いことがわかる。それに対してE橋は、損傷に対する改善は少なくとも良いが、むしろ寿命の延長が効果的であるという結果が得られた。これはユーザーコストが最も大きいため、これを損なうことなく長期間安定的に交通需要を満たすことが改善案として有効であると考えられる。すなわち、ある程度の損傷の範囲内を維持できるのであれば、補修よりも例えば塗装等の通常のメンテナンスを十分に行い、長寿命化を目指すことが望ましいことを示すものであると思われる。また、A橋とD橋はD効率が1.0であり改善の必要はないが、その内容は大きく異なっている。A橋においては余寿命は短いものの、損傷度とユーザーコストの双方とも小さく、よってD効率が1.0となったものと考えられる。D橋では若干の損傷は有しているが、ユーザーコストが大きく寿命も比較的に長いので、交通需要を満たす方向性が示されると推定される。

以上の結果より、本研究の手法では、個々の橋梁の特性に応じた具体的な検討が可能となるものと思われ、補修優先順位の意思決定支援等の維持管理システムへの適用性を有するものと思われる。

5. 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による橋梁構造物の現状把握、信頼性理論に基づいた橋梁構造物の劣化予測による余寿命の推定およびユーザーコスト算出を行い、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プロセスへの適用性および有効性等に関して基礎的検討を加えたものである。

解析結果からは、異なる評価方法によって算出した補修の判断要因となる各種パラメータに対して、DEAを用いることで各パラメータの相違点を考慮した補修優先橋梁の選定も可能であることから、本研究の手法は維持管理システムへの適用の可能性を有していると考えられる。

また、今回は鋼橋を対象として損傷度、余寿命、ユーザーコストの3つをパラメータにDEAによる補修橋梁の選定を行ったが、補修を考える上でその優先順位に関与すると思われるパラメータは他にも考えられ、それらを考慮することで、技術的側面、経済的側面両方から判断した、より効率的で汎用的な橋梁補修の選定が行えるものと思われる。さらに、劣化予測あるいは現状の損傷度の算定等において、さらに高精度な解析手法を導入すれば、より有効なBMSの構築が可能になるものと推定される。

【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，濱木道大，林川俊郎，佐藤浩一，宮森保紀：鋼桁橋の維持補修計画支援におけるAHPの適用性について，鋼構造年次論文報告集，第8巻，pp.697-704，2000.
- 3) 井田俊輔，小幡卓司，倉戸亮，林川俊郎，佐藤浩一：橋梁の損傷度・余寿命とUCを考慮したBMS構築のための基礎的検討，土木学会北海道支部論文報告集，第60号，pp.232-235，2004.
- 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.
- 5) 刀根薫：経営効率性の測定と改善 - 包絡分析法DEAによる -，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) 建設省土木研究所：橋梁点検要項（案），土木研究所資料，第2651号，1998.
- 8) 北海道開発局道路維持課：道路橋の点検および補修・補強設計施工要領（案），1998.
- 9) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 共通編，鋼橋編，2002.