

大阪府立大学工業高等専門学校 総合工学システム専攻土木工学コース 学生員〇九里将太郎
 大阪府立大学工業高等専門学校 総合工学システム専攻土木工学コース 学生員 中西 宏貴
 大阪府立大学工業高等専門学校 総合工学システム専攻土木工学コース 正 員 小幡 卓司

1. はじめに

近年、人間の生産活動等による地球規模の環境破壊が大きな社会問題となりつつある。中でも地球温暖化は、全世界的な気候変動を引き起こし、現状における生物相を破壊する危険性を有する可能性があることから、1990年代から国際的な議論の対象となっている。現代においては、社会基盤施設整備に関しても、建設・維持管理から廃棄に至るまでのライフサイクル全般における環境負荷低減や、いわゆる 3R の努力を進めることが極めて重要であると考えられる。ここで、橋梁構造物に眼を向けると、これは上部構造と下部構造から構成された、鋼・コンクリートなどの材料を複合的に使用した構造システムと考えられる。橋梁は、上記のような主たる材料をはじめ、様々な橋梁形式が存在し、また、供用年数も現行の道路橋示方書では 100 年程度以上とされている。持続可能な社会の発展に向けて、温暖化の防止や資源の備蓄等、未来へ負の遺産を残さない配慮も今後の社会資本整備には必要であると思われる。

そこで本研究では、包絡分析法（以下、DEA と称す）および超包絡分析法（以下、SDEA と称す）を用いて、鋼の社会的資源ストックという概念を導入して 1 つの解析パラメータとして取り入れ、各種形式橋梁の順位付けに関する解析を行い、比較検討を通じて今後の社会資本整備の在り方について考察を加えるものである。

2. 鋼の社会的資源ストック

本研究では、上述の通り鋼の社会的資源ストックという概念を取り入れる。これは、鋼はリサイクル可能な有限の地下資源であるが、社会基盤構造物の長期間にわたる供用年数を考慮すれば、一般的なリサイクルの概念は当てはまらず、社会基盤構造物に使用された鋼が、資源として社会にストックされた状態と考えるのが妥当であると考えられる。リサイクル鋼は、バージン鋼に比して、CO₂ 排出量は 1/4 程度であり、将来再利用する際には大幅な温暖化ガス排出量の低減が見込まれる。よって本研究では、DEA および SDEA で解析を行う際に、鋼重をパラメータとして取り入れ解析を実施することとした。

3. 包絡分析法 (DEA) と超包絡分析法 (SDEA)

型式、寸法の異なる橋梁を比較し、順位付けするため、本研究では DEA および SDEA を用いる。まず DEA とは同種の入出力を持つ事象を、比率尺度を用いて効率性を比較する方法であり、解析的には 2 段階線形計画問題 (LP) に帰着する。DEA は最も効率の高い事象を基準として他を相対的に評価するため、多変数入力の際には図-1 のように効率性 (D 効率) が 1 となる事象をいくつか選出し、それをフロンティアラインとしてその他の事象の D 効率を求める場合がある。そこで本研究では、DEA で複数 D 効率値 1 となった場合、真の効率性の順位を決定するために、多変数入出力問題に対する SDEA の適用を試みる。

具体的には、D 効率値が 1 となる橋梁を順次削除し、その際の各橋梁の D 効率を計算して、削除しなかった場合の D 効率との絶対値の差を求め、その合計の変化量が最大になった橋梁を最も効率性が良い橋梁と判断することとした。

以上より、本研究では、現状における各種橋梁の環境負荷を確認するために、実在する様々な形式、橋長の異なる 10 橋梁について、ライフサイクル全体での CO₂ 排出量、LCC と鋼重を算出し、解析用データとして用いることとした。なお、橋梁の供用期間 (寿命) は、原価償却を考慮した場合 60 年程度、欧州では 70~80 年、我が国の現行示方書では 100 年程度以上となっており、交通量の差異、一般道や高速道等の違いもあり判然としないが、本研究では、1970 年代から現在まで供用が続けられ、今後も補修・補強で 75 年程度は十分に供用可能と判断し、その寿命を 75 年に設定した。

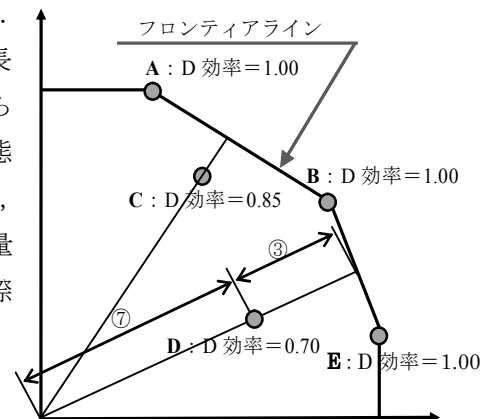


図-1 D 効率の求め方 (2 変数時)

表-1 DEA 解析結果

番号	名称	橋長(m)	CO ₂ 排出量 (tC)	LCC (千万円)	橋梁 (1 橋)	寿命 (年)	鋼重 (t)	D 効率
No.1	鋼ニールセン橋	118.0	3018	216.3	1.0	75.0	744	1.000
No.2	鋼ローゼ橋	118.0	3143	237.5	1.0	75.0	834	1.000
No.3	2 径間連続鋼床版箱桁橋	118.0	4155	265.7	1.0	75.0	958	1.000
No.4	3 径間連続鋼床版箱桁橋	118.0	4954	280.4	1.0	75.0	930	0.920
No.5	4 径間鋼連続非合成 I 桁橋(PC)	173.4	3781	249.3	1.0	75.0	897	1.000
No.6	4 径間鋼連続非合成 I 桁橋(RC)	199.7	3598	246.9	1.0	75.0	786	0.913
No.7	5 径間 4 主桁鋼 I 桁橋(RC)	210.0	3097	196.7	1.0	75.0	626	0.993
No.8	5 径間 2 主桁鋼 I 桁橋(PC)	270.0	3406	234.6	1.0	75.0	708	0.895
No.9	3 径間鋼床版箱桁橋	211.0	3872	275.7	1.0	75.0	908	0.928
No.10	3 径間 PC 橋	90.0	2007	96.7	1.0	75.0	69	1.000

No.5~No.8 の括弧内は床版の種類を示す。

4. 各パラメータの算出

実際に解析を行うための DEA の入出力の値を得るために、現在までに公開されている論文等¹⁾から、表-1 に示す橋梁群のデータを収集した。これに基づき、各橋梁の設計を検討し、鋼重、コスト、CO₂排出量の計算を行った。鋼重はデータが収集できたものはその値を直接使用し、明記されていないものは橋梁の断面に単位当たり鋼重を掛け合わせ算出した。No.1, 2 のアーチ系橋梁は、同形式の複数の橋梁を参考に鋼重を推定・算出した。本研究では、交通ネットワークの寿命を 200 年と仮定し、これに応じて橋梁のライフサイクルを考慮しているため、橋梁の供用期間や舗装などの寿命を考慮して、初期投資段階、維持管理段階、廃棄・架け替え段階に分割し、それぞれの段階における各パラメータを求めた。また、ライフサイクルコスト (LCC) は、社会的割引率を 4%として計算を行った。DEA および SDEA の入出力関係は、CO₂排出量と LCC が入力、橋梁 (1 橋)、寿命 (75 年) と鋼重を出力として取り扱うこととした。表-1 に、橋種毎のパラメータの値と DEA 解析結果を示す。

5. 解析結果とその考察

前述の通り、表-1 は各橋梁のパラメータと DEA による結果、表-2 は DEA および SDEA によって得られた順位付けの結果である。当初の予想通り、DEA では D 効率が 1 となる橋梁が多数出現した。これに対し、SDEA を用いることにより、厳密な順位付けが可能となった。なお、SDEA では DEA とは逆に 7 位の橋梁が多数存在するが、これは 7 位検討の際に対象橋梁の D 効率が全て 1 になったためである。今回は形式・支間の異なる橋梁を比較したが、本研究の結果を見る限りかなり妥当な結果となっており、橋長に対して適切な形式が選択・設計されていれば、環境負荷の検討が可能であると思われる。単に CO₂排出量とコストで橋梁を比較すると、PC 橋が非常に有利だが、コンクリートは架け替え段階で多くの産業廃棄物を出す可能性があり、鋼の社会的資源ストックを考慮すると、効率値には有意な差がなくなることが判明した。D 効率が 0.9 程度の鋼橋も、一部の部材にリサイクル材を用いるなどの対策を施せば効率性の改善は可能であり、200 年程度の長いライフサイクルスパンでは、鋼橋と PC 橋はほとんど差がないと考えられる。

6. おわりに

以上の結果から、本研究における DEA および SDEA による順位付けは妥当であると考えられ、解析に用いるパラメータを適切に選択することにより、環境負荷の小さい橋梁形式の選択、設計に大きな効果が期待できる。今回の解析では、鋼の社会的ストックという概念を取り入れたが、例えば、補修・補強や延命措置の難易度などをパラメータとして扱えることができれば、より厳密な解析が可能になるものと思われる。また、DEA と SDEA を目的に応じて使い分けを行えば、各種の問題に対して有効な順位付けを行うことが可能であり、入出力値の改善案も具体的に計算できることから、様々な意思決定支援問題に威力を発揮するものと考えられる。

【参考文献】

- 1) 例えば、米沢栄二，三輪恭久，中原勝也，中村俊一：CO₂発生量に着目した鋼橋の環境負荷，構造工学論文集 Vo1. 47A, 2001 年 3 月，土木学会。

表-2 DEA・SDEA の結果

No	順位	
	DEA	SDEA
1	1 位	1 位
2	1 位	2 位
3	1 位	4 位
4	4 位	5 位
5	1 位	3 位
6	6 位	7 位
7	2 位	6 位
8	3 位	7 位
9	5 位	7 位
10	1 位	7 位