

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○坂田 大樹

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 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 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っている。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。橋梁構造物は、主たる材料の相違や様々な橋梁形式が存在し、また、供用年数も、過去の道路橋示方書には記述がなかったが、現行では 100 年程度以上とされ、維持管理にも配慮するよう規定されている。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、未来へ負の財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考えられる¹⁾。

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、比較的新しい形式を含む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²⁾。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。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、スクラップとして輸出することもできる。そこで本研究では、DEA および SDEA で解析する際に、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。

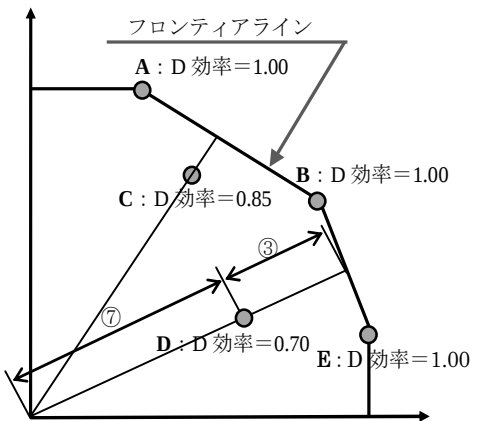


図-1 D 効率の求め方（2変数時）

3. 包絡分析法（DEA）と超包絡分析法（SDEA）

型式、橋長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 となる事象を複数選出し、それをフロンティアラインとしてその他の事象の D 効率を求める方法である³⁾。DEA では複数の事象が効率値 1 となる場合があるため、本研究では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。具体的な SDEA の解析は、D 効率が 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。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 15 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、現在の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、この 10 年程度の間に建設された橋梁を解析対象としたため、十分な維持管理を行うことで 100 年程度以上の供用は可能と判断し、その寿命を 100 年に設定した。

4. 各パラメータの算出

次に解析に用いる入出力パラメータ算出について述べる。本研究では、日本橋梁建設協会の橋梁年鑑データベースから表-1 に示す橋梁群を選定し、情報を収集した。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。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、橋梁のライフサイクルに関する資料を参考に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

表-1 橋梁の種類と DEA 解析結果

No.	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
1	波形鋼板ウェブ PC 橋	210.0	1042.0	23.70	1.0	100.0	356	0.845
2	波形鋼板ウェブ PC 橋	198.3	1180.7	36.73	1.0	100.0	391	0.812
3	波形鋼板ウェブ PC 橋	187.5	3101.8	56.95	1.0	100.0	1331	1.000
4	波形鋼板ウェブ PC 橋	97.6	533.7	18.04	1.0	100.0	168	0.876
5	波形鋼板ウェブ PC 橋	157.0	954.6	25.31	1.0	100.0	337	0.876
6	少数主桁橋 (合成床版)	147.0	946.9	23.56	1.0	100.0	386	1.000
7	少数主桁橋 (合成床版)	156.0	962.7	22.44	1.0	100.0	371	0.950
8	少数主桁橋 (合成床版)	109.0	467.4	11.68	1.0	100.0	174	1.000
9	少数主桁橋 (PC 床版)	171.5	974.2	24.27	1.0	100.0	362	0.916
10	少数主桁橋 (PC 床版)	104.0	913.6	25.83	1.0	100.0	318	0.868
11	少数主桁橋 (PC 床版)	137.6	926.0	29.27	1.0	100.0	321	0.864
12	多主桁橋 (RC 床版)	204.0	1656.5	32.65	1.0	100.0	504	0.753
13	多主桁橋 (RC 床版)	178.0	1543.7	40.55	1.0	100.0	461	0.724
14	多主桁橋 (RC 床版)	152.5	1156.5	20.57	1.0	100.0	402	1.000
15	多主桁橋 (RC 床版)	178.0	1328.7	23.84	1.0	100.0	483	0.995

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 (1 橋)、寿命 (100 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。

表-2 DEA・SDEA の結果

No	順位		
	DEA	SDEA	SDEA*
1	8 位	10 位	10 位
2	9 位	14 位	13 位
3	1 位	6 位	13 位
4	5 位	2 位	4 位
5	5 位	9 位	9 位
6	1 位	3 位	2 位
7	3 位	4 位	3 位
8	1 位	1 位	1 位
9	4 位	5 位	5 位
10	6 位	11 位	8 位
11	7 位	13 位	6 位
12	10 位	12 位	13 位
13	11 位	14 位	12 位
14	1 位	8 位	5 位
15	2 位	7 位	11 位

*初期投資のみでの解析結果

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。予想通り、DEA では D 効率が 1 となる橋梁が 4 橋出現した。これに対し、SDEA を用いることにより、12 位までは厳密な順位付けが出来ていることがわかる。SDEA では DEA とは逆に下位 (13 位) の橋梁が 3 橋存在するが、これは解析対象橋梁の D 効率が全て 1 になったためである。

本解析の条件下では、合成床版の少数主桁橋が DEA、SDEA の両方において上位にランクされている。これは、解析対象橋梁の中で、CO₂排出量、LCC が小さく、割引率 4%を考慮すると、供用後 100 年程度でコストの差はほぼ初期投資に等しくなるためと考えられる。また、DEA において上位となったにもかかわらず SDEA において順位を大きく落とした No.3、No.14 は、それぞれ橋長に比して CO₂排出量が多く、DEA においては効率の良い橋梁と評価されるが、他橋梁に与える影響量で順位を細分化する SDEA においては、大きく順位を落とすこととなったと考えられる。

以上の結果から、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、ほぼ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考えられ、特に SDEA では初期投資のみの解析を行っても、パラメータを適切に選択することにより、地球環境負荷の小さい橋梁形式の選択、設計に貢献できるものと思われる。

6. おわりに

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、例えば工期や作業人数などの定量的なパラメータや施工性、補修・補強や延命措置の難易度などの定性的なパラメータも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) 環境省：環境白書 平成 24 年度、環境省、2012。
- 2) 小幡卓司、九里将太郎、中西宏貴、小田 輝、新納 格：資源ストックを考慮した橋梁の地球温暖化環境負荷の評価方法に関する研究、土木学会構造工学論文集 Vol.59, 2013 年 3 月 (印刷中)。
- 3) 刀根薫：経営効率性の測定と改善 一包絡分析法 DEA による一、日科技連出版社、1993。