

鋼の資源ストックを考慮した各種橋梁形式の地球温暖化に関する一考察

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

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 学生員 坂田 大樹

1. まえがき

近年、人間の生産活動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・供用・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・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、上記のような材料の相違や様々な橋梁形式が存在し、供用年数も、現行の示方書では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¹⁾。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解析パラメータの1つとして導入し、主に近年の新しい各種形式橋梁の環境負荷に対する順位付けを行い、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⁾。

2. 鋼の社会的資源ストック

本研究では、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、スクラップとして輸出もされている。よって再利用の場合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場合はLCCの低減として扱うことが可能になる。よって本研究では、DEAおよびSDEAにおいて、鋼重をパラメータとして取り入れ解析を行った。

3. 包絡分析法（DEA）と超包絡分析法（SDEA）

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で複数の効率値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。なお、本研究では、型式、寸法の異なる橋梁を比較して順位付けするため、本解析方法の妥当性も検討を行う必要がある。

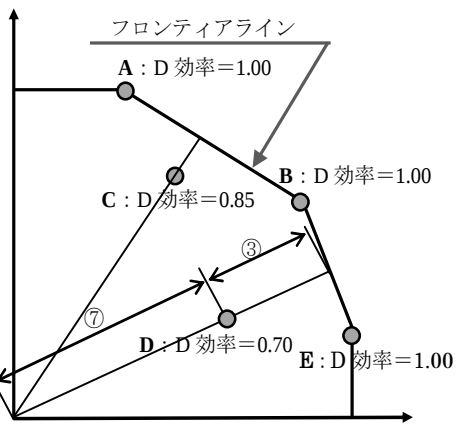


図-1 D効率の求め方（2変数時）

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で複数の効率値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。なお、本研究では、型式、寸法の異なる橋梁を比較して順位付けするため、本解析方法の妥当性も検討を行う必要がある。

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、一般道や高速道などの違いもあり判然としないが、本研究では、2000年代から建設された橋梁を解析対象としているため、今後も補修・補強で100年程度は供用可能と判断し、その共用機関を100年に設定した。

4. 各パラメータの算出

以下に解析に用いる入出力パラメータ算出について示す。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上記の15橋梁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、イニシャルコスト、CO₂排出量の計算を行った³⁾。また本研究では、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、橋梁の供用期間中の舗装の打ち替えや塗装・補修補強など、維持管理に関わるコストの計算も行っている。これらを初期投資段階、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（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。

キーワード 鋼の資源ストック、地球温暖化、包絡分析法、橋梁構造物
連絡先

〒572-8572 大阪府寝屋川市幸町 26-12 大阪府立大学工業高等専門学校 総合工学システム学科 都市環境コース

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

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 とは逆に下位の橋梁が多数存在するが、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している。これは、解析対象橋梁の中で、パラメータのバランスが良く、どの形式の橋梁に対しても優位となる条件が揃ってい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、LCC に対して CO₂ 排出量が多いなどの他の橋梁とは傾向の異なるパラメータを有しており、そのため、個々での効率は良いものの、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、その順位付けは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、解析に用いるパラメータを適切に選択することにより、架設地点に適合した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。

6. あとがき

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、DEA および SDEA を用いて、各種形式の橋梁の環境負荷に関する順位付けを試みたものである。解析結果からは、形式や橋長などが異なる場合でも、入出力データと比較して妥当な順位付けがなされていると考えられ、環境負荷の検討が可能であると思われる知見が得られた。今後の課題として、例えば施工方法における CO₂ 排出量の定量化や、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、入出力値の改善案も具体的に計算できることから、環境負荷を低下させるための具体案について、十分に検討する必要があると考えられる。

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

【参考文献】

- 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，Vol.47A，pp.1075-1082，2001.3.
- 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.59A，pp.221-229，2013.3.
- (社) 建設コンサルタンツ協会 近畿支部 ライフサイクルコスト研究委員会：ライフサイクルコストの計画・設計への反映方法，2004.8.