

DEA を用いた橋梁構造物の環境負荷に関する定量的評価法について

Study on Quantitative Assessment of Environmental Impact on Bridge Structures by using of Data Envelopment Analysis

北海道大学大学院工学研究科 正 員 小幡卓司 (Takashi Obata)
 北海道大学大学院工学研究科○学生員 大野良輔 (Ryousuke Ohno)
 北海道大学大学院工学研究科 学生員 高田詞之 (Noriyuki Takada)
 北海道大学大学院工学研究科 F 会員 林川俊郎 (Toshiro Hayashikawa)
 北海道大学大学院工学研究科 F 会員 佐藤浩一 (Koichi Sato)
 東洋技研 コンサルタント(株) 小野武彦 (Takehiko Ono)

1. まえがき

近年においては、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、気候変動に関する国際連合枠組条約締約国会議(COP)における温室効果ガス排出量削減の数値目標の設定努力に代表されるように、早期に解決すべき非常に重要な項目であることは周知の事実である。

我が国の温室効果ガス排出量は平成12年度で13億3200万トン(CO₂換算)であり、京都議定書の基準排出量を8%上回り現在も増加傾向にある。このうち、建設部門では20~30%を占めることから、社会基盤施設整備にあたってはも構造物の環境性能を考慮することは極めて重要であると考えられる。

橋梁構造物においては、その材料としては環境負荷が比較的大きいと考えられる鋼・コンクリートが主流であり、規模もかなり大きいものが多いため、環境負荷への配慮は近年重要視されているコスト削減にも匹敵する問題である。従来の基盤整備では、建設時のコストを最小にすることが専ら問題とされていたが、今後は100年程度のライフサイクルの中でコストの上昇をある程度抑制しながらも、環境に対する影響を重要視するような橋梁システムの整備を進めることが必要であると思われる。そのためには、建設時のコストのみならず、長寿命化、ミニマムメンテナンス化、リサイクル性の向上による産業廃棄物の削減を総合的に検討・評価することが、将来への有効な社会資本整備につながると判断される。

以上を踏まえて、本研究ではまず鋼橋の建設時における環境負荷に着目し、各種形式の試設計を行ってCO₂排出量等を算出し、包絡分析法(DEA)を適用することにより環境負荷低減を目指した鋼橋の定量的な評価方法に関して検討を試みることを目的とする。具体的には橋長90mの橋梁10種類に関して予備設計レベルの断面決定を行い、鋼重に基づいたエネルギー消費量、CO₂排出量等を求めた。これらのパラメータを用いてDEA解析を行うことにより、効率性の比較、入出力の改善案の実現可能性に関して考察を加えるものである。よって、本研究ではこれらの解析結果を通じて、鋼橋が及ぼす環境負荷の定量的評価におけるDEAの適用性等に関して検討を行ったので、ここに報告するものである。

2. 解析手法

2.1 抱絡分析法(DEA)

本研究では橋梁システムの環境負荷の効率性解析に抱絡分析法(DEA)を用いることとした。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、比例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。

DEAでは、経済学における規模のリターン(収穫)の考え方に応じていくつかのモデルが与えられているが、一般に、解析手法は2段階線形計画問題(LP)に帰着し、

制約条件の相違によって各種モデルが与えられる^{5,6)}。CCRモデルにおいては、以下のようなLPを解くことによって所定の解を得ることができる。

$$\begin{aligned} \text{第1目的関数} & \min \theta \\ \text{第2目的関数} & \min -es_x - es_y \\ & \theta x_0 = X\lambda + s_x \\ \text{制約条件} & y_0 = Y\lambda - s_y \\ & \theta \geq 0 \quad \lambda \geq 0 \quad s_x \geq 0 \quad s_y \geq 0 \end{aligned}$$

ここで、 θ は対象とする問題の効率値であり、一般にD効率と称する。 X, Y は各活動等の入出力、 λ は各活動に対する最適解となり、優位集合とその度合いを表す。また s_x および s_y は、スラック解と呼ばれ、それぞれ入力之余剰、出力の不足を表す変数である。上述のLPの解において、最適解(λ, s_x, s_y)を最大スラック解と呼ぶ。この最大スラック解において、 $s_x=0, s_y=0$ を満たす活動をスラックレス活動と呼び、最適解($\theta, \lambda, s_x, s_y$)において、 $\theta=1$ かつスラックレスであるとき、その活動は効率的であり、それ以外のとき非効率的であると定義される。これらのプロセスに関して、本研究ではMATRAB R13を用いてプログラミングを実施し、解析を行った。

2.2 解析対象の橋梁構造物

本研究における解析対象の橋梁構造物は、橋長90mの橋梁10種類に関して試設計を行い、CO₂排出量等を求めた上でDEAによる解析を試みることにした。図-1は3径間連続4主桁を採用した際の断面図であり、表-1は橋梁形式それぞれの鋼重、エネルギー消費量等のデータである。

ここで、設計方法あるいは設計条件に関して言及すると、予備設計段階での環境負荷の検討を想定して、上部構造の断面照査は1次部材のみとし、2次部材については鋼重の算定には含まれているが、断面・部材は経験的に決められたものである。下部構造に関しては、震度法による設計で断面および鉄筋量を決定した。これらの方法は、現実の実務設計とは多少異なるが、比較を行う上ではすべて同条件であれば大きな問題は生じないと判断されるため、上述のような手法を用いている。また、エネルギー消費量、CO₂排出量は、土木学会環境委員会原単価表や文献2)等を参考に求めたものである。本研究では、これらの橋梁に関してDEAに各パラメータを代入し、効率性あるいは代替案に関して検討を加えることとした。

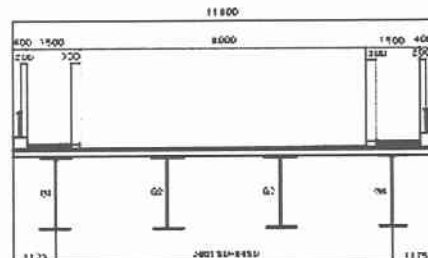


図-1 橋梁断面図(4主桁)

表-1 対象橋梁の一覧

No.	橋梁形式	鋼重 (ton)	コンクリート (m³)	アスファルト (m³)	エネルギー (10³kcal)	CO₂排出量 (ton)	概算工費 (億円)
1	2 径間 4 主桁	229.26	796.79	123.48	1.80	167.94	2.12
2	3 径間 4 主桁	188.20	958.29	123.48	1.77	165.37	1.87
3	2 径間 5 主桁	251.84	776.67	123.48	1.88	175.51	2.30
4	3 径間 5 主桁	200.48	942.33	123.48	1.81	169.06	1.97
5	2 径間 2 箱桁	264.63	785.37	123.48	1.94	181.51	2.37
6	3 径間 2 箱桁	193.30	946.88	123.48	1.78	166.50	1.95
7	2 径間 1 箱桁	305.10	781.07	123.48	2.12	197.77	2.55
8	3 径間 1 箱桁	266.09	942.64	123.48	2.10	196.05	2.35
9	2 径間少数主桁	269.87	785.34	123.48	1.97	183.65	2.36
10	3 径間少数主桁	136.00	946.91	123.48	1.53	142.95	1.52

3. 解析結果とその考察

解析結果として、表-2 に各橋梁における D 効率の一覧を示す。また表-3 は、橋梁 No.1 および 2 の入力および出力を改善する場合の代替案である。なお、表-2 における Case 1 は表-1 の結果をそのまま入力したもの、Case 2 は No. 9, No.10 の少数主桁橋梁以外の 2 次部材にリサイクル材の使用を想定したものである。

表-2 からは、まず Case 1 においては、当然ながら鋼重、工費を始めとして各パラメータが最小の少数主桁橋が D 効率 1.0 となっており、他の橋梁も工費と鋼重に応じた形で D 効率が決まっている。また、Case 2 ではリサイクル材の使用により、CO₂ 排出量、エネルギー消費量が減少することから、特に No.1, No.2 等の桁橋の効率性がある程度大きく改善されることがわかる。表-3 に着目すれば、リサイクル材の使用は入力を改善する代替案に相当し、D 効率を 1 にするための各パラメータの削減値に対して、およそ 50%を満たしていることから得られたものであろう。これらの結果から、従来型の橋梁でも使用材料や構造を工夫することによって、環境負荷を減少させることはある程度容易に実現することが可能であると思われる。したがって、本研究の解析手法は現状の橋梁構造物が有する環境負荷に対する効率性、あるいは具体的な改善案等が非常に理解しやすい形で得られることから、今後の環境に‘やさしい’橋梁システムの構築・検討に十分活用できるものと考えられる。

4. あとがき

以上のように、本研究は鋼橋を対象に、CO₂ 排出量等のデータをパラメータとして DEA による効率性ならびに改善案の解析を行い、DEA の適用性、あるいは環境負荷低減に関する基礎的な検討を試みたものである。

解析結果からは、DEA では効率性の比較が容易に可能であり、どのパラメータをどれだけ改善すれば良いかが数値で示されるため、環境負荷への影響度や改善案の検討に大きな威力を発揮出来得ると考えられる。

また、各橋梁形式の比較においては、従来型の桁橋でもリサイクル材の使用や構造を若干簡易化すること等によって、環境負荷に対する効率性を改善できる十分な可能性を有することが推定できる結果が得られた。

したがって、本研究の手法を用いて、地域環境や LCC 等も含めた形で各種パラメータを設定し、橋梁のライフサイクル全体を考慮した解析を行うことにより、環境負荷を低減させる新たな橋梁システムの検討あるいは提案に活用できるものと考えられる。

【参考文献】

- 1) 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.
- 2) 伊藤義人, 平野徹, 永田裕規, ハンマート アシ, 西土隆幸, 加島章: 環境負荷を考慮した橋梁形式選定システムの

表-2 各橋梁における D 効率の一覧

No	Case1	Case2
1	0.8512	0.9000
2	0.8644	0.9273
3	0.8145	0.8666
4	0.8456	0.9060
5	0.7887	0.8066
6	0.8596	0.8844
7	0.7228	0.7363
8	0.7292	0.7429
9	0.7784	0.7784
10	1.000	1.000

表-3 入出力の代替案 (橋梁 No.1, No.2)

	No		入力を改善		出力を改善	
			効率値	差	効率値	差
c a s e 1	1	①	1.530	-0.270	1.797	-0.003
		②	142.951	-24.980	167.940	0.000
		③	1.520	-0.600	1.786	-0.334
		④	1.000	0.000	1.175	0.175
	2	①	1.530	-0.240	1.770	0.000
		②	142.946	-22.424	165.370	0.000
		③	1.520	-0.350	1.758	-0.112
		④	1.000	0.000	1.157	0.157
c a s e 2	1	①	1.530	-0.170	1.700	0.000
		②	142.950	-16.210	158.833	-0.327
		③	1.520	-0.600	1.689	-0.431
		④	1.000	0.000	1.111	0.111
	2	①	1.530	-0.120	1.650	0.000
		②	142.954	-11.696	154.162	-0.488
		③	1.520	-0.350	1.639	-0.231
		④	1.000	0.000	1.078	0.078

①エネルギー (10³kcal)

②CO₂(ton)

③工費 (億円)

④製品 (橋)

作成と利用に関する研究, 土木学会論文集, No.553/VI-33, pp.187-199, 1996.

- 3) 伊藤義人, 永田裕規, スワル・ラクスマン, 西川和廣: 地球環境負荷削減のための橋梁ライフサイクル評価に関する研究, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.1295-1305, 1999.
- 4) 伊藤義人, 梅田健貴, 西川和廣: 少数主桁橋梁と在来型橋梁のライフサイクル環境負荷とコストの比較研究, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.1295-1305, 1999.
- 5) 刀根薫: 経営効率性の測定と改善 - 抱格分析法 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) 日本橋梁建設協会編: デザインデータブック'93 年版, 日本橋梁建設協会, 1993.
- 8) 酒井寛二: 土木建設物の二酸化炭素排出量原単価の推定, 第 4 回地球環境シンポジウム講演集, pp.43-48, 1996.