

14. 合理化橋梁のライフサイクル環境負荷とコストに関する研究

LIFECYCLE CO₂ EMISSION AND COST OF RATIONALIZED BRIDGES

坪内 佐織*・伊藤 義人*・金 仁泰*
Saori TSUBOUCHI*, Yoshito ITOH*, In-tae KIM*

ABSTRACT; The interest of the environmental problem has been increased world widely, and it is required to reduce the environmental impact. It is also recommended that civil engineers should pay attention to not only lifecycle cost (LCC) but also lifecycle environmental impact (LCCO₂) of civil infrastructures. In this study, the LCCO₂ of newly developed bridges, named the minimized girder, the rationalized box-girder and the rationalized truss bridge in Japan were calculated. The LCCO₂ of the conventional bridges, I-girder, box-girder and truss bridges were also calculated and compared with that of the newly developed bridges. It was found from the estimation that the newly developed types of the bridges have less total LCCO₂ than the corresponding conventional bridges. These reductions of whole LCCO₂ of the bridge are resulted from the maintenance stage of the bridge.

KEYWORDS; lifecycle CO₂ emission, rationalized bridge

1. はじめに

国際的に環境問題への関心が高まる中、建設分野では環境負荷を削減する対策が求められている。そのため、社会資本構造物のライフサイクルにおけるコスト(LCC)のみならず、環境負荷(LCCO₂)についても十分検討する必要がある。このような中で、橋梁分野では新たな技術を用いて構造を簡素化することによりコスト低減を達成した合理化橋梁が普及しつつある。合理化橋梁は従来型橋梁より総工事費を約15%削減することをコンセプトとしているが、ローメンテナンス化等も実現しており、コストのみならず環境負荷も低減できると予想される。既に、合理化橋梁の一つである少数主桁橋梁の環境負荷については従来型のそれより低減できるという試算が行われており^{1),2),3),4)}、その他の合理化橋梁、または異なる状況下においても試算を行う必要があると考えられる。

本研究は、標準的な橋梁形式であるI桁橋、箱桁橋、トラス橋の三種類を対象として、それぞれの従来型橋梁と合理化橋梁についてLCCO₂を試算し、それぞれの結果を比較検討することにより、対象橋梁における環境負荷の特徴を示すことを目的としている。試算の際に考慮する橋梁の供用期間は、近年改訂された道路橋示方書⁵⁾に従い、100年と設定した。各対象橋梁が与える環境負荷の評価は、ライフサイクルを初期建設・維持管理・廃棄の三段階に分け、それぞれの段階において発生する二酸化炭素の排出量を試算することにより行う。

2. 各対象橋梁の合理化橋梁

各対象橋梁の合理化橋梁は、I桁橋では少数主桁橋梁を、箱桁橋では開断面箱桁橋梁と細幅箱桁橋梁を、トラス橋梁では合理化トラス橋梁を対象とした。これらの概略図を従来型橋梁と併せて図-1に示す。合理化橋梁は従来型橋梁と比して構造が簡素化されていることが、図-1から分かる。具体的には、横構の省略など

* ; 名古屋大学 Nagoya University

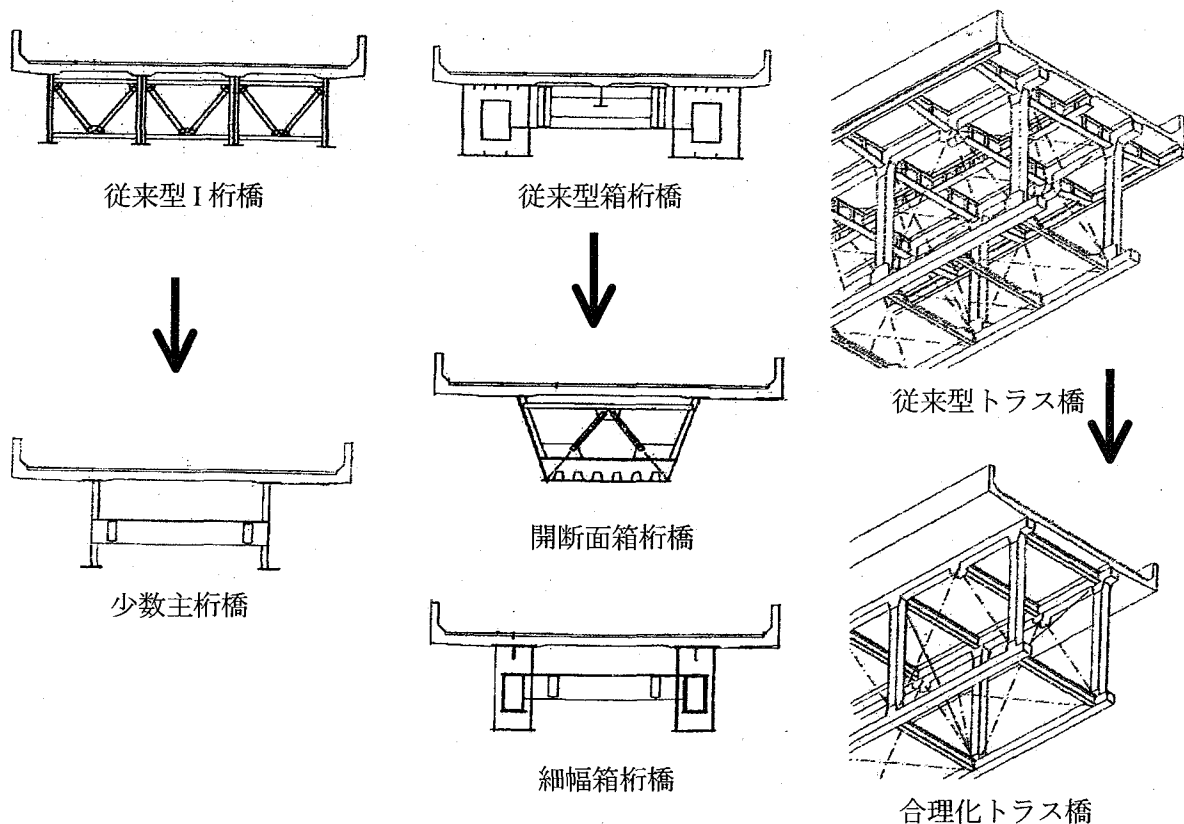


図-1 各対象橋梁の従来型と合理化型

により溶接延長，鋼重，塗装面積等が低減されている。

表-1 評価条件⁶⁾

3. 評価条件の設定

表-1 に各対象橋梁の評価条件を示す。これらは，日本橋梁建設協会⁶⁾によって示されている構造形式を参考とし，これらの構造の断面形状すべてを，有効幅員 10.5m(総幅員 11.5m)，3 スパン連続鋼非合成と統一させた。

これらの条件の下，各形式の支間長を 10m 毎に変化させ，LCCO₂を試算する。本研究における LCCO₂(E_T)は以下の式を用いて求める。

$$E_T = E_c + E_M + E_R \dots (1)$$

ここで， E_c ， E_M ， E_R はそれぞれ初期建設・維持管理・廃棄段階の環境負荷を示している。これらの総和がライフサイクル全体の環境負荷，すなわち LCCO₂となる。維持管理段階においては，橋梁の各部材について

	従来Ⅰ桁	少数主桁	従来箱桁	開断面	細幅	従来トラス	合理化トラス
形式	鋼連続非合成Ⅰ桁橋		鋼連続非合成箱桁橋			鋼連続非合成トラス橋	
橋長	90～180m		150～240m	180～240m	180～300m	240～300m	
幅員	10.5m		10.5m			10.5m	
支間長	30～60m		50～80m	60～240m	60～100m	80～100m	
床版	RC	プレキャストPC	RC	合成床版		RC	プレキャストPC
主桁	4本	2本					

表-2 トラス橋における寿命設定⁷⁾

部材名		従来型トラス	合理化トラス
床版	更新	50 年	100 年
	補修	上面増厚工法 25 年	間詰コンクリート取替 50 年
塗装		A-1(長油性フタル酸樹脂) 15 年	JH-1(薄膜型重防食) 40 年
支承		鋼製支承 30 年	ゴム支承 100 年
伸縮装置		フィンガージョイント 30 年	フィンガージョイント 30 年
舗装		高機能舗装 20 年	高機能舗装 20 年

の寿命を設定し、各部材が寿命を迎え次第交換を施し、橋梁の供用期間内は一定の部材寿命を用いて交換し続けるという仮定の下試算を行う。表-2に、設定したトラス橋における各部材の寿命を、一例として示す。本来、各部材寿命は、橋梁設置場所の環境や部位、交通量等により異なるため、一定の値として定めることは困難であるが、本研究では日本橋梁建設協会³⁾により過去の実績から定められた平均的な寿命を採用することにより、寿命を一定の値として扱った。新形式橋梁に用いられている部材の寿命はまだ推定するには実績が足りないため、実験等によって検討されている推定値を用いている⁶⁾。

4. 試算結果及び考察

以下に $LCCO_2$ の試算結果及び考察を示す。ここで示す試算結果値は、橋面積で除すことによりすべて無次元化されている。

図-2～図-4 に I 桁橋、箱桁橋、トラス橋の $LCCO_2$ 試算結果を示す。縦軸は各形式で基準とする橋梁条件(支間長)を設定し、その橋梁の初期建設段階の環境負荷を 1 とした値である。I 桁橋では 30m、箱桁橋では 50m、トラス橋では 60m の支間長を採用している橋梁を基準としている。

図-2～図-4 より、全橋梁形式において合理化橋梁の $LCCO_2$ は低減されていることが分かる。

図-5～図-7 は、図-2～図-4 の横軸を経年のみとすることにより二次元としたグラフである。支間長は、I 桁橋では 30m、箱桁橋では 60m、トラス橋では 80m を一例として採用した。縦軸は図-2～図-4 と同様である。

全対象橋梁において共通に見られる傾向は、初期建設段階、すなわち経年 0 年におけるの従来型橋梁と合理化橋梁の環境負荷は、箱桁橋では従来型が 20%ほど大きな値を示すものの、ほぼ同じ値を示す傾向にあるが、維持管理を施すにつれ従来型橋梁と合理化橋梁の環境負荷の差が広がってゆき、廃棄段階を終了した時点、すなわち経年 100 年目においては、合理化橋梁の環境負荷は、従来型橋梁より 40%近く低減され

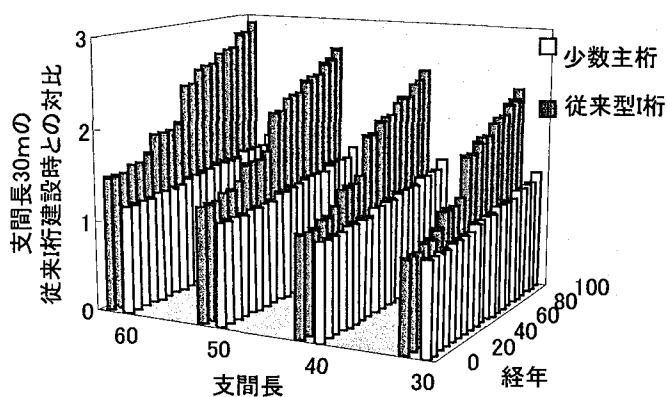


図-2 I型桁橋の $LCCO_2$

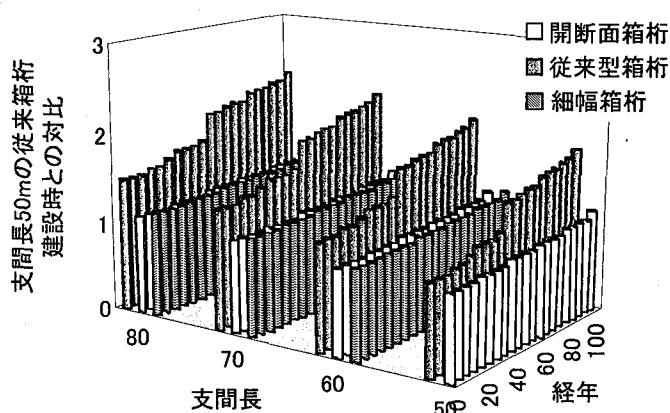


図-3 箱桁橋の $LCCO_2$

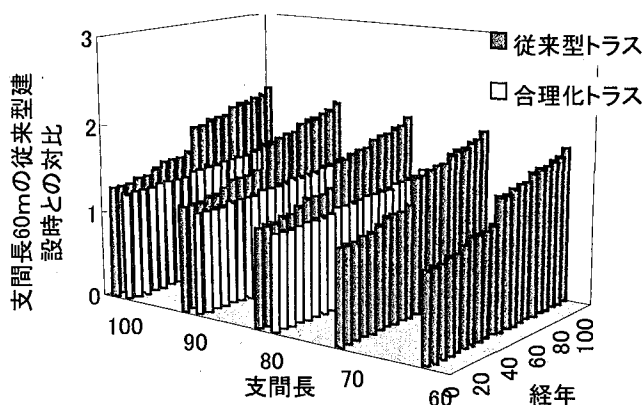


図-4 トラス橋の $LCCO_2$

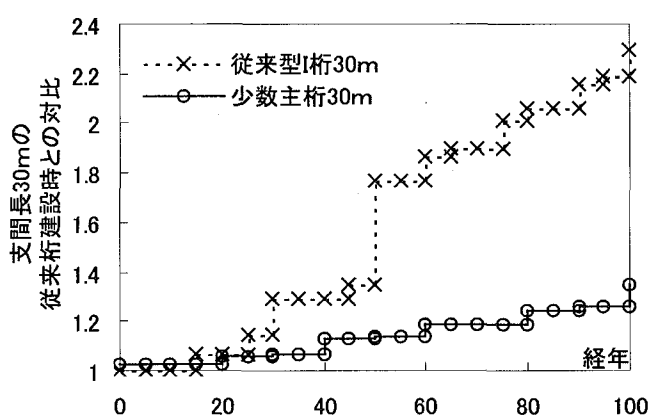


図-5 支間長 30m の I 型桁橋における $LCCO_2$

ることがわかる。具体的には、I桁橋では約45%、箱桁橋では約40%、トラス橋では約30%低減された。両者にこれほど差が生じたのは、経年50年目において従来型橋梁の環境負荷が大幅に増大していることから、50年目に従来型橋梁に施されたRC床版の架け替えが大きく影響していると考えられる。

次に、図-5～図-7における経年100年目のみに注目したグラフを図-8、図-9に示す。

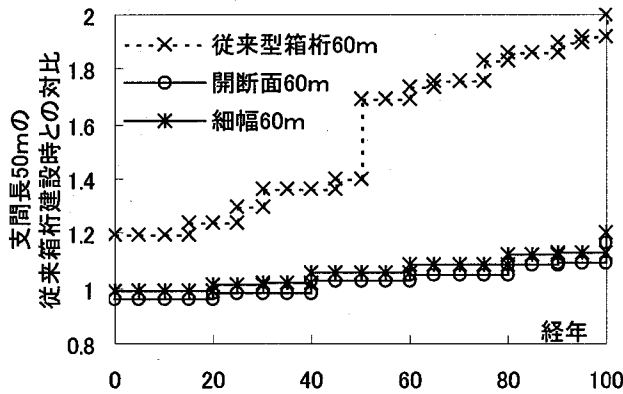


図-6 支間長 60m の箱型桁橋における LCCO₂

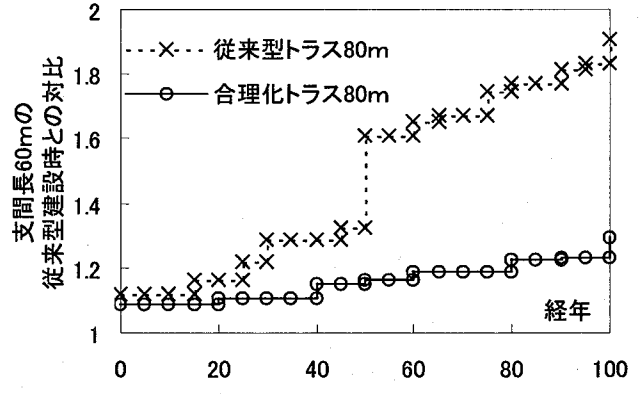


図-7 支間長 80m のトラス橋における LCCO₂

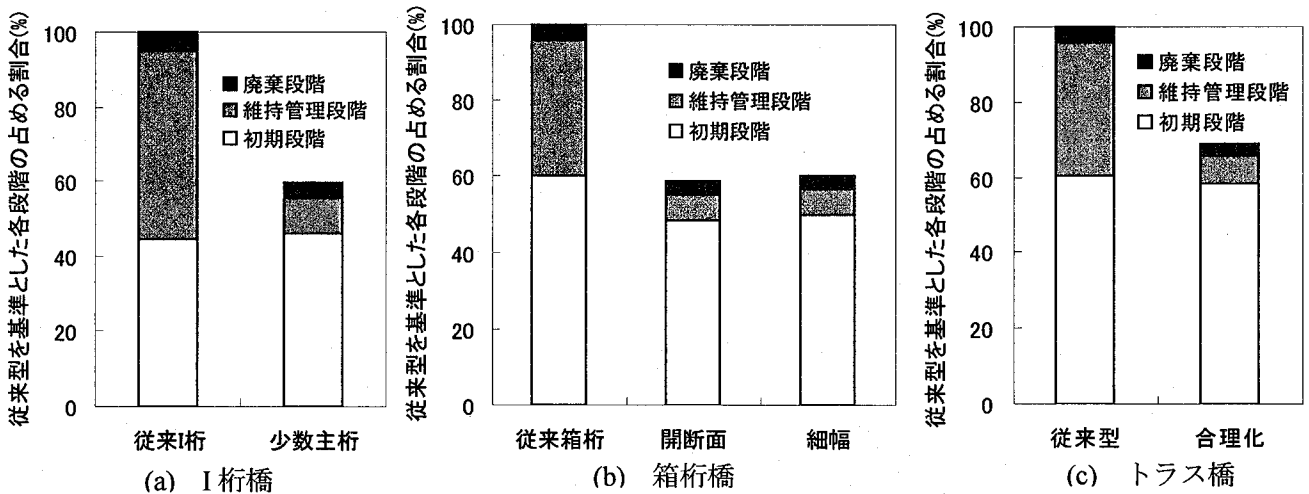


図-8 各対象橋梁の従来型を基準とした各段階の占める割合

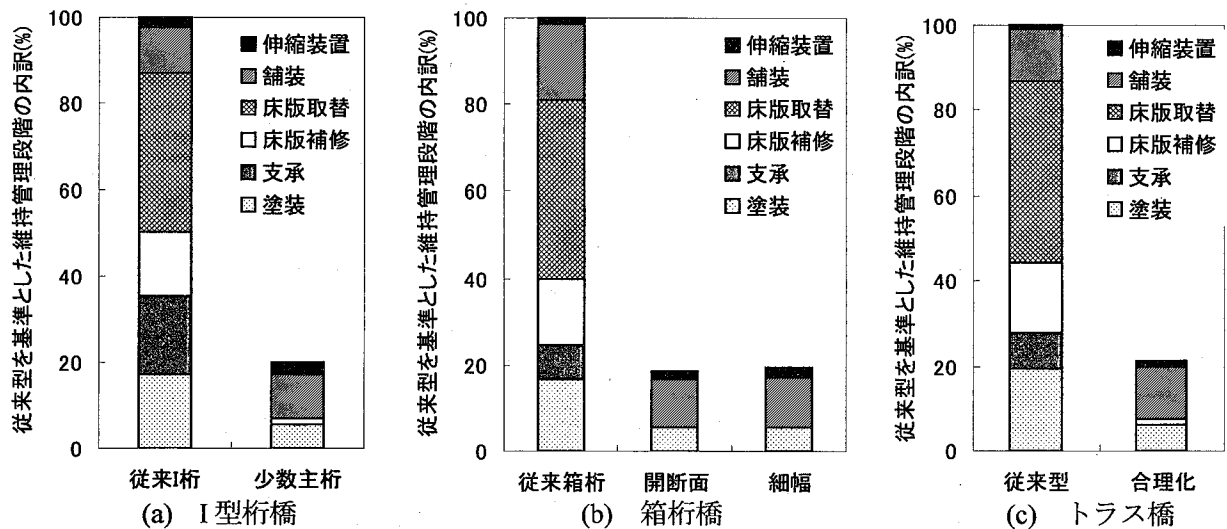


図-9 各対象橋梁の従来型を基準とした維持管理段階の内訳

図-8は各対象橋梁の従来型を基準とした初期建設，維持管理，廃棄段階の占める割合を示している。どの対象橋梁においても，初期建設段階における環境負荷が全体の半分近くを占めている。また，従来型橋梁と合理化橋梁の環境負荷を比較すると，合理化橋梁では維持管理段階における環境負荷が大幅に低減していることも分かる。

維持管理段階の詳細に注目すると，図-9のようになる。これらは各対象橋梁の従来型を基準としたときの各メンテナンス項目の内訳を示している。維持管理段階における合理化橋梁の環境負荷は従来型橋梁のそれより80%近く低減されていることが分かるが，その内の半分近く，すなわち約40%の低減は床版取替が合理化橋梁では行われないことにより達成されている。その他に，塗装，床版補修，支承による低減もこれに貢献している。床版取替と床版補修を合わせて床版の環境負荷と考えると，床版による環境負荷低減は実に55%近くとなる。よって，橋梁の環境負荷は，採用する床版形式に大きく依存することが分かる。

図-10は，横軸に支間長をとり，すべての対象橋梁における経年100年時のLCCO₂を一つのグラフにまとめたものである。縦軸は図-2～図-9のパターンと異なり，支間長30mの従来I桁橋における経年100年時の環境負荷を1とした値を示している。この図から，どの橋梁タイプにおいても，支間長が大きくなるにつれて従来型橋梁と合理化橋梁の環境負荷の差が大きくなることが分かる。また，実線で示される合理化橋梁の支間長毎の変化は全体的に線形的であるのに対し，点線で示される従来型橋梁は累乗関数的であることも分かる。よって，長スパンの橋梁であるほど，合理化による環境負荷低減の効果が增大しているといえる。

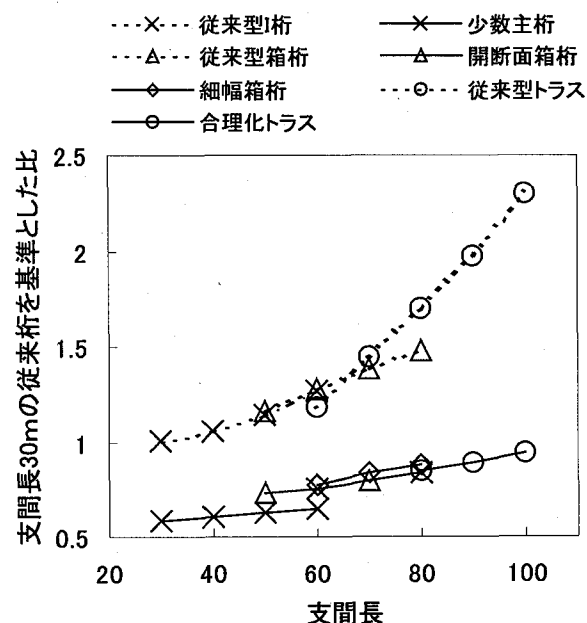


図-10 経年100年時のLCCO₂

5. 結論

本研究で得られた結論は以下のとおりである。

- 1) I桁橋梁，箱桁橋梁，トラス橋梁の従来型橋梁と合理化橋梁の環境負荷を比較すると，初期建設段階においてはほぼ同じ値を示すが，維持管理段階において差が広がってゆき，廃棄段階を終了した時点においては，合理化橋梁の環境負荷は，従来型橋梁より40%近く低減される。
- 2) 各対象橋梁の経年100年時における環境負荷は，初期建設段階が半分近くを占める。また，合理化橋梁の環境負荷は維持管理段階において著しく低減される。
- 3) 維持管理段階における合理化橋梁の環境負荷は従来型橋梁のそれより80%近く低減され，そのうち約55%は床版に依存している。
- 4) 全対象橋梁において，支間長が大きくなるにつれて従来型橋梁と合理化橋梁の環境負荷の差が大きくなることから，長大スパンの橋梁であるほど，合理化による環境負荷低減の効果が增大している。

参考文献

- 1) 伊藤義人ほか(1996): 環境負荷を考慮した橋梁形式選定支援システムの作成と利用に関する研究，土木学会論文集，No.553/VI-33，187-199，1996.12。
- 2) 伊藤義人，梅田健貴(2000): 合理化橋梁と従来型橋梁のライフサイクルにおける環境負荷とコストの比較

研究

- 3) Itoh, Y. & Liu, C. & Nagata, H. & Umeda K. & Nishikawa, K. 2001.Lifecycle environmental impact and cost of bridges: *Journal of Global Environment Engineering* Vol.7: 151-168.
- 4) Itoh, Y. & Liu, C. & Umeda, K. & Nishikawa, K. 2001.Lifecycle assessment application for bridge technology development: *Journal of Global Environment Engineering* Vol.7: 169-186.
- 5) 社団法人 日本道路橋会(2000) : 道路橋示方書・同解説
- 6) 社団法人 日本橋梁建設協会(2003) : 新しい鋼橋の誕生Ⅱ
- 7) 社団法人 日本橋梁建設協会(2003) : 鋼橋のライフサイクルコスト