

# 少数主桁橋梁と従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

## COMPARATIVE STUDY OF MINIMIZED GIRDER BRIDGE AND CONVENTIONAL GIRDER BRIDGE ON LIFECYCLE ENVIRONMENTAL IMPACT AND COST

伊藤義人\*, 梅田健貴\*\*, 西川 和廣\*\*\*

Yoshito ITOH and Kenki UMEMEDA and Kazuhiro NISHIKAWA

\*工博 名古屋大学教授 理工科学総合研究センター (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

\*\*工修 名古屋大学 工学研究科地圏環境工学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

\*\*\*工修 建設省土木研究所 構造橋梁部橋梁研究室 (〒305-0804 筑波市旭 1)

Recently, the environmental problem of the global warming has become a serious issue in the world. Researchers and practical engineers in civil engineering have to pay enough attention to the environmental impact in addition to the function, safety, cost and aesthetics at all the lifecycle stages of civil infrastructures. In this study, the estimation is made for the lifecycle CO<sub>2</sub> emission and cost of bridges using new technologies such as Minimum Maintenance and Minimized girder bridges. The characteristics of lifecycle CO<sub>2</sub> emission and cost of bridges using new technologies are clarified compared with those of the conventional bridges.

**Key Words:** *lifecycle environmental impact, lifecycle cost, minimized girder bridge*

キーワード: ライフサイクル環境負荷, ライフサイクルコスト, 少数主桁橋梁

### 1. はじめに

1997年12月に、「気候変動に関する国連枠組み条約(UNFCCC)第3回締約国会議(COP3)が京都市において開催され、京都議定書では、各国の状況に応じた具体的な削減目標が法的拘束力を持つものとして定められた。COP3では、発展途上国についての削減目標が課せられていないなど、今後の課題となっている部分もあるが、この会議により、世界レベルでのGHG削減に向けての動きがみられたと言える<sup>1)</sup>。

全世界における二酸化炭素排出量は、1994年において64.4億tCといわれ、日本は、全排出量のうち約6%を占め、世界第4位となっている。また、京都議定書で日本は、2008年~2012年の排出量を1990年の6%減の水準に下げることが約束した。

図-1に示すように、我が国における建設業の分野に起因する二酸化炭素排出量は、誘発二酸化炭素排出分も含めると全体における排出量のうちの約1/4を占めるという試算もある。地球温暖化の点において、土木分野は地球環境問題について考慮しなければならない分野の一つであると考えられる。そこで、本研究では橋梁を対象として新規技術開発されている橋梁と従来型橋梁のライフ

サイクル環境負荷とコストについて検討を行う。

### 2. 橋梁の現状と技術開発動向

日本では、市町村道以上の道路橋の総数は橋長15m以上のものだけでも122,000橋あるともいわれ、図-2に示すように、その数は今後も増加していくことが予想される。また、全国の橋梁の建設後平均供用期間は、現在のところ約22年であるが、図-2に示すように2010年代には急激に老朽橋梁が増える見込みである。

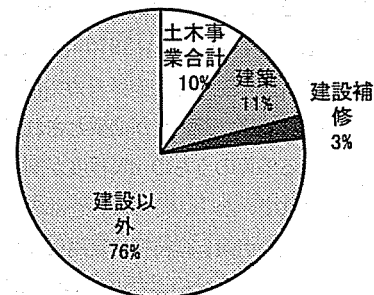


図-1 全産業における建設業の二酸化炭素排出の割合

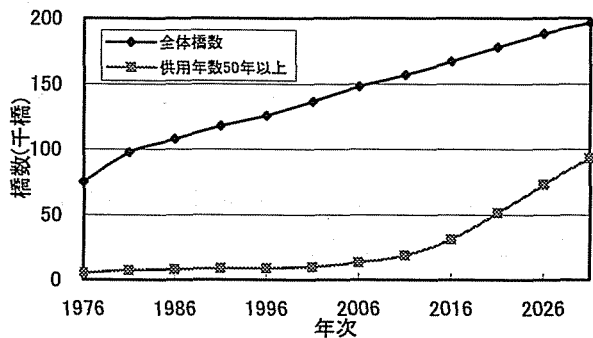


図-2 供用50年以上の橋梁数の将来予測<sup>3)</sup>

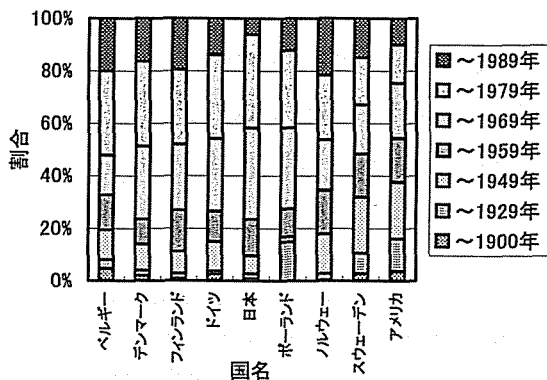


図-3 世界の橋梁の架設年代別割合<sup>3)</sup>

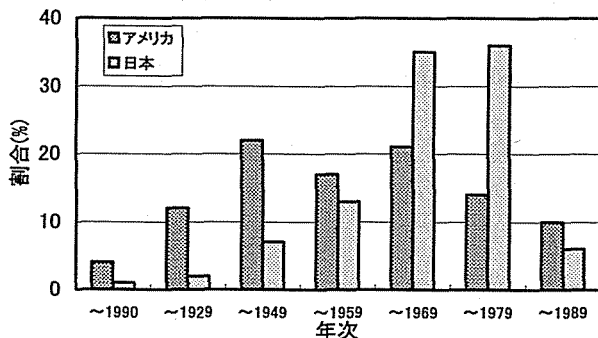


図-4 日本とアメリカにおける橋梁架設状況の比較<sup>4)</sup>

図-3 に世界各国の橋梁建設年度の割合を示す。また、日本と米国における橋梁の架設年の状況を図-4 に示す。両図より、米国は1930~1950年にその建設のピークを迎え、日本に比へ早くから橋梁の老朽化が問題となっていた。1930年代から営々と築き上げられた米国の道路を始めとする社会資本ストックは、社会基盤施設に対する深刻な投資不足により、1970年代には文献19)で示されたような深刻な状況が生じた。アメリカの橋梁は、その約1/5の割合で大掛かりな補修か架替が必要とされていたが、実際のところ必要とされる予算のうちの4%程度が割り当てられていたに過ぎないといわれていた<sup>5)</sup>。その後、一部のガソリン税を目的税化し、各州で橋梁の点検、維持補修費用に充てるような対策がとられたが、まだ十分とはいえない状態である。

わが国でも、老朽橋梁の増加により橋梁の維持管理費も同様に大きなものになっていくものと考えられる。また、今後はわが国

も、高齢化社会への本格的突入などにより、上述したアメリカの例と同様に社会基盤施設に対する深刻な投資不足に陥る可能性も否定できない。そのため、来るべき時代に向けて維持管理におけるコスト及び環境負荷をいかに小さく抑えるかを考えることは非常に重要であると言える。

最近では、「公共事業のコスト縮減」の社会的ニーズに対応し、橋梁建設の分野でもPC床版を使用することによって、適用支間長を60m強まで伸ばしてきた少数主桁橋梁を始めとする合理化設計された橋梁の建設や検討が行われ始めている<sup>6)</sup>。図-5は、各合理化設計された橋梁の適用スパンと工事費の関係である。

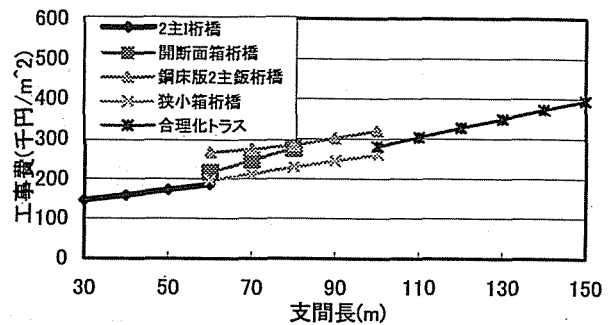


図-5 各橋梁の工事費比較<sup>6)</sup>

これら合理化設計された橋梁の主なコンセプトは、1)ロープライス化による経済性向上。2)ローメンテナンス化による耐久性向上。3)省力化・安全性向上。4)工期短縮であり、これらのコンセプトを達成するために、最適支間、最適形式の選択、構造の簡素化を行い、そして工数の低減を図り、その結果として総工事費の15%削減を目標としている。

また、鋼道路橋設計ガイドライン(案)では、鋼橋の製作及び現場施工の省力化が促進され、将来に向けた鋼橋の基本となるように、構造の簡素化を図るための設計の考え方が示されており、少数主桁橋梁もこの合理化方策の考えに従ったものとなっている<sup>6)</sup>。

現在行われている道路橋示方書の改訂作業<sup>7)</sup>では、コスト縮減の要求を満たすための動きも見られ、建設時のコストのみならず、ライフサイクルコストまでも考慮しようとする動きにまで及んでいる。さらに、橋梁寿命を100年前後に規定する動きも見られる。しかし、地球環境問題が顕在化している現在、コスト縮減と同様に、環境負荷も低減できるような技術開発方向にしていく必要があると思われる。

そこで、本研究においては社会基盤施設の1つである橋梁を対象としてライフサイクルにおける環境負荷及びコストを算出することにより、ライフサイクルコストの削減だけでなく、環境負荷をも新しい技術研究開発の方向性の指標とすることを目的とする。

### 3. 橋梁のライフサイクル

#### 3.1 ライフサイクルアセスメント(LCA)

ライフサイクルアセスメント(以下LCAとする)の研究は、1969年に米国のコカ・コーラ社が自社のリターナブル瓶を対象として

ミッドウエスト研究所へ委託したのが始まりだといわれている。

その後、LCAの研究は欧米を中心にして発展し、特に、欧米の化学系の研究者で組織するSETAC(環境毒物科学学会)では、LCAの概念の整理、手法の確立に貢献したということである。従来からSETACなどで国際的に検討されているLCAは、図-6のような4つの基本フェイズ(Phase)から組み立てられている。

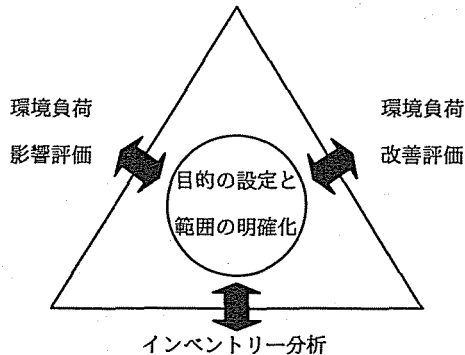


図-6 SETACによるLCAのフェイズ<sup>9)</sup>

LCAを行うには、まず、評価を行う目的の基本的事項が明確化されていないと、望むような結果が得られないと認識されており、この目的の設定と範囲の明確化がLCA実施における最初のフェイズとなっている。

インベントリー分析は現在、LCAの中でもっとも調査研究が進んでいる分野である。しかし、データの収集において現実にはかなりの困難が伴い、確定的でない部分もある。

環境負荷影響評価については、現時点では、どのような影響が含まれるべきか、相対的にどのように分析すべきかについてかなりの意見の相違が存在しており、本格的に実施された例はほとんどないといわれている<sup>9)</sup>。

環境負荷改善評価は、概念的には製品関連の環境負荷の削減計画を評価立案するために、総合的な評価をすることである。

LCAに関する海外の大きな動きとして、ISO(国際標準化機構)において、LCAに関する手法の標準化と規格化が検討されている。これは、SETACで行われているような製品システムの改善計画にまで言及する環境負荷改善評価を行うのではなく、環境負荷影響評価までを行い、その結果の解釈にとどめるというものであるが、ISOでの議論は最終的なものではないといわれている<sup>9)</sup>。

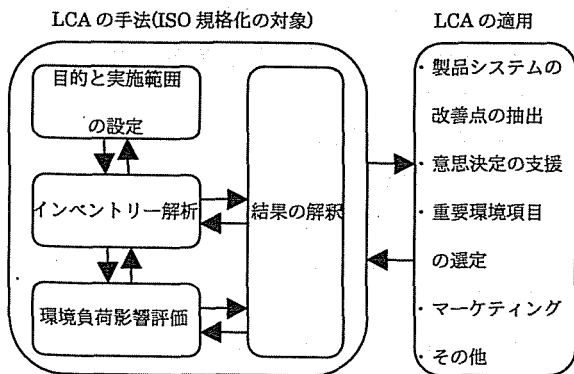


図-7 ISOによるLCAのフェイズ<sup>9)</sup>

### 3.2 橋梁のLCAにおける各フェイズの設定

本研究におけるLCAのプロセスは、ISOのLCAの手法を参考に、それを土木分野に適用できるように考慮した第一著者らの研究<sup>9)</sup>を参考として、図-8のようにする。

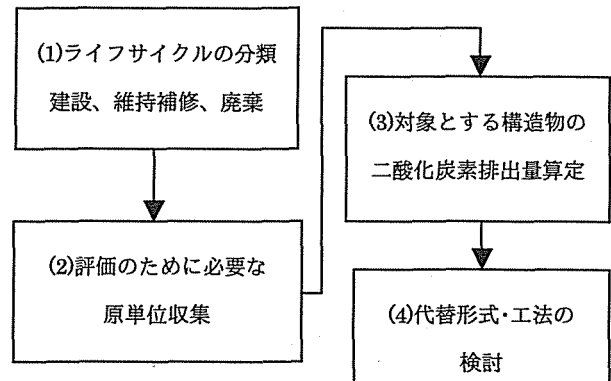


図-8 本研究におけるLCA手法の適用<sup>9)</sup>

LCA第一段階であるライフサイクルの分類においては、本研究において対象とする橋梁のライフサイクルステージを、1)建設段階、2)維持補修(供用)段階、そして、3)廃棄・架替え段階と3つの段階に分類して、これを研究の範囲と設定し、環境負荷(二酸化炭素排出量)及びコストの試算を行うことを目的とする。

LCA第二段階である評価のために必要な原単位の収集については、本研究で用いるCO<sub>2</sub>排出量の原単位は、基本的には土木学会の地球環境小委員会において積み上げ法によって算出されたものを使用する。しかし、土木学会の原単位のみでは、今回の研究に必要な原単位を得ることができないため、必要な項目のない場合は、建設省土木研究所において算出された原単位を用いることを考えたが、土木研究所の原単位は産業連関分析法で算出されたものであるために、そのままでは混用して使用できない。そこで、土木学会の原単位を基にして土木研究所で算出された原単位の比率を使用する等の方法によって独自に原単位を算出し、土木学会の原単位より得られなかったものについては、その原単位を使用することとした。また、本研究において使用した原単位のうち主要なものを付録1として掲載した。

LCA第三段階である対象とする構造物の二酸化炭素排出量算定のところでは、実際にライフサイクル全体における二酸化炭素排出量を算出し、ライフサイクルコストについても算出を行う。

LCA第四段階の代替形式・工法の検討では、実際に算出された構造物の二酸化炭素排出量及びコストから、どのような違いが出るかを考察するとともに、橋梁の新技術に関する考察を行う。

### 3.3 対象橋梁

本研究で対象とする橋梁は、現在、道路公団の第二東名高速道路において架設されている文献<sup>5)</sup>で示されるような少数主桁橋梁(3主桁橋梁)及び、それに準ずる大きさの従来型橋梁(6主桁橋梁)である。図-9、10に、少数主桁橋梁及び従来型橋梁の概念図を示す。

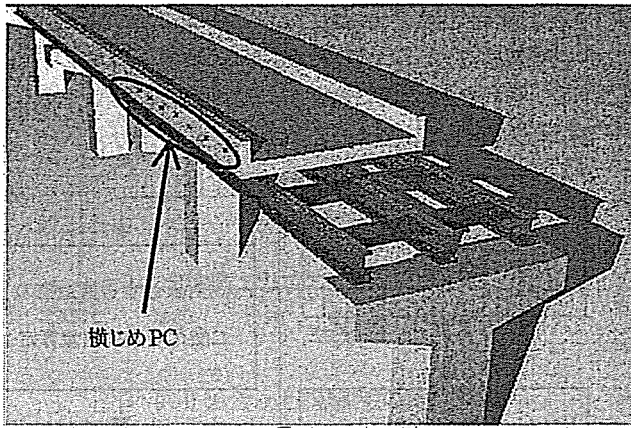


図-9 少数主桁橋梁の概念図

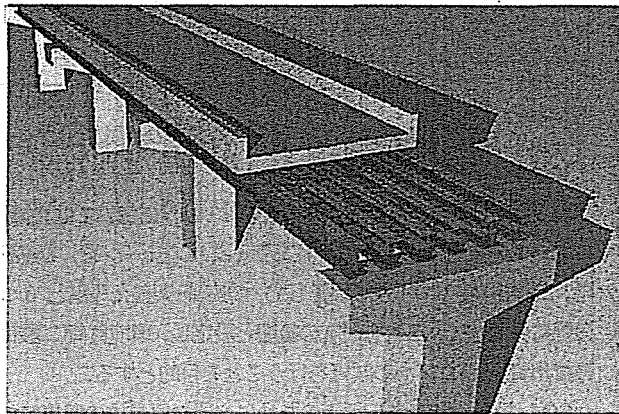


図-10 従来型橋梁の概念図

少数主桁橋梁は建設の合理化を目的とし、その一環として工場製作および現場作業の省力化を目的として図-9に示すように、従来型橋梁に比して主桁本数を減らし、横構を省略して横桁だけで主桁を連結し、構造をシンプルにしている。少数主桁橋梁は RC 床版と比して耐久性、剛性、信頼性の高い PC 床版を用い、主桁を大型化することによって床版支間を大きくとっている。

なお、評価対象とする橋梁の条件は表-1の通りである。評価対象とする橋梁で使用される部材数などは文献 10)を参考とする。

表-1 評価の対象とする橋梁の条件の比較<sup>10)</sup>

	少数主桁橋梁	従来桁橋梁
構造形式	鋼連続非合成I桁橋	鋼連続非合成I桁橋
橋長	173.4m	199.7m
幅員	15.5m	15.73m
スパン構成	39.6,40.3,42.5,51.0m	40.5,42.6,49.5,67.1m
床版形式	プレキャストPC床版	RC床版
床版厚	27cm	24cm
主桁本数	3主桁	6主桁
主桁高	2.9m	2.5m
連結法	現場溶接	ボルト接合

表-1より、橋長と幅員が、少数主桁橋梁及び従来型橋梁とでは多少異なっているために、ここでは、単位橋面積に換算して比較を行うこととする。今後、支間長の違いなどによる影響については検討を要する。また、本研究におけるライフサイクル環境負荷  $E_T$  及びコスト  $C_T$  は以下の式で表わすことができる。

$$E_T = E_C + E_M + E_R \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$C_T = C_C + C_M + C_R \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、

$E_T, C_T$  = ライフサイクル全体の環境負荷及びコスト、

$E_C, C_C$  = 建設段階の環境負荷及びコスト、

$E_M, C_M$  = 維持管理(供用)段階の環境負荷及びコスト、

$E_R, C_R$  = 廃棄・架替え段階の環境負荷及びコスト。

### 3.4 建設段階

第一ステージの建設段階においては、上述した橋梁が建設される場合の環境負荷及びコストを算出する。考慮する部材は、1)床版で使われるコンクリート、鉄筋、PC鋼棒。2)主桁などで使用される各種鋼材。3)支承。4)伸縮継手。5)舗装で使用するアスファルト6)塗装である。ヒアリングにより橋梁架設方法はトラックレーン工法とし、各種建設機械の移動時間などは、文献 6)における各種の数量と、文献 11)を参考にして算出する。

なお、建設段階における環境負荷及びコストの算出方法は以下のとおりである。

$$E_C = E_{Cm} + E_{Cw} \quad \dots \dots \dots (3a)$$

資材の環境負荷

$$E_{Cm} = M_n \times U_{co_2} \quad \dots \dots \dots (3b)$$

建設機械の環境負荷

$$E_{Cw} = (G \times U_g + W_w \times U_w \div W_l) \times W_h \quad \dots \dots \dots (3c)$$

$$C_C = C_{Cm} + C_{Cw} \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここで、

$E_C, C_C$  = 建設段階の環境負荷及びコスト、

$E_{Cm}, C_{Cm}$  = 資材による環境負荷及びコスト、

$E_{Cw}, C_{Cw}$  = 建設機械による環境負荷及びコスト、

$M_n$  = 資材の数量、

$U_{co_2}$  = 資材の CO<sub>2</sub> 原単位、

$G$  = 建設機械の1時間の燃料消費量、

$U_g$  = 燃料 1% の CO<sub>2</sub> 原単位、

$W_h$  = 建設機械の移動時間、

$W_w$  = 建設機械の重量、

$U_w$  = 建設機械 1ton あたりの CO<sub>2</sub> 排出量

$W_l$  = 建設機械の耐用年数。

また、維持管理段階、廃棄・架替え段階における資材の環境負荷、及び、建設機械の環境負荷についても同様の考え方で算出した。

主桁の製作においては溶接による環境負荷を考慮して算出する必要があるが、ここでは、6mm 脚長に換算された溶接についてサブマージ溶接のシールドのために溶接機械のノズルより排出される CO<sub>2</sub> 排出量と溶接材料の使用による CO<sub>2</sub> 排出量、そして、溶接機械の電力消費による CO<sub>2</sub> 排出量を考慮して計算した。表2に本研究において算出した溶接延長1mあたりにおける CO<sub>2</sub> 排出量を示す。

表2 本研究において使用した溶接1mあたりのCO<sub>2</sub>排出量

項目	CO <sub>2</sub> 排出量(kC/m)
ノズルからの排出	0.471
溶接棒の使用	0.454
電力の使用	0.344

ただし、コストについては、ヒアリングから得ることができた情報は資材の価格と労務費の合計の値のみであったために、 $C_{cm}$ と $C_{cw}$ は分離せず直接ヒアリングからの値としてその合計である $C_c$ を用いた。そのため、環境負荷のように資材のコストと労務のコストの割合を知ることは出来なかった。なお、少数主桁橋梁及び従来型橋梁の溶接による環境負荷は、主桁の製作及び架設からの環境負荷の1%程度であり、全体の環境負荷からみると、わずか0.5%程度の影響しかないことが分かった。

### 3.5 維持管理(供用)段階

第二ステージの維持管理(供用)段階においては、橋梁の各部材についての寿命を設定し、各部材の寿命到来時にそれらを取り替える事によって橋梁自体の寿命まで供用していくと仮定する。

本来は、橋梁の架設された場所による環境条件や、交通量などの供用のされ方により、各部材及び、橋梁自体の寿命は異なってくるために、寿命を固定して考えることは難しい。しかし、ライフサイクル評価を行うにあたっては、それぞれの寿命を決定する必要があるために、本研究においては、ヒアリングの実施、または、文献3)を参考として、環境負荷及びコスト的にも重要であると考えられるa)橋面舗装、b)床版、c)塗装、d)伸縮継手、e)支承の5つの部材及び、橋梁全体の寿命を設定し、その特徴をとらえることにする。

本研究において、少数主桁橋梁の寿命 $L$ は道路公団技術者へのヒアリングおよび、前述した現在行われている道路橋示方書の改定作業において橋梁寿命を100年前後に規定する動きもあるため、新技術を用いた合理化橋梁は、従来型橋梁と比して床版にPC床版を用いるなど耐久性にも考慮し、 $L = 100$ 年程度と仮定しても妥当と考えられた。

従来型橋梁の寿命は一般的に60年といわれていた、文献3)では60年の寿命と仮定していること、文献9)より橋梁の物理的寿命は40年~60年であると推測できること、また、鋼鉄道橋においても、実際は耐用年数を超しても使用されている橋梁は多数存在するが、一般的な物理的耐用年数は在来線においては60年としている。本研究においてはこれらを踏まえて従来型橋梁の寿命を $L = 60$ 年と仮定した。また、橋梁の各部材についての寿命も、

各メーカーなどの技術者へのヒアリングを基本として情報を収集し、ヒアリングによって得られなかったものにおいては、文献7)による値を用いることとした。表3に、本研究において設定したa)~e)の各部材の寿命を示す。

表3 各部材の寿命及び補修間隔

部材名	劣化の要因	本研究で仮定した寿命 $L_i$
①橋面舗装	大型車交通量	15年
②床版	大型車交通量	PC床版:100年, 補修は50年
	周辺環境, 遮水不足	RC床版:40年, 補修は30年
③塗装	周辺環境	20年
	橋梁形状	(ゴム部:15年, 鋼材部:20年)
④伸縮継手	交通量, 周辺環境	20年
⑥支承	交通量, 周辺環境 橋梁形状, 材料特性 遮水不足	30年

なお、床版の補修についてはRC床版では、後述する付録2において示すような上面増厚工法を用い、PC床版は間詰コンクリートの取替えによって補修すると仮定した。

また、維持管理段階における環境負荷及びコストは式(5)、(6)であらわす。

$$E_M = \sum_{i=1}^5 (E_{iMm} + E_{iMw}) \frac{L}{L_i} \quad \dots \dots (5)$$

$$C_M = \sum_{i=1}^5 (C_{iMm} + C_{iMw}) \frac{L}{L_i} \quad \dots \dots (6)$$

ここで、

- $E_M, C_M$  = 維持補修(供用)段階の環境負荷及びコスト、
- $E_{iMm}, C_{iMm}$  = 資材による環境負荷及びコスト、
- $E_{iMw}, C_{iMw}$  = 建設機械による環境負荷及びコスト、
- $L$  = 橋梁寿命、
- $L_i$  = 各部材の寿命。

### 3.6 廃棄・架替え段階

第三ステージである廃棄・架替え段階においては、橋梁が架設されている場所の地理的条件及び車両交通状態によって、1)交通を全面封鎖し、改築を行う。2)仮橋を設けて、交通を迂回し、改築。3)片側ずつ交通を止めて、撤去改築を行う。4)横引きによる改築を行う。などが考えられる。車両交通が少なく、他に代替通路が存在する場合は1)が採用される。また、車両交通が多く、適当な代替通路が存在しない場合は、車両を通しながら架替えを行うことになるが、橋梁の脇に仮設橋を架設する余裕がある場合には2)の方法が、余裕がない場合には3)の方法が採用される。4)は旧橋に隣接して完成上部工を建設し、旧橋上部構造を撤去後、新設上部工を横引きして架替えを行う工法であるが、これは、旧橋上部工と新設上部工の橋面高さを一致させる必要があり、施工に

困難が伴う可能性が高い。その他にも、この方法は多くの問題を伴うために、現在はほとんど用いられない。

それぞれの工法についての、建設機械の稼働時間やコストなどを把握できるような文献はほとんどなく、必要データを得るのは非常に困難であった。そこで、本研究では廃棄(旧橋撤去)については、文献9)で使われている橋梁台帳データの橋梁撤去費用の平均値を用いることとした。橋面積あたりに換算した旧橋撤去費用を表4に示す。

表4 橋梁台帳データ

橋梁名	橋梁形式	橋面積(m <sup>2</sup> )	旧橋撤去費用(千円)
A橋	単純プレテンT桁橋	239.5	158
B橋	単純合成桁	416.0	236
C橋	連続非合成箱桁橋	617.0	234
D橋	単純鋼床版箱桁橋	1022.0	277
E橋	単純ポステンT桁橋	302.0	247
F橋	単純合成桁	780.0	206
平均			226

本研究では橋梁の架替え(撤去及び新設)のコストを式(8)を用いて算出し、環境負荷については式(7)に示すように、舗装、床版、そして、桁材を撤去するための建設機械からの環境負荷と、架替え自体の環境負荷は建設時の環境負荷と同じとして、それらを足し合わせて計算を行った。

$$E_R = E_{Rw} + E_C \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$C_R = C_{Rd} + C_C \quad \dots \dots \dots (8)$$

ここで、

- $E_R, C_R$  = 廃棄・架替えにかかるコスト、
- $E_{Rw}$  = 建設機械による環境負荷、
- $E_C$  = 建設段階における環境負荷、
- $C_{Rd}$  = 旧橋撤去費用、
- $C_C$  = 架替えにかかるコスト(新設コストと同様)。

この方法で廃棄・架替えのコストを計算すると、少数主桁橋梁、従来型橋梁橋どちらも新設コストの約2.4~2.5倍となる。文献8)においては、橋梁の架替え(撤去及び新設)にかかるコストは建設段階のコストの3倍程度(2.8倍)となると仮定して計算を行っている。よって、本研究における橋梁の架替え(撤去及び新設)にかかるコストは式(8)において算出した値を用いても妥当であると考えた。

なお、建設から廃棄段階までを橋梁のライフサイクルと考えるときは、式(7)、(8)の右辺第2項は考えない。

### 3.7 ライフサイクルの範囲の設定

LCAは本来、製品のライフサイクルに関わるすべてのプロセスを対象として行うべきであり、その趣旨からすれば、LCAの対象と関連する全てのものを対象とする必要があると言える。このことは、例えば、本研究においては建設機械を生産するための資本

財までも考慮する必要があることになる。

文献8)において、国立環境研究所の森口らの行った自動車によるCO<sub>2</sub>排出のライフサイクル分析によると、自動車を生産するための資本財(生産設備)による環境負荷は、自動車のライフサイクル全体における環境負荷のうちのわずか1.3%にすぎないという結果になっている(図-11、12参照)。

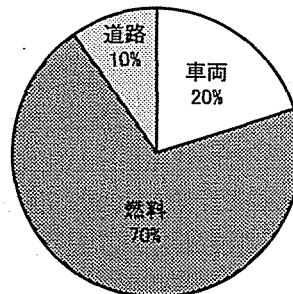


図-11 自動車のライフサイクル環境負荷の内訳<sup>8)</sup>

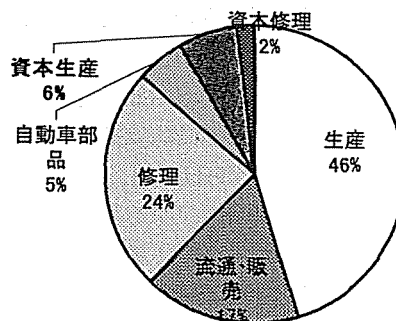


図-12 車両(図-11)の環境負荷の内訳<sup>8)</sup>

自動車は大量生産されるために、一台あたりで見ると、生産設備による環境負荷は非常に小さく考えられる。建設機械の場合は自動車と比べると、生産台数も少なく、また、建設機械一台あたりの重量も自動車の10倍以上となり、その結果、排出量が多くなる可能性も考えられるが、それでも、橋梁全体から見た場合の影響は非常に小さく、建設機材を生産するための生産設備の環境負荷を考慮するためのデータを入手することは実際のところ困難であるために、本研究においては建設機械の原価償却までをLCAの考慮の対象範囲であるシステムバウンダリーとするこ

表5 舗装100m<sup>2</sup>あたりの環境負荷

項目	数量	単位	環境負荷(tCO <sub>2</sub> e)
アスファルト	19.04	ton	1.96
防水シート	100	m <sup>2</sup>	1.156
フィニッシャ運転	0.37	時間	0.040
ロードローラ運転	0.37	時間	0.015
タイヤローラ運転	0.37	時間	0.031
合計			3.203

表5に舗装100 m<sup>2</sup>あたりの環境負荷の割合を示す。フィニッ

ゃ運転, ロードローラ運転, そして, タイヤローラ運転の環境負荷の値は, 建設機械の燃料消費量及び, 原価償却にかかわるもののみを積算した結果であるが, このように, 建設機械は耐用年数が10年程度となっているのに対して, それぞれの建設機械の使用日数は, わずか0.37時間となっており, 耐用年数の0.04%程度にすぎない. 自動車の場合と同様に建設機械の生産設備からの環境負荷は, ほぼ無視できる値であると考えられる. よって, 生産設備にかかわる環境負荷を考慮しなくとも, 環境負荷の算定の結果にはほとんど影響は出ないと判断できる.

### 3.8 割引率に関する検討

LCAは, 対象とする製品の製造から廃棄されるまでの期間を対象として実施される. 特に本研究のように, 対象とする期間を100年というように非常に長く設定した場合には, 将来のコスト及び環境負荷を現在の数値に置き換えるための割引率をどの程度の値にするかは, 大きな問題である.  $n$ 年後の建設コストを割引率  $r$  によって置き換えた現在コストは次の式で表わされる.

$$C'_c = \frac{C_c}{(1+r)^n} \quad \dots \dots \dots (9)$$

ここで,

- $C'_c$  = 割引率  $r$  によって置き換えられた現在コスト,
- $C_c$  = 建設コスト,
- $r$  = 割引率,
- $n$  = 経過年数.

図-13に少数主桁橋梁と従来型橋梁の割引率  $r$  を2%, 5%, 8%, 10%としたときの建設コストの比較を示す. 縦軸は将来コストを式9)によって現在コストに変換したときの値と現在コストの比である.

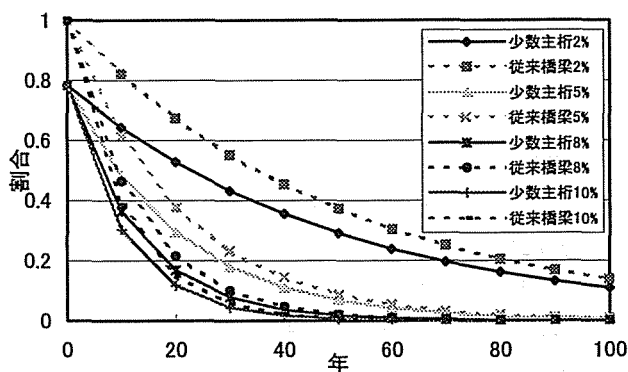


図-13 各割引率による建設コストの比較

10%の割引率を用いた場合であれば, 少数主桁橋梁, 従来型橋梁のどちらとも40年経過の時点で最初の価格の2%程度となり, 非常に小さく見積もられてしまう. また, その他の割引率を用いた場合であっても, 100年後ともなれば, 2%の割引率でも当初の建設コストの20%以下と相当に小さく見積もられてしまう. 割引率を大きくすると, 年数の経過に伴って少数主桁橋梁と従来型橋梁の価格の差が小さくなっていくこともわかる. よって, 割引率

をどのように設定して評価するかで, 廃棄・再架設の評価結果に大きな違いが生じる.

わが国では通常は公定歩合を割引率として用いることが多いが, 現在の公定歩合は0.5%程度と非常に低い. そこで, 公定歩合である0.5%, 2%および0%の3種の割引率を用いて少数主桁橋梁と従来橋梁のライフサイクルコストの比較を行った結果を図-14に示す. 数値軸の指数は従来型橋梁の建設コストを1とした場合の比である.

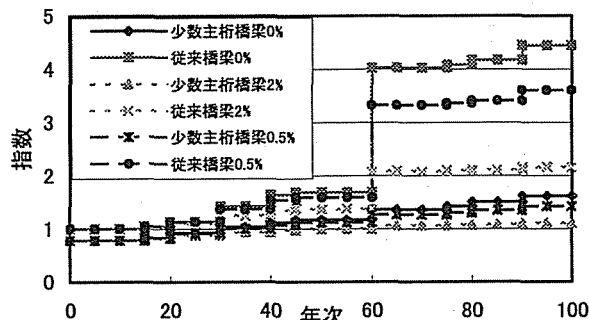


図-14 割引率を用いた場合のコストの比較

割引率2%で計算した場合は, 100年後には, 従来型橋梁においては, 割引率0%で計算した場合の半分以下に, 少数主桁橋梁の場合は, 約30%コストが低く見積もられることとなる. 割引率0.5%で計算した場合, 従来型橋梁は割引率0%で計算した場合の80%程度に, 少数主桁橋梁は40%程度となる. これらより, 割引率をどのように設定するかで, ライフサイクルコストは非常に大きく異なってくる.

一方, 環境負荷の割引率については, 二酸化炭素が現在排出されることが, 将来において排出されることよりも大きな影響力を持つと考えて逆割引率を使用すべきという議論もなされている. また, 本研究において対象としているような長期的な立場からみた場合は, 将来どのような技術革新がおり, ライフサイクルコストや環境負荷の算定にどのような影響を与えるかを予想することも非常に困難である. しかし, 欧米のこの種の研究では割引率についての議論が必ずなされるために, 割引率についての考察を避けることができない. そこで, 本研究における割引率は環境負荷については文献9)を参考とし, コストについては, 文献3)同様に物価上昇率と利率で相殺されることも考えられるために0%として計算を行うこととする. 実際に, どの程度の割引率を設定すべきかについては, 今後の研究課題であろう.

## 4. ライフサイクル環境負荷・コストの計算

### 4.1 従来型橋梁と少数主桁橋梁の比較

従来型橋梁と少数主桁橋梁における鋼重などの各項目別の比較を図-15に示す. この図は少数主桁橋梁の数量を従来橋梁の数量で割った割合を示している. なお, 文献6)においても, 同様の比較がなされているので, それもあわせて図-15に示す. 本研究における従来型橋梁は6主桁橋, 少数主桁橋梁は3主桁橋であり,



文献6)の場合は4主桁橋梁, 少数主桁橋梁は2主桁橋梁である。

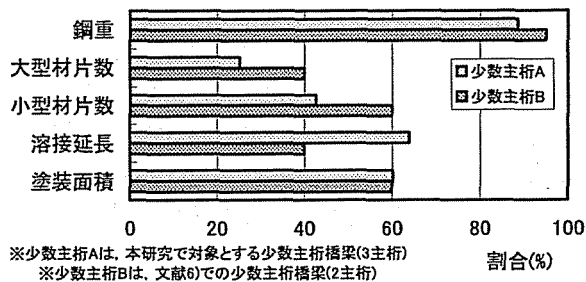


図-15 従来型橋梁と少数主桁橋梁の各項目比

そのため、二つの少数主桁橋梁を直接に比較することはできないが、どちらの少数主桁橋梁も従来橋梁に比して、鋼重について5~10%、塗装面積について約40%低減することができる。また、その他の項目は、2種の少数主桁の間でばらつきが大きい。

図-15より、少数主桁橋梁は大型材片数と小型材片数の減少により、本体の加工組立工数を減少することができ、さらには溶接延長の減少によって本体の溶接工数を減らすことができる。これらによって、鋼橋製作費を低減することが可能となり、結果としてコスト縮減につながっている。本研究における少数主桁橋梁の鋼橋製作費は、従来型橋梁の鋼橋製作費の60%程度となった。鋼重、塗装面積、そして、溶接延長の減少はいずれも環境負荷の低減に結びつくものである。

図-16に少数主桁橋梁と従来型橋梁の建設段階における各部材ごとの環境負荷の割合を示す。縦軸は少数主桁橋梁の建設段階における環境負荷を100%とした場合の各部材の内訳を示している。従来型橋梁についても同様のものを示している。

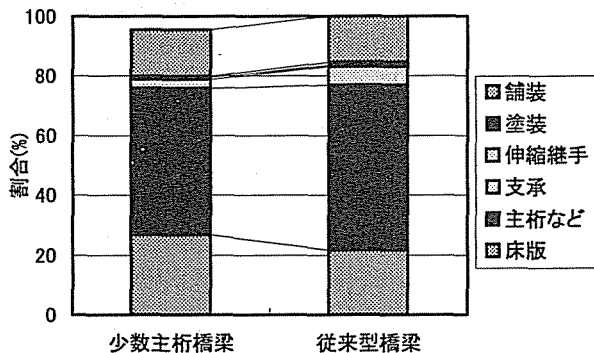


図-16 建設段階における各部材の環境負荷の割合

図-16から、少数主桁橋梁および従来型橋梁のどちらの橋梁とも、橋梁を構成する各部材のうち床版及び主桁からの環境負荷が全体の3/4程度と大きいことが分る。また、少数主桁橋梁の床版からの環境負荷は約26%と、従来型橋梁の約21%よりも大きい。これは、従来型橋梁は床版にRC床版を用いているが、少数主桁橋梁はPC床版を用いているために、資材として、コンクリート、鉄筋というRC床版と同じもののほかに、PC床版独自の資材として、PC鋼棒を使用していることおよび床版厚の違いから生じたと考えられる。表6に少数主桁橋梁と従来型橋梁の床版におけ

る材料数量の比較を示す。

表6 床版の材料数量の比較

項目	従来型橋梁数量	少数主桁橋梁数量
コンクリート体積(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	0.249	0.296
型枠(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	0.717	1.480
鉄筋重量(kg/m <sup>2</sup> )	62.062	75.423
PC鋼材(kg/m <sup>2</sup> )	--	10.214

少数主桁橋梁の主桁などからの環境負荷は、従来型橋梁の約49%であり、従来型橋梁の約55%よりも少なく抑えられている。これは、少数主桁橋梁のほうが従来型橋梁よりも、使用される全鋼重が小さいためであると言える、また、これらから、どちらの橋梁とも床版及び主桁からの環境負荷が、全体の3/4程度と大部分を占めることがわかる。舗装については、全体の約15%と比較的大きい値となっているが、少数主桁橋梁、従来型橋梁とも同様のものを使用しているため、同一の環境負荷となっている。

#### 4.2 ライフサイクルにおける環境負荷とコストの比較

図-17に従来型橋梁と少数主桁橋梁のライフサイクルにおけるコスト及び環境負荷の比較を記す。橋梁の各部材についての寿命は表-3の値を適用した。

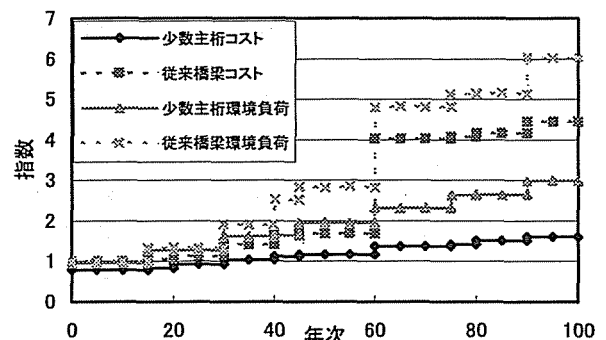


図-17 環境負荷及びコストの比較

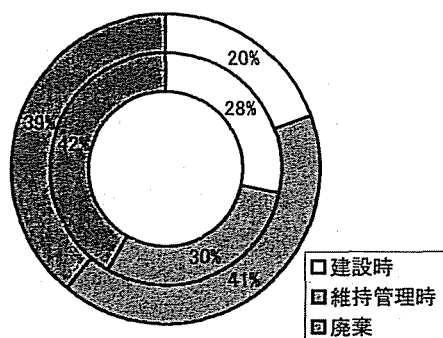
図-17より、建設時における従来型橋梁の環境負荷については、少数主桁橋梁より5%程度環境負荷が大きくなっているに過ぎず、大差は見られない。しかし、100年と設定されたライフサイクル全体を通してみた場合については、2倍以上の差があることがわかる。これは、従来型橋梁は建設後60年の時点において、橋梁の架替えが行われていることが大きな要因と考えられる。なお、従来型橋梁の架替え寸前の時点においても、従来型橋梁は少数主桁橋梁よりも40%以上環境負荷が大きい状態にある。このことは、従来型橋梁は床版にRC床版を使用しているために、維持管理の段階において、床版の補修及び取替えを行う必要があるためと考えられる。

一方、コストについてのヒアリングでは、建設時のコストは少数主桁橋梁のほうが従来型橋梁より5~10%低く抑えることができ、特に本研究において対象とする橋梁は1tonあたり従来型橋梁では約100万円、少数主桁橋梁では約90万円と約10%低く抑えることができるとのことであった。また、対象とする橋梁の単位



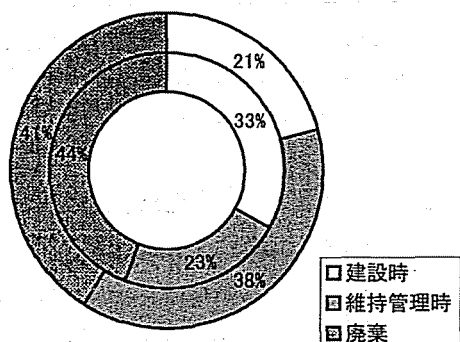
橋面積あたりのコストに着目して計算を行ってみても、少数主桁橋梁は従来型橋梁より約 10%近くコストを抑えて建設することができるということが分った。ライフサイクル全体を通してみると、維持管理段階において、従来型橋梁は少数主桁橋梁の 2.5 倍程度のコストがかかる結果となった。これは、従来型橋梁は架替えが行われているのが一番の要因であると考えられる。なお、橋梁の架替え以前の段階において比較しても、従来型橋梁少数主桁よりも 30%以上コスト高くなっている。これは、環境負荷の場合と同様に、従来型橋梁においては、RC 床版を使用しており、維持管理のために RC 床版を補修及び、取り替える必要があること、そして、塗装塗り替えにおいて、従来型橋梁は少数主桁橋梁より塗装面積が大きいために、塗装塗り替えのためのコストがかかると考えられる。

次に、図-18、19 に、少数主桁橋梁及び従来型橋梁のそれぞれの建設段階から廃棄段階にいたるまで(少数主桁橋梁は 100 年、従来型橋梁は 60 年)のライフサイクルコスト及び環境負荷の内訳を示す。ここでは、廃棄・架替え段階における橋梁の架替えにかかる環境負荷及びコストは含めず、橋梁の架設から廃棄までの期間で比較する。



※内側はコスト、外側は環境負荷を示す。

図-18 少数主桁橋梁のライフサイクル(100年)における環境負荷とコストの内訳



※内側はコスト、外側は環境負荷を示す。

図-19 従来型橋梁のライフサイクル(60年)における環境負荷とコストの内訳

一般に、少数主桁橋梁は、構造の簡素化などの合理化を行って

いるために、維持管理の割合が従来型橋梁より少ないと考えられている。しかし、図-18、19 より、少数主桁橋梁と従来型橋梁の維持管理段階と建設段階の分担比率はほとんど変わらない。これは、少数主桁橋梁の維持管理段階において、橋梁の寿命を 100 年としたため、各部材の取替え回数が従来型橋梁よりも多くなるためである。特に環境負荷については、15 年に 1 度取替えの行われている舗装の取替え回数が大きく影響している。

図-20 に、維持管理段階の各部材の環境負荷とコストの分担率を年ベースにしたものを示す。図-20 では、従来型橋梁を基準である 100%として、少数主桁橋梁はそれとの比率で示している。この図によると、少数主桁橋梁はコストにおいて約 20%、環境負荷においても 30%以上低く抑えることができ、少数主桁橋梁の方が有利となる。

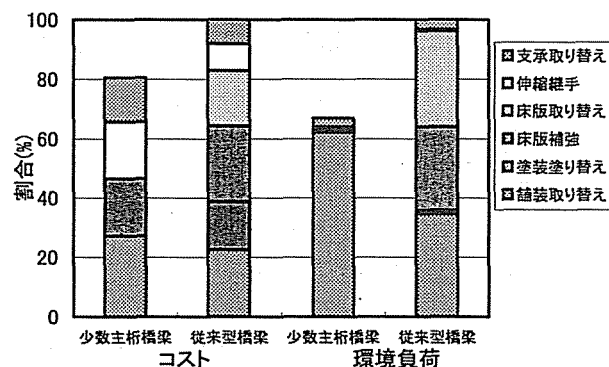


図-20 維持管理段階のコスト及び環境負荷の比較(年ベース)

これは、少数主桁橋梁は従来型橋梁と異なり、床版の取替えを行う必要がなく、また、塗装の塗り替えについても塗装面積が従来橋梁と比して小さいために、コスト及び環境負荷は低く抑えることができるためと考えられる。その他、図-18、19 よりどちらの橋梁も廃棄段階に環境負荷が建設段階の約 2 倍、コストが約 1.5 倍とライフサイクル全体で見ると大きな割合を占めていることがわかる。

橋梁技術者へのヒアリング等を行った結果、建設後 60 年を経過した橋梁であっても、実際は健全なものも多くあることが分かった。維持補修についても、60 年を経過する以前と同様なメンテナンスを行うことで供用を続けている橋梁もあるために、60 年経過した時点で橋梁の架替えを行うという仮定だけでなく、60 年経過した後も、維持補修を続けていくことによって、橋梁を供用していく場合についても検討する必要がある。このような比較を行う場合は、橋梁の寿命到来時において、橋梁の損傷具合などによって、その後の補修間隔が短くなるようなことも考えられるが、ヒアリング等を行っても、一般にどの程度補修間隔が短くなるかを明らかにすることは出来なかった。そこで、大胆な仮定ではあるが、橋梁技術者の助言を参考にして、表 7 に示すような二つのシナリオを用いて橋梁を使用した場合の環境負荷及びコストの比較を図-21 示す。なお、図-21 の縦軸は環境負荷の場合は従来型橋梁の建設時における環境負荷を 1 とした場合の比を示し、コストについても同様に従来型橋梁の建設時のコストを 1 とした場合

の比を示す。

表-7 架替えをなしとした場合の従来型橋梁の仮定

項目	仮定
シナリオ1	寿命の経過後も従前と同様の維持管理を行う
シナリオ2	寿命の時点で建設時の半分のコストで補強を行い、 その後は従前と同様の維持管理を行う。

なお、シナリオ2では、建設時のコストの半分で補強を行うとしているが、橋梁の寿命を延命するため、具体的にどのような補強を行うかは、個々の橋梁によって大きく異なるため、環境負荷を算出することができなかった。そのため、本研究においてはコストと同様に、建設時の半分の環境負荷が発生したものと仮定して計算を行った。

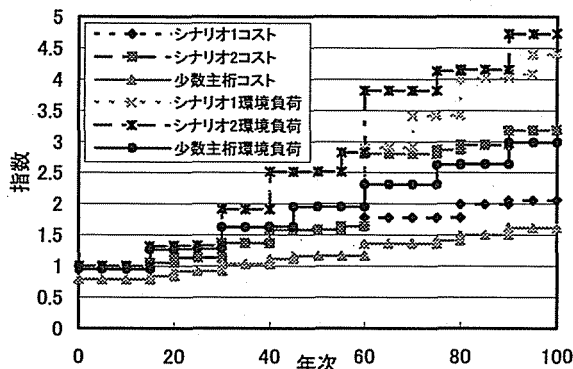


図-21 架替えなしと仮定した場合の環境負荷及びコストの比較

まず、環境負荷に着目すると、シナリオ1の環境負荷は、少数主桁橋梁の50%程度の増加となる。シナリオ2の場合は、少数主桁橋梁の60%程度の増加にとどまることとなった。図-17で挙げたように従来型橋梁の建設段階から廃棄・架替え段階において、廃棄・架替え段階における環境負荷は4割を占め、非常に影響が大きいため、シナリオ1では架替えを行った場合の約70%、シナリオ2では約65%にまで環境負荷を低減することができることが分かった。しかし、いずれにしても、少数主桁橋梁のほうが従来型橋梁よりも優位であることに変わりはない。

次にコストに着目してみると、架替えを行う場合は従来型橋梁の3倍弱程度の差があったが、シナリオ1の場合は30%程度の増加、シナリオ2の場合は約2倍弱と、環境負荷の場合と同様にコストも大きく抑えられることが分かった。

### 4.3 ミニмумメンテナンス橋梁との比較

文献9)において、建設省土木研究所より提唱されているミニмумメンテナンス橋梁と従来型橋梁の環境負荷についての比較及び検討を行っている。ミニмумメンテナンス橋梁とは、架替えが不要で、かつ維持管理負担費用を最小限に抑えることが可能な橋梁である。ミニмумメンテナンス橋梁は、維持管理負担費用を最小限に抑えるために、原因が明らかである耐久性喪失要因に対して技術的・経済的に可能な対策を施した最小限の維持管理を前提と

した橋であり、工学的永久橋という考え方がなされ、その目的を達成するために、図-22で示すような技術項目が考慮されている。

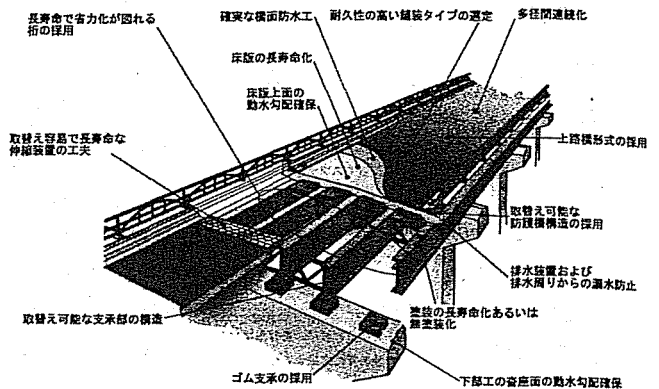


図-22 ミニмумメンテナンス橋梁の概念図<sup>3)</sup>

ここでは、少数主桁橋梁、従来型橋梁、そして、ミニмумメンテナンス橋梁の3つの橋梁で、ライフサイクル全体における環境負荷及びコストの比較を行う。この比較を行うことによって、現段階ではコンセプトの段階であるミニмумメンテナンス橋梁と実際に架設されている少数主桁橋梁のライフサイクルにおける環境負荷及びコストでどのような違いが出るかを検討する。なお、この試算においては、ミニмумメンテナンス橋梁の寿命である200年のライフサイクルを対象として比較を行うこととする。少数主桁橋梁及び従来型橋梁については、上述の橋梁を使用し、ミニмумメンテナンス橋梁については、文献7)で使用しているタイプの橋梁で都市部において架設されるものを使用する。また、表8には比較の対象とするミニмумメンテナンス橋梁の諸条件を示す。

表8 ミニмумメンテナンス橋梁の諸条件<sup>3)</sup>

上部構造形式	鋼単純非合成I桁橋
橋長	30.7m
幅員(有効幅員)	11.5m(10.5m)
スパン構成	30.7mの単径間
主桁本数	5本

また、表9に、文献3)において設定されているミニмумメンテナンス橋梁の各部材の寿命を示す。

表9 ミニмумメンテナンス橋梁の各部材の寿命<sup>3)</sup>

部材名	寿命
橋面舗装	15年
床版	200年
塗装	200年(耐候性鋼材・無塗装)
伸縮継手	20年
支保	100年

少数主桁橋梁と従来型橋梁および、ミニмумメンテナンス橋梁とでは橋梁の幅員、橋長などのサイズが大きく違っているため、ここでの比較は完全に誤差を取り除くことができない

が、算定のひずみを小さくして考えることができるように、少数主桁橋梁および従来橋梁の比較のときと同様に、単位橋面積あたりの環境負荷及びコストを算出して比較を行う。算定結果を図-23に示す。なお、数値軸は環境負荷の場合は従来型橋梁の建設時における環境負荷を1とした場合の比を、コストについては従来型橋梁の建設時のコストを1とした場合の比を示す。

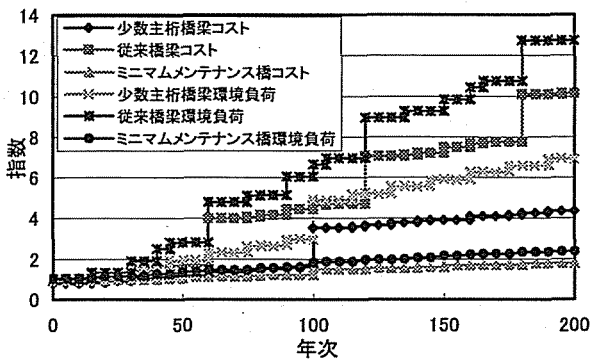


図-23 環境負荷及びコストの比較

図-23より、環境負荷については、建設段階においてはどのタイプの橋梁でも、ほぼ同様の環境負荷となっていることがわかる。しかし、ライフサイクルとして設定した200年を経過した時点で見てみると、ミニмумメンテナンス橋梁に対して、少数主桁橋梁が約3倍、従来型橋梁が約6倍の環境負荷となっている。これは、維持管理段階における二酸化炭素の排出もあるが、架替え回数の違いによる影響が大きいと考えられる。なお、それぞれの橋梁における架替え時期の寸前において比較してみると、従来型橋梁の寿命である60年の時点では、ミニмумメンテナンス橋梁を基準とすると、少数主桁橋梁は約30%、従来型橋梁は2倍近く環境負荷が大きくなっており、少数主桁橋梁の100年で比較すると、少数主桁橋梁が50%強、従来型橋梁が3倍以上の環境負荷となる。

一方、ライフサイクルコストは、建設段階においては若干ミニмумメンテナンス橋梁の方が高くなるのがわかる。これは、橋梁の部材を従来橋と比べて寿命の長いものを使用しているためと考えられる。しかし、ライフサイクル全体を見た場合、ミニмумメンテナンス橋梁を基準として、少数主桁橋梁が約2.5倍、従来型橋梁が6倍弱のコストがかかる結果となった。橋梁の架替えによるコストの影響が大きいと考えられる。しかし、少数主桁橋梁の架替え寸前のところで見ると、少数主桁橋梁はミニмумメンテナンス橋梁の30%程度のコストアップにとどまっているが、従来型橋梁は3倍以上コストが高くなっていることがわかる。

これらのことから、少数主桁橋梁は、コンセプトの段階であるミニмумメンテナンス橋梁と比して考えると、ライフサイクル全体における環境負荷及びコストについて、ミニмумメンテナンス橋梁までとはいかないにせよ、従来型橋梁と比べてはるかに有利な橋梁タイプであると考えられることができる。

#### 4.4 ライフサイクルアナリシスの今後の課題

現段階におけるライフサイクルアナリシスの問題点としては、

以下のものが挙げられる。

- 1) 橋梁の各部材の寿命及び、橋梁全体の寿命を異なる環境のもとで供用される場合でも考慮できるモデルがないため架設地点が特定されても十分な精度でライフサイクルコストや環境負荷が算定できない。
- 2) 橋梁架替えに関するコスト及び環境負荷に関するデータを今後収集し、その精度を高める必要がある。
- 3) 架替えが行えないような都市部における橋梁の寿命延長に関する技術の調査を行い、評価モデルを作る必要がある。

#### 5. 結論

本研究において、従来型橋梁、少数主桁橋梁及び建設省土木研究所が提唱しているミニмумメンテナンス橋梁について、ライフサイクルにおける環境負荷及びコストについての検討を行った。その結果、以下の結論が得られた。

- 1) 少数主桁橋梁がコストのみならず、環境負荷削減の観点からも優れた橋梁形態であることを定量的に明らかにした。
- 2) LCAを行うにあたって、LCAの対象と関連するものについてどこまでの範囲を考慮するかというシステムバウンダリーを建設機械の減価償却までとして、それ以上は考慮しなくても、全体への影響は小さいことを示した。
- 3) 橋梁の各部材について、少数主桁橋梁、従来橋梁ともに、床版及び主桁からの環境負荷が大きく、両者で、全体の3/4程度になることを示した。
- 4) 維持管理段階及び廃棄段階における環境負荷は、建設段階の環境負荷のおよそ2倍となり、維持管理段階のコストは、建設段階とほぼ同じになることを示した。また、廃棄段階におけるコストは、建設段階のコストの約1.5倍とライフサイクルにおいて非常に大きな影響をもたらすことを示した。
- 5) 建設段階ではもちろんのこと、維持管理段階で環境負荷及びコストを縮減できるような橋梁の架設を考慮することは、安全性、施工性等と同様に重要であることを示した。
- 6) ライフサイクルにおけるの環境負荷及びコストを縮減するためには、橋梁そのものの寿命が長いもの、橋梁の架替え回数が少なくて済むものが有利になることを示した。

今後の研究の課題としては、限られたケーススタディのみでなく、より一般的な場合にも対応でき、かつ新規技術開発されるものに対しても、システムチックにライフサイクル環境負荷とコストを算定できるようなシステムの開発を行う必要があると考える。

最後に、本研究を行うにあたって、資料提供など、有用な情報の提供にご協力くださった、道路公団、名古屋市、横河ブリッジ、NKK、前田道路、日鐵溶接工業などの技術者の方々に深く感謝いたします。

また、本研究の一部は平成11年度の文部省・科学研究費補助金・基盤研究(B) (研究代表者・伊藤 義人)として研究補助を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) 田邊敏明, 地球温暖化と環境外交 京都会議の攻防とその後の展開, 東京時事通信社, 1999年.
- 2) 建設省, 平成11年度版 建設白書.
- 3) 建設省土木研究所, 土木研究所資料 ミニマムメンテナンス橋に関する検討, 1997年.
- 4) Organization for Economic Co-operation and Development, Road transport research bridge management, 1992年.
- 5) 岡野行秀, 荒廃するアメリカ, 開発問題研究所, 昭和58年
- 6) 社団法人 日本橋梁建設協会, 新しい鋼橋の誕生 -公共事業のコスト縮減をめざして-, 1998年.
- 7) 社団法人 日本鋼構造協会, 土木鋼構造の性能設計に関する調査研究小委員会 第4回議事録, 平成11年4月16日.
- 8) 環境庁企画調整局 環境研究技術課, ライフサイクルアセスメントの実践 環境負荷低減を目指して, 1998年.
- 9) 伊藤義人, 永田裕規, スズキ ラクジュウ, 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.1295-1306, 1999年3月.
- 10) 財団法人 高速道路技術センター, 平成9年度 第二東名高速道路 鋼少数主桁橋梁の設計施工に関する調査研究 その4 資料編 (日本道路公団 名古屋建設局委託) 平成10年3月.
- 11) 土木工事積算研究会, 建設省土木工事積算基準 平成9年度版, 1997年.
- 12) 社団法人 日本建設機械化協会, 橋梁架設工事の積算 平成7年度版, 平成7年5月30日.
- 13) 建設工事積算研究会, 土木工事積算基準マニュアル 平成9年度版, 1997年.
- 14) 建設省道路局国道課, 鋼道路橋数量集計マニュアル(案), 1998年7月20日.
- 15) 財団法人 建設物価調査会, 建設物価 1997年11月号.
- 16) 財団法人 建設物価調査会, 建設機械価格・損料算定資料, 1997年.
- 17) SETAC Foundation for Environmental Education, Conceptual Framework For Life-Cycle Impact Assessment, 1993年.
- 18) L. Sunuwar, Y. Itoh, H. Nagata, T. Nishido, Characteristics of Environmental Impact of Bridges for Type Selection, Journal of Civil Engineering Information Processing System, Vol.6, JSCE pp.173-180, 1997年10月.
- 19) 西川和廣, 道路橋の寿命と維持管理, 土木学会論文集, No.501/I-29, pp.1-10, 1994年10月.
- 20) 建設省土木研究所, 土木研究所資料 資源・エネルギー消費,

環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告書(その2) 平成6年3月.

- 21) 土木学会 地球環境委員会, 土木建設業における環境負荷評価(LCA)検討部会 平成7年度調査研究報告書 平成8年4月.
- 22) 中央法規, 世界の資源と環境 1998-1999, 1999年.

付録1 本研究において使用した原単位

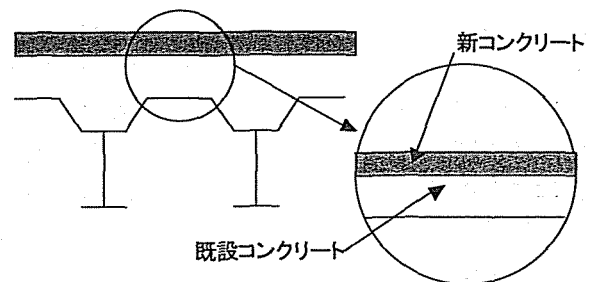
本研究において用いた原単位のうち主要なものを付表-1に示す。なお、出展が ORIGINAL となっているものは、本研究において土木学会の原単位を基にして土木研究所で算出された原単位の比率を使用する等の方法によって独自に算出した原単位のことを示す。

付表-1 原単位表

項目	数値	単位	出展
コンクリート	0.085	tC/m <sup>3</sup>	土木学会
型枠	0.001	tC/m <sup>2</sup>	土木学会
鉄筋	0.381	tC/t	土木学会
PC鋼棒	1.140	tC/t	ORIGINAL
SM400材	0.400	tC/t	ORIGINAL
SM490材	0.411	tC/t	ORIGINAL
SM570材	0.421	tC/t	ORIGINAL
支承	0.533	tC/個	ORIGINAL
伸縮装置	3.082	tC/箇所	ORIGINAL
塗装	0.452	tC/t	土木学会

付録2 床版の補修についての詳細

床版補修の詳細については、RC床版の補修は上面増厚法にて補修を行うこととし、アスファルト部分7.5cm、コンクリート部分1cmを切削し、新たにコンクリートを6cm、アスファルトを補修前と同様の7.5cm打設すると仮定した。



付図-1 上面増厚工法

(1999年9月17日受付)