

## PC橋のLCAに関する調査・研究

(社)建設コンサルタンツ協会近畿支部 ○西村 一紀  
 同 上 正会員 張 建東  
 同 上 正会員 廣井 幸夫  
 立命館大学 理工学部教授 児島 孝之

### 1. はじめに

今日の環境問題の特徴として、個々の活動が環境へ与える負荷量は軽微なもの、その集積が大きな環境負荷を招き、問題が社会経済活動に深く起因していることが挙げられる。このため、発生する環境負荷の低減には、環境負荷を総合的に評価する手法の早期確立が必要である。このような環境負荷を総合的に評価する一手法として、ライフサイクルアセスメント (以下、LCA) がある。

本論文では、PC橋を対象に環境負荷の一部である二酸化炭素 (以下、CO<sub>2</sub>) に着目し、建設段階に発生するCO<sub>2</sub>排出量を、構造形式別・使用材料別モデルにて試算し比較検討を行った。

### 2. 土木構造物におけるLCA

土木構造物は、建設・供用・更新・廃棄等にわたるライフサイクルの中で、多くの資源・エネルギーを消費し、その過程で環境負荷を発生させている。土木構造物建設におけるCO<sub>2</sub>排出量は、資材消費・運搬施工機械・運搬施工機械燃料等によるものの総計である。CO<sub>2</sub>排出量を定量的に把握するためには、解析対象を明確にし、建設活動内容を工程段階に区分し、各段階での資材消費量やエネルギー消費量を算出し、各々の消費単位量当たりの環境負荷量を乗じて、総合的に集計する手法が一般的である。この単位量当たりの環境負荷量を「原単位」と呼んでいる。

### 3. 原単位の設定

環境負荷の原単位算出法には、大きく分けて「産業連関分析法」と「積上法」がある。両者には、解析対象領域が、波及効果を含むか否か、価格の影響を直接的に受けるか否かの差異があり、理論的に同一値は得られない。これら手法によるCO<sub>2</sub>排出原単位には、土木学会地球環境LCA研究小委員会推奨値<sup>1)</sup>や日本建築学会地球環境委員会推奨値<sup>2)</sup>がある。今回は両者に対して1990年の産業連関表を用いた修正値を設定した。

また、本検討の内、軽量及び高強度コンクリートに用いた原単位、プレテンション桁工場製作原単位、施工機械原単位等は別途手法により算出した。表-1に設定した原単位を示す。

表-1 原単位の設定

分類項目		修正値
使用 資 材	普通コンクリート 50N/mm <sup>2</sup>	91.20 kg-C/m <sup>3</sup>
	設計基準強度 35N/mm <sup>2</sup>	70.10 //
	30N/mm <sup>2</sup>	63.22 //
	24N/mm <sup>2</sup>	59.68 //
	100N/mm <sup>2</sup>	167.76 //
	80N/mm <sup>2</sup>	139.79 //
	40N/mm <sup>2</sup>	80.53 //
	軽量コンクリート 50N/mm <sup>2</sup>	102.54 //
	設計基準強度 35N/mm <sup>2</sup>	81.91 //
	30N/mm <sup>2</sup>	75.20 //
	24N/mm <sup>2</sup>	71.73 //
	100N/mm <sup>2</sup>	177.42 //
	80N/mm <sup>2</sup>	129.68 //
	40N/mm <sup>2</sup>	92.12 //

分類項目		修正値
使用 資 材・ 施 工 機 械 燃 料 等	PC鋼材	285.00 kg-C/t
	鉄筋	238.00 //
	ゴム支承	2116.00 //
	型砕材	75.10 kg-C/t
	支保工・足場工	35.70 //
	アジテータ(6m <sup>3</sup> )	16.20 kg-C/hr
	トレーラー	29.90 //
	普通トラック(10t)	18.80 //
	コンクリートポンプ	24.20 //
	トラッククレーン(100t)	78.30 //
	“(20~25t)”	30.00 //
	“(15~16t)”	21.30 //
	バックホウ(0.6m <sup>3</sup> )	24.10 //
	ダンプトラック(6.3m <sup>3</sup> )	18.30 //
工場主桁製作(電力)	3.94 kg-C/t	

#### 4. PC橋におけるCO<sub>2</sub>排出量の試算

CO<sub>2</sub>排出量の試算では、PC橋の上・下部工それぞれの  
資材消費量・運搬時・施工時のエネルギー消費量を算出し、各原  
単位を乗じてCO<sub>2</sub>排出量を算出する(式-1)。

構造形式別による試算では、上部工はPC橋の代表的な構造形  
式として、プレテンション方式T桁橋(以下、プレT桁橋)と場  
所打ち箱桁橋(以下、箱桁橋)の2ケースを選定した(表-2)。  
橋長は120m、有効幅員11.5mとした。下部工は直接基礎形式とし  
橋脚高は10mとした。施工は、プレT桁橋はトラッククレーン架  
設、箱桁橋は固定支保工による場所打ち施工とした。資材等運搬  
時のエネルギー消費について、運搬距離は表-3のように定めた。

使用材料別による試算では、上部工はポストテンション方式T  
桁橋<sup>3)</sup>、橋長40m、有効幅員14.0mとし、使用材料を高強度及び  
軽量コンクリートとした場合について比較した。設計基準強度は、  
 $\sigma_{ck}=40、80、100\text{N/mm}^2$ 、単位重量は $\gamma=24.5、20.0\text{kN/m}^3$ の計6ケ  
ケースとした。下部工は設計基準強度 $\sigma_{ck}=24、30\text{N/mm}^2$ 、直接基  
礎形式とし橋脚高は10mとした。施工は、トラッククレーン架設  
とした(表-4、5)。

軽量コンクリートを使用した場合の許容圧縮、引張応力度は共  
に普通コンクリートに対して70%に低減した。これにより、自重  
が軽減される反面許容応力度が低減されるため、桁高としては逆  
に不利となる傾向となった。CASE-7は、CASE-4に対し許容応力度  
を普通コンクリートと同値に設定したケースである。

#### 式-1 CO<sub>2</sub>排出量算出式

$$\text{CO}_2 = \sigma W_i \times G_i \quad (i = 1, 2, 3)$$

ここで、 $W_i$ :消費数量、 $G_i$ :原単位

$i = 1$ :使用材料

$i = 2$ :運搬時

$i = 3$ :施工時

#### 表-2 構造形式による比較

	構造形式	支間割
CASE-1	6径間連結プレT桁橋	6@20=120m
CASE-2	3径間連続箱桁橋	3@40=120m

#### 表-3 資材運搬距離の設定

資材	運搬距離
プレテンションT桁	100km
生コンクリート	10km
その他資材等	100km

#### 表-4 使用材料による比較(上部工)

	コンクリート強度 $\sigma_{ck}$	単位重量 $\gamma$	桁高 h
CASE-1	40N/mm <sup>2</sup>	24.5kN/mm <sup>3</sup>	2.3m
CASE-2	80N/mm <sup>2</sup>		2.0m
CASE-3	100N/mm <sup>2</sup>	20.0kN/mm <sup>3</sup>	1.7m
CASE-4	40N/mm <sup>2</sup>		2.5m
CASE-5	80N/mm <sup>2</sup>		2.0m
CASE-6	100N/mm <sup>2</sup>		1.8m
CASE-7	40N/mm <sup>2</sup>		2.0m

#### 表-5 使用材料による比較(下部工)

	コンクリート強度 $\sigma_{ck}$	単位重量 $\gamma$	橋脚高 h
CASE-A	24N/mm <sup>2</sup>	24.5kN/mm <sup>3</sup>	10.0m
CASE-B	30N/mm <sup>2</sup>		

#### 5. 試算結果及び考察

構造形式に着目した試算結果を図-1に示す。これより、以下に示す結果が得られた。

- ① 各ケース共、資材消費によるCO<sub>2</sub>排出量が全体の8割程度以上を占める結果となった。資材消費に占めるコンクリート消費量の割合が大きく、コンクリート消費量が多い程増加する結果となった。
- ② 上部工については、箱桁橋はプレT桁橋に比較してCO<sub>2</sub>排出量が約5割程度増加する結果となった。これは、箱桁橋はコンクリート消費量が多く、かつ施工機械のエネルギー消費量が多いためである。

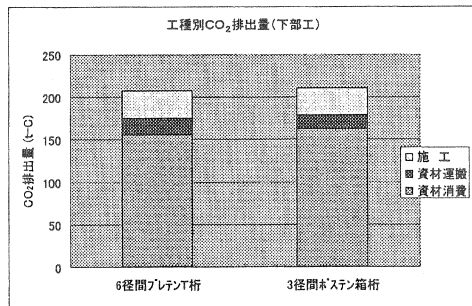
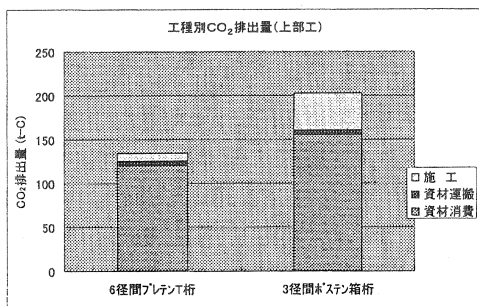


図-1(1) 構造形式別試算結果

- ③ 下部工については、プレT桁橋は箱桁橋に比較して橋脚数が増えるが、橋脚幅が縮小されるため全体として大きな差は見られなかった。
- ④ 上+下部工のCO<sub>2</sub>総排出量は、箱桁橋はプレT桁橋に比較して約2割程度増加する結果となった。

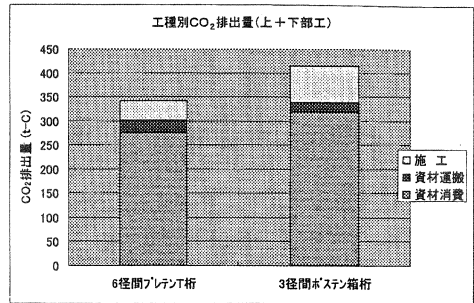


図-1(2) 構造形式別試算結果

使用材料に着目した試算結果を図-2に示す。

	コンクリート強度 $\sigma_{ck}$	単位重量 $\gamma$	桁高 h
CASE-1	40N/mm <sup>2</sup>	24.5kN/mm <sup>3</sup>	2.3m
CASE-2	80N/mm <sup>2</sup>		2.0m
CASE-3	100N/mm <sup>2</sup>		1.7m
CASE-4	40N/mm <sup>2</sup>	20.0kN/mm <sup>3</sup>	2.5m
CASE-5	80N/mm <sup>2</sup>		2.0m
CASE-6	100N/mm <sup>2</sup>		1.8m
CASE-7	40N/mm <sup>2</sup>		2.0m

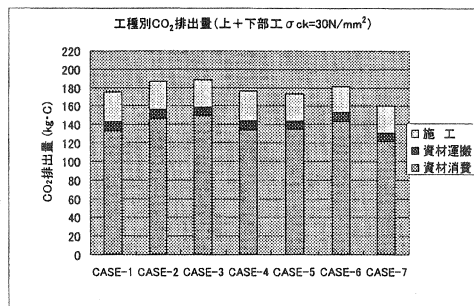
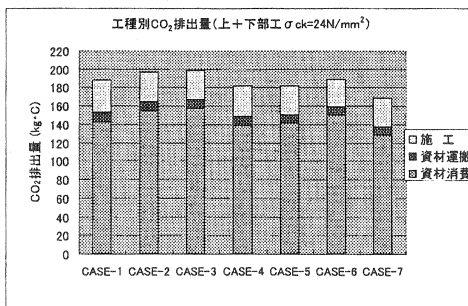
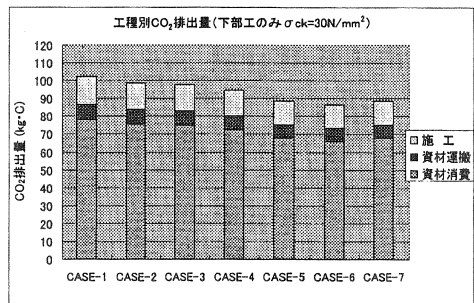
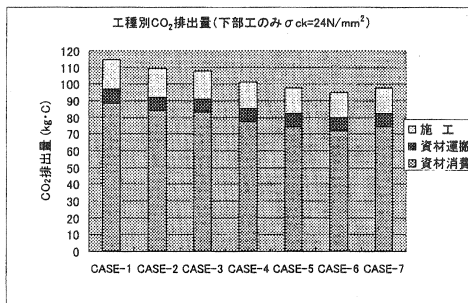
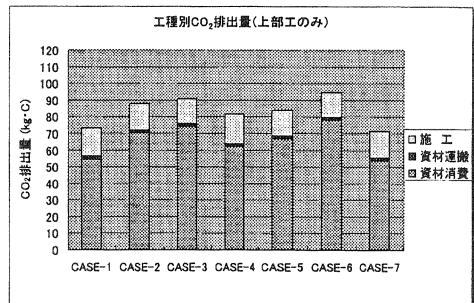


図-2 使用材料別試算結果

これより、以下に示す結果が得られた。

- ① 各ケース共、資材消費によるCO<sub>2</sub>排出量が全体の8割程度を占める結果となった。
- ② 上部工については、高強度及び軽量コンクリートを使用した場合CO<sub>2</sub>排出量が増加した。これは、桁高を低く抑える一方で、原単位が大きくなったためである。

- ③ 下部工については、上部工に高強度及び軽量コンクリートを使用することによって、下部工断面の縮小が可能となり、CO<sub>2</sub>排出量が減少する傾向となった。
- ④ 上+下部工のCO<sub>2</sub>総排出量については、軽量コンクリートの許容応力度を普通コンクリートと同値に設定したCASE-7が、最も減少する結果となった。

## 6. まとめ

本検討では、LCA対象であり環境負荷の一部でもあるCO<sub>2</sub>排出量について試算を行い、資材消費によるCO<sub>2</sub>排出量の影響が大きく、特にコンクリート使用量の低減された構造形式がLCA上有利となることが明らかとなった。ただし、資材消費を低減させるために高強度化を図った場合、設定原単位が大きいためCO<sub>2</sub>排出量の低減は期待できない結果となった。また、軽量化を図った場合、設定原単位が大きいうえに加えて、許容応力度を70%に低減したため、高強度化と同様の結果となった。

本検討では、建設時のみに着目しCO<sub>2</sub>排出量の試算を行った。また、コンクリートの原単位については、想定した配合に対して混和剤等の影響を無視し、水セメント比のみに依存した形で設定した。

しかし、高強度化に対しては、耐久性が向上しライフサイクルにおける環境負荷が低減するといった項目を導入する。あるいは、エトリングaid生成系高強度混和材<sup>4)</sup>等の使用によりセメント量を低減する。軽量化に対しては、近年引張特性が大きく改善された軽量骨材の開発等が進められており、それらの使用により許容応力度の増加を図る。等々、本検討以外の項目について考慮することにより、LCA上高強度化や軽量化による効果が期待可能と考える。

今後は、

- ① CO<sub>2</sub>原単位の整備拡充、標準化、精度向上。
- ② ライフサイクル全体を考慮したCO<sub>2</sub>排出量の試算。
- ③ 各種構造形式、各種使用材料による試算種類の増加

など、さらに検討が必要であると考えます。

環境保全に対する社会的欲求が一層深まっている現在において、CO<sub>2</sub>以外のリサイクル性や経済性なども取り込んだLCA評価手法の早期確立が必要であると言える。

最後に、本稿は(社)建設コンサルタンツ協会近畿支部コンクリート構造物高性能化研究委員会(委員長、小林和夫教授)活動の一環として行われたものである。ここに、関係各位に深く感意を表す。

## 参考文献

- 1) 土木学会地球環境委員会環境負荷評価(LCA)研究小委員会:土木建設業における環境負荷評価(LCA)研究小委員会講演要旨集,1997.8
- 2) 日本建築学会地球環境委員会LCA指針策定小委員会:建物のLCA指針(案)~地球温暖化防止のためのLCCO<sub>2</sub>を中心として~,1998.11
- 3) 中部セメントコンクリート研究会:新材料(高強度、軽量コンクリート)による設計,2000.3
- 4) 松永嘉久・山本賢司・渡邊芳春・坂井悦郎:環境負荷低減に対する高強度混和材の効果,コンクリート工学論文集,第11巻第3号,pp11~17,2000.9
- 5) 土木学会:コンクリート標準示方書設計編,1996.4
- 6) 日本道路協会:道路橋示方書,1996.12