

プレストレストコンクリート構造物の建設に関連した環境問題

泉 満明*

1. はじめに

PC 構造は土木、建築の分野で種々の施設に適用され、その応用範囲は大きく広がってきている。この研究は、プレストレストコンクリート (PC) 構造物の建設におけるエネルギー消費量と炭酸ガス (CO₂) 排出量を橋梁、高架道路および貯水槽について鋼構造との比較を中心に検討を加えたものである。

建設事業は、経済活動の基盤をなす各種施設やシステムなどを構築し、更新する産業でありダム、橋梁、道路、上下水道などの構造物の建設、供用、更新、廃棄などにわたる施設のライフサイクルの中で多くの資材、エネルギーを消費し、その過程で環境負荷の主な要因である CO₂ を排出している。こうした産業活動現場において直接排出される CO₂ や消費されるエネルギーなどの環境負荷は、わが国の産業分野全体でみると小さいものを使用する材料および建設機器の製造関連分野まで含めると建設事業の環境に与える負荷は国全体の約 10% という試算もありどこまでを建設の範囲とするのかの議論もある。さらに、施設の建設段階での採用工法、供用時、解体時も含めたライフサイクル全体において環境に与える負荷はどれくらいになるのかという情報は、十分に把握、整理されているとはいえない現状である。図 - 1¹⁾ に建設事業におけるエネルギー消費および CO₂ 排出の概略の流れを示す。図 - 1 よりエネルギー消費と CO₂ 排出は関連が深く、これらによる環境負荷を算定するために、橋梁、高架道路および貯水槽建設についてエネルギー消費量と CO₂ 排出量の試算を行った。これらの結果から PC 構造の建設に関連した環境負荷の低減方策の概要を示す。

2. 建設事業のエネルギー消費と CO₂ 排出

建設事業はわが国の GDP の約 10% となっておりエネルギー消費、CO₂ の排出も多く、経済的、社会的、さらに環境に対する影響も大きいと推定される。従来からこれらに

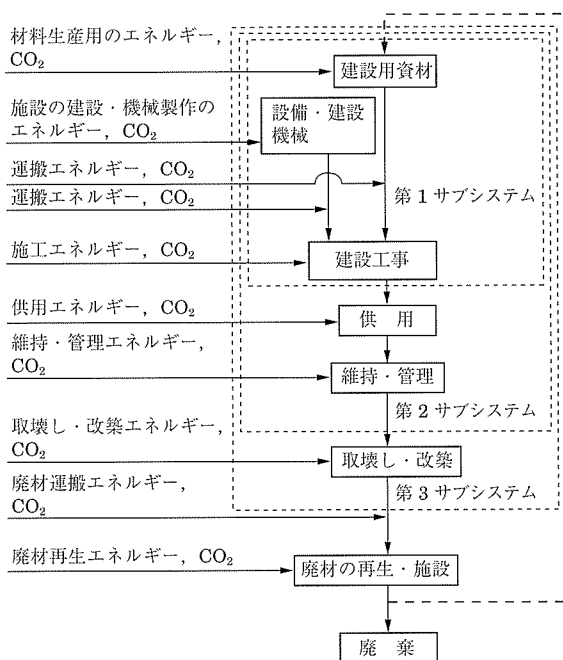


図 - 1 建設事業におけるエネルギー消費と CO₂ 排出の流れ

関する検討は、一般にランニング部分を中心に行われることが多かった。イニシャルとランニング、場合によっては廃棄処分まで合わせたすべてのエネルギー消費量および CO₂ 排出量の最小化を図ることが必要である。図 - 1¹⁾ は建設事業全体における各段階のエネルギー消費、CO₂ 排出の流れを示したものである。

図 - 1 に示す各サブシステムは、構造物のライフサイクルにおける環境負荷との関連を筆者が便宜的に区分したもので以下のような内容となる。

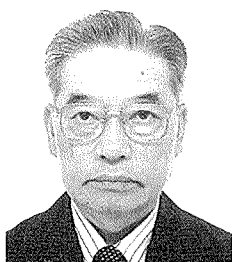
第1サブシステム：建設資材の製造、設備および建設機械類の製作、資材運搬、現場作業、などに関するエネルギー消費、CO₂ 排出。

第2サブシステム：第一サブシステムに加えて、供用、維持管理などのエネルギー消費、CO₂ 排出。

第3サブシステム：施設の改築、取壊しを第1、2サブシステムに加え、施設の一生涯におけるエネルギー消費、CO₂ 排出。

最後の段階として廃材の再生、再利用、廃棄についてのエネルギー消費、CO₂ 排出。この段階では使用材料に関する環境負荷の低減に寄与することが予想される。

建設事業に関する直接、間接のエネルギー消費および CO₂ 排出にはさまざまな形態があり、直接的な量で示された資料は少ない。しかし、価格という尺度でなら社会のあ



* Mitsuaki IZUMI

正会員

らゆるものが計量されているので、これを基本として間接的にこれらの量を示すことができる。製品の価格に関連して、それに消費される全エネルギー消費量を推定する作業²⁾については、エネルギー・アナリシスの名で原子力発電、農業などの分野で1970年頃からすでに行われていた。これらを参考にしてエネルギー算定を行い、CO₂の発生量については産業連関分析に基づいたLCA (Life Cycle Assessment)^{3, 4)}により、橋梁、高架道路および貯水槽の建設をケース・スタディとして試算を行った。

3. PC 構造物建設に関するエネルギー消費量とCO₂排出量の算定

エネルギー消費量の算定は、積み上げ方式と産業連関分析の拡張方式²⁾の組合せで行ない、CO₂排出量はLCAによって算定した。上記の方法によって、図-1のシステム全体の算定は、基本資料の不足のため現時点では不可能であるが、第1サブシステムの範囲では一応可能である。以下の算定例は、いずれも第1サブシステムの範囲で行った。

3.1 道路橋の建設^{5, 6, 7, 8, 9)}

PC橋および鋼橋の建設で支間^{注1)}10mから1900m(明石大橋)の範囲について橋面積当たりのエネルギー消費量とCO₂排出量の算定をおこなった。図-2, 3に橋梁の支間とエネルギー消費量およびCO₂排出量の関係を示した。実際に建設された橋梁の大多数は支間300m以下であるのでこれらの結果を図-4, 5に示した。算定数は250橋¹⁰⁾であり、算定結果は相当にばらついているので傾向を把握するために回帰式によりPC橋と鋼橋の傾向を示す各線を図中に示した。当然ながらこれらの線は推定の域を越えないものである。図-4, 5から傾向として支間300m以下の範囲

ではPC橋がエネルギー消費量およびCO₂排出量の両面で鋼橋より有利と推定される。エネルギー消費量については、平均で約3000MJ/m² PC橋のほうが少ないことになる。上部構造に関する筆者の研究¹¹⁾および他の例でもPC橋が鋼橋と比較して30~40%省エネルギー構造であることが明らかとなっている。しかし、CO₂排出量に関する両者の差は少なく回帰式で比較すると、支間300mを超えると鋼橋

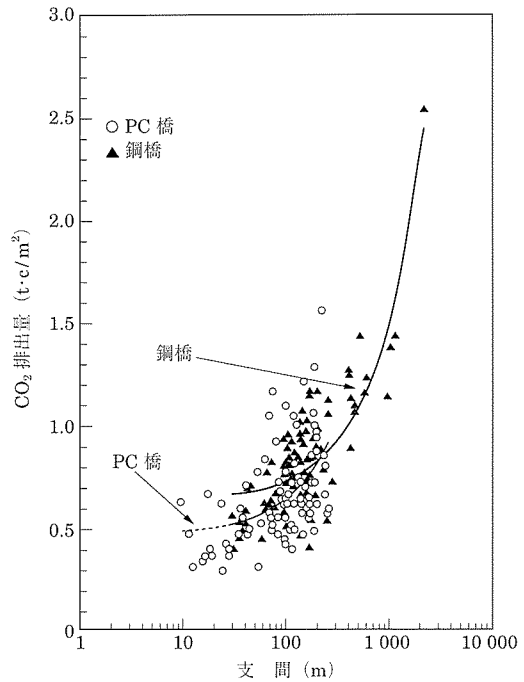


図-3 橋面積当たりのCO₂排出量と支間の関係

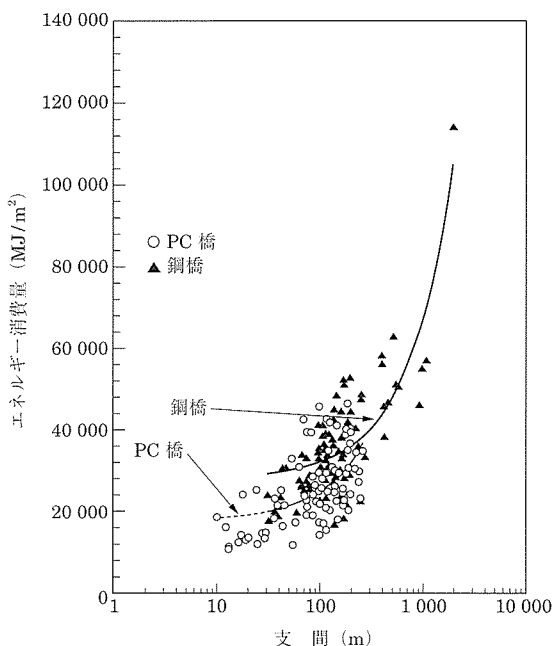


図-2 橋面積当たりのエネルギー消費量と支間の関係

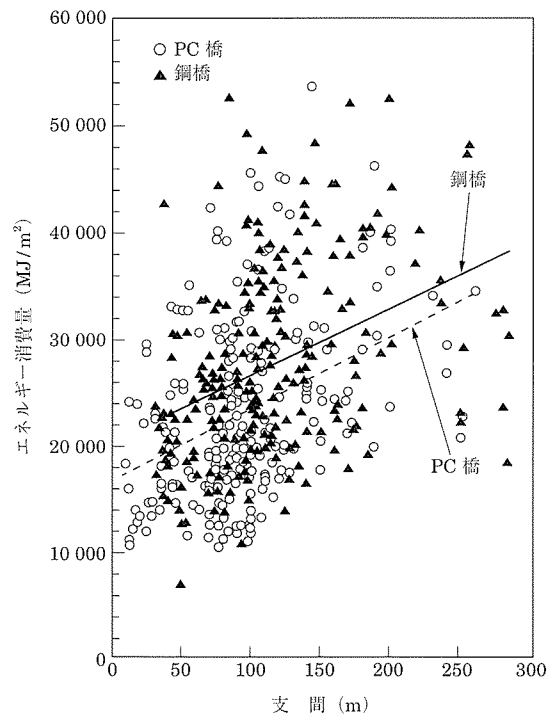


図-4 支間300m以下の橋梁構造物の橋面積当たりのエネルギー消費量と支間の関係

注1) 橋梁中の最大支間を示す。

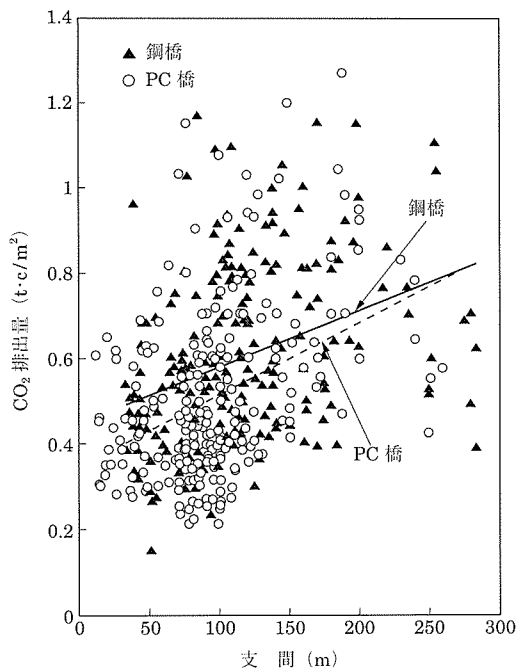


図 - 5 支間 300 m 以下の橋梁構造物の橋面積当り CO₂ 排出量と支間の関係

のほうが有利となることが推定される。この理由の主なもの使用材料のコンクリートの使用量によるもので、コンクリートの主材料であるセメントは製造時に多量の CO₂ の排出があるため、コンクリートを主材料とする PC 橋は鋼橋との比較ではエネルギー消費量の場合ほどの差異が生じないと推定される。

図 - 6, 7 は、比較的短い支間の橋梁を対象として、上部構造について CO₂ 排出量を示したものである。図 - 6 によ

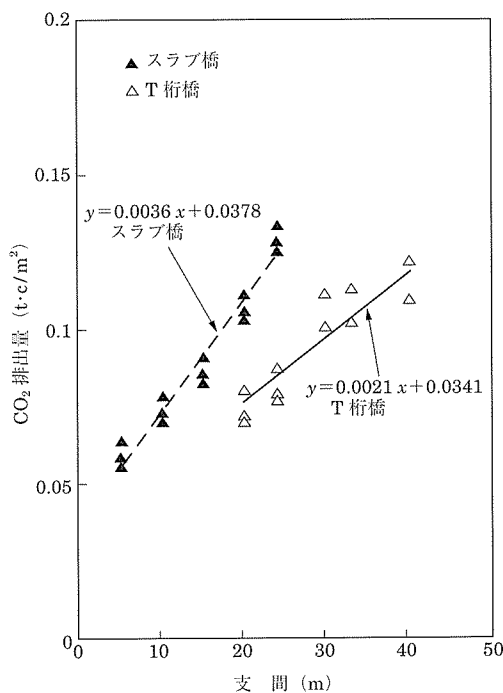


図 - 6 PC 橋上部構の断面形による CO₂ 排出量の差異

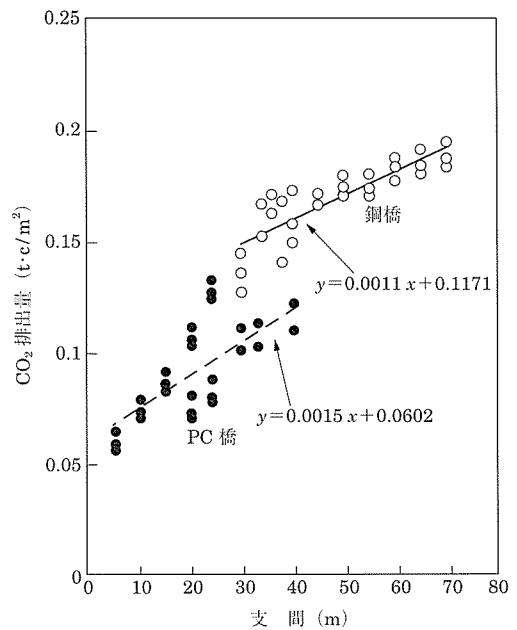


図 - 7 鋼橋と PC 橋上部構造の CO₂ 排出量の差異

れば、PC 橋における桁の断面形の違いによる支間 20 m 以上では T 桁橋の CO₂ の排出量がスラブ橋よりかなり少ないことが明らかである。図 - 7 によると、PC 橋と鋼橋の支間 30 ~ 40 m の重複区間を中心に検討すると、PC 橋の CO₂ 排出量が相当に少なくなることは明らかである。

図 - 4, 5, 7 から明らかのように、比較的支間の短い橋梁では、PC 橋が環境問題から有利な構造であるといえる。

この研究からわが国の PC, 鋼橋の建設におけるエネルギー消費量と CO₂ 排出量の関連は、式 (1), (2) の回帰式で表すことができる。

鋼橋に対して、(支間 30 ~ 2000 m)

$$\text{CO}_2 \text{ (t·c/m}^2\text{)} = 2.26 \times 10^{-5} E \text{ (MJ/m}^2\text{)} \quad (1)$$

PC 橋に対して、(支間 10 ~ 250 m)

$$\text{CO}_2 \text{ (t·c/m}^2\text{)} = 0.033 + 2.4 \times 10^{-5} E \text{ (MJ/m}^2\text{)} \quad (2)$$

これらの式によると、注目する橋梁のエネルギー消費量の算定結果から、ただちに CO₂ 排出量が算定できる。式 (1), (2) および図 - 8 からわかるように、PC 橋と鋼橋に関する回帰式には大きな差異はないが、PC 橋は鋼橋と比較するとエネルギーの増加による CO₂ の排出量の増加率がわずかに多いことがわかる。

3.2 都市内高架道路の建設¹²⁾

大都市内における高架道路の建設に採用された構造形式、使用材料の差異によるエネルギー消費量と CO₂ 排出量をしらべたもので、研究の対象は図 - 9 に示す名古屋高速道路 62.2 km とした。この高速道路の高架橋部分の全長はランプ部を含めて 55.9 km でほぼ全長が鋼橋である。その他は半地下構造およびトンネル構造となっている。表 - 1 に各構造の延長、平均幅員および面積を示した。

この高速道路の建設時におけるエネルギー消費量および CO₂ 排出量の算定を行った。最初に現状についての算定を行い、次に、図 - 10 に示すように高架橋部のインターおよ

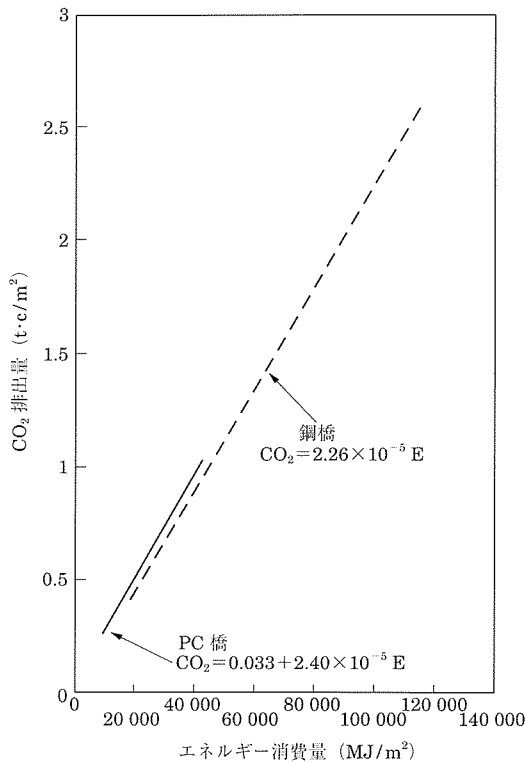


図 - 8 PC 橋と鋼橋の建設時におけるエネルギー消費量 CO₂ 排出量の関係

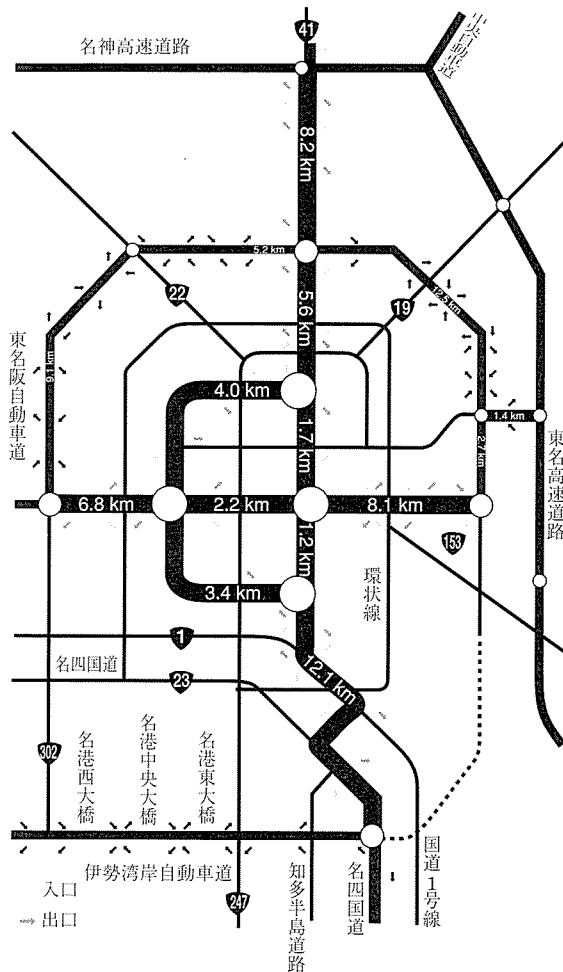


図 - 9 名古屋高速道路の路線図

表 - 1 名古屋高速道路の諸元

総延長 (km)	橋梁 (km)	半地下構造物 (km)	トンネル (km)
62.2	55.9	3.7	2.6
平均幅員 (m)	橋梁 (m)	半地下構造物 (m)	トンネル (m)
18.5	18.3	19.2	20.8
総面積 (m ²)	橋梁 (m ²)	半地下構造物 (m ²)	トンネル (m ²)
11 507 × 10 ²	10 230 × 10 ²	710 × 10 ²	540 × 10 ²

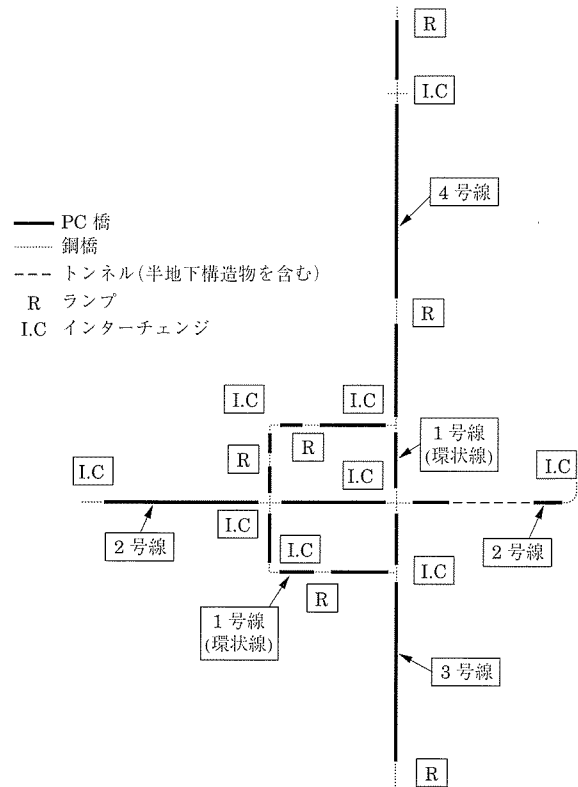


図 - 10 高架部のインター、ランプ部以外を PC 橋に置き換えた路線図

びランプ部分を除いて PC 構造に変更した場合について算定を行った。高架部を現状と PC 構造に置き換えた場合の結果を表 - 2 に示した。表 - 3 には高速道路全体について高架部を変更した場合の比較の算定結果を示した。

表 - 3 から明らかのように、高架部を PC 橋に変更することにより、エネルギー消費量および CO₂ 排出量がそれぞれ 85 %、88 % と低下した。

表 - 2 高架部が鋼橋と PC 橋のエネルギー消費量と CO₂ 排出量の比較

	エネルギー消費量 (MJ/m ²)	CO ₂ 排出量 (t·C/m ²)
鋼 橋	12 360	0.22
PC 橋	8 690	0.15

表 - 3 高架部を鋼橋と PC 橋に代えた場合の高速道路全体単位面積当たりのエネルギー消費量と CO₂ 排出量の比較

	エネルギー消費量 (MJ/m ²)	CO ₂ 排出量 (t·C/m ²)
鋼 橋	24 390	0.57
PC 橋	20 770	0.50
PC / 鋼	85 %	88 %

3.3 円形構造物¹³⁾

PC 構造が有効に利用されている構造物の一つに円形構造物がある。この構造物は貯水槽として上下水道などに多用されてきている。これらの貯水槽はいずれもドームつきでその形状、大きさは図 - 11 および表 - 4 に示す。これらの貯水槽を PC 構造によるものと鋼構造とのエネルギー消費量、CO₂ 排出量の算定、比較を行った。算定結果を表 - 5 に示す。算定例では各貯水容積についてエネルギー消費量は PC 構造が鋼構造の 45 % 以下となる。一方、CO₂ 排出量については、貯水量が増大するとともに PC 構造の有利性が減少していくことに注意すべきである。

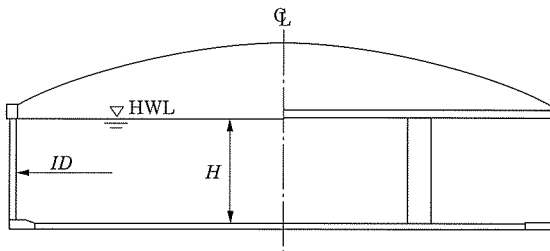


図 - 11 貯水槽の形状、寸法

表 - 4 貯水槽の寸法

容積 (m ³)	PC 貯水槽		鋼貯水槽	
	ID (m)	H (m)	ID (m)	H (m)
10 000	38.0	9.1	35.7	10.0
15 000	43.0	10.6	43.7	10.0
20 000	46.0	12.3	48.2	11.0

表 - 5 貯水槽の建設時のエネルギー消費量と CO₂ 排出量の比較

項目	エネルギー消費量 (MJ)			CO ₂ 排出量 (t-C)		
	10 000	15 000	20 000	10 000	15 000	20 000
PC 構造	4 255 × 10 ³	6 218 × 10 ³	8 299 × 10 ³	87.7	136	281
鋼 構造	10 029 × 10 ³	14 439 × 10 ³	18 320 × 10 ³	154.8	222.8	282.7
PC / 鋼	42 %	43 %	45 %	56 %	62 %	99 %

4. 結 論

この研究に利用した各原単位は必ずしも最新のものではないが、生産、作業における環境対策に関する大幅な改善は無いものと推定されるのと、PC と鋼構造の比率を検討することに関しては、その誤差は少ないものであろう。各施設の建設の算定結果から、以下に示す環境負荷に対する問題点が明らかとなった。

(1) 橋梁建設

橋梁構造物で同一機能を果たすものでも構造形式、使用材料の種類と量、施工方法などにより環境負荷に差異が存在する。この研究では、支間 300 m 以下では PC 橋は鋼橋と比較して、エネルギー消費量で 20 %、CO₂ 排出量では平均 10 % 少なくなると推定される。

高架道路では計算が 1 例に過ぎないが鋼橋に代わりに PC 橋の建設を行うと、相当の環境負荷の低減が図れると思わ

れる。

(2) 円形構造物の建設

PC 貯水槽の建設におけるエネルギー消費量は鋼製の 45 % 以下、CO₂ 排出量の比較では容積が 20 000m³ 以下の場合には PC 構造は平均で 20 % 減少することが想定される。

上述のように、PC 構造物の建設について、鋼構造と比較して環境負荷に対してある制限以内では有利であることが明らかとなった。この有利性を保持するためには、建設の各段階で構造物のライフサイクル全体について対策を組み合わせることで効果的に処理することが不可欠である。

表 - 6 に建設事業における各段階に関する環境対策の概要を示してある。表中の各段階でもっとも重要なものは最初の計画段階であり、建設計画全体の概略が示され、構造形式、使用材料、工事方法、耐久性などの基本的な問題が決められる。さらに、高速道路などの各種の構造物の組合せ建設^{8, 14)} の場合には建設区間の環境負荷に対して最良の構造物の組合せを計画することも必要である。したがって、続く段階に大きな影響を与え環境対策の良否に関連が深いといえる。

建設事業に関する環境問題の対策に関連する事項は表 - 6 に示す以外にも広く深い。たとえば、構造物の設計、施工基準類の条項にまでおよぶものである。すなわち、現在の規定、基準類のなかには人件費の低減を進める方向で省力化を図り、その結果として使用材料の増加となる傾向のものもある。これは環境負荷に関しては良い方向と思えない。どのような建設事業においても、構造設計、使用材料の選定、使用量、施工方法、維持管理、廃棄のすべての段階で省材料、省エネルギーおよび CO₂ 排出の低減を図らなければならない。

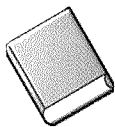
最後に、環境対策については、技術面ばかりでなく企業の経理面から環境会計などの導入を行って方策を進めることも必要である。

表 - 6 建設事業における環境対策 (省エネルギー、CO₂ 排出減少)

項目	対策	事例
各段階		
計画段階	路線、線形、構造形式、耐久性、メンテナンスの検討	支間長、支間割り、静定、不静定構造の選択、環境対策に有利で耐久性の高い材料および施工容易なものを使用を計画、メンテナンスフリー
設計段階	構造形式支間に適合した使用材料の選択、省材料設計	環境対策に有利な材料の選択、設計、設計技術の高度化による使用材料の量を少なくする省材料設計
施工段階	使用材料に適合した施工法、工場における省エネルギー、熱管理	施工方法・機械の選択、高炉セメント、再生骨材等の活用、工場製品製作時の省エネルギー、熱管理の合理化、廃材の有効利用
維持管理の段階	維持管理の合理化	構造形式、使用材料の特性を考慮したメンテナンス、管理作業の省エネルギー化、廃材の活用

参考文献

- 1) 泉満明：建設事業における環境問題，土木学会誌，2000年9月，pp.75～78
- 2) 茅陽一：エネルギー・アナリシス，電力新報社，1980年2月
- 3) 土木建設業における環境負荷評価，土木学会，1997年3月
- 4) 建築におけるLCA（案），日本建築学会，2002年
- 5) Mitsuaki IZUMI: Environmental Problems in the Construction Industry, 名城大学理工学部研究報告 No.42, 2002年, pp.50～55
- 6) 泉満明：建設事業におけるエネルギー消費量とCO₂排出量，土木学会地球環境シンポジウム論文集，2002年8月，pp.1～6.
- 7) 泉満明：プレストレストコンクリート橋の建設における環境問題，プレストレストコンクリート技術協会，第12回シンポジウム論文集，2003年10月，pp.181～184
- 8) 泉満明：道路建設事業に関する環境問題，道路，2004年1月，pp.56～60
- 9) Mitsuaki IZUMI: ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY, Proceedings, The 3rd Civil Engineering Conference in the Asian Region, ACECC, August 16～19, 2004, Seoul, Korea, pp.81～84
- 10) 道路橋年報（昭和61年～平成12年），日本道路協会
- 11) 泉満明：建設事業における省エネルギー，土木学会誌，1984年10月，pp.57～62
- 12) 泉満明：都市内高速道路の建設に関する環境問題，平成16年度土木学会関東支部研究発表会2005年3月
- 13) 宮崎義成：プレストレストコンクリートの省エネルギー性について，プレストレストコンクリート，Vol.21, No.4, Aug.1979, pp.119～125
- 14) 泉満明：高速道路建設に関するエネルギー消費量および炭酸ガス排出量，平成16年度土木学会全国大会2004年9月，VII 233
【2005年9月27日受付】



刊行物案内

プレテンションウェブ橋設計施工ガイドライン（案）

（平成15年11月）

頒布価格 会員特価：4 000 円（税込み・送料別途 500 円）

非会員価格：5 000 円（税込み・送料別途 500 円）

（参考資料 CD-ROM 共）

高強度鉄筋 PPC 構造設計指針

（平成15年11月）

頒布価格 会員特価：4 000 円（税込み・送料別途 400 円）

非会員価格：5 000 円（税込み・送料別途 400 円）

fib コンgress 2002 大阪の記録

（2003年10月）

頒布価格：1 000 円（税込み・送料別途 300 円）