

## 4. 建設事業における環境問題

### ENVIRONMENTAL IMPACT IN CONSTRUCTION INDUSTRY

泉 満明\*

Mitsuaki IZUMI\*

**ABSTRACT** ; In this study, the estimate for the energy consumption and the emissions of  $\text{CO}_2$  in the construction of infrastructures, was calculated by studying the construction of Prestressed-concrete (PC), Steel bridges, Tanks, Freeways, Waterworks and Sewerage. After comparing the results, it was found that PC structures are better than Steel ones, and also the selection of materials used is important, for environmental impact in the construction of infrastructures.

**KEYWORDS** ; energy consumption,  $\text{CO}_2$  emissions, steel bridges, PC bridges, freeways.

#### 1 はじめに

建設事業は、経済社会活動の基盤をなす各種施設やシステム等を構築し、更新する産業であり、ダム、橋梁、道路等の構造物の建設、供用、更新、廃棄などにわたる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要因である炭酸ガスを排出している。こうした産業活動で現場において直接消費されるエネルギーや排出される炭酸ガスの環境負荷は、わが国の産業分野全体で見ると小さいものの、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大きい。しかし、どこまでを建設の範囲とするかの議論もある。さらに、構造物の建設段階の採用工法、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の情報は、十分に把握、整理されているとは言えない現状である。建設事業におけるエネルギー消費、炭酸ガス排出の大筋の流れを図-1<sup>1)</sup>に示す。建設事業による環境負荷を算定するために、エネルギー消費量、炭酸ガス排出量の試算を橋梁、円形構造物、高速道路および上下水道設備について行った。これらの結果から建設事業に関連した環境負荷の低減方策の概要を示す。

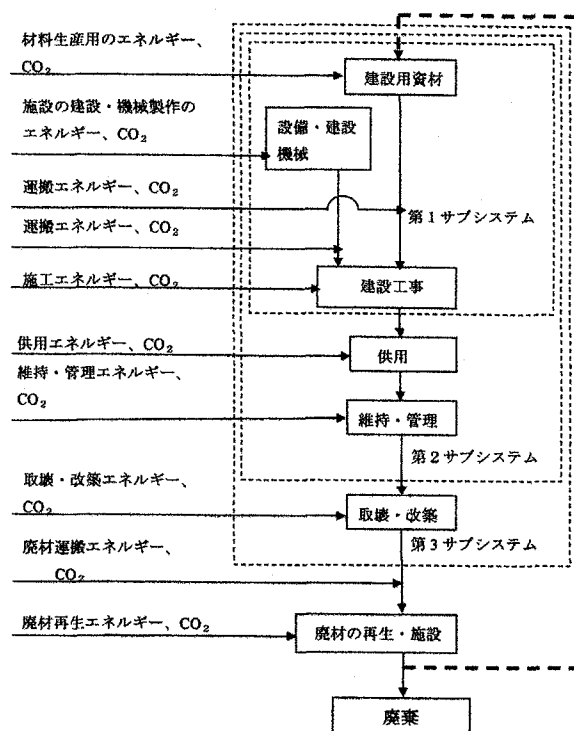


図-1 建設事業におけるエネルギー消費、炭酸ガス排出の流れ

\*フェロー会員 Fellow member of JSCE

## 2. 建設事業のエネルギー消費と炭酸ガスの排出

建設事業はわが国のGDPの11%弱を占める大きな事業分野であり、エネルギー消費もわが国の約10%と推定されており、炭酸ガス排出の排出も多く、社会的、経済的、さらに環境に対する影響も大きいと推定される。従来からこれらに関する対策は、一般にランニング部分を中心に検討されてきた。イニシャルとランニング、場合によっては廃棄処分まで併せた全てのエネルギー消費量および炭酸ガス排出量の最小化を図ることが必要である。図-1は建設事業におけるエネルギー消費、炭酸ガス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、

第1サブシステム；建設資材製造、運搬、作業および建設機械の製作、設備などの建設時に関するエネルギー消費、炭酸ガス排出。

第2サブシステム；第1に加えて、供用、維持管理（ランニング）のエネルギー消費、炭酸ガス排出。

第3サブシステム；建造物の取壊し、改築を加えて、構造物の一生涯におけるエネルギー消費、炭酸ガス排出。

最後の段階として、廃材の再生と再利用、廃棄についてのエネルギー消費、炭酸ガス排出がある。これは、使用材料に関する環境負荷の低減につながる。

建設事業に関連する直接、間接のエネルギー消費および炭酸ガス排出には様々の形態があり、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。製品の価格と関連して、それに消費された全エネルギー消費量を推定する作業については、エネルギー・アナリシス<sup>2)</sup>の名で原子力発電所、農業などの分野で、1970年頃からすでに行われていた。これらを参考としてエネルギー消費量の算定を行い、炭酸ガスの排出量については、LCA<sup>3)</sup>の手法により、橋梁、円形構造物、上下水道および高速道路建設をケース・スタディとして試算を行った。

## 3. 建設事業におけるエネルギー消費量と炭酸ガス排出量の算定

エネルギー消費量の算出は、積み上げ方式と産業連関分析の拡張方式の組合わせ方式で行い、炭酸ガス排出量は、エネルギー算定の後者と類似のLCAに基づいたものによった。上記の方法によって、図-1に示す全システムの算定は、基本資料の不足のため現時点では不可能であるが、第1システムの範囲では一応可能である。算定事例のいずれも第1サブシステムの範囲で算定を行った。

### 3-1 橋梁の建設

鋼橋およびプレストレストコンクリート(PC)橋の支間10mから1991m（明石大橋）の範囲の建設について橋面積当たりのエネルギー消費量と炭酸ガス排出量の算定を行った。実際に建設された橋梁の大部分は支間300m以下であるのでこれらの結果を図-2に示した。算定数は250橋であり、かなりばらついているので、傾向を調べるために回帰式で鋼橋およびPC橋に関連する線を図中に示した。これらの図より明らかなように支間300m以下の範囲ではPC橋はエネルギー消費量および炭酸ガス排出量の両面で鋼橋より有利と推定される。図-2からエネルギー消費量については鋼橋とPC橋では相当差異が存在する。上部構造に関する筆者の研究<sup>4)</sup>でも30~40%程度PC橋のほうが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、図-2によると炭酸ガス排出量については両者の差は少なく回帰式によると支間300mを超えると鋼橋のほうが有利となることが推定される。この理由は使用材料中のセメントの使用量によるもので、この製造に際して多量の炭酸ガスの発生があるので、コンクリートを主材料とするPC橋は鋼橋と比較してエネルギー消費ほどの差異は生じないものと推定できる。

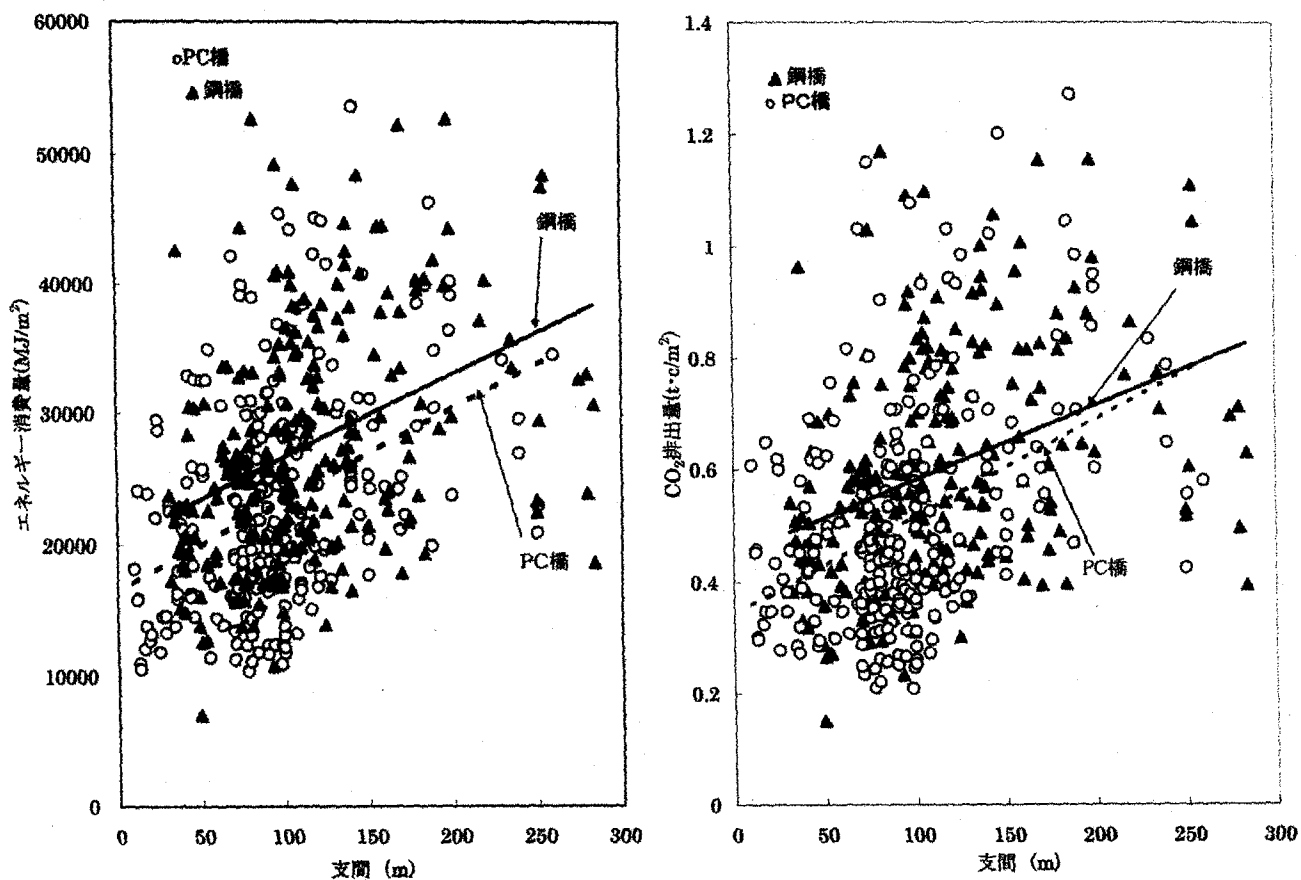


図-2 橋面積当りのエネルギー消費量、炭酸ガス排出量と支間の関係

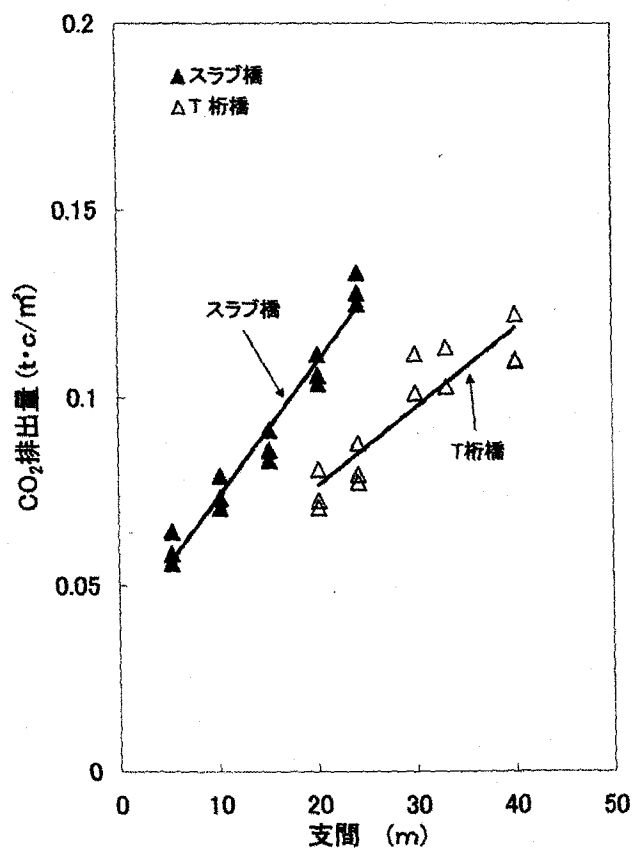


図-3 PC橋上部構の断面形による炭酸ガス排出量の差異

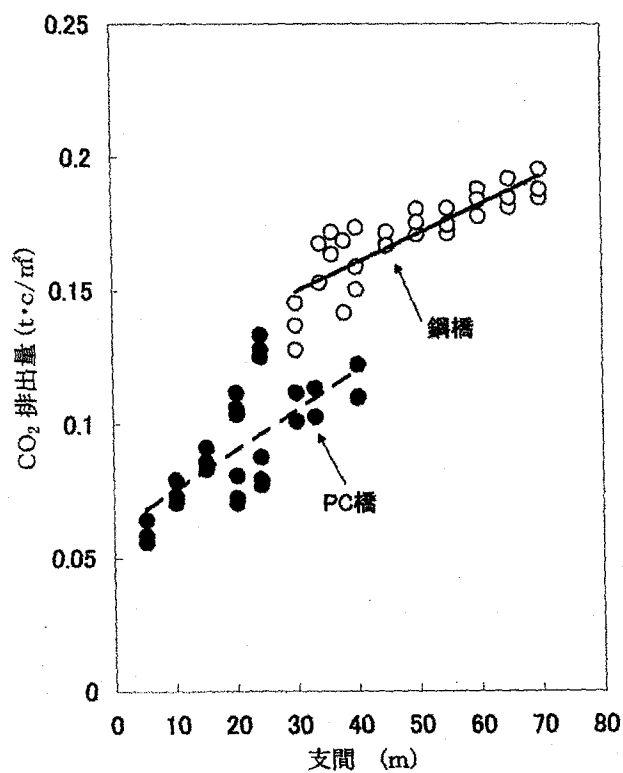


図-4 鋼橋とPC橋上部構の炭酸ガス排出量の差異

図一3, 4, には比較的短い支間の橋梁の上部構の建設について炭酸ガス排出量について算定を行ったものである。

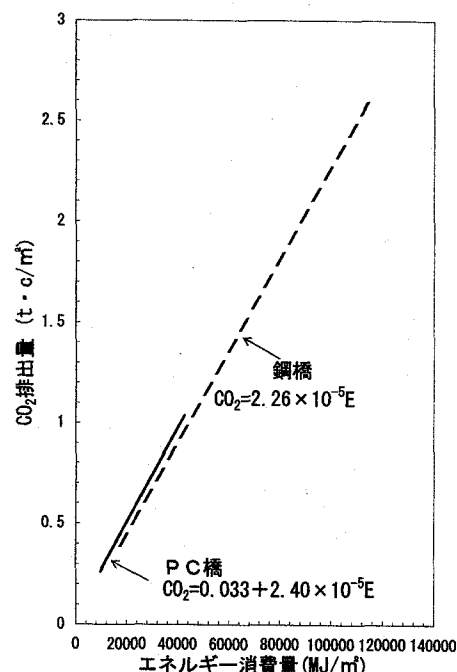
図一3はPC橋における桁の断面形の違いにより、支間20m以上ではT桁橋のほうが炭酸ガスの排出量がかなり少ないことが明らかである。

図一4では鋼橋とPC橋の支間30~40mの重複区間を中心に検討するとPC橋のほうが炭酸ガスの排出量が相当に少なくなることが明らかである。

図一2、4から明らかのように支間の短い支間の橋梁では、PC橋が環境問題に対して有利な構造といえる。

この研究から、わが国の鋼、PC橋の建設におけるエネルギー消費量(E)と炭酸ガス排出量の関係は図一5に示す回帰式で表すことができる。この式によると、注目する橋梁のエネルギー消費量の算定結果から、直ちに図一5の回帰式により炭酸ガス排出量が算定できることになる。

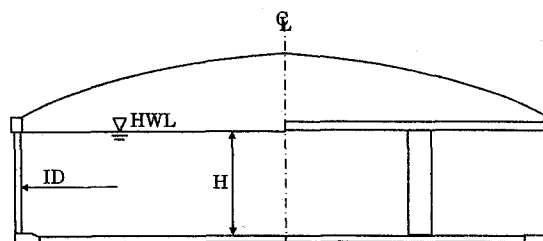
図から分かるように、鋼橋とPC橋に関するそれぞれの回帰式には大きな差異はないが、PC橋に関する式は鋼橋のものと比較するとエネルギー消費量の増加による炭酸ガス排出量の増加率が僅かに高いことが分かる。この式の適用は支間300m以下とする。



図一5 橋梁建設に関する炭酸ガス排出量とエネルギー消費量の関係

### 3-2 円形構造物の建設

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施設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付でその形状は図一6に示す。これらの貯水槽の貯水量は10000~20000m³、直径(ID)36~48m、高さ(H)9~11mである。PCと鋼構造とのエネルギー消費量、炭酸ガス排出量の算定、比較を行った。算定結果を表一1に示す。算定例では各貯水量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。



図一6 貯水槽の形状、寸法

表一1 貯水槽建設時のエネルギー消費量と炭酸ガス排出量

| 項 目    | エネルギー消費量(MJ×10³) |       |       | 炭酸ガス排出量 (C.t) |       |       |
|--------|------------------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| 容積(m³) | 10000            | 15000 | 20000 | 10000         | 15000 | 20000 |
| PC 構造  | 4225             | 6218  | 8299  | 87.7          | 136   | 281   |
| 鋼構造    | 10029            | 14439 | 18320 | 154.8         | 222.8 | 282.7 |
| PC/鋼   | 42%              | 43%   | 45%   | 56%           | 62%   | 99%   |

炭酸ガス排出量については、貯水量が増大するとともにPC構造の有利性が減少して行く。

### 3-3 高速道路の建設

高速道路の建設時のエネルギー消費量および炭酸ガス排出量については、橋梁の場合と同様に図一1の第1サブシステムの範囲で算定を行った。高速道路には種々の構造物があり、それらが有機的に結合して高速道路としての機能を果たしている。しかし、構造物によっては原単位の不明のものもあり類似のものを適用したり、新たに原単位を作成して、橋梁、トンネル、土工(切土、盛土)および舗装に大

別して算定した。たとえば、トンネルには排水設備、換気施設、照明設備およびそれに付帯する設備、さらに、高速道路を横断する構造物も考慮して算定を行った。

表－2 東名、名神および中央高速道路における構造物の構成

| 高速道路   | 総延長 (k m) | 土工延長 (k m)   | 橋梁延長 (k m)  | トンネル延長 (k m) |
|--------|-----------|--------------|-------------|--------------|
| 東名高速道路 | 346.7     | 285.3(79.2%) | 65.9(18.3%) | 8.9(2.5%)    |
| 名神高速道路 | 189.3     | 147.9(78.1%) | 36.5(19.3%) | 4.9(2.6%)    |
| 中央高速道路 | 378.2     | 303.4(80.2%) | 53.3(14.1%) | 21.5(5.7%)   |

東名、名神および中央高速道路の構造物構成を表－2 に示す。この表から中央高速道路のトンネル延長以外の各構造の比率に 3 高速道路とも大きな差異は無い。

各高速道路建設における環境負荷の比較については、道路 1km 当り平均エネルギー消費量と炭酸ガス排出量を算定した結果を表－3 に示す。

表－3 高速道路建設 1 k m 当りのエネルギー消費量と炭酸ガス排出量

| 高速道路名  | エネルギー消費量(MJ/km)      | 炭酸ガス排出量 (c.t/km)   |
|--------|----------------------|--------------------|
| 東名高速道路 | $1417.9 \times 10^5$ | $42.4 \times 10^2$ |
| 名神高速道路 | $1872.9 \times 10^5$ | $49.2 \times 10^2$ |
| 中央高速道路 | $1345.2 \times 10^5$ | $37.5 \times 10^2$ |

表－3 から、各高速道路の 1 k m 当りの環境に与える負荷の値が異なっている。この原因は使用材料の種類とその量、施工方法などによるものと推定される。

高速道路で建設される構造物を表－2 に示すものに舗装と高速道路を横断する構造物を加えて表－3 の 1 k m 当りの各高速道路のエネルギー排出量と炭酸ガス排出量の平均値を示した。この表から、高

表－4 各構造物の 1 k m 当りのエネルギー消費量と炭酸ガス排出量

| 項 目              | 橋梁                 | 土工               | トンネル               | 舗装                 | 横断構造物             |
|------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| エネルギー消費量 (MJ/km) | $8111 \times 10^5$ | $66 \times 10^5$ | $2052 \times 10^5$ | $0.1 \times 10^5$  | $28 \times 10^5$  |
| 炭酸ガス排出量 (c.t/km) | $166 \times 10^2$  | $12 \times 10^2$ | $113 \times 10^2$  | $0.01 \times 10^2$ | $0.5 \times 10^2$ |

速道路構造の中で橋梁の環境負荷が最も大きく、土工が最も少ないことが明らかである。

### 3－4 上下水道の建設

同じ区域内にある施設を対象として、上水道は K 浄水場、給水面積  $57,981,000\text{m}^2$  , 下水道は U 処理

表－5 上下水道の建設に関する給水、処理面積当りのエネルギー消費量と炭酸ガス排出量

| K 浄水場                   |          |                          |           | U 処理場                   |          |                          |           |
|-------------------------|----------|--------------------------|-----------|-------------------------|----------|--------------------------|-----------|
| エネルギー消費量                |          | 炭酸ガス排出量                  |           | エネルギー消費量                |          | 炭酸ガス排出量                  |           |
| 587(MJ/m <sup>2</sup> ) |          | 11(c.kg/m <sup>2</sup> ) |           | 900(MJ/m <sup>2</sup> ) |          | 17(c.kg/m <sup>2</sup> ) |           |
| 材料                      | 施工       | 材料                       | 施工        | 材料                      | 施工       | 材料                       | 施工        |
| 26(8%)                  | 561(92%) | 0.9(8%)                  | 10.1(92%) | 36(4%)                  | 864(96%) | 0.9(5%)                  | 16.1(95%) |

場、処理面積 20,123,000m<sup>2</sup>に検討を加えた。表―5に算定結果を示す。表―5に示すように上水道より下水道のほうが環境負荷が大きい。この理由は上水道の配管工事は下水道のものより掘削が浅く土被りが少ないことも理由と考えられる。さらに、いずれの場合も材料より施工の方に環境負荷が多い。

#### 4. 結 論

各構造物の建設時におけるエネルギー消費、炭酸ガス排出の算定から、環境に与える問題点を明らかにした。

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 300m以下では PC 橋は鋼橋に比較して、エネルギー消費量で 20%、炭酸ガス排出量では平均 10%少なくなると推定される。

2) 円形構造物（貯水槽）：PC 構造の建設におけるエネルギー消費量は鋼製の 45%以下、炭酸ガス排出量の比較では容積が 20000m<sup>3</sup>以下の場合には平均で 20%減少することが推定される。

3) 高速道路建設：高速道路の中の構造物で橋梁が環境負荷が最も高く、土工が低い、したがって、路線計画での構造物の選択において環境負荷に少ない組合せが必要であることが明らかである。

4) 上下水道建設：下水道の方が環境負荷が高い理由は、施工時の作業量が多いと推定される。したがって、工事作業の環境負荷の低減が必要である。

表―6 建設事業における環境対策

| 各段階  | 対 策                       | 事 例                                   |
|------|---------------------------|---------------------------------------|
| 計 画  | 路線、線形、構造形式、耐久性、維持管理計画     | 静定、不静定構造の選択、耐久性材料の適用、施工の容易性、メンテナンスフリー |
| 設 計  | 省材料設計、最適な使用材料             | 高度な設計技術による省材料化、環境に有利な材料の選択            |
| 施 工  | 使用材料に最適な施工工事、工場における省エネルギー | 施工方法の合理化、機械の選択、再生・廃材の活用、工場における熱管理 など  |
| 維持管理 | 維持管理の合理化                  | 維持管理作業の合理化、メンテナンスフリーの推進 など            |

上述のように、PC 構造はある制限内では鋼構造より環境負荷に関して有利であるが、施設のライフサイクル全体についての対策を組合せて環境負荷に対して効果的に処理することが不可欠である。表―6に建設事業の環境対策に関連事項を示した。ここで、基本的な事が決定される計画段階が重要であり、以降の各段階に大きな影響を与えることになる。しかし、この問題は広く深い。たとえば、構造物の示方書類の中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よい方向とは思えない。建設事業では事業のすべての段階で省材料、省エネルギーおよび炭酸ガス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、技術面のみでなく企業の経理面から環境会計の導入などの方策も必要である。

#### 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、pp75～78
- 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) 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、pp57～62