これからの環境保全技術

河合　研至＊

1. はじめに

1.1 環境問題の現状

1997年12月に京都で開催された気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP 3）において，先進国の温室効果ガスの削減を約束する京都議定書が採択され，2005年2月16日に発効した。これは，温室効果ガスの排出量を2008年から2012年までの第1約束期間において1990年レベルと比べて先進国全体で少なくとも5.2％削減することを目的とするもので，各国について数量化された約束が定められ，日本については6％削減が定められている。いよいよ，昨年から第1約束期間に突入したが，2007年度の国内における温室効果ガスの総排出量は，速報値で13億7 100万t－CO_2となっている。これは基準年とされる1990年[a]の温室効果ガスの総排出量12億6 100万t－CO_2と比較すると約8.7％の増加であり，削減値達成のためには現状から14.7％削減しなければならない。今や，温室効果ガスの代表格であるCO_2の排出量削減は，待ったなしの状況にきている。

一方，2007年には気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次評価報告書が発表された。気候変動に関する最新の科学的知見をまとめたこの報告書では，大気や海洋の世界平均気温の上昇，雪氷の広範囲にわたる融解，世界平均海面水位の上昇などから気候システムの温暖化には疑う余地がなく，20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは，人為起源の温室効果ガスの大気中濃度の増加によってもたらされた可能性がかなり高いと述べている。そのうえで，現在の政策を継続した場合，世界の温室効果ガス排出量は今後20～30年間増加し続け，現在もしくはそれ以上の割合で温室効果ガスが継続的に排出された場合，21世紀中にはさらなる温暖化がもたらされ，世界の気候システムに多くの変化が引き起こされるであろうと警鐘している。また，長期的な展望として，既存技術および今後数10年で実用化される技術により温室効果ガス濃度の安定化は可能であり，今後20～30年間の緩和努力と投資が鍵となると述べている。

人為的に増加してしまった温室効果ガス濃度を，これ以上増加させないための努力が今後不可欠であり，それは建設産業も例外ではない。

ただし，日本における大きな環境問題は，CO_2排出量削減にかぎったことではない。狭隘な国土にあって，一般廃棄物，産業廃棄物の最終処分場の残余容量，残余年数がきわめて厳しい状況にあることも，日本にとっては非常に大きな課題である。新たな最終処分場の確保が徐々に困難となってきている状況において，廃棄物を出さずに資源として循環させることが今までにも増して重要となってきている。また，他産業をも含めた産業副産物や産業廃棄物を有効利用していくことも，循環型社会の構築において非常に重要であろう。これらのなかには，有効利用がCO_2排出量削減に大きくつながるものも少なくないであろう。

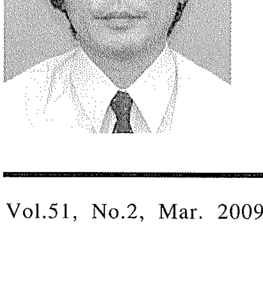
従来，意図せずして，上記のCO_2排出量削減や資源循環に資することとなっている取組みも数多くなされている。しかし，今後求められる取組みは，意図的にかつ定量的に上記のCO_2排出量削減や資源循環を達成する取組みであり，これを満足するものが環境保全技術となっていくものと思われる。

1.2 環境問題に対する学協会の取組みの現状

土木学会では，2002年5月に「コンクリートの環境負荷評価」（コンクリート技術シリーズ44）[1]，2004年9月に「コンクリートの環境負荷評価（その2）」（コンクリート技術シリーズ62）[2]が発刊され，その中でコンクリート構造物のライフサイクルに関連する主要なインベントリデータが提示された。また，2005年11月には「コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案）」（コンクリートライブラリー125）[3]が発刊され，性能照査型設計に基づく設計体系の中に環境性能を取り入れた考え方が示された。

日本コンクリート工学協会（JCI）では，2007年7月には「環境対応型コンクリートの環境影響評価手法の構築研究委員会報告書」[4]，2008年8月には「環境時代におけるコンクリートイノベーション（コンクリート構造物の環境性能に関する研究委員会報告書）」[5]がそれぞれ発刊され，さらに現在，コンクリートセクターにおける地球温暖化物質・廃棄物の最小化研究委員会が活動中であり，環境負荷低減へ向けた取組みが本格的に動き出している。

一方，海外においても，国際構造コンクリート連合（*fib*）では2004年2月発刊の「Environmental design」（*fib* Bulletin 33，環境設計）[6]，2008年8月発刊の「Environmental design of concrete structures - General principles」（*fib* Bulletin 47，コンク



＊ *Kenji KAWAI*
広島大学 大学院工学研究科
准教授

リート構造物の環境設計－一般原則）[7] は，Commission 3（設計・施工の環境側面に関する委員会）の中で日本が主導となって取りまとめられた報告書であり，現在では環境性能をより具体化する取組みとして，TG 3.8: Green concrete technologies for life-cycle design of concrete structures（コンクリート構造物のライフサイクル設計におけるグリーンコンクリート部会），TG 3.9: Application of environmental design to concrete structures（コンクリート構造物への環境設計の適用部会）が活動中である。国際標準化機構（ISO）でも，TC 71（コンクリート，鉄筋コンクリートおよびプレストレストコンクリートに関する技術委員会）の中に SC 8（コンクリートとコンクリート構造物の環境マネージメント小委員会）が設立され，日本が議長国を務めている（議長：堺　孝司香川大学教授，幹事長：野口貴文東京大学准教授）。このように，学協会における動きでは，コンクリート分野における環境側面を，国際的に日本が主導，先導する形で規格作りが進められている。

プレストレストコンクリートの分野では，プレストレスト・コンクリート建設業協会の安全環境委員会の下に新たに環境負荷低減対策部会が設立され，業界をあげて環境負荷低減へ取り組む動きがスタートした。

CO_2 排出量削減や資源循環型社会の構築が待ったなしの状況となってきているなか，建設業界，プレストレストコンクリート業界においても，環境負荷低減への取組みが急速に本格化しつつある。

本稿では，このような状況の下，環境保全技術の現状について紹介するとともに，今後の展望について概説したい。

2. コンクリートの環境保全技術

2.1 コンクリートと環境保全

コンクリートは社会基盤を形成する基幹材料であり，大量の資源を消費し，またセメント製造を中心として大量の CO_2 を排出することから，環境に及ぼす影響はきわめて大きい。また，これは鋼材についても同様のことがいえる。資材の調達から輸送，施工，供用，維持管理，解体・廃棄，再利用等を含めると，建設業は国内における CO_2 総排出量の 2 ～ 3 割あるいは 3 ～ 4 割と関わるともいわれている。建設業は，環境問題と非常に関わりの深い産業である。

コンクリートが環境保全としてできることには，環境負荷低減（CO_2 排出量削減），資源循環，環境便益の提供があげられよう。

2.2 環境負荷低減（CO_2 排出量削減）の観点

環境負荷低減（CO_2 排出量削減）を定量的に把握するためには，環境負荷評価（LCA 分析）が不可欠となる。コンクリートあるいはコンクリート構造物のライフサイクル（材料の製造，輸送，施工，供用，維持管理，解体・廃棄，再利用）またはライフサイクルの一部において，環境に負荷を及ぼしている要因を抽出してその要因に関わる材料あるいは施工等の数量を算出し，それぞれの材料あるいは施工等の単位量あたりで及ぼされる環境への負荷量に，算出された数量を乗じることによって，その要因に関する環境負荷量を計算することができる。ここでの，環境に負荷を及ぼしている要因がインベントリとよばれるものであり，それぞれのインベントリごとに単位量あたりで及ぼされる環境への負荷量を示したデータがインベントリデータとよばれている。コンクリートあるいはコンクリート構造物に関わるインベントリデータを充実させることが，環境負荷評価を行ううえでもっとも重要となる。環境負荷評価を行う利点は，評価することによって全体像が定量的に把握でき，また，定量的な削減目標が立てやすくなることにある。それによって，どの部分の削減に努めるのがもっとも効率的かなどが明確に把握することが可能となる [8, 9]。

たとえば，図 - 1 に示すのは，橋長 50 m の橋梁に対して，超高強度繊維補強コンクリートを適用した単径間 PC 箱桁橋（UFC 橋，全外ケーブル方式）と在来工法による 3 径間 PC 単純床版橋（PC 橋，プレテンション方式）の環境負荷量を，構成材料の製造から施工までについて比較したものである [10]。コンクリートを超高強度化することによって単径間とし，下部工や架設工に伴う環境負荷量を大幅に削減しているが，上部工ではいずれの環境負荷量も PC 橋の場合を上回っている。これらは，超高強度化に伴い単位セメント量が大きくなったことに加えて，コンクリートに蒸気養生が施されること，鋼製型枠が特殊形状であるために新規に製造し再利用を考慮していないことが大きく関与している。このように定量化を行うことによって，環境負荷を引き起こす要因が何であるか，その要因がどれくらいの割合を占めるのかを明らかとすることができ，削減目標としてどこに焦点を絞るのが適切であるかが明確になる。

コンクリートのライフサイクルを考えたとき，CO_2 排出

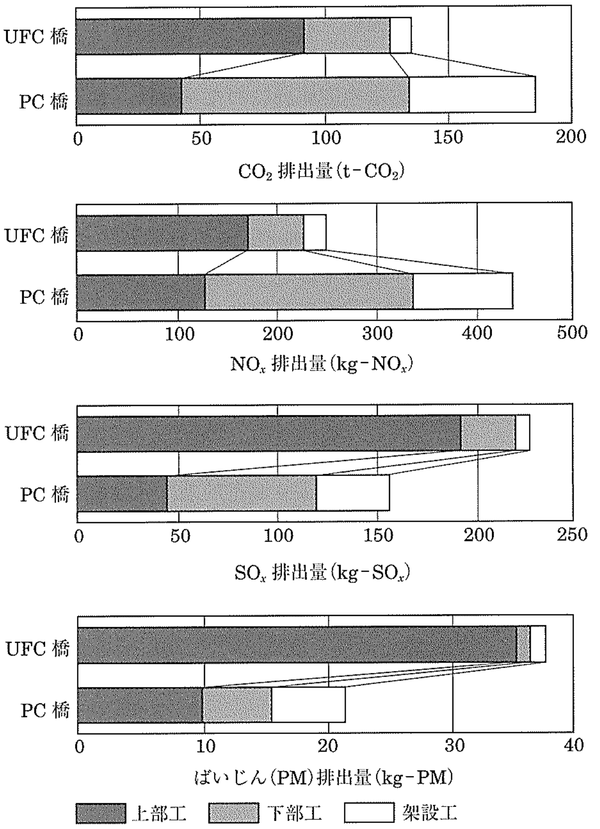


図 - 1　UFC 橋と PC 橋における環境負荷量の比較 [10]

量にもっとも寄与しているのは，セメントの製造である。そのため，高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材を活用することでセメント使用量を減らすことがもっとも簡単なCO_2排出量削減の方法となる。混和材の活用は資源循環にもつながることから，有効な環境保全技術といえるかもしれないが，これらの混和材が産出されない地域で積極的に混和材活用を進めることには疑問も感じる。それは，輸送に伴う環境負荷を増大させることにつながるからである。本質的には，材料の性能向上や施工などの技術開発によって，結果としてコンクリート使用量の低減が図れるといった取組みが必要であろう。これに類する環境保全技術は，現状でも数多く出てきている[5]が，汎用性の高いものは少ない。CO_2排出量削減効果を高めるためには，広く一般に利用できるような汎用性の高い環境保全技術の開発が今後望まれる。

CO_2排出量の削減策としては，2つの方法がある。一つはCO_2排出につながる材料や原料そのものの使用量を削減する方法であり，もう一つは単位使用量あたりのCO_2排出量を示す原単位を低減する方法である。前者は景気にも左右されるものであり，景気の悪化で需要が減りCO_2排出量が低下したとしても，それは本質的なCO_2排出量削減を示すものではない。持続可能な発展を進めていくためには，技術的に使用量を削減する手法の開発が必要であり，またさらには，後者の原単位の低減が必要である。たとえば，2000年のデータでの比較となるが，セメント1tあたりのCO_2排出量は日本が0.73tであるのに対して世界平均で0.87t，アメリカにいたっては0.99tであり[11]，日本のセメント会社がいかに原単位低減に努力をされているかがうかがえる。上記の日本の値は，世界でもっとも低い値となっている。世界のセメント生産量は20億tとも40億tともいわれるが，日本のセメント生産技術を世界中に広げれば，それだけで年間で3億〜6億tのCO_2排出量を削減できることになる。原単位の低減を目指す汎用性の高い環境保全技術は，それだけで相当量のCO_2排出量の削減につながることが期待でき，今後の技術開発における方向性の一つであると考える。

構造物の長寿命化・延命化によって，スクラップ・アンド・ビルドを減らすことは，CO_2排出量削減を可能とする非常に有効な方法である。壊さないことによりCO_2排出量削減を達成する構造形式としては，ひび割れを許容することによって長期耐久性に懸念が生じるおそれのあるRCと比較して，永久構造物としての供用を目指すPCは非常に有利な構造形式となるかもしれない。

2.3 資源循環の観点

資源循環の観点では，コンクリートのリサイクルが大きな課題である。再生骨材の製造技術が発達してきており，構造用コンクリートにも活用が可能となってきている。高品質な再生骨材を得るためには，多大なエネルギーを投入する必要があり，また，再生骨材を活用するがために遠距離輸送を行っていたのでは輸送に伴う環境負荷（CO_2排出量）が大きくなる。再生骨材に関し，環境負荷低減（CO_2排出量削減）と資源循環はトレード・オフの関係にあるといえるかもしれない。いずれが重要視されるかは，場合によっても異なってくるであろう。

また，セメントの製造はCO_2排出量の観点から環境負荷の大きな材料として取り上げられることが多いが，資源循環への貢献はきわめて大きい。セメント製造の原・燃料としてポルトランドセメント1tあたり400kg以上もの産業副産物，産業廃棄物を活用しており，環境負荷を評価するうえで見逃してはならない点である。

資源リサイクルの問題点として，2つほどあげておきたい。一つは，リサイクル材料に過剰な品質を求めていないかといった点である。品質は高いにこしたことはないが，コンクリートの要求性能を満足する以上の品質を，再生骨材等に求めている嫌いがあるように思われる。もう一つの問題点は，需給のアンバランスである。需要と供給の地点の不一致，量のアンバランス，いずれもリサイクル材料を使いづらくしている点であるが，これらは企業間での融通によってまかなうにも限度があり，組織的に広範囲でリサイクル材料を活用していく仕組みづくりが必要であろう。

2.4 環境便益の観点

社会基盤は多大な環境負荷の下で整備されているのは否めない事実であるが，この社会基盤整備によって，自然災害等，社会に多大な環境負荷がもたらされることを未然に防いでいることも事実である。これらは環境リスクとして加味されるべき点であるが，現状では環境リスクを考慮した環境負荷評価までには至っていない。また，たとえば，道路整備によって交通渋滞が緩和され，結果的に交通渋滞に伴う環境負荷の増大を抑制することにつながるといった環境便益に関しても，本来は（長期的視点で見れば）環境保全に貢献する技術として考慮されるべき点である。図-2はその例を示したものであり[12]，慢性的な交通渋滞が問題となっている交差点に地下道を建設した場合の，建設に伴う環境負荷と渋滞解消に伴う環境負荷低減とを比較したものである。この例の場合には，建設に伴う環境負荷は渋滞解消に伴う環境負荷低減分により約9年で相殺される結果となっており，長期的には地下道建設が環境負荷の低減につながるとしている。

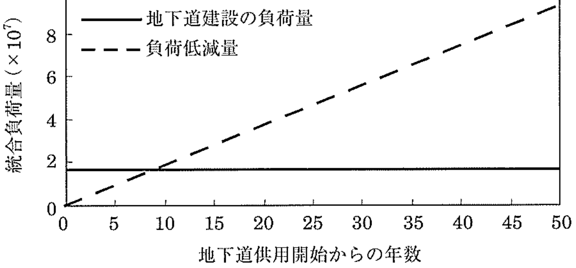


図-2 地下道建設に伴う環境負荷量の比較[12]

2.5 今後の展望

コンクリートの環境負荷評価は，近年になって広まりつつはあるが，今なお十分に実施されているとはいいがたい。近年の報告の多くは環境会計と連動したものであり，個別

の工事等に関する評価は不十分である。広まりにくい最大の理由は，評価を行うインセンティブが働かないこと，お金につながらないことにあると思われる。総合評価落札方式などにおいて，環境負荷の定量的な低減効果が，工事費用と同程度に重要視されるなどのシステムが不可欠と考えられる。

3. PC 構造物の環境保全技術

3.1 環境負荷評価の現状

PC 構造物に関しても，近年になって定量的な環境負荷の評価が行われ始めた。最近の評価事例を比較して表 - 1[17] に示す。PC 橋と鋼橋の比較あるいは PC 橋の構造形式による比較など，現状を把握し，橋種や支間長と環境負荷量との関わりを明らかとするうえでの有用な検討が行われつつある。PC 構造物の場合には，とくに橋梁を対象とする場合，環境負荷の評価範囲の選定にも注意を要する。上部工のみを対象とするのか，あるいは下部工や基礎工も含めて対象とするのかによって，評価結果が大きく変わる可能性が十分にあるためである。どの範囲を対象とするのが適切かは，場合によって異なるため，評価する目的に沿って適切な評価範囲を決定することが重要である。

近年の調査結果[16] から，PC 橋上部工の建設時における，支間長とコンクリート体積あたりの CO_2 排出量との関係を示した図を図 - 3[17] に示す。支間が長くなると，コンクリートの体積あたりの CO_2 排出量は若干低下しているようにも見えるが，ほぼ一定で，単純平均すると 0.708 t - CO_2/m^3 となる。コンクリートの体積あたりの CO_2 排出量が支間長にほとんど依存しないことは，換言すれば，施工法等に関わらず，ほぼコンクリートの使用量によってこの値が決定していることを意味するものであり，CO_2 排出量の削減を行うためには，コンクリート使用量の削減が不可避であることを示すといえる。ただしこれは上部工のみで評価を行う場合であり，下部工や基礎工も含めて評価を行う場合には，橋長によって支間を飛ばすなどの工夫が大幅な CO_2 排出量削減につながるであろう。

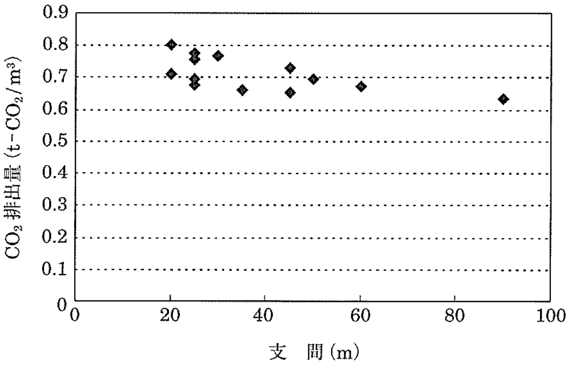


図 - 3　PC 橋上部工建設に伴うコンクリート 1m^3 あたりの CO_2 排出量と支間長の関係

一方，上述のコンクリート体積あたりの CO_2 排出量を PC 橋の年度別受注量に乗じて，PC 橋上部工建設における年度別 CO_2 排出量の推移として示したのが図 - 4[17] である。総量として，年間で約 100 万 t 前後の CO_2 排出量となっているのが現状である。日本の年間 CO_2 総排出量の 3 割程度が建設業と関わっているとすると，建設業に関わる CO_2 排出量は約 4 億 t である。その比率からすると，PC 橋あるいは PC 構造物の関わる CO_2 排出量が全体に占める割合は小

表 - 1　PC 橋の環境負荷評価を行った最近の文献の比較

文献番号	対象構造物等	概　要	調査ステージ	CO_2 原単位の算出方法	CO_2 排出量の算出範囲	結果・考察の内容
13	PC 橋，鋼橋	上部工（PC，鋼製），下部工（橋脚，橋台），基礎工（杭）を個別にエネルギー消費，CO_2 排出量を算出し評価するとともに，PC 橋と鋼橋を全体で比較した。	建設時	産業連関法	・資材製造 ・施工機械運転	・鋼橋がコンクリート橋より CO_2 排出量が多い。 ・施工機械運転の占める割合は，上部工，下部工で 2 ～ 3 %，杭では 3 ～ 34 %であった。 ・支間が長くなるほど上部工の占める割合が大きくなる。 ・支間が長くなるほど橋梁全体の CO_2 排出量は小さくなる。 ・リサイクル資源を用いることで排出量を削減できる。とくに鋼橋で顕著。 ・コンクリートのリサイクル資源の有効利用が重要である。
14	PC 橋，鋼橋，PC タンク，鋼タンク	橋梁は PC，鋼製合わせて 250 橋，貯水槽は容量の異なる 3 ケースで PC と鋼製で，エネルギー消費と CO_2 排出量について比較した。	建設時	産業連関法	・資材製造 ・資材運搬 ・施工機械製造償却分 ・施工機械運搬 ・施工機械運転	・橋梁支間 300 m 以下では，PC 橋は鋼橋より，エネルギー消費量で 20 %，CO_2 排出量で平均 10 %少なくなる。 ・貯水槽 20 000 m^3 以下では，PC は鋼製より，エネルギー消費量で 45%以下，CO_2 排出量で平均 20 %少なくなる。 ・支間の増大に伴う橋面積あたりの排出量の増加割合は，中空床版橋＞ポステン T 桁橋となった。
15	PC 橋上部工	代表的な 4 ケースの構造形式について，CO_2 排出量のほか，NOx，SOx，ばいじん排出量を試算し，統合化による評価を行った。	建設時	積上げ法（文献 2)）	・資材製造 ・資材運搬 ・施工機械運搬 ・施工機械運転	・CO_2 排出量は，資材製造が 90 ～ 95 %となった。他の排出量は，資材製造の占める割合は CO_2 の場合より低下する。とくにばいじんは，資機材運搬，施工機械運転の割合が大きい。 ・CO_2 排出量と統合化の結果は，ほぼ同様な傾向を示す。
16	PC 橋上部工	適用支間別に施工実績の多い構造形式，架設工法を抽出し，それぞれの建設時における CO_2 排出量を試算することで，「見える化」の推進を図った。	建設時	積上げ法（文献 2)）	・資材製造 ・施工機械製造償却分 ・施工機械運転	・支間 20 ～ 60 m で橋幅 10.7 m の場合における総排出量は，構造形式によらず 5 t - CO_2/m となった。 ・支間の増大に伴う橋面積あたりの排出量の増加割合は，中空床版橋＞ポステン T 桁橋＞箱桁橋となった。 ・施工機械に伴う排出量は，総排出量の 10 ～ 30 %程度であり，同一構造の場合，支間が長くなると減少する傾向となった。

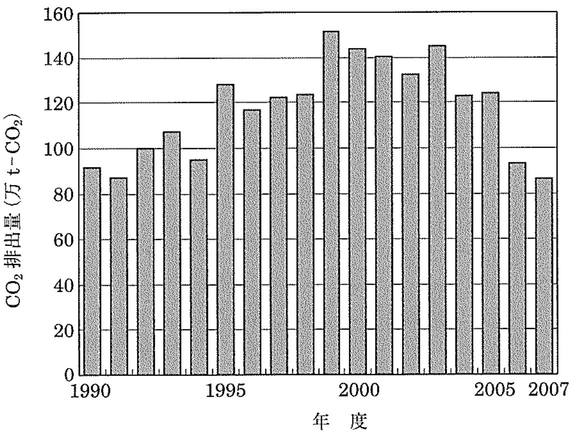


図 - 4　PC 橋上部工建設に伴う CO_2 排出量（推計）

さいかもしれないが，近い将来において，政策として CO_2 排出量の 50 %削減や 80 %削減が取り沙汰されたとき，PC 構造物の関わる CO_2 排出量の割合が突出しないようにするためには，今から対策を講じておく必要がある。

3.2　環境保全技術の方向性

PC 構造物において環境保全技術として考えるべき重要な点は，構造物の長寿命化を図ることと既存構造物の活かし方にあるように思われる。図 - 3 で示されたように，上部工のみで考えた場合には，CO_2 排出量の大半がコンクリート使用量に起因するとなると，構造形式等の技術開発によってコンクリート使用量の削減が可能となったとしても，その削減の割合には限度がある。先述のとおり，CO_2 排出量削減を可能とする非常に有効な方法が構造物の長寿命化であり，長寿命化を達成するために RC 構造物を PC 構造物に置き換えることや PC 構造物による超長寿命化が可能となれば，構造物の更新が不要となり，長期的にみたときの大幅な CO_2 排出量削減が達成されることになる。また，省資源の観点からも，PC 構造物における長寿命化の意義は大きい。

既存構造物の活かし方としての課題は 2 つある。一つは現存する構造物の長寿命化，延命化の方法であり，もう一つは，現存する構造物の解体が余儀なくされた場合の解体後の利用方法である。近年の PC 構造物においては，現状のままで半永久的な供用が可能かもしれないが，既設の PC 構造物の中には，それを期待できないものも少なくないと思われる。上述のように，解体を行わずに使い続けることが最大の環境保全技術であることから，いかにして延命を図るかの技術が環境保全技術となるともいえるであろう。また，解体がやむを得ない PC 構造物の場合，解体後の利用方法が問題となる。理想的な資源循環は，解体後の構造物に，解体した構造物をすべて再利用することである。そのようなリサイクルが可能となれば，リサイクルのリサイクルもまた可能となる。しかし，解体した構造物が他で再利用されることを見込んでしまうと，見込まれた利用先で過剰供給となり資源の循環がそこで途絶える可能性がある。また，一度かぎりのリサイクルは可能でも，その次の世代でリサイクルのリサイクルがなされないことにもなる。一般的には，リサイクルによって材料の品質が低下し，さらにリサイクルする場合には材料の品質がより低下する。したがって，リサイクルが繰り返されると，低品質の材料ばかりが溢れることになりかねない。PC 構造物のみならず，コンクリートの再利用に共通していえることではあるが，目先の資源循環ではなく，次世代，次々世代を見据えた資源循環を最初から志すべきである。

PC 構造物の場合には，一般的にコンクリート自体が高強度であるため，RC 構造物等に比較して，解体材は高品質な材料へ活用が可能と思われる。PC 構造物へのリサイクルが困難であるとしても，高強度コンクリートへリサイクルできるようなシステムの構築を望みたい。

4.　おわりに

本稿では，コンクリートに関わる環境保全技術を概観したが，現状でも環境保全技術は数多く存在する。最大の問題は，それらの環境保全技術が有機的につながっていないことであると考える。たとえば，先述したように，資源循環を果たすための高度なリサイクル技術は存在するが，その技術が活用できる現場が限定されていることが多い。単発的に，リサイクル材の発生が点在していても，なかなか有効な活用はできない。そしてまた，使われないことが広まらない原因ともなる。この問題を打破するためには，コストが多少かかっても環境負荷低減がメリットとして評価される仕組みが必要であり，行政あるいは学協会によって，そういった仕組みづくりを行うことが急務かもしれない。

CO_2 の排出権取引などが現実のものとなり，また，炭素税導入も議論となり始めて久しい。いずれも CO_2 排出量をお金に換算して数値化するものであるが，これらが業界全体に対して導入され実施されれば，コスト増を招くことは否めない。また，コスト増のうえに，CO_2 排出量の削減努力を科せられることになるであろう。このような自体に陥らないためにも，業界をあげて，環境保全に資する自主的な努力を進めていかなければならない。

なお，本稿で紹介した PC 構造物関連のデータの多くは，手塚正道部会長，齋藤謙一幹事長をはじめとするプレストレスト・コンクリート建設業協会環境負荷低減対策部会よりご提供いただいた。ここに記して深甚の謝意を表します。

注

a) 京都議定書では，温室効果ガスとして，二酸化炭素（CO_2），メタン（CH_4），一酸化二窒素（N_2O），ハイドロフルオロカーボン類（HFCs），パーフルオロカーボン類（PFCs），六フッ化硫黄（SF_6）を対象としており，CO_2，CH_4，N_2O は 1990 年，HFCs，PFCs，SF_6 は 1995 年を基準年と定めている。本文では簡略的に 1990 年を基準年と記述した。なお，本文中の総排出量は，それぞれの温室効果ガスを CO_2 換算した総和として示している。

参 考 文 献

1）土木学会：コンクリートの環境負荷評価，コンクリート技術シリーズ 44，土木学会，2002
2）土木学会：コンクリートの環境負荷評価（その 2），コンクリート技術シリーズ 62，土木学会，2004
3）土木学会：コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案），コン

クリートライブラリー 125，土木学会，2005

4）日本コンクリート工学協会：環境対応型コンクリートの環境影響評価手法の構築研究委員会報告書，日本コンクリート工学協会，2007

5）日本コンクリート工学協会：環境時代におけるコンクリートイノベーション（コンクリート構造物の環境性能に関する研究委員会報告書），日本コンクリート工学協会，2008

6）*fib* ：Environmental design，*fib* Bulletin 33，*fib*，2005

7）*fib* ：Environmental design of concrete structures - General principles，*fib* Bulletin 47，*fib*，2008

8）河合研至：コンクリートの環境負荷評価，プレストレストコンクリート，Vol.47，No.6，pp.34-39，2005

9）堺孝司，河合研至，大脇英司：コンクリート構造物の環境設計，プレストレストコンクリート技術協会第 36 回技術講習会テキスト，pp.49-76，2008

10）石原明日子，大脇英司，新藤竹文，堺孝司：超高強度繊維補強コンクリートの適用による環境負荷低減効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.2，pp.1651-1656，2006

11）Battelle ：Toward a Sustainable Cemnt Industry - Substudy 8: Climate Change，World Business Council for Sustainable Development，2002

12）堺孝司，小嶋克宏，草薙悟志，入谷祥王：交通渋滞交差点における鉄筋コンクリート地下道建設による環境便益評価に関する研究，土木学会論文集 G，Vol.63，No.1，pp.40-50，2007

13）伊藤義人，平野徹，永田裕規，ハンマード・アミン，西土隆幸，加島章：環境負荷を考慮した橋梁形式支援システムの作成とその利用に関する研究，土木学会論文集，No.553 / VI-33，pp.187-199，1996

14）泉満明：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，プレストレストコンクリート，Vol.47，No.6，pp.57-62，2005

15）土木学会：PC 橋上部工における構造形式の影響，コンクリートライブラリー 125 コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案）付属資料，pp.112-133，2005

16）手塚正道，齋藤謙一ほか：PC 構造物の環境負荷低減への取組み－PC 橋の建設に伴う CO_2 排出量の削減に向けて－，プレストレストコンクリート技術協会第 37 回技術講習会テキスト，2009

17）プレストレスト・コンクリート建設業協会環境負荷低減対策部会内部資料。

【2009 年 2 月 9 日受付】

刊行物案内

プレストレストコンクリート技士試験講習会資料

平成20年度 PC 技士試験講習会

資料のほか，過去 3 年間の試験問題，正解および解説が掲載されています。
現金書留または郵便普通為替にてお申込みください。

（平成 20 年 6 月）

定　　価　6,000 円／送料 500 円
会員特価　5,000 円／送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会