

特別講演 I

コンクリートセクターの新たな展開

—環境問題を基軸として—

香川大学教授 堺 孝司

1. はじめに

人類は、現在3つの大きな問題に直面している。食料問題、資源・エネルギー問題、および気候変動問題である。これらは相互に密接に関連している。食料問題は、人口増加と生活水準の向上、バイオ燃料の生産、気候変動に起因すると思われる干ばつに伴い、価格が高騰し、一部の発展途上国で食料入手が困難となっている。一方、石炭や原油価格の高騰も極めて異常である。これは、人類が産業革命以降築いてきた化石燃料依存システムの崩壊を意味する。これまで石油消費の増大はそれを上回る新たな油田の発見・生産によりまかなわれてきたが、石油は今後10年程度でピークアウトすることが予想されている¹⁾。つまり、これまでの2回のオイルショックとは全く意味が異なり、資源として供給が需要を下回ることになるというのである。頼みの石炭もせいぜい数百年の供給量といわれている。このように、化石燃料文明は既にその終わりの始めに突入したと言える。地球の温暖化ガスによる気候変動は、人類が全く予想しなかった「できごと」である。地球という巨大な天体の気候に人類の活動が影響していることを科学的根拠に基づいて示したのは、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次評価報告書²⁾である。これが契機となって、2007年にドイツで開催されたG8ハイリゲンダムサミットでは、日本が提案した「2050年までに温暖化ガス排出を半減することを真剣に検討する」ことが議長宣言に盛り込まれた。2008年に開催されたG8北海道洞爺湖サミットでは、主要排出国である中国やインドの問題から数値目標を「決定」することはできず、「2050年までに温暖化ガス排出量を50%削減する目標を全世界で共有するよう求める」ことで合意した。この成果について様々な評価があるが、少なくとも大幅な温暖化ガス削減にはすべての国がアクションをとる必要があることに合意したことは大きな一歩である。なお、G8北海道洞爺湖サミットに先立ち、日本政府は2050年までの温暖化ガスを現状比で60~80%削減する目標を明確にし、その実現に向けてセクター別アプローチを提案している。セクター別アプローチについてはサミット宣言において有益であることが明示された。温暖化ガス排出削減の目標値と削減手法の効果的なリンクへの努力が必要となる。サミットでは2009年までに中期目標を設定することも合意された。このように、日本政府は、今回サミット議長国として世界に対して目標達成に向けた大きな責任を負ったことになる。

日本政府が掲げた「温暖化ガスを2050年までに60~80%削減」する目標の実現は容易なことではない。あらゆる産業及び一般家庭における「相当な」努力が求められる。つまり、産業革命以来のドラスティックな変革がすべての分野において行われる必要がある。既に先進的な企業はこのことを明確に認識して事業展開を図っており、資源・エネルギー効率を極限まで高める努力がなされている。このことに遅れをとった企業は、厳しい環境に曝され、活動舞台からの退場も余儀なくされることになるであろう。この傾向は加速度的に進んでいるように思われる。ところが、建設セクターの動きは非常に鈍い。

本稿では、このような国際社会の動向を踏まえて、先ず日本における建設セクターの現状と将来の方向を概観する。次に、建設材料として最も重要なコンクリートに関する環境側面に焦点を当て

て、コンクリートセクターの環境を軸にした新たな展開について様々な観点から議論する。

2. 日本における建設セクターの現状と将来の方向

日本における建設投資は、1992年度にピークとなり、約84兆円であったが、2007年度には約52兆円まで低下している。つまり、15年で60%強まで低下したことになる。半世紀以上に亘って国土形成の中核であった建設セクターは、国内では完全に衰退産業として認識されている。インフラ整備は成熟し、人々の関心は社会保障や医療問題へ向かい、そのための予算が膨れあがっている。政府はその抑制・削減に腐心している。限られたパイの配分をどう行うかは今後の大きな課題であるが、少なくとも当面インフラ整備がその優先度を高めることはなさそうである。

地震国である日本は、これまで多くの震災を経てきたが、そのたびに繰り返されてきた耐震性能技術の向上により、少なくとも現在までのところ致命的な被害は激減している。将来起こると予想される大地震に向けた構造物の補強も進められている。しかし、全体としては不十分であることが指摘されている。例えば、東京で大地震が起これば壊滅的な被害が発生することも予想されている。一方、都市部を中心に、交通渋滞が大きな環境負荷を起こしている。また、これまで蓄積されてきた膨大な量のインフラの年齢が上がり、近い将来そのメンテナンスが大きな社会問題として浮上してくることは明らかである。高度成長期に造られた構造物は寿命が短いことが予想されている。つまり、今後これらの構造物の更新が必要となる。このように、社会経済基盤であるインフラには、我々が未体験の大きな問題を内包しているのであって、決して成熟したから今後建設投資が不要ということではない。確かに、日本のインフラは一定水準に到達したことから、これまでのような右肩上がりの建設投資は必要ない。しかし、新たな環境下での持続的な建設投資が必要である。その際考慮すべきことが2つある。1つは、構造物の耐震水準を引き上げることである。そのためには低コスト・高性能技術の開発が必須である。他の1つは、建設に関わる環境負荷の低減と環境便益の増大である。人間が行うあらゆる行為には環境負荷が伴う。建設行為も例外ではない。建設には多くの資源・エネルギーを消費する。かといって、社会経済活動の基盤を造るための建設行為をなくすことはできない。従って、建設時の資源・エネルギー使用効率を上げるとともに、できるだけ長期に亘って利用できるよう構造物の耐久性を増すことが必要である。また、環境負荷と環境便益を評価し、建設行為の妥当性を客観的に判断することも重要である。更には、役目を終えた構造物の解体により発生する物質は、すべて新たな資源としてリサイクルすることが必須である。つまり、今後は建設関連物質の低環境負荷完全リサイクルシステムの構築が求められる。

このように、日本の建設セクターは今後新たな方向に大きく舵を切ることを余儀なくされると考えられる。しかし、建設セクターは、受注産業というその業態からある意味非常に保守的である。このことが、自動車や家電業界と大きく異なる。つまり、発注者の要求がすべてであり、組織を存続させる目的での先進的な技術開発のインセンティブが弱い。ところが、最近、公共事業において総合評価入札方式が導入され、技術提案が重要性を増してきた。温暖化ガス削減の提案を要求するケースも出始めている。つまり、標準的な技術しか持たない企業は、生き残れない状況になりつつある。建設セクターも漸く技術を軸とした熾烈な競争が始まったと言える。これは、建設セクターの未来に明るい陽射しがさし始めたと考えべきである。努力無しに仕事が回ってくる時代は終わった。

3. コンクリートセクターに関わる環境側面

3.1 概説

コンクリートは、骨材、セメント、水及び混和材料からなる極めて単純な材料である。しかし、セメントと水の水和は化学反応であること、コンクリートの容積の7割が骨材であること、またコンクリートは半製品として現場で施工されることなどから、コンクリートの品質には多くの要因が影響する。未だに未解明の多くの問題がある。それでも、コンクリート用素材資源の豊富さから、建設材料として世界中で膨大な量のコンクリートが日々用いられている。このことは、コンクリートがその使用量の多さ故に大きな環境負荷を発生させていることを意味する。以下に、コンクリートに関わる環境負荷の現状と環境負荷低減の方向について述べる。

3.2 骨材

骨材は、建設分野に極めて大量に用いられている。世界で年間260億トンのマテリアルフローがある中で、建設資材として骨材に約200億トンが用いられているとされる³⁾。図-1に日本の骨材供給量の推移を示す⁴⁾。平成2(1990)年には9億トンを超えていたが、平成18年には約5.5億トンまで減少している。この内、コンクリートには4億トン程度が用いられているとされる。また、骨材の7~8程度が破碎処理をしたいわゆる広義の意味における砕石と考えられる。砕石は、その角張りのある形状からコンクリートの単位水量を増加させる。角張りを除去するためには付加的なエネルギーが必要となるとともに、微粉末の発生量が増大すると思われるが、このような観点での環境評価はほとんど行われていない。

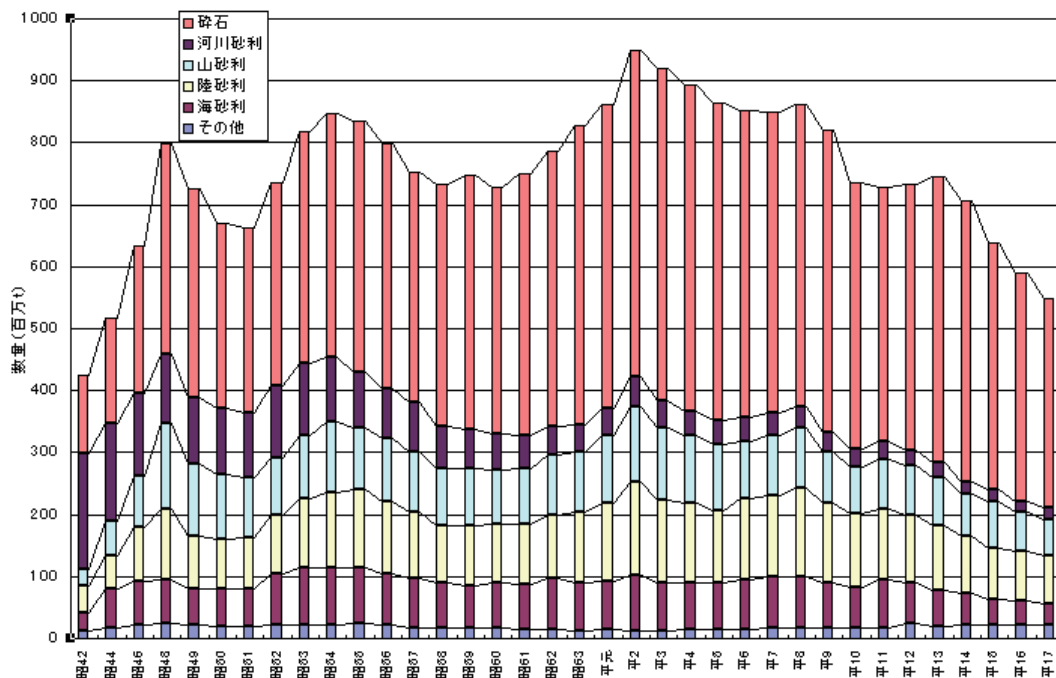


図-1 日本の骨材供給構造の推移

図-2は、香川県の砕石プラントにおけるCO₂排出量を示す。各プラント間で大きな違いがあることが分かる。これは、岩石採取条件や破碎装置のエネルギー効率などが影響していると考えられる。香川県における砕石のCO₂排出平均原単位は、平均で約6.0kg-CO₂/tである。また、輸送による1

トン当たりの平均CO₂排出量は2.1kgであり、砕石の輸送を含むCO₂排出平均原単位は8.1kg-CO₂/tとなる。しかし、各地域の骨材事情は多様であり、特に大都市では遠方より砕石を輸送していることが知られており、CO₂排出原単位は地域の事情により大きく異なることが考えられる。骨材供給は地産地消が原則であるが、必ずしもそれが機能しない地域が存在する。このような場合に骨材の各種環境負荷原単位として平均値を用いることは適当でないことは明らかである。基本的なルールの策定が緊要である。

砕石の製造で発生する微粉も環境の観点から無視できない。その排出量は日本で1200万トンと推計されている。脱水ケーキの一部は、生石灰で安定処理を施し、クラッシュランの一部として用いられているものの、その多くは埋め立てで処理されているようである。JIS A 5005 (コンクリート用砕石及び砕砂)の微粉に関わる規定の見直しも含めて、砕石微粉を資源として低環境負荷で有効利用する技術の開発が望まれる。従来の規定は、コンクリートの品質を確実に確保する視点が主であったが、今後は環境の観点も含めた材料の製造・利用技術を開発するとともに、各種規格・基準をそれらに対応するものに変えていく必要がある。

コンクリートには各種スラグが骨材として用いられている。代表的なものとして銑鉄製造時に副産物として排出される高炉スラグがある。図-3に示すように、現在日本では、高炉スラグ年間使用量約2600万トンの13%程度がコンクリート用骨材として用いられている。高炉スラグに加えて、フロニッケルスラグ、銅スラグ、電気炉酸化スラグがあり、土木学会からこれらを細骨材として用いる場合の指針が発刊されている^{5),6),7),8)}。

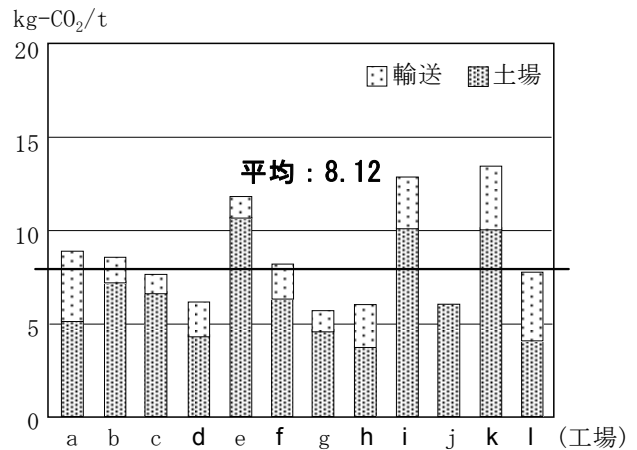


図-2 香川県の砕石プラントにおけるCO₂排出量 (kg-CO₂/t-aggregate)

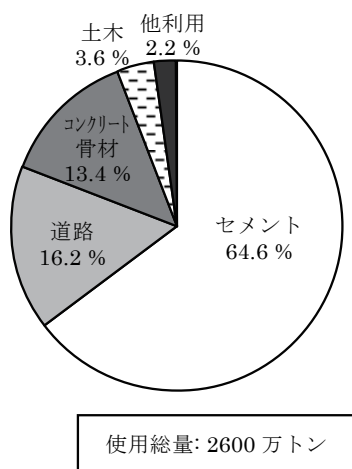


図-3 国内高炉スラグ利用状況(2006年度)

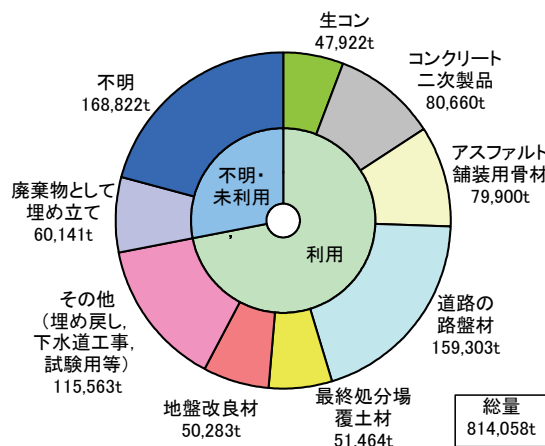


図-4 国内溶融スラグの利用状況(2006年度)

一方、一般廃棄物や産業廃棄物、あるいは下水汚泥を高温で溶融処理することが一般的になっている。溶融残渣としてスラグが生成され、これをコンクリート用骨材として用いることが試みられ

ている。香川大学では、全国の廃棄物溶融処理施設を対象にアンケートを実施し、その現況について調査した。図-4は、溶融施設から排出された溶融スラグの利用状況であるが、一般廃棄物、下水汚泥またはそれらの焼却灰の溶融固化骨材について JIS A 5031⁹⁾として規格化されているにもかかわらず、コンクリート用細骨材としての利用は少ない。溶融スラグ生産には多くのエネルギーが必要であるが、これは、溶融をスラグ生産のために行っているのではなく、有害物を含む廃棄物等を安全に処理する目的であるので、スラグ自体に環境負荷を負わせることは意味がない。各種スラグのコンクリート用細骨材としての利用は、最終処分場と天然骨材資源の延命に寄与することから、利用上の問題を明確にして、その解決を図り、これらを積極的に利用していくことが望まれる。

石炭灰も細骨材代替（コンクリート混和材）として利用することが可能である¹⁰⁾。日本における石炭灰発生量は約1000万トン強である。その有効利用内訳を図-5に示す¹¹⁾。現在、コンクリート混和材として用いられている量は、全体の1%に過ぎない。

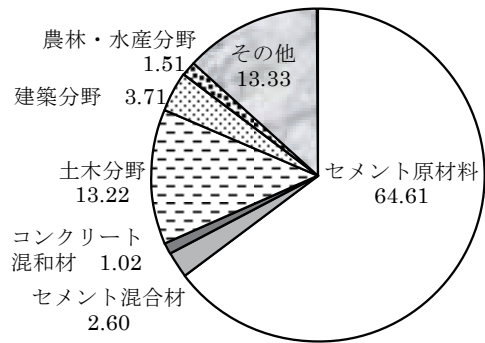


図-5 国内石炭灰有効利用状況 (2006年度)

3.3 セメント

2007年の世界のセメント生産量は27.7億トンで、前年の12%増となっている¹²⁾。図-6に、世界各地域ごとのセメント生産量を示す。中国が約9.5億トンの生産量となっており、これは世界の生産量の34%に相当する。図-7は、2002年に持続可能な発展のための世界ビジネス評議会(WBCSD)が発刊した報告書¹³⁾におけるセメントの需要予測である。2007年の生産量は、上限予測シナリオに相当する。今後、中国は勿論、インドやその他の発展途上国の人口に基づくインフラ整備を考慮すれば、セメント生産量は数倍になることは必至である。

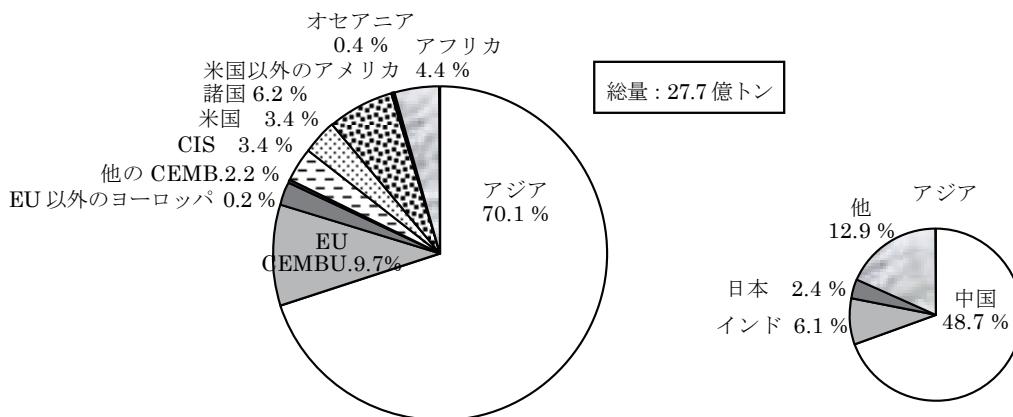


図-6 世界各地域ごとのセメント生産内訳 (2007年)

セメントは、その製造の際多くのCO₂が排出される。これは、セメントの主要原料が石灰石であることと、また粘土を加えて約1500℃に加熱するために化石燃料を用いることによる。発生するCO₂は一般に原料と化石燃料からそれぞれ半分程度とされている。図-8に、セメント製造における各国・地域のCO₂排出原単位を示す。日本の数値が著しく低いが、これは、図-9及び図-10に示すように、廃熱と廃棄物の有効利用に起因していると考えられる。日本のエネルギー効率を世界のセメント産業に適用すれば、これだけで著しいCO₂排出低減に繋がる。日本が主張する温暖化ガス削減のためのセクター別アプローチを理解する上で非常に分かり易い例である。

2005年における世界の温暖化ガスCO₂換算排出量は271億トンであった。今後世界のセメント生産量が現在の2.5倍になるとすれば、その総量は約69.3億トンとなる。セメント製造に関する世界各国の平均CO₂排出原単位0.87(kg-CO₂/kg-Cement)を用いれば、セメントからのCO₂排出は約60億トンとなり、これは2005年におけるCO₂換算排出量の22%に相当する。日本のCO₂排出原単位0.73を用いても18.7%になるに過ぎない。つまり、現行のセメント製造技術をもってしては、根本的な解決にはならないと言える。セメント製造にともなうCO₂排出の約半分が石灰石起源であることを考慮すれば、従来のセメント製造技術では自ずと限界がある。新たな革新的セメント原料焼成技術の開発と、焼成温度を著しく低減できる原材料の組み合わせによる新たなセメント系の開発が必須である。つまり、革命的セメント製造技術の開発に取り組む時期に来ている。CO₂地下貯留(CCS)技術も選択肢の1つではあるが、この技術が使える環境はそれほど多いとは思われないし、技術的にもコストの上からも、そして貯留できる量からもベストの解決法とは言えないであろう。忘れてならないのは、建設セクターから発生するCO₂は、セメント起源だけではなく、鉄利用に加えて輸送や各種重機利用起源等がある。すべてを含めてセメント起源排出の1.5倍と低めに見積もっても、将来2005年におけるCO₂換算排出量の33%が建設セクターからの排出となる可能性がある。今

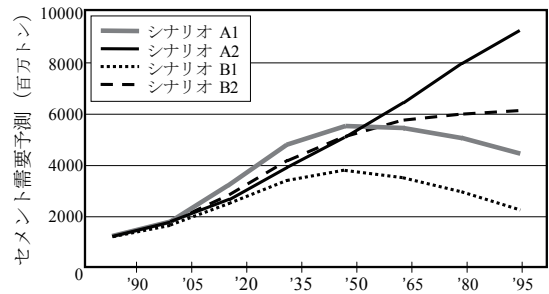


図-7 世界のセメント需要予測

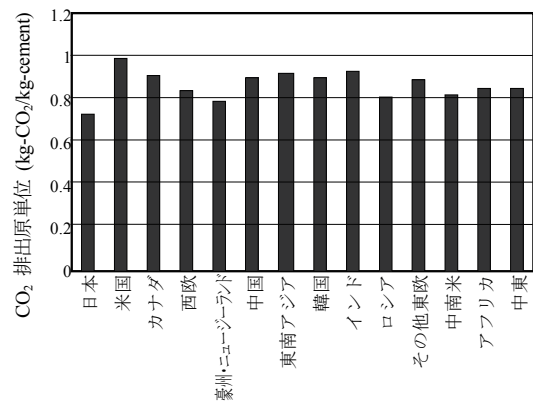


図-8 セメント製造における各国・地域のCO₂排出原単位

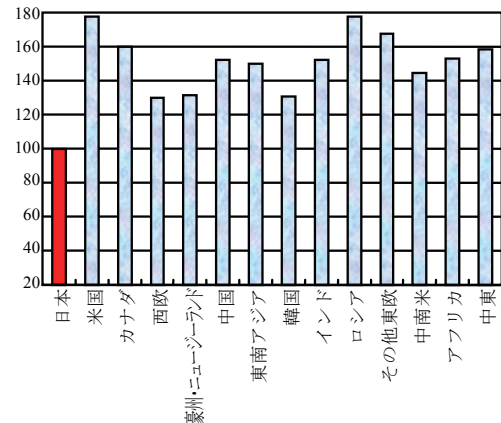


図-9 セメントクリンカー1トン当たりのエネルギー消費の国際比較

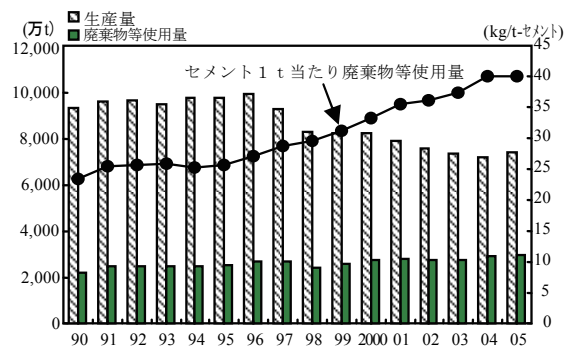


図-10 日本におけるセメント生産量と廃棄物・副産物使用量の推移

後他のセクターが CO₂ 排出を著しく低減すれば、この割合はさらに大きくなる。

3.4 混和材

コンクリートに用いられてきた混和材には、高炉スラグ、フライアッシュ、シリカフェームなどがある。混和材をコンクリートに利用する目的は、これまでは産業副産物の有効利用とコンクリートの性能向上にあった。しかし、セメント製造に起因する温暖化ガス削減の観点から高炉スラグやフライアッシュを活用することが重要となってきた。これらの混和材を利用する技術は一般化されているが、一方でコンクリートの性能の観点から様々な問題も存在している。従って、今後はコンクリートの性能の確保と CO₂ 削減のための新たな混和材利用方法の検討が必要である。

セメント製造に起因する CO₂ 排出の削減は、様々な技術の総合化により行うべきであるが、最終的に CO₂ 排出量を半減させることを目標にすべきである。そのためには、現行のセメント製造原材料として用いられている高炉スラグやフライアッシュがより価値のある形で利用されるべきである。高炉スラグは、図-3 に示すように、その約 65%がセメント用混和材として用いられているが、石炭灰の場合は、図-5 に示すように、その約 65%がセメント原材料として利用されており、セメント混合材としての利用は 2.6%に過ぎない。これは石炭灰を廃棄物として処理するシステムが構築されたことによるが、よりグローバルな物質循環の観点から合理的な利用法を見出していく必要がある。高炉スラグとフライアッシュの混和材としての利用に関する国際的な統計資料は見あたらない。図-11 に、それらの生産量に関する将来予測¹⁴⁾を示す。これによれば、フライアッシュ発生量は、2002年の3億トンから2020年には5億トンになる。高炉スラグを含めて、これら混和材を様々な形で有効利用することが望まれる。

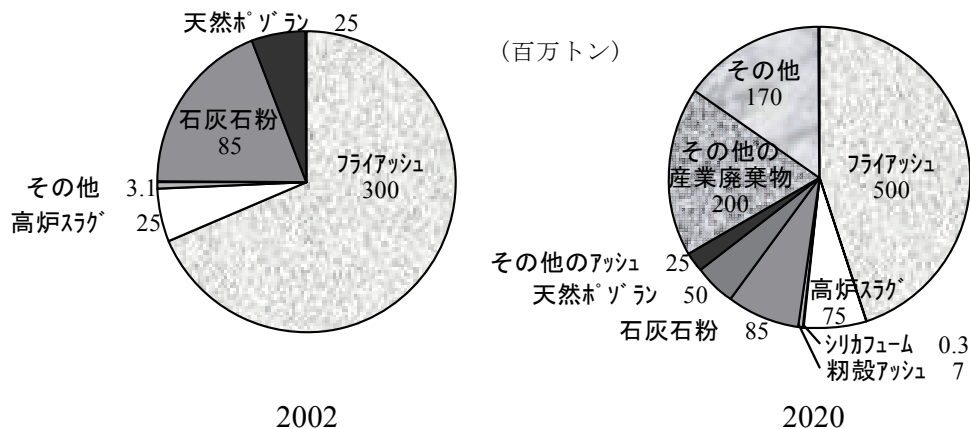


図-11 各種混和材の生産量の推定値

3.5 混和剤

現在コンクリート製造には、AE 剤から高性能 AE 減水剤まで多様な混和剤が用いられている。混和剤は、コンクリートの性能を改善する目的で用いられている。環境の観点で言えば、当然これら化学混和剤の製造のための原材料には何らかの合成工程および精製工程を有しておりエネルギーおよび天然資源が消費されている。また、これら原材料をもとに最終製品を製造する段階においても、原材料の運搬・混合などの各工程においてエネルギーが消費されている。しかしながら、これらの全過程におけるインベントリデータは、ほとんど整備されておらず、唯一、土木学会「コンクリー

ト構造物の環境性能照査指針（試案）」¹⁵⁾において、代表的な化学混和剤成分の製造段階におけるインベントリデータの一例が示されているに過ぎない。これによると、AE 減水剤に多用されているリグニン系成分のCO₂の排出量として123 kg-CO₂/tが、高性能AE 減水剤の代表的な成分であるポリカルボン酸系成分として100～350 kg-CO₂/tなどが報告されており、化学混和剤の主成分の製造段階において比較的多くのCO₂が排出されているようである。

著者らは、混和剤利用が環境負荷低減に貢献している可能性を探るために、混和剤の環境負荷低減効果について検討した。AE 減水剤や高性能AE 減水剤の使用目的は、施工性の改善や耐久性の向上などが挙げられるが、配合上に表れる効果は単位水量の低減やこれに連動する単位セメント量の低減といえる。そこで、AE 減水剤コンクリートと高性能AE 減水剤コンクリートの構成材料の製造段階に発生するCO₂排出量の総和を算出し、高性能AE 減水剤の使用による環境負荷低減効果を試算した。レディーミクストコンクリートの平均単位セメント量を360kg/m³、AE 減水剤使用コンクリートの単位水量を180kg/m³、およびW/Cを50%とした。試算コンクリートの配合およびCO₂排出量を表-1に示す。AE 減水剤コンクリートから高性能AE 減水剤コンクリートに転換することによりコンクリート1m³当たりのCO₂排出量を14.6 kg/m³削減できることがわかる。

高性能AE 減水剤の用途として高強度コンクリートがあげられるが、設計基準強度が60N/mm²以上の高強度コンクリートは年間約10～15万m³とされており、日本国内で使用されるコンクリート量からすれば極僅かである。しかし、2006年の高性能AE 減水剤コンクリートの出荷量である約1800万m³の全てが表-1に示した配合条件であったと仮定した場合、高性能AE 減水剤の使用により年間約26万トンのCO₂排出量を削減したことになる。したがって、今後、高性能AE 減水剤コンクリートの普及が更に進めば、より多くのCO₂削減が可能であるといえる。

なお、国内で出荷されるレディーミクストコンクリートはAE 減水剤コンクリートが基本となっており、AE 減水剤使用がもたらす環境貢献度を評価するには化学混和剤を全く使用しないプレーンコンクリートとの比較が必要である。仮にAE 減水剤コンクリートと強度レベルのみ同一としてプレーンコンクリートの配合を試算すると、AE 減水剤の使用により単位セメント量を約20kg/m³程度低減していることになる。すなわち、結果的にAE 減水剤の使用により国内で年間200万トン弱のCO₂排出量を削減していることに相当する。

混和材は、現在フレッシュおよび硬化コンクリートの性能確保に極めて重要な役割を果たしているが、今後はこれに加えて、コンクリートの環境負荷低減の観点から混和剤に新たな性能を付与することが重要となる。

表-1 試算コンクリートの配合およびCO₂排出量

コンクリートの種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)/CO ₂ 排出量(kg-CO ₂ /m ³)					高性能への転換によるCO ₂ 削減量
			W	C	S	G	Ad	
AE 減水剤	50	46.6	180	360 (276.0)	801 (3.0)	935 (2.7)	0.93 (0.1)	14.6 kg-CO ₂ /m ³
高性能AE 減水剤	50	47.8	170	340 (260.6)	842 (3.1)	935 (2.7)	3.5 (0.8)	

注)使用材料の種類とCO₂原単位¹⁵⁾

普通ポルトランドセメント (766.6 kg-CO₂/t)、天然細骨材 (砕砂, 3.7 kg-CO₂/t)、天然粗骨材 (砕石, 2.9 kg-CO₂/t)、AE 減水剤 (リグニン系, 123 kg-CO₂/t)、高性能AE 減水剤 (PCE系, 100～350 kg-CO₂/t, 試算では350 kg-CO₂/tを使用)

3.6 生コンクリートの製造

生コンクリート (以下, 生コン) は, 上述した各種材料を生コン工場に輸送し, それらをミキサで練混ぜ, 現場までアジテータトラックで輸送される。著者らは, 香川県の生コン工場にアンケート調査を行い, 生コンに関わる環境負荷について分析した。図-12 は, 13 の工場における CO₂ 排出の各工程における割合を示したものである。原材料製造による CO₂ 排出が約 8 割を占め, 生コンの製造自体による CO₂ 排出は全体として非常に少ないことが分かる。これに対して, 図-13 に示すように, NO_x 排出に関しては原材料輸送による割合が大きくなる。

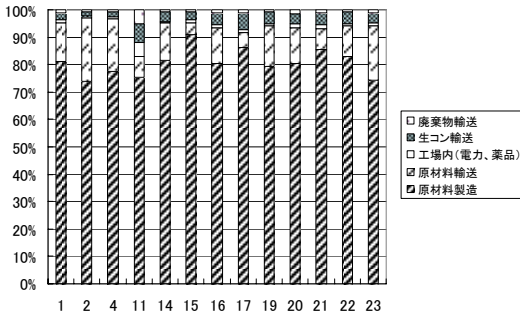


図-12 生コンの各工程における CO₂ 排出割合

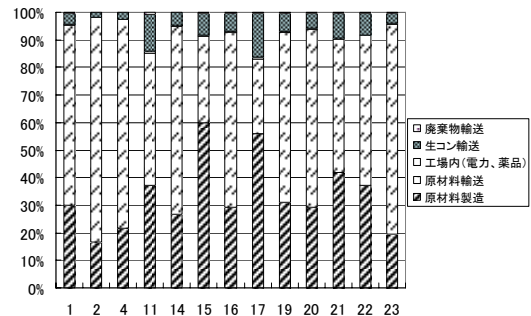


図-13 生コンの各工程における NO_x 排出割合

図-14 は, 生コン出荷量 1m³ 当たりの電力消費量と年間出荷量との関係を示す。一般に, 出荷量の少ない工場は 1 バッチあたりの練り混ぜ量が少いため生産効率が悪くなっている可能性がある。同程度の出荷量における差異があるのは, 工場内における骨材の輸送形態が異なることや事務所等の施設に関する電力が含まれていることなどが考えられる。

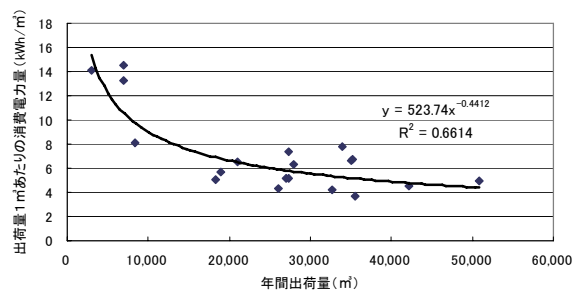


図-14 生コン出荷量 1m³ 当たりの電力消費量と年間出荷量との関係

図-15 は, 原材料の製造をも含むすべての工程を考慮した CO₂ 排出原単位を示したものである。図-16 は, CO₂ 排出原単位と骨材の平均輸送距離との関係を示したものである。両図から, CO₂ 排出原単位は骨材輸送の影響が非常に大きいことが分かる。

このように, 生コンに関わる環境負荷原単位は多くの要因に支配され, 一意的に定まらないことが明らかになった。今後, より広範囲に調査し, かつデータの精度を上げて, 様々な条件下で実際に使える原単位の取得が課題である。

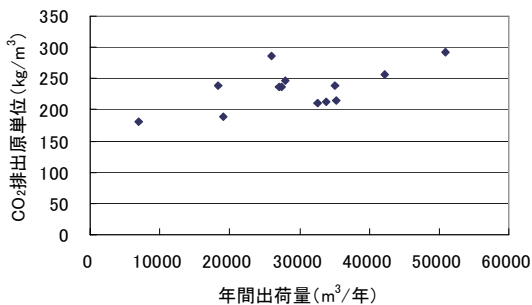


図-15 生コンのすべての工程を考慮した CO₂ 排出原単位

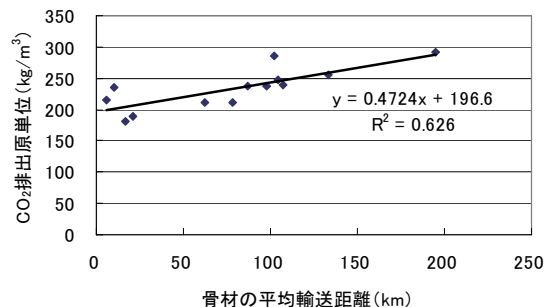


図-16 生コンの CO₂ 排出原単位に及ぼす骨材の平均輸送距離の影響

3.6 解体コンクリートとリサイクル

コンクリート構造物は、最終的にはその使命を終え解体される。世界における解体コンクリートの排出量に関する統計数字は存在しない。日本における建設副産物排出量の試算¹⁶⁾によれば、コンクリート塊の排出量は2005年には1.12億トンであるが、2025年には2.1億トンまで増加する結果となっている。香川大学では、香川県の中間処理場における廃棄物受入状況についてアンケート調査を行った。図-17は、中間処理場受入物とその割合を示す。約半分がコンクリートがらとなっている。これまでコンクリート塊のほとんどが路盤材として用いられてきたが、道路建設の減少により路盤材としての需要が低下していることから、コンクリート塊処理物が余剰状況にある。これに関する統計数字が存在しないのでその実態は不明であるが、今後これまで蓄積されてきた建設ストックの更新が必要となるので解体コンクリート塊のリサイクルは極めて重要な問題となることが予想される。

解体コンクリートの路盤材への利用が難しくなると、他の選択肢は骨材のリサイクルである。日本における再生骨材製造技術には、加熱すりもみ法¹⁷⁾、堅型偏心ロータ法¹⁸⁾、および機械式すりもみ法¹⁹⁾などがある。現在、骨材のリサイクルには2つの問題がある。1つは、コンクリート塊から骨材とセメントペーストを分離するために多くのエネルギーが必要となることであり、他の1つは、一般的には発生するセメント微粉末の処理が困難であることである。現状の技術では、骨材のリサイクルは、製造だけを考えればバージン骨材と比べると環境負荷が大きなものとなり、またコストも増大する。しかし、再生路盤材としての利用や最終処分場での処理などで発生する環境負荷等を考慮すると、再生骨材の利用が有利になる場合もあり得る。今後、低エネルギー再生骨材製造技術と全体として低負荷となる利用システムの開発が必須である。

なお、再生骨材については既にJIS規格が制定されている^{20),21),22)}。

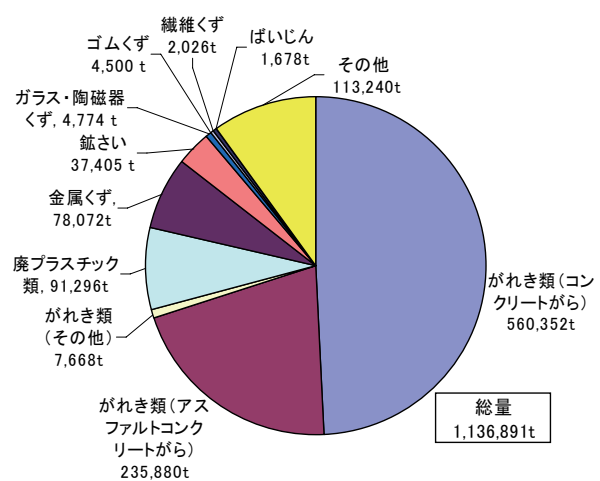


図-17 香川県における中間処理場受入物とその割合

3.7 環境設計

以上、コンクリートに関わる環境側面と問題の所在および今後の方向について議論してきたが、これらはコンクリート構造物の設計・施工・供用・解体・リサイクルの各段階で直面する問題であると言える。理想的には、コンクリート構造物のライフサイクルで環境負荷を評価し、その低減を図ることが必要となるが、我々が対象とするコンクリート構造物は一般に寿命が長く、実際にはそう簡単ではない。土木学会は、前述したように、2005年にコンクリート構造物の環境負荷低減システムとして「コンクリート構造物の環境性能照査指針（試案）」¹⁵⁾を発刊した。本指針では、環境性能の考え方の導入による性能照査を基本とした環境設計体系が構築されている。著者は、本指針の具体的な適用の例を環境設計として示してきた²³⁾。

コンクリート構造物を対象とした環境設計は、緒に着いたばかりである。コンクリート構造物の安全性をはじめとする各性能を満足した上で、環境負荷を低減するためには、従来の材料および構

造だけでは十分な成果が得られないかもしれない。換言すれば、慣用の材料および構造を用いたコンクリート構造物の建設に関わる環境負荷を評価した上で、環境負荷を更に低減する方策を立てる必要がある。つまり、環境設計の導入は、新たな環境負荷低減技術の開発を促すこととなる。今後、環境設計に関する多くの事例を積み上げて、環境負荷低減技術を一般化し、建設セクター全体としての大きな環境負荷低減に導くことが肝要である。

4. おわりに

コンクリートセクターに身を置いている我々は、これまで自らが行っている建設行為において膨大な資源やエネルギーを消費していることをあまり認識してこなかったといえる。従来の問題は、建設行為と直接的な自然破壊との関係であった。勿論、これも極めて大きな問題であることに違いはないし、現に世界の人口は著しく増加し、都市の人口が異常に膨れあがっている。都市にはもはや自然と呼べるものはほとんど無きに等しい。しかし、都市における局所的な自然破壊と人口集中は、分散した場合と比べて新たな環境問題である地球温暖化物質の排出を抑制している可能性がある。このように、環境問題の座標軸が変化しつつある。つまり、問題はより複雑化しているのである。このような制約条件の中で、コンクリートセクターがこれからも人間の社会経済基盤の建設を着実に進めていく必要があることは疑いがない。しかし、今後は「環境」を主軸にした技術体系を構築することが必須となるであろう。

このような大きな変化に対応するために、ISO/TC71 (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) は、新たに SC8 (コンクリートおよびコンクリート構造物の環境マネジメント) を設置した。著者が議長を務めている。今後、コンクリートセクターのための ISO 環境規格が作成されることになる。コンクリートセクターによる ISO 環境規格作成の意義としては以下の3つを考えている。

- (1) コンクリート・建設セクターとしての環境問題に対する社会的説明責任の履行
- (2) 土木・建築構造物の建設による環境便益の明確化
- (3) 意思決定者や市場牽引による連続的な環境改善

今後の爆発的な人口増加と豊かな生活の確保に必要な生産活動に寄与する地球規模でのインフラ整備は、人類にとって未知の領域であり、コンクリートセクターにとっても大きな挑戦である。コンクリートセクターは、自らの責務を明確に認識し、正しいアクションを起こす必要がある。狭い視野で、目先の利益に拘泥することは、コンクリートセクターの衰退への道である。

参考文献

- 1) デイヴィット・ストローン (高橋裕子訳) : 地球最後のオイルショック, 新潮選書, 2008年5月
- 2) IPCC : Climate Change 2007 Synthesis Report, Summary for Policymakers, 2007, 22pp
- 3) レスター・ブラウン (監訳: 福岡克也) : エコ・エコノミー, 家の光協会, 2002
- 4) (社) 日本砕石協会 : 骨材供給構造の推移, <http://www.saiseki.or.jp/index.html>, 2008
- 5) 土木学会 : 高炉スラグ骨材コンクリート施工指針, コンクリートライブラリー第76号, 1993
- 6) 土木学会 : フェロニッケルスラグ細骨材を用いたコンクリートの施工指針, コンクリートライブラリー第91号, 1998
- 7) 土木学会 : 銅スラグ細骨材を用いたコンクリートの施工指針, コンクリートライブラリー第92

- 号, 1998
- 8) 土木学会：電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの設計・施工指針(案), コンクリートライブラリー第110号, 2003
 - 9) 日本規格協会：一般廃棄物, 下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート溶融スラグ骨材, JIS A 5031, 2006
 - 10) 土木学会四国支部：フライアッシュを細骨材補充混和材として用いたコンクリートの施工指針(案) 2003
 - 11) 石炭エネルギーセンター：平成18年度石炭灰有効利用分野別の内容内訳, <http://www.jcoal.or.jp/coalash/ash02.html>
 - 12) CEMBUREAU：Activity Report 2007
 - 13) K. Humphreys and M. Mahasenan：Toward a Sustainable Cement Industry, Climate Change Sub-study 8, World Business Council for Sustainable Development, 2002
 - 14) P. Jahren：Greener Concrete – What are the options? The CO2 Case, STF22A 03610 Report, SINTEF, 2003
 - 15) 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, 2005
 - 16) 日本政策投資銀行：都市再生と資源リサイクル—資源循環型社会の形成に向けて—, 調査, No.33, 2002
 - 17) 立屋敷久志・岡本雅道・西村佑介・黒田泰弘：解体コンクリートからの高品質再生骨材の回収試験, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, 00.1099-1104, 2000
 - 18) 柳橋邦生・米澤俊男・神山行雄・井上孝之：高品質再生粗骨材の研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.1, pp.205-210, 1999
 - 19) 依田和久・新谷彰・高橋功・柳瀬茂夫：機械式すりもみ装置により製造した再生粗骨材及び再生細骨材の品質, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.1527-1532, 2004
 - 20) 日本規格協会：コンクリート用再生骨材 H, JIS A 5021, 2005
 - 21) 日本規格協会：再生骨材 M を用いたコンクリート, JIS A 5022, 2007
 - 22) 日本規格協会：再生骨材 L を用いたコンクリート, JIS A 5023, 2006
 - 23) 堺孝司：コンクリート構造物の環境負荷低減に向けた技術とシステム—現状と展望—, 500号記念特集号*環境とコンクリート/I. 総論, コンクリート工学, Vol. 45, No. 5, 2007.5