

環境負荷低減に貢献：挑戦するコンクリート

佐川, 康貴
九州大学大学院工学研究院建設デザイン部門

<https://hdl.handle.net/2324/20035>

出版情報：建設物価. 1104, pp.26-30, 2011-10-01. 建設物価調査会
バージョン：
権利関係：

連載 素晴らしきコンクリート②

Wonderful Concrete

環境負荷低減に貢献・挑戦するコンクリート

九州大学 大学院 工学研究院 建設デザイン部門 准教授 佐川康貴

はじめに

連載の第2回、第3回を担当させていただくにあたり、簡単に自己紹介をさせていただく。小生は1976年に愛媛県に生まれ、1994年に九州大学工学部建設都市工学科（当時）に入学した。大学院修士課程修了後、2000年より教員の職にある。

大学進学時に土木工学を選択したきっかけは、当時、NHKスペシャルで「テクノパワー～知られざる建設技術の世界」（1993年）が放映され、テレビ越しではあるが最先端の建設技術を見たことである。当時、明石海峡大橋、関西国際空港、東京湾アクアライン、ドーバー海峡トンネルといったビッグプロジェクトが数多く動いていた。地元では本州四国連絡橋 尾道-今治ルート（しまなみ海道）の来島海峡大橋（世界初の3連吊り橋、写真1）の建設が進められていた。また、ある建設会社の広告に「地図に残る仕事」というキャッチコピーが使われ始めた頃だったように思う。理系のどの分野に進学したらよいか迷ってい

た時期に、人々の生活を便利で豊かにしてくれるインフラの整備に興味を持ち、土木工学の道を選んだのである。

連載第1回では、濱田先生より「コンクリートの美しさ」について、コンクリートコアを用いた紹介があった。小生からも1つ紹介させていただく。瀬戸中央自動車道（瀬戸大橋）のほぼ中央に位置する与島PAに、コンクリートコアのモニュメントがある。これは、プレパックドコンクリートとして施工された海中基礎コンクリートから試験用に採取されたコアであり、北備讃瀬戸大橋のケーブル模型と並べて置かれている（写真2）。

さて、小生の担当する第2回・第3回では、コンクリートにおける環境、リサイクルに関連する内容を取り上げる。この第2回では、コンクリートが環境負荷低減に貢献できる材料であるとともに、さらなる挑戦が続けられていることについて述べる。なお、環境、リサイクルに関する問題のご承知の通り多岐にわたる問題であり、また、複雑に関わり合うものでもある。小生以降の担当者からも数多くの話題が提供される予定である。



写真1 来島海峡大橋

写真2 与島PAに設置されている
コンクリートコア（左上：拡大写真）

ハイブリッド車が売れる理由は？

ハイブリッド車の販売台数の伸びが著しい。日本自動車工業会の環境レポート2010¹⁾によると、2010年の乗用車販売に占めるハイブリッド車のシェアは、約10%に達している。2009年に導入されたエコカー補助金・減税制度の影響が大きいと思われるが、最近発売された車種では、今注文しても納入されるまでに半年以上かかるものもある。ハイブリッド車を始めとするエコカーの魅力とは何であろうか？

簡単な試算をしてみる。ハイブリッド車Pの価格は205万円、燃費は38.0km/lである。一方、国民的大衆車Cの価格は144万円、燃費は20.0km/lである。ここでは、両者とも最も低いグレードで比較することとし、税金、諸経費は考えないこととする。ガソリン価格を150円/lと仮定し、1カ月に1,000kmすなわち年間12,000km走る場合を考える。車体価格の差61万円の元を取るためには、約14年を要する(図1)。

この試算は、コスト比較としては非常に稚拙なものであり、ご容赦いただきたい。しかし、一般の市民が意識するのはせいぜいこのレベルではなからうか。試算で得られた14年という年数は、短いとは言えない。それでもハイブリッド車を購入するのであるから、購入する人々は、程度の差はあれ、ハイブリッド車の持つ「環境性能」を意識していると考えられる。見方を変えると、コストよりも「環境に対する意識」が勝っているということである。

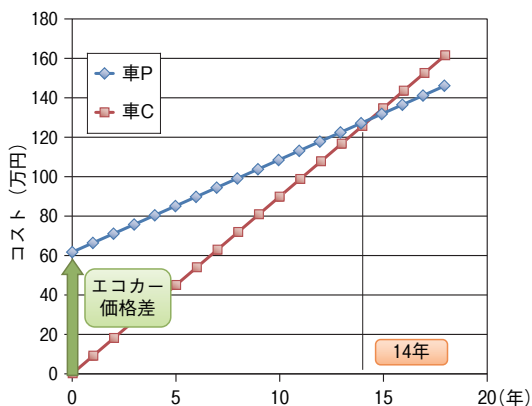


図1 エコカーと普通車のコスト比較(試算)

コンクリートと環境の関係

ここで、本題のコンクリートの話に入りたいと思う。コンクリートと環境の関係について、市民から意識されることはあるだろうか？ おそらく、コンクリート・イコール・環境破壊といった、マイナスイメージを持たれているに違いない。例えば、以下のような話である。

川は蛇行が真っ直ぐに矯正され、三面張りのコンクリートによってがっちり固められた。しかし、河川およびその周辺における生態系を守るため、多自然型川づくりが行われるようになってきている……。

また、都市部は“コンクリートジャングル”と化し、ヒートアイランド現象が生じる。暑いのでクーラーを使い、熱を出し、さらに気温を上昇させ、悪循環となっている……。

もちろん、これらの問題を解決するためにもコンクリートの技術が使われている(ポーラスコンクリートなど)のであるが、やはり、これらの事例のように、コンクリートと環境の関係はマイナスイメージに作用しているのではないだろうか。

しかし、実際にはこれら以外に知られていない関係、特に環境への貢献、環境負荷低減技術が多くある。今回は、コンクリートを構成する代表的材料である、セメントと骨材について環境負荷低減の観点から述べる。

最先端技術によって製造されるセメント

わが国のセメントは、世界トップの技術によって製造されていると言って良い。セメント産業において早くから環境対策が取り組まれてきた結果である。以下では、2つの項目について紹介する。なお、セメント協会により多くの情報²⁾³⁾が開示されているので、詳細はそちらをご覧頂きたい。

まず1点目は、世界トップの少ないエネルギーでセメントを製造していることである。セメントの製造工程は、概略、図2に示すような3つの工程から成る。

乾燥、粉碎、焼成といった各プロセスでエネルギーが必要であるが、焼成工程で最もエネルギーを使用する。キルンと呼ばれる釜の中で1400～

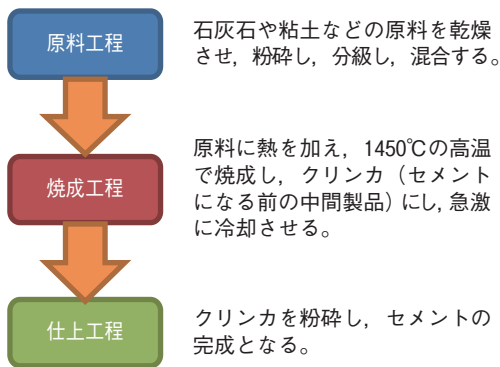


図2 セメント製造工程

1450℃まで加熱しなければ、水と反応して硬化するために必要な成分がセメント中に生成されない。また、高温で焼成することによって廃棄物の無害化が可能となる。よって、セメント製造にとって、焼成工程は欠かすことのできない必須の工程である。

わが国では、キルンは1997年までに加熱効率の高いSPキルン、NSPキルンに転換済みである。また、それ以降も粉碎機の改良など、省エネ設備の普及促進が行われている。その結果、クリンカ1トンを製造するのに必要なエネルギーは、世界平均の約3分の2であり、世界トップである。

2点目は、表1に示すように、他産業ならびに私たちの生活で生じる多くの副産物、廃棄物を受け入れてセメントの製造に利用しているという点である。

表1 セメント製造における副産物・廃棄物の使用量（2009年度）²⁾

主な起源	種類	使用量 (千トン)
発電所	石炭灰、副産石こう	8,879
製鉄所	高炉スラグ、製鋼スラグ	7,995
建設現場	建設発生土、建設汚泥、廃プラスチック、木くず	3,013
下水処理場、浄水場、石油精製所、製紙工場、化学工場	汚泥	2,151
製錬所、鋳物工場	非鉄鉱さい、鋳物砂	1,189
ごみ処理場ほか	燃えがら	569
石油精製所	廃油、再生油	396
食品工場	廃白土	204
自動車整備工場	廃タイヤ	103
試料製造工場	肉骨粉	65
計（その他を含む）		26,291

コンクリート材料に関する一般的な教科書には、「セメントの原材料は、石灰石、粘土、ケイ石、鉄原料、石こう……」と書かれている。しかし実際には、粘土原料の約96%は副産物、廃棄物で置き換えて使用されているなど、多くの副産物、廃棄物が原料の代替材料として用いられている。また、廃タイヤ、廃油などのように燃料として有効利用されるものもある。

セメント産業が廃棄物、副産物を受け入れなければ、最終処分場の残余容量は少なくなる。最近発行されている教科書では、廃棄物、副産物の利用について記述されるようになってきているが、もっと大胆にアピールされても良い内容ではないだろうか。

セメント1トンの製造するのに使用される副産物、廃棄物の量は、2009年度で451kgとなっている。セメント生産量は年々減少傾向にあるにも関わらず、セメント1トン当たりの使用量は増加している。廃棄物、副産物の使用量とクリンカ生産量とのバランスを考えた場合、もはや限界に近いとの指摘もある⁴⁾。また、廃棄物、副産物を使用するとアルミネート相の多いセメントとなり、セメントの特性が変化するため、廃棄物の使用量のバランスを考慮した材料設計法も提案されている⁴⁾。

セメントの製造において切り離すことができない問題として、CO₂排出の問題がある。前述の通り、セメント製造では、多くのエネルギーを使用するため、CO₂排出量も多いのはもちろんである。

これに加え、セメント製造時に石灰石（CaCO₃）が分解し、CaOとCO₂となるため、セメント製造時にCO₂が自然に発生する。後者のCO₂はプロセス起源（または原料起源）のものと呼ばれ、その割合は、セメント製造における全CO₂の58%（2009年度）にもものぼり、セメント製造におけるCO₂排出の問題は避けて通れない話である。

コンクリート分野のCO₂排出量を減らす方法として、クリンカの生産量を減らし、海外のいくつかの国で見られるように混合セメントの割合を増やす方法が考えられる。わが国では、高炉セメントB種については、特に土木分野では普及が図られているものの、全セメントに対す

る割合は低いいため、改善の余地は残されていると考えられる。一方で、クリンカ生産量が少なくなると、廃棄物、副産物の処理が困難となるため、持続可能な発展のために必要なマテリアルフローについて、今後検討する必要がある。

これまで見てきたように、セメントはインフラ整備に必要な材料であるとともに、さまざまな所から排出される廃棄物、副産物を受け入れ、処理する役目を果たしている。新技術の開発、導入を行いながら、既存設備の改善を行った結果、セメント製造技術はトップクラスである。大幅な省エネの余地は少なくなっているが、今後、低温での焼成技術やCO₂貯留技術の実用化が期待される。また、諸外国への技術移転によりわが国が環境負荷低減に貢献できるものと考えられる。

副産物起源骨材の有効利用

次に、骨材について見ていく。普通コンクリートの場合、その容積の約70~80%を骨材が占めている。よって、骨材はコンクリートに必要な不可欠な材料である。

高度経済成長期が始まるまでは骨材の使用量が少なく、骨材のほとんどは、川砂・川砂利により供給されていた。しかし、使用量が増えるにつれ、河川における橋脚の洗掘などの問題が生じ、川砂・川砂利の採取は規制されるようになり、高度経済成長期には、急増する骨材需要を満たすために、山砂、陸砂、海砂、碎石といった代替資源の開発が進められた。また同時に、副産物有効利用の観点から、各種スラグ骨材などの骨材としての利用に関する検討が行われ、JIS規格や学会からの設計・施工指針（案）が策定された。

表2に、骨材としてJIS規格が定められているもののうち、JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」で使用が認められているものを示す。これだけのラインナップがあるものの、実際には、ある特定の構造物、あるいは、一時的に利用されるものが多く、継続的に幅広く利用されているものは少ない。

また、コンクリート廃材を破碎、分級して製造される再生骨材には、表中のH以外に、MおよびLの規格が存在する（JIS A 5022, 5023）。しかし、レディーミクストコンクリートへの使用は認

表2 副産物を起源とする骨材（レディーミクストコンクリートに使用可能なもの）

分類	種類	JIS規格番号
細骨材	高炉スラグ細骨材	JIS A 5011-1
	フェロニッケルスラグ細骨材	JIS A 5011-2
	銅スラグ細骨材	JIS A 5011-3
	電気炉酸化スラグ細骨材	JIS A 5011-4
	コンクリート用再生細骨材 H	JIS A 5021
粗骨材	溶融スラグ骨材	JIS A 5031
	高炉スラグ粗骨材	JIS A 5011-1
	電気炉酸化スラグ粗骨材	JIS A 5011-4
	コンクリート用再生粗骨材 H	JIS A 5021

められていない。

さらに、これら以外にも、副産物を起源とするものは数多く存在する。それらの多くは、発生量が少ない、発生場所が非常に限定される、などの特徴を有している。中には独自の指針類を整備している材料も存在する。

以上のことから、副産物を起源とする代替骨材の利用について言えることは、JISや設計・施工指針（案）やマニュアルが出されており、技術的には十分に使用に値するが、制度あるいはシステムとして、これらの使用を促進するモチベーションが働いていないと思われる。

簡単に言えば、「代替骨材を使うと、コストが上がるから使えない」というところが問題なのである。コストが上がらないような使い方をするか、もしくは、冒頭のエコカーの話のように、コストが上がっても使ってもらえるような工夫が必要である。

もちろん、再生材料の使用についてはグリーン購入法などの施策が有効に機能していると思われるが、今後はプラスアルファが必要であろう。小生の参加した「環境調和型コンクリート材料学の創造に関する研究委員会」（土木学会）では、環境調和型材料の（土木分野での）普及に向け、総合評価入札方式において評価項目として環境調和指標を導入することを提案している⁵⁾。なお、ここで言う「環境調和指標」とは、温室効果、廃棄物、地産地消の3つに関わる指標を組み合わせたものであり、詳しくは文献⁵⁾をご覧ください。



写真3 橋梁解体現場

少し話がそれるが、写真3は、大学の近くで河川改修のため架け替えられている橋梁である。担当者から、廃材は中間処理後、路盤材として利用されると伺った。コンクリートのことをやっている身からすると、少々残念な気がした。「コンクリートからコンクリートへ」のリサイクルの輪をつなぐことはできないであろうか？新しい橋の親柱や歩道ブロックでもよいので、コンクリート用骨材としてリサイクルすることはできなかったであろうか？そうした方が、ユーザーである市民から愛着が得られるのではないだろうか？

まとめ

この回では、セメント製造において環境に対するさまざまな配慮がなされていること、また、代替骨材の多様な種類があり今後の普及が期待されることについて述べてきた。このように、コンクリートは環境負荷低減に貢献できる材料であるとともに、さらなる挑戦が続けられている。

2007年6月に閣議決定された21世紀環境立国戦略の基本方針によると、持続型社会の構築のためには、低炭素社会、循環型社会、自然共生社会という3つの社会の各側面を統合した取組みの展開が必要であると述べられている。コンクリートはこれら3つの社会の構築に貢献できる材料である。すなわち、最先端のセメント製造技術によりCO₂排出量を削減でき、セメントや骨材は循環資源であり、自然界を脅かすことなく人間の活動が可能となる環境をコンクリートが作り出すこともできる。

コンクリートは材料として可能性を秘めた素晴

らしい材料であり、これからは「環境」を意識して使ってもらえる材料となるよう、挑戦し続けなければならない。

なお今回は、セメントや骨材へと有効利用される廃棄物、副産物について取り上げたが、これほどまでに多くの廃棄物、副産物を利用すると、コンクリート産業が「ゴミ溜め」になるのでは？という指摘もある。もちろん、廃棄物、副産物の利用にあたっては、環境安全性が確保されていることが前提条件である。

今回は、環境性能を向上させながら、耐久性をも向上させるという新たな価値を付与するための試みを紹介する予定である。

【参考文献】

- 1) 一般社団法人日本自動車工業会：環境レポート2010（第2版）(<http://www.jama.or.jp/>), p.11, 2011.3
- 2) 社団法人セメント協会ホームページ, <http://www.jcassoc.or.jp/>
- 3) 社団法人セメント協会パンフレット, セメントは安全で快適な暮らしを支えるサポーター, 2011.5
- 4) 大門正機, 坂井悦郎 編：社会環境マテリアル－セメント系材料の使命と持続可能な社会－, pp.21-30, 技術書院, 2009.3
- 5) 土木学会：環境調和型コンクリート材料学の創造に関する研究委員会成果報告書, コンクリート技術シリーズ96, 2011.8

本誌記事を読み、学習することは「土木学会」「建設コンサルタンツ協会」のCPD教育形態の「自己学習（学会誌等の購読）」に相当し、単位を取得できます。
※詳細は各団体により異なりますので、ご確認ください。