

◇技術紹介 Technical Report◇

低炭素型のコンクリート 「クリーンクリート®」 Low Carbon Emission Concrete “Crean-crete®”

小林 利充 Toshimitsu Kobayashi
 一瀬 賢一 Kenichi Ichise
 並木 憲司 Kenji Namiki
 (東京本店建築事業部)

1. はじめに

地球温暖化に影響を及ぼす温室効果ガス、特に、二酸化炭素(CO₂)排出量の低減は、世界規模での共通認識であり、昨年のCOP21(気候変動枠組条約第21回締約国会議)においても政府間で議論されている。このような中、コンクリート分野においても、低炭素社会の構築に向けて様々な技術が検討されている。昨年、公益社団法人日本コンクリート工学会から「混和材を大量使用したコンクリートのアジア地域における有効利用に関する研究委員会報告書」¹⁾が刊行され、CO₂の低減と副産物の有効利用の観点から、「混和材」が再注目されている。筆者らは、前述した混和材に着目し、材料起源によるコンクリートのCO₂排出量を大幅に低減した「クリーンクリート®」を開発している²⁾。なお、本技術は、一般社団法人日本建築センターの建設技術審査証明(BCJ-審査証明-202)の取得および国土交通省関東地方整備局よりNETISに登録(KT-130003-A)している。

本稿では、未来に向けたコンクリートとして、地球温暖化対策に貢献する低炭素型のコンクリート「クリーンクリート」の概要と適用事例などを紹介する。

2. コンクリートの二酸化炭素排出量

市中のレディーミクストコンクリート工場の配合計画書および材料のインベントリデータ(Table 1 参照^{3),4)}をもとに算出したコンクリートのCO₂排出量をFig. 1に示す(ここに示すCO₂排出量は材料起源によるもの)。この結果を見ると、現在、市場で汎用的に使用されている呼び強度27から36のコンクリートのCO₂排出量は240から280kg/m³程度である。また、コンクリートを構成する材料のCO₂排出量の内訳を見ると、いずれの場合も、セメント起源のCO₂排出量が全体の98%と大部分を占めていることが分かる。一般に、セメントから排出されるCO₂は、原材料やクリンカを粉砕する際の電力エネルギー起源および原材料を高温で焼成する際の熱エネルギー起源として発生する。さらに、セメントの主原料である石灰石を高温で焼成する際に熱分解(CaCO₃→CaO+CO₂↑)され、多量のCO₂が排出される。文献によるとセメント産業からのCO₂排出量は、日本のCO₂排出量の3.7%程度にあたる⁵⁾。

3. クリーンクリートの概要

クリーンクリートは、地球温暖化問題に端を発し、大林組が低炭素社会に先駆けて開発した低炭素型のコンクリートである。低炭素化の手法は、コンクリートを構成する材料の中で、CO₂排出量原単位が大きいセメントに着目し、結合材の構成をセメントのみに依存せず、CO₂排出量の少ない産業副産物を有効に利用することにより行う(Fig. 2 参照)。これにより、材料起源によるコンクリートのCO₂排出量を同一強度の普通コンクリートに比べて、60から80%低減することが可能となる。使用する産業副産物(混和材)は、①高炉スラグ微粉末、②フライ

Table 1 使用材料の二酸化炭素排出量^{3),4)}

Carbon-Dioxide Emission of Materials	
材料	CO ₂ 排出量(kg/t)
ポルトランドセメント	757.9
高炉スラグ微粉末	24.1
フライアッシュ	17.9
細骨材	3.5
粗骨材	2.8
化学混和剤	100~350

[注] 水は0kg/t, 化学混和剤は200kg/tに仮定

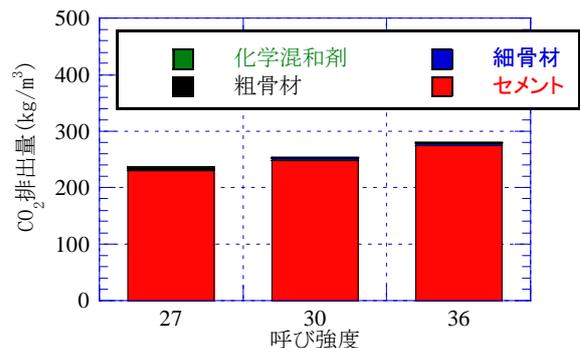


Fig. 1 コンクリートの二酸化炭素排出量
Carbon-Dioxide Emission of Concretes



Fig. 2 コンクリートの材料構成のイメージ
Image of Material Composition

アッシュ、③シリカフェームがあり、設定条件を加味した上で単独または複数を組み合わせている。現状は、セメントと高炉スラグ微粉末を組み合わせた2成分系が最も汎用的である。混和材の主な概要を Table 2 に示す。結合材の構成は、原則、セメントを30%以下、混和材を70%以上としており、より低炭素化を目指す場合にはセメントの混合割合を15%とした事例もあるが、汎用的には25%としている。Table 3 には、クリーンクリートと普通セメントおよび混合セメントの比較として、それぞれのポルトランドセメントと混和材の混合割合を示す。これを見ると、クリーンクリートで使用するセメントの混合割合が、JIS で規定される混合セメントの範疇よりも少ないことが理解できる。

4. クリーンクリートの特徴

クリーンクリートの特徴を Table 4 に示す。クリーンクリートは、従来品に比べてCO₂排出量を60から80%低減できるほか、セメントの使用量が少ないことから、水

和熱の抑制につながるなどの利点を有している。一方、セメントの使用量が少ないことに起因して、中性化の進行が速いため、中性化深さとかぶり厚さの関係を精査する必要がある。

5. クリーンクリートの適用実績

クリーンクリートは、2010年に大林組技術研究所再整備計画(I期工事)において初適用して以来、建築・土木の両分野において25物件、52,000m³を適用している(約9,000tのCO₂を削減)。Fig. 3には、これまでの累積打設量を示す。また、物件用途をFig. 4に、適用物件の所在地と主な物件の外観をFig. 5に示す。適用実績は、2013年以降で飛躍的に増加しており、用途としては、製鉄所を含めた工場と環境に配慮した太陽光施設への適用が多く、次いで、研究施設、商業施設の順となっている。また、いずれの用途も、適用される部位としては基礎が多い傾向にある。

Table 2 混和材の概要

Outline of Mineral Admixture

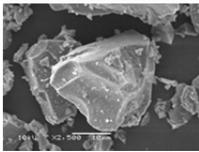
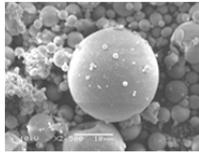
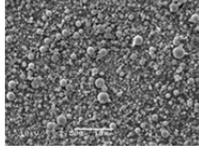
<p>【高炉スラグ微粉末(JIS A 6206)】 高炉(溶鉱炉)で鉄鉄を作る際に生成する副産物であり、潜在水硬性を有することから、コンクリート用混和材およびセメント用混合材として利用されている。</p>		SEM(×2500倍)
<p>【フライアッシュ(JIS A 6201)】 石炭火力発電所で電力を製造する際に副産され、二酸化けい素を主成分としたボゾラン物質。形状が球形であるため流動性の改善やボゾラン反応による長期強度が期待される。</p>		SEM(×2500倍)
<p>【シリカフェーム】 金属シリコンなどの合金を精錬する際に副産され、非結晶の二酸化けい素を主成分としている。粒径が非常に細かく、流動性や強度を向上させる目的で使用される。</p>		SEM(×2500倍)

Table 3 結合材に対する混合割合

Mixing Ratio of Binder for Concrete

種類	結合材に対する混合割合(%)	
	ポルトランドセメント	混和材
普通セメント	100	0
高炉セメント	A種	70-95
	B種	40-70
	C種	30-40
フライアッシュセメント	A種	90-95
	B種	80-90
	C種	70-80
クリーンクリート	30以下	70以上

Table 4 従来品とクリーンクリートの比較

Comparison between General Concrete and Crean-crete

項目	従来品	クリーンクリート	
結合材	ポルトランドセメント	・ポルトランドセメント ⇒30%以下 ・高炉スラグ微粉末 ・(フライアッシュ等)	
CO ₂ 排出量	約200~300kg/m ³ [注]調査・材料で異なる	従来品と比べて、60~80%を低減	
物性	フレッシュ性状	—	粘性が高くなる傾向にある
	強度性状	—	Fc36まで適用可
	水和熱	マスコンの場合、対策が必要	低発熱(断熱温度上昇量が小さい)
	乾燥収縮	—	従来品と同等
中性化	—	従来品に比べて速い(かぶり精査)	
施工性	—	従来と同等の施工が可能	
色彩	—	従来品に比べて白い(Photo 1)	

[注]ここで言う従来品とは、普通ポルトランドセメントのみを使用した場合と定義する。

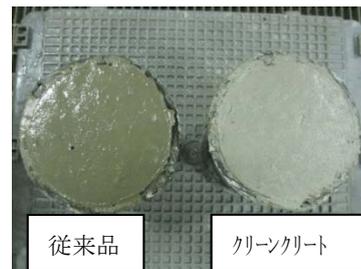


Photo 1 コンクリートの色彩
Color of Concrete Surface

これは、クリーンクリートの中性化の進行が速いという短所を補うことができる基礎の特性(①地中構造物のため中性化の原因となる二酸化炭素の侵入が少ない。②かぶり厚さが大きい)を活かしたことに起因する。また、クリーンクリートは、水和熱による温度上昇量を低減できることから、マスコン対策として活用したことも一因である。一方、地上構造物においても、コンクリートを高強度化することで組織を緻密にし、中性化を抑制するこ

とで一部の物件に適用している。以下に、主な適用事例を紹介する。

＜適用事例1＞

適用対象とした建物は、店舗・事務所で構成された鉄骨造(一部鉄骨鉄筋コンクリート造)、地上9階、地下2階で、建築面積が2,084m²、延べ床面積が14,149m²の物件(外観: Fig.5の商業施設)である。このうち、クリーンクリートは、建物の基礎などに適用した(約4,900m³)。クリーンクリートの結合材は、普通ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末(比表面積: 4000クラス)およびフライアッシュ(Ⅱ種)を使用し、3成分の構成とした。また、結合材に対するセメントの混合割合は15%とした。なお、材料に起因するコンクリートのCO₂排出量は53.5kg/m³となり、同一の設計基準強度で、セメントを100%使用したコンクリートと比較すると、CO₂排出量の低減率としては80%である(CO₂の削減量: 約1,000t)。適用状況として、施工時のスランプおよび空気量は、運搬時間や外気温によって多少の変動はあったが、すべて目標値を満足する結果であった。荷卸し試験によるフレッシュ性状をPhoto 2に示す。また、強度についても、すべて設計基準強度(27N/mm²)を満足しており、平均強度(全ロット)は33.1N/mm²となり、目標とする調合強度とほぼ同程度であった。コンクリートの打設は、ポンプ車のブームにより行い、平均打設量は200m³/日程度で、最大427m³/日であった。コンクリートの粘性はやや高くなるが、通常のコンクリートと同様の施工ができた。打設状況をPhoto 3に示す。

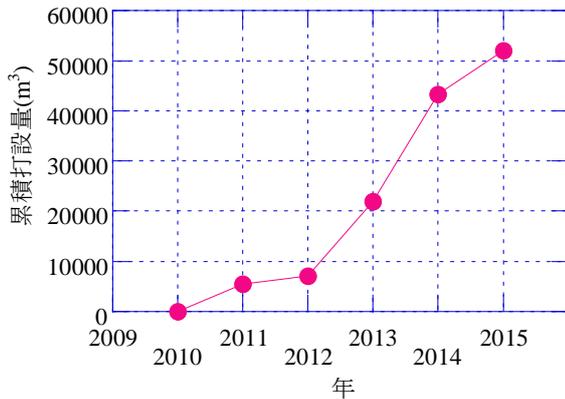


Fig. 3 累積打設量

Cumulative Consumption of Crean-crete

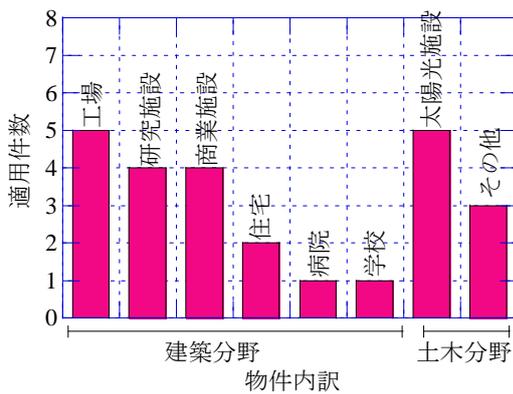


Fig. 4 適用物件の内訳 (25 物件)

Type of Application Projects



Fig. 5 適用物件の所在地と主な物件の外観
Location and Appearance of Application Projects



Photo 2 フレッシュ性状
Fresh Property



Photo 3 打設状況
Placing of Crean-crete

<適用事例 2>

本建物は、大林組技術研究所整備計画(Ⅲ期工事)となるオープンラボ(OL)2の建設プロジェクトである。建物概要としては、鉄骨造(基礎：鉄筋コンクリート造)、地上2階で、建築面積が3,508m²、延べ床面積が5,211m²の研究施設であり(外観：Fig.5の研究施設)、クリーンクリートは建物の基礎に適用している(約1,200m³)。クリーンクリートの材料構成は、適用事例1と同様であるが、セメント種類は、強度発現性および中性化抵抗性を考慮して早強ポルトランドセメントを使用した。また、単位水量は、コンクリートの粘性を低減するため、適用事例1よりも15kg/m³大きくし、施工性にも配慮した。その結果、施工時のフレッシュ性状は良好であり、強度性状も含め所定のスペックを満足した。圧縮強度の変動をFig.6に示す。なお、品質管理の一環として、適用事例1と同様にコンクリートの打設後の養生を十分に行い、コンクリートの品質を確保している。適用状況をPhoto4に示す。

6. クリーンクリートのCO₂低減効果

クリーンクリートの特徴は前述した通りであるが、ここでは、クリーンクリートを使用することによる効果としてCO₂排出量を算出した。日本で使用される生コンクリートは年間5,490万m³程度と言われており、材料起源によるコンクリートのCO₂排出量は年間1,427万tになる(コンクリート1m³当たりのCO₂排出量:0.26tと仮定)。一方、クリーンクリートのCO₂低減率を65%に設定し、日本の生コンクリートをすべてクリーンクリートに置き換えた場合を想定すると、コンクリートのCO₂排出量は年間500万tになり(コンクリート1m³当たりのCO₂排出量:0.091tと仮定)、約930万tが削減できる。ここで、日本のCO₂排出量が12.5億tであるのに対して、従来品のコンクリートのCO₂排出量の割合は、1.14%に相当する。一方、クリーンクリートにすべて置き換えるとその割合は0.40%に相当し、日本のCO₂排出量を約0.74%低減でき、低炭素社会において非常に大きな効果が期待できる。

7. まとめ

本稿では、大林組が低炭素社会に先駆けて開発した低炭素型のコンクリート「クリーンクリート」の概要と適用事例、CO₂低減効果を記載した。環境配慮型のコンクリートの動向として、建築分野では、「高炉スラグ微粉末または高炉セメントを用いた鉄筋コンクリート造建築物の設計・施工指針(案)・同解説」をまとめている。一方、土木分野では、国立研究開発法人土木研究所が大林組を含めた8社(団体)と「低炭素型セメント結合材の利用技術に関する研究」を実施し、2016年に設計・施工ガイドライン(案)および設計・施工マニュアルをまとめている。

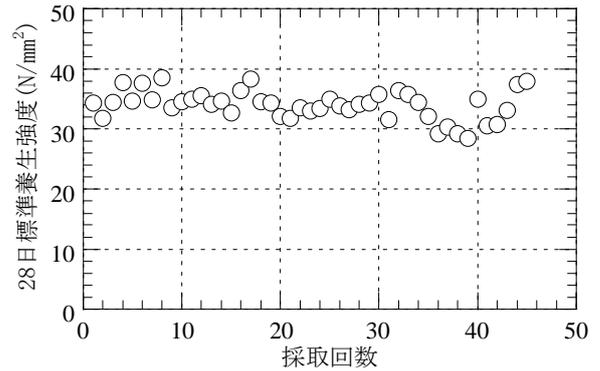


Fig. 6 圧縮強度の品質変動
Quality Variability of Compressive Strength

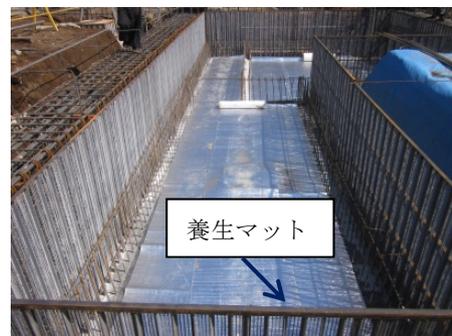


Photo 4 養生の状況
Cure Condition of Crean-crete

国や学協会での活動も積極的である。また、大林組では、高炉スラグ微粉末を使用した高炉セメントA種相当品や、高炉セメントC種など環境配慮型のコンクリートも検討を行っている。未来社会を考えると低炭素化は重要なキーワードになり、大林組のクリーンクリートは、地球温暖化対策の技術として非常に有効であると考えている。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会：混和材を大量使用したコンクリートのアジア地域における有効利用に関する研究委員会報告書，202p，2015.10
- 2) 小林利充，溝渕麻子，近松竜一，一瀬賢一：低炭素型のコンクリート「クリーンクリート™」の開発，大林組技術研究所報，No.75，2011.12
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針(案)・同解説，133p，2008.9
- 4) 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，No.44，II-64p，2002.5
- 5) 細谷俊夫：セメント産業におけるCO₂排出削減の取り組み，コンクリート工学，Vol.48，No.9，pp.51-53，2010.9