

工事におけるカーボンニュートラルの取組 (低炭素型コンクリートの試行)

関 孝玖斗¹・島村 正幸

¹下館河川事務所 工務課 (〒308-0841 茨城県筑西市二木成1753)

近年、世界各地では大雨や猛暑、寒波などの異常気象が多発しており、日本でも異常気象による自然災害が多発している。この異常気象の原因として注目されているのが地球温暖化であり、地球温暖化を抑制することは持続可能な開発目標（SDGs）を達成するためには欠かせない目標である。下館河川事務所では脱炭素社会に向けたカーボンニュートラルの取組として、低炭素型のプレキャスト製品を「R4小貝川左岸古八間排水樋管改築工事」及び「R3鬼怒川右岸田川水門（仮称）新設工事」の中で使用したため、使用結果を報告する。

キーワード カーボンニュートラル、地球温暖化、高炉スラグ、低炭素型、カーボキャッチ

1. カーボンニュートラルとは

皆さんはカーボンニュートラルという言葉を知ったことはあるだろうか。

(1) カーボンニュートラルとは

カーボンニュートラルとは二酸化炭素を含む温室効果ガスの排出せざるおえなかった分を吸収または除去することにより±ゼロを目指すことである。現在深刻化されている地球温暖化の原因は温室効果ガスといわれており世界の温室効果ガスの内約8割が二酸化炭素となっている（図1）¹⁾。

世界の温室効果ガス排出量

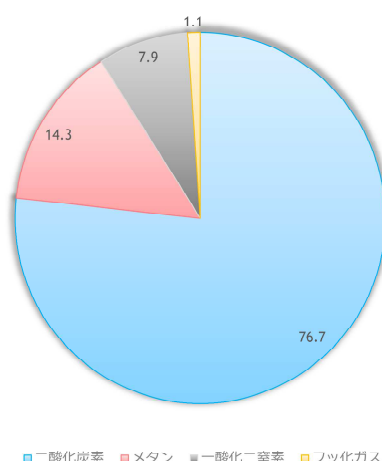


図1：世界の温室効果ガス排出量

(2) 国土交通省の取組

国土交通省でも 2050 年カーボンニュートラルを目指し、「グリーンチャレンジ」として、2030 年度までの 10

年間に戦略的・重点的に取り組む6つのプロジェクトを掲げている。その中の一つの「インフラのライフサイクル全体でのカーボンニュートラル、循環型社会の実現」

（図.2）の一環である「省 CO₂ に資する材料等の活用促進、技術開発」²⁾ として、下館河川事務所でも R4 小貝川左岸古八間排水樋管改築工事をモデル工事の対象としてセメント置換率の高いコンクリートとして低炭素型コンクリートを一部使用している。

**インフラのライフサイクル全体での
カーボンニュートラル、循環型社会の実現**

- 持続性を考慮した計画策定、インフラ長寿命化による省CO₂の推進
- 省CO₂に資する材料等の活用促進、技術開発
- 建設施工分野におけるICT施工の推進、革新的建設機械の導入拡大
- 道路（道路照明のLED化）、鉄道（省エネ設備）、空港（施設・車両の省CO₂化）、ダム（再エネ導入）、下水道等のインフラサービスの省エネ化
- 質を重視する建設リサイクルの推進 等

図2：グリーンチャレンジの抜粋

2. 低炭素型コンクリート

(1) 低炭素型コンクリートとは

低炭素型コンクリートとは、コンクリートの製造過程で使用する「セメント」を製鉄所などで発生する高炉スラグ等の産業副産物で代用し、製造過程において発生する CO₂ の排出量を削減したコンクリートである。1 t のセメントを作るのに約 770kg の CO₂ を排出しており³⁾、世界で排出される二酸化炭素の内、約 5 % をがセメント製造に由来しているとの報告もある⁴⁾。

そこで、産業副産物である高炉スラグ等を混和材として使用した場合、セメントの製造を削減でき、かつ省資源

にも貢献することができる。

(2) 高炉スラグ

高炉スラグ（図.3）とは、製鉄所の高炉で鉄鉱石、コークス、石灰石を溶かし銑鉄を取り出す際に分離したものである。高炉スラグは冷却方法により除冷スラグと水砕スラグが製造される⁵⁾。このうち、水砕スラグを微粉砕したものが高炉スラグ微粉末となる（図.3）。高炉スラグ微粉末を使用することで期待出来る効果は以下のとおりである。

- ・アルカリシリカ反応の抑制
- ・化学物質による浸食抵抗性の向上
- ・水和熱の低下

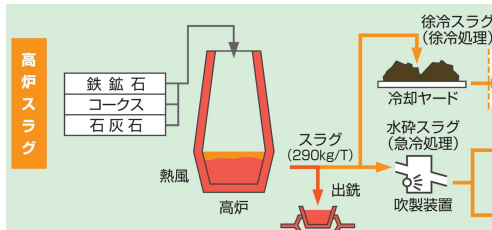


図.3：高炉スラグ微粉末⁶⁾

(3) 高炉セメントと低炭素型コンクリートの比較

比較項目は以下のとおりである。

- ・製造方法
- ・環境負荷
- ・特性

図.4 から、各項目についてそれほど大きな違いは無く、どちらも環境に配慮したものとなっているが、低炭素型コンクリートはより進んだ環境対策を実現するための選択肢とも言える。

また、現在多く使用している高炉セメント B 種のほとんどが置換率が 45%となっているため、低炭素型コンクリートは置換率が 55%以上のため、一般的な高炉セメント B 種より低炭素型と言えるだろう。

	高炉セメント	低炭素型コンクリート
製造方法	高炉セメントは、ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を混合して製造。	低炭素型コンクリートは、セメントの一部を高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの産業副産物で置き換えることで製造。
環境負荷	高炉スラグの使用により、通常のポルトランドセメントに比べてCO2排出量が削減される。	製造工程でのCO2排出量が大幅に削減されるため、環境に優しい。従来のコンクリートに比べて最大70%のCO2削減が可能。
特性	高炉セメントは耐久性が高く、特に塩害や化学的な侵食に強い。	低炭素型コンクリートは、耐久性が高く、ひび割れや塩害に強い特性を持ちます。また、エネルギー消費の削減にも寄与します。

図.4：高炉スラグ微粉末

また、低炭素型コンクリートのメリット・デメリットについて、メーカーに確認したところ以下の様な項目があげられた。

メリットとしては、塩化物イオン浸透抵抗性の向上や外観の改善などが上げられた（図.5）。

デメリットとしては、脱型時の変色や設備投資が必要などが上げられました（図.6）。

メリット

- ・塩化物イオン浸透抵抗性の向上やアルカリシリカ反応の抑制される。
- ・生産性は通常配合の製品と変わらない。
- ・普通セメントのみの場合に比べ、セメントの使用量が削減されるため、エフロレッセンスの析出が少なく、外観の改善が見られる。
- ・セメント単価が大幅増の現在では、高炉スラグ微粉末の価格は据置できているため、材料自体はコスト増になっていない。

図.5：低炭素型コンクリートのメリット

デメリット

- ・製品脱型時直後は、表面が緑青色になりやすい。（時間の経過とともに緑青色は消える。）
- ・初期強度(脱型時強度)確保のため、特に寒冷地では促進剤等の使用検討も考えられ、コスト増の要因となる可能性がある。
- ・工場によっては、高炉スラグ微粉末の貯蔵サイロ新設や計量システムの変更等、設備投資が必要となる。
- ・地区によっては、高炉スラグ微粉末の供給元がない。（関東の供給元がない地域：茨城県鹿嶋市、千葉県君津市）

図.6：低炭素型コンクリートのデメリット

(4) 従来のコンクリートと低炭素型コンクリートの違い

比較項目は以下のとおりであり、結果を簡単にまとめると図.7になる。

- ・CO2排出量
- ・リサイクル性
- ・色
- ・塩害、ひび割れ
- ・コスト

比較項目	置換無しのコンクリート	低炭素型コンクリート (置換率55%)
CO2の排出量	多量	通常より53%減少
リサイクル	—	廃棄物使用のためリサイクルに貢献
色	灰色	脱型時に緑青色になりやすい
塩害・ひび割れ	ひび割れやすく塩害に弱い	水を加えた際に発熱が小さいため、ひび割れ・塩害に強い
コスト (例. ターフロック 350型A形)	5,350円/個	5,890円/個

図.7：従来のコンクリートと低炭素型の比較表

CO2 排出量については置き換えなしに比べて、低炭素型は53%近くの減少が見込める。

リサイクル性については、置き換えなしの場合はセメントを 1 から作り、劣化したものについては廃棄物となるのに対し、低炭素型は多くの産業副産物を使用しているため、リサイクルに貢献しているといえる。

色については、置換なしの場合は通常色の灰色をしているのに対し、低炭素型は脱型時に青みがかっている（図.8、図.9）。

塩害・ひび割れについては、置換なしは水和反応により水和熱が発生し、ひび割れ等をおこすが、低炭素型は水和反応時の水和熱が小さいため、ひび割れを起こしづらく、高炉スラグの化学物質による浸食抵抗性の向上により塩害を受けにくい。

コストについては、実際にメーカーに確認したところ通常品に比べ1個当たり約550円の増額とのことだった。



図. 8低炭素型ブロック（脱型2日目）



図. 9低炭素型ブロック（脱型4日目）

3. 下館河川事務所のモデル工事

(1) モデル工事の概要

試行工事の目的としては、カーボンニュートラルに向けた取組を促進し、調達上の課題等を検証ものである。セメントの置換率については55%以上とし、無筋のプレキャスト製品を対象として行った。今回、下館河川事務所では、R4小貝川左岸古八間排水樋管改築工事の低水護岸に使用する大型連結ブロック611m²の内60m²（図. 10）にて低炭素型のプレキャスト製品を使用した。

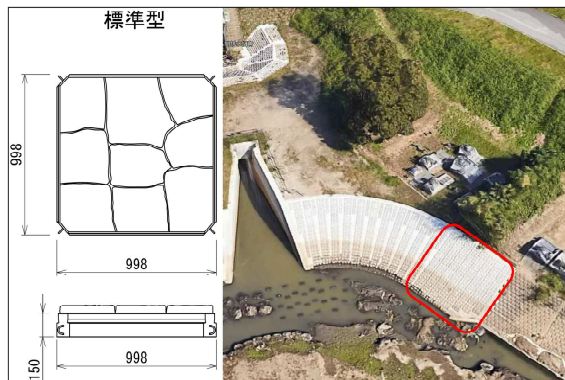


図. 10：試験施工対象範囲及び対象ブロック

(2) 一般的なセメントと高炉スラグのCO₂排出量の比較

下記に示す図. 11 はあくまで一例であるが、この表からセメントと高炉スラグのCO₂排出量は約97%違うこ

とがわかる。また、図. 11 をもとに350 kg/m³のコンクリートについて結合材に起因するCO₂排出量をスラグ置き換え率を用いて比較した結果、図. 12 のとおり置換率55%の場合、53%の削減率となった。⁷⁾

この結果から、結合材に起因するCO₂排出量はスラグ置換率とほぼ同程度減少した。⁷⁾

高炉スラグ微粉末の種類		原単位	CO ₂ 原単位	
4000	燃料	0.94 (ℓ/t)	2.6 (kg/t)	20.9 kg/t
	電力	48.7 (kWh/t)	18.3 (kg/t)	
ポルトランドセメント	石灰石脱炭酸起源		478.9 (kg/t)	798.1 kg/t
	化石燃料燃焼起源		319.2 (kg/t)	

図. 11：セメントと高炉スラグのCO₂排出量⁷⁾

スラグ置換率 (%)	0	20	30	40	50	55
ポルトランドセメント (kg/m ³)	350	280	245	210	175	150
高炉スラグ微粉末 (kg/m ³)	0	70	105	140	175	193
結合材からのCO ₂ 排出量 (kg/m ³)	セメント起因	279	223	196	168	140
	スラグ起因	0	1	2	3	4
	合計	279	225	198	171	143
	CO ₂ 削減率	0	19	29	39	49

図. 12：セメントと高炉スラグのCO₂排出量⁷⁾

図. 11と実際使用したコンクリート示方配合書を元に今回のモデル工事でどれほどCO₂を削減できたのか計算を行った。

結果、通常使用しているスラグ置換率45%の大型連結ブロックのCO₂排出量が1m³あたり204 kg（図. 13）に対し、スラグ置換率55%の低炭素型大型連結ブロックが148 kg（図. 14）と1m³あたり約27.5%の削減となった。

本工事で使用している大型連結ブロックは1m²あたり0.2m³であるため、本工事では約2.7%のCO₂を削減できたことになる（図. 15）。

通常大型連結ブロック										
設計基準強度	スラブ	空気量	W/B	S/a	単位量 kg/m ³					
N/mm ²	cm	%	%	%	水 W	セメント C	混和材 K	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AD
24	8±2.5	4.0±1.0	45.2	40	155	253	90	726	1105	2.23
				排出量	0	202	2	0	0	0
				合計				204		

図. 13：通常大型連結ブロックCO₂排出量

低炭素型大型連結ブロック										
設計基準強度	スラブ	空気量	W/B	S/a	単位量 kg/m ³					
N/mm ²	cm	%	%	%	水 W	セメント C	混和材 K	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AD
24	15±2.5	4.0±1.0	38.8	42	155	180	220	739	1034	2.0~3.0(注2)
				排出量	0	144	5	0	0	0
				合計				148		

図. 14：低炭素型大型連結ブロックCO₂排出量

全て通常大型連結ブロックの場合

$$\text{CO}_2\text{排出量} = 611 \text{ m}^2 \times 0.2 \text{ m}^3 \times 204 \text{ kg} = 24,929 \text{ kg}$$

大型連結ブロック611m²の内60m²低炭素型大型連結ブロックの場合

$$V = 551 \text{ m}^2 \times 0.2 \text{ m}^3 \times 204 \text{ kg} = 22,481 \text{ kg}$$

$$V' = 60 \text{ m}^2 \times 0.2 \text{ m}^3 \times 148 \text{ kg} = 1,776 \text{ kg}$$

$$\text{CO}_2\text{排出量} = V + V' = 24,257 \text{ kg}$$

$$\text{削減率} = (24,929 - 24,257) / 24,929 \times 100 = 2.7 \%$$

図. 15：本工事のCO₂排出量削減率計算

4. カーボキャッチについて⁸⁾

昨年、太平洋セメント株式会社が新技術としてカーボ

キャッチを開発した。

カーボキャッチ（図. 16）とは、CO₂ を満たした密閉容器にセメントと水との混合物であるセメントスラリーを循環させることにより効率よく CO₂ を固定化する技術である。カーボキャッチにより得られたスラリー状の反応物（カーボキャッチ・スラリー）をコンクリートの構成材料の一部に置き換えることで（図. 17）、フレッシュコンクリート中に CO₂ を効率的に固定化することができる。

（図. 18）

これにより従来技術のエアレーションでは約 20%しか固定化できなかったのがカーボキャッチを使用することにより、90%以上の固定化を行うことができるようになった（図. 18）。

カーボキャッチ・スラリーを一般のコンクリート配合に置き換えることでより多くの CO₂ を削減することができ、一般のコンクリートと同等以上のフレッシュ性状、強度発現・耐久性、ブリーディング量の抑制、凝結時間の短縮等の特徴を得られること確認している。

R3 鬼怒川右岸田川水門（仮称）新設工事では法肩ブロック 1,051m の内 50m を高炉スラグ微粉末の置換及びカーボキャッチの 2 つの技術を取り入れて施工を行う予定である。

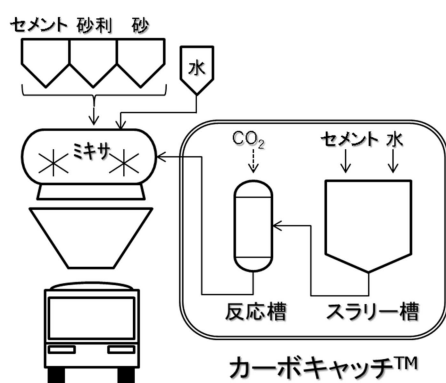


図. 16: カーボキャッチのシステム⁸⁾



図. 17: カーボキャッチスラリーを用いたコンクリート配合の概念図⁸⁾

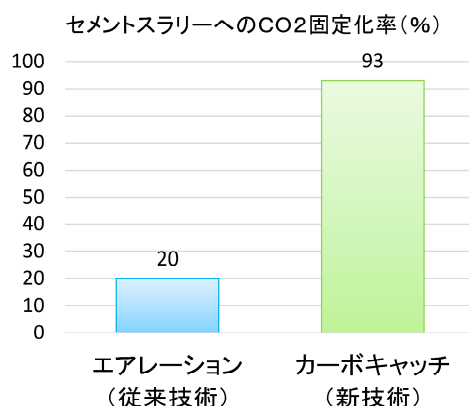


図. 18: カーボキャッチ・スラリーのCO₂固定率⁸⁾

5. まとめと考察

(1) まとめ

通常のコンクリートに比べ低炭素型コンクリートはCO₂ 排出量を多く削減することができ、アルカリシリカ反応の抑制や化学物質による浸食抵抗性の向上・水和熱による温度上昇の抑制が期待できることがわかった。

また、製品のコスト面については、現状はやや高めであることがわかった。

(2) 考察

高炉スラグの貯蔵サイロなど、施設の整備や製作工場が少ないことにより原価があがっているのではないかと考える。また、新技術のカーボキャッチを取り入れ、高炉スラグ微粉末と併用して使用すればより多くの CO₂ 削減が可能となるのではないかと考える。

今回は試行であるため、大型連結ブロック 611m² のうち 60m² をスラグ置換率 55%に結果、2.7% (672kg) の削減結果となったが、611m² の大型連結ブロックをスラグ置換率 55%にすることにより、6,843kg の CO₂ 排出が削減（ポルトランドセメント 5.5t 相当）されるため、今後は積極的にスラグ置換率 55%の低炭素型コンクリートを使用すべきではないかと考える。

6. 最後に

我々河川管理者として地球温暖化の軽減は異常気象による洪水などの自然災害を減らす 1 つの手段だと思う。今回調べた結果から地球温暖化軽減の第 1 歩として、低炭素型コンクリートを積極的使用するべきではないかと考える。

謝辞：本論文の執筆にあたり、ご協力いただいた共和コンクリート工業（株）及び東急建設（株）に、厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 環境省：STOP THE 温暖化2008
- 2) 国土交通省：グリーン社会の実現に向けた「国土交通省グリーンチャレンジ」の概要
- 3) 日本建設業連合会：低炭素型コンクリートの普及促進に向けて
- 4) 全国土木コンクリートブロック協会：低炭素型コンクリート工場製品について
- 5) [公益社団法人 日本コンクリート工学会](#)
- 6) 鉄鋼スラグ協会：[FS-170_201912.pdf](#)
- 7) [高炉スラグ微粉末によるコンクリートのCO2削減効果について](#)
- 8) 太平洋セメントNEWS LETTER：[230315_1.pdf](#)