

東京湾第二海堡における国土交通 グリーンチャレンジの取り組みについて

酒井 天嗣

関東地方整備局 東京湾口航路事務所 工務課

(〒238-0005 神奈川県横須賀市新港町13番地)

近年、温暖化に伴う異常気象等が頻発し、温室効果ガスの排出抑制について世界規模で取り組みを行っている。国土交通省では、脱炭素社会等を目指すため「国土交通グリーンチャレンジ」を公表した。当事務所の第二海堡北側護岸整備において、従来の普通コンクリートより環境負荷が少ないとされる鉄鋼スラグを材料とした鉄鋼スラグ水和固化体(以下、水和固化体)を採用した。本論文では、各材料におけるCO₂排出量を試算・比較し削減効果を示すとともに、水和固化体ブロックの製作過程における課題や今後の対応等について報告する。

キーワード 省CO₂ CO₂排出量削減 水和固化体 高炉スラグ

1. 背景

2021年7月6日に2050年カーボンニュートラルや気候危機への対応など、グリーン社会の実現に向けた国土交通省の重点プロジェクトとして「国土交通グリーンチャレンジ」¹⁾が公表された。重点的に取り組むべき6つのプロジェクトの1つとして「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、循環社会の実現」があり、計画・設計段階における省CO₂に資する材料等の活用促進、技術開発等が謳われている。

日本の2020年度温室効果ガス排出量(図-1)²⁾は、2013年度から減少傾向にあり、2013年度比-18.4%、11億4,900万トン排出された。各温室効果ガスの中でCO₂が約9割を占めており、この構成比は30年前から横ばいである。また、部門別のCO₂排出量(図-2)³⁾では、工場等の産業部門が各年度減少しているものの30年前から首位を継続し、全体の約3割を占め、次いで運輸部門、業務その他部門(商業)、家庭部門が各2割弱となっている。

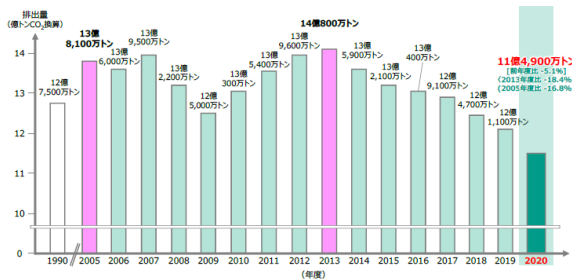


図-1 我が国の温室効果ガス総排出量(2020年度速報値)

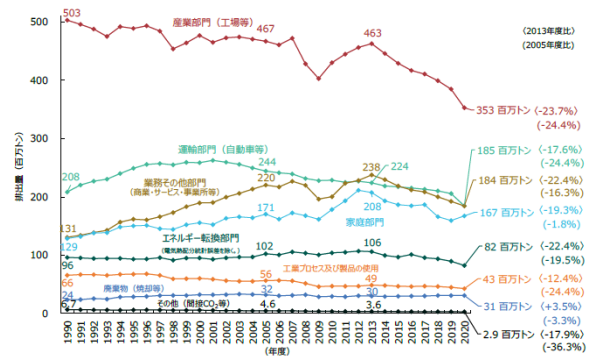


図-2 CO₂の部門別排出量(電気・熱分配後)の推移

建設業の主要材料であるコンクリートにおいて、(一社)日本建設業連合会では低炭素型コンクリートの普及促進に向けて、2030年までにCO₂排出量原単位を1990年比で25%削減とする目標を掲げている³⁾。ビル等の基礎やプレキャスト部材等に対し、セメントの代わりに高炉スラグを使用したコンクリートを使用するよう業界全体での取り組みを行っている。また、CO₂排出量を削減したコンクリート材料の動向として、NEDO事業にて竹中工務店等7社・1大学の研究開発チームが、エネルギー消費量とCO₂排出量を一般的なポルトランドセメントより6割以上も削減したECMセメントを開発し施工事例もあること⁴⁾及び西松建設では、ポルトランドセメントを高炉スラグ微粉末に置き換え、CO₂排出量を最大80%削減したコンクリート(スラグリート)の開発を行っている⁵⁾。

以上のように、CO₂削減は建設業全体として取り組む必要があり、当事務所工事において、省CO₂材料の活用を検討し現地施工を行った内容を報告する。

2. 第二海堡と施工箇所について

第二海堡(図-3)は、首都防衛のため明治～大正時代に千葉県富津岬沖から神奈川県観音崎沖側にかけて建設された3つの人工島の一つである。への字型をしたこの要塞(海堡)には、水平射撃に優れたカノン砲等を備え、関東大震災の被災を受けながらも昭和期には高角砲へ兵装を変更し、第二次世界大戦まで運用され、終戦時の武装解除に伴い砲台は破壊され海堡としての役目を終えた。

近年、波浪等により護岸の劣化が進んだことから、大規模地震等の災害時に土砂が流出し航路を塞ぐ恐れがあるため、2007年度より外周護岸整備を進めている。今回施工箇所の北側護岸(図-4)は、隣接工区の鋼管矢板式からブロックによる重力式斜面堤に構造を変更している。また、工事実施に伴う関係者調整において、周辺海域における海洋環境改善に寄与する工法や使用材料をなるべく用いるよう要望を受けていた。



図-3 第二海堡全景



図-4 北側護岸全景(工事着手前)

●鉄鋼スラグ製品の製造フロー

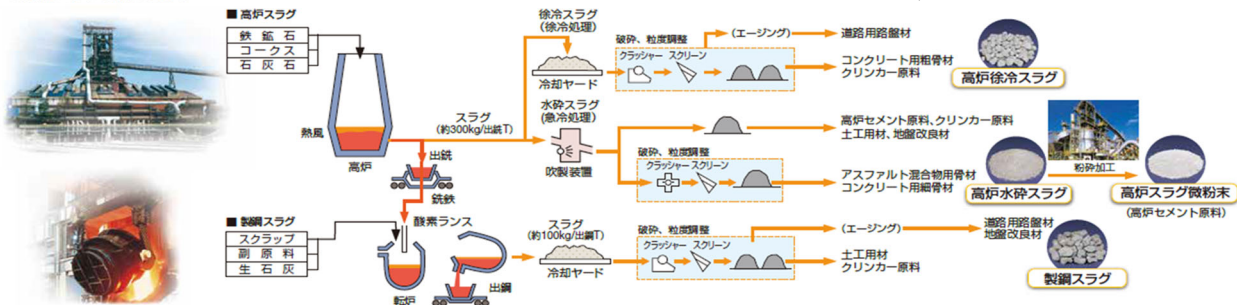


図-5 スラグ製品製造フロー

3. グリーンチャレンジへの取り組みについて

(1) 省CO₂材料に資する材料

土木・建築分野において多種多様な省CO₂材料が使用されているが、海洋土木工場のブロックには、水和固化体やマリブロック等が挙げられる。水和固化体とは、製鋼スラグ、高炉セメントの原料である高炉スラグ微粉末と水などを練混ぜ、水和固化させたものである。製鋼スラグは、転炉で発生したスラグを冷却し、破碎・粒度調整したもので、高炉スラグ微粉末は、高炉で発生したスラグを急冷し破碎・粒度調整し高炉水砕スラグを粉砕加工したものである。スラグ製品の製造フロー(図-5)より、水和固化体の材料全てが製鉄所で発生する副産物であることが分かる。

(2) 水和固化体の設置事例とモニタリング結果

当局で2017年度千葉県木更津港津地区に護岸補強と生物生育環境の創出を目的に水和固化体を設置し、生物生育環境のモニタリング調査を定期的実施している⁷⁾。植物種類数の推移を示す(図-6)。設置前に比べ、植物(ミル、ワカメ、ツノムカデ等)及び動物(マナモコ、アカニシ等)(図-7)は各20種類程度増加しており、海洋環境改善も期待できる製品であることが確認されている。

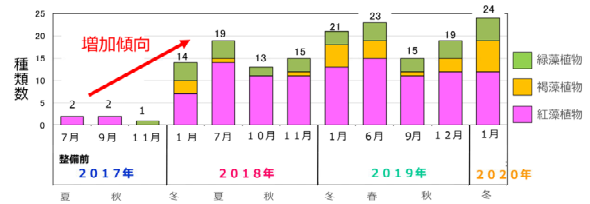


図-6 植物種類数の推移



図-7 附着生物の写真

(3) 第二海堡護岸工事における省CO₂材料の活用

これまでの工事で使用したコンクリートは、普通ポルトランドセメント、高炉セメントA種、高炉セメントB種のいずれかを工事受注者が選択し発注者の承諾を得て決定したが、今回工事では、断面図(図-8)桃色部分のブロック製作において、CO₂排出量削減と生物生育環境の創出を目的に水和固化体を活用することとした。

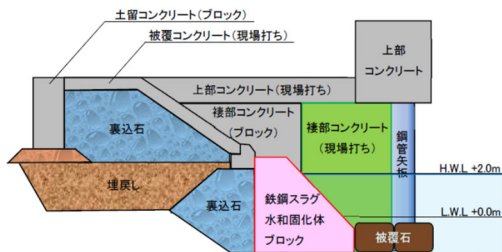


図-8 北側護岸断面図

(4) CO₂排出量試算

前回工事において、普通コンクリートで製作したブロックと今回工事における水和固化体の配合計画から各々の材料に対するCO₂排出量を試算し比較を行った(表-1)。なお、ブロック製作～現地据付まで多様な工種を経て完成するが、今回の比較は両工事で異なる使用材料に絞ってCO₂排出量の試算を行った。

コンクリートの環境負荷評価について研究されている広島大学河合教授の文献⁸⁾を参考とし、セメント、天然骨材(砂, 碎石), 混和剤(減水剤), 高炉スラグ微粉末の環境負荷量(CO₂)を用い試算を行った。

a) セメント・高炉スラグ微粉末

セメントの製造は大きく、原料加工→焼成→仕上げの3つの工程があり、機器を稼働させるための動力源や焼成のための熱エネルギー源として多量の天然資材が使用されている。また、その中に燃焼に伴い排出されるCO₂以外に原料である石灰石の焼成過程における脱炭酸反応で排出されるCO₂排出量も含まれている。

一方、高炉スラグ微粉末は、前述の通り製鉄所で鉄鋼を生産する際の産業副産物であるが、この環境負荷の考え方としては、その事業所で排出される環境負荷は全て主生産品(鉄鋼)の製造に伴うものとみなされる。

環境負荷量(CO₂)は、高炉セメントB種と高炉スラグ微粉末で約18倍(表-1)もの開きが出ており、実工事におけるコンクリート配合から算出した1m³当りCO₂排出量としては約10倍の差が生じていることが判明した。なお、セメントの中で環境負荷量が最多であるポルトランドセメントは、771kg/tと高炉セメントB種の約1.7倍となっており、如何にセメントを使用せず、高炉スラグを利用できるかがCO₂排出量削減の重要なポイントとなる。

b) 混和剤他

混和剤は、メーカー各社及び成分毎に環境負荷量が設

定されており、最低値7.9 kg/t、最高値350kg/tと製品によりばらつきが大きい。今回は、実際に工事で使用した製品の成分から数値を選定した。製鋼スラグは、環境負荷量が設定されていないため、天然資源骨材と同等と仮定し試算した。また、水についても環境負荷量が設定されていないため試算対象外とした。

c) CO₂排出削減量

水和固化体の1m³当りCO₂排出量は19.3kg/m³となり、普通コンクリートと比較するとCO₂排出削減量は、106.6kg/m³、約85%減という試算結果となり、前述のスラグリートと同程度の削減量であった。また、各材料の質量比とCO₂排出量比(図-9)では、セメント、混和材(高炉スラグ微粉末)は、質量比で1～2割程度であるが、CO₂排出量では6～9割を占めており、如何にこの材料の使用を減らすかがCO₂排出量削減に直結することが分かる。

表-1 CO₂排出量比較

	セメント他	細骨材	粗骨材	混和剤	水	合計	
普通コンクリート	品名等	高炉セメントB種	砂(岩津市吉野産)	碎石(北斗市致朗産)	AE減水剤(ワタカタ-TNC)	-	
	単位数(kg/m ³)	257	820	1,066	2.83	157	2,302.83
	環境負荷量CO ₂ (kg/t)	464.8	3.7	2.9	123 ※1	設定無し	594.40
	CO ₂ 排出量(kg/m ³)	119.454	3.034	3.091	0.348	集計対象外	125.93
水和固化体	品名等	高炉スラグ微粉末	製鋼スラグ0-5mm	製鋼スラグ5-25mm	減水剤(79-197SF508S)	-	
	単位数(kg/m ³)	450	940	1,046	2.475	160	2,598.48
	環境負荷量CO ₂ (kg/t)	26.5	3.7 ※2	2.9 ※2	350 ※3	設定無し	383.10
	CO ₂ 排出量(kg/m ³)	11.925	3.478	3.033	0.866	集計対象外	19.30

※1～使用材料よりグリーン系を採用 ※2～製鋼スラグの設定が無いため天然石を準用 ※3～使用材料よりPCE系の最大値を採用

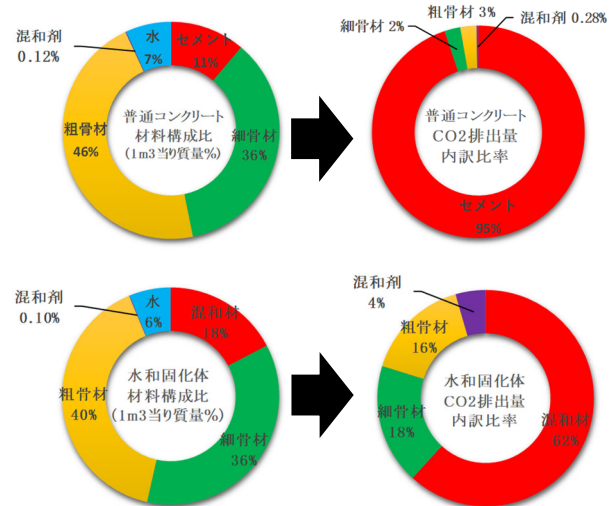


図-9 材料構成比・CO₂排出量内訳比率

(5) 施工管理

水和固化体は、日本製鉄(株)東日本製鉄所で材料調達～型枠組立～練混ぜ～打設～養生～脱型～搬出までを行った。練混ぜは1.3m³のプラントミキサーを使用し、ミキサー車で約15分運搬後、製作ヤードで打設作業を行った。ポンプ車から木製型枠内に打設する際に30cm間隔で計8本のバイブレーターで均等に振動を与え、固化前にスクレーパーで型枠内面の気泡を入念に取り除いた。

脱型後、打設面の一部で気泡が抜けきらない箇所が見受けられた。原因は、ブロック形状が直方体ではなく台形であったため(図-10, 11)、打設中に混入した気泡が抜けにくかったこと、また、水和固化体が普通コンクリートと比べ粘性が高く流動性が低いことが想定される。



図-10 木製型枠組立状況



図-11 水和固化体ブロック完成状況

(6) 現場打ちコンクリートへの活用検討

今回工事では、断面図(図-8)緑色部分の現場打ちコンクリートにおいても水和固化体の活用を検討した。第二海堡は、横須賀港から10ノットで約40分かかる離島であることから、千葉県プラントミキサーから現場打設までには2時間以上の運搬が必要となる。この解決策として、遅延剤の添加をメーカー側に確認したところ、水和固化体の製作実績で、遅延剤を使用した例が無く、品質の保証が担保出来ないとの回答を得た。また、配合試験等の実施も検討したが、残工事の工程進捗に影響が大きいため、今回工事での活用は見送った。

4. 今後の課題と対応

水和固化体の施工及びCO₂排出量試算での今後の課題としては、以下のものが考えられる。

- ①異形ブロック製作時のワーカビリティの確保
- ②現場打ちコンクリートへの活用
- ③CO₂排出量試算の精度向上及び工事全体での試算

課題①、②の対応として、製作する躯体形状を考慮し事前の配合試験において、流動性を考慮したW/C、スランプ値の設定や長距離運搬にも対応した遅延剤添加の配合等、適正な配合計画の見直しを行い品質確保に努めたい。課題③の対応は、昨年12月国土交通省港湾局において、港湾工事に特化したCO₂排出量の定量的評価を目的に「港湾工事における二酸化炭素排出量削減に向けた検討WG」を立ち上げ、ガイドラインを策定する予定であり、当事務所工事においても、これを活用したCO₂排出量試算方法で精度向上を図るとともに、工事全体で効果的な削減が出来る箇所を特定し、これを改善に繋げたい。

5. おわりに

現在、地球規模での温暖化が進み、海面上昇や異常気象の頻発など自然生態系や生活環境への影響が懸念されており、温暖化の原因である温室効果ガス(CO₂等)のさらなる削減が求められている。今回当事務所で行った取り組みでのCO₂削減量は微々たるものであるが、この小さな取り組みを一つ一つ積み重ねることが重要であると感じている。国土交通グリーンチャレンジのような地球を守るための取り組みが日本、そして世界に広がることを期待したい。

参考文献

- 1) 国土交通省報道発表資料 国土交通省グリーンチャレンジについて
- 2) 環境省報道発表資料2020年度(令和2年度)の温室効果ガス排出量(速報値)について
- 3) (一社)日本建設業連合会HP 低炭素型コンクリートの普及促進に向けて
- 4) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 HP 実用化プロジェクト エネルギー消費とCO₂排出量を6割以上削減できる低炭素型セメント「ECMセメント」
- 5) 西松建設技報 VOL40 高炉スラグ微粉末4000をセメント代替として積極利用した低炭素型コンクリート「スラグリート」の開発
- 6) 日本製鉄株式会社 NSスラッガーズ 日本製鉄の鉄鋼スラグ製品
- 7) 関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所 スキルアップセミナー関東発表資料 「老朽化護岸の補強対策工における生物生育環境の創出効果について」
- 8) コンクリート工学 講座 コンクリートの環境影響評価①コンクリートに関わる環境負荷 河合研至 広島大学大学院工学研究院 社会環境空間部門