

CEMENT & CONCRETE

セメント・ コンクリート

2022
No.909

11

一般社団法人セメント協会
JAPAN CEMENT ASSOCIATION

令和4年11月15日発行 ISSN0371-0718

セメント・コンクリート

No.909 2022.11

一般社団法人セメント協会

出典:「セメント・コンクリート 11月号」より
一般社団法人セメント協会

高炉セメントC種を採用した本社の建設 ～各種高炉セメントの適用～

Construction of headquarters with blast furnace slag cement class C

平本 真也 平山 徳重 塚原 美幸 三浦 伊織 濱砂 翔太 山之内 康崇

1. はじめに

2020年10月の菅首相(当時)による「2050年カーボンニュートラル」の宣言以降、2030年度には2013年度比で温室効果ガスを46%削減し、2050年にはカーボンニュートラルを達成するという目標が示され、国内において二酸化炭素(以下、CO₂と称す)削減に向けた各産業の活動が活発となっている。この流れの一環として、過去に例を見ない総額2兆円規模の「グリーンイノベーション基金」が、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、NEDOと称す)に造成され、カーボンニュートラル達成に向けた課題に取り組む企業に対して、10年間、研究開発・実証から社会実装までの継続支援が行われる。その中で、セメントおよびコンクリート分野でもカーボンニュートラルを目標として採択されたテーマがあり、今後更なる技術開発が期待されている。

セメント産業は社会インフラを発展・維持するための建設材料を供給することに加えて、他産業から発生する廃棄物・副産物を原料や熱エネルギー源として受け入れることで、静脈産業として機能している。しかしながら、ポルトランドセメントは製造過程において、1450℃まで加熱する必要があることに加え、主原料である石灰石からの脱炭酸により、年間約4000万tのCO₂を排出¹⁾している。これは、国内における総CO₂排出量の約3.8%を占めており²⁾、CO₂の排出削減はセメント業界として重要な課題である。

普通ポルトランドセメントは高温焼成することにより製造されるため、原料およびエネルギー由来のCO₂排出量が758kg/t程度³⁾である。一方、高炉セメントB種では、銑鉄を製造する際に副産される高炉水砕スラグを粉砕した高炉スラグ微粉末を用いているため、CO₂排出量が少なく、460kg/t程度³⁾となる。

また、高炉スラグ微粉末の置換率が高いほどCO₂排



写真1 日鉄高炉セメント(株)本社事務所

出量は少ない。高炉セメントには、高炉スラグ微粉末の置換率ごとに、A種(5を超え30以下)、B種(30を超え60以下)、C種(60を超え70以下)がある。その中で、高炉セメントB種は塩害やアルカリ骨材反応対策として、国内に広く流通しているが、高炉セメントA種やC種は高炉セメントB種ほど流通していない。しかしながら、高炉セメントC種はCO₂排出量がJISに規格化されているセメント種の中で最も少なく、低炭素性を目的として採用され始めている。

混合セメントを用いたコンクリートの使用比率⁴⁾として、土木構造物に関しては、グリーン購入法の特選調達品目に指定されていることもあり94%と高い比率である。一方建築物に関しては、基礎や地下構造物で20%程度、上部構造物で0%とされており、主として公共建築物の地下躯体に使用されている状況である。つまり、今後コンクリート業界においてカーボンニュートラルを目標として、低炭素構造物の普及を図るためには、建築物に対して高炉セメントなどのCO₂低排出型セメントの適用件数を増加させることが重要となる。

本稿では、カーボンニュートラル建築物までは到達していないものの、低炭素建築物の実現を目指し、各種高炉セメントを用いて建設した当社、本社事務所(写真1)の工事記録について紹介する。

表1 建物概要

所在地	福岡県北九州市小倉北区
設計	株式会社竹中工務店
施工者	株式会社竹中工務店
用途	事務所
建築面積	747.48㎡
延床面積	1966.34㎡
建物高さ	14.35m
階数	地上3階
構造	鉄筋コンクリート造
基礎工法	直接基礎
工期	2019年9月～2020年7月

2. 建築概要

本建築物は、当社工場敷地内に点在した協力会社を集約することに加えて、災害時には防災拠点として活用することを目的とし、安全・環境・防災を満足するように建築した。詳細は表1に示すが、地上3階建ての鉄筋コンクリート(RC)造であり、工事期間としては、2019年9月から2020年7月であった。

当該建築物では、建築物で一般的に用いられているセメント種類と比較して高炉スラグ分量が多く、CO₂排出量の少ないセメントを構造躯体ごとに用いた。地下躯体は高炉セメントB種ではなく、高炉セメントC種を用いたECMコンクリート(3.にて説明)、上部躯体は普通ポルトランドセメントではなく、高炉セメントA種を用いたコンクリートとした。

3. ECMコンクリートの概要

ECMコンクリートとは、NEDOプロジェクトにより開発された「Energy・CO₂ Minimum(ECM)セメント・コンクリートシステム」の略称である。当該プロジェクトでは、1大学7企業(東京工業大学、(株)竹中工務店、鹿島建設(株)、(株)デイ・シイ、太平洋セメント(株)、日鉄高炉セメント(株)、日鉄セメント(株)、(株)竹本油脂)からなるECM研究開発チームで実用化開発を行った。

コンクリートの主要構成材料である、水、セメント、

ひらもと しんや / HIRAMOTO Shinya
日鉄高炉セメント(株)
技術開発センター グループリーダー

ひらやま のりしげ / HIRAYAMA Norishige
同上
総務部 グループリーダー

つかはら みゆき / TSUKAHARA Miyuki
同上
営業部 マネジャー

みうら いおり / MIURA Iori
日鉄高炉セメント(株)
品質保証部 グループリーダー

はますな しょうた / HAMASUNA Shota
同上
企画管理部 マネジャー

やまのうち やすたか / YAMANOUCHI Yasutaka
同上
生産設備部

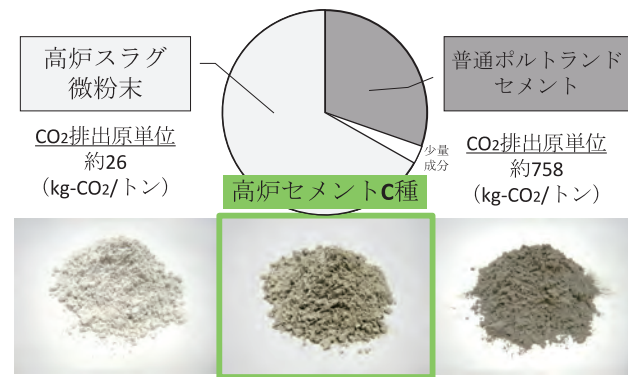


図1 ECMコンクリートに用いる高炉セメントC種の材料構成



図2 平面プラン(2階)

骨材のうち、セメントは他と比較して製造時に必要なエネルギーおよびCO₂排出量が多い。つまり、セメントに関するエネルギーとCO₂を極力減少させることで、低環境負荷のコンクリートができる。そのため、ECMコンクリートではJIS R 5211「高炉セメント」における高炉セメントC種を用いている。図1に示すように、ECMコンクリートで用いる高炉セメントC種は、主として高炉スラグ微粉末および普通ポルトランドセメントで構成されており、普通ポルトランドセメント単独で使用する場合と比較して、CO₂排出量は少なくなる。

高炉セメントC種は、高炉スラグ微粉末の構成割合が多く、高炉セメントの特性が顕著となるため、塩害やアルカリ骨材反応などに対する耐久性は向上するが、初期の強度発現が小さくなる、中性化の進行が早くなるといった性質を有す。そのため、ECMコンクリートで用いる高炉セメントC種は、これらの課題のフォローのために、高炉スラグ微粉末置換率の最適化、少量成

分として石こうの種類と量を最適化することで、CO₂排出量を約60%削減しながら、初期強度の増進、収縮の低減、各劣化に対する耐久性を高めた材料である。ECMコンクリートの詳細な物性値は小島らの報告⁵⁾に詳しく記載されているため参照頂きたい。

4. 構造概要

4-1. 全体計画

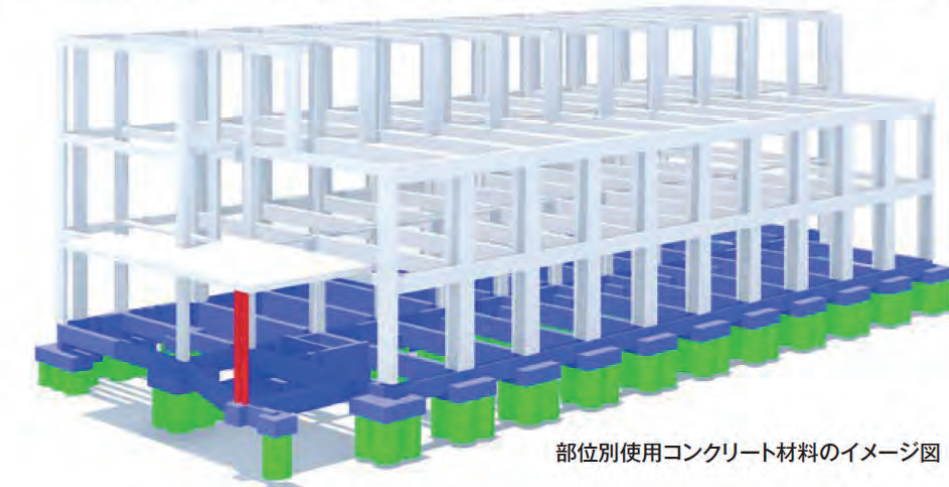
図2の一例に示すように、平面形状は18.0×42.6mの長方形であり、居室部のスパンは縦方向：9.0m×2、横方向：3.6m×10である。また、安全・環境・防災対策として、3階には津波避難広場を設置した。写真2に示すように、3階床梁に対してプレストレスを導入し、2階の執務室内に柱を設置しないことで執務室全体の視認性を確保し、職場環境の一体感を向上させた。



写真2 執務室

■ 日鉄高炉セメント本社建て替え工事の概要

- 上部躯体：高炉A種コンクリート ■ 1F床、基礎：ECMコンクリート ■ 柱状改良：ECMソイル
 - エントランス柱：高強度ECM PCa(Fc60)
- 高炉スラグ微粉末含有量分類 / 高炉A種：5を超え30%以下、高炉B種：30を超え60%以下、ECMセメント：60を超え70%以下



部位別使用コンクリート材料のイメージ図

図3 部位別使用コンクリート材料

表2 コンクリート調査

適用部位	使用セメント	種類	s/a (%)	W/C (%)	W C S G (kg/m ³)					Air (%)
					W	C	S	G		
地上	高炉セメントA種	40-18-20	44.1	40	174	435	736	961	4.5	
		42-18-20	43.2	38	176	464	707	961		
地下	高炉セメントC種	60-60-20	50.2	35	160	457	885	877	2	
		33-18-20	43.8	40	185	463	702	932		
犬走	高炉セメントA種	27-18-20	46.8	50	185	370	793	932	4.5	
捨てコン	高炉セメントB種	18-18-20	50.1	65	182	280	890	916		

図3に示すように、本事務所は地盤改良および地下躯体、エントランス柱に高炉セメントC種、上部躯体に高炉セメントA種を用いており、CO₂削減等級⁶⁾としては、等級2の建築物となる。本工事におけるコンクリート調査を表2に示す。また、図3に示してはいないが、犬走などは高炉セメントA種、捨てコンクリートには高炉セメントB種を用いた。以下に地盤改良(ECMソイ

ル)、地下躯体、上部躯体、プレキャスト柱の工事記録を示す。なお、プレキャスト柱を除いて、本工事に用いた結合材は全てプレミックス品を用いた。

4-2. 地盤改良

一般的には地盤改良用のセメント系固化材として、高炉セメントB種相当の結合材が選択される場合が多



写真3 ECMソイル施工状況



写真4 柱状改良

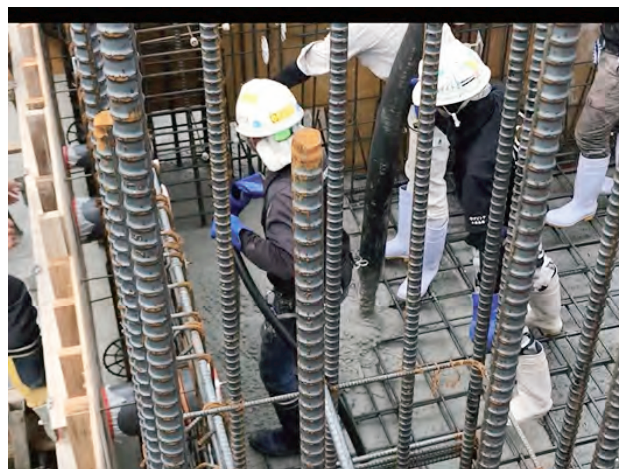


写真5 ECMコンクリート施工状況



写真6 基礎および地中梁

いが、本工事では高炉セメントC種を用いた。

写真3に施工時、写真4に施工後の状況を示す。施工区域は埋め立て地であり、地盤の状態としては当地の実質的な基盤である古第三紀の堆積岩類(N値60以上)を第四紀の沖積層(N値2~11)が覆い、その上に埋土(N値3~35)が分布していた。改良対象の主な土質は、礫混じりの砂質土であり、深層混合処理(GIコラム-S工法)により改良した。高炉セメントC種の添加量としては、350kg/m³とし、W/C=80%のセメントスラリーを用いた。品質検査としてチェックボーリングを行った結果、コア供試体の材齢28日一軸圧縮強度は、改良体の設計基準強度F_c=1500kN/m²に対して、3200~9400kN/m²程度の範囲であった。

4-3. 地下躯体

建築工事において、高炉セメントが選択されるケース

は少ないが、本工事では高炉セメントC種を用いた。

写真5に施工状況、写真6に施工後の状況を示す。普通ポルトランドセメント使用時と比較して、高炉セメントの構成材料である高炉スラグ微粉末の白さにより、コンクリートの色合いも白くなる特徴が確認された。図4に高炉セメントC種を用いたコンクリートの圧縮強度、スランプおよび空気量の測定結果を示す。標準偏差として、それぞれ2.0N/mm²、1.0cm、0.5%であった。

4-4. 上部躯体

上部躯体に関しては、普通ポルトランドセメントと同様に扱える⁷⁾高炉セメントA種を用いた。なお、本建築物は打ち放し仕上げとしているため、石灰石骨材と収縮低減型高性能AE減水剤の併用により、乾燥収縮率が450μm以下となるように調合を定めた。

図5に高炉セメントA種を用いたコンクリートの圧縮

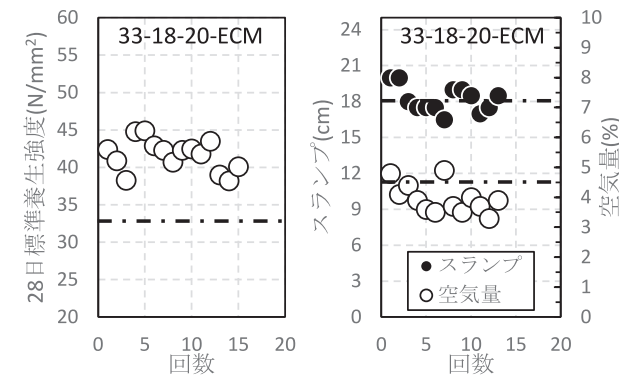


図4 圧縮強度およびフレッシュ測定結果

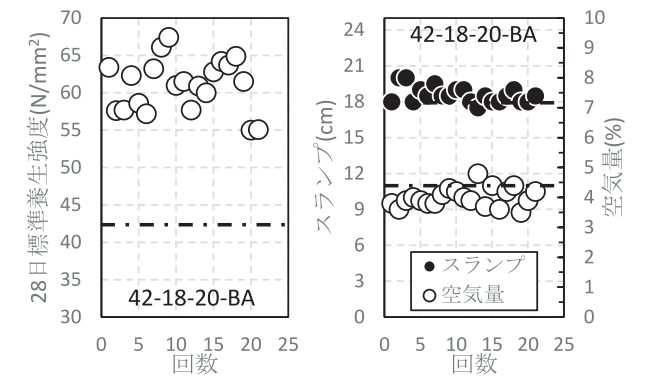


図5 圧縮強度およびフレッシュ測定結果

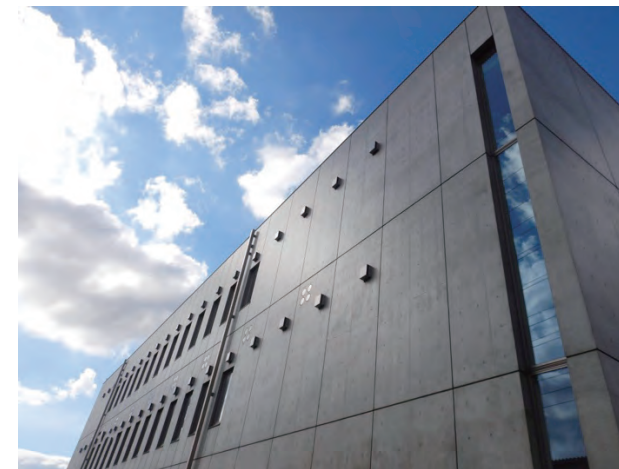


写真7 施工後2年経過時のBAコンクリート壁面



写真8 高強度ECMプレキャスト柱作製状況

強度、スランプおよび空気量の測定結果を示す。標準偏差として、それぞれ3.4N/mm²、0.7cm、0.3%であった。施工後2年経過した壁面状態を写真7に示すが、クラックなども確認されず良好な仕上がり面を維持していることを確認した。

地下躯体および上部躯体共に適切な施工管理によって良好な仕上がりとなった。なお、高炉セメントを用いたコンクリート施工において、高炉セメントは初期の養生の影響を受けやすいと報告⁸⁾されていることから、指針類に示されている適切な養生^{例えば6)}を実施するといった施工管理が重要である。

4-5. 高強度プレキャスト柱

プレキャスト製品は早期の強度発現が必要な場合が多く、高炉セメントの使用実績としては比較的少ないが、本工事では高炉セメントC種相当を用いた。

写真8に高強度プレキャスト柱の作製時の状況を示



写真9 施工後2年経過時の表層状況

すが、形状としては高さ4.1m、φ25cmの円柱部材とした。また、高強度プレキャスト柱は打ち放し仕上げとし、当社事務所玄関前の庇を支えている。据え付け後2年経過時の状況を写真9に示すが、表層の汚れやクラックは確認できず、良好な表層品質を維持していることを確認した。

前述したが、高炉セメントは初期の強度発現性が低

表3 CO₂削減量の概算

適用部位	使用セメント	種類	適用量 (m ³)	CO ₂ 削減量 (t-CO ₂)
上部	高炉セメントA種	40-18-20	145.0	11.9
		42-18-20	849.5	71.8
地下	高炉セメントC種	33-18-20	419.5	86.6
合計				170.3

く、プレキャスト製品への適用において避けられる場合もある。しかしながら、現場打設と比較して型枠の転用などを含めて管理が安定しやすく、本工事によって、高炉セメントC種を用いた場合でも十分対応可能であることが確認された。そのため、「カーボンニュートラル」「i-Construction」「働き方改革」などをキーワードとした、これからの建設業の課題を解決するための一手法になることがより期待される。

5. まとめ

本工事では、各種高炉セメントを適材適所に用いて施工した。その結果として、表3に示すように、本事務所建設でCO₂を合計170.3t削減することができた(同呼び強度およびスランプでポルトランドセメントを用いた場合と比較)。これにより、本建築物は低炭素化の促進に貢献したとして「都市の低炭素化の促進に関する法律(エコまち法)」の認定を受けた。なお地盤改良、捨てコンクリート、犬走なども比較的多い高炉スラグ分量の高炉セメントを採用したため、実質上記値よりもCO₂削減量は多くなる。

本工事の計画から竣工までの期間において、国内では低炭素化の関心はあったものの、カーボンニュートラルまでの意識は薄かった。当時の施工プランとしては、低炭素建築物の実現を目指して、高炉セメントC種を上部躯体で用いる案もあったが、施工管理およびCO₂削減のバランスを鑑みて、普通ポルトランドセメントと同様に扱える⁷⁾高炉セメントA種を採用した経緯がある。

現在ではカーボンニュートラル、ひいてはカーボンネガティブを達成するための検討も進められている⁹⁾。こ

れに伴い、今後上部躯体に高炉セメントB種以上を使用することも考えられるが、本工事のように、上部躯体は高炉セメントA種、地下躯体(地盤改良含む)は高炉セメントC種を選択することで、品質面および施工面を維持しつつ、CO₂排出量の削減は可能となる。本工事記録が高炉セメントの建築物への利用拡大の参考になれば幸いである。

末尾になるが、当社事務所を施工頂いた(株)竹中工務店の適切な施工および管理により、無事に竣工を迎えることができた。竣工後2年までではあるが、躯体などに細かな変状も確認されない。この場を借りて感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) セメント協会／カーボンニュートラルを目指すセメント産業の長期ビジョン、2022.3
- 2) 国立環境研究所地球環境研究センター／日本国温室効果ガスインベントリ報告書2022年、2022
- 3) セメント協会／セメントのLCIデータの概要、2022.3
- 4) 経済産業省／混合セメントの普及拡大方策に関する検討報告書、2016.3
- 5) 小島正朗、辻大二郎、依田和久、橋本学／低炭素型コンクリート「ECMコンクリート」の開発と今後の普及展開、セメント・コンクリート、No.900、pp.76～81、2022.2
- 6) 日本建築学会／高炉セメントまたは高炉スラグ微粉末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、2017.9
- 7) 日本建築学会／建築工事標準仕様書・同解説JASS5鉄筋コンクリート工事、pp.211～216、2018.7
- 8) 檀康弘／高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの耐久性に及ぼす初期養生の影響に関する研究、九州大学学位論文、2011.1
- 9) 取達剛、森泰一郎、河内友一、藤木昭宏／CO₂固定型カーボンネガティブコンクリートCO₂-SUICOMの開発と今後の展開、セメント・コンクリート、No.900、pp.64～69、2022.2