

カーボンネガティブを実現する「クリーンクリートN」の適用

神代 泰道・田中 寛人・並木 憲司

低炭素型のコンクリートの技術開発と普及展開が急務となっている。大林組では、これまでの「クリーンクリート」をさらに進化させ、その結合材または細骨材の一部を、CO₂を吸収・固定したCCU粉体（CO₂を回収・利用した粉体）に置き換えることで、カーボンネガティブまで達成が可能な「クリーンクリートN」を開発した。ここではこの概要と2件の適用事例として、場所打ちの外壁に適用した事例と建築物のプレキャストコンクリート製カーテンウォールに適用した事例について述べる。

キーワード：コンクリート、低炭素、CCU粉体、カーボンネガティブ

1. はじめに

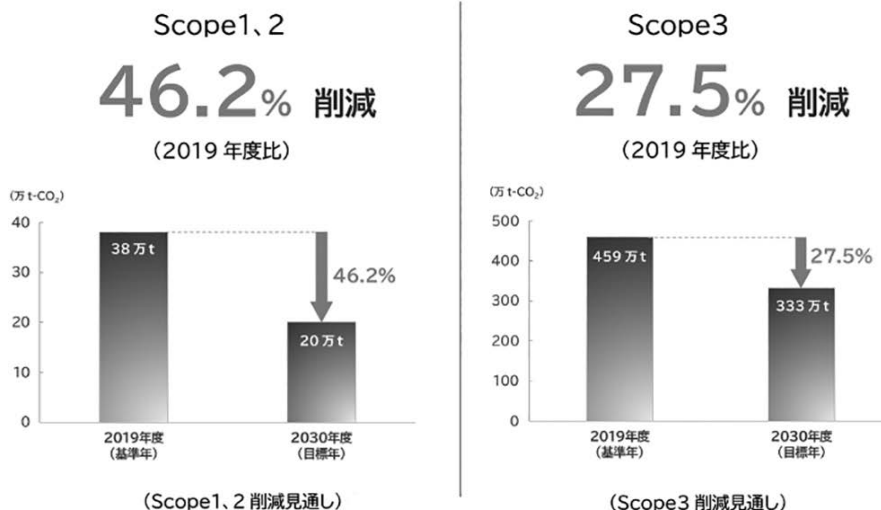
近年、世界的に地球温暖化対策に関する取り組みが加速しており、地球温暖化に影響を及ぼす温室効果ガス、特に、二酸化炭素（CO₂）排出量の低減は、全世界に課せられた重要な課題である。我が国においては、2020年10月の臨時国会にて、2050年までに温室効果ガスの排出量を全体としてゼロ、すなわちカーボンニュートラルによる脱炭素社会の実現を目指すことが宣言された。

コンクリート関連産業は、エネルギーの消費量やCO₂の排出量が大きく、国内全体のCO₂排出量の約4%を占めるとされる¹⁾。そのため、セメント・コンクリー

ト分野のCO₂排出量の削減は、国内における総CO₂排出量の削減に大きく貢献すると考えられる。

大林組においてもObayashi Sustainability Vision 2050を発表し、2050年のカーボンニュートラルを目指し、中間点となる2030年度のScope3の削減目標を2019年度比で27.5%としている（図—1）。ゼネコン各社においてもScope3の削減目標の達成に資するため、低炭素型のコンクリートの技術開発と普及展開は急務となっている。ここではカーボンニュートラル社会の実現に向けた当社のコンクリート技術として、クリーンクリートN（以下、本コンクリート）の概要と2件の適用事例について紹介する。

2030年度温室効果ガス排出削減目標



図—1 当社における温室効果ガス排出削減目標

2. 本コンクリートの概要

(1) 本コンクリートの開発経緯

カーボンニュートラルに貢献するコンクリート技術として、結合材に占めるセメントの使用量を減らした低炭素型のコンクリートが広く使用されている。当社では、CO₂排出量の大きいセメントを、産業副産物である高炉スラグ微粉末などのCO₂排出量の小さい混和材に大量置換することで、コンクリートの低炭素化を図る「クリーンクリート」(以下、低炭素型コンクリート)を開発²⁾し、これまで多くの建築物・土木構造物に適用してきた。低炭素型コンクリートは、セメントの混合割合を40%以下とすることで、既存技術(同一強度の普通ポルトランドセメントのみを使用したコンクリート)に比べて、使用材料のインベントリデータ³⁾に基づくコンクリート製造時のCO₂排出量を

50%以上(最大80%)低減することが可能なコンクリートと定義している⁴⁾。2010年に初適用して以来、2023年度までの適用件数は100件以上であり、累計の打込み量は約42万m³に達している。さらに2024年6月には環境製品宣言ラベル SuMPO EPDを取得した(図—2)⁵⁾。これにより低炭素型コンクリートのCO₂削減率は普通コンクリートに対して63%となることが明確となり(図—3)、これを基にして累計打込み量に対するCO₂の削減量を推計すると約10万トンに到達する。今後もカーボンニュートラルに貢献するコンクリートとして、低炭素型コンクリートの普及に努めていくが、その一方で、低炭素型コンクリートであっても使用材料はいずれもCO₂を排出する材料で構成されているため、そのみではカーボンニュートラルを達成することはできない。そこで、低炭素型コンクリートをさらに進化させ、結合材または細骨材の一部を、CO₂を吸収・固定したCCU粉体(Carbon dioxide Capture and Utilization: CO₂を回収・利用した粉体)に置き換えることで、カーボンネガティブまで達成が可能な本コンクリートを開発した⁶⁾。

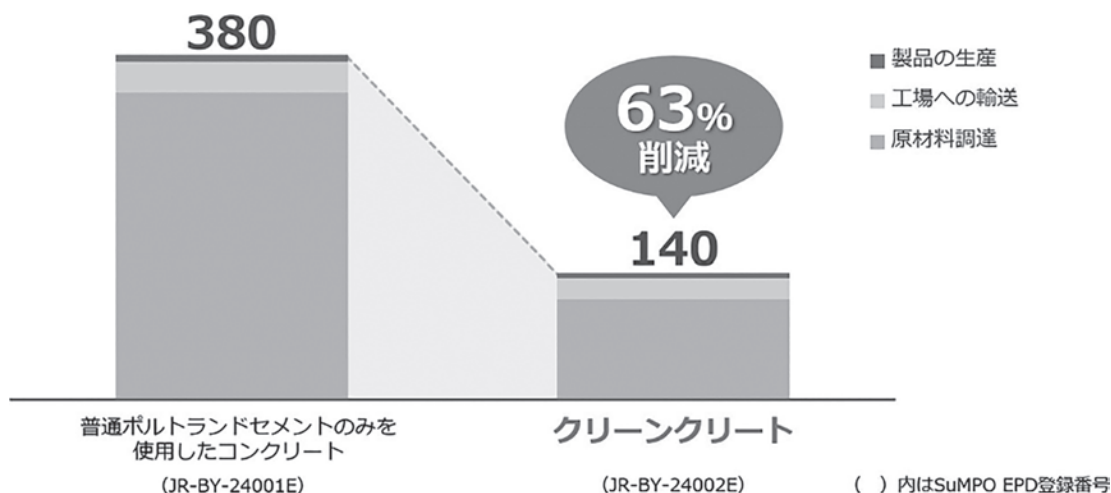
(2) 本コンクリートの性能

本コンクリートは、低炭素型コンクリートにCCU粉体を混ぜ合わせたコンクリートであり、CCU粉体の混入量に応じてCO₂排出量を差し引きすることで、コンクリートのCO₂排出量をゼロ(カーボンニュートラル)から、さらにマイナス(カーボンネガティブ)にできる(図—4)。

使用するCCU粉体は、遠心成形品の製造工場において排出されるスラッジ水に、同工場における蒸気養生の際に発生する排気ガスを吹き込んで生成させた軽質炭酸カルシウム⁷⁾である(写真—1)。NEDO事業

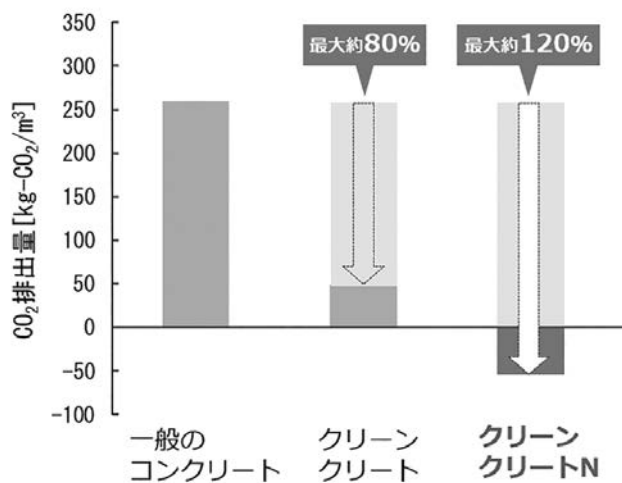


図—2 低炭素型コンクリートの環境宣言書 (EPD)



図—3 EPDによるCO₂排出量を基にした低炭素型コンクリートのCO₂削減率

を通じて実用化されているものであり、CO₂固定量は390 kg-CO₂/tと試算されている。また、このCCU粉体はコンクリート産業から発生するセメント系廃棄物



図—4 本コンクリートのCO₂排出量のイメージ



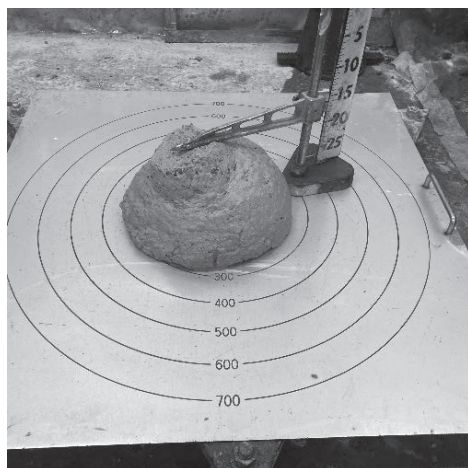
写真—1 CCU粉体の外観

を原料としている。そのため、廃棄物の削減にも貢献できる。呼び強度にもよるが、このCCU粉体を細骨材の代替として200~250 kg/m³程度混入することで、カーボンニュートラルを概ね達成できる。

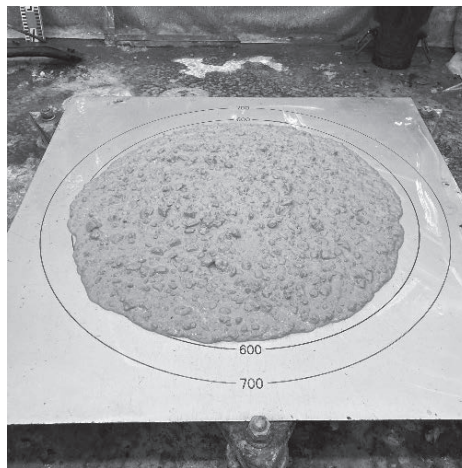
CCU粉体を混入するほど、練り混ぜ時間が増大するだけでなく、所要の流動性を得ることができなかった。そこで、シーカ・ジャパンと共同で新たな化学混和剤(高性能 AE 減水剤)を開発した。これを用いることで所要の流動性を得られるようになった(写真—2)。

3. 本コンクリートの適用事例

建築物への適用に向け、レディーミクストコンクリート工場での実機ミキサによる練り混ぜや模擬部材への打込みを通じて本コンクリートの製造、施工性、品質などを確認した。この結果については文献8)に述べた通りであるが、CCU粉体については現状、参照できる規格が整備されておらず、このような材料を用いたコンクリートは、建築基準法において主要構造部に適用することが難しい。そこでまずは非構造部材への適用を目指した。ここでは、本コンクリートの適用事例として、場所打ちの外壁に適用した事例と建築物のプレキャストコンクリート製カーテンウォールに適用した事例について述べる。いずれも発注者からの環境負荷低減に対する強い関心に応える形で、本コンクリートを提案し、採用に至ったものである。なお、外壁への適用実績については、2022年度の環境配慮型コンクリートの実績のひとつとして、環境省によってCO₂固定量が世界で初めて算定され、国連に報告された⁹⁾。



従来品



開発品

写真—2 化学混和剤の開発による性状改善

(1) 場所打ちコンクリート

(a) 適用概要

適用したのは、工場建替工事における外構工事であり、長さ約 40 m の打放し仕上げの壁部材（以下、外壁）である。本コンクリートの呼び強度は 30、スランプフローおよび空気量の目標値をそれぞれ 50 cm、4.5% とした。CCU 粉体の混入量は 250 kg/m^3 とした。これによりコンクリートの CO_2 排出量はマイナス $17.3 \text{ kg-CO}_2/\text{m}^3$ となり、カーボンネガティブを達成した。呼び強度 30 の普通コンクリート ($261.5 \text{ kg-CO}_2/\text{m}^3$) に比べて、 CO_2 排出量を約 $278.8 \text{ kg-CO}_2/\text{m}^3$ 削減し、本工事への適用による CO_2 排出量の削減効果は約 3.8 t（製造量 14 m^3 当たり）と試算された。

(b) 打込み状況

2023 年 3 月、市中のレディーミクストコンクリート工場の実機ミキサにて本コンクリートを練り混ぜた。練り混ぜ量は 1 バッチ 2 m^3 とし、合計 7 バッチ練り混ぜた。練り混ぜ後、トラックアジテータにて打込み場所へ運搬した。全バッチのフレッシュ性状を確認したところ、いずれも所要のスランプフローおよび空気量が得られ、材料分離は確認されなかった。

打込みはコンクリートポンプを用いた（写真—3）。コンクリートの粘性は比較的高かったが、閉塞などの問題も生じず、通常のコンクリートと同様に打込みを行うことができた。

(c) 仕上がり状況

材齢 7 日でせき板を解体した。なお、材齢 7 日の現場封かん養生の供試体の圧縮強度は 34.4 N/mm^2 であった。また、材齢 28 日の標準養生の圧縮強度は 54.9 N/mm^2 であり、呼び強度を十分に満足した。外壁の外観を写真—4 に示す。豆板やセパレータ周りの沈降ひび割れは確認されず、仕上がりも良好であった。本コンクリートなどの低炭素型のコンクリートの特徴として、中性化の進行が早いことが挙げられるが、圧縮強度が十分に発現してから脱型しており、所要の中性化抵抗性を有していることを確認した。

(2) プレキャストコンクリートカーテンウォール

(a) 適用概要

適用したのは、倉庫の外装材であり、建物全ての PC カーテンウォールに本コンクリートを適用した。適用に先立ち、プレキャストコンクリート製品工場において、カーテンウォール形状のモックアップ試験体を製造した。セメントの種類は、脱型時強度を確保するため、早強ポルトランドセメントとした。CCU 粉体の混入量を 220 kg/m^3 とすることで、コンクリー



写真—3 コンクリートポンプを用いた打込み状況

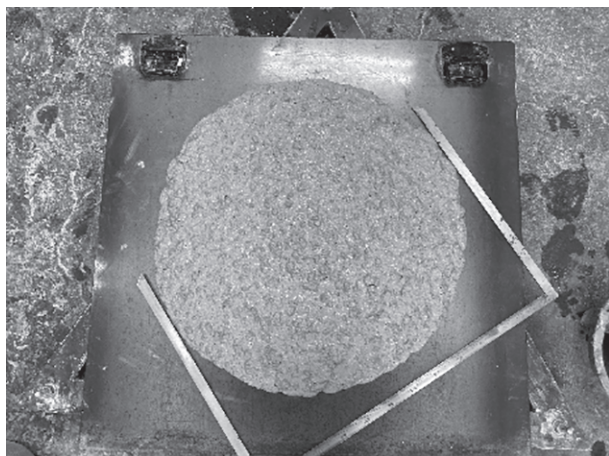


写真—4 外壁の仕上がり状況

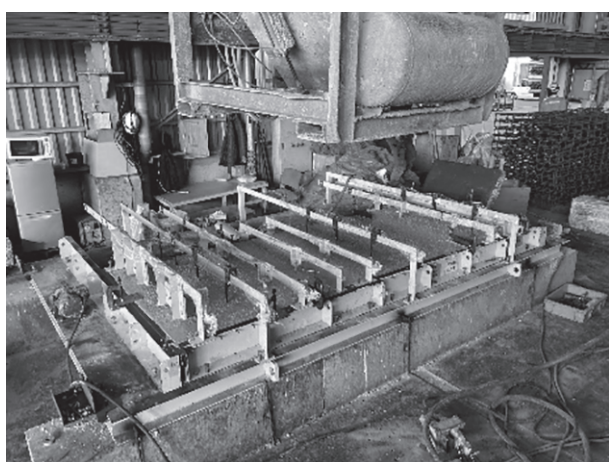
トの CO_2 排出量はマイナス 3.1 kg/m^3 となり、カーボンネガティブを達成した。スランプフローおよび空気量の目標値は 60 cm、4.5% とした。なお、検討の詳細については文献 8) を参照されたい。同工場における設計基準強度 30 N/mm^2 に対応する普通コンクリートの CO_2 排出量は $294.8 \text{ kg-CO}_2/\text{m}^3$ であり、本コンクリートによる CO_2 削減量は約 $297.9 \text{ kg-CO}_2/\text{m}^3$ となった。本工事における本コンクリートの使用量は約 28 m^3 であり、今回の適用による CO_2 排出量の削減効果は約 8.3 t と試算された。

(b) 製造状況

2023 年 10 月より本コンクリートを用いた PC カーテンウォールの製造を開始した。1 日 1 ピースとし、脱型は 2 日以降とした。一連の製造を通じて CCU 粉体のロットにより、フレッシュ性状がバラつくことが分かった。これについては、化学混和剤の添加量をバッチごとに調整することで、所定のフレッシュ性状を満足することができた（写真—5）。製造状況を写真—6、7 に示す。曲面のある部材においては、コンクリート



写真一五 本コンクリートのフレッシュ性状



写真一六 PCカーテンウォールの製造状況①



写真一七 PCカーテンウォールの製造状況②

の粘性が高いため、表面気泡の発生や過度な締固めによる材料分離が懸念された。これについては、打込み方法や締固め方法を工夫することにより解決した。

(c) 仕上がり状況

プレキャストコンクリートの製造においては、圧縮強度が 12 N/mm^2 程度で早期に脱型を行うため、その



写真一八 本コンクリートによるPCカーテンウォールを適用した建物の外観

後の中性化の進行が懸念される。そこで耐候性に優れ、中性化抑制効果を付与できるクリヤ塗料「シェルトクリヤ」を適用した¹⁰⁾。シェルトクリヤは、主成分がアクリルシリコン樹脂の水性塗料であり、キセノンウェザーメーターによる耐候性試験5,000時間後においても色差および光沢度の変化が小さく、中性化抑制効果も保持できることを確認している¹⁰⁾。さらに不燃材料の大臣認定を取得し、ホルムアルデヒド放散等級F☆☆☆☆を登録しており、内装材の仕上げとしても安心して適用できる。今回の塗布作業は、建設現場においてPCカーテンウォールのパネルの取り付けや折版屋根工事などの外装仕上げ工事が完了した段階で行った。写真一八に建物の外観を示す。曲面形状もあり、本コンクリートの白い印象と相まって全体的に柔らかな印象の外観を実現している。

4. おわりに

カーボンニュートラル社会の実現に向けた大林組のコンクリート技術として、クリーンクリートNの概要と適用事例について紹介した。当社では、この他にもリゲニンクリート、チップクリート、ポリマークリートなどの低炭素型のコンクリートの技術開発を行っている。コンクリートのカーボンニュートラルを実現するにはCCU粉体の利用が不可欠である。建設業からCCU粉体を創出することは、建設業の持続可能性に資すると考える。その取り組みのひとつとして、当社では「静岡DACプロジェクト」に参画し¹²⁾、生コン工場で排出される脱水ケーキを利用したCCU粉体の利活用も進めている。

今後もカーボンニュートラル社会に貢献できる低炭素型のコンクリートの技術開発を行い、品質を確認しながら社会実装を進めていきたい。

《参考文献》

- 1) コンクリート工学編集委員会：カーボンニュートラルに貢献するコンクリート技術，コンクリート工学，Vol.59，No.9，p.729，2021.9
- 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，pp.1-8，2011
- 3) 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，pp.155-168，2017
- 4) 大林組：低炭素型のコンクリート「クリーンクリート」，日本建築総合試験所，建設材料技術性能証明評価シート，2022
- 5) 大林組 HP：低炭素型コンクリート「クリーンクリート®」が環境製品宣言ラベル SuMPO EPD を取得，https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20240612_1.html（参照 2024-8-6）
- 6) 大林組 HP：製造工程でのカーボンネガティブを実現する「クリーンクリート N™」を開発，2022.4，https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20220415_1.html（参照 2024-8-6）
- 7) 佐々木猛，八木利之：エコタンカル（軽質炭酸カルシウム）とその可能性，セメント・コンクリート，No.900，pp.58-62，2022.2
- 8) 田中寛人，神代泰道，並木憲司カーボンニュートラル社会の実現に向けたコンクリート材料の開発，建築機械施工，vol.75，No.5，pp.61-66，2023
- 9) 環境省 HP：https://www.env.go.jp/press/press_03046.html（参照 2024-8-6）
- 10) 植松俊幸，小林利充，堀田和宏，神代泰道：コンクリート打放し仕上げ用に開発したクリヤ塗料の性能，大林組技術研究所報 No. 84，pp.1-8，2020
- 11) 植松俊幸，酒井正樹，神代泰道：表面仕上げ材のコンクリート保護効果の持続性に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.46，No.1，pp.541-546，2024
- 12) 静岡市 HP：静岡 DAC プロジェクトの実現に向けた連携に関する協定を締結しました，2023.1，https://www.city.shizuoka.lg.jp/041_000294.html（参照 2024-8-6）

【筆者紹介】

神代 泰道（こうしろ やすみち）

(株)大林組
技術本部 技術研究所 生産技術研究部
上級主席技師



田中 寛人（たなか ひろと）

(株)大林組
技術本部 技術研究所 生産技術研究部
主任



並木 憲司（なみき けんじ）

(株)大林組
東京本店 建築事業部 品質管理部
鉄筋・コンクリート品質管理課
課長

