

低炭素スラッジ再生セメントによるカーボンネガティブコンクリートの検討

鹿島建設(株) 正会員 ○関田徹志 笠井 浩
 鹿島建設(株) 正会員 渡邊賢三 関 健吾 吉田祐麻
 鹿島建設(株) フェロー会員 坂田 昇

1. はじめに

焼成時に大量のCO₂を排出するセメント（以下、バージンセメント）を用いるコンクリートは、地球温暖化の面より大きな社会問題となっている。一方、生コン工場で発生する戻りコンクリート（以下戻りコン）は、2018年度で出荷量の2.1%であり、増加傾向にあると報告¹⁾されている。戻りコンの有効利用として、スラッジ水の有効利用など、かなり以前から取り組まれているが、その有効利用が進んでいないのが現状である。このような状況下において、バージンセメントの低減による低炭素化と戻りコンの再利用化の2つの課題を同時に解決できる方法として、戻りコンから製造したスラッジ処理を工夫した、低炭素スラッジ再生セメントが開発された。本報告では、低炭素スラッジ再生セメントを用いたコンクリートのカーボンネガティブの実現可能性について検討したものである。

2. 低炭素スラッジ再生セメントの製造方法

低炭素スラッジ再生セメントの製造工程を図-1に示す。

生コン工場において戻りコンから排出された骨材や微粒分を回収・取り除いた後、湿式サイクロンによる遠心分離を行ない、スラッジ水中にある微粒分の一部をさらに除去している。残ったスラッジ水は、脱水機にかけスラッジケーキとする。その後、脱水したスラッジケーキは、破碎攪拌付きスラッジ乾燥機（乾燥温度120～130℃）を用いて、含水率が1～2%程度となるまで破碎乾燥処理し、低炭素スラッジ再生セメントが製造される。この処理を戻りコンが発生した当日など迅速に行うことで、未水和セメントの含有率を高めることができ、普通ポルトランドセメントの5～6割程度の強度発現性を有した再生セメントを得ることができる²⁾。

低炭素スラッジ再生セメントの絶乾密度は2.8g/cm³程度で、比表面積は約6000～6800cm²/gである。この再生セメントのCO₂排出原単位は、95.8kgであり、2017年度の普通ポルトランドセメントの排出原単位が769kg-CO₂/tであることから、再生セメントはその1/8程度である。また、この再生セメントはアルカリ性が高く、中性化による鉄筋の腐食の懸念も少ない。なお、このセメントが余剰な時には、炭酸ガスを吹き込み、炭酸カルシウム微粉末を製造できることが考えられる。

3. プレキャスト部材の

試作とCO₂固定量の試算

3.1 実験概要

設計基準強度30N/mm²を目標としたバルコニーのプレキャスト部材を試作した³⁾。使用材料を表-1に、配合を表-2に示す。この部材の配合は、水結合材比(W/B)35%である。結合材のうち、バージンセメント(OPC)が10%



図-1 低炭素スラッジ再生セメントの製造工程

キーワード 環境配慮型コンクリート、カーボンネガティブ、低炭素、スラッジ再生セメント、CCU材料、CO₂排出量

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-1111

表-1 低炭素スラッジ再生セメントの配合

| 種類 | 記号 | W/B* (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | | | スラブ (cm) | 空気量 (%) | 標準28日強度 (N/mm ²) | CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³) |
|------------------|---------------|----------|---------|--------------------------|-----|-----|-----|----|-------|-----|-----|----------|---------|------------------------------|---|
| | | | | W | OPC | SRy | BFS | FA | ELS** | S | G | | | | |
| OPC10% | SR50-C10:35 | 35 | 40 | 170 | 48 | 240 | 149 | 48 | 0 | 661 | 998 | 22.5 | 4.4 | 55.6 | 71 |
| OPC5% | SR35-C5:35 | 35 | 45 | 170 | 24 | 167 | 247 | 48 | 0 | 743 | 914 | 21.5 | 4 | 54.3 | 48 |
| OPC100% | SR0-C100:45 | 45 | 47 | 170 | 378 | 0 | 0 | 0 | 0 | 836 | 934 | 18 | 5.8 | 48.8 | 296 |
| OPC0% に仮定 | SR35-C0:35 | 35 | 45 | 170 | 0 | 167 | 271 | 48 | 0 | 740 | 914 | - | - | - | 27 |
| OPC0%+ ELSに仮定 | SR35-C0-ELS35 | 35 | 45 | 170 | 0 | 167 | 271 | 48 | 100 | 632 | 914 | - | - | - | -9.4 |

*B=OPC+SRy+BFS+FA **ELS=エコタンカル (再生炭酸カルシウム微粉末・CO₂排出原単位: -390kg-CO₂/t)

と5%の2ケースを製造した。なお、今回はプレキャスト部材試作のために、最高温度50℃、温度保持時間12時間に設定して、蒸気養生を行っている。OPC10%および5%の部材同一養生(封かん養生)強度は、材齢28日で28.0~30.2N/mm²で、材齢91日では35.1~36.4N/mm²を示し、目標とする30N/mm²を満足した。今回の試作部材は厳冬期(2月)に製造し、低温の室内に封かん養生供試体(φ10×20cm)で存置している影響もありやや強度発現がしにくい傾向にあった。一方、標準養生の材齢28日強度はOPC10%の配合が56.6N/mm²で、OPC5%の場合が54.3N/mm²であった。ここで、W/B45%のOPC100%の配合を示すが、上述の2配合は、この配合とほぼ同等の強度発現性を持っていることを確認した。

3.2 CO₂固定量の試算

今回使用した材料のCO₂排出原単位を表-1に示す。これらの原単位²⁾を基に各配合のコンクリート1m³あたりのCO₂排出量を試算した。各種コンクリートのCO₂排出量を図-2に示す。これより、OPC5%配合のCO₂排出量は、OPC100%よりも84%削減できることがわかった。

ここで、OPC0%配合のCO₂排出量を推定するために、表-2に示すような配合を設定し試算した結果、そのCO₂排出量は27kg/m³となり、カーボンネガティブにはならなかった。

そこで、OPC0%配合において、細骨材代替としてELS混和材⁴⁾(市販の再生炭酸カルシウム微粉末)を100kg/m³加える配合を設定した。この混和材のCO₂排出原単位は-390kg-CO₂/t⁴⁾である。この混和材を加えた配合によって-9.4kg/m³となりカーボンネガティブとなった。

4. まとめ

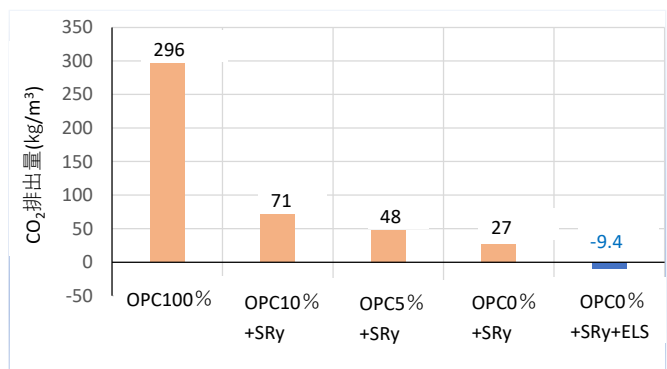
低炭素スラッジ再生セメントと再生炭酸化カルシウムの組み合わせでカーボンネガティブコンクリートの実現見通しが得られた。今後は本コンクリートの品質性能を確認する。

参考文献

- 1) 全国生コンクリート工業組合連合会技術員会：生コンクリートのスラッジの実態に関する調査報告書Ⅲ，2020.3.
- 2) 大川憲ら：戻りコンクリートから製造した低炭素スラッジ再生セメント，コンクリート工学，Vol.59，No.9，pp.801-806，2021.9.
- 3) 閑田徹志ら：残コン・戻りコンから作り出す再生セメント「CemR³」製造システムとそのCO₂削減効果，コンクリートテクノ，Vol.41，No.5，2022.
- 4) 八木利之ら：エコタンカル CO₂を原料とした環境にやさしい軽質炭酸カルシウム，土木施工，Vol.62，No.11，pp.87-90，2021.11.

表-2 使用材料とCO₂排出原単位

| 項目 | 記号 | 材料名 | 密度 (g/cm ³) | 比表面積 (cm ² /g) | CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /t) |
|------|-----|---------------|-------------------------|---------------------------|---|
| セメント | OPC | 普通ポルトランドセメント | 3.16 | 3270 | 769 |
| 混和材 | BFS | 高炉スラグ微粉末4000 | 2.89 | 4600 | 26.5 |
| | FA | フライアッシュII種 | 2.36 | 3650 | 29 |
| | SRy | 低炭素スラッジ再生セメント | 2.88 | 6350 | 95.8 |
| 練混ぜ水 | W | 上水道水 | 1 | - | - |
| 細骨材 | S | 砕砂 | 2.69 | - | 3.7 |
| 粗骨材 | G | 砕石2005 | 2.71 | - | 2.9 |
| 混和剤 | SP | 高性能AE減水剤 | 1.06 | - | - |

図-2 各種コンクリートのCO₂排出量