

カーボフィクス®セメントを使用した 積みブロックの道路法面補強への適用

白馬村役場 建設課建設係課長補佐兼建設係長 横山 勝典
山富産業株式会社 代表取締役 小山 航
太平洋セメント株式会社 中央研究所セメント・コンクリート研究部コンクリートソリューションチーム 深谷 峻平
太平洋セメント株式会社 中央研究所セメント・コンクリート研究部コンクリートソリューションチーム 落合 昂雄
太平洋セメント株式会社 中央研究所セメント・コンクリート研究部コンクリートソリューションチーム リーダー 石田 征男

1. はじめに

近年、気候変動問題への対応は全世界の共通課題であり、各産業において地球温暖化の原因とされる温室効果ガスの削減に向けた取り組みが進められている。その中でセメント産業は、セメントの製造時に温室効果ガスの90%を占める二酸化炭素(CO₂)が大量に排出されることから、CO₂排出量を削減することが重要な課題となっている。太平洋セメントグループでは、NEDO助成事業「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」などを通じて、温室効果ガス排出削減に向けた革新的技術の開発に取り組んできた。

セメント・コンクリート分野におけるCO₂排出削減対策の一つとして、セメント

や混和材とCO₂との反応を利用して、コンクリートにCO₂を固定化させながら強度を発現させる技術が開発され、実用化の段階に入っている¹⁾。このような中、太平洋セメントでは、セメント工場から回収したCO₂を積極的に活用する技術として、CO₂と反応して硬化する低炭素型セメントであるカーボフィクス®セメントを開発した²⁾。

本稿では、カーボフィクスセメントを使用したコンクリート製品が初めて公共工事に採用された事例について紹介し、カーボフィクスセメントを使用したコンクリート製品の製造工程、製品の品質および施工状況について報告する。

2. カーボフィクスセメントの概要

カーボフィクスセメントについては、本誌においてこれまでも紹介されているが³⁾⁴⁾、CO₂と化学反応することで硬化して所定の強度を発現することを特長とする材料である。カーボフィクスセメントは、通常のポルトランドセメントと同一の鉱物で構成され、中でもピーライト(β -C₂S)を主要鉱物とする。また、カーボフィクスセメントは、普通ポルトランドセメントよりもCaO含有率が低いことに加え、低温度でクリンカーを焼成できるため製造時のCO₂排出量が少なく、さらに炭酸化養生を行うことでCO₂と反応し強度発現することから、通常のコンクリートよりも大幅なCO₂排出量の削減が可能になる(図-1)。また、カーボフィクスセメントは、ポルトランドセメントと同様の現有設備を活用し、リサイクル材料を原料の一部として有効活用して製造できるという特長も有する。

3. 施工現場の概要 (道路法面補強工事)

今回、カーボフィクスセメントが適用された施工現場は、長野県北安曇郡白馬村の村道における法面である。この村道は山腹斜面に建設されており、2023年9月の豪雨により谷側の村道法面表層の一部が崩落した(写真-1)。

村道法面の被災箇所における復旧工事の概要を図-2および図-3に示す。



写真-1 村道法面の被災状況



図-2 カーボフィクスセメントを使用したブロックの設置位置

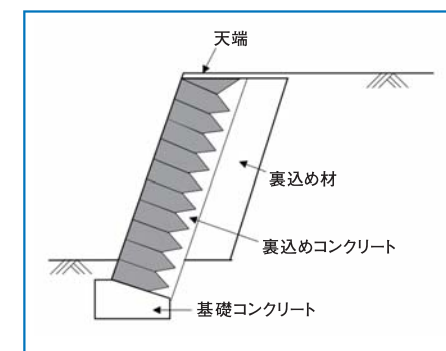


図-3 法面保護工法の概要

今回の復旧工事は、崩落が発生した村道下側斜面を積みブロックの一種であるスプリットブロック(以下、ブロック)によって補強することを目的としている。

施工は、幅6.4m、高さ4.8m、面積約30m²について行い、そのうちの上部1.7m(約110個)にカーボフィクスセメントを用いたブロックを採用した。

4. ブロックの製造および施工

4-1 使用材料およびコンクリートの配合条件

今回の施工に使用したブロックは、全て山富産業(株)明科工場(長野県安曇野市)にて製造した。

ブロックの製造に使用したコンクリートの材料を表-1に示す。セメントにはカーボフィクスセメントを使用し、セメント以外は

工場で通常使用している材料を使用した。なお、カーボフィクスセメントの密度は3.16g/cm³、比表面積は3,300cm²/gであり、普通ポルトランドセメントと同程度であった。

ブロックの製造には、設計基準強度18N/mm²、粗骨材最大寸法10mm、水セメント比32%の超硬練りコンクリートを使用した。コンクリートの配合は、製品工場における普通ポルトランドセメントを使用した場合と同一とした。

4-2 ブロックの形状および製造

ブロックの形状は図-4に示す通りであり、施工後に表面に露出する面積は0.1m²である。

カーボフィクスセメントを使用したブロックの成形状況を写真-2に示す。

表-1 コンクリートの材料

材料名	種類	記号	摘要
水	上水道水	W	—
セメント	カーボフィクスセメント	C	密度:3.16g/cm ³ 、ブレン比表面積:3300cm ² /g
細骨材	川砂	S	表乾密度:2.60g/cm ³ 、F.M.2.90
粗骨材	川砂利	G	表乾密度:2.63g/cm ³ 、最大寸法10mm
化学混和剤	AE減水剤	AD	即時脱型製品用混和剤

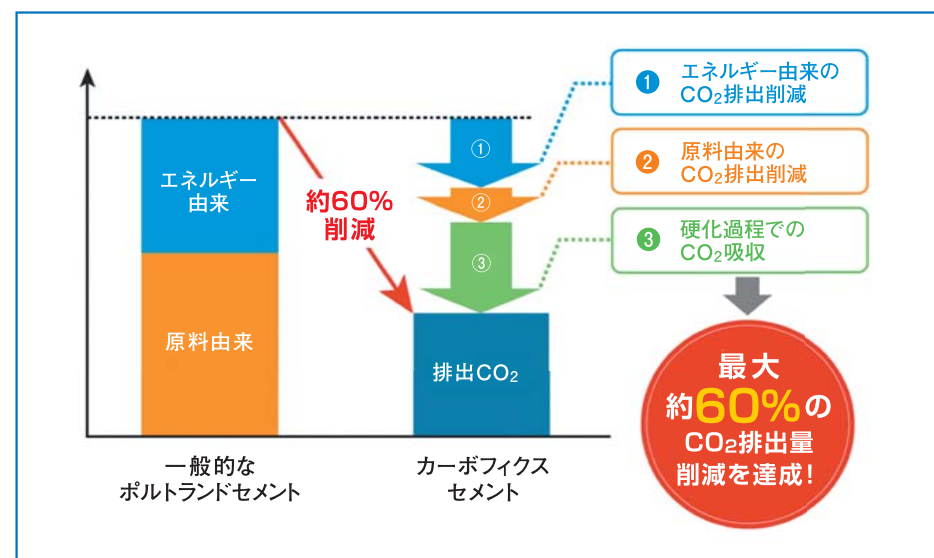


図-1 カーボフィクスセメントCO₂削減量

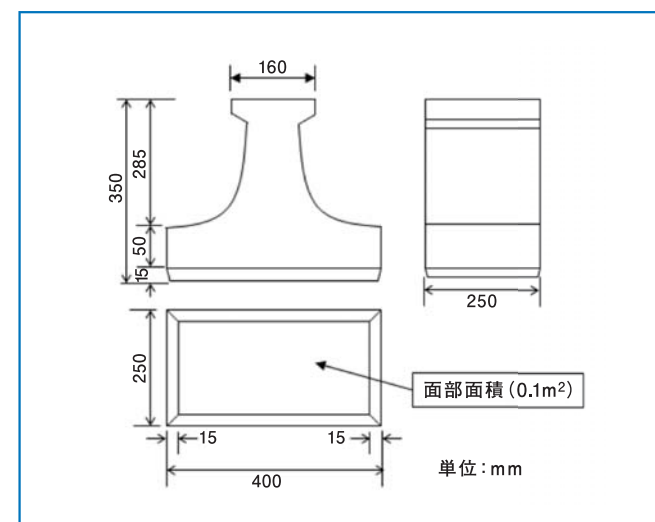


図-4 製造したブロックの形状



写真-2 加圧振動成形機での成形状況



写真-3 成形後のブロック



写真-4 ブロックの割裂状況

コンクリートは製品工場の実機ミキサにより練り混ぜ、練混ぜ終了後のコンクリートは、加圧振動成形機で2個のブロックを一体成形した(写真-3)。成形後のブロックは直ちに脱型し、製品工場の養生設備により、温度20～30℃、湿度60～80%RHの環境下で4日間養生を行った後に2個のブロックに割裂した(写真-4)。割裂後のブロックは炭酸化養生を5日間実施した後に、材齢14日まで工場の敷地内において気中養生を行った。なお、炭酸化養生設備は当社において設計、製作した簡易炭酸化養生槽(写真-5)を使用した。炭酸化養生はブロックの割裂時を起点として、10時間後から5日経過時まで行った。炭酸化養生中の槽内環境は、炭酸化養生開始後約5時間でCO₂濃度が高くなり、その後は温度14.0～23.5℃、湿度59.4～66.5%RH、CO₂濃度39.1～77.8vol.%の範囲で変動した(図-5)。

4-3 ブロックの品質およびCO₂固定量

JIS A 5371「プレキャスト無筋コンクリート製品」では、施工面積1m²当たりの質量が350kg以上と規定されている。今回製造したブロックは、表面に露出する面積が1個当たり0.1m²であることから、工場ではブロック1個当たりの質量を

35kg以上として管理している。カーボフィクスセメントを使用した場合でも、製造したすべてのブロックにおいて質量が管理値を上回っていることを確認した。また、ブロックの外観に関してもひび割れや欠け、断面の性状において異常は認められず良好であった。

図-6の位置より採取したコンクリート

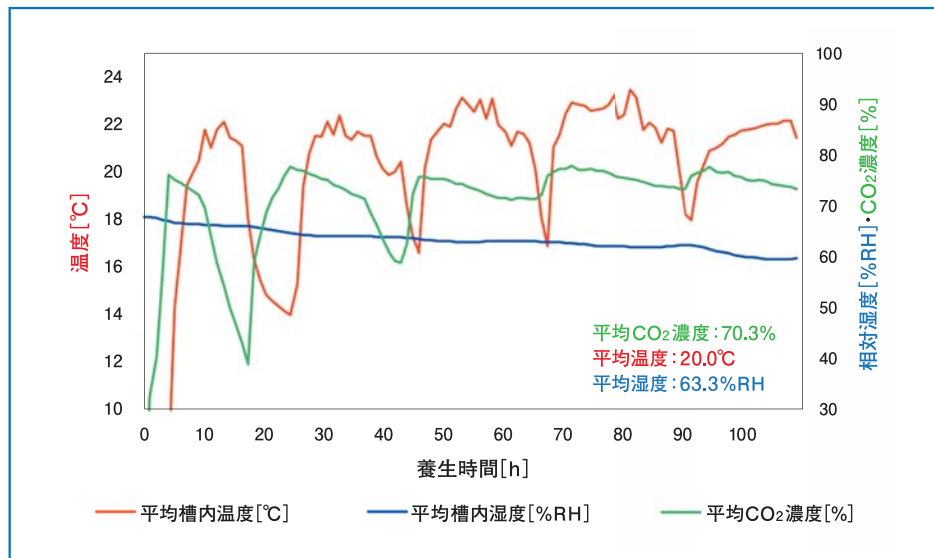


図-5 簡易炭酸化養生槽内のCO₂濃度



写真-5 簡易炭酸化養生槽の外観

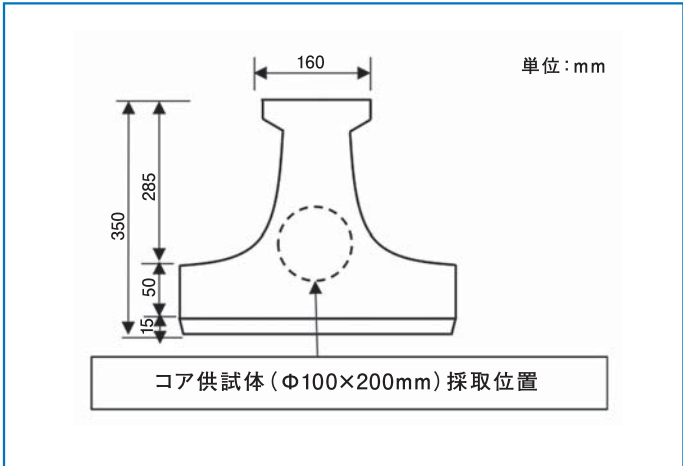


図-6 ブロックにおけるコンクリートコア採取位置

コアの材齢14日における圧縮強度は32.0N/mm²であり、設計基準強度18N/mm²を十分に上回る値であった。

ブロックを全量粉砕して得た試料を全炭素分析(TC)によって測定したCO₂固定量は、40kg/m³であった。これまでの検討において、炭酸化養生期間のほか、配合条件や養生槽内の気温、湿度、CO₂濃度によって炭酸化の進行速度が異なることが確認されている⁵⁾。カーボフィクスセメントを使用したコンクリート製品の製造においては、コンクリートに要求される性能や製造サイクル等を考慮した上で、CO₂固定量の最大化が可能な配合条件や養生条件を選定することが重要と考えられる。

5. ブロックの施工

ブロックの施工は2024年6月に行われた。施工後の状況を写真-6に示す。斜面下部に普通セメントを用いたブロックを設置した後に、上部1.7mにカーボフィクスセメントを用いたブロックを設置した。施工は各ブロックの裏側と法面の間に裏込め材として土砂を入れて締固めた後に、ブロック同士を一体化する目的でブロックとブロックの隙間にレディーミクストコンクリートを打設した。ブロックの設置完了後は天端部分にコンクリートを打設し、2024年8月より供用を開始した。



写真-6 ブロックの施工状況

6. まとめ

カーボフィクスセメントを用いたコンクリート製品が初めて採用された公共工事として、積みブロックを道路法面の補強工事に適用した事例を紹介した。カーボフィクスセメントを使用し、炭酸化養生を行った積みブロックは、製品に要求される品質を確保可能であるとともに、CO₂削減にも効果があることが実証された。

現在、カーボンニュートラルの実現に向けて、さまざまな技術開発が進められている中で、コンクリートのCO₂固定化能力への注目が高まってきている。カーボフィクスセメントはCO₂の固定化能力に優れる技術と考えられるため、普及拡大に向けた取り組みを加速し、カーボンニュートラルの実現に貢献することを期待する。

【参考文献】

- 1) 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
- 2) 太平洋セメント: CO₂吸収・硬化セメント系材料「カーボフィクス®セメント」の開発に成功, 太平洋セメントニュースレター, 2022.9, <https://www.taiheiyo-cement.co.jp/news/2022.html>
- 3) 橋本真幸, 小林和揮, 扇嘉史, 細川佳史: 太平洋セメントのカーボンニュートラルに向けた研究開発第3回CO₂吸収・硬化セメント「カーボフィクス®セメント」の開発, 太平洋セメント技術情報誌CEM'S, 第95号, pp.18-19, 2023.1

- 4) 小林和揮: CEM'S質問箱「CO₂吸収・硬化セメント」, 太平洋セメント技術情報誌CEM'S, 第101号, pp.16-17, 2024.7
- 5) 渡邊賢三, 横関康祐, 取達剛, 坂井悦郎: γ-2CaO・SiO₂を添加したセメント系材料の各種炭酸化養生条件における物理・化学特性, 土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造), Vol.68, No.3, pp.157-165, 2012

よこやま・かつのり

【著者略歴】

1994年 白馬村役場入庁
現在 同役場建設課建設係課長補佐兼建設係長

こやま・わたる

【著者略歴】

2008年 山富産業株式会社入社
現在 同社代表取締役

ふかたに・しゅんぺい

【著者略歴】

2023年 太平洋セメント株式会社入社
現在 同社中央研究所セメント・コンクリート研究部
コンクリートソリューションチーム

おちあい・たかお

【著者略歴】

2014年 太平洋セメント株式会社入社
現在 同社中央研究所セメント・コンクリート研究部
コンクリートソリューションチーム

いしだ・まさお

【著者略歴】

1997年 日本セメント株式会社
(現 太平洋セメント株式会社)入社
現在 同社中央研究所セメント・コンクリート研究部
コンクリートソリューションチームリーダー
博士(工学)