

解体コンクリート由来の微粉の利用がセメントの塩分浸透性能に与える影響

芝浦工業大学 工学部

芝浦工業大学 工学部土木工学課程

株式会社竹中工務店 技術研究所建設基盤技術研究部

○石川 英理香

伊代田 岳史

西岡 由紀子

1. はじめに

持続可能な社会を実現するためにはライフサイクル全体での資源循環が必要である。コンクリート分野においては天然骨材の使用が主流であったが、高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物の寿命に伴った解体コンクリートの発生量の増加、加えてサーキュラーエコノミー等の観点から建設リサイクル法の制定や度重なるJIS改正を受けて、再生骨材の利用が一つの選択肢として確立されてきている。しかし、再生骨材Hのように高い品質の再生骨材の製造には、磨砕による付着モルタルの除去が必要であり、その工程で多量の再生微粉が発生する。よって、再生骨材のさらなる普及に向けては再生微粉の活用方法についても検討する必要がある。

他方で、再生微粉にはセメント由来のCaが豊富に存在しており、これを炭酸化処理してCaCO₃としてCO₂固定することで、CCU (Carbon Capture and Utilization) 材料化する取り組みが行われている¹⁾。しかし、コンクリート材料として用いると、セメントの水和反応に再生微粉中のCaCO₃が消費され、モノサルフェート (AFm) の代わりにモノカーボネート (Mc) 等が生成し、セメントの塩分固定性能に影響を与えることが懸念される。

本研究においては、炭酸化した再生微粉のCaCO₃がセメント硬化体の塩分浸透抵抗性に与える影響を把握するために、塩分の固定性能及び塩分浸透深さについて検討を行った。なお、塩分浸透性への影響とさらなるCO₂排出量低減のため、高炉高含有セメントとの併用を試みた。

2. 炭酸化再生微粉の製造とCO₂固定量

2.1 炭酸化再生微粉の製造方法

図-1 に今回用いた再生微粉の製造及び炭酸化フローを示す。再生骨材工場 (湿式磨砕方式) の2か所に液化

CO₂ガスの吹き込み装置を増設し、炭酸化再生微粉 (CP) の製造を行った。1 か所目はスラリーを再生細骨材と再生微粉を分離する分級機の上流部から連続的にCO₂を供給した。2 か所目は前工程の排出スラリーを一時保管するタンクにバッチ方式でCO₂を一定流量供給した。なお、分級機のスラリーから採取した炭酸化再生微粉をCP-S、タンク貯蔵後に採取した炭酸化再生微粉をCP-Lとし、各工程での炭酸化程度を確認した。なお、今回用いた解体ガラは1963年施工の構造物から採取したものである。

2.2 CO₂固定量

CO₂固定量はTG-DTAの550~850°Cにおける質量減少量を基に算出を行った。炭酸化時間が長いCP-Lは16.1%、炭酸化時間が短いCP-Sは9.1%となった。なお、どちらもCa(OH)₂の脱水ピークは確認できなかった。

3. 炭酸化再生微粉が塩分固定化能力に与える影響

3.1 試験方法

セメントペーストの配合条件を表-1に示す。セメント種は普通ポルトランドセメント (N:密度3.15g/cm³、粉末度3240cm²/g、SO₃量2.10%) と高炉C種セメント (B:密度2.97g/cm³、粉末度3720cm²/g、SO₃量3.56%) の2種類とした。なお、CPを添加しない配合は、反応性が限りなく低い微粉として0.15mmふるい下の8号珪砂 (SiP) を同量添加し、配合毎にセメント割合の差が生じないようにした。試料は40×48mmのチャック袋に薄板状に打

表-1 セメントペーストの配合条件 (質量比)

		W	C	CP	SiP
N or B	SiP (CP無)	0.6	1	0	0.25
	CP-S	0.6	1	0.25	0
	CP-L	0.6	1	0.25	0

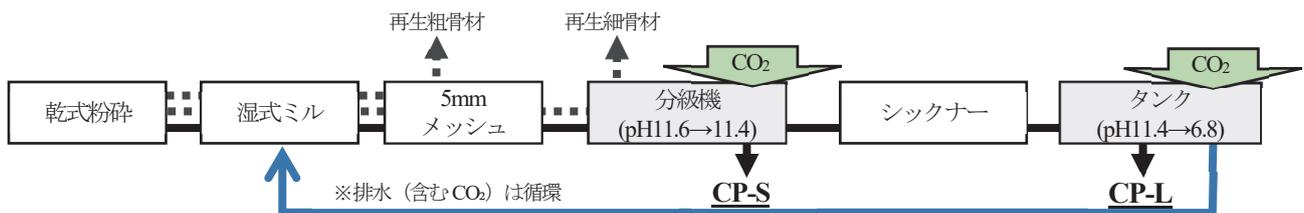


図-1 再生微粉の製造と炭酸化方法

込みして材齢7日まで封緘養生後、5%濃度の塩水に浸漬し、1、2、4、7日後にフリーデル氏塩 (F 塩) とクゼル氏塩 (K 塩) の生成状況を粉末 X 線回折にて確認した。測定試料には、内部標準試料として $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ を内割で10%添加した。

3. 2 試験結果及び考察

図-2に積分強度比 (F 塩/ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) を示す。なお、K 塩の生成はどの配合においても見られなかった。Nにおいては、SiP よりも CP-S、CP-L を用いた方が積分強度比は増加した。一方で、B においては CP の添加の有無による差は小さく、また浸漬1日後はほとんど増加しなかった。よって、CP 由来の CaCO_3 はセメントの塩分固定能力を阻害しないことが示唆された。

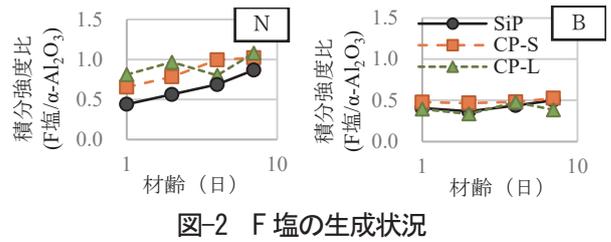


図-2 F 塩の生成状況

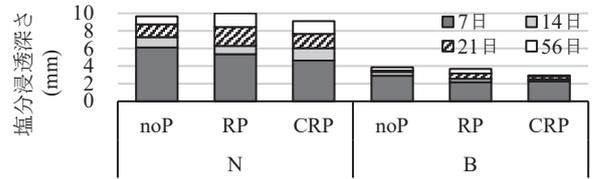


図-3 塩分浸透深さの経時変化

4. 炭酸化再生微粉の添加がモルタルに与える影響

4. 1 使用材料と配合条件

3と同様にセメント種はNとBを用いた。セメントと砂 (混合砂、表乾密度 2.61g/cm^3) の質量比が1:3、W/C50%のモルタル (noP) をベースに、CP を置換する配合は、セメント質量の30%を細骨材置換で添加した。

4. 2 実施試験

(1) 塩水浸漬試験

$40 \times 40 \times 160\text{mm}$ の角柱供試体を7日間水中養生 (温度 20°C) 後、塩水浸漬 (5%濃度) を行った。浸漬後、7、14、21、56日に割裂した断面に硝酸銀溶液 (0.1N) を噴霧して白色に呈色した部分を塩分浸透深さとした。

(2) 圧縮強度試験

$\phi 50 \times 100\text{mm}$ の円柱供試体を、7日間水中養生後、打込み面を研磨し、圧縮強度試験を行った。

(3) 透気試験

$\phi 100 \times 25\text{mm}$ の円柱供試体を7日間水中養生後、質量が恒量となるまで 40°C の炉で乾燥させた。その後0.1MPaの圧力で空気を透過させ、透気係数を算出した。

4. 3 試験結果及び考察

(1) 塩分浸透深さに与える影響

図-3に塩分浸透深さの経時変化を示す。浸漬7日においては、セメント種に関係なく CP-L、CP-S、noP の順に塩分浸透深さは小さくなった。しかし、浸漬期間が長くなると差が縮まった。セメント種で比較するとNに比べてBの方が塩分浸透は大きく抑制されており、浸漬7日以降の塩分浸透深さはほとんど増加しなかった。以上のことから、本研究の範囲内においては CP 添加の影響は小さく、高炉セメント使用による塩分浸透抑制効果の方が優位であったと言える。

(2) 塩水浸漬前の硬化体性状が塩分浸透に与える影響

図-4に圧縮強度と塩分浸透深さの関係、図-5に透気係数と塩分浸透深さの関係を示す。浸漬7日においては、セメント種毎に比較すると圧縮強度が高く、透気係数が

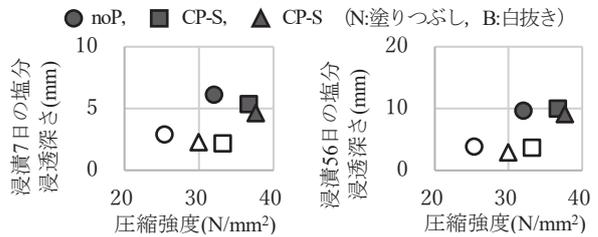


図-4 塩水浸漬開始時の圧縮強度と塩分浸透深さ

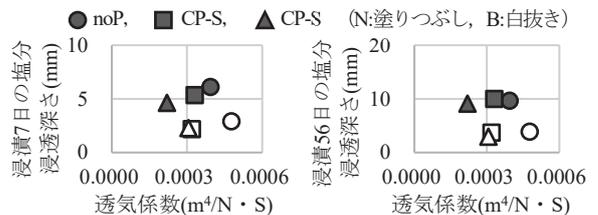


図-5 塩水浸漬開始時の透気係数と塩分浸透深さ

低いほど塩分浸透深さは小さくなる傾向を示した。一方で、浸漬56日においては、セメント種毎に塩分浸透深さに大きな差がないこともあり、前述の関係性が見られなかった。これは塩水浸漬中にも水和が進行し、CPの添加の有無による硬化体性状の差が縮まった影響の可能性が考えられる。

【参考文献】

- 例えば、西岡由紀子ほか：湿式・乾式手法によるセメント硬化体微粉と再生微粉の炭酸化処理 CO_2 固定量の評価手法に関する検討、セメント・コンクリート論文集、Vol.76、pp.503-511 (2022)

謝辞

本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP21023) を受け、革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び評価技術の開発プロジェクトで得られたものです。関係各位に感謝いたします。