

論文 乾式または湿式炭酸化装置で CO₂ 固定した再生微粉の性質

門田 浩史*1・池尾 陽作*1・外野 圭太*1・新 大軌*2

要旨：本研究では、攪拌機能を有する乾式炭酸化装置および湿式炭酸化装置を用いて CO₂ 固定再生微粉の作製を行い、異なる炭酸化方法が CO₂ 固定再生微粉の品質におよぼす影響について検討した。その結果、CO₂ 固定率は異なる結果となり、本試験の条件では乾式炭酸化と湿式炭酸化では湿式炭酸化の方が炭酸カルシウムの増加量が大きく、CO₂ 固定率も高い事が判明した。真密度は乾式、湿式共に未処理に比べ増加していた。粒度分布は未処理に比べ乾式では大きな粒子が増加しており、湿式では小さな粒子が増加していた。

キーワード：乾式炭酸化、湿式炭酸化、CO₂ 固定、再生微粉、密度、粒度分布、断面観察

1. はじめに

日本では 2050 年のカーボンニュートラル実現を目指しており、国内でも二酸化炭素（以下、CO₂）排出削減が急務となっている。セメント生産時に多量の CO₂ を排出すると言われており、年間約 4000 万 t の CO₂ を排出している。セメントを多量に使用するコンクリート分野においても CO₂ 排出量削減が求められている一方、コンクリート中に豊富に含まれるカルシウム成分が炭酸カルシウムとして CO₂ を固定化できるポテンシャルを有していることから、CO₂ 排出量を削減する研究開発や CO₂ を固定化する研究開発が盛んに行われている¹⁾²⁾。また、既存の建設物を解体した際に発生するコンクリート塊の割合は非常に多いため、コンクリート塊の有効活用が求められるが、現在は用途の大部分がダウンサイクルである路盤材として利用されており³⁾、資源循環型社会構築のためには、天然資源投入量を減らすことができるコンクリート用再生骨材の普及も必要である。日本ではコンクリート塊から製造される再生骨材を使用した再生骨材コンクリートの規格が整備されているが、再生骨材を使用したコンクリートの出荷量は非常に少ない。要因として、再生骨材を製造する際に発生する副産物の再生微粉の利用が実現していないことが考えられる。

これらの課題の解決策の一つとして、再生微粉の炭酸化によって CO₂ を固定化させる方法が検討されている。CO₂ 固定のメリットとして、セメントペースト中の水酸化カルシウムが炭酸化によって炭酸カルシウムになる際にセメントペーストが緻密化し、強度が増進することが報告されている⁴⁾。再生微粉はセメントペーストを多く含むため、再生微粉は CO₂ 固定できるポテンシャルが高く、また炭酸化によって炭酸カルシウムが増加すれば、石灰石または炭酸カルシウムの代替材料としてセメントの混和材としての利用も可能となり、CO₂ 削減と再生微粉の使用用途探索を解決する有効な手段となる。

そこで、本研究は再生微粉による CO₂ 固定と有効利用を目的として再生微粉を空気中で炭酸化する乾式炭酸化処理（以下、乾式）と水中で炭酸化する湿式炭酸化処理（以下、湿式）の 2 種類の方法を、共に攪拌機能を有する炭酸化装置を用いて炭酸化し、炭酸化処理した再生微粉の性質について調査した。

2. 実験概要

2.1 装置概要

図-1 に乾式炭酸化装置概要を、図-2 に湿式炭酸化装置概要を示す。乾式装置には装置内部にはファンおよび攪拌翼が備わっており、ファン風速による風攪拌および攪拌翼による機械攪拌ができる。装置内の CO₂ ガスはファンによって循環する仕組みとなっている。装置下部にはガスを供給するための給気口がついており、再生微粉の炭酸化により消費された CO₂ を供給できる仕組みになっている。湿式炭酸化装置は容量 2 m³ のタンク容器であり、タンク下部から CO₂ ガスを供給しながらタンク上部から吊り下げられた攪拌機で、攪拌しながら炭酸化できる仕組みになっている。CO₂ ガスは乾式、湿式共に濃度 100 % のガスを使用した。

2.2 使用材料

表-1 に原コンクリートの使用材料を、表-2 に原コンクリート試験体の調合、フレッシュ性状、1 次破碎時の圧縮強度を示す。再生微粉の製造には表-1 のコンクリートを型枠 60×170×100 cm の直方体の型枠に流し込み、材齢 29 日まで封緘養生を行った。29 日後に脱型を行い、1 次破碎を行い、次に自生ブラスト処理⁵⁾によって再生細骨材を製造した。再生微粉は再生骨材を製造する際に発生した粉体の中で、バグフィルターで回収された粉体を回収後、大量のアセトンで水和停止を行い、再生微粉として本試験に使用した。

*1 (株)竹中工務店 技術研究所 (正会員)

*2 島根大学 学術研究院環境システム科学系



図-1 乾式炭酸化装置外観⁷⁾



図-2 湿式炭酸化装置外観

表-1 原コンクリート使用材料

材料	物性
セメント	普通ポルトランドセメント 密度：3.16 g/cm ³
細骨材	砕砂 表乾密度：2.61 g/cm ³ 吸水率：1.34 %
粗骨材	砕石 表乾密度：2.68 g/cm ³ 吸水率：0.62 %
混和剤	高性能AE減水剤

表-2 原コンクリート調合

W/C [%]	s/a [%]	単位容積質量 [kg/m ³]					フレッシュ性状		圧縮強度 [N/mm ²]
		セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤	空気量 [%]	スランプ [cm]	
57.5	54.4	313	180	333	448	3.5	4.5	17.5	33.6

2.3 炭酸化方法

乾式炭酸化では試料を量り取った後に加水して含水率が14.1%となるように調整し、加水させた試料を5kg装置内部に投入した。炭酸化反応は水の存在下において起こることが知られているので、乾式炭酸化においては高含水率の条件とした^{6),7)}。試料投入時の温度は約20℃、湿度は含水状態のため装置内部は100%RHに近い状況であった。CO₂ガスは装置下部から入れ、装置上部から内部の空気を排出しながら行った。CO₂濃度計の値が95%に到達した後に、攪拌を行いながら炭酸化を30分行った。炭酸化が終わった後に試料を回収し、大量のアセトンで水和停止を行い、乾式炭酸化試料とした。なお、CO₂濃度計の値が95%となるまで15分要したため、合計での炭酸化時間を45分であった。湿式炭酸化はタンク内の1800Lの水に乾燥状態で95kgの試料を投入し、1時間予備攪拌を行った。予備攪拌の後に、CO₂ガスを80L/minで攪拌しながら供給し、試料を投入した水のpHが6.8になるまでCO₂ガスの供給を行った。pHが6.8に達したときに直ちにCO₂ガスの供給を止め、試料を取り出しフィルタープレスにかけ、余分の水分を絞り出した。後に大量のアセトンで水和停止を行い、湿式炭酸化試料とした。湿式炭酸化ではCO₂ガスを供給し、15分でpHが6.8に達した。

2.4 試験項目

表-3に試験項目を示す。再生微粉(CP-r)、乾式炭酸化微粉(CP-d)および湿式炭酸化微粉(CP-w)は水和停止した試料を用いた。炭酸カルシウム量はTG-DTAは600から800℃の吸熱反応による質量減少を、炭酸カルシウムの脱炭酸反応として、炭酸カルシウム量を算出した。また、400℃付近に生じる吸熱反応による質量減少は水酸化カルシウムの脱水として、水酸化カルシウムを算出した。また、XRFから求めたCaO量とTG-DTAで求めた炭酸カルシウム量を用いて、全CaO量のうち、炭

表-3 試験項目

項目	方法・条件
化学成分	JIS R 5204 : 2019 「セメントの蛍光X線分析方法」
炭酸カルシウム量	TG-DTA 室温~1000℃, N ₂ 雰囲気
シリカゲル量	HCl, KOH水溶液による選択溶解
C-S-Hの分解	FT-IR (KBr錠剤法, ATR法)
粒度分布	レーザー回折・散乱法
真密度	ヘリウム気相置換法
細孔量	水銀圧入式ポロシメーター
断面観察	SEM (反射電子)

酸カルシウムとなった割合を炭酸化度として算出した。

3. 実験結果

3.1 化学成分

表-4にXRFで求めた化学成分を示す。炭酸化することでCO₂が固定されるため、強熱減量(ig.loss)が増加していた。乾式は未処理とほとんど化学成分の差が無かった。湿式ではカルシウムイオンが一度水中に溶出し、その後に炭酸化させるため、カルシウム量が減少する可能性があったが、本試験ではカルシウム量の変化はほとんど無かった。溶出したカルシウムは十分に固定できたと考えられる。一方で、硫黄(SO₃)、ナトリウム(Na₂O)およびカリウム(K₂O)は未処理に比べ減少していた。炭酸化により硫黄を含む水和物、例えばモノサルフェートやエトリンガイトが分解され硫黄が溶出したと考えられる。ナトリウムとカリウムは溶解性が高いため、炭酸化に関係なく、水溶液中に溶出したと考えられる。

3.2 炭酸カルシウム量、シリカゲル量および炭酸化度

図-4にTG曲線を、図-5にTGを微粉したDTG曲線を、表-5に炭酸カルシウム、水酸化カルシウム量、

表-4 再生微粉の化学成分

	ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO
CP-r	11.62	47.22	9.98	3.46	20.89	1.12	0.83	1.60	2.00	0.34	0.13	0.07
CP-d	13.13	48.76	10.08	3.37	18.68	1.03	0.79	1.63	2.02	0.33	0.11	0.08
CP-w	16.85	44.99	9.57	3.40	19.87	1.10	0.43	1.46	1.87	0.33	0.13	0.07

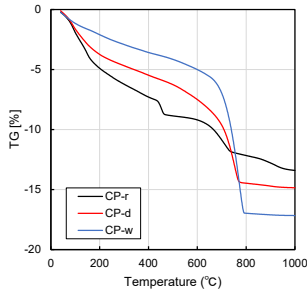


図-3 再生微粉のTG曲線

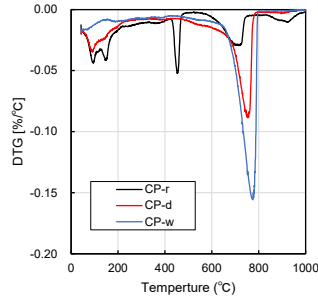


図-4 再生微粉のDTG曲線

表-5 再生微粉の生成物の割合 [%]

	Ca(OH) ₂	CaCO ₃	SiO ₂ gel	炭酸化度
CP-r	5.8	7.8	0.6	18.5
CP-d	0.0	18.5	2.6	48.2
CP-w	0.0	32.3	6.1	75.7

シリカゲル量および炭酸化度を示す。表-5 は強熱減量後の質量が各微粉で同じになるよう強熱減量で補正した。

図-3 および図-4 より未処理では 420 °C 付近に質量減少が確認された。これは水酸化カルシウムの脱水反応であり、炭酸化前の再生微粉にはセメントペースト由来の水酸化カルシウムが存在していると考えられる。一方で乾式、湿式では水酸化カルシウムの質量減少が確認されず、炭酸化により水酸化カルシウムが全量炭酸化したことが判明した。既往の研究で、中性化試験装置などを使用した場合、CO₂ 濃度 10% の環境下では 7 日間静置しても水酸化カルシウムが残存していた⁸⁾。本試験では乾式でも水酸化カルシウムが短時間で全量炭酸化することが判明した。一方で湿式の場合は既往の研究通り、水酸化カルシウムが全量炭酸化していた⁸⁾。600 °C 以降の炭酸カルシウムの質量減少は未処理、乾式、湿式の順番に大きくなっており、炭酸カルシウムは湿式が最も多く生成していた。本試験の条件では乾式より湿式の方が炭酸カルシウムが多く、より炭酸化していることが判明した。その他、既往の研究で乾式では 500 °C 付近の低温から非晶質炭酸カルシウムの脱炭酸が確認されていたが、本試験ではわずかに確認できるものの、非晶質炭酸カルシウム量は少なかった⁷⁾。本試験の乾式は微粉を含水させて炭酸化しているため、含水させた水にカルシウムが溶解して炭酸カルシウムが生成しているため、湿式と近い反応機構となり、非晶質炭酸カルシウムが少なかったと考えられる。

炭酸化度を比較した場合、乾式よりも湿式の方が高くなっており、乾式では 48.2%、湿式では 75.7% となっていた。既往の研究で、水和したセメントペーストを中性化促進試験装置を用いて、CO₂ 濃度 10%、養生期間 7 日炭酸化した場合の炭酸化度は 46.0%、水中で炭酸化させる湿式で 78.5% と、本試験とほぼ同等の値となった⁸⁾。

また、BS EN 16757:2022 Sustainability of construction works で記載されている、長期暴露されていた建物の雨係のある箇所の炭酸化度の値が 85%、雨係のない箇所の炭酸化度が 75% であることから、本試験の湿式炭酸化は十分に炭酸化が進行していると思われる。C-S-H の炭酸化により生じるシリカゲルは、こちらも乾式より湿式の方が多く生じていた。これは炭酸化が湿式の方がより進行しているためである。

3.3 密度、細孔経分布、FT-IR および粒度分布

表-6 に真密度および水銀圧入試験により算出したかさ密度を、図-5 に積算細孔容積を、図-6 に粒度分布を、図-7 に KBr 錠剤法で測定した FT-IR の吸光度を、図-8 に ATR 法で測定した FT-IR の吸光度を示す。

表-6 より炭酸化によりセメントの水和生成物より密度が大きいカルサイトが生成したため、乾式、湿式共に未処理に比べ密度が増加した。湿式の方が乾式に比べ生成した炭酸カルシウムが多いため、密度も大きかった。かさ密度は未処理および乾式には差がほとんど無かった。一方で湿式はかさ密度が低下した。これらの原因は、下記に示す SEM の断面観察の結果を総括して記載する。

図-5 より未処理に比べ、乾式および湿式は共に積算細孔容積が増加しており、空隙が多くなっていた。空隙が増加していた細孔径に着目すると、乾式では 5 μm 程度の細孔は増加し、湿式では 2~3 μm 程度の細孔が増加していた。既往の研究⁹⁾で、C-S-H と類似性の高いトバモライトを気中で炭酸化した研究によると、トバモライトの炭酸化度が 20% 以下の炭酸化初期には CaO レイヤーの層間にある Ca が、トバモライトの構造を維持したまま優先的に炭酸化し、この炭酸化は収縮しないことが報告されている。一方で、更に炭酸化が 20% 以上進むと、トバモライトの CaO のレイヤーが炭酸化し収縮量が增大することも報告されている。本試験では乾式も湿式も

表-6 真密度とかさ密度

	真密度 [g/cm ³]	かさ密度 [g/cm ³]
CP-r	2.51	1.13
CP-d	2.54	1.19
CP-w	2.63	0.96

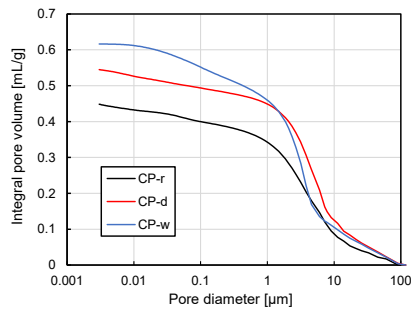


図-5 再生微粉の積算細孔容積

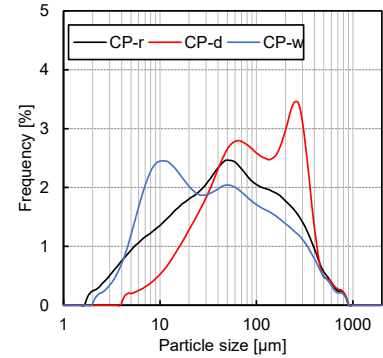


図-6 再生微粉の粒度分布

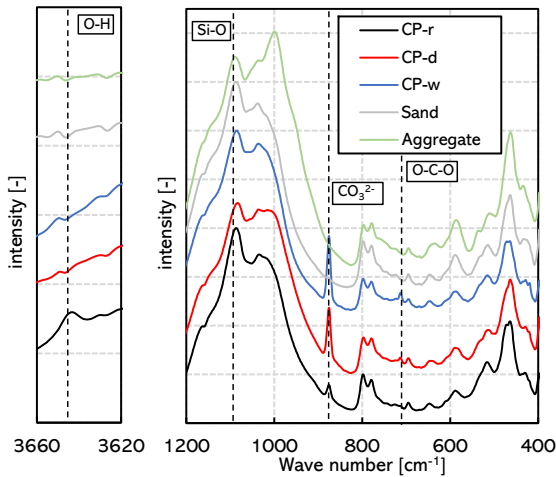


図-7 再生微粉のFT-IR (KBr 錠剤法)

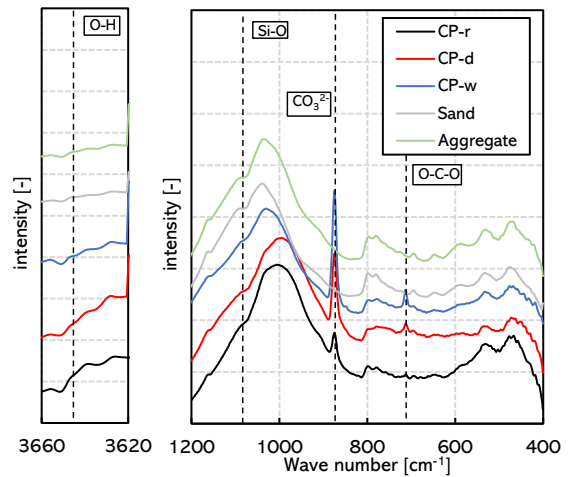


図-8 再生微粉のFT-IR (ATR 法)

炭酸化が 20%を超えているため、C-S-H が収縮したことで空隙が増大したと考えられる。乾式と湿式で増大した空隙の細孔径が異なる理由は、炭酸化度によるものなのか、炭酸化環境が気中または水中の違いによるものなのか不明である。炭酸化度が異なる試料、および炭酸化条件が異なる試料を用いて、詳細に検討する必要がある。

図-6 より乾式は炭酸化することで大きな粒子が増加していた。大きな粒子が増加した理由は、下記に示す SEM の断面観察の結果を総括して記載する。一方で湿式は細かい粒子が増加しており、特に 10 μm 前後の細かい粒子の増加が確認された。既往の研究¹⁰⁾で、水中で炭酸化すると炭酸カルシウムが生成、凝集、造粒し、数 μm の粒子となることが報告されている。本試験でも水中で生成した炭酸カルシウムが 10 μm 程度の大きさの粒子となり、湿式では細かい粒子が増加したと考えられる。

図-7, 8 より FT-IR の測定方法に依らず、未処理に比べ乾式、湿式は炭酸イオン (CO₃²⁻, O-C-O) に関するピークが大きくなっており、炭酸カルシウムの量が増えていることが FT-IR でも判明した。700 cm⁻¹ 付近の O-C-O の結合の変角振動は炭酸カルシウムの多型である、カルサイト、バテライト、アラゴナイトに加えて非晶質炭酸カルシウムで異なるピーク位置に現れることが報告され

ている¹¹⁾。本試験では FT-IR のピーク位置から未処理、乾式、湿式全て炭酸カルシウムはカルサイトであることが判明した。

既往の研究で炭酸化などにより C-S-H の Ca/Si mol 比が低下すると、1000 cm⁻¹ 付近のピークが高角側にシフトし、C-S-H の炭酸化により生じるシリカゲルの Si-O の伸縮振動のピークが 1100 cm⁻¹ に現れると報告されている¹²⁾。図-7 より KBr 錠剤法では 1000 cm⁻¹ 付近の高角側へのピークシフトが確認できず、細骨材と粗骨材には Si-O の伸縮振動が 1100 cm⁻¹ に存在するため、C-S-H の炭酸化により生じるシリカゲルの確認も困難であった。KBr 錠剤法でピークシフトが確認できなかった理由としては、再生微粉に含まれる細骨材 (Sand) の 1040cm⁻¹ のピークと粗骨材 (Aggregate) の 1000 cm⁻¹ のピークに挟まれており、骨材のピークの影響で C-S-H のピーク頂点の確認が困難になっていることが原因と考えられる。

一方で図-8 より ATR 法では未処理と乾式ではピークシフトが確認されないが、湿式では高角側へのピークシフトが確認できた。ATR 法は赤外光の全反射を利用した測定方法であり、1000 cm⁻¹ の波数に対応する波長では試料への潜り込み深さは約 2 μm 程度であり、粒子の表面に 2 μm 以上の積層物や異物が存在する場合、正しく測

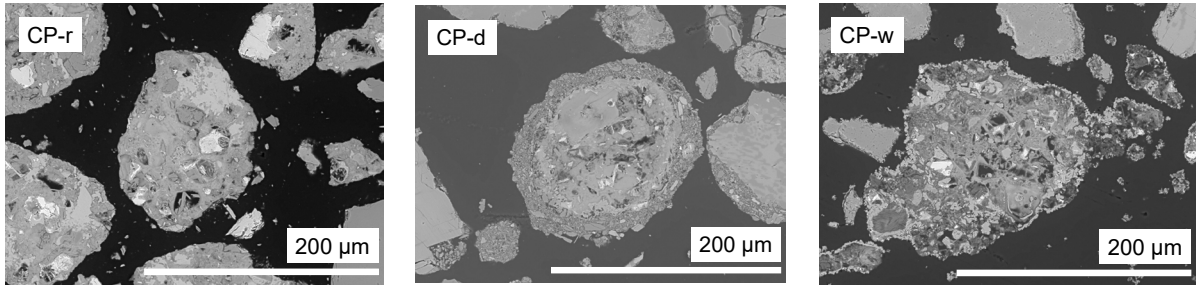


図-9 再生微粉のSEMの断面画像

定できない可能性がある。SEMの断面観察の結果と総括して記載するが、潜り込み深さが浅いため乾式ではピークシフトが確認できなかったと考えられる。また、シリカゲルおよび図-7では確認できた細骨材、粗骨材のSi-Oの伸縮振動の 1100 cm^{-1} のピークは確認できなかった。こちらも潜り込み深さなどが関係していると考えられるが、理由は不明である。

その他、図-7のKBr錠剤法では 3650 cm^{-1} 付近に現れる水酸化カルシウムのO-Hの伸縮振動は未処理にのみ確認でき、乾式、湿式では確認されずTG-DTA同様に水酸化カルシウムは全量炭酸化していることが確認できた。しかし、図-8のATR法ではO-Hの伸縮振動のピークは確認できず、C-S-Hの炭酸化によるピークシフト以外の生成物の確認は、KBr錠剤法の方が鮮明であることが判明した。

3.4 SEMによる断面観察

図-9にSEMによる倍率500倍の反射電子の断面観察像を示す。未処理において、一部に未反応セメントまたは骨材由来の明るい断面が観察できるが、大部分は水和生成物で覆われ、未反応セメントや骨材に比べ少し暗くなっている。未処理はほぼ均一な断面であることが確認できた。

乾式では、元あった粒子の周りに微細な粒子が付着し、粒子が元の大きさより大きくなっていることが判明した。付着した微細な粒子は、大部分が少し暗くなっているため水和生成物のような分子量の低い物と考えられるが、一部炭酸カルシウムや骨材が混ざっていると思われる。付着物は攪拌中に $100\text{ }\mu\text{m}$ 程度の粒子の周りに付着し、炭酸化により粒子同士が凝集し結合したと想定される。このような造粒は攪拌機能を要さない、既往の研究⁷⁾の促進中性化装置を用いて炭酸化するような際には確認されなかった現象である。またこのような造立が起きたため、図-57乾式の粒度分布は大きな粒子が増加していたと考えられ、図-8のFT-IRのATR法では深さ方向に微細な粒子の層があったため、内部セメント水和物の変化で生じるC-S-Hの炭酸化によるピークシフトが測定できず、外側の凝集した微細な粒子を測定していたと考えられる。

湿式では粒子表面に明るい角ばった結晶性の高い生成物が確認でき、これらは炭酸カルシウムと考えられる。湿式の粒子表面には結晶性の高い炭酸カルシウム生成しているため、滑らかな粒子表面をしていないと考えられる。そのため、粒子が近付くと炭酸カルシウム同士がぶつかり、充填することが困難なため、表-6に示すように湿式ではかさ密度が低下したと考えられる。

4. まとめ

本研究では、攪拌機能を有する乾式炭酸化装置および湿式炭酸化を用いて再生微粉を炭酸化し、以下の知見が得られた。

- (1) 再生微粉乾式炭酸化より、湿式炭酸化の方が炭酸化が進行し、炭酸カルシウム量が多く、真密度も大きく、炭酸化度も大きかった。
- (2) 乾式炭酸化、湿式炭酸化共に $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下のマイクロな細孔径は未処理より増加していた。これは炭酸化収縮によるものと考えられる。
- (3) 乾式炭酸化は未処理に比べ大きな粒子が増加していた。これは、微細な粒子が大きな粒子に付着し、造粒したためと考えられる。一方、湿式炭酸化では微細な粒子が増加していたが、これは水溶液中の炭酸カルシウムの溶解再析出による、炭酸カルシウムの造粒が原因と考えられる。
- (4) FT-IRではKBr錠剤法とATR法で異なる波形が得られた。KBr錠剤法では再生微粉に含まれる骨材の影響でC-S-Hの炭酸化によるピークシフトやシリカゲルの確認が困難であったが、その他の生成物の確認はATR法に比べ鮮明であることが判明した。一方、ATR法では骨材の影響を受けにくいいため、C-S-Hの炭酸化によるピークシフト確認は容易であった。

謝辞

本成果は、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）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・施工技术及び評価技術の開発プロジェクトで得られたものである。関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) Shen, P. et al.: Synthesis of amorphous nano-silica from recycled concrete fines by two-step wet carbonation, *Cement and Concrete Research*, Vol.147, 106526, pp.1-11, 2021
- 2) 小島正朗, 辻大二郎, 依田和久, 橋本学: エネルギー・CO₂ ミニマムセメント・コンクリートの開発と適用, *コンクリート工学*, Vol.59, No.9, pp.776-781, 2021.9
- 3) 国土交通省: 平成30年度建設副産物実態調査結果(確定値) 参考資料, 2020.1
- 4) Klemm, W. A., Berger, R. L.: Accelerated curing of cementitious systems by carbon dioxide: Part I. Portland cement, *Cement and Concrete Research*, Vol.2, No.5, pp.567-576, 1972
- 5) 小島正朗, 池尾陽作, 西岡由紀子, 川尻聡: 再生骨材にCO₂を固定させたCCU材料の製造とCO₂固定量の評価事例, *コンクリート工学*, Vol.61, No.9, pp.859-864, 2023
- 6) Tine F. Sevelsted, J. Skibsted: Carbonation of C-S-H and C-A-S-H samples studied by ¹³C, ²⁷Al and ²⁹Si MAS NMR spectroscopy, *Cement and Concrete Research*, Vol. 71, pp.56-65, 2015
- 7) 竹内勇斗, 池尾陽作, 門田浩史, 長原雄一: 乾式炭酸化装置で作製したCO₂固定再生微粉およびCO₂固定再生細骨材の性質, *コンクリート工学年次論文集*, Vol.46, No.1, pp.1423-1428, 2024
- 8) 門田浩史, 池尾陽作, 竹内勇斗, 新大軌: 空気中または水中で炭酸化した再生細骨材の付着ペーストの性質がモルタルの圧縮強度および乾燥収縮におよぼす影響, *セメント・コンクリート論文集*, Vol.77, No.1, pp.172-180, 2023
- 9) Maciej Zajac, Jørgen Skibsted, Jan Skocek, Pawel Durdzinski, Frank Bullerjahn, Mohsen Ben Haha: Phase Assemblage and Microstructure of Cement Paste Subjected to Enforced, Wet Carbonation, *Cement and Concrete Research*, Vol. 130, 105990 (2020)
- 10) 阿武稔也, 佐々木幸一, 田場祐道, 岡田 明也, 早川隆之: セメントスラリーを利用したコンクリートへのCO₂固定化技術に関する基礎的検討, *日本建築学会構造系論文集*, Vol. 88, No. 803, pp. 38-46, 2023
- 11) Sarah Steiner, Barbara Lothenbach, Tilo Proske, Andreas Borgschulte, Frank Winnefeld: Effect of relative humidity on the carbonation rate of portlandite, calcium silicate hydrates and ettringite, *Cem. Concr. Res.*, Vol. 135, 2020
- 12) 鈴木一考, 西川道宏, 林知延: Ca/Si比の異なるC-S-Hの炭酸化, *セメント・コンクリート論文集*, No. 43, pp.18-23, 1989