

炭酸化養生したフライアッシュ含有人工砕石の二酸化炭素固定量の検討

北陸電力株式会社 正会員 ○岡田 拓也 正会員 参納千夏男 正会員 達 柊介
 富山県立大学大学院 学生会員 森田 雄大 正会員 伊藤 始
 富山交易株式会社 正会員 川添 亮太 前川 功

1. はじめに

電気事業の石炭火力発電所から排出される石炭灰はその大部分がセメント原料として再利用される¹⁾。加えて、石炭灰のうちフライアッシュはコンクリート用混和材としても有用であり、北陸3県では官公庁工事においても大規模に採用されている²⁾。また上記以外の用途として、土木工事の路盤材原料等としても利用されており、「石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針(案)」に、フライアッシュをセメント、水と混合し地盤材料として利用する技術指針が整備されている。

路盤材等への二酸化炭素の固定量については、コンクリート塊を利用した再生砕石に対する検討事例³⁾があるものの、フライアッシュを大量混和した人工砕石に対する検討は行われていない。このような観点から、カーボンリサイクルの取り組みとして、フライアッシュを大量に用いた人工砕石の二酸化炭素の固定化性能について検討したため、以下に報告する。

2. 試験方法

2.1 供試体の作製

人工砕石の配合を表-1に示す。セメントは高炉セメントB種(密度: 3.05g/cm³, 比表面積: 3,790 cm²/g), フライアッシュは富山新港火力発電所から産出するフライアッシュ(IV種相当)を使用した。人工砕石の構成材料をミキサーで練り混ぜ、その後すぐに直径50mm, 高さ100mmのモールドに打ち込んだ。また、外気との接触面を頂部のみに限定するため、打込み後1日経過し、ある程度硬化した時点で、エポキシ樹脂を供試体の頂部以外に塗布した。

2.2 供試体養生および炭酸化養生

本検討では、コンクリートの促進中性化試験方法(JIS A 1153:2003)に基づき、二酸化炭素濃度5%, 温度20℃, 相対湿度60%の環境下で炭酸化養生を行った。

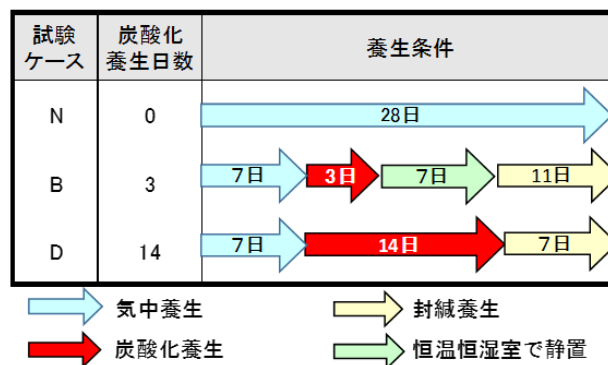
供試体は、7日間の気中養生ののち炭酸化養生を行い、

所定の養生期間を終えた後は、材齢21日まで温度20℃, 相対湿度60%の恒温恒湿室にて静置し、その後、材齢28日まで温度20℃の環境で封緘養生を行った。表-2に試験ケースと養生期間を示す。

表-1 人工砕石の配合(1m³あたり)

原材料	重量(kg)
高炉セメントB種	221
フライアッシュ	918
水	443

表-2 試験ケースと養生期間



2.3 二酸化炭素固定化性能の評価方法

炭酸化および気中養生を行った供試体を高さ方向に切断し、炭酸化/非炭酸化部の判定を行うため、切断面に1%フェノールフタレイン溶液を噴霧し、炭酸化(中性化)深さを測定した。また、切断面から深さ方向に試料を採取し、安田ら⁴⁾を参考に、示差熱-熱重量分析を行った。分析では、試料の500℃~850℃間の質量減量の差分を、式(1)に示す炭酸カルシウムの脱炭酸分解と見なして、二酸化炭素固定量を間接的に定量した。



3. 試験結果

3.1 炭酸化深さ

炭酸化深さの測定結果を図-1および表-3に示す。炭酸化養生期間の増加に伴い、炭酸化範囲が拡大する傾向が見られ、14日炭酸化養生したDケースでは、供試体高さの約1/4まで炭酸化が進行した。

キーワード フライアッシュ, カーボンリサイクル, 人工砕石, 炭酸化促進, 示差熱-熱重量分析

連絡先 〒930-8686 富山県富山市牛島町15-1 北陸電力株式会社 土木建築部 土木技術チーム TEL 076-441-2511

また、炭酸化養生なしの N ケースでは非呈色域が確認されなかったため、本試験の人工砕石は、高濃度環境下（二酸化炭素濃度 5%）で養生することで、炭酸化が可能となることを確認した。

3.2 示差熱-熱重量分析結果

図-2 に D ケースの各層の示差熱-熱重量分析結果を示す。なお、試料は 10mm を 1 層として、供試体頂部から最大 5 層分採取して分析に供したが、ここでは代表的な 3 層の結果について示す。

図-2 では、各層ともに 700℃近傍の質量減量の差分が大きく、炭酸カルシウムが試料に含まれていたことがわかる。また、炭酸カルシウムの脱炭酸分解範囲と定義した 500℃～850℃間の質量減量の差分は、炭酸化部を含む 20-30mm 間と非炭酸化部のみの 40-50mm 間を比較すると、20-30mm 間の方が大きく、より多量の炭酸カルシウムを含んでいることが示唆される。なお、表層（0-10mm）は熱分析の 0-200℃間で他の試料より質量減量の差分が大きく、表層試料自体の水分含有量が他と異なっていた可能性があり、水分含有量が炭酸化に及ぼす影響の有無などについて今後検証が必要である。

3.3 二酸化炭素固定量の算定

図-3 に N ケースおよび D ケースの層別の二酸化炭素固定量（脱炭酸分解始点での質量減量と終点での質量減量の差分/分析試料の重量）を示す。

図-3 の二酸化炭素固定量は、N ケースで 20-30mm 間、D ケースで 40-50mm 間まで算定した。両者を比較すると、表層の 0-10mm 間を除いて、D ケースの固定量と N ケースの固定量の比が、10-20mm 間で 1.7、20-30mm 間で 3.5 となり、炭酸化養生により固定量が増加することを確認した。

4. まとめ

- (1) 本試験で用いたフライアッシュ含有人工砕石は、高濃度環境下（二酸化炭素濃度 5%）で養生することで、炭酸化が可能となることを確認した。
- (2) 炭酸化養生を行った供試体に対し、示差熱-熱重量分析した結果、層別に炭酸カルシウム生成量が異なることならびに炭酸化養生により二酸化炭素の固定量が増加することを確認した。

参考文献

- 1) 一般財団法人石炭フロンティア機構；石炭灰全国実態調査報告書（令和 2 年度実績），p. 5，2022
- 2) 参納千夏男・岡田拓也・中島隆甫；北陸地方におけ

るフライアッシュコンクリートの実用化．電力土木，No. 422，pp. 97-101，2022

- 3) 松田信広・伊代田岳史；低品質再生骨材の CO₂ 吸着による改質が再生骨材コンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響．コンクリート工学年次論文集，Vol. 37 No. 1，pp. 1417-1422，2015
- 4) 安田僚介ら；炭酸化を受けたセメント系材料中の CO₂ 含有率評価に向けた分析方法の検討．セメント・コンクリート論文集，Vol. 75，pp. 442-447，2022

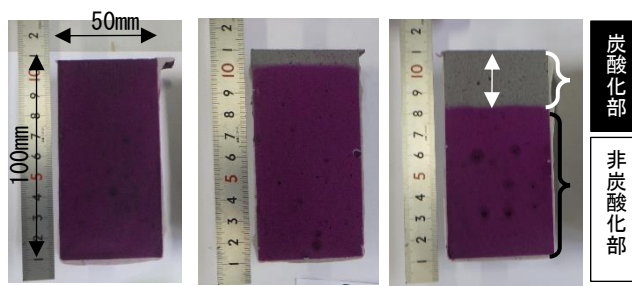


図-1 炭酸化進行状況
(左：N ケース，中：B ケース，右：D ケース)

表-3 炭酸化養生日数と炭酸化深さの進行

ケース	試験体番号	炭酸化深さ (mm)	平均値 (mm)
N	N-1	0.0	0.0
	N-2	0.0	
	N-3	0.0	
B	B-1	2.2	5.7
	B-2	7.5	
	B-3	7.5	
D	D-1	26.2	28.5
	D-2	31.4	
	D-3	27.9	

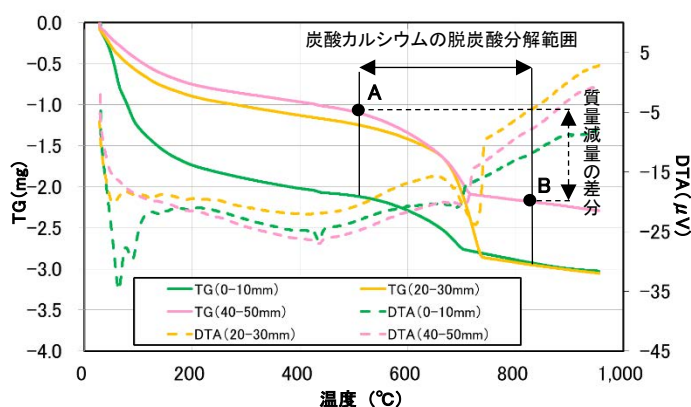


図-2 示差熱-熱重量分析 (D ケース，層別)

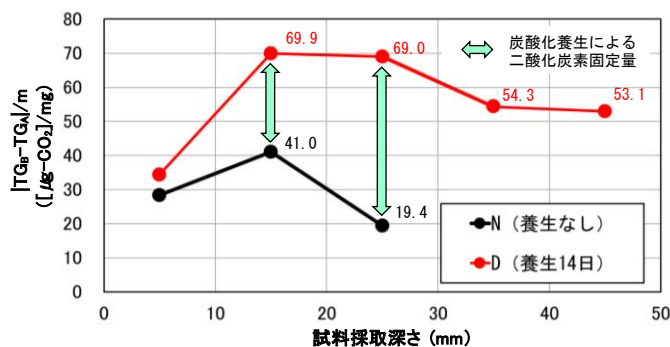


図-3 二酸化炭素固定量