

クリンカーフリーコンクリートの中性化に関する研究

日本シーカ株式会社 正会員 ○齋藤 賢
 宇都宮大学大学院工学研究科 正会員 藤原 浩巳
 宇都宮大学大学院工学研究科 正会員 丸岡 正和
 宇都宮大学大学院工学研究科 学正会員 岩田 正幸

1. はじめに

今日、CO₂やメタン、亜酸化窒素等の温室効果ガスによる地球温暖化が深刻化している。その原因の一つであるセメント産業から排出されるCO₂は、日本の総排出量の約4%を占めており、セメントを1t製造するに当たり、約0.8tのCO₂を排出していると言われている¹⁾。この原因は、セメント製造のための原料である石灰石の焼成や、製造のための燃料である石油や石炭に起因される。このような中、環境負荷低減の方策としては、産業副産物であるフライアッシュ、高炉スラグ微粉末の有効利用により、結合材中のポルトランドセメントの割合を低減可能であれば、セメント製造時に排出されるCO₂量の低減につながるため、環境負荷低減効果が期待できる。現在、コンクリート混和材として用いられているフライアッシュは、JISに規定されているⅡ種灰相当の高品質品が大半で、Ⅳ種灰相当の低品質品はほとんど利用されていない。従って、低品質フライアッシュの多量利用ができれば、非常に有用な技術となると考えられる。

一方、高炉スラグ微粉末は、比表面積が大きいものほど粉砕に必要なエネルギーが大きくなり、環境負荷が大きくなる。従って、環境負荷低減を考える場合、より低比表面積の高炉スラグ微粉末の使用が望まれる。

これまで、コンクリートへの環境負荷低減として、産業副産物である JIS Ⅳ種フライアッシュ及び比表面積 4400cm²/g の高炉スラグ微粉末を主材料とし、ポルトランドセメントを無使用としたクリンカーフリーコンクリート(以下、CFC (Clinker Free Concrete) と称す)の自己収縮、乾燥収縮、凍結融解について報告した²⁾。

本研究は、CFC の耐久性に関し中性化について検討した。

2. 試験概要

使用材料を表-1に示す。セメントを無使用としているため、水酸化カルシウムの生成が起こらず、ポゾラン反応が抑制されてしまう可能性が考えられる。この対策として、本研究では、反応促進効果を期待し、比表面積が45m²/gの多孔性高比表面積消石灰(以下、消石灰と称す)を混和し、ポゾラン反応の促進を図った。また、自己収縮の抑制等の目的で無水セッコウも用いた。本研究の粉体構成を表-2に示す。コンクリート配合条件は、既往の超高強度コンクリートに関する研究³⁾の配合をもとに、水粉体比を20%、砂粉体比を32%、粗骨材絶対容積割合(X_v)を37.5%とした。また、高性能減水剤はスランプフロー650±50mm、消泡剤は空気量2.0%以下になるように添加量をそれぞれ適宜調整した。

(a) 促進中性化試験

供試体は脱型後、温度 20℃で材齢 28 日まで水中養生した。その後、温度 20℃、湿度 60%R.H の恒温恒湿室に 56 日間静置した。また、その間に打設時の側面を除く 4 面をエポキシ樹脂で被覆した。促進環境は JIS A 1153 に準拠した環境下で行った。中性化深さの測定は、供試体を試験装置から取り出し割裂し、フェノールフタレイン 1%エタノール溶液を噴霧して未着色の部分で中性化部として中性化深さの測定を行った。測定は促進期間 1, 4, 8, 17, 26 週に行った。

キーワード フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、中性化、耐久性

連絡先 〒254-0021 神奈川県平塚市長瀬 1-1 日本シーカ㈱技術研究所 TEL 0463-21-1103

表-1 使用材料

材料	記号	種類	密度 (g/cm ³)
結合材 (P)	FA4	フライアッシュⅣ種	2.20
	BS4	高炉スラグ微粉末(比表面積 4400cm ² /g)	2.90
	AG	無水セッコウ	2.90
	TK	多孔性高比表面積消石灰 (BET比表面積 45m ² /g)	2.24
水	W	上水道水	1.00
細骨材	S	大月市初狩町産砕砂	2.63
粗骨材	G	大月市初狩町産碎石	2.63
高性能 減水剤	SP	ポリカルボン酸系高性能減水剤	1.08
消泡剤	DF	ポリアルキレングリコロール誘導体	1.00
比較材	HSPC	普通ポルトランドセメントを主材料とした 高強度コンクリート用プレミックスセメント	2.99
	OPC	普通ポルトランドセメント	3.16

表-2 粉体構成

配合 No.	質量比 (%)			
	FA4	BS4	AG	TK
CFC-1	20	65	5	10
CFC-2	40	45	5	10
CFC-3	20	60	10	10

3. 試験結果

中性化深さの推移を図-1 に、中性化速度係数の推移を図-2 にそれぞれ示す。中性化速度係数は式(1)より算出した。

$$b = \frac{y}{\sqrt{t}} \tag{1}$$

ここに、 b ：中性化速度係数 (mm/√週)
 y ：材齢 t 週における中性化深さ (mm)
 t ：材齢 (週)

図-1 より、CFC-1 及び CFC-2 は、材齢 8 週から中性化が大きく進行した。一方、CFC-3 は、材齢 17 週において大幅な中性化が確認された。また、材齢 26 週において、CFC-2 が最も中性化が進行しており、CFC-3 が中性化の進行は緩やかとなる結果となった。中性化速度係数も中性化深さと同様な結果であった。本研究では、セメントを無使用としているため、そのままでは水酸化カルシウムの生成が起こらず、ポズラン反応が抑制してしまう可能性が考えられ、その対策として消石灰を混和している。このため、フ

ライアッシュのポズラン反応によって、組織が緻密化されるが、この反応により、水酸化カルシウムが消費されるため、組織中の pH が低下し、中性化が進行しやすい状態となると考えられる。今回混和した消石灰の割合は、全て同一であることより、CFC-3 の粉体構成において、FA4 のポズラン反応と BS4 の水和反応が複合的に絡みあうことで相乗効果が高まり、硬化体の細孔空隙が減じ組織が緻密になったため、他の配合と比較して中性化速度係数は小さくなったと考えられる。

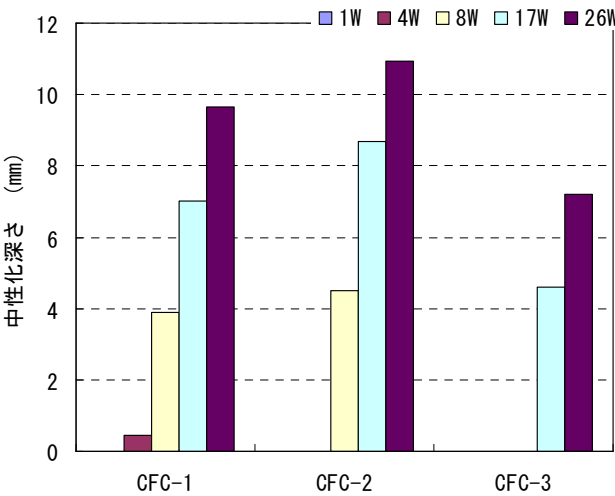


図-1 中性化深さの推移

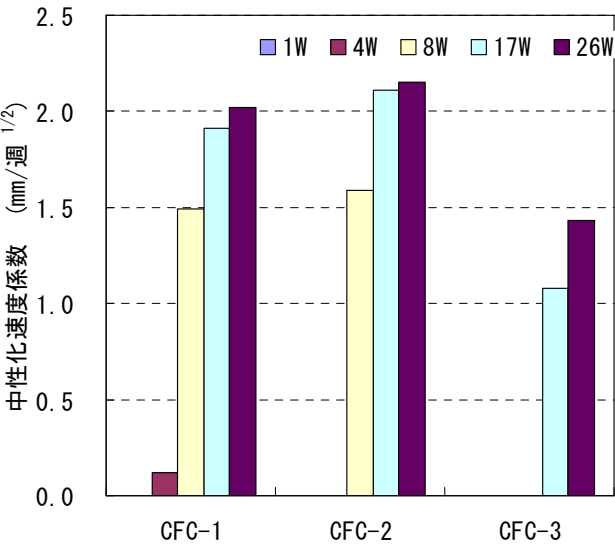


図-2 中性化深さの推移

参考文献

1)樋口雅也：コンクリートの環境負荷評価における環境因子に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.2，pp.1531-1536，2002 2)齋藤賢 他：複合材料を用いた環境負荷低減コンクリートの基本性状に関する研究(その 3)，土木学会年次学術大会，pp665-666，(2009)