

## 各種アルカリ刺激材を用いた環境負荷低減コンクリートの諸性状に関する研究

宇都宮大学 ○ 学生会員 吉川幸毅  
 宇都宮大学大学院 正会員 藤原浩巳  
 宇都宮大学大学院 正会員 丸岡正知  
 株式会社トーヨーアサノ 正会員 山路麻未

### 1. はじめに

現在、地球温暖化が深刻化し、その原因はCO<sub>2</sub>を中心とする温室効果ガスの排出であると指摘されており、社会的な取り組みとしてCO<sub>2</sub>排出量の削減が求められている。セメント産業から排出されるCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>を排出していると言われている<sup>2)</sup>。また、循環型社会形成推進基本法が制定され、産業副産物の再利用が活発化している。

さらに建設部門では近年、コンクリート構造物の高層化・大スパン化、高耐久化への要望に応えるため、高強度コンクリートの需要が高まっており、一部では、設計基準強度が200N/mm<sup>2</sup>を超える超高強度コンクリートが実施工で用いられている<sup>3)</sup>。しかし、一般に高強度コンクリートは多量のセメントを必要とし、使用材料製造時のCO<sub>2</sub>排出による環境負荷が大きく、また水和発熱による温度ひび割れや自己収縮によるコンクリート構造物のひび割れ等、耐久性低下の恐れがある。

本研究は、ポルトランドセメントを無使用または、使用量を大幅に減じ、代替として産業副産物である高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを主材料とした、標準養生材齢28日で60N/mm<sup>2</sup>以上の圧縮強度を有する高強度コンクリートの開発を目的としている。

実験では高い強度発現性や凍結融解抵抗性を得るため、各種アルカリ刺激材について検討を行った。アルカリ刺激材として品質の異なる2種類の消石灰と、生コンスラッジを乾燥・粉砕した生コンスラッジ粉、さらに普通ポルトランドセメントを使用した際の諸性状について検討した。

### 2. 実験概要

#### 2.1 使用材料

使用材料を表-1に示す。

主材料をポゾラン物質であるフライアッシュと潜在水硬性を有する高炉スラグ微粉末とした。また、その他の混和材料として、自己収縮抑制および初期強度確保を目的として無水石膏を使用した。

フライアッシュは一般にセメントの水和によって生成される水酸化カルシウムと緩やかに反応し、カルシウムシリケート水和物等を生成することで、コンクリートの耐久性や水密性を高める。高炉スラグ微粉末はガラス質であり活性が高く、アルカリ水溶液のもとでは安定な水和物を生成し、硬化体組織を緻密化する。環境負荷低減コンクリートはこれを主材料として用いているため、そのままでは一般のセメントコンクリートのようなセメントからのアルカリ

の供給は無いため、そのままでは硬化しない。そこでアルカリ刺激材として、特号消石灰(CHs)と特号消石灰より低純度で低コストである1号消石灰(CH1)の2種類の消石灰を使用した。また、生コン工場などにおいてミキサの洗浄時や、現場からの残りコン・戻りコンなどの処理の際に発生する生コンスラッジの脱水ケーキを200°Cで24時間乾燥し、微粉碎した生コンスラッジ(SD)を使用した。さらに、最も入手性の良いアルカリ刺激材として、普通ポルトランドセメント(OPC)を使用した。

化学混和剤については、ポリカルボン酸エーテル系高性能減水剤を使用した。さらに、微細な空気泡の連行により、耐凍害性を得るため、AE剤と消泡剤の両方を使用した。

表-1 使用材料

材料	記号	材料名	密度
結合材	FA II	フライアッシュJIS II種規格品	2.20
	BS4	高炉スラグ微粉末 (ブレン値4000cm <sup>2</sup> /g)	2.90
	AG	無水セッコウ	2.90
アルカリ刺激材	CHs	特号消石灰	2.24
	CH1	1号消石灰	2.24
	SD	生コンスラッジ	2.21
	OPC	普通ポルトランドセメント	3.16
水	W	上水道水	1.00
細骨材	S	鬼怒川産川砂	2.63
粗骨材	G	笠間産砕石(5号6号混合)	2.64
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系 高性能減水剤	1.08
空気連行剤	AE	アルキルエーテル系 陰イオン界面活性AE剤	1.01
消泡剤	DF	ポリアルキレングリコロル誘導体	1.00

#### 2.2 実験条件

本研究の配合条件は、既往の超高強度コンクリートの研究を基に水粉体比を20%、細骨材粉体比を32%、粗骨材絶対容積割合(X<sub>v</sub>)を37.5%とした。シリーズAでは、AE剤を使用し空気量が4.5%程度となるように調整した。シリーズDでは、消泡剤は空気量が2.0%以下となる添加量を適正添加量とし、消泡剤の適正添加量とAE剤の両方を使用し空気量が3.5%程度となるようにそれぞれ適宜添加量を調整した。また、粉体構成を表-2に示す。基本とした粉体構成の混合割合は、フライアッシュ、高炉スラグ、無水石膏、アルカリ刺激材を全ての配合で一定とした。

表-2 粉体構成

配合No.	アルカリ刺激材	W/P (%)	質量比(%)				
			OPC	FA II	BS4	AG	刺激材
No.1	CHs	20	0	25	50	10	15
No.2	CH1						
No.3	SD						
No.4	OPC						

キーワード 環境負荷低減コンクリート フライアッシュ 高炉スラグ微粉末 アルカリ刺激材

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2 宇都宮大学工学部 TEL 028-689-6211

2.3 試験項目

(1) 硬化性状

(a) 圧縮強度試験

JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠した。測定は脱型直後の材齢 1 日、標準養生材齢 7 日および 28 日とした。

(2) 耐久性状

(a) 凍結融解試験

JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験」に準拠した。本研究では、水中凍結融解試験方法(A 法)とした。

(b) 気泡間隔係数試験

ASTM C-457「顕微鏡による硬化コンクリートの気泡システムのパラメータと空気量の測定方法」に従い、リニアトラバース法で実施した。

3. 試験結果及び考察

(1) 硬化性状

硬化性状試験結果における圧縮強度を図-1 に示す。シリーズ D において、刺激材に CHs、CH1 を使用した場合には、目標としていた標準養生材齢 28 日で 60N/mm<sup>2</sup> を満足することができなかった。しかし、刺激材に SD、OPC を使用した配合では 70 N/mm<sup>2</sup> 程度の圧縮強度が得られた。

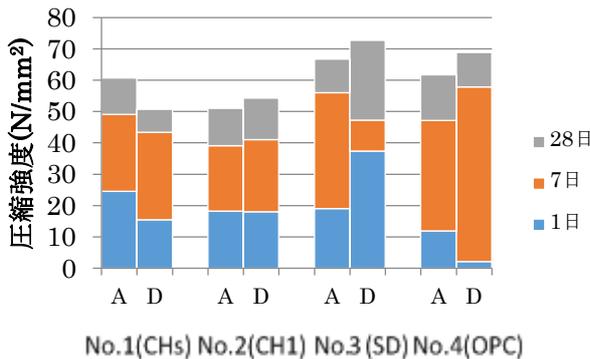


図-1 各配合における圧縮強度

(2) 耐久性状

(a) 凍結融解試験

凍結融解試験結果を表-3 および図-2 に示す。今回の配合条件ではアルカリ刺激材に SD を用いた配合のみで、十分な凍結融解抵抗性を示す結果となった。

一般的に、凍結融解抵抗性の向上には、AE 剤を使用し、3~6%程度のエントレインドエアを連行することが効果的であるとされている。本実験では、全ての配合において効果的とされる空気量を連行したものの、凍結融解抵抗性にばらつきが生じた。

特に、アルカリ刺激材に消石灰(CHs、CH1)を用いた 2 配合は 90 サイクル時点で測定した相対動弾性係数が 60% を下回った。これは、試験開発時の圧縮強度が低かったことを一因と考えられる。

(b) 気泡間隔係数試験

気泡間隔係数試験結果を図-3 に示す。凍結融解抵抗性は気泡間隔係数を 250μm 程度以下とすると耐久性の向上に寄与する。このことから、D-3 のアルカリ刺激剤に SD を用いた配合が、凍結融解抵抗性を示したと考えられる。

表-3 凍結融解試験結果

A						
配合No.	アルカリ刺激材	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	サイクル N	相対動弾性係数 (%)	耐久性指数
No.1(A-1)	CHs	3.6	60.7	98	60	19.6
No.2(A-2)	CH1	4.8	51.0	72	60	14.4
No.3(A-3)	SD	4.7	66.7	209	60	41.8
No.4(A-4)	OPC	5.2	61.7	103	60	20.6
D						
配合No.	アルカリ刺激材	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	サイクル N(回)	相対動弾性係数 (%)	耐久性指数
No.1(D-1)	CHs	3.5	50.7	56	60	11.2
No.2(D-2)	CH1	3.5	54.3	66	60	13.2
No.3(D-3)	SD	3.4	72.7	300	104	104.0
No.4(D-4)	OPC	4.0	68.9	188	60	37.6

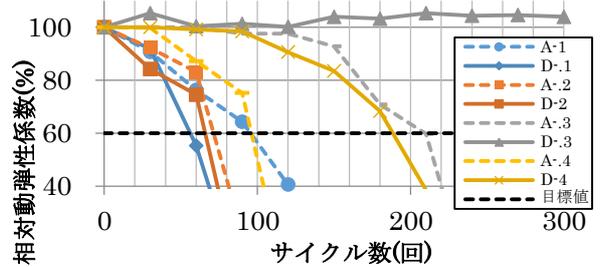


図-2 凍結融解試験結果

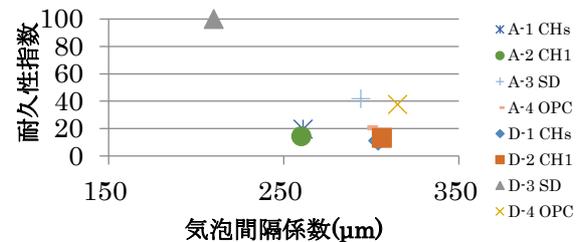


図-3 気泡間隔係数試験結果

4. まとめ

本研究では、産業副産物であるフライアッシュ、高炉スラグ微粉末を主材料とし、4 種類のアルカリ刺激材を比較検討した環境負荷低減コンクリートの凍結融解抵抗性に関して実験を行った結果、以下のような知見が得られた。

- (1)アルカリ刺激材に SD、OPC を使用した場合、標準養生材齢 28 日において、70 N/mm<sup>2</sup> 程度の圧縮強度が得られる。
- (2)アルカリ刺激材に SD を使用した配合で凍結融解抵抗性が得られた。

謝辞

本研究で使用した各種材料をご提供いただきました太平洋セメント(株)、(株)デイ・シー、奥多摩工業(株)、ジェイペック(株)、日本シーカ(株)、BASF ジャパン(株)、東武建設(株)関係者各位に深く感謝致します。なお、本研究の一部は文部省科学研究費(2011 年~2016 年、基盤研究(C)、課題番号:23560547)によるものであり、ここに付して謝意を表します。

参考文献

- 1)セメント協会 <http://www.jassoc.or.jp/cement/1jpn/jg1.htm>
- 2)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
- 3)大成建設, [http://www.taisei.co.jp/about\\_us/release/2011/](http://www.taisei.co.jp/about_us/release/2011/)