

クリンカーフリーコンクリートの強度発現性と微細組織に関する研究

宇都宮大学大学院 学生会員 ○小倉恵里香
 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
 日本シーカ株式会社 正会員 齋藤 賢

1. 目的

本研究はCO₂排出量低減を目指し、ポルトランドセメントを使用せず、代替としてフライアッシュ及び高炉スラグ微粉末を主材料としたコンクリート(Clinker Free Concrete)の開発を目的としている。本論では、これまでの研究¹⁾結果を基に、CFCの強度発現性と微細組織との関連について検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

使用材料を表 1 に示す。主材料としてフライアッシュ JIS IV種品と高炉スラグ微粉末 4000 品を使用した。またその他に、自己収縮抑制の目的で無水石膏を、アルカリ刺激材として多孔性高比表面積消石灰（水酸化カルシウム）を混和した。

2. 2 粉体構成及び配合条件

粉体構成を表 2 に示す。本実験では、フライアッシュと無水石膏の混合割合を変化させ検討を行った。コンクリートの配合条件は、水粉体比 20%、砂粉体比 32%、粗骨材絶対容積割合 37.5%、スランプフロー値 650±50mm、空気量 2.0%程度とした。

また、細孔径分布等の測定にはコンクリートの配合から骨材を除いたペーストで供試体を作製した。試料は、ペースト供試体中心部から適量取り出し、アセトンを使用し、所定の材齢で水和停止の処理を行った。

2. 3 実験項目

(1) 圧縮強度試験

JIS A 1108-1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」

表 1 使用材料

材料	記号	材料名	密度(g/cm ³)
結合材	FA	フライアッシュ IV種(ブレン比表面積1920cm ² /g)	2.20
	BS	高炉スラグ微粉末(ブレン比表面積4400cm ² /g)	2.90
	AG	無水石膏	2.90
	TK	多孔性高比表面積消石灰	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	大月市初狩町産砕石	2.63
減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系高性能減水剤	1.08
消泡剤	DF	ポリアルキレングリコール誘導体	1.00

に準拠し、脱型直後（材齢 1 日）、20℃水中養生材齢 3、7、28、91 日に測定を行った。

(2) 粉末 X 線回折による水和生成物の種類の特定

粉末X線回折装置を用いて、材齢1日、水中養生材齢7、91日における水和生成物の確認を行った。

(3) 水銀圧入による細孔径分布の測定

水銀圧入式ポロシメータを用いて、水中養生材齢7、28、91日における細孔径分布の測定を行った。

(4) 走査電子顕微鏡（SEM）による微細組織の観察

SEMを用いて、水中養生材齢7、28、91日における水和反応生成物の観察を行った。

2. 4 実験結果および考察

(1) 圧縮強度試験

圧縮強度試験結果を図1に示す。フライアッシュ混合割合増加に伴い、強度発現性低下の傾向が認められたが、すべての配合において材齢28日で60N/mm²程度以上の強度を有する結果となった。

(2) 粉末X線回折による水和生成物の種類の特定

粉体構成及び材齢の違いによる差は認められず、確認できた生成物の種類は、使用材料に起因するM：ムライト、Q：石英、A：無水石膏、P：水酸化カルシウムと、水和生成物であるE：エトリンガイトであった。図2にNo.3のX線回折パターンを示す。本測定では定量分析は行っていないが、図2より、材齢に伴いエトリンガイトのピークが高くなり、一方で水酸化カルシウムのピークが徐々に低くなる傾向が認められた。これはポ

表 2 粉体構成

配合No.	重量比(%)			
	FA	BS	AG	TK
1	20	65	5	10
2	40	45	5	10
3	60	25	5	10
4	20	60	10	10

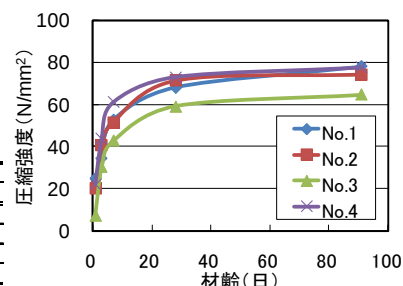


図 1 圧縮強度試験結果

キーワード フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、圧縮強度、細孔径分布

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科土木材料研究室 TEL 028-689-6211

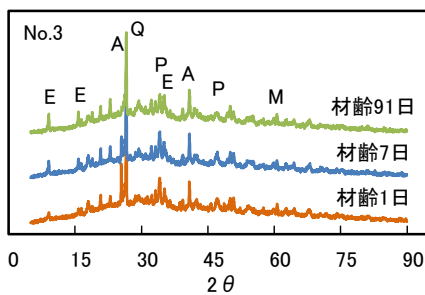


図2 X線回折パターン (No. 3)

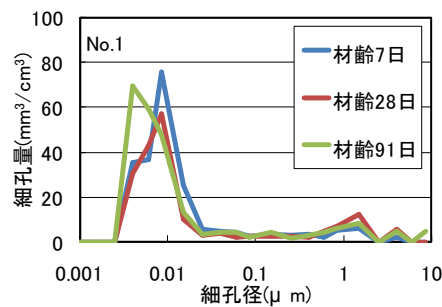


図4 細孔径分布 (No. 1)

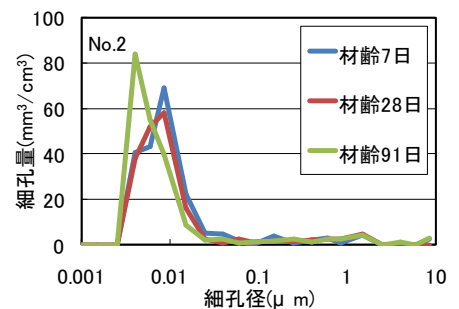


図5 細孔径分布 (No. 2)

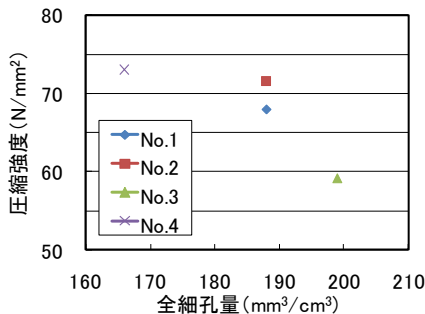
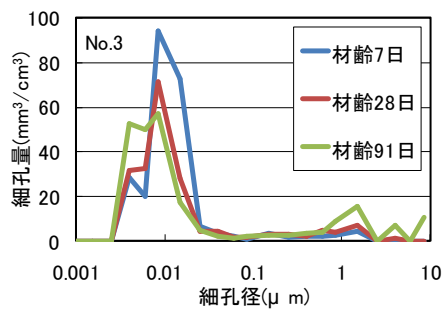
図3 材齢28日における全細孔量と
圧縮強度の関係

図6 細孔径分布 (No. 3)

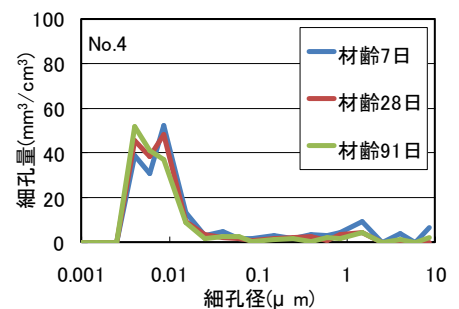


図7 細孔径分布 (No. 4)

ゾラン反応の進行を示すものと考えられる。

(3) 水銀圧入による細孔径分布の測定

図3に材齢28日における全細孔量と圧縮強度の関係を示す。これより、低強度であったフライアッシュ混合割合60%のNo.3の場合、全細孔量が多いことが確認された。また、無水石膏の混合割合が異なる配合No.1とNo.4について、圧縮強度の高いNo.4の方が全細孔量が少ない。これは、No.4の方が無水石膏に含まれる SO_3 量が適しており²⁾、より組織が緻密化したと考えられる。

各配合の細孔径分布の結果を図4から図7に示す。フライアッシュの混合割合で比較すると、混合割合60%のNo.3の場合、 $0.005\mu\text{m}$ 程度の細孔量は材齢に伴い若干増加するものの、ピーク値を示す細孔径は材齢にかかわらず $0.01\mu\text{m}$ 程度となっている。一方混合割合の少ないNo.1及びNo.2のピーク値の細孔径は、材齢7日では $0.01\mu\text{m}$ 程度、材齢91日では $0.005\mu\text{m}$ 程度と小さくなっている。これより、材齢に伴いNo.1及びNo.2は組織が緻密化したため、圧縮強度が高くなったことが考えられる。また、無水石膏の混合割合5%のNo.1と混合割合10%のNo.4を比較すると、いずれも細孔量のピーク値を示す細孔径が小さくなり、ピーク高さはNo.4が低くなった。これは図3の傾向とも一致しており、10%の方が適した混合割合であると考えられる。

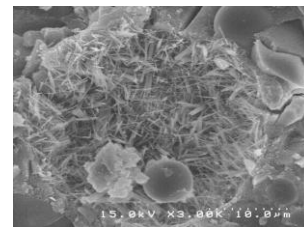


写真1 水和生成物①



写真2 水和生成物②

(4) 走査電子顕微鏡 (SEM) による微細組織の観察

写真1はNo.2の材齢7日、写真2はNo.3の材齢91日におけるSEM写真である。エトリンサイトであると推察される水和生成物が、材齢に伴い空隙を埋める様子が確認された。

3. まとめ

- ・粉末X線回折により、材齢に伴いエトリンサイトのピークが高くなり、水酸化カルシウムのピークが低くなる傾向が認められた。
- ・細孔径分布の測定により、高強度となる配合ほど、材齢28日における全細孔量は少なくなり、組織の緻密化が確認された。

参考文献

- 1) 小倉恵里香ほか：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2 硬化性状）、第64回年次学術講演会講演概要集、V-333、2009
- 2) 二戸信和ほか：高炉セメントの発熱と収縮に及ぼすスラグ粉末度と SO_3 量の影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.30、No.2、pp121-126、2008