

フライアッシュを内割混合したコンクリートの 表層から内部にわたる細孔構造の不均質性

-材齢3ヶ月における細孔構造-

日大生産工(院) ○石川 潤 日大生産工 湯浅 昇
元日大生産工 笠井芳夫

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の建設にあたっては、経済的な観点から、セメントの水和反応が活発な若材齢の時点で、型枠の脱型が行われるのが一般的である。

このような場合、コンクリートは表面から乾燥するために、表層ほど水和に必要な水分が不足する。その結果、表層のコンクリートは、内部に比し十分な水和反応が進まず、細孔が粗いまま残り、表層と内部でコンクリートの品質に不均質性が生じることになる¹⁾。

平成19年2月、廃止措置準備に入った新型転換炉ふげん発電所原子炉補助建屋においてコンクリート強度不足が発覚した。日本原子力開発機構は、その原因について、普通ポルトランドセメントが使用されるべきであったところをフライアッシュが使用されたためと発表している²⁾。フライアッシュの初期養生不足がもたらした強度不足であった。

本研究は、フライアッシュを用いたコンクリートが若材齢から乾燥を受けたことで生じる表層から内部にわたる不均質性について、材齢及び置換率の及ぼす影響を検討したものである。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの材料、調合及び打込み

研究用ポルトランドセメントに対して、フライアッシュ(Ⅱ種)を置換率40%、0%で混合したフライアッシュセメント、大井川水系川砂(表乾比重2.62, 粗粒率2.83)大井川水系川砂利(表乾比重2.66, 粗粒率6.96)及び化学混和剤(No70、303Aもしくは785D)を使用し、表-1に示した調合に基づき練り混ぜた。実験は壁等の鉛直部材を想定したもので、試験体は10×10×40cmの型枠を用いて作製した(図-1)。

2.2 乾燥(養生)条件

打込み後、試験体を温度20℃、相対湿度60%、ほぼ無風の恒温恒湿室内に静置し、材齢1日、3日、7日において試験体の側面(10×10cm)2面を開放(その他の面は打設直後から乾燥を一切させていない)し、材齢28日及び材齢91日まで乾燥させた(図-1)。

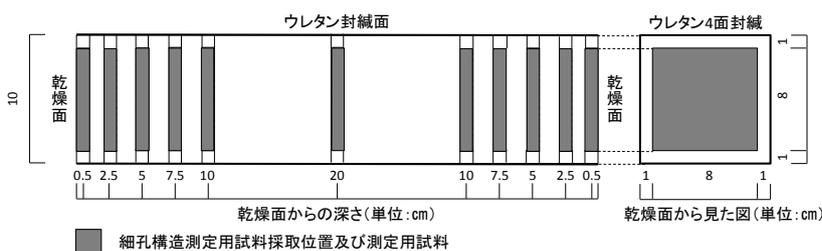


図-1 試験体概要

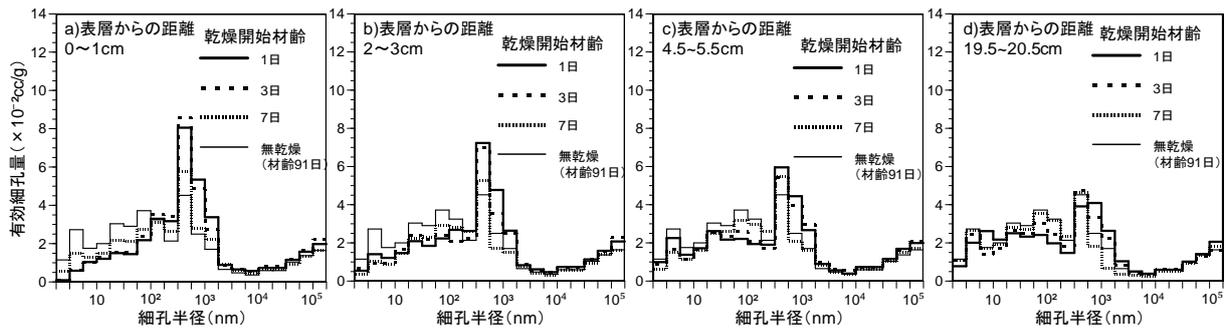
表-1 調合表

W/C (%)	置換率 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	研究用セメント (kg/m ³)	フライアッシュ (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	No.70 (g/m ³)	※303A (g/m ³)	※785D (g/m ³)	スランプ値 (cm)	空気量 (%)	練り温度 (°C)	圧縮強度(N/mm ²)				
														1日	3日	7日	28日	91日
80	40	46.6	180	135	90	846	986	563	-	13500	20.0	4.2	22.0	0.6	2.0	5.9	7.3	10.2
	0	46.6	180	225	-	859	1000	563	2700	-	18.5	3.8	22.5	2.7	9.7	11.6	21.8	23.7

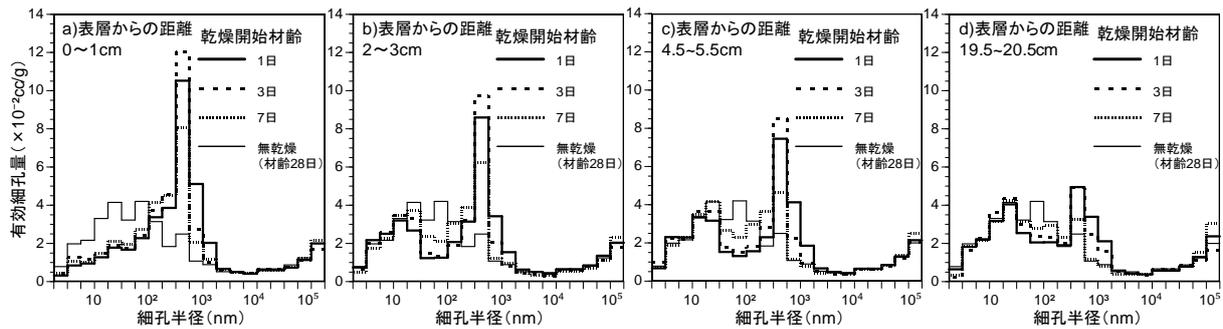
Inhomogeneous Distribution of Porosity from the Surface Layer to Internal Parts of Dried Concrete using Fly Ash

- Porosity at Three Months after casting -

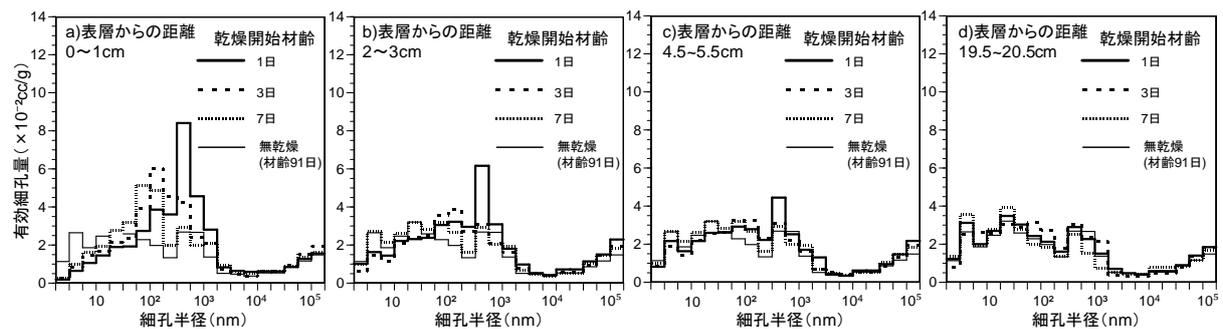
Jun ISHIKAWA, Noboru YUASA and Yoshio KASAI



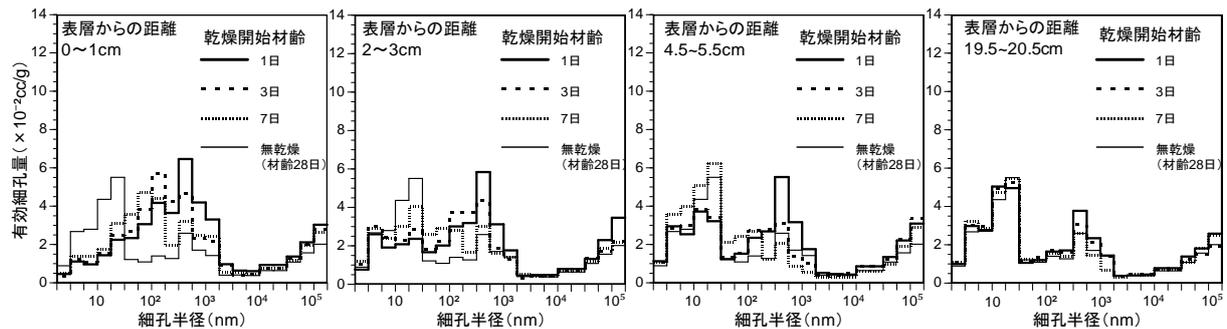
(a) 材齢 91 日、フライアッシュ置換率 40%



(b) 材齢 28 日、フライアッシュ置換率 40%



(c) 材齢 91 日、フライアッシュ置換率 0%



(d) 材齢 28 日、フライアッシュ置換率 0%

図-2 材齢及びフライアッシュ置換率の別の乾燥開始材齢の違いによる細孔径分布(水セメント比 80%)

2.3 細孔構造の測定

細孔構造の試料は、材齢 28 日目及び材齢 91 日目にそれぞれの試験体を乾燥面から図-1 に示す位置で切断し、2.5~5.0mm の粒度に調整した後、アセトン処理及び D-dry 処理を行って作製した。この試料を用いて、文献 1)と

同様に、水銀圧入による細孔構造の測定、溶解率、結合水率を測定し、単位セメントペースト当たりの細孔量(有効細孔量)として整理した。なお、フライアッシュの成分に塩酸で溶けない成分があることから、それを実験データに基づき補正した。

3. 実験結果及び考察

3.1 表層からの距離と細孔径分布

図-2 は、材齢とフライアッシュ置換率の違いによる細孔径分布を示したものである。

材齢 91 日と材齢 28 日のコンクリートでは、材齢の経過とともに細孔半径が 18nm~1000nm の範囲で有効細孔量が様に減少していることがわかる。この現象は内部にも見られるが、表層ほど、またフライアッシュを添加すると顕著である。

3.2 相対細孔径分布

図-3 は、細孔径分布において、乾燥を受けた場合及び材齢が経過した場合の細孔径分布の増減を検討するため、材齢 91 日無乾燥コンクリートに対する乾燥コンクリートの相対細孔径分布(乾燥コンクリートの有効細孔量-材

齢 91 日無乾燥コンクリートの有効細孔量)を示したものである。

材齢 91 日無乾燥のコンクリートに比べフライアッシュを添加した材齢 91 日のコンクリートは細孔量のピークが乾燥開始材齢を遅らせても乾燥開始材齢 1 日と同様に 320~560nm 程度の細孔半径に集中する。

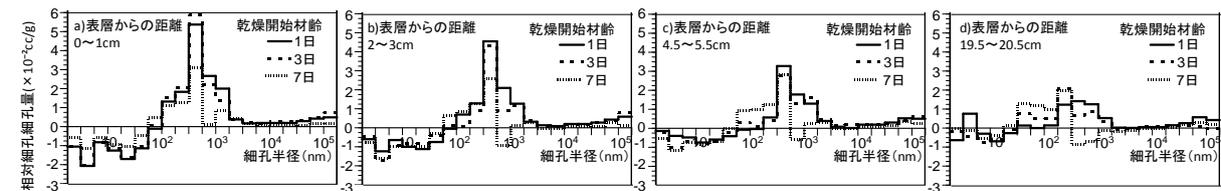
3.3 総有効細孔量

図-4 は、表層からの距離と総有効細孔量を示したものである。

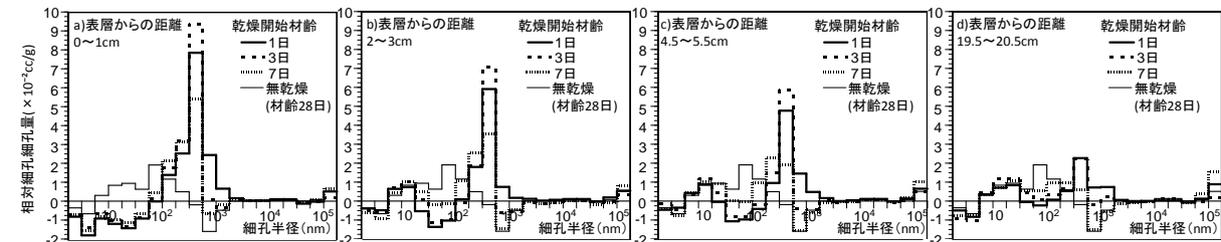
フライアッシュを添加した材齢 91 日のコンクリートは乾燥を受けても無乾燥であっても総有効細孔量に変化はあまりなかった。

3.4 メディアン半径

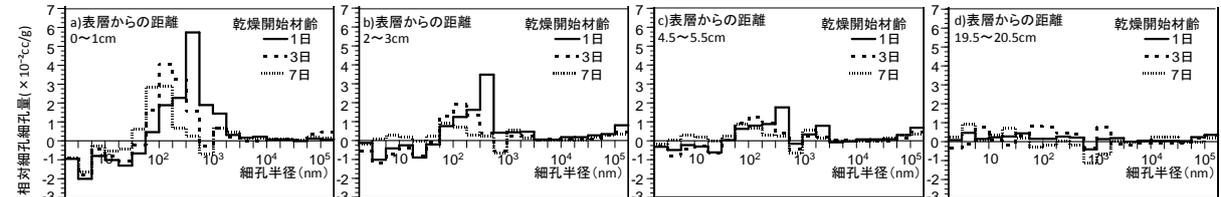
メディアン半径とは、水銀圧入法による測定で得られる累加細孔量において全体の 50%に



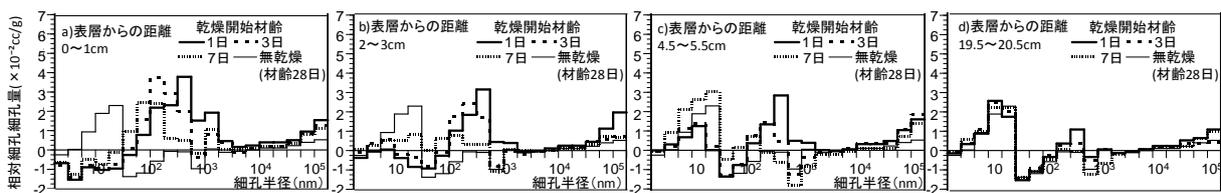
(a) 材齢 91 日、フライアッシュ置換率 40%



(b) 材齢 28 日、フライアッシュ置換率 40%

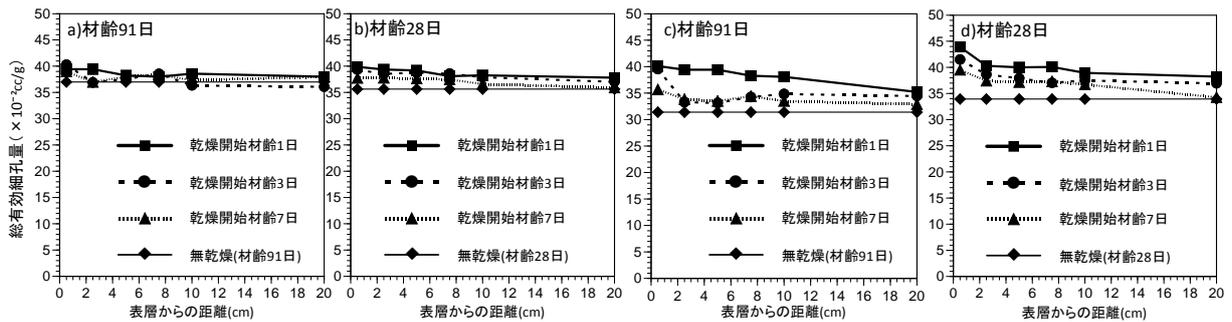


(c) 材齢 91 日、フライアッシュ置換率 0%



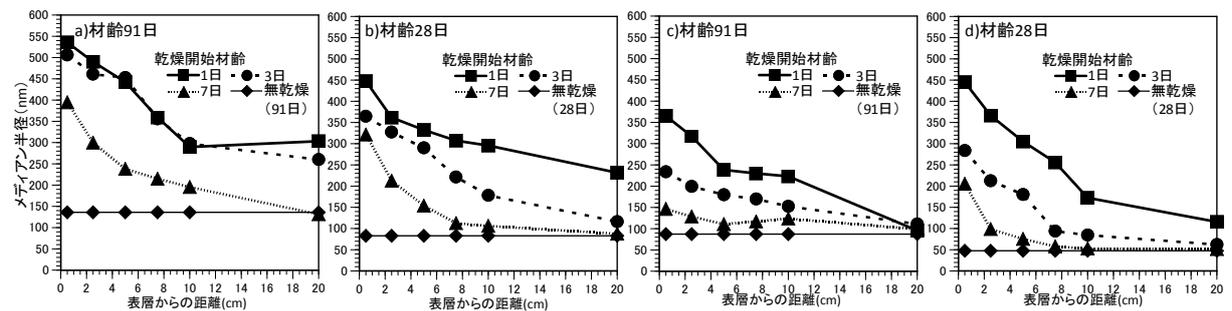
(d) 材齢 28 日、フライアッシュ置換率 0%

図-3 乾燥及び材齢により増減する細孔径分布 (水セメント比 80%、基準: 材齢 91 日無乾燥)



(a) 材齢 91 日、フライ アッシュ置換率 40% (b) 材齢 28 日、フライ アッシュ置換率 40% (c) 材齢 91 日、フライ アッシュ置換率 0% (d) 材齢 28 日、フライ アッシュ置換率 0%

図-4 表層からの距離と総有効細孔量(水セメント比 80%)



(a) 材齢 91 日、フライ アッシュ置換率 40% (b) 材齢 28 日、フライ アッシュ置換率 40% (c) 材齢 91 日、フライ アッシュ置換率 0% (d) 材齢 28 日、フライ アッシュ置換率 0%

図-5 表層からの距離とメディアン半径(水セメント比 80%)

相当する細孔半径である。

図-5 は、表層からの距離とメディアン半径を示したものである。

表層部分は、無乾燥のコンクリートに比べ、メディアン半径が大きくなる傾向にある。また内部では、フライアッシュを添加したコンクリートは材齢が 91 日経過してもメディアン半径が低下せず、粗い細孔構造となることがわかる。

4. まとめ

フライアッシュを用いたコンクリートが若材齢から乾燥を受けたことで生じる表層から内部にわたる不均質性について検討した結果は次の通りである。

- (1) 材齢の違いによる総有効細孔量の変化はあまりみられなかった。
- (2) 無乾燥のコンクリートに比べ乾燥を受けたフライアッシュを用いたコンクリートは 320~560nm の細孔半径にピークが集中する。

(3) 初期材齢に乾燥を受けたコンクリートは材齢 91 日経過しても、メディアン半径の観点では、内部にまで乾燥の影響が及び、緻密化せず粗い細孔構造のまま残ることがわかった。

謝辞 筆者の一人である日本大学名誉教授笠井芳夫先生は、本論文の執筆中である平成 23 年 10 月 18 日に他界された。先生のご尽力に感謝するとともに、ご冥福をお祈りいたします。

参考文献

- 1) 湯浅昇, 松井勇, 笠井芳夫: 乾燥を受けたコンクリートの表層から内部にわたる含水率, 細孔構造の不均質性, 日本建築学会構造系論文集, 第 509 号, pp.9-16, 1998 年 7 月
- 2) 日本原子力開発機構: 新型転換炉ふげん発所における原子炉補助建屋のコンクリートの強度の低い原因等について, <http://www.atom.pref.fukui.jp/senmon/dai42kai/no1-1.pdf>, 平成 20 年 1 月 16 日