

初期材齢に乾燥を受けた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不均質性

日大生産工(院) ○石川 潤 元日大生産工 笠井芳夫
同 湯浅 昇 同 松井 勇

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、経済的な観点から工事を早く進めるために、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と予想される。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¹⁾。コンクリート

構造物の強度や耐久性を把握する上でコンクリート表層の品質を調べることは非常に重要である。

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。日本原子力研究開発機構は、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²⁾している。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。

本報告は、フライアッシュの置換率が乾燥に伴う細孔構造の不均質性に及ぼす影響を検討したものであり、また、それを水セメント比の観点から考察したものである。

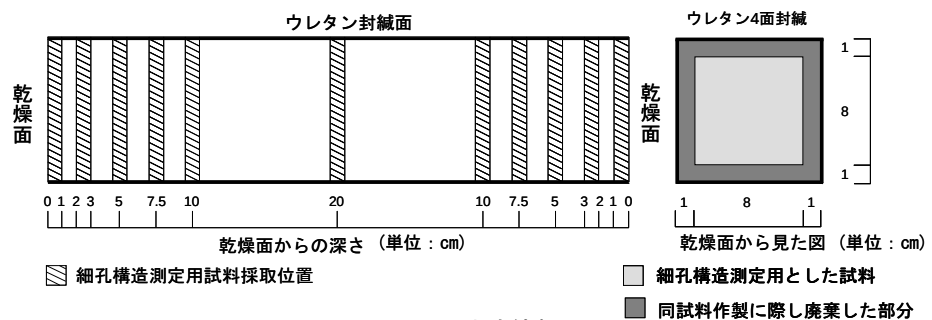


図-1 試験体概要

表-1 コンクリートの調査表と空気量・スランプ・強度の実測値

※100倍希釈															
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)	8N (g/m ³)	※303A (g/m ³)	※785D (g/m ³)	スランプ値 (cm)	空気量 (%)	練り温度 (℃)	圧縮強度 (N/mm ²)
80	0	46.6	180	225	－	859	1000	563	－	2700	－	18.5	3.8	22.5	15.6
	10			203	23	855	997		－	－	4800	19.0	4.8	21.5	17.6
	20			180	45	852	993		－	－	7500	17.5	5.0	21.0	16.1
	30			158	68	849	990		－	－	11200	20.5	4.2	21.0	10.2
	40			135	90	846	986		－	－	13500	20.0	4.2	22.0	7.26
60	0	47.2		300	－	842	954	750	－	1800	－	17.0	5.5	22.0	28.7
	10			270	30	838	950		－	－	4500	18.0	5.0	22.0	30.2
	20			240	60	833	945		－	－	10440	19.2	4.5	21.4	23.6
	30			210	90	829	940		－	－	13867	20.0	4.5	21.3	18.6
	40			180	120	825	935		－	－	18000	19.5	5.3	21.0	15.7
40	0	40.2		450	－	666	1007	－	2667	1500	－	18.0	4.8	22.0	41.6
	10			405	45	661	998	－	2000	－	8800	19.5	4.9	21.5	41.0
	20			360	90	655	990	－	1557	－	15000	18.5	4.7	21.5	40.8
	30			315	135	650	982	－	1400	－	23200	19.5	4.3	20.5	33.7
	40			270	180	645	974	－	1200	－	24000	18.0	4.5	22.0	25.8

Inhomogeneous Distribution of Porosity of Dried Concrete using Fly Ash

Jun ISHIKAWA, Noboru YUASA, Yoshio KASAI and Isamu MATSUI

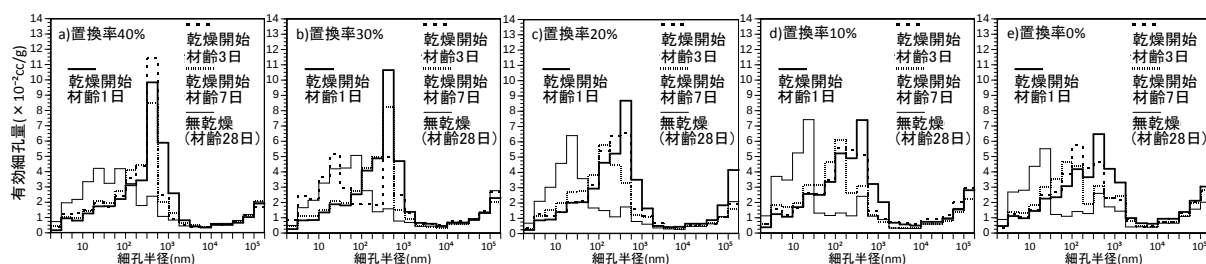


図-2 乾燥開始材齢の違いによる0~1cmの細孔径分布の相違(W/C=80% 材齢28日)

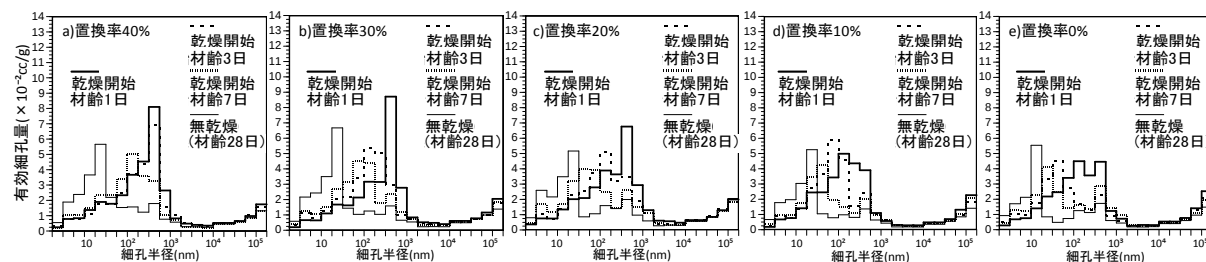


図-3 乾燥開始材齢の違いによる0~1cmの細孔径分布の相違(W/C=60% 材齢28日)

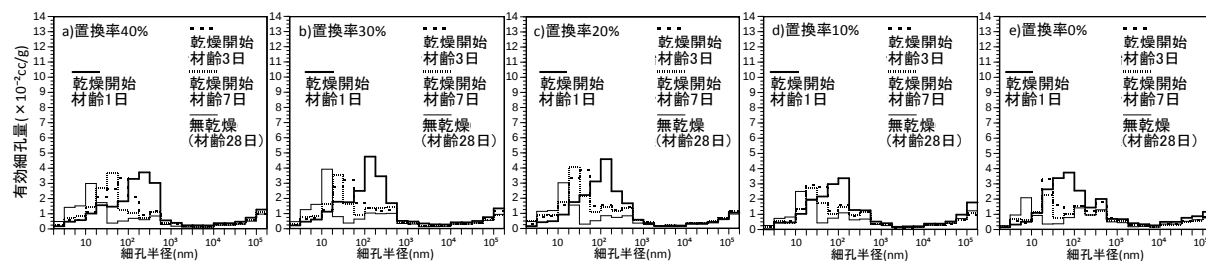


図-4 乾燥開始材齢の違いによる0~1cmの細孔径分布の相違(W/C=40% 材齢28日)

2. 実験の概要

(1) フライアッシュの混合

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%、30%、20%、10%、0%で混合したものをフライアッシュセメントとして扱った。

(2) コンクリートの材料、調合及び打込み

(1) 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(No.70もしくは8N、303A もしくは785D)を使用し、表-1 に示した調合表に基づき、水セメント比80、60、40%のコンクリートを練り混ぜた。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)。表-1 に、使用したコンクリートの圧縮強度(20℃、封緘養生)を併記した。

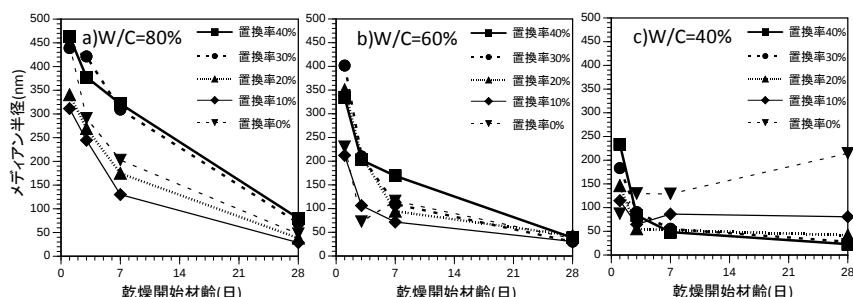


図-5 乾燥開始材齢とメディアン半径の違い
(表層0~1cmにおける置換率の相違)

(3) 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、3、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極後から乾燥は一切させていない)し、材齢28日まで乾燥させた(図-1)。

(4) 細孔構造の測定

細孔構造用試料は、材齢28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、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 置換率の違いによる影響について

図-2、図-3、図-4は、それぞれ水セメント比80%、60%、40%の試験体について、置換率ごとに乾燥開始材齢の違いによる細孔径分布の相違（表層0~1cm、材齢28日）を示したものである。また、図-5は、乾燥開始材齢とメディアン半径（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%に相当する細孔半径）の関係を示している。乾燥を受けたフライアッシュを用いたコンクリートは、無乾燥のコンクリートに比べ、半径180nm以上の細孔量が増加し、逆に180nm未満の細孔量が減少していることがわかる。これは乾燥によりセメントの水和反応が阻害された結果と考えられ、乾燥によって細孔半径が180nm以上の細孔がそれ以下に緻密化せず存在してしまったためと考えられる。

置換率の大きいコンクリートは、乾燥開始材齢が3日、7日であっても乾燥開始材齢1日に近い粗大な径に細孔量のピークがみられる。この傾向は乾燥開始材齢が早いほど、水

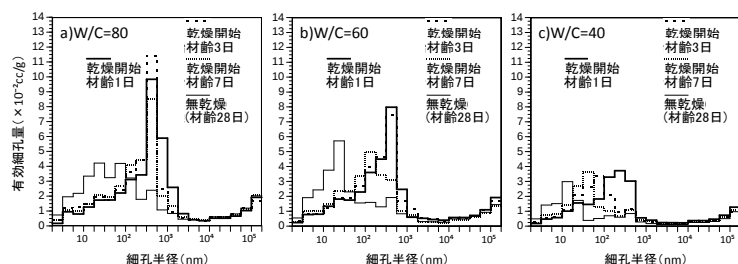


図-6 乾燥開始材齢の違いによる0~1cmの細孔径分布の相違(置換率40% 材齢28日)

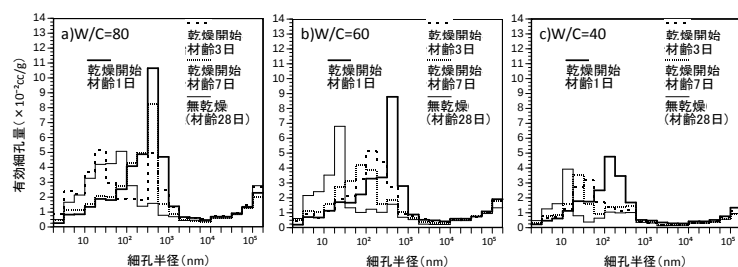


図-7 乾燥開始材齢の違いによる0~1cmの細孔径分布の相違(置換率30% 材齢28日)

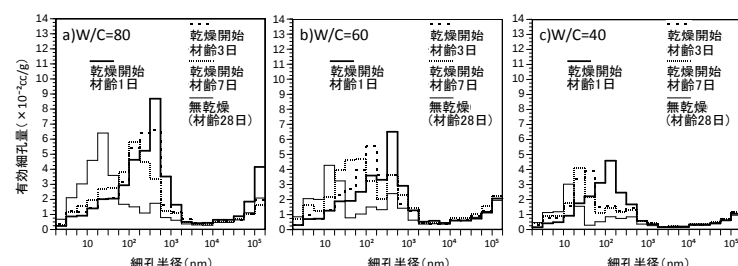


図-8 乾燥開始材齢の違いによる0~1cmの細孔径分布の相違(置換率20% 材齢28日)

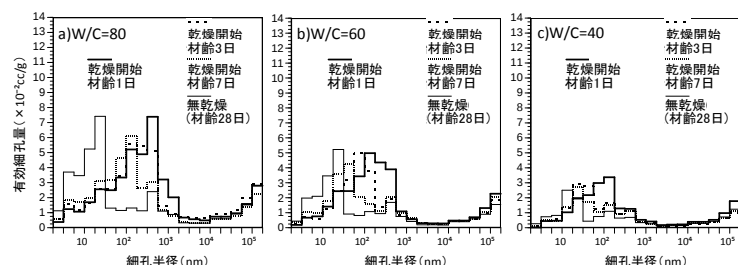


図-9 乾燥開始材齢の違いによる0~1cmの細孔径分布の相違(置換率10% 材齢28日)

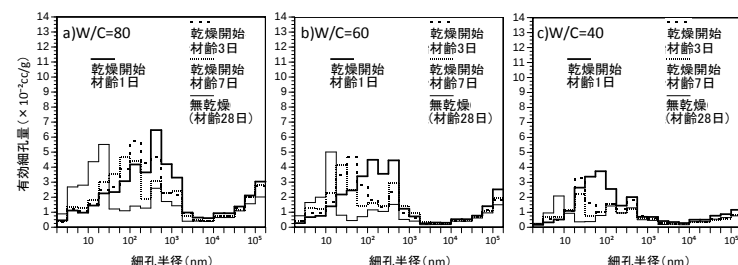


図-10 乾燥開始材齢の違いによる0~1cmの細孔径分布の相違(置換率0% 材齢28日)

セメント比が高いほど顕著である。置換率の小さいコンクリートは、乾燥開始材齢を遅らせることで、細孔量のピークが小さな径に移行していることがわかる。また、メディアン

半径をみると、置換率の小さいコンクリートは、乾燥開始材齢を遅らせることで、細孔量のピークが徐々に小さな径になり、無乾燥で見られる緻密なコンクリートを形成することがわかる。

3.2 水セメント比の違いによる影響について

図-6、図-7、図-8、図-9、図-10 はそれぞれ置換率 40%、置換率 30%、置換率 20%、置換率 10%、置換率 0%について、水セメント比ごとに、乾燥開始材齢の違いによる細孔径分布の相違（表層 0～1cm、材齢 28 日）を示したものである。また図-11 は、乾燥開始材齢とメディアン半径の関係を示している。置換率の違いがそうであつたように、水セメント比の高いコンクリートは乾燥開始材齢が 3 日、7 日であっても乾燥開始材齢 1 日に近い粗大な径に細孔量のピークが見られる。この影響は乾燥開始材齢が早いほど、置換率が高いほど顕著である。またメディアン半径では水セメント比の低いコンクリートは乾燥開始材齢を遅らせることで、細孔量のピークが徐々に小さな径に移行し、無乾燥で見られる緻密なコンクリートを形成することがわかる。

以上より材齢初期に乾燥を受けたフライアッシュを内割混合したコンクリートの細孔構造の不均質性に及ぼす影響は置換率の違いによる影響よりも水セメント比による影響が顕著に出たことがわかる。

4. まとめ

フライアッシュの置換率が乾燥に伴う細孔構造の不均質性に及ぼす影響を水セメント比の影響とともに検討した結果は、次の通りである。

- (1) 置換率の小さいコンクリートでは、乾燥開始材齢を遅らせることで、細孔量のピークは小さな径に移行する。

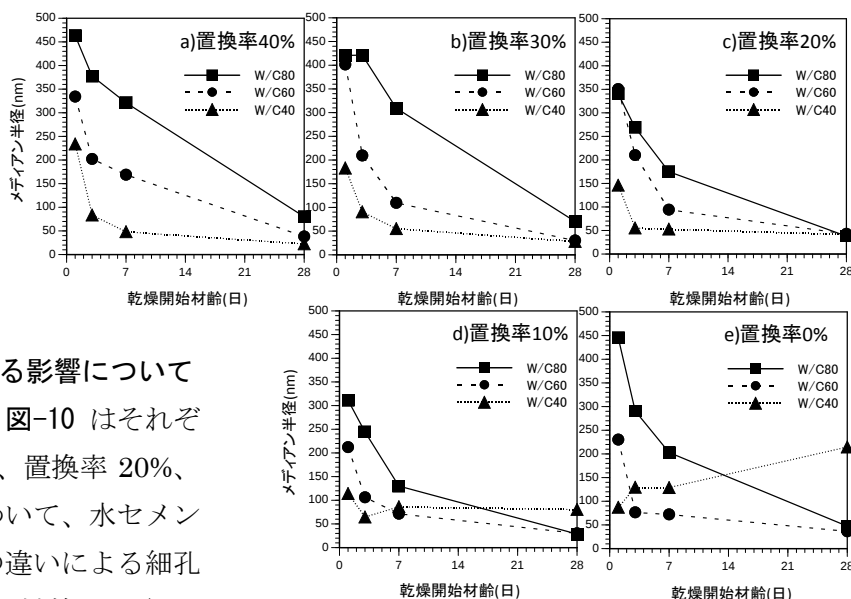


図-11 乾燥開始材齢とメディアン半径の違い
(表層 0～1cm における水セメント比の相違)

- (2) 置換率の大きいコンクリートは乾燥開始材齢の遅れに伴うメディアン半径の低下が鈍い。
- (3) 水セメント比の小さいコンクリートでは、乾燥開始材齢を遅らせることで、細孔量のピークが小さな径に移行する。
- (4) 水セメント比の大きいコンクリートでは、乾燥開始材齢の遅れに伴うメディアン半径の低下が鈍い。

【参考文献】

- 1) 湯浅昇・笠井芳夫・松井勇：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、平成10年7月
- 2) 日本原子力研究開発機構：新型転換炉ふげん発電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、平成19年12月28日
- 3) 湯浅昇・笠井芳夫・松井勇：フライアッシュを内割り添加したコンクリートの乾燥に伴う表層から内部の不均質性、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1、pp. 785-786、2009年8月
- 4) 石川潤・湯浅昇・笠井芳夫・松井勇：フライアッシュを内割り添加したコンクリートの乾燥に伴う表層から内部までの不均質性、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1、pp. 745-746、2010年8月