

高炉スラグ微粉末を内割混合したコンクリートの乾燥に伴う

表層から内部にわたる細孔構造の不均質性

—その2 材齢 28 日における細孔構造—

日本生産工(院) ○三浦彰吾 日大生産工 湯浅 昇

1. はじめに

製鉄所で銑鉄を造る際の産業副産物である高炉スラグ微粉末は、高炉セメントとして用いた場合、水和熱の低減、アルカリ骨材反応の抑制効果や硫酸塩など化学物質に対する抵抗性が高いなどの特徴がある。特に近年では、資源の有効利用や CO₂排出量が普通ポルトランドセメントに比べ少ないなどの環境問題の観点から高炉セメントの使用量は増加する傾向にある¹⁾。

ただし、高炉セメントを用いたコンクリートは、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートに比し、材齢初期の水和反応及びそれに伴う強度発現が遅く、十分な湿潤養生が必要とされる。

筆者らは、乾燥に伴うコンクリートの表層から内部にわたる不均質性を評価してきたが、高炉スラグ微粉末を混合した場合の不均質性については、詳細には検討していなかった²⁾。

本研究は、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの乾燥に伴う表層から内部にわたる不均質性を細孔構造の観点から検討したものであり、本報では、材齢 28 日における細孔構造について示す。

2. 実験概要

2.1 試験水準

表-1 に、試験水準を示す。水セメント比は 80%、60%、40%の 3 水準、研究用ポルトランドセメントに対する高炉スラグ微粉末の置換率（以降、高炉スラグ置換率と略す）を 70%、50%、30%、10%、0%の 5 水準、乾燥開始材齢は 1 日、3 日、7 日、28 日（材齢 28 日で試

表-1 試験因子と水準

因子	水準数	水準
水セメント比	3	80%、60%、40%
置換率	5	70%、50%、30%、10%、0%
乾燥開始材齢	5	1日、3日、7日、28日、91日
試料採取位置 (表層からの距離)	6	0~1cm、2~3cm、4.5~5.5cm 7~8cm、9.5~10.5cm、19.5~20.5cm

表-2 調査表

W/C (%)	置換率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	単位量(kg/m ³)				No.70 (g/m ³)	8N (g/m ³)	303A (g/m ³)	スランプ値 (cm)	空気量 (%)	練り温 (°C)	圧縮強度(N/mm ²)				
			セメント	高炉スラグ	細骨材	粗骨材							1日	3日	7日	28日	91日
80	70	180	68	158	854	993	563	-	3468	21.5	4.5	20.0	1.1	3.2	6.9	15.2	20.5
	50		113	113	855	995			3315	16.5	4.9	22.0	1.4	3.6	6.4	13.9	23.5
	30		158	68	857	997			3161	16.5	4.8	22.0	1.7	6.7	10.6	20.8	22.7
	10		203	23	858	999			2854	17.5	4.4	21.5	3.0	9.4	14.6	23.4	24.9
	0		225	0	859	1000			2700	18.5	3.8	22.5	2.7	9.0	14.3	21.8	24.2
60	70		90	210	833	946	750	-	3856	19.0	4.0	22.0	1.8	7.0	13.5	23.8	33.9
	50		150	150	836	949			2988	20.5	4.6	23.0	2.8	6.9	12.0	23.4	33.4
	30		210	90	838	951			2344	20.0	4.1	22.5	3.6	5.7	17.9	30.8	35.4
	10		270	30	840	954			1896	20.0	4.3	23.5	4.5	15.4	22.2	32.5	33.9
	0		300	0	841	955			1800	17.0	4.0	21.0	4.0	14.7	21.8	30.3	32.9
40	70		135	315	656	991	-	2880	2800	19.5	4.7	21.0	8.3	14.8	31.0	43.3	49.6
	50		225	225	659	996			2000	23.3	4.7	22.0	8.7	15.2	29.7	52.7	55.5
	30		315	135	662	1000			1500	17.5	4.5	21.5	14.0	18.7	30.6	50.0	52.3
	10		405	45	665	1004			1100	17.5	4.2	21.0	20.4	34.7	39.8	54.5	53.5
	0		450	0	666	1006			800	18.0	4.8	22.0	18.1	33.1	39.1	50.8	51.9

* 100倍希釈

Inhomogeneous Distribution of Porosity from the Surface Layer to Internal Parts of Dried Concrete using Blast Furnace Slag

— Part 2 Porosity at 28 days after casting —

Syogo MIURA and Noboru YUASA

料の作製を行った場合は無乾燥)、91 日(無乾燥)の 5 水準、試料採取位置は表層からの距離が 0～1cm、2～3cm、4.5～5.5cm、7～8cm、9.5～10.5cm、19.5～20.5cm の 6 水準とする。

2.2 試験体概要

試験体は、図-1 に示す 10×10×40cm の角柱供試体とした。使用材料は、高炉スラグ微粉末(表乾比重 2.89)、研究用ポルトランドセメント(表乾比重 3.16)、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)および化学混和剤(No. 70 および 303A)であり、表-2 に示した調合表に基づきコンクリートを練混ぜた。

2.3 乾燥(養生)条件

コンクリート打設後、材齢 1 日において試験体を脱型し、側面(10×40cm)にはエポキシを塗布し乾燥を防ぎ、乾燥面にはビニールシートを密着させることにより封緘養生とした。その後、所定の乾燥開始材齢でビニールシートをはがし、材齢 28 日および材齢 91 日まで試験体を温度 20℃、相対湿度 60% ほぼ無風の恒温恒湿室内に静置し乾燥させた。

2.4 水銀圧入法及び塩酸による細孔構造の測定

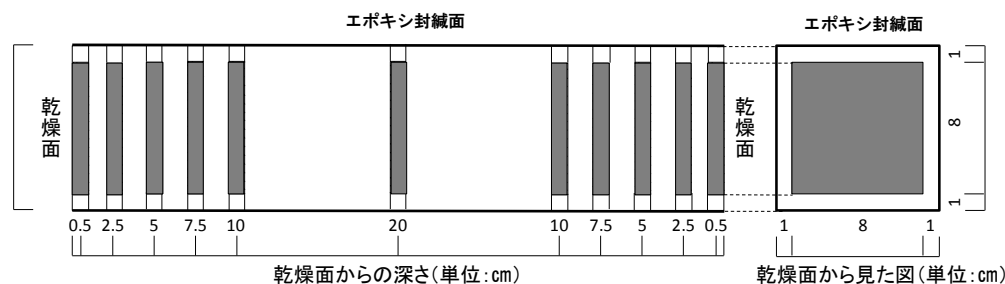


図-1 試験体概要

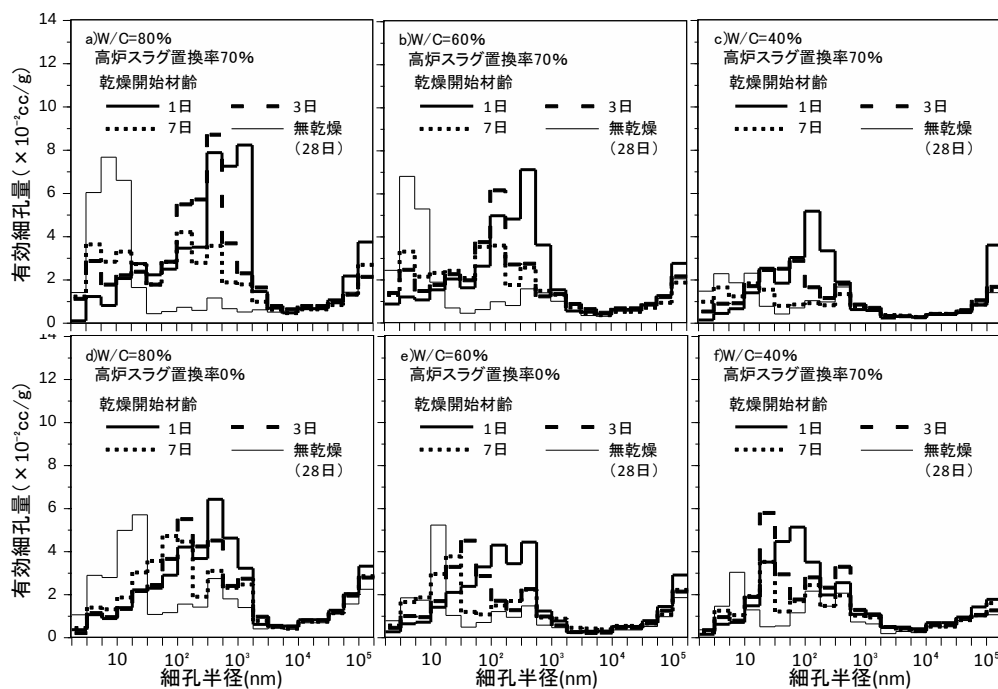


図-2 表層コンクリートの細孔径分布(材齢 28 日)

材齢 28 日および材齢 91 日にそれぞれの試験体を所定の位置で切断し、2.5～5.0mm に粒度調整した後、アセトン処理および D-dry 処理を行い、これを測定用試料とした。

この試料を文献 3) と同様に水銀圧入法および塩酸法により細孔構造の測定を行った。測定範囲は $3.2 \sim 1.8 \times 10^5 \text{ nm}$ である。水銀圧入法により測定された細孔量(cc/g)と塩酸法により求めた溶解率(g/g)を用いて、硬化セメントペースト部分の細孔量(有効細孔量(cc/g))として整理した。

この有効細孔量を細孔半径ごとの分布に示したものを細孔径分布、有効細孔量の合計を総有効細孔量、累加細孔量において全体の 50%

に相当する細孔半径をメディアン半径とする。

3. 実験結果及び考察

3.1 材齢 28 日における細孔径分布

図-2 は、表層 1cm 部分の細孔径分布を示したものである。

細孔径分布のピークは、乾燥開始が早いほど大きな径にみられ、有効細孔量も増大した。水セメント比が高いほどこの傾向は顕著に表れた。乾燥開始を遅らせることにより細孔は緻密になっていくが、無乾燥のコンクリートと比較すると表層の細孔は粗大であるといえる。既往の研究³⁾で、乾燥開始が早いほど、細孔が大きな径に偏るとともに全体の細孔量は増大することがわかっており、今回の実験においても同様の結果が得られた。

高炉スラグ置換率の高いコンクリートの細孔径分布は、高炉スラグ置換率 0% コンクリートと比べ乾燥開始が早いほどピークの有効細孔量は増大し、ピークの幅も粗大な径にまで及んだ。乾燥開始を遅らせることにより粗大な径の有効細孔量は高炉スラグ置換率 0% より多いものの、緻密な径の有効細孔量

も増加した。

3.2 材齢 28 日における相対細孔径分布

図-3 は、細孔径分布において、乾燥の影響を受けた場合の細孔径分布の増減を検討するため、材齢 28 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 28 日無乾燥コンクリートの有効細孔量）について示したものである。

乾燥を受けたコンクリートは、無乾燥のコンクリートに比べ、細孔半径 10nm～32nm 以上の細孔が増加し、逆に細孔半径 10nm～32nm 以下の細孔が減少した。この現象は、水セメント比、高炉スラグ置換率、乾燥開始材齢などによる違

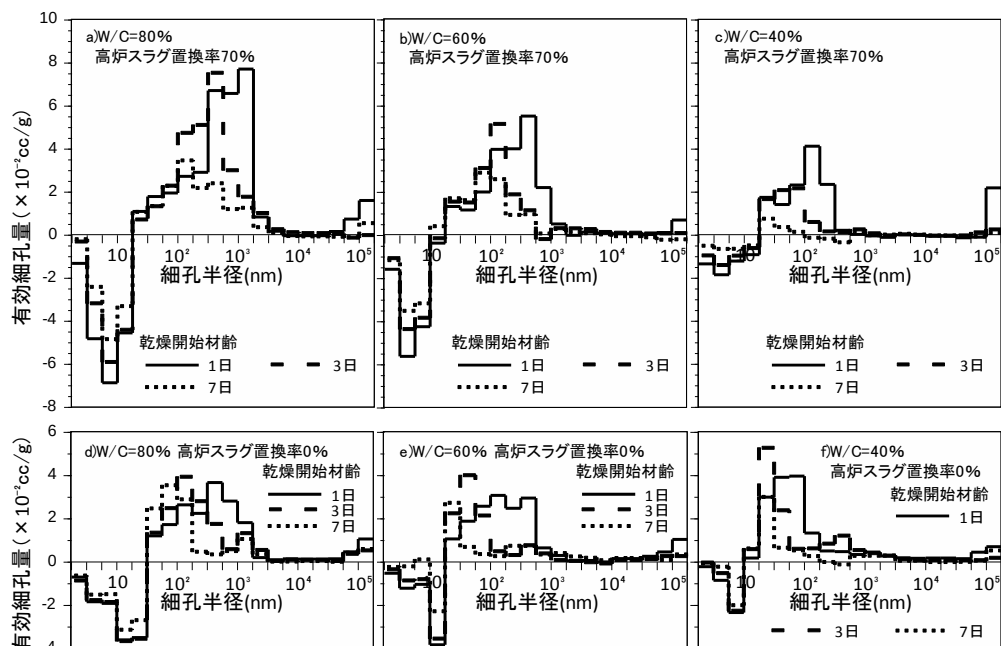


図-2 乾燥により増減する細孔径分布（材齢 28 日）

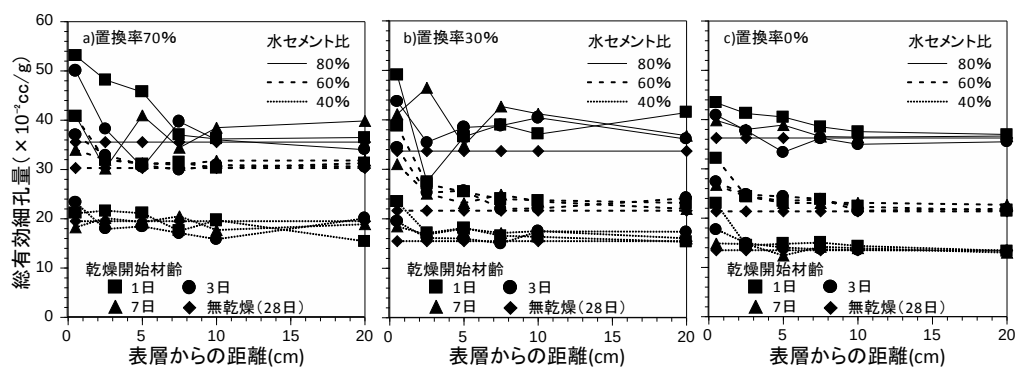


図-4 表層からの距離と総有効細孔量の関係（材齢 28 日）

いはみられず、一様にこの値で増減が変化した。水セメント比が高いほど、高炉スラグ置換率が高いほど、この細孔の増減量は大きく、増加する細孔は大きな径にまで及んだ。

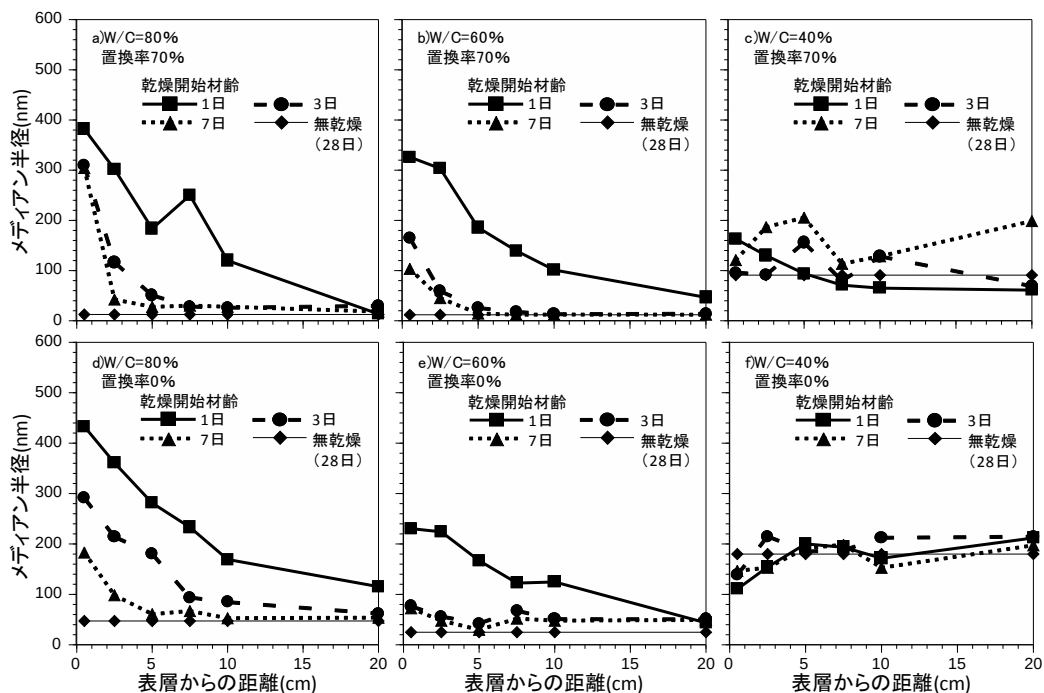


図-5 表層からの距離とメディアン半径の関係（材齢 28 日）

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の関係を示したものである。

表層部分の総有効細孔量は、無乾燥の場合に比べ、乾燥開始が早いほど多くなった。この傾向は、水セメント比及び高炉スラグ置換率が高いほど顕著に現れるが、高炉スラグ置換率の違いによる差は、水セメント比の違いによる差に比べて小さいことから、乾燥に伴う総有効細孔量の増加には、水セメント比の影響が大きいことがわかる。表層から内部に進むにつれ細孔は緻密化していき、無乾燥との差はみられなくなった。

3.4 メディアン半径

図-5 は、表層からの距離とメディアン半径の関係を示したものである。

メディアン半径は、乾燥の影響が小さいと思われる内部であっても、乾燥開始材齢の違いによる差がみられた。この傾向は、水セメント比及び高炉スラグ置換率が高いほど顕著である。

4. まとめ

高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートに

ついて、乾燥に伴う表層から内部にわたる不均質性を検討した結果は、以下の通りである。

- (1) 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、乾燥開始が早いほど、粗大な細孔となるが、初期養生を十分に行えば 緻密な細孔構造となる。
- (2) 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、置換率が高いほど、総有効細孔量は増加するが、水セメント比の違いに比べ変化は小さい。

参考文献

- 1) 鉄鋼スラグ協会：高炉セメント百年史、pp.2-16、2010
- 2) 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、pp9-16、1998
- 3) 湯浅昇、笠井芳夫、松井勇、露木尚光：各種セメントを用いたコンクリートの乾燥に伴う内部不均質、セメント協会セメント・コンクリート論文集 No.498、pp60-65、1995