

異なるセメント種類および混和材料を用いたコンクリートの空隙構造に関する一考察

名古屋工業大学大学院	学生会員	○落合 昂雄
名古屋工業大学大学院	正会員	吉田 亮
名古屋工業大学	学生会員	佐藤 雄貴
東京大学生産技術研究所	正会員	岸 利治

1 はじめに

コンクリートの中性化や塩害，乾燥収縮などをはじめとする多くの劣化現象には，劣化因子の移動経路となる空隙構造が深く関係し，空隙構造が構造物の耐久性に大きな影響を及ぼすと考えられる．コンクリートは使用材料や配合，養生条件・期間などにより空隙構造が複雑に変化することから，耐久性を評価するためには，空隙構造の把握が求められる．

本研究では，異なるセメント種類および混和材料を使用することで空隙構造を変化させ，使用材料の相違が空隙構造に及ぼす影響について検討を行った．

2 実験概要

2. 1 使用材料・配合

使用材料を表-1，配合とフレッシュ性状を表-2 に示す．セメントは普通ポルトランドセメント(OPC)および中庸熱ポルトランドセメント(MPC)を使用し，骨材は瀬戸産の砕砂および砕石を使用した．混和材として高炉スラグ微粉末(BFS)，フライアッシュ(FA)，シリカフューム(SF)を使用し，それぞれの置換率は普通ポルトランドセメントに対し内割で 45%，15%，15%とした．

本研究では空隙構造への空気泡の影響を少なくするために空気量を 2.0%以下に設定し，混和剤量により空気量を調節した．水結合材比は 60%とし，φ100×200 mm の円柱供試体を作製した．供試体は打設した翌日に脱枠し，材齢 28 日まで水中養生を行った．

表-1：使用材料

記号	名称	密度(g/cm ³)	備考
C	普通ポルトランドセメント	3.15	
M	中庸熱ポルトランドセメント	3.21	
BFS	高炉スラグ微粉末	2.88	比表面積:4200 cm ² /g
FA	フライアッシュ	2.28	比表面積:4420 cm ² /g
SF	シリカフューム	2.2	比表面積:18.7 m ² /g
W	水道水	-	
S	瀬戸産砕砂	2.68	
G	瀬戸産砕石	2.71	G _{max} = 20 mm
SP	高性能AE減水剤	-	

表-2：配合およびフレッシュ性状

種別	W/B (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)								混和剤(g/m ³)		スランプ (cm)	空気量 (%)	C.T (°C)
			W	C	M	S	G	BFS	FA	SF	SP	消泡剤			
基準60	60	47	165	275	-	929	1060	-	-	-	3025	24.8	8.0	1.5	27.4
中庸熱60	60	47	165	-	275	929	1060	-	-	-	3025	24.8	9.5	1.0	26.7
BFS45	60	47	165	151	-	929	1060	124	-	-	2200	24.8	8.5	1.7	26.8
FA15	60	47	165	234	-	929	1060	-	41	-	2475	24.8	10.0	1.6	27.1
SF15	60	47	165	234	-	929	1060	-	-	41	4400	35.8	10.0	1.9	28.0

2. 2 空隙構造分析

試料は前述の円柱供試体よりタガネとハンマーを用いて採取し，1辺 8 mm 程度の立方体に成形した後に，水和反応の停止を目的としてアセトンに浸漬させた．その後真空乾燥を7日間行い，空隙構造分析に使用した．

空隙構造分析は，Micromeritics 社製 AutoPoreⅢを使用して水銀漸次繰返し圧入法を行った¹⁾²⁾．空隙径の算出には，Washburn 式に接触角 $\theta=130^\circ$ ，水銀の表面張力 $\gamma=484 \text{ dyn/cm}$ を用いた．測定は排出 - 圧入を繰り返す圧入過程を設定し，各段階の圧入過程においてそれぞれ 0 MPa から最高圧力まで圧入し，排出後，次段階の圧入過程に進む．

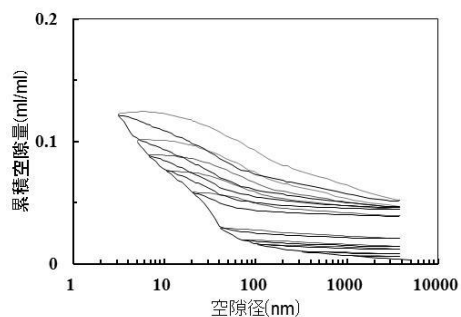


図-1：累積空隙量曲線(OPC)

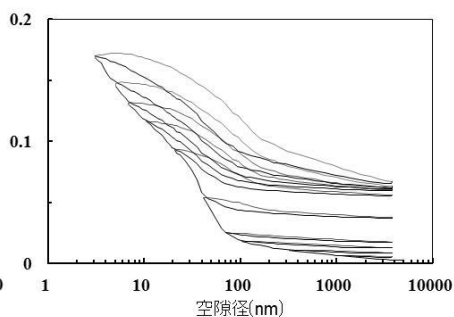


図-2：累積空隙量曲線(中庸熟)

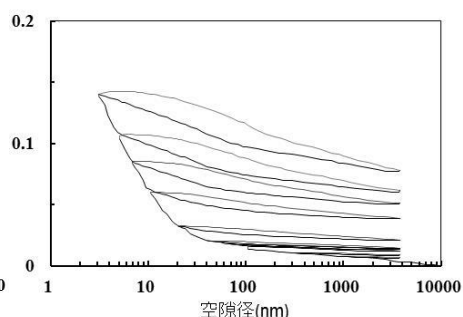


図-3：累積空隙量曲線(BFS)

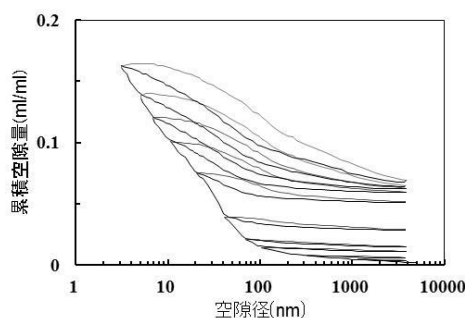


図-4：累積空隙量曲線(FA)

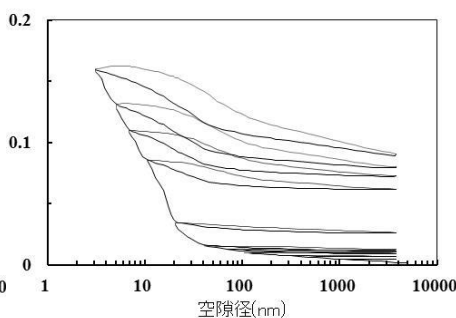


図-5：累積空隙量曲線(SF)

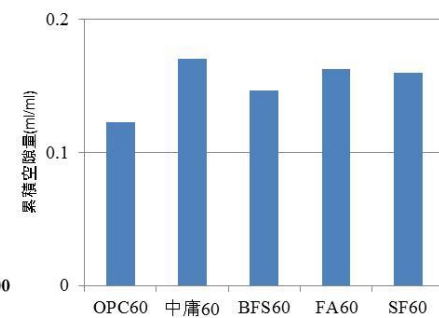


図-6：全空隙量の比較

3 実験結果および考察

各試料の累積空隙量曲線を図 - 1～図 - 5 に示し、全空隙量を図 - 6 に示す。水銀が試料内部へ急激な圧入を始める空隙径に着目すると、OPC および MPC の場合では 80 nm 程度であるのに対し、ポゾラン系材料を混和した試料(BFS, SF)では 40 nm 程度であることが観察される。さらに OPC および MPC の累積空隙量曲線には変曲点が 2 ヶ所存在しており、この変曲点は空隙径分布上での 2 ヶ所のピークを表している。この曲線形状の変化を合わせて検討すると、OPC および MPC を使用した試料(図 - 1～図 - 2)とポゾラン系材料を混和した試料(図 - 3～図 - 5)に大別できる。OPC および MPC を使用した試料について見ると、曲線形状の特徴は同様であるが、図 - 6 から水和反応が緩やかな MPC では全空隙量が多いことがわかる。また OPC では 20 ～40 nm、MPC では 20～70 nm においてインクボトル空隙量が多く表れる特徴を確認できる。

つぎにポゾラン系材料(図 - 3～図 - 5)では、図 - 6 から OPC よりも全空隙量が多いことがわかる。BFS(図 - 3)および SF(図 - 5)を混和した試料について見ると、OPC とは異なり 20 nm 以下において多量のインクボトル空隙を観察でき、特に 10 ～20 nm においてインクボトル空隙の量が増加することを観察できる。しかし、同じくポゾラン系材料である FA(図 - 4)を混和した試料について見ると、水銀が急激な圧入を始める空隙径が 80 nm 程度であり、インクボトル空隙が 20 ～70 nm にかけて多く観察されることから、OPC や MPC に近い傾向が観察された。

4 まとめ

本研究では、異なるセメント種類や混和材料を用いてコンクリートの空隙構造を変化させた供試体を作製し、水銀漸次繰返し圧入法による空隙構造分析を行った。OPC および MPC では累積空隙量曲線に 2 ヶ所の変曲点を有し、空隙径分布に 2 ヶ所のピークが存在することを確認できた。またポゾラン系材料の混和により、インクボトル空隙量が 20 nm 以下において増加する傾向を観察した。

【参考文献】1)吉田亮, 岸利治: 水銀の漸次繰返し圧入による空隙の連続性抽出と有効圧力範囲に関する研究, 東大生研研究速報, 60 巻, 5 号, pp.126-129, 2008.

2)吉田亮, 岸利治ほか: 高炉スラグ微粉末を添加したセメントペースト硬化体の空隙構造に関する一考察, 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-415, pp.829-830, 2010.9