

品質の異なるフライアッシュを使用したモルタルの長期諸特性

清水建設(株) 正会員 ○矢ノ倉ひろみ 杉橋直行 高橋圭一
 日本原燃(株) 正会員 庭瀬一仁 工藤淳 浪岡翔吾
 (株)ニュージェック 正会員 枝松良展

1. はじめに

低レベル放射性廃棄物余裕深度処分施設の人工バリアとなる低拡散層は、セメント系材料の高流動モルタルで設計されている。この高流動モルタル製造過程の品質保証について、フライアッシュの品質変動への対応や実施工を考慮した品質管理基準の設定が必要とされている。筆者らは、この高流動モルタルの製造過程におけるフライアッシュの品質（化学組成・比表面積）と初期養生の相違、供試体形状が力学特性や物質移行特性に与える影響を把握し、品質管理基準の策定に資するデータを取得することを目的とした一連の研究^{1),2)}を実施している。本報はこのうち、低拡散性を定量化するうえで

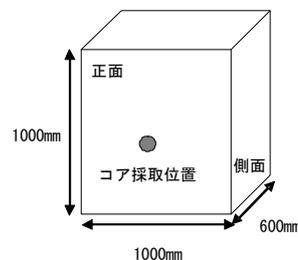


図-1 ブロック供試体とコア採取位置

重要となるひび割れと拡散係数に係る特性として強度発現と空隙特性について、既報^{1),2)}に続き、長期材齢での試験結果をまとめたものである。

表-1 フライアッシュの品質

FA名	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Cl	ig.loss	フレンアール 吸着量 (mg/g)	フーデ比	活性度指数 (%)	
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	4W	13W
高Ca品(FA①)	2.43	4.014	46.23	22.80	8.04	13.55	2.12	1.18	2.14	2.01	0.85	0.14	<0.001	0.2	0.07	116	81	98
低フレン品(FA②)	2.03	3.180	61.83	24.68	4.13	3.14	1.35	0.20	1.24	0.72	1.36	0.03	<0.001	0.8	0.17	97	74	89
JIS II 種品(FA③)	2.15	3.850	61.73	24.15	4.11	2.78	1.29	0.35	1.12	0.90	1.34	0.04	<0.001	1.4	0.25	106	85	103

表-2 配合

供試体	W/B (%)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)					
				W	LPC	FA	LEX	LS	S
①, ②	45.0	65±5	2.5±1.5	230	338	153	20	230	1273
③				230	338	153	20	307	1223

LPC: 低熱ポルトランドセメント, FA: フライアッシュ, LEX: 膨張材, LS: 石灰石微粉末 (比表面積 5050cm²/g), S: 砕砂, B=LPC+FA+LEX

表-3 試験材齢

供試体	7日	28日	91日	180日	365日 (1年)	1143日 (3.1年)	2118日 (5.8年)
①円柱供試体	○	○	○	○	○	○	○
②ブロック供試体	-	-	-	-	○	○	-
③実規模L型供試体	-	-	○	○	○	-	○

2. 試験概要

品質が異なる3種類のフライアッシュを用いた①円柱供試体(φ10×20cm)、②ブロック供試体(図-1, 100^W×60^D×100^Hcm)からのコア供試体、③実規模L型供試体¹⁾からのコア供試体について圧縮強度を求め、②供試体については細孔径分布(水銀圧入法による)も求めた。フライアッシュは表-1に示す品質で、JIS II種の規格に相当する試料(FA③)、CaO量が多い試料(FA①)、そして比表面積(ブレン値)が低い試料(FA②)の3種類である。試験に用いた高流動モルタルの配合を表-2に示す。試験はそれぞれ表-3に示す材齢で実施した。①の円柱供試体は、標準養生と余裕深度処分施設を対象とした地下100m程度の位置にある試験空洞内(湿度常時R.H.90%程度以上)での気中養生の2種類の養生とし、②のブロック供試体は、試験空洞内に配置し、養生有(打設後33日間湿潤養生、その後気中養生)と養生無(打設2日後に脱型、その後気中養生)とした。③の実規模L型試験体はFA③を使用し、試験空洞で実施工を模擬して製造されたものである。

3. 試験結果と考察

圧縮強度と有効材齢との関係を供試体別に図-2、図-3、図-4に示す。ここで、有効材齢t(日)は、 $t=M/30$, M: 積算温度, $M=\sum(\theta+10)\times\Delta t$, Δt : 養生温度 θ の期間(日), θ : 標準養生=20°C, 気中養生=空洞内温度(°C)として算定した。

フライアッシュの品質、供試体、養生方法の違いによらず、材齢に伴って圧縮強度は増加した。今回使用した高

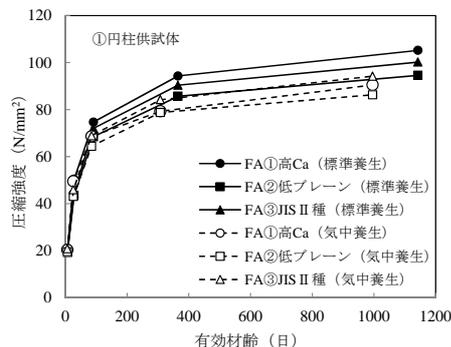


図-2 円柱供試体の圧縮強度

キーワード フライアッシュ, 圧縮強度, 空隙率, 積算温度

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋2丁目16-1 清水建設株式会社 TEL03-3561-3919

流動モルタルの圧縮強度は、最も増進が小さい③供試体の材齢 2118 日 (5.8 年) の材齢 365 日 (1 年) に対する圧縮強度比でも 1.1~1.2 倍程度あり、一般のコンクリートに比べて、長期材齢でも増進することが確認できた。

また、ブレン値が低い FA②を使用した供試体は、長期材齢になるとほかの供試体より圧縮強度が小さくなる傾向が顕著になる。これは、ブレン値が低い方が、ポズラン反応の活性が小さくなることによると考えられる。これらの 2 つの結果から、長期材齢の強度増進は、フライアッシュのポズラン反応が寄与する影響が大きいと推察される。すなわち、今回使用した高流動モルタルは、6 年程度経過してもポズラン反応が継続していると考えられる。

図-2 より、材齢 28 日までは養生の違いによる影響に明確な傾向は認められないが、材齢 91 日以降では、フライアッシュの種類に関係無く、標準養生より気中養生の圧縮強度が小さくなった。図-3 からも養生無の方が養生有よりも圧縮強度が小さいことが分かる。温度の影響を検討するために、積算温度と圧縮強度の関係を図-5 で整理した。全てのデータを直線回帰しても相関係数は 0.96 あり、フライアッシュの種類と養生方法に関わらず、積算温度と圧縮強度発現性には高い相関が認められた。このことは、本試験条件の範囲では、圧縮強度はフライアッシュの種類と養生の影響を受けるものの、積算温度の依存性の方が高く、これを把握すれば圧縮強度を予測することが可能であると言える。

細孔径分布を測定した結果を 3nm, 10nm, 20nm, 30nm, 50nm の各径以上の空隙率と圧縮強度の関係を整理して、既報のデータも含めて相関係数を求めた。それぞれ 0.74, 0.80, 0.82, 0.71, 0.48 の相関係数が得られた。圧縮強度との相関が最も高くなった 20nm 以上の空隙率と圧縮強度との関係を図-6 に示す。既報¹⁾では 10nm 以上が最も相関が高かったが、今回の結果は山本³⁾の研究結果と同様となった。ポズラン反応による空隙構造を持ったモルタルの圧縮強度との相関性は、長期材齢においても概ね変わらないことを確認した。

細孔径分布を測定した結果を 3nm, 10nm, 20nm, 30nm, 50nm の各径以上の空隙率と圧縮強度の関係を整理して、既報のデータも含めて相関係数を求めた。それぞれ 0.74, 0.80, 0.82, 0.71, 0.48 の相関係数が得られた。圧縮強度との相関が最も高くなった 20nm 以上の空隙率と圧縮強度との関係を図-6 に示す。既報¹⁾では 10nm 以上が最も相関が高かったが、今回の結果は山本³⁾の研究結果と同様となった。ポズラン反応による空隙構造を持ったモルタルの圧縮強度との相関性は、長期材齢においても概ね変わらないことを確認した。

4. まとめ

本研究範囲において得られた結果を以下にまとめる。

- (1)全ての供試体で材齢 3.1 年まで、実規模 L 型供試体では材齢 5.8 年まで強度は材齢と共に大きくなった。
- (2)低ブレンのフライアッシュを使用した供試体の圧縮強度は一般的なブレン値の供試体より小さくなった。
- (3)圧縮強度の発現性状に与える影響は、フライアッシュの種類、養生 (水分供給) の影響よりも積算温度の影響が大きく、圧縮強度は積算温度で推定できる。
- (4)フライアッシュの品質や初期養生の違いによらず、20nm 以上の空隙率と圧縮強度の相関が高い。

参考文献

[1]杉橋直行ほか:低熱ポルトランドセメントとフライアッシュ、膨張材を使用したコンクリートおよびモルタルの材齢 2 年までの諸特性 (その 2),土木学会第 64 回年次学術講演会, 2009.9 [2]岡本大ほか:品質の異なるフライアッシュを使用したモルタルの諸特性について (その 1),土木学会第 65 回年次学術講演会, 2010.9 [3]山本武志:フライアッシュ有効利用に関するポズラン反応性迅速判定法と未燃炭素除去法の開発, 東京工業大学学位論文, 2007.5

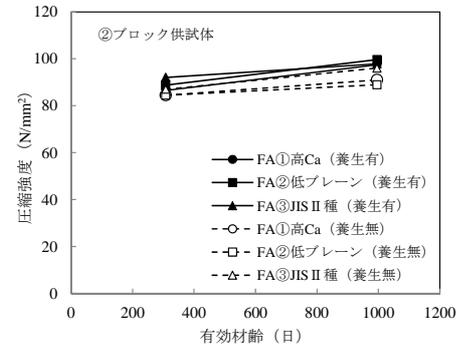


図-3 ブロック供試体の圧縮強度

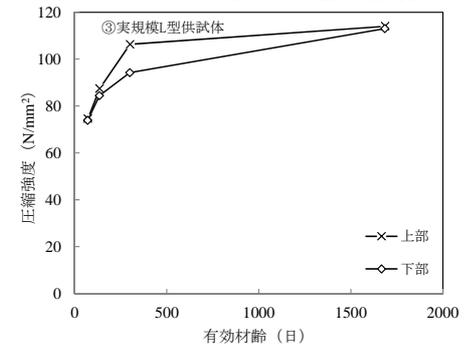


図-4 L 型供試体の圧縮強度

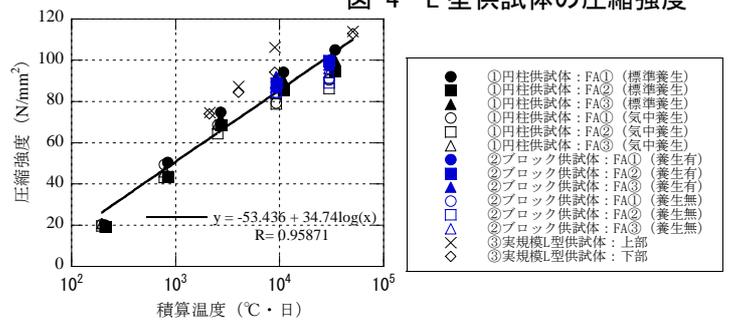


図-5 積算温度と圧縮強度の関係

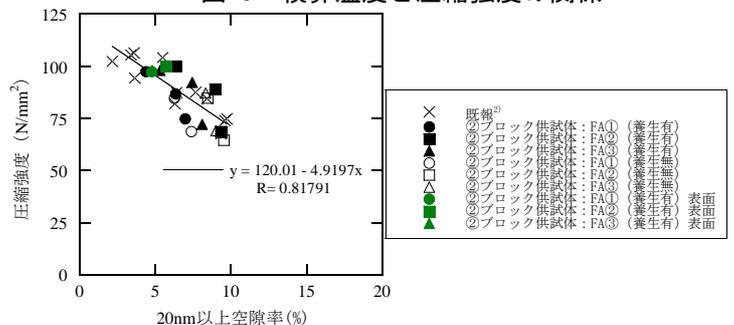


図-6 圧縮強度と 20nm 以上空隙率