

品質の異なるフライアッシュを使用したモルタルの材齢 6 年における諸特性

清水建設(株)
日本原燃(株)

正会員 〇矢ノ倉ひろみ 杉橋直行 高橋圭一
正会員 工藤淳 浪岡翔吾

1. はじめに

低レベル放射性廃棄物余裕深度処分施設の低拡散層は、セメント系人工バリアの材料として低熱ポルトランドセメントとフライアッシュ、膨張材を使用したモルタルの配合が検討されている。この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などが必要とされている。筆者らは、この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),3)}を実施している。本報はこ

のうち、低拡散性を定量化する
うで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、既報に
続き、材齢 6 年における試験結果をまとめた
ものである。

2. 試験概要

品質が異なる 3 種類のフライアッシュを用
いたブロック供試体（図-1、 $100^W \times 60^D \times 100^H$ cm）の材齢 2287 日（約 6 年）において、①コア供試体（ $\phi 10 \times 20$ cm）の圧縮強度、②水銀圧入法による細孔径分布、③非破壊透気試験（トレント法）による透気係数をそれぞれ試験して求めた。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。試験に用いたモルタルの配合を表-2 に示す。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）の 2 種類とした。

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 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℃、気中養生=空洞内温度（℃）として算定した。

フライアッシュの相違、初期養生有無に関わらず、圧縮強度は材齢 1000 日（約 3 年）程度から材齢 2287 日まで材齢に伴い同等か、わずかに増加した。一方で、養生無の圧縮強度が養生有の圧縮強度よりも小さい傾向があるが、材齢に伴ってその傾向が顕著になることがわかる。一般にセメントの水和反応は 1 年程度で終了することから、既報³⁾の通りポズラン反応が継続していると考えられ、初期養生の水分供給が長期に渡ってポズラン反応に寄与しているのではないかと推察した。

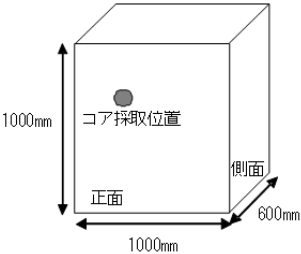


図-1 ブロック供試体とコア採取位置

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 (%)	ブレンブルー 吸着量 (mg/g)	ブレン比 (%)	活性度指数 (%)
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
低ブレン品(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

W/B (%)	スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m³)					
			W	LPC	FA	LEX	LS	S
45.0	65±5	2.5±1.5	230	338	153	20	230	1273

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

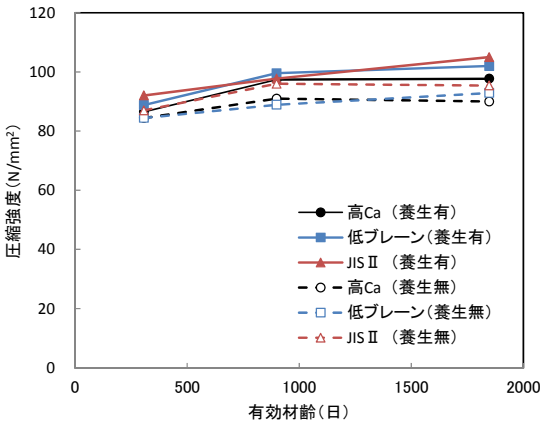


図-2 有効材齢と圧縮強度

キーワード モルタル，フライアッシュ，圧縮強度，空隙率，トレント法

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

積算温度と圧縮強度の関係を図-3に示す。既報³⁾のデータも含めた全データの直線回帰結果から、フライアッシュ種別、養生方法に関係無く積算温度と圧縮強度の相関係数が高いことがわかる。圧縮強度発現性は、材齢初期での水分供給の影響を受けるが、積算温度の影響の方が大きいことがわかった。本検討範囲の材齢6年程度までは、養生方法に関わらず圧縮強度は積算温度を把握すれば概略予測することが可能であると言える。

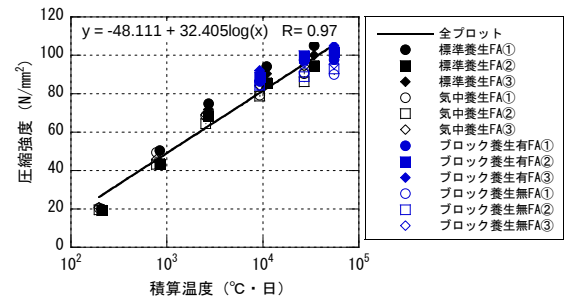


図-3 積算温度と圧縮強度

水銀圧入法による細孔径分布測定結果を図-4に示す。結果は、区分径別に色分けをして示している。細孔径分布の測定には、近年、インクボトル空隙も評価できるとされている段階圧入法⁴⁾を用いた。材齢1143日から材齢2287日にかけて、20nm以下の微細な空隙が増え、20～50nmの空隙が減少していることから、供試体が緻密になったことがわかる。3年から6年の時点でセメントの水和によりここまで緻密化することは考えられず、フライアッシュのポズラン反応による長期反応性による緻密化が検証されたと考える。

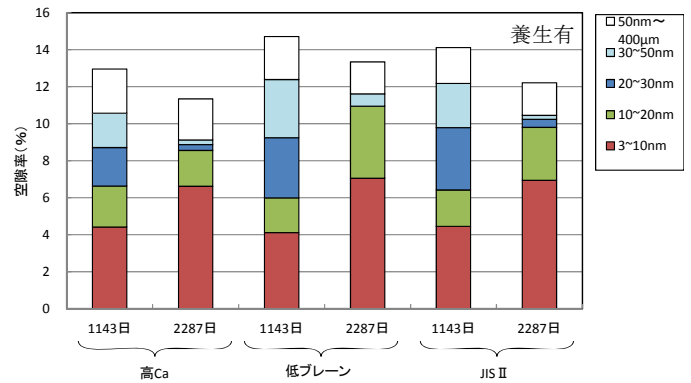
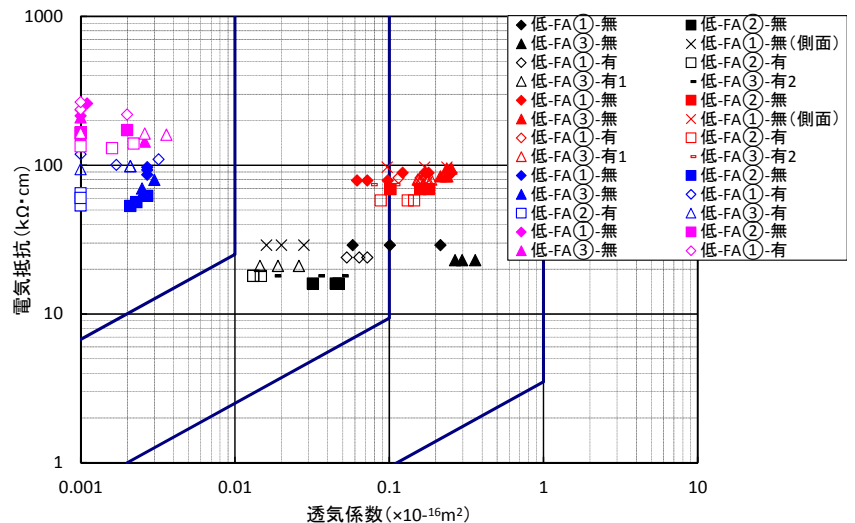


図-4 空隙径区分空隙率の変化

トレント法による非破壊透気試験結果を図-5に示す。材齢が長期になるに伴い、電気抵抗が大きくなっている。材齢2287日では全ての供試体の透気係数が測定限界の $0.001 \times 10^{-16} \text{m}^2$ オーダーであり、かなりのデータが測定限界以下となっているために、フライアッシュ品質の影響や初期養生有無の相対的な比較が困難な状況である。材齢6年程度まで進むと、トレント試験による低拡散層の透気係数の評価は、普通コンクリートに比較して非常に緻密であることは評価できるが、材料や養生の影響など相対比較は困難になることがわかった。



黒：材齢91日、赤：材齢365日、青：材齢1143日、ピンク：材齢2287日

図-5 トレント試験結果

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6年まで強度は材齢と共に大きくなり、初期養生の有無が材齢6年の強度に影響する。
- (2)圧縮強度の発現性状に与える影響は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。
- (3)材齢3年から6年にかけてもポズラン反応が進行し、20nm以下の微細な空隙が増えて緻密化する。
- (4)低拡散層は非常に緻密なために、長期材齢ではトレント試験による相対評価などが困難になる。

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]矢ノ倉ひろみほか:品質の異なるフライアッシュを使用したモルタルの長期諸特性,土木学会第69回年次学術講演会, 2014.9 [4]吉田亮ほか:水セメント比および養生が異なるセメントペーストにおける水銀圧入過程の相違に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, 2007.7