

分級フライアッシュコンクリートの強度発現と微視的内部組織の形成過程

金沢大学 学生会員 ○菊地 弘紀
 金沢大学 学生会員 猪股 亮太
 金沢大学 正会員 山戸 博晃
 金沢大学 正会員 鳥居 和之

1. はじめに

北陸地方では、この地域に根ざした「地産地消の促進」と「環境負荷の低減」を目的とし、北陸地方の石炭火力発電所から産出されるフライアッシュをコンクリートに積極的に活用していくことが推奨されており¹⁾²⁾、また、フライアッシュの品質確保の観点から、分級フライアッシュの供給体制が整備されている。しかしながら、分級フライアッシュを使用した場合の初期・暴露養生条件と強度発現性、内部組織の緻密化との関係性に関しては研究事例が少なく、分級フライアッシュを使用したコンクリートの実用化に際してデータの蓄積が必要である。そこで以下の実験的検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 分級フライアッシュコンクリートの使用材料と配合

本研究では、普通ポルトランドセメント（T社製、密度：3.16g/cm³）と七尾大田火力発電所産の分級フライアッシュ（密度：2.33g/cm³、ブレン値：4380cm²/g）を使用した。今回使用した分級フライアッシュの物理的・鉱物的性質を表-1に示す。また、細骨材には2種類の陸砂（石川県手取産と石川県高松産、それぞれの表乾密度：2.57g/cm³）を、粗骨材には陸砂利（石川県手取産、表乾密度：2.61g/cm³）を使用した。本試験で使用した分級フライアッシュコンクリートの配合条件は呼び強度：24N/mm²、スランプ：12cm、空気量：4.5%、フライアッシュ置換率：15%（内割）とした。

2. 2 試験体の種類と初期・暴露養生条件

コンクリート試験体は、直径10cm×高さ20cmの円柱供試体（強度試験用）である。すべての試験体は屋内に24時間静置した後に、(1)水中浸漬養生（温度20℃の水中養生、略号W）、(2)気中養生（温度20℃、湿度60%の屋内養生、略号A）、(3)1週間の水中浸漬養生後に気中養生（略号W7）、(4)金沢大学構内での屋外暴露養生（略号O）、のそれぞれの条件下において1年間の屋内および屋外での暴露を実施した。

2. 3 測定項目と分析方法

測定項目は、圧縮強度、水銀圧入式ポロシメータによる細孔径分布の測定である。細孔径分布の測定は、材齢1年の試験体において細孔径が0.003μm～400μmの範囲で測定を行った。

3. 試験結果および考察

3. 1 分級フライアッシュコンクリートの強度発現性

分級フライアッシュコンクリートの圧縮強度の材齢に伴う経時変化を図-1に示す。Wの試験体は、初期強度の発現が良好であるとともに、長期強度の伸びも安定していたが、Aの試験体は材齢7日以降の強度発現性が最も小さかった。これは、比較的早期に試験体内部まで乾燥したために、セメントの水和反応およびそれに伴うフライアッシュのポズラン反応が十分に行われなかったためであると推察された。また、Oの試験体は、打設後1週間は気温30℃以上の晴天が続いたため（金沢市の8月12日～19日の期間内の降水量は0mm：金沢地方気象台参照）に材齢7日の強度が抑制

表-1 分級フライアッシュの物理的・鉱物的性質

物理的性質				鉱物組成(%)				
密度 (g/cm ³)	ブレン値 (cm ² /g)	活性度指数(%)		石英	ムライト	マグネタイト	ライム	非晶質相
		材齢28日	材齢91日					
2.33	4380	101	108	5.0	20.6	1.0	0.2	73.2

キーワード フライアッシュ、強度発現、初期・暴露養生条件、細孔径分布
 金沢大学大学院 自然科学研究科博士前期課程環境デザイン学専攻（学生会員）

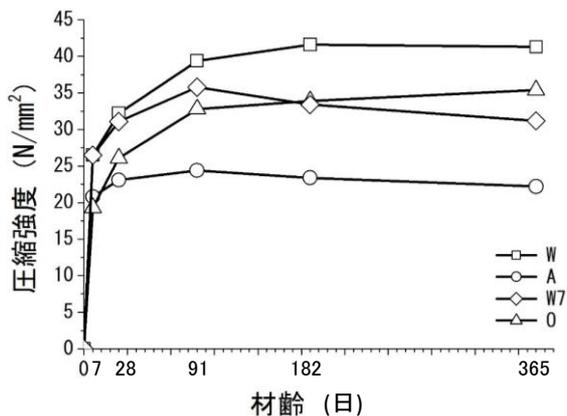


図-1 材齢に伴う圧縮強度の変化

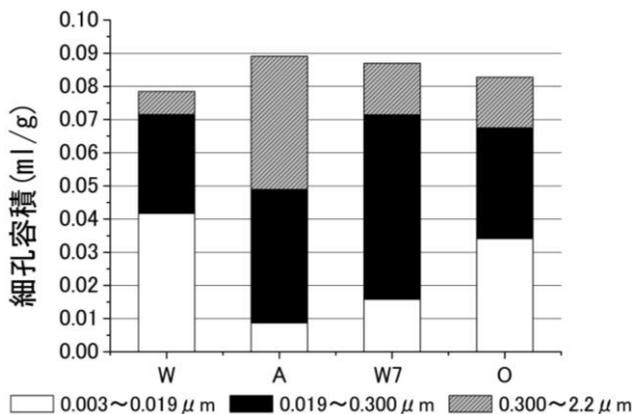


図-2 積算細孔径分布(0.300~2.2 μmの範囲)と細孔容積の関係

されたが、それ以降、降雨や降雪の影響でセメント粒子の水和反応が再開し、フライアッシュによるポズラン反応も進行したことで、いずれの期間でも圧縮強度が増進したと考えられる。試験レベルでは、屋外暴露のように、材齢初期(7日)までに十分な水分供給がなくてもその後の水分供給によって強度が大きく増進することが明らかとなった。

3. 2 分級フライアッシュコンクリートの細孔径分布

分級フライアッシュコンクリートの細孔径分布を水銀圧入式ポロシメータにより測定した結果(1年材齢)を図-2に示す。0.003~0.019 μmの微細な空隙量はフライアッシュのポズラン反応により生成されたCSHによる内部組織の微細化によって増加すると考えられている⁴⁾。WおよびOの試験体では、0.003~0.019 μmにおける細孔容積の割合が多く、これらの微細な空隙が分級フライアッシュコンクリートの強度発現に大きく寄与していることが推察された。それに対して、AおよびW7の試験体では、粗大な毛細管空隙(0.019~0.300 μmおよび0.300~2.2 μm)の細孔容積が非常に多かった。これらの粗大な空隙の残存が両試験体の強度低下の要因であると推察された。また、W7の試験体では、打設後7日間、水分を継続的に供給することで、Aの試験体と比較して0.300~2.2 μmの毛細管空隙を50%以上減らせることが確認できた。これらの結果より、水分供給が十分であるほど0.003~0.019 μmの微細な空隙が増加し、0.019~2.2 μmの粗大な空隙が減少したことが確認できた。

4. まとめ

本研究は、初期・暴露養生条件を変えた場合の分級

フライアッシュコンクリートの強度発現性と微視的内部組織の形成過程との関係を実験的に検討した。

- (1) 分級フライアッシュコンクリートは、通常よりも早期に強度が発現することが特徴であり、特に屋外暴露のように十分な水分供給の条件が確保されれば水中養生のものと同様に初期および長期にわたり良好な強度発現性が得られた。
- (2) 水銀圧入式ポロシメータによるモルタル部の細孔径分布の結果より、初期・暴露養生条件における水分供給が十分な試験体ほど微細な空隙が多く、粗大な空隙が減少していた。

謝辞

本研究の実施にあたり、北川物産(株)の田中勇氏並びに川端充氏よりご協力を頂きました。また、本研究は、産学官連携による「北陸地方におけるコンクリートへのフライアッシュの有効利用促進検討委員会(委員長金沢大学鳥居和之)」の普及活動の一環として実施したものであり、関係者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 北陸地方におけるコンクリートへのフライアッシュの有効利用促進検討委員会:北陸地方におけるコンクリートへのフライアッシュの有効利用促進検討委員会報告書(富山・石川・福井版), 2013
- 2) 鳥居和之:フライアッシュの活用によるコンクリートの高耐久化—北陸地方のASR問題への取り組みと情報発信, 電力土木, No.357, pp.11-15, 2012
- 3) 小早川真,羽原俊介:フライアッシュのポズラン反応による硬化体の空隙・組織の変化, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp97-102, 2001