

フライアッシュ大量使用コンクリートのレオロジー特性と初期強度発現機構

金沢大学大学院 学生会員 秋田 有 一
金沢大学工学部 正会員 五十嵐 心一

西松建設(株) 正会員 佐藤 幸三
金沢大学工学部 フェロー 川村 満紀

1. 序論

近年、石炭灰の大量発生が問題となっており、環境保護あるいは資源の有効利用等といった観点から、大量かつ有効にフライアッシュを利用することが求められている。フライアッシュは従来、初期材齢での反応が活発ではなく、長期材齢におけるポゾラン反応性が期待されているが、フライアッシュを大量に使用した場合、微粉末としての充填効果がコンクリートの初期強度発現に影響を及ぼすことが予想される。

本研究では、吹付けコンクリートへの適用を想定したフライアッシュ大量使用コンクリートにおいて、フライアッシュの大量使用にともなうレオロジー及び凝結特性の変化からフライアッシュが初期強度発現に与える影響を検討する。

2. 実験概要

表-1 コンクリートの配合

		単位量(kg/m ³)					
種類/記号	W/C	水	セメント	フライアッシュ	細骨材	粗骨材	高性能 AE 減水剤
PC	0.6	239	398	0	963	642	0
FA30%		243	405	122	814	636	0
FA30%-SP		239	398	119	827	643	0.6
FA70%		258	430	301	573	612	0
FA70%-SP		239	398	279	643	642	1.2
HVFA40-10		239	358	159	818	637	0

(1) 使用材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。骨材は石川県手取川産の川砂、川砂利を使用し、粗骨材の最大寸法は 10mm とした。フライアッシュは分級を行っていない原粉を使用した。コンクリートの水セメント比は 0.6 であり、フライアッシュの混入率は、セメント量に対して外割で質量百分率の 30% および 70% とした。また、比較のために、フライアッシュを外割で 30%、内割で 10% 置換したコンクリート(HVFA40-10)も作製した。コンクリートの目標スランプは 180±20mm であり、スランプ値の調整は単位水量を変化させるもの(FA30%、FA70%)と高性能減水剤を使用するもの(FA30%-SP、FA70%-SP)とで行なった。コンクリートの配合表を表 - 1 に示す。

セメント比は 0.6 であり、フライアッシュの混入率は、セメント量に対して外割で質量百分率の 30% および 70% とした。また、比較のために、フライアッシュを外割で 30%、内割で 10% 置換したコンクリート(HVFA40-10)も作製した。コンクリートの目標スランプは 180±20mm であり、スランプ値の調整は単位水量を変化させるもの(FA30%、FA70%)と高性能減水剤を使用するもの(FA30%-SP、FA70%-SP)とで行なった。コンクリートの配合表を表 - 1 に示す。

(2) 圧縮強度試験 JIS R 5201 に従って直径 100mm、高さ 200mm の円柱供試体を作製した。供試体は打設後 24 時間にて脱型し、所定材齢まで 20 の水中養生を行なった。全ての供試体に対して材齢 0.5、1 日において圧縮強度試験を行なった。

(3) レオロジー試験 スランプ試験時に、図-1 に示すような装置を用い、レオロジーの評価を行った[1]。コンクリート上部に載せたプレートがコンクリートのスランプにより 100mm 沈下するまでの時間を測定し、次式により降伏値(τ_0)及び塑性粘度(η)を求めた。

$$\tau_0 = \rho / 270 \times (300 - S)$$

$$\eta = 25 \times 10^{-3} \rho T \quad (S < 200 \text{ mm の場合})$$

ここに、 τ_0 は降伏値(Pa)、 ρ はコンクリートの密度(kg/m³)、 S はスランプ(mm)、 μ は塑性粘度(Pa·sec)、 T はプレートが止め金に達するまでの時間(sec)である。

キーワード : フライアッシュ, 塑性粘度, 粉体の表面積

連絡先 : 金沢大学工学部土木建設工学科 〒920-8867 金沢市小立野 2-40-20 TEL076-234-4622

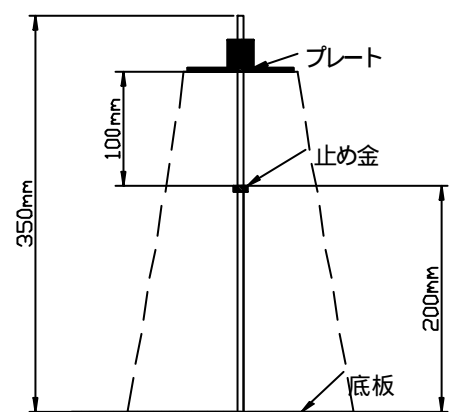


図-1 レオロジー試験装置

(4)凝結試験 凝結試験は表-1 の配合から粗骨材、細骨材を除いたペーストの配合に相当するペースト供試体を作製し、JIS R 5201 に準じて行なった。

3. 結果および考察

表-2 にレオロジーの試験結果を示す。降伏値はスランプを $180 \pm 20\text{mm}$ としているためほぼ一定の値を示しているが、高性能減水剤を用いると降伏値は若干低下する傾向を示す。また、塑性粘度は、フライアッシュの添加率の増大に伴い増大している。

図-2 にセメントおよびフライアッシュ粉体の表面積と塑性粘度の関係を示す。粉体の表面積と塑性粘度には良好な相関性が確認され、これは、粉体を多く混入することで、粉体間の相互作用および粉体粒子表面への水の吸着のために、塑性粘度が増大したことを示している。しかし、単位セメント量が他の配合より小さい HVFA40-10 は、その相関性から若干はずれる傾向が認められ、粉体の表面積が等しくても、粉体の組合せの相違が塑性粘度には敏感に現れるようである。

以上のようなフレッシュ時のレオロジー特性は、一般にフレッシュコンクリートのポンパビリティー等の特性との関連性において論ぜられることが多いが、一方において初期の粉体充填構造の相違を示唆することから、これがセメントの水和反応の進行にともなう毛細管空隙の充填過程に影響を及ぼし、初期強度発現を変化させることが考えられる。

表-3 は凝結試験の結果を示したものである。粉体の量が多い FA70%、FA70%-SP の終結時間が最も早かったのに対し、粉体の量が小さい PC の終結時間が最も長い終結時間を示した。これらを微視的構造から考察すると、一般に終結時間とは連続した骨格構造の形成時間に対応すると考えられる。フライアッシュを多量に混入することにより、粉体間の距離が小さくなり、結果としてフライアッシュ粒子を取り込むことにより短時間で水和生成物の連続構造が形成されたことを示唆している。

図-3 はフライアッシュコンクリートの初期強度の変化を示したものである。いずれの配合に関しても、材齢の進行に伴う強度の増大が確認できるが、フライアッシュの混入率が大きいコンクリートほど強度は大きくなり、その強度差は凝結時に近い材齢 0.5 日でも比較的明瞭に現れている。よって、フライアッシュ大量使用コンクリートにおける初期強度の発現は、フライアッシュ粒子がセメント粒子間に存在することで連続骨格構造の形成を促進する効果と、毛細管空隙の細分化という二つの物理的充填効果に負う面が大きいと考えられる。

4. 結論

本研究において得られた結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) フライアッシュの大量混入により、凝結時間は早まる。
- (2) フライアッシュ混入による粉体の表面積の増大と、塑性粘度の間には良好な相関性が存在する。
- (3) フライアッシュ高含有コンクリートは、普通コンクリートに比べて初期強度の発現性に優れる。

参考文献 [1] C.F.Ferraris et al.:Cement, Concrete and Aggregates, CCAGDP, Vol. 20, No. 2, Dec. pp. 241-247,1998.

表-2 レオロジー試験結果

	降伏値 (Pa)	塑性粘度 (Pa・s)
PC	871.9	11.8
FA30%	904.4	13.9
FA30%-SP	865.9	17.3
FA70%	901.8	26.4
FA70%-SP	856.4	24.2
HVFA40-10	738.9	11.5

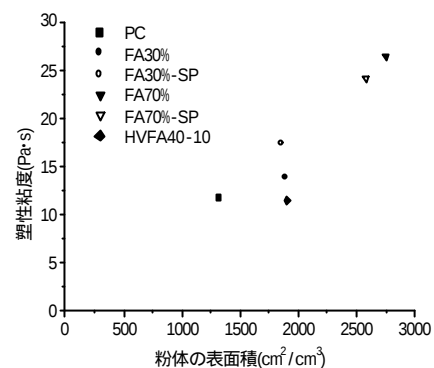


図-2 粉体の表面積と塑性粘度の関係

表-3 凝結試験結果

	始発	終結
PC	5 時間 48 分	10 時間 46 分
FA30%	3 時間 35 分	7 時間 36 分
FA30%-SP	4 時間 33 分	9 時間
FA70%	4 時間 5 分	7 時間 15 分
FA70%-SP	5 時間 3 分	7 時間 14 分
HVFA40-10	4 時間 34 分	8 時間 6 分

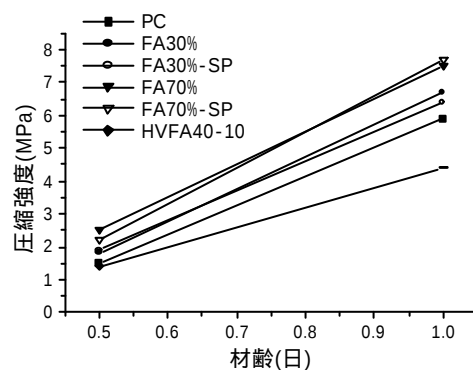


図-3 圧縮強度の経時変化