

圧縮強度および中性化に対するフライアッシュの影響とその評価

首都大学東京 学生会員 ○小川由布子 フェロー 國府勝郎

正会員 宇治公隆 正会員 上野敦

1.目的

これまでの研究により、フライアッシュのポズラン反応に温度依存性があること、練上がり温度による影響も顕著であることがわかっている¹⁾。また、低置換率でフライアッシュを用いた場合、ポズラン反応が活性化される可能性が示されている²⁾。本研究は、フライアッシュの有効利用の観点から、フライアッシュのポズラン反応に対する温度および置換率の影響を定量的に検討することを目的として、モルタルの圧縮強度および中性化を対象とした基礎的な研究を行ったものである。

2.実験概要

2.1 使用材料および配合

セメントは研究用セメント(密度 3.16g/cm³ 以下 PC)、フライアッシュはフライアッシュ II 種(密度 2.24g/cm³)、細骨材は砂岩砕砂(密度 2.63g/cm³)を使用した。モルタルの配合は、表-1 に示すとおりで、ペースト／細骨材体積比を 1 とし、水結合材比を 50%とした。この条件の下、フライアッシュの置換率を、質量比で 15、25 および 35%とした。また、フライアッシュの結合材としての性能を示すセメント換算係数を求めるため、結合材に PC のみを使用した水セメント比 40%および 60%のモルタルについても試験した。

表-1 モルタルの示方配合					
水結合材比	置換率	単位量			
W/(C+F)	r=F/(C+F)	[kg/m ³]			
[%]	[%]	W	C	F	S
50	0	306	612	0	1315
50	15	303	514	91	1299
50	25	300	450	150	1289
50	35	298	387	209	1279
40	0	279	698	0	1315
60	0	327	546	0	1315

2.2 強度発現性状、細孔径分布および水酸化カルシウム量

モルタルの圧縮強度は、φ50×100mm の円柱供試体を用い、養生温度 10、20 および 30℃の水中養生を行った供試体を用いて、材齢 3、7、14、28、56 および 91 日で試験した。そして、圧縮強度試験後の供試体を破砕した試料を用いて、示差熱質量分析試験による水酸化カルシウム(以下 CH)量の測定および水銀圧入ポロシメータによる細孔径分布測定を行った。

2.3 中性化性状

促進中性化試験は、100×100×400mm の角柱供試体を用いて行った。養生温度 20 および 30℃で、14 および 28 日間湿潤養生した供試体を打設後 35 日となるまで気中保存し、その後中性化槽(20℃、60%RH、CO₂5.0%)に暴露した。なお、中性化槽に暴露した時のモルタルの CH 量および細孔径分布も測定した。中性化深さは、暴露期間 1、4、8 および 13 週で測定し、中性化係数を求めた。

3.実験結果

3.1 強度発現性状

(1)細孔構造

図-1 に養生温度 30℃における、材齢と全細孔容積および最頻径の関係を示す。置換率 25 および 15%に着目すると、材齢に関わらず全細孔容積は PC のみを用いた場合(以下 PC)とほとんど変わらない。これに対して、最頻径は、初期材齢では PC よりも大きい値を示しているが、材齢 56 日以降の長期材齢では PC よりも小さくなっている。これはフライアッシュのポズラン反応により、組織が緻密化するためと考えられる。

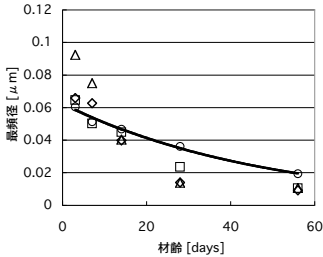
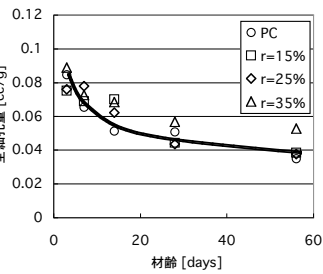


図-1 細孔構造の変化(養生温度 30℃)

(2)圧縮強度に対する養生温度の影響

図-2 に、PC だけによる C/W とモルタルの圧縮強度(材齢 91 日)の関係を示す。養生温度 20 および 30℃のフライアッシュモルタルは、C/W が小さくても大きな強度を示している。これに対して、養生温度 10℃の場合、PC を用いた養生温度 10℃の関係の延長線上に位置しており、フライアッシュはほとんど強度に対して貢献していないことがわかる。

(3)セメント換算係数 kc

フライアッシュのセメント換算係数 k_c は、 $W/(C+kF)$ からわかるように、PC の強度発現性能に対する単位フライアッシュ量の結合材としての性能の比率を示したものである。 k_c は図-3 に示すように、養生温度 10℃では、長期材齢においても 0.4 以下で変化がない。養生温度 20℃では、置換率 15 および 25%が、13 週で $k_c=0.9$ となり、PC とほぼ同等の性能を発揮する。また、養生温度 30℃では、置換率 15 および 25%が、4 週で $k_c=1$ に達し、13 週では $k_c=1.5$ を超えている。しかし、置換率 35%では、同様の性能が現れておらず、未水和フライアッシュ量に対する CH 量の比率が小さいと、ポゾラン反応が進行しにくいと考えられる。

3.2 中性化性状

(1)中性化速度係数 α

湿潤養生期間の異なる(14 および 28 日)供試体の中性化速度係数 α (以下 α) とペースト中の CH 量との関係を図-4 に示す。全体を見ると、ペースト中の CH 量は、置換率の増大によって低下し、 α は CH 量に逆比例する。置換率ごとに、温度条件および材齢について検討すると、湿潤日数の長い方が CH 量は減少する傾向にある。しかし、CH 量の減少による α の増大は明瞭ではない。これは、ポゾラン反応により組織が緻密になり、 CO_2 の拡散の抑制効果も影響していると推察される。

(2)セメント換算係数 kn

中性化速度係数 α が水セメント比に比例すると仮定し、強度発現と同様に、フライアッシュの中性化に対するセメント換算係数 k_n (以下 k_n)を計算した。表-2 に示すように、湿潤養生が長いほど k_n が小さくなり、特に、養生温度が 30℃の場合、顕著に小さくなっている。このことから、フライアッシュのポゾラン反応の中性化に対する影響は、組織の緻密化による抑制効果より、CH の消費が卓越すると考えられる。

4.結論

- (1)置換率 15 および 25%と低置換率の場合、フライアッシュのポゾラン反応が効率よく行われ、強度発現に大きく貢献する。また、養生温度が高いほど反応が促進され、養生温度 10℃ではフライアッシュはほとんど反応しない。
- (2)養生温度が高いほど、また、湿潤養生期間が長いほど、ポゾラン反応によって、CH 量が減少する。ポゾラン反応は、組織を緻密にする効果があるが、中性化に対しては、CH 量の減少の影響が大きい。

5.参考文献

- 1)小早川真ほか：水比、混合率および養生温度がフライアッシュのポゾラン反応に及ぼす影響
- 2)原田奈央ほか：フライアッシュの断熱温度上昇と強度発現性状に及ぼす練上がり温度の影響

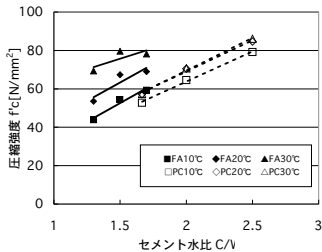


図-2 セメント水比～圧縮強度直線(材齢 91 日)

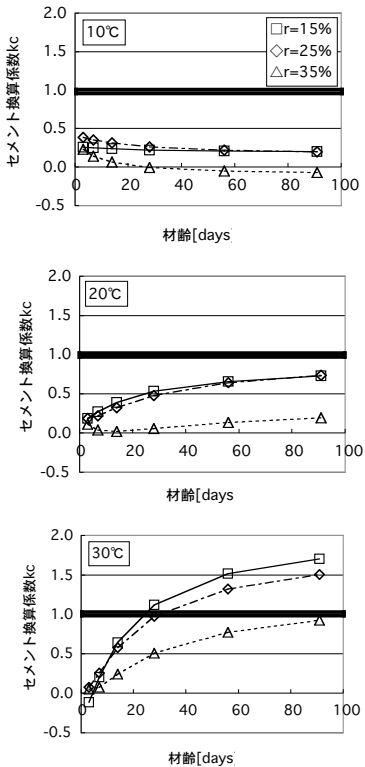


図-3 セメント換算係数 k_c の変化

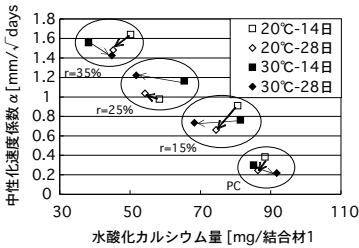


図-4 中性化速度係数と CH 量

表-2セメント換算係数 k_n の湿潤養生日数による変化				
置換率	養生温度	k_n (養生日数)		変化率 [days ⁻¹]
		1 4 日	2 8 日	
15%	20℃	-1.20	-1.47	-0.020
	30℃	-0.73	-1.86	-0.081
25%	20℃	-0.64	-1.17	-0.038
	30℃	-0.69	-1.34	-0.046
35%	20℃	-0.69	-0.85	-0.011
	30℃	-0.52	-0.84	-0.023