

モルタルの強度発現に及ぼす鉱物質微粉末の影響に関する研究

筑波大学 学生会員 遠藤 崇司
筑波大学 正会員 山本 泰彦

1. はじめに

フライアッシュや高炉スラグ微粉末などの混和材の活性度は、「セメントの一部を混和材で質量置換したモルタルの圧縮強度を、セメントのみを用いた基準モルタルの圧縮強度で除した値(%)」である活性度指数で評価されている。しかし、この活性度指数には混和材の活性の他に、混和材粒子が存在することによる強度発現効果も含まれていると考えられる。本研究は、後者の強度増進効果について、硬化活性のない鉱物質微粉末を用いて、基礎的に調べた結果を述べたものである。

2. 使用材料

セメントには研究用セメントを用いた。硬化活性のない鉱物質微粉末としては、豊浦標準砂をセメントと粒径がほぼ等しくなる程度までボールミルで粉砕したけい砂粉末を用いた。細骨材には鬼怒川産の川砂を使用した。これらの材料の性質を表1に示す。

表1 使用材料の性質

種類	記号	密度 (g/cm ³)	比表面積		平均粒径 [*] (μm)
			(cm ² /g)	(cm ² /cm ³)	
セメント	C	3.15	3080	9700	6.2
けい砂粉末	F	2.64	3170	8370	7.2

*平均粒径: 粒子を球体と仮定し、密度と比表面積から算出した。

種類	産地	記号	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率
川砂	鬼怒川	S	2.59	2.50	2.45

3. 実験概要

本研究では、水セメント比を0.40, 0.50 および 0.60 に変化させた3種類の基準モルタルを作製し、これらのモルタル中のセメントの一部をけい砂粉末で置換して、モルタルの強度発現に及ぼす鉱物質微粉末の影響を調べた。けい砂粉末による置換には、体積置換を適用し、置換率を10, 25 および 40%とした。モルタルの配合の詳細とフロー値の実測値を表2に示す。

モルタルの練混ぜには、容量2リットルのホバート型ミキサを用いた。1バッチ当たりの練混ぜ量は1.2リットルとし、まず、セメント、けい砂粉末および細骨材を低速で30秒空練りをした後、水を入れ低速で2分、高速で1分間練り混ぜた。圧縮強度試験には、50mm×100mmの円柱供試体を用い、成形直後から供試体の上面をラップで覆い、水分の蒸発を防いだ。脱型は、材齢3日で行い、直ちに水槽の中に入れ、所定の材齢まで水中養生を行った。圧縮強度は、各バッチから1本ずつ作製した合計3本の供試体により求めた。

表2 モルタルの配合

区分	体積置換率 Vf/(Vc+Vf) × 100 (%)	単位量当たりの絶対容積(cm ³ /リットル)				セメント・ペースト 容積比 Vc/Vp [*]	フロー値
		水 Vw	セメント Vc	けい砂粉末 Vf	細骨材 Vs		
基準モルタルの 水セメント比が 40%のシリーズ	0	284	225	0	492	0.44	220
	10		202	23		0.40	269
	25		169	57		0.33	263
	40		135	90		0.27	272
	40		178	0		0.39	223
基準モルタルの 水セメント比が 50%のシリーズ	0	280	160	18	541	0.35	281
	10		134	44		0.29	273
	25		107	71		0.23	281
	40		145	0		0.35	206
	40		131	14		0.31	277
基準モルタルの 水セメント比が 60%のシリーズ	0	274	108	36	581	0.26	269
	10		87	58		0.21	265
	25		108	36		0.26	269
	40		87	58		0.21	265
	40		87	58		0.21	265

*Vp=Vc+Vw+Vfとし、モルタル中の空気量は0%と仮定した。

なお、材料の貯蔵、練混ぜ、養生等は、全て20℃の温度条件下で行った。

4. 実験結果および考察

各材齢3, 7, 28および91日における基準モルタルのセメント水比と圧縮強度の関係は図1のようになり、(1)式のセメント水比法則が適用できることが認められた。

$$F(t) = A(t) \cdot (C/W) + B(t) \quad \dots (1)$$

ここで、 $F(t)$ は材齢t日の圧縮強度で、 $A(t), B(t)$ 定数である。

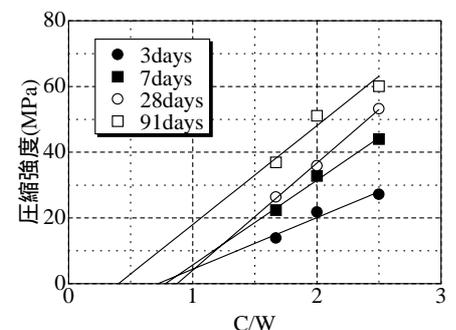


図1 C/W と圧縮強度の関係

キーワード 強度発現, 鉱物質微粉末, 体積置換, セメント・ペースト容積比

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学機能工学系コンクリート研究室 TEL 029-853-5462

一方、水の体積 V_w とセメントの体積 V_c の和を V_p とし、セメントおよび水の密度をそれぞれ ρ_c 、 ρ_w とすると、(1)式は、セメント・ペースト容積比（以下、 V_c/V_p ）を用いて(2)式のように変形できる。

$$F(t) = A(t) \cdot \left[\frac{V_c/V_p}{(1 - V_c/V_p)} \right] \cdot \frac{\rho_c}{\rho_w} + B(t) \quad \dots (2)$$

次に、それぞれの材齢に対して、 $A(t)$ および $B(t)$ を図1の関係から求め、 $F(t)$ と V_c/V_p の関係を求めた。これを図2中に実線で示す。図中には、参考の為に、基準モルタルの実測値も黒丸で示してある。また、基準モルタル中のセメントの一部をけい砂粉末で体積置換したモルタル中（この場合、 $V_p = V_c + V_w + V_f$ ）の V_c/V_p と圧縮強度の実測値の関係もプロットした。

図2を参照すると、セメントの一部をけい砂粉末で体積置換したモルタルの圧縮強度は、これと V_c/V_p が同じ基準モルタルの圧縮強度と比較して、何れも同等以上になっており、両者の強度差は置換率が大きいほど大きい傾向が認められる。これは、セメントと水から成る相におけるセメント粒子間に鉱物質微粉末が入り込むと強度が増大し、この効果は微粉末の量が多くなるほど大きくなることを示すものと考えられる。ただし、この強度差は、材齢28日で最大となり、材齢91日では材齢28日の場合より小さくなる傾向が認められる。これは、材齢が長期になると、セメントの水和が進み、モルタルの強度発現に及ぼす微粉末の寄与率が次第に小さくなっていくことを示唆しているものと考えられる。

次に、置換率が一定の場合に着目すると、基準モルタルとの強度差は、 V_c/V_p が小さくなるにつれて次第に小さくなり、 V_c/V_p がある限界値に達すると微粉末による強度発現効果が無くなる傾向が認められる。この結果は、セメント量がある限度を超えて少なくなるようなセメントペースト中においては、鉱物質微粉末がセメント水和物を架橋接続する効果さえも無くなる可能性が大きいことを示しているものと思われる。

5. まとめ

実験の範囲内で、次のことが言えると思われる。

セメントと水から成る相におけるセメント粒子間に鉱物質微粉末が入り込むと強度が増大し、この効果は微粉末が多くなるほど大きくなる。

材齢が長期になると、セメントの水和が進む影響が支配的になり、モルタルの強度発現に及ぼす鉱物質微粉末の寄与率は次第に小さくなる。

セメント量がある限度を超えて少なくなるようなセメントペースト中においては、鉱物質微粉末がセメント水和物を架橋接続する効果さえも無くなる可能性が高い。

参考文献

- 1) 斎藤・山本：各種フライアッシュの活性に関する研究，コンクリート工学年次論文集，vol.24, No.1, 2002
- 2) Y. Yamamoto・M. Kobayashi：Use of Mineral Fines in High Strength Concrete-Water Requirement and Strength, Concrete International, ACI, July, 1982

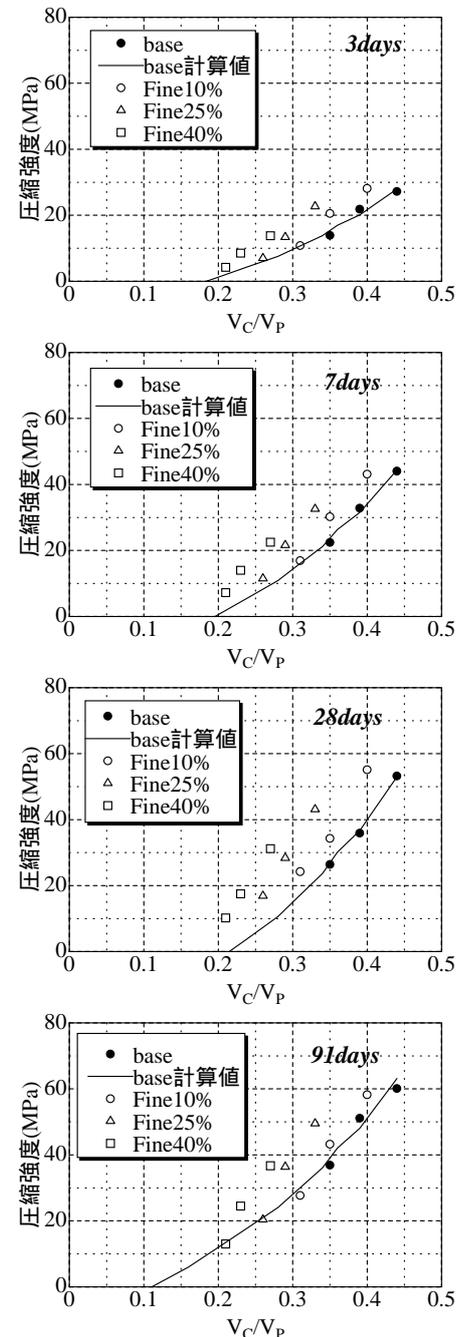


図2 V_c/V_p と圧縮強度の関係