

モルタルの強度発現性状におけるフライアッシュの性能評価

首都大学東京大学院 学生会員 ○小川由布子 学生会員 寺川麻美
 首都大学東京大学院 正会員 宇治公隆 正会員 上野敦

1. 目的

近年、二酸化炭素排出量の削減のため、セメントの代替としてフライアッシュの利用促進が望まれている。一方、反応の温度依存性および品質の変動により、フライアッシュは汎用されていないのが現状である。本研究では、モルタルの圧縮強度に対するフライアッシュの貢献度をセメント換算係数 k を用いて評価し、さらに、フライアッシュセメントの材料品質の変動や使用割合の変化に柔軟に対応可能とすることを目的として、フライアッシュ中の SiO_2 とセメント中の C_3S ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) の比で k 値を整理し、その影響を検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントは密度 $3.18\text{g}/\text{cm}^3$ の研究用普通ポルトランドセメント(以下、PC)、フライアッシュ(以下、FA)は JIS A 6201 に規定の II 種(密度 $2.27\text{g}/\text{cm}^3$)、細骨材は表乾密度 $2.70\text{g}/\text{cm}^3$ の砂岩砕砂を使用した。

2.2 配合

モルタルの配合は、表-1 に示すとおりであり、ペースト/細骨材体積比を 1 とし、水結合材比を 50%の一定とした。この条件の下、FA 置換率を質量比で、15、25、35 および 45%に変化させた。また、FA のセメント換算係数(以下、 k 値)を算出するため、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 モルタルの配合

水結合材比 W/(C+F) (%)	置換率 F/(C+F) (%)	単位量 (kg/m^3)			
		W	C	F	S
50	0	307	614	0	1350
50	15	300	510	90	1350
50	25	296	443	148	1350
50	35	291	379	204	1350
50	45	287	316	258	1350
40	0	280	700	0	1350
60	0	328	547	0	1350

2.3 試験方法

モルタルの圧縮強度試験は、JSCE-G 505 に従い、 $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の円柱供試体を用いた。養生は、20 または 30°C の水中養生とし、材齢は 7、28 および 91 日とした。また、同じ条件の試料を用いて、示差熱質量分析装置により水酸化カルシウム(以下、CH)量の測定を行った。

3. 結果および考察

3.1 圧縮強度に対する養生温度および置換率の影響

図-1 にモルタルの圧縮強度と FA 置換率の関係を養生温度ごとに示す。養生温度 20°C においては、すべての材齢で、FA 置換率が大きくなるほど、モルタルの圧縮強度は低くなった。一方、 30°C では、材齢 91 日で置換率 15 および 25% の強度が、PC のみを用いたモルタルの強度と同等もしくは若干高くなっている。これは、養生温度が高く、材齢が長期となることで、FA がモルタルの強度発現に結合材として貢献したことによると考えられる。

3.2 セメント換算係数

図-2 に FA 置換率と k 値の関係を養生温度ごとに示す。養生温度 20°C の場合、材齢 91 日においても、すべての置換率において k 値は 1 未満となり、最大でも置換率 15% の 0.7 に留まっている。これに対し、養生温度 30°C の場合は、置換率 15 および 25% において、材齢 91 日の k 値が 1 を超えており、モルタルの強度に対して、FA が PC と同等以上の効果を発揮していることが明確となる。一方、置換率 35 および 45% となると、材齢 91 日であっても、 k 値は 0.75 程度

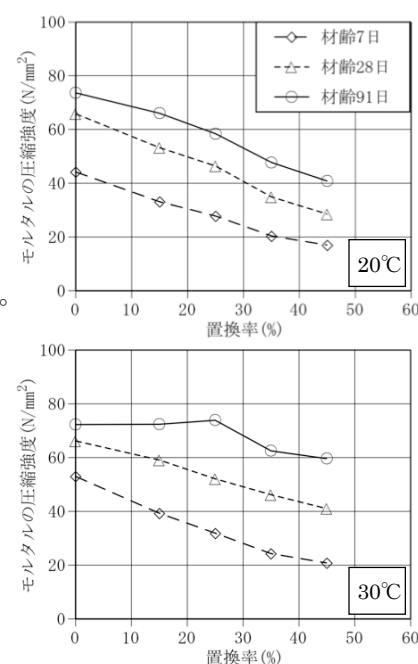


図-1 圧縮強度と置換率の関係

キーワード フライアッシュ、養生温度、置換率、セメント換算係数、水酸化カルシウム量、 $\text{SiO}_2/\text{C}_3\text{S}$

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL:042-677-2777 FAX:042-677-2772

となっている。これはFAのポズラン反応に必要な、PCの水和反応によって供給されるCHが十分でないためと考えられる。

3.3 セメント換算係数とCH量

各試料に含まれるCH量から、式(1)を用いて、単位量のFAが消費したCH量を概算する。

$$A = \frac{\{CH_{PC} \times (1-r) - CH_r\}}{r} \quad (1)$$

ここに、 A : 単位量のFAが消費するCH量(mg)、 CH_{PC} : PCが生成するCH量(mg)、 r : 置換率、 CH_r : 置換率 r のペースト1g中のCH量(mg)

図-3に、式(1)で計算したCH消費量 A と k 値の関係を示す。養生温度に関わらず、単位量のFAが消費するCH量が多いほど、 k 値が大きくなっている。FAがCHを消費して反応し、強度に貢献すると考えると、 k 値はFAの反応の程度を適格に表現する指標であることがわかる。また、FAの反応の程度は、配合や養生条件によって大きく変化し、 k 値も同様に変化することもわかる。

4. k 値に対する SiO_2/C_3S の影響

FA中の反応の主成分と考えられる SiO_2 と、反応のための材料となるセメント中のCHを生成する主成分であり、反応が速い C_3S の比をとり、 k 値との相関を対数近似して整理すると、図-4のとおりとなる。この図に示したデータは、本実験の結果に加え、既往の研究^{1)~3)}の結果を含んでいる。既往の研究からのデータ抽出においては、モルタルを対象としていること、養生温度が 20°C であること、およびJIS A 6201規定のフライアッシュII種を使用しているものに限定した。図-4に示すとおり、 SiO_2/C_3S が大きくなるほど、 k 値が小さくなっている。また、 SiO_2/C_3S の減少にともない k 値の増大が顕著となっている。すなわち、材料および配合中の成分量に基づいて整理することで、使用材料の品質変動やFAによる置換率の変化に対応でき、FAの反応の程度を事前に予測できる可能性が高いことがわかる。

5. 結論

(1) FAを混和したモルタルの強度発現におけるFAの結合材としての性能は、養生条件や置換率によって変化し、これは k 値によって適切に評価できる。

(2) SiO_2/C_3S を用いることにより、置換率だけでなくFAの成分の観点から k 値の傾向を予測できる可能性がある。

謝辞

本実験で使用したフライアッシュ入手に関してお世話になった、財団法人電力中央研究所の山本武志氏および太平洋セメント株式会社の田野崎隆雄氏に深謝する。

参考文献

- 1) 鍵本広之ほか: フライアッシュ置換率を60%まで高めたダムコンクリートの諸特性、土木学会論文集、No. 781/V66、pp. 45-56、2005. 2
- 2) 田野崎隆雄ほか: 石炭灰フライアッシュのポズラン活性について、コンクリート工学年次論文集、Vol. 28、No. 1、pp. 155-160、2006
- 3) 小川由布子ほか: 置換率および養生条件がフライアッシュを用いたモルタルの品質に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集、Vol. 30、No. 1、pp. 208-212、2008

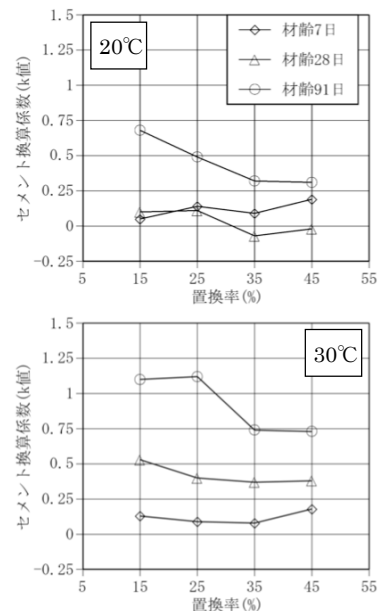


図-2 k 値に対する置換率の影響

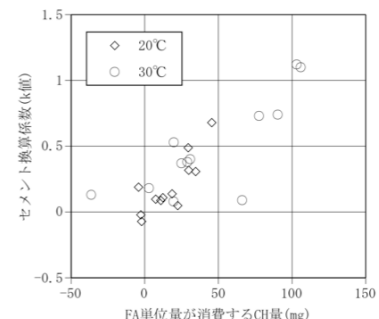


図-3 k 値とCH消費量の関係

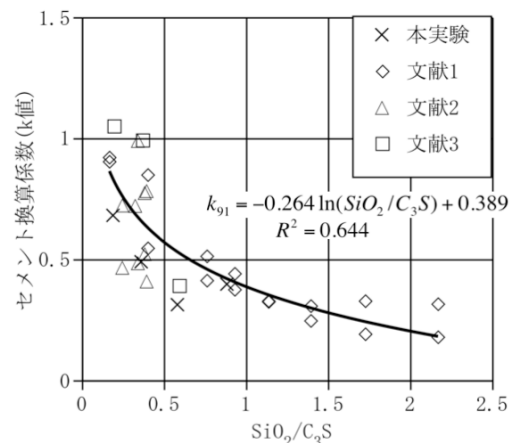


図-4 k 値に対する SiO_2/C_3S の影響