

フライアッシュモルタルの強度発現におけるセメント有効係数に関する実験的検討

広島大学 学生会員

○羽尻 雅司

広島大学

Huynh T. Phat, Bui P. Trinh

広島大学 正会員

小川由布子

広島大学 フェロー会員

河合 研至

1. はじめに

フライアッシュは、コンクリートに混和すると、長期強度の向上や組織の緻密化といった効果が得られるうえ、セメントの代替として使用する場合環境負荷の低減に大きく貢献する。しかし、初期強度が低いことや、フライアッシュ自体の品質のばらつきから、利用範囲が広がっていない。現在、フライアッシュコンクリートにおけるフライアッシュの強度発現性能の評価にはセメント有効係数(k 値)が用いられている。k 値はセメントに対する単位フライアッシュ量の強度発現への貢献度を表す指標であり、1を超えるとセメントの性能を上回るとされている。ただ、現在の指針試案¹⁾では材齢ごとに一定値であり、フライアッシュの品質や混和量によって変化するフライアッシュの強度発現性能を正しく評価できていない。近年、フライアッシュ中の SiO_2 とセメント中の C_3S ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)の比に着目し、k 値の評価ができる可能性があるとの報告がある²⁾。そこで本研究では、 $\text{SiO}_2/\text{C}_3\text{S}$ によるk 値評価についての妥当性を検討するとともに、細孔構造と強度発現性能の関係について検討することとする。

2. 実験概要

配合は水結合材比 $W/B=0.50$ とし、セメントを普通(N)、早強(H)ポルトランドセメントの2種類とフライアッシュ2種類(A, B)のそれぞれの組み合わせに対し、フライアッシュ0, 10, 15, 20, 30, 40mass%置換とした。Table 1にセメントの鉱物組成を、Table 2にフライアッシュの化学成分を示す。セメントの鉱物組成はXRD/リートベルト解析によって得た。圧縮強度試験用モルタル供試体は $\Phi 50 \times 100\text{mm}$ の型枠に、その他のペースト供試体は16mLのポリプロピレン容器に打ち込み作製した。すべての供試体は、打込み後封緘養生し、 20°C の恒温室に静置した。ペースト供試体は、各測定材齢(7, 28, 91日)において破砕し、 $2.5 \sim 5\text{mm}$ の試料を作製した。試

Table 1 セメントの鉱物組成 [%]

Type	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	Gypsum	Ettringite
N	60.17	17.71	7.00	11.16	2.7	1.07
H	67.79	13.19	6.15	9.38	2.16	0.98

Table 2 フライアッシュの化学成分 [%]

Type	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O
A	57.7	27.54	5.43	1.26	1.06	0.36	0.44	0.76
B	59.2	23.87	5.43	2.38	1.01	***	0.3	0.87

(***はデータなし)

料は採取後、直ちにアセトンに24時間浸せきして水合を停止させ、さらに真空脱気を行った。

3. 実験結果

Fig.1~3に材齢7, 28, 91日でのk 値と $\text{SiO}_2/\text{C}_3\text{S}$ の関係を示す。N配合について、材齢91日においてもk 値が0付近であり、フライアッシュが強度発現に寄与していない。一方で、H配合において材齢7, 28日では同様に0付近であるが、91日では $\text{SiO}_2/\text{C}_3\text{S}$ が小さい(フライアッシュ置換率が小さい)ものが、k 値が大きくなっている。また、H配合について、7, 28日においては早強セメント自体の性能が優位に表れているため、N配合を下回っている一方で、91日においてはフライアッシュが強度発現に寄与しているためN配合を上回っている。これは、早くセメントが反応し、水酸化カルシウムを生成し、ポゾラン反応の期間が長くなったためであると考えられる。

さらに、セメント中の C_2S ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)とフライアッシュ中の Al_2O_3 もポゾラン反応に寄与すると考えられるため、この2者を含めた $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)/(\text{C}_3\text{S} + \text{C}_2\text{S})$ を用いてk 値の評価を行った。Fig.4に示すとおり、N配合は相関係数Rが $\text{SiO}_2/\text{C}_3\text{S}$ の評価とほとんど変わらないのに対し、H配合はRが-0.83から-0.90となり、反応要素を多く含めた方がk 値の評価精度が向上することがわかる。

キーワード フライアッシュ、セメント有効係数k 値、 $\text{SiO}_2/\text{C}_3\text{S}$ 、区分細孔容積率

連絡先 〒739-8527 広島市鏡山1-4-1 広島大学大学院工学研究科 社会基盤環境工学専攻 事務室

TEL : 082-424-7819・7828

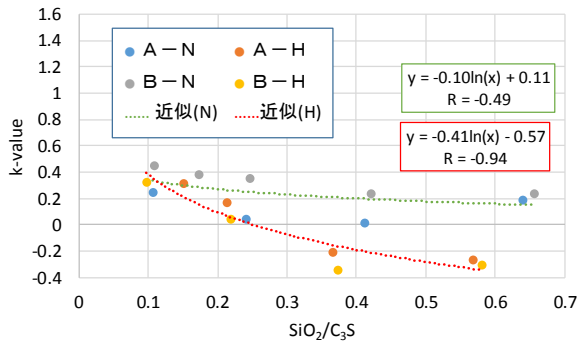


Fig.1 材齢 7 日の k 値と $\text{SiO}_2/\text{C}_3\text{S}$ の関係

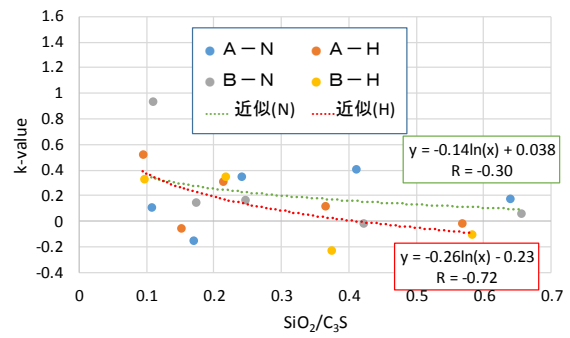


Fig.2 材齢 28 日の k 値と $\text{SiO}_2/\text{C}_3\text{S}$ の関係

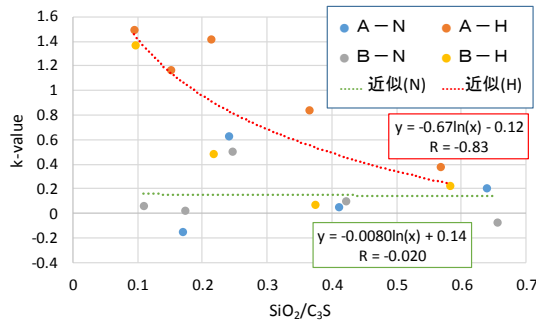


Fig.3 材齢 91 日の k 値と $\text{SiO}_2/\text{C}_3\text{S}$ の関係

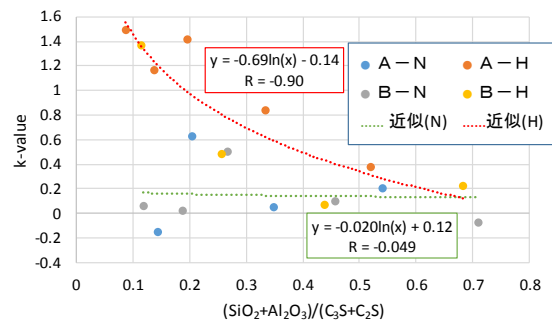


Fig.4 材齢 91 日の k 値と $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)/(\text{C}_3\text{S}+\text{C}_2\text{S})$ の関係

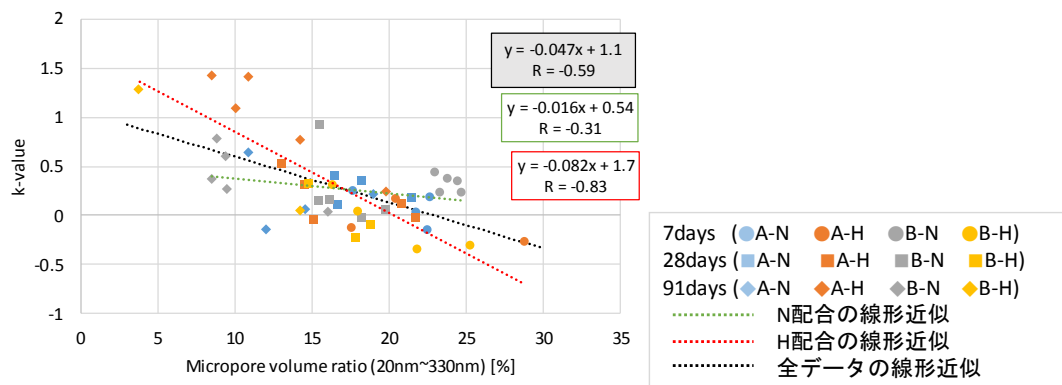


Fig.5 k 値と区分細孔容積率の関係

既往の研究でフライアッシュコンクリートの圧縮強度と負の相関があると報告されている³⁾、20~330nm の区分細孔容積率と k 値の関係を Fig.5 に示す。すべてのデータでの検討では $R = -0.59$ でやや強い相関があるのに対し、ベースセメントごとに比較すると、H 配合では $R = -0.83$ で強い相関がある一方で、N 配合で $R = -0.31$ でやや相関があるものの良好な関係ではない。91 日における k 値が既往の研究よりも小さいことから、N 配合における k 値（圧縮強度）について、再検討する必要がある。

k 値について、 $\text{SiO}_2/\text{C}_3\text{S}$ で評価する際、ベースセメントによって異なる傾向を示し、材齢 7, 28 日ではベースセメントが普通ポルトランドセメントのものが大きく、材齢 91 日では早強ポルトランドセメントのものが大き

い。また、k 値の評価にはセメントおよびフライアッシュの反応要素を多く含んだ $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)/(\text{C}_3\text{S}+\text{C}_2\text{S})$ の方が良好な相関を持つ。

参考文献

- 1) 公益社団法人 土木学会：循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術-利用拡大に向けた設計施工指針試案-，コンクリートライブラリー132 号，pp.83-87，2009
- 2) 小川由布子ら：強度発現性状に対するフライアッシュの結合材としての性能評価法の提案，セメント・コンクリート論文集，No.64，pp.131-138，2010
- 3) 山本武志，金津努：フライアッシュのポズラン反応に伴う組織緻密化と強度発現メカニズムの実験的考察，土木学会論文集，Vol.63，No.1，pp.52-65，2007