

論文 フライアッシュの強度寄与率 (K 値) に関する文献調査およびレディーミクストコンクリート工場での実態調査

船本 憲治*1・屠 強*2

要旨: フライアッシュ (以下, FA) の強度寄与率 (K 値) に関する研究は, 今までに多くの研究がなされているが, それら多くの文献を環境条件など条件毎に纏まった形で整理した文献は見当たらない。そこで, 本論文は, 既往文献により, 供試体および構造体の強度に関する FA の強度寄与率の検討を環境条件など条件別に行った。更に, 福岡地区の2つのレディーミクストコンクリート工場における FA の強度寄与率に関して, 標準養生および構造体を模擬した簡易断熱養生供試体での検討を行った。その結果, 様々な条件下での供試体および構造体の強度における FA の強度寄与率に関してその差異を明らかにすることができた。

キーワード: フライアッシュ, 強度寄与率, 文献調査, 実態調査, 標準養生, 簡易断熱養生

1. はじめに

フライアッシュ (以下, FA) の強度寄与率 (K 値) に関する研究は, 今までに多くの研究がなされているが, それら多くの文献を環境条件など条件毎に纏まった形で整理した文献は見当たらない。

そこで, 本論文は, 既往文献により, 供試体および構造体の強度に関する FA の強度寄与率の検討を環境条件など条件別に行った。更に, 福岡地区の2つのレディーミクストコンクリート工場における FA の強度寄与率に関して, 標準養生および構造体を模擬した簡易断熱養生供試体での検討を行った。なお, FA の強度寄与率 (K 値) は下式による。

$$C_{eq} = C + K \times FA \quad (1)$$

ここで, C_{eq} : 等価セメント量 (kg/m^3),

C : 単位セメント量 (kg/m^3)

K : FA の強度寄与率, FA : 単位 FA 量 (kg/m^3)

2. FA の強度寄与率 (K 値) に関する文献調査

2.1 調査方法および文献一覧

文献調査は, 日本建築学会および日本コンクリート工学会のホームページの論文検索システムにより, まず, 「FA」, 「強度寄与率」, 「セメント有効係数」で論文

を抽出し, 次に, それらの論文の参考文献の中で強度寄与率が検討されている論文を土木学会も含め選定した。今回対象とした 25 編の論文^{1)~25)}を表-1 に示す。

2.2 調査結果

(1) 供試体 (標準養生) の場合

表-1 に示すように多くの文献で検討がなされており, 建築分野でよく引用される文献として文献⁵⁾があり, 図-1 に FA II 種を用いた単位ポルトランドセメント量と FA の強度寄与率 (K 値) の関係を示す。各材齢とも単位ポルトランドセメント量が多いほど K 値は大きくなっており⁵⁾, この論文等の結果から, 文献²⁶⁾の解説に「FA II 種を使用するコンクリートにおいて単位ポルトランドセメント量 $250kg/m^3$ 以上とする場合は, 材齢 28 日の K 値は約 0.25 以上, 材齢 91 日の K 値は約 0.60 以上となる」と示されている。一方, 土木分野の文献²⁷⁾では, 材齢 7 日の K 値は 0.253, 材齢 28 日の K 値は 0.39, 材齢 91 日の K 値は 0.549 となっている。また, 文献^{1)~7), 10)~16), 19), 22)~25)}で材齢が長いほど K 値は大きくなり, 複数の研究機関で以下の場合に K 値が大きい結果が得られている。

a) FA の比表面積が大きい^{6), 15), 19), 25)}

b) 単位ポルトランドセメント量 (C) が大きい^{5), 22), 23), 24)}

c) FA 置換率 ($FA/(C+FA)$) が小さい^{11), 24), 25)}

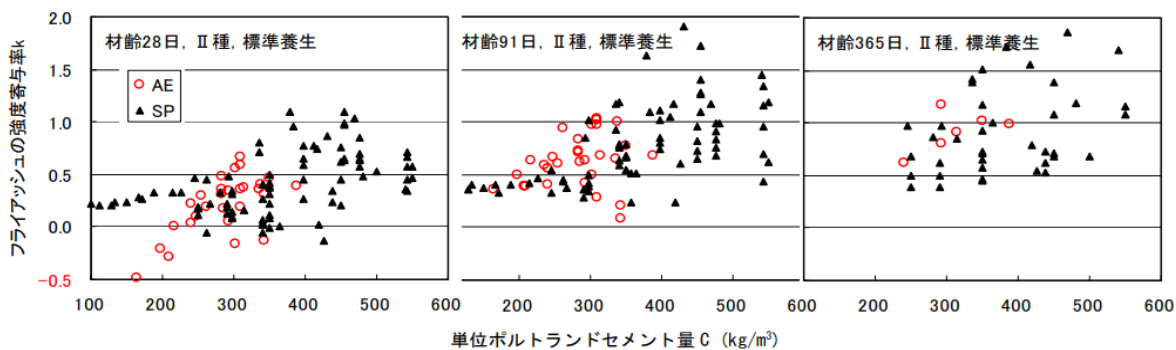


図-1 標準養生における単位ポルトランドセメント量と強度寄与率 (K 値) の関係⁵⁾

*1 西日本工業大学 デザイン学部建築学科教授 博士 (工学) (正会員)

*2 西日本工業大学大学院 環境システム分野専攻 (学生会員)

表-1 FAの強度寄与率（K値）に関する既往文献一覧

文献	FA		調合			試験体	養生条件	材齢 (日)	評価指標	性能評価条件***			
	種別*	比表面積 (cm ² /g)	セメント**	FA置換率 (%)	水結合材比 (%)					供試体			
										標準養生	封緘気中	環境温度	長期暴露
1	II	4070	N	0, 15~45	35~55	φ100×200	標準養生	28, 91	水結合材比, 材齢, FA置換率	○	—	—	—
2	I, II	—	N	0, 15~30	40~60	φ100×200	水中(10, 20, 30℃)	7~91	材齢, I種, II種, 養生温度	○	—	◎	—
3	II	3890	N	0, 16~33	40~60	φ100×200	標準養生 湿潤, 封緘, 気中	7~91	材齢, 湿潤養生期間	○	○	—	—
4										○	○	—	—
5	I~IV	—	N	0 8~70	25~65	φ100×200	標準養生 封緘, 気中	28~365	材齢, II種, IV種, 単位セメント量, 標準養生, 封緘, 気中	◎	○	—	—
6	I~IV	2570~10460	N	0~46	25~40	φ100×200	標準養生 封緘, 気中	28~365	材齢, 比表面積, C/FA, 標準養生, 封緘, 気中	○	○	—	—
7	II	3760	N	0, 15~31	30~65	φ100×200	標準養生 水中, 封緘, 気中	28~365	材齢, 単位セメント量, 標準養生, 水中, 封緘, 気中	○	○	—	—
8						壁 (600×600×250mm)	脱型後, 現場気乾 (7日17℃)	28~365	材齢, 単位セメント量, 暴露 (現場気乾)	—	—	—	◎
9	I II III	3410~6510	N	0, 15~45	27~79	φ100×200	標準養生 暴露 (つくば, 北海道, 九州)	28~365, 3年, 10年	材齢, FA置換率, 屋内暴露・屋外暴露 (つくば・北海道・九州)	—	—	—	○
10	II	3830	N	0, 15~35	40~60	φ50×100	水中(10, 20, 30℃)	3~91	材齢, 養生温度	○	—	○	—
11	II	—	N	0, 15~45	40~60	φ50×100	水中 (20, 30℃)	7~91	材齢, 養生温度, FA置換率, SiO ₂ /C ₃ S	○	—	○	—
12	II	4130	N	0, 15	50~60	φ50×100	水中 (10, 20, 30℃, 屋外)	28, 91	材齢, 養生温度, 積算温度	○	—	○	—
13	CfFA	—	N	0, 20~60	30~60	φ100×200	標準養生	7~91	材齢	○	—	—	—
14		2796	N, BB	0, 10~20	37~65	φ100×200	標準養生	7, 28	材齢, セメント水比	○	—	—	—
15		1320~4690	N	0, 10~60	30~100	φ100×200	標準養生	28~365	材齢, 比表面積, セメント水比	○	—	—	—
16		3820	N	0, 10~30	38~65	φ100×200	標準養生	7~91	材齢	○	—	—	—
17		3700~4350	N BB	0, 10~30	33~65	φ100×200	封緘 (10, 30℃)	7~91	材齢, 環境温度, FA置換率, セメント	—	○	○	—
18	—	—	N	0, 20~40	25~45	φ100×200	標準養生	7~91	材齢, 環境温度, FA種類, FA置換率	—	○	○	—
19	2240~4070	N	0, 20~40	25~45	φ100×200	標準養生	7~91	材齢, 比表面積	○	—	—	—	
20	—	—	N H	0, 10~40	50	φ50×100	封緘 (20℃)	7~91	材齢, 細孔容積率, SiO ₂ /C ₃ S (SiO ₂ +Al ₂ O ₃)/(C ₃ S-C ₂ S)	—	○	—	—
21	II	3503	N	0, 10~40	50	φ50×100	封緘 (20, 40℃)	3~28	材齢, 養生温度, FA反応率	—	○	○	—
22	スリ- II	4150	N	0, 30	27~45	φ100×200 柱 (1×1×1m)	標準養生 夏期, 標準期	28, 91	材齢, 単位セメント量, 夏期, 標準期, コンクリート練上り温度・最高温度	○	—	—	◎
24	I~IV	—	N	10~70	—	φ100×200	標準養生	28, 91	材齢, FA置換率, 単位セメント量	○	—	—	—
25	CfFA	1320~8630	N	0, 10~40	30~65	φ100×200	標準養生	7~365	材齢, 比表面積, FA置換率, セメント水比	○	—	—	—

* CfFAは加熱改質FA

** Nは普通ポルトランド, BBは高炉B種

*** ◎, ○は検討項目 (◎は本論文に図を記載)

なお、K値のばらつきが強度に与える影響は、FA置換率が小さい条件では小さくなる²⁵⁾との報告もある。

(2) 供試体（封緘・気中養生）の場合

文献⁵⁾では、FAの強度寄与率（K値）は、標準養生では材齢28日から材齢91日および365日にかけてそれぞれ1.44倍と1.97倍と材齢とともに大きくなるが、気中養生では逆に0.75倍と0.79倍に減少する。一方、封緘養生の場合のK値は、標準養生と気中養生の中間の傾向を示し、FAのポズラン効果を発揮させるためには湿潤養生を十分に行う必要がある⁵⁾と報告されている。

この論文も含め文献^{3)~7)}では、K値の大きさは、標準養生>封緘養生>気中養生となるが、標準養生と封緘養生では差が少ない。また、湿潤養生が少ない（脱型時期を早くすると長期的なK値の増進が期待できないが、単位ポルトランドセメント量が多いほど養生条件の影響は少なくなるとされている。なお、文献²⁰⁾のモルタル試験では、(SiO₂+Al₂O₃)/(C₃S+C₂S)および細孔容積率とK値の相関性が良好と報告されている。

(3) 供試体（水中・封緘養生）の温度の影響

図-2にFA置換率30%とした時の水中養生温度の違い（10~30℃）によるFAの強度寄与率（K値）の経時

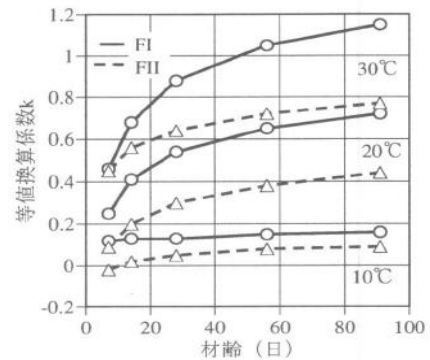


図-2 水中養生温度別のFAの強度寄与率(K値)²⁾

変化を示すが、養生温度が高いほどK値が大きくなる²⁾、この傾向は文献^{10)~12)}のモルタル試験でも見られる。また、封緘養生の10℃と30℃の比較でも養生温度が高いほどK値が大きくなっている^{17),18)}。なお、文献^{10)~12)}のモルタル試験では、水中養生温度10℃においてはK値が材齢に関わらず零に近く、SiO₂/C₃Sが大きくなるほどK値は小さくなると報告されている。

(4) 供試体の長期暴露環境の影響

文献⁹⁾の供試体の10年暴露試験によるK値は、標準養生では長期的な伸びが認められるが、屋内保存と屋外

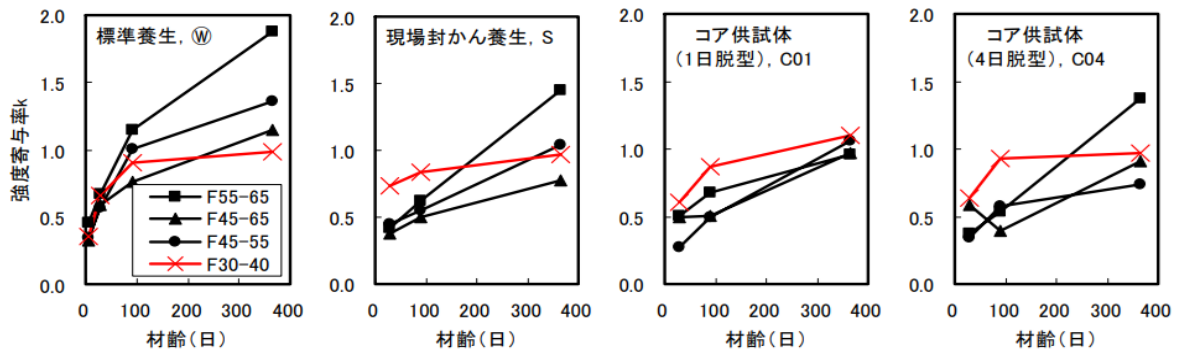


図-3 異なる養生条件下でのFAの強度寄与率(K値)の経時変化(壁状構造体)⁸⁾

暴露では材齢1年以降の増進は認められない。なお、K値は、FA置換率が小さくなるほど増加する傾向がある。

(5) 構造体での検討

図-3に異なる養生条件下での壁状構造体(600×600×250mm)のコア試験体(φ100×200mm)におけるK値の経時変化を示す。なお、図中のFの次の数字は水結合材比-水セメント比となっている。壁部材は、材齢28日のK値は調合によらず約0.3~0.6、材齢365日のK値は約0.7以上で、材齢が長いほど大きく、構造体でのコンクリートの強度発現はテストピースほど湿潤養生の影響が大きい⁸⁾と報告されている。

図-4に1m角の模擬柱構造体における夏期および標準期のK値を示すが、コンクリートの練上り温度が高くなるほどK値は大きくなっている²³⁾。

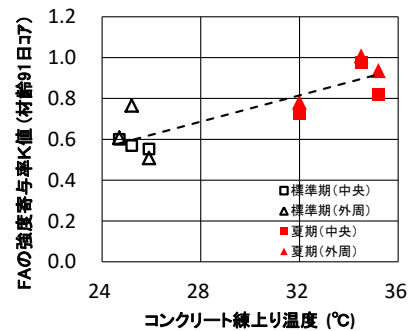


図-4 コンクリート練上り温度とFAの強度寄与率(K値)の関係(模擬柱構造体)²³⁾

3. FAの強度寄与率(K値)に関するレディーミクストコンクリート工場での実態調査

3.1 検討方法

福岡地区では、FAを120kg/m³セメント外割使用した高強度・高流動コンクリートに関して国土交通大臣の認定が取得されており、今回は2つのレディーミクストコンクリート工場での実験データを用いた。

2工場の使用材料およびコンクリートの調合を表-2および表-3に示す。セメントは同一製造会社の普通ポルトランドセメントであり、FAは同一の九州地区発電所産のJASS5M-401(JIS II種)品である。なお、ここでFAの120kg/m³セメント外割使用は、FA置換率が20%を超え30%以下となっておりFAセメントC種の場合に相当している。また、供試体はφ100×200mmで、養生方法は、標準養生と構造体を模擬した簡易断熱養生(発砲スチロール箱に12供試体)の2ケースとした。

3.2 福岡地区の2工場における検討結果

(1) 標準養生におけるFAの強度寄与率(K値)

標準養生における材齢とK値の関係を図-5に、その平均値を表-4に示す。かなりばらつきはあるが、平均のK値は、既往知見と同じく材齢が長くなるほど大きくなるが、文献^{26), 27)}の値よりはかなり大きい。

表-2 使用材料

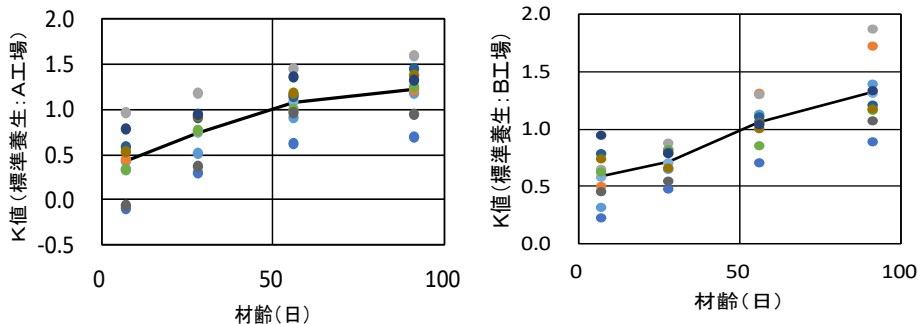
材 料		A工場	B工場	文献 ²⁸⁾
セメント(普通ポルトランド)		同一製造会社		
細骨材(海砂)		長崎県産	福岡県産	
粗骨材(石灰石砕石)		大分県産	福岡県産	
JASS5M-401(JIS II種)		九州地区の同一発電所産		
F A	強熱減量(%)	2.7	1.9	1.7
	比表面積(cm ² /g)	3990	4050	3812
	フ-値比(%)	110	108	105
	28日活性度指数(%)	85	89	84
	91日活性度指数(%)	105	106	97
混和剤		高性能AE減水剤		

表-3 コンクリートの調合

工場	スランプ スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート 打込温度 (°C)	W/C	W/ (C+FA)	FA/ (C+FA)	単位量(kg/m ³)					
				(%)	(%)	(%)	C	FA	W	S	G	
A	45±7.5	1.5	冬期 9~13°C	45	45	0	378	0	170	907	891	
	55±10			36	36	0	472	0	170	829	891	
	60±10			標準期	27	27	0	630	0	170	699	891
				20~23°C	60	42	30	283	120	170	852	891
				夏期	48	36	25	354	120	170	795	891
				30~33°C	36	29	20	472	120	170	712	875
B	23±2	1	冬期 9~13°C	48	48	0	354	0	170	877	940	
	55±10			36	36	0	472	0	170	810	907	
	60±10			標準期	27	27	0	630	0	170	666	923
				20~28°C	60	42	30	283	120	170	891	842
				夏期	50	37	26	340	120	170	813	875
				33~34°C	40	31	22	425	120	170	744	875

これは、今回のFAの活性度(表-2)が一般的に流通している文献²⁸⁾のFAより良かったことが考えられる。

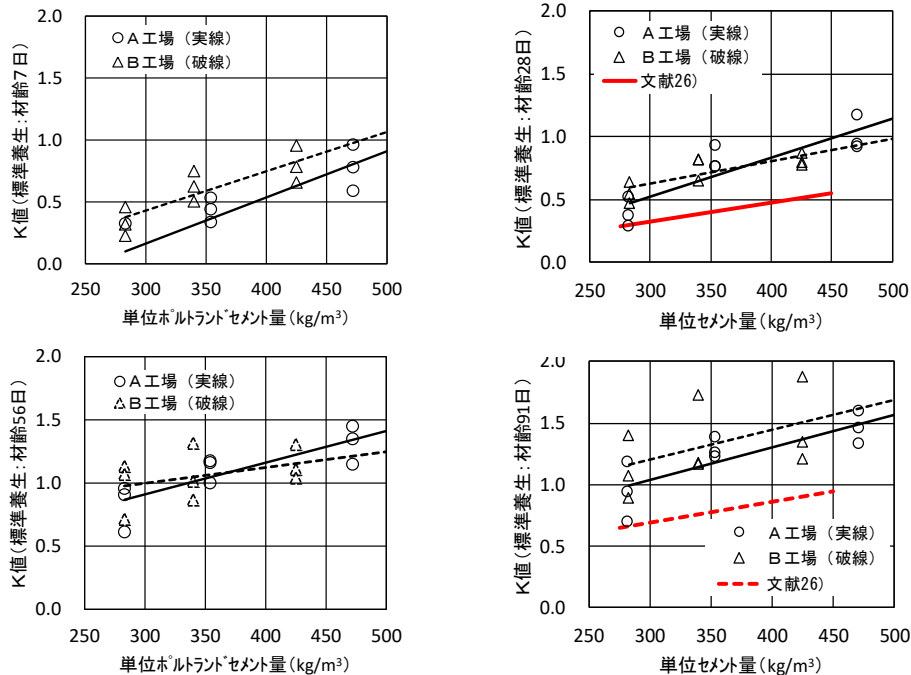
両工場における単位ポルトランドセメント量とFAの強度寄与率(K値)の関係を図-6に示す。K値は、単位ポルトランドセメント量が大きくなるほど大きく文献²⁶⁾と一致したが、材齢28日・91日のK値は、文献²⁶⁾の値よりかなり大きく、図-1の最大値付近に位置して



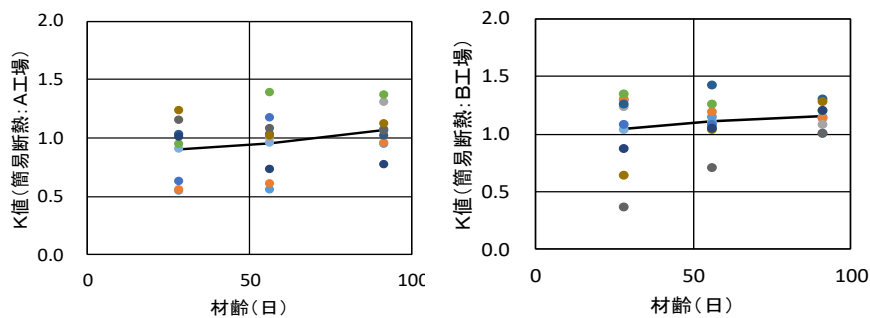
図一五 材齢とFAの強度寄与率(K値)の関係(標準養生)

表一四 FAの強度寄与率(K値)
(標準養生)

	材齢(日)			
	7	28	56	91
A工場(平均)	0.42	0.74	1.08	1.22
B工場(平均)	0.59	0.71	1.06	1.32
日本建築学会 ²⁶⁾	-	0.25以上	-	0.60以上
土木学会 ²⁷⁾	0.253	0.39	-	0.549



図一六 単位ポルトランドセメント量とFAの強度寄与率(K値)の関係(標準養生)



図一七 材齢とFAの強度寄与率(K値)の関係(簡易断熱養生)

表一五 FAの強度寄与率(K値)
(簡易断熱養生)

	材齢(日)		
	28	56	91
A工場(平均)	0.90	0.96	1.07
B工場(平均)	1.04	1.11	1.15

いる。なお、K値のばらつきの影響は、FA置換率が小さい条件では小さく表れる²⁵⁾と考えられる(FA置換率20%でKの差が0.5の場合の影響度は約10%)。

(2) 簡易断熱養生におけるFAの強度寄与率(K値)

簡易断熱養生における材齢とK値の関係を図一七に、その平均値を表一五に示す。かなりばらつきはあるが、平均のK値は、標準養生の場合と同じように材齢が長くなるほどわずかであるが大きくなっている。

また、簡易断熱養生のK値は、A工場およびB工場と

も、標準養生(表一四)と比較すると、材齢28日では大きく、材齢56日ではほぼ同等になり、材齢91日では逆に小さくなっている。これは、FAが簡易断熱の高温状態で早期に反応が進んだことと標準養生で水分補給が長期に亘り十分であったことによるものと考えられる。

次に、簡易断熱養生における冬期・標準期・夏期のK値を材齢別に図一八に示す。両工場とも、材齢28日のK値は冬期<標準期<夏期となっているが、材齢56日のK値は冬期<標準期>夏期となり、材齢91日のK値は冬期

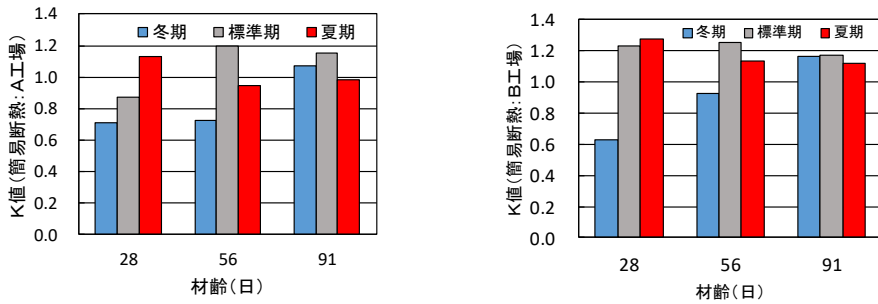


図-8 冬期・標準期・夏期におけるFAの強度寄与率K値(簡易断熱養生)

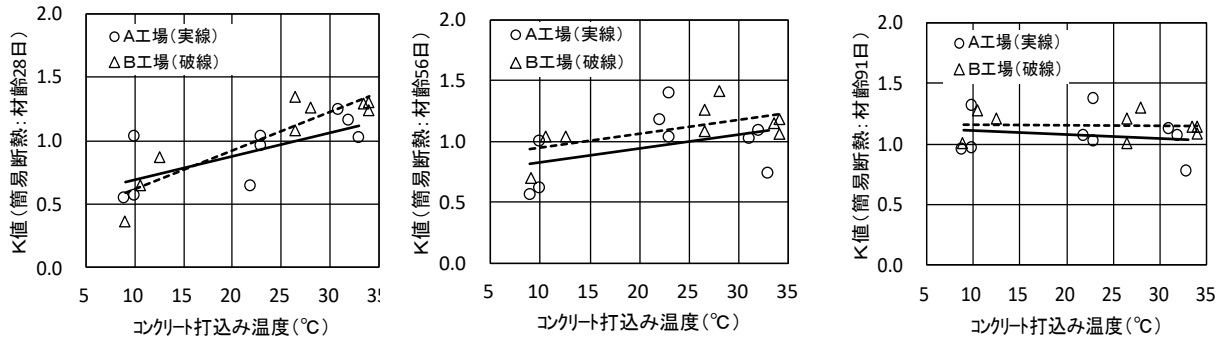


図-9 コンクリート練上り温度とFAの強度寄与率(K値)の関係(簡易断熱養生)

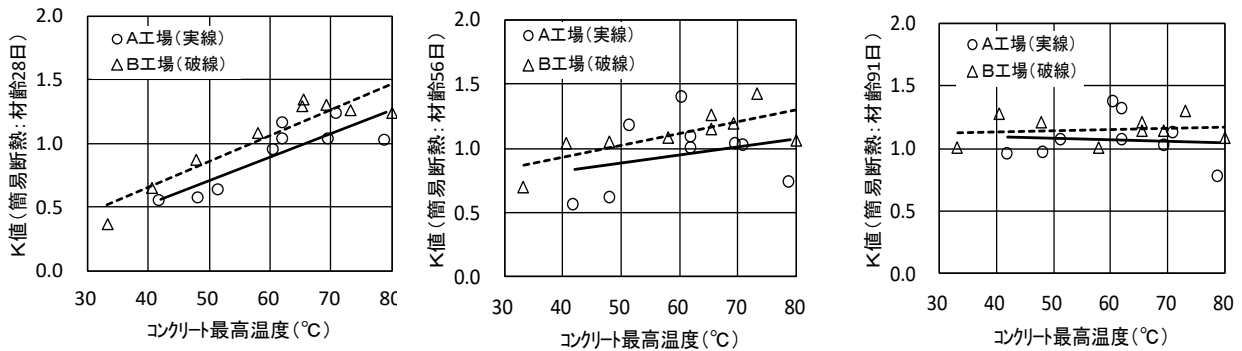


図-10 FAコンクリート最高温度とFAの強度寄与率(K値)の関係(簡易断熱養生)

・標準期・夏期ともほぼ同じとなっている。これは高温状態におけるFAの早期の反応の影響が材齢28日までに表れたものと考えられる。

簡易断熱養生におけるコンクリート練上り温度とK値の関係を図-9に、コンクリート最高温度とK値の関係を図-10に示す。材齢28日および56日のK値はコンクリート温度が高いほど大きくなる傾向が見られた。しかし、材齢91日のK値はコンクリート温度との相関は見られなく、前述の図-4の模擬柱構造体での試験結果²³⁾と異なる結果となっており今後の検討が必要と考える。

4. 結論

今回、FAの強度寄与率(K値)に関する文献調査および福岡地区の2つのレディーミクストコンクリート工場での実態調査により、以下の知見が得られた。

(1) 標準養生供試体のK値は、FAの比表面積が大きく、単位セメント量が大きく、FA置換率が小さく、材齢が長いほど大きくなる。しかし、その値はFAの性能

により大きく異なることも考えられる。ただし、そのK値のばらつきが強度に与える影響は、FA置換率が小さい条件では小さく表れると考えられる。

- (2) 供試体のK値は、標準養生>封緘養生>気中養生となるが、標準養生と封緘養生の差は少ない。
- (3) 水中および封緘養生供試体のK値は、10°C~30°Cの比較で養生温度が高いほど大きい。また、水中養生温度10°CのK値は材齢に関わらず零に近い。
- (4) 構造体を模擬した簡易断熱養生供試体のK値は、標準養生と比較すると、材齢28日で大きく、材齢56日ではほぼ同等、材齢91日では逆に小さい結果となった。これは、FAが簡易断熱の高温状態で早期に反応が進んだことと標準養生による長期に亘る水分補給が十分だったことによるものと考えられる。
- (5) 供試体の10年暴露試験によるK値は、標準養生では長期的な伸びが認められるが、屋内保存と屋外暴露では材齢1年以降の増進は認められない。
- (6) 壁構造体のK値は、材齢が長いほど大きいですが、構造

体コンクリートの強度発現はテストピースほど湿潤養生の影響が大きい。

- (7) 柱構造体のK値は、コンクリート温度が高いほど大きくなるとの報告もあるが、今回の簡易断熱供試体での試験結果を踏まえると今後検討が必要である。

なお、今回は、FAのK値の傾向を多くの文献により検討したものであり、実際に使用するFAの品質は各火力発電所の操業条件等によって大きく異なると考えられ、FAのK値は、FAが生産される発電所毎に事前に確認しておく必要があると考える。

参考文献

- 1) 牧野真之, 江口清, 飛坂基夫, 柳啓: FAを用いたマコンクリートの諸性状に関する検討, 日本コンクリート工学会年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.103-108, 1998
- 2) 國府勝朗, 上野敦, 平野将司: FAの強度発現に関する養生温度および材齢効果の定量的評価, 日本コンクリート工学会年次論文集, Vol.22, No.2, pp.79-84, 2000
- 3) 呉富栄, 榊田佳寛, 中村成春, 新沼大史: FAを使用したコンクリートの強度発現性に及ぼす養生変化の影響, 日本コンクリート工学会年次論文集, Vol.25, No.1, pp.569-573, 2003
- 4) 石川晋平, 呉富栄, 榊田佳寛, 新沼大史ほか: FAを使用したコンクリートの強度発現に及ぼす湿潤養生の影響, 日本建築学会年次大会, pp.735-736, 2003.9
- 5) 呉富栄, 榊田佳寛, 中村成春: FAの強度寄与率に及ぼすコンクリートの調合および養生の影響, 日本建築学会年次大会, pp.3-4, 2004.8
- 6) 呉富栄, 榊田佳寛, 中村成春: 高強度コンクリートにおけるFAの強度寄与効果, 日本建築学会構造系論文集, No.587, pp.1-6, 2005.1
- 7) 小川浄, 榊田佳寛, 石川嘉崇, 和泉意登志ほか: FAコンクリートを使用した構造体コンクリートの諸性質に関する実験的研究, 日本建築学会年次大会, pp.469-470, 2005.9
- 8) 呉富栄, 榊田佳寛, 石川嘉崇, 和泉意登志ほか: FAコンクリートを使用した構造体コンクリートの諸性質に関する実験的研究, 日本建築学会年次大会, pp.471-472, 2005.9
- 9) 岡野智哉, 安田正雪, 小山智幸, 千歩修ほか: FAコンクリートを使用したコンクリートの長期材齢における強度寄与率の検討, 日本建築学会年次大会, pp.641-642, 2008.9
- 10) 小川由布子, 宇治公隆, 上野敦: 置換率および養生条件がFAを用いたモルタルの品質に及ぼす影響, 日本コンクリート工学会年次論文集, Vol.30, No.1, pp.207-212, 2008
- 11) 小川由布子, 寺川麻美, 宇治公隆, 上野敦: モルタルの強度発現性状に置けるFAの性能評価, 土木学会年次学術講演会講演梗概集, V-486, pp.971-972, 2010
- 12) 小川由布子, 宇治公隆, 上野敦: FAの結合材としての性能に対する養生温度の影響, 土木学会論文集 E2, Vol.67, No.4, pp.482-492, 2011
- 13) 佐藤嘉, 伊藤七恵, 大谷俊浩, 上田賢司ほか: CFaFAコンクリートの耐久性に関する研究, 日本建築学会年次大会九州支部研究報告, 第49号, pp.29-32, 2010.3
- 14) 上田賢司, 佐藤嘉昭, 山田高慶, 大城愛ほか: 改質石炭灰コンクリートの調合設計の確立に関する研究, 日本建築学会九州支部研究報告, 第49号, pp.21-24, 2010.3
- 15) 伊藤七恵, 佐藤嘉昭, 上田賢司, 大谷俊浩: 高品質FAを用いたコンクリートの調合設計に関する研究, 日本コンクリート工学会年次論文集, Vol.33, No.1, pp.167-172, 2011
- 16) 古賀大嗣, 濱永康仁, 伊藤七恵, 上田賢司ほか: CfFAコンクリートの耐久性に関する研究, 日本建築学会九州支部研究報告, 第51号, pp.33-36, 2012.3
- 17) 上本洋, 佐藤嘉昭, 上田賢司, 佐藤貴之: コンクリートの温度が加熱改質FAを混和したコンクリートのフレッシュ性状および硬化性状に及ぼす影響, 日本コンクリート工学会年次論文集, Vol.38, No.1, pp.93-98, 2016
- 18) 上田賢司, 上本洋, 佐藤嘉昭, 大谷俊浩ほか: コンクリート温度がFAコンクリートの諸性状に及ぼす影響, 日本建築学会年次大会, pp.67-68, 2016.8
- 19) 上田賢司, 石田征男, 佐藤嘉昭, 大谷俊浩ほか: 加熱改質FAを用いた高流動コンクリートの基本物性に関する検討, 日本建築学会年次大会, pp.27-28, 2017.8
- 20) 羽尻雅司, Huynh T. Phat, Bui P. Trinh, 小川由布子ほか: FA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, 土木学会中国支部第69回研究発表会, V-1, pp.311-312, 2017
- 21) 三吉勇輝, HUYNH TAN PHAT, 小川由布子: 異なる養生温度におけるFAモルタルの強度発現性脳に対するセメント有効係数およびFAの反応率の検討, 土木学会年次学術講演会, V-219, pp.437-438, 2018.8
- 22) 船本憲治: 高温環境下のFAコンクリートにおけるFAの強度寄与率に関する研究, 日本建築学会年次大会, pp.33-34, 2017.7
- 23) 船本憲治: 高温環境下の高強度・高流動コンクリートにおけるFAの強度寄与率および構造体強度補正值に関する研究, 日本コンクリート工学会年次論文集, Vol.40, No.1, pp.117-122, 2018
- 24) 陶山裕樹, 小山智幸, 高巢幸二, 小山田英弘: 文献調査に基づくFAの強度寄与率を考慮したコンクリートの調合設計方法に関する検討, 日本建築学会九州支部研究報告, 第58号, pp.9-12, 2019.3
- 25) 佐藤嘉昭, 石田征男, 大谷俊浩: 改質石炭灰の強度寄与率を用いた配調合設計に関する研究, 日本建築学会九州支部研究報告, 第58号, pp.13-24, 2019.3
- 26) 日本建築学会: FAを使用するコンクリート調合設計・施工指針・同解説, 2007
- 27) 土木学会: 循環型社会に適したFAコンクリートの最新利用技術, コンクリートライブラリー132, 2009
- 28) 石川嘉崇, 高田進治, 高英雄: FAJIS II種品の品質分布に関する調査, 日本建築学会技術報告集, 第24号, pp.1-4, 2006.12