

論文 コンクリート温度が加熱改質フライアッシュ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

上本 洋*1・佐藤 嘉昭*2・上田 賢司*3・佐藤 貴之*4

要旨: 本研究は、東北地方で発生するフライアッシュ(以下 FA)を加熱改質フライアッシュに改質し、震災復興に貢献する建設資材としての利用を目的として、環境温度と FA 置換率が広範囲の配(調)合のコンクリートに及ぼす影響を明らかにする実験を行った。その結果、低水結合材比を除き、FA を混和することで目視によるコンクリート性状は良好であった。AE 剤は、強熱減量の高い FA の混和や FA 置換率の増加に伴い、使用量が増加した。圧縮強度は、セメント種類および FA 混和の有無にかかわらず、環境温度 10℃での圧縮強度が大きく、30℃の圧縮強度が小さい傾向が見られた。

キーワード: 改質フライアッシュ, フレッシュ性状, コンクリート温度, 圧縮強度, 強度寄与率

1. はじめに

フライアッシュ(以下 FA)をコンクリート用混和材として利用することは、環境負荷低減および副産物の有効利用を適えるのみならず、コンクリート構造物の品質向上に寄与することは良く知られている。昨今の電力事情は火力発電所への依存を高め、副産物である石炭灰の排出量は増加傾向にあり、さらなる有効利用が必要と考えられる。FA はボイラーの燃焼温度や原炭の種類により品質が変動するため、利用促進のためには品質の安定化が重要である。加熱改質フライアッシュ(CfFA: Carbon-free Fly Ash)は、石炭灰原粉の未燃カーボンを燃焼させる工程を経ることにより、未燃カーボンを 1%以下に低減し、品質の安定化を図った FA である。

本研究では、東北地方で発生する FA を CfFA に改質し、震災復興に貢献するコンクリート用混和材として利用することを目的として、コンクリート打設時の温度と CfFA 置換率がコンクリートのフレッシュ性状と強度に及ぼす影響を明らかにすることにした。

2. 実験

2.1 実験概要

表-1 に試験項目と試験方法を示す。すべての配(調)合においてスランブ、空気量、コンクリート温度の測定および圧縮強度試験を行った。温度条件は 10, 20, 30℃の 3 水準とし、使用前 24 時間以上の材料の貯蔵から打設後 24 時間経過して脱型が終了するまでの環境温度を一定に保ち、その後、標準養生を行った。また、環境温度 10℃および 30℃の一部の配(調)合(後述の No. 7, 9, 12, 25, 27, 30)では環境温度と同じ温度で封かん養生を実施し、所定の材齢で圧縮強度試験を行った。

表-1 試験項目と試験方法

試験項目	試験方法	目標値および材齢
スランブ	JIS A 1101: 2005	8±2.5cm, 18±2.5cm
空気量	JIS A 1128: 2005	4.5±0.5%
圧縮強度 (標準養生)	JIS A 1132: 2014 (供試体採取) JIS A 1108: 2006 (測定方法)	材齢 7, 28, 56, 91 日
圧縮強度 (封かん養生)	JIS A 1132: 2014 (供試体採取) 環境温度 30℃および 10℃で養生 (養生方法) JIS A 1108: 2006(測定方法)	材齢 7, 28, 91 日

表-2 使用材料

種類	記号	物性値
セメント	N	普通ポルトランドセメント: 密度 3.16 g/cm ³
	BB	高炉セメント B 種: 密度 3.04 g/cm ³
混和材	Fa	フライアッシュ II 種 (CfFA): 密度 2.15 g/cm ³ , ブレン比表面積 4350 cm ² /g, 強熱減量 0.33%
	Fb	フライアッシュ II 種 (CfFA): 密度 2.22 g/cm ³ , ブレン比表面積 3824 cm ² /g, 強熱減量 0.70%
	Fc	フライアッシュ II 種: 密度 2.24 g/cm ³ , ブレン比表面積 3700 cm ² /g, 強熱減量 1.25%
細骨材	S1	山砂: 表乾密度 2.57 g/cm ³ , 粗粒率 2.69
	S2	砕砂: 表乾密度 2.66 g/cm ³ , 粗粒率 2.97
粗骨材	G1	砕石 1505: 表乾密度 2.70 g/cm ³ , 実積率 57.9%
	G2	砕石 2010: 表乾密度 2.70 g/cm ³ , 実積率 57.1%
水	W	上水道水
混和剤	Ad1	AE 減水剤標準形 I 種 (高機能タイプ)
	Ad2	AE 減水剤遅延形 I 種 (高機能タイプ)
	Ad3	AE 剤 I 種

2.2 使用材料および配(調)合

表-2 に使用材料を示す。セメントは普通ポルトランドセメント(以下 N)と高炉セメント B 種(以下 BB)を用いた。混和材として使用する FA は 3 種類とした。原粉の排出元が異なる CfFA であり、JIS の FA II 種に相当する Fa および Fb, 強熱減量が CfFA に比べて若干高い一般的な FA II 種の Fc を使用した。混和剤は、環境温度が 20℃および 10℃の場合は、AE 減水剤標準形 I 種(高機能タイプ)

*1 (株)フローリック 技術本部技術センター 東日本技術センター (正会員)

*2 大分大学 工学部福祉環境工学科建築コース教授 工博 (正会員)

*3 (株)ゼロテクノ 技術部部长 博士(工学) (正会員)

*4 日本製紙(株) 技術本部技術企画部技術調査役

を使用し、30℃の場合は、AE 減水剤遅延形 I 種(高性能タイプ)を使用した。

表-3 にコンクリートの配(調)合を示す。FA を混和していないコンクリート(以下基準コンクリート)の水セメント比(以下 W/C)は、N は 65, 55, 45%の 3 水準、BB は 62.5, 52.5, 42.5%の 3 水準とした。FA コンクリートは、FA 置換率 20%を基本とし、Fa のみ 10 および 30%を追加して 3 水準とした。また、単位水量は基準コンクリートと同一とし、FA コンクリートの圧縮強度が材齢 28 日で基準コンクリートと同程度となるように、強度寄与率 k を 0.3 として $W/C'(C'=C+k \cdot FA)$ が基準コンクリートと同じになるようにした¹⁾。単位粗骨材量も基準コンクリートと同一としたが、粉体が多くワーカビリティが悪くなる配(調)合では、一部、単位粗骨材かさ容積を $0.01m^3/m^3$ 高くした。環境温度に関わらず、配(調)合は同一とし、目標スランブ(N:18±2.5cm, BB:8±2.5cm)となるように混和剤の使用量を調整し、0.1cm 単位で測定を行った。また、目標空気量(4.5±0.5%)となるように AE 剤の使用量($1A=B \times 0.002\%$)の調整も同時に行った。練混ぜは容量 55 リットルの強制二軸ミキサを用いた。材料投入後、空練りを 10 秒行い、水(Ad を含む)を投入後、90

秒間練混ぜ、フレッシュ試験および供試体採取を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ性状

表-3 にフレッシュ性状の試験結果を示す。

(1) 環境温度 20℃

FA を混和することで練上り直後のスランブは、N の場合、粉体量の少ない 65%および 55%シリーズの FA 置換率 10%や 20%の場合は、目視によるコンクリート性状は良好であった。しかし、55%シリーズの FA 置換率 30%や 45%シリーズの FA 置換率 20%以上の場合には、FA の混和によってコンクリートの粘性が著しく増加し、AE 減水剤の使用量が増加する傾向がみられた。また、45-Fa30-18N については AE 減水剤の使用量を増加しても目標のスランブを得ることができなかった。

FA の混和が空気量に及ぼす影響は、FA 置換率の増加に伴い、AE 剤の使用量が増える傾向が見られた。FA の種類に着目すると強熱減量の小さい Fa および Fb に対し、強熱減量が大きい Fc の AE 剤の使用量が 2 倍程度となった。Fc は AE 剤の使用量は増加するが、スランブが大きく、他の FA よりも単位水量が低減できる。

表-3 コンクリートの配(調)合および試験結果

No.	配(調)合 ^{*1}	FA 種類	W/C (%)	W/B (%)	FA/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)										20℃					30℃					10℃				
							W	C	FA	S1	S2	G1	G2	Ad1 (B ×%)	Ad3 (A ²)	温度 (℃)	スランブ (cm)	空気量 (%)	Ad2 (B ×%)	Ad3 (A ²)	温度 (℃)	スランブ (cm)	空気量 (%)	Ad1 (B ×%)	Ad3 (A ²)	温度 (℃)	スランブ (cm)	空気量 (%)			
1	65-F0-18N	-	64.9	64.9	0	48.8	181	279	-	689	178	474	474	0.90	3.0	19	17.9	4.8	0.90	2.0	29	17.6	4.5	0.70	2.5	10	17.4	4.2			
2	65-Fa10-18N	Fa	67.0	60.3	10	48.0	181	270	30	666	172	474	474	0.90	4.5	20	18.4	4.5	0.90	3.0	29	18.5	4.6	0.70	4.0	11	19.3	4.1			
3	65-Fa20-18N	Fa	69.6	55.7	20	47.0	181	260	65	639	165	474	474	0.90	5.5	20	18.3	4.4	0.90	4.0	29	19.2	4.5	0.70	5.5	11	19.5	4.5			
4	65-Fa30-18N	Fa	73.3	51.3	30	45.8	181	247	106	609	157	474	474	0.90	7.0	20	18.7	4.8	0.90	6.0	29	19.4	4.6	0.70	7.5	11	19.4	4.7			
5	65-Fb20-18N	Fb	69.6	55.7	20	47.1	181	260	65	641	166	474	474	0.90	6.0	20	19.0	4.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
6	65-Fc20-18N	Fc	69.6	55.7	20	47.1	181	260	65	641	166	474	474	0.90	11.5	20	19.6	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
7	55-F0-18N	-	54.8	54.8	0	46.7	181	330	-	644	167	482	482	0.90	4.0	20	18.8	4.6	0.90	3.0	29	19.5	4.5	0.70	4.5	11	18.9	4.5			
8	55-Fa10-18N	Fa	56.7	51.0	10	45.7	181	319	36	617	160	481	481	0.80	6.5	20	18.2	4.7	0.80	4.5	30	18.8	4.6	0.60	6.0	11	19.5	4.6			
9	55-Fa20-18N	Fa	59.0	47.1	20	44.4	181	307	77	586	152	481	481	0.80	7.0	20	17.9	5.0	0.80	5.5	30	17.7	5.0	0.60	7.0	11	18.5	4.9			
10	55-Fa30-18N	Fa	61.8	43.3	30	41.9	181	293	125	537	139	489	489	1.10	8.0	20	16.1	4.5	1.10	7.0	30	17.0	5.0	0.90	8.0	10	17.6	4.6			
11	55-Fb20-18N	Fb	59.0	47.1	20	44.4	181	307	77	586	152	482	482	0.80	7.0	20	18.3	4.9	0.80	4.5	30	17.8	4.3	0.60	7.0	11	18.7	4.8			
12	55-Fc20-18N	Fc	59.0	47.1	20	44.5	181	307	77	588	152	482	482	0.80	13.0	20	19.9	4.4	0.80	10.0	30	19.3	4.5	0.60	13.0	11	19.3	4.6			
13	45-F0-18N	-	45.0	45.0	0	43.6	183	407	-	576	149	490	490	0.90	6.5	20	18.2	4.9	0.90	4.5	30	19.2	4.5	0.70	6.0	11	19.5	4.2			
14	45-Fa10-18N	Fa	46.4	41.8	10	42.2	183	394	44	545	141	489	489	0.90	6.5	20	18.0	4.9	0.90	4.5	30	17.0	4.9	0.70	6.5	11	18.5	4.6			
15	45-Fa20-18N	Fa	48.3	38.6	20	39.5	183	379	95	493	128	497	497	1.20	8.5	20	16.8	5.0	1.20	6.0	30	14.9	4.3	1.00	8.5	11	17.6	4.6			
16	45-Fa30-18N	Fa	50.8	35.5	30	37.2	183	360	155	448	116	497	497	1.60	10.5	21	8.9	4.5	1.60	9.0	29	10.5	4.0	1.40	12.5	11	9.5	4.5			
17	45-Fb20-18N	Fb	48.3	38.6	20	39.5	183	379	95	495	128	497	497	1.20	8.0	20	18.0	5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
18	45-Fc20-18N	Fc	48.3	38.6	20	39.5	183	379	95	495	128	498	498	1.20	12.0	20	19.6	4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
19	62.5-F0-8BB	-	62.5	62.5	0	44.1	158	253	-	648	168	539	539	0.90	3.0	19	8.3	4.8	0.90	1.5	30	8.1	4.2	0.70	2.5	10	7.9	4.6			
20	62.5-Fa10-8BB	Fa	64.2	57.9	10	43.3	158	246	27	625	162	539	539	0.90	4.5	19	10.3	4.9	0.85	2.5	29	8.4	4.1	0.65	3.5	11	8.4	4.2			
21	62.5-Fa20-8BB	Fa	66.9	53.6	20	42.4	158	236	59	602	156	539	539	0.85	5.3	19	9.3	4.6	0.85	4.0	29	9.4	4.5	0.65	5.5	10	8.5	4.6			
22	62.5-Fa30-8BB	Fa	70.5	49.4	30	41.3	158	224	96	576	149	537	537	0.90	6.5	19	9.2	4.6	0.90	5.5	30	9.7	4.0	0.70	7.0	11	8.0	4.2			
23	62.5-Fb20-8BB	Fb	66.9	53.6	20	42.3	158	236	59	602	156	539	539	0.80	5.0	19	9.6	4.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
24	62.5-Fc20-8BB	Fc	66.9	53.6	20	42.4	158	236	59	604	156	539	539	0.80	10.5	19	11.9	4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
25	52.5-F0-8BB	-	52.5	52.5	0	42.0	158	301	-	602	156	547	547	0.90	3.0	18	8.7	4.2	0.90	2.5	29	9.7	4.9	0.70	2.5	11	8.9	4.6			
26	52.5-Fa10-8BB	Fa	54.1	48.6	10	41.0	158	292	33	578	149	547	547	0.85	4.8	20	9.7	4.6	0.85	3.5	30	8.5	4.6	0.65	4.0	11	9.0	4.5			
27	52.5-Fa20-8BB	Fa	56.4	45.1	20	39.8	158	280	70	549	142	547	547	0.80	6.0	20	8.5	4.3	0.80	6.25	30	8.1	4.6	0.60	8.0	11	7.4	4.6			
28	52.5-Fa30-8BB	Fa	59.2	41.4	30	37.5	158	267	115	506	131	554	554	1.05	10.0	20	7.0	4.4	1.05	11.0	30	7.8	4.0	0.85	14.0	11	6.8	4.5			
29	52.5-Fb20-8BB	Fb	56.4	45.1	20	39.8	158	280	70	551	143	547	547	0.80	6.5	20	8.9	4.2	0.80	6.0	29	9.3	4.5	0.60	8.0	11	8.9	4.6			
30	52.5-Fc20-8BB	Fc	56.4	45.1	20	39.9	158	280	70	553	143	547	547	0.80	14.0	20	11.3	5.0	0.80	12.0	29	9.7	4.4	0.60	16.0	11	9.4	4.4			
31	42.5-F0-8BB	-	42.5	42.5	0	37.7	164	386	-	514	133	559	559	0.90	6.0	20	9.4	4.2	0.90	4.5	30	10.1	5.0	0.70	4.5	11	10.3	4.2			
32	42.5-Fa10-8BB	Fa	43.9	39.4	10	36.2	164	374	42	483	125	558	558	0.90	10.0	20	9.0	5.0	0.90	6.0	30	9.4	4.5	0.70	9.0	11	9.5	4.5			
33	42.5-Fa20-8BB	Fa	45.7	36.5	20	33.5	164	359	90	434	112	567	567	1.10	11.0	20	7.5	4.4	1.10	24.0	30	7.8	5.0	0.90	24.0	11	7.9	4.6			
34	42.5-Fa30-8BB	Fa	47.8	33.5	30	31.3	164	343	147	393	102	566	566	1.50	24.0	20	3.5	4.1	1.50	48.0	29	6.7	4.3	1.30	60.0	11	5.5	3.3			
35	42.5-Fb20-8BB	Fb	45.7	36.5	20	33.5	164	359	90	436	113	567	567	1.10	12.0	20	10.1	5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
36	42.5-Fc20-8BB	Fc	45.7	36.5	20	33.5	164	359	90	436	113	568	568	1.10	16.0	19	13.8	4.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

*1: 配(調)合の記号・65-F0-18N の場合、左から W/C', FA の種類および置換率(F0 は無置換)、スランブおよびセメント種類 *2: 1A=B×0.002%

BB の場合、N と概ね同様の傾向であったが、42.5-Fa30-8BB については、スランプが著しく小さく、AE 剤の使用量も増加し、目視によるコンクリート性状は、粘性が著しく大きい結果であった。N の場合においても、42.5-Fa30-18N で同様の傾向であることから、W/B が 35%程度であることを考慮すると、AE 減水剤での初期分散効果では限界にあり、本来であれば、高性能 AE 減水剤を使用すべき領域である。FA の混和量は、置換率 30%において、コンクリートの粘性の増大が懸念され、低水結合材比においては、その傾向が著しいと言える。

(2) 環境温度 30°C

環境温度が 30°Cにおいては、20°Cと同様に N の場合、粉体量の少ない 65%および 55%シリーズの FA 置換率 10%や 20%では、目視によるコンクリート性状は良好であった。また、55%シリーズの FA 置換率 30%や 45%シリーズの FA 置換率 20%以上の場合も 20°Cと同様の傾向が見られたが、目視によるコンクリート性状は、20°Cの時よりも粘性が増大しているように感じられた。

BB の場合、42.5-Fa20-8BB および 42.5-Fa30-8BB は、20°Cの試験時よりも AE 剤の使用量が大幅に増加した。これは、コンクリート温度の影響や低水結合材比における練り性能の低下(AE 減水剤による初期分散効果の限界)によって、スランプは同等であるが、20°Cと比較して、空気連行性が低下した可能性も考えられるが、明確ではない。また、粘性の増大傾向がみられたことから、配(調)合上の単位水量がやや不足していた可能性もある。

(3) 環境温度 10°C

環境温度が 10°Cにおいては、20°Cおよび 30°Cと同様

に N の場合、粉体量の少ない 65%および 55%シリーズの FA 置換率 10%や 20%では、目視によるコンクリート性状は良好であった。また、55%シリーズの FA 置換率 30%や 45%シリーズの FA 置換率 20%以上の場合も 20°Cおよび 30°Cと同様の傾向が見られた。目視によるコンクリート性状は、20°Cの時よりも粘性が増大している傾向があり、概ね 30°Cと同等の結果であった。

BB の場合、42.5-Fa20-8BB および 42.5-Fa30-8BB は、20°Cおよび 30°Cの試験時よりも AE 剤の使用量が大幅に増加し、42.5-Fa30-8BB については、目標の空気量を満足することができなかった。環境温度が 30°C時と同様の傾向が見られ、現時点では明確な事が言えない為、今後の課題として検討を行う予定である。

(4) AE 剤使用量に及ぼす影響

図-1 に FA の置換率と AE 剤の使用量の関係(55%および 52.5%シリーズの Fa)を示す。N の場合、FA の置換率の増加に伴い、AE 剤の使用量が増加する傾向がすべての環境温度で見られた。BB の場合も N と同様に FA 置換率の増加に伴い、AE 剤の使用量が増加する傾向がみられ、増大量としては、BB の方が大きい結果であった。これは、スランプが小さかったことが起因していると考えられる。環境温度の違いによる AE 剤の使用量は、ほぼ同程度であった。

図-2 に FA 種類別の AE 剤の使用量を示す。FA の種類別に比較すると、全ての環境温度で 3.1 の(1)に記した傾向が見られ、Fc の強熱減量は、Fa および Fb より高く、AE 剤の使用量に影響を与えたと推察される。

図-3 に 1m³あたりの未燃カーボン量と AE 剤使用量の

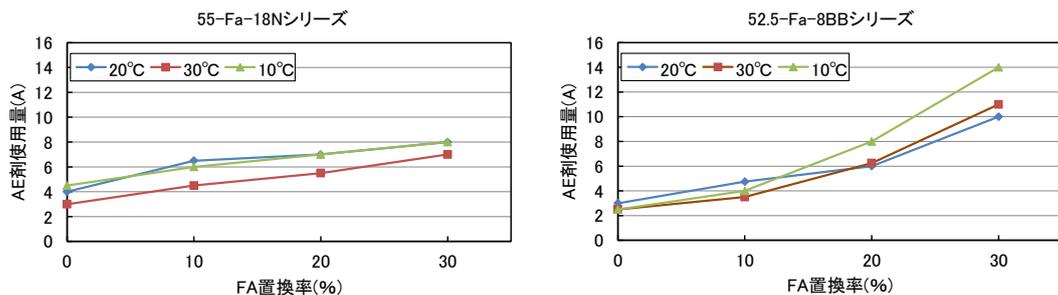


図-1 FA の置換率と AE 剤の使用量の関係 (55%および 52.5%シリーズの Fa)

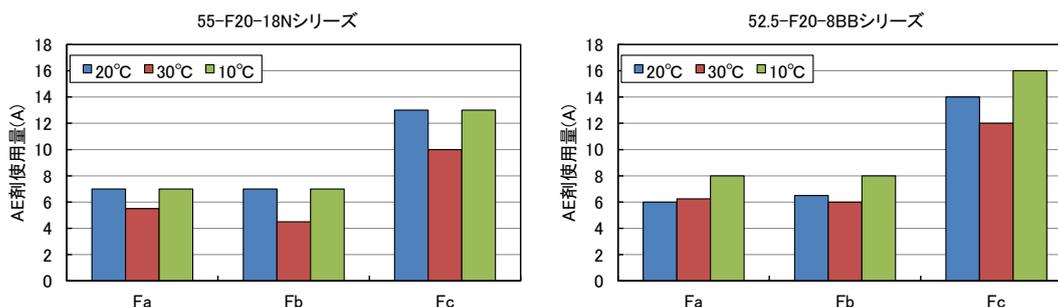


図-2 FA 種類別の AE 剤の使用量

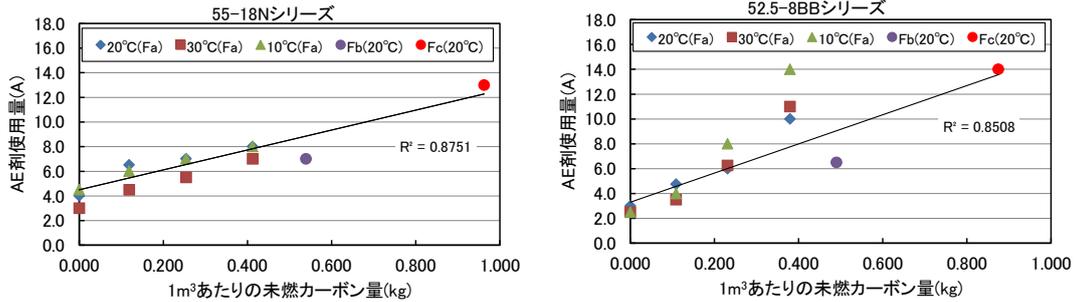


図-3 1m³あたりの未燃カーボン量と AE 剤使用量の関係

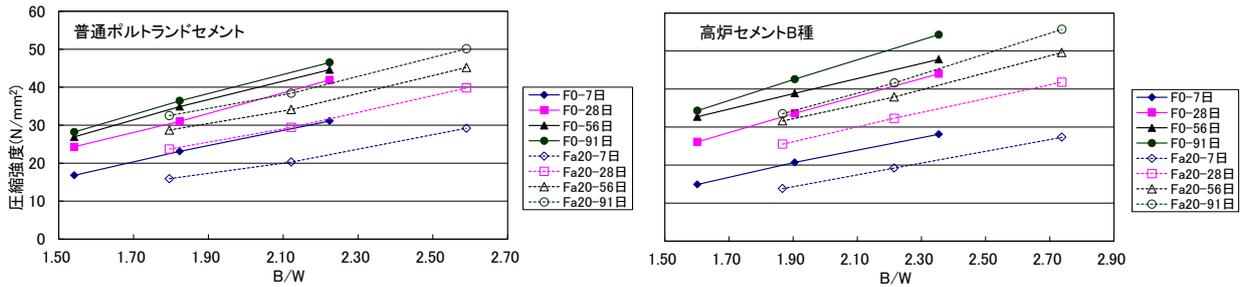


図-4 B/W と基準コンクリートおよび FA 置換率 20%の FA コンクリートの圧縮強度 (N および BB) の関係

関係を示す。Fa の場合、1m³あたりの未燃カーボン量の増加に伴い、AE 剤の使用量が増加し、ほぼ直線的な関係がみられた。Fc に関しては、Fa の直線的な傾きの延長上にプロットされていることから、未燃カーボン量と AE 剤の使用量の関係に相関性がみられると言える。しかし、Fb に関しては、Fa と Fc の中間程度の未燃カーボン量にも関わらず、Fa よりも AE 剤の使用量が少ない結果であった。この点については、FA の比表面積など、様々な要因から Fb の空気連行性が高まったことも考えられるが、今後の課題として検討を進める予定である。

3.2 圧縮強度試験結果

(1) 結合材水比と圧縮強度の関係

図-4 に環境温度 20℃における基準コンクリートおよび FA コンクリート (Fa の置換率 20%) の圧縮強度について、B/W との関係性をセメント種類ごとに示す。圧縮強度と B/W の関係は、基準コンクリートおよび FA コンクリートともに相関が高い。N の場合、材齢 28 日から 91 日での圧縮強度の増進は基準コンクリートよりも FA コンクリートのほうが大きい傾向がみられた。FA コンクリートの材齢 91 日圧縮強度は、強度寄与率を 0.3 としたことで基準コンクリートと比較して、同等以上の結果が得られた。BB の場合、材齢 28 日から 91 日での圧縮強度の増進は基準コンクリートよりも FA コンクリートがやや大きい傾向がみられた。FA コンクリートの材齢 91 日圧縮強度については、強度寄与率を 0.3 としたことで同程度の結果が得られた。

(2) 圧縮強度に及ぼす環境温度および養生温度の影響

図-5 に環境温度 10、30℃における標準養生と封かん

養生と環境温度 20℃の標準養生との圧縮強度差を示す。封かん養生は、環境温度 10℃および 30℃で行い、N の 55%シリーズおよび BB の 52.5%シリーズの基準コンクリート、Fa および Fc の FA 置換率 20%で実施した。標準養生の供試体は、セメント種類および FA 混和の有無にかかわらず、10℃での圧縮強度が大きく、30℃の圧縮強度が小さい傾向が見られた。30℃と 10℃では材齢 28 日で最大 8.0N/mm²、材齢 91 日で 10.1N/mm²の差が生じている。

一般にコンクリートの温度が高くなる夏期の圧縮強度が小さくなる傾向にあり、工事中材料試験結果²⁾においても材齢 28 日において明確な強度差が生じている。この理由として、夏期における単位水量の増加が要因として考えられるが、本実験ではエアメータ法による単位水量の確認を行っており、環境温度による単位水量の変動はないものと考えられる。神田らは脱型時の圧縮強度が異なることを指摘しており、強度の小さいほうが、自己乾燥があまり進まないうちに水が供給されるため、強度増進に有利であると述べている³⁾。本実験において、すべて 24 時間で脱型しているため、環境温度が高いほど圧縮強度は大きくなっていると考えられ、脱型時の圧縮強度差が標準養生後の圧縮強度に影響していることも考えられる。55-Fa20-18N と 55-Fc20-18N を比較すると、Fa20 の環境温度 10℃の標準養生の圧縮強度がやや大きい傾向が見られるが、概ね同様の傾向が見られた。N の場合、基準コンクリートでは 30℃封かん養生の強度が小さいが、FA コンクリートでは 20℃標準養生と同程度の強度発現であり、10℃封かん養生は圧縮強度が小さくなる。

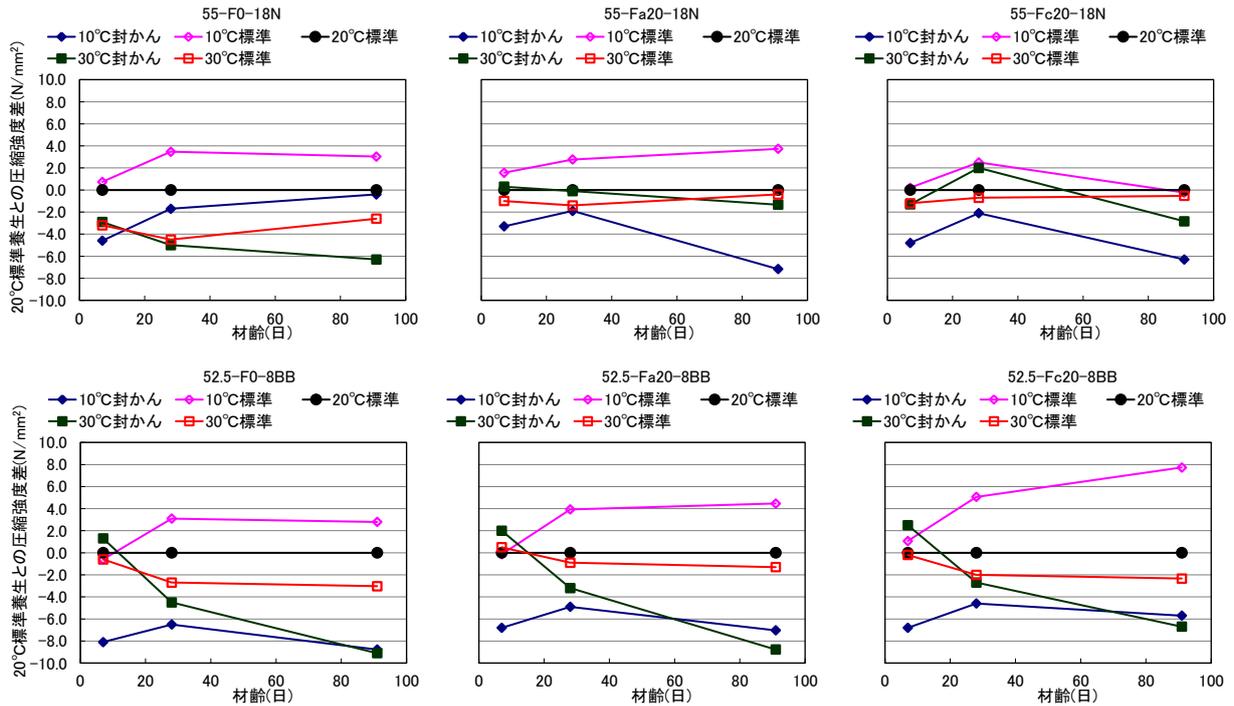


図-5 経過材齢と 20°C標準養生との圧縮強度差

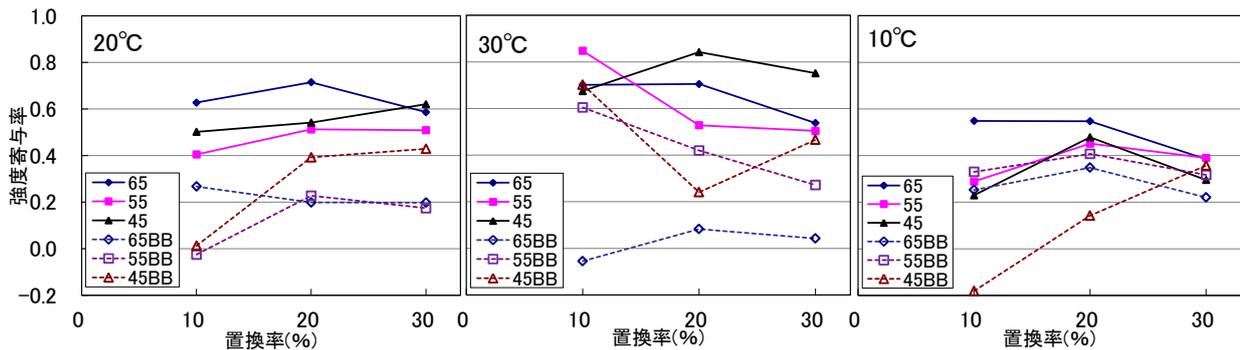


図-6 置換率 10, 20, 30%のFaを混和したコンクリートの材齢91日における強度寄与率

これは、FAのポズラン反応には温度依存性があり、小川らは養生温度 10°CではFAが強度発現に貢献しないことを示している⁴⁾ように、30°Cでは活性が高まり、逆に10°Cでは活性が期待できないためである。BBの場合、FAの混和の有無による影響は小さく、同じような傾向にある。封かん養生を比較すると、30°Cでは温度が高く水和反応が促進されるため、材齢7日では10°Cと比較して9N/mm²程度の大きくなっているが、材齢28日で2N/mm²程度になり、材齢91日では同程度になっている。

(3) 強度寄与率に及ぼす置換率および環境温度の影響

図-6に置換率 10, 20, 30%のFaを混和したコンクリートの材齢 91 日における強度寄与率を環境温度ごとに示す。強度寄与率は、FAの結合材としての強度発現性能をセメントの性能に対する比率で表したものであり、図-4に示した基準コンクリートのC/Wと圧縮強度の関係直線式により近似したものを用いて、FAコンクリートの圧縮強度試験結果とW, C, FAの単位量から算出した。

調査設計ではFAコンクリートの強度寄与率を0.3としており、0.3よりも大きい場合は、基準コンクリートよりも強度が大きいことを示している。強度寄与率は、配(調)合によるばらつきが大きく明確な傾向は見られないが、Nでは平均的に見ると環境温度が高いほど大きい傾向があり、BBでは環境温度の影響は小さい。また、BBよりもNが大きい、置換率の影響は明確には認められない。標準養生した供試体の圧縮強度は環境温度が低いほど大きくなるが、強度寄与率は環境温度が高いほど大きくなっている。打設後24時間の温度履歴がポズラン活性に影響しているとは考えにくく、理由については今後の課題としたい。

(4) 強度寄与率に及ぼすFA種類の影響

図-7に置換率が20%の材齢91日における強度寄与率をセメント種類ごとに示す。強度寄与率はNのほうが大きく、多くが0.3を大きく超えているが、BBでは0.3を下回るものが多い。また、FAの種類による影響は明確に

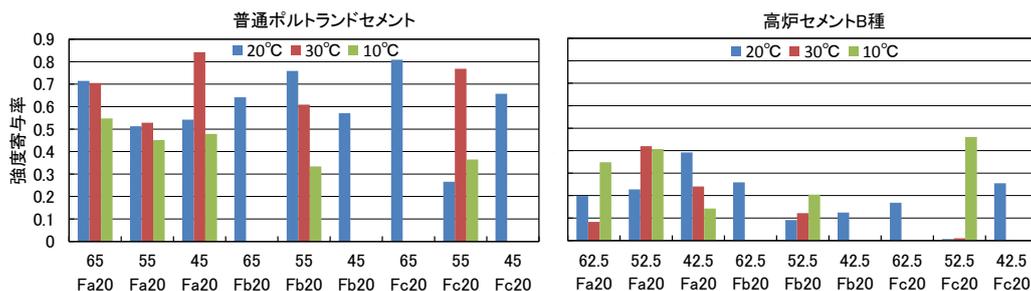


図-7 材齢 91 日における強度寄与率

は認められない。

(5) 強度寄与率に及ぼす材齢とセメント種類の影響

FA の置換率や種類が強度寄与率に及ぼす影響は明確には認められなかったため、図-8 にすべての FA コンクリートの強度寄与率の平均値の経時変化を示す。N の場合、強度寄与率は材齢の進行に伴い大きく、環境温度が高いほど強度寄与率が高い。BB の場合、環境温度の影響は小さく、N に比べて強度寄与率は小さく、56 日以降の増加が見られない。BB の場合、FA と反応できる水酸化カルシウムの生成が少ないため強度寄与率が小さくなっており、N と比べて FA による強度の増進の効果が小さくなっている。BB に FA を混和したコンクリートの長期強度について、植木らは材齢 91 日圧縮強度に対する材齢 45 年での強度比が、BB が 1.3 程度であるのに対して FA コンクリートは 1.6 以上になる⁹⁾ことを示しており、長期的には FA コンクリートの圧縮強度が大きくなると思われる。

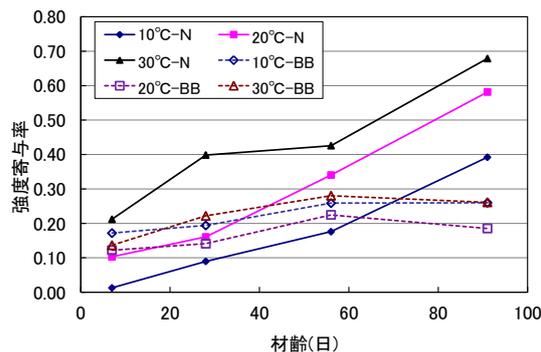


図-8 強度寄与率の経時変化

大きく、30°Cの圧縮強度が小さい傾向が見られた。

- 6) 材齢 91 日の強度寄与率は BB よりも N のほうが大きい、FA の種類による影響は明確には認められない。

謝辞

実験を実施するにあたり、(株)平成生コンクリート、関係各位に多大の協力を得ました。感謝の意を表します。

4. まとめ

東北地方で発生する FA を改質した CfFA 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コンクリート温度が及ぼす影響について以下の知見が得られた。

- 1) 全ての環境温度で N の場合、65%および 55%シリーズの FA 置換率 10%や 20%の場合、コンクリート性状は良好であった。BB の場合も同様の傾向がみられた。
- 2) 55%シリーズの FA 置換率 30%や 45%シリーズの FA 置換率 20%以上の場合に、AE 減水剤の使用量が増加する傾向がみられた。
- 3) 全ての環境温度で FA の置換率の増加に伴い、AE 剤の使用量が増加する傾向がみられた。FA の種類では、強熱減量大きい Fc の AE 剤使用量が 2 倍程度であった。
- 4) 1m³あたりの未燃カーボン量と AE 剤の使用量の関係は、直線的な関係が見られ、高い相関性がみられた。
- 5) 標準養生の供試体は、セメント種類および FA 混和の有無にかかわらず、環境温度 10°Cでの圧縮強度が

参考文献

- 1) 伊藤七恵, 佐藤嘉昭, 上田賢司, 大谷俊浩: 高品質フライアッシュを用いたコンクリートの調査設計に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp. 167-172, 2011
- 2) 日本建築総合試験所: 平成 26 年度工食用材料試験結果の集計, GBRC, Vol. 40, No. 3, pp.31-42, 2015
- 3) 神田衛, 鈴木脩, 石渡章介: 夏期におけるコンクリート強度の低下現象に関する一考察, コンクリート・ジャーナル, Vol. 8, No. 11, pp.12-19, 1970
- 4) 小川由布子, 宇治公隆, 上野敦: 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. 207-212, 2008
- 5) 植木康知, 大塚勇介, 平本真也, 檀康弘: 45 年経過した混合セメントコンクリートの長期強度発現性について, コンクリート工学論文集, 第 23 巻第 2 号, pp. 71-79, 2012