

論文 フライアッシュ超微粉末を用いた高強度コンクリートの流動性および収縮特性

藤原 了^{*1}・二戸 信和^{*2}・久保田 賢^{*3}・藤原 浩巳^{*4}

要旨：石炭火力発電所から排出されるフライアッシュを粉砕・分級により，50%累積体積通過径（以下， D_{50} ）が $1.0\mu\text{m}$ 前後のシングルミクロンからサブミクロンオーダーのフライアッシュ超微粉末を試作した。試作したフライアッシュ超微粉末を用いて高強度コンクリートの流動性や収縮特性などの確認を行った。その結果， $D_{50}=0.8\mu\text{m}$ 程度のフライアッシュ超微粉末を用いることでシリカフュームを用いた高強度コンクリートと同程度の流動性や収縮特性となることが分かった。

キーワード：フライアッシュ超微粉末，高強度コンクリート，自己収縮，乾燥収縮，流動性，充填性

1. はじめに

シリカフュームと同様にボゾラン反応を有するフライアッシュを超微粉末化し，高強度コンクリート用混和材として利用する研究はいくつか実施されている。既往の研究では，50%累積体積通過径（以下， D_{50} ） $=5\mu\text{m}$ 程度のサイズのフライアッシュ超微粉末を用いた強度特性を把握する研究が多い^{例え，1)}。しかしながら， $5\mu\text{m}$ 以下の領域の研究例や，流動性や収縮特性などに着目した研究は少ない。

これまでに筆者らは，粉砕コストが比較的安価である乾式粉砕・分級によってフライアッシュを $D_{50}=0.8\sim 2\mu\text{m}$ 程度のシングルミクロンからサブミクロンオーダーにまで超微粉末化したフライアッシュ超微粉末を試作した。試作したフライアッシュ超微粉末の粒度とその置換率を変化させてモルタルおよびコンクリートのフレッシュ性状，圧縮強度および作業性などの各種性状について確認を行い，フライアッシュ超微粉末の最適粒径や置換率について検討した。その結果，水結合材比 15%のコンクリートの場合， $D_{50}=0.8\mu\text{m}$ 程度のフライアッシュ超微粉末を結合材に対して 30%内割置換した場合，シリカフュームを 15%内割置換した場合よりフレッシュ性状，圧縮強度および作業性が良好となることを報告²⁾した。

実際の高強度コンクリートを打込む際には，ポンプによる打込みが予測されるため，経過時間によるフローロスが小さいこと，高い流動性，自己充填性および良好な作業性を確保することが要求される。そのため，フライアッシュ超微粉末を用いた高強度コンクリートの経過時間による流動性の変化や，収縮特性および自己充填性などを把握する必要がある。また，柱部材など断面やスパンの比較的大きなコンクリートで使用されることが予測されるため，収縮特性や断熱温度上昇特性など把握する

必要があると考えられる。

そこで，本研究では， $D_{50}=0.8\sim 2\mu\text{m}$ 程度のフライアッシュ超微粉末とシリカフュームを用いた高強度コンクリートを比較することで，フライアッシュ超微粉末の高強度混和材としての適用の可能性について確認することとした。具体的には，経過時間によるコンクリートフローおよび V 漏斗流下時間の変化，自己収縮，乾燥収縮，U 型試験機を用いた自己充填性の把握，および作業員による作業性の定性評価と回転粘度計を用いた作業性の定量評価の比較，模擬部材の内部温度による影響を把握する目的で簡易断熱養生時の硬化特性の確認を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本研究で使用した材料を表-1 に，フライアッシュ超微粉末と比較用のシリカフュームの粒度分布を図-1 に示す。粒度分布はレーザー回折式粒度分布測定器(Microtrac MT3300EX II)によって測定を行った。なお，表-1 の記号の数値は D_{50} を表す。

フライアッシュ超微粉末は，フライアッシュ II 種を原料とし，乾式粉砕・分級による微粉砕方法により製造した。また，本研究で用いたフライアッシュ超微粉末は，筆者らの過去の研究²⁾によって，シリカフュームを用いた高強度コンクリートと同程度の圧縮強度とフレッシュ性状が得られた $D_{50}=0.8\mu\text{m}$ 程度のフライアッシュ超微粉末とその 2 倍の粒径である $D_{50}=1.6\mu\text{m}$ 程度のフライアッシュ超微粉末を用いた。ポルトランドセメントは，低水結合材比において粘性が比較的大きい普通ポルトランドセメントを母体とし，各混和材の比較を行うこととした。

2.2 実験水準と練混ぜ方法

本研究で比較した実験水準を表-2 に示す。FA0.8 を用

*1 (株)デイ・シイ 技術センター 技術開発課 サブリーダー 修士(工学) (正会員)

*2 (株)デイ・シイ 技術センター 技術開発課 課長 博士(工学) (正会員)

*3 (株)デイ・シイ 技術センター 取締役執行役員 センター長

*4 宇都宮大学 地域デザイン科学部 社会基盤デザイン学科 教授 博士(工学) (正会員)

表-1 使用材料

名称	材料名	記号	物性
水	上水道水	W	-
セメント	普通ポルトランドセメント	OPC	密度3.16g/cm ³
混和材	フライアッシュ超微粉末1	FA1.6	密度2.65g/cm ³ 、D ₅₀ 1.63μm
	フライアッシュ超微粉末2	FA0.8	密度2.67g/cm ³ 、D ₅₀ 0.81μm
	シリカフューム	SF0.4	密度2.25g/cm ³ 、D ₅₀ 0.36μm
細骨材	安山岩砕砂	S	密度2.63g/cm ³
粗骨材	安山岩砕石	G	密度2.64g/cm ³
混和剤	高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系
	凝結遅延剤	R	変性リグニンスルホン酸化合物とオキシカルボン酸化合物の複合体
	消泡剤	AE	ポリアルキレングリコール誘導体

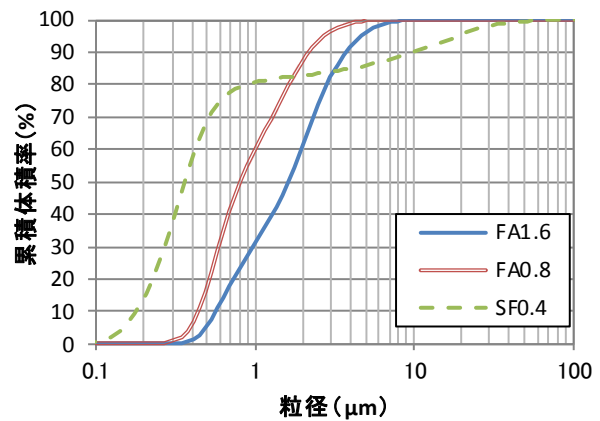


図-1 混和材の粒度分布

表-2 実験水準

配合No.	W/B (%)	混和材種類	混和材置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)			
				W	B	S	G
FA0.8-30	15.0	FA0.8	30	150	1000	497	824
FA0.8-20		FA0.8	20			513	
FA0.8-30R		FA0.8	30			497	
FA1.6-30		FA1.6	30			495	
SF0.4-15		SF0.4	15			489	

いた水準は重量置換率 30 および 20%とし、FA1.6 を用いた水準は 30%とした。また過去の研究²⁾より、フライアッシュ超微粉末を用いることで SP 添加率がシリカフュームを用いた場合より低下し、フローロスが予測されたため、FA0.8 を 30%置換した水準のみ一般的な遅延剤を添加した水準も実施した。比較用のシリカフュームを用いた水準は 15%の置換率とした。コンクリートの水結合材比および単位水量は、全ての水準においてそれぞれ 15%、150kg/m³とした。ただし、結合材についてセメント、フライアッシュ超微粉末およびシリカフュームは練混ぜ時に別々に計量してミキサに投入した。

練混ぜ時は、強制二軸型ミキサを用いて公称容量 60L に対して練量 40L とした。

練混ぜの順序は、結合材+細骨材投入→空練 30 秒→注水→モルタル化時間+60 秒→粗骨材投入後 120 秒→5 分静置→30 秒練混ぜ→排出とした。ここで、モルタル化時間とは練混ぜ開始から目視により水と結合材と砂が一体化し、その後一体化の状態がほとんど変化しないと判断される時間を「モルタル化時間」とした。

2.3 実験項目と測定方法

(1) フレッシュ性状

スランプフローは、JIS A 1150 に準拠して測定を行った。経過時間によるフロー値の変化を把握する目的で、練上がりからの経過時間 5、30 および 60 分において測定を行った。測定はフロー値、50cm フロー通過時間およびフロー停止時間を計測した。各水準のコンクリートの 50cm フロー通過時間とフロー停止時間による流動性や粘性の違いを確認する目的で、フロー値は 70cm±10cm と

大きめの目標値に設定し、空気量は 2.0%以下を目標とした。フロー値の目標範囲となるようにポリカルボン酸エーテル系の SP 添加率を調整した。

V 漏斗流下時間は、高流動コンクリートの漏斗を用いた流下試験方法（案）JSCE-F512-2018 に準拠して測定を行った。吐出口の寸法は 75mm の V 漏斗試験機を用いた。スランプフローと同様に、練上がりからの経過時間 5、30 および 60 分において測定を行った。

U 型充填試験は、高流動コンクリートの充填試験方法（案）JSCE-F511-2018 に準拠して測定を行った。流動障害は異形棒鋼 D13 を 3 本配置した「障害 R2」とし、充填時間と充填高さを測定した。

(2) 作業性の評価と回転粘度計による評価

作業性の評価は、スコップによる練返しや供試体成型時の力の必要具合について順位をつけて定性評価を行った。1 人 10 点を最高として 3 人の作業で点数をつけて評価を行った。この評価は作業者の感覚による定性評価であるため、回転粘度計 (Malvern Panalytical Kinexus pro) による定量評価も同時に行った。測定には、長さ 21mm、羽根の直径 25mm の Vane プレートを使用した。ペースト配合は、表-2 に示す水結合材比 15%とし、練上がり時のフロー値を 180±10mm の範囲になるように SP 添加率により調整した。フローコーンはφ50×50mm コーンを用い、練上がり 5、30 および 60 分において測定を行った。なお、フローおよび回転粘度計の測定前に 20 回薬さじでかき混ぜてから測定を行った。練混ぜは 1L とし、3L 容量のモルタルミキサを用い、空練 10 秒→注水→ペースト化時間まで 139rpm (低速)→120 秒間 285rpm (中速)で練混ぜを行った。ここで、ペースト化時間とは、モルタ

ル化時間と同様に、練混ぜ開始から目視により水と結合材が一体化し、その後一体化の状態がほとんど変化しないと判断される時間である。

(3) 圧縮強度と静弾性係数

圧縮強度は、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の円柱供試体とし、JIS A 1108 に準拠して測定を行った。24 時間後の脱型から 20°C の水中養生を行い、材齢 7, 28, 56, 91 および 365 日で圧縮強度の確認を行った。実験水準 FA0.8-30 と SF0.4-15 については、 20°C の水中養生において材齢 7 および 28 日の圧縮強度の確認を行うとともに、大きさ $900\text{mm} \times 900\text{mm} \times$ 高さ 700mm 、断熱材厚さ 200mm の写真-1 に示す簡易断熱養生箱を用いた簡易断熱養生において材齢 28, 56, 91 および 182 日の圧縮強度の確認を行った。

静弾性係数は、コンクリートの静弾性係数試験方法 JIS A 1149 に準拠して測定を行った。測定は、圧縮強度試験と同時に実施し、コンプレッソメータ (T 社製 CM-10H) を使用した。

(4) 自己収縮と乾燥収縮

自己収縮は、JCI 自己収縮委員会試験方法 (JCI-SAS2-2 「セメントペースト・モルタルおよびコンクリートの自己収縮および自己膨張試験方法 (案)」) を参考に埋め込みひずみ (T 社製 KM-100BT) を使用し、凝結の始発を JIS A 1147 により測定した時間を基準とした。すべての水準において熱膨張係数は $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ としてひずみの温度補正を行い、供試体は $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ とした。

乾燥収縮は、自己収縮で用いた供試体を使用した。測定は自己収縮で測定している各水準 2 本の測定差がないことを確認した後、材齢 7 日の時点で 1 本の供試体の水分の蒸発が無いように密閉していたビニールとアルミテープを剥がし、温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 2\%$ の恒温恒湿室で乾燥収縮の測定を行った。測定の基準は材齢 7 日の時点の供試体のアルミテープなどを剥がした時点とした。

(5) 見掛けの線膨張係数

見掛けの線膨張係数は、溝渕らの簡易断熱温度上昇試験³⁾を参考として実験水準 FA0.8-30 と SF0.4-15 のみ実施した。写真-1 に示す簡易断熱養生箱の中に $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の簡易円柱容器の側面と底面にテフロンシートを張り付け無応力状態とした容器の中央部に埋め込みひずみ (T 社製 KM-100BT) を針金で固定し、コンクリートの打設直後から温度と自己収縮を含むひずみの計測を行った。フライアッシュ超微粉末とシリカフュームを用いたコンクリートとの線膨張係数について簡易的に比較することを目的に試験を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ性状

フレッシュ性状の試験結果を表-3 に示す。



写真-1 簡易断熱養生箱と無応力容器

目標範囲のフロー値となるように調整した SP 添加率はシリカフュームを用いた水準よりフライアッシュ超微粉末を用いた水準の方が低減できた。FA0.8-30 は SF0.4-15 と比べると 10cm 程度フロー値が小さい。ここで、FA0.8-30R の方が FA0.8-30 より SP 添加率は 0.3% 多く、フロー値も約 6cm 大きい。この結果から SF0.4-15 と同程度のフロー値である 74cm とするためには、FA0.8-30 の SP 添加率は 2.4% 程度と推測される。

モルタル化時間は FA0.8-30 と FA0.8-30R が 50 秒、SF0.4-15 が 180 秒となった。FA0.8-30 の方が SF0.4-15 と比べ、大幅にモルタル化時間は短縮した。また、FA0.8-30、FA0.8-20 および FA1.6-30 とフライアッシュ超微粉末の置換率の低下、粒径の増加とともにモルタル化時間が長くなる傾向となった。これは、フライアッシュ超微粉末の置換率の低下とともに最密充填に必要な $D_{50} = 0.6 \sim 2\mu\text{m}$ 程度の粒径が不足したためであると思われる。フライアッシュ超微粉末を用いた水準の 50cm 通過時間とフロー停止時間はシリカフュームを用いた水準より短い傾向となった。また、フライアッシュ超微粉末を用いた水準の経過時間によるフローロスや 50cm 通過時間の変化も小さいことから、遅延剤は必要ないと考えられた。

V 漏斗流下時間は、FA0.8-20 の経過時間 5 分を除いて、フライアッシュ超微粉末を用いた水準の方がシリカフュームを用いた水準より流下時間が短くなった。この結果から、フライアッシュ超微粉末を用いたコンクリートの流動性は、シリカフュームと同等以上の性能を有していることが分かった。

3.2 作業性の評価と回転粘度計による評価

コンクリートにおける作業性の評価とペースト試験結果を表-4 に、3 人の作業による作業性の点数の結果を表-5 に、各経過時間におけるせん断速度とせん断応力との関係を図-2 に、せん断速度 $50 \sim 100\text{s}^{-1}$ の傾き (塑性粘度) と作業性の点数との関係を図-3 に示す。

表-3、表-4 よりペースト化時間と SP 添加率の関係はコンクリートとほぼ同様の結果となった。表-4 より、作

表-3 フレッシュ性状の試験結果

配合No.	SP/B (%)	AE/B (%)	R/B (%)	練上がり経過時間	フロー (cm)	50cm (s)	停止 (s)	空気量 (%)	練上がり温度 (°C)	始発時間 (h-m)	モルタル化時間 (s)	V漏斗流下時間 (s)
FA0.8-30	1.9	0.03		5分	64.0	13.0	127	2.0	23.6	7-35	50	46.0
				30分	61.8	26.4	146					47.0
				60分	60.5	27.9	124					91.2
FA0.8-20	2.1	0.03		5分	70.3	16.4	153	1.6	23.9	6-00	150	63.3
				30分	70.5	25.2	204					81.3
				60分	68.0	39.7	177					166
FA0.8-30R	2.2	0.03	0.4	5分	69.8	12.7	154	1.9	23.4	14-35	50	40.5
				30分	72.5	11.6	159					35.7
				60分	68.0	18.5	174					61.3
FA1.6-30	1.6	0.03		5分	74.3	12.9	236	1.8	25.5	4-40	360	49.2
				30分	71.5	20.1	240					62.2
				60分	73.5	29.1	263					103
SF0.4-15	2.8	0.03		5分	73.8	16.5	260	1.8	24.9	9-50	180	52.2
				30分	74.0	22.5	300					110
				60分	69.5	37.2	332					216

表-4 コンクリートでの作業性の評価とペースト試験結果

配合No.	作業性の順位の番号	作業性の点数の目安(点)	作業性の評価(点)			SP/B (%)	ペーストフロー(mm)			ペースト化時間(s)
			5分	30分	60分		5分	30分	60分	
FA0.8-30	A	0~2:粘性が大きい, 重い(扱いにくい)	26	20	18	1.8	180	178	176	30
FA0.8-20	B	3~4:粘性がやや大きい, やや重い	18	14	10	2.0	188	181	176	70
FA0.8-30R	C	5~6:粘性が普通, 一般的	30	23	20	2.0	176	173	165	40
FA1.6-30	D	7~8:粘性がやや小さい, やや軽い	13	8	2	1.4	176	156	150	150
SF0.4-15	E	9~10:粘性が小さい, 軽い(扱いやすい)	25	21	20	2.9	175	154	150	130

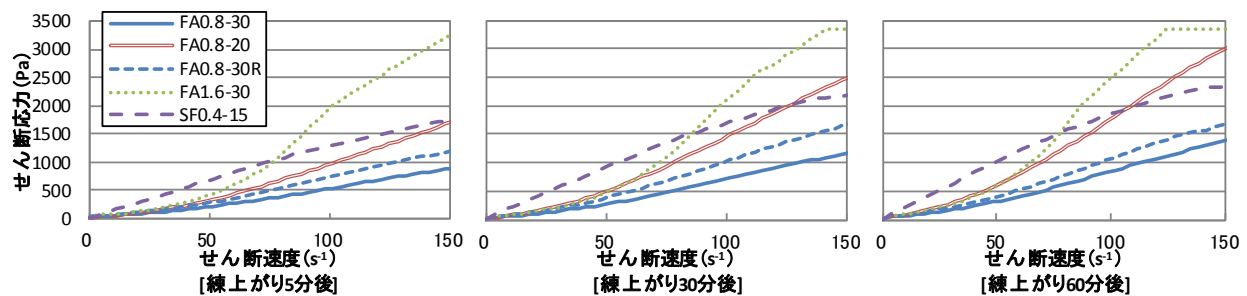


図-2 各測定時間におけるせん断速度とせん断応力との関係

表-5 3人の作業員による作業性の点数の結果

作業員	練上がり経過時間	作業性の評価 (点数)										不良
		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
作業員①	5分	C	A	E		B			D			
	30分		C	A,E		B			D			
	60分			C,E	A			B				D
作業員②	5分	C	E	A		B	D					
	30分				E	C	A	B	D			
	60分				E		A,C	B		D		
作業員③	5分	C	A	E		B	D					
	30分			C	A	E	B		D			
	60分			C	A	E		B		D		

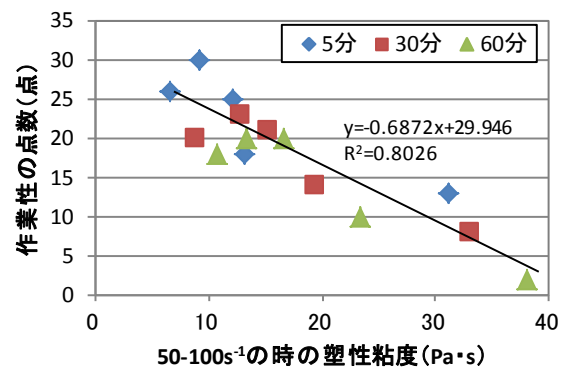


図-3 塑性粘度と作業性の点数との関係

業性の評価は、FA0.8-30R、FA0.8-30、SF0.4-15、FA0.8-20 および FA1.6-30 の順で良好となった。FA0.8-30R と FA0.8-30 の評価の差については、FA0.8-30R の練上がり時のフローが大きかったためであると思われる。また、表-5 より、すべての水準において3人の作業員の点数は経過時間とともに低下し、経過時間とともに粘性が大きくなったと推測される。これは図-2の経過時間とともに回転粘度計の塑性粘度が増加しているのと同じ傾向とな

っている。ここで、図-3の曲線が比較的直線傾向を示しているせん断速度 50~100s⁻¹ の傾きと作業性の点数との相関を確認し、図-3のような相関が得られた。この結果から、作業員の感覚による作業性の定性評価を定量評価である回転粘度計から得られる塑性粘度で評価できる可能性がある。しかしながら、今回の回転粘度計の測定データだけではデータ数が少ないため、どのせん断速度における塑性粘度を用いるのかなど、測定点数を増やし信

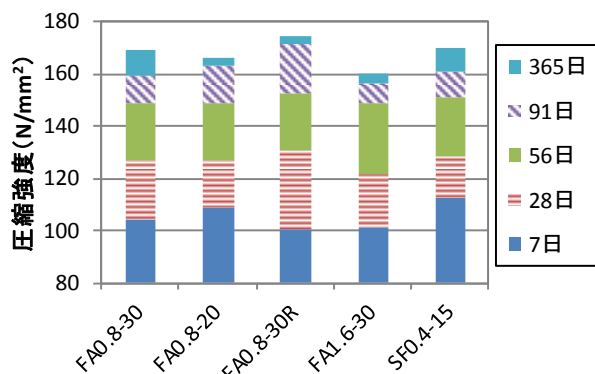


図-4 配合毎の圧縮強度

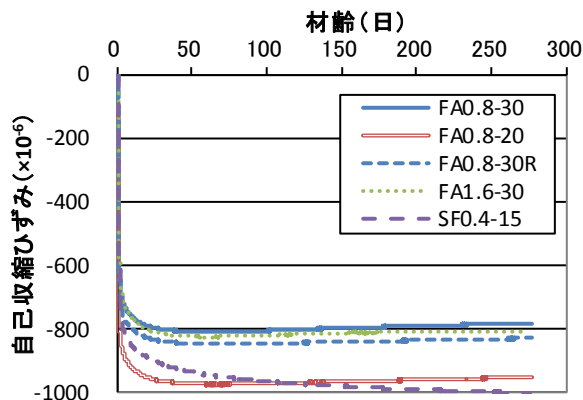


図-6 材齢と自己収縮との関係

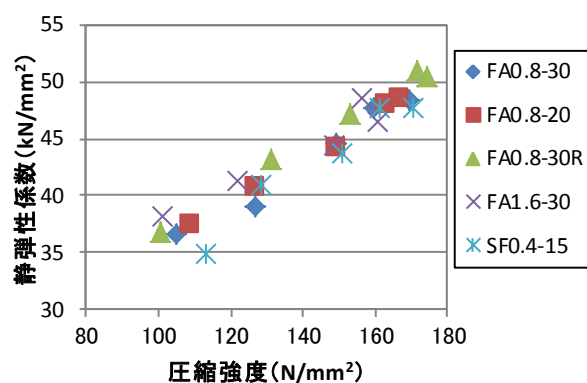


図-5 圧縮強度と静弾性係数との関係

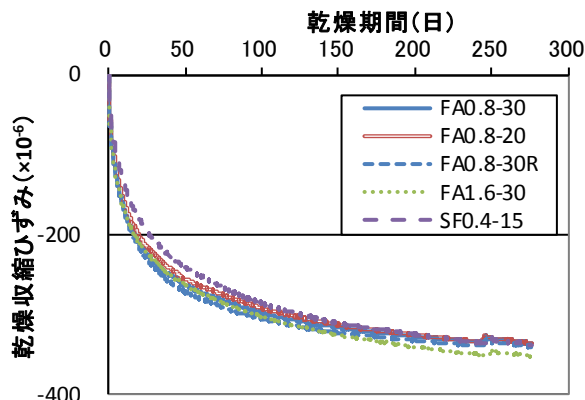


図-7 乾燥期間と乾燥収縮との関係

頼性を向上させることが今後の課題である。

3.3 圧縮強度と静弾性係数

配合毎の圧縮強度を図-4に、圧縮強度と静弾性係数との関係を図-5に示す。圧縮強度は、 $D_{50}=0.8\mu\text{m}$ を用いた水準はSF0.4-15とほぼ同程度となった。FA1.6-30は、SF0.4-15と比べて特に初期材齢において小さい値となった。これは、 $D_{50}=1.6\mu\text{m}$ の方が $0.8\mu\text{m}$ より粉末度が小さいため、ポゾラン活性度指数が低下したためであると考えられる。フライアッシュ超微粉末の粉末度の違いによるポゾラン活性度指数の違いを確認することが今後の課題である。図-5より、フライアッシュ超微粉末を用いた水準とSF0.4-15の圧縮強度と静弾性係数との関係は、ほぼ同様の関係であった。

3.4 自己収縮と乾燥収縮

材齢と自己収縮との関係を図-6に、乾燥期間と乾燥収縮との関係を図-7に示す。

図-6より、FA0.8-20を除いたフライアッシュ超微粉末を用いた水準の自己収縮は、SF0.4-15より約 $200 \times 10^{-6}\mu\text{m}$ 小さい。また、シリカフュームを用いた水準は長期材齢においても収縮しているのに対して、フライアッシュ超微粉末を用いたすべての水準は、材齢60~280日程度にかけて約 $20\mu\text{m}$ 膨張を示す傾向となった。長期材齢の実構造物においては、表面は乾燥状態となるため、今回の $20\mu\text{m}$ 程度の非常に緩やかな膨張は、その膨張量からもひび割れにほとんど影響しないと考えられる。フライアッシュ超微粉末を用いた場合の長期材齢の自己収縮の推

移および膨張メカニズムの解明が課題である。

図-7より、フライアッシュ超微粉末を用いた水準とSF0.4-15の乾燥収縮は、ほぼ同等となることが分かった。

3.5 自己充填性と簡易断熱養生の圧縮強度

U型充填試験を含むフレッシュ性状の試験結果を表-6に示す。モルタル化時間は、FA0.8-30が表-3の結果と同様に50秒、SF0.4-15が200秒となり、大幅にモルタル化時間が短くなった。V漏斗流下時間は、SF0.4-15の73.7秒に対してFA0.8-30は39.0秒であった。表-6に示すフロー値は同程度であるため、FA0.8-30の方がSF0.4-15と比べて流動性および作業性は良好であると考えられる。

U型充填時間は、SF0.4-15の86.6秒に対してFA0.8-30は57.3秒であった。この結果からも、FA0.8-30の方がSF0.4-15と比べて流動性は高いと考えられる。また、U型充填高さは、SF0.4-15の350mmに対してFA0.8-30は345mmであった。よって、FA0.8-30は、SF0.4-15と同程度の自己充填性を有していると判断できる。

圧縮強度、簡易断熱養生の最高温度および見掛けの線膨張係数を表-7に、簡易断熱養生の温度履歴を図-8に、簡易断熱養生の温度下降時の温度とひずみ変化量との関係を図-9に示す。

表-7に示す標準養生のFA0.8-30の圧縮強度は、SF0.4-15より大きな値となった。しかしながら、簡易断熱養生のFA0.8-30の圧縮強度は、全ての材齢においてSF0.4-15と比べて約 8N/mm^2 小さくなった。これは、図-8に示すFA0.8-30の簡易断熱養生の最高温度がSF0.4-15

表-6 U型充填試験を含むフレッシュ性状の試験結果

配合No.	SP/B (%)	AE/B (%)	フロー (cm)	50cm (s)	停止 (s)	空気量 (%)	練上がり温度 (°C)	始発時間 (h-m)	モルタル化時間 (s)	V漏斗流下時間 (s)	U型充填	
											時間 (s)	高さ (mm)
FA0.8-30	1.9	0.03	66.1	14.0	161	1.8	24.2	7-40	50	39.0	57.3	345
SF0.4-15	2.4	0.03	67.3	25.3	220	1.7	24.0	9-20	200	73.7	86.6	350

表-7 圧縮強度と簡易断熱養生の試験結果

配合No.	圧縮強度 (N/mm ²)						最高 温度 (℃)	見掛けの 線膨張係数 (μm/℃)
	標準養生		簡易断熱養生					
	7日	28日	28日	56日	91日	182日		
FA0.8-30	128	155	163	165	166	167	69.7	11.6
SF0.4-15	126	147	171	172	174	176	73.8	11.7

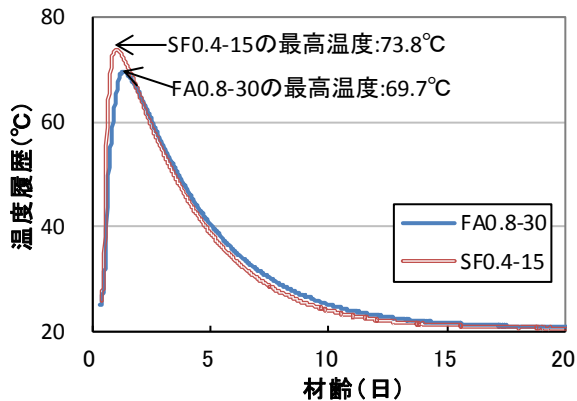


図-8 簡易断熱養生の温度履歴

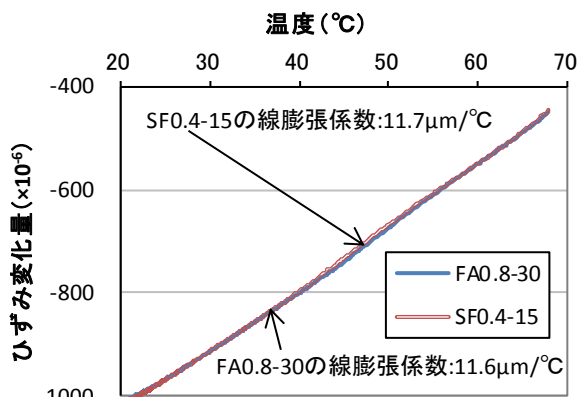


図-9 簡易断熱養生の温度下降時の温度とひずみ変化量との関係

より約 4°C 低いために強度が低下したと考えられる。

図-9 に示す簡易断熱養生の温度下降時の温度とひずみ変化量との関係より自己収縮を含む見掛けの線膨張係数を算出した。FA0.4-30 および SF0.4-15 とともに見掛けの線膨張係数は同様の値となった。この結果から、温度応力の発現に大きな影響を与える温度下降時の線膨張係数は両者とも同程度であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、フライアッシュ超微粉末を用いた高強度コンクリートの流動性や収縮特性などの確認を行った結果、以下の知見を得た。

- (1) $D_{50}=0.8\mu\text{m}$ 程度のフライアッシュ超微粉末を結合材に対して 30%内割置換した場合、シリカフュームを

15%内割置換した場合より流動性、自己充填性は同等以上の性能となる。また、モルタル化時間は大幅に短くなるため、練混ぜ時間の短縮による生産数量の向上が図れる可能性がある。

- (2) $D_{50}=0.8\mu\text{m}$ 程度のフライアッシュ超微粉末を結合材に対して 30%内割置換した場合、シリカフュームを 15%内割置換した場合より作業性は良好となる。また、作業者による作業性の定性評価と回転粘度計による定量評価との相関が得られ、作業性の定量評価の可能性が確認できた。
- (3) フライアッシュ超微粉末を用いたコンクリートの自己収縮はシリカフュームより小さくなる傾向となり、乾燥収縮はシリカフュームと同程度の収縮特性となる。しかしながら、フライアッシュ超微粉末を用いた場合、長期材齢において自己収縮が若干膨張傾向となる。
- (4) フライアッシュ超微粉末を用いたコンクリートの標準養生の圧縮強度および静弾性係数は、シリカフュームと同等以上となる。
- (5) フライアッシュ超微粉末を用いたコンクリートの簡易断熱養生の圧縮強度は、シリカフュームと比べて約 8N/mm^2 低下する。また、フライアッシュ超微粉末を用いたコンクリートの自己収縮を含む見掛けの線膨張係数は、シリカフュームと同等の値となる。

参考文献

- 1) 波多野眞司ほか：石炭灰の微粉碎化によるセメント混和材の開発，土木学会論文集，Vol.63，No.1，pp.42-51，2007.1
- 2) 藤原了，二戸信和，久保田賢，藤原浩已：フライアッシュ超微粉末の高強度コンクリート混和材への適用に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.1，pp.1197-1202，2018.5
- 3) 溝渕利明，石関浩輔，佐川孝広，関田徹志：高炉スラグ高含有セメントに含まれる少量混合材がマス養生下でのコンクリートの熱特性に与える影響に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.1339-1344，2017.5