

フライアッシュを用いた高強度コンクリートの強度および収縮特性に及ぼす温度履歴の影響について

Effect of Thermal History on Strength and Shrinkage Characteristics of High-Strength Concrete with Fly Ash

室蘭工業大学大学院工学研究科もの創造系領域 正員 菅田紀之 (Noriyuki Sugata)
室蘭工業大学大学院工学研究科環境創生工学系専攻 ○学生員 岡田雄樹 (Yuki Okada)

1. はじめに

フライアッシュを混和材として用いたコンクリートはワーカビリティの向上、アルカリシリカ反応の抑制といった効果があることが確認されている¹⁾。しかしながら初期強度発現の遅延や中性化抵抗性の低下といった影響もあり、利用が進まないのが現状である。また、そのような問題から高強度コンクリートへの適用に関する適用例も少ない。水結合材比が30%以下の高強度コンクリートの研究としては船本らの研究²⁾や深川らの研究³⁾が行われている程度であった。その後、著者らは水結合材比を25%一定としてフライアッシュを混和し高強度コンクリートに関する検討を行ってきた⁴⁾⁵⁾。しかしながらフライアッシュを混和した高強度コンクリートを実用化するためには明らかにしなければならない問題が多く残されている。高強度コンクリートを断面寸法の大きな部材に適用した場合、セメントの水和熱により内部温度が高温になる。

本研究では簡易断熱養生を用いて断面寸法の大きな部材内部の環境に近い状態を作り、フライアッシュを混和した高強度コンクリートの強度特性および収縮特性に及ぼす温度履歴、フライアッシュ置換率の影響を明らかにするために、圧縮強度試験および乾燥収縮試験を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本研究において高強度コンクリートの製作において使用した材料を表-1に示す。結合材には普通ポルトランドセメントおよびフライアッシュを用いた。使用したフライアッシュはJIS A 6201のII種規格を満たす比表面積 $4190\text{cm}^2/\text{g}$ 、密度 $2.31\text{g}/\text{cm}^3$ のものである。細骨材として陸砂、粗骨材として砕石2005を用いた。また、流動性を確保するためにポリカルボン酸系の高性能AE減水剤、空気量を調整するためにポリエチレングリコール系の消泡剤を用いた。

2.2 配合

本研究に用いた高強度コンクリートの配合を表-2に示す。水結合材比(W/B, $B=C+FA$)を25%とし、フライアッシュ置換率(FA/B)を0%、10%、20%、30%の4種類に設定した。目標スランプフローを65cm、目標空気量を1.0%として、配合を決定した。全ケースにおいて単位水量を $165\text{kg}/\text{m}^3$ とし、FA/B=0%において粗骨材絶対容積が $0.3\text{m}^3/\text{m}^3$ 程度になるように細骨材率49%とし、全ケースに適用した。

2.3 養生方法

養生方法は20℃養生(20)、簡易断熱養生(SA)および温度制御養生(TH)の3種類で行った。20℃養生は材齢24時間

表-1 使用材料

材料	特性
セメント(C)	普通ポルトランドセメント
	密度： $3.16\text{g}/\text{cm}^3$
細骨材(S)	陸砂
	表乾密度： $2.70\text{g}/\text{cm}^3$
粗骨材(G)	砕石 2005
	表乾密度： $2.68\text{g}/\text{cm}^3$
フライアッシュ(FA)	JIS II種苫東厚真発電所
	密度： $2.31\text{g}/\text{cm}^3$
高性能 AE 減水剤(SP)	ポリカルボン酸系
消泡材(DF)	ポリエチレングレコール系

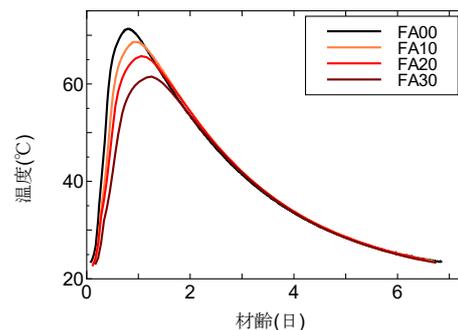


図-2 簡易断熱養生温度履歴

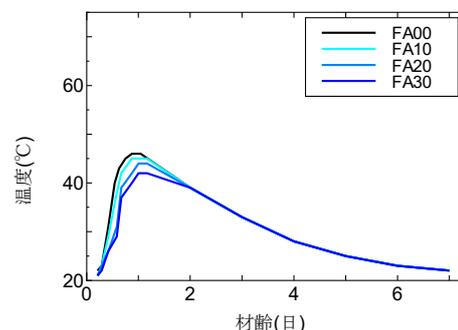


図-3 温度制御養生温度履歴

以降20℃に制御された水中で養生した。簡易断熱養生は図-1に示すような部材厚1m程度の中心部を模擬できる発泡スチロールボックスを用いた。供試体と発泡スチロールの隙間には発泡ビーズを詰め、材齢7日まで養生を行い脱

表-2 配合

記号	W/B(%)	s/a(%)	FA/B(%)	単位量(kg/m ³)						
				W	C	FA	S	G	SP	AF
FA00	25	49	0	165	660	0	815	842	4.95	0.01485
FA10			10	165	594	66	805	832	4.884	0.01465
FA20			20	165	528	132	795	821	4.62	0.01386
FA30			30	165	462	198	785	811	4.29	0.01287

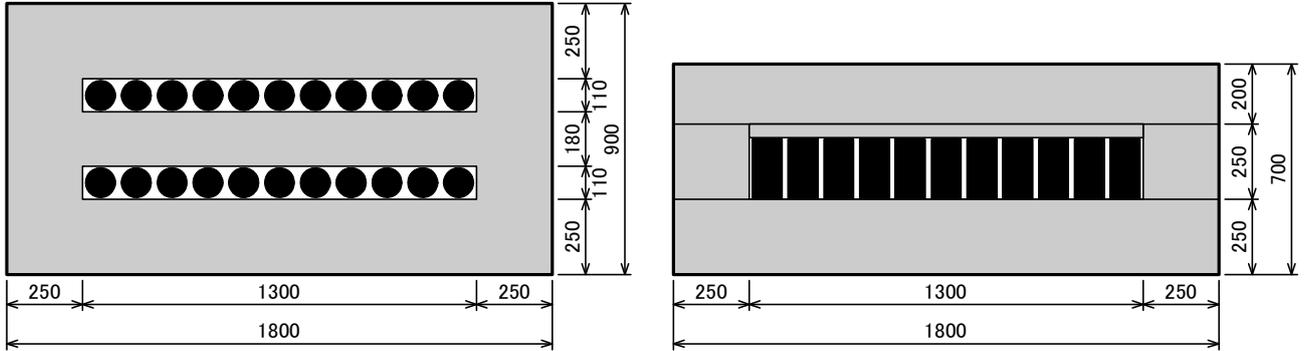


図-1 簡易断熱ボックス

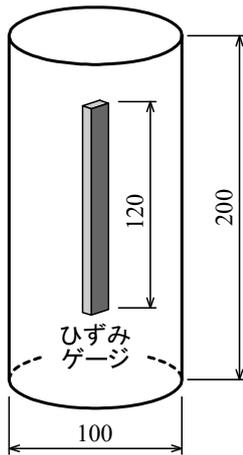


図-4 収縮試験供試体

型後温度 20℃ の水中養生とした。簡易断熱養生による温度履歴を図-2 に示す。温度制御養生は簡易断熱養生で測定された温度履歴において 20℃ からの温度上昇量 1/2 の温度で材齢 7 日まで養生し、脱型後に温度 20℃ の水中養生とした。温度制御養生で行った温度履歴を図-3 に示す。

2.4 圧縮強度試験

圧縮強度試験は JIS A 1108 に従って行った。試験には直径 100mm、高さ 200mm の円柱供試体を用いた。試験材齢は 7 日、14 日、28 日、56 日、91 日である。測定は 3 本の供試体で行い、その結果の平均値を用いた。なお供試体の打込み面は研磨機による研磨仕上げである。

2.5 乾燥収縮試験および質量変化試験

乾燥収縮試験は図-4 に示すように、直径 100mm、高さ 200mm の円柱供試体中央にゲージベース長 120mm の埋込型ひずみゲージを配置して行った。試験は 20℃ 養生、簡易断熱養生、温度制御養生の 3 種類の条件で材齢 7 日

まで封かん養生したのち供試体を脱型し、供試体の上下面にアルミテープを貼り付け、供試体側面のみを乾燥面とした。乾燥収縮試験においては同様の処理を行った供試体の質量測定同時に行い、質量減少率を算出した。

3. 結果と考察

3.1 圧縮強度

図-5 に圧縮強度試験の結果を示す。図(a)は FA00、図(b)は FA10、図(c)は FA20、図(d)は FA30 の結果である。すべての置換率において材齢 7 日強度は 20℃ 養生、温度制御養生、簡易断熱養生の順になり、最高温度が高いほど強度が大きくなっている。しかしながら 28 日強度以降は簡易断熱養生、温度履歴養生、20℃ 養生の順になり、最高温度が高いほど、強度が小さくなっていることがわかる。また簡易断熱養生では材齢 7 日以降の強度増加は小さく、材齢 91 日においても 20℃ 養生の 28 日強度を下回っている。これは初期に高温で養生したことによりセメント粒子に緻密な水和物が生成され未水和セメントと水との接触を妨害したため長期強度が 20℃ 養生、温度制御養生より増加しなかった要因として考えられる。

3.2 乾燥収縮

図-6 に乾燥収縮試験の結果を示す。乾燥開始時の材齢は 7 日、試験期間は 91 日間であり、試験環境は温度 20℃、相対湿度は 60% に制御された室内である。グラフから簡易断熱養生、20℃ 養生、温度制御養生の順で乾燥収縮ひずみが小さいことがわかる。簡易断熱養生ではフライアッシュ置換率の増加に伴い、乾燥収縮ひずみが減少している。しかしながら、20℃ 養生および温度制御養生ではフライアッシュ置換率の増加に伴い、乾燥収縮ひずみが大きくなっており経過日数 91 日では 400 μ 以上の乾燥収縮ひずみが発生していることがわかる。

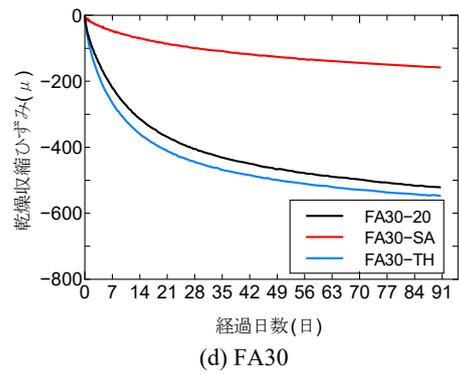
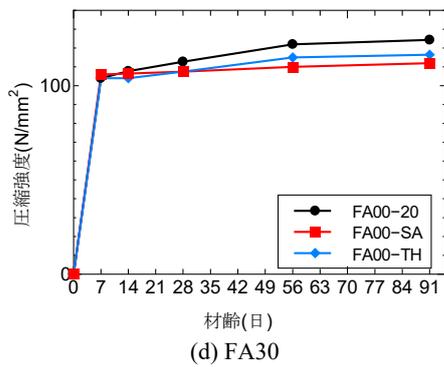
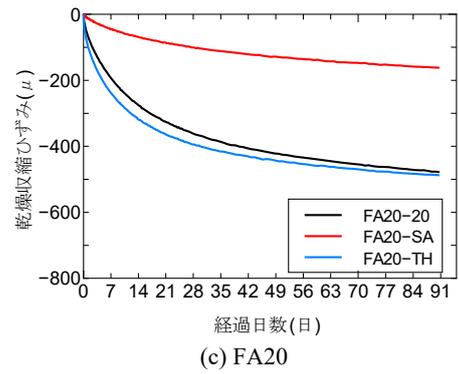
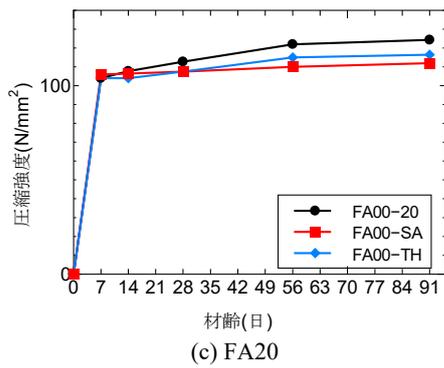
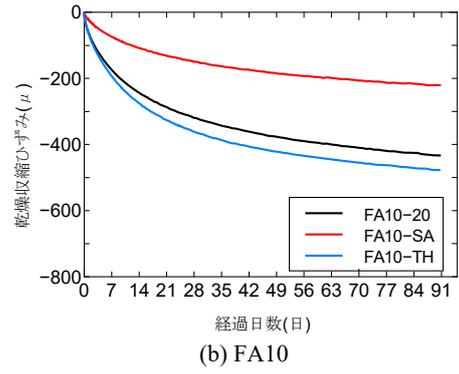
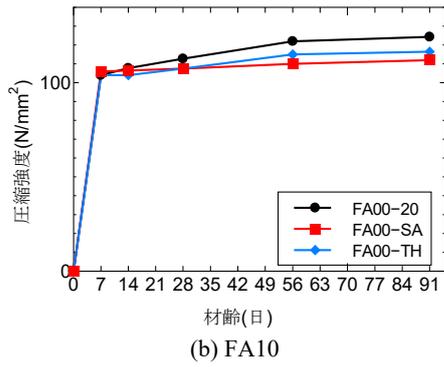
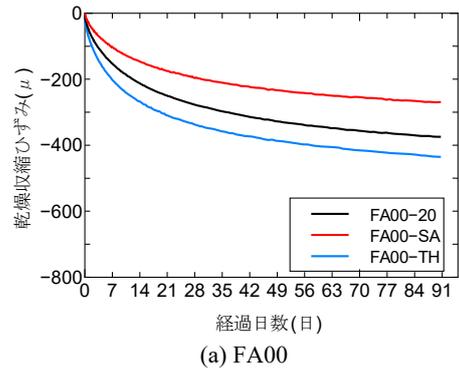
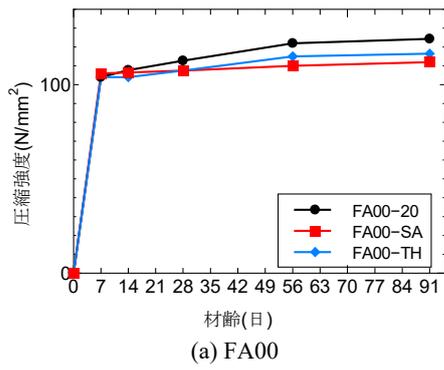


図-5 材齢と圧縮強度

図-6 乾燥収縮ひずみ

3.3 質量変化

図-7 に質量減少率の結果を示す。質量減少率は次式(1)により算定した。

$$\text{質量減少率(\%)} = 100(1 - M/M_o) \quad (1)$$

ここで、 M_o : 乾燥開始時の供試体質量

M : 供試体乾燥質量

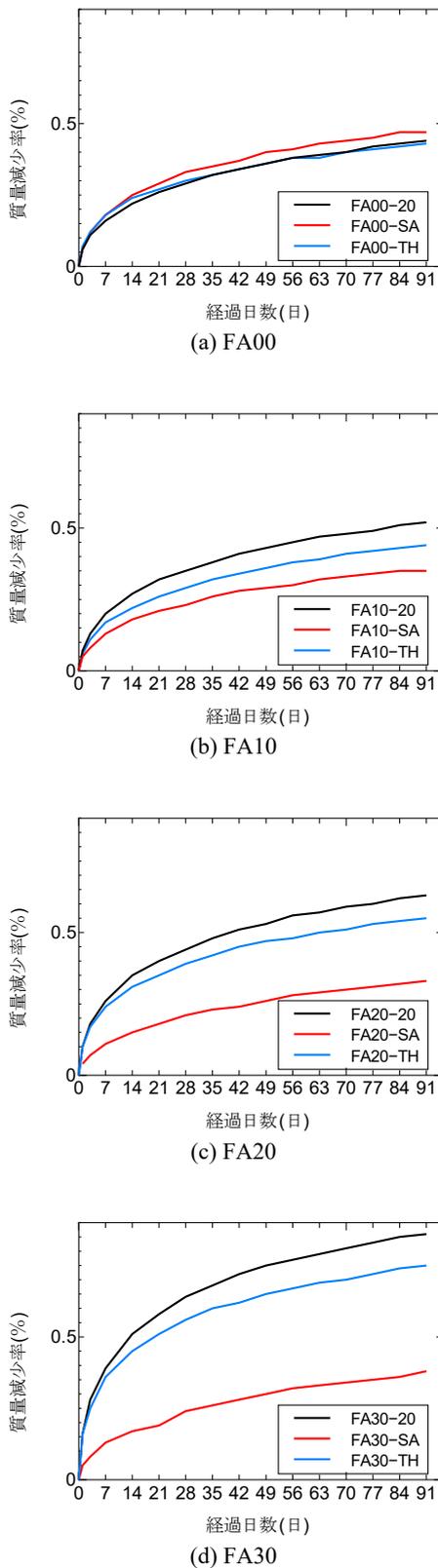


図-7 質量減少率

図-7よりフライアッシュを混和した場合において養生温度が高いほど質量減少率が小さいことがわかる。また20℃養生および温度制御養生ではフライアッシュの置換率の増加に伴い質量減少率が増加していることがわかる。

特にフライアッシュ置換率 30%においてはフライアッシュ無混入の質量減少率の2倍以上になっている。これはフライアッシュ置換率を大きくするほど水和反応が緩慢になり、未水和水がより多く残っており、乾燥時の蒸発水量が多くなったためであると考えられる。しかしながら簡易断熱養生ではフライアッシュの置換率に関わらずほぼ同等の結果となった。

4. まとめ

本研究では簡易断熱養生を用いて断面寸法の大きな部材内部の環境に近い状態を作り、フライアッシュを混和した高強度コンクリートの強度特性および収縮特性に及ぼす温度履歴、フライアッシュ置換率の影響を明らかにするために、圧縮強度試験および乾燥収縮試験を行った。その結果、次のようなことが明らかになった。

- 1) 材齢7日においてフライアッシュの置換率が高いほど高温履歴によるフライアッシュのポズラン反応が促進され、圧縮強度が大きくなる。
- 2) 20℃養生および温度制御養生においては長期強度が大きくなる。
- 3) 簡易断熱養生において材齢7日以後の強度増加は非常に小さい。また材齢91日においても20℃養生の28日強度を下回っている。
- 4) 20℃養生ではフライアッシュ置換率の増加に伴い、乾燥収縮ひずみが増加し、質量減少率も増加する。
- 5) 簡易断熱養生ではフライアッシュ置換率の増加に伴い、水和反応とポズラン反応が促進され、乾燥収縮ひずみは減少し、質量減少率も小さくなる。
- 6) 温度制御養生ではフライアッシュ置換率の増加に伴い、乾燥収縮ひずみが増加し、質量減少率も大きくなる。

参考文献

- 1) 土木学会：フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案）1999.4
- 2) 船本憲治・村上英治・黒羽健嗣・並木哲：フライアッシュが高強度コンクリートの流動性および強度発現に及ぼす影響，コンクリート工学年次論報告集，Vol.18, No.1, pp357-362,1996
- 3) 深川正浩・中村成春・榊田佳寛・阿部道彦：紛糾フライアッシュを使用した高強度コンクリートの力学的特性及び耐久性，コンクリート工学年次論報告集，Vol.19, No.1, pp205-210,1997
- 4) 菅田紀之・相澤義徳：フライアッシュを用いた高強度コンクリートの強度および収縮特性，コンクリート工学年次論報告集，Vol.28, No.1, pp.1205-1250, 2006.6
- 5) 渡辺新一・菅田紀之：フライアッシュ混入高強度コンクリートの強度および収縮に及ぼす養生温度の影響，コンクリート工学年次論報告集，Vol.29, No1, 2007