

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に及ぼす水和発熱の影響について

Effect of Hydration Heat on Properties of Strength and Shrinkage 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水和発熱の低減、ワーカビリティの向上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30%以下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⁾。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。しかしながら、高温履歴の影響を検討した例は少ない。

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水和発熱、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 $4170\text{cm}^2/\text{g}$ 、密度 $2.29\text{g}/\text{cm}^3$ のものである。細骨材として陸砂、粗骨材として碎石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30%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。なお、各配合をFA00, FA10, FA20, FA30で表すことにする。

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)	碎石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： $2.29\text{g}/\text{cm}^3$
高性能AE減水剤(SP)	ポリカルボン酸系
消泡剤(AF)	ポリエチレングレコール系

2.3 養生方法

養生方法は20℃養生、簡易断熱養生および温度制御養生の3種類で行った。20℃養生は材齢1日まで20℃封かん養生を行い、脱型後温度20℃の水中養生とした。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て行った。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、脱型後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。なお、養生条件は20℃養生を-20、簡易断熱養生を-SA、温度履歴養生を-THと表すことにする。

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を同時に行い、質量減少率を算出した。

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	30	49	0	165	550	0	861	890	3.08	0.00924
FA10			10	165	495	55	852	881	2.97	0.00891
FA20			20	165	440	110	844	872	2.86	0.00858
FA30			30	165	385	165	835	863	2.75	0.00825

B=C+FA

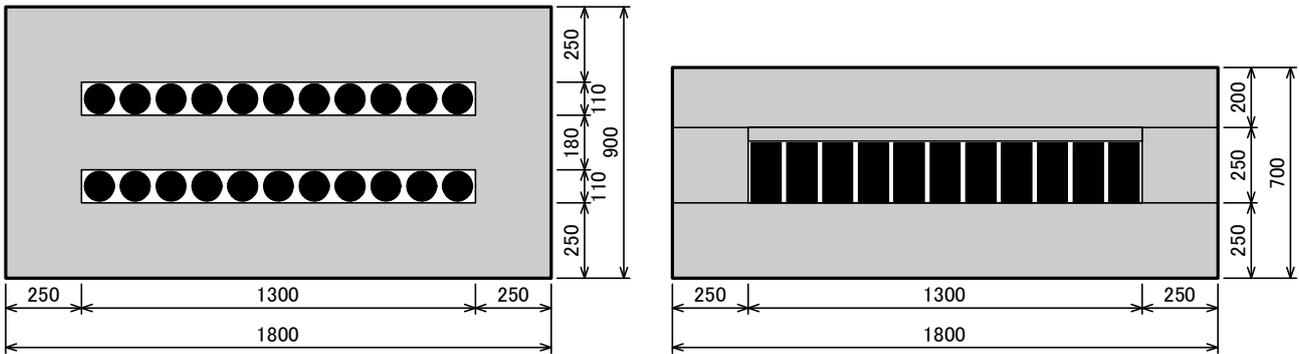


図-1 簡易断熱ボックス

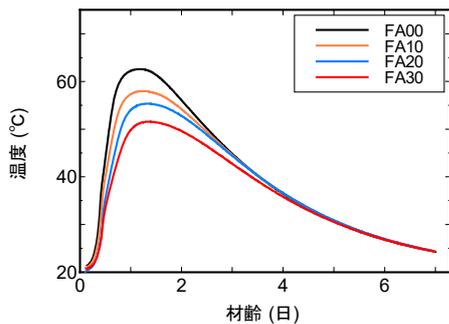


図-2 簡易断熱養生温度履歴

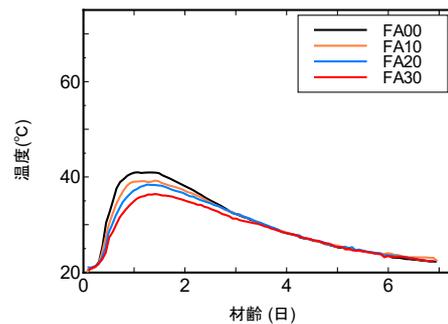


図-3 温度制御養生温度履歴

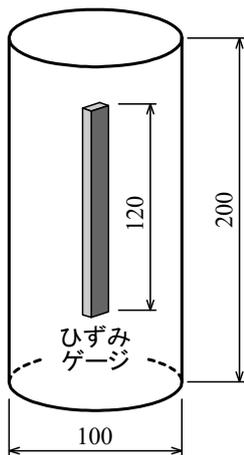


図-4 収縮試験供試体

3. 結果と考察

3.1 圧縮強度

図-5に材齢と圧縮強度の関係を示す。フライアッシュ無混和において材齢7日の強度は養生条件によらず同程

度の結果となった。フライアッシュを混和した場合、材齢7日の強度は簡易断熱養生が最も大きく、温度制御養生は20℃養生と同等か若干下回る結果になった。材齢28日の強度についてFA00およびFA10で20℃養生、温度制御養生、簡易断熱養生の順になり、材齢7日までの養生温度が低いほど強度が大きいことがわかる。FA20およびFA30では20℃養生が最も大きく、温度制御養生と簡易断熱養生は同程度であった。すべての配合で簡易断熱養生の28日強度がほかの養生条件に比べ小さくなったのは、養生初期に高温であったため、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未水和水の接触を妨げられたことが考えられる。

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28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。すべての配合において簡易断熱養生、温度制御養生、20℃養生の順となり、養生初期の温度が高いほど乾燥収縮ひずみが小さいことがわかる。また、初期の養生条件に関わらず、フライアッシュの置換率増加に伴い乾燥収縮ひずみが大きくなった。こ

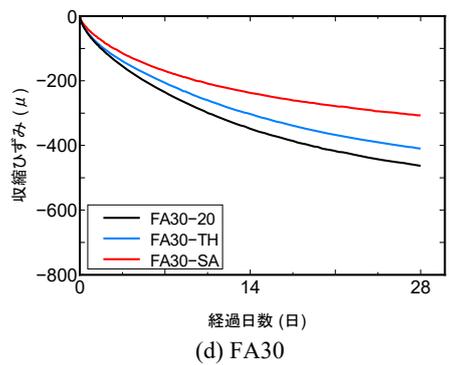
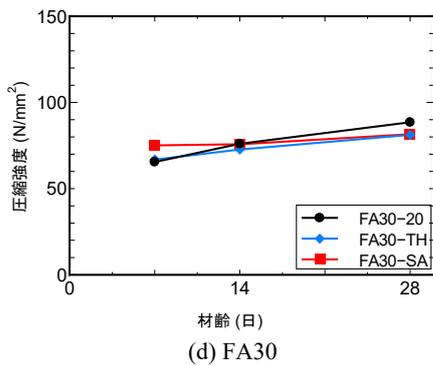
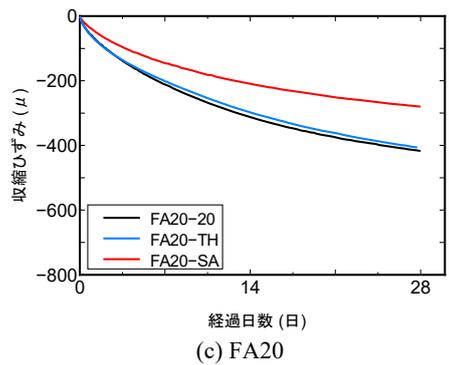
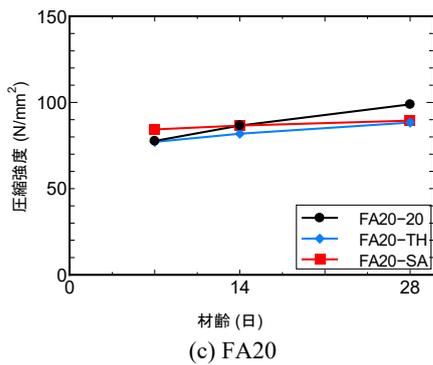
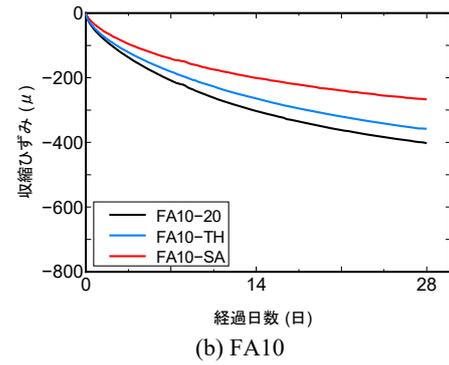
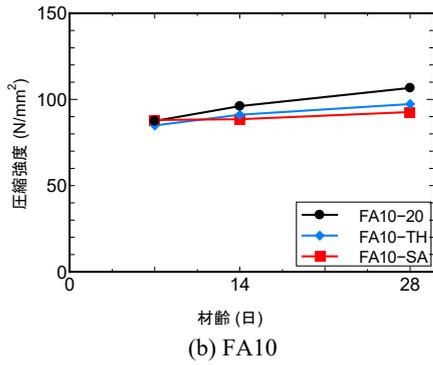
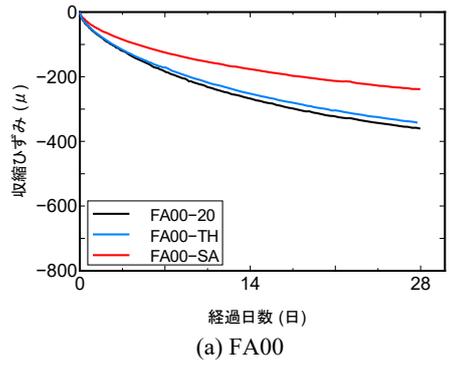
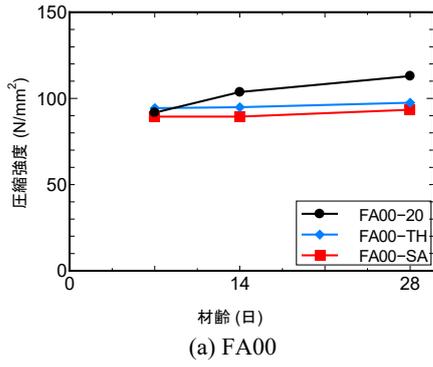


図-5 圧縮強度

図-6 乾燥収縮ひずみ

これは水和反応の遅延による未水和水の増加および材齢7日の強度が小さく、ペースト剛性が低下による影響だと考えられる。

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。

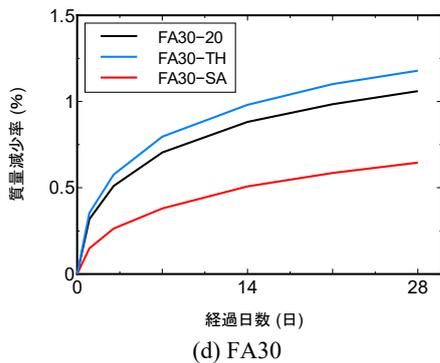
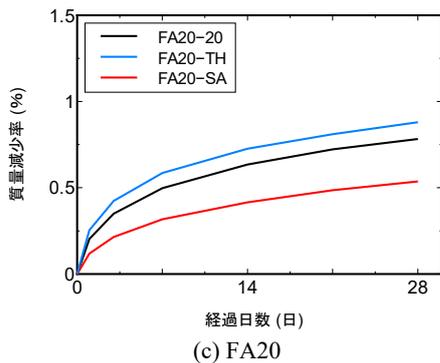
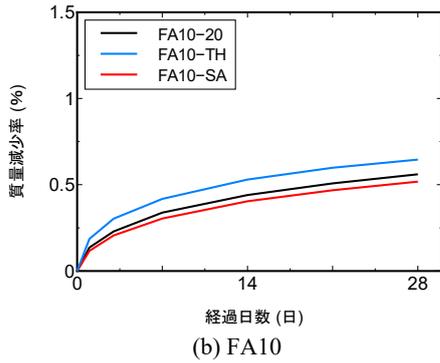
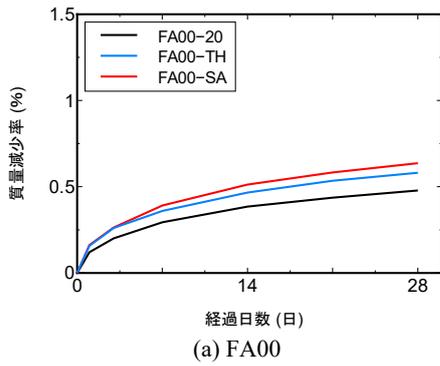


図-7 質量減少率

$$\text{質量減少率(\%)} = 100(1 - M/M_0) \quad (1)$$

ここで、 M_0 : 乾燥開始時の供試体質量
 M : 供試体乾燥質量

図-7よりフライアッシュ無混和の場合、材齢7日までの養生温度が高いほど質量減少率が小さい結果になった。しかしながら、フライアッシュを混和した場合、簡易断熱養生、20℃養生、温度制御養生の順で質量減少率が小さくなっている。特に20℃養生および温度制御養生はフライアッシュの置換率の増加に伴い質量減少率が大きくなっている。またフライアッシュ置換率30%においてはフライアッシュ未混和の質量減少率の2倍以上になっている。これはフライアッシュの置換率が大きい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) フライアッシュを混和した場合、材齢7日強度は簡易断熱養生が最も大きい。
- 2) 材齢28日強度はすべての配合において20℃養生が最も大きく、簡易断熱養生は温度制御養生を若干下回るか同程度である。
- 3) 20℃養生ではフライアッシュ置換率の増加に伴い、乾燥収縮ひずみおよび質量減少率が増加する。
- 4) 温度制御養生ではフライアッシュ置換率の増加に伴い、乾燥収縮ひずみおよび質量減少率が増加する。
- 5) 簡易断熱養生ではフライアッシュ置換率に関わらず乾燥収縮ひずみおよび質量減少率は同程度である。

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