

フライアッシュの置換率がコンクリートの熱性状に及ぼす影響

東洋大学 学生会員 ○北島 大輔 櫻井 駿 蘇原 勇輝
東洋建設 正会員 森田 浩史 竹中 寛 末岡 英二
東洋大学 フェロー 福手 勤

1. 目的

フライアッシュは、環境負荷軽減や耐久性向上の効果が認められるとともに、水和熱抑制効果も期待できる。一般的に、セメントに対するフライアッシュの置換率は20～30%であり既往の知見¹⁾も多くあるが、フライアッシュを大量に置換したコンクリートに対する知見は少ない。著者らは、フライアッシュを大量に用いたコンクリートをマスコンクリートの水和熱抑制対策として活用することを指向し、置換率を変化させ、コンクリートの諸性状について検討を進めている。本報ではそのうちコンクリートの熱特性について検討した。

2. 実験概要

2. 1 使用材料とコンクリートの配合

使用材料を表1に示す。セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、細骨材は山砂および砕砂、粗骨材は砕石2005を使用した。化学混和剤はAE減水剤(Ad1)とAE剤2種類(Ad2, Ad3)を使用した。コンクリートの配合を表2に示す。スランプは12±2.5cm、空気量は4.5±1.5%とし、コンクリートの練上がり温度と室温は20℃とした。コンクリートの水結合材比は50%とし、粗骨材量は容積一定とした。フライアッシュの置換率は0, 20, 40, 60, 80%の5水準とした。また、高炉セメントB種を用いた配合(BB)を比較用とした。なお、フライアッシュを60, 80%置換した場合においても所要の空気量は確保できた。

2. 2 試験項目および方法

コンクリートの熱特性を把握するために、断熱温度上昇試験、熱膨張係数の測定を実施した。断熱温度上昇量試験は、既往の研究²⁾を参照し、約30ℓの試料をセットした容器の周囲を断熱材で覆った簡易断熱容器を用いて温度計測を行った。また、得られたコンクリート温度の履歴を温度解析で求めた値と同定し、断熱温度上昇量を求めた。熱膨張係数は、既往の研究³⁾を参照し、コンクリートをφ100×200mmの型枠に打ち込み、中心部に埋込み型ひずみ計を設置して測定した。コンクリート打設終了直後、ただちに周囲の気温を20℃から60℃まで変化させることで、試料に温度上昇降下サイクルを最大4サイクルまで与えた。温度の上昇・降下は各々1.5日をかけ、60℃または20℃に達する毎に1.0日の恒温期間を設けた。いずれも計測開始はコンクリート打込み終了直後とした。

3. 実験結果および考察

断熱温度上昇量の結果を図1に示す。図より、フライアッシュの置換率の増加につれて断熱温度上昇量の低減が認め

表 1 使用材料

使用材料		種類・備考
セメント:C	普通ポルトランドセメント	密度3.16g/cm ³
セメント:BB	高炉セメントB種	密度3.04g/cm ³
フライアッシュ:FA	フライアッシュⅡ種	密度2.29g/cm ³ , 強熱減量1.3% 比表面積4040cm ² /g
細骨材:S1	山砂	茨城県神栖市産, 表乾密度2.59g/cm ³ 粗粒率1.85
細骨材:S2	砕砂	栃木県佐野市産, 表乾密度2.63g/cm ³ 粗粒率3.15
粗骨材:G	砕石2005	茨城県土浦市産, 表乾密度2.68g/cm ³ 実積率60%
混和剤:Ad1	AE減水剤	リグニンスルホン酸
混和剤:Ad2	AE剤(Ⅰ種)	アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤
混和剤:Ad3	AE剤(Ⅰ種)	高いアルキルカルボン酸系陰イオン界面活性剤と非イオン界面活性剤の複合体

表 2 コンクリートの配合

No.	FA置換率 (%)	W/B (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)								
					W	C	FA	S1	S2	G	Ad1	Ad2	Ad3
N	0	50	50.0	44.9	162	324	0	321	489	1018	3.2	0.008	—
FA20	20		62.5	44.6	160	256	64	317	483		2.6	0.023	—
FA40	40		83.5	44.4	157	188	126	315	480		1.9	—	0.19
FA60	60		125.0	44.1	155	124	186	311	473		1.2	—	0.32
FA80	80		250.0	44.2	150	60	240	312	475		0.6	—	0.36
BB	0		50.0	44.6	162	324	0	317	483		3.4	0.013	—

キーワード フライアッシュ, 大量置換, 断熱温度上昇量, 熱膨張係数, 水和熱

られた。また、フライアッシュで置換したものは、いずれの供試体も N, BB と比べて断熱温度上昇量が小さかった。

単位セメント量と温度比の関係を図 2 に示す。なお、温度比は、図 1 の最高温度を N の最高温度で除して 100 倍した値と定義した。図より、フライアッシュの置換率の増加に伴う単位セメント量の減少により温度比はほぼ直線的に低下した。これより、断熱温度上昇量は単位セメント量の影響が支配的であると言える。

コンクリート温度とひずみの関係の代表例を図 3 に示し、図 3 の上昇・下降勾配から算出した熱膨張係数の結果を図 4 に示す。図より、1 サイクル目の温度上昇時の熱膨張係数はいずれの供試体も大きくなる傾向を示した。これは、既往の知見⁴⁾と同様に、コンクリートの硬化過程初期では未水和状態の水分が多量に存在しており、コンクリートの熱膨張係数がセメントや骨材などと比較して大きな熱膨張係数をもつ水に依存したことや、埋め込み型ひずみ計とコンクリートが一体化していないことが要因と考えられる。また、2 サイクル目以降のひずみや熱膨張係数は、BB 以外の供試体で収束していく傾向を示した。これは、コンクリートの熱膨張係数に影響を及ぼす内部の水が水和反応によって減少したためであると考えられる。また、フライアッシュの置換率が大きくなると、熱膨張係数は N と比べてやや大きくなる傾向を示した。これは、フライアッシュの置換率が大きくなるにつれて、ポズラン反応の影響によりコンクリート内部の空隙構造が変化するためと推察されるが、本試験の範囲では明確とならなかった。一方、FA80 は N と同等の熱膨張係数となった。これは、コンクリートの強度そのものが小さいため、温度の上昇・下降による熱膨張量が小さかったものと推察される。

4. 結論

本研究の結果から以下の知見が得られた。(1)フライアッシュの置換率を大きくすると、断熱温度上昇量は小さくなる。(2)フライアッシュの置換に伴い熱膨張係数は若干大きくなるが、80%程度まで置換するとその傾向は認められない。

参考文献

- 1) フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針 (案) コンクリートライブラリー94, 土木学会, 1999
- 2) 石田知子・室木寛司・武市秀昭: 逆解析による断熱温度上昇量の推定に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, 2018
- 3) 竹中寛・酒井貴洋・山路徹・清宮理: 海水及び海砂を用いた自己充填型コンクリートの諸特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, 2013
- 4) 国森亮平・島崎磐・六郷恵哲・森本博昭: 若材齢コンクリートの熱膨張係数に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, 2000

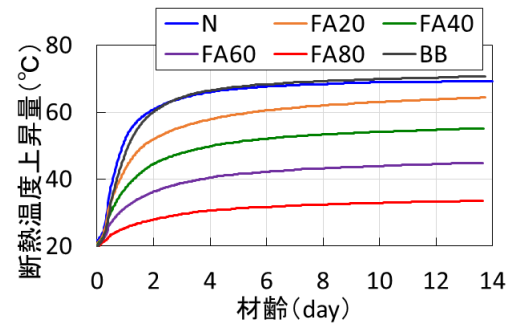


図 1 断熱温度上昇量の一覧

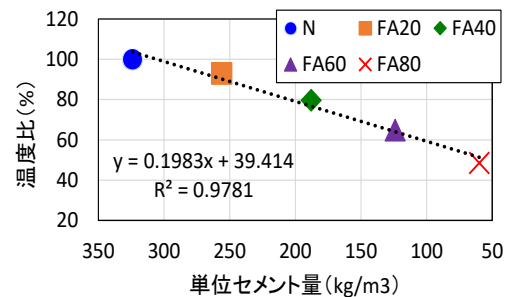


図 2 単位セメント量と温度比の関係

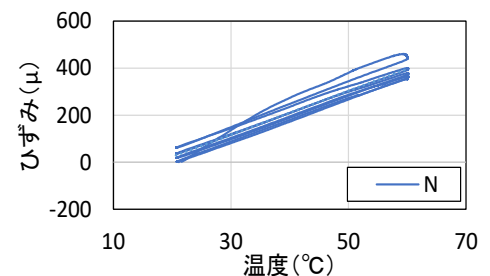


図 3 温度とひずみの関係の代表例

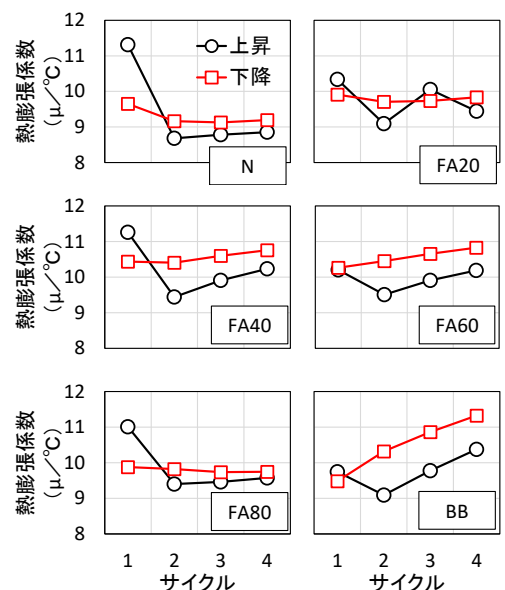


図 4 熱膨張係数の結果