

論文

[1067] フライアッシュを用いた二成分系ハイパフォーマンスコンクリートの配合と品質特性に関する研究

正会員○小嶋和弘 (前田建設工業 技術研究所)  
 正会員 吉川智史 (小野田セメント中央研究所)  
 正会員 内田 明 (前田建設工業 技術研究所)  
 正会員 中島良光 ( 同 上 )

1. はじめに

東京大学岡村研究室においてハイパフォーマンスコンクリート (以下、HPCと呼ぶ) の基本理念が発表されて以来、多くの研究機関においてコンクリートの締固め不要性能に着目した研究が行なわれ、大型プロジェクトにおいてもその採用が検討されるすう勢にある。

著者らは、現存する市中生コンの設備を用いてHPCを製造するという観点から配合を検討し、高炉スラグを用いた二成分系HPC (以下、スラグ系HPCと呼ぶ) の基本性状を把握するとともに、実大模型による打設実験によりその性能を確認し、その実用性について報告した[1]。ところで、高炉スラグを混入したコンクリートの発熱性状は、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートと比べ大差が無いことから、マシブな構造物を対象としたHPCの材料として、フライアッシュに着目し、一連の実験を実施し、流動性、材料分離抵抗性をはじめとして、その適用性について検討した。本報告は、上述の観点からフライアッシュを用いた二成分系ハイパフォーマンスコンクリート (以下、フライアッシュ系HPCと呼ぶ) の基本的な品質特性に関する実験の結果についてとりまとめたものである。

2. 実験概要

2. 1 使用材料

本実験では表-1~3に示す品質を有する普通ポルトランドセメントおよびフライアッシュを使用した。

骨材は、陸砂利、山砂を使用した。

なお、混和剤としては、スラグ系HPCで既に用いているナフタレン系の高性能AE減水剤 (以下Aと呼ぶ) を主体とし、比較用としてポリカルボン酸系のもの (以下Bと呼ぶ) を用いている。これらの他に、空気連行剤および増粘剤 (セルロース系) を使用した。

2. 2 配合条件

HPCの配合は、製造から打設までの時間経過による品質の変化も考慮し、約60分後のスランプフローおよび空気量が以下の条件を満たすよう決定した。

表-1 セメントの物理試験結果

比重	ブレン 比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	凝 結			圧 縮 強 さ (kgf/cm <sup>2</sup> )		
		水 量 (%)	始 発 (h-m)	終 結 (h-m)	3 d	7 d	28d
3.15	3200	27.0	2:20	3:32	166	254	410

表-2 フライアッシュの物理試験結果

湿 分 (%)	比 重	ブレン 比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	単 位 水 量 比 (%)	圧 縮 強 度 比 (%)	
				28d	91d
0.1	2.27	4010	96.3	82.3	96.0

表-3 フライアッシュの分析結果

i g . l o s s (%)	S i O <sub>2</sub> (%)	M B 吸 着 量 (m g / g)
4. 4	5 9 . 0	0 . 5 6

スランプフロー； $55 \pm 5$  cm、VF (S) 値；15cm以上、空気量； $4 \pm 1.5\%$

なお、上記品質を満たすため、練り上がり直後のスランプフローおよび空気量の目標値は、事前に実施した予備実験の結果より、それぞれ $60 \pm 5$  cm、15cm以上、 $7 \pm 1.5\%$ とした。

### 2. 3 練りませ方法

HPCの練りませは二軸強制ミキサにより行なった。材料は同時投入とし、その後3分間練りませた。なお、粉体の増粘剤は2%水溶液とし事前に溶解し使用した。

### 2. 4 試験項目

試験項目および、その条件は以下のとおりとした。

#### (1) スランプフロー、VF (S) 値、空気量

練り上がり直後から120分間の品質変化を30分ごとに測定した。試料はすべてアジテートを行なって使用した。

#### (2) 圧縮強度

圧縮試験用供試体は、練り上がり直後の空気量が $4 \pm 1.5\%$ になるよう空気連行剤の添加量を調整し、練り上がり直後に作成した。供試体の作成方法はJIS A 1132に準拠した。キャッピングは、超速硬セメントを用い材令3日で行ない、その日のうちに脱型、20℃水中養生を開始した。

#### (3) 凝結時間；ASTM C 403に準拠した。

#### (4) 断熱温度上昇量；空気循環式試験機を用いている。

#### (5) 凍結融解、乾燥収縮

凍結融解および乾燥収縮用供試体は練りませ後から約90分経過した時点で採取した。突き固めが両者に及ぼす影響を調べるため、つき棒による突き固めを実施したもの（JIS A 1132に準拠）と、行なわないものの2種類の供試体を作成した。試験開始の材令は凍結融解、乾燥収縮とも14日である。

## 3. 実験結果と考察

### 3. 1 配合

水粉体容積比94%として予備試験により選定した基本の配合を表-4に示す。スランプフローおよび空気量は、配合条件を満足するよう高性能AE減水剤と空気連行剤の使用量で調整した。

### 3. 2 スランプフロー、空気量の経時変化

図-1に20℃の雰囲気温度のもとで実施したスランプフローと空気量の経時変化を示す。

表-4 フライアッシュ系HPCの配合

水結合 材比* (%)	水粉体 容積比 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )							
		水 W	セメント C	フライアッシュ F	細骨材 S	粗骨材 G	高性能 減水剤	AE助剤	増粘剤
49.2	94.0	160	260	200	870	783	11.9 ~19.0	0.04 ~0.10	0.02

骨材の品質 粗骨材：Gmax 25mm、比重 2.65、吸水 0.96%、F.M. 6.91、実績率 63.2%

細骨材： 比重 2.61、吸水 1.02%、F.M. 2.71、実績率 62.4%

\*：結合材は $F / (C + F) = 20\%$ となるよう普通ポルトランドセメント260kgとフライアッシュ65kgをたした325kgとしている。

スランプフローは混和剤Aの場合には120分後までほとんど変化が見られない。これに対し混和剤Bを用いた場合には120分後で約15cm程度低下する。なお、VF(S)値は、混和剤A、Bとも18cmで良好な分離抵抗性を示した。一方、空気量は練り上りから60分まで減少し、その後は安定した値となっている。フライアッシュの混入量が多いため、AE剤の吸着の現象が顕著に著れているものと考えられる。

### 3.3 凝結時間

凝結試験の結果を図-2に示す。混和剤Aは、凝結始発時間が約28時間となった。一方、混和剤Bはこの欠点を改善する目的として使用したものであるが、使用量が半分程度となること、剤そのものの性質が異なることからAと比べ1/2以下の時間で始発に達している。さらに始発から終結までの時間もBの方が短くなっており、練りませから、打設までの時間が短い場合には凝結時間の短縮の面でBは極めて有利と言える。

### 3.4 断熱温度上昇

図-3は断熱温度上昇曲線を示したものである。ここで、図中の実線はフライアッシュ系HPCの実測結果(混和剤A使用)、一点鎖線はスラグ系HPCの実測結果、破線はフライアッシュB種セメントを $326\text{kg}/\text{m}^3$ 使用した場合の推定曲線である(文献[2]より推定)。スラグ系HPCの温度上昇量は $63^\circ\text{C}$ であるのに対し、フライアッシュ系HPC(混和剤A)は $46^\circ\text{C}$ となっており、 $17^\circ\text{C}$ 程度上昇量が低くなっている。また、フライアッシュ系HPCの場合は凝結時間が大幅に遅れるため、材令1.5日付近から温度の上昇が始まっているが、上昇量のみに着目すればフライアッシュセメントB種を用いた単位セメント量 $326\text{kg}/\text{m}^3$ の配合に相当する結果となっている。

### 3.5 圧縮強度

結合材水比と圧縮強度の関係を図-4に示す。ただし、結合材量は $F/(C+F)=20\%$ となるフライアッシュ量を加えた値を用いた。図中にセメント協会コンクリート専門委員会のF-15[3]より得られるフライアッシュセメントB種のデータを併記したが、両者は比較的よく一致している。この結果は前述の断熱温度上昇の結果とも良い整合を示して

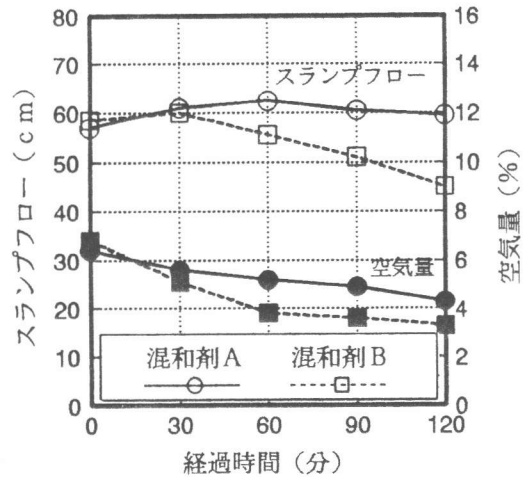


図-1 スランプフロー、空気量の経時変化

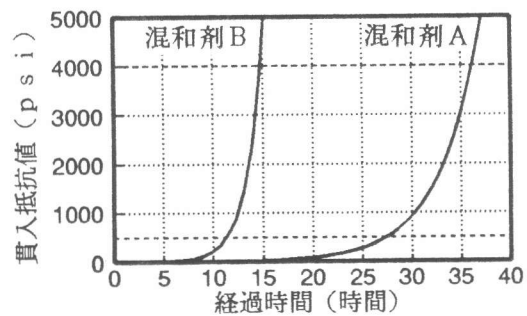


図-2 凝結試験結果

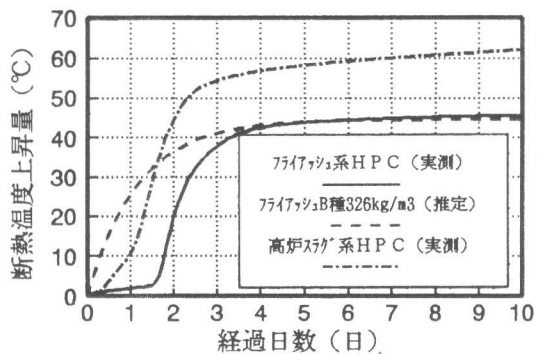


図-3 断熱温度上昇曲線

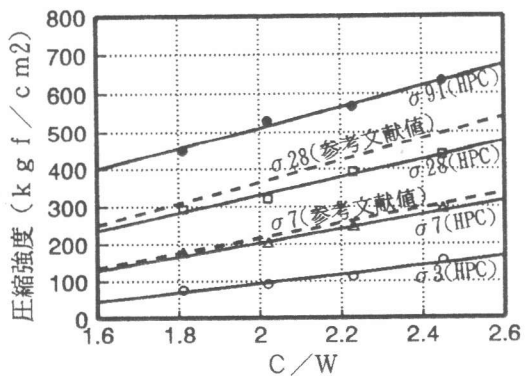


図-4 結合材水比と圧縮強度の関係

おり、セメントの20%程度のフライアッシュが水とに寄与しているものと考えられる。

### 3. 6 凍結融解、乾燥収縮

突き固めの有無がHPCの凍結融解、乾燥収縮に及ぼす影響を調べた結果を図-5~7にそれぞれ示す。凍結融解は両者とも差がなく、十分な強度と必要な空気量さえ確保すれば、突き固めをせずとも満足できる耐久性を有していることがわかる。気泡間隔係数は突き固めをした場合286 $\mu\text{m}$ 、突き固めをしない場合で264 $\mu\text{m}$ となっている。気泡の分布形状もほぼ同じで、突き固めによる影響は少ないと考えられる。また、乾燥収縮も特に問題となるような値は示していない。

### 4. 結論

以上の結果、本実験の範囲内でフライアッシュ系HPCについて以下のことが言える。

- (1) 断熱温度上昇は高炉スラグを用いた場合に比べ小さく、強度特性と同様、混入したフライアッシュの内、セメント重量に対し20%を結合材として考えることで評価可能である。
  - (2) HPCの凝結特性は、スラグ同様に普通コンクリートに比べ大幅に遅れるが、これを改良するために混和剤Bは有効である。
  - (3) 凍結融解抵抗性については、空気量を確保しておけば十分な抵抗性を示す。また締固めを行わなくとも十分な性能が得られる。
- なお、今後はHPCの練り上がり温度による影響について検討して行く予定である。

### 謝辞

本研究を実施するに際し、東京大学工学部岡村甫教授、小沢一雅講師にご指導を頂きました。ここに感謝の意を表します。また(NMB)中央研究所に実験の一部をお願いしたことを記して関係各位に感謝いたします。

### 参考文献

- [1] 中島良光・梶田秀幸・三浦信一・牧野英久：二成分系のハイパフォーマンスコンクリートの配合に関する考察、コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 11, No. 1, pp. 173~178, 1991. 6
- [2] 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートの温度応力研究委員会報告書、1985. 10
- [3] セメント協会コンクリート専門委員会報告F-15；各種のセメントを用いたコンクリートの圧縮強度に関する共同試験報告(その2)、1969, 12

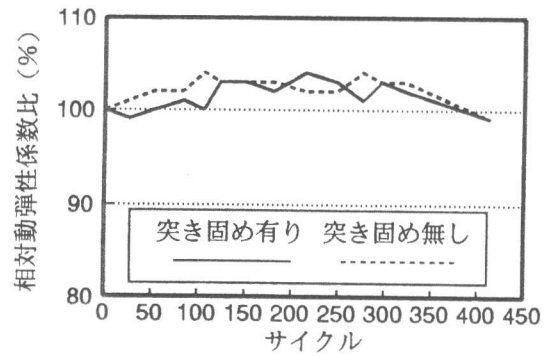


図-5 凍結融解抵抗性試験結果

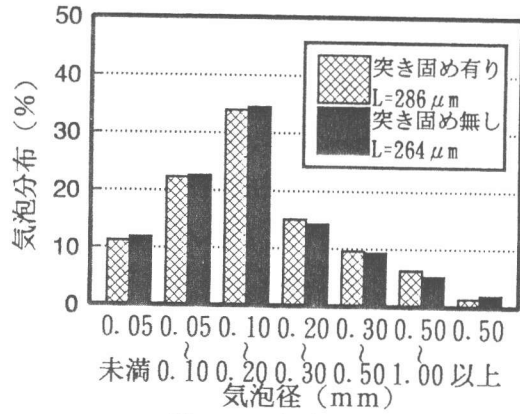


図-6 気泡分布

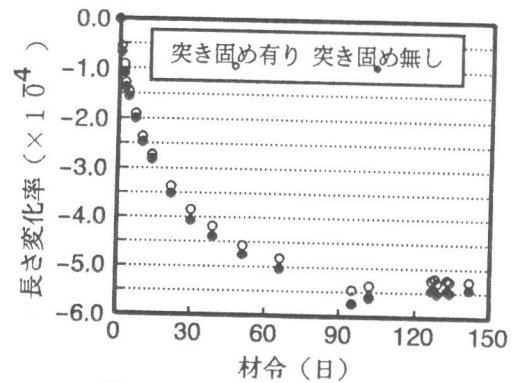


図-7 乾燥収縮測定結果