

# 加圧流動床灰混入コンクリートの諸物性値におよぼす養生温度の影響

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○田中 雅章  
中国電力 技術研究センター 正会員 中下 明文  
広島大学大学院工学研究科 学生会員 近藤 慎也  
広島大学大学院工学研究科 正会員 佐藤 良一

## 1. はじめに

加圧流動床形式の石炭火力発電所から排出される加圧流動床灰（以下、PFBC灰）はCaOおよびSO<sub>3</sub>が多く、SiO<sub>2</sub>は少ないことが特徴である。このため、PFBC灰混入コンクリートは早期強度発現および収縮低減が期待できる一方、安定性を損なう可能性もある。そこで本研究では、マスコンクリートおよびプレストレストコンクリート(PC)を含めた工場製品への適用を念頭におき、初期養生温度をパラメータとしてPFBC灰混入コンクリートの温度依存性について、諸物性値におよぼす影響から検討した。

## 2. 実験概要

表-1 使用材料

| 使用材料         | 種類および性質                                                            |
|--------------|--------------------------------------------------------------------|
| セメント(C)      | 普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm <sup>3</sup> , 比表面積3390cm <sup>2</sup> /g) |
| 細骨材(S)       | 鬼怒川産川砂(密度2.60g/cm <sup>3</sup> , 吸水率1.78%, 粗粒率2.78)                |
| 粗骨材(G)       | 山口産砕石(密度2.68g/cm <sup>3</sup> , 吸水率0.70%, 粗粒率6.38, 最大寸法20mm)       |
| PFBC灰(P)     | 混合灰(密度2.61g/cm <sup>3</sup> , 比表面積4580cm <sup>2</sup> /g)          |
| 高性能AE減水剤(SP) | ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体                                            |

### 2.1 使用材料およびコンクリートの配合

表-1に使用材料とその性質を示す。表-2にコンクリートの配合を示す。スランプおよび空気量の目標値は、それぞれ20.0±1.5cmおよび2.0±1.0%とし、混和剤の添加量により調整を行った。

表-2 コンクリートの配合

| 配合名    | 水結合材比<br>W/B (%) | 細骨材率<br>s/a (%) | 置換率<br>(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |           |            |          |          | 混和剤<br>SP<br>(B×%) |
|--------|------------------|-----------------|------------|-------------------------|-----------|------------|----------|----------|--------------------|
|        |                  |                 |            | 水<br>W                  | セメント<br>C | PFBC灰<br>P | 細骨材<br>S | 粗骨材<br>G |                    |
| 30-P0  | 30               | 42.4            | 0          | 165                     | 550       | -          | 707      | 989      | 0.85               |
| 30-P30 |                  | 41.4            | 30         |                         | 385       | 165        | 679      |          | 1.15               |

※ B=C+P

### 2.2 養生方法

養生方法を図-1に示す。供試体打込み後0.5日に脱枠し、アルミ箔粘着テープを用いて供試体を全面シールした。その後、60℃および80℃の高温養生する場合、断熱箱により昇温速度3℃/hrで所定の養生温度まで昇温させ、材齢3日まで恒温養生し、その後昇温時と同一の速度で温度降下させた。材齢7日以降、温度:20±3℃、湿度:60±5%の環境に曝した。

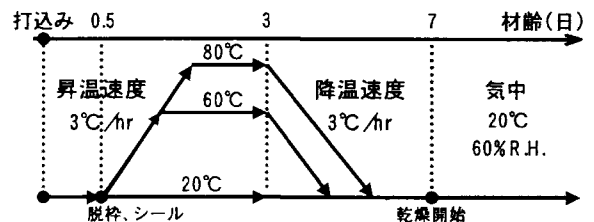


図-1 養生方法

### 2.3 実験項目および測定方法

表-3 実験項目

表-3に実験項目および測定方法の一覧を示す。

| 実験項目                  | 測定方法                                      |
|-----------------------|-------------------------------------------|
| 圧縮強度                  | JIS A 1108に準拠（材齢1、3、7および28日）              |
| 長さ変化                  | JIS A 1129に準拠（低弾性タイプ埋込型ひずみゲージによる）         |
| 鉄筋拘束応力                | JCI法に準拠（供試体寸法100×100×900mm、鉄筋D19(SD295A)） |
| 細孔径分布                 | 水銀圧入法による（圧縮強度試験直後の供試体モルタル部分から採取）          |
| Ca(OH) <sub>2</sub> 量 | 示差熱重量分析(TG-DTA)による（セメントペースト供試体を用いる）       |

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 強度発現性

図-2に圧縮強度の経時変化を示す。図-3にはPFBC灰無混入コンクリートの圧縮強度に対する材齢ごとの強度比を示す。材齢1日において、いずれの養生温度も灰置換(P30)の圧縮強度は無置換(P0)より小さい。しかし、養生温度が高くなるにつれてP0との差は小さくなり圧縮強度比は養生温度20、60、80℃の順に0.78、0.84、0.91とな

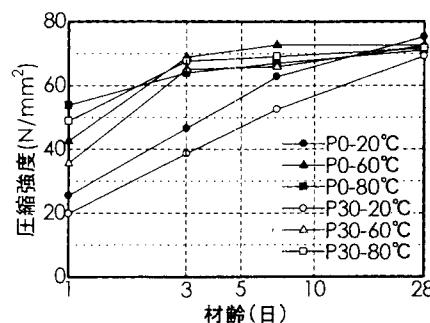


図-2 圧縮強度と材齢の関係

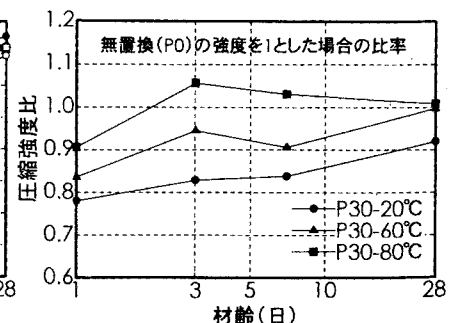


図-3 圧縮強度比と材齢の関係

った。これより、高温養生により灰のもつ自硬性を活発化させ、初期材齢における強度発現の向上を図ることが可能となった。材齢3日以降も圧縮強度比は養生温度が高くなるほど大きくなっている。また、20℃養生の場合、圧縮強度比は1、3、7、28日の順に0.78、0.83、0.84、0.92となり、材齢が経過するにつれてP0の圧縮強度に近くなる傾向が認められる。この傾向は長期強度が増加するフライアッシュの強度発現と類似する。しかし、同じ置換率のフライアッシュと比べると圧縮強度は大きくなることが指摘されている<sup>1)</sup>。

### 3.2 細孔構造

材齢3日における累積細孔容積を図-4に示す。P0およびP30ともに高温養生により細孔構造が緻密となり、養生温度が高いほどその効果が大きい。20℃養生と80℃養生の累積細孔容積を比較した場合、累積細孔容積の減少量はP30が若干大きくなった。これは、灰混入コンクリートの初期材齢における細孔構造の温度依存性が高いことを示している。また、80℃養生の場合、P0とP30の累積細孔容積は同等となった。しかし、P0では0.5~5 $\mu\text{m}$ の範囲の細孔が多いのに対し、P30ではそれより小さい0.05 $\mu\text{m}$ 以下の細孔が多くなった。

### 3.3 水酸化カルシウム

図-5にTG-DTAにより測定した無置換(P0)の水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量に対する材齢ごとの $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 比を示す。図中の計算値とは、P0の実測値からP30でのセメント減量分を差し引いた値であり0.7となる。しかし、いずれの養生温度および材齢においても $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 比は計算値以下となり、ポゾラン反応の進行が見られる。また、養生温度が高くなるほど $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 比は小さくなる傾向を示し、ポゾラン反応が促進されている。これらは、強度発現に寄与するC-S-Hの生成のために消費されており、前述の強度発現性の結果と合致している。また、細孔構造においても高温養生により大きな径の細孔が減少し緻密となり、強度増進をもたらす要因の一つであると推察される。

### 3.4 長さ変化および鉄筋拘束応力

図-6および図-7にそれぞれ収縮ひずみおよび拘束応力の経時変化を示す。なお、熱膨張係数を $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ として算出した。材齢60日時点において、P0およびP30ともに養生温度が高くなるにつれて収縮ひずみおよび拘束応力は小さくなった。特に、80℃養生の場合、収縮ひずみは20℃養生と比較してP0では10%小さくなり、またP30では15%小さかった。拘束応力は60℃養生の場合、20℃養生と比較してP0では17%、P30では9%小さくなった。

## 4. まとめ

高温履歴を受けたPFBC灰混入コンクリートは、初期強度発現の改善および収縮低減をもたらし、その効果は養生温度が高いほど大きい。この温度依存性はPFBC灰無混入コンクリートより大きく、細孔構造の緻密化やポゾラン反応の進行からも明らかとなった。

### 参考文献

- 1) 河合研至ほか:加圧流動床灰を用いたコンクリートの強度特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.24、No.1、pp.273-278、2002

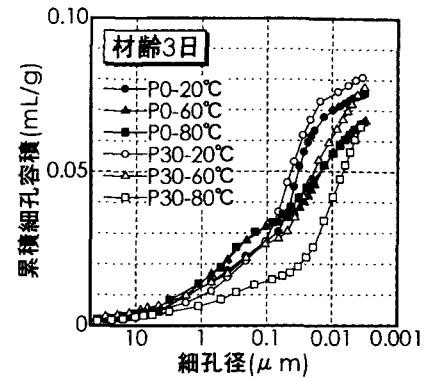


図-4 累積細孔容積 (材齢3日)

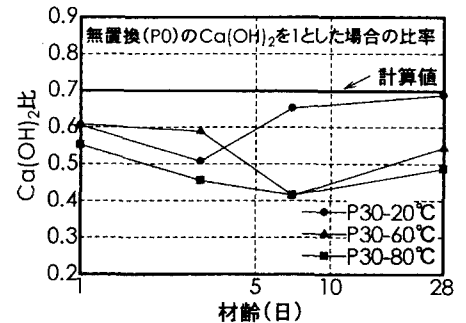


図-5  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 比と材齢の関係

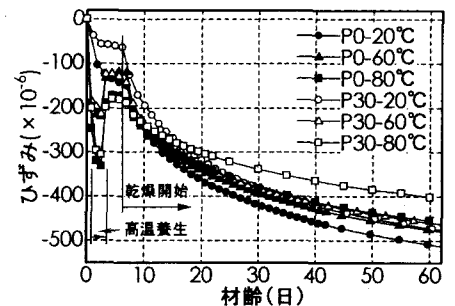


図-6 収縮ひずみと材齢の関係

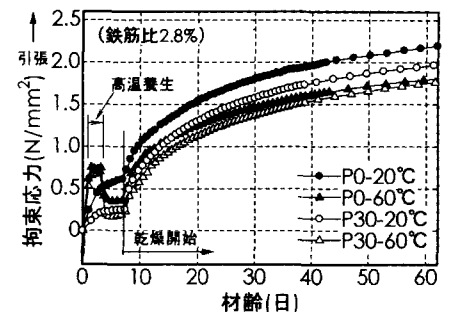


図-7 拘束応力と材齢の関係