

低炭素型コンクリートの PCa 製品への適用に関する一考察

日本ヒューム 正会員 ○石河 蔵之助 田口 拓望  
大林組 正会員 新村 亮 野島 省吾

1. はじめに

脱炭素社会の実現に向けて二酸化炭素（以下 CO<sub>2</sub>）排出量の少ない、フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、および二水石膏などからなる産業副産物の粉体をセメントの代替とした硬化体に関する研究が報告<sup>1)</sup>されている。本研究は、セメントの一部を CO<sub>2</sub> 排出量の少ない高炉スラグ微粉末などの産業副産物に置換することで、一般的なコンクリートに比べて CO<sub>2</sub> 排出量を最大 80%程度低減させるコンクリート（以下クリーンコンクリート）を用い、土木 PCa 製品への適用に向け配合検討及び蒸気養生での強度比較を行った。

2. 試験概要

本試験は以下の 2 段階の Phase に分けて実施した。

- ・ Phase1：W/P と強度関係の確認単位水量 150kg/m<sup>3</sup>として W/P と養生条件をパラメータとして検討
- ・ Phase2：乾燥収縮の低減に向けた膨張材添加量の確認

2. 1. Phase1

試験練りに使用した材料を表 1、配合を表 2 に示す。本試験ではセメントの 75%を高炉スラグ微粉末で置換するものとし、W/P を 3 水準(25%・30%・34%)から設計基準強度 40N/mm<sup>2</sup>を満足する配合を把握することを目的とした。また、試験練りは工場で通常使用する材料を用いてスランプフローおよび空気量の 2 項目に着眼し実施した。また、蒸気養生は 40℃-5h・50℃-4h・蒸気養生無しの 2 水準とし、脱型時、14 日（気中・水中）のそれぞれで圧縮強度試験を実施した。

2. 2. Phase2

多量のスラグが配合されるため、収縮が大きいことが予測された。Phase1 試験結果を踏まえ、収縮低減のため膨張材を添加し膨張量を測定した。なお、膨張材は 2 種類使用しそれぞれで比較した。

試験方法は JIS A 6202 の B 法、土木技術資料 53- 9(2011)を参考とした。形状は図 1 に示すとおりである。供試体に配置した有効径 11mm の拘束鋼材の中央部にひずみゲージを貼り付け、コンクリート打設直後からひずみを測定した。

表 1 使用材料

| 材料名      | 記号  | 種類および物性値                                                  |
|----------|-----|-----------------------------------------------------------|
| セメント     | OPC | 普通ポルトランドセメント<br>密度 3.16 g/cm <sup>3</sup>                 |
| 高炉スラグ微粉末 | BFS | JIS A 6206(粉末度 4000)<br>密度 2.91 g/cm <sup>3</sup><br>石膏添加 |
| 細骨材      | S   | 天然砂、表乾密度 2.62 g/cm <sup>3</sup><br>吸水率 1.46、粗粒率 2.85      |
| 粗骨材      | G   | 碎石、表乾密度 2.71 g/cm <sup>3</sup><br>吸水率 0.46、粗粒率 6.60       |
| 膨張材 A    | EX① | JIS A 6201(エトリンガイト系)<br>密度 3.01 g/cm <sup>3</sup>         |
| 混和剤 A    | SP① | 高性能 AE 減水剤<br>JIS A 6204( I 種)<br>PAE 化合物                 |
| AE 剤     | AE  | JIS A 6204( I 種)<br>アルキルエーテル型                             |

表 2 Phase1 配合

| W/P | Gmax | SL           | AIR     | s/a | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |     |      |        |
|-----|------|--------------|---------|-----|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|--------|
| (%) | (mm) | (cm)         | (%)     | (%) | W                        | C   | BFS | S   | G   | SP   | AE     |
| 25  | 20   | 42.5<br>±7.5 | 4.5±1.5 | 57  | 150                      | 150 | 450 | 900 | 703 | 5.10 | 0.6150 |
| 30  |      |              |         |     | 150                      | 125 | 450 | 951 | 742 | 4.40 | 0.1180 |
| 34  |      |              |         |     | 150                      | 110 | 331 | 980 | 765 | 4.41 | 0.0343 |

キーワード：クリーンコンクリート、高炉スラグ微粉末、プレキャスト製品、蒸気養生、乾燥収縮  
連絡先：〒360-0161 埼玉県熊谷市万吉 3300 TEL 048-536-5431

3. 試験結果

3.1. Phase1

図2に材齢14日圧縮強度試験の結果を示す。なお工場では、14日を強度の品質管理材齢としている。W/P25%、30%においては設計基準強度40N/mm<sup>2</sup>を満足した。フレッシュ性状についてはW/P25%配合が安定しなかったことから、W/P30%程度がPCa製品に適した配合だと考えられる。また、蒸気養生を行った高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートは、長期強度の低下が考えられるがPCa製品への転用には翌日脱型が必要である。そのため脱型時に必要な初期強度を発現させるには蒸気養生が必至である。試験結果より脱型時から14日強度の伸びが10 N/mm<sup>2</sup>以上あることから、脱型時強度が30 N/mm<sup>2</sup>以上あれば設計基準強度を満足することが予想される。

3.2. Phase2

図3に膨張量試験の結果を、表3に各配合を示す。配合はPhase1の試験結果よりW/P30%とした。膨張材を添加していない配合については脱型時から収縮が始まっており、品質管理材齢時では $-330 \times 10^{-6}$ であるため、収縮を0に抑えるには膨張材が必至であることが分かった。また、温度と膨張量の関係ではA30 kg/m<sup>3</sup>-40℃とA30 kg/m<sup>3</sup>-50℃を比較すると40℃の方が膨張しやすい、効率的な環境だと分かった。

4. まとめ

- (1) W/P25%、30%配合は品質管理材齢14日で設計基準強度40N/mm<sup>2</sup>を満足した。
- (2) 自己収縮を0に抑えるには膨張材の添加は必至であり、必要添加量においては今後の課題である。

なおフレッシュ性状は混練量、気温、湿度、ミキサの種類で変動することが考えられる。現状は実製品製造時に上記4項目を考慮し製造しなければならない点が課題となる。

参考文献

- 1) 斯波明宏、谷口秀明、樋口正典、佐々木亘：早強セメントを用いた環境負荷低減型コンクリートの基礎物性

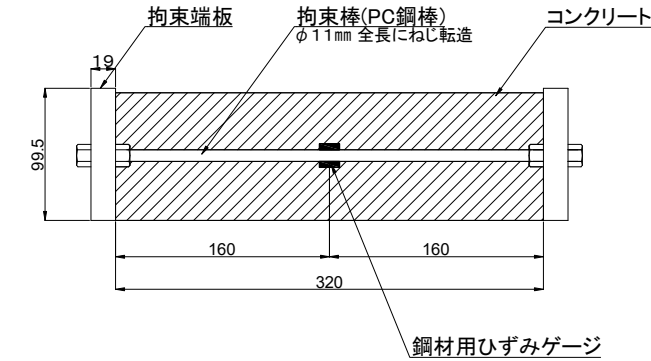


図1 膨張量試験治具

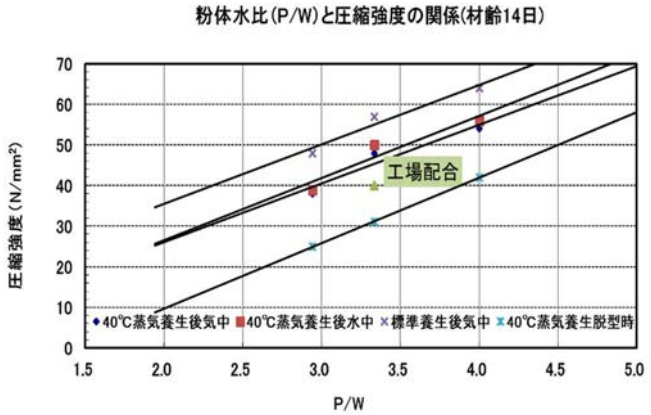


図2 結合材比と圧縮強度の関係

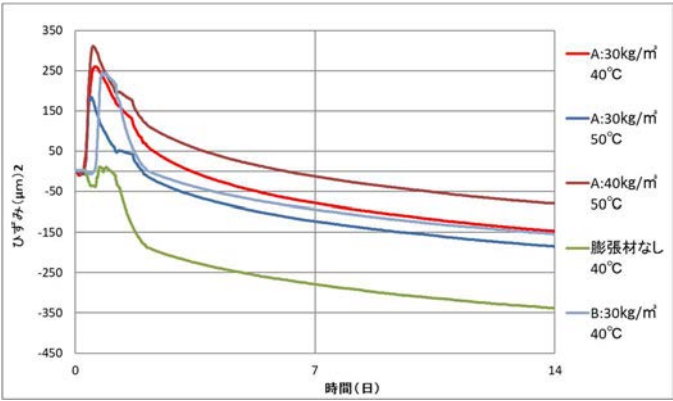


図3 膨張量試験結果

表3 膨張量試験配合

| 配合 | W/P<br>(%) | Gmax<br>(mm) | SL<br>(cm) | AIR<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量 (kg/m³) |       |       |     |     |     |     |        |
|----|------------|--------------|------------|------------|------------|-------------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|--------|
|    |            |              |            |            |            | W           | C     | BFS   | EX① | S   | G   | SP  | AE(ml) |
| ①  | 30         | 20           | 42.5       | 4.5        | 43         | 150         | 120   | 360   | 20  | 951 | 742 | 5.5 | 4.158  |
| ②  |            |              | ±          | ±          |            | 150         | 117.5 | 352.5 | 30  | 951 | 742 | 5.5 | 4.158  |
| ③  |            |              | 7.5        | 1.5        |            | 150         | 125   | 375   | 0   | 951 | 742 | 5.5 | 4.158  |