

圧縮強度 460N/mm<sup>2</sup>を発現する超高強度セメント硬化体の開発

太平洋セメント(株) 正会員 ○中山 莉沙 河野 克哉 多田 克彦

1. はじめに

近年、構造物の高層化ならびに長大化が進み、超高強度コンクリートの利用が広がっている。現在、通常流し込み成型で作製されたコンクリートとして約 350N/mm<sup>2</sup>が実用化されている。本研究では、最密充填となる 3 成分系粉体構成としたモルタルにおいて脱型時に内部養生水を外部から吸収させることを検討し、圧縮強度に及ぼす吸水処理の影響を評価した。

2. 試験概要

(1) 使用材料および配合

表 1 に示すように、結合材には低熱セメント(LC)、珪石微粉末(Si)およびシリカフューム(SF)を、細骨材には珪砂(S)を、混和剤には高性能減水剤(SP)および消泡剤(DF)を用いた。表 2 は配合を示したものであり、結合材(B)の処方は粉体工学におけるFurnaceの最密充填理論<sup>1)</sup>を用いて決定した。すなわち、LCとSFの平均粒径(それぞれ 20μm, 0.1μm)と空間率(いずれも 0.5)から、LCとSFに平均粒径を 1.4μmとなる中間粒子を加え、これら 3 成分からなる結合材を体積比でLC:Si:SF=6:3:1 としたときに最密充填が得られることになる。本研究では、このような粉体特性をもつように調整された中間粒子として前述のSiを添加した 3 成分系結合材を、水結合材比(W/B)が 13% および 15%の 2 水準で使用した。また、B、W、SP、SおよびDFをオムニミキサ(容量 5L)に投入して 6 分間の練混ぜを行い、練り上がったモルタルは型枠(内寸法 φ5×10cm)に打ち込んだ。なお、表 2 に示したように W/B=13~15%の範囲におけるフローは 230~295mmとなり、いずれの配合も高い流動性を示した。

(2) 養生方法ならびに圧縮強度試験方法

型枠内で封緘養生(室内 20℃)を行った供試体は、材齢 48 時間で脱型し、以下に示すような 2 種類の吸水処理をそれぞれ実施した。  
①脱型した供試体は、デシケーター内にて水中に完全に浸漬し、アスピレーターを用いて脱気することで減圧し、外表面から内部へ水分を供給した。なお、脱気時間は 1

分、30 分および 90 分の 3 水準とした。また、吸水前ならびに吸水後の供試体の質量を測定し、吸水量とした(図 1)。  
②脱型した供試体は、ビーカー内にて水中に完全に浸漬し、電熱ヒーターで約 5℃/min の昇温速度で 100℃に達するまで加熱し、水中にて 30 分間の煮沸を継続した。その後、室温 20℃になるまで水中にて自然冷却を実施した。なお、吸水前ならびに吸水後の供試体の質量を測定し、吸水量とした(図 2)。

上述の①または②の吸水処理を行った供試体は、蒸気養生(昇温速度 15℃/h, 最高温度 90℃, 最高温度保持時間 48h, 降温速度 15℃/h)の後、さらに加熱養生(昇温速度 60℃/h, 最高温度 180℃, 最高温度保持時間 48h, 降温速度 60℃/h, 1atm)を行った。

所定の養生を完了した供試体は、JIS A 1108 に準じて圧縮試験機(容量 1000kN)にて圧縮強度を測定した。

表 1 使用材料

| 種類  | 名称      | 略号 | 物性または成分                                                 |
|-----|---------|----|---------------------------------------------------------|
| 結合材 | 低熱セメント  | LC | 比表面積 3330cm <sup>2</sup> /g<br>密度 3.24g/cm <sup>3</sup> |
|     | 珪石微粉末   | Si | 密度 2.59g/cm <sup>3</sup>                                |
|     | シリカフューム | SF | 比表面積 20m <sup>2</sup> /g<br>密度 2.29g/cm <sup>3</sup>    |
| 細骨材 | 珪砂      | S  | 最大寸法 0.3mm, 密度 2.61g/cm <sup>3</sup>                    |
| 混和剤 | 高性能減水剤  | SP | ポリカルボン酸系                                                |
|     | 消泡剤     | DF | ポリアルキレングリコール誘導体                                         |

表 2 配合

| W/B<br>(%) | W<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | B<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     | S<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | SP<br>(B×%) | DF<br>(B×%) | Flow<br>(mm) | Air<br>(%) |
|------------|---------------------------|---------------------------|-----|-----|---------------------------|-------------|-------------|--------------|------------|
|            |                           | LC                        | Si  | SF  |                           |             |             |              |            |
| 13         | 180                       | 913                       | 362 | 107 | 927                       | 0.25        | 0.2         | 230          | 2.2        |
| 15         | 199                       | 876                       | 347 | 102 |                           | 0.25        | 0.2         | 295          | 2.0        |

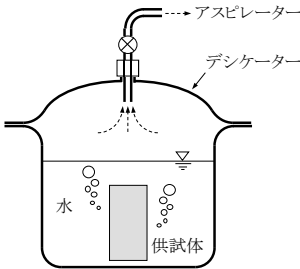


図 1 脱気吸水処理

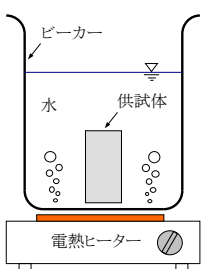


図 2 煮沸吸水処理

キーワード 3 成分系セメント, 超高強度セメント硬化体, 圧縮強度, 吸水処理, 空隙飽水度

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL. 043-498-3804

### 3. 試験結果と考察

#### (1) 吸水処理による供試体空隙の飽水度の変化

図3は脱気時間を変化させたときの供試体空隙の飽水度を示したものである。なお、供試体空隙とは表2中に示したフレッシュモルタルの空気量(a)に供試体の容積( $V_m$ )を乗じたものであり、この供試体空隙を2.(2)の①および②に示した処理で吸収された水分量( $V_w$ )が占める割合(%)を飽水度( $V_w/(V_m \cdot a) \cdot 100$ )とした。W/B=13%およびW/B=15%のいずれの供試体においても、脱気時間が長いほど供試体空隙の飽水度が高くなった。また、脱気時間に依存せずW/B=13%の供試体よりもW/B=15%の供試体の方が供試体空隙の飽水度は高くなる傾向を示しており、これはW/Bが多少高いほうがモルタルの水密性が低く、外部の水を吸収しやすいことによるものと考えられる。このため、水中で90分間脱気したときの供試体空隙の飽水度は、W/B=13%の場合28.2%、W/B=15%の場合48.0%となった。一方、水中で30分間煮沸したときの供試体空隙の飽水度はW/B=13%の場合48.6%、W/B=15%の場合44.0%であり、W/B=15%の供試体を水中で90分間脱気したときと同様に供試体空隙の約半分が水で満たされた状態である。これは、煮沸による蒸気圧を受けた供試体空隙の内部は水中で自然冷却されることで減圧し、外部から供試体内部に徐々に水を引き込んだものと考えられる。

#### (2) 吸水処理による圧縮強度の変化

図4は脱気時間を変化させたときの供試体の圧縮強度を示したものである。W/B=13%の場合の圧縮強度は脱気時間を延長しても大きく変化しないのに対して、W/B=15%の場合の圧縮強度は脱気時間とともに増大する傾向を示した。すなわち、脱気30分間の吸水処理で464N/mm<sup>2</sup>、脱気90分間の吸水処理で451N/mm<sup>2</sup>となる超高強度を発現した。このようなW/Bと脱気時間による圧縮強度の変化は、図3に示したW/Bと脱気時間による供試体空隙の変化傾向とほぼ一致している。このことは、供試体の外表面から供給された水分が内部養生水として機能することで、熱養生時にきわめて緻密な組織の形成に寄与して硬化体の圧縮強度を飛躍的に増進させたことを示唆している。

図5は30分間煮沸したときの供試体の圧縮強度について、30分間脱気したときの供試体の圧縮強度と比較したものである。煮沸にて吸水処理したときの圧縮強度はW/B=13%の場合411N/mm<sup>2</sup>、W/B=15%の場合

450N/mm<sup>2</sup>であり、脱気にて吸水処理したときの圧縮強度411N/mm<sup>2</sup>、464N/mm<sup>2</sup>とほぼ同等となった。脱型後の供試体の吸水処理として水中煮沸ならびに水中脱気のいずれの方法であっても、熱養生時の水和反応を促進するために必要となる水分供給ならびにきわめて高い圧縮強度の発現の2つの点で、同様な効果を発揮できることが明らかになった。

### 4. まとめ

最密充填となる粉体構成としたモルタルにおいて、脱型時の供試体に脱気また煮沸による吸水処理を行い、内部養生水を供給することで、圧縮強度460N/mm<sup>2</sup>を超える超高強度セメント硬化体を得ることができた。

### 参考文献

- 1) 三輪茂雄:粉粒体工学, 朝倉書店, pp.140-145, 1972

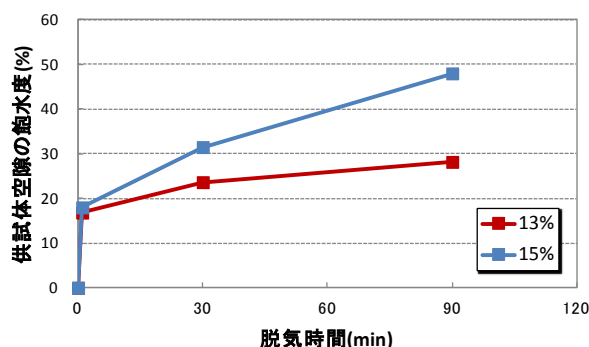


図3 脱気時間と供試体空隙の飽水度

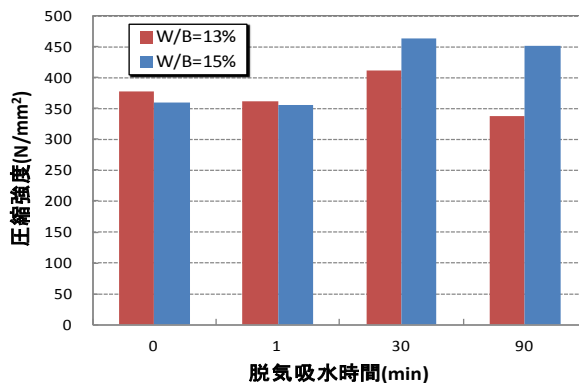


図4 脱気時間と供試体の圧縮強度

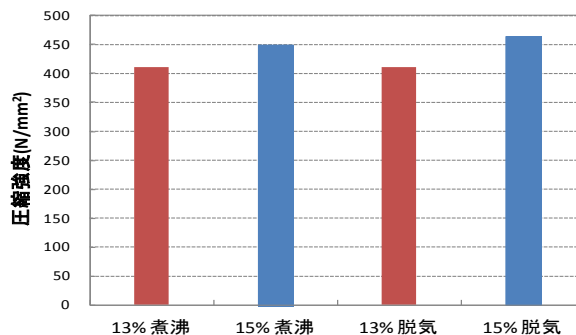


図5 煮沸ならびに脱気吸水した供試体の圧縮強度