

低温度化オートクレーブ養生によるシリカフューム混入 セメント硬化体の強度発現と細孔空隙に関する研究

日本大学 正会員 ○山口 晋

日本大学 フェロー 越川 茂雄

日本大学 正会員 鶴澤 正美

日本大学(院)岩崎 直郁, 木村 裕介, 山内 佑馬

1. はじめに

コンクリートのオートクレーブ養生は、構造物の基礎杭をはじめとした高強度コンクリート二次製品を製造するにあたり広く一般的に用いられているコンクリート高強度化手法の一つである。オートクレーブ養生は、一般に約 180°C-1MPa という高温・高圧蒸気養生により養生直後に所要の高強度が得られ、早期出荷を可能とする大きな利点がある。しかし、環境負荷低減が強く求められる現代社会において、オートクレーブ養生にともなう CO₂ 排出量削減は必須とされているが、未だその解決には至っていない。また、オートクレーブ養生に用いられるボイラーの熱源となる原油や LNG 等の化石燃料は、我国の資源が乏しく輸入に頼らざるおえない現状において、近年の上記価格高騰・変動が製造コストに及ぼす影響は非常に大きく、これらの問題解決が急務とされている。

以上のことから筆者らは、オートクレーブ養生温度を低温化することで、消費する熱エネルギーを抑制するとともに排出される CO₂ を削減し、従来の方法と同等の圧縮強度が得られる新しい低温度化オートクレーブ養生方法に関する研究を開始した。¹⁾

現在、高活性なシリカフュームを含むシリカフューム混入高強度モルタルを用いて十分な前置き養生時間を確保することでオートクレーブ養生温度の低温化が可能である知見を示している。²⁾

本研究は、シリカフューム混入高強度モルタルを用いて、150°C~110°Cまでの低温度領域でオートクレーブ養生を実施したセメント硬化体の圧縮強度および細孔構造について実験検討を行い、これまでの知見の実証を行ったものである。

2. 実験方法

2. 1 使用材料および配合

使用材料は、セメント、シリカフューム、珪砂および高性能減水剤である。本実験は、これら材料があらかじめ混合された T 社製のプレミックス材を使用し、モルタルの配合は表.1 に示す通りである。なお、使用材料ならびに配合は、「超高強度繊維補強コンクリート設計・施工指針(案)」に準拠したものである。

表 1. モルタル配合

Composition of mortar (kg/m ³)			
Water	Premix material	Sand	Water-reducer
180*	2254	53	22

※:including water - reducer

2. 2 供試体作製

練混ぜは、20°Cの恒温室で行い、プレミックス材に水を加えて低速で2分間、高速で3分間行った。型枠への充填性および材料分離を考慮してフロー値(0打)が250mm±10mmとなるよう高性能減水剤の添加量を調整した。練混ぜ終了後、φ50mm×100mmのスチール製型枠に流し込み、打設面にラップを被せ、濡れウエスで覆い前置き養生を行った。

2. 3 養生条件

脱型前の前置き養生時間は、本研究に有効となる72時間²⁾と一定にした。次に脱型を目的とした65°C-4時間の常圧蒸気養生を行った後、180°C、150°C、130°C、110°Cをそれぞれ3時間保持したオートクレーブ養生を開始した。

2. 4 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、オートクレーブ養生後のモルタル硬化体の端面をダイヤモンド研磨機で平坦にした後に試験を行った。試験は、JSCE-G505-1999「円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法」に準拠した。

キーワード オートクレーブ養生, シリカフューム, 圧縮強度, 細孔空隙, ゲル空隙, 毛管空隙, 高強度, 環境負荷低減

連絡先 〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1 日本大学生産工学部土木工学科 TEL047-474-2428

2. 5 細孔空隙

細孔空隙測定に用いた装置は、細孔直径測定範囲が100nm~3nmのM社製の水銀圧入式ポロシチメーターを用いた。測定試料は、オートクレーブ養生後の供試体からダイヤモンドカッターを用いて約3~5mmに切り出し、直ちにアセトン浸漬により水和を停止した後、D乾燥を実施したものとした。

3. 実験結果および考察

3. 1 圧縮強度

図. 1に圧縮強度試験結果を示す。低温度領域の圧縮強度は、養生温度が高くなるほど増加し、養生温度が150℃の場合、約240N/mm²と一般に行われている180℃とほぼ同等の圧縮強度が得られた。この結果に対し、養生温度が低い110℃および130℃の場合、圧縮強度は180℃に比して大きく低下した。

以上のことは、高活性なシリカフェームを用いてオートクレーブ養生温度を150℃とすれば、従来行われている180℃のオートクレーブ養生と同等の圧縮強度が得られる新しいオートクレーブ養生方法を示すものである。

3. 2 細孔空隙

図. 2に細孔空隙測定による各細孔径群の空隙分布を示す。オートクレーブ養生温度が高くなるにつれ全空隙量は減少し、6-10nmと10-50nmの毛細管空隙量も減少する傾向が認められた。これに対し、空隙の大部分を占めている3-6nmのゲル空隙量は増加する傾向が認められた。

次に、各空隙量と圧縮強度の関係を図. 3に示す。まず、全空隙と圧縮強度の関係は、これまでの研究成果²⁾でも得られている全空隙量が少ない程圧縮強度が高くなる一般的な傾向を示し、直線近似による相関が認められた。同様に6-50nmの毛管空隙と圧縮強度の関係は、空隙量の減少に比例して圧縮強度が増加した。これに対し、3-6nmのゲル空隙と圧縮強度の関係は、空隙量の増加に比例して圧縮強度が増加した。両者の場合とも直線的な高い相関が認められた。

以上のことは、高活性なシリカフェームを用いたオートクレーブ養生コンクリートの高強度化は、シリカフェームのポズラン反応によって成長したゲル空隙の増加により、全空隙および毛管空隙が減少した緻密化によるものであることを示唆するものである。³⁾

4. まとめ

本研究より得られた知見を以下に示す。

- 1) 高活性なシリカフェームを配合に含み、オートクレ

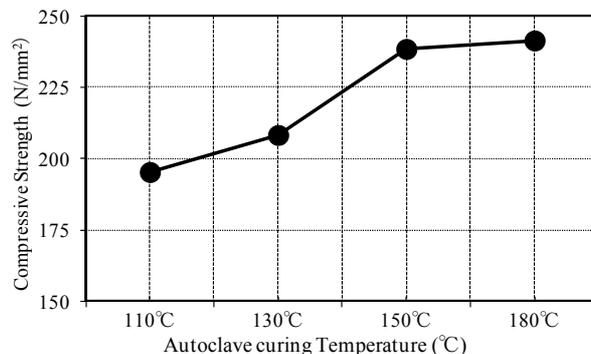


図. 1 圧縮強度試験結果

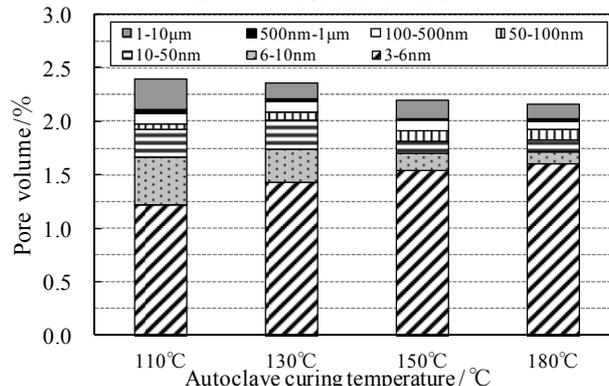


図. 2 各細孔径群の空隙分布結果

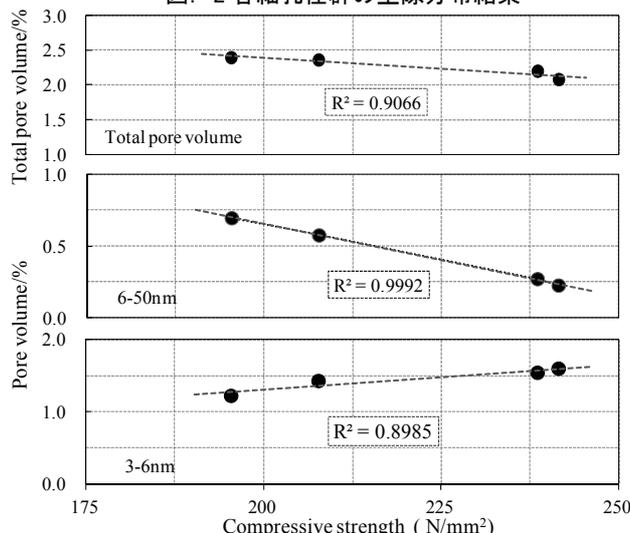


図. 3 各空隙量と圧縮強度の関係

ーブ養生温度を150℃とすれば、従来行われている180℃のオートクレーブ養生と同等の圧縮強度発現が得られることがわかった。しかし、130℃以下の場合、圧縮強度が大きく低下した。

- 2) 高活性なシリカフェームによるポズラン反応によるゲルの増加により緻密化し、オートクレーブ養生コンクリートの高強度化となることを明らかにした。

参考文献

- 1) 山口晋ほか, 第65回土木学会年次学術講演会, V-414, 827-828 (2010).
- 2) 山口晋ほか, 無機マテリアル学会誌, 18, 254-259 (2011).
- 3) 鶴澤正美, 羽原俊祐, 内川浩, セメント・コンクリート論文集, No. 52, 96-103 (1998).