

オートクレーブ養生温度の違いによるモルタルの強度発現性と微細構造に関する研究

日本ヒューム(株) 正会員 ○岩崎 直郁 小川 洋二
 日本大学 正会員 山口 晋 鶴澤 正美

1. はじめに

コンクリートのオートクレーブ養生は、地中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。この養生方法は、約180℃-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製品の早期出荷を可能とする。しかし、大型養生槽内を高温高圧の製造条件にするためには、ボイラーの燃焼による多くの熱源が必要となり、重油をはじめとした多くの化石燃料を消費し、多量のCO₂を排出する課題があり、環境負荷低減ならびに製造コストの削減の観点からは、多くの研究余地が残されている。

そこで研究者は、養生温度の低温化により消費する熱エネルギーを抑制することで、環境負荷低減および化石燃料消費量を軽減する新しいオートクレーブ養生方法に関する研究を開始した。これまでの研究成果としては、土木学会指針(案)¹⁾に準拠したセメントとシリカフュームが予め規定量混合されたプレミックス粉体を用いた基礎的研究により、シリカフュームの添加がオートクレーブ養生温度の低温化に有効な材料の一つとなることを示している。²⁾しかし、養生温度の低温化技術の確立には、一般の製造現場で使用されている材料をはじめ、本技術に有効となるシリカフュームの添加量、水セメント比といった配合条件が強度発現性に及ぼす影響について検討する必要があると考えた。

本研究は、オートクレーブ養生温度の低温化技術の確立を目的とした基礎的研究の一環として、今回は水セメント比ならびにシリカフューム添加率に着目し、一般的に行われている180℃および150℃、130℃のオートクレーブ養生温度の違いが、モルタルの強度発現性ならびに細孔空隙、微細構造に及ぼす影響について実験検討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

使用材料ならびに配合は、表1, 2に示す通りで、W/Cは30, 40, 50%の3水準、シリカフューム添加率は、0, 10, 20%の3水準とした。なお、シリカフュームはC×%で添加し、セメント量一定でけい石微粉末と置換した。

表.1 使用材料

セメント	C	普通ポルトランドセメント(密度: 3.16g/cm ³)
細骨材	S	5号珪砂: 平均粒度0.8~0.3mm(密度: 2.66g/cm ³)
混和材	SF	シリカフューム: 平均粒度1μm(密度: 2.3g/cm ³)
	Q	けい石微粉末: 平均粒度6μm(密度: 2.66g/cm ³)
混和剤	SP	高性能AE減水剤: SP8HU (C×10%)

表.2 配合表

W/C (%)	SF添加率 (%)	kg/m ³					
		W*	C	SF	Q	S	SP*
30	0	195	650	0	294	1300	32.5
	10			65	219		
	20			130	144		
40	0	260	650	0	284	1138	5.2
	10			65	209		
	20			130	133		
50	0	325	650	0	273	975	0
	10			65	198		
	20			130	123		

※W: W+S+P

2.2 供試体作製

練混ぜは、50lのモルタルミキサー(JIS R 5201)を使用し、W/C30%の場合は低速3分、高速4分、W/C40, 50%の場合は低速2分、高速3分で練混ぜを行い、φ50×100mmの円柱供試体を作製した。

2.3 養生方法

図1に養生パターンを示す。脱型前の前置き養生時間は、本研究に有効となる72時間と一定にした。²⁾次に、脱型を目的とした65℃4時間の常圧蒸気養生を行った後、180, 150, 130℃でそれぞれ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、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。

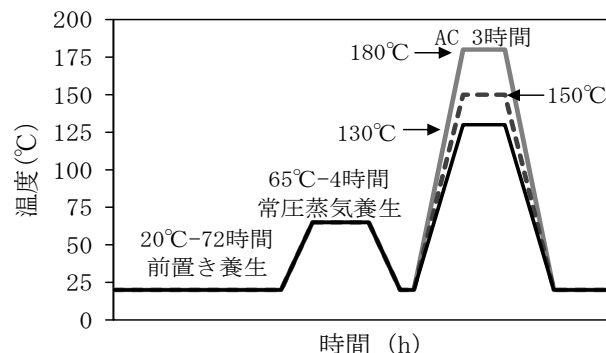


図.1 養生パターン

キーワード 環境負荷低減, 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, 高強度

連絡先 〒105-0004 東京都港区新橋5丁目33番11号 TEL03-3433-4111

2.5 細孔空隙測定

細孔空隙測定は、細孔測定直径範囲が $100\ \mu\text{m} \sim 0.003\ \mu\text{m}$ の水銀圧入式ポロシメーターを用いた。解析試料は、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 $3 \sim 5\text{mm}$ の試料を切り出し、D-乾燥を実施したものである。

3. 試験結果及び考察

3.1 圧縮強度に関する検討

図.2 に圧縮強度試験結果を示す。どの水セメント比の場合においても、養生温度に比例して圧縮強度は増加し、W/C30% シリカフューム添加率 20% の場合で 174.8N/mm^2 と本実験範囲で最も高い圧縮強度となった。W/C30, 40% の場合、 150°C の場合においてもシリカフューム添加率が 10, 20% それぞれで、 152.6N/mm^2 , 167.1N/mm^2 と一般の 180°C の場合とほぼ同等の圧縮強度となった。また、シリカフュームの添加率が大きい程圧縮強度は高くなる傾向が認められた。しかし W/C50% およびシリカフューム 0%, オートクレーブ養生温度が 130°C の場合では、強度は低い結果となった。

このことは、これまでの知見²⁾すなわちシリカフューム添加の有効性を裏付けるものであり、製造コスト等の実製造を視野に入れる場合、シリカフュームの添加率は 10% 程度とするのが良いことを示すものである。

3.2 微細空隙に関する検討

図.3 に全空隙量と圧縮強度の関係を示す。これまでの知見²⁾でも得られているように、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たが、W/C30% の場合と W/C40, 50% の場合で異なる傾向を示した。

そこで図.4 に本研究範囲で最も高強度となる W/C30% の場合における 3-6nm のゲル空隙量と圧縮強度の関係を示す。ゲル空隙量と圧縮強度の関係は、ゲル空隙量の増加に比例して圧縮強度が増加する傾向が顕著であったが、全空隙量の場合と同様にシリカフュームの添加率が 0% と 10, 20% の場合では異なる挙動を示した。これは、シリカフュームのポゾラン反応によって成長したゲルによりゲル空隙量が増加し、全空隙量が減少したことによる緻密化によるものと考えられる。しかし、低水比の領域では異なる挙動を示すことがわかった。

4. まとめ

本研究より得られた知見を以下に示す。

- 1) 水セメント比およびシリカフューム添加率に関わらず、養生温度に比例して圧縮強度は増加した。ただし、製造コストまでを考慮した場合、低水比の 30%, シリカフューム添加率は 10% 程度が良いことを示した。
- 2) シリカフュームのポゾラン反応によってゲル空隙量が増加

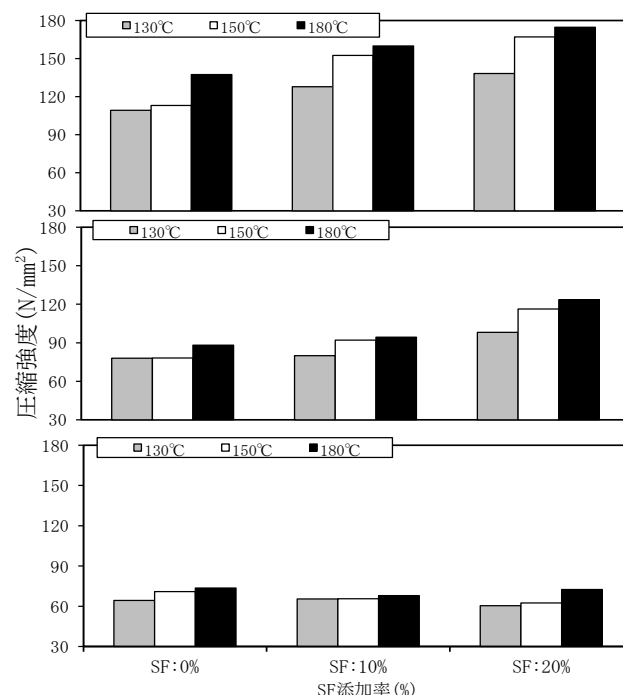


図.2 圧縮強度結果

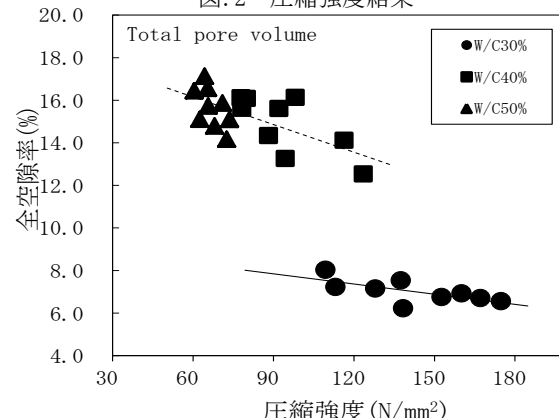


図.3 全空隙率と圧縮強度の関係

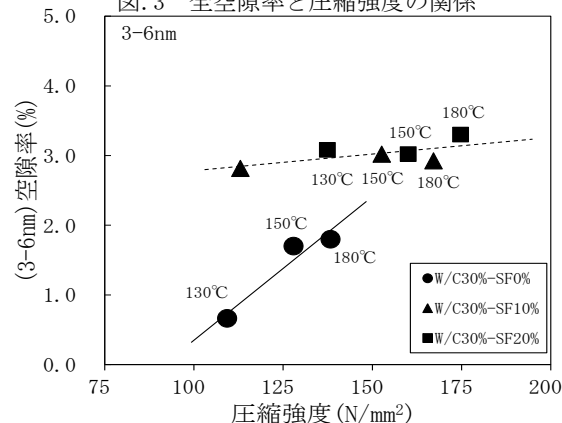


図.4 3-6nm のゲル空隙量と圧縮強度の関係

し、全空隙量が減少したことにより緻密化するが、水セメント比によっては異なる挙動を示すことを明らかにした。

参考文献

- 1) 「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)」土木学会 (2004)
- 2) 山口 晋ほか, 無機マテリアル学会誌, 18, 254-259 (2011).