

コンクリート二次製品を対象としたオートクレーブ養生による
高強度発現性に関する基礎的研究

日本大学 正会員 ○山口 晋
日本大学 正会員 伊藤 義也
日本大学 学生会員 根本 竜太郎

1. はじめに

地中杭等を対象とする高強度コンクリート二次製品の製造に用いられているオートクレーブ養生は、180°C-1MPa の高温・高圧環境下に供するため、熱源となる化石燃料の消費が膨大であり、環境への負荷が大きいことが課題とされてきた。¹⁾そこで研究者らは、高活性なシリカフュームを用いて、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を実現した新たな環境負荷低減型のオートクレーブ養生方法の可能性を示した。²⁾また、これらを可能とする要因が、オートクレーブ養生によるコンクリートの高強度化に必須とされる 11Å Tobermorite の生成³⁾によるものではなく、C-S-H の生成が主たる要因である知見が得られている。⁴⁾しかし、これまでの検討において、11Å Tobermorite の生成がセメント硬化体の高強度発現に及ぼす影響が明らかにされておらず、低温型の新たなオートクレーブ養生技術の確立には、これらを明らかにする必要があると考えた。

そこで本実験は、これまでの検討において一般的なオートクレーブ養生条件の 3 時間程度では 11Å Tobermorite の生成が認められていないことから^{2),4)}、500 時間までの長時間のオートクレーブ養生を実施し、11Å Tobermorite の生成とセメント硬化体の強度発現性に着目した基礎実験を行ったものである。

2. 実験方法

2. 1 使用材料

使用材料として、まず、セメントは普通ポルトランドセメント(密度：3.16g/cm³，比表面積：3,370cm²/g，SiO₂：20.3%，CaO：64.3%)，ケイ酸源となるシリカ質混和材にはシリカフューム(密度：2.30g/cm³，SiO₂：96.7%，BET 比表面積：11.8m²/g)，さらに中間粒子となる比表面積 3,670cm²/g のけい石微粉末(密度：2.66g/cm³，SiO₂：93.3%，平均粒径 6μm)を用いた。細

骨材は、水洗珪砂 5 号(絶乾密度：2.66g/cm³，吸水率：0.5%，粒度 280~980μm)，そして高強度コンクリート用の高性能減水剤(ポリカルボン酸エーテル系，密度：1.05g/cm³)および消泡剤を使用し、φ50×100mm の円柱供試体を作製した。

2. 2 配合条件

配合は表.1 に示す通りで、水セメント比は 30%一定とし、シリカフューム添加率をセメント質量比(C×%)で、0%，5%，10%の 3 水準とし、けい石微粉末と置換した。なお、高性能減水剤および消泡剤は、型枠への充填性や材料分離を考慮し、フロー値で調整した。

表.1 モルタルの配合

W/C (%)	シリカ フューム 添加率 (%)	(g/cm ³)					
		水*	セメント	シリカ フューム	けい石 微粉末	珪砂	高性能 減水剤
30	0	195	650	0.0	294	1300	20
	5			32.5	257		
	10			65.0	219		

※：高性能減水剤+消泡剤含む

2. 3 養生条件

脱型前に行う前置き養生は、20°Cの環境室内で 72 時間行った。次に、昇温および降温速度を 20°C/h とした 65°C-4 時間の常圧蒸気養生を行った後に脱型を行った。そして、脱型後の供試体を一般的な 180°C-3 時間のオートクレーブ養生に加え、50，200，300，500 時間の合計 5 水準のオートクレーブ養生を実施した。なお、この時の昇温速度 80°C/h とし、供試体は時間を一定にした自然放冷の後に取り出した。

2. 4 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠し、載荷速度を 0.2N/mm² で供試体 3 本の平均値で評価した。

2. 5 粉末 X 線回析

オートクレーブ養生によるコンクリートの高強度発現要因とされる 11Å Tobermorite の生成確認は、粉末 X 線回析による CuKα 線により行った。測定条件

キーワード オートクレーブ養生，トバモライト，C S H，高強度，コンクリート二次製品

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 TEL:047-474-2423

は、走査範囲 $5\sim 60^\circ$ 、走査速度は $2^\circ/\text{min}$ とした。

3. 実験結果および考察

3. 1 圧縮強度試験結果

図.1 に圧縮強度試験結果を示す。この結果によれば、一般的なオートクレーブ養生時間が 3 時間の場合に対し、50 時間の場合で急激な強度増加が認められ、それ以降の養生時間 200 時間までは、どのシリカフューム添加率の場合でも、養生時間の増加に伴い圧縮強度が増加する傾向であった。その後、シリカフュームの添加率 10% の場合において、300 時間以降で圧縮強度の低下が認められた。それに関わらず、シリカフュームの添加率 0%, 5% の場合は、養生時間が 300 時間まで圧縮強度が増加する傾向を示したが、養生時間が 500 時間の場合では、どちらのシリカフューム添加率の場合も圧縮強度は低下する結果となった。

3. 2 粉末 X 線回折結果

図.2 にオートクレーブ養生時間が 3 時間の場合および 500 時間の場合の粉末 X 線回折結果を示す。 $11\text{\AA}$ Tobermorite 回折ピークは、図中に記す 7.8° 付近に現れるが、この結果によれば、図に示す一般的な養生時間 3 時間の場合を含み、養生時間 200 時間までの場合においては、 $11\text{\AA}$ Tobermorite の顕著なピークは認められなかった。しかし、これ以降の養生時間が 300 時間、および、図に示す養生時間 500 時間の場合においては、養生時間の増加に伴い、 $11\text{\AA}$ Tobermorite の回折ピークが認められた。

以上の結果は、前述 3.1 で述べた圧縮強度試験の結果を考慮すれば、圧縮強度が増加した養生時間が 200 時間までは $11\text{\AA}$ Tobermorite の生成が認められていないことから、圧縮強度の増加は $11\text{\AA}$ Tobermorite が支配的要因ではないこれまでの研究成果を裏付ける結果となった。また、養生時間が 300 時間以上の場合で $11\text{\AA}$ Tobermorite の生成量増加により圧縮強度は低下する傾向を示したことから、オートクレーブ養生によるセメント硬化体の高強度化に $11\text{\AA}$ Tobermorite は必ずしも必須ではないことを示すものである。

4. まとめ

本研究より得られた知見を以下に示す。

- 1) $11\text{\AA}$ Tobermorite の生成は、オートクレーブ養生によるセメント硬化体の高強度化に必ずしも必須ではないことを示した。
- 2) $11\text{\AA}$ Tobermorite の生成量増加は、圧縮強度を低下

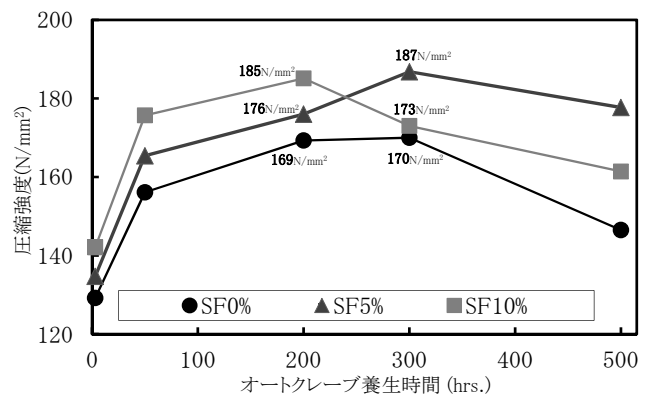


図.1 圧縮強度試験結果

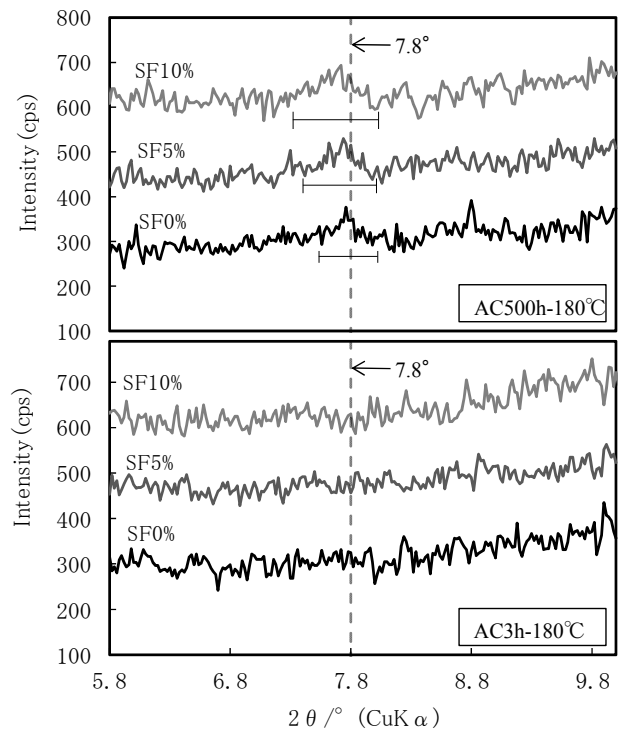


図.2 粉末 X 線回折結果

させることから、1)で述べたことによる新しいオートクレーブ養生理論の基礎となる知見が得られた。

謝辞：本研究は科学研究費助成事業「若手研究B(JP16K18132)」に関連したものである。

参考文献

- 1) 丸山武彦ほか, オートクレーブ養生, 日本コンクリート工学協会, コンクリート工学, Vol.32, No.3, pp.64-67, (1994).
- 2) 山口晋ほか, シリカフューム混入高強度モルタルのオートクレーブ養生温度低温化, 無機マテリアル学会, 無機マテリアル学会誌, No.18, Vol.354, pp.254-259 (2011).
- 3) 須藤儀一ほか, 高圧養生, セメント協会, セメント・コンクリート論文集, No.271, pp.27-35 (1969).
- 4) 山口晋ほか, 水セメント比およびシリカフュームの添加率に着目した低温オートクレーブ養生に関する基礎的研究, (公社)日本材料学会, 材料, No.62, Vol.10, pp.615-620 (2013).