ISSN 2186-5647

4-37

オートクレーブ養生によるセメント硬化体の高強度発現メカニズムに関する基礎的研究

日大生産工（院）　○大久保　龍太郎　日大生産工　山口　晋
日大生産工　伊藤　義也

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養生方法の一つである．この養生方法は，大型の養生装置を約180°C-1MPaの高温・高圧環境下に供する必要があり, その熱源となる化石燃料の消費が膨大であることから, 環境への負荷が大きいことが従来からの課題とされてきた．[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, 使用するエネルギー抑制効果に伴う新たな環境負荷低減型のオートクレーブ養生の可能性を示した. 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高強度化に必須とされる11Å Tobermoriteの生成によるものではなく，C-S-Hの生成によるものである知見が得られている．[2)]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，前述で述べた通り，一般的な養生時間3時間程度では11Å Tobermoriteの生成が認められないことから，500時間までの超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的な実験検討を行ったものである.

2. 実験方法

2. 1 使用材料

使用材料は，セメント，シリカフューム，けい砂，高性能減水剤および消泡剤である．使用するセメントは，普通ポルトランドセメント(密度 : 3.16g/cm^3，比表面積 : 3,370cm^2/g，SiO_2 : 20.3%，CaO : 64.3%)で，ケイ酸源となるシリカ質混和材は, シリカフューム(密度 : 2.30g/cm^3, SiO_2 : 96.7%，BET比表面積 : 11.8m^2/g)，さらに中間粒子となる比表面積3,670cm^2/gのけい石微粉末(密度 : 2.66g/cm^3，SiO_2 : 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/cm^3, 吸水率 : 0.5%, 粒度280~980μm), そして高性能減水剤には超高強度コンクリート用SP8HU(ポリカルボン酸エーテル系，密度 : 1.05g/cm^3)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%とした．また，シリカフュームの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，高性能減水剤の量は, 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 (%)	Percentage of added Silica Fume (%)	(kg/m^3)						
		Water※	Cement	Silica Fume	Quartz Powder	Silica Sand	Water Reducer Agent※	Anti-Foaming Agent※
30	0	195	650	0.0	294.1	1,300	19.5	39.0
	5			32.5	256.6			
	10			65.0	219.0			

※: Including Water - Reducer

2. 3 養生条件

脱型前に行う前置き養生条件は，養生温度20°C-72時間で一定とした．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い，その後脱型を行った.

オートクレーブ養生は, オートクレーブ養生温度を一般的な180°C-1MPaの1水準とし，オートクレーブ養生時間は従来の3時間に加え10, 50，100，200，300，500時間の合計7水準で検討を行った．なお，供試体は自然放冷したのちに取り出した. これらはオートクレーブ養生時間を除き，実製造工程に準拠したものである.

Fundamental Study of the Mechanism for High Strength Development of Cement Mortar Accelerated by Autoclave Curing

Ryutaro OKUBO, Shin YAMAGUCHI and Yoshinari ITO

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とした．

2. 5 微細構造

オートクレーブ養生の高強度の発現要因とされる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．

次に，生成水和物の形態観察は，走査型電子顕微鏡によって観察を行った．観察倍率は，3,000倍，5,000倍，10,000倍とした．

3. 実験結果および考察

3. 1 圧縮強度に関する検討結果

図.1にオートクレーブ養生時間毎の圧縮強度の関係を示す．この結果によれば，200時間までのオートクレーブ養生では，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．しかし，シリカフュームの添加率が10%の場合においては，300時間および500時間とオートクレーブ養生時間の増加に伴い圧縮強度が低下した．また，シリカフュームの添加率0%および5%の場合は，300時間まで圧縮強度の増加が認められたが，500時間のオートクレーブ養生時間では圧縮強度が低下する結果となった．

3. 2 微細構造に関する検討結果

図.2にオートクレーブ養生時間が500時間の場合の粉末X線回析の結果を示す．11Å Tobermoriteの回析ピークは，図中に記す7.8°(002面)付近に現れるが，200時間までは顕著なピークが認められなかったものの，300時間および500時間とオートクレーブ養生時間の増加に伴い，図に示す通り11Å Tobermoriteの回析ピークは顕著になった．

次に，図.3に走査型電子顕微鏡による観察結果を示す．この結果によれば，圧縮強度が低下した500時間のオートクレーブ養生の場合で，針状または薄箔状の結晶性11Å Tobermoriteの生成を確認することができた．なお，最も強度が高かった養生時間300時間のシリカフュームの添加率が5%の場合において，小粒かつ鱗片状のC-S-Hの存在を確認した．

以上の結果は，11Å Tobermoriteの生成が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すものであり，C-S-Hの生成のみで十分に高強度化する新しいオートクレーブ養生理論の裏付けとなるものである．しかし，本実験では細孔空隙性状に関する検討までは至っておらず，今後，セメント硬化体の高強度発現性に寄与するC-S-Hに相当するゲル空隙(3-6nm)や毛細管空隙(6-50nm)に関する検討を行う予定である．

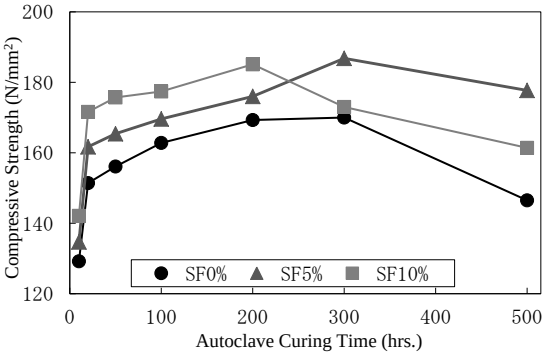

図.1 オートクレーブ養生時間と圧縮強度の関係

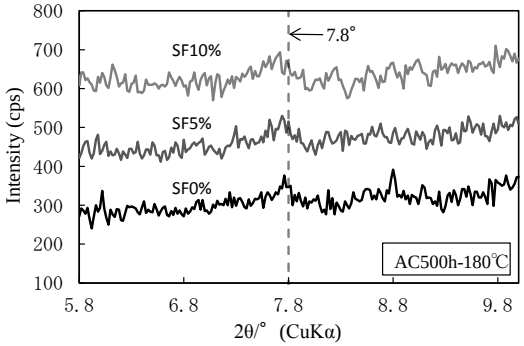

図.2 粉末 X 線回析の結果

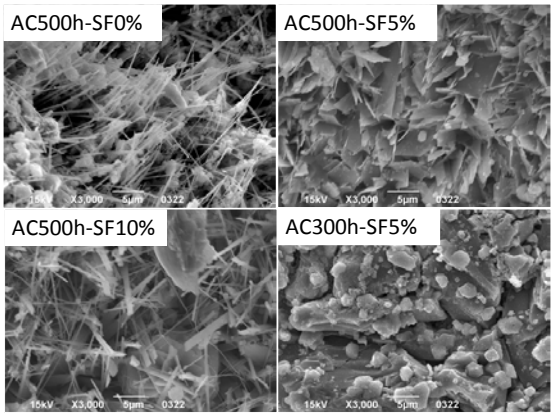

図.3 走査型電子顕微鏡による観察画像

4. まとめ

本研究より得られた知見を以下に示す．

1) 11Å 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) 本研究検討結果により，C-S-Hの生成のみで高強度化する新しいオートクレーブ養生理論を裏付けた．

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，18,254-259(2011)