

報告

[1049] オートクレーブ養生超低水セメント比モルタルの強度及び細孔径分布

正会員 ○ 福地利夫 (日本大学工学部)

中務 均 (日本大学大学院)

1.はじめに

近年、集合住宅を中心としてRC造の高層化が進み、これに伴って高強度コンクリートに関する研究が盛んに行われている。オートクレーブ養生コンクリートは、現場打ちコンクリートには適用できないが、以下に示す特長を生かしたプレキャスト部材として、今後、高層建築物への進出が十分考えられる。また、各種コンクリート製品の大型化に伴う重量軽減策として、高強度化を望む声もある。

オートクレーブ養生コンクリートの特長は、その硬化体の組織構造が、通常の養生のそれと全く異なることである。^{1)・2)} そのため、ごく早期に高強度が期待できると同時に、乾燥収縮の低減、耐薬品性の向上など、通常の養生による弱点を改善することが可能である。

本報告では、超高強度コンクリートを得ることを目的として、シリカフェームを混入したオートクレーブ養生超低水セメント比モルタルについて、まず、最高温度保持時間 (以下保持時間という) が、その強度に及ぼす影響を及ぼすかを述べ、次にシリカフェーム混入率と細孔径分布の関係を、そして最後に各種モルタル供試体の吸水試験結果を述べる。

2.使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント (C) を、骨材は久ノ浜産陸砂を、混和材はシリカフェーム (SF) 及びβ-ナフタリンスルホン酸ホルマリン縮合ナトリウム塩系高性能減水剤 (A d) を用いた。セメントの性質を

表-1に、シリカフェームの性質を表-2に示す。

表-1 セメントの性質

Specific Gravity	Specific Surface Area (cm ² /g)	Setting Time (h-m)		Soundness	MgO (%)	SO ₃ (%)	ig. loss (%)
		Initial Set	Final Set				
3.16	3260	2-29	3-30	Good	1.5	1.8	0.8

3.強度試験

3.1 試験体作製

(1) 調合: 表-3に示す様に、水セメント (Matrix) 比を15%及び25%、シリカフェーム置換率を0%、10%、20%及び30%のモルタルとした。

(2) 練混ぜ方法: あらかじめセメントとシリカフェームをよく混合した後、JIS R 5201 (セメントの物理試験方法) に準じて、モルタルミキサによる機械練りを行った。(3) 試験体形状: 4×4×16cmの柱状試験体とした。(4) 締固

Compressive Strength of Mortar (kgf/cm ²)		
3d	7d	28d
150	249	417

表-2 シリカフェームの性質

Specific Gravity	Particle Size (μm)			Chemical Compositions (%)					
	Max.	Min.	Avg	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Total
2.20	2.00	0.10	0.30	92.00	0.20	3.26	0.22	0.32	96.00

め方法：2層に分けてモルタルを詰め、各層を突き棒により20回突き固めた。(5)養生方法：図-1に示すダイヤグラムに従い、24時間の湿空養生(20°C, 80%R.H.)後脱型し、オートクレーブ養生を行った。最高温度はいずれの試験体についても180°C(10kg/cm²)と一定とし、その保持時間を0, 1.5, 3, 6, 及び12hr.とした。

3.2 試験方法

養生終了24時間後、JIS R 5201に従って曲げ強度試験及び圧縮強度試験を行った。

3.3 試験結果及び考察

水セメント比15%モルタルの曲げ及び圧縮強度試験結果を図-2に、水セメント比25%モルタルの曲げ及び圧縮強度試験結果を図-3に示す。これらによれば、モルタルの圧縮強度はほとんどの水セメント比及び保持時間において、シリカフェーム置換率の増加に伴い増加している。これは15%の超低水セメント比のモルタルにおいても25%程度のモルタルと同様に、Tobermorite グループを生成するような水熱反応、又はシリカフェームによる間隙充填効果が生じていることを示している。水セメント比15%モルタルの圧縮強度は水セメント比25%モルタルの圧縮強度に比較し、いずれのシリカフェーム置換率及び保持時間においても増加を示し、増加率の平均は約27%である。これはモルタル中に高性能減水剤を多量に混入し、分散性

表-3 調合

Type of Mortar	Matrix (C+SF) : Sand (by Weight)	Silica Fume Content SF/(C+SF) (%)	Water-matrix Ratio W/(C+SF) (%)	Admixture Content Ad/(C+SF) (%)	Flow
SF0-15	2 : 3	0	15	8.0	90
SF10-15		10	15	8.0	137
SF20-15		20	15	8.0	145
SF30-15		30	15	8.0	114
SF0-25		0	25	2.0	144
SF10-25		10	25	2.0	156
SF20-25		20	25	2.0	129
SF30-25		30	25	2.0	90

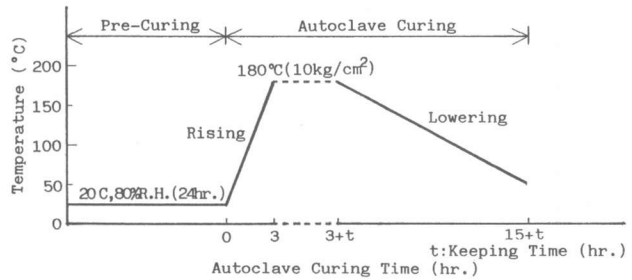


図-1 オートクレーブ養生ダイヤグラム

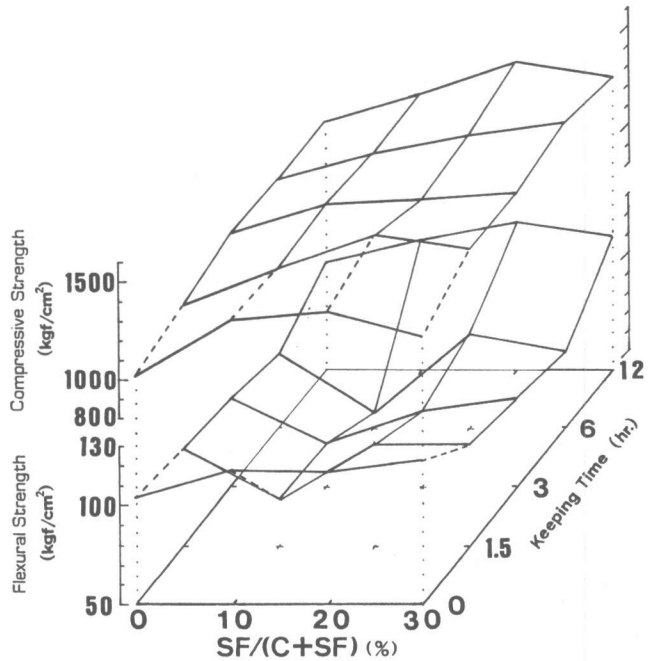


図-2 水セメント比15%モルタルの曲げ強度及び圧縮強度

を高めることにより、セメントの水和に必要とされる水量（セメント質量比40%程度）をはるかに下回る15%程度の超低水セメント比でも、セメントの硬化体の強度増進が可能である事を示している。又いずれの水セメント比及びシリカフェーム置換率においても、保持時間が圧縮強度に及ぼす影響は小さい。これはシリカフェームが0.3 μ m程度のシリカ質微粒子であり、他のボゾラン質混和材に比較し反応性が高く、ごく短い保持時間で、少い水量分の反応を終らせ、所定の強度を発現する事を示している。

本試験で得られた最高圧縮強度は1428kgf/cm²であり、シリカフェーム置換率20%、水セメント比15%の調合のもの

を、保持時間1.5hr.のオートクレーブ養生を行って得られている。尚、モルタルの曲げ強度は、シリカフェーム置換率10%、保持時間3hr.付近で低下がみられる。この理由に関しては、本研究では明らかにすることはできなかった。また曲げ強度のシリカフェーム置換率及び保持時間による一定の傾向はみられない。

4. 細孔量試験

4.1 試料

強度試験に用いたモルタルバーの中央部を粒径2.5~5mmに粉碎し、アセトンで洗浄後、絶乾状態にしたものを試料として用いた。

4.2 試験方法

水銀ポロシメータを用い、水銀圧入法によって細孔

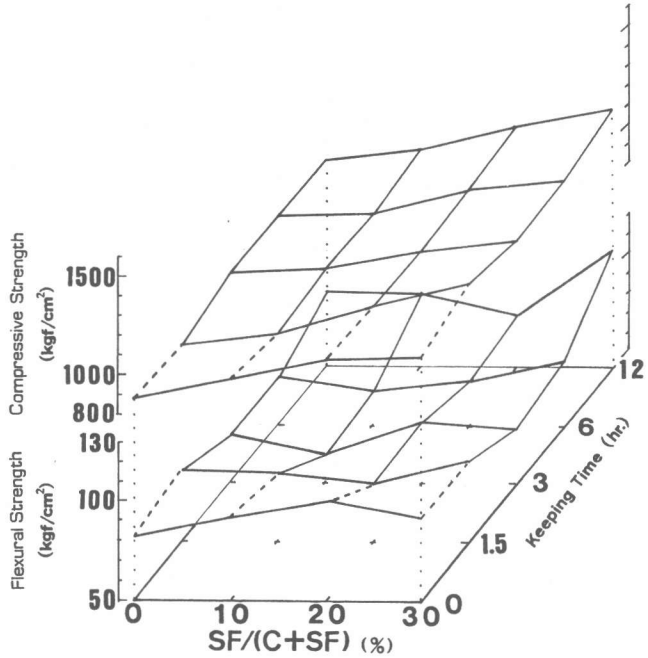


図-3 水セメント比25%モルタルの曲げ強度及び圧縮強度

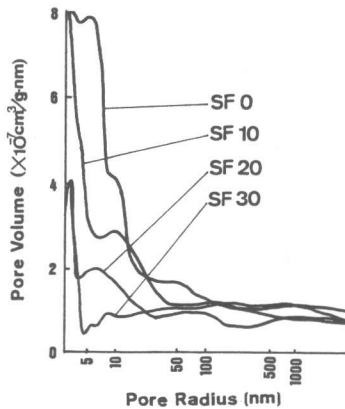


図-4 水セメント比15%、保持時間1.5hr.のモルタルにおける細孔径分布

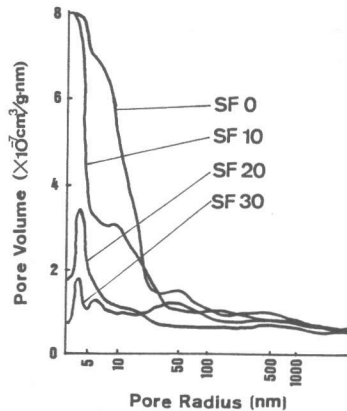


図-5 水セメント比15%、保持時間6hr.のモルタルにおける細孔径分布

量を測定し、得られたデータから細孔径分布及び総細孔量を求めた。

4.3 試験結果及び考察

水セメント比及び保持時間を一定としたモルタルの細孔径分布を図-4から図-7に、シリカフューム置換率及び水セメント比を一定としたモルタルの細孔径分布を図-8及び

図-9に、シリカフューム置換率及び保持時間によるモルタルの総細孔量を図-10に示す。

図-4及び図-5によって水セメント比15%モルタルにおける細孔径分布をみれば、半径5nmから10nmの細孔量は、シリカフューム置換率の増加に伴い著しく減少している。この細孔半径はキャピラリー空隙の細孔半径(1.6nm~100nm)³⁾に分類され、同図のような細孔量の減少は、シリカフュームがセメント粒子間を埋めていく様子を示している。図-6及び図-7によって水セメント比25%モルタルにおける細孔径分布をみれば、水セメント比15%モルタルの場合ほど明らかな傾向はみられないが、シリカフューム30%置換モルタルにおける半径5nmから10nmの細孔量は他調合モルタルのそれに比較し、著しく減少している。図-8及び図-9によって水セメント比25%における細孔径分布をみれば、保持時間によって細孔径分布の差異はみられるものの、一定

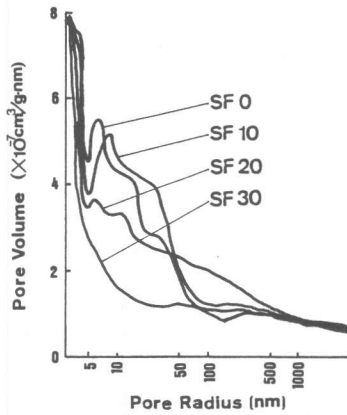


図-6 水セメント比25%, 保持時間1.5hr.のモルタルにおける細孔径分布

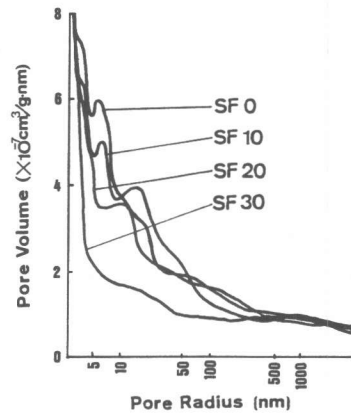


図-7 水セメント比25%, 保持時間6hr.のモルタルにおける細孔径分布

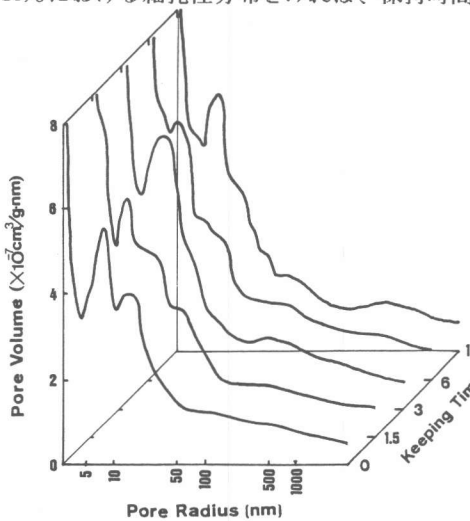


図-8 水セメント比25%, シリカフューム置換率0%のモルタルにおける細孔径分布

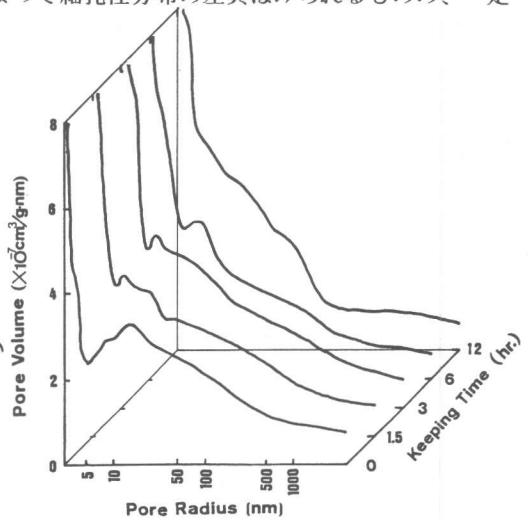


図-9 水セメント比25%, シリカフューム置換率20%のモルタルにおける細孔径分布

の傾向はみられない。図-10の調査及び保持時間別のモルタルの総細孔量によれば、シリカフェーム置換率の増加に伴い総細孔量の減少を示している。ただし同図で明らかなように、水セメント比25%の場合、シリカフェーム置換率10%の総細孔量は、シリカフェーム置換率0%（無置換）のそれに比較して、その総細孔量に顕著な相異が認められない。この理由に関しては、本研究では明らかにすることができなかったが、シリカフェーム置換率10%程度では、

オートクレーブ養生の効果が十分に発揮されなかったためと考えられる。尚、同図からは、保持時間による総細孔量の差異に、一定の傾向はみられない。

5. 吸水率試験

5.1 試験体

強度試験と同様な方法で作製した4×4×16 cmのモルタルとした。

5.2 試験方法 ASTM C 642 (Standard Test Method for Specific Gravity, Absorption, and Voids in Hardened Concrete) に従って絶乾質量及び浸漬後の表乾質量を測定し、次の式によって浸漬による吸水率を求めた。

$$\text{吸水率} = \frac{B - A}{A} \times 100 (\%) \quad \text{ここに } A : \text{絶乾質量 (g)} \\ B : \text{浸漬後の表乾質量 (g)}$$

5.3 試験結果及び考察

シリカフェーム置換率及び保持時間別のモルタルの吸水率を図-11に示す。これによれば、水セメント比25%モルタルの吸水率は水セメント比15%モルタルの吸水率に比較していずれも増加を示し、増加率の平均は約59%であった。しかし、シリカフェーム置換率及び保持時間によるモル

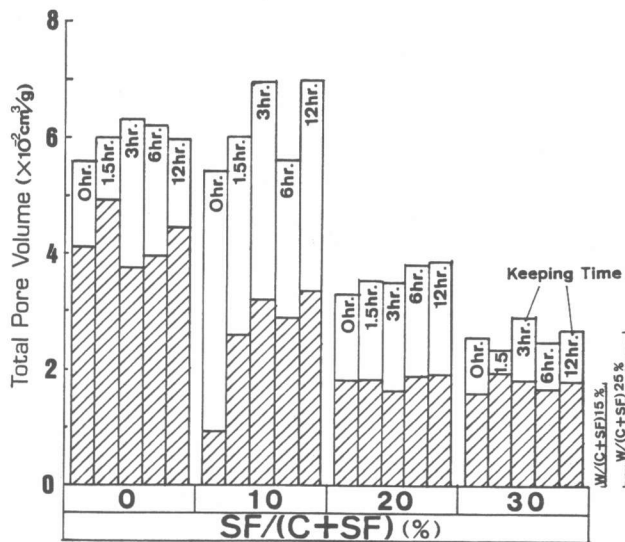


図-10 シリカフェーム置換率及び保持時間を変化させたモルタルの総細孔量

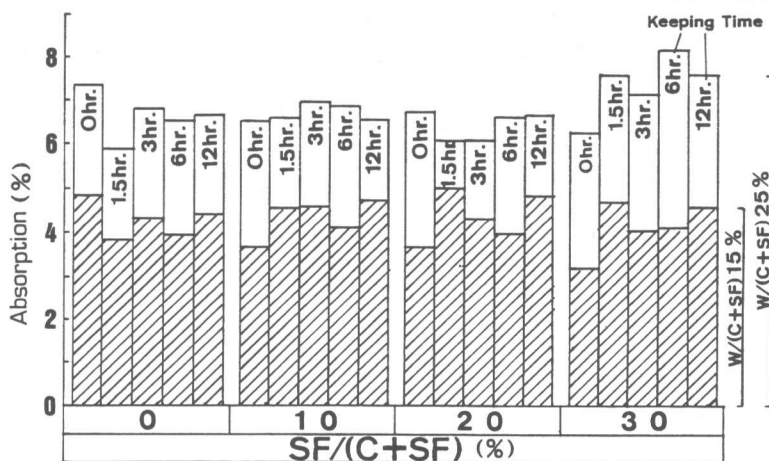


図-11 シリカフェーム置換率及び保持時間を変化させたモルタルの吸水率

タルの吸水率の差異はみられない。

図-11を図-10の総細孔量の場合と比較すれば、傾向が明らかに異なるため、次の様な簡易な濡れ試験を行った。試料は水セメント比15、25、50及び60%、シリカフェーム置換率0%及び30%の2種類のセメントペーストとし、オートクレーブ養生(図-1における $t=3hr.$)を施した後、側面をアセトンで洗浄し絶乾状態にしたものを用いた。この側面を水平に固定し、その側面から1cmの高さより純水を静かに一滴自由落下させ、落下後ただちにこれを吸い取り、落下直後の濡れ面積を測定した。濡れ部分が重ならぬようにこれを12回ずつ繰返し、その値の平均を求めた。濡れ試験結果を図-12に示す。これによれば、シリカフェーム30%置換セメントペースト硬化体の濡れ面積は、シリカフェーム無置換セメントペースト硬化体のそれに比較し、いずれの水セメント比においても増加している。これはシリカフェームの混入が、セメント硬化体を濡れ易くさせる効果を持つことを示している。シリカフェーム混入による総細孔量の減少にもかかわらず、吸水率が減少しない現象は、この濡れ試験結果によって、ある程度説明できると考えられる。

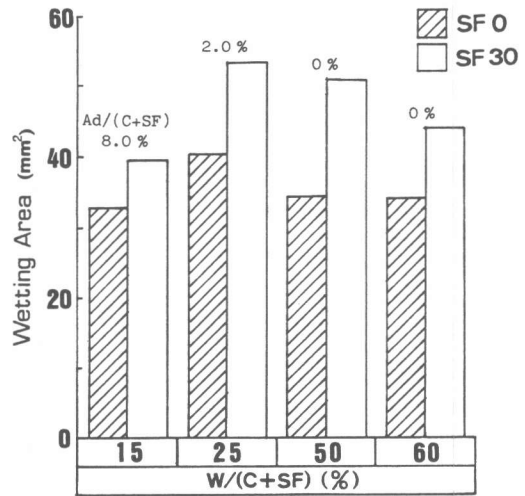


図-12 各水セメント比におけるモルタルの水滴濡れ面積

6. むすび

以上の結果をまとめると、以下のようである。

- 1) 保持時間が、シリカフェーム置換超低水セメント比モルタルの圧縮強度に及ぼす影響はごく小さい。
- 2) 本試験で得られたモルタルの最高圧縮強度は 1428 kgf/cm^2 である。
- 3) 半径 5から10nmの細孔量は、シリカフェーム置換率の増加に伴って減少する。
- 4) 総細孔量は、ほぼシリカフェーム置換率の増加に伴って減少する。
- 5) 吸水率は、シリカフェーム置換率の増減にかかわらず、ほぼ一定である。

参考文献

- (1) 須藤 儀一：オートクレーブ養生の高強度発生機構，コンクリート工学，Vol. 14, No. 3, 1976. pp20-24
- (2) 西 晴哉：オートクレーブ養生と超高強度コンクリート，コンクリート工学，Vol. 18, No. 5, 1980, pp. 9-18
- (3) M. Daimon, S. A. Abo-El-Enein, G. Hosaka, S. Goto, R. Kondo: J. Am. Ceram. Soc., Vol. 60, 1977, pp110-