

[32] クローズドフォームを用いたコンクリートの強度発現性状に関する研究

正会員 長滝重義 (東京工業大学)

正会員 ○馬場政教 (同上)

正会員 伊藤昌昭 (同上)

1. ま え が き

従来、高強度パイルなどの製品に代表される高強度コンクリートは、蒸気養生とオートクレーブ養生の複合養生により製造されているが、この方法は、高価な養生設備が必要であるとともに、多量のエネルギー消費を必要とする。一方、クローズドフォーム(密閉型枠)を用いることにより、簡易な装置と設備を用いて養生方法を改善する方法が報告されているが¹⁾、この工法を進展させて高強度コンクリートの製造法に適用するには、クローズドフォームを用いたコンクリートの強度発現性状を把握するとともに、品質、性能の検討を行なうことが重要であると思われる。本研究はこのような観点から、養生条件の相違が、クローズドフォームを用いたコンクリートの強度発現性状におよぼす影響をセメント水和の反応性と合せて比較検討したものである。

2. 実 験 概 要

(1) 使用材料：セメントは三菱

鉱業セメント(株)製普通ポルトランドセメントを使用した。シリカ質材料として珪石粉を用いた。その化学組成を表-1に示す。細骨材は富士川産川砂(比重2.62, F.M. 3.14)を使用し、粗骨材として西多摩産砕石(比重2.65, 最大寸法25mm)を用いた。高性能減水剤として、β-ナフタレンスルホン酸ナトリウムホルムアルデヒド縮合物系のもを用いた。

(2) 配合：W/C=30, 40%とし、単位セメント量を450, 400^{kg}/m³とした。水熱処理を目的とした場合には、Si/(C+Si)を0, 10, 20および30%と変化させた。スランプ、空気量は、6±2cm, 1±0.5%となるよう配合を定めた。

(3) 養生方法と試験方法：常圧高温下においては、表-2に示す養生条件でかつ養生温度を60℃、

表-1 珪石粉の化学組成(%)

ig.loss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂	備考
1.06	-	96.88	1.19	0.09	-	-	-	0.43	伊豆産

表-2 常圧高温下の養生パターン

養生方法	記号	養生条件		
		前置き時間 (h)	昇温速度 (°C/h)	試験材令 (最高温度保持時間終了後)
蒸気養生	SC-N	3.0	20	20時間釜内冷却後
	SC-1			1時間気中冷却後および20時間
	SC-2	1.5	40	気中冷却後水中養生14日
クローズドフォーム	CF-N	3.0	20	20時間釜内冷却後
	CF-1			1時間気中冷却後および20時間
	CF-2	1.5	40	気中冷却後水中養生14日

表-3 高温高圧下の養生パターン

		養生条件		
記号	一次養生	前置き時間	昇温速度	試験材令
AC-40	SC-N	/	40	20時間釜内冷却後
AC-160	SC-N		160	
CF-40	/	1.5	40	
CF-160	/	0.5, 1.5, 3.5, 8.0, 24	160	

100°C,最高温度保持時間を4時間,6時間の組合せ養生を行なった。
 高温高压下において水熱処理を目的とした場合には,表-3に示す養生条件により,養生温度を180°C,10気圧,最高温度保持時間を6時間として養生を行なった。圧縮強度試験用供試体は,内径 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ の通常の型枠と,図-1に示す鋼製のクローズドフォームを用いて製造した。

3. 試験結果および考察

3-1 常圧高温下における強度発現性状

図-2に各種養生条件下における強度発現性状の一例を示す。通常の蒸気養生条件にならったSC-1,CF-1の場合には,養生温度,養生時間が同じであれば,同一の圧縮強度を示した。しかし,前置き時間を短縮し,昇温速度を大きくしたSC-2,CF-2の場合には,いずれの養生温度,養生時間においても圧縮強度は低下しており,特にSC-2においては養生温度が高い場合において,その傾向が著しくなっている。そこで,圧縮強度はマチュリティーにより定まることが知られているので,この関係を用いて整理したものを図-3に示す。蒸気養生のSC-1およびSC-2では同一マチュリティーにおいても前置き時間と昇温速度が変化すれば,圧縮強度が違っているが,クローズドフォームを用いたCF-1,CF-2においては養生条件によらずマチュリティーの増加と共に,同一の強度発現性状を示している。このことからクローズドフォームを用いた場合には,マチュリティーにより一義的に定まるものと考えてよいことが判る。図-4に材令14日の強度性状を示す。蒸気養生の場合,SC-1に比べSC-2において圧縮強度は,同じ養生温度,養生時間であっても低下しており,その傾向は養生温度が高

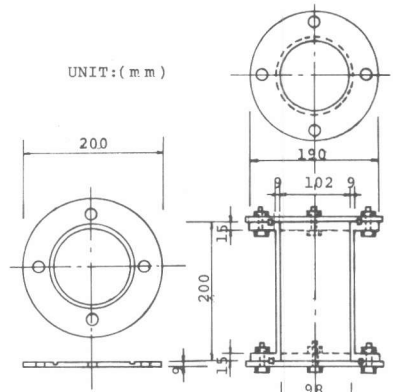
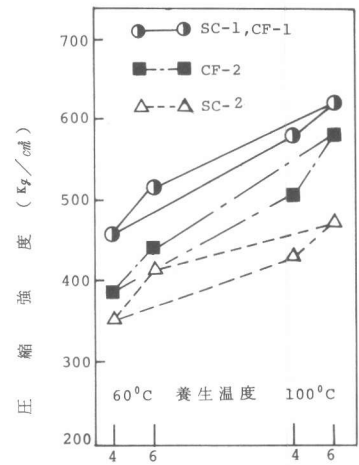


図-1 クローズドフォームの形状



最高温度保持時間 (h)

図-2 養生直後の強度性状

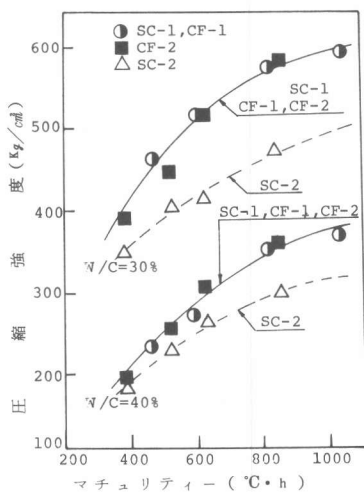


図-3 マチュリティーと圧縮強度の関係

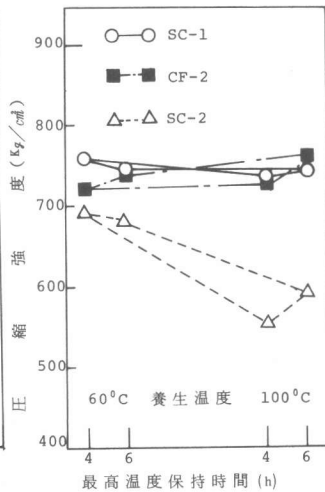


図-4 材令14日の強度性状

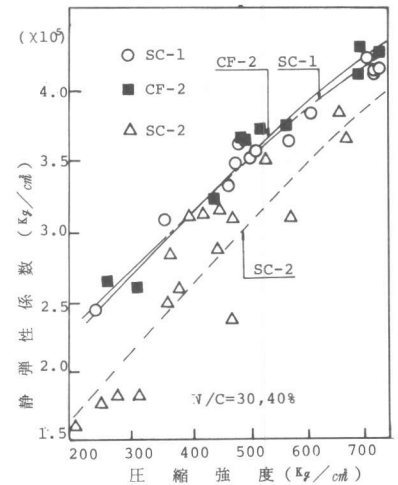


図-5 圧縮強度と静弾性係数との関係

い程著しくなっている。しかし、クローズドフォームを用いた場合の同一条件CF-2 においては強度低下は認められず、また蒸気養生であるSC-1 とほぼ同一の圧縮強度を示している。さらに図-5 に圧縮強度と静弾性係数の関係を示すが、蒸気養生のSC-2 の条件においてのみ同一圧縮強度における静弾性係数は小さくなっており、他の条件ではほぼ同一の関係を示している。これらのことからクローズドフォームを用いた場合には、前置き時間の短縮、昇温速度の増大を実験条件の範囲で変化させても、その強度発現性状および品質は、通常の蒸気養生と比べて遜色のないことが確認された。

3-2 高温高圧下における強度発現性状

クローズドフォームを用いてAC-40, AC-160と同一パターン（蒸気養生を行なった）の養生を行なった場合にはほぼ同一の圧縮強度を示した。しかし、クローズドフォームの特性を生かす意味で、図-6に示すように蒸気養生を行わず昇温速度を160 °C/hとしたCF-160 においては、前置き時間の増加により強度発現性状はかなり異なっている。しかし前置き時間を十分にとることや、珪石粉の混入によりオートクレーブ養生AC-160 の条件の場合とほぼ同一の圧縮強度を示すようになる。前置き時間が1.5時間の場合において珪石粉の混入により著しい圧縮強度の増加が認められることから、前置き時間を1.5時間と定めて珪石粉混入率および昇温速度の相違が強度発現性状におよぼす影響を検討した。図-7にその試験結果を示す。珪石粉を混入することにより強度発現性状はかなり改善される傾向を示す。

3-3 クローズドフォームを用いて水熱処理を行なった硬化体の水和組織

セメントペーストを用い、オートクレーブ養生とクローズドフォームを用い水熱処理をしたものを、粉末X線回折法により水和生成物の同定を行なった結果を表-4に示す。クローズドフォームを用いて水熱処理を行なった場合で珪石粉無混入のものはオートクレーブ養生を行なった場合と異なり、Tricalcium silicate hydrate や α -C₂S hydrate のような高石灰型の水和物が生成している。しかし、珪石粉を20%混入した場合には、このような高石灰型カルシウムシリケート水和物や、Ca(OH)₂は同定されおらず、カルシウムシリケート水和物は低石灰型のものとなっている。次にこれら硬化体の走査型電子顕微鏡写真

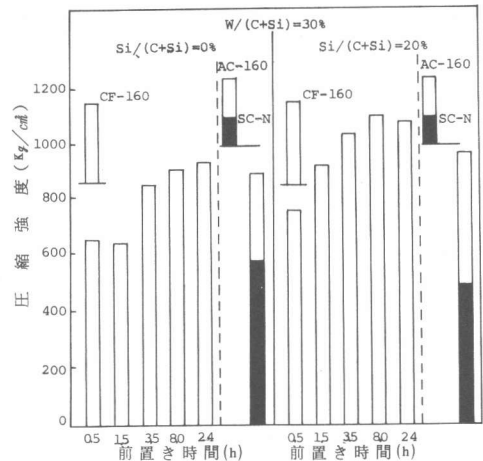


図-6 前置き時間と圧縮強度との関係

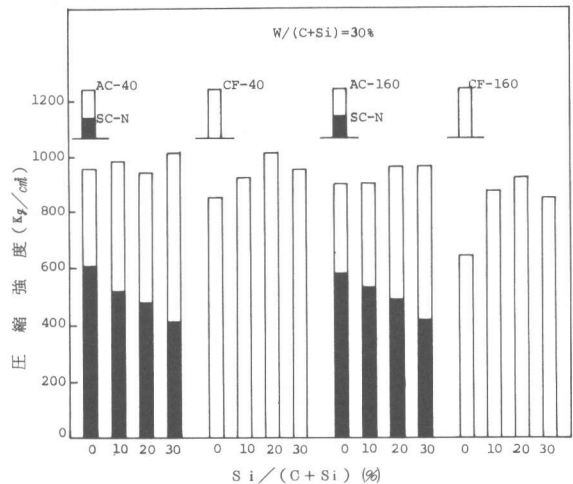


図-7 珪石粉混入率と圧縮強度の関係

表-4 X線回折法による水和生成物の同定結果

養生方法	シリカ粉混入率	未反応セメント	未反応石英	Ca(OH) ₂	GSH	Tobermorite	Tricalcium silicate hydrate	α -C ₂ S hydrate	C ₃ AH ₆
AC-40	0	++		+++	+				+
	20	++	+++	+	+				+
CF-40	0	++		+++	+		++	+	+
	20	++	+		+	+			+
CF-160	0	++		++	+		+	++	+
	20	++	++		+	+			+

クローズドフォームを用いて水熱処理を行なった場合で珪石粉無混入のものはオートクレーブ養生を行なった場合と異なり、Tricalcium silicate hydrate や α -C₂S hydrate のような高石灰型の水和物が生成している。しかし、珪石粉を20%混入した場合には、このような高石灰型カルシウムシリケート水和物や、Ca(OH)₂は同定されおらず、カルシウムシリケート水和物は低石灰型のものとなっている。次にこれら硬化体の走査型電子顕微鏡写真

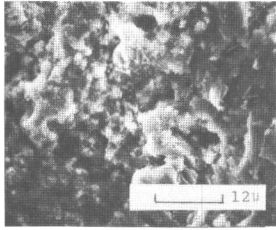


写真-1 CF-40, Si=0%

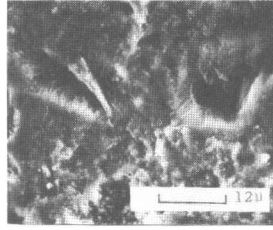


写真-3 CF-160, Si=0%

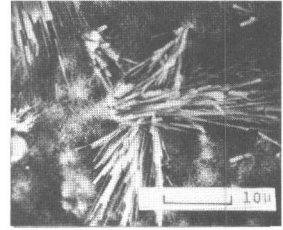


写真-5 CF-160, Si=0%



写真-2 CF-40, Si=20%

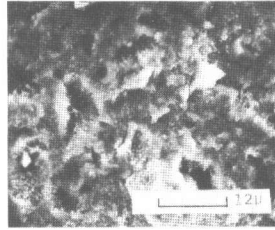


写真-4 CF-160, Si=20%

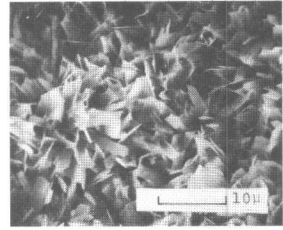


写真-6 CF-160, Si=20%

を示す。写真-1, 2, 3, 4 を比較すると、CF-40に比べてCF-160 のものは珪石粉混入率 0, 20%とも空隙が大きく、全体としてポラスな組織となっており、強度がCF-160 で小さくなっている一因と考えられる。また写真-5に示すような大きな空隙に結晶性の良い水和物が点在して生成しているが、珪石粉の混入によりこの空隙は写真-6のような結晶で密に埋められるようになる。以上のことよりCF-160の養生パターンで水熱処理を行なったものは、AC養生をしたものと比べて珪石粉無混入においては強度発現性状に不利な高石灰型の水和物が生成され、しかも大きな空隙が生成するため強度低下を示すと考えられるが、珪石粉を混入することにより低石灰の水和物が生成し易くなり、大きな空隙も密な水和物で埋められるためにその強度性状が改善されるものと思われる。しかし、珪石粉の混入によりSEM写真で観察されるオーダーの空隙が、かなり小さいものとなっているが、この点については、細孔径分布等から詳しい検討が必要であろう。

4. 結 論

本研究で得られた結果を要約すると次のようになる。

- (1) 常圧高温下においてクローズドフォームを用いて促進養生を行なった場合、前置き時間を短縮し昇温速度を大きくしても圧縮強度はマチュリティーにより一義的に定まるとともに材令14日においても強度低下は認められず、品質の低下はおこさない。
- (2) 高温高圧下においては、クローズドフォームを用いてオートクレーブ養生と同一の養生パターンにより水熱処理を行なった場合、同様の強度性状を示しており、オートクレーブ養生の代用として用いることが可能である。一次養生を行なわない場合には、昇温速度を大きくすることによりコンクリートの品質は低下する。しかし、シリカ質材料の混入により反応性が改善されることが示された。

参 考 文 献

- 1) 穎原正美, 小沢満三, 川浪 勉: クローズドフォームによるコンクリートの高温養生, セメント技術年報 XXXI (1977)