

V-14 前養生時間と配合が蒸気養生を行った高流動コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響

北見工業大学	学生会員	大沼 康弘
北見工業大学	フェロー	鮎田 耕一
北見工業大学	正会員	桜井 宏
(株)横山土建	正会員	藤村 満
山上高圧コンクリート(株)	正会員	橘井 康寛

1. はじめに

高流動コンクリートは、パイプレータによる振動締固めが不要なため、コンクリート製品工場で用いれば、製品の高品質化、作業効率の改善、型枠の損傷の低減、振動及び騒音の解消など様々な利点¹⁾が考えられる。しかし、コンクリート製品工場では一般に促進養生として蒸気養生を行っているため、これが高流動コンクリートの強度発現性状に及ぼす影響を明らかにしておく必要がある。

また、蒸気養生を行うにあたり、蒸気養生期間の短縮を図ったり、製品の早期出荷を行う場合や若材齢でプレストレスを導入する場合は、早強ポルトランドセメント（以下、早強セメント）の使用や単位セメント量を増やすことが行われている²⁾ので、本研究では、早強セメントを使用した $W/C=50\%$ の高流動コンクリートと、これより単位セメント量を増し $W/C=40\%$ とした高流動コンクリートを用い、蒸気養生条件のうちの1つである前養生時間と水セメント比が普通ポルトランドセメント（以下、普通セメント）と早強セメントを用いた高流動コンクリートの圧縮強度発現性状に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 使用材料及び配合

(1) 使用材料

使用材料を表1に示す。

表1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント（比表面積:3370cm ² /g）
	早強ポルトランドセメント（比表面積:4520cm ² /g）
粗骨材	川砂利、表乾比重：2.65、吸水率：1.46%、粗粒率：6.99、G max:25mm
細骨材	川砂、表乾比重：2.65、吸水率：1.87%、粗粒率：2.65
増粘剤	水溶性セルロースエーテル
高性能減水剤	高縮合トリアジン系化合物
AE剤	天然樹脂酸塩

(2) 配合

フレッシュコンクリートの性状の目標値は、空気量、スランプフローいずれの場合もスランプコーンを引上げてから5分後の値で、空気量：4.5±0.5%、スランプフロー：60±5cm となるように設定した。

配合は水セメント比を40%と50%とし、フレッシュコンクリートの性状の目標値を満たすように設計した。なお、水セメント比にかかわらず、単位水量及び単位増粘剤量は一定とした。使用したセメントは、

Effect of Pre-curing Time and Mix Proportions on Compressive Strength of Steam Cured High Workable Concrete

By Yasuhiro ONUMA, Koichi AYUTA, Hiroshi SAKURAI, Mitsuru FUJIMURA and Yasuhiro KITSUI

W/C=50%のコンクリートには早強セメントまたは普通セメントを用い、W/C=40%のコンクリートには、普通セメントのみを用いた。配合を表2に示す。

表2 配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				増粘剤 (kg/m ³)	高性能 減水剤 (C×%)	AE剤 (C×%)
		W	C	S	G			
40	41	175	438	689	1007	0.3	1.7	0.052
50	45	175	350	789	979	0.3	1.8	0.050

3. 実験内容

(1) 練混ぜ方法

練混ぜは強制練りミキサを用いて行った。ミキサに粗骨材、細骨材、セメント及び増粘剤を入れ1分間練混ぜた後、水を入れ1分間、ミキサを停止し、高性能減水剤を入れた後、さらに2分間の練混ぜを行った。

(2) 供試体の作成方法

1 養生条件につき、圧縮強度試験用としてφ10×20cmの供試体を3個×4材齢=12個作製した。振動機等による締固めは行っておらず、2層に分け各々突き棒で10回突いた後に木づちで軽く型枠を叩いた。

(3) 前養生

供試体を打込み後、型枠のまま蒸気養生槽に入れ、養生温度20℃で1、2、及び4hの前養生を行った。

(4) 蒸気養生

所定の前養生を行った後、そのまま蒸気養生槽内で常圧で65℃、4hの蒸気養生を行った。なお、前養生温度20℃から蒸気養生温度65℃までの温度上昇速度は20℃/hとした。蒸気養生条件を図1、表3に示す。

(5) 蒸気養生終了後の養生(2次養生)

蒸気養生終了後、供試体をそのまま蒸気養生槽内で徐冷し、前養生開始から約24h後に脱型した。脱型後、供試体は所定の圧縮強度試験材齢まで標準養生(20℃水中)を行った。

(6) 標準養生

比較のために蒸気養生を行わず、型枠のまま恒温恒湿室(室温20℃、相対湿度90%)に約24h置いた後に脱型し、所定の試験材齢まで標準養生(20℃水中)を行った供試体を作製した。

(7) 圧縮強度

JIS A 1108に準拠し、φ10×20cmの円柱供試体を用い材齢1、3、14、28日に試験した。

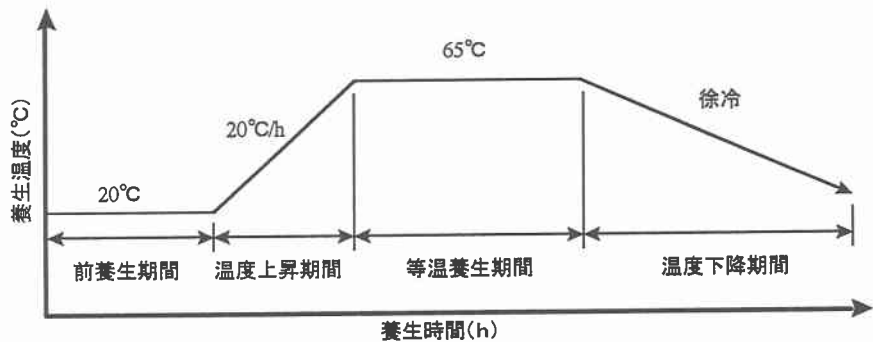


図1 養生時間と養生温度

表3 供試体の種類と養生条件

供試体	W/C (%)	セメントの種類	前養生期間		等温養生期間	
			時間	温度	時間	温度
O-40-S	40	普通セメント	標準養生			
O-50-S	50	普通セメント				
H-50-S	50	早強セメント				
O-40-1	40	普通セメント	1 h	20℃	4 h	65℃
O-40-2	40	普通セメント	2 h			
O-40-4	40	普通セメント	4 h			
O-50-1	50	普通セメント	1 h			
O-50-2	50	普通セメント	2 h			
O-50-4	50	普通セメント	4 h			
H-50-1	50	早強セメント	1 h			
H-50-2	50	早強セメント	2 h			
H-50-4	50	早強セメント	4 h			

4. 実験結果

表4に圧縮強度の試験結果と相対強度(標準養生材齢28日強度を100%としたときの圧縮強度比)を示す。

表4 圧縮強度及び相対強度

供試体	圧縮強度(N/mm ²)				相対強度(%)			
	材齢1日	3日	14日	28日	材齢1日	3日	14日	28日
O-40-S	16.6	25.6	37.4	40.8	—	—	—	100
O-40-1	21.7	24.1	26.9	28.7	53.2	59.1	65.9	70.3
O-40-2	25.4	30.7	36.2	39.3	62.3	75.2	88.7	96.3
O-40-4	30.2	34.4	38.2	42.4	74.0	84.3	93.6	103.9
O-50-S	8.1	16.4	28.9	33.0	—	—	—	100
O-50-1	11.8	15.2	20.3	21.8	35.8	46.1	61.5	66.1
O-50-2	11.9	16.7	21.3	22.6	36.1	50.6	64.5	68.5
O-50-4	16.8	21.0	25.8	31.4	50.9	63.6	78.2	95.2
H-50-S	12.3	22.7	31.7	35.4	—	—	—	100
H-50-1	13.9	17.3	20.8	22.2	39.3	48.9	58.8	62.7
H-50-2	17.9	21.1	22.1	25.1	50.6	59.6	62.4	70.9
H-50-4	22.2	27.9	30.5	33.2	62.7	78.8	86.2	93.8

5. 考察

5.1 前養生時間が圧縮強度に及ぼす影響

(1) 普通セメントを用いた W/C=50% の高流動コンクリートの前養生時間と圧縮強度の関係

図2に普通セメントを用いた W/C=50% の高流動コンクリートの前養生時間と圧縮強度の関係を材齢別に示す。材齢1日の圧縮強度は、標準養生を行った場合 8.1N/mm² であるのに対し、前養生を4時間行った場合は 16.8N/mm² で、脱型に必要な強度³⁾ を十分に満たしているといえよう。また、材齢28日までの強度の伸びも順調である。しかし、前養生時間が1、2時間の場合は、材齢3～28日の圧縮強度は同じ材齢の標準養生を行った場合より低く、圧縮強度の増進は停滞する傾向が見られた。

図3に普通セメントを用いた W/C=50% の高流動コンクリートの前養生時間と材齢1日及び28日の相対強度の関係を示す。前養生を4時間行くと材齢28日の相対強度は90%程度、材齢1日の相対強度も50%以上

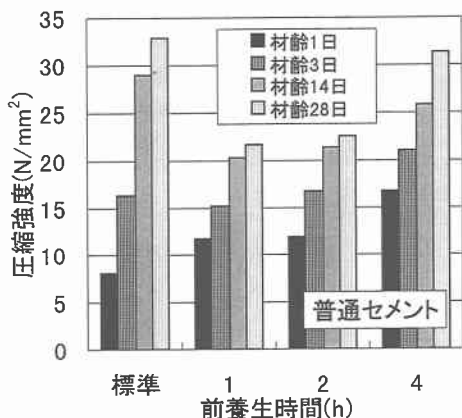


図2 前養生時間と圧縮強度 (W/C=50%・普通)

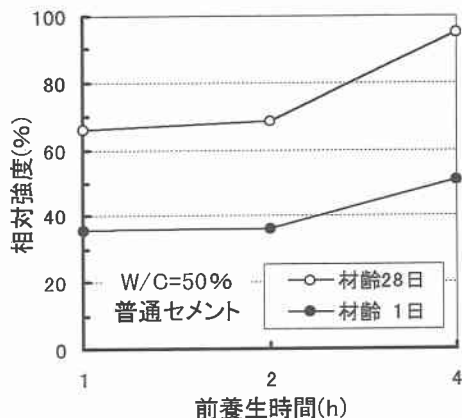


図3 前養生時間と相対強度

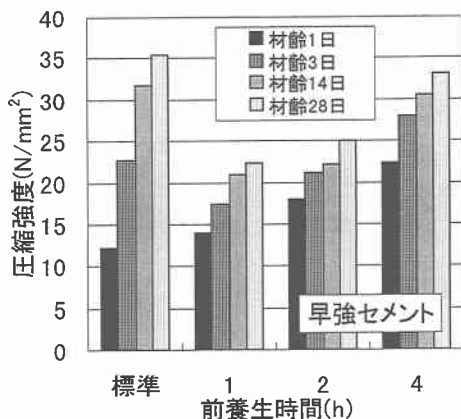


図4 前養生時間と圧縮強度 (W/C=50%・早強)

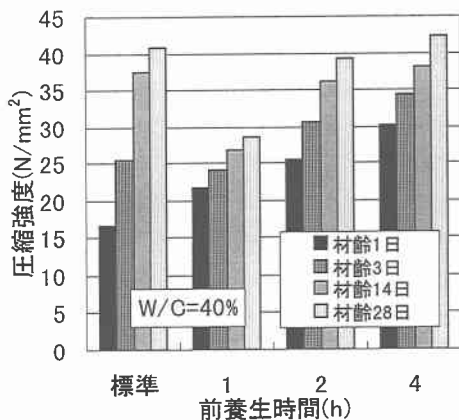


図5 前養生時間と圧縮強度 (W/C=40%)

となった。しかし、前養生時間が1時間及び2時間の場合は、材齢28日の相対強度は60～70%程度、材齢1日の相対強度も40%以下となった。

一般に蒸気養生を行う際の前養生は2～3時間以上行われている⁴⁾が、前養生が2時間の場合W/C=50%の高流動コンクリートは圧縮強度が低い。これは、高流動コンクリートでは高性能減水剤、増粘剤を用いているので凝結が遅延する傾向がある⁵⁾ためと思われる。

以上の実験結果から、普通セメントを用いたW/C=50%の高流動コンクリートの場合は、少なくとも4時間の前養生を行ったほうがよいといえる。

(2) 早強セメントを用いたW/C=50%の高流動コンクリートの前養生時間と圧縮強度の関係

図4に早強セメントを用いたW/C=50%の高流動コンクリートの前養生時間と圧縮強度の関係を材齢別に示す。前養生が1時間の場合は材齢28日の圧縮強度が標準養生を行った場合の材齢3日の圧縮強度以下となり、強度増進が停滞している。前養生が2時間の場合、材齢1日の圧縮強度は標準養生や前養生を1時間行った場合に比べ高いが、材齢14日及び28日の圧縮強度は標準養生に比べて低い。強度の発現性を損なわないためには、早強セメントを用いたW/C=50%の高流動コンクリートの場合も4時間の前養生が必要といえ、本実験の範囲では早強セメントを用いても前養生時間の短縮にはつながらなかった。

(3) 普通セメントを用いた W/C=40%の高流動コンクリートの前養生時間と圧縮強度の関係

図5に普通セメントを用いた W/C=40%の高流動コンクリートの前養生時間と圧縮強度の関係を材齢別に示す。前養生を2時間あるいは4時間行った場合の材齢1日の圧縮強度は 25N/mm^2 以上であり、脱型時にプレストレスを導入する製品を想定する場合においても十分な圧縮強度³⁾である。また、材齢14日及び28日の圧縮強度は標準養生を行った場合とほぼ同じレベルとなった。しかし、前養生時間が1時間の場合は、前養生が長い場合に比べ、各材齢の圧縮強度が低い。

以上の実験結果から、普通セメントを用いた W/C=40%の高流動コンクリートでは前養生を2時間行うと十分な圧縮強度を得ることができるといえる。

5.2 配合とセメントの種類が圧縮強度に及ぼす影響

(1) 水セメント比と高流動コンクリートの圧縮強度の関係

水セメント比と材齢1日及び材齢28日の圧縮強度の関係を前養生時間別にそれぞれ図6、図7に示す。図6に示すように、材齢1日の圧縮強度は W/C=50%の場合が約 $11.8\sim 16.8\text{N/mm}^2$ であるのに対し、W/C=40%の場合は約 $21.7\sim 30.2\text{N/mm}^2$ であり、W/C=40%のほうが材齢1日の圧縮強度は高い。また、図7に示すように、材齢28日の圧縮強度も同じ傾向が見られる。

これらの結果から、一般の振動締固め製品に用いるコンクリートと同じように、高流動コンクリートを用いた場合も水セメント比が低いほうが蒸気養生による強度発現の促進効果が高くなることが確認できた。

(2) 圧縮強度に及ぼすセメントの種類の影響

図8に前養生を4時間行った W/C=50%の高流動コンクリートのセメントの種類と圧縮強度の関係を材齢別に示す。早強セメントを用いた場合は普通セメントを用いた場合より材齢3日までの圧縮強度は約30%高く、材齢14日で約20%、材齢28日でも約5%高い。

これらの結果から、早強セメントを用いた高流動コンクリートの若材齢における強度増進が大きいことが確認された。このことから脱型時に所要な強度あるいは設計基準強度(一般に材齢14日の圧縮強度)を得るために必要な単位セメント量は、早強セメントを用いることにより減らすことが可能である。

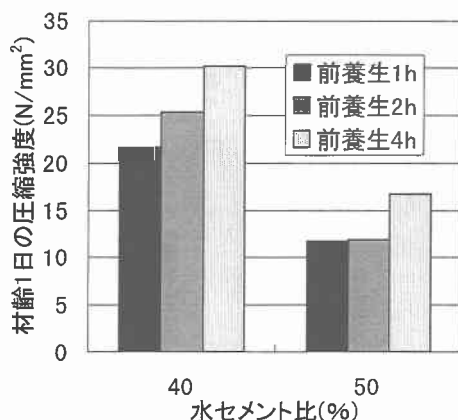


図6 水セメント比と材齢1日の圧縮強度

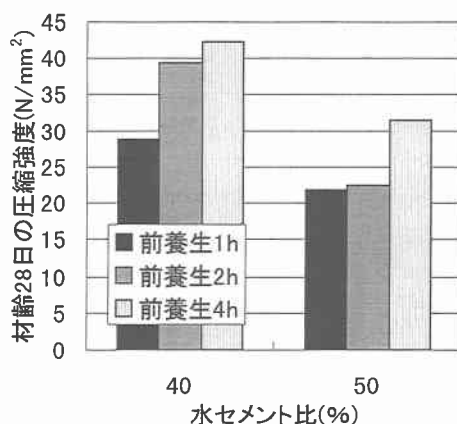


図7 水セメント比と材齢28日の圧縮強度

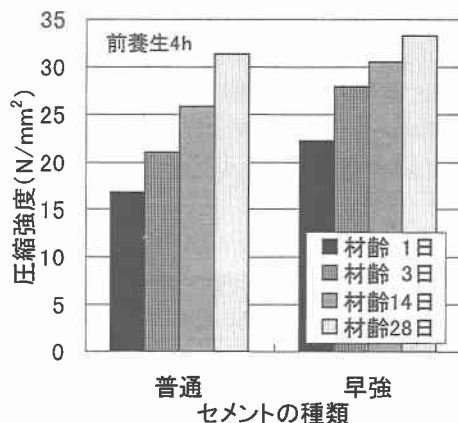


図8 セメントの種類と圧縮強度

6. 結論

前養生(温度 20℃)時間を 1、2、4 時間とし、水セメント比が 50%の高流動コンクリートには早強セメントまたは普通セメントを、W/C=40%の高流動コンクリートには普通セメントのみを用いて行った蒸気養生(最高温度 65℃、保温時間 4h)に関する実験結果を要約すると本研究の範囲で以下のことがいえる。

- (1) 水セメント比が 50%の高流動コンクリートでは、セメントの種類に関わらず前養生を 4 時間、水セメント比が 40%の場合には 2 時間以上行くと圧縮強度の発現が良好となる。
- (2) 高流動コンクリートであっても一般のコンクリートと同じく水セメント比が低いほうが蒸気養生による強度の発現効果が高く、また、早強セメントを用いることにより単位セメント量を減らすことが可能であることが確認できた。

【参考文献】

- 1) 米倉敬一：コンクリート製品工場における高流動コンクリートの導入と展望、セメント・コンクリート、No.585、pp.9-14、1995.11
- 2) 河野清・小池欣司：最新コンクリート技術選書 10 コンクリート工場製品・プレキャストコンクリートの設計と施工 3 章、株式会社山海堂、1980.7
- 3) 中山紀男・神田衛：コンクリートの製造と管理 12 章、共立出版株式会社、1983.3
- 4) 土木学会編：コンクリート標準示方書 施工編 29 章、土木学会、1996.3
- 5) 庄司芳之・竹下治之・佐原晴也：高流動コンクリートの硬化後の品質に及ぼす蒸気養生の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.16、No.1、pp.195-200、1994