

蒸気養生条件が硬化促進剤を用いたコンクリートの 強度発現に及ぼす影響

Effect of steam-curing conditions on compressive strength of concrete using accelerators

北見工業大学大学院 ○学生会員 田中 佑典 (Yuhsuke Tanaka)
日産化学工業(株) 正 会 員 須藤 裕司 (Yuhji Sudoh)
北見工業大学 正 会 員 猪狩平三郎 (Heizaburoh Igari)
北見工業大学 フェロー 鮎田 耕一 (Koichi Ayuta)

1. 研究目的

コンクリート製品工場では、蒸気養生を行い製品の早期出荷を図っているが、熱量の節減や型枠の回転率をさらに高めることが望まれている。

このため、優れた硬化促進剤として塩化カルシウムが広く用いられてきたが、塩化物イオンを含んでいるためコンクリート中の鋼材を腐食させるので鉄筋コンクリートには用いられない。

そこで、塩化物イオンを含まない硬化促進剤として、チオシアン酸カルシウムを主成分とした硬化促進剤が使用されてきたが、塩化カルシウムを主成分とする硬化促進剤に比べ、やや性能面で劣る傾向にある。

本研究では、新たに開発されたアルカリ硫酸塩を主成分とした硬化促進剤を用いたコンクリートに、各種条件の蒸気養生を与え、強度発現性状を従来の硬化促進剤を用いたコンクリートと比較し、製品への適用性を検討した。

2. 実験内容

2.1 配合

配合は、水セメント比 36%、単位セメント量 $450\text{kg}/\text{m}^3$ 、細骨材率を 40%とし、硬化促進剤はアルカリ硫酸塩、チオシアン酸カルシウム、塩化カルシウムを主成分としたものを使用し、添加量はそれぞれ単位セメント量 $\times 0.5\%$ とした。また、比較のため硬化促進剤を用いていないコンクリートも使用した。AE 剤、減水剤の使用量は、フレッシュコンクリートの空気量が $4.5\pm 0.5\%$ 、スランプが $8.0\pm 2.0\text{cm}$ になるように定めた。

2.2 練混ぜ及び打込み

コンクリートの練混ぜには、容量 55 リットルの強制練りミキサを用いた。練混ぜは、細骨材、粗骨材、セメントを 30 秒間空練りし、各硬化促進剤を添加した練混ぜ水(無添加の場合は練混ぜ水だけ)を加え 120 秒間練混ぜの手順で行った。ミキサから排出後、円柱供試体型枠($\phi 10\times 20\text{cm}$)に 2 層に分けて打ち込み、各層を棒形振動機を用いて締め固め、木づちで型枠の側面を軽く叩き仕上げた。

2.3 試験方法

①蒸気養生

表 1、図 1 に蒸気養生条件を示す。図中の①、②、③は各蒸気養生条件の徐冷期間(蒸気養生条件 No. 1、No. 2 では 30 分、No. 3 では 60 分)終了時であり、蒸気養生時間は蒸気養生開始から徐冷期間終了までを示している。

供試体は、打込み後すぐに蒸気養生槽に搬入し、蒸気養生の昇温速度は $20, 30^\circ\text{C}/\text{h}$ 、最高温度は $65, 85^\circ\text{C}$ とし、最高温度の保持時間を 1 時間とした。等温養生終了後は供試体をそのまま蒸気養生槽内で徐冷し、蒸気養生開始から約 24 時間後に脱型した。

表 1 蒸気養生条件

蒸気養生条件	前養生時間 (h)	昇温速度 ($^\circ\text{C}/\text{h}$)	等温養生	
			最高温度 ($^\circ\text{C}$)	保持時間 (h)
No. 1	0	20	65	1
No. 2		30	65	
No. 3		30	85	

②圧縮強度

供試体の作製は、JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」に基づいて行い、脱型後の供試体は所定の試験材齢まで標準養生(20°C 水中)を行った。

圧縮強度は、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に基づき、図 1 の①、②、③及び材齢 14、28 日で測定した。

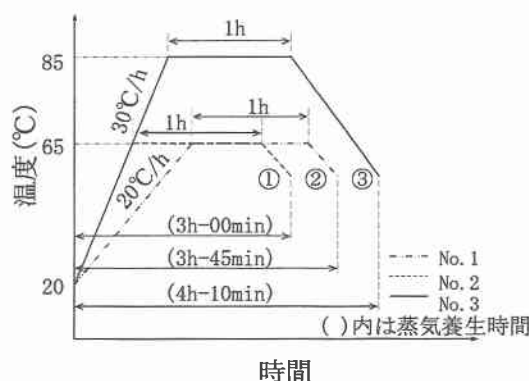


図 1 蒸気養生条件

3. 試験結果及び考察

3.1 蒸気養生終了時の圧縮強度

図 2 に各硬化促進剤を用いたコンクリートの蒸気養生終了時(図 1 の①、②、③)の圧縮強度を蒸気養生条件別に示す。この図から、アルカリ硫酸塩を用いたコンクリートの圧縮強度は、無添加やチオシアン酸カルシウムを用いたコンクリートと比べ、いずれの蒸気養生条件にお

いても高い値を示した。また、塩化カルシウムを用いたコンクリートと比べると、蒸気養生条件 No. 1 では同等、昇温速度を速くした No. 2、最高温度を高くした No. 3 では上回った。このことから、アルカリ硫酸塩を主成分とした硬化促進剤は他の硬化促進剤と比べ、昇温速度が速い場合や最高温度が高い場合に、クリンカーの初期強度発現に大きく影響を与える主要化合物である C_3S の水和反応を促進する効果があると考えられる。

3.2 蒸気養生の昇温速度、最高温度が材齢 28 日の圧縮強度に及ぼす影響

図 3 に材齢 28 日の圧縮強度に及ぼす昇温速度の影響を、図 4 に最高温度の影響を示す。

図 3 から、材齢 28 日の圧縮強度は昇温速度が $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ の場合には $30^{\circ}\text{C}/\text{h}$ の場合に比べ、いずれの硬化促進剤を用いたコンクリートも $10\text{N}/\text{mm}^2$ 程度高い値を示した。また図 4 から、材齢 28 日の圧縮強度はいずれの硬化促進剤を用いたコンクリートにおいても最高温度の影響は認められなかった。このことから、材齢 28 日の圧縮強度に及ぼす硬化促進剤や最高温度の影響は小さく、昇温速度の影響が大きいことが明らかとなった。

3.3 アルカリ硫酸塩を主成分とした硬化促進剤の製品への適用性

図 5 にアルカリ硫酸塩を用いたコンクリートの蒸気養生終了時と材齢 14 日の圧縮強度に及ぼす蒸気養生条件の影響を示す。

一般の製品に必要とされる脱型時の圧縮強度は、脱型作業および運搬作業によって傷のつかない程度の $5\sim 15\text{N}/\text{mm}^2$ であるとされている¹⁾。また、蒸気養生を行ったコンクリート製品に必要とされる材齢 14 日の圧縮強度は、道路用製品などの一般の製品で $30\text{N}/\text{mm}^2$ 程度である²⁾。図 5 から、いずれの蒸気養生条件においても蒸気養生終了時の圧縮強度は脱型時に必要とされる強度を満たしており、材齢 14 日の圧縮強度も、いずれの蒸気養生条件において $30\text{N}/\text{mm}^2$ 以上である。また、3.2 で明らかにしたように昇温速度を $30^{\circ}\text{C}/\text{h}$ では材齢 28 日の圧縮強度は $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ より低くなる傾向があるものの $30\text{N}/\text{mm}^2$ 以上得られている。蒸気養生時間を短縮しコンクリート製品工場の生産性を向上させるためには、製造を 1 日 3 サイクルとすることが望ましく、蒸気養生時間が 3 時間以内だとそれが達成できる。以上の結果から、アルカリ硫酸塩を主成分とした硬化促進剤をコンクリートに用い、昇温速度 $30^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 、最高温度 65°C 、保持時間 1 時間とすることで、道路用製品などの一般の製品に必要な強度(脱型時： $5\text{N}/\text{mm}^2$ 以上、材齢 14 日： $30\text{N}/\text{mm}^2$ 以上)が得られ、コンクリート製品工場の生産性が向上することが明らかとなった。

4. 結論

蒸気養生時間の短縮を目的とし、新しく開発されたアルカリ硫酸塩を主成分とした硬化促進剤を用いたコンクリートに、各種条件の蒸気養生を与え、その影響をチオシアン酸カルシウム、塩化カルシウムを主成分とした従来の硬化促進剤を用いたコンクリートと比較した結果、本研究の範囲で以下のことが明らかとなった。

(1) アルカリ硫酸塩を主成分とした硬化促進剤を用いた

コンクリートは、昇温速度が速い場合 ($30^{\circ}\text{C}/\text{h}$) や、最高温度を高くした場合 (85°C) に、初期の強度発現が従来の硬化促進剤を用いたコンクリートより優れている。

(2) いずれの蒸気養生条件でも硬化促進剤の種類が材齢 28 日の圧縮強度に及ぼす影響は認められず、昇温速度の影響が大きい。

(3) アルカリ硫酸塩を主成分とした硬化促進剤をコンクリートに用い、昇温速度 $30^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 、最高温度 65°C 、保持時間を 1 時間とすることで、製品の製造サイクルが 1 日 3 サイクル可能であり、コンクリート製品工場の生産性が向上する。

【参考文献】

- 1) 松永嘉久、渡邊芳春、坂井悦郎、大門正機：超早強混和材の特性とコンクリート製品への適用、セメント・コンクリート論文集、No. 52、pp. 412-417 (1998)
- 2) 日本コンクリート工学協会編：コンクリート便覧 [第二版]、技報堂出版 (1996)

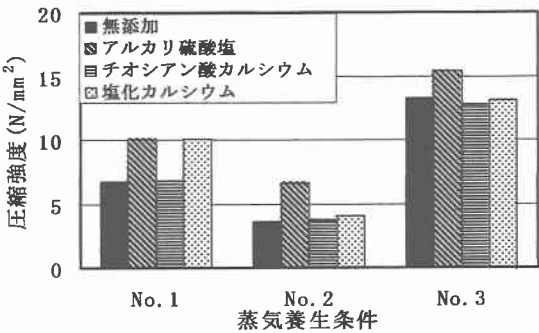


図 2 蒸気養生終了時の圧縮強度

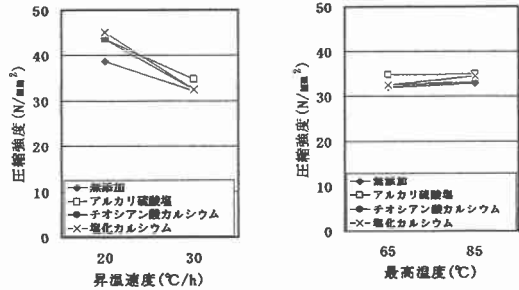


図 3 昇温速度と材齢 28 日の圧縮強度 図 4 最高速度と材齢 28 日の圧縮強度

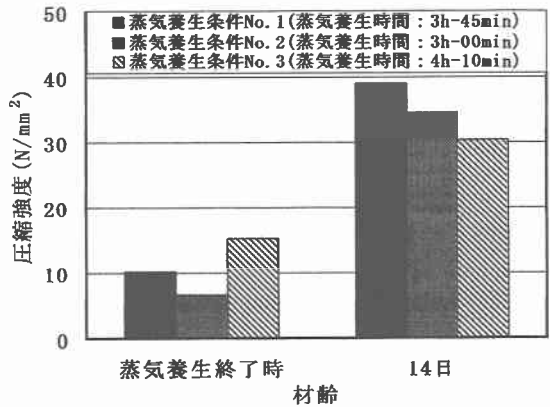


図 5 アルカリ硫酸塩を用いたコンクリートの材齢と圧縮強度