

V-18

凝結促進剤を添加した高流動コンクリートの強度発現と
製品への適用性について

北見工業大学大学院	学生会員	古西	力
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
北見工業大学	正会員	猪狩	平三郎

1. はじめに

コンクリート製品工場では型枠にコンクリートを充填する際に一般に棒形振動機、型枠振動機などを用い締固めを行っている。しかしながら、この締固めに伴う振動により、型枠の損傷、工場近隣地域への騒音などが問題となることがある。そこで自己充填性に優れた高流動コンクリートを工場で使用することができれば、締固め作業が不要となり、振動、騒音による問題点を解消し、環境改善、公害防止に大きく寄与したコンクリート製品を製造することが可能であると考えられる。

また、コンクリート製品を製造するには一般に蒸気養生が行われているが、短い蒸気養生時間で脱型することができれば、型枠の使用効率の面で効果的にコンクリート製品を製造することができると考えられ、既往の研究¹⁾では、蒸気養生期間のうち前養生時間がコンクリートの強度発現に影響を与えることを確認している。

さらに、既往の研究結果^{2) 3)}から、増粘剤と高性能減水剤を併用した高流動コンクリートを製品に適用するには凝結遅延性を改善する必要があることが明らかになっている。

そこで本研究では、蒸気養生のうち特に前養生時間に着目し、凝結促進剤を添加した高流動コンクリートの強度発現と製品への適用性について検討した。

2. 実験内容

2. 1 使用材料及び配合

表1に使用材料、表2に配合を示す。高性能減水剤、AE剤の添加量はフレッシュコンクリートの空気量が $4.5 \pm 0.5\%$ 、スランプフローが $60 \pm 5\text{cm}$ になるように定めた。なお、単位水量、単位増粘剤量は一定とし、凝結促進剤は単位セメント量に対してそれぞれ2.0、3.0、4.0%添加した。

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: $3370\text{cm}^2/\text{g}$)
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
凝結促進剤	亜硝酸カルシウム

2. 2 練混ぜ及び打込み

コンクリートの練混ぜは強制練りミキサを用い、【セメント+粗骨材+細骨材+増粘剤】で60秒間空練

The Compressive Strength and the Application to Products of the High Workable Concrete Containing Accelerator

by Chikara KONISHI, Koichi AYUTA, Hiroshi SAKURAI, and Heizaburo IGARI

表2 配合

供試体	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				増粘剤 (kg/m ³)	高性能 減水剤 (C×%)	A E 剤 (C×%)	凝結 促進剤 (C×%)
			W	C	S	G				
A-NON	50	45	175	350	798	975	0.3	1.6	0.02	0
A-2.0								2.7		2.0
A-3.0								2.7		3.0
A-4.0								2.7		4.0

り→【練混ぜ水+A E 剤+凝結促進剤】を添加し 60 秒間練混ぜ→ミキサを一時停止後【高性能減水剤】を添加し 120 秒間練混ぜ、の手順で行った。排出後、型枠に 1 層で流し込み、木づちで軽く型枠の側面を叩いた。なお、振動機等による締固めは行っていない。

2. 3 蒸気養生条件

図 1 に養生時間と養生温度を示す。

(1) 前養生

供試体打込み後、恒温恒湿室（室温 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $90 \pm 5\%$ ）で 1、2、4 時間行った。

(2) 等温養生

所定の前養生を行った後、蒸気養生槽にて常圧で 65°C 、4 時間の蒸気養生を行った。なお、前養生 20°C から等温養生 65°C までの温度上昇速度は $20^\circ\text{C}/\text{h}$ とした。

(3) 等温養生終了後の養生

等温養生終了後、そのまま蒸気養生槽内で徐冷し、前養生開始から約 24 時間後に脱型した。脱型後、各試験材齢まで標準養生 (20°C 水中) を行った。

(4) 標準養生

比較のため、蒸気養生を行わず恒温恒湿室に 24 時間静置した後に脱型し、各試験材齢まで標準養生を行った供試体を作製した。

2. 4 試験項目

(1) 凝結時間

ASTM C 403「Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance」に準拠して測定した。

(2) 圧縮強度

供試体は、土木学会「自己充填型の高流動コンクリートの試験方法(案) 強度試験用供試体の作り方」に準拠して作製し、圧縮強度は JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠し、材齢 1、3、7、14、28 日に測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 凝結時間

表 3 に凝結時間の試験結果を示す。図 2 に凝結促進剤の添加量と貫入抵抗値の関係、図 3 に凝結促進剤の添加量と凝結始発時間、終結時間

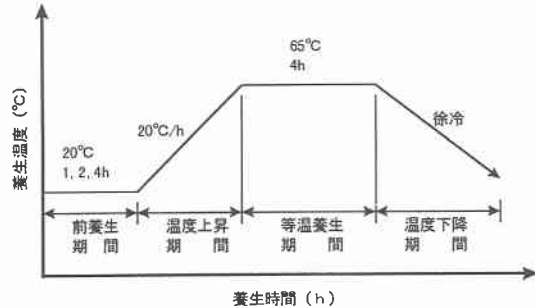


図 1 養生時間と養生温度

表 3 凝結時間

供試体	始発時間 (h-min)	終結時間 (h-min)
A-NON	7-00	8-55
A-2.0	7-55	10-30
A-3.0	7-00	9-25
A-4.0	5-40	7-30

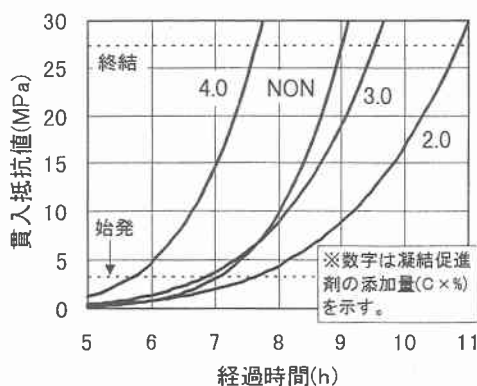


図2 凝結促進剤の添加量と貫入抵抗値の関係

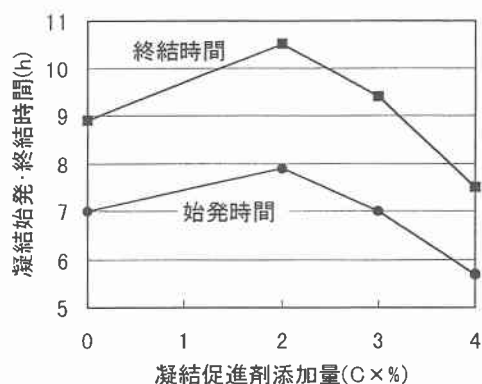


図3 凝結促進剤の添加量と凝結始発・終結時間の関係

の関係をそれぞれ示す。なお、図2中の数値は凝結促進剤の添加量 (NON は凝結促進剤無添加) を示す。

図2、図3から、凝結促進剤を2.0(C%)添加した場合は、無添加の場合と比較して貫入抵抗値は小さくなり、凝結始発、終結時間ともに無添加の場合より60～90分程度遅延した。これに対して、凝結促進剤を4.0(C%)添加した場合は、無添加の場合と比較して貫入抵抗値は大きくなり、凝結始発、終結時間ともに無添加の場合より90分程度早くなった。高性能減水剤を多く使用すると凝結が遅延する傾向があることが明らかにされている⁴⁾が、本実験でも凝結促進剤を添加しても添加量が2.0(C%)の場合、高性能減水剤の使用による凝結遅延の影響が現れたと考えられる。

図4に各蒸気養生期間と凝結始発時間の関係を示す。凝結促進剤を無添加あるいは2.0、3.0(C%)添加した場合では、前養生を4時間行った場合でも始発時間は等温養生期間中である。一方、凝結促進剤を4.0(C%)添加した場合では、始発時間が5時間40分であるため、前養生を

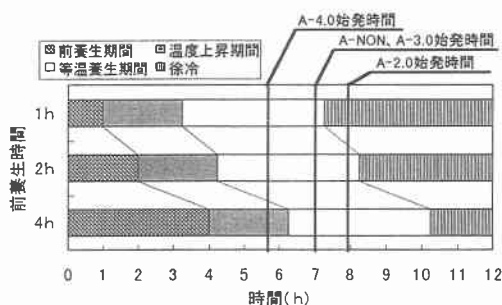


図4 各蒸気養生期間と凝結始発時間の関係

表4 圧縮強度

供試体	条件	圧縮強度(N/mm ²)				
		材齢1日	3日	7日	14日	28日
A-NON	S	11.5	20.5	29.9	32.8	35.1
	1	11.0	14.1	15.3	17.6	21.3
	2	12.2	13.9	17.9	20.1	25.0
	4	18.4	21.0	25.1	29.4	33.8
A-2.0	S	10.1	20.4	29.4	32.9	35.6
	1	11.8	13.1	16.1	18.6	19.5
	2	12.7	14.1	16.5	19.4	20.2
	4	18.1	20.7	25.4	30.0	31.1
A-3.0	S	10.1	22.9	32.9	35.5	39.7
	1	11.8	16.0	17.4	19.8	21.4
	2	15.1	19.1	21.5	25.3	27.1
	4	20.1	25.9	30.0	33.8	36.0
A-4.0	S	12.7	24.9	32.9	36.2	40.5
	1	13.5	15.9	16.8	20.1	23.2
	2	16.2	18.0	21.5	22.8	29.7
	4	20.4	25.7	32.1	33.4	37.7

4 時間行った場合には、等温養生が開始される以前に始発していることになる。

以上の結果から、凝結促進剤の添加量の違いにより蒸気養生過程の各段階におけるコンクリートの硬化状態が異なり、このことがコンクリートの強度発現に影響を与えていると考えられる。

3. 2 強度発現

表 4 に圧縮強度の試験結果を示す。なお、表中の条件は前養生の時間を示す(S は標準養生)。

3. 2. 1 前養生時間の影響

図 5、図 6 に前養生時間と材齢 1 日、28 日の圧縮強度の関係をそれぞれ示す。

材齢 1 日、28 日の圧縮強度はいずれの凝結促進剤の添加量の場合でも、前養生時間が長くなると高くなり、凝結促進剤を添加した場合でも既往の研究結果²⁾と同様の結果となった。特に材齢 1 日の圧縮強度は、前養生を 4 時間行うと標準養生を行った場合より 70～80%程度高くなり、初期強度の発現性は非常に良好であった。

一方、材齢 28 日の圧縮強度は、前養生が 1、2 時間の場合、凝結促進剤の添加量にかかわらず標準養生の 50～60%となり、凝結促進剤を添加しても既往の研究結果³⁾と同様、材齢 28 日の強度の発現は停滞する傾向になった。

以上の結果から、凝結促進剤を添加した場合でも材齢 28 日までの強度発現を良好とするには前養生を 4

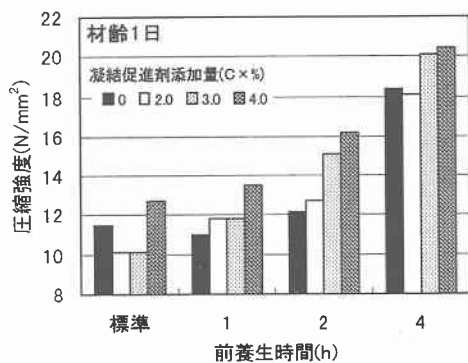


図 5 前養生時間と圧縮強度の関係
(材齢 1 日)

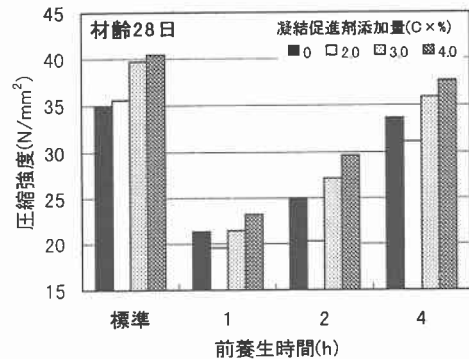


図 6 前養生時間と圧縮強度の関係
(材齢 28 日)

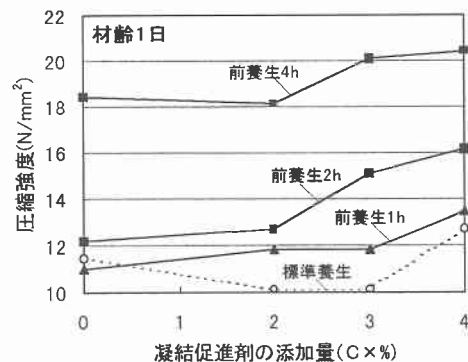


図 7 凝結促進剤の添加量と圧縮強度の関係
(材齢 1 日)

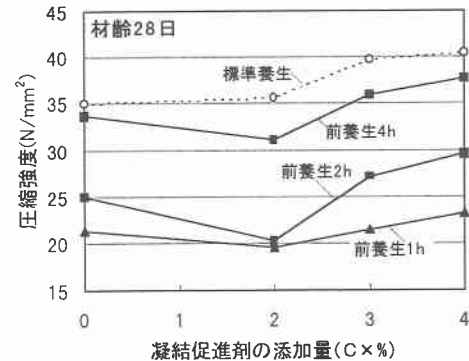


図 8 凝結促進剤の添加量と圧縮強度の関係
(材齢 28 日)

時間行うことが望ましいと言える。

3. 2. 2 凝結促進剤の影響

図7、図8に凝結促進剤の添加量と材齢1日、28日の圧縮強度の関係をそれぞれ示す。

図7から、材齢1日の圧縮強度は凝結促進剤を2.0(C×%)添加した場合、いずれの前養生の場合でも凝結促進剤無添加の場合とほぼ同程度の圧縮強度で、凝結促進剤を添加したことによる効果は見られなかった。これに対して、凝結促進剤を3.0(C×%)以上添加すると圧縮強度は高くなり、凝結促進剤を4.0(C×%)添加した場合、いずれの前養生の場合でも凝結促進剤無添加の場合より20～30%程度圧縮強度は高くなった。特に前養生を4時間行くと、圧縮強度は20N/mm²以上となり非常に良好な初期強度の発現性を示した。

図8から、材齢28日の圧縮強度は凝結促進剤を2.0(C×%)添加した場合、凝結促進剤無添加の場合と比較して圧縮強度は若干低くなった。しかしながら、材齢1日の圧縮強度と同様、凝結促進剤を3.0(C×%)以上添加することで圧縮強度は高くなり、特に凝結促進剤を4.0(C×%)添加することで前養生を2時間行った場合で30N/mm²程度、前養生を4時間行った場合では35N/mm²以上の圧縮強度が得られ、良好な強度の発現性を示した。

これは、先に述べたように凝結促進剤を4.0(C×%)添加した場合には前養生を4時間行くと等温養生が開始される以前に始発していることから、ある程度の凝結が進行していると考えられ、このことが強度増進につながっていると考えられる。

以上の結果から、増粘剤、高性能減水剤を併用した場合、凝結促進剤を2.0(C×%)添加しても凝結が促進せず、特に材齢28日の圧縮強度の発現が停滞すること、凝結促進剤を4.0(C×%)添加すると凝結が促進し材齢28日までの強度の発現性は良好となることが明らかになった。

3. 3 製品への適用性

以上のような強度発現の結果からコンクリート製品への適用性を検討すると以下になる。図9に前養生時間と材齢1日、28日の圧縮強度の関係を示す。

一般にコンクリート製品の脱型時の所要強度は5～15N/mm²程度である⁵⁾。図9から、本研究の範囲ではいずれの条件においても材齢1日の圧縮強度が10N/mm²以上となり脱型可能な強度を得ていると考えられるが、凝結促進剤を3.0(C×%)添加し、前養生を2時間行うか、あるいは凝結促進剤を添加しなくても前養生を4時間行えば、材齢1日の圧縮強度は15N/mm²を越え、脱型に必要な強度を十分に満足していると言える。

また、表5に主なコンクリート製品の材齢28日における所要圧縮強度の一例⁶⁾を示す。表5から、無筋コンクリートブロックなどの場合20

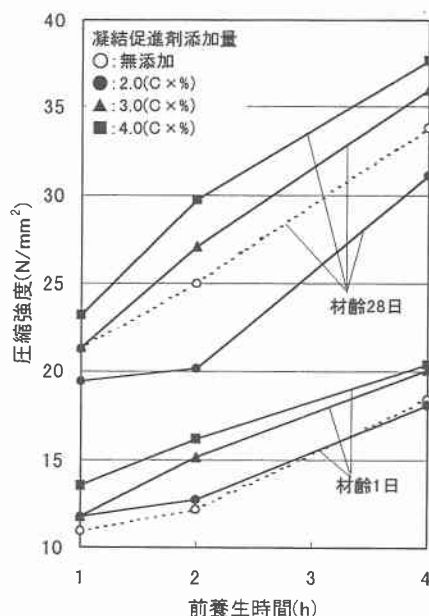


図9 前養生時間と材齢1日、28日の圧縮強度の関係

表5 主なコンクリート製品の所要圧縮強度の一例(材齢28日)

コンクリート製品	圧縮強度 (N/mm ²)
無筋コンクリートブロック	20～30
道路用製品 (側溝用鉄筋コンクリート)	32～42
管路製品 (鉄筋コンクリート管)	35～48

～30N/mm² 程度の圧縮強度が必要とされており、凝結促進剤を添加しなくても前養生を 1 時間あるいは 2 時間行えば所要の圧縮強度を得ることができる。側溝用鉄筋コンクリートなどの道路用製品では 30～40N/mm² 程度の圧縮強度が必要であり、前養生を 4 時間行えば凝結促進剤は無添加でも所要の圧縮強度を得ることができる。さらに、凝結促進剤を 4.0(C×%) 添加することで前養生時間が 2 時間で所要の圧縮強度を得ることができる。また、上下水、農業用水などに用いられる鉄筋コンクリート管などの管路製品においては 35～50N/mm² 程度の圧縮強度が必要である。この場合凝結促進剤を 3.0(C×%) あるいは 4.0(C×%) 添加し、前養生を 4 時間行うことで所要の圧縮強度を得ることができる。

4. 結論

前養生時間(1、2、4 時間)を変化させ、増粘剤、高性能減水剤を併用した高流動コンクリートに凝結促進剤(NON、2.0、3.0、4.0(C×%))を添加した場合の強度発現と製品への適用性について検討した結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 凝結促進剤の添加量により凝結始発時間が異なり、凝結促進剤を 4.0(C×%) 添加すると、無添加の場合と比較して 90 分程度凝結が早くなる。
- (2) 凝結促進剤を 4.0(C×%) 添加すると、材齢 28 日までの強度発現は良好となり、前養生を 4 時間行えば材齢 28 日で 35N/mm² 以上の強度が得られる。
- (3) ブロック類では凝結促進剤無添加でも前養生 1 時間で製品として必要な強度を得ることができる。
- (4) 側溝用鉄筋コンクリートなどの道路用製品では凝結促進剤を 4.0(C×%) 添加し、前養生を 2 時間行うことで製品として必要な強度を得ることができる。
- (5) 鉄筋コンクリート管などの管路製品では凝結促進剤を 3.0(C×%) 添加し、前養生を 4 時間行うことで製品として必要な強度を得ることができる。

【参考文献】

- 1) 鮎田耕一、桜井宏、山川勉：高流動コンクリートの耐凍害性と圧縮強度に及ぼす蒸気養生と配合の影響、セメント・コンクリート論文集、No. 50、pp. 660-665 (1996)
- 2) 大沼康弘、鮎田耕一、桜井宏、猪狩平三郎：高流動コンクリートの製品への応用に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集 第 52 号(A)、pp. 584-589 (1996)
- 3) 大沼康弘、鮎田耕一、桜井宏、藤村満、橘井康寛：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、土木学会北海道支部論文報告集 第 53 号(A)、pp. 512-517 (1997)
- 4) 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集、Vol. 16、No. 1、pp. 195-200 (1994)
- 5) 中山紀男、神田衛：コンクリートの製造と管理、第 12 章、共立出版株式会社 (1983)
- 6) 日本コンクリート工学会編：コンクリート便覧[第二版]、第 8 編、技報堂出版 (1996)