

V-2

増粘剤系高流動コンクリートの圧縮強度に及ぼす凝結促進剤と蒸気養生の影響

北見工業大学大学院 ○学生会員 芳野 友則
北見工業大学 フェロー 鮎田 耕一
北見工業大学 正会員 猪狩 平三郎

1. はじめに

高流動コンクリートは、高い流動性と材料分離抵抗性のため自己充てん性に優れているという特性がある。そのため、振動締固めをいっさい必要としないので、コンクリート製品へ適用できれば、騒音低減などの作業環境改善や、製造設備の耐久化、製造工程の省力化に関して大きな期待ができる。コンクリート製品工場では、一般に製品の早期出荷を目的とし蒸気養生が行われており、高流動コンクリートを使用する場合も適切な蒸気養生条件を明らかにしておく必要がある。

筆者らは、前養生時間短縮のため凝結促進剤を添加した増粘剤系高流動コンクリートの製品への適用性を研究してきている¹⁾。

本研究では、凝結促進剤の添加量および蒸気養生の昇温速度が、高流動コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び配合

表1に使用材料、表2にコンクリートの配合を示す。セメントは早強ポルトランドセメントを使用した。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スランプフローが $60 \pm 5\text{cm}$ 、空気量が $4.5 \pm 0.5\%$ となるように設定した。

表 1 使用材料

セメント		早強ポルトランドセメント 比表面積： $4460\text{cm}^2/\text{g}$ 、密度： $3.14\text{g}/\text{cm}^3$
細骨材		川砂 表乾比重：2.65、吸水率：1.87%、粗粒率：2.65
粗骨材		川砂利 表乾比重：2.65、吸水率：1.46%、粗粒率：6.99 最大寸法：25mm
混 和 剤	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

表 2 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)							
		W	C	S	G	増粘剤	高性能 減水剤	AE 剤	凝結 促進剤
40	45	175	438	765	935	0.3	$C \times 1.7\%$	$C \times 0.05\%$	無添加
							$C \times 2.3\%$		$C \times 1.0\%$
							$C \times 2.8\%$		$C \times 2.0\%$
							$C \times 3.3\%$		$C \times 3.0\%$

Effect of Accelerator and Steam-Curing on Compressive Strength of Highly Workable Concrete with Viscosity Agent

by Tomonori YOSHINO, Koichi AYUTA and Heizaburoh IGARI

2.2 練混ぜ

コンクリートの練混ぜは、強制練りミキサ（容量 50L）を用いて行った。粗骨材、細骨材、セメント、増粘剤を先に空練りし、練混ぜ水、AE 剤、凝結促進剤を加えて練り混ぜ、ミキサを一時停止後、高性能減水剤を添加してさらに練り混ぜた。

2.3 蒸気養生

表 3 に蒸気養生条件を示す。供試体は、打込み後すぐに蒸気養生槽に搬入した。蒸気養生の昇温速度は 10、20℃/h の 2 種類とし、温度上昇開始時から等温養生終了時までの時間はいずれの場合も 6 時間 15 分で一定とした。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。脱型後、供試体は所定の試験材齢まで標準養生(20℃水中)を行った。

蒸気養生条件は、凝結促進剤無添加、および添加量が 3.0(C×%)の供試体は、表 3 の No. 1 と 2、添加量 1.0、2.0(C×%)の供試体は、表 3 の No. 1 とした。

表 3 蒸気養生条件

No.	前養生 時間 (h)	昇温 速度 (℃/h)	等温養生	
			最高 温度(℃)	保持 時間(h)
1	なし	10	65	1-45
2		20		4-00

2.4 実験項目

(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、コンクリートの凝結始発・終結時間を求めた。

(2)圧縮強度

土木学会コンクリート委員会高流動コンクリート研究小委員会「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」²⁾に準拠して、φ 10×20cm の円柱供試体を作製し、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 日の圧縮強度を測定した。

(3)硬化コンクリートのひび割れ測定

10×10×40cm の角柱供試体から材齢 28 日以降にコンクリートカッターで 10×10×3cm の試料を 2 個切り出し、10×10cm の測定面におけるひび割れの長さ、最大幅を測微鏡で測定し、ひび割れ面積を求めた。

3. 実験結果及び考察

表 4 に、凝結時間の実験結果を、表 5 にフレッシュ性状および圧縮強度の実験結果を示す。

3.1 凝結時間

表 4 から、凝結促進剤を 2.0、3.0(C×%)添加した場合の始発時間は、無添加の場合とほぼ同程度であるが、終結時間はそれぞれ 20、40 分程度早くなった。このことは、初期強度発現に良い影響を及ぼすものと思われる。しかし、凝結促進剤を 1.0(C×%)添加した場合、W/C=50%で普通ポルトランドセメントを用いたこれまでの研究³⁾と同様に、凝結促進剤よりも高性能減水剤の影響が大きく、凝結促進剤無添加の場合と比べ、始発・終結時間ともに遅延した。

3.2 圧縮強度

図 1 に、圧縮強度と材齢の関係を、表 6 にひび割れ測定の実験結果を示す。

図 1 から、凝結促進剤の添加の有無にかかわらず、昇温速度 20℃/h では十分な圧縮強度は得られなかったが、昇温速度を 10℃/h にすることにより材齢 1 日で 30N/mm² 以上、材齢 28 日で 40N/mm² 以上の高い圧縮強度が得られた。

表 4 凝結時間

凝結促進剤添加量 (C×%)	始発時間 (h-min)	終結時間 (h-min)
無添加	5-30	7-35
1.0	6-05	8-25
2.0	5-30	7-10
3.0	5-20	6-55

表 5 フレッシュ性状および圧縮強度の実験結果

凝結促進剤添加量	昇温速度 (℃/h)	フレッシュ性状		圧縮強度(N/mm ²)				
		スランプフロー (cm)	空気量(%)	1 日	3 日	7 日	14 日	28 日
無添加	10	63.0	4.4	32.2	36.3	39.4	44.9	46.3
	20	64.5	4.9	25.6	25.0	28.7	31.9	31.6
C×1.0%	10	63.0	4.2	31.3	35.2	36.5	42.4	42.8
C×2.0%		64.0	4.1	35.2	35.9	39.7	41.7	46.0
C×3.0%	10	62.5	4.0	39.8	42.1	45.3	46.5	48.0
	20	60.0	4.1	27.3	27.5	30.9	34.8	36.7

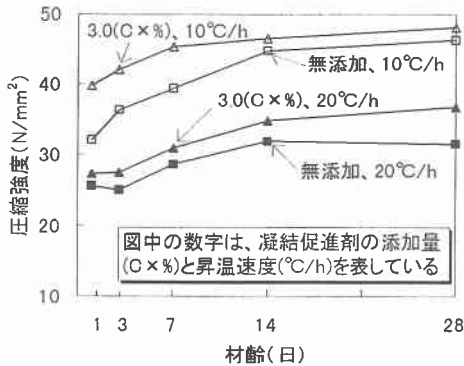


図1 圧縮強度と材齢の関係

表 6 ひび割れ測定の実験結果

凝結促進剤添加量	昇温速度 (℃/h)	100cm ² あたりの ひび割れ面積(mm ²)
無添加	10	0.14
	20	44.72
C×3.0%	10	0.04
	20	7.17

昇温速度を 20℃/h としたときに強度発現が停滞した原因としてひび割れの発生が考えられる。表 6 から、凝結促進剤の添加の有無にかかわらず、昇温速度 10℃/h の場合にはひび割れはほとんど認められなかったのに対し、20℃/h の場合には無添加、添加量 3.0(C×%)の場合

にそれぞれ、100cm²あたり 44.72、7.17mm²のひび割れの発生がみられた。既往の研究^{4) 5) 6)}によると、ひび割れの発生は強度の低下の原因となり、蒸気養生を行った場合ひび割れが発生しやすく、前養生時間と昇温速度がひび割れの発生に影響を及ぼしていると報告されている。本研究では、前養生を行っていないため、速い昇温がひび割れを発生させ、圧縮強度の発現が停滞したと思われる。

図 2、3 に、昇温速度 10℃/h とした場合の材齢 1、28 日の圧縮強度と凝結促進剤の添加量の関係をそれぞれ示す。

図 2 から、材齢 1 日の圧縮強度は、凝結促進剤無添加の場合と比べ、2.0、3.0(C×%)添加した場合に高くなり、2.0(C×%)添加した場合に 35N/mm²、3.0(C×%)添加した場合に 40 N/mm² 程度の圧縮強度が得られた。これは、前述のように凝結促進剤を添加することにより、凝結時間が短くなったため、初期強度が高くなっ

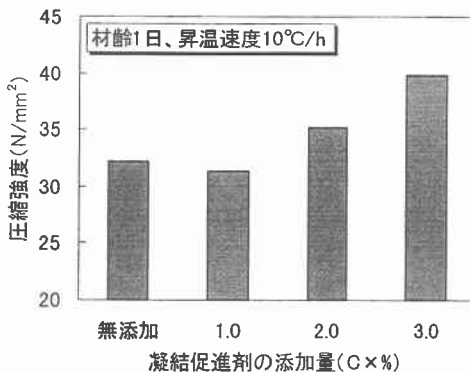


図2 材齢1日の圧縮強度と凝結促進剤の添加量の関係

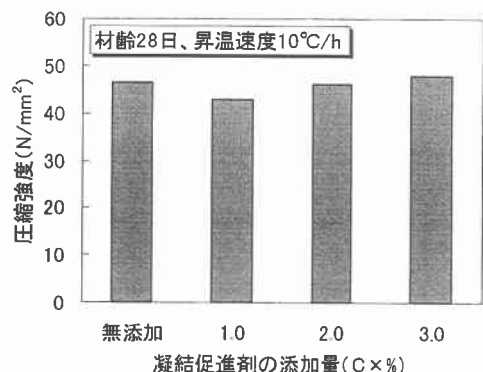


図3 材齢28日の圧縮強度と凝結促進剤の添加量の関係

たのであろう。しかし、凝結促進剤無添加の場合でも材齢 1 日で、 30N/mm^2 以上の高い圧縮強度が得られた。図 3 から、材齢 28 日の圧縮強度は、凝結促進剤の添加の有無にかかわらず、いずれの場合も 45N/mm^2 程度となり、ほぼ同程度であった。これらのことから、昇温速度 10°C/h とした場合、凝結促進剤を 2.0 および 3.0 (C×%) 添加することにより凝結時間が短縮され初期強度は増進されるが、材齢 28 日の圧縮強度に及ぼす凝結促進剤の影響はみられないことが明らかになった。

図 4 に、昇温速度 10°C/h とした場合の材齢 14 日の圧縮強度と凝結促進剤の添加量の関係を示す。

蒸気養生を行った場合、コンクリート製品は材齢

14 日の圧縮強度を基準とし、 $30\sim 40\text{N/mm}^2$ 必要とされている⁷⁾。図 4 から、凝結促進剤の添加量にかかわらず、いずれの場合も材齢 14 日の圧縮強度は 40N/mm^2 以上になり、凝結促進剤無添加の場合においても、製品への適用が可能である。しかし、コンクリート製品にはセグメントやまくら木などの 45N/mm^2 以上の高強度を必要とするものもあり⁷⁾、この場合、凝結促進剤を 3.0 (C×%) 添加することで圧縮強度が 45N/mm^2 以上になるので高強度を要する製品においても適用が可能である。

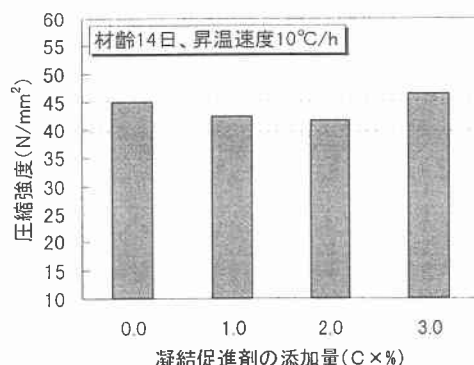


図4 材齢14日の圧縮強度と凝結促進剤の添加量の関係

4. 結論

増粘剤系高流動コンクリート(W/C=40%、早強ポルトランドセメント、前養生なし)を工場製品へ適用することを目的とし、凝結促進剤の添加量および蒸気養生条件が、圧縮強度に及ぼす影響を検討した本研究の結果をまとめると次のようになる。なお、蒸気養生の最高温度は 65°C 、温度上昇開始時から等温養生終了時までの時間は 6 時間 15 分である。

- (1) 昇温速度を 10°C/h とすることで、 20°C/h に比べ凝結促進剤の有無にかかわらず圧縮強度は高くなり、強度発現は良好となる。
- (2) 昇温速度 10°C/h の場合、凝結促進剤を 2.0 および 3.0 (C×%) 添加し凝結時間を短縮することにより、材齢 1 日の圧縮強度の増進を図ることができる。
- (3) 昇温速度 10°C/h の場合、凝結促進剤無添加の場合でも、材齢 14 日の圧縮強度は 40N/mm^2 以上得られ、コンクリート製品への適用が可能である。特に、凝結促進剤を 3.0 (C×%) 添加することでセグメントやまくら木などの 45N/mm^2 以上の高強度を要する製品においても適用が可能である。

【参考文献】

- 1) 芳野友則、鮎田耕一、猪狩平三郎：凝結促進剤添加高流動コンクリートの圧縮強度と耐凍害性に及ぼす蒸気養生と配合の影響、寒地技術論文・報告集 Vol. 15, pp. 172-176(1999)
- 2) 土木学会：コンクリートライブラリー93、高流動コンクリート施工指針(1998)
- 3) 古西力、鮎田耕一、藤村満、橘井康寛：増粘剤系高流動コンクリートの圧縮強度、耐凍害性と製品への応用について、寒地技術論文・報告集 Vol. 14, pp. 220-224(1998)
- 4) 大塚浩司、庄谷征美、阿波稔：蒸気養生コンクリートの耐久性に及ぼす表面微細ひび割れの影響、土木学会論文集 No. 585/V-38, pp. 97-111(1998)
- 5) 住吉宏、窪山潔、今橋太一、塩谷勝：コンクリートの組織や物性におよぼす蒸気養生の影響、セメント技術年報 XXXV, pp. 290-293(1981)
- 6) 神田衛、中山紀男：コンクリートの製造と管理、共立出版(1996)
- 7) 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)