

V-37

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応用

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 猪狩 平三郎

1. はじめに

自己充てん性に優れた高流動コンクリートの特性を活かした有効利用の一つに、作業環境の改善、省力化、品質向上を目的としたコンクリート製品への応用がある。この場合、コンクリート製品工場が必要とされる蒸気養生条件についても検討しておく必要がある。

筆者らはこれまでの研究^{1,2)}で、増粘剤系高流動コンクリートの製品への応用を図るために、凝結促進剤を添加して蒸気養生時間を短縮し製造コストを低減することを検討してきた。その結果、普通ポルトランドセメントを用い W/C=50%で凝結促進剤を 4.0(C×%)添加し、前養生を 2 時間行うことで一般的な製品に所要な強度が得られることを明らかにした。

本研究ではさらに高い強度を必要とする製品への応用と前養生時間の短縮を図るために、早強ポルトランドセメントを用い W/C を 40%にしたコンクリートを 1 時間の前養生時間で作製し、その圧縮強度特性と耐凍害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のほかに比較のため普通ポルトランドセメントも使用した。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±5cm、空気量が 4.5±0.5%となるように定めた。

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：4570cm ² /g、比重：3.16） 普通ポルトランドセメント（比表面積：3420cm ² /g、比重：3.16）
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

セメントの種類	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
早強	40	45	175	438	765	935	0.3	C×3.5%	C×0.07%	C×4.0%
普通								C×3.0%	C×0.05%	

Application of Highly Workable Concrete with Viscosity Agent Containing Accelerator to Precast Concrete Products

by Chikara KONISHI, Koichi AYUTA, and Heizaburo IGARI

2. 2 練混ぜ

コンクリートの練混ぜは、強制練りミキサを用いて行った。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

図 1、表 3 に蒸気養生条件を示す。前養生は供試体打込み後、恒温恒湿室(室温 20℃、相対湿度 90%)で行い、その後、供試体を蒸気養生槽に搬入した。なお、比較のために前養生を行わない条件も設定した。この場合は供試体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℃/h と 20℃/h の 2 種類としたが、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、前養生開始から約 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、早強ポルトランドセメントを使用した供試体は表 3 の No. 1～4、普通ポルトランドセメントを使用した供試体については、表 3 の No. 3 と No. 4 とした。また、比較のため蒸気養生を行わず恒温恒湿室(室温 20℃、相対湿度 90%)に 1 日間静置した後に脱型し、その後標準養生を行った供試体も作製した。

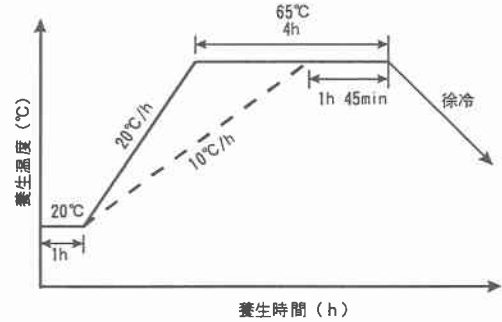


図 1 蒸気養生条件

表 3 蒸気養生条件

No.	前養生		昇温速度 (℃/h)	等温養生	
	温度 (℃)	時間 (h-min)		最高温度 (℃)	時間 (h-min)
1	なし		10	65	1-45
2	なし		20		4-00
3	20	1-00	10		1-45
4			20		4-00

2. 4 実験項目

①圧縮強度

土木学会「高流動コンクリート施工指針、強度試験用供試体の作り方」³⁾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。

②急速凍結融解試験

土木学会規準 JSCE-G501「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠し、10×10×40cm の角柱供試体を用い材齢 14 日から水中における急速凍結融解試験を行い、凍結融解 300 サイクル終了後の質量減少率から耐凍害性を評価した。また、ASTM C 666「Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing」に準拠して、凍結融解 300 サイクル終了後の耐久性指数を求めた。

③貫入抵抗試験

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。

表 4 実験結果

セメント	前養生時間(h)	昇温速度(℃/h)	圧縮強度(N/mm ²)					耐凍害性*2	
			材齢(日)					質 量 減少率(%)	耐久性 指 数
早強*1	標準養生		27.9	37.2	41.6	47.2	48.6	0.48	95
	なし	10	33.0	36.6	38.3	43.0	44.5	0.46	90
		20	27.8	33.6	32.4	33.8	36.8	1.13	92
	1	10	38.0	42.1	40.2	44.1	48.1	0.50	96
		20	32.7	35.4	34.1	37.8	38.7	1.22	96
	普通*1	標準養生		17.7	31.2	38.8	43.7	46.4	0.89
1		10	28.6	31.5	36.9	37.9	43.9	1.31	94
		20	20.5	24.1	30.5	34.4	39.4	1.53	97

*1：早強…早強ポルトランドセメント、普通…普通ポルトランドセメント

*2：凍結融解 300 サイクル終了後の値

3. 実験結果及び考察

3.1 強度発現

表 4 に圧縮強度、凍結融解の試験結果を示す。

図 2 に昇温速度を 10℃/h とした供試体の材齢と圧縮強度の関係を示す。

表 4 から、前養生を 1 時間行った場合の材齢 1 日の圧縮強度は、普通ポルトランドセメントを使用し、昇温速度を 20℃/h とした場合で 20.5N/mm²、10℃/h とした場合で 28.6N/mm²であった。これに対して、早強ポルトランドセメントを使用した供試体は、昇温速度を 20℃/h とした場合で 32.7N/mm²、10℃/h とした場合で 38.0N/mm²であり、早強ポルトランドセメント使用による早期強度発現効果が認められた。

図 2 から明らかなように、早強ポルトランドセメントを使用し前養生を 1 時間、昇温速度を 10℃/h とした供試体の圧縮強度は、材齢 3 日から 40N/mm²を超え、材齢 28 日では 45N/mm² 以上となり非常に良好な圧縮強度の発現性を示した。また、前養生を行わなくても各材齢で普通ポルトランドセメントを使用し前養生を 1 時間行った場合(いずれも昇温速度は 10℃/h)より高い圧縮強度を得ることができた。

図 3、図 4 に昇温速度と材齢 1 日、材齢 28 日の圧縮強度の関係を示す。図から、材齢 1 日、材齢 28 日のいずれも昇温速度を 20℃/h とした場合よりも 10℃/h とした場合のほうが、5~10N/mm² 程度高い圧縮強度が得られた。温度上昇開始時から等温養生終了時までの時間が同じであるため、昇温速度 10℃/h の場合の等温養生時間は 1 時間 45 分、昇温速度の 20℃/h の場合は 4 時間である。このことから圧縮強度の発現性は昇温速度の影響を大きく受け、既往の研究結果⁴⁾と同様、等温養生時間の影響は小さいことが明らかとなった。

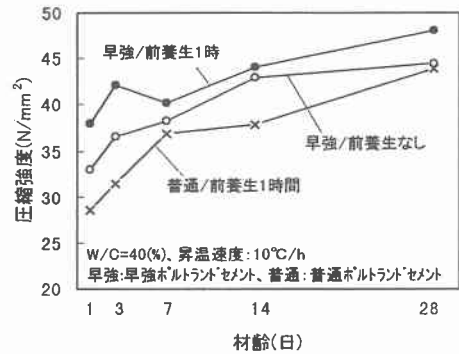


図 2 昇温速度を 10℃/h とした供試体の圧縮強度

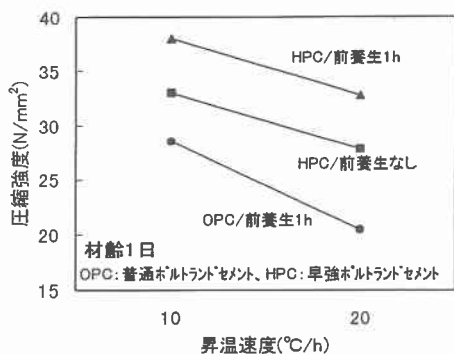


図3 昇温速度と圧縮強度(材齢1日)

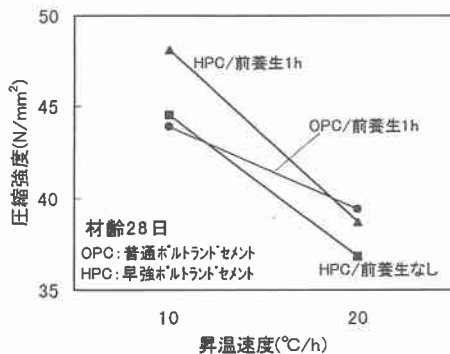


図4 昇温速度と圧縮強度(材齢28日)

3.2 耐凍害性

表4の実験結果から明らかなように、いずれの蒸気養生条件下でも耐久性指数は90以上を示している。

蒸気養生の昇温速度が凍結融解300サイクル終了後の質量減少率に及ぼす影響を図5に示す。また、写真1に早強ポルトランドセメントを使用し、前養生1時間、昇温速度10°C/hとした供試体の凍結融解300サイクル終了後の写真を示す。

図5から、凍結融解300サイクル終了後の質量減少率は、昇温速度を20°C/hとした場合に比べ、10°C/hとした場合には小さくなっている。特に早強ポルトランドセメントを使用し、昇温速度を10°C/hとした場合、質量減少率は前養生を行わない場合で0.46%、前養生1時間で0.50%と非常に小さく、写真からも明らかなように凍結融解300サイクル終了後でもほとんどスケーリングは発生していない。

W/C=50%、普通ポルトランドセメントを使用したこれまでの研究²⁾では、凝結促進剤を4.0(C×%)添加し前養生時間を1時間とした場合に、凍結融解300サイクル終了後の質量減少率は約5%であった。このことから、W/Cを40%とすることで凍結融解に伴うスケーリングに対する抵抗性を大きく改善することができ、かつ、早強ポルトランドセメントを使用し昇温速度を10°C/hとすることで、その効果をさらに向上させることができることが明らかとなった。

蒸気養生がコンクリートの組織に及ぼす影響を調べた既往の研究^{5), 6)}では、蒸気養生における急激

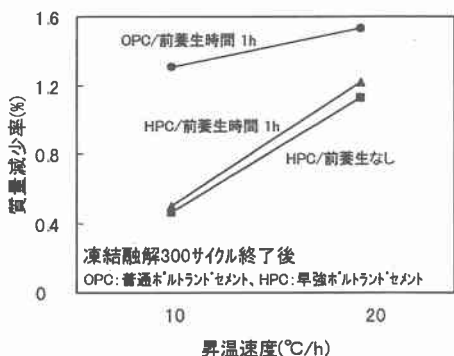


図5 昇温速度と質量減少率

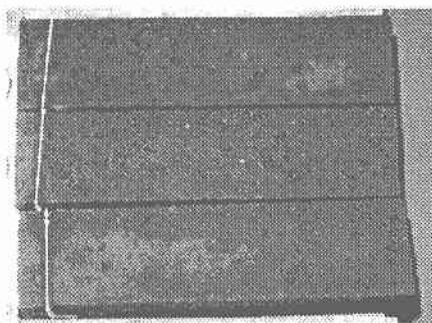


写真1 凍結融解300サイクル終了後の供試体
(早強ポルトランドセメント、前養生1時間、昇温速度10°C/h)
質量減少率0.50%

な加熱は、ひびわれの発生や粗骨材とモルタル界面の脆弱化等をもたらし、コンクリート組織の緻密さを欠如させる原因となり、この結果、コンクリートの吸水性が増大し強度や耐凍害性を低下させている。このことから、昇温速度を10℃/hとした場合、20℃/hに比べ凍結融解300サイクル終了後の質量減少率が小さくなったと考えられる。

3.3 凝結時間

表5に貫入抵抗試験の結果、図6に貫入抵抗値と経過時間の関係を示す。

これまでの研究^{1),2)}で、蒸気養生下における凝結速度の違いが強度発現に影響を及ぼし、特に凝結始発時間が早いほど強度発現が良好であることが明らかとなっている。表5の結果から、早強ポルトランドセメントを使用した場合には普通ポルトランドセメントに比べて凝結始発時間が1時間以上早い4時間20分で始発した。普通ポルトランドセメントを使用した場合の凝結始発時間は5時間45分であり、これはW/C=50%で行ったこれまでの研究^{1),2)}とほとんど同様の凝結速度である。このことから、早強ポルトランドセメントを使用することによる凝結促進効果は大きく、圧縮強度増進につながっている。

表5 貫入抵抗試験結果

セメントの種類	凝結始発時間 (h-min)	凝結終結時間 (h-min)
早強ポルトランドセメント	4-20	5-20
普通ポルトランドセメント	5-45	7-20

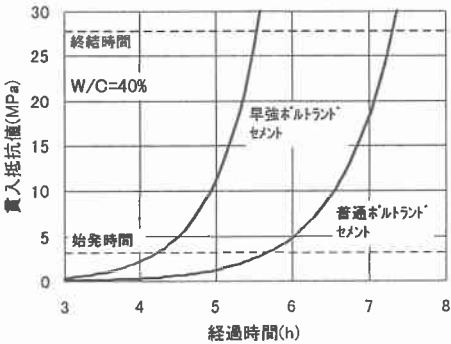


図6 貫入抵抗値と経過時間

3.4 製品への応用

図7、図8に使用セメント・前養生条件と材齢1日、28日の圧縮強度の関係をそれぞれ示す。

製品では、脱型時にひびわれや角かけなどが発生しやすいので、一般に15N/mm²程度の脱型時強度が必要とされている⁷⁾。図7から、いずれの条件でも材齢1日の圧縮強度は20N/mm²以上であり、脱型に必要な強度を確保している。

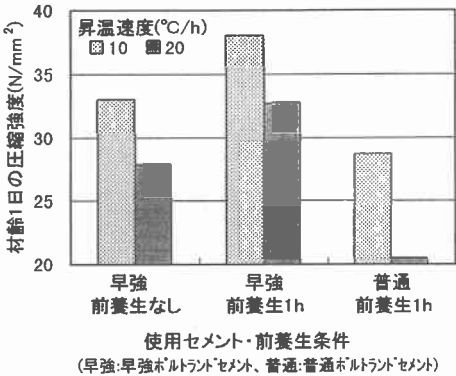


図7 使用セメント・前養生条件と材齢1日の圧縮強度

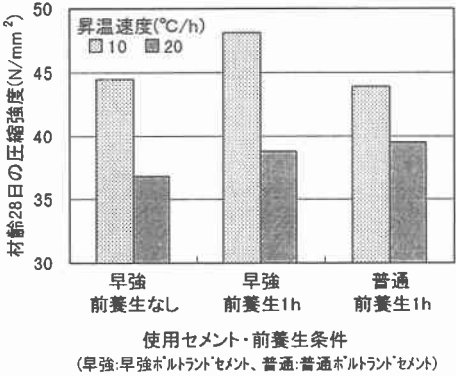


図8 使用セメント・前養生条件と材齢28日の圧縮強度

現在、振動締め固めにより製造されているコンクリート製品の材齢 28 日の圧縮強度は、道路用製品などの一般的製品で $30\sim 40\text{N/mm}^2$ であるが⁸⁾、図 8 から早強ポルトランドセメントを使用することで、前養生を行わなくても製品に所要の強度を得ることができる。また、早強ポルトランドセメントを使用し昇温速度を 10°C/h とすることで、1 時間の前養生時間で 45N/mm^2 以上の高い強度を必要とするセグメントやまくら木など⁸⁾の製品にも応用することができる。

4. 結論

増粘剤系高流動コンクリート(W/C=40%)に凝結促進剤(C×4.0%)を添加し蒸気養生製品への応用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) 蒸気養生の昇温速度を 10°C/h とすることで、 20°C/h に比べてセメントの種類、前養生時間にかかわらず圧縮強度の増進と凍結融解作用に伴うスケーリングに対する抵抗性を改善することができる。
- (2) 早強ポルトランドセメントを使用することで、前養生を行わなくても一般的な製品に必要な強度を得ることができる。
- (3) 材齢 28 日で 45N/mm^2 以上の高い圧縮強度を必要とする製品では、早強ポルトランドセメントを使用し、昇温速度 10°C/h 、前養生時間 1 時間で所要の強度を得ることができる。

【参考文献】

- 1) 古西力、鮎田耕一、桜井宏、猪狩平三郎：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、土木学会北海道支部論文報告集 第 54 号(A)、pp. 582-587 (1998)
- 2) 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、第 14 回寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集 Vol. 14、pp. 220-224 (1998)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 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) 阿波稔、大塚浩司、諸橋克敏：蒸気養生過程で発生する鉄筋コンクリート部材の微細ひびわれ、コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 15、No. 1、pp. 567-572 (1993)
- 7) 神田衛、中山紀男：コンクリートの製造と管理、共立出版 (1983)
- 8) 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)