

低振動コンクリートの製品への適用について

Application of Low-Vibration Concrete to Precast Concrete Products

北見工業大学大学院 ○学生会員 中村 朋子 (Tomoko Nakamura)
日産化学工業(株) 正会員 須藤 裕司 (Yuji Sudoh)
北見工業大学 フェロー 鮎田 耕一 (Koichi Ayuta)
北見工業大学 正会員 猪狩平三郎 (Heizaburoh Igari)

1 はじめに

低振動コンクリートとは普通コンクリートと高流動コンクリートの中間の流動性をもち、材料分離を起こすおそれのない微弱な振動を与えるだけで高流動コンクリートと同程度の流動性、充てん性を発揮するコンクリートであり、高流動コンクリートに比べて品質管理が容易なことと、コンクリート表面に気泡の残存が少なく美観がよいという特徴を持っている。低振動コンクリートを工場製品に適用できれば、騒音や振動の問題を改善できるほか、品質管理が容易なことから安定した製造が期待できる。

筆者らの低振動コンクリートに関するこれまでの研究では、高性能減水剤にスルホン化縮合物を主成分としたメラミン系減水剤を使用してきた。その結果、普通コンクリート、高流動コンクリートと比べて低振動コンクリートの強度発現、耐凍害性は同等以上であり、昇温速度 $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 、最高温度 65°C の蒸気養生で良好な強度発現、耐凍害性が得られることを明らかにしてきた¹⁾。しかし、用いた従来のメラミン系減水剤は、減水性能が高く、初期強度が高くなるといった利点があるが、流動保持性能が低下し、スランプロスが大きくなりやすいといった欠点がある。そこで、流動保持性能と高い減水性能を両立させたアミドスルホン酸メラミン縮合物を主成分とした新しいタイプのメラミン系減水剤が開発された²⁾。本研究ではこの新しいメラミン系減水剤を用い、標準養生を行った低振動、高流動、普通コンクリート、及び蒸気養生を行った低振動コンクリートの強度発現、耐凍害性について検討した。

2 試験概要

2.1 使用材料と配合

表1に使用材料、表2に配合を示す。低振動コンクリート、高流動コンクリートでは、それぞれスランプロフが $40\pm 5\text{cm}$ 、 $70\pm 5\text{cm}$ となるように、普通コンクリートでは、スランプロフが $8\pm 2\text{cm}$ となるように高性能減水剤の添加量を定めた。いずれの配合も空気量が $4.5\pm 0.5\%$ となるように AE 剤の添加量を定めた。

2.2 養生

蒸気養生は、前養生なしで昇温速度 $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 、最高温度 65°C 、等温養生の保持時間を2時間とした。供試体は、打込み後すぐに蒸気養生槽に搬入し、等温養生終了後、そのまま蒸気養生槽内で徐冷し、蒸気養生開始から24時間後に脱型した。脱型後各試験材齢まで 20°C 水中養生を行った。

標準養生は、型枠のまま室温 20°C 、相対湿度 90% の恒温恒湿室に24時間静置した後脱型し、各試験材齢まで 20°C 水中養生を行った。

実験に用いたコンクリートの種類と養生条件を表3に示す。

2.3 供試体作製方法

練混ぜには、強制練りミキサ(容量 55ℓ)を用いた。普通コンクリートの場合はセメントと細骨材を、低振動・高流動コンクリートの場合はそれに石灰石微粉末を加え10秒間空練り後、練混ぜ水、高性能減水剤、AE剤を添加し30秒間練り混ぜ、さらにその後、粗骨材を

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: $3360\text{cm}^2/\text{g}$ 、密度: $3.16\text{g}/\text{cm}^3$)
石灰石微粉末	比表面積: $3730\text{cm}^2/\text{g}$ 、密度: $2.70\text{g}/\text{cm}^3$
細骨材	川砂(富山産) 表乾密度: $2.58\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率: 1.47%、粗粒率: 2.69
粗骨材	碎石(青梅産) 表乾密度: $2.68\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率: 0.78%、粗粒率: 7.33

表2 配合

コンクリート種類	(%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)						
			W	C	石灰石微粉末(P)	S	G	高性能減水剤	AE 剤
普通	50	43	175	350	0	737	1022	$\text{C}\times 0.2\%$	$(\text{C}+\text{P})\times 0.015\%$
低振動		45			100	728	932	$\text{C}\times 1.3\%$	$(\text{C}+\text{P})\times 0.015\%$
高流動		47			200	716	84	$\text{C}\times 2.1\%$	$(\text{C}+\text{P})\times 0.01\%$

加えて 90 秒間練り混ぜた。普通コンクリートでは一般の棒形振動機により、低振動コンクリートでは振動力が一般の 1/3 程度の棒形振動機により振動締固めを行った。高流動コンクリートでは締固めを行っていない。

表 3 コンクリートの種類と養生条件

番号	コンクリートの種類	養生条件
NO. 1	低振動コンクリート	標準養生
NO. 2	普通コンクリート	
NO. 3	高流動コンクリート	
NO. 4	低振動コンクリート	蒸気養生

2. 4 実験項目

(1) フレッシュコンクリート

①スランパ

JIS A 1101「コンクリートのスランパ試験方法」に準拠して測定した。

②スランパフロー

高流動コンクリート施工指針（土木学会）「コンクリートのスランパフロー試験方法」に準拠して測定した。

③空気量

JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法」に準拠して測定した。

(2) 硬化コンクリート

①圧縮強度

JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠し、φ10×20cmの円柱供試体を同一条件で3個用い、材齢 1、3、7、14、28 日の圧縮強度を測定した。

②耐凍害性

JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠して、凍結融解 300 サイクル終了後の耐久性指数、質量減少率を求めた。

③細孔構造

材齢 14 日に円柱供試体のモルタル部分を 5.0～2.5mmの大きさに粉碎し、アセトンによる洗浄、D-dry 法で水和を停止させた後、水銀圧入式ポロシメータを用いて 1.8～10⁵nmの細孔の容積を測定した。

3 実験結果及び考察

表 4 に実験結果を示す。

3. 1 強度発現

図 1 に標準養生を行った場合の各コンクリートの圧縮強度を示す。いずれの材齢でも高流動コンクリート、低振動コンクリート、普通コンクリートの順で圧縮強度が高くなった。コンクリートの種類にかかわらず水セメント比と単位セメント量は一定であり、石灰石微粉末を低振動コンクリートの場合 100kg/m³、高流動コンクリートの場合 200kg/m³使用している。石灰石微粉末を細骨材と置換した場合、圧縮強度が増加し、その増加率は石灰石微粉末の置換率に依存することが明らかにされている³⁾。本研究の場合も、石灰石微粉末の使用が圧縮強度の増進に影響を及ぼしたと考えられる。低振動コンクリートの材齢 28 日の圧縮強度は 40.6N/mm²であり、強度発現は良好であることが明らかになった。

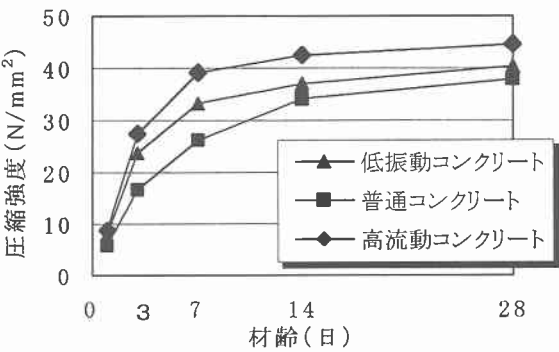


図1 材齢と圧縮強度(標準養生)

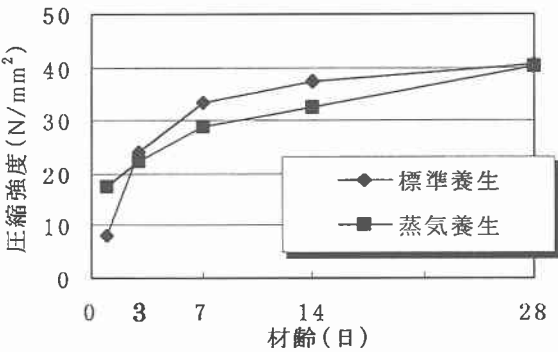


図2 材齢と圧縮強度(低振動コンクリート)

表 4 フレッシュ及び硬化コンクリートの実験結果

番号	フレッシュコンクリート			強度試験		凍結融解試験		細孔構造試験	
	スランパ (cm)	スランパフロー (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)		耐久性 指数	質量減少率 (%)	総細孔容積 (mm ³ /g)	平均細孔径 (nm)
				14 日	28 日				
No. 1	24.0	44.5	4.7	37.2	40.6	92	2.15	104.3	6.2
No. 2	8.5	—	5.0	34.2	37.8	98	1.68	97.5	7.7
No. 3	25.0	67.0	4.9	42.7	44.7	93	1.55	95.7	7.1
No. 4	23.5	44.0	4.8	32.4	40.2	93	3.70	101.8	9.8

図2に蒸気養生を行った低振動コンクリートの材齢に伴う圧縮強度の変化を標準養生を行った場合と併せて示す。蒸気養生を行った低振動コンクリートの材齢1日の圧縮強度は、標準養生の場合と比べて10 N/mm²程度高い。材齢28日の圧縮強度は、標準養生の場合とほぼ同じの40 N/mm²程度であり、強度発現は良好であった。以上の結果から、蒸気養生を行った低振動コンクリートの強度発現は良好であることが確認された。

3. 2 耐凍害性

図3に標準養生を行った場合の各コンクリートの耐久性指数を示す。低振動コンクリートの耐久性指数は、普通コンクリート、高流動コンクリートと同程度の90以上であり、耐凍害性は極めて良好となった。この結果から標準養生を行った場合、コンクリートの種類が耐凍害性に及ぼす影響はほとんどみられず、低振動コンクリートの耐凍害性は良好であることが明らかになった。

蒸気養生あるいは標準養生を行った低振動コンクリートの耐久性指数を図4に、半径10~10³nmの細孔の容積を図5に示す。図4から標準養生を行った場合の低振動コンクリートの耐久性指数は90以上であるのに対し、蒸気養生を行った場合の耐久性指数は83であり、標準養生を行った場合よりやや低くなった。この原因として細孔構造が考えられる。図5に示す半径10~10³nmの細孔は耐凍害性に影響を及ぼすとされている⁴⁾。蒸気養生を行った場合、標準養生の場合と比べてこの範囲の細孔容積が10mm³/g程度多く50mm³/g程度であった。これは、蒸気養生を行うことにより未硬化コンクリート中の水が加熱により膨張し空隙を増加させたためであろう⁵⁾。このため標準養生の場合よりも耐凍害性がやや低くなったと考えられる。

4 製品への適用性

図6に蒸気養生を行った低振動コンクリートの材齢1、14日の圧縮強度を示す。一般の製品に要求される脱型時の強度は、脱型作業および運搬作業によって傷つかない程度の5~15N/mm²であるとされている⁶⁾。図6から、蒸気養生を行った低振動コンクリートの材齢1日の圧縮強度は、18N/mm²程度であり脱型時に必要とされている強度を十分に満たしている。また、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、道路用製品などで30N/mm²程度である⁷⁾。図6から材齢14日の圧縮強度は32 N/mm²程度であり、一般の製品に必要な強度も満たしている。これらのことから、蒸気養生を行った低振動コンクリートは道路用製品などの一般の製品に適用することが可能であることが明らかになった。また、前述のように耐久性指数は80以上であり、寒冷地などで耐凍害性を必要とされる場合においてもその適用が可能である。

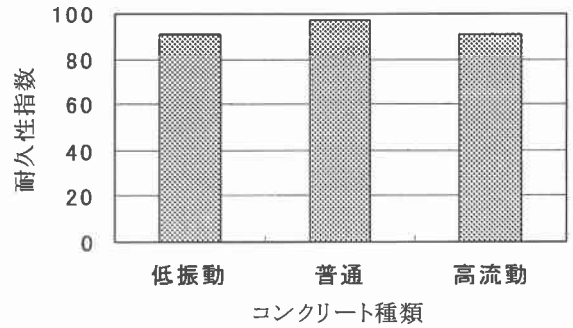


図3 コンクリートの種類と耐久性指数 (標準養生)

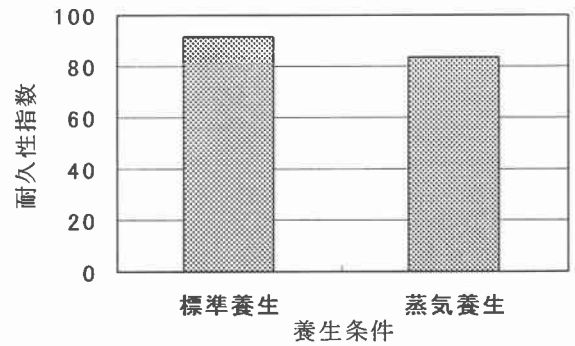


図4 蒸気養生と耐久性指数 (低振動コンクリート)

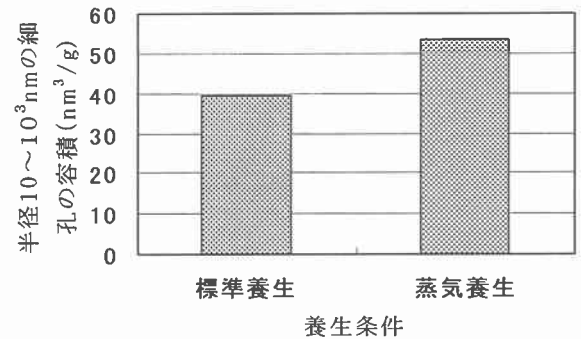


図5 養生条件と細孔の容積 (低振動コンクリート)

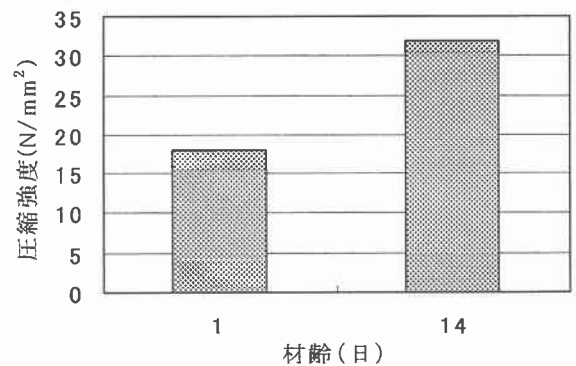


図6 低振動コンクリートの材齢1、14日の圧縮強度 (蒸気養生)

5 まとめ

流動保持性能と高い減水性能をもつ新しいメラミン系減水剤を用いた低振動コンクリートの工場製品への適用を目的とし、圧縮強度、耐凍害性を普通コンクリート、高流動コンクリートのそれと比較検討した結果、本研究から以下のことが明らかになった。

- (1) 標準養生を行った低振動コンクリートの圧縮強度は、いずれの材齢でも普通コンクリートよりも高くなり、強度発現は良好であった。
- (2) 蒸気養生を行った低振動コンクリートの材齢 1 日の圧縮強度は、標準養生を行った場合より増進し、材齢 28 日の圧縮強度は標準養生の場合と同じ 40N/mm^2 程度であり、一般のコンクリート製品に必要な強度を十分満たしていた。
- (3) 標準養生を行った低振動コンクリートの耐久性指数は、普通コンクリート、高流動コンクリートと同程度であり、耐凍害性は極めて良好であった。
- (4) 蒸気養生を行った低振動コンクリートの耐久性指数は、標準養生の場合と比べてやや低いものの 80 以上で、耐凍害性は十分に確保されている。
- (5) 以上のことから蒸気養生を行った低振動コンクリートは、一般の製品に必要な強度を十分満たしており、耐凍害性も確保されていることから、寒冷地においても製品への適用が可能である。

【参考文献】

- 1) 芳野友則、須藤裕司、鮎田耕一：蒸気養生をした低振動コンクリートの耐凍害性と強度発現、寒地技術論文・報告集、Vol. 16、pp. 260～264 (2000)
- 2) 須藤裕司、鮎田耕一、中山圭介、杉山高一：減水剤が低振動用コンクリートの流動保持特性と強度に与える影響、コンクリート工学年次論文集、Vol. 22、No. 2、pp. 175～180 (2000)
- 3) 綾野克紀、阪田憲次、小川鑑、金子泰治：石灰石微粉末を用いた超流動コンクリートの配合に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15、pp. 167～172 (1993)
- 4) 鎌田英治：セメント硬化体の微細構造とコンクリートの凍害、コンクリート工学、Vol. 19、No. 11、pp. 36～42 (1981)
- 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) 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)
- 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]、第 8 編、1 章、p. 694、技報堂出版 (1996)