

論文 減水剤と蒸気養生が低振動用コンクリートの耐久性に与える影響

須藤裕司^{*1}・鮎田耕一^{*2}・芳野友則^{*3}

要旨: 弱い振動を短時間与えるだけで打込みが可能な低振動用コンクリートに、様々なタイプの減水剤を適用した結果、新型のメラミン系減水剤を使用した場合に、低振動用コンクリートをコンクリート製品に適用するのに十分な流動保持性能と耐久性（乾燥収縮、中性化、耐凍害性）を確保できることが明らかになった。また、新型メラミン系減水剤を用いた場合、蒸気養生を行っても耐凍害性を確保できることを確認した。

キーワード: メラミン系減水剤、低振動用コンクリート、耐久性、コンクリート製品

1. はじめに

従来コンクリートを打ち込む際には振動機で振動締固め作業を行う必要があり、適切な振動締固めを行なわないとコンクリートに材料分離や充てん不良が発生するおそれがある。振動締固め作業の低減は、コンクリートの効率的な生産にも繋がる。さらに、振動機から発生する騒音と振動は、作業者や周辺住民の環境へ悪影響を与えるかねない。したがって、振動締固め作業を低減することができれば、コンクリートの品質向上、生産の効率化、環境改善に大きく貢献できる。こうしたコンクリートとして、近年、様々なコンクリート^①が研究開発されてきたが、いまだ十分に確立されていない。

著者らは、流動保持性能が高い新型のメラミン系減水剤^{②, ③, ④}を中心に、様々なタイプの減水剤を、弱い振動を短時間与えるだけで打込み可能な低振動用コンクリート^{⑤, ⑥}に添加した場合の諸物性を研究している。本論文では、その一環として、減水剤の種類が低振動コンクリートの乾燥収縮、中性化、耐凍害性などの耐久性に与える影響を検討した。また、蒸気養生が耐凍害性に与える影響も検討した。

2. 新型メラミン系減水剤^{②, ③, ④}

従来から使用されているメラミン系減水剤を添加したコンクリートは、流動性の経時低下が比較的大きいとされている。著者らは、従来のメラミン系減水剤をアミドスルホン酸で変成することで、流動保持性能が高い新しいタイプのメラミン系減水剤を開発した。図-1に、新型メラミン系減水剤の化学構造を示した。

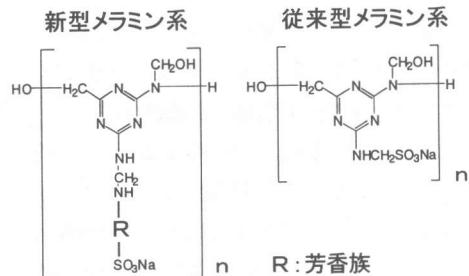


図-1 新型メラミン系減水剤の化学構造

3. 低振動用コンクリート^{⑤, ⑥}

低振動用コンクリートはコンクリート製品への適用を主眼に、普通コンクリートの半分以下の振動エネルギーを短時間与えるだけで打込み可能なコンシスティンシー（スランプフロー40 cm ~50cm程度）を有するコンクリートとして開発

*1 日産化学工業(株)化学品事業本部機能材料事業部特殊材料部 工修 (正会員)

*2 北見工業大学教授 土木開発工学科 工博 (正会員)

*3 北見工業大学大学院 工学研究科土木開発工学専攻

が進められているが、著者らは新型メラミン系減水剤と石灰石微粉末を併用した低振動用コンクリートを中心に開発を行っている。

4. 試験

4. 1 使用材料と配合

使用材料を表-1に、コンクリートの配合を表-2に示した。

減水剤はコンクリート製品用として一般に使用されているうちの、メラミン系2種類、ナフタレン系1種類、ポリカルボン酸系2種類、ポリエーテル系2種類、および、新型メラミン系減水剤の計8種類を使用した。また、一部の試験では、比較のために減水剤無添加のプレーンコンクリートで作製した供試体も用いた。

減水剤添加量は、コンクリート練混ぜ直後のスランプフローが 50.0 ± 2.0 cmとなるように調整した。

流动保持特性、乾燥収縮、中性化の各試験に関しては、AE剤はその種類や減水剤との相性による影響を取り除くため使用しなかった。また、耐凍害性の試験に関しては、AE剤を用いて練混ぜ直後の空気量を $4.5 \pm 0.5\%$ に調整した。

4. 2 コンクリート製造と供試体作成

コンクリートの製造は 20°C 環境で行い、各使用材料はあらかじめ 20°C に調整して使用した。

供試体の作成は 20°C 環境で行い、振動締固めには通常の $1/3$ 程度の振動エネルギーを発生するコンクリート棒形振動器を用い、振動時間は3秒間とした。脱型は練混ぜ24時間後に行い、直ちに 20°C 水中養生を開始した。

また、脱型時に各供試体に充てん不良が発生していないことを確認した。

4. 3 蒸気養生

コンクリート製品を製造する場合、生産効率を上げるために一般に蒸気養生を行う。しかし、蒸気養生を行ったコンクリートの耐凍害性は、標準養生を行ったコンクリートよりも低いといわれている。そこで、一部の減水剤を用いたコンクリートに関しては、蒸気養生を行った場合の耐凍害性と強度発現も検討した。

コンクリートの製造と供試体作製は 20°C 環境で行い、前養生は行わずに、直ちに蒸気養生を行った。蒸気養生条件は、 20°C から昇温速度 $20^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ で最高温度の 65°C まで昇温し、 65°C で2時間養生した後、 20°C まで徐冷した。脱型は練混ぜ24時間後に行い、直ちに 20°C 水中養生を開始した。

表-1 使用材料

記号		種類
セメント	C	普通ポルトランドセメント 比表面積 $3370\text{cm}^2/\text{g}$ 、密度 3.16g/cm^3
粉体	P	石灰石微粉末 比表面積 $3200\text{cm}^2/\text{g}$ 、密度 2.70g/cm^3
細骨材	S	川砂(富山神通川水系)、粗粒率2.93 表乾密度 2.56g/cm^3 、吸水率2.91%
粗骨材	G	碎石2005(東京青梅産)、粗粒率6.61 表乾密度 2.68g/cm^3 、吸水率0.48%
減水剤 種類 と 供試体 記号	MS	新型メラミン系
	M1	メラミン系
	M2	メラミン系
	N1	ナフタレン系
	C1	ポリカルボン酸系
	C2	ポリカルボン酸系
	E1	ポリエーテル系
	E2	ポリエーテル系
	PL	減水剤無添加(プレーンコンクリート)
AE剤*		天然樹脂酸塩

*1:耐凍害性試験の場合のみ使用。

表-2 低振動用コンクリートの配合

試験種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)					スランプフロー (cm)	空気量 (%)
			W	C	P	S	G		
流動保持性能・中性化・乾燥収縮	50	45	175	350	100	763	976	50.0±2.0	nonAE*1
耐凍害性	50	45	175	350	100	728	932	50.0±2.0	4.5±0.3%

*1:空気量の範囲は設定していないが、練混ぜ直後の空気量は $2.0 \pm 0.6\%$ であった。

4. 4 試験項目

(1) 流動保持特性

コンクリート練混ぜ直後のスランプフロー (50.0 ± 2.0 cm) と 15 分後, 30 分後のスランプフローを測定した。

練混ぜてから 15 分後, 30 分後のスランプフローを測定するまでの間もコンクリートは 20°C 環境で静置保管するとともに、重力式ミキサ等によるかくはんは一切行わず、直前にスコップで練り直した後、再度スランプフローを測定した。

(2) 乾燥収縮

乾燥収縮試験は JIS A 1129 に準拠して行い、 $10 \times 10 \times 40$ cm の角柱供試体を材齢 7 日まで 20°C 水中養生し、この時点の長さを基準値とし、試験を開始した。試験開始後は 20°C 、湿度 60% で気中養生を行い、長さ変化率(%)を測定した。

(3) 中性化

$10 \times 10 \times 40$ cm の角柱供試体を材齢 7 日まで 20°C 水中養生した後、28 日間 20°C 、湿度 60% で気中養生して試験用コンクリート試料を作製した。この試料を用いて、炭酸ガス濃度 5%， 20°C 、湿度 60% の環境で、促進中性化試験を実施した。

(4) 耐凍害性

今回用いた減水剤のうち、新型メラミン系減水剤 MS、従来型メラミン系減水剤 M1、ポリカルボン酸系減水剤 C2、ポリエーテル系減水剤 E1 を用いたコンクリートに関しては、標準養生と蒸気養生をした場合の耐凍害性を検討した。

耐凍害性は ASTM C 666 法に準拠して、水中の急速凍結融解試験を実施し、耐久性指数 (D F) を求めた。標準養生、蒸気養生いずれの場合も、材齢 14 日まで 20°C 水中養生した後、凍結融解試験を開始した。

(5) 強度発現

(4) 耐凍害性を検討したコンクリートに関しては、標準養生と蒸気養生した場合の強度発現も試験した。

強度試験は $\phi 10 \times 20$ cm の円柱供試体を用い、

表-3 コンクリート試験結果
(流動保持特性、中性化、乾燥収縮)

供試体 記号	スランプフロー (cm)			乾燥収縮 ^{*1}		中性化 深さ ^{*2} (mm)
	練混ぜ 直後	練混ぜ 15分後	練混ぜ 30分後	長さ変 化率(%)	重量変 化率(%)	
MS	50.5	54.0	48.5	-0.071	-2.46	12.7
M1	49.0	40.5	32.0	-0.073	-2.58	13.6
M2	48.5	32.0	25.5	-0.077	-2.47	13.0
N1	51.0	39.5	29.0	-0.079	-2.57	13.9
C1	52.0	55.0	39.5	-0.074	-2.60	13.4
C2	48.5	40.5	33.0	-0.074	-2.58	15.5
E1	50.5	37.0	29.0	-0.069	-2.64	14.9
E2	48.0	38.5	31.0	-0.072	-2.59	13.8
PL	4.5 ^{*3}	—	—	-0.074	-2.58	15.1

*1: 試験期間 6 ヶ月後の結果、 *2: 試験期間 25 週間後の結果、

*3: スランプの値

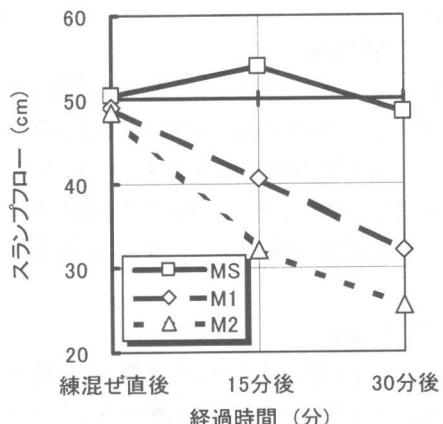


図-2 流動性の経時変化
(メラミン系減水剤)

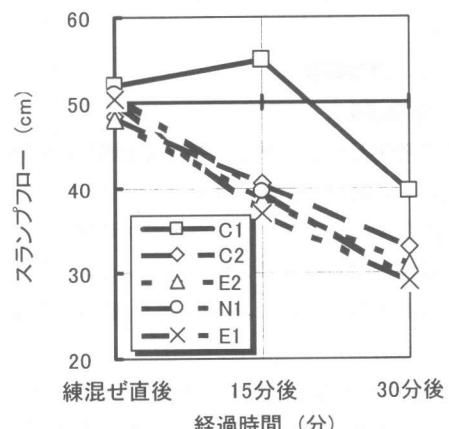


図-3 流動性の経時変化
(メラミン系以外の減水剤)

所定材齢(1, 3, 7, 14, 28日)まで20°C水中養生して、圧縮強度を測定した。

5. 試験結果と考察

表-3～表-4と図-2～図-11に、試験結果を示した。

5.1 流動保持特性

減水剤種類とスランプフロー経時変化の関係(流動保持特性)を示した表-3、図-2、図-3から、新型メラミン系減水剤MSを用いた場合は練混ぜ30分後まで、ポリカルボン酸系減水剤のうちC1を用いた場合は練混ぜ15分後まで、流動性を保持できた。一方、その他の減水剤を添加した場合は練混ぜ15分以内に流動性が低下した。

5.2 乾燥収縮

乾燥収縮試験の結果を示した表-3、図-4、図-5から、いずれの減水剤を用いたコンクリートも、減水剤無添加のコンクリート(PL)と同等の長さ変化率を示し、減水剤の添加とその種類が乾燥収縮に悪影響を与えないことが分かった。

5.3 中性化

促進中性化試験の結果を示した表-3、図-6、図-7から、いずれの減水剤を用いたコンクリートも、減水剤無添加のコンクリート(PL)と同等の中性化深さを示し、減水剤の添加とその種類が中性化に悪影響を与えないことが分かった。

5.4 耐凍害性

(1) 標準養生

標準養生したコンクリートの凍結融解試験結果を示した表-4、図-8から、新型メラミン系減水剤MS、従来型メラミン系減水剤M1、ポリエーテル系減水剤E1を用いたコンクリートの耐久性指数はいずれも80以上あり、耐凍害性が高かった。

一方、ポリカルボン酸系減水剤C2を用いたコンクリートの耐久性指数は2で、耐凍害性が低かった。

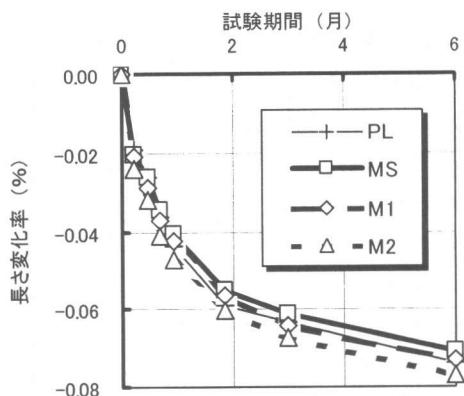


図-4 乾燥収縮試験結果
(メラミン系減水剤)

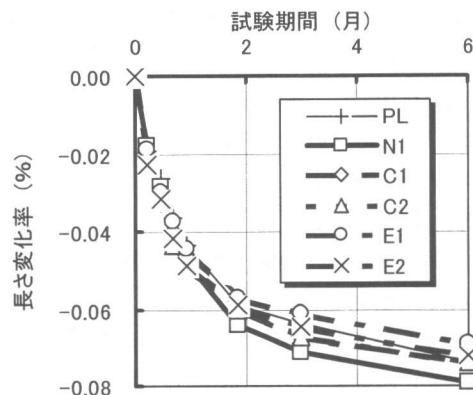


図-5 乾燥収縮試験結果
(メラミン系以外の減水剤)

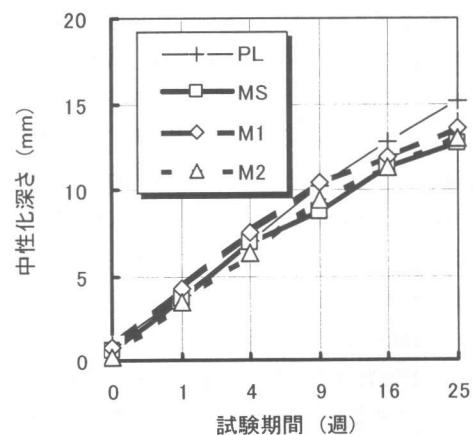


図-6 促進中性化試験結果
(メラミン系減水剤)

表-4 凍結融解試験結果と強度発現

供試体 記号	標準養生 ^{*1}						蒸気養生 ^{*1}					
	耐凍害性 DF ^{*2}	圧縮強度 (N/mm ²)					耐凍害性 DF ^{*2}	圧縮強度 (N/mm ²)				
		1日	3日	7日	14日	28日		1日	3日	7日	14日	28日
MS	93	8.2	26.9	38.0	42.3	49.4	83	17.6	22.5	28.7	32.4	40.2
M1	95	9.5	27.2	38.8	43.1	49.0	88	24.0	26.7	30.9	34.8	38.3
C2	2	8.1	26.5	38.6	42.5	47.4	14	18.8	22.0	26.2	29.9	33.1
E1	95	7.6	23.2	39.3	41.6	47.8	65	18.5	19.7	20.7	23.5	25.5

*1: 空気量の範囲は、4.5±0.5% , *2: 耐久性指数(ASTM C 666に準拠)

(2) 蒸気養生

蒸気養生したコンクリートの凍結融解試験結果を示した表-4, 図-9から、(1) 標準養生で耐凍害性が高かったコンクリートのうち、新型メラミン系減水剤 MS と従来型メラミン系減水剤 M1 を用いた場合の耐久性指数は 80 以上で、蒸気養生を行っても耐凍害性が高かった。

一方、ポリエーテル系減水剤 E1 を用いた場合は、標準養生では耐凍害性が高かったが、蒸気養生した場合の耐久性指数は 65 で、充分な耐凍害性を確保できなかった。また、標準養生で耐凍害性が低かったポリカルボン酸系減水剤 C2 は、蒸気養生でも耐久性指数 14 で、耐凍害性が低かった。

5.5 強度発現

(1) 標準養生

標準養生したコンクリートの強度発現を示した表-4, 図-10から、新型メラミン系減水剤 MS、従来型メラミン系減水剤 M1、ポリカルボン酸系減水剤 C2、ポリエーテル系減水剤 E1 のいずれの減水剤を用いたコンクリートも、同等の強度発現性を示した。

(2) 蒸気養生

蒸気養生したコンクリートの強度発現を表-4, 図-11に示す。新型メラミン系減水剤 MS と従来型メラミン系減水剤 M1 を用いたコンクリートは、良好な強度発現性を示したが、ポリカルボン酸系減水剤 C2 やポリエーテル系減水剤 E1 は強度がやや低い傾向にあった。

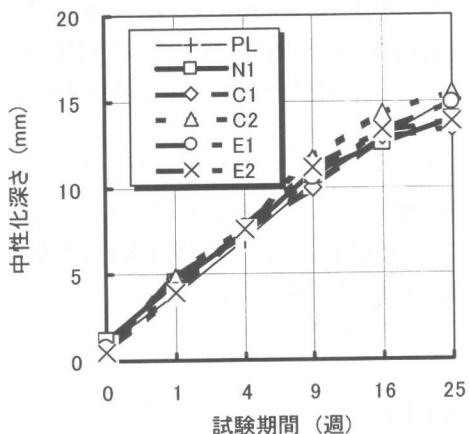


図-7 促進中性化試験結果
(メラミン系以外の減水剤)

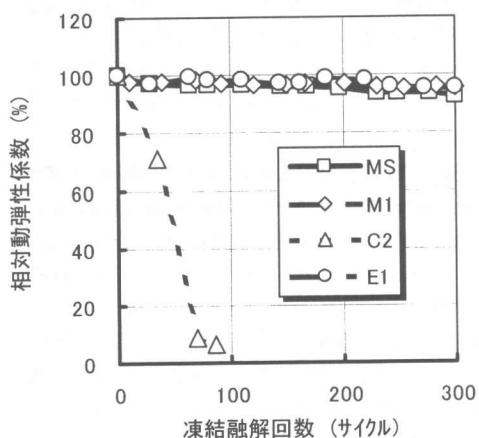


図-8 凍結融解試験結果
(標準養生)

6. まとめ

流動保持性能が高い新型メラミン系減水剤をはじめ、さまざまな種類の減水剤を用いた場合に、減水剤が低振動用コンクリートの耐久性に与える影響を検討した今回の研究の範囲から、以下のことが明らかとなった。

- (1) 新型メラミン系減水剤を用いた低振動用コンクリートは練混ぜ 30 分後まで、ポリカルボン酸系減水剤も種類によっては練り混ぜ 15 分後まで、流動性を保持できる。
- (2) 新型メラミン系減水剤をはじめ、さまざまな種類の減水剤を用いても、低振動用コンクリートの乾燥収縮、中性化には悪影響がなかった。
- (3) 新型メラミン系減水剤と従来型メラミン系減水剤を用いた低振動用コンクリートは、標準養生はもとより、蒸気養生した場合でも耐凍害性を確保できる。

【参考文献】

- 1) 土木学会コンクリート委員会:高流動コンクリート施工指針、コンクリートライブラリー93、土木学会、1999.8.7
- 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発現に与える影響、コンクリート工学年次論文集、Vol. 22, No. 2, pp. 175-180, 2000. 6
- 3) 須藤裕司、中山圭介、古屋裕子、鮎田耕一:新型メラミン系減水剤の流動保持機構、セメント・コンクリート論文集、No. 54, 2001. 1
- 4) Sudoh, Y. and Ayuta, K.: Slump Retention of a Melamine-Based New Type Superplasticizer, Sixth CANMET/ACI International Conference on Superplasticizer and Other Chemical Admixtures in Concrete, pp.313-327, Oct. 2000
- 5) 藤平顕次、須藤裕司、鮎田耕一:石灰石微粉末を用いた低振動コンクリートの耐凍害性及び強度発現について、セメント・コンクリート論文集、No.53, pp. 360-365, 2000. 2
- 6) 須藤裕司、鮎田耕一:骨材種類と低振動コンクリートの強度発現、第 52 回セメント技術大会講演要旨、pp. 220-221, 1998. 4

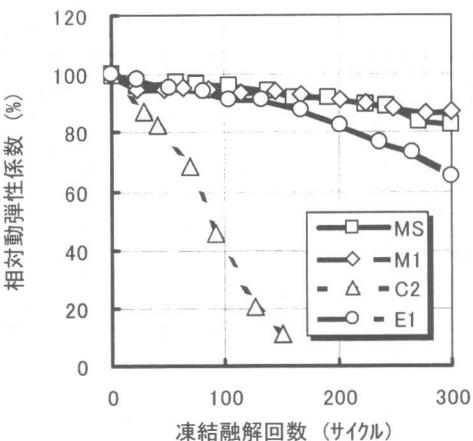


図-9 凍結融解試験結果
(蒸気養生)

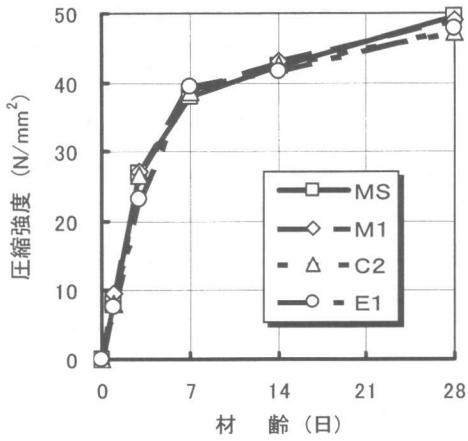


図-10 強度の発現
(標準養生)

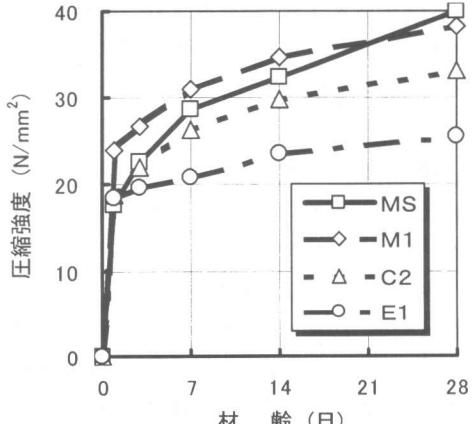


図-11 強度の発現
(蒸気養生)