

## エコセメントを用いたコンクリートの寒冷地性能に関する研究

会員外○鈴木邦将\*<sup>1</sup>  
正会員 三森敏司\*<sup>2</sup>  
同 大楽隆男\*<sup>3</sup>  
同 濱 幸雄\*<sup>4</sup>

## 1. 材料施工 - 4. 特殊なコンクリート

エコセメント, コンクリート, 初期凍害, 凍結融解, 強度増進, 積算温度

## 1. はじめに

環境保全において問題となっている都市ゴミ焼却灰や下水汚泥などの廃棄物の有効利用の一環として近年エコセメントが開発され, 建築構造物への適用の可能性について検討が行われているが, 寒冷期問題に関する研究事例は少ない。

寒冷期に打ち込まれたコンクリートで問題となるのは, 初期凍害の発生と強度増進の遅れであり, これらに対する技術的な対応は建築学会「JASS5」<sup>1)</sup> および「寒中コンクリート施工指針」<sup>2)</sup> に規定されている。

本研究は, このエコセメントを用いたコンクリートの低温環境での性状について, 寒中施工の条件を考慮して初期凍害に対する抵抗性, 低温下における強度増進性状, 凝結性状等に関する実験を行い, 普通コンクリートと対比した。

## 2. 実験概要

実験は大きく2つに分けて行った。実験計画を表1に示す。シリーズIでは初期凍害試験と低温強度増進性状に関する実験を, シリーズIIでは凝結試験と初期強度増進性状に関する実験を行った。

## 2.1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメントと普通エコセメントを用いた。各セメントの物理試験結果を表2に示す。

細骨材は鶴居産陸砂, 粗骨材は尾幌産碎石(最大寸法20mm)を用いた。各骨材の物理試験結果を表3に示す。

化学混和剤はシリーズIの水セメント比45%, 55%とシリーズIIの水セメント比55%ではAE減水剤標準形(No. 70), シリーズIIの水セメント比35%では高性能AE減水剤(SP8SV)を用い, 必要に応じて空気量調整剤(MA101, MA404)を使用した。

表1 実験計画表

シリーズ	セメント種類	W/C (%)	スランブ スランブ フォー (cm)	空気量 (%)	試験項目
I	普通ポルトランドセメント	45	18 ± 2.5	4.5 ± 1.0	初期凍害試験 圧縮強度試験
	普通エコセメント	55			
II	普通ポルトランドセメント	35	18 ± 2.5	4.5 ± 1.0	凝結試験 圧縮強度試験
	普通エコセメント	55			

表2 セメントの物理試験結果

シリーズ	セメント種類	普通ポルトランドセメント	普通エコセメント	
I	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	3.16	3.17	
	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	3350	4190	
	凝結時間 (時-分)	始発	1-42	2-37
		終結	2-42	4-06
	圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )	3日	32.7	31.7
		7日	47.9	44.2
		28日	66.0	54.2
II	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	3.17	3.15	
	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	3340	4350	
	凝結時間 (時-分)	始発	2-05	2-55
		終結	3-10	4-32
	圧縮強さ (N/mm <sup>2</sup> )	3日	31.2	29.9
		7日	46.8	42.7
		28日	61.3	56.2

表3 骨材の物理試験結果

シリーズ	骨材種類	細骨材	粗骨材
		鶴居産陸砂	尾幌産碎石
I	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.54	2.68
	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.51	2.63
	吸水率 (%)	2.26	1.40
	単位容積質量 (kg/l)	1.64	1.54
	実積率 (%)	65.3	58.6
	粗粒率	2.63	6.98
	II	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.58
絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )		2.51	2.64
吸水率 (%)		2.72	1.54
単位容積質量 (kg/l)		1.60	1.58
実積率 (%)		63.5	59.9
粗粒率		2.51	6.60

Study on Properties of Concrete using Eco-cement for Cold Districts

SUZUKI Kunimasa et al.

## 2.2 コンクリートの調査

コンクリートの調査は、目標空気量 (4.5 ± 1.0%), 目標スランプ (18 ± 2.5cm), スランプフロー (65 ± 5cm) が得られるように、練り上がり温度 20℃を基本として試し練りにより決定した。シリーズ I では水セメント比を 45%と 55%の 2 水準, 単位粗骨材かさ容積を 0.67m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>とし, シリーズ II では水セメント比を 35%と 55%の 2 水準とし, 単位粗骨材かさ容積を水セメント比 35%で 0.54m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>, 55%で 0.65m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>とした。コンクリートの調査を表 4 に, 練り上がり性状を表 5 に示す。

## 2.3 初期凍害試験

初期凍害抵抗性に関する実験は表 6 に示す条件とし, φ 10 × 20cm の円柱供試体を用いた。練り上がり温度を 5℃とし, 所定の材齢まで 5℃封かん養生を行い, その後気中凍結水中融解による 6 サイクルの凍結融解作用を与えた後, 20℃で材齢 28 日まで封緘養生を行った。圧縮強度の測定は, 凍結融解開始時および終了時, 材齢 28 日で行った。

## 2.4 強度増進に関する実験

強度増進性状に関する実験は, φ 10 × 20cm の円柱供試体を用いた。

シリーズ I では練り上がり温度を 5℃, 20℃として所定の材齢まで各養生室において封かん養生を行った。圧縮強度試験の材齢は表 7 に示す 20℃養生の 7 材齢 (1, 3, 7, 14, 28, 56, 91 日) を基本とし, 5℃養生では 6 材齢 (6, 14, 28, 56, 112, 182 日) とした。

シリーズ II では練り上がり温度を 20℃として封緘した後, 20℃, 10℃, 5℃で所定の材齢まで養生を継続した。圧縮強度試験の材齢は表 7 に示す 10℃, 5℃の 4 材齢 (15, 30, 90, 120° D・D) を基本とし, 20℃養生と比較した。

## 2.4 凝結性状に関する実験

ミキサによって練り混ぜられた約 20℃のフレッシュコンクリートを呼び寸法 5mm のふるいでふるって粗骨材を除去したモルタルをプラスチック製容器に入れ, 防湿フィルムで覆い, 直ちに 20℃, 10℃, 5℃の養生室へ移動した。試験は, ブリーディング水を取り除いた後, 1cm<sup>2</sup> の断面積を持つ貫入針を試料に鉛直な方向に約 10 秒間に 25 mm 貫入させる時の貫入抵抗値が 3.5 N/mm<sup>2</sup> になるまでの経過時間を始発, それ以降は 0.25cm<sup>2</sup> の断面積を持つ針を使用して 28.0 N/mm<sup>2</sup> になるまでの経過時間を終結とし, この間に 6 回以上の貫入試験を繰り返した。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 初期凍害抵抗性

強度回復の程度を凍結融解を受けた供試体と受けない供試体の 840° D・D 時の強度比で表し, 凍結融解後の後養生による強度回復の程度によって初期凍

表 4 コンクリートの調査

シリーズ	記号	W/C (%)	s/a (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	絶対容積 (1/m <sup>3</sup> )			混和剤 (C × %)		
					セメント	細骨材	粗骨材	No.70	SP8SV	助剤
I	45N	45	41.0	178	125	267	385	1.2	-	0.0015
	45E		40.2	183	128	259	385	1.2	-	0.0035
	55N	55	43.5	173	100	297	385	1.2	-	0.0010
	55E		43.0	178	102	290	385	1.2	-	0.0030
II	35N	35	48.6	175	162	302	320	-	2.5	0.0015
	35E		48.5	175	159	301	320	-	2.1	0.0025
	55N	55	43.4	175	100	295	385	1.0	-	0.0015
	55E		42.4	182	105	283	385	1.0	-	0.0030

注) 35N, 35E の助剤は MA404 を, それ以外は MA101 を使用した。

表 5 コンクリートの練り上がり性状

シリーズ	記号	目標練温 (°C)	練り上がり性状				
			練温 (°C)	スランプスランプフロー (cm)	空気量 (%)		単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )
					圧力法	質量法	
I	45N	20	21.0	20.1	3.0	1.5	2.356
		5	6.8	21.5	5.0	2.9	2.320
	45E	20	21.6	18.7	2.9	0.4	2.377
		5	6.0	20.4	4.7	3.1	2.311
	55N	20	18.8	18.9	3.8	2.1	2.333
		5	6.0	20.7	4.7	3.7	2.294
	55E	20	19.2	17.0	3.5	1.3	2.346
		5	5.7	20.6	4.9	2.8	2.311
II	35N	20	19.0	72.0 × 75.0	2.5	2.6	2.358
	35E		19.4	75.0 × 75.5	2.5	2.4	2.361
	55N		18.0	19.6	5.2	5.2	2.270
	55E		19.8	19.3	5.9	4.6	2.272

表 6 初期凍害試験の条件

凍結融解条件		圧縮強度試験の材齢
前養生	5℃封かん養生 圧縮強度 5N/mm <sup>2</sup> をはさむ 4 材齢	凍結融解用供試体 ○凍結融解開始時 ○凍結融解終了後 ○後養生・材齢 28 日  比較用供試体 ○20℃養生, 材齢 28 日
凍結融解	気中凍結水中融解 6 サイクル/日 凍結: -18℃, 2.5 時間 融解: +5℃, 1.5 時間	
後養生	20℃封かん材齢・28 日まで	

表 7 積算温度 (° D・D) と強度の測定材齢 (日)

シリーズ	養生温度	15	30	90	120	210	420	840	1680	2730
I	20℃	-	1	3	-	7	14	28	56	91
	5℃	-	-	6	-	14	28	56	112	182
II	20℃	-	1	3	-	7	14	28	56	91
	10℃	0.75	1.5	4.5	6	-	-	-	-	-
	5℃	1	2	6	8	-	-	-	-	-

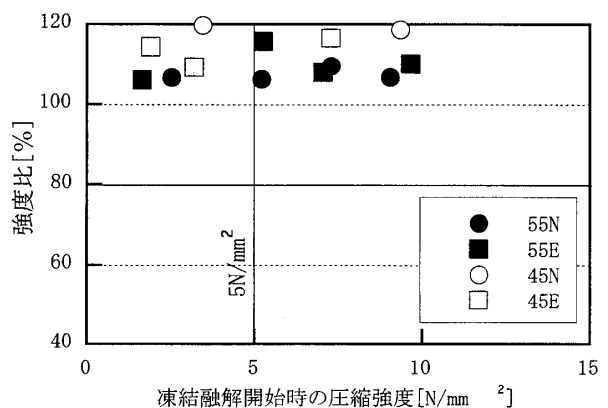


図 1 凍結融解開始時の圧縮強度と 840° D・D 時の強度比の関係

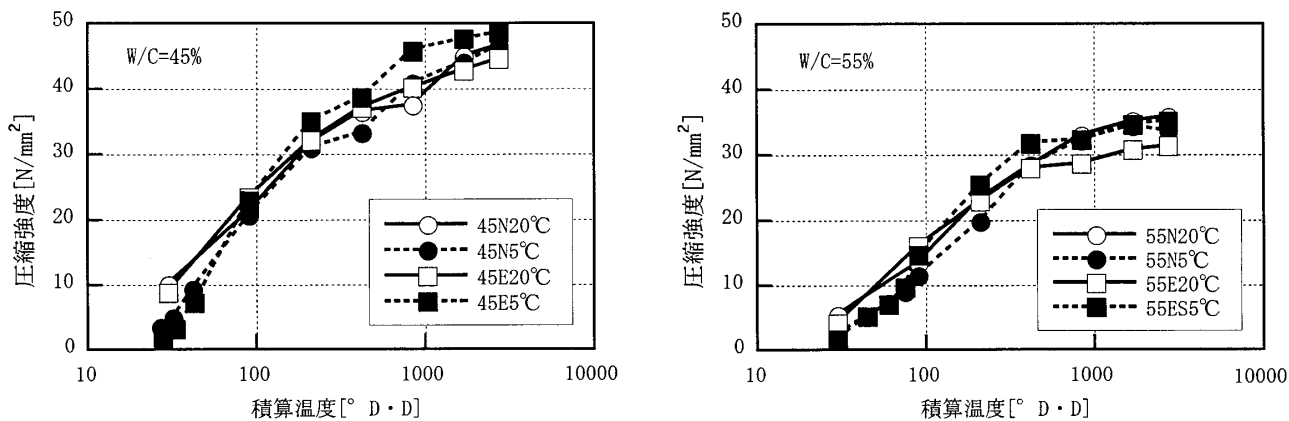


図2 低温強度増進性状

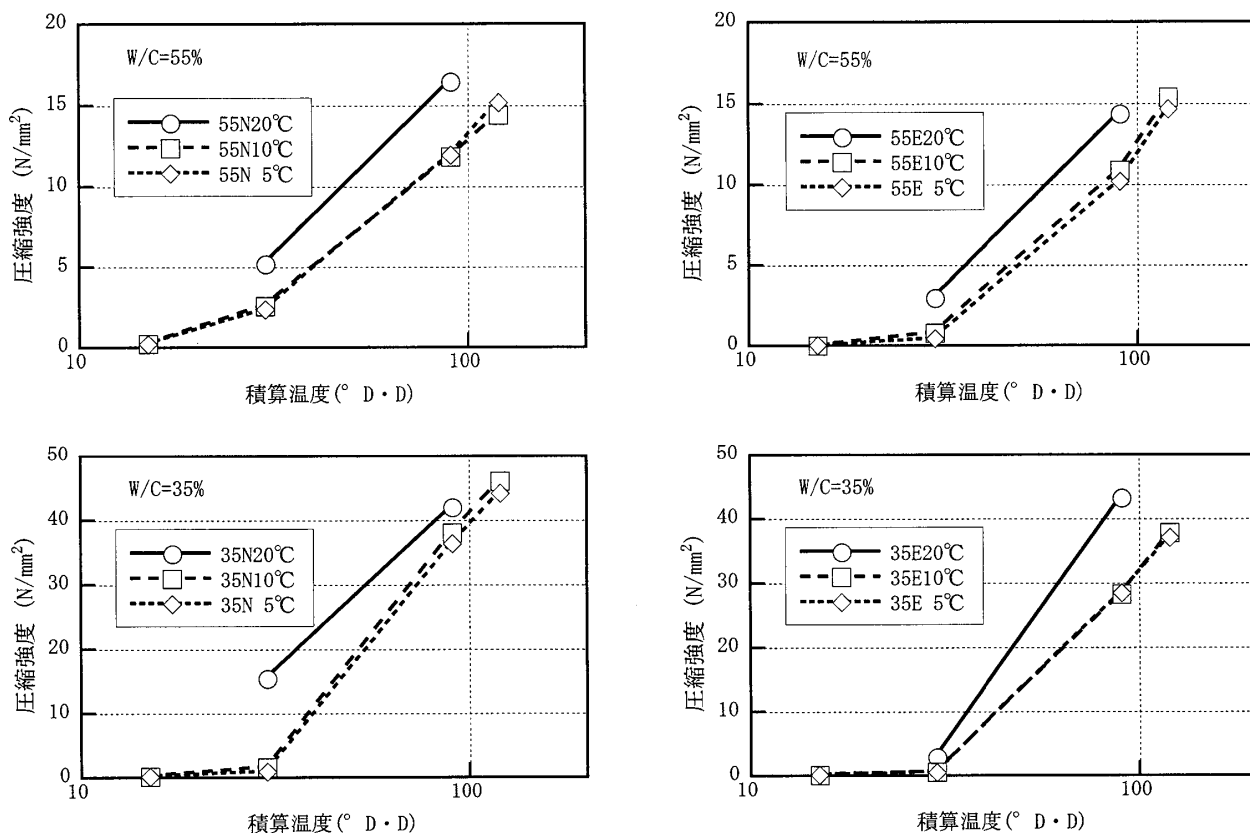


図3 初期強度増進性状

害を受けたか否かを判定する。図1にその結果を示す。水セメント比によらず、凍結融解開始時に2~3N/mm<sup>2</sup>の圧縮強度であれば100%以上の強度回復を示しており、初期凍害を受けていないと判断できる。よって普通エコセメントを用いたコンクリートの初期凍害防止のために必要な圧縮強度は、普通コンクリートと同様に5N/mm<sup>2</sup>と考えて良い。

### 3.2 低温強度増進性状

積算温度と強度増進性状の関係を図2に示す。普通コンクリートの5°C養生は、初期材齢の段階では20°C養生の強度を下回り、1680° D · Dで同程度の強度を示した。一方、エコセメントを使用したコン

クリートは、初期材齢では5°C養生が20°C養生をわずかに下回っていたが、210° D · Dで上回り長期材齢ではその差が大きくなる傾向を示した。

### 3.3 初期強度増進性状

積算温度と初期強度増進性状の関係を図3に示す。普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートは20°Cで1日養生した場合、いずれも初期凍害防止のために必要な強度5N/mm<sup>2</sup>を満足した。一方、10°C、5°Cの低温で養生した場合には強度増進が遅れ5N/mm<sup>2</sup>をクリアするためには3日程度を要した。初期強度曲線は水セメント比55%では、20°Cと低温養生10°C、5°Cの強度発現の差が平行であったのに

し、水セメント比 35%では積算温度 30° D・D での大きな差はその後の急激な強度発現によって 1 週間程度でほとんどなくなることが確認できた。

エコセメントを使用したコンクリートは、水セメント比 55%では普通コンクリートに比べ 5N/mm<sup>2</sup>を得る時間は遅れたものの強度発現性状は類似の傾向を示した。しかし、水セメント比 35%では、30° D・Dでいずれのコンクリートも低強度でその差が小さかったが、20℃はその後の強度増進が大きく、低温で養生したコンクリートは 1 週間程度では強度差の解消が見られなかった。

### 3.4 凝結性状

図 4 にプロクター貫入抵抗値による凝結性状を、図 5 に凝結時間を示す。

水セメント比 55%では、養生温度が低い方が水和反応が遅れ、始発時間、終結時間も遅く、その差も大きく、エコセメントにおいて顕著な遅れが見られた。

水セメント比 35%では高性能 AE 減水剤の使用により凝結時間が遅延した。エコセメントを使用した 10℃、5℃の始発時間が普通ポルトランドセメントに比べ早かったが、終結時間は遅延した。

### 4. まとめ

普通エコセメントを用いたコンクリートの初期凍害に対する抵抗性、低温強度増進性状、初期強度増進性状、凝結性状等について検討を行った。得られた結果を以下に示す。

- (1) 初期凍害に対する抵抗性は普通コンクリートと同等であり、初期凍害防止のために必要な圧縮強度は 5N/mm<sup>2</sup>とすることができる。
- (2) 低温強度増進性状は普通コンクリートと同等である。
- (3) 低温強度増進の温度依存性は普通コンクリートと異なる傾向を示した。
- (4) エコセメントを使用したコンクリートは、低温により、若材齢の強度増進が遅れる。
- (5) 高性能 AE 減水剤を使用したコンクリートは低温で凝結が遅延し、若材齢の強度が小さい。

### 謝辞

本研究は、太平洋セメント（株）の協力を得た。記して、関係各位に謝意を表す。

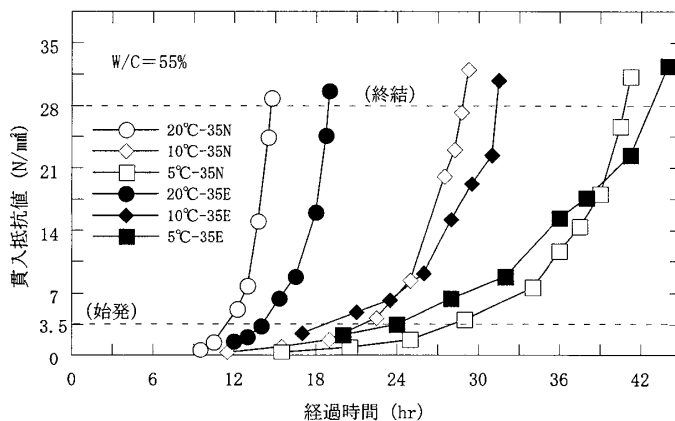
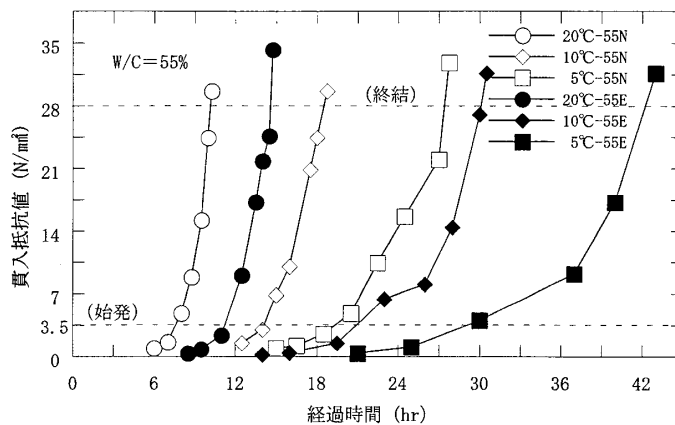


図 4 プロクター貫入抵抗値による凝結性状

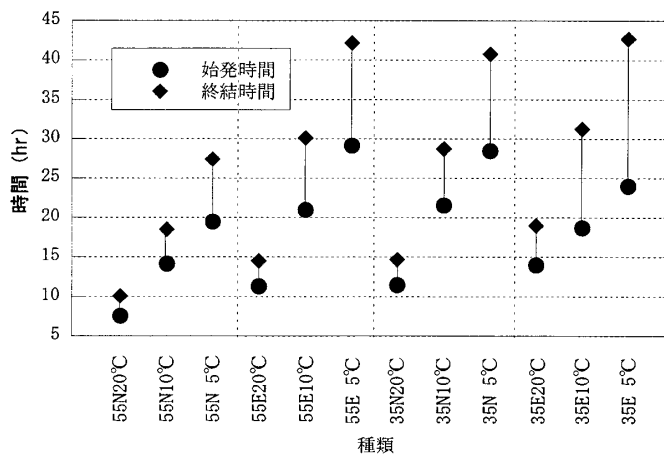


図 5 凝結時間

### 参考文献

- 1) 建築工事標準仕様書・同解説 (JASS5) 鉄筋コンクリート工事, 日本建築学会, 2003
- 2) 寒中コンクリート施工指針・同解説, 日本建築学会, 1998

\*<sup>1</sup> 釧路工業高等専門学校専攻科  
 \*<sup>2</sup> 釧路工業高等専門学校准教授  
 \*<sup>3</sup> 釧路工業高等専門学校名誉教授  
 \*<sup>4</sup> 室蘭工業大学准教授・博士 (工学)

Advanced Engineering Course, Kushiro National College of Technology  
 Assoc. Prof., Kushiro National College of Technology  
 Emeritus Prof., Kushiro National College of Technology  
 Assoc. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr.Eng.