

## 粒子径の異なるパラフィンエマルジョンを用いたコンクリートの凍結融解抵抗性

太平洋セメント（株） 正会員 ○岡田 明也 太平洋セメント（株） 中村 浩章  
太平洋セメント（株） 正会員 早川 隆之 太平洋マテリアル（株） 正会員 丸田 浩

### 1. 目的

近年、北海道や東北地方のコンクリート構造物・道路橋では、経年劣化に加えて、凍害による被害が深刻化している。

このような背景に鑑み、凍害対策に有効な液体系の混和剤の開発を目的に、パラフィンエマルジョンに着目した。本研究では、乳化されるパラフィンの平均粒子径を 0.5、1.0 及び 1.7 $\mu\text{m}$  に調整したエマルジョンを用いてコンクリートを作製し、凍結融解抵抗性を評価した。

### 2. 実験概要

#### 2.1 使用材料

使用材料の一覧を表-1 に示す。パラフィンエマルジョン（以下、エマルジョン）は、乳化されるパラフィンの平均粒子径を 0.5、1.0 及び 1.7 $\mu\text{m}$  に調整した 3 種類を用いた。

#### 2.2 供試体の作製

コンクリートの配合を表-2 に示す。供試体の種類は、空気量 $2.5 \pm 1.0\%$ 及びスランプ $15 \pm 2.5\text{cm}$ とした PL を基本配合として、練混ぜ水の $4.5$ または $9.0\text{kg/m}^3$ 分を各エマルジョンに置換した、Pa4.5-S0.5、Pa9.0-S0.5、Pa9.0-S1.0、9.0Pa-S1.7並びに、空気量を $5.0 \pm 1.0\%$ とした PL-AE の 6 種類とした。

表-1 使用材料一覧

材料	記号	種類
セメント	C	普通ポルトランドセメント（密度： $3.16\text{g/cm}^3$ ）
練混ぜ水	W	上水道水
細骨材	S	静岡県産山砂（密度： $2.61\text{g/cm}^3$ ）
粗骨材	G	茨城県産砕石（密度： $2.64\text{g/cm}^3$ ）
AE 減水剤	Ad1	リグニンスルホン産とポリカルボン産エーテルの複合体
AE 剤	Ad2	変性ポリリン酸化合物系陰イオン界面活性剤
消泡剤	Ad3	ポリアルキレングリコール誘導体
パラフィンエマルジョン	S-0.5	固形分：30%、粒子径：0.5 $\mu\text{m}$
	S-1.0	固形分：30%、粒子径：1.0 $\mu\text{m}$
	S-1.7	固形分：30%、粒子径：1.7 $\mu\text{m}$

表-2 コンクリートの配合

種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 ( $\text{kg/m}^3$ )						
			W	C	S	G	S-0.5	S-1.0	S-1.7
PL-AE	55	48.9	167	304	870	940	-	-	-
PL	55	48.9	167	304	900	970	-	-	-
Pa4.5-S0.5	55	48.9	167	304	900	970	4.5	-	-
Pa9.0-S0.5	55	48.9	167	304	900	970	9.0	-	-
Pa9.0-S1.0	55	48.9	167	304	900	970	-	9.0	-
Pa9.0-S1.7	55	48.9	167	304	900	970	-	-	9.0

供試コンクリートは、JIS A 1138 に準拠して作製した。作製した供試コンクリートを圧縮強度試験及び気泡間隔係数測定用に  $\phi 100 \times 200\text{mm}$  に、凍結融解試験用に寸法  $100 \times 100 \times 400\text{mm}$  に、スケーリング試験用に寸法  $100 \times 100 \times 200\text{mm}$  に成型した。その後、現場養生を模擬して、型枠内で 3 日間静置 [ $20^\circ\text{C}$ , 80% (RH)] した後、25 日間乾燥 [ $20^\circ\text{C}$ , 60% (RH)] 養生を行って供試体を行って作製した。

### 2.3 試験項目

実施したコンクリート試験の一覧を表-3 に示す。また、コンクリート中のパラフィンの分散状態を評価する目的で、W/C を 50%、S-0.5 をセメントに対して 3.0%（質量比）混和したセメントペーストを練り混ぜ、 $\phi 20 \times 3\text{mm}$  に成型し、材齢 28d まで封かん養生したものを顕微ラマン分光光度計（レニショー社製 inVia Reftex / StreamLine 顕微ラマン分光光度計）によってイメージング測定を実施した。

### 3. 試験結果及び考察

#### 3.1 コンクリート試験

コンクリートのフレッシュ性状及び圧縮強度を表-4 に示す。なお、本章中で言う「粒子径」とは「コンクリートに混和したエマルジョン中のパラフィンの平均粒子径」を指す。

いずれの供試コンクリートにおいても、そのスラン

表-3 コンクリート試験一覧

試験名	規格	備考
スランプ試験	JIS A 1101	—
空気量試験	JIS A 1128	—
圧縮強度試験	JIS A 1108	測定材齢：28 日
吸水率試験	JIS A 1171	測定材齢：7 日
凍結融解試験	JIS A 1148 A 法	試験水：上水道水
スケーリング試験	RILEM CDF 法	試験水：3%NaCl 溶液
気泡間隔係数測定	ASTM C457-16	リエトラバース法

表-4 コンクリートのフレッシュ性状及び圧縮強度

種類	フレッシュ性状		圧縮強度 (MPa)
	スランプ (cm)	空気量 (%)	
PL-AE	16.0	5.5	29.4
PL	16.5	3.0	36.9
Pa4.5-S0.5	17.0	3.2	37.5
Pa9.0-S0.5	16.0	3.2	36.2
Pa9.0-S1.0	16.5	3.0	37.7
Pa9.0-S1.7	14.5	3.3	37.5

キーワード パラフィン、粒子径、エマルジョン、凍結融解抵抗性

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント株式会社 中央研究所 TEL 043-498-3905

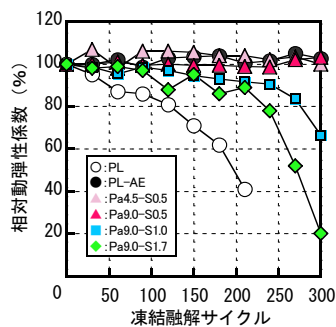


図-1 凍結融解試験結果

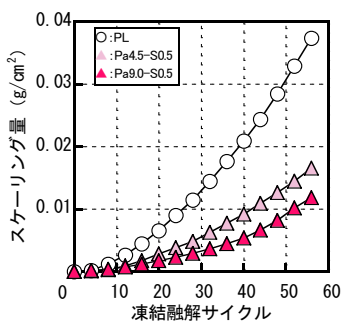


図-2 スケーリング試験結果

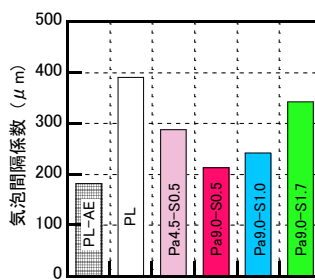


図-3 気泡間隔係数

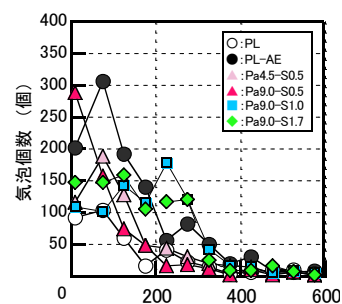


図-4 気泡個数

及び空気量は目標値を満足した。また、圧縮強度は、PL-AEを除き36~38MPa程度であり、粒子径の違いによる明確な差は確認されなかった。

凍結融解サイクルと相対動弾性係数の関係を図-1に示す。エマルジョンを混和したコンクリートの凍結融解300サイクルにおける相対動弾性係数は、粒子径に関わらずPLに比べて高い値を示した。特に、S-0.5を用いたPa4.5-S0.5及びPa9.0-S0.5は95%以上を維持しており、PL-AEと同等以上の高い凍結融解抵抗性を有していた。PL、Pa4.5-S0.5及びPa9.0-S0.5のスケーリング試験結果を図-2に示す。Pa4.5-S0.5及びPa9.0-S0.5のスケーリング量は、エマルジョンの混和量の増加に伴って減少する傾向にあり、56サイクルにおいてPLの1/2~1/3以下であった。このことから、本試験で使用したS-0.5は、コンクリート用混和剤として用いることで、一般的な凍害のみならず、凍結防止剤散布環境下等で生じる塩害と凍害の複合劣化に対しても優れた抵抗性を付与できることが示唆される。

気泡間隔係数を図-3に、気泡間隔係数測定時にカウントした3~525 $\mu\text{m}$ の範囲の気泡分布を図-4に示す。PL-AEの気泡間隔係数は、最も小さく194 $\mu\text{m}$ であった。一方、エマルジョンを混和したものは、粒子径が小さくなる程、また、混和量が増加するのに伴い減少する傾向にあり、Pa9.0-S0.5で218 $\mu\text{m}$ であった。次に、気泡分布に着目すると、粒子径の小さいもの程小径側の気泡が増加する傾向にあり、特にS-0.5を用いたものは、150 $\mu\text{m}$ 以下の増加が著しい。この傾向は既往の文献<sup>7)</sup>でも報告されており、気泡間隔係数測定時に、気泡に加え疎水性化合物であるパラフィンもカウントされたものと考えられる。しかし、増加した気泡径とエマルジョン中の粒子サイズには大きく差異がみられる。このことから、セメントペースト中に分散した粒子は、一定のサイズに集合して存在しており、そのパラフィン粒子集合体がエントレインドエアと同様の働きをすることで凍

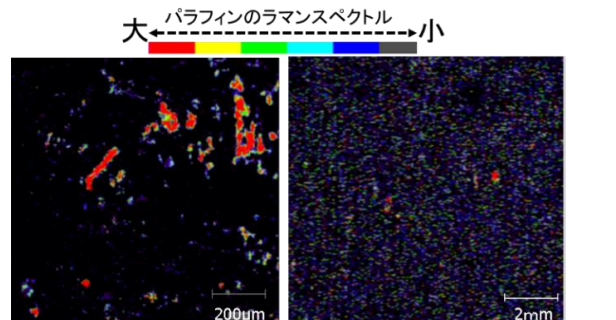


図-5 パラフィンのラマンイメージング

結時の膨張圧力を緩和した可能性がある。また、S-0.5を用いた場合、その集合体のサイズが凍結融解抵抗性の向上に寄与する気泡径<sup>2)</sup>と同程度(25~150 $\mu\text{m}$ )だったため、優れた凍結融解抵抗性を示したと考えられる。

### 3.2 パラフィンの分散状態の観察

S-0.5を混和したセメントペースト中のパラフィンのラマンイメージングを図-5に示す。本試験の限りでは、S-0.5を混和したセメントペースト中のパラフィン粒子は、エントレインドエアのように必ずしも球形状ではないものの、20~200 $\mu\text{m}$ の集合体として存在し、その集合サイズは気泡間隔係数測定時に増加した気泡径と概ね一致した。また、そのパラフィン粒子集合体は、セメントペースト中に概ね一様に分散されていた。

## 4. 結論

パラフィンエマルジョンを混和したコンクリートの凍結融解抵抗性は、エマルジョン中に乳化されるパラフィンの平均粒子径が小さいもの程優れていた。また、本研究の限りでは、平均粒子径を0.5 $\mu\text{m}$ としたエマルジョンを用いることで、一般的な凍害のみならず、凍結防止剤散布環境下等で生じる塩害と凍害の複合劣化に対しても高い抵抗性を付与できることが示唆された。

### 参考文献

- 1) 福田悠人, 森下将吾, 本田大希, 濱幸雄: 新型凍害抑制剤を添加した高強度コンクリートの凍結融解抵抗性の評価, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第22巻, pp.161-166, 2021
- 2) 坂田昇, 菅俣匠, 林大介, 橋本学: コンクリートの気泡組織と耐凍害性の関係に関する報告, コンクリート工学論文集, Vol.23, No.1, pp.35-47, 2012