

凍結防止剤によるコンクリートのスケーリング劣化に及ぼすセメント種類の影響

太平洋セメント株式会社 正会員 ○七尾 舞
 同上 正会員 兵頭 彦次
 同上 正会員 梶尾 聡

1. 背景

凍結防止剤が使用される道路構造物では凍結融解作用によるコンクリートのスケーリング抵抗性の低下が課題となっている。また、スケーリング抵抗性はセメント種類の影響を受けることが知られている。

高炉セメント等の混合セメントのスケーリング抵抗性については検討がなされており、普通ポルトランドセメントと比べ小さくなることが報告されている。一方で、その他のポルトランドセメントを使用した場合の知見は少ない。本検討では、セメント種類が凍結防止剤によるコンクリートのスケーリング劣化に及ぼす影響を把握することを目的として、セメントに普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、中庸熟ポルトランドセメント、高炉セメント B 種の 4 種類、凍結防止剤に塩化カルシウム(CaCl₂)、塩化ナトリウム(NaCl)の 2 種類を使用し、スケーリング抵抗性の評価に加え、スケーリング抵抗性に影響があるとされるプルオフ強度、透水量、表面透気係数試験を実施した。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの使用材料・配合

表 1 にコンクリートの使用材料を示す。セメントには、普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、中庸熟ポルトランドセメント、高炉セメント B 種の 4 種類を使用した。表 2 に、コンクリートの配合およびフレッシュコンクリートの性状を示す。W/C は 55%とし、目標スランプを 12±2.5cm、空気量を 4.5±1.5%とした。

2.2 試験項目・方法

スケーリング抵抗性試験は、ASTM C672 に準拠した。試験体の寸法は、直径 150mm、高さ 80mm の円柱とした。養生方法は、材齢 14 日まで水中養生(20℃)、その後材齢 28 日まで 20℃-60%R.H 環境で気中養生を行った。凍結防止剤は濃度 3mass%の CaCl₂、NaCl とし、打込み面より高さ 6mm の位置まで注ぎ入れた。プルオフ試験

は、試験体打込み面にφ50mm、深さ 2mm のスリットを入れ、同じ径の鋼製ディスクを接着し、引っ張ることで試験体表層部の強度(プルオフ強度)を測定した。簡易透水試験は JIS A 6909 の透水試験 B 法を参考に、表面透気係数はトレント法を用いて実施した。

3. 実験結果

(1) 圧縮強度

図 1 に圧縮強度試験結果を示す。圧縮強度は、N と比べ、H は 17%大きく、M、BB はそれぞれ 27%、12%小さくなった。これは、M、BB の初期強度発現性が低いためと考えられる。

(2) プルオフ強度

図 2 にプルオフ強度を示す。プルオフ強度は N、H、M が 2.9~3.4N/mm² 程度であるのに対し、BB は 2.2 N/mm² となった。BB の圧縮強度は M より大きいにもかかわらず、プルオフ強度は M より小さくなっており、プルオフ強度と圧縮強度には明確な関係は確認されなかった。

(3) 透水性・表面透気係数

図 3 に透水 24 時間における透水量、図 4 に表面透気

表 1 コンクリートの使用材料

材料【記号】	種類【記号】
水【W】	上水道水
セメント【C】	普通ポルトランドセメント【N】、密度3.16g/cm ³
	早強ポルトランドセメント【H】、密度3.14g/cm ³
	中庸熟ポルトランドセメント【M】、密度3.21g/cm ³
	高炉セメントB種【BB】、密度3.04g/cm ³
細骨材【S】	山砂 表乾密度2.58g/cm ³
粗骨材【G】	碎石2005 表乾密度2.64g/cm ³
AE減水剤【AD】	リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体
AE剤【AE】	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤

表 2 コンクリートの配合

セメント種類	単位量(kg/m ³)				AD (C×%)	AE (C×%)	フレッシュ性状	
	W	C	S	G			スランプ (cm)	空気量 (%)
N	169	307	814	985	0.25	0.0015	11.0	3.6
H	170	309	812	981		0.0020	13.0	3.1
M	169	307	816	986		0.0020	12.5	3.4
BB	169	307	810	978		0.0020	11.5	3.2

キーワード スケーリング、凍結防止剤、プルオフ強度、表面透気係数、透水性、セメント種類

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 TEL043-498-3852

係数を示す。透水量、表面透気係数ともに圧縮強度が大きいほど減少する傾向を示した。これは、圧縮強度が大きいほど組織が緻密となるためと考えられる。プルオフ強度と異なり、透水量、表面透気係数は圧縮強度と相関関係があることを確認した。

(4) スケーリング抵抗性

図5に凍結融解サイクルとスケーリング量の変化を示す。凍結防止剤の種類にかかわらず、セメント種類ごとの大小関係は概ね同様であり、スケーリング量はCaCl₂よりNaClを用いた方が多くなった。セメント種類ごとでは、50サイクル時点のH、M、N、BBのNaCl使用時のスケーリング量は、それぞれ0.17kg/m²、0.53kg/m²、0.68kg/m²、2.95kg/m²となり、BBが最も多く、Nの約4倍であった。また、BBのスケーリング量は50サイクルと極初期の段階で急激に増加した。

既往の検討でも、BBはNよりスケーリング量が多くなることが知られており、本実験でも同様の傾向を示した。これは、BBはNと比べ、プルオフ強度、透水性が小さいため、表層に水が滞留しやすく、凍結余剰水が未凍結層へ流動するのを拒む負の作用が働くためとされている。

N、H、Mを比べると、プルオフ強度は同程度であるが、スケーリング量はH、M、Nの順に小さくなった。Hは表面透気係数、透水量ともに最も小さく、表層からの水の浸透抑制効果が高いため、スケーリング量は少なくなったと考えられる。一方、Mは表面透気係数が大きく、透水量が多い。そのため、表層に作用する凍結水圧が緩和され、Nと同程度のスケーリング量となったと考えられる。

このことから、スケーリング量はコンクリート表層の強度と緻密さとのバランスによって変化することが確認された。ただし、N、H、M間でのスケーリング量の差は、BBと比べ総じて小さいことから、BBとのスケーリング量の差は必ずしもプルオフ強度や透水量の違いだけによるものとは考えにくい。スケーリング劣化は、物理的作用に加え、化学的作用も寄与するとされているため、生成される水和物の違い等の影響も考慮する必要があると考えられる。

4. まとめ

本検討では、セメント種類が凍結防止剤によるコンクリートのスケーリング劣化に及ぼす影響を把握することを目的として、スケーリング量、プルオフ強度、

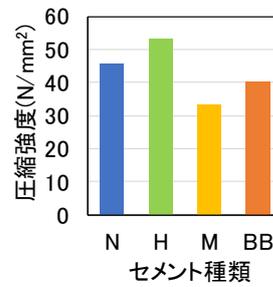


図1 圧縮強度

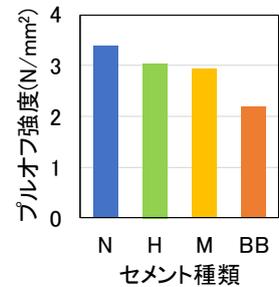


図2 プルオフ強度

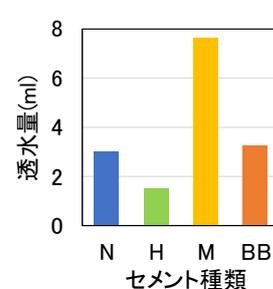


図3 透水量

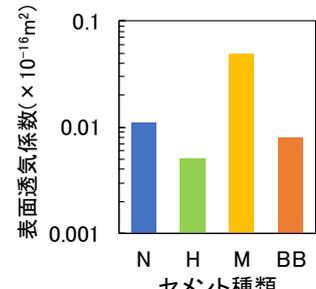


図4 表面透気係数

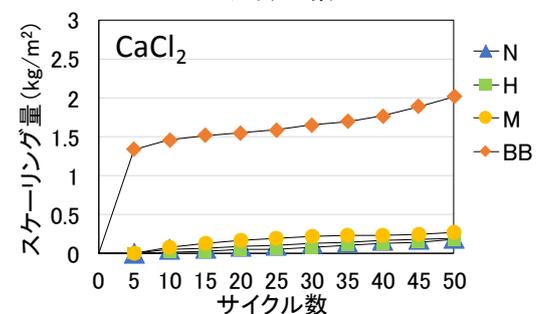
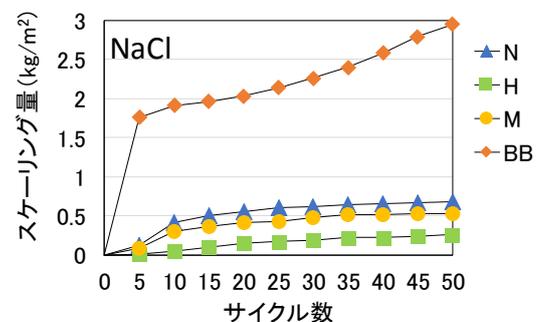


図5 スケーリング量の変化

透水量、表面透気係数試験を実施した。得られた知見を以下に示す。

- 1)高炉セメント B 種のスケーリングはポルトランドセメント(普通, 早強, 中庸熟)よりも明確に大きくなった。これに比べ、ポルトランドセメント間のスケーリング量の違いは相対的に小さかった。
- 2)コンクリート表層の強度と緻密さとのバランスによってスケーリング量は変化することが確認された。

参考文献

- 1) 遠藤裕丈, 田口史雄, 嶋田久俊: スケーリング劣化の予測に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, 733-738, 2005