

硬化促進剤と凍害抑制剤を用いた高炉セメントコンクリートの強度とスケーリング抵抗性

国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○吉田 行, 正会員 遠藤 裕丈
株式会社フローリック 正会員 西 祐宜, 猪瀬 亮
北海道大学大学院工学研究院 胡桃澤 清文

1. はじめに

セメント製造時の CO₂ 排出量抑制の観点から、混合セメントの利用拡大が求められており、ASR や塩害などの耐久性改善も期待されている。一方、混合セメントは硬化初期の強度発現が遅く、特に寒冷期の使用にあたっては養生温度や養生期間など留意すべき点が多いため、実際の工事においては普通セメントに変更される場合も見受けられる。また、高炉セメントを用いたコンクリートは、普通ポルトランドセメントを用いた場合よりも塩化物供給下の凍結融解作用によるスケーリング劣化が大きく、凍結防止剤を散布する積雪寒冷地においてはその対策が必要となっている。本研究では、これらの課題解決に向けて、硬化促進剤と凍害抑制剤を用いた高炉セメントコンクリートの強度発現とスケーリング抵抗性について評価した。

2. 使用材料および配合

セメントは、高炉セメント B 種（密度 3.04g/cm³、比表面積 3,910cm²/g）を用いた。細骨材は、掛川産の山砂（表乾密度 2.57g/cm³、吸水率 2.14%、粗粒率 2.58）を、粗骨材は、青梅産硬質砂岩砕石（表乾密度 2.65g/cm³、吸水率 0.69%、粗骨材最大寸法 20mm）を用いた。また、空気量とスランプを調整するために、AE 減水剤（リグニンスルホン酸塩とオキシカルボン酸塩系）、AE 助剤（樹脂酸塩系）および消泡剤（ポリオキシアルキレンアルキルエーテル系）を適宜用いた。コンクリートの硬化促進剤として、亜硝酸塩（記号 Ea）とジエタノールアミン（DEA、記号 Eb）の 2 種類を選定し、添加量はそれぞれセメント質量の 3.5%と 0.3%とした。また、凍害抑制剤は、毛細管空隙の連続性を遮断し、氷晶の浸透抑制に寄与する可能性が報告されている疎水性化合物¹⁾（乳化剤を混合した炭化水素系化合物）を用い、添加量はセメント質量の 1.0%とした。なお、硬化促進剤と凍害抑制剤は練混ぜ水の一部として、硬化促進剤は練混ぜ水と同時に投入し（強制二軸ミキサで 90 秒攪拌）、凍害抑制剤は練り上がり後に添加した（30 秒攪拌）。コンクリートの配合を表-1 に示す。水セメント比は 1 水準とした。また、スケーリング抵抗性に及ぼす空気量の影響を確認するため、目標空気量は 4.0%を標準として設定し、比較として Non-AE コンクリートを想定して 2.0%とした場合についても検討した。なお、空気量とスランプの実測値は表-1 に併記した。

3. 試験概要と供試体

強度発現性を把握するため、コンクリート材齢 1 日（脱型時）、材齢 7 日および 28 日（いずれも水中養生）で JIS A 1108 に準じて圧縮強度試験を実施した。スケーリング抵抗性は、ASTM C672 に準じて 1 面凍結融解試験を実施し評価した。1 面凍結融解試験では 220×220×100mm の角柱供試体を用い、試験面（打込み面 220×220mm）に土手を設けて 3%NaCl 水溶液を湛水し、-18℃を 16 時間、23℃を 8 時間の 1 日 1 サイクルで凍結融解作用を与えた。

表-1 配合

記号	セメントの種類	目標 空気量 (%)	凍害抑制剤 添加量 (G×%)	促進剤 (亜硝酸) C×%	促進剤 (DEA) C×%	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				AE 減水剤 C×%	AE 助剤 C×%	消泡剤 (AE減水剤×%)	実測 空気量 (%)	実測 スランプ (cm)
								水	セメント	細骨材	粗骨材					
								W	C	S	G					
A4.0	高炉セメント B種	4.0	-	-	-	52.5	46.5	170	324	810	962	1.2	0.004	-	4.3	15.7
A2.0-Ea		2.0	1.0	3.5	-								-	0.15	2.2	13.8
A4.0-Ea		4.0	1.0	3.5	-								0.004	-	4.3	15.4
A2.0-Eb		2.0	1.0	-	0.3								-	0.15	2.2	13.4
A4.0-Eb		4.0	1.0	-	0.3								0.004	-	3.9	15.3

キーワード 高炉セメント, 硬化促進剤, 凍害抑制剤, 圧縮強度, スケーリング, 気泡間隔係数

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-34 寒地土木研究所 耐寒材料チーム TEL: 011-841-1719

評価は 1 配合当たり 3 供試体で行った。なお、試験前養生は、材齢 7 日まで 20℃水中養生後、材齢 28 日まで温度 20℃、相対湿度 60%の試験室内で気中養生した。併せて、硬化コンクリートの気泡組織を把握するため、ASTM C457 に準じてリニアトラバース法による気泡分布測定を行った。

4. コンクリートの圧縮強度

図-1 に圧縮強度を示す。材齢 1 日ではほぼ差は無いが、材齢 7 日以降は硬化促進剤と凍害抑制剤を用いたものは基準配合 A4.0 より概ね強度は高かった。しかし、硬化促進剤 Eb を用いたものは Ea より強度は低く、Eb の材齢 28 日では A4.0 より低かった。なお、一般的な傾向と同様、空気量は少ない方が強度は高かった。

5. スケーリング抵抗性

図-2 に凍結融解サイクルとスケーリング量の関係を示す。空気量が 2.0%程度と少ない場合には、スケーリング量は増加傾向を示し、凍害抑制剤だけでは必ずしもスケーリングを抑制できないことが確認された。一方、空気量が 4.0%程度の場合、硬化促進剤 Ea を用いたものは凍結融解サイクルの進行とともにスケーリング量は増加の傾向を示したが、Eb を用いたものはスケーリング量が少なく、A4.0 より劣化は大きく抑制された。

図-3 に練上がり空気量、硬化コンクリートの空気量および気泡間隔係数を示す。硬化コンクリートの空気量は練上がり空気量よりも減少したが、硬化促進剤 Ea を用いたものは比較的差が大きく、硬化後の気泡組織に影響を及ぼしている可能性が示唆された。また、気泡間隔係数は、硬化後の空気量が多いほど小さかった。

図-4 に凍結融解 50 サイクル時点のスケーリング量と気泡間隔係数の関係を示す。両者には比較的良い相関があり、スケーリング量が抑制されたのは、微細な空気を適量確保できたことが主な要因と考えられるが、A4.0-Eb は他の配合と同程度の気泡間隔係数でもスケーリング量が少なく、気泡以外の要素が影響していると考えられ、これについてはより詳細な検討が必要である。

5. まとめ

硬化促進剤と凍害抑制剤の使用により、高炉セメントコンクリートの強度とスケーリング抵抗性を改善可能なことを確認したが、スケーリングの劣化抑制機構についてはさらに詳細な検討が必要である。なお、本研究は JSPS 科研費 JP16H04443 の助成を受けたものである。

【参考文献】

1) 安田玲子, 西祐宜: 疎水性化合物の導入によるコンクリートの気泡組織および耐凍害性に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), 1089, pp.177-178, 2018.9

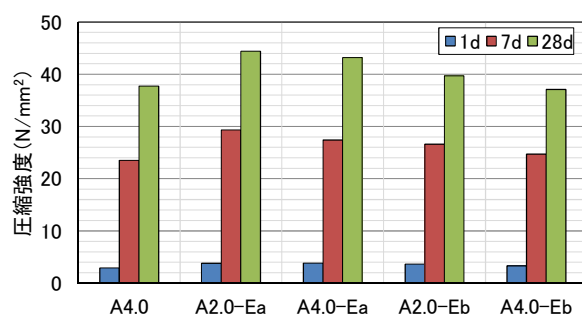


図-1 コンクリートの圧縮強度

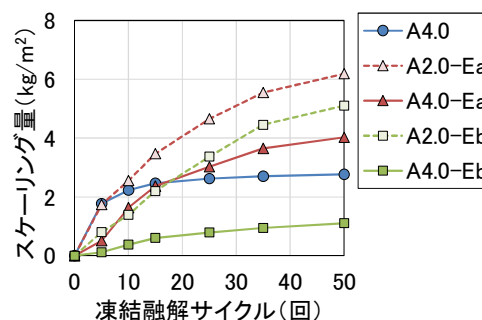


図-2 凍結融解サイクルとスケーリング量の関係

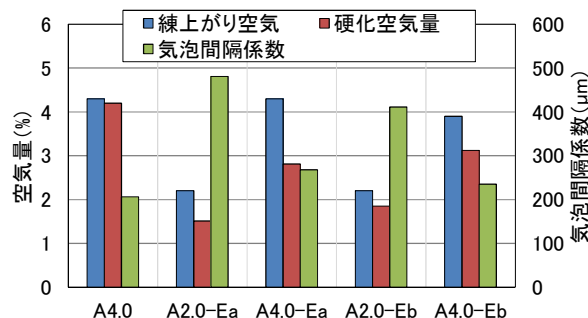


図-3 各空気量と気泡間隔係数

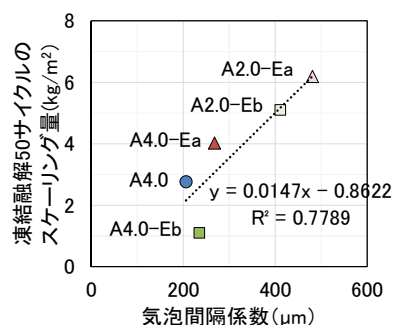


図-4 凍結融解 50 サイクル時のスケーリング量と気泡間隔係数の関係