

各種結合材を用いたコンクリートのスケーリング抵抗性

(独) 土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○吉田 行 正会員 田口 史雄
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 名和 豊春
 日鐵セメント株式会社 正会員 渡辺 宏

1. はじめに

凍結融解作用によりコンクリート表面がフレーク状にはく離するスケーリング劣化は、美観を損ねるだけでなくコンクリートの耐久性を低下させる。さらに、スケーリング劣化は、塩化物系凍結防止剤などの塩分の存在により促進されることが知られている。このため、積雪寒冷地においては、スケーリング抵抗性の向上が極めて重要な課題となる。一方、著者らはこれまで、高耐久コンクリートの開発を目的として、高微粉末化したビーライト系セメントやその一部を高炉スラグ微粉末で置換したコンクリートについて種々の検討を行い、コンクリートの物性や耐久性の向上が可能であることを示してきた¹⁾。本研究では、これらの結合材を用いたコンクリートのスケーリング抑制効果について検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

セメントは、一般的なビーライト系セメント（低熱ポルトランドセメント：比表面積 $3170\text{cm}^2/\text{g}$ 、以下 B3 と記述）と、これを粉砕器で微粉末化した改質ビーライト系セメント（比表面積 $6410\text{cm}^2/\text{g}$ 、以下 B6 と記述）、普通ポルトランドセメント（比表面積 $3270\text{cm}^2/\text{g}$ 、以下 OPC と記述）および高炉 B 種セメント（比表面積 $4280\text{cm}^2/\text{g}$ 、以下 BB と記述）を用いた。高炉スラグ微粉末（以下スラグと記述）は、比表面積 $6090\text{cm}^2/\text{g}$ （以下 S6 と記述）のものを用いた。細骨材は登別産陸砂（密度 $2.69\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率 1.52%）、粗骨材は白老産砕石（密度 $2.66\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率 1.91%）を用い、混和剤は、高性能 AE 減水剤（末端スルホン基を有するポリカルボン酸系）と空気量調整剤として消泡剤（ポリエーテル系）を用いた。コンクリートの配合を表-1 に示す。コンクリートの目標スランプおよび空気量はそれぞれ $8\pm 1\text{cm}$ 、 $4.5\pm 1\%$ とした。また、結合材の違いによる影響を検討するため、水結合材比 (W/B) は 40% の 1 水準とし、スラグ置換率は 40 および 60% の 2 水準として B6 の一部を置換した。

2. 2 実験項目および実験方法

スケーリング試験は ASTM C672 に準拠し、 -18°C を 16 時間、 23°C を 8 時間の 1 日 1 サイクルで凍結融解作用を与えた。供試体は、現場での養生条件を考慮して材齢 7 日までは 20°C 環境で湿布養生を行い、その後材齢 28 日まで湿度 60%、温度 20°C の環境で気中養生を行い試験に供した。試験溶液には、塩害との複合劣化を想定して、3% NaCl 水溶液を使用し、試験は長期耐久性を考慮して 300 サイクルまで行った。また、細孔構造とスケーリングの関係を調べるために、水銀圧入法による細孔径分布測定を行った。測定用試料は、供試体内部からコンクリートカッターで切り出したもの (5mm 角) を用いた。細孔容積は、硬化セメントペースト容積あたりの空隙率で表記した。なお、細孔組織の評価には、別途検討を行っている試験との関係上、水中養生材齢 7 日と 28 日の試料を用いた。

3. 実験結果および考察

3. 1 スケーリング試験結果

図-1 にスケーリング試験結果を示す。50 サイクル程度までは、OPC と B6 および B3 のスケーリング量は同程度であったが、その後サイクル数の経過とともに差が生じ、B6 と OPC は共にスケーリングが増大し、最終的に B3

表-1 配合

セメントの種類	スラグ比表面積 (cm^2/g)	スラグ置換率 (%)	W/B (%)	空気量 (%)	高性能 AE 減水剤 (C*) (%)	s/a (%)	コンクリート単位量 (Kg/m^3)				
							W	B	S	G	消泡剤 (C*) (%)
B6	-	-	40	4.5	0.70	46	125	313	908	1062	0.0013
B3	-	-			0.60		134	335	890	1041	0.0012
BB	-	-			0.70		136	340	876	1025	0.0002
OPC	-	-			0.65		138	345	876	1025	0.0006
B6	6000	40			0.70		120	300	914	1069	0.0003
		60	0.70	120	300	912	1067	-			

3. 実験結果および考察

3. 1 スケーリング試験結果

図-1 にスケーリング試験結果を示す。50 サイクル程度までは、OPC と B6 および B3 のスケーリング量は同程度であったが、その後サイクル数の経過とともに差が生じ、B6 と OPC は共にスケーリングが増大し、最終的に B3

キーワード ビーライト系セメント、高炉スラグ微粉末、スケーリング抵抗性、細孔構造

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-3 4 寒地土木研究所 耐寒材料チーム TEL: 011-841-1719

の倍程度となった。また、BB はサイクル初期よりスケーリングが大きく、最終スケーリング量が最も多かった。一方、B6の一部をスラグで置換した B6+S6 は、置換率の違いによる差は小さく、15 サイクル以降スケーリングはほぼ横ばいとなり大きく抑制された。

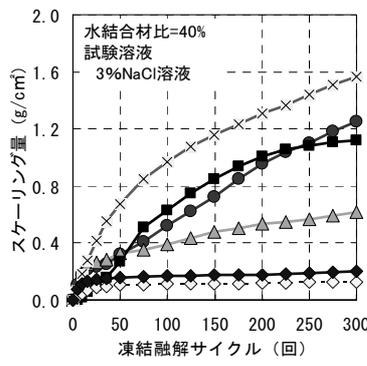


図-1 スケーリング試験結果

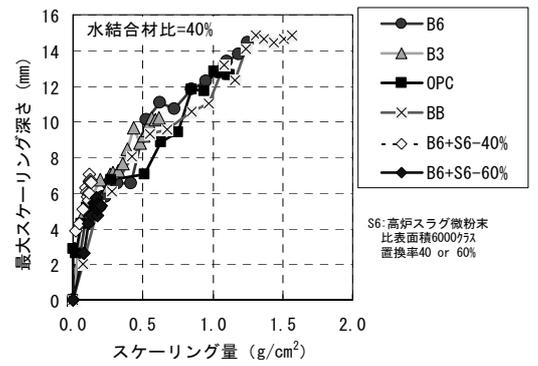


図-2 スケーリング量と最大深さの関係

にスケーリング量と最大スケーリング深さの関係を示す。なお、最大スケーリング深さは、はく離が大きい箇所を目視で5点選定し、それらの内の最大値とした。両者の相関は高く、スケーリング量が多いほど最大スケーリング深さは大きくなる傾向がみられた。

3. 2 細孔構造とスケーリング量の関係

スケーリングはコンクリート表層における劣化現象であり、コンクリート表層の細孔組織と相関が高いと考えられる。また、供試体は材齢7日以降一定の環境で気中養生を行っていることから、表層の組織構造は、連続的に28日間水中養生を行ったものよりも水和は進行していないと考えられる。一方、本研究では、水中養生材齢7日と28日のコンクリート内部の試料を用いて細孔径分布測定を行っていることから、何れの材齢の細孔と相関が

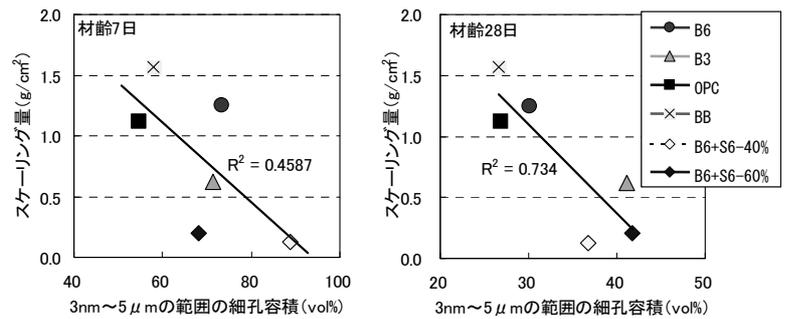


図-3 スケーリング量と総細孔容積の関係

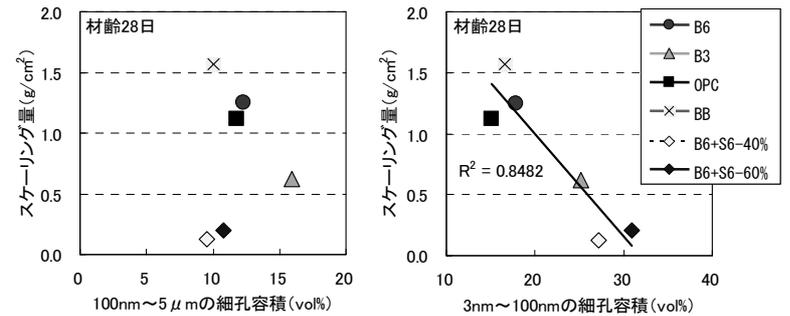


図-4 スケーリング量と100nm前後の細孔容積の関係

高いかを調べた。図-3にそれぞれの材齢における総細孔容積（3nm～5µmの範囲）とスケーリング量の関係を示す。図から材齢28日の細孔と相関が高いことがわかった。また、細孔容積が多いほどスケーリング量が少なくなる傾向がみられた。一般的には細孔容積が多いほど凍結水量が多くなりスケーリングは進行するものと考えられるが、それとは逆の傾向を示したため、細孔構造についてさらに検討を行った。図は省略したが、材齢28日の細孔径分布の特徴として、細孔径100nmの前後に細孔容積のピークがみられたことから、100nm以下と100nmより大きい細孔領域に分けてスケーリング量と細孔容積の関係を調べた。図-4にそれらの細孔容積とスケーリング量の関係を示す。100nmより大きい領域の細孔は、何れの配合も大きな差は無く、スケーリング量との相関はみられなかった。一方、100nm以下の細孔とスケーリングは相関が高く、この領域の細孔容積が多いほどスケーリングは抑制される結果となった。これらのメカニズムについては、気中養生に伴う凍結水量の影響（再吸水の影響）、養生の影響を加味した実際のコンクリート表層部の細孔組織およびコンクリート強度などが複雑に影響しているものと考えられる。

4. まとめ

結合材の種類によりスケーリング特性は異なり、高炉スラグ微粉末の混入によりスケーリングが抑制されることが明らかとなった。これらのメカニズムについては、今後さらに詳細な検討が必要である。

参考文献

1)例えば、吉田行，田口史雄，名和豊春，渡辺宏：改質ビーライト系セメントおよび高炉スラグ微粉末を用いた高流動コンクリートの諸性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，No.1，pp.1051-1056，2005