

コンクリートのスケーリング抵抗性に及ぼす高炉スラグ微粉末の影響

前橋工科大学工学部 社会環境工学科 正会員 佐川 孝広

1. はじめに

積雪寒冷地域では、縁石や地覆等の道路付帯構造物に凍結防止剤の散布が行われており、コンクリートが凍結融解作用を受けてスケーリングする劣化現象が顕在化している。しかしながら、コンクリートのスケーリング劣化に関しては、その劣化メカニズムは十分明らかでなく、劣化対策の手法も確立されていないのが現状である。

本研究では、スケーリング劣化に対する抵抗性を高める方策として高炉スラグ微粉末(以下、スラグ)の活用に着目した。スラグの混和により、コンクリートのスケーリング量は増加する場合と減少する場合の双方が報告されており^{1,2)}、コンクリートのスケーリングに対する抵抗性は、蒸気養生を含めた養生条件、スラグの粉末度や置換率の影響、水セメント比等の配合条件などが複合的に影響することが考えられる。そこで本研究では、蒸気養生が行われるコンクリート製品を想定し、モルタルおよびコンクリートの強度発現とスケーリング劣化に及ぼすスラグ粉末度と置換率の影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 モルタル試験

本研究では、結合材には普通ポルトランドセメント(OPC)、高炉スラグ微粉末(BFS)4000 および 6000(いずれも SO_3 2%)を用い、モルタルの作製には5号珪砂を用いた。モルタルの結合材は、OPC 単独をN、BFS4000 または BFS6000 を25%、45%、65%置換したものをそれぞれ高炉セメントA種(BA)、B種(BB)、C種(BC)とし、表1に示す略記号にて表記した。モルタルの配合は、水結合材比を50%、5号珪砂を細骨材比2で用いた。モルタル作製後の養生条件は、圧縮強度、凍結融解試験共通とし、蒸気養生を想定した初期に高温履歴を与えた封緘養生とした。養生温度の履歴は、前置き時間を2時間、65℃への昇温時間を3時間、最高温度保持時間を4時間、20℃への降温時間を15時間とした。24時間の経過後は、20℃一定とした。圧縮強度試験は $\phi 5 \times 10$ cmのモルタルを作製して行った。測定材齢は1, 3, 7および28日とした。

凍結融解試験は、モルタル小型試験体を用いて行った。既往の研究にて、小片試験体を用いたソルトスケーリングの試験方法が提案されており³⁾、本研究では、これを参考に15 cm³のスチロール棒瓶にモルタルを成型した。試験体は材齢28日にて脱型後、ブリーディングの影響を抑制するために試験体上部5 mm程度を切断した。切断後の試験体は3%のNaCl溶液に24時間浸漬させた後に表乾質量を測定し、凍結融解試験を行った。

凍結融解作用は24時間を1サイクルとし、凍結温度-20℃で8時間、融解温度+20℃で16時間とした。所定の凍結融解サイクル終了毎に試験体の表乾質量を測定し、試験開始時の表乾質量を100%とした質量残存率として評価した。

2.2 コンクリート試験

表1に示すN、BA4、BB4の3配合のコンクリートを作製した。コンクリートの配合を表2に示す。なお、作製したコンクリートの空気量は、N、BA4、BB4でそれぞれ3.0%、2.9%、3.2%となった。コンクリートの養生は、コンクリート製品工場内の蒸気養生施設にて行った。蒸気養生中の槽内の温湿度をデータロガーにて測定した結果、最高温度は46℃程度であった。上記の配合および養生にて $\phi 10 \times 20$ cmおよび $10 \times 10 \times 20$ cmのコンクリート試験体を作製した。蒸気養生後の試験体は20℃の封緘養生とし、圧縮強度の測定材齢は3, 7および28日とした。

凍結融解試験は、RILEM CDF法により行った。試験面は試験体の底面とした。

3. 実験結果および考察

表3にモルタル圧縮強度およびNと比較した強度比をそれぞれ示す。初期の高温履歴下では、スラグの混和が圧縮強度へ及ぼす影響は小さく、材齢3, 7

表1 結合材の組成

Symbol	Composition(%)		
	OPC	BFS4000	BFS6000
N	100	-	-
BA4	75	25	-
BB4	55	45	-
BC4	35	65	-
BA6	75	-	25
BB6	55	-	45
BC6	35	-	65

キーワード 凍結融解, スケーリング, 圧縮強度, 高炉スラグ微粉末

連絡先 〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460-1 email: sagawa@maebashi-it.ac.jp

表2 コンクリートの配合

配合種類	設計強度 (N/mm ²)	配合強度 (N/mm ²)	SL (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)					
							C	BFS	W	S	G	Ad
N	27	33.9	10	4.5	50	43.5	350	-	175	768	994	3.5
BA4							263	88		766	991	
BB4							193	158		763	988	

表3 モルタル圧縮強度および強度比

	Compressive strength (N/mm ²)							Ratio of compressive strength (%)						
	N	BA4	BB4	BC4	BA6	BB6	BC6	N	BA4	BB4	BC4	BA6	BB6	BC6
1d	26.2	21.9	20.7	20.1	24.1	23.5	20.1	100	84	79	77	92	90	77
3d	28.9	24.4	22.9	22.1	25.6	26.9	25.1	100	84	79	76	89	93	87
7d	29.9	24.4	25.7	25.5	29.5	30.4	29.5	100	82	86	85	99	102	99
28d	38.0	36.1	31.9	29.4	36.9	34.9	30.6	100	95	84	77	97	92	81

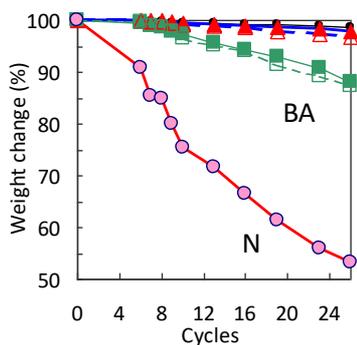


図1 モルタル質量変化率

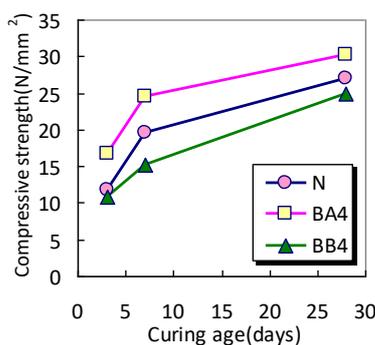


図2 コンクリート圧縮強度

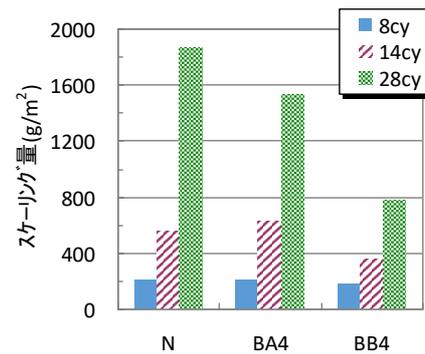


図3 コンクリートスケーリング量

日での高炉セメントの圧縮強度は概ね N の 80 % 程度以上の強度比を示した。一方で長期強度は停滞し、スラグ置換率が増すほど材齢 28 日強度の停滞が認められた。

図1にはモルタル凍結融解試験結果を示す。モルタルの質量変化はNで著しく大きく、一方で高炉セメントの質量残存率はNと比較すると高く、高炉セメントはスラグ置換率や粉末度を問わず、塩分環境下で高い耐凍害性を有しているといえる。また、スラグ置換率が高いほど質量残存率も高くなり、粉末度 4000, 6000 の質量残存率の差異は小さかった。塩分環境下でのスケーリング抵抗性は、スラグ粉末度よりも置換率の影響が大きいといえる。

図2には、コンクリート圧縮強度試験結果を示す。モルタルの結果とはやや傾向が異なり、高炉セメントA種(BA4)の強度がNを上回った。この原因は明らかでないが、何らかの原因でNの圧縮強度がやや低くなったと考えられる。

図3には、CDF 試験結果を示す。Nに対するBA、BBのスケーリング量はそれぞれ82.2%、41.7%であり、高炉スラグの混和によりスケーリング抵抗性は改善された。しかし、コンクリートの外観上では大きな差異はなく、スケーリング深さは改善されたものの、スケーリング現象そのものを完全に抑制するまでには至らなかった。

4. まとめ

- ・小型試験体を用いたモルタルの凍結融解試験の結果、高炉スラグ微粉末の混和によりスケーリング抵抗性は改善された。
- ・コンクリートでも同様に、高炉スラグ微粉末の混和によりスケーリング抵抗性は改善されたが、外観上では大きな差異はなく、スケーリング深さは改善されたものの、スケーリング現象そのものを完全に抑制するまでには至らなかった。

謝辞：本研究は、前橋工科大卒論生 金子翔一氏にご助力頂きました。記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 壇康弘, 吉富泰一, 小林和夫:コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.1, pp.73-78, 2001
- 2) 楠貞則, 池翰相, 添田政司, 大和竹史:コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.237-242, 2007
- 3) 小山田哲也, 羽原俊祐, 高橋拓真, 高橋俊介:コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.935-940, 2011