

高炉セメントコンクリートのスケーリングに及ぼす水セメント比とバサルト繊維の影響

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。既報¹⁾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結果、モルタルのスケーリング量に及ぼすスラグ粉末度の影響は小さく、スラグ置換率が高いほどスケーリング量は低減された。本研究では、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水セメント比および無機短繊維であるバサルト繊維混和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、結合材に普通セメント(OPC)、高炉スラグ微粉末 4000(BFS)(SO₃ 2 %)を用い、モルタルの作製には細骨材比 2 で 5 号珪砂を用いた。モルタルの結合材は、OPC 単独を N, BFS を 25 %, 45 % 置換したものをそれぞれ高炉セメント A 種(BA), B 種(BB), 水セメントは 50 % および 40 % とした。バサルト繊維(BF)は繊維径 17 μm, 繊維長 6 mm のチョップドタイプを使用し、添加率は結合材質量の 0.5 % とした。以上を表 1 に示す略記号にて表記した。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、前置時間を 2 時間、45 °C への昇温時間を 3 時間、最高温度保持時間を 4 時間、20 °C への降温時間を 15 時間とした。24 時間の経過後は、20 °C 一定とした。圧縮強度試験は φ5×10 cm の試験体を用い、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²⁾、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 程度を切断除去した。試験体は 3 % の NaCl 水溶液に 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 °C で 16 時間、融解温度 +20 °C で 8 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 N4, BB4, BB4-BF 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。BF の添加率は結合材質量の 1.0 % とした。なお、作製したコンクリートの空気量は、N4, BB4, BB4-BF でそれぞれ 2.4 %, 1.8 %, 2.6 % 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 50 °C 程度であった。上記の配合および養生にて φ10×20 cm および 10×10×20 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 °C 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を示す。いずれの水セメント比ともに、BA, BB とス

表 1 結合材の組成

Symbol	W/C (%)	Composition(%)	
		OPC	BFS
N5	50	100	-
BA5		75	25
BB5		55	45
BB5-BF			
N4	40	100	-
BA4		75	25
BB4		55	45
BB4-BF			

キーワード スケーリング, 圧縮強度, 高炉スラグ微粉末, 水セメント比, バサルト繊維

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	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)					
			C	BFS	W	S	G	Ad
N4	40	41.5	438	-	175	702	986	4.38
BB4, BB4-BF			241	197	175	697	978	4.38

表3 モルタル圧縮強度

Symbol	Compressive strength(N/mm ²)			
	1d	3d	7d	28d
N5	20.3	27.2	34.5	40.6
BA5	16.3	23.3	32.5	46.3
BB5	13.0	19.5	27.3	42.5
BB5-BF	12.5	18.3	25.4	37.9
N4	27.9	35.2	40.6	48.7
BA4	22.6	29.2	37.7	50.0
BB4	17.9	24.0	33.1	47.4
BB4-BF	15.5	22.8	28.6	38.3

ラグ置換率が増すほど初期の強度は低下した。BFの添加により強度はやや低下する傾向にあるが、繊維の混和による空気巻き込みの影響と考えられる。

図1にはモルタル凍結融解試験結果を示す。W/C 50%では、モルタルの質量変化はN5で著しく大きく、BA5, BB5とスラグ置換率が増すほどスケリングは抑制された。また、BFの混和でもスケリングは抑制された。W/C 40%では、W/C 50%と比較すると全般に水セメント比の低減によりスケリングは抑制され、さらにBFSの混和によりスケリング抵抗性は向上した。

表4にはコンクリート圧縮強度を示す。モルタル試験で認められたBFの添加による強度の低下は認められなかった。

図2には、CDF試験結果を既報¹⁾の結果と併せて示す。モルタル凍結融解試験での結果と同様に、水セメント比の低減、BFSおよびBFの混和によりスケリング量は減少した。これは、細孔構造の緻密化による凍結温度の低下と凍結水量の減少によるものと推測される³⁾。さらに、BFの影響については、既往の研究では、ポリプロピレン、ビニロン等の有機短繊維の架橋効果によりコンクリートのスケリング量は抑制されることが報告されているが^{4,5)}、本研究で用いたバサルト繊維についても、同様な効果を有していると考えられる。

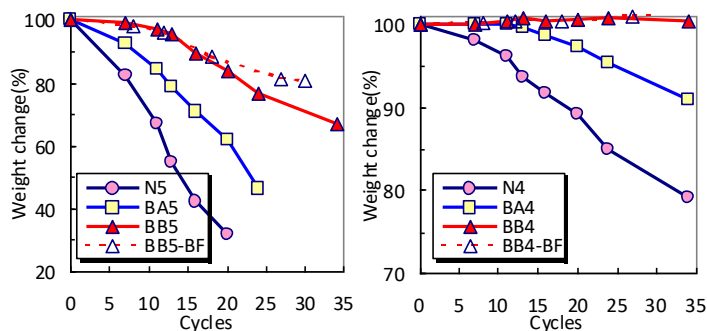
4. まとめ

- ・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および水セメント比の低減によりスケリング量は減少した。
- ・コンクリートでも同様に、高炉スラグ微粉末の混和および水セメント比の低減によりスケリング抵抗性は改善された。さらに、バサルト繊維の混和によりスケリング量は減少し、外観上からもスケリング抵抗性は大きく改善された。

謝辞：本研究は、前橋工科大学卒論生 澤田和希氏にご助力頂きました。バサルト繊維は、新日本繊維(株) 横山光紀氏により提供頂きました。記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 佐川孝広：土木学会第72回年次学術講演会，pp.965-966，2017
- 2) 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
- 3) 桂修，吉野利幸，鎌田英治：コンクリート工学論文集，Vol.7，No.1，pp.57-66，1996
- 4) 吉田行，田口史雄，山崎勲：北海道開発土木研究所月報，No.608，pp.10-17，2004
- 5) 長谷川諒：室蘭工業大学博士論文，2018



(a) W/C 50 %

(b) W/C 40 %

図1 モルタル凍結融解試験結果

表4 コンクリート圧縮強度

Symbol	Compressive strength(N/mm ²)		
	3d	7d	28d
N4	25.7	33.5	36.9
BB4	20.2	26.6	32.9
BB4-BF	20.4	26.6	32.7

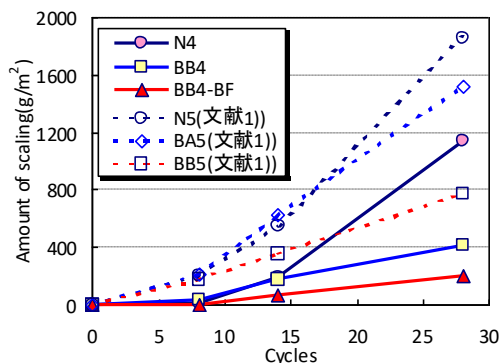


図2 CDF 試験結果