

有機短繊維と高炉スラグ微粉末がコンクリートの耐凍害性に及ぼす影響

Effect on freeze-thaw resistance of concrete by using organic short-fiber and granulated blast-furnace slag fine powder

北見工業大学大学院工学研究科 ○学生員 森将 (Sho Mori)
北見工業大学工学部社会環境工学科 正 員 井上真澄 (Masumi Inoue)
北見工業大学技術部 正 員 岡田包儀 (Kaneyoshi Okada)

1. はじめに

寒冷地のコンクリート構造物は、凍害単独および凍害と塩害との複合劣化の被害を受けやすい非常に厳しい環境下に曝されている。そのためコンクリート自体には高い耐久性が求められる。

コンクリートの品質を向上させる手段の1つとして、短繊維の利用が挙げられる。最近では、従来主流であった鋼繊維に比べて密度が小さく軽量でコンクリートに混入した際に流動性への影響が少ない、施工性に優れた有機短繊維が注目されており、これを混入したコンクリートに関する研究が数多く進められている^{1)~4)}。例えば、各種の有機短繊維の少量混入(0.06~0.2%程度)することによりコンクリートの剥落防止効果が得られること¹⁾や、コンクリートの収縮ひび割れの抑制効果があること²⁾が明らかにされている。しかし、有機短繊維がコンクリートの耐凍害性に及ぼす影響については未だ不明な点が多い。

一方、コンクリートは、高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等の産業廃棄物を混和材として使用し、廃棄物の削減に以前から大きく貢献してきたが、資源の保全、エネルギーとCO₂の削減や廃棄物の削減が必要な時代を迎え、産業副産物からなる混和材を積極利用していくことが一層強く求められている。既報告では、比表面積の大きい高炉スラグ微粉末を使用した場合にコンクリートの耐凍害性に対して良好な結果^{5),6)}が報告されており、寒冷地環境下におけるコンクリートへの利用拡大が期待される。

そこで本研究では、有機短繊維と高炉スラグ微粉末がコンクリートの耐凍害性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。有機短繊維と高炉スラグ微粉末をそれぞれ単独および併用したコンクリート供試体を作製し、その凍結融解抵抗性について実験的検討を行った。

2. 使用材料及び試験方法

2.1 使用材料

有機短繊維はビニロン繊維（繊維長：12mm、径：40μm、密度：1.30g/mm³、標準混入率：0.075vol%、記号：PVA）を使用した。セメントは普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm³、記号：C）を使用し、混和材として高炉スラグ微粉末 6000（密度：2.89g/cm³、比表面積：6000cm²/g、記号：BS）使用した。粗骨材には、北見産砕石（表乾密度：2.88g/cm³、吸水率：1.30%、F.M.：6.36、記号：G）、細骨材は幕別町産陸砂（表乾密度：2.61g/cm³、吸水率：1.69%、F.M.：2.54、記号：S）を使用した。混和剤には高性能減水剤（主成分：スルホン化メラミン縮合物）、AE 剤（主成分：天然樹脂酸塩）を使用した。

2.2 コンクリートの配合

表 1 にコンクリートの配合を示す。配合条件は、水結合材比 55%、細骨材率 41.1%、単位水量を 173kg/m³の一定とし、繊維は外割で混入（体積比）した。繊維の混入率はコンクリートの剥落防止や収縮ひび割れ抑制を目的として使用する場合の混入率を想定し 0.075%、0.15%、0.2%の 3 水準とした。高炉スラグ微粉末の置換率はセメントの内割で 60%とした。目標スランプ値は 8.0±2.0cm、目標空気量は 5.0±0.5%とした。

2.3 練混ぜおよび供試体作製方法

練混ぜにはパン型強制練りミキサーを用いた。コンクリートの練混ぜ方法は、細骨材、粗骨材を加えて30秒間の空練りの後、セメント、水、混和材料を加えて90秒間練り混ぜた。さらに、繊維を混入する配合の場合は、PVA を混入して 120 秒間練混ぜた。

供試体の作製は打設後、恒温恒湿室（20±1℃、85±5%RH）で 1 日保管した。その後、脱型を行い、材齢 28

表 1 配合とフレッシュ性状および強度試験結果

配合名	繊維 混入率 (%)	W/ (C+BS) (%)	BS 置換率 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					高性能 減水剤 (C×%)	AE 剤 (C×%)	スラ ンプ (cm)	空気量 (%)	圧縮 強度 (N/mm ²)	静弾性 係数 (kN/mm ²)
					W	C	BS	S	G						
N	—	55	—	41.1	173	315	—	732	1158	—	0.025	6.0	5.2	38.6	31.8
N-0.075	0.075									0.4	0.03	6.5	4.8	37.2	29.5
N-0.15	0.15									0.7	0.025	6.5	4.6	36.8	31.6
N-0.2	0.2									1.0	0.025	6.0	5.2	44.2	32.7
BS-N	—	60	60	41.1	173	126	189	721	1140	—	0.038	7.5	4.8	32.8	28.8
BS-0.075	0.075									0.7	0.035	6.5	5.0	35.8	30.4
BS-0.2	0.2									1.2	0.04	9.0	4.7	44.1	33.2

日まで標準水中養生($20 \pm 1^\circ\text{C}$)を行った。

2.4 試験方法

(1) フレッシュ試験

スランブは、JIS A 1101「コンクリートのスランブ試験方法」、空気量は JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法—空気室圧力方法」に準拠して測定した。

(2) 圧縮強度試験および静弾性係数試験

圧縮強度は JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に、静弾性係数は JIS A 1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」に準拠して行った。各試験とも供試体は $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱供試体を用いた。

(3) 凍結融解試験

JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」にお

ける水中凍結融解試験方法 (A 法) に準拠して行った。 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱供試体を用い、材齢 28 日まで水中養生を行った後、淡水および海水を試験水として凍結融解試験を開始した。

3. 試験結果

3.1 凍結融解試験結果

(1) 相対動弾性係数

図 1 に凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の関係を示す。試験水として淡水を使用した場合、試験終了時における相対動弾性係数は全配合 95%以上であり、全繊維混入率および高炉スラグ微粉末置換の有無に関わらず極めて良好な耐凍害性を示した。一方、試験水として海水を使用した場合、試験終了時の相対動弾性係数は $N=87.6\%$ 、 $N-0.075=90.2\%$ 、 $N-0.2=88.3\%$ 、 $BS-N=96.8\%$ 、

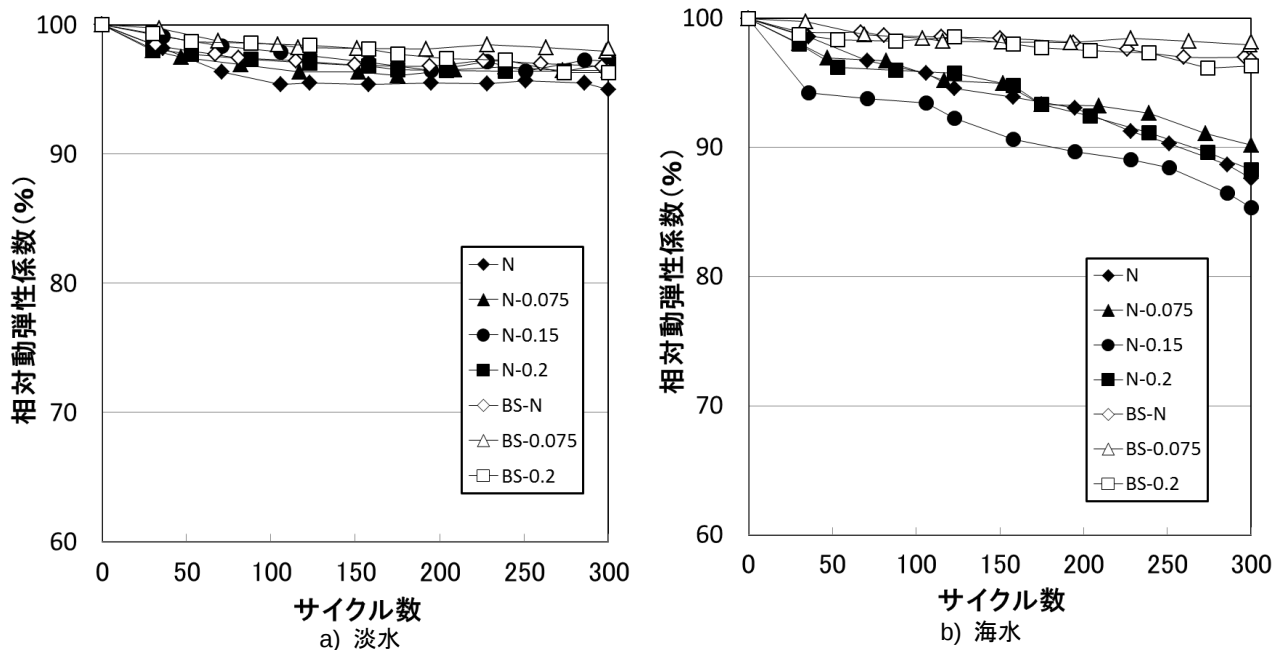


図 1 凍結融解試験結果 (相対動弾性係数)

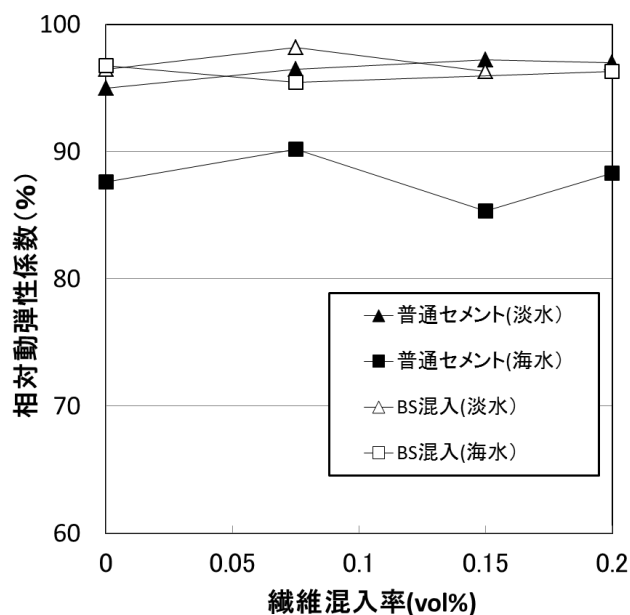


図 2 凍結融解 300 サイクル時の相対動弾性係数

BS-0.075=95.4%、BS-0.2=96.3%であり、淡水と比較すると全体的に相対動弾性係数は低下する傾向が見られた。しかし、いずれの配合においても85%以上の相対動弾性係数を示しており耐凍害性は良好と判断される。

図2に凍結融解300サイクル時の相対動弾性係数と繊維混入率との関係を示す。高炉スラグ微粉末混入の有無、繊維混入率の違いによる影響は、淡水の場合には明確な差異は認められない。しかし、海水の場合においては、高炉スラグ微粉末を置換した配合において相対動弾性係数が増加した。同一繊維混入率で比較すると、BS-Nが+9.2ポイント、BS-0.075が+5.7ポイント、BS-0.2が+8.0ポイント高くなっており、高炉スラグ微粉末による耐凍害性の改善効果が認められたと考えられる。一方、繊維混入率による影響には明確な傾向はみられず、相対動弾性係数に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

(2) 質量減少率とスケーリング

図3に凍結融解サイクル数と質量減少率の関係を、図4に凍結融解300サイクル時の質量減少率と繊維混入率の関係を示す。また、供試体の外観の一例として、N、N-0.2、BS-N、BS-0.2の海水時の試験終了時の供試体の外観を写真1に示す。淡水時の凍結融解試験終了時の質量減少率は、N=0.98%、N-0.075=1.24%、N-0.2=0.67%、BS-N=0.62%、BS-0.075=0.60%、BS-0.2=0.07%であり、高炉スラグ微粉末の有無に関わらず繊維混入率の増加に伴い低下する傾向にある。一方、海水時の質量減少率は、N=4.48%、N-0.075=4.10%、N-0.2=3.60%、BS-N=4.40%、BS-0.075=4.57%、BS-0.2=1.84%であり、繊維混入率の増加に伴い質量減少率が低下する傾向が認められた。特に高炉スラグ微粉末を併用しているBS-0.2の配合において、質量減少率が低

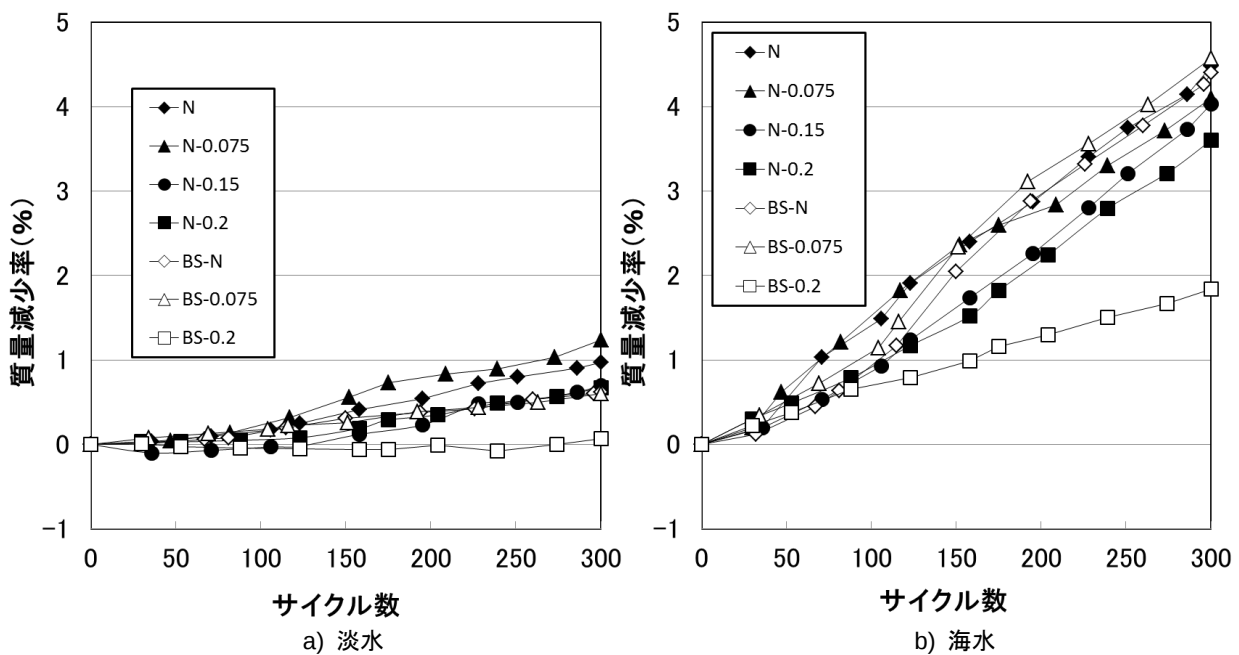


図3 凍結融解試験結果（質量減少率）

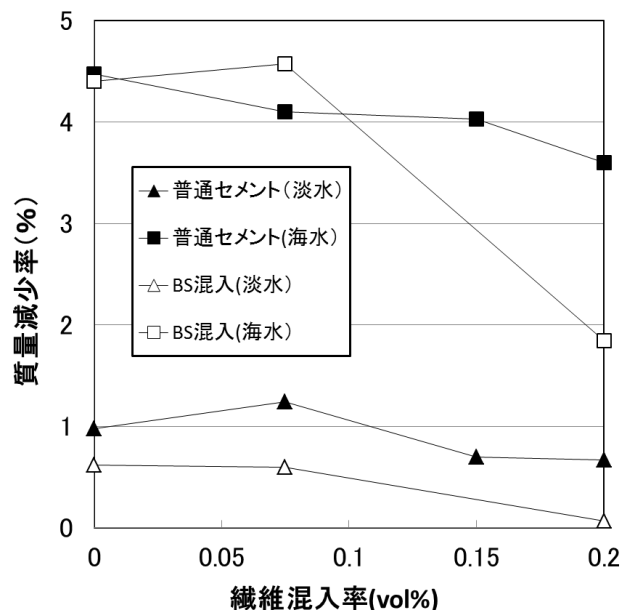


図4 凍結融解300サイクル時の質量減少率



a) N (海水)



b) N-0.2 (海水)



c) BS-N (海水)



d) BS-0.2 (海水)

写真 1 凍結融解試験終了時供試体外観(N、N-0.2、BS-N、BS-0.2)

くなる傾向が明確に確認される。供試体の外観を観察したところ、BS-0.2 供試体は他の供試体と同様に供試体全面にスケーリングが生じているが、他の配合の供試体と比較すると、スケーリング深さが比較的浅かいことが確認された。以上のことにより、試験水に海水を使用してより厳しい凍結融解作用を与えた場合、繊維混入率をある一定量添加して、高炉スラグ微粉末 6000 と併用することにより、コンクリートのスケーリング抑制に効果があると考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 有機短繊維および高炉スラグ微粉末を単独使用または併用したコンクリートの 300 サイクル凍結融解試験終了時の相対動弾性係数は、普通コンクリートと同等以上である。
- 2) 試験水に海水を用いた場合、高炉スラグ微粉末 6000 を導入したコンクリートでは無混入の場合と比較して相対動弾性係数の改善が見られた。
- 3) 凍結融解試験終了時におけるコンクリートの質量減少率は、繊維混入率の増加に伴い低下する傾向が認められた。
- 4) 試験水に海水を用いた場合、繊維混入率を 0.2% として高炉スラグ微粉末 6000 を併用したコンクリートではスケーリングの抑制効果が確認された。

参考文献

- 1) 上田賢司、佐藤嘉昭、清原千鶴、広原寿竜：短繊維補強コンクリートの強度特性と乾燥収縮ひび割れ、コンクリート工学年次論文集、Vol.23、No.2、pp.211-216、2001
- 2) 細田暁、菅野貴浩、石橋忠良：合成短繊維添加によるコンクリート片の剥落対策、コンクリート工学年次論文集、Vol.25、No.1、pp.275-280、2003
- 3) 細田暁、高梨大介、高木亮一、我彦聡志：少量の合成短繊維による収縮ひび割れの抑制機構、コンクリート工学年次論文集、Vol.28、No.1、pp.299-304、2006
- 4) 黒野薫、佐藤嘉昭、大谷俊浩、濱永康仁：合成短繊維混入コンクリートの靱性評価に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.28、No.1、pp.419-424、2006
- 5) 吉田行、田口史雄、嶋田久俊：早強ポルトランドセメントと各種混和材を用いたコンクリートの物性と耐久性、寒地土木研究所月報、No659、4月号、2008
- 6) 近松竜一、山本泰彦、長合友造：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの耐凍害性、コンクリート工学年次論文集、Vol.11、No.1、pp.355-360、1989