

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月 28日現在

機関番号：10106
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2011～2012
課題番号：23760400
研究課題名（和文） 各種有機繊維と混和材を併用した寒冷地対応型コンクリートの開発
研究課題名（英文） Development of concrete in cold region by using organic short fiber and ground granulated blast furnace slag
研究代表者 井上 真澄（INOUE MASUMI） 北見工業大学・工学部・准教授 研究者番号：00388141

研究成果の概要（和文）：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、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。淡水による凍結融解作用下では、繊維混入率および高炉スラグ微粉末の有無が耐凍害性に及ぼす影響は小さく、極めて良好な耐凍害性を示した。一方、海水による作用下では、高炉スラグ微粉末を混入することで耐久性指数が大きくなる傾向を示した。また、併用した場合にはスケールリングが抑制されることがわかった。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to clarified the influence of organic short fiber and ground granulated blast furnace slag on frost damage resistance. Freezing and thawing tests of concrete by using organic short fiber and ground granulated blast furnace slag were examined. In the case of fresh water, the influences of fiber content and ground granulated blast furnace slag on frost damage resistance of concrete appear relatively small. Within the range of replacement ratio used in this study, the frost damage resistance was remarkably high. On the other hand, the durability factor of concrete increases with the replacement of ground granulated blast furnace slag in the case of sea water, and the scaling of concrete decreases by using organic fiber in combination with ground granulated blast furnace slag. However, the scaling increases remarkably in the case of large replacement ratio of fiber.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：コンクリート

1. 研究開始当初の背景

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。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や、コンクリートの収縮ひび割れの抑制効果があること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報告例が少なく、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。

2. 研究の目的

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て、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。

3. 研究の方法

(1) 使用材料

有機短繊維は、ビニロン繊維(繊維長:12mm、径:40 μ m、密度:1.30g/cm³、標準混入率:0.075vol%、略号:V)、ポリプロピレン繊維(繊維長さ:12mm、径:65 μ m、密度:0.91g/cm³、標準混入率:0.05%、略号:P)、ナイロン繊維(繊維長:12mm、径15 μ m、密度:1.16g/cm³、標準混入率:0.026%、略号:N)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:6200cm²/g、略号:BS)を使用した。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、略号: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、略号: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、略号:Ad1)、AE剤(主成分:天然樹脂酸塩、略号:Ad2)を使用した。

(2) コンクリートの配合

表1にコンクリートの配合条件を示す。配合条件は、繊維および混和材以外の因子がコンクリートの性質に及ぼす影響をできるだけ小さくするため、水結合材比W/(C+BS)=55%、細骨材率s/a=41.1%、単位水量をW=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、各繊維の標準混入率の

表1 コンクリートの配合条件

配合名	繊維		BS置換率(%)	水結合材比	細骨材率	単位水量
	種類	混入率(%)				
Normal	—	0	0	W/(C+BS)=55%	s/a=41.1%	W=173kg/m ³
BS	—	0	60			
P-0.05	P	0.05	0			
N-0.026	N	0.026	0			
V-0.075	V	0.075	0			
V-0.15	V	0.15	0			
V-0.2	V	0.2	0			
V-0.35	V	0.35	0			
V-0.075BS	V	0.075	60			
V-0.2BS	V	0.2	60			
V-0.35BS	V	0.35	60			

他に、0.15%、0.2%、0.35%とした。また、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 \pm 2.0cm、目標空気量は5.0 \pm 0.5%とし、配合試験から混和剤の添加量を決定した。

(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秒間練混ぜた。さらに、繊維を混入する配合の場合は、その後繊維を混入して120秒間練混ぜた。供試体の作製は打設後、恒温恒湿室(20 \pm 1 $^{\circ}$ C、85 \pm 5%RH)で1日保管した。その後、脱型を行い、材齢28日まで標準水中養生(20 \pm 1 $^{\circ}$ C)を行った。

(4) 試験項目および試験方法

スランプは、JIS A 1101「コンクリートのスランプ試験方法」、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。

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 ϕ 10 \times 20cmの円柱供試体を用いた。

凍結融解試験は、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 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。試験開始前および凍結融解の繰返し36サイクル以内に1回の間隔で、融解行程終了後に供試体の質量およびたわみ振動による一次共鳴振動数の測定を行った。

硬化コンクリートの気泡組織は、10 \times 10 \times 40 cm供試体を用い、打設面に対して垂直に2cmの厚さに切断し測定面を研磨し

た後、ASTM C 457 に準拠してリニアトラバース法により測定した。

4. 研究成果

(1) 繊維の種類がコンクリートの耐凍害性に及ぼす影響

ここでは、繊維の種類を比較要因とした。繊維の添加量は、剥落防止およびひび割れ抑制対策を対象として繊維毎に指定されている標準混入率とした。表 2 に凍結融解 300 サイクル終了時の相対動弾性係数(以下、耐久性指数)と質量減少率を示す。淡水の場合、耐久性指数はいずれのケースについても 95% 程度を示しており、耐凍害性は極めて良好であった。一方、海水の場合は、淡水の場合に比較すると全体的に相対動弾性係数は低下している。しかし、いずれのケースについても 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。繊維混入の有無および種類による影響は、淡水の場合には明確な差異はない。しかし、海水では、普通コンクリートと比較してV繊維使用時は+3.0ポイント、N繊維使用時は+2.5ポイント高くなっており、繊維の種類によっては僅かながら耐凍害性の改善傾向が認められた。

一方、質量減少率についても、繊維の有無や種類に関わらず同程度の値を示しており、スケーリングの性状にも明確な差異は観察されなかった。また、海水においても、V繊維およびN繊維使用時に質量減少率が若干低くなる傾向にはあるが、供試体表面の外観観察では明確な差異は観察されず、繊維混入の有無に関わらず概ね同様なスケーリング性状を示した。

表 2 耐久性指数と質量減少率

試験水	淡水		海水	
	耐久性指数 (%)	質量減少率 (%)	耐久性指数 (%)	質量減少率 (%)
Normal	94.4	-0.98	87.2	-4.48
P-0.05	94.0	-1.39	86.4	-4.99
N-0.026	96.8	-0.99	89.7	-4.35
V-0.075	96.5	-1.24	90.2	-4.10

(2) 繊維混入率および高炉スラグ微粉末がコンクリートの耐久性指数に及ぼす影響

(1) で検討した標準混入率においては、繊維の種類に関わらず耐凍害性は良好であり、普通コンクリートと同等の性能を有することがわかった。しかし、繊維を混入することによる耐凍害性の明確な向上を確認するには至っていない。これは、標準混入率は剥落防止やひび割れ抑制対策を想定しているため、混入率が少ないことに起因すると考えられる。そこで、ここでは繊維の混入率を標準混入率に対して2倍以上混入したコンクリート供試体の耐凍害性について検討を行った。使用する繊維は、(1)の結果から種類の影響

は小さいものと考え、ビニロン繊維(V)での検討とした。同時に、高炉スラグ微粉末との併用効果についても検討した。

図 1 および図 2 に耐久性指数と繊維混入率の関係を示す。淡水の場合では、高炉スラグ微粉末の混入の影響はほとんど観察されない。繊維混入率 0.35%時に耐久性指数の低下は見られるものの、その差は小さいものであり、繊維混入率が耐凍害性に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

海水の場合では、高炉スラグ微粉末の混入の有無で傾向が異なる。繊維混入率が 0.2%以下の範囲で同一繊維混入率の耐久性指数を比較すると、BS が+9.2ポイント、V-0.075BS が+5.7ポイント、V-0.2BS が+8.0ポイント高くなった。このように海水作用下では、高炉スラグ微粉末を混入した方が普通セメントのみを用いた場合に比較して耐久性指数が増加する傾向を示しており、高炉スラグ微粉末による耐凍害性の向上が図られたと考えられる。既往研究によると、高炉スラグ微粉末の混入によりコンクリートの耐凍害性が向上し、その比表面積が大きいほどその効果が大きいことが報告されている。本実験では、比表面積 6200cm²/g の高炉スラグ微粉末を用いており、高炉スラグ微粉末の混入によりコンクリート中の水和物の組織が緻密化したことで耐凍害性の向上につながったものと推察される。

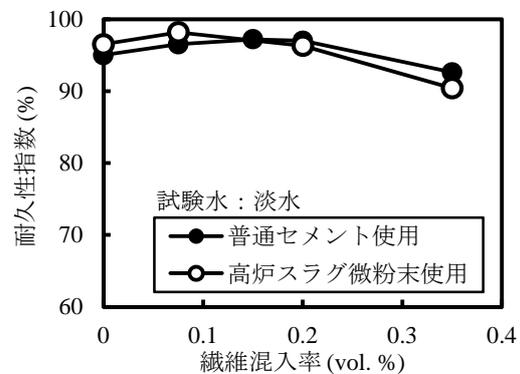


図 1 耐久性指数と繊維混入率の関係(淡水)

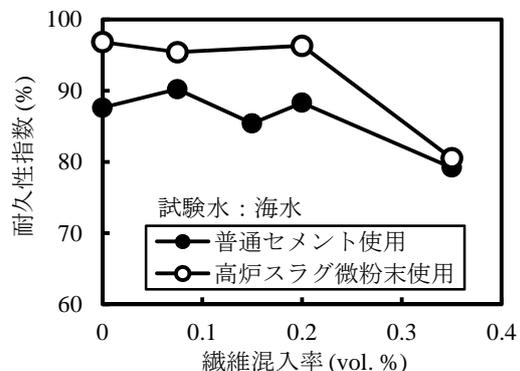


図 2 耐久性指数と繊維混入率の関係(海水)

なお、いずれのケースにおいても繊維混入率 0.35%の場合において凍結融解 300 サイクル終了時点の耐久性指数が低下する傾向を示したことから、繊維混入率 0.2%と 0.35%の配合を対象に硬化コンクリートの気泡間隔係数の測定を行った。その結果、高炉スラグ微粉末無混入の V-0.2 は 201 μm 、V-0.35 は 179 μm 、高炉スラグ微粉末混入の V-0.2BS は 200 μm 、V-0.35BS は 227 μm であった。いずれのケースも一般にコンクリートの耐凍害性確保に必要とされる 200~250 μm 以下の範囲にあること、また配合間の気泡間隔係数の差異も小さいものであり、気泡間隔係数がコンクリートの耐凍害性低下に与えた影響は小さいものと考えられる。この点については、凍結融解作用下でのスケーリング性状との関連も考えられることから、次節にて詳述する。

(3) 繊維混入率および高炉スラグ微粉末がコンクリートのスケーリングに及ぼす影響

図 3 および図 4 に質量減少率と凍結融解サイクル数の関係を示す。淡水を用いた場合、凍結融解 300 サイクル終了時の質量減少率は、繊維混入率に関わらずほぼ同程度であった。また、高炉スラグ微粉末を混入したケースの方が若干ではあるが質量減少率が小さくなる傾向を示した。

海水を用いた場合では、耐久性指数と同様

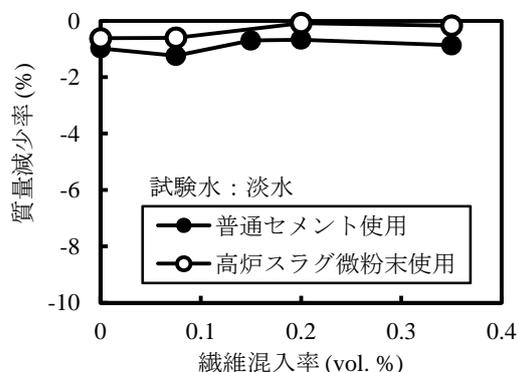


図 3 質量減少率と繊維混入率の関係(淡水)

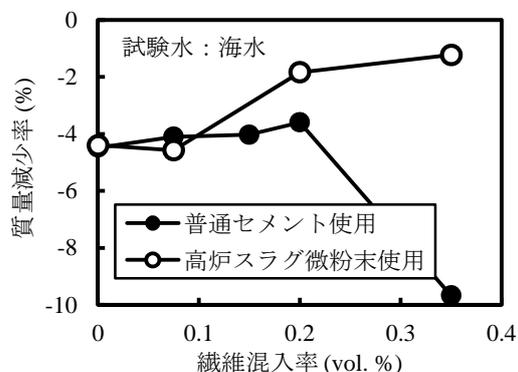


図 4 質量減少率と繊維混入率の関係(海水)

で高炉スラグ微粉末混入の有無により傾向が異なる。高炉スラグ微粉末を混入したケースでは、繊維混入率の増加に伴い質量減少率が明確に低下する傾向を示した。また、外観観察からも繊維無混入のコンクリートと比較してスケーリングの程度は軽微であった。これは、繊維の架橋効果により表層部のスケーリングが抑制されたことと、さらに高炉スラグ微粉末と併用したことでセメント水和物の組織が緻密化し、繊維とセメントマトリックスとの付着性が向上したことによって密実な組織が形成されたことに起因するものと推察される。

高炉スラグ微粉末無混入(Normal)のケースでは、繊維混入率 0.2%以下の範囲では若干ではあるが質量減少率は低下するものの、高炉スラグ微粉末混入時に比べるとその変化は小さなものである。逆に繊維混入率 0.35%では質量減少率が著しく大きな値を示した。この原因については現時点では定かでないが、繊維混入率 0.2%と 0.35%では、前述した硬化コンクリートの気泡間隔係数測定結果から気泡組織の影響によるものとは考えにくい。一方で、繊維混入率が多くなるとコンクリート中の空隙の連結性が増加し、海水による凍結融解作用下では塩化物イオンの拡散や透水性が増加したことによりスケーリングの進行を助長し、相対動弾性係数の低下にも影響を与えたのではないかと考えている。今後、繊維混入率を増加させたケースについて、コンクリートの透水性や塩化物イオンの浸透性の両面から詳細な検討が必要となる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

①森将、井上真澄、岡田包儀、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、土木学会北海道支部論文報告集、査読無、69 巻、2013、E-23

②森将、井上真澄、三上修一、猪狩平三郎、岡田包儀、有機短繊維を用いたコンクリートの耐凍害性評価に関する基礎的研究、土木学会北海道支部論文報告集、査読無、68 巻、2012、E-11

[学会発表] (計 1 件)

①森将、井上真澄、三上修一、岡田包儀、有機短繊維および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、土木学会第 67 回年次学術講演会、名古屋、2012. 9. 7

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 真澄 (INOUE MASUMI)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：00388141