

# 合成短繊維や高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートに関する研究

大阪支店 土木技術部 橋野哲郎  
大阪支店 土木技術部 河中涼一

## 1. はじめに

昨今、はく落防止対策として合成短繊維を添加した繊維補強コンクリートを採用する事例が増えているが、繊維補強コンクリートの凍結融解抵抗性に関する知見は多くないのが現状である。そこで本研究では、4種類の結合材を用いてポリプロピレン短繊維（以下、PP短繊維）を用いた繊維補強コンクリートを製造し、凍結融解抵抗性に与える結合材の種類、水結合材比および製造時期の影響と、増粘剤添加による凍結融解抵抗性の改善効果について検討を行った。

また、循環型社会構築の思想と相まって、高炉スラグ細骨材（以下、BFS）を用いたコンクリートに注目が集まっており、高速道路の拡幅改築工事に BFS コンクリートを初採用した事例が報告された。これは、既設橋に接合する新設桁のクリープ・乾燥収縮が BFS コンクリートの採用で低減されるためである。しかし、全国に点在する製鉄所から供給される BFS は、それぞれ特性が異なるため、本研究では、製造元および産地の異なる 5 種類の BFS を用いて、その性能について検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 PP短繊維を添加したコンクリートの凍結融解特性

結合材には、普通ポルトランドセメント（以下、OPC）、早強ポルトランドセメント（以下、HPC）、高炉セメント B 種（以下、BB）および高炉スラグ微粉末 6000（石こう添加有、以下、GGBS）を用いた。水結合材比を 50%としたコンクリートは室温が 10℃程度の冬季に、水結合材比を 34%としたコンクリートは室温が 25℃程度の夏季に作製した。GGBS を用いる場合には、質量比で結合材の 50%を置換した。PP短繊維は、写真-1に示す、長さが 30mm で繊度 2,000dt のものをコンクリートの体積に対して 0.5%を外割りで添加した。また、筆者らは、既往の研究で増粘剤添加による繊維補強コンクリートの凍結融解抵抗性改善効果について示した。本研究でも、凍結融解抵抗性改善のために増粘剤を添加する場合は、重量比で単位セメント量の 0.04%に相当する量を添加した。

### 2.2 BFSを用いたコンクリートの長さ変化特性

本研究では、特性の異なる 5 種類の BFS がコンクリートのクリープ・乾燥収縮に及ぼす影響について検討するために試験を行った。なお、比較のために硬質砂岩砕砂（以下、CS）を用いたコンクリートも用いた。使用した BFS-A～E の JIS A5011-1 の粒度による区分を表-1 に、写真-2 に BFS-A の外

表-1 使用した BFS の JIS 区分

記載名	BFS-A	BFS-B	BFS-C	BFS-D	BFS-E
JIS区分	BFS5	BFS1.2	BFS2.5	BFS1.2	BFS5-0.3
吸水率	2.77	1.98	2.35	2.28	3.15

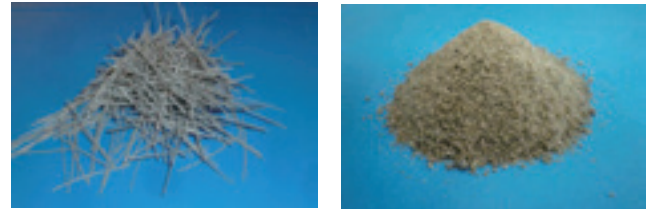


写真-1 PP短繊維 写真-2 高炉スラグ細骨材(BFS)

観を示す。BFSを用いた配合では、細骨材の全量に BFS を用いた。水セメント比は、プレストレストコンクリートのプレキャスト製品に用いるコンクリートを想定して 36%に設定した。セメントには早強ポルトランドセメントを、化学混和剤には、増粘剤一液タイプ高性能 AE 減水剤および AE 助剤を用いた。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 PP短繊維を添加したコンクリートの凍結融解特性

水結合材比を 34%とした繊維補強コンクリートの凍結融解試験を実施した結果、いずれの結合材を用いた場合でも、300 サイクル後も相対動弾性係数は 95%以上を保持していた。

図-1 は、OPC を用いた水セメント比が 50%の繊維補強コンクリートの凍結融解試験の結果を示したものである。この図より、OPC を用いた場合、増粘剤を用いていない繊維補強コンクリートでは、凍結融解 150 サイクル程度で、相対動弾性係数が 60%を下回っていることが分かる。これに対して、増粘剤を添加したものは、凍結融解 300 サイクルで相対動弾性係数が 95%以上を保持しており、凍結融解抵抗性が向上していることが分かる。BB を用いた場合も同様の結果であった。

図-2 は、結合材に HPC と GGBS を用いた水結合材比が 50%の繊維補強コンクリートの凍結融解試験結果を示したものである。この図より、HPC と GGBS を用いた場合には、増粘剤の添加の有無に関わらず、凍結融解 300 サイクル後も相対動弾性係数が 95%以上を保持できることが分かる。HPC のみを用いた場合も同様の結果であった。HPC を用いたコンクリートでは、OPC や BB を用いたものに比べて、ブリーディング発生量が少なく、継続時間も短くなることが知られている。また、実験に用いた GGBS はブレン値が 6,000cm<sup>2</sup>/g のもので、セメントよりも細かいものが用いられている。OPC や BB を用いたものよりも、ブリーディングが抑制されるため、増粘剤を用いない場合にも、PP短繊維周辺に脆弱部が形成されず、凍結融解抵抗性が得られたものと考えられる。

### 3.2 BFSを用いたコンクリートの長さ変化特性

図-3 は、細骨材に CS または BFS を用いた水結合材比が 36%のコンクリートの乾燥収縮ひずみの測定結果を示したも

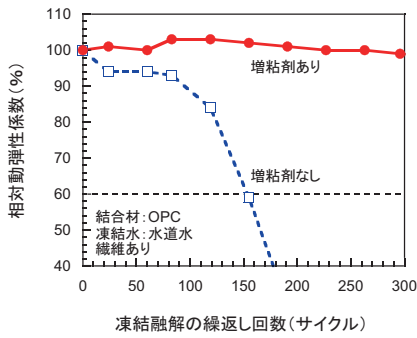


図-1 凍結融解抵抗性  
(PP 短繊維, OPC, W/C=50%)

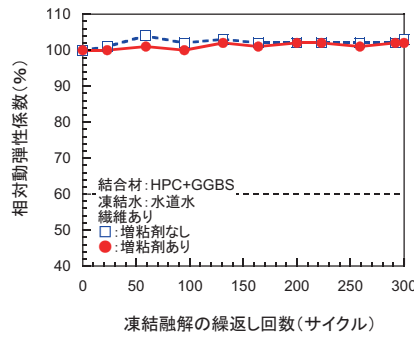


図-2 凍結融解抵抗性  
(PP 短繊維, HPC+GGBS, W/C=50%)

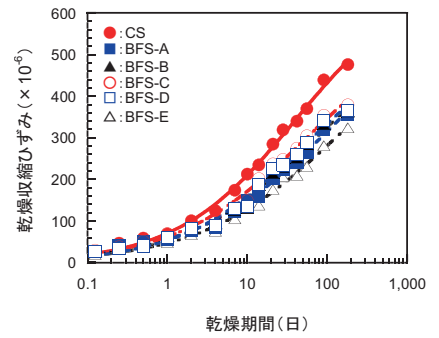


図-3 乾燥収縮ひずみ  
(CS および BFS-A~E)

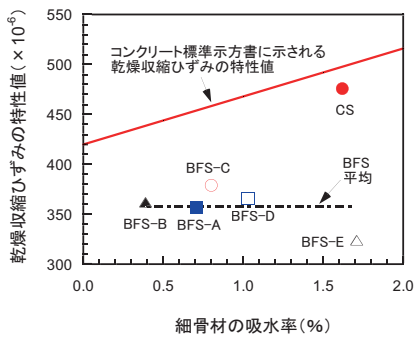


図-4 乾燥収縮ひずみの特性値  
(CS および BFS-A~E)

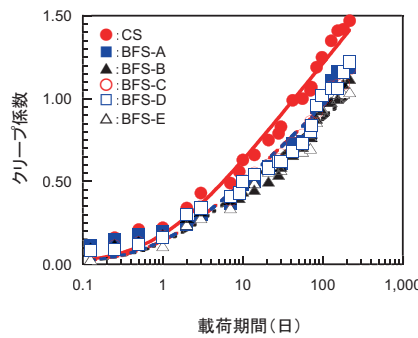


図-5 クリープ係数  
(CS および BFS-A~E)

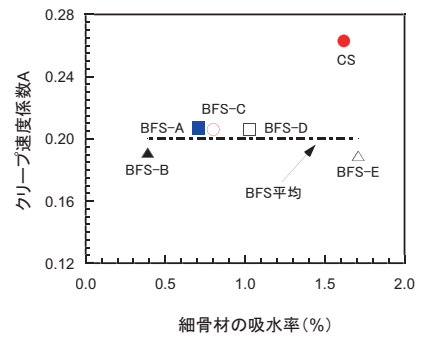


図-6 クリープ速度係数と細骨材吸水率  
(CS および BFS-A~E)

のである。この図より、いずれの BFS を用い場合でも、コンクリートの乾燥収縮ひずみは、CS を用いた場合に比して小さい傾向にあることが分かる。

図-4 は、乾燥収縮ひずみの特性値と各細骨材の吸水率との関係を示している。図中に示す実線は、コンクリート標準示方書[設計編]に示される乾燥収縮ひずみの予測式から求まる値を示している。この図に示すとおり、本研究で作製した CS を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみは、吸水率を変数とするコンクリート標準示方書の予測値にはほぼ一致しているが、BFS を用いた場合は吸水率に大きな影響を受けず、予測式から求まる一般的な骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみよりも小さい傾向にあることが分かる。

図-5 は、細骨材に CS または BFS を用いたコンクリートのクリープ試験から得られた載荷期間とクリープ係数の関係を示したものである。この図より、BFS を用いたコンクリートのクリープ係数は、CS を用いたコンクリートのよりも小さい傾向にあることが分かる。

図-6 は、細骨材に CS または BFS を用いたコンクリートのクリープ速度係数 A と各細骨材の吸水率の関係を示している。この図から、BFS を用いたコンクリートのクリープ速度係数 A は、細骨材の吸水率に大きな影響を受けていないことが分かる。また、BFS を用いたコンクリートのクリープ速度係数 A は、いずれも CS を用いた場合に比して小さく、コンクリート標準示方書[設計編]に示されたクリープ速度係数の式から求まる値 0.31 よりも小さいものである。

#### 4. まとめ

- ・ OPC や BB を用いて、水セメント比および単位水量が大きい繊維補強コンクリートを冬季に打ち込んだ場合は凍結融解抵抗性が低下する可能性があるが、増粘剤を用いることで、凍結融解抵抗性を改善することが可能である。
- ・ いずれの BFS を用いたコンクリートも、クリープ・乾燥収縮は、CS を用いた場合に比して小さくなる。また、BFS の吸水率がこれらの結果に及ぼす影響は小さい。

#### 5. おわりに

本稿は岡山大学大学院綾野教授・藤井准教授との共同研究によって得られた成果の一部を報告したものである。研究成果の全容は、コンクリート工学年次大会 2022 に「産地の異なる高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの特性」および「ポリプロピレン短繊維を添加したコンクリートの耐凍害性に結合材および配合が与える影響」と題して 2 編の掲載が決定しており、そちらを参照されたい。

**Key Words** : 繊維補強コンクリート, 凍結融解抵抗性, 増粘剤, 高炉スラグ細骨材, クリープ, 乾燥収縮



橋野哲郎



河中涼一