

バサルト短繊維混入モルタルの 曲げ特性に関する研究

岩下 健太郎¹・梶浦 拓馬²・稲垣 廣人³

¹正会員 名城大学准教授 理工学部社会基盤デザイン工学科 (〒468-0066 愛知県名古屋市天白区塩釜口1-501)

E-mail: iwak@meijo-u.ac.jp

²学生会員 名城大学 大学院理工学研究科建設システム工学専攻 (〒468-0066 愛知県名古屋市天白区塩釜口1-501)

E-mail: 153437004@ccalumni.meijo-u.ac.jp

³正会員 JCK株式会社代表取締役 (〒446-0071 愛知県安城市今池町3-5-8JCKビル1F)

E-mail: hironodo@j-c-k.co.jp

本研究では、2%を超える伸度と高い引張強度、ヤング率を有するバサルト繊維よりなるバサルト短繊維を混入させたモルタルを練り混ぜ、スランプ試験により流動性に与えるバサルト短繊維混入の影響を検証した。その結果、事前にエポキシ系コーティング剤でバサルト短繊維表面を保護することにより、短繊維の吸水は抑制され、練り混ぜ時のコンシステンシー低下は限定的となることが実験的に明確となった。また、矩形断面モルタル供試体を作製し、曲げ試験によりバサルト短繊維混入による曲げ特性の向上効果を検証した。ここで、混入させるバサルト短繊維のコーティング剤にフライアッシュを混入することによるモルタルとの付着改善を図ったケースについても実験を行った。その結果、バサルト短繊維混入により曲げ強度や靱性が高められ、さらに、コーティング剤にフライアッシュを混入することでその効果はやや限定的ながら向上する傾向が見られた。

Key Words : basalt fiber chopped strand, mortar, slump, flexural, epoxy coating, flyash

1. はじめに

鋼繊維やPVA、PEといった短繊維を混入させることにより、変形性能やひび割れ抑制効果を飛躍的に高められた繊維補強セメント複合材 (Fiber reinforced cementitious composite, FRCC) に関する研究が盛んに行われている^{例として1)~5)}。しかし、FRCCにおいて、混入させる短繊維の種類により得られる効果は異なるとされており、酸や水分による腐食や、伸度に加えて強度やヤング率もより高い短繊維を用いることにより、さらなる高性能化や高耐久化が期待される。本研究では、酸や水分に比較的強く、2%を超える伸度を有しながら高い強度やヤング率も有するバサルト繊維に着目し、この短繊維の混入により曲げ性能を高めたFRCCの曲げ特性を検証した。また、FRCCでは練り混ぜ時に短繊維が吸水することによりコンシステンシーが低下することや、アルカリ腐食が生じることへの懸念があった。そこで、短繊維の表面をエポキシ系のコーティング剤により保護することにし、それ

による効果をスランプ試験により実験的に検証した。

2. 実験方法

バサルト短繊維を混入させたコンクリートを練り混ぜ、スランプ試験を行い、短繊維の混入が流動性に与える影響を検証した。また、100×100×400mmの矩形断面モルタル供試体を作製し、曲げ試験を行い、短繊維の混入によるモルタルの曲げ性能向上効果を実験的に検証した。

(1) スランプ試験方法

スランプ試験において対象としたコンクリートの配合を表-1に、用いた材料の諸元を表-2にそれぞれ示す。本研究では2400texのバサルト繊維ロービングにエポキシ系コーティング剤による保護を施した上で、13mm毎にカットしたものを用いた。その外観を図-1に示す。また、混和剤 (%) としては高性能AE減水剤を用い、単位セ

表-1 スランブ試験に用いるコンクリートの配合

V _f (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
0	50	160	320	759	1080	230
0.05						
0.25						
0.50						
1.0						
0.50						

表-2 スランブ試験コンクリートに用いる材料の諸元

材料の種類	種類	物性
セメント	普通ポルトランドセメント	比重：3.15
細骨材	5号硅砂	表乾比重：2.60
粗骨材	碎石	最大寸法：20mm, 表乾比重：2.72
混和剤	高性能 AE 減水剤	比重：1.04～1.11
短繊維	バサルト短繊維	短繊維長：13mm, 繊維径：13μm, 比重：2.63, 引張強度 2000N/mm ² , ヤング率：90kN/mm ²

メント量に対しての割合で表すこととし、繊維混入率（V_f）（%）は供試体の体積に対する割合で表すこととした。さらに、コンクリートの設計圧縮強度は24N/mm²とした。

練り混ぜには可傾式のコンクリートミキサーを使用した。まず、セメントと細骨材を混ぜ、その後、混和剤を事前に混合した水と粗骨材を加えてさらに3分間練り混ぜた。その後、さらにバサルト繊維を投入し、30秒～1分程度練り混ぜた。スランブ試験はJIS A 1101⁹⁾に従い実施した。その手順の概要としては、スランブコーンにコンクリートを詰めほぼ等しい量の3層に分け、各層を突き棒で25回一様に突いたうえで、スランブコーンを3秒程度かけて引き上げることとした。偏りや崩れが生じた場合は再試験を行うこととした。

(2) 矩形断面モルタル供試体の曲げ試験方法

JIS A 1106⁷⁾に従い、100×100×400mmの矩形断面モルタル供試体を作製し、曲げ試験を行った。モルタルの設計強度は30N/mm²とした。事前に3種類の水セメント比を設定した圧縮試験を設計強度毎3体行い、水セメント比と圧縮強度の関係を明らかにしたうえで、モルタルの配合設計を行った。また、バサルト短繊維はエポキシ系



図-1 バサルト短繊維の外観

コーティング剤で保護したもの、ならびにこのコーティング剤にフライアッシュを混ぜ、この短繊維とモルタルの付着力改善を図ったものの2種類を使用した。供試体は練り混ぜから2日後に脱型し、練り混ぜから28日間まで20℃に保たれた水槽に水没させ、水中養生を行った。養生の完了後、供試体を取り出し、1日間程度乾燥させて作製した。曲げ試験は図-2に示すように支点間隔300mm、3等分点に荷重を加える2点集中載荷で行った。試験は概ね1mm/minの速度で行った。

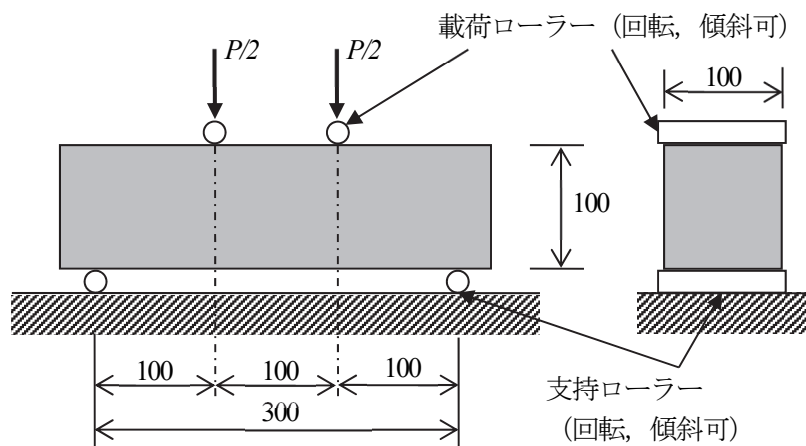


図-2 曲げ試験方法

表-3 スランプ試験結果一覧

V_f	スランプ値 (cm)
0%	15.0
0.05%	15.5
0.25%	15.0
0.50%	14.0
1.0%	12.5



図-3 スランプ試験後の外観 ($V_f=0.05\%$)

測定項目としては、供試体両側面に設置した検長50mmの変位計で測定したスパン中央変位、支点直上に設置した12.5mm変位計で測定した支点変位、供試体上縁、下縁に設置した60mmひずみゲージで測定したモルタル上縁、下縁ひずみ、そして、モルタル下縁に設置した200mm間隔 π 型変位計によるひび割れ幅を含んだ供試体の下縁における伸び量とした。供試体下縁における伸び量を設置間隔で除してモルタル下縁ひずみに変換した。



図-4 スランプ試験後の外観 ($V_f=0.25\%$)



図-5 スランプ試験後の外観 ($V_f=0.50\%$)

3. 実験結果

(1) スランプ試験結果

スランプ試験結果の一覧を表-3に、スランプ試験後の外観を図-3～図-5にそれぞれ示す。バサルト短繊維の混

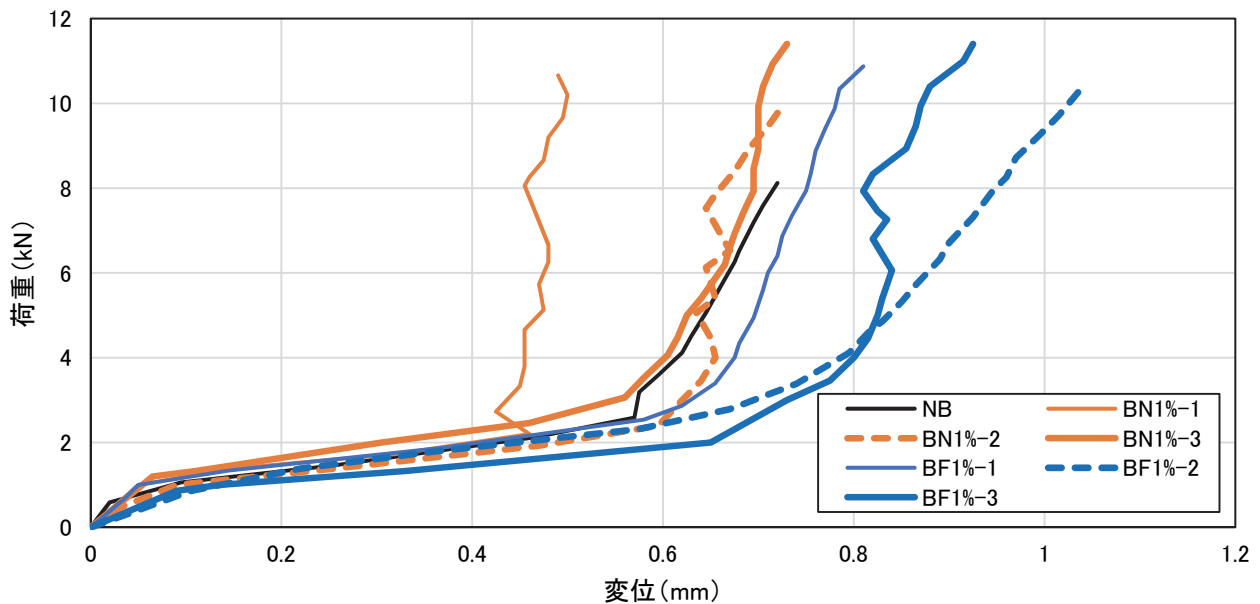


図-6 荷重－変位曲線

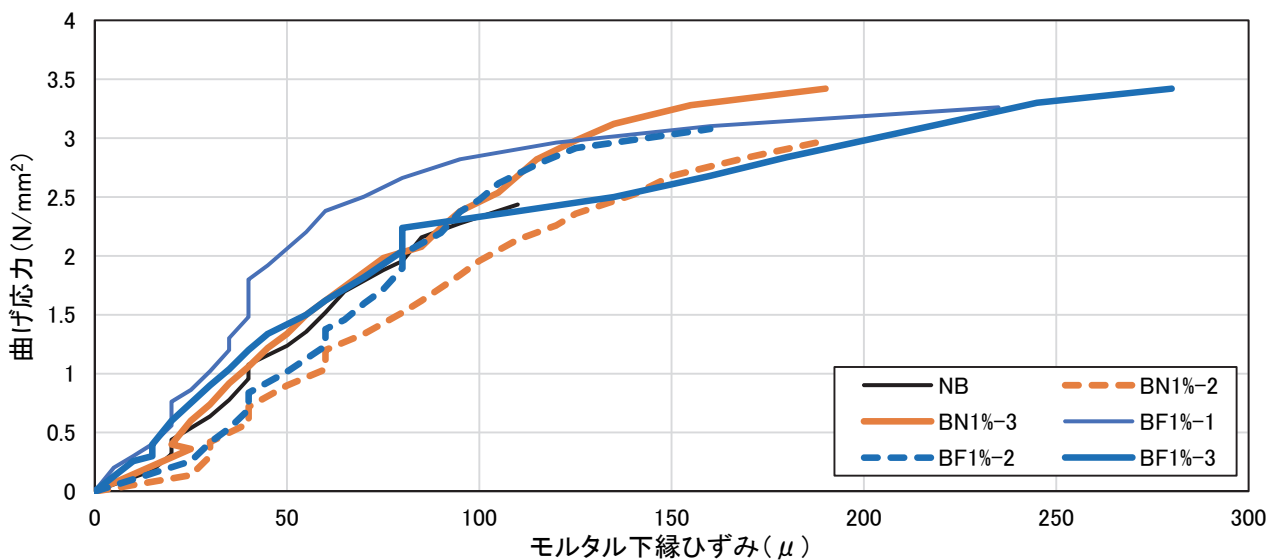


図-7 曲げ応力ーモルタル下縁ひずみ曲線

入によるスランプ値の低下量は V_f が0.25%までは低下せず、 V_f 0%を基準として V_f が0.50%で7%、 V_f が1.0%で17%の低下量であり、バサル短繊維の事前コーティングにより、スランプ値の低下は限定的となっていることが実験的に明確となった。

(2) 矩形断面モルタル供試体の曲げ試験結果

荷重と変位の関係を図-6に、曲げ応力とモルタル下縁ひずみの関係を図-7に、曲げ応力とモルタル上縁ひずみの関係を図-8に、そして曲げ試験後の断面の状況を図-9にそれぞれ示す。ここで、曲げ応力 σ_b は式(1)より算出した。

$$\sigma_b = \frac{Pl}{bh^2} \quad (1)$$

ここで、 P は荷重、 l は支点と載荷点の間隔、 b は供試体幅、 h は支点間隔である。供試体名は、NBは無補強、BN1%はバサル短繊維を1%混入したモルタル供試体、そしてBF1%は事前にフライアッシュを混入したバサル短繊維を1%混入したモルタル供試体とした。

荷重変位曲線において、2～3kNにおいていずれのラインも大きく変曲しているが、これは、載荷ローラーや支持ローラーと供試体の馴染みが影響したと思われる。変曲点後のグラフの傾きは、供試体の剛性を表すが、全供試体で概ね同様に見える。最大荷重はNB供試体を基準として、BN1%供試体で122～140%であり、バサル短繊維の混入によりモルタルの耐荷力が向上したことがわかる。また、BF1%供試体で126～140%であり、コーティング剤にフライアッシュを事前に混入したことによ

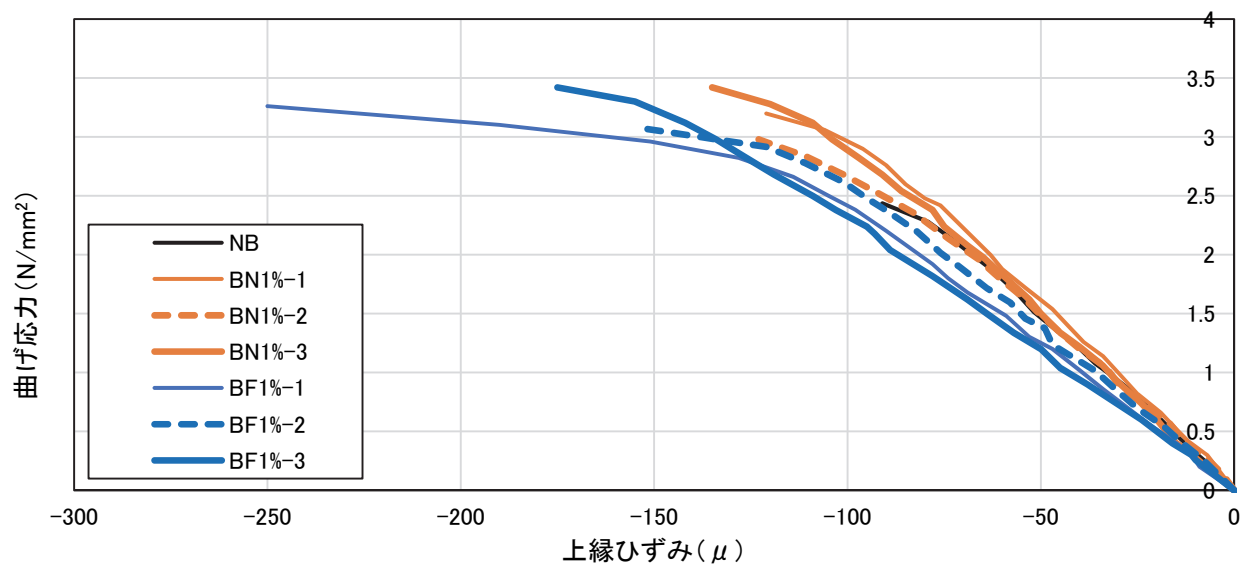


図-8 曲げ応力ーモルタル上縁ひずみ曲線



(a) BN1%-1



(d) BF1%-1



(b) BN1%-2



(e) BF1%-2



(c) BN1%-3



(f) BF1%-3

図-9 曲げ試験後の断面の状況

り付着が改善され、より耐荷力が向上したことがわかる。
曲げ応力とモルタル下縁ひずみの関係において、NB

供試体ではモルタル下縁ひずみが 110μ に到達したあたり
で貫通ひび割れが生じて2分し、実験を終了した。BN供

試体やBF供試体でも同様のひずみの周辺で変曲するが、その後、BN1%供試体で190 μ まで高い曲げ応力を維持しており、バサルト短繊維混入による靱性向上効果が見られた。また、BF1%供試体では160～280 μ まで高い曲げ応力を維持しており、ばらつきはあるものの、コーティング剤にフライアッシュを事前に混入したことにより付着が改善され、より靱性が高まるケースが確認された。

曲げ応力とモルタル上縁ひずみの関係において、NB供試体ではモルタル下縁ひずみよりやや小さい90 μ に到達したあたりで下縁側にひび割れが生じたことにより、実験を終了した。BN供試体やBF供試体でも同様のひずみの周辺で変曲するが、その後、BN1%供試体で121 μ 、135 μ まで高い曲げ応力を維持しており、バサルト短繊維混入による靱性向上効果が見られた。また、BF1%供試体では154～250 μ まで高い曲げ応力を維持しており、ばらつきはあるものの、コーティング剤にフライアッシュを事前に混入したことにより付着が改善され、より靱性が高まるケースが確認された。

曲げ試験後の断面状況を観察すると、バサルト短繊維の引き抜けにより実験を終了していることがわかる。前記のようにフライアッシュの事前混入により、やや付着が改善される傾向が見られたが、まだバサルト短繊維の高い強度や伸度が活かしきれていないことが実験的に明確となった。今後、さらに付着を改善していくことにより、より高靱性なモルタルの創出に期待できる。

4. 結論

本研究では、バサルト短繊維の混入による曲げ特性を実験的に検証した。主に得られた知見を以下に示す。

1) バサルト短繊維の混入によるスランプ値の低下量は繊維混入率V_fが0.25%までは低下せず、V_f0%を基準としてV_fが0.50%で7%、V_fが1.0%で17%の低下量であり、バ

サルト短繊維の事前コーティングにより、スランプ値の低下は限定的となっていることが実験的に明確となった。

2) バサルト短繊維混入により、耐荷力は無補強供試体を基準として122～140%に向上し、コーティング剤に事前にフライアッシュを混入することで付着が改善され、126～140%により向上することが実験的に明確となった。モルタルの圧縮縁、引張縁に生じる最大ひずみも同様に向上する傾向が見られた。

謝辞：本研究の一部は、平成24年度に私立大学戦略的基盤研究形成支援事業として採択、設置された「名城大学自然災害リスク軽減研究センター（代表者：小高 猛司）」の助成を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 中村裕，三橋博三：短繊維補強モルタルの曲げ挙動と圧縮挙動に関する基礎的研究，コンクリート工学会年次論文集，Vol.21，No.2，pp.253-258，1999.
- 2) 川島篤，高橋貴蔵，堀越哲郎，松岡茂：繊維種及び混入量が繊維補強セメント系複合材料の靱性に及ぼす影響，コンクリート工学会年次論文集，Vol.27，No.1，pp.295-300，2005.
- 3) 木村秀樹，石川裕次，大野定俊，柿沢忠弘：短繊維混入超高強度コンクリート柱の基本的力学性状に関する研究コンクリート工学会年次論文集，Vol.22，No.3，pp.379-384，2000.
- 4) 社団法人土木学会：複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料設計・施工指針（案），コンクリートライブラリー127，pp.63-79，2008.
- 5) 高橋貴蔵：短繊維補強コンクリートの直結系軌道への適用，鉄道総研月例発表講演要旨，第249回，pp.1-4，2011.
- 6) 日本工業規格：JIS A 1101，コンクリートのスランプ試験
- 7) 日本工業規格：JIS A 1106，コンクリートの曲げ試験

FLEXURAL PERFORMANCE OF BASALT FIBER REINFORCED CEMENTATUS COMPOSITES

Kentaro IWASHITA, Takuma KAJIURA and Hirondo INAGAKI

Basalt fiber chipped strands have a high rupture strain that is approximately more than 2% and higher tensile strength and Young's modulus. In this study, the flowabilities of the fresh basalt fiber reinforced cementatus concrete is confirmed, and it is found that the flowability is improved by the epoxy coating on the basalt fiber chopped strands. The rectangular mortar specimens including basalt fiber chopped strands were made and flexural tests were carried out considering the surface treatment with or without a flyash into the epoxy corting materials. From the results, flexural strength and ductility of the specimens were improved due to the basalt fibers involved into the mortar and the flyash included into the corting materials.