超高強度繊維補強モルタルのせん断伝達特性に関する実験的研究

関西大学	正会員	〇上田	尚史
関西大学大学院	正会員	藤村	将治

1. はじめに

近年,種々の繊維補強セメント系材料(FRCC)が開発されており,実構造物への適用が試みられている.しかし, FRCCを用いた構造部材の設計においては,多くの場合 FRCCの力学性能が十分に考慮されているとは言い難く,必ずしも合理的な設計とはなっていない可能性がある.とりわけせん断伝達特性については不明な点が多いのが現状である.そこで本研究では,圧縮強度 150N/mm²を超える超高強度繊維補強モルタルのせん断伝達特性を把握することを目的として,直接せん断試験を行い,せん断強度や破壊形式について検討した.

2. 超高強度繊維補強モルタルの特徴

2.1 配合およびフレッシュ性状

本研究では, 表-1 に示すプレミックス粉体に対して, 水結合材比 を 20%とし, 補強用繊維として長さ 13mm, 直径 0.2mm のミクロ鋼 繊維を単位体積あたり 0.5~1.5%混入した超高強度繊維補強モルタル を用いた. 表-2 にフレッシュ性状の概要を示す. モルタルフローや 空気量は, 繊維混入率にかかわらず, ほぼ同程度であった.

2.2 力学特性

超高強度繊維補強モルタルの力学特性を把握するため, 圧縮強度と

引張軟化曲線を求めた. 圧縮強度は寸法 φ 50×100mm の円柱供試体を用いて求めた. 引張軟化曲線は中央に切欠き(深さ 50mm,幅 2mm)を中央に有する寸法 100×100×400mm の角柱供試体の三等分点曲げ試験により荷重-CMOD 関係を計測し,多直線近似法¹⁾により求めた. 各試験はそれぞれ 3 体ずつ実施した.

表-3 に圧縮強度の平均値を示す. 圧縮強度は 166~180N/mm² とばらつきが見 られたが,繊維混入による圧縮強度への影響よりもモルタル強度の違いが表れた ものと考えている. 図-1 に荷重-CMOD 関係を示す. 図より,繊維を混入する ことでひび割れ発生後においても荷重は増加する結果が得られた. 荷重の増加は, 繊維の混入量が多いほど顕著であった. なお,いずれの供試体においても切り欠 きには1本のひび割れのみが進展した. 図-2 に逆解析から得られた引張軟化曲線 を示す. 全ての供試体に対して,得られた引張軟化曲線を用いて順解析を行った 結果,実験で得られた荷重-CMOD 関係と良く一致していることを確認している. 図より,軟化域においても繊維を混入することで 2.0~5.0MPa 程度の引張応力を 保持していることがわかる. いずれの場合においても,繊維混入率が大きくなる につれて,軟化域における引張応力が大きくなることが確認された.

3. 超高強度繊維補強モルタルのせん断伝達特性

3.1 実験概要

図-3 に示す中央上下にノッチを設けた矩形供試体(寸法 150×200×400mm)に 対して直接せん断試験を行った.直接せん断試験に先立ち,ノッチ部の上下に丸 鋼を挿入して割裂載荷を行うことで供試体中央に初期ひび割れを導入した.初期

キーワード 超高強度繊維補強モルタル, せん断伝達特性, 引張軟化特性

連絡先 〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35 複合材料構造研究室 TEL06-636-1653

表-1 プレミックス粉体の内訳

S/B	SF/B	EX/B	L/B
0.12	0.18	0.03	0.2
3 :結合材(C+S	F+EX), C:低	熱セメント,	S:5 号ケイ砂
SE・シリカフ	コーム EV	膨張材 I・7	10万微粉末

表-2 フレッシュ性状

繊維混入率	モルタルフロー(mm)		空気量
(%)	0打	15 打	(%)
0.0	95	125	3.0
0.5	104	127	2.7
1.0	98	121	2.9
1.5	98	129	2.7

表-3 圧縮強度





のひび割れ幅は 0.5mm 程度とした. 直接せん断試験は、図-3のよう に三等分点載荷により行った. その際,供試体に予め空けておいた 直径 30mm の 2 つ穴に、 φ 21mm の PC 鋼棒を挿入しセンターホール ジャッキを取り付けることで、ひび割れ面に作用する圧縮応力を制 御した.本研究では、ひび割れ面の圧縮応力を可能な限り小さい値 で制御し、せん断変形に伴うひび割れの開口は許容した. せん断応 力 τ は、ひび割れ面位置に作用するせん断力を断面積で除することで

求めた.また、供試体側面の上下に取り付けた 2つのπ型変位計で軸方向変位を計測し、その 平均値をひび割れ幅 w とした.また,供試体 側面の中央に取り付けた二軸変位計によりせ



図-5 せん断応カーせん断変位関係

ん断変位 δ を計測した.

3.2 実験結果

図-4 に示すように、繊維を混入した供試体 においては、初期ひび割れの導入時に複数の微細なひび割れが発生し た. 繊維混入率 0.5, 1.0 および 1.5%の供試体に対して, ひび割れの本 数は概ね2, 6, 13 本程度であった.

図-5にせん断応力 τ とせん断変位 δ の関係を示す.図より、繊維の 混入率が増加することで,初期のせん断剛性や最大せん断応力(以下, せん断強度)が増加する結果が得られた.また,せん断強度以降の軟化 勾配は、繊維混入率が大きくなるほど急になる傾向が得られた. 試験 終了時のひび割れ面を観察したところ、繊維の引き抜けが確認された.

図-4に直接せん断載荷により生じたひび割れを赤線で示す. せん断載荷により, 初期ひび割れとは異なる斜め方 向の微細なひび割れが生じた.繊維の混入率の増加に伴いひび割れの本数も増加した.既往の普通強度の繊維補強 モルタルを用いた同様の試験²⁾においては、ひび割れ面でのずれ変形が卓越する挙動となったが、本研究で対象と した超高強度繊維補強モルタルでは載荷点と支点を結ぶ領域において圧縮ストラットが形成される結果となった. この理由としては、ひび割れが複数あることで1本あたりのひび割れ幅が抑制され、相対的にひび割れ面での応力 伝達が大きくなるとともに、複数ひび割れのそれぞれのひび割れ面が、モルタルと比較して必ずしも平滑でないこ となどから一面せん断状態とはならず、主軸が大きく回転したためであると考える.以上のことから、本試験法で はひび割れ面のずれ変形に対するせん断伝達特性の把握には至らなかった。超高強度繊維補強モルタルのせん断伝 達特性に対する考え方も含めて,評価方法については更なる検討が必要であると考える.

4. まとめ

本研究では、超高強度繊維補強モルタルのせん断伝達特性を把握するために、初期ひび割れを導入した供試体に 対して直接せん断試験を行った.その結果、繊維混入率が大きくなるほど、せん断強度が増加する傾向が得られた. ただし、本実験ではひび割れが分散することなどからひび割れ面のずれ変形が卓越する挙動は見られなかった、今 後は、本研究で対象とした超高強度繊維補強モルタルやひずみ硬化型セメント複合材料等のように複数ひび割れが 入る FRCC のせん断伝達特性を定量的に評価するための試験方法などについて検討していく予定である.

謝辞:本研究の一部は科学研究費助成事業若手研究(B)(課題番号:25820205)により実施した.

参考文献

1) JCI 規準・指針: 切欠きはりを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法, JCI-S-001-2003, 2003. 2)藤村将治,上田尚史:FRCCのひび割れ面におけるせん断伝達特性に関する研究,コンクリート工学年次論文集, 2016. (投稿中)