

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560565

研究課題名(和文) 超高強度繊維補強コンクリートの繊維の分散・配向の可視化と引張軟化特性

研究課題名(英文) Fiber orientation and distribution in ultra-high strength fiber reinforced concrete and tension softening property

研究代表者

内田 裕市 (Uchida, Yuichi)

岐阜大学・総合情報メディアセンター・教授

研究者番号：20213449

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)： 超高強度繊維補強コンクリート(UFC)を対象としてコンクリート内部における繊維の配向を無色透明なモデルコンクリート(可視化コンクリート)を用いて観察した。また、硬化したUFC供試体を切り出し、切断面の画像解析の結果、可視化コンクリートと実際のUFCで繊維の配向は定性的に一致していることを確認した。さらに、繊維が一定方向に配向した曲げ供試体について載荷試験を行い、繊維の配向と曲げ強度の関係を検討した結果、繊維曲げ強度の変化の割合は、配向角度の変化にもなう破断面における有効繊維本数の変化の割合とほぼ一致することが示された。

研究成果の概要(英文)： With the aim of investigating fiber orientation in ultra-high strength fiber reinforced concrete (hereinafter referred as to UFC), a transparent model concrete containing fibers was placed in various molds to visualize fiber orientation. The fiber orientation observed by model concrete agreed with the fiber orientation estimated by image analysis of cut surface of actual UFC specimen.

The relation between the fiber orientation and the flexural strength of UFC was also investigated using the specimens with unidirectional fiber. The rate of change of flexural strength with variation of fiber orientation almost agreed with that of the effective number of fibers in the cross section of specimen.

研究分野：コンクリート工学

キーワード： 超高強度繊維補強コンクリート 繊維の配向 可視化コンクリート 曲げ強度

### 1. 研究開始当初の背景

我国では、圧縮強度が 150N/mm<sup>2</sup> を超える超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC と略す）が大手建設会社とセメントメーカーで構成される 3 グループにより開発され、実用化されている。しかし、これらは特許の関係から材料構成が公開されておらず、そのためこれらの 3 グループとの共同研究を除けば、大学をはじめとする公的研究機関単独での UFC に関する研究はほとんど行われていないのが実情である。なかでも、コンクリート中の繊維の分散・配向に関しては、硬化コンクリートの力学特性に大きく影響することは知られているが、繊維の分散・配向を計測することが難しいことに加え、施工時に分散・配向を制御することも困難であることから、研究はほとんど進んでいない。

そこで、本研究では高吸水性高分子材料を用いた透明な可視化コンクリート（モルタル）に合成繊維を混入してみたところ疑似モルタル中に合成繊維を均一に分散することができ、流動後に静置しても繊維は沈降、分離しないことがわかった。UFC は締固めを行わない高流動モルタル（粗骨材は使用しない）であることから、高吸水性高分子材料を用いた疑似モルタルと合成繊維のみで UFC をモデル化できることができ、供試体中あるいは部材中の繊維の分散・配向をフレッシュな状態で可視化できると考えた。

### 2. 研究の目的

UFC を対象としてコンクリート内部を可視化することで、打込み方法と繊維の分散・配向の関係を明らかにするとともに、繊維の分散・配向と曲げ特性の関係を明らかにする。そのために、以下の 2 点について検討した。  
 (1)高吸水性高分子材料を用いた透明な可視化 UFC により、型枠内での UFC の流動とともに繊維の分散・配向の性状を明らかにする。  
 (2)実部材を想定したパネル部材から切り出した供試体について曲げ載荷試験を行い、繊維の分散・配向と曲げ特性の関係を明らかにする。

### 3. 研究の方法

(1) 図-1 に示すように、透明アクリル板で作製された型枠に可視化コンクリートを打ち込み、内部の繊維の動きをビデオカメラにより撮影した。ここでは型枠の形状寸法、打込み方法を実験パラメータとした。  
 (2)可視化コンクリートと同様の打込み方法で作製された実 UFC 供試体を切断し、切断面における繊維 1 本 1 本の繊維の切断面の形状を解析することにより、繊維の配向を推定した。  
 (3) 円形パネルの中心から UFC を打ち込むと、繊維は周方向に配向することが可視化コンクリートの実験より明らかになった。そこで、実 UFC パネル部材から図-2 のように曲げ供

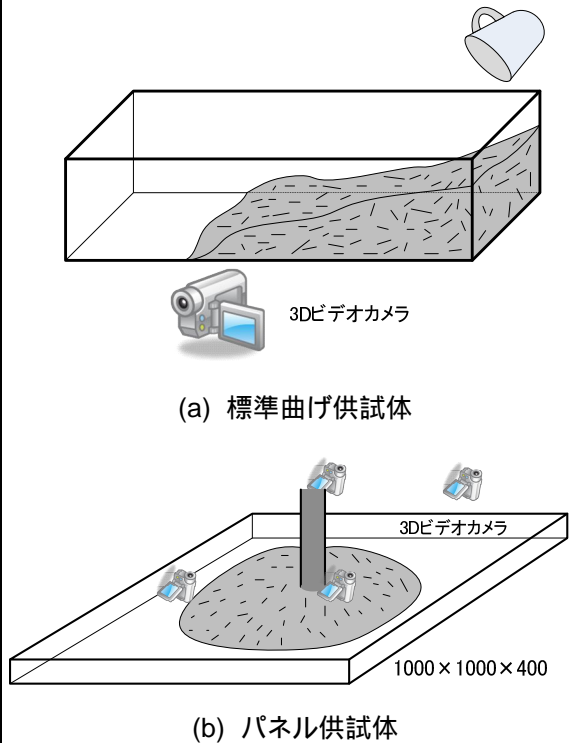


図-1 可視化コンクリートによる配向の観察

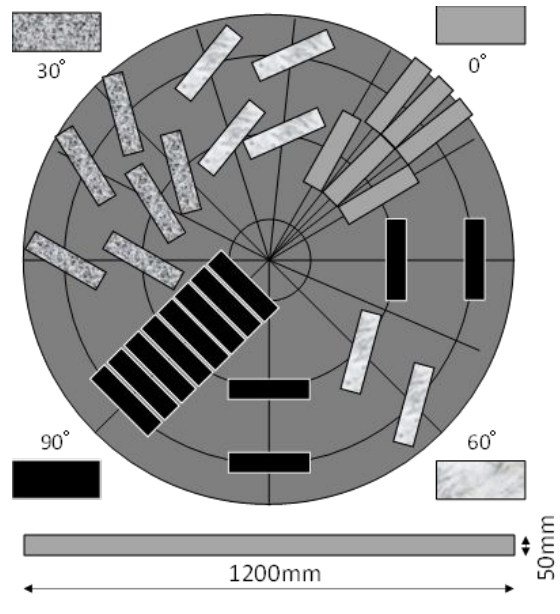


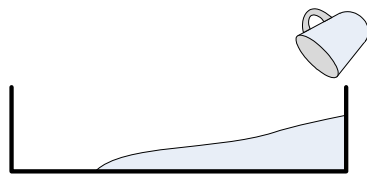
図-2 円形パネルからの曲げ供試体の切出し

試体を切り出して曲げ載荷試験を行い、繊維の配向と曲げ特性の関係について検討した。

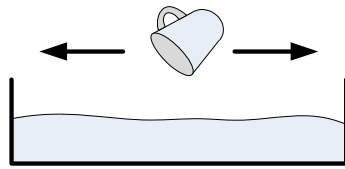
### 4. 研究成果

#### 4.1 標準曲げ供試体における繊維の配向

(1) 可視化コンクリートを 100×100×400mm 標準曲げ供試体に可視化コンクリートを打ち込み、繊維の配向を観察した。このとき、打込み方法として、図-3 に示すようにコンクリートの注ぎ口を型枠の片端に固定しコン



(a) 流動打込み



(b) 移動打込み

図-3 打込み方法



(a) 流動打込み



(b) 移動打込み

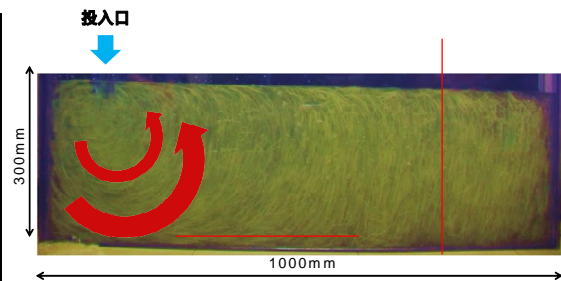
図-4 打込み方法と繊維の配向

クリートを型枠内で流動させて打ち込む方法（以下、流動打込みと呼ぶ）と、型枠内のコンクリートの高さが供試体軸方向で均等になるように注ぎ口を供試体軸方向に連続的に移動させて打ち込む方法（以下、移動打込みと呼ぶ）の2通りとした。

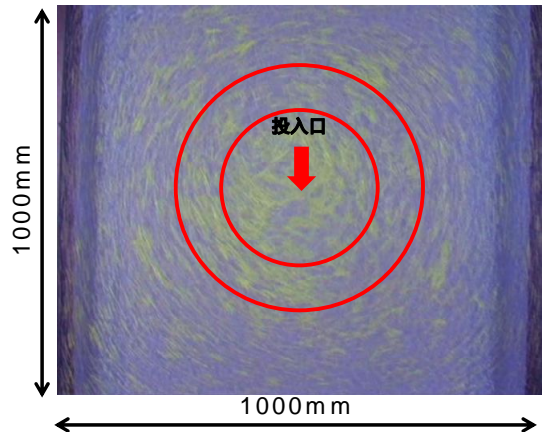
観察の結果、図-4に示すように供試体の片端からコンクリートを打込む流動打込みの場合、繊維は供試体の軸方向には配向せず、斜め上方に配向することが示された。一方、コンクリートの注ぎ口を移動させる移動打込みの場合には繊維はランダムに配向することが示され、打込み方法により繊維の配向が明確に異なることが示された。

また、鋼繊維を用いた実 UFC 曲げ供試体を切断して繊維の配向状況を観察した結果、可視化モデルコンクリートで観察された配向の性状と定性的に一致していることが示された。

さらに、打込み方法を変えることで供試体中の繊維の配向が異なる切欠きはりの曲げ



(a) 高さ 300mm, 長さ 1000mm の梁



(b) 1000×1000mm のパネル



(c) 梁の両端から同時に打込んだ場合

図-5 形状寸法および打込み位置が異なる場合の繊維の配向

試験を行った結果、打込み方法（繊維の配向）の違いにより最大荷重が2割程度変化することが示された。

#### 4.2 型枠の形状寸法が異なる場合の繊維の配向

断面高さが高い梁や平板パネルなど形状寸法の異なる型枠に可視化コンクリートを打込み、繊維の配向を観察した。その結果、図-5(a)に示すように、高さの高い梁においても繊維は標準曲げ供試体と同様、繊維が鉛直方向に配向することがしめされた。また、平板パネルの中央から可視化コンクリートを打込むと繊維は同心円状に周方向に配向することが示された。さらに梁において両端から同時に打込むと中央断面で繊維が鉛直に配向し、繊維の不連続面が形成される状況が明確に観察された。

以上のことより、UFC 中の繊維の配向を検討するうえで、可視化コンクリートの有効性

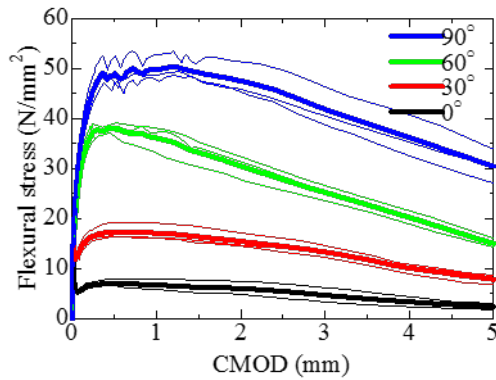


図-6 切出し角度が異なる場合の曲げ応力-開口変位曲線

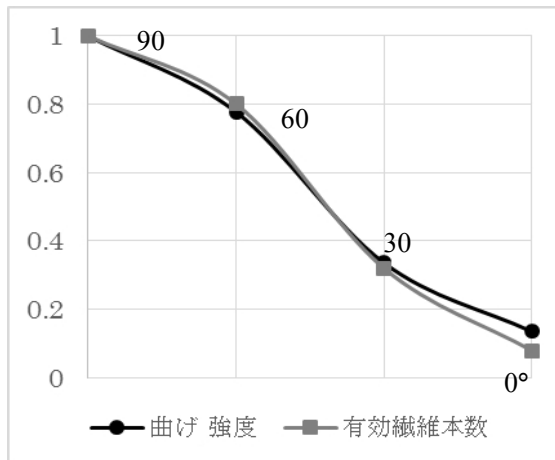


図-7 曲げ強度と有効繊維本数の関係

が示された。

#### 4.3 繊維の配向と曲げ特性

本研究では直径 1200mm、厚さ 50mm 円形パネルの中心から実 UFC を打込み、硬化後に図-2 にしたように曲げ供試体を切出した。図-5(b)に示した通り、このパネルでは繊維は同心円状に配向しているものと予想され、図-2 のように切り出すことにより、供試体中の繊維は切出し角度により一定の方向に配向しているものと予想される。

曲げ荷重試験の結果、図-6 に示す通り、供試体の切出し角度により曲げ強度が大きく異なることが示され、実 UFC においても可視化コンクリートによって観察されたのと同様に繊維が同心円状に配向していることを裏付けるものであると考えられる。なお、供試体の破断面の繊維の状況からも繊維の配向の状況を確認することができた。

曲げ荷重試験後の供試体を切断し、切断面における繊維 1 本 1 本の繊維の切断面の形状を解析することにより、繊維の配向を推定した。図-7 は画像解析の結果から求められた供試体の断面における繊維の有効本数（断面に

平行に配向している場合を 0 本、断面に垂直に配向している場合を 1 本とし、配向角度の正弦値を繊維の本数分合計したものと曲げ強度の関係を、それぞれ切出し角度 90°（繊維は断面に垂直に配向している）の場合を基準として示したものである。この図より、曲げ強度の変化の割合と有効本数の変化の割合はほぼ一致していることが明らかとなった。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

- (1) B. Zhou and Y. Uchida: Relationship between fiber orientation flexural strength in ultra-high-performance-fiber-reinforced concrete panels, 10th International Symposium on Innovation & Utilization of High-Performance Concrete Key Engineering Materials, 査読有, Vol.629, pp.71-78, 2014
- (2) 周波, Ha Duy Nhi, 内田裕市: UFC パネルにおける繊維の配向と曲げ強度関係, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol.36, pp. 286-291, 2014
- (3) B. Zhou, Y. Uchida: Fiber Orientation in Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete and its Visualization, Proceedings of the 8th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures (FraMCos-8), 査読有, CD-ROM, 2013

〔学会発表〕(計 2 件)

- (1) 平岩修人, 周波, Ha Duy Nhi, 内田裕市: 超高強度繊維補強コンクリートの配向に関する研究, 平成 26 年度土木学会度全国大会第 69 回年次学術会講演概要集, 大阪大学(大阪府豊中市), 2014
- (2) 内田裕市, 周波, 平岩修人, Ha Duy Nhi: 超高強度繊維補強コンクリートの引張特性と繊維の分散・配向の関係に関する検討, 平成 25 年度土木学会全国大会第 68 回年次学術講演会概要集, 日本大学生産工学部津田沼キャンパス(千葉県習志野市), 2013

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

#### 6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
内田裕市 (UCHIDA, Yuichi)  
岐阜大学・総合情報メディアセンター・教授  
研究者番号: 20213449