

別紙様式第13号（論文内容の要旨及び論文審査の結果の要旨）

氏名（本籍）	ZHOU BO（中華人民共和国）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第 466 号
学位授与日付	平成 27 年 3 月 25 日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	超高強度繊維補強コンクリートにおける繊維の配向と曲げ特性 (Evaluation of fiber orientation in ultra high strength fiber reinforced concrete and its effect on flexural properties)
学位論文審査委員	(主査) 教授 國枝 稔 (副査) 教授 小林 孝一 教授 内田 裕市

論文内容の要旨

本論文は圧縮強度が通常のコンクリートの約 5~10 倍となる超高強度繊維補強コンクリートを対象として、その力学特性に大きな影響を及ぼすコンクリート内部の繊維の配向について検討したものである。超高強度繊維補強コンクリートは自己充填型のコンクリートであり高流動性を有しており、施工時に型枠内でコンクリートが流動するため、繊維の配向性が顕著に現れることが特徴である。

本論文では、まず、合成繊維を用いた超高強度繊維補強コンクリートをパネル状の型枠に打ち込む場合に、型枠の片端から打ち込んだ場合と打ち込み位置を移動させ均等に打ち込んだ場合で、パネルから切り出した供試体の曲げ強度が大きく異なることを示した。また、供試体の破断面の観察結果から、コンクリートの打ち込み方法により繊維の配向が異なり、その結果として曲げ強度が変化することを明らかにした。

次に、超高強度繊維補強コンクリート中の繊維の配向を可視化するため、可視化モデルコンクリートを提案した。可視化モデルコンクリートはコンクリートマトリクスを粘性を有する無色透明な高吸水性高分子材料でモデル化し、そこに短繊維を混ぜることで繊維を可視化したものである。

この可視化コンクリートを用いて型枠の形状寸法が異なる場合のコンクリート中の繊維の配向を観察した。具体的には可視化コンクリートを幅の小さい梁状の型枠の片側から打ち込むと、型枠の長さおよび深さにかかわらず、繊維はコンクリートの流動方向の斜め上方に配向すること、また型枠の両側から同時に打ち込むと、型枠の長手方向中央部に繊維が鉛直に配向した界面が生じることを明らかにした。さらに、水平のパネル状の型枠の中央から打ち込むと繊維は一樣に同心円状に配向することを確認した。これらの可視化実験の結果を検証するために同一の形状寸法の型枠を用いて実際の超高強度繊維補強コンクリート供試体を作製し、硬化後に供試体を切断して、繊維の切断面を画像解析することにより繊維の配向を評価した。その結果、可視化モデルコンクリートで観察された繊維の配向と実際の超高強度繊維補強コンクリートの繊維の配向は定性的に一致していることを明らかにした。

繊維の配向が超高強度繊維補強コンクリートの引張特性に及ぼす影響を検討するために、標準曲げ供試体を対象として、断面内の高さ別の引張特性と繊維の配向の変化を確認した。断面の高さごとの引張軟化曲線を J 積分法により求め、供試体の底面から離れるほど、ひび割れ発生後の引張応力（繊維の架橋応力）が低下することを示した。また供試体の切断面の画像解析により、単位面積当たりの有効繊維本数が供試体の底面から離れるほど減少することを示した。さらに、断面内の有効繊維本数の減少の割合と繊維の架橋応力の低下の割合がほぼ一致することを明らかにした。

繊維の配向が超高強度繊維補強コンクリートの曲げ強度に及ぼす影響を検討するために、繊維の配向が一樣である円形パネルから所定の角度で切り出した供試体を用いて、曲げ載荷試験と破断面の画像解析を行った。その結果、供試体の切出し角度によって曲げ強度が 1 : 10 程度まで変化すること、および繊維の配向にともなう曲げ強度の変化の割合は、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を明らかにした。

論文審査結果の要旨

本論文は、超高強度繊維補強コンクリートの繊維の配向とそれが力学特性に及ぼす影響について検討したものである。繊維の配向を可視化するために可視化モデルコンクリートを提案し、型枠の形状寸法とコンクリート打込み方法をパラメータとした実験を行い、コンクリート内の繊維の配向の特性を明らかにしている。また、実際の超高強度繊維補強コンクリート供試体の切断面の画像解析により、可視化コンクリートで得られた配向の結果と実際の超高強度繊維補強コンクリートの配向がほぼ一致していることを確認している。さらに、切出し供試体を用いて繊維の配向と引張特性および曲げ強度との関係を求め、配向にともなう強度の変化の割合と断面内の有効繊維本数の変化の割合がほぼ一致することを明らかにしている。このように、本論文は、重要な研究結果を含んでおり、新規性、有用性の点で優れており、学位審査委員会は、審査の結果、本論文を学位論文に値するものと判定した。

最終試験結果の要旨

学位審査委員会は、提出された論文の主要部分が、下記に示す 2 編の審査付き論文と 2 編の国際会議論文として既に発表済みであることを確認するとともに、平成 27 年 2 月 13 日に開催された学位論文公聴会における質疑応答と口頭試問などに基づいて審査を行い、最終試験に合格と判定した。

発表論文（論文名、著者、掲載誌名、巻号、ページ）

- 1 周波, Ha Duy Nhi, 内田裕市 : 超高強度繊維補強コンクリート曲げ供試体中の繊維の配向, コンクリート工学年次論文集, Vo.134, No.1, pp.268-273, 2012
- 1' B. Zhou and Y. Uchida: Fiber Orientation in Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete and its Visualization, Proceeding of VIII International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, FraMCoS-8, Toledo, 2013
- 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の関係, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.286-291, 2014
- 2' B. Zhou and Y. Uchida : Relationship between fiber orientation and flexural strength in ultra-high performance fiber reinforced concrete panels, Proceeding of 10th International Symposium on Innovation & Utilization of High Performance Concrete, HPC-2014, Beijing, 2014