

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：57601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K18194

研究課題名(和文) 繊維配向性を考慮したHPFRCCの寸法効果の評価

研究課題名(英文) Evaluation of Size Effect in HPFRCC in Consideration of Fiber Orientation

研究代表者

浅野 浩平 (ASANO, KOHEI)

都城工業高等専門学校・建築学科・助教

研究者番号：90735119

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、短繊維をセメント系マトリックスに混入した高性能繊維補強セメント複合材料(HPFRCC)について、繊維の配向性がHPFRCCの引張性能における寸法効果に与える影響を検討したものである。繊維の配向性の可視化試験の結果、試験体寸法が小さいほど、繊維の配向性を表現する配向強度は大きくなり、試験体寸法が小さい場合は、打設方向に関わらず配向強度は大きくなることがわかった。また、試験体寸法の境界条件を考慮したランダム配向時における配向強度と、引張試験結果より算出された配向強度との関係性から、打設方向による寸法効果の発現モードに差異が生じることを把握した。

研究成果の概要(英文)：This study considered the influence by which fiber orientation gives to size effect in the tensile performance in High-Performance Fiber-Reinforced Cementitious Composites (HPFRCC), in which short fibers are mixed into cementitious matrix. Result of visualized test of fiber orientation, the orientation intensity a value of representing tendency of fiber orientation, which increased with decrease in specimen size. Furthermore, in cases of small specimen size, the orientation intensity did not depend to casting direction and showed a large value. Additionally, difference in the expression mode of the size effect by the casting direction was shown from the relationship between the orientation intensity at random orientation considering boundary conditions of specimen size, and the orientation intensity calculated from tensile test results.

研究分野：建築構造材料

キーワード：繊維補強セメント材料 寸法効果 配向強度 架橋則

1. 研究開始当初の背景

高性能繊維補強セメント系複合材料 (High Performance Fiber-Reinforced Cementitious Composites : HPFRCC) とは、セメント系マトリックスに短繊維を混入させ、引張応力下において複数微細ひび割れを伴いながら数%の引張変形性能を有する高靱性な材料である。HPFRCC の引張性能を決定するのは架橋則であり、架橋則は単繊維とマトリックスとの付着特性、繊維群の配向性、配向性に伴い架橋能力が変化するスナビング効果によって表現される。繊維群の配向性の評価法については、研究者らの既往の研究①において配向強度といった指標を導入した確率密度関数を提案している。

建築構造物の高性能化に資する可能性を秘めた HPFRCC が実構造物への利用があまり進んでいない要因の一つとして、性能の定量的評価の難しさが挙げられる。繊維の配向性は打設方向に強く影響され、それに伴い、架橋則の評価が異なるためである。加えて、HPFRCC における寸法効果の存在が挙げられる。HPFRCC における寸法効果は、型枠面によって物理的に繊維の配向が制限されるウォールエフェクトや、打設方向等によって生じると考えられるが、未解明な部分が多いのが現状である。

2. 研究の目的

HPFRCC の力学性能を決定づける架橋則は主にマトリックス中の繊維群の配向性に影響を受ける。マトリックス中の配向性は打設時の流動方向に加えて、型枠等の境界条件によって変化すると考えられるため、本研究では、寸法効果に着目し、試験体寸法が繊維配向性に与える影響を実験的に検証する。さらに、研究者が提案した繊維配向性を表現する確率密度関数に寸法因子を導入し再構築を行い、一軸引張実験結果との比較検討を行う。

3. 研究の方法

研究手法は、試験体寸法と打設方向を変動因子とした、ケイ酸ナトリウム水溶液 (水ガラス) を用いた繊維配向性の可視化試験、HPFRCC の一軸引張実験、加力終了後のひび割れ断面における架橋繊維本数の計測である。対象となる繊維は、HPFRCC に主に使用される繊維長が 12mm の PVA (ポリビニルアルコール) 繊維である。

可視化試験は、試験体寸法と打設方向が繊維配向性に与える影響を把握するため、図 1 に示すような、一軸引張試験体の型枠を模擬した水槽の代表寸法 (t) を 12、25、50、100mm とした相似型のアクリル水槽を作製した。さらに、図 2 に示す打設方向に従って、実際のマトリックスと流動性を同等に調整した水ガラスに PVA 繊維と 3 色のターゲット繊維を混入した模擬的な HPFRCC を打ち込む。水槽中央部を撮影した画像に写り込むターゲット繊維の配向角を画像解析によって取得した

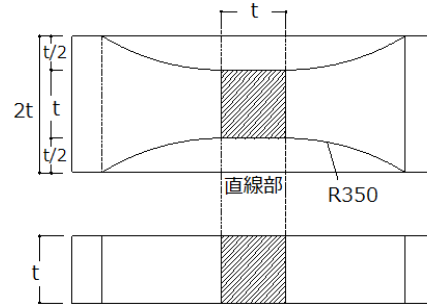


図 1 型枠の形状

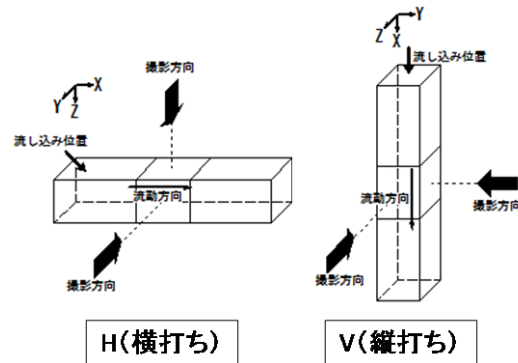


図 2 配向性を考慮した打設方法

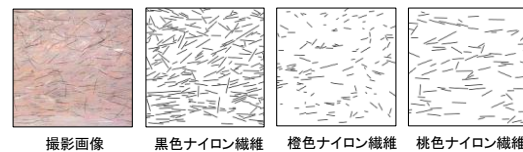


図 3 水ガラスを用いた繊維の可視化試験

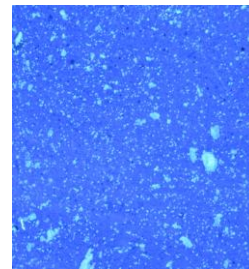


図 4 蛍光する PVA 繊維

(図 3)。一軸引張実験は、可視化試験と同様の実験因子で試験体を作製し、加力を行った。架橋繊維本数の計測は、ひび割れ断面に露出している繊維を除去する程度に、ごく表層をコンクリートカッターで切断した後、ブラックライトにより PVA 繊維を蛍光させて切断面を撮影し (図 4)、撮影画像の画像解析により架橋繊維本数を計測した。配向性と架橋繊維本数の関係から、寸法効果と打設方向による影響を検討する。また、ひび割れ断面に対して配向角が大きいほど単繊維の最大引抜荷重が増大するとされるスナビング効果には、適応限界である配向角が存在し得るため、 $0^{\circ} \sim 75^{\circ}$ の配向角を有する単繊維の引抜実験も行った。

4. 研究成果

(1) PVA 繊維の引抜性状と架橋則の構築

図5に示すような、配向角を変動因子とし、埋込長を統一した試験体、加力装置を用いて引抜試験を行った。加力中の様子をデジタル顕微鏡を用いて観察したところ、特に配向角が75°の場合には図6に示すように、繊維埋込口の周辺の剥離が認められた。図7より、配

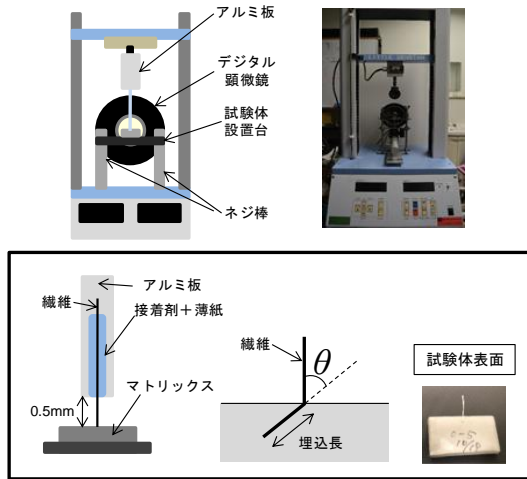


図5 単繊維引抜試験



図6 埋込口周辺の剥離

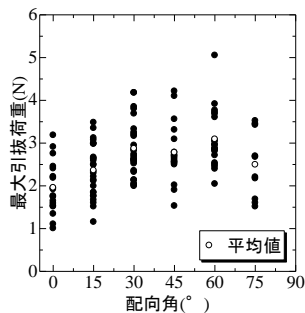


図7 最大引抜荷重—配向角関係

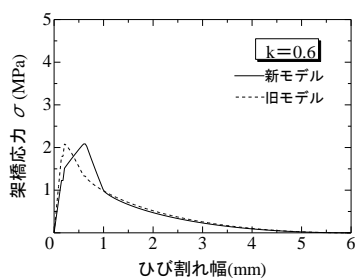


図8 架橋則の計算結果の一例

向角が60°まではスナビング効果が概ね確認できるが、75°については15°と同等の効果しか得られないことがわかった。今回得られた知見から、配向角60°までスナビング効果に従い、以降は15°における荷重で一定とした新モデル、配向角全域でスナビング効果に従う旧モデルを用いて、研究者の既往の研究①と同様の方法で架橋則を計算した結果を図8に示す。モデル形状は新旧共にトリリニアモデルである。配向性が試験体軸直交方向に強くなる傾向の場合、大きい配向角が支配的であるため、旧モデルでは繊維の破断荷重を上回り、荷重低下が早い段階で生じるが、新モデルではそれを改善できている。

(2) 試験体寸法、打設方向を考慮した繊維配向角分布の評価

可視化試験によって得られた撮影画像から、試験体寸法と打設方向が繊維配向性に与える影響の評価を行った。図9に繊維配向角分布の一例として、繊維混入率(V_f)が2.0%、試験体寸法(t)が12mm(図9左列)と50mm(図9右列)の場合を示す。配向角0°は試験体軸方向に一致している。横打ち且つ試験体寸法が小さいほど、流動方向とウォールエフェクトの影響により配向性は試験体軸方向に卓越する傾向を示すが、試験体寸法が極端に小さい場合は打設方向に関わらず、ウォールエフェクトによって強制的に試験体軸方向に配向することが確認できた。また、図10に示す配向性の強さを示す配向強度(k)と各試験体寸法の関係からも、試験体寸法(代表寸法)が小さくなるほど配向強度が小さく

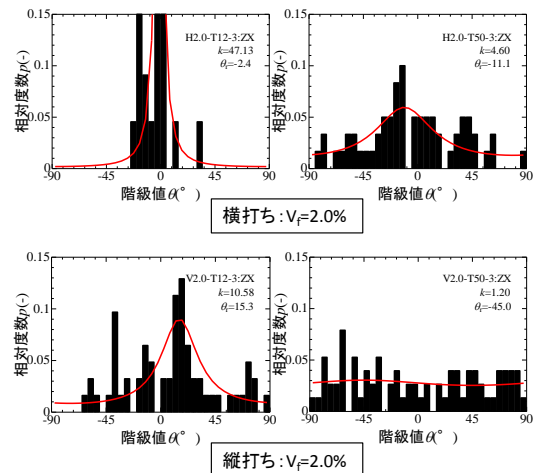


図9 繊維配向角分布の一例

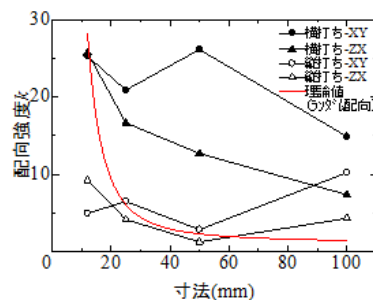


図10 配向強度—試験体寸法関係

なる傾向が見て取れ、配向性について寸法効果の存在が確認できた。また、図中のウォールエフェクトを考慮した2次元ランダム配向時の配向強度の理論値(k_{rand})と比較すると、横打ちの場合は理論値よりも大きい値を示している。これは、ウォールエフェクトに加えて、打設方向の影響により、横打ちの場合は試験体軸方向へより配向するためと考えられる。縦打ちの場合は、反対の配向が想定されるが、軸直交方向への流動距離が短いために、水ガラスの流下に伴う攪拌の影響の方が大きく、理論値と傾向が概ね一致すると考えられる。

(3) 一軸引張実験の寸法効果の評価

HPFRCCの一軸引張実験より得られた平均架橋応力-試験体断面積関係を図11に示す。横打ちについては、試験体寸法(t)が

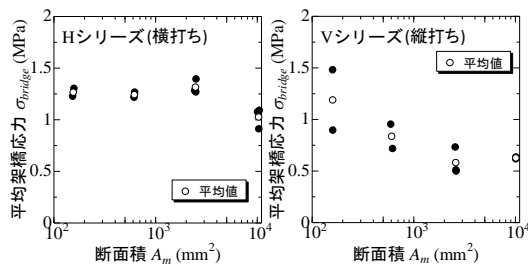


図11 平均架橋応力-断面積関係

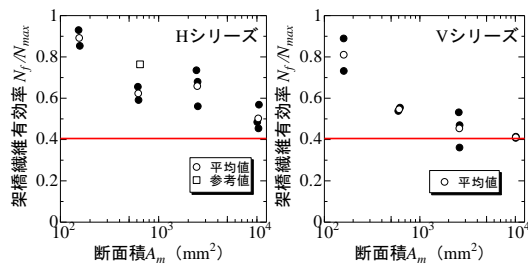


図12 架橋繊維有効率-断面積関係

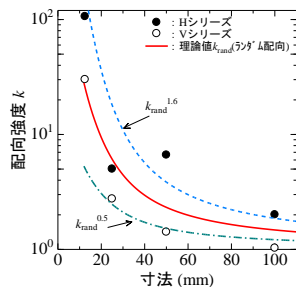


図13 配向強度-試験体寸法関係

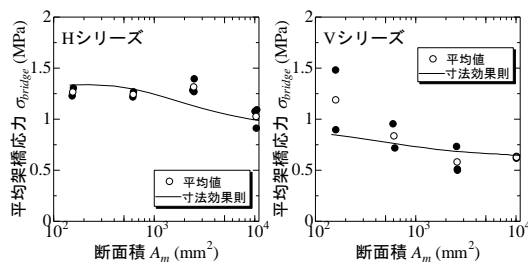


図14 平均架橋応力の評価

12mm~50mmまでは寸法効果は確認出来ず、試験体寸法が100mmより寸法効果が確認出来た。一方、縦打ちについては、試験体寸法が大きくなるほど平均架橋応力は小さくなっており、顕著な寸法効果が確認出来た。繊維の配向性が試験体軸方向に強くなるほど、ひび割れに架橋する繊維が多くなることから、試験体ひび割れ断面における繊維本数を計測することによって、平均架橋応力の寸法効果の評価が可能と考えた。図12は、架橋繊維有効率と試験体断面積の関係である。架橋繊維有効率とは、計測した繊維本数を、全ての繊維が軸方向に配向した場合における最大架橋本数で除した値である。打設方向に関わらず、有効率は試験体寸法が大きくなるほど小さくなり、縦打ちはより顕著な低下が見られた。有効率と等価となる配向強度(k)を算出し、試験体寸法との比較をしたところ、図13に示すように可視化試験において得られた結果と同様の傾向を示した。理論値(k_{rand})と比較すると、横打ちは理論値の1.6、縦打ちは0.5の冪乗と概ね適応する結果が得られた。ウォールエフェクトの影響が大きい試験体寸法が極端に小さい場合を除けば、試験体寸法に依らず、打設方向による配向強度の増減率は一定と考えられる。これらを考慮し、計算した架橋則から算出した平均架橋応力と実験値の比較(図14)をしたところ、打設方向による寸法効果の発現モードの違いを表現出来た。

<引用文献>

- ① T. Kanakubo, M. Miyaguchi, K. Asano: Influence of Fiber Orientation on Bridging Performance of Polyvinyl Alcohol Fiber-Reinforced Cementitious Composite, Materials Journal, American Concrete Institute, Vol.113, No.2, pp.131-141,2016

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計2件)

- ① 上西亮平, 浅野浩平: HPFRCCにおける打設方向と繊維混入率及び試験体寸法が繊維配向性に与える影響, 日本建築学会九州支部研究発表会, 2018.3.4, 鹿児島大学(鹿児島県・鹿児島市)
- ② 浅野浩平: 繊維配向性を考慮したHPFRCCにおける引張性能の寸法効果に関する研究, 日本建築学会九州支部研究発表会, 2018.3.4, 鹿児島大学(鹿児島県・鹿児島市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浅野 浩平 (ASANO, Kohei)

都城工業高等専門学校・建築学科・助教

研究者番号: 90735119