

氏名（本籍）	保 城 秀 樹（兵庫県）
学位の種類	博 士（工学）
学位授与番号	乙第 58 号
学位授与日付	平成 20 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	複数微細ひび割れ型高靱性セメント複合材料に適したポリビニルアルコール繊維の開発 (Development of PVA fibers for ductile cementitious composites with multiple fine cracks)
学位論文審査委員	(主査) 教授 六 郷 恵 哲 (副査) 教授 森 本 博 昭 教授 内 田 裕 市

論文内容の要旨

1990年代の中頃に、ミシガン大学の Victor C. Li 教授が、マイクロメカニクスと破壊力学による材料配合設計を行なうことで、一軸引張応力下において擬似ひずみ硬化特性を示し、微細で高密度の複数ひび割れを形成し高靱性で延性な挙動を示す複数微細ひび割れ型高靱性セメント複合材料の理論を確立した。申請者は、Li 教授と共同研究を行い、本補強繊維には、高強度と低伸度が求められるのみならず、界面が制御可能であること、かつ長期耐久性があり、比較的安価で、取り扱い性の優れた材料であることが求められたため、溶剤冷却湿式紡糸方法によるポリビニルアルコール繊維に着目し、補強繊維の最適化、ならびに本繊維による複数微細ひび割れ型高靱性セメント複合材料の開発を開始した。

本研究の目的は、この複数微細ひび割れを有する複合材料に適した高強度ポリビニルアルコール繊維を開発すること、また最も重要な問題の一つであるポリビニルアルコール繊維の劣化機構を解明し、高アルカリ雰囲気下での長期耐久性を調査すること、本繊維の施工性を考慮して分散性に優れた収束材を開発することにある。

第1章では、本研究の背景と目的、内容を示し、有機繊維の中における、PVA 繊維の特長と従来のモルタル及びコンクリート補強用 PVA 繊維との比較から、高靱性セメント複合材料の位置付けについてまとめている。

第2章では、PVA 繊維の一般的な製造方法と繊維の機械的性能を紹介するとともに、高靱性セメント複合材理論の説明、ならびに潜在用途についてまとめている。

第3章では、高強度 PVA 繊維の操業製造条件を考慮した上で、複数微細ひび割れ型高靱性セメント複合材料用補強繊維の各種機械的特性（直径、強度、伸度、弾性率他）を、理論式を用いて設計し、また、PVA 繊維とマトリックスの界面特性に関して、重要な役割を担う表面処理油剤及び付着量の最適化を検討している。

第4章では、PVA 繊維の収束及びその分散性解析手法についてまとめている。複数微細ひび割れ型高靱性セメント複合材料は、従来の繊維補強セメント複合材に比べて、繊維量が約2体積%と多いことから、繊維の分散性が性能に及ぼす影響が大きい。このため、施

工性を考慮して、プレミックス用集束剤を検討した。また、PVA 繊維にブラックライトを照射すると緑色蛍光を発光することに着目し、複合材中の繊維の分散解析手法をまとめている。

第5章では、PVA 繊維が高温アルカリ中で、酸化劣化して黄変することから、セメント中でのPVA 繊維の劣化機構を解明し、耐久性を理論的に計算している。次に、PVA 繊維を高温擬似セメント抽出液に浸漬して、アルカリ雰囲気下での繊維の耐久性加速試験を報告している。石綿代替PVA 繊維補強スレートが既に販売から約20年経過したため、繊維補強スレートからPVA 繊維を取り出し、繊維に性能低下が起きていないことを実証している。最後に、高靱性セメント複合材の耐久性加速試験を行い、補強用PVA 繊維ならびに界面の耐久性を検証している。

第6章では、複数微細ひび割れ型高靱性セメント複合材料の研究を通じて得た繊維開発の知見を繊維補強スレートに利用し、新たに開発した高靱性セメントボードの製造方法ならびに諸物性について述べている。従来のスレートに比べて、靱性、加工性ならびに耐久性等の性能が優れているため、幅広い用途拡大が期待される。

第7章では、結論と今後の高靱性セメント複合材用PVA 繊維に対する提案と課題を述べている。

論文審査結果の要旨

1990年代の中頃に、ミシガン大学のVictor C. Li教授が、マイクロメカニクスと破壊力学による材料配合設計を行なうことで、一軸引張応力下において擬似ひずみ硬化特性を示し、微細で高密度の複数ひび割れを形成し高靱性な挙動を示す複数微細ひび割れ型高靱性セメント複合材料の理論を確立した。論文提出者は、Li教授のもとで、この材料に適した高強度ポリビニルアルコール（PVA）繊維の開発に関する共同研究を行っている。

この論文は、複数微細ひび割れ型高靱性セメント複合材料に適したPVA繊維を開発することを目的としている。この複合材料に望ましい性能を付与するためには、繊維、マトリックス、それらの界面の3者の物性のバランスが重要であることから、PVA繊維の親水性を抑制するための表面処理剤（油剤エマルジョン）と最適ならびにその使用方法（噴霧式）を提案している。練混ぜ時にPVA繊維が分散しやすくなるよう、繊維の最適な収束方法を提案している。PVA繊維の分散の程度を定量化するため、水銀ランプのついた実体蛍光顕微鏡を用いて、供試体断面で発光するPVA繊維を観察し、画像解析処理を行う手法を提案している。PVA繊維の劣化機構を分子構造から解明するとともに、温水浸漬による促進試験を行い、セメント由来のアルカリ環境下でかつ通常の使用温度下においては、PVA繊維は補強材として十分な耐久性を有していることを明らかにしている。

この論文は、以下に詳しく示すように有用な研究結果を多く含んでいる。したがって、審査の結果、この論文を学位論文に値するものと判定した。

（1）繊維の付着

高強度PVA 繊維の操業製造条件を考慮した上で、複数微細ひび割れ型高靱性セメント複合材料用補強繊維の各種機械的特性（直径、強度、伸度、弾性率他）を、理論式を用いて設計するとともに、PVA 繊維とマトリックスの界面特性に関して、重要な役割を担う表面処理油剤及び付着量の最適な条件を明らかにしている。

（2）繊維の分散

PVA 繊維の収束及びその分散性解析手法についてまとめるとともに、複数微細ひび割れ型高靱性セメント複合材料は、従来の繊維補強セメント複合材に比べて繊維量が体積比で約2%と多いことから、繊維の分散性が性能に及ぼす影響が大きい。このため、施工性を考慮して、プレミックス用集束剤を提案している。PVA 繊維にブラックライトを照射すると緑色蛍光を発光することに着目し、複合材中の繊維の分散解析手法を提案している。

(3) 繊維の耐久性

PVA 繊維が高温アルカリ中で、酸化劣化して黄変することから、セメント中での PVA 繊維の劣化機構を解明し、耐久性を理論的に計算している。次に、PVA 繊維を高温擬似セメント抽出液に浸漬して、アルカリ雰囲気下での繊維の耐久性加速試験を行っている。石綿代替 PVA 繊維補強スレートが既に販売から約 20 年経過したため、繊維補強スレートから PVA 繊維を取り出し、繊維に性能低下が起きていないことを明らかにしている。高靱性セメント複合材の耐久性加速試験を行い、補強用 PVA 繊維ならびに界面の耐久性を確認している。

(4) 高靱性セメントボードの開発

複数微細ひび割れ型高靱性セメント複合材料の研究を通じて得た繊維開発の知見を繊維補強スレートに適用し、新たに開発した高靱性セメントボードの製造方法ならびに諸物性を明らかにしている。従来のスレートに比べて、靱性、加工性ならびに耐久性等の性能が優れた高靱性セメントボードを開発している。

最終試験結果の要旨

(1) 公表論文

この論文の主要部分は、審査付き論文3編と国際会議論文5編として既に公表済みである。この論文が学位論文として完成された内容を有することを確認した。なお、この論文の成果は、5件の特許となっている。

(2) 学力試問

公聴会までに以下に示す課題についての試問を行い、申請者が学位を授与するに十分な専門的知識を有することを確認した。

- ① コンクリートの体積変化とひび割れ
- ② コンクリート構造物の劣化と診断

(3) 公聴会

公聴会を開催して審査を行った。学位審査委員会で審議の結果、最終試験に合格と判定した。