

氏 名	いがらし しん いち 五十嵐 心 一
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論工博第2792号
学位授与の日付	平成6年1月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	繊維補強セメント系複合材料における界面領域の組織と付着機構に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 藤井 學 教授 小林昭一 教授 森田司郎

### 論 文 内 容 の 要 旨

繊維補強セメント系複合材料の強度特性や耐久性に重大な影響を及ぼす要因は、繊維-セメントマトリックス間の特異な界面領域の組織と密接に関連した繊維-マトリックス間の付着特性であるとの見地から、本研究は、種々の繊維-セメントマトリックス間の界面領域の組織の形成過程を明らかにすると同時に、その微視的構造の特徴と繊維の付着特性との関連から2, 3の繊維補強セメント系複合材料の力学的特性や耐久性を検討したものであり、6章からなっている。

第1章においては繊維-セメントマトリックス界面の存在に起因する問題点および本研究の目的と内容について述べている。

第2章においては、繊維-セメントマトリックス界面領域の組織の変化が直接繊維補強セメントの用途展開を制限していると考えられるガラス繊維補強セメントの耐久性について検討している。すなわち、ガラス繊維補強セメントを土木分野の構造部材に適用することを考え、マトリックスにコンクリートを使用してプレミックス法により作製したガラス繊維補強コンクリートの耐久性をガラス繊維近傍の微視的構造の特徴と関連づけながら論じている。養生条件の相違およびガラス繊維ストランドのときほぐれの程度の相違がガラス繊維補強コンクリートの耐久性におよぼす影響から検討を行い、スプレー法により作製されたガラス繊維補強セメントの耐久性との比較を行っている。

第3章においては、第2章の結果より、比較的早期のガラス繊維補強セメントの脆性化の問題はガラス繊維-セメントマトリックス界面領域の組織変化に起因することが示唆されたことから、ガラス繊維補強セメント中のガラス繊維-セメントマトリックス界面領域の組織の形成過程を界面領域の微小硬度分布パターン、EDXA点分析および反射電子像の画像解析により求められた構成相の分布により明らかにして、これとガラス繊維補強モルタルの力学的性質の変化との関係について検討している。そして、ガラス繊維周囲の特異な界面領域の組織とガラス繊維の付着特性、およびそのような組織がマトリックスのひびわれの進展におよぼす影響を指摘している。さらに、ガラス繊維補強セメントの耐久性を改善するための一方法と考えられているボゾラン材料の混入に関連して、フライアッシュおよびシリカフェームを混入したガ

ラス繊維補強モルタルの耐久性改善効果を界面領域の組織変化との関連から検討して、普通セメントを使用した場合との比較を行っている。

第4章においては、これまで推定されながらも明確ではなかった繊維-セメントペースト界面領域の組織が繊維の種類および形態により相違しうるということを明らかにするために行われた研究結果についてまとめている。近年、セメント系材料への適用が積極的に検討されている2, 3の炭素繊維およびアラミド繊維を使用して、それらの繊維-セメントペーストマトリックス界面領域の組織の特徴を明らかにして、鋼繊維およびガラス繊維とセメントペーストマトリックス間の界面領域と比較している。さらに、炭素繊維補強モルタルの力学的特性の変化を界面領域の組織と関連づけながら論じて、ガラス繊維補強セメントの力学的特性の変化との比較を行っている。また、集束型繊維-セメントマトリックス界面領域の組織は繊維の種類によって異なるのは繊維に使用されている集束剤が界面領域の組織の形成に影響をおよぼすためであることを明らかにしている。集束剤のその影響は界面領域を緻密化する場合と多孔質な状態を保持させる場合とに分けられ、緻密化する場合に対しては集束剤自体が高アルカリ環境下で硬化反応を生じること、また、多孔質にする場合に対しては集束剤が界面領域のセメントの水和反応を抑制するためであることを明らかにしている。

第5章においては鋼繊維-セメントマトリックス間の付着特性の評価に破壊力学手法を援用し、付着特性を界面領域の付着破壊に関する破壊靱性と付着破壊後の界面の摩擦応力の2つのパラメータにより評価することを試み、それらを実験により求める方法を提案している。また、マトリックスの配合の変化やシリカフェームの混入が鋼繊維-マトリックス界面領域の微視的構造におよぼす影響を微小硬度測定により明らかにし、破壊靱性値および摩擦応力と界面領域の緻密化の程度との関係について考察している。さらに、鋼繊維の付着破壊・引き抜け過程を蛍光顕微鏡観察により明らかにし、付着破壊進行過程の特徴と界面領域の破壊靱性および摩擦応力との関係を検討している。さらにまた、破壊靱性値と明らかにされた付着破壊過程の特徴の考察から、鋼繊維補強モルタルの強度および靱性を増大させる一方法としてシリカフェームおよび短炭素繊維をマトリックスに同時に混入することを提案している。そして、それらを混入したモルタルマトリックスと鋼繊維の付着特性を引き抜き試験により明らかにするとともに、繊維の引き抜け試験時のエネルギー吸収機構と実際の鋼繊維補強モルタル中においてひびわれを架橋するランダムに配向した鋼繊維が引き抜けるときのエネルギー吸収機構との相違に関する考察に基づいて、短炭素繊維およびシリカフェーム混入鋼繊維補強モルタルの強度および靱性が増大するメカニズムを説明している。

第6章の結論では本論文で得られた成果についてまとめるとともに今後の課題について言及している。

## 論文審査の結果の要旨

本研究は、種々の繊維-セメントマトリックス間の界面領域の組織の形成過程を明らかにして、界面領域の組織が繊維補強セメント系複合材料の力学的特性や耐久性におよぼす影響について検討を行ったものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. プレミックス法により作製されたガラス繊維補強コンクリートでは、コンクリートの練り混ぜ中にガラス繊維ストランドがときほぐれ、個々のフィラメントがマトリックスと直接接するようになる。この

ため、個々のフィラメントが界面領域の組織変化の影響を受けることになるので、脆性化の進行の程度をスプレー法により作製されたガラス繊維補強セメントと同様に考えることはできないことを指摘している。

2. 繊維補強-セメントペースト界面領域においては、実界面から離れたところに硬度の高い緻密な領域が形成され、材齢とともに不均質な組織となる。脆性化が顕著となる材齢においてこの傾向が強く現れることから、ガラス繊維補強セメントの脆性化にはこの特異な領域の形成が関連することを明らかにしている。

3. 集束型の繊維の周囲に形成される界面領域の組織は集束剤の影響を受けることを指摘し、同一の繊維に対して集束剤を変化させた場合の界面領域の組織変化を集束剤のセメントマトリックス中での安定性および界面領域におけるセメントの水和反応への影響から考察している。さらに、形成された界面領域が繊維の付着・引き抜け特性におよぼす影響を繊維補強セメントのひびわれ発生後の変形挙動の変化から論じて、集束型繊維補強セメントの力学的特性は集束剤により変化させることができること、および適切な集束剤の選択の必要性を指摘している。

4. 緻密な界面領域の形成が必ずしも鋼繊維-マトリックス界面領域の破壊靱性を増大させるとは限らないことを実験により検証している。さらに、鋼繊維の付着破壊は実界面における単純なせん断破壊の進行ではなく、比較的広範囲の領域の破壊をとまうことを明らかにしている。そして、鋼繊維が引き抜けるときのエネルギー吸収機構に関する考察より、高性能の繊維補強セメント系複合材料を得るためには、マトリックスの靱性を増大させる必要があることを指摘している。

以上要するに、本論文は繊維-セメントマトリックス界面領域の組織の特徴の付着特性を明らかにすることより、界面領域の特性と繊維補強セメント系複合材料の力学的特性との関係について多くの知見を得たものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成5年11月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。