

氏 名（本 籍）	前 田 徳 一（鹿児島県）
学 位 の 種 類	博 士（工学）
学 位 授 与 番 号	甲第 426 号
学 位 授 与 日 付	平成 24 年 9 月 30 日
専 攻	生産開発システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	ポリエチレン繊維を用いたセメント系複合材料の性能と構造利用 (Performance and applications of cement composites reinforced with polyethylene net and short fiber)
学位論文審査委員	(主 査) 准教授 小 林 孝 一 (副 査) 教 授 内 田 裕 市 教 授 六 郷 恵 哲

### 論文内容の要旨

第1章「序論」では、研究の背景として古くから土木や建築分野で繊維が使われていたことを述べ、用語の定義を行なった。次に研究の目的と本論文の構成について述べた。HPFRCC の材料評価を行なった後、HPFRCC の耐久性と構造利用についてまとめ、さらに高強度 PE 繊維を加えた構造利用についてまとめる構成である。

第2章「コンクリート補強繊維と高性能な補強繊維の特性」では、新素材繊維導入の背景と繊維の製造法について説明し、本研究で用いる PE 繊維の作り方の違いとその特性および用途、あるいは繊維メッシュシートや連続繊維シートの特性および提供事例について述べている。

第3章「HPFRCC の配合の検討」では、HPFRCC の配合の中で、マトリクスモルタルの圧縮強度に影響を与える因子として、空気量・繊維の混入率・使用する繊維の引張強度(引張弾性率)・石灰石粉の置換率が関係することをつきとめ、その割合を定量化した。

第4章「高強度ならびに中強度の PE 繊維を用いた HPFRCC の引張性能に及ぼす材齢と養生条件の影響」では、高強度と中強度の PE 繊維を用い材齢1年までの引張試験と圧縮試験の結果を、水中養生と気中養生にわけて測定した。材齢が進むに従い圧縮強度が高くなり、比例して初期ひび割れ強度が高くなり、引張性能が出にくくなった。HPFRCC の配合を決める上で、マトリクスの強度が高すぎないようにする工夫が必要であると述べている。

第5章「袋練混ぜ方法により作成した配合と力学特性」では、少量の材料を練混ぜて施工する場合、大規模な練混ぜ機ではかえって混ぜにくい問題を、ポリエチレン製袋に材料を投入し、手練りで HPFRCC を練混ぜる方法を提案した。その結果、袋練混ぜによる HPFRCC の場合でも、ひずみ硬化特性や複数ひび割れ特性を発現し、十分現場での適用が可能であることを示した。

第6章「ひび割れを有する HPFRCC 積層供試体の耐凍害性能」では、高強度と中強度の PE 繊維を用い、単一供試体と積層供試体の耐凍害性能を普通のコンクリートと比較した。その結果、中強度の PE 繊維であってもスケーリング劣化の抑制効果が認められた。さらに、積層する事でいっそうのスケーリング劣化を抑制することが確認した。

第7章「HPFRCC と連続繊維メッシュシートを用いたコンクリート構造物の剥落防止工法の性能評価」では、高強度 PE 繊維を10mm間隔のメッシュ状に配列したシートをコンクリート構造物の表面に HPFRCC を用いて貼り付け、供試体の剥落防止性能について確認した。使用環境を模擬する為、 $-30^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$ 、 $60^{\circ}\text{C}$  の環境下に半日以上設置し、その温度環境下で性能評価を行った。その結果、ライニング材が HPFRCC の場合、どの温度環境化においても変位 10 mm 以上における荷重が 1.5kN であることを確認し、外気温に左右されない剥落防止工法を確認できた。

第8章「電食および塩害で劣化した RC 部材への HPFRCC を用いた補修工法の適用」では、電食および塩害で擬似的に腐食させた RC 部材を HPFRCC で補修しその性能について確認した。その結果、HPFRCC で補強することによりひび割れが微細に分散し、大変形を求められないはり部材への補修に効果的なことを確認した。

第9章「まとめ」では、本研究についてまとめ、今後の課題を述べた。

### 論文審査結果の要旨

この論文では、ポリエチレン (PE) 繊維を用いた繊維補強セメント複合材料 (HPFRCC) を対象として、

長期材齢における引張性能を明らかにしている。少量の HPFRCC を使用する場合を想定し、HPFRCC の 粉体混合物をポリエチレン製の袋に入れ、所定の水を投入して手揉みにより練混ぜる方法を提案している。

ひび割れを有するコンクリート部材を HPFRCC で補修した場合の耐凍害性を明らかにしている。コンクリート構造物の剥落防止を目的として、構造物の表面に PE 繊維メッシュシートを HPFRCC で貼り付ける工法の剥落防止性能を明らかにしている。鉄筋が腐食した鉄筋コンクリート部材に対して吹付 HPFRCC により断面修復を行い、曲げ耐荷性能と鉄筋防食性を明らかにしている。

この論文は、次に詳しく示すように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) コンクリート補強繊維と高性能な補強繊維

新素材繊維導入の背景と繊維の製造法について説明し、本研究で用いる PE 繊維の製造方法の違いとその特性および用途について述べるとともに、繊維メッシュシートや連続繊維シートの特長および適用事例について述べている。

#### (2) HPFRCC の配合の検討

HPFRCC の配合の中で、マトリクスモルタルの圧縮強度に影響を与える因子として、空気量、繊維の混入率、使用する繊維の引張強度(引張弾性率)、石灰石粉の置換率を取り上げ、それらの影響を定量的に明らかにしている。

#### (3) HPFRCC の引張性能に及ぼす材齢と養生条件の影響

高強度と中強度の PE 繊維を用いた HPFRCC について、材齢 1 年までの引張強度と圧縮強度を、水中養生と気中養生とにわけて測定している。材齢が進むにつれて圧縮強度が高くなり、圧縮強度にほぼ比例して初期ひび割れ強度が高くなり、引張ひずみ硬化挙動と複数微細ひび割れ特性が表れにくくなることを明らかにしている。HPFRCC の配合を決める上で、マトリクスの圧縮強度が長期材齢においても高くなりすぎないようにする工夫が必要なことを明らかにしている。

#### (4) 袋練混ぜ方法により製造した HPFRCC の力学特性

少量の HPFRCC を施工する用途の場合、ミキサーを用いて製造する従来の方法は必ずしも合理的ではない。この問題を解決するため、ポリエチレン製袋に材料を投入し、手練りで HPFRCC を簡単に練混ぜる方法を提案している。袋練混ぜによる HPFRCC の場合でも、引張ひずみ硬化特性と複数微細ひび割れ特性を示し、現場での適用が十分可能なことを明らかにしている。

#### (5) ひび割れを有する HPFRCC 積層供試体の耐凍害性能

高強度と中強度の PE 繊維を用い、全体を HPFRCC とした単一供試体と表層を HPFRCC とした積層供試体を作製し、その耐凍害性能を普通コンクリート製の供試体と比較している。中強度の PE 繊維であっても、スケーリング劣化の抑制効果があることを報告している。さらに、コンクリートの表面に HPFRCC を積層することで、スケーリング劣化が抑制されることを明らかにしている。

#### (6) HPFRCC と連続繊維メッシュシートを用いた剥落防止工法の性能評価

高強度 PE 繊維を 10mm 間隔のメッシュ状にしたシートをコンクリート部材の表面に HPFRCC を用いて貼り付け、コンクリートの剥落防止性能について検討している。使用環境を模擬するため、 $-30^{\circ}\text{C}$ 、 $20^{\circ}\text{C}$ 、 $60^{\circ}\text{C}$ の環境下に半日以上設置し、その温度環境下で性能評価を行っている。表面補修材に HPFRCC を用いた場合、いずれの温度環境下においても、変位 10mm おける荷重が 1.5kN 以上あることを確認し、外気温の影響を受けにくい剥落防止工法であることを確認している。

#### (7) 電食および塩害で劣化した RC 部材の補修への HPFRCC の適用

電食および塩害で擬似的に鉄筋を腐食させた RC 部材を、HPFRCC を用いて補修し、その耐荷性能を明らかにしている。HPFRCC で補修することにより、ひび割れが微細に分散することと、変形性能を求められない RC はり部材の場合には HPFRCC による補修が有効なことを明らかにしている。

### 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 6 編として既に発表済みである。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。

発表論文リスト（学位論文に直接関係する論文）

審査付き論文

- 1) 谷本竜也, 宮里心一, 前田徳一, 六郷恵哲: ECCと連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の剥落防止工法の性能評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.1743-1748, 2004.7
- 2) 大畑卓也, 中澤里, 前田徳一, 六郷恵哲: ひび割れを有するHPFRCC積層供試体の耐凍害性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.233-238, 2010.6
- 3) 近藤遊, 浅野幸男, 前田徳一, 六郷恵哲: 袋練混ぜ方法により作成したHPFRCCの配合と力学特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.245-250, 2011.7
- 4) 大橋亮介, 前田徳一, 浅野翔也, 小林孝一: 塩害劣化したRC部材への耐荷力の回復を目的としたHPFRCCと繊維ネットの適用, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp.1249-1254, 2011.7
- 5) 浅野翔也, 前田徳一, 大橋亮介, 小林孝一: 鉄筋腐食によって劣化したRC部材のHPFRCCを用いた補修工法の提案, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp.1357-1362, 2011.7
- 6) 前田徳一, LE Anh-Dung, 浅野幸男, 六郷恵哲: 高強度ならびに中強度のPE繊維を用いたHPFRCCの引張性能に及ぼす材齢と養生条件の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.256-261, 2012.7

(2) 修得単位

指定された単位を修得していることを確認した。

(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。