

## 環境負荷低減型繊維補強ポリマーセメントモルタルの開発と評価

その他（別言語等）のタイトル	Development and Evaluation of a Fiber-reinforced Polymer Cement Mortar with Reduced Environmental Load
著者	長谷川 諒
学位名	博士（工学）
学位の種別	課程博士
報告番号	甲第415号
研究科・専攻	工学専攻
学位授与年月日	2018-03-23
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00009636">http://hdl.handle.net/10258/00009636</a>

氏 名 長谷川 諒

学 位 論 文 題 目 環境負荷低減型繊維補強ポリマーセメントモルタルの開発と評価

論 文 審 査 委 員 主査 教 授 濱 幸雄  
教 授 溝口 光男  
准教授 菅田 紀之

## 論文内容の要旨

コンクリート構造物は社会のインフラや人々の安全を支える重要な役割を担っている。コンクリート構造物を長期間使い続けるには、ライフサイクルコストの低減や環境に配慮した補修・補強を行うことが重要となる。そのため、環境負荷を抑えた補修材の利用が求められている。

補修材料には、劣化因子の侵入を抑制し、引張性状を改善した繊維補強ポリマーセメントモルタルが広く使用されている。寒冷地では凍結融解作用によりコンクリート表面が剥離し、二酸化炭素や塩化物イオンなどの劣化因子の侵入により鉄筋腐食を引き起こす。そこで、寒冷地で使用する補修材は耐凍害性に優れている必要がある。また、2001年に施行されたグリーン購入法により、国や地方自治体による特定調達品目（環境負荷低減に資する製品等）の積極的な調達が求められている。

これらの背景をふまえ、本研究では新たに寒冷地での使用に対応した環境負荷低減型繊維補強ポリマーセメントモルタル（ECO-FRPCM）の開発を目的に、材料設計を行い、開発した ECO-FRPCM の性能評価を行った。

1章では研究の背景および既往研究について記述した。

2章では、ECO-FRPCM の開発コンセプトを明示するとともに、市販品 FRPCM の調合推定、チクソ性、曲げ強度、圧縮強度、硬化収縮率、耐凍害性、施工性、靱性に及ぼす混和材や繊維種類の影響の検討を行い、最終的にポリプロピレン繊維を 0.5%およびポリビニルアルコールとポリエチレン繊維を 6:4 で 1.5%混入した ECO-FRPCM の基本調合を提案した。

3章では、提案した ECO-FRPCM の化学抵抗性の評価として、中性化抵

抗性、耐硫酸塩性、遮塩性を同一水結合材比の普通モルタルと比較評価した。ECO-FRPCM の混和材に用いられている高炉スラグ微粉末やフライアッシュの影響で中性化抵抗性は普通モルタルより劣るが、耐硫酸塩性ならびに遮塩性に優れていることを示した。

4章では、ECO-FRPCM の収縮性状に及ぼす膨張材、収縮低減剤および温湿度条件の影響を検討し、収縮に影響する要因を明らかにした。また、膨張材による収縮補償を考慮した硬化収縮率の評価が必要であることを指摘した。

5章では、凍害劣化が繊維補強モルタル (FRM) と繊維量 1.5%の ECO-FRPCM の引張性状に及ぼす影響を比較検討した。FRM では軽微な凍害劣化でも引張性状に影響を及ぼすことを確認した。しかし、ECO-FRPCM では相対動弾性係数が 80% を下回ると期待されている疑似ひずみ硬化特性が失われ、ひずみ軟化挙動を示すことを把握し、繊維付着強度と複合亀裂先端靱性の関係から引張破壊挙動を推定する方法を提案した。

6章では 1 章から 5 章までで得られた知見をまとめて、本論文の総括とした。

## ABSTRACT

Concrete structures play an important role in society, serving as a vital component of infrastructure and helping to ensure public safety. To ensure that such structures can be used continuously over long time frames, it is critical to reduce their life-cycle costs and to implement environmentally friendly techniques to repair and reinforce them. Meeting this challenge requires builders to use repair materials having minimized environmental load.

One kind of widely used repair material is fiber-reinforced polymer cement mortar (FRPCM), which offers better resistance to degradation factors and tensile properties than conventional mortar. In cold climates, repeated

freezing and thawing result in the spalling of concrete surfaces, allowing CO<sub>2</sub>, chloride ions, and other degradation factors to penetrate and corrode the iron rebars inside. This means that repair materials used in cold climates must have excellent resistance to frost damage. The selection of construction materials is also guided by the *Green Purchasing Law*. This legislation, enacted in 2001, requires both the national and local governments to prioritize the procurement of so-called “designated procurement items”, products that help to reduce environmental load.

To attempt to address these concerns, this study details the development of a new kind of fiber-reinforced polymer cement mortar having reduced environmental load suited for use in cold climates (hereafter, “ECO-FRPCM”), from the material-design to performance-testing stages.

Chapter 1 describes the background of the study along with the findings of previous research.

Chapter 2 outlines the development concept of ECO-FRPCM, and examines the effects of admixture and fiber types on estimated mixing proportions, thixotropy, flexural strength, compressive strength, curing shrinkage, frost resistance, workability, and toughness in commercially available FRPCMs. It concludes by proposing a basic ECO-FRPCM formulation containing polypropylene fibers (0.5%) and a 6:4 mixture of polyvinyl alcohol and polyethylene fibers (1.5%).

Chapter 3 contains the results of evaluating the chemical resistances of ECO-FRPCM—specifically, to carbonation and to sulfate- and chloride-ion ingress—with respect to a typical mortar (water–cement ratio of 0.5). ECO-FRPCM had inferior carbonation resistance to the conventional mortar, due to the effects of ground-granulated blast-furnace slag and fly ash used in the admixture. However, it exhibited

excellent sulfate and chloride resistance.

Chapter 4 identifies several factors that affect the shrinkage behavior of ECO-FRPCM by examining how it is affected by expansive additive type, shrinkage-reducing agents, and temperature and humidity conditions. It also notes the need to take into account the compensating effects of expansive additive when attempting to evaluate curing shrinkage.

Chapter 5 examines the effects of frost-related deterioration on the tensile behavior of ECO-FRPCM (1.5% fiber content) with a typical fiber-reinforced mortar (FRM). The FRM's tensile properties were affected by even minor frost damage. However, ECO-FRPCM lost its anticipated pseudo strain-hardening properties once its relative dynamic modulus of elasticity fell below 80%, instead exhibiting strain-softening behavior. The chapter concludes by proposing a method for estimating tensile fracture behavior based on the relationship between fiber bonding strength and composite crack-tip toughness.

Chapter 6 recaps the thesis by summarizing the findings from Chapters 1 through 5.

## 論文審査結果の要旨

コンクリート構造物は社会のインフラや人々の安全を支える重要な役割を担っている。コンクリート構造物を長期間使い続けるには、ライフサイクルコストの低減や環境に配慮した補修・補強を行うことが重要となる。そのため、環境負荷を抑えた補修材の利用が求められている。補修材料には、劣化因子の侵入を抑制し、引張性状を改善した繊維補強ポリマーセメントモルタルが広く使用されている。寒冷地では凍結融解作用によりコンクリート表面が剥離し、二酸化炭素や塩化物イオンなどの劣化因子の侵入により鉄筋腐食を引き起こす。そこで、寒冷地で使用する補修材は耐凍害性に優れている必要がある。また、2001年に施行されたグリーン購入法により、国や地方自治体による特定調達品目（環境負荷低減に資する製品等）の積極的な調達が求められている。

そこで本論文では、寒冷地での使用に対応した環境負荷低減型繊維補強ポリマーセメントモルタル（ECO-FRPCM）の開発を目的に、材料設計を行い、開発した ECO-FRPCM の性能評価を行っている。開発コンセプトは、結合材として産業副産物である高炉スラグ微

粉末、フライアッシュを、細骨材全量を高炉スラグ細骨材としたプレミクスタイプの繊維補強セメント複合材料で、所定の施工性、強度性状、靱性、硬化収縮性状と凍結融解抵抗性を有するものとしている。

その結果、最終的に汎用型としてポリプロピレン繊維を 0.5%混入したタイプと高靱性タイプとしてポリビニルアルコールとポリエチレン繊維を 6 : 4 で 1.5%混入したタイプの 2 種類の ECO-FRPCM の基本調合を提案している。開発した ECO-FRPCM の性能として、中性化抵抗性は普通モルタルより劣るものの、耐硫酸塩性ならびに遮塩性に優れていることを示している。また、収縮性状に及ぼす膨張材、収縮低減剤および温湿度条件の影響を明らかにするとともに、膨張材による収縮補償を考慮した硬化収縮率の評価方法を提案している。さらに、凍害劣化の進行にともない引張破壊挙動が疑似ひずみ硬化からひずみ軟化挙動に変化することを示し、繊維付着強度と複合亀裂先端靱性の関係から引張破壊挙動の推定方法を提案している。

以上の成果は、寒冷地におけるコンクリート構造物の補修による長寿命化に大いに資するものである。よって、著者は博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認められる。