

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月18日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560493

研究課題名（和文） 過酷荷重環境下における HPFRCC 構造物の耐久性に関する  
実験と解析手法の構築研究課題名（英文） Analysis and experiment on the durability of HPFRCC structures  
under severe loading conditions

研究代表者

松本 高志 (MATSUMOTO TAKASHI)

北海道大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：40301121

研究成果の概要（和文）：

複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料（HPFRCC）の構造適用において、圧縮と引張の交番疲労や滞水状態での疲労など、過酷な環境での利用が生じている。本研究では、このような環境下における HPFRCC の材料特性を実験により明らかにして材料モデルを構築し、これを用いた構造解析手法を開発することで HPFRCC 構造物における負荷状態を把握し、構造物の耐久性に及ぼす影響を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

Severe loading conditions such as tension-compression fatigue and fatigue with the presence of water are encountered in some structural applications of HPFRCC (High Performance Fiber Reinforced Cement Composite). First, the material properties of HPFRCC under such conditions are clarified experimentally, and a micromechanics based model is developed. Next, procedures for structural analysis under those conditions are developed with the micromechanics model utilized. Stress and damage states of HPFRCC structures are analyzed, and finally the durability of those structures is evaluated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学 ・ 構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：繊維補強セメント複合材料，複数微細ひび割れ，HPFRCC，交番疲労，水中疲労，鋼床版補強，リンクスラブ，RC床版

## 1. 研究開始当初の背景

複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料 (High Performance Fiber Reinforced Cement Composite, HPFRCC) は、セメント系の複合材料でありながら、一軸引張応力

下においてひずみ硬化挙動を示し、微細で高密度の複数ひび割れを形成することにより最大引張ひずみが2～4%にも達するという、金属材料にも似た、極めて高靱性で延性的な材料である。近年、構造物への適用が積極的

に図られてきており、各種構造物の補修・補強工への適用例が増えてきている。

しかしながら、構造物への適用例を広げるに従い、**HPFRCC** の良好な材料特性を超えた負荷状態に至っている可能性が指摘されている。こうした過酷荷重環境として、引張と圧縮の交番疲労や、滞水状態での繰返し荷重による疲労がある。

このような負荷状態は既往の研究で確認された範囲を超えており、その材料特性と損傷メカニズムは必ずしも明確に把握されていない。同時に、**HPFRCC** を用いた構造物の過酷荷重環境下における負荷状態も明らかにして、合わせて構造耐久性について検討する必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、過酷荷重環境下での **HPFRCC** の材料特性を明らかにし、**HPFRCC** 構造物における過酷荷重環境下における負荷状態を明らかにして、構造耐久性について検討することにある。本研究での過酷荷重環境とは、温度もしくは交通荷重による交番疲労載荷と水の影響がある環境とする。

## 3. 研究の方法

本研究では以下の点を達成することを目指して実験と解析の双方を実施した。

(1) **HPFRCC** の交番載荷下での疲労特性の実験的把握と解析手法構築。

(2) 水が存在する状況での **HPFRCC** の疲労特性の把握。

(3) **HPFRCC** 構造物における滞水と交通荷重による負荷状態での発生応力の解析的把握。

(4) 上記の知見に基づいた **HPFRCC** 構造物の耐久性の検討。

## 4. 研究成果

**HPFRCC** の材料特性については以下の成果を得た。

(1) ひずみ振幅を一定とした引張～圧縮の交番疲労載荷を行い、伝達応力の変化（減少）を計測した（図 1, 2）。引張の片振り疲労載荷の結果と比較して、急速に応力が減少する結果を得た。過去に開発したマイクロメカニクスモデルを本研究で発展適用することにより、**HPFRCC** の材料特性を微視的な材料定数によって説明するモデルを構築し、一軸交番載荷における **HPFRCC** の疲労挙動を解析する手法を開発した。

(2) 曲げ疲労特性を対象として繊維架橋応力の劣化を考慮した解析モデルを作成し、既往の実験結果との比較において良好な一致を得た。また、繰返し載荷の最小応力比について負曲げも含む載荷条件でパラメトリック

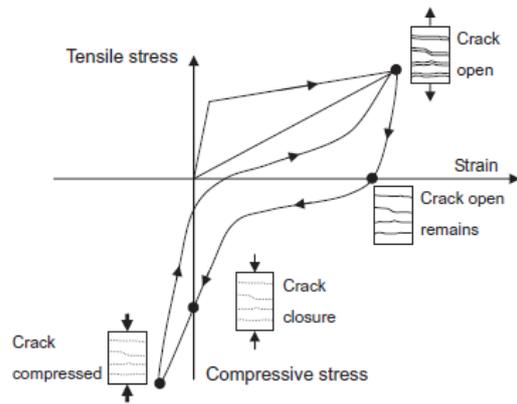


図 1

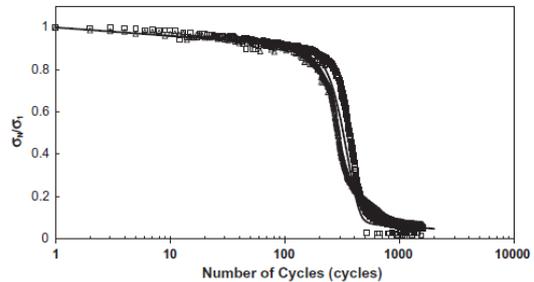


図 2

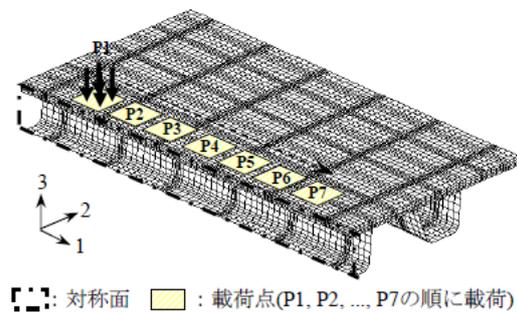


図 3

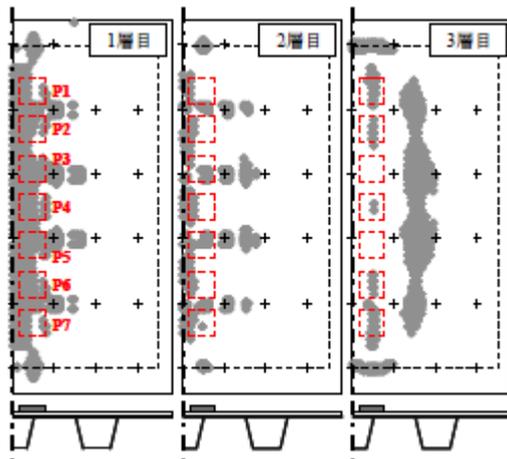


図 4

ク解析を実施した。この結果の回帰式を普通コンクリートの既往の式と比較し、HPFRCCの特徴的な挙動を明らかにした。

(3) 水の影響については、マイクロメカニクスモデルを用いることで、水が微視的材料定数を通して HPFRCC の複数微細ひび割れ条件に及ぼす可能性を把握した。

構造物における負荷状態と耐久性について以下の成果を得た。

(4) 鋼床版の疲労対策として HPFRCC で補強した構造物の解析モデルの構築を行い、疲労耐久性について解析的検討を行った(図 3, 4)。上記の HPFRCC の疲労に関するマイクロメカニクスモデルを用いた解析モデルにより、輪荷重走行試験を有限要素法で解析する手順を新たに構築した。解析においては、HPFRCC-鋼合成床版における合成効果、疲労寿命、損傷・破壊挙動、について詳細な考察を行い、構造物の疲労耐久性の検討を行った。また、溶接部における疲労亀裂の発生及び進展の寿命予測を行った。

(5) HPFRCC-鋼合成床版に水が介在する状態について、HPFRCC の負荷状態を解析的に検討した。これにより HPFRCC の損傷度の推定を行った。

(6) 橋梁桁間に適用が検討されている HPFRCC リンクスラブについてモデルの構築を行った。交通荷重の作用下で HPFRCC にかかる負荷状態を把握した。

(7) HPFRCC により増厚された RC 床版についての交通荷重による負荷状態の基本的検討として、RC 床版の疲労寿命に対する凍害劣化と鉄筋付着の影響について検討をおこなった。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

①松本高志, 繊維補強コンクリートの材料特性とその利用分野, コンクリート工学, 査読無, Vol. 50, 2012, 429-432

②角間恒・松本高志・林川俊郎・何興文, 結合力要素を用いた鋼-ECC 合成板の疲労き裂進展解析, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, Vol. 19, 2011, 531-538

③角間恒・松本高志・林川俊郎・何興文, 繰返し載荷を受ける ECC 梁の有限要素解析と曲げ疲労特性の評価, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 33, 2011, 311-316

④角間恒・松本高志・林川俊郎・何興文, ECC-鋼合成床版の輪荷重走行解析と疲労亀裂発生寿命の予測, 構造工学論文集, 査読有, Vol. 57A, 2011, 1338-1345

⑤角間恒・松本高志・林川俊郎・何興文, ECC

により上面増厚した鋼床版の疲労耐久性に関する解析的検討, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, Vol. 18, 2010, 99-106

⑥ Takashi Matsumoto, Effect of fiber-matrix interfacial bond degradation on monotonic and cyclic crack bridging laws in short fiber reinforced cementitious composites, 応用力学論文集, 査読有, Vol. 13, 2010, 937-944

⑦角間恒・松本高志・林川俊郎・何興文, ECC による鋼床版上面増厚補強の合成効果に関する解析的検討, 構造工学論文集, 査読有, Vol. 56A, 2010, 1282-1291

⑧ Takashi Matsumoto, Kavalin Wangsiripaisal, Toshiro Hayashikawa, and Xingwen He, Uniaxial tension-compression fatigue behavior and fiber bridging degradation of strain hardening fiber reinforced cementitious composites, International Journal of Fatigue, 査読有, Vol. 32, 2010, 1812-1822

⑨ Thiti Mahaboonpachai, Takashi Matsumoto, and Yohei Inaba, Investigation of interfacial fracture toughness between concrete and adhesive mortar in an external wall tile structure, International Journal of Adhesion & Adhesives, 査読有, Vol. 30, 2010, 1-9

⑩角間恒・松本高志・林川俊郎・何興文, 引張疲労荷重を受ける ECC の応力-ひずみ関係の推定, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 31, 2009, 277-282

[学会発表] (計 11 件)

①加保勇介, 鉄筋の付着特性が RC 床版の疲労劣化に及ぼす影響に関する解析的研究, 土木学会北海道支部論文報告集, 2012 年 2 月 2-3 日, 北海道立道民活動センター (北海道)

②鈴木利哉, 上面に凍害劣化を受けた RC 床版疲労の有限要素解析, 土木学会北海道支部論文報告集, 2012 年 2 月 2-3 日, 北海道立道民活動センター (北海道)

③Ko Kakuma, An analytical study on the stress-strain relation of PVA-ECC under tensile fatigue, 7th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures (FraMCoS-7), May 23-28, 2010, Jeju, Korea

④角間恒, ECC の疲労劣化モデルと曲げ疲労特性の解析的評価, 土木学会北海道支部論文報告集, 2011 年 2 月 5-6 日, 苫小牧高専 (北海道)

⑤ Ko Kakuma, Fatigue analysis of ECC-steel composite deck under wheel trucking load, Twelfth East Asia-Pacific Conferences on Structural Engineering and Construction (EASEC-12), January

26-28, 2011, Hong Kong SAR, China

⑥Takashi Matsumoto, Fatigue analysis of fiber reinforced cementitious composites and structures , 2nd ASEAN Civil Engineering Conference , 11-12 March, 2010, Vientiane, Lao PDR

⑦加保勇介, ECC リンクスラブの曲げ挙動に関する解析的検討, 土木学会北海道支部論文報告集, 2010年2月2-3日, 札幌コンベンションセンター (北海道)

⑧山崎洋紀, ECC 合成鋼床版に水が介在する状態における ECC の損傷推定, 土木学会北海道支部論文報告集, 2010年2月2-3日, 札幌コンベンションセンター (北海道)

⑨Takashi Matsumoto, Fracture mechanics based fatigue analysis of fiber reinforced cementitious composites , International Symposium on Innovation & Sustainability of Structures in Civil Engineering (ISISS '2009), 28-30 November, 2009, Gunagzhou, China

⑩Ko Kakuma, Flexural fatigue analysis of PVA-ECC based on micromechanics approach , International Conference on Computational Design in Engineering (CODE2009), 3-6 November, 2009, Seoul, Korea

⑪ Takashi Matsumoto , Fatigue life analysis of fiber reinforced concrete based on fracture mechanics and micromechanics, 1st International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment in Developing Countries (SIBE-2009) , 2-3 November, 2009 , Bandung, Indonesia

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松本 高志 (MATSUMOTO TAKASHI)

北海道大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：40301121

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：