

---

---

**光学的全視野計測技術による建設構造物の  
劣化・変状メカニズムの解明と診断法の開発**

---

---

**(研究課題番号 17360217)**

**平成 17～18 年度科学研究費補助金**

**基盤研究 (B)**

**研究成果報告書**

**平成 19 年 3 月**

**研究代表者 松田 浩**

**(長崎大学工学部構造工学科)**

---

## 平成 17～18 年度 科学研究費補助金(基盤研究 B) 研究成果報告書

---

### はじめに

本報告書は、平成 17 年度から平成 18 年度までの 2 年間にわたって文部科学省科学研究費補助金(基盤研究 (B) : 課題番号 17360217) の補助を受けて実施した研究成果報告書である。

#### ①本研究(計画)の学術的な特色・独創的な点及び予想される結果と意義

構造物の非破壊検査技術として、放射線透過、サーモグラフィ、レーダー、超音波、衝撃弾性波、AE による試験法、打音法などの技術開発が進められているが、トンネルのコンクリート片剥落事故、鋼製橋脚の疲労き裂発生を契機として、効率的・高精度な面的探傷技術の研究開発が望まれている。また、これらの技術は材料の内部欠陥等の検知能力には優れるが、材料の破壊が何時起るかを予測できるわけではない。材料の劣化を診断し、余寿命を予測するためには、材料の劣化メカニズムを面的に精確に把握し、材料が劣化に至るまでの状態をリアルタイムに計測する必要がある。その先に、効果的な補修・補強等の維持管理法があるものとする。

このような背景の下、本研究グループでは、光学的非接触全視野計測法の建設構造物への適用性について研究開発を行ってきた。本研究は、3D レーザースキャナ、フラットベッドイメージスキャナ、三次元写真図化計測システム、スペックル及びホログラフィ干渉法、デジタル画像相関法などの光学的計測法を一貫して用いることに特色がある。これらの光学的計測法は、(a)非接触計測、(b)高精度計測、(c)高速計測、(d)全視野計測が可能等、多くの利点を有している。コンピュータのハードウェアの大容量化、高性能化、CCD カメラやデジタルカメラ等の周辺機器の開発、さらにはソフトウェアである画像処理技術の進歩により、これらの光学的計測法は、より使いやすく、信頼性の高いものとなっている。また、種々の構造物の複雑化が進む中、光学的計測法を構造物の劣化検査に用いるだけでなく、非線形 FEM などの計算力学的な解析と組み合わせて用いることにより、さらには前述のサーモグラフィ、超音波、AE などの非破壊検査技術を併用することにより、より信頼性の高い強度評価を行うことができる。

特に、スペックル干渉計測法 (ESPI) は、レーザ光を物体に照射した時に得られる斑点状のノイズパターンを利用するもので、CCD カメラで受像したデジタル情報を画像処理することにより、可視光線下でホログラフィ干渉縞と同じような縞模様が観察される。アルミ合金試験片での引張試験を観察すると、一定速度で引張っているにもかかわらず、局所的な干渉縞の脈動が観察される。これらは従来観察されていない新しい現象で、材料の劣化過程を予測するための手がかりとなる可能性を秘めており、材料の物理的変化とスペックルパターンの動的変化とを結び付けることによって、鋼やコンクリート材料の劣化過程や疲労現象の解明が期待できる。

しかし、レーザ光を使用する計測法は高精度の計測ができる反面、振動などのノイズに極めて敏感である。建設構造物は現場で施工・検査・補修を行わなければならないことから、実験室的な計測が可能な機械工学や金属工学分野に比べるとはるかに計測環境が悪い状態で計測を行うことが

求められる。本研究ではロバストな計測がどこまで可能か、そして将来性はどうかについて、追及検討した。その結果が、レーザ光を用いない、すなわち、デジタルカメラだけを用いるデジタル画像相関法である。本研究ではデジタル画像相関法による計測装置を製作し、各研究機関でコンクリート等の研究に適用した。

さらに、実構造の場合には、まず構造物の構造・形状データや老朽化した構造物のひび割れや剥離等の変状がどの程度の年数でどれほど増加したかなどを取得する必要がある。その際、構造物の三次元デジタルデータが必要になるが、老朽化した構造物に限って、設計図面が保存されていない場合が多い。したがって、定期検査の際に三次元形状を計測することができれば、その三次元デジタルデータを静的・動的有限要素解析による耐震診断法の基礎データとして使用することもできるし、また、三次元データベースの維持管理システムを更新し、初期データと比較することにより、構造物の劣化に対する予防保全や維持管理に利用できる。そのためには、構造物の三次元データを高精度にできる限り容易に取得する必要がある。ポータブルな 3D レーザースキャナ、さらには広く普及しているデジタルカメラを用いた三次元デジタル写真計測では、面的な高密度計測、短時間計測、人の立入りが困難な現場での計測、デジタルデータとしての記録・加工が可能などの特長を有しており、実構造物の変状調査に期待できる。

## ②本研究期間内に何をどこまで明らかにしようとするのか

光学的全視野計測技術である 3D レーザースキャナ、フラットベッドイメージスキャナ、三次元写真図化計測、スペックル及びホログラフィ干渉計測、デジタル画像相関計測法を拡張・改良し、それらを用いて、下記に示す鋼、コンクリート、膜、複合材料等からなる建設構造物の劣化・変状の面的全視野計測を実施し、そのメカニズムを解明するとともに、これらの構造物の維持管理のための非破壊検査・診断法への適用性を検討した。

- (1) 鋼部材の残留応力計測、溶接鋼構造部材のき裂進展計測・解析
- (2) 異方性 FRP 複合材の振動計測・応力計測、および接着不良等の欠陥検知への応用
- (3) 張力膜のリンクル発生と形状計測および解析
- (4) き裂を有するエポキシ樹脂試験片の圧縮破壊試験の計測・解析
- (5) コンクリートの硬化過程における収縮、温度ひび割れの計測・解析
- (6) 塩害・アルカリ骨材反応による模擬試験体のコンクリートの劣化メカニズムの解明
- (7) 大規模構造物の 3D 計測とその静的・動的解析耐震診断への応用、及びヘルスマニタリング可能性追求

## ③国内外の関連する研究の中での当該研究の位置づけ

現在のスペックル干渉装置の CCD カメラの記録媒体は 6~7  $\mu$  m 程度の分解能であるが、将来、高解像度機器の開発により、実時間でホログラムを記録・消去が可能となり、3D ホログラフィ像を作り出すことができるようになる。この文章は、本科学研究費の申請書のときに記載したことであるが、デジタルホログラフィを用いた計測技術が開発されている。また、3D レーザースキャナについても高性能化と使用性向上は日進月歩で、これによる 3D データベースを基礎とした維持管理、またデジタルデータであるのでリアルタイムモニタリングの適用可能性も高い。

デジタル画像相関法による変位やひずみ計測は、世界的に見ても研究の初期段階であり、目標として掲げた装置・システムが開発できれば、多くの知的所有権を取得でき建設分野が先導的な位置

づけとなる。従来法に比べ廉価で簡易な計測方法となるため、構造物施工の安全管理・品質管理に導入しやすくなり、建設作業者の安全性、構造物の品質の向上につながる。また維持管理に使用すれば検査費用の削減、社会資本ストックの延命効果をもたらすことなどを期待できる。

光学的計測法は、最近のイギリス機械学会(J. Strain. Anal. Eng. Des., 33-2, 1998)や金属での(金属, 70-9, 70-10, 2000)特集でも取り扱われている。また、欧米主導で光学的全視野応力・ひずみ計測の国際標準化が進められており、わが国でも2001年に日本実験力学会に全視野計測法標準化分科会が設置されている。また、医歯学の生体力学分野やナノテクノロジー分野でも光学的計測法の適用事例が増加している。これらの光学的計測法の土木構造物への適用可能性は多岐にわたり、その効果も極めて高い。

#### ④講習会の開催

2005 (H17) 年度の科学研究費の申請に際して、日本コンクリート工学協会 (JCI) 九州支部の「コンクリートの硬化・劣化過程の非接触全視野ひずみ計測」に関する研究専門委員会の委員 (大学・工業高等専門学校研究者) も共同研究者として参画していただいた。幸い、科学研究費に申請した本研究課題が採択され、JCI 九州研究専門委員会の研究活動にも拍車がかかった。

その成果物として、下記に示すように、2005 年 12 月に日本実験力学会光学的的手法分科会 (分科会主査: 豊岡了埼玉大学教授) とのジョイントセミナーを開催し、さらに、2006 年に「光学的計測法によるインフラ構造物の新しい計測法」に関する講習会を開催した。2006 年 12 月に開催した講習会では、科学研究費補助金の研究成果報告書 (本報告書) の作成を念頭において報告書としてとりまとめた。本報告書は、そのときの報告書に、さらにいくつかの研究成果を取り入れて再編集したものである。

ジョイントセミナー「光学的計測法の基礎と応用～鋼・コンクリート構造物への応用～」

日 時: 2005 年 12 月 22 日 (木)

場 所: 九州大学 箱崎キャンパス ベンチャービジネスラボラトリー セミナー室

共催 日本コンクリート工学協会九州支部

日本実験力学会光学的的手法分科会

協賛 日本実験力学会全視野計測法標準化分科会

JCI 九州支部

「光学的計測法によるインフラ構造物の新しい計測法」に関する講習会

ーコンクリートの劣化・硬化過程の非接触全視野ひずみ計測委員会成果報告会ー

開催日: 2006 年 12 月 11 日 (月)

主 催: (社) 日本コンクリート工学協会九州支部

共 催: (社) 土木学会西部支部、九州橋梁・構造工学研究会 (KABSE)

## 1. 研究課題

光学的全視野計測技術による建設構造物の劣化・変状メカニズムの解明と診断法の開発  
(研究課題番号 17360217)

## 2. 研究組織

研究代表者	松田 浩*	長崎大学工学部構造工学科・教授
研究分担者	森田 千尋*	長崎大学大学院生産科学研究科 (構造工学科)・助教授
	才本 明秀	長崎大学大学院生産科学研究科 (機械システム工学科)・助教授
	森山 雅雄	長崎大学工学部 (情報システム工学科)・助教授
	中村 聖三	長崎大学工学部社会開発工学科・助教授
	黄 美	長崎大学工学部構造工学科・助手
	阪上 直美	長崎大学工学部構造工学科・助手
	山下 務	長崎大学工学部構造工学科・技術職員
	伊藤 幸広*	佐賀大学理工学部都市工学科・助教授
	添田 政司*	福岡大学大学院工学研究科資源循環・環境工学専攻・助教授
	佐川 康貴*	九州大学大学院工学研究院建設デザイン部門・助手
	山口 浩平*	九州大学大学院工学研究院建設デザイン部門・助手
	日比野 誠*	九州工業大学工学部建設社会工学科・助教授
	合田 寛基*	九州工業大学工学部建設社会工学科・助手
	一宮 一夫*	大分工業高等専門学校都市システム工学科・助教授
	松尾 栄治*	山口大学工学部社会建設工学科・助手
	内野 正和*	福岡県工業技術センター・機械電子研究所・研究員
	岩佐 貴史	東京工業大学理工学研究所・研究員
研究協力者	宮崎 良忠*	計測検査株式会社
	浅野 晶子*	計測検査株式会社
	岡本 卓爾	㈱計測リサーチコンサルタント
	高橋 洋一*	㈱計測リサーチコンサルタント
	出水 享*	㈱計測リサーチコンサルタント
	仲村 政彦*	JIP テクノサイエンス株式会社
	山本 晃*	JIP テクノサイエンス株式会社
	肥田 研一*	K&T こんさるたん
執筆協力者	西村 正三	㈱計測リサーチコンサルタント

氏名の後の \* 印は、日本コンクリート工学協会九州支部の「コンクリートの硬化・劣化過程の非接触全視野ひずみ計測」に関する研究専門委員会の委員である。

### 3. 交付決定額（配分額）

（千円）

	直接経費	間接経費	計
平成17年度	12,700	0	12,700
平成18年度	3,400	0	3,400
計	16,100	0	16,100

### 4. 研究発表

#### （1）学会誌等（2005-2006 順に記載）

- 1) 松田浩, 牧野高平, 山下務, 中島朋史: コンクリート打継部の表面粗度の計測・定量化と曲げ・せん断付着特性に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 51A, pp. 1345-1352, 2005. 3
- 2) 松田浩, 下郡康二, 山下務, 岩佐貴史, 川口健一, 阪上直美, 森田千尋: 矩形張力膜のリンクル現象の光学的全視野ひずみ・変位計測, 構造工学論文集, Vol. 51A, pp. 87-94, 2005. 3
- 3) 森田千尋, 松田浩, 崎山毅, 下川一基, 白濱敏行, 黄美: 片持ち積層板の自由振動特性に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 51A, pp. 33-41, 2005. 3
- 4) 西谷, 寺西, 久保, 才本: 第ゼロ節点法による丸棒曲げ問題の応力集中解析, 日本機械学会論文集, A編, 71巻, 704号, pp. 630-635, 2005, 4
- 5) 松田浩: レーザ光と CCD カメラを用いた全視野計測技術とその応用, 土木学会誌, Vol. 90, No. 5, pp. 16-18 (2005)
- 6) 森田千尋, 田中哲也, 崎山毅, 松田浩, 黄美, 白濱敏行: 積層偏平シェル幾何学的非線形挙動解析, 長崎大学工学部研究報告, 第35巻, 第65号, pp. 38-45 (2005)
- 7) A Saimoto, Y Imai and F Motomura: Mechanism of a crack growth penetrating the other crack Advances in Fracture and Damage Mechanics IV, EC, Ltd., UK., Proc. of the forth international conf. Fracture and Damage Mechanics (FDM2005), Mallorca, Spain, pp. 261-266 (2005, 7)
- 8) 松田浩, 森田千尋, 才本明秀, 小柳武志: 電子スペックルパターン干渉法 (ESPI) を用いた光学的全視野ひずみの応用計測, 先端技術研究成果報告書, No. 22, pp. 67-74, 長崎先端技術開発協議会, 2005. 7
- 9) C. Morita, H. Matsuda, T. Sakiyama, M. Huang and T. Shirahama: Study on characteristics of vibration of angle-ply laminated composite cantilever plates, 5th International Conference on Computation of Shell and Spatial Structures, Salzburg, Austria, 2005
- 10) Yasuo Kosaka, Yuhei Takatoku, Kaname Abe, Hiroshi Matsuda: Feasibility Study on the Composite Truss Bridge with Extradosed Cables, German-Japanese Bridge Symposium at Technische Universitaet Muenchen, CD-ROM, 2005. 8
- 11) M. Huang, X. Q. Ma, T. Sakiyama, H. Matsuda and C. Morita: Free vibration analysis of rectangular plates with multiple point supports, Journal of Applied Mechanics, Vol. 8, pp. 179-187, 2005
- 12) 中村聖三, 江藤亮太, 高橋和雄, 松田浩: 内在する平面き裂が鋼板の表面ひずみに及ぼす影響, 鋼

構造年次論文報告集, 第 13 巻, pp. 143-148, 2005. 11

- 13) 松田浩: 鋼連続合成 2 主桁橋の設計と解析に関する調査研究, 第 5 章: 複合解析に関する解析事例, 九州橋梁構造工学研究会, 鋼・コンクリート合成桁の活用に関する研究分科会, 2005
- 14) 安東祐樹, 山縣琢己, 小島悟, 山下務, 松田浩: 落橋防止構造のブラケット・ピンの接触圧分布に関する研究, 土木構造・材料論文集, 第 21 号, pp. 27-34, 2005. 12
- 15) M. Huang, X. Q. Ma, T. Sakiyama, H. Matsuda, C. Morita: Free vibration analysis of orthotropic rectangular plates with variable thickness and general boundary conditions, *Journal of Sound and Vibration*, 288, pp. 931-955, 2005
- 16) 上阪康雄, 松田浩, Gutermann Marc: ドイツの実橋耐荷性能試験車 BELFA 紹介, 橋梁と基礎, pp. 27-32, 2006. 2
- 17) 松田浩, 山下務, 中島朋史, 浜岡広, 伊藤幸広: スペックル干渉法を用いた RC はりのひび割れ発生・進展過程の非接触全視野計測, 構造工学論文集, Vol. 52A, pp. 11-18, 2006. 3
- 18) 松田浩, 伊藤幸広: 光学的計測手法の土木分野への応用, 日本実験力学学会講演論文集, 2006 年度年次講演会, No. 6, pp. 305-310, 2006. 3
- 19) 真壁・A PURNOWIDODO・才本・福里・宮崎: 単一過大荷重を負荷した鋭い切欠きを有する試験片から発生するき裂の進展評価, 日本機械学会論文集, A 編, 72 巻, 715 号, pp. 301-308, 2006, 3
- 20) 山口栄輝, 中村聖三, 廣門公二, 森田千尋, 園田佳巨, 麻生稔彦, 渡辺浩, 山口浩平, 岩坪要: 九州・山口地区における耐候性鋼橋梁の実態調査, 土木学会論文集 A, Vol. 62, No. 2, pp. 243-254, 2006
- 21) M. Huang, X. Q. Ma, T. Sakiyama, H. Matsuda and C. Morita: The bending and free vibration analysis of plates with arbitrary shape and boundary conditions, The 9th Joint Symposium of Nagasaki University and Cheju National University on Science and Technology, Nagasaki, Japan, pp. 25-28, 2006
- 22) 鶴田聡, 松田浩, 山下務, 松山直紀: 歴史的建造物の三次元デジタル画像化とその地震応答解析への利用, コンクリート工学年次論文集, No. 28, pp. 1609-1614, 日本コンクリート工学協会, 2006. 7
- 23) 浜岡広, 松田浩, 山下務, 中島朋史: 光学的全視野計測法による RC はりのひび割れ発生・進展の可視化, コンクリート工学年次論文集, No. 28, pp. 781-786, 日本コンクリート工学協会, 2006. 7
- 24) 出水亨, 松田浩, 中島朋史, 浜岡広: 非接触全視野計測によるコンクリートの材料試験, コンクリート工学年次論文集, No. 28, pp. 473-478, 日本コンクリート工学協会, 2006. 7
- 25) 鶴田聡, 松田浩, 山下務, 出水亨: 歴史的建造物の三次元形状計測と地震応答解析への利用に関する研究, 建築・土木分野における歴史的建造物の診断・修復に関するシンポジウム論文集, 日本コンクリート工学協会, 2006. 6
- 26) 池翰相, 楠貞則, 添田政司, 大和竹史, 凍結融解作用を受けるコンクリートの凍害深さに関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol. 27, pp. 1356-1362, 2006
- 27) 真壁, 才本, 福里, 小倉: 引張りを受ける有限板の中央切欠きから発生したき裂の応力拡大係数について, 日本機械学会論文集, A 編, 72 巻, 719 号, pp. 998-1002, 2006, 7
- 28) 今井, 才本, 本村: き裂閉口積分法における零のき裂進展量によるエネルギー解放率の評価, 日本機械学会論文集, A 編, 72 巻, 719 号, pp. 1003-1008, 2006, 7
- 29) 松田浩・古屋瞬・安東祐樹・森下喬・杉原泰亮・山下務・崎山毅・黄美: 電子スペックルパターン干渉法を用いた欠陥を有するアルミニウム合金板の破壊挙動に関する実験的研究, 応用力学論文

集 (土木学会), Vol. 9, pp. 1093-1101, 2006. 9

- 30) 松田浩, 森下喬, 安東祐樹, 古屋瞬, 山下務, 内野正和, 伊藤幸広, 崎山 毅: デジタル画像相関法を用いた矩形張力膜のリンクル計測, 応用力学論文集 (土木学会), Vol. 9, pp. 581-590, 2006. 9
- 31) 森田千尋・田中哲也・松田浩・崎山毅・黄美・白濱敏行: クロスプライ積層偏平シェルの対称・非対称座屈挙動解析, 応用力学論文集 (土木学会), Vol. 9, pp. 333-340, 2006. 9
- 32) A Saimoto, A Toyota and Y Imai: Crack Propagation under Compressive Stress Influenced by Crack Face Asperity, Key Engineering Materials Vols., 324-325 (2006, 9), pp. 125-128
- 33) H. Hamaoka, H. Matsuda, T. Yamashita, M. Urata, T. Ohara, VISUALIZATION OF CRACKING OF RC BEAM WITH OPTICAL FULL FIELD MEASUREMENT METHODS, The Third China-Japan Joint Seminar for the Graduate Students, pp. 119-124. 2006. 10
- 34) M. Hongo, H. Matsuda, S. Tsuruta, T. Hidaka, T. Yamashita, THREE-DIMENSIONAL PHOTOGRAMMETRY AND THE APPLICATION TO SEISMIC RESPONSE ANALYSIS, pp. 107-112, 2006. 10
- 35) 添田政司, 楠貞則, 池翰相, 大和竹史, 凍害を受けるコンクリートのスケーリング劣化に関する一考察, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 6 巻, pp. 185-190, 2006
- 36) 森田千尋, 眞鍋裕之, 松田浩, 中川智, 白濱敏行: 耐候性鋼橋梁のさび状態の定量化に関する研究, 鋼構造年次論文報告集, 第 14 巻, pp. 207-212, 2006
- 37) 森田千尋: 耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術, 日本鋼構造協会 鋼橋性能向上研究委員会・耐候性鋼橋梁部会報告書, 2006
- 38) 内野正和, 佐川康貴, 尾上幸造: デジタル画像相関法を用いたコンクリート供試体のひずみ計測, 日本機械学会 2006 年次大会, 2006
- 39) 内野正和: デジタル画像相関法によるひずみ解析法の検討, 日本実験力学会講演論文集合同ワークショップ 2006, 「実験力学における計測・データ処理の問題点・ノウハウ・工夫」

## (2) 口頭発表

- 1) 中川智, 森田千尋, 松田浩, 白濱敏行, 山下務: 写真計測による耐候性鋼橋梁のさびの状態評価の定量化について, 第 60 回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), 1-020, 2005. 9
- 2) 金山綾子, 森田千尋, 松田浩, 崎山毅: アングルプライ積層板の自由振動特性について, 第 60 回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), 1-475, 2005. 9
- 3) 鶴田聡, 松田浩, 中島朋史, 浜岡広: スペックル干渉計測による RC はりの曲げ・斜めひび割れ発生可視化, 第 60 回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), 5-303, 2005. 9
- 4) 森昌將, 松田浩, 山根広知, 杉原泰亮: 補強材パラメータに注目した鋼板接着 RC はりの非線形 FEM 解析, 第 60 回年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM), 5-577, 2005. 9
- 5) 江藤亮太, 中村聖三, 高橋和雄: 鋼材内部に存在するき裂が表面ひずみに及ぼす影響, 第 60 回年次学術講演会講演概要集第 I 部門, pp. 89- 90, 東京 (2005. 9)
- 6) 笹木隆介, 中村聖三, 高橋和雄: 平面状の内部き裂が鋼材表面のひずみ分布に及ぼす影響, 平成 17 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集第 I 部門, pp. 177-178, 宮崎市 (2006. 3)
- 7) 日高哲郎, 梅本秀二, 松山直紀, 松田浩: レンガ造煙突の耐震性評価に関する解析的研究, 平成 16 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, I-36, pp. 71-72, CD-ROM, 2006. 3
- 8) 森下喬, 松田浩, 杉原泰亮, 山下務: 光学的変位計測法を用いた矩形張力膜のリンクル計測, 平成 16 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, I-37, pp. 73-74, CD-ROM, 2006. 3



- 9) 鶴田聡, 松田浩, 山下務, 本郷真樹: 歴史的建造物の三次元形状計測とその数値解析への適用, 平成 16 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, I-46, pp. 91-92, CD-ROM, 2006. 3
- 10) 中川智, 森田千尋, 松田浩, 白濱敏行, 山下務: 三次元写真計測を用いた耐候性鋼橋梁のさび状態の定量化, 平成 16 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, I-92, pp. 183-184, CD-ROM, 2006. 3
- 11) 浜岡広, 松田浩, 中島朋史, 山下務: 光学的全視野計測法による RC はりのひび割れ計測, 平成 16 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, V-32, pp. 853-854, CD-ROM, 2006. 3
- 12) 山根広知, 松田浩, 森昌将, 山下務: 離散ひび割れモデルを用いた補強 RC はりの非線形有限要素解析, 平成 16 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, V-43, pp. 875-876, CD-ROM, 2006. 3
- 13) 中川智, 森田千尋, 松田浩, 白濱敏行, 山下務: 耐候性鋼橋梁のさびの状態評価の定量化に関する研究, 平成 16 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, I-17, pp. 33-34, CD-ROM, 2005. 3
- 14) 金山綾子, 森田千尋, 松田浩, 崎山毅, 白濱敏行: 逆対称アングルプライ積層板の自由振動に関する研究, 平成 16 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, I-28, pp. 55-56, CD-ROM, 2005. 3
- 15) 中嶋朋史, 松田浩, 牧野高平, 山下務: コンクリート打継部凹凸形状の定量化とその付着特性, 平成 16 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, V-6, pp. 765-766, CD-ROM, 2005. 3
- 16) 桑畑勇太, 日比野誠, 合田寛基: デジタル画像相関法を用いたレジンコンクリートの硬化収縮挙動の解析, 平成 17 年度土木学会西部支部研究発表会, pp. 855-pp. 856, 2006. 3
- 17) 中村英記, 松下博通, 佐川康貴, 尾上幸造: デジタル画像相関法によるモルタル表面のひずみ分布の計測, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp. 857-858, 2006 年 3 月
- 18) 浦田美生, 松田浩, 浜岡広, 山下務, 大原智裕, 伊藤幸広, 内野正和: デジタル画像相関法を用いた非接触全視野計測によるコンクリートの材料試験, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集第 V 部門, pp. 973-974, 2006
- 19) 古屋瞬, 松田浩: 電子スペックルパターン干渉法を用いた欠陥を有するアルミニウム合金板の破壊挙動に関する実験的研究, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集第 I 部門, pp. 653-654, 2006
- 20) 森下喬, 松田浩, 古屋瞬, 山下務: デジタル画像相関法を用いた矩形張力膜のリンクル計測, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集第 I 部門, pp. 831-832, 2006
- 21) 大原智裕, 松田浩, 浦田美生, 山下務, 浜岡広, 内野正和: スペックルパターン干渉法を用いた RC はりのひび割れ計測法, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集第 5 部門, pp. 969-970, 2006 年 9 月
- 22) 山根広知, 松田浩, 安東祐樹, 森昌将: 異種材料で補強された RC はりの非線形有限要素解析, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集第 5 部門, pp. 69-70, 2006 年 9 月
- 23) 金山綾子, 森田千尋, 松田浩, 崎山毅, 黄美: 変厚板の自由振動特性に関する実験的・解析的研究, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集第 1 部門, pp. 819-820, 2006 年 9 月
- 24) 眞鍋裕之, 森田千尋, 松田浩, 白濱敏行, 山下務: 写真計測を用いた耐候性鋼橋梁のさび状態の評価について, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集第 1 部門, pp. 1273-1274, 2006 年 9 月
- 25) 笹木隆介, 中村聖三, 高橋和雄: 鋼板内部に存在する平面き裂が表面ひずみの分布に及ぼす影響, 土木学会第 61 回年次学術講演会概要集第 I 部門, pp. 657-658, 草津市 (2006. 9)
- 26) 尾上幸造, 佐川康貴, 松下博通: コンクリートのひずみ分布計測へのデジタル画像相関法の適用性に関する検討, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集第 5 部門, pp. 971-972, 2006 年 9 月
- 27) 楠貞則, 添田政司, 大和竹史: 再生骨材の歩道用透水性舗装への適用性に関する基礎的研究, 第 61 回土木学会年次学術講演会, pp. 450-451, 2006

### (3) 研究成果による工業所有権の出願・取得状況

工業所有権の名称	発明者	権利者	工業所有権の種類、番号	出願年月日	取得年月日
変位/ひずみ計測法及び変位/ひずみ計測装置	松田浩 伊藤幸弘 内野正和	長崎大学 佐賀大学 内野正和	特許 (特願2005-368334)	2005. 12. 21	

## 5. 研究成果

本研究で得られた研究成果については前記4. の学協会論文集やシンポジウム・講演会で既に公表済みである。また、日本コンクリート工学協会（JCI）九州支部の「コンクリートの硬化・劣化過程の非接触全視野ひずみ計測」に関する研究専門委員会では、2005年12月に、日本実験力学会とのジョイントセミナー、2006年12月に、「光学的計測法によるインフラ構造物の新しい計測法」に関する講習会を開催した。本報告書は、特に2006年12月の講習会での報告書に加筆・修正して、再編集することとする。

## 6. 謝辞

日本コンクリート工学協会（JCI）九州支部の「コンクリートの硬化・劣化過程の非接触全視野ひずみ計測」に関する研究専門委員会では、2004（H16）年度から、スペックル干渉計測法、デジタル画像相関法、赤外線サーモグラフィ、3次元写真計測、3次元レーザ計測等々の光学的計測法を用いて、コンクリートの硬化・劣化過程における非接触全視野計測の適用可能性・有効性を追求するとともに、インフラ構造物のメンテナンスへの光学的計測法の利活用法について活動してきました。本科学研究費の申請に際しても、JCI九州研究専門委員会の委員も共同研究者として参画していただいています。したがって、JCI九州研究専門委員会の委員は本研究課題の共同研究者でもあるわけです。幸い、科学研究費に申請した本研究課題が採択され、JCI九州研究専門委員会の研究活動にも拍車がかかりました。その成果として、前述しましたように、ジョイントセミナー（2005年12月）と講習会（2006年12月）を開催することができました。ジョイントセミナーでは豊岡了先生（埼玉大学教授）にご指導とご助言をいただき、また、講習会では魚本健人先生（東京大学教授）に特別講演をしていただくとともに、計測器の展示説明会には、小出博氏（ニコンシステム株）、福山伸弘氏（日本アビオニクス株）にもご参加いただきました。ここに記して感謝申し上げます。

また、平成17～18年度の長崎大学工学部構造工学科の当研究室の大学院修士課程修了生、鶴田聡君（M2、現）五洋建設株）、浜岡広（M2、現）日本工営株）、日高哲郎（M2、現）日之出水道機器株）、森下喬（M2、現）マツダ株）、山根広知（M2、現）安藤建設株）、大原裕智君（M1）、浦田美生君（M1）、中島宏一郎君（M1）、古屋瞬君（M1）、本郷真樹君（M1）、および、4年生、上妻隼人君、江島悠君、瀬戸康太君、濱端麻衣君、張本義貴君、平山龍君には、実験、計測、解析をはじめ本研究課題の遂行に際して大変お世話になりました。ここに記して感謝の意を表します。

最後に、本報告書の執筆にご協力戴きました本研究会委員をはじめ多くの方々に深く感謝申し上げます。