

平成22年5月27日現在

研究種目：基盤研究(A)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19206015
 研究課題名(和文) 可視・赤外併用遠隔非接触応力ひずみ計測法開発による構造健全性診断システムの構築
 研究課題名(英文) Development of a structural integrity evaluation system based on remote visual and infrared stress/strain measurement.

研究代表者
 阪上 隆英 (TAKAHIDE SAKAGAMI)
 神戸大学・工学研究科・教授
 研究者番号：50192589

研究成果の概要(和文)： 経年鋼構造物の構造健全性を評価するため、自己相関ロックインサーモグラフィによる疲労き裂の遠隔・非破壊・非接触計測手法と、可視デジタル画像相関による変位ひずみ分布計測をハイブリッド化した、新しい疲労き裂の遠隔定量非破壊評価法および実働荷重下での破壊力学評価手法に基づく、新しい評価システムの構築を行った。実験室レベルおよび実橋梁に対する現場実験の結果、構造物に自然に載荷される負荷による熱弾性温度変動を遠隔から高精度に測定することができ、これまでの計測手法では不可能であった疲労き裂の遠隔非接触検出および実働応力分布の評価が可能であることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)： A new structural integrity evaluation method for steel structures with fatigue cracks was constructed based on remote quantitative nondestructive crack evaluation technique utilizing self-reference lock-in infrared thermography and digital image correlation, as well as fracture mechanics analysis based on on-site thermoelastic stress measurement. It was found from experimental studies for laboratory samples and actual steel bridges that proposed method enabled us to conduct completely remote, noncontact and nondestructive detection of fatigue cracks and to evaluate stress distribution around fatigue cracks.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	26,100,000	7,830,000	33,930,000
2008年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2009年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
年度			
総計	33,600,000	10,080,000	43,680,000

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：機械材料・材料力学

キーワード：非破壊評価、赤外線サーモグラフィ、熱弾性応力計測、デジタル画像相関、疲労き裂、自己相関ロックイン赤外線法

1. 研究開始当初の背景

橋梁あるいは製造設備等の大型インフラ鋼構造物における、疲労き裂の発生・進展による残存強度低下は、深刻な社会問題となっ

ている。疲労き裂の高度な非破壊評価・モニタリング手法を開発すること、および疲労き裂進展特性の的確な破壊力学的評価による点検時期の適切化、残存寿命評価、補修計画

の立案を行う戦略的な維持保全手法を確立することは、鋼構造物の構造健全性を保障し社会インフラ構造物の安全を確保するために、機械工学・土木工学分野の研究者に課せられた緊急の学術的検討課題となっている。しかしながら、既存の非破壊評価技術では、これらの解決を図ることは不可能である。構造物中の疲労き裂を遠隔から非接触に検出し定量計測を行うことができる非破壊評価手法の開発、実働荷重下での疲労き裂近傍の実働応力・ひずみ分布状態をその場計測できる計測手法の開発、これにより解明が可能となるき裂進展特性の破壊力学評価に基づく実測ベースの構造健全性評価法の確立が必要である。研究代表者は、これまでに、ロックイン赤外線サーモグラフィによる熱弾性温度変動計測および塑性発熱計測に基づく、応力・ひずみ分布計測の高度化に取り組み、多くの研究成果をあげてきた。これまでの研究成果のもと、新しいロックイン法による赤外線サーモグラフィによる疲労き裂の遠隔・非破壊・非接触計測手法に可視デジタル画像相関法による変位分布計測を付加し、両計測手法の長所を相補的に活用できるようにハイブリッド化させた疲労き裂およびき裂近傍の力学状態の遠隔定量非破壊評価手法を開発することにより、経年鋼構造物の戦略的構造健全性評価システムを構築できるものと考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、鋼構造物に発生・進展している疲労き裂を、構造物の供用中に遠隔から非破壊・非接触計測し、さらに疲労き裂近傍の実働応力分布状態をその場計測できる新しい非破壊評価システムを開発すること、およびこれに基づく実測ベースの破壊力学的構造健全性評価法を確立し、経年鋼構造物の戦略的構造健全性評価システムを構築することである。

具体的には、実働ランダム荷重下で構造物に発生する熱弾性温度変動を高精度に計測するため、ロックイン処理のための基準参照信号を時系列赤外線計測データの信号処理により自己生成できる自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法を開発する。また、計測視野を赤外線サーモグラフィと完全に一致させた高速カメラによる光学的デジタル画像相関変位計測を、上述の自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィによる熱弾性応力計測とハイブリッド化させることにより、測定対象の変位による赤外線計測視野のずれを全時系列画像、全視野で補正し、熱弾性応力測定を高分解能・高精度化する。さらに、き裂進展特性評価に重要な、実働荷重下での破壊力学パラメータの高精度直接評価を行う。

3. 研究の方法

(1) 疲労き裂の遠隔評価技術の開発

き裂を有する部材に繰返し応力が作用する時、特異応力場によりき裂先端付近では応力変動が周辺よりも大きくなる。したがって、荷重を受ける構造物で応力が集中している部分を、熱弾性温度変動が顕著に見られる部分として検出することにより、き裂を検出することができる。しかしながら、温度変動は微小であり、赤外線計測だけではその検出が困難である。そこで、計測された時系列温度変動分布データの一部領域から参照信号を自己生成し、これをもとに S/N 改善を行う、自己相関ロックイン赤外線法を開発する。これにより、外部荷重信号を用いることなくロックイン処理を行うことができる。また、供用中の橋梁に対して、自己相関ロックイン赤外線法によるき裂検出を行う場合、熱弾性温度変動の原因となる繰返し荷重は、図1のように、橋梁を走行する車両から受ける輪荷重である。したがって、熱弾性温度変動のロックイン処理方法を、ランダムな荷重に対応させ、相対応力分布をもとに応力集中部位を検出する。

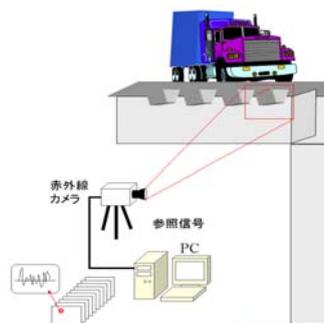


図1 自己相関ロックイン赤外線法

- ①自己相関ロックイン赤外線法の疲労き裂検出への適用性を実験室レベルでの疲労試験により確認する。荷重負荷の大きさ・周波数、測定距離、鋼構造の防食塗装がき裂検出性に及ぼす影響を検討する。
- ②開発した計測手法の有用性を、現場鋼橋梁の疲労き裂検出実験により確認する。供用下にある道路橋鋼床版の疲労き裂検出に関する現場実験を行い、車両重量・速度、走行位置、測定距離、防食塗装、季節がき裂検出性に及ぼす影響を検討する。
- ③実働応力分布の計測結果から応力拡大係数を評価する手法を検討する。赤外線計測で得られた応力分布に対して、応力分布解の第3項までの関数形の係数を最小二乗近似により求め、応力拡大係数を外挿により求める手法を検討する。
- ④供用下にある道路橋鋼床版の疲労き裂に対して、実働応力のその場計測を行う。さらに、車両による実働荷重による応力分布の計測結果から破壊力学パラメータを評価する。

(2) デジタル画像相関による熱弾性応力分布計測の高精度化

赤外線による熱弾性応力計測を行う際には、被測定物に変動荷重が負荷されるため、被測定物の変位・変形により連続赤外線画像の計測視野が変動し、応力分布の測定精度が悪化する。そこで、赤外線および可視画像のデジタル画像相関による位置補正法を検討する。さらに、上述の自己相関ロックイン赤外線法の現場適用に際し、画像相関に基づく位置補正を高速化させるため、2D パラボラフィッティングによるデータ処理手法を開発する。

(3) 可視画像および赤外線画像の超解像化

デジタル画像相関あるいは2D パラボラフィッティングにより、視野の移動量が高精度に求めれば、これに基づき超解像による画像の高精細化が可能となる。可視連続画像による視野移動量をもとに、可視画像の超解像処理および視野を同一化させた赤外線連続画像にこれをフィードバックすることによる赤外線画像の超解像処理を検討する。

4. 研究成果

(1) 疲労き裂の遠隔評価技術の開発

①デッキ貫通疲労き裂の検出 溶接鋼橋梁において、溶接ビード貫通型き裂は検査面に開口しているため、目視や磁粉探傷等の非破壊検査手法により検出が可能である。これに対し、トラフリブの裏側からデッキに進展するデッキ貫通型疲労き裂は、検査面にき裂が開口していないため、これまで超音波探傷しか有効な検査手法がなかった。しかしながら、き裂発生が予測される箇所すべてに超音波探傷を行うことは不可能であり、効率的な検査方法の開発が急務となっている。そこで、鋼橋梁のデッキ貫通疲労き裂検出に対する自己相関ロックイン赤外線法の適用性を検討した。鋼橋梁を模した試験体を用いた疲労試験でのき裂検出実験を行い、計測結果を超音波探傷試験と比較した。

試験状況を図2に示す。試験体のデッキプレートおよびトラフリブの厚さは、それぞれ19mmおよび6mmであった。試験体に最小荷重10kN、最大荷重110kN、振動数9Hzの圧縮繰返し荷重を負荷し、き裂進展過程での計測を行った。

繰返し荷重200万回において、デッキプレートとトラフリブ間の溶接部を中心とする領域に対して得られた、参照信号取得点に対する相対応力変動分布を図3に示す。負荷開始時には見られなかった応力集中部が溶接部に現れ、負荷回数の増加とともにその位置は移動した。また、応力集中が最も高くなる位置は、超音波探傷によるき裂前縁位置と良く一致した。自己相関ロックイン赤外線法により、デッキ貫通疲労き裂の検出および半楕

円裏面き裂の前縁位置の推定が可能であることがわかった。



図2 デッキ貫通き裂検出実験

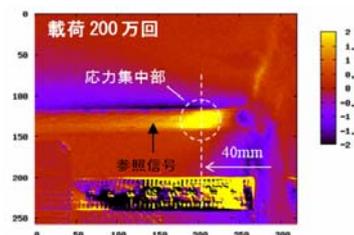


図3 デッキ貫通疲労き裂の検出結果

②実橋梁における疲労き裂検出 供用中の鋼橋梁において、赤外望遠レンズを用いて8m、および12m離れた地上から行った遠隔計測結果を、高所作業車を用いて行った近距離計測結果と比較した。計測状況および対象領域を図4に示す。対象とした疲労き裂は、デッキプレートとトラフリブ間の溶接ビード貫通型き裂である。橋梁上を車両が通過した時のき裂先端近傍での熱弾性温度変動分布に自己相関ロックイン処理を施し、相対応力分布を求めた結果を図5に示す。近接計測、遠隔計測ともに、矢印で示した塗膜割れの先端付近で応力集中が観察され、これをもとに疲労き裂の検出が可能であった。また、き裂が防食塗装膜下にあってもき裂の検出が可能であることが示された。



図4 疲労き裂の遠隔計測

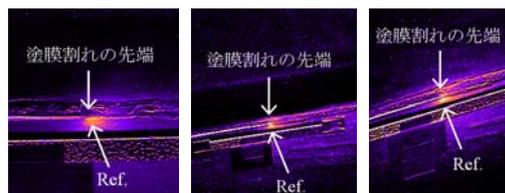


図5 疲労き裂の遠隔計測結果

③実働応力分布の計測 大型車の通過に

よる比較的大きな荷重が橋梁になされた場合、S/N 改善前の赤外線強度変動データから実働応力波形や変動値が十分な精度で求められる。

き裂進展駆動力に影響するき裂先端近傍の作用応力レベルを評価した例として、応力低減のための強化舗装 (SFRC 舗装) を施工前後で、疲労き裂先端近傍の応力レベルを赤外線計測により評価した結果を示す。強化舗装施工の前後に、同じ車両を走行させて計測を行い、車両の速度と走行位置が同じであるデータをもとにき裂先端近傍での作用応力レベルの比較を行った結果を図 6 に示す。強化舗装の効果により、鋼橋梁の疲労き裂先端近傍の作用応力レベルが、通常舗装の場合のおよそ 40% に抑えられていることがわかる。

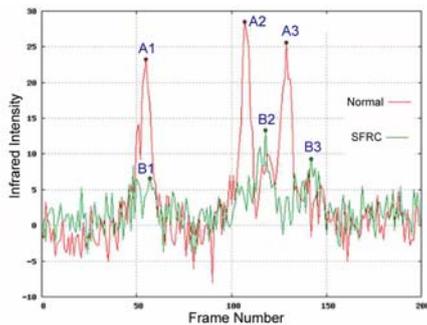


図 6 強化舗装前後での実働応力の比較

④実働応力分布からの破壊力学評価 計測されたき裂周辺の実働応力分布から、応力拡大係数 K_I 、 K_{II} を算出した。対象は、鋼橋梁のデッキプレートとトラフリップ間の溶接部に発生した疲労き裂とした。赤外線強度と主応力との較正関係は、黒体炉による温度較正および軟鋼を仮定した熱弾性係数をもとに求めた。得られた主応力と変動の分布に対して応力外挿法を適用して、応力拡大係数 ΔK_I 、 ΔK_{II} を求めた。車両通過中の応力分布変動をもとに、応力拡大係数の変動 ΔK_I 、 ΔK_{II} の時系列変化を求めた結果を図 7 に示す。測定結果より、 ΔK_I の変動に対して ΔK_{II} の変動は大きく、本実験で対象としたき裂周辺での作用応力は、モード II が支配的であることがわかった。

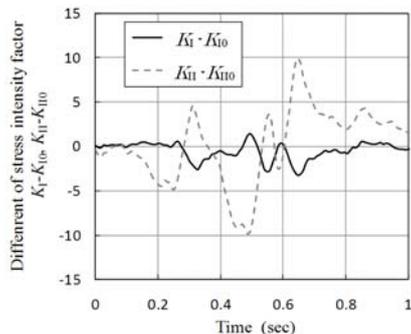


図 7 実働応力変動からの応力拡大係数評価

さらに、実働荷重による応力分布計測結果から応力拡大係数を正確に評価する手法を検討した。赤外線計測で得られた応力分布に対して、応力分布解の第 3 項までの関数形の係数を最小二乗近似により求め、応力拡大係数を外挿により求める手法を提案した。

き裂先端近傍の実働応力分布より、応力拡大係数を評価できれば、よりの確な疲労き裂の進展予測が可能になると考えられる。

⑤まとめ 実験室レベルでの疲労試験では、デッキ貫通型疲労き裂の遠隔計測が可能であることを実証した。また、荷重負荷の大きさおよび周波数、測定距離、鋼構造の防食塗装がき裂同定に及ぼす影響を検討し、自己相関ロックイン赤外線法は、実用上十分なき裂検出能力を有していることを確認した。

供用下にある鋼橋梁の疲労き裂検出実験では、自己相関ロックイン赤外線法の適用限界を検討した。その結果、疲労き裂の進展が問題となるような荷重条件にある橋梁では確実に疲労き裂検出が可能であること、12m 離れた遠隔からの疲労き裂検出が可能であること、中型貨物車以上の荷重荷重によりき裂検出が可能であること、き裂が防食塗装下にあっても検出可能であること、載荷車両の車速に関わらずき裂検出が可能であること、車両による載荷時の応力変動波形のその場計測が可能であること、き裂進展形態により応力場が異なること、実働応力場の計測およびこれに基づく応力拡大係数評価が可能であることを実証した。

(2) デジタル画像相関による熱弾性応力分布計測の高精度化

デジタル画像相関による変位計測に基づく赤外線計測の位置補正を高度化させるとともに、熱拡散による誤差軽減手法を開発した。また、可視高速カメラと赤外線カメラの画像を時間的・空間的に完全一致させた計測システムを開発し、可視データに対するデジタル画像相関を併用した位置補正を可能にした。

さらに、2D パラボラフィッティングによる画像相関位置補正法を開発し、計測視野の位置補正を高速・高精度化し、き裂同定精度を向上させた。前述(1)-②の橋梁でのき裂検出における位置補正効果を図 8 に示す。

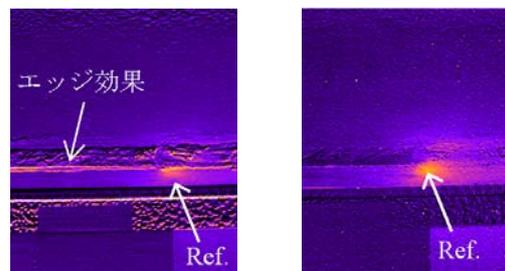


図 8 位置補正による疲労き裂同定精度向上

(3) 可視画像および赤外線画像の超解像化
デジタル画像相関あるいは2Dパラボラフ
ィッティングにより、視野の移動量がサブピ
クセルレベルで高精度に求めれば、これに基
づく超解像による画像の高精細化が可能と
なる。そこで、画像超解像技術を開発し、可
視および赤外線計測における測定画像のサ
ブピクセルレベルの高解像度化を行い、き裂
同定精度を向上させた。

(4) 開発した自己相関ロックイン赤外線法お
よびその周辺技術をコンクリートや複合材
料構造の非破壊検査法に展開した。

膨大な数の経年鋼構造物の構造健全性評
価を的確かつ合理的・経済的に行うことは、
従来の手法では不可能であり、本研究成果の
経年鋼構造物の安全性確保ならびに維持管
理への貢献は大きいと考える。

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8件)

(1) 和泉遊以, 阪上隆英, 久保司郎, 玉越隆
史, 「自己相関ロックイン赤外線サーモグラ
フィ法による鋼床版デッキ貫通型疲労き裂
の検出」, 日本機械学会論文集A編, 査読有,
2010, (掲載可).

(2) Yui Izumi, Takahide Sakagami, Shiro Kubo,
“Accuracy improvement of self-reference lock-in
thermography method and its application to
detection of fatigue cracks in steel bridges”, SPIE
Proceedings, 査読有, 2010, (掲載可).

(3) Takahide Sakagami, Tomohiro Matsumoto,
Shiro Kubo, “Nondestructive testing by
super-resolution infrared thermography”, SPIE
Proceedings, 査読有, Vol.7299, 2010,
pp.72990V-1-72990V-8.

(4) Takahide Sakagami, Hiroki Kawano, Shiro
Kubo, Naoki Yamaguchi, “Identification of
Plastic-zone Based on Inverse Thermal
Conduction Analysis and Double Frequency
Lock-in Thermographic Temperature
Measurement”, Proc. of 12th International
Conference on Fracture, 査読有, 2009, No.T22
-004, pp.1-8.

(5) Yui Izumi, Takahide Sakagami, Shiro Kubo,
“Stress Intensity Factor Measurements for
Fatigue Cracks in Steel Bridges Based on
Thermoelastic Stress Analysis”, Proc. of 12th
International Conference on Fracture, 査読有,
2009, No.T30-003, pp.1-8.

(6) 松本知浩, 阪上隆英, 佐藤大輔, 久保司
郎, 「超解像処理を用いたデジタル画像によ
るひび割れ同定技術の開発」, コンクリート
工学年次論文集, 査読有, 31 巻, 2009,
pp.2083-2088.

(7) Yui Izumi, Takahide Sakagami, Shiro Kubo,

“Nondestructive Evaluation of Fatigue Cracks in
Steel Bridges by Infrared Thermography”, Proc.
of International Orthotropic Bridge Conference,
査読有, 2008, pp.502-513.

(8) Takahide Sakagami, Naoki Yamaguchi, Shiro
Kubo, Takashi Nishimura, “A new full-field
motion compensation technique for infrared
stress measurement using digital image
correlation”, Journal of Strain Analysis for
Engineering Design, 査読有, Vol.43, 2008,
pp.539-549.

[学会発表] (計41件)

(1) 佐藤基洋, 和泉遊以, 阪上隆英, 田川哲
哉, 久保司郎, 「熱弾性応力測定による応力
拡大係数の評価」, 日本材料学会第59期学術
講演会, 2010.5.22, 北海道大学.

(2) 和泉遊以, 阪上隆英, 久保司郎, 玉越隆
史, 「自己相関ロックインサーモグラフィ法
による道路鋼床版の疲労き裂計測～車両の
走行速度・位置がき裂検出性に及ぼす影響の
検討～」, 日本機械学会関西支部 第85期定
時総会講演会, 2010.3.17, 神戸大学.

(3) 森 直也, 和泉遊以, 阪上隆英, 田川哲
哉, 久保司郎, 玉越隆史, 「道路鋼床版の疲
勞き裂検出に対する自己相関ロックイン赤
外線サーモグラフィ適用限界の検討」, 日本
機械学会関西支部 第85期定時総会講演会,
2010.3.17, 神戸大学.

(4) 和泉遊以, 阪上隆英, 鎌田敏郎, 大西弘
志, 玉越隆史, 石尾真理, 久保司郎, 「自己
相関ロックインサーモグラフィによる鋼床
版デッキ貫通疲労き裂の検出」, 日本非破壊
検査協会 第5回赤外線サーモグラフィによ
る非破壊評価シンポジウム, 2010.1.15, 東京
都・城南地域中小企業振興センター.

(5) Takahide Sakagami, Yui Izumi, Shiro Kubo,
“Development of a remote nondestructive
evaluation technique for fatigue cracks in steel
bridges by infrared thermography”, The 13th
Asia-Pacific Conference on Non-Destructive
Testing, 2009.11.12, パシフィコ横浜.

(6) Takahide Sakagami, Yui Izumi, Shiro Kubo,
“Application of Infrared Thermography to
Structural Integrity Evaluation of Steel Bridges
(Invited Lecture)”, International Conference on
Advanced Infrared Technology and Applications,
2009.9.10, Florence Italy.

(7) Yui Izumi, Takahide Sakagami, Naoya Mori,
Shiro Kubo, Takashi Tamakoshi, “Detection of
fatigue cracks in actual steel bridges by
self-reference lock-in thermography”,
International Conference on Advanced Infrared
Technology and Applications, 2009.9.10,
Florence Italy.

(8) 和泉遊以, 阪上隆英, 久保司郎, 森 直
也, 玉越隆史, 石尾真理, 「自己相関ロック
イン赤外線サーモグラフィ法の高度化とそ

れに基づく鋼床版の疲労き裂検出」, 土木学会第 64 回年次学術講演会, 2009.9.4, 福岡大学.

(9) 古川大介, 灰庭照緒, 西川 出, 「き裂先端応力特異場対応型デジタル画像相関法を用いたき裂先端検出手法の開発」, 日本実験力学学会 2009 年度年次講演会, 2009.8.7, 拓殖大学.

(10) 阪上隆英, 松本知浩, 佐藤大輔, 久保司郎, 「デジタル画像の超解像処理によるひび割れ幅評価の高精度化」, 日本非破壊検査協会シンポジウムコンクリート構造物の非破壊検査, 2009.8.6, 日本大学.

(11) 松本知浩, 阪上隆英, 久保司郎, 「超解像技術応用による赤外線サーモグラフィ法の高分解能化」, 日本機械学会 M&M2009 材料力学カンファレンス, 2009.7.26, 札幌コンベンションセンター.

(12) 和泉遊以, 阪上隆英, 久保司郎, 森 直也, 「赤外線サーモグラフィによる鋼橋梁疲労き裂の遠隔検出・評価手法の開発」, 日本機械学会 M&M2009 材料力学カンファレンス, 2009.7.26, 札幌コンベンションセンター.

(13) 和泉遊以, 阪上隆英, 森 直也, 久保司郎, 玉越隆史, 石尾真理, 「自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法の高度化とそれに基づく供用中鋼床版の疲労き裂検知」, 日本材料学会第 58 期学術講演会, 2009.5.23, 愛媛大学.

(14) 和泉遊以, 阪上隆英, 森直也, 久保司郎, 「赤外線サーモグラフィによる道路橋鋼床版疲労き裂の検出および定量評価」, 日本機械学会関西支部第 84 期定時総会講演会, 2009.3.16, 近畿大学.

(15) 和泉遊以, 阪上隆英, 鎌田敏郎, 大西弘志, 久保司郎, 玉越隆史, 石尾真理, 「自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィによる鋼床版デッキ貫通疲労き裂の検出」, 日本非破壊検査協会平成 20 年度秋季大会, 2008.11.7, 東北歴史博物館.

(16) 阪上隆英, 和泉遊以, 久保司郎, 玉越隆史, 「自己相関ロックインサーモグラフィによる鋼床版の疲労き裂測定」, 日本機械学会 M&M2008 材料力学カンファレンス, 2008.9.18, 立命館大学.

(17) 阪上隆英, 和泉遊以, 玉越隆史, 石尾真理, 久保司郎, 「自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィによるデッキ貫通疲労き裂検知」, 土木学会第 62 回年次学術講演会, 2008.9.11, 東北大学.

(18) 阪上隆英, 鎌田敏郎, 和泉遊以, 玉越隆史, ほか 3 名, 「鋼床版の疲労き裂周辺の赤外線応力測定結果に基づく SFRC 舗装効果の検討」, 土木学会第 62 回年次学術講演会, 2008.9.11, 東北大学.

(19) 阪上隆英, 久保司郎, 山口直希, 「赤外線サーモグラフィによる温度場計測に基づく

塑性域同定」, 日本機械学会年次大会, 2008.8.6, 横浜国立大学.

(20) 阪上隆英, 「疲労き裂の検出技術」, 土木学会第 11 回鋼構造と橋に関するシンポジウム, 2008.8.4, 法政大学.

(21) 和泉遊以, 阪上隆英, 久保司郎, 「赤外線サーモグラフィによる道路鋼床版の疲労き裂進展評価」, 日本材料学会第 57 期学術講演会, 2008.5.24, 鹿児島大学.

(22) 和泉遊以, 阪上隆英, 浜田昌弘, 久保司郎, 「赤外線サーモグラフィ法を用いた応力波形計測に基づく道路鋼床版の疲労き裂評価」, 日本機械学会関西支部第 83 期定時総会講演会, 2008.3.14, 大阪大学.

(23) 山口直希, 阪上隆英, 久保司郎, 「赤外線応力測定技術の高精度化に関する検討」, 日本機械学会関西支部第 83 期定時総会講演会, 2008.3.14, 大阪大学.

(24) 山口直希, 阪上隆英, 久保司郎, 「デジタル画像相関法を用いた赤外線応力測定における位置補正手法の高精度化」, 日本機械学会 M&M2007 材料力学カンファレンス, 2007.10.25, 東京大学.

(25) 阪上隆英, 松本知浩, 久保司郎, 「可視・赤外高速データフュージョンシステムの開発」, 日本機械学会 M&M2007 材料力学カンファレンス, 2007.10.25, 東京大学.

(26) 松本知浩, 阪上隆英, 久保司郎, 「可視・赤外高速画像合成システムによる非破壊評価」, 日本非破壊検査協会平成 19 年度秋季講演大会, 2007.10.19, 北海道立道民活動センター.

(27) 山口直希, 阪上隆英, 久保司郎, 「デジタル画像相関法を用いた位置補正による赤外線応力測定の高精度化」, 日本非破壊検査協会平成 19 年度秋季講演大会, 2007.10.19, 北海道立道民活動センター.

他 1 4 件

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阪上 隆英 (SAKAGAMI TAKAHIDE)

神戸大学・工学研究科・教授

研究者番号: 50192589

(2) 研究分担者

久保 司郎 (KUBO SHIRO)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号: 20107139

(3) 研究分担者

西川 出 (NISHIKAWA IZURU)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号: 90189267

(4) 研究分担者 (2007 年度)

村越 潤 (MURAKOSHI JUN)

独立行政法人土木研究所・上席研究員

研究者番号: 60355881