

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究終了報告書】

①研究代表者		氏名 (ふりがな)		所属		役職	
		鎌田 敏郎 (かまだ としろう)		大阪大学		教授	
②研究 テーマ	名称	各種道路橋床版における疲労損傷の非破壊検査システムに関する研究開発					
	政策 領域	[主領域] 道路資産の保全 [副領域]		公募 タイプ	タイプII		
③研究経費 (単位:万円)		平成19年度	平成20年度	平成21年度	総合計		
		1,995	2,400	2,200	6,595		
※端数切り捨て。							
④研究者氏名		(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)					
氏名		所属・役職 (※平成22年3月31日現在)					
松井 繁之		大阪工業大学・教授					
金 裕哲		大阪大学・教授					
久保 司郎		大阪大学・教授					
阪上 隆英		神戸大学・教授					
塩谷 智基		京都大学・准教授					
田川 哲哉		大阪大学・准教授					
崎野 良比呂		大阪大学・助教					
廣畑 幹人		大阪大学・特任助教					
内田 慎哉		大阪大学・特任助教					
大西 弘志		大阪大学・助教					
⑤研究の目的・目標		(提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)					
		本研究課題では、道路橋の中でも重大な損傷を生じる可能性が高い床版の維持管理をより適切に行うために必要と考えられる、次の各項に関する研究を行う。					
		1) 上面増厚補強を施された鉄筋コンクリート床版 (以下、RC床版) の補強部における再損傷やRC床版内部の水平ひび割れを検出するための非破壊検査システムの技術開発。					
		2) 合成床版内部の損傷を非破壊検査によって発見する為の非破壊検査技術の開発。					
		3) 鋼床版疲労損傷の発生と進展を把握できる非破壊検査法の開発ならびに疲労き裂のモニタリング手法に関する技術開発。					

⑥これまでの研究経過・目的の達成状況

(研究の進捗や目的の達成状況、各研究者の役割・責任分担、本研究への貢献等(外注を実施している場合は、その役割等も含めて)について、必要に応じて組織図や図表等を用いながら、具体的かつ明確に記入下さい。)

本研究課題では、⑤で示した当初設定目標のうち、2)の合成床版に関する部分に関しては中間評価における指摘に従い研究を中止したため、実際にはRC床版と鋼床版の非破壊検査システムの開発に関する研究を実施した。今回の研究の流れを図1、研究者の編成を図2に示す。

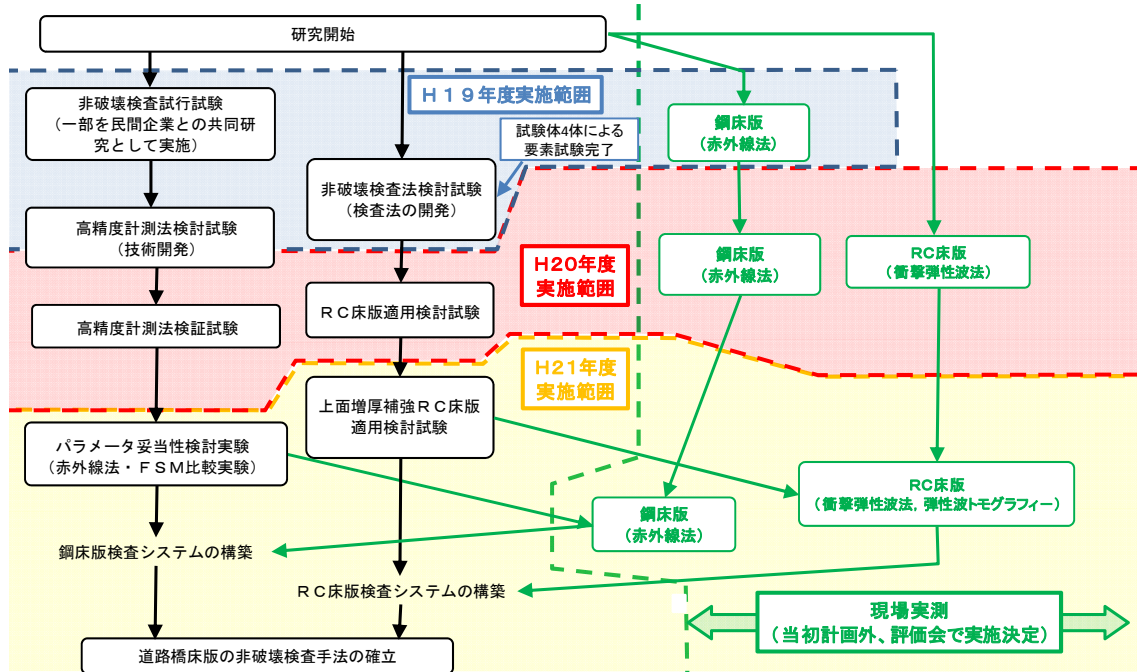


図1 本研究の流れ

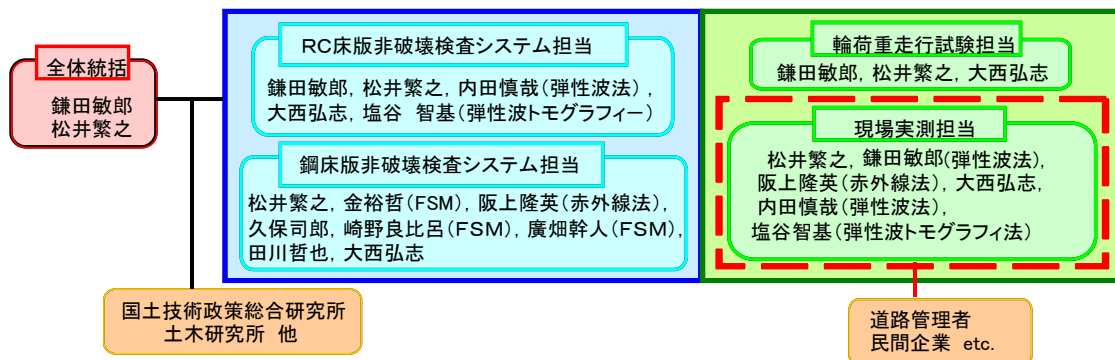


図2 研究グループの構成

本研究課題では、中間評価会における指摘事項に従って、当初予定で計画されていたいくつかの検討項目についての研究を中止しつつも、着実に本研究の目的であるRC床版と鋼床版の非破壊検査システムの構築に向けた研究を推進してきた。本研究において製作した各種試験体を活用した実験室内での各種実験に関してはほぼ当初予定していた項目について実施することができており、概ね良好な結果を得ている。

また、当初計画では明確に計画されていなかった現場実測に関しても、中間評価会で実施を求められたことからRC床版、鋼床版についてそれぞれ実施し、本研究で開発した非破壊検査手法が有効であることを確認することができている。

⑦中間評価で指摘を受けた事項への対応状況

(中間評価における指摘事項を記載するとともに、その対応状況を簡潔に記入下さい。)

本研究課題で中間評価において指摘を受けた事項とその対応状況は以下の通りである。

- (指摘) RC床版に関しては他の非破壊検査に関する研究成果も踏まえ、また実構造物の損傷の検出に用いる非破壊検査であることを認識した上で、検査の効率化、実用化の観点から検討いただきたい。
- (対応) 実際の床版及び実供用下で生じる損傷に対する検査性能の検証と実用化に向けた研究に、さらに特化する。具体的には、弾性波トモグラフィ法の床版損傷可視化技術の検討を実施する。これにより、本研究のターゲットである実床版に生じる内部の面状損傷を捉えることが可能となり、実用性があり、かつ効率的な検査手法となり得るものと考えている。
- (指摘) 既往の研究や機器の応用にとどまらず、研究目的に合致した機器や波形解析法に関して新たに研究開発する観点からの検討もしていただきたい。
- (対応) 入力弾性波の周波数を変化させるとともに受振する波の物理量を変位、速度及び加速度の3種類とした検討を行い、入力方法と受振方法の組合せの最適解について、衝撃応答解析を用いた波動理論を用いて検討する。土木分野で一般的な手法以外についても、最新の検査手法や機器等の研究動向について調査を行い、本研究で新たに検討対象とできる可能性について検討する。
- (指摘) 鋼床版に関しては、非破壊検査の開発(特に、高速化、効率化)を主目的として研究を進めていただきたい。
- (対応) 鋼床版に既に発生しているき裂損傷についての進展性や破壊力学的評価については、本委託研究では実施せず、き裂の非破壊的検出手法としての開発に特化する。
- (指摘) RC床版、鋼床版ともに、実用化時の精度とコストに関する試算や検証が必要と考えられ、実際の橋梁構造や損傷の条件下における開発技術の検出精度や信頼性などの適用性について、具体的な評価をお願いしたい。
- (対応) RC床版については、輪荷重走行試験供試体や実橋の撤去床版、及び供用中の床版を対象として実証的検討を実施する。鋼床版については、これまでに、複数の直轄道路の実損傷に対する実証を行ってきており、さらに対象橋梁を増やして実証を行っていく。各検討手法については、実際の維持管理への適用性についてコストの観点からの評価を行い、考察を加える。
- (指摘) 合成床版を今後1年でとりまとめることは困難なことから、鋼、コンクリートの床版に絞った検討とする必要がある。
- (対応) 合成床版に関する技術開発は行わず、鋼床版、RC床版を対象とした研究に研究内容を絞った。

⑧研究成果

(本研究で得られた知見、成果、学内外等へのインパクト等について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

本研究課題では、⑤の研究目標で掲げた目標のうち、中間評価での指摘を受けて中止することとなった鋼・コンクリート合成床版の非破壊検査を除く、鉄筋コンクリート床版と鋼床版に発生する損傷を検出するための非破壊検査技術の開発を行った。本研究内での技術開発の成果の具体的内容は以下のとおりである。

1) 鉄筋コンクリート床版内部に発生する損傷を検出するための非破壊検査技術の開発

鉄筋コンクリート床版内部の水平ひび割れ等の損傷を検出することを目的とした技術開発においては、開発する技術の特徴により次のように研究内容の分類を行っている。

1-i) 床版に弾性波を入力した際の応答として現れる振動の周波数特性に着目した技術

1-ii) 床版に弾性波を入力した際の床版内部の弾性波伝播速度分布である速度構造に着目した技術
上記のi)に対応するのが衝撃弾性波法による非破壊検査技術であり、ii)に対応するのが弾性波トモグラフィの技術である。ここではこれらに関する研究成果を手法ごとに分けて述べる。

1-i) 衝撃弾性波法

- 1) 一般的な道路橋RC床版の厚さを想定して作製したコンクリート版供試体に対して、衝撃弾性波法、EMH法および超音波法を適用した結果、水平ひび割れを模擬した人工欠陥を検出できる守備範囲が最も大きい手法は、衝撃弾性波法であることが明らかとなった。
- 2) 衝撃弾性波法では、アスファルト舗装面から水平ひび割れを検出することが可能である。

⑧研究成果（つづき）

- 3) 衝撃弾性波法を適用した場合の RC 床版内部での弾性波の挙動を、3次元衝撃応答解析により再現する上で必要となる解析モデルや衝撃入力の設定方法について詳細な検討を行い、これらに適した条件を見出した。
- 4) 衝撃応答解析により、「I：弾性波の入力方法」、「II：受信方法」および「III：周波数分析方法」の最適な組み合わせを決定するための方法を提案した。
- 5) 道路橋から切り出した RC 床版を対象に、解析結果に基づき衝撃弾性波法を適用した結果、水平ひび割れの有無やその深さを推定することが可能であった。しかも、衝撃弾性波法により推定した結果と削孔により実測した結果は、おおむね一致した。

以上のことから、本研究で提案した「3次元衝撃応答解析を援用した衝撃弾性波法」は、道路橋RC床版の水平ひび割れの検出において、相応の適用性を有していることが明らかとなった。

1-ii) 弾性波トモグラフィ法

モデル床版の疲労による弾性波トモグラフィ計測および、実橋梁より切り出した床版での同計測により以下の知見が得られた。

- ・疲労による床版内部の損傷進展は、弾性波の低速度領域の拡大として評価可能である。
- ・トモグラフィにより得られる弾性波速度は、励起させた弾性波周波数に依存し、高周波になるほど小規模の損傷に対応している。
- ・内部の弾性波速度は側面の目視観察より判断されるひび割れ性状（劣化性状）と必ずしも一致するものではなかった。つまり、側面（切断面）から観察される水平ひび割れは、必ずしも内部にまで及んでいない場合や、反対に内部に生じていても側面に達していないひび割れの存在も示唆され、このような内部損傷の可視化に弾性波トモグラフィは有効な手法と考えられた。
- ・アスファルト層の有無が弾性波トモグラフィ結果に与える影響を検討した結果、アスファルトがある場合でも、アスファルト表面から励起させた弾性波が底面まで到達すること、また透過した弾性波到達時間よりユニークな速度分布が得られたことから、弾性波トモグラフィにより実際の内部劣化を反映した速度性状が得られている可能性が高いことがわかった。
- ・削孔により床版内部性状を観察した結果、アスファルト層（と遮水層）がある場合でも、ひび割れが観察されない断面では、ほぼ全領域で高い速度構造が得られた。さらに、水平ひび割れが観察される断面においては明瞭な水平方向の低速度域は確認されないものの、水平ひび割れがない場合と比較すると、明らかに全領域の低速度が確認できた。よって、アスファルト層がある場合でも、弾性波トモグラフィにより劣化程度が推定できる可能性が確認できた。
- ・一対の面からの弾性波の励起やセンサ設置が不要な一方からの表面波を利用したトモグラフィを現場から切り出した劣化床版に適用した。その結果、表面での目視から判断される劣化程度と速度構造は必ずしも一致しないことがわかった。表面波位相速度を利用した手法は、内部の劣化状況の定性的推察は可能といえるが、定量的な事項である損傷程度やその深度までは推定することができない。一方、本手法は透過波を用いた既往の手法と異なり、一方での計測のみで内部が調査可能となることから、今後さらに様々な励起方法、周波数、波長と得られる速度（位相速度）を検討し、深度方向の定量的損傷評価が可能となれば広く様々な構造物の劣化評価に適用される可能性があるものと考えられる。

2) 鋼床版に発生する疲労損傷の発生を把握できる非破壊検査技術の開発

鋼床版は溶接線が数多く配置されている非常に複雑な構造物であり、どの溶接線においても疲労き裂の発生が懸念されるが、本研究では近年特に注目されている部位である、デッキプレートとトラブリブの間の溶接線やその近傍から発生する疲労き裂を検出することを目的とした非破壊検査技術の開発を行った。本研究で開発の対象となった非破壊検査技術は次の2種類である。

2-i) 鋼床版に荷重が作用した時に疲労き裂の先端に発生する温度変化を捉えることで直接目視できない部位に発生したき裂も含めて検出する自己相関ロックインサーモグラフィ法

2-ii) 鋼床版内部にパルス電流を流したときに発生する電場が床版に発生する変状の存在により乱されることを応用して疲労き裂の検出を可能にする電場指紋照合法

ここでは、上記のそれぞれの方法に関して本研究で得られた成果を簡単に紹介する。

⑧研究成果（つづき）

2-i) 自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法

本研究課題においては、研究室レベルでの試験体に対する実験および実橋梁に対する現場試験を通じて、自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法による疲労き裂検出性に及ぼす影響因子に関する検討を行った。

初年度には、主に疲労き裂の発生・進展が報告、モニタリングされている橋梁の鋼床版を対象に、荷重車による载荷の下での実験を実施し、荷重車の走行速度や走行位置がき裂検出性に及ぼす影響について検討した。2年目には、鋼橋梁における重要な破壊形態であるデッキ貫通型疲労き裂の検出性に関する検討を、実験室レベルの輪荷重走行試験により行った。また、実橋梁を対象に遠隔計測を行い、自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法による遠隔からの疲労き裂検出の可能性を証明した。さらに、遠隔計測時のき裂検出性を向上させる方法として、位置補正による振動除去手法に関しても検討を行った。最終年度においては、自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法による疲労き裂の遠隔検出法の実用化を行うための基礎検討の最終段階として、同手法による疲労き裂検出性に影響を及ぼす諸因子に関してより詳細な検討を加えることにより、同手法による疲労き裂検出限界の明確化を行った。鋼床版を模擬した要素試験体を用いて、デッキ貫通き裂検出に関する実験的検討を行った。溶接部の裏面から発生する半楕円き裂のき裂前縁における応力の集中をき裂開口面の裏側の計測面における熱弾性温度変動により検出できることを証明し、さらに計測面に施された防食塗装がき裂検出性に及ぼす影響の検討、さらには計測距離および空間分解能がき裂検出性に及ぼす影響の検討を行った。さらに、実橋梁の鋼床版に対する現場実験において、疲労き裂検出性に影響を及ぼす諸因子の詳細な検討を行い、自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法による疲労き裂検出限界を検討した。車両重量、車両速度および防食塗装膜の有無がき裂検出性に与える影響を検討した。

本研究の結果、自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法による疲労き裂の遠隔検出において、同法が有する以下の優位性を確認した。

- (1) 疲労き裂の発生・進展が問題となる道路鋼床版において通行する車両の大多数を占めていると考えられる中型以上の車両による载荷により引き起こされるき裂先端応力場変動に伴う熱弾性温度変動の検出により、疲労き裂を検出できる。
- (2) 計測面にき裂が開く溶接ビード貫通き裂はもとより、溶接ビードの裏面からデッキプレートに至るデッキ貫通き裂の検出が可能である。
- (3) 防食塗装の下で発生・進展する疲労き裂に対しても、自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法は検出能力を有している。
- (4) 反射防止のつや消し黒色塗装なしの状態でも、き裂先端付近の熱弾性温度変動の局所的増大を検出でき、これをもとにき裂の検出が可能である。
- (5) 被測定物と赤外線カメラの間の距離が長くなっても、反射鏡を使った測定経路でも、き裂の検出が可能である。

以上の検討結果より、自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法による疲労き裂の遠隔検出法は、道路構造物の維持管理手法として確立実用化する価値が高いと結論づけられる。

2-ii) 電場指紋照合法

本研究において実施された一連の研究により、下記のような知見を得ることができた。

- 1) 電場指紋照合法により鋼床版中の疲労き裂を精度よく発見する手法を検討するために実施した実験の結果によれば、パルス電流を印加する電極と損傷発生位置の関係により検出の容易さに差が出るものの、計測結果から得られるFC値の評価レンジを変化させるなどの工夫をすることにより、疲労き裂を精度よく発見できる可能性があることが確認できた。
- 2) 電場指紋照合法による疲労き裂のモニタリング効率向上のため、センシングピンの配置とき裂の検出精度に関する検討を実施した結果によれば、モニタリングエリアを床版全幅(幅2500mm)とした場合でも、Uリブを跨ぐPair(間隔400mm)により、精度良くき裂の発生が検知、進展がモニタリングできることを確認した。

⑨研究成果の発表状況

(本研究の成果について、これまでに発表した代表的な論文、著書(教科書、学会妙録、講演要旨は除く)、国際会議、学会等における発表状況を記入下さい。なお、学術誌へ投稿中の論文については、掲載が決定しているものに限ります。)

[1] 学術論文(査読有り): 15編

1. 前 裕史, 鎌田敏郎, 内田慎哉: 衝撃弾性波法によるコンクリート版厚推定手法へのウェーブレット解析および自己相関係数の適用, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.1697-1702, 2010.
2. Toshiro Kamada, Shinva Uchida, Kazuya Nakayama, Hirofumi Mae and Takashi Tamakoshi: Nondestructive Evaluation of Horizontal Cracks in RC Slabs by Impact Elastic-Wave Methods, *Proceedings of the 6th International Conference on Concrete under Severe Conditions*, Consec'10, Vol.1, pp.117-126, 2010.6.
3. Toshiro Kamada, Shinva Uchida and Kazuya Nakayama: Detecting Horizontal Cracks in RC Slabs with Asphalt Overlays Using Impact Elastic-Wave Methods, *Proceedings of the 7th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures*, FraMCoS-7, Vol.2, pp.1116-1122, 2010.5.
4. 内田慎哉, 鎌田敏郎, 山本健太, 前 裕史, 大西弘志: 弾性波の入力方法が道路橋 RC 床版における水平ひび割れの評価に与える影響, 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, Vol.9, pp.31-38, 2009.
5. 中山和也, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 大西弘志: 衝撃弾性波法による道路橋 RC 床版の水平ひび割れの評価手法に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.2113-2118, 2009.
6. 前 裕史, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 中山 和也: 周波数スペクトルのパターン認識を援用した衝撃弾性波法による道路橋 RC 床版の水平ひび割れの検出方法の改善, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.2119-2124, 2009.
7. 内田慎哉, 鎌田敏郎, 前 裕史, 山本健太: 道路橋 RC 床版の水平ひび割れ面の形状が衝撃弾性波法により得られる周波数スペクトルに与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.2125-2130, 2009.
8. 内田慎哉, 鎌田敏郎, 藤原規雄, 玉越隆史: 道路橋鉄筋コンクリート床版の水平ひび割れの検出における弾性波法の適用, 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, Vol.8, pp.27-34, 2008.
9. Yui Izumi, Takahide Sakagami, Shiro Kubo: Nondestructive Evaluation of Fatigue Cracks in Steel Bridges by Infrared Thermography, 2008 International Orthotropic Bridge Conference, 2008.8.25-29, Sacramento, USA., Proc. of 2008 International Orthotropic Bridge Conference, 2008-8, pp.502-513 (CD-ROM).
10. Yui Izumi, Takahide Sakagami, Shiro Kubo: Stress Intensity Factor Measurements for Fatigue Cracks in Steel Bridges Based on Thermoelastic Stress Analysis, 12th International Conference on Fracture, 2009-7, Ottawa, Canada, Proc. of 12th International Conference on Fracture, 2009-7, pp.1-8, (CD-ROM, Paper No.T30-003)
11. 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), 76-766, pp.723-729, 2010-6
12. Y. Izumi, T. Sakagami, N. Mori, S. Kubo, T. Tamakoshi: Detection of fatigue cracks in actual steel bridges by self-reference lock-in thermography, International Conference on Advanced Infrared Technology and Applications, 2009.9.9-11 (10), Florence Italy, Journal of Modern Optics, Special Issue on Advanced Infrared Technology and Applications に投稿中
13. T. Sakagami, Y. Izumi, S. Kubo: Application of Infrared Thermography to Structural Integrity Evaluation of Steel Bridges (Invited Lecture), International Conference on Advanced Infrared Technology and Applications, 2009.9.9-11 (10), Florence Italy, Journal of Modern Optics, Special Issue on Advanced Infrared Technology and Applications に投稿中
14. 吉見晋平, 塩谷智基, 桃木昌平, 蔡華堅, 鎌田敏郎: AE法による床版疲労破壊モニタリング, JSNDI, 第16回AE総合コンファレンス論文集, pp. 65-68, 2009. 8.
15. T. Shiotani, S. Yoshimi, T. Kamada, H. Ohnishi, S. Momoki and HK Chai: Visualization of fatigue damage for concrete bridge deck with stress wave techniques, Engineering Technics Press, Structural Faults and Repair 2010, 13th International Conference and Exhibition, ISBN 0-947644-67-9, CD-ROM, 2010. 6.

⑨研究成果の発表状況（つづき）

[2] 講演論文・総説・学術資料・研究発表（査読無し）：21編

1. 内田慎哉, 鎌田敏郎, 前 裕史, 岩崎俊樹, 角田 蛍: ウェーブレット変換と自己相関係数を併用した衝撃弾性波法に基づくコンクリート版厚推定手法, 平成 22 年度全国大会 土木学会第 65 回年次学術講演会, 第 5 部門, 2010.9.1.
2. 岩崎俊樹, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 中山和也, 前 裕史, 角田 蛍: 衝撃弾性波法に基づく道路橋 RC 床版の水平ひび割れ検出手法の実構造物への適用, 平成 22 年度全国大会 土木学会第 65 回年次学術講演会, 第 5 部門, 2010.9.1.
3. 岩崎俊樹, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 中山和也, 前 裕史: 弾性波の入力/受振位置が道路橋 RC 床版における水平ひび割れの検出に与える影響, 平成 22 年度土木学会関西支部年次学術講演会, V-10, 2010.5.22.
4. 前 裕史, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 岩崎俊樹, 中山和也, 角田 蛍: ウェーブレット変換と自己相関係数を併用した衝撃弾性波法に基づくコンクリート版厚推定手法の改善, 平成 22 年度土木学会関西支部年次学術講演会, V-11, 2010.5.22.
5. 中山和也, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 前 裕史, 山本健太, 大西弘志: 衝撃弾性波法に基づく道路橋 RC 床版の水平ひび割れ評価方法の基礎的研究, 平成 21 年度全国大会 土木学会第 64 回年次学術講演会, 第 5 部門, pp.347-348, 2009.9.3.
6. 宗像晃太郎, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 前 裕史, 中山和也, 山本健太, 大西弘志: 周波数分布のパターン認識の併用による道路橋 RC 床版の水平ひび割れ評価手法の高度化, 平成 21 年度全国大会 土木学会第 64 回年次学術講演会, 第 5 部門, pp.381-382, 2009.9.4.
7. 宗像晃太郎, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 前 裕史, 中山和也, 大西弘志: 衝撃弾性波法によって測定された周波数スペクトルのパターン認識に基づく道路橋 RC 床版の水平ひび割れの評価手法, 平成 21 年度土木学会関西支部年次学術講演会, V-30, 2009.7.25.
8. 中山和也, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 前 裕史, 山本健太, 大西弘志: アスファルト舗装を有する道路橋 RC 床版の水平ひび割れの検出における衝撃弾性波法の適用, 平成 21 年度土木学会関西支部年次学術講演会, V-31, 2009.7.25.
9. 前 裕史, 鎌田敏郎, 内田慎哉, 中山和也, 山本健太, 大西弘志: 衝撃弾性波法に基づく道路橋 RC 床版の水平ひび割れ面の凹凸の影響を考慮した非破壊評価手法, 平成 21 年度土木学会関西支部年次学術講演会, V-32, 2009.7.25.
10. 鎌田敏郎, 内田慎哉, 大西弘志, 葛目和宏, 真鍋英規, 藤原規雄, 玉越隆史: 叩けばわかる! 道路橋鉄筋コンクリート床版の疲労による水平ひび割れの検出, 検査技術, Vol.14, No.4, pp.44-52, 2009.4.
11. Takahide Sakagami, Shiro Kubo: Development of a self-reference lock-in thermography for fatigue crack monitoring., Proceedings of Int. Conf. on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2007, 2007-9, (CD-ROM, Paper No.90358).
12. Takahide Sakagami: Applications of Thermographic NDT for Structural Integrity Evaluations, ANDE2007 The 2nd International Conference on Advanced Nondestructive Evaluation, 2007.10.17-19(17), Bexco, Busan, Korea. (Invited Presentation)
13. 阪上隆英: 赤外線サーモグラフィによる構造物の経年劣化損傷評価, 日本学術振興会リスクベース設備管理第 180 委員会, 2007.12.17, 東京・早稲田大学, リスクベース設備管理第 180 委員会第 4 回研究会資料, 2007-12, pp.24-28.
14. 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, Inspection of fatigue cracks in steel bridge by infrared waveform analysis, 日本機械学会関西支部第 83 期定時総会講演会, 2005.3.14-15(14), 豊中・大阪大学, 日本機械学会関西支部第 83 期定時総会講演会講演論文集, No.084-1, 2008-3, p.7-6.
15. 浜田昌弘, 阪上隆英, 和泉遊以, 久保司郎: 自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法による土木構造物の非破壊評価, NDE for Civil Engineering Structure Using Self-reference Lock-in Infrared Thermography Method, 日本機械学会関西学生会学生員卒業研究発表講演会, 2008.3.17, 豊中・大阪大学, 日本機械学会関西学生会学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, 2008-3, p.5-3.

⑨研究成果の発表状況（つづき）

16. 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, *Inspection of Fatigue Cracks in Steel Bridge by Thermoelastic Stress Analysis*, 日本材料学会第57期学術講演会, 2008.5.24-25(24), 鹿児島・鹿児島大学, 日本材料学会第57期学術講演会講演論文集, 2008-5, pp.77-78.
17. S. Yoshimi and T. Shiotani: Visualization of fatigue damage process for concrete bridge deck with AE technique, AEWG-52 meeting, Student Award Paper, Sturgeon Bay, WI, USA, 2009. 10.
18. T. Shiotani, S. Yoshimi, S. Momoki, HK Chai, H. Ohnishi, T. Kamada: Visualization of fatigue damage for concrete bridge deck with stress wave techniques, p. 22, Program & Abstracts, The 5th Kumamoto International Workshop on Fracture, Acoustic Emission and NDE in Concrete, 2009. 9.
19. 金 裕哲, 廣畑 幹人, 柴田 健吾: 鋼床版U リブ内側に発生する疲労き裂のFSM による検知, 平成22年度土木学会全国大会年次学術講演会, 投稿中
20. 吉浪 泰祐, 大西 弘志, 太田 小夜子: ゴム製載荷板を用いた鋼床版の疲労試験においてUリブ溶接部に発生する疲労き裂の一考察, 平成22年度土木学会全国大会年次学術講演会, 投稿中
21. 吉浪 泰祐, 大西 弘志: 輪荷重走行試験による鋼床版のUリブ溶接ビート部を貫通するき裂の再現実験, 平成22年度土木学会関西支部年次学術講演会, 1-1, 2010.5.22

⑩研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

関西道路研究会60周年記念講演会（関西道路研究会コンクリート構造調査研究委員会主催：平成21年10月23日（金）14:00～17:00／会場：大阪大学中之島センター）において、研究代表者の鎌田が、論文等で既に公表済みの本研究での成果を基に「弾性波で構造物を診る」と題して基調講演（全部で4件のうちの1件）を行った（参加者約200名）。また、大阪・非破壊診断交流会のウェブサイト（<http://onda.chicappa.jp/topics.html>）上に、本研究の途中経過（論文等で公表済みの内容）を掲載している。

⑪研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や道路政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

本研究では、床版種ごとに特徴的な疲労損傷をターゲットとして、それぞれに適した非破壊検査技術を開発し、評価システムの構築を行った。これらの評価システムが橋梁の維持管理の実務で有効に活用されるためには、今後、この技術を適切に運用するためのマニュアルの整備が必要となるものと思われる。そのためには、引き続き、国土技術政策総合研究所殿等の強力なリードによって、使い勝手が良く、技術を効果的に活用できるマニュアルの作成に取り組んでいただくことが重要と考えられる。一方で、本研究で得られた技術の実用化、さらにはその普及や高度化を視野に入れた場合、当然ではあるが、さらなる精度向上や効率面からの技術改善に取り組むとともに、現場適用後の効果等に関する情報の収集と整理、および情報公開を積極的に行い、損傷の検出事例や本手法の現場適用に関する情報の交流を目的としたワークショップの開催等を行うことが望ましい。

⑫研究成果の道路行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、道路政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

本研究で得られた成果を供用中の道路橋の点検（たとえば、定期点検における詳細調査）に適用することにより、以下の具体的メリットが得られる。すなわち、

1. 鋼床版の疲労損傷検査に自己相関ロックイン赤外線サーモグラフィ法を用いた場合、従来の目視調査では検出困難な損傷が早期に検出可能となるため、重大な事故を未然に防止できるだけでなく、補修・補強計画立案時に有効な情報が得られる。一方、遠方より完全非接触で高精度の検査が可能であるため、検査効率が飛躍的に向上する。したがって、この方法により検査を行うと、足場設置費用などを節約できるだけでなく、検査自体に必要な工期も大幅に短縮できる。

⑫研究成果の道路行政への反映（つづき）

2. R C床版の検査に衝撃弾性波を活用した本手法を採用した場合、上記の鋼床版のケースと同じく、従来の目視点検では把握の困難であった内部損傷状態を適確に評価することができることから、道路陥没等を未然に防止することができるだけでなく、床版内部の劣化のレベルが評価可能となることから、計画的な維持管理が可能となる。また、条件によっては橋面舗装上からの適用が可能であり、また、これが難しい条件下では舗装を一部撤去すれば床版上面から損傷の検出が可能となることから、検査足場の設置を前提とせずに調査が可能となる。また、床版下面に足場が設置できる条件下では、床版下面からのアプローチにより内部損傷の評価が可能となることから、この場合は車両の通行制限を行わなくとも所要の調査が実施できる。以上のように、足場等の設置によるコスト増あるいは通行制限による社会的損失を低減させる非破壊技術の適用による経済的メリットは大きい。

以上のような観点から、本研究の成果を活用することにより、供用中の橋梁群の維持管理コストを大幅に低減することができるだけでなく、これまでの技術では適切な診断ができなかった疲労損傷に関しても確認が容易となることから、床版の損傷に対して早期の対応が可能になり、橋梁の損傷に起因する道路ネットワークの機能低下リスクをより小さくすることができる。

また、本提案技術の実用化により橋梁点検業務の効率が飛躍的に向上するため、各道路管理者が構築している道路維持管理システムの運営あるいは橋梁長寿命化修繕計画の策定が容易となり、アセットマネジメントに基づく維持管理作業を実現することができる。すなわち、これらの非破壊検査技術を導入することにより、アセットマネジメントに基づくライフサイクルコストの最適化を実現することが可能となる。

⑬自己評価

（研究目的の達成度、研究成果、今後の展望、道路政策の質の向上への寄与、研究費の投資価値についての自己評価及びその理由を簡潔に記入下さい。）

研究目的の達成度、研究成果、および今後の展望に関する自己評価としては、本研究で対象とした道路橋床版の特異的な損傷を評価する非破壊評価法の提案という観点からは、十分な結果が得られたものと信じている。種々の条件下での実構造物への適用に際しては、手法の改善等、引き続き検討を継続する必要があるものも部分的には残しているが、一連の評価システムとしては評価に値する成果が得られたものと考えている。さらに、道路政策の質への向上という側面から見れば、別欄で既に示したように、本研究の成果は、今後、道路橋梁の長寿命化政策の中で十分活用される可能性のある要素技術であり、道路橋の維持管理の場面で本手法が上手く利用されることで橋梁のライフサイクルコスト低減につながるなど、本研究結果が貴重な役割を果たすものであることは明白と思われる。他方、研究費の投資価値については、成果から見た投資価値は客観的には高いものと思われる。