

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560296

研究課題名(和文) 橋梁用マット型亀裂診断装置の開発

研究課題名(英文) Development of the mat type crack detection equipment for bridges

研究代表者

川合 忠雄 (kawai, tadao)

大阪市立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20177637

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：道路面から衝撃を与え、発生する振動を道路面に設置したセンサーで検知することにより橋梁のUリブに発生するき裂を検知できるシステムの開発を目指した。衝撃は加速度センサーで計測し、打撃点からの衝撃がき裂で反射または透過してセンサーに入射する位置にセンサーを配置することが検出精度を高める上で必要であることが分かった。シミュレーションでは、衝撃波が鋼床版およびアスファルト層を伝播し、鋼床版に生じたき裂によって反射し、センサーに入射する様子を明確に示すことができた。センサーで検知した信号からウェーブレット解析により、縦波を抽出し、RMS値で評価することによりき裂で反射した波を検出できることが分かった。

研究成果の概要(英文)：In this research, new monitoring system which can detect a crack on U rib in a bridge was proposed. In this system, shock wave being caused by impulse on a road was measured using acceleration sensors on a road side. Our simulation showed that locations of sensor were very important to detect shock wave. Shock wave was reflected by a crack and arrived at sensors. Our simulation revealed how a shock wave caused by a impulse propagated from asphalt through steel to sensors. Sensor signals were processed by Wavelet analysis and estimated its RMS value. After checking its distribution pattern, we could detect a location of a crack.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：診断

1. 研究開始当初の背景

日本国内にはおよそ 680,000 の橋梁 (内 150,000 橋が 15m 以上) があるが、1950 から 60 年代に作られた物も多く、これらは 2010 年代に高齢化を迎え、メンテナンスが必要となる。このために年間 3 兆円近い維持管理費が継続的に必要となるが、現在の経済・政治状況から十分な費用を確保することが難しくなっている。このままの状況が続くと、数年先には管理できない橋梁が増大して、交通網の確保が難しくなる。特に、全橋梁の内都道府県および市町村が管理する橋梁は 620,000 橋 (約 90%) に達する。都道府県および市町村では国以上に予算が厳しく、管理できる人材も非常に不足している。以上のような状況で、橋梁を適切に管理し、交通の安全を確保するためには、橋梁の計測、診断、マネジメント技術を早急に開発する必要がある。

2. 研究の目的

本研究での最終目的は、次の 3 つのポイントを押さえた診断システムの構築である。

- ・ 検査時間を短縮できる
- ・ き裂の有無と大まかな位置を検出できる
- ・ 定量的に状態が評価できる

時間短縮による検査自体のコストはもちろん、状態の診断さえ可能であれば精密検査の回数を減らすことができるため、無駄な検査のコストを抑えることができる。さらに定量的な評価を行うことによって検査精度を安定させることを目指した。

上記のポイントを満たすために、Asphalt 上面に設置した複数のセンサにより弾性波を計測し、き裂を検知する簡易診断システム (図 1 参照) の構築を目指した。

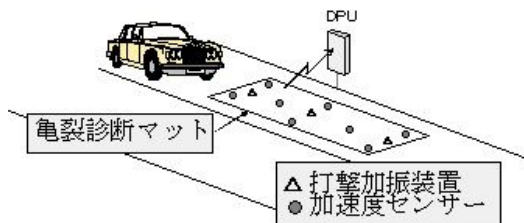


図 1 システムのイメージ

3. 研究の方法

本研究では、車自体の通行によって衝撃を発生させ、マット状の計測システムとすることにより容易に診断装置を橋梁に設置可能とする。研究のポイントは、加振方法とセンサーでのデータ収集およびデータ処理方法である。研究期間内では、タイヤの乗り越しによって路面を加振する方法 (加振機構の開発およびそれによって生じる加振力の特性評価) センサー (主に加速度計) の配置方法 (マット内に複数のセンサーを配置し加振点および亀裂点からの信号を計測) 計測した信号から亀裂発生点を同定する手法の開発 (逆問題解析、時

系列解析を適用) に絞って研究を行った。研究では、FEM を用いたシミュレーションによる手法の検証を行った。

4. 研究成果

作成したシミュレーションモデルについて上面図を図 2 に、断面図を図 3 に示す。き裂の形状はオープクラックで、幅 3mm、高さ 0.5.10mm で長さ 480.240mm なしの 5 パターンのモデルを作成した。また、荷重は Steel 面に正弦波半波長分 (30μs) を加えた。

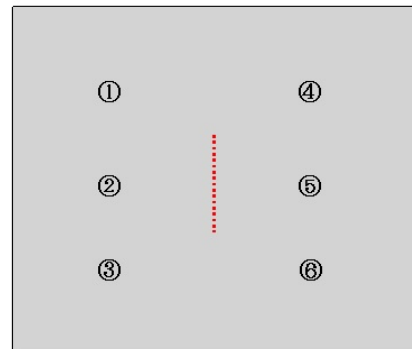


図 2 センサの位置 (加振位置は または )

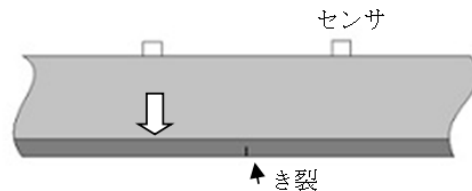


図 3 シミュレーションモデル

センサで出力された z 方向加速度波形を図 4 に示す。図 4 はき裂長さ 480mm 深さ 10mm のモデルとき裂なしのモデルで出力されたものであり、縦軸は加速度、横軸は時間である。図 4 より、き裂がある場合正常時と比較して信号の早い段階で振幅が増加していることが確認できた。しかし、実際に診断する際にはセンサで出力された一つの信号からき裂による影響を検出する必要がある。

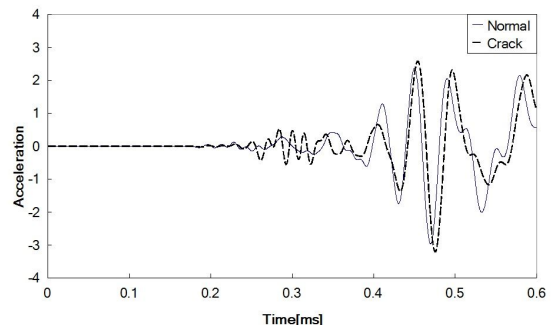


図 4 シミュレーション結果

図 4 の結果をウェーブレット解析したも

のを図 5、6 に示す。

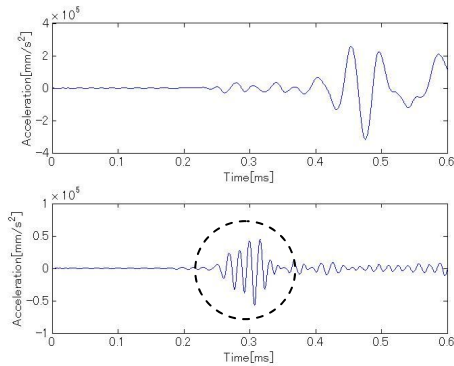


図 5 き裂あり：分解信号 a6(上) \ d6(下)

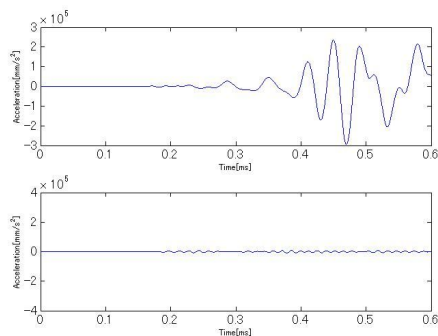


図 6 き裂なし：分解信号 a6(上) \ d6(下)

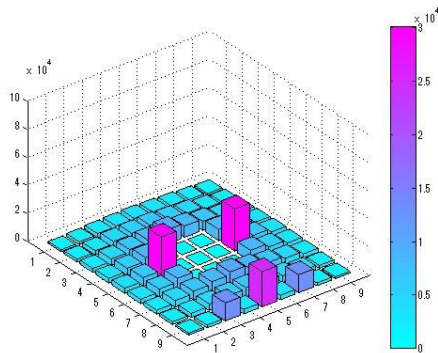


図 7 RMS 値  
(き裂長さ 480mm、深さ 10mm の場合)

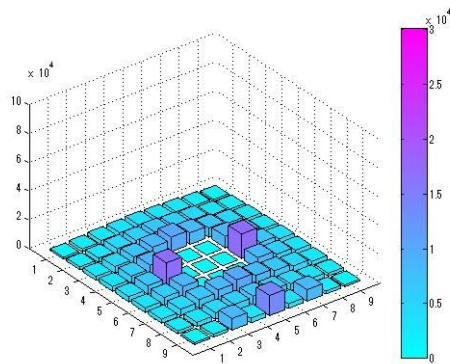


図 8 RMS 値  
(き裂長さ 480mm、深さ 5mm の場合)

図 5、6 で亀裂による衝撃が伝わる区間

について RMS 値を計算し、各測定位置での値を 7、8 に示す。いずれも加振位置は  $(x,y)=(5,5)$  で、き裂に対して加振点と反対側のセンサ  $\square$ 、加振点側のセンサ  $\square$  のいずれも RMS 値は大きな値となった。き裂深さ 10mm に対して 5mm の系では約 5 割の大きさとなった。

本研究により、橋梁のリブ溶接部進展き裂を検知するための弾性波診断手法を新たに提案した。そして 3 次元シミュレーションモデルを用いてそれらの診断手法の妥当性の検証ができた。

(1)き裂による反射波の存在を捉える手法として、ウェーブレット変換が有効であることが確認できた。

(2)弾性波がき裂に対して大きな角度を持って衝突した場合は、き裂後に位置するセンサでは RMS 値の値に正常時と差が小さく、判断しにくい。しかし、き裂に対して弾性波が垂直に入る位置、加振点とセンサの垂直二等分線上の位置にあるき裂では RMS 値が大きな値となり十分診断可能だと言える。

(3)鋼版を加振することで、アスファルト上のセンサでき裂による弾性波の変化を検出できた。超音波法では何度も走査する必要があるが、こうして弾性波を用いることで一度に検査できる範囲を広くとり、検査時間の短縮が可能になる。

## 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 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

亀坂晃司、川合忠雄、画像処理を用いた橋梁の欠陥検知手法に関する研究、日本機械学会 D&D2013 (2013.8.28) 九州産業大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：

権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

川合 忠雄 (KAWAI, Tadao)  
大阪市立大学・工学(系)研究科(研究院)  
・教授  
研究者番号：20177637

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：