

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：13102
研究種目：若手研究（B）
研究期間：2011～2012
課題番号：23760421
研究課題名（和文）振動による鋼橋の損傷検出限界の解明と圧電体を利用した損傷検出手法の開発
研究課題名（英文）Clarification of damage detection limit of steel bridge by vibration and development of damage detection method using piezoelectrics
研究代表者
宮下 剛（MIYASHITA TAKESI）
長岡技術科学大学・工学部・准教授
研究者番号：20432099

研究成果の概要（和文）：橋梁の効率的な維持管理に向け、撤去橋梁に対して損傷を与えながら振動計測を実施し、損傷と動特性の関係を把握した。また、橋梁の損傷検出に向けて、圧電体を利用するモニタリング手法について検討した。

研究成果の概要（英文）：Toward effective maintenance of bridge, a lot damage were inflicted on a demolished bridge, step by step, and the ambient vibration was measured in each case to investigate the correlation between damage and changes in dynamic characteristics. Moreover, monitoring method was studied using piezoelectrics for developing bridge damage detection method.

### 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

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：橋梁，維持管理，振動，損傷

### 1. 研究開始当初の背景

既設橋梁の老朽化は急速に進行しており、これらの健全性を定量的かつ効率的に評価する手法の確立が強く求められている。この中で、動特性の変化に着目して、健全性の評価を目指す振動モニタリングに関する研究が国内外で積極的に行われている。ここでは、ハード面での進展に目覚ましいものがあるものの、取得したデータをもとに健全性を評価するソフト面での立ち遅れ感が否めない。これは、実橋における損傷と同定される動特性の間の関係が、十分に把握されていないことが一因と考える。

### 2. 研究の目的

本研究では、(1) 実橋における損傷と振動計測から同定される動特性の関係を明確に

する。具体的には、撤去橋梁に対して段階的に損傷を与えながら振動計測を実施し、損傷と動特性の関係を把握する。(2) また、橋梁の損傷検出に向けて、圧電体を利用するモニタリング手法について検討する。

### 3. 研究の方法

(1) 橋梁の損傷と動特性の関係把握を目的として、撤去する歩道橋(鋼 2 主鈹桁橋、一径間、スパン約 28 m, 図 1)に対して、段階的に損傷を与えながら振動計測を実施した。サーボ型加速度計を床版上に 14 個設置し、常時微動ならびに衝撃加振時の振動計測を実施した。無損傷状態の計測後、総計 34 ケースとなる損傷を橋梁に与えた。損傷は、初めに、下フランジの自由突出板部へガス切断によるスリットを一定間隔で橋軸直角方向

に与えた（損傷シリーズ1, 図2）. スリットを与える順序は, 両桁端, 次いで約1.5 m間隔とした. その後, 腐食による断面欠損を想定して, 下フランジで三辺自由となった鋼板をウェブとの溶接線からガス切断により切り離れた（損傷シリーズ2, 図3）.



図1 計測対象橋梁



図2 損傷シリーズ1



図3 損傷シリーズ2

(2) 圧電体を受動素子として利用するモニタリング手法について検討した. 具体的には, PC ケーブルが破断する際に発生する音に着目して複数台のコンクリートマイクを用いた音響モニタリングシステムを構築し, 音源位置を同定する手法について検討した.

#### 4. 研究成果

(1) 以下に, 本研究項目から得られた知見をまとめる.

- ・固有振動数の変化率は, 損傷の与え方に起

因して, ねじれを伴わないモードの方が大きくなった. これは, 下フランジに与えた損傷が, 床版, 下横構を含む擬似箱断面のねじり剛性に対して大きな影響を与えないためである (図4).

・損傷と固有振動数の変化率の相関は, 3次(逆対称1次)モードが高く, 損傷を与える前後で, 約8.2%低下した. これは, 理論的な固有振動数の変化率に近い (図5).

・対象橋梁の詳細な FEA モデルを作成して, 実橋梁に与えた損傷と同一の損傷を与え, 固有値解析を実施した. 計測結果と同様に, FEA でもねじれを伴う振動モードでは固有振動数の低下率が小さく, ねじれを伴わない振動モードでは固有振動数の低下率が大きくなり, 両者の傾向が概ね一致した (図6).

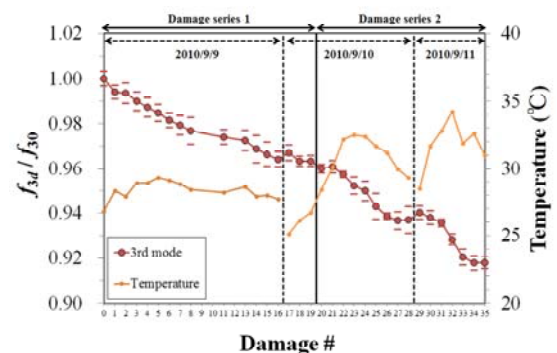


図4 損傷と固有振動数の変化率 (3次モード)

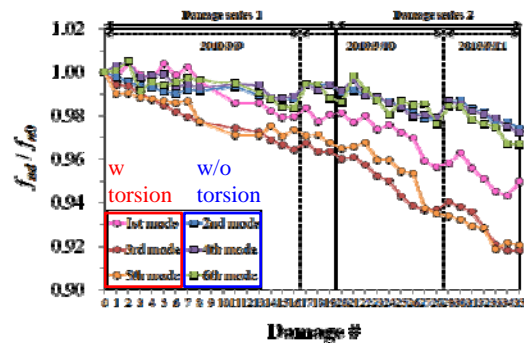


図5 損傷と固有振動数の変化率 (全モード)

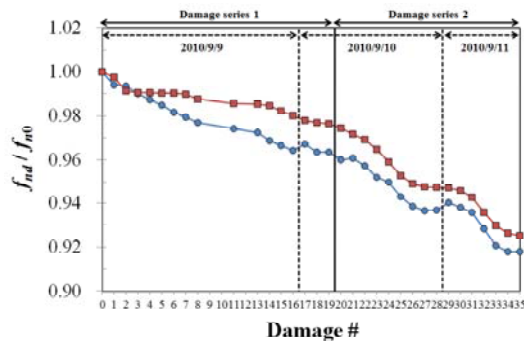


図6 損傷と固有振動数の変化率 (FEA との比較, 3次モード)

(2) 音響モニタリングシステムの構築では、マイクのS/N比を向上させるために、ノイズ低減回路を実装したマイクアンプを新たに開発した(図7)。また、音源位置の同定に向けた検討では、複数台のマイクを用いてコンクリート内部を伝播する音の発生位置を同定するために、三次元の音源位置同定手法を定式化した。そして、PCケーブルの破断音をハンマの打撃音で模擬した室内実験を実施して、同定手法の妥当性を検証した(図8)。

ここでは、弾性波速度の同定ならびに波形の読み取り精度が音源位置の同定精度に与える影響が大きいことが分かった。このため、解析対象とする周波数帯域を限定し、波形の高周波数成分を取り除いてノイズを低減させるパスバンドフィルターを適用する方法について検討した。この結果、音源位置の同定精度が向上した(図9、表1)。

また、モバイルルーターと遠隔操作ソフトを組み合わせた簡易な遠隔モニタリングシステムも構築しており、今後は、上記の音響モニタリングシステムをPCケーブルの破断が実際に生じた実橋梁へと適用を図り、予防保全を行う予定である。

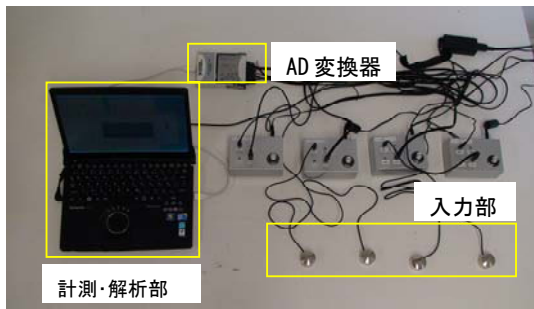


図7 音響モニタリングシステム

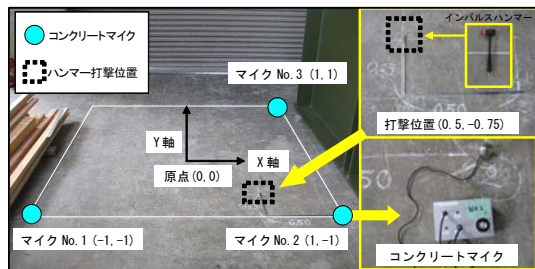


図8 音源位置同定の検証試験

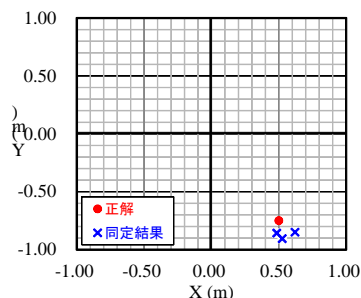


図9 音源位置同定結果

表1 音源位置同定精度

実験 ケース	誤差(m)		
	X	Y	ノルム
ケース1	0.120	0.100	0.156
ケース2	0.025	0.155	0.157
ケース3	0.015	0.107	0.108

## 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1件)

- (1) 宮下剛, 玉田和也, 劉翠平, 岩崎英徳, 長井正嗣: 振動を利用した健全性診断に向けた実橋梁の損傷と動特性変化, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), 査読有, Vol. 68, No. 2, 2012, pp. 367-383

〔学会発表〕(計7件)

- (1) 稲葉将吾, 宮下剛, 田中泰司 丸山久一, 登石清隆: PC鋼材破断検出に向けた音響モニタリングシステムの開発, 第67回土木学会年次学術講演会, 名古屋大学, 2012年9月
- (2) 上原繁輝, 宮下剛, 田中泰司 丸山久一: PC鋼材破断検出に向けた音源位置同定の基礎検討, 第30回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, 朱鷺メッセ, 2012年10月
- (3) 古川侑大, 上原繁輝, 宮下剛, 玉田和也, 長井正嗣: 既設PC斜張橋の維持管理に向けたケーブルの振動計測, 第30回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, 朱鷺メッセ, 2012年10月
- (4) Takeshi Miyashita, Kazuya Tamada, Hidenori Iwasaki and Masatsugu Nagai: RELATIONSHIP BETWEEN DAMAGE AND CHANGE IN DYNAMIC CHARACTERISTICS OF AN EXISTING BRIDGE, 5th International Operational Modal Analysis Conference, University of Minho, 2013.5.
- (5) Kazuya Tamada, Takeshi Miyashita and Morihito Hagura: TENSILE FORCE MEASUREMENT OF CABLES IN A CABLE-STAYED BRIDGE USING LASER DOPPLER VIBROMETER, 5th International Operational Modal Analysis Conference, University of Minho, 2013.5.
- (6) 玉田和也, 宮下剛, 劉翠平, 岩崎英徳, 長井正嗣: 段階的に損傷を与えた鋼板桁橋の振動計測と有限要素解析, 橋梁振動コロキウム2011論文集, pp. 68-75, 2011年9月
- (7) 安田聖晃, 玉田和也, 宮下剛, 長井正嗣, 岩崎英徳: 健全性診断に向けた実橋梁の

損傷と動特性変化の相関把握，第 66 回  
土木学会年次学術講演会，愛媛大学，  
2011 年 9 月

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://struct102.nagaokaut.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

宮下 剛 (MIYASHITA TAKESHI)

長岡技術科学大学・工学部・准教授

研究者番号：20432099