

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560479

研究課題名（和文）MEMS センサを利用した構造物の損傷位置同定システムの開発

研究課題名（英文）Development of fatigue position estimate system using MEMS-sensor

研究代表者

大賀 水田生（OHGA MITAO）

愛媛大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：80116912

研究成果の概要：本研究の目的は、無線機能付きMEMS加速度センサを橋梁等の構造物の構成要素に添付し、そこから得られる振動波形のモニタリング情報から部材の大まかな損傷位置・程度を推定する技術を開発することである。本研究は、振動時刻歴応答解析シミュレーション技術の構築、無線機能付きMEMS加速度センサの製作、及び本システムの検証から成っている。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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：MEMS センサ、損傷同定、振動計測

1. 研究開始当初の背景

年数を経た社会基盤構造物が急増する中、特に橋梁の安全性や機能の確保が重大な課題になりつつある。現在の橋梁検査は、多くの場合、一定の期間ごとに定期的に行われているが、点検間隔は使用環境の厳しさや損傷への抵抗性能などを基にして決定されているわけではなく、点検計画の妥当性および合理性が問題となっている。特に疲労き裂などの割れ損傷は伸展が速く、定期点検を迎える前に破断に至る可能性も少なくないため、構成要素の損傷を知らせる何らかのシグナルを如何に検知できるかが重要である。従って、橋梁の維持管理では、健全な状態にある橋梁についてモニタリングを行いつつ、異常部に

は精密な検査を実施し、損傷の程度や原因を踏まえた迅速かつ適切な処置を施すのが理想的であると考えられる。

近年、ハードウェアの分野では、ナノテクノロジーを応用した MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) の次世代型センサ（加速度、GPS、温度、赤外線等）が実用段階に入りつつあり、情報技術の発展により膨大なデータの伝送・処理が可能になった現在では、大量のセンサをネットワークにつなぐことで新たなサービス・価値を創出する試みが各分野で行われつつある。特に加速度センサは小型・堅牢・低消費電力で、3 方向の加速度が計測可能であり、構造物の衝撃・振動を計測するには十分な空間分解能と時間分解能

を有するものが商品化されてきている。この技術進展を受け、土木学会の応用力学委員会においても、MEMS センサを社会基盤計測に適用するための研究会が設立されようとしている。しかしながら、MEMS センサの性能が上がってきても、それから得られるデータを適切に解析・処理し、構造物の損傷評価を精度よく行う手法については未整備であり、早急な対応が望まれているのが現状である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、MEMS 加速度センサを構造物の構成要素の複数点に添付し、そこから得られる振動波形のモニタリング情報から部材の大まかな損傷位置・程度を同定する技術を開発することである。

加振音源となる基準車両を等速度で橋梁上を走行させ、これを定期的実施することで MEMS センサの加速度波形を記録する。もし損傷が生じたとすれば、センサで得られる波形が正常時とは異なるため、これを解析・評価することによって損傷位置の同定が可能となる。具体的には、構造部材をいくつかのセグメントに分けて、セグメントの損傷は、損傷の指標となるパラメータ（弾性係数、断面欠損率等）の変化に起因するものとして移動音源による振動シミュレーションを予め行っておく。ここで得られる加速度の感度係数を用いて、実測の波形と損傷がある場合のシミュレーション波形との誤差を最小とする損傷パラメータを最適化計算により求めることで、損傷位置・損傷度を推定することができる損傷同定システムを開発することを目的とする。

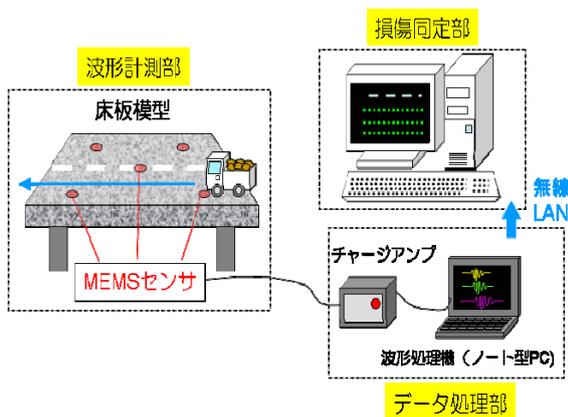


図-1 開発を目指す損傷位置同定システム

3. 研究の方法

(1) 振動時刻歴応答解析シミュレーション技術の構築

動弾性有限積分法 (EFIT) のコーディングは基礎研究として既に進行中である。本手法では床板の加振源として移動する車両を予定しているため、移動音源モデルを EFIT に

組み込む必要がある。ここでは、EFIT コードのチューニングを行い、移動音源に対応した振動シミュレーションを構築する。

上記で構築した EFIT シミュレーションプログラムを種々の骨材を有するコンクリートモデルに適用し、EFIT の検証を行うとともに、シミュレーションプログラム精度向上のために EFIT の改良を図る。

(2) 無線機能付き MEMS 加速度センサの試作

MEMS 加速度センサを内蔵した無線データ転送モジュールの試作を行う。無線機能として ZigBee 規格に基づくプロトコルを利用し、センサを複数作成することによって無線中継局の自動選択・接続機能を有する堅牢なシステムを構築する。これらのプログラミングコードは Labview 等の言語を用いて作成し、グラフィカルインターフェースの充実を図る。

(3) データ転送システムの検証

上記で試作した無線データ転送システムの検証を行う。ここでは、加振時に得られるモジュール各点の加速度データの時間分解能、無線の到達距離などの検証を行う予定である。また、得られたデータを波形処理するソフトウェアも同時に構築・検証を行う。

4. 研究成果

(1) 振動時刻歴応答解析シミュレーション技術の構築

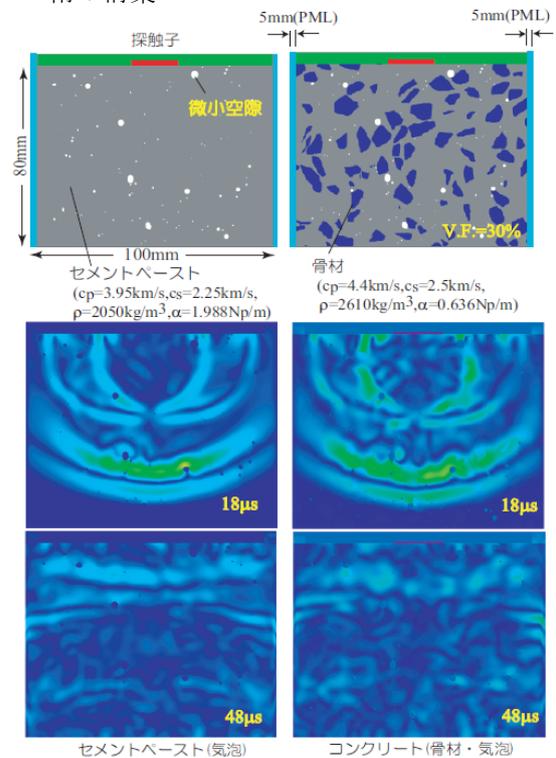


図-2 解析モデルと結果

構造物の外形や構成部材の材料定数をできるだけ厳密にモデルに取り入れるために、イメージベースモデリングと動弾性有限積分法(EFIT)を組み合わせた解析法を採用した。要素分割はピクセル・ボクセルデータを用いて容易に作成できるため、複雑形状の構造物の振動解析が前処理に時間をとられることなく可能となった。本シミュレーション技法をセメントベースと骨材を有するコンクリートモデルに適用し、技法の妥当性・有効性を確認した。図-2に解析モデル及び得られた応答は波形を示している。

(2) 無線機能付きMEMS加速度センサの試作

MEMS加速度センサを内蔵した無線データ転送モジュールを試作した。本プロトタイプは、センサ部、基地局、ノート型PCで構成される(図-3)。センサ部はMEMSセンサ、A/D変換用のマイクロコンピュータ(CPU)、無線転送用ZigBeeモジュールで構成されており、現場での使用を想定し防水・防塵のためアクリル製の箱に収納し、総重量は約600gである。MEMSセンサは静電容量式を用いており、3軸方向の加速度が計測できる。無線機能としてZigBee規格に基づくプロトコルを利用し、通信システムに関連するプログラミングコードはLabview等の言語を用いて作成した。

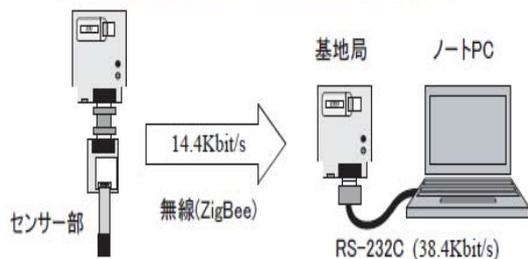


図-3 MEMS加速度センサ

(3) データ転送システムの検証

上記で試作した無線データ転送システムの加振時に得られる加速度データの時間分解能、無線の到達距離などの検証を室内及び実際に橋梁に設置した場合について行った。その結果、室内においては、橋梁に代表される土木構造物の振動(数十Hz)を計測するのに十分な時間分解能を有するデータが転送可能であること、互いに見通しできる場所

では50m程度は安定してデータが転送可能であることが確認できた。しかしながら実際に橋梁に設置した場合については、車両通行による騒音などの影響のため、転送距離が2m程度と極端に減少することが明らかになった。現在この点に関する改善を検討中である。

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 3件)

- ① Sudath Siriwardane, Mitao Ohga, Tatsumasa Kaita, Ranjith Dissanayake, Grain-scale plasticity based fatigue model to estimate fatigue life of bridge connections, Journal of Constructional Steel Research, on Printing, 2009, 査読有.
- ② 中畑和之, 木本和志, 廣瀬壮一, 動弾性有限積分法を用いた波動伝搬解析のためのイメージベースモデリング, 計算数理工学論文集, 7巻2号, 267-272, 2008, 査読有.
- ③ Sudath Siriwardane, Mitao Ohga, Ranjith Dissanayake, Kazuhiro Taniwaki, Application of new damage indicator-based sequential law for remaining fatigue life estimation of railway bridge, Journal of Constructional Steel Research, Vol.64, 228-237, 2008, 査読有.

[学会発表] (計 5件)

- ① 高田恭平, 徳永淳一, 中畑和之, 動弾性有限積分法(EFIT)によるイメージベース弾性波動伝搬解析, 土木学会四国支部技術研究発表会, 2009年5月16日, 松山市.
- ② Mitao Ohga, Sudath Chaminda Siriwardane, Ranjith Dissanayake, Tatsumasa Kaita, Remaining Service Life based Maintenance Strategy for Railway Bridges, Society for Social Management Systems 2009 (SSMX2009), 2009. 3. 5, Kochi, Japan.
- ③ 山口正義, 中畑和之, 大賀水田生, 橋梁振動計測を意図した無線機能付き加速度センサの基本性能の検証, 土木学会全国大会, 2008年9月11日, 仙台市.
- ④ 山口正義, 藤原正, 中畑和之, 大賀水田生, MEMS加速度センサの土木構造物への適用に関する基礎的研究, 土木学会四国支部技術研究発表会, 2008年5月17日, 土佐山田町.
- ⑤ K. Nakahata, J.Tokunaga, K.Kimoto, A large scale simulation of ultrasonic wave

propagation in concrete using parallelized
EFIT, Proceedings of 2008 JSME M&M
international symposium for young
researchers, 2008. 3. 9, Shirahama, Japan.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大賀 水田生 (OHGA MITAO)

愛媛大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：80116912

(2) 研究分担者

中畑 和之 (NAKAHATA KAZUYUKI)

愛媛大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：20380256

谷脇 一弘 (TANIWAKI KAZUHIRO)

福井工業大学・工学部・准教授

研究者番号：60207199

海田 辰将 (KAITA TATSUMASA)

愛媛大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：10390519

(3) 連携研究者

該当なし