

「先進的統合センシング技術」

平成 18 年度採択研究代表者

藤野 陽三

東京大学大学院工学系研究科・教授

都市基盤の災害事故リスクの監視とマネジメント

1. 研究実施の概要

都市基盤における災害や事故防止による安全・安心の実現に向けて、リスクを定量的に評価・監視し合理的なリスクマネジメントを支援する統合センシングシステムを開発する。長期的防災保全の最小化、災害事故の事前防止・影響波及の最小化の達成を目的に、1) 都市基盤施設のリスクをリアルタイムに監視し、2) その特性を明らかにした上での対応の合理化・迅速化を図るのが本研究のねらいである。

平成 19 年は、都市基盤のハザード脆弱性センシングと統合リスク評価に向け、18 年度の基礎的技術の確立に続き、光系センシング、電磁気系センシングに関する基盤技術の高度化を図るとともに実装に向けたシステム開発に重点を置きつつある。また大学キャンパス内の建築物に関するセンサノードの増加、それに伴うデータ管理、配送技術の洗練化を行った。

今後は各基盤技術の試験実装や、計測フィールドを実際の交通システムに広げた実証実験の準備を行う。また、リスクの統合的な指標の可視化技術についても研究を進める。

2. 研究実施内容

A. リスク統合センシンググループ(東大・藤野)

都市基盤のリスクはハザードと脆弱性によって決定される。広域に広がる都市基盤群を対象としたハザード、脆弱性について共同研究者グループの開発する要素技術を統合し、モニタリング、データ伝達・処理に関わる実用性の高いシステムを構築し、都市基盤リスクの統合的評価手法の確立を目指す。東大キャンパスの建物群、高速鉄道高架橋を主たるフィールドとして、その有効性を示す。

本年度も、昨年度と同様 B.ネットワークグループとも協力しながら、センシングユニット設置建物を4に増加し、また1年以上にわたる計測を継続してきた。センシングユニットは昨年度と同様の機器を用いたが、連続計測に関する問題点が明らかとなり、現在、組込 PC とリアルタイム OS を用いたロバストな計測

機器の開発に着手した。さらに1年以上の計測結果から、建築物の動的特性の他にも、外部入力となる地震の特性についてもいくつか特徴が見られることがわかった。

また、計測された加速度データからの最大変位予測法の構築も行った。さらにセンシングの対象となる都市基盤の保全戦略そのものについても研究を実施した。

なお、センシングシステムのアーキテクチャのコンポーネント化やシミュレーションによる構造物の損傷検出手法に関しても研究を進めている。

昨年度に続き、D.光・電波応用システムグループと連携を取り、東大キャンパス内における降雨検出、降雨強度同定に関する基礎的実験を引き続き行っている。

B. ネットワークグループ(東大・中山)

本研究では、構造物に加速度センサ・変位センサ・歪センサ・風速計測センサなどを高密度に配置し、高精度の測定を行うセンサ群を都市規模に配置した構成において、各センサからの情報を常時リアルタイムに収集しながら、災害損傷検出・被害予測や復旧予測などを行うために必要となるセンサノードからの観測データを災害時でも安定して収集することができるネットワーク技術の研究開発を行うことを目的としている。

本年度は、A.リスク統合センシンググループが配置したセンサノードからのデータを集約するためのデータベースを設置し、また学内LANによるデータ配送には既存のネットワーク技術で特に問題がないことを確認している。さらに、有線と無線LANを用いて、有線側にネットワークの問題が生じた場合に、自動的かつデータ損失を防ぎながら無線ネットワークへ切り替える基礎的研究を行った。

C. 多点多自由度変位センシンググループ(東大・安藤)

本研究の目的は、自由空間中での光波伝搬を媒体として用いた静的・多次元・高精度の位置姿勢計測能力を有する多点多自由度静的変位計測センサネットワークシステムの実現にある。すなわち、非常に狭いビーム幅で高い精度での位置姿勢計測を可能にし、橋梁やトンネルやビルなどの大型構造物に多い1次元的な連なりで横幅が確保できない構造に対して高い精度の実現を図る。また、柔軟センサネットワーク機能により、人手を介さずに長期間に渡る安定計測を可能にする。

本年度は2自由度の横方向変位の検出技術の基礎的な研究開発にあて、(1) 細いビームで自由空間を伝搬する波面で検出する原理の理論を構築し、基礎実験で確認と評価を行いつつ精緻化を図り、(2) 具体的な原理として、多重極波面を有するビームの極の空間配置の変化を考え、最適波面の設計、ホログラムやフォトニック結晶を用いたその実現方法、形成される波面の時間相関イメージセンサによる振幅位相分布のコヒーレント検出技術の基礎を確立した。

図-1 に波面の零点検出アルゴリズムの概要を示す。零点近傍では振幅が線形であることを利用し高速検出が可能な4点差分法を開発しこれを適用している。これによりサブピクセルオーダーでの零点検出が可能となり、1.8 μm の標準偏差を得た。

図-2 は、新たに設計した19次多重極波面とその検出画像である。多数の零点検出を前記した4点差分法により検出することで、安定した変位推定を実現することができている。

変位計測の手順

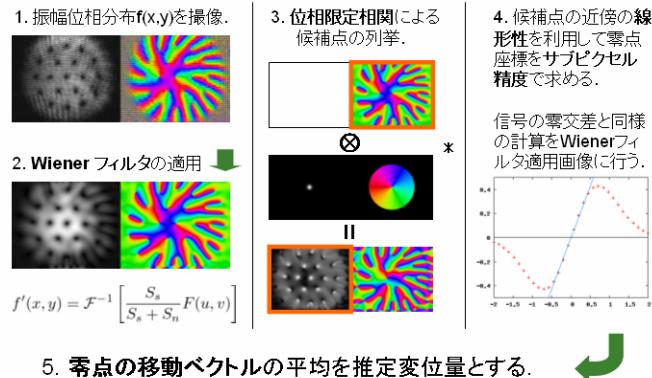


図-1 波面の零点検出アルゴリズムの概要

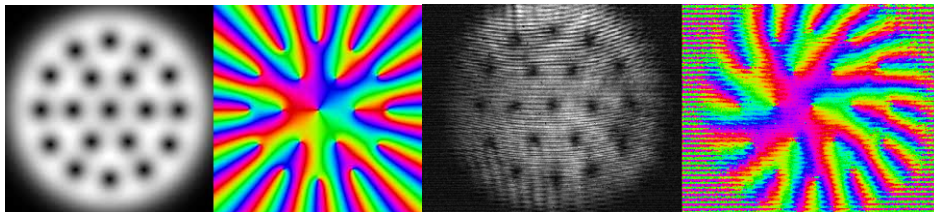


図-2 新たに設計した19次多重極波面とその検出画像

D. 光・電波応用システムグループ(三菱電機・平位)

漏洩同軸ケーブル(LCX)を用いた侵入者検知システムを三菱電機が製品化済みであるが、本研究では本システムを降雨計測に用いることで、すでに LCX が敷設されている新幹線沿線の広域かつ連続的な気象変動を計測し、運行システムの高機能化を図ることを目的とする。

今年度は、降雨が受信信号に与える影響要因の分類を行い、実験によって降雨量との相関が得られるかを検証した。

- 受信信号と関連する要因は(1)直接波, (2)地面からの反射波, (3)LCX 指示物と地面を伝わる表面は, (4)ケーブルに付着する水滴, (5)ケーブル振動, であると仮定した。
- これらの要因の内、降雨により受信信号に影響を与えるのは表面波, 付着水分, 振動であることが実験から確認された。さらに受信信号の強度, 強度変化率を算出することにより, それぞれの要因の分離ができる。

今後は、追実験による再現性の確認, 電波伝搬モデルにより理論検証, フィールドでの実証実験が必要である。

E. 光ファイバグループ(茨城大学・呉)

茨城大学グループの研究では、分布型光センシング技術の高度化および都市基盤の分布型構造へ

ルスモニタリング手法の構築を推進し、具体的には以下に示す成果が得られた。

[1] 計測装置の改良による分布型光ファイバセンシングの高精度化の実現

計測装置の①校正ファイバの設置による相対周波数安定度の改善や②高速偏波スクランブラーによる振幅ゆらぎの改善を行い、ひずみ測定精度の高度化を図った。そして、恒温槽での温度変化実験により計測部のひずみ測定精度が $\pm 25\mu\epsilon$ から $\pm 10\mu\epsilon$ に改善されていることが検証された。

[2] センサの構造形式の改良による分布型光ファイバセンシングの高精度化の実現

連続繊維複合材との複合化により被覆すべりを制御することにより分布型光ファイバセンサの高精度化を図った。そして、鋼板引張試験やコンクリート両引きせん断試験によりセンシング性状を検討し、実質的なひずみ測定精度が従来ファイバを用いた場合に $\pm 40\mu\epsilon$ が $\pm 25\mu\epsilon$ に向上された。また、実質的な空間分解能は 50cm 程度から 15cm 程度に改善されることが明らかになった。

[3] 分布センシングによる構造物の健全性評価システムの構築

分布型光ファイバセンシングによるひび割れ、変形モニタリング手法や外部荷重や温度などの影響を除去できる損傷検知方法、そして、分布ひずみ値を用いた逆解析による構造物の健全性評価システムをそれぞれ構築した。そして、鋼製や RC 造の曲げ試験に関して構築された健全性評価システムの有意性の実証が行われている。

[4] 実橋梁への実装実験

分布型光ファイバセンサ技術の実用化促進を目的として、分布型光ファイバセンサを茨城県内の橋梁に実装し、自然環境下での長期モニタリングシステムの構築に本年度から着手した。

3. 研究実施体制

(1)「A. リスク統合センシング(東大・藤野)」グループ

①研究分担グループ長:藤野 陽三 (東京大学、教授)

②研究項目

- (1) モニタリング, データ伝達・処理に関わる実用性の高いシステムの構築
- (2) 都市基盤リスクの統合的評価手法の確立
- (3) 共同研究者グループの開発する要素技術の統合

(2)「B. ネットワーク(東大・中山)」グループ

①研究分担グループ長:中山 雅哉 (東京大学、准教授)

②研究項目

- ・センサノードにおける観測データ収集のためのネットワーク技術の研究開発

(3)「C. 多点多自由度変位センシング(東大・安藤)」グループ

①研究分担グループ長:安藤 繁 (東京大学、教授)

②研究項目

- ・RLI(リアルタイムロックインイメージング)多点多自由度変位センシングの研究

(4)「D. 光・電波応用システム(三菱電機)」グループ

- ①研究分担グループ長:平位 隆史 (三菱電機(株)、グループマネージャー)

②研究項目

- (1) LCX による降雨・強風計測アルゴリズムに関し, IQ 平面の変動解析法による侵入者と環境変動の識別アルゴリズムを構築する.
- (2) LCX による計測データ伝送方式に関し, ローノイズアンプ開発により, 伝送距離, 伝送容量, 伝送速度の検証を行う.

(5)「E. 光ファイバ(茨城大学)」グループ

- ①研究分担グループ長:呉 智深 (茨城大学、教授)

②研究項目

- (1) 分布光ファイバセンシングの精度向上に関する研究
- (2) 都市基盤の分布型構造ヘルスマニタリング手法の構築

4. 研究成果の発表等

(1) 論文発表(原著論文)

- [A1] Y. Mizuno, Y. Fujino (University of Tokyo): “Data Archiving and Processing Method using Wavelet Decomposition for Structural Health Monitoring,” The 2007 International Workshop on Computing in Civil Engineering, ASCE, pp.673-680, 2007.
- [A2] 阿部雅人・藤野陽三: 自然災害リスクの特性に関する統計的分析, 土木学会論文集(投稿中)
- [A3] 阿部雅人・藤野陽三: 不規則振動理論を援用した加速度記録からの地震時最大応答変位の簡易推定, 土木学会論文集(投稿中)
- [A4] 阿部雅人・藤野陽三: 取替を考慮した無限期間ライフサイクルコストによる維持管理戦略の評価法, 土木学会論文集(投稿中)
- [A5] 阿部雅人・藤野陽三: システム制御理論の視点からのストックマネジメントのマクロ分析, 土木学会論文集(投稿中)
- [E1] H. Zhang, Z.S. Wu and K. Iwashita, Performance evaluation of PPP-BOTDA based distributed optic fiber sensors, Structure and Infrastructure Engineering, 2008 (In press)

- [E2] Z.S. Wu, B. Xu, T. Takahashi, and T. Harada, Concrete Crack Monitoring with BOTDR Fiber Optic Sensing Technique, Structure & Infrastructure Engineering, 2008 (In press, Available online)
- [E3] G. Chen, B. Xu, D.J. Pommerenke, and Z.S. Wu, Distributed Strain Measurement of a Large-scale Reinforced Concrete Beam-column Assembly under Cyclic Loading, Smart Structures and Systems, 2008 (In press)
- [E4] 西口憲一, 岸田欣増, 李哲賢, 呉智深, ブリルアン分布計測におけるパルス・プリポンプ法の高精度化, 信学技報, 電子情報通信学会, Vol. 107, No. 513, OFT2007-68, pp. 33-38, 2008

(2) 特許出願

平成 19 年度 国内特許出願件数 : 0 件 (CREST 研究期間累積件数 : 2 件)