

「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の防止による安全・安心の実現に向けて、リスクを監視し、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。長期的防災保全費用の最小化、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 18 年度は都市基盤のハザード・脆弱度センシングと統合リスク評価に向け、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研究を進めると同時に、センサ情報からの地震に対する損傷判定や収集・配送に関する予備的検討を行った。また大学キャンパス内のいくつかの建築物に対するネットワーク型センシングシステムの実装を行った。

今後は各基盤技術の実装に向けた洗練化、および大学キャンパス内でのセンサノードの増設、それに伴うデータ管理、配送、リスクの可視化について研究を進める。またリスクの評価手法の開発や、高速鉄道をフィールドとした実証実験の準備に着手する。

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。広域に拡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・処理にかか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対象フィールドとして、その有効性を示す。

本年度は、B. ネットワークグループとも協力しながら、耐震補強中の建物 1 棟、耐震補強予定の建物 2 棟にセンシングユニットを設置した(次ページ図参照)。センシングユニットは、小型 PC、加速度センサ、AD 変換器で構成され、比較的取り扱いが簡便であること、遠隔操作による計測プログラムの変更等が可能であること、また既存の強震計に比べて、センサ、配線作業やデータ蓄積等のコストを大きく低減したことに特徴がある。また耐震補強中の建物においては、補強作業の進行に

に伴い、建物の固有振動数など動的特性の変化を抽出することができた。

セミアクティブセンシング手法に向けては、地震などによる振動データからの簡易的リアルタイム損傷検知手法などの建造物の脆弱性の評価手法を開発し、今後実計測データによる検証を行う予定である。また、D. 光・電波応用システムグループと連携を取り、フィールドによる降雨検出に関する基礎的実験を行った。

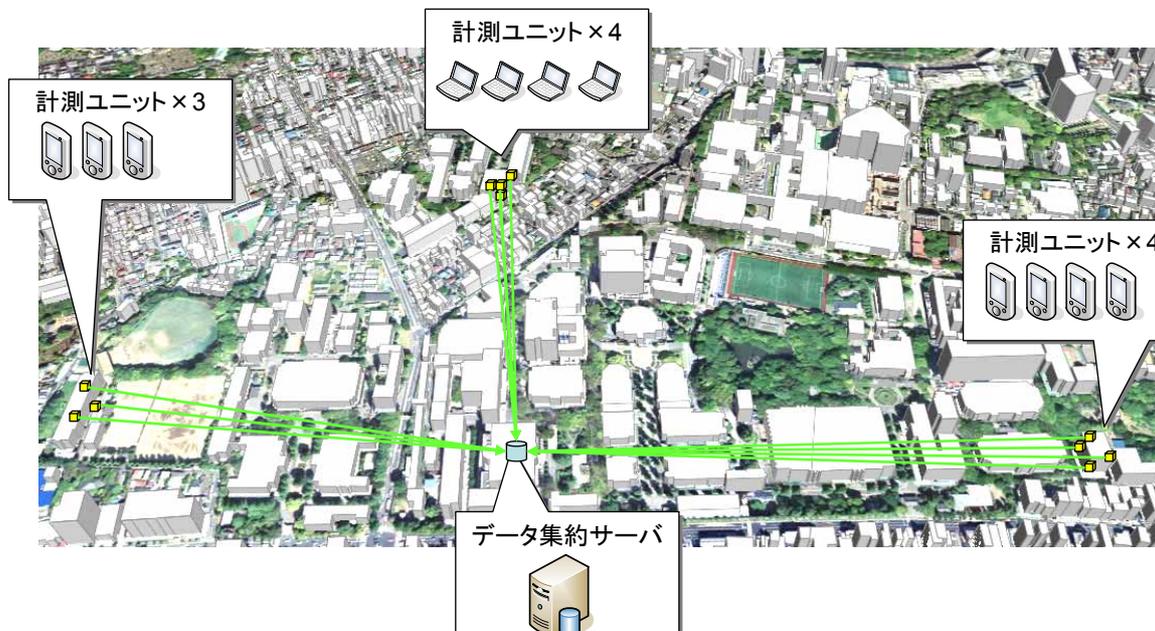


図1 東大本郷キャンパスにおける都市基盤モニタリングの実装実験

B. ネットワークグループ(東大 中山)

本研究では、建造物に加速度センサ・変位センサ・歪センサ・風計測センサなどを高密度に配置し、高精度の変位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ための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、主として各センサで観測されるデータ量を元にした理論解析を行った。また、A. リスク統合センシンググループで使用する加速度センサを情報基盤センター内に設置し、実際のセンサ情報の収集に必要なモデルネットワークの構築を進めている。

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建造物に多い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。この研究目的の実現に向けた初年度は、まず、1)室内基礎実験光学系の構築、2)多重極波面の基礎理論の確立、3)多重極波面の作成と検出の基礎実験、4)多重極波面検出用センサの高度化、の4方向に関して研究を実施した。

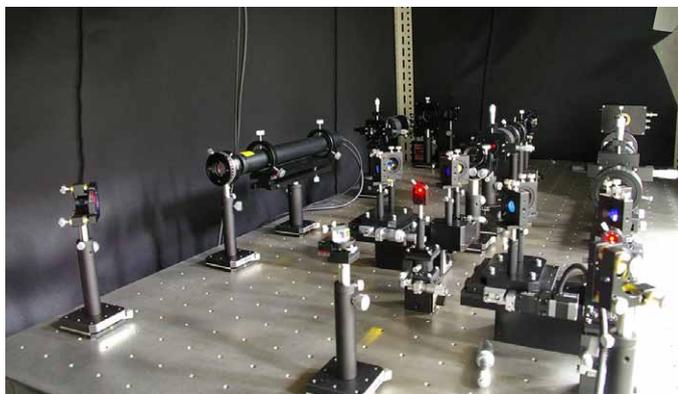


図 2 基礎実験工学系設置の様子

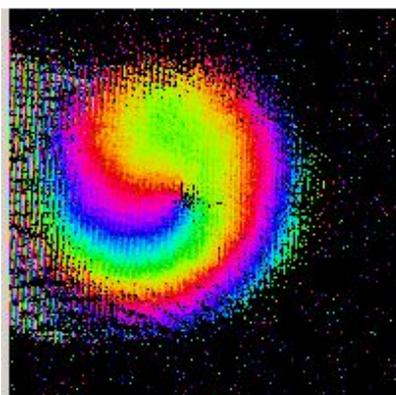


図 3 検出された多重極波面

図 2 に新たに基本設計を行い設置した基礎実験光学系を示す。レーザ光源、多重極発生ホログラム装置、ヘテロダイン検出用周波数シフト装置、単一ビームへの波面合成装置、時間相関イメージセンサによる検出装置からなる。図 3 が検出された多重極波面を示す。まだ若干の波面変形が残るものの、原理上の確認は十分に行えたものと考えている。今後、光学系の細部の改善を行い、次年度の主要テーマである6自由度の静止変形計測機能の確認と検出アルゴリズムの実現に向けて研究開発をさらに加速させてゆく方針である。

D. 光・電波応用システムグループ(三菱電機 平位)

高速鉄道や高速道路沿線に敷設された漏洩同軸ケーブル(LCX)に着目し、橋梁や沿線構造物のセンシングデータの伝送路としての活用技術を開発する。また、ケーブル自身をセンサとして、降雨/強風等を広域で連続的に計測する技術開発を行う。

本年度は、屋外に実験装置を構築し、自然降雨および人工降雨の検出手法の構築を行った。結果として、LCXの搬送波の波長と雨滴の粒径により2本のケーブル間での降雨検出は困難であったが、ケーブルに付着する水滴の影響を受信波の高周波の変化を捉えることで、降雨検出および降雨強度の相対的な評価が可能であることが明らかになった。しかし、ケーブルの設置方法や風による影響が大きく、これらの影響と降雨の影響を分離して評価するための実験を引き続き行う。

E. 光ファイバグループ(茨城大学 呉)

都市インフラ構造物の広域分布センシングを本格的に実現させることを目的とし、分布型光ファイバセンシングの精度向上と高精度・耐久性光ファイバに関する研究開発を実施するとともに、都市

インフラ構造物の各種構造性能指標の評価を行うための光ファイバセンシング手法およびそれによる構造ヘルスマニタリングシステムを構築する。

分布光ファイバセンシングの精度向上に関する研究では、PPP(パルス・プリポンプ)方式を用いた高分解能ブリルアン光センシング技術の理論体系を構築し、歪計測精度に関するシミュレーションを行い、各種影響要因などを究明した。そして、最短空間分解能10cmを有するPPP-BOTDAの周波数安定度を現有レベル(5MHz/30分)より2倍高い(2.5MHz/30分)にするとともに、SNR(signal noise ratio)に影響する相対周波数の変動による振幅のばらつきを低減する制御回路を改善することにより、分布型光ファイバセンシング技術の歪計測精度を $\pm 25 \mu$ から $\pm 10 \mu$ レベルまで改善できることを確認した。一方、センサとしては、光ファイバ芯線コーティング補強材間の付着すべりを制御した上で、自己温度補償性状および高度な耐クリープ性や耐腐食性を有する光ファイバセンサの考案に成功している。

都市インフラ構造物の分布型光ファイバセンシング手法に関する研究では、ひび割れなどの局所損傷の検知や劣化進展の監視および変形などの全体性能の評価を行うための各種光ファイバ分布センシング手法を提案し、実験的な検証を行っている。

3. 研究実施体制

(1)「リスク統合センシング」グループ(東京大学大学院工学系研究科)

①研究分担グループ長:藤野 陽三(東京大学大学院 教授)

②研究項目

- ・都市基盤広域センシングに関する手法・データ伝送と処理・統合リスク評価そしてフィールド適用に関する研究

(2)「ネットワーク」グループ(東京大学情報基盤センター)

①研究分担グループ長:中山 雅哉(東京大学 教授)

②研究項目

- ・高密度・高精度センシングデータ集約・配送技術に関する研究

(3)「多点多自由度変位センシング」グループ(東京大学大学院情報理工学系研究科)

①研究分担グループ長:安藤 繁(東京大学大学院 教授)

②研究題目

- ・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)「光・電波応用システム」グループ(三菱電機株式会社 先端技術総合研究所)

①研究分担グループ長:平位 隆史(三菱電機株式会社 グループマネージャー)

②研究題目

- ・光・電波を用いたセンシングシステム応用技術に関する研究

(5)「茨城大学」グループ(茨城大学工学部)

①研究分担グループ長:呉 智深(茨城大学 教授)

②研究項目

- ・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ヘルスマモ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)

- S. Ando, T. Nara, N. Ono, and T. Kurihara, “Real-Time Orientation-Sensitive Magneto-Optic Imager for Leakage Flux Inspection,” IEEE Trans. Magnetics, vol.43, no.3, pp.1044-1051, 2007.
- 呉智深, 岩下健太郎, 薛松涛, 張浩, 高分解能分布型光ファイバセンサによる PC 構造物のひび割れモニタリングに関する実験的研究, コンクリート工学論文集, 日本コンクリート工学協会, Vol.18, No.2, 2007.5 (印刷中)
- H. Zhang and Z.S. Wu: Performance evaluation of BOTDR based distributed optic fiber sensors for crack monitoring, Journal of structural health monitoring , 2007 (In press)
- H. Zhang, Z.S. Wu and K. Iwashita: Performance evaluation of BOTDA based distributed optic fiber sensors for crack monitoring, Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol.29, 2007 (In press)
- Y. Mizuno, E. Monroig and Y. Fujino: “Wavelet Decomposition Based Approach for Fast Damage Detection of Civil Structures”, J. of Infrastructure Systems, ASCE (Accepted)

(2)特許出願

平成 18年度特許出願:2 件(CREST 研究期間累積件数:2 件)