

構造ヘルスマモニタリングを兼ねた地域版早期地震警報システムの開発

○源 栄 正人*、三辻和弥**、柴山明寛*

1. 概要

迫り来る宮城県沖地震に備え、100 万都市仙台の地震被害低減を図るべく開発してきた構造ヘルスマモニタリング機能を有する地域版早期地震警報システムについて紹介する¹⁾。筆者らはこれまでに、三陸沿岸の観測点として牡鹿と雄勝、伝播経路の石巻、七ヶ浜（仙台盆地の端部）、および仙台の公共建築物に設置された高感度 MEMS センサーによる観測波形情報を IP 網により東北大学のサーバにリアルタイム伝送するシステムを構築してきている（図 1 参照）。本稿では、前線波形情報を用いた高精度地震動予測²⁾を可能にするシステムについて示す。

2. EEW/SHM システム連携網の構築

現在までに、前述の 5 観測点に EEW/SHM システムを設置し、解析センターとしての東北大学・災害制御研究センターには、地震観測装置から発信される地震観測データを受信・解析する解析システム、気象庁からの緊急地震速報を受信・記録する緊急地震速報受信システムを設置した（図 2 参照）。そして、警報システムはこれらのシステムを結ぶデータ通信環境から構成されている。それぞれの観測装置は建物の耐震健全性を評価するための構造ヘルスマモニタリング機能を有している。地震観測装置は米国 DAQ SYSTEMS 社製の NetDAS/MicroSMA システムであ

り、地震計（MicroSMA）、データ収録装置（NetDAS）、データ通信アプリケーションソフト（GRF Tools Suite）から構成されている。地震計はダイナミックレンジが 120dB の MEMS 高感度加速度計であり、建築物の 1 階、中層階、最上階に設置している。それぞれの地震計からの信号はケーブルで 24bit の A/D コンバーターを持つデータ収録装置に接続している。一階の地震計で地震観測を行い、中層階、最上階の加速度計の結果を合わせて、地震時やその前後の状況を把握することで構造ヘルスマモニタリングを行う。データ収録装置では、100Hz を標準としたサンプリングを行い（10Hz～1kHz まで可変）、GPS を利用して時間を正確に保っている。イベントデータを内蔵記録装置に収録するだけでなく、データサーバ機能を利用することで、継続的にデータを送出することが可能である。通信プロトコルは TCP/IP であり、パケット長を自由に設定することができ、リアルタイム通信を実現している。

リアルタイム通信は、データ通信における 1 通信単位のデータ量（サンプル数）を小さくし、小刻みにデータを発信し、受信するデータを常に最新のデータとすることで実現している。短いパケット長での通信においては、長いパケット長に比べ、その直前のデータまでデータを受信することができる。このようにパケット長を小さくするに従って、原理的にデータ取得の遅れは少なくなるが、測定条



図 1 宮城県沖地震を対象とした地域版早期地震警報システム

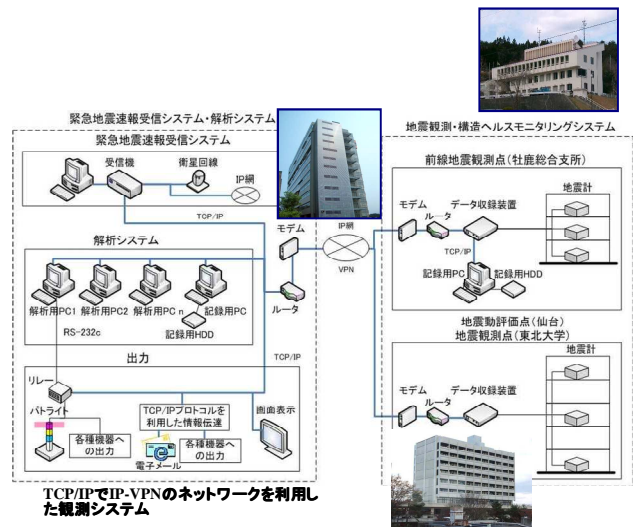


図 2 システム構成

*東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター

**山形大学地域教育文化学部（東北大学大学院工学研究科災害制御研究センター客員准教授）

件を記録したデータヘッダーが多くなり、通信されるデータ量が増え、通信処理に負担がかかるため、通信回線やソフトウェア、システムの能力に合わせたデータ量を設定する必要がある。現在利用している設定（サンプリングクロック 100Hz、チャンネル数 9ch、1 パケット当たり 20 サンプル、データは非圧縮）では、1 秒間で約 5 kbyte のデータ量であり、ADSL 回線の実効速度を 1 Mbps (125 kbyte/秒) としても十分なトラフィックが確保されている。データ通信による転送は、現状では 1 秒以内の遅れであり、そのほとんどは測定装置の処理時間によると思われる。

3. オンライン波形情報活用システムの開発³⁾

これまでに、建築物の構造モニタリングデータを常時オンラインでアクセスできる環境を提供し、モニタリング情報を広く世界に公開し活用するためのシステムを開発した。これまでの成果を以下に示す。

- 1) データ通信プロトコルの整理：オンライン・リアルタイムでのデータ通信のために、米国で開発された GRF を利用した。多くの研究者に活用を促すためには通信プロトコルの理解が不可欠なため、プロトコルを整理した。
- 2) ベース解析プログラムの開発：データ通信プロトコル (TCP/IP) に対応し、リアルタイムでデータを受信・表示・解析するクライアントソフトを開発した (図 6 参照)。高度なプログラミングスキルを持たない多くの建設技術者でも、プログラミングが可能な汎用ソフト LabVIEW でベースプログラムを作成し、オンラインの解析プロセスを加えたソフトを開発した。平常時の観測データの固有周期の変化を把握する解析プロセスを加え、顕著な処理の遅れが発生することなく、オンライン・リアルタイムで稼働することを確認した。さらに、地震時の動的特性の振幅依存性を評価するための足がかりとなるソフトウェアを開発した。
- 3) データサーバのセキュリティ確保：既設の地震観測装置にはデータサーバ機能があるが、多くの利用者にデータを供給するために、また悪意を持った利用者から地震観測装置を保護するために、公開用データサーバを別途設置した。この際、セキュリティを確保するために、ルータを活用した。
- 4) データサーバへの接続テスト：東北大学工学研究科の人間・環境系研究棟の観測データを用いてリアルタイムデータ伝送の試験を行った。研究室内での接続、研究室外の大学内での接続、大学以外の外部での接続

を行い、実際にアクセスが可能であることを確認した。

- 5) 常時微動観測の実施：システムを設置した建物において常時微動観測により振動特性を推定し⁴⁾、システムから求まる建物の振動特性と比較できるようにした。

4. 産官学連携による利活用に向けて

EEW/SHM システム連携網として地域版早期地震警報システムを構築し、宮城県沖地震対策研究協議会のような産官学連携組織によりシステムを運用することができれば、利点として、1) 公共建築物に構造ヘルスマニタリングを兼ねた地震観測装置を設置することで、公共建築物の耐震性能をモニタリングできる、2) 参画企業の施設に同様のシステムを設置し、企業の地震対策および事業継続計画 (BCP) の一環として活用できる、3) 企業の地域貢献 (CSR) と大学の地域貢献 (USR) として位置づけられる、4) 大学施設の地震対策にも活用できる、5) IP 網を介して共有化するオンライン地震情報を用いてリアルタイム地震動予測や構造ヘルスマニタリングに関する学術的貢献が期待できる、6) 学校における防災教育の一環としてシステムを有効に活用することができる⁵⁾などが期待でき、地域の地震災害低減に貢献できる。そのためには産官学連携によるネットワークづくりが期待される。

参考文献

- 1) 源栄正人、本間誠、セルダル・クユク、フランシスコ・アレシス、構造ヘルスマニタリングと緊急地震速報の連動による早期地震情報統合システムの開発、日本建築学会技術報告集、第 14 巻、第 28 号、669-674、2008
- 2) Kuyuk, H.S. and Motosaka M., Real-Time Ground Motion Forecasting Using Front-Site Waveform Data Based on Artificial Neural Network, Journal of Disaster Research, Vol.4 No.4, 260-266, 2009.
- 3) 源栄正人(研究代表者)、建築物の構造ヘルスマニタリングと地震警報のためのオンライン波形情報活用システムの開発、平成 20 年度シーズ発掘試験 (発掘型) 研究報告書
- 4) Mitsuji, K., Motosaka M., Takahashi Y., Tsukamoto, K. and Shibayama, A., Comparison of the vibration characteristics of the low-rise RC building before and after seismic retrofit, 5th World Conference on Structural Control and Monitoring, paper No. 10310, 2010
- 5) 源栄正人、小学校での地震防災授業「大揺れの前に安全確保～揺れを知り、地震に備える!」、日本建築学会大会学術講演集、2010 年 9 月