

平成24年5月27日現在

機関番号：11301  
 研究種目：基盤研究(B)  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20310092  
 研究課題名(和文) 構造モニタリングの連携網を用いた次世代即時地震防災システムの検討  
 研究課題名(英文) Investigaion of a Next Ggeneration on Real-time Earthquake Disaster Prevention System Unsing Structural Health Monitoring Networks  
 研究代表者 源栄 正人(MOTOSAKA MASATO)  
 東北大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号：90281708

## 研究成果の概要(和文)：

本研究では、次世代地域防災システムとして構造ヘルスマニタリング機能を有する地域版早期地震警報システムの開発とその利活用の検討を行った。

迫り来る宮城県沖地震に対する100万都市仙台の地震被害低減を図るために、三陸沿岸の2観測点、伝播経路にあたる2つの観測点、および仙台の公共建築物に設置された地震計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た。また、前線波形情報を用いた高精度地震動予測を可能にする防災システムについて検討した。利活用の一つとして開発システムを利用した学校での防災教育を行った。

開発したシステムは2011年東北地方太平洋沖地震を経験した。得られた地震観測記録は、地震前後の建物の振動特性の変化など構造ヘルスマニタリング研究に貢献した。

## 研究成果の概要(英文)：

This study investigates Earthquake Early Warning (EEW) System with Structural Health Monitoring (SHM) function has been investigated as a next generation regional earthquake disaster prevention system.

To mitigate earthquake damage in a million population city, Sendai against the approaching Miyagi-ken Oki earthquake, a sophisticated disaster prevention system has been developed. The EEW/SHM system was installed at two public buildings of Pacific Ocean coast, two buildings on the propagation path and one building in Sendai. The realtime observation data are transmitted to Tohoku University through Internet. An accurate earthquake ground motion prediction method using front-site waveform data is also investigated to be applied to earthquake disaster prevention. As one of utilization, the developed system has been used in the disaster prevention education at elementary schools.

The developed EEW/SHM system experienced the 2011 Off Pacific Coast Tohoku earthquake. The obtained records contributed to the research on SHM by providing such as amplitude dependent dynamic characteristics of buildings before, during, and after the earthquake.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2009年度	8,100,000	2,430,000	10,530,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：構造ヘルスマニタリング 緊急地震速報 地震防災システム 前線波形情報

## 1. 研究開始当初の背景

平成18年度～平成19年度の科学研究費補助金（基盤研究B）で、構造モニタリングと緊急地震速報の連動による警報システムの実用化研究に取り組み、三陸沿岸の牡鹿総合支所と東北大学に構造モニタリング装置を設置し、オンライン地震観測を開始した。

## 2. 研究の目的

従来の地震警報システムの即時性や適用性を高めるとともに、過去の地震観測情報と詳細な地盤情報と組み合わせることにより、スペクトル特性や波形特性（包絡特性）の予測などより高精度な地震動予測手法を開発し、大揺れの前、揺れの最中、および終息後と時間軸に沿った防災行動、防災対策に供するための検討を行うことを目的とした。

## 3. 研究の方法

構造ヘルスマニタリング機能を有する地震早期警報システムの構築するとともに、その利活用方法について、1) 前線波形情報を用いた即時地震動予測への拡張の検討と実証実験、2) 地震検知機能を兼ねた耐震モニタリングシステムの地域展開、3) 構造モニタリング機能の活用方法の検討、4) 前線地震情報利用システムの各分野への検討を実施した。

## 4. 研究成果

(1) 前線波形情報を用いた即時地震動予測への拡張の検討とシステム構築

平成20年度には、宮城県沖地震を対象に、三陸沿岸に設置したモニタリングシステムからの前線波形情報を使って、ANNを利用した予測解析手法について地震工学に基づいた追加検討を行い、オフライン処理レベルでのプログラミングロジックの詳細検討を実施した。さらに、大地震の高精度化を目指し、地盤特性を踏まえた伝達関数を利用した地震動予測手法の検討を実施した。

平成21年度には、前年度に検討した前線波形情報を用いた人工ニューラルネットワーク(ANN)に基づくスペクトル予測の検証を行うとともに、実験用モデルとして、オンラインで稼働できるようなプログラムを作成し、デモ用の地震を入力に対する仙台のスペクトル予測結果を出力するプログラムの検討を行った。

平成22年度には前年度までに設置した観測点からのリアルタイム波形情報を用いた高精度地震動予測モデルを構築する。三陸沿岸の2観測点と仙台平野への入口にあたる観測点のリアルタイム地震動波形を用いた仙台地域の地震動予測モデルを構築した。

(2) 構造モニタリングを兼ねた前線地震検知

情報検知システムの展開の検討

平成20年度には、地域の地震観測網として整備されている宮城県震度情報ネットワークの波形データを収集し、過去のデータベースの構築を行った。計画している仙台を取り巻く前線地震観測点情報の活用においては、観測点候補の選定、余裕時間と活用方法の検討を行うと共に、簡易の計測震度から、S波の検知、終息を判定するロジック検証用デモプログラムを作成した。また、宮城県沖地震に対してより高精度のために前線地震観測点を複数にするために地点の選定を行った。

平成21年度には、宮城県沖地震に対してより高精度のために前線地震観測点として、三陸沿岸の観測点として牡鹿総合支所に加えた雄勝総合支所、および、仙台平野の入口にあたる七ヶ浜町役場への構造モニタリングを兼ねた早期地震警報システムの展開を行った。また、地域版地震早期警報システムのためのオンライン波形情報の通信フォーマットの仕様標準の検討を行った。

平成22年度には、すべての観測点からのデータを統合し、各観測点で常時微動観測データから地震観測データまでを連続的に提供するシステムを検討した。研究者や技術者から行政関係者や一般ユーザの利用までを考慮し、それぞれのニーズにあわせた形式の地震情報（震度情報から時刻歴地震波形データ、スペクトル解析結果、予測地震動データなど）を時系列（常時・地震前後）で提供するシステムの検討を行った。

(3) 構造モニタリング機能の有効活用の検討

平成20年度には、構造モニタリング機能を有する地震観測装置を設置した東北大学工学部人間・環境系研究棟において、常時観測されたデータを元に2008年岩手・宮城内陸地震の前後における建物の剛性変化、竣工以来に観測された地震時の周波数変化を取りまとめた。また、構造ヘルスマニタリング研究を推進するためのオンライン情報処理に関する基本プログラムを作成した。

平成21年度には、これまで、実施してきた構造物の卓越振動数の振幅依存性に関する基本的性質を基に、平常時および地震発生時には大揺れが到達する前、大揺れの最中、終息後と時系列に沿ったモニタリング情報・防災情報を発信するための方法とシステムの検討を行った。

平成22年度には、構造モニタリング機能を有するオンライン地震観測装置の活用方法として、日常的に得られる常時微動観測データや中小地震が起きた際の地震データを用いた解析により、地震時の建物振動モデルと連携し、建物振動モデルの精度向上を図る

とともに、大地震時には振動特性から推定される建物の損傷度をリアルタイムに評価するシステムを検討した。

#### (4) 前線地震情報利用システムの各分野への検討

平成20年度には、石巻市立釜小学校に構造モニタリング装置を設置し、校舎のSHM情報を収集し、前線地震観測点である牡鹿総合支所からの地震観測情報を受信し、これらの観測から得られる情報を発信できるように放送設備への出力機能を整備した。

平成21年度には、学校における活用として、石巻市立釜小学校に20年度に設置したリアルタイム地震観測装置から校舎のモニタリング情報を収集するとともに、前線地震観測点である牡鹿総合支所からの地震観測情報と結合して得られる情報を有効に活用するための方法を検討した。また、オンライン波形情報をインターネット上で共有化するための表示ソフトの運用・展開を検討した。

また、平成21年度と22年度には、リアルタイム地震観測システムを有効に活用し、4つの小学校での地震防災授業を行った。将来を担う若年層に地震早期警報システムの原理など、科学技術を用いた防災教育を行った。

#### (5) 2011年東北地方太平洋沖地震の経験

開発したシステムは、2011年3月の東北地方太平洋沖地震を経験した。得られた地震観測記録は、地震前後の建物の振動特性の変化など構造ヘルスマニタリング研究に貢献した。

#### 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10件)

- ① 源栄正人、地域地震防災力の高度化に向けて～防災研究成果の活用と防災教育～、地質と調査、査読有、第10巻、2010、22-27
- ② Mitsuji, K.、Motosaka, M.、Takahashi, Y. and K. Tsukamoto、Comparison of the Vibration Characteristics of the Low-Rise RC Building Before and After Seismic Retrofit, 5th World Conf. Structural Control and Monitoring、査読有、CD-No. 2010、164
- ③ Mitsuji, K.、Motosaka, M.、Takahashi, Y. and K. Tsukamoto、Three-dimensional Motion Estimation of the RC Building with Irregular Plan Based on Microtremor Measurements、14th European Conference of

Earthquake Engineering、査読有、2010、955-960

- ④ Motosaka, M. and Makoto Homma、Earthquake Early Warning System Application for School Disaster Prevention、Journal of Disaster Research、査読有、Vol. 4、No. 4、2009、229-236
- ⑤ 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、査読有、Vol. 4、No. 4、2009、260-266
- ⑥ Serdar Kuyuk、Masato Motosaka、Forward Spectral Forecasting of Ground Motion with the Information of Earthquake Early Warning Systems for Structural Control、Journal of Japan Association for Earthquake Engineering、査読有、Vol. 9、No. 3、2009
- ⑦ 源栄正人、1978年宮城県沖地震30周年を契機に～過去に学び、現況を知り、次に備える～、自然災害科学、査読有、27巻、2008、175-187
- ⑧ Motosaka, M.、APPLICATION OF EARTHQUAKE EARLY WARNING SYSTEMS FOR DISASTER PREVENTION IN SCHOOLS、14th World Conference on Earthquake Engineering、CD-ROM、2008、S05-03-011
- ⑨ Serdar Kuyuk and Masato Motosaka、SPECTRAL FORECASTING OF EARTHQUAKE GROUND MOTION USING REGIONAL AND NATIONAL EARTHQUAKE EARLY WARNING SYSTEMS FOR ADVANCED ENGINEERING APPLICATION AGAINST APPROACHING MIYAGI-KEN OKI EARTHQUAKES、14th World Conference on Earthquake Engineering、CD-ROM、査読有、2008、S05-03-013
- ⑩ 源栄正人、本間誠、Serdar Kuyuk、Francisco Arrecis、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警報システムの開発、日本建築学会技術報告集、査読有、14巻、2008、669-674

[学会発表] (計8件)

- ① Tsoggerel Tsamba and Masato Motosaka、Kazuya Mitsuji、Akihiro Shibayama、Real-time Ground Motion Prediction Method Using Observed Waveform Data at Front Site、東京大学研究集会、東京、2010/12/7
- ② 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、富山、2010/9/11

- ③ Masato Motosaka, Development of regional earthquake early warning and structural health monitoring system and real-time ground motion forecasting using front-site waveform data, Annual Meeting of American Geophysics Union, San Francisco, USA, 2009/12/14
- ④ Yang Yin Cheng、Masato Motosaka、Kazuya Mitsuji. REAL-TIME PREDICTION OF STRONG GROUND MOTIONS BASED ON AMPLITUDE DEPENDENT TRANSFER FUNCTIONS USING FRONT-SITE WAVEFORM DATA, Annual Meeting of JAEE、東京、2009/11/14
- ⑤ Masato Motosaka, Development and Utilization of Earthquake Early Warning System in Japan and Contribution to Earthquake Disaster Prevention, Sakarya International Symposium of Earthquake Engineering, Kocaeli, Turkey, 2009/10/1
- ⑥ 田中匠子、源栄正人、実存建物の振幅依存振動特性に基づく構造ヘルスマニタリングに関する研究、日本建築学会大会、仙台、2009/8/28
- ⑦ Masato Motosaka、Makoto Homma、Application of Earthquake Early Warning System in Schools and Experience of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake. The 2<sup>nd</sup> International Workshop on Earthquake Early Warning-2009 in Kyoto, Japan. 宇治市、2009/4/21
- ⑧ Serder Kutuk、Masato Motosaka、Spectral Forecasting of Earthquake Ground Motion Using Regional and National Earthquake Early Warning Systems for Advanced Engineering Application Against Approaching Miyagi-Ken Oki Earthquakes. 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering、中国北京市、2008/10/12

[図書] (計1件)

- ① 源栄正人、(社)電力土木技術協会、大揺れの前に安全確保～緊急地震速報の普及・展開にむけて～、P3～P8、2008、

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：

種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://www.disaster.archi.tohoku.ac.jp>

<http://www.rpip.tohoku.ac.jp/seeds/profile/186/lang:jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

源栄 正人 (MOTOSAKA MASATO)  
東北大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：90281708

### (2) 研究分担者

大野 晋 (OHNO SUSUMU)  
東北大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：40361141

柴山 明寛 (SHIBAYAMA AKIHIRO)  
東北大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：80455451

三辻 和弥 (MITSUJI KAZUYA)  
山形大学・地域教育文化学部・准教授  
研究者番号：90292250

佐藤 健 (SATO TAKESHI)  
東北大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：90290692

### (3) 連携研究者

研究者番号：