

3.1.2.3 SVMによる簡易耐震診断システムの開発

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成16年度業務目的

(2) 平成16年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
 - 1) 携帯型ワイヤレスセンサシステムの試作
 - 2) 診断プログラム用基礎データ検討
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

(3) 平成17年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 SVMによる簡易耐震診断システムの開発

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
慶應義塾大学理工学部	教授	三田彰	mita@sd.keio.ac.jp
近畿大学理工学部	助教授	薛松濤	xue@arch.kindai.ac.jp
慶應義塾大学大学院理工学研究科	大学院生	岩澤修	osamu_rox@hotmail.com

(c) 業務の目的

地震被災度の高い既存木造建物に対して、耐震安全性を高めるため、耐震診断技術の開発、耐震補強指針の開発、行政ならびに市民が容易に理解でき普及可能性の高い耐震補強技術の開発、耐震補強後の建物についての耐震補強診断技術の開発をおこなう。

(d) 5カ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1)平成14年度：

サポートベクトルマシン (SVM) を用いた、耐震診断手法の理論的な構築を開始する。また、現状の住宅の耐震安全性能についての定量的な評価を行い、開発する耐震診断手法の診断結果の妥当性について検討する。

2)平成15年度：

前年度に得られた理論的な成果を基に、SVMを用いた耐震診断システムの開発を開始する。また、耐震安全性レベルに対するユーザーの要求を定量的に把握するための簡便な手法について研究する。

3)平成16年度：

ワイヤレスで振動データを取得可能な形態センサシステムの使用について検討し、2つの振動センサからデータ取得可能なワイヤレスセンサシステムを試作する。また、前年度の研究成果に基づいて、携帯端末に搭載可能な診断プログラム用の基礎データについて検討する。

4)平成17年度：

開発したワイヤレスセンサの妥当性を検証する。また、木造建物に適用して、その精度と適用可能性について確認する。

5)平成18年度

ワイヤレスセンサを用いて取得される診断データおよび診断結果を蓄積する仕組みについて検討すると共に、結果的に蓄積されたデータベースから、保険や保険デリバティブの設計に活用可能で有用な情報を抽出するデータマイニングの仕組みについて検討する。

(e) 平成16年度業務目的

ワイヤレスで振動データを取得可能な携帯センサシステムとして、2つの振動センサからのデータを取得可能なワイヤレスセンサシステムを試作する。また、搭載する診断プログラムの基礎データを収集して検討する。

(2) 平成16年度の成果

(a) 業務の要約

次の業務を行った。

・ 携帯型ワイヤレスセンサシステムの試作

ワイヤレスで振動データを取得可能な通信機能と一次データ処理を持たせるために、センサ部に高性能なCPUおよび通信モジュールを持つセンサノードの基本的な枠組みについて検討し、試作した。また、より実用的で簡便な計測のために、既存のワイヤレス通信システムを活用した携帯型ワイヤレスセンサシステムを試作した。2つの振動センサがそれぞれバッテリーで駆動するもので、高い同期性能を保持する。

・ 診断プログラム用基礎データ検討

診断プログラムに必要とされる基本的なデータ・物理的パラメータの変化の傾向について検討を行った。検討対象としたのは、2001年に建築され、2006年に撤去される予定の近畿大学キャンパス内にある2棟の構造物である。この2棟の構造物について実測を行い、固有周期及び減衰を求めた。また、2棟の構造物に対応したモデルを作製し、振動台実験により損傷の程度が固有振動数及び最大加速度に及ぼす影響を検討した。さらに、ANSYSを用いて両構造物のモデルを作成して振動シミュレーションを行い、振動台実験と比較した。振動台実験の結果とシミュレーションの結果ではその傾向がほぼ一致しており、さらに、固有振動数の値もほぼ一致する結果が得られた。

(b) 業務の実施方法

担当者の専門領域を考慮して、下記のように分担して行った。

・ 携帯型ワイヤレスセンサシステムの試作

三田彰

・ 診断プログラム用基礎データ検討

薛松濤

(c) 業務の成果

1) 携帯型ワイヤレスセンサシステムの試作

本研究では、次世代のネットワーク型センサシステムの基礎として、小型ネットワークモジュール Armadillo-J を用いたスマートセンサプラットフォームを試作し、妥当性を検証した。また、現実的なワイヤレスセンサシステムとして、無線LAN技術を利用した簡易なセンサシステムも別途試作した。ここでは2つのシステムについて述べる。

a) Armadillo-J を用いたスマートセンサ

本研究では、センサの高知能化を図るために、Linux を搭載した小型ネットワーク端末「Armadillo-J」を用いた。Armadillo-J はシリアルポートを搭載し、センサ等外部機器の監視・制御が可能である。また、ftp,http,telnet サーバ機能を持っているため、センサを Armadillo-J に接続することにより、イーサネット経由でセンサを管理することが可能となる。

表 1 Armadillo-J の仕様

	Armadillo-J
Processor	NetSilicon NS7520
CPU Core	ARM7TDMI
System clock	55MHz
Memory	SDRAM : 8MB FLASH : 2MB
Serial port	UART 1ch(max 230.4kbps)
GPIO	5bits(Shared with the Modem control pin of a serial port)
Ethernet	10Base-T/100Base-Tx Power over Ethernet(IEEE802.3af)
Timer	On-chip 2ch
Board size	50 x 37.5[mm]
Power	DC8 - 48V/Power over Ethernet



図 1 Armadillo-J の全体構成

本研究では、加速度計測は MEMS 技術に基づくデジタル出力加速度計 ADXL202 k を用いた。センサの構成図と試作したセンサ外観を図 2 および図 3 に示す。加速度センサ ADXL202 より出力された加速度は、シリアル通信により Armadillo-J に送信される。Armadillo-J とホスト PC 間にサーバクライアント構造を構築し、イーサネット経由で計測データを取得する構成とした。

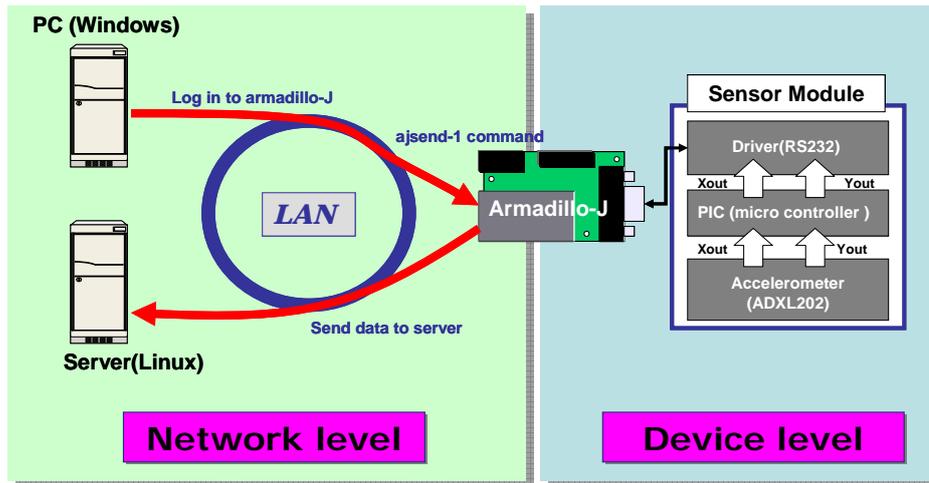


図2 試作したスマートセンサの構成



図3 試作したセンサの外観

試作したスマートセンサの性能を評価するために、5層構造物モデルを用いて振動実験を行った。その結果、①ネットワーク経由でデータの取得に成功しているが、②加速度データに欠損が見られる。ということが判明した。

データ欠損の原因を究明するために、スマートセンサのサンプリング周期を測定した。本実験ではデータ取得、データ送信という1サイクルの時間をサンプリング時間と規定した。

サンプリング時間のばらつきを検討するために、Linuxマシン上でアプリケーションを動作させ比較した。比較するLinuxマシンのCPUはPentium4 3192.130MHz、OSはRED HAT ENTERPRISE LINUX WSである。結果を図4に示す。この図を見ると、時間の経過に伴いサンプリング周期にばらつきが生じていることがわかる。この要因として、Linuxのリアルタイム性欠如が挙げられる。LinuxはマルチタスクOSであるため、リアルタイム性が保障されないことが原因と思われる。

さらに、データ取得・送信アプリケーションを3つのケースに分け、サンプリング時間の測定を行った。結果を図5に示す。この結果、①アプリケーション動作なしの場合、ば

らつきは小さく、Linux マシンとの差はない。②アプリケーション動作の場合と、シリアル通信のみ動作の場合を比較するとばらつきに大きく差がある。という点が判明した。CPU のスピードの差が、サンプリング時間のばらつきに大きく影響していることを示す結果である。

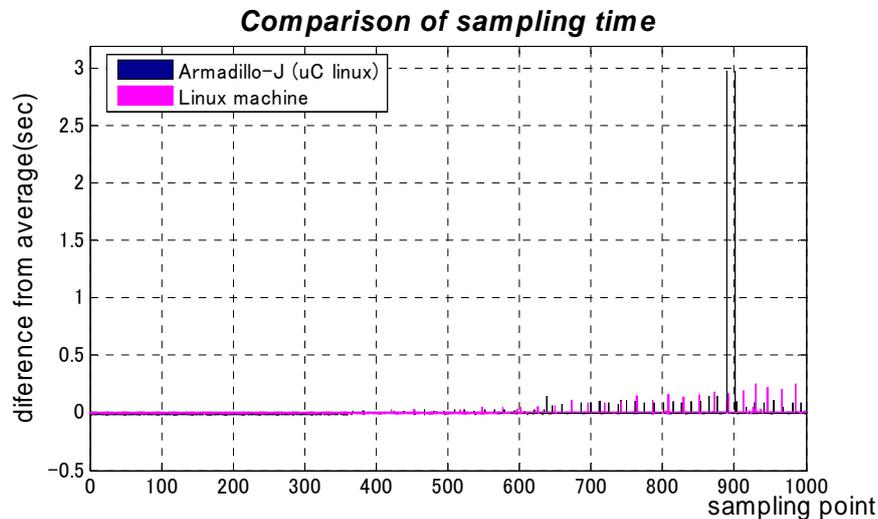


図4 CPU の差によるサンプリング時間のばらつき比較

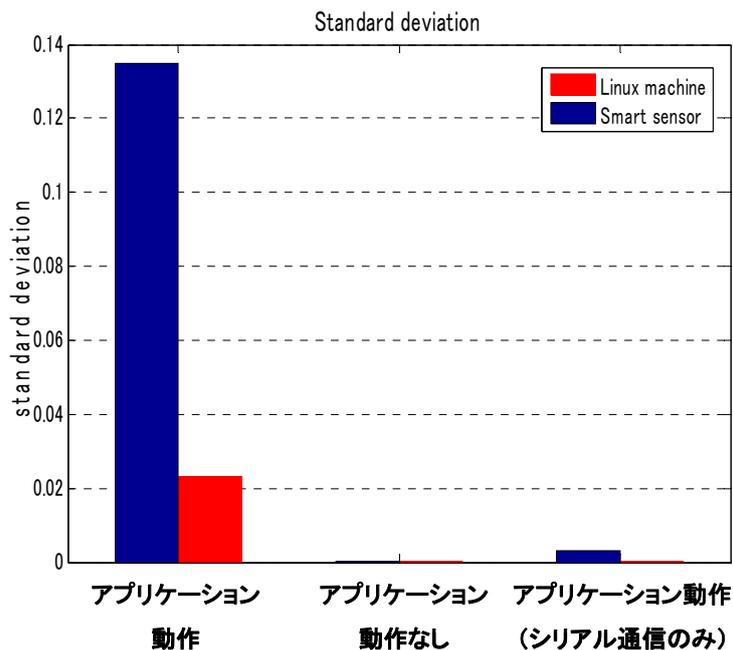


図5 アプリケーション動作の影響

ここでは、小型ネットワークモジュールを用いたスマートセンサを試作し、その性能評価の結果を示した。PC からセンサに直接アクセスするという新たな方法により、データ取得が可能であることを実証した。つまり、このような仕組みを用いることで、いつでもどこからでもネットワーク経由でリアルタイムモニタリングが可能であるということである。しかし、今回試作したシステムは、Linux OS に起因するリアルタイム性の欠如、加速度

センサモジュールの分解能の低い点が課題と判明した。このような課題を克服する方策について、今度検討していく必要がある。

b) 無線 LAN を用いた携帯型ワイヤレスセンサ

安定した通信を可能とする無線 LAN (IEEE802.11b) を用いた携帯型ワイヤレスセンサを試作した。図 6 にセンサ用の電源および無線ノードを持つユニットを示す。本システムは東京測振 (株) の協力を得て試作したものである。下記ユニットは 2 つ作成したが、さらに多チャンネルにすることもユニットの追加で容易に対応可能である。

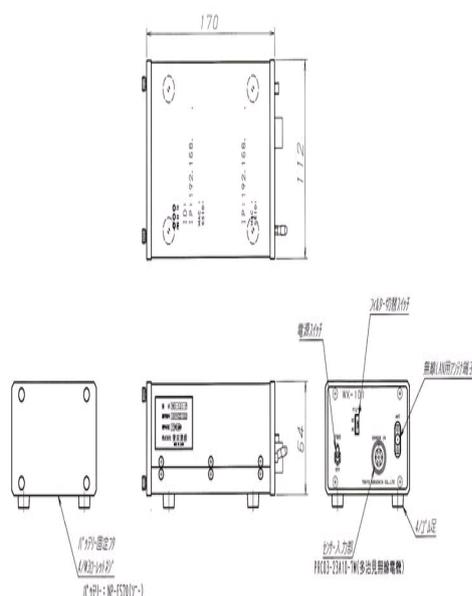


図 6 センサ電源およびワイヤレス通信用ユニット

試作したユニットの仕様は下記の通り。

仕様

AD 部

- ① 入力 ch 数 : 1 ch
- ② 入力電圧範囲 : $\pm 10.24V$
- ③ 最大入力電圧範囲 : $\pm 15.0V$
- ④ 入力抵抗 : $1 M\Omega$ (nominal)
- ⑤ ゲイン切り替え : $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ (3 段切替え)
- ⑥ 周波数特性 : DC \sim 200Hz ($f_c=200Hz$) 又は 0.05Hz ($f_c=0.05Hz$) \sim 200Hz
の手動切換え
- ⑦ 分解能 : 16 ビット

* SS-1 加速度計使用時

アンプゲイン	入力最大加速度	加速度分解能
× 1 (0dB)	±2048gal	0.0625gal
× 10(20dB)	±204.8gal	0.00625gal
× 100(40dB)	±20.48gal	0.000625gal

⑧ サンプル周波数 : 200Hz, 400Hz, 500Hz, 1000Hz 切換え

制御部

- ① 通信方式 : 無線 LAN(IEEE802.11b)
- ② 通信プロトコル : TCP/IP

同期

- ① 同期方法 : ブロードキャストパケットによる
- ② 装置間誤差 : 1.5mS 以内 (20 分以内)

電源および消費電力

- ① バッテリー駆動 : 7.2V2.2Ah Li-ion×2 (SONY 製 : NP-F570)
- ② 消費電力 4.2W 以下(SS-1 センサ含む)

外観、重量

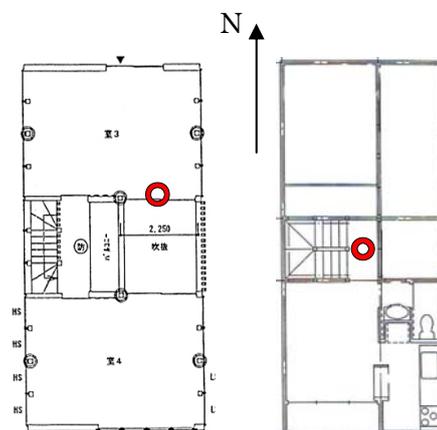
- ① ケース : アルミケース
- ② 寸法 : 170×112×64H (突起部含まず)
- ③ 外観図 : 図 4-1 による
- ④ 重量 1.2kg 以下(センサーを除く)

2) 診断プログラム用基礎データ検討

検討対象として、近畿大学キャンパスにある「リサイクル型まちなか一戸建住宅」(2 棟)を用いる。その 2 棟の外観写真及び 2 階の平面図を以下に示す。両構造物は構法の異なる 2 棟であり、一方は従来一般的な「在来軸組木造戸建」、他方は接合部に S E 金具を使用し、3 階建て以上の木質構造物にも十分な耐震性を持たせることが可能とされる「S E 工法戸建住宅」である。2 棟の構造物の仕様データを、以下に併せて示す。



在来構法



SE 構法

在来構法

SE 構法

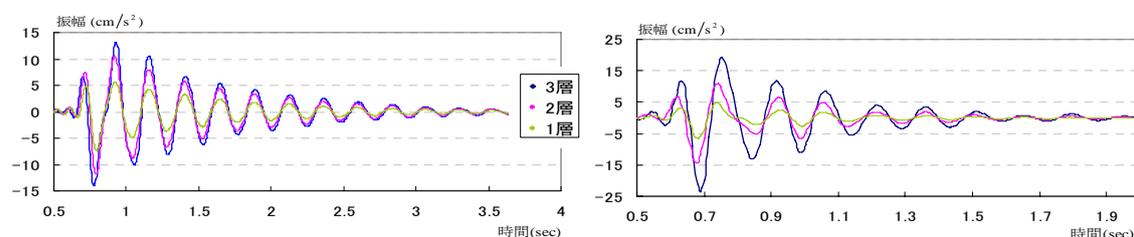
図 7 リサイクルまちなか住宅

表2 リサイクルまちなか住宅の概要

	在来構法	S E 構法		在来構法	S E 構法
1 階面積 (m ²)	42.93	37.76	縦 (mm)	9900	10920
2 階面積 (m ²)	40.50	38.91	横 (mm)	4950	4550
3 階面積 (m ²)	40.50	38.91	高さ (mm)	9197	9197
4 階面積 (m ²)	-	4.96	延べ床面積 (m ²)	123.93	120.54

2棟の木造住宅に対し、物理的パラメータとして基本的な振動特性を測定した。実測結果を使ってARモデル等を用いて解析し、構造物の基本テータとしての固有周期及び減衰特性などが把握できた。これは、来年度に構造物の構造部材の一部を撤去しながら構造物の物理パラメータの変化を測定するための基礎データとなる。

下記の図は、在来工法の構造物に衝撃を与え自由振動させ、その振動波形にフィルターをかけて得られた1、2、3階に対応する波形である。SE工法についても同様に行った。



東西方向

南北方向

図8 衝撃による在来工法住宅の自由振動波形

波形より求めた平均固有周期及び平均減衰定数を以下の表に示す。両建物で平面計画等が同一でないことから、本結果からのみでは、耐震性に優れるとされるSE工法建築物の有効性の判断は難しい。

表3 平均固有周期 (sec)

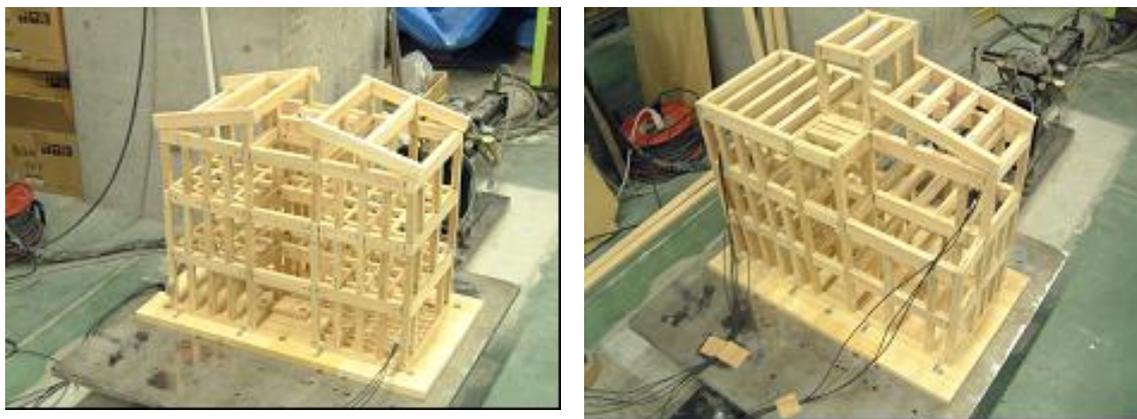
モード	東西方向		南北方向	
	SE工法	在来工法	SE工法	在来工法
1次	0.249	0.238	0.158	0.148
2次	0.065	0.065	0.060	0.047
3次	—	0.040	—	0.03

表4 平均減衰定数 (%)

モード	東西方向		南北方向	
	SE工法	在来工法	SE工法	在来工法
1次	2.82	4.44	7.72	5.41
2次	6.03	3.23	3.38	4.52
3次	—	4.59	—	4.88

構造物の縮小模型を作製して振動台実験を行い、①損傷の有無、②損傷の程度、③損傷の場所、などが及ぼす物理的パラメータの変化を測定する。具体的には、在来工法及びSE工法の構造物の双方に対して、2棟の模型を作製した。所有する振動台が1m四方のものであり、これにあわせて模型の規模を決定した。その結果、全体のスケールを1/18.2とし、柱、梁などの断面は1/8とした。実木造構造物では、一般的には壁の有無によって耐震性が大きく異なるとされているが、模型の規模が小さく壁を入れることが不可能であるので、省略した。

入力地震波として、正弦波（振幅10mm）及び新潟県中越地震波（EW,NSの双方、最大振幅10mm）を用いた。作製した模型を以下の図に示す。固有振動数及び最大応答の損傷に対する変化の結果は、後のANSYSの解析結果にて一緒に示す。



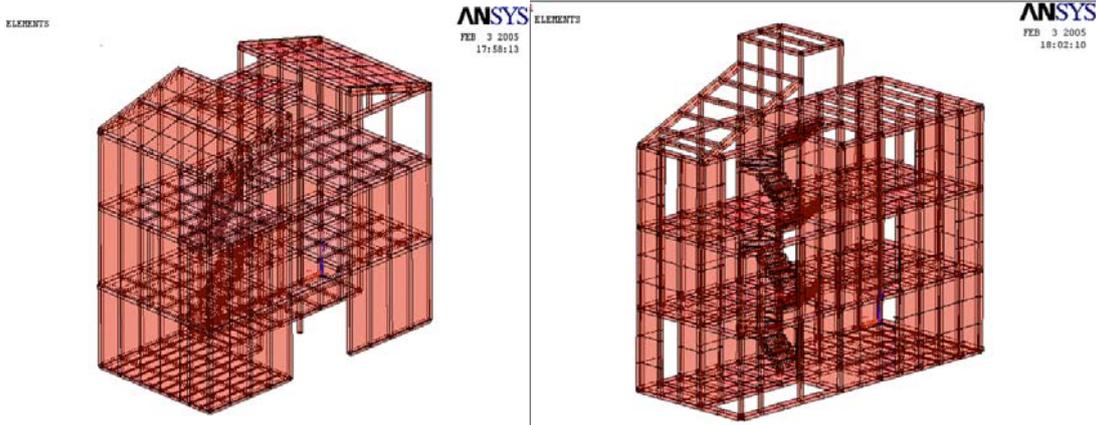
（在来構法棟 縮小モデル）

（SE構法棟 縮小モデル）

図9 木造住宅の縮小模型

大型有限要素ソフト「ANSYS」を用いた、動的解析による構造物の損傷の変化に対する動的パラメータの変化の傾向を調べる。ANSYS上で実構造物と同寸法の解析モデルを作成し、損傷の程度及び場所を模擬するために、一部の梁、柱を撤去しながらシミュレーションを行い、その応答などを調べる。

ここでのモデルは実構造物と全く同じデータをそのまま使用し、壁も作成している。ただし、梁と柱、柱及び梁と壁の間の接合部の処理が難しく、ここでは全てを剛接合としている。入力波は、上記の振動台実験と同じく、正弦波及び新潟県中越地震の地震波を用いる。梁、柱を撤去する手順や外し方は振動台実験に準じて行った。ANSYS上のモデル図を以下に示す。



在来構法棟 解析モデル

SE 構法棟 解析モデル

図 1 0 ANSYS に用いた解析モデル

以下の図に、模型振動実験及びシミュレーションによる損傷が及ぼす固有周期の変化及び最大加速度の変化を示す。固有振動数はシミュレーションによる解析値と振動台による実験値で変化の傾向が一致しており、さらに、両者の値もかなり近い。一方、最大加速度の値は構造物の規模などが異なるため異なっているが、その変化の傾向はやはり同じであるため、実構造物への応用が可能であると予想する。

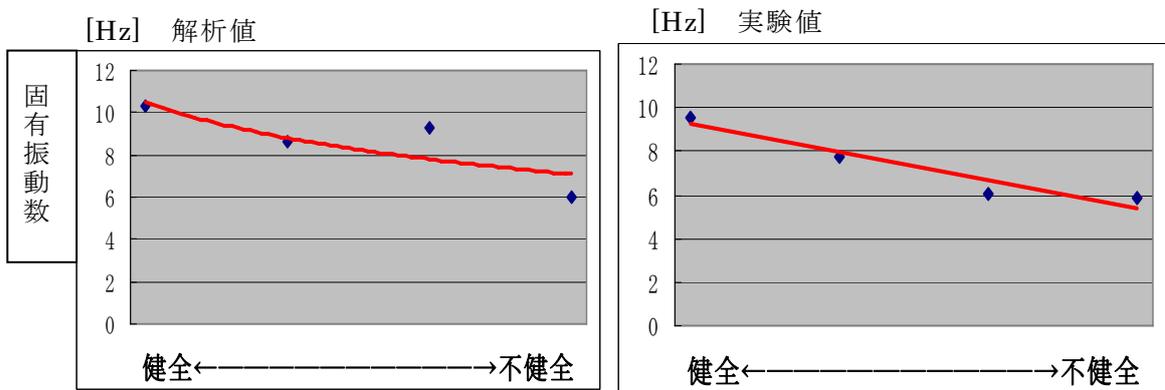


図 1 1 在来構法の実験値と ANSYS でのシミュレーションとの比較

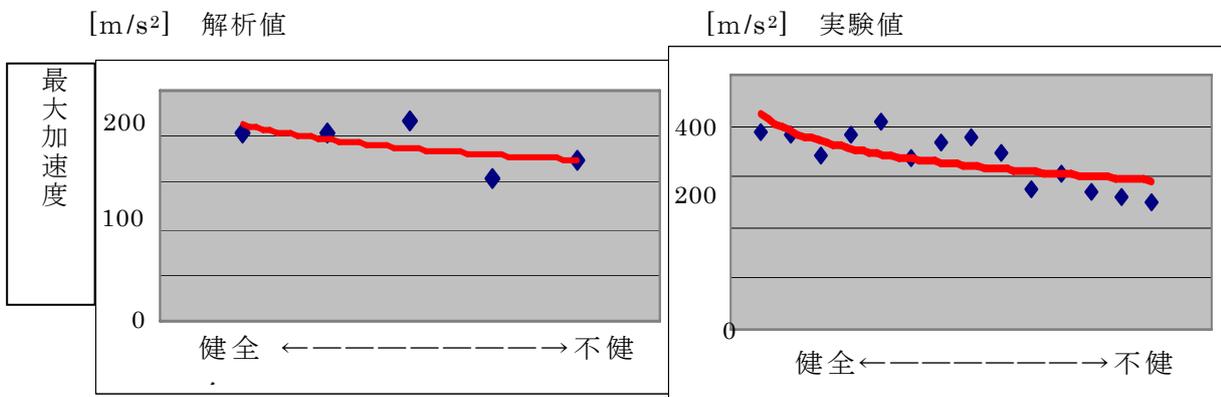


図 1 2 SE 構法の実験値と ANSYS でのシミュレーション

本年度は一般の個別住宅建物に適用できる損傷評価システムの提案に必要とされる基本的なデータ・物理的パラメータの変化の傾向について研究を行った。検証対象としたのは、2001年に建築され、2006年に撤去される予定の近畿大学キャンパス内にある2棟の構造物である。この2棟の構造物について実測を行い、固有周期及び減衰を求めた。また、2棟の構造物に対応したモデルを作製し、振動台実験により損傷の程度が固有振動数及び最大加速度に及ぼす影響を検討した。さらに、ANSYSを用いて両実構造物のモデルを作成して振動シミュレーションを行い、振動台実験と同様の検討を行った。振動台実験の結果とシミュレーションの結果ではその傾向がほぼ一致しており、さらに、固有振動数の値もほぼ一致する結果が得られた。

(d) 結論ならびに今後の課題

振動データを取得可能な通信機能と一次データ処理を持たせるために、センサ部に高性能なCPUおよび通信モジュールを持つセンサノードの基本的な枠組みについてuCLinuxをOSとしたArmadillo-Jを用いて検討し、試作した。また、より実用的で簡便な計測のために、IEEE802.11b企画に基づくワイヤレス通信システムを活用した携帯型ワイヤレスセンサシステムを試作した。2つの振動センサはそれぞれバッテリーで駆動するもので、高い同期性能を保持する。

診断プログラムに必要とされる基本的なデータ・物理的パラメータの変化の傾向について検討を行った。検証対象としたのは、2001年に建築され、2006年に撤去される予定の近畿大学キャンパス内にある2棟の構造物である。この2棟の構造物について実測を行い、固有周期及び減衰を求めた。また、2棟の構造物に対応したモデルを作製し、振動台実験により損傷の程度が固有振動数及び最大加速度に及ぼす影響を検討した。さらに、ANSYSを用いて両実構造物のモデルを作成して振動シミュレーションを行い、振動台実験と同様の検討を行った。振動台実験の結果とシミュレーションの結果ではその傾向がほぼ一致しており、さらに、固有振動数の値もほぼ一致する結果が得られた。

今後、試作されたワイヤレスセンサの性能検証を行った上で、実構造物の計測実験を行い、簡易で実用的な診断手法の開発を行う必要がある。

(e) 引用文献

なし

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成17年度業務計画案

次の二つの検討を行う。

①ワイヤレスセンサを利用したシステムの評価

試作したワイヤレスセンサの適用可能性について検討すると共に、SVMを用いた損傷診断手法への利用について評価を行う。業務分担責任者（慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科、教授、三田彰、mita@sd.keio.ac.jp）

②木造建物の解体時動特性評価

実験用に建設された木造建物の解体時に振動計測を行って、その動特性を計測して、建物強度と動特性の関係について評価する。業務分担責任者（近畿大学理工学部建築学科、助教授、薛松濤、xue@arch.kindai.ac.jp）