

3.1.2.3 SVMによる簡易耐震診断システムの開発と保険デリバティブへの展開

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18年度業務目的

(2) 平成18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) 振動データからの損傷データ抽出方法に関する研究
 - 2) ワイヤレスセンサを用いた木造建物の動特性評価
- (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

(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	寺尾祐理子	yuri523@hotmail.com
		下山 典久	precious@aioros.ocn.ne.jp

(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ヵ年の年次実施計画（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18年度業務目的

①振動データからの損傷データ抽出方法に関する研究

実際の建物の観測データおよびシミュレーションによる振動データから、保険や保険データベースに利用可能なデータの抽出のための評価手順を確立する。

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ワイヤレスセンサを用いた木造建物の動特性評価

実験用に建設された木造建物の解体時および組み立て時にワイヤレスセンサによって振動計測を行って、その動特性を計測し、建物強度と動特性の関係について評価するとともに、ワイヤレスセンサを使った振動実験およびデータ収録手順を確立する。

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）

(2) 平成18年度の成果

(a) 業務の要約

次の業務を行った。

①振動データからの損傷データ抽出方法に関する研究

振動データから、固有振動数や減衰定数などと一緒に用いることで、劣化や耐震強度との相関を高めることの可能な複雑性指標のひとつであるカオス度について、入力の特性に依存せずに算出する方法を提案し、シミュレーションによって検証した。

②ワイヤレスセンサを用いた木造建物の動特性評価

近畿大学キャンパス内にある実大建物の部材を取り外し、また組み立てなおすことによって、さまざまな損傷状態に対応した骨組みごとに振動実験を行い、それぞれについて固有振動数を算出し、整理した。

(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。

- ・ 振動データからの損傷データ抽出方法に関する研究
三田彰
- ・ ワイヤレスセンサを用いた木造建物の動特性評価
薛松濤

(c) 業務の成果

1) 振動データからの損傷データ抽出方法に関する研究

a) 研究の概要

これまでの検討から、建物の固有振動数、減衰定数などの基本的な動特性以外にも、建物振動の複雑性をあらわす指標のひとつであるカオス度と、建物の劣化や損傷との相関が高いことが判明した。しかし、カオス度は、振動の原因となる入力によってその値が大きく異なるため、入力特性が一定の条件で評価しなければならないことが昨年度の検討で判明している。入力によらない評価のための手法として、いったん建物の動特性を離散型の差分モデルであるARやARMAモデルに近似した上で、インパルス等による自由振動モデルに常に置き換えることで、安定したカオス度が求められることが判明した。今年度は、入りに依存しないカオス度を保険デリバティブ等に活用するために、その詳細検討を行った。またパターン認識機械であるサポートベクトルマシンにするための、特徴ベクトルの識別性能を高めるための検討を行った。

b) RD (Random Decrement)法による入力特性の除去

RD法を用いると、入力が基本的にランダムで、記録時間が長い場合に精度良く自由振動波形の再現が可能で、その波形から固有振動数と減衰を求めることができる。そこで、常時微動波形からRD法によって自由振動波形を求め、入力の影響の除去を試みる。手順は次の通りである。

- 常時微動による建物の振動を記録する。
- 前処理として、零線補正、デシメーションをする。
- RD法による自由振動の作成をする。今回は極大値から10秒間（サンプリング周波数を100ヘルツとしているので1000プロット間）を合計してRD法により自由振動を作成した。
- 作成した自由振動波形を用いてカオス度の計算をする。

用いたデータは、昨年度と同様、近畿大学の実大建物である。実際に求めた自由振動波形を図に示す。

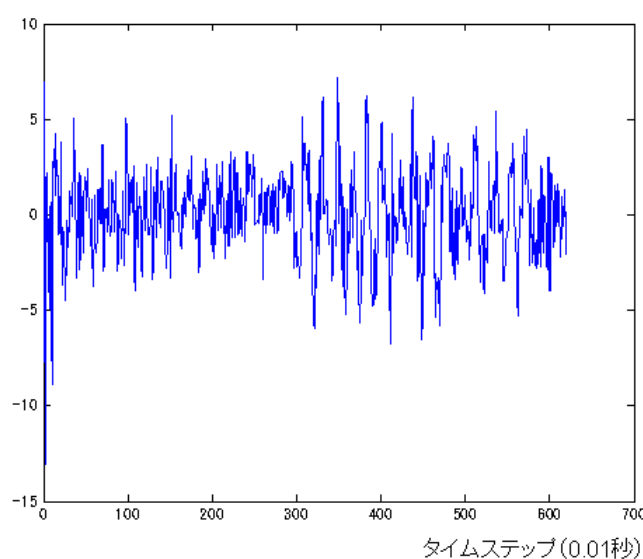


図1 RD法による健全時、長手方向の振動

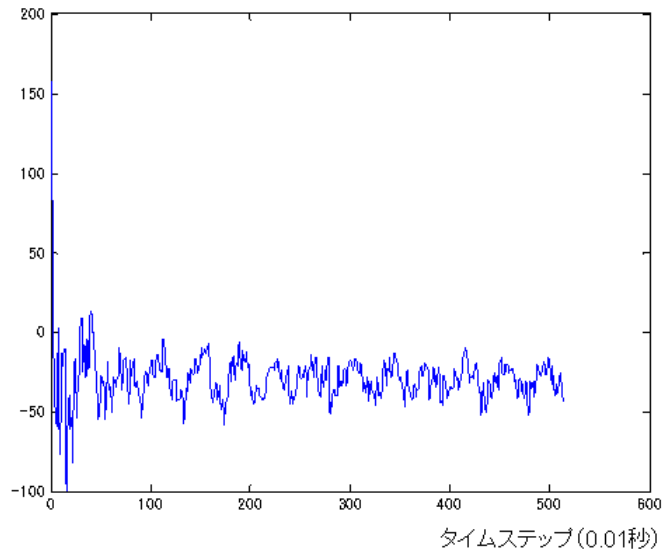


図2 RD法による骨組みのみ、長手方向の振動

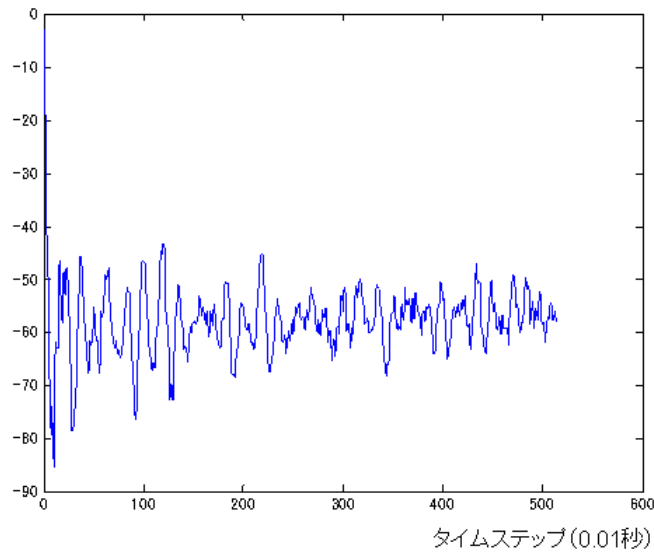


図3 RD法による骨組みのみ、短手方向の振動

表1 RD法による振動波形から求めたカオス度

	カオス度	サンプル数
長手方向(健全時)	9.23	304
長手方向(骨組みのみ)	10.16	402
短手方向(骨組みのみ)	7.46	345

図1~3から明らかなように、求めた波形は自由振動波形からはほど遠いものであり、実際、求めたカオス度(表1)を実際の自由振動実験から得られたカオス度と比較すると、大幅に大きな値となっている。このことは、精度の高い自由振動波形の再現ができていないことを意味する。再

現が困難であった理由として、記録時間が短すぎることで、振動レベルが低すぎることで、常時微動の外乱としての特定に問題がある可能性があること、などが考えられる。夜間の静かな環境で長時間計測が可能であれば、より良い再現ができる可能性があるが、計測にかかる時間や手間を考えると現実的ではない。

c) システム同定を用いた入力特性の除去

RD法では、精度良く自由振動波形を再現できないことがわかった。そこで、比較的短い時間データのみでも可能なシステム同定手法の適用を検討した。外乱がホワイトノイズである場合に適切なARモデルおよびARMAモデルの2つについて検討することとした。入力特性除去の手順は下に示すとおりである。

- 常時微動による建物の振動波形の記録をする。
- 前処理で、0線補正、デシメーションをする。
- システム同定によりモデルを推定する。
- 推定したモデルにインパルス入力をして、自由振動の波形の作成をする。
- その作成した波形からカオス度を計算する。

近畿大学の実大建物での常時微動測定結果を用いて、システム同定を行った。モデル次数は赤池の情報規範を用いて決定した。推定したモデルによる適合度を比較して図4および図5に示す。両者の適合度に大きな差はない。ARモデルの計算コストの方がはるかに低いため、ここではARモデルで精度は十分に確保できると判断して、以下ARモデルのみを利用することとした。図6には推定されたARモデルを用いてインパルス応答を算出した結果を示す。

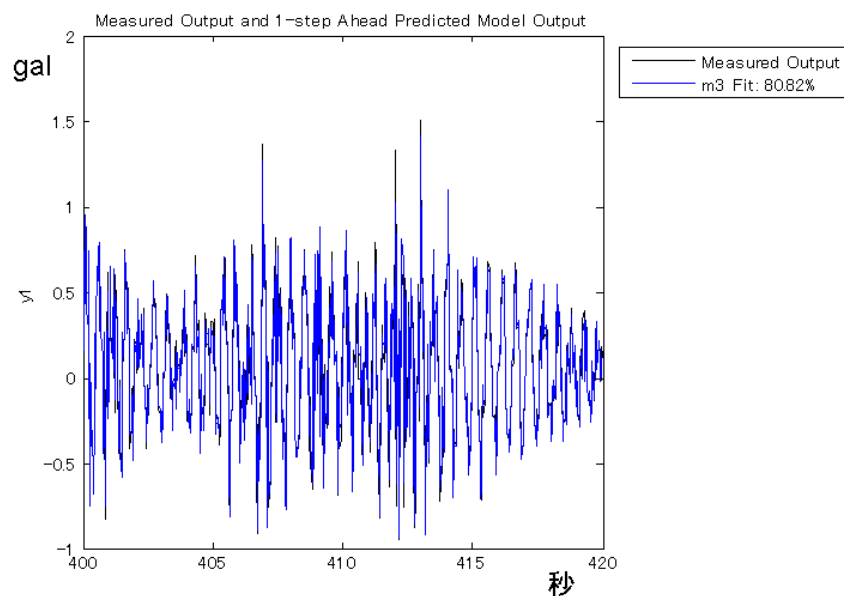


図4 ARモデルを用いたシステム同定結果の適合度（骨組みのみ）

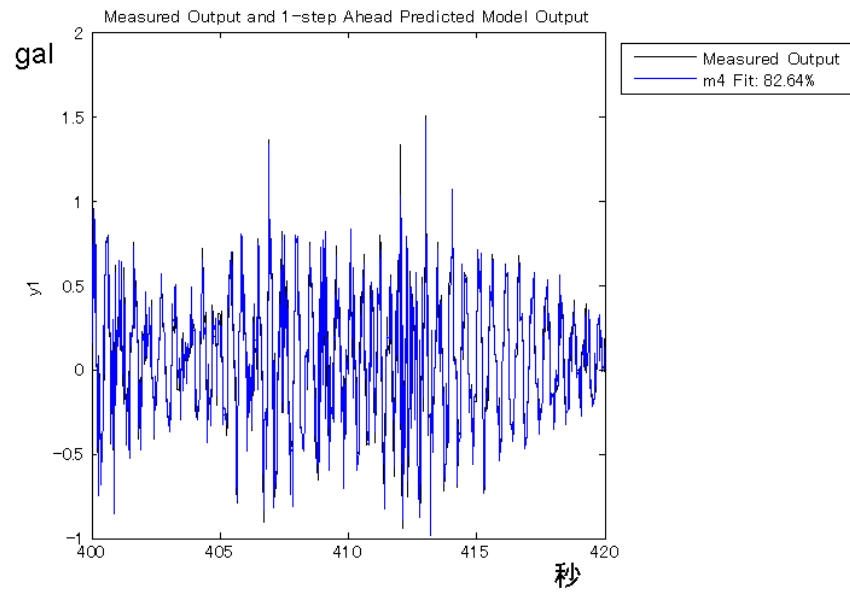


図5 ARMAモデルを用いたシステム同定結果の適合度（骨組みのみ）

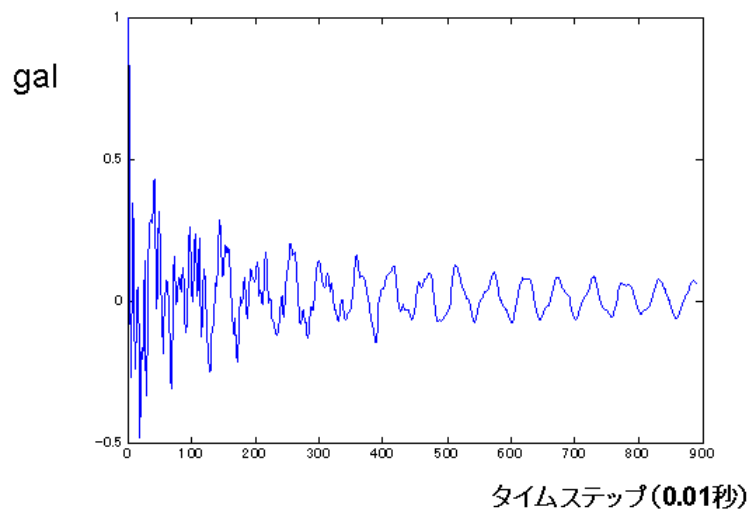


図6 ARモデルに基づくインパルス応答（骨組みのみ）

この結果に基づき、カオス度を算出してみたところ、3.1となり、実際の自由振動から求めたカオス度とびたり一致することが確認された。他の実験条件でも確認したが、システム同定を経由してカオス度を求める手法はきわめて安定で、精度の高いことが判明した。

d) まとめ

カオス度の算出のための、入力の影響の除去の方法として、システム同定を用いる方法が安定して、かつ精度が高いことが判明した。

2) ワイヤレスセンサを用いた木造建物の動特性評価

a) 実験の目的

一昨年度、昨年度（平成 16、17 年度）の研究の延長線として、昨年度中に床及び壁を撤去した実構造物の骨組みを用いた。損傷を模擬するため、その一部の梁、柱の一部を切断して撤去し、更に補強を模擬するため、柱及び梁を戻したり、ブレースを増加したりする。そして、引っ張り力を与えることによって、振動実験（自由振動を与える）を行い、ヘルスマonitoringの基本となる構造物の固有振動数変化を測定することで構造安全性を検証することとしている。

- 昨年度同様に、実構造物を解体しながら、自由振動特性を測定するため、ワイヤレスセンサと従来の有線センサを併用し、測定結果の一致性を確かめた。
- 実構造物の柱及び梁の一部を切断・補強し、自由振動をさせ、振動特性について評価した。

b) 実験の概要

● 構造物について

実構造物の対象は近畿大学（大阪、東大阪市）が所有する 2 棟の木造構造物のうちの 1 棟である（図 7 の SE 構法棟）。この 2 棟の構造物は建材リサイクルの研究を主目的として 2001 年に建てられたものであり、構法の違いによるリサイクル率への影響等を考察する計画となっている。その内の 1 棟（写真の SE 工法棟で、白い構造物）は 2005 年に解体され、再び骨組みの状態だけで建設された。

● データ収集について

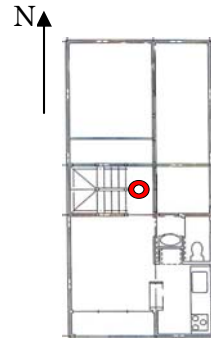
撤去の手順としては、柱を切断しその後補強を行ったり、梁を取り外しその後、梁を取り付ける、などを行った。そこで、各段階において構造物を自由振動させ、ワイヤレスセンサと従来の有線センサを併用して、振動データを収集して構造の振動特性を割り出し、性能を評価するとした（図 8、図 9、図 10）。

● データの正確性を確かめる方法について

実構造物の振動特性のデータの正確性を更に確かめるために、構造物に対して自由振動実測を行うだけでなく、模型を別作製して振動台実験を行い、これに数値シミュレーションを加えることで、一般住宅の物理的パラメータをより明らかにする。損傷評価システムを構築する上で重要とされる物理的なパラメータの変化については、実構造物だけでなく、模型の振動台実験及び数値解析によっても検討を行うため、これら 3 種類の結果を比較検討することで、定性的な傾向がつかめると考えられる。

c) 実験の手順

昨年度に引き続き、既存構造物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」の 2 棟のうちの一棟で、写真の SE 構法棟（黄白の方）を用いる。その SE 構法の外観写真及び 2 階の平面図を以下に示す。構造物の仕様データを、以下に併せて示す。



在来構法

S E 構法

SE 構法

リサイクルまちなか住宅

	SE構法		SE構法
1 階面積 (m ²))	37.76	縦 (mm)	10920
2 階面積 (m ²))	38.91	横 (mm)	4550
3 階面積 (m ²))	38.91	高さ (mm)	9197
4 階面積 (m ²))	4.96	延べ床面積 (m ²)	120.54

図 7 近大キャンパスにある一戸建住宅とその仕様



引張りによる自由振動



ワイヤレスセンサによるデータ採取



従来の有線センサによるデータ採取



図 8 自由振動及び測定用のセンサ

一部の梁、柱の一部を切断し、更にブレースなどを用いて補強などを加え、構造物を自由振動させ、振動データを採取する。図 8 のように、人工的に構造物をある程度まで引っ張り、自由振動させる。実構造物の振動データ採集するために、2 通りの方法で行った。図 8 に示すように、新しく開発された極めて便利であるワイヤレスセンサを用いたデータ採集及び従来どおりの有線センサによるデータ採取である。両者の比較により、全く同様なデータの採集ができた。

撤去・補強の手順及びデータ採取

1 段階、健全状態を指す

2 段階、2006.5.31 1 F 柱を 4 本切断

3 段階、2006.6.21 1 F 部分の撤去した部分にブレースを付け補強

4 段階、2006.6.21 補強した 1 F ブレースを両方撤去し、2 段階と同じ状態

5 段階、2006.9.27 撤去した 1 F ブレースを両方元に戻し、3 段階と同じ状態

6 段階、2006.9.27 1 F ブレースの片方側を撤去（北側）

7 段階、2006.9.27 1 F ブレースの両方を撤去、2,4 段階と同じ状態

8 段階、2006.10.4 撤去した 1 F ブレースを元に戻し、3, 5 段階と同じ状態

9 段階、2006.10.4 2 F のはりの 1 本目撤去

10 段階、2006.10.4 2 F のはりの 2 本目撤去

11 段階、2006.10.6 10.4 時、最初に撤去したはりを元に戻す

12 段階、2006.10.18 2 F 梁を元に戻し、2 階の柱を 3 本切断、そこをブレースで補強

13 段階、2006.10.18 2 F のブレースを両方撤去

14 段階、2006.10.21 1 F のブレースを両方撤去

15 段階、2006.10.21 2 F のブレースの南側を元に戻す

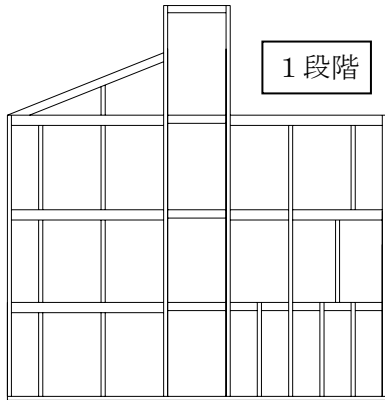
16 段階、2006.10.21 2 F のブレースの北側を元に戻す

17 段階、2006.10.21 1 F のブレースの南側を元に戻す

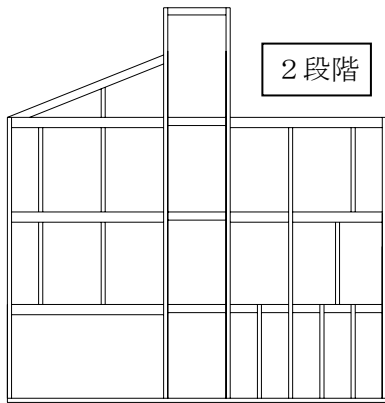
18 段階、2006.10.21 1 F のブレースを元に戻し、12 段階と同じ状態

注) ブレースによる補強は、東側と西側の両側入れてある。

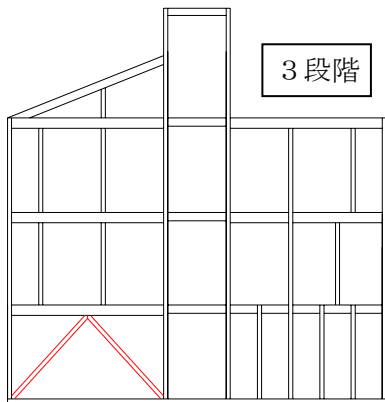
次に実験を行った日付に従い、業務内容等を詳細に説明する。



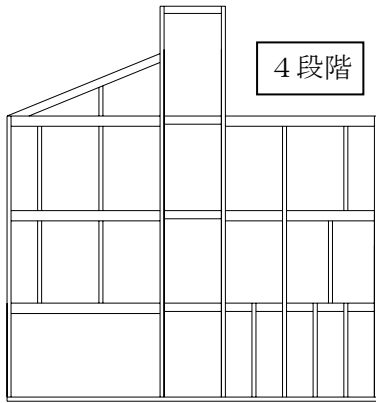
(1) 1段階 躯体健全 2006年5月31日



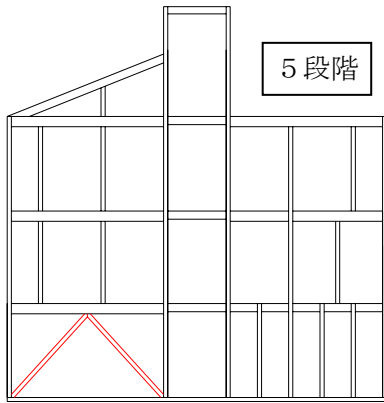
(2) 2段階 1階柱撤去 2006年5月31日



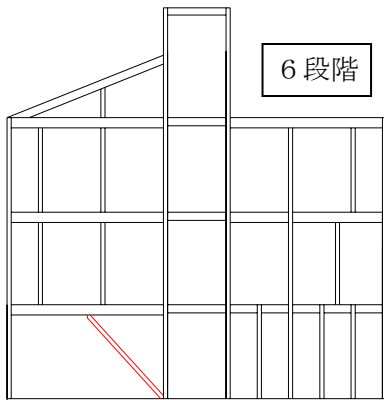
(3) 3段階 1階ブレース入り 2006年6月21日



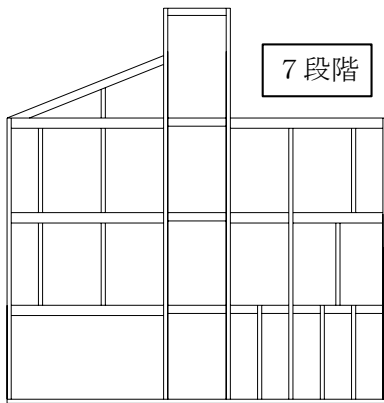
(4) 4段階 1階ブレース撤去 2006年6月21日



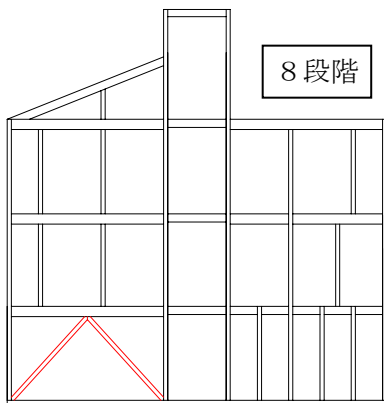
(5) 5段階 1階ブレース入り 2006年9月27日



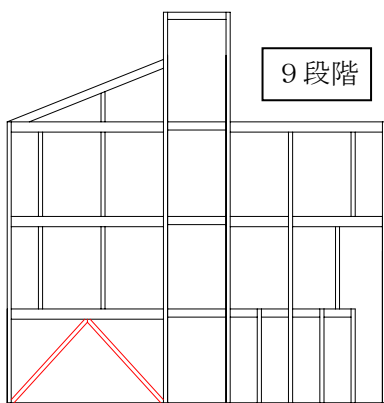
(6) 6段階 1階ブレース北側撤去 2006年9月27日



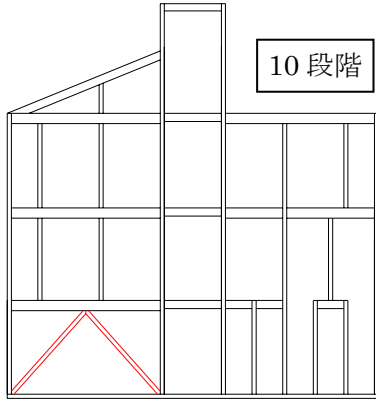
(7) 7段階 1階ブレース両側撤去 2006年9月27日



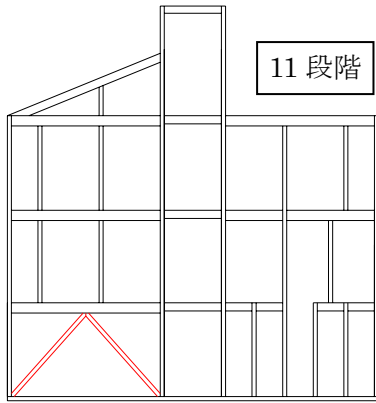
(8) 8段階 1階ブレース入り 2006年10月4日



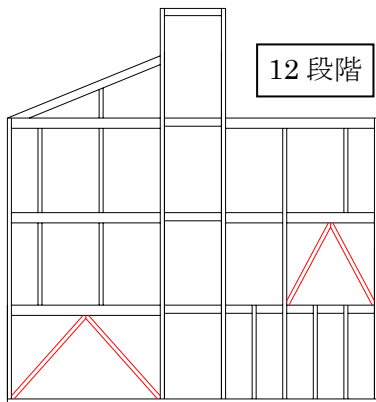
(9) 9段階 南側はり撤去 2006年10月4日



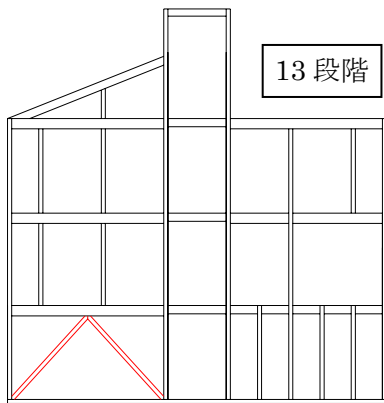
(10) 10 段階 4 箇所はり撤去 2006 年 10 月 4 日



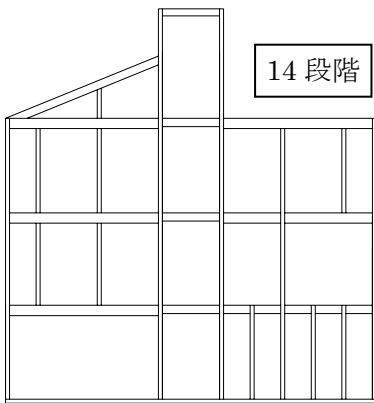
(11) 11 段階 南側はり入り 2006 年 10 月 6 日



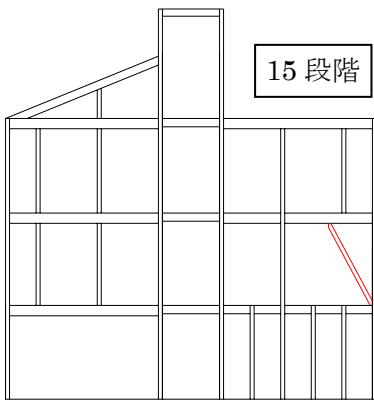
(12) 12 段階 1・2 階ブレース入り 2006 年 10 月 18 日



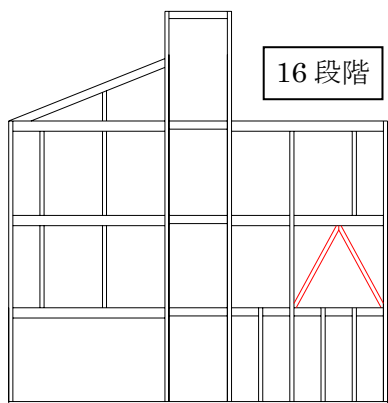
(13) 13 段階 2 階ブレース撤去 2006 年 10 月 18 日



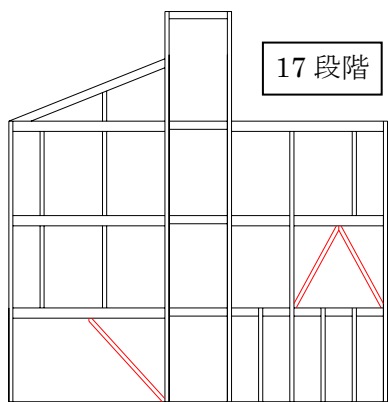
(14) 14 段階 両階ブレース撤去 2006 年 10 月 21 日



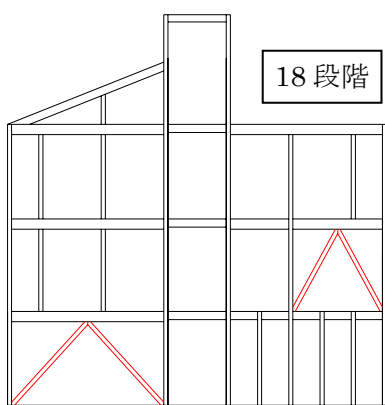
(15) 15 段階 2 階ブレース南側入り 2006 年 10 月 21 日



(16) 16 段階 2 階ブレース入り 2006 年 10 月 21 日



(17) 17 段階 1 階ブレース南側入り 2006 年 10 月 21 日



(18) 18 段階 両階ブレース入り 2006 年 10 月 21 日

図 9 実験の実施内容とスケジュール

d) 実験結果の評価

● 部材の撤去による固有振動数変化

それぞれについて自由振動をさせ、固有振動数を振動データより計算した。固有振動数の変化を表 2 及び図 10 のグラフに示す。表の中の有線及び無線は、3 回以上測定して採取した結果であり、その平均をグラフに示している。

表 2 固有振動数の変化一覧

段階順	段階	固有振動数(Hz)						前段階との比較
		有線			無線			
		2階	3階	屋上	2階	3階	屋上	
2006/5/31	1	1.5991	1.6113	1.6113	1.5137	1.5430	1.5430	躯体健全
2006/5/31	2	1.5625	1.5625	1.5625	1.5137	1.4844	1.4844	損傷
2006/6/21	3	2.1484	2.1582	2.1582	2.0996	2.1094	2.1094	補強
2006/6/21	4	1.6602	1.6602	1.6602	1.6113	1.5991	1.5869	損傷、同 2
2006/9/27	5	1.9043	1.9531	1.9531	1.8555	1.8653	1.8653	補強、同 3
2006/9/27	6	1.8066	1.8066	1.8066	1.7578	1.7578	1.7578	損傷
2006/10/4	7	1.4648	1.4160	1.4160	1.4160	1.3672	1.3672	損傷、
2006/10/4	8	1.9531	2.1484	2.1484	2.0671	2.0996	2.0996	補強、同 3,5
2006/10/4	9	2.0996	2.0833	2.0833	2.0183	2.0183	2.0183	損傷
2006/10/6	10	2.2461	2.2461	2.2461	2.1973	2.1973	2.1973	損傷
2006/10/6	11	2.2461	2.2461	2.2461	1.9043	2.1973	2.1973	補強
2006/10/18	12	2.8809	2.8971	2.8971	2.8320	2.8483	2.8483	損傷後補強
2006/10/18	13	1.9531	2.2135	1.9531	1.9043	1.9043	1.9043	損傷
2006/10/21	14	1.4648	1.4648	1.4648	1.4160	1.4160	1.4160	損傷
2006/10/21	15	1.8066	1.8066	1.8066	1.7578	1.7578	1.7578	補強
2006/10/21	16	1.9531	1.9531	1.9531	1.9043	1.9043	1.9043	補強
2006/10/21	17	2.5391	2.5391	2.5391	2.4739	2.4739	2.4739	補強
2006/10/21	18	2.7669	2.7344	2.7344	2.6855	2.6855	2.6855	補強、同 12

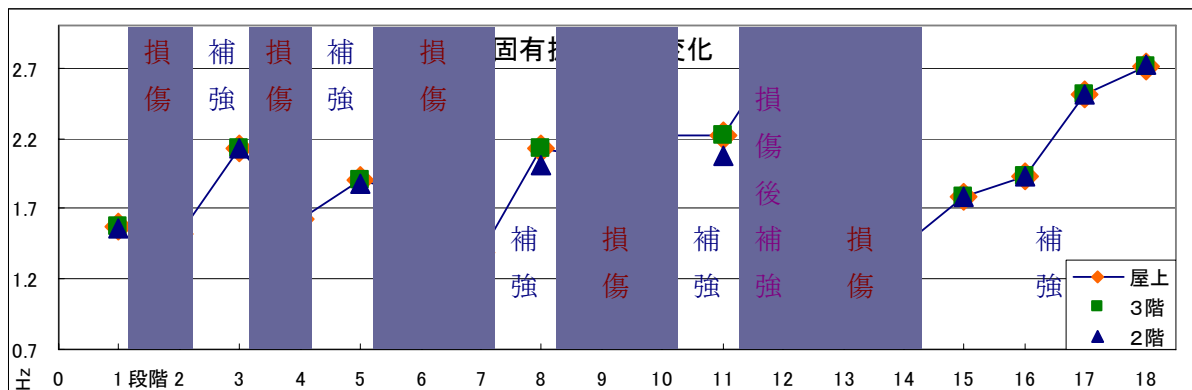


図 10 固有振動数変化

図 10 からわかるように、柱、ブレースの撤去（損傷）後、基本的な傾向としては固有振動数が小さくなり、逆にブレースを用いて補強した後の段階では、固有振動数が大きくなることは明らかである。しかし、例えば、10 段階近辺では、4 本のはり（梁）を撤去すると、かえって固有振動数が増えることが分かった。

さらに、2,4,7 段階とも、ブレース及び柱がない状態であり、まったく同じ状態であるにもかかわらず、固有振動の値に違いが見られる。これは、多少撤去手法などにも影響されるが、同じ状態でも固有振動数が同一である保証がないことを示唆している。

同じ現象が見られるのは、3,5,8 段階である。一階のブレース補強したままの状態である。と言うのは、5 段階で見られるように、ブレースを用いて補強しても、必ずしも、目標とする耐震性能が得られるとは言い切れない。

さらに、12 段階及び 18 段階は同じ状態であり、ブレースを用いて補強した状態であるが、固有振動数に違いがある。これは、完全に補強しても、目標の性能まで補強できないことを示唆している。

そこで、本年度の 9 段階から 11 段階は梁の撤去、補修を行っている段階であり、昨年度（1 階ブレースの代わりに柱が入っているもの）の同じ段階のデータを取り出し並べて比較すると、違う傾向が見られた。

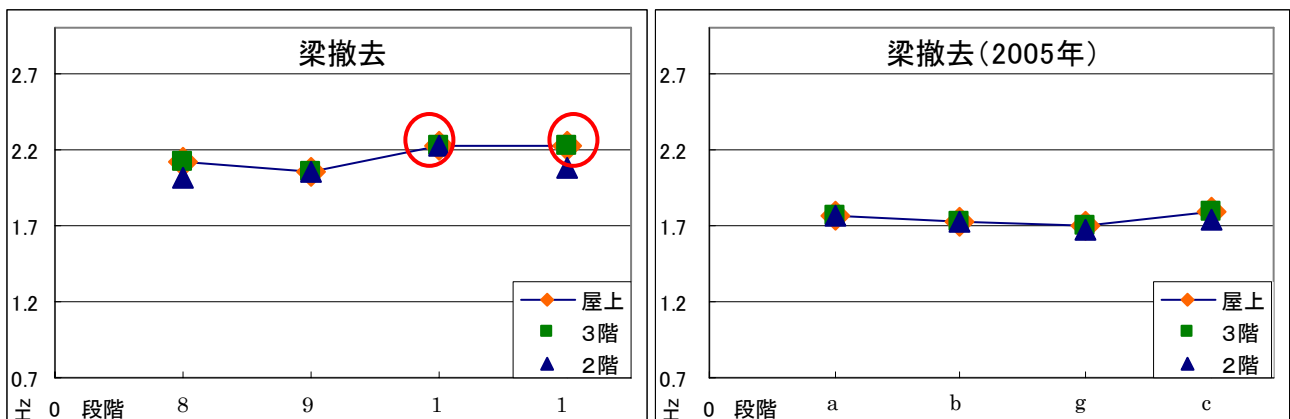


図 11 梁の撤去、補強段階による固有振動数変化（2006 年と 2005 年の比較）

昨年度は撤去、補修とともに減増したが、今年度の実験では、上で述べた 10 段階以外でも、11 段階で補修段階にもかかわらず、2 階部分で下がり、3 階、屋上では変化が見られなかった。

● 耐震性能の増強による固有振動数変化

上記の図 10, 11 では、実験の日付による振動数変化のものを示している。しかし、これだけでは情報不足のため、耐震性能の増強による振動数変化について調べる必要があると思われる。

しかし、耐震性能の増強の順と言う定義自体が曖昧であり、今度の場合には、更に定義が難しいと思われる。ここでは、一応一般的に思われた耐震性能の増強を強さの順とし、表 3 のように定義した。そして、図 12 にはそのグラフを表す。

表及びグラフの双方から分かるように、耐震性能の増強に従い、固有振動数は増える傾

向であるが、減る箇所も存在する。

表 3 耐震性能の増強による固有振動数変化

強さ順	段階	固有振動数(Hz)			状態	部材数		
		平均				補	柱	梁
		2階	3階	屋上				
2006/10/21	14	1.4404	1.4404	1.4404	両階柱抜き	0	0	
2006/10/4	7	1.4404	1.3916	1.3916	1階柱抜き(3回目)	0	2	
2006/6/21	4	1.6357	1.6296	1.6235	1階柱抜き(2回目)	0	2	
2006/5/31	2	1.5381	1.5234	1.5234	1階柱抜き(1回目)	0	2	
2006/5/31	1	1.5564	1.5772	1.5772	躯体健全	0	4	
2006/10/21	15	1.7822	1.7822	1.7822	2階ブレース南側のみ入り	2	0	
2006/9/27	6	1.7822	1.7822	1.7822	1階ブレース北側撤去2階柱有り	2	2	
2006/10/21	16	1.9287	1.9287	1.9287	2階のみブレース入り	4	0	
2006/10/18	13	1.9287	2.0589	1.9287	1階のみブレース入り	4	0	
2006/10/6	10	2.2217	2.2217	2.2217	4箇所はり撤去	4	2	-4
2006/10/6	11	2.0752	2.2217	2.2217	南側中はり撤去	4	2	-2
2006/10/4	9	2.0589	2.0508	2.0508	南側はり撤去	4	2	-2
2006/10/4	8	2.0101	2.1240	2.1240	1階ブレース入り2階柱有り(3回目)	4	2	
2006/9/27	5	1.8799	1.9092	1.9092	1階ブレース入り2階柱有り(2回目)	4	2	
2006/6/21	3	2.1240	2.1338	2.1338	1階ブレース入り2階柱有り(1回目)	4	2	
2006/10/21	17	2.5065	2.5065	2.5065	1階ブレース北側無し2階ブレース有り	6	0	
2006/10/21	18	2.7262	2.7099	2.7099	両階ブレース入り(2回目)	8	0	
2006/10/18	12	2.8564	2.8727	2.8727	両階ブレース入り(1回目)	8	0	

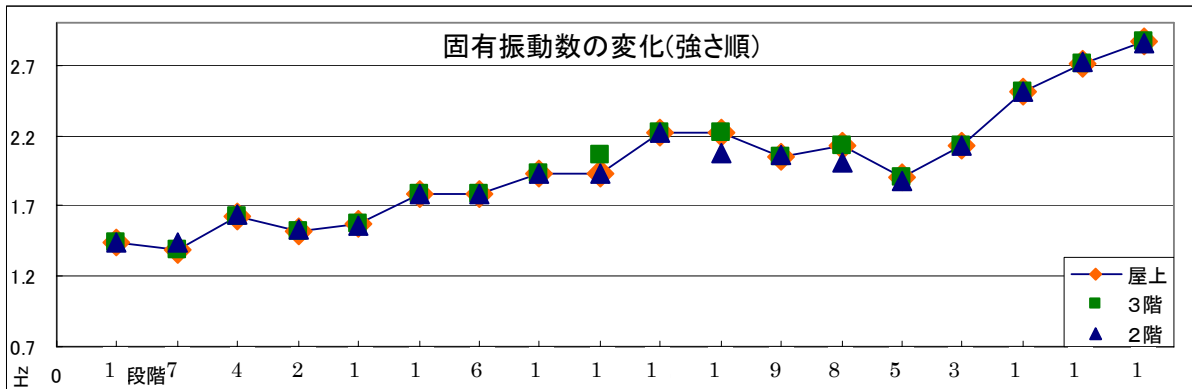


図 12 耐震性能の増強による振動数変化のグラフ

e) まとめ

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、本年度に撤去された近畿大学キャンパス内にある2棟の構造物のうちの一棟である。この構造物について梁、柱を撤去し損傷を与えたと同時に、合計4箇所ブレースを入れて補強した。損傷及び補強を繰り返しながら、自由振動をさせ実測を行い、固有振動数を求めた。固有振動数の変化により、次のような傾向が明らかとなった。

- 柱の損傷により、固有振動数が減少する傾向が明らかである。これは、柱の損傷による構造物の耐震性能の低下と直接関連する。
- はりの損傷により、固有振動数の減少が見られない。これは撤去するはりの場所によって、局部現象が生じていると推測できる。一部のはりの損傷は構造物全体の耐震性能に影響したと一意的にはいえない結果となった。
- ブレースの補強により、固有振動数の増加が明らかである。これはブレースの増設によって、耐震性能が増加していることが分かった。
- しかし、同じ状態であっても、固有振動数に違いがあることが幾つかのステージで分かった。これは、補強しても、構造物が意図した耐震性能が得られると一意的にいえないことを示唆している。

(d) 結論ならびに今後の課題

本研究では、建物の動的応答を計測することで、耐震性を簡易に判別するための仕組みについて検討した。その結果、固有振動数、減衰定数、複雑性指標等が適切な信号処理によって求められれば、パターン認識手法を活用し、耐震性能の簡易な評価が可能であることが示された。

(e) 引用文献

なし

(f) 成果の論文発表・口頭発表など

1. Qiang XIE and Songtao XUE, "Frame Structural Damage Detection Based on Frequency Sensitivity Analysis", Journal of Asia Architecture and Building Engineering, JAABE, 2006, Vol. 5, No. 1, pp.137-143
2. Hesheng TANG, Songtao XUE, Rong CHEN and Tadanobu SATO, "Online Weighted LS-SVM for Hysteretic Structural System Identification", 2006, Engineering Structures, Vol. 28, No. 12, pp.1728-1735
3. 岡田純、林敏光、薛松濤 「振動数変化に基づく構造物のヘルスマニタリングシステムに関する基礎的研究 その1 実物実験、振動台実験及び ANSYS の概要」, 2006年9月, 日本建築学会 2006年度大会(関東)、構造Ⅱ、pp.893-894
4. 林敏光、岡田純、薛松濤「振動数変化に基づく構造物のヘルスマニタリングシステムに関する基礎的研究 その2 結果及び考察, 2006年9月」, 日本建築学会 2006年度大会(関東)、構造Ⅱ、pp.895-896
5. Toshimitsu HAYASHI, Jun OKADA and Songtao XUE, "Variation of Natural Frequencies for 3F Wooden Structures in Fresh, Damaged and Reinforced States", Proceedings Asia-Pacific Workshop on Structural Health Monitoring, Dec. 2006, Paper No. 67
6. Hesheng TANG and Songtao XUE, "Auxiliary Particle Filter for Structural Damage Identification", Proceedings Asia-Pacific Workshop on Structural Health Monitoring, Dec. 2006, Paper No. 4
7. Hesheng TANG and Songtao XUE, "H Filtering in Neural Network Training and Pruning With Application to System Identification", Jan. 2007, Journal of Computing in Civil Engineering ASCE (in press).
8. K Hijikata, A Mita, "Damage detection of wooden buildings using chaos analysis and system identification", Proc. SPIE6174, (in press).
9. 三田彰、土方一弘、「タイトル:カオス理論と木造建物の健全性診断との関係について」日本建築学会 2006年度大会(関東)、構造Ⅱ、p.927-928

(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

