

### 3.1.2.2 木造建築物を対象とした簡便かつ高精度な耐震診断技術の開発

#### 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
- (e) 平成14年度業務目的

##### (2) 平成14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) 建物微動の複雑性に関わる次元解析に基づく簡易耐震診断法の可能性
  - 2) 木造建築物の耐震診断上の問題点
  - 3) 既存住宅耐震性の経年変化に関する研究
  - 4) 住宅の振動応答に関する既情報の整理
  - 5) 木造住家の簡易耐震診断による被害予測と耐震補強への活用
  - 6) 簡易耐震診断法他種構造形式への適用可能性
- (d) 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15年度業務計画案

## (1) 業務の内容

(a) 業務題目 木造建築物を対象とした簡便かつ高精度な耐震診断技術の開発

(b) 担当者

所属	役職	氏名
北海道大学大学院工学研究科	助教授	岡田成幸
	教授	石山祐二
	教授	城 攻
	助手	高井伸雄
北海道大学大学院農学研究科	教授	平井卓郎
北海道立北方建築総合研究所	総括研究監	林 勝朗
同 生産技術部生産システム科	研究員	植松武是
名古屋工業大学大学院社会工学専攻	教授	谷口仁士

(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

1)平成14年度：

木造建築物の耐震診断の普及を目的に、耐震性能を現位置的に即座に診断するための技術開発を開始する。その際の要求性能として、簡便かつ短時間で診断のための測定を完了できる計測システムの構築と、その診断精度は現在標準とされている耐震精密診断と同等であることの2点を掲げる。

2)平成15年度：

家屋の微振動を観測するための複数の計測システムを構成し、多地域において従来の耐震精密診断との結果照合を行い、計測法および解析法の改善を試みる。また、木造実大実験結果も有効利用し、改善に役立てる。当該年度の研究の主力は、家屋振動を多角的視点から計測し、耐震診断法へのその可能性を探ることにある。従って、前年度予算で支出できなかった機械装置（家屋映像による振動記録法）の購入が設備費としての計上割合が大きい。また、対象とする家屋は種々の構造形式について検討する必要があることから、多くの地域においてサンプルを集める必要がある。そのための観測旅費が運営費としての計上割合が大きい。

3)平成16年度：

多地域のフィールドにおける木造住家耐震診断の調査を継続する。また、木造建築物の耐震性の経年変化を常時監視（モニタリング）するためのシステムの開発も開始する。

4)平成17年度：

多地域のフィールドで実施した建物耐震性能調査結果から、木造住家耐震性のマッピングを行う。また木造建物の耐震性の経年変化の事例調査を開始する。

#### 5)平成18年度

木造建築物を対象として開発した高精度簡易耐震診断法、経年変化特性評価、既存建物の耐震性能の地域別評価の成果をまとめる。

#### (e) 平成14年度業務目的

- ①木造住宅の微動の挙動複雑性に着目し、次元解析によりその複雑さを定量評価し、独立に診断した耐震精密診断値との比較を行う。
- ②既存木造建築物の耐震診断に関する問題点のうち、耐力壁脚部の浮き上がりの影響について、基礎的な検討を試みる。
- ③既存住宅の初期耐震性能と経年劣化の推定方法を構築するための基礎データを収集する。
- ④地盤常時微動・起振器などによる振動に対する住宅の応答に関する既情報を収集する。
- ⑤耐震力評価として普及している「簡易耐震診断票」の信頼性に関する調査と現存する木造家屋の耐震力の調査を行う。
- ⑥他種構造形式として、鉄筋コンクリート造、鉄骨造、補強コンクリートブロック造を対象として、それぞれの構造における変形特性と破壊時性状を考慮して、本研究の目指す簡易耐震診断技術の応用を検討する。

### (2) 平成14年度の成果

#### (a) 業務の要約

木造建築物の耐震診断の普及を技術的にサポートすべく、耐震性能を現位置的に即座に診断するための技術を開発することを目的とする研究である。開発する診断技術の想定性能は、i) 対象建物への診断機器構成・設置を含め、診断方法が従来法（耐震精密診断法）に比べ、格段に簡便なシステムであること、ii) 対象建物の予備調査などの必要性をできるだけ廃し、診断が短時間で完了できるシステムであること、iii) 診断精度は現在標準とされている耐震精密診断と同等以上であることとする。また、上記想定性能は、耐震精密診断法で診断が可能な構造物（在来木造）を当面の対象としているが、対象（構造様式・住様式）の拡大も念頭に置いて研究を進める。本年度はプロジェクトの初年度であり、現状の耐震診断法の問題点整理と計測システム構築にかかるデータ入手を主とした研究を進めた。その結果、以下のことが今年度の成果として得られた。

建物微動の簡易耐震診断法への利用可能性の検討：木造住家の耐震性診断を微動の挙動複雑性（カオス性）に着目した方法で定式化するために、その有効性と汎用性について、既存データを用いて検討した。

木造住家の耐震診断上の問題点の検討：木造耐力壁（筋かい軸組を含む）には多くの仕様があるが、現行法規では同一の基本仕様に対して一律の許容耐力が与えられている。しかし、実際の

建物中における耐力壁のせん断耐力は、基本仕様が同じでも、鉛直荷重や柱脚・柱頭部の接合仕様など、建物中における脚部浮き上がり拘束の程度によって大きく異なる。現在は柱脚・柱頭接合部の先行破壊による耐力壁の転倒を避けるため、一定の接合仕様に従うか、構造計算による接合耐力の確認を行うことになっているが、既存建物にはこのような接合耐力の確認が行われていないものが多いことが判明した。

住宅の総合耐震性に関する非破壊調査法の検討：既往診断法に関する文献調査の他、低刺激入力時の住宅の応答特性とそれによって評価可能な耐震性能項目、耐震性能評価のための実在住宅における震動測定方法（換振器の配置等）、外装材等の非構造部材の耐震安全性の評価方法、躯体の老朽化とそれに起因する構造耐力の低下の評価方法、等々に着眼して情報を整理し、各種震動測定による躯体及び非構造部材の耐震性能評価法とその適用範囲について検討するとともに、実在住宅における震動測定を実施した。

木造住家の簡易耐震診断による被害予測と耐震補強への活用に関する検討：簡易耐震診断による判定値を被害予測と耐震補強への活用を目的に診断値と被害との関連分析と自己診断のばらつきに関する検討を行った。前者については、阪神淡路大震災で被災した家屋の診断を行い、診断値 1.0 以上あれば大きな被害を免れることを明らかにし、また後者については、愛知県内で 150 軒の調査から 30 軒を選択し、専門家による詳細診断を行って自己診断のバラツキを明らかにした。

簡易耐震診断法の他種構造形式への適用可能性の検討：木造以外の鉄筋コンクリート造・鉄骨造・ブロック造などの構造形式への微振動による非破壊診断の適用は未知であるため、先ずその可能性について検討するための基礎的な資料の収集を行った。現地実測データと耐震性能との関わりは、構造体の水平剛性とそのばらつき度合い、減衰性能とそのばらつき度合いが主たる要因と考えられるが、この外の実測ないしは聞き取り調査あるいは構造関連書から比較的簡易に得られる資料の重要性について検討を行った。

#### (b) 業務の実施方法

本研究業務を円滑に遅滞なく遂行するために、係る研究課題をサブテーマに分け、それぞれの領域における第一人者を研究協力者として加え、共同的に進める体制を構築した。サブテーマと研究協力者との関係は以下のとおりである。

- ・ 従来の耐震診断法の問題点整理と改善の方向付け  
平井卓郎（北海道大学大学院農学研究科）
- ・ 建物の非破壊診断法の検討  
石山祐二（北海道大学大学院工学研究科）  
城 攻（北海道大学大学院工学研究科）  
高井伸雄（北海道大学大学院工学研究科）  
林 勝朗（北海道立北方建築総合研究所）  
植松武是（北海道立北方建築総合研究所生産技術部生産システム科）

- ・ 耐震診断法の診断精度検討と耐震補強・防災対策への活用

谷口仁士（名古屋工業大学大学院社会工学専攻）

以下の内容による業務成果については各担当者ごとの執筆とする。

- 1) 建物微動の複雑性に関わる次元解析に基づく簡易耐震診断法の可能性  
北海道大学大学院工学研究科 岡田成幸・高井伸雄
- 2) 木造建築物の耐震診断上の問題点  
北海道大学大学院農学研究科 平井卓郎
- 3) 既存住宅耐震性の経年変化に関する研究  
北海道立北方建築総合研究所 林 勝朗
- 4) 住宅の振動応答に関する既情報の整理  
北海道立北方建築総合研究所生産技術部生産システム科 植松武是
- 5) 木造住家の簡易耐震診断による被害予測と耐震補強への活用  
名古屋工業大学大学院社会工学専攻 谷口仁士
- 6) 簡易耐震診断法の他種構造形式への適用可能性  
北海道大学大学院工学研究科 城 攻

#### (c) 業務の成果

- 1) 建物微動の複雑性に関わる次元解析に基づく簡易耐震診断法の可能性

##### a) 要約

木造住家の耐震診断は、国土交通省監修による「木造住宅の耐震精密診断と補強方法」に基づいて、建築物の設計書より診断するのが一般である。しかしこの方法は、まず診断対象とする建築物の設計書を必要とするし、設計書がない場合は建物の現状から設計書を作成する必要がある。その場合、建物の実地踏査により地震力に抵抗する壁を特定するなど専門家による高度な技術的判断を必要とする。そして、診断には図面からの有効壁長の読みとりなど専門的作業負荷が極めて大きく、結果的に、上記の耐震診断の実施率は極めて低いという問題点がある。耐震診断の煩雑さを抜本的に改良し、かつ精度の高い診断方法を確立するために、本研究は診断対象となる建物の平常時における微小振動（建物微動）を利用する方法の検討を開始し、その目処を付けることができた。

##### b) 方法

簡便性の点で有望視されているのは、建築物に振動計を設置し、平常時の揺れ（建物微動）を測定し、それを解析することにより耐震診断する方法であり、種々の機関により試みられている。しかしその解析法とは、建物微動のスペクトル解析から建築物の固有周期を求め、耐震性との関係を論じようとする程度のもので、診断の精度は低く、実用の域には達していない。本研究の目的は、簡便な微動測定法を基本におき、その解析法を抜本的に考え直すことにより、

木造建物耐震性評価への適用可能性を向上させることにある。すなわち、木造建物の常時微動をカオスの挙動と捉える新知見を展開し、その動きの複雑さを定量評価することにより耐震性の議論への導出を考察する。

まず、木造住宅の微動の挙動複雑性に着目し、次元解析によりその複雑さを定量評価し、独立に診断した耐震精密診断値との比較を行う。すなわち、微動軌跡にストレンジ・アトラクタの存在することを時間遅れによる擬位相空間においてアトラクタ次元を求めることにより証明し、その次元をもって複雑性の強さを定量化する。これをカオス度とここでは定義し、この値の大小により、建物の耐震性を議論する。一般に耐震性の高い木造住宅は剛性が高く、建物全体の一体化が強くとその振動も単振動に近い単純なものとなろう。一方、老朽化等により耐震性が落ちてくると、継ぎ手仕口の一体感が薄れ、部分的に独立的な振動が発生し、建物全体として複雑な動きとなることが予想される。すなわち、建物の微振動の複雑さを測ることにより耐震性を評価できる可能性がある。

#### c) 対象建物及び耐震精密診断

今回測定対象としたのは、札幌市及び近郊に建つ、木造軸組工法による住宅 10 棟である。建築年は、1985 年より 1995 年までの比較的新しい建物である。その一覧を表 1 に示す。表中の計測年が微動測定を実施した年号、耐震精密診断値は通常行われている建設省監修の方法による耐震精密診断値である。診断値の結果より、1.5 以上が安全(Safe)、1.0 以上かつ 1.5 未満が一応安全(Nearly safe)、0.7 以上 1.0 未満がやや危険(Nearly risky)、0.7 未満が危険(Risky)と診断される。

表 1 調査対象とした住家

No	建設年	計測年	耐震精密診断値		評価
			X-方向	Y-方向	
1	1991	1991	0.69	1.38	危険
2	1985	2000	1.87	0.84	やや危険
3	1991	1991	0.96	1.47	やや危険
4	1991	1991	1.02	1.45	一応安全
5	1991	1991	1.14	2.47	一応安全
6	1991	1991	1.18	2.29	一応安全
7	1991	1991	1.32	2.10	一応安全
8	1991	1991	1.40	1.77	一応安全
9	1991	1991	1.55	1.65	安全
10	1995	2000	1.82	1.80	安全

d) 住家の微動測定

対象建物の微動測定は、今回（2000年）新たに実施したもの他、1991年において北海道立寒地住宅都市研究所（現北海道立北方建築総合研究所）により実施された結果を用いた。測定システムを図1に示すが、建物微動測定で用いられる通常のものである。すなわち、センサーは周期が0.01秒～約10秒で振幅特性が平坦な感度特性を有するサーボ型加速度計を採用し、高周波遮断回路により30Hz以上をハイカットし、100Hz（一部200Hz）のサンプリングレートで記録した。A/D変換器は12bitの分解能を持つ。測定箇所は、住家の2階ほぼ重心位置の床面及び1階玄関土間コンクリート上の2カ所について、張間・桁行き方向の水平動2成分と上下動1成分の同時記録である（但し、上下動成分は解析には利用しない）。

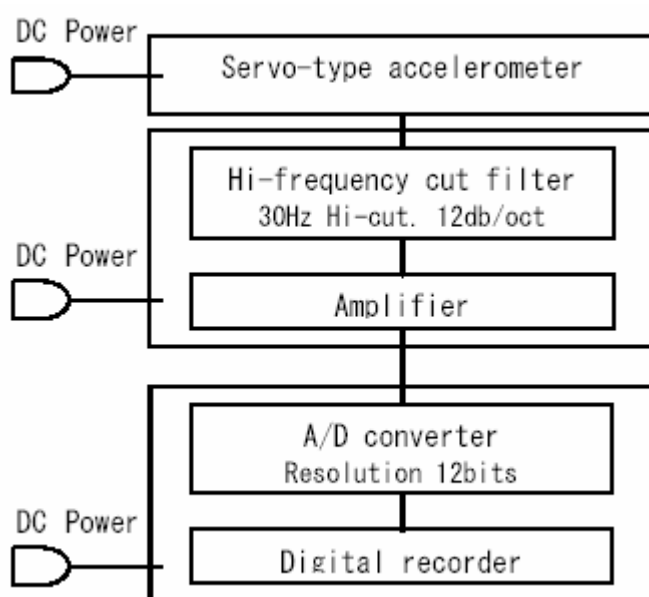


図1 建物微動の計測システム

e) 建物微動の挙動複雑性の定量化アルゴリズム

実際の測定は、建物の上層階と下層階の建物重心位置に微動計を設置し、10分程度測定する。

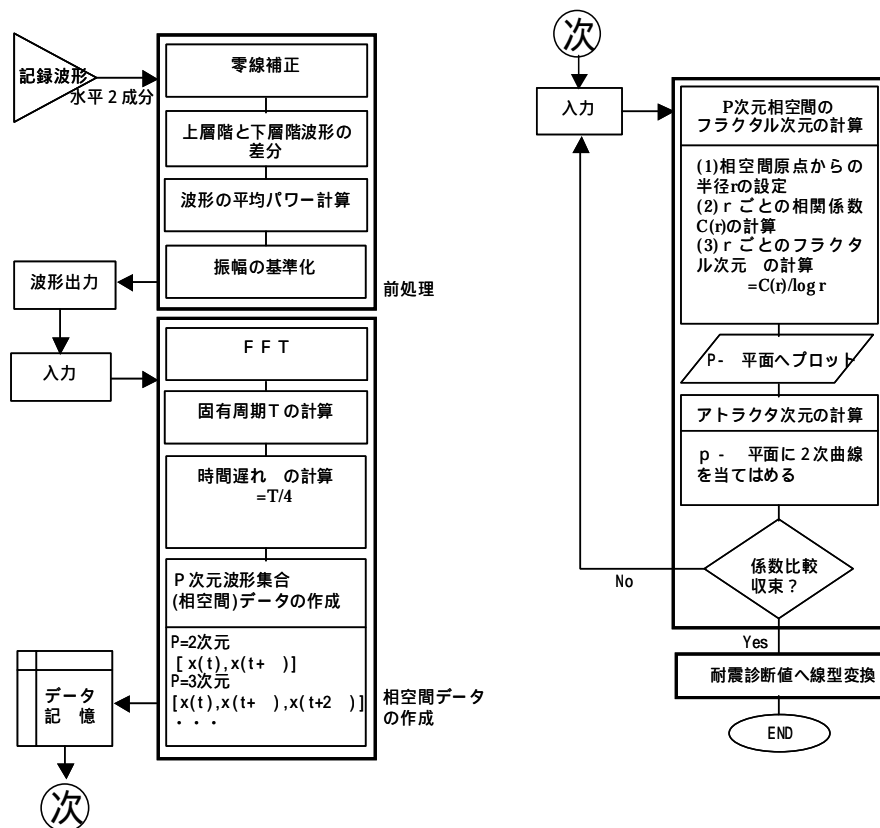


図 2 微動の挙動複雑性定量化のアルゴリズム

交通ノイズ等の擾乱を避け比較的静かな部分の波形を 10 秒間程度解析する。解析は建物の水平 2 成分を独立に扱う。ここに提案する解析の手順は以下のとおりである。図 2 に計算のフローチャートを示す。

まずそれぞれの成分ごとに、交通ノイズの少ない 10 秒間程度を切り出す。

切り出した波形の入力波の影響を除去するため、上層階で得られた微動波形と下層階で得られた微動波形の差分を計算し、この波形について以下の処理を行う。

零線補正、及びアトラクタのサイズ効果を相殺するための振幅基準化を波形の幾何平均パワーで行う。ただし、その後の解析により波形振幅の大小は、アトラクタ次元にさほど影響しないことが判明したので、省略できる。

時間遅れの方法  $\{x(t), x(t+\tau), x(t+2\tau), \dots, x(t+(n-1)\tau)\}$  により n 次元 (埋め込み次元と呼ぶ) の相空間をコンピュータ上に再構成する。ここに  $\tau$  は時間遅れであり、スペクトル解析により求まる建物の固有周期(T)から  $\tau = T/4$  で決定させる。

微動挙動の複雑さを、各埋め込み次元ごとにその相空間を埋める軌跡 (トラジェクトリ) のフラクタル次元  $\nu$  を以下の式により求め、これをアトラクタ次元と呼ぶ。但し、 $r$  は相空間原



点を中心に持つ半径である。

$$v = \log C(r) / \log r \quad \dots (1)$$

ここに

$$C(r) = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{1}{m^2} \sum_{i,j=1}^m H(r - |x_i - x_j|) \quad \dots (2)$$

相空間の埋め込み次元数を上げることにより、アトラクタ次元がある数値に収束していく。図 3 は、建物 No.2 の計算結果である。図中に比較のため白色雑音の場合を実線で示してあるが、埋め込み次元 30 程度で、アトラクタ次元は 10 程度に収束している。相空間の次元数とアトラクタ次元の関係をプロットし、その収束先を 0 を切片に持つ 2 次式を最尤法により求める。これがその建物微動のアトラクタ次元、すなわちカオス度であり値が大きいほど複雑な挙動を示していることになる。

計算されるカオス度の精度を高めるために、同じ波形から交通ノイズの少ない 10 秒程度をさらに 3 区間分切り出し、同様の手続きによりカオス度を計算する。

最終的に、4 区間について求められたカオス度を平均し、最終値とする。

この数字を従来の耐震精密診断法の診断値と合わせるために、線型変換する。ここでは本研究で使用した 10 棟のデータを用い、最小二乗法により以下の変換式を得た。

$$y = -0.047x + 2.11 \quad \dots (3)$$

ここに  $x$  は上記手続きで求めたカオス度であり、 $y$  は耐震精密診断法と同等の診断値である。

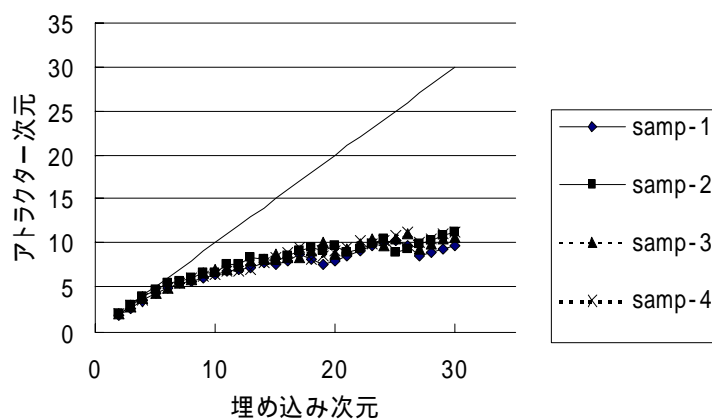


図 3 アトラクタ次元の計算結果例

#### f) 新提案による診断値と従来法との比較

建物固有周期と耐震精密診断値との関係を図 4 に示す（固有周期解析法）。同図は、FFT により求められた建物固有周期を説明変数とし耐震精密診断値を目的変数として一次式により回帰し、それによる推定値と実際の耐震精密診断値との関係をプロットしたものである。両者の

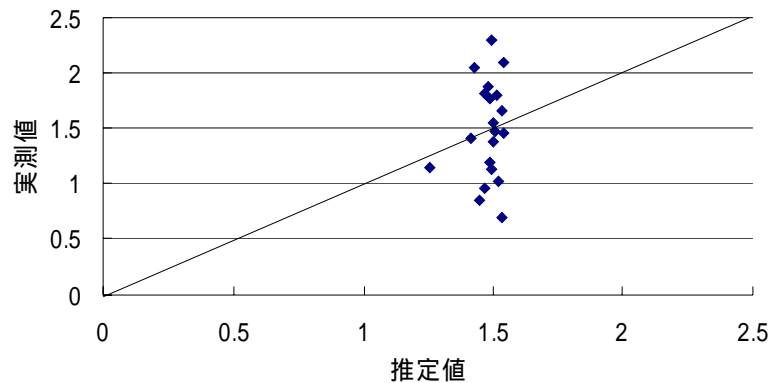


図 4 建物固有周期による診断推定値と耐震診断値との関係

相関は低く、相関係数は **0.078** である。今回対象とした建物の固有周期は大部分が **0.15** 秒付近に集中しており、これによる耐震診断は不可能である。一方、図 5 は本研究提案の解析法（カオス解析法）による推定診断値と実際の耐震精密診断値との関係であり、同じ微動記録を使ったにもかかわらず、カオス解析法によると両者の相関係数は **0.40** まで上がっており、診断値とアトラクタ次元（カオス度）との間に良い相関が見て取れる。本提案の解析法による耐震診断の可能性が強く示唆されている。

ここまでの解析は建物振動の複雑さ、すなわち剛性のみに着目した解析と言える。建物の張間（X方向）と桁行き（Y方向）とを独立に扱っているので、建物の偏心を無視している。耐震精密診断では、壁の配置による偏心率も考慮しているため、以下の解析を加えて、診断の精度向上を試みる。今、両方向のカオス度の違いに着目する。建物の成分間で耐震性能に大きな違いがあれば、建物に「ねじれ」が生じやすく、耐震性が落ちると理解できるからである。張間・桁行き方向のうち、カオス度の小さな値を  $x_1$  とし、両成分のカオス度の差の絶対値を  $x_2$  とし重回帰分析を行った。耐震精密診断値との関係を求めると、以下の式で診断推定値  $y$  が与えられる。

$$y = -0.0685X_1 - 0.04184X_2 - 2.096746 \quad \dots (4)$$

上式による推定値と実際の耐震精密診断値との関係を図 6 に示す。  $x_1$  と  $x_2$  の  $y$  に対するそれぞれの偏相関は **-0.68** と **-0.37** であり、カオス度の差（ねじれ）も診断に有効に寄与しているのが分かる。(4)式による推定値と診断値との相関係数は **0.76** で、大きく改善された。今回対象とした住家のように、剛性が高く比較的耐震性能の高い建物については、このようなねじれの検討も併用することにより、より信頼度の高い診断が可能となるであろう。

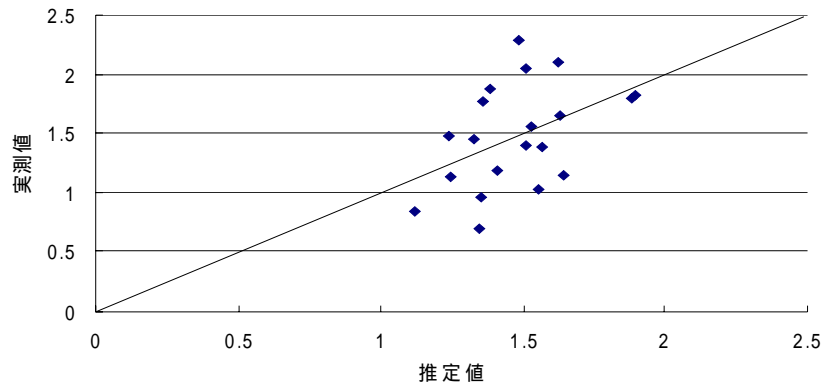


図5 カオス度による診断推定値と耐震診断値との関係

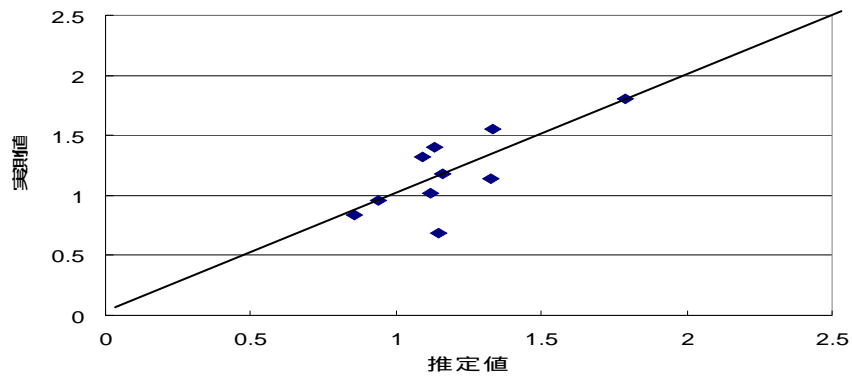


図6 両成分のカオス度から推定した診断値と耐震診断値との関係

## 2) 木造建築物の耐震診断上の問題点

### a) 要約

既存木造建築物の耐震診断に関する問題点のうち、耐力壁脚部の浮き上がりの影響について、基礎的な検討を試みた。既存木造建築物に用いられている耐力壁（筋かい軸組を含む）では、耐力壁脚部・頭部の接合仕様が確認されていないものが多いため、耐力壁配置や基本仕様が分かっても、実際の耐震性能推定は難しいことが多い。

今年度は、面材釘打ち耐力壁を対象とし、この脚部浮き上がりの影響について実験的、解析的な検討を試みた。その結果、同種の耐力壁でも、接合仕様等によって耐震性能には大きな違いがあることがわかった。

### b) 目的

既存木造建築物に用いられている耐力壁（筋かい軸組を含む）では、耐力壁脚部・頭部の接

合仕様が確認されていないものが多い。そのため、耐力壁配置や基本仕様が分かっても、損傷限界、終局限界における耐力推定が困難である。

常時微動測定や小型起震機を用いた振動測定を行う場合にも、次のような問題点により、実際の損傷レベルにおける振動性状の推定が難しいことが指摘されている。

(1)木造建築物は、接合部が非線形変形を生じる半剛節構造であるため、微小応力レベルと損傷応力レベルでは、固有周期や減衰特性に大きな差がある（図7）。

特に荷重履歴や水分履歴の少ない木材接合部では、部材間に初期摩擦が働き、微小応力レベルでは剛節構造に近い変形挙動を示すことがある（図8）。

(2)筋かい軸組（筋かい耐力壁）や面材釘打ち耐力壁のせん断変形角（見かけのせん断変形）は、耐力壁の真のせん断変形角と耐力壁の転倒（脚部の浮き上がり）による変形角の和となる（図9）。後者に対する抵抗要素には、次のようなものがある。

- (a)面材下部の釘接合や各種柱脚接合などによる柱、縦枠の引き抜き抵抗
- (b)梁、上階床組を含めた耐力壁構面全体としての曲げ戻し
- (c)鉛直荷重による押さえ込み

このうち(a)、(b)に関係する転倒変形は、初期摩擦を除いて、地震力による転倒モーメントに応じて増加する。一方、(c)は一定の鉛直荷重による転倒抵抗モーメント（図10）であるため、転倒モーメントがそれを上回るまでは浮き上がりが完全に拘束され、(a)、(b)の影響は現れない（図11）。このため、応力レベルが低いと、固有周期や減衰特性などが真のせん断変形のみを反映したものとなり、接合仕様や構面構成などによって異なる、転倒変形も含んだ損傷レベルでの振動性状と一定の関係にならない。このことが、耐震診断の信頼性向上を図る上での大きな課題となっている。

この研究ではこの点に注目し、脚部の浮き上がりが生じる前後で、耐力壁の荷重－変形挙動がどのように異なるかについて、実験的、解析的検討を試みることにした。

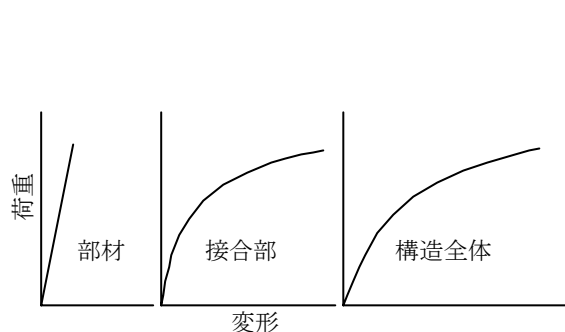


図7. 木造建築物の荷重－変形曲線

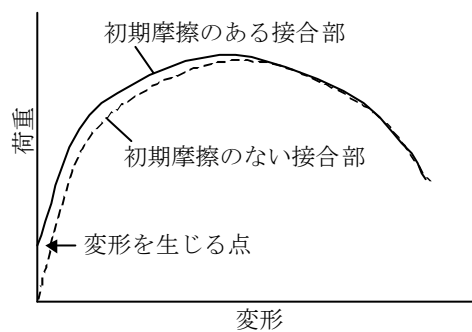


図8. 木材接合部の荷重－変形特性

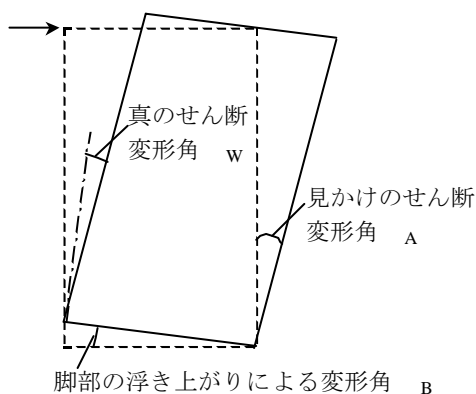


図9. 木造耐力壁のせん断変形.

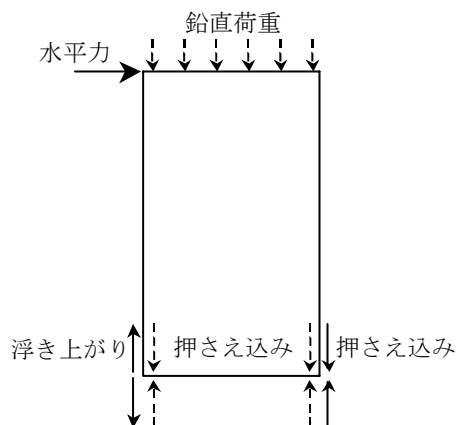


図10 水平力と鉛直荷重

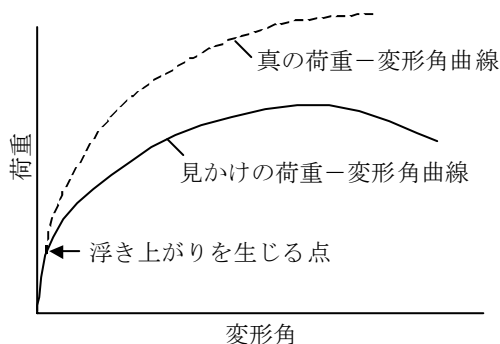


図11. 建物中の耐力壁の荷重-変形曲線

### c) 研究方法

この研究では、面材釘打ち耐力壁を対象とし、以下のような検討を行った [1]。

- (1) 耐力壁頭部の浮き上がりを拘束した面材釘打ち耐力壁 (910×2400mm) の実大せん断耐力壁試験 (タイロッド式と同等) を行い、真の荷重-変形角曲線と見かけの荷重-変形角曲線を求めた。その際、浮き上がり拘束に要した鉛直荷重を連続的に測定した。実験仕様は次の通りである。

枠材：SPF204材、面材：9.5mm厚OSB、釘：CN50釘、周辺100mmピッチ 縦枠-下枠接合：CN90本木口打ち、補強金物無し

- (2) 同仕様の耐力壁について、頭部の浮き上がりを拘束しない方式 (日本式) での試験を行った。
- (3) Tuomi の仮定を適用し、釘接合部の1面せん断荷重-すべり曲線とOSBの面内せん断剛性から、耐力壁の真の荷重-変形角曲線を計算した。この計算結果を上記の試験結果と比較し、計算の妥当性を検証した。
- (4) (3)で計算された真の荷重-変形角曲線と(2)の試験結果から得られた耐力壁の転倒による荷

重一変形角曲線を基に、鉛直荷重を変えながら、耐力壁の見かけの荷重一変形角曲線を試算した。

(5) ホールダウン金物に関する既往の試験結果 [2] を用い、(4)と同様の試算を行った。

#### d) 研究成果

脚部補強を行っていない耐力壁について、鉛直荷重と荷重一変形角曲線の関係性を計算した一例を示すと図 12 のようになる。図中の荷重一変形角曲線は、OSB 片面張り耐力壁の 1.5 倍のせん断耐力を持つ両面張り耐力壁を想定したもので、各線は一定の鉛直荷重を、0 から 80kN まで 4kN きざみで加えた場合に対応している。現在耐力壁の許容せん断耐力（壁倍率）評価はタイロッド式の耐力壁せん断試験などによって行われているが、その場合のなめらかな荷重一変形角曲線と異なり、鉛直荷重の大きさに応じ、途中で折れ曲がるような曲線となっているのがわかる。細線の折れ曲がる点を結んだ曲線が真の荷重一変形角曲線に相当する。この図からわかるように、脚部補強を行っていない耐力壁は、初期剛性は現行の評価より大きいですが、地震力による転倒モーメントが一定値を越えると急激に剛性が低下し、終局耐力時の変形能も低下する。また、応力レベルの低い範囲では、真の荷重一変形角曲線をたどるので、その範囲における剛性は損傷レベルでの等価剛性（割線剛性）とは大きく異なっている。応力レベルで剛性が異なっても、連続的な曲線曲線特性を持つ場合は、応力レベルによる水平剛性（固有周期）の違いを、おおまかには推定可能だと考えられる。しかし、真の変形と転倒変形との相対的な関係は一定ではないため、耐力壁全体としての見かけの変形挙動は推定が難しい。

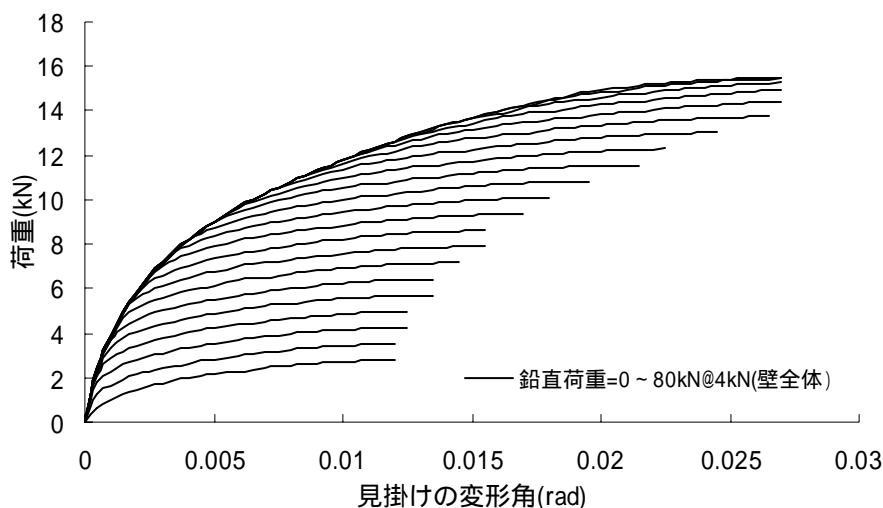


図 12 鉛直荷重による耐力壁荷重一変形角曲線の違い

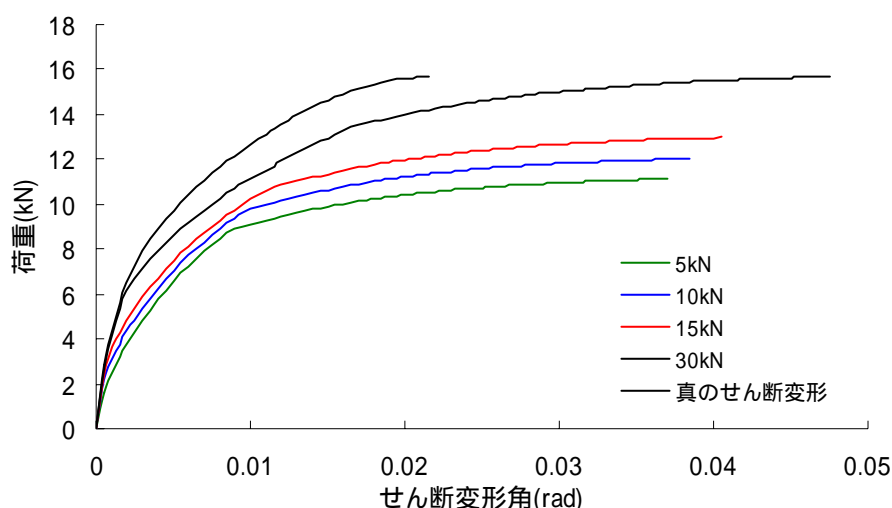


図 13 脚部接合と鉛直荷重による耐力壁荷重－変形角曲線の違い

上記と同様な耐力壁仕様に対し、耐力壁脚部を許容引き抜き耐力 5kN のホールダウン金物 HD-N05 で補強し、鉛直荷重を 5-30kN まで変化させたときの、荷重－変形角曲線を計算してみた結果が図 2-7 である。脚部を金物補強することにより、耐力壁仕様や鉛直荷重が同じでも、耐力壁全体としてのせん断耐力が大きく向上している。

この違いは、接合仕様がわからないと判別が困難である。常時微動測定や起震機を用いた測定を行う場合も、通常は微小応力レベルでの測定となるため、通常の方法では図 12 と図 13 の違いを検出しにくい。更に、真のせん断変形自体にも前述の初期摩擦による剛性増加が含まれている可能性があり、損傷レベルを想定した正確な評価には、難題が多く残されている。

#### e) 考察

上記の問題点を、直接計測手法の改良などによって解決するのは、現時点ではかなり困難だと思われる。したがって当面は、施工仕様記録の残されていない場合に対しては、対象建物の建築時期における、住宅金融公庫標準仕様などを参考に、工学的に判断する以外にはないであろう。

ただし、木造建築の動的応答に関しては、損傷レベル、終局レベルにおける、鉛直構面全体としての挙動や、部分的損傷による振動特性の連続的変化の影響等について、未知な点が多い。現在はこれらに関する知識が不足しているため、確実な要素だけを考慮し、耐力壁の転倒変形が生じた後の挙動を推定すると、耐力評価が著しく低くなり、現実的な耐震診断が行いにくい。今後、上記の点が明らかになれば、より現実的な耐震診断の可能性が生まれるであろう。

#### f) 引用文献

- 1) 矢永国良, 佐々木義久, 平井卓郎: 鉛直荷重および脚部接合耐力を考慮した面材釘打ち耐力壁のせん断耐力評価, 木材学会誌, 48(3), 152-159, 2002.

2) (財) 日本住宅・木材技術センター：木造軸組構法住宅接合部設計技術開発事業報告書（柱脚試験部会），(財) 日本住宅・木材技術センター，1987.

### 3) 既存住宅耐震性の経年変化に関する研究

#### a) はじめに

大都市の地震災害予測を行なう上で、密集市街地の木造住宅の耐震性を把握することは、極めて重要なことである。建物到壊率、死者・負傷者数、延焼率等の予測、避難収容計画など、都市の災害危険度・被災度予測に対し、既存住宅の耐震性能は非常に大きな影響を及ぼす。本報告は、既存住宅の初期の耐震性能とそれらが経年変化し性能劣化を生じたときの劣化度の推定方法を、種々の研究分野からのアプローチを提案するものである。

#### b) 性能初期値の推定方法

初期値の推定のためには、建築年次、平面図、立面図、耐震壁配置図と壁倍率、基礎伏と配筋図等が必要であるが、設計図書がない場合、現地調査を行うことになる。現地調査およびデータの収集分析は次のように行う。(1)平面は現地書き込み。立面は現地書き込みか、カメラにより対角2方向から撮影し、パソコンソフトにより展開図に変換。(2)耐力壁種類が不明なときは、外壁を壁倍率1倍とみなし壁量を算出。(3)内壁は聞き取り調査によって配置と量を推定。(4)外壁と内壁の壁倍率比は、既存の設計図を収集し、有効数計算し、類推する(時期的には実態調査より遅れる)。(5)壁偏心率は、当面、外壁のみから算出する(内壁は剛心までの距離が短く、偶力が小さいため)。(6)建設年次、聞き取り。

初期値の推定には、適宜「耐震診断法」を用いる。現状では「文献-1：木造住宅の耐震精密診断」が有効と思われる。この診断法は、A.地盤・基礎 B.建物の形 C.壁の配置 D.筋違の有無 E.壁の割合 F.老朽度を調査し、 $A \times B \times C \times D \times E \times F$ の総合判定数値によって「安全～危険」の耐震性4ランクに評価分類するものである。この診断法を用いるときは、劣化調査項目：A.地盤基礎の「ひびわれ」とF.「老朽度」を除き、建設当初の条件のみで耐震性能初期値を推定する。

#### c) 建物耐久性の推定方法

##### (i) 耐震性と耐久性

一般的に、建物が古くなると耐久性は低下する。特に構造材の腐朽によって建物としての耐久性が低下する場合、耐震性も大幅に低下する。耐久性低下に関わる要因は数多く存在し、特に北海道のように積雪寒冷地においては、住宅の構法・構造のみならず、断熱・気密工法、暖房方式などが影響の大きいパラメーターとして加わり、劣化現象を更に複雑にしている。

本項では、既存住宅の耐久性劣化度予測のための各種手法を提案する。既存住宅の保有耐震性能は、「b.」で求められた初期値( $y_0$ )に耐久性劣化係数  $k(x_i)$  をかけて求められる。



(ii) 耐久性能と劣化現象関連の概念（文献-2）

図 14 に建物の耐久性能と劣化現象の関連模式図を示す。この関係を決定する主要な因子は、次の 6 種があげられる。

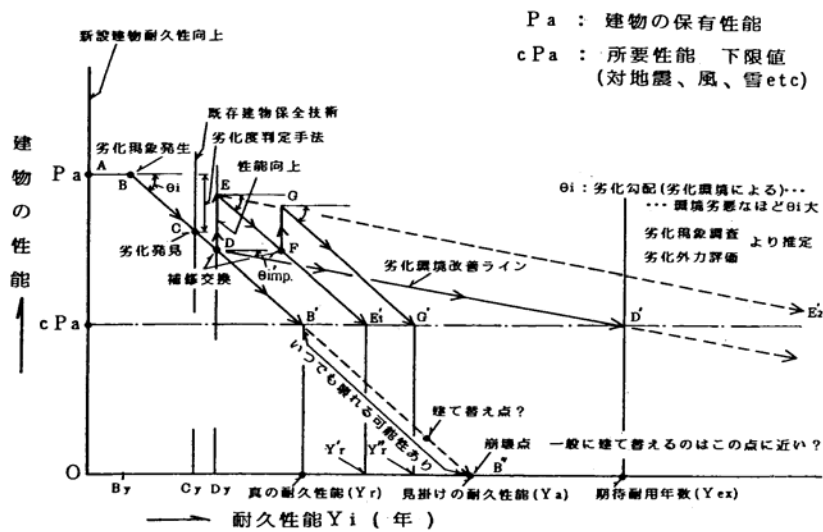


図 14 建物の耐久性能と劣化現象の関連模式図

- (1) 新設時建物保有性能(Pa) (2)建物に要求される所要性能下限値(cPa) (3) ある経過年での建物の保有性能(Pa(y)) (4)耐久性能指標(年数: y) (5)劣化現象発生期 (6)劣化勾配( $\theta_i$ )  
 その他に、(7)劣化現象発見期 (8)建物補修交換期 (9)期待耐用年数 などがある。

以上の諸因子のうち、(1)~(3)の性能評価に関するものは、地震、風、積雪などの外力に対する場合と、機能・美観からのものがある。特に「(3)所要性能下限値」を知るには、既存建物の劣化度判定手法が確立されていなければならない。また「(6)劣化勾配」は、劣化環境の程度と諸劣化要因の影響度に左右される因子で、環境が劣悪なほど負の勾配は大きくなる。以上の諸因子の関連から建物の劣化進行状況（性能の経年変化）を説明すると、概ね、図 15、16 のようになろう（文献-2）。

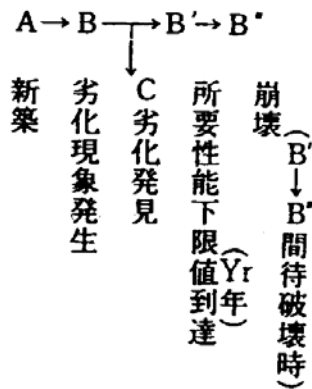


図 15 耐久性能推移（基本型）

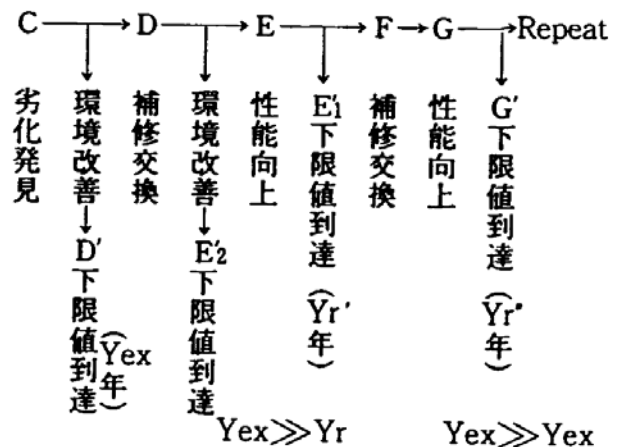


図 16 耐久性能推移（環境改善型）

(iii) 耐久性劣化係数予測手法について

劣化係数予測のために、劣化要因調査と分析を行う。要因調査は、現実には腐朽等劣化外力によって被害を受けた建物の事例調査と、被害の程度が外観からは明確でない建物の劣化調査に分離する。本論では前者を(1)腐朽実態調査、後者を(2)劣化度調査と称する。(1)は腐朽の発生や進行状況を把握して耐久性喪失要因と劣化度レベルの推定を行い、(2)は既存住宅の劣化環境(外部環境、建物性能、室内環境、保守管理等)及び内部・外部の劣化状況を把握する。この関係を図17の耐久性喪失発生の概念図に示すと、「腐朽実態調査」は危険域の上界ライン(これ以上なら、確実に喪失が起きる)を探るものであり、「劣化度調査」は、安全域の下界ライン(これより条件が良ければ、喪失は確実に起こらない)を探るものである。

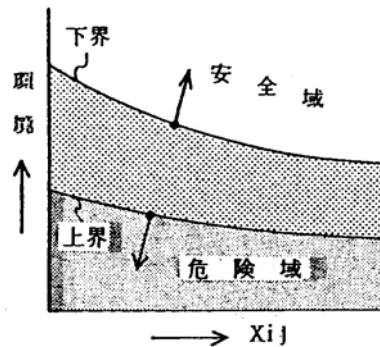


図17 耐久性喪失発生概念図

(iv) 腐朽実態調査(文献-2)

以下、主な調査方法と診断手法を示す。

イ) 木材含水率測定

Keet 高周波容量式木材水分計(2~150%計測可能)を用いて、含水率を測定。

ロ) ハンマー打診による診断

市販されているハンマー(やや小型)を用いて木材面を軽く叩き、反発の感触によって、木材劣化の状態を測定する。感触の大きな分類と腐朽の推定を次に示す。

A: 反発大、打撃音高いー木材は健全。

B: 反発音やや低いー木材は含水率高く、劣化の疑いあり。

C: 反発力なく、打撃音低いー腐朽進んでいる。

D: 打つとめり込む感じー腐朽相当に進み、木材の強度はほとんどない。

ハ) 腐朽深さ測定

木材の残存断面を調べ、表面の劣化進行と腐朽深さとの関係を把握するための調査。アイスピック状の器具を部材表面から相当の力で押し込み、貫入深さを腐朽による断面欠損と考える。

二) 床下温湿度測定

デジタル温湿度計により、室内空気の床下への流入を極力避け測定。

ホ) 土の含水率測定

床下の土を採取した後、ビニール袋に密閉し、熱風循環乾燥器で乾燥させ、低減質量から含水率を計算する。

へ) 実態調査事例

調査結果の一例を図 18~23 に示す (文献-2)。図 18、19 は土台、柱の含水率測定結果、図 20、21 は同ハンマー打診、図 22、23 は同腐れ深さ、である。

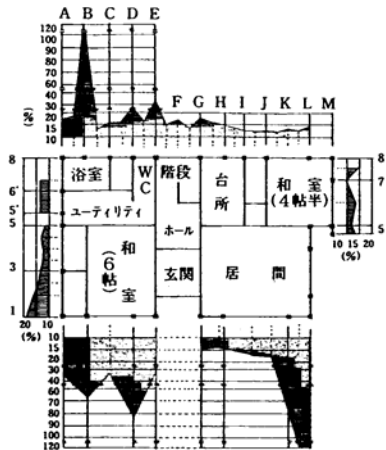


図 18 土台の含水率

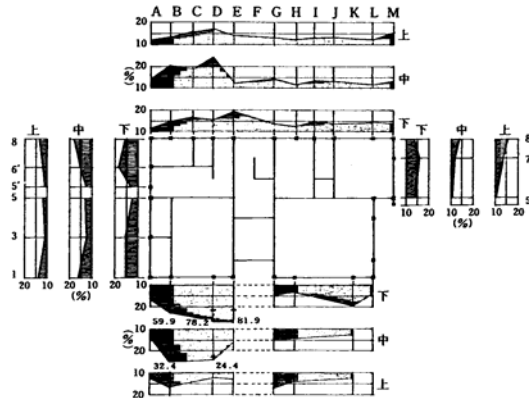


図 19 柱の含水率

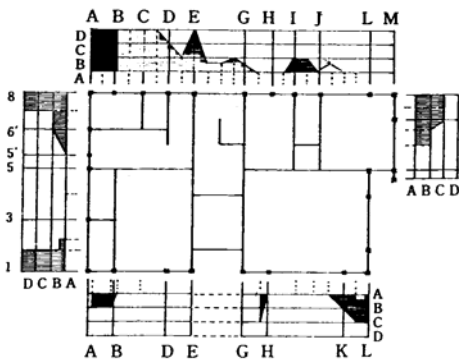


図 20 土台のハンマー打診

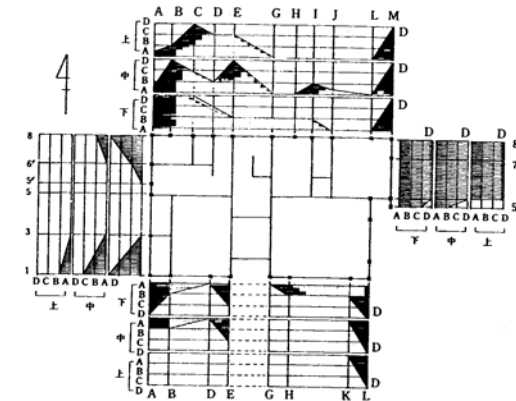


図 21 ハンマー打診

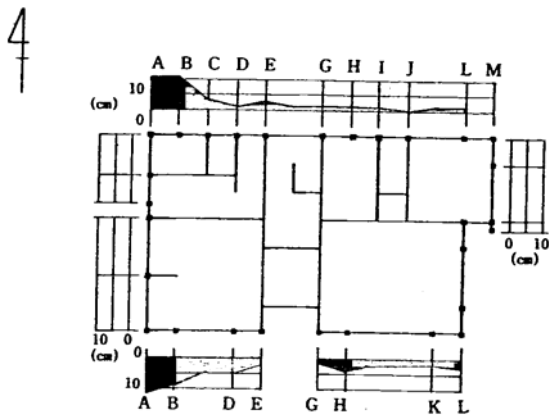


図 22 土台の腐れ深さ

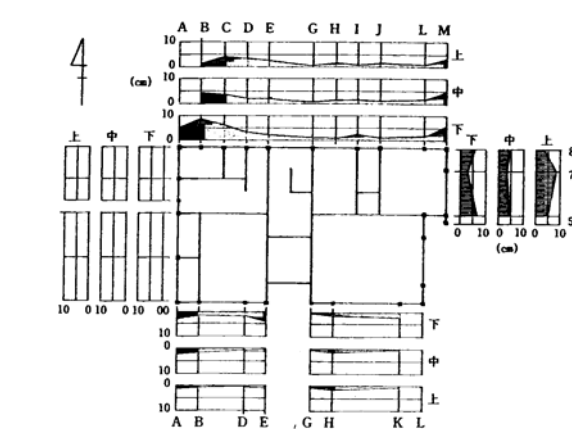


図 23 柱の腐れ深さ

(v) 劣化度調査

部位別劣化度と劣化要因の関連を分析するため、劣化環境と劣化現象の実態把握調査方法の一例を述べる。調査方法は、次のとおりである。

ある地区を選定、対象地区内すべての木造住宅を訪問する。居住者向けアンケート調査（住まい方、補修歴、内部劣化状況等）と調査員による目視観察・測定調査（建物周囲及び外部詳細、外部劣化状況等）を並行させる（時間のずれは可）。表2に調査項目一覧表を示す。

図24、25に、劣化要因と劣化現象の関連性の分析結果を例示する（文献-2）。図のなかの相関係数と耐震性能に対する影響度を分析しながら、劣化係数を定めていく。

ここで既存住宅の耐震性を公式化すると、次式のようなになる。

$$\text{現有耐震性能} = \text{耐震性能初期値}(y_0) \times \text{耐久性劣化係数}(k(x_i))$$

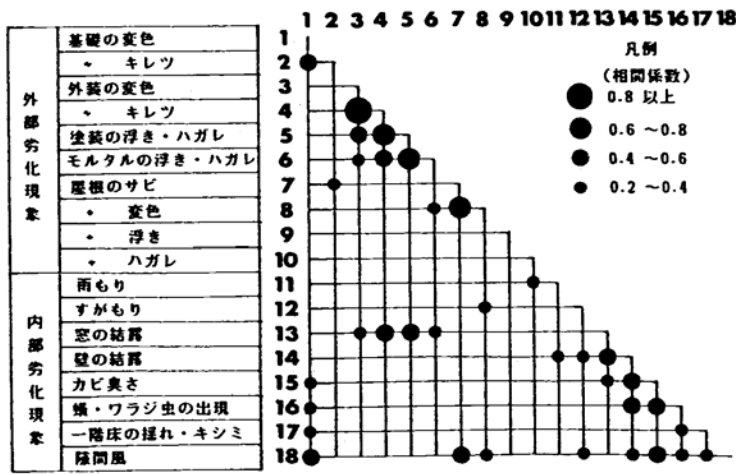


図24 劣化現象間の関連図

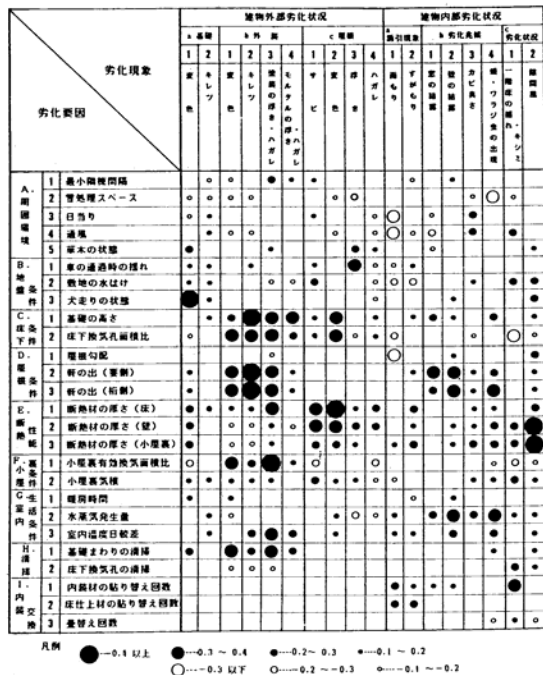


図25 劣化要因と劣化現象の関連図

表2 調査項目一覧

表一 調査項目一覧表		
大項目	中項目	小項目
建物 性能	建物概要・周囲の状況	経過年数 設計者、施工者 増改築の有無 敷地面積 建築面積 延床面積 階数 所有形式 構法 隣棟間隔 日当たり 通風 雪処理スペースの有無 隣地、道路との高低差 地盤の状態 地下水位 周囲の草木の繁茂状態
		断熱仕様 床の断熱と防湿 外壁の断熱と防湿 天井の断熱と防湿 ○外壁と1階床の取り合い部の断熱構造 ○間仕切り壁の気流止め構造 ○通気経路
	各部詳細	基礎の高さ、犬走りの状態 ○使用部材、防腐処理 床下換気孔 外装材（塗装材も含む） 窓の構成 屋根の形状、仕上材 小屋裏換気孔 ○内装材（下地材も含む）
使用 状況	住まい方	家族構成 居住時間 暖房方法 一冬の燃料消費量 加湿の状況 除湿、換気の方法 床下換気孔の開閉 目張り 冬期の室温と湿度
	保守管理	定期点検の実施状況 清掃の実施 部材、各部補修交換歴 駆除処理
劣化 状況	期待耐用年数	木造住宅の期待耐用年数 自宅の予想耐用年数
	劣化徴候	雨漏り すが漏り 結露 カビ臭さ 虫菌による被害 給排水、給湯管の漏水 戸、窓、よすまの開閉のしにくさ 室内の隙間風 床の揺れ、たわみ、きしみ
状況	損傷状況	内装材 基礎 外装材 屋根材 目地、接合部等

d) 非破壊試験による耐震性能推定

建物の振動特性を簡便に知る方法に、常時微動測定法がある。構造物の耐震性能と振動性状(固有周期等)の関連性を根拠にした推定手法である。建物の耐震性能指標の一つに壁量があり、これと固有周期との関連が明確になると現有耐震性能の把握は極めて簡便に行われることになる。図26は1991年と1984年に建設された住宅の、新築時での微動測定結果であるが、この結果からは壁量と固有周期の関係はさほど明瞭ではない(文献-3)。研究手法を更に開発し、この関連性を明確にしていきたいものである。図27、28は1982年浦河沖地震、1983年日本海中部地震の木造住宅の被害と所要壁量(推定値)の関係をプロットしたものである(文献-4,-5)。建設年次による初期値の補正は行っていないが、被害レベルと壁量の間に関連性が伺える。

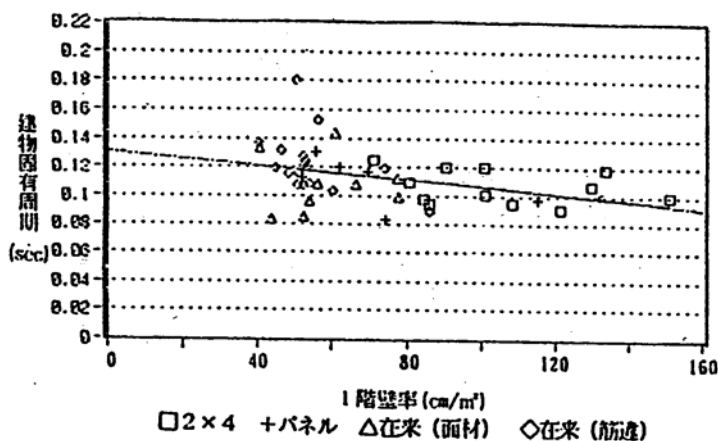


図26 壁量と建物固有周期

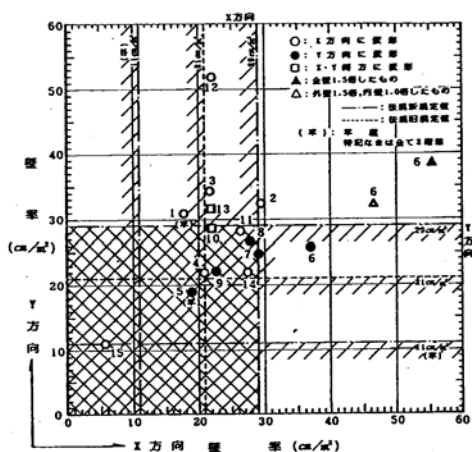


図27 被害建物のX・Y方向の壁量

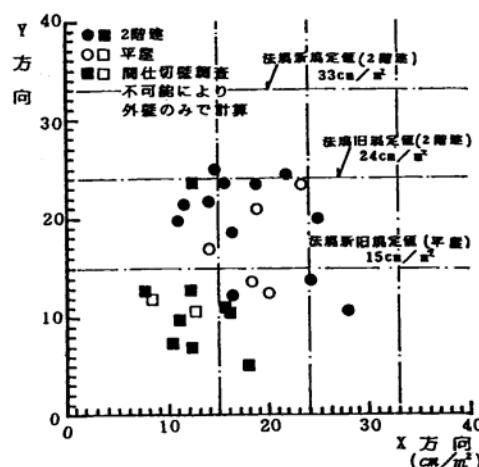


図28 被害建物の壁量

微動測定解析は、高感度加速度計か速度計を室内床上に設置して建物の振動を記録し、FFTアナライザーを用いて周波数解析を行うものであるが、室内作業を伴うため測定件数の大幅増は困

難であった。しかし、最近、この従来の測定法に変わり、レーザー光線を用いて屋外から微動測定を行う方法が開発されている（文献-6）。この屋外測定を主体とした新装置、新測定法の出現により、対象件数を大幅に伸ばすことが可能である。（現在、計測値の精度など研究開発中）

#### e) まとめ

大都市における巨大地震、あるいは直下型地震による都市災害をいかに防ぐか、は極めて重要な今日的課題である。幸い、ここ数年来、GISシステムを利用した地震被害想定マップがパソコンレベルでつくれるようになり、被害予測の技術は大幅に向上しつつある。しかし、都市防災の中心的存在である木造住宅、特に既存の古い住宅の耐震性能（防火性能含む）はほとんど把握されていないのが現状である。本論で示したような手法を用い、より正確な基礎データを早急につくることが重要と考える。

#### f) 参考文献

- 1) “木造住宅の耐震精密診断と補強方法”（財）日本建築防災協会 1996. 1. 10(増補)
- 2) 林勝朗、南慎一、他 2 名 “住宅耐久性研究開発－第 3 章：腐朽等劣化防止に関する研究” 北海道立寒地建築研究所・調査研究報告 No. 41 1986. 3
- 3) 林勝朗、他 2 名 “木造住宅の振動特性に関する研究（常時微動測定による固有周期）” 日本建築学会大会梗概集 1992. 8
- 4) 林勝朗、他 2 名 “1982 年浦河沖地震における木造被害建物の耐震性能診断” 日本建築学会大会梗概集 1984. 10
- 5) 林勝朗、他 2 名 “1983 年日本海中部地震による木造建物の被害調査” 日本建築学会大会梗概集 1984. 10
- 6) 田中正明、木村隆一他 “CCD 非接触振動測定器（ユレトール）の性能確認試験” クリモト技報 No. 46 2002. 3

#### 4) 住宅の振動応答に関する既情報の整理

##### a) 要約

住宅の総合的な耐震性能を非破壊調査によって簡便に評価するシステムを構築することを最終目的とし、まずは、地盤常時微動・起振器などによる振動に対する住宅の応答に関する既情報を収集した。木造住宅の耐震性能評価に係る現時点までの調査・整理結果を踏まえ、北海道における既存の木造住宅の耐震性能を評価する際に必須となる諸要因とその関係を示すと図 29 のようになる。木質住宅の既存の性能評価法は、構造部材の構造特性をそのまま住宅全体の構造特性として評価するもので、非構造部材を含む住宅全体の実耐震性能・実震動応答特性を確認する手法は確立されていない。

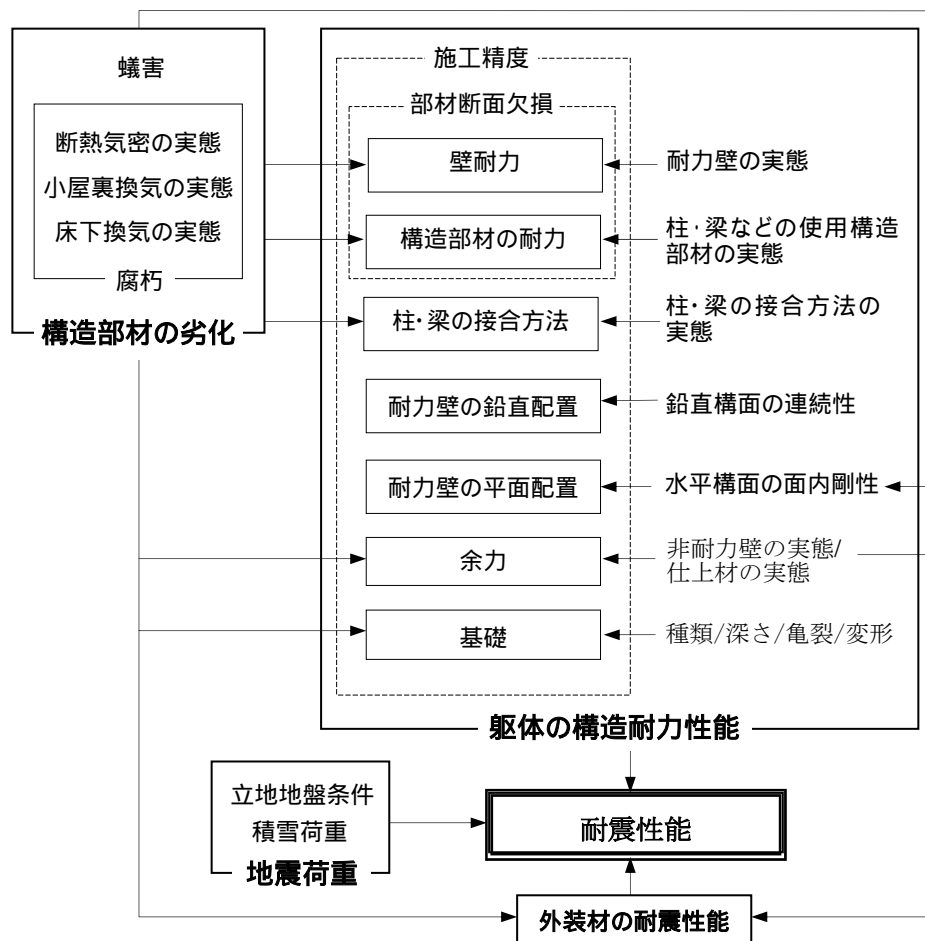


図 29 既存木造住宅の耐震性能評価に必要な諸情報と相互関係

b) 低刺激入力時の住宅の応答特性とそれによって評価可能な耐震性能項目

微小振動時の木造住宅の振動応答に含まれている情報は、微小変形領域から剛性を発揮する面材などに関する情報が主であり、筋かいなどの初期剛性の発現の低いものに関する情報は少ないとされている。常時微動測定によって木造住宅の補強効果を確認しようとする場合は、壁量増設による固有周期の短周期化は検出できても、接合部耐力の補強を中心としたときの補強効果は常時微動レベルの応答特性からは評価し難いとの報告もある。更には、固有周期と減衰定数が大きくなれば剛性とエネルギー吸収性能が高くなったと一般に評価できるが、微小振動領域では補強に伴い減衰定数が低下して行くとのデータも示されている。入力レベルが上がると長周期化することも確認されている。これらの報告は、振動入力レベルと木造住宅の応答特性の間に強い非線形性のあることを示すものであるが、微小振動時と比較的大きく振動した時との間の木造住宅の応答非線形性を定量的に評価しようとする試みは少ない。図 30 にこのような試みの一例を示す。

巨視的に見た住宅全体の剛性を推定するために常時微動測定が活用されているが、住宅の真の耐震性能を評価しようとする場合は降伏点を越えた後の靱性が重要な意味を持つのであり、

固有周期はこのような靱性とは全く無関係にある。従って、常時微動測定値から推定した住宅の固有周期は、住宅の剛性や強度特性を推定するには有効な手段となり得るが、真の耐震性能を判断するまでには至らないことに大きな課題が残されている。

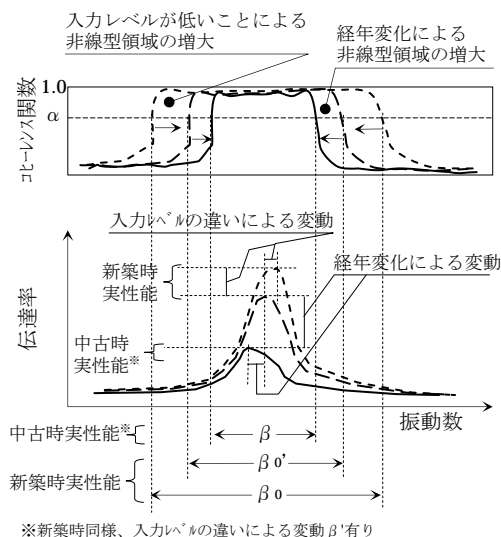


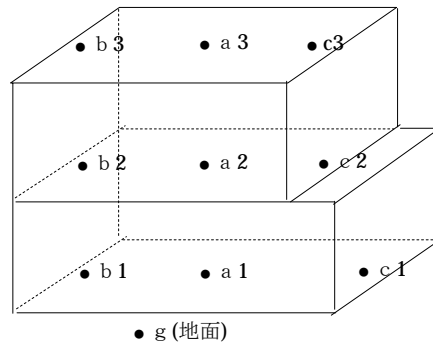
図 30 入力レベルの違い及び経年変化による伝達関数とコヒーレンス関数の分布変動の概念図

### c) 耐震性能評価のための実在住宅における振動測定法

現在、既存住宅全体の耐震性能を評価するための振動測定を実施するに当たって、換振器の設置箇所や起振箇所・起振レベルなどの測定法は明確になっていない。特に老朽化の進んだ既存木造住宅においては、換振器や起振器を床中央に設置した場合と梁や柱の直上に設置した場合では、床仕上げ材による影響はもちろんのこと、面内あるいは面外の床剛性や接合部などの影響量が、各々異なって計測されることは容易に推察できる。また、住宅の剛心位置や重心位置に換振器や起振器を設置できることは稀であり、並進振動やねじれ振動の成分等に配慮し、測定時の状況を明記して整理されていない報告が大多数を占める。本年度本研究における測定方法は、換振器は、極力、柱や壁などの躯体の近くに設置することとし、その際、使用中の住宅であることから、床面を傷つけないように床上に置くだけとしている。また、測定は2点同時測定とし、測定箇所とその組み合わせは住宅形状によりそれぞれ異なるが、上下階の壁や柱の配置に基づき、高さ方向の振動特性および同一平面におけるねじれ振動の計測を意識しての配置とした。測定箇所の組み合わせ例を図 31、写真 1 に示す。1回の測定時間は20～30秒とし、住宅1棟につき10回前後の計測回数となった。経験の有無を問わず、2、3名による計測で要した時間は、住宅1棟当たり2時間前後であった。所要時間の大半は、換振器とコンディショナ間の専用ケーブルの配線と巻き取り作業であり、今後ワイヤレスシステムが開発されれば、作業時間はほぼ半減し、居住者への負担も軽減され、診断法としてより一般化が図れ、多くのデータの蓄積が容易になるものと考えられる。入力レベルの違いにより固有周期が変動することも報告されていることから、今年度はこれまでに実測したデータを対象に、取得目的情報と



換振器・起振器の設置方法及び加振方法・起振レベルとの整合性を検証し、既存木造住宅の耐震診断を目的とした時のより適切な振動測定方法を検討する必要がある。



※測定箇所の組合わせ例

gとa3、gとa2、gとa1、gとb3、gとb2、gとb3、  
b3とc3、b2とc2、gとc2、  
c1とb3、b1とc3、c2とb3、b2とc3

図 31 測定組合せの一例



(1)室内の測定状況



(2)室内の測定状況:絨毯などの上からの計測は極力避けている



(3)地盤での計測



(4)居住者の理解が得られれば屋根上でも測定

写真 1 計測状況の一例

#### d) 外装材等の非構造部材の耐震安全性の評価方法

木造住宅における各施工段階での常時微動測定結果より、雑壁はもとより外装材や内装材などの非構造部材が住宅全体の振動特性へ大きな影響を及ぼすことが報告されている。これは、木造住宅においては、住宅全体の振動測定によって外装材又は外装留め付け部などの非構造部材の劣化情報なども入手し得る可能性のあることも意味するが、木造住宅外装構法の振動性状に関しては、健全な外張り断熱構法に関する若干のデータしか採取できていない(写真2)。脆

性的な力学特性を有する外装材構法の施された木造住宅において微小振動レベルで住宅全体の耐震性能を評価する場合、住宅の変形が進行した時の耐震性能を過大に評価してしまう可能性のあることが否めないことから、外装材等の非構造部材の振動特性・剛性評価に係る基礎データの蓄積が必要となる。



写真 2 外装構法の耐震性能評価のための基本振動特性把握実験の状況

e) 躯体の老朽化とそれに起因する構造耐力の低下の評価方法

木造住宅の耐久性能を評価する目的で、常時微動による振動特性を劣化度判定手法に結びつける試みがいくつか報告されているが、具体的な指標値を設定して定量的に評価するには至っていない。不朽に起因する構造耐力の低下は、応答スペクトルの形状変化に現れることまでは確認されているが、先に述べたように、常時微動レベルの応答情報だけからは、躯体の劣化に起因するものか、非構造部材の劣化に起因するものかを判断することは難しく、更には、スペクトル形状はスペクトル同定法により大きく異なることなどからも、多くの課題を残したまま現在に至っている。

## 5) 木造住家の簡易耐震診断による被害予測と耐震補強への活用

### a) 要約

木造家屋の耐震力の評価とそれに基づく補強方法の開発は、直接的な地震による人的被害軽減に結びつくことから、重要な防災対策の一つである。この観点から、本研究では耐震力評価として普及している「簡易耐震診断票」の信頼性に関する調査と現存する木造家屋の耐震力の調査を行った。調査地域は、1995年阪神大震災で被害の大きかった神戸市域と東海地震の発生で大きな被害が危惧されている愛知県である。

分析の結果、簡易耐震診断票の信頼性が確認されたが、東海地震による愛知県下の診断については、耐震力評価に基づく被害の予測については、今後、震度との関連で検討する必要があることを明らかにした。

### b) 目的

1995年阪神・淡路大震災では、死者の約9割近くが“圧死”であったといわれ、そのうちの約8割が木造家屋の倒壊などが原因で、被害軽減において最も重要となるのは木造家屋の耐震性のチェックとそれに基づく補強である。一方、東海地域ではマグニチュード8クラスの東海地震や東南海地震の発生が危惧されている。

以上のことから、本研究は、阪神・淡路大震災において被災した木造家屋を参考に簡易耐震診断を行い、簡易耐震診断票の信頼性・問題点を考察するとともに、その活用性を考え、今後東海地震などにおける木造家屋の被害予測と対策に役立てるためのものである。

### c) 研究方法

日本建築防災協会が開発した「簡易耐震診断票」を用いて、1995年阪神・淡路大震災で被災した神戸市の家屋の耐震力を求め、被害程度と耐震力の比較を行い、その信頼性を検討する。さらに、愛知県を中心とする東海地域に「簡易耐震診断票」を配布し、東海地域の木造家屋の耐震診断を行った。

なお、神戸市域における耐震診断はアンケートと公表されている被害報告書などから耐震力を算出した。

### d) 研究成果

#### (i) 阪神・淡路大震災による被害家屋と簡易耐震診断

##### イ) 木造家屋の被害について

阪神・淡路大震災において、最も被と密接な関係にあるのが建築年次であった。そこで、図32に建築年次による全壊ならびに滅失棟数率の推移を示した。図32より、木造系が他の2つの構造系と比べて被害率が高いことが明らかである。

次に、昭和 38 年～40 年ごろを境に木造系は全壊かつ滅失率が急激に下がっていることより、被害は築 30 年以上の建物に対し顕著に現れている。

一方、名古屋市における木造家屋の築年別割合は、図 33 に示したように、昭和 45 年以前の家屋が、全体の 42% を占めている。

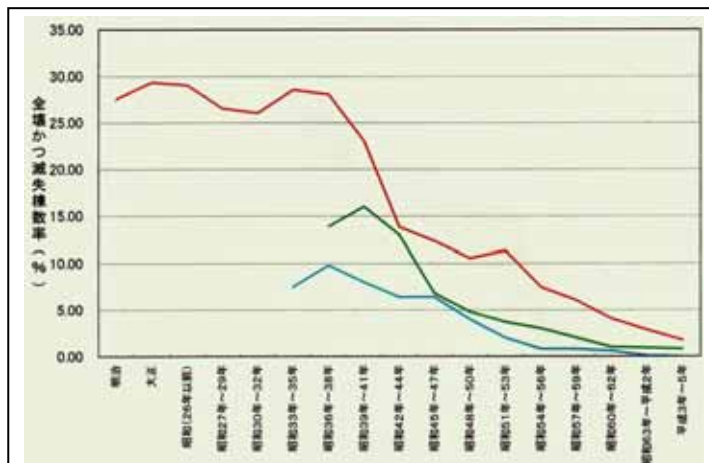


図 32 阪神大震災による年代別建築構造物の被害状況

ロ) 簡易耐震診断票の概要

現在使用されている木造家屋の簡易耐震診断票は、阪神・淡路大震災以後に見直されたもので、「基礎・地盤」「建物の形」「壁の配置」「筋交い」「壁の割合」「老朽度」の 6 項目にわけ、各評点を全てかけ合わせ耐震力を算出するものである。診断結果とその判定については、表 3 に示すような判定がされている。

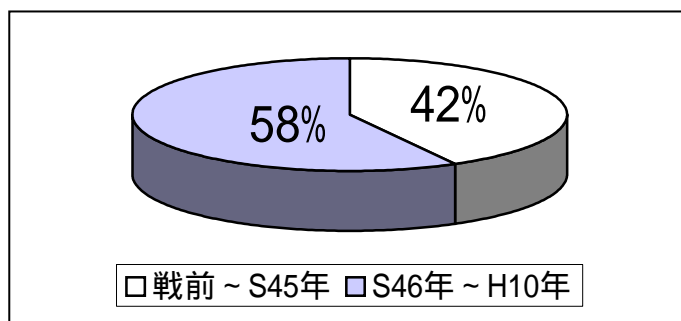


図 33 名古屋市における木造家屋の築年数

表 3 耐震力と診断判定結果

ランク	耐震力	判定	今後の対策
1	1.5 以上～	安全です	—
	1.0 以上～1.5 未満	一応安全です	専門家の精密診断を受ければ、なお安心です
3	0.7 以上～1.0 未満	やや危険です	専門家の精密診断を受けて下さい
4	0.7 未満	倒壊または大破壊の危険があります。	ぜひ専門家と補強について相談して下さい

ハ) 神戸地域における簡易耐震診断

阪神・淡路大震災によって、被災した木造家屋の耐震力を調べるにあたっては、坂本功監修りによる被害調査報告書を参考に、耐震力については家屋の平面図より、損傷度については被害の記載および写真よりを求めた。さらに現地にて、簡易耐震診断票を配布し調査を行った。この調査における家屋の分布地域は、図 34 に示す震度 7 地域とその周辺の震度 6 強の地域である。なお、損傷度については、表 4 のように定義した。

耐震力と損傷度との関係を図 35 と図 36 に示した。図 35 より、耐震力 1.0 以上では損傷度 50% 受けている家屋はほとんどない。一般に、耐震力が高ければ損傷度が低くなり、その境界耐震力は 1.0~1.5 となっている。

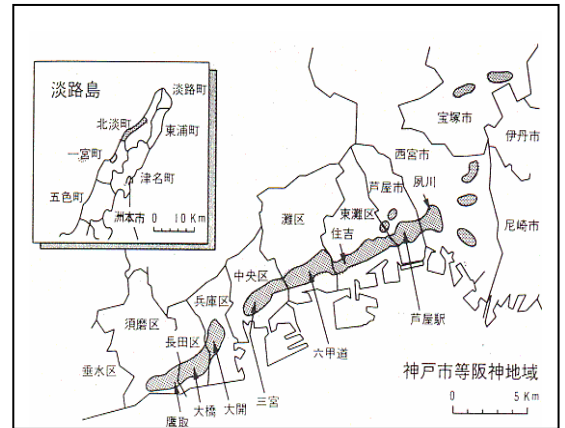


図 34 調査地域と震度 7 のエリア

表 4 損傷度に関する定義と被害事例

損傷度	被害度	言葉の定義	判断基準	写真例
100%	倒壊	完全に瓦礫状態となっているもの。また、1・2階ともに崩壊しているもの。		
80%		いずれかの階が層崩壊しているもの、または、隣に寄り掛かっており、隣の建物がなければ倒れるであろう建物。		
70%	大破	建物の修復が著しく困難で、ほとんどの場合、建て直すであろう程度の被害を受けたもの。おおむね、建物の残留傾斜が 1/20rad 以上。		
50%	中破	建物の修復が可能で、ほとんどの場合、修復して使用するであろう程度の被害を受けたもの。おおむね、建物の残留傾斜が 1/60~1/20rad。		
30%	小破	中破ほどの被害ではなく、建物の修復が可能で、ほぼ修復して使用するであろう程度の被害を受けたもの。おおむね、建物の残留傾斜が 1/60rad 以下。		
10%	軽微	軽微ではあるが、被害を受けているもの。外壁・基礎の小さなひび割れを含め、無被害ではないもの。		
0%	無被害	外見上被害が観測されないもの。	-	-

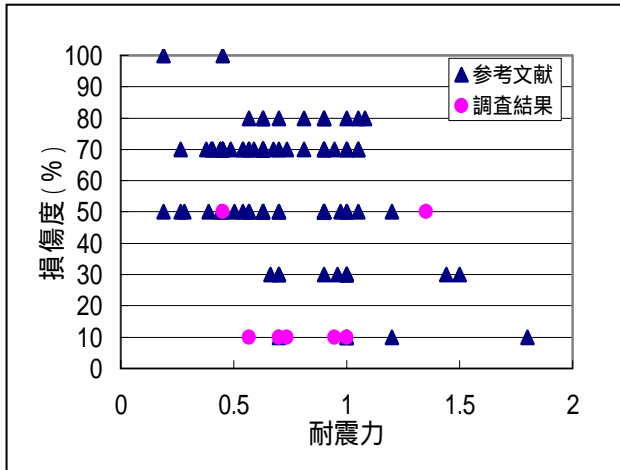


図 35 耐震力と損傷度の関係

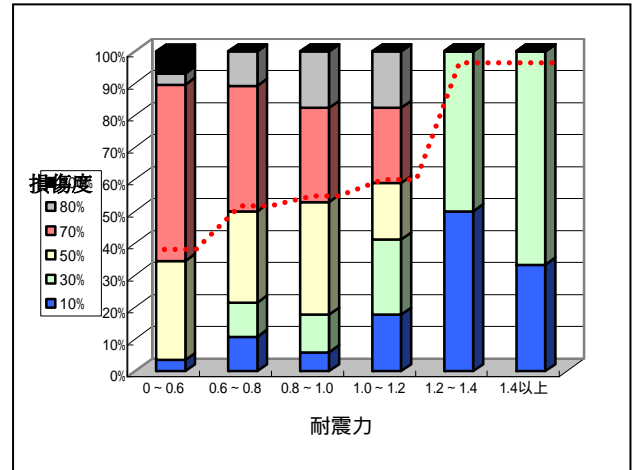


図 36 耐震力と損傷度の割合

図 36 に示した耐震力と損傷度関係から、一般的には耐震力が小さければ損傷度が高くなり、耐震力が大きければ損傷度は低くなる傾向になっている。しかし、一部の家屋では、耐震力がお大きいのに損傷度が高く、逆に耐震力が小さいけれども損傷度も低くなる点もいくつか見られる。

簡易耐震診断による耐震力と被害程度との整合性がとれない幾つかの家屋があるが、この原因として、①震度、②地盤被害による家屋の損傷、などが考えられる。しかし、診断票の耐震力 1.0 以上は「一応安全である」という診断判定結果と照らし合わせれば、簡易耐震診断票の信頼性は震度 6 以上の範囲において十分信頼性が高いと言える。

e) 東海地震を想定した木造家屋の耐震力

東海地震を想定した木造家屋の耐震力については、愛知県を中心とした東海 3 県を対象に 122 件の家屋について診断を行った。診断表票は前述と同じものである。その診断結果を図 37 に示す。

図 37 に示したように、耐震力が 1.0 以下の木造家屋は、全体の 69%にもなっており被害の発生が危惧される結果となった。

しかし、前述したうように、この診断票による耐震力は震度 6 以上となる地域において適用可能(信頼性が高い)であり、東海地震による愛知県下の予想震度は阪神大震災における神戸市域の震度とは大きく異なっている。

そこで、東海地震の震源パラメーター(中央防災会議による)を用いて東海 4 県の震度予想を行った。その結果を図 38 に、計測震度値で示した。なお、この予想震度は岐阜大・杉戸研究室によるもので、

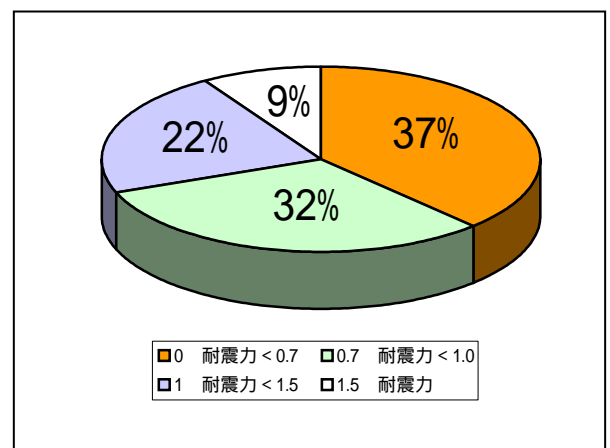


図 37 東海 3 県における木造家屋の耐震力

中央防災会議が発表した震度とは多少異なっている。

図 38 に示したように、静岡県の一部の地域や愛知県豊橋市などでは、震度 6 弱以上となり、簡易耐震診断による耐震力に基づく被害予測は可能であるが、それ以外の地域(震度 6 弱未満となる地域)では、直接的にこの耐震力を適用することは被害を過大評価することとなる。つまり、阪神・淡路大震災の震度より小さい地震を想定した場合には、現行の判断基準は高いものとなり、過剰判断になってくると考えられるのである。

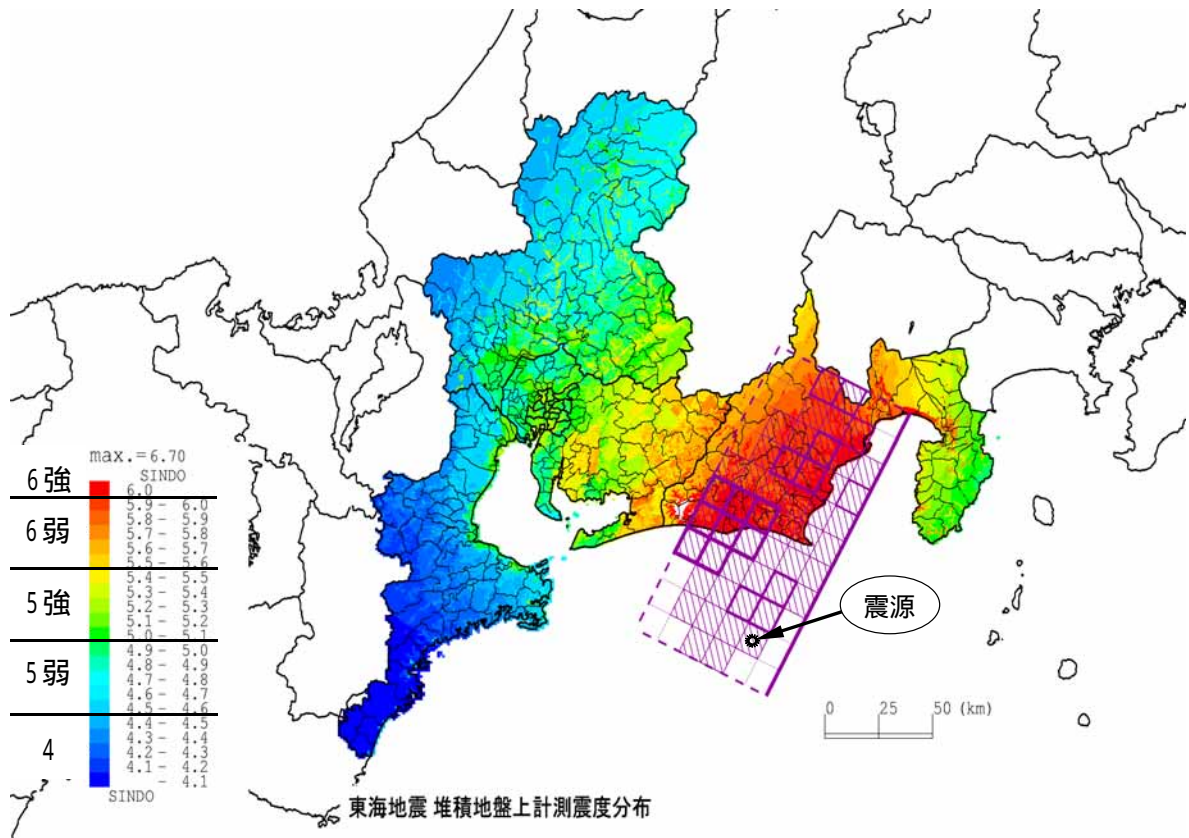


図 38 東海地震における予測震度分布図(岐阜大学・杉戸研究室提供)

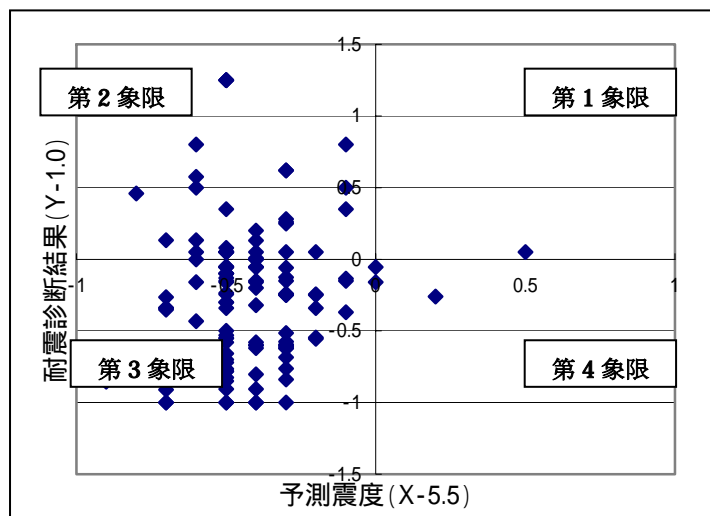


図 39 耐震力に基づく被害予測の一試案

そこで、図 39 のような補正震度と補正耐震力との関係図を考えてみた。これは、この耐震力の適用可能震度は、阪神大震災による木造家屋の被害分析から震度 6 弱(計測震度：5.5 以上)以上であり、耐震力は 1.0 以上で安全であるとの判定から、計測震度 5.5 と耐震力 1.0 を原点とするグラフである。

この図において、第 1 象限から第 4 象限に分布する家屋の被害程度は、以下のように推察できる。すなわち、

- 第 1 象限；震度も大きい、耐震力も大きい＝一応安全である
- 第 2 象限；震度は小さいが、耐震力は大きい＝安全である
- 第 3 象限；震度は小さいが、耐震力も小さい＝安全か？危険か？
- 第 4 象限；震度は大きい、耐震力は小さい＝極めて危険

である。この被害判定試案に基づいて調査結果をプロットすると、図 40 に示したように、第 3 象限と第 2 象限に分布する家屋が大半となっている。

特に、第 3 象限(安全か、危険か)に分布する木造家屋の被害判定は今後詳細な検討を要するが、被害予測のイメージとして、図 40 や図 41 に示すような判定基準も考えられる。両図とも図 35 の損傷度と耐震力の関係や震度 5 弱(計測震度 5.0 以下)以下では重大な被害が発生していないことを念頭に、計測震度 5.0 以下では安全であることを基本としたものである。

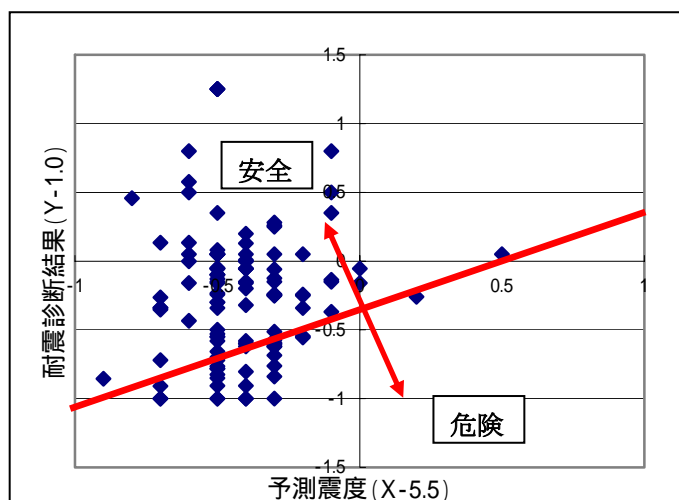


図 40 耐震力に基づく被害予測の詳細な試案(1)



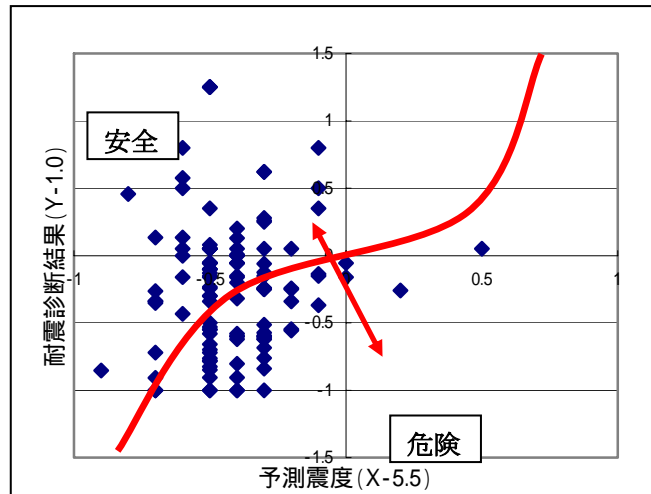


図 41 耐震力に基づく被害予測の詳細な試案(2)

今後、この図を具体化するために、既往の地震被害の詳細な分析とともに木造家屋の耐震力判定の精度を上げる必要もある。これらは今後の課題とする。

f) まとめと今後の課題

本研究は、現在使用されている木造家屋の簡易耐震診断票の信頼性とその問題点について考察し、被害予測への活用性について考究したものである。結果として以下のことが考えられた。

1. 現在使用されている簡易耐震診断票は阪神・淡路大震災以後に見直され作成されたものであるために、この診断によって出される判断がどこまで信頼できるものなのかわかっていなかった。そこで、阪神・淡路大震災を例に取り、震災により被害を受けた家屋に対して簡易耐震診断を行い、実際の被害と比較することで簡易耐震診断票の信頼性について考察した。その結果、現在の簡易耐震診断票によって求められる木造家屋の耐震力は、阪神・淡路大震災における震度6以上の範囲において信頼性の高いものであると考察できた。
2. 簡易耐震診断票を用いて、愛知県を中心とする東海3県における東海地震を想定した木造家屋の被害危険度を予想してみたところ、約7割近くが危険であると診断された。しかし、予想される東海地震による愛知県の予測震度は5弱～6弱であり、阪神・淡路大震災よりも震度が低いため、現在の診断票の判定基準は高いのではないかと、もしくは、家屋の耐震力だけで被害を判定するには問題点があるのではないかと、といったことが考えられた。そのため、現在の簡易耐震診断票を今後予想される地震に対して適用していくには、震度別に判断基準を考えるか、もしくは今の判断基準に予測震度や液状化危険度などを考慮した総合判定を考えて被害想定していかなければならないと考えられた。

以上、本研究において簡易耐震診断票の信頼性と問題点、そして今後の活用性について考察してきた。しかし、最終的に今後予想される震度の違う地震に対して活用する際の絶対的な判断基準や使用法を見出すまでには至っていない。そのため、今後は震度や地盤と耐震力の関係

などについてもっと深く研究し、予測震度の違う地震に対してもっと有効的な活用法を見出さなければならない。

g) 参考文献

- 1) 坂本功監修：阪神大震災に見る木造住宅と地震，鹿島出版会，1997
- 2) 神戸市・(財) 建設工学研究所：阪神・淡路大震災と神戸の地盤、(財) 建設工学研究所，1999
- 3) 岐阜大・杉戸研究室：東海地震における予測震度分布図(私信)

6) 簡易耐震診断法その他種構造形式への適用可能性

a) はじめに

木造家屋の地震時水平変形性状は、その構造形式と材料特性が多様なために極めて複雑であり、簡便な分類化も難しい。しかし、本研究の目的である現地実測を併用した簡便化耐震診断法を行うためには、許容される精度の範囲で構造形式を分類化し、振動性状との関係を把握することが肝要である。この際に、木造家屋であっても少なくとも基礎は鉄筋コンクリート構造であり、場合によっては鉄筋コンクリート造やブロック造の1階の上に木造を重ねた構造や、筋交や梁に鉄骨構造を部分的に用いるなど、他の構造種別との混合構造となっている場合が少なくない。更には、積極的に純粹の鉄筋コンクリート構造などの他の構造種別への本方式の将来的な展開を図る上でも、他の構造種別との関わりも念頭において、振動性状と耐震診断法との関係を把握する必要がある。ただし、いずれの構造種別においても架構全体の水平変形としてせん断変形が卓越すると予測される3階建て以下の低層建築物であり、立面形状におけるアスペクト比（軒高さ/1階全幅）2以下となる形状の建物を主たる対象とすることによって、振動性状や耐震診断法の共有化を図ることが出来るものと判断する。しかし、将来的には集合住宅への応用を考慮するならば、中高層建築をも視野に入れることが必要となろう。

b) 鉄筋コンクリート造

低層建物骨組み形式としては、ラーメン架構と壁式架構があり、振動性状は相当に異なる。すなわちラーメン架構では、各柱と梁の曲げ変形を基準としたラーメン架構としてのせん断型水平変形が卓越し、柱の伸縮による曲げ型変形は無視できる。この性状は、柱がせん断破壊しない限りでは、微小水平変形時から終局変形時までの高さ方向分布は相似的となるが、当然層剛性は変形の増大に伴って低下する。微動レベルでは、曲げひび割れが発生しても全ての部材に同時に発生するわけではなく随時の発生に対して徐々に剛性低下が低下することと、曲げひび割れは直ちには耐震性能に結びつかないため、たとえ剛性低下が測定できても、この剛性低下を耐震性能に関連付けることは容易ではない。しかし、現行の耐震診断でも最も簡易な1次診断では、柱および耐震壁それぞれの合計水平断面積が分かれば、耐力が推定できることから、微振動によって鉛直部材の水平断面積が得られれば、耐力推定につなげられる可能性がある。

これに対して壁式架構の場合は、無開口壁では一般に曲げ剛性およびせん断剛性が著しく高いために、せん断亀裂か曲げ亀裂が発生すると明確な剛性低下として現れるだけでなく、測定方法によってはその亀裂の種類も判別できる。せん断亀裂が進展するとせん断破壊に至り耐力劣化が顕著となるが、曲げ破壊が進展すると耐力低下が少なく変形性能が高い性状を示す。ただし、曲げ変形には壁脚の水平亀裂に伴う躯体の変形と基礎の回転に伴う場合があり、アスペクト比が大きくなると転倒問題が生じるが、本研究で扱う低層建築では対象外となるために、両者の区別は必ずしも要求されない。しかし、微小変形と終局変形は相似にはならない場合が多く、破壊モードを微小変形から推定する手法の開発が必要である。この場合にも、ラーメン構造で述べたように、壁の水平断面積が微小振動測定から推定できれば、1次診断レベルにおける耐力の推定に展開できることになる。

実際の鉄筋コンクリート構造物の耐震診断では、診断対象建物に使われているコンクリートの圧縮強度の把握が重要な要因となる。多くの場合には、コア抜き供試体の圧縮試験による実強度の確認や、シュミットハンマー試験による間接的な強度推定を行っている。後者は簡便化試験の1つである。本研究では、微振動計測機械を用いて現地建物のコンクリートの動弾性係数を合わせて測定する手法を提案したい。

#### c) 鉄骨構造

橋梁のように躯体のみで構成される鉄骨構造の場合は、接合部におけるボルトの緩みが無ければ、初期剛性を維持した弾性挙動が最初の部材降伏や座屈の発生時まで示されるので、微動時の挙動はこの範囲の力学性状を表すことになる。しかし、建築物では大量の仕上げ材で覆われるために、RC造に比べて剛性の小さい鉄骨造ではその影響が大きく、微動に現れる振動性状から躯体の力学性状を抽出する技術が必要になる。また、初期剛性が抽出されたとしても、これから直接的に水平耐力には結びつけられない。

地震時における鉄骨構造の破壊例から考察すると、接合部の破断、部材の座屈、極度の発錆に伴う断面欠損による耐力低下などが挙げられる。このうち接合部破断の要因としては、溶接部における各種の欠陥（サイズ不足、劣悪溶接技術、応力集中発生ディテールなど）と、ボルト接合部における断面欠損部の検討不足が多い。しかし、これらの要因は、微動計測では現れず、むしろ目視による調査の方が効果的であり、発錆状況についても同様である。これに対して、座屈のうち軸圧縮座屈については部材寸法と弾性計数が既知であれば、部材中央部に直交力を与えた際の撓み量から断面2次モーメントと両端固定度合いが分かり、オイラー式に代入して弾性座屈耐力が分かる性質を利用すれば、微動計測装置を部材中央に設置して振動数と振幅からこれらの値を推定する手法を開発すればよい。曲げ座屈についても概ね同様な手法が適用できるかもしれない。しかし、局部座屈は困難であろうし、むしろ鉄骨の断面寸法から算定する方が適切な耐力が推定できよう。

いずれの座屈形式を推定できたとしても個々の部材毎の性状であり、架構の水平耐力を求める必要がある。鉄骨構造は大きくトラス架構とラーメン架構に分けられる。ラーメン架構は、

構造設計時の保有耐力計算から分かるように、柱と梁の個々の部材について応力と耐力との対比から架構の破壊形式を推定して終局耐力を求めることになるので、その際の耐力評価には上述の手法は役立つであろう。しかし、初期微動と終局耐力との相関性は極めて小さいものと考えられ、実測事例を重ねてその可能性を検討するところから始める必要がある。トラス架構では、主としていずれかの部材の座屈によりその構面の耐力が決まる。しかし、部材数の多い架構の部材座屈耐力を上記の方法で推定することは実用的でなく、架構の微動計測から推定することが望まれるが、現時点での効果的な方法は見つけ難く、ラーメン架構と同様に実測事例を重ねてその可能性を検討するところから始める必要がある。

#### d) 補強コンクリートブロック造

コンクリートブロック（以下CB）を組積して鉄筋で補強した壁体の上下を、各階毎にRC梁で挟むこの構造形式は、戦後の我が国で北海道を中心として住宅に適用され発展してきた。構造的特徴は、個々のCBが目地材で接合されている事にあり、建設後に時間が経つとこの目地材に亀裂を生じ、水平剛性が低下すると共に場合によっては耐力低下をも引き起こす事がある。

目地亀裂の無い状態では、壁式鉄筋コンクリート構造の力学性状に近似しており、高い曲げせん断剛性を持ち、最終的には壁体のせん断破壊で水平耐力に達する。この水平耐力は、基本的には各層・各方向毎のCB水平断面積に比例的であり、更には、CBや目地材の圧縮強度、壁の立面形状と補強筋量、開口部形状と周辺補強法、RC梁強度、スラブの有無などにも支配される。CB水平断面積の量が直接的に水平初期剛性に比例するために、微動計測によってその量は推定できやすい。また、目地亀裂の有無が比較的顕著に剛性に現れるので、目地亀裂の発生が目地材の強度や施工精度に伴う壁体強度と関連するものであれば、この目地亀裂による剛性低下度合いを測定できればよいことになる。本研究では、木造建物を対象とした際に、建物の固有周期とその不安定性から水平剛性と接合部の固定程度を推定する手法を提案しており、この手法を発展させれば補強CB造の固有周期と亀裂の発生度合いを推定する事ができるものと考えられる。

また、CB素材の圧縮強度は、コンクリート構造の項でも述べたように、動弾性係数の測定を微動計測の手法から同時に行うことの可能性が高く、同様に個々の壁を対象にして亀裂の有無も測定できよう。

#### e) 木造と他の構造種別との関係

上部構造における木造架構形式は、①梁よび柱部材の曲げ変形応力を期待するラーメン架構、②梁・柱・筋交いの軸変形応力を期待するトラス架構、③合板パネルのせん断抵抗を期待する平板構造があり、④現実にはこれらが組み合わされて持いられている。

上記①のラーメン架構は、古建築では神社や城郭建築などで、現代建築では集成材を用いた大規模建築などで大断面柱・梁構造を使用した場合には、鉄筋コンクリート造ラーメン架構に類

似した仕口剛性の高い架構となる。しかし、住宅における小断面部材では仕口剛性が確保できないために、合板を用いない場合には②の筋違を用いて水平耐力を確保することになり、結果的には不完全ラーメン架構（仕口剛性が弾性的）とトラス架構の組み合わせ④になっている。この構造における固有周期とその不安定性は高いことが予測できる。同一規模の架構に対しては、固有周期が短いほど、すなわち水平剛性が高いほど筋違が多く使われ、接合部剛性が高い事が推定できる。

上記③の合板パネル形式木構造の場合は、水平剛性の高いパネルを連続的に繋げた構造となり、パネル相互の接合が完全であれば、損傷の無いパネルの剛性は比較的安定しているため、パネル数に対応した剛性が得られ、固有周期も明瞭になり易い。しかし、合板や木枠が腐食していたり、合板と木枠との接合およびパネル周辺の接合が不足したりすると、固有周期が長くなるとともに、周期が不安定になる。これらの情報は、微動でも測定できるので、最も本研究の対象とする構造に適合している。ただし、コンクリート造壁式構造で述べたように、曲げ亀裂に対応した壁脚部の土台からの浮き上がり変形と、せん断亀裂に対応したパネル間の縦接合部のずれ変形が、顕著に剛性低下に影響する。したがって、これらの付加変形と終局水平耐力との関係を明確にすれば、本研究の簡易微動測定による耐震診断の応用が期待できる。なお、パネル形式には、ツーバイフォー型の現場で合板を枠組みに取り付ける方式と、工場生産型のプレファブ方式がある。

前者は横枠と縦枠が隣接パネルと共有化しているためにこの部分でのずれ変形が生じにくいですが、合板を枠に釘留めしているだけなので、合板と枠との間でのずれが生じやすい。後者は、合板は通常樹脂接着しているためずれが生じにくいですが、個々のパネルは現場で組み立てるので、この接合方式によってはずれ変形が生じやすくなる。このように両者には構造的な相違があり、微少変形時の挙動と終局強度との関係を把握することが重要となる。

#### f) 結 語

本年度は、他の構造種別として鉄筋コンクリート造、鉄骨造、補強コンクリートブロック造を対象として、それぞれの構造における変形特性と破壊時性状を考慮して、本研究の目指す簡易耐震診断技術の応用を検討した。即ち、高感度振動計測器を用いた微振動測定を行って、建物の微少変形時における振動特性から大変形時における水平耐力を推定する手法を用いるもので、上記3者の中では補強コンクリートブロック造の場合に、最も適用の可能性が高いことが分かった。これは、無亀裂状態の壁構造体における高剛性と、ブロック間の目地亀裂による顕著な剛性低下が、微振動レベルでも計測が可能であり、その剛性低下が水平耐力とも関連しうると考えるためである。また、ブロック強度は、動弾性係数と圧縮強度との関係に関する理論を応用して、上記の高感度振動計測器を用いて測定することを提案している。今後はこれらの性状の妥当性を検証し、微振動特性と水平耐力との相関性を実測資料に基づいて把握することが次の作業となる。

#### (d) 今後の課題

今年度の業務成果を本研究テーマに照らし合わせ、研究遂行上、いくつかの問題点が見えてきた。次年度以降への課題として、整理しておく。

- ・の常時微動や小型起震機による耐震診断法では十分に評価できない要素が判明した。特に、接合部仕様の違いは、耐震性への影響が大きく、また微小応力レベルではその影響を実測するのも現時点ではかなりの困難が予想される。実測結果に間接的情報（たとえば、建築年、住宅金融公庫標準仕様の適合等）を加味するなどの新たな視点の導入も考える必要があるかもしれない。
- ・時微動で耐震診断を評価するための測定法で気を付けねばならないこととして、住宅の並進運動やねじれ振動成分に配慮し、換振器は極力柱や壁などの躯体の近くに設置することが望ましいことが指摘された。
- ・一般に、診断結果は、耐震性に関する建築物のポテンシャルを表現しているのみである。実際の被害は入力の大さきも関わってくるものであり、建物の危険性は耐震診断値に入力の大さきを合わせて考えることにより評価されるべきものである。そのような視点で診断結果を見直す必要性が出てこよう。
- ・木造住家も近年、その混構造化が進み、また、基礎部分は補強 RC 造が一般的になってくるなど、純粋の木造住家は地域によってはむしろ希な存在となりつつある。このような時代背景を踏まえるならば、他の構造形式においても共通に診断可能な方法の開発が、今後重要となって来るであろう。
- ・従来からの常時微動測定による耐震診断法に替わるものとして、建物の微小振動の挙動複雑性（カオス性）から耐震診断の可能性が示唆された。しかし現時点では、その有効性はかなり限定された構造形式での確認に留まっている。また、解析法においても一つの方法で確認しているのみであり、解析パラメータを変えることによる評価結果の安定性などについては、未確認である。評価事例を増やすと共に、解析法についてもパラメトリックな検討が必要である。

#### (e) 引用文献

木造建築物の耐震診断上の問題点に関する引用文献

- 1) 矢永国良, 佐々木義久, 平井卓郎: 鉛直荷重および脚部接合耐力を考慮した面材釘打ち耐力壁のせん断耐力評価, 木材学会誌, **48(3)**, 152-159, 2002.
- 2) (財) 日本住宅・木材技術センター: 木造軸組構法住宅接合部設計技術開発事業報告書 (柱脚試験部会), (財) 日本住宅・木材技術センター, 1987.

既存住宅耐震性の経年変化に関する研究に関する引用文献

- 1) “木造住宅の耐震精密診断と補強方法” (財) 日本建築防災協会 1996. 1. 10 (増補)
- 2) 林勝朗、南慎一、他 2 名 “住宅耐久性研究開発－第 3 章: 腐朽等劣化防止に関する研究” 北海道立寒地建築研究所・調査研究報告 No. 41 1986. 3

- 3) 林勝朗、他 2 名 “木造住宅の振動特性に関する研究（常時微動測定による固有周期）” 日本建築学会大会梗概集 1992. 8
- 4) 林勝朗、他 2 名 “1982 年浦河沖地震における木造被害建物の耐震性能診断” 日本建築学会大会梗概集 1984. 10
- 5) 林勝朗、他 2 名 “1983 年日本海中部地震による木造建物の被害調査” 日本建築学会大会梗概集 1984. 10
- 6) 田中正明、木村隆一他 “CCD 非接触振動測定器（ユレトール）の性能確認試験” クリモト技報 No. 46 2002. 3

木造住家の簡易耐震診断による被害予測と耐震補強への活用に関する引用文献

- 1) 坂本功監修：阪神大震災に見る木造住宅と地震，鹿島出版会，1997
- 2) 神戸市・(財) 建設工学研究所：阪神・淡路大震災と神戸の地盤、(財) 建設工学研究所，1999
- 3) 岐阜大・杉戸研究室：東海地震における予測震度分布図(私信)

(f) 成果の論文発表・口頭発表など

1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
岡田成幸・高井伸雄・太田洋芳	木造住宅の簡易な耐震精密診断法の提案 - 微動のカオス的解釈による -	第 11 回日本地震工学シンポジウム講演論文集	2002 年

(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

出願中：木造建築物の耐震診断法，特願 2002-101922, 2002

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 15 年度業務計画案**

(a) 業務計画、実施計画

家屋の微振動を観測するための複数の計測システムを構成し、多地域において従来の耐震精密診断との結果照合を行い、計測法および解析法の改善を試みる。また、木造実大実験結果も有効利用し、改善に役立てる。

(b) 目標とする成果

上記計画に則り、耐震診断のための計測法・計測システム構成・解析法の改善案を提案する。