

### 3.4.8 既存木造建物の強度調査

#### 目 次

##### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 2 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成 15 年度業務目的

##### (2) 平成 15 年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
  - 1) 新潟県与板町の町営住宅調査
  - 2) 経年劣化を生じた部材及び接合部の強度試験
- (c) 業務の成果
  - 1) 新潟県与板町の町営住宅調査
  - 2) 経年劣化を生じた部材及び接合部の強度試験
- (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 16 年度業務計画案

## (1) 業務の内容

(a) 業務題目 既存木造建物の強度調査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
独立行政法人森林総合研究所	領域長	神谷文夫	fkamiya@ffpri.affrc.go.jp
	チーム長	杉本健一	sugimoto@ffpri.affrc.go.jp
	チーム長	長尾博文	hn0829@ffpri.affrc.go.jp

(c) 業務の目的

本研究では、既存木造住宅の現場における構造調査と視覚的及び非破壊的劣化度調査を行うとともに、部材と接合部を採取してその強度試験を行う。これにより求めた建物の微小振幅時の固有周期、荷重-変形関係、部材・接合部の劣化度、建物の耐力要素の量・配置等を解析することにより、経年変化による建物構造強度の劣化度推定法を開発するための基礎とする。

(d) 2 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成15年度：

- a) 既存木造住宅の強度試験及び劣化調査を実施する。
- b) 経年劣化部材及び接合部の強度試験を行う。

2) 平成16年度：

- a) 既存木造住宅の強度試験及び劣化調査を実施する。
- b) 経年劣化部材及び接合部の強度試験を行う。

(e) 平成15年度業務目的

- 1) 既存木造住宅の劣化と構造性能との関係を明らかにする目的で、木造住宅の構造性能実験（常時微動測定、ジャッキ等による静加力実験等）を行い、固有周期と建物の荷重-変形関係を求めるとともに、各部位の含水率、目視による劣化度、及び非破壊手法（例えばピロディン：バネで打ち込んだニードルの深さを測定）による物理的調査を行う。
- 2) 経年劣化を生じた部材及び接合部の強度試験を行い、上記の視覚的調査及び物理的調査結果との関係を把握することにより、経年劣化部材・接合部の保有強度推定法を開発する。

## (2) 平成15年度の成果

(a) 業務の要約

- 1) 新潟県与板町の町営住宅5棟（平屋建、築40年。A～E棟と呼称）の劣化調査及び構造性能実験を実施した。5棟は同じ建設年代でほぼ同じ間取りであったが、A棟を除いて増築部分が存在した。増築部の影響が少ないA棟とE棟を比較すると、A棟の方が劣化

が進んでおり含水率は高かった。常時微動測定による固有振動数はA棟の方が低く、E棟にある増築部分の影響が無視できないものの、A棟は劣化により剛性が低下した可能性がある。

- 2)経年劣化部材及び接合部の保有強度推定法を開発するため、ベイツガ供試材から仕分けたグループごとに、所定の試験体状態に達するように処理を開始した。健全な材料について生材及び気乾材のめり込み試験を実施した結果、各めり込み強度性能は乾燥されることによって平均値で13~34%増加することがわかった。また、めり込み強度性能を評価するパラメータとして、ピロディンによるピン打ち込み深さがヤング係数よりも有効であった。

## (b) 業務の実施方法

### 1)新潟県与板町の町営住宅調査

#### a)調査の目的

木造住宅の地震被害の要因の一つに構造部材の腐朽や蟻害が挙げられる<sup>1)</sup>。しかしながら、老朽化した建物は構造的にも古いものが多く、劣化による要因と壁量不足などの構造的な要因とを分離することが難しいため、木材の劣化が構造性能に与える影響のみを単独に、かつ定量的に把握することは困難である。過去に、既存木造住宅の劣化調査と構造性能実験を同時に行い、木材の劣化と構造性能との関係について考察した例はあるが、供試住宅の新築の状態での構造性能がわからないため、経年劣化により、調査した時点での構造性能が新築時に比べてどの程度低下しているのかを知ることができない。そこで、同じ建設年代、間取りの住戸が複数並んでいるところ、例えば市町村の公営住宅等の劣化状況と構造性能を調査すれば、新築時の構造性能が同じであると仮定して、それぞれの住戸の劣化状況の違いが構造性能の違いとして検出できるものと期待される。

森林総合研究所では、既存木造住宅の劣化と構造性能との関係を明らかにする目的で、新潟県与板町の町営住宅5棟が2003年7月末に解体されるとの情報を得て、建築研究所、東京大学大学院工学系研究科坂本研究室の協力の下、劣化調査(目視、含水率測定、ピロディン、レジストグラフによる)及び常時微動測定、人力加振後の減衰測定を実施した。

#### b)調査した住宅の概要

調査した住宅は図1に示す5棟(A~E棟と呼称)である。昭和38(1963)年に建築された2戸1棟の平屋建で、調査時点で築40年経過していた。5棟とも建設当初は図2に示す部分(床面積62.94m<sup>2</sup>)だけであったが、その後増築されている部分がある。住宅群の北西には山林が控え、東側は県道を挟み水田に面している。平成15(2003)年6月まで使用されていた。調査住宅の概要を表1に、外観の写真を写真1(a)~(e)に示す。

#### c)調査の概要

##### i)含水率測定及び劣化調査

解体に先立ち、(1)柱の含水率測定(胸高部の測定にMoco(Kett社製)、柱脚部の測定にサーベイマスタ(Protimeter社製)を使用)、(2)天井、壁、床荒板を一部撤去した状態での目視による劣化調査を実施した。

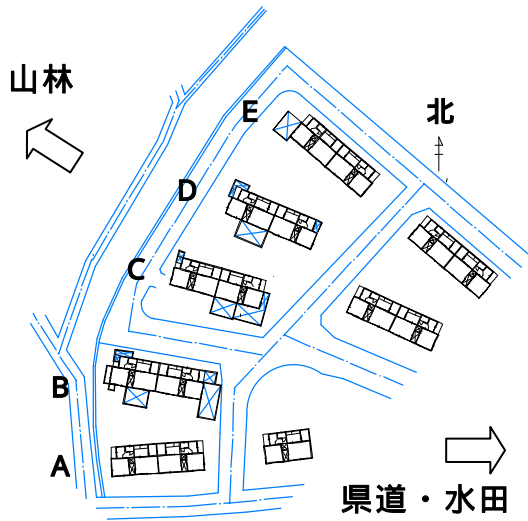


図1 調査した町営住宅（A～E棟）

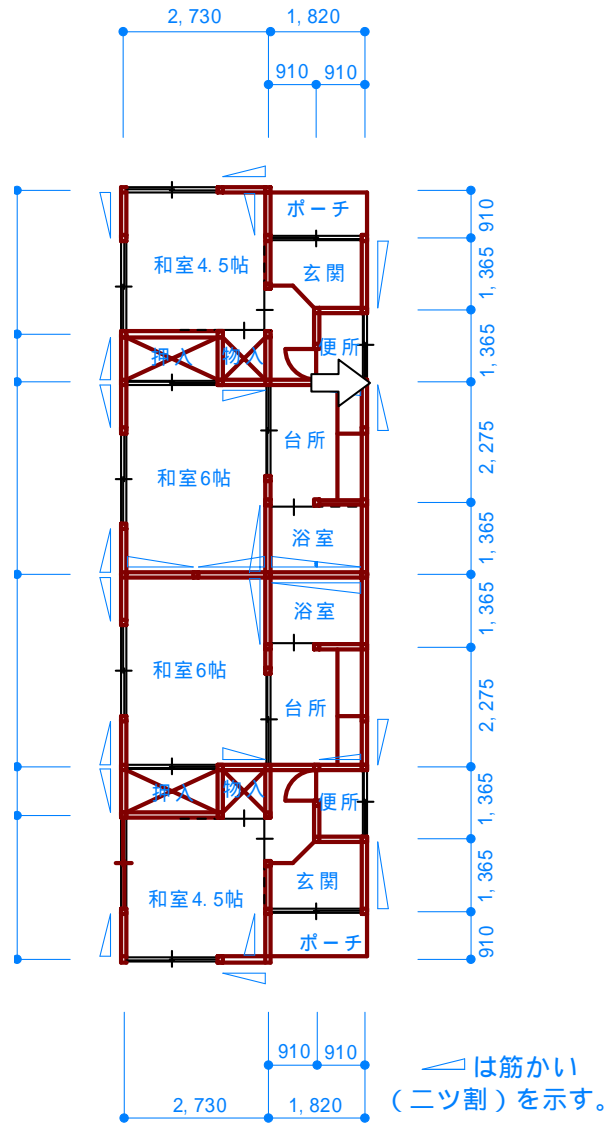


図2 平面図（建設当初から存在する部分）

表1 調査住宅の概要

構法	在来軸組構法、平屋建		
建設年代	1963年(増築部については不明)		
建築面積	62.94m <sup>2</sup> (建築当初からの部分)		
	梁間方向:4.55m、桁行方向:14.56m、軒高:2.93m		
主な仕様	（屋根）	鉄板葺(0.35mm)	勾配 3/10
	（外壁）	波板張り(一部、波板鉄板張り)	
		小壁:セメント板張り	
	（内壁）	インシュレーションボード張り	
	（基礎）	GLより高さ200mm	
	（床）	和室:荒板(12mm)+畳、台所・廊下:板(12mm)張り、便所:板(12mm)張り+クッションフロア(2mm)	
	（天井）	インシュレーションボードまたは合板、せっこうボード張り。浴室:ケイ酸カルシウム板張り。	
	（筋かい）	2ツ割。かすがい、もしくは釘2本留め。	
存在壁量	梁間方向	20.02m (界壁(浴室部分)のたすき掛け筋かいは一方が切れているので片筋かいと見なす。)	
	桁行方向	32.76m	
必要壁量 (施行令第46条地震力)	6.92m	壁量充足率	梁間方向 2.89
			桁行方向 4.73
	(張間方向風圧力)	14.2m	1.41
	(桁行方向風圧力)	4.37m	7.50



写真 1(a) A 棟

左より、西面(山側玄関)、南面、東面(道路側玄関)、北面



写真 1(b) B 棟

左より、西面(山側玄関)、南面、東面(道路側玄関)、北面



写真 1(c) C 棟

左より、西面(山側玄関)、南面、東面(道路側玄関)、北面



写真 1(d) D 棟

左より、西面(山側玄関)、南面、東面(道路側玄関)、北面



写真 1(e) E 棟

左より、北西面(山側玄関)、南西面、南東面(道路側側玄関)、北東面

ii)常時微動及び人力加振後の自由振動測定

解体前の状態で常時微動測定及び人力により強く押しすぐに手を放した直後の自由振動測定（人力加振と略）を実施した。測定には携帯用振動計（東京測振製、SPC-35。写真2）を用い、1回の測定にサーボ型速度計（同、VSE-15D）を6個設置し、配置をかえて常時微動は3パターン（A～C配置）、人力加振は2パターン（x方向加力はA配置及びB配置、y方向加力はA配置及びC配置）実施した。サンプリング200Hz、計測時間は常時微動120秒、人力加振60秒、ハイパスフィルタ0.1Hzとした。サーボ型速度計の配置と人力加振の位置を図3に、サーボ型速度計の設置例を写真3(a)～(c)に示す。



写真2 携帯用振動計



写真3 サervo型速度計の設置例

(a) A配置の ch1、ch2 (b) A配置の ch3、ch4 (c) A配置の ch5

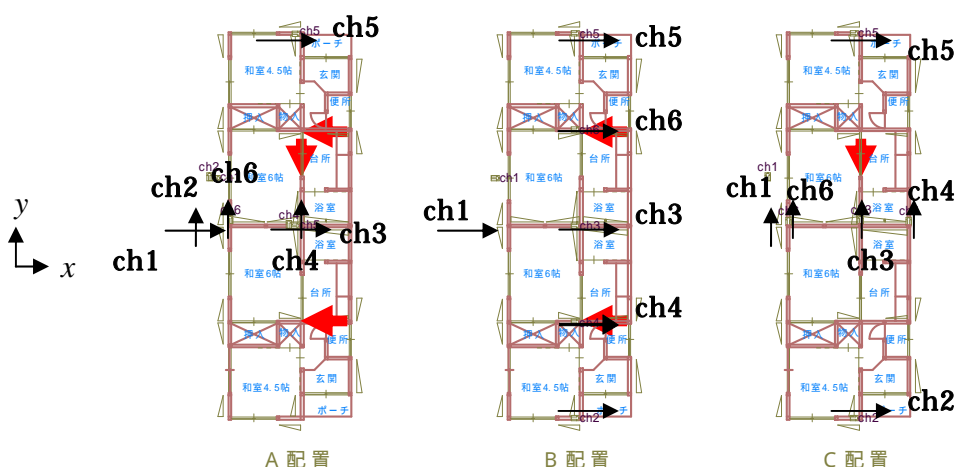


図3 サervo型速度計及び人力加振時の加力点の位置

← : 速度計の位置 (矢印の向きが+)    ← : 人力加振時の加力点の位置 (矢印の向きに加力)

2)経年劣化を生じた部材及び接合部の強度試験

a)供試材

- ・部材として土台を、接合部として土台・柱を想定
- ・樹種（土台）：ベイツガ
- ・断面寸法：105mm × 105mm × 3000mm
- ・供試体数：50本
- ・供試材は材料及び接合部試験で共有

b)試験体

すべての供試材について、めり込み及び接合強度に大きな影響を及ぼす密度の平均値と変動係数が等しくなるように、材料及び接合部試験時の水分状態が生材状態及び気乾材状態の2グループ、各25本ずつに振り分けた。なお、振り分けに使用した密度は、含水率変化に伴う膨潤あるいは収縮による材積変化を無視し、試験体を仕分け時に実測した含水率（MC）とみかけの密度（ $Densi_{AP}$ ）から次式によって算出した含水率15%時の気乾密度（ $Densi_{15}$ ）を用いた。また、各供試材グループの概要を表2に示した。

$$Densi_{15} = \frac{115}{100 + MC} \times Densi_{AP}$$

表2 各供試材グループの概要

	Green condition (n=25)			Dry condition (n=25)		
	MC	$Densi_{15}$	Efr	MC	$Densi_{15}$	Efr
	(%)	( $kg/m^3$ )	( $kN/mm^2$ )	(%)	( $kg/m^3$ )	( $kN/mm^2$ )
Mean	54.5	486	10.97	45.1	485	11.07
CV (%)	41.6	9.4	19.4	32.4	9.7	15.2

すべての供試材から、図4に示したように、健全な状態で試験を実施する材料及び接合部試験体、及び強制腐朽させた後に試験を実施する材料・接合部試験体を採用した。

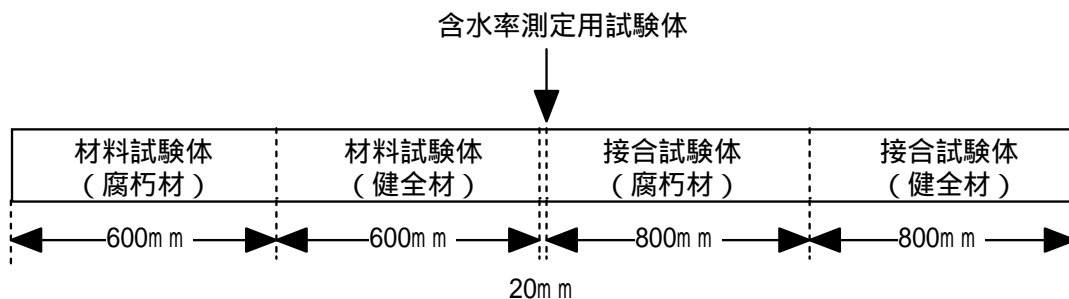


図4 供試材から各試験体の採取方法

c)試験方法

すべての材料試験体及び接合部試験体について、以下に示したような各グループの所定条件にしたがって処理を開始した。

- ・健全・生材グループ：スプリンクラー及び浸せき保存によって完全な生材状態に維持した（写真4、5）。
- ・健全・気乾材グループ：温湿度が外気とほぼ等しい実験室内において、天然乾燥を開始した。
- ・腐朽材（生・気乾）グループ：ファンガスセラーによる強制腐朽処理を開始した（写真6）。



写真4 スプリンクラー設置状況

写真5 浸せき保存状況

写真6 強制腐朽試験の状況

なお、接合部試験体については、図5に示したように、すべての試験体にL型（かど）金物1個、V P金物2個を取り付け、ボルト穴2カ所を加工した。なお、V P金物及びボルト穴については、それぞれ直交する面に加工及び施工を行った。また、強制腐朽させた後に生材状態及び気乾材状態で試験を実施する各試験体グループについては、それぞれの条件について、生材状態で施工したもの10体と強制腐朽開始時に施工するもの15体とを設定した。

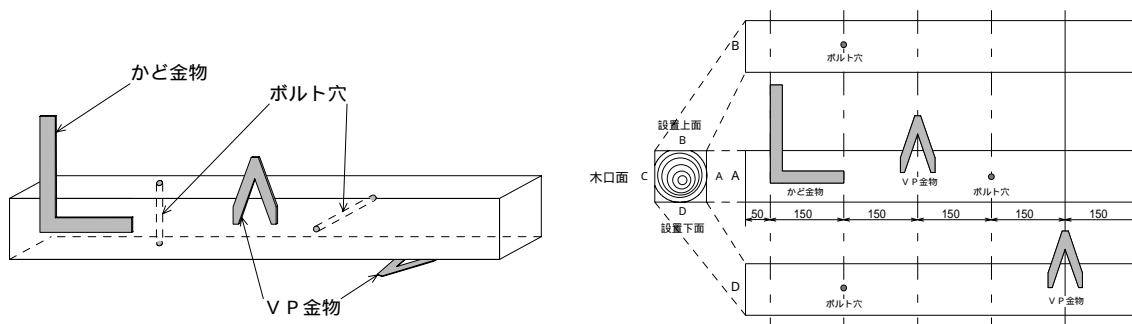


図5 接合部試験体の概要



また、生材及び気乾材の健全材料試験体について、ISO案である DIS13910 (2002年) にしたがった図6の方法で、めり込み試験を実施し、めり込み強さ、めり込み降伏強さ、及びめり込み剛性を算出した。なお、めり込み試験を実施する直前に、縦振動法によるヤング係数及びピロデインによるピン打ち込み深さを測定した。

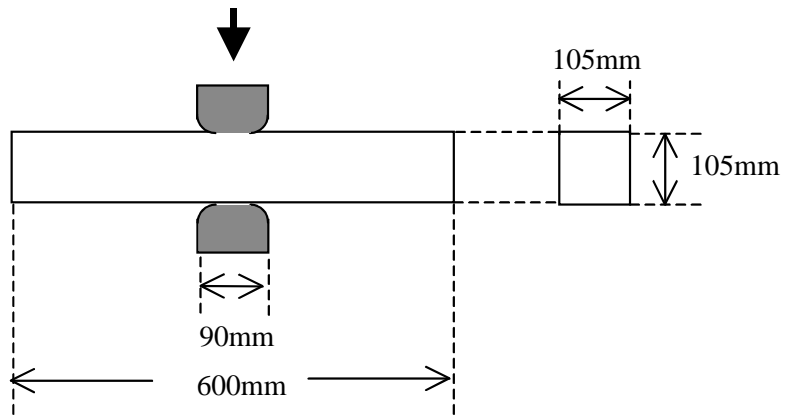


図6 めり込み試験方法

試験終了後、すべてのめり込み試験体から厚さ 20mm の試験体を 2 体採取した。1 体については全乾法による含水率 (MC) を測定した。もう 1 体については気乾密度を測定するために恒温恒湿室内において調湿中である。

(c) 業務の成果

1)新潟県与板町の町営住宅調査

a)含水率測定及び劣化調査

サーベイマスタで測定した柱の床上付近の含水率は 10~35%の範囲、Moco で測定した柱の胸高での含水率は 10~50%の範囲にあった。含水率は概して、山側の方が道路側より高い傾向にあり、特に A 棟山側で高かった。一例として図7に、A 棟及び E 棟のサーベイマスタで測定した柱の含水率を示す。

各棟の劣化の状況を表3及び図8(1)~(3)に示す。図表中の I~ は断面減少の程度を示し、 : 10%未満、 : 10~30%、 : 30~60%、 : 60~90%、 : 断面減少 90%以上である。E 棟を除いてシロアリの食害が観察された。A 棟山側での劣化が最も顕著であった。

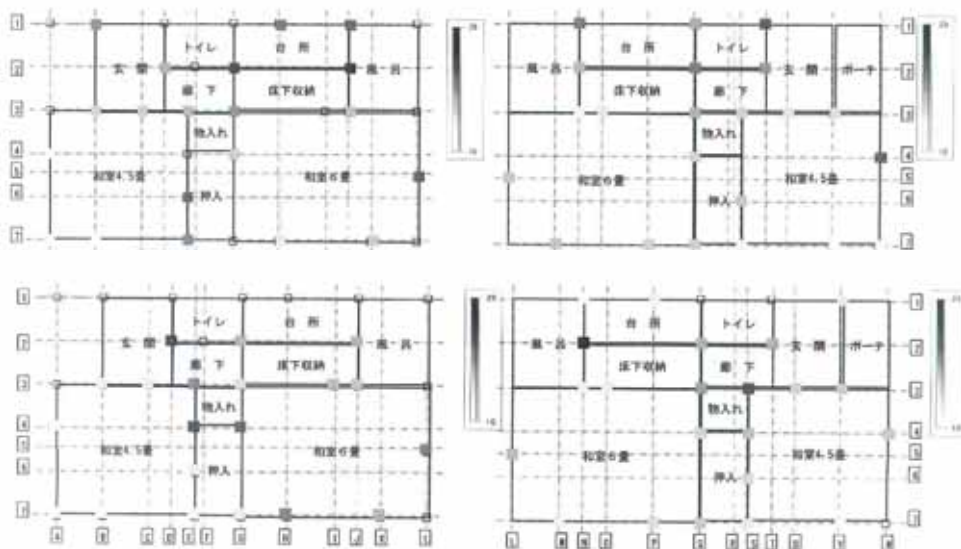


図7 A 棟及び E 棟のサーベイマスタで測定した含水率

表3 各棟の劣化状況

部屋名	部位	劣化度	被害の有無 (被害あり)	備考
A棟山側	和室4.5帖 柱120mm 床束1 床束2 床束3 根太1 根太2 根太3 畳寄せ1 畳寄せ2 畳 敷居 和室6帖 柱100mm 柱 柱20mm 添え柱 間柱10mm 1 間柱10mm 2 (浴室) 筋かい1130mm 1 筋かい1130mm 2 根太 床板 台所 床板(辺材) 柱20mm 柱30mm 床板80mm	(下が520mm), (下が570mm)		辺材60mm 上部30mm 合板・繊維板に 蟻道と食害 合板・繊維板に 蟻道と食害
A棟道路側	和室6帖 浴室 筋かい1140mm 土台			シロアリ確認
B棟山側	和室6帖 浴室 間柱 貴 筋かい 筋かい 土台	(端部), (間柱付近)		間仕切壁に蟻土(10~15cm) 下端 全長
B棟道路側	和室6帖 柱 床がまち 敷居 土台 台所 柱 床がまち 敷居 土台 敷居 床板	(下が525mm), (25mm)		
C棟山側	和室6帖 柱110mm 柱 筋かい110 畳寄せ 畳 土台 浴室 土台 敷居 台所 敷居			
C棟道路側	和室6帖 筋かい190 土台 床束 畳 土台 台所 土台 敷居 床板			下端10mm
D棟山側	和室6帖 浴室 柱 貴 筋かい 土台 敷居 台所 敷居			全長 全長
D棟道路側	和室4.5帖 和室6帖 筋かい 土台 台所	-		全長 全長
E棟山側	和室6帖 浴室 筋かい 間柱 貴 筋かい	-		床面から40cm 以上に褐色腐朽 カミキリ食害
E棟道路側				

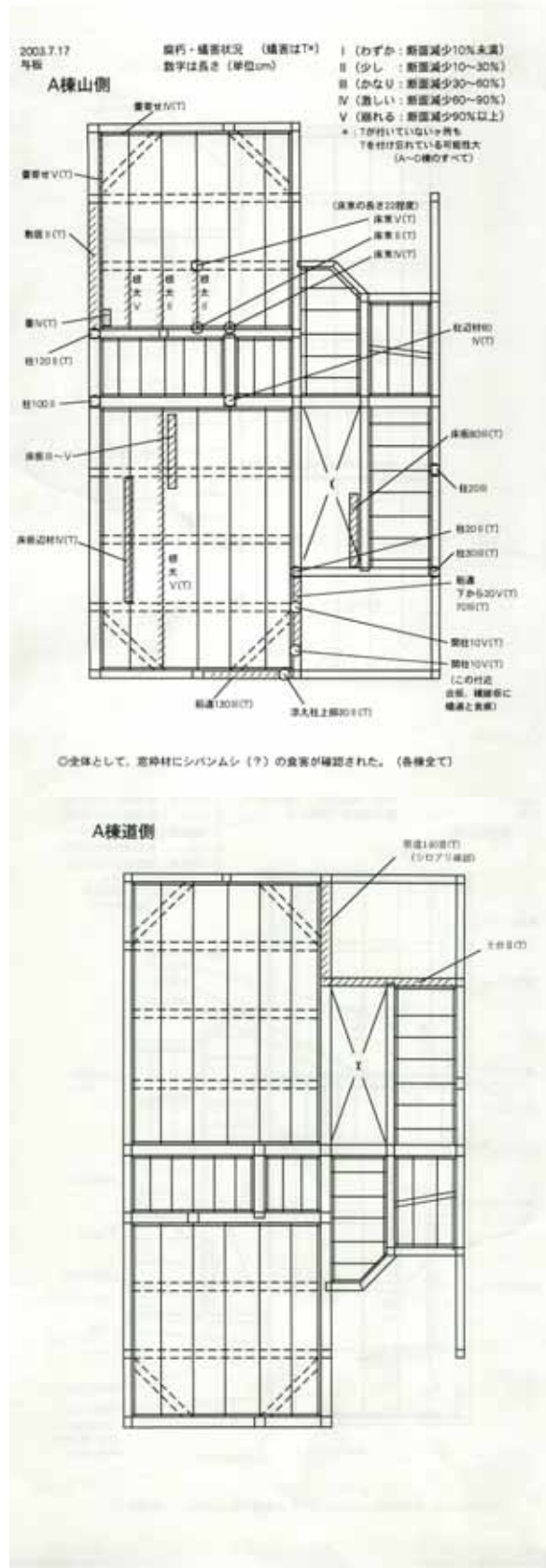


図8(1) 各棟の劣化状況

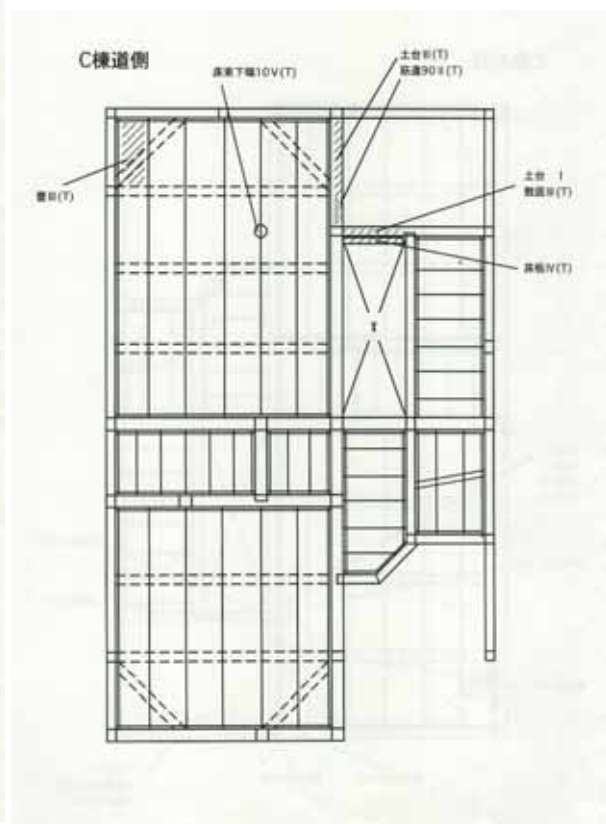
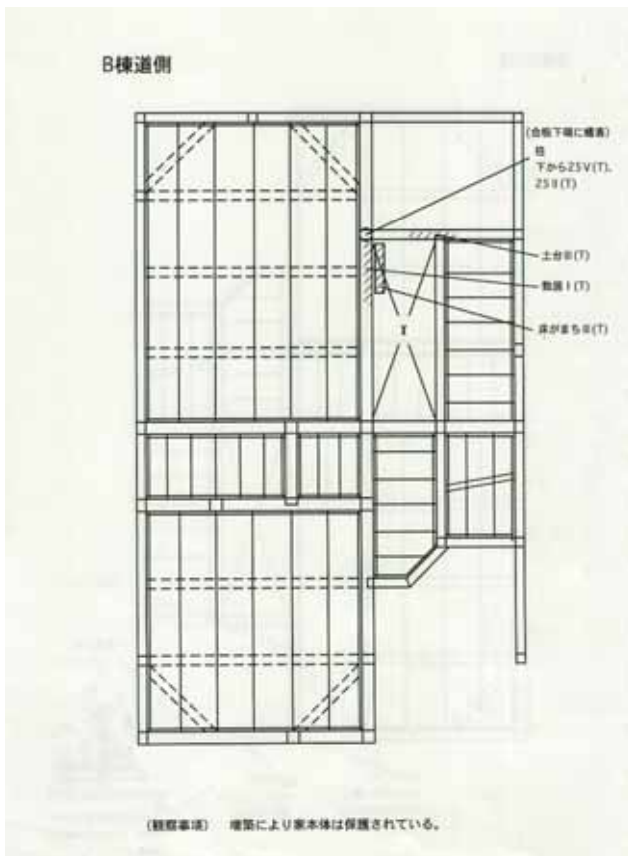
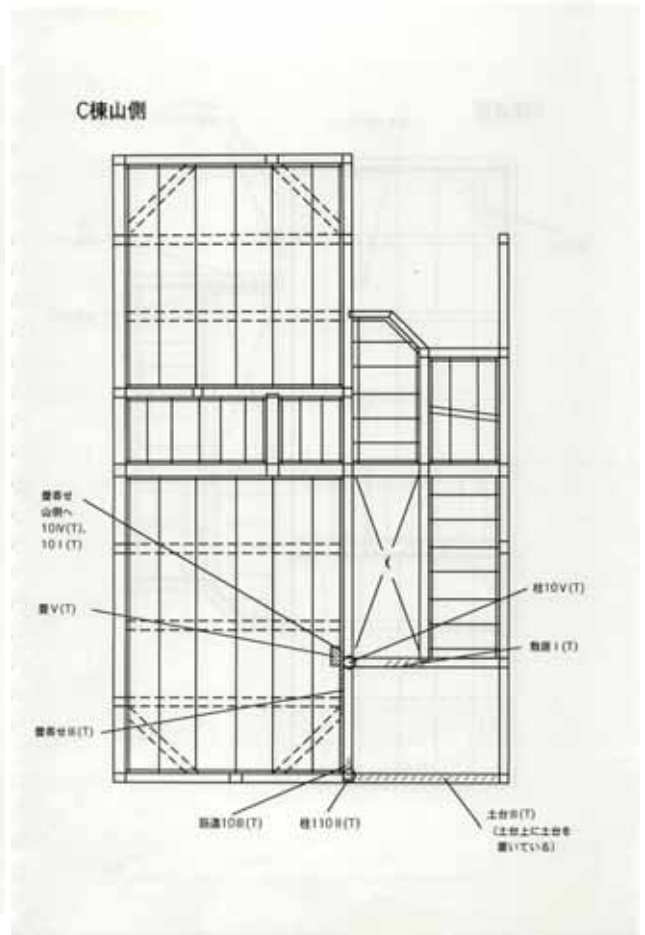
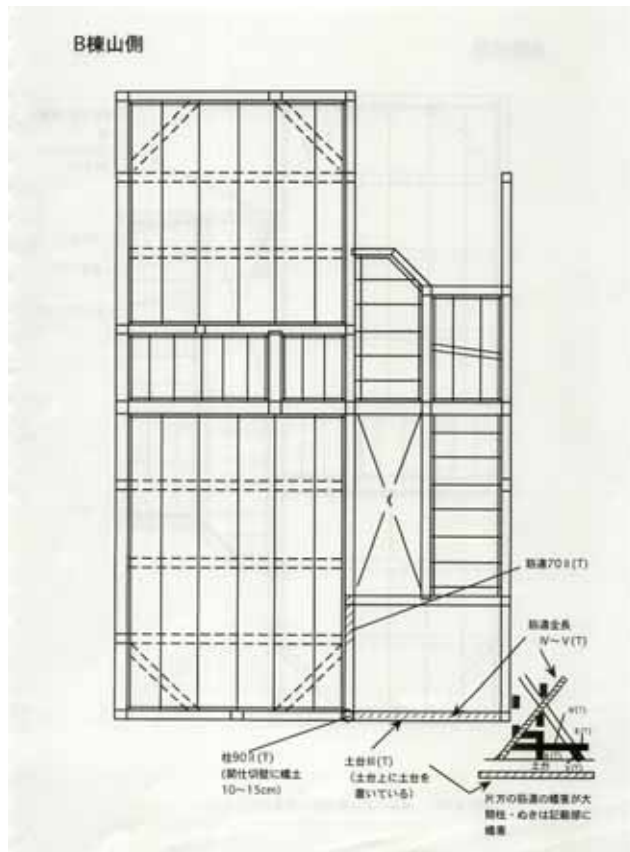
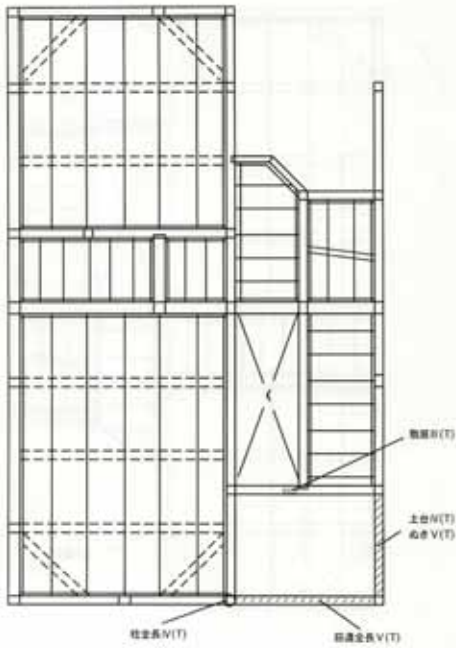
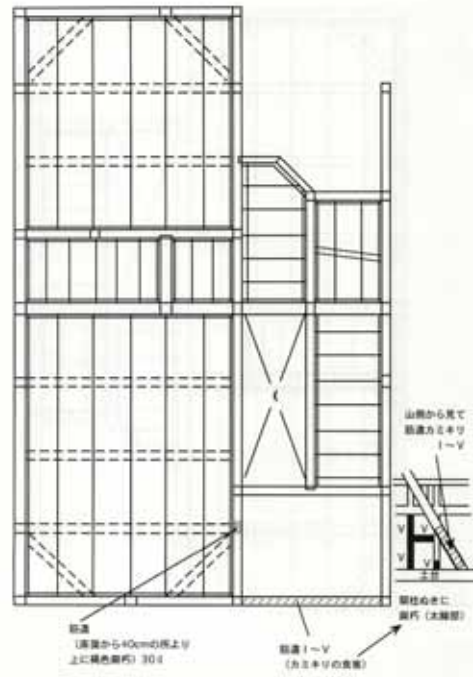


図8(2) 各棟の劣化状況

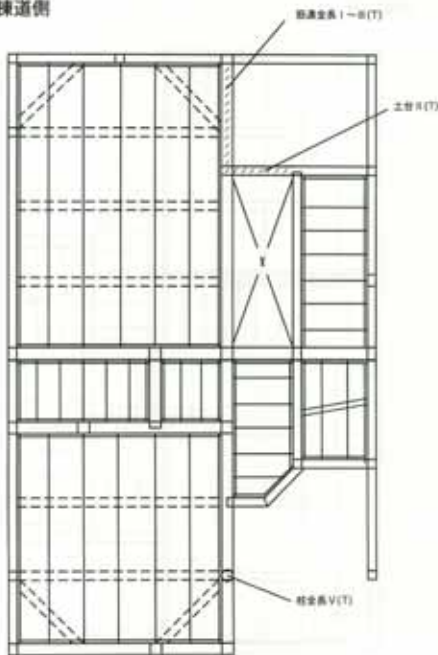
D棟山側



E棟山側



D棟道側



E棟道側

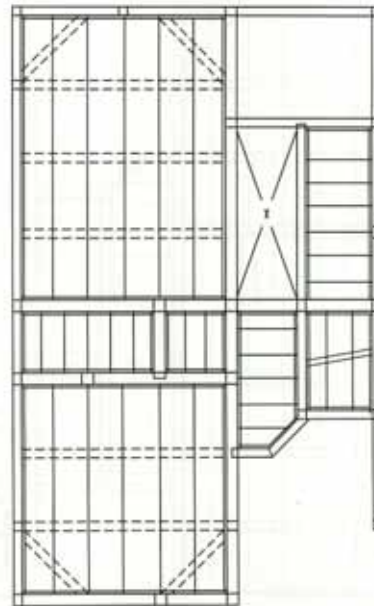


図 8 ( 3 ) 各棟の劣化状況

b)常時微動測定及び人力加振

増築部の影響が少ないA棟とE棟について、常時微動測定により求めた固有振動数及びモードを図9に、人力加振により求めた固有振動数及び減衰定数を表4及び表5に示す。常時微動測定による1次の固有振動数はE棟の方がA棟に比べて8~10%高かった。また、人力加振のx方向加力B配置時の固有振動数をみると、総じてE棟の方が高く、E棟山側に増築部分(車庫)がある影響を考慮しなければならないものの、劣化により剛性が低減した可能性がある。

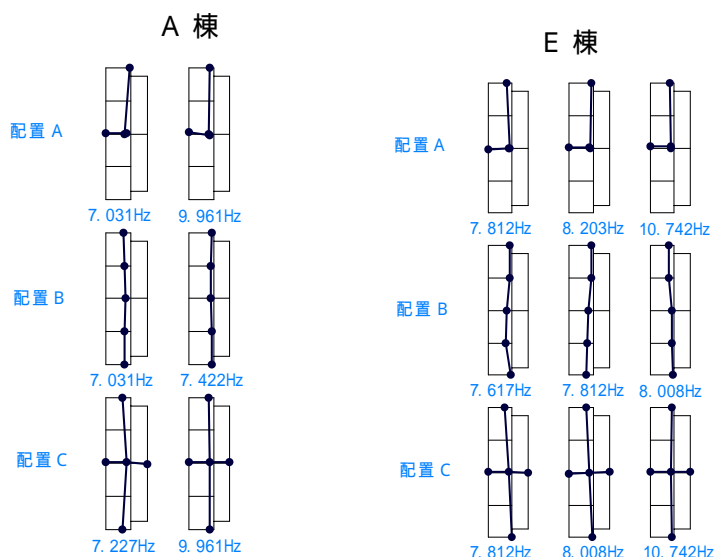


図9 A棟とE棟の固有振動数とモード

表4 人力加振により求めたA棟とE棟の固有振動数

	ch3	ch4	ch5	ch6	
A棟X方向A	6.67	6.72	6.71	6.82	(単位: Hz)
E棟X方向A	7.54	7.52	6.06	7.61	
	ch3	ch4	ch5	ch6	
A棟Y方向A	7.47	10.08	7.13	9.49	
E棟Y方向A	7.87	8.14	8.09	8.14	
	ch2	ch3	ch4	ch5	ch6
A棟X方向B	7.08	7.07	7.09	6.75	6.82
E棟X方向B	7.85	8.05	7.48	7.97	8.00
A棟Y方向C	7.42	9.88	9.80	7.01	10.00
E棟Y方向C	6.93	8.00	9.68	8.04	8.14

表5 人力加振により求めたA棟とE棟の減衰定数

	ch3	ch4	ch5	ch6	
A棟X方向A	0.08	0.04	0.05	0.03	
E棟X方向A	0.04	0.06	0.21	0.05	
	ch3	ch4	ch5	ch6	
A棟Y方向A	0.05	0.08	0.06	0.23	
E棟Y方向A	0.06	0.05	0.03	0.03	
	ch2	ch3	ch4	ch5	ch6
A棟X方向B	0.04	0.04	0.06	0.05	0.05
E棟X方向B	0.05	0.09	0.03	0.04	0.04
A棟Y方向C	0.05	0.08	0.06	0.04	0.15
E棟Y方向C	0.05	0.12	0.09	0.03	0.03

2) 経年劣化を生じた部材及び接合部の強度試験

健全な生材及び気乾材のめり込み試験結果の概要を表6、表7に示した。

含水率 (MC) が生材から気乾材に乾燥されたのに伴って、めり込み強さ ( $f_{c,90}$ )、めり込み降伏強さ ( $f_{c,90,y}$ )、及びめり込み剛性 ( $K_{c,90}$ ) は平均値で、それぞれ 23%、34%、13% 増加した。

表6 健全・生材のめり込み試験結果の概要

	MC (%)	Pilodyn (mm)	Efr (kN/mm <sup>2</sup> )	$f_{c,90}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{c,90,y}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$K_{c,90}$ (N/mm <sup>3</sup> )
Mean	76.6	16.3	10.47	7.20	4.47	2.28
Min.	46.0	11.0	7.58	4.09	2.69	1.16
Max.	163.9	23.8	15.67	10.60	6.75	4.73
CV (%)	35.4	18.3	20.5	23.2	24.0	37.2

表7 健全・気乾材のめり込み試験結果の概要

	MC (%)	Pilodyn (mm)	Efr (kN/mm <sup>2</sup> )	$f_{c,90}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{c,90,y}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$K_{c,90}$ (N/mm <sup>3</sup> )
Mean	14.5	9.2	13.04	8.87	6.00	2.57
Min.	13.7	7.3	8.76	6.31	4.27	1.41
Max.	15.0	12.5	16.11	13.16	9.53	5.07
CV (%)	2.3	12.8	15.5	21.2	21.6	37.7

ピロディンによるピン打ち込み深さとめり込み強度性能との関係を図10に示した。生材と気乾材の全体の結果からみると、ピン打ち込み深さはめり込み強度性能を評価するためのパラメータとして有効であることが認められる。しかし、気乾材のみの結果でみると、ピン打ち込み深さの出現範囲が狭く、広いバラツキをもつ各めり込み強度性能を評価することは難しいことが伺える。この点について、お互いの値で関連すると考えられる気乾密度を現在調湿中の試験体から測定した後、検討する必要がある。

一方、縦振動法によるヤング係数 (Efr) については、全体の結果をみる (図11) と、ヤング係数の増加に伴ってめり込み強度性能が大きくなる傾向はみられるが、ピン打ち込み深さに比べて明確な関係は認められなかった。

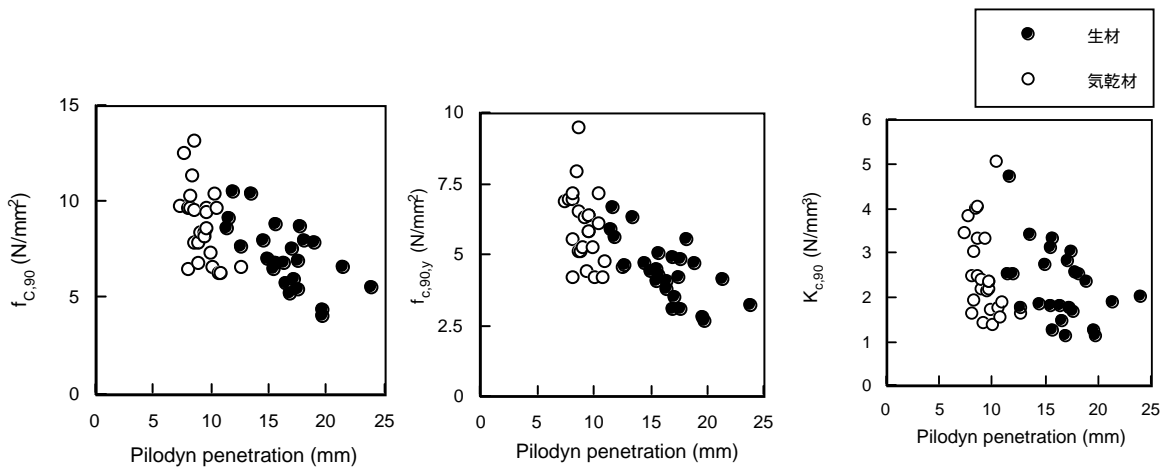


図 10 ピロディンによるピン打ち込み深さとめり込み強度性能との関係

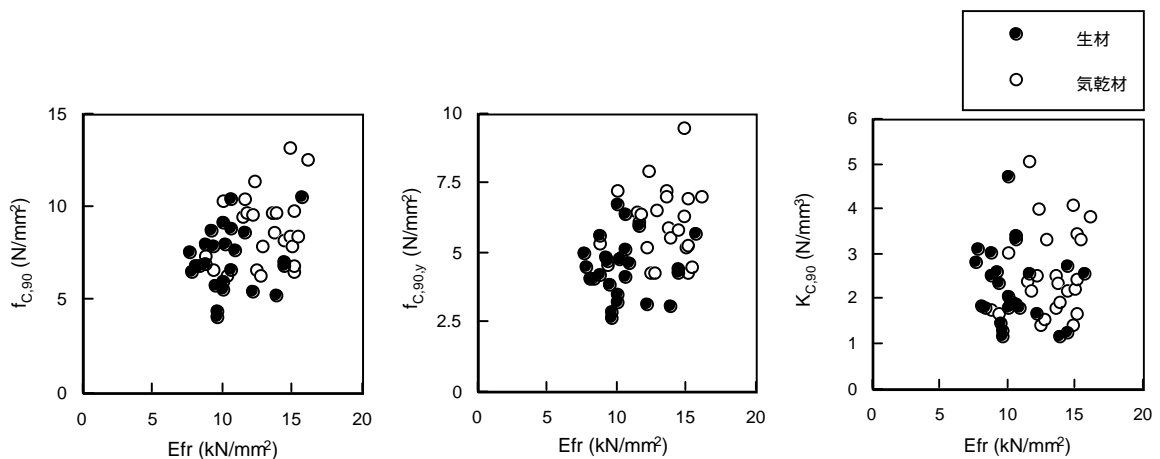


図 11 縦振動法によるヤング係数とめり込み強度性能との関係

(d) 結論ならびに今後の課題

- 1) 増築部分の影響が排除できないものの、劣化により建物の剛性が低下していることが示唆された。さらに調査事例を増やして、劣化が剛性に及ぼす影響を定量的に明らかにする必要がある。本調査では、時間的な制約があり常時微動測定と人力加振のみしか実施していない。常時微動測定により得られる建物の剛性は微小変位に対する剛性であり、より大きな変位に対する構造性能については起振機による強制振動実験や静的加力実験による検討を要する。
- 2) ベイツガ供試材から仕分けた各グループの試験体ごとに、所定の試験体状態に達するように各処理を開始した。健全な生材・気乾材のめり込み試験を実施し、めり込み強度性能に及ぼす含水率の影響を明らかにした。ただし、材料及び接合部についての腐朽試験体については現在強制腐朽操作中であり、16年度に腐朽状況に応じて試験を実施し、腐朽材のめり込み強度及び接合強度推定法について検討する予定である。

(e) 引用文献

- 1) 日本建築学会編：阪神・淡路大震災調査報告 建築編-4 木造建築物 建築基礎構造、

p.78 , 1998.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
長尾博文 加藤英雄 井道裕史 渋沢龍也 槌本敬大	既存木造住宅部材の非破壊的手法による残存強度評価の可能性	第 53 回日本木材学会大会 研究発表要旨集、p99	2003.3

(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 16 年度業務計画案

(a) 業務計画

1)既存木造住宅の強度試験及び劣化度調査：

昨年と同様に、既存木造住宅の常時微動測定、及びジャッキ等による静加力試験を行い、固有周期と建物の荷重-変形関係を求める。同時に、各部位の含水率、目視による劣化度、及び非破壊手法（例えばピロディン：バネで打ち込んだニードルの深さを測定）による物理的調査を行う。

2)促進劣化部材及び接合部の強度試験：

促進劣化させた部材及び接合部の強度試験を行い、上記の視覚的調査及び物理的調査結果との関係を把握することにより、経年劣化部材・接合部の保有強度推定法を開発する。

(b) 実施方法

既存木造住宅の現場における構造調査と視覚的及び非破壊的劣化度調査を行うとともに、部材と接合部を採取してその強度試験を行う。

(c) 目標とする成果

建物の微小振幅時の固有周期、荷重-変形関係、部材・接合部の劣化度、建物の耐力要素の量・配置等を解析することにより、経年変化による建物構造強度の劣化度推定法を開発するための基礎とする。