

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) 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
 - 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17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

1) 平成15～16年度

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。

2) 平成17年度

本研究では、E-ディフェンスの震動台実験に供する既存木造住宅について、構造調査と視覚的及び非破壊的劣化度調査を行い、建物の微小振幅時の固有周期、部材・接合部の劣化度を求める。これらの調査結果から、経年変化による劣化を考慮した建物構造強度を推定し、振動台実験の結果によりその推定法の適合性を検証する。

(d) 3ヵ年の年次実施計画

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。

3) 平成17年度：

E-ディフェンスの震動台実験に供する既存木造住宅の構造性能調査及び劣化調査を実施する。

(e) 平成16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16年度の成果

(a) 業務の要約

- 1) 新潟県与板町の町営住宅2棟（平屋建、築41年。G、H棟と呼称）の劣化調査及び常時微動測定、静的加力実験を実施した。2棟は同じ年に建てられ、建設当初は同じ間取りであったが、両棟に形状の異なる増築部分が存在したので、これを撤去して構造性能を比較した。G棟にはH棟と比較して、筋かい1箇所、柱脚3箇所に著しい劣化が見られた。この程度の劣化の差で、剛性には常時微動の変位レベルで6~11%、層間変位1/120radのレベルで8%、最大耐力には5%の差が生じた。
- 2) 既存木造住宅の構造部材を対象に残存強度を評価する手法を開発する目的で、長期間の暴露によって腐朽を生じたベイツガ製材品のめり込み試験を行った。その結果、めり込み強度性能及び釘引き抜き抵抗は腐朽によって指数関数的に大きく減少することがわかった。また、めり込み強度性能及び釘引き抜き抵抗を評価する非破壊指標として、目視による6段階評価及びPilodynによるピン打ち込み深さが有効であることがわかった。

(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

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、平成15年度に新潟県与板町の町営住宅5棟の劣化調査（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、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を得て実施した。劣化調査の結果、定性的にみて5棟には劣化の差が認められ、常時微動測定により求めた固有振動数は劣化が進んでいる方が低い結果となり、劣化により剛性が低下した可能性が示唆された。しかしながら、調査住宅には1棟を除き、それぞれ形状の異なる増築部分が存在しており、この結果には劣化の影響だけでなく、増築部分の影響が含まれていた。また、実施した構造性能実験は、常時微動、人力加振のごく小さい変位レベルにとどまり、終局に近い状態の構造性能は明らかになっていなかった。

そこで平成16年度は、平成15年度に実施した5棟と同じ年に建てられ、建設当初の間取りが同じ2棟について、2棟それぞれに存在していた増築部分を撤去した上で構造性能実験を実施し、劣化が構造性能に及ぼす影響のみを抽出した。また、常時微動測定に加えて層間変位1/10radまでの静的水平加力実験を行い、調査住宅の大変形時の構造性能を明らかにした。

b) 調査方法

i) 調査住宅の概要

調査した住宅は図1及び写真1、2に示すG棟とH棟である。平面図を図2に、調査住宅の概要を表1に示す。昭和38(1963)年に建築された2戸1棟の平屋建てで、調査直前の平成16(2004)年5月まで使用されており、調査時点で築41年経過していた。2棟の間取りはほぼ同じであったが、G棟には県道側のポーチ・玄関脇に、H棟には山側の和室4.5畳の隣に増築部分が存在していた。写真3、4に増築部分撤去後のG棟及びH棟の状況を示す。

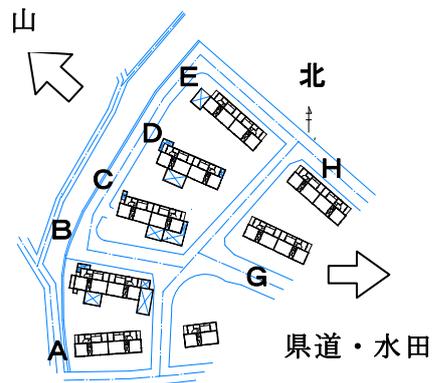


図1 調査住宅 (G、H棟)



写真1 G棟 (増築部分撤去前)

左より西面、南面、西面 (玄関右隣が増築部分)、北面



写真2 H棟 (増築部分撤去前)

左より北西面 (右側が増築部分)、南西面、南東面、北東面

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	62.94㎡(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		
(天井)	インシュレーションボードまたは合板、せつこうボード張り。浴室: ケイ酸カルシウム板張り。		
(筋かい)	2ツ割、かすかい、もしくは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
設計用建物重量	58kN (増築部分を除く。解体材の量及び荷重指針を基に算出。)		

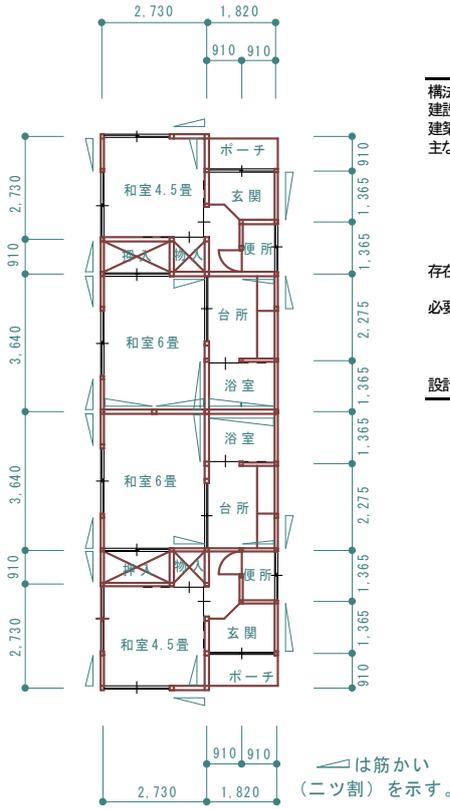


図 2 平面図
(増築部分を含まない)



写真 3 G棟(増築部分撤去後)
静的加力実験時



写真 4 H棟(増築部分撤去後)
静的加力実験時

ii) 常時微動測定

増築部分を撤去する前及び撤去後に常時微動測定を実施し、固有振動数を求めた。常時微動測定には携帯用振動計(東京測振製、SPC-35N)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、図3のように配置を変えて計3回の計測を実施した。サンプリング周波数 200Hz、計測時間 300秒、ハイパスフィルタ 0.1Hzとした。

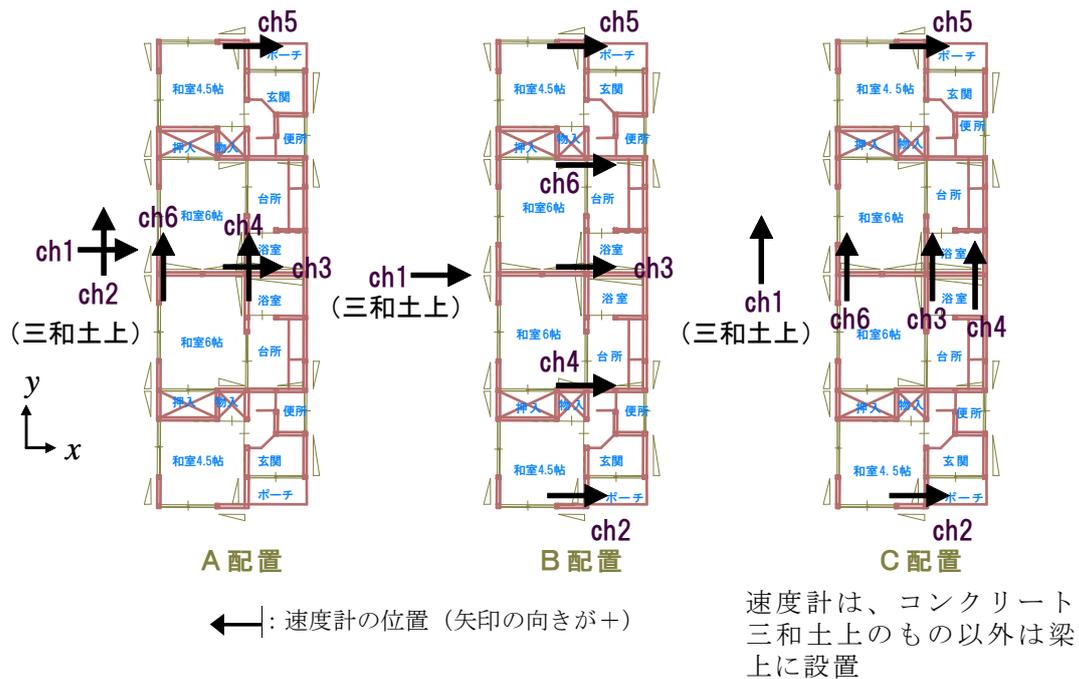


図3 センサ配置図
(ch1~ch6はサーボ型速度計の位置)

iii) 静的加力実験

加力の様子を写真5に示す。桁行方向の中央及び両端の3箇所を加力点とした。敷き梁及び加力点付近の小屋梁をナイロンスリングで巻き、これを、ロードセルを介してチェーンブロックと接続し、大型重機を反力として水平方向に引張った。水平方向の変位が1/200rad、1/100rad、1/50radに達した時点で一度除荷し、再度加力して、最終的に1/10radまで加力した時点で実験を終了した。



写真5 加力の様子

iv) 劣化調査

静的加力実験終了後、天井、壁、床を撤去し、目視により劣化状況を観察した。

2) 経年劣化を生じた部材及び接合部の強度試験

a) 試験体

長期間、屋外で曝露状態にあったベイツガ半割材（寸法：45mm×100mm×3000mm）10本を供試材として用いた。それぞれの供試材から健全材を含めて劣化の程度がばらつくように材長600mmの試験体をおおよそ5体ずつ、合計50体採取した。すべての試験体は外気とほぼ同様の温湿度状態にある屋内で約1ヶ月間静置して十分に気乾状態に達したと判断された後、以下の試験に供した。ただし、釘引き抜き抵抗試験については試験体採取後の調湿前に実施した。

b) 試験方法

すべての試験体について、密度および縦振動法によるヤング係数を測定した後、図4に示したように、材長方向を3区間に分け、各区間で4断面、すなわち、1試験体につき12材面において目視による劣化の6段階評価¹⁾（以下、目視評価）及びPilodynによるピン打ち込み深さ（Pin Penetration）を測定した。その後、ISO規格最終案であるFDIS13910²⁾にしたがってめり込み試験（図5）を実施し、めり込み剛性（Kc,90）、めり込み降伏強さ（fc,90y）、及びめり込み強さ（fc,90）を算出した。なお、同案でのめり込み強さは、試験体の破壊時の荷重及び荷重ヘッド間の変位が20mm時の荷重のうち小さい方の荷重によって算出されることが規定されている。しかし、腐朽材では破壊開始の判断が極めて困難であったため、すべての試験体について、20mm変位時の荷重からめり込み強さを算出した。

釘引き抜き試験は、材端から65mmの位置に材縁からZN90釘を打ち込み、直ちに引き抜いてその荷重を測定し、これを各試験体について、左右の2箇所で行った（写真6）。釘引き抜き試験は試験体調湿前に実施しているので、試験体の含水率は一定ではなく、繊維飽和点を越えたものも数多く含まれていたと推察される。

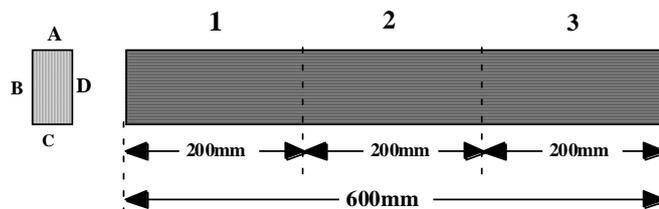


図4 目視およびPilodynによる評価位置

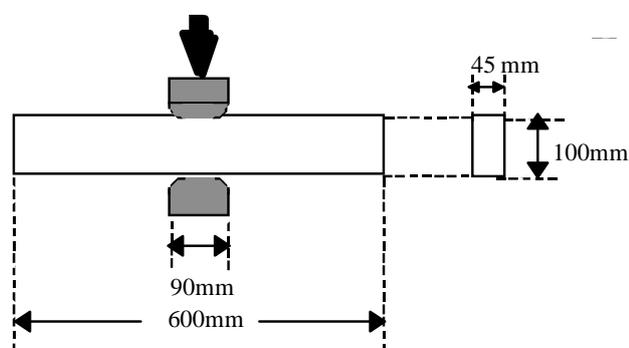


図5 めり込み試験の概略図



写真6 釘引き抜き試験装置

(c) 業務の成果

1) 新潟県与板町の町営住宅調査

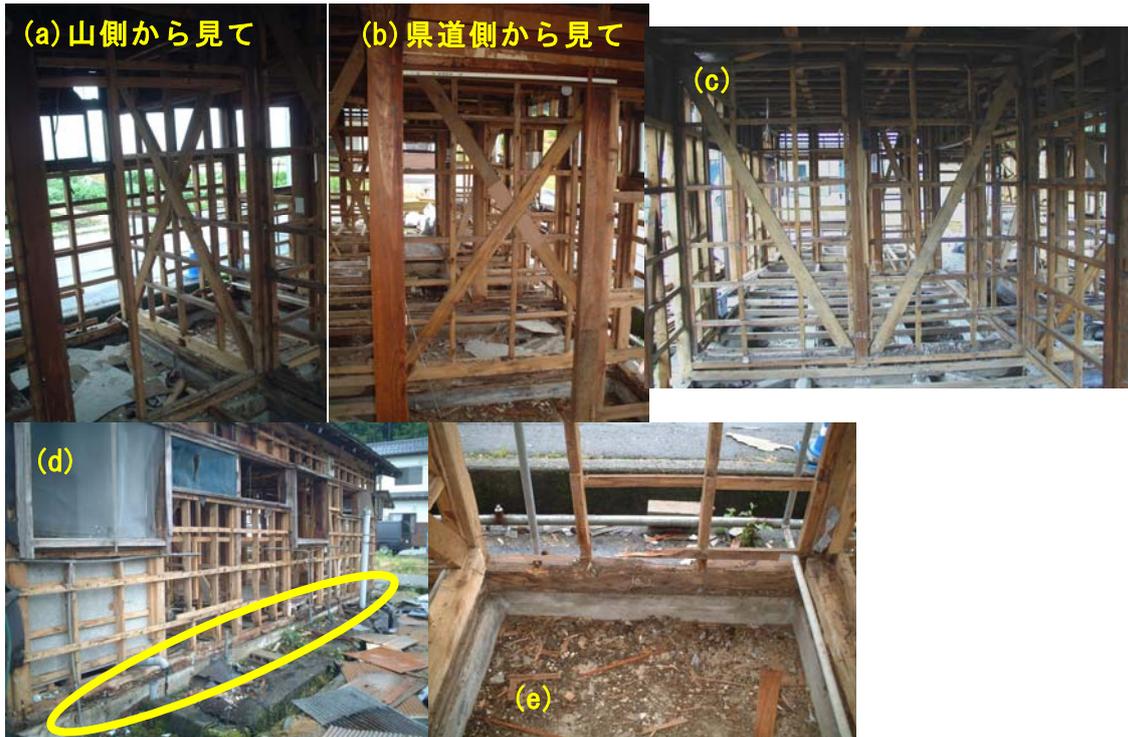
a) 劣化調査

G棟の劣化状況を写真7に、H棟の劣化状況を写真6に示す。観察された劣化は、浴室・台所など水まわりの土台の腐朽、筋かいや柱脚のシロアリによる食害（蟻害）、ねずみによる食害（鼠害）であった。G棟では2戸を隔てる界壁の蟻害による損傷が著しく、2戸の浴室を隔てる界壁の筋かいはほとんど原形をとどめていなかった。また、和室6畳を隔てる界壁の、筋かい下端が取り付けられている柱の脚元が蟻害により欠損していた。このほかにも県道側和室4.5畳の南隅の柱脚部が蟻害により欠損し、界壁の南端柱脚元も鼠害及び蟻害を受けていた。一方、H棟の2戸の浴室を隔てる界壁の筋かいは、過去に交換された経歴があるらしく、劣化は見られなかった。H棟には、G棟には存在する界壁中央付近に桁行方向に入っている長さ1365mmの筋かいが存在せず、浴室界壁の筋かいを交換した際に省略されたものと思われる。水まわりの土台の劣化については両棟に見られたが、G棟の方がH棟よりも腐朽の度合いが甚だしかった。



(a), (b) : 浴室界壁の蟻害
(c) : 県道側和室 4.5 畳南隅柱脚部蟻害
(d), (e) : 和室 6 畳界壁中央柱脚部蟻害
(f) : 界壁南端柱の鼠害・蟻害
(g)～(i) : 水まわりの土台の腐朽

写真7 G棟の劣化状況



- (a), (b) : 浴室界壁の筋かいに劣化は見られなかった。
 (c) : 和室 6 畳界壁の筋かい・柱も健全。界壁に直交する桁行方向の筋かいが存在しなかった。
 (d), (e) : 水まわりの土台に腐朽が見られたが、G 棟ほど甚だしくはない。

写真 8 H棟の劣化状況

b) 常時微動測定

図 6 に常時微動測定で得られたフーリエ振幅スペクトルの比を、図 7 にスペクトル比の最大ピークより求めた固有振動数を示す。増築部分撤去前の固有振動数は梁間方向 7.4～8.0Hz、桁行方向 10.0～10.7Hz（モードが異なる C 配置の ch6/ch1 を除く）、撤去後は梁間方向 7.0～7.4Hz、桁行方向 9.8～10.0Hz で、増築部分の撤去により梁間方向は 0.4～1.0Hz、桁行方向は 0～0.9Hz 固有振動数が低下した。一方、増築部分撤去後の G 棟と H 棟の固有振動数を比較すると、その差は梁間方向 0.2～0.4Hz、桁行方向 0～0.2Hz であり、総じて、増築部分撤去による変化よりも小さかった。梁間方向の固有振動数の 0.2Hz の低下（H 棟 7.2Hz に対して G 棟 7.0Hz）は剛性 6% の低下に相当し、0.4Hz の低下（H 棟 7.4Hz に対して G 棟 7.0Hz）は剛性 11% の低下に相当する。ただし、図 6 における増築部分撤去前の G 棟 A 配置の ch5/ch1 (8.0Hz) と B 配置の ch5/ch1 (7.6Hz) のように、本来同じ固有振動数となるはずのものが 0.4Hz の差を示した点もあり、0.2～0.4Hz 程度の差は生物劣化だけでなく、誤差として生じた可能性も考えられる。

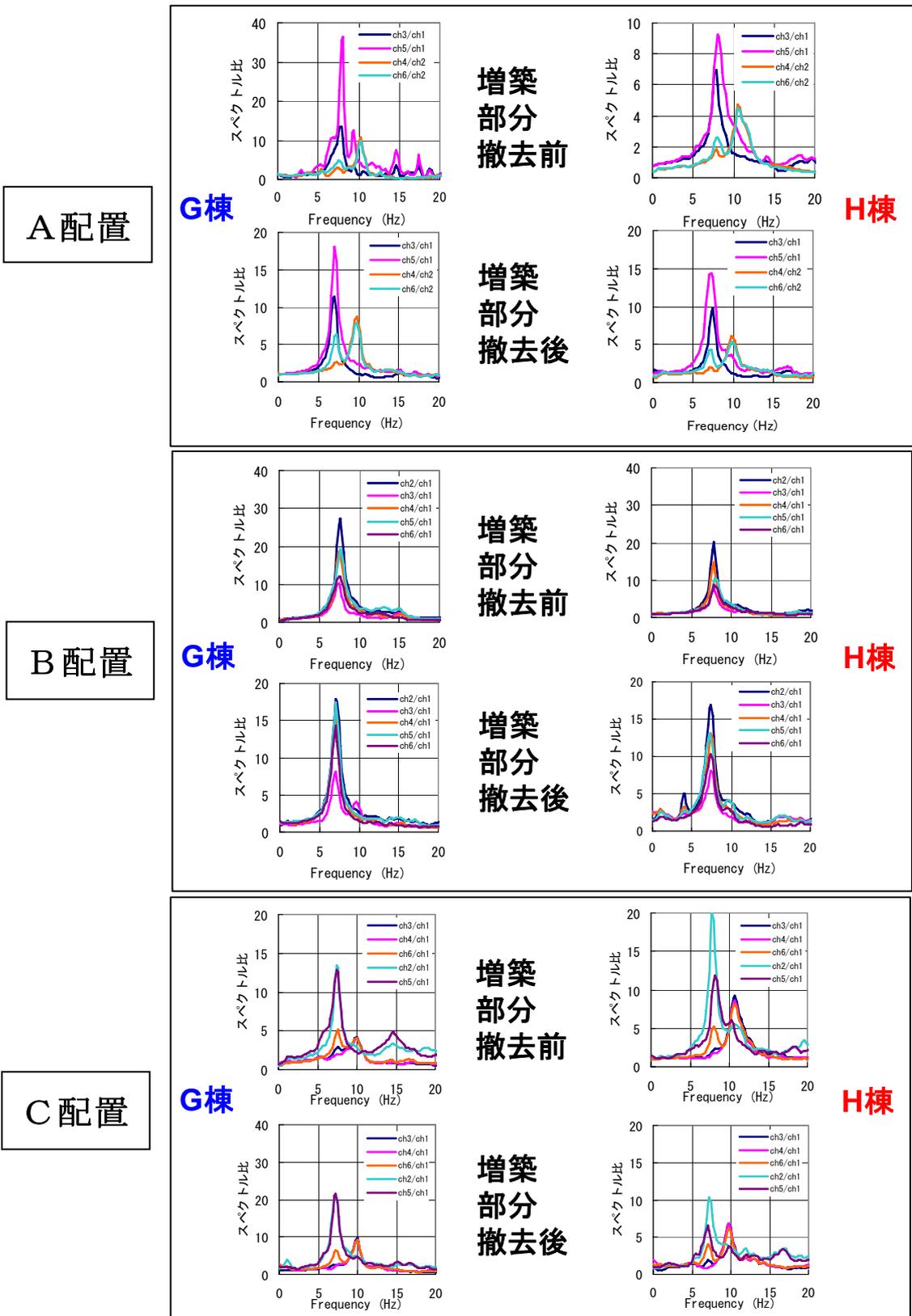


図6 常時微動測定で得られたフーリエ振幅スペクトルの比

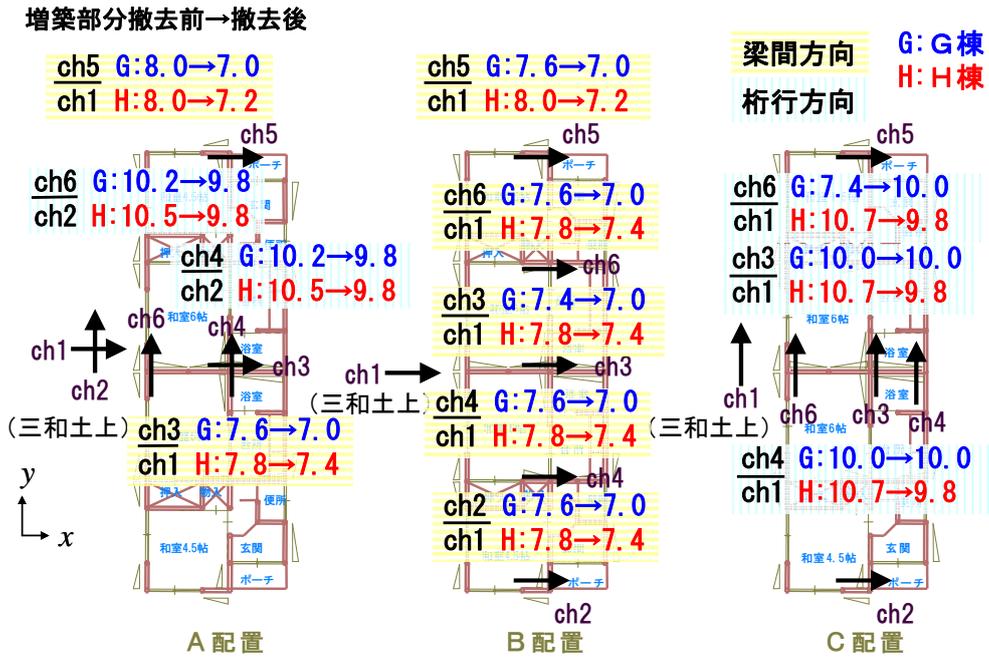


図7 スペクトル比の最大ピークから求めた固有振動数 (単位: Hz)

c) 静的加力実験

図8に、静的加力実験時の総荷重（3加力点の荷重の和）－桁行方向中央における層間変位関係を示す。層間変位 1/120rad 時の荷重はG棟 25.9kN、H棟 28.1kN、その比G棟/H棟 0.92、最大耐力はG棟 68.3kN、H棟 72.2kN、その比G棟/H棟 0.95であった。二ツ割筋かい壁単体の 1/120rad 時の耐力を 2.49kN/m、最大耐力を 5.90kN/m³とすると、調査建物の耐力壁の耐力の和は 1/120rad 時耐力 26.1kN、最大耐力 62.0kN となり、これらに対して調査建物の耐力は、1/120rad 時耐力 0.99～1.08 倍、最大耐力 1.10～1.16 倍であった。平屋建の実験例³⁾では、1/120rad 時耐力で 1.4 倍程度、最大耐力で 0.6～0.8 倍程度であり、1/120rad 時耐力については本実験値が文献値より 2～3 割小さかった。この理由については現段階では不明で、今後の検討が必要である。一方、最大耐力は本実験値が文献値より大きい、これは筋かいのみでなく内壁のボード類も耐力上有効であったためと推察される。

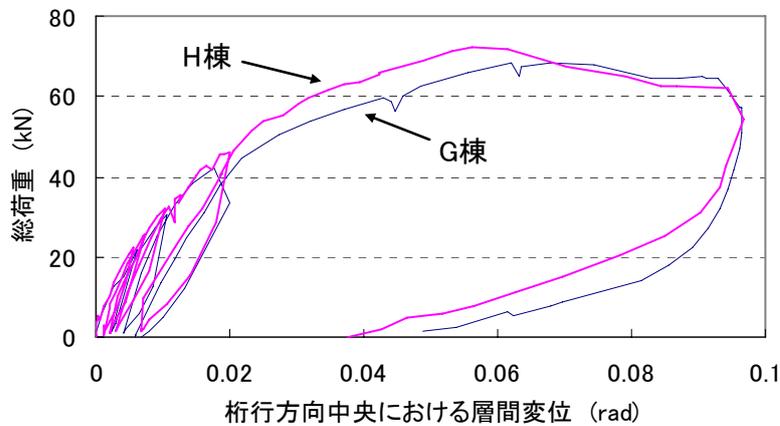


図8 静的加力実験の荷重－層間変位関係

2) 経年劣化を生じた部材及び接合部の強度試験

全試験体のすべての材面から得られた目視評価のヒストグラムを図9に示した。すべての材面の約1/2が健全(目視評価:0)であり、残りの約1/2に劣化が認められた。劣化した試験体はすべて腐朽であり、虫害は認められなかった。

供試材10本のうち、ほぼ健全なものから腐朽したものまで段階的に6試験体を採取できた供試材1本について、試験体ごとの測定結果を目視評価と併せて図10に示した。なお、測定結果はほぼ健全と思われた試験体(目視評価が0.25の試験体)の値を1として相対値として表した。ここで目視評価とピン打ち込み深さは、試験体中央部(めり込み試験における加力部分)の4材面の平均値(以下、同様)を用いた。すべての測定値は試験体の腐朽の程度が激しくなるのに従って低下していることが認められる。特に、密度の低下に比べてめり込み特性値の低下は著しかった。

すべての試験体について、めり込み強度特性値と、密度、目視評価、ピン打ち込み深さ及びヤング係数との間の単相関係数を表2に示した。すべてのめり込み強度特性値は、密度、ヤング係数に比べて目視評価、ピン打ち込み深さとの間で高い相関係数が得られた。これは、めり込み強さはヤング係数よりも密度に依存していること、また密度に関わる因子のうち目視評価とピン打ち込み深さは局所的な評価が可能であり、ここでめり込み試験で負荷される中央部の4材面の平均値を使っていることに起因していると考えられる。

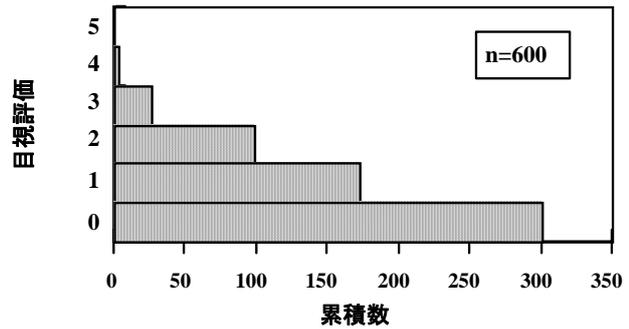


図9 全材面で得られた目視評価の分布

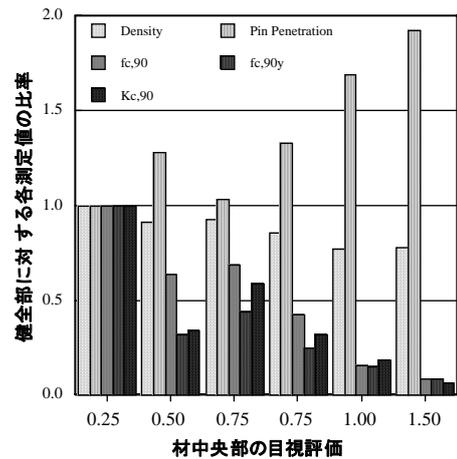


図10 腐朽に伴う各物性値の変化

表2 めり込み強度性能と各物性値との間の単相関係数

	Kc, 90	fc, 90y	fc, 90
密度	0.33	0.41	0.49
目視評価	0.79	0.71	0.70
ピン打ち込み深さ	0.71	0.69	0.84
ヤング係数	0.44	0.42	0.62

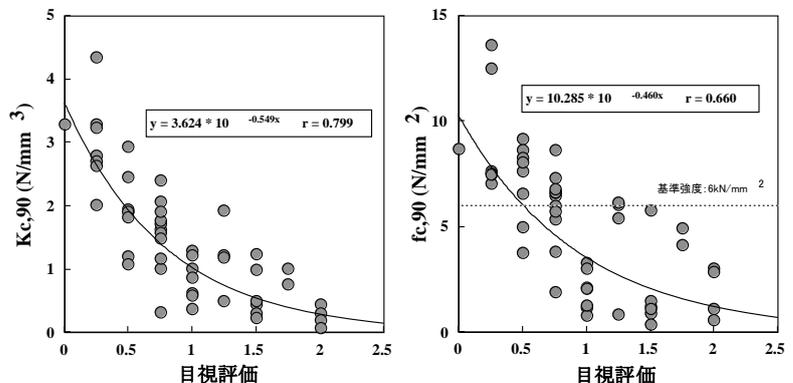


図11 目視評価とめり込み特性値との関係

めり込み強度特性値と目視評価との関係を図 11 に、ピン打ち込み深さとの関係を図 12 に示した。めり込み剛性及び強さは目視評価、ピン打ち込み深さとの間で高い相関が認められるとともに、腐朽によって指数関数的に減少することがわかる。

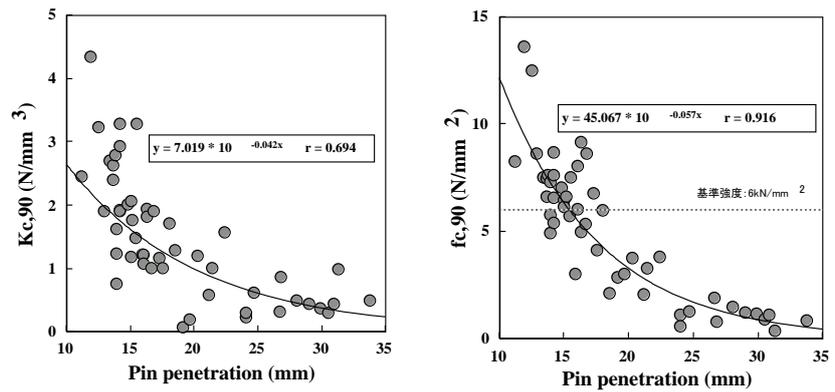


図 12 ピン打ち込み深さとめり込み特性値との関係

すなわち、目視評価 1 のめり込み強度性能は健全時の 1/2 以下まで低下することがわかった。なお、現行のベイツガのめり込み基準強度⁴⁾は 6.0N/mm^2 であるので、概略的にみれば、目視で 0.5、ピン打ち込み深さで 15mm を越えるとめり込み強さは基準強度を下回ることが示唆された。

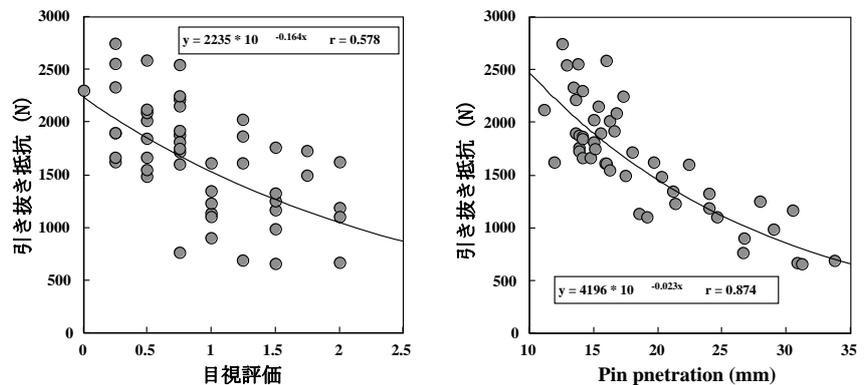


図 13 目視評価及びピン打ち込み深さと釘引き抜き抵抗との関係

釘引き抜き抵抗（左右 2 箇所）の平均値と目視評価及びピン打ち込み深さとの関係を図 13 に示した。釘引き抜き抵抗は、めり込み強度特性値と同様に、目視評価、ピン打ち込み深さとの間で高い相関が認められ、腐朽によって大きく減少することがわかった。

(d) 結論ならびに今後の課題

- 1) 本研究で調査対象とした同じ間取りの 2 棟の住宅のうち、一方の住宅の筋かい 1 箇所、柱脚 3 箇所に著しい劣化が見られた。この程度の劣化の差で、剛性には常時微動の変位レベルで 6~11%、層間変位 $1/120\text{rad}$ の変位レベルで 8%、最大耐力には 5% の差が生じた。なお、この結果は平屋建の筋かい耐力壁よりなる建物から得られたものであり、二階建や合板耐力壁を有する建物など、仕様が異なるものの劣化と構造性能との関係解明については、今後の検討が必要である。
- 2) 既存木造住宅の構造部材を対象に残存強度を評価する手法を開発する目的で、長期間の暴露によって腐朽を生じたベイツガ製材品のめり込み試験を行った結果、以下のことが明らかになった。
 - i) 腐朽によってめり込み強度性能は指数関数的に低下し、目視評価において健全材の 1/2 以下に至ることがわかった。
 - ii) 釘引き抜き抵抗も腐朽によって大きく減少することがわかった。
 - iii) 腐朽材のめり込み強度性能及び釘引き抜き抵抗を評価する非破壊指標として、目

視による 6 段階評価及び Pilodyn によるピン打ち込み深さが有効であることがわかった。

(e) 引用文献

- 1) 木材工業ハンドブック改訂 4 版, 森林総合研究所監修, 丸善, 2004.
- 2) 3Structural timber - Characteristic values of strength-graded timber - Sampling, full-size testing and evaluation, FDIS13910, ISO/TC165, 2004.
- 3) 建築耐震設計における保有耐力と変形性能(1981), 日本建築学会編, 丸善, 1981.
- 4) 平成 12 年建設省告示, 1452 号, 2000.5.31.

(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
杉本健一、鈴木憲太郎、長尾博文、原田真樹、井道裕史、青井秀樹、槌本敬大、相馬智明、西山誕生	既存木造住宅の耐震性向上に関する総合的研究(その16)(1) 築40年(1963年建築)の公営住宅(新潟県与板町)の劣化化状況	第54回日本木材学会大会研究発表要旨集、572	平成16年8月3日
杉本健一、青井秀樹、軽部正彦、槌本敬大、腰原幹雄、荒木康弘、西山誕生	既存木造住宅の耐震性向上に関する総合的研究(その16)(2) 築40年(1963年建築)の公営住宅(新潟県与板町)の構造性能	第54回日本木材学会大会研究発表要旨集、573	平成16年8月3日
長尾博文、井道裕史、軽部正彦、原田真樹、加藤英雄、鈴木憲太郎	長期間曝露されたベイツガ製材品のめり込み強度性能	第55回日本木材学会大会研究発表要旨集、68	平成17年3月17日
杉本健一、青井秀樹、井道裕史、桃原郁夫、大村和香子、坪二郎、川田智也、日比谷雄樹、槌本敬大、福本有希、腰原幹雄、坂本功、五十田博	既存木造住宅の経年劣化に関する研究(8)同じ建設年代、同じ間取りの既存木造住宅2棟の常時微動測定	第55回日本木材学会大会研究発表要旨集、98	平成17年3月18日
青井秀樹、杉本健一、井道裕史、桃原郁夫、大村和香子、坪二郎、川田	既存木造住宅の経年劣化に関する研究(9)同じ建設年代、同じ間取りの既存木造住宅2棟の静的加力実験	第55回日本木材学会大会研究発表要旨集、98	平成17年3月18日

智也、日比谷雄樹、 槌本敬大、福本有 希、腰原幹雄、坂 本功、五十田博			
長尾博文、井道裕 史、軽部正彦、原 田真樹、加藤英雄、 鈴木憲太郎	既存木造住宅の耐震性向上に関 する総合的研究 その 35 腐朽したベイツガ製材 品のめり込み強度性能	日本建築学会大会学 術講演梗概集（近 畿）、印刷中	平成 17 年 9 月
杉本健一、青井秀 樹、井道裕史、槌 本敬大、福本有希	既存木造住宅の耐震性向上に関 する総合的研究 その 36 築 4 1 年の公営住宅 （新潟県与板町）の劣化状況及 び構造性能	日本建築学会大会学 術講演梗概集（近 畿）、印刷中	平成 17 年 9 月

(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

(a) 業務計画

震動台実験に供する既存木造住宅の構造調査及び劣化調査を行い、建物の微小振幅時の固有周期、部材・接合部の劣化度を求める。これらの調査結果から、経年変化による劣化を考慮した建物構造強度を推定し、震動台実験の結果によりその推定法の適合性を検証する。

(b) 実施方法

震動台実験に供する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。

(c) 目標とする成果

震動台実験に供する既存木造住宅の劣化度と構造性能を非破壊的に明らかにし、E-ディフェンスでの実験計画に必要な情報を提供する。経年変化による劣化を考慮した建物構造強度推定法の推定精度を向上させる。