

3.1.4 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) 4ヵ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成17年度業務目的

(2) 平成17年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 調査の目的
 - 2) 調査方法及び調査結果
 - a) 調査住宅の概要
 - b) 常時微動測定
 - c) 劣化度調査
 - d) 建物内外の温湿度測定
 - e) 調査住宅の劣化度と構造性能との関係
 - f) 経年変化による劣化を考慮した建物構造強度の推定
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

(3) 平成18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	構造利用研究領域長	神谷文夫	fkamiya@ffpri.affrc.go.jp
	複合材料研究領域長	鈴木憲太郎	ksuzuki@ffpri.affrc.go.jp
	チーム長(構造的 性能評価担当)	杉本健一	sugimoto@ffpri.affrc.go.jp
	研究員	青木謙治	aoken@ffpri.affrc.go.jp
国土交通省国土技術政策総合技術研究所	研究員	井道裕史	ido@ffpri.affrc.go.jp
	主任研究官	槌本敬大	tsuchimoto-t92ta@nilim.go.jp
独立行政法人建築研究所	研究員	中川貴文	nakagawa@kenken.go.jp
東京大学生産技術研究所	助教授	腰原幹雄	kos@iis.u-tokyo.ac.jp
東京大学大学院	修士課程2年	福本有希	yuuki@buildcon.arch.t.u-tokyo.ac.jp
信州大学大学院	修士課程1年	佐藤友彦	t05a320@amail.shinshu-u.ac.jp

(c) 業務の目的

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い、これにより求めた建物の微小振幅時の固有周期、部材・接合部の劣化度等を解析することにより、経年変化による劣化を考慮した建物構造強度を推定する。

(d) 4ヵ年の年次実施計画（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。

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。

4) 平成18年度：

E-ディフェンスの震動台実験に供する木造住宅を構成する部材の強度試験等を行う。

(e) 平成17年度業務目的

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。

(2) 平成17年度の成果

(a) 業務の要約

E-ディフェンスの補強・無補強住宅震動台実験に供する移築物件の既存木造住宅2棟について、構造調査（建物の仕様の確認及び常時微動測定）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、部材等の劣化度を求めた。2棟（A、B棟）のうち、A棟には劣化度Ⅲまでの、B棟には劣化度Ⅰまでの劣化が認められた。これに対して、常時微動測定により求めた固有周期は、A棟の方がB棟よりも短い、すなわち、A棟の剛性がB棟よりも高い結果となり、本調査で認められた程度の劣化は建物の剛性に大きな影響を及ぼさないことが示唆された。劣化が認められた部分の木材含水率は概ね20%を超えていた。また、大引の含水率を2か月間測定した結果では、B棟の大引がA棟の大引よりも、より含水率の高い状態にあることが看取されたが、A棟においてB棟よりも顕著に劣化が認められたこととは相反する結果となった。

(b) 業務の成果

1) 調査の目的

E-ディフェンスの補強・無補強住宅震動台実験に供する移築物件の既存木造住宅2棟について、構造調査（建物の仕様の確認及び常時微動測定）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、部材等の劣化度を求めた。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した。また、建物居住者が退去する直前の約2か月間、建物を使用している状態での建物内外の温湿度を測定することができたので、日常の建物内外の温湿度状態と劣化状況との関係について検討を行った。

2) 調査方法及び調査結果

a) 調査住宅の概要

調査した住宅は、兵庫県明石市に建っていた築30年の木造2階建在来軸組構法住宅2棟である。それらの外観を写真1～3に、主な仕様を表1に、平面図を図1、2に示す。2棟は同じ建設年代で、建てられた当時は同じ仕様、同じ間取りであったが、その後の利用形態の変化により、2棟間で仕様が異なっている部分がある。また、B棟南面のモルタル壁の下側約半分は1995年の兵庫県南部地震の際に剥落し、補修を行っている。



写真1 調査住宅外観（西面）
（左：A棟、右：B棟）



写真2 調査住宅外観（東面）
（左：B棟、右：A棟）



写真3 調査住宅外観（B棟南面）

表1 調査住宅の主な仕様

2棟に共通した仕様

屋根	日本瓦、葺き土あり。4寸勾配。
基礎	布基礎（鉄筋コンクリート造）
外壁	ラスモルタル、木摺り
内壁	土壁（じゅらく塗り仕上げ）
天井	化粧せっこうボード、プリント合板（和室）
床	畳、フローリング（アピトン）。火打ち梁（90mm×90mm）
柱	通し柱：ヒノキ、管柱：ベイツガ。ほぞさし。
土台	アピトン
梁	マツ
筋かい	三ツ割。柱・横架材には釘留め。

2棟で異なる仕様

A棟	浴室・便所周辺改築（ユニットバス化、便所撤去）。 南面壁1階（DK）に開口あり。 2階・階段前の部屋を増築（A棟と窓の大きさ異なる）。
B棟	浴室・便所は建設当初の状態（浴室タイル張り）。 北面壁1階（浴室・便所間）に開口あり。 2階・階段前の部屋を増築（B棟と窓の大きさ異なる）。 1995年の兵庫県南部地震の際に、南面の外壁モルタルが剥落。補修した経歴あり。

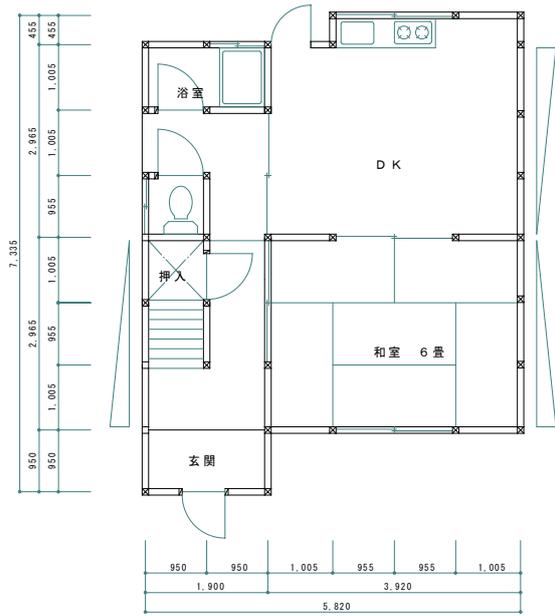
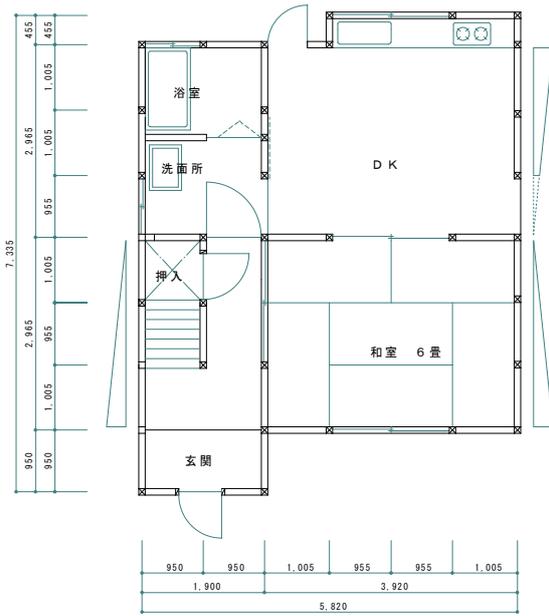
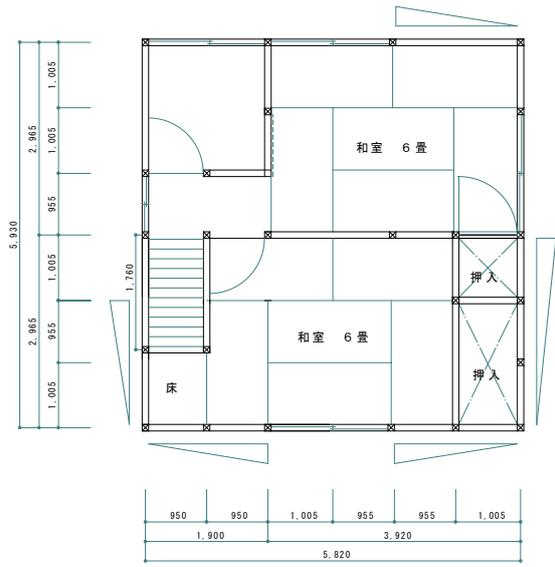
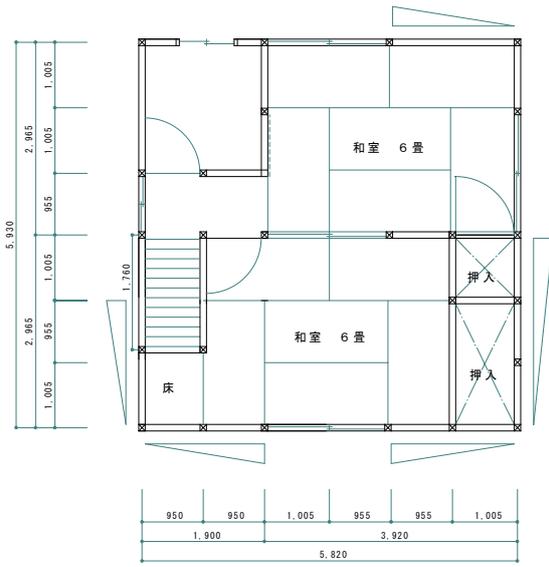


図1 A棟平面図（上：2階、下1階）

図2 B棟平面図（上：2階、下1階）

b) 常時微動測定

建物使用時（2005年6月11日）及び建物居住者退去後（2005年8月20日）の各1回、常時微動測定及び人力加振を実施した。退去後の測定時には、家具、1階床、2階天井、2階畳及び屋根瓦が撤去された状態であった。測定には携帯用振動計（東京測振製、SPC-51）を用い、サーボ型速度計（同、VSE-15D）を14個（1階玄関2個、2階床6個、小屋梁6個）設置した。使用時の速度計の配置を図3に、退去後の速度計の配置を図4に示す。

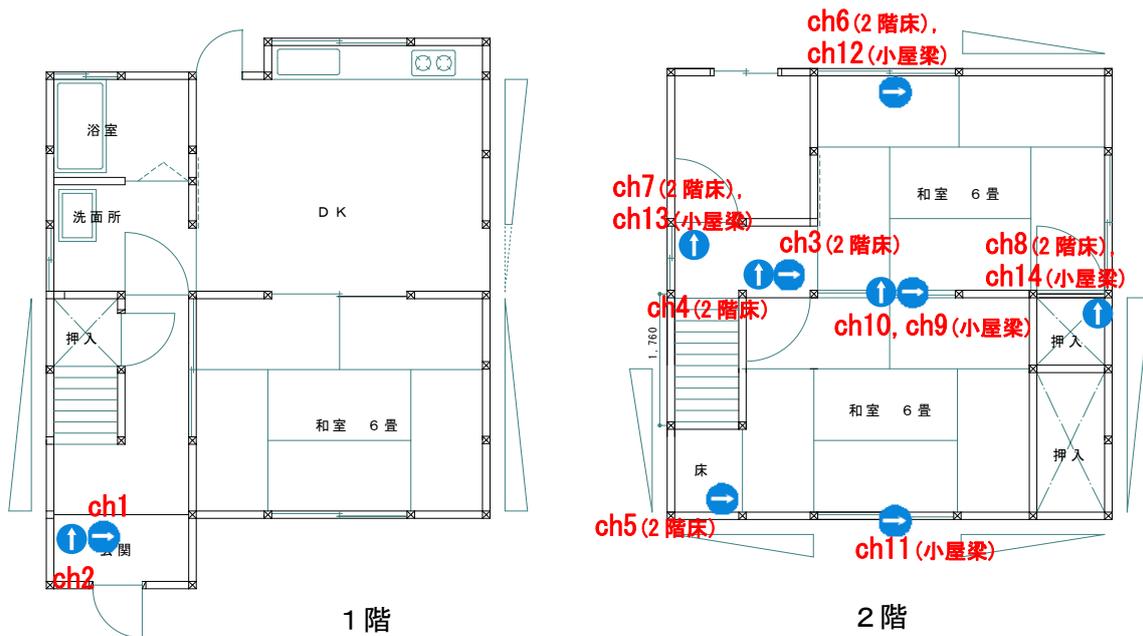


図3 使用時の速度計の配置（A、B棟とも同じ。図はA棟の例）

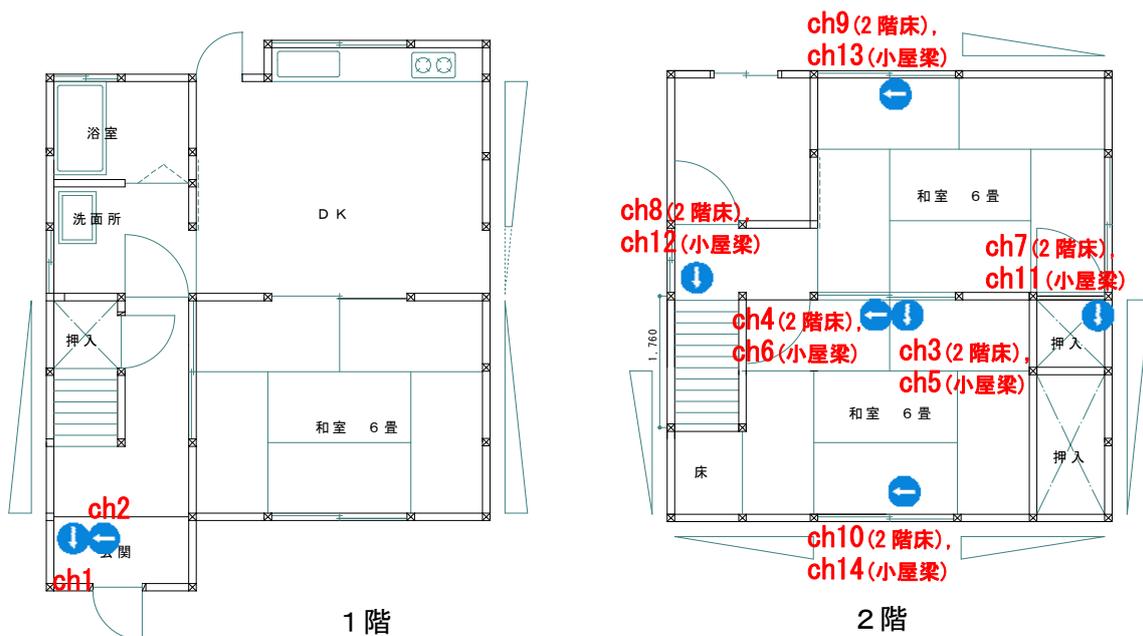


図4 退去後の速度計の配置（A、B棟とも同じ。図はA棟の例）

速度波形をサンプリング周波数：100Hz、計測時間：250 秒（建物使用時）または 300 秒（退去後）、バンドパスフィルタ：0-50Hz により収録し、ノイズの少ない部分を用いて F F T 解析を行った。具体的には、2048 点（20.48 秒）のデータを 8 箇所抽出し、これらの各フーリエスペクトルを得た後、平均スペクトルを求めた。玄関に配置した速度計から得られた平均スペクトルに対する、各速度計から得られた平均スペクトルの比（伝達関数）を求め、その極値より固有振動数及び固有周期を求めた。伝達関数を図 5～図 1 2 に示す。

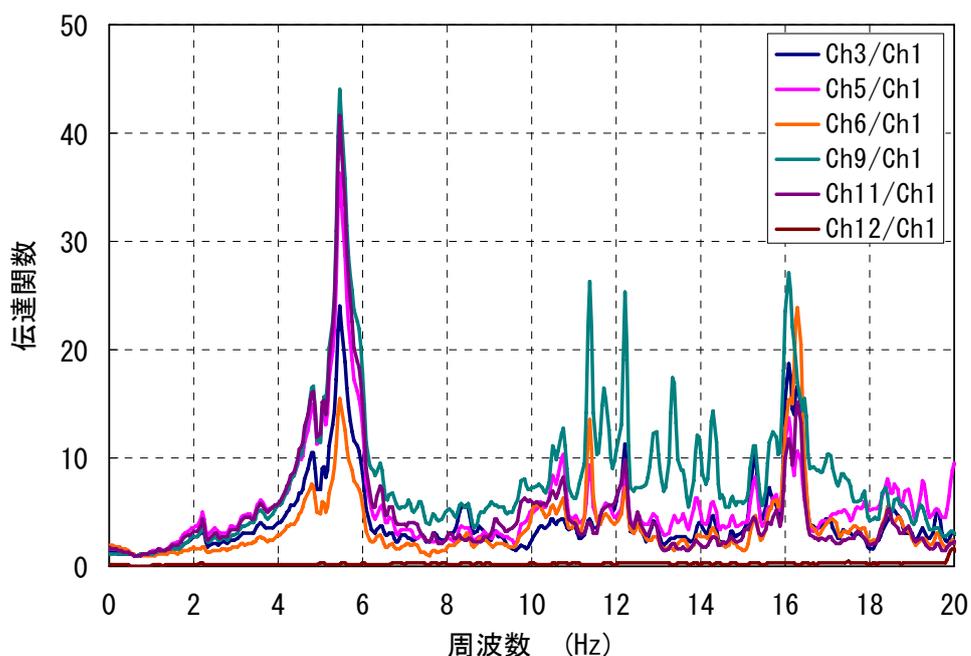


図 5 A 棟使用時南北方向の伝達関数

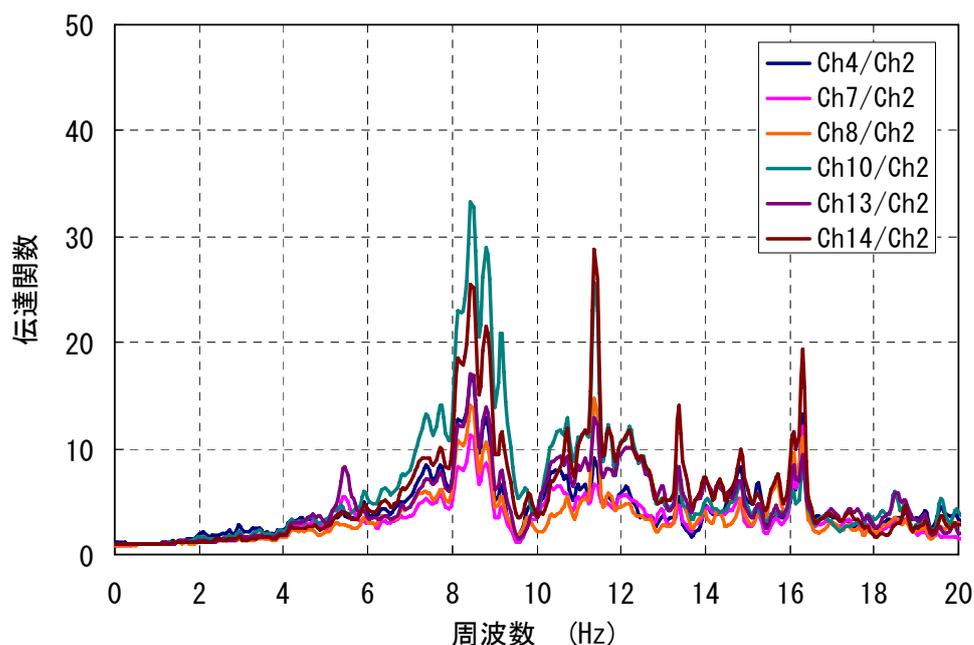


図 6 A 棟使用時東西方向の伝達関数

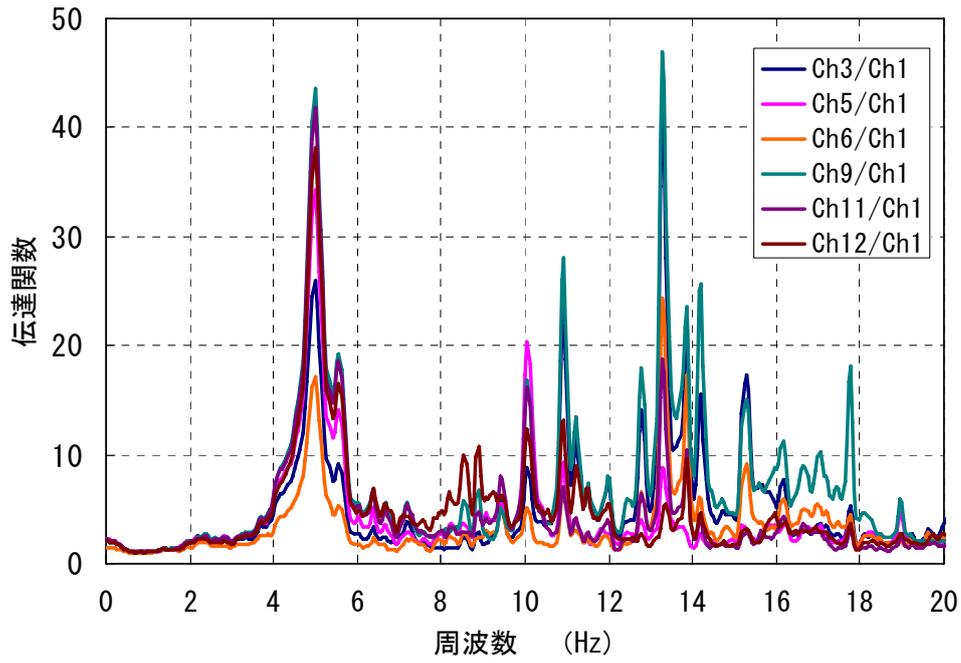


図7 B棟使用時南北方向の伝達関数

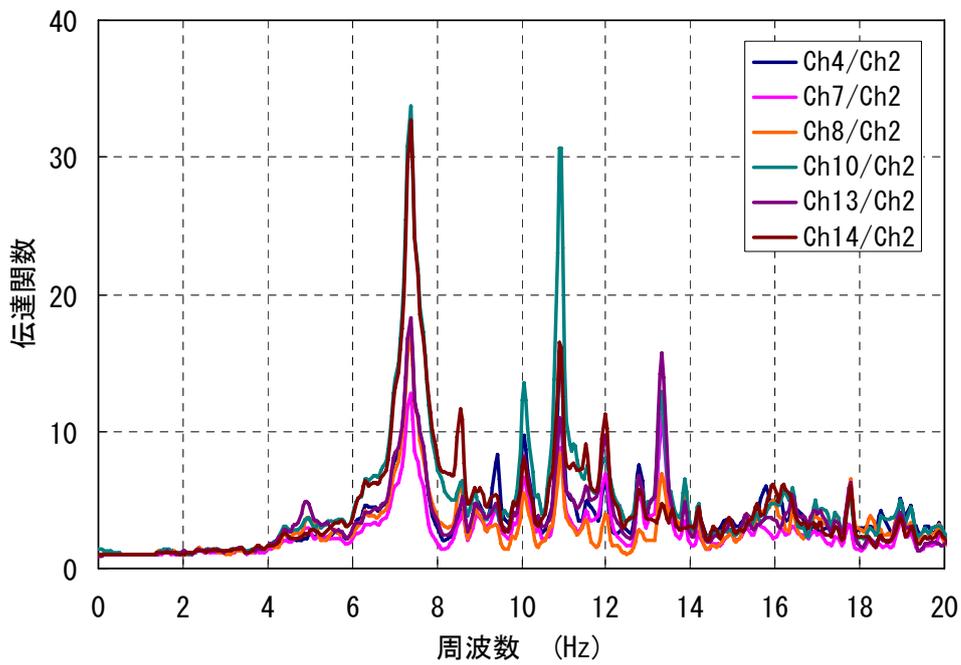


図8 B棟使用時東西方向の伝達関数

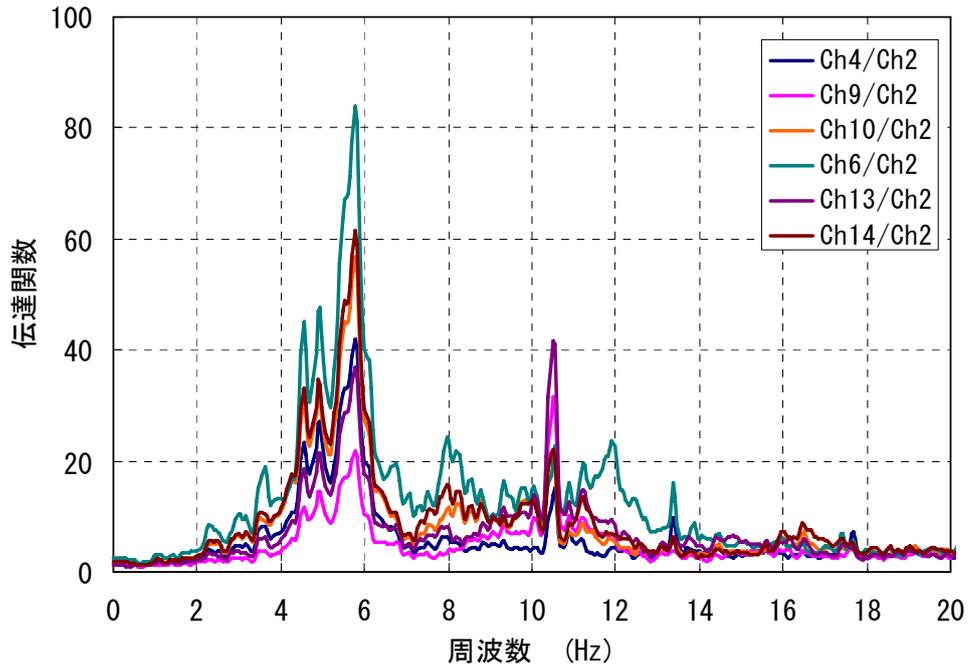


図 9 A棟退去後南北方向の伝達関数

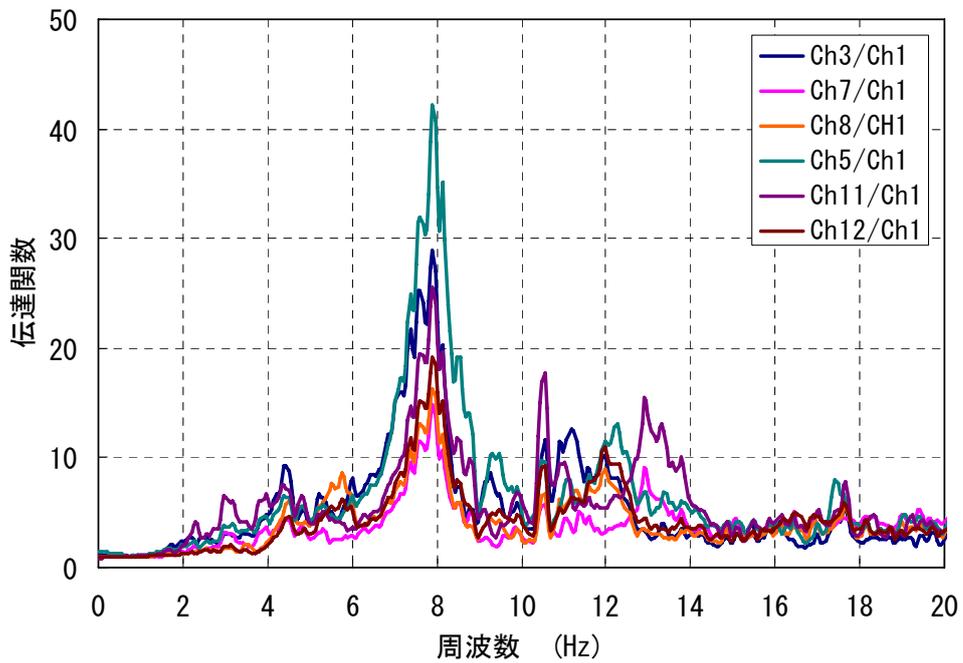


図 10 A棟退去後東西方向の伝達関数

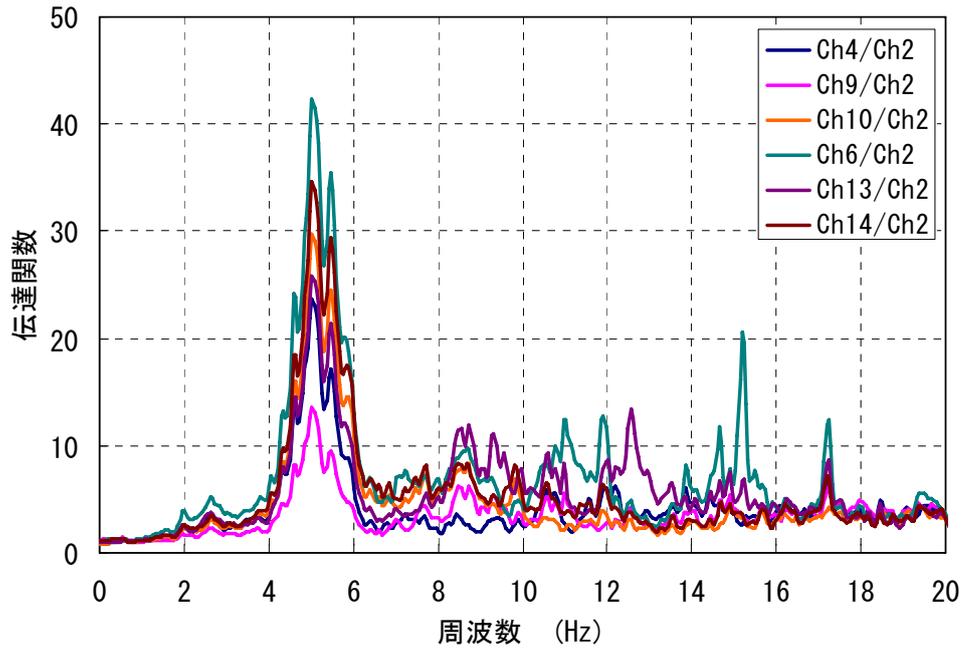


図 1 1 B 棟退去後南北方向の伝達関数

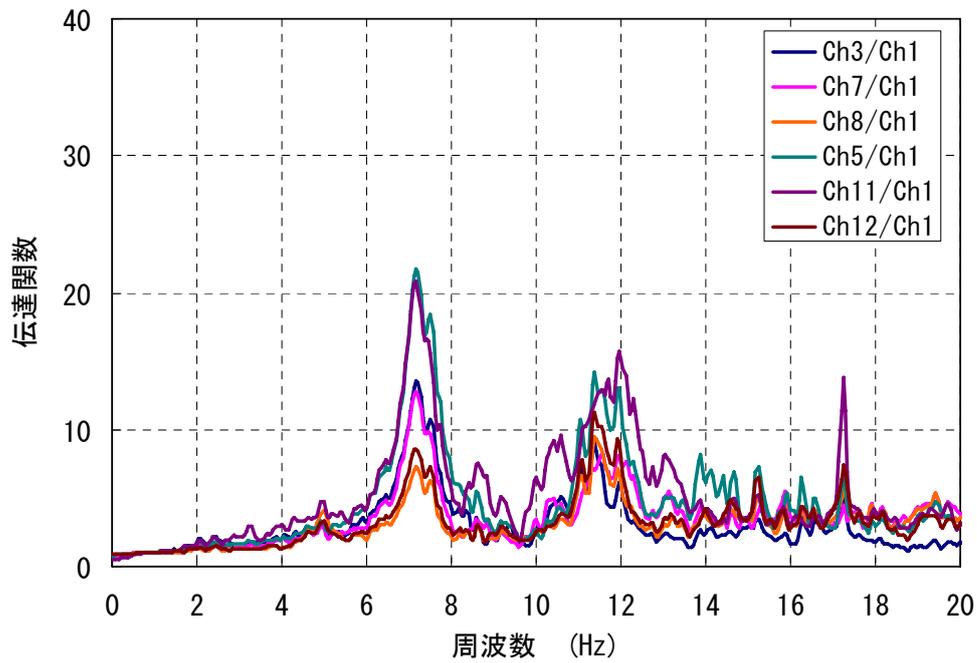


図 1 2 B 棟退去後東西方向の伝達関数

建物重量及び、玄関付近の速度計に対する建物中央付近の小屋梁に設置した速度計の伝達関数極値より求めた1次固有振動数、1次固有周期を表2に示す。

表2 調査住宅の1次固有振動数及び1次固有周期

	建物の状態	推定重量(kN)	1次固有振動数(Hz)		1次固有周期(sec)	
			南北方向	東西方向	南北方向	東西方向
A棟	使用時	264	5.47	8.45	0.183	0.118
	退去後	187	5.76	7.91	0.174	0.126
B棟	使用時	270	4.98	7.37	0.201	0.136
	退去後	193	5.03	7.18	0.199	0.139

調査住宅を非減衰の1質点系とみなして建物の剛性 k

($T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 、 T : 固有周期(sec)、 m : 建物質量(kg)、 k : 建物の剛性 (N/m) より

$$k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$$

を求めた。その結果を表3に示す。

表3 建物剛性

	建物の状態	建物剛性(kN/mm)	
		南北方向	東西方向
A棟	使用時	31.8	75.8
	退去後	25.0	47.1
B棟	使用時	27.0	59.1
	退去後	19.6	40.0

使用時と退去後の建物剛性を比較すると、A棟南北方向では、退去後の剛性は使用時の剛性に比べて21%低下し、A棟東西方向では、退去後の剛性は使用時の剛性に比べて38%低下した。また、B棟南北方向では、退去後の剛性は使用時の剛性に比べて27%低下し、B棟東西方向では、退去後の剛性は使用時の剛性に比べて32%低下した。

退去後のA棟、B棟の建物剛性を比較すると、南北方向ではA棟の方が28%大きく、東西方向ではA棟の方が18%大きいという結果になった。

c) 劣化度調査

建物居住者の退去後に、常時微動測定と並行して劣化度調査を実施した。劣化度は、目視による確認及びバール等でたたいた時の感触と打音によって評価した。劣化度の判定は、表4に示す0～Vの6段階のいずれであるかを目視により判断するとともに、劣化している部分の長さを測定することにより行った¹⁾。また、目視と打音による劣化度評価の他に、ピロディン（バネ仕掛でピンを木材に打ち込む装置）によるピン打ち込み深さの測定を行うとともに、土台、大引、束などで変色が見られる部分の含水率をサーベイマスターにより測定した。

表4 劣化度の評価

劣化度	観察内容
0	健全
I	微細劣化(被害断面が10%未満を想定)
II	軽度の劣化(被害断面が10-30%を想定)
III	中程度の劣化(被害断面が30-60%を想定)
IV	重度の劣化(被害断面が60-90%を想定)
V	崩壊(被害断面が90%以上を想定)

図13にA棟の劣化度判定及びピロディン打ち込み深さを、図14にA棟の土台、大引、束の含水率を示す。A棟には、浴室隅の通し柱に劣化度III（長さ30cm）の腐朽が認められた。また、洗面所の土台にも劣化度III（長さ10cmの部分と50cmの部分）の腐朽が確認された。ピロディンによるピン打ち込み深さは、劣化度IIIの部分で10～18mm、劣化度IIの部分で11～17mm、劣化度Iの部分で10～11mmであった。A棟の床下における木材含水率は、腐朽が認められた洗面所周辺の土台で21～23%、DKの中央、やや南寄りの大引で16～21%、この大引付近の束で19%であった。

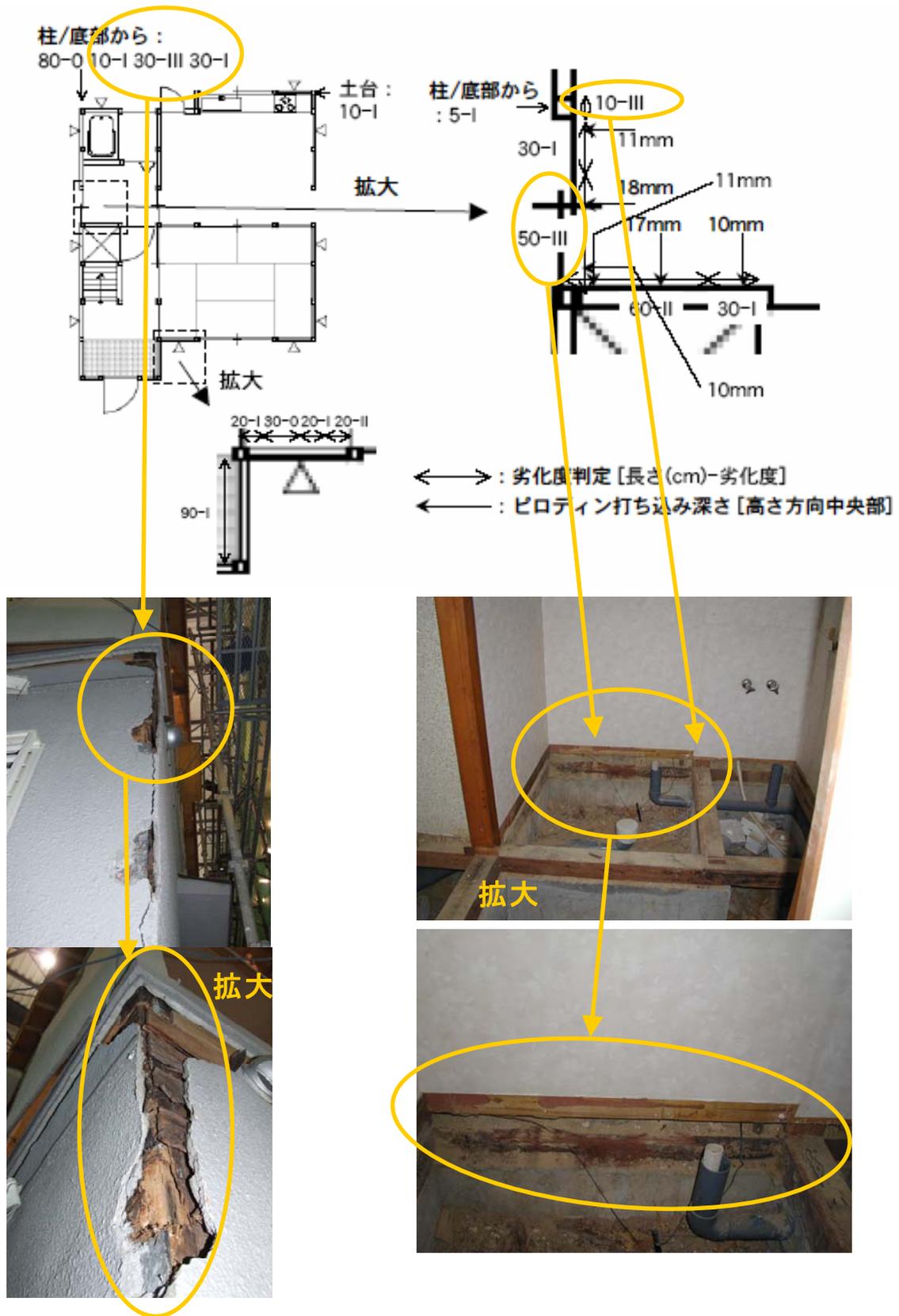


図 1 3 A 棟の劣化度判定及びピロディン打ち込み深さ

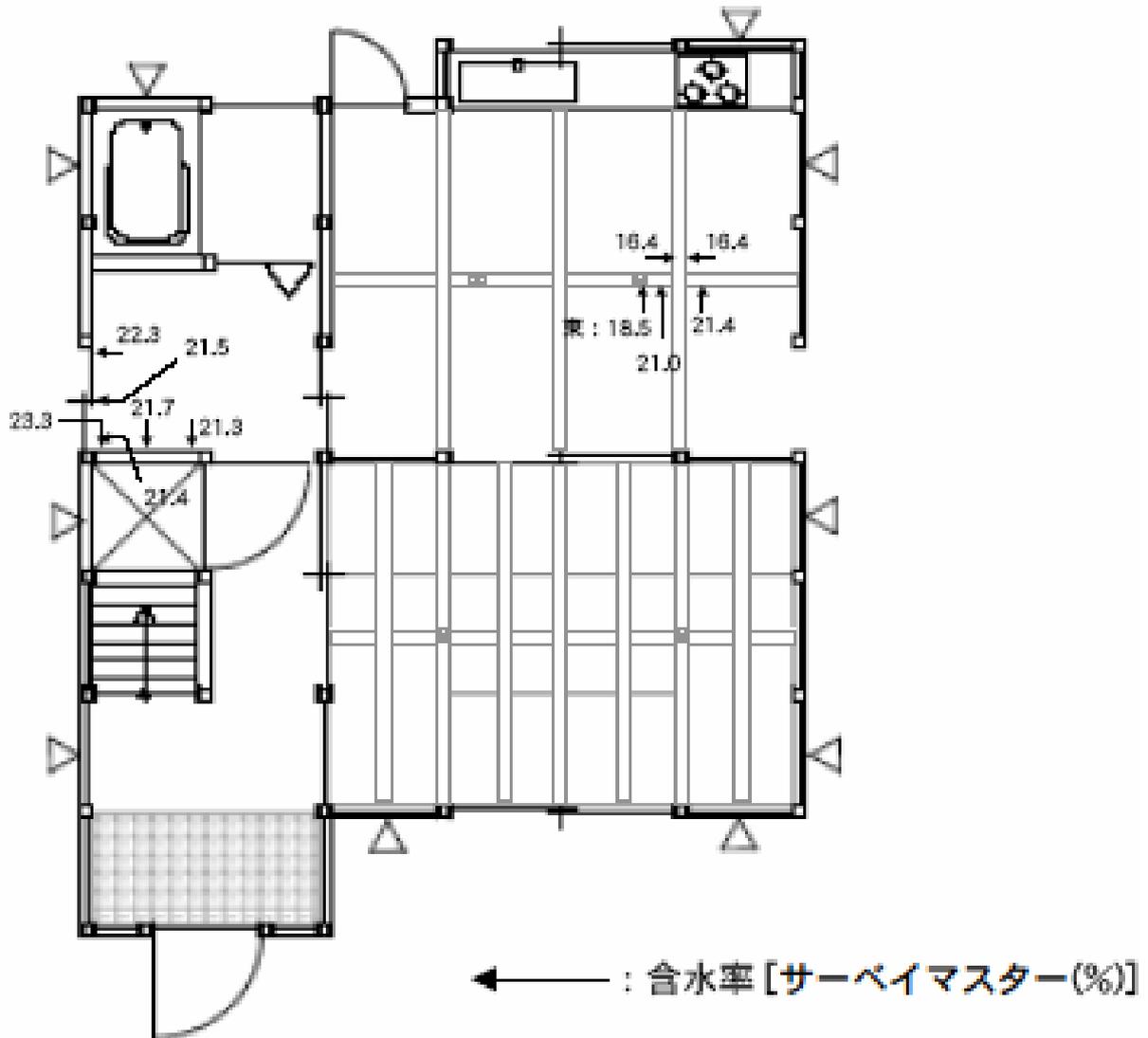


図 1 4 A 棟の土台、大引、束の含水率

図 1 5 に B 棟の劣化度判定及びピロディン打ち込み深さを、図 1 6 に B 棟の土台、大引、束の含水率を示す。B 棟においては、浴室周りの土台に認められた劣化度 I（長さ 15cm 及び 20cm）の腐朽、玄関脇の土台に認められた劣化度 I（長さ 10cm）の腐朽が最も劣化度の高い（進行した）劣化であった。また、ピロディンによるピン打ち込み深さは 5～16mm であった。総じて B 棟の方が A 棟よりも劣化が進行していない状態にあると言える。B 棟の床下における木材含水率は、浴室の洗面所周辺の土台で 21～23%、DK の中央、やや南寄りの大引で 22% 程度、この大引付近の束で 19% であり、A 棟の状況とあまり変わらなかった。

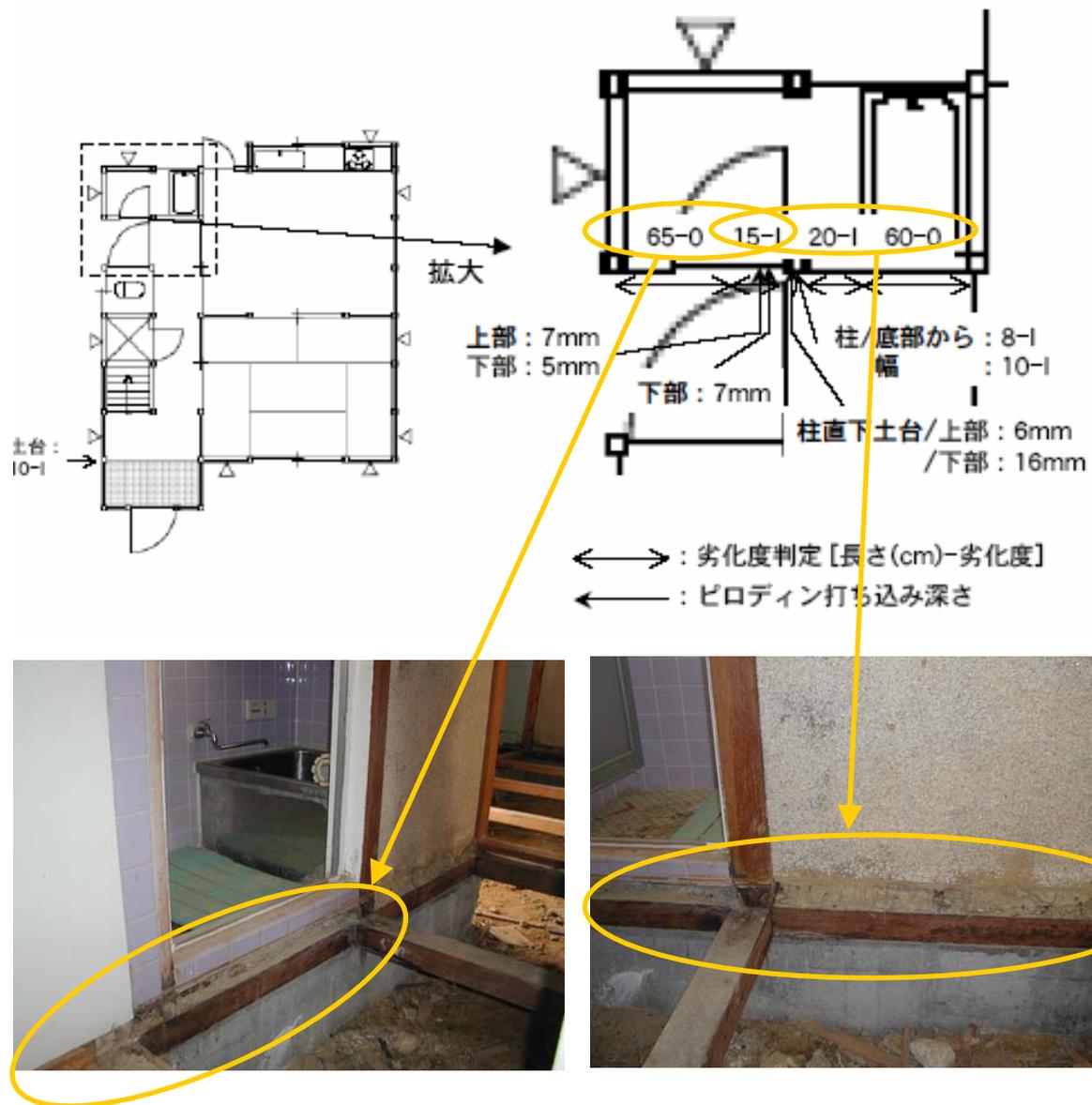


図 1 5 B 棟の劣化度判定及びピロディン打ち込み深さ

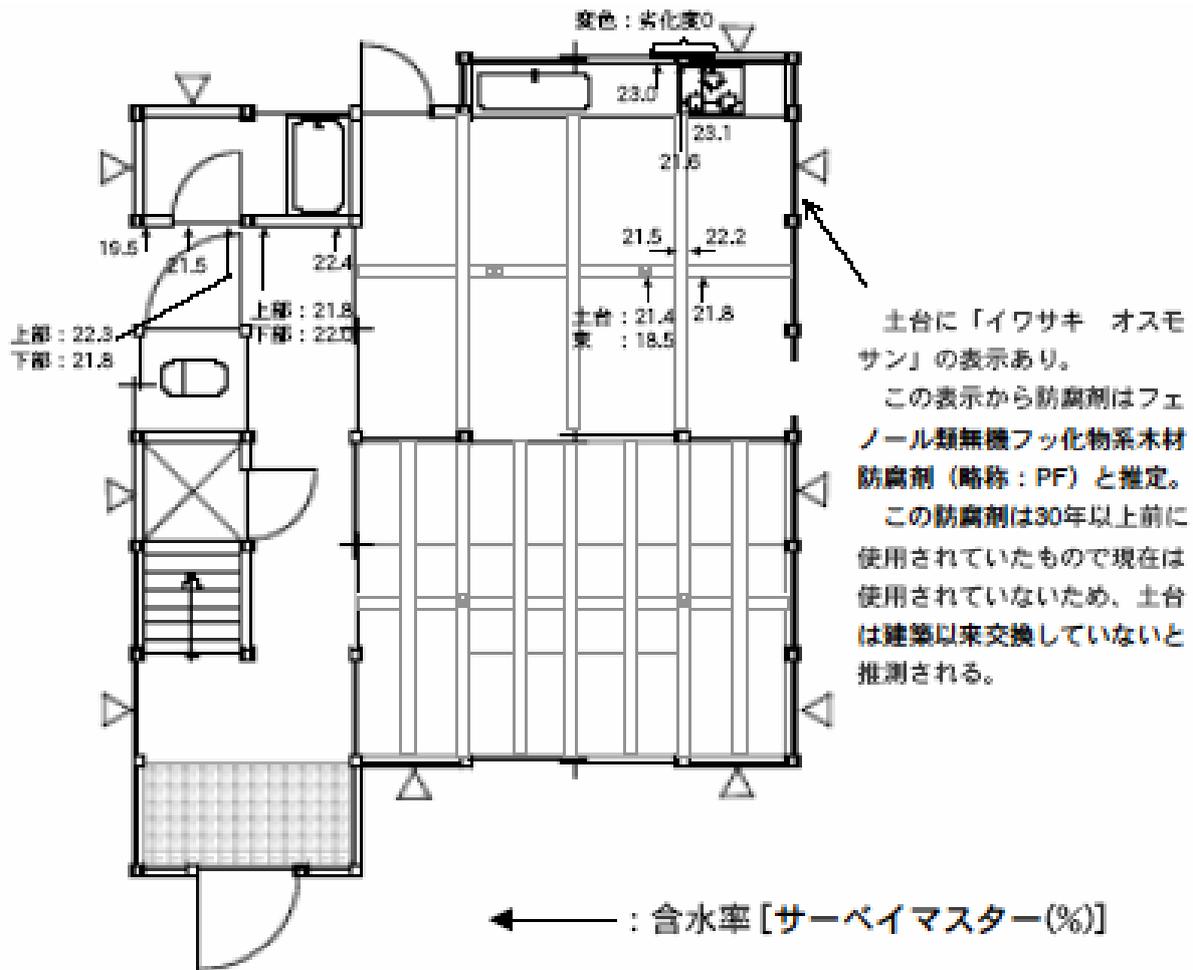


図 1 6 B 棟の土台、大引、束の含水率

d) 建物内外の温湿度測定

建物居住者が退去する直前の約 2 か月間（2005 年 6 月 11 日～8 月 20 日の 71 日間、8 月 5 日、10:00～8 月 11 日、18:00 の間は停電のため欠測）、A 棟、B 棟に取り付けた温湿度計、含水率計、結露センサーにより、建物内外の温湿度、壁面近くの大引の含水率及び結露の状況をモニターした。温湿度計、含水率計、結露センサーの取り付け位置を図 1 7 に示す。温湿度計は、各棟の 1 階東西南北の壁の内側（床下から 1.5m）及び外側、小屋裏、床下に、含水率計及び結露センサーは各棟の床下東西南北の壁付近の大引に設置した。温湿度計、含水率計、結露センサーの設置状況を写真 4～6 に示す。

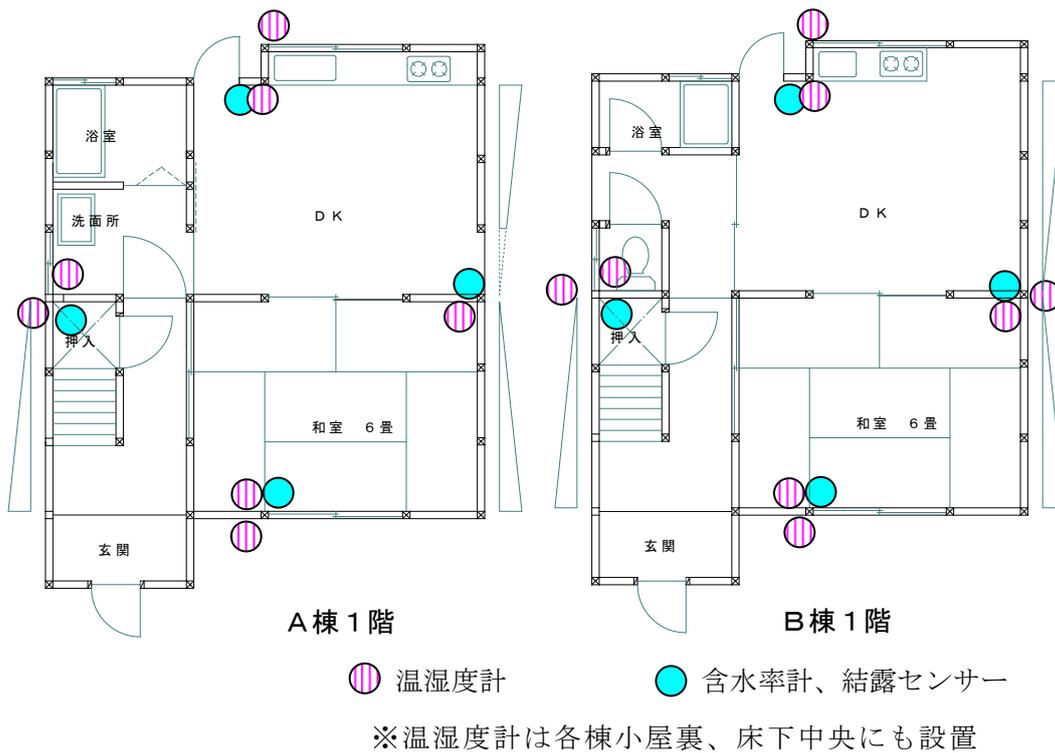


図 1 7 温湿度計、含水率計、結露センサーの設置位置



写真 4 温湿度計設置
状況 (小屋裏)



写真 5 温湿度計設置
状況 (床下)



写真 6 結露センサー (左)
含水率計 (右)

A棟、B棟の温度変化を図 1 8 に、湿度変化を図 1 9 に、A棟、B棟の大引の含水率変化を図 2 0 に示す。

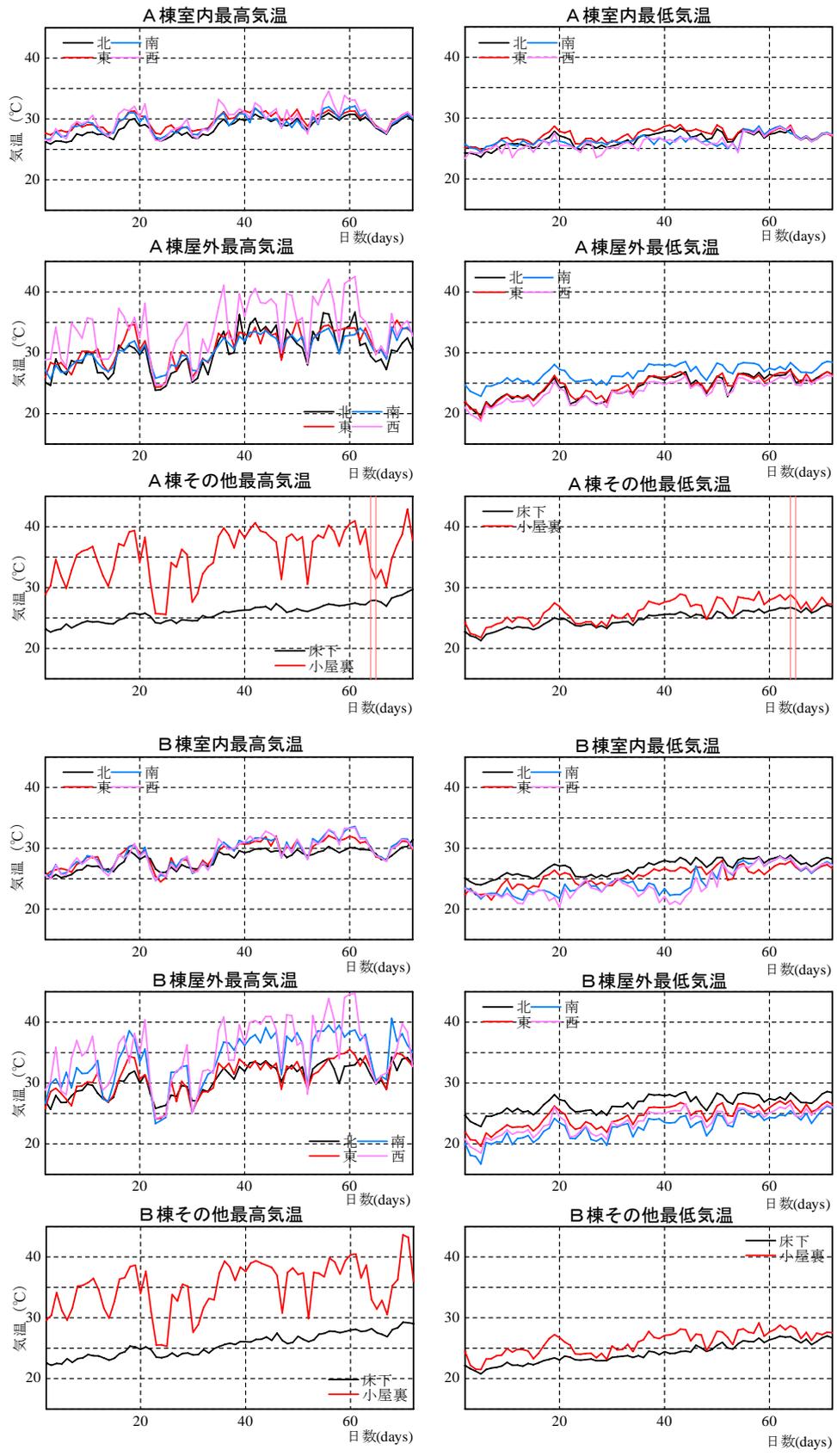


図 1 8 A 棟、B 棟の温度変化

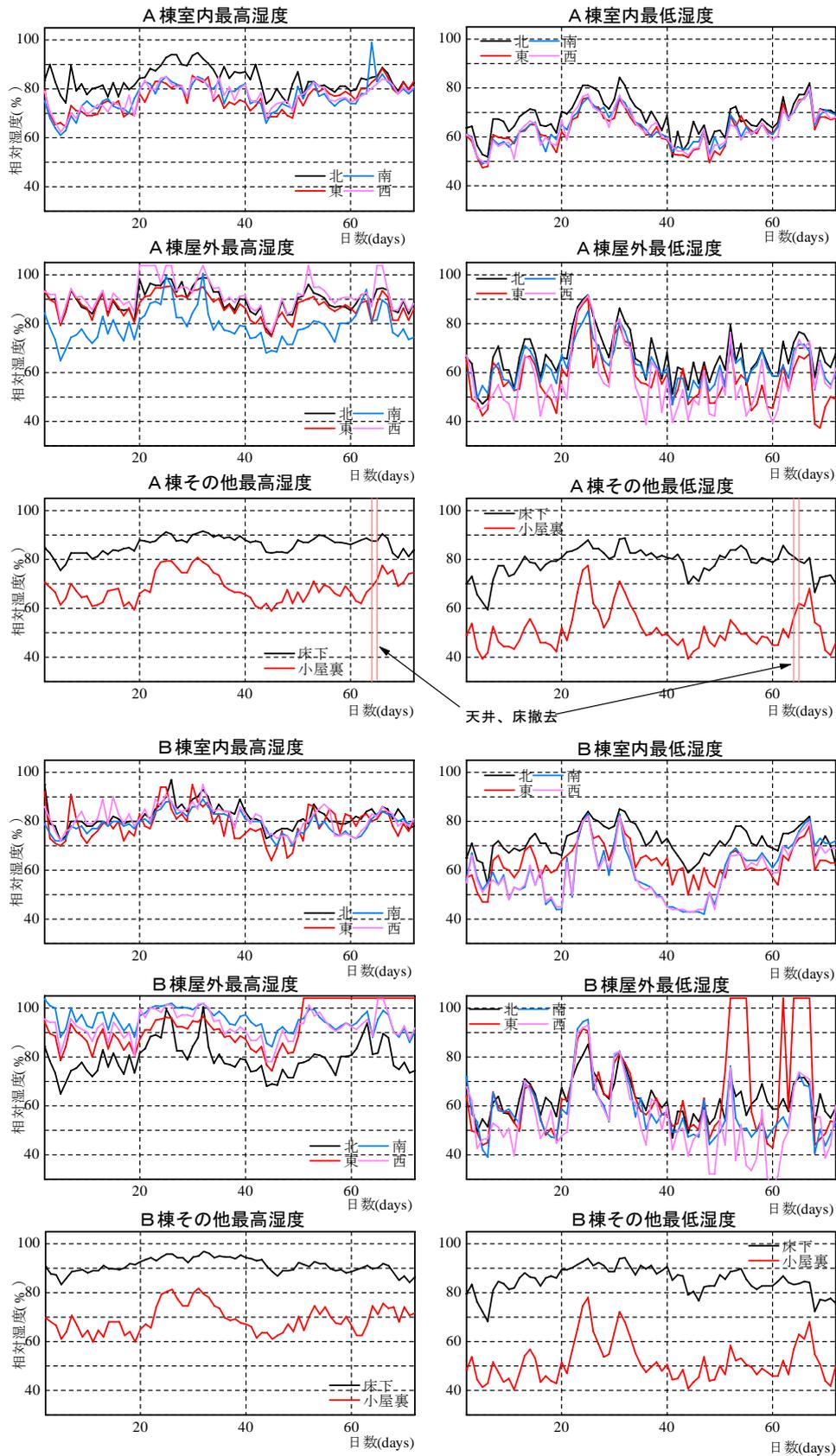


図 1 9 A 棟、B 棟の湿度変化

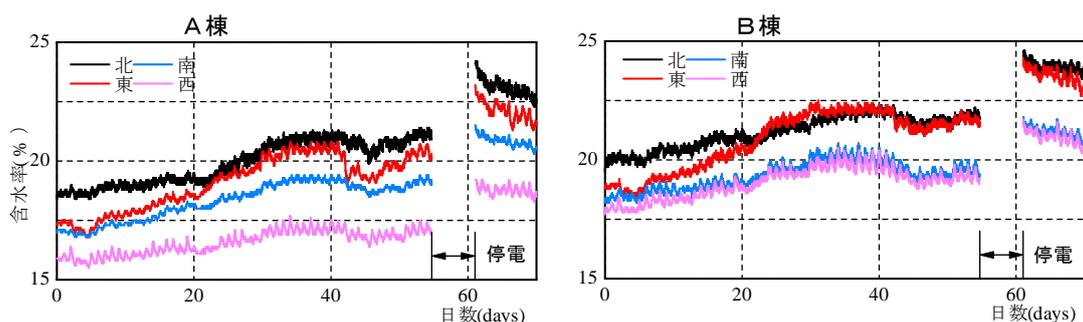


図 2 0 A 棟、B 棟の大引の含水率変化

図 1 8 より以下の傾向がうかがえる。

- ・室内最高気温については、A 棟、B 棟の東西南北四面の壁ともほぼ同じ温度であった。室内最低気温については、A 棟では東西南北四面の壁ともほぼ同じ温度であったが、B 棟では南面及び西面が、北面及び東面に比べて数℃低い期間があった。
- ・屋外最高気温については、A 棟では西面壁での温度が他の三面の壁に比べて高い傾向にあることが多く、B 棟では西面壁及び南面壁での温度が北面壁及び東面壁での温度に比べて高い傾向にあった。これは、直接日光が当たる壁面での気温が高い傾向を示したものと考えられる。屋外最低気温については、A 棟では南面壁での温度が他の三面の壁での温度に比べて高く、B 棟では北面壁での温度が他の三面の壁での温度に比べて高かった。これは、A 棟と B 棟との間が囲われていたため、この気温が他の壁面での気温に比べて高かったものと思われる。
- ・床下、小屋裏の最高気温・最低気温は A 棟、B 棟ともほぼ同じ温度であった。

また、図 1 9 からは以下の傾向が読みとれる。

- ・室内における相対湿度の最高値・最低値は、A 棟では北面壁での値が他の三面の壁での値に比べて高い期間が多かった。一方、B 棟室内での相対湿度の最高値は四面の壁でほぼ同じであり、相対湿度の最低値は北面壁での値が他の壁での値に比べて高い期間が多く、西面壁及び南面壁での値が、四面のうち最も低い期間が多かった。
- ・屋外における相対湿度の最高値は、A 棟においては南面壁での値が他の三面の壁での値に比べて低く、B 棟においては北面壁での値が他の三面の壁で値に比べて低かった。相対湿度の最低値は、A 棟の北面壁及び東面壁での値と B 棟の南面壁及び東面壁での値とがほぼ同じ傾向にあり、A 棟の南面壁での値と B 棟の北面壁での値がほぼ同じ傾向を、また、A 棟の西面壁での値と B 棟での西面壁での値がほぼ同じ傾向を示した。
- ・床下、小屋裏の相対湿度の最高値・最低値は A 棟、B 棟ともほぼ同じ傾向を示した。

図 2 0 に示されているように、大引の含水率は、四面のどの壁付近でも B 棟の方が A 棟より 1～5% 高い結果となった。また、停電前までの測定期間において、A 棟の北面付近の大引で含水率が 20% を超えていたのは 20 数日、東面付近の大引で含水率が 20% を超えていたのは 10 数日だったのに対し、B 棟の北面付近の大引で含水率が 20% を超えていたのは約 50 日、東面付近の大引で含水率が 20% を超えていたのは 40 日弱であり、B 棟の大引が A 棟の大引よりも、より含水率の高い状態にあることが看取された。このことと、A

棟においてB棟よりも顕著に劣化が認められたこととは相反するが、A棟の劣化は浴室や洗面所周辺で顕著であり、局所的にはA棟にもB棟より相対湿度及び木材の含水率が高い箇所があったものと推定される。

また、結露はA棟、B棟ともに観測されなかった。

e) 調査住宅の劣化度と構造性能との関係

前述のように、A棟には浴室隅の通し柱に劣化度Ⅲ（長さ 30cm）の腐朽、洗面所の土台に劣化度Ⅲ（長さ 10cm の部分と 50cm の部分）の腐朽が認められたが、B棟においては、浴室周りの土台に認められた劣化度Ⅰ（長さ 15cm 及び 20cm）の腐朽、玄関脇の土台に認められた劣化度Ⅰ（長さ 10cm）の腐朽が最も劣化度の高い劣化であった。

一方、常時微動測定により求めた建物剛性は、南北方向においてはA棟の方がB棟よりも28%大きく、東西方向においてはA棟の方がB棟よりも18%大きいという結果になった。

表1に示したように、A棟とB棟の仕様は完全に同じではなく、B棟にはモルタル壁を修復した経歴なども存在するため、両棟の剛性に差が生じている要因が何であるかを特定することは難しいが、劣化が建物剛性に影響していればA棟の方がB棟よりも剛性が低くなっていると推測されるところ、実際にはB棟の方がA棟よりも剛性が高いことから、本調査で確認された程度の劣化が建物剛性に及ぼす影響は、他の要因、例えば仕様の差異や改修の影響等と比較して小さいものと思われる。

f) 経年変化による劣化を考慮した建物構造強度の推定

c)劣化度調査で述べたように、A棟には0～Ⅴの6段階の劣化度評価で劣化度Ⅰ（微細劣化（被害断面が10%未満を想定））～Ⅲ（中程度の劣化（被害断面が30-60%を想定））の劣化が認められたが、B棟には劣化度Ⅰの劣化しか認められなかった。

15～16年度に実施した事前研究により、この程度の劣化の違いは2棟の構造性能の差として顕著に表れないものと推測された。2棟の2階改修部分（階段を上がって突き当たったところの部屋）を新築当時とほぼ同じ状態（ベランダ）に戻し、震動台上に移築した状態で常時微動測定により求めた一次固有周期は、A棟南北方向0.21（sec）、A棟東西方向0.14（sec）、B棟南北方向0.24（sec）、B棟東西方向0.14（sec）であった。この状態でも、劣化が進んでいたA棟の一次固有周期がB棟のそれよりわずかではあるが短い、すなわち、建物剛性はA棟の方がB棟よりも高い結果となり、供試住宅における部材の劣化が建物の構造性能に及ぼす影響は小さいことがうかがえた。

(d) 結論ならびに今後の課題

本研究で調査した築 30 年の木造 2 階建在来軸組構法住宅 2 棟（A、B 棟）のうち、A 棟には劣化度Ⅲまでの、B 棟には劣化度Ⅰまでの劣化が認められた。これに対して、常時微動測定により求めた固有周期は、A 棟の方が B 棟よりも短い、すなわち、A 棟の剛性が B 棟よりも高く、本調査で認められた程度の劣化では、建物の剛性に大きな影響を及ぼさないことが示唆された。

劣化が認められた部分の木材含水率は概ね 20%を超えていた。また、大引の含水率を 2 か月間測定した結果では、B 棟の大引が A 棟の大引よりも、より含水率の高い状態にあることが看取されたが、A 棟において B 棟よりも顕著に劣化が認められたこととは相反する結果となった。

18 年度は、17 年度に震動台実験に供した既存木造住宅を新築で再現したものの震動台実験を行い、既存木造建物での結果と新築で再現した結果との比較を行う計画である。震動台実験の結果を基に、経年変化が建物強度に及ぼす影響を部材の視点から解析することが今後の課題である。

(e) 引用文献

- 1) 鈴木憲太郎，長尾博文，井道裕史，槌本敬大，渋谷龍也，原田真樹，軽部正彦：既存木造住宅の耐震性向上に関する総合的研究 その 17 築 40 余年の公営住宅（東海地方）の建物概要と劣化状況，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-1，pp.167-168，2004

(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
鈴木憲太郎、井道裕史、杉本健一、青木謙治、槌本敬大、中川貴文	震動台による既存木造住宅の耐震性能検証実験（その 9） 移築補強・無補強試験体の温湿度環境と劣化状況	2006 年度日本建築学会学術講演梗概集（関東）	平成 18 年 9 月発表予定

(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

名称	機能
なし	

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成18年度業務計画案

平成18年度は業務題目を「試験建物の部材強度試験」に変更して実施する。

(a) 業務計画

既存木造住宅の構造強度を理論的に解析する基礎資料を得るため、及び昨年度の既存木造建物の震動台実験の結果と本年度の新築木造住宅の震動台実験の結果の比較において、経年による建物強度の変化の有無を部材の視点から解析するために、E-ディフェンスの震動台実験に供する木造住宅を構成する部材の強度試験等を行う。

(b) 実施方法

供試木造住宅の構成部材の含水率測定、ヤング係数測定、強度試験を行う。また、建物の常時微動測定を行い、固有周期と減衰定数を求める。部材の観点から、昨年度の既存木造住宅の震動台実験の結果と本年度の供試木造住宅の震動台実験の結果との比較検討を行う。

(c) 目標とする成果

震動台実験に供する木造住宅の倒壊解析に必要な部材の強度データを得る。昨年度供試した既存木造住宅の強度性能が経年によりどれだけ低減しているかを、部材の視点から明らかにする。

