実物大実験に基づく木造軸組工法住宅の静的動的復元力特性に関する研究

STUDY ON THE STATIC AND DYNAMIC HYSTERESIS CHARACTERISTICS
OF WOOD-FRAMED RESIDENTIAL STRUCTURES BY FULL-SCALE TESTS綿引 誠*¹, 町田 健一*¹, 大橋 好光*², 坂本 功*³Makoto WATAHIKI, Kenichi MACHIDA, Yoshimitsu OHASHI
and Isao SAKAMOTO

To clear the static and dynamic hysteresis characteristics of wood-framed residential structures, shaking table tests and static loading tests using various walls which composes wooden house, and full-scale shaking table test and static loading test on the same plan. Comparing the load-deformation relation of the full-scale tests, the dynamic test exceeded the static test in the load at the same deformation angle, and the dynamic test showed 119%-123 % of the static test until 1/200rad on the 1st floor. The load-carrying capacity, which was estimated by summing of static hysteresis characteristics in walls, was checked with the result of the full-scale dynamic test. By summing all wall elements, which were thought as the surplus force, the stiffness was estimated in about 90% of precision until 1/75rad. but the maximum load and toughness weren't evaluated in the larger deformed range. As for the sharing rate of the horizontal-force of braces of the full-scale tests, it was about 20 - 50 % in the static test and about 30 - 45 % in the dynamic test. It's considered that the effect of wall elements except braces worked in the dynamic tests more than the static tests.

Keywords : Post and Beam Construction, Wooden House, Full-scale Experiment

Hysteresis characteristics, Seismic Performance

軸組構造, 木造住宅, 実大実験, 復元力特性, 耐震性能

1. はじめに

建築基準法の性能規定化や、住宅の品質確保の促進等に関する法律を背景として、住宅はより適切な性能設計が求められる時代となった。その一方で、木造住宅の設計では未だ壁量計算による設計手法が一般的に広く用いられており、静的加力実験で評価された耐力壁単体の構造性能に基づいて建物全体の水平抵抗力を規定している。しかし、兵庫県南部地震後に数多く行われた木造住宅の実大振動実験の結果^{1)~6)}から、設計で期待している耐震性能と建物が実際に保有している性能の間に大きな乖離があることが明らかになってきた。これは安全性に対する余裕代ではあるが、設計時により正確な耐震性能を把握できていなければ、真の性能設計・性能表示とは言えない。

そこで、静的な耐力壁単体の構造性能だけではなく、動的な耐力壁の挙動や、立体的な効果を含む実物大建物の静的動的挙動などそれぞれの状態での性能を明確にした上で、互いの関連性について把握することが必要である。既往の研究の中で、壁要素の静的実験、動的実験を行い、さらに、実物大建物での静的加力実験と振動実験

を同じ仕様の建物で実施して、相互に比較分析したものはごく僅かである。坂本ら²⁾によって行われた軸組構法住宅の実大振動実験（多度津A棟）では、その後、田中ら⁷⁾によって静加力実験や仮動的応答実験、さらに建物を構成している壁単体の実験までもが行われているが、実験的な制約もあり、相互の関連性を完全に結論付けるまでには至っていない。

本研究は、実物大建物を構成する壁要素の静的加力実験と振動実験⁸⁾、同仕様・同プランで実施した実物大建物の静的加力実験と振動実験⁹⁾の結果を比較分析し、それぞれの復元力特性について関連性を述べたものである。図1に研究対象とした4つの実験の構成を示す。まず第2章では、これらの実験概要を述べる。第3章では、壁要素と実物大建物の静的動的荷重変形関係を比較分析する。第4章では、壁の復元力特性の加算則を静的動的データに基づいて検証する。最後に第5章では、主要な耐力要素である筋かいについて、実物大建物の中での静的動的特性を軸力比較によって分析すると共に、層せん断力に対する水平力負担率について静的動的両方の観点から考察を行った。

*¹ 住友林業㈱筑波研究所 主任研究員*² 武蔵工業大学 教授・工博*³ 東京大学大学院 教授・工博

Researcher, Sumitomo Forestry Co., Ltd.

Prof., Musashi Institute of Technology, Dr. Eng.

Prof., The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

図1 研究対象実験の構成

表1 試験体仕様 (共通部材)

部 位	仕 様
土台	EW-ベイトン (E85F270), 105×105
筋かい	KD材-ベイトン特等, 105×45, ネット型ねじ留め金物
柱	EW-SPF (E85F300), 105×105 (隅柱: 120角)
通し柱	EW-ベイトン (E120F330), 120×120
2F床梁	集成240以上: EW-ベイトン (E120F330), 集成210以下: KD材-ベイトン
小屋梁	集成120以上: 製材-ベイトン特等, 集成105: 製材-米桐特等
アンカーボルト	六角ボルトM12×150, 蓋みゲージ通込み
ホールダウン金物	S-HD15 (六角ボルトM18×540, ヲグスグス-φ12×90×3本)
外周部柱脚金物	Yプレート (増設面船橋板) (釘ZN-90, 柱5本・土台4本)
外周部柱脚金物	三角プレート (増設面船橋板) (釘SN-75, 柱3本・土台3本)
内部柱内部土台・梁共	かすがい (電気亜鉛メッキ, 6φ×120×45) 筋かいの絡む箇所は2本打ち
屋根構成	彩色スレート瓦, 下地: 耐水合板・12×910×1820 (N45, #200)
外壁構成	垂直系サリイグ12mm横張り (ステンレス釘 2.3×40, #150), 縦断壁 18×45・90 (N50, #303)
内壁構成	石膏ボード12.5×910×2520 (おじ呼称φ3.5×25 周辺部#200, 中間部#250)
床構成	面材下層は床盤を詰め, 上層は黒木で張り上げず, 洋室・和室共大建仕様 板がし根太 (#303) 45×90 → 針葉樹合板12×910×1820 (N50, #150)

2. 比較対象実験概要

壁と実物大建物を対象として、同じ仕様、同じ形状・プランによる静的加力実験 (静的実験) と振動台実験 (動的実験) を実施⁸⁾⁹⁾した。共通する主な部材の仕様を表1に示す。

2.1 壁の静的動的実験の概要

比較対象とした壁試験体は、壁要素と開口種類を組み合わせた12種類である。試験体の高さは3055mmで実物大建物と同寸とし、幅は2間 (3640mm) の大きさで中央1間に開口部を設けられるようにした。壁要素は3尺筋かい45×105 (B)、石膏ボード12.5mm (G)、サイディング12mm (S) の3種類で、それぞれを組み合わせた複合体2種類 (BG, BGS) も用意した。軸組フレームの特性を確認するために軸組 (F) のみの試験も行なった。なお、石膏ボードは実物大建物と同様に横架材には留めつけない準耐力壁仕様である。開口種類は掃出開口 (Z1)、窓形開口 (Z2)、全開口 (Z3)、無開口 (Z4) の4種類である。

静的実験は、試験体両端の柱脚と柱頭にホールダウン金物に設置した柱脚固定の無載荷方式で正負交番繰り返し加力を行った。動的実験は、振動台上に静的実験と同じ壁試験体を並行に並べ、上部を剛な床でつなぎ直交壁を合板で固めて箱形の試験体とし、錘を載せて兵庫県南部地震の神戸海洋気象台波 (JMA-KOBE, NS成分) による水平一方向加振を行った。振動テーブル上で最大7体の試験体を同時に加振した。1回の加振では限界性能に至らないものもあったため、続けて2回の加振を行なった。壁の動的実験の試験体図を図2示す。

図2 壁の動的実験の試験体図

【平面図表記の説明】

- △: 片筋かい、▲: 両筋かい、○: 通し柱、▲: ホールダウン金物
- : 外壁サイディング (全壁)、.....: 外壁サイディング (垂壁、腰壁)
- : 内壁石膏ボード (全壁)、.....: 内壁石膏ボード (垂壁、腰壁)

2階平面図

1階平面図

図3 試験体平面図

2. 2 実物大建物の静的動的実験の概要

建物は在来軸組工法による一部下屋付き2階建て住宅で、床面積は1階 69.6 m²、2階 56.3 m²、延べ床面積 125.9 m²である。試験体の平面図を図3に示す。実験では通常の基礎の代わりにH型钢を使用し、これにアンカーボルトとホールダウンボルトで建物を緊結した。また、軸組接合部は金融公庫仕様書に順ずる接合金物で補強した。屋根は寄棟の彩色スレート瓦葺きで、外壁には窯業系サイディングを横張りした。内壁は石膏ボード張り、床は根太+合板 12mm、一部、天井を施工しない代わりに重りを積載した。耐力壁は筋かいで、施行令 46 条の必要壁量に対し、存在壁量は加力加振方向 1 階が 1.44、同 2 階が 1.72 の充足率である。建物の偏心率は 1 階が 0.04 ~ 0.14、2 階が 0.11 であり、比較的バランスよい配置となっている。また、2 階床には 600N/m²の地震用積載荷重を載せており、試験体の重量は 1 階が 112kN、2 階が 65kN、合計 177kN である。

静的実験は、建物の東西方向を軸とした一方向押し引き交番加力で行った。各階の胴差し・桁梁にH型钢を取り付け、それぞれをPC鋼棒にて締め付けた後、H型钢を介し反力タワーに取り付けた油圧ジャッキで加力した。高さ方向の加力位置は、施行令 88 条の層せん断力分布係数 A_i を用いて求めた各階の地震力の比率により算出し、水平方向の加力位置は重心とした。なお、実験終了後に確認したところ、加力治具の高さが設計よりも 454 mm 低い位置に取り付けられており、2 階への外力が想定 68% しか入力できていなかった。加力サイクルは 1 階の層間変形角を制御として $\pm 1/500\text{rad}$ 、 $\rightarrow \pm 1/250\text{rad}$ 、 $\rightarrow \pm 1/120\text{rad}$ (2 回繰り返す) $\rightarrow \pm 1/60\text{rad}$ 、 $\rightarrow \pm 1/30\text{rad}$ の順で行った。最終的には東方向に装置の限界まで加力し、1 階見かけの変形角 $1/19\text{rad}$ で終了した。計測はジャッキに設置したロードセルにより建物に加えた荷重を測定し、試験体には層間変位計測用、土台・柱脚・柱頭・筋かいの接合部計測用の変位計を設置した。また、柱・筋かいには下から 1/4 の高さの両面に歪ゲージを取付け、アンカーボルトとホールダウンボルトには歪みゲージ埋め込むことで、軸力を測定した。なお、計測歪みから軸力への換算は、実験終了後に歪ゲージを取り付けたまま部材を取り出し、それぞれの引張試験を行うことで直接的に求めた。

動的実験は建物の東西方向を軸とした水平一方向加振で行った。入力地震動は壁の動的実験と同じ神戸海洋気象台波 (JMA-KOBE、NS 成分) を基本に、最大加速度 818gal を 1000gal に基準化した波形を目標波 (以下 JMA1000gal と呼ぶ) とした。フェーズ 1 で実際に入力した地震波は、最大加速度 1096gal、最大速度 92kine、最大変位 18.1cm が振動台上で記録された。実験は試験体の損傷状態により、フェーズ 1 ~ 3 の各段階に分けて行った。フェーズ 1 は、損傷の全くない試験体に対し JMA1000gal を入力した。フェーズ 2 は、フェーズ 1 の履歴をそのままに試験体に何も手を加えない状態で再度 JMA1000gal を入力した。フェーズ 3 は、破断した筋かい及び 1 階加振方向の石膏ボード全てを張り替えた試験体に対し JMA1000gal を入力した。なお、以降の比較検討ではフェーズ 1、2 の結果のみを用いている。また、各部の軸力は静的実験と同様の方法で計測を行った。

図4 掃出開口 (Z1) の単体要素別比較

3. 復元力特性の静的動的比較

3. 1 壁実験の復元力特性の静的動的比較

壁の静的実験と動的実験の結果を比較して、壁の復元力特性について静的動的特性を分析した。なお、動的実験の荷重は壁の振動台実験の梁上応答加速度と各試験体の質量 (柱高さ 1/2 より上、重り含む) の積から推定した。その際、加速度データは両側の壁の平均値を用い、荷重は静的実験との比較のため単体の2間壁に換算、すなわち箱形試験体実験値の 1/2 とした。

3. 1. 1 復元力特性要素別比較

図4に、単体要素の静的実験の包絡線と、動的実験の荷重-変形関係の比較を示す。いずれも掃出開口 (Z1) 付きのものである。なお、静的実験の変形 (-) 側の包絡線は変形 (+) 側の包絡線の符号を逆転したものである。

- ・ 軸組 (F) の荷重-変形関係は、静的動的にほとんど変わらない。
- ・ 筋かい (B) は初期の段階ではほとんど同じ曲線を描いているが、動的実験の方が若干小さい変形で最大荷重をむかえ、その後の荷重低下も急激な傾向にある。筋かい (B) は動的に評価するとより靱性が乏しくなる。
- ・ 石膏ボード (G) は、動的実験の方が静的実験よりも2割程剛性が高く、最大荷重もより小さな変形で迎える。ただし、それ以降の大変形領域では粘り強い挙動を示し大きな差はない。同一変形に至る繰り返し回数は約2倍動的実験の方が多いが、初期の段階から動的荷重が高い値を示し、繰り返し回数が影響したものではないと考えられる。
- ・ サイディング (S) は $1/50\text{rad}$ までの範囲でほとんど同じ挙動を示している。初期剛性が非常に高く、塑性化しても安定して荷重が伸びるは静的も動的も変わらない。ただし、動的実験ではこれ以上の変形でのデータが取得できていないため、最大荷重や靱性については評価できなかった。

3. 1. 2 開口種類別比較

図5に筋かい+石膏ボード (BG) について、図6に筋かい+石膏ボード+サイディング (BGS) について、静的実験の包絡線と動的実験

図5 筋かい+石膏ボード(BG)の開口種類別比較

図6 筋かい+石膏ボード+サイディング(BGS)の開口種類別比較

の荷重-変形関係の比較を示す。

- 筋かい+石膏ボード(BG)は、動の実験の方が静的実験よりも若干高い荷重を示すものもあり、動的ではより小さい変形で最大荷重をむかえる傾向がある。
- 筋かい+石膏ボード+サイディング(BGS)でも同様に、動の実験の方が静的実験よりも若干高い荷重を示す傾向がある。特に無開口(Z4)にその傾向が大きいのは、石膏ボードの占める割合が多く、その動的特性が顕著に表れたものと考えられる。

3. 2 実物大建物の復元力特性の静的動的比較

実物大建物の静的実験と動の実験の結果を比較し、木造軸組工法住宅の復元力特性について静的動的特性を分析した。

静的実験と動の実験(フェーズ1とフェーズ2)の1階の荷重-変形関係を図7に、2階の荷重-変形関係を図8に、それぞれの代表包絡線を図9と図10に示す。また、代表包絡線から取り出した特定変形角時荷重を表2に示し、静的荷重と動的荷重の比率を記載した。

荷重-変形関係は、静的にも動的にもほぼ同じような性状を示しているが、特定変形角の荷重は動の実験が上回っている。壁の場合と同様に、同一変形に至る繰り返し回数は約2倍動の実験の方が多

図7 静的加力実験と振動台実験の1階の荷重-変形関係

図8 静的加力実験と振動台実験の2階の荷重-変形関係

図9 静的加力実験と振動台実験の1階の代表包絡線

図10 静的加力実験と振動台実験の1階の代表包絡線

※図7～10の振動台実験の荷重は同じ実験を示した参考文献9)の値より小さくなっている。これは建物質量を詳細に再計算した結果である。

表2 特定変形角時荷重の比較

特定変形角時荷重		1階変形角 (rad.)									
		1/800	1/450	1/300	1/200	1/150	1/120	1/100	1/75	1/50	1/30
1F	D: 振動台実験 (kN)	101	118	145	179	191	207	223	259	288	315
	S: 静的加力実験 (kN)	83	95	122	148	177	199	206	244	276	304
	比較: 振動台/静加力 D/S (%)	122%	125%	119%	121%	108%	104%	109%	106%	104%	104%
	D: 振動台実験 (kN)	73	78	98	117	127	160	163	168	197	
2F	S: 静的加力実験 (kN)	55	63	71	87	95	103				
	比較: 振動台/静加力 D/S (%)	131%	125%	137%	135%	134%	155%				
	D: 振動台実験 (kN)										
	S: 静的加力実験 (kN)										

いが、初期の段階から動的荷重が高い値を示し、繰返し回数が影響したものではないと考えられる。1階では 1/200rad. までの比率が高く、静的実験の 119%~123%を示した。それ以降は徐々に静的実験との差は小さくなり 104%~109%の範囲で推移した。2階での静的実験に対する動的実験の荷重比は 125%~155%とより高い値を示している。前節において、「石膏ボード(G)は、振動台実験の方が静的加力実験よりも2割程剛性が高く、最大荷重もより小さな変形でむかえる。」ことを示した。実物大建物において静的荷重よりも動的荷重が高くなるのもこの石膏ボードによる効果が大いと考えられる。2階でより顕著に荷重比があがっているが、これは壁要素の中に占める石膏ボードの割合が1階よりも2階の方が大きいことが要因として挙げられる。このように建物を構成する壁要素の種類と構成比率によって、静的荷重と動的荷重の比率は変化するものと考えられる。

4. 壁の復元力特性の加算則における静的動的比較

4.1 壁実験による加算則の検証

壁の静的実験と動的実験の特定変形角の荷重値を用いて、各単体要素の荷重-変形角モデル曲線を足しあわせ、複合要素の実験値との照合を行った。静的、動的の両面から壁の復元力特性の加算則について検証する。

4.1.1 筋かいと石膏ボードの加算 (B+G)

筋かいと石膏ボード (B+G) の静的動的復元力特性の加算則の検証結果を図11に重ねて示す。なお、加算の際には軸組(F)の荷重が重ならない様にそれぞれの加算値から重複分を差し引いた。図中記号は加算した要素と差し引いた軸組(F)の数量を示している。

- 動的壁加算値は剛性を実際よりも大きく見積り過ぎる傾向があり、むしろ静的壁加算値の方が複合体実験値との適合度は高い。
- 単体筋かい壁(Z1-B)は複合体実験値(Z1-BG)よりも小さい変形で座屈によって荷重低下を起こすため、最大荷重や靱性を評価することはできない。これは静的にも動的にも同じ性状である。

4.1.2 筋かいと石膏ボードとサイディングの加算 (B+G+S)

筋かいと石膏ボードとサイディング (B+G+S) の静的動的復元力特性の加算則の検証結果を図12に重ねて示す。

- 動的壁加算値は剛性を実際よりも大きく見積り過ぎる傾向

図11 静的動的復元力特性の加算則の検証 (B+G-F)

図12 静的動的復元力特性の加算則の検証 (B+G+S-2F)

図13 静的動的復元力特性の加算則の検証 (BG+S-F)

があり、むしろ静的壁加算値の方が複合体実験値との適合度は高い。

- 単体筋かい壁(Z1-B)は複合体実験値(Z1-BGS)よりも小さい変形で座屈によって荷重低下を起こすため、最大荷重や靱性を評価することはできない。これは静的にも動的にも同じ性状である。
- 全体的に筋かいと石膏ボードの加算 (B+G) で示された傾向と同様である。

4.1.3 筋かい・石膏ボードの複合体とサイディングの加算 (BG+S)

筋かい・石膏ボードの複合体とサイディング (BG+S) の静的動的

復元力特性の加算則の検証結果を図13に重ねて示す。

- ・ 動的壁加算値と静的壁加算値の差は小さく、1/50rad. までの複合体実験値との適合度は高い。
- ・ 複合体(Z1-BG)が筋かいの座屈によって復元力特性低下を起こす大変形領域では、適合度は低くなり、最大荷重や靱性を評価することはできない。これは静的にも動的にも同じ性状である
- ・ 複合体(Z1-BG)の復元力特性を用いることで、単体加算値よりも複合体実験値の性状をよく捉えることができるのは、静的にも動的にも同じである。

4. 2 実物大建物の復元力特性予測法の静的動的比較

現在、木造軸組工法住宅の耐震設計に用いられている壁量計算は、壁の静的実験の結果に基づいている。しかし、実際、建物が保有する耐震性能は実物大建物の振動台実験結果が最も確に表していると言える。そこで、これらの関係を直接的に比較するため、壁の静的復元力特性の加算による実物大建物の復元力特性の予測結果と、実物大建物の振動台実験の比較分析を行った。まず、壁の静的実験の結果を用いて、実物大建物を構成する3つの壁要素、B:筋かい、G:石膏ボード、S:サイディングについて、静的復元力モデルを作成した。図14に示す。モデル曲線は見かけのせん断変形角における各サイクルの頂点及び、各要素の特性を表すのに十分な特定変形角時の荷重を取り出し、軸組(F)の荷重を差し引いて1P(=910mm)当たりの特性として求めた。これに各要素の壁長を乗じ、それぞれを加算することで建物全体の復元力特性予測ができるようにした。

このようにして求めた実物大建物の計算復元力特性を動的実験の結果と併せて図15に示す。「計算1」では基本要素である軸組(F)と建築基準法上の耐力壁である筋かい(B)を用いた。「計算2」では品確法上の準耐力壁である石膏ボード(G)も加算した。「計算3」では外壁のサイディング(S)も加えた。さらに「計算4」では各要素の垂壁・腰壁も算入し、実験値との比較を行った。なお、垂壁・腰壁要素については、全壁に対する垂壁・腰壁の有効高比で実験値を低減して算入した。

計算1が耐力壁である筋かい(B)の静的特性を加算したものであり、壁量設計の性能値と位置付けられるものである。実際の性能を表す動的実験値を基準に比較すると、1/75rad. の変形まで39%~49%の性能値でしかなく、建物の実際の復元力の半分程度しか評価できていない。次に、石膏ボードを加算した計算2では73%~78%の性能値となった。通常は算入していないが、真の復元力特性を予測するには非常に大きな影響を与える要素である。計算3で外壁のサイディング(S)を加えると81%~87%の性能値、さらに計算4で各要素の垂壁・腰壁も見込むことで、87%~94%の性能値まで予測できるようになった。壁の静的復元力特性の加算を詳細に行うことによって、1/75rad. までの変形の範囲内では実物大建物の復元力特性を9割程度まで予測可能なことが分かった。しかし、その後は実験値が約1/30rad. まで荷重が上昇しているのに対し、計算値は約1/60rad. で最大荷重を迎え、荷重低下が始まっている。つまり、今回の方法に

図14 静的復元力モデル

図15 実物大建物の計算復元力特性と実験結果

よる壁の復元力特性の加算では最大荷重や靱性までは評価することはできない。変形が進むと実験値との差が大きくなる主な要因としては、壁の実験の場合と同様に大変形での筋かいの座屈挙動の違いによるものと考えられる。面材によって拘束された筋かいは座屈挙動が抑えられ、圧縮筋かいとしての復元力が向上し、実際の建物では最大荷重と靱性が上昇するものと推定できる。

5. 筋かいの静的・動的特性

5. 1 筋かいに発生する軸力の静的動的比較

実物大建物の静的実験と動的実験で取得した筋かいの軸力を比較して、筋かいの実際の建物の中での静的・動的特性を分析した。1階筋かいの静的・動的軸力と層間変形角との関係を筋かいの設置位置と共に図16に示す。筋かい軸力は、実大実験で計測した歪みと実験後に行った部材引張試験の結果から換算したもので、引張を正荷重、圧縮を負荷重で示した。また、層間変形角は筋かい取付箇所近傍の通りのデータを使用した。

筋かいの耐力壁としての静的・動的特性は、「初期の段階の荷重変形関係はほとんど同じであるが、動的実験の方が若干小さい変形で最大荷重をむかえ、その後の荷重低下も急激な傾向にある。筋かいは動的に評価するとより靱性が乏しくなる。」ということであった。図16に示した筋かい軸力は、実際の建物の中で石膏ボードやサイ

図16 1階筋かい軸力の静的動的比較

ディングによって拘束されている状態での静的・動的特性の比較となる。

全体的には、同じ変形の範囲では静的な軸力も動的な軸力もほぼ同じ性状を示しており、概ね単体要素の場合と変わらない結果であった。特に、筋かい(SB5, 6, 9, 12)は、スリップ性状や剛性・最大軸力共、静的にも動的にもほとんど重なっていた。筋かい(SB2, 3)は若干動的剛性が高く、筋かい(SB4, 8, 10, 11, 13)は最大荷重を動的の場合の方が小さい変形で迎えたり、軸力が勝る傾向を示した。その中で、筋かい(SB1, 7)は静的軸力の方が大きな値を示した。筋かい(SB1)は圧縮側で1.8倍の軸力示し、動的には何らかの原因で損傷が生じ塑性化したものと考えられる。筋かい(SB7)は静的には最大81kNを示しているが、動的軸力との性状は大幅に違っている。対称に配置

された筋かい(SB8)との性状を比較すると、筋かい(SB7)の静的データの信頼性には疑問が残る。何れにしても、拘束条件が同じであれば、筋かいの静的・動的特性に大きな差はないと言える。これは、性能評価において、静的実験でも動的実験でもほぼ同等の結果が得られることを示している。

5.2 筋かいの水平力負担率の静的動的比較

筋かいの軸力から加力方向の水平方向成分を算出した。この筋かいの水平方向の負担力を「筋かいの水平負担力」と呼ぶ。また、筋かいの水平負担力の合計と層せん断力との比を「筋かいの水平力負担率」と呼ぶ。実物大建物の静的実験と動的実験で求めた筋かいの水平負担力と水平力負担率の結果を比較分析した。1階筋かいの水平負担力について、実物大建物の静的実験と動的実験の比較を図1

図17 実物大建物の筋かいの水平負担力（静的動的比較）

図18 実物大建物の筋かいの水平力負担率（静的動的比較）

7に示す。また、1階筋かいの水平力負担率について同様の比較を図18に示す。

筋かいの水平負担力は、静的実験も動的実験も変形が進むと共に増加する傾向にある。また、全体的に初期は動的実験の方が若干大きい、変形が大きくなると静的実験の水平負担力の方が動的実験の値を1割程度上回っている。一方、筋かいの水平力負担率は、静的実験が20～50%程度で推移するのに対し、動的実験は30～45%程度であった。動的実験の方が変動が小さく、全体的に低い割合となっている。層せん断力の比較では動的実験が静的実験を上回っていたことから、振動台実験では筋かい以外の効果がより作用しているものと考えられる。

6. まとめ

実物大建物を構成する壁要素の静的加力実験と振動実験、同仕様・同プランで実施した実物大建物の静的加力実験と振動実験の結果を比較し、それぞれの関連性を分析した。この比較によって分かったことを以下にまとめる。

1) 壁実験の復元力特性の静的・動的比較から、軸組(F)とサイディング

値するとより靱性が乏しくなる傾向があり、石膏ボード(G)は動的剛性が静的剛性より2割程が高く、動的にはより小さい変形で最大荷重をむかえる傾向があることが分かった。

- 2) 実物大建物の荷重—変形関係を比較すると、同じ変形角では動的実験の荷重が上回り、1階では1/200rad.まで静的実験の119%～123%を示した。それ以降は徐々に静的実験との差は小さくなった。
- 3) 壁の復元力特性の加算則は動的に剛性を過大評価する傾向があり、静的加算の方が剛性の適合度は高い。しかし、どちらの場合も最大耐力や靱性を評価することはできなかった。
- 4) 壁の静的復元力特性の加算による予測結果と実大建物の動的実験の結果を照合した。余力として妥当性があると考えられる壁要素を全て加算することで、1/75rad.程度までの剛性については9割程度予測可能だが、これを超える大変形領域での最大耐力と靱性を評価することはできなかった。実際の建物では筋かいの座屈が拘束され、最大荷重と靱性が向上することが主な要因と考えられる。
- 5) 実大実験の筋かいの軸力を静的動的に比較すると、同じ変形の範囲では静的な軸力も動的な軸力もほぼ同じ性状を示した。
- 6) 実大実験の筋かいの水平力負担率は静的実験が20～50%程度、動的実験は30～45%程度であり、動的実験の割合が若干低く筋かい以外の効果がより作用しているものと考えられる。

参考文献

- 1) 大橋好光, 木村正彦, 高野一義, 川久保政茂, 坂本功: 神戸海洋気象台波3次元加振による現代軸組構法木造住宅の実大振動実験(その1～2), 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.109-116, 1995.03
- 2) 坂本功, 大橋好光, 田中裕樹, 宮澤健二, 角谷智代: 軸組構法住宅の実大振動実験(A棟)(その1～4), 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp.129-136, 1996.09
- 3) 宮澤健二, 北野志乃, 難波達太郎, 大橋好光, 坂本功, 田辺英男, 上田善規, 飯鉢整, 池本考, 栗山留美子: 軸組構法住宅の実大振動実験(B棟)(その1～3), 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp.137-142, 1996.09
- 4) 相原庸夫, 新居健二, 三井信宏, 杉本健一, 神谷文夫: 軸組構法住宅の実大振動実験(D棟)(その1～5), 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp.143-152, 1996.09
- 5) 岸川聡史, 小原勝彦, 宮澤健二: 軸組構法住宅の実大振動実験(F棟)(その1～2), 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp.153-156, 1996.09
- 6) 坂本功, 大橋好光, 木村正彦, 川久保政茂, 宮本善人, 永尾弘行, 小野塚浩基, 田中裕樹, 橋田文男, 三川卓: JR鷹取波加振による軸組構法木造住宅の実大振動実験(その1～8), 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.153-168, 1997.09
- 7) 田中裕樹, 大橋好光, 新居健二: 実大実験による木造軸組構法住宅の耐震性に関する研究(その1～2), 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), pp.235-238, 1998.09
- 8) 高橋浩一, 石山央樹, 綿引誠, 中野一郎, 大橋好光ほか4名: 実大実験に基づく木造軸組構法住宅の耐震性に関する研究 その1～5, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北) C-1 構造Ⅲ, pp.169-178, 2000.9
- 9) 三芳紀美子, 大橋好光, 高橋浩一, 綿引誠, 中野一郎, 町田健一: 軸組構法住宅用各種壁の静加力試験及び振動台実験その1～2, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東) C-1 構造Ⅲ, pp.199-202, 2001.9

(2005年10月21日原稿受理, 2006年1月27日採用決定)