

住宅用可動式耐震壁の提案と試作

齊藤俊道*・川島洋一**・永野康行**

On the Transportable Earthquake-Resisting Wall for Residence

Toshimichi SAITO*, Yoichi KAWASHIMA**, Yasuyuki NAGANO**

In considering the brevity of life-span of houses in Japan, the core of the whole question should be focused on the possibility of renovation of the house, without any professional constructors' help, even if its required function has been drastically changed. This article is to advance a new structural system for ranch house planning, adopted "The Transportable Earthquake-Resisting Wall (TER-Wall)" in order to renovate the room plan easily. The TER-Wall is made of grid-like wooden board with the plywood panels set in as the back boards, and this wall could be pull apart into pieces, so as to remove the wall easily by hands. The concept of the system, the design of the TER-Wall, the result of the basic structural analysis, and the aspect of the trial model have been demonstrated in this paper.

Keywords: The Transportable Earthquake-Resisting Wall, TER-Wall, Architectural Renovation

1. 研究の背景と社会的要求

1-1 住宅寿命と建替えの現状

日本の住宅の寿命は一般的に短いといわれている。50%残存率を適用した研究によれば、日本の木造住宅の寿命は1987年に38年程度であり、その後現在では50年程度まで延び続けているとされるが¹⁾、50年から100年といわれる欧米先進国のそれと比較すると短いことが明らかである。

戦後の日本では、高度成長期からいわゆるバブル経済期にかけて、洋風化や核家族化など日本人の生活様式が劇的に変化した。生活者の価値観の大きな変化に伴い、住宅に求められる機能や性能、理想とされる住宅像も刻々と変化したといえる。さらに、居住者のライフサイクルに応じた家族構成の変化や、離婚や身体障害の発生など、予期せぬ生活上の変化にも対応する必要がある。日本ではこうした場合に、耐久性の面ではまだ性能を発揮する住宅を、除去あるいは建替えるスクラップ・アンド・ビルドの風潮が盛んになった。本稿における問題意識は、このように住宅の寿命が建物の耐久性の限界よりも耐用性により決定されてきたことの改善にある。

スクラップ・アンド・ビルドの風潮は、近年になり地球環境問題やエネルギー問題、資源問題、ゴミ問題などの観点から問題視されている。それに加え、晩婚化や非婚化、少子高齢化などの社

* 建設工学専攻大学院生 **デザイン学科

会現象による単身世帯数の増加、ルームシェアや DINKS に象徴される伝統的な家族像に縛られない多様な家族形態が出現したことにより、nLDK 型として類型化されてきた標準的な住宅平面の発想では十分に対応できない住宅像が一部で求められている。一般論としては、数十年間に及ぶ建物の寿命よりも、人々の家族像や生活様式の変化の方が短いスパンで推移するといえよう。

1-2 住宅長寿命化の動向

2009 年 6 月、国土交通省により「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」が施行された。同法では、長期優良住宅の定義を次のように定めている²⁾。

1. 建築をしようとする住宅の構造及び設備が長期使用構造等であること。
2. 建築をしようとする住宅の規模が国土交通省令で定める規模以上であること。
3. 建築をしようとする住宅が良好な景観の形成その他の地域における居住環境の維持及び向上に配慮されたものであること。(後略)

ここでは、長期優良住宅は主として構造および設備の観点における耐久性、住宅の規模、景観などから定義されている³⁾。日本における現状では、住宅の寿命を決定する因子は生活様式の変化への対応にあると考えるのが本稿における問題意識であるが、上で見た法律の定義でこれに関係するのは、2の「住宅の規模」だけである。面積の大きな住宅が、生活様式や家族構成の変化に対応しやすいことは想像に難くない。しかし、住宅の規模は敷地の面積や用途地域、資金力などにより決定され、常に余裕を持って建設することが可能であるとはいえない。住宅の長寿命化を目指す施策としては、上の2は不十分である。たとえ面積にあまり余裕がない住宅であっても、プラン変更を容易にする性能を持たせることにより、耐用性を向上させ、同じ住宅を使い続ける可能性が向上すると考えられる。

1-3 研究の目的

こうした問題意識から、従来では建てたら動かさないものと考えられてきた「耐震壁の可動性」に注目し、主に住宅建築に適用することを想定した「可動式耐震壁(以下、TER-Wallと略記)」⁴⁾を提案する。これにより容易にプランや空間の更新が可能な住宅のシステムを提案することを研究の目的とする。可動性と耐震性を併せ持つTER-Wallの適用により、住宅の耐久性を最大限に活用し、貴重な資源・資産の有効利用と地球環境の改善を目指す住宅計画の試みである。

1-4 本研究に関する既往研究・既設建築物

住宅用や可動式耐震壁ではないが、本研究の関連事例として、「四国銀行本店(高知市・2007年改修工事竣工)」

【写真 1】が指摘できる。大成建設が開発した縦格子鋼板補強工法「T-GRID」⁵⁾を使用した耐震改修である。格子状のフレームの仕組みを参考にさせていただいた。



写真 1 四国銀行本店

2. TER-Wall の適用

2-1 可動する壁のメリット

従来の木造住宅の耐震壁の仕組みは、筋かい又は構造用合板を利用し、一枚の壁を面とすることで地震力に抵抗するものである。いずれにせよ、壁の上下端部は土台（基礎）や梁にしっかりと固定され、壁全体を動かす発想はない。一般には、耐震壁を可動式にするという発想自体が、無意味で許されないものといえる。

本稿では「可動する壁」を、「壁そのものをある地点からある地点へ移動させることができる」と定義する。可動する壁を用いて空間を変化させる方法は、一般に広く普及している。しかし、可動させる対象は間仕切壁であり、さらに非耐震要素のものに限定されているのが普通である。

そこで本研究では、耐震壁として不動であるはずの壁の可動性に着目する。ここでの最大の注目点は、普通動かすことのできない耐震壁が動くことによる、空間バリエーションの増加である。つまり、耐震壁か非耐震壁かを問わず、すべての壁を可動させることができたとしたら、プランの自由度はさらに広がると考えられるからである。また、耐震壁が動かせるようになるということは、外壁の移動も可能になると考えられる。たとえば、耐用性を向上させる試みとしてのスケルトン・インフィル型住宅では、躯体・設備の耐久性や間仕切壁の可動性を得てはいるが、プランの変更は躯体に囲われた内部空間のみの変更となる。しかし、仮に外壁も可動にすることができるならば、プランの変更に伴い住宅規模の拡大・縮小・変更などが容易になる。

2-2 求める性能・性質

本稿においては、重要な三つの性能・性質を有する耐震壁を「TER-Wall」として位置づけ提案するものとする。

1. 建築基準法を満たす耐震性能を有すること。
2. 専門家を必要とせず、住人自らの力で設置、移動、撤去が可能であること。
3. 経済性の観点から、実現可能性を有すること。

これら3つの条件をすべて満たす TER-Wall を追求することになる。また、以上の条件を守りつつ、ここではデザイン性も重要視する。デザイン性に関しては第3章で述べる。

2-3 新規性及び優位性

従来の耐震壁は、その役割から考えて強固である必要があった。壁が厚いのは当然であり、そもそもデザイン性を求めるという発想がなかったといえる。これは木造においても、鉄筋コンクリート造においても同じことがいえる。近年では、機能性にデザイン性を掛け合わせた耐震壁の試みも一部に見られるが、いまだに広く普及しているとはいえず、耐震要素とデザインは両立しないものであるという認識が一般的であるといえよう。

さらに、我が国のいわゆるプレファブ方式による工業化住宅は、大企業であるハウスメーカーの生産・流通・販売の一貫したシステムにより成立し、消費者である住まい手とその閉じられた

システムに立ち入る余地はなかったといわざるを得ない。本研究は、そうしたシステムに風穴をあけ、エンドユーザーである住まい手が自力で簡単にリフォームできる住宅のあり方を提案することに新規性を求めるものである。また、地域の中小住宅メーカーによる生産の可能性も含め、住宅の生産・流通システムに対する新しい提案となることを目指す。住まい手が自分で手を加えながら、長期間にわたり住むことができる住宅の実用化が、この研究の目標である。

3. TER-Wall のメカニズム

3-1 長期荷重

在来木造構法における耐力壁は、地震力以外にも風圧力などの水平荷重に対して抵抗する。その他、固定荷重などの長期垂直荷重や積載荷重なども受ける。本研究で提案する **TER-Wall** においては、垂直荷重のすべてを別に設ける柱がすべて負担し、**TER-Wall** は地震力や風圧力などの水平力のみに抵抗させるものとする。その意味で、この **TER-Wall** は厳密には耐力壁ではなく、耐震壁と位置づけられる。

3-2 基本構成と権法の検討

本稿で提案する TER-Wall のベースになるのは、木質繊維の集成材を格子状に組んだものである。TER-Wall 1 枚全体の見付け寸法は 2,800 × 1,775 (mm) としている。【図 1】

使用木材の断面基本寸法は仕入れ時の寸法 4,200×600×30 (mm) から、経済性・生産性、環境面に配慮し、仕入れ時の寸法幅 600mm を 4 分割して得られる寸法 148×30 (mm) と、寸法幅 600mm を 3 分割して得られる寸法 198×30 (mm) を用いることとする。格子の部分には、木質の合板（シナベニア厚さ 12mm）をはめ込むことにより、ブレースの役割を持たせる。

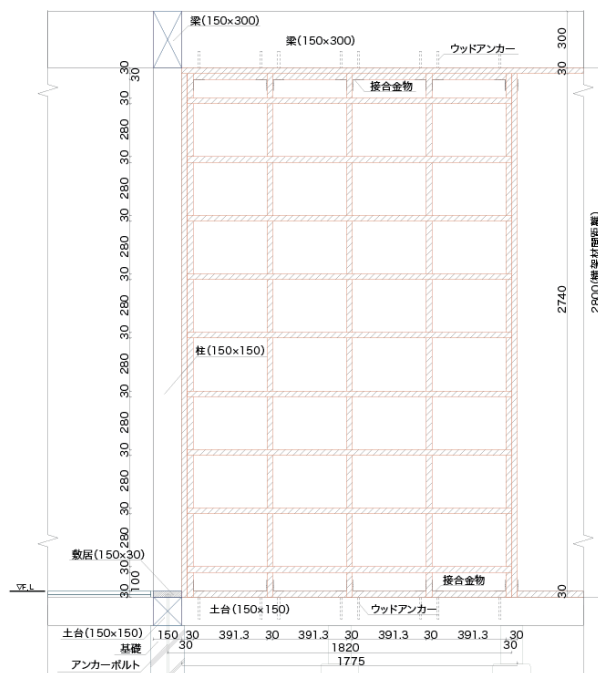


図 1 TER-Wall の基本図面

重量については、壁を構成する木材であるタモとシナベニアの比重を仮に 0.6 とし、現に想定している 148×30 (mm) の断面を持つ構造用合板の必要な長さ、TER-Wall の見付面積 2,800×1,775 (mm) によって割り出される合板の枚数から、求められる TER-Wall 一枚の重量はおよそ 1,040N(約 106kg)になる。これを移動させるとなると、重機や専門業者の協力が必要となる。本研究の立場は、耐震壁を可動式にできることだけでなく、住み手が専門業者の力を借りずに自力でプランの変更を行えることを重視する。住み手が自力でプラン変更を行えないとしたら、TER-Wall の普及が実現する可能性は低くなる。専門業者に依頼するならば、通常の在来構法の木造住宅のプラン変更は、それほど困難なこととはいえない。

3-3 構成要素の分解

前で述べたように、TER-Wall 一枚をそのまま移動させることは困難である。また、専門業者を必要としたのでは新規性、実用性ともに失われてしまう。そこで、ロックダウン方式を採用する。壁の主体部分である格子材は、各切込み部分ではめ込み、取り外しを可能にし、壁そのものを一度バラバラに分解することでコンパクトにする。分解した時の一番重い部材 1 つの重量は最大 68.7~73.5N(約 7~7.5kg)程度であるため、容易に人力で持ち運ぶことが可能となる。【図 2】

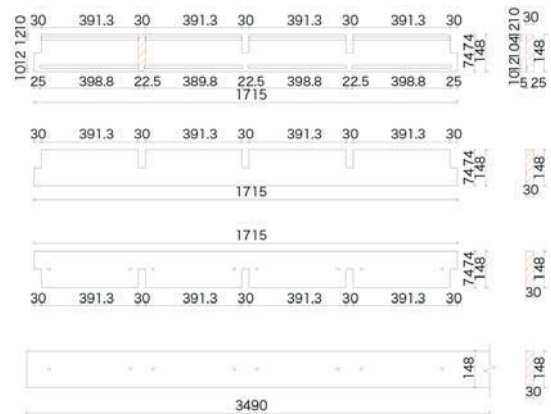


図 2 格子材の分解・切り込みと寸法

3-4 基礎と土台

ここでは、建築物全体を支えるための一番重要な基礎部分について検討する。壁の建つ位置には必ず基礎と土台が必要である。つまり、基礎の配置次第で壁が可動できる範囲が決まることになる。そこで、プラン変更の自由度を X 軸方向にも Y 軸方向にも保証するために、基礎は 3,640mm ピッチでグリッド状に配置する。基礎には TER-Wall の縦材の間隔に合わせて 421.3mm ごとにアンカーボルトを埋め込む。このアンカーボルトは通常の工法と同様に、基礎と土台を固定すると同時に、TER-Wall も一体的に固定するものと想定している。土台のサイズは TER-Wall と柱の大きさから 150mm 角の集成材を用いる。

3-5 壁・壁枠

TER-Wall の骨格ともいえる格子部分の縦材と横材にはそれぞれ 310、421.3 (mm) ピッチで 74×30×30 (mm) の切り込みが入れている。その部分を相互に差し込むながら壁を組み立てるが、順序としてはまず縦材を壁枠に取り付ける。【図 3】

壁枠は、格子材とそれぞれ土台・梁・柱の間に挟まれ、ボルト等で一体に固定される。この壁枠は TER-Wall を設置しない場所では床の隙間を埋めるためそのまま残される。また、壁枠を交換することで敷居や鴨居の役割を成し、それにより建具の取り付けを可能にする。

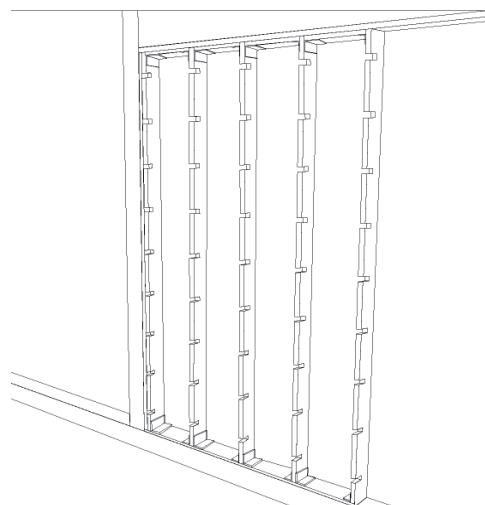


図 3 壁枠・縦材の取り付け

3-6 背板

地震時の水平力に抵抗するのは、厚さ12mmの背板となる合板である。水平荷重はほぼこの背板によって支えるものと想定する。この合板は、格子材に掘られた溝にはめ込むことにより、金物なしで固定される。組立は縦材を固定した後、横材をはめ込んでいくたびに、この背板も同時にはめ込んでいく。【図4】

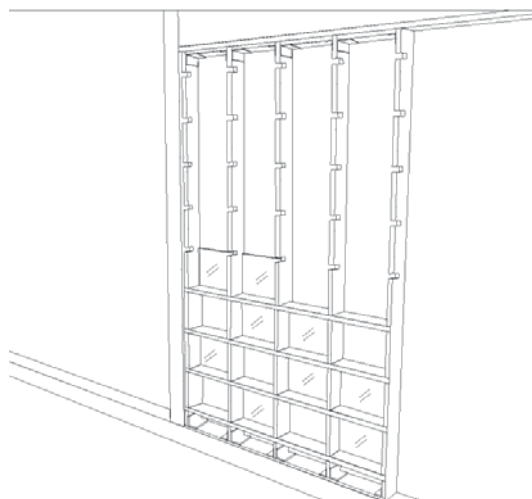


図4 横材・背板の取り付け

3-7 接合金物

木材同士の接合部には基本的に構造上必要な部分以外接合金物は使用しない。それにより木材同士のめり込みや粘りを大切にする。構造上必要な部分とは、縦格子材の上下部分である。縦格子材を土台、梁に固定する際に現状では必要と考えられるため特定の金物を使用することとする。【図5】その他の部分には、できるだけ金物を使用しないことで、TER-Wallの設置や取り外しの際、金物を一つ一つ設置・取り外しする手間が省けることにもなる。

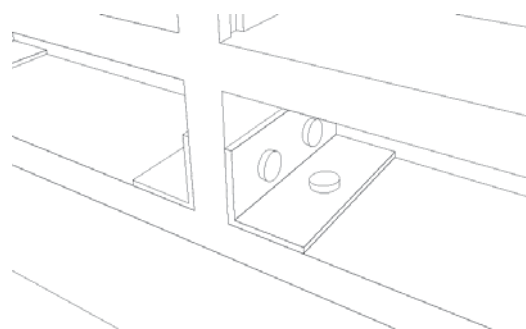


図5 接合金物

3-8 デザイン性

TER-Wallが自力で自由に組立てや解体が可能であり、さらに一定以上の強度の確保が可能であるならば、使用者の気分により格子にはめ込む背板の位置を自由に選択したり、背板にカラーパネルを使用することにより、TER-Wallのデザインを変化させることも可能になる。また、格子の間隔や材の枚数を変えたりパネルの奥行きを変化させたりすることで、壁の透過性をコントロールすることができ、壁によって仕切られる両側の空間の視認性や関係性を操作することも可能である。さらに、格子状に組み立てたTER-Wallは、収納本棚として機能すると考えられ、壁の厚みが奥行きの変動式造付け家具として使用可能である。【図6】

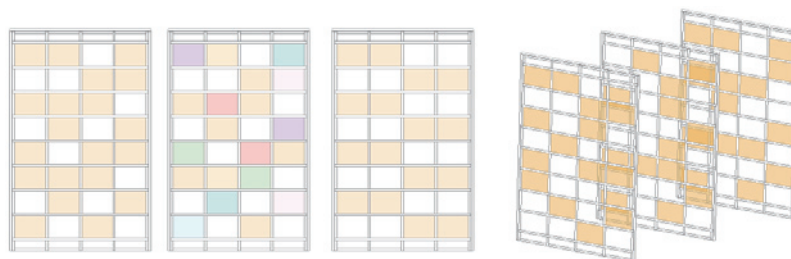


図6 デザイン・ヴァリエーションの事例

4. 構造解析による TER-Wall の検証

4-1 2次元弾性解析

ここでは基礎的な構造解析により TER-Wall の水平剛性を試算する。使用するソフトは、「バンドマトリックスによる任意形平面骨組の解析 KAKOU」である。KAKOU プログラムでは 2 次元弾性解析として、壁一枚を簡単な軸組みで表し、面材を線材へ置換する。外力を一節点に対して集中荷重として与える。耐震要素をもたせる部材の量や配置パターンの違いについて変形量を計算し、壁耐力を算出し比較する。本解析では垂直荷重は作用させない。

4-2 KAKOU による解析

4-2-1 解析方法

構造解析ソフト「バンドマトリックスによる任意形平面骨組の解析 KAKOU」を用いて変形量を計算する。

解析するモデルの寸法入り図面を【図 7】に示す。ブレース材の設置数や配置パターンによる変形量の違いを出すため、全 23 パターンのモデル【図 8】を用意し、それぞれの最大変形量を求め、比較する。なお、入力は一線形で行い、断面寸法、部材耐力を与えることで解析を行う。解析時には部材はすべて単線入力とする。

主に格子を形成する縦材と横材を「部材 1」として同一断面形状を用い、ブレースとなる材を「部材 2」とする。なお、部材 2 は、本研究においては、格子内にはめ込む背板となり、面材として水平荷重に抵抗するものと考えているが、本解析ではモデリング上、線材として扱う。

本研究では TER-Wall の実際の寸法による解析に先立って、従来のツーバイフォー基準で 사용되는標準部材寸法（2×12 インチ＝38×286mm）を用い、TER-Wall と類似形状のモデルを解き、実際の TER-Wall を解析した値と比較した。なお、【図 2】に挙げる解析モデル図面と実際に設計した TER-Wall の形状が異なっているが、これは格子状に組まれた縦 8、横 4 個のボックス状の部分の解析とし、かつ部材 2 の配置パターンについて検討するため、モデルを単純化したためである。TER-Wall の上部・下部の梁・土台に接合する部分の検証は、本稿では行わない。

4-2-2 解析

各部材の入力数値は以下のようにする。

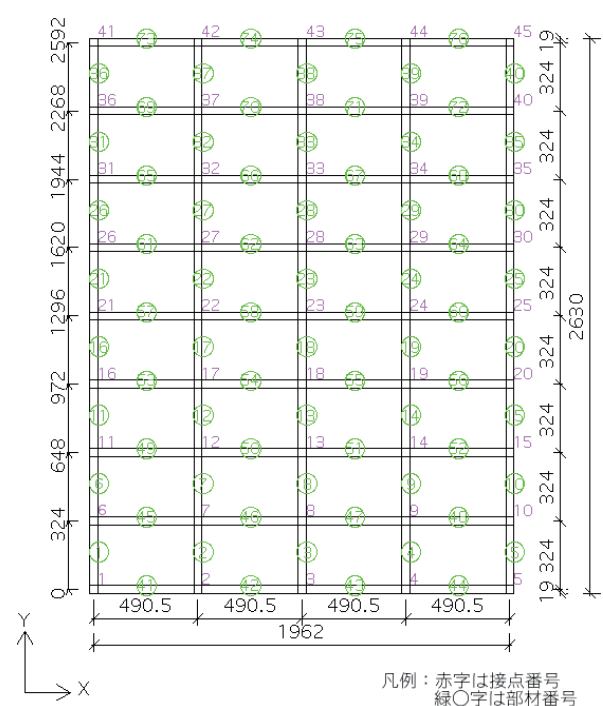


図 7 解析モデル図面

部材 1 : H=3.8cm 断面積=108.7 cm² E=980,665.0N/cm²
 B=28.6cm せん断断面積=72.5 cm² L(横材)=49.05cm
 L(縦材)=32.4cm 断面二次モーメント=130.8cm⁴ せん断弾性係数=0.0N/cm²
 部材 2 : H=1.5cm 断面積=13.5 cm² E=980,665.0N/cm²
 B=9.0cm せん断断面積=9.0cm² せん断弾性係数=0.0N/cm²
 L=58.8cm 断面二次モーメント=2.5cm⁴

※H=部材高さ(cm) B=部材幅(cm) L=部材長さ(cm) E=ヤング係数(t/cm²)

※本解析では回転バネ、部材増大率、せん断弾性係数は考慮しない。

※部材と部材の節点はすべて剛とする。

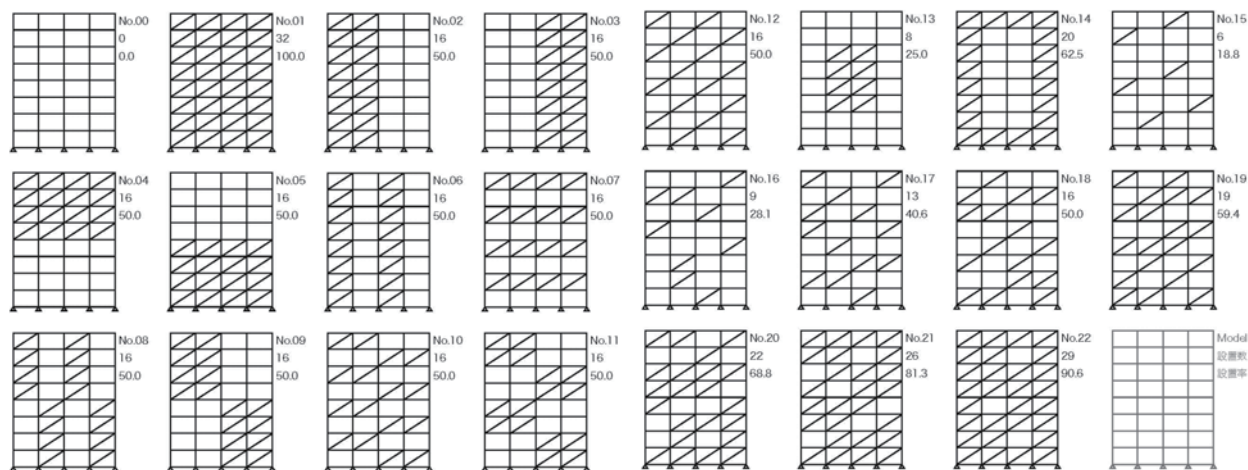


図 8 全解析モデル

4-2-3 解析結果

解析によって得られたデータの中から、各モデルの水平変位 (X 変位) について表を作成し、各モデルのブレース設置数、ブレース設置率、壁剛性、最大変位について示した。【表 1】

4-2-4 考察

解析結果の考察を行う。【表 1】について、各モデルのブレース設置率と壁剛性・最大変位の違いについて、次の 3 点に注目して考察を行う。また、最大節点変位から壁剛性を計算したものを【表 1】に示し、それも含めて考察を行う。各モデルの最大変位はいずれも節点番号 41 である。

表 1 解析結果 (最大水平変位)

	設置数	設置率	壁剛性 N/cm	最大変位 cm
Model No.00	0	0.0	9624.14	1.02
Model No.01	32	100.0	64840.36	0.15
Model No.02	16	50.0	34485.53	0.28
Model No.03	16	50.0	33507.53	0.29
Model No.04	16	50.0	17568.25	0.56
Model No.05	16	50.0	17573.51	0.56
Model No.06	16	50.0	30724.61	0.32
Model No.07	16	50.0	23227.17	0.42
Model No.08	16	50.0	36566.33	0.27
Model No.09	16	50.0	37273.90	0.26
Model No.10	16	50.0	37624.26	0.26
Model No.11	16	50.0	38171.24	0.26
Model No.12	16	50.0	40286.95	0.24
Model No.13	8	25.0	17162.77	0.57
Model No.14	20	62.5	34791.76	0.28
Model No.15	6	18.8	18611.62	0.53
Model No.16	9	28.1	25564.85	0.38
Model No.17	13	40.6	32284.95	0.30
Model No.18	16	50.0	37406.26	0.26
Model No.19	19	59.4	43994.16	0.22
Model No.20	22	68.8	46016.20	0.21
Model No.21	26	81.3	54741.11	0.18
Model No.22	29	90.6	56500.01	0.17

ブレースの設置数：表記の Model No.00 がブレース設置数 00、Model No.15 ～22 にかけておよそ 10% ずつブレース数を増やしており、Model No.01 が設置率 100% である。Model No.15 ～20 については、ブレースはランダムに配置しているが、設置数に応じて壁剛性が比例するように大きくなっていることがわかる。

ブレースの配置：Model No.03、No.04、No.06、No.07 はいずれもブレース設置率 50% である。Model No.03 と No.04 はブレースを右半分縦方向に集めて設置した場合と、上半分横方向に設置した場合である。設置数が同じでも Model No.03 の方が倍近い剛性を得ていることがわかる。同じく Model No.06 と No.07 も縦方向と横方向を意識して設置しているが、こちらも Model No.06 縦方向に設置している方が高い剛性を得ていることがわかる。

ブレースの配置の片寄り：同じ 50% のブレース設置率で、Model No.09、No.11、No.12 の順に細かい市松模様になるように設置してみた結果、より細かく壁面全体にブレースが配置されている方が高い剛性を得ていることがわかる。

5. 試作モデルの制作

5-1 制作

3 章と 4 章の結果にもとづき、試作モデルの制作を行う。モデルのサイズは第 3 章で述べた通り、高さ×幅が 2,800×1,775 (mm) であり、1/1 スケールとする。使用する部材や形状も前章で定義したものをを用いる。1/1 モデル制作に先立ち、1/10 サイズ、1/2 サイズ、1/1 サイズによる部分モデルによる検討を行ったが、実寸および実材料での全体モデルによる検討は重要である。



写真 2 梁接合部



写真 3 接合金物



写真 4 試作品完成

5-2 考察

作業風景と試作品の写真を【写真 2】【写真 3】【写真 4】に示す。

使用木材について、格子材は加工性と経済性を考慮しタモ集成材を使用した。材料寸法には幅 500mm と幅 600mm がある。一般的には幅 500mm の方が広く用いられる。第 3 章第 3 節で基本寸法と想定した断面 148×30 (mm) は、入手した集成材をそのまま切り出すことを前提としていた。しかし、実際には材に誤差や反り、ねじれが発生しており、正確に材料寸法のまま使用するのには困難であった。試作の過程で、結果的に厚みは 28~29mm 程度となった。また、材料寸法で幅 600mm を 4 分割し 150mm とする場合、鋸しろを 2mm 確保し 148mm で想定した。ところが実際には、148mm 確保することが難しく、600mm から切り出す場合 148mm の部材は 3 枚しか取ることができない。これは幅 500mm で 150mm を 3 枚取ることに変更した。

6. 結論

本稿では、住宅における可動式耐震壁 (TER-Wall) を提案した。基礎的な構造解析を行い、またこの壁を使用する新しい建築生産システムの提案を行った。本来動くはずのない耐震壁が可動式になれば、住宅における用途変更の可能性が増大し、時間経過に伴う住宅への要求条件の変化に対応する手段の選択肢が増えることになる。今後の課題としては、TER-Wall の試作モデルの構造実験を行い、さらに建築構法的な検討をさらに加えて、実用化に向けた研究を進めたい。

謝辞

本稿は、独立行政法人 科学技術振興機構「平成 21 年度シーズ発掘試験 A」(課題番号 675)により実施した研究成果の一部である。記して関係各位に感謝申し上げる。

註と参考文献

- 1) 小松幸夫ほか「わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告」『日本建築学会計画系論文報告集』No.439, pp.101-110, 1992.9. および堤洋樹・小松幸夫「1980 年以降における木造専用住宅の寿命の推移」『日本建築学会計画系論文集』No.580, pp.169-174, 2004.6.
- 2) 国土交通省「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」第一章 第六条 (認定基準等), 2009.6, p.9ff.
国土交通省ホームページ <http://www.mlit.go.jp/common/000032966.pdf> (2010 年 3 月 30 日現在)
- 3) 本稿で引用を省略した同条第 4 項および第五項には、建築後のメンテナンス、建築後の維持保全期間が 30 年以上、資金計画の適切さなどが定められている。「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」第一章 第六条 (認定基準等), 2009.6, pp.9-10. 参照 URL は 2 と同じ。
- 4) TER Wall は Transportable Earthquake-Resisting Wall の略称であり、本稿において筆者らが提案する、住宅用可動式耐震壁の名称である。
- 5) 「T-GRID」は格子状の鋼製枠にパネルをはめ込んだ耐震補強工法のこと。大成建設ホームページ参照。
http://www.taisai-net.com/library/taisei_tech/b0da0e000000gz6h.html (2010 年 3 月 30 日現在)
(平成 22 年 3 月 31 日受理)