

平成14年度 農林水産省補助事業
長期耐用住宅木材利用技術高度化事業

長期耐用住宅木材利用技術高度化事業 報告書

(宮崎地域編)

平成15年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

まえがき

国産材の需要拡大は、地域林業、林産業の活性化にはもちろんのこと、国内の森林資源の適正な維持管理を通しての国産材の循環利用や国土保全上からも極めて重要である。国産材を含むわが国の木材需要は、その6割が住宅等の建築分野であり、地域の木造住宅の建築資材としての利用促進をさらに図るような技術開発を進めていく必要がある。

地域の木造住宅は、元来、地域の気候・風土や生活様式等を考慮した間取り、構法及びそこでの使用木材の選択やその使い方等にそれぞれ特徴があり、一般住宅でも伝統的工法とは違った意味で地域性を持つものである。しかし、現代の木造住宅は、社会経済の近代化の深化から住まい方や構法、使用木材等においても全国的に平準化し、住宅それ自体の地域性が希薄化しているのが実態である。住宅の品質・性能は、構造的な安定性や耐久性、健康安全性、省エネ効果等が大きく問われるが、一方では今世紀に目指そうとする循環型社会の構築に対応した住宅生産のあり方として、地域の建築・木材利用技術の高度化による地域資源の有効活用や長期間の炭素固定などから、地域性を踏まえた長く住まう家づくりが必要となっている。

本事業は平成13年度から開始し、地域特性を取り入れながらも、現代の建築技術や木材の高度な耐久性技術を駆使しながら、長期に居住可能となる地域材多用型の住宅構法プランを提案し、その有効性を実験的に検証した後、主に地域の関連業界を対象にして技術普及を図っていくことにしている。また本事業では、長期耐用における木造住宅の地域特性を気候因子で代表させ、①寒冷・乾燥地域として長野県、②多雪・湿潤地域として富山県、③高温・多雨の台風常襲地域として高知県、④高温・多湿の蟻害多発地域として宮崎県を設定し、この4地域を対象にして検討することにした。

なお、本事業は、当センター内に事業委員会を設置して全体計画及び年次計画並びに実施内容と進め方について審議し、具体的な調査及び実験等は4地域に設置した地域委員会で協議して、県立の木材関係研究機関で実施してきた。

本報告書は、上記4地域のうち、宮崎県（高温・多湿の蟻害多発地域）に関するものである。

本事業を推進するに当たり、多忙な中、精力的に討議・執筆いただいた各委員及び調査にご協力を賜った各県の木材関係研究機関の연구원ならびに住宅・木材関係会社・団体の関係者に対し、厚くお礼申し上げます。

平成15年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター
理事長 岡 勝 男

目 次

はじめに	1
第1章 地域型住宅の開発の基本	
1 地域材スギの供給体制の現状と将来	3
2 高度乾燥厚板の採用	4
3 地域に合った構造	6
4 解体再利用を前提	7
第2章 地域型住宅の基本設計	
1 市場ニーズの把握	9
2 設計条件の整理	13
3 基本設計の与条件の検討	13
第3章 実験	
1 木ダボの強度試験	19
2 軸組壁体のせん断試験	24
3 実験値と計算値（理論値）の比較	30
4 ダボ接合軸組壁体のせん断性能の評価	34
5 床組のせん断試験	38
6 立体フレーム試験	42
7 解体	45
第4章 モデル設計への準備	
1 コストバランスを配慮した仕様書作成	48
2 コスト試算	49
3 今後の課題	50
4 意匠面からの提案	50

はじめに

本報告書は、長期耐用住宅木材利用技術高度化事業の一環として実施した宮崎地域（高温・多湿の蟻害多発地域）における長期耐用住宅の開発に関する平成 14 年度の事業内容及びその結果を纏めたものである。

昨年度は、地域型木造住宅に関する調査を実施したが、今年度はその調査結果を参考に、来年度から始まるモデル設計のための基本設計を中心として事業を実施した。

事業の推進に当たっては、同地域を代表する専門家及び学識経験者との協議を重ねながら地域型木造住宅の研究開発に取り組んできた。厳しさを増す木材産業の現状を踏まえつつ、研究開発は近い将来を視野に入れた木造住宅の有るべき姿を提案することに重点を置いている。

木造住宅を取り巻く現在の環境は、消費者の低価格・高品質志向が強まるなか、厳しさを増しており、商品開発手法にも従来とは異なる視点が求められている。消費者ニーズに合った商品を開発するには、コスト削減努力に加えて森林資源としてスギの供給状況の把握や国際的な流れのなかで性能化に向けた動きへの対応など、幅広い角度から地域材のスギ、住宅を考え、イメージする必要がある。これらの点を踏まえてスギと地域型住宅を見直すことで自然のサイクルに沿った地産地消が実現すると思われる。

こうした考えに基づき進められてきた今年度の事業は、近未来に向けて提案する「地域型住宅」として、本報告書にまとめられている。

第 1 章では、スギ資源の現状から地域の消費者ニーズに至るまで一連の調査結果を基に、スギの特性を生かした「合わせ材を軸組材とするラーメン構造」を地域に合った住宅の構造として提案している。これは国土交通省が提唱する「長寿命木造住宅整備指針」にも沿ったものとなっている。同構造の基本原理は構造材にスギを板材として利用することに焦点を当て、可変性と更新の容易性を可能にするオーソドックスなスケルトンインフィルの構造概念を導入したものである。

第 2 章では、来年度から始まるモデル設計のための基本構想を整理する意味で、基本設計を試みている。現在の住宅建設市場の動向調査を基本構想に反映させ、コストを含めて総合的に競争力のある住宅開発を目指して研究開発の優先順位を決めている。例えば、品確法に準拠した性能レベルの選択など、基本設計の根本となる設計諸条件を整理した上で基本設計図を提案している。

第 3 章では、基本設計の構想に肉付けする目的で実際に実大構造フレームを試作し、荷重に対する本構造の耐力を評価した結果を示している。また試作は立体架構のスケルトンが再利用できることを確認するため、解体を前提にした解体計画に基づいて実施され、解体の容易さも検証している。

第 4 章では、基本設計としてまとめるための仕様を取り上げている。それは本住宅が現行建築基準法施行令第 3 節の在来軸組構法による木造を前提としたものではなく、構造計

算に基本を置いたものであるからだ。地域材スギは宮崎県木材利用技術センターをはじめとする研究機関によって材料に関する研究データが確実に整備されてきており、例えば、曲げ弾性係数などは成長が早い分全国平均より低くなる傾向がはっきりしてきた。それだけに、データに基づいたより合理的なスギの活用法が今後重要になると予想される。本事業のように建物全体の安全性を基準にして求められる要求品質を満たそうとすると、いわゆる最適設計の手法が有力となるだろう。具体的には要求品質に適合する部材、接合具等の性能と仕様をはっきりさせることでコスト算出が容易になり、研究開発成果を評価しやすくなる。

最後に、本事業は最終的に地域型住宅の商品化を目指しており、研究開発という観点からその対象は広範囲に及び、多様な専門性を必要とする。しかも商品の市場性を高めようとするほど、各種法規制や諸基準の要求を満足させなくてはならない。現在、公的研究機関は研究のあり方も含め多くの問題を抱えているケースが多い中、本事業は地域と中央が連携を取りつつ具体的な商品開発を目指す点で市場に直結しており、研究にも幅や奥行きが生まれている。だが同時に、地域の厳しい評価も受けなくてはならない。

第1章 地域型住宅の開発の基本

1 地域材スギの供給体制の現状と将来

1.1 スギ材の供給

本県は、戦後いち早く、スギを主体とした拡大造林に取り組んできた結果、人工林面積は364千haに達し、そのうち74%の252千haをスギが占めている。その森林資源は年々成熟の度合いを増し、31～40年生のスギは平成2年から平成13年の12年間で2.7倍、105千haとなっている。また、平成13年の41年生以上のスギは平成2年の3.7倍、平成7年の2.4倍となっている。このような中で本県の素材生産量は110万m³と横ばいで継続しているが、スギの割合が年々増加してきており、平成13年のスギの素材生産量は93万6千m³と全国の13%を占め、平成3年以降連続して全国一の座を維持している。

1.2 中目材の活用

県内のスギ素材取扱量の約40%を占める宮崎県森林組合連合会の実績によると、径級が16cmまでの、いわゆる小径木の割合は平成元年には全素材取扱量の内63%を占めていたが、平成13年にはその割合は41%に減少している。それに対し、径級が18cm以上の素材は37%から59%に増加しており、柱適寸から中目材にシフトしてきている（表1-1）。

また、このままの傾向で増加が続けば、平成18年には径級18～22cmが35%、径級24～28cmが20%、径級30cm上が13%になると推測される（図1-1）。

このようなことから、中目材を中心としたスギ材の需要拡大は宮崎県の林政の重要課題となっており、柱材から板材製材への転換が一つの方向である。

表 1-1 宮崎県森連市場の径級別のスギ丸太取扱割合

径級区分 (cm)	平成元年	平成13年	増減
3～6	63%	41%	-2
7～10			1%
11～13			7%
14～16	14%	12%	-7
18～22	19%	21%	-6
24～28	27%	33%	+9
30上	9%	17%	+8
計	4%	9%	+5
	100%	100%	

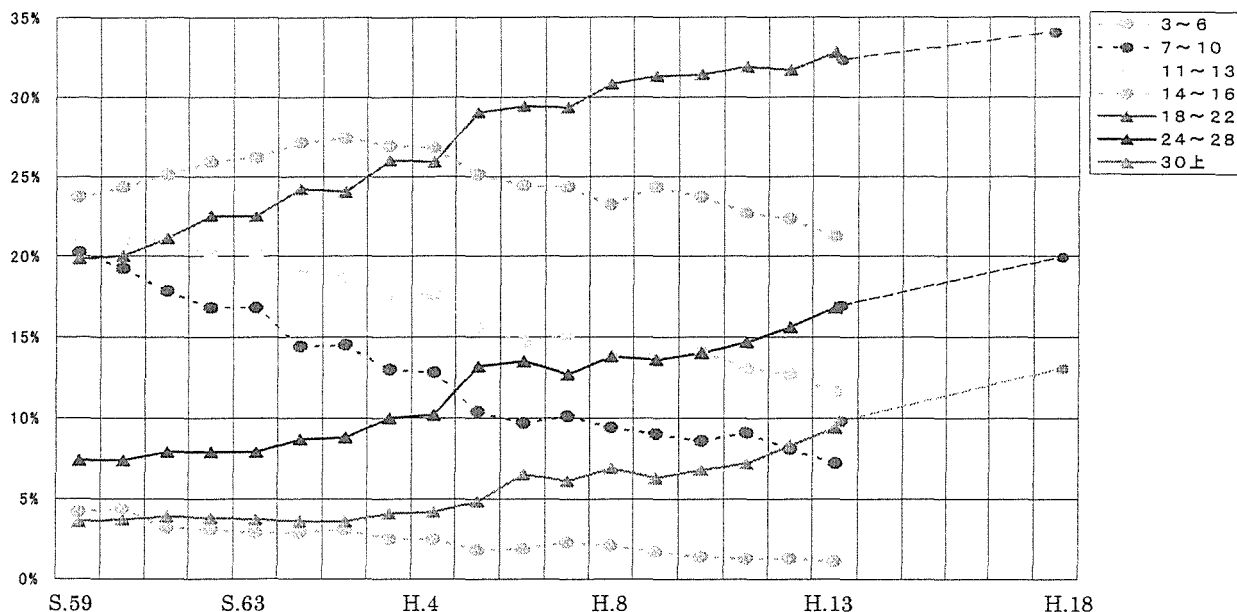


図 1-1 径級別取扱割合

1.3 原木及び製材品流通の合理化

森林資源は充実してきているものの、木材価格は低迷したままで、国産材生産、林業は大変厳しい現状にある。しかし、木材に対する需要は、品質・性能の明確な製品へ確実にシフトしており、このような状況の中で、製材品の1/2以上を首都圏等県外に出荷せざるを得ない立場にある宮崎県において、輸入外材製品に対抗して県産材を安定的に供給していくためには、流通コストの低減、品質・性能の明確な製材品の供給、ロットの拡大が必要となっている。

そこで、宮崎県（木材利用技術センター）では、ITを利用することによって、原木及び製品流通の合理化が出来ないか、また、大ロットの供給体制が出来ないか等の研究を行っている。この趣旨は、原木市場では長さ、径級、強度別に仕分けした多くの原木の情報を、また、製材工場では性能表示された多くの製材品の情報をすべて情報センター（仮称）に入力する。このことによって、製材工場は必要とする原木を、工務店、集成材工場は必要とする製材品・ラミナを情報センターから検索によって、いつでも、いくらでも購入できるシステムである。

2 高度乾燥厚板の採用

2.1 高度乾燥材が求められている

これからの木造住宅は、鉄筋コンクリート造、鉄骨造と同じように施工後に部材寸法の変化、狂いや割れの発生は許されない。このためには部材が高度に乾燥された材（高度乾燥材）でなければならない。ここで言う高度乾燥材は、材内部の含水率傾斜が極めて小さく、

さらに平均含水率が日本における木材の平衡含水率である 12～15%に達しているものであり、当然割れや狂いを生じていないものである。

表 1-2 に見るように、スギ材は生材時の心材含水率が高く、黒心材の存在などかなり乾燥が難しい木材である。それに加えて、在来軸組構法に用いる軸材（特に梁、桁材）は断面が大きく、これらの部材を低コストで高度乾燥材に人工乾燥することは困難な問題である。乾燥コストは 2 万円/m³に達するとの意見も出されている。

高度乾燥が容易に行える部材断面、例えば部材厚さがより小さい、いわゆる板割類に部材を全面的に変更することが必要ではないかと考える。

表 1-2 生材の平均含水率

樹 種	含 水 率 (%)	
	心材	辺材
スギ	72	151
ヒノキ	34	153
カラマツ	41	128
ベイマツ	37	145
アカマツ	37	115
ベイツガ	85	170
ポンデローサパイン	40	148

(久田卓興氏による)

2.2 部材断面の整理・統合

在来軸組構法住宅を構成する製材品部材は、断面形状・寸法の種類が極めて多い。このことによって加工、在庫、流通、施工の全ての面でコストがかさむ。部材の作りおきも困難になり、さらに材質の規格化もままならず、強度測定にも手がかかる。部材の整理統合が必要である。

3 地域に合った構造

3.1 土台、布基礎を用いない換気の良い床構造

図 1-2 に見るように独立基礎の上に柱を立て、柱勝ちにしてこれに地貫を通してダボで固定する。この地貫は 1 階床面を構成する。このようにして土台、布基礎を排除しているため床下の換気は極めて良く、腐朽菌による腐朽やシロアリ食害の恐れが無くなり、ここに薬剤処理を極力少なくした長期耐用住宅の実現が可能となるものと考える。

以上述べてきた考えを実現するために、次のような構造体を取り上げ、商品化のための資料を集積することを目的とした。なお、ここに示す isometric drawing は、あくまでも軸組構造体の概念を現わしたものである。

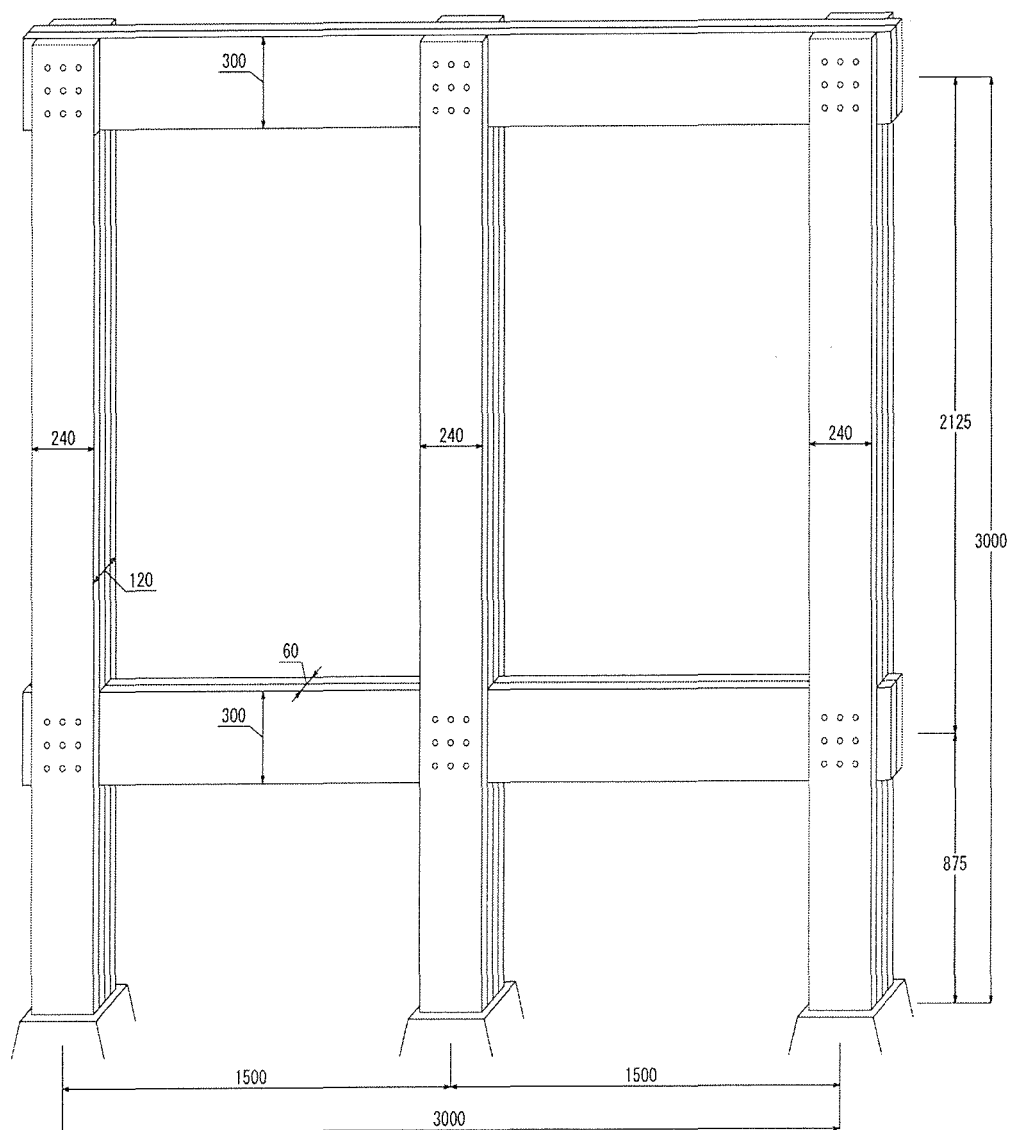


図 1-2 軸組構造の isometric drawing (単位:mm)

4 解体再利用を前提

4.1 集成材から木ダボ接合による合わせ材へ

4.1.1 解体・分別容易な木造建築物の開発の基本

本来、木造住宅は、鉄筋コンクリート造や鉄骨造に比べてはるかに解体が容易で、解体廃棄材の処理も容易に行える工法であるはずである。このことから住宅施工、さらには部材加工時に接着剤の使用は極力避けたい。また枠組み壁工法のように多数の釘を打ち込んで組み立てることは、解体を困難にし、解体材の分離を複雑にする。金物の使用も出来るだけ避けたいが、必要が生じた場合には、ボルトやスクリューのように取り外しが容易で、明確、単純に行えるものとする。いずれにせよ、木造住宅（特にスケルトン）の構造材は、出来るだけ木材のみで組み立て、鉄・プラスチックなどの異物の混入を避けるべきである。

4.1.2 木ダボ接合が基本

本アイデアでは、この板材を接着剤で結合して一体化することなく、これを縦に2枚あるいは4枚並べて使うもので、板材同士は所定の場所を木ダボ（イチイガシを用いた7mm×7mm断面の角ダボ）でとめて合わせ材とし、これを軸材として用いることとした。写真1-1に見るようにスギ材は比重が低く柔らかいので、硬材であるイチイガシの角ダボ（7mm×7mmの正方形断面）の先端をノミで軽く削ってとがらせておくと先孔なしでも簡単に打ち込むことが出来る。実際の作業では位置決めのために直径7mmの丸孔をドリルであけて先孔として、ここに7mm×7mmの角ダボを打ち込む。

なお、後述するように、柱材と横架材の接合、さらには壁・床下地の軸材への接合にもダボ打ちを適用している。（図1-3）

但し、大きな引き抜き応力の発生する箇所には図1-4に見るようにボルトや木ねじ等を用いる。

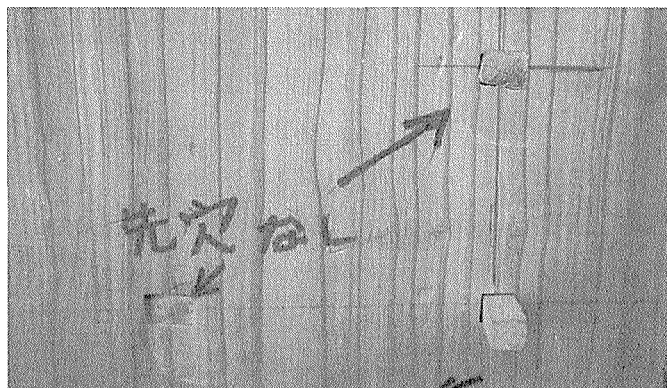


写真 1-1 イチイガシ7mm×7mmの角ダボ打ち込み

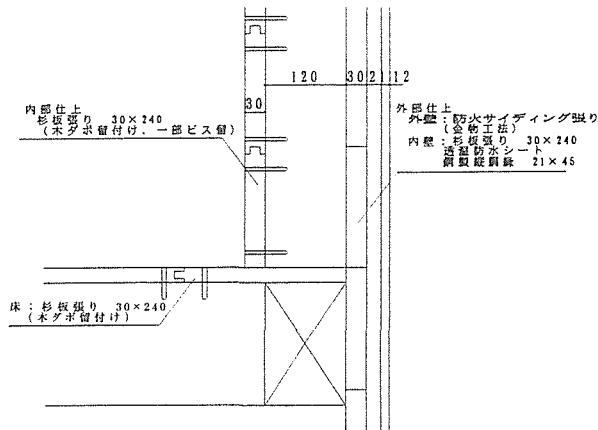


図 1-3 木ダボ留の例

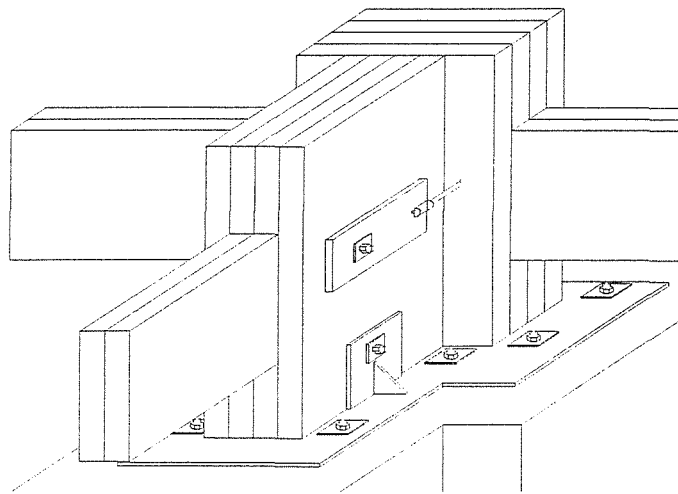


図1-4 柱・梁・基礎連結図

4.2 解体作業

解体の基本は組み立ての逆の工程とする。但し解体は組み立てた業者とは別の業者となることが予想されるので、解体作業仕様書及び各部材には解体時の番付を明記する。その際、リユース材とそうでない材とを明確に区別しておく。

解体の手順は、先ず窯業建材系の外装材のスクリューを抜き、引っかけ材から外す。同様に壁・床下地のスギ厚板を、4 隅のスクリューをはずした後打撃を加えてダボから引抜いて除去する。軸材の所定の位置にあるボルト、金具等をゆるめてははずす。柱にダボで接合している横架材は、柱から 50～100 cm のところでチェーンソーで切断する。

このように、解体しやすい軸組となっているので、解体材そのものを新しい部材として使うことが出来る。木ダボで組み立てられている部材は、金属を含まないので表面をプレーナー加工して調整できる。部材には初使用時に強度品質がマークされているので、再使用の際は、その格付けによる使い分けを厳密に行う。

再利用（リユース）に回せない材は、チップ化してボード製造に回すが、本構造ではその割合は極めて少ないであろう。また釘、金具の使用が極端に制限されているので金属除去が極めて容易に行える。

第2章 地域型住宅の基本設計

1 市場ニーズの把握

1.1 目的

都城市内をモデル地区として約1年間広告チラシを主に情報を収集し、住宅市場の動向を把握する。

1.2 期間

平成13年3月16日～平成14年5月30日

1.3 対象

- 1) 宮崎県木材利用技術センターで購読している新聞に折込まれた住宅関連のチラシ。
- 2) 住宅メーカー、また近隣地元工務店の展示場も対象に含めた。

1.4 調査項目

- 1) 延べ床面積
- 2) 1階床面積
- 3) 2階床面積
- 4) 間取り(LDKのタイプ)
- 5) 総額及び坪単価

1.5 結果

調査結果の概要を表2-1に示す。

1) 床面積について

40坪以上と40坪未満に分けたのは、40坪以上の場合長期耐用住宅として将来リフォームする際、可変性のある居住条件の変化に対応出来る間切りとして参考になると考えたからである。

40坪以上を対象とした場合の平均値

- ① 延べ床面積については、45.11坪であった。
- ② 1階については、25.53坪であった。
- ③ 2階については、18.75坪であった。

40坪未満を対象とした場合の平均値

- ① 延べ床面積については、35.29坪であった。
- ② 1階については、21.97坪であった。
- ③ 2階については、17.40坪であった。

40 坪以上と 40 坪未満を合わせた場合の平均値

- ① 延べ床面積については、40.20 坪であった。
- ② 1 階については、23.75 坪であった。
- ③ 2 階については、18.07 坪であった。

2) LDK のタイプ

タイプとしては、40 坪未満では 4LDK が圧倒的に多く、一方、40 坪以上でも 4LDK が主体であるものの、5LDK、6LDK も多くなっている。

3) 総額及び坪単価について

40 坪未満では平均が 1,257 万円、1 坪単価 35.82 万円、40 坪以上で平均総額 1,554 万円、1 坪単価 36.01 万円であった。

1.6 考 察

- 1) 今回の調査結果によると、都城市内での標準的な住宅は、延べ床面積約 40 坪で、2 階建て間取りは 4LDK となる。地域性としては広い延べ床面積となっている。
- 2) 価格は坪単価 50 万円代から 20 万円代へと下降傾向が見られる。
- 3) 平成 13 年末から有名某メーカーの坪単価 20 万円台の住宅「超低価格住宅」の発売がきっかけとなり、地元工務店もこの動きに追従するかのようになっている。
- 4) 低価格化に拍車をかけた背景は下記が考えられる。(インテリアデザイナー T さんのコメント)
 - ① 設計、企画積算の合理化・・・材料の無駄を省く上でのメーターモジュールの採用等(アットホーム、万代ホーム、タナカホーム、ワダハウジング他)
 - ② 住宅資材の大量一括仕入・・・期間限定と現金仕入れ
 - ③ 直接施工・・・・・・・・・・中間マージンの発生する下請けの排除
 - ④ 限定販売・・・・・・・・・・発売の期間限定と棟数の限定
 - ⑤ IT 情報化(情報技術)・・・パソコンによる 3 次元 CG のバーチャルモデルハウスによる提案、モデルハウス経費(人件費、見本帳など)の軽減
 - ⑥ 全国一斉のイベント等・・・販売の高効率及び営業経費削減
 - ⑦ 広告、提案等の一元化・・・商品パンフレット、メディアによる広告媒体を共有することによる経費軽減
 - ⑧ 全国フランチャイズチェーン展開・・・技術提供及びメーカーよりの直接共同仕入れ価格の採用
 - ⑨ 工期短縮・合理化・・・・・・・・工数省略などによるコスト削減
(参照：丸久建設「アキュラネット」、イナホーム他)
- 5) 住宅品質確保促進法などの対応によりクレームの少ない構法へと変遷している。例として、輸入集成材の採用、プレカット化、根太レスなど。

表 2-1 都城市を中心とする新聞折込みチラシ広告の傾向調査(1)

(期間 H.13.3.16～H.14.5.30)

資料:宮崎日日・毎日・読売・朝日・日本経済新聞

延べ床面積(40坪以上)								
No	延べ床面積(坪)	1階	2階	地下	タイプ	総額	坪単価	メーカー名ほか
1	42.70	23.31	19.39		5LDK	※	※	司工務店
2	41.49	23.61	12.42	5.46	4LDK	2,400	57.84	トーア
3	42.03	20.95	15.62	5.46	4LDK	2,500	59.48	〃
4	44.17	25.33	18.84		4LDK	1,975	44.71	丸商
5	44.01	25.21	18.80		4LDK	1,970	44.76	〃
6	44.33	27.14	17.19		4LDK	※	※	住宅供給公社
7	40.83	23.89	16.94		4LDK	※	※	〃
8	50.00	24.60	25.40		5DK	※	※	ダイワ
9	41.43	23.12	18.31		4LDK	※	※	〃
10	53.85	36.05	17.80		4LDK	※	※	積水
11	40.23	19.86	20.37		4LDK	※	※	〃
12	40.68	23.37	17.31		4LDK	※	※	ダイワ
13	50.74	26.22	24.52		5LDK	※	※	〃
14	54.83	32.80	22.03		4LDK	2,002	36.51	〃
15	41.11	21.51	19.60		4LDK	1,120	27.24	万代
16	45.08	23.93	21.15		4LDK	1,240	27.50	〃
17	47.70	25.80	21.90		5LDK	780		積水ハイム
18	51.70	31.00	20.70		5LDK	780		〃
19	46.11	25.73	20.38		4LDK	780		〃
20	47.68	30.15	17.53		4LDK	780		〃
21	41.56	21.04	20.52		4LDK	※	※	〃 ハウス
22	41.38	21.95	19.43		4LDK	※	※	〃
23	46.11	25.73	20.38		4LDK	※	※	〃 ハウス
24	47.68	30.15	17.53		4LDK	780		〃 ツーユ
25	44.17	22.12	22.05		4LDK	1,299	29.40	INA
26	52.50	25.00	27.50		5LDK	1,385	26.38	〃
27	52.33	25.67	26.66		5LDK	1,395	26.65	〃
28	41.45	21.18	20.27		4LDK	1,107	26.70	〃
29	40.39	22.39	18.00		4LDK	1,350	33.42	〃
30	41.43	23.12	18.31		5LDK	1,107	26.71	ユニバーサル
31	45.63	28.28	17.35		5LDK	※	※	タナカ
32	45.98	26.31	19.67		4LDK	※	※	万代
33	53.95	31.22	22.73		4LDK	※	※	積水ハイム
34	47.70	25.80	21.90		4LDK	780		〃
35	51.70	31.00	20.70		5LDK	780		〃
36	53.29	33.96	19.33		6DK	2,388	44.81	UMK
37	50.87	32.76	18.11		6DK	2,222	43.67	〃
38	47.68	31.09	16.59		6DK	2,220	46.56	〃
39	43.76	29.59	14.17		5DK	2,055	46.96	〃
44	43.06	22.00	21.06		4LDK	2,633	61.14	〃
45	40.25	22.25	18.00		5LDK	※	※	〃

(注)※印 総額記載なし

40坪以上		(坪)
		平均値
地	下	5.46
1	階	26.00
2	階	19.67
延べ床面積		45.94

表 2-1 都城市を中心とする新聞折込チラシ広告の傾向調査(2)

(期間 H.13.3.16~H.14.5.30)

資料:宮崎日日・毎日・読売・朝日・日本経済新聞

延べ床面積(40坪未満)								
No		1階	2階	地下	タイプ	総額	坪単価	メーカー名ほか
1	35.75	17.90	17.85		4LDK	944	26.40	丸久
2	37.40	21.50	15.90		4LDK	1,850	49.46	丸商
3	30.61	16.71	13.90		4LDK	1,140	37.20	"
4	37.57	19.30	18.27		4LDK	1,382	36.78	アイフル
5	34.49	16.99	17.50		3DK	※	※	"
6	38.16	21.85	16.31		4LDK	2,760	72.32	ダイワ
7	38.68	22.37	16.31		4LDK	2,660	68.76	"
8	35.75	18.70	17.05		4LDK	980	27.41	万代
9	39.68	20.90	18.78		4LDK	1,088	27.41	"
10	34.19	21.42	12.77		4LDK	1,790	52.35	はやま
11	39.32	20.57	18.75		4LDK	※	※	アット
12	39.73	20.13	19.60		4LDK	※	※	積水
13	39.00	21.81	17.19		5LDK	1,220	31.28	アット
14	28.50	15.46	13.04		3LDK	998	35.01	"
15	38.15	21.25	16.90		4LDK	2,486	65.16	アイ
16	37.82	18.91	18.91		4LDK	2,635	69.67	"
17	39.44	21.32	18.12		4LDK	2,499	63.36	タナカ
18	29.68	15.75	13.93		3LDK	898	30.25	万代
19	29.70	15.75	13.95		3LDK	928	31.24	"
20	29.70	15.75	13.95		4LDK	930	31.31	"
21	39.54	20.30	19.24		4LDK	1,095	27.69	"
22	39.54	20.30	19.24		4LDK	1,125	28.45	"
23	35.72	24.12	11.60		5LDK	1,158	32.41	"
24	34.76	22.36	12.40		4LDK	1,870	53.79	"
25	39.68	20.90	18.78		4LDK	1,340	33.70	"
26	38.47	19.69	18.78		4LDK	1,340	34.83	"
27	25.40	14.90	10.50		3LDK	898	35.35	INA
28	30.55	14.25	16.30		4LDK	1,040	34.04	"
29	38.12	20.30	17.82		4LDK	1,173	30.77	"
30	32.70	17.10	15.60		4LDK	※	※	アイフル
31	37.81	19.01	18.80		3LDK	※	※	"
32	38.90	13.50	12.70	12.70	6LDK	※	※	"(木造3階建)
33	37.40	17.50	19.90		4LDK	2,936	78.50	ミサワ
34	37.98	21.20	16.78		4LDK	2,801	73.74	トーア
35	38.44	19.22	19.22		4LDK	3,230	84.02	パナ
36	45.19	21.80	14.76	8.63	4LDK	3,142	69.52	吉原
37	39.44	※	※		4LDK	1,980	50.20	江藤産業
38	37.88	※	※		4LDK	1,980	52.27	"

(注)※印 総額記載なし

40坪未満		(坪)
		平均値
地	下	10.67
1	階	19.19
2	階	16.43
延べ床面積		36.34

総平均		(坪)
		平均値
地	下	8.06
1	階	22.60
2	階	18.05
延べ床面積		41.14

2 設計条件の整理

2.1 準拠基準

建築基準法及び同施行令（平成 11 年 12 月 8 日改正）

木質構造設計規準・同解説（日本建築学会：平成 14 年 10 月 20 日改訂版）

木造建築工事共通仕様書（公共建築協会：平成 10 年版）

針葉樹の構造用製材の日本農林規格（平成 13 年 11 月 30 日告示第 1596 号）

2.2 住宅の品質確保の促進等に関する法律との関係

宮崎県の地域性や市場における価格動向を踏まえ、地域型住宅の品質について地域委員会の協議の結果、図 2-1 に示すように品質レベルを設定した。レーダーチャートから分かるように、優先するものはホルムアルデヒド対策、構造の安定、劣化の軽減、そして維持管理の配慮をレベル 3 とし、火災時の安全と音環境はレベル 1 としている。

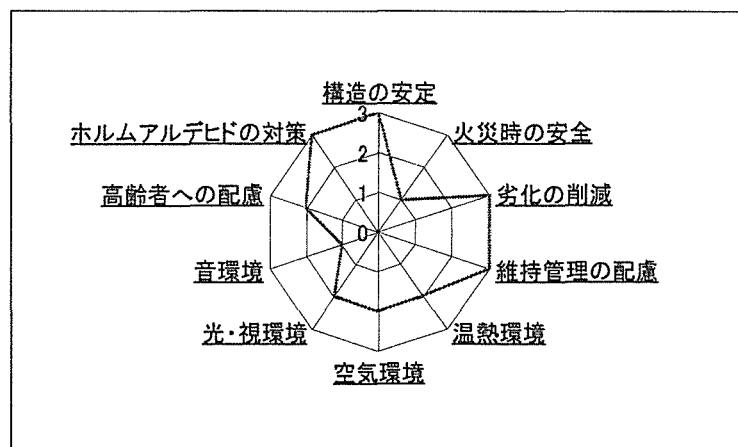


図 2-1 品質法の住宅性能レーダーチャート

3 基本設計の与条件の検討

3.1 平立面の検討

- 1) モジュールは 1.92m を基本とする。
- 2) 延べ床面積は 40 坪程度、間取りは 4LDK とする。
- 3) 床梁等の最大スパンは 4m 以下とする。
- 4) 土台と布基礎を用いない。
- 5) 1FL は GL+600 mm、2FL は 1FL+2855 mm とする。
- 6) 合わせ材を構成する板材は 30mm×240mm の断面及び間柱用として 30mm×120 mm の断面とする。
- 7) 合わせ材に用いる木ダボは 7mm×7 mm の断面、樹種はイチイガシとする。

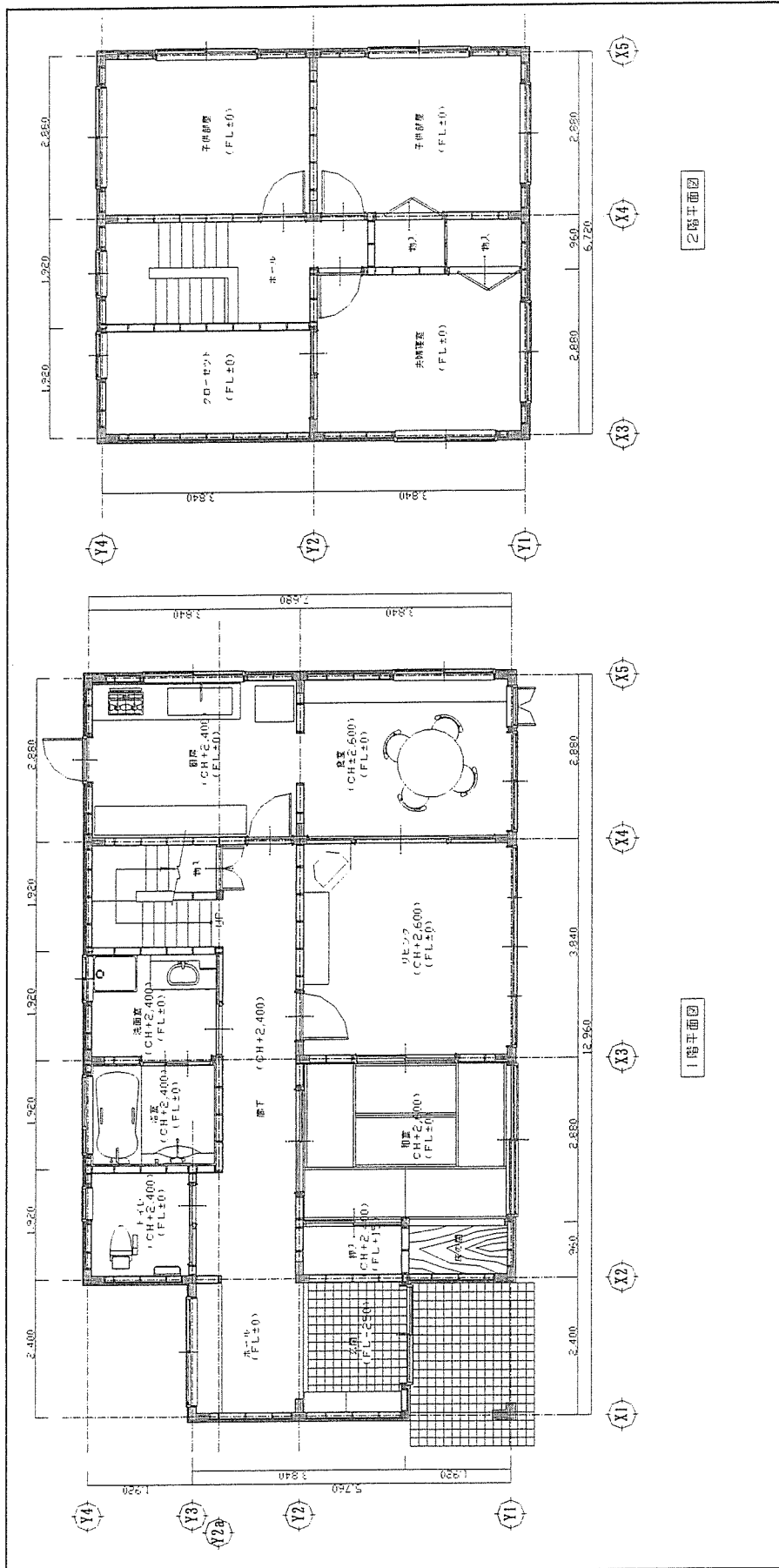


図 2-2 基本設計図

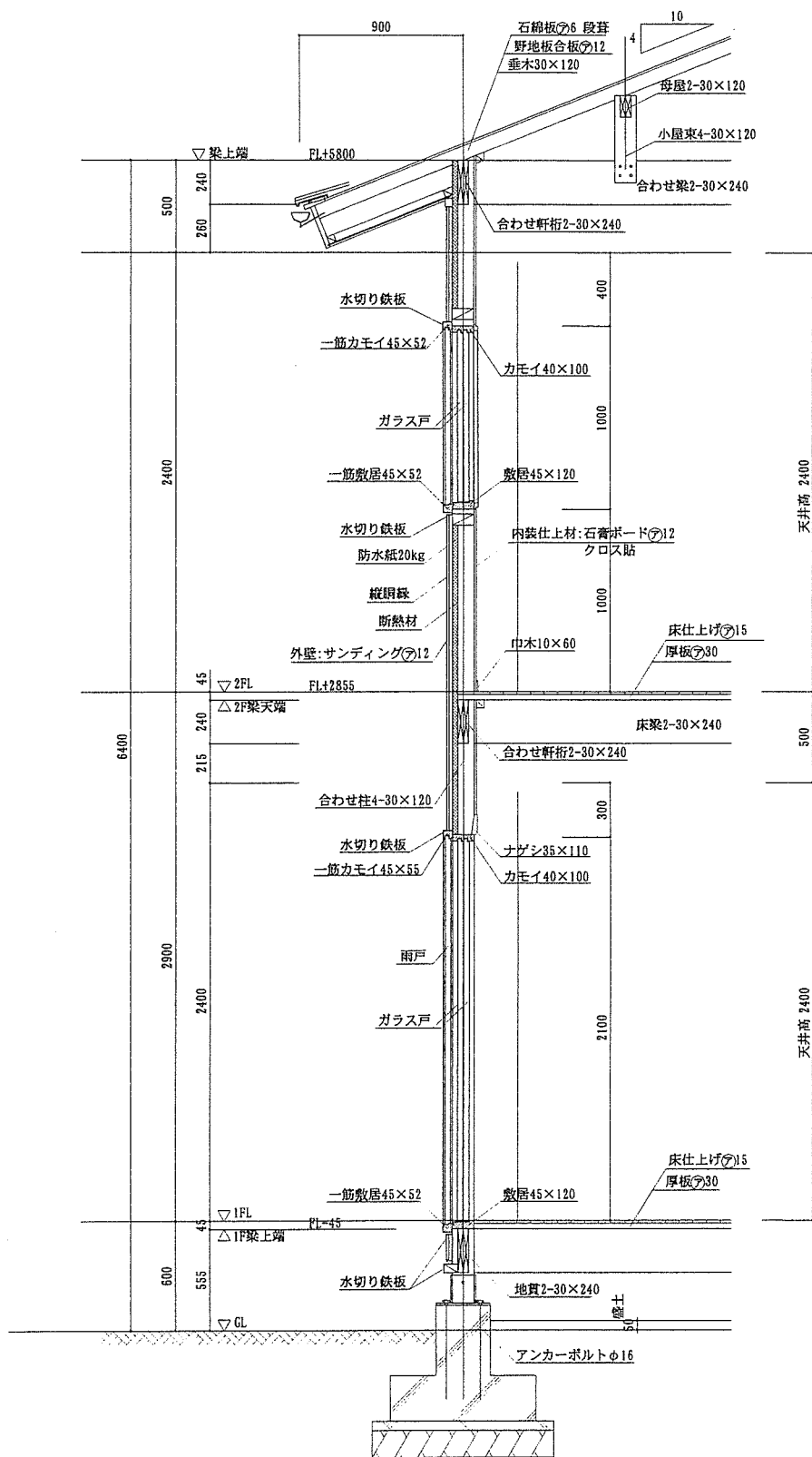


図 2-3 矩計図

3.2 構造安全性の検討

構造形式は柱脚をピンとし、柱と梁を剛接合するラーメン構造とする。剛接合は、貫構造と接合部の木ダボ打ちに、柱脚は台風等の水平力によって生じる引き抜き力とせん断力に対し、ボルト留めした金物を介して基礎に伝達できるディテールとする。また、外力により横架材に生じる軸力は羽子板ボルト等によって柱や梁受け材に伝達する。

3.3 平面計画の概要

ここでは、合わせ材による軸組で住宅を設計する。平面計画は本地域で一般的な一部 2 階のプランを採用した (図 2-2 参照)。参考にしたのは在来軸組構法で現在一般化している間取り及び開口のレイアウトである。そのためにラーメン構造の特徴である壁が不要というところを十分に生かすところまでには至っていない。

3.4 立面 (高さの押え)

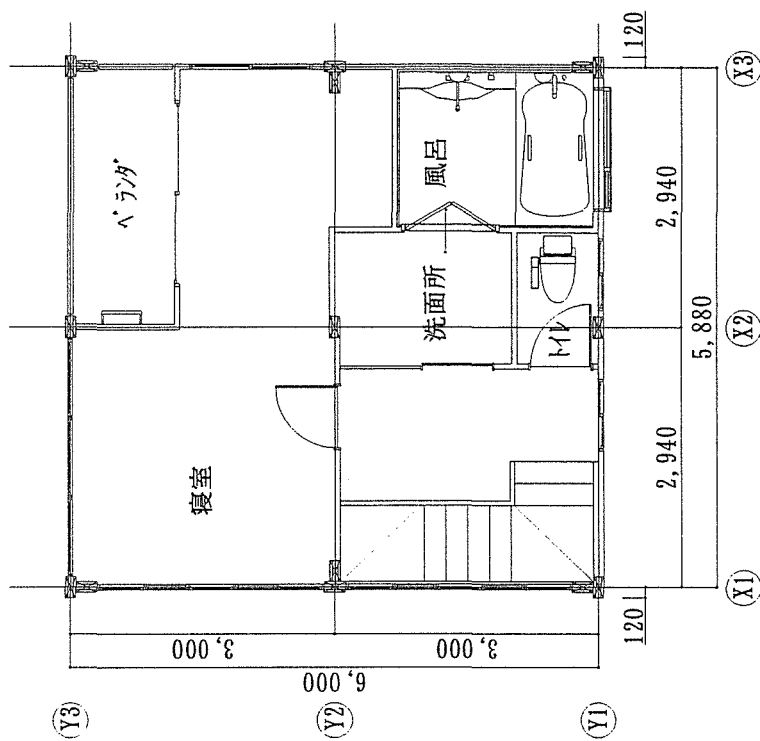
本軸組工法の基本を図 2-3 に矩計図として示す。柱の断面は 120mm×240 mm を基本とし、1 階床、2 階床、及び桁の 20mm×240 mm 断面を貫として受ける。従って 1 階床高は床梁の断面が大きくなることもあって地面から 600 mm と高い。この高さによって床下の通風も充分取れる。

1 階天井は床より 2400 mm の高さを確保しているが、場合によって天井を設けずに床材や野地板のスギ厚板及び床梁をそのまま化粧として露出することも可能としている。これは 2 階も同じである。

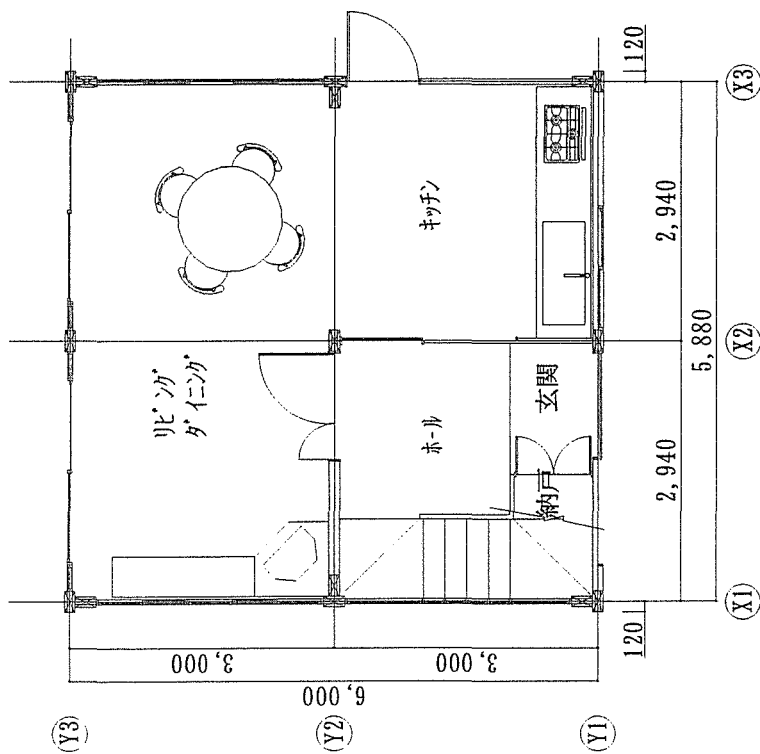
3.5 構造実験用モデル設計

それでは、実際に合わせ材による軸組構造体が外的荷重に対し、特に水平荷重に対し、ラーメン構造として機能するかどうかを実大の 2 階建て骨組を試作し、実験を試みる。

実験装置の関係から平面は 6m×6m、立面も高さ 6m 程度にした。構造の特性を生かすモデル設計図を図 2-4、図 2-5 に示す。これにより地震や風荷重の外力を算出することにする。



2階床伏図



1階床伏図

図 2-4 モデル設計への提案

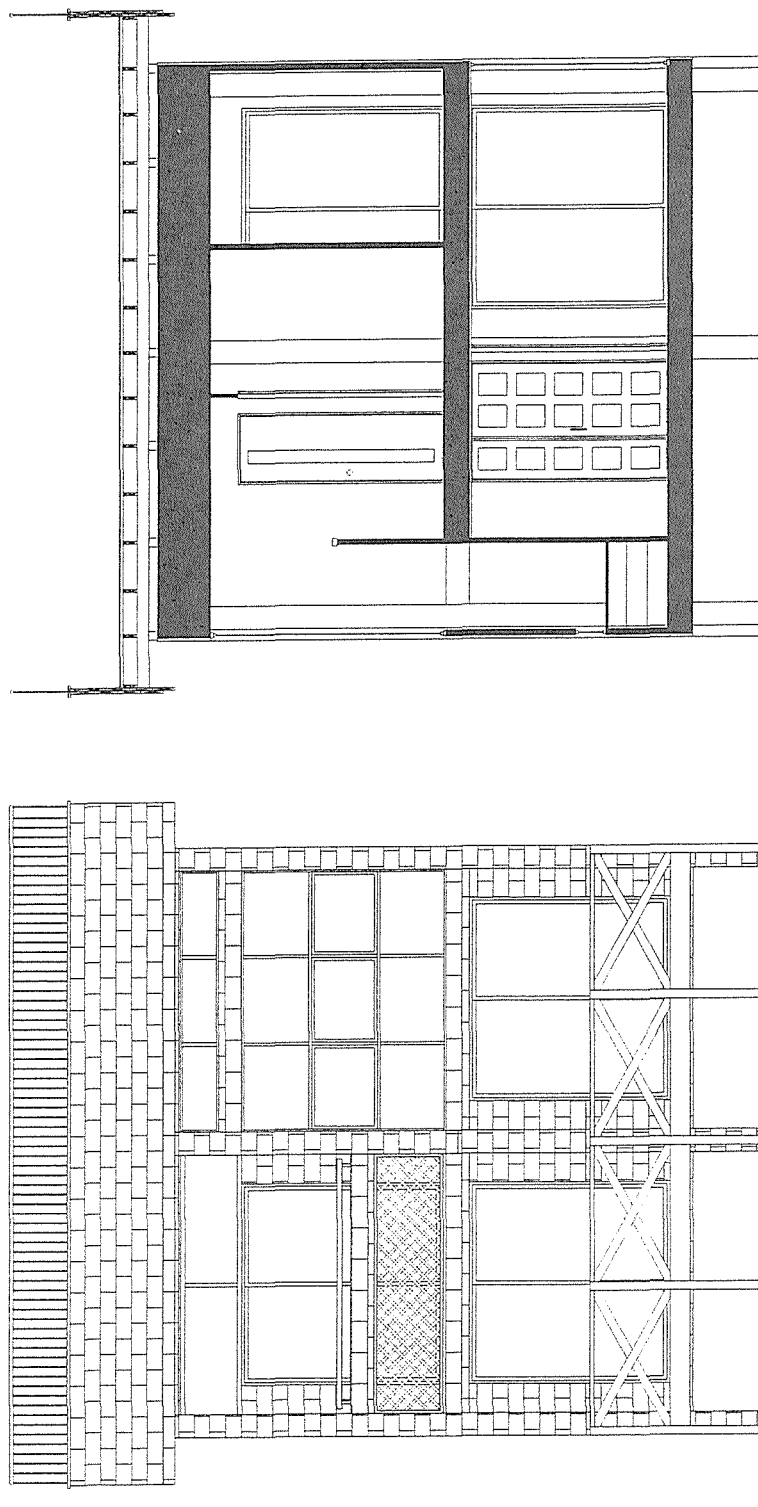


図 2-5 構造の特徴を生かした立面図・断面図

第3章 実験

1 木ダボの強度試験

1.1 木ダボの曲げ試験

1.1.1 試験体及び試験方法

既に述べたように、合わせ材を構成する木ダボには辺長 7 mm の横断面正方形のイチイガシ材の木ダボを使用した。本試験では、このダボ材の基礎的材質を調べた。長さ 150 mm の試験体について比重、曲げ性能を測定した。試験体数は 36 体である。

試験方法は、写真 3-1 に示すようにスパン 98 mm の中央集中荷重法とし、容量 100kN の強度試験機を用いて荷重速度約 15N/mm²/min で柃目面から荷重を加えた。荷重は容量 5kN のロードセルによって測定し、試験機ストロークをスパン中央部たわみとして曲げ強さ、曲げヤング係数を測定した。

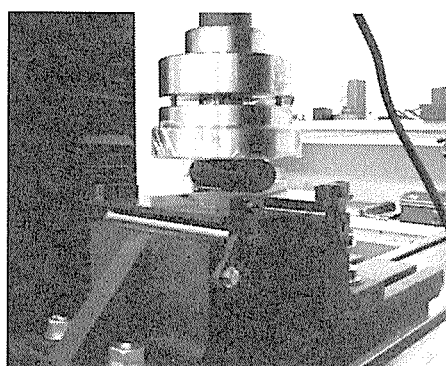


写真 3-1 木ダボの曲げ試験－試験状況

1.1.2 結果及び考察

表 3-1 に試験結果の概要を示す。本試験で用いたイチイガシ材の木ダボの性能は、平均比重 0.822、平均曲げヤング係数 15.0GPa、平均曲げ強さ 161MPa であった。全体的に変動が大きいのが、被結合材となるスギ材に対して比重で約 2.5 倍、ヤング係数で約 3 倍の値を示す。

表 3-1 木ダボ曲げ試験結果の概要

	比重	含水率(%)	MOE(GPa)	MOR(MPa)
最小値	0.707	8.8	7.8	113
平均値	0.822	10.7	15.0	161
最大値	0.967	15.5	27.5	246
標準偏差	0.055	0.1	3.4	24.4
変動係数	6.63%	11.5%	22.6%	15.2%
備考	MOE: 曲げヤング係数 MOR: 曲げ強さ			

1.2 木ダボの引抜き抵抗試験

1.2.1 試験体及び試験方法

上記のイチイガシのダボによりスギ材を接合し、その引抜き試験を行った。図 3-1 に試験体と試験方法の概要を示す。試験体は材長 100 mm、幅 60 mm、厚さ 30 mm で二方桁木取りのスギ材（平均比重 0.382、平均含水率 12.9%）を厚さ方向に 2 枚重ねたものとし、板目面中心にダボ用の直径 7 mm の円形の先孔を設けた。ダボは辺長 7 mm 横断面正方形のイチイガシ材である。

試験体数は 12 体とした。木ダボの打ち込みには強度試験機を用い、圧縮試験用のジグを取り付けて打ち込み速度 100 mm/sec でスギ材を貫通するまで打ち込んだ。（打ち込み長さ 60 mm）。

引抜き試験は容量 100kN の強度試験機を用い、引張試験用のつかみ具で木ダボ端部をつかんだ状態で、荷重速度 2.5 mm/sec で最大荷重の 80% 以下に荷重が低下するまで加力を継続させ、荷重と引抜き量の関係を求めた。打ち込み後試験完了までの時間は 40～60min であった。

1.2.2 結果及び考察

本試験での木ダボの接合は、直径 7 mm の円形の先孔に対して 7 mm 正方形断面の木ダボを打ち込むものである。ダボの断面の方が大きいのでスギ材と木ダボの間に圧力が生じ、先孔は正方形にめりこみ変形する一方、木ダボもやや丸味を帯びた形状へと断面が変形しここにお互いに圧縮された状態になる。この木ダボに引抜き力を与えるとダボとスギ材の間に摩擦が生じ、引抜きに抵抗する。なお、打ち込みによりスギ材に割れが生じることはなかった。

木ダボ接合部の最大引抜き耐力は平均値で 2.15kN となり、実験値に基づく木ダボの長期許容引抜き耐力は打ち込み長さ 60 mm の場合 426N であった。

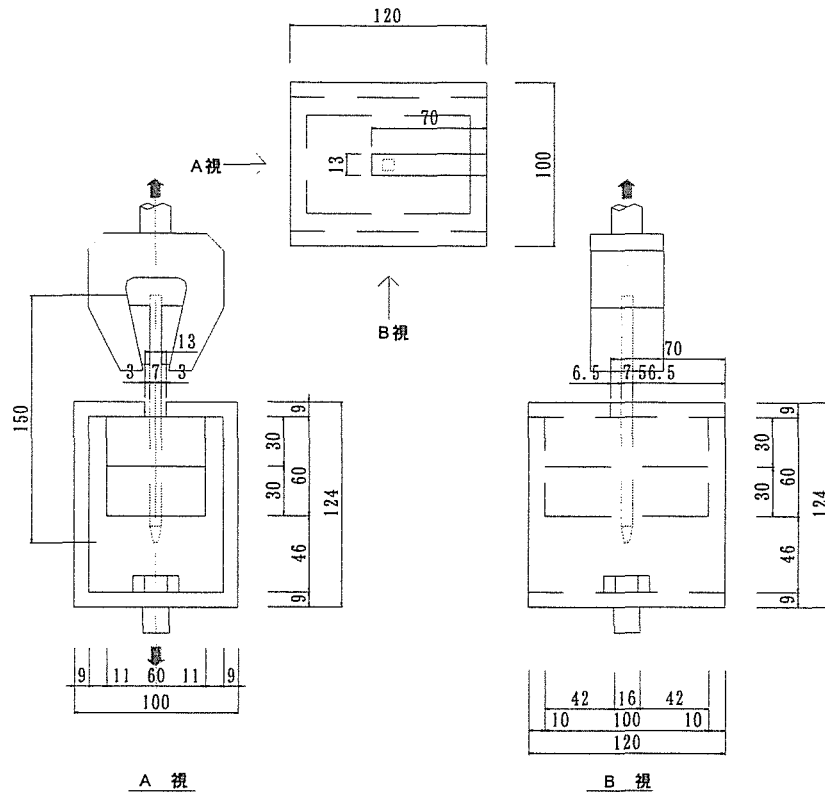


図 3-1 木ダボの引抜き抵抗試験体図(単位:mm)

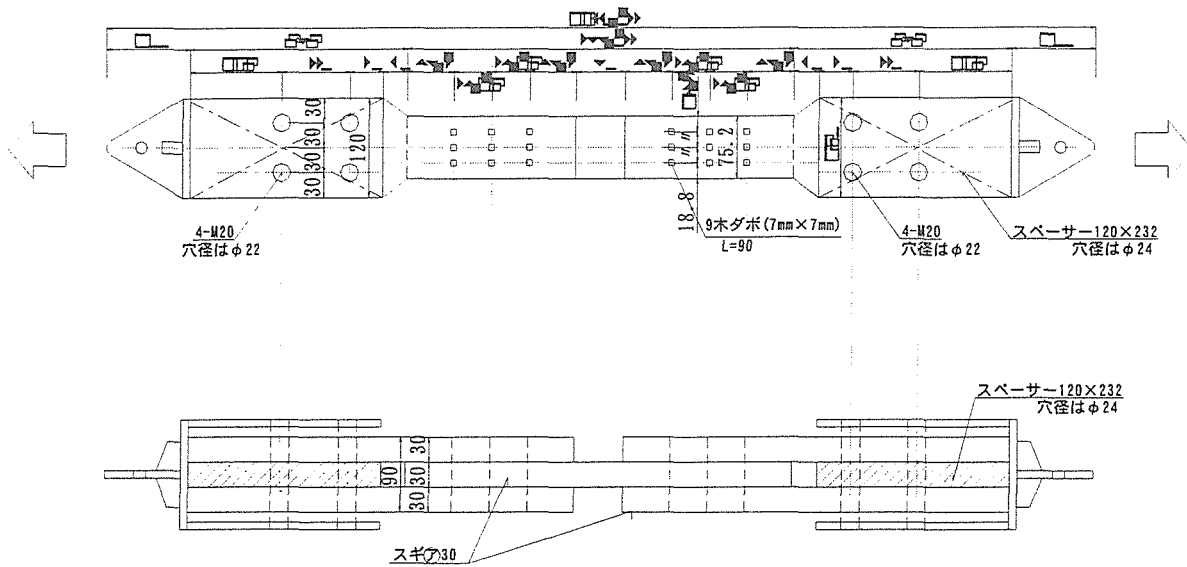
1.3 木ダボの二面せん断試験

1.3.1 試験体及び試験方法

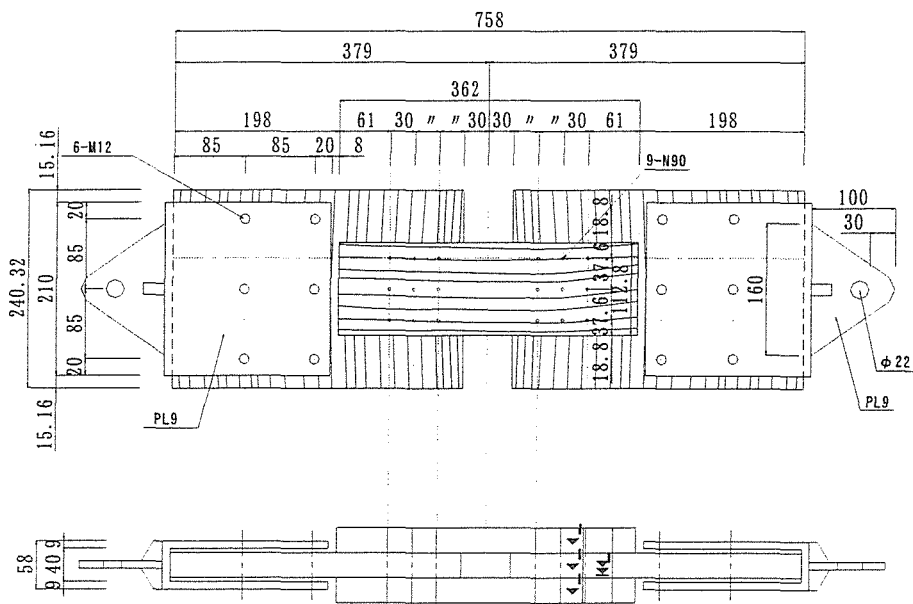
スギ板材を 3 枚重ねて、これを木ダボで接合した試験体について繊維平行方向(0° 方向)加力及び繊維直交方向(90° 方向)加力の引張型実大 2 面せん断試験を行った。それぞれの試験体の概要を図 3-2 に示す。

主材及び側材には厚さ 30 mm のスギ板材(平均比重 0.385、平均含水率 14.9%)を用いており、木ダボの樹種、形状や先孔の形状についても引き抜き抵抗試験の場合と同様とし、ハンマーで木ダボを打ち込んだ。

試験体はユニバーサルジョイントを介して容量 100kN の強度試験機に取り付け、試験速度 1.5 mm/sec で最大荷重の 80%以下に荷重が低下するまで引張荷重を作用させ、荷重と接合部の相対すべり量の関係を求めた。接合部の相対すべり量は、巻き取り式の変位測定器により側材どうし(90° 方向加力試験の場合は主材どうし)の変位を測定し、その値を 2 で除して求めた。試験体数は各 10 体である。



a) 繊維平行方向



b) 繊維直行方向

図 3-2 木ダボの二面せん断試験—試験体図(単位:mm)

表 3-2 セン断試験結果の概要

繊維平行方向加力			繊維直交方向加力		
	接合具	木ダボ		接合具	木ダボ
すべり係数 (kN/mm)	平均値	2.62	すべり係数 (kN/mm)	平均値	2.36
	標準偏差	0.43		標準偏差	0.325
	変動係数	16.4%		変動係数	13.8%
最大耐力*1 (kN)	最小値	2.59	最大耐力*1 (kN)	最小値	1.91
	平均値	2.93		平均値	2.32
	最大値	3.43		最大値	2.66
	標準偏差	0.27		標準偏差	0.19
	変動係数	9.2%		変動係数	8.3%
	下限5%値*2	2.39		下限5%値*2	1.92
短期許容耐力(kN)	実験に基づく値	1.20	短期許容耐力(kN)	実験に基づく値	0.959
	規準に基づく値*3	-		規準に基づく値*3	-

備考*1 接合具1本当たりの最大耐力

*2 耐力の母集団分布を対数正規分布と仮定して算出した信頼水準75%の下限5%許容限界値¹⁾

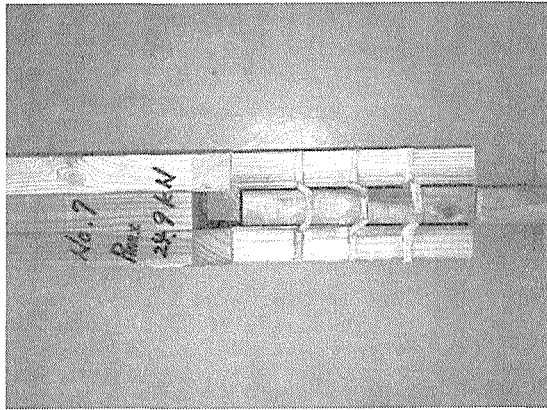
*3 木質構造設計規準の許容耐力算定式により求めた値²⁾

※N90の繊維直交方向加力試験結果については、試験体のチャック切れ等により試験体6体の結果を示す。

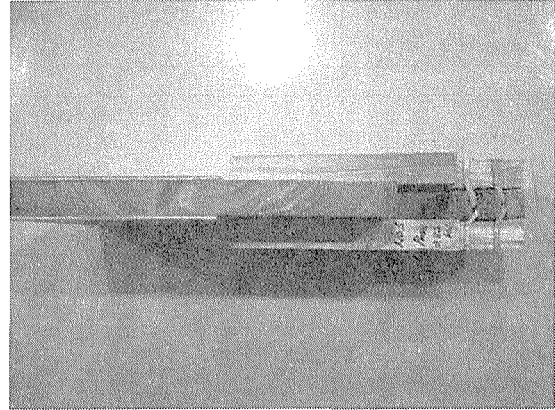
1.3.2 結果及び考察

表 3-2 に試験結果の概要を示す。ここで、同表中の実験値に基づく接合部の短期許容耐力については、木質構造設計規準の付録 4.1 に示された接合部許容耐力誘導法により算出しており、すべり係数については、接合具 1 本当たりの荷重－すべり曲線における短期許容耐力とそれに対応するすべりの比として算出している。最大耐力については、木ダボ接合部と釘接合部の間に大きな差は認められなかったが、データのバラツキは木ダボ接合部の方がやや大きかった。また、加力方向による違いが認められ、90° 方向加力では 0° 方向加力の場合の約 80%にとどまっていたが、90° 方向加力ではスギ材の横引張破壊が生じたことが影響したものである。実験値に基づく木ダボ接合部の短期許容耐力は、0° 方向加力の場合 1.20kN、90° 方向加力の場合 0.959kN であった。すべり係数については、釘接合部に比べて木ダボ接合部では 1.5 倍以上高い値を示した。これは釘接合部では短期許容耐力に相当する荷重が作用する時点で荷重－すべり曲線の直線的な領域を大きく越えていたことによるものである。木ダボ接合部のすべり係数は 0° 方向加力の場合 2.62kN/mm、90° 方向加力の場合 2.36kN/mm（いずれも平均値）となり、90° 方向加力の方が 1 割程度低かった。

写真 3-2 のように木ダボ接合部では、木ダボが曲げ破壊を起こして最大耐力に達した。試験後の木ダボの状況をみると、多くの場合 0° 方向加力では主材と側材の継ぎ目で 2 箇所ずつの計 4 箇所破壊し、90° 方向加力では主材中央部の変形が大きく、主材と側材の継ぎ目で 1 箇所ずつと主材中央部 1 箇所の計 3 箇所破壊していた。なお、90° 方向加力ではスギ材が横引張破壊した試験体を除くと、スギ材の割裂やせん断による破壊は認められなかった。本試験では木ダボの配置は N90 と同じ間隔としたが、さらに狭い間隔で配置できる可能性があると考えられることから、今後、木ダボの寸法や配置間隔とせん断性能の関係について検討する。



a-1) 繊維平行方向 (0° 方向加力)



a-2) 繊維平行方向 (90° 方向加力)

写真 3-2 接合部の破壊状況

2 軸組壁体のせん断試験

2.1 試験体

試験に供した軸組壁体は二つのタイプ各 3 体の合計 6 体である。最初の 3 体は、柱材、梁材ともすべて 4 材合わせで、120 mm×300 mm×3,150 mm の柱材 2 本と 120 mm×300 mm×3,950 mm の上部梁材、120 mm×300 mm×3,450 mm の下部梁材から構成される。上部梁材が下部より長いのは荷重シリンダーのヘッドに取り付ける部分を考慮したからである。試験体と試験のイメージを図 3-3 に示す。柱材の下端から 835 mm と 3,000 mm の位置に梁材の中心がくるように 4 枚合わせの梁材の中央の 2 材を貫通して柱材に抱き込ませている。その交点 4 箇所は径 12 mm のボルト 2 本と 7 mm×7 mm 角のイチイガシの木ダボ 20 本を打ち込んで接合されている（これを A 型とする）。A 型の柱と梁の接合部を写真 3-3 に示す。後の 3 体は、梁材と地貫を 2 材合わせとし、これを柱材に貫構造的に入り込ませている。この接合部は、最初の 3 体の試験結果から、ボルト締め効果が無いことが判明したのでボルトを抜いて木ダボのみで接合している（これを B 型とする）。B 型の接合部を写真 3-4 に示す。

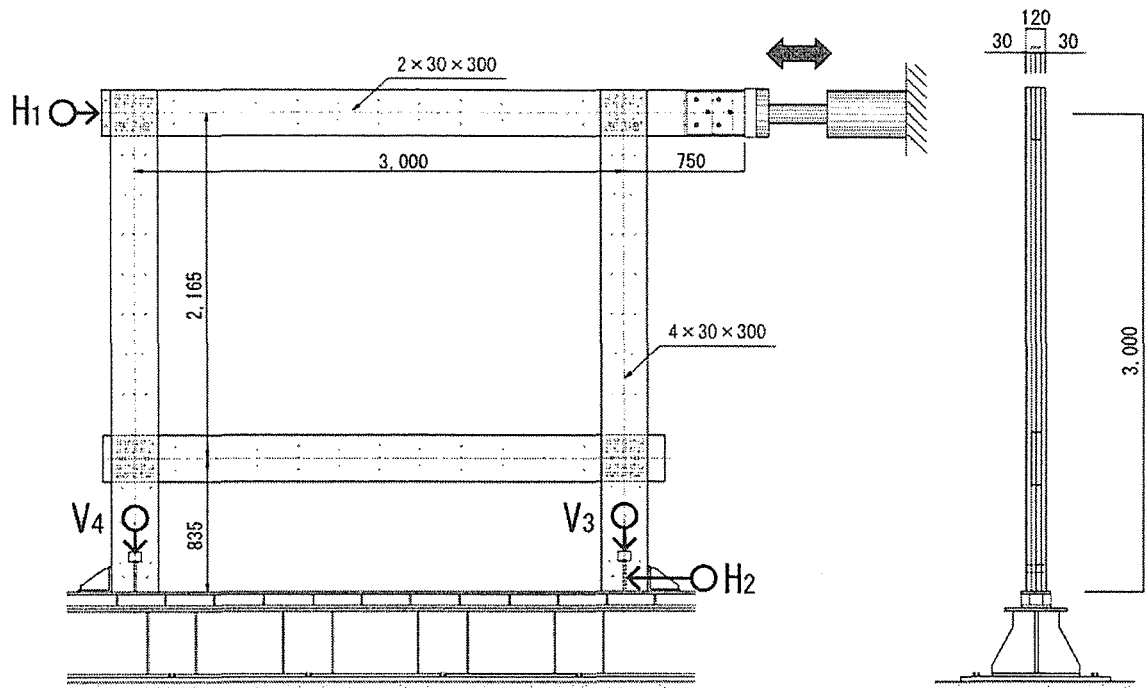


図 3-3 試験体及び水平加力試験方法(単位:mm)



写真 3-3 A 型の接合部

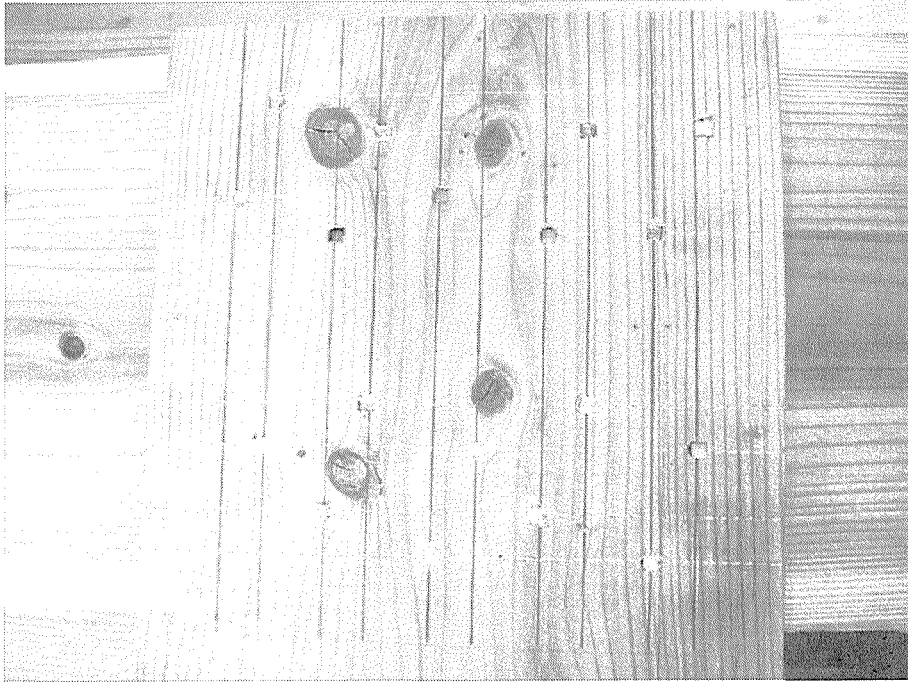


写真 3-4 B 型の接合部

2.2 せん断試験

試験機は実大壁せん断試験機（(株)驚宮製作所製 ACT-20S 型）を用いた。柱頭部と柱脚部に変位計を取り付け水平方向の変位を試験機に取り込みながら見かけのせん断変形角に対応する変位で制御させた。垂直方向の変位についても柱脚部に取り付け変位計でデータを採取した。試験体の固定は無載荷柱脚固定式である。加力の方法は、見かけのせん断変形角が $1/450$ 、 $1/300$ 、 $1/200$ 、 $1/150$ 、 $1/100$ 、 $1/75$ 、 $1/50$ 、 $1/30$ 、 $1/15$ (rad) 時に正負交番の 3 回繰り返して行った。試験の状況を写真 3-5 に示す。

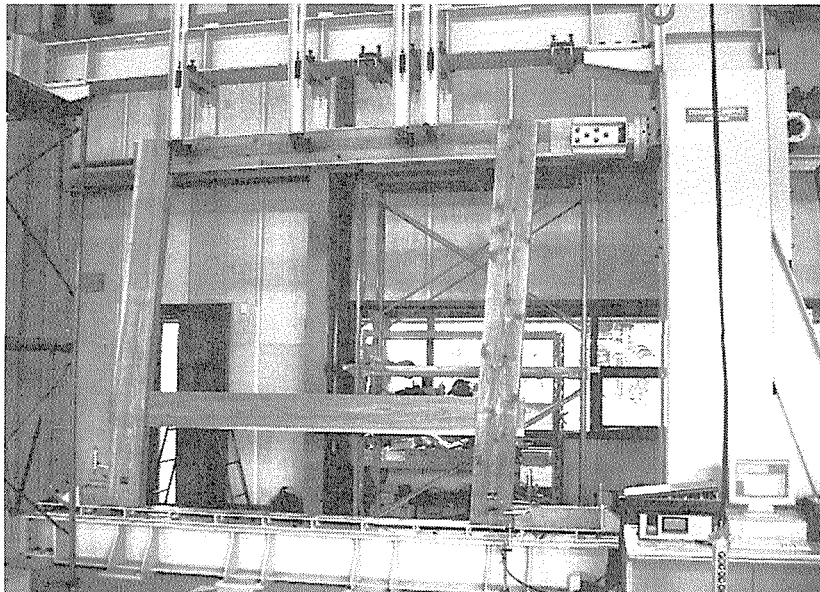


写真 3-5 水平加力試験の状況

試験の評価方法を以下に示す。荷重変位曲線は図 3-4 に示すように正(引き)側と負(押し)側で 2 通りあるが、今回の 6 体は第一加力側である負側で評価した。特徴として、①剛性と耐力に関して荷重方向(引きと押し)による異方性はほとんどない、②初期がたがないことがあげられる。

荷重変位曲線から包絡線を作成し、降伏耐力 P_y 、終局耐力 P_u 、構造特性係数 D_s 等を算出する。A 型の試験体 No. 1 についての各耐力の算出過程を図 3-5 に示す。各 3 体の以下の 4 項目((a) P_y 、(b) $P_u \times 0.2/D_s$ 、(c) 最大荷重 P_{max} の $2/3$ 、(d) 見かけのせん断変形角 $1/120$ 時の荷重)の平均値にそれぞれのばらつき係数を乗じて算出したうち最も小さい値を短期基準せん断耐力 P_0 とする。短期許容せん断耐力 P_a は P_0 に低減係数 α を乗じたものであるが、ここでは $\alpha=1$ とした。 P_a (kN) を壁長 3.00 (m) と壁倍率=1 を算定する数値 1.96 (kN/m) で除した数値が壁倍率である。A 型、B 型の壁倍率の算出結果を表 3-3 に示す。

この軸組試験体においては、4 つの接合部が加わるモーメントに抵抗するので合板張り壁体のように壁体のせん断性能は壁長と実質上関連しない。したがって、1m あたりの抗せん断性能を表す壁倍率を算出する意味はない。しかし、ここでは比較の目的で壁倍率を算出してみた。

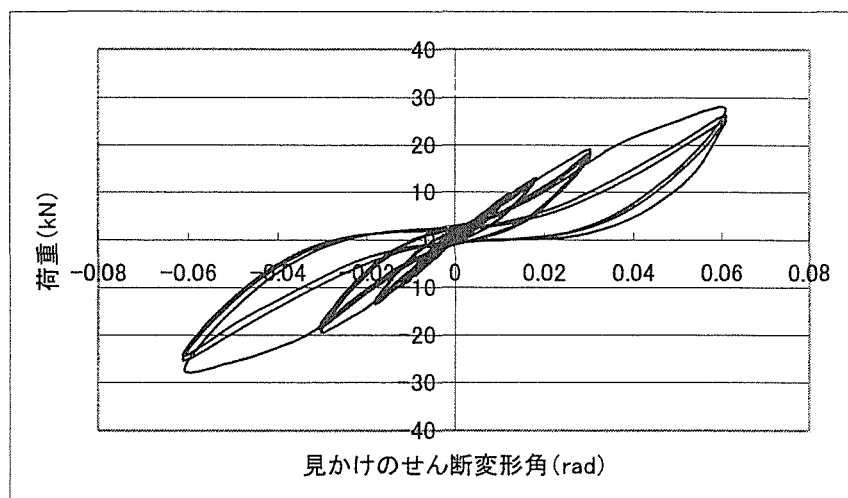
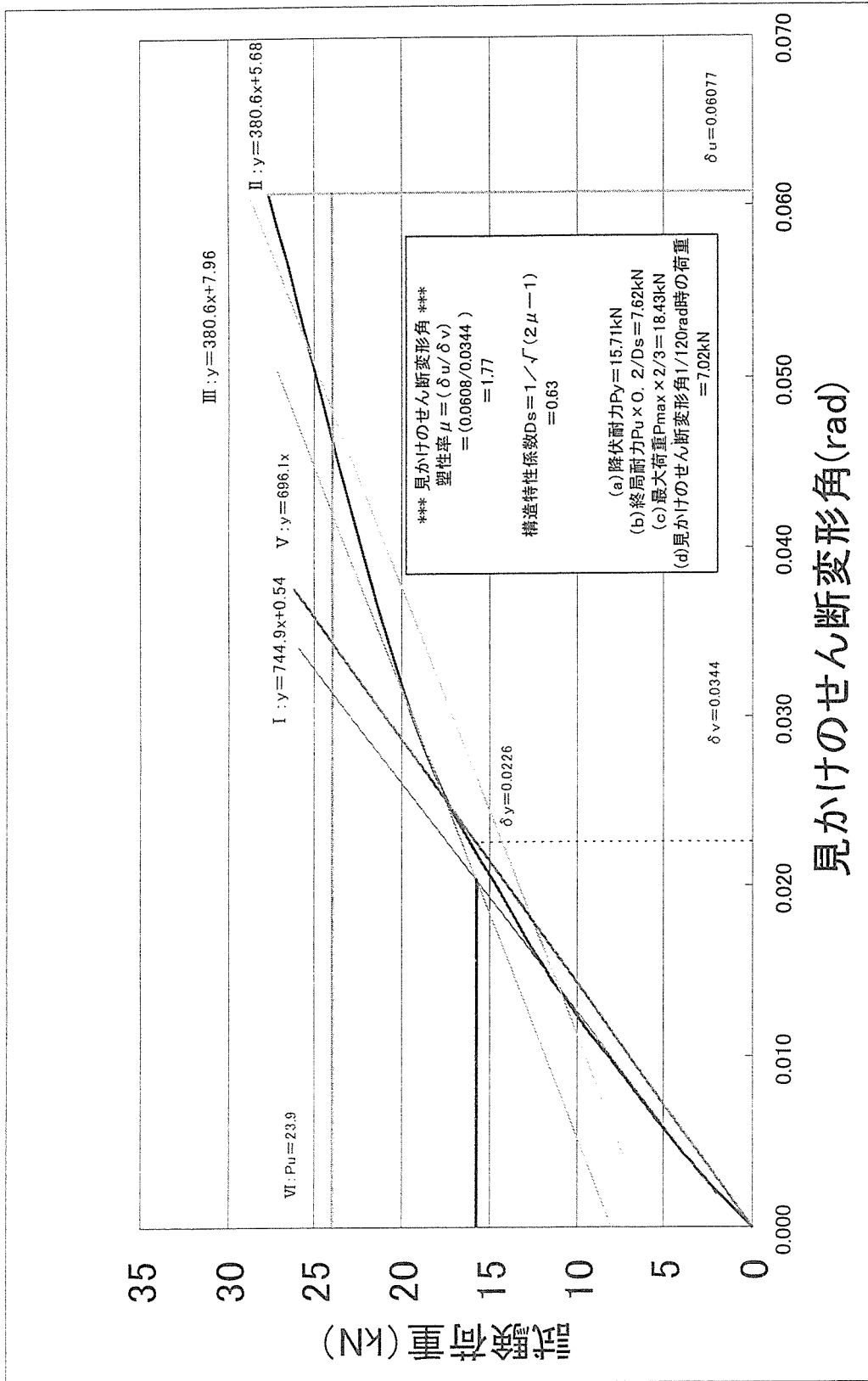


図 3-4 A 型の試験体 No. 1 (A1) の荷重－変位曲線



見かけのせん断変形角(rad)

図 3-5 A1 の各耐力の算出過程

表 3-3 壁倍率算出結果

試験体	1/120rad 時の荷重	Py	2/3Pmax	Pu×0.2/Ds	単位
A1	7.02	15.71	18.43	7.66	(kN)
A2	7.90	17.81	17.65	7.93	(kN)
A3	7.13	18.35	18.64	7.98	(kN)
平均値	7.350	17.290	18.240	7.857	(kN)
標準偏差	0.479	1.395	0.522	0.172	
変動係数	6.5	8.1	2.9	2.2	(%)
ばらつき係数	0.969	0.962	0.987	0.990	
基準耐力	7.124	16.633	17.994	7.776	(kN)
壁倍率	1.21	2.83	3.06	1.32	

試験体	1/120rad 時の荷重	Py	2/3Pmax	Pu×0.2/Ds	単位
B1	5.30	9.46	11.46	5.55	(kN)
B2	4.48	9.60	10.99	4.89	(kN)
B3	4.25	9.56	11.43	4.76	(kN)
平均値	4.677	9.540	11.293	5.067	(kN)
標準偏差	0.552	0.072	0.263	0.424	
変動係数	11.8	0.8	2.3	8.4	(%)
ばらつき係数	0.944	0.996	0.989	0.961	
基準耐力	4.417	9.506	11.169	4.867	(kN)
壁倍率	0.75	1.62	1.90	0.83	

A 型、B 型ともに特定変形時（見かけのせん断変形角が 1/120 時）の耐力が最低値を示した。

A 型は壁倍率に換算して 1.21 であった。1、3 体目については破壊が明確に認められなかったが、2 体目については上部梁の加力点に近い部分が曲げ破壊した。破壊の様子は、4 枚合わせの表側から 2 枚目のラミナ下部に大きな節があり、最初の -1/15（押し側）でその 1 枚が破壊し、+1/15（引き側）で残りの 3 枚も破壊した。破壊の状況を写真 3-6 に示す。

B 型は大きな破壊が見られず壁倍率は 0.75 であった。A と B の差は、B 型試験体の梁材が 2 材合わせで、柱（4 枚合わせ）との接合部における曲げとめり込みの抵抗が少なく、その結果 A 型に比べて最大試験力も低くなったことが考えられる。

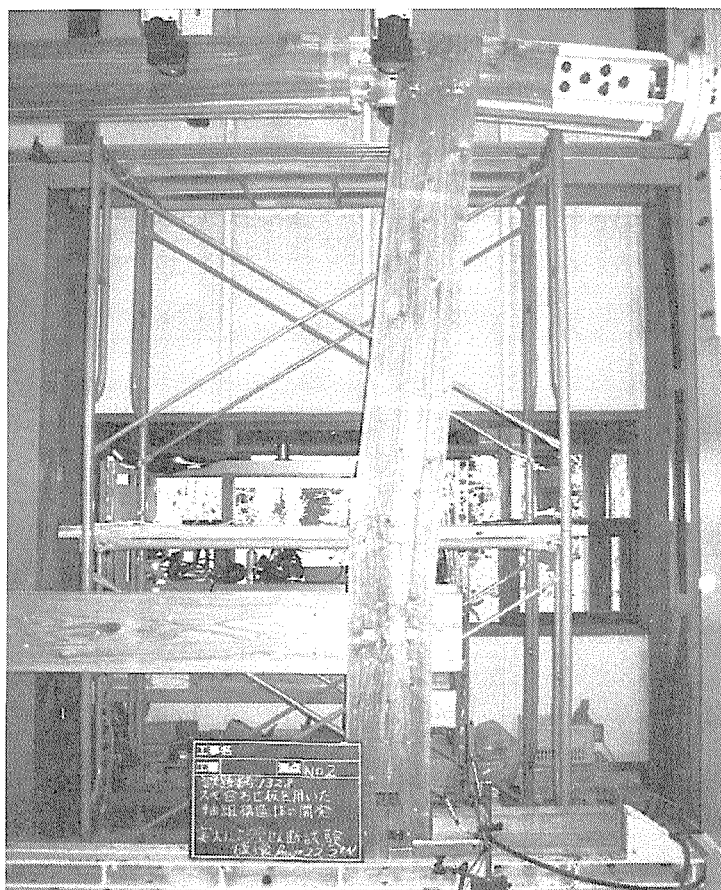


写真 3-6 A 型試験体No.2 の破壊状況

3 実験値と計算値（理論値）の比較

実験値と計算値（理論値）の比較は、接合部にボルトを用いない木ダボのみによって構成されている軸組壁体 B 型（門型フレーム B 型）を対象とした。3 体の中では B2 が中央値を示しているので、荷重変位曲線は B2 をモデルとした（表 3-3 壁倍率算出結果を参照）。

3.1 試験体図

門型フレームの試験体図を図 3-6 に示す。試験体の寸法押えは軸心（中立軸）を基準としている。軸組壁体の加工、組み立ては 2 軸組壁体の加工・組み立てを参照。

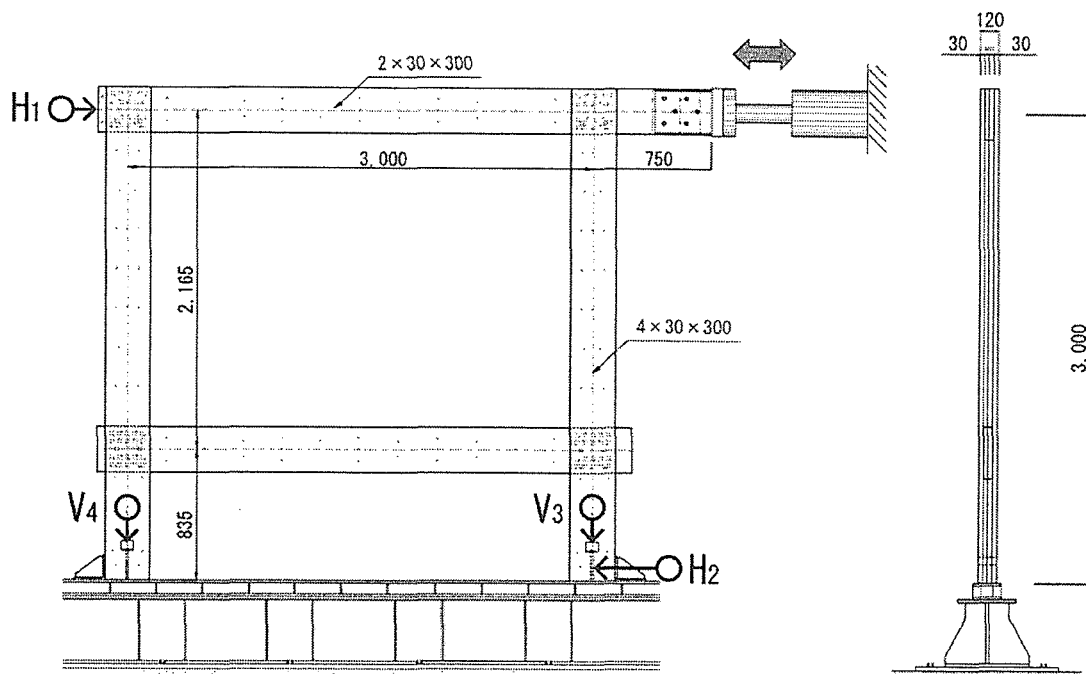


図 3-6 合わせ材を用いた門型フレームの試験体図(単位:mm)

3.2 試験方法

軸組壁体のせん断試験を参照。

3.3 実験結果

門型フレーム B 型の試験体 B2 の荷重変位曲線を図 3-7 に示す。

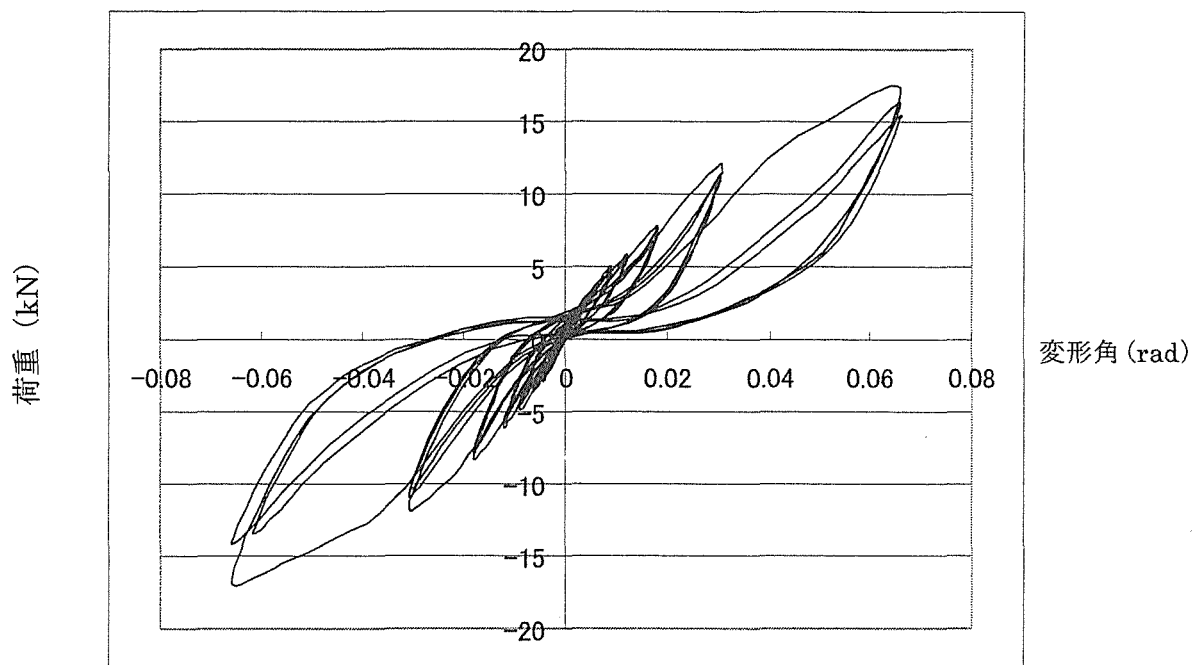


図 3-7 荷重－変位曲線

図 3-7 からは、本フレームの特徴として、剛性と耐力に関して荷重方向による異方性はほとんどなく、また初期ガタもないことが分かる。

この結果から、本フレームをラーメン構造と仮定し、ラーメンとしての計算値(理論値)と比較する。

3.4 門型フレームB型の計算値

門型フレームB型の応力解析をコンピュータにより、下記の条件にて実施した。使用した計算ソフトは、(株)構造システムのFAP-3 for Windows V_{2.1.0.7}である。

計算用モデルは、接合部を完全剛接とするラーメン構造とし、脚部はピン条件とした。

仮定断面は、60 mm×300 mmとし、曲げ弾性係数は、50.0tf/cm²とした。

荷重モデルは、水平力として1.0tfを短期荷重として入力した。

計算結果を図 3-8 にモーメント図、図 3-9 にせん断力図、図 3-10 に軸力図、図 3-11 に変位図として示す。

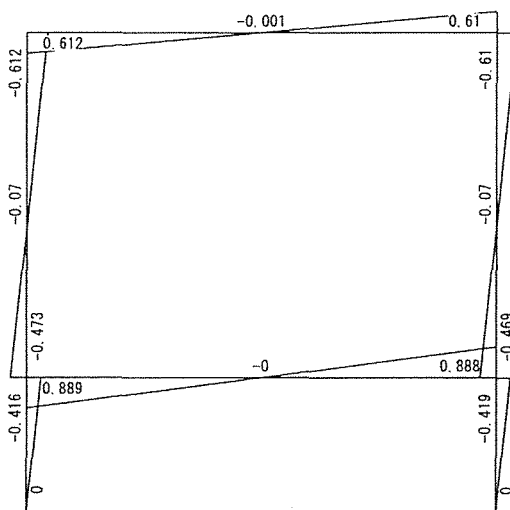


図 3-8 モーメント図(単位:tf·m)

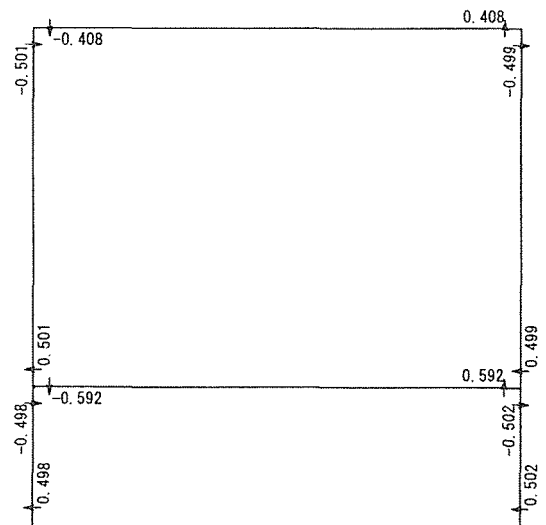


図 3-9 せん断力図(単位:tf)

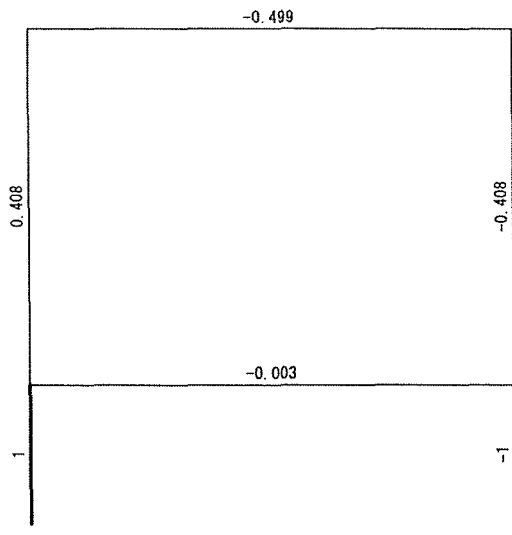


图 3-10 軸力图(单位:tf)

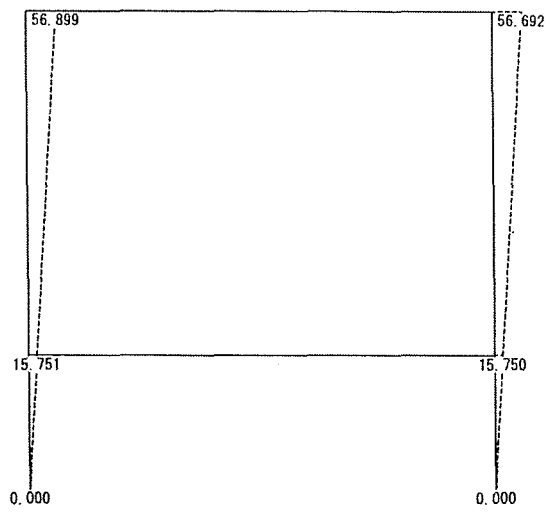


图 3-11 變位图(单位:mm)

3.5 実験値と計算値（理論値）の比較

実験値と計算値（理論値）の比較は、実験値をせん断変形角 $1/120\text{rad}$ に達したときの値 $4.48\text{kN}(0.457\text{tf})$ とした場合（表 3-3 壁倍率算出結果を参照）、計算値が計算用モデルに荷重 $4.48\text{kN}(0.457\text{tf})$ でどの程度せん断変形するかその量を検討する。

図 3-11 の入力 1.0tf のときのモデル変位図から $4.48\text{kN}(0.457\text{tf})$ 時の変位量 ($c\delta_{1/120}$) を求めると、 1.0tf のときが変位量 56.7mm であることから、

$$c\delta_{1/120} = 56.7 \times \frac{0.457}{1.0} = 25.9(\text{mm})$$

となる。

一方、門型フレームの高さ $3,000\text{mm}$ に対する見かけのせん断変形角 $1/120$ のときの桁レベルの変形量 ($E\delta_{1/120}$) は、

$$E\delta_{1/120} = \frac{3,000}{120} = 25.0(\text{mm})$$

である。

この結果、門型フレームに 4.48kN の水平力を入力して計算した変位量 25.9mm は実験結果の 4.48kN 加力時の変位量 25.0mm とほぼ一致している。このことは、接合部が剛接合と見なせることを示している。

4 ダボ接合軸組壁体のせん断性能の評価

ここでは、接合部の回転剛性と許容曲げモーメントの評価を行う。

4.1 回転剛性の算出

木ダボ接合を用いた接合部の回転剛性は以下により求めることができる。

$$R_j = n_s \sum_{j=1}^{n_i} (K_{\phi_i} \times r_i^2)$$

$$K_{\phi_i} = K_0 \cdot K_{90} / (K_0 \cdot \sin^2 \phi_i + K_{90} \cdot \cos^2 \phi_i)$$

ここに

R_j : 接合部回転剛性 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)

n_i : 一せん断面当たりの接合具の数

n_s : 一接合部当たりのせん断面の数

K_{ϕ_i} : 繊維平行方向 (X軸) と ϕ 度の角度をなす方向のすべり係数 (kN/m)

K_0 : 繊維平行方向に関する接合具のすべり係数 (kN/m)

K_{90} : 繊維直行方向に関する接合具のすべり係数 (kN/m)

r_i : 回転中心から接合具までの距離 (m)

ただし

$$n_i = 24$$

$$n_s = 2$$

$$K_o = 2,620 \text{ kN/m}$$

$$K_{go} = 2,360 \text{ kN/m}$$

r_i = 木ダボまでの距離

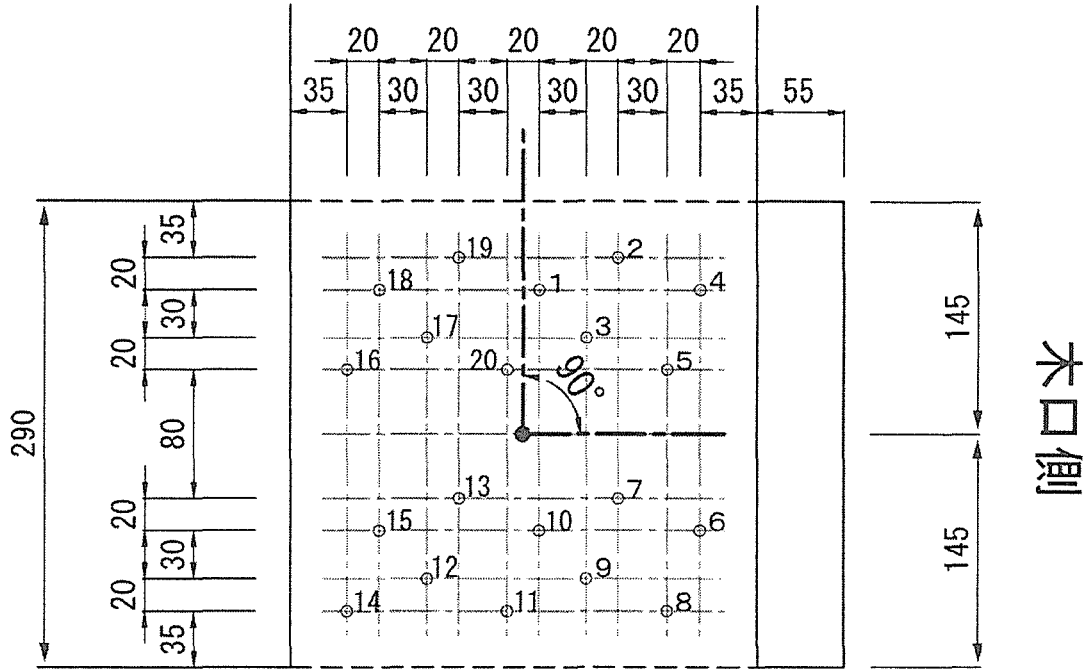


図 3-12 矩形配置

表 3-4 接合部回転剛性の計算

i	b × H = 60 × 300			
	K ₀ = 2,620		K ₉₀ = 2,360	
	r _i (m)	φ _i	K φ _i	K φ _i · r _i ²
1	0.090	6	2,617	21.20
2	0.125	29	2,554	39.91
3	0.072	34	2,532	13.13
4	0.142	51	2,457	49.54
5	0.098	66	2,399	23.04
6	0.125	119	2,416	37.75
7	0.072	124	2,436	12.63
8	0.142	141	2,510	50.61
9	0.098	156	2,573	24.71
10	0.060	171	2,613	9.41
11	0.110	185	2,618	31.68
12	0.108	214	2,533	29.55
13	0.056	225	2,483	7.79
14	0.155	225	2,483	59.65
15	0.108	236	2,436	28.41
16	0.117	290	2,388	32.69
17	0.084	315	2,483	17.52
18	0.127	315	2,483	40.05
19	0.117	340	2,587	35.41
20	0.041	346	2,603	4.38
			Σ	569.05
			n s	2
			Rj (kN · m/rad)	1138
			Rj (tf · m/rad)	0.1161

4.2 許容曲げモーメントの算出

柱部は4材から構成され、内層の2材は上部梁と地貫に突き付け接合としている。この接合部に回転モーメントが生じると、梁や地貫がめり込み変形を伴ってモーメントを負担する。

めり込みによる許容曲げモーメント(M_y)は、以下により求めることができる。⁶⁾

$$M_y = K_0 \cdot \theta_y$$

ここに

K_0 : 繊維平行方向に関する接合具のすべり係数 (kN/m)

$$K_0 = \frac{X_p^2 \cdot b \cdot C_y \cdot E_{\perp}}{2 \times H} \left(H \cdot C_x - \frac{X_p}{3} \right)$$

$$\theta_y = \frac{\delta_y}{X_p}$$

$$\delta_y = \frac{H \cdot f_m}{E_{\perp} \cdot C_x \cdot C_y}$$

ここに

δ_y : 接合部回転剛性 (kN・m)

H : 地貫のせい (cm)

f_m : めり込み弾性限界応力

$$f_m = 2.4 \times 20 = 48 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

E_{\perp} : 全面横圧縮ヤング係数

$$E_{\perp} = 50,000 \times 1/50 = 1,000 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$C_x : C_x = 1 + \frac{4 \cdot H}{3 \cdot X_p}$$

X_p : 中立軸の高さ (cm)

ここでは軸心として $X_p = 1/30 = 15$ (cm) とする。

$$C_x = 1 + \frac{4 \times 30}{3 \times 15} \doteq 3.67$$

$$C_y : C_y = 1 + \frac{4 \cdot H}{3 \cdot n \cdot b}$$

b : 地貫の幅 (cm)

n : 繊維方向に対する繊維直交方向の近似置換倍率 (スギ=5)

$$C_y = 1 + \frac{4 \times 30}{3 \times 5 \times 6} \doteq 2.33$$

$$\therefore \delta_y = \frac{30 \times 48}{1,000 \times 3.67 \times 2.33} \doteq 0.168$$

$$\therefore \theta_y = \frac{0.168}{15} \doteq 0.0112$$

$$\begin{aligned} \therefore K_0 &= \frac{15^2 \times 6 \times 2.33 \times 1,000}{2 \times 30} \left(30 \times 3.67 - \frac{15}{3} \right) \\ &= 5,509,867.5 \text{ (kgf} \cdot \text{m/rad)} \end{aligned}$$

$tf \cdot m/rad$ に変換すると
 $55.10 \text{ } tf \cdot m/rad$ となる。

柱木口が地貫によって、めり込みが弾性限界に達する時のモーメント (M_y) は、

$$\therefore M_y = 55.10 \times 0.0112 = 0.617tf \cdot m/rad$$

となる。

4.3 実験値と計算値との比較評価

4.3.1 実験値

実験用の門型フレームが 1/120 変形したときの荷重 4.48kN(0.457tf)によって、各接合部にはそれぞれ曲げモーメントを生じる。図 3-8 の計算モデルでは、水平力 1.0tf を入力したときに、頂部の梁両端は 0.612tf・m に対し、地貫両端は 0.888tf・m と大きい。従って、比較はモーメントの大きい地貫の 0.888tf・m を用いる。

図 3-8 の地貫の最大モーメント 0.888tf・m を荷重 4.48kN(0.457tf)時のモーメント (${}_E M_{1/120}$) に換算すると、

$${}_E M_{1/120} = 0.888 \times \frac{0.457}{1.0} = 0.406tf \cdot m(3.9788kN \cdot m)$$

となる。

4.3.2 計算値 (理論値)

計算値は回転剛性 R_j と許容曲げモーメント M_y についてそれぞれ計算結果を示す。

$$R_j = 0.1161 \text{ } tf \cdot m$$

$$M_y = 0.617 \text{ } tf \cdot m$$

本接合では木ダボによる回転剛性より、めり込みによる許容曲げモーメントの方が大きいことを示している。

実験値と理論値の比較の結果は、回転剛性と許容曲げモーメントを単純加算はできないが、理論値の方が大きい値となっている。

これは、柱が木ダボによって構成されている関係で、貫の支圧を柱の内層 2 枚が受け持つ際に、外層との間にせん断力が発生し、木ダボが変形しながらせん断力を伝達しているために回転変位も大きくなった結果、実験値が低い値を示しているものと考えられる。

5 床組のせん断試験

5.1 試験方法及び試験結果

試験機は実大壁せん断試験機((株)鷺宮製作所製 ACT-20S 型)を用いた。柱頭部と柱脚部に変位計を取り付け水平方向の変位を試験機に取り込みながら見かけのせん断変形角に対応する変位で制御させた。垂直方向の変位についても柱脚部に取り付けた変位計でデータを採取した。試験体の固定は無載荷柱脚固定式である。試験の状況を写真 3-7 に示す。

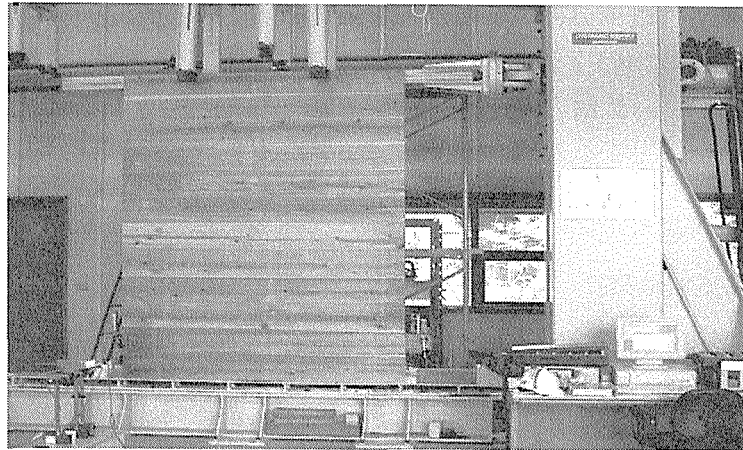


写真 3-7 試験の状況

加力の方法は、見かけのせん断変形角が、 $1/450$ 、 $1/300$ 、 $1/200$ 、 $1/150$ 、 $1/100$ 、 $1/75$ 、 $1/50$ 、 $1/30$ 、 $1/15$ (rad)時に正負交番の3回繰り返しで行った。1例としてC型の試験体No.1 (以下C1)の荷重-変位曲線を図3-13に示す。耐力は $1/30$ で頭打ちであるが、 $1/15$ に移行しても破壊せず、ねばり強い構造であることを示している。

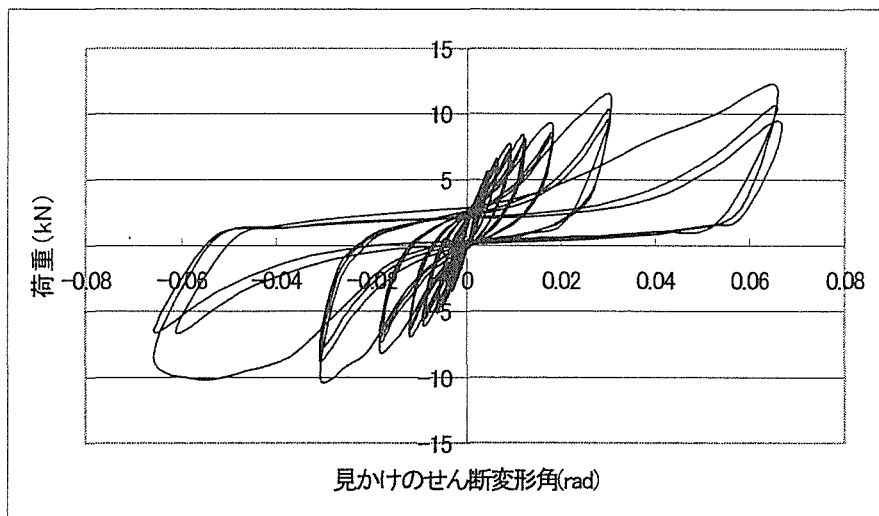


図 3-13 C1の荷重-変位曲線

試験の評価方法は以下のとおりである。荷重－変位曲線は正(引き)側と負(押し)側で2通りあるが、今回の7体は第一加力側である負側で評価した。荷重－変位曲線から包絡線を作成し、降伏耐力 P_y 、終局耐力 P_u 、構造特性係数 D_s 等を算出する。包絡線から各耐力等を算出する過程を図 3-14 に示す。

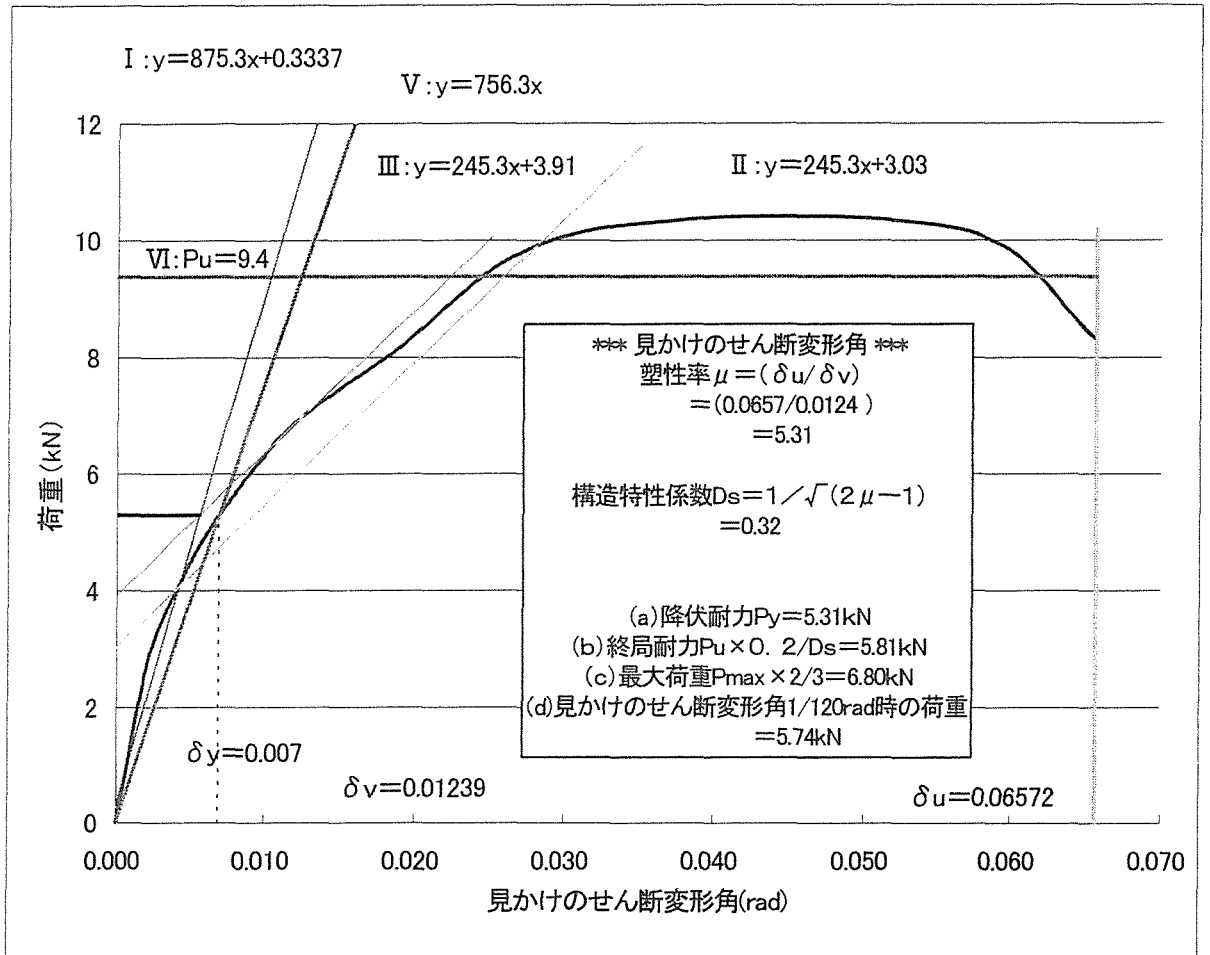


図 3-14 包絡線から各耐力等を算出する過程

A、B、C 型のうち B、C 型については各 3 体試験したので、以下の 4 項目 ((a) P_y 、(b) $P_u \times 0.2/D_s$ 、(c) 最大荷重 P_{max} の $2/3$ 、(d) 見かけのせん断変形角 $1/120$ 時の荷重) の平均値にそれぞれのばらつき係数を乗じて算出したうち最も小さい値を短期基準せん断耐力 P_0 とする。短期許容せん断耐力 P_a は P_0 に低減係数 α を乗じたものであるが、ここでは $\alpha=1$ とした。 P_a (kN) を床長 1.82m と床倍率 $=1$ を算定する数値 1.96kN/m で除した数値が床倍率である。A 型については 4 項目のうち最小値を基準せん断耐力として床倍率を算出した。床倍率の算出結果を表 3-5 に示す。

表 3-5 床倍率の算出結果

床組 A,B 型	1/120rad 時の荷重	Py	2/3Pmax	Pu×0.2/Ds	単位
A1	2.36	2.94	4.46	2.26	(kN)
B1	4.51	3.84	4.45	4.40	(kN)
B2	4.80	4.03	5.13	4.80	(kN)
B3	3.86	2.77	3.83	4.06	(kN)
平均値	4.388	3.545	4.468	4.421	(kN)
標準偏差	0.482	0.683	0.648	0.367	
変動係数	11.0	19.3	14.5	8.3	(%)
ばらつき係数	0.948	0.909	0.932	0.961	
基準耐力	4.161	3.223	4.162	4.248	(kN)
床倍率	1.17	0.90	1.17	1.19	
床組 C 型	1/120rad 時の荷重	Py	2/3Pmax	Pu×0.2/Ds	単位
C1	5.74	5.31	6.80	5.81	(kN)
C2	6.75	8.39	7.73	5.55	(kN)
C3	4.95	4.65	6.55	5.08	(kN)
平均値	5.813	6.118	7.027	5.480	(kN)
標準偏差	0.903	1.997	0.624	0.368	
変動係数	15.5	32.6	8.9	6.7	(%)
ばらつき係数	0.927	0.846	0.958	0.968	
基準耐力	5.388	5.178	6.733	5.307	(kN)
床倍率	1.51	1.45	1.89	1.49	

5.2 ダボ接合床組の強度性能の評価

ここでの評価は A 型、B 型、C 型の床についてのせん断性能を比較することを目的として、床倍率での評価にとどめる。

A 型は終局耐力 P_u に 0.2 を乗じて構造特性係数 D_s で除した値が最小となり 2.26kN であった。ここから算出される床倍率は 0.63 である。

B 型は A 型と同じ金物を使っているが、面材を構成する厚板の継ぎ目に 7 mm×7 mm×80 mm の木ダボを差し込みずれに抵抗させたことで床倍率が 0.90 に上昇した。面材をとめ付ける木ダボは A 型の半分にしたが、この影響はほとんどなかったようである。

C 型は A 型、B 型と異なる金物で軸組を接合し、ずれに抵抗する木ダボの径を 10 mm×10 mm×80 mm とした。木ダボの断面積が 2 倍となり床倍率も 1.45 に上昇した。B 型の単純に 2 倍とならなかった要因の一つが金物の差ではないかと考えられる。

6 立体フレーム試験

6.1 合わせ材を用いた軸組構造体の水平加力試験

6.1.1 構造体の仕様

(1) 試験体図

軸組構造体の試験体図を図 3-15 に示す。サイズは、平面が一辺 6,000 mm の正方形とし、高さは床面から地貫を 850 mm、2 階床梁を 3,188 mm、軒桁を 6,173 mm とした(図 3-16 参照)。試験体の寸法抑えは構造材の軸心(中立軸)を基準としている。

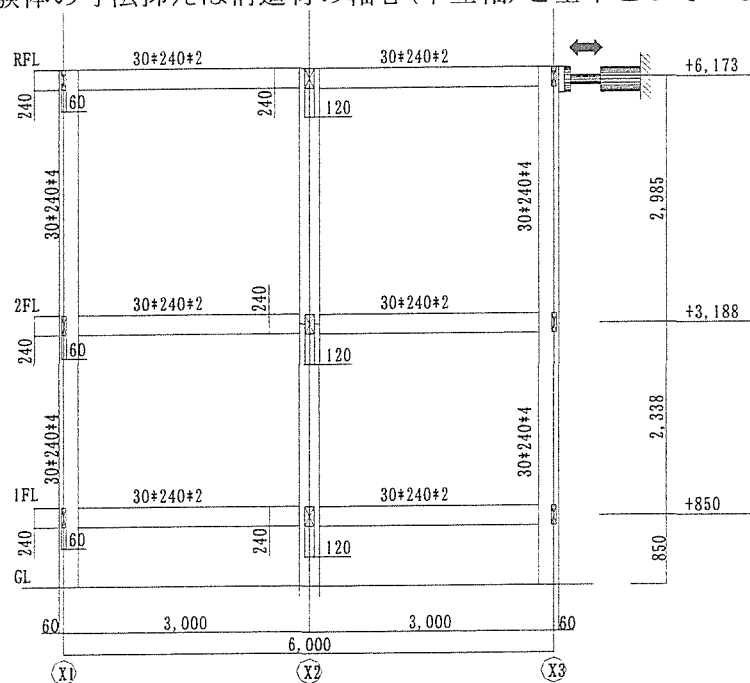


図 3-15 試験体図(Y₃通り立面) 単位:mm

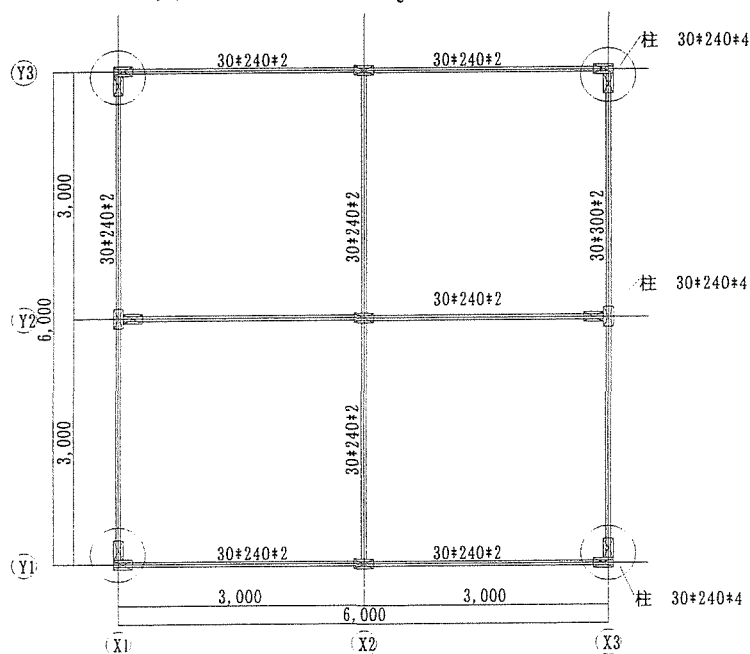


図 3-16 試験体図(平面図) 単位:mm

(2) 軸組材

軸組材は、柱が 30 mm×240 mmの断面をもつ厚板 4 材、梁が 30 mm×240 mmの厚板 2 材を重ねた合わせ材である。接合部は 7 mm×7 mmの正方形断面のイチイガシの木ダボを打ち込んでいる。

6.2 水平加力試験方法

試験装置は、実大構造実験装置((株)鷺宮製作所 ACT-20 型)を用いた。

加力方法は、アクチュエーターを用い 2 階桁部に見かけのせん断変形角が 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50 (rad)時に正負交番 1 回繰り返して行った。

6.3 実験結果

実験結果を図 3-17 に示す。単管足場を不動点とし、変位の測定は糸巻きゲージによった。測定位置は 2 階軒桁の加力点と反対側とした。

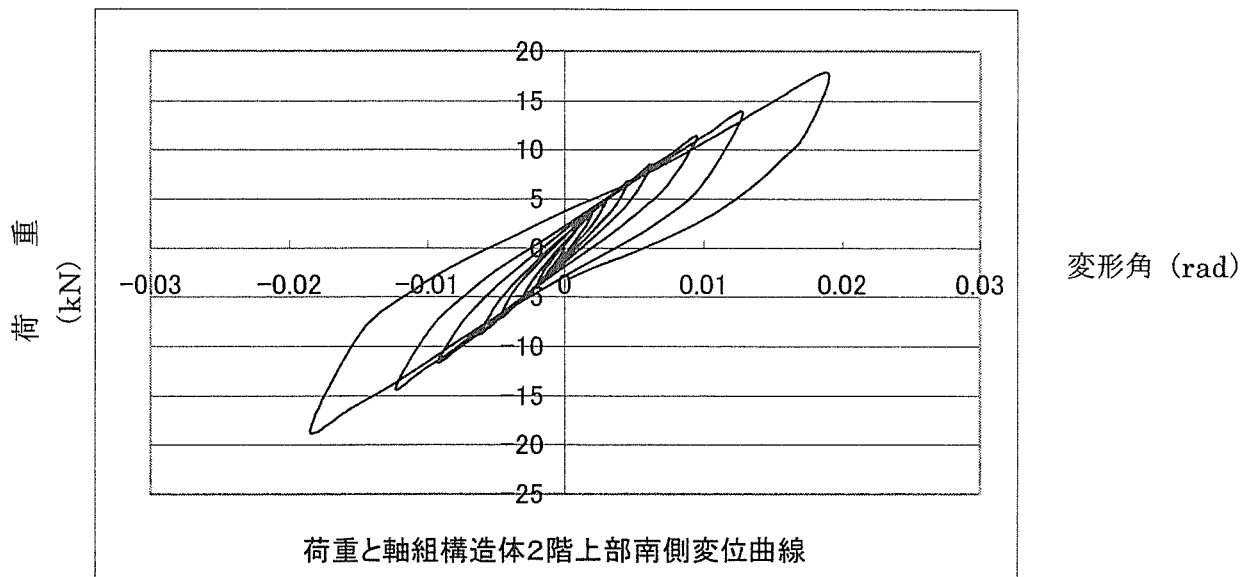


図 3-17 軸組構造体の荷重－変位曲線

この結果を受け、図 3-17 の図を包絡線として図 3-18 に示した。この図は荷重－変位関係に 0.002rad までは直線域が現れるものの、その後は明確な直線域がないことを示している。

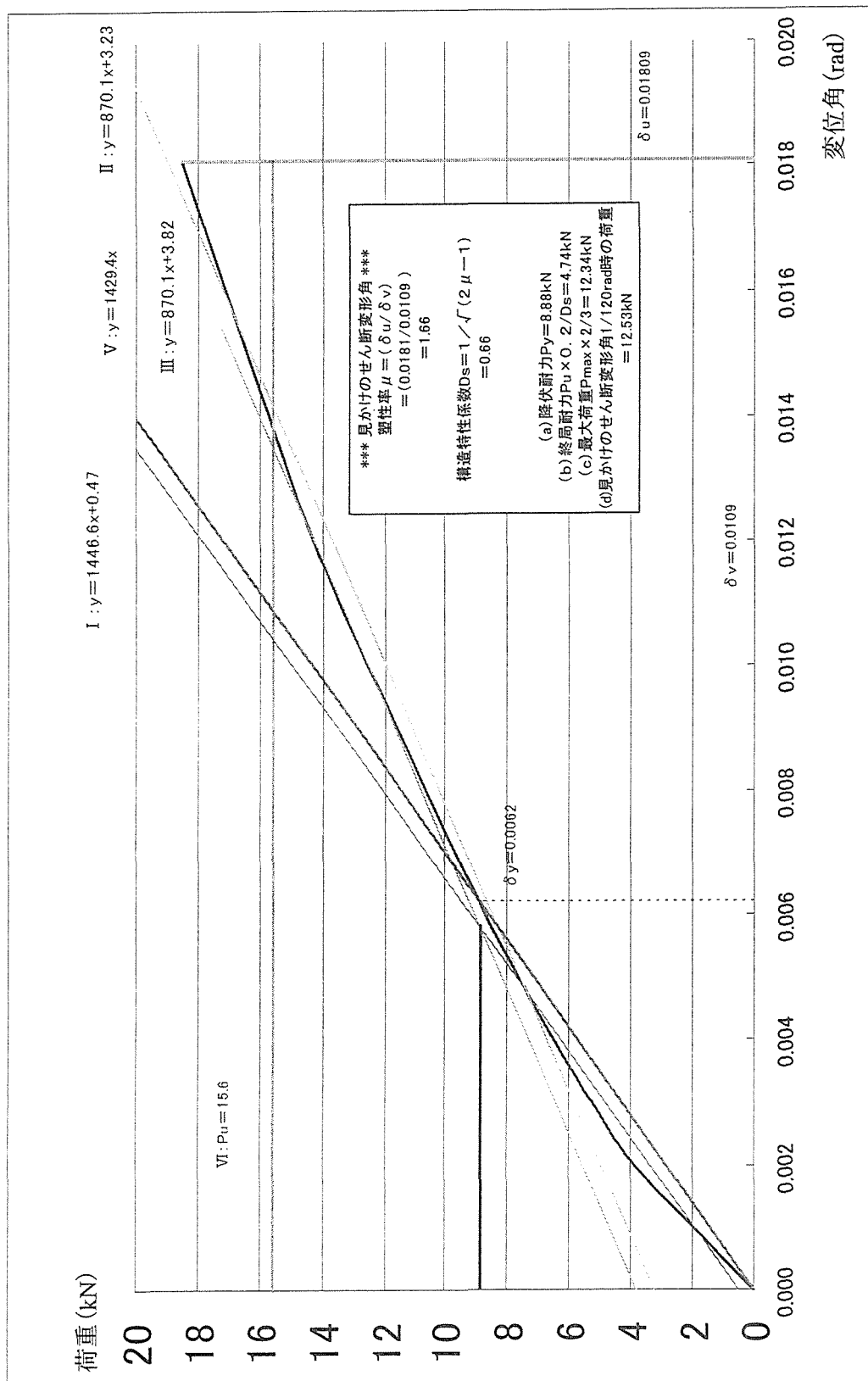


図 3-18 軸組構造体の荷重－変位曲線

6.4 住宅用構造体としての検討

本軸組構造体を住宅に使用する場合を想定して、別途外力を算出すると、この規模では地震荷重で決まり、その荷重は2階で約1.4tf、1階で2.3tfである。

軸組構造体全体のせん断変形角 $1/120\text{rad}$ 時の耐力が1.122tfであったことから、このままでは剛性不足となっている。

今後、構造体全体の剛性を上げる補強法は、2階に地貫と同様な効果を期待できる腰壁位置に貫を入れるなど、貫の増量を検討する必要がある。あるいは、接合仕口部でのめり込みを利用する曲げモーメント向上のため、横架材(梁や地貫)を2材から4材とし、柱に胴突とするのも一つの方法であろう。軸組壁体の壁せん断試験結果でも横架材を4材とするA型は2材のB型より約1.6倍高い剛性を示している。こうした対応によって、十分な剛性が期待できる。

7 解体

7.1 解体作業

水平加力実験を実施した立体フレームを用いて解体実験を行った。解体作業は次の通り

- ・解体の基本は組み立ての逆の工程とする。
- ・解体は組み立てた業者と同一業者である。
- ・解体作業時に部材に番付を明記する。
- ・リユース対象材は板材すべてとする。再利用しない部材は木ダボ、堅木ダボ、床用厚板材、留釘。

7.2 解体順序

解体の順序は、次の通り。

- ・足場を組む →
- ・2階天井の厚板を取り外す → RFの梁を取り外す(写真3-8) →
- ・1階の床板を取り外す(写真3-9) →
- ・ユニットとユニットの連結部分の羽子板ボルトを取り外す →
- ・柱脚部の金物を取り外す(写真3-10) →
- ・X1通りの足場を撤去 →
- ・X3通りのユニットを取り外す(写真3-11) →
- ・2階床板を取り外す(写真3-12) →
- ・2階の小梁を取り外す →
- ・1階の床梁を取り外す →
- ・Y2通りのユニットを取り外す(写真3-13) →
- ・X1通りのユニットを取り外す(写真3-14) →

- ・ Y3 通りのユニットを取り外す →
- ・ Y1 通りのユニットを取り外す →
- ・ 完了(写真 3-15)

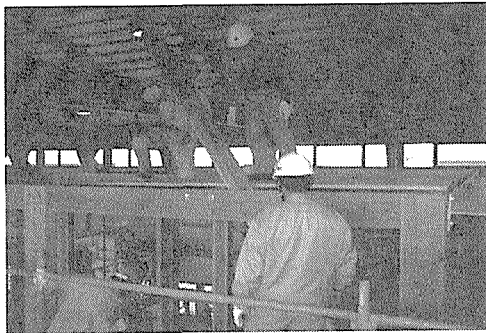


写真 3-8 2階天井の厚板取り外し



写真 3-9 1階の床板取り外し

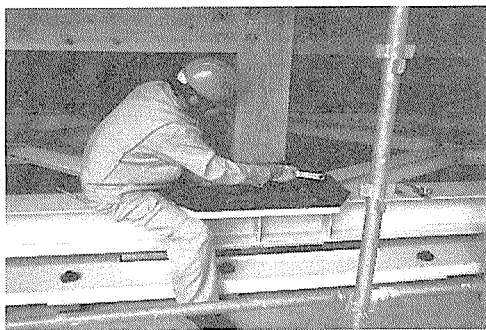


写真 3-10 柱脚部の金物取り外し

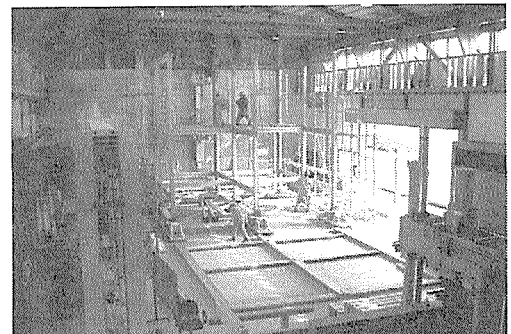


写真 3-11 X3 通りのユニットの取り外し

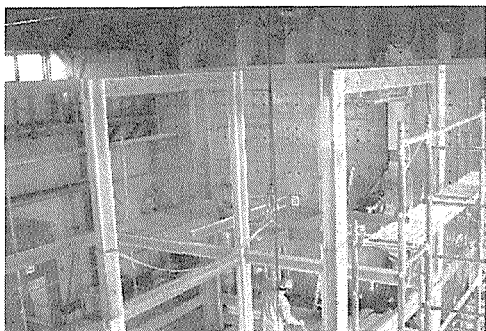


写真 3-12 2階床板の取り外し

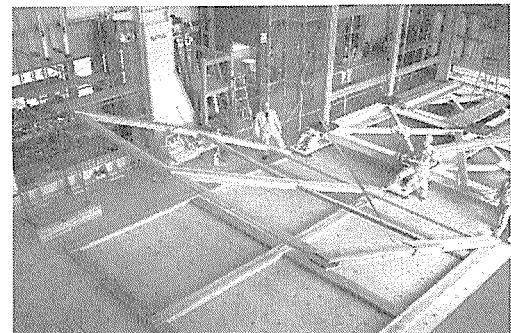


写真 3-13 Y2 通りのユニット取り外し

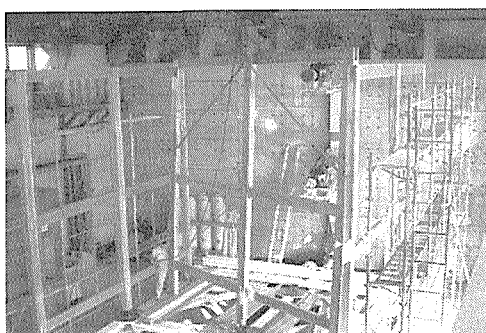


写真 3-14 X1 通りのユニットの取り外し

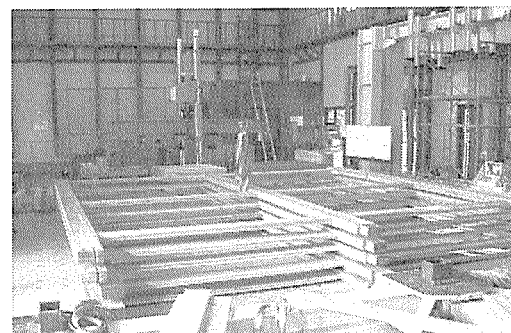


写真 3-15 完了

7.3 ユニット解体

ユニット単位で立体フレームを解体し、地上でそのユニットを構成している合わせ梁、合わせ地貫、合わせ柱の接合部の木ダボを抜いて合わせ材も分解する。

ユニット解体での各軸組材の、損傷は少なく、また木ダボ抜きによる板材の損傷も少なく板材の再利用可能を判断する。



写真 3-16 地貫の木ダボ抜き(1)



写真 3-17 地貫の木ダボ抜き(2)

7.4 解体作業時間・人工

- ・ 第1日目 9:00～12:00
 13:00～16:00 所要時間 6 時間 5 人
- ・ 第2日目 10:00～12:00
 13:00～14:00 所要時間 3 時間 3 人

7.5 リユース率

解体の結果、リユース対象材の板材は実験によってダメージがあったものを除きほとんどのものがリユースできることが分かった。木ダボは選別の結果 50%程度がリユース出来ることが分かった。また羽子板ボルトも再使用可能であることが分かった。

第4章 モデル設計への準備

市場動行調査が示すように、現在は住宅価格坪 30 万円から 40 万円と安価に抑えられていることから、価格と直結する仕様の重要性を仕様書としてまとめておくこととした。

1 コストバランスを配慮した仕様書作成

本構造の基本材料となる板材の品質をはじめ使用材料等を一覧として、表 4-1「合わせ材による軸組工事仕様書」に示した。ここでは構造計算を前提とすることから構造材スギは機械等級区分材としている。

表 4-1 合わせ材による軸組工事仕様書

項	目	特 記 事 項																											
軸組工事	1 木 材	<p>木材の含水率による種別はSD15とする。</p> <p>構造材及び下張材の製材、使用箇所に応じた材面の品質等は、自動機械プランナー仕上げとする。</p> <p>・使用箇所及び種類は、次による。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>使 用 箇 所</th> <th>構 造 材 の 種 類 また は 機 械 等 区 分</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>軸組</td> <td>< 柱、梁、小梁 ></td> <td>・機械等区分 (< E50・E70・E90 ・E110・E130・E150)</td> </tr> <tr> <td>小屋組</td> <td>< 小屋梁、垂木、 ></td> <td>・機械等区分 (< E50・E70・E90 ・E110・E130・E150)</td> </tr> <tr> <td>床組</td> <td>< 根太、床板、 ></td> <td>・機械等区分 (< E50・E70・E90 ・E110・E130・E150)</td> </tr> </tbody> </table> <p>部材ごとの樹種</p> <p>・構造材の樹種は、次による。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>部 材 名 称</th> <th>樹 種 等</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>軸組</td> <td>< 柱、梁、小梁 ></td> <td>< スギ ></td> </tr> <tr> <td>小屋組</td> <td>< 小屋梁、垂木、 ></td> <td>< スギ ></td> </tr> <tr> <td>床組</td> <td>< 根太、床板、 ></td> <td>< スギ ></td> </tr> <tr> <td></td> <td>せん・くさび・だぼ等</td> <td>< イチイガシ ></td> </tr> </tbody> </table>		使 用 箇 所	構 造 材 の 種 類 また は 機 械 等 区 分	軸組	< 柱、梁、小梁 >	・機械等区分 (< E50 ・E70・E90 ・E110・E130・E150)	小屋組	< 小屋梁、垂木、 >	・機械等区分 (< E50 ・E70・E90 ・E110・E130・E150)	床組	< 根太、床板、 >	・機械等区分 (< E50 ・E70・E90 ・E110・E130・E150)		部 材 名 称	樹 種 等	軸組	< 柱、梁、小梁 >	< スギ >	小屋組	< 小屋梁、垂木、 >	< スギ >	床組	< 根太、床板、 >	< スギ >		せん・くさび・だぼ等	< イチイガシ >
		使 用 箇 所	構 造 材 の 種 類 また は 機 械 等 区 分																										
軸組	< 柱、梁、小梁 >	・機械等区分 (< E50 ・E70・E90 ・E110・E130・E150)																											
小屋組	< 小屋梁、垂木、 >	・機械等区分 (< E50 ・E70・E90 ・E110・E130・E150)																											
床組	< 根太、床板、 >	・機械等区分 (< E50 ・E70・E90 ・E110・E130・E150)																											
	部 材 名 称	樹 種 等																											
軸組	< 柱、梁、小梁 >	< スギ >																											
小屋組	< 小屋梁、垂木、 >	< スギ >																											
床組	< 根太、床板、 >	< スギ >																											
	せん・くさび・だぼ等	< イチイガシ >																											
	2 接合具及び接合金物の工法等	<p>構造材及び下地材に対する木ダボの打込み本数等は図示による。</p> <p>ボルト径は図示による。</p> <p>ボルトが受ける応力の種類</p> <p>・引張りを受けるボルトは図示による。</p> <p>・せん断を受けるボルトは図示による。</p> <p>接合金物を木材に接合するためのボルト等の種類、形状、寸法及び本数は図示による。</p>																											

2 コスト試算

構造実験用の立体フレーム試作を参考に躯体コストを試算する。規模は総2階建てで延べ面積72m²である。

表 4-2 立体フレーム躯体コスト

立体フレーム躯体コスト				
項目	数量	単価	金額	備考
1. 材料費				
スギ板材 30 mm厚	5.0 m ³	100,000	500,000	表4-3参照
" 加工費	5.0 m ³	50,000	250,000	
木ダボ	1 式		100,000	
運賃	1 式		100,000	
接合金物	1 式		100,000	
運賃	1 式		3,000	
小計			1,053,000	
2. 組立工事費				
仮設足場	1 式		100,000	
クレーン	1 式		20,000	
人工	1 式		250,000	
小計			370,000	
3. 諸経費			142,300	
合計			1,565,300	21,740 円/m ²

表 4-3 部材リスト

No.	名称	断面	長さ	本数	材積 (m ³)	備考
1	通し柱	30×240	6.200	56	2.500	
2	貫柱	30×240	3.100	16	0.357	
3	地貫	30×240	6.200	4	0.179	
4	地貫	30×240	3.100	24	0.534	
5	2F床梁	30×240	6.200	4	0.179	
6	2F床梁	30×240	3.100	24	0.536	
7	桁	30×240	6.200	4	0.179	
8	桁	30×240	3.100	24	0.536	
	合計				5.000	

3 今後の課題

基本設計として合わせ材による軸組躯体の概要をまとめた結果は以下の通りである。

- 1) 合わせ材による構造体はラーメン構造の機能を有する。
- 2) ラーメン構造には地域材スギ一般材が使用できる。
- 3) その結果当初の狙いである板材によるスケルトンの構想が成立する。

従って、今後の課題は住宅として要求される建築的な観点から、仕上や設備などを、地域特性を配慮しながら総合的にまとめて行く必要がある。その過程で新たな要求が当初の構想を変化させることも想定され、それはスギ活用の発展・進化と捉え、受け入れたいと考える。

このことは、ワーキングメンバーに建築や設備に詳しい専門家が多く参加することが本事業の完成度を高める必然の流れとも言える。また、消費者の意見も直接聞くことも重要である。主に躯体を研究開発する者にとっては土俵が異なってくるだけに厳しい面もあるが、商品化の実現を考えれば当然とも言えよう。

むしろ来年度以降は商品化を実行できる企業が主になるワーキングを組織することも重要と考える。

そのためにも来年度に向けて一つの提案を添付してみたい。ここに提案するものは本構想の特徴を意匠面から引き出そうとするものである。地域材スギの活用を考えたとき、意匠と構造を兼ね備えてこそはじめて技術の伝承という課題に挑戦できるのではないかと考える。反面、様々な応用課題をこなすことも求められ、それだけしっかりとした基本技術を確認することがより重要になるといえる。ユニット単位での実験や合わせ材の基本特性など多方面からの研究開発も充実させたい。

4 意匠面からの提案

4.1 設計の特徴

4.1.1 平面計画の特徴

- ※ 建物中央部に屋根までの吹き抜けを設けて自然光を取り込んだ。
- ※ 螺旋階段を採用することにより階段スペースを最小限におさえた。
- ※ 水廻りを1階部分に集中して設け設備配管のコストをおさえる。
- ※ 2階の多目的ルームのコーナーをせり出し、ガラス張りのサッシを設け外部空間との一体感をもたせた。

4.1.2 外観計画の特徴

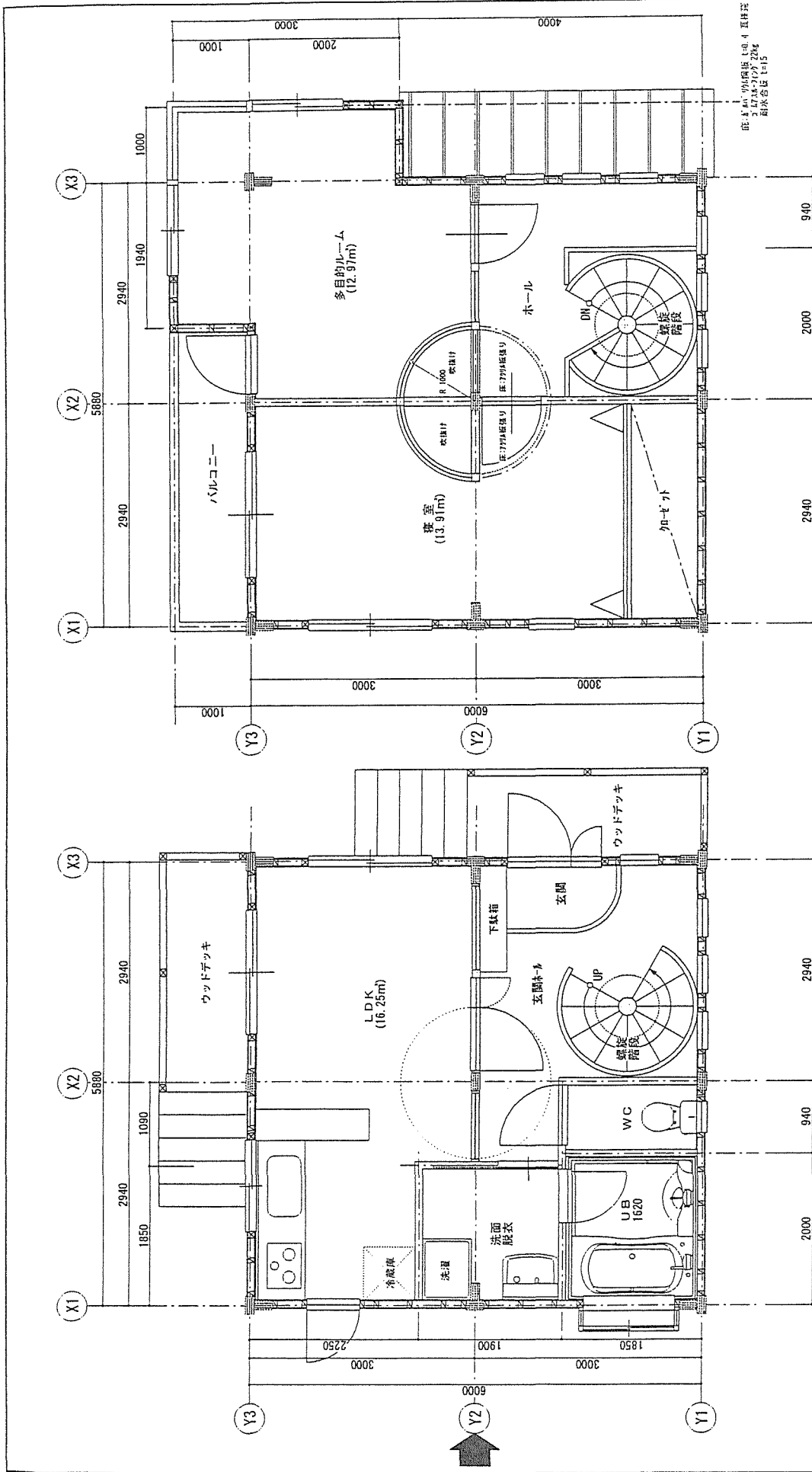
- ※ 主要構造部である(柱・梁)を露出して「木造ラーメン構造」をアピールした。
- ※ 外壁に人工材料である中空押出セメント成形板(ラムダ：素板)をあえて採用した。
- ※ 近代建築と古来の木造建築とを共有して新しい住宅のイメージとした。

※ 屋根にハイサイドライトを設け自然光を取り込んだ。

4.1.3 構造体についての検討

※ 基礎形状については土台と布基礎をなくすことで1階FLの高さが1mとなっており玄関迄のアプローチに階段の段数が多くなる。また、バリアフリー対応型住宅の観点からみるとスロープの長さが必要になる。

※ 1階外廻りの梁高さが同じなので玄関と室内との段差が取れない。



既設の階段は、4 直降式
 2 段床面積 22㎡
 階段幅員 H=15

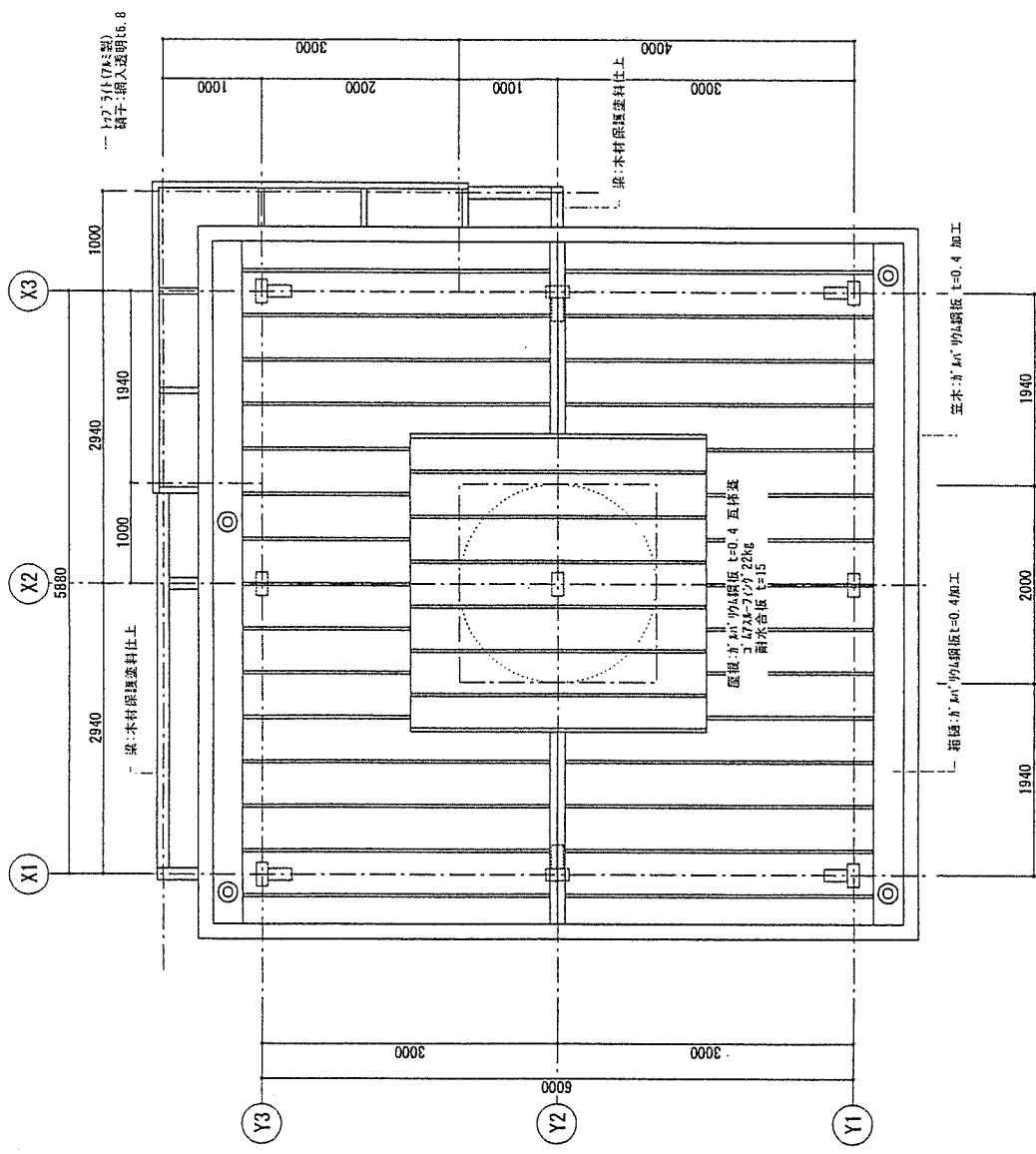
□ 1 階 平面図 S=1/50 □

□ 2 階 平面図 S=1/50 □

※ 外部木材見出し部分は、『加圧式防高防蟻処理』
 の上木材保護塗料仕上げとする。

- 2 階床面積 : 38.65㎡ (11.7坪)
- 1 階床面積 : 35.28㎡ (10.7坪)
- 延べ床面積 : 73.93㎡ (22.4坪)

備 考	階 尺	S=1/50	No	A -
	日 付	2003.03.		
		宮崎型長期耐用住宅木材利用高度化事業		
		平面図 (提案)		



□ 屋根伏図 S=1/50 □

※ 外部木材見出し部分は、『加圧式防腐処理』の工木材保護塗料仕上とする。

No	S=1/50	No	A-2
	011		2003.02.
宮崎型長期用住宅木材利用高度化事業		屋根伏図 (A案)	

