

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 (富山地域編)

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、富山県（多雪・湿潤地域）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 地域型住宅の開発方向	
1 伝統技術を活かした長期耐用住宅	2
2 現代在来工法型住宅工法への対応	3
3 長期耐用住宅構造要素の開発	3
3.1 地域材の利用	3
3.2 耐久性を付与するための構造提案	4
3.3 耐久性の評価	4
第2章 地域型住宅の基本設計	
1 地域ニーズの確認	5
2 設計に際して考慮すべき条件	6
2.1 積雪荷重と地域材の利用	6
2.2 長期耐用性に関する構造要素の条件	8
第3章 長期耐用住宅に関わる技術開発	
1 込み栓型接合法の開発	10
1.1 込み栓接合の基礎試験	10
1.2 込み栓接合試験	18
2 大開口耐力壁の開発	30
2.1 目的	30
2.2 設計仕様	30
2.3 試験方法	37
2.4 結果と考察	37
第4章 モデル設計へ向けて	
1 込み栓型接合法による告示1460号への対応	45
2 地域型長期耐用住宅	49
2.1 伝統技術を活かした長期耐用住宅	49
2.2 現代在来工法型住宅工法への対応	49
3 今後の課題	51
まとめ	52

はじめに

住宅に対するニーズは、耐震性、高耐久性、健康で住み心地のよい住宅、環境負荷の少ない省エネルギー住宅、居住条件の変化に対応できる可変性のある住空間など高度でかつ多様なものになってきている。また、環境面から部材交換、解体・廃棄の容易さなど、リサイクル・リユース性、低公害性等、資材の循環利用の実現についても社会的要請は大きくなってきている。

このようなニーズに対して、木造住宅は、木材の生物資源としての持続性、炭素の固定能力、加工・製造での省エネルギー性、解体・廃棄での地球環境への低負荷性等、多くの利点をもっていることを活かして、各地域に対応した長期耐用住宅の実現に向けた木材利用技術の高度化をめざしている。木造住宅に加わる劣化因子の組み合わせは、地域性が強く、富山地域においては、多雪、多湿地域としての条件を前提として長期耐用住宅に関わる木材利用技術を開発し、木造住宅構造に適用し、有効性を実証することを目的としている。また、当地域においても先人たちの有効な技術・工夫を住宅建設に適用して伝統的な工法を生み出しており、この技術を取りあげ、近代的に精錬し、近代的な住宅に適用する。また、同時に長期耐用技術の適用が地域産材の需要拡大につながることを期待される。

第1章 地域型住宅の開発方向

地域型の長期耐用住宅を考える際に、構造耐久性、居住性、環境適応性、可変性、リサイクル・リユース性、資源の循環利用、地域材の利用、地域の建築技術・技能の継承など多くの因子に配慮する必要がある。住宅工法の工業化が進み全国画一的な住宅が普及しているなかにも、地域に根ざした地域色の強い住宅工法もまた継続されており、それらは潜在的に地域ニーズに適合した長期耐用型の住宅特性を持っているものと考えられる。

昨年度に解体調査した、「枠の内工法」による住宅もその一つであり、この住宅は実際に100年を超える長期耐用住宅であり、地域の大工技術が集積し、かつ地域のスギを最大限利用して建てられていること、高い可変性や増改築・部材交換性にも優れた特性を持つと考えられる。このような優れた長期耐用的特性を持っているものの、18cmを超える太い柱やケヤキの差し鴨居など材料、価格の点での供給上の問題、建具による間しきり構成のためプライバシーに対する配慮の欠如や断熱、気密性の不足など、現代的なニーズを満足できなくなったことなどから、建築されなくなってきたのが現状と思われる。したがって、このような既存の長期耐用住宅が持っている特性を現代的に活かすのが、地域型長期耐用住宅の基本的な方向と考えられ、そのためには、以下のような地域型長期耐用住宅の開発課題を検討することが必要である。

1 伝統技術を活かした長期耐用住宅

枠の内工法では、地域の優れた大工技術により長期耐用住宅としての特性が活かされていると考えられる。枠の内工法そのものは、先の要因もあり建築されなくなっているが、地域の大工・工務店による地域型の住宅の中には、同様の地域の優れた大工技術が含まれており、長期耐用住宅としての特性が潜在的に活かされているものと考えられる。

しかし、最近の建築基準法の改正では耐震性能などの構造性能の信頼性確保を重視したことにより、性能の明確な金物中心の接合法に有利に働いており、伝統型の接合法など地域の大工技術の継承性が損なわれる可能性がある。このような地域の大工技術の継承性を維持していくことが、地域型住宅を長期耐用住宅として成り立たせていくために重要であると考えられる。

込み栓型接合は、様々な形態で地域型の住宅に用いられているが、現在の法体系の中では、長ほぞ込み栓差しという一つの接合法として定義されているのみであり、仕様も明確にはされていない。また、性能も低く評価されているのみであり、込み栓接合を主体にした住宅を考える際には、いくつかの不利な条件に配慮しなければならない。したがって、実際には様々な形態で用いられている込み栓接合の性能を正しく評価した上で、込み栓接合等の地域大工技術を現在の法体系の中で活かした工法を地域型の長期耐用住宅として提案することが必要である。

具体的には、2.5 間程度の枠の内型要素を用いるが、旧来のようなラーメン型要素として適用するのは難しい点も多いことから、耐震要素としては余力と考え、鉛直荷重に対する構造要素としてとらえる。接合は、伝統型の込み栓接合を用いた非金物方式により、結露防止に配慮した耐久性の向上を図る。また、伝統技術の継承、構造的な可変性や交換、リサイクル性の点を中心に据えた長期耐用住宅として位置づける。

2 現代在来工法型住宅工法への対応

富山県における長期耐用住宅として必要な要素は、枠の内工法に見られるようにライフステージに応じた可変性、増改築の容易さに加えて、南面に大きな開口部の構成、続き間などにも特徴が現れている。また、アンケートでも冬季の日当たりや冬暖かい家に対するニーズなどとして示されている。したがって、枠の内工法は優れた長期耐用住宅ではあるものの、18cm を超える太い柱と差し鴨居などによるラーメン型の工法であり、現在主流の 12cm 柱からなる耐力壁構造とは基本的な構造が異なっており、そのままの形で長期耐用住宅として現在に一般化させるのは困難な部分が多い。一方、一般的な 12cm の柱ではラーメン構造を構成するだけの剛性を保持していないことや、耐力壁構造では、基礎との連結が必要であり移動等の可変性を付与するのは難しいと考えられる。

したがって、現在主流の耐力壁構造で枠の内工法を持つ長期的な特性を活かすためには、大開口型の耐力壁構造要素を開発することが適当と考えられ、大きな掃き出し開口を持ちながらも、垂壁、袖壁を耐震要素として補強することで、一定量の耐震性能を持たせることが可能となる。袖壁が太い柱要素、垂れ壁が差し鴨居要素であり、南面の広い開口としての用途や内部に用いることでの可変性を付与することが可能になる。この場合、積雪地域という地域特性から、耐震性能ばかりではなく、鉛直荷重に対する構造的な配慮を十分加える必要がある。

3 長期耐用住宅構造要素の開発

長期耐用住宅を考える場合には、上記に加えて、メンテナンスを含めたいくつかの取り組みを補助的に考える必要がある。

3.1 地域材の利用

富山県では、スギ製材柱に対する根強い需要がある一方、梁材などの横架材としての利用は、一般住宅ではほとんど用いられてこなかった。しかし、解体住宅の調査で見られたように、柱、横架材を含めてスギ材で構成し長期間利用することが可能であることも示されている。県内には、低ヤング率のスギや積雪による根本曲がりの影響を受けた低品質のスギがあり、長期耐用住宅における地域材の利用と構造安全性の2点で関わってくること

から、積雪荷重に配慮した梁のスパン表や柱の配置条件に対する簡易な設計指針の提案が重要である。

3.2 耐久性を付与するための構造提案

耐久性を向上するためには、調査でみられたように、軒や庇を大きくとることが重要である。この場合、屋根タルキの寸法や間隔の調整、登り梁方式など、積雪荷重に配慮した小屋組を提案する必要がある。

また、土台等の構造部材の腐朽に対する交換のし易さについて、枠の内工法で見られた柱勝ちの構造として、腐朽に際しては根継ぎで対応するののも一つの方法であり、長期耐用のための技術提案として考えられる。

3.3 耐久性の評価

長期耐用化技術の中で、構造的な耐久性の評価や劣化度の判定技術は主要な課題と考えられ、昨年度の構造調査に見られたように、定量的な劣化度の評価を検討する必要がある。しかし、この課題は住宅を取り巻く環境を含む多くの因子が関与することもあり、継続的に研究を進めていく必要があるが、定性的な結論を含めて適宜提案していくことが必要である。

第2章 地域型住宅の基本設計

1 地域ニーズの確認

地域の大工・工務店によってそれぞれの地域に継承されている地域の住宅はそれぞれの地域ニーズがこめられた住宅といえることができる。したがって、地域の在来工法住宅に長期耐用の要素をより明確に出していくことで、優れた地域型長期耐用住宅が得られるものと考えられ、地域材の利用も地域の大工・工務店への地域材の流れを太くすることで進んでいくものと考えられる。

また昨年度のアンケートで行った、地域における住宅のニーズで明らかになった点を確認すると、住宅の建築に際して重視する項目として図 2-1 のように、現代的な要素である健康・安全性が第1であり、価格、間取り、耐久性がその後に続いている。長期耐用住宅という要素の中には、当然のことながら耐久性の向上が含まれており、健康・安全性については材料的な配慮でかなりの部分が対応できるものと考えられ、この点のニーズを満足させることは可能である。また、当地に適した住宅として求められることとして、図 2-2 のように主要なものは夏涼しく冬暖かい家、日当たりの良い家、風雨雪に心配の無い家、腐朽に耐え長持ちする家となっている。風雨雪の構造耐力的な要素は当然満たすものとしても、夏の暑さと冬の寒さ、湿度の高さ、曇天の続く冬の空模様など北陸地域の気象の影響が色濃く住宅への要求としてでてきているものと考えられる。このようなニーズを満たすような構造的配慮を地域型長期耐用住宅の中に配慮する必要がある。

また、地域材に対する考え方についても図 2-3 にみるように、国産材、主に国産材を使いたいという要望が 63 %に達するが、年齢層が低くなると国産材に対する指向は薄まる傾向が認められ、価格や品質については供給体制によるものの、地域材をより使いやすいような構造、設計面での配慮を行う必要がある。

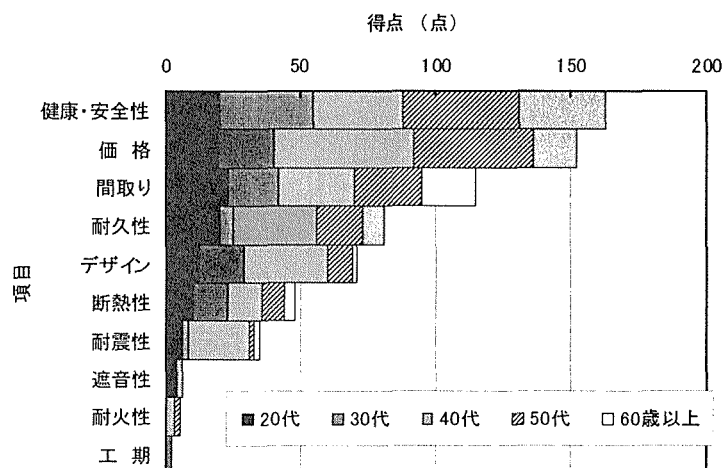
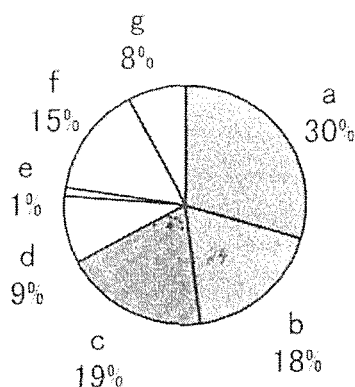


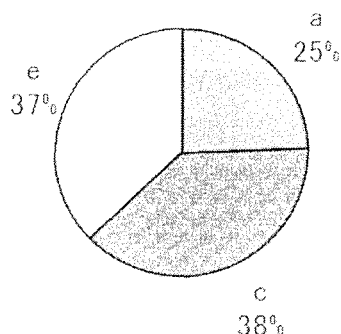
図2-1 家を建てる際に重視する項目



- a : 夏涼しく、冬暖かい家
- b : 日当たりの良い家
- c : 風雨雪に心配の無い家
- d : 地震に対して安心な家
- e : 冠婚葬祭をできる家
- f : 白蟻や腐朽に強く長持ちする家
- g : 周囲の景観にマッチした家

有効回答数=335件

図2-2 地域に適した住宅として求めること



- a : 国産材のみ
- b : 輸入材のみ
- c : 主に国産材
- d : 主に輸入材
- e : どちらでも良い

有効回答数=118件

図2-3 家を建てる際に用いる木材の種類

2 設計に際して考慮すべき条件

2.1 積雪荷重と地域材の利用

当地域における住宅の構造安全性については、耐震、耐風などの一般的な荷重に加えて、積雪荷重に対する配慮を特に重視する必要がある。積雪荷重は多雪地域であり、積雪深 1.5 m、2 m の鉛直荷重を長期荷重として考慮する必要がある。

この荷重に対して、構造材料として地域材、特にスギを用いる場合の信頼性を向上するための仕様を明らかにする必要がある。スギについては、図 2-4 に見られるようにヤング率 40tf/cm^2 のような低ヤング率の材料の存在が指摘されており、このような材料を柱や梁に使用したときの、安全性や実用上の不便さが発生しないようにしなければならない。

特に積雪荷重という大きな鉛直荷重が加わることで、梁の場合には大きな撓みの発生に

よる建具の開閉の不都合、柱の湾曲や壁クロスのシワの発生を招きやすいなどの問題発生が考えられることから、撓み制限を考えた仕様を示す必要がある。

また、柱は鉛直荷重を基礎に伝える役割を担っているが、柱の座屈耐力についても配慮しておく必要がある。一般に、柱の座屈問題が取り上げられることは少ないが、当地における一般的な住宅構造における荷重と柱の座屈耐力の関係を比較した報告では図 2-5 に示されるように、低ヤング率のスギ柱の存在もあり、荷重要件が耐力を超える場合も認められることから、常に安全な状態にはないことが報告されている。

一方、地域のスギ材については JAS 機械等級区分材などのヤング率を表示した材料の供給が図られているわけではなく、個々の設計で対応することは困難である。このような条件下では一般に示される強度値を用いて利用しなければならないが、通常、ヤング率は撓みの増加にのみ関与するだけで、破壊には関わらないこともあり平均値で評価されている。しかし、多雪地域では鉛直荷重が大きく柱が座屈する可能性があること、柱ではヤング率が耐力に直接的に関係することから、下限値を利用する考え方を採用すべきものと考えられる。

したがって、積雪荷重 1.5m、2m 条件における、梁桁等の横架材のスパン条件、柱の負担面積について、地域のスギの下限性能を考慮したもので明らかにするのが適当である。

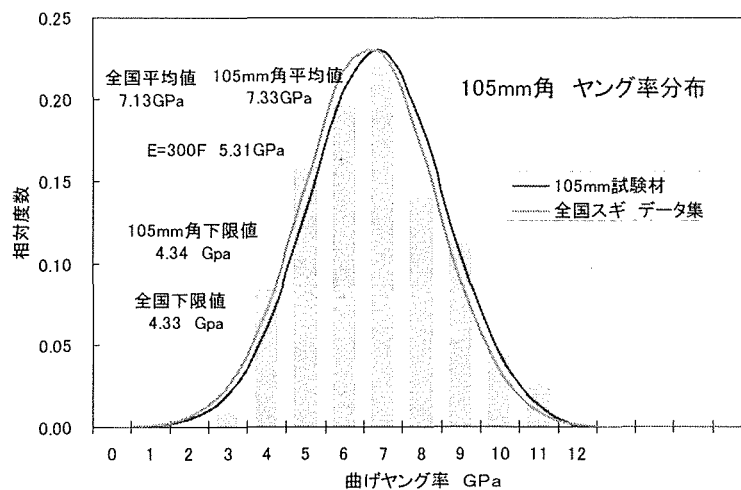


図2-4 地域のスギ材の強度性能

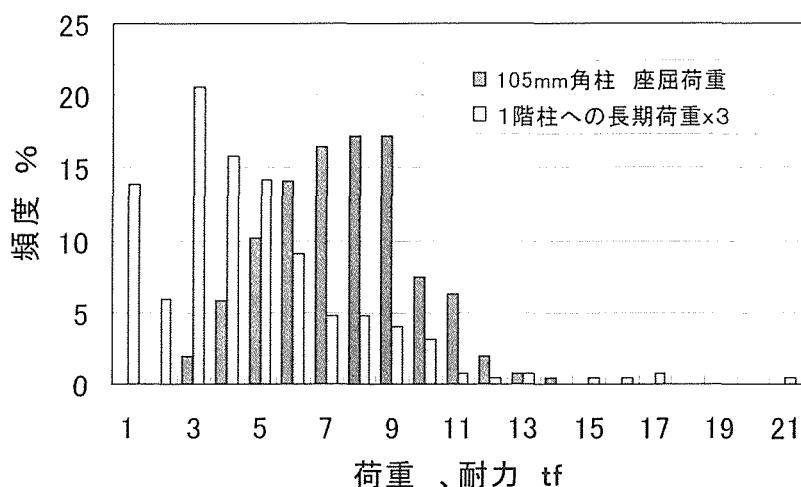


図2-5 スギ材の座屈性能と柱への荷重

40軒の地域住宅における、柱に加わる設計荷重(積雪1.5m)と柱の座屈荷重の関係を示したもの

2.2 長期耐用性に関する構造要素の条件

長期耐用性に関しての重要な要素の一つとして、軒の出がある。当地域における昨年度の調査では最短 45cm、最長で 135cm、平均的には 60 ~ 70cm であった。軒の出を大きくすることは、風雨、日照を防ぎ住宅の長期耐用性を高める効果が高いと考えられる。

したがって、70cm 以上の軒の出を確保する方向として、積雪荷重とくに軒部分に下がってきた雪が巻きだれとなってたまる現象もあるため、タルキ等が折損しないような寸法、条件の仕様を示す必要がある。この場合、軒先部を配慮した工法として、タルキの寸法の向上、間隔の減少に加えて、写真 2-1 のような登り梁方式による小屋の構成といった方法も考えられる。構造計算により積雪に対して安全な方法をそれぞれの方法で明らかにする。



写真2-1 登り梁による大きな軒の出

地域型長期耐用住宅のための大工技術の継承を維持するためには、地域の大工技術を地域型住宅で使いやすい状態にすることが必要である。たとえば、込み栓接合は伝統的な接合法の一つとして長く用いられているが、現在の建築法規では長ほぞ込み栓差しとして表記されているのみであり、強度的にも低く見積もられている。これは、込み栓型接合について、十分なデータが無いことによるためであり、込み栓の大きさや配置、楔との併用など、様々な仕様でどのような強度性能を持つか明らかにする必要がある。特に、現在の法体系の中でも告示 1460 号に規定される耐力壁の柱の柱頭、柱脚接合部について、伝統型の接合法での仕様を明示するのが重要である。その上で、耐力壁構成と柱の接合法について例示する必要がある。

地域の南面開口部や広い居間、可変性に対するニーズに対応した大開口型の耐力壁については、大開口型耐力壁については両袖壁を 455mm 構成とし、掃き出し開口として 2730mm の開口を有する耐力壁を標準とする。本来、900mm 以下の壁長の耐力壁は基準法上では認められておらず、品確法で準耐力壁として限定的な条件で認められているのにすぎない。ここでは、仕様の限定された一つの耐力壁部品として性能を評価し、住宅構造に適用させていく方向で使用を図る。なお、この耐力壁では耐力壁としての一定の性能と鉛直荷重により設計上の自由度を確保する。

また、可変性や増改築に対する性能についてはこの大開口耐力壁を構造として用いることで、一定の可変性を付与できるものと考えられる。

第3章 長期耐用住宅に関わる技術開発

1 込み栓型接合法の開発

昨年度に引き続き、込み栓型接合法の開発を行った。込み栓型接合法は、現在の建築基準法においては、耐力壁の仕様に応じて、用いるべき柱脚、柱頭の接合法が告示1460号に示されており、その表3(ろ)に長ほぞ込み栓打ちもしくはL型金物として記載されている。この場合、対応可能な耐力壁は、平屋の場合、壁倍率1.5(30x90mm筋かい)の耐力壁の出隅で筋かい下部、その他の軸組、2階建ての1階部では、出隅条件では壁倍率1(15x90mm筋かい)の柱に限定されてくる。おおむね、壁倍率1.5以下の耐力壁の中で使用を考えて行かねばならず、構造用合板のように壁倍率が2~3の耐力壁を用いる場合に比べて、住宅全体の開口部の配置に大きな制限を受けてしまうことになる。

また、長ほぞ込み栓差しとして記載されているのみであり、込み栓の寸法等の仕様については、明記されていない。したがって、込み栓工法の強度的な信頼性を確保するとともに、より接合耐力の高い込み栓接合法を開発し、壁倍率の高い耐力壁にも対応可能な接合法とする。

昨年度は、込み栓仕口として、基本的な値を得ることと、より高い耐力を求めて若干の改良タイプについて試験した。

試験は、中柱引張型として

ケヤキ込み栓15x15mm単栓	柱、土台	スギ105mm角
” 複栓		”
24x24mm大栓		”

さらに、土台と柱の出隅接合法として 大入れ長ほぞ差し仕口の引張試験を行った。その結果、複栓、大栓では、長ほぞ込み栓の1ランク上位の表3(は)の山形プレートやT型金物に相当する短期基準接合耐力が得られた。また、大入れ長ほぞ出隅柱は、HD15ホールダウン金物相当の高い引張耐力を有しており、込み栓を含む伝統的な接合方法でも高い耐力性能を発現できることが明らかになった。

今年度は、これらの設計要件を満たすための基礎的な試験と柱上部の柱と梁仕口についての接合試験、土台にヒノキを用いた条件での試験を行った。

1.1 込み栓接合の基礎試験

長ほぞ込み栓仕口接合における破壊形態は、①込み栓の曲げ破壊、②込み栓による土台の割裂、③長ほぞの込み栓によるせん断の3種類もしくは、これらが複合したものが考えられる。昨年度の仕口試験でも、15mm単栓では込み栓の曲げ破壊、複栓では土台の割裂、大栓では長ほぞのせん断というように、かなり特徴的に破壊が現れ、複合的なものは少なかった。また、込み栓の曲げ破壊の場合は接合部の変形も大きいものの、割裂やせん断型

では極めて脆性的な破壊となり、金物接合特有のねばりには及ばない。

そこで、込み栓接合で耐力が高く、変形能が大きな仕様を明らかにするために、3種類の破壊形態についての基礎的な実験を行った。特に、割裂については材質的な割裂実験方法では土台の込み栓による割裂が推定できないと考え、比較的込み栓接合に近い試験方法を採用した。

1.1.1 込み栓の曲げ試験

込み栓の曲げ強度については、込み栓の材料としてはほぼ無欠点材料に近いものと思われるので、一般に無欠点強度として示されている曲げ強度性能を使うことが可能と思われる。しかし、確認の意味をも含め、ケヤキ、ナラの無欠点曲げ試験を行った。寸法は20mm角の無欠点材で、JISによる曲げ試験とした。結果は、ケヤキでは一部に目切れが認められ、強度の低いものが現れたが、表3-1に示すように一般的に示される値と大差なく、設計的にも無欠点強度をベースにしても問題ないように思われた。

表3-1 無欠点曲げ試験結果

	比重		曲げ強度 MPa		ヤング率 GPa	
	ナラ	ケヤキ	ナラ	ケヤキ	ナラ	ケヤキ
N1	0.86	0.70	102.3	119.9	14.30	13.39
N2	0.89	0.69	115.6	90.1	15.33	10.37
N3	0.86	0.67	134.5	109.2	16.60	12.22
N4	0.90	0.74	142.7	79.7	16.12	11.47
N5	0.82	0.72	124.8	86.8	15.43	11.21
N6	0.83	0.71	113.8	112.8	12.84	11.60
平均	0.86	0.70	122.3	99.7	15.10	11.71
sd	0.03	0.02	14.8	16.3	1.36	1.02

1.1.2 割裂試験

(1) 試験方法

土台あるいは桁材の込み栓からの負荷による割裂に対する抵抗性をみるため、込み栓を通して割裂荷重を負荷した。試験は、ベイマツ、スギ、ヒノキ板材を用い、込み栓を打ち込み、図 3-1 のように負荷した。割裂荷重に影響を与えそうなものとして、端距、材質、

板厚、押さえ位置等が考えられた。押さえ位置の影響は、端距によって異なってくると予想されたことから、おおむね影響がでないような距離として、最も大きなものでスパン 90cm とした。込み栓には、曲げ変形が大きくないように配慮し、24mm 角、板厚はおおむね 30～40mm を用いた。ベイマツ試験体では端距の影響を調べるために、端距を 20mm から 80mm までとし、ヒノキ、スギ板では端距 30mm と 60mm の 2 種類として、樹種による違いを見ることとした。

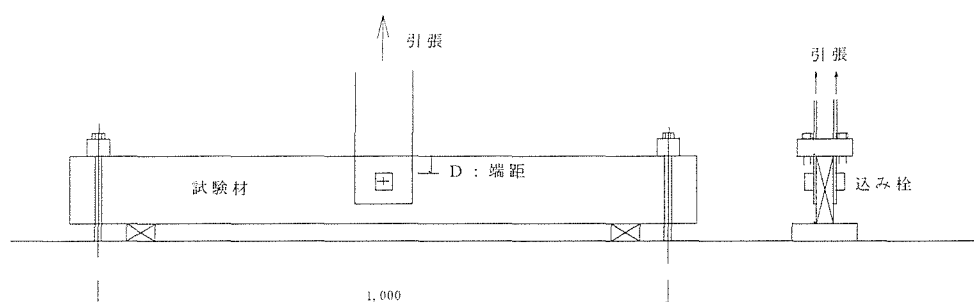


図3-1 割裂試験方法

(2) 試験結果

割裂試験の結果を表 3-2 に、端距離と割裂荷重の関係を図 3-2 に示した。割裂荷重は材厚あたりとして表した。ほぼ予想されたように、割裂荷重は、端距離の影響を強く受けており、端距離 80mm の範囲までは、ほぼ直線的に変化すると考えられる。また、端距離のみの単相関では決定係数 R^2 が 0.79 に対して、端距離と比重による重相関では決定係数が $R^2 = 0.86$ まで上昇しており、比重の影響も受けるようである。

樹種の影響については、図 3-2 にみられるように、ベイマツとスギではほとんど変わらないが、ヒノキについては端距離に対して同様の変動傾向を示すが、70N/mm 程度ベイマツに比べて大きいようである。

これらの結果から、土台あるいは桁部分の込み栓接合についての割裂抵抗については、ほぼ傾向が明らかになったものと考えられる。

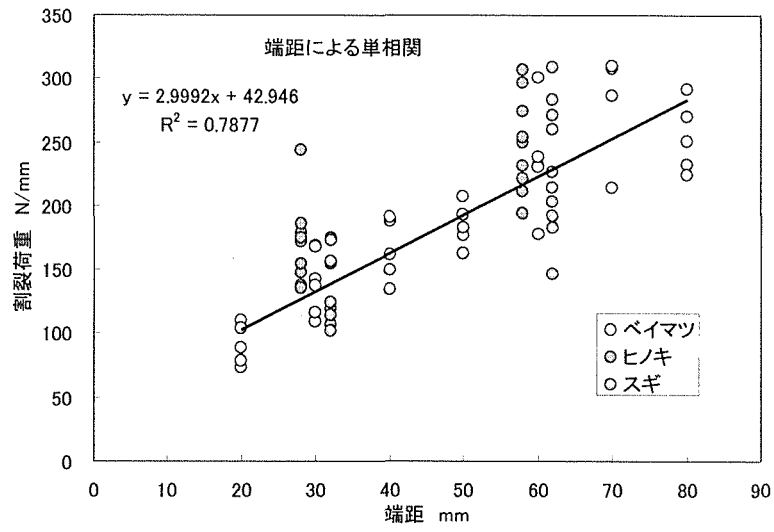


図3-2 端距離と割裂荷重の関係

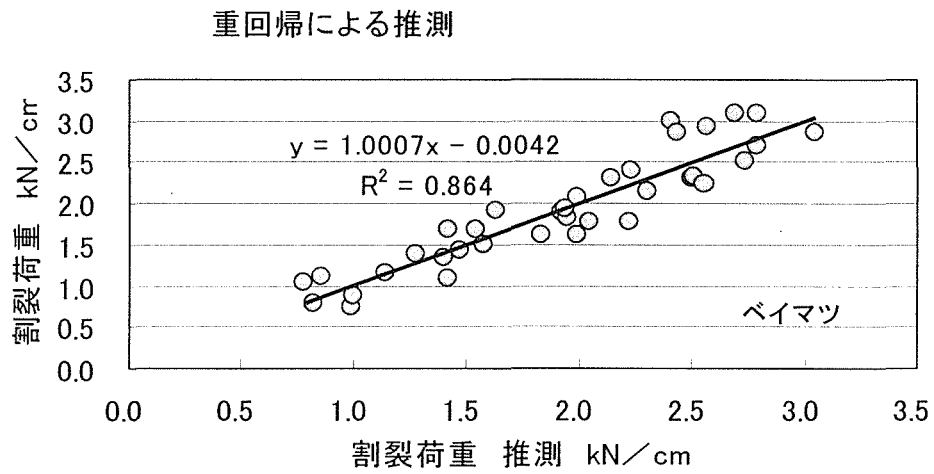


図3-3 比重と短距離による割裂荷重の推測

表3-2 割裂試験結果

	端距 mm	比重	割裂荷重/厚さ			
			平均 N/mm	最小 N/mm	最大 N/mm	標準偏差 N/mm
ベイマツ	20	0.43	90.4	72.7	109.8	15.99
	30	0.48	139.9	108.5	168.3	25.18
	40	0.48	164.6	133.8	190.8	24.72
	50	0.49	184.1	162.3	206.5	16.59
	60	0.49	235.4	177.1	300.0	43.70
	70	0.51	280.9	214.3	309.4	38.83
	80	0.43	253.7	223.7	291.6	27.70
ヒノキ	30	0.49	177.0	134.9	243.9	39.22
	60	0.45	248.5	193.3	306.3	38.49
スギ	30	0.42	130.2	101.1	174.9	28.37
	60	0.42	228.7	145.7	308.5	50.94

1.1.3 ほぞの剪断試験

(1) 試験方法

込み栓によるほぞの剪断を想定し、図 3-4 に示すように、スギ板 30mm に込み栓を打ち、込み栓を通してせん断力を加えて破壊した。込み栓にはせん断破壊を起こさせることを前提においたため、鉄製の栓、最小 15mm から最大 30mm のナラ製の込み栓まで数種類をあわせて検討した。端距は込み栓下端から材端までの距離とし、最小 25mm から桁の場合を配慮した 120mm まで検討した。

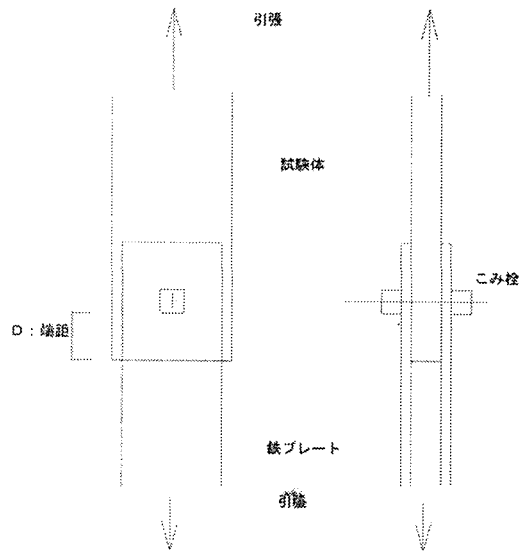


図3-4 込み栓 せん断試験図

(2) 試験結果

込み栓のせん断破壊では、まれに、片面のみに亀裂が入ることも観察されたが、込み栓幅で材端が抜ける2面のせん断破壊がほとんどで観察された。

破壊時のせん断荷重は、図 3-5 にみるように端距離 120mm までは直線的な関係が得られた。したがって、せん断荷重を端距離、厚さ、さらに2面で除して、せん断応力を求めることとした。せん断力の結果を図 3-6、表 3-3 に示す。せん断力は、おおむね一定と見られるが、端距離が 25mm の条件では、せん断力がいくぶん低下する傾向が認められた。また、せん断荷重と端距離との決定係数 R^2 は 0.87 に対して、比重を加えた重回帰では決定係数が 0.88 に向上するため、比重の影響も受けるようだが、影響度が小さいこともあり、おおむね、スギについては一定値とみなして良いものと思われる。また、鉄製の栓と木製の込み栓では、コーナ一部分の鋭利さが影響する可能性が考えられたが、図 3-6 にみられるように、明確な違いが認められなかった。

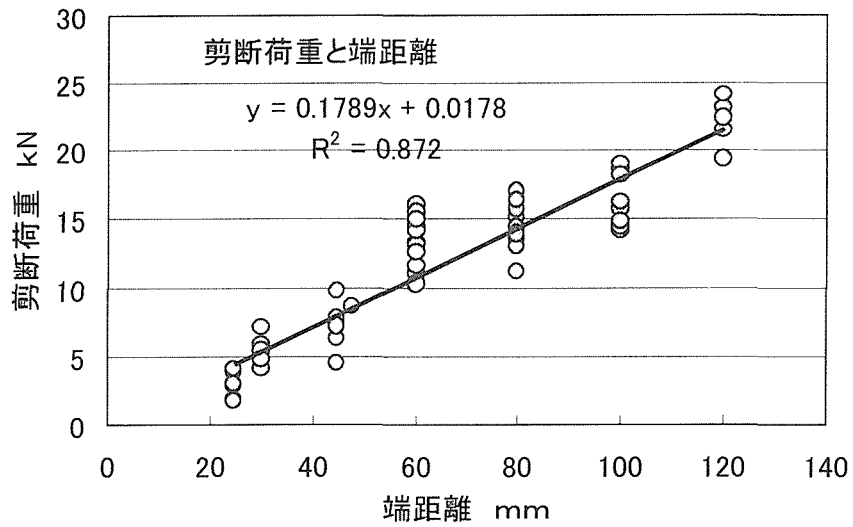


図3-5 せん断荷重と端距離

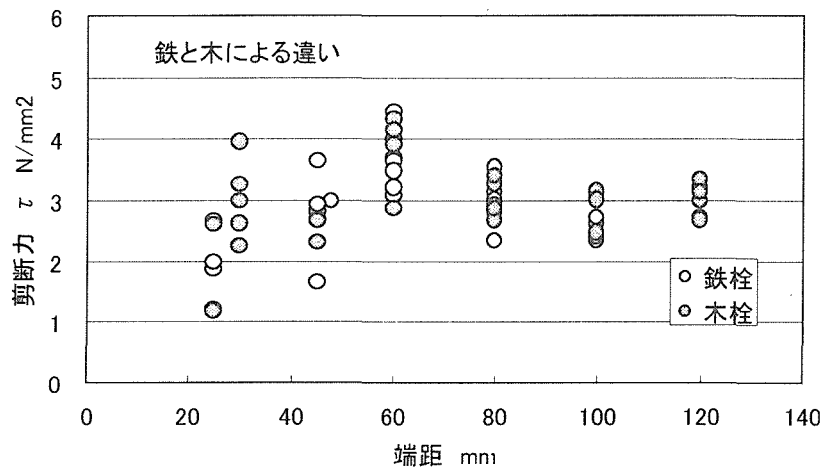


図3-6 せん断力の分布

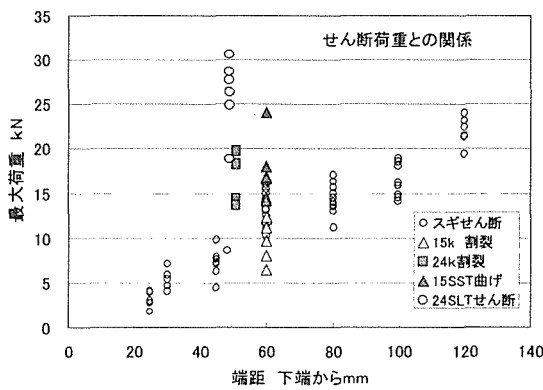
表3-3 せん断試験結果

		平均 N/mm ²	標準偏差 N/mm ²	変動係数
全数	57	2.97	0.67	0.23
除く端距 25mm	51	3.05	0.56	0.18

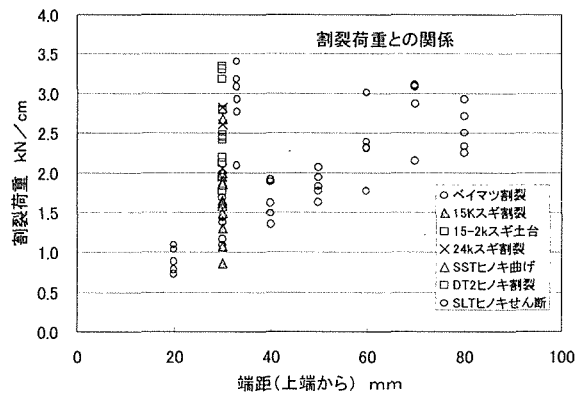
1.1.4 基礎試験と仕口試験の関係

基礎試験で得られた込み栓の曲げ性能、割裂荷重、せん断荷重試験は、込み栓接合を前提にした現実的な試験法により行ったものである。これらの結果から、様々な込み栓型接合の設計が可能になると考えたものである。図 3-7 に基礎試験の結果と込み栓仕口試験の結果を示した。仕口試験体は、昨年度実施したもので 15mm 込み栓、24mm 込み栓の単栓数タイプであるが、図にみるように 24mm 込み栓でほぞのせん断破壊したものを比べると、同じせん断破壊でありながら、仕口の状態で試験したほうが非常に高い結果となっている。また、割裂破壊した場合でも、ヒノキとの違いはあるものの、やはり基礎試験の結果より高い値が得られている。

これらの、基礎試験の結果と仕口試験の結果との違いについては、材質差に起因するとみなせるような範囲ではなく、構造的な要因と考えるのが妥当と思われる。割裂の場合は、基礎試験では一定の材厚で行われているが、仕口ではほぞ穴となっているため、込み栓部の材厚から急速に材厚が大きくなっていることが原因している可能性がある。せん断破壊の場合には、差し込みほぞが込み栓を通して引張荷重を受けると、ほぞが広がり拘束力が生じるとも考えられるものの、それほどの変形が生じるかは疑問であり、詳細は不明である。設計的には安全側であるものの、今後の課題とし検討する必要があると思われる。



せん断荷重との関係



割裂荷重との関係

図3-7 基礎試験と仕口試験の結果

1.2 込み栓接合試験

込み栓型接合について、その仕様と性能との関係を正しく評価するとともに、壁倍率の高い耐力壁の柱頭、柱脚接合に対応できるような、より高耐力の込み栓型接合法について検討する。込み栓接合の基本的な形として、昨年度と同様に、単栓、複栓、大栓の3種類をベースに、120mm寸法でヒノキ土台を基本として、込み栓型接合の試験を行った。

1.2.1 柱脚込み栓型の接合方法

(1) 試験方法

昨年度の柱、土台スギ105mm角に加えて、今年度は、柱スギ120mm角、土台ヒノキ120mm角の長ほぞ込み栓仕口であり、耐力壁の取り付く柱の仕口の中柱型の試験法（図3-8）にしたがった。込み栓の寸法、配置は図3-9のとおりであり、試験体数はそれぞれ6体である。

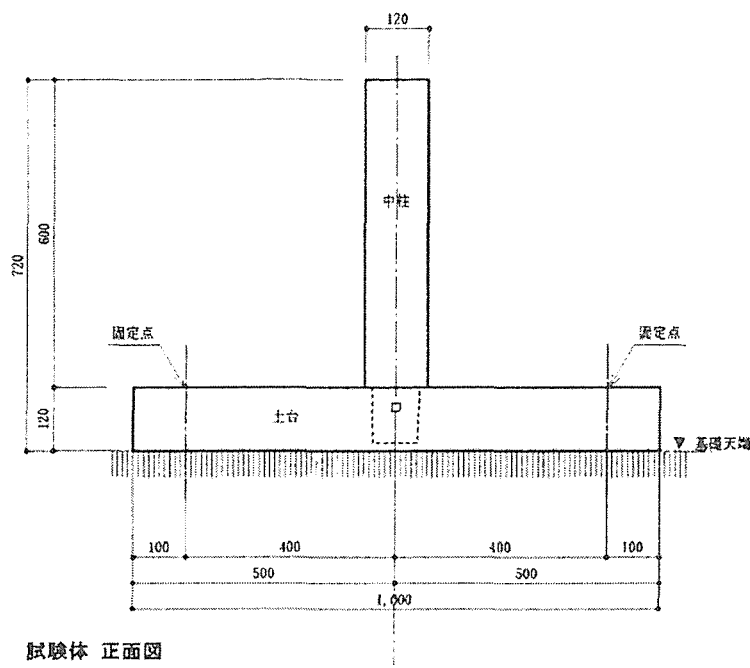
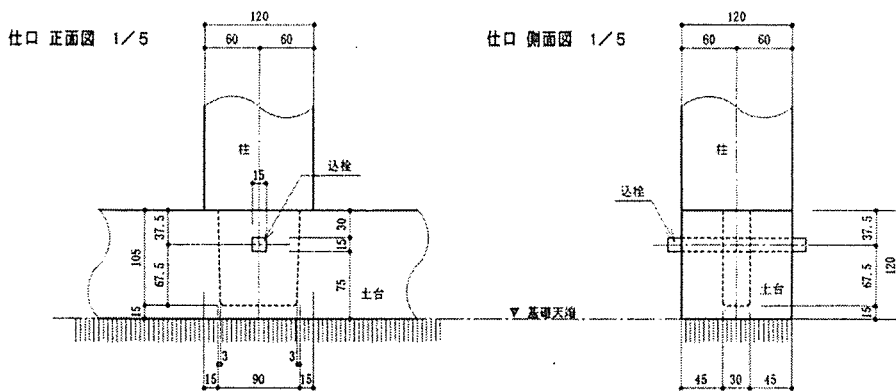


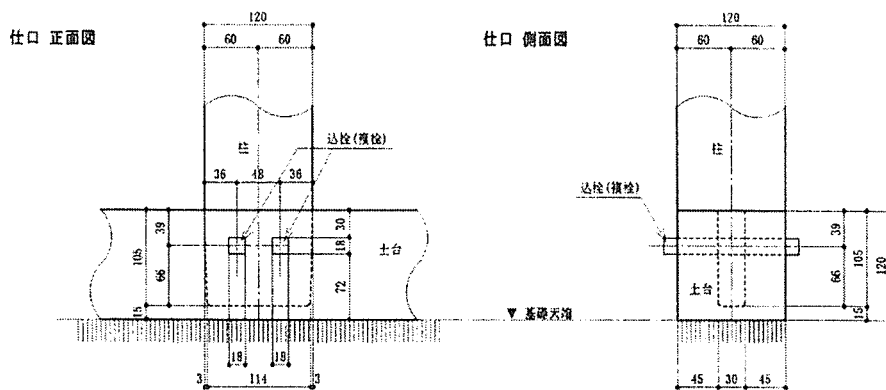
図3-8 込み栓引張試験体

(2) 試験結果

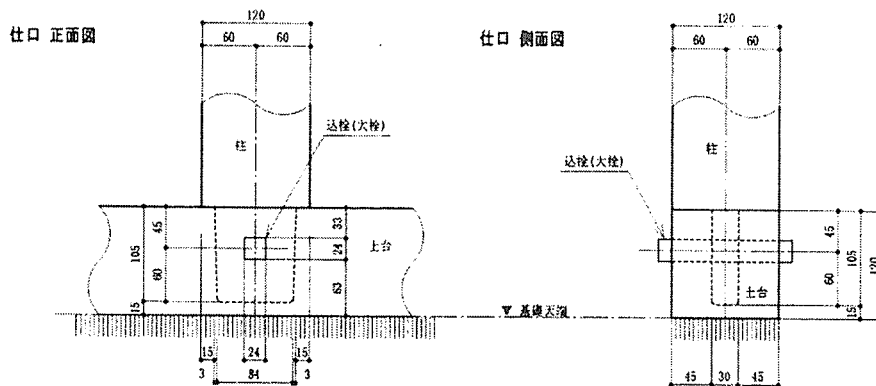
荷重-変位曲線を図3-10に、結果を平成13年度のスギ105mm角の結果も併せて表3-4に示す。スギ材に対する15mm込み栓の短期基準耐力は3.28kNが得られ、接合倍率は0.62となり、長ほぞ込み栓に与えられる接合倍率0.7よりやや小さかった。しかし、同じ15mm単栓でもヒ



単栓詳細



複栓詳細



大栓詳細

図3-9 込み栓部の詳細

ノキ土台では基準耐力は5.35kN、接合倍率は1で、T型金物と同等の耐力を有している。このように、同じ込み栓寸法でも材料仕様によっては、より大きな耐力が期待できることが示され、詳細な込み栓型接合の耐力評価が必要と考えられる。

高耐力の込み栓型接合の開発を目的に、複栓型、大栓型をヒノキ土台で試験した結果で

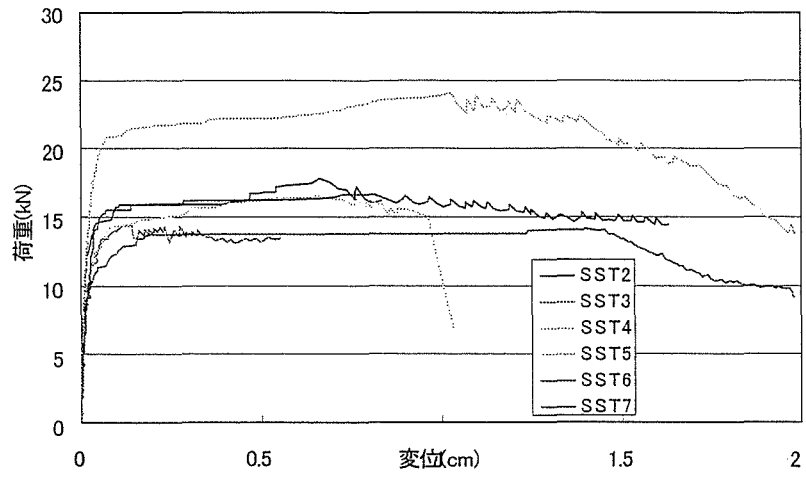
は、接合倍率1.5~1.7の羽子板ボルト、告示1460号 表3の仕口で(に)、(ほ)に対応する仕口耐力を有している。単栓に比べて複栓、大栓は最大荷重で1.5倍程度の耐力の向上がみられた。しかし、初期変位が極めて小さく、不安定なこともあり、降伏荷重は大きくばらつき、不安定な値となった。最大荷重では変動係数が15%程度だが、降伏荷重では20%を超えるようになってしまう。この結果、短期基準接合耐力は期待するほど上昇しないという結果となった。

破壊形態は、写真3-1にみるように特徴的であり、単栓では込み栓の曲げ破壊、複栓では土台の割裂破壊、大栓ではほぞのせん断破壊となった。複合的な破壊は、単栓と複栓で各1体にみられたのみであった。割裂やせん断破壊では全体に変形能力が小さく、4mm程度で破壊に達してしまう。込み栓の曲げ破壊では20mmまでの変形能を持つ。ただ、初期剛性が高いという点では、全てに亘って共通の傾向である。

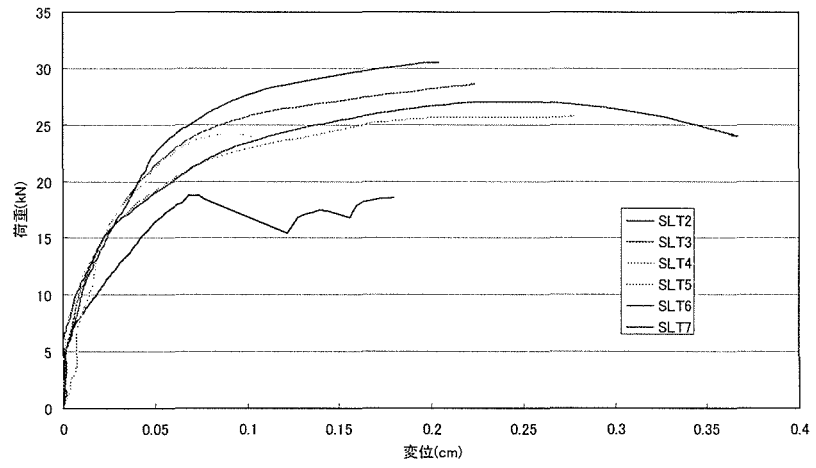
表3-4 込み栓引張試験結果

込み栓	端距 mm	縁距 mm	最大荷重 kN (cv %)	降伏荷重 kN (cv %)	短期基準 kN	接合倍率
13年度 スギ-スギ 105						
ケヤキ 15mm 単栓	68	38	9.96 (21.7)	7.2 (32.4)	3.28	0.62
15mm 複栓	68	38	17.0 (17.4)	10.3 (20.4)	5.37	1.01
24mm 大栓	63	42	16.5 (15.6)	10.4 (15.8)	5.98	1.13
14年度 スギ-ヒノキ 120						
ケヤキ 15mm 単栓	68	38	17.4 (18.9)	12.2 (24.0)	5.35	1.01
18mm 複栓	66	39	25.7 (14.8)	15.4 (18.2)	8.90	1.68
24mm 大栓	60	45	26.1 (14.0)	15.0 (20.0)	8.00	1.51

単栓



大栓



複栓

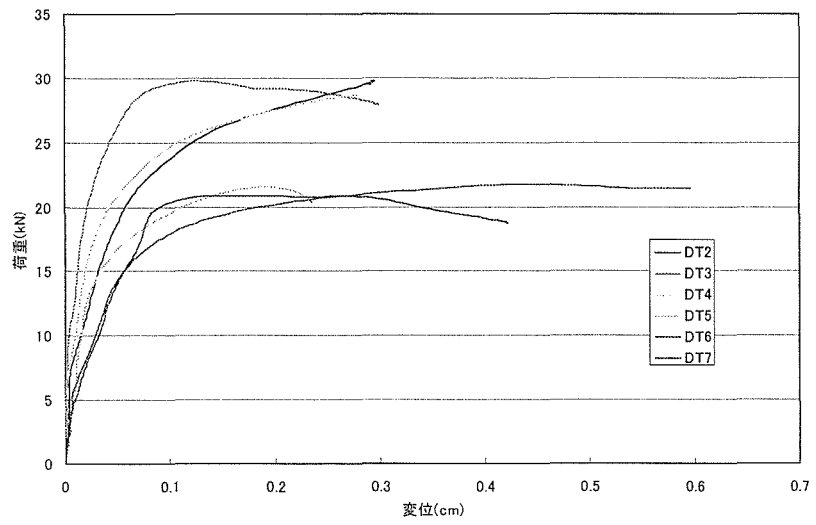


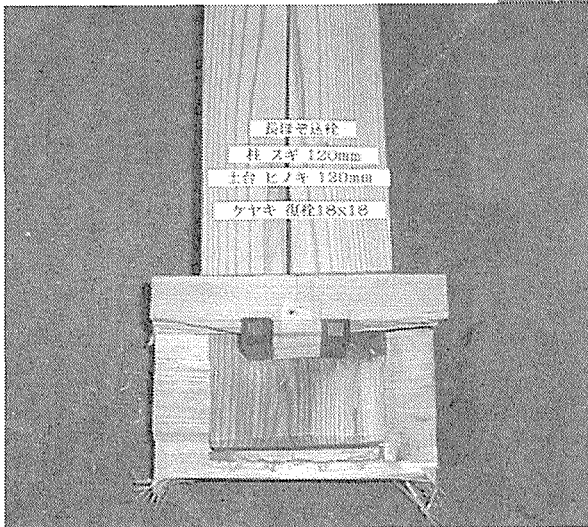
図3-10 こみ栓接合部 荷重-変位曲線



大栓
ほぞの剪断破壊



単栓
込み栓の曲げ破壊



複栓
土台の割裂破壊

写真3-1 込み栓接合部 破壊形態

1.2.2 大入れ出隅接合

込み栓型接合では、特に隅柱の接合の場合、2方向に対応できないこと、土台における込み栓からの側距が不足し割裂が起きやすいという欠点を持つ。また、高い壁倍率をもつ耐力壁を想定した場合、柱の引き抜き抵抗にも大きな力が要求され、ホールダウン金物の使用が義務づけられてくる。このような金物接合に代わる伝統的な接合法として大入れ出隅接合法を検討した。

(1) 試験方法

大入れ長ほぞ差しは、柱勝ちにした上で、土台を大入れ長ほぞ差しするもので、直交する2方向からのほぞ差しも可能である。柱の引き抜き力には、直近のアンカーボルトで固定された土台の片持ち梁として曲げで抵抗し、柱は長ほぞのせん断で抵抗することになる。したがって、柱にほぞからの端距離を十分確保することが必要であり、柱勝ちでかつ土台下端より一定量下げなければならず、基礎の加工に一定の配慮が必要になる。

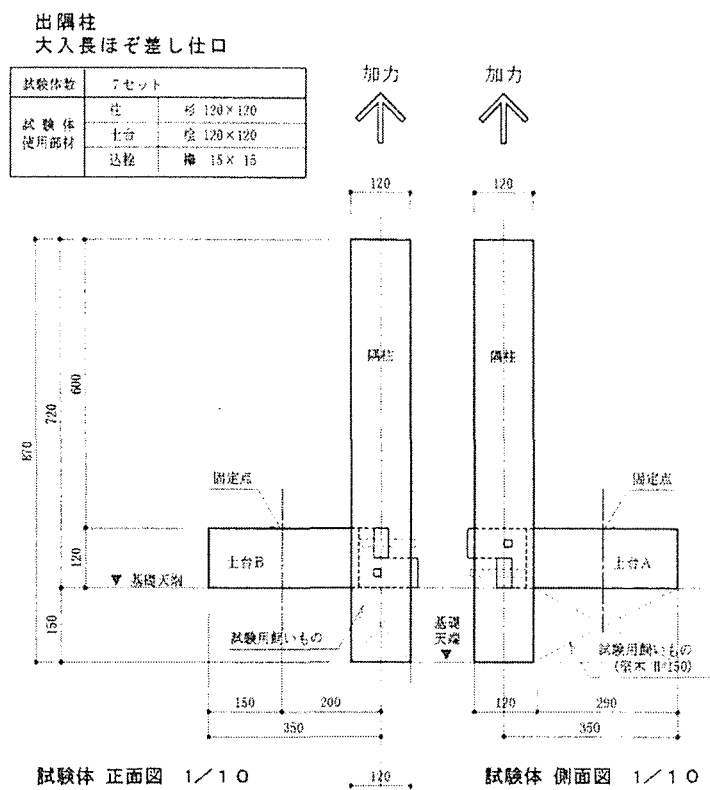


図3-11 大入れ長ほぞ差し試験体

昨年度では、大入れ長ほぞ差し接合について、耐力壁の取り付く柱仕口の試験法の隅柱型の標準試験方法で行った。しかし、実際には直交する土台のアンカーで固定されていることから、現実的にはより高い引き抜き抵抗を持つものと考えられた。そのため、今年度は、標準試験法とは異なるものの、現実の耐力性能を示すものとして、土台をアンカー

ボルト2カ所で固定して、引き抜き試験を行った（写真3-2）。今年度は、スギ柱、ヒノキ土台とも120mm角を用いた。



写真3-2 大入れ長ほぞ差し試験状況
直交する2カ所で土台を固定

(2) 試験結果

大入れ長ほぞ差しの2点固定による引張耐力は、スギを用いた標準試験法においても短期基準接合耐力11.62 kN、接合倍率2.19が得られている。この値は、ホールダウン金物HD-B10を超える性能をもつものである。また、ヒノキ120mm角を用いて、現実的な2点で固定した場合には、基準耐力28.8 kN、接合倍率5.4という、ほぼ最高レベルの接合耐力を持つこ

表3-5 大入れ長ほぞ接合の耐力

柱	土台	最大荷重		短期基準耐力 k N	接合倍率
		k N (cv %)	降伏荷重 k N (cv %)		
H13 標準試験法					
スギ 105	スギ 105	30.5 (11.3)	17.2 (13.8)	11.62	2.19
H14 2点固定					
スギ 120	ヒノキ 120	59.8 (7.6)	35.7 (8.2)	28.81	5.43

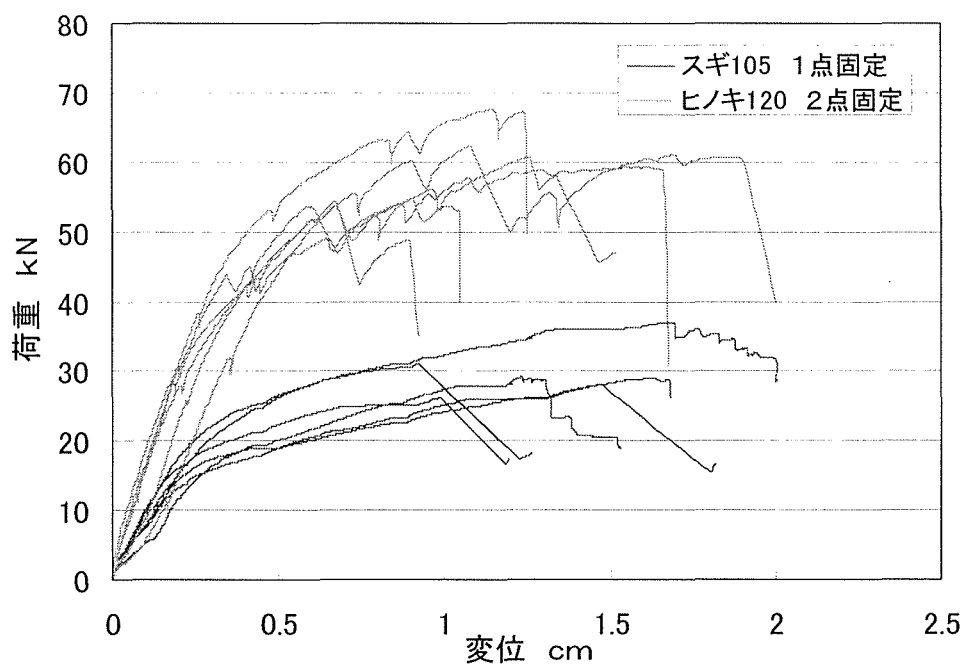


図3-12 大入れ長ほぞ差し 荷重-変位曲線

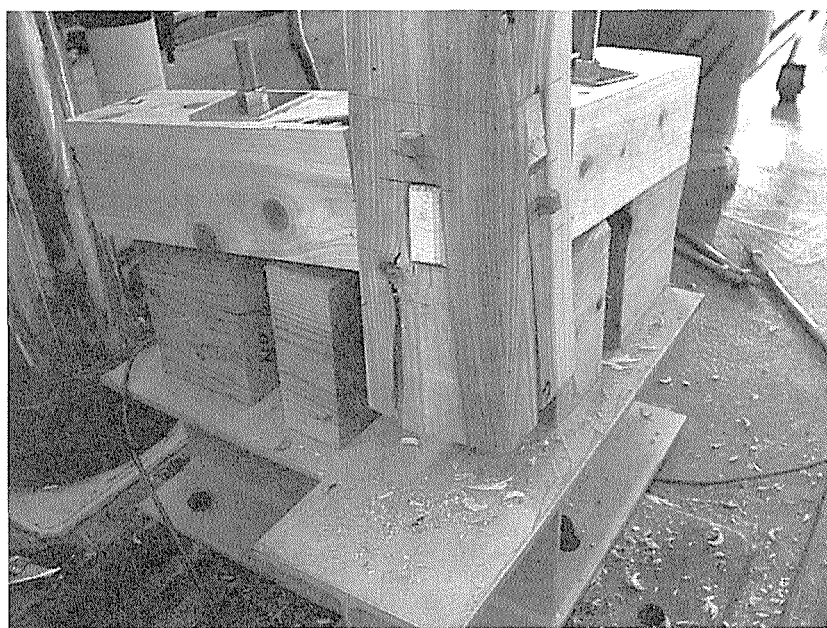


写真3-3 破壊状況

とが確認された。

破壊状況は、標準型の1点固定法で、105mmスギ材を用いたものでは、長ほぞの折れを生じるのが一般的だったが、2点で固定したヒノキ仕様では、強度的な向上と120mm断面への増加もあり、土台側の破壊より、写真3-3にみるようにスギ柱のせん断破壊が多かった。

なお、試験は隅柱を想定して直交型の土台として行った、平行方向でのほぞ差しも可能であり、隅柱でなくても、高耐力壁の柱脚接合法として利用可能である。

1.2.3 柱－桁込み栓接合法

柱頭に対する接合については、長ほぞ差し型の接合は難しいと考えられるが、一般に桁材は梁せいが高いこともあり、土台とは異なる方式での高耐力化が期待できる。ここでは、柱頭を想定した高耐力込み栓型接合法について検討した。

(1) 試験体

柱頭については、桁材として一般的なベイマツを対象とするとともに、地域材の利用も考え、スギの桁材も一部試験した。ここで試みた接合法は、柱は長ほぞで、いくつかの込み栓接合法と楔を併用したものについて、検討を加えた。

柱はスギ120mm、桁はベイマツ210mmを標準とした。

込み栓接合部の詳細を図3-13に示す。試験体は、中柱型の標準型である。

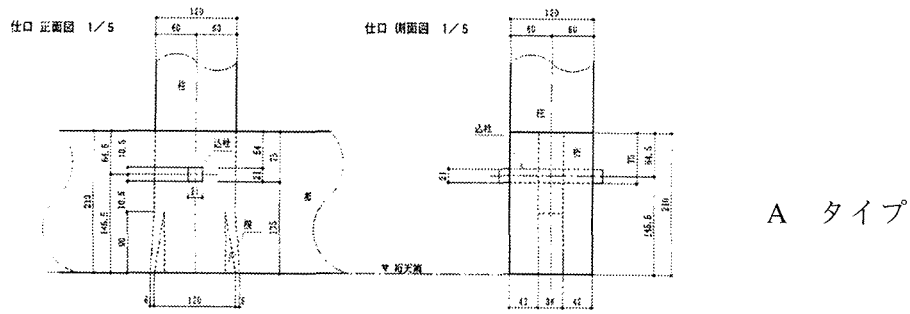
(2) 試験結果

図3-13にみるように、21mm込み栓に割り楔を用いた場合、最大荷重で34 kN、降伏荷重20kNとなり短期基準接合耐力は12.3 kNとなった。これまで、込み栓の接合耐力3.4 kNに比べても4倍近い耐力の上昇であり、ホールダウン金物10 kNに相当する能力を有している。また、摩擦によるブレも観察されるが、全体に変形能力も向上している。

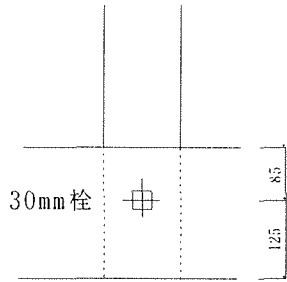
このように、楔あるいは込み栓径の大きさを検討することで、込み栓型接合法の耐力の変化が期待できることから、30mm込み栓と楔、さらに18mm込み栓の追加等を行い、より接合耐力の向上する方式を検討した。それぞれ、3体の条件だが、30mmの大栓を用いることで、降伏耐力は18kN、くさびを併用した場合で19 kNであり、ここでは21mm込み栓に比べての変化は顕著ではない。また、楔の効果もあまり現れているとは思えない。

しかし、30mm大栓に18mm小栓を付加、あるいは18mm複栓を追加した場合には、小栓で最大荷重37kN、複栓で最大荷重40.4 kNと増加の傾向は顕著である。この場合、降伏耐力も小栓22 kN、複栓23.3 kNが得られ、試験体数を増加すれば短期接合耐力では20 kN近くが期待できることから、構造用合板を用いた壁倍率2.5程度の耐力壁にも適用することが期待できる。

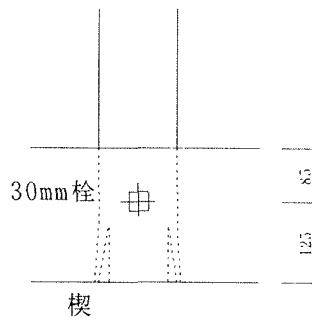
また、試験的にスギ桁を想定した条件として、30mm大栓に21mm複栓を用いた場合では降伏荷重で20kN前後、さらに、30mm大栓に大割楔を用いた接合部では、50 kN近い耐力を有しており、降伏荷重も30kNとなっている。込み栓型の接合でも、ホールダウン金物に匹敵する耐力が期待できると思われる。また、重ねほぞ大栓も極めて大きな耐力を有しているが、この方法は使用部位が限定される可能性が高い。



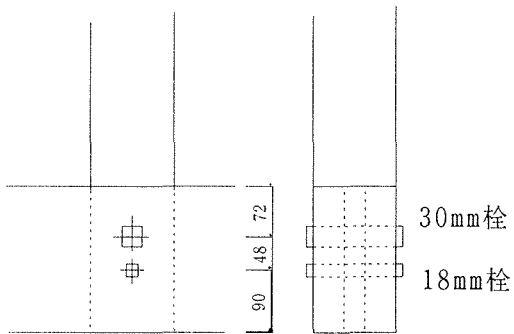
21mm こみ栓+割楔



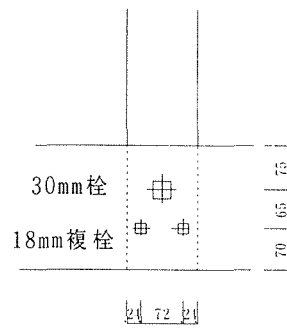
30mm 大栓 K 2



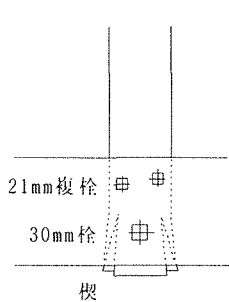
30mm 大栓+割楔 K3



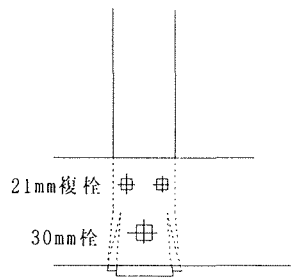
30mm 大栓+ 18mm 小栓 K



30mm 大栓+ 18mm 複栓 K 4



B



C

図3-13 柱-桁こみ栓接合詳細

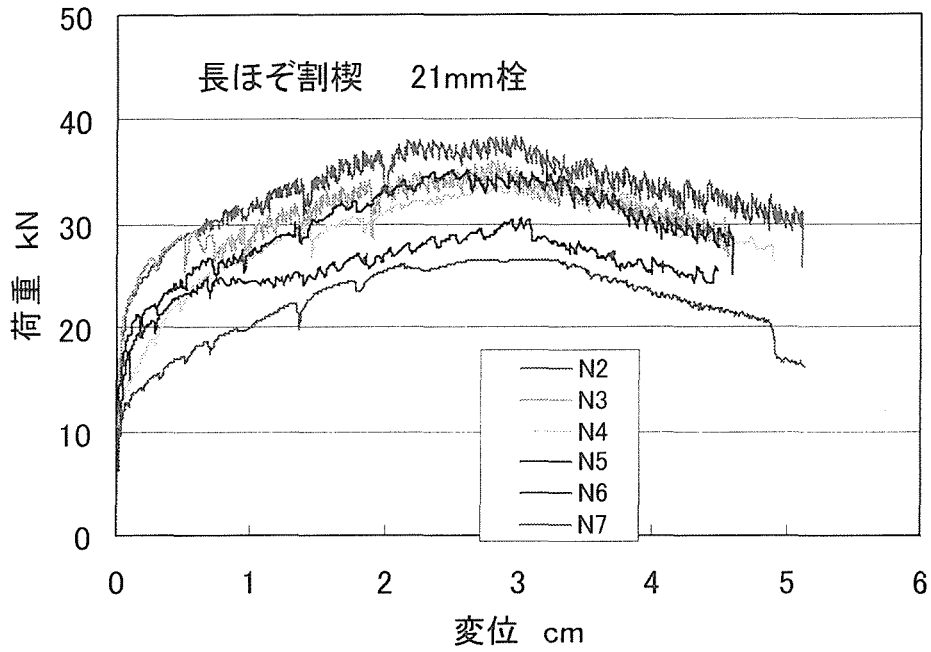


図3-14 柱-桁こみ栓接合 Aタイプ

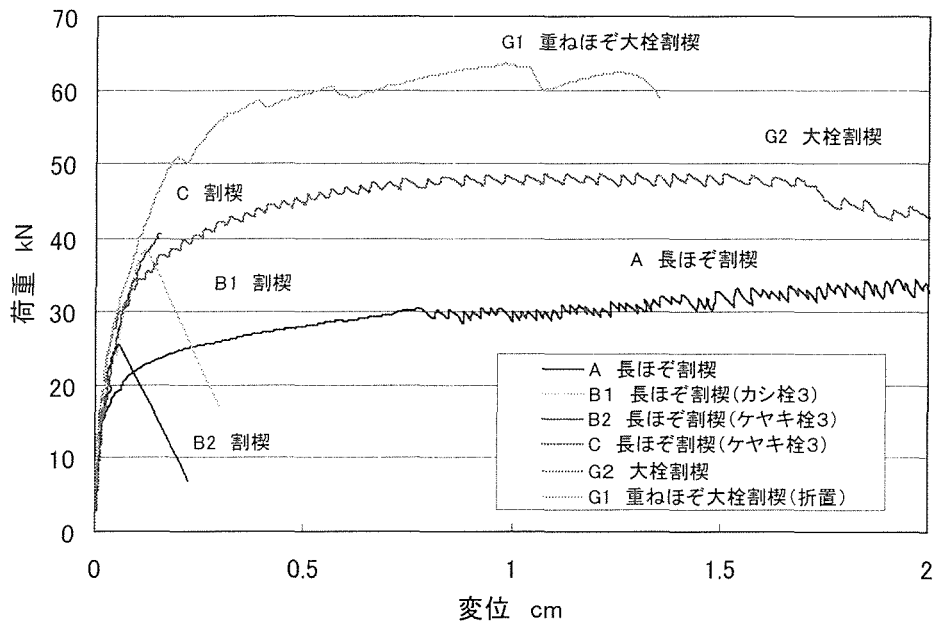


図3-15 高耐力こみ栓接合の検討

表3-6 柱-桁込み栓接合耐力

接合法	樹種	込み栓	n	最大荷重 k N	降伏荷重 k N
A 込み栓 割楔	スギ ベイマツ	21mm	6体	33.45(11.7)	20.05(16.6)
K2大栓	スギ ベイマツ	30mm	3体	30.91 (10.5)	17.77(15.)
K3大栓割楔	〃	30mm、割楔	〃	28.99 (9.6)	18.59(7.7)
K1大栓+小栓	〃	30mm、18mm	〃	36.78 (13.2)	22.00(8.0)
K4大栓+複栓	〃	30mm、18mmx2	〃	40.43 (8.2)	23.32 (7.8)
Bこみ栓割楔	スギ スギ	21x2、30mm	1体	25.51	8.0
		〃 (カシ)	1体	38.46	16.2
C 〃	スギ スギ	〃 (平行)	1体	40.63	20.8
G2 大栓割楔	スギ ベイマツ	30mm	1体	48.7	30.8
G1 重ねほぞ大栓 割楔	スギ スギ	21mm	1体	63.5	37.4

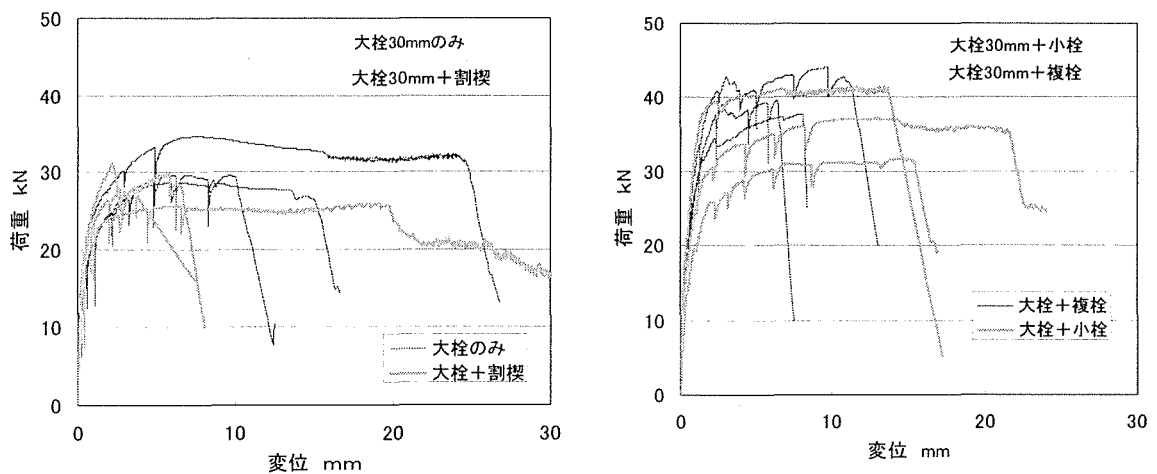


図3-16 柱-桁込み栓接合(大栓複合型)

2 大開口耐力壁の開発

2.1 目的

南面に大きな開口を持ちたいという要求は、北陸地域では冬季に日照時間が不足していることもあり、根強い要求がある。しかし、耐震的には耐力壁の不足やアンバランスな配置を招くことから、設計上の制限を受ける場合が多い。また、長期耐用住宅のコンセプトの一つである可変性を現代型の木造軸組構法住宅に付与する場合、壁式構造であるために、耐力壁を移動するには基礎との連結を考慮しなければならず、容易ではない。そこで、外壁では南面大開口に対応可能な耐力要素として、内壁では一定の可変性を持った耐力要素として利用することを想定し、現在のところ法的には耐力壁とは認められていない 0.5P (455mm) の袖壁と垂壁からなる掃出し開口壁を開発し、その構造性能を検討した。なお、積雪地域であることから、鉛直荷重に対応可能な構造であることも考慮した。

2.2 設計仕様

2.2.1 共通仕様

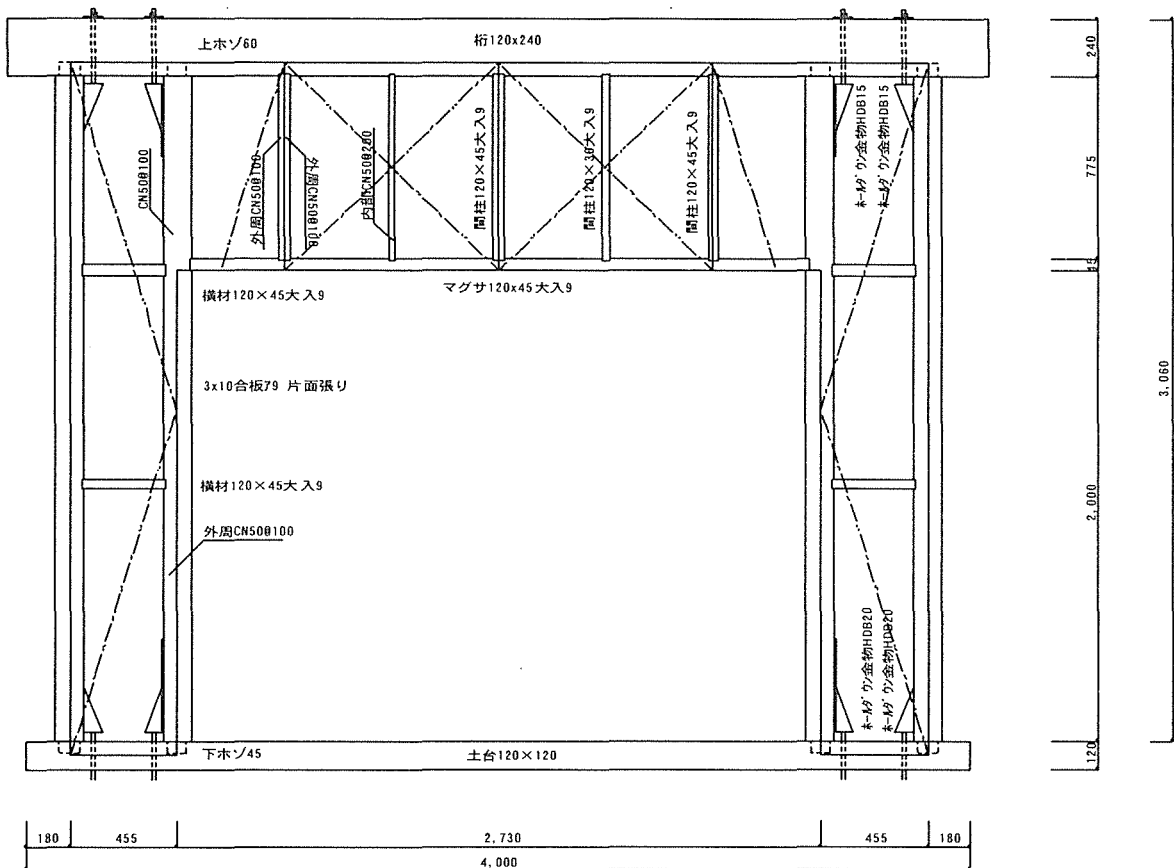
現代的な木造軸組構法（在来軸組構法）をベースに、概ね形状は壁長を 3640mm とし、掃出し開口を 2730mm、高さを 2000mm とした。壁としては、900mm 程度の垂壁を挟むように 455mm の袖壁が残るのみとなる。したがって、実質は併せて 910mm の耐力壁相当が存在しているのみである。表 3-7 に示すように、5 タイプの耐力壁と比較用コントロールとして IP 合板貼り耐力壁を供試した。開口壁は基本形、高耐力、開放的な空間の 3 つのコンセプトに分類される。一部のタイプでは、鉛直荷重の負担を想定し、改良を加えた。

表3-7 開口壁の仕様別概要

コンセプト	仕様名 (type)	耐力の確保	桁-マグサ の鉛直荷重 負担の改善	特徴
基本形	標準仕様型 (S type)	合板片面張り	なし	一般的な木造軸組構法を想定
高耐力	面材両面張り型 (W type)	合板両面張り	ボックス ビーム 効果	マグサに 120 角を使用し、柱-マグサ間 を傾ぎ大入れ+HD10 で緊結 柱頭、柱脚、マグサの緊結にオリジナル 金物を使用
	金物工法型 (M type)	合板片面張り +リジナル金物		
解放的 な空間	方杖型 (B type)	方杖	方杖効果	方杖やトラスなど内部空間で使用しても 隔離感の少ないスケルトンな躯体
	トラス型 (T type)	トラス	トラス効果	
比較用	IP コントロール (IP type)	合板片面張り	なし	

2.2.2 標準仕様型 (S type)

この仕様は、一般的な現代型の木造軸組構法を想定した (図 3-17)。耐力の確保のために 9mm 合板片面張りとした。合板回転による耐力低下を避けるため、合板継手を少なくするため、2900 長さの長尺サイズを用いた。垂壁は特に鉛直荷重負担を考慮しない一般的な仕様として、マグサは 120x45mm とした。柱頭、柱脚は実験用としてホールダウン金物で固定した。桁は 120x240mm ベイマツ、柱はスギ、土台はカラマツ防腐処理材で、一般的な仕様である。

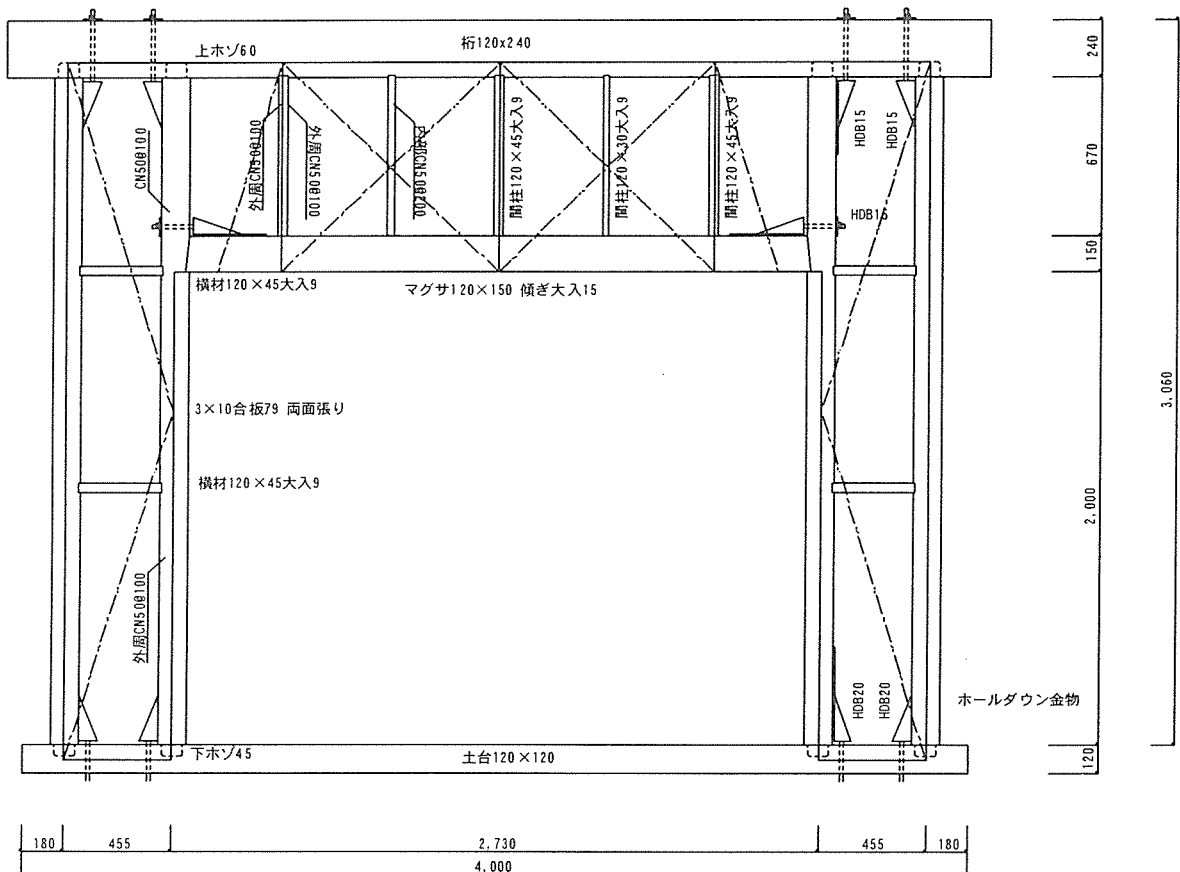


部材名	樹種	断面寸法 (mm)	部材名	樹種	断面寸法 (mm)
桁	ベイマツKD	120×240	間柱	スプルー	120×30
マグサ	ベイマツKD	120×45	間柱	ベイマツ	120×45
土台	カラマツ防腐処理材	120×120	飼木	ベイマツ	120×45
柱	スギKD	120×120	面材	JAS 2 級構造用針葉樹合板	厚 9 片面張り

図3-17 標準型(S type)の試験体仕様

2.2.3 面材両面張り型 (W type)

この仕様は水平・鉛直耐力の向上を目的として、9mm 合板両面張りとした (図 3-18)。垂壁は鉛直荷負担を想定し、マグサに 120x150mm を使用し、柱に掛けた。桁とマグサで合板によるボックスビームを構成させることで、鉛直荷重に対する桁の負担の軽減をねらったものである。水平力が加わった際に、マグサ接合部にせん断力が加わるため、ホールダウン金物で固定した。その他、部材、釘打ち仕様などは S type と同様とした。

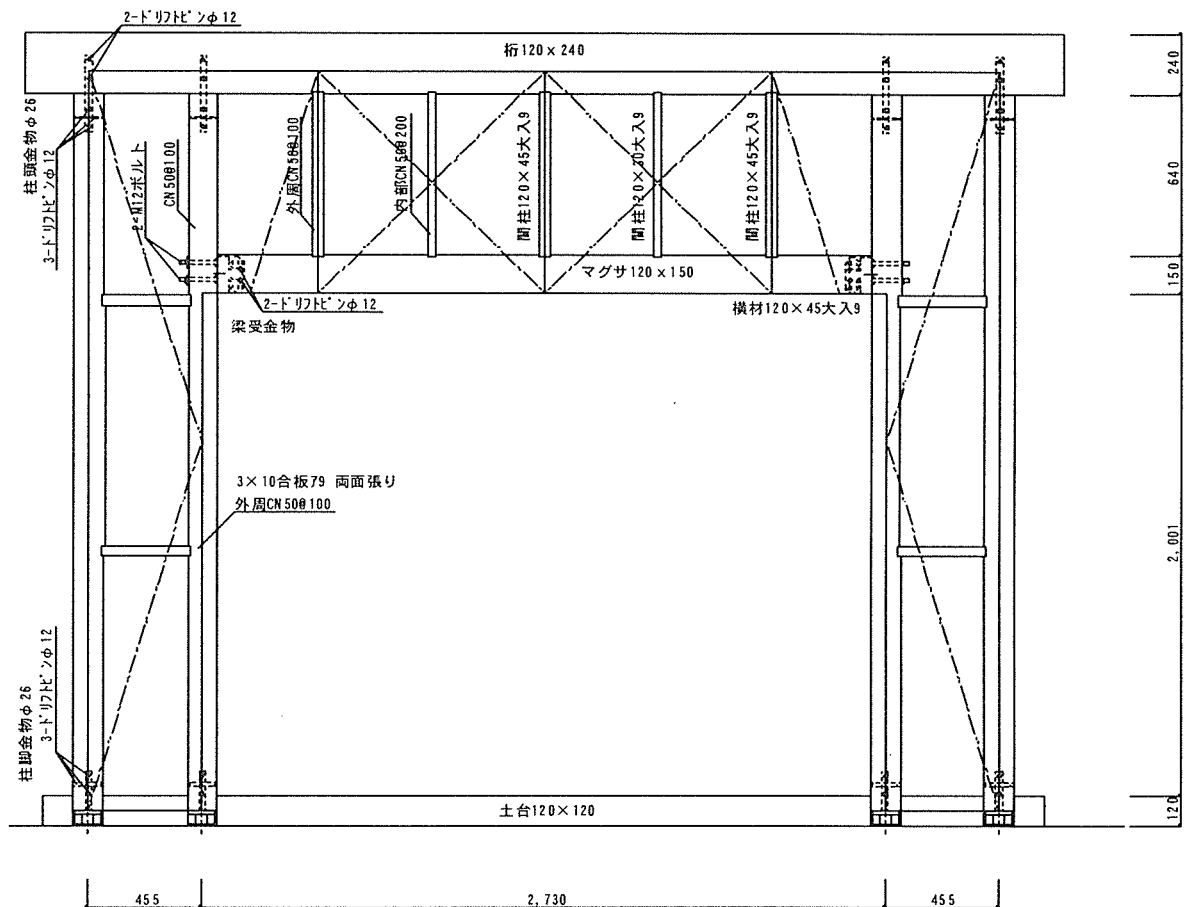


部材名	樹種	断面寸法 (mm)	部材名	樹種	断面寸法 (mm)
桁	ベイマツKD	120×240	間柱	スプルー	120×30
マグサ	ベイマツKD	120×150	間柱	ベイマツ	120×45
土台	カラマツ防腐処理材	120×120	飼木	ベイマツ	120×45
柱	スギKD	120×120	面材	JAS 2級構造用針葉樹合板	厚9両面張り

図3-18 面材両面張り型(W type)の試験体仕様

2.2.4 金物工法型 (M type)

この仕様は水平・鉛直耐力の向上を目的として、9mm 合板片面張りに加え、オリジナル金物を採用した (図 3-19)。面材両面張型と躯体構成は基本的に同様であるが、金物工法としてマグサ受けに梁受金物を用いたこと、柱と桁にパイプ挿入でドリフトピンで固定する金物 (10kN 用) を用いたこと、さらに柱脚にもパイプ挿入型の金物 (30kN 用) を使用した。柱脚金物は、アンカーに直結しており、土台を切断した状態とした。柱勝ちの構成で、金物によるモーメント抵抗も期待できる。



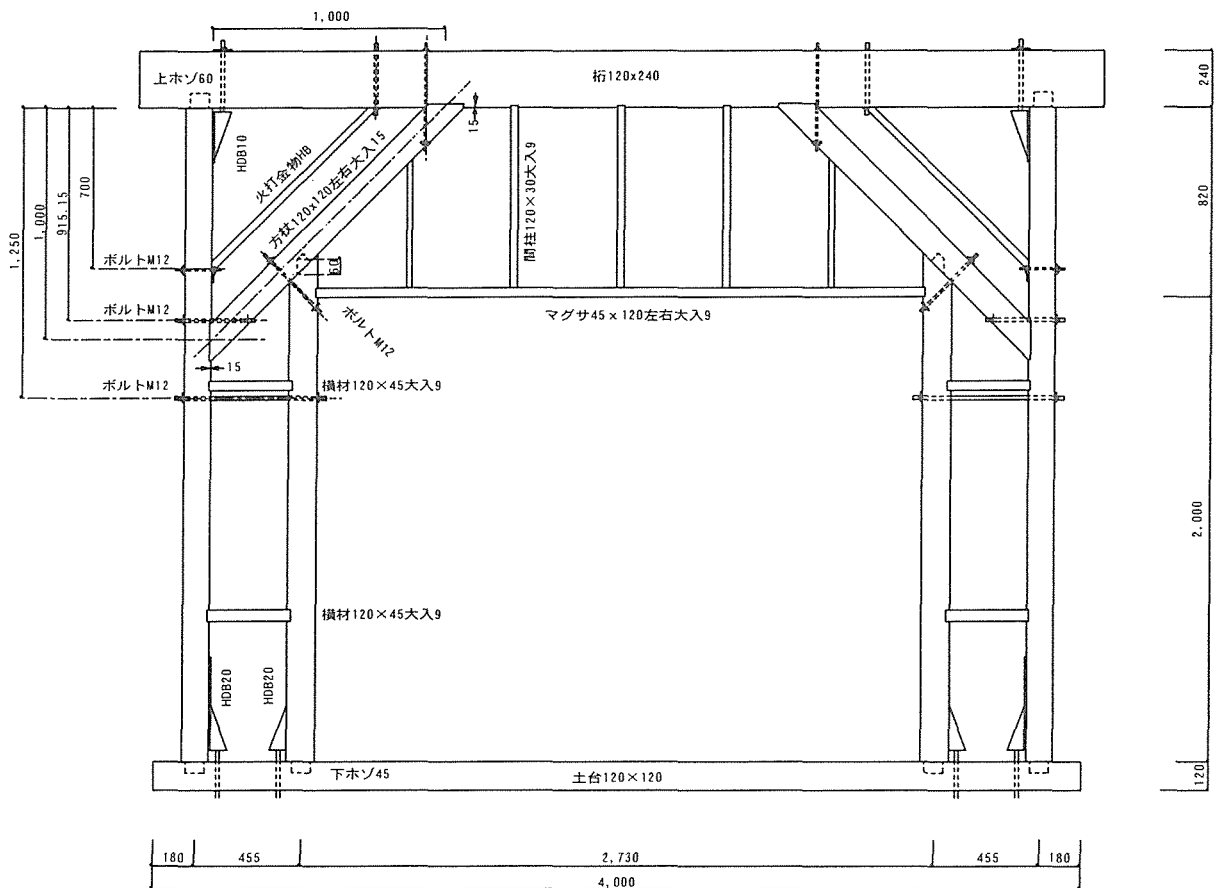
部材名	樹種	断面寸法 (mm)	部材名	樹種	断面寸法 (mm)
桁	ベイマツKD	120×240	間柱	スプルー	120×30
マグサ	ベイマツKD	120×150	間柱	ベイマツ	120×45
土台	カラマツ防腐処理材	120×120	綱木	ベイマツ	120×45
柱	スギKD	120×120	面材	JAS 2級構造用針葉樹合板	厚 9 片面張り
金物	柱脚金物	HSB-3t (30kN 用)			
	梁受金物	HSZ150 (せん断 17kN)			
	柱頭金物	HSP10kN (10kN 用)			

図3-19 金物工法型(M type)の試験体仕様

2.2.5 方杖型 (B type)

この仕様と後述するトラス型は面材を使用しないことで、開放感のあるスケルトンな空間を形成できることをねらった。

この仕様は方杖により水平荷重に抵抗し、鉛直荷重に対してもスパンの軽減効果を期待したものである。(図 3-20)。特に、方杖の圧縮には 120mm 角材が負担し、引張力に対しては火打ち金物が負担するようにした。内側の柱は頬杖に連結させており、外柱とは飼木とボルト締めで一体化した。ここでも柱間に働く圧縮力は飼木が、引張力はボルトが負担するように役割を分けた。



部材名	樹種	断面寸法 (mm)	部材名	樹種	断面寸法 (mm)
桁	ベイマツKD	120×240	方杖	スギKD	120×120
マグサ	ベイマツKD	120×45	間柱	スプルース	120×30
土台	カラマツ防腐処理材	120×120	飼木	ベイマツ	120×45
柱	スギKD	120×120			

図3-20 方杖型(B type)の試験体仕様

2.2.6 トラス型 (T type)

この仕様も面材を使用しないことで、開放感のあるスケルトンな空間を形成できることをねらったものである。

この仕様は桁—マグサ間に構成したトラスで鉛直・水平荷重への抵抗を期待したものである (図 3-21)。トラスの構成は、120mm 角で、市販の筋違い金物や T 型、L 型金物で構成した。袖壁は飼木とボルト締めで構成し、トラス下弦材にホールダウン金物で固定した。水平荷重よりも鉛直荷重を主に対応した構成といえる。

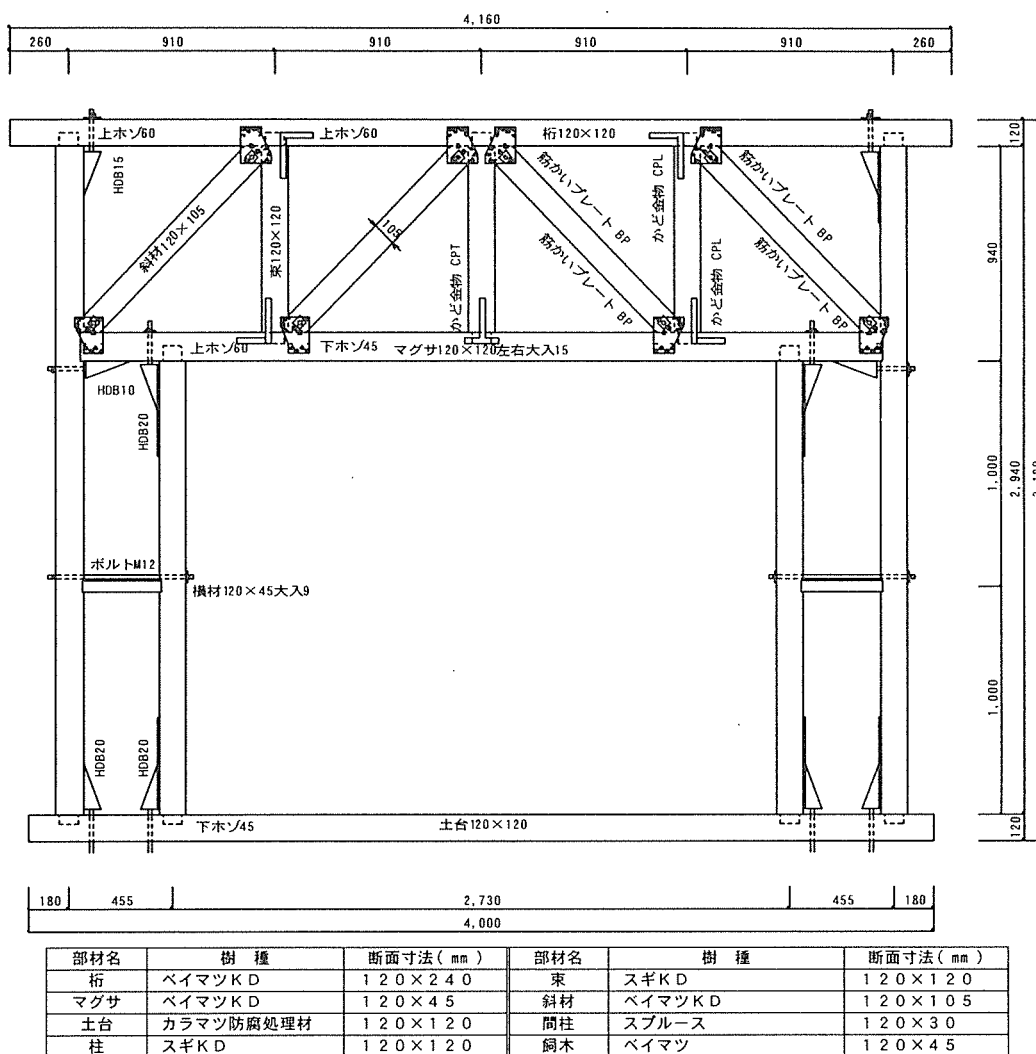
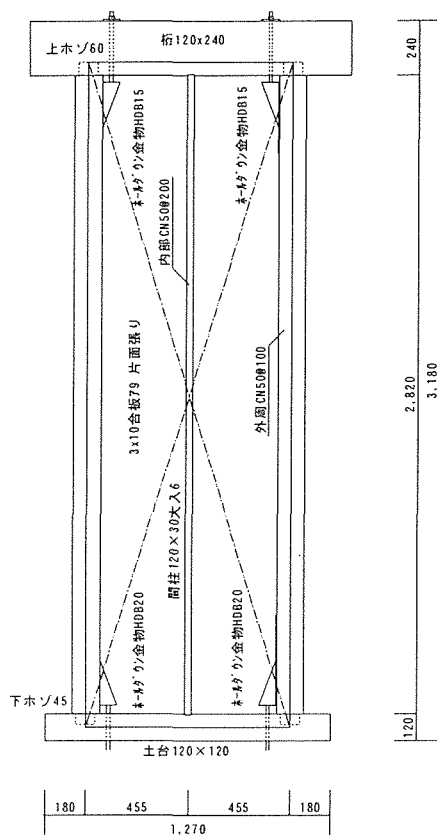


図3-21 トラス型(T type)の試験体仕様

2.2.7 コントロール（1P合板張り在来構法試験体）

コントロールとして、在来軸組構法で合板張り1Pの試験体を供試した（図3-22）。使用材料は他の試験体に順じた。



部材名	樹種	断面寸法 (mm)	部材名	樹種	断面寸法 (mm)
桁	ベイマツKD	120×240	間柱	スプルー	120×30
マグサ	ベイマツKD	120×150	面材	JAS 2級構造用針葉樹合板	厚9片面張り
土台	カラマツ防腐処理材	120×120			
柱	スギKD	120×120			

図3-22 コントロール(1P type)の試験体仕様

2.3 試験方法

各仕様 1 体の試験体の面内せん断試験を行った。図 3-23 に示すように、各柱脚をホールダウン金物 HDB20 (M type はオリジナル柱脚金物) で固定した柱脚固定式無載荷式で面内せん断試験を行い、その面内せん断変形挙動を測定した。

加力は油圧ジャッキにて水平荷重を試験体頂部に 0.2~2mm/秒程度の速度で見かけのせん断変形角制御で、 $\pm 1/500$ 、 $\pm 1/300$ 、 $\pm 1/200$ 、 $\pm 1/150$ 、 $\pm 1/100$ 、 $\pm 1/75$ 、 $\pm 1/50$ の各 2 回正負交番繰返し荷重を加え (図 3-24)、最終的にジャッキ側 (図 3-23 における右方向) への引張で破壊させた。

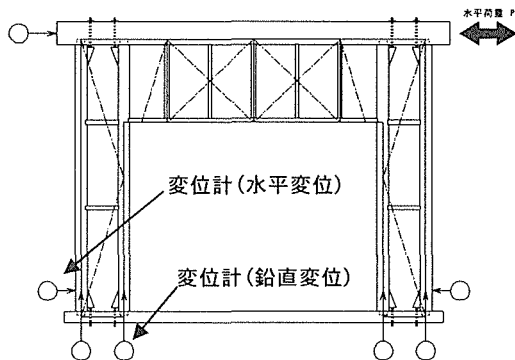


図3-23 試験方法

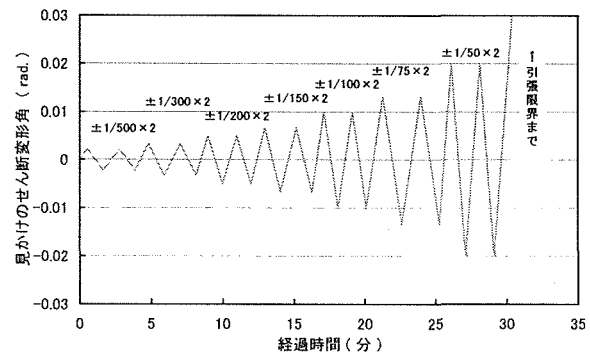


図 3-24 加力スケジュール

2.4 結果と考察

2.4.1 損傷発生経過の概要

図 3-25 ならびに写真 3-4~15 に破壊状況の概要を示す。

合板張り開口壁では、垂壁に水平軸力が作用し、引張加力時のジャッキ側で圧縮力、反対側で引張力が作用したと考えられる。その結果、観察されたように、S type は合板片面張りでマグサ断面が小さいため、垂壁の面外剛性・強度が低く、マグサの面外への飛び出しとなったと考えられる (写真 3-4, 5)。W type と M type では、マグサ断面が大きく、両面合板張りとしたり、マグサ端部や柱頭を剛に緊結したため、袖壁の面外剛性が高く、左側合板の斜め亀裂と左内柱の破壊、右袖壁のマグサ高さでのせん断を誘発したと考えられる (写真 3-6, 7, 8, 9)。

非合板張りである B type ならびに T type は、最終的に外柱の折損で破壊した (写真 3-11, 13)。これらの仕様では、方杖で形成されるトラスや垂壁のトラスの水平変形剛性が高く、これに比して外柱の曲げ強度が劣るため、柱の折損を引き起こしたと考えられる (写真 3-10, 12)。柱の折損は破壊時の倒壊を招き易いので、改善が必要であるが、両試験体とも外柱断面を大きくするなどの対策をとれば、強度の向上が期待できる。また、内柱も省略できる可能性がある。

各試験体の損傷経過の詳細は次のとおりである (図 3-25 参照)。

● S type (写真 3-4, 5)

- ① 左肩合板に内側柱に沿った微小な亀裂が発生した。
 - ② 右肩合板に内側柱の釘内に沿った亀裂が発生し、マグサが合板側面外へ飛び出した。
 - ③ 左肩合板が内側柱の壁内側垂直から垂壁高さ中心付近から水平に裂け、マグサが合板側面外へ飛び出した。この付近で変位約 20cm。加力停止。
- ※脚部のめり込み、回転はあまりみられなかった。

● W type (写真 3-6, 7)

- ① 右肩合板に内側柱－水平亀裂が発生、水平に面外へ膨らんだ。
 - ② 左肩合板に内側柱に沿った亀裂が発生した。
 - ③ 右外柱にマグサ高さで亀裂が発生。
 - ④ 左内柱にマグサ高さで HD ボルトに引きずられた折損が発生。
- ※合板両面張り+マグサ HD の効果で剛性、Pmax とも高かった。

● M type (写真 3-8, 9)

- ① 右袖壁合板がマグサ接続部付近で面外座屈した (最終ループ引き 1 回目)。
- ② 右袖壁合板にマグサ接続部付近で水平に亀裂が発生した (最終ループ押し 1 回目)。
- ③ 左袖壁合板がマグサ接続部付近で面外座屈した (最終ループ押し 2 回目)。
- ④ 左袖壁合板にマグサ高さで、マグサ接続部付近より斜め 45 度上方へ向かって亀裂が発生し、左外柱側で水平に亀裂が発生した。
- ⑤ 試験後、右内柱と左外柱の柱頭がドリフトピン接合部でせん断破壊しているのを確認した。

※合板張りにより剛性高かった。面材の亀裂で破壊した。

※試験後に緩んでいた金物：右内柱脚、左外柱脚、など。

● B type (写真 3-10, 11)

- ① 右外柱が斜材取付け部付近で曲げにより折損した。
- ② 右内柱頭 (斜材取付け部付近) にせん断亀裂が発生した。
- ③ 右内柱－マグサ間が開き、隙間が発生した。
- ④ 右袖壁内部の上飼木が開き、隙間が発生した。
- ⑤ 左内柱－マグサ間が開き、隙間が発生した。
- ⑥ 左外柱が斜材取付け部付近で曲げにより折損した。
- ⑦ 左内柱頭 (斜材取付け部付近) にせん断亀裂が発生した。

※方杖部の剛性は高いが、外柱の曲げで変形が決まった。

※試験後に緩んでいた HD：左右外柱頭－桁、右斜材－桁、右内柱頭－斜材、左外柱－斜材、各柱脚。

● T type (写真 3-12, 13)

- ① 右外柱がマグサ高さで折損した。
- ② 左外柱がマグサ高さで折損した。
- ③ 右内柱頭がやや抜けた。
- ④ 左内柱頭がやや抜けた。
- ⑤ 左右袖壁はやや回転した。

※トラス部剛性高いが、外柱の曲げで変形が決まった。

※試験後に緩んでいた HD：左右柱脚、右内柱頭、左右外柱水平。

● Control (写真 3-14, 15)

- ① 左右柱－合板の釘は、ほとんどすべてに釘頭めり込みがみられた。
- ② 左柱の合板釘が抜けた。右柱の合板釘は抜けが見られなかった。
- ③ 左柱脚が浮き上がった。右柱脚は右側めり込み、左側がやや浮き上がった。
- ④ 左柱下の合板コーナー釘がパンチングアウトした。

※合板張りは剛性高く、柱－合板の釘抜け、パンチングで破壊が決まった。

2.4.2 構造性能

各試験体の荷重－変形曲線の包絡線を図 3-26 に、相当壁率の評価結果を図 3-27 に示す。なお、評価にあたり、開口壁については、開口壁全体としての変形の評価に近いものとするため、せん断変形角 γ は左側（ジャッキと反対側）における水平変位を桁下一下側変位計間距離で除した左袖壁の見かけのせん断変形角で評価した。よって、袖壁自体の変形としては、垂壁より下側で袖壁が屈曲した場合には実際よりも小さく評価される可能性がある。

コントロールとした壁長 1P (910mm) の合板片面張り試験体では最大荷重 11 kN、壁倍率 3.43 が得られた。標準的な壁倍率 2.5 より大きな値であるが、これは面材を留めつけた釘を CN50 とし、その間隔を標準的な 150mm より小さな 100mm 間隔に設定したことと、ばらつきを考慮していないためであると考えられる。

大開口壁では左右各 0.5P の袖壁が耐力壁に相当するとし、合計 1P 相当の耐力壁であるとみなすと、トラス型や方杖型では、最大荷重が各々 15.6kN、16.8kN と 1P 合板壁より大きかったが、グラフにみるように剛性が小さいため、壁倍率は 2.2、2.3 程度となった。破壊は図 3-25 および写真 3-10～13 に示すように、外柱の曲げ破壊である。外柱と内柱とを銅木とボルトで緊結し、袖壁としての一体化を意識したが、効果は小さかったようである。両仕様の剛性・強度を改善するには、この部分に曲げに抵抗できるようなトラス構造を入れるか、外柱断面を増して剛性・強度を高めることが有効と考えられる。

一方、合板張り開口壁はいずれも剛性、最大荷重とも高い曲線を描いた。合板片面張りである S type は、最大荷重 23.9kN で、壁倍率でも 1P 合板の 2 倍の 6.39 相当の性能を示

した。また合板両面張りである W type は、最大荷重 37.5kN で、壁倍率 7.89 と最も高い性能を示した。壁長を 3.64m とみなしても壁倍率 2 に近く、高い性能の耐力壁に相当するといえる。

金物工法型も最大荷重 29.9kN で、1P 壁倍率で 7.64 という高い性能を示した。この試験体は合板片面張りであり、S type に比べ 2 割程度の性能が向上したことになる。4 本の柱脚金物によるせん断、モーメント抵抗や梁受け金物の抵抗などが、性能向上に寄与したといえる。

全体として性能面では、各々性能に差があるものの、合板系は特に 0.5P 袖壁+3P 垂壁構成の構造でも、耐力壁に代替できる性能を持つことが確認された。また、非合板系は合板開口壁に比して耐力性能が低く、改良の余地が残されたが、耐力要素としてはトラス、方杖型とも有効な耐力が確認された。

可変性については、0.5P 両袖壁による門型壁を内壁に用いた場合、合計は 1P 耐力壁と長さは同じだが、家具程度の壁長に過ぎないこともあり、可変性の点ではより優れていると考えられる。また、トラスや方杖型では接合法の工夫により意匠に配慮すれば、空間的な広さも期待できると考えられる。このような大開口型の耐力壁構造によって、可変性を付与することが可能と考えられる。但し、方杖型やトラス型は構造上、ラーメンに近い曲げによる抵抗機構となるため、十分な剛性を確保し、壁式の耐力要素との組み合わせを考慮する必要がある。

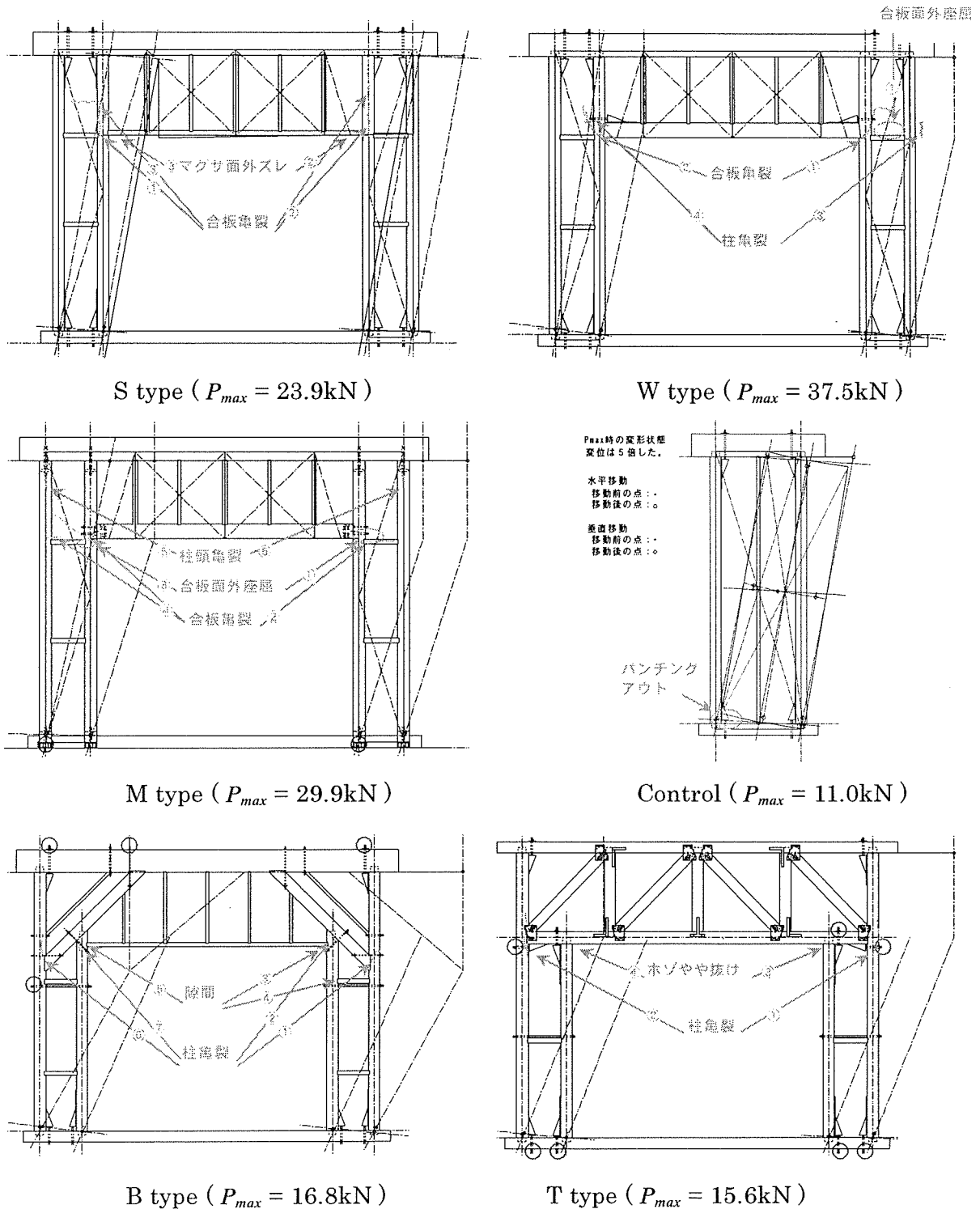


図3-25 最大荷重時の各試験体の変形概要

※変形図は最大荷重時に計測できた変位を5倍し、観察した変形状態を考慮して直線でつないだ。但し、脚部以外の鉛直変位と曲げや中間の変位は反映してない。

※○：試験後に緩みが確認されたボルト（全てのボルトを確認し、緩んでいたもののみを表示）。但し、確認した試験体はM type, B type, T type のみ。

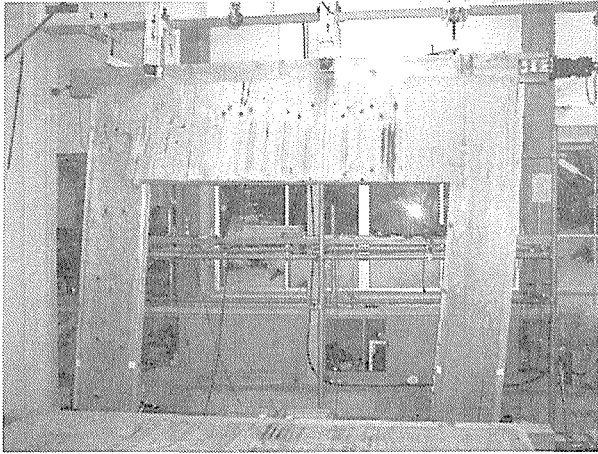


写真3—4 S type 破壊時全体



写真3—5 S type 左袖壁付近での破壊

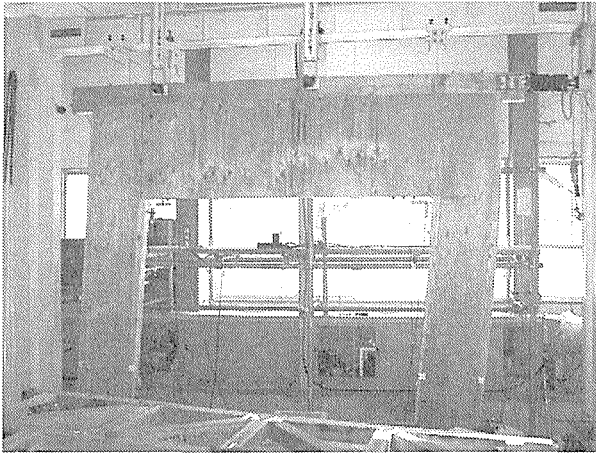


写真3—6 W type 破壊時全体



写真3—7 W type 右柱付近での破壊



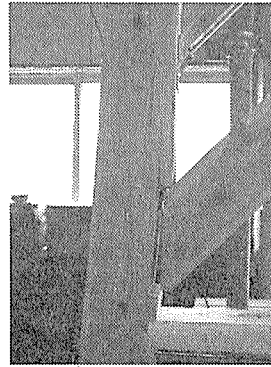
写真3—8 M type 破壊時全体



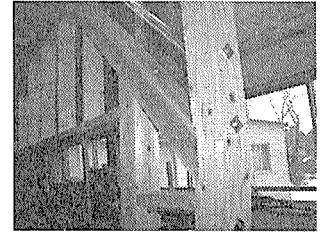
写真3—9 M type 右袖壁付近での破壊



写真3—10 B type 加力中全体



a. 左柱の破壊



b. 右柱の破壊

写真3—11 B type 左右柱の破壊

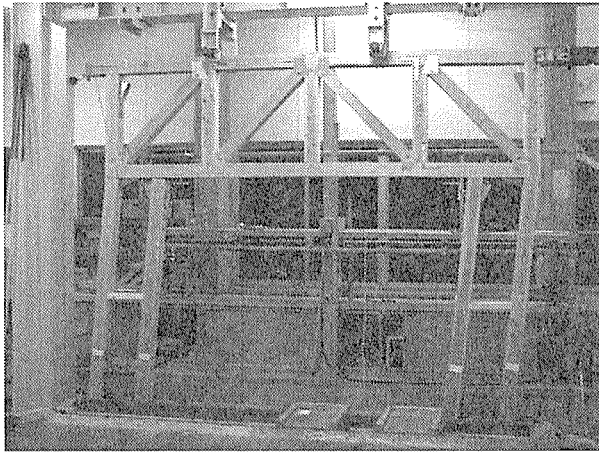
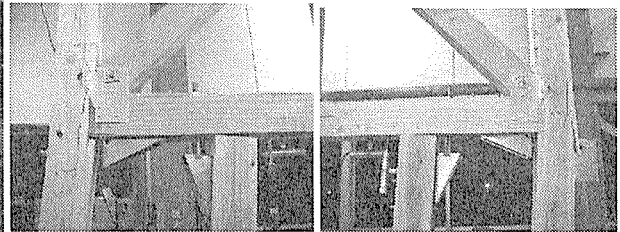


写真3—12 T type 加力中全体



a. 左柱の破壊

b. 右柱の破壊

写真3—13 T type 左右柱の破壊

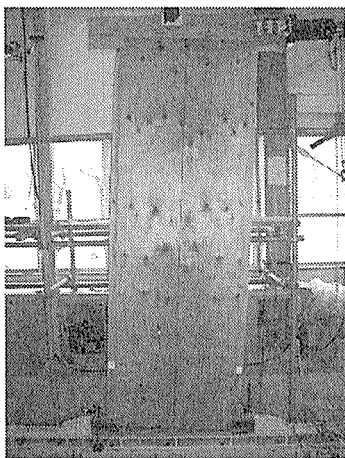


写真3—14 Control 破壊時全体

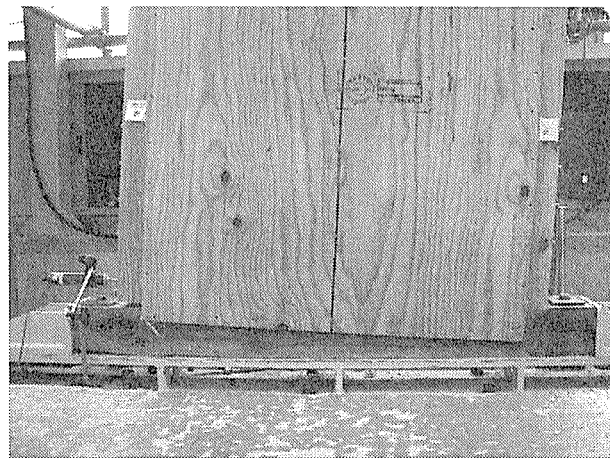


写真3—15 Control 破壊時脚部

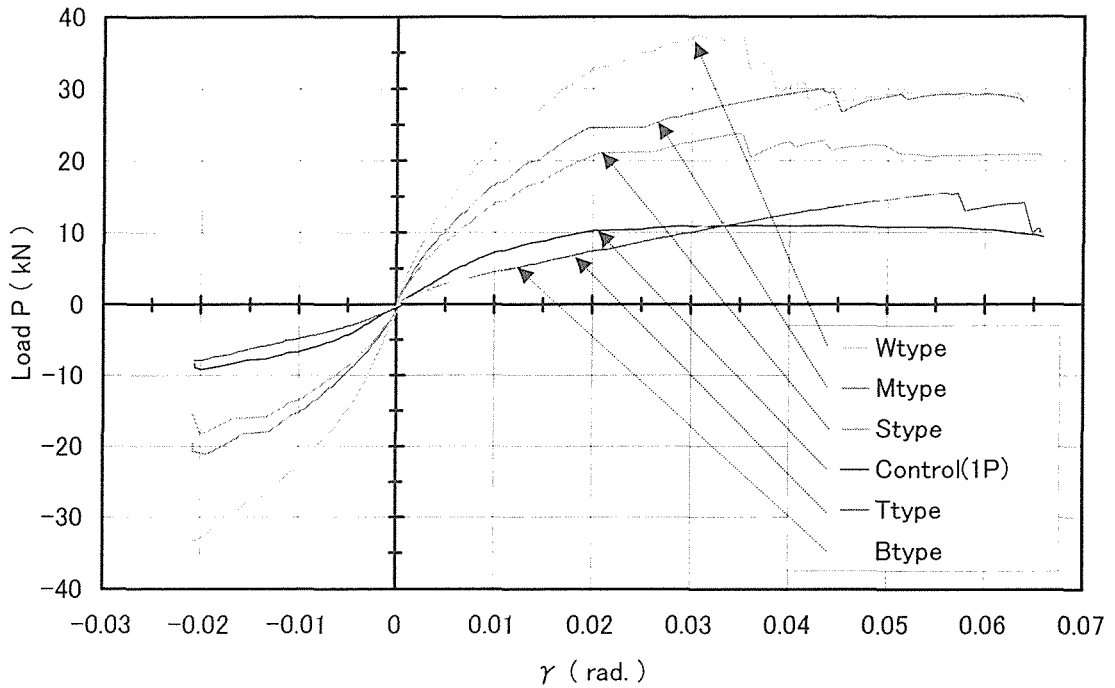


図3-26 大開口耐力壁の荷重—変形曲線(包絡線)
 ※ γ は左袖壁で測定した変位を変位計間距離で除した値を用いた。
 (桁—土台間での屈曲は考慮していない。)

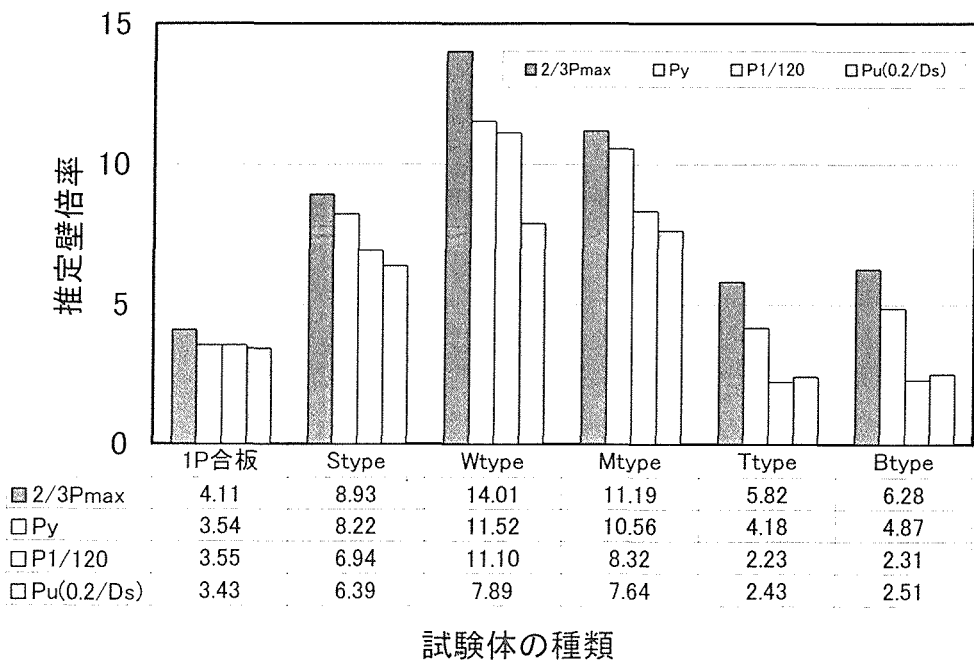


図3-27 大開口耐力壁の推定壁倍率(壁長1mとして換算)
 ※左袖壁の荷重—変形関係をもとに、壁長 0.91m として
 壁長 1m あたりの壁倍率を求めた。

第4章 モデル設計へ向けて

1 込み栓型接合法による告示1460号への対応

建築基準法の改正にともない、平成12年度建設省告示第1460号において、在来軸組工法の耐震耐風性能を確保するために、筋かい端部と耐力壁端部の柱の柱脚、柱頭の接合について規定されている。金物接合が中心となっている中に、長ほぞ差し込み栓打ちも示されているが、性能は低い位置にあり、部分的に使用する場合を除けば、耐力壁倍率1以下で構成された場合にのみ対応できる。また、込み栓の仕様についても明記されておらず、今回の実験で示した仕様の込み栓接合を用いるならば、告示1460号に示されたより高耐力の他の金物接合と同等の性能を持つ込み栓型接合が示された。

告示1460号(表3)に示される柱頭、柱脚の接合法と基準接合耐力および今回の試験に基づく込み栓接合の関係を表4-1に必要耐力とあわせて示す。15mm単栓では、スギ105mm角で長ほぞ差し込み栓に対応可能であるのに加えて、15mm複栓、24mm大栓、15mm単栓ヒノキ仕様ではかど金物CP-Tと同等の使い方が可能である。柱脚については土台の寸法が120mmを超えるのは難しいために、18mmの複栓のヒノキ仕様で(ほ)のスクリーナ釘ありの羽子板、短冊金物のレベルが最大のレベルであろうと思われる。これ以上の引き抜き耐力を期待する場合には、大入れ長ほぞ差しのヒノキ仕様にすることで、25kNホールダウン金物に対応可能である。

この方法では、基礎の仕様を変える必要があり、その点が施工手間として考える場合には、ホールダウン金物を併用するのも一つの方法と思われる。特に、アンカーボルトの使用は必須であることを考えると、このような方法も選択肢として考えるのが妥当と思われる。

柱頭部については、桁寸法に余裕があることからホールダウン金物の10kNから25kNレベルまで、込み栓や楔の仕様により対応可能である。今回の試験では、まだ十分な試験体数に達していない部分もあり、期待値的なところも多い。また、詳細な仕様や1、2階部の柱の取り合いや梁-梁の接合など、検討すべき部分も残されているが、伝統型の接合法を用いても現在の基準法で期待される性能に十分対応できるものと考えられる。

表4-2は、告示1460号の表1、表2に規定されている壁の仕様と柱頭、柱脚の接合法の関係を込み栓型で置き換えたものである。本来の規定では、壁倍率1の耐力壁の柱に対応するのが限界であったが、壁倍率1.5までは込み栓のみで対応可能である。

壁倍率2以上のものについては、ホールダウン金物を使わなければ、柱脚を大入れ長ほぞ差しにする必要があり、基礎の施工を変える必要がある。柱脚を大入れ長ほぞで接合すれば4.5x9cm筋かいのたすき掛けによる壁倍率4まで、2階建ての木造住宅の全ての柱を込み栓型で接合することが可能になる。

これにより、込み栓のような地域の伝統的な大工技術による接合法を用いた場合、低倍

率の耐力壁を多数設けることで必要壁量を満たさねばならないために、開口部の構成で不利となっていたが、地域型長期耐用住宅では込み栓接合でも合板耐力壁や高壁倍率の耐力壁仕様に対応することができると思われる。

表4-1 告示1460号 表(3) 標準接合部に対応する込み栓仕様

標準接合仕様	必要接合耐力 kN	込み栓仕様	
(い) 短ほぞ差し かすがい	0		
(ろ) 長ほぞ差込み栓 かど金物CP-L	3.4	柱頭・脚	15mm単栓-スギ105
(は) かど金物CP-T 山型プレートVP	5.1	柱頭・脚 " "	15mm複栓-スギ105 24mm大栓-スギ105 15mm単栓-ヒノキ120
(に) スクリュー釘なしで 羽子板金物 短冊金物	7.5	柱頭・脚	24mm大栓-ヒノキ120
(ほ) スクリュー釘あり 羽子板金物 短冊金物 (")	8.5	柱頭・脚	18mm複栓-ヒノキ120
(へ) ホールドダウン金物 HD-B10	10	柱頭 柱頭	21mm+割楔ベイマツ (30mm大栓 ベイマツ)
(と) " HD-B15	15	柱頭 " "	(30mm大栓+割楔 ベイマツ) (30mm大栓+18mm小栓 ベイマツ) (21mm複栓 スギ)
(ち) " HD-B20	20	柱頭	(30mm大栓+18mm複栓 ベイマツ)
(り) " HD-B25	25	柱脚 柱頭	大入れ長ほぞ差し-120ヒノキ (30mm大栓+割楔 ベイマツ)
(ぬ) " HD-B15を2本	30	柱頭	(重ねほぞ大栓 (折置) スギ)

表4-2 告示1460号 (表1)、(表2)に対応した込み栓型接合

軸組種類	平屋、最上階の柱		上階、当該階の柱			
	出隅柱	その他柱	上階 当該階	出隅 出隅	出隅 その他	その他 その他
木摺りを片面or両面 壁率 0.5,1	15mm単栓 スギ、ヒノキ	同左	15mm単栓 スギ、ヒノキ	同左	同左	同左
1.5x9cm 筋かい 壁率1	15mm単栓 スギ、ヒノキ	同左	15mm単栓 スギ、ヒノキ	同左	同左	同左
3x9cm筋かい 壁率1.5	下部	15mm単栓 同左	24mm大栓ヒノキ	15mm単栓	同左	同左
	その他	24mm大栓ヒノキ 15mm単栓				
1.5x9cm筋かい 壁率2	たすき	24mm大栓ヒノキ 15mm単栓	柱脚 大入れ長ほぞ 柱頭30mm大栓+18mm	24mm大栓	15mm単栓	15mm単栓
1.5x9cm 筋かい 壁率2	下部	15mm複栓、 15mm単栓ヒノキ	柱脚 大入れ長ほぞ 柱頭30mm大栓+18mm	24mm大栓他	15mm単栓	15mm単栓
	その他	18mm複栓ヒノキ 15mm単栓				
構造用合板 壁率2.5		18mm複栓ヒノキ 15mm単栓	柱脚大入れ長ほぞ 柱頭30mm大栓+18mm	同左 30mm大栓他	24mm大栓スギ他	24mm大栓スギ他
3x9cm筋かい 壁率3	たすき	柱脚大入れ長ほぞ 15mm複栓他 柱頭30mm大栓+18mm他	柱脚大入れ長ほぞ 柱頭30mm+割楔	同左 30mm大栓+18mm他	24mm大栓ヒノキ	24mm大栓ヒノキ
4.5x9cm筋かい 壁率4	たすき	柱脚大入れ長ほぞ 24mm大栓ヒ 柱頭30mm大栓+18mm	—	柱脚大入れ長ほぞ 柱頭30mm+割楔	同左 30mm大栓+18mm他	同左 30mm大栓+18mm他

2 地域型長期耐用住宅

2.1 伝統技術を活かした長期耐用住宅

地域の大工・工務店による地域型の住宅の中には、地域の優れた大工技術が含まれており、長期耐用住宅としての特性が潜在的に活かされているものと考えられる。

しかし、最近の建築基準法の改正では耐震性能などの構造性能の信頼性確保を重視したことにより、性能の明確な金物中心の接合法に有利に働いており、伝統型の接合法など地域の大工技術の継承性が損なわれる可能性がある。このような地域の大工技術の継承性を維持していくことが、地域型住宅を長期耐用住宅として成り立たせていくために重要であると考えられる。

そのような考えから、伝統型の接合法の中心とも言える込み栓型接合について行った実験の結果から、長ほぞ込み栓差しという一つの接合法としての評価ではなく、より多様な強度特性をもった接合法として評価するのが適当と考えられた。

したがって、実際には様々な形態で用いられている込み栓接合の性能をその仕様と性能を正しく評価した上で、現在の法体系の中で活かした工法が地域型の長期耐用住宅として考えられる。そのような構造の地域型の基本となっているのが枠の内工法であるが、この工法を現代に適用して耐力壁要素として用いようとするのは難しい点がある。しかし、可変性を持った構造要素としての位置付けは可能と考えられ、込み栓などの非金物型の接合を中心とした地域型住宅として用いることは可能である。また、開口型の耐力壁を用いることで、より一層の可変性を持たせることも考えられる。

2.2 現代在来工法型住宅工法への対応

今回開発された耐力壁は、両袖 455mm と垂壁からなる壁長 3.64 m、掃き出し開口 2.73 mの壁である。建築基準法上では、壁長が 90cm 未満であるため、耐力壁とは認められていない。しかし、両面合板貼りの在来プレカット型や片面貼りであるが金物型では、910mm 壁長の耐力壁としても壁倍率 8 に近い耐力性能を有している。1P の壁とみなすより、壁長 3.64 mの相当壁として評価すると壁倍率は 2 相当、ばらつきを考慮しても壁倍率 1.5 相当の耐力壁として評価することが可能と考えられる。

図 4-1 に大開口耐力壁構造を用いた場合の南面開口の状況を示した。図は、桁行き方向に関しての比較であるが、壁倍率 1.5 で壁長 3.6 mの南面と壁倍率 2.5 の合板壁を用いた北面耐力壁で開口部を比較した。南面では北面のほぼ 2 倍の開口部となっている。

また、本来の建築基準法で壁を評価すると 910mm 壁が 2 枚、合板耐力壁では $2.5 \times 0.91\text{m} \times 2 = 4.55 \text{ m}$ 相当の耐力壁として評価することになる。今回の実験結果からの評価では $1.5 \times 3.6 \text{ m} \times 3 = 16.2 \text{ m}$ という極めて大きな壁量を見込めることになる。表 4-3 に示すように建築法規では耐震性能として床面積 1 m^2 あたり、2 階建ての 1 階部で 0.33 m、平屋で 0.15 mの壁量が必要となるが、この 3.6 mの耐力壁ユニットでそれぞれ、 16 m^2 、 36 m^2 の床

面積に必要な壁量をカバーできる性能を持っており、南面の開口はもとより内部耐力壁として用いることで、可変性を持った耐力壁構造としての利用が期待できる。

この耐力壁要素のみで必ずしも構造を構成する必要はないが、一般の在来工法型住宅に部分的にでも適用することで、可変性を付与することが可能と考えられる。

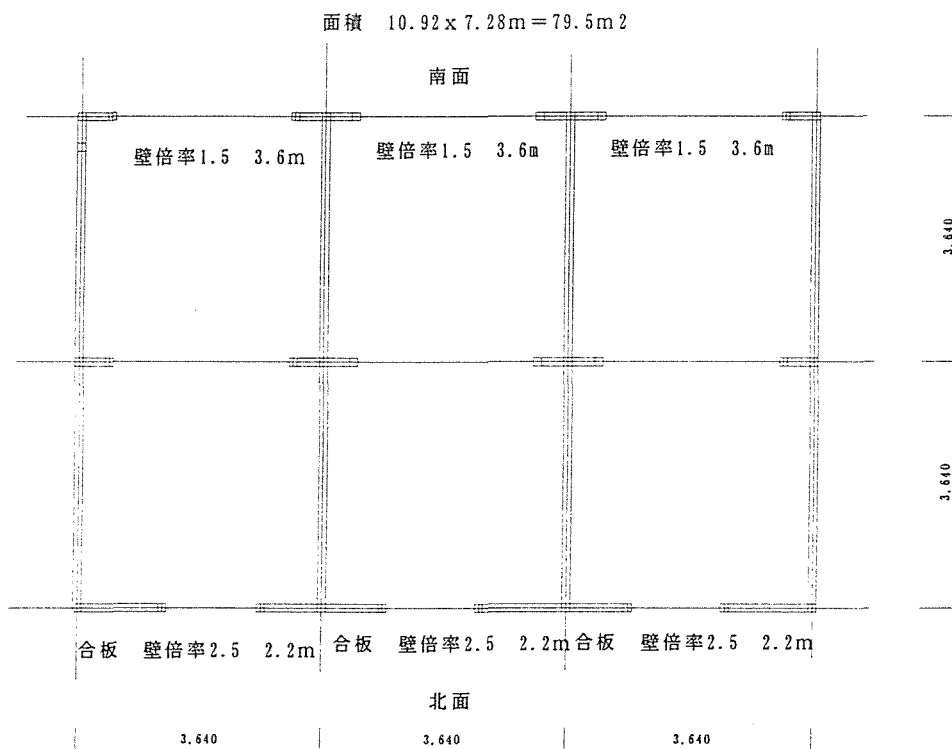


図4-1 大開口耐力壁の配置

表4-3 大開口耐力壁が負担できる必要壁量床面積(施行令46条)

	平屋建	2階建の1階	2階建の2階
重い屋根の住宅			
必要壁量	0.15 m	0.33 m	0.21 m
対応可能な床面積	36 m ²	16.4 m ²	25.7 m ²
軽い屋根の住宅			
必要壁量	0.11 m	0.29 m	0.15 m
対応可能な床面積	49.1 m ²	18.6 m ²	36 m ²

大開口耐力壁は在来プレカット型、金物型を想定し、壁倍率 1.5 壁長 3.64 mとして計算した

3 今後の課題

多雪地域における長期耐用住宅として、地域に伝わる優れた長期耐用住宅工法である枠の内工法の特徴を基盤として、優れた大工技術の継承を中心にした地域型の住宅への展開と枠の内工法の持つ可変性と南面開口ニーズに現代的な工法で応える大開口耐力壁構造の開発を行った。これらの二つの展開は、それぞれが多雪地域における長期耐用住宅としての骨格を形成するものであり、地域の住宅の長期耐用化を図る技術提案といえるものである。

これらの工法を現実の住宅に活かしていくためには、建築法規における認知の仕組みを示すことや現実に要求される様々な条件に応じて性能を整理して仕様書的にまとめることなども必要と考えられる。さらに、地域材の利用を進めるためにスパン表として整理することや長期耐用化のための様々な提案を整理して普及を図っていくことが重要と考えられる。

まとめ

1 地域型長期耐用住宅の開発方向

地域型の長期耐用住宅を考える際に、構造耐久性、居住性、環境適応性、可変性、リサイクル・リユース性、資源の循環利用、地域材の利用、地域の建築技術・技能の継承など多くの因子に配慮する必要がある。住宅工法の工業化が進み全国画一的な住宅が普及しているなかにも、地域に根ざした地域色の強い住宅工法もまた継続されており、それらは潜在的に地域ニーズに適合した長期耐用型の住宅特性を持っているものと考えられる。

地域の大工・工務店による地域型の住宅の中には、地域の優れた大工技術が含まれているが、最近の建築基準法の改正では耐震性能などの構造性能の信頼性確保を重視したことにより、性能の明確な金物中心の接合法に有利に働いており、伝統型の接合法など地域の大工技術の継承性が損なわれる可能性がある。このような地域の大工技術の継承性を維持していくことが、地域型住宅を長期耐用住宅として成り立たせていくために重要であると考えられる。この代表的なものが、込み栓型接合であり、様々な形態で地域型の住宅に用いられているが、現在の法体系の中では、長ほぞ込み栓差しという一つの接合法として定義されているのみであり、仕様も明確にはされていない。また、性能も低く評価されているのみであり、込み栓接合を主体にした住宅を考える際には、いくつかの不利な条件に配慮しなければならない。したがって、実際には様々な形態で用いられている込み栓接合の性能を正しく評価した上で、込み栓接合等の地域大工技術を現在の法体系の中で活かした工法を地域型の伝統技術を活かした長期耐用住宅として提案することが必要である。具体的には、地域伝統型の枠の内工法に長期耐用的な要素が多いが、現在主流の耐力壁型工法のなかに、大断面の柱と差し鴨居、楔、貫、込み栓によるラーメン型工法をそのまま適用するのも難しい点が多いことから、伝統的な込み栓接合を用いた非金物型工法を中心に据え、金物による結露防止に配慮した耐久性の向上、伝統技術の継承、構造的な可変性や交換、リサイクル性の点を中心に据えた長期耐用住宅とする。

一方、現在主流の耐力壁構造で枠の内工法の持つ長期的な特性、特に可変性を活かすためには、大開口型の耐力壁構造要素を開発することが適当と考えられる。大きな掃き出し開口を持ちながらも、垂壁、袖壁を耐震要素として補強することで、一定量の耐震性能を持たせる。枠の内工法に置き換えると袖壁が太い柱要素、垂壁が差し鴨居要素であり、南面の広い開口としての用途や内部に用いることでの可変性を付与することが可能になる。この場合、積雪地域という地域特性から、耐震性能ばかりではなく、鉛直荷重に対する構造的な配慮を十分加える必要がある。この枠の内工法の考え方をベースとした二つの取り組みを地域型長期耐用住宅の骨格と考えている。これに、地域的ないくつかの取り組み、地域材の利用や耐久性を付与するための構造提案などを付加したいと考えている。

2 込み栓型接合法の開発と評価

この長期耐用住宅を達成するための技術開発として、特に伝統型接合法の中心をなす込み栓型接合法について、正当な強度性能の評価とより高性能な接合法の開発を行った。込み栓接合の破壊は、①込み栓の曲げ破壊、②込み栓による土台の割裂、③長ほぞのせん断破壊の3種類あるいはこれらの複合型となる。新しい込み栓型接合の開発のために、これらの破壊の基礎条件について試験した。ナラ、ケヤキ込み栓の曲げ試験、土台、桁の込み栓による割裂試験、スギほぞのせん断試験であり、込み栓接合を意識した試験方法を採用した。込み栓の曲げ性能は、一般的な無欠点曲げ試験の性能に準じて評価することが可能である。割裂、せん断性能については端距離と破壊強度に密接な関係が得られ(図 3-3、3-5)、接合部設計が可能と考えられたが、込み栓接合部試験の結果との間に数値に違いが認められ、今後の検討課題として残された。

より高性能の込み栓接合部の開発として、土台-柱用としての単栓、複栓、大栓の接合試験(図 3-9)、さらにやや特殊な接合となるが、土台と柱の隅柱の接合として、大入れ長ほぞ差し接合の試験を行った(図 3-11)。この接合は、柱のほぞ穴に土台のほぞを差し込むもので、土台は曲げ、柱がせん断で抵抗している。柱の端距離を確保するため柱を基礎より下まで延長する必要がある。試験の結果では、隅柱として土台を2カ所で固定すると、短期基準耐力で 28kN という大きな耐力を持つことが示され、基礎加工の施工手間の問題がクリアされれば、ホールダウン金物に変わり得る性能を持つといえる。

柱-桁における込み栓接合に関しては、梁せいが大きいため土台よりも様々な工夫が可能である。込み栓の配置、楔の併用などいくつかのタイプを検討した(図 3-13)。21mm 込み栓に割り楔を用いた場合、最大荷重で 34kN、短期基準耐力で 12.3kN となり、ホールダウン金物 10kN に相当する能力を有していることが示されるなど、多様な性能を持つ込み栓型接合が示された。

柱と土台-桁など耐力壁の周りの接合部に関しては、建築基準法告示 1460 号で接合部の性能が示されている。今回の試験では、告示の中で与えられている長ほぞ込み栓差しの強度レベルを超えて、ホールダウン金物に匹敵するレベルまで、込み栓型接合で対応できることが示された。まだ、十分な試験体数により確定したものではないが、壁倍率 1.5 までの耐力壁には土台を大栓で接合することで対応でき、これ以上の壁倍率では大入れ長ほぞ接合を用いることで、ほぼ壁倍率 3 までの耐力壁について、込み栓型接合で対応できる可能性を持っている。

3 大開口型耐力壁の開発

120mm 角以下の柱と耐力壁で構成される現在主流の在来工法住宅に対応した長期耐用住宅工法として、可変性を付与するために耐力壁の移動を考えると、基礎との連結の問題

をクリアする必要があり、移動は簡単ではない。そこで、耐力壁としては認められていない 450mm の袖壁と垂壁からなる掃き出し開口を持つ耐力壁の開発を行った。この耐力壁は、外壁として用いる場合には南面の大開口に対応することができる耐力壁として、さらに内部に用いることで、一定の可変性を持った耐力壁構造となる。北陸地域では冬季に日照時間が不足していることもあり、南面に大きな開口を設けたいという根強い要求がある。しかし、耐震的には耐力壁の不足やアンバランスを招くことから、設計上の制限を受ける場合が多い。なお、積雪地域でもあり、鉛直荷重に対応可能な構造とした。壁長は 3640mm とし掃き出し開口は 2730mm、高さ 2000mm、袖壁 450mm 両サイド、垂壁が 900mm 程度残る構成である。壁タイプとして、①標準仕様（3 x 6 合板 9mm 片面貼り）、②面材両面貼型（まぐさに 120x150mm を用い HD 金物で固定、長尺合板 9mm 両面打ち）、③金物工法型（プレカット型の金物工法タイプ、柱脚はアンカーに直結、モーメント抵抗が期待可能、合板 9mm 片面）、④方杖型、⑤トラス型である（図 3-17～21）。

大開口型では左右 450mm が耐力壁に相当するものであり、合計 1P 相当の耐力壁とみなすと、トラスや方杖タイプでは、最大荷重こそ 15.6kN、16.8kN で 1P 合板より大きいものの、剛性が低く壁倍率 1 の耐力壁とみなせる程度である。破壊はいずれも外側の柱の曲げ破壊であることから、外柱を 2 本抱き合わせたり、筋違い構造をいれるなどの工夫が必要であることが示唆された。

一方、合板の片面打ちである標準型では最大荷重で 23.9kN、壁倍率でも 1P 合板の 2 倍の性能を示し、壁倍率で 6.4 が得られている。両面貼りであるプレカット型では最大 37.5kN、壁倍率 7.9 の、金物型も片面貼りながら最大 30kN、1P 壁倍率で 7.64 という高い性能を示した（図 3-27）。耐力壁として性能に違いがあるものの、合板型のものでは 455mm 袖壁でも耐力壁として十分な性能を持つことが確認された。450mm 両袖壁による耐力壁構成は、内部壁に用いた場合、両袖あわせて 900mm 耐力壁と長さは同じだが、壁面での家具程度の壁長にすぎないこともあり、可変性の点ではより優れていると考えられる。

地域型の長期耐用住宅として伝統技術を活かした工法という考えにたち、長ほぞ込み栓差しを基本とした工法さらには、より一般的な現在型在来工法住宅の長期耐用化を図るための大開口型耐力壁の開発を行った。これらは、さらに技術的な改良が必要なこと、また法規的な扱いの点で対応すべき点が今後の課題として残されている。