

令和2年度

**差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の
壁倍率に関する検討
事業報告書**

令和3年3月

**株式会社ドット・コーポレーション
京都大学 生存圏研究所**

事業報告書 目次

第1章 事業内容

1.1 本事業の目的	第1章-1
1.2 実施概要	第1章-1
1.3 実施体制とスケジュール	第1章-2
1.3.1 実施体制	第1章-2
1.3.2 実施スケジュール	第1章-4

第2章 柱の折損にかかわる曲げ強度の検討について

2.1 柱の折損にかかわる曲げ強度の検討の必要性	第2章-1
2.2 柱の折損にかかわる曲げ強度の検討の方針	第2章-3
2.2.1 柱の折損に関わる曲げ強度に関する実験の計画	第2章-3
2.2.2 既往の研究の整理	第2章-4

第3章 製材：柱の曲げ試験

3.1 実験の目的と概要	第3章-1
3.2 試験体	第3章-2
3.2.1 試験材料	第3章-2
3.2.2 事前計測	第3章-2
3.2.3 試験体の調整と振り分け	第3章-7
3.3 製材の曲げ試験	第3章-12
3.3.1 曲げスパン	第3章-12
3.3.2 試験装置	第3章-12
3.3.3 欠点の詳細計測	第3章-12
3.3.4 計測計画	第3章-13
3.3.5 荷重-変位関係	第3章-16
3.3.6 欠点記録と破壊性状	第3章-18
3.3.7 MOR と MOE	第3章-21
3.3.8 MOR 結果のまとめ	第3章-22
3.3.9 MOR の含水率補正	第3章-24
3.3.10 寸法低減の影響	第3章-26
3.3.11 節の管理の影響	第3章-27
3.4 まとめ	第3章-33
3.5 資料：欠点記録	第3章-34

第4章 断面欠損の有無による曲げ強度の相違の確認実験（集成材）	
4.1 試験体	第4章-1
4.1.1 試験概要	第4章-1
4.1.2 各試験体の断面欠損形状	第4章-2
4.1.3 各試験体（実験後）の密度計測結果	第4章-4
4.2 曲げ実験	第4章-5
4.2.1 実験の方法	第4章-5
4.2.2 実験結果	第4章-8
4.2.3 破壊性状の確認	第4章-15
4.3 まとめ	第4章-22
第5章 解析モデルの構築とパラメトリックスタディ	
5.1 解析モデルの目的と概要	第5章-1
5.1.1 解析モデルでの再現対象とする試験体	第5章-2
5.2 解析モデルの構築	第5章-4
5.2.1 解析モデルの概要	第5章-4
5.2.2 解析モデルの詳細	第5章-11
5.2.3 解析結果と実験結果の比較	第5章-17
5.2.4 垂れ壁土壁を考慮した解析モデル	第5章-21
5.3 パラメトリックスタディ	第5章-38
5.3.1 架構およびパラメータ等の設定	第5章-38
5.3.2 解析モデルの各種設定	第5章-40
5.3.3 解析結果	第5章-50
5.4 考察・まとめ	第5章-60
第6章 添付資料	
6.1 委員会議事録	第6章-1
6.2 ワーキンググループ、解析打合議事録	第6章-11

第1章 事業内容

1.1 本事業の目的

伝統的構法による木造建築物については、建築基準法施行令3章3節において規定されている仕様（以下、仕様規定という。）に適合しない部分があることから、地震に対する安全性の確認にあたっては、仕様規定への適合を前提としない限界耐力計算等の構造計算を行わなければならない。そのため、伝統的構法による耐力要素について、仕様規定の整備が求められる。

そこで、本事業では、伝統的構法による木造建築物に用いられる耐震要素のうち、断面の大きい軸材料等を対象として、実験的・解析的検討を行い、仕様規定としての技術基準の提案を行うことを目的とした。

1.2 実施概要

本事業では、伝統的構法による木造建築物に用いられる耐力要素のうち、垂れ壁の軸組に併用もしくは単独で使用される差し鴨居接合部を対象として実験的・解析的検討を行い、仕様規定としての技術基準の検討を行った。

令和元年度に、土壁を持つ差し鴨居構面で(a)接合部曲げ抵抗成分、(b)差し鴨居軸力成分、(c)土壁せん断抵抗成分、(d)柱の曲げ変形成分の重ね合わせが成立することが明らかとなり、構面の技術基準を検討するためのモデルを示すことができた。今年度は、このモデルからパラメトリックスタディー用の簡易モデルを作成し、解析を実施し、壁倍率として加算できる条件の整理および仕様規定として技術基準の提案を行うための検討を行う。

その際、最終的な建物の性能は、柱の折損で決定することから、柱の折損をクライテリアとして進める。また、柱の折損に大きな影響を与える断面欠損については、現状、単純な断面係数しか存在しないことから、この影響を確認するための要素実験を実施する。

1.3 実施体制とスケジュール

1.3.1 実施体制

本事業においては、委員会およびワーキンググループを設置して、以下の有識者で構成した。

○差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討委員会

委員長	五十田 博	京都大学 生存圏研究所 生活圏構造機能分野	教授
委員	河合 直人	工学院大学 建築学部 建築学科	教授
	鈴木 祥之	京都大学	名誉教授
	齋藤 幸雄	齋藤建築構造研究室	代表
	後藤 正美	金沢工業大学 環境・建築学部 建築系建築学科	教授
	大橋 好光	東京都市大学	名誉教授
	腰原 幹雄	東京大学 生産技術研究所 木質構造学	教授
	槌本 敬大	国立研究開発法人建築研究所 材料研究グループ	上席研究員
	山崎 義弘	国立研究開発法人建築研究所 材料研究グループ	主任研究員
協力委員	荒木 康弘	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 基準認証システム研究室	主任研究官
	秋山 信彦	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 評価システム研究室	主任研究官
行政	青木 亮	国土交通省住宅局 建築指導課	課長補佐
	佐々木 雄河	国土交通省住宅局 建築指導課	構造係
事務局	平野 陽子	(株) ドット・コーポレーション	
	山崎 渉	(株) ドット・コーポレーション	
	佐々木留美	(株) ドット・コーポレーション	

第2章 柱の折損にかかわる曲げ強度の検討について

2.1 柱の折損にかかわる曲げ強度の検討の必要性

断面の大きい差し鴨居のある構面または垂れ壁を持つ建物では、当該構面は耐震要素としてカウント可能な場合があることはこれまでの検討で確認できている。しかし、その性能を発揮するためには柱が折れないことが条件となることから、柱の折損がクライテリアとなる。

既往の検討（垂れ壁付き独立柱）におけるパラメトリックスタディーでは柱材の曲げの材料強度を用いてクライテリアを設定しており、また、柱の折損については柱の断面欠損が大きな影響を与えるため、有効断面係数を用いて計算している。有効断面係数は断面欠損の形状等によって正味の断面より求めた係数とする場合とそれに加えて低減係数をかける場合がある。（垂れ壁付き独立柱の検討では、柱：スギ F_b (22N/mm^2)、有効断面係数＝断面係数 $\times 0.7$ （ほぞ差し）としていた。）

ここで、柱材の折損の現実的な破壊とそのクライテリアとして設定する性能値を考える場合、以下の2点を明らかにする必要がある。

1. 製材の材料強度は梁せい150mmの試験体を用いて、曲げスパン2700mmとする3等分点4点曲げ試験を標準試験として算出されているが、実際の構面での柱は差し鴨居接合部を加力点とした3点加力の曲げとなっていることから、相違がある可能性がある。
2. 断面欠損の程度や位置によって断面係数にかける低減係数をどの程度とすべきかの知見は十分ではないことから定めることが難しい。

この点については、これまでの検討においても委員から繰り返し指摘を受けていることもあり、今年度検討対象とすることとした。また、昨年度にはこれらの検討を具体的にを行う際の課題について委員から以下のような指摘・意見を受けている。

①柱の折損は柱の繊維の状況（繊維傾斜等）などの細かいところが影響して破壊状況や実験値が変わってくるので、実験はかなり難しい。

→今回想定している垂れ壁および差し鴨居による柱の曲げ破壊は、前述したとおり局所的な曲げになるので、そこだけを取り出してみると現在決められている基準強度より大きくなる可能性が高い。そこに欠点があれば極端に値が低くなることが考えられるが、伝統構法における断面の大きい差し鴨居が取り付け柱においてそのような状況が生じることは稀なケースと思われる。

②柱の断面欠損の影響を見る実験においては、加力方法をどうするかが難しい。実態に近い状態で行うのか、純曲げに近い状態で行うのかで結果がかなり異なる。

→梁の折損を再現する曲げ実験は3点曲げで行い、加力は差し鴨居を付けて行うことを想定する。

③柱の断面欠損の影響を見る実験においては、データの整理で何を基準とするか、どう評価するかが難しい。「〇%曲げ強度が低下した」という時に、分母に持ってくるのは何になるのか？最も単純なのは分母を曲げ基準強度 F_b として、欠損は現在の断面係数とするということになるのだろうが、 F_b はある程度欠点があることを前提に決まっている数値なので、欠点の無い材で実験をやると余裕があるということになる。
→現段階では具体的なアイデアはないので、引き続き、検討を行う。

今年度の検討においては、上の指摘を踏まえ行うこととした。

2.2 柱の折損に関わる曲げ強度の検討の方針

2.2.1 柱の折損に関わる曲げ強度に関する実験の計画

2.1 を踏まえ、柱の断面欠損を考慮した曲げ耐力（最終的に求めたい曲げ耐力）を $F' \times Ze'$ としたときに、柱の曲げ強度 F' 、断面欠損を考慮した断面係数 Ze' はそれぞれ

$$F' = \alpha \times F$$

$$Ze' = \beta \times Ze$$

ここで、 F ：基準強度

Ze ：有効断面係数

の式から算出されるものとする。ここで、図 2.2.1-1 に示すように、本事業では（1）試験方法による曲げ強度の相違の確認実験（製材）、（2）断面欠損の有無による曲げ強度の相違の確認実験（集成材）から、この α 、 β を求めることとし、第 5 章に示す解析モデルに反映することを目的としている。

（1）試験方法による曲げ強度の相違確認実験（製材）は、差鴨居の軸力を受ける柱の曲げ強度を求めるにあたって、基準強度 F に対する係数 α を求めるための実験であり、実験①、実験②を実施する。実験②は 3 点曲げ試験で、柱と差鴨居の接合位置を想定し、その点を加力する。実験①は実験②で実施するものと同等の材料から基準強度 F を定めるもので、3 等分点 4 点曲げ試験を行う。

（2）断面欠損の有無による曲げ強度の相違の確認実験（集成材）は、 β を求めるための実験であり、実験②、実験③を実施する。実験③は断面欠損のある材料の 3 点曲げ試験で、柱に差鴨居がとりつく位置を想定した点を加力する。実験②は（1）と同じ 3 点曲げ試験で、柱と差鴨居の接合位置を想定し、その点を加力する。これにより断面欠損の有無による耐力差を把握し、有効断面係数 Ze に対する低減係数 β を求めるものとしている。なお、実験②、実験③は同一材料で実施することが重要であるため、図 2.2.1-2 に示すように 1 の試験体で、最初に断面欠損のある部分を加力する実験③を実施し、支持点・加力点を変更し実験②を行うこととした。この実験では、材の調達都合と実験結果のばらつきを抑えるために集成材を用いることとした。また、引張側最外層のラミナにより曲げ強度が決定することや、加力点付近にフィンガージョイントがあるとその部分で曲げ強度が決定することが想定されることから、引張側の最外層は縦継ぎのないラミナにて製造した。

（1）の詳細については第 3 章、（2）の詳細については第 4 章に示す。

また、上記については、2.2.2 に示す既往の研究、ヒアリング等を踏まえた計画としている。

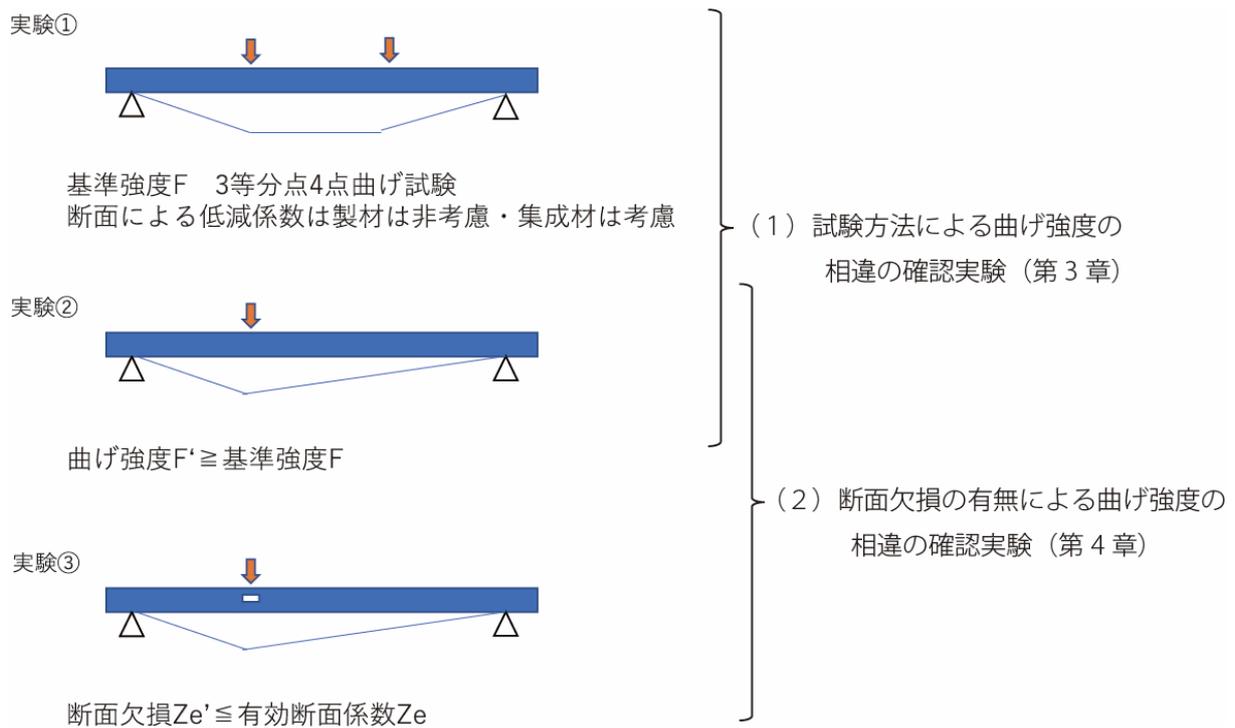


図 2.2.1-1 実験の全体像

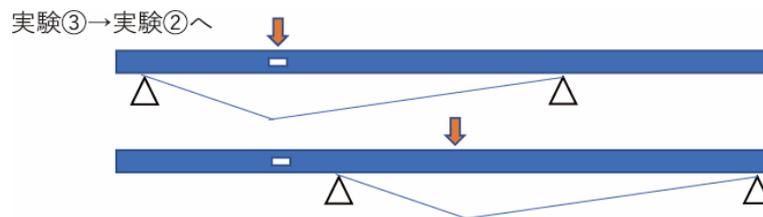


図 2.2.1-2 (2) の実験実施の順番

2.2.2 既往の研究の整理

当該検討にあたって、参考となる既往の研究の収集・確認を行った（表 2.2.2-1）。

表 2.2.2-1 既往の研究（発表順）

NO.	タイトル	著者名	誌名	日付
1	引張側に切欠きを持つ木材梁の曲げ性状に及ぼす切欠き形状の影響 第1報 実験の結果	杉山 英男、大越直子	日本建築学会学術講演梗概集	1995.8
2	引張側に切欠きを持つ木材梁の曲げ性状に及ぼす切欠き形状の影響 第2報 有限要素法解析の結果	大越 直子、杉山英男	日本建築学会学術講演梗概集	1995.8

3	木質構造における断面欠損を有する部材の曲げ性能に関する研究	荘所 直哉、早崎 洋一、大橋 好光	日本建築学会構造系論文集 第74巻 第635号	2009.1
4	伝統的木造住宅の垂れ壁付き構面振動台実験 その7 柱曲げ試験と接合部回転抵抗試験結果	桂川 晋、河合 直人、五十田 博、中川貴文	日本建築学会大会学術講演梗概集	2010.9
5	伝統構法木造建物における柱梁接合部の復元力特性評価に関する実験的研究	横田治貴、多幾山 法子、林 康裕	日本建築学会技術報告集 第21巻 第48号	2015.6
6	大垂壁を有する伝統木造軸組架構の静的加力実験（その4）垂壁付き独立柱の曲げ耐力	加藤 奨 他	日本建築学会大会学術講演梗概集	2015.9
7	スギ製材の曲げ強度に対する寸法効果 材せいと材幅の影響	長尾博文 他	木材学会誌 Vol.60, No.2	2014
8	製材品の曲げ強度における寸法効果パラメータの検討	井道裕史 他	森林総合研究所研究報告 Vol.19-No.1	2020.3
9	Load Configuration Effects According to the Weibull Theory		Timber Engineering	

既往の研究・収集に加え、製材の曲げ試験の違いが得られる値に及ぼす影響や試験方法の妥当性について、専門家として森林総研井道氏にヒアリングを行った。

断面欠損の確認実験のヒントを得るために、上表に示した「木質構造における断面欠損を有する部材の曲げ性能に関する研究（荘所他）」について明石高専荘所氏（本事業 WG 委員）にヒアリングを行った。荘所氏からは該当論文での実験結果に関して追加資料の提供をいただいた。

また、3点曲げ、4点曲げから得られる曲げ強度の違いを統計的に検証した資料(表 2.2.2-1 参考資料 NO.9) について、その内容を整理した。

以下に、ヒアリング、追加資料の整理、参考資料 NO.9 の整理を示す。

(1) 製材柱の曲げ性能についての知見の整理（森林総研井道氏へのヒアリング）

森林総研井道氏へのヒアリング（2020/6/28 実施）と表 2.2.2-1 に示した NO.7、8 の既往の研究により以下の点が整理された。

- ・ 3 等分点 4 点曲げ試験と集中荷重試験（3 点曲げ試験）では、欠点の無い理想的な試験体なら、ほとんど差は無いと考えられる。欠点が最大モーメント部分にある場合は、そこで破壊するので、最大モーメント一定区間がある 3 等分点 4 点曲げ試験の方が強度は低く出がち。ただし、ばらつきは集中荷重試験が大きくなる可能性が高い。したがって、下限値で見ると集中荷重試験が低くなる可能性がある。

- ・ 欠点はスギは小さい節が数多く散らばっているが、ヒノキ、マツだと大きな節が少なめに分布しているといったように、樹種によって異なる。そのため、樹種により3等分点4点曲げ試験と集中荷重試験で得られる曲げ強度の関係は変わってくる可能性がある。
- ・ 断面の違いやスパンの違いの材の強度を予測することは、ヤング係数と強度の相関から予想は可能ではあるが、求める精度は課題。この手法で3等分点4点曲げ試験と集中荷重試験の違いを表現することは難しい。これを行うためには、それぞれ曲げ破壊実験とヤングの計測実験を行い、それぞれでその相関を確認する必要がある。
- ・ 実験にあたって、例えば試験体の材料をE70でそろえたとしても、強度の変動係数は17%ぐらいになってしまう。必要な試験体数は、変動係数の2乗×0.1537で、変動係数が15%とすると35体となる。最低でも30体行えば、3等分点4点曲げ試験と集中荷重試験の差が確認できる可能性がある。
- ・ 試験体材料について、見た目は上小節であっても、節が中に埋もれていることがある。ただし、きちんと枝打ちされた材で、節が埋もれている場合は、それほど影響は無いと思う。また、ある程度断面の大きな材の方が、節が表面に出てくる可能性は低いと思われる。
- ・ 基準強度を使用して試験体の設計をした場合、曲げではなくせん断が設計上クリティカルな要素になると思われる。通常、ブロックせん断試験の結果の1/2を基準強度としているが、今回の柱のせん断については、ブロックせん断試験の結果をそのまま使ってもいいのではないだろうか。そうすると、スギなら 2N/mm^2 ではなく、 6N/mm^2 程度は出る。基準強度を試験結果の1/2としているのは、梁材を想定し、せん断で壊れて上下2本の状態になった後も大丈夫なように考えてのことなので。
- ・ 製材であっても断面寸法の大きさによる低減係数が必要となる可能性がある。NO.8の論文では、せいが180と240の材で、実験結果の下限値を比較すると、2割ぐらい低減する必要があることが示されている（NO.8 fig.4参照）。この実験はスパンがせい×18の3等分点4点曲げ試験の結果。幅の影響はほとんど無いが、スパンの影響はかなり受けるので、注意は必要。

(2) 断面欠損を有する部材の曲げ性能について（荘所ら氏の論文（NO.3）と追加資料）

断面欠損を有する部材の曲げ性能についての既往の研究として、荘所らによる論文（木質構造における断面欠損を有する部材の曲げ性能に関する研究）がある。当該論文の実験は、単純なほぞ孔による断面欠損の場合と、垂れ壁付き独立柱を想定したより現実的な断面欠損形状の場合の2種類が実施され、その結果が示されている。また執筆者である荘所氏には本WGに参加していただき、当時の実験結果について追加資料を提供していただいている。

以下に、荘所氏らの論文（NO.3）で示されている実験の概要と、それら実験に関する追加資料の内容を示す。なお、論文、追加資料中の図表番号は本報告書用に変更している。

(i) ほぞ孔形状の断面欠損を有する部材の曲げ実験

<論文に示されている実験の概要>

試験体、実験方法について下記に示す。なお、枠囲み部分は論文を抜粋したものである。

【試験体】

試験体は、120mm 角、150mm 角、180mm 角の断面を有する欧州アカマツ集成材（同一等級構成集成材、強度等級：E120-F375）とした。各試験体ともに材長は 2200mm とした。今回の実験のパラメータは以下の 3 種類とした。

- I：部材小径（D=120mm、150mm、180mm；3 種類）
- II：断面欠損方向（縦一字、横一字；2 種類）
- III：断面欠損長さ比率（0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5；6 種類）
（断面欠損長さ比率=断面欠損長さ／支点間距離）

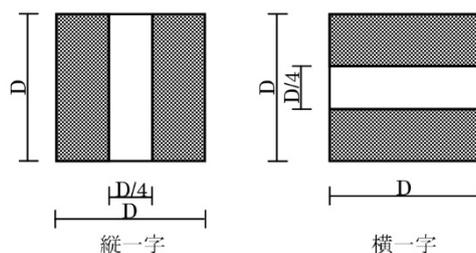


図 2.2.2-1 断面欠損の形状（ハッチ部分が有効断面）

上記で述べた 3 種類のパラメータの組合せで、試験体を作成した。試験体は各試験体種で 3 体とした。180mm 角では断面欠損長さ比率 0.2 および 0.4 を省いたため、試験体種類は全 29 種類で、試験体数は全 87 体である。試験体の一覧を表 1 に示す。

試験体名は「部材小径-T もしくは Y で断面欠損長さ比率」を組み合わせて表記した。ここで、T は縦一字を、Y は横一字の断面欠損方向を意味している。

表 2.2.2-2 試験体一覧（全 87 試験体）

断面欠損方向	断面欠損長さ比率	部材小径		
		120mm	150mm	180mm
なし	0	3 体	3 体	3 体
縦一字 (T)	0.1	3 体	3 体	3 体
	0.2	3 体	3 体	----
	0.3	3 体	3 体	3 体
	0.4	3 体	3 体	----
	0.5	3 体	3 体	3 体
横一字 (Y)	0.1	3 体	3 体	3 体
	0.2	3 体	3 体	----
	0.3	3 体	3 体	3 体
	0.4	3 体	3 体	----
	0.5	3 体	3 体	3 体
試験体数合計		33 体	33 体	21 体

【実験方法】

試験体を曲げ試験装置に単純支持となるように設置して単調载荷した。加力点は支点間距離の中央部分とした。試験体の設置状況と変位計の設置位置を図 2.2.2-2 に示す。加力点局部のめり込みを防ぐために、幅 200mm の鉄板を間に挿入して加力した。また、断面欠

損形状が横一字の試験体には、引張側の下端部まで荷重を伝達するために幅 200mm の埋め木を断面欠損部分に挿入した。手動ポンプのため加力速度は一定ではないが、おおよそ 3~4mm/min.であった。

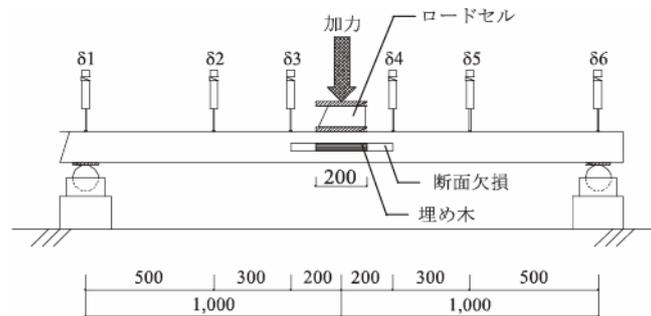


図 2.2.2-2 試験体の設置状況と変位計の設置位置 (δ:変位計)

<追加資料より抜粋 (20200630WG 資料) >

実験で得られた結果について下記に示す。なお、枠囲み部分は追加資料を抜粋したものである。

実験で得られた結果より、母材 (オウシュウアカマツ集成材、同一等級構成集成材、E120-F375) の基準強度 (37.5 N/mm²) と比較する。

実験で得られた最大荷重より、荷重点の曲げモーメントを算出し、その曲げモーメントを断面欠損部分の断面係数で除して最大曲げ応力度を算出した。

$$\sigma_{bi} = \frac{M_{max}}{Z_e}$$

ここで、 σ_{bi} : 最大曲げ応力度
 M_{max} : 最大曲げモーメント
 Z_e : 有効断面係数

なお、有効断面係数 Z_e を表 2.2.2-3 に示す。

表 2.2.2-3 有効断面係数

	柱小径 (mm)	断面係数 (mm ³)	断面係数比 (中実断面との比) (断面欠損率)
T 試験体 (縦方向欠損)	120	2.16×10 ⁵	0.75 (25%)
	150	4.22×10 ⁵	
	180	7.29×10 ⁵	
Y 試験体 (横方向欠損)	120	2.84×10 ⁵	0.984 (1.6%)
	150	5.54×10 ⁵	
	180	9.57×10 ⁵	

図 2.2.2-3~5、表 2.2.2-4~6 に試験体種類ごとの最大曲げ応力度の結果を示す。図中には母材の基準強度も示している。なお、試験体名は「部材小径-T もしくは Y で断面欠損

長さ比率」を組み合わせせて表記している。

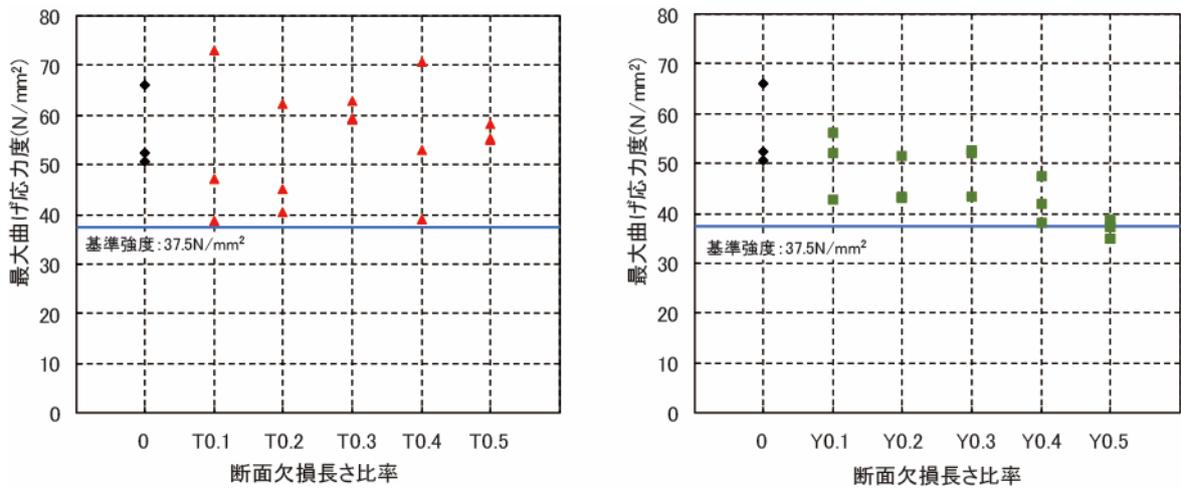


図 2.2.2-3 柱小径 120mm 試験体の最大曲げ応力度
(左図：縦方向欠損 (T)、右図：横方向欠損 (Y))

表 2.2.2-4 最大曲げ応力度の結果の一覧

試験体名		最大曲げ応力度 (N/mm ²)	試験体名		最大曲げ応力度 (N/mm ²)
120-0	①	65.94	120-0	①	65.94
	②	50.62		②	50.62
	③	52.44		③	52.44
120-T0.1	①	73.03	120-Y0.1	①	42.72
	②	47.08		②	56.18
	③	38.77		③	52.22
120-T0.2	①	44.99	120-Y0.2	①	43.52
	②	62.29		②	43.24
	③	40.50		③	51.42
120-T0.3	①	59.52	120-Y0.3	①	43.52
	②	59.18		②	52.73
	③	62.99		③	52.22
120-T0.4	①	39.11	120-Y0.4	①	47.46
	②	70.60		②	41.92
	③	52.96		③	38.24
120-T0.5	①	55.37	120-Y0.5	①	35.08
	②	58.14		②	37.19
	③	55.03		③	38.76

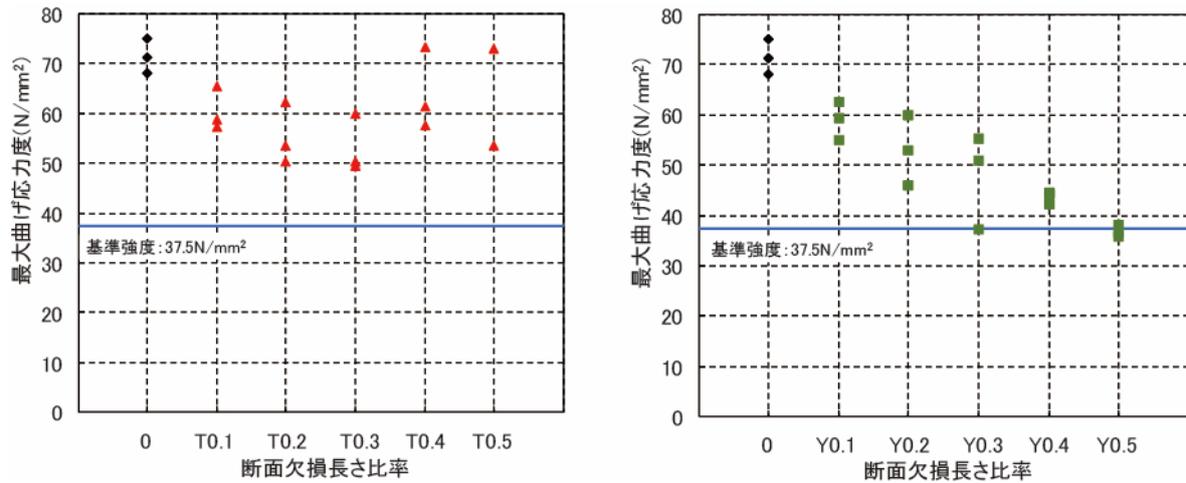


図 2.2.2-4 柱小径 150mm 試験体の最大曲げ応力度
(左図：縦方向欠損 (T)、右図：横方向欠損 (Y))

表 2.2.2-5 柱小径 150mm 試験体の最大曲げ応力度の結果の一覧

試験体名		最大曲げ応力度 (N/mm ²)	試験体名		最大曲げ応力度 (N/mm ²)
150-0	①	58.83	150-0	①	71.37
	②	57.23		②	74.96
	③	65.56		③	68.18
150-T0.1	①	50.50	150-Y0.1	①	59.28
	②	62.38		②	55.09
	③	53.51		③	62.51
150-T0.2	①	59.90	150-Y0.2	①	45.91
	②	49.62		②	53.06
	③	50.50		③	59.94
150-T0.3	①	61.50	150-Y0.3	①	37.40
	②	57.76		②	55.36
	③	73.19		③	51.03
150-T0.4	①	80.28	150-Y0.4	①	44.69
	②	53.70		②	42.26
	③	73.01		③	44.15
150-T0.5	①	58.83	150-Y0.5	①	36.72
	②	57.23		②	35.92
	③	65.56		③	38.21

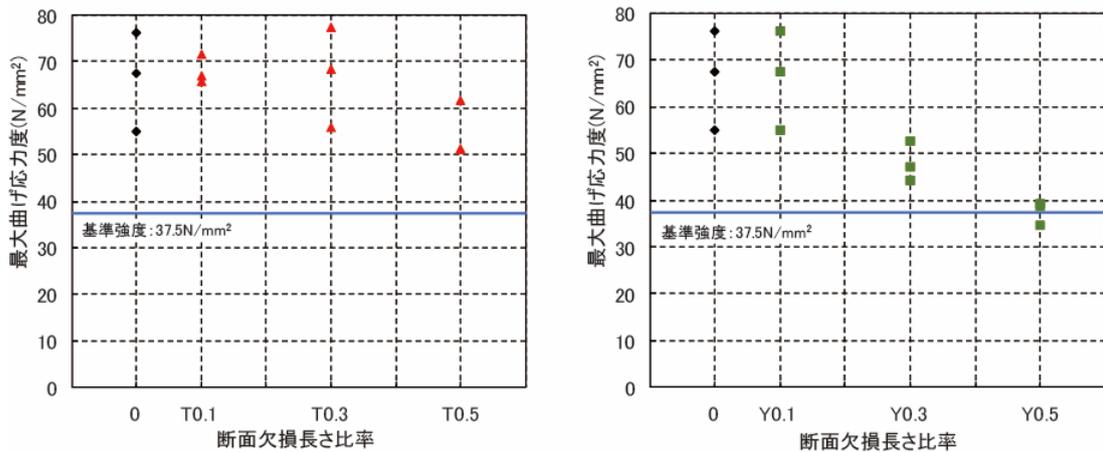


図 2.2.2-5 柱小径 180mm 試験体の最大曲げ応力度
(左図：縦方向欠損 (T)、右図：横方向欠損 (Y))

表 2.2.2-6 柱小径 180mm 試験体の最大曲げ応力度の結果の一覧

試験体名		最大曲げ応力度 (N/mm ²)	試験体名		最大曲げ応力度 (N/mm ²)
180-0	①	55.07	180-0	①	55.07
	②	76.30		②	76.30
	③	67.38		③	67.38
180-T0.1	①	71.68	180-Y0.1	①	61.65
	②	66.86		②	58.60
	③	65.73		③	63.68
180-T0.3	①	68.30	180-Y0.3	①	44.23
	②	77.52		②	52.74
	③	55.79		③	47.12
180-T0.5	①	51.38	180-Y0.5	①	34.61
	②	51.38		②	39.30
	③	61.73		③	38.75

- ・ 実験結果の最大曲げ応力度が基準強度より低い結果があった。現実的に生じる可能性がある断面欠損長さ 0.1 や 0.2 の試験体（試験体名 ○-T0.1、○-T0.2）では基準強度より低い結果は確認できない。
- ・ 柱小径が小さい試験体の方が最大曲げ応力度のばらつきが大きい傾向にある。
- ・ 断面欠損が横方向の試験体（試験体名 ○-Y○）は断面欠損率が 1.6%と小さいが、最大曲げ応力度に与える影響は大きい。断面欠損が横方向の試験体は断面欠損位置での回転量（たわみ角）が大きいと考えられる。

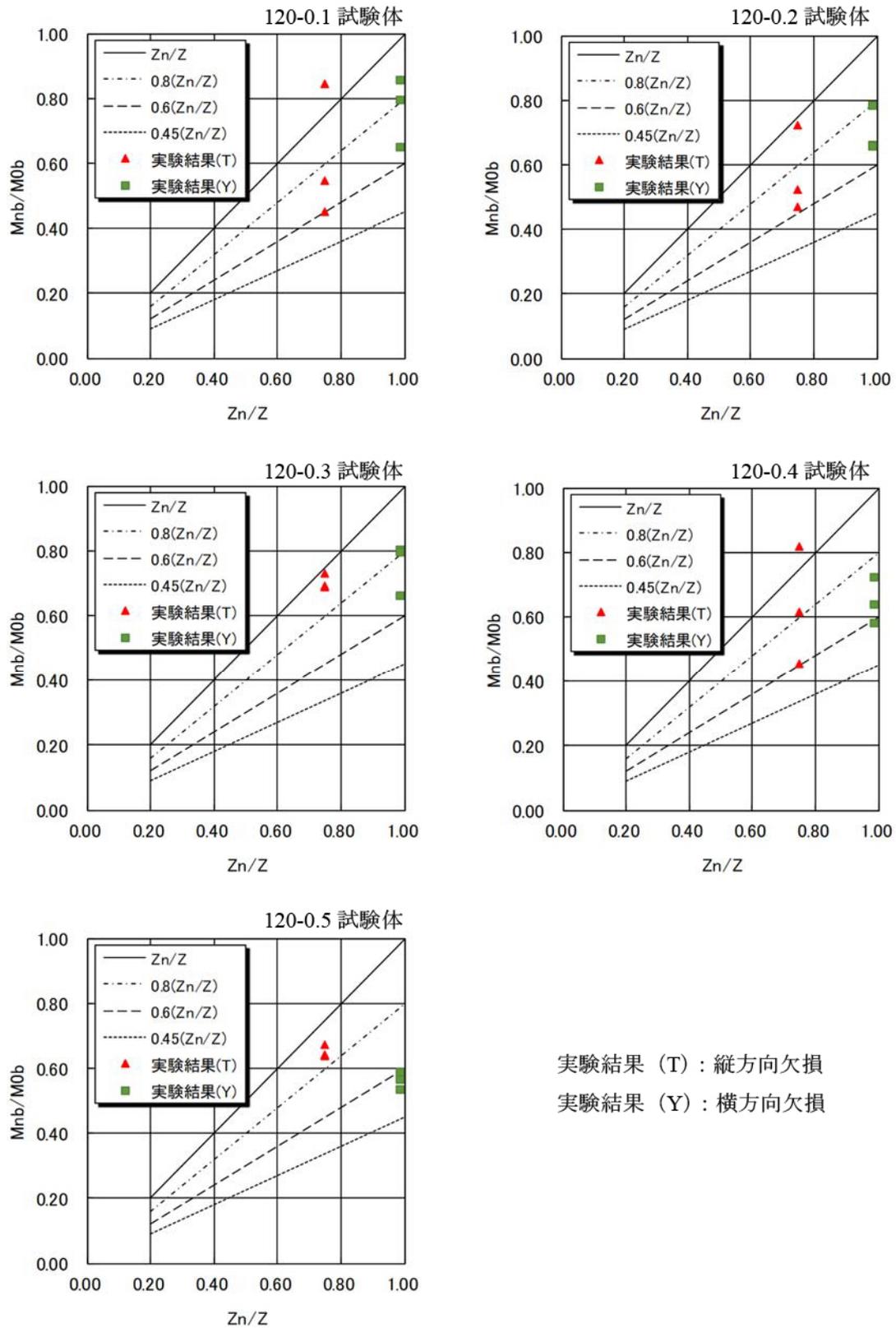
図 2.2.2-6～図 2.2.2-8 に試験体種類ごとの結果を示す。ここで、

M_{nb} ：断面欠損がある試験体の最大曲げモーメント

M_{0b} ：断面欠損がなかった場合の最大曲げモーメント

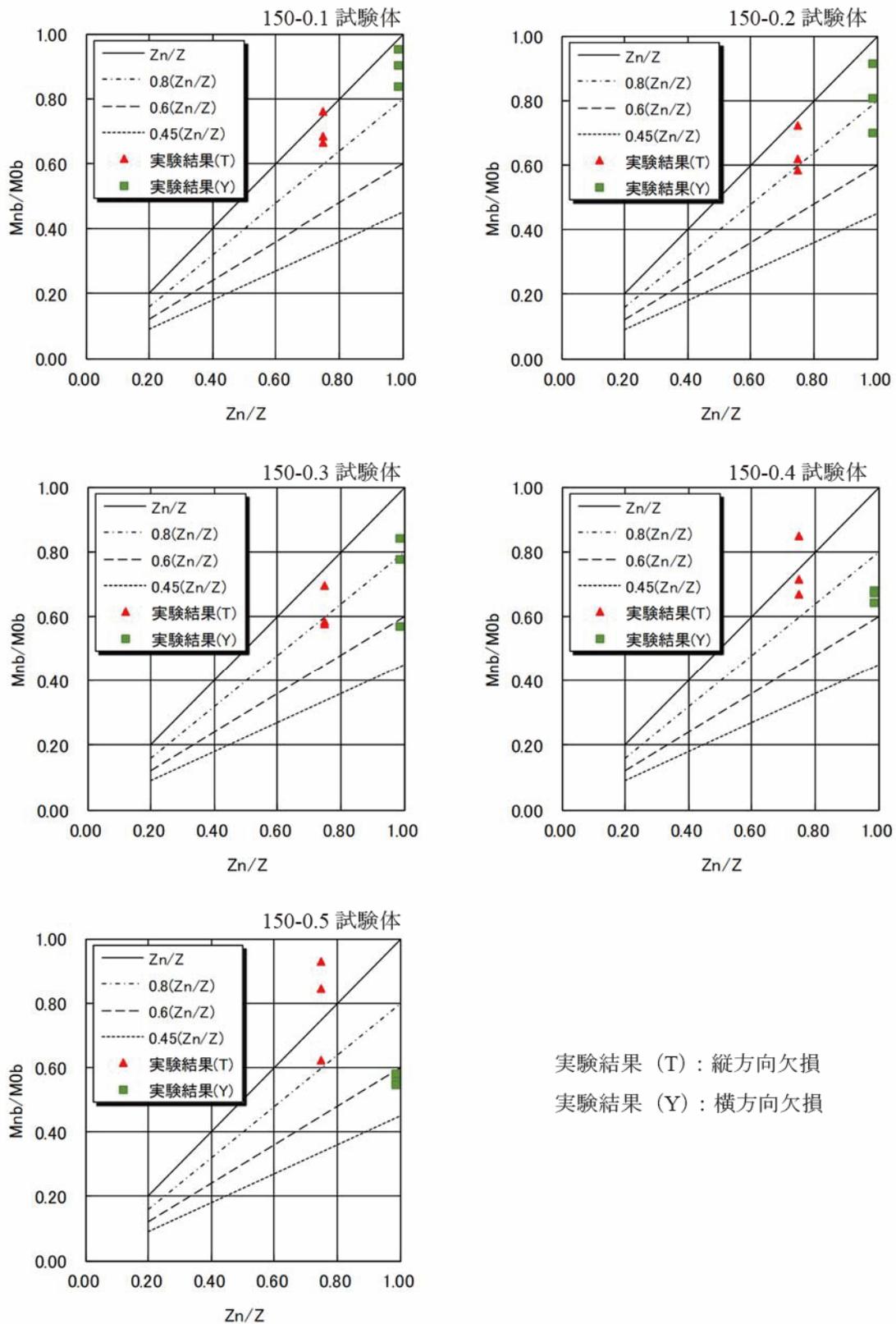
Z_n : 断面欠損部分がある正味の断面係数

Z : 断面欠損のない場合（中実断面）の断面係数



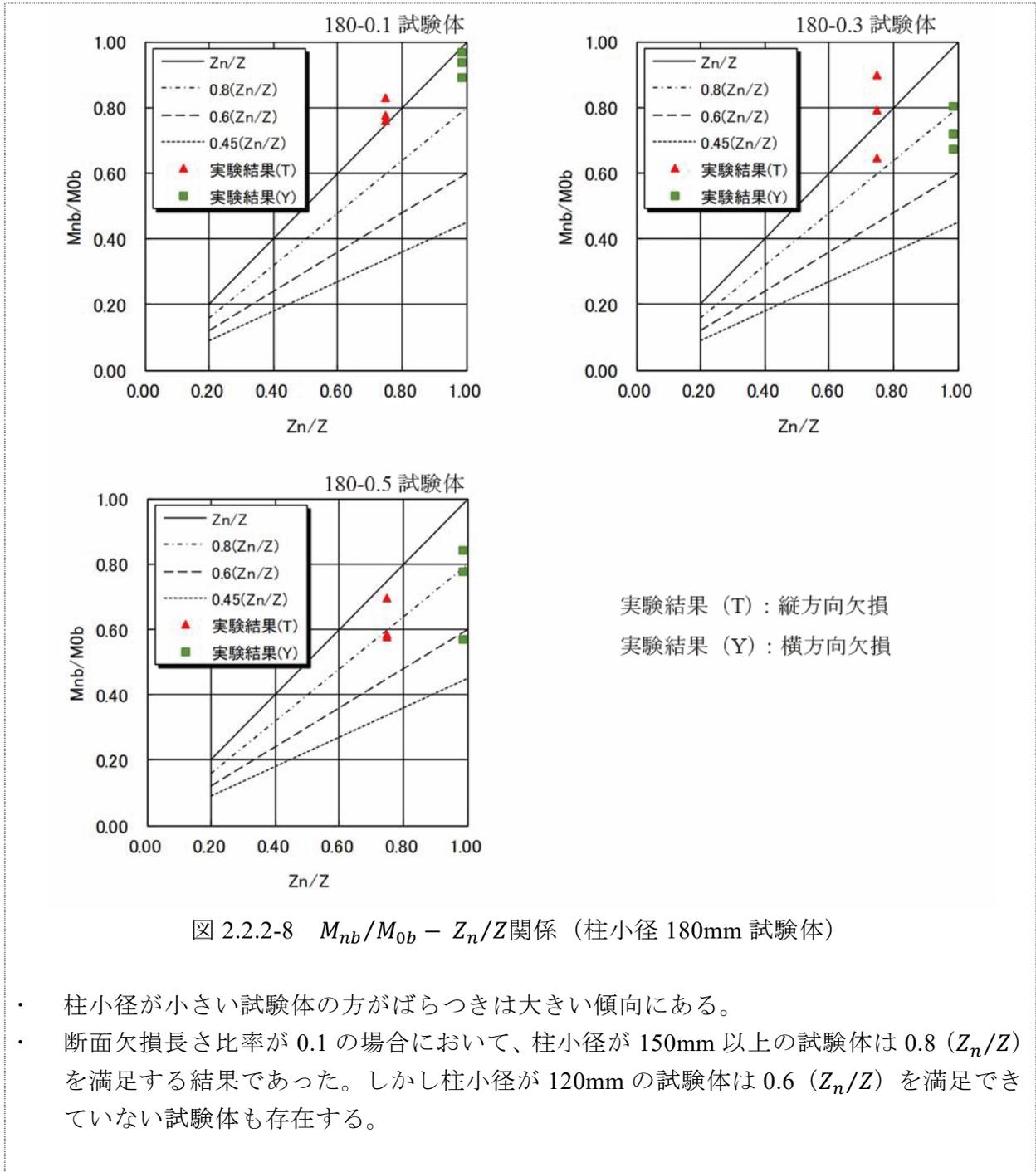
実験結果 (T) : 縦方向欠損
 実験結果 (Y) : 横方向欠損

図 2.2.2-6 $M_{nb}/M_{0b} - Z_n/Z$ 関係 (柱小径 120mm 試験体)



実験結果 (T) : 縦方向欠損
 実験結果 (Y) : 横方向欠損

図 2.2.2-7 $M_{nb}/M_{0b} - Z_n/Z$ 関係 (柱小径 150mm 試験体)



(ii) 垂れ壁付きの独立柱を想定した曲げ実験

<論文に示されている実験の概要>

試験体、実験方法について下記に示す。なお、枠囲み部分は論文を抜粋したものである。

【試験体】

試験体は柱—差鴨居接合部を想定した断面欠損を、材長 3000mm の試験体のおよそ 1 : 2.5 (材長方向に) の位置に施した。試験体は柱小径、材種、差鴨居せいを考慮した 10 種類とし、各 3 体用意した。試験体一覧を表 2.2.2-7 に示す。材種はヒノキ集成材 (同一等級構成集成材、強度同級 : E85-F300) およびスギ集成材 (同一等級構成集成材、強度等級 :

E65-F255) を用いた。

試験体名は「材種 (H または S) 一柱小径」を組み合わせで表記した。ここで、H はヒノキ集成材を、S はスギ集成材を意味する。

試験体の断面欠損形状を、図 2.2.2-9 に示す。断面欠損は、3 方向から差鴨居を差込むことを想定した形状とした。

表 2.2.2-7 試験体一覧

試験体名	材種	柱小径 (mm)	鴨居せい (mm)	強度等級
H-120	ヒノキ 集成材	120	300	E85-F300
H-135		135		
H-150		150		
H-180		180		
H-210		210		
S-120	スギ 集成材	120	300	E65-F255
S-135		135		
S-150		150		
S-180		180		
S-210		210		

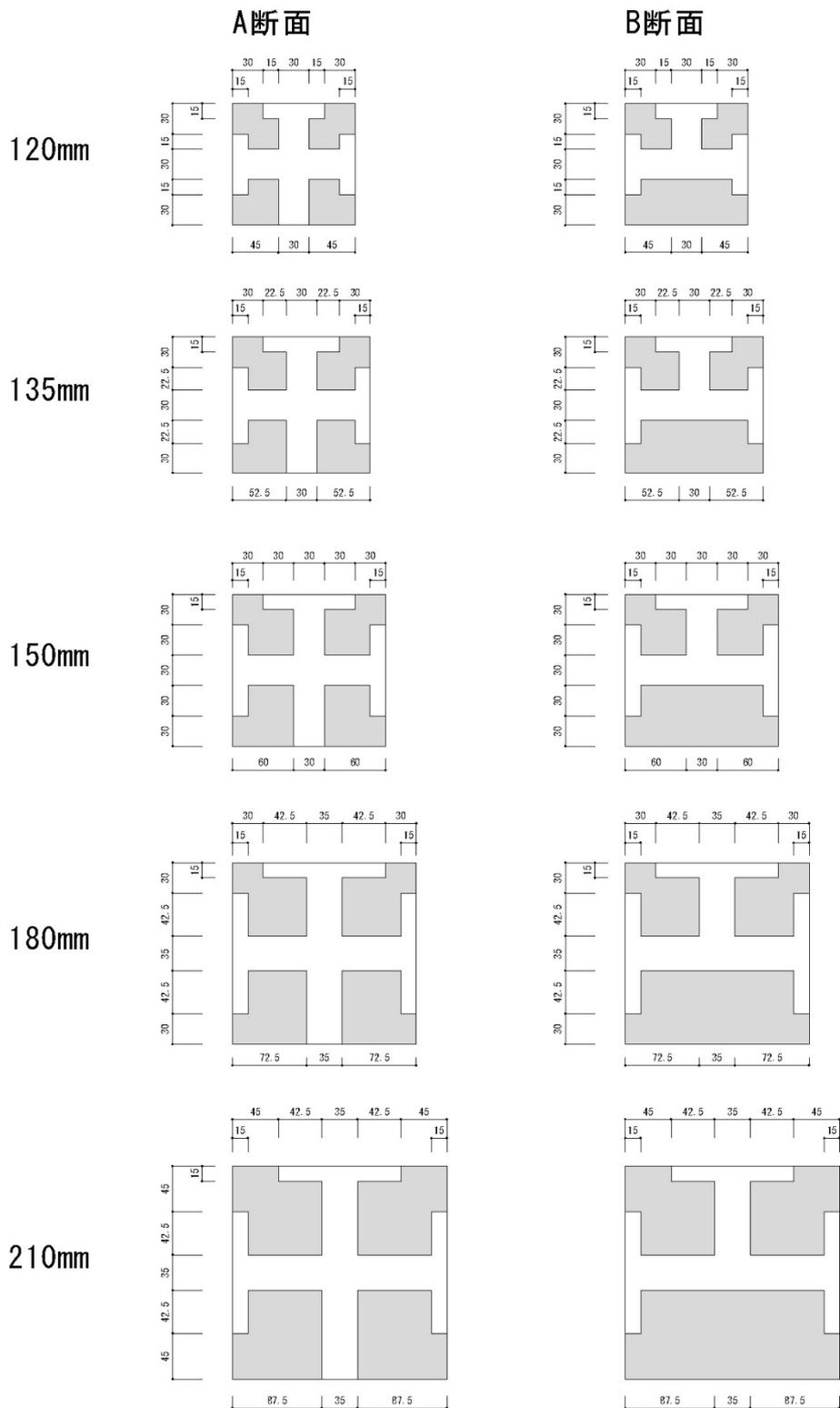


図 2.2.2-9 断面欠損形状 (左 : A 断面、右 : B 断面)
(加力は鉛直方向)

【実験方法】

曲げ試験装置に試験体を単純支持となるように設置して単調載荷した。柱の一方方向のみに差鴨居を差し込み、その端部から加力した。試験体の設置位置と加力方法を図 2.2.2-10 に示す。図中の括弧は柱小径が 180、210mm の場合を意味する。加力速度は 4mm/min. である。変位計の設置位置は支点到 1 箇所ずつ、差鴨居端部から 50mm の柱頭側、柱脚側にそれぞれ 2 箇所（材幅方向に 1 箇所ずつ）と柱脚側変位計と柱脚側支点の変位計の間に 1 箇所の計 7 箇所とした。

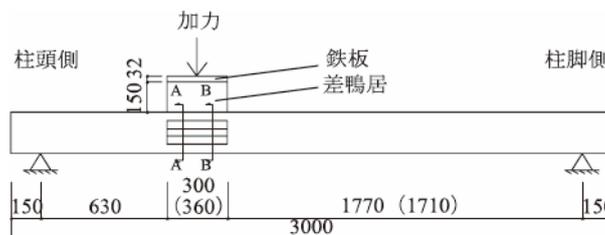


図 2.2.2-10 試験体の設置位置と加力方法

< 追加資料より抜粋（20200630WG 資料） >

実験で得られた結果について下記に示す。なお、枠囲み部分は追加資料を抜粋したものである。

差鴨居を想定した断面欠損を有する部材の曲げ実験で得られた結果から算出された最大曲げ応力度と母材の基準強度と比較する。

実験で得られた最大荷重より、荷重点の曲げモーメントを算出する。その曲げモーメントを断面欠損部分の断面係数で除して最大曲げ応力度を算出した。曲げ実験の加力位置等の詳細は論文の図 2.2.2-10 を参照のこと。

$$\sigma_{bi} = \frac{M_{max}}{Z_e}$$

ここで、 σ_{bi} : 最大曲げ応力度
 M_{max} : 最大曲げモーメント
 Z_e : 有効断面係数

試験体に用いた母材は以下の 2 種類である。

H シリーズ：ヒノキ集成材、同一等級構成集成材、E85-F300、基準強度 ($\sigma_b=30.0\text{N/mm}^2$)

S シリーズ：スギ集成材、同一等級構成集成材、E65-F255、基準強度 ($\sigma_b=25.5\text{N/mm}^2$)

なお、有効断面係数 Z_e を表 2.2.2-8 に示す。

表 2.2.2-8 断面欠損部分の断面係数（図心中央と仮定）

柱小径 (mm)	A断面		B断面	
	断面係数 (mm ³)	断面係数比 (中実断面との比)	断面係数 (mm ³)	断面係数比 (中実断面との比)
120	1.84×10 ⁵	0.639	2.19×10 ⁵	0.762
135	2.65×10 ⁵	0.645	3.10×10 ⁵	0.755
150	3.68×10 ⁵	0.654	4.24×10 ⁵	0.754
180	6.34×10 ⁵	0.652	7.28×10 ⁵	0.749
210	1.12×10 ⁶	0.729	1.25×10 ⁶	0.811

図 2.2.2-11 および図 2.2.2-12 に母材種類ごとに算出された最大曲げ応力度の結果を示す。図中には母材の基準強度も示している。

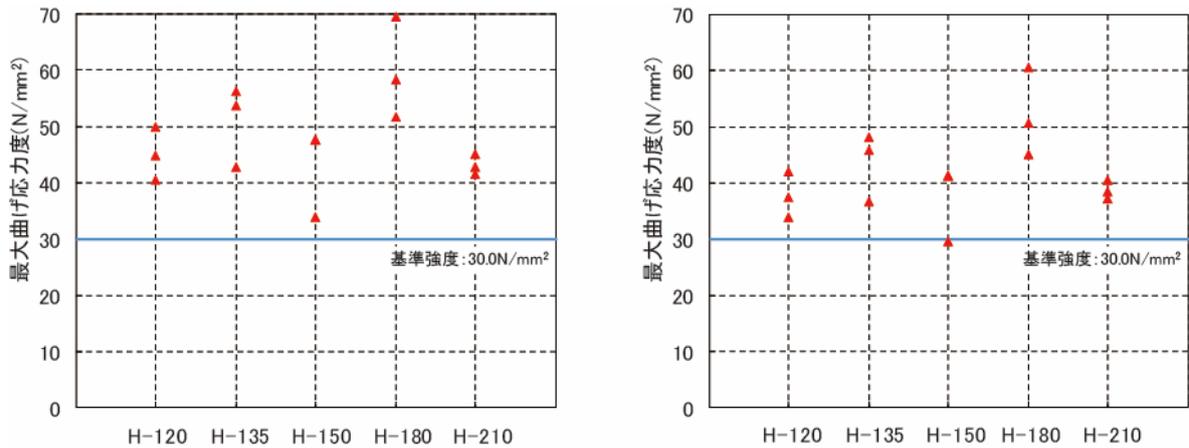


図 2.2.2-11 H シリーズ試験体の最大曲げ応力度（左図：A 断面検討、右図：B 断面検討）

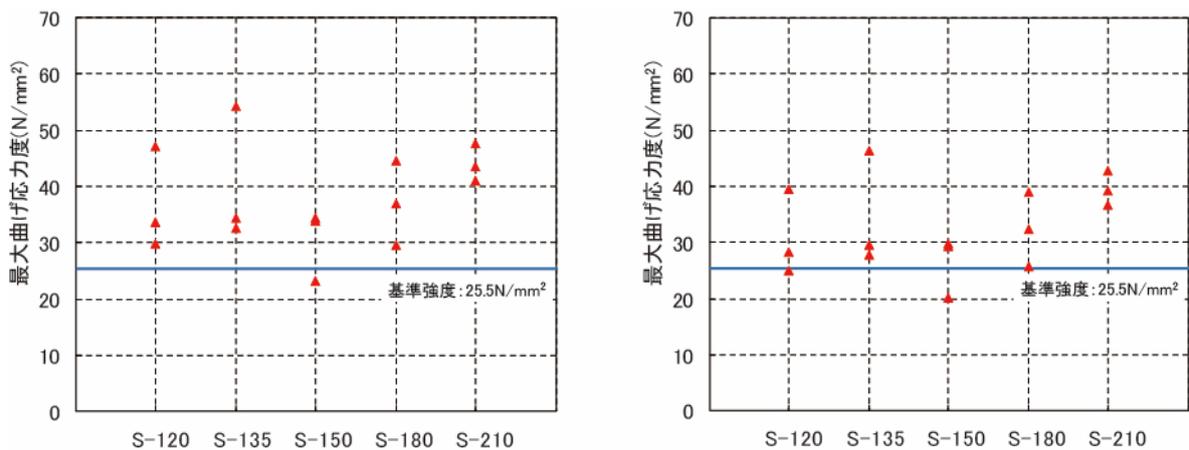


図 2.2.2-12 S シリーズ試験体の最大曲げ応力度（左図：A 断面検討、右図：B 断面検討）

- ・ 実験結果の最大曲げ応力度が基準強度より低い結果がある。
- ・ 柱の断面寸法によるばらつきの程度や最大曲げ応力度の傾向は確認できない。

差鴨居を想定した断面欠損を有する部材の曲げ実験で得られた結果から算出された最大せん断応力度と母材の基準強度と比較する。

実験で得られた最大荷重より、荷重点（柱頭側）のせん断応力を算出する。そのせん断応力を断面欠損部分の断面積で除して最大せん断応力度を算出した。なお、せん断応力度を算出する形状係数 k は長方形断面と同様の 1.5 とした。

$$\tau_{max} = \frac{Q_{max}}{A_e}$$

ここで、 τ_{max} : 最大せん断応力度
 Q_{max} : 最大せん断応力（柱頭側）
 A_e : 有効断面積

試験体に用いた母材は以下の 2 種類である。

H シリーズ：ヒノキ集成材、同一等級構成集成材、E85-F300、基準強度（ $F_s=3.6\text{N/mm}^2$ 、積層方向）

S シリーズ：スギ集成材、同一等級構成集成材、E65-F255、基準強度（ $F_s=2.7\text{N/mm}^2$ 、積層方向）

なお、有効断面積 A_e を表 2.2.2-9 に示す。

表 2.2.2-9 断面欠損部分の有効断面積

柱小径 (mm)	A 断面（柱頭側）		B 断面（柱脚側）	
	有効断面積 (mm^2)	断面積比 (中実断面との比)	有効断面積 (mm^2)	断面積比 (中実断面との比)
120	6.75×10^3	0.469 (1.44×10^4)	8.10×10^3	0.469 (1.44×10^4)
135	9.00×10^3	0.494 (1.82×10^4)	10.6×10^3	0.494 (1.82×10^4)
150	11.7×10^3	0.520 (2.25×10^4)	13.5×10^3	0.520 (2.25×10^4)
180	17.2×10^3	0.531 (3.24×10^4)	19.7×10^3	0.531 (3.24×10^4)
210	26.8×10^3	0.608 (4.41×10^4)	29.8×10^3	0.608 (4.41×10^4)

図 2.2.2-13 および図 2.2.2-14 に母材種類ごとに算出された最大せん断応力度の結果を示す。図中には母材の基準強度も示している。

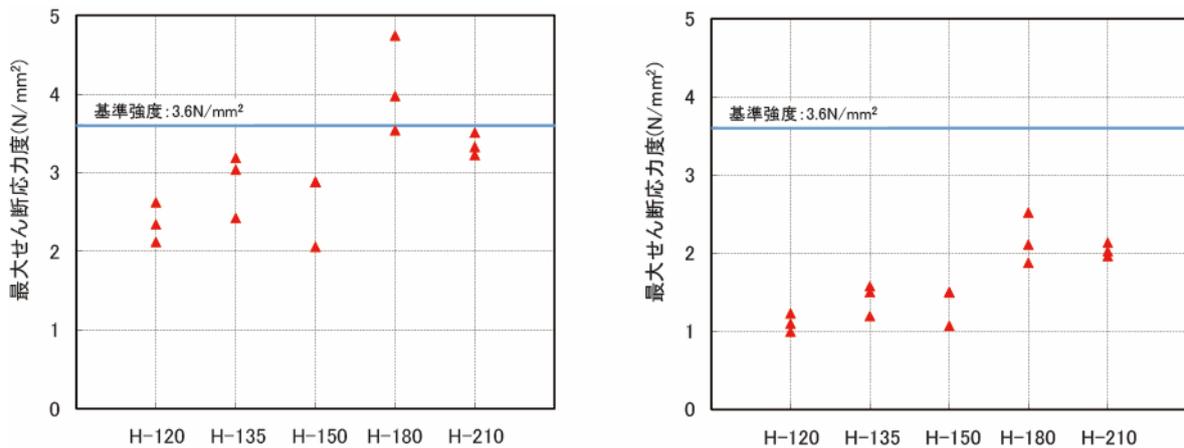


図 2.2.2-13 H シリーズ試験体の最大せん断応力度
(左図：A 断面で検討、右図：中実断面で検討)

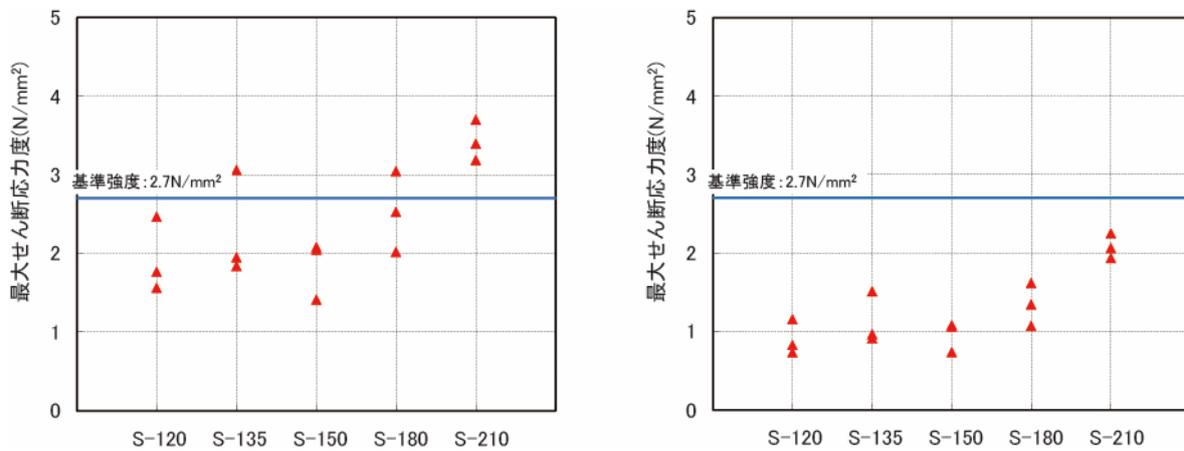


図 2.2.2-14 S シリーズ試験体の最大せん断応力度
(左図：A 断面で検討、右図：中実断面で検討)

- ・ 有効断面積で検討した場合、最大荷重時に部材のせん断基準強度を超えている試験体がある。応力度の検討において、せん断で決まる場合があるので注意が必要である（特に部材断面が 180mm 角以上の試験体で多く確認できる）。
- ・ 今回の試験体は加力方向が集成材の積層方向であったため、せん断基準強度が大きい方で検討できた。しかし、加力方向が幅方向の場合、せん断基準強度がさらに低いため注意が必要である。

ヒノキ集成材、同一等級構成集成材、E85-F300

基準強度 ($F_s=3.6\text{N/mm}^2$ (積層方向)、 $F_s=3.6\text{N/mm}^2$ (幅方向))

スギ集成材、同一等級構成集成材、E65-F255

基準強度 ($F_s=2.7\text{N/mm}^2$ (積層方向)、 $F_s=2.1\text{N/mm}^2$ (幅方向))

(3) 3点曲げ、4点曲げから得られる曲げ強度の違いを統計的に検証した資料について
 表 2.2.2-1 に示した参考資料 NO.9 Load Configuration Effects According to the Weibull
 Theory の内容について以下に示す。

この資料では、図 2.2.2-15 に示す荷重・支持条件の異なる 7 種類の梁について、ワイブル分布の累積分布関数を用いて破壊強度を比較した結果が示されており、表 2.2.2-10 にまとめられている。表 2.2.2-10 の No2 as base の列を見ると、荷重・支持条件②（4点曲げ）に対する④（3点曲げ）の比が 1.217 という結果が示されている。

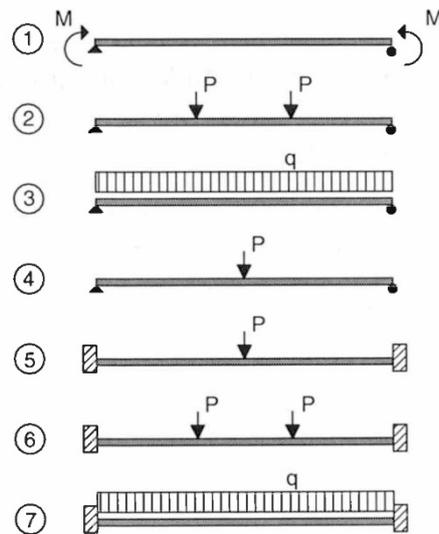


図 2.2.2-15 荷重・支持条件の異なる 7 種類の梁

表 2.2.2-10 7 種類の梁（図 2.2.2-15）のパラメータ λ と応力の比率

Load Case (LC) according to Figure 4.14	Fullness parameter λ	Load configuration factors ($k = 0.2$)	
		No 1 as base	No 2 as base
1	1	1	0.850
2	$\frac{(3k+1)}{3(k+1)}$	1.176	1
3	$\frac{(k^3 + 0.345k^2 - 0.027k + 0.0013)}{k^2(k+1)}$	1.221	1.038
4	$\frac{k}{(k+1)}$	1.431	1.217
5	$\frac{k}{(k+1)}$	1.431	1.217
6	$\frac{4}{9(k+1)} + \frac{2}{9(k+1)} \left(\frac{1}{2}\right)^{1/k} + \frac{1}{3} \left(\frac{1}{2}\right)^{1/k}$	1.635	1.390
7	for $k = 0.2 \lambda^5 = 0.58$ for $k = 0.125 \lambda^8 = 0.67$	1.724	1.466

第3章 製材：柱の曲げ試験

3.1 実験の目的と概要

伝統構法の差鴨居構面などに用いられる柱材は、もともと良材が選択されることが多い。うえ、仕口付近に欠点が少ないように大工による選別が行われていると考えられる。また差鴨居構面の柱の曲げ条件は差鴨居端部圧縮力による集中荷重曲げであるため、破壊荷重は仕口近辺の材質にのみ大きく依存する。一方で木材の設計基準強度は材面全体の欠点の影響を広く含むように設定されている。すなわち、最大曲げモーメント部位における欠点の存在確率が、基準強度設定条件>伝統構法差鴨居構面柱となるため、差鴨居端部の木材の曲げ破壊強度は基準強度の条件に比べて平均的には高い値を示す可能性がある。一方で、ばらつきを考慮すると上記のようにはならない可能性もある。本章では、これを実験と統計的解析により証明することを目的とする。

すなわち、差鴨居構面の柱の曲げ耐力算定を次式のように行うものとし、本章ではこの変換係数 α に関する検討を行う。

$$F' \times Ze'$$

$$F' = \alpha \times F, Ze' = \beta \times Ze$$

F：基準強度（4点曲げ試験によって定められる）

α ：4点曲げ→3点曲げ条件における変換係数

β ：仕口加工に伴う断面欠損による低減係数

このため、製材柱を4点曲げ条件（実験①）と3点曲げ条件（実験②）に分け、それぞれのグループの条件（ヤング、節）が同一となるように調整された試験体において、曲げ強度を比較することにより、 α を定める。

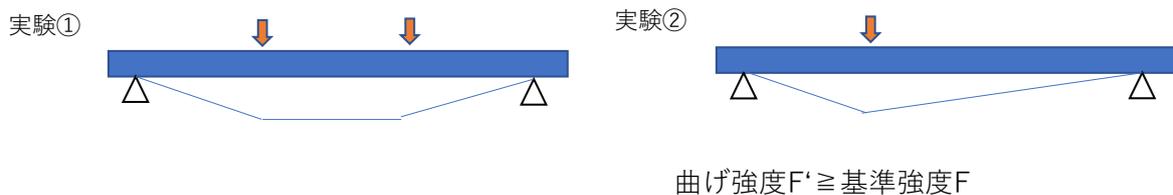


図 3.1-1 実験条件とモーメント分布模式図

本実験を進める上でのポイントは、下記の通り。

- ・ 実験①では加力点区間に含まれる欠点により、最弱値として強度が定まる。
- ・ 実験②では、欠点が加力点近傍に無い場合、強度への影響が小さい。近傍に存在しても、モーメントが小さいため、見かけの曲げ強度の平均値は実験①と比べて向上する。
- ・ 一方で、仕口付近の欠点の有無で大きなばらつきを有する可能性が高い。このため、下限強度は実験①と比べても小さくなる可能性がある。

- ・ 欠点の少ない材料を用い、節が加力点に来ないように条件に限定するとばらつきが小さく、下限強度も向上する可能性がある。

3.2 試験体

3.2.1 試験材料

試験材料として、木造建築の柱材として一般的に用いられるスギ・ヒノキの製材を用いた。また断面寸法は独立柱として十分な曲げ剛性・耐力を有していることを期待して、150mm 角と 180mm 角とした。伝統構法柱に用いる材として、通常より欠点が少ない良質なものを前提とし、背割り入りの乾燥材が必要数量手に入る産地として、奈良県吉野産の材料を調達した。グレーディングによる調整は行わないこととし、一般的な製材のばらつき係数を仮定し、統計値の信頼性を満たす数量として、1 条件 16 体の試験体を用意することとした。実際の発注においては、調達可能な範囲で欠点の少ないものとしたため、ヒノキ製材は全数上小節の節の少ないもの、スギ製材は欠点の状況にある程度幅を持たせ 1 等材から上小節材のものとなった。表 3.2.1-1 に各試験条件と数量を示す。

表 3.2.1-1 各試験条件と数量

樹種	断面 (mm)	長さ (mm)	背割り	本数	等級
スギ	150x150	3000	有	32 本 (3 点曲げ 16 本、4 点曲げ 16 本)	1 等～上小節
	180x180	4000	有	32 本 (3 点曲げ 16 本、4 点曲げ 16 本)	1 等～上小節
ヒノキ	150x150	3000	有	32 本 (3 点曲げ 16 本、4 点曲げ 16 本)	上小節
	180x180	4000	有	32 本 (3 点曲げ 16 本、4 点曲げ 16 本)	上小節

3.2.2 事前計測

(1) 計測項目

背割りを施し、人工乾燥（低温除湿乾燥）を行った材料について、仕上げ製材を行う前に事前計測を行った。計測項目は下記の通り。計測の様子を写真 3.2.2-1 に示す。

1. 4 面写真撮影
2. 含水率（高周波式×3 か所）、重量、寸法
3. 縦振動法およびたわみ振動法によるヤング係数



写真 3.2.2-1 計測の様子

(2) 試験体現場写真

試験体は背割りを有するが、背割りは最も欠点の多い面に入れられるため、節率は面 3 が最大となる可能性が高い。このため曲げ試験時には加力時に背割りのある面（面 3）を下部に配置する。写真 3.2.2-2～3.2.2-5 に各条件の材料における面 3 の現場計測写真を示す。スギはやや欠点が多いものが含まれ、ヒノキはほぼ無欠点の材料であった。面 3 の節の状況を元に、A（無欠点）～D（欠点大）のランク付けを行い、3.2.3 で後述する試験体の振り分けに用いた。

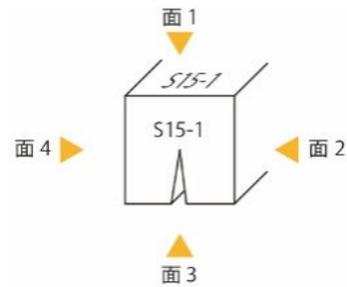
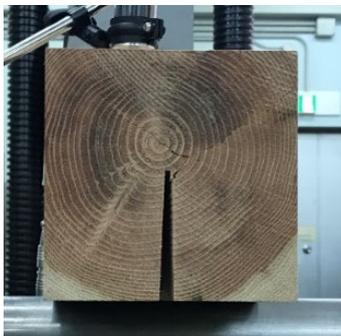


図 3.2.2-1 試験体の面の定義と背割り



a) S15_1-8_面 3



b) S15_9-16_面 3



c) S15_17-24_面 3



d) S15_25-32_面 3

写真 3.2.2-2 面 3 の節の様子 (スギ 150 角)



a) S18_1-8_面 3



b) S18_9-16_面 3



c) S18_17-24_面 3



d) S18_25-32_面 3

写真 3.2.2-3 面 3 の節の様子 (スギ 180 角)



a) H15_1-8_面3



b) H15_9-16_面3



c) H15_17-24_面3



d) H15_25-32_面3

写真 3.2.2-4 面3 の節の様子 (ヒノキ 150 角)



a) H18_1-8_面3



b) H18_9-16_面3



c) H18_17-24_面3



d) H18_25-32_面3

写真 3.2.2-5 面3 の節の様子 (ヒノキ 180 角)

(3) 振動計測方法

「構造用木材の強度試験マニュアル」を参照して行った、ヤング係数測定用の振動試験方法を下記に示す。

1. 試験体をたわみ振動用スパンでスポンジ状に支持し、ハンマーで木口及び中央部をタッピング（図 3.2.2-1）。
2. USB マイクで音響を PC に取り込み、1 次周期同定用 FFT ソフト wavespectra を用いて高速フーリエ変換を行い、1 次固有周期を目視で決定。
3. 得られた 1 次固有周期を用いて、下記の式に当てはめてヤング係数を算出

$$E_{fr} = (2fl)^2 \rho \quad E_{fr} : \text{縦振動ヤング係数、} \rho : \text{密度(kg/m}^3\text{)、} f : \text{1 次固有周期(Hz)}$$

$$E_{afb} = \left(\frac{2\pi fl^2}{i m^2} \right)^2 \rho \quad E_{afb} : \text{縦振動ヤング係数、} \rho : \text{密度(kg/m}^3\text{)、} f : \text{1 次固有周期(Hz)}$$

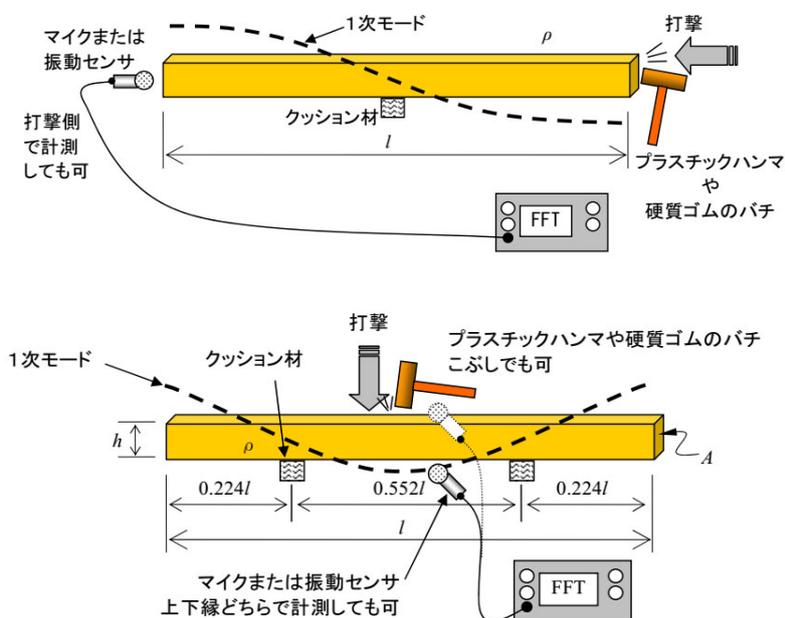


図 3.2.2-1 縦振動、たわみ振動測定（構造用木材の強度試験マニュアル参照）

(4) ヤング係数計測結果

表 3.2.2-1 に試験体ヤング係数の事前計測結果を示す。 E_{afb} の平均値は、スギ 150 角：9326N/mm²、スギ 180 角：8685N/mm²、ヒノキ 150 角：11387N/mm²、ヒノキ 180 角：11374N/mm²、であった。今回の供試体は、製材の基準弾性係数（スギ：7000 N/mm²、ヒノキ：9000 N/mm²）に比べてやや高い数値を持つものであったと言える。

表 3.2.2-1 ヤング係数事前計測値

	たわみ振動ヤング係数 E_{afb} N/mm ²		縦振動ヤング係数 E_{fd} N/mm ²	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
スギ 150 角	9326	1212	9157	1294
スギ 180 角	8685	1136	8444	1221
ヒノキ 150 角	11387	1116	12003	1150
ヒノキ 180 角	11374	1422	11898	1309

3.2.3 試験体の調整と振り分け

事前計測値を元に、各寸法、樹種ごとに 32 本の製材を、実験①：4 点曲げ（4P）と実験②：3 点曲げ（3P）で母集団の条件がおおむね揃うように実験①と②に 16 本ずつ振り分けを行った。振り分けに際し、事前に計測したたわみ振動動的ヤング係数の値を基本として大小順に並べ替え、交互に選別することで二つのグループに分けた。さらに加力時の引張面となる面 3 の欠点（節）の状況を加味し、グループごとの節ランクが平均化する操作を行い、2 グループを決定した。振り分けを行った結果を含水率（MC%）も含め表 3.2.3-1～4 に示す。含水率は高周波式計測器で各材 3 点を計測し、その平均値を示している。

なお、表 3.2.3-1～4 で設定した節ランクは、試験前の試験体振り分けにのみ用いており、3.3 以降では欠点計測区間内の節の状況により設定しなおした節ランク（3.3.6 に示す）を用いている。

また、試験体はその後養生期間を経て試験直前に仕上げ製材を行って所定寸法に仕上げた後に試験に供した。試験時の試験体含水率（高周波含水率計による）を図中に併せて示す。

表 3.2.3-1 150 角スギ試験体の振り分け

S15							
実験①：4点曲げ				実験②：3点曲げ			
試験体 番号	E_{afb} N/mm ²	節ランク	MC %	試験体 番号	E_{afb} N/mm ²	節ランク	MC %
S15-4	6922	A	15.2	S15-23	6755	A	16
S15-20	7806	A	17	S15-6	7681	B	15.2
S15-14	8040	A	14	S15-1	7910	A	14
S15-32	8862	A	15.2	S15-17	8252	A	22.7
S15-21	8422	D	23.8	S15-18	8602	B	21.3
S15-8	8916	C	15.2	S15-7	8866	C	15.2
S15-2	8973	B	16	S15-5	8954	B	15.2
S15-19	9163	C	16	S15-3	9143	C	17
S15-11	9663	B	14	S15-22	9652	C	16.3
S15-30	9706	A	18	S15-25	9158	A	17.3
S15-13	10017	A	14	S15-10	9919	A	14
S15-31	10310	A	14	S15-12	10303	A	14
S15-27	10595	B	10.3	S15-26	10579	C	18.2
S15-9	10887	A	15.2	S15-15	10612	A	14
S15-24	10683	B	21.5	S15-29	10832	B	17
S15-16	11225	A	16	S15-28	11028	A	20.8
平均値	9387		16.0	平均値	9265		16.8

表 3.2.3-2 180 角スギ試験体の振り分け

S18							
実験①：4点曲げ				実験②：3点曲げ			
試験体 番号	E_{afb} N/mm ²	節ランク	MC %	試験体 番号	E_{afb} N/mm ²	節ランク	MC %
S18-26	7114	D	15.7	S18-10	6986	D	20.8
S18-1	7141	C	20.8	S18-8	7049	C	22.2
S18-32	7429	A	22.2	S18-14	7277	A	20.8
S18-2	7700	C	38.3	S18-12	7607	D	20.8
S18-15	7846	A	20.8	S18-20	7684	B	26
S18-3	8440	C	28.8	S18-13	8127	C	20.8
S18-19	8436	B	38.3	S18-11	8241	A	20.8
S18-5	8489	D	22.2	S18-31	8454	B	27.2
S18-7	8681	B	22.2	S18-16	8669	B	16.7
S18-18	9101	D	20.7	S18-22	9013	D	31.5
S18-27	9258	A	36.3	S18-17	9218	B	18.2
S18-25	9289	C	24.3	S18-9	9381	B	22.2
S18-28	10013	C	29.2	S18-4	9547	D	22.2
S18-6	9819	A	22.2	S18-23	9612	A	28.7
S18-29	10051	B	28.8	S18-30	10336	B	15.8
S18-24	11274	C	21.5	S18-21	10628	D	24
平均値	8755		24.3	平均値	8614		22.4

表 3.2.3-3 150 角ヒノキ試験体の振り分け

H15							
実験①：4点曲げ				実験②：3点曲げ			
試験体 番号	E_{afb} N/mm ²	節ランク	MC %	試験体 番号	E_{afb} N/mm ²	節ランク	MC %
H15-26	9143	A	14.3	H15-21	8941	A	13.3
H15-14	10217	A	14.8	H15-18	9526	A	22.5
H15-9	10391	A	12	H15-3	10290	A	16.3
H15-15	10497	A	14.8	H15-11	10412	A	14.8
H15-10	10654	A	14.8	H15-12	10893	A	14.8
H15-13	10936	B	14.8	H15-17	10899	A	9.5
H15-29	11081	A	16.3	H15-1	10990	A	14.8
H15-28	11468	A	17.3	H15-6	11134	A	12
H15-27	11587	A	17	H15-2	11481	A	22.2
H15-20	11923	A	17.7	H15-23	11789	A	16.3
H15-4	12187	A	12	H15-25	12112	A	16
H15-22	12285	A	10.5	H15-30	12215	A	10.8
H15-19	12398	A	22.2	H15-31	12363	A	13.3
H15-16	12447	A	10.5	H15-32	12405	B	12
H15-8	12528	A	12	H15-5	12704	A	12
H15-24	13379	A	14.7	H15-7	13108	A	12
平均値	11445		14.7	平均値	11329		14.5

表 3.2.3-4 180 角ヒノキ試験体の振り分け

H18							
実験①：4点曲げ				実験②：3点曲げ			
試験体 番号	E_{afb} N/mm ²	節ランク	MC %	試験体 番号	E_{afb} N/mm ²	節ランク	MC %
H18-22	9010	A	23	H18-29	7468	A	15.7
H18-2	9933	C	16.7	H18-26	9670	A	23
H18-14	10192	A	14	H18-24	10283	A	14.5
H18-11	10487	A	14	H18-17	10314	A	17.5
H18-8	10630	A	13.3	H18-28	10529	A	21.8
H18-23	11137	A	17	H18-18	10974	A	16.2
H18-7	11312	A	13.3	H18-32	10974	B	13.3
H18-5	11392	A	13.3	H18-30	11469	A	21.2
H18-10	11398	A	14	H18-21	11505	A	13.3
H18-9	11579	A	13.3	H18-31	11565	A	16
H18-6	11661	A	13.3	H18-19	11600	A	16.7
H18-27	11887	A	15.3	H18-20	11611	A	18
H18-13	12186	A	14	H18-25	12186	A	13.3
H18-15	13060	A	14	H18-4	12544	A	13.3
H18-16	13767	A	16.7	H18-3	13723	A	15.7
H18-12	14077	B	14	H18-1	13839	A	14
平均値	11482		15.0	平均値	11266		16.5

3.3 製材の曲げ試験

3.3.1 曲げスパン

曲げ試験は4点曲げ（実験①）と3点曲げ（実験②）で行った。4点曲げのスパンは3等分点とし、全スパン $18H$ （ H ：試験体せい）に対し、加力スパン比 $6:6:6$ とした。3点曲げについては実際の垂れ壁構面の状況を模した偏心スパン比とし、全スパン $18H$ に対し、加力スパン比 $6:12$ とした。

3.3.2 試験装置

曲げ試験は大阪産業大学工学部材料実験室にて実施した。試験装置の外観を写真 3.3.2-1 に示す。 180 角のスパンは、 $(180 \times 6 = 1080\text{mm}) + (180 \times 12 = 2160\text{mm}) = 3240\text{mm}$ を必要とする。今回用いた試験装置の最大スパン（片側）は 2000mm でこれを超過するため、試験装置下側架台上に H 型鋼の架台を載せることでスパンを延長して試験を行った。なお、用いた試験装置はピン支持された下側架台が持ち上がる形式で加力を行う。偏心荷重条件となる 3 点曲げ試験ではバランスが悪いことが心配されたが、問題無く実験を行うことができた。



写真 3.3.2-1 曲げ試験装置

3.3.3 欠点の詳細計測

試験体の引張側となる面 3 における欠点の様子について、試験前に詳細計測を行った。欠点計測区間は、4 点曲げにおいては中央曲げモーメント一定区間及びその前後 100mm の区間とし、3 点曲げにおいてはモーメントが最大となる加力点の前後において、 150mm 角では 300mm 、 600mm 、 180mm 角では 400mm 、 800mm を計測区間とした（図 3.3.3-1）。なお、試験体は一律に小スパン側に事前計測時に記載した番号が来るように（末口側が小スパンとなるように）設置した。

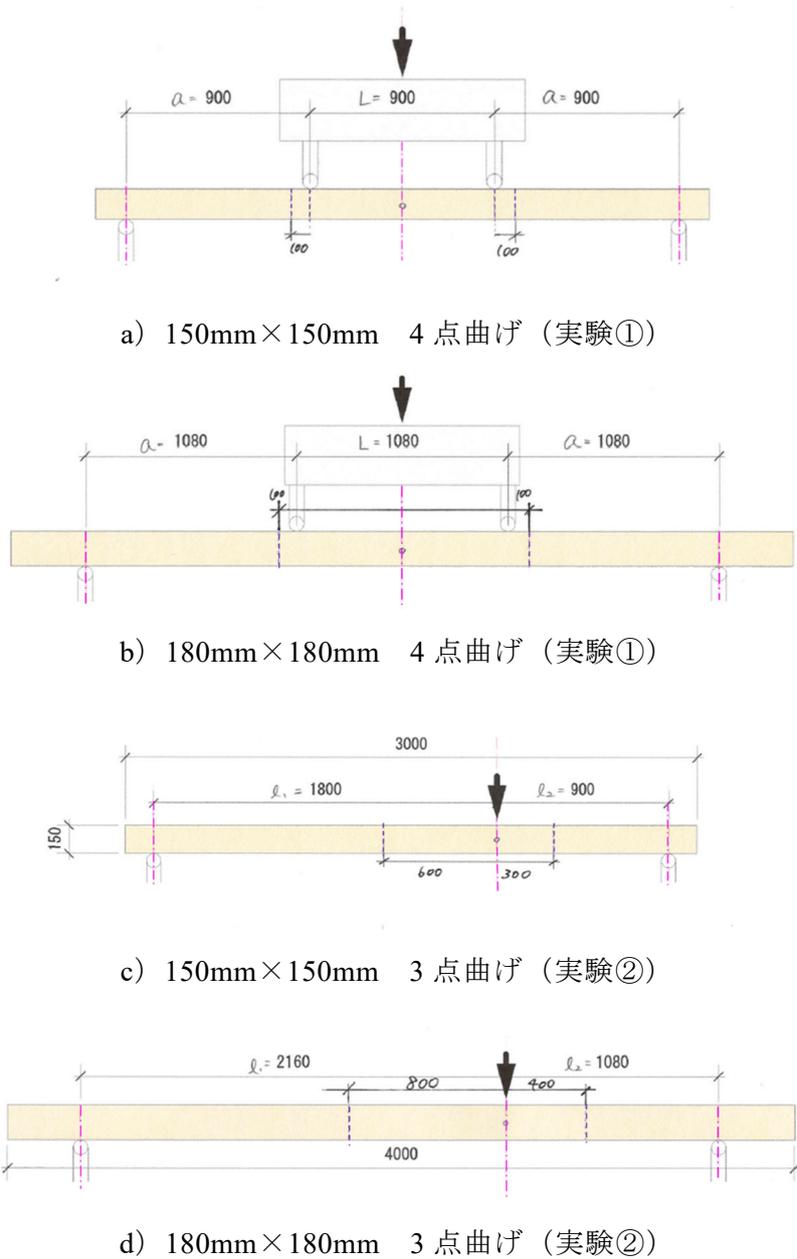
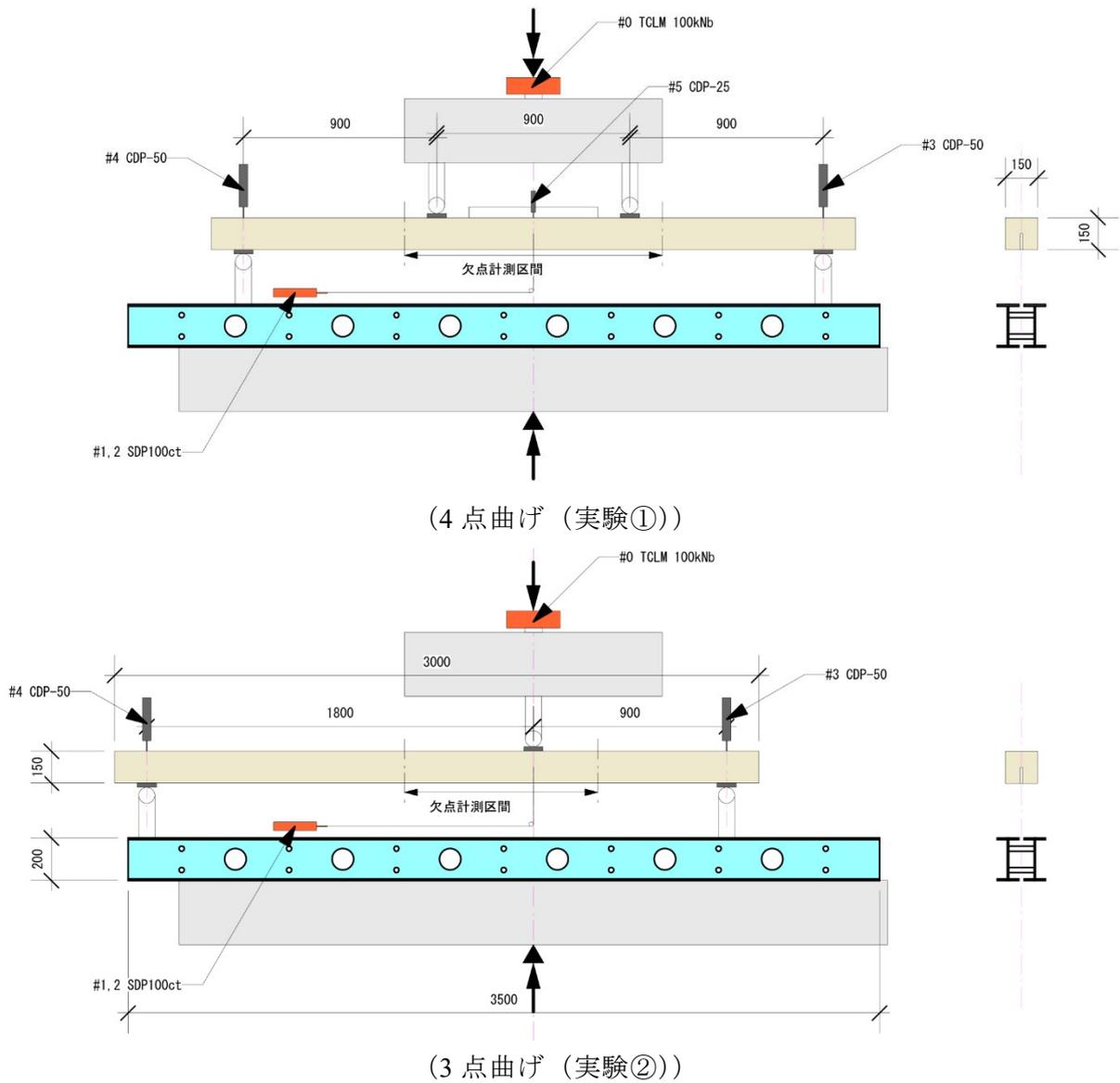


図 3.3.3-1 欠点計測区間

3.3.4 計測計画

試験体の設置の様子を図 3.3.4-1、2 に示す。

試験体を所定のスパンとなるように架台上に設置し、座金を挟んでローラー支持した。また加力点も同様に座金を介してローラー支持とした。荷重は中立上で 200kN ロードセルで計測し、中央たわみと支点部の鉛直変位を計測した。中央たわみは試験体の両側面に取り付けたフックからワイヤを取り回し、引出式変位計 SDP-100ct で計測を行った。支点変位は、破壊時に試験体が跳ねることでの損傷を防止するため、降伏点を過ぎたあたりで取り外した。



- #0 ロードセル 東京測器 TCLM100kNb : 荷重を記録
- #1、#2 SDP-ET100mm : 中央のたわみを記録
- #3、#4 CDP-50mm : 支点の変位を記録
- #5 CDP-25mm : 中央の変位を記録 (4点曲げ (実験①) のみ)

図 3.3.4-1 150mm 角試験体と計測方法

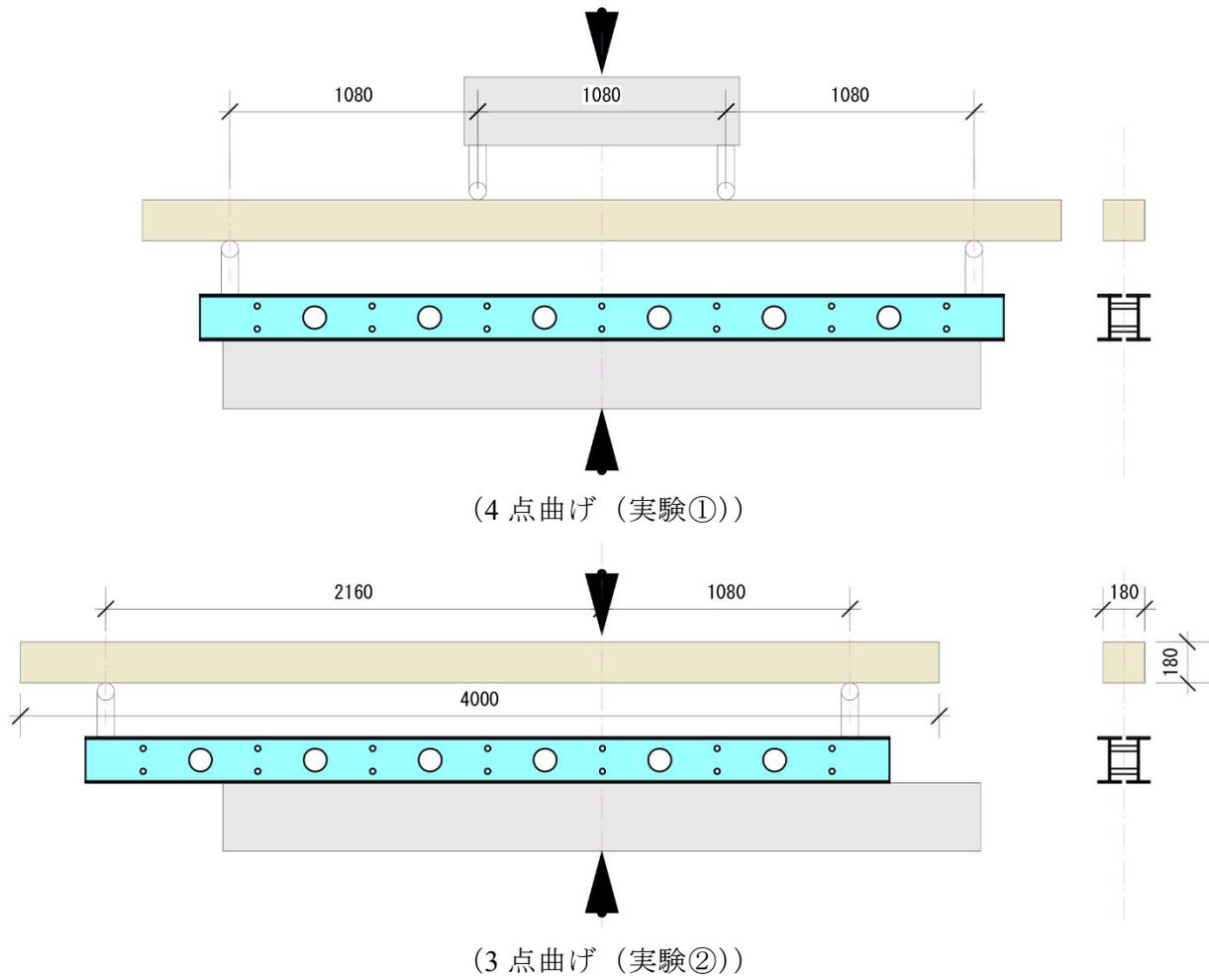


図 3.3.4-2 180mm 角試験体 (計測方法については 150mm 角と同様)



写真 3.3.4-1 4点曲げ試験体の全景



写真 3.3.4-2 3点曲げ試験体の全景

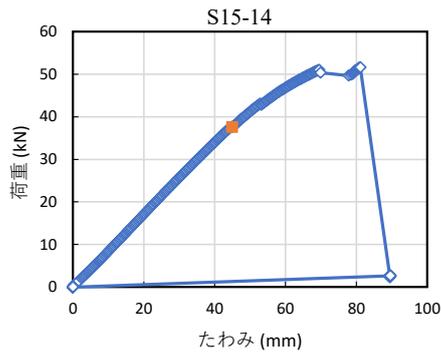
3.3.5 荷重-変位関係

図 3.3.5-1 に試験によって得られた荷重-変位関係の一例を示す。たわみは中央たわみから支点変位の平均値を差し引くことで求めたものである。

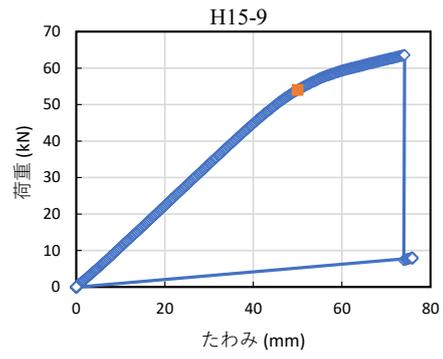
最大荷重 P_{max} に対して $0.4P_{max}$ 、 $0.1P_{max}$ を示す区間を弾性範囲と見なし、その傾きを初期剛性とした。また、初期剛性直線を 1mm オフセットした直線と荷重変位関係曲線の交点を降伏点として定義し、降伏荷重、降伏変位を求めた。

図 3.3.5-2 には最大荷重と降伏荷重の比を示した。3 点曲げの方が 4 点曲げよりやや降伏後の耐力上昇が大きい。

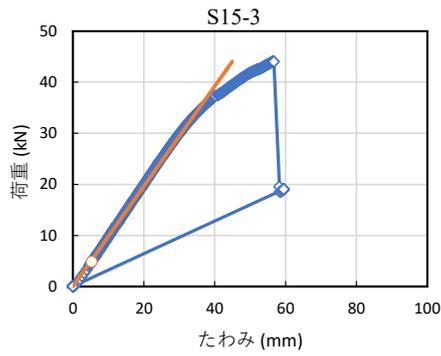
図 3.3.5-3 には最大荷重時変位と降伏時変位の比を示した。180 角では 4 点曲げより 3 点曲げの方が降伏後の変形性能がやや大きい傾向が見られた。また、スギ材では 4 点曲げでも降伏後大きな変形をするものがあった。



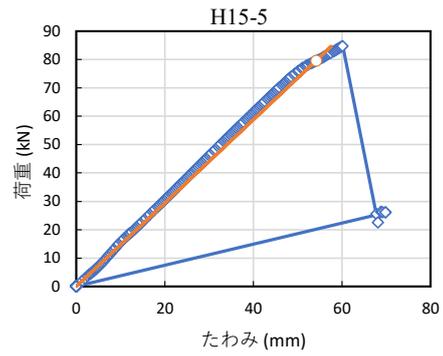
150 角 4P スギ



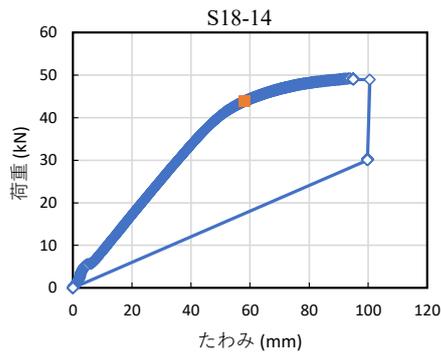
150 角 4P ヒノキ



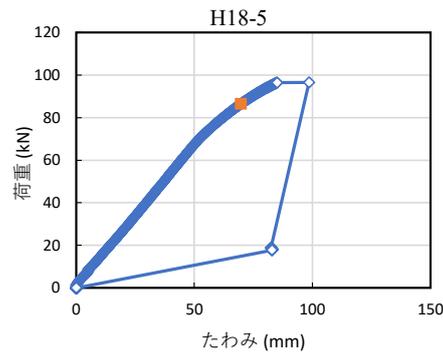
150 角 3P スギ



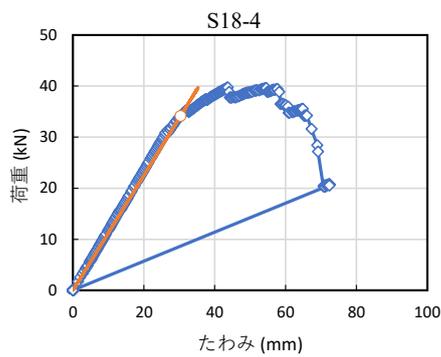
150 角 3P ヒノキ



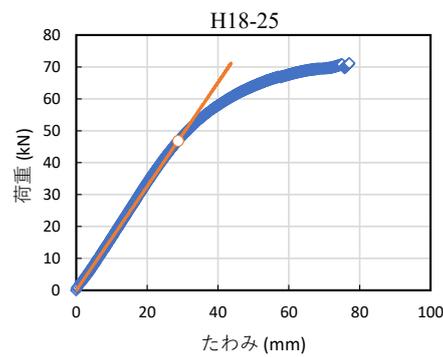
180 角 4P スギ



180 角 4P ヒノキ



180 角 3P スギ



180 角 3P ヒノキ

図 3.3.5-1 試験体の荷重-たわみ関係の一例

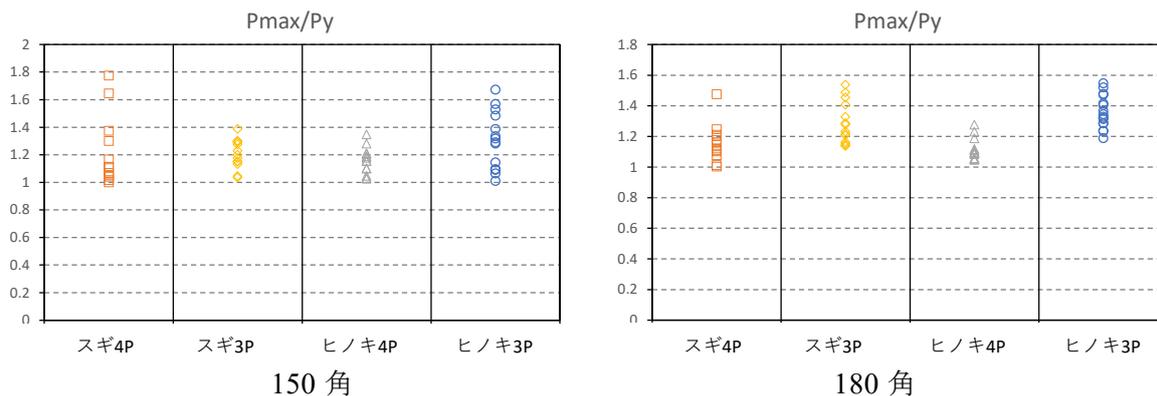


図 3.3.5-2 最大荷重／降伏荷重比

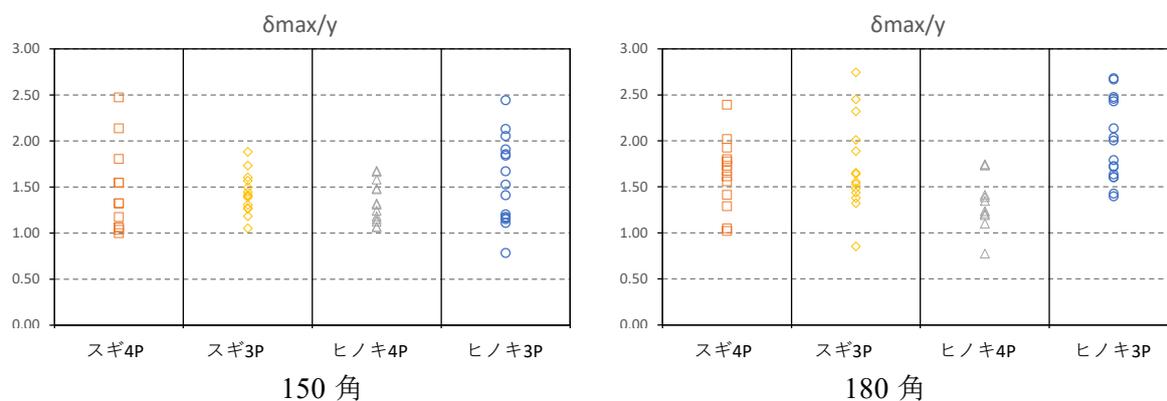


図 3.3.5-3 最大荷重時変位／降伏時変位比

3.3.6 欠点記録と破壊性状

3.3.3 で述べたように、試験体を試験機に設置する前に、破壊の起点となると想定されるモーメントが大きい区間の下側表面の欠点を記録した。記録内容は節の径とその位置である。記録区間は図 3.3.3-1 中に示した。4 点曲げ試験においてはモーメント一定区間、3 点曲げ試験においては、加力点両側でモーメントが（概ね）最大モーメントの 2/3 以上となる範囲とした。図 3.3.6-1 に記録図面の一例を示す。記録区間内の節の状況に応じて、再度節ランク分けを行った。

節のランク分けは、記録区間内の最大節径に準じて行い、

- 節無し～節径 10mm 未満 : A
- 節径 10mm～20mm 未満 : B
- 節径 20mm～30mm 未満 : C
- 節径 30mm 以上 : D

とした。節ランクの記録を表 3.3.6-1、表 3.3.6-2 に示す。表には、試験時に節が破壊の起点となったものも合わせて示している。

表に示した破壊の起点については、図 3.3.6-1 に示すように破壊の様子の写真を元に判別している。また、試験体を斜め下から定点カメラでインターバル撮影を行い、事前に計測した欠点記録の図面と照らし合わせ、破壊の起点を図上に赤丸で示した。

これらの欠点記録と破壊性状は 3.5 節に資料として示した。

表 3.3.6-1 節ランク見直し：欠点計測区間内の欠点（モーメント影響範囲内）－4 点曲げ

S15			S18			H15			H18		
試験体 番号	M 区間 内欠点	破壊の 起点									
S15-2	D		S18-1	D	節	H15-1	A		H18-2	D	
S15-4	D		S18-5	D		H15-2	A		H18-5	A	
S15-8	A		S18-6	B	節	H15-4	B		H18-6	A	
S15-9	A		S18-7	C		H15-6	B	節	H18-7	A	
S15-13	A		S18-9	B		H15-7	A		H18-8	A	
S15-14	C		S18-10	B	節	H15-8	A		H18-9	A	
S15-16	C		S18-11	B		H15-9	C		H18-10	A	
S15-19	C	節	S18-12	C		H15-10	C	節	H18-11	A	
S15-20	C		S18-13	C		H15-13	A		H18-12	A	
S15-21	A		S18-14	C		H15-14	A		H18-13	D	節
S15-22	D	節	S18-15	D	節	H15-15	A		H18-14	B	
S15-24	A		S18-21	D		H15-16	B		H18-15	A	
S15-27	A		S18-22	A		H15-19	A		H18-16	A	
S15-30	C		S18-27	A		H15-20	B		H18-22	A	
S15-31	D		S18-28	C	節	H15-22	A		H18-23	A	
S15-32	A		S18-30	A		H15-26	A		H18-27	B	

表 3.3.6-2 節ランク見直し：欠点計測区間内の欠点（モーメント影響範囲内）－3点曲げ

S15			S18			H15			H18		
試験体 番号	M 区間 内欠点	破壊の 起点									
S15-1	D		S18-2	C		H15-3	A		H18-1	A	
S15-3	C	節	S18-3	C		H15-5	A		H18-3	B	節
S15-5	D		S18-4	D	節	H15-11	A		H18-4	A	
S15-6	D	節	S18-8	D		H15-12	A		H18-7	A	
S15-7	D		S18-16	C		H15-17	A		H18-18	A	
S15-10	C	節	S18-17	D	節	H15-18	A		H18-19	B	
S15-11	A		S18-18	A		H15-21	A	節	H18-20	A	
S15-12	A		S18-19	B	節	H15-23	C	節	H18-23	A	
S15-15	A		S18-20	D		H15-24	A		H18-24	A	
S15-17	D	節	S18-23	D	節	H15-25	B	節	H18-25	A	
S15-18	B	節	S18-24	B		H15-27	A		H18-26	A	
S15-23	D	節	S18-25	A		H15-28	A		H18-28	A	
S15-25	C	節	S18-26	C		H15-29	A		H18-29	A	
S15-26	B	節	S18-29	A		H15-30	A	節	H18-30	A	
S15-28	D	節	S18-31	D		H15-31	A		H18-31	A	
S15-29	B	節	S18-32	C		H15-32	A		H18-32	D	

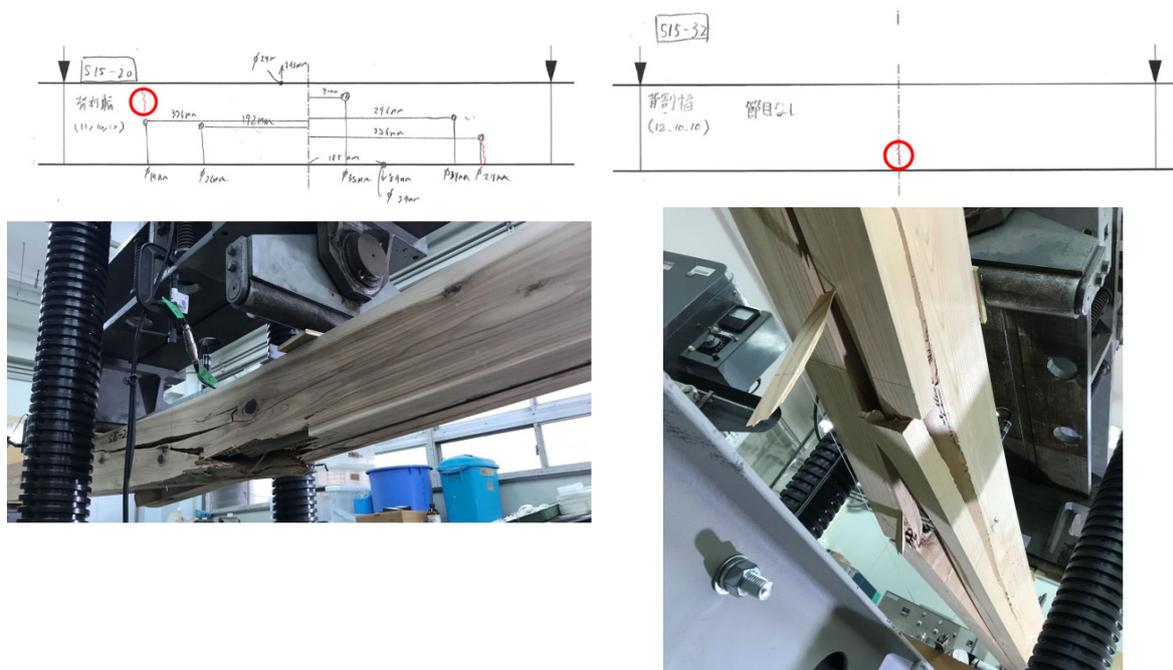


図 3.3.6-1 破壊性状の観察と事前欠点記録との対照

3.3.7 MOR と MOE

試験結果荷重-たわみ関係より、曲げ強さ MOR を以下の式で算出した。

- ・ 4点曲げのとき

$$MOR = P_{max} \times a/2/Z \quad (\text{式 3.3.7-1})$$

- ・ 3点曲げのとき

$$MOR = P_{max} \times L \times 2/9/Z \quad (\text{式 3.3.7-2})$$

$$Z = \frac{bh^2}{6} \quad (\text{式 3.3.7-3})$$

$$L = l_1 + l_2 \quad (\text{式 3.3.7-4})$$

ここで、 P_{max} ：最大荷重、 a ：支点から荷重点までの距離、 Z ：断面係数、 b ：断面の幅、 h ：断面の高さ、 L ：支点間距離、 l_1 ：大スパン距離、 l_2 ：小スパン距離（図 3.3.3-1）

同様に、曲げヤング係数 MOE を以下の式で算出した。

- ・ 4点曲げのとき

$$MOE = \frac{K_1 \times a \times (3l^2 - 4a)}{48I} \quad (\text{式 3.3.7-5})$$

- ・ 3点曲げのとき

$$MOE = \frac{4K_1 \times l^3}{243I} \quad (\text{式 3.3.7-6})$$

荷重-たわみ関係の比例時の傾き

$$K_1 = \frac{\Delta P}{\Delta \delta} \quad (\text{式 3.3.7-7})$$

ここで、 a ：支点から荷重点までの距離、 l ：全スパン（支点間距離）、 I ：断面 2 次モーメント、 ΔP ：弾性区間荷重差分、 $\Delta \delta$ ：弾性区間変位差分

事前計測した動的弾性係数の確認のため、事前計測 E_{afb} と MOE の関係を図 3.3.7-1 に示す。両者は強い比例関係が確認されたが、試験時の MOE は E_{afb} をやや下回る傾向が見られた。動的（打撃法）の場合は材全体の値を得られるが、静的の場合は、加力時の変形から値を得るため、モーメントの大きい（部分たわみ角の大きい）加力点近傍の材の影響が大きくなるのが原因と考えられる。また、150 角ヒノキ 3 点曲げにおいて、 E_{afb} と MOE の比例関係に乱れが見られた。正確な原因は不明だが、直線関係から大きく外れた試験体については何らかの計測ミスがあった可能性がある。

図 3.3.7-2 には MOR と E_{afb} の関係を示した。150 角ヒノキ 3 点曲げではややばらつきが大きいものの、両者には概ね比例関係が見られる。

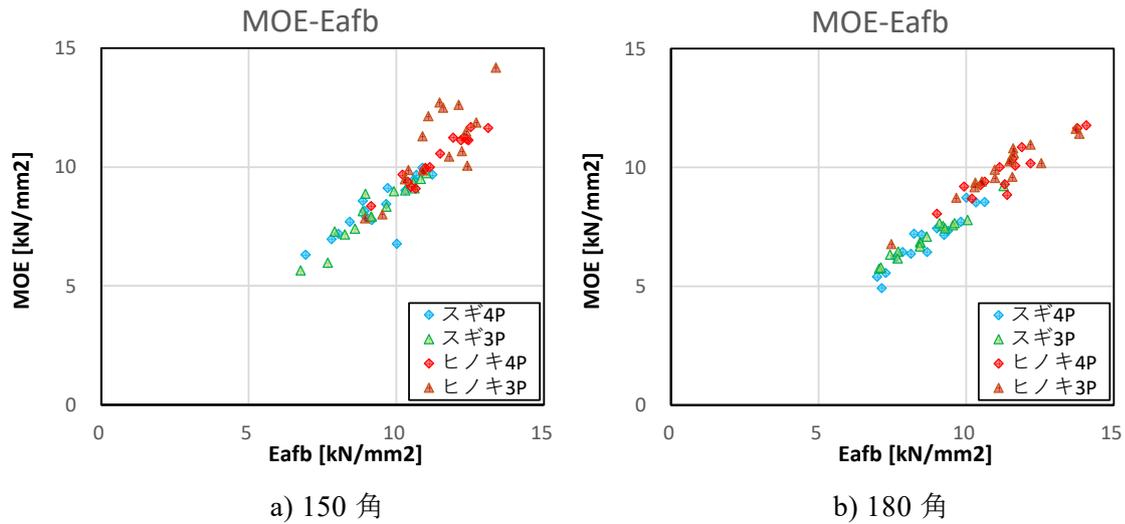


図 3.3.7-1 E_{afb} と MOE の関係

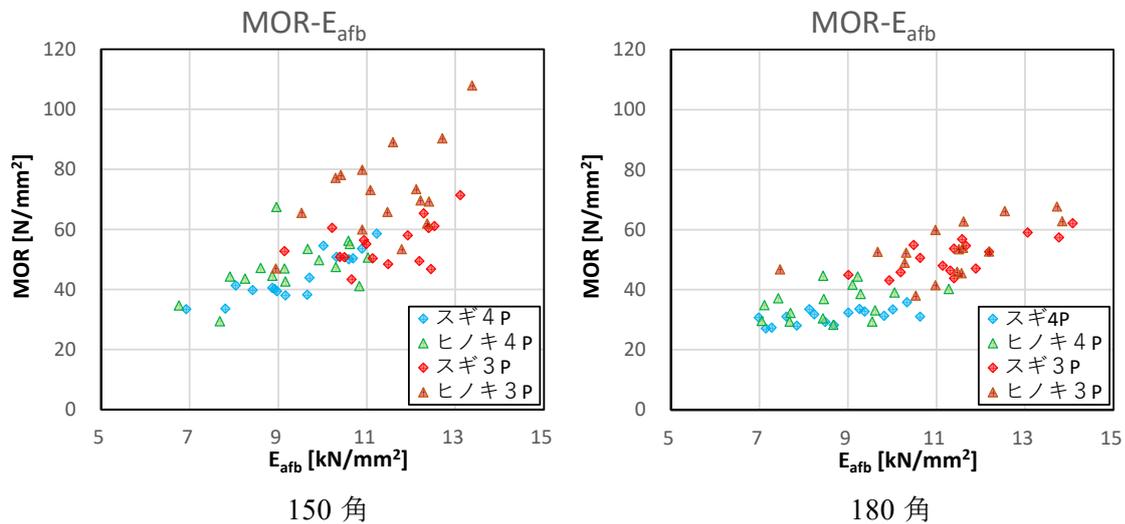


図 3.3.7-2 E_{afb} と MOR の関係

3.3.8 MOR 結果のまとめ

MOR の結果を試験方法、樹種、断面が同一なグループごとに表 3.3.8-1 に示す。表中の下限値は、75%信頼水準の 95%下側許容限界値 (5%下限値) を示している。また、表中には参考に JAS1 級の基準材料強度の値を併せて示した。

MOR の平均値を見ると、JAS1 級の値と比較して高い結果が得られた。また断面寸法による差が大きく、大きな寸法低減の効果が見られた。

表 3.3.8-2 は、MOR の下限値と JAS1 級の基準強度の比を示したものである。全体として JAS1 級の基準強度と概ね合致する結果であり、スギ材はヒノキ材に比べて欠点が多い材料であったが、ここで示した比では遜色が無かった。これは、表 3.3.6-1、2 に示したように、節が破壊の起点とならなかった多かったためと考えられる。なお、一部 180 角スギでは、JAS1 級の基準強度よりも小さい値となったが、これは寸法効果の影響であるものと考えられる。

図 3.3.8-1 には MOR のばらつき係数を示した。3 点曲げの方が 4 点曲げよりばらつきが

大きくなる傾向が見られた。

MOR の結果を図 3.3.8-2 にまとめて示す。

傾向をまとめると、

- ・ MOR の平均値は 3 点曲げ条件が 4 点曲げよりも向上する。
- ・ 一方で、ばらつきは 3 点曲げのほうが 4 点曲げよりも大きくなる。
- ・ その結果として、下限値は 3 点曲げと 4 点曲げでの差が小さくなる。
- ・ 180 角材料では、下限値はむしろ 3 点曲げ条件の方が 4 点曲げよりも小さくなった。

表 3.3.8-3 に 3 点曲げ MOR の 4 点曲げ MOR との比を示した。

表 3.3.8-1 MOR 試験結果のまとめ

		スギ 150		ヒノキ 150		スギ 180		ヒノキ 180	
		S15-4P	S15-3P	H15-4P	H15-3P	S18-4P	S18-3P	H18-4P	H18-3P
試験体数	n	16	16	16	16	16	16	16	16
下限値を求めるための係数	k	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972
平均値	ave	44.16	47.17	55.08	72.59	31.07	35.61	51.29	53.18
標準偏差	stdev	7.75	8.85	7.41	14.93	2.53	5.48	5.92	8.74
変動係数	cv	0.176	0.188	0.135	0.206	0.082	0.154	0.115	0.164
下限値	005F	28.87	29.72	40.46	43.15	26.07	24.24	39.62	35.95
参考：JAS1 級の基準強度		27		38.4		27		38.4	

表 3.3.8-2 MOR 下限値と JAS1 級基準強度の比

	150 角		180 角	
	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ
4P	1.07	1.05	0.97	1.03
3P	1.10	1.12	0.90	0.94

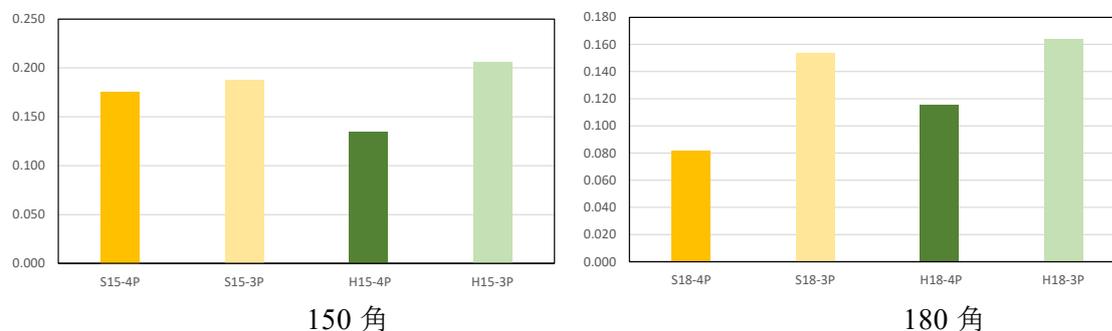
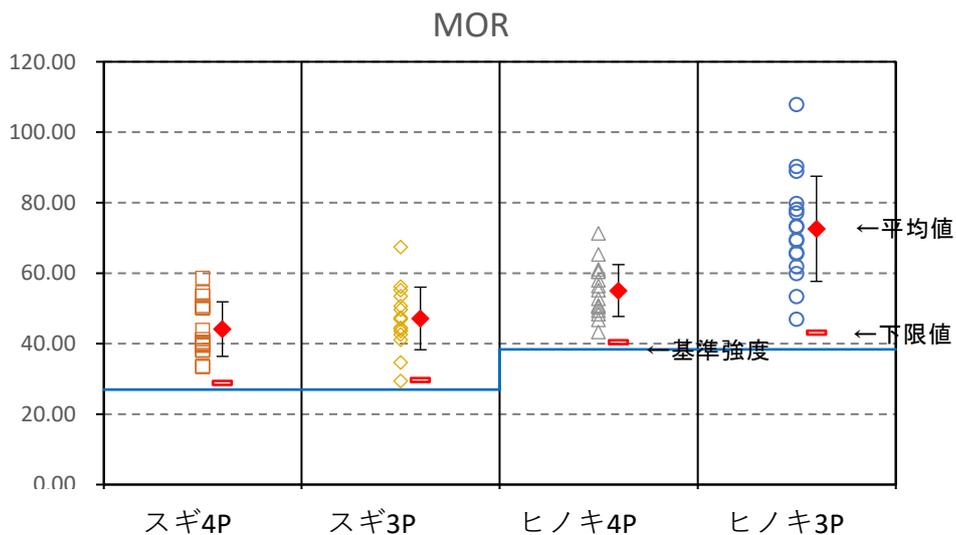
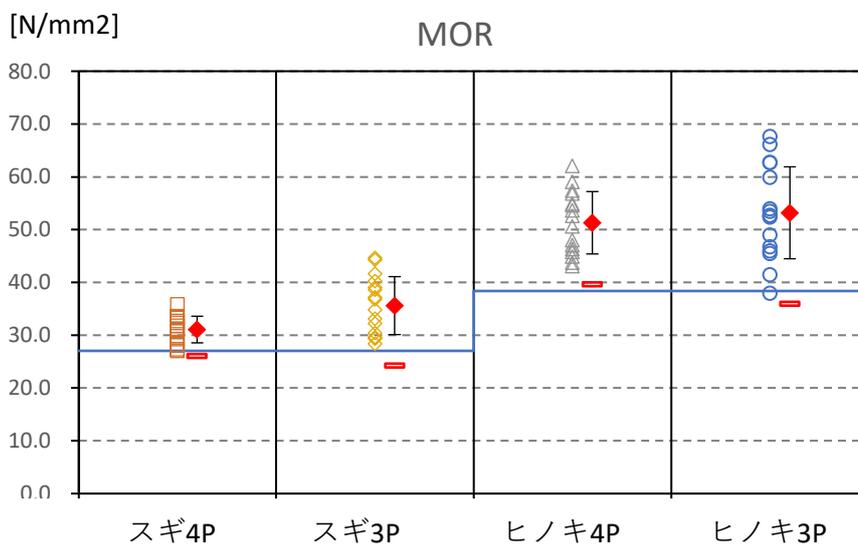


図 3.3.8-1 MOR のばらつき係数



(A) 150 角



(B) 180 角

図 3.3.8-2 MOR 試験結果

表 3.3.8-3 3P/4P 比 (向上率)

	150 角		180 角	
	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ
平均比	107%	132%	115%	104%
下限値比	103%	107%	93%	91%

3.3.9 MOR の含水率補正

今回の試験体はやや含水率が高いものが含まれていた。試験体の基準強度を定める際、基準条件を超える含水率の場合には含水率調整を行う必要がある。ここでは、「構造用木材の強度試験マニュアル」の日本国内の曲げ試験結果の解析による提案式を用いて、MOR

の値を調整した結果について示す。

すなわち、次式に基づいて調整を行う。

$$P_2 = P_1(\alpha - \beta M_2)/(\alpha - \beta M_1)$$

ここで、 P_2 ：含水率 M_2 における特性値の測定値、

P_1 ：含水率 M_1 における特性値の測定値、

α, β ：構造用木材の強度試験マニュアルに掲げる含水率定数、

M_2 ：含水率（単位 %）

M_1 ：含水率（単位 %）

ここで、曲げ強さに対して $\alpha=1.75$ 、 $\beta=0.0333$

ただし、含水率 10%以下は 10%、18%以上は 18%として、本式を適用する。

今回の試験体は、表 3.2.3-1~4 に示したように、元々試験時含水率が高い条件が多かったため、含水率調整を行っても大きくその傾向は変わらなかった。図 3.3.9-1、表 3.3.9-1、表 3.3.9-2 にその結果を示す。3P/4P 下限値比は、含水率調整を行う事で、むしろ小さくなる結果となった。

表 3.3.9-1 MOR 試験結果のまとめ（含水率補正後）

		スギ 150		ヒノキ 150		スギ 180		ヒノキ 180	
		S15-4P	S15-3P	H15-4P	H15-3P	S18-4P	S18-3P	H18-4P	H18-3P
試験体数	n	16	16	16	16	16	16	16	16
下限値を求めるための係数	k	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972	1.972
平均値	ave	45.58	49.25	55.63	73.11	33.62	37.78	52.46	55.10
標準偏差	stdev	7.98	10.26	8.78	16.70	2.51	6.14	6.80	10.15
変動係数	cv	0.175	0.208	0.158	0.228	0.075	0.163	0.130	0.184
下限値	005F	29.84	29.01	38.31	40.18	28.67	25.04	39.05	35.08
参考：JAS1 級の基準強度		27		38.4		27		38.4	

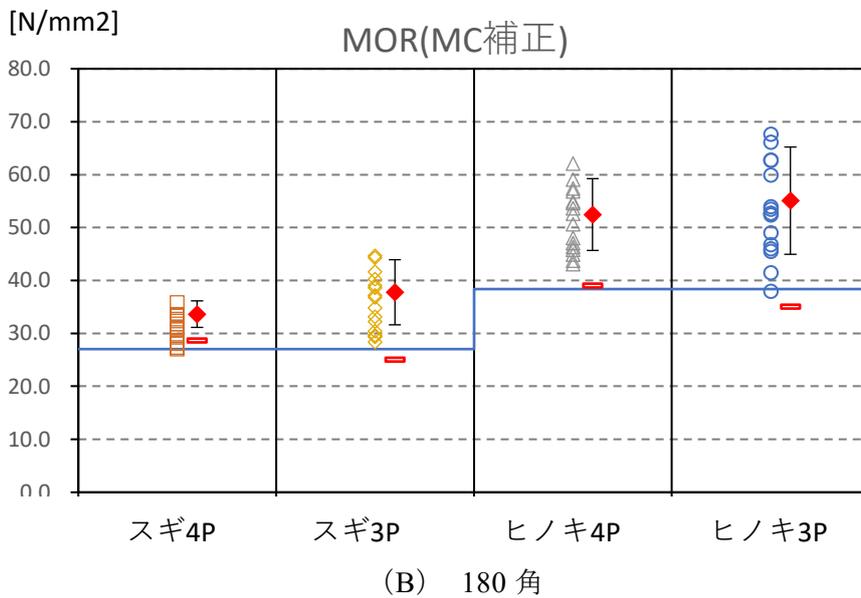
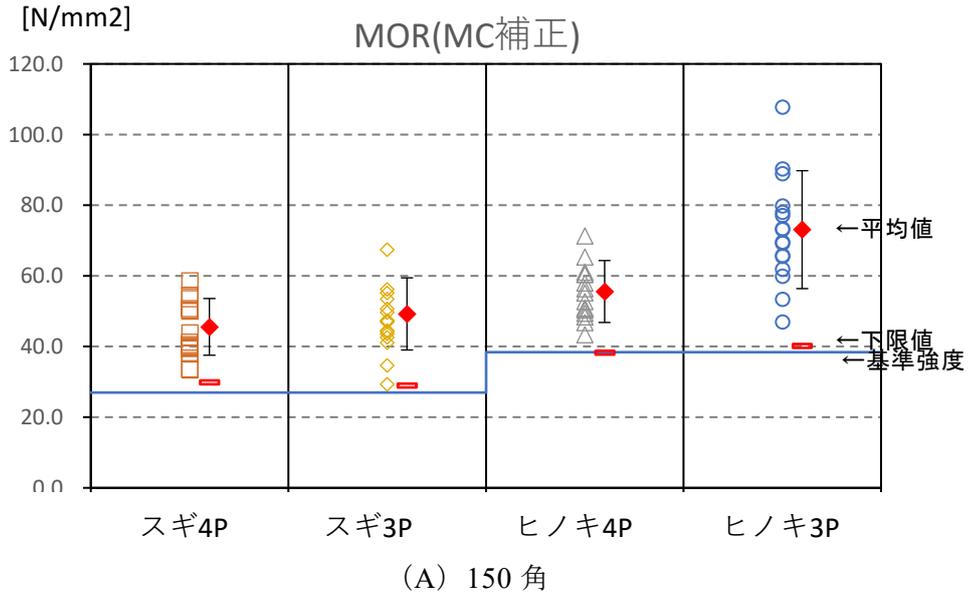


図 3.3.9-1 MOR 試験結果 (含水率補正後)

表 3.3.9-2 3P/4P 比 (向上率) (含水率補正後)

	150 角		180 角	
	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ
平均比	108%	131%	112%	105%
下限値比	97%	105%	87%	90%

3.3.10 寸法低減の影響

試験体の大きさが変化すると、そこに含まれる欠点の存在確率が高まるため強度が低減されると言われている。式 3.3.10-1 に示すように、一般には体積比の乗数に比例する。図 3.3.10-1 に試験条件ごとに、180 角の MOR 結果の 150 角の試験結果に対する比率(低減係数)

を示す（含水率補正後）。なお、寸法低減は本来 5% 下限値に対して適用されるものであるが、参考のため、図 3.3.10-1 中には平均値の低減率も合わせて示した。本章での実験においても 180 角の試験結果は 150 角のものに対して小さく、寸法低減の効果が認められた。

$$\sigma_1 / \sigma_2 = (V_2 / V_1)^a \quad (\text{式 3.3.10-1})$$

ASTM D 1990 - 07 では、（4 点曲げ試験における）5% 下限強度値に対する調整係数として式 3.3.10-2 が提案されており、これに直接従うと今回の試験条件における寸法低減は 0.92 と計算される。式 3.3.10-2 では、幅方向断面寸法の低減係数は考慮されておらず、また、長さ方向の寸法に比べて、梁せい方向の寸法が寸法低減により効果が大きいことを示唆している。

$$k_3 = k_1 k_2 = (d/d_0)^a (L/L_0)^b \quad \text{せい方向 } a=0.29, \text{ 長さ方向 } b=0.14 \quad (\text{式 3.3.10-2})$$

今回の結果では、スギ、ヒノキとも 4 点曲げにおいては下限値の寸法低減が式 3.3.10-2 の推定値を上回った。一方で、3 点曲げにおいては、実験値の寸法低減が 0.9 を下回り、式 3.3.10-2 の推定値よりも大きい寸法低減がある事を示した。これはすなわち、3 点曲げの条件においては、長さ方向の低減への影響が式 3.3.10-2 で考慮されている条件より大きいことを示唆している。試みに、長さ方向の低減に関わる係数 b の値を、高さ方向と同様に 0.29 と仮定して寸法低減を推定した。結果を図 3.3.10-1 中に併せて示したが、今回の 3 点曲げの試験結果とより精度良く合致する傾向が見て取れる。

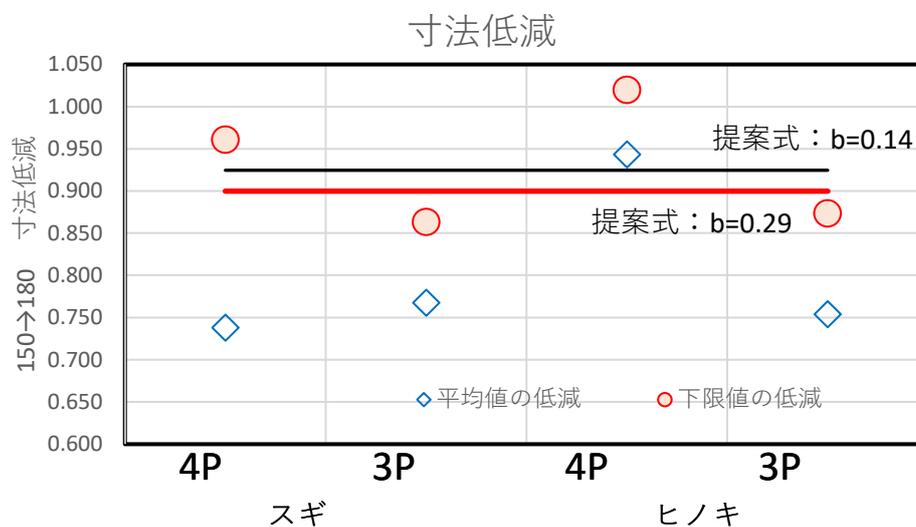


図 3.3.10-1 150 角→180 角条件における MOR の低減

3.3.11 節の管理の影響

実際に伝統構法で用いられる柱材は施工者による管理により、差鴨居付近に大きな欠点が出来ないように調整されるものと考えられる。そこで、3.3.6 節の欠点調査記録と照合し、モーメント最大点付近に大きな節を有する試験体を除外した検討を行った。

最大節径が 30mm 以上の欠点 D を除外したもの（表 3.3.11-4、図 3.3.11-1）と、最大節径

が 20mm 以上の欠点 C および D を除外したもの（表 3.3.11-5、図 3.3.11-2）について以下にまとめる。

また、それぞれの 3 点加力試験結果／4 点加力試験結果（向上率）、MOR 下限値の JAS1 級基準強度との比について、表 3.3.11-1 に示す。比較として、欠点を除去していない値（表 3.3.9-1）も併せて掲載している。

欠点除去の判断のもととなった 3.3.6 節の試験体の節ランクを示した表（表 3.3.6-2、3.3.6-1）も表 3.3.11-2、表 3.3.11-3 として再掲する。

(1) 欠点 D 除外

ヒノキ 150 角では欠点 D が存在せず、ヒノキ 180 角においても 1～2 体と非常に少ないことから、欠点除去の影響は極めて小さいと判断しここでの検討対象からははずす。

表 3.3.11-1 で確認すると、スギ 150 角では 3P/4P 下限値比が欠点除去なしの 97% から 124% と大きくなっていき、スギ 180 角では 87% から 88% とほとんど向上が見られない。

スギ 150 角で欠点除去の効果が大きく表れているのは、スギ 150 角の 3 点曲げではもともと節を起点とした破壊が生じたものが 10 体と多く、欠点 D を除去（7 体）することでそのうち 4 体を除くことになったが、4 点曲げではもともと節を起点とした破壊が生じたものが 2 体のみであり、欠点 D を除去（4 体）してもそのうち 1 体を除くのみになり、欠点 D を除去することの影響が 3 点曲げ > 4 点曲げとなっていると推測できる。

一方、スギ 180 角においては、3 点曲げでは欠点 D を除去（6 体）することで節を起点とした破壊が生じたもの 4 体のうち 3 体を除くことになり、4 点曲げでは欠点 D を除去（4 体）することで節を起点とした破壊が生じたもの 5 体のうち 2 体を除くことになり、欠点 D を除去することの影響は 3 点曲げも 4 点曲げも差が小さく、スギ 150 角とは傾向が異なる。このことが、向上率への影響の差が生じた要因と考えられる。

MOR 下限値と JAS の基準強度との比を見ると、スギ 150 角の 3 点加力のみだけが大幅に値を伸ばしており、上の状況を裏付ける結果となっている。

(2) 欠点 CD 除外

ヒノキ 180 角では、3 点曲げ、4 点曲げのどちらにおいても欠点 C が存在しないため、欠点 D を除去した値と同じになることに注意。

欠点 CD を除外した結果を見ると、180 角のスギ材でも 1.09 と JAS 強度を上回る数値となることが分かる。180 角のヒノキ材は依然として JAS 強度を下回っているが、これはもともと節の少ない材料で、節を起点とした破壊が少ないものであった上、寸法効果の影響を強く受けているためと考えられる。

表 3.3.11-1 各補正後の 3P/4P 向上率と MOR 下限値の JAS1 級基準強度との比
 全ての値が含水率補正後の値

樹種	寸法	欠点除去	3P/4P		MOR 下限値/JAS1 級基準強度比	
			平均値	下限値	4 点加力	3 点加力
スギ	150 角	除去無し	1.08	0.97	1.11	1.07
		欠点 D 除去	1.10	1.24	1.11	1.39
		欠点 CD 除去	1.10	1.14	1.20	1.37
	180 角	除去無し	1.12	0.87	1.06	0.93
		欠点 D 除去	1.13	0.89	1.10	0.98
		欠点 CD 除去	1.18	0.91	1.20	1.09
ヒノキ	150 角	除去無し	1.31	1.05	1.00	1.05
		欠点 D 除去 ^{※1}	1.31	1.05	1.00	1.05
		欠点 CD 除去	1.31	1.06	1.01	1.08
	180 角	除去無し	1.05	0.90	1.02	0.91
		欠点 D 除去	1.07	0.96	1.00	0.96
		欠点 CD 除去 ^{※2}	1.07	0.96	1.00	0.96

※1：ヒノキ 150 角では、節ランク D がなかったため値は除去無しと同じ

※2：ヒノキ 180 角では、節ランク C がなかったため値は欠点 D 除去と同じ

表 3.3.11-2 節ランク見直し：欠点計測区間内の欠点（モーメント影響範囲内）－3点曲げ

S15			S18			H15			H18		
試験体 番号	M 区間 内欠点	破壊の 起点									
S15-1	D		S18-2	C		H15-3	A		H18-1	A	
S15-3	C	節	S18-3	C		H15-5	A		H18-3	B	節
S15-5	D		S18-4	D	節	H15-11	A		H18-4	A	
S15-6	D	節	S18-8	D		H15-12	A		H18-7	A	
S15-7	D		S18-16	C		H15-17	A		H18-18	A	
S15-10	C	節	S18-17	D	節	H15-18	A		H18-19	B	
S15-11	A		S18-18	A		H15-21	A	節	H18-20	A	
S15-12	A		S18-19	B	節	H15-23	C	節	H18-23	A	
S15-15	A		S18-20	D		H15-24	A		H18-24	A	
S15-17	D	節	S18-23	D	節	H15-25	B	節	H18-25	A	
S15-18	B	節	S18-24	B		H15-27	A		H18-26	A	
S15-23	D	節	S18-25	A		H15-28	A		H18-28	A	
S15-25	C	節	S18-26	C		H15-29	A		H18-29	A	
S15-26	B	節	S18-29	A		H15-30	A	節	H18-30	A	
S15-28	D	節	S18-31	D		H15-31	A		H18-31	A	
S15-29	B	節	S18-32	C		H15-32	A		H18-32	D	

表 3.3.11-3 節ランク見直し：欠点計測区間内の欠点（モーメント影響範囲内）－4点曲げ

S15-2	D		S18-1	D	節	H15-1	A		H18-2	D	
S15-4	D		S18-5	D		H15-2	A		H18-5	A	
S15-8	A		S18-6	B	節	H15-4	B		H18-6	A	
S15-9	A		S18-7	C		H15-6	B	節	H18-7	A	
S15-13	A		S18-9	B		H15-7	A		H18-8	A	
S15-14	C		S18-10	B	節	H15-8	A		H18-9	A	
S15-16	C		S18-11	B		H15-9	C		H18-10	A	
S15-19	C	節	S18-12	C		H15-10	C	節	H18-11	A	
S15-20	C		S18-13	C		H15-13	A		H18-12	A	
S15-21	A		S18-14	C		H15-14	A		H18-13	D	節
S15-22	D	節	S18-15	D	節	H15-15	A		H18-14	B	
S15-24	A		S18-21	D		H15-16	B		H18-15	A	
S15-27	A		S18-22	A		H15-19	A		H18-16	A	
S15-30	C		S18-27	A		H15-20	B		H18-22	A	
S15-31	D		S18-28	C	節	H15-22	A		H18-23	A	
S15-32	A		S18-30	A		H15-26	A		H18-27	B	

表 3.3.11-4 MOR 試験値_含水率補正+欠点 D 除外

		スギ		ヒノキ		スギ		ヒノキ	
		S15-4P	S15-3P	H15-4P	H15-3P	S18-4P	S18-3P	H18-4P	H18-3P
試験体数	n	12	9	16	16	12	10	14	15
下限値を 求めるた めの係数	k	2.048	2.142	1.972	1.972	1.991	2.104	1.991	1.991
平均値	ave	46.93	51.41	55.63	73.11	34.37	38.68	52.53	56.13
標準偏差	stdev	8.23	6.52	8.78	16.70	2.27	5.87	7.01	9.61
変動係数	cv	0.175	0.127	0.158	0.228	0.066	0.152	0.133	0.171
下限値	005F	30.08	37.44	38.31	40.18	29.85	26.33	38.57	37.00

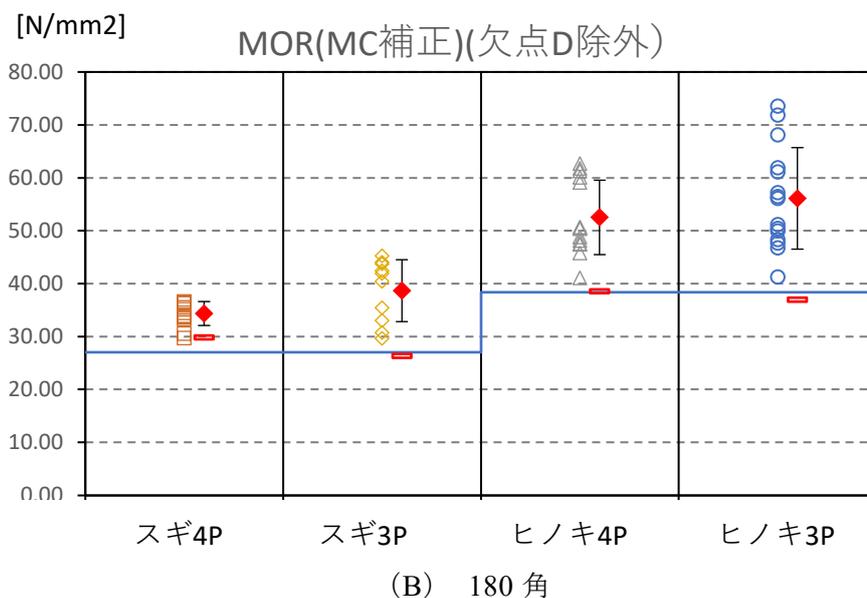
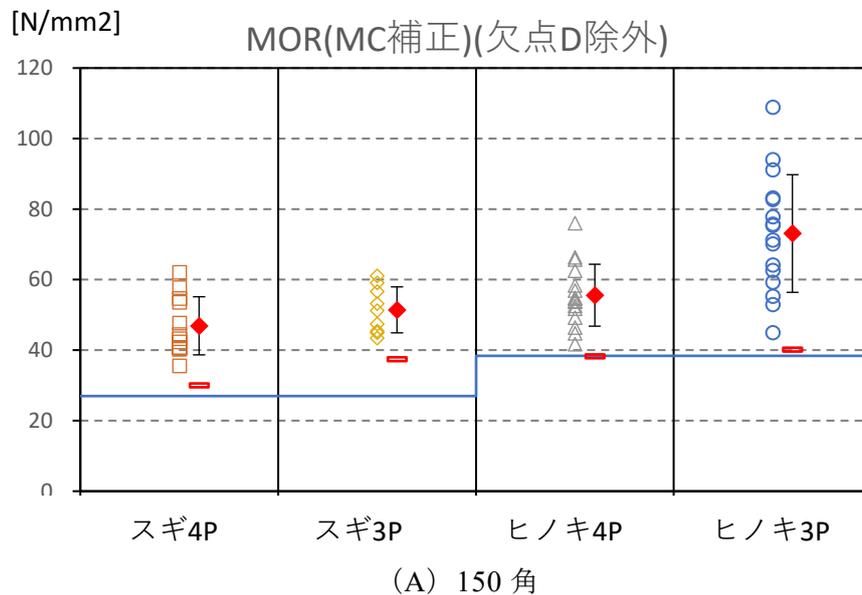


図 3.3.11-1 MOR 試験結果 (含水率補正+欠点 D 除外)

表 3.3.11-5 MOR 試験値_含水率補正+欠点 CD 除外

		スギ		ヒノキ		スギ		ヒノキ	
		S15-4P	S15-3P	H15-4P	H15-3P	S18-4P	S18-3P	H18-4P	H18-3P
試験体数	n	7	6	14	15	7	5	14	15
下限値を 求めるた めの係数	k	2.251	2.336	1.972	1.991	2.251	2.464	1.991	1.991
平均値	ave	48.14	53.17	56.74	74.29	35.10	41.27	52.53	56.13
標準偏差	stdev	6.94	6.94	8.84	16.58	1.23	4.77	7.01	9.61
変動係数	cv	0.144	0.131	0.156	0.223	0.035	0.115	0.133	0.171
下限値	005F	32.51	36.95	39.31	41.29	32.33	29.53	38.57	37.00

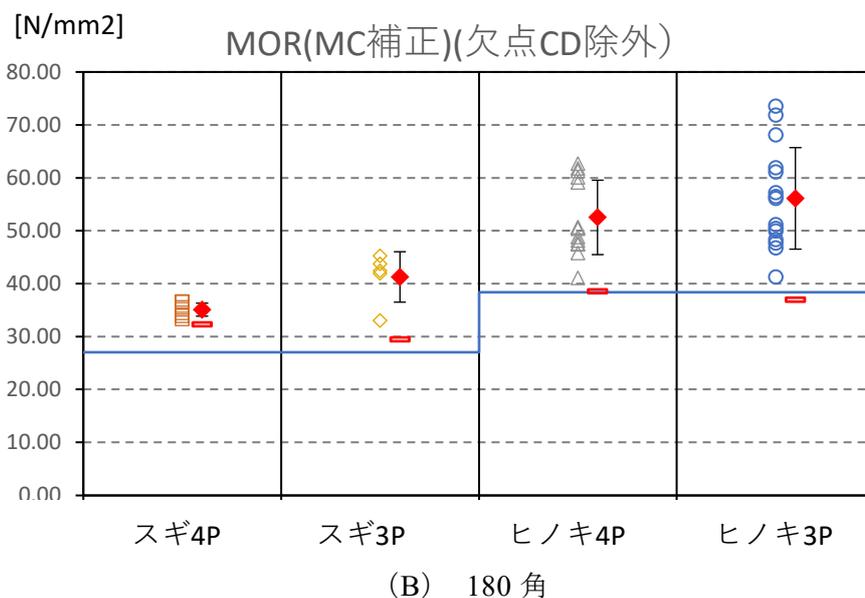
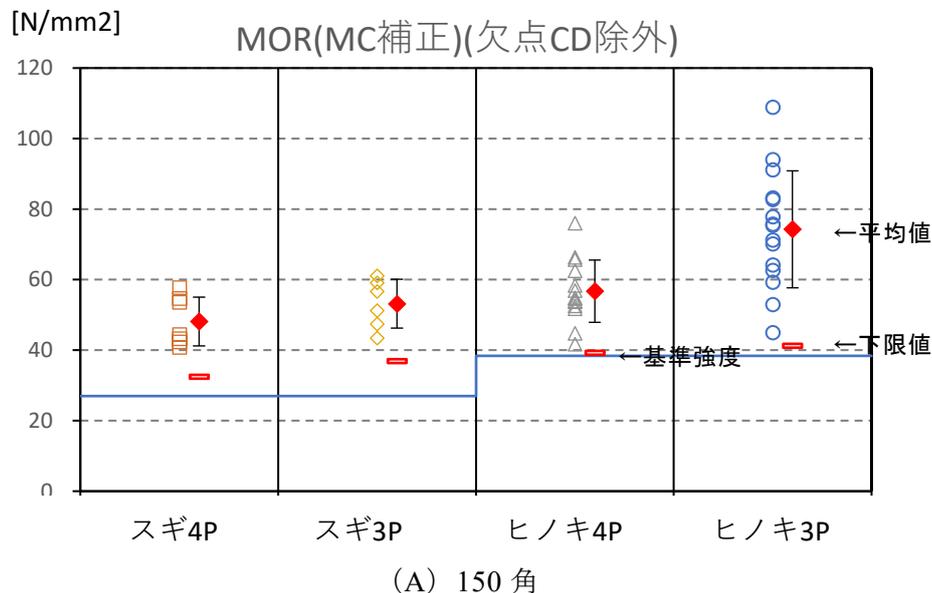


図 3.3.11-2 MOR 試験結果 (含水率補正+欠点 CD 除外)

3.4 まとめ

本章の検討で得られた結果を以下にまとめる。

1. 3点曲げ強度は4点曲げ強度に比べて平均値は10%~30%程度向上する。しかし、ばらつきが大きくなる傾向があり、その結果下限値としては、87%~105%と、むしろ3点曲げ条件の方が4点曲げ強度を下回る結果となる。
2. 今回用いた材料が、スギ・ヒノキとも概ねその150角4点曲げ下限強度がJAS1級基準強度と同等であったことを踏まえて、欠点を除去した条件を想定した検討を行った。その結果、
 - ・150角の材料においては、節径30mm以上を除去すると、3点曲げ強度下限値は、JAS比1.39（スギ）となり、基準強度を上回った。ヒノキはこのレベルの欠点が無かったので、当初より1.05（ヒノキ）である。
 - ・一方で180角の材料では欠点除去前はスギ・ヒノキともJAS強度を下回り、これは寸法効果の影響を強く受けているためと考えられる。
 - ・また、欠点の除外範囲を節径20mm以上にすると、さらに下限強度のJAS強度に対する向上率が高まる傾向が見られた。
3. 寸法効果の影響については、3点曲げ条件の方が、4点曲げよりも強くでる傾向がある。
4. 以上を踏まえ、伝統構法の差鴨居柱の強度を検討する際には、その強度特性値は基準強度に対して高くなることを想定することが可能である。一方で、適切な寸法調整係数を併せて考慮する必要がある。

3.5 資料：欠点記録

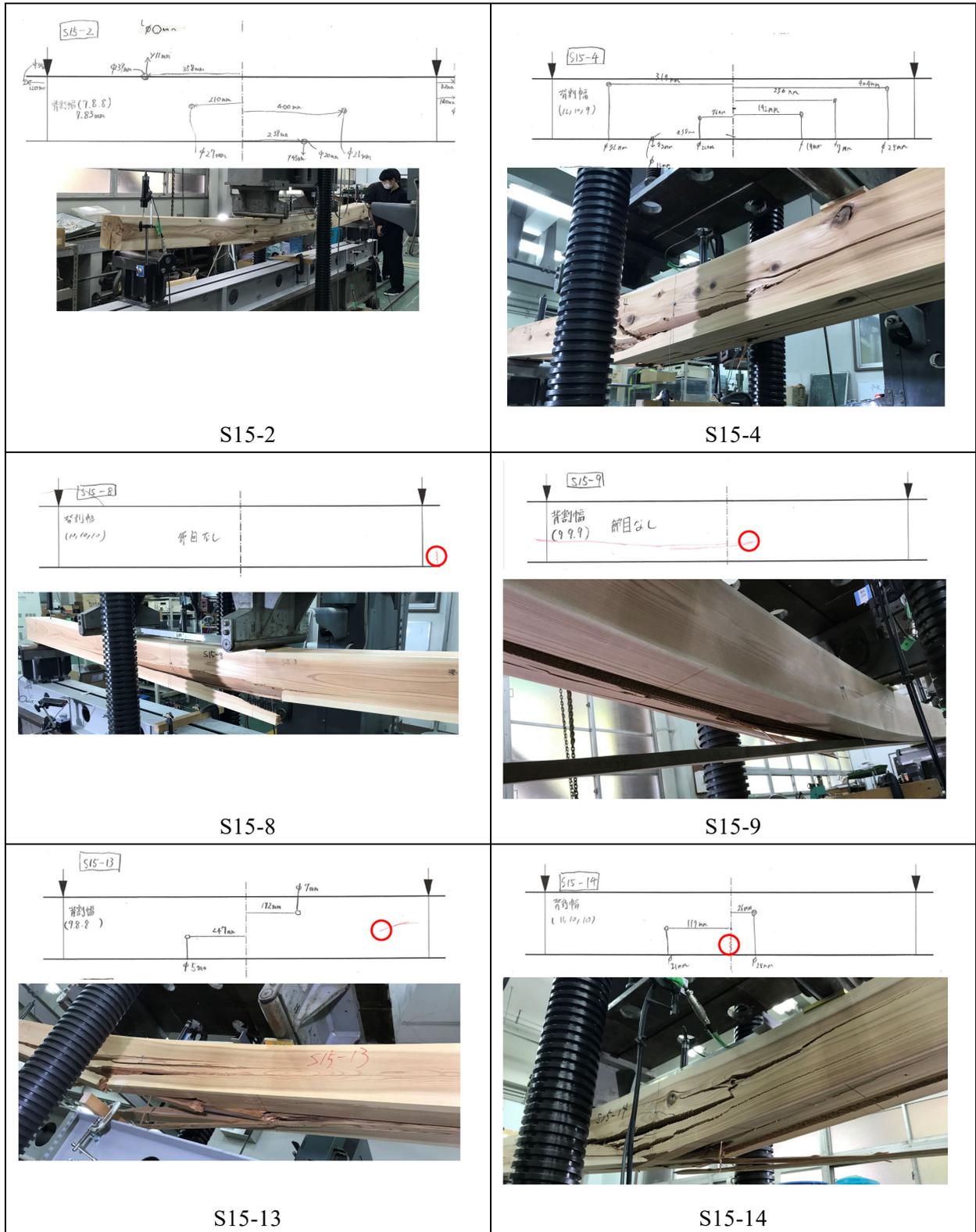


図 3.5-1 欠点計測記録と破壊性状 ((スギ 150 角、4 点曲げ) -1)

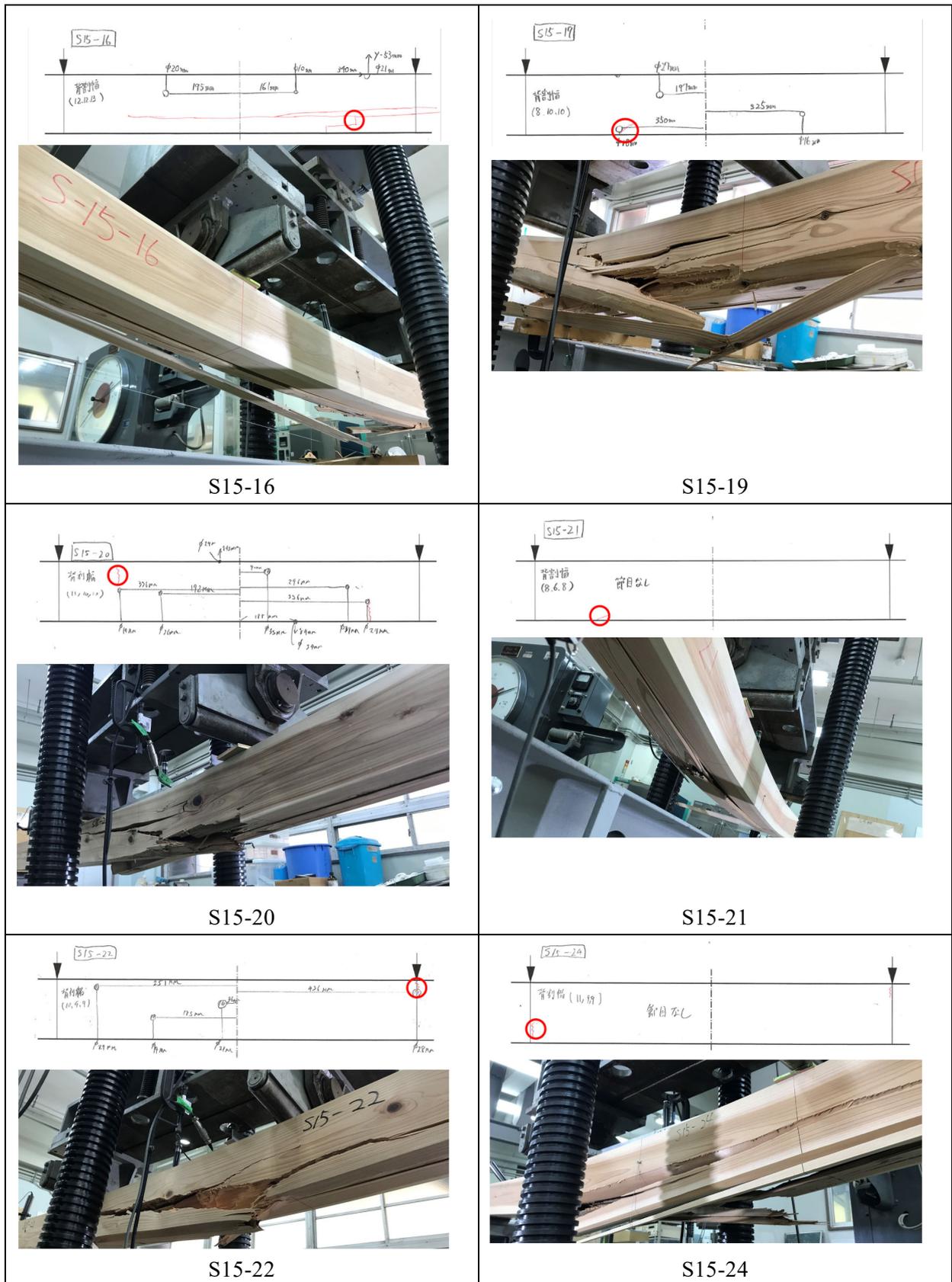


図 3.5-2 欠点計測記録と破壊性状 ((スギ 150 角、4 点曲げ) -2)

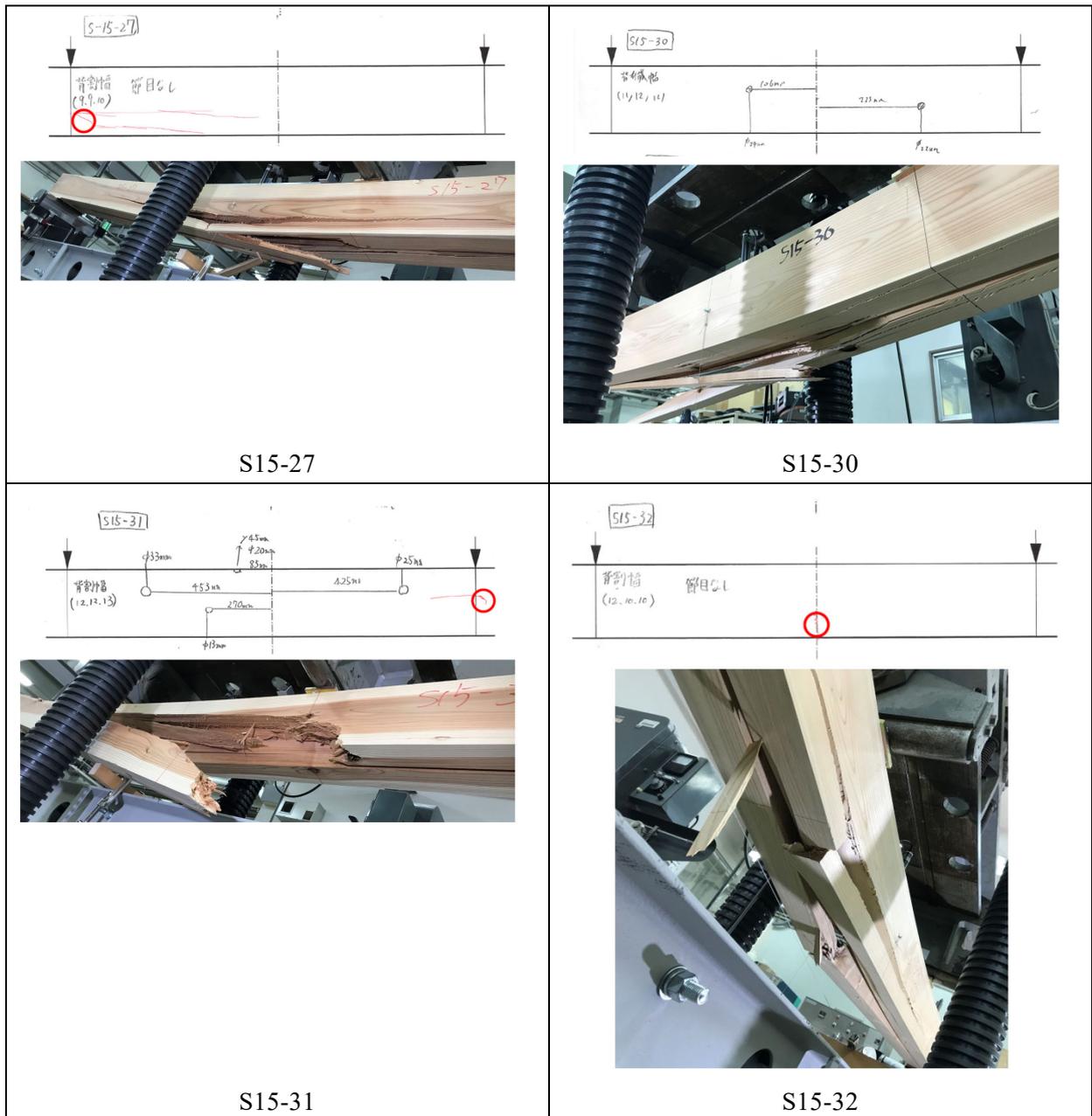


図 3.5-3 欠点計測記録と破壊性状 ((スギ 150 角、4 点曲げ) -3)

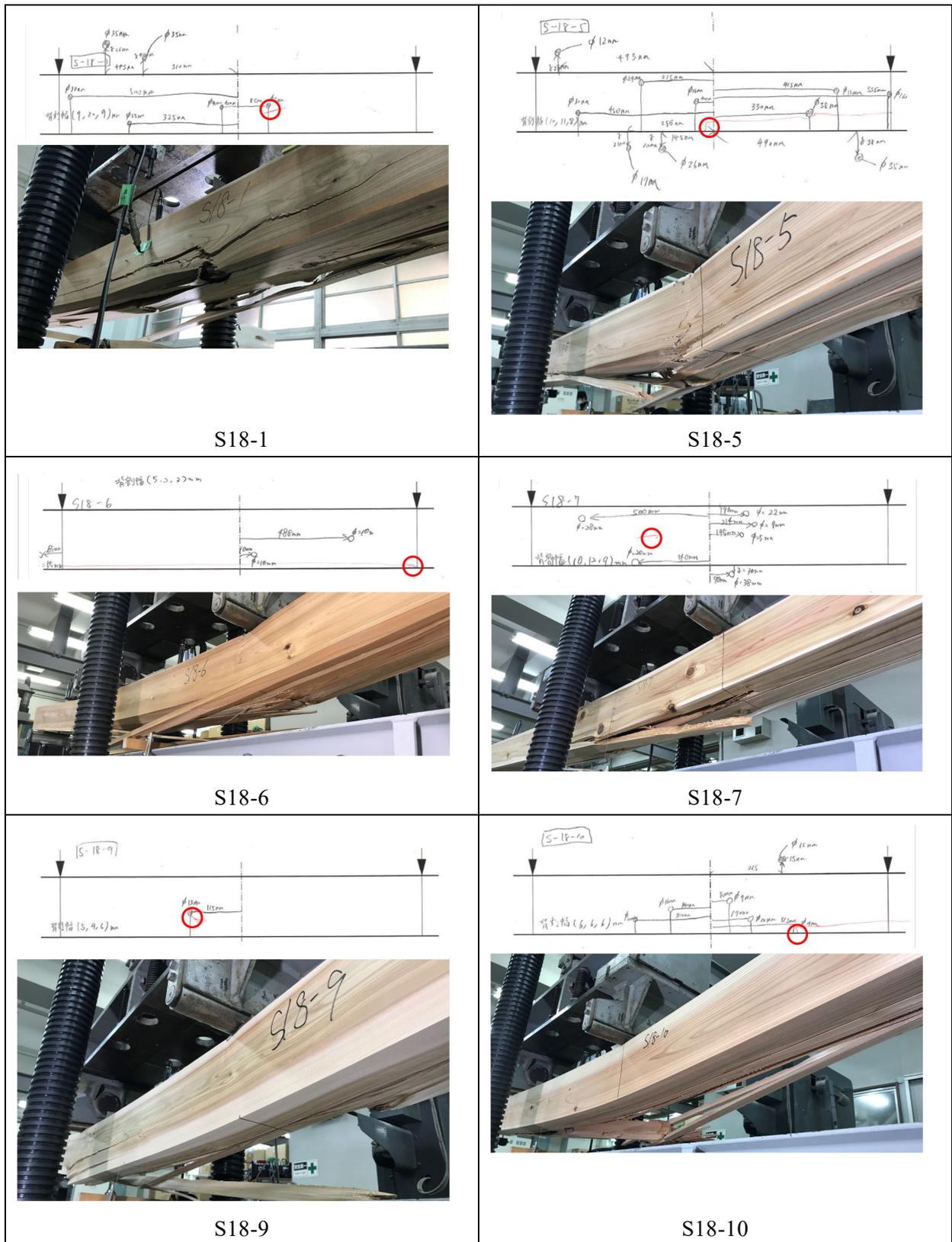


図 3.5-4 欠点計測記録と破壊性状 ((スギ 180 角、4 点曲げ) -1)

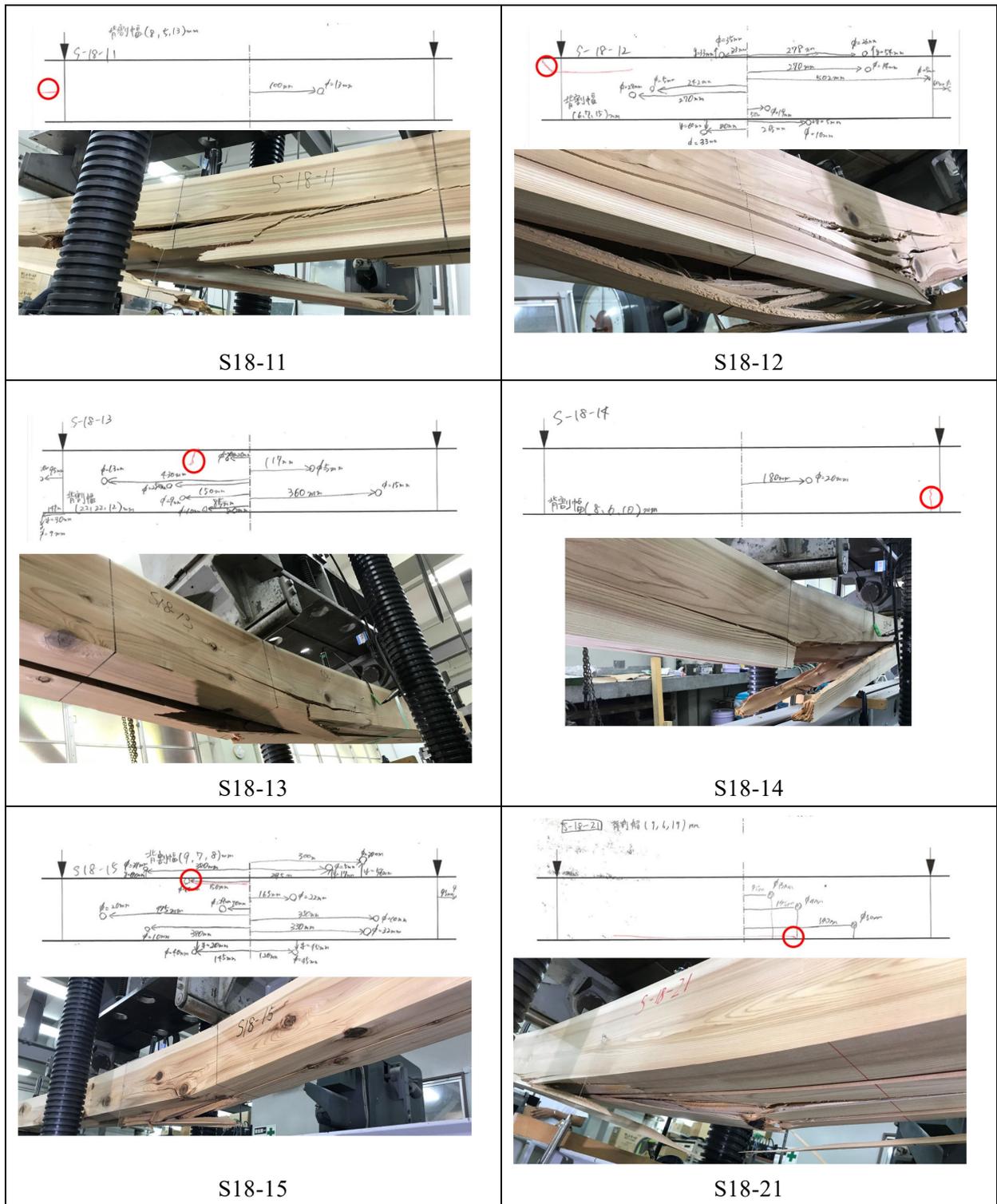


図 3.5-5 欠点計測記録と破壊性状 ((スギ 180 角、4 点曲げ) -2

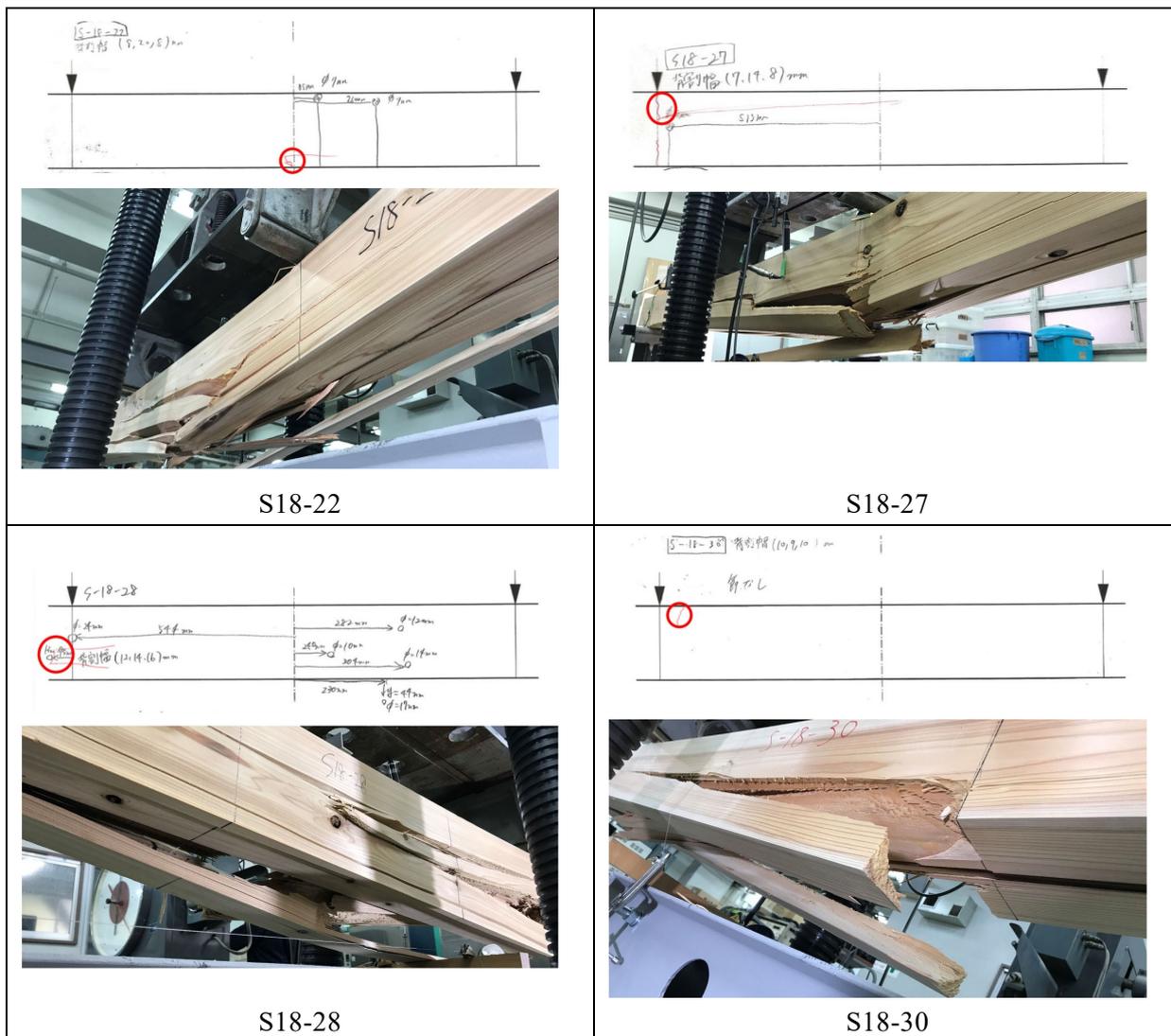


図 3.5-6 欠点計測記録と破壊性状 ((スギ 180 角、4 点曲げ) -3

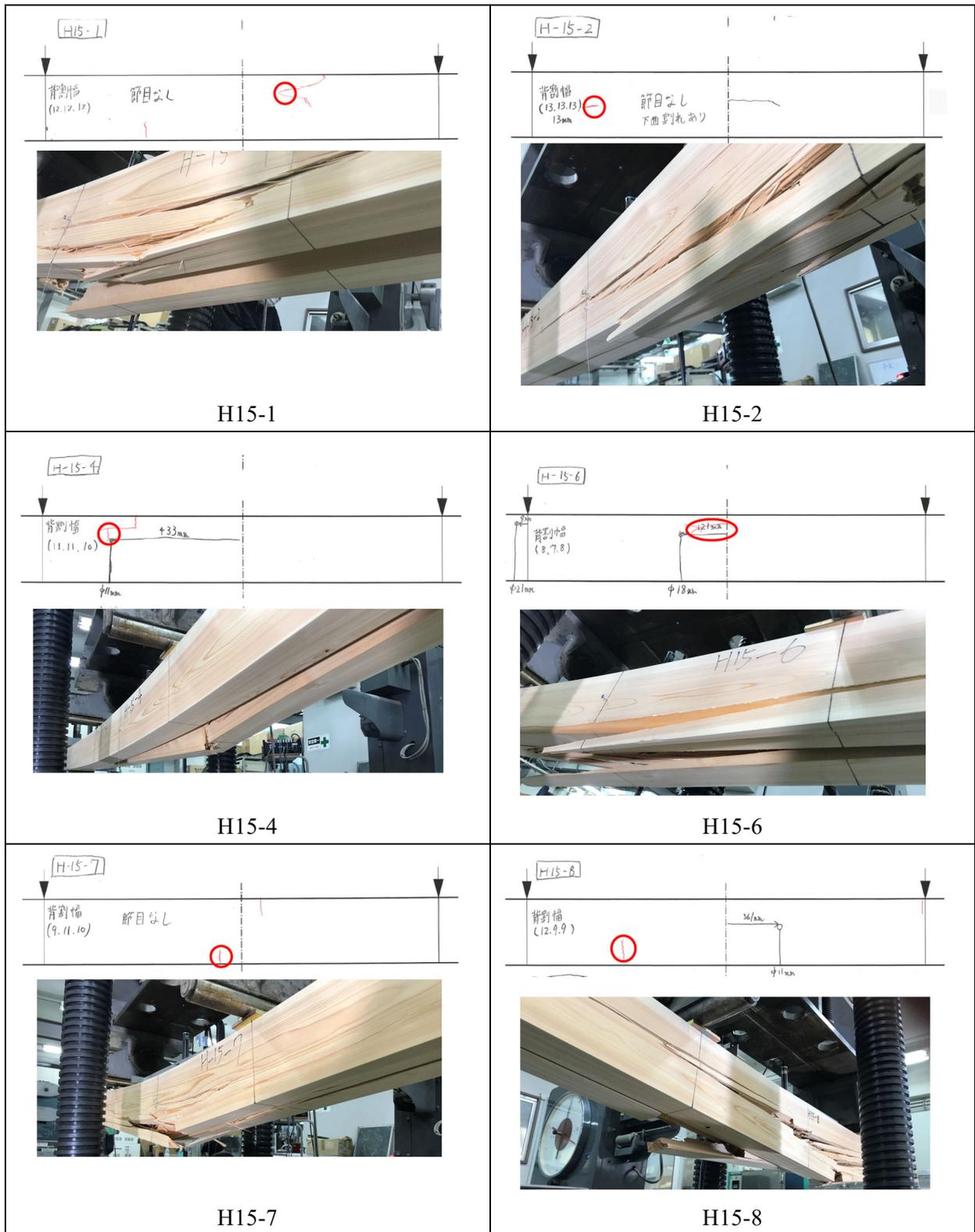


図 3.5-7 欠点計測記録と破壊性状 ((ヒノキ 150 角、4 点曲げ) -1

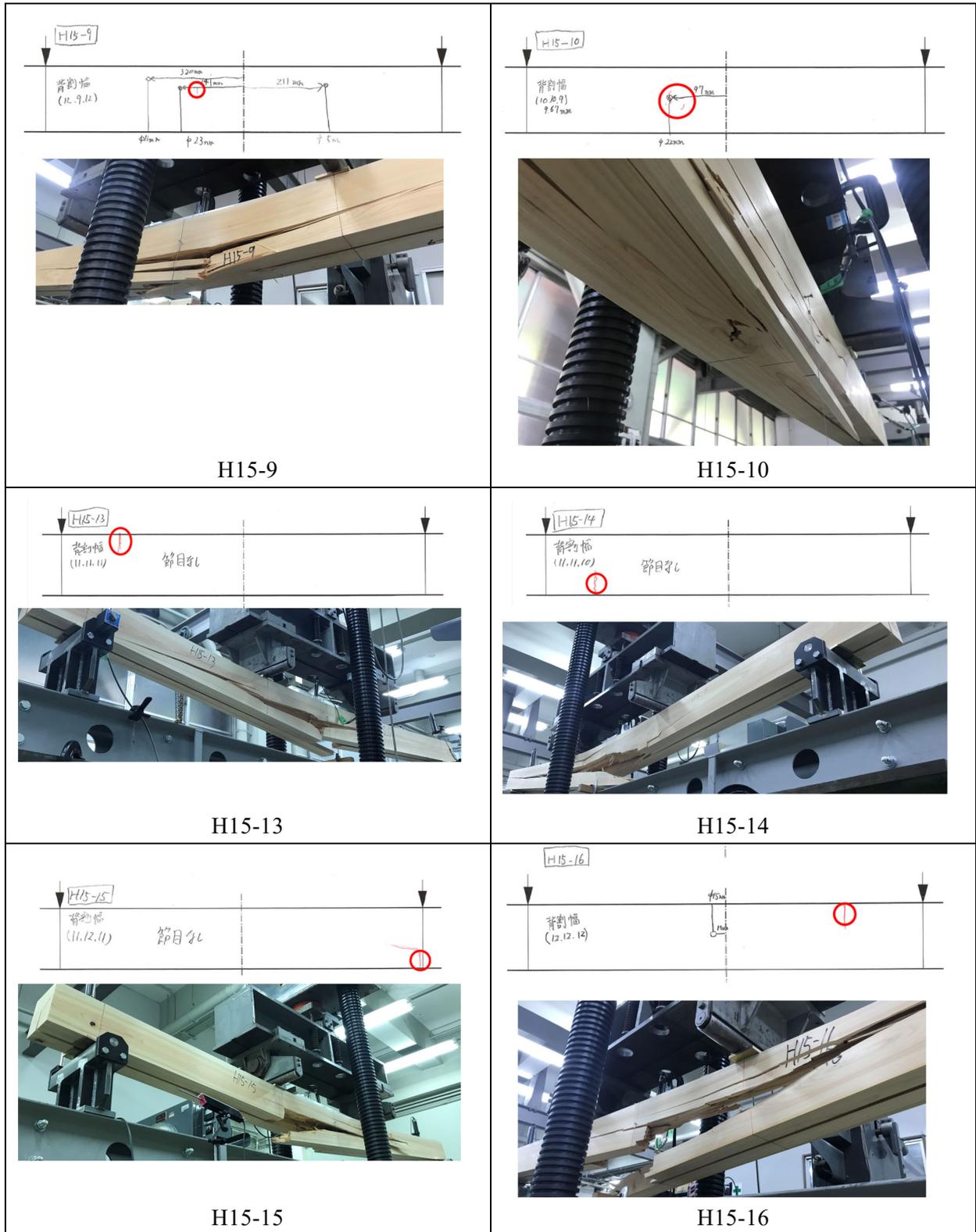


図 3.5-8 欠点計測記録と破壊性状 ((ヒノキ 150 角、4 点曲げ) -2

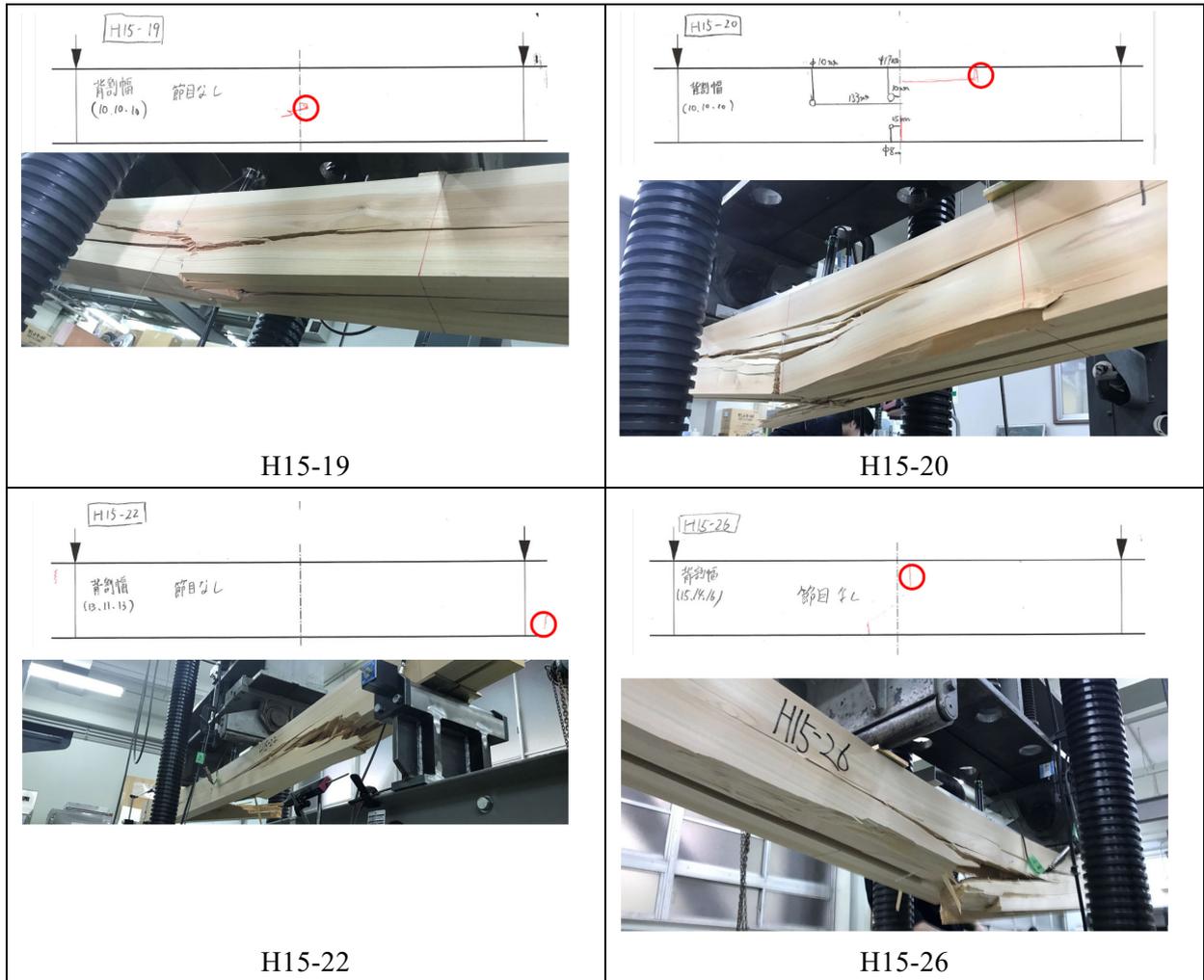


図 3.5-9 欠点計測記録と破壊性状 ((ヒノキ 150 角、4 点曲げ) -3

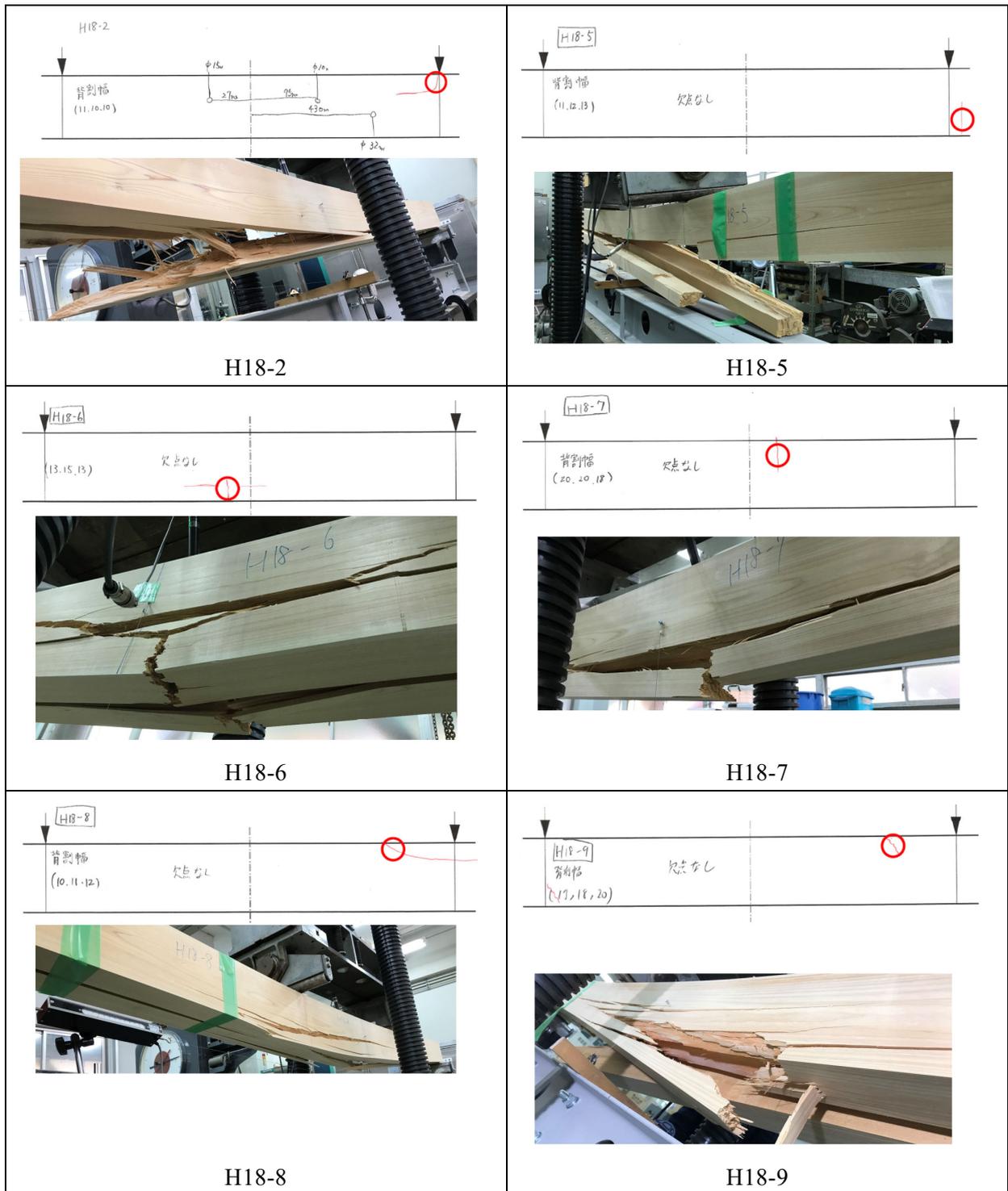


図 3.5-10 欠点計測記録と破壊性状 ((ヒノキ 180 角、4 点曲げ) -1



図 3.5-11 欠点計測記録と破壊性状 ((ヒノキ 180 角、4 点曲げ) -2

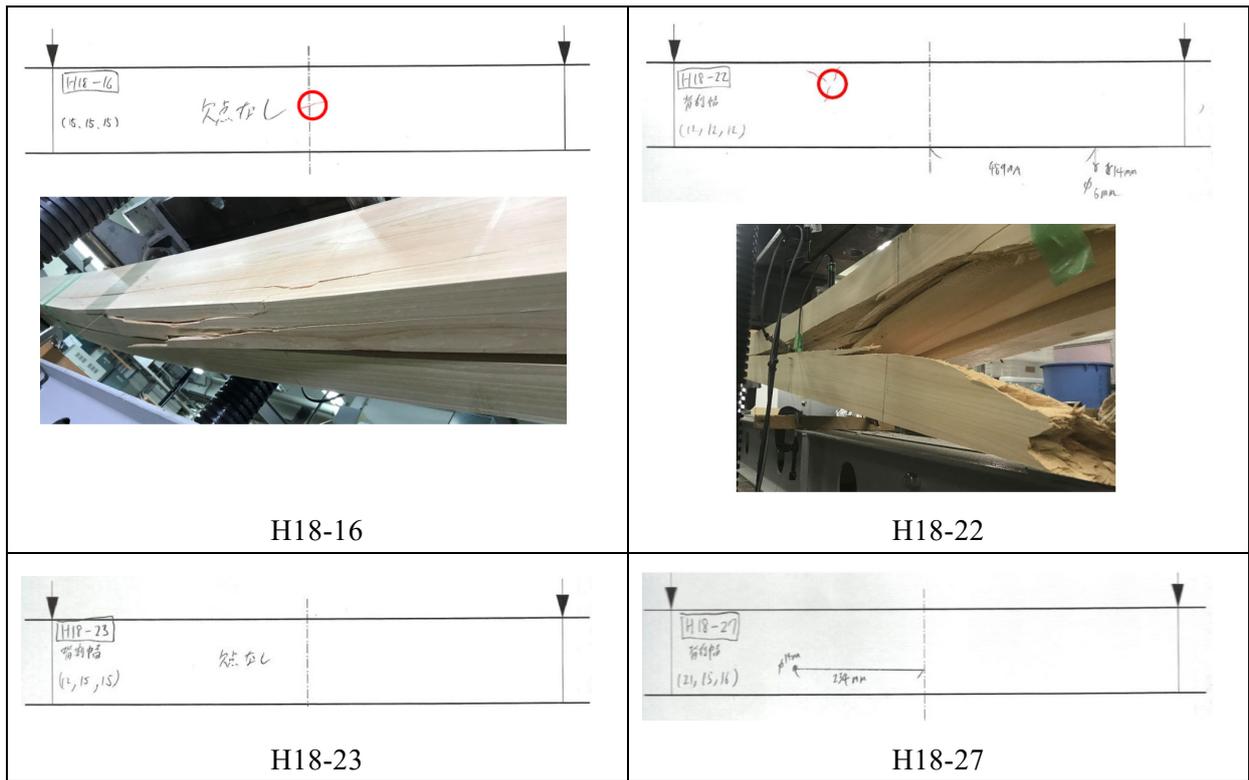


図 3.5-12 欠点計測記録と破壊性状 ((ヒノキ 180 角、4 点曲げ) -3



図 3.5-13 欠点計測記録と破壊性状 ((スギ 150 角、3 点曲げ) -1

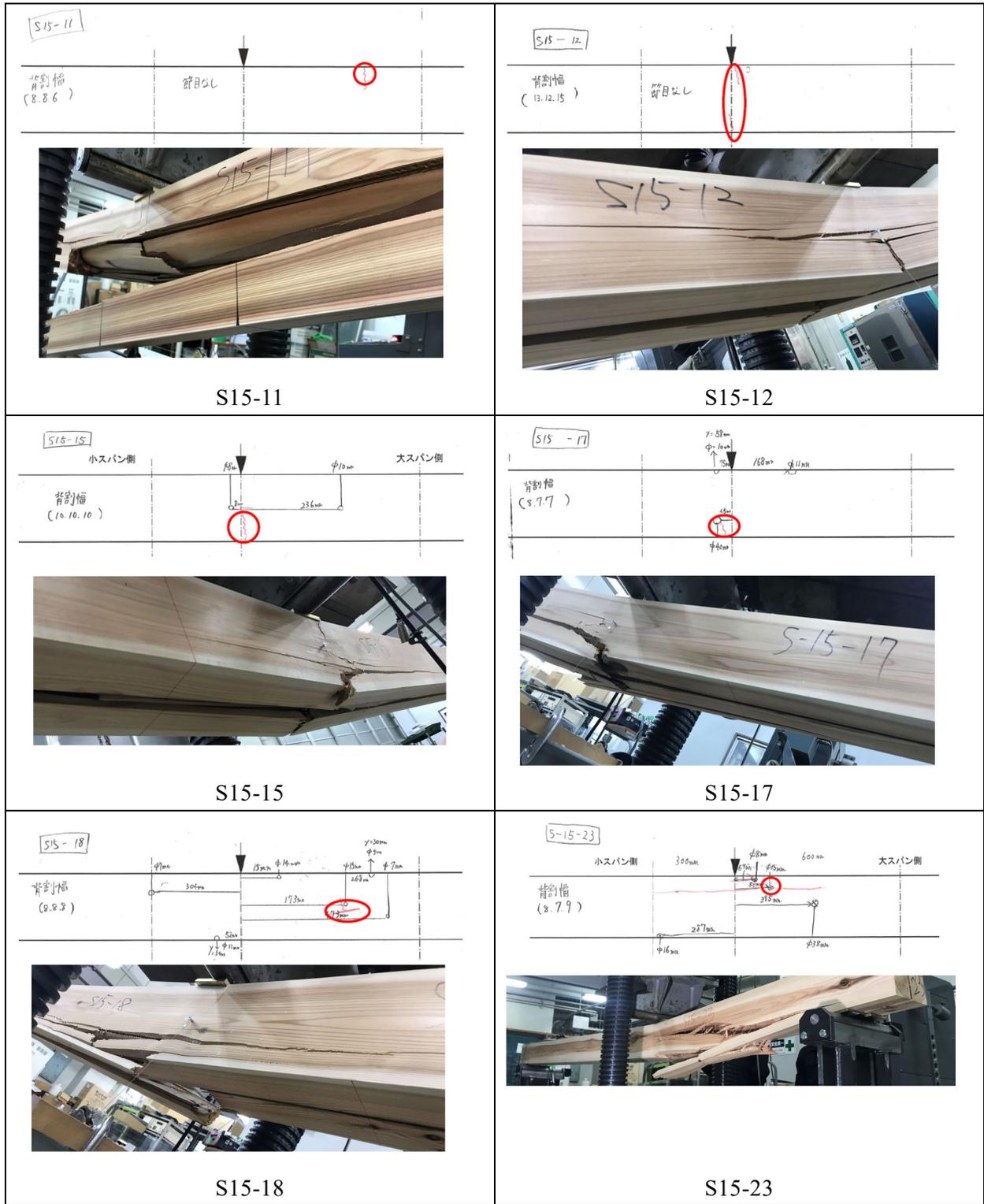


図 3.5-14 欠点計測記録と破壊性状 ((スギ 150 角、3 点曲げ) -2

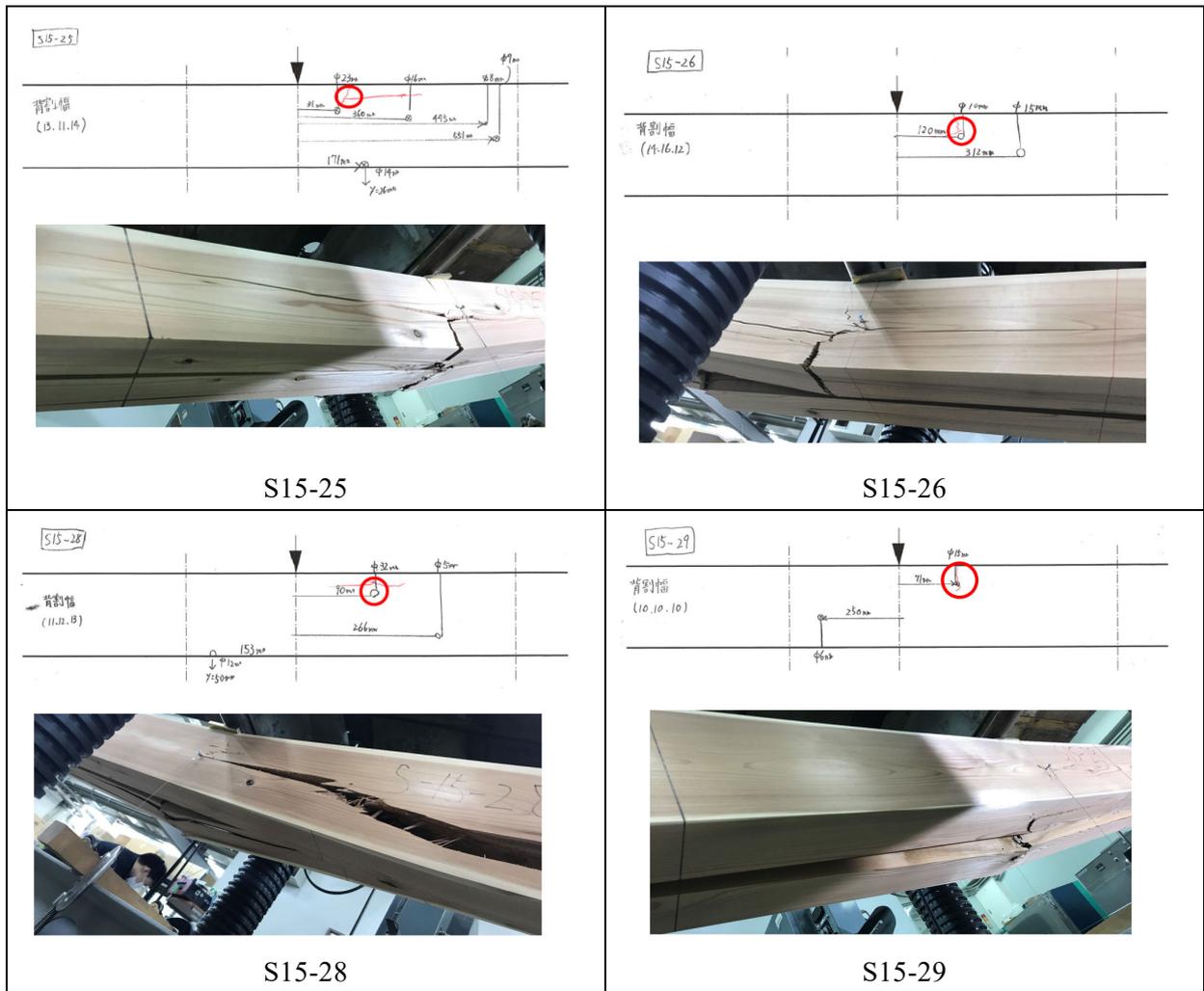


図 3.5-15 欠点計測記録と破壊性状 ((スギ 150 角、3 点曲げ) -3

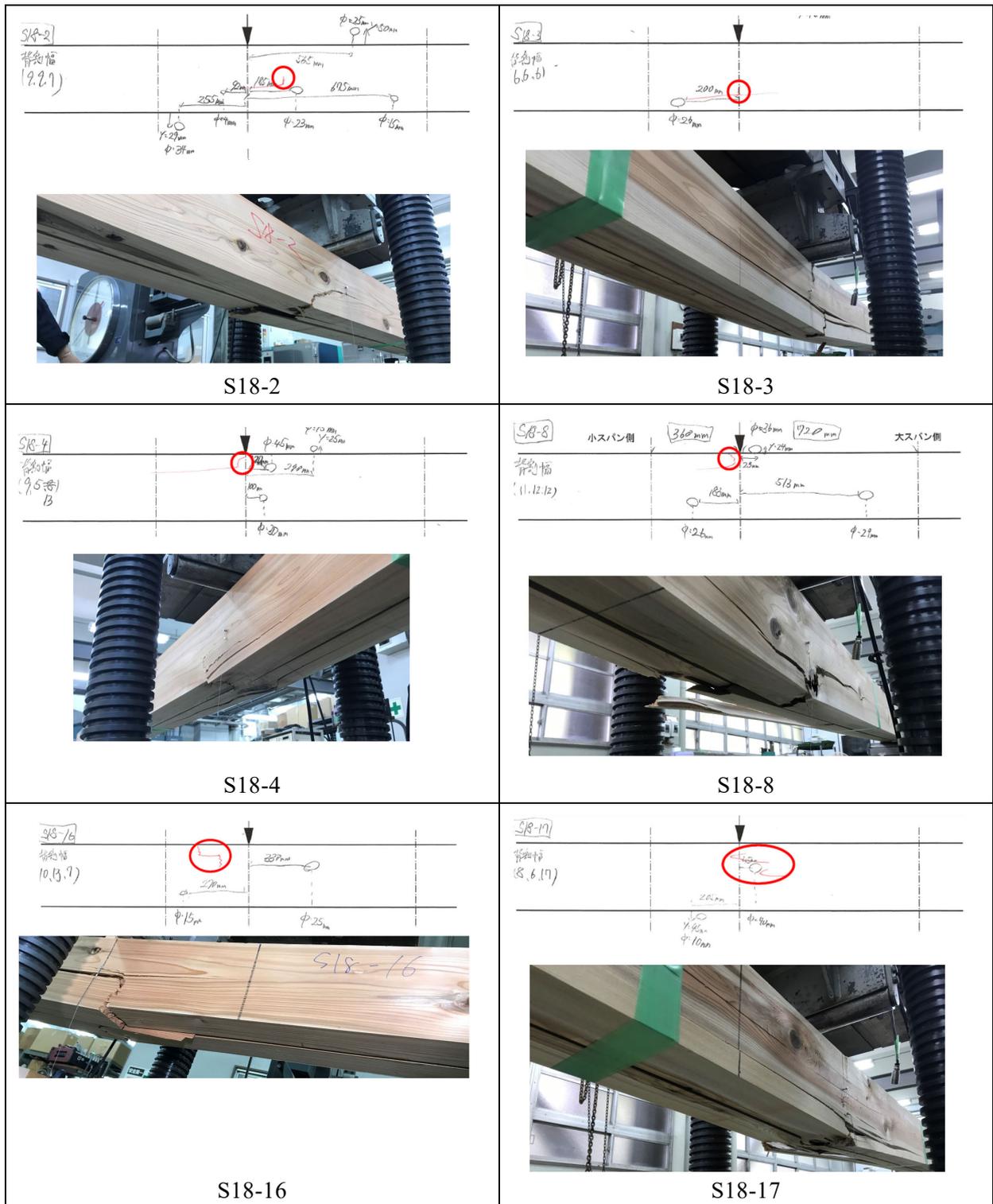


図 3.5-16 欠点計測記録と破壊性状 ((スギ 180 角、3 点曲げ) -1

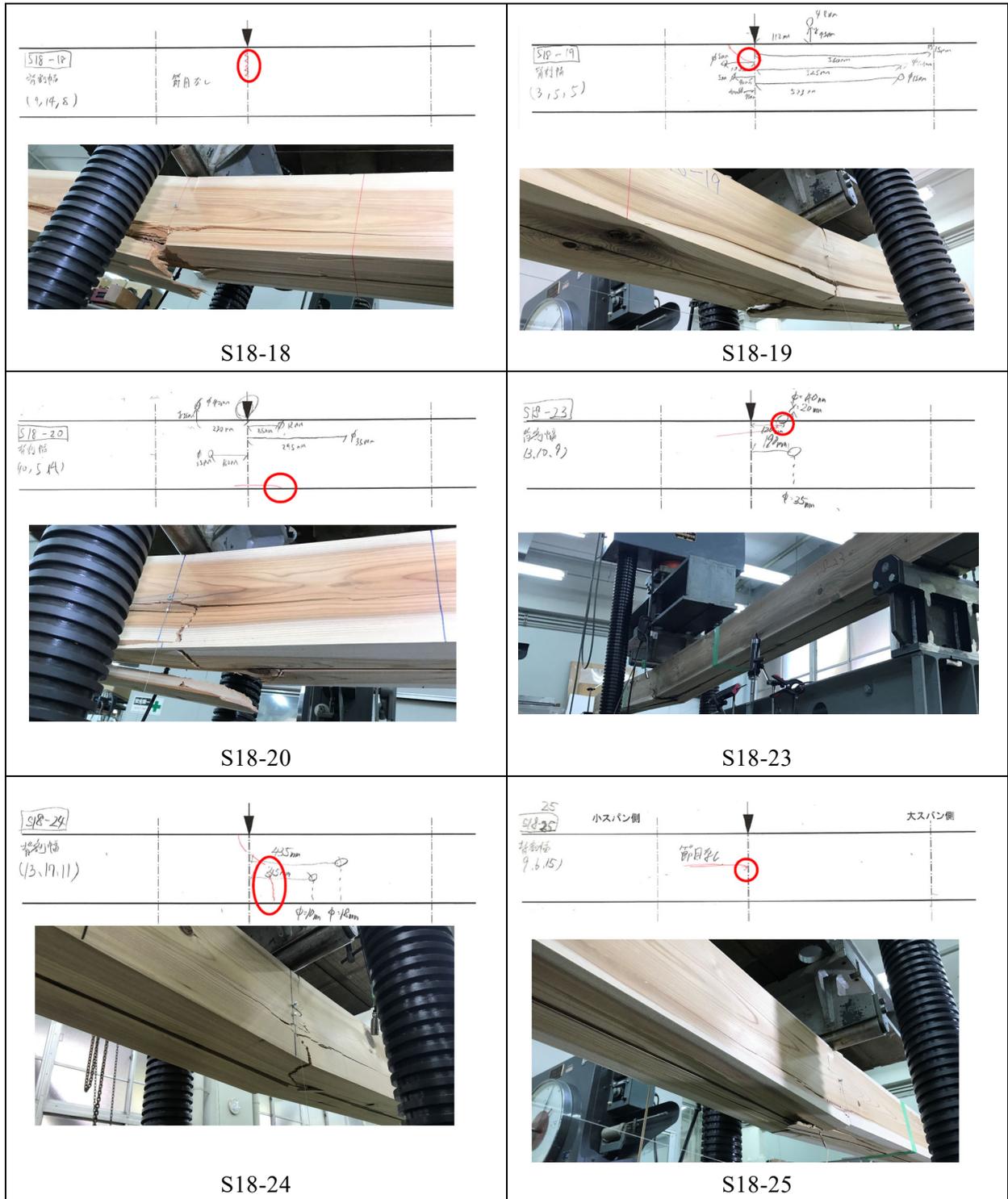


図 3.5-17 欠点計測記録と破壊性状 ((スギ 180 角、3 点曲げ) -2

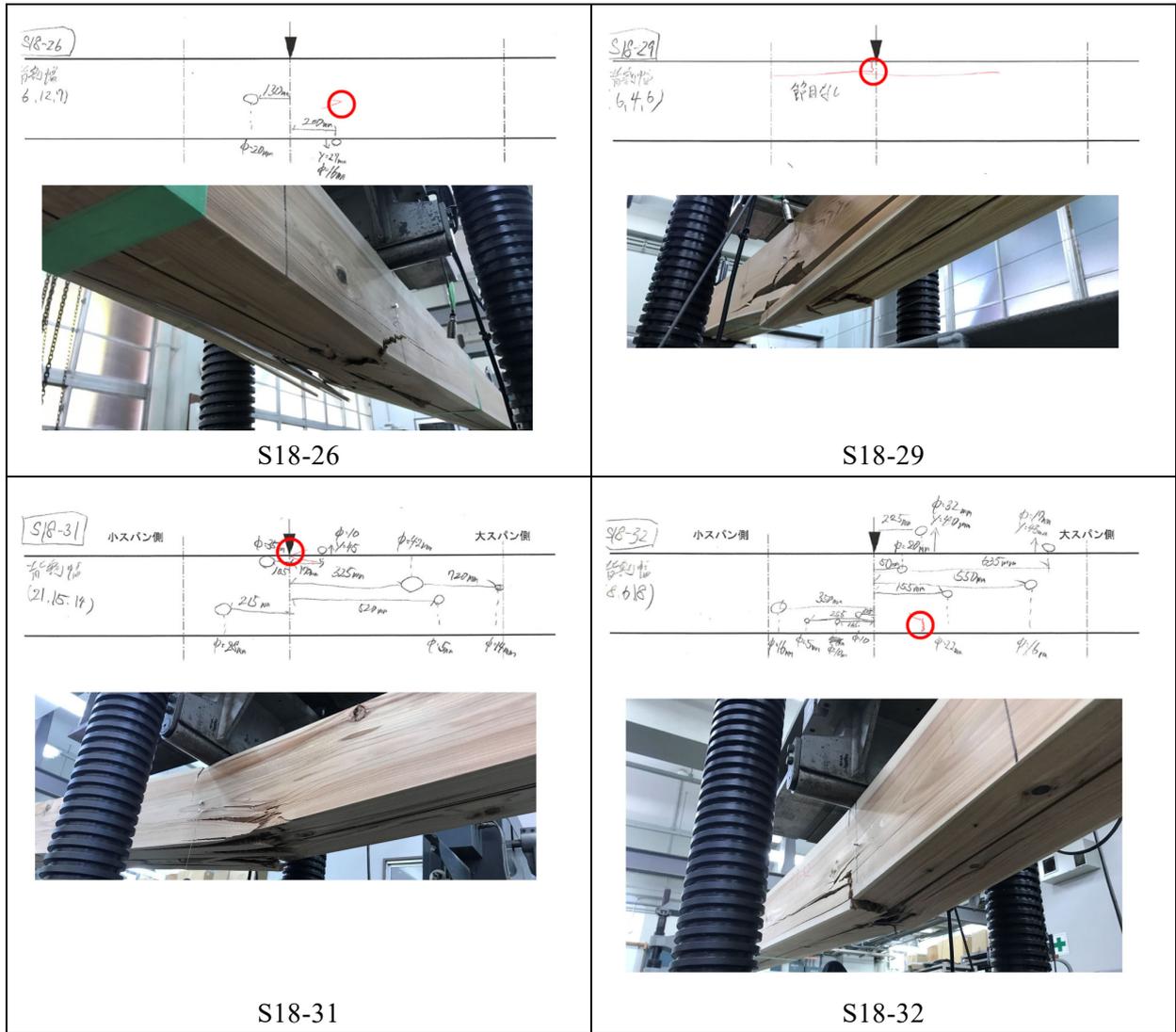


図 3.5-18 欠点計測記録と破壊性状 ((スギ 180 角、3 点曲げ) -3

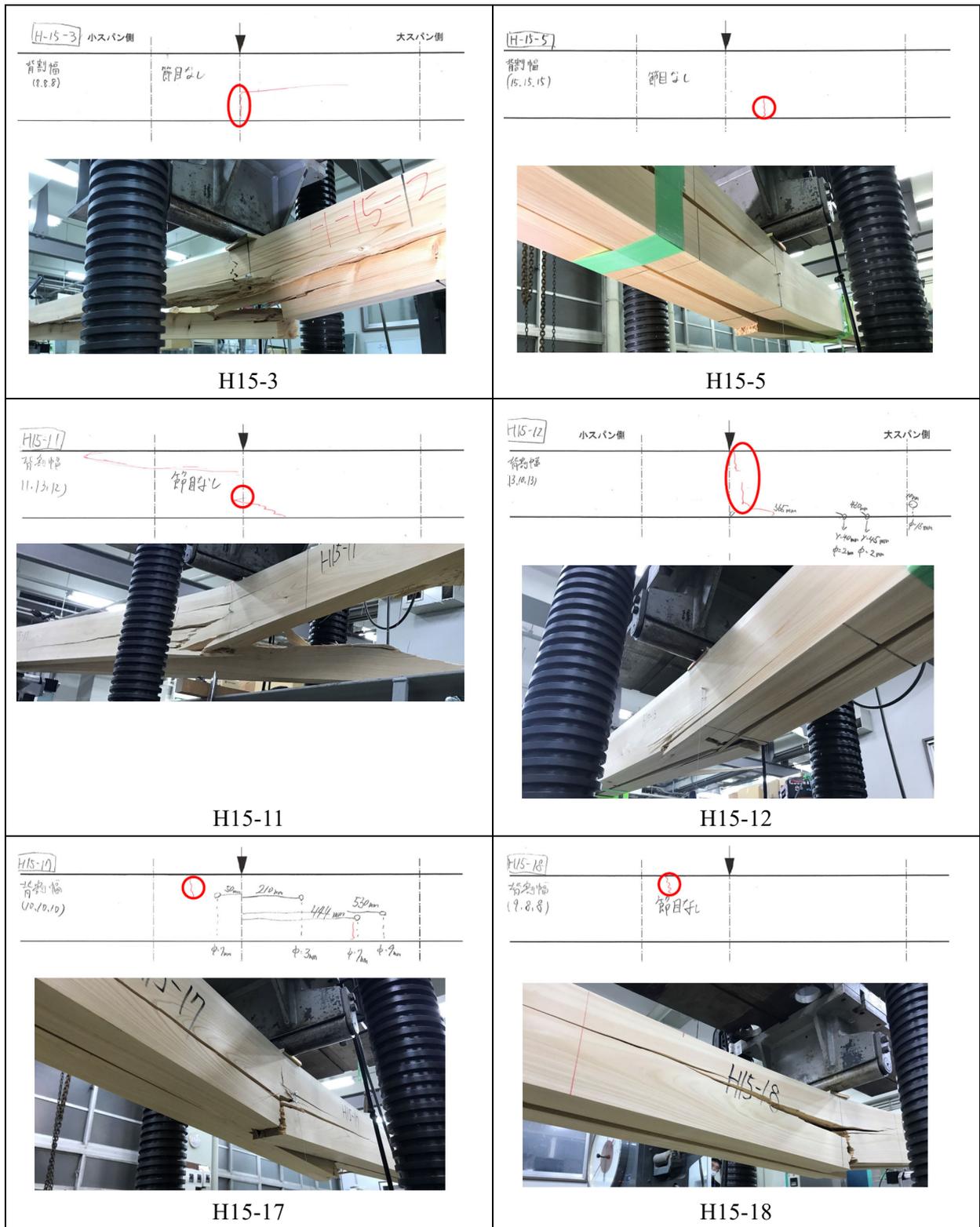


図 3.5-19 欠点計測記録と破壊性状 ((ヒノキ 150 角、3 点曲げ) - 1

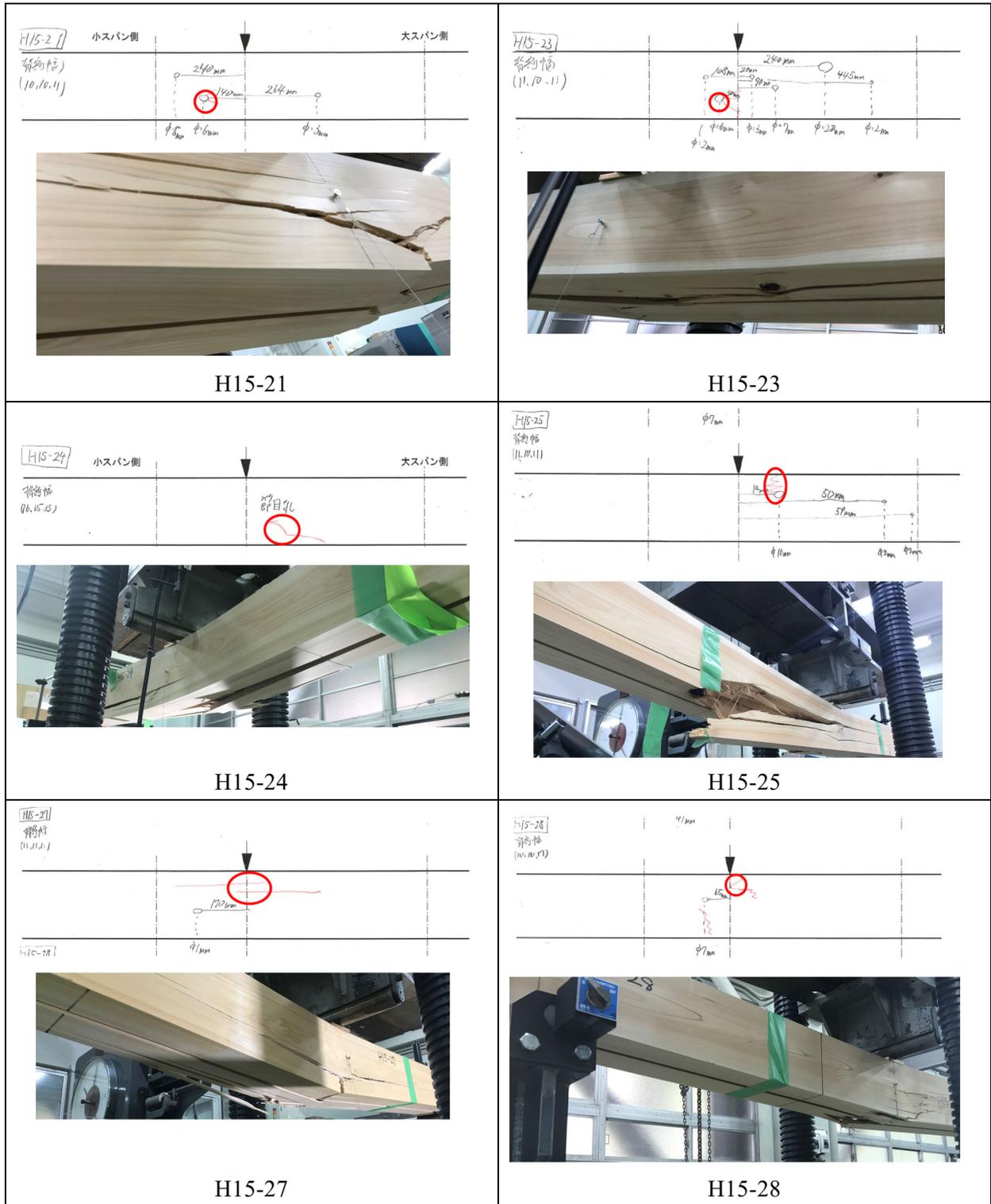


図 3.5-20 欠点計測記録と破壊性状 ((ヒノキ 150 角、3 点曲げ) -2

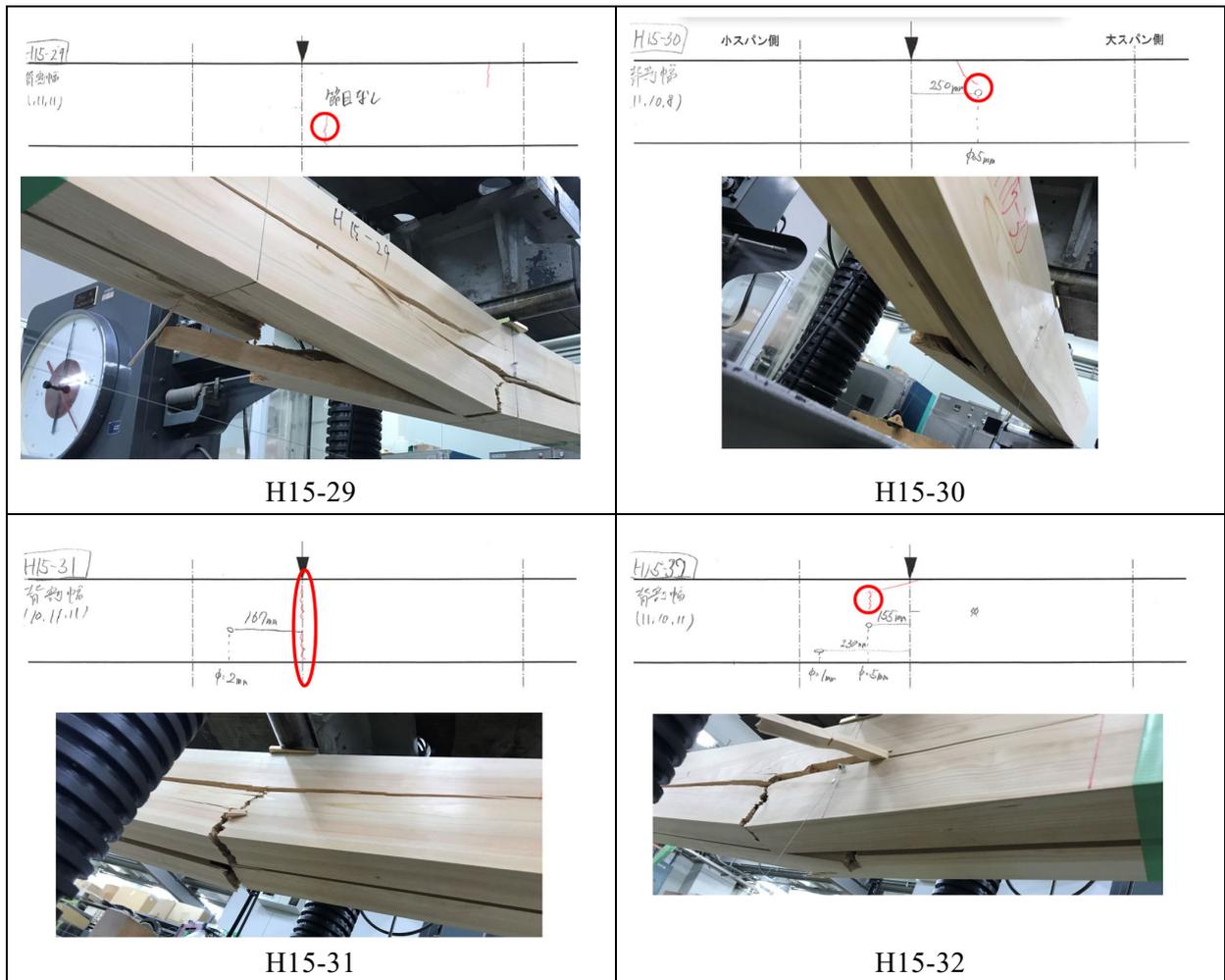


図 3.5-21 欠点計測記録と破壊性状 ((ヒノキ 150 角、3 点曲げ) -3



図 3.5-22 欠点計測記録と破壊性状 ((ヒノキ 180 角、3 点曲げ) -1

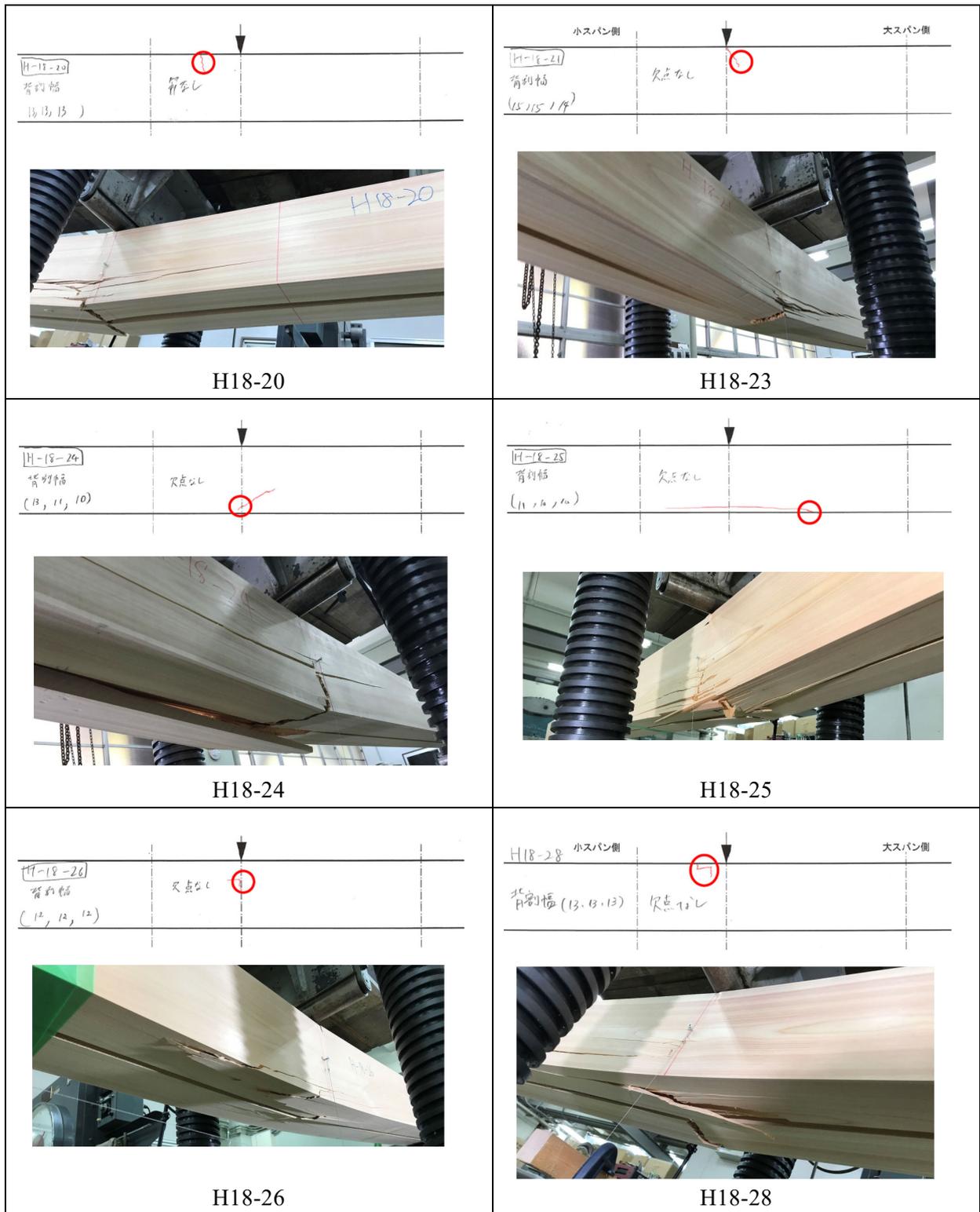


図 3.5-23 欠点計測記録と破壊性状 ((ヒノキ 180 角、3 点曲げ) -2

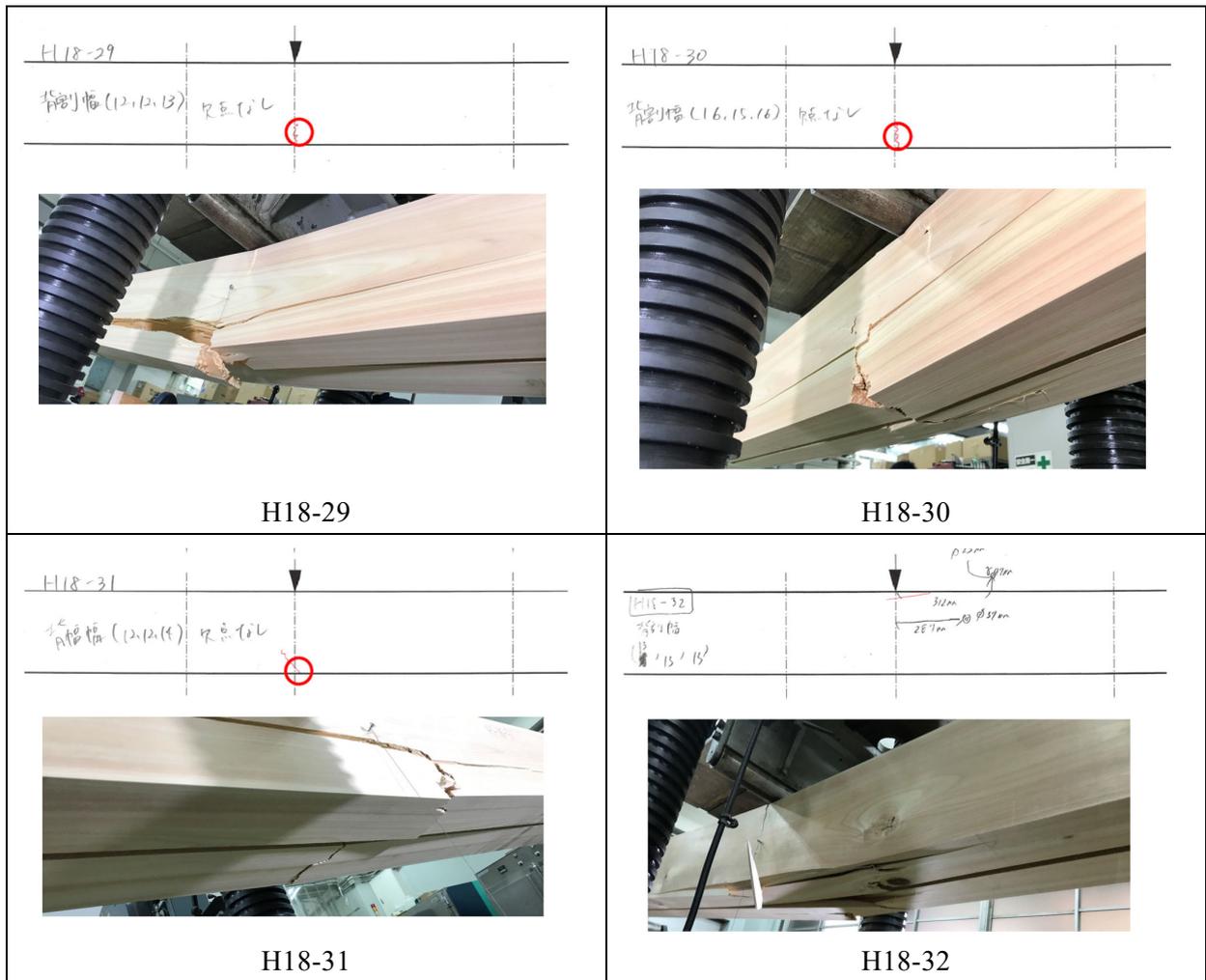


図 3.5-24 欠点計測記録と破壊性状 ((ヒノキ 180 角、3 点曲げ) -3

第4章 断面欠損の有無による曲げ強度の 相違の確認実験（集成材）

4.1 試験体

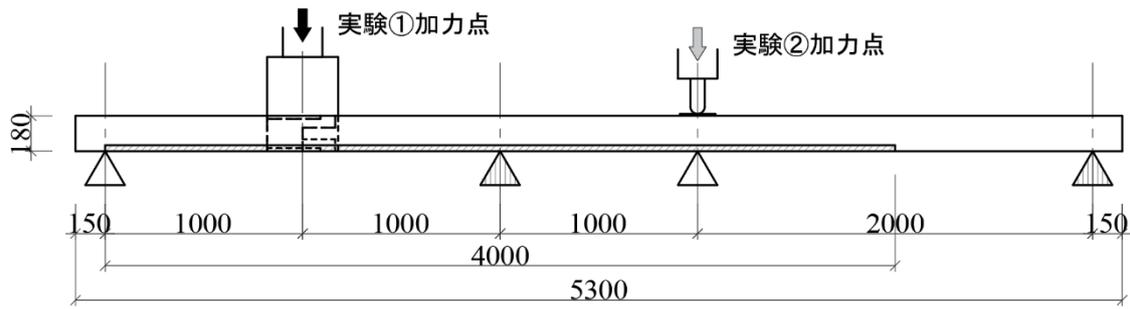
4.1.1 試験概要

本試験は、部材が仕口による断面欠損を持つ場合、どの程度の強度低下を見込むべきかを確認するための試験である。仕口有無の違いを検討する上で、材料の条件を同一として比較を行うために、同一材料から仕口有無の二回の曲げ試験を行う。具体的には、1本の長い試験体を用いて、一回目の仕口有破壊試験①を行った後に、試験体をずらして健全部位で二回目の仕口無試験②を行うこととした（図 4.1.1-1）。このため比較的長い試験体を必要とするので材料調達の観点から集成材を用いた。基本的な集成材の仕様を表 4.1.1-1 に示す。集成材作製において、強度に最も影響すると思われる最外層引張側のラミナが①②試験で同一の材料となるよう、4m のフィンガージョイント無しの通しラミナを使用する集成材を特注して試験体に用いた。

試験材料は2樹種（スギ、ヒノキ）とし、試験体の断面はそれぞれ150角と180角とした。

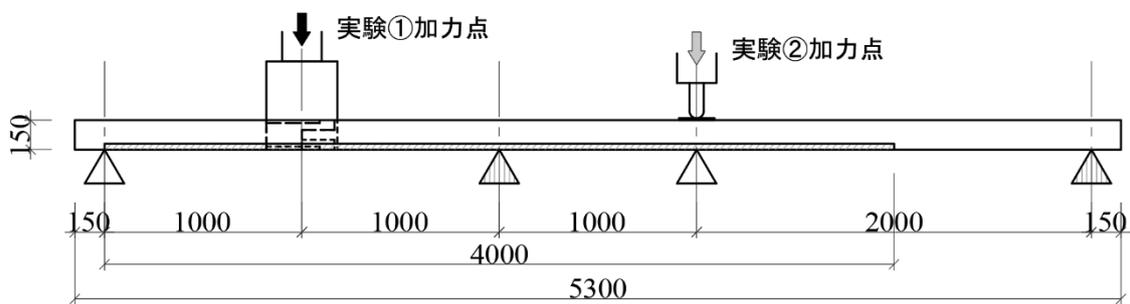
仕口形状は、実際の差鴨居構面で用いられる条件を考慮し、二方差し、三方差し、四方差しの形状を模した3条件とした。樹種-断面-仕口形状条件ごとに10体、計120本の試験体を用いて試験を行った。なお、1本の試験で仕口有と仕口無の2試験を行うため、試験数量は、計240体となる。表 4.1.1-2 に各試験条件を示す。

180角 スギ・ヒノキ 各30体



※引張を受ける最外層ラミナはFJなし（ハッチ部分4000m）

150角 スギ・ヒノキ 各30体



※引張を受ける最外層ラミナはFJなし（ハッチ部分4000m）

図 4.1.1-1 集成材曲げ試験体と加力位置（単位：mm）

表 4.1.1-1 材料条件

樹種	種類	強度等級	接着剤	備考
スギ集成材	構造用集成材 同一構成等級	E55-F225	レゾルシノール 系接着剤使用環 境 A 品	最外層 1 面のラミナ を 4m のフィンガー ジョイントなしのも のとする
ヒノキ集成材		E95-F315		

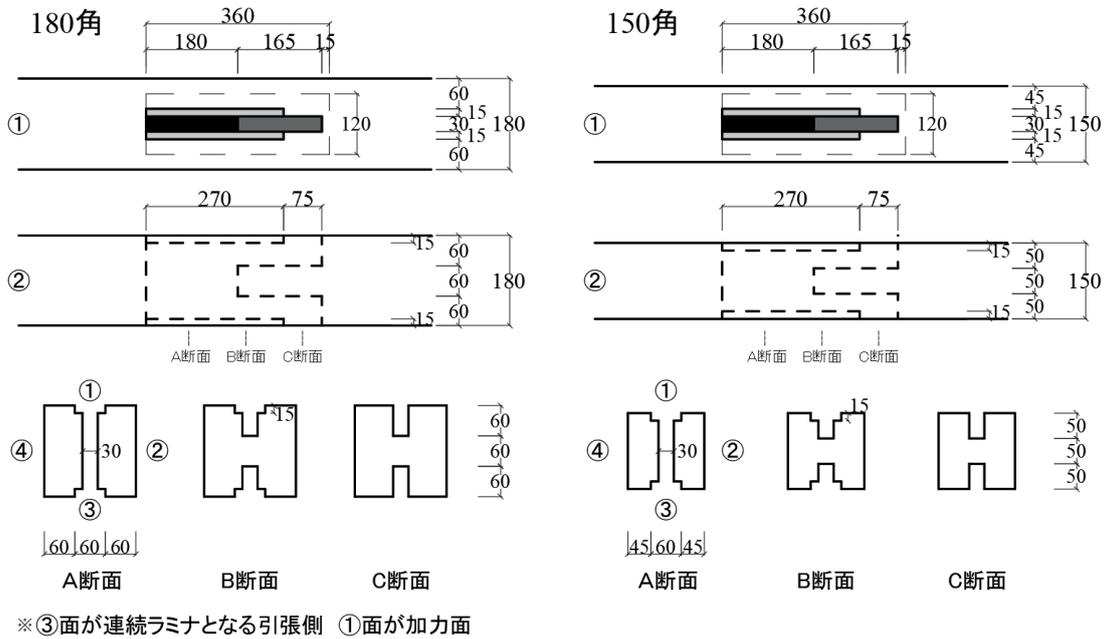
表 4.1.1-2 各試験条件

樹種	断面寸法 (mm)	長さ (m)	断面欠損			合計 (体)
			二方差し	三方差し	四方差し	
スギ 集成材	150 角	5.3	10	10	10	30
	180 角	5.3	10	10	10	30
ヒノキ 集成材	150 角	5.3	10	10	10	30
	180 角	5.3	10	10	10	30

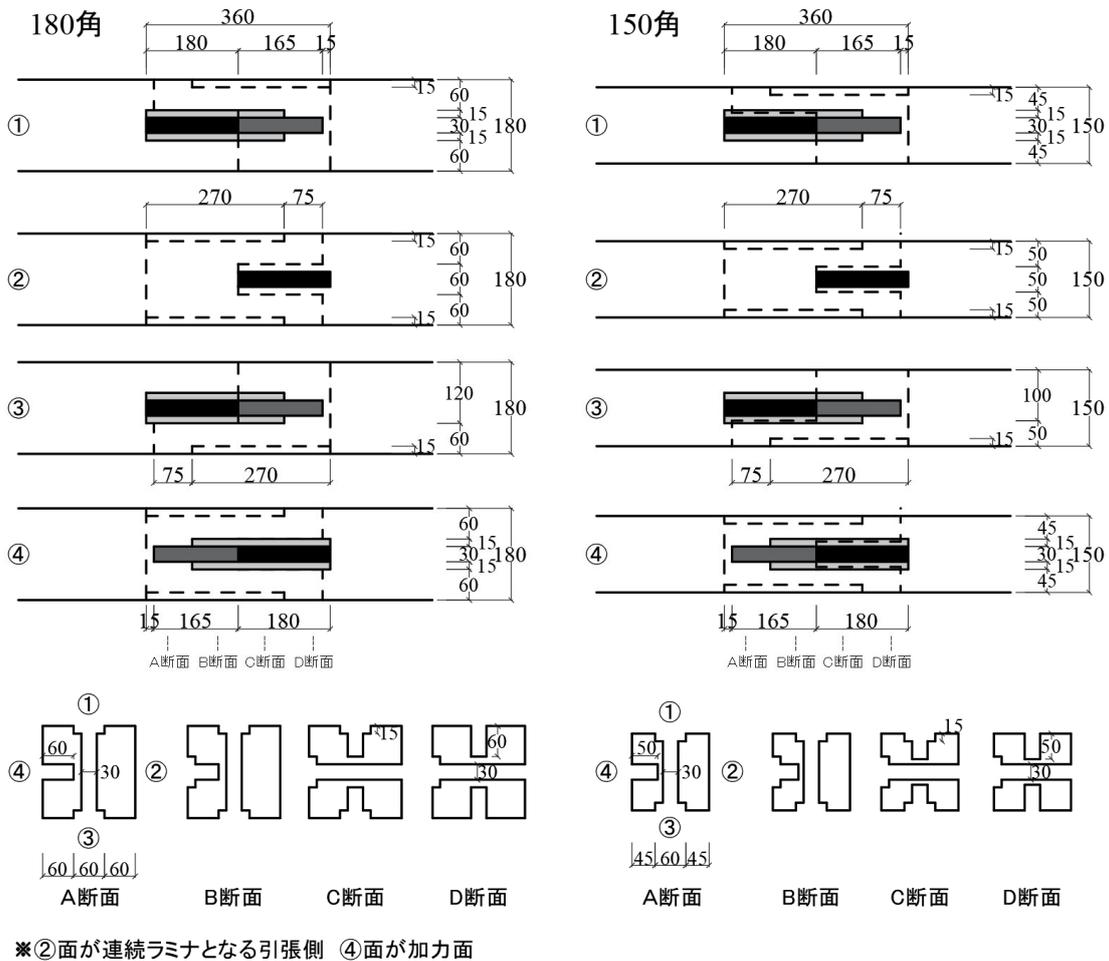
4.1.2 各試験体の断面欠損形状

試験体には仕口位置に仕口を想定した断面欠損を設けた。断面欠損には、差鴨居構面において 120×360mm の断面の差鴨居が取り付くことを想定し、一般的と思われる形状の欠

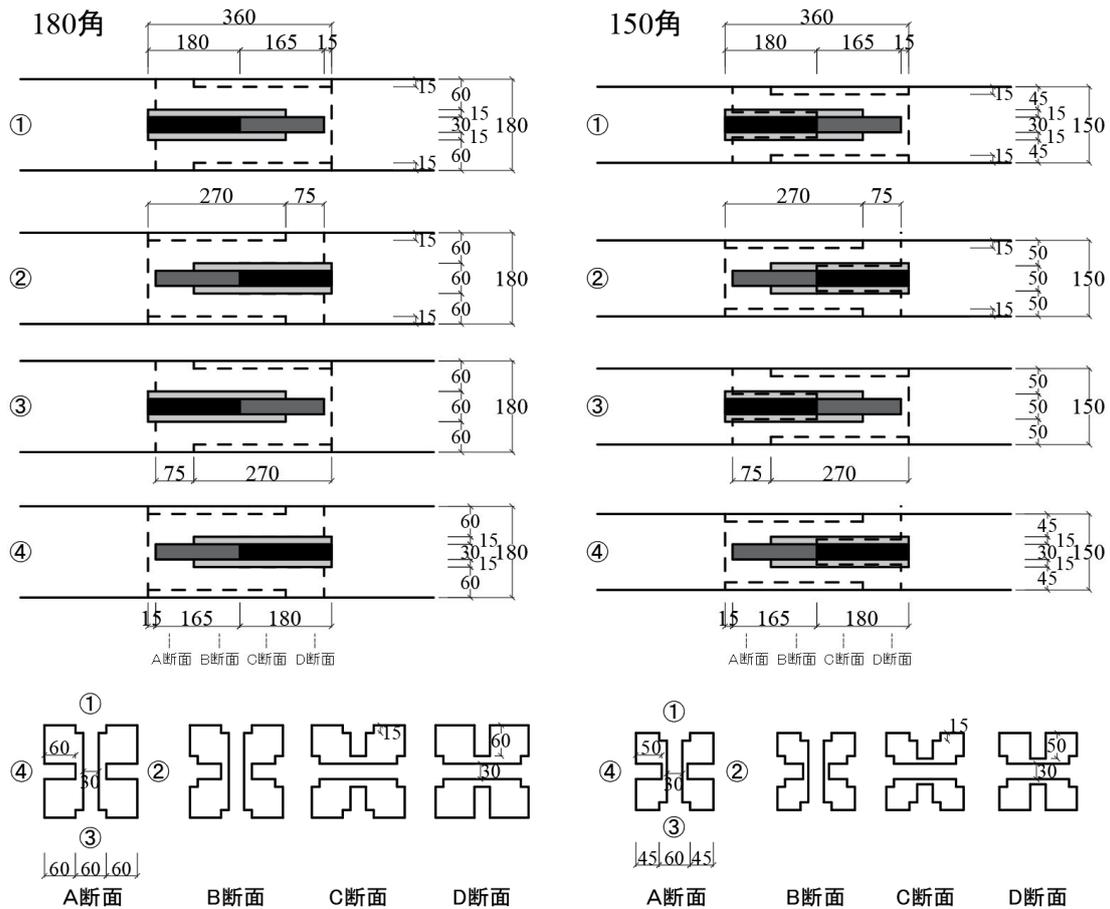
損形状を施した。図 4.1.2-1 (a) ~ (c) に各仕口条件における 4 面の形状と、それぞれ各部位の断面形状を示す。



(a) 二方差し



(b) 三方差し



※③面が連続ラミナとなる引張側 ①面が加力面

(c) 四方差し

図 4.1.2-1 4面の仕口形状と断面形状 (単位: mm)

4.1.3 各試験体 (実験前) の密度計測結果

各試験体は、事前に寸法と重量を計測して密度を計算した。また、電気抵抗式含水率計を用いて、試験時の含水率を計測した。結果を表 4.1.3-1 に示す。

表 4.1.3-1 試験体密度と含水率 (平均値)

断面欠損	スギ-150角		スギ-180角		ヒノキ-150角		ヒノキ-180角	
	密度 ρ (g/cm^3)	MC (%)						
二方差し	0.39	12.2	0.41	11.7	0.50	16.0	0.49	14.8
三方差し	0.40	10.7	0.41	12.2	0.50	15.2	0.49	15.7
四方差し	0.39	12.7	0.40	11.3	0.51	13.7	0.52	16.4

4.2 曲げ実験

4.2.1 実験の方法

(1) 3点曲げ試験

仕口有・無の条件のスギとヒノキの試験体に対して3点曲げ試験を実施した。まず仕口有試験（試験①）を実施し、続いて仕口無し試験（試験②）を実施する手順で行った。試験①と試験②に共通し、断面寸法によらずスパンは3000mmとし、左側の支点から1000mm離れた位置に載荷した（試験スパン比1000：2000）。

試験①では、仕口穴に差鴨居端部を模したほぞ付きの加力ブロック（ベイマツ製材：幅120長さ360mm）を挿入し、それを介して集中荷重をほぞ穴の中心線に沿って加力した。試験②では、切り欠きのない試験体に鋼板（長さ100mm）を介して、集中荷重を加えた。また、支点において、試験体は長さ100mmの鋼板で支持した。試験体のセットアップの様子を図4.2.1-1に示す。

なお、試験①の載荷ブロックと試験体の接触面が試験②の鋼板よりも比較的大きかったことを考慮し、三方差しと四方差しの試験体中、それぞれ3体の試験体において、ひずみゲージを試験体の下層に添付し、荷重領域周辺のモーメント分布を確認した。特に仕口周囲には密に歪みゲージを配置した。（図4.2.1-3中g1～g4の○）。

加力速度6mm/minの単調載荷で試験体が破壊するまで加力を行った。試験体の変位計測点を図4.2.1-2に示す。なお、三方差し、四方差しの試験体においては、部材の想定外の破損を防ぎ、また実際の構面における条件に近いものとするため、水平方向の仕口穴には仕口上部から下部への圧縮力伝達を行うためのほぞ材料（断面：30×180mm、樹種：ベイマツ）を挿入して試験をおこなった。

試験体名は、樹種（スギはSG、ヒノキはHG）、大きさ（150mm断面は15、180mm断面18）、ほぞ穴の種類（二方差しはM2、三方差しはM3、四方差しはM4、仕口無しは番号無し）の情報が含まれる。



(a) 試験①：仕口有 3点曲げ



(b) 試験②：仕口無 3点曲げ

図 4.2.1-1 3点曲げ試験体のセットアップ

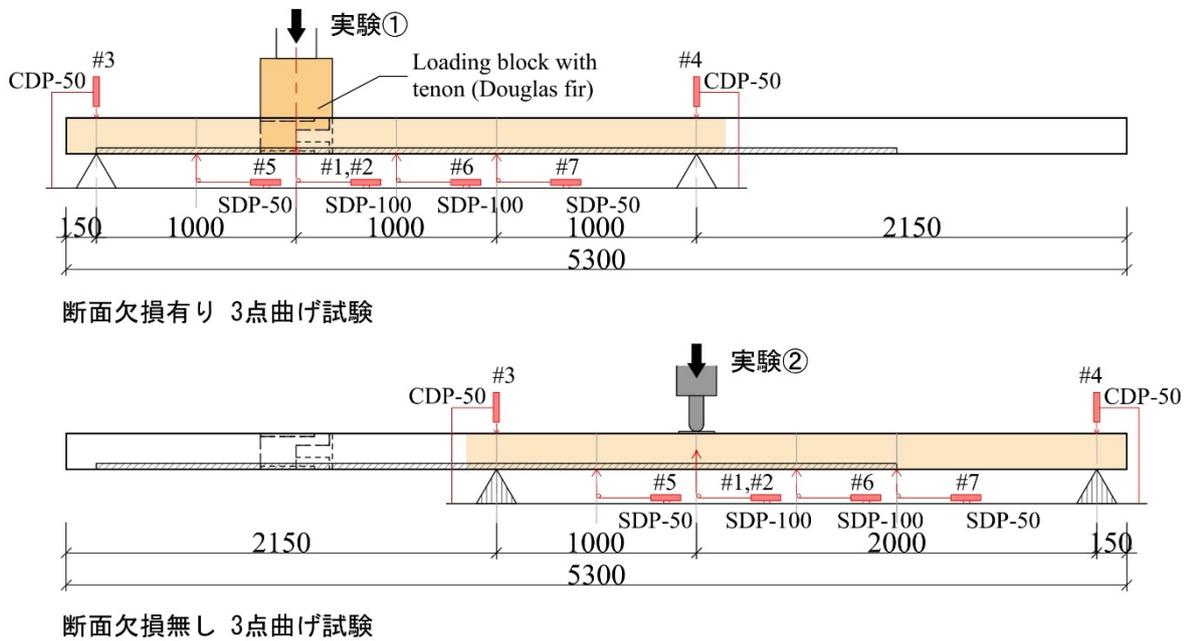


図 4.2.1-2 変位計配置 (単位 : mm)

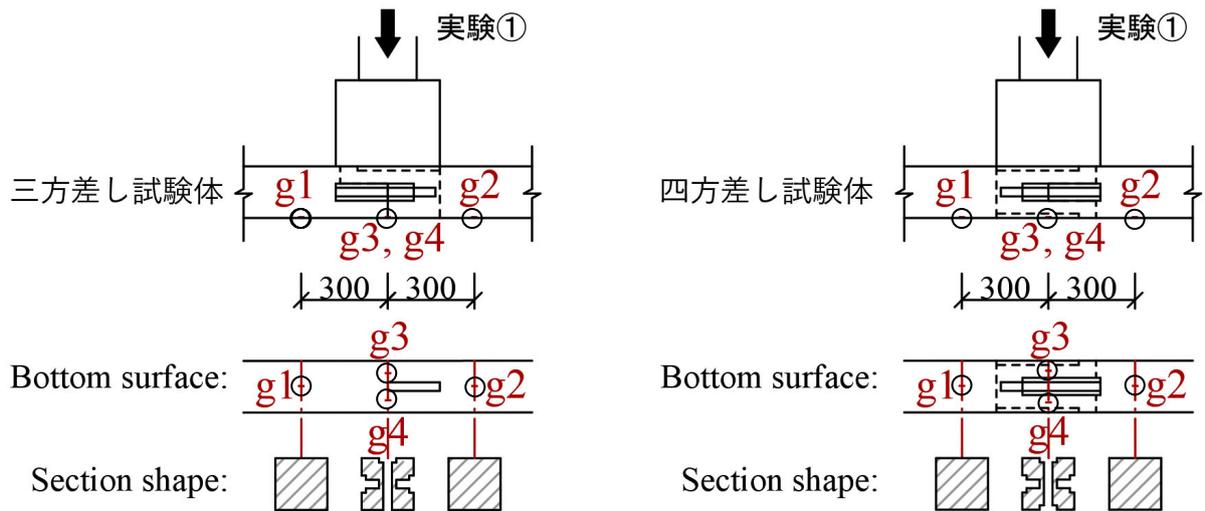


図 4.2.1-3 仕口付近の歪みゲージ配置

(2) 引張側最外層ラミナの引張材料試験

3点曲げ試験後、各断面寸法・樹種の30体の試験体からそれぞれ10体を選択し、集成材の下部層通直ラミナ部位からそれぞれ2個の無欠点引張試験体を採取した。図4.2.1-4にその概要を示す。試験片はJISの試験方法に準じた形状に加工され、単調载荷強度試験に供した。試験装置を図4.2.1-5に示す。試験速度は0.67~0.80mm/minとし、約300秒で最大荷重に達するように調整した。試験片の中央試験部に2つのひずみゲージを貼り付け、応力と歪みの関係を計測した。

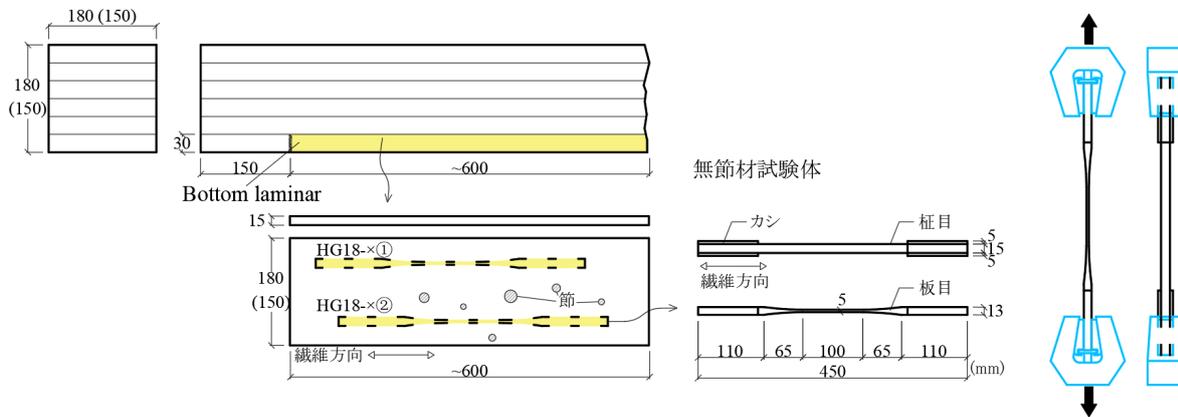


図 4.2.1-4 試験体の採取と引張材料試験体の概要



図 4.2.1-5 引張材料試験装置

4.2.2 実験結果

表 4.2.2-1 に試験で得られた強度特性値を示す。表中には、ヤング係数 E 、降伏荷重 P_y 、最大荷重 P_{max} 、最大荷重時変位/降伏荷重時変位比 δ_{max}/δ_y （塑性率）、曲げ強度 F_b （曲げ破壊係数 MOR）、標準偏差 SD の平均値と、それぞれの条件ごとの下限値（5%下限値：TL-5% および 50%下限値 TL-50%）を示した。

表 4.2.2-1 曲げ試験体強度特性値

試験条件			E 平均 値 (GPa)	P_y 平均 値 (kN)	P_{max} 平均 値 (kN)	δ_{max}/δ_y	F_b 平均 値 (MPa)	標準 偏差 (MPa)	F_b 5%下限 値(TL-5%) (MPa)	F_b 50%下 限値 (TL-50%) (MPa)
SG 15	二方 差し	SG15	7.03	32.40	35.03	1.12	41.52	4.35	32.37	40.56
		SG15-M2	6.42	22.26	25.03	1.27	42.23	8.32	24.72	40.38
	三方 差し	SG15	6.76	28.43	31.06	1.11	36.82	6.01	24.17	35.48
		SG15-M3	6.62	22.92	24.44	1.10	39.51	7.27	24.22	37.90
	四方 差し	SG15	6.88	28.61	36.40	1.47	43.14	1.98	38.98	42.70
		SG15-M4	6.36	23.40	25.98	1.17	44.9	6.56	31.09	43.44
SG 18	二方 差し	SG18	8.78	58.45	77.18	1.78	52.93	5.74	40.87	51.66
		SG18-M2	7.99	52.82	68.24	1.57	61.33	6.56	47.54	59.88
	三方 差し	SG18	8.84	62.19	77.88	1.58	53.42	5.42	42.02	52.21
		SG18-M3	8.34	54.42	64.07	1.27	55.69	4.75	45.7	54.64
	四方 差し	SG18	8.73	63.81	75.47	1.46	51.76	4.91	41.42	50.67
		SG18-M4	8.09	51.71	61.65	1.38	56.04	5.44	44.59	54.83
HG 15	二方 差し	HG15	11.54	43.23	63.94	1.93	75.78	5.47	64.28	74.56
		HG15-M2	10.15	37.58	44.46	1.42	75.02	12.12	49.53	72.33
	三方 差し	HG15	11.7	45.40	56.81	1.45	67.33	12.32	41.41	64.60
		HG15-M3	10.91	36.12	45.64	1.66	73.79	10.36	51.99	71.49

	四方 差し	HG15	11.33	44.91	58.64	1.56	69.5	10.49	47.43	67.17
		HG15-M4	9.92	33.00	40.30	1.50	69.63	10.67	47.18	67.26
HG 18	二方 差し	HG18	10.62	77.56	94.31	1.33	64.68	9.14	45.44	62.65
		HG18-M2	9.77	64.97	73.91	1.26	66.42	9.08	47.31	64.41
	三方 差し	HG18	11.08	85.54	100.59	1.31	68.99	11.05	45.73	66.53
		HG18-M3	10.55	69.68	83.78	1.43	72.83	7.08	57.94	71.25
	四方 差し	HG18	11.24	86.82	98.44	1.23	67.52	10.84	44.72	65.11
		HG18-M4	10.56	67.95	78.54	1.32	71.39	10.18	49.97	69.13

(1) 曲げ強度 F_b の算定

曲げ強度 F_b は式 4.2.2-1 で計算した。

$$F_b = \frac{2P_{max}L}{9Z_0} \quad (4.2.2-1)$$

ここで、 P_{max} : 最大荷重、 L : 試験体スパン、 Z_0 : 見かけの断面係数 である。仕口有の試験条件の場合、 Z_0 は図 4.2.2-1 に示す、各仕口形状における仕口部分の最弱断面を用いて計算した。表 4.2.2-2 には仕口無し条件に対する、各仕口有条件の Z_0 の比率を示した。今回の仕口有試験体の断面係数比は 0.69~0.79 であったが、四方差し<二方差し<三方差しの順に小さく、また 150 角<180 角の順に小さかった。

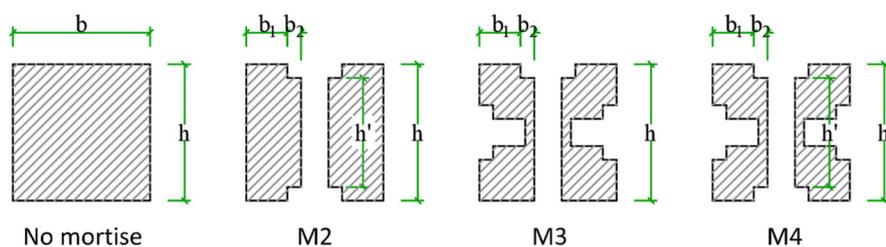


図 4.2.2-1 各仕口条件における最弱断面

表 4.2.2-2 仕口の有無による断面係数 Z_0 比 (Z_{0-M} : 仕口有、 Z_{0-0} : 仕口無)

Z_{0-M2}/Z_{0-0}		Z_{0-M3}/Z_{0-0}		Z_{0-M4}/Z_{0-0}	
150 角	180 角	150 角	180 角	150 角	180 角
0.70	0.76	0.73	0.79	0.69	0.75

図 4.2.2-2 に各試験体の F_b 計算結果のプロットを、各仕口条件ごとに示した。表 4.2.2-1 の結果と併せて、下記のことが見て取れる。

- (a) 同一材での仕口有 (F_{b-M}) と仕口無し (F_{b0}) の試験から得られたそれぞれの平均曲げ強度は、どの断面、どの欠損においても、近い値を示した。強度は平均値でも 5% 下限値でも、仕口有試験体 > 仕口無試験体 となる場合が多かった。また、仕口無しでは、破壊点は荷重点付近下層ラミナの節等欠点の影響が見られた。

- (b) 試験体標準偏差(ばらつき)は 仕口有条件>仕口無し条件 となる仕様が多かった。
- (c) 水平方向の仕口穴の影響を見るために、水平方向の仕口穴が無い二方差しと四方差しを比較すると、水平方向仕口穴の影響はほとんど見られなかった。
- (d) 試験体寸法の影響として、180角の試験体は150角の試験体に比べて、標準偏差(ばらつき)が小さく、5%下限値が大きめに算出される結果となった。これは、180角試験体の方が、相対的に全断面に対する仕口穴の寸法比率が小さく、欠点などの影響が緩和されるためと考えられる。

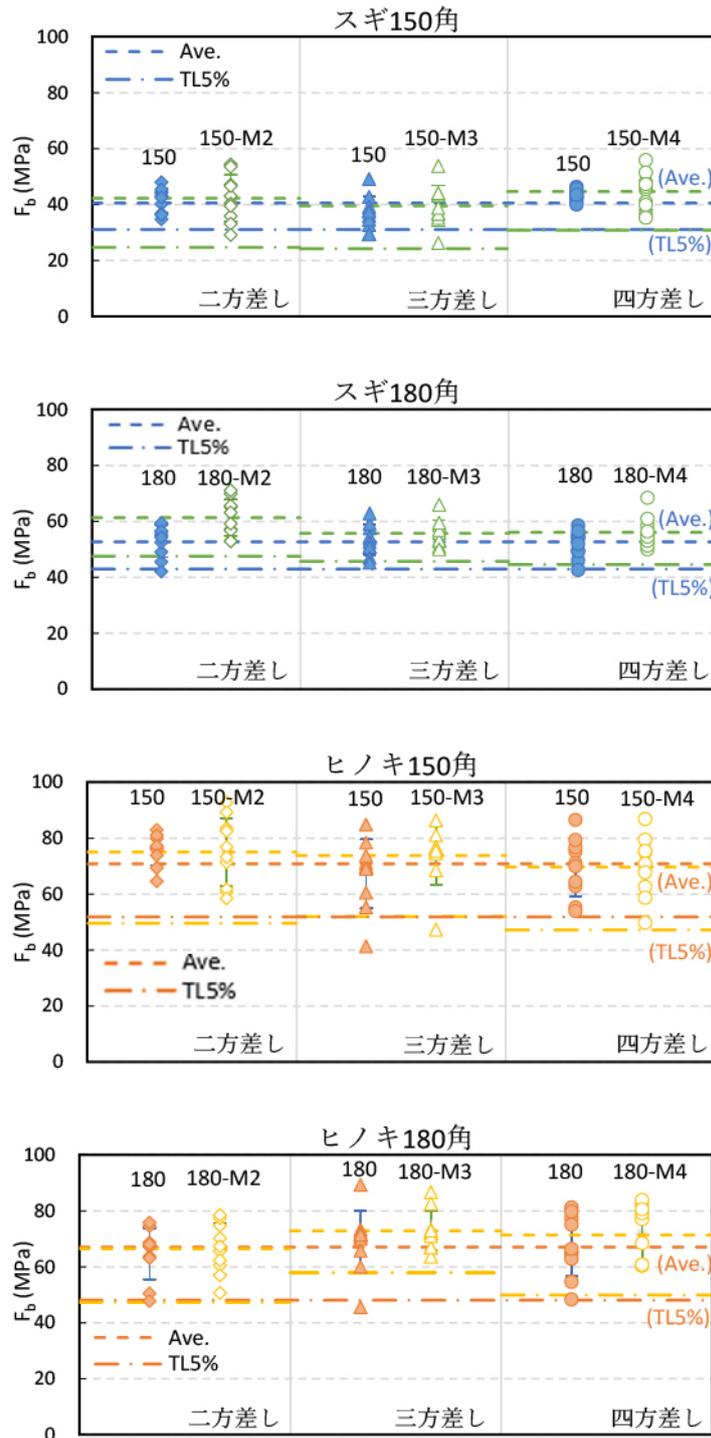


図 4.2.2-2 曲げ破壊係数 (MOR) 試験結果

(2) 低減率

図 4.2.2-3 に同一試験体の値で比較した、仕口の有無による曲げ強度の比率 (F_{b-M}/F_{b0}) を示す。なお、横軸には条件ごとの F_{b-M}/F_{b0} の平均値を取った。このことから、樹種や断面寸法、仕口穴形状の違いにかかわらず、 F_{b-M}/F_{b0} 比は概ね 0.9 以上を取ると見なすことができる。

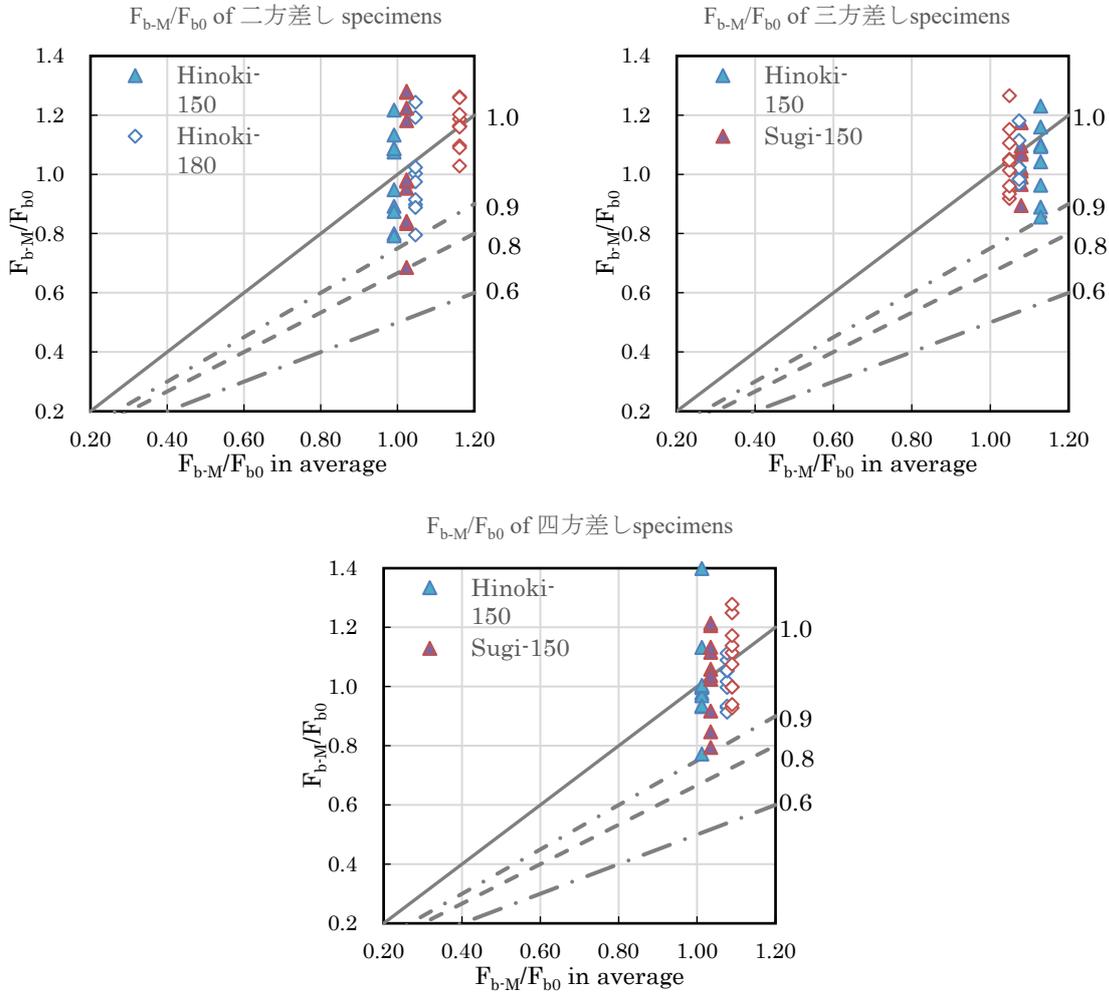


図 4.2.2-3 仕口の有無による強度比率

一方、仕口穴による低減率 β を、仕口無し条件の強度下限値 (f_{b0}) に対する比率として求めた。なお、下限値 f_{b0} は、今回の集成材全体の下限值とするため、仕口穴寸法によらず、樹種、断面が同一な各条件全数 30 本の値を用いた 5% 下限値とした。すなわち、各試験体の低減率 β は式 4.2.2-2 で与えられる。

$$\beta = \frac{F_{b-M}}{f_{b0}} \tag{4.2.2-2}$$

ここで、

$$F_{b-M} = \frac{2P_{max-M}L}{9Z_{0-M}} \quad : \text{仕口有条件の各試験体の曲げ強度}$$

$$Z_{0-M} \quad : \text{仕口を考慮した正味断面係数}$$

$f_{b0} = F_{b0}(TL 5\%)$: 30 体の仕口無し試験体の曲げ強度の 5% 下限値

上記より β の値は試験体ごとに求められる。 β の値を条件ごとに図 4.2.2-4 に示す。条件ごとに大きなばらつきがあるが、おおむね 0.8 以上の値を示すことがわかる。また、 β の各条件の平均値と 5% 下限値 ($\beta (TL 5\%)$) を表 4.2.2-3 に示す。

$\beta (TL 5\%)$ は、0.8 から 1.0 の範囲の低減係数として定義され、 $\beta (TL 5\%) : SG15 < HG15 < SG18 = HG18 \approx 1$ の結果となった。ほぞ穴の種類が低減係数に与える影響の傾向は明確でないが、断面寸法に対する欠損寸法の相対的な比率 (Z_{0-M} / Z_0 の比率に関連) が大きいほど、強度の低下が大きくなる傾向が見られた。

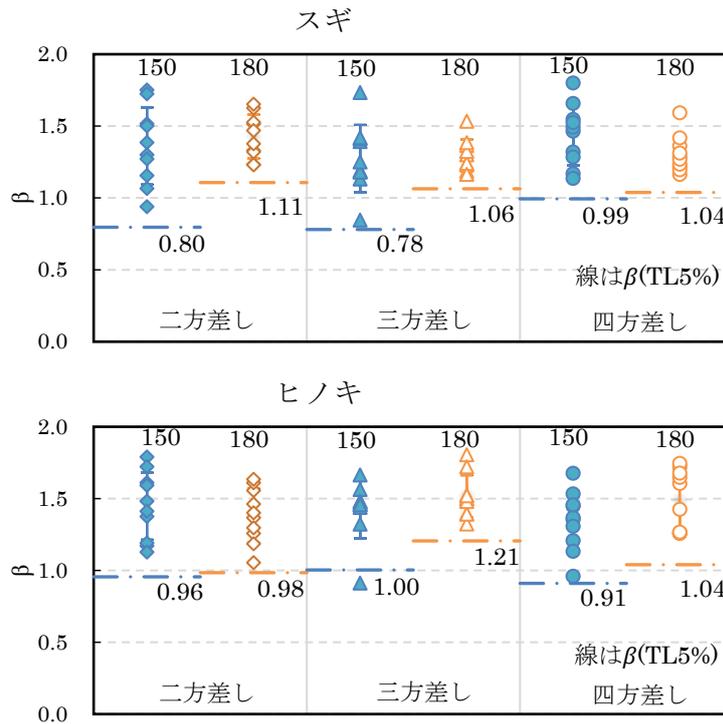


図 4.2.2-4 各試験体の β 値

表 4.2.2-3 各条件における低減率

試験条件		仕口無し強度 F _{b0} の 5% 下限 値 (TL 5%)	仕口有強度 F _{b-M} の平均 値	β in average	β (TL 5%)	Z _{0-M} /Z ₀
SG15	M2	31.01	42.23	1.36	0.80	0.70
	M3		39.51	1.27	0.78	0.73
	M4		44.63	1.44	0.99	0.69
SG18	M2	42.94	61.33	1.43	1.11	0.76
	M3		55.69	1.30	1.06	0.79
	M4		56.04	1.31	1.04	0.75
HG15	M2	51.83	75.02	1.45	0.96	0.70
	M3		73.79	1.42	1.00	0.73
	M4		69.63	1.34	0.91	0.69
HG18	M2	48.04	66.42	1.38	0.98	0.76
	M3		72.83	1.52	1.21	0.79
	M4		71.39	1.49	1.04	0.75

(3) 仕口を考慮した試験体モーメント分布

4.2.1 (1) で述べたように、仕口有試験における加力条件は、長さ 360mm のブロックを介して行っているため、仕口付近でモーメント分布に変化が生じ、4 点曲げ条件に近くなっている恐れが考えられた。このため、仕口付近に添付したひずみゲージの計測値を用いた検討を行った。

すなわち、柱の各位置のモーメントは式 4.2.2-3 で与えられる。

$$M = \varepsilon \times MOE \times Z_0 \quad (4.2.2-3)$$

ここで MOE は柱の曲げヤング係数 (試験体全体の定数値)、Z₀ はひずみ計測点の正味断面係数である。

図 4.2.2-5、図 4.2.2-6 に代表的な試験体のモーメント分布を示す。多くの場合において、図 4.2.2-5 に示すように試験体は 3 点曲げの状態に近いモーメント分布であることが確認されたが、図に示すように、最大モーメントの推定位置から予想される柱に伝達された実際の集中荷重には、載荷点から ±100mm オフセットしている様子が見られた。また、歪みゲージ計測を行った 24 体中、3 体の試験体については、図 4.2.2-5 に示すように、モーメント分布が 4 点曲げに近い様子が観察された。これらは全て、水平方向の仕口穴がある三方差しの M3 試験体であった。

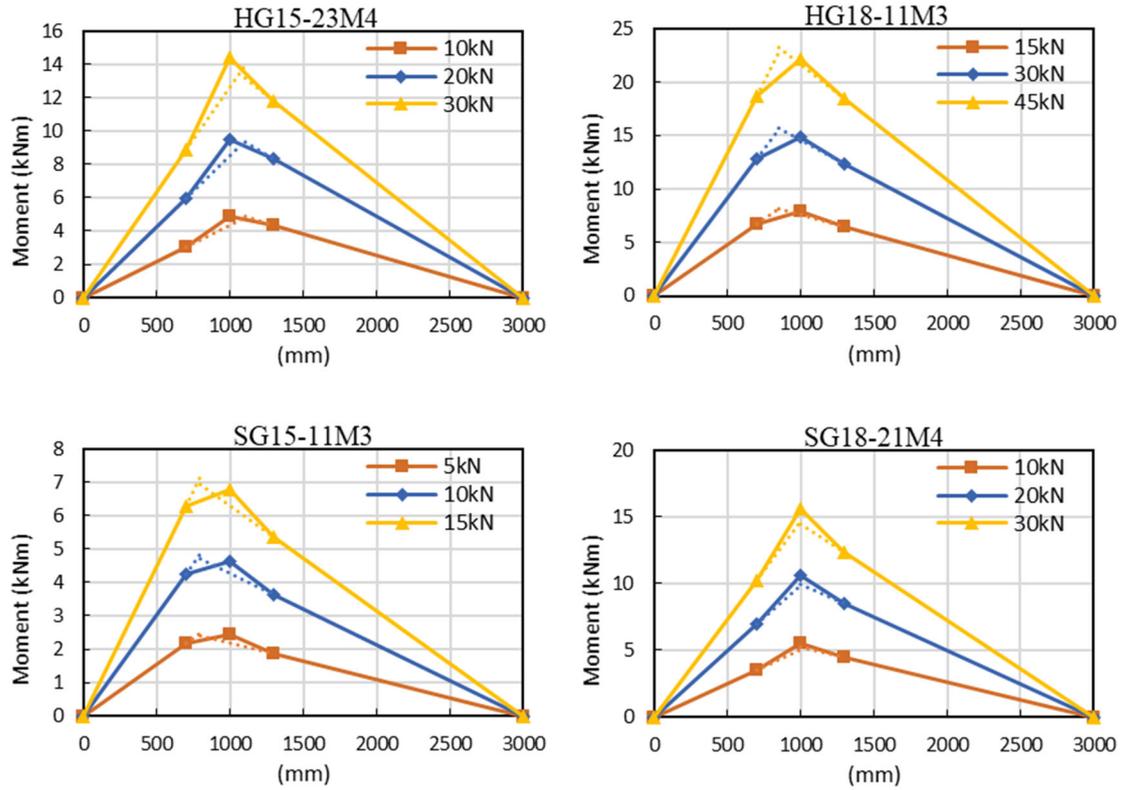
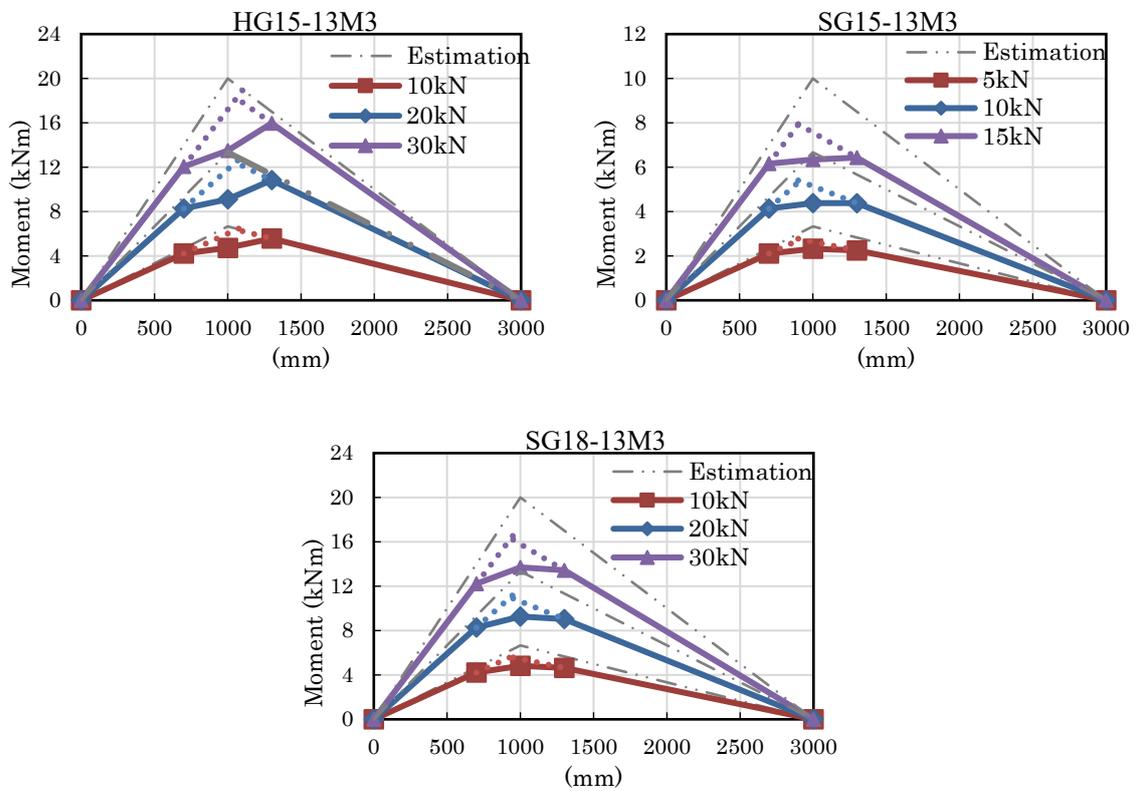


図 4.2.2-5 試験体のモーメント分布計測値 (3点曲げ条件に近いもの)



(Estimation value is calculated according to the 3-P bending)

図 4.2.2-6 試験体のモーメント分布計測値 (4点曲げ条件に近いもの)

(4) 最下層ラミナの引張強度

表 4.2.2-4 に、試験体最下層ラミナから採取した無欠点小試験片を用いた JIS 引張試験の結果を示す。表にはヤング係数 ($E_{t,0}$) と引張強度 (σ_t) の平均値を示した。これにより、SG18 試験片の強度特性が SG15 試験片よりも高く、HG15 試験片と HG18 試験片の引張強度は近い結果が得られた。これは、曲げ試験で得られた断面寸法の異なる試験体の強度差の傾向と基本的に一致するものであった。すなわち、今回用いた集成材試験体の強度条件は必ずしも均質のものではなかったため、その結果の断面ごとの直接比較はできないことを示唆している。ただし、低減係数の算定においては、仕口有無の比率を取ることで無次元化した値を用いているため、結果に影響することはないと考えられる。

表 4.2.2-4 集成材最下層ラミナの無欠点小試験片引張試験結果

試験条件	最大荷重 P_{max} (kN)	引張ヤング係数 $E_{t,0}$ (kN/mm ²)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	標準偏差 SD	強度下限値 $\sigma_t(TL5\%)$ (N/mm ²)
SG 15	4.38	7.85	58.02	7.39	43.74
SG 18	5.25	9.48	69.96	8.53	53.47
HG 15	9.11	11.61	121.68	20.27	82.53
HG 18	9.68	11.98	125.50	16.03	94.54

4.2.3 破壊性状の確認

仕口有無の試験体に関して、破壊性状について写真を用いた比較を行った。図 4.2.3-1、2 にそれぞれの様子を示す。仕口有（試験①）と仕口無し（試験②）の両方で、加力中心に近い最下層ラミナで初期クラックが発生し、その後上層に延伸した様子が見て取れた。仕口穴を有する試験体（試験①）では、二方差しおよび四方差し試験体の引張破壊時において、クラックは最下層ラミナに主に集中した。また、三方差し試験体では、水平方向の仕口穴が破壊に影響した様子が見られたが、一部の試験片では最上層（圧縮側）ラミナの顕著な変形が観察された。

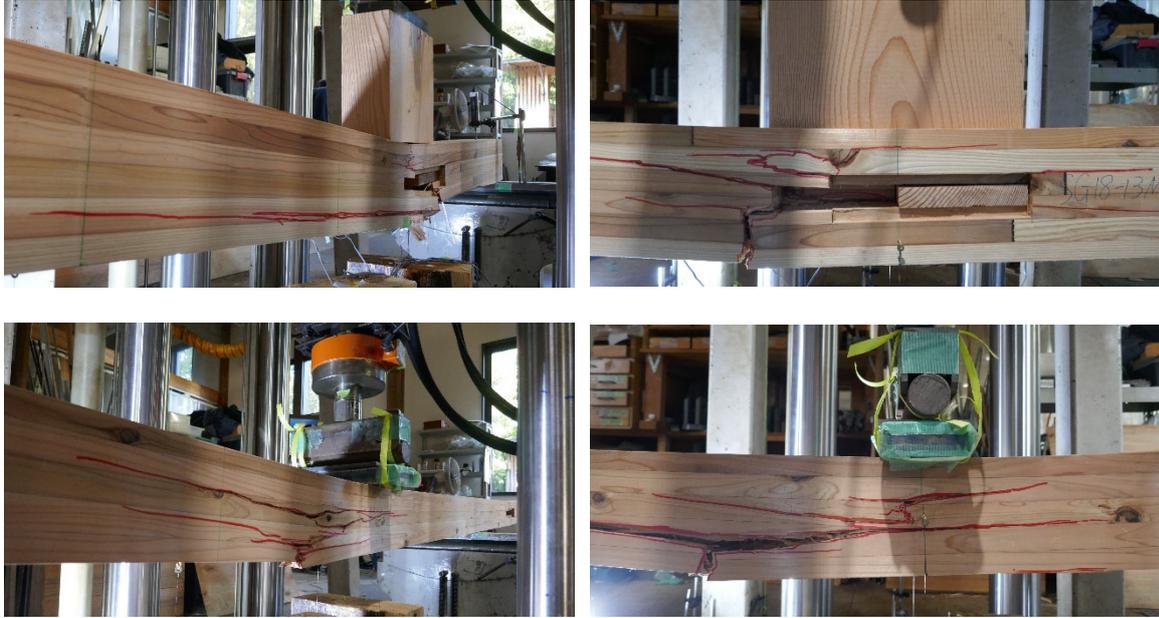


(a) 二方差し試験体（上：仕口有、下：仕口無）



(b) 四方差し試験体（上：仕口有、下：仕口無）

図 4.2.3-1 破壊性状（仕口有、仕口無）



(c) 三方差し試験体 (上：仕口有、下：仕口無)



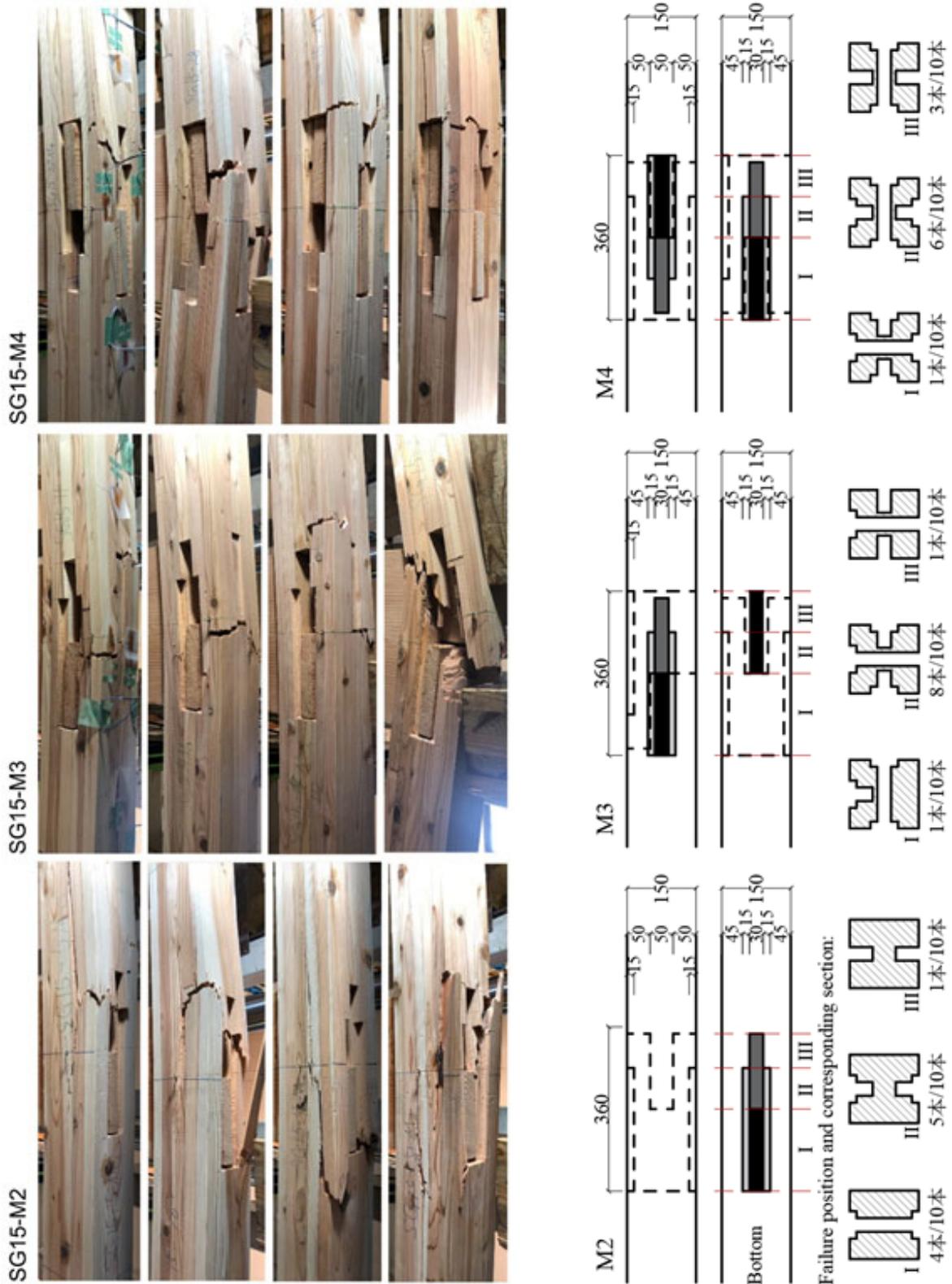
(d) 側面破壊性状 (三方差し試験体・仕口有)

図 4.2.3-2 破壊性状 (仕口有、仕口無)

異なる仕口穴形状の試験体の破壊モードと破損断面の分布を図 4.2.3-3～6 に示す。一般に、破壊モードは、断面欠損と最下層の切り欠き形状の両者によってもたらされる応力集中の影響を受ける。150 角と 180 角の試験体を比較すると、前者の方が引張側の仕口穴欠損の割合が大きくなることから断面欠損の影響を受けやすく破壊が生じた位置はより集中しており、後者はその位置が広い範囲に分散していた。

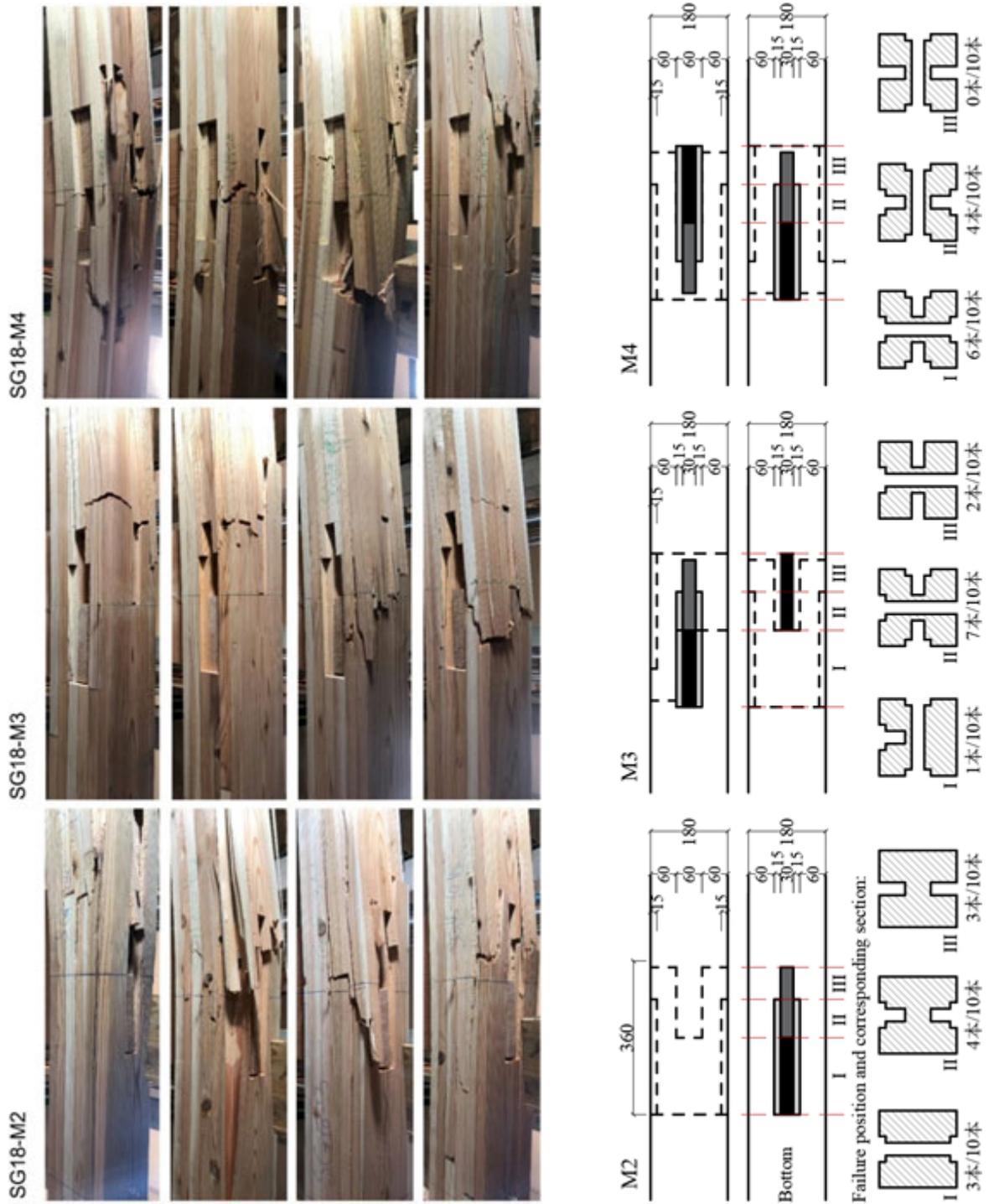
詳細に 150 角の破壊性状を確認すると、二方差し (M2) および四方差し (M4) 仕口形状の試験体のほとんどは、図 4.2.3-3～6 中に示した断面 II の位置で破壊を生じた。これは、

最下層の引張強度だけでなく、切欠き隅角部で生じる繊維直交方向垂直引張応力の影響も受けたためと考えられる。



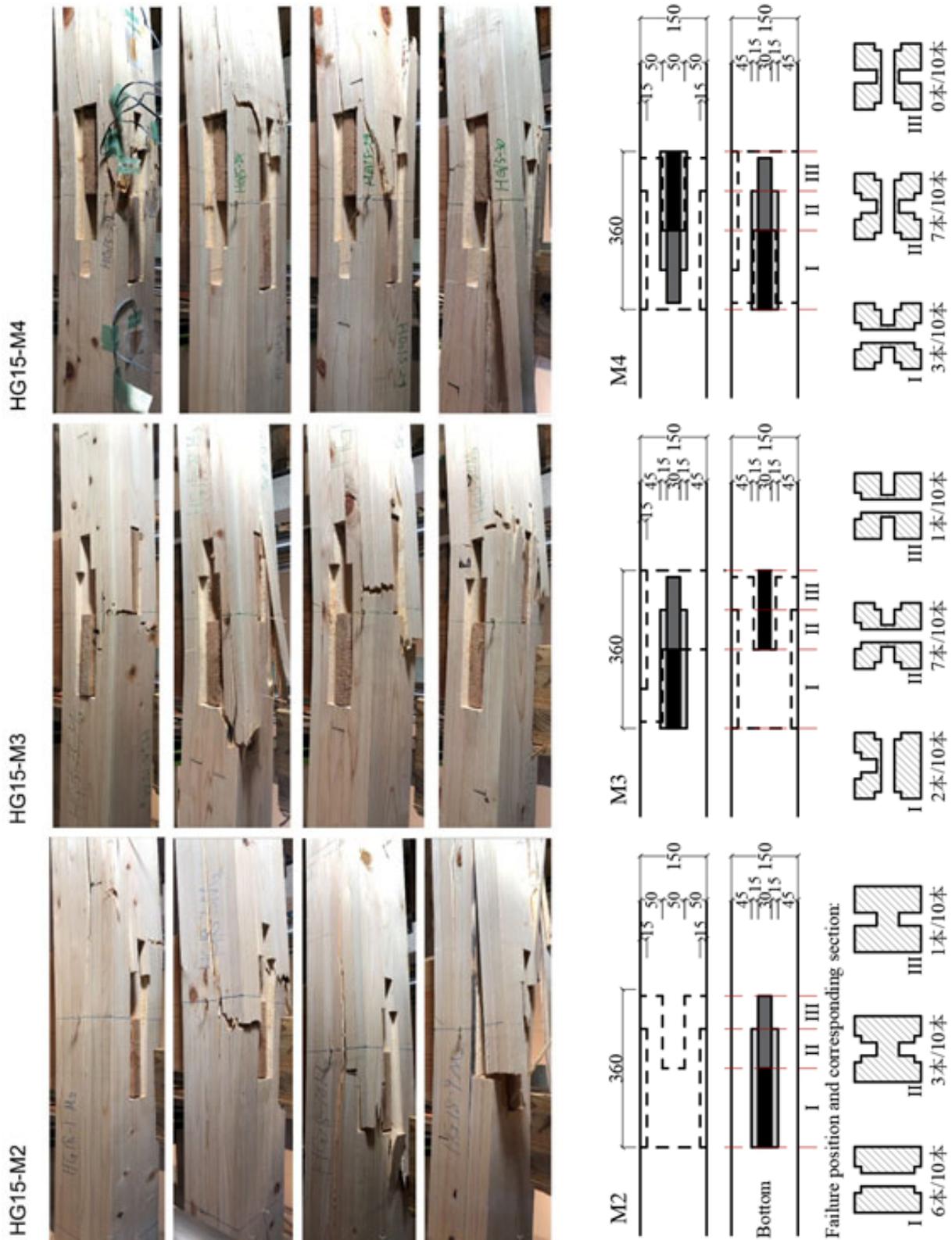
(a) スギ 150 角

図 4.2.3-3 破壊モードと破壊断面の記録



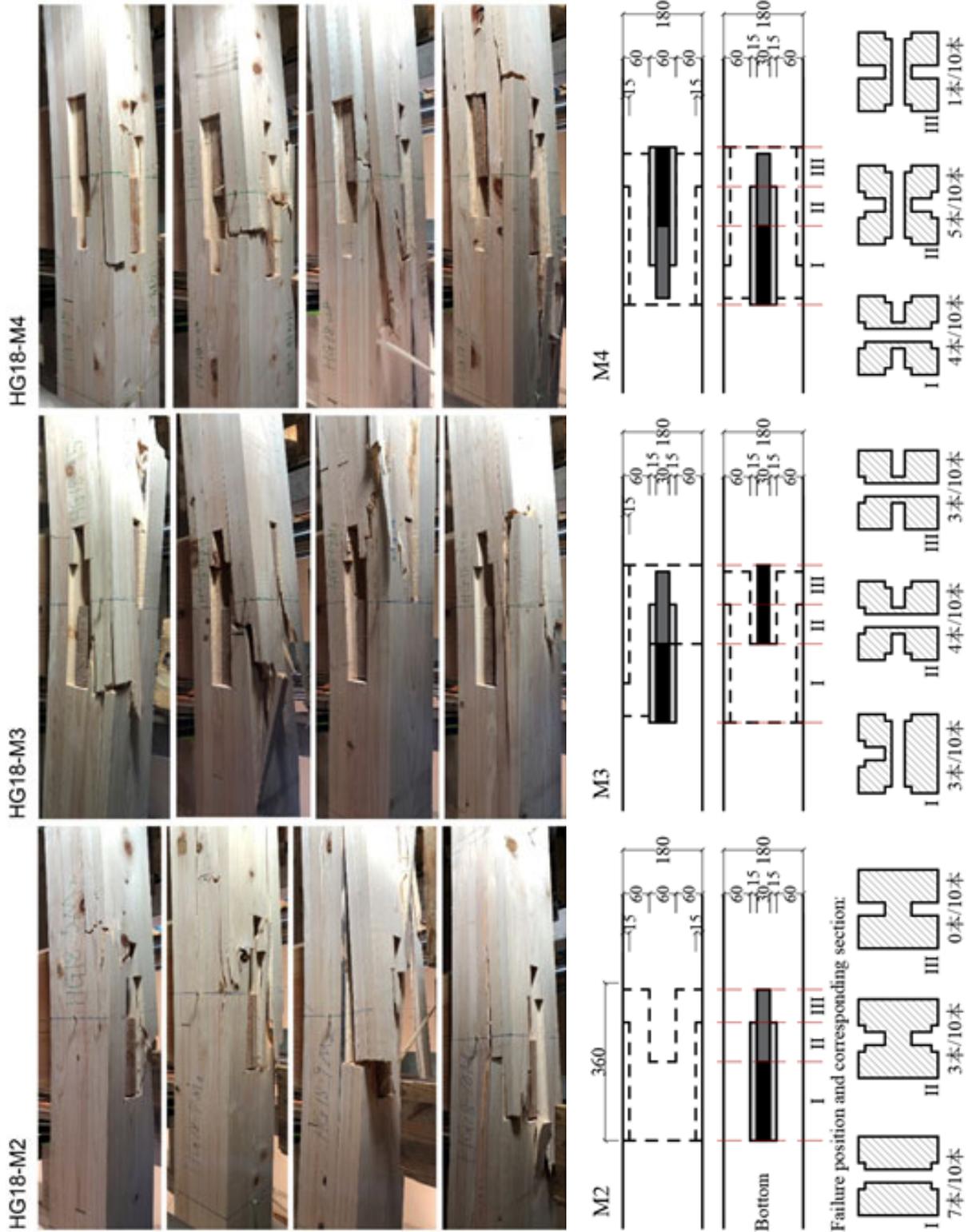
(b) スギ 180 角

図 4.2.3-4 破壊モードと破壊断面の記録



(c) ヒノキ 150 角

図 4.2.3-5 破壊モードと破壊断面の記録



(d) ヒノキ 180角

図 4.2.3-6 破壊モードと破壊断面の記録

4.3 まとめ

本章では、差鴨居における仕口穴の有無が強度性能に与える影響を調べるため、仕口を有するスギ・ヒノキ集成材を用いて3点曲げ試験を行った。その結果、以下の結果が得られた。

1. 仕口穴の有無が異なる同一材料の試験体から得られた曲げ強度は、条件ごとの平均値で比較すると全体として同様の値であった。加力点に仕口穴がある場合、破壊点は仕口による開口部の周りに集中する様子が観察され、節による影響が見られた仕口穴無しの条件とは異なる様子を示した。また、仕口穴を有する試験体の強度は、仕口穴の無い試験体よりも高くなる傾向があった。
2. 引張側の断面欠損の比率が大きくなると、曲げ強度のばらつきが顕著に大きくなった。
3. 水平方向に仕口穴を有する試験体では、集中荷重条件下で圧縮側となるラミナの変形が大きくなり、4点曲げに近いモーメント分布につながる様子が見られた。
4. 仕口穴がある柱の個々の試験体強度と仕口の無いの柱の強度下限値の比率を用いて、正味断面係数に乗じる低減係数 β の値を定めた。3種の異なる種類の仕口穴形状について比較を行ったが、仕口穴形状が β に与える傾向は今回の試験からは明確にはできなかった。一方で、柱の断面寸法に対する仕口寸法の相対的な比率が大きいほど（欠損率が高いほど）、つまり180角と比較し150角の方が、柱の強度低下が大きくなる（ β が大きくなる）様子が得られた。150角（スギ・ヒノキ）では $\beta = 0.8 \sim 1.0$ 、180角（スギ・ヒノキ）では $\beta = 1.0$ という値が得られた。

第5章 解析モデルの構築とパラメトリックスタディ

5.1 解析モデルの目的と概要

本章では、土壁垂れ壁付きの軸組構面の水平せん断抵抗挙動を再現する解析モデルを構築し、部材の寸法、土壁の高さ等を変数としたパラメータスタディにより、構面の耐力性能を明らかにし、耐力要素としてカウント可能な仕様の範囲を提示する。

昨年度までの検討によって、土壁垂れ壁付きの軸組構面の水平せん断抵抗挙動を再現するためには、①接合部のモーメント抵抗成分、②差鴨居の軸抵抗成分、③垂れ壁の水平せん断抵抗成分、④柱の曲げ変形、を考慮する必要があることが実験により示された¹⁾。①、③については、力学モデルに基づいて回転バネやせん断バネとして表現し、接合部や壁の抵抗要素を再現するモデルが提案されており²⁾、④は材料特性として解析に組み込むことは可能である。本章でのモデルはこれらに加え、②の軸抵抗成分の影響を考慮するために、差鴨居端部に材せいを再現するための剛域を設け、柱材との接合部においては、接触部分を多数の単位面積に分割してそれぞれに設定しためり込み圧縮バネ（Multi Spring 要素、以下 MS 要素）や、ほぞ差し込栓や雇い竿・車知栓による引張バネ、貫の回転バネによって抵抗機構を再現した。これにより、軸力の変化による接合部の回転抵抗、柱の曲げ抵抗との相互作用の影響を考慮することを試みた。

具体的には、軸組の解析モデルを構築後、前年度の土壁要素実験結果を参照し、土壁のせん断バネを、1)上下面のせん断抵抗、2)隅角部の対角圧縮による圧縮ストラットに分けて評価し、これを適用した土壁垂れ壁付きの差し鴨居構面モデルを構築した。前年度の構面試験と同様に、土壁のアスペクト比、差し鴨居位置を変えた試験体の耐力、応力分布の再現を期した。

以上のモデルにより、土壁垂れ壁付きの差し鴨居構面の解析モデルを作成し、軸材、垂れ壁材、接合具、土壁のアスペクト比等を変数としたパラメータスタディを実施した。

前章までに実施した曲げ試験において、局所的な曲げの影響や、ほぞ穴の断面欠損による影響を検討しており、後述のように、曲げ破壊の検定は正味の断面係数と基準強度で検討可能であるとしている。

なお、土壁の水平せん断抵抗に関しては、前年度、縦横のアスペクト比の小さい土壁に関する実験を行っている。既往の知見として、土壁の耐力性能はアスペクト比に応じてせん断系から端部の局部圧壊メカニズムである曲げ系へと変化することが指摘されている³⁾。一方、垂れ壁における土壁への力の伝達経路には側面の圧縮の他に、土壁上下面での摩擦が考えられる。この摩擦がある程度の耐力を担保できるとすると、アスペクト比が大きくなった条件でも急激な耐力低下に至らない可能性¹⁾があり、前年度の実験によって確認されている。さらに、土壁による圧縮ストラットの形成により柱が押し広げられると、差し鴨居の軸力や接合部耐力に影響する。この点についても、上下面のせん断、圧縮ストラットの効果の負担比率とともに解析的な検証を試みた。

以上より、本章では以下の手順で解析モデルの妥当性を確認した上で解析、パラスタを実施した。

- ・前年度までの軸組のみの構面試験体、土壁付の構面試験体との耐力性能の比較
- ・柱の曲げモーメント、差鴨居軸力などの部材応力の実験との比較
- ・土壁の荷重伝達メカニズムを再現することによる、各部材応力への影響の検証
- ・差鴨居のせいの変化、土壁の高さの変化に伴う耐力性能への影響の検討

5.1.1 解析モデルでの再現対象とする試験体

解析で再現する試験体の仕様、実験結果の概要を 2019 年度報告書より、以下に引用する。

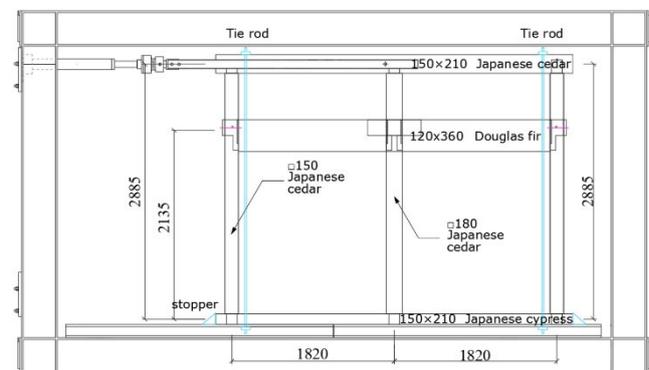


図 4.2.1-1 軸組のみ構面試験体

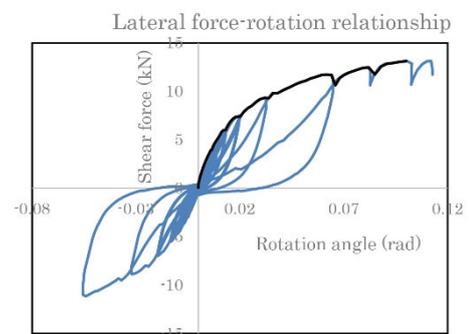


図 4.2.4-1a 荷重-見かけのせん断変形角関係

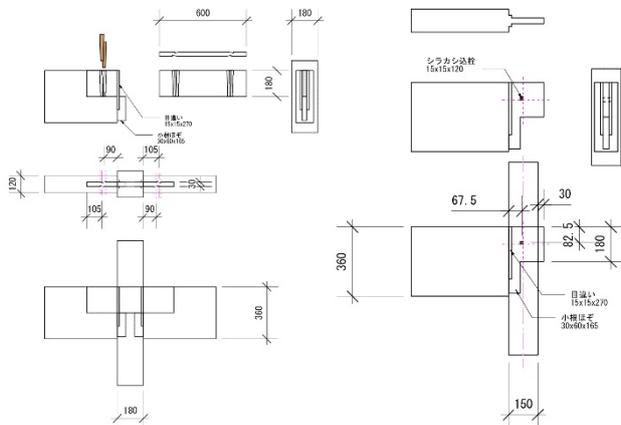


図 4.2.1-2 差鴨居接合部詳細（中央柱：雇い竿車知、左右柱：小根ほぞ差し込柱）

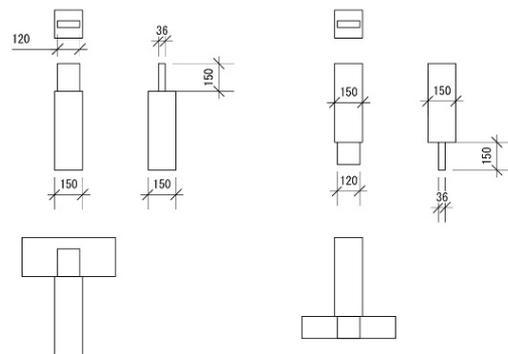


図 4.2.1-3 柱頭柱脚接合部詳細（長ほぞ）

図 5.1.1-1 軸組試験体の部材寸法および荷重変形関係（2019 年度報告書（前掲文 1）より）

表 5.1.1-1 軸組試験体の部材寸法

柱頭	長ほぞ差し
	ほぞ差し部寸法(mm):厚 30×幅 120×長さ 150
	ほぞ根元:一段
柱脚	長ほぞ差し
	ほぞ差し部寸法(mm):厚 30×幅 120×長さ 120
	ほぞ根元:一段
差鴨居(中柱)	雇い竿車知栓
	雇い竿寸法(mm):厚 30×幅 180×長さ 600 (柱面から左右210mm 突き出し)
	小根ほぞ寸法(mm):厚 30×幅 165×長さ 45
	車知栓寸法(mm):30×6.5×180(樹種:シラカシ、テーパー付き) (一本は柱面から105mm、もう一本は90mm の位置に打ち込み)
	(テーパー角度は14/180)
差鴨居(側柱)	小根ほぞ差し込栓
	ほぞ差し部寸法(mm):厚 30×幅 180×長さ 180 (柱面から30mm 突き出し)
	小根ほぞ寸法(mm):厚 30×幅 165×長さ 45
	込み栓寸法(mm):15×15(樹種:シラカシ)
	(ほぞ差部中心と込栓の辺が一致する位置に打ち込み)

5.2 解析モデルの構築

5.2.1 解析モデルの概要

まず、過年度に実施された差鴨居付き架構、差鴨居と土壁垂れ壁付き架構の実験結果をもとに、差鴨居に作用する軸力の影響を考慮可能な解析モデルを作成した。

2017年の報告書¹⁾において、各種の伝統構法による柱梁接合部（長柄差し、差鴨居片差し、雇い竿・車知栓）の回転抵抗挙動の評価式、が提案されている。

(1) 差鴨居接合部の接合具の引張性能

対象とする構面において、差鴨居と柱の接合部は、左右の柱の接合は小根柄差し込栓打ち、中央は雇い竿を入れ車知栓留めである。左右の柱との接合部は、木質構造接合部マニュアル⁴⁾に記載のある長柄込み栓接合の算定方法によって計算できるものと仮定する。

剛性については、込栓の側材へのめり込みを面圧定数を用いて計算し、込栓自体の圧縮変形を加味した複合面圧定数として定義し、弾性床上の梁理論を適用してすべり剛性の近似解を求め、これを側材部と柄部でそれぞれ計算したものを重ね合わせることで計算する手法が提案されている。詳細は同文献4および前掲文献1を参照。

複合面圧定数

$$k_{cp} = \frac{k_E \times \alpha_k k_{cvf}}{k_E + \alpha_k k_{cvf}} \quad (3.2.1-1)$$

k_E : 母材の面圧定数、 k_{cvf} :木ダボのめり込み剛性、 α_k : めり込み補剛効果係数(=1.5)

$$k_E = \begin{cases} k_{E0} = \frac{E_{timber}}{31.6 + 10.9d} \\ k_{E90} = \frac{k_{E0}}{3.4} \end{cases} \quad (3.2.1-2)$$

を用いる。

接合部の剛性は、主材側片側剛性(P/2に対する剛性) K_1 と側材での片側剛性 K_2 を用いて、

$$K = \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2} \quad (3.2.1-3)$$

主材と側材が対称な2面せん断の剛性は、

$$K_1 = \min \left\{ \frac{dk_{cp1} L_1}{3} \left(Ed^7 k_{cp1}^3 \right)^{\frac{1}{4}} \times \left(1 + 0.188 \times \eta \sqrt{\frac{k_{cp1} d}{E}} \right)^{-\frac{1}{2}} \cong \frac{1}{3} \left(Ed^7 k_{cp1}^3 \right)^{\frac{1}{4}} \times 0.65 \right. \quad (3.2.1-4)$$

$$\left. K_2 = \min \left\{ \frac{dk_{cp2} L_2}{3} \left(Ed^7 k_{cp2}^3 \right)^{\frac{1}{4}} \times \left(1 + 0.188 \times \eta \sqrt{\frac{k_{cp2} d}{E}} \right)^{-\frac{1}{2}} \cong \frac{1}{3} \left(Ed^7 k_{cp2}^3 \right)^{\frac{1}{4}} \times 0.65 \right. \quad (3.2.1-5)$$

引用：文献1（2017年度報告書より）

同様に、長柄込栓打接合部の引張耐力性能について、ヨーロッパ型降伏理論に基づいた込栓の曲げ破断と母材の複合面圧強度を考慮した降伏耐力算定法が提案されている。これにより、降伏耐力を算定した。込栓打の場合の降伏耐力算定式は各降伏モードに対して以下のように算定される。

$$P_y = \min. \left\{ \begin{array}{l} (1) dt_1 F_{Ecp1} \\ (2) dt_1 F_{Ecp1} \times 2\alpha\beta \\ (3) dt_1 F_{Ecp1} \times \left[\sqrt{\frac{16\beta M_y}{dt_1^2 F_{Ecp1} (2\beta+1)} + \frac{8\alpha^2 \beta^2 (\beta+1)}{(2\beta+1)^2}} - \frac{2\alpha\beta}{2\beta+1} \right] \\ (4) \sqrt{\frac{16dF_{Ecp1}\beta M_y}{\beta+1}} \\ (5) \frac{2AF_s}{\kappa} \end{array} \right. \quad (3.2.1-6)$$

引用：文献 1（2017 年度報告書より）

（2）ダボのせん断強度

いす型せん断試験の補正式としてマニュアル（文 4）で提案されている以下の式を用いる。

$$F_s = \left(\frac{A_0}{A_{crack}} \right)^{0.2} 1.2 F_{s,nom} \quad (3.2.1-8)$$

引用：文献 1（2017 年度報告書より）

(3) 車知接合具の引張降伏耐力とすべり剛性

中央の柱と差鴨居の雇い竿・車知栓による接合部の引張降伏耐力とすべり剛性は、以下の方法で算定する。

1) システム模式図

断面 $e \times s$ の車知は、その一端が雇い竿道中央にくるように互い違いにずらした位置において、その断面上の対角が梁軸方向と一致するように、雇い竿の全せいに涉って打ち込まれているものとする。

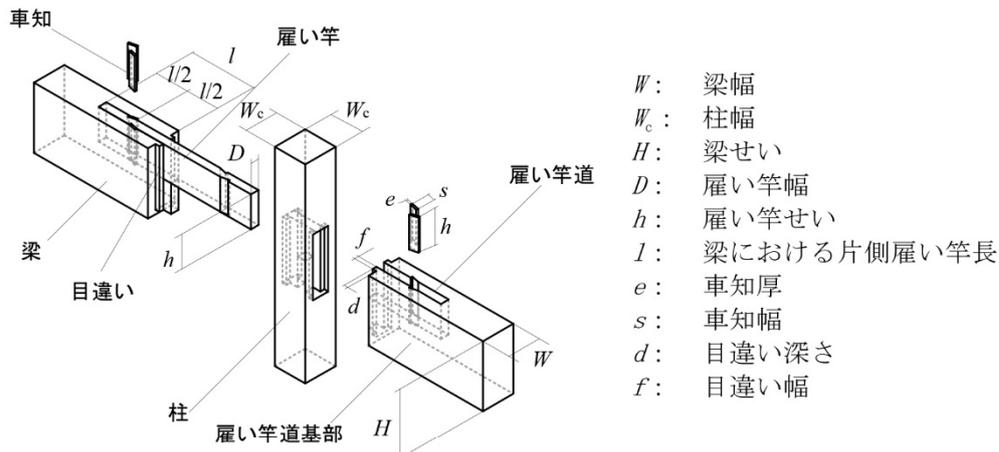


図 3.2.1-3 接合部の模式図

2) 設計情報

① 適用範囲

以下では図 3.4.3(24)-1 中の記号を用いる。以下の評価式は目違いや雇い竿道基部が無い条件にも対応している。各変数の寸法は任意だが、各変数間が次の比率の関係内であるものとする。

$$D < W/3, D < W_c/4, D/3 > e > 5\text{mm}, s/e > 3$$

- 雇い竿と車知には節や目切れ等の欠点の無いものを用い、また車知栓にはカシ、ナラ、ケヤキ等の堅木を用いる。
- 接合部に粘り性能を持たせたい場合、 $s/e > 6$ 、 $D > 36e$ 、 $H/h > 2$ とし、ほどよい大きさの目違いを設ける。
- 車知栓の欠落を防ぐために、車知栓は梁上側から打ち込むものとし、特に $H \neq h$ の場合には車知栓に大きな滑り勾配を設ける。

② 初期剛性 K_t

$$K_t = \cos^2\left(\frac{e}{s}\right) / \left(\frac{1}{K_{cb}} + \frac{1}{K_{cs}} + \frac{1}{K_{cw}} \right) \quad (3.2.1-9)$$

- a) K_{cb} : 車知栓接触部における梁の繊維方向面圧剛性
 b) K_{cs} : 車知栓接触部における雇い竿の繊維方向面圧剛性
 c) K_{cw} : 車知栓の横圧縮変形剛性

a) $K_{cb} = 2eh \cdot E k_{0b}$ (3.2.1-10)

b) $K_{cs} = 2eh \cdot E k_{0s}$ (3.2.1-11)

$$E k_{0b} = 5E_{0b} \frac{(0.02 + \frac{1}{s})}{140 - 0.6e}, \quad E k_{0s} = 5E_{0s} \frac{(0.02 + \frac{1}{s})}{140 - 0.6e}$$

E_{0b}, E_{0s} : 梁および雇い竿の繊維方向ヤング率

※車知の打ち込み角度が大きい場合には、ハンキンソン式により梁および雇い竿の面圧剛性の角度補正を行う。

c) $K_{cw} = \frac{2eh}{25s} E_{0wf}$ (3.2.1-12)

- E_{0wf} : 車知栓の繊維方向ヤング率 ($E_{0wf} = 2100 + 13700\rho$)
 ρ : 車知栓比重

③ 終局耐力 P_{tu}

$$P_{tu} = \min[P_{us}, P_{uc}, P_{ue}, P_{uk}, P_{ut}] \quad (3.2.1-13)$$

- a) P_{us} : 車知栓接触部における梁または雇い竿のせん断破壊耐力
 b) P_{uc} : 車知栓の全面横圧縮または座屈終局耐力
 c) P_{ue} : 車知栓接触部における梁または雇い竿の部分縦圧縮降伏耐力
 d) P_{ut} : 雇い竿の引張破壊耐力
 e) P_{uk} : 梁材または柱材の割裂耐力

a) $P_{us} = \min[(l - 2s + 2d)(h + e)F_{sb}, (l - 2s + 2d)hF_{ss}]$ (3.2.1-14)
 F_{sb}, F_{ss} : 梁または雇い竿の基準せん断強度

b) $P_{ucy} = 2ehF_{Efw} \left(1 - \frac{15s^2}{2e^2} \frac{F_{Efw}}{E_{0wf}} \right) \cos\left(\frac{e}{s}\right)$ (3.2.1-15)

(車知栓の全面横圧縮または座屈降伏耐力)

F_{cwf} : 車知栓の全面横圧縮強度 ($F_{cwf} = -8.2 + 35.4\rho$)

F_{Efw} : 車知栓の全面横圧縮降伏応力度 ($F_{Efw} = 0.8F_{cwf}$)

$P_{uc} = 1.5P_{ucy}$ (3.2.1-16)

(車知栓の全面横圧縮または座屈終局耐力)

c) $P_{ue} = \min[2ehF_{E0b}, 2ehF_{E0s}]$ (3.2.1-17)

- F_{E0b}, F_{E0s} : 梁または雇い竿の基準支圧強度

※車知の打ち込み角度が大きい場合には、ハンキンソン式により角度補正を行う。

$$d) P_{ut} = \frac{(D-e)}{2} h \cdot F_{ts} \times 2 \quad (3.2.1-18)$$

F_{ts} : 雇い竿の基準引張強度

$$e) P_{uk} = \min[P_{ukt}, P_{ukc}, P_{ukb}, P_{ubb}] \quad (3.2.1-19)$$

(目違いが働く場合)

ア) 梁先端目違いからのせん断耐力	イ) 柱における目違いからのせん断耐力
$P_{ukt} = \frac{2A_{et}F_{sb}}{3R_{yt}\alpha_b} \quad (3.2.1-20)$	$P_{ukc} = \frac{4A_{ec}F_{sc}}{3R_{yt}\alpha_b\alpha_c} \quad (3.2.1-21)$
$A_{et} = fh \quad (3.2.1-22)$	$A_{ec} = \frac{(W_c - D - 2f)}{2} d \quad (3.2.1-23)$
$R_{yt} = \frac{1}{64} \left\{ \frac{10e}{s} + \frac{9(W-D-2e)}{l} \right\} \quad (3.2.1-24)$	
ウ) 竿道基部の開きによるせん断耐力	エ) 竿道基部の開きによる曲げ耐力
$P_{ukb} = \frac{2A_{eb}F_{sb}}{3R_{yb}\alpha_b} \quad (3.2.1-25)$	$P_{ikb} = \frac{Z_{eb}F_{bb}}{R_{mb}\alpha_b} \quad (3.2.1-26)$
$A_{eb} = \frac{(W-D)^2}{4W} h \quad (3.2.1-27)$	$Z_{eb} = 0.45 \frac{h(W-D)^2}{24} \quad (3.2.1-28)$
$R_{yb} = \frac{1}{64} \left\{ \frac{22e}{s} - \frac{9(W-D-2e)}{l} \right\}$ (ただし、 $R_{yb} > 0$ とする) $(3.2.1-29)$	$R_{mb} = \frac{1}{64} \left\{ \frac{3el}{s} - W + D + 2e \right\}$ (ただし、 $R_{mb} > 0$ とする) $(3.2.1-30)$
$\alpha_b = 1 / \left\{ 1 + \frac{\kappa(W-D)^2}{hl} \right\}, \quad \alpha_c = 1 / \left\{ 1 + \frac{\kappa(W-D-2f)^2}{100d} \right\} \quad (\kappa = 1.2)$ $(3.2.1-31)$	

④ 終局変位 δ_{tu}

- a) $\delta_{tv} = P_{tu} / K_t$: 完全弾塑性モデルの折れ点の変位
b) $\delta_{tu} = \delta_{tv}$: 耐力が P_{us} または P_{ut} で決定される場合。または雇い道基部、目違いのいずれかが無い条件の場合。
c) $\delta_{tu} = \delta_{tv} + 0.1s$: 耐力が P_{uc} , P_{ue} または P_{uk} で決定される場合。

※ $P_{ucy} < P_{tu}$ の場合には a), b) にさらに 0.1s を加えて良い。

4. 密度による物性値の回帰式による計算^{3.18)}

接合具には無欠点の品質の良いものが用いられるため、基準強度の値を用いると過度に安全側に計算される事が知られている。そこで、木質接合部設計マニュアル^{3.18)}では無欠点小試験体に関するJIS形式の試験についての既往報告に基づき、比重による回帰式による値を提案している。45mm以下程度の寸法に制限し、かつ節や目切れ等の欠点が無い事が前提となる。

$$\begin{aligned} F_b &= 8.1 + 136\rho & F_b &= 6.1 + 102\rho \\ (\text{平均値}) F_s &= -1.9 + 24.7\rho & (5\% \text{下限値}) F_s &= -1.4 + 18.6\rho & (3.2.1-32) \\ F_{cvt} &= -8.2 + 35.4\rho & F_{cvt} &= -6.2 + 26.6\rho \\ E &= 2100 + 13700\rho \end{aligned}$$

以上、引用は文献 1 (2017 年度報告書)

(4) 差鴨居、雇い竿仕口接合部の回転性能

回転バネモデルでは、差鴨居と柱接合部のモーメント抵抗を以下の方法で算出している。差鴨居と柱の接合部の回転剛性は、左右の柱については、差鴨居が閉じる方向においては、長柄込栓接合部の引張耐力と差鴨居下部の柱へのめり込み抵抗からモーメント抵抗を算出する。中央の柱については、上述の雇い竿・車知栓接合部の引張耐力と、柱への差鴨居上下部のめり込み（左右でめり込む位置は異なる）抵抗のつり合いからモーメント抵抗を算出している。計算方法は2017年度報告書での検討内容に従い以下のように算定する。

表 3.2.3-1 差し鴨居、雇いほぞ仕口回転性能の基本算定式

	片差し差し鴨居形式	両差し雇いほぞ形式	両差し差し鴨居形式
変数 a	$a = \frac{y_p C_y E_{\perp}}{Z_0} \frac{1}{K_T}$		$a = \frac{1}{2} \frac{y_p C_y E_{\perp}}{Z_0} \frac{1}{K_T}$
変数 b	$b = 1 + \left\{ \frac{2Z_0}{3} \left(1 - e^{-\frac{3x_1}{2Z_0}} \right) \right\} \times a \cong 1 + \frac{2Z_0}{3} a$		
変数 c	$c = 2(H - h/2)$	$c = H$	
めり込み長 xp	$x_p = \frac{-b + \sqrt{b^2 + ac}}{a}$		
余長効果係数	$C_x = 1 + \frac{4Z_0}{3x_p} \left(1 - e^{-\frac{3x_1}{2Z_0}} \right) \cong 1 + \frac{4Z_0}{3x_p}$		
初期剛性	$K_{\theta} = \frac{x_p^2 y_p C_x C_y E_{\perp}}{2Z_0} \times \left(H - h/2 - \frac{x_p}{3C_x} \right)$	$K_{\theta} = \frac{x_p^2 y_p C_x C_y E_{\perp}}{2Z_0} \times \left(H - \frac{2x_p}{3C_x} \right)$	
降伏モーメント	$M_y = N_y \times \left(H - h/2 - \frac{x_p}{3C_x} \right)$	$M_y = N_y \times \left(H - \frac{2x_p}{3C_x} \right)$	
降伏軸力	$N_y = \min[\Sigma N_y, T_{y1}, T_{y2}] \times \alpha^{\ast}$		
めり込み降伏耐力	$\Sigma N_y = \frac{x_p y_p F_m}{2} \sqrt{\frac{C_x C_y}{C_{xm} C_{ym}}}$		
降伏後	めり込み降伏が先行する場合、剛性を 1/6 に減じる。 その後接合具の降伏耐力に達するまで。 接合具の降伏に達した後、 Δ /梁せい rad の変形が可能。 $\Delta=20\text{mm}$ (込栓、鼻栓), 10mm (車知栓)		

K_T : ほぞ-柱接合部の引張剛性（複数接合具の場合は全体の値）

T_y : ほぞ-柱接合部の引張（降伏）耐力（複数接合具の場合は全体の値）

引用：文献 1（2017 年度報告書）

中央部での雇い竿や、左右の柱における差鴨居の小根柄による貫効果の計算は以下のように行う。

表 3.2.3-2 差し鴨居、雇いほぞ仕口回転性能の貫効果算定式

	片差し差し鴨居形式	両差し雇いほぞ形式	両差し差し鴨居形式
初期剛性	$K_{\theta} = x_p^2 y_p E_{\perp} \left[\frac{x_p}{Z_0} \left(C_{xm} - \frac{1}{3} \right) + 0.5C_{xm} \right]$	$\frac{K_{\theta}}{2}$	K_{θ}
降伏モーメント	$M_y = \frac{K_{\theta} Z_0 F_m}{x_p E_{\perp} C_{xm} \sqrt{C_{ym}}}$		
二次剛性	初期剛性の 1/6		

引用：文献 1（2017 年度報告書）

柱頭・柱脚接合部の回転剛性は以下の通り算出する。

	$x_p = \frac{3l^2}{4Z_0 + 6l}$
初期剛性	$K_\theta = \frac{y_p E_\perp}{3Z_0} \left\{ x_p^3 + 2x_p^2 Z_0 + (l - x_p)^3 + \frac{3}{4}(l - x_p)^2 Z_0 \right\}$
降伏モーメント	$M_y = \frac{K_\theta Z_0 F_m}{x_p E_\perp C_{xm} \sqrt{C_{ym}}}$
二次剛性	初期剛性の 1/8

※柱脚、柱頭の長ほぞ込栓接合は、貫効果のみを考慮。掘立柱式柱脚接合部の算定式(木質接合部設計マニュアル^{3,18)}参照)に基づいて計算する。柱の回転浮き上がりに対する込栓抵抗はここでは無視した(差鴨居算定式に梁せい=梁幅として計算するとほとんど無視できるレベルに小さくなるため)。

引用：文献 1 (2017 年度報告書)

回転バネモデルにおける正負方向の耐力の設定、引張耐力の計算は以下のように行う。

表 3.2.3-4 差し鴨居、雇いほぞ仕口回転性能の正負耐力の積算値

	片差し差し鴨居形式	両差し雇いほぞ形式	両差し差し鴨居形式
正側	基本算定式	基本算定式 + 貫効果算定式 (極性なし)	
負側	貫効果算定式	基本算定式 + 貫効果算定式 (極性なし)	

仕様接合具の形式に応じた引張耐力計算
下記を満足すること。

注意点\仕様	込栓	鼻栓	車知
	降伏耐力の算定 EYT	降伏耐力の算定 YET Mode2,3 の場合には計算上 低減係数 0.8 を乗じる。	仕様規定：目違いが有ること、雇い幅=梁幅で無い事。 車知の圧縮・座屈耐力が最小となる条件とする。
	割裂、端抜けせん断耐力 > 1.5×降伏耐力	端抜けせん断耐力 > 1.5×降 伏耐力	割裂耐力 > 1.2×圧縮・座屈 耐力 ほぞ材のせん断・引張耐力 > 1.5×圧縮・座屈耐力

鼻栓・車知栓：完全弾塑性置換
込栓：降伏後剛性を 1/10 に減ずる。
込栓・鼻栓の最大変形 20mm, 車知の最大変形 10mm。

引用：文献 1 (2017 年度報告書)

5.2.2 解析モデルの詳細

解析モデルについて以下に示す。

① 回転バネモデル（2017年度検討モデル） 図 5.2.2-1

片差し差鴨居・込み栓仕口や両差履い竿・車知栓仕口、長柄込み栓打などの接合部の回転剛性・引張強度等を算定し、回転ばねとして設定したモデルである。

② MS (Multi Spring) モデル 図 5.2.2-2

差鴨居の軸力の影響等を考慮するため、集中回転バネを引張・圧縮ばねの組み合わせに置き換えたモデルである。差鴨居と柱の接触位置に、差鴨居せいの剛体棒を設置した。これにたいして、十分な分割数を設定し、その分割面積に対応する、等変位めり込みばねを作成、柱との間に設置した。上下端のバネについては余長部の影響も考慮する。なお、図 5.2.2-2 では、2019 年度実施の実大試験で曲げモーメント、柱せん断力等を算出した箇所についても示す。

表 5.2.2-1 に解析モデルに用いた材料特性を、図 5.2.2-3~5 に各接合部のバネ設定を示す。

表 5.2.2-1 解析モデルの材料特性

部位	樹種	幅	せい	ヤング係数	比重
		mm	mm	MPa	-
左・右の柱	スギ	150	150	7000	0.373
中央柱	スギ	180	180	7000	0.373
桁	スギ	150	210	7000	0.373
土台	ヒノキ	210	150	11000	0.402
差鴨居	ベイマツ	120	360	12000	0.426
込栓	シラカシ	15	15	13471	0.83

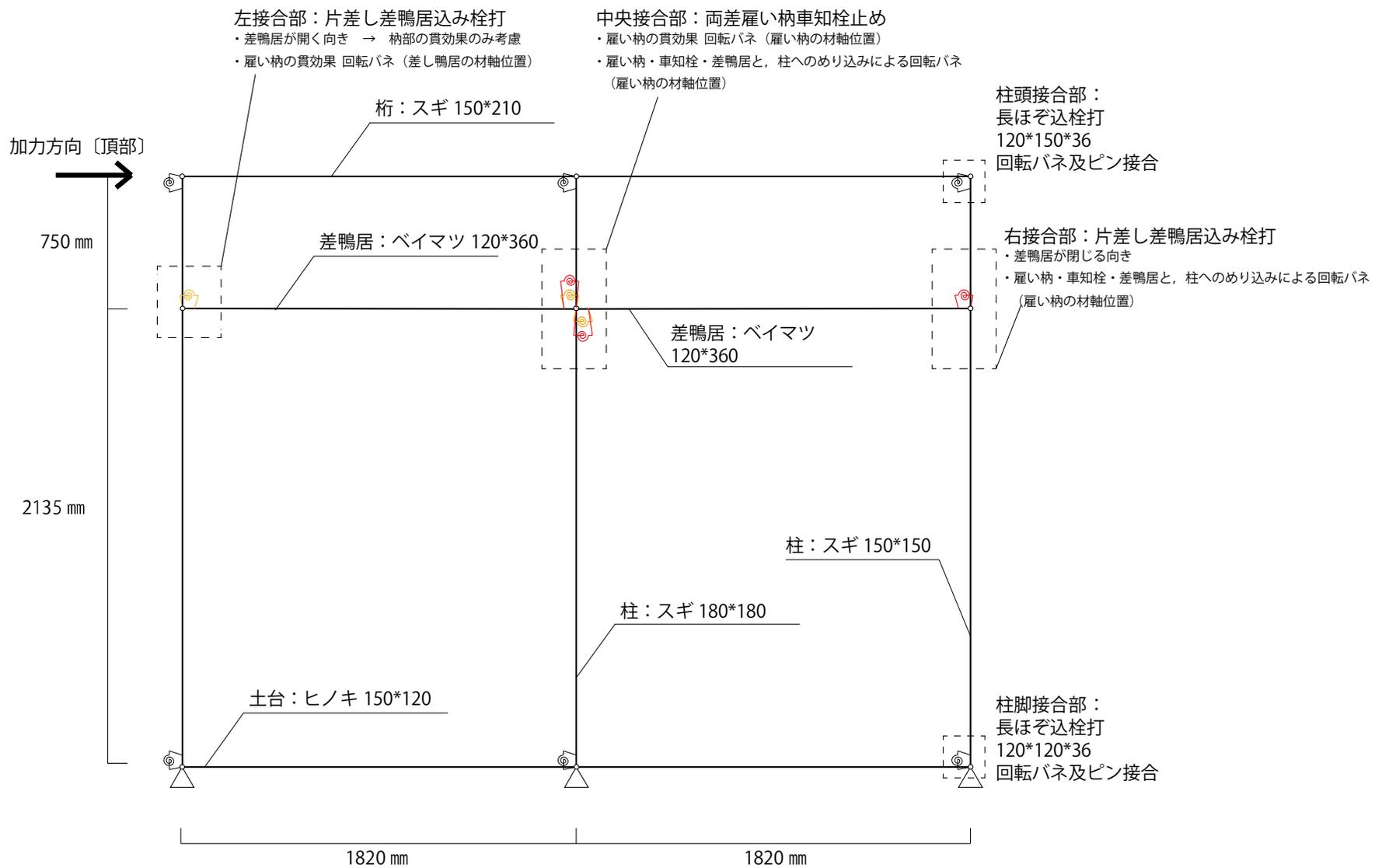


図 5.2.2-1 回転バネモデル

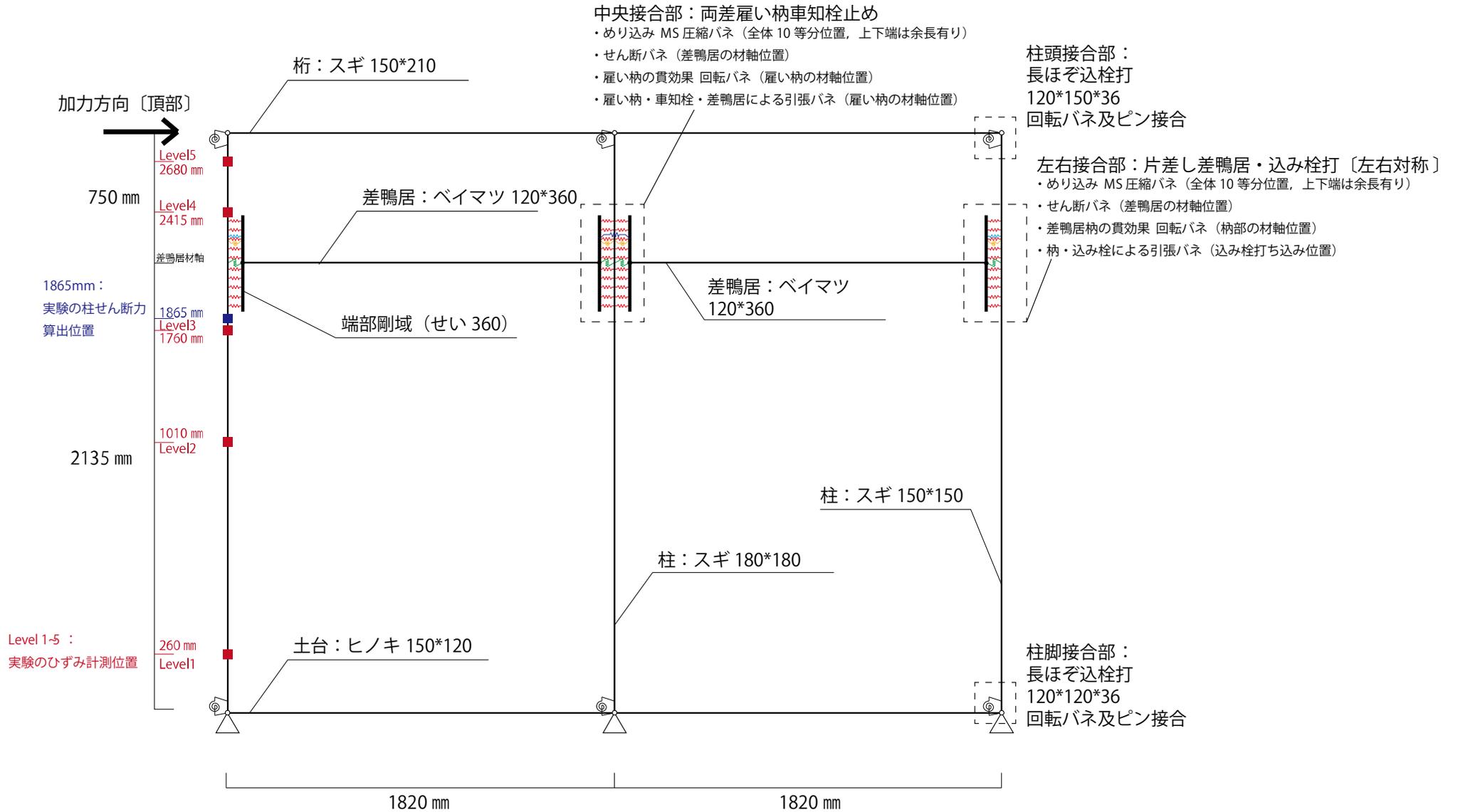
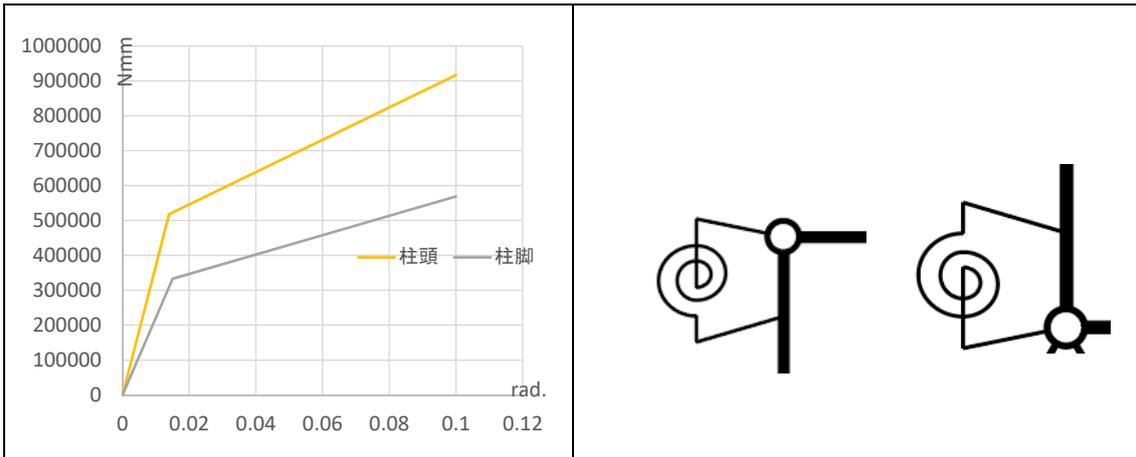
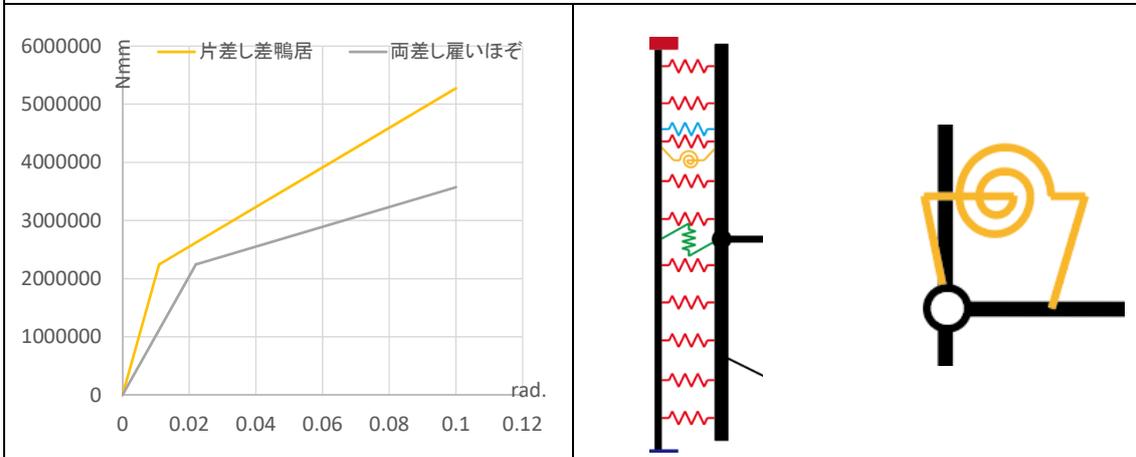


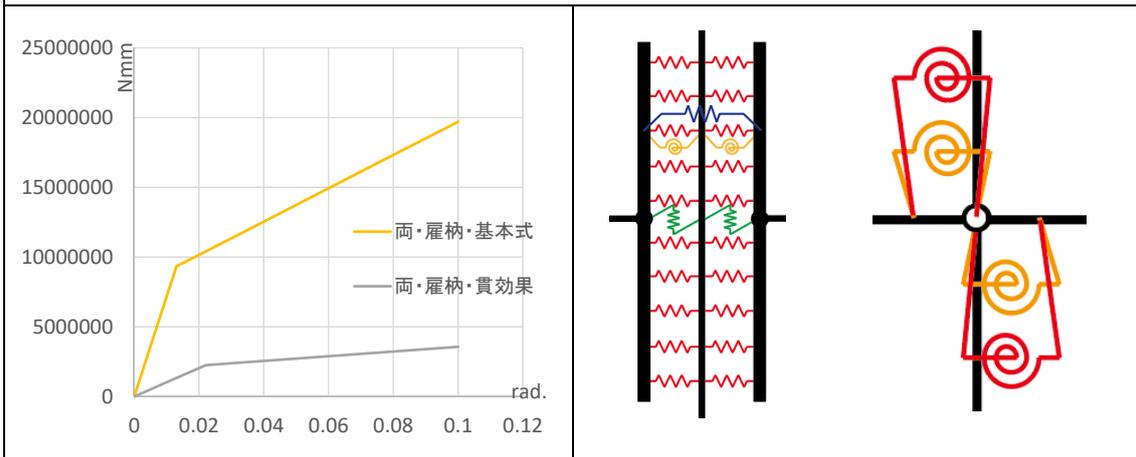
図 5.2.2-2 MS モデル



柱頭 回転バネ (回転、MS 共通) : 降伏後剛性 1/8
 柱脚 回転バネ (回転、MS 共通) : 降伏後剛性 1/8
 該当位置図版 (柱頭部、柱脚部)

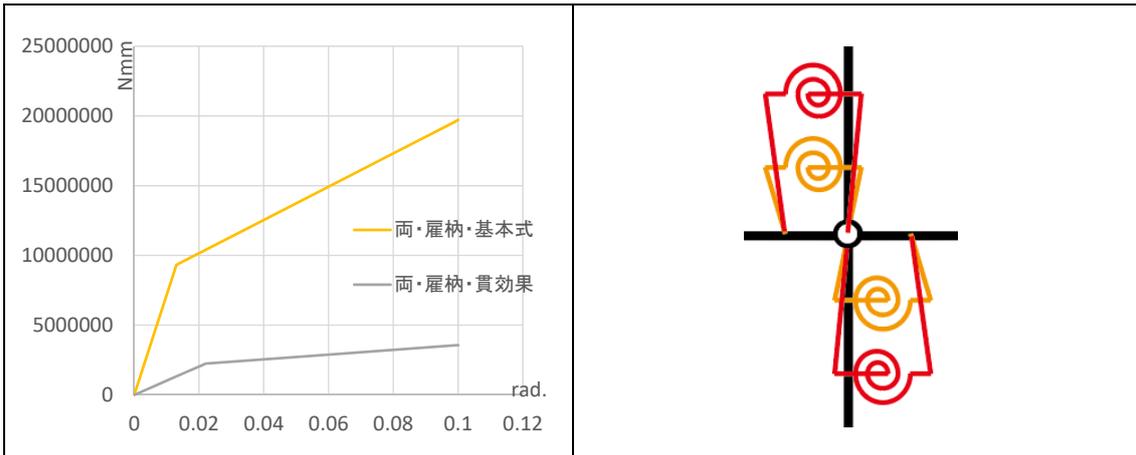


片差し差鴨居ほぞ 貫効果回転バネ (回転、MS 共通) : 降伏後剛性 1/6
 該当位置図版 (左 : MS モデル左端部、右 : 回転バネモデル左端部)

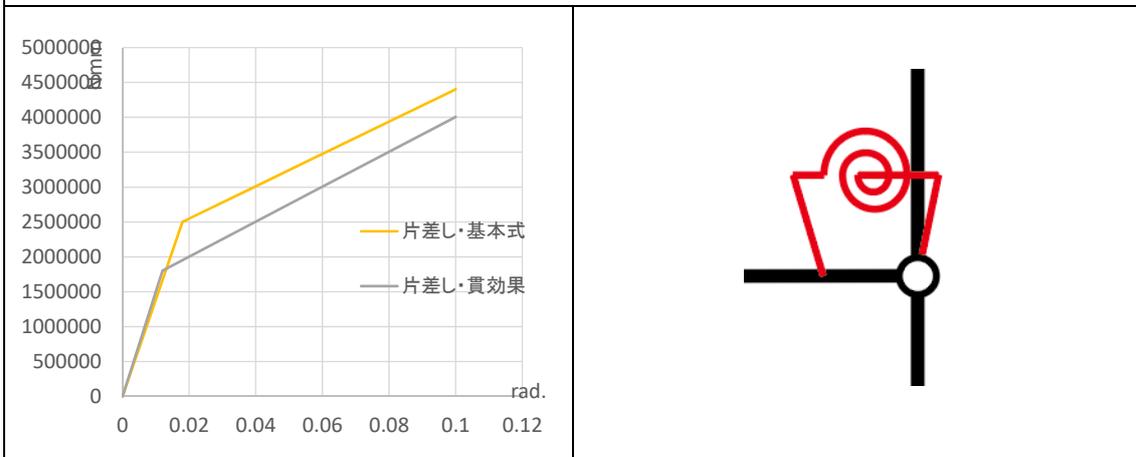


雇い竿の貫効果回転バネ (回転、MS 共通) : 降伏後剛性 1/6
 該当位置図版 (左 : MS モデル中央部、右 : 回転バネモデル中央部)

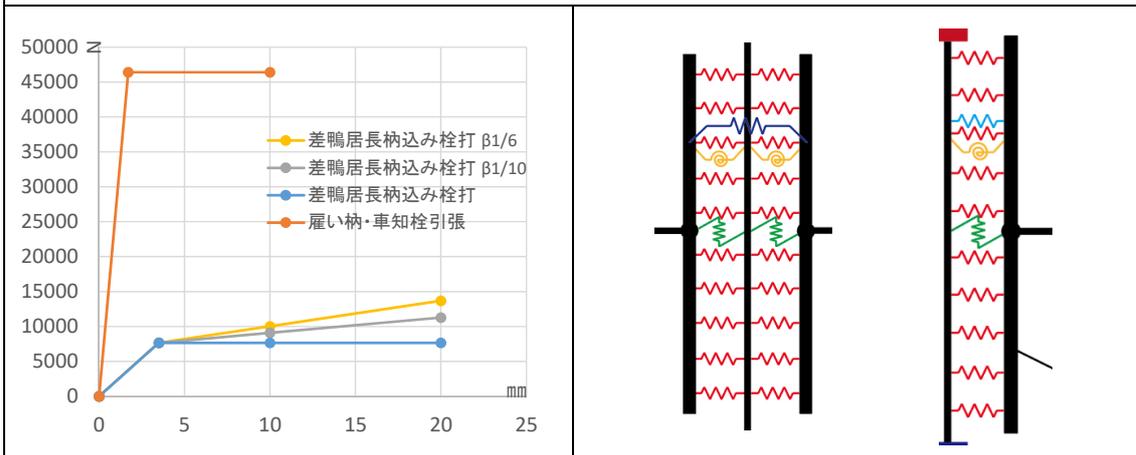
図 5.2.2-3 解析モデルの各接合部バネの設定-1



雇い竿基本式バネ（回転バネモデル）：降伏後剛性 1/6
 該当位置図版（回転ばねモデル中央部）

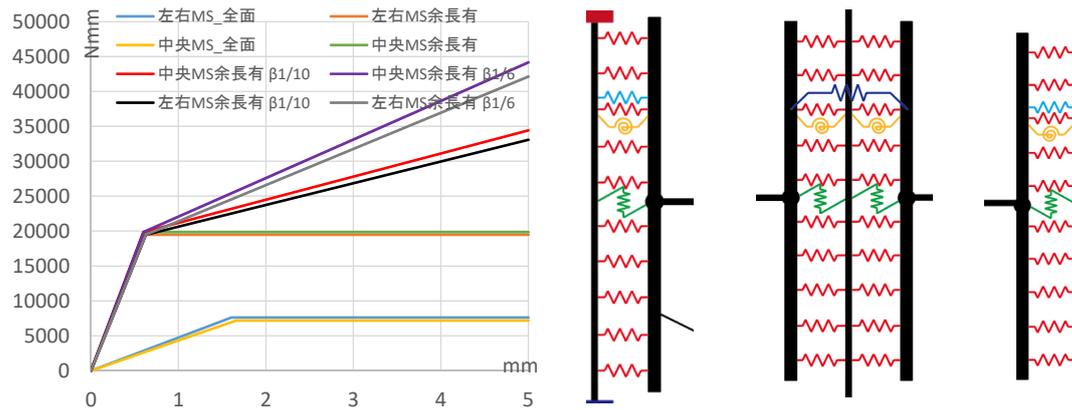


片差し差し鴨居基本式バネ（回転バネモデル）：降伏後剛性 1/6
 該当位置図版（回転バネモデルの左右端部）



雇い竿・車知の引張バネ（MSモデル）
 差鴨居ほぞ込み栓打の引張バネ（MSモデル）：降伏後剛性 0、1/10、1/6
 該当位置図版：左：MSモデル中央部（紺色）、右：差鴨居端部（水色）

図 5.2.2-4 解析モデルの各接合部バネの設定-2



MS 圧縮バネ（差し鴨居と左・右・中央の柱の接触部位のめり込みバネ）。上下端は片側余長部を考慮、残りは余長部なしと仮定。

余長部有の場合の二次剛性は、0, 1/10, 1/6 で変化させている。

図 5.2.2-5 解析モデルの各接合部バネの設定-3

なお、MS モデルの差し鴨居材軸位置で柱と接合するせん断バネは十分な剛性を持たせている。

5.2.3 解析結果と実験結果の比較

(1) 構面試験の荷重変形関係の比較

図 5.2.3-1 に 2018 年度の軸組構面試験体の荷重変形関係と、回転バネモデル、MS モデルの解析結果を示す。試験体頂部に作用する水平力を構面のせん断力として記載する。なお、MS モデルについては、全体の荷重変形関係に大きく影響すると推定される、めり込み圧縮バネ (MS バネ)、および左右の差鴨居の込栓による引張バネのそれぞれの二次剛性を初期剛性の 0 倍、1/10 倍、1/6 倍と変化させた結果を示す。

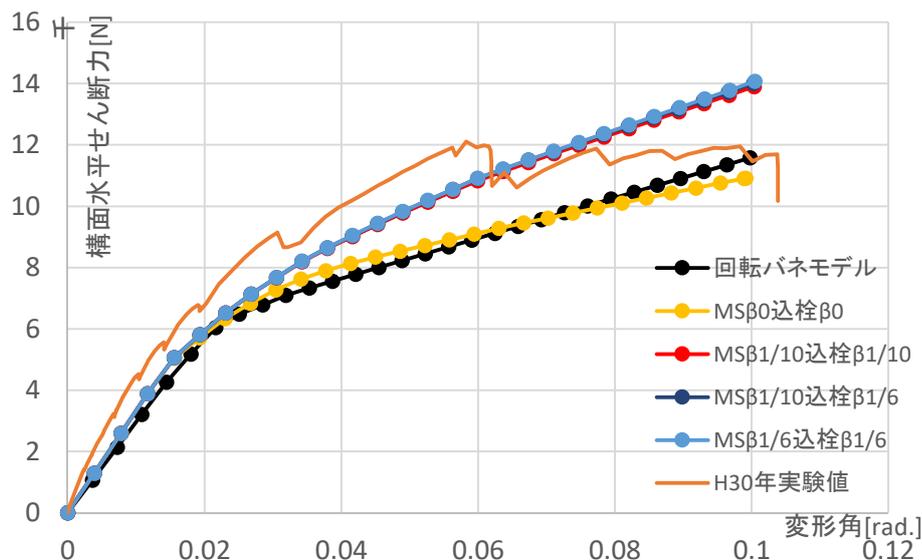


図 5.2.3-1 荷重変形関係の比較

結果として、MS モデル、回転ばねモデル共に初期剛性、耐力とも実験値をやや下回った。回転ばねモデルでは、MS モデルでの降伏後の二次剛性を考慮しない場合と概ね同等の値となっている。MS モデルでは、柱と差鴨居のめり込みにおいて余長部のある位置の二次剛性や、差鴨居の左右の柱へのめり込みに影響すると考えられる差鴨居の柄部の込栓打接合部の二次剛性を考慮することで耐力を向上させることが可能であることが分かった。

実験値との対応を考えると、MS バネ、込栓バネでそれぞれ二次剛性を 1/6 倍程度と想定したモデルが妥当であると考えられる。なお、適用した物性値は前述の通り標準的な値であり、試験体の材料特性を反映することで多少精度が向上する可能性がある。

(2) 柱に作用する曲げモーメントの分布

2019年度の実大試験では、左右および中央柱の曲げモーメントをひずみゲージによって計測している。計測位置は、土台芯から上に260mm、1010mm、1760mm、2415mm、2680mmの位置である。解析モデル (MSモデル) でも同じ位置での柱の曲げモーメントを算出し、比較した。

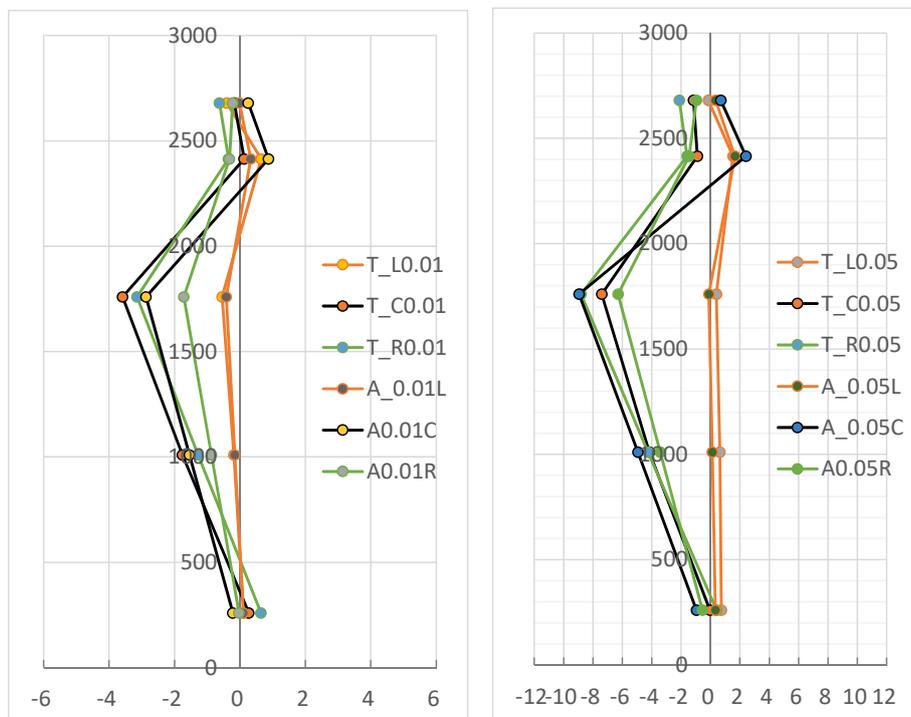


図 5.2.3-2 柱に作用する曲げモーメント (左：1/100rad.時、右：1/20rad.時)

図中 T が実験値、A が解析値である。L が左柱、C が中央柱、R が右柱である。

中央柱の解析結果で、差鴨居上部の点でモーメントの符号が逆転している個所があるものの、その他については 1/100rad.、 1/20rad.ともおおむね一致している。

(3) 差鴨居に発生する軸力の比較

2019年度の実大試験では、ひずみゲージによって差鴨居に生じた軸力を計測している。解析モデル（MSモデル）での軸力と比較した結果を示す。

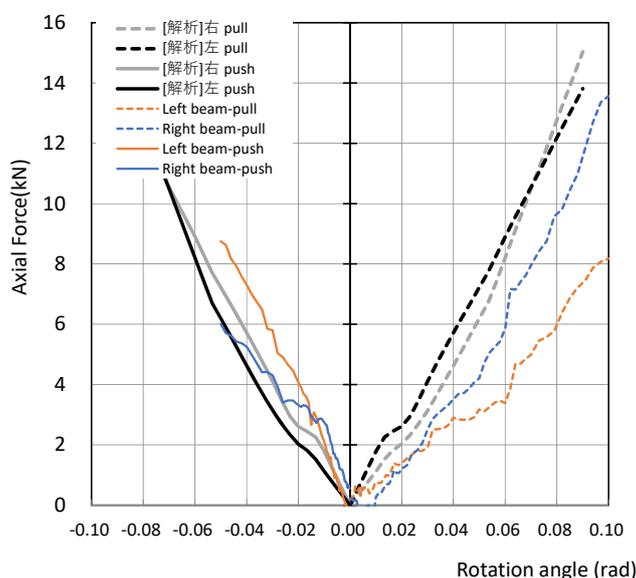


図 5.2.3-3 解析と実験における差鴨居軸力の比較

2 スパンあるうちの左側の差し鴨居を黒とオレンジ、右側の差鴨居をグレーと青で示す。変形角負側（Push）では、解析値と実験値は比較的良い一致をみる結果となっている（オレンジと黒、青とグレー）。左右の差し鴨居を比較すると、実験、解析共に 1/100rad.付近案では右側の差鴨居（差鴨居端部の接合部が閉じる側）の荷重が大きい（青とグレー）、実験ではその後右側の軸力（青）は左側（オレンジ）と逆転する。

変形角正側（Pull）では、実験の左側の差鴨居（オレンジ）の軸力がやや小さく解析値（黒）との乖離があるが、右側の差し鴨居（青）については解析値（グレー）と比較的良い一致を見る結果となった。

解析値同志の比較では差鴨居右端部が閉じる側（右 push、左 pull）が開く側に比べ大きい傾向がある。

(4) 接合部要素実験の解析結果との比較

2018年度に、接合部の要素実験が実施されている。同様の条件の解析モデルを作成、接合部条件を回転バネモデル、MSモデルとした結果を示す。

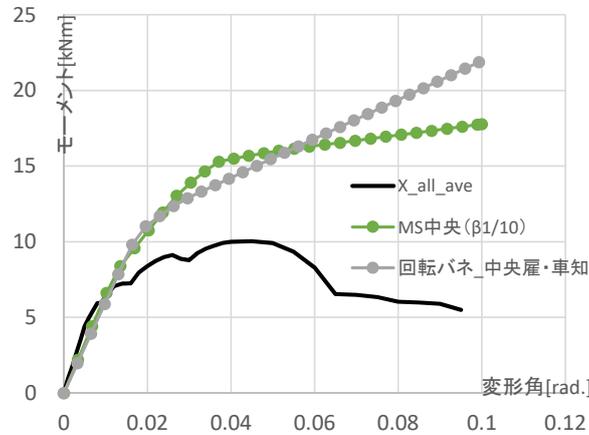


図 5.2.3-4 X型試験（中央の雇い竿・車知栓と差鴨居による接合部）の実験・解析の比較

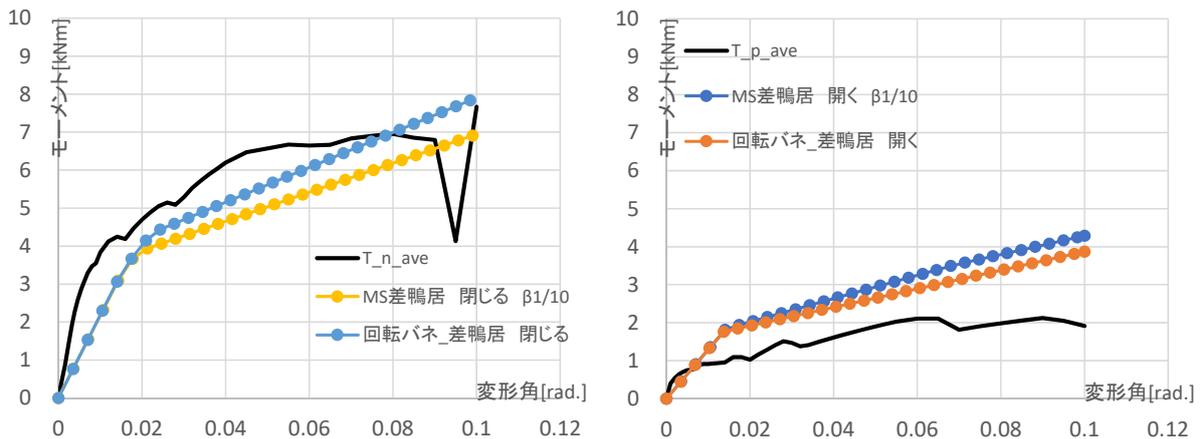


図 5.2.3-5 T型試験（左右の柱と差鴨居小根柄差し接合部）の実験・解析の比較
 (左：差鴨居下部が閉じる向きの加力、右：差鴨居が開く向きの加力)

回転ばねモデルと MS モデルの初期剛性は比較的良好に一致するが、降伏点以降の挙動にはやや差異が見られる。めり込み抵抗部分の二次剛性の設定によって多少上下するものの二つのモデルの差異は接合部単体の回転性能の再現においては大きな差異はない。

実験結果と比較すると、T 型試験は閉じ側、開き側ともにおおむね初期剛性、二次剛性の傾向を再現している。X 型試験については、初期剛性は近いものの、解析では実験結果よりも降伏が遅く、荷重低下を起こさない条件であることから終局荷重は過大な評価となっている。初期剛性については再現できていることから、車知栓等の引張降伏などの条件を個別に確認し危険側にならないよう判断しつつ、中央部に関しても MS モデルを全体の解析にも適用して問題ないと推定した。

5.2.4 垂れ壁土壁を考慮した解析モデル

(1) 土壁要素実験の結果の整理

まず、2019年度報告書をもとに土壁要素実験の結果を整理した。以下①～③は同報告書より抜粋、追記したものである。

①変形と破壊の様子

写真 5.2.4-1～2 に試験体の終局時の様子を示す。アスペクト比の小さい PM-L や PM-M 試験体は土壁部中央付近にせん断ひび割れが生じた。PM-S 試験体では端部の圧壊変形が先行したが、最終加力時に全体が曲げ破断するような割れが観察された。

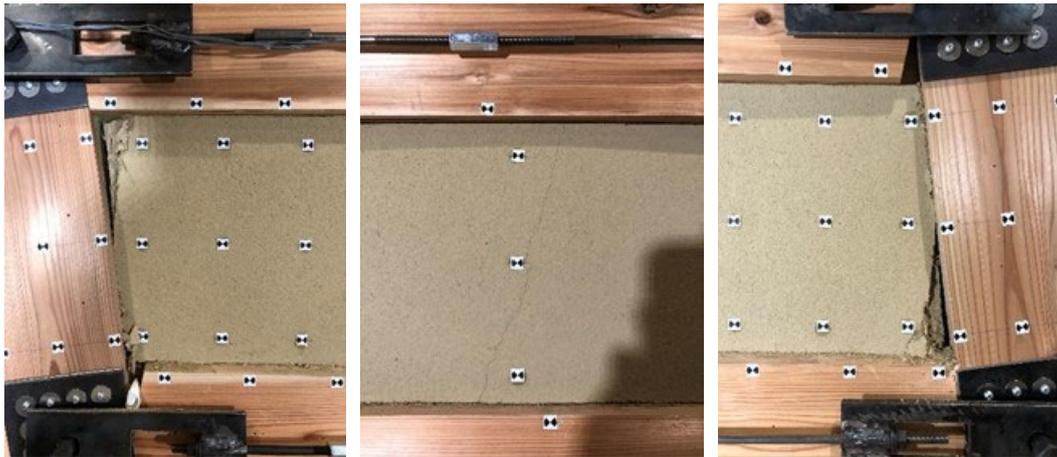
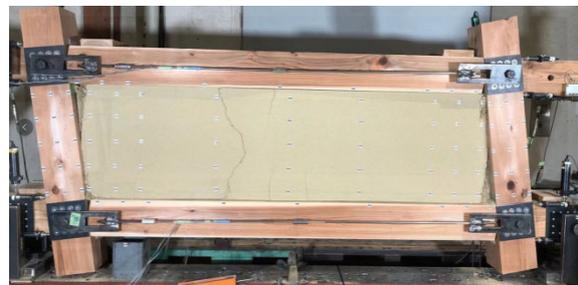


写真 5.2.4-1 PM-S 試験体終局時の様子 (各部の拡大)



(a) PM-So pull-in side (1/15rad)



(b) PM-M pull-in side (1/15rad)



(c) PM-MT pull-in side (1/15rad)



(d) PM-L pull-in side (1/15rad)

写真 5.2.4-2 終局時の様子

②荷重とせん断変形角の関係

図 5.2.4-1 に杵材の影響を除いた、土壁部分のみによる土壁の抵抗力 (Q_w) とせん断変形角の関係を示す。「PM-So の結果より、アスペクト比が大きい場合においても、必ずしも土壁のせん断力は端部圧縮のみが支配的に働くのでは無く、おそらく摩擦抵抗に起因する土壁上下面での直接せん断力伝達も効果的な耐力伝達機能を持つ」ことが示されている。

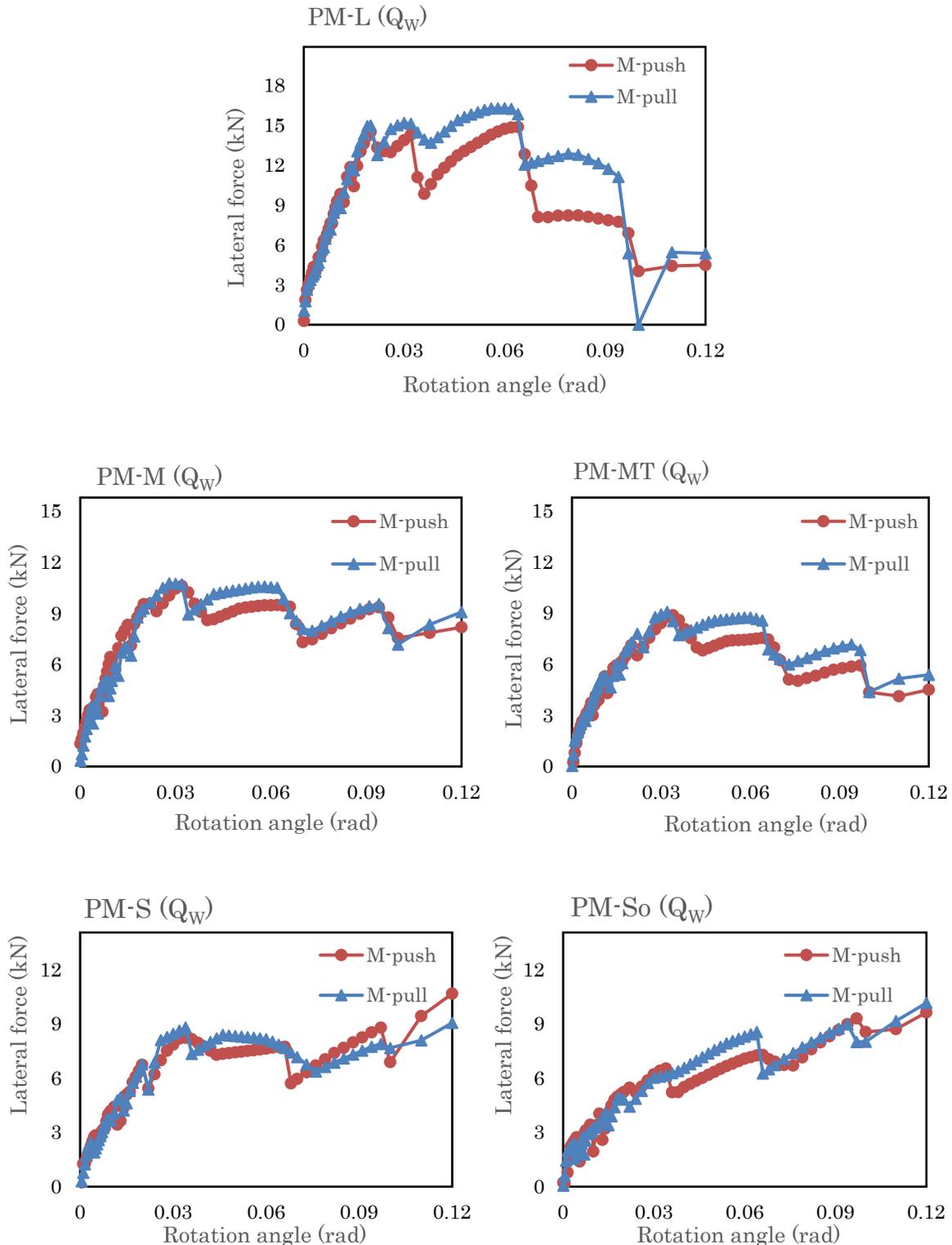


図 5.2.4-1 純土壁試験体の土壁せん断力 (Q_w) -せん断変形角関係 (2019 年度報告書)

③土壁の左右柱への圧縮抵抗成分の分離

2019年度報告書より、以下の方法により、土壁のせん断抵抗力において、土壁左右側面の圧縮抵抗と、土壁上下梁の摩擦等によるせん断抵抗の影響があることが示されている。

「純土壁試験において、土壁のせん断力伝達経路は①土壁の側面圧縮力によるストラット、②土壁の上下面接触による直接せん断の2経路が考えられる。①については、既往の研究で曲げ抵抗成分として考慮されてきた柱材枳材の傾斜に伴って、土壁端部が枳材と接触することによって生じる圧縮抵抗である。②については、周囲を拘束されたアスペクト比の大きい土壁において、土壁上下面の枳材との摩擦抵抗や木舞端部のせん断抵抗などによって横架材枳材から土壁に直接的に伝達されるせん断力成分である。これらは一般に同時に働いていると考えられ、土壁全体のせん断抵抗(Q_M)は側面の圧縮抵抗と上下面のせん断抵抗の和となる」 図 5.2.4-3 に土壁のせん断力伝達メカニズムの模式図を示した。」

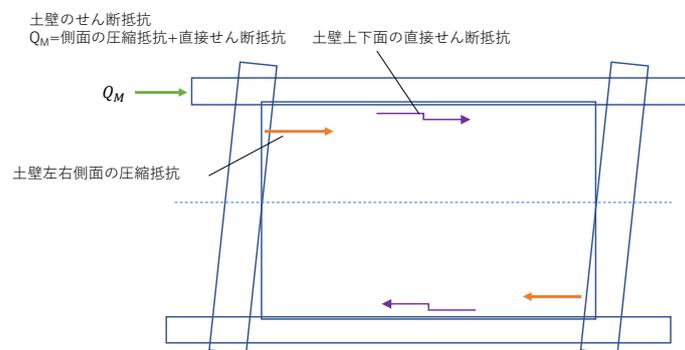


図 5.2.4-2 土壁のせん断力伝達メカニズムの模式図 (引用：2019年度報告書第3章)

また、以下のグラフに示すように、試験体ごとに、上下面でのせん断力と左右柱への圧縮抵抗を分離して考察すると、今回の試験条件においては、上下のせん断抵抗 Q_f は「高い初期剛性を有し、大変形に至っても耐力低下を生じ」ず、「その最大値は 6kN 程度であり、試験体のサイズにさほど依存しない」ことが示された。

他方で、「側面の圧縮抵抗成分は、初期の若干の遊びが見られ、また試験体の高さが大きくなると大きくなる傾向がある。また、最大値を迎えたあと、緩やかに荷重低下を生じる性質が見て取れた。」ことが示されている。

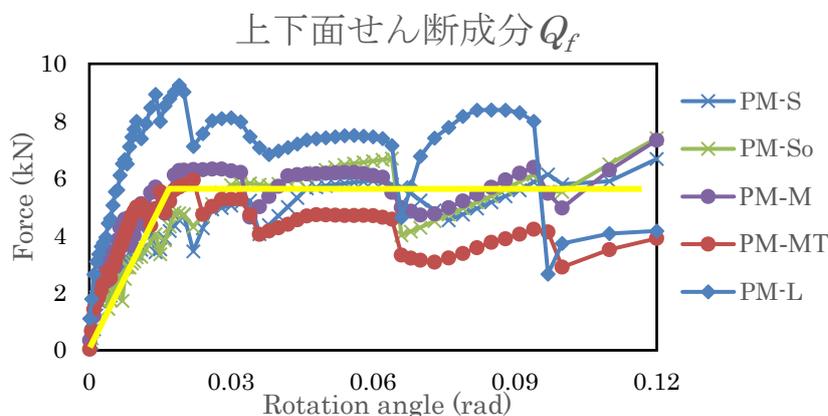


図 5.2.4-3 上下面のせん断成分 Q_f (引用：2019年度報告書第3章)

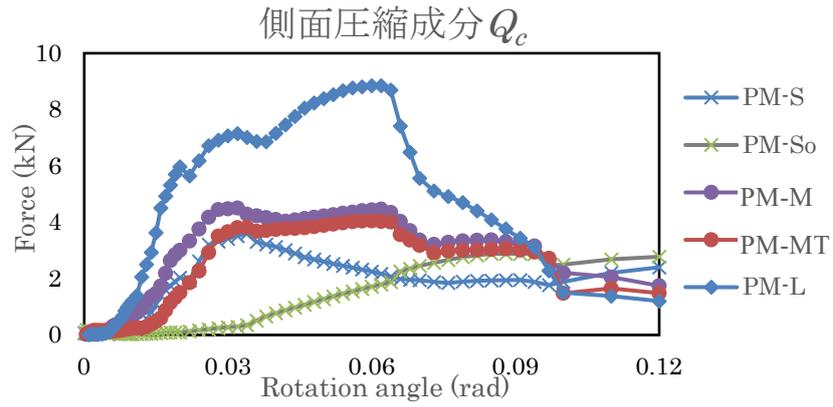


図 5.2.4-4 側面圧縮成分 Q_c (引用：2019 年度報告書第 3 章)

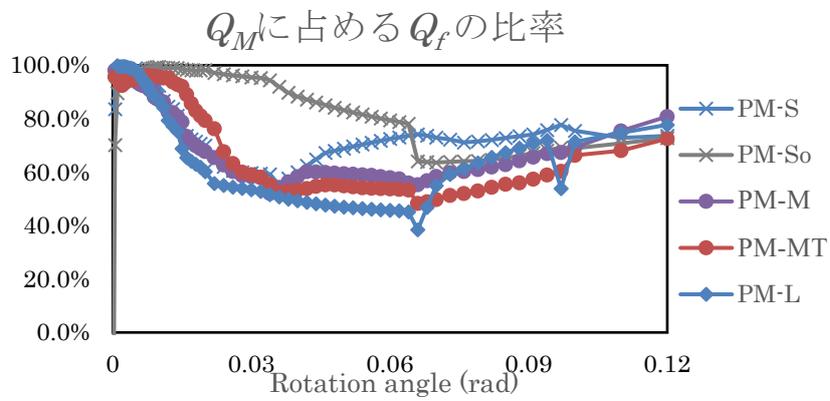


図 5.2.4-5 純土壁試験体の Q_M に占める Q_f の比率 (2019 年度報告書第 3 章)

(2) 解析モデルの方針

実験より示された上下面のせん断抵抗と、左右の柱に与える圧縮荷重を解析的に再現する。具体的には、過年度の要素実験、実大試験を再現するモデルを構築したのち、これを持ちいてパラメータスタディを行うものとする。土壁の抵抗メカニズムは、(1)に示した過年度の実験結果より、以下の2つの要素に大別できるものと仮定する。

- 1) 上下面のせん断剛性は、主に摩擦力に起因する。実験値の範囲ではアスペクト比による影響を大きく受けないことが分かる。要素実験から求めた荷重変形関係に対して、単位面積当たりのせん断強度として算出することを想定している（グラフ上黄色線）。
- 2) 圧縮ストラットによる水平荷重については、土の圧縮強度とアスペクト比を考慮した算出方法とする。左右の柱中央部までの長さ分に支圧が働くと仮定し、ブレース置換を行った。

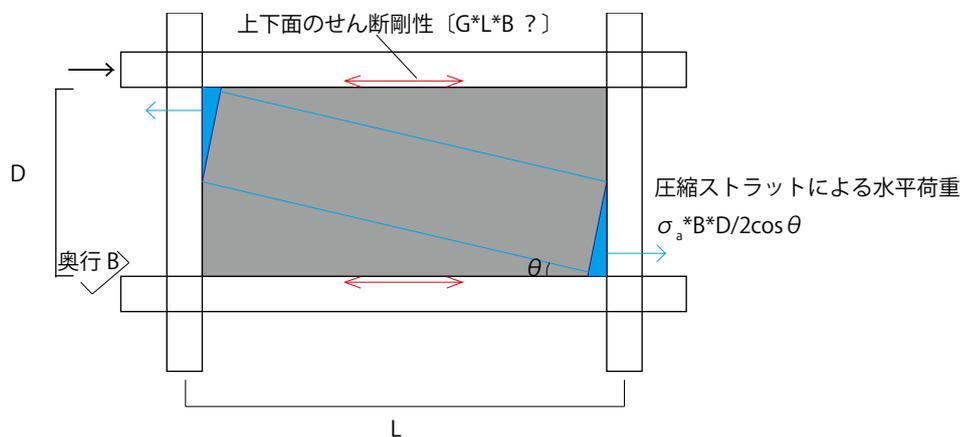


図 5.2.4-6 土壁の水平抵抗機構

次ページ以降に、それぞれのばね設定について示す。

①上下面のせん断剛性による荷重 Q_f

実験結果より、土壁高さが最大である L がやや初期剛性・最大体力が高いものの、他の M、S 試験体では、初期剛性、最大荷重、降伏（摩擦機構の変化）後の荷重が大きく変わらない特徴は共通している。各試験体は壁高さのみ異なり、塗厚、材料は共通であることから、せん断面積が同様であれば、同一変形角に対して同等の抵抗力を発揮すると仮定できる。

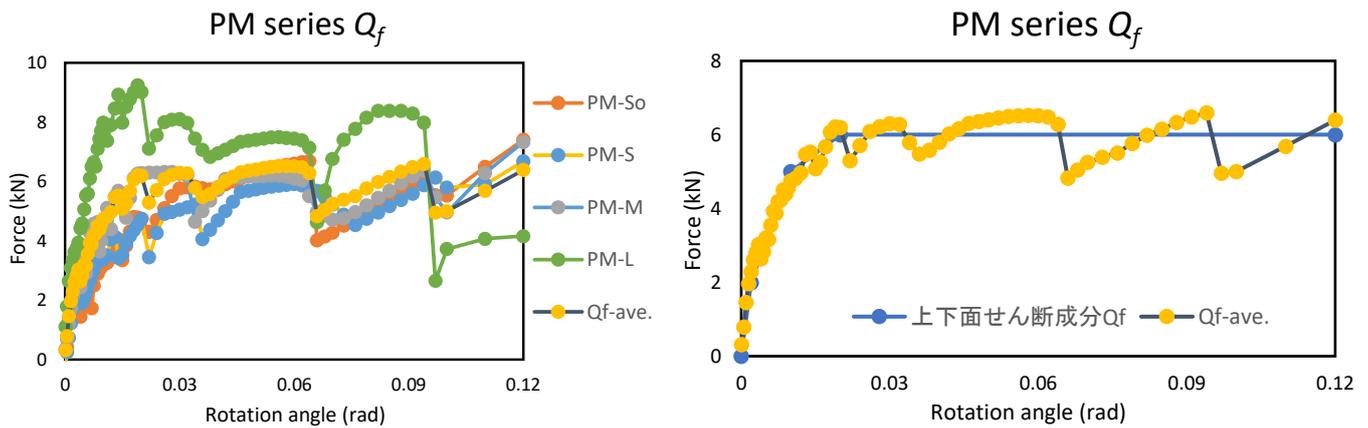


図 5.2.4-7 土壁のせん断抵抗成分 Q_f

実験結果の平均値を参考にせん断抵抗成分を抽出し（右図）、これをせん断バネとして壁に組み込むため、せん断変形角あたりからせん断変位量あたりに変換した（下図）。S が壁高さ 310mm、L が 930mm、M が 465mm の試験体を指す。

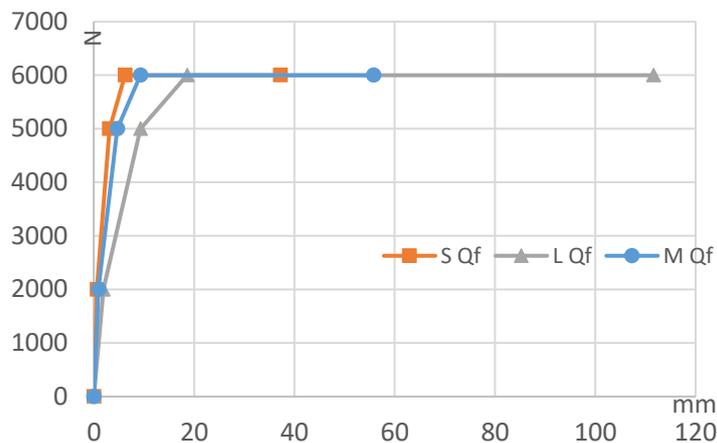
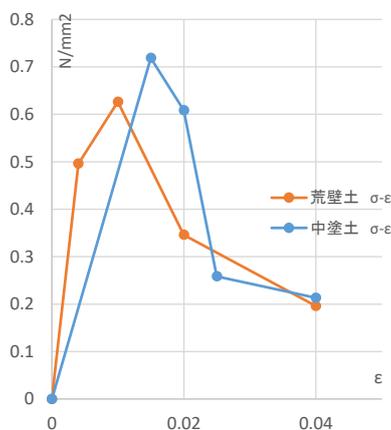


図 5.2.4-8 土壁のせん断抵抗成分 Q_f を表すせん断バネ

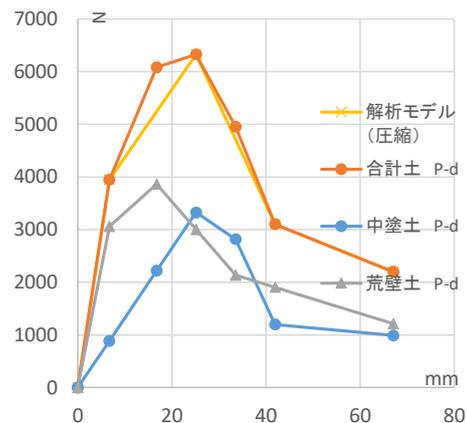
②土壁の圧縮ストラットによる荷重 Q_c

昨年度までの要素実験より、土壁内の圧縮ストラットの形成により、主に柱が左右に押されることによる水平抵抗力が作用していることが確認された。

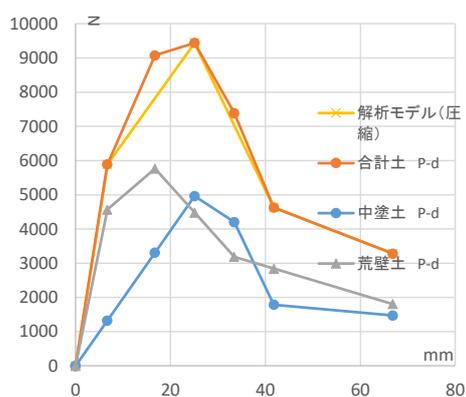
解析では、垂れ壁の内法高さの半分がそれぞれ対角で圧縮されるものと仮定する（図 5.2.4-6）。ストラットにより発生する荷重は、土の圧縮強度 E 、ストラットの長さ L 、ストラットの断面積（≒支圧面積） A より算出できると仮定した。土の圧縮強度は、既往の圧縮試験⁵⁾（2014年度実験、徳島の土：荒壁 124N/mm^2 、中塗り 47N/mm^2 ）結果による応力度-ひずみ関係を用いた。ストラットの長さ L は、支圧面積の重心部（=土壁内法の上下それぞれ $1/6$ 位置）に集約して作用するものと仮定し、その2点を結ぶ直線の長さとした。ストラットの断面積は、左右の支圧部が直方体上に連続すると仮定した。



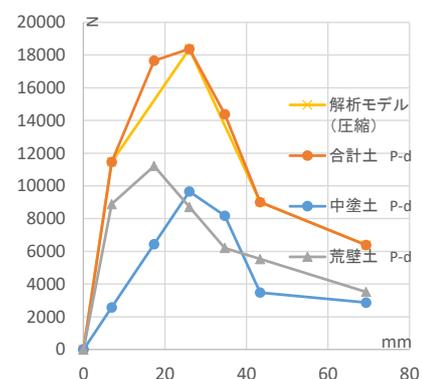
既往の実験より抽出した応力度-ひずみ関係



土壁の内法高さ 310 mm・内法長さ 1670 mm の場合の圧縮ブレースの荷重変形関係 (PM-S, FW-S)



土壁の内法高さ 465 mm・内法長さ 1670 mm の場合の圧縮ブレースの荷重変形関係 (PM-M, FW-M)



土壁の内法高さ 930 mm・内法長さ 1670 mm の場合の圧縮ブレースの荷重変形関係 (PM-L, FW-L)

図 5.2.4-9 土の圧縮試験より求めた圧縮ストラットのパネ置換

以上を踏まえ、解析モデル上は、以下のように配置するものと仮定した。せん断ばねは桁・差鴨居の中央部、土壁の対角圧縮はストラット中央部とする。

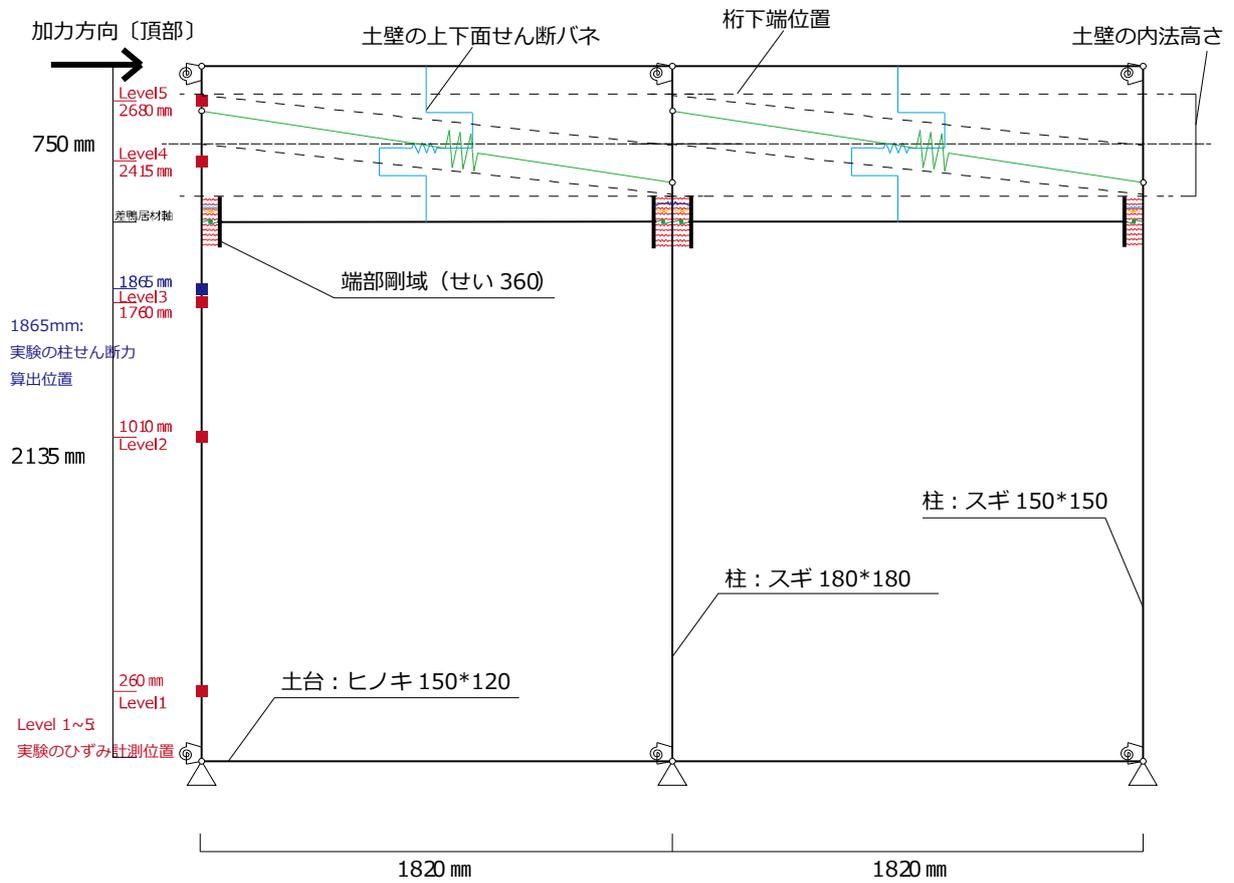


図 5.2.4-10 土壁付の場合の解析モデル図 (例：FW-M 土壁内法高さ 465mm)

(3) 解析結果 1：土壁のみの要素実験との比較

2019 年度に実施された土壁のみのせん断要素試験の結果と同様の解析モデルを作成し、上記モデルの適用性を検討した。

解析モデルは、試験体と同様に四周を 150mm 角のスギ材をピン接合となる枠材とし、内部に前掲の土壁体力要素を配置した。

試験体の種類は、壁の高さに対応して PM-L/M/S/S₀ (S₀は対角圧縮を除いたもの) である。以下、それらのうち PM-L、M、S との比較結果を示す。解析、実験結果ともに、上下面のせん断要素と対角圧縮の要素それぞれの結果と全体の結果を合わせて示す。(各図中、マーカーありのものが解析結果、ないものが実験結果である)

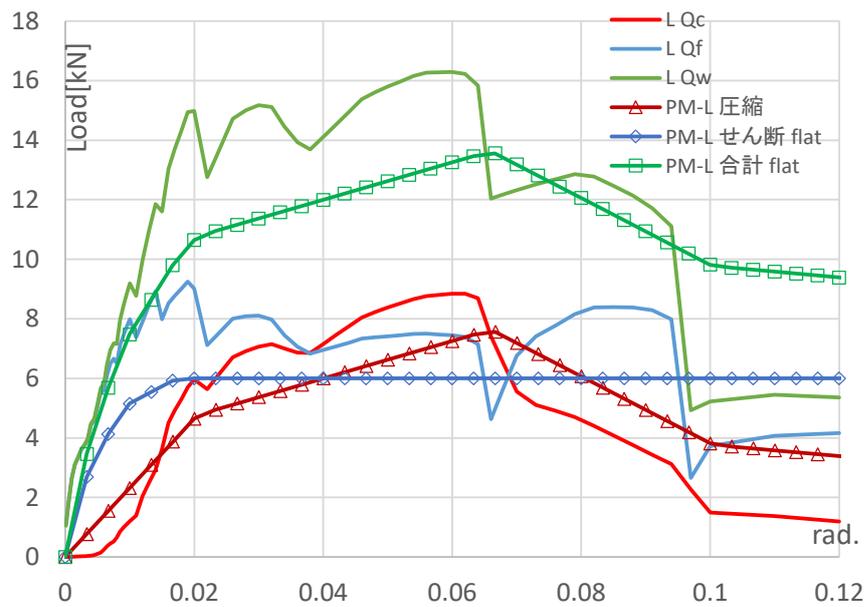


図 5.2.4-11 PM-L 試験体解析結果と実験結果の比較

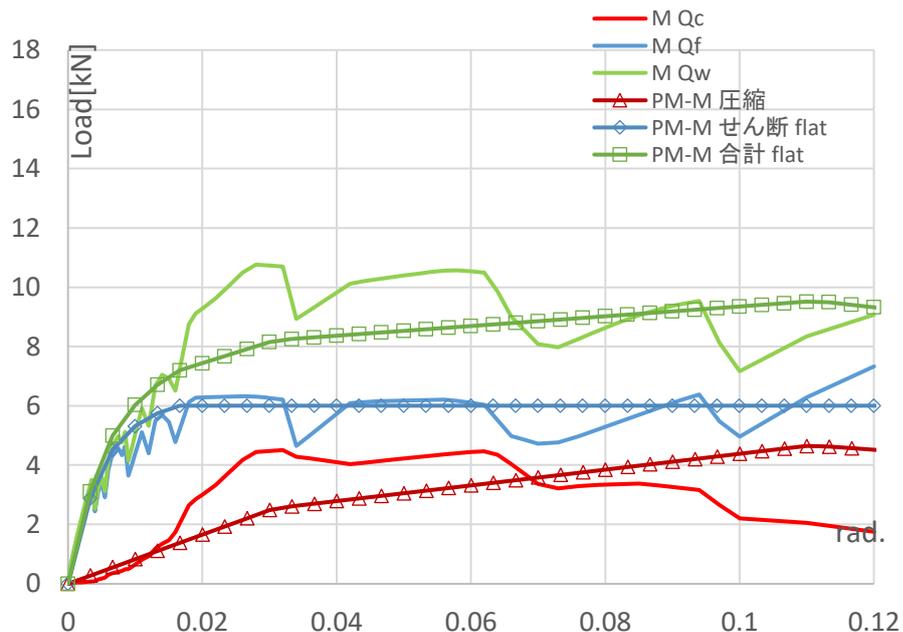


図 5.2.4-12 PM-M 試験体解析結果と実験結果の比較

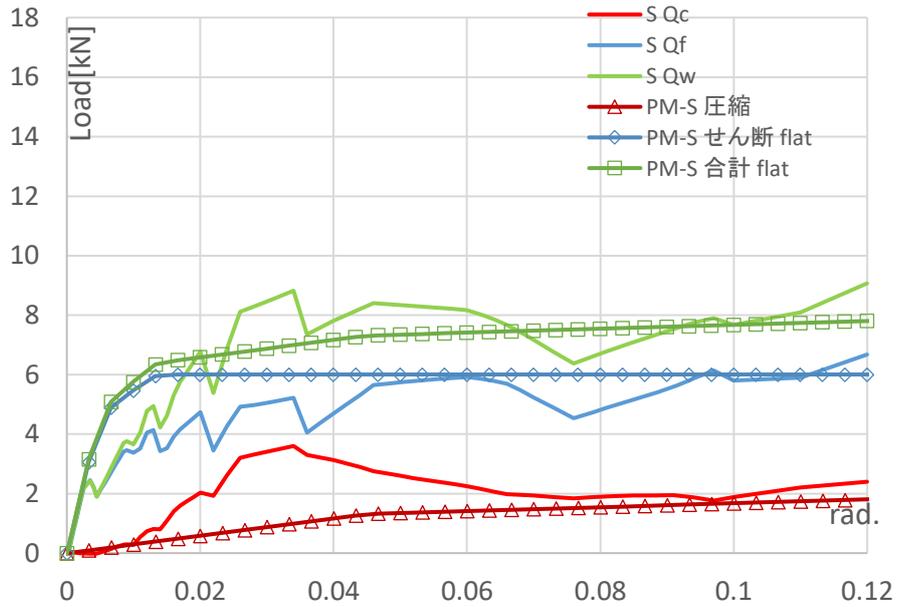
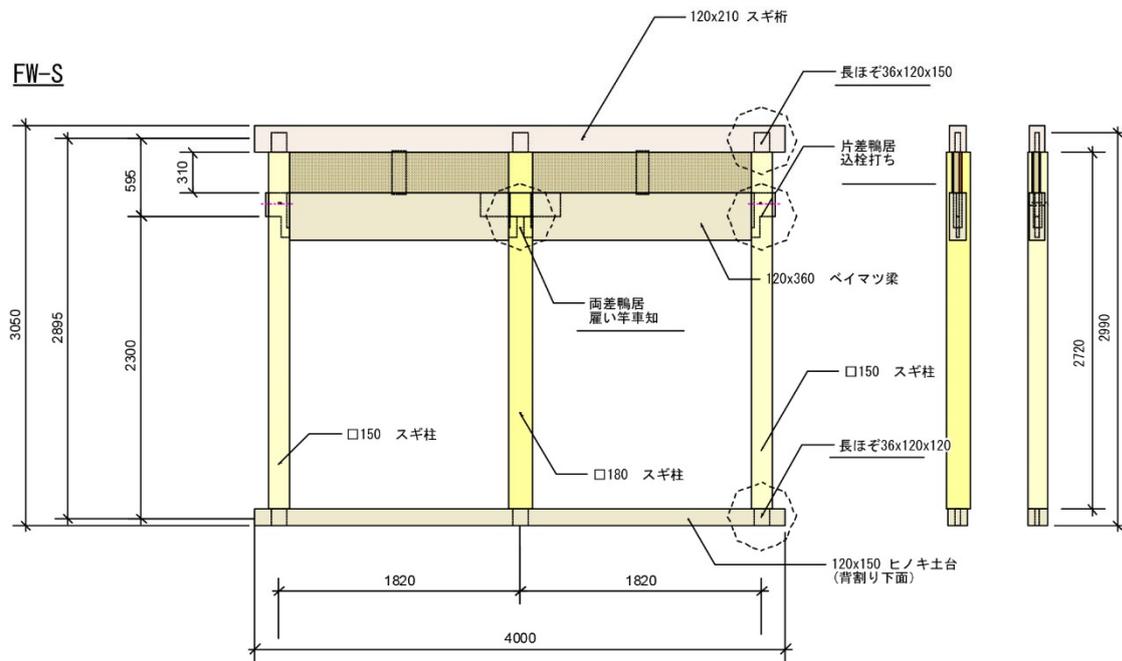
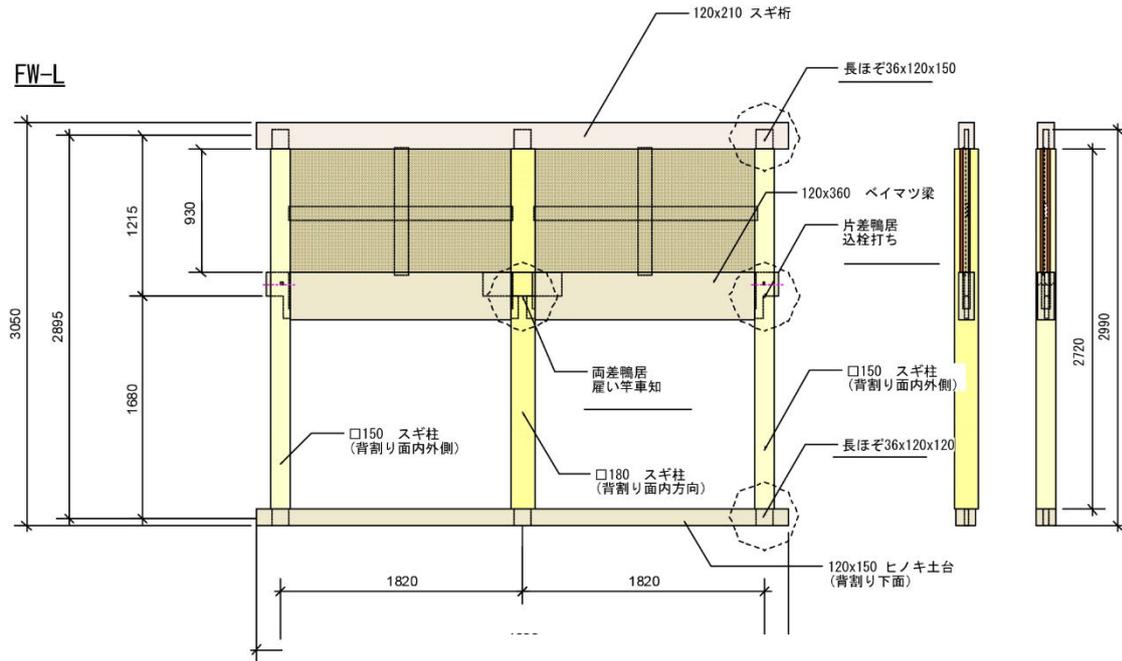


図 5.2.4-13 PM-S 試験体解析結果と実験結果の比較

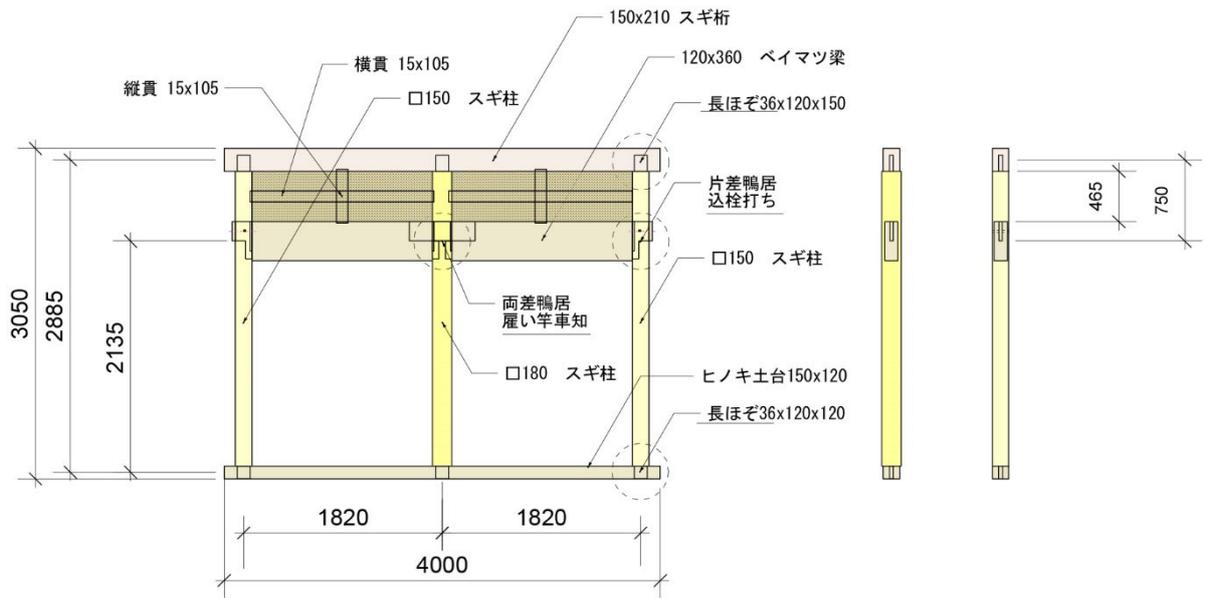
解析の結果、圧縮要素の評価においては、M、S 試験体では解析上のピークがややずれているものの、全体としてはおおむね安全側に評価できている。圧縮ストラットによる曲げ変形への影響などは実大構面の解析における応力分布を検討し、部材、接合部の応力に与える影響を考察するものとする。

(4) 解析結果 2：土壁付構面の解析結果

L、S 試験体の姿図を示す。(2019 年度報告書第 5 章より)



FW-M



FW-M(軸組のみ)

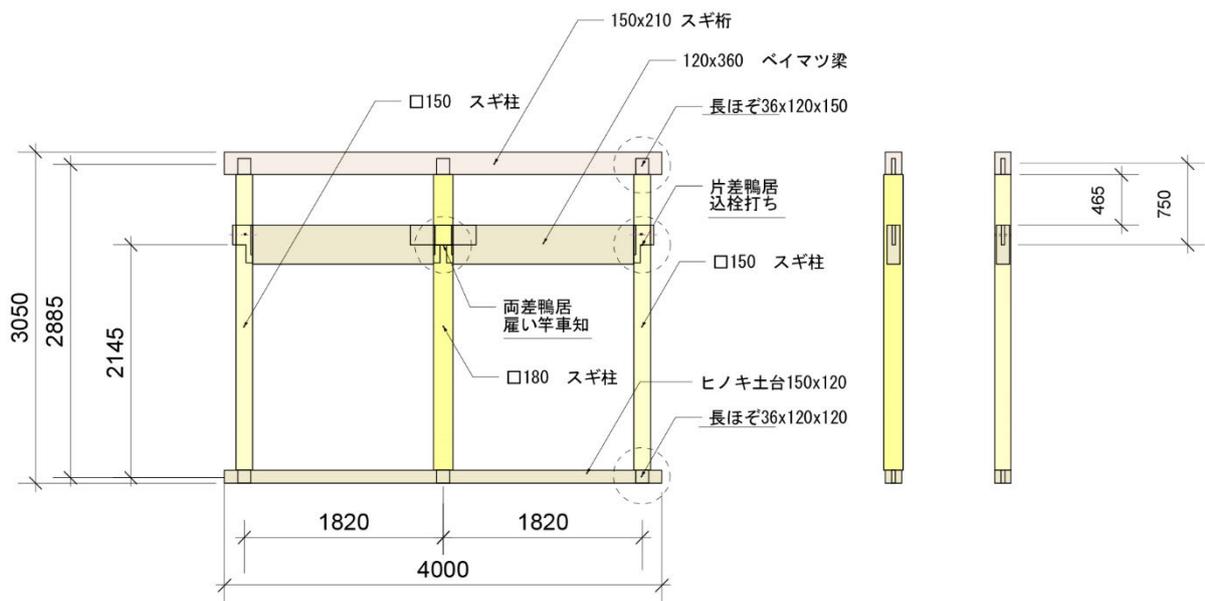


図 5.2.4-14 高さを変えた土壁付試験体の姿図 (2018, 2019 年度報告書より引用)

①軸組のみの解析結果

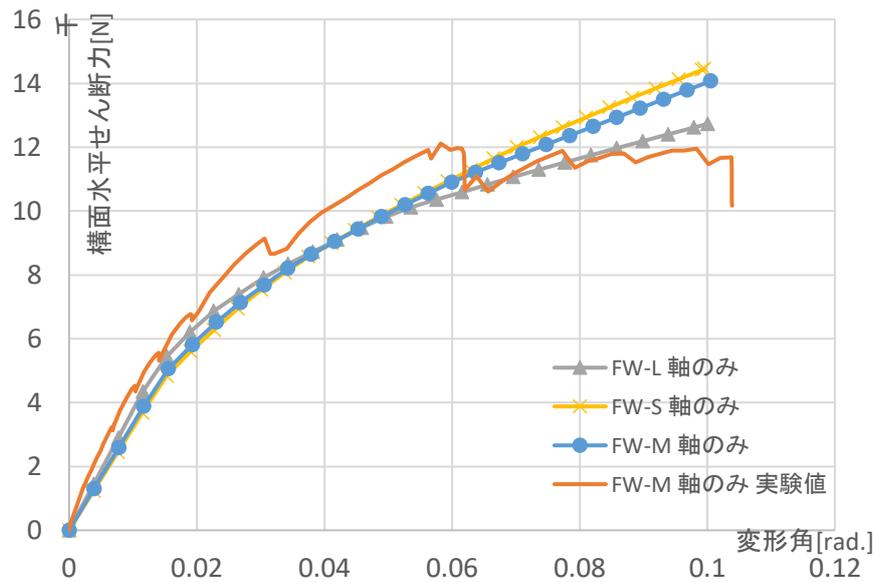


図 5.2.4-15 軸組のみの解析結果の比較（軸組みの実験は、FW-M のみ）

まず軸組のみの比較結果を示す。実験値は、FW-M の場合のみである。差鴨居の位置によって、架構自体の耐力は 1/10rad.で約 2kN 程度の違いにとどまっており、大きな違いは見られない。

②土壁付試験体の解析結果

まず、軸組の試験体も実施されている M 試験体の結果を示す。解析では初期剛性が低く、荷重は 8-9 割程度の値で推移した。

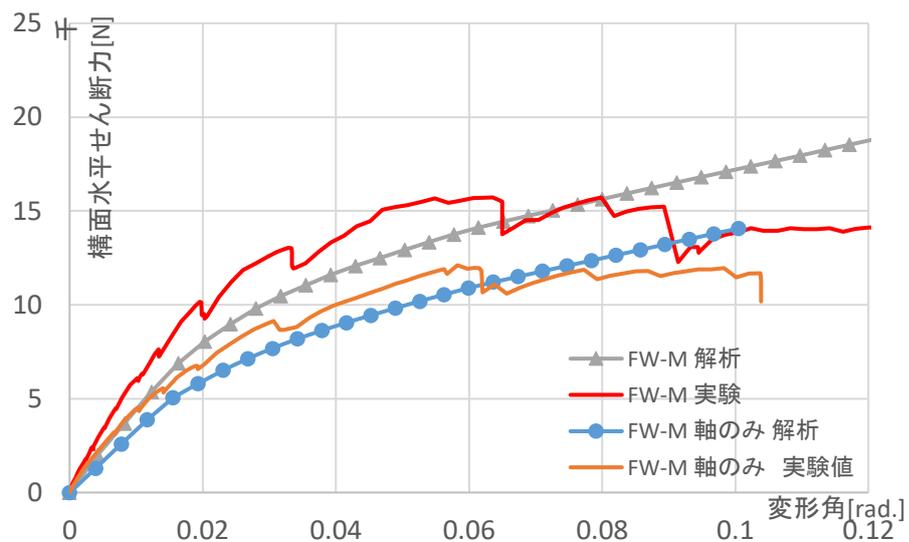


図 5.2.4-16 FW-M 試験体の解析結果と実験結果の比較

次に、S、M、L 各試験体の実験結果と解析結果を比較した。

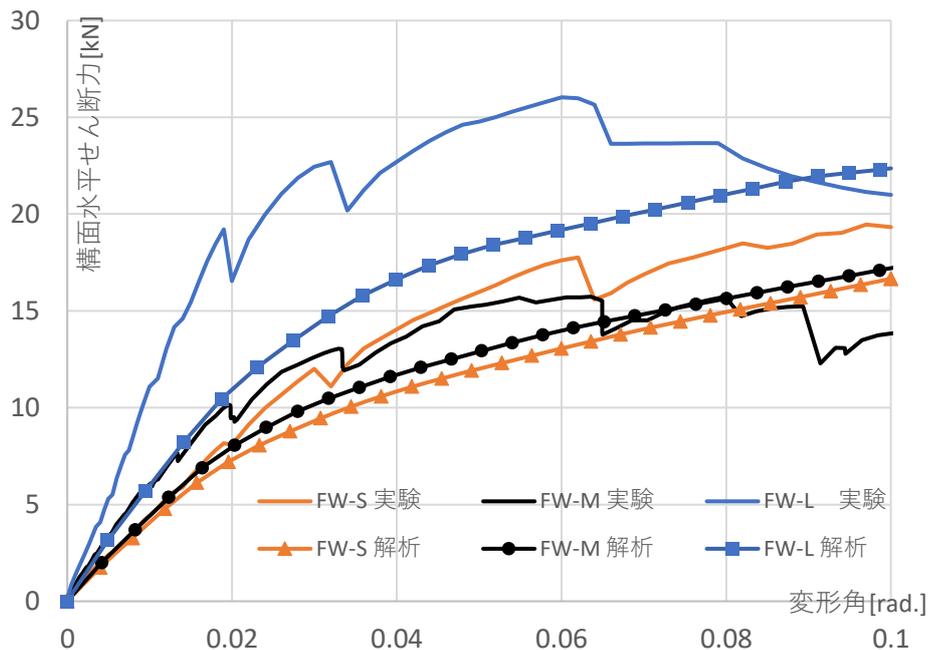


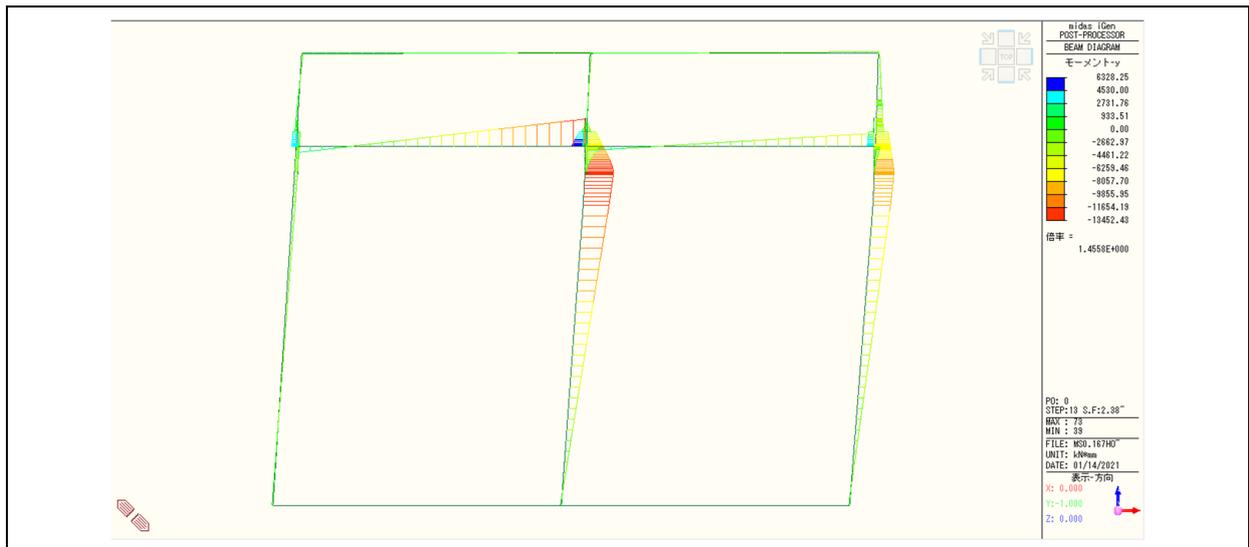
図 5.2.4-17 FW-M、L、S 試験体の解析結果と各実験結果の比較

解析結果と実験結果を比較すると、S、M 試験体では比較的良い一致をみているが、L 試験体では初期剛性が約半分、実験の最大値であった 1/15rad.時の荷重で約 0.8 倍の結果となった。

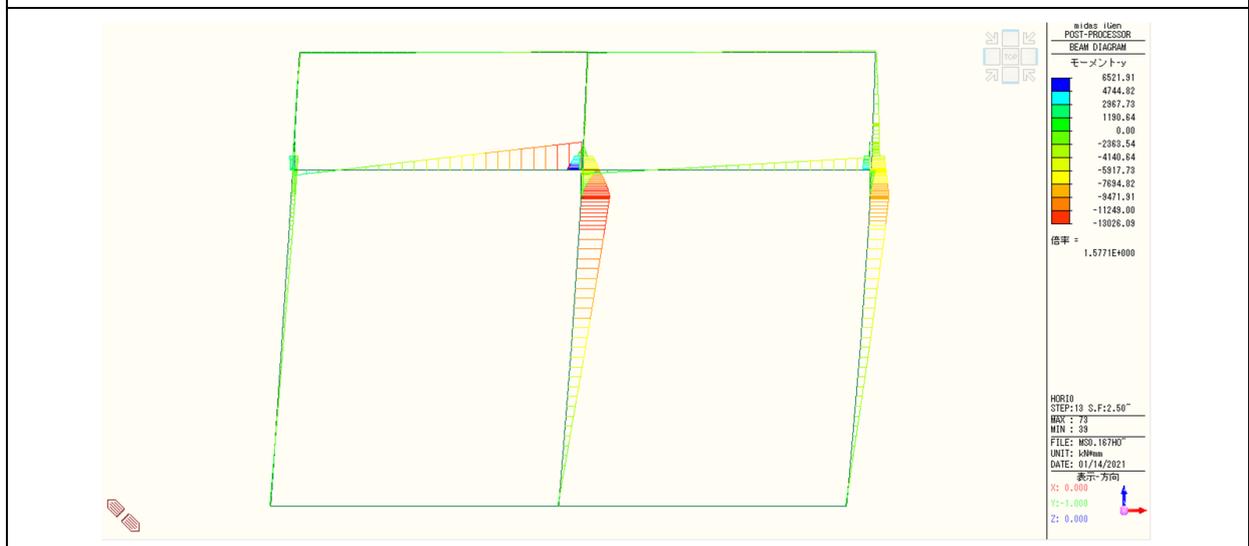
アスペクト比は、S : $310/1655=0.19$ 、M : $465/1655=0.28$ 、L : $930/1655=0.56$ である。要素実験の解析結果からは、圧縮ストラットの荷重は左右の柱にのみ作用するとしても、よい一致をみているが、実大試験結果の解析においては、アスペクト比の大きい L 試験体において、初期剛性、特定変形角時の荷重ともにやや低い結果となった。

2019 年度の実大試験結果との照合において、アスペクト比の小さい (0.2-0.3 程度) S、L 試験体においてはよい一致をみている。圧縮ストラットによる荷重を左右の柱のみで負担とした今回のモデルを用いる場合は、以降のパラメトリックスタディにおいても、土壁のアスペクト比は比較的小さいものを対象とすることが妥当であると考えられる。

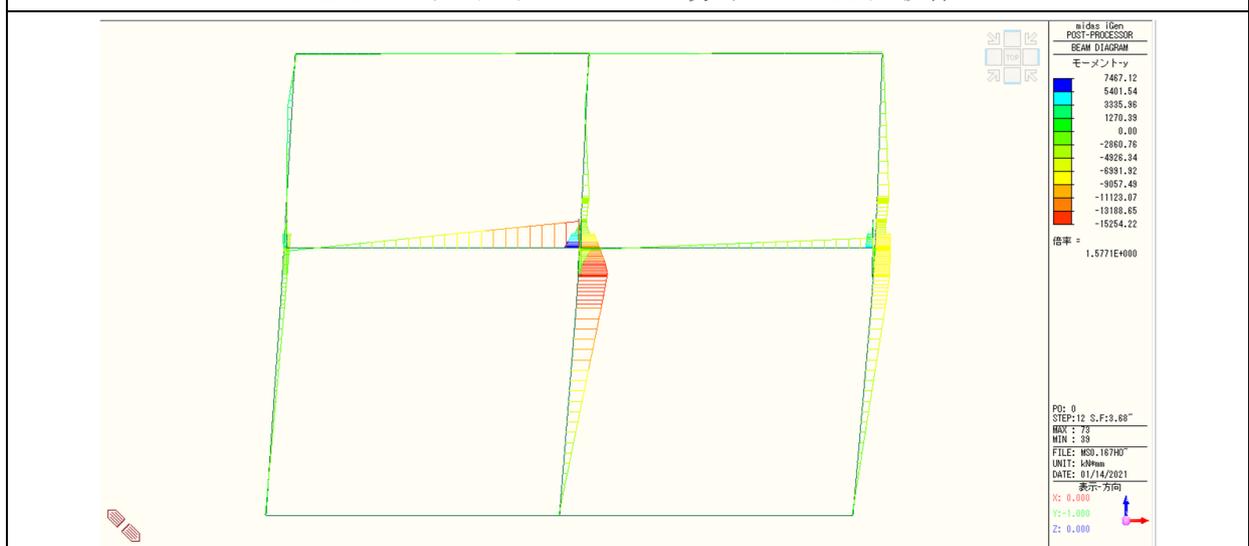
差鴨居架構のせいと芯位置の現実的な値を考慮して、以降のパラメトリックスタディでは、柱スパン、架構の芯々高さ、差鴨居の芯位置を固定し、土壁の高さを変化させる。差鴨居のせいの最小値は 150mm としており、ゆえに最大の土壁の垂れ壁の最大内法高さは 570mm であり、アスペクト比は $570/1655=0.34$ が最大となる。M 試験体と近いアスペクト比であり、本モデルの適用範囲内であると仮定する。



1/20rad. 時の曲げモーメント分布 FW-S 試験体

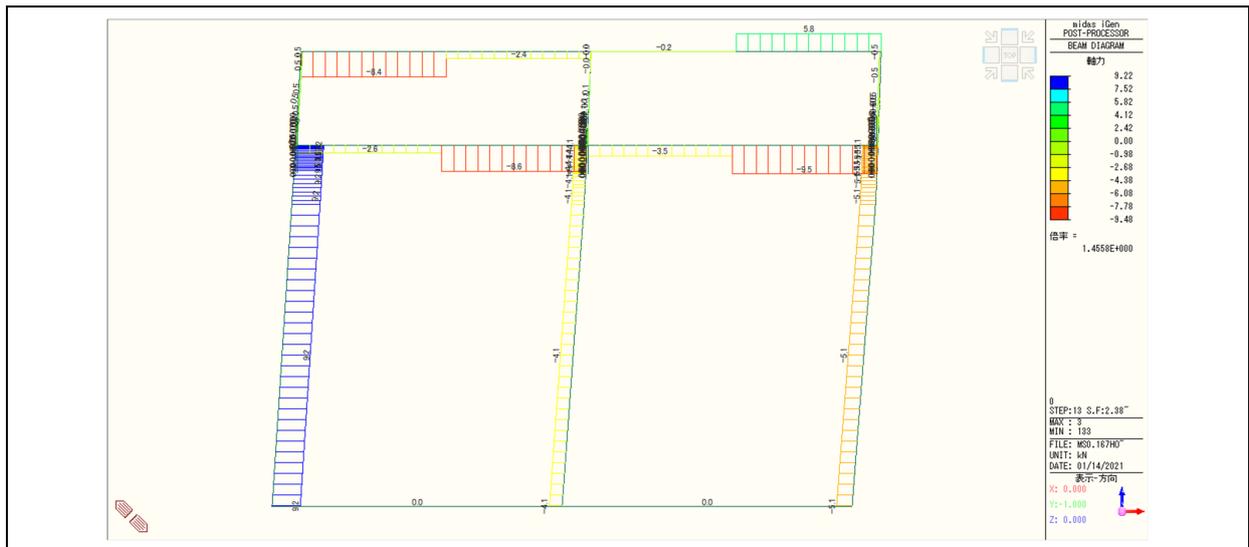


1/20rad. 時の曲げモーメント分布 FW-M 試験体

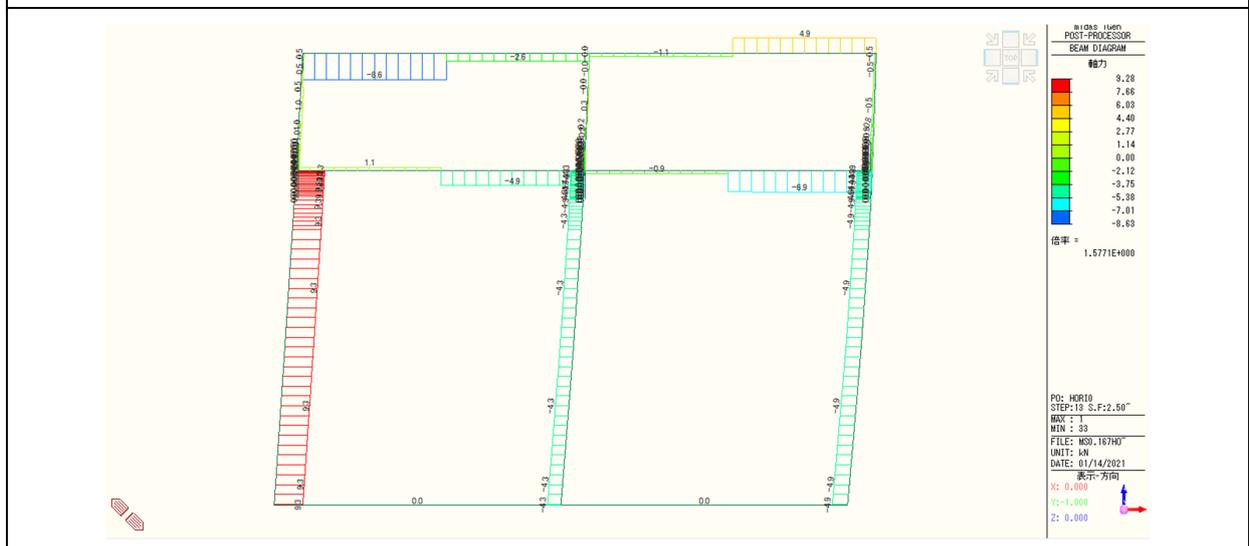


1/20rad. 時の曲げモーメント分布 FW-L 試験体

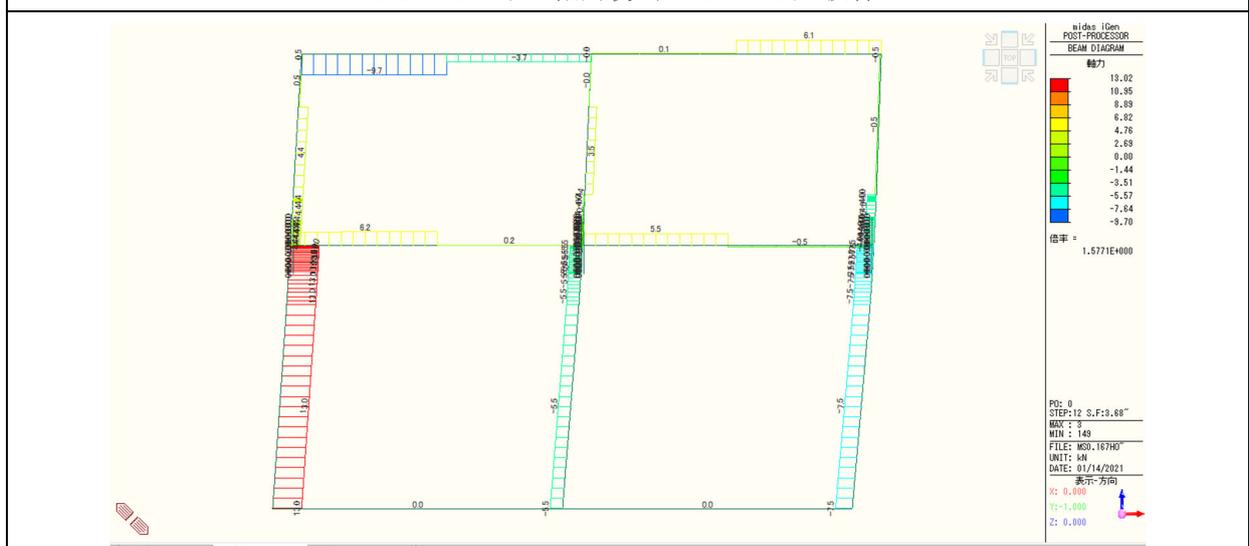
図 5.2.4-18 各試験体の応力図 (1/20rad.での曲げモーメント図)



1/20rad. 時の軸力分布 FW-S 試験体



1/20rad. 時の軸力分布 FW-M 試験体



1/20rad. 時の軸力分布 FW-L 試験体

図 5.2.4-19 各試験体の応力図 (1/20rad.での軸力図)

③ 土壁の付加による柱の曲げモーメントの変化

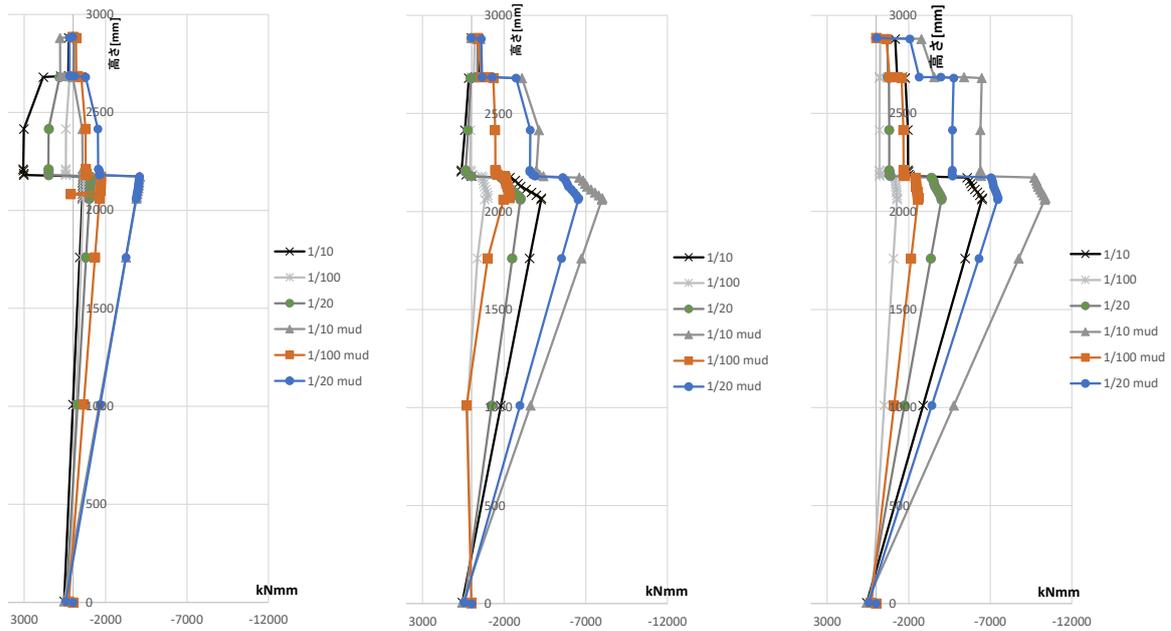


図 5.2.4-20 柱 150 角・差鴨居せい 150mm での各柱 (左、中央、右) の曲げモーメント
各柱に生じる曲げモーメントの値について、土壁の付加による影響を検討した。柱 150mm 角、差鴨居せい 150mm の場合を例として示す。土壁が取り付くことによって最大曲げモーメント値 (差鴨居材軸位置) は顕著に上昇している。また、土壁の付加により、土壁より上部の負担曲げモーメントも増加していることが確認できる。

④ 差鴨居端部の伝達曲げモーメントの変化

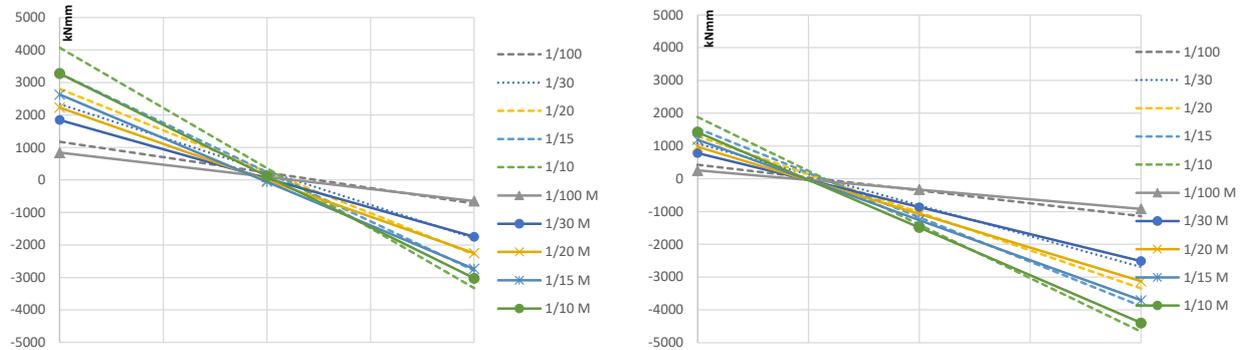


図 5.2.4-21 差鴨居端部の負担曲げモーメントの変化 (単位: kNmm)
(左図: 左差鴨居の左端および右端 右図: 右差鴨居の左端および右端
実線 (M): 土壁あり、点線: 土壁なし)

差鴨居端部を通じた伝達モーメントの変化を検討した。解析モデルは③と同様に、柱 150 角、差鴨居せい 150mm とした場合としている。なお、各 MS バネの軸力等から接合部に発生する応力を推定することは困難であるため、差鴨居端部の曲げモーメント値を示した。同一変形角時で比較した場合 (同色で比較)、土壁ありでは (実線)、端部で負担する曲げモーメントは減少している。接合箇所により、減少の程度は異なるが、例えば左差鴨居の左端部で 1/10rad.変形時で約 2 割の減少となっている。

5.3 パラメトリックスタディ

前節までに作成した解析モデルを用いたパラメトリックスタディを行った。

5.3.1 架構およびパラメータ等の設定

パラメータスタディで想定した軸組の図 5.3.1-1 に示す。前節までに検討した、過年度までに実施した垂れ壁・差鴨居付き構面の実験をもとに設定した。

全構面で以下の要素は共通とし、標準的な 2 スパンの差鴨居・垂れ壁付構面の構造性能を提示することを目的とする。

- ・ 構面は 2 スパンとする。
- ・ 土台一桁の芯々距離：2885mm
- ・ 土台一差鴨居の芯々距離：2135mm
- ・ 柱芯々距離（左右とも 1820mm）
- ・ 土台寸法：せい 120*巾 150mm
- ・ 桁寸法：せい 210*巾 150mm
- ・ 差し鴨居：ベイマツ・幅 120mm

以下の項目をパラメータとした。

- A：軸材の樹種（差し鴨居：ベイマツを除く）
全てスギ、全てヒノキ
- B：柱の断面寸法
120、135、150、180、210、240mm 角
- C：差鴨居のせい
150、300、450mm
- D：垂れ壁（土壁）の内法高さ〔差鴨居のせいに対応する〕
570、495、420mm

差鴨居に対して、左右端の片差し部分はせいが差鴨居せいの半分とし、巾は 30mm で一定とした。雇い竿についても、せいは差鴨居の半分、巾 30mm、長さ 600mm は固定とした。車知栓も断面 30×60mm を固定、長さは雇い竿せいと同じ、左右両柱の込栓も断面は 15×15mm で一定とし、長さは母材（柱）巾以上あるものとした。

表 5.3.1-1 軸材の寸法パラメータ等

部位	寸法
柱	120□, 135□, 150□, 180□, 210□, 240□
土台	巾150*せい120
桁	巾150*せい210
差し鴨居	巾120*せい150, 300, 450
込栓	15□
車知栓	30*6.5

材料は、告示無等級材（日本建築学会木質構造設計基準 普通構造材相当）を使用するものと仮定する⁶⁾。栓材のシラカシについては、前節と同様、比重による物性の回帰式から算出した値を使用する。

- ・柱・土台・桁：スギまたはヒノキ
- ・差鴨居：ベイマツ
- ・込栓・車知栓：シラカシ

表 5.3.1-2 使用材料の樹種と材料定数

unit 部位	樹種	比重	ヤング率 N/mm ²	基準曲げ強度 F _b N/mm ²	基準せん断強度 F _s N/mm ²
柱・土台・桁	スギ	0.37	7000	22.2	1.8
	ヒノキ	0.7	9000	26.7	2.1
差し鴨居	ベイマツ	0.43	10000	28.2	2.4
込栓・車知栓	シラカシ	0.83	13471	90.8	4.2

土壁については、2019 年度に実施した土壁の要素実験結果に基づいて、上下面のせん断抵抗を分離して評価するため、土の強度特性は変化させないものとする。具体的には、2014 年度報告書第 2 編第 3 章に記載の徳島の土（5.2.4 を参照）と同等程度（最大圧縮強度約 0.66N/mm²）とする。土壁の厚さは荒壁 40mm、中塗り 30mm とする。

また、前節での仮定に従い、寸法の変化に対して圧縮ストラットのストラット長さ、角度変化を考慮した。

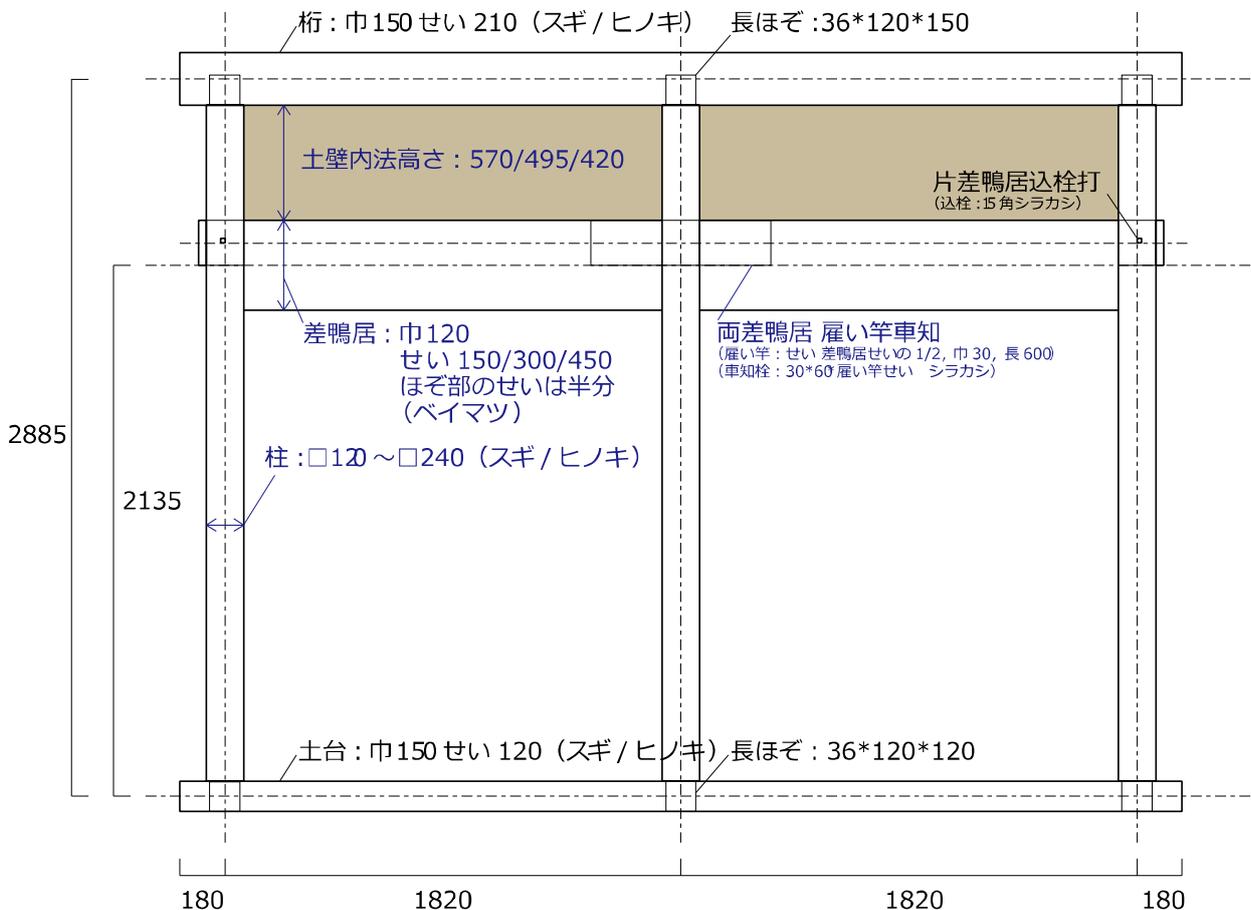


図 5.3.1-1 パラメータスタディの対象とする架構（青色部をパラメータとした）

5.3.2 解析モデルの各種設定

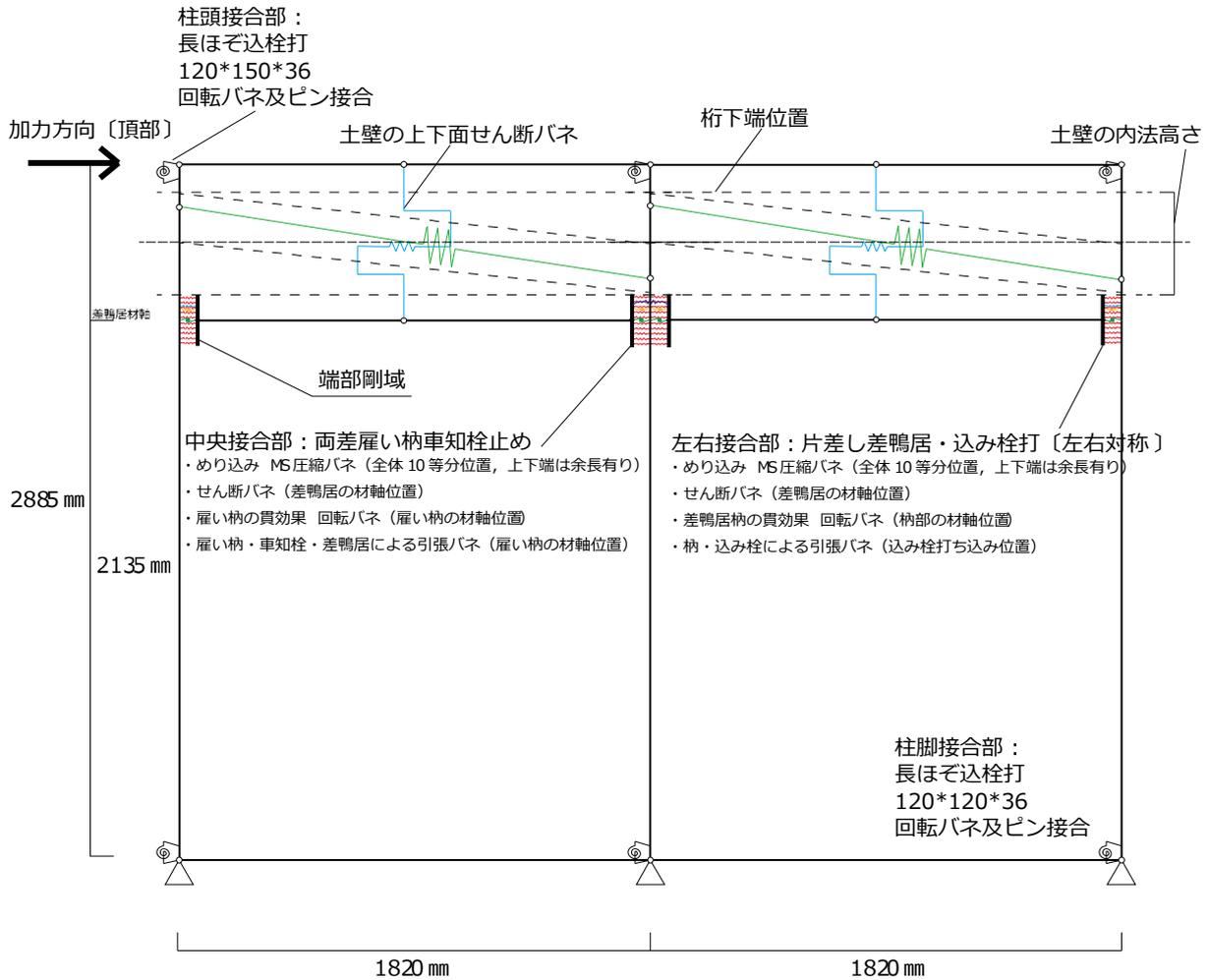


図 5.3.2-1 解析モデルの概要

表 5.3.2-1 差鴨居のせいの変化に対応する土壁内法高さ・土壁内法のアスペクト比

差鴨居せい	mm	150	300	450
土壁の内法高さ	mm	570	495	420
アスペクト比	-	0.34	0.30	0.25

解析モデルを再掲する。解析モデルの機構は前章までに検討したものと同様である。

土壁の圧縮ストラットの解析上の評価については、前年度までの実験結果および前節までの要素実験の解析結果より、アスペクト比の小さい場合)においては土壁の対角圧縮は、梁への影響を無視して柱へのせん断力としてモデル化しても妥当な結果を得ると推定される。要素実験ではおおむねどの結果でもよく一致し、架構全体との比較では、0.56を超えるものについては初期剛性、耐力ともに解析結果が数割低い結果であったが、0.2~0.3程度のアスペクト比のものについてはよい一致を見た。今回のパラメータの範囲では、アスペクト比は最大でも0.34であり、圧縮ストラットを柱に作用するブレースとして置換するモデルにも妥当性のある適用範囲であると考えられる。

前述の構面条件の想定に従い、パラメータを変化させた。以下に、変化させたパラメータを記載する。

①MS 要素（圧縮バネ）

差鴨居の左右端部と柱の接触面を等分割し、分割面積ごとに一つのめり込み圧縮バネを設定した。分割数は、既往の分析⁷⁾より、10分割以上とすれば10mmごとにばねを設置したときを基準として各特性値（初期剛性、降伏耐力・変位）の相違が5%以下となることが知られており、これに従い、10等分以上かつ、差鴨居せいによって単位のめり込み面積が大きく変化しないように（25～30mm）設定している。

差鴨居の端部を等分割した箇所のうち、上下端の面積分については片側の余長部ありとして初期剛性、二次剛性（初期剛性の1/6）、降伏耐力を算出した。それ以外の中間部分については、めり込み面積が連続して並ぶことから余長部なしとして初期剛性、二次剛性、降伏耐力等を算定した。

表 5.3.2-2 差鴨居と柱の接触部の等分割めり込み圧縮バネ（MS 要素）パラメータ（スギ）

柱巾		mm	120			135			150		
差し鴨居成		mm	150	300	450	150	300	450	150	300	450
垂れ壁高さ		mm	570	495	420	570	495	420	570	495	420
（中間部） MS要素	初期剛性	N/mm ²	2100	4200	3500	2057	4115	3429	1975	3951	3292
	二次剛性	N/mm ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	降伏耐力	N	824	2237	1725	809	2205	1698	786	2149	1653
（端部） MS要素	初期剛性	N/mm ²	24484	26562	25799	26707	28719	27917	28233	30130	29284
	二次剛性	N/mm ²	4081	4427	4300	4451	4787	4653	4706	5022	4881
	降伏耐力	N	6139	12274	10216	6360	12710	10569	6482	12948	10755
柱巾		mm	180			210			240		
差し鴨居成		mm	150	300	450	150	300	450	150	300	450
垂れ壁高さ		mm	570	495	420	570	495	420	570	495	420
（中間部） MS要素	初期剛性	N/mm ²	1800	3599	2999	1648	3295	2746	1524	3048	2540
	二次剛性	N/mm ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	降伏耐力	N	736	2024	1554	691	1907	1463	652	1805	1383
（端部） MS要素	初期剛性	N/mm ²	30358	31981	31009	31908	33248	32104	33159	34221	32876
	二次剛性	N/mm ²	5060	5330	5168	5318	5541	5351	5526	5703	5479
	降伏耐力	N	6598	13162	10902	6636	13217	10911	6638	13194	10855

表 5.3.2-3 差鴨居と柱の接触部の等分割めり込み圧縮バネ (MS 要素) パラメータ (ヒノキ)

柱巾		mm	120			135			150		
差し鴨居成		mm	150	300	450	150	300	450	150	300	450
垂れ壁高さ		mm	570	495	420	570	495	420	570	495	420
(中間部) MS要素	初期剛性	N/mm ²	2700	5400	4500	2636	5272	4393	2516	5032	4193
	二次剛性	N/mm ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	降伏耐力	N	991	2691	2075	973	2653	2043	944	2582	1986
(端部) MS要素	初期剛性	N/mm ²	31479	34151	33171	34217	36796	35768	35959	38375	37297
	二次剛性	N/mm ²	5246	5692	5528	5703	6133	5961	5993	6396	6216
	降伏耐力	N	8073	16140	13433	8363	16713	13898	8512	17003	14123
柱巾		mm	180			210			240		
差し鴨居成		mm	150	300	450	150	300	450	150	300	450
垂れ壁高さ		mm	570	495	420	570	495	420	570	495	420
(中間部) MS要素	初期剛性	N/mm ²	2266	4532	3777	2056	4111	3426	1887	3774	3145
	二次剛性	N/mm ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	降伏耐力	N	882	2425	1862	827	2282	1750	779	2156	1652
(端部) MS要素	初期剛性	N/mm ²	38229	40273	39048	39807	41479	40051	41048	42363	40699
	二次剛性	N/mm ²	6372	6712	6508	6635	6913	6675	6841	7061	6783
	降伏耐力	N	8642	17240	14280	8677	17281	14266	8668	17229	14175

②雇い竿（中央）・差鴨居の片差し（左右）の貫効果

中央の雇い竿や左右柱に差し込まれた片差しの差鴨居は、回転に伴い柱との間でめり込み抵抗を発生する。どちらも、柱との接触部の三角形めり込みの偶力として剛性を算出した。雇い竿、片差しのほぞ部はともに巾 30mm、せいは差鴨居せいの半分である。

ただし、雇い竿は回転時に差し鴨居にも接触することによる相互作用を受けるため、剛性は低下するものと考えられる。ここでは、通し貫のめり込み回転剛性から求めた初期剛性の 0.5 倍が作用すると仮定している。この過程については H29 年度の報告書における仮定と同様である²⁾。また、解析の設定上は中央の雇い柄の回転剛性は柱の両側に半分ずつ割り振れるものと仮定した。

表 5.3.2-4 雇い竿および片差し差鴨居の貫効果に関するパラメータ

柱巾		mm	120			135			150		
差し鴨居成		mm	150	300	450	150	300	450	150	300	450
垂れ壁高さ		mm	570	495	420	570	495	420	570	495	420
竿・ほぞの幅		mm	30	30	30	30	30	30	30	30	30
竿・ほぞの成		mm	75	150	225	75	150	225	75	150	225
雇い竿	初期剛性	Nmm/rad	17280000	20340000	24360000	21692813	24705000	29084063	26718750	29531250	34218750
	二次剛性	Nmm/rad	5760000	6780000	8120000	7230938	8235000	9694688	8906250	9843750	11406250
	降伏耐力	Nmm	480006	604671	703419	575604	713843	822692	678579	830024	948577
片差し 差し鴨居	初期剛性	Nmm/rad	69120000	81360000	97440000	86771250	98820000	116336250	106875000	118125000	136875000
	二次剛性	Nmm/rad	11520000	13560000	16240000	14461875	16470000	19389375	17812500	19687500	22812500
	降伏耐力	Nmm	960011	1209342	1406839	1151207	1427685	1645384	1357159	1660048	1897153
柱巾		mm	180			210			240		
差し鴨居成		mm	150	300	450	150	300	450	150	300	450
垂れ壁高さ		mm	570	495	420	570	495	420	570	495	420
竿・ほぞの幅		mm	30	30	30	30	30	30	30	30	30
竿・ほぞの成		mm	75	150	225	75	150	225	75	150	225
雇い竿	初期剛性	Nmm/rad	38745000	40635000	45765000	53628750	53786250	59088750	71640000	69120000	74280000
	二次剛性	Nmm/rad	12915000	13545000	15255000	17876250	17928750	19696250	23880000	23040000	24760000
	降伏耐力	Nmm	906326	1083038	1219856	1162697	1363053	1516664	1447290	1669534	1838494
片差し 差し鴨居	初期剛性	Nmm/rad	154980000	162540000	183060000	214515000	215145000	236355000	286560000	276480000	297120000
	二次剛性	Nmm/rad	25830000	27090000	30510000	35752500	35857500	39392500	47760000	46080000	49520000
	降伏耐力	Nmm	1812653	2166076	2439711	2325393	2726107	3033328	2894579	3339068	3676988

③ 雇い竿車知栓接合部の引張抵抗

雇い竿車知栓接合部の引張剛性、降伏耐力を以下に示す。ただし、材料特性は、差し鴨居ベイマツ、雇い竿ベイマツ、込栓シラカシである。ベイマツは無等級材を使用するものとして、 10000N/mm^2 、シラカシは比重による推定式より栓の剛性を求め、 13471N/mm^2 のヤング係数としている（表 5.3.1-2）。

なお、引張性能は差し鴨居、雇い竿、車知栓の材料・寸法のみで決定されるため、柱巾には影響を受けない。

表 5.3.2-5 雇い竿車知栓接合部の引張抵抗

柱巾	mm	120			135			150		
差し鴨居成	mm	150	300	450	150	300	450	150	300	450
垂れ壁高さ	mm	570	495	420	570	495	420	570	495	420
雇い竿幅	mm	30	30	30	30	30	30	30	30	30
雇い竿成	mm	75	150	225	75	150	225	75	150	225
初期剛性	N/mm^2	10690	21380	32071	10690	21380	32071	10690	21380	32071
降伏耐力	N	19339	38679	58018	19339	38679	58018	19339	38679	58018
柱巾	mm	180			210			240		
差し鴨居成	mm	150	300	450	150	300	450	150	300	450
垂れ壁高さ	mm	570	495	420	570	495	420	570	495	420
雇い竿幅	mm	30	30	30	30	30	30	30	30	30
雇い竿成	mm	75	150	225	75	150	225	75	150	225
初期剛性	N/mm^2	10690	21380	32071	10690	21380	32071	10690	21380	32071
降伏耐力	N	19339	38679	58018	19339	38679	58018	19339	38679	58018

④片差差鴨居接合部の引張抵抗（長ほぞ込栓打）

左右の柱に差し込まれる片差し差し鴨居接合部の引張剛性、降伏耐力を以下に示す。材料特性は、差し鴨居ベイマツ、込栓シラカシ、柱はスギまたはヒノキである。ベイマツは無等級材を使用するものとして、 10000N/mm^2 、シラカシは比重による推定式より栓の剛性を求め、 13471N/mm^2 、スギは 7000N/mm^2 、ヒノキは 9000N/mm^2 のヤング係数としている（表 5.3.1-2）。なお、初期剛性は母材（差し鴨居）と側材（柱）の面圧剛性に依存するため、柱材種により異なる。降伏耐力は込栓のせん断降伏で決定され、どの場合も共通となる。

表 5.3.2-6 片差し差し鴨居接合部の引張抵抗

柱 樹種		スギ						ヒノキ					
差し鴨居 樹種		ベイマツ											
込栓 樹種		シラカシ											
柱巾	mm	120	135	150	180	210	240	120	135	150	180	210	240
初期剛性	N/mm^2	2139	2139	2139	2139	2139	2139	2416	2416	2416	2416	2416	2416
降伏耐力	N	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650	7650

⑤柱の断面性能

解析結果の評価において、部材に作用する曲げモーメント、せん断力による折損の有無を判定している。

柱巾・せいは 120mm 角から 240mm 角である。中央の柱、および左右の柱のそれぞれの主要な断面欠損の形状は、図 5.1.1-1 に示した差鴨居接合部の詳細図より、図 5.3.2-2 のようにあらわせる。差鴨居の左右柱への接合部形状は、材軸より下部は小根ほぞに一部目違い付となっており、材軸より上部ではほぞが柱を貫通している。ただし、込栓による断面欠損は考慮していない。差鴨居の中央の柱への接合部は雇い竿車知であるが、材軸より下部には左右の柱への接合部と同様の寸法の小根ほぞがある。これらを考慮し、左右柱、中央柱それぞれで材軸の上下に分けて断面欠損を考慮した断面性能とした。

折損の検定は、曲げモーメントおよびせん断力の大小、断面欠損の大小を考慮し、材軸位置、及各接合部の上下端の圧縮 MS 要素の接合位置で行った。

片差し差鴨居（左右の柱）、または雇い竿・差鴨居（中央の柱）による断面欠損の模式図を図 5.3.2-2 に示す。差鴨居の端部ほぞ差し部分は、すべて目違いの寸法が巾 60mm×深さ 15mm×差し差鴨居せい 3/4 倍の高さ、ほぞ部分は巾 30mm、高さは差鴨居の半分であるとしている。小根ほぞは、常に巾 30mm、長さ 60mm、高さは差鴨居せいの 11/12 倍あるものとした。各柱の断面性能を表 5.3.2-6 に示した。

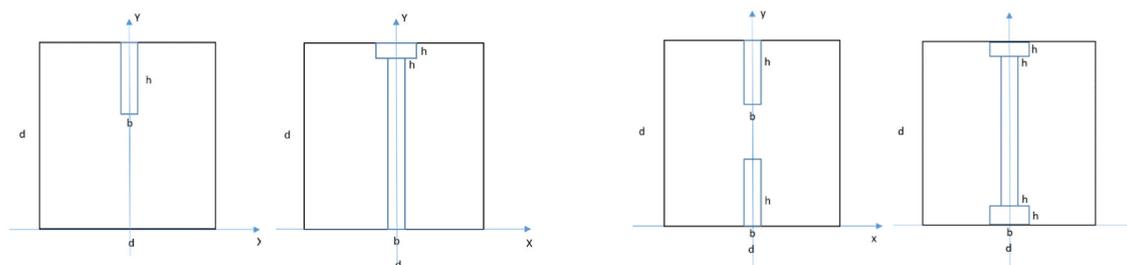


図 5.3.2-2 柱の断面欠損 [h=15mm、 b=30mm、 d=120~240mm]

左：左右柱（片ほぞ差し：小根ほぞ差し部分とほぞ貫通部分

右：中央柱：雇い竿車知：小根ほぞ部分と雇い竿車知貫通部分

作用する曲げモーメント、せん断力の分布と、断面欠損の影響を考慮して、先行破壊する可能性がある図 5.3.2-3 中の A~F のいずれかと推定された。それぞれ差鴨居の上下端と柱の接触箇所および差鴨居の材軸位置である。

表 5.3.1-2 にも示したように、基準曲げ強度 F_b はスギ材 22.2N/mm²、ヒノキ材 26.7N/mm²、基準せん断強度 F_s はスギ材 1.8N/mm²、ヒノキ材 2.1N/mm² とした。

解析結果に対する部材応力の検定は、せん断破壊・曲げ破壊をともに評価した場合、曲げ破壊のみを評価した場合の 2 種類実施し、結果をそれぞれ示した。

表 5.3.2-7 断面欠損を考慮した柱の断面性能

		記号	単位	柱巾・せい					
				120	135	150	180	210	240
全断面	断面積	A_0	mm^2	14400	18225	22500	32400	44100	57600
	断面2次モーメント	I_{x0}	mm^4	17280000	27679219	42187500	87480000	162067500	276480000
	断面係数	Z_{x0}	mm^3	288000	410062.5	562500	972000	1543500	2304000
	形状係数	κ	-	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
小根ほぞ差 (左右柱)	断面積	A	mm^2	12600	16425	20700	30600	42300	55800
	断面2次モーメント	I_x	mm^4	14888571	24330571	37685543	80078824	150971649	260889677
	断面係数	Z_x	mm^3	267231	383821	530133	926082	1482898	2227983
	断面係数比	Z_x/Z_{x0}	-	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.97
	形状係数	κ	-	1.31	1.36	1.39	1.43	1.45	1.47
片ほぞ差 (左右柱) ほぞ差し 貫通	断面積	A	mm^2	10350	13725	17550	26550	37350	49950
	断面2次モーメント	I_x	mm^4	11657323	19846729	31638678	69776838	134577210	236164941
	断面係数	Z_x	mm^3	201972	302852	431814	787534	1296189	1984805
	断面係数比	Z_x/Z_{x0}	-	0.70	0.74	0.77	0.81	0.84	0.86
小根ほぞ差 (中央柱)	断面積	A	mm^2	10806	14625	18900	28800	40500	54000
	断面2次モーメント	I_x	mm^4	12960000	21536719	33817500	73440000	140737500	246240000
	断面係数	Z_x	mm^3	216000	319063	450900	816000	1340357	2052000
	断面係数比	Z_x/Z_{x0}	-	0.75	0.78	0.80	0.84	0.87	0.89
	形状係数	κ	-	1.13	1.21	1.27	1.35	1.40	1.43
雇いほぞ差 (中央柱)	断面積	A	mm^2	9900	13275	17100	26100	36900	49500
	断面2次モーメント	I_x	mm^4	9390937.5	16845469	27801562.5	63964687.5	126385313	225188438
	断面係数	Z_x	mm^3	156516	249563	370688	710719	1203670	1876570
	断面係数比	Z_x/Z_{x0}	-	0.54	0.61	0.66	0.73	0.78	0.81
	形状係数	κ	-	1.62	1.59	1.57	1.55	1.54	1.53

パラスタにおける有効断面係数 Z_e は切り欠きを考慮した正味の断面係数 Z_x を用い、曲げ強度は基準強度 F_b (無等級材相当) を用いた。また、前章までの検討の結果より、①4点曲げ試験によって得られている基準強度の値と差鴨居等の実架構における局所的曲げ強度 (3点曲げ) の関係、②柱のほぞ穴の欠損と曲げ強度の関係、に関する影響をともに考慮すると、曲げ強度の低減係数 β は、 $\beta = 1$ とみなせる。よって、水平力作用時の柱に作用する曲げモーメント M による折損の検定は以下の式(5.3.1)で行った。

$$\frac{M}{Z_e} \leq \beta F_b \quad \dots\dots\dots (5.3.1)$$

また、せん断力については、作用せん断力に対して、柱断面内の最大せん断応力度 τ_{max} を算出し、基準強度 F_s (無等級材相当) との比較で検定した (式 5.3.2)。最大せん断応力度の算出に当たっては、平均せん断応力度と最大せん断応力度 (中立軸位置) の比 (形状係数) を算出した。

$$\kappa \frac{Q}{A_e} = \tau_{max} \leq F_s \quad \dots\dots\dots (5.3.2)$$

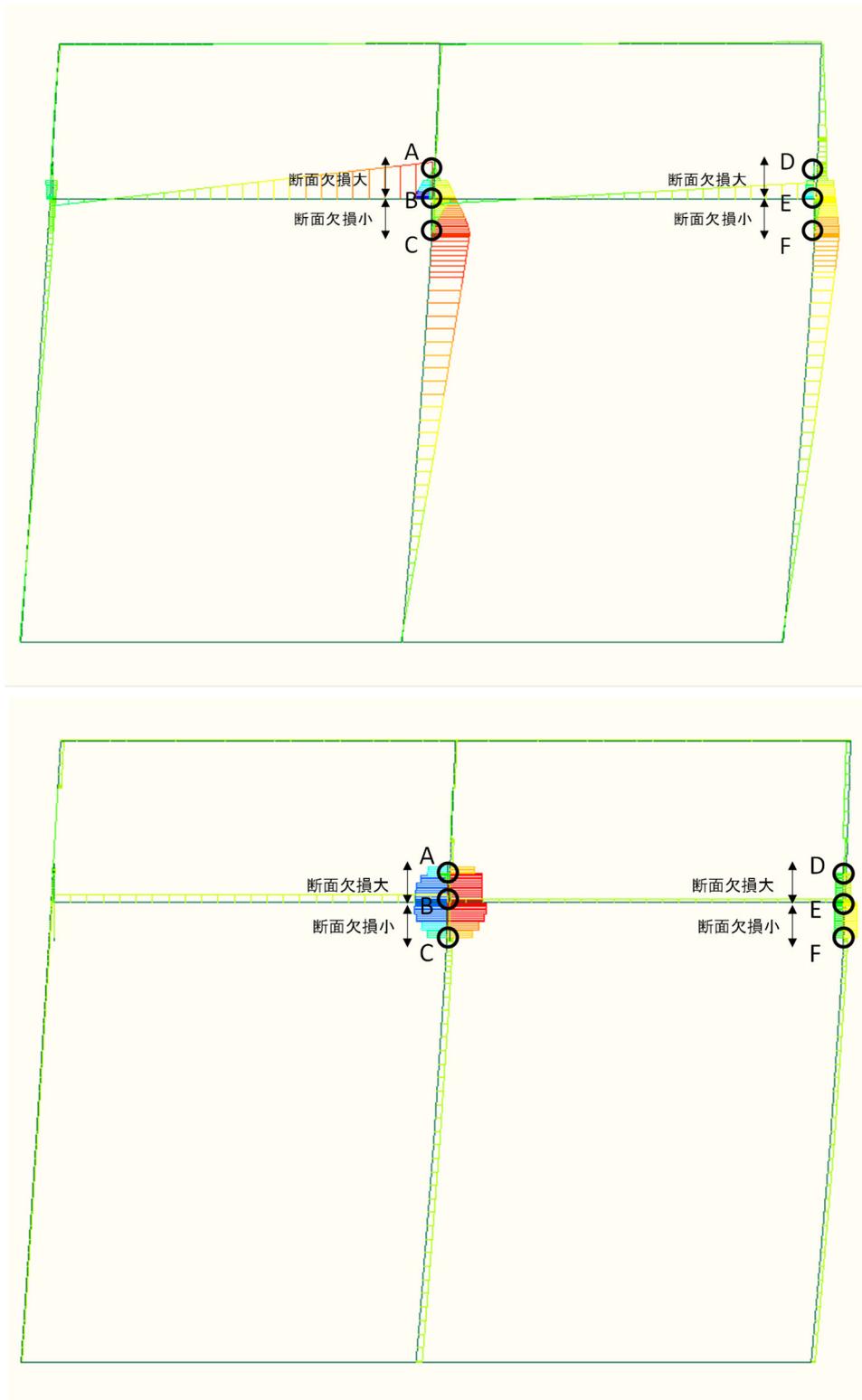


図 5.3.2-3 曲げモーメント、せん断力による折損の検定位置
 [土壁あり構面の頂部 1/20rad.変形時の断面力分布・
 上図：曲げモーメント分布、下図：せん断力分布]

⑤土壁の抵抗要素

前述のとおり土壁材料は1種類とし、壁の形状に合わせてパラメータを設定した。

【土壁の圧縮強度・剛性】

5.2で適用したものと同様、H26年度報告書に記録のある、荒壁土と中塗り土よりなる、厚さ約70mm、圧縮強度各約0.6N/mm²の土を用いるものとする。なお荒壁土、中塗り土の初期剛性は124N/mm²、48N/mm²であり、図5.3.2-5に示すように厚みに応じて算定したばねを並列ばねとして合成して全体の土の単位圧縮剛性とできるものと仮定する。

【上下面でのせん断抵抗 Q_r】

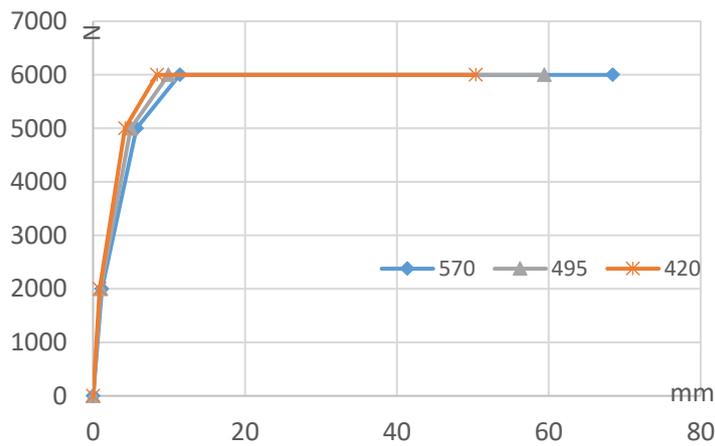


図 5.3.2-4 土壁の内法高さに対応する、上下面のせん断抵抗バネの P- δ 関係 (横軸は1間1820mm ごとの桁一差鴨居間の水平変位量)

【対角圧縮ストラットによる抵抗 Q_c (圧縮ブレース置換)】

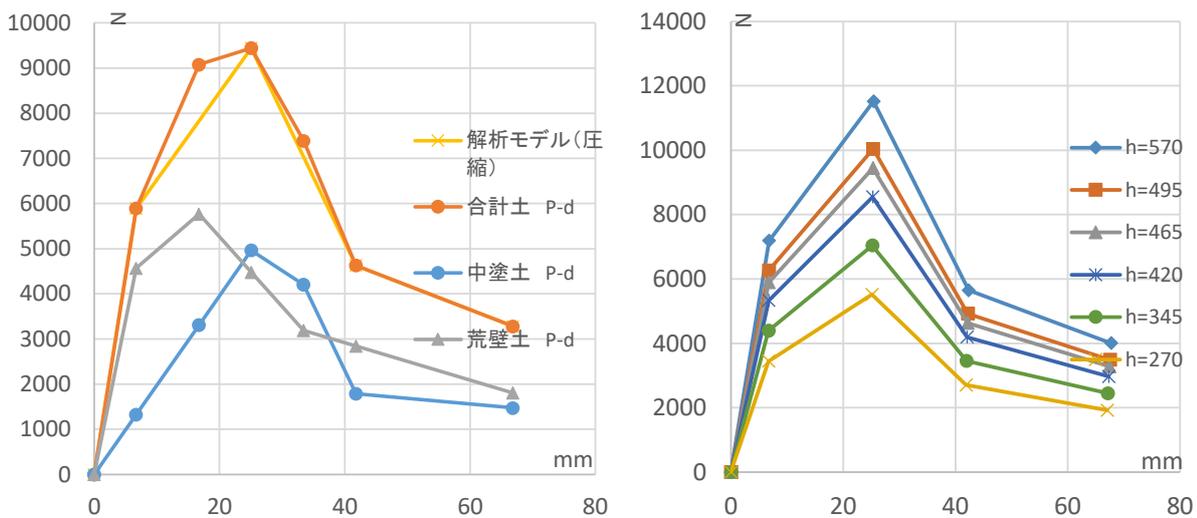


図 5.3.2-5 土壁の内法高さに対応する対角圧縮ストラット (圧縮バネ) P- δ 関係 (横軸は圧縮ストラットの変位量)

5.3.3 解析結果

解析結果の評価は以下のように行った。解析により得られた荷重変形関係を完全弾塑性のバイリニアモデルに置換し、特性値を算出、短期許容せん断耐力を求めた。ただし、下記の検定により部材が損傷したと判定された場合は、損傷の発生した時点までについて特性値を算出した。

部材応力による損傷は、曲げモーメントおよびせん断力による曲げ破壊、せん断破壊を基準強度との比較によって検定した。検定方法の詳細は 5.3.2 に示した通りである。なお、部材損傷の検定は、せん断破壊・曲げ破壊をともに考慮した場合、(せん断破壊はないものとして) 曲げ破壊のみを考慮した場合、の 2 種類で行い、それぞれの結果を示した。

次頁以降に、全軸材スギと全軸材ヒノキの場合で結果を示した。図中の F 試験体は軸組+差鴨居、FM 試験体は、軸組+差鴨居+土壁である。

①全軸材をスギとした場合

せん断破壊・曲げ破壊をともに考慮する場合〔×：せん断破壊、×：曲げ破壊〕

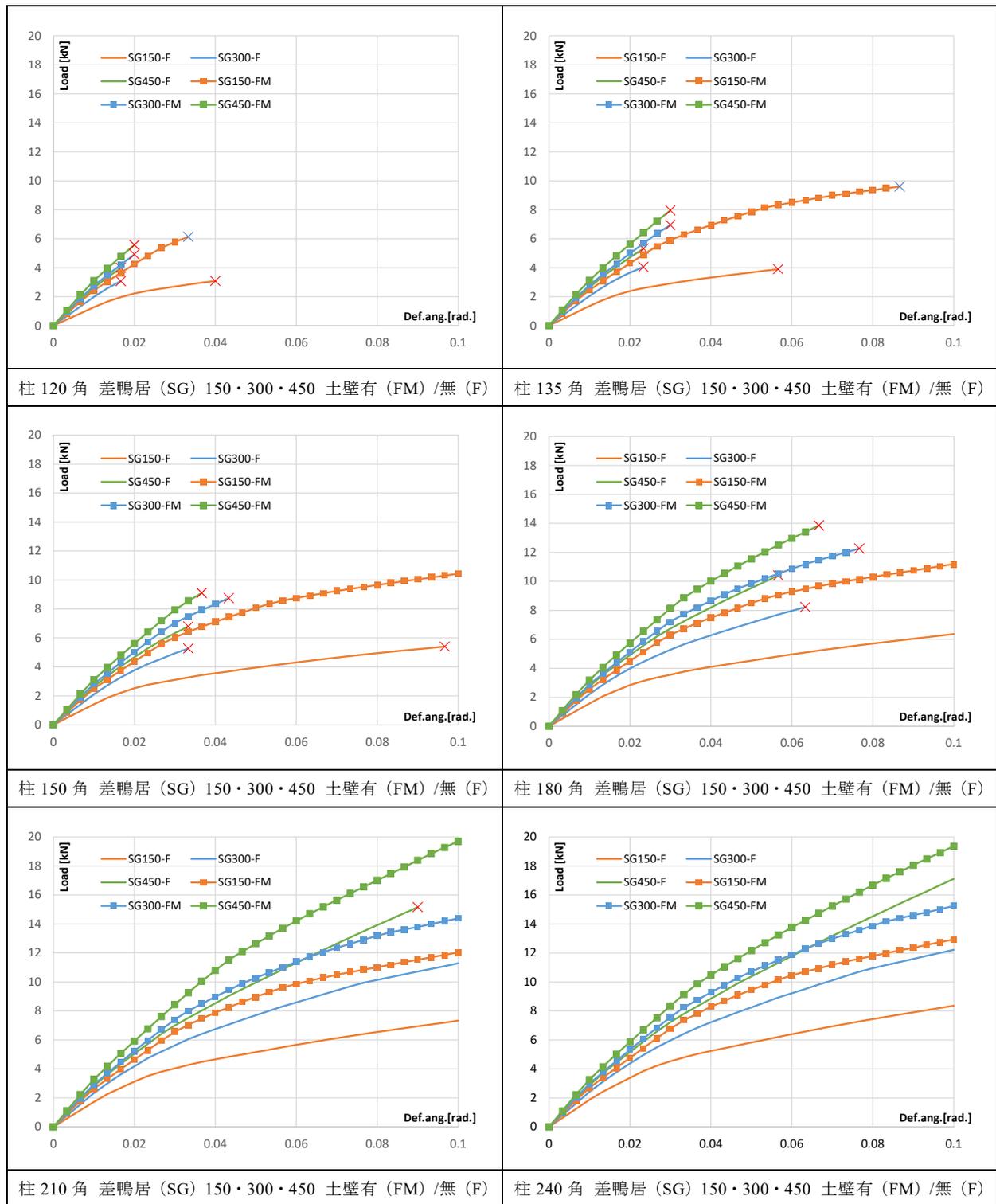


図 5.3.3-1 全軸材スギの場合の荷重変形関係〔柱のせん断・曲げ破壊を検定〕

(F: 軸組・差鴨居のみ、 FM: 軸組・差鴨居 + 土壁)

曲げ破壊のみを考慮する場合 [× : 曲げ破壊]

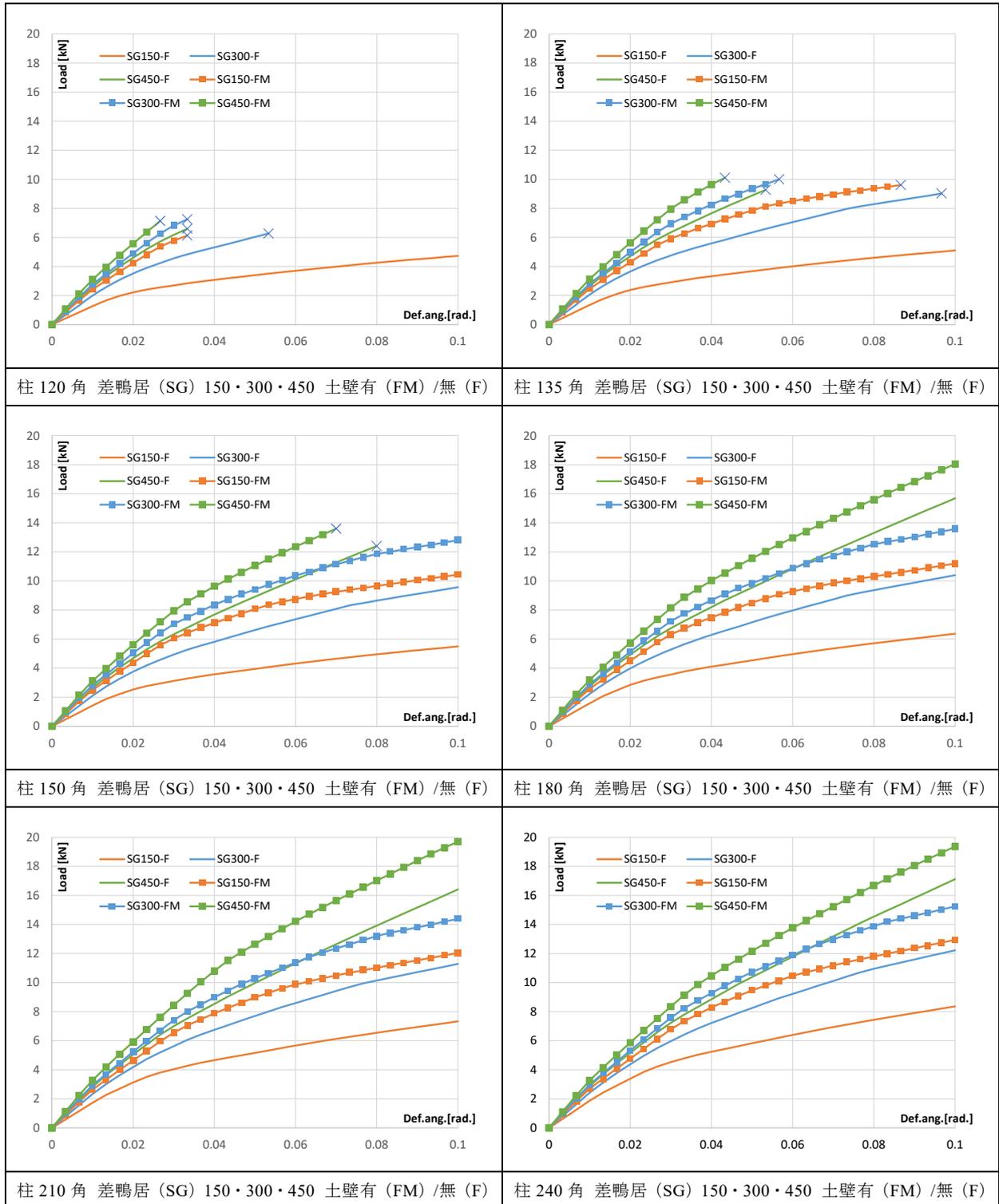


図 5.3.3-2 軸軸材スギの場合の荷重変形関係 [柱の曲げ破壊のみ検定]

(F : 軸組・差鴨居のみ、 FM : 軸組・差鴨居 + 土壁)

表 5.3.3-1 軸軸材スギ せん断・曲げ破壊を検定：解析結果 特性値一覧

スギ・柱120角			差鴨居のみ			差鴨居+土壁			スギ・柱135角			差鴨居のみ			差鴨居+土壁		
柱巾	mm	120	120	120	120	120	120	120	柱巾	mm	135	135	135	135	135	135	
差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450	450	差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450	
土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420	420	土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420	
P_{max}	kN	2.99	2.69	3.64	6.07	4.72	5.33	5.33	P_{max}	kN	3.84	3.81	4.99	9.53	6.60	7.26	
$D_{(Pmax)}$	rad.	0.037	0.014	0.015	0.033	0.019	0.019	0.019	$D_{(Pmax)}$	rad.	0.055	0.021	0.022	0.085	0.028	0.027	
K	kN/rad.	122.1	198.8	260.4	235.8	278.6	313.3	313.3	K	kN/rad.	123.8	202.9	263.3	206.5	278.3	311.4	
P_u	kN	2.63	2.53	3.38	5.18	4.11	4.66	4.66	P_u	kN	3.30	3.44	4.37	8.43	5.49	6.10	
θ_u	rad.	0.037	0.014	0.015	0.033	0.019	0.019	0.019	θ_u	rad.	0.055	0.021	0.022	0.085	0.028	0.027	
θ_v	rad.	0.022	0.013	0.013	0.022	0.015	0.015	0.015	θ_v	rad.	0.027	0.017	0.017	0.041	0.020	0.020	
μ	-	1.73	1.10	1.15	1.49	1.29	1.27	1.27	μ	-	2.06	1.26	1.30	2.07	1.42	1.37	
D_s	-	0.64	0.91	0.88	0.71	0.79	0.80	0.80	D_s	-	0.57	0.81	0.79	0.56	0.74	0.76	
P_v	kN	1.79	1.99	2.44	2.69	2.43	2.71	2.71	P_v	kN	2.17	2.27	2.73	5.31	2.84	3.21	
$P_v*0.2/D_s$	kN	0.83	0.56	0.77	1.46	1.04	1.16	1.16	$P_v*0.2/D_s$	kN	1.17	0.85	1.10	2.99	1.49	1.61	
$P_{max}*2/3$	kN	1.99	1.79	2.43	4.04	3.15	3.55	3.55	$P_{max}*2/3$	kN	2.56	2.54	3.32	6.35	4.40	4.84	
$P_{(1/120)}$	kN	1.06	1.66	2.17	2.05	2.33	2.62	2.62	$P_{(1/120)}$	kN	1.13	1.71	2.21	2.08	2.35	2.64	
P_0	kN	0.83	0.56	0.77	1.46	1.04	1.16	1.16	P_0	kN	1.13	0.85	1.10	2.08	1.49	1.61	
柱の折損	-	せん断	せん断	せん断	曲げ	せん断	せん断	せん断	柱の折損	-	せん断	せん断	せん断	曲げ	せん断	せん断	

スギ・柱150角			差鴨居のみ			差鴨居+土壁			スギ・柱180角			差鴨居のみ			差鴨居+土壁		
柱巾	mm	150	150	150	150	150	150	150	柱巾	mm	180	180	180	180	180	180	
差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450	450	差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450	
土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420	420	土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420	
P_{max}	kN	5.37	5.15	6.34	10.44	8.36	9.06	9.06	P_{max}	kN	6.37	8.07	10.29	11.19	12.04	13.48	
$D_{(Pmax)}$	rad.	0.095	0.032	0.030	0.100	0.040	0.036	0.036	$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.061	0.056	0.100	0.074	0.064	
K	kN/rad.	120.8	205.1	257.7	204.1	257.2	295.9	295.9	K	kN/rad.	131.9	196.2	242.7	210.5	245.3	275.0	
P_u	kN	4.42	4.46	5.43	9.18	7.57	7.89	7.89	P_u	kN	5.24	6.85	8.85	9.82	10.54	11.96	
θ_u	rad.	0.095	0.032	0.030	0.100	0.040	0.036	0.036	θ_u	rad.	0.100	0.061	0.056	0.100	0.074	0.064	
θ_v	rad.	0.037	0.022	0.021	0.045	0.029	0.027	0.027	θ_v	rad.	0.040	0.035	0.036	0.047	0.043	0.043	
μ	-	2.61	1.48	1.43	2.22	1.36	1.37	1.37	μ	-	2.52	1.75	1.53	2.14	1.72	1.47	
D_s	-	0.49	0.72	0.73	0.54	0.76	0.76	0.76	D_s	-	0.50	0.63	0.70	0.55	0.64	0.72	
P_v	kN	2.70	2.72	3.04	5.87	4.37	4.11	4.11	P_v	kN	3.21	4.13	5.21	6.31	6.68	7.51	
$P_v*0.2/D_s$	kN	1.82	1.25	1.48	3.41	1.99	2.08	2.08	$P_v*0.2/D_s$	kN	2.10	2.17	2.54	3.56	3.29	3.33	
$P_{max}*2/3$	kN	3.58	3.43	4.23	6.96	5.58	6.04	6.04	$P_{max}*2/3$	kN	4.24	5.38	6.86	7.46	8.03	8.99	
$P_{(1/120)}$	kN	1.19	1.76	2.20	2.10	2.38	2.63	2.63	$P_{(1/120)}$	kN	1.32	1.85	2.30	2.16	2.42	2.69	
P_0	kN	1.19	1.25	1.48	2.10	1.99	2.08	2.08	P_0	kN	1.32	1.85	2.30	2.16	2.42	2.69	
柱の折損	-	せん断	せん断	せん断	なし	せん断	せん断	せん断	柱の折損	-	なし	せん断	せん断	なし	せん断	せん断	

スギ・柱210角			差鴨居のみ			差鴨居+土壁			スギ・柱240角			差鴨居のみ			差鴨居+土壁		
柱巾	mm	210	210	210	210	210	210	210	柱巾	mm	240	240	240	240	240	240	
差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450	450	差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450	
土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420	420	土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420	
P_{max}	kN	7.33	11.28	15.06	12.03	14.39	19.70	19.70	P_{max}	kN	8.37	12.22	17.11	12.94	15.25	19.36	
$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.100	0.089	0.100	0.100	0.100	0.100	$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	
K	kN/rad.	144.7	190.1	234.1	214.6	242.5	271.2	271.2	K	kN/rad.	156.8	198.8	234.2	220.6	247.4	271.4	
P_u	kN	6.03	9.49	12.38	10.58	12.52	16.90	16.90	P_u	kN	6.90	10.31	14.08	11.36	13.25	16.20	
θ_u	rad.	0.100	0.100	0.089	0.100	0.100	0.100	0.100	θ_u	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	
θ_v	rad.	0.042	0.050	0.053	0.049	0.052	0.062	0.062	θ_v	rad.	0.044	0.052	0.060	0.051	0.054	0.060	
μ	-	2.40	2.00	1.69	2.03	1.94	1.60	1.60	μ	-	2.27	1.93	1.66	1.94	1.87	1.68	
D_s	-	0.51	0.58	0.65	0.57	0.59	0.67	0.67	D_s	-	0.53	0.59	0.66	0.59	0.60	0.65	
P_v	kN	3.72	5.46	6.91	6.80	7.77	10.53	10.53	P_v	kN	4.29	5.97	7.76	7.34	8.23	9.53	
$P_v*0.2/D_s$	kN	2.35	3.29	3.81	3.70	4.24	5.02	5.02	$P_v*0.2/D_s$	kN	2.60	3.48	4.30	3.86	4.38	4.97	
$P_{max}*2/3$	kN	4.89	7.52	10.04	8.02	9.59	13.13	13.13	$P_{max}*2/3$	kN	5.58	8.15	11.41	8.62	10.17	12.91	
$P_{(1/120)}$	kN	1.44	1.94	2.36	2.21	2.46	2.76	2.76	$P_{(1/120)}$	kN	1.55	2.02	2.41	2.26	2.50	2.74	
P_0	kN	1.44	1.94	2.36	2.21	2.46	2.76	2.76	P_0	kN	1.55	2.02	2.41	2.26	2.50	2.74	
柱の折損	-	なし	なし	せん断	なし	なし	なし	なし	柱の折損	-	なし	なし	なし	なし	なし	なし	

*灰色のセルが4指標の最小値

表 5.3.3-2 全軸材スギ 曲げ破壊を検定：解析結果 特性値一覧

スギ・柱120角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁			スギ・柱135角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁		
柱巾	mm	120	120	120	120	120	120	柱巾	mm	135	135	135	135	135	135
差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450	差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450
土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420	土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420
P_{max}	kN	4.73	6.20	6.30	6.07	6.86	6.75	P_{max}	kN	5.10	8.99	8.95	9.53	9.83	9.79
$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.052	0.031	0.033	0.030	0.025	$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.096	0.051	0.085	0.055	0.041
K	kN/rad.	106.6	181.2	253.7	235.8	271.4	311.0	K	kN/rad.	112.8	168.3	236.9	206.5	243.6	288.4
P_u	kN	3.85	5.27	5.41	5.18	5.80	5.69	P_u	kN	4.18	7.49	7.69	8.43	8.82	8.75
θ_u	rad.	0.100	0.052	0.031	0.033	0.030	0.025	θ_u	rad.	0.100	0.096	0.051	0.085	0.055	0.041
θ_v	rad.	0.036	0.029	0.021	0.022	0.021	0.018	θ_v	rad.	0.037	0.045	0.032	0.041	0.036	0.030
μ	-	2.77	1.80	1.45	1.49	1.42	1.37	μ	-	2.70	2.16	1.56	2.07	1.52	1.35
D_s	-	0.47	0.62	0.72	0.71	0.74	0.76	D_s	-	0.48	0.55	0.69	0.56	0.70	0.77
P_v	kN	2.33	3.23	3.06	2.69	2.97	3.06	P_v	kN	2.54	4.28	4.55	5.31	5.62	4.87
$P_u*0.2/D_s$	kN	1.64	1.70	1.49	1.46	1.57	1.50	$P_u*0.2/D_s$	kN	1.75	2.73	2.24	2.99	2.52	2.29
$P_{max}*2/3$	kN	3.15	4.14	4.20	4.04	4.57	4.50	$P_{max}*2/3$	kN	3.40	5.99	5.97	6.35	6.56	6.53
$P_{(1/120)}$	kN	1.06	1.66	2.17	2.05	2.33	2.62	$P_{(1/120)}$	kN	1.13	1.71	2.21	2.08	2.35	2.64
P_0	kN	1.06	1.66	1.49	1.46	1.57	1.50	P_0	kN	1.13	1.71	2.21	2.08	2.35	2.29
柱の折損	-	なし	曲げ	曲げ	曲げ	曲げ	曲げ	柱の折損	-	なし	曲げ	曲げ	曲げ	曲げ	曲げ

スギ・柱150角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁			スギ・柱180角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁		
柱巾	mm	150	150	150	150	150	150	柱巾	mm	180	180	180	180	180	180
差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450	差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450
土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420	土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420
P_{max}	kN	5.50	9.57	12.09	10.44	12.81	13.18	P_{max}	kN	6.37	10.40	15.69	11.19	13.57	18.05
$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.100	0.077	0.100	0.100	0.067	$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
K	kN/rad.	119.5	171.8	221.7	204.1	235.1	268.8	K	kN/rad.	131.9	181.0	222.0	210.5	238.7	266.2
P_u	kN	4.51	7.99	9.95	9.18	11.11	11.53	P_u	kN	5.24	8.72	12.74	9.82	11.80	14.95
θ_u	rad.	0.100	0.100	0.077	0.100	0.100	0.067	θ_u	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
θ_v	rad.	0.038	0.047	0.045	0.045	0.047	0.043	θ_v	rad.	0.040	0.048	0.057	0.047	0.049	0.056
μ	-	2.65	2.15	1.72	2.22	2.12	1.56	μ	-	2.52	2.07	1.74	2.14	2.02	1.78
D_s	-	0.48	0.55	0.64	0.54	0.56	0.69	D_s	-	0.50	0.56	0.63	0.55	0.57	0.62
P_v	kN	2.75	4.56	5.63	5.87	6.97	7.24	P_v	kN	3.21	5.01	6.94	6.31	7.35	8.87
$P_u*0.2/D_s$	kN	1.87	2.90	3.11	3.41	3.99	3.35	$P_u*0.2/D_s$	kN	2.10	3.10	4.02	3.56	4.12	4.79
$P_{max}*2/3$	kN	3.66	6.38	8.06	6.96	8.54	8.79	$P_{max}*2/3$	kN	4.24	6.93	10.46	7.46	9.05	12.03
$P_{(1/120)}$	kN	1.19	1.76	2.20	2.10	2.38	2.63	$P_{(1/120)}$	kN	1.32	1.85	2.30	2.16	2.42	2.69
P_0	kN	1.19	1.76	2.20	2.10	2.38	2.63	P_0	kN	1.32	1.85	2.30	2.16	2.42	2.69
柱の折損	-	なし	なし	曲げ	なし	なし	曲げ	柱の折損	-	なし	なし	なし	なし	なし	なし

スギ・柱210角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁			スギ・柱240角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁		
柱巾	mm	210	210	210	210	210	210	柱巾	mm	240	240	240	240	240	240
差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450	差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450
土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420	土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420
P_{max}	kN	7.33	11.28	16.41	12.03	14.39	19.70	P_{max}	kN	8.37	12.22	17.11	12.94	15.25	19.36
$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
K	kN/rad.	144.7	190.1	228.3	214.6	242.5	271.2	K	kN/rad.	156.8	198.8	234.2	220.6	247.4	271.4
P_u	kN	6.03	9.49	13.40	10.58	12.52	16.90	P_u	kN	6.90	10.31	14.08	11.36	13.25	16.20
θ_u	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	θ_u	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
θ_v	rad.	0.042	0.050	0.059	0.049	0.052	0.062	θ_v	rad.	0.044	0.052	0.060	0.051	0.054	0.060
μ	-	2.40	2.00	1.70	2.03	1.94	1.60	μ	-	2.27	1.93	1.66	1.94	1.87	1.68
D_s	-	0.51	0.58	0.64	0.57	0.59	0.67	D_s	-	0.53	0.59	0.66	0.59	0.60	0.65
P_v	kN	3.72	5.46	7.32	6.80	7.77	10.53	P_v	kN	4.29	5.97	7.76	7.34	8.23	9.53
$P_u*0.2/D_s$	kN	2.35	3.29	4.16	3.70	4.24	5.02	$P_u*0.2/D_s$	kN	2.60	3.48	4.30	3.86	4.38	4.97
$P_{max}*2/3$	kN	4.89	7.52	10.94	8.02	9.59	13.13	$P_{max}*2/3$	kN	5.58	8.15	11.41	8.62	10.17	12.91
$P_{(1/120)}$	kN	1.44	1.94	2.36	2.21	2.46	2.76	$P_{(1/120)}$	kN	1.55	2.02	2.41	2.26	2.50	2.74
P_0	kN	1.44	1.94	2.36	2.21	2.46	2.76	P_0	kN	1.55	2.02	2.41	2.26	2.50	2.74
柱の折損	-	なし	なし	なし	なし	なし	なし	柱の折損	-	なし	なし	なし	なし	なし	なし

*灰色のセルが4指標の最小値

②全軸材をヒノキとした場合

せん断破壊・曲げ破壊をともに考慮する場合〔×：せん断破壊、×：曲げ破壊〕

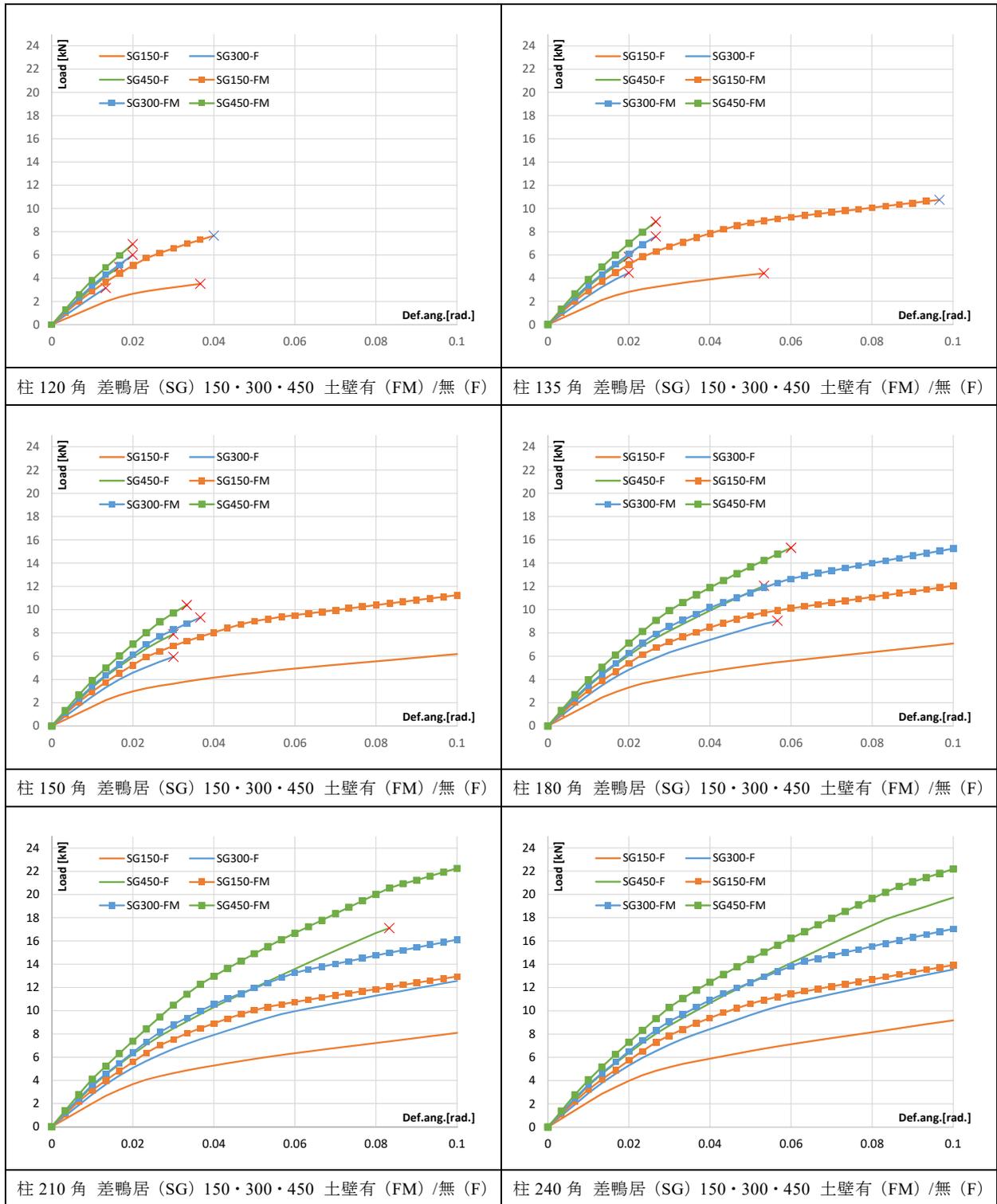


図 5.3.3-3 全軸材ヒノキの場合の荷重変形関係〔柱のせん断・曲げ破壊を検定〕

(F：軸組・差鴨居のみ、 FM：軸組・差鴨居 + 土壁)

曲げ破壊のみを考慮する場合〔×：曲げ破壊〕

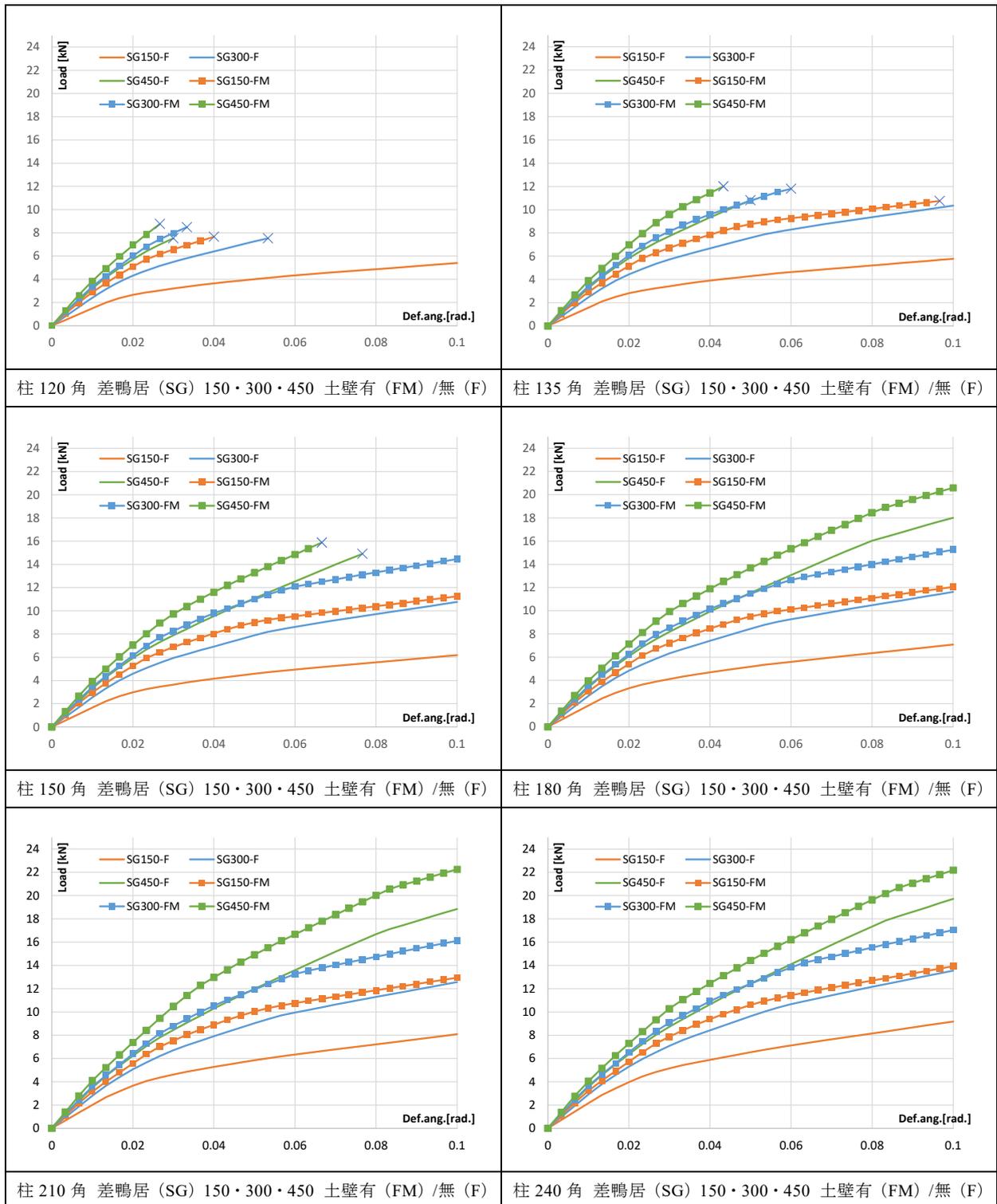


図 5.3.3-4 全軸材ヒノキの場合の荷重変形関係〔柱の曲げ破壊のみ検定〕

(F：軸組・差鴨居のみ、FM：軸組・差鴨居 + 土壁)

表 5.3.3-3 全軸材ヒノキ せん断・曲げ破壊を検定：解析結果 特性値一覧

ヒノキ・柱120角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁			ヒノキ・柱135角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁		
柱巾	mm	120	120	120	120	120	120	柱巾	mm	135	135	135	135	135	135
差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450	差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450
土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420	土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420
P_{max}	kN	3.40	3.13	4.25	7.40	5.41	6.08	P_{max}	kN	4.35	4.35	5.76	10.67	7.23	8.22
$D_{(Pmax)}$	rad.	0.034	0.013	0.014	0.038	0.018	0.017	$D_{(Pmax)}$	rad.	0.052	0.019	0.020	0.095	0.025	0.024
K	kN/rad.	145.8	240.2	322.4	267.9	340.1	389.0	K	kN/rad.	150.4	245.8	326.7	240.9	341.9	389.4
P_u	kN	3.04	2.98	3.99	6.62	4.81	5.43	P_u	kN	3.74	4.00	5.13	9.43	6.14	6.98
θ_u	rad.	0.034	0.013	0.014	0.038	0.018	0.017	θ_u	rad.	0.052	0.019	0.020	0.095	0.025	0.024
θ_v	rad.	0.021	0.012	0.012	0.025	0.014	0.014	θ_v	rad.	0.025	0.016	0.016	0.039	0.018	0.018
μ	-	1.64	1.07	1.11	1.52	1.25	1.23	μ	-	2.07	1.19	1.26	2.42	1.39	1.35
D_s	-	0.66	0.94	0.91	0.70	0.82	0.83	D_s	-	0.56	0.85	0.81	0.51	0.75	0.76
P_v	kN	2.17	2.40	3.22	4.09	2.96	3.33	P_v	kN	2.51	2.69	3.35	6.12	3.36	3.83
$P_u*0.2/D_s$	kN	0.92	0.64	0.88	1.89	1.18	1.31	$P_u*0.2/D_s$	kN	1.33	0.94	1.26	3.69	1.63	1.83
$P_{max}*2/3$	kN	2.27	2.09	2.83	4.93	3.61	4.06	$P_{max}*2/3$	kN	2.90	2.90	3.84	7.11	4.82	5.48
$P_{(1/120)}$	kN	1.25	2.00	2.69	2.44	2.84	3.25	$P_{(1/120)}$	kN	1.32	2.06	2.73	2.47	2.87	3.27
P_0	kN	0.92	0.64	0.88	1.89	1.18	1.31	P_0	kN	1.32	0.94	1.26	2.47	1.63	1.83
柱の折損	-	せん断	せん断	せん断	曲げ	せん断	せん断	柱の折損	-	せん断	せん断	せん断	曲げ	せん断	せん断

ヒノキ・柱150角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁			ヒノキ・柱180角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁		
柱巾	mm	150	150	150	150	150	150	柱巾	mm	180	180	180	180	180	180
差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450	差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450
土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420	土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420
P_{max}	kN	6.19	5.80	7.48	11.24	9.19	10.26	P_{max}	kN	7.08	9.01	11.60	12.05	15.25	14.79
$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.029	0.028	0.100	0.036	0.033	$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.056	0.050	0.100	0.100	0.057
K	kN/rad.	140.7	249.3	326.2	237.9	321.0	377.6	K	kN/rad.	156.4	243.6	307.4	244.9	286.8	348.2
P_u	kN	5.12	5.12	6.50	9.95	8.26	8.92	P_u	kN	5.83	7.65	9.90	10.63	13.35	12.99
θ_u	rad.	0.100	0.029	0.028	0.100	0.036	0.033	θ_u	rad.	0.100	0.056	0.050	0.100	0.100	0.057
θ_v	rad.	0.036	0.021	0.020	0.042	0.026	0.024	θ_v	rad.	0.037	0.031	0.032	0.043	0.047	0.037
μ	-	2.75	1.41	1.39	2.39	1.39	1.38	μ	-	2.68	1.79	1.57	2.30	2.15	1.52
D_s	-	0.47	0.74	0.75	0.51	0.75	0.75	D_s	-	0.48	0.62	0.68	0.53	0.55	0.70
P_v	kN	3.20	3.31	3.81	6.55	4.83	4.73	P_v	kN	3.65	4.70	5.81	6.99	8.40	8.11
$P_u*0.2/D_s$	kN	2.17	1.38	1.73	3.87	2.21	2.37	$P_u*0.2/D_s$	kN	2.44	2.46	2.89	4.04	4.85	3.71
$P_{max}*2/3$	kN	4.13	3.87	4.98	7.49	6.13	6.84	$P_{max}*2/3$	kN	4.72	6.00	7.74	8.03	10.17	9.86
$P_{(1/120)}$	kN	1.39	2.12	2.77	2.51	2.90	3.29	$P_{(1/120)}$	kN	1.53	2.22	2.84	2.58	2.96	3.33
P_0	kN	1.39	1.38	1.73	2.51	2.21	2.37	P_0	kN	1.53	2.22	2.84	2.58	2.96	3.33
柱の折損	-	なし	せん断	せん断	なし	せん断	せん断	柱の折損	-	なし	せん断	せん断	なし	なし	せん断

ヒノキ・柱210角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁			ヒノキ・柱240角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁		
柱巾	mm	210	210	210	210	210	210	柱巾	mm	240	240	240	240	240	240
差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450	差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450
土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420	土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420
P_{max}	kN	8.08	12.56	18.85	12.95	16.11	22.25	P_{max}	kN	9.18	13.56	19.72	13.93	17.04	22.19
$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
K	kN/rad.	170.3	226.7	282.4	252.4	292.1	342.8	K	kN/rad.	184.3	237.3	289.5	259.9	297.5	338.5
P_u	kN	6.66	10.69	15.68	11.39	14.10	19.03	P_u	kN	7.55	11.55	16.41	12.23	14.90	18.55
θ_u	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	θ_u	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
θ_v	rad.	0.039	0.047	0.056	0.045	0.048	0.056	θ_v	rad.	0.041	0.049	0.057	0.047	0.050	0.055
μ	-	2.56	2.12	1.80	2.22	2.07	1.80	μ	-	2.44	2.06	1.76	2.13	2.00	1.82
D_s	-	0.49	0.56	0.62	0.54	0.56	0.62	D_s	-	0.51	0.57	0.63	0.55	0.58	0.61
P_v	kN	4.15	6.52	8.41	7.47	8.84	11.37	P_v	kN	4.72	7.02	8.81	8.00	9.31	10.57
$P_u*0.2/D_s$	kN	2.70	3.85	5.06	4.22	5.00	6.14	$P_u*0.2/D_s$	kN	2.98	4.07	5.22	4.41	5.16	6.04
$P_{max}*2/3$	kN	5.39	8.37	12.56	8.63	10.74	14.84	$P_{max}*2/3$	kN	6.12	9.04	13.15	9.29	11.36	14.79
$P_{(1/120)}$	kN	1.67	2.33	2.91	2.65	3.01	3.44	$P_{(1/120)}$	kN	1.80	2.43	2.97	2.72	3.06	3.41
P_0	kN	1.67	2.33	2.91	2.65	3.01	3.44	P_0	kN	1.80	2.43	2.97	2.72	3.06	3.41
柱の折損	-	なし	なし	せん断	なし	なし	なし	柱の折損	-	なし	なし	なし	なし	なし	なし

*灰色のセルが4指標の最小値

表 5.3.3-4 全軸材ヒノキ 曲げ破壊を検定：解析結果 特性値一覧

ヒノキ・柱120角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁			ヒノキ・柱135角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁		
柱巾	mm	120	120	120	120	120	120	柱巾	mm	135	135	135	135	135	135
差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450	差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450
土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420	土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420
P_{max}	kN	5.39	7.39	7.49	7.40	8.17	8.06	P_{max}	kN	5.78	10.35	10.63	10.67	11.62	11.57
$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.052	0.030	0.038	0.031	0.024	$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.100	0.049	0.095	0.058	0.041
K	kN/rad.	126.9	222.5	314.8	267.9	326.1	386.5	K	kN/rad.	133.5	200.2	298.5	240.9	299.9	356.7
P_u	kN	4.46	6.27	6.50	6.62	7.17	6.86	P_u	kN	4.78	8.79	9.03	9.43	10.17	10.41
θ_u	rad.	0.100	0.052	0.030	0.038	0.031	0.024	θ_u	rad.	0.100	0.100	0.049	0.095	0.058	0.041
θ_v	rad.	0.035	0.028	0.021	0.025	0.022	0.018	θ_v	rad.	0.036	0.044	0.030	0.039	0.034	0.029
μ	-	2.85	1.83	1.44	1.52	1.42	1.35	μ	-	2.79	2.28	1.61	2.42	1.71	1.40
D_s	-	0.46	0.61	0.73	0.70	0.74	0.77	D_s	-	0.47	0.53	0.67	0.51	0.64	0.75
P_v	kN	2.78	3.94	3.85	4.09	3.95	3.78	P_v	kN	2.99	5.36	5.32	6.12	6.50	6.21
$P_u*0.2/D_s$	kN	1.93	2.05	1.78	1.89	1.95	1.79	$P_u*0.2/D_s$	kN	2.05	3.31	2.69	3.69	3.17	2.79
$P_{max}*2/3$	kN	3.60	4.93	5.00	4.93	5.44	5.38	$P_{max}*2/3$	kN	3.85	6.90	7.09	7.11	7.75	7.71
$P_{(1/120)}$	kN	1.25	2.00	2.69	2.44	2.84	3.25	$P_{(1/120)}$	kN	1.32	2.06	2.73	2.47	2.87	3.27
P_0	kN	1.25	2.00	1.78	1.89	1.95	1.79	P_0	kN	1.32	2.06	2.69	2.47	2.87	2.79
柱の折損	-	なし	曲げ	曲げ	曲げ	曲げ	曲げ	柱の折損	-	なし	なし	曲げ	曲げ	曲げ	曲げ

ヒノキ・柱150角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁			ヒノキ・柱180角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁		
柱巾	mm	150	150	150	150	150	150	柱巾	mm	180	180	180	180	180	180
差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450	差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450
土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420	土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420
P_{max}	kN	6.19	10.76	14.53	11.24	14.46	15.69	P_{max}	kN	7.08	11.62	18.00	12.05	15.25	20.58
$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.100	0.074	0.100	0.100	0.065	$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
K	kN/rad.	140.7	204.9	284.6	237.9	281.8	340.2	K	kN/rad.	156.4	215.8	274.5	244.9	286.8	331.8
P_u	kN	5.12	9.16	11.87	9.95	12.64	13.46	P_u	kN	5.83	9.90	14.99	10.63	13.35	17.18
θ_u	rad.	0.100	0.100	0.074	0.100	0.100	0.065	θ_u	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
θ_v	rad.	0.036	0.045	0.042	0.042	0.045	0.040	θ_v	rad.	0.037	0.046	0.055	0.043	0.047	0.052
μ	-	2.75	2.24	1.77	2.39	2.23	1.65	μ	-	2.68	2.18	1.83	2.30	2.15	1.93
D_s	-	0.47	0.54	0.63	0.51	0.54	0.66	D_s	-	0.48	0.55	0.61	0.53	0.55	0.59
P_v	kN	3.20	5.61	6.71	6.55	8.00	8.39	P_v	kN	3.65	6.06	8.05	6.99	8.40	9.82
$P_u*0.2/D_s$	kN	2.17	3.41	3.79	3.87	4.70	4.09	$P_u*0.2/D_s$	kN	2.44	3.63	4.89	4.04	4.85	5.81
$P_{max}*2/3$	kN	4.13	7.17	9.69	7.49	9.64	10.46	$P_{max}*2/3$	kN	4.72	7.75	12.00	8.03	10.17	13.72
$P_{(1/120)}$	kN	1.39	2.12	2.77	2.51	2.90	3.29	$P_{(1/120)}$	kN	1.53	2.22	2.84	2.58	2.96	3.33
P_0	kN	1.39	2.12	2.77	2.51	2.90	3.29	P_0	kN	1.53	2.22	2.84	2.58	2.96	3.33
柱の折損	-	なし	なし	曲げ	なし	なし	曲げ	柱の折損	-	なし	なし	なし	なし	なし	なし

ヒノキ・柱210角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁			ヒノキ・柱240角		差鴨居のみ			差鴨居+土壁		
柱巾	mm	210	210	210	210	210	210	柱巾	mm	240	240	240	240	240	240
差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450	差鴨居せい	mm	150	300	450	150	300	450
土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420	土壁内法高さ	mm	570	495	420	570	495	420
P_{max}	kN	8.08	12.56	18.85	12.95	16.11	22.25	P_{max}	kN	9.18	13.56	19.72	13.93	17.04	22.19
$D_{(Pmax)}$	rad.	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	$D_{(Pmax)}$	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
K	kN/rad.	170.3	226.7	282.4	252.4	292.1	342.8	K	kN/rad.	184.3	237.3	289.5	259.9	297.5	338.5
P_u	kN	6.66	10.69	15.68	11.39	14.10	19.03	P_u	kN	7.55	11.55	16.41	12.23	14.90	18.55
θ_u	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	θ_u	rad.	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
θ_v	rad.	0.039	0.047	0.056	0.045	0.048	0.056	θ_v	rad.	0.041	0.049	0.057	0.047	0.050	0.055
μ	-	2.56	2.12	1.80	2.22	2.07	1.80	μ	-	2.44	2.06	1.76	2.13	2.00	1.82
D_s	-	0.49	0.56	0.62	0.54	0.56	0.62	D_s	-	0.51	0.57	0.63	0.55	0.58	0.61
P_v	kN	4.15	6.52	8.41	7.47	8.84	11.37	P_v	kN	4.72	7.02	8.81	8.00	9.31	10.57
$P_u*0.2/D_s$	kN	2.70	3.85	5.06	4.22	5.00	6.14	$P_u*0.2/D_s$	kN	2.98	4.07	5.22	4.41	5.16	6.04
$P_{max}*2/3$	kN	5.39	8.37	12.56	8.63	10.74	14.84	$P_{max}*2/3$	kN	6.12	9.04	13.15	9.29	11.36	14.79
$P_{(1/120)}$	kN	1.67	2.33	2.91	2.65	3.01	3.44	$P_{(1/120)}$	kN	1.80	2.43	2.97	2.72	3.06	3.41
P_0	kN	1.67	2.33	2.91	2.65	3.01	3.44	P_0	kN	1.80	2.43	2.97	2.72	3.06	3.41
柱の折損	-	なし	なし	なし	なし	なし	なし	柱の折損	-	なし	なし	なし	なし	なし	なし

*灰色のセルが4指標の最小値

差鴨居のせいは150、300、450であるが、土の有無にかかわらず、差鴨居のせいが大きいほど最大荷重は大きい。土壁有と無では、有の方が最大荷重が大きくなる。また、同じ差し鴨居せいにおいて土壁無→有の最大荷重の増加分は、差し鴨居のせいが小さいほど大きい。これは、鴨居のせいが小さいほど土壁の断面積が大きくなるためである。

解析中の部材の損傷について、まず引張バネの破損に至る接合具の変形量を確認したところ、全ての解析結果において、差鴨居一柱接合部の込栓、雇い竿車知接合部の車知栓ともに、破壊の基準（込栓：20mm、車知栓：10mm、既往の実験を参照）以下の変形量となっており、接合具の破損は確認されなかった。

柱の折損に関しては、全ての折損した場合において、最初に曲げ破壊またはせん断破壊を生じたのは、中央の柱の差鴨居材軸と接する位置であった。

せん断破壊、曲げ破壊をともに考慮した場合、ほとんどの場合せん断破壊が先行した。柱がスギの場合、柱巾が120mmでは1/50~1/25rad.でせん断または曲げ破壊、150mmでは1/25rad.前後、180mmでも1/15rad.以降には破壊が発生した。210mm以上では殆どの場合で1/10rad.までには破壊は生じない。

曲げ破壊のみを考慮した場合、基準強度に達する変形角は遅くなり、柱巾180mm以上では1/10rad.までに破壊は生じない結果となった。なお、せん断破壊に関しては、土壁付きの試験体よりも、軸組み・差鴨居のみの試験体の方が厳しいが、曲げモーメントで見ると土壁付のほうが厳しい結果となっており、土壁の付加による応力分布の変化が影響を与えていると推測される。

差鴨居（ベイマツ）を除く軸材をスギからヒノキへ変化させた場合、最大荷重等は増加するが、仕様同士の性能の相対的な関係、柱折損に至る変形角には大きな変化は見られない。

特性値については、短期許容せん断耐力は4指標の最小値で決定しているが、柱巾が小さく早期にせん断で破壊しているものには靱性指標で決定している場合もみられるものの、破壊を生じない場合をはじめ、ほとんどの場合で特定変形角時の荷重（1/120rad.変形時）で決定しており、初期剛性が比較的低いことから、寸法の変化に対する最大荷重、降伏荷重の増加に比してやや小さい値となっている。短期許容せん断耐力は、スギの場合は、最大値（柱巾の大きな場合）でも差鴨居のみで約2.4kN、土壁付きで約2.7kN、ヒノキの場合は差鴨居のみで約3kN、土壁付で約3.4kNとなった。

5.4 考察・まとめ

本章では、過年度の実験に基づき、差鴨居の軸力の影響や、土壁のせん断抵抗の一定性に着目した解析モデルとして、MS モデルを構築し、実験との比較による検証を踏まえて、差鴨居のせい、材料等を変化させたパラメータスタディを行った。

MS モデルによる過年度試験体の解析の結果は、初期剛性がやや低く評価される点、大変形における荷重低下の再現には課題を残すものの、土壁のアスペクト比の小さい場合においてはおおむねよい精度での評価が可能であった。

パラメータスタディから、部材折損と柱寸法の関係、差鴨居のせいの変化に対応する耐力の変化に関する知見が得られた。

参考文献

- 1) 令和元年度 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討 事業報告書, 2020.3
- 2) 平成 29 年度 断面の大きい軸材料等を用いる木造建築物の技術基準に関する検討 事業報告書, 第 3 章, 2018.3
- 3) 伝統的構法のための木造耐震設計法, 伝統的構法木造建築物設計マニュアル編集委員会, 学芸出版, 2019.6
- 4) 木質構造接合部設計マニュアル, 日本建築学会, 2009
- 5) 垂れ壁付き独立柱, だぼ入れにより水平方向のみ拘束した柱脚等で構成された木造建築物の設計基準に関する調査委員会報告書, 2014 年
- 6) 木質構造設計規準・同解説 許容応力度・許容耐力設計法, 日本建築学会, 2006
- 7) CLT パネル工法における架構方法の合理化と構造モデルの簡略化検討事業報告書, 2018
- 8) 平成 29 年度 断面の大きい軸材料等を用いる木造建築物の技術基準に関する検討 事業報告書, 2018.3

第6章 添付資料

6.1 委員会議事録

本事業で実施した委員会は以下の通りである。

	日 時	場 所
第1回	令和2年7月8日(水) 16:00~18:00	Zoomによるオンラインミーティング
第2回	令和2年10月29日(木) 13:30~15:30	同上
第3回	令和3年2月4日(木) 18:00~20:00	同上

次ページから、委員会の議事録を掲載する。

第1回 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討委員会

日時	2020年7月8日 木曜日 16:00~18:00				
場所	ZOOM				
参加者 (敬称略)	委員長	五十田博			
	委員	河合直人	鈴木祥之	齋藤幸雄	後藤正美
		大橋好光	腰原幹雄	藤田香織	槌本敬大
		山崎義弘			
	協力委員	荒木康弘	秋山信彦		
	行政	青木亮	佐々木雄河		
事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美		

配付資料

資料 01:関係者名簿

資料 02:R01 報告書 第6章まとめと今後の課題

資料 03:R01_S32 成果報告 パワポ

資料 04:補助事業の概要_S32 伝木(交付申請書の抜粋)

資料 05:S32 伝木_年間スケジュール

資料 06:WG での検討の経緯(WG 議事録)

資料 07:柱曲げ試験体検討

1. 昨年度の成果と課題、今年度事業の説明(資料 01~05)

2. 柱の折損に関する実験委についての議論(資料 NO.06、07)

- WG での議論の経緯と実験計画案の説明を行った。

【製材で行う実験①、②について】

- 正角を半分にして同一材と想定して実験を計画しているが、必ずしも物性が同じとは限らない。同一と想定する試験体を選択する方法は、以下の2つがある。どちらにしても、最終の試験体のヤング係数の計測と欠点の記録などが必要。また、どちらが正しい方法かは、やってみないとわからない。材を半割にするかどうかは、材を確認した上で決定するか。

案 A(現在の案)

正角を半分にして、同程度の物性のものとして実施する。欠点については、左右同じ場所とは限らないので、加力点近辺に節などが来ないように、材の上下を反転させるなど工夫をして実施する。(左右を変えるのも許される?)

案 B

正角のままヤングを計測し、近い値のもの、かつ、節などの欠点も同程度、同位置にくるような材を2体選択し同一材として扱う。試験体数は、半割にしない分、半数になる。

- ヤング係数のデータは、試験体のそれぞれの形状の段階で(正角・半割にした後)、可能な限

り多くの方法で取得しておくのが望ましい。耐震診断などでは、材の仕口の穴の有無で縦振動によるヤング計測結果が変化するか等が課題となっている。そういうものに応用できるようにデータは欲しいところ。特に、ヒノキのデータはほとんどないので貴重。

計測方法の候補としては、縦振動、曲げ振動、たわみヤングなどが考えられる。

→曲げ振動は、少しでもねじれなどが生じていると正確に測定できないので、注意が必要。

正しく計測できれば、曲げ振動とたわみヤングはほぼ同じ値になり、縦振動はそれより少し高い値が出ることがわかっている。超音波などは、縦振動と近い値が出る。

- ・ 案 A だと心去り材になるので、計測するヤングにどう影響するかが不明。ヒノキは辺材と心材の差は小さいが、スギの場合は大きい。

【集成材で行う実験③→②について】

- ・ 断面欠損の形状をどう決めるのか？仕様規定で仕口の形状を条件にするのであれば、実際の形状を反映して整理する必要がある。
- ・ 3 方差し、4 方差しの場合は検討をしないのか？
→既往の研究で検討されているものがあるので、それらを吟味した上でどの形状について実施するのか決定したい。現段階では、差し鴨居が入る方向についての曲げに対してはさほど低減が必要なく、曲げ方向の側面から入ってくる差し鴨居の欠損についてはそれと比較して影響が大きいと考えられる。
→既往の実験でも、比較的品質の高い材を用いていることや、3 等分点加力であることが影響してか、強度が高めに出ており、ほとんど低減係数が必要ないようにも見える。
- ・ 断面欠損の形状については WG で検討して決定するが、それは次回の委員会を待たず、先に委員に報告をする。
- ・ 断面欠損の曲げ実験を実施する際に差し鴨居を埋めて実施する必要があるか？
→単調加力の曲げであればどちら方向の欠損でも、埋めても埋めなくても影響はないと思われる。
→埋めずに実験をやることで決定。ただし、加力板の大きさ・形状は差し鴨居の形状を再現するようなものであることが必要であるため、加力治具としては差すことになる可能性がある。
- ・ 集成材の等級ではラミナの性能の上限はフリーなので、ばらつきが大きい可能性が高い。
→ただし、本実験では、欠損のあるものとなないものを、材料マッチングする手法としているので、実験としては成立する。

3. その他の議論

【設計で用いる材料強度について】

- ・ 設計時に使用する材の値を計測してその値を使うことは将来的に可能にならないか。一般値としての下限值で設計をするとかなり低い値になってしまう。
→使用する材の値は、統計的に判断できる数を実験した上で、時刻歴応答解析で設計することは可能。評価する際の委員会が認めれば、2000 年までは、材料強度を都度決められる仕組みがあり、シルクロード博(1988 年)のパビリオンなどで用いた例がある。

- ・ 伝木で実際に使用する際には、材の欠点が建物の性能に重要な影響を及ぼすような個所にこないように大工は工夫する。これらの措置についての評価がされず、下限値で設計を行わなければいけないのは、現実的ではない。ただし、職人の属性などが大きく影響するので、一般化するのには困難か。
 - 仕様規定に落とし込むならば、欠点の程度を示した仕様規定(目視等級区分を利用する等)とすることも不可能ではないが、逆にそのような縛りは嫌がられる可能性もある。
 - 過去に、ある資格を持った大工が判断したものであれば認めるという仕組みを考えたことがあるが、なかなか難しく、含水率の制限を緩和しただけになった経緯がある。

【壁量規定について】

- ・ 現在の壁量規定では、2階の床面積に関係なく、1階の壁量が決められているのが不可解。このままでいいのか？なぜこのようになっているのか経緯・根拠は？
 - 基準の検討をされていた当初の方針としては、2階建て部分が存在する1階部分だけに「2階建ての1階の規定」を当てはめるとされていたが、なぜか今のような方法になったということを知ったことがある。
 - 現状では、オーバーハングをしているような特殊なプランでは危険側になるが、たいていは逆になるので、安全側の規定になっていると考えられる。
 - 耐震診断や性能表示では2階の床面積を評価しているが、基準法ではこれまでの経緯でこのようになっている。

5. その他

- ・ 委員会は全部で3回、すべてWEB会議とする。
 - 第2回は10月29日木曜日 13:30~15:30。第3回は1月上旬~中旬に開催予定。

第2回 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討委員会

日時	2020年10月29日 木曜日 13:30~15:30				
場所	ZOOM				
参加者 (敬称略)	委員長	五十田博			
	委員	河合直人	鈴木祥之	齋藤幸雄	後藤正美
		大橋好光	腰原幹雄	藤田香織	槌本敬大
		山崎義弘			
	協力委員	荒木康弘	秋山信彦		
	行政	青木亮	佐々木雄河		
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美	
オブザーバー	松本直之				

配付資料

資料01: 前回(7/8)の議事録

資料02: 実験の全体像

資料03-1: 製材曲げ試験体

資料03-2: 製材曲げ試験 速報

資料04-1: 集成材断面欠損試験体

資料04-2: 集成材断面欠損試験 速報

資料05: 解析モデルの作成

資料06: 年間スケジュール

1. 前回の議事録の確認(資料01)

2. 製材曲げ試験についての議論(資料03シリーズ)

- ・ 製材試験体の進捗状況、結果の速報(150角スギ・ヒノキ)についてWGの河合主査より説明を行った。3点曲げ、4点曲げのMORの比較は、前者が平均値では3割程度、下限値でも1割程度高い値となっており、差し鴨居から柱にかかる曲げについてはこの結果を反映した考え方で評価しても良いのではないかと。
- ・ 3点曲げのMORが上がる理由は節などの欠点の位置・数の確率が影響するという前提だが、破壊箇所はどのようになっているか？
→スギでは節がきっかけになっているように見える。ヒノキはほとんど節が無い試験体なのでよくわからない。にもかかわらずヒノキでも3点曲げのMORが高い値を示している。これは、表面に現れない欠点が影響していると推測される。
→試験状況の録画で破壊の開始位置と節との関係を確認するに加え、ヒノキについては試験終了後の試験体の破壊面の観察、写真の撮影を行うこととする。
- ・ 3点曲げ用と4点曲げ用に試験体を振り分けた時に、含水率は考慮しているか？
→含水率は、接触型の木材水分計HM-520にて計測したが、試験体の振り分け時にはこの値

は考慮していない。そのデータは資料 03-1 の p.7 に平均のみを示しているが、スギはかなり大きくばらついていた。

→MOR は含水率補正をして考えてみるのがあるのでは？

→終了した試験体から含水率測定用の試験体を採取し、全乾法でデータを取得する。含水率計測用の試験体は、小口、破壊面からなるべく離れたところから数か所取得し、質量を計測。榎本委員に送付して最終処理を行う。

3. 集成材断面欠損試験について議論(資料 04 シリーズ)

- ・ 集成材断面欠損試験の進捗状況、結果の速報(2 方差し)について WG の河合主査より説明を行った。
- ・ 実験では断面欠損部を先に実施するが、割裂がどんどん広がってしまうため、ずらして健全部分の実験を行う際に影響があるかもしれない。これは観察記録を取っておくこととする。
- ・ ヒノキの MOR が高すぎる気がするので、ロードセルの校正などを確認するよう指示している。
→ヒノキであれば、特に高すぎるというわけではないと思う。ただ、低いものがない。高いグレードのラミナを選んで集成材としているならば、全体で密度が高い材となっており、その影響で高めの値が出ている可能性がある。
→試験体の密度計測を行い確認する。
- ・ 結果からは、MOR は欠損した正味断面の断面係数で良いという結果になるのか？
→平均値で言えばそうだが、下限値であれば低減が必要となるようだ。
→たわみについてはどうか？
→測定はしているので、今後整理するようにする。
- ・ 加力面の大きさには差があるのか？幅の大きい加力面だと、等分布でなく、幅の両面の 2 点で押す形になっているのでは？計算上、そのように考えると多少 MOR が変わってくる可能性がある。
→欠損部分を加力している差し鴨居は 360 mm幅、欠損無部分の鉄板は 150 mm程度となっている。計算上で確認を行う。その結果、あまり影響が無いようなら、ひずみゲージを張るなどの対応は必要ない。
- ・ 製材の実験と同様、節などの欠点の影響もあると思われる。引張側のラミナの写真を撮影して記録を取っておく。
- ・ MOR と節の位置・有無は、過去の実験などから、それほど相関は高くない可能性がある。節などの欠点は破壊の起点になるが、節がそこにあるからといって必ずしも MOR が低くなるわけではない。統計的に処理できるほどの量を対象にすれば影響があるのは確かだが。

4. 解析モデルについて議論(資料 05)

- ・ WG メンバーの松本より解析モデル作成の進捗状況について説明を行った。
- ・ 剛床仮定となっているというのは、差し鴨居位置での節点の変位が同じ(左右の水平変位が同じ)となるようにという意味か？もしそうであれば、雇ほぞ引張ばねを ∞ としたのと同じということか？そうであれば、そのために回転剛性が非常に大きくなっていると考えられる。

<p>→その通り。確認して剛床仮定を修正する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 接合部のせん断力の伝達はモデル化されていない。どこがピンになっているのか？ →ばねの上下方向の変位を拘束することで伝達している。現在は部材芯がピンでつながっている。 →せん断と引張ともに部材芯でピンにつなげると、回転中心が決まってしまう、マルチスプリングにしている意味がないのでは？引張はバネが入っている？ →どこどこがつながっているかも含め、そのあたりが理解できるモデル図として表現する必要がある。 →モデル上の整理をする。 ・ 資料 05 の p.9 で、柱のせん断力が差し鴨居の上下で異なっている。同じになるはずなので、チェックが必要。 	
<p>5. その他</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 第3回(最終)委員会 2021年2月4日木曜日 18:00～ atZOOM ・ 解析打ち合わせ 2020年11月6日金曜日 18:00～ atZOOM ・ 第7回 WG 2020年12月25日金曜日 18:00～ atZOOM 	

第3回 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討委員会

日時	2021年2月4日 木曜日 18:00~20:00				
場所	ZOOM				
参加者 (敬称略)	委員長	五十田博			
	委員	河合直人	鈴木祥之	齋藤幸雄	後藤正美
		大橋好光	腰原幹雄	藤田香織	槌本敬大
		山崎義弘			
	協力委員	荒木康弘	秋山信彦		
	行政	青木亮	佐々木雄河		
	事務局	平野陽子	山崎渉	佐々木留美	
オブザーバー	松本直之				
<p>配付資料</p> <p>資料 01: 前回(10/29)の議事録</p> <p>資料 02: 2020年度基準整備促進事業(S32:伝木) 事業報告書目次</p> <p>資料 03: 第2章 柱の折損にかかわる曲げ強度の検討について</p> <p>資料 04: 第3章 製材: 柱の曲げ試験</p> <p>資料 05: 第4章 断面欠損の有無による曲げ強度の相違の確認実験(集成材)</p> <p>資料 06: 第5章 解析のためのモデル構築とパラスタ検討について</p> <p>資料 07: 年間スケジュール</p> <p>1. 前回の議事録の確認(資料 01)</p> <p>2. 報告書目次案、報告書第2章について(資料 02、03)</p> <ul style="list-style-type: none"> 報告書目次案、今年度の検討方針と実験の進め方をまとめている第2章を事務局より報告。 <p>3. 第3章 柱の曲げ試験(製材)について(資料 04)</p> <ul style="list-style-type: none"> スギ(150角、180角)、ヒノキ(150角、180角)の3点曲げ、4点曲げでの曲げ強度を比較するための実験の結果について、河合主査より報告。平均値では4点曲げに比べて3点曲げで強度上昇が認められるが、下限値ではあまり変わらない、もしくは低下する可能性が見られた。また、含水率補正、寸法低減への影響についての検討結果を整理した。 各実験でのスパンはどのように設定しているか。 →3点曲げ、4点曲げどちらのスパンも断面せいの18倍としており、150角、180角でスパンが異なる。 <p>4. 第4章 断面欠損の有無による曲げ強度の相違の確認実験(集成材)について(資料 05)</p> <ul style="list-style-type: none"> 有効断面係数 Z_e に対して断面欠損の有無による耐力差に関する係数 β を求めるための実験結果について、河合主査より報告。実験結果から求めた β の下限値は1.0より小さいが、実験 					

結果から得られた各試験体の β をプロットした図 4.2.2-4(資料 05 p12)を見ると、概ね 1.0 以上となっていることから $\beta=1.0$ としてもよいのではないかと考えている。

- ・ 図 4.2.2-4 にある β が低い試験体は、断面欠損のない試験体に比べ、断面欠損のある試験体の方が、弾性係数が低かったのではないかと。
→資料 05 では各試験体の弾性係数を整理したデータは示していない。しかし、断面欠損有り、無しの実験において、同じ試験体で加力点を変えた実験であること、引張側の最外層ラミナはフィンガージョイントしていないもので製造していることから、弾性係数は同じとみてよいと考えている。ただし、 β が低いものについては、何が起きているのか可能な範囲で確認しておく。
- ・ 断面欠損部分の加力時に、加力装置の影響で差鴨居が傾くことはあったか。また、いずれの試験体も最小断面で破壊したのだろうか。
→ひずみ分布を見ると、ほぼ想定通りの位置で加力できており、差鴨居の傾きは生じていなかったと考える。試験体の破壊は、全ての試験体において最小断面で生じたわけではない。また、各試験体がどの断面で壊れたのか把握しているためその断面の有効断面係数を用いることもできたが、 β を算出するにあたっては、全て最小断面の有効断面係数を用いた。
- ・ 第 3 章、第 4 章をまとめるとどのような結果になりそうか。
→今回の結果から、設計用曲げ強度の下限值を用い、最小の実断面の有効断面係数($\beta=1.0$)を用いるのであれば、安全な設計になると判断してよいのではないかと考えている。また実際に建てる場合には、差鴨居接合部には節が入らないようにする、ヤングを管理する等の条件を設けることで、曲げ強度の割増しも可能であると思われる。

5. 第 5 章 解析のためのモデル構築とパラスタ検討について(資料 06)

- ・ 今年度実施した解析モデルの構築とパラスタ検討について WG メンバーの松本より報告。
- ・ 前回委員会時には、土壁の負勾配を再現できないということであったが、今回はその再現ができ、変形が大きくなる場合でも実験と合うようになってきたという認識でよいか。
→その通り。
- ・ 解析結果は、実験結果よりも初期剛性が低くなっているがなぜか。
→差鴨居接合部の三角形めりこみを全面圧縮の MS ばねによりモデル化しているためと考える。
- ・ 土壁のある L 試験体(垂れ壁部分のアスペクト比の最も大きいもの)において、S 試験体(アスペクト比が小)、M 試験体(アスペクト比が中)に比べ実験結果と解析結果が合わないのはなぜか。
→土壁の圧縮ストラットが柱にのみ伝わるような解析モデルとなっている。アスペクト比が大きくなると、柱だけでなく梁-差鴨居で負担する圧縮ストラットも発生するが、解析モデルではそれを加味しておらず、その影響があるものと考えられる。現在進めているパラスタでは、アスペクト比は最大でも L 試験体の半分程度なので、このモデルでも問題ないと判断している。
- ・ モーメント図において、モーメントが反転する点の柱のせん断が厳しくなるのではないかと。
→せん断力での検定はしていない。今後確認しておく。

5. その他

- ・ 最終報告書は、国交省への提出が3月15日(先方着)となる。その後修正等を行い、最終版の報告書は4月上旬頃にデータを送付する予定。
- ・ 本事業のドライブに報告書フォルダを作成し、データを保存しておく。報告書作成途中の段階で指摘事項等がある場合は、事務局へ連絡する。

6.2 ワーキンググループ、解析打合議事録

本事業で実施したワーキンググループ、解析打合せは以下の通りである。

	日 時	場 所
第1回 WG	令和2年5月18日(月) 10:00~12:00	Zoomによるオンラインミーティング
第1回 WG-2 ヒアリング	令和2年5月26日(火) 13:00~15:00	同上
第2回 WG	令和2年5月29日(金) 10:00~12:00	同上
第2回 WG-2 ヒアリング	令和2年6月8日(木) 13:00~14:00	Teamsによるオンラインミーティング
第3回 WG	令和2年6月30日(火) 17:00~19:00	Zoomによるオンラインミーティング
第4回 WG	令和2年7月29日(水) 18:00~20:00	同上
第5回 WG	令和2年9月2日(水) 17:00~19:00	同上
第6回 WG	令和2年10月21日(水) 18:00~20:00	同上
第7回 WG	令和2年12月25日(金) 18:00~20:00	同上
第8回 WG	令和3年1月28日(木) 18:00~20:00	同上

	日 時	場 所
解析打合せ1	令和2年9月25日(金) 19:00~20:00	Zoomによるオンラインミーティング
解析打合せ2	令和2年10月15日(木) 13:30~15:00	同上
解析打合せ3	令和2年11月6日(金) 18:00~19:00	同上
解析打合せ4	令和2年12月3日(木) 11:30~12:30	同上
解析打合せ5	令和2年12月17日(木) 17:30~18:30	同上
解析打合せ6	令和3年1月14日(木) 11:30~12:30	同上

次ページから、ワーキンググループ、解析打合せの議事録を掲載する。

第1-1回 S32 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討WG

日時	2020年5月18日 月曜日 10:00~12:00		
場所	ZOOM		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之
	オブザーバー	北守顕久	李哲瑞
	協力委員	荒木康宏	秋山信彦
	行政	青木亮	佐々木雄河
	事務局	平野陽子	山崎渉

配付資料

資料01:関係者名簿

資料02:S32 補助事業の概要(交付申請書抜粋)

資料03:R01 成果報告パワポ

資料04:R01 報告書 まとめと今後の課題

資料05:Past studies around column bending

資料06:Test Report of Columns Bending

参考資料01:引張側に切欠きを持つ木材梁の曲げ性状に及ぼす切欠き形状の影響:(中間報告)
日本 建築学会 学術講演梗概集:1995.8

参考資料02:引張側に切欠きを持つ木材梁の曲げ性状に及ぼす切欠き形状の影響:第2報 有限要素法解析の結果 日本 建築学会 学術講演梗概集:1995.8

参考資料03:木質構造における断面欠損を有する部材の曲げ性能に関する研究 日本建築学会論文
文集:74(635):97-103.2009.1

参考資料04:伝統的木造住宅の垂れ壁付き構面振動台実験:その7 柱曲げ試験と接合部回転
抵抗試験結果 日本 建築学会大会 学術講演梗概集:2010.9

参考資料05:伝統構法木造建物における柱梁接合部の復元力特性評価に関する実験的研究.
日本建築学会技術報告集 21(48):579-584,2015.6

参考資料06:大垂壁を有する伝統木造軸組架構の静的加力実験(その4) 垂壁付き独立柱の曲
げ耐力. 日本 建築学会大会 学術講演梗概集:2015.9

1. 今年度の実施内容の確認(資料01~04)

2. 柱の断面欠損の実験について

【既往の研究について(資料05)】

- 資料05に挙げた実験(参考資料01~06)は、フレーム等の実験の際に、材料確認実験として実施したものがほとんど。参考資料03の荘所先生の論文だけがパラスタ的に実施している。
- 参考資料03の研究について、実験時の材料コントロールの程度など、確認したいこともあるので、近々に荘所先生を招いてディスカッションをしたい。→5/26 13:00~に決定

【昨年度実施した実験結果をベースとした議論(資料 06)】

- 資料 06 は、昨年度のフレームのみ実験や、H 型差し鴨居試験体の実験のあとの柱で曲げ試験を実施した結果を示す。(昨年 の 報 告 書 に は、結 果 の 強 度 等 の み が 掲 載 さ れ て い る。)
- フレームのみの実験の柱では、柱の寸法が 150 角と 180 角とがあり、180 角の MOR が極端に小さくなっているが、これは何の影響か？
 - 同じスパンで実施しているので、せいに対する曲げせん断スパン比が変わった影響があると思われる。また、150 角(両端の柱)と 180 角(中央柱)では断面欠損の形状が異なり、後者の欠損が大きい、MOR の計算では、同じ欠損寸法として計算しているので(入り口部分の浅広部分については考慮していない)、その影響もある。
 - 計算については、実態を反映した断面係数を表に明記し、計算し直す必要があるか。
 - この実験の断面欠損の位置・方向は曲げへの影響は小さいが、ゼロでは無い。
- 今年度実施する試験方法は、これと同じで良いか？差し鴨居があった方がいいか？
 - 差し鴨居+込み栓までであると、込み栓により柱が割裂する影響も同時に評価が可能となる。ただし、汎用性という面では、結果を評価しづらくなる。
 - 曲げ破壊が卓越する(込み栓による割裂破壊を生じない)条件を整理する必要がある。**別紙の五十田メモ**を参照。
 - 垂れ壁がある場合はこの試験方法で再現できているが、差し鴨居だけの場合は異なるのかも。
 - フレームや実大の実験での破壊では、柱の曲げだけでなく柱の割裂の破壊が生じることもある。ただし、その際の条件は不明(差し鴨居のみの時?)なので、既往の返球の整理が必要。
 - 接合部の破壊などが生じるのは、変形がかなり進んでからのことなので、本事業で検討している壁倍率を示すという範囲では、それほど問題にはならないかもしれないが、柱の割裂は注意が必要。
- 資料 06 の MOR は、150 角だと欠損分を考慮した 150×120 で算出している。それにもかかわらず、かなり大きな値になっており、基準強度を分母とした比較では、欠損の影響を正確に示せない結果となる(資料 02 の指摘事項③)。材が欠点のない品質の高いものであることが影響している。
 - 適切な分母のデータが無い。今後実施する実験では、分母のデータも同時に取る必要がある。方法の一つは無欠点小試験体で引張データを取るか？
 - 実験で楽なのは曲げ。欠損材の曲げは、欠損部分で 100%破壊するので、500 mmほど離れれば、健全部の曲げデータが取れるのでは。

【今年度の実験について】

- 分母となるデータを取るために、実大の試験体を長くして、欠損部と健全部を確保し、加力点を移動させて実験を行う。
 - 荷重低下を生じた直後、破壊が生じた瞬間に加力を止めて、破壊部分からの割裂が広が

らないように工夫する必要がある。

→ これに加えて、無欠点小試験体での実験(曲げ?引張?)も可能であれば実施。

- ・ 曲げせん断スパン比は同じにする。
- ・ 試験体の考え方、パラメーターについて議論→ **別紙の五十田メモ**を参照。
- ・ 試験体数・試験回数がかかなり多くなるので、解析で追えそうな部分は省略するなど、検討が必要。
- ・ 柱の寸法をどう決めるか?曲げ実験では大断面の柱だと曲げ破壊しないが、構面実験や建物では、柱が太いほど曲げ破壊しやすい。
 - 荘所先生の既往の研究(参考資料 03)があるので、そこで実施しているものについては、重複してやらなくてもいいのではないか?
 - 参考資料 03 では、断面欠損の影響で強度を 0.6 掛けとしているが、データを見るとかなり厳しめの評価と思われる。ここまで考えなくても良い条件(欠損の形状)もあるのではないか。そこを既往の研究内で確認できれば、新たに実験する必要は無い。
 - 荘所先生へのヒアリングで確認したい。

4. その他

- ・ 荘所先生へのヒアリング 5/26 火曜日 13~15 時
- ・ 第 2 回 WG 5/29 ZOOM
- ・

1. はじめに

本年度は、差し鴨居、垂れ壁付き柱の曲げ耐力を確定させるべく、クライテリアのひとつである柱の曲げに着目したが、破壊モードはそれだけではない。どのような破壊モードがあるか、整理し、優先順位をつけたうえで、本年度曲げの実験に取り組む。

2. 破壊モード

ほぞのせん断

Putt の式ほか

ほぞの曲げ 正味断面

柱の曲げ (二方向差しも含む?)

$M_b = 0.6Z_e \times F_b$ 荘所

実験結果は安全側。基準強度を用いているからとコメント 実強度として評価

F_b は寸法調整係数を考慮

0.6 を形状ごとに定義できるか → 荘所先生確認

柱の割裂

今回は垂れ壁がついているので、起こらないという条件を示す。

変形角

3. 試験体の決定

長めの材料にして曲げせん断スパンを同じにして曲げ実施。

欠損部と健全部の実験 比較によって低減係数を定義

確認のため無欠点小試験体もできたら実施

欠損部は、加力平行方向に断面欠損 and 直交方向

1方 上下で形状が異なる：はりせい1、形状2 ケース 加力向き (全ケース) →4

2方 上下で形状が同じ：1 差し鴨居あり/なし →1 柱断面1

3方 :はりせい1、形状2 差し鴨居あり、直交あり/なし 加力向き→5

4方 :はりせい1、形状1 →1 180角のみ

加力は差し鴨居を付ける 付けない を1パターンくらいはやって 影響確認
直交の梁もつける 付けない を1パターンくらいはやってみて 影響確認
上下で形状が異なる場合には上下での影響確認
背割りをどうするか？

柱の断面は

150、180、210？ 210は相当上等？

第1-2回 S32 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討WG

日時	2020年5月26日 火曜日 13:00~14:00		
場所	ZOOM		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之
	オブザーバー	北守顕久	李哲瑞 荘所直哉
	協力委員	荒木康宏	秋山信彦
	行政	青木亮	佐々木雄河
	事務局	平野陽子	山崎渉

荘所先生を招いて、以下の論文についてのヒアリング・ディスカッションを実施した。

WG01 参考資料 03

木質構造における断面欠損を有する部材の曲げ性能に関する研究
 日本建築学会論文集 : 74(635): 97-103. 2009.1

【事前質問に対する確認他】

- ・ 下限値として、低減係数 0.6 が提案されているが、形状を限定したらもう少し個別に低減係数が設定できないか？
 →形状を限定した個別の低減係数の設定は可能と考えている。具体的な個別設定はこれから検討が必要か(断面欠損の程度で区分する?)。低減係数算出のため、ばらつきを考慮できる試験体数の確保ができれば、なおよい。ただし柱の折損は構造体維持(層崩壊などを防ぐ)に大変重要な因子であることから、慎重な検討が求められる。
- ・ 本論文では、荷重を適切に伝達するために、2章の単純欠損の実験では加力方向に対して直交方向の試験体には埋め木を、第3章の4方差しを想定した欠損形状の実験では加力方向に差し鴨居をさして実験をしている。欠損部分全てに差し鴨居がある場合と無い場合では結果は異なるだろうか？
 →計画の段階で差し鴨居の充填により構造耐力上に影響がでるかどうかが不明であったため、原則無いもので実験を実施した。結果が変わる可能性については、充填した試験を実施していないため、判断ができない。
- ・ 本論文の試験体を集成材としたのは材料管理の観点からか？実は集成材の基準強度は結構いい線(さほど安全率がない?)という話もあり、強度が上がった原因として局所的に曲げを受けていることはないか？本論文では3点曲げで実施しているが、4点曲げで実施すれば強度が下ると考えられる。これは、木材は欠点から先行破壊するので、4点曲げの場合はモーメント一定区間が存在するため、その部分に欠点が含まれる可能性の高くなり、強度が下がる。逆に3点曲げの場合は、欠点と最大モーメントとなる位置が一致する確率が低いため、強度が高くなる傾向がある。
 →集成材としたのは、ご指摘の通り、試験材料のばらつきを抑えるため、その他の試験との整合性の理由から選定した。

- ・ 本論文の実験はどこで実施したか？
→2章の実験は明石高専で、3章の実験は熊本県立大学で実施した。今後実験を行う場合は、明石高専の支持スパンは2mなので少し無理があるが、建材試験センターの西日本試験試験場(山口県山陽小野田市)で実施することは可能。

【2章の単純欠損の実験について】

- ・ 用いた集成材の強度は、基準強度に対して、どれぐらいの値だったかは確認できるか？
→論文中には示していないが、基準強度と比較して高い値となっている。
→とするならば、基準強度を分母として考えると、欠損している影響が0.6ではなくて、0.8ぐらいでもいいという評価になるかもしれない。
→論文上では用いた集成材の強度は平均値でしか示していないが、それを確認の上、再整理を行うか。
- ・ 加力方向(縦方向)の欠損がある試験体でも、大きな低減が必要になっているが、どう評価しているのか。
→図3~5を見ると断面欠損の影響が大きいように見えるが、この図では荷重を示しており、応力で示すと評価は異なる可能性が高い。
→応力で評価をし直してみる必要があるか。
- ・ 図10のプロットを、断面欠損の大きさ、加力方向、柱の断面寸法等で分けて傾向を確認することは可能か。
→元データを確認すれば可能。試験体仕様毎に分けたグラフを作成してみる。

【4章の実際の欠損を再現した実験について】

- ・ 図14、表7にある断面欠損の寸法については、どのように設定したのか？
→当時の大工などにヒアリングを実施して決めた。2章の実験については、3章の実験のあとに計画したもので、実際には断面に対して1/4~1/5程度の欠損が多いが、影響を顕著に示すために厳しめの値(1/4)を採用した。
- ・ 複雑な形状の断面欠損の場合、どのように Z_e を計算しているのか？
→図心を真ん中に置くこととして算出している。断面欠損は全体のうちの一部分なので、中立軸が変な位置になってしまうようなことは想定されないと考え、この仮定で計算をしても問題はないのではないか。
→A断面とB断面があるが、どちらの Z_e としているのか？
→柱脚に近いB断面で考えている。B断面側の方が大きなたわみ角を示すことと、破壊モードが柱脚側の方に多く発生するので、B断面の影響の方が大きいと考えられるため。
- ・ 図11の(C)にある回転バネのモデルについて、断面欠損の幅は考えずにモデル化しているのか？
→その通り。点で断面欠損があると考えてモデル化し、あとで断面欠損の長さについて補正している。

4. その他

- ・ 荘所先生に本 WG の委員として参加いただく。→事務局より委嘱状などの依頼を行う。
- ・ 第 2 回 WG 5/29 ZOOM

第2-1回 S32 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討WG

日時	2020年5月29日 金曜日 10:00~12:00		
場所	ZOOM		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 荘所直哉
	オブザーバー	北守顕久	李哲瑞
	協力委員	荒木康宏	秋山信彦
	行政	青木亮	佐々木雄河
	事務局	平野陽子	山崎渉

配付資料

資料01:WG01(5/18)議事録+別紙五十田メモ

資料02:WG01-2(5/26)ヒアリング議事録

資料03:WG01 参考資料03 の4章の断面欠損形状整理図

資料04:実験計画(五十田メモ)

資料05:WG01 参考資料03 の詳細分析(荘所)

1. 前回の議事録(資料01)の確認

2. 今年度の実験計画についての議論【資料03~05】

- 資料05の資料p.9の断面係数について、A断面とB断面の断面係数が逆になっている。それに伴い、p.10の図8および図9のそれぞれの左右のグラフが逆になっている。
- 現在の計画としては、 α を決める実験①→実験②の試験体数は断面2種類×各10体=20体→半割、試験数は①と②で40。 β を決める実験③→実験②の試験体数は断面2種類×切欠き3種類×各10体=60体、試験数は③と②で120。
- α は1以上となる前提か?(実験①→実験②)
 - 基準強度Fは150角で実験されたもので、今回の実験では断面が大きくなるので低減すべき(寸法調整係数を考慮)と考えるなら分からないが、しないとするなら1以上となる場合もある。また、今回は柱を対象としているので寸法効果による低減は必要無いか、低減の程度が小さくなるか。
 - 曲げ強度F'はばらつきを含んだ値となるので、基準強度Fとうまく比較できるか?
 - 実験①の下限値と実験②の下限値と比較して、実験方法による違いを確認することになる。これが変わらないということになれば、基準強度Fを使っていいいので。
 - ばらつきは実験②の方が大きくなると予想されるので、下限値だと α は1以下となる可能性もある。
 - ただし、今回の実験の場合、実験②の加力点付近に欠点をもってくるようなことはしないので(伝木の大工がやることを再現)、ばらつきは通常の試験より小さくなる可能性が高い。

- ・ 材料はどのようなものを使用するか？
 - 伝木に使う材であれば、通常より欠点が少ない良質なものを前提とする必要があるか。
 - 断面が 210 角になると JAS 材は無いので 180 角が最大か。
 - 実験①→実験②では良質な製材とする必要があるが、実験③→実験②は断面欠損の影響が大きいので、あまりこだわる必要はなく、場合によっては集成材でも良いか。
- ・ 実験①→②について、あらためて実施する必要があるのか、既往の研究などでわかっている部分があるのかを確認したいので、製材・集成材の専門家に相談したい→まずは森林総研の井道さんに相談してみる。
- ・ 実験③での切欠き形状は要検討
 - 全面切欠きではなく、襟があるようなものの方がいいかも。
 - そういった細部を再現したものをパラスタ的に実験をするとすると試験体数がとんでもないことになるので、典型的なものを決めて実施するか。
 - FEM でシミュレーションをする際に、全面切欠きだとノッチ部分に応力集中して低減を大きくする必要があるが、襟があると異なるということも想定される。
 - 襟が付いている仕様だと差し鴨居を付けて実験をするとなるが、無い場合はどう治めるか。挙動は複雑になるが、差し鴨居は付けて実験をする方がいいか。
 - FEM で再現することも考えて、原理的な実験に加え、1 種類でいど襟付きの実際の納まりに近い仕様も行う。
- ・ 実験③については、資料 05 の結果を見て、 β の低減を掛けなければいけない・数字を決めなければいけない条件が整理できそうなので、それを確認する実験としてもいいか。(例えば断面が小さめ、加力方向の横方向の欠損など。)
 - FEM でのシミュレーションのための実験と、典型的な差し鴨居接合部を想定した低減をかけなくてもいい条件を確認する実験でもいいか(切欠きの仕様は、基本形 2 種類+襟付き 1 種類)。
- ・ 分母を何でとるかを確認するために、実験②は実施する。結果、基準強度で良いということになる可能性もある。資料 05 を見ると、集成材で実施するとそれほど余裕が無いので基準強度でいいということになりそう。
- ・ 実験③の材料は何で実施するか？
 - 製材とするのが望ましいのと思われるが、樹種はどうするか？資料 05 ではスギとヒノキでは結果が異なっていたが、集成材だから生じたのか、製材では考慮する必要は無いのかは井道さんに相談してみる。
 - 差し鴨居をどうするかも要検討。(使い回しをするかどうか、固定方法をどうするか等)

4. その他

- ・ 森林総研 井道さんへのヒアリング日程調整 (Microsoft Teams)
 - 五十田 6/8 月 or 6/11 木 で設定
- ・ 委員会 01 の日程調整 (ZOOM) 6/2 ㄨ 切り → 7/8 16:00-18:00 に決定

実験①



基準強度F 3等分点4点曲げ試験
 断面による低減係数は製材は非考慮・集成材は考慮

実験②



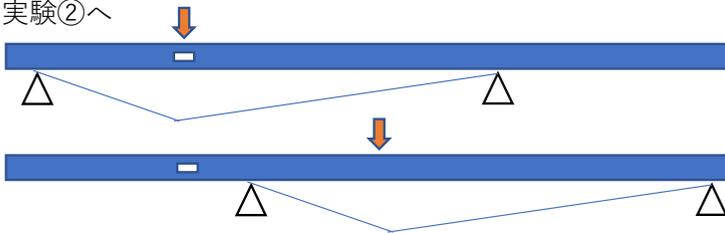
曲げ強度F' ≧ 基準強度F

実験③



断面欠損Ze' ≧ 有効断面係数Ze

実験③→実験②へ



求めたい曲げ耐力 $F' \times Ze'$

$$F' = \alpha \times F$$

$$Ze' = \beta \times Ze$$

α に影響する主な因子

断面形状、スパン
 →既往の研究がないか
 引っ張り強度 = 曲げ強度 × 低減 (一様応力)
 似たような考え方ができないか。
 やみくもにやると②のほうがばらつきが大きいので
 基準強度が小さくなる。節が加力点に来ないように
 つくるとばらつきと平均が小さい? →材料専門の方

β に影響する主な因子

切り欠きの位置、大きさ
 →既往の研究を再整理→低減しなければいけないものと、しなくていいもの考える。

今年度の実施内容

- ①と②の実験 断面2種類くらい 10体ずつ
- ③と②の実験 典型的な差し鴨居形状について (切り欠き2種類 襟付きを1種類) (2種類は 低減が大きくなるもの低減しなくていいもの) (+FEM+統計処理で追跡できるモデルを作る)

基準強度で評価だと切り欠きの低減はほとんどいらぬ。
 ヒノキとスギで違っている → 材料専門の方

統計処理：無欠点小試験
 体→欠点の考慮

素朴な疑問：断面の中央
 で分割して曲げ実験 (同一
 個体) したらどれほど
 ばらつくの？

材料の専門の人に確認
 (既往の研究も含め)

スパン2.7m 柱断面150、
 210 (180?) mm
 (900/180=5d OK)
 切り欠き 縦、横、縦+
 横 1/3を切り欠く

4mものを用意しておいて、
 ②と③は同一材料で実施

①~③について引っ張り、
 曲げの要素実験を実施
 そのほかヤング係数を管
 理し、同一材を選別
 節位置を記録

第2-2回 S32 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討WG

日時	2020年6月8日 月曜日 13:00~14:00				
場所	Teams				
参加者 (敬称略)	主査	河合直人			
	委員	五十田博	松本直之	荘所直哉	
	オブザーバー	北守顕久	李哲瑞		
	協力委員	荒木康宏	秋山信彦		
	行政	青木亮	佐々木雄河		
	事務局	平野陽子	山崎渉	ゲスト	井道裕史

配付資料

資料01:柱実験計画メモ お聞きしたい内容 別紙:五十田メモ

提供論文

論文01:スギ製材の曲げ強度に関する寸法効果

論文02:製材品の曲げ強度における寸法効果パラメータの検討

2. 今年度の実験計画に対するご意見(資料01)

- ・ (質問1) 3等分点曲げ試験(実験①)と集中荷重試験(実験②)については、欠点の無い理想的な試験体なら、ほとんど差は無いと考えられる。欠点が最大モーメント部分にある場合は、そこで破壊するので、最大モーメント一定区間がある実験①の方が強度は低く出がち。ただし、ばらつきは②が大きくなる可能性が高い。したがって、下限値で見ると②が低くなる可能性がある。
- ・ (質問2) 樹種による欠点の出方によって、実験①、②の関係は変わってくる可能性がある。スギは小さい節が数多く散らばっているが、ヒノキ、マツだと大きな節が少なめに分布している。
- ・ (質問3) ヤングがわかれば、ヤングと強度の相関から予想は可能だが、求める精度による。実験①と実験③の違いを表現することは難しい。これを行うためには、各実験を行い、それぞれでヤングと強度の相関を確認する必要がある。
- ・ (質問4・質問5) 質問3のための実験としては、計画通り、極力節の無い正角材を半分にして実験①と実験②を行うのがいいのでは。もしくは、ヤングの差がほとんどない2試験体を選んで実施するか。ただし、E70の材でそろえたとしても、強度の変動係数は17%ぐらいになってしまう。
→この際に、何体ぐらい実施する必要があるか？
→必要な試験体数は、変動係数の2乗×0.1537が必要。変動係数が15%とすると35体、最

低でも 30 体行えば、実験①と実験②の差が確認できる可能性がある。

- ・ 正角材から 2 体切りだした試験体に加力する際は、荷重方向(上下)などは揃えておく必要があるか？節の位置を避けるためには、変える場合もあるので。
→芯持ち材であれば、上下を入れ変えても OK。節の影響の方が大きいので、そのように工夫する方が良い。
- ・ 今回の実験の目的に対しては、試験体寸法はどうすべきか？見た目は上小節であっても、節が中に埋もれていればそれが影響してしまうか？
→きちんと枝打ちされた材で、節が埋もれている場合は、それほど影響は無いと思う。また、ある程度断面の大きな材の方が、節が表面に出てくる可能性は低いと思われる。
- ・ 幅・せいの比率はどの程度とすべきか？
→試験体を正角としたいなら、平角を 2 つに割る方法がいいのでは。試験体の形状が正角でなくてもいいなら、正角を半分にする(1:2まで)ならいいのでは。
→転びそうなら、転び止めを付けることでも可。
- ・ (質問6)せん断は、ブロックせん断試験の結果の 1/2 を梁材の基準強度としているが、今回の柱のせん断については、ブロックせん断試験の結果をそのまま使ってもいいのでは。そうすると、スギなら 2N/mm^2 ではなく、 6N/mm^2 程度は出る。1/2 としているのは、梁材なので、上下にせん断で壊れたあとも大丈夫なように考えてのこと。
- ・ 断面の低減係数は、どれぐらいになると必要か？
→せいが 180 と 240 の材で、実験結果の下限値を比較すると、2 割ぐらい低減する必要がある。(論文 01 fig.4 参照)この実験はスパンせい×18 の 3 等分点曲げ試験の結果。幅の影響はほとんど無い。スパンの影響はかなり受けるので、注意は必要。
- ・ スギ・ヒノキの製材と集成材で、150 角・180 角、長さ 3m・4m の材の調達費用(加工費は別途)を確認した上で(事務局担当)、次回の WG で実験計画を実施。

4. その他

- ・ WG03 6/30 17:00-19:00 atZOOM
- ・ 委員会 01 7/8 16:00-18:00 atZOOM

お聞きしたい内容

1. 3等分点4点曲げ試験と集中荷重試験では強度が異なるのか
2. この強度は樹種による影響が大きいことが考えられるか
3. この強度を断面の違いやスパンの違いを考慮したうえで、ある程度の精度で、計算により予想することが可能か
4. 実験でその計算手法の妥当性を確認しようとした場合、どんな実験が考えられるか
5. 1で実験をする場合、何を対象にどれくらいやると第一次のデータ（違いのあるなしが分かる程度）がそろえられるか
6. せん断強度も設計上クリティカルな要素になりそう（基準強度だと。実験結果だと問題ない可能性もある）。今回のような実大材の部分的なせん断強度は、どの試験で出てきた値が正しそうか

第3回 S32 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討WG

日時	2020年6月30日 火曜日 17:00~19:00		
場所	ZOOM		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 荘所直哉
	オブザーバー	北守顕久	李哲瑞
	協力委員	荒木康弘	秋山信彦
	行政	青木亮	佐々木雄河
	事務局	平野陽子	山崎渉

配付資料

資料 01-1:WG02-1(5/29)議事録

資料 01-2:WG2-2ヒアリング(6/8)議事録

資料 02:柱の曲げ実験案

資料 03:実験内容

資料 04:実験③→②曲げ試験図

資料 05:見積結果

資料 06:既往論文における追加分析(荘所先生)

1. 前回の議事録(資料 01、02)の確認

2. 実験①、②について【資料 03、05】

- ・ 現在示されている見積条件については、以下を選択することとした。
 材の品質:スギ 目視等級区分 特一等~上小節込み
 ヒノキ 目視等級区分 小節~上小節
 乾燥仕上がりから半割して四面モルダー加工
 乾燥仕上がり段階でグレーディングの数字を出す
- ・ 実験①、②の試験体については、長期間保管をすると反りなどが生じる恐れがあるため、実験直前に納品されるよう調整する。

3. 実験③→②について【資料 03、05】

- ・ 集成材の曲げ性能は最外層のラミナに依存するため、2か所の加力点を中心になるべく広い範囲で同一のラミナとする必要がある。発注予定の銘建工業にそのような製造が可能かどうか問い合わせる(事務局担当)。(加力は積層方向に行うことを基本とする。)
- ・ 同一ラミナの範囲に2か所の加力点を含ませるために、加力点を線対称位置としている現状から、スパンの2/3分平行移動した位置に変更。
- ・ 余長が300mmあるが、150mmで十分なので変更する。
- ・ 断面欠損の加工については、次回のWGで決定する。参考とするために、既往の研究での差

し鴨居の寸法などを収集しておく(事務局担当)。

- ・ 断面欠損部分を埋めるか埋めないかは未定。工学的判断としては、どちらでも変わらないと思われる。埋めても繊維直交方向の材で埋めることになるため、ヤングでは数十分の一程度の影響しかない。
しかし、埋めない実験では、実際の状況を再現できてないという指摘もあり得るため、委員会にて決定を行う。
- ・ 実験③を先に実施する場合には、実験②での加力点の下に支点がくるため、めり込みが発生しないようにあて木などをして保護する。

4. 既往論文における追加分析

- ・ WG02-2 井道さんへのヒアリングの際に、設計上は柱のせん断がクリティカルにきいてくるため、せん断応力度について実際の性能に近い数値を採用しても問題ないのではないかとの議論があった。そこで、既往の研究結果での追加分析を行った。
- ・ 実験においては、最大せん断応力度はヒノキ集成材で 5N/mm^2 、スギ集成材で 4N/mm^2 に近い値となったが、破壊形状は完全に曲げ破壊でせん断の影響はなかった。ただし、設計で、かつ、製材の場合については、引き続き検討が必要。

4. その他

- ・ 実験は京大生存権研究所で実施する。→搬入経路などが確保できるか最終確認→OK
- ・ 次回の委員会、WG の日程は以下の通り。
委員会 01: 7月8日水曜日 16時~18時 at ZOOM
WG04: 7月29日水曜日 18時~ at ZOOM
実験③の断面欠損形状の決定。構面パラスタのためのモデルの検討。
- ・ 委員会で示す資料は、以下の通りとする。
WG01での配布資料の1~4
本日の配布資料の2~5をブラッシュアップしてまとめたもの
WG(補足のヒアリング含める)の議事録を全て
全体スケジュール

第4回 S32 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討WG

日時	2020年7月29日 水曜日 18:00~19:00		
場所	ZOOM		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 荘所直哉
	オブザーバー	北守顕久	李哲瑞
	協力委員	荒木康弘	秋山信彦
	行政	青木亮	佐々木雄河
	事務局	平野陽子	山崎渉

配付資料

資料 01-1:WG03(6/30)議事録

資料 01-2:委員会 1(7/8)議事録

資料 02:柱の曲げ実験案

資料 03:断面欠損 過去の試験体の形状

資料 04:接合部・仕口データリスト

資料 05:接合部・仕口データシート

資料 06:年間スケジュール

1. 前回の議事録(資料 01)の確認

2. 実験①、②について【資料 02】

- ・ 製材曲げ試験は、
 1. 1 仕様 35 体の試験体中、正角の曲げ実験 2 種(4 点曲げ、3 点曲げ)を各 16 体(合計 32 体)実施
 2. 残り 3 体を半割にして 6 体とし、4 点曲げか 3 点曲げの実験を実施

1 については、ヤングのデータの順・欠点の状況が似ている順に並べて、交互に 4 点曲げと 3 点曲げ用に振り分ける。

2 の半割での実験については、もとは同じ材であったものが半割となった際にどの程度異なるのかを確認するためのものなので、同一の曲げ試験方法とする。試験体は、なるべく左右の欠点と同じになるもの(欠点の少ないもの)を選択する。
- ・ 吉野で行う事前計測の日程は 8 月 18・19 日の 2 日間とし、縦振動と横振動のヤング計測、含水率、寸法、質量の計測、および欠点・節の記録(写真撮影)を行う。
- ・ ヤングの計測時には、背割り面の方向を統一して行う。
- ・ 参加者は東京から松本、平野、山崎、京大から堀本、李の 5 名とする。(後日、北守が参加することとなった。)
- ・ 詳細なスケジュール等は事務局が作成し、参加者に連絡する。
- ・ 納期は、計測後 2 週間程度は必要。

3. 実験③→②について【資料 03～05】

- ・ 以下の既往のデータについて整理し、図を作成した。
 1. 昨年度、一昨年度に実施した試験体の差し鴨居による柱の断面欠損(150角1方向差し、180角2方向差し)
 2. 過去の事業で実施した実験の試験体のうち、柱と梁の断面が最も大きい接合部試験体の柱の断面欠損(120角、150角、1方向差し、2方向差し)
- ・ 今回の実験における断面欠損は、一昨年度に実施した試験体の差し鴨居による柱の断面欠損(上の1)とし、1方向差し、2方向差し、3方向または4方向差しの3種とする。
これまでの断面欠損の情報は、1方向差し、2方向差しまでしかないので、3方向差し、4方向差しについては宮内建築に問い合わせ、図を作成し検討する。(担当:事務局)
断面欠損のバリエーションについては、すべての仕様の図面がそろったらWGの委員に情報を送付し、確認の上決定する。
- ・ 今回の試験体はほぞもしくは竿の貫通穴の左右にとりつく掘り込みは15×15となるが、ここが15×30～45mmとなる場合もある。後者の例は、おお入れに近いおさまりとなるが、せん断を受けたい場合には、よく採用される形状である。この場合、掘り込みの深さは15mmと浅いが、曲げに与える影響は大きいため、この影響はいずれどこかで確認したい。(今回は、予算の関係で断念する。)
- ・ 加力には、ベイマツで製作した差し鴨居を用いる。加力用の差し鴨居は柱より300mm程度とする。実験時に破壊することも考えられるので、各形状で3体用意しておく。宮内建築に依頼。(担当:事務局)

4. その他

- ・ 各実験のスケジュールについては、試験体の最終納期、試験場(京都大学生存権研究所を予定)の予定を調整して最終決定する。
- ・ 次回の委員会、WGの日程は以下の通り。
 - 委員会 02: 10月29日木曜日 13:30～15:30 at ZOOM
 - WG05: 9月2日水曜日 17:00～ at ZOOM製材の事前計測結果と実験方法の最終確認。
実験③の断面欠損形状の決定。
構面パラスタのためのモデルの検討

第5回 S32 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討WG

日時	2020年9月2日 水曜日 17:00~19:00		
場所	ZOOM		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 荘所直哉
	オブザーバー	北守顕久	李哲瑞
	協力委員	荒木康弘	秋山信彦
	行政	青木亮	佐々木雄河
	事務局	平野陽子	山崎渉

配付資料

- 資料 01:WG04(7/29)議事録
- 資料 02-01:実験概要・試験体制材工程
- 資料 02-02:計測結果 グラフ・記録
- 資料 02-03:出荷予定
- 資料 02-04:吉野材元材料計測
- 資料 03-01:実験概要・試験体製作指示
- 資料 03-02:試験体加工図(銘建より)
- 資料 05:年間スケジュール

1. 前回の議事録(資料01)の確認

2. 実験①、②について【資料02シリーズ】

- ・ 現在の計画として、スギ・ヒノキ共に節が多く背割りのある面3を下側にして加力することとしている(ヒノキは節がほとんどない。)。その方針でよいか。
 →節の少ない面1を下側にして加力する場合は、実験①、実験②から求める α が1に近くなり、かつ基準強度よりも高い強度になると考えられる。最終的に基準強度を用いとなればいいが、節のない良い材を使用して実際の建物が作られることを考えると、安全側になりすぎではないだろうか、という話になる可能性がある。そうなると基準強度に対して割り増す係数を決める必要が生じる。節の管理についての基準や割増係数を決めるのは本事業では難しい。
 →上記より、本事業では節の状況を加味した結果を得ることができる面3を下側にして実験を進めることとする。実験①、②の材の割り振りについては、可能な範囲でヤングと節ランクを揃えたペアを作るようにする。また実験①ではモーメント一定区間の節(もしくは最大節径比)、実験②では加力点から一定の範囲を決めてその区間内の節(もしくは最大節径比)、これらの位置・大きさを記録しておく。
- ・ 実験②(3点曲げ)のスパン比を1:2としているがこの方針でよいか。
 →計画の通り6H:12Hで進める。ただし、加力時に加力面が水平でなくなり、うまく加力できな

い恐れが考えられる。まずは別材料(京大提供)によって予備実験を行い、加力方法や計測方法の確認を行う。

→予備実験の経過をメールにてWG内で共有。(担当:北守)

- ・ 樹種(スギ・ヒノキ)、断面寸法(150角・180角)ごとに3本ずつ半割にした試験体も用意している。これらの試験体の加力方法は3等分点4点曲げでよいか。
→その方針で進める。ただし、2本分(4体分)実施し、強度に差がなさそうであれば、4点曲げ・3点曲げの比較を実施してみる。
- ・ 実験①、②のスケジュールについては、詳細日程が決まり次第、WG内で共有。(担当:北守)

3. 実験③→②について【資料03シリーズ】

- ・ 現在発注が完了し、9月末に宮内建築へ納品され、角出し加工を行う予定。試験実施日程に応じて京大へ納品される予定。
→実験計画を作成し、納品スケジュールを決める(担当:北守)。実験日程は、WG内で共有する。解析の進捗にも影響することから、11月末までに実験データを整理できるように進める。

4. 解析について

- ・ 解析について、詳細モデルはソリッドで作成、簡易モデルは線材フレームで作成しパラスタを行う予定である。どういうパラメーターが必要となるか。
→垂れ壁厚さ、垂れ壁せい、柱の断面、差鴨居の断面をパラメーターとすることでよいのではないか。各条件において耐力がどの程度になるのかが整理されることとなる。
→今回の実験結果は、柱の曲げ破壊において断面欠損による低減を考える際に必要となる。おそらく垂れ壁が厚く、柱が細くなる場合に必要となる。一方、垂れ壁で壊れる場合は実験結果を使う必要はないと考えられる。
→まずは、有効断面係数を参考にした値を入れて解析を進めるようにする。
- ・ 今回のような柱の断面欠損は柱の強度だけではなく、剛性にも影響するのではないだろうか。ある論文で断面欠損部分を回転バネに置き換えているものを見た。
→確かに柱の曲げ剛性が変わる可能性はあるが、最終的に構面の耐力に影響があるかどうかは分からない。事前にパラスタにより確認する。

5. その他

- ・ 次回の委員会、WG、解析打合せの日程は以下の通り。
委員会02: 10月29日木曜日 13:30~15:30 at ZOOM
WG06: 10月21日水曜日 18:00~ at ZOOM
解析打合せ: 9月25日金曜日 19:00~ at ZOOM

第6回 S32 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討WG

日時	2020年10月21日 水曜日 18:00~20:00		
場所	ZOOM		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 荘所直哉
	オブザーバー	北守顕久	李哲瑞
	協力委員	荒木康弘	秋山信彦
	行政	青木亮	佐々木雄河
	事務局	平野陽子	山崎渉

配付資料

資料 01:WG05(9/2)議事録

資料 02:スギヒノキ製材 曲げ試験 速報

資料 03:201021 解析進捗

資料 04:年間スケジュール

参考資料:スギヒノキ試験の動画

1. 前回の議事録(資料 01)の確認

2. 実験①、②について【資料 02】

- ・ スギ、ヒノキの150角について、4点曲げ、3点曲げの試験が終了した。結果を見ると、スギヒノキともに3点曲げと4点曲げのMORは、平均値では想定通り3点曲げの方が高い値となったものの、下限値ではほぼ同じとなった。そこで、実験から得られたヤング係数の閾値を設け、その値を下回った試験体を除外しMORを再計算したところ、3点曲げの方がMORの下限値が高くなることが確認できた。
- ・ 閾値を設けて選別した場合、3点曲げと4点曲げの差が明確になるのはなぜか。
→今回の実験では、購入した材(母集団)から3点曲げ、4点曲げの試験体(2つの標本)を分ける際に、事前計測したヤング係数と節ランクにより、材料特性のばらつきが同じになるような配慮をしている。ただし、今回の結果を見ると、3点曲げの標本の方が材料特性のばらつきが大きかったと考えられる。そこで、ヤング係数による閾値を設けることで、2つの標本の材料特性のばらつきが同じになるような条件とすることができたため、3点曲げ、4点曲げの差が明確になったと思われる。なお、今回の材料はE60等の指定はしておらず、そもそも母集団の材料特性のばらつきが大きい上、ばらつきを吸収できるほど試験体数が多いわけではない。
→資料02に示した検討では、ヤング係数の下側の閾値のみ設けたが、上側の閾値を設けMORを再計算すると、3点曲げと4点曲げの差が、もっと大きくなる可能性が考えられる。
- ・ 実験での破壊状況では欠点が起点となっている場合は多いのか？
→4点曲げではほとんどが欠点が起点となって破壊しており、3点曲げでも加力点近傍の欠点が破壊の起点になっていた試験体が多かったように思っている。各試験体で破壊の起点がど

こだったかは動画より今後確認しておく。

- ・ 3点曲げと4点曲げの差が出る理由が、4点曲げの破壊は欠点の影響を受けやすいという前提だとした場合、今回の試験体ではスギよりもヒノキは欠点が少ないが、3点曲げと4点曲げの差はヒノキの方が大きい。なぜか。
→ヒノキの場合は表面に見えていない内部に欠点があったという可能性がある。ただし、試験体が大きく取り回しが難しいため、試験後の割れた様子を詳しく観察できていない。動画で確認してみる。

3. 実験③→②について【資料 02】

- ・ 資料の試験体図は、初期の計画時のもので、現状とは異なる。現状は画面共有で確認。
- ・ 10月20日に試験体の1回目の納品があり、1体実施したところ。今後随時進めていく。

4. 解析について【資料 03】

- ・ フレーム解析モデルについての進捗報告。構面全体のモデルでは、発散して結果が得られない状態のため、見直しているところ。
- ・ このモデルは3次元で作っているが2次元でもよいのでは。
→2次元でも問題なさそうなので、検討する。

5. 第2回委員会資料の準備について

- ・ 委員会資料は下記とする。10月28日(水)中にサーバーにアップ or 事務局へ送付。
(実験関係)
 - ・ 実験の全体像(実験①、②、③の関係性が分かる図)(担当:事務局)
 - ・ 本日資料の試験体結果(資料2+ α)(担当:北守)
→実験③、②の試験体図を現状のものに入れ替え、断面欠損の詳細図を追加する。
- (解析関係)
 - ・ これまでの解析打合せの資料をベースに、過去のモデルと現状検討中のモデルを示した資料として整理。課題を示しておく。(担当:松本)
- (他)
 - ・ 前回委員会議事録(担当:事務局)
 - ・ 年間スケジュール(担当:事務局)

6. その他

- ・ 次回の委員会、WG、解析打合せの日程は以下の通り。
委員会 02: 10月29日木曜日 13:30~15:30 at ZOOM
WG07:(候補日)12月22日火曜日 18:00~ at ZOOM
12月23日水曜日 18:00~ at ZOOM

12月25日金曜日 18:00～ at ZOOM(決定)

解析打合せ:(候補日)11月6日金曜日 18:00～ at ZOOM(決定)

~~11月18日水曜日 18:00～ at ZOOM~~

第7回 S32 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討WG

日時	2020年12月25日 金曜日 18:00~20:00		
場所	ZOOM		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 荘所直哉
	オブザーバー	北守顕久	李哲瑞
	協力委員	荒木康弘	秋山信彦
	行政	青木亮	佐々木雄河
	事務局	平野陽子	山崎渉

配付資料

資料01:WG06(10/21)議事録

資料02-1:スギヒノキ製材 曲げ試験 速報

資料02-2:節 記録・写真

資料03:20.12.25 Draft of Test report 断面欠損の有無による曲げ強度の相違の確認実験(集成材)

資料04:201225 解析資料_松本

資料05:2020年度基準整備促進事業(S32:伝木) 事業報告書目次

資料06:年間スケジュール

1. 前回の議事録(資料01)の確認

2. 実験①、②について【資料02シリーズ】

- 資料02-1では製材の試験結果を、資料02-2では試験体の節・破壊の写真と記録を整理した。結果としては、150角では、スギ・ヒノキ共に平均値は3点曲げの方が高いが、下限値は4点曲げ、3点曲げでほとんど変わらない。また、180角では、スギ・ヒノキともに平均値は3点曲げの方が高いが、下限値は3点曲げの方が低い値となった。
- 今回の結果について、第2回委員会指摘事項にあるようにMORは含水率補正を行っているのか？
→資料02-1は補正していないデータで整理したものである。
- 資料02-1のp8に3点曲げの試験体の欠点条件(節)について、「無作為」とした表現がある。節の管理を行った上で試験を実施していたとしたら、3点曲げの平均値・下限値が上がる可能性はあるか。例えば、現在のデータから節の影響が明らかに大きいものを省いたデータ整理は可能か。
→節の管理を行っていれば、3点曲げの平均値・下限値が上がる可能性はあったかもしれない。ただ、スギについては節起点の破壊が少なそうであることと、ヒノキについてはほとんど節のない材であったことから、例えばデータを再整理したとしても、結果としてはあまり変わらないと考えられる。

→そうであれば、「無作為」という表現は削除し、節の管理を行ったとしても3点曲げ、4点曲げで材の条件は変わらないと考えられることを明記しておく。

- ・ ヒノキのヤング計測(静的)について、ヒノキの3点曲げでの計測がうまくできていないということであるが、その理由は何か。そもそもスギもしくは4点曲げの値は正しく計測されているのだろうか。

→何をもって正しいとするかが難しいが、動的(打撃法)の場合は材全体の値を得られるが、静的の場合は、加力時の変形から値を得るため、加力点近傍の材の影響が大きくなるものと思われる。

→こちらについてもとりまとめにあたって表現を再度検討する。

3. 実験③→②の材料強度について【資料 03】

- ・ 資料 03 では、断面欠損の有無による曲げ強度の相違の確認実験(集成材)の結果を示している。実験結果(表 4.2.2-3(資料 03 p12))から、 β_1 (断面欠損ありの MOR の 5%下限値/断面欠損なしの MOR の 5%下限値)、 β_2 (断面欠損ありの MOR の 50%下限値/断面欠損なしの MOR の 50%下限値)という2つの低減係数が求めているが、どちらを適用するのがいいのか。
→図 4.2.2-2(資料 03 p10)は、断面欠損なしの MOR と断面欠損ありの MOR を並べて、それぞれの MOR の平均値の線を追加したグラフである。これを見ると、断面欠損の有無にかかわらず MOR の平均値はほぼ変わらないように見え、 β_1 、 β_2 による低減は不要と考えてもよいのではないだろうか。

→ただし、設計上は5%下限値を使用することを考慮し、断面欠損なしの MOR の5%下限値に Z/Z_e (断面欠損なしの断面二次モーメント/断面欠損ありの断面二次モーメント)をかけた値の線を図 4.2.2-2 に追記し、設計上危険になるものがどの程度あるのか確認しておく。

- ・ 2 方差しの β_1 、 β_2 の値が 3 方差し、4 方差しよりも低いのはどのような理由があるのか。
→よく分かっていない。

4. 解析について【資料 04】

- ・ 土壁の解析を進めるにあたって、土の圧縮強度データはあるか。
→昨年度の試験体の土は滋賀で調達したものであるが、一昨年度の試験体の土は徳島で調達している(業者が廃業してしまったため土の調達先を徳島から滋賀に変更した。)。昨年度の基整促事業では、材料の圧縮実験は実施していないが、徳島の土については、2014 年度の基整促事業では実施している。事務局よりその結果を送付する。
- ・ 資料 04p25 に示す、土壁の解析モデルにおいて、垂れ壁の寸法 D は芯々ではなく、内法(桁—差鴨居)とする。
- ・ 土壁の上下面のせん断剛性については、実験で得られたせん断成分から資料 04p24 の図 3.2.4-6 に黄線で示すばねを作っている。また、上下面のせん断剛性の計算式は、断面比例(土壁の長さ×厚さ)としている。解析モデルとして、この考え方でよいか。
→ばねについては、まずは実験で得られたものから作ってよいと思われる。ただし、土壁の上下面のせん断成分が間渡しのダボ効果だとすると、土壁の厚さは関係なく、長さに比例するだ

けかもしれない。今後パラスタする場合には、ばねを作るのに参照した実験の条件からあまり逸脱しないような適用範囲で整理する方針を進める。

5. その他

- ・ 次回の委員会、WG、解析打合せの日程は以下の通り。
 - 委員会 03: 2月4日木曜日 18:00～20:00 at ZOOM
 - WG08: 1月28日木曜日 18:00～ at ZOOM
 - 解析打合せ:1月14日木曜日 13:00～ at ZOOM

第8回 S32 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討WG

日時	2021年1月28日 木曜日 18:00~20:00		
場所	ZOOM		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 荘所直哉
	オブザーバー	北守顕久	李哲瑞
	協力委員	荒木康弘	秋山信彦
	行政	青木亮	佐々木雄河
	事務局	平野陽子	山崎渉

配付資料

資料 01:WG06(10/21)議事録

資料 02-1:スギヒノキ製材 曲げ試験 速報

資料 02-2:節 記録・写真

資料 03:20.12.25 Draft of Test report 断面欠損の有無による曲げ強度の相違の確認実験(集成材)

資料 04:201225 解析資料_松本

資料 05:2020 年度基準整備促進事業(S32:伝木) 事業報告書目次

資料 06:年間スケジュール

1. 前回の議事録(資料 01)の確認

2. 報告書第2章について【資料 02】

- ・ 資料 02 は今年度実施した実験の全体像を整理したものである。第3章、第4章で実施した実験の考え方、そこに至る参考文献の収集、ヒアリング結果を整理したものである。
- ・ 資料 02 で整理した断面欠損のある材の曲げ実験の加力方向は、図 2.2.2-9 の図の下方で追記しておく。
- ・ 第3章、第4章に関連し、3点曲げ、4点曲げに関する海外の論文を参考資料として追加する。

3. 報告書第3章(製材の曲げ試験)について【資料 03】

- ・ 寸法低減への影響について、ASTM D 1990-07 に(4点曲げ試験における)5%下限強度値に対する調整係数($k_3=k_1 k_2=(d/d_0)^a(L/L_0)^b$)として示されている式を用い、今回の実験にあてはめて検討を進めた。上記の式では $a=0.29$ 、 $b=0.14$ とされており、せいの影響を大きく見ているが、長さの影響も考慮するために $b=0.29$ での係数の検討も行った。図 3.3.7-1 にその結果を示しており、150 角、180 角では寸法効果があることが示唆されている。
 →調整係数の式の L 、 L_0 はどの値をとって計算しているのか。
 → L は材の全長、 L_0 は基準となる方の長さで 150 角の支点間距離の 2700mm である。
- ・ 作成途中の部分もあるので、委員会までに可能な範囲で報告書を進める。

4. 報告書第4章(集成材の曲げ試験)について【資料04】

- ・ 資料04 p12の β の式(4.2.2-2)は分子と分母が逆なので修正しておく。
- ・ 資料04より、設計上は、 β の低減をせず正味の有効断面の Z で計算しても大きな問題がないような結果とみることができる。
→今回の対象となる柱では、一般的には節がないように管理すると考えられる。それと実験結果を踏まえ、仕口部分に節がない条件付きで、曲げ強度 F_b は基準強度の1割程度増すことができ、 β は0.9とすることができそうと言えるのであれば、設計的には仕口の正味の有効断面で設計しておけばそれほど問題ないだろうというのは結論の一つであると考えられる。
- ・ β がばらつく理由を考えると、仕口部分の断面の変化によって応力集中が生じ、その応力集中が破壊にどのように関わっているか、さらにその破壊に対し節がどのように関わっているかが複雑に関係しているものと思われる。それを踏まえると、強度の下限值、 β の下限值をとって設計するとなると、相当厳しい値になる。
- ・ 柱は必ずしもJAS1級とするわけではなく、無等級材で設計される場合が多いと思われる。しかし、なるべく無節、欠点のないような材を用いることが考えられるため、接合部の強度値としては、JAS1級程度はあるものとして扱ってもよいのではないだろうか。
→そういう条件を設けるとすると、逆にJAS材を使った方が危険側になるのではという指摘が出るのが考えられる。
→その指摘に対しては、仮にJAS材を使ったとしても、仕口部分に節がないという条件を前提としていることと、実験結果を踏まえると問題ないと言えるのではないだろうか。報告書では、この考え方をとりまとめておくようにする。また、とりまとめの作成にあたっては、3点曲げ、4点曲げに対する節の影響について、第2章に参考文献として追加する(2.の5行目に記載)海外の論文を引いておくようにする。

5. 報告書第5章(解析)について【資料05】

- ・ 土壁の有無による応力分布の変化を示した図(資料05 p32)は、モデル化の妥当性の確認で示しておき、パラスタで掘り下げなくてよい。このパラスタの目的としては、土壁がある前提で差鴨居が変形したとすると、荷重変形関係がどのように変わるか、また破壊モードが変わってしまうことがあるかを確認することにある。
- ・ パラメータ等、解析条件については下記の通りとする。
 - ・ 差鴨居のせいは、150、300、450、600mmとし、600mmの優先順位は低い。資料05に挙げられている360mmは解析モデルの検証の際に実施しているのでパラスタでは外す。
 - ・ 柱の断面寸法は、120、135、150、180、210mm角とする。ただし、どの太さになれば柱が折れないか確認するため、210mm角で柱が折れてしまう場合は240mm角も追加する。
 - ・ 樹種は、軸部をスギ、ヒノキ(今年度実験結果を用いる)、差鴨居をベイマツ、もしくはカラマツとする。

- ・ 土壁強度は資料 05 に示された通りとする。
- ・ 柱の折損の値は、無等級材の基準強度と、正味の有効断面係数 ($\beta=1.0$) より計算する。

5. その他

- ・ 報告書の締切 実験部分(第3章、第4章) 2月12日(金)
解析部分(第5章) 2月26日(金)
- ・ 次回の委員会、解析打合せの日程は以下の通り。
委員会 03: 2月4日木曜日 18:00~20:00 at ZOOM
解析打合せ: 3月2日火曜日 18:00~ at ZOOM

S32 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討 解析打合せ

日時	2020年9月25日 金曜日 19:00~20:00		
場所	ZOOM		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 荘所直哉
	オブザーバー	北守顕久	李哲瑞
	協力委員	荒木康弘	秋山信彦
	行政	青木亮	佐々木雄河
	事務局	平野陽子	山崎渉

配付資料

資料 01:200925 解析進捗

資料 02:平成 29 年度基整促報告書(S25)

資料 03:平成 30 年度基整促報告書(S25)

1. 解析モデルの進捗について

- ・ 本事業では、有限要素法による詳細な解析とフレームモデルによるパラスタを行う。進捗としては、有限要素法による解析はうまくいっていないため、先行してフレームモデルの検討を進めている。
- ・ 平成 29 年度の基整促 S25 の解析ソフトは SNAP だったが、今回は midas を使用するため、まずは平成 29 年度の解析モデルの再現を行った。その解析モデルを用いて、平成 30 年度の基整促 S25 で実施した構面試験の解析を実施した。現段階での解析モデルでは、差鴨居の軸力伝達が再現できておらず、改良案を検討しているところ。
- ・ 解析結果を見ると、差鴨居に軸力が入っていない。その理由として、土壁をモデル化したせん断ばねにせん断力が入っていない可能性が考えられる。
→解析結果の詳細を改めて確認する。
- ・ 解析モデルの修正案について、圧縮ばねの位置を決めるためには、接合部の回転中心を決めないといけない。回転中心を詳細に求めるのは複雑になるため、例えば CLT の脚部の解析ではマルチスプリングにするなどの検討もされている。
→この解析モデルにおいてもばねの本数を増やして対応するのがよいのではないか。
- ・ 垂れ壁のせいによるが、垂れ壁に圧縮力が生じる場合は、構面の変形が進むことによって生じる軸力効果のようなものがあり、それによる接合部の性能低下や差鴨居の軸力が発生しづらくなるような現象が起きる。今後解析モデルを改良していくにあたって、そのようなところも反映できるとよい。
- ・ 垂れ壁せいが大きくなると、柱を押しだけではなく、差鴨居を下に押し下げる、桁を上突き

上げるといった力が大きくなる。その力が構面の性能に大きな影響を及ぼすわけではないと思われるが、解析モデルとして考慮できるようにしておいた方がよいのではないだろうか。

- ・ 今後パラスタする場合は、どういうパラメーターとするか？
→垂れ壁付独立柱の検討の際に実施したもの(柱断面、垂れ壁せい、垂れ壁厚さ等)に差鴨居せい、断面欠損の種類(現在進めている実験結果を反映)を加えたものとする。

5. その他

- ・ 次回打合せより北守委員にも出席いただく。
- ・ 次回の打合せの日程は以下の通り。
解析打合せ： 10月15日金曜日 19:00～ at ZOOM
WG06： 10月21日水曜日 18:00～ at ZOOM
委員会 02： 10月29日木曜日 13:30～15:30 at ZOOM

S32 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討 解析打合せ

日時	2020年10月15日 木曜日 13:30~15:00		
場所	ZOOM		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 荘所直哉 (議事録作成)
	オブザーバー	北守顕久	李哲瑞
	協力委員	荒木康弘	秋山信彦
	行政	青木亮	佐々木雄河
	事務局	平野陽子	山崎渉

配付資料

資料 01:200925 解析打ち合わせ議事録

資料 02:201013 解析進捗

参考 01:20201014 スギヒノキ 150 角曲げ試験まとめ

参考 02:CLT パネル工法における架構方法の合理化と構造モデルの簡略化検討事業報告書、
H30』p15、p200~ [CLT パネル工法の壁端部の MS ばねモデル設定について]

1. 解析モデルの進捗について

1. 資料説明[資料 01](松本)

- ・ 有限要素解析はモデル作成中である。
- ・ フレーム解析モデル(MIDAS iGen)での解析の改良版を作成した。
- ・ 差鴨居と柱材の接合部分のばね設定を改良。軸力の変動に応じた接触部分の三角形めり込み面積の変化、応力の変化を自動的に反映するため、回転ばねへの縮約ではなく複数の圧縮軸ばねに置換する方式(MS モデル。CLT パネル工法の解析手法[参考資料 02]を参照)を適用した。
- ・ 軸材(差鴨居)端部面を何等分かに分割する(試解析では 120*360 を縦方向に 8 等分)。分割した面積による全面めり込み剛性(150 角のスギの柱側面への木口 120×45 のベイマツによる部分横圧縮)をめり込み基本算定式から算出。柱長手方向の余長部は 0 と仮定している。
- ・ 今回は、土壁は組み込まず、まず軸組の検証を進めた。
- ・ 頂部に水平荷重を入力し、0.15rad.まで変形させた場合、軸組のみの試験結果(R1 年度実施のf-1 試験体)と比較すると、最大荷重で約 5 倍程度と大きな差となっている。
- ・ 部材応力に関する検討は不十分である。My(曲げモーメント)図を見ると、剛域部分にモーメント荷重が発生していることは確認できる。ただし、頂部の変位に伴うせん断力の伝達が桁→柱→差鴨居と伝達されておらず、結果的に差鴨居には軸力が作用していない状態である。接合部のダミー部材や節点の設定について早急に確認し、モデルを修正、検討する。

- ・ その他、MIDAS でも負勾配の剛性を持つ骨格曲線の設定が可能であることを確認した。前回と同様の回転ばね設定のモデルにおいて、土壁せん断バネの降伏後の負勾配を反映した解析を行ったところ、降伏後の荷重はやや小さくなっているものの、依然として実験値との違いは降伏後に顕著である。

2. 質疑応答

- ・ 横架材－柱接合部のばねの設定について追加説明を
 - 汎用ばね要素[弾塑性設定可能]で、DX、DY、DZ の剛性大きくし、移動のないようにしている。回転は面外方向のねじりのみ拘束、My に接合部回転ばねを入れている。汎用ばねを入れる際にスペースが必要であるが、ダミー材を入れないと発散する。
 - 接合部のダミー部材の端部拘束設定を両端ピンではなくピン-剛にするなどして、桁から柱へのせん断力の伝達ができるように設定すること。要素モデルで実験。
 - 柱頭柱脚回転ばね、貫効果のばね、共に軸ばねの剛性について検証しておくこと。
- ・ MS モデルで荷重が過大となっている要因として各圧縮ばねの降伏耐力の設定などを確認する事(今回は約 0.13N/mm²)。
- ・ 回転ばねモデルと今回の MS モデルとで、単位接合部当たりの性能を比較するなど。1 接合部程度の要素モデルでの検証を行うこと。
- ・ 剛域に関しては、柱にばねを直接設定するので問題ないだろう。柱に曲げが入るため、パネルゾーンを設定することも考えられる。
- ・ 現状の解析モデルは、右方向加力でのみ釣り合うようなばねの設定になっているが、解析上不安定となっている可能性がある。左右の柱位置のばねは左右対称に設定しておくのがよいのではないか。

以上

5. その他

- ・ 次回の打合せの日程は以下の通り。
 - WG06: 10月21日水曜日 18:00～ at ZOOM
 - 委員会 02: 10月29日木曜日 13:30～15:30 at ZOOM

S32 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討 解析打合せ

日時	2020年11月6日 金曜日 18:00~19:00		
場所	ZOOM		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 荘所直哉
	オブザーバー	北守顕久	李哲瑞
	協力委員	荒木康弘	秋山信彦
	行政	青木亮	佐々木雄河
	事務局	平野陽子	山崎渉

配付資料

資料 01:201015 解析打ち合わせ議事録

資料 02:201029 第2回委員会議事録

資料 03:201106 解析進捗

1. 解析モデルの進捗について

1. 資料説明[資料 02](松本)

- ・ 引き続き、フレーム解析モデル(MIDAS iGen)での解析の改良版を作成した。
- ・ 課題としては、前回のWG・解析打ち合わせ、委員会での指摘を反映することに努めた。
 - ・ 梁軸力の導入がなされない→剛床仮定外す→解析の発散→2Dで解析
 - ・ MSモデルでの剛性、耐力が高すぎる→各接合部、バネ1つずつの性能の確認
 - ・ 差し鴨居端部バネのせん断バネの設定など、接合部の拘束条件を明確にすること。
 - ・ 応力状態を見ると差し鴨居の上下でせん断力が均衡していない。応力の分布が妥当であるかを確認する事。(実験とも比較する)
- ・ MSばねの設定：軸材(差し鴨居)端部面を等分に分割(試解析では120*360を縦方向に10等分)。分割した面積による全面めり込み剛性(150角/180角のスギの柱側面への木口120×36のベイマツによる部分横圧縮)をめり込み基本算定式から算出。柱長手方向の余長部は0と仮定している。
- ・ 解析の発散は、XZ平面上での2次元の解析とすることで解決した。
- ・ MSばねの位置に圧縮バネとともにせん断バネ(剛)を設定して上下方向の変形を拘束した。
- ・ MSばねの設定位置によって、MSモデル1、MSモデル2を作成。モデル1は、柱-差し鴨居の接触部分に関して、一方向の性的加力に対して、めり込み圧縮が発生すると想定される部分にのみ、圧縮・せん断のMSばねを設定したもの。モデル2は、実際には離れる挙動などを含み、必ずしも圧縮にならないと想定される箇所も含めてすべての接触箇所全てに圧縮・せん断のばねを設定したモデルである。
- ・ 解析の結果、モデル1では実験最大値の6割程度、モデル2は最大値までは概ね実験値とよく一致する。部材応力は軸力も含めて確かに発生していることを確認した。

- ・ ただし、MS モデルでは剪断の拘束などやや過剰な設定と考えている。

2. 質疑応答

- ・ ばねの設定において、差鴨居端部の長柄込み栓の引張剛性と、中央部の差鴨居の引張剛性がかなり違うので、確認する事。
- ・ 柱の曲げモーメント分布を実験と確認すると、形状は類似している。ただし、応力の違い（左右フレームでの分担率の違い）については、解析的に理由を確認すること。
- ・ MS 圧縮ばねの設定において、余長部ありとすべき箇所についてはそのように設定する事（各接触面の上下端部バネ）
- ・ MS モデル2が妥当な設定ではないかと思われるが、モデル2にのみで設定した MS ばねに入っている応力の種類などを再検討すること
- ・ せん断バネは各 MS ばねに設定する必要はなく、一か所でよいのではないか
- ・ 差鴨居に入力されている軸力はどのような大きさになっているか
 - 最大で左 6.5kN, 右 3.5kN 程度であり、実験値と比較して小さい。また、実験では加力側の荷重が小さく、反対側の荷重が大きくなっている。
- ・ 最終的には MS ばねの降伏変位・耐力等によって荷重を調整することも考えられる。
- ・ モデル2の軸力図を見ると、柱軸力の合計が 0 になっていないようだが、なぜか。
 - 反力はおかしくないので、土台材に荷重が流れているものと推察される。確認する。

以上

5. その他

- ・ 次回の打合せの日程は以下の通り。

解析打ち合わせ： 12 月 3 日木曜日 11:00~12:00 at ZOOM

S32 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討 解析打合せ

日時	2020年12月3日 木曜日 11:30~12:30		
場所	ZOOM		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 荘所直哉
	オブザーバー	北守顕久	李哲瑞
	協力委員	荒木康弘	秋山信彦
	行政	青木亮	佐々木雄河
	事務局	平野陽子	山崎渉 佐々木留美

配付資料

資料 01:201106 解析打ち合わせ議事録(案)

資料 02:201203 解析進捗_松本

1. 前回打ち合わせの質疑への応答(松本)

- ・ ばねの設定において、差鴨居端部の長柄込み栓の引張剛性と、中央部の差鴨居の引張剛性がかなり違うので、確認する事。
→ 式・値を確認した。既往の実験と比較しても妥当な値だと考えている。
- ・ 柱の曲げモーメント分布を実験と確認すると、形状は類似している。ただし、応力の違い(左右フレームでの分担率の違い)については、解析的に理由を確認すること。
→ 絶対値の違いについては未解決である。
- ・ MS 圧縮ばねの設定において、余長部ありとすべき箇所についてはそのように設定する事(各接触面の上下端部バネ)
→ 余長部のあるものについてはそのように設定した。
- ・ MS モデル2が妥当な設定ではないかと思われるが、モデル2にのみで設定した MS ばねに入っている応力の種類などを再検討すること
→ モデル3の圧縮応力については確認した。MS モデル2については確認中である。
- ・ せん断バネは各 MS ばねに設定する必要はなく、一か所でよいのではないか
→ 差鴨居軸位置の一か所のみでせん断ばねを設定したモデル3を作成した。
- ・ 差鴨居に入力されている軸力はどのような大きさになっているか
→ 最大で左 6.5kN, 右 3.5kN 程度であり、実験値と比較して小さい。絶対値の違いは引き続き検討中である。
- ・ 最終的には MS ばねの降伏変位・耐力等によって荷重を調整することも考えられる。
→ 接合部ばねの設定などを修正後に調整する。
- ・ モデル2の軸力図を見ると、柱軸力の合計が0になっていないようだが、なぜか。
→ 反力は釣り合っており、土台材料に荷重が流れているようである。土台を抜いた場合を行って確認する。

2. 資料説明(松本)

- ・ 余長部を考慮, せん断ばねの位置を修正したモデル(MS モデル3)について説明。
- ・ 接合部性能の確認①: 引張バネの値を確認した
- ・ 接合部性能の確認②: MS バネと集中バネの性能比較; T字型の接合部の解析を行い, 実験値と比較した。中央部は降伏点付近まではよく一致, 差鴨居についても仕口の開閉による大小関係は再現できている。
- ・ 解析結果の確認①: 圧縮力の分布: 左右, 中央それぞれでバネの荷重分布を確認した。左右では圧縮力として効いているバネの数がやや異なる。右側は引張バネが働くことの影響と推察した。
- ・ 実験値と解析値の比較①: 柱に生じる曲げモーメント値の比較; モーメントの符号は一致。絶対値はまだずれている。特に左の柱は実験ではあまり荷重が入っていない。
- ・ 実験値と解析値の比較②: 差鴨居; 実験値の引き側とはおおむね合うが, 実験値の押し側では実験値に比べて6-8割程度にとどまる。
- ・ 全体の荷重変形関係: MS モデル3とこれまでの解析結果の比較。せん断ばねを解除することで荷重はかなり下がっており, 実験値の7割程度。せん断ばねを接触面すべてに設置した場合との比較を引き続き行い, 妥当な設置方法を検討する。

3. 質疑応答

- ・ 接合部の値は MS モデルと回転ばねモデルの整合性を確認すること
- ・ 実験値と比べると, MS 左右差鴨居の開閉の差が小さい。右側接合部の引張バネの値の影響を検討し, 調整できるかどうか。→影響の程度を確認し検討する。
- ・ 今後のスケジュールはどうなっているか。
→ 12月半ばには軸組モデルは終え, 土壁の再現に取り掛かり, 1月末にはパラメータスタディのできる段階に仕上げたい。曲げ試験の結果も解析結果の応力を見て判定する資料とする。

4. 実験の概要報告(京都大学五十田研究室: 李哲瑞さん, 五十田先生)

- ・ 差鴨居付きの曲げ試験結果について
- ・ ばらつきが大きく, 結果として β は0.9-1程度でよいようであり, 平均値は下がらない。
- ・ 三方差しの場合, 4点曲げのようになっている場合があることが分かった。

以上

5. その他

- ・ 次回の打合せの日程
解析打ち合わせ: 12月17日(木) 17:30-
WG07: 12月25日(金) 18:00~ at ZOOM

S32 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討 解析打合せ

日時	2020年12月17日 木曜日 17:30~18:30		
場所	ZOOM		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 荘所直哉
	オブザーバー	北守顕久	李哲瑞
	協力委員	荒木康弘	秋山信彦
	行政	青木亮	佐々木雄河
	事務局	平野陽子	山崎渉 佐々木留美

配付資料

資料 01:201203 解析打ち合わせ議事録(案)

資料 02:201216 解析進捗_松本 ver.2

1. 前回の質疑応答への対応

- ・ MSモデルと回転ばねモデルの整合性を確認すること
→ 検討結果を資料で示した。初期剛性は良い一致を見ているが、二次剛性がやや異なる。MSモデルの二次剛性を回転ばねモデルと同等することで合わせることは可能と考えている。ただし、接合部の要素実験結果と比較すると、特にX型(中央部)の試験結果に比べて、回転バネモデル、MSバネモデル共にかかなり大きい結果となっている。この理由については挙動も含めて再度検討したい。
- ・ 実験値と比べると、MS左右差鴨居の開閉の差が小さい。右側接合部の引張バネの値の影響を検討し、調整できるかどうか。
→ 接合部の込栓による引張バネの二次剛性を調整することで値を調整可能であった。

2. 資料説明

- ・ 再度修正したMSモデルと2019年の回転バネモデル、R1年度軸組試験体の実験結果を比較検討した。前回からのモデルの主な改良点はめり込み圧縮バネ、込栓の引張バネなどに二次剛性を考慮したことなどである。回転ばねモデルも各接合部の拘束条件を見直している。MSモデル、回転バネモデル共に実験値より初期剛性、耐力ともやや低い。MSモデルでめり込みばねの二次剛性を考慮することで実験値により近い結果となる。
- ・ 柱に作用する曲げモーメントを比較すると、左右の柱においては比較的よく一致している。中央柱でも概ねよく対応しているが、差鴨居上部の計測店ではモーメントが逆転している部分が見られた。
- ・ 差鴨居の軸力を比較すると、解析では左右の差は大きく出ない点が異なっている。
- ・ 接合部要素実験と解析結果を比較すると、差鴨居片差しの接合部では、回転バネモデル、MSバネモデルは初期剛性ほぼ一致し、二次剛性も近い。中央部の雇い柄・車知栓による接合部では初期剛性は実験、両解析ともよく一致するが、解析はともに実験より大

きな値となる。また、回転バネモデルと MS モデルの解析結果は初期剛性はよく位置するが二次剛性が異なる。

3. 質疑応答

・要素実験結果で、特に X 型試験体(中央部)の解析結果が解析と実験で大きく異なっていることの原因は何か。また、二種の解析で二次剛性が異なるがその原因は何か。

→ 左右が拘束されていないため、実験では剛性が下がっているのではないかと推測している。実験結果を見ながら再度精査する。解析の剛性の違いは、MS バネの方の二次剛性を回転バネモデルと同等とするなどで調整可能である。

→ 李さんの改良版の要素実験の解析結果とも照合する。

・引張バネというのはどこのバネを指しているのか。

→ 左右の柱に差鴨居が片差しされている箇所では、差鴨居の端部の柱へのめり込みと釣り合うように働く込栓の二面せん断接合を表す引張バネであり、中央の柱では、差鴨居、雇い柄、車知栓の複合面圧バネとして算出される引張バネを指している。

・軸組の解析は概ねこの辺りで区切りとすること。相対値としての比較が重要となるため、土壁ありの場合のモデルの検討を進めるのがよい。

4. 今後の予定

- ・ 12/25 の WG では、報告書に向けて結果を整理し、さらに進捗した分を加えてまとめる。

以上

5. その他

- ・ 次回の打合せの日程

解析打ち合わせ: 1 月 14 日(木) 17:30-

WG07: 12 月 25 日(金) 18:00~ at ZOOM

S32 差し鴨居接合部を有する垂れ壁の軸組の壁倍率に関する検討 解析打合せ

日時	2021年1月14日 木曜日 11:30~12:30		
場所	ZOOM		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 荘所直哉
	オブザーバー	北守顕久	李哲瑞
	協力委員	荒木康弘	秋山信彦
	行政	青木亮	佐々木雄河
	事務局	平野陽子	山崎渉 佐々木留美

配付資料

資料 01: 解析打ち合わせ議事録(案)201217

資料 02: 210114 解析打ち合わせ_報告書第5章松本

資料 03: 垂れ壁付き独立柱報告書(解析部分抜粋)

2. 資料説明(松本)

- ・土壁の抵抗機構を、上下面のせん断抵抗、および対角での圧縮ストラット形成による抵抗に分解した解析モデルを作成した。方針は要素実験結果に基づく。
- ・摩擦・せん断等による抵抗による荷重は、同一の下地仕様・土であればせん断面積にのみ比例すると仮定した。実験結果はアスペクト比によらずおおむね同一の結果であることを示している。実験結果より、抵抗要素を抽出した。
- ・圧縮ストラットについては、柱を左右に押す影響が大きいと判断し、圧縮側の形成は対面する柱のそれぞれ上下半分を結んだ平行四辺形の部分とみなした。過去の圧縮試験から得られた応力度ひずみ曲線から、圧縮側の発揮する荷重を推定し、作用面の中央部に作用する圧縮ばねに置換した。
- ・要素実験と解析を比較すると、比較的良い一致を見た。L試験体については、上下面のせん断抵抗がやや異なり初期の値がずれる結果となった。
- ・実大試験も、おおむね一致したが、(後比較しました)、アスペクト比の高いL試験体においては、初期剛性、最大体力ともに数割低い結果となった。

3. 質疑応答

- ・圧縮ストラットは、アスペクト比が高い場合は梁にも作用するはずなので、仮定について明確に記すこと。
 - ・パラメータスタディは、以下の方針で行う。
 - ・同じ頂部変形に対する、負担モーメントの変化を明らかにすること。土壁の有無による曲げ抵抗の違いを示す必要がある。土壁の付加による相互作用がどうなるかを示す。
 - ・パラメータについては、
- ① 高さは土台一桁の芯々で 2885 mmで実験と同様とする

- ② 差鴨居については、芯の位置を 2135 mm で一定とし、せいのみを変化させるものとする。高さは 150, 360, 450 を基本とする。

以上

5. その他

- ・ 次回の打合せの日程

WG08: 1月28日(木) 18:00～ at ZOOM