

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

令和2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-11
1.3.1 実施体制	第1章-11
1.3.2 実施スケジュール	第1章-13

第2章 差し鴨居軸力の検討実験（単純化H型試験体）

2.1 実験の目的と概要	第2章-1
2.2 仕口無しH型試験体	第2章-1
2.2.1 試験体	第2章-1
2.2.2 実験方法	第2章-4
2.2.3 実験結果	第2章-6
2.3 仕口有りH型試験体	第2章-14
2.2.1 試験体	第2章-14
2.2.2 実験方法	第2章-17
2.2.3 実験結果	第2章-18
2.4 考察・まとめ	第2章-24
2.4.1 差し鴨居軸力の力学モデルによる予測	第2章-24
2.4.2 まとめ	第2章-28

第3章 土壁の抵抗成分の検討実験

3.1 実験の目的と概要	第3章-1
3.2 純土壁の水平せん断実験	第3章-1
3.2.1 試験体	第3章-1
3.2.2 実験方法	第3章-7
3.2.3 計測計画	第3章-8
3.2.4 実験結果	第3章-9
3.3 考察・まとめ	第3章-17
3.3.1 土壁材質に関する考察	第3章-17
3.3.2 土壁の荷重伝達機構に関する考察	第3章-17

第4章 差し鴨居のみが存在する構面実験（追加）

4.1 実験の目的と概要	第4章-1
4.2 差し鴨居のみが存在する構面の水平載荷実験	第4章-1

4.2.1	試験体	第 4 章-1
4.2.2	実験方法	第 4 章-4
4.2.3	計測計画	第 4 章-4
4.2.4	実験結果	第 4 章-5
4.3	考察・まとめ	第 4 章-14
 第 5 章 垂れ壁の土壁負担の検討実験		
5.1	実験の目的と概要.....	第 5 章-1
5.2	土が付いている垂れ壁の水平載荷実験	第 5 章-1
5.2.1	試験体	第 5 章-1
5.2.2	実験方法	第 5 章-3
5.2.3	計測計画	第 5 章-5
5.2.4	実験結果	第 5 章-6
5.3	考察・まとめ	第 5 章-21
 第6章 まとめと今後の課題		
 第 7 章 添付資料		
7.1	委員会議事録	第 7 章-1
7.2	ワーキンググループ、個別打合せ議事録	第 7 章-10

第1章 事業内容

1.1 本事業の目的

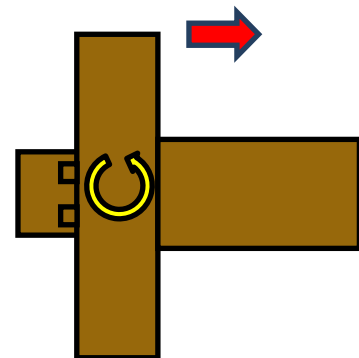
伝統的構法による木造建築物については、建築基準法施行令3章3節において規定されている仕様（以下、仕様規定という。）に適合しない部分があることから、地震に対する安全性の確認にあたっては、仕様規定への適合を前提としない限界耐力計算等の構造計算を行わなければならない。そのため、伝統的構法による耐力要素について、仕様規定の整備が求められる。

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。

対象となる具体的な部位は差し鴨居と柱の接合部であるが、差し鴨居は欄間などが入った軸組だけの構面の場合と、垂れ壁付き独立柱となる場合がある。現状の告示では垂れ壁付き独立柱が耐力要素としてカウントすることが許されているが、これは運用上は差し鴨居分の性能も含んでいる。今回の検討を通じて、差し鴨居の性能を別に加算する場合には、土壁の垂れ壁部分と差し鴨居の部分の性能を分けた上で、それぞれの性能を発揮できる仕様（寸法等）を明確にする必要がある。



接合部の回転抵抗

そこで、本事業では、差し鴨居等の接合部の性能と土壁部分の性能を分離して耐力要素を確認する実験を行い、それらを足し合わせた結果と、軸組全体の実験値が一致するかどうかを確認した。

昨年度までの検討により、土壁垂れ壁付きの軸組構面の水平せん断抵抗挙動は、①接合部のモーメント抵抗成分の総和、②差し鴨居の軸抵抗成分、③垂れ壁の水平せん断抵抗成分のそれぞれの和と相互作用によって成立している事が明らかとなった。このうち、①接合部のモーメント抵抗成分についてはおおよそ評価が可能なが分かっている。今年度は②および③について、抵抗要素単体を独立させた実験を行うことで個々の要素の挙動を明らかとし（2章、3章）、さらに全てまたはいくつかの要素を含む構面の水平せん断試験を行う事で、それぞれの要素の相互作用について明らかとする。

具体的な実施を整理したものを次ページ以降に示す。

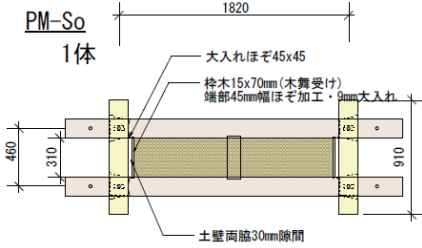
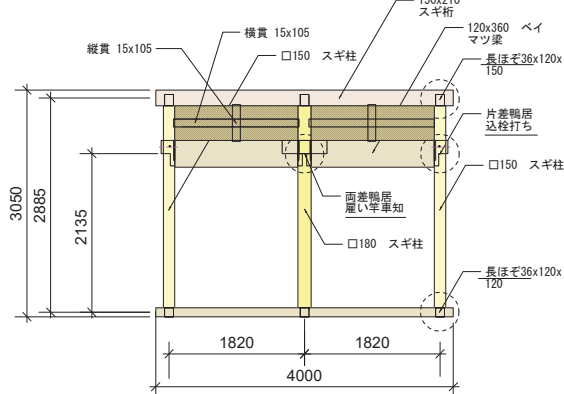
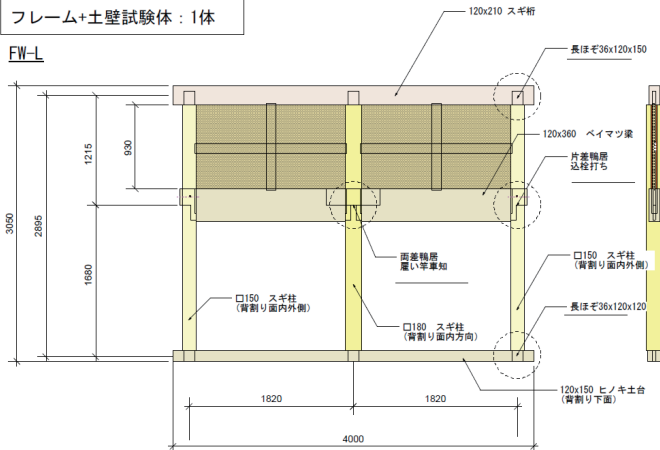
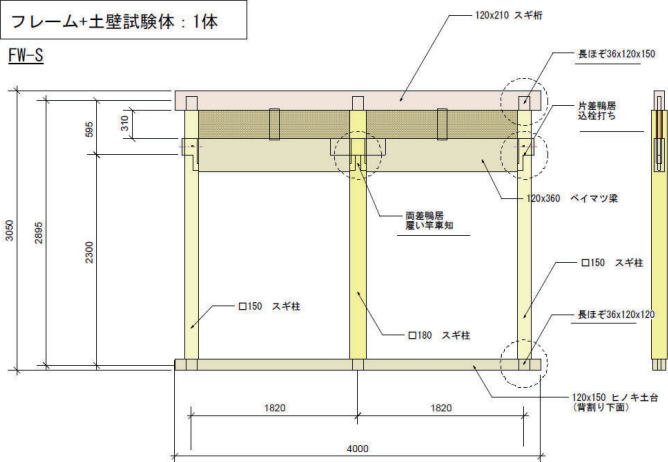
●要素実験

[illegible]

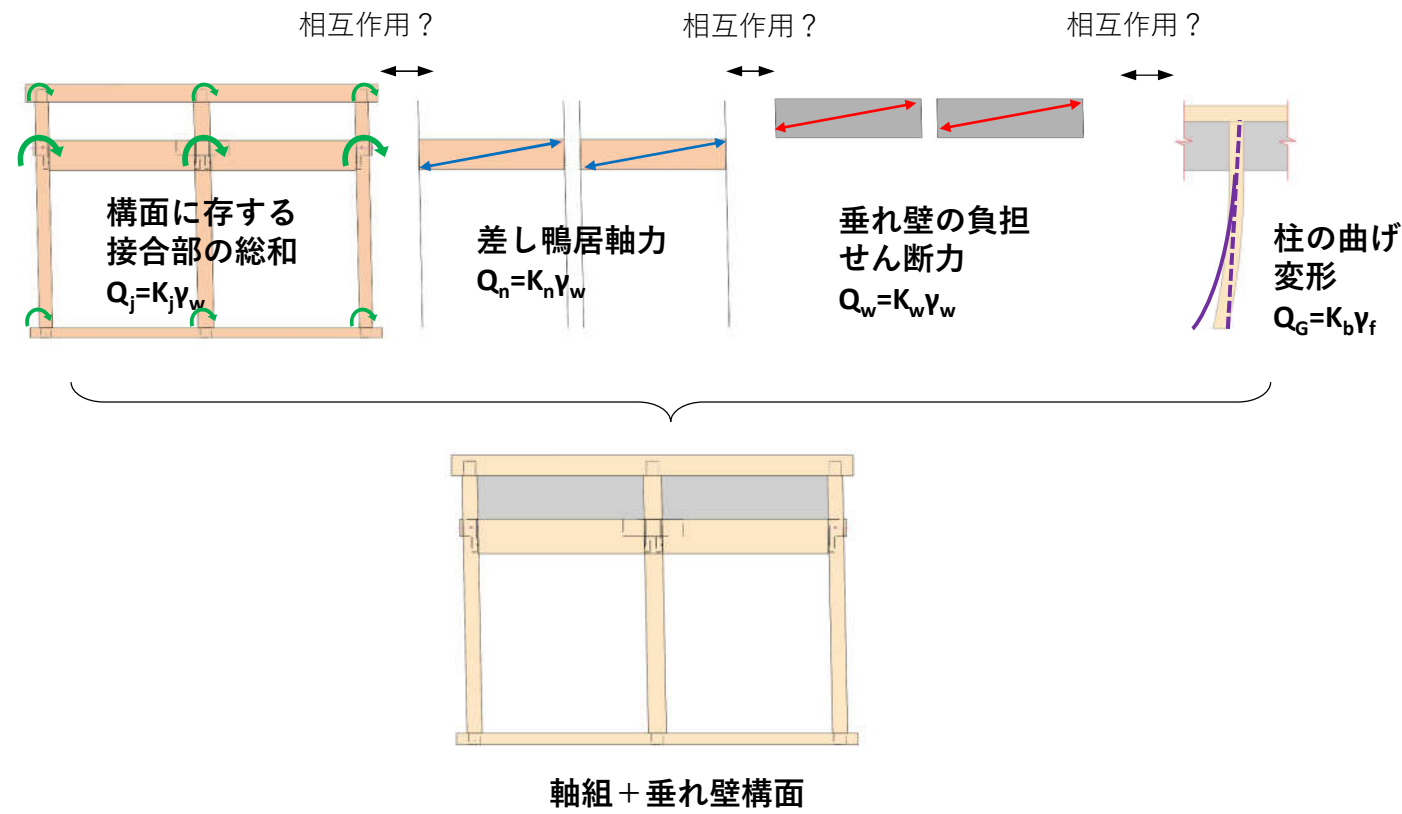
	単純化 H 型（仕口なし） 記号 ホ 2019 年度／3 体
体数:3	単純化 H 型（仕口あり） 記号 ヘ 2019 年度／3 体

●構面実験

試験体	記号 実施年度／試験体数 等
	軸組のみ構面 記号 あ 2018年度／1体 2019年度／1体（計測計画変更）
	垂れ壁(465)のみ構面 記号 い 2018年度／1体／徳島の土
PM-L 1体	仕口抵抗のない土壁せん断(930) 記号 う 2019年度／1体／京都の土
PM-M 2体※1体は徳島土	仕口抵抗のない土壁せん断(465) 記号 え 2019年度／1体／徳島の土 2019年度／1体／京都の土
PM-S 1体	仕口抵抗のない土壁せん断(310) 記号 お 2019年度／1体／京都の土

 PM-So 1体 ※土壁施工時にスペーサー木片を挟んでおき、試験前に取り外し	仕口抵抗のない土壁せん断(310) 柱摩擦なし 記号 か 2019 年度／1 体／京都の土
	軸組＋垂れ壁（465）構面 記号 き 2018 年度／1 体／徳島の土
 フレーム+土壁試験体：1体 FW-L	軸組＋垂れ壁（930）構面 記号 く 2019 年度／1 体／京都の土
 フレーム+土壁試験体：1体 FW-S	軸組＋垂れ壁（310）構面 記号 け 2019 年度／1 体／京都の土

検討内容

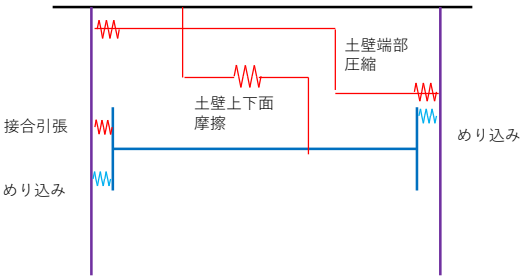


○単純積算式の確認

$$Q_G = K_G \gamma_G = K_G (\gamma_w + \gamma_f)$$
$$K_G = \{1 / (K_j + K_n + K_w) + 1 / K_b\}^{-1}$$

ただし、各要素の性能に相互作用があるか要素実験及び組み合わせ実験により確認

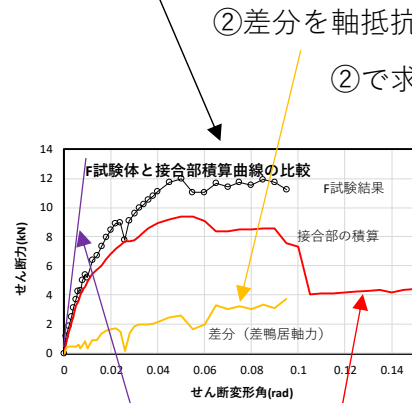
○骨組解析モデルの再現



適切なバネの設定（ばね定数、設置位置）を実験により確認

○2018年度(+α)の検討

軸組みのみ構面実験(あ)



①曲げ変形成分を除去

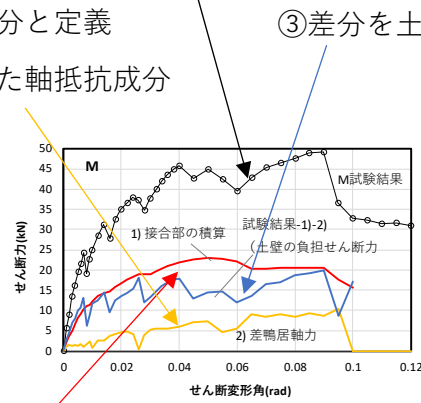
①接合部実験の総和



接合部実験 (イ・ロ・ハ・ニ)

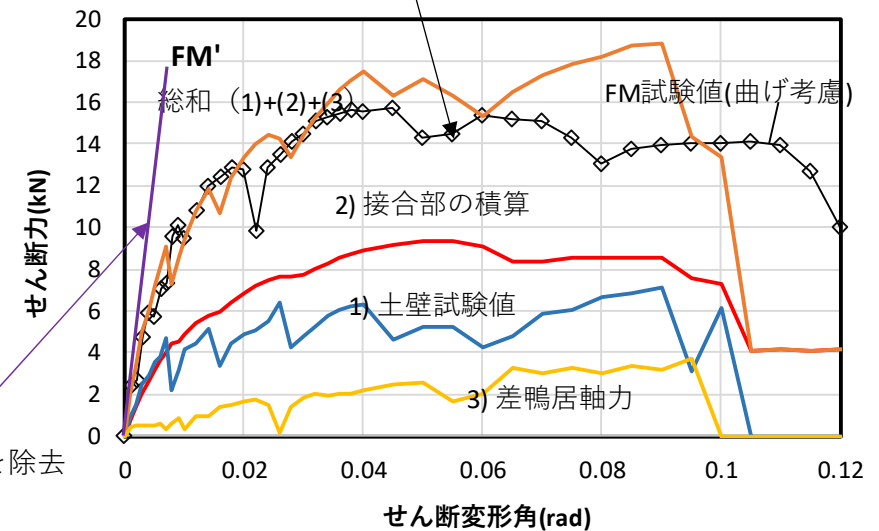
・接合部は2018年度検討により数式評価可能

垂れ部のみ構面実験 (い)



曲げ変形成分を除去

軸組み+垂れ壁構面実験 (き)



①+②+③の加算値は構面試験結果と合致
→加算側がおおむね成り立つ？

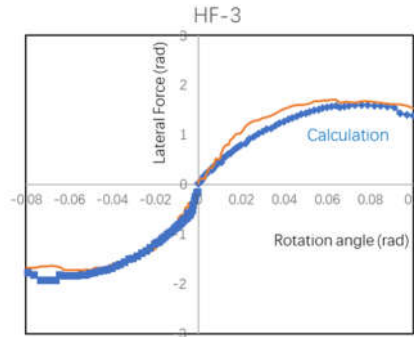
加算側で計算するには・・・

- ・軸抵抗成分の数式評価
- ・土壁成分の数式評価
- ・相互作用がない(少ない)ことの証明

○2019年度の検討①

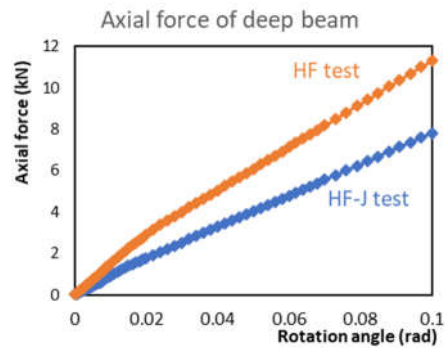
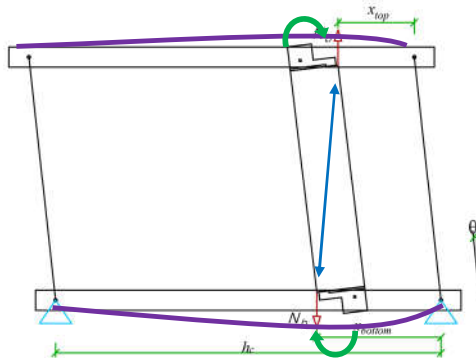
軸抵抗成分の数式評価

単純化H型実験（仕口なし）（ホ）

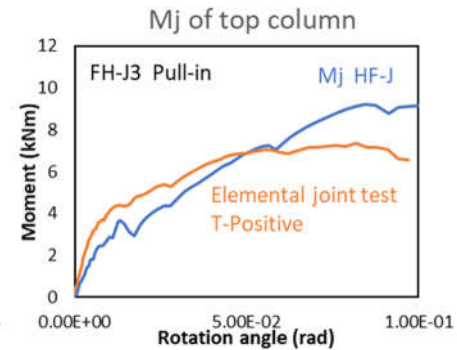


①：軸力がわかれば
外力を計算可能

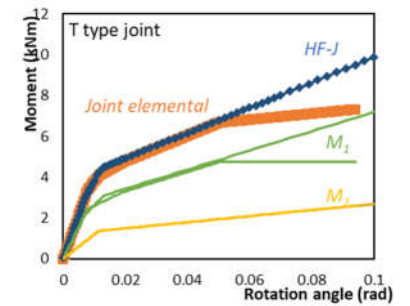
単純化H型実験（仕口あり）（ヘ）



①：モーメント抵抗による部材曲げ低減効果で、発生軸力減少→水平外力が64%に低減



②：軸力の相互作用で、仕口抵抗力が（大変形時）影響を受ける



③：①①②を考慮した数式評価がある程度可能

加算側で計算するには・・・

- ・ 軸抵抗成分の数式評価 ○
- ・ 土壁成分の数式評価 ○
- ・ 相互作用がない(少ない)ことの証明 △?

数式モデルのために

- ・ 接合バネの位置を決定 ○

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	立命館大学 衣笠総合研究機構 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 工学部 建築学科 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
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 研究員
行政	青木 亮	国土交通省住宅局 建築指導課 課長補佐
	木戸 聡	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

○検討ワーキンググループ

主査	河合 直人	工学院大学 建築学部 建築学科 教授
委員	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
	松本 直之	東京大学 生産技術研究所 助教
	北守 顕久	京都大学 生存圏研究所 生活圏構造機能分野 研究員
	向坊 恭介	鳥取大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 助教
	秋山 信彦	国立研究開発法人建築研究所 材料研究グループ 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 研究員

オブザーバー

	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
	李 哲瑞	京都大学 生存圏研究所 生活圏構造機能分野 博士課程

行政	青木 亮	国土交通省住宅局 建築指導課 課長補佐
	木戸 聡	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

1.3.2 実施スケジュール

令和元年度 国土交通省 建築基準整備促進事業 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 年間スケジュール																																											
	6月				7月					8月				9月				10月				11月				12月				1月				2月				3月					
	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	3	10	17	24	2	9	16	23
全体スケジュール	6/3 補助 事業 開始	6/6 第1回 WG								8/7 第1回 委員会					9/10 第2回 WG					10/29 中間 報告					11/25 第3回 WG	12/4 第2回 委員会										2/13 第4回 WG	2/20 第3回 委員会	3/2 事業 完了	3/9 実績 報告 提出				
差し鴨居構面検討	要素実験 実験計画				解析と実験結果の照合・モデル化																																						
	要素実験 試験体図作成		フレーム試験体 製作		実験 (京大)		実験 とりまとめ																																				
					要素試験体 製作		実験 (京大)		実験 とりまとめ		要素試験体 製作		実験 (京大)																														
					実大実験(土壁付き)計画 追加要素実験計画												試験体製作 養生期間含む												1/27~2/7の予定 実験 (京大)				実験 とりまとめ		報告書作成								

第2章 差し鴨居軸力の検討実験（単純化 H 型試験体）

2.1 実験の目的と概要

本章では、差し鴨居の軸抵抗成分に注目し、その単位要素としての抵抗機構と性能を評価するための実験を行う。構面フレームにおいて断面の大きい差し鴨居部材は、柱間に用いられている場合、構面がせん断変形を生じる際に差し鴨居はその端部が柱間で突っ張るストラット抵抗を生じ構面の水平抵抗成分となる。この効果は差し鴨居の寸法条件に影響を受けるが、さらに柱との突っ張り変位を規定する柱の曲げ変形や端部のめり込み変形によって影響を受けると考えられる。さらに差し鴨居端部で回転抵抗を生じる仕口を有している場合、差し鴨居に生じる軸力が影響を受け、またその軸力が仕口性能に影響することが予想されるなど、相互作用も検討する必要がある。

そこで、まず柱間に端部仕口を持たない差し鴨居部材を挿入した仕口無し H 型試験体を用いた水平せん断載荷実験を実施し、柱間に挿入された部材のストラット抵抗機構の基本的な性能を評価する。続いて、より実際の軸組の条件に近づけるため、端部仕口を加工した差し鴨居部材を用いる仕口有り H 型試験体を用いて水平せん断載荷実験を実施し、両者を比較することで仕口の有無の影響について評価を行う。

これらの検討を元に、差し鴨居に生じる軸抵抗力（ストラット成分）を垂れ壁付き構面の寸法や材料情報を元に推定する手法を確立し、その構面耐力への影響について検討することを目的とする。

2.2 仕口無し H 型試験体

2.2.1 試験体

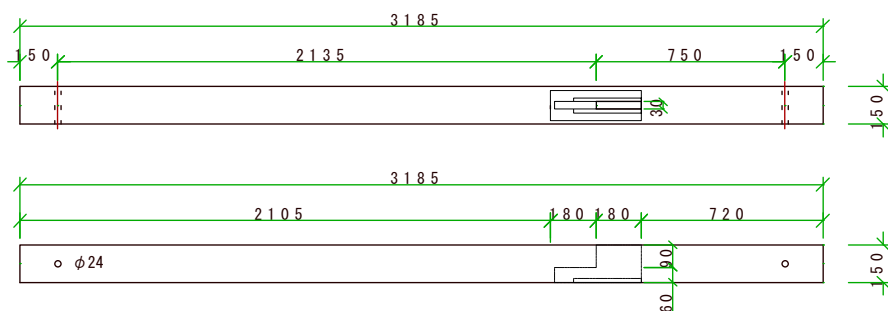
仕口無し試験体およびセットアップ図を図 2.2.1-1、2.2.1-2 に示す。試験体は 150mm 角のスギ柱材 2 本を 1820mm のスパンで断面 120x360 のベイマツ差し鴨居材を挟んだ H 型形状として構成する。試験体は 3 体製作した。柱・梁材について、あらかじめ全ての材料の動的ヤング係数を打撃法で測定し、その大小に応じた組み合わせで 3 体の試験体に以下の通り振り分けた。試験に用いた部材のヤング係数を表 2.2.1-1 に示す。

仕口無し H 型試験体	HF-1	ヤング係数の大きい軸材の組み合わせ
	HF-2	ヤング係数の中くらいのものの軸材の組み合わせ
	HF-3	ヤング係数の小さい軸材の組み合わせ

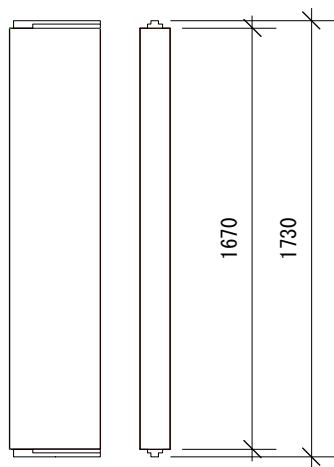
このように作製した H 型の試験体を、図 2.2.1-2 に示すように 90° 横転させた状態で、鋼製治具を介してやや浮かせて鋼製反力フレーム内に設置し、柱端部支点の位置でタイロッドで両柱を留めつけた。

柱は軸組試験体の柱寸法と合わせ、スパン 2885mm の位置でピン支持とした。また差鴨居も同様に軸組試験体の形状にならい、片側支点より 750mm の位置に配置した。差鴨居の端部は仕口回転抵抗の影響を除外しつつせん断力を伝達するため、30mm の長さの短ほぞ形状としたが、柱には曲げ変形の度合いを軸組試験体と同一とするため、軸組試験体に用いた仕口と同様のほぞ穴加工を施している。

柱材加工



梁材加工



接合部詳細

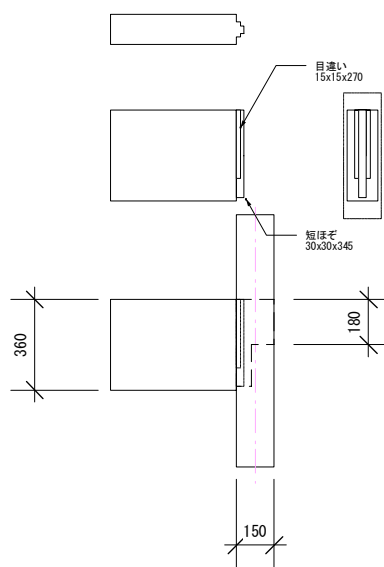


図 2.2.1-1 試験体図

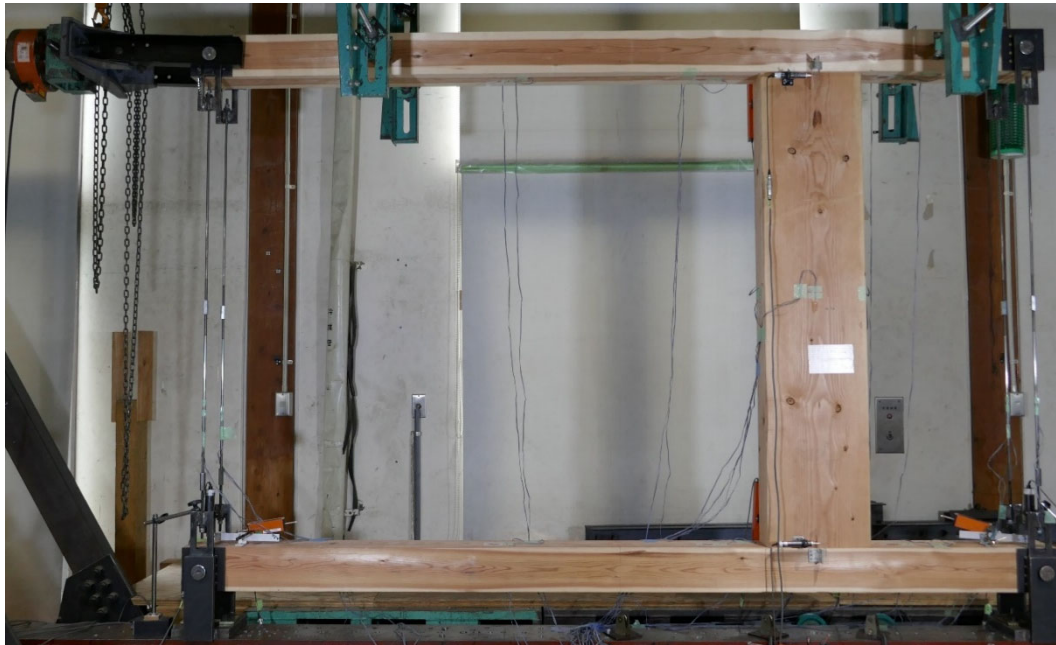
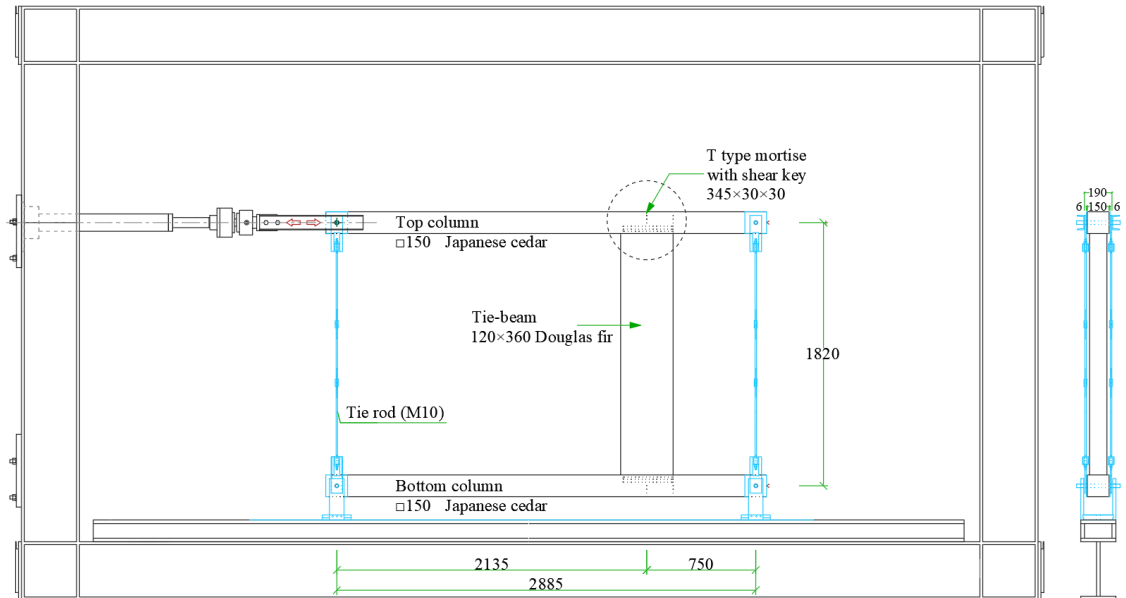


図 2.2.1-2 仕口無し H 型試験体（HF）のセットアップ

なお、試験体柱材の曲げヤング係数は、構面試験終了後に取り外した材料の静的曲げ試験を図 2.2.1-3 の方法で行い補正した。歪みゲージ計測位置での単純梁仮定によるモーメント値を算定し、これを断面係数で除して得た曲げ応力度を上下歪み値絶対平均値で除すことで当該位置での曲げヤング係数を算定し、これを 3 点のゲージ計測位置の平均を取ること、材料の曲げヤング係数として定義した。

表 2.2.1-1 各試験に用いた材料のヤング係数

試験体名	材料名	動的ヤング係数 (Gpa) ※1	3点曲げ試験での 曲げヤング係数 (GPa) ※2	含水率 (%)
HF-1	スギ 7-下	10.6	11.7	20.4
	スギ 5-上	10.09	11.23	21.4
	ベイマツ 3-梁	12.17		12.6
HF-2	スギ 4-下	8.42	9.43	16.1
	スギ 9-上	9.7	10.6	22.8
	ベイマツ 1-梁	12.04		12.6
HF-3	スギ 8-下	8.17	9.59	21.1
	スギ 6-上	6.08	6.46	23.5
	ベイマツ 2-梁	11.8		11.8

※1：動的ヤング係数は加工前材料を打撃縦振動法にて計測したもの。

※2：3点曲げ試験での曲げヤング係数は、構面試験終了後に取り外した材料を図 2.2.1-3の方法で変スパン3点曲げ試験を実施し、得られた歪みゲージの値から平均値として算出したもの

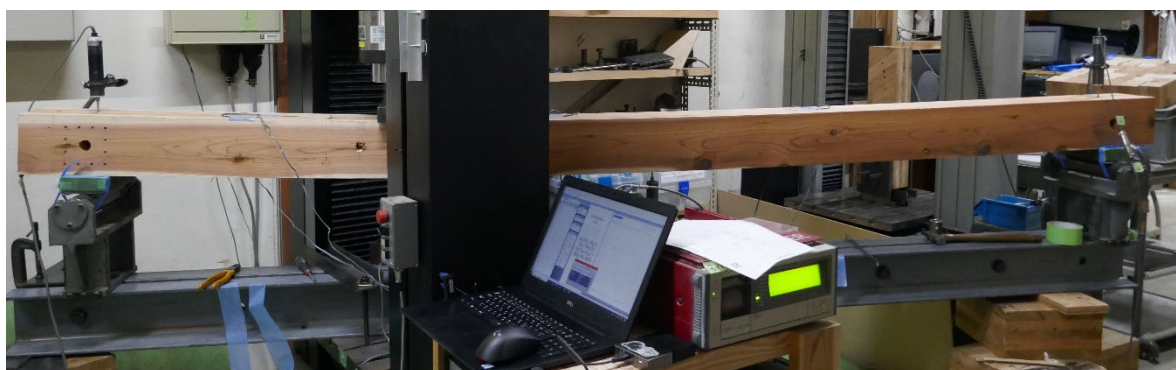
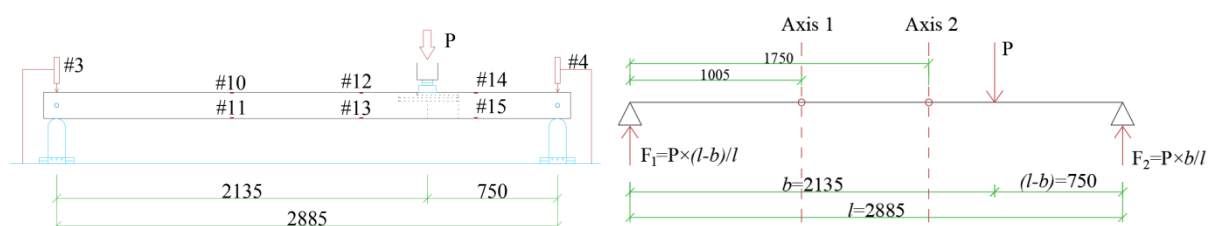


図 2.2.1-3 構面試験終了後に取り外した材料の3点曲げ試験

2.2.2 実験方法

鋼製反力フレーム内に取り付けした試験体の左上支点においてオイルジャッキを用い、変位制御型静的繰り返し水平せん断载荷を行った。加力スケジュールは変位制御とし、両側柱の水平変位を用いて計算する両柱間の見かけのせん断変形角が以下に示す目標変形で角

折り返す正負交番 3 回繰り返し加力を行った後、1/30、1/15rad で正負交番 1 回繰り返し載荷し、最終的に大変位まで引き加力を行った。

変位制御のための目標変形角 (rad) 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50

変位計測計画を図 2.2.2-1 に示す。接合部付近において仕口の回転変形を計測した。また下側柱の面外曲げ変形を差鴨居の両側で計測した。

歪み計測計画を図 2.2.2-2 に示す。柱、差鴨居、タイロッドには歪みゲージを添付し、歪み計測を行った。柱では曲げモーメントを計算できるように柱両面に 3 対のゲージを添付した。差鴨居には中央付近の 4 個所に軸方向ゲージを添付し、発生軸力の計算に用いた。タイロッドには中央付近にそれぞれ 1 対の軸ゲージを添付し、軸力の計算を行った。

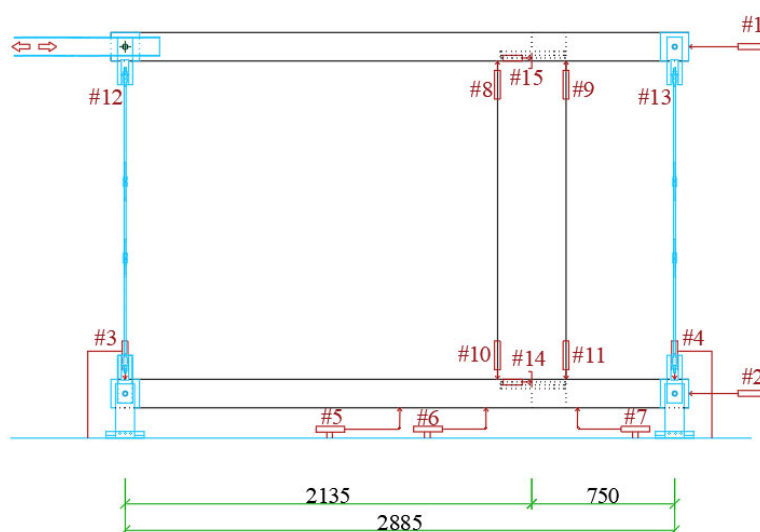


図 2.2.2-1 変位計測計画

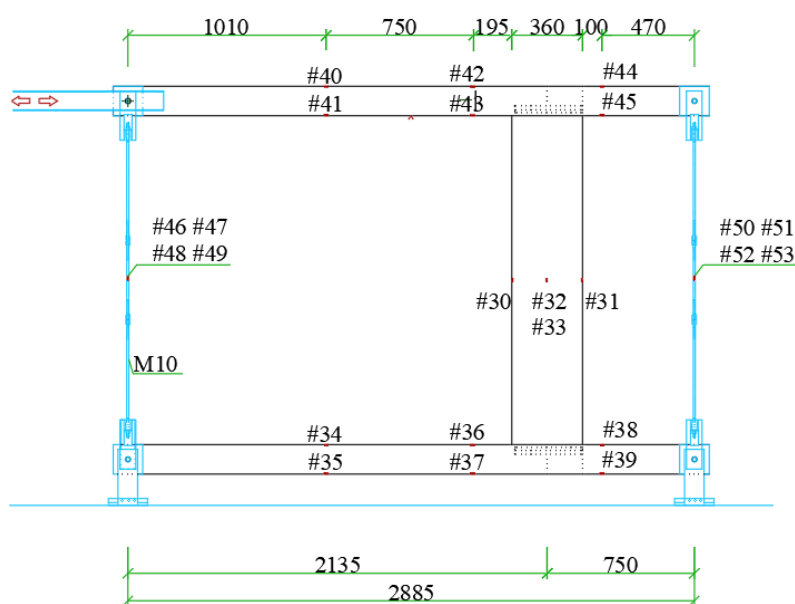
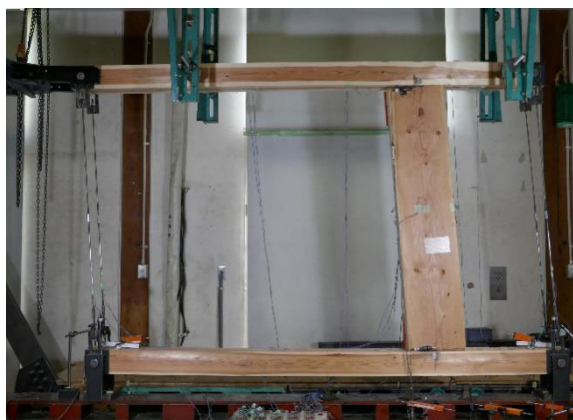


図 2.2.2-2 歪み計測計画

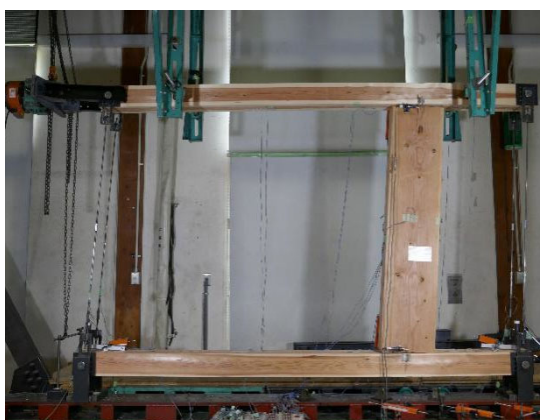
2.2.3 実験結果

(1) 変形の様子

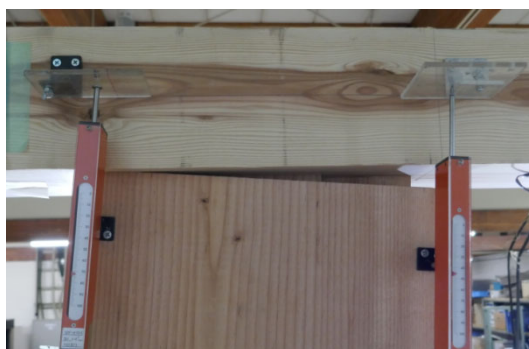
写真 2.2.3-1 に全体（上）および差鴨居端部のめり込み変形（中、下）の様子を示す。全体像では柱に曲げ変位が生じている様子、差鴨居端部では柱へのめり込み変形が見て取れる。



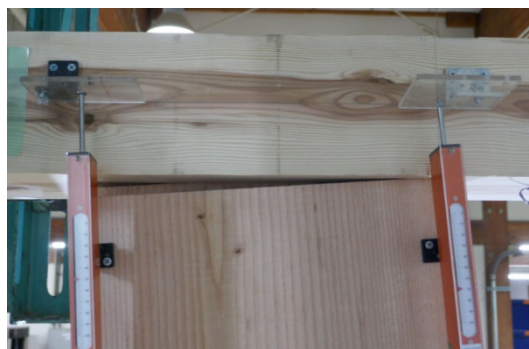
(a) Pull-in side (1/15rad)



(b) Push-over side (1/15rad)



(c) the rotation and embedment of top joint (1/15rad)



(d) the rotation and embedment of bottom joint (1/15rad)

写真 2.2.3-1 HF 試験体の変形の様子

(2) 水平荷重-変形角関係

図 2.2.3-1 に外力と見かけのせん断変形角の関係の履歴曲線を示す。いずれの試験体も、ややスリップを生じるものの弾性的な関係を示した。

試験体に用いている部材のヤング係数は $HF-1 > HF-2 > HF-3$ となっている（表 2.2.1-1 参照）。ヤング係数が高いほど、柱による差鴨居の変形拘束効果が大きいため、水平せん断耐力も $HF-1 < HF-2 < HF-3$ となっている様子が見て取れる。

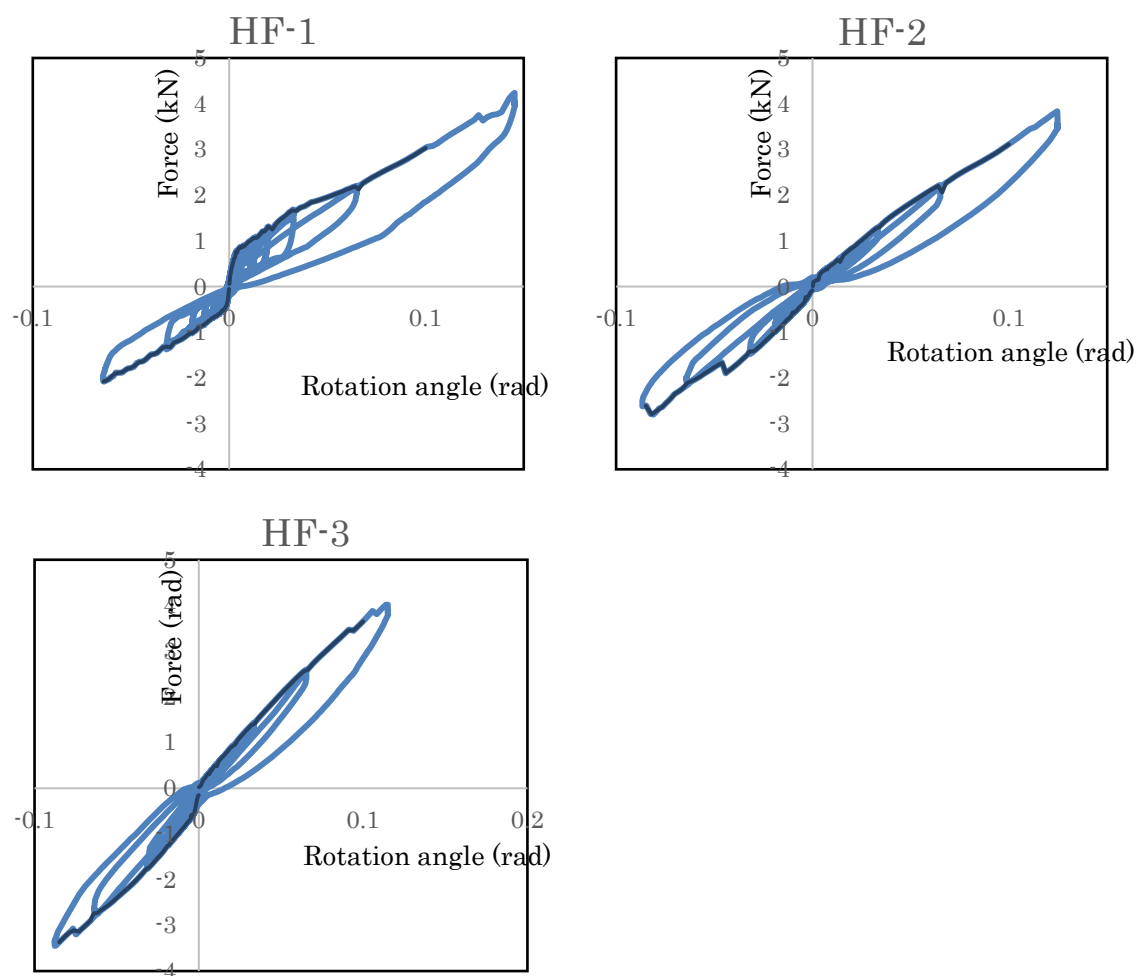


図 2.2.3-1 水平荷重一見かけのせん断変形角関係

（3）差鴨居軸力の算定

差鴨居に生じる軸力 N は直接計測することができない。このため、以下の 3 つの手法で求めた数値同士を比較し、その精度を確認した。

- ① タイロッドの軸力の総和 (N_s)
- ② 差鴨居に添付したゲージ (N_b)
- ③ 柱の曲げモーメント分布 (N_c)

① タイロッドの軸力の総和 (N_s)

柱両端に取り付けたタイロッド軸力を次の式により計算し、4 本の値を総和して差鴨居の軸力に換算した。なお、大変形時にタイロッドは斜めになっている。 N_s はこの斜めになったタイロッドの軸力であるため、ストラット（差鴨居の対角方向）の方向とは若干のず

れがある事に注意する必要がある。図 2.2.3-2 に求めた N_s の値とそのときの見かけのせん断変形角との関係（包絡線）を示す。 N_s はせん断変形に対してほぼ直線的に増加する傾向を示した。

$$N_s = \sum \frac{\varepsilon_i}{10^6} \times E_{steel} \times A_{steel\ bar}$$

※ E_{steel} : タイロッドのヤング係数=205kN/mm²

※ $A_{steel\ bar}$: φ 10mm タイロッドの断面積

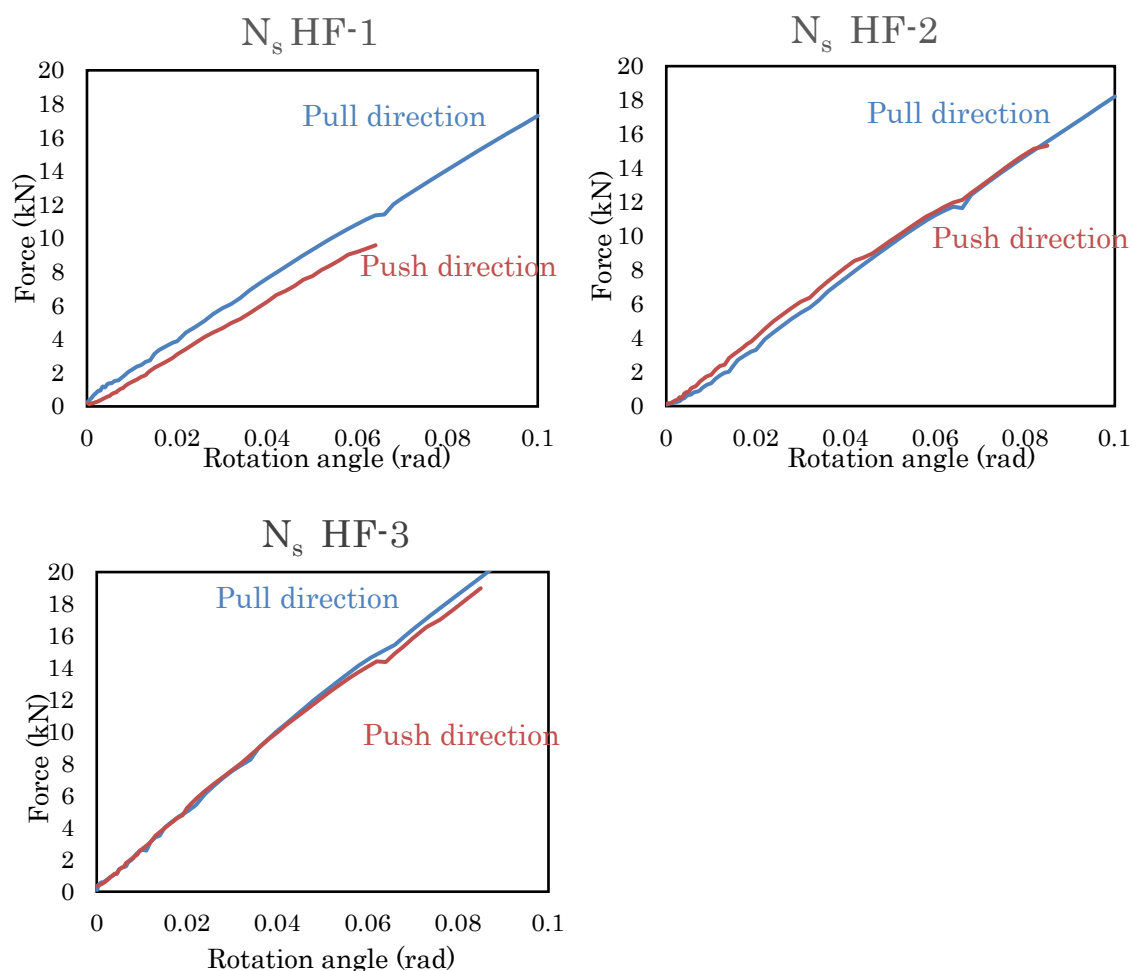


図 2.2.3-2 タイロッドの軸力から求めた差鴨居軸力 (N_s)

②差鴨居に添付したゲージ (N_b)

差鴨居の中央付近に単軸ゲージ 30mm を 4 枚添付した。この平均歪みを用いて、差鴨居軸力を以下の式より計算した。

$$N_b = \frac{\varepsilon_{ave}}{10^6} \times E_{beam} \times A_{beam}$$

※ ε_{ave} : 差鴨居軸方向歪みの平均値

※ E_{beam} : 差鴨居の動ヤング係数

図 2.2.3-3 に求めた N_b の値とそのときの見かけのせん断変形角との関係（包絡線）を示す。

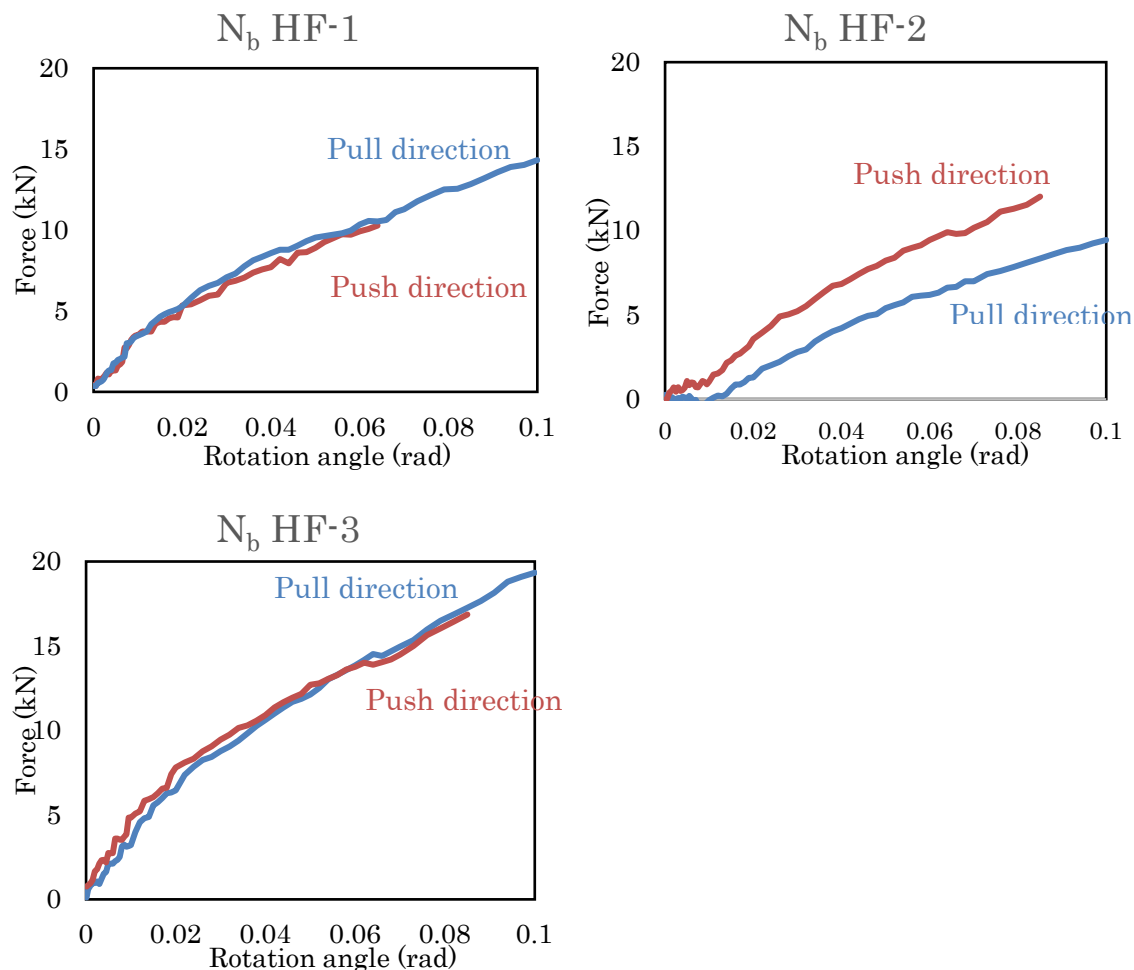


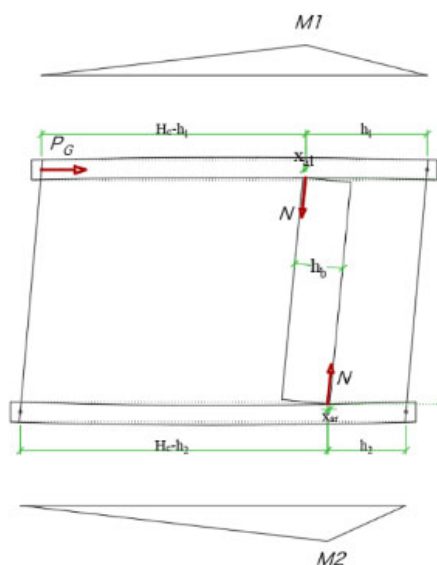
図 2.2.3-3 差鴨居のゲージから求めた差鴨居軸力 (N_b)

③柱の曲げモーメント分布 (N_c)

柱に添付したゲージより柱に生じる曲げモーメント分布を得ることができる。仕口左右で柱の支点－仕口スパンが異なるが、柱の長スパン側では 2 点位置の歪み計測（図 2.2.2-2 下柱#34,35 #36,37 位置）を行っているため、2 点間のモーメント値の傾きがその区間のせん断力となる。また柱の短スパン側では 1 点の歪み計測（図 2.2.2-2 下柱#38,39 位置）を行っているが、支点においてモーメントが 0 である事を利用して、同様にモーメント分布の傾きからせん断力を得る。単純梁モデルとして、差鴨居軸力によってこのせん断力変化が生じていると仮定できるため、逆算することで軸力を推定できる。この分布線を直線補完して軸力作用点付近のモーメントを計算した。同様にして上下柱材から求めた数値を平均して軸力値とした。

なお、柱の曲げモーメントは両側面 1 対のゲージの計測値の絶対値平均値に断面係数と

曲げヤング係数を乗じて求めた。曲げヤング係数は表 2.2.1-1 に示す構面試験終了後に、柱材の変スパン 3 点曲げ試験を別途行って求めたものである。



$$N_1 = \frac{M_1 \times H_c}{(H_c - h_1)h_1};$$

$$N_2 = \frac{M_2 \times H_c}{(H_c - h_2)h_2};$$

$$N_c = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

図 2.2.3-4 柱の曲げモーメント分布のイメージと軸力の計算（右）

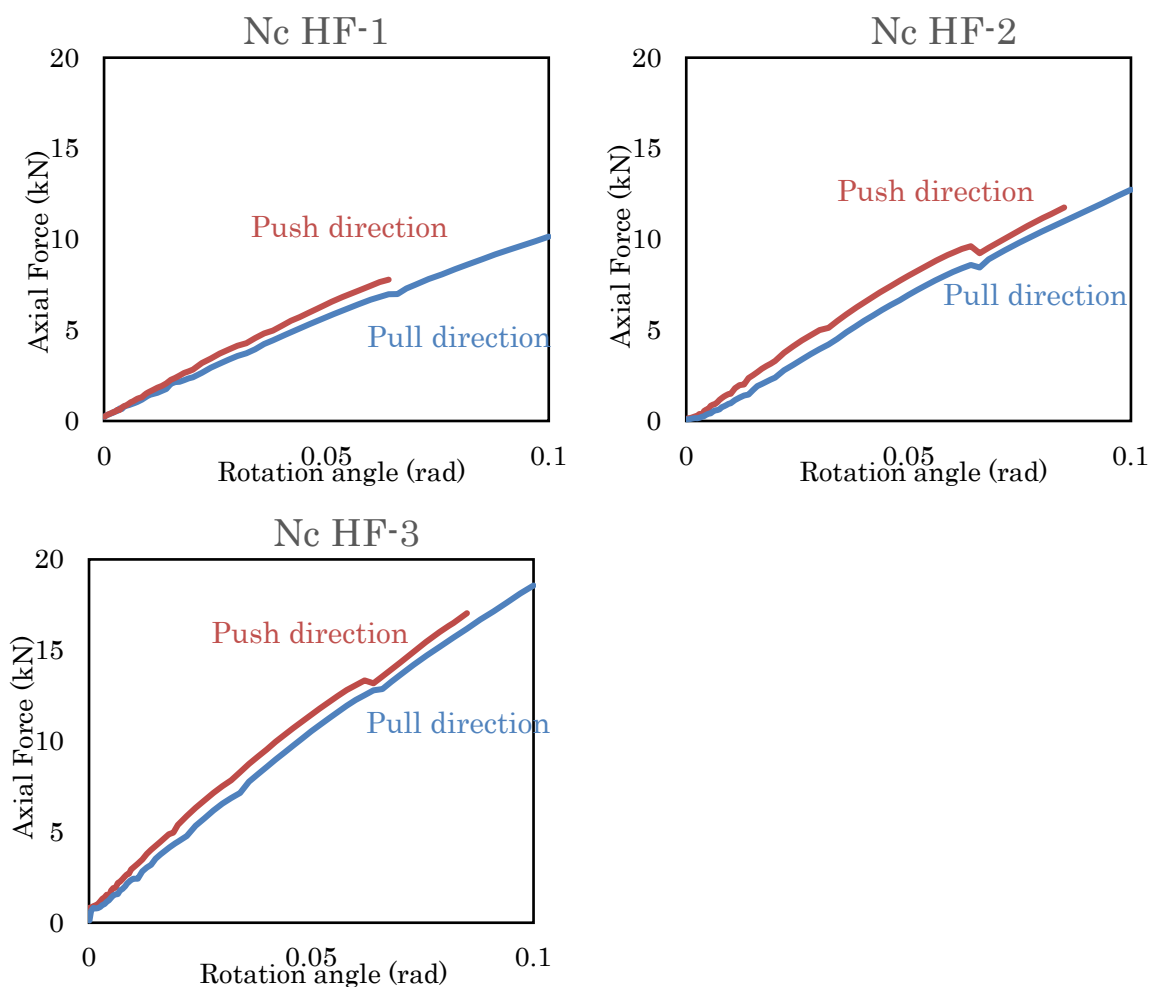


図 2.2.3-5 柱のモーメント分布から求めた差鴨居軸力（Nc）

(4) 軸力と外力の関係

図 2.2.3-6 に差し鴨居の回転とめり込み変形について示す。差し鴨居端部ではめり込み変形が生じ、差し鴨居軸力の作用点は梁の側面よりもやや内側に移動 (X_a) する。差し鴨居上下端で同様の移動が生じることにより、両者の距離が差し鴨居軸力作用点間距離 ($h_b - 2X_a$) となる。この値を差し鴨居端部の接触長さ X_p から求めた。 X_p は差し鴨居両側のめり込みと浮き上がり変位から求められる。この時、差し鴨居端部は柱に三角形めり込みを生じていると仮定し、ここでは合力作用位置 (差し鴨居軸力作用位置) X_a は $X_p/3$ で求められる事とした。

$$X_p = \frac{\#8 \times h_b}{(\#8 - \#9)}, \quad X_a = \frac{X_p}{3}$$

$$\text{軸力作用点間距離} = h_b - X_{a\text{上}} - X_{a\text{下}}$$

実測した X_p の値から X_a を上下の梁端でそれぞれ推定し、両者の和を梁せいから差し引くことで軸力作用点間距離として定義した値を図 2.2.3-7 に示す。数値は 0.01rad 以降ほとんど変化が無く、概ね 330-340mm 程度に収束した。この値は後述する軸組みのみの構面試験時に計測した X_a の収束値 300mm よりも大きかった。このように H 型試験体では柱の曲げ剛性が小さいため差し鴨居の柱へのめり込み変形が小さくなることがうかがえる。

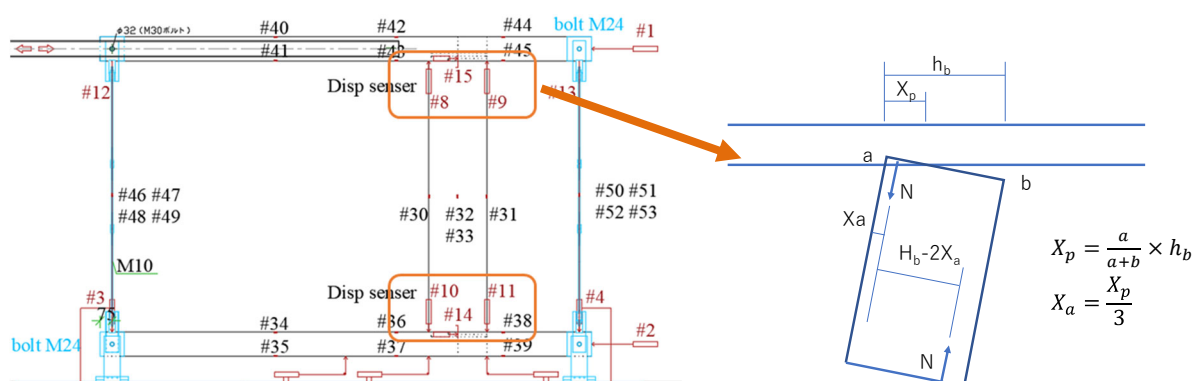


図 2.2.3-6 差し鴨居の回転とめり込み変形

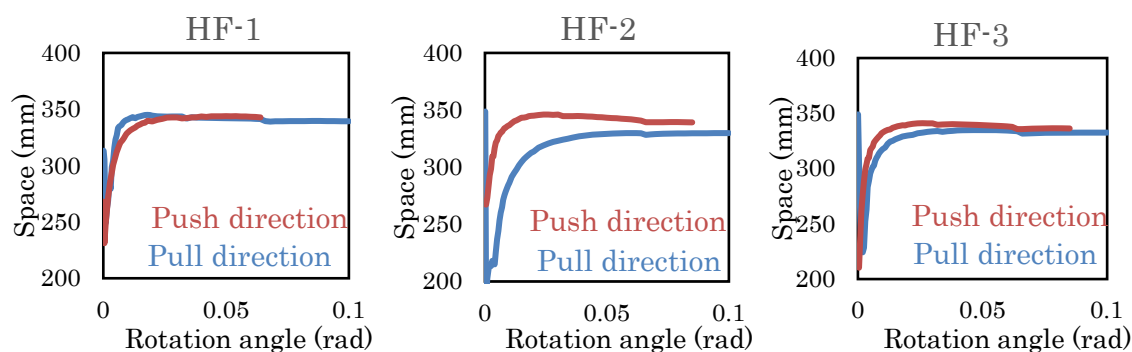


図 2.2.3-7 梁端変位計より求めた差し鴨居軸力作用点間距離

(5) 軸力と外力の関係

仕口無し H 型試験では差鴨居の軸抵抗成分のみが抵抗要素として働くと仮定すると、差鴨居に生じる軸力値 N を用いて、外力 Q は次の式で計算できる。

$$Q=N\times(360-\sum x_a)/H_H$$

ここで $360-\sum x_a$ は前述した差鴨居軸力作用点間距離、 H_H は試験体の高さ方向スパンである。今回 3 つの方法でそれぞれ求めた N 値を用いて計算した Q の値と見かけのせん断変形角との関係を図 2.2.3-8 に示す。実測外力の数値（図 2.2.3-1 参照）も比較として同時に示した。

タイロッド軸力から求めた N_s による推定値が実験値との適合性が最も高いように見て取れる。一方で、 N_b や N_c による方法は全体的にやや低めとなっているが、概ね傾向はとらえているように思える。この結果から、差鴨居に添付したゲージや柱の曲げモーメント分布から、差鴨居軸力を推定することの妥当性が裏付けられた。

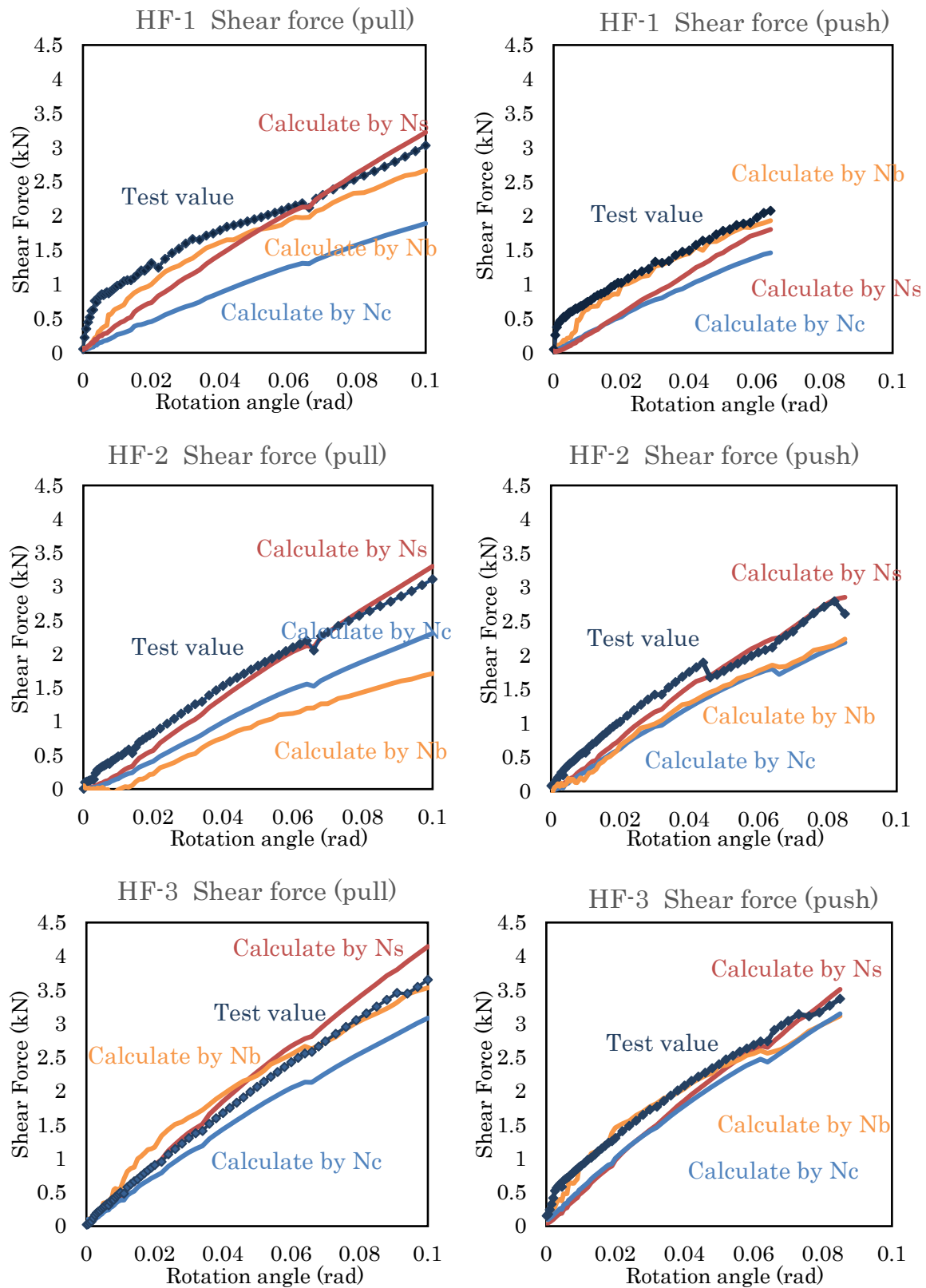


図 2.2.3-8 外力と差鴨居軸力からの計算値との関係

2.3 仕口有り H 型試験体

2.3.1 試験体

仕口無しの H 型試験体に続き、梁端にモーメント抵抗接合部を有する H 型試験体の水平せん断載荷試験を行い、両者の挙動の比較することで、差鴨居軸抵抗成分と仕口のモーメント抵抗成分の相互作用の検証を試みた。

仕口の無い H 形試験では差鴨居発生軸力は柱の曲げ変形と端部のめり込みの直列バネを考慮することで、変形角に応じた幾何学関係から概ね推定できると考えられる。一方で差鴨居端部仕口を有する条件では、梁のモーメント抵抗によって生じるめり込み変形により、幾何学的なたわみ量が減少することが考えられる（図 2.3.1-1）。

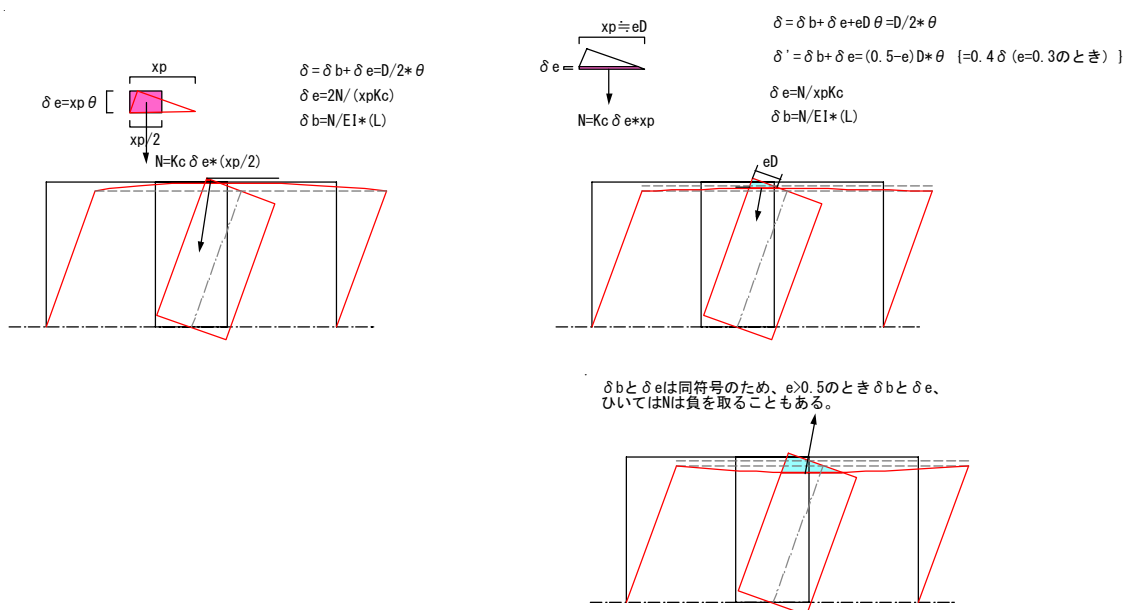


図 2.3.1-1 モーメント抵抗の有無（左：有り）の違いによる幾何学的なたわみ量の違い

基本的な試験体の形状は 2.2 で論じた仕口無し試験体と同一である。しかし本試験体においては差鴨居端部が短ほぞでは無く、長ほぞ込栓接合仕様とした。長ほぞの形状は接合部試験、軸組試験の一連の実験で用いた寸法と同一の 15mm 角の込栓留め仕様である（図 2.3.1-2）。

この仕口を有する差鴨居を図 2.3.1-3 に示すように 150mm 角のスギ柱材 2 本で挟み込んだ。このとき、差鴨居の長ほぞの加工向きを点対称となるようにした。これは H 型試験において押し加力時には上下の長ほぞ仕口のモーメント抵抗が弱い側（仕口が開く側）となり、引き加力時に上下両方ともモーメント抵抗が強い側（仕口が閉じる側）となることで、モーメント抵抗と差鴨居軸力とのバランスをより明快に区分するための方策である。

試験体は 3 体（HF-J1、HF-J2、HF-J3）とした。2.2.1 の検討と同様に、柱・梁材について、あらかじめ全ての材料の動的ヤング係数を打撃法で測定し、その大小に応じた組み合わせで 3 体の試験体に以下の通り振り分けた。試験に用いた部材のヤング係数を表 2.3.1-1 に示す。さらに、構面試験終了後に取り外した柱材を 2.2.1 と同様の手法で変スパン 3 点曲げ試験を行い、曲げヤング係数の補正を行った。

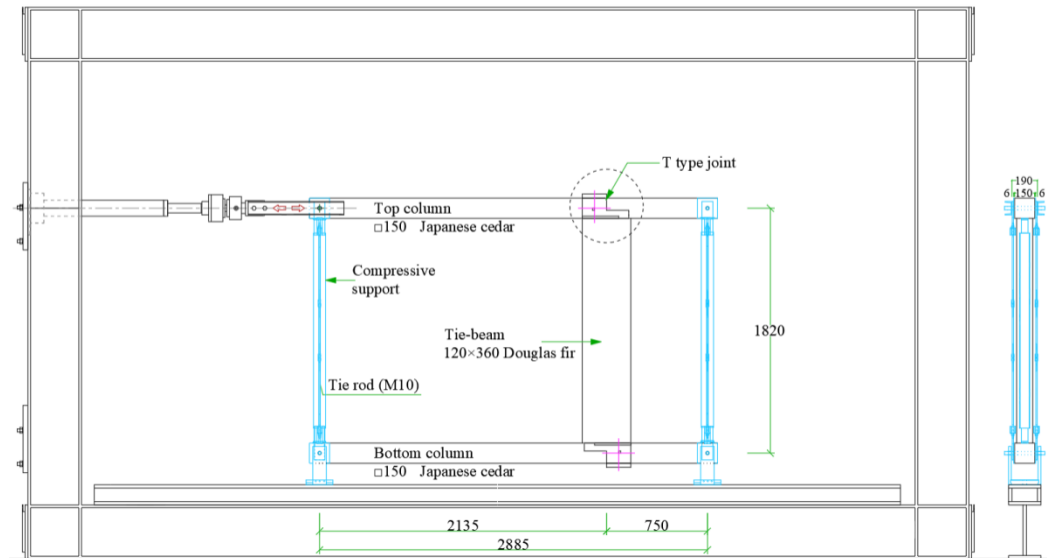


図 2.3.1-3 仕口有り試験体のセットアップ

表 2.3.1-1 各試験に用いた材料のヤング係数

試験体名	材料名	動的ヤング係数 (Gpa) ※1	3 点曲げ試験での 曲げヤング係数 (GPa) ※2	含水率 (%)
HF-J1	スギ-下	10.2	9.48	23.4
	スギ-上	8.4	7.67	15.4
	ベイマツ- 梁	14.5		17.4
HF-J2	スギ-下	8.1	10.72	16.6
	スギ-上	7.3	9.07	17.1
	ベイマツ- 梁	13.6		16.6

HF-J3	スギ-下	6.8		31.8
	スギ-上	6.5	7.62	19.4
	ベイマツ- 梁	12.3	5.03	16.5

※1：動的ヤング係数は加工前材料を打撃縦振動法にて計測したもの。

※2：3点曲げ試験での曲げヤング係数は、構面試験終了後に取り外した材料を図 2.2.1-3 の方法で変スパン 3 点曲げ試験を実施し、得られた歪みゲージの値から平均値として算出したもの

2.3.2 実験方法

変位計測計画を図 2.3.2-1 に、歪み計測計画を図 2.3.2-2 に示す。基本的には仕口無し H 型試験体と同一であるが、柱の曲げたわみ計測用の変位計を追加した。加力方法、加力スケジュールは仕口無し H 型試験体と同一とした。

試験体は 3 体であるが、1 体（HF-J1）を実施した後、本条件では差鴨居仕口の曲げ抵抗により柱が回転するため、柱間の圧縮を担保する部材が必要である事に気がついた。このため、歪みゲージを添付した鉄骨の柱材をタイロッド部に併用して設置し、圧縮力の計測を行える試験条件とした。このように、試験結果のうち 1 体目の値は正常な計測ができていないものであった、以降の考察ではこれを除外した 2 体分（HF-J2、HF-J3）の値を用いて議論する。

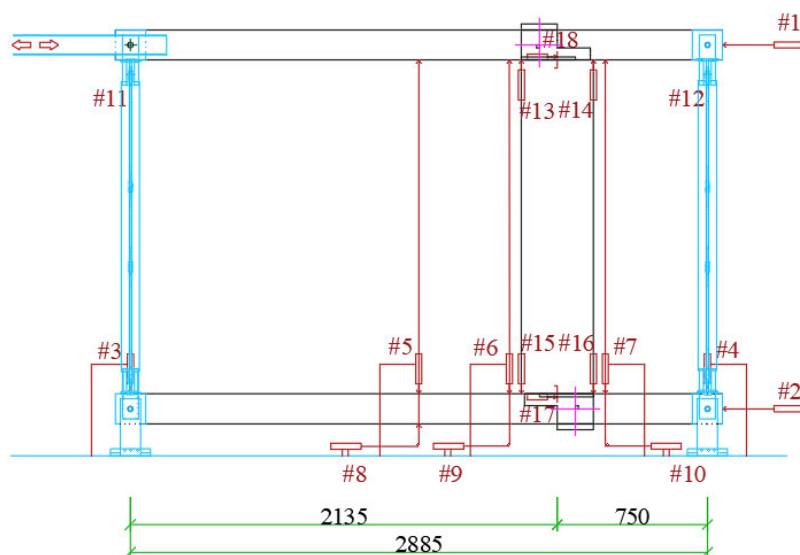


図 2.3.2-1 変位計測計画

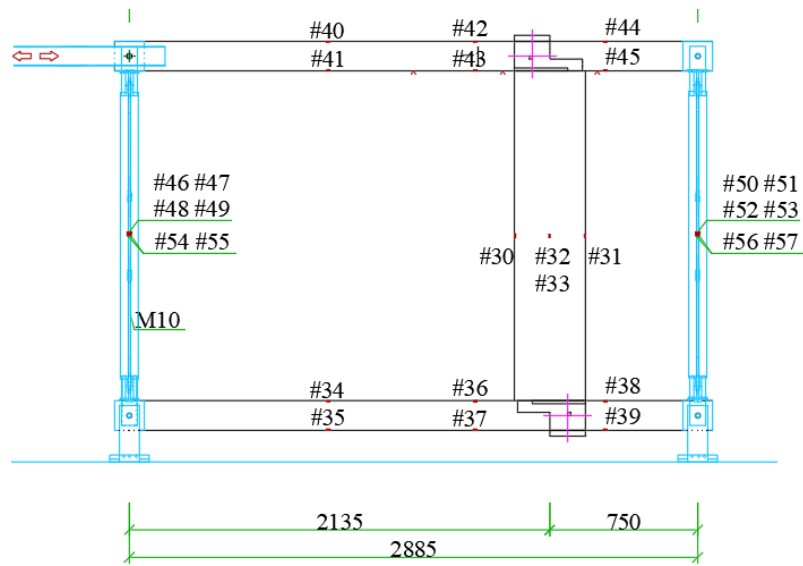
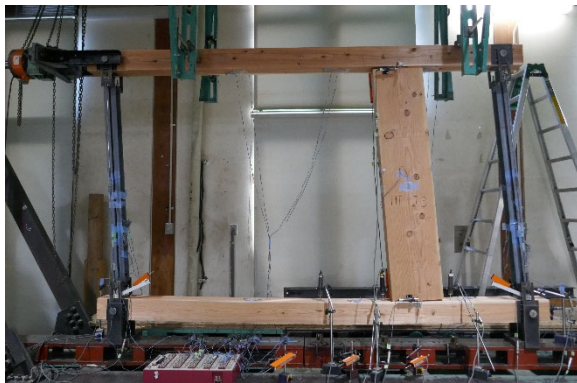


図 2.3.2-2 歪み計測計画

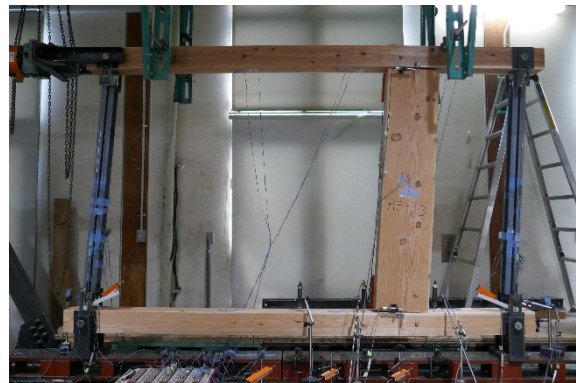
2.3.3 実験結果

(1) 変形の様子

写真 2.3.3-1 に全体（上）および差鴨居端部のめり込み変形（中、下）の様子を示す。



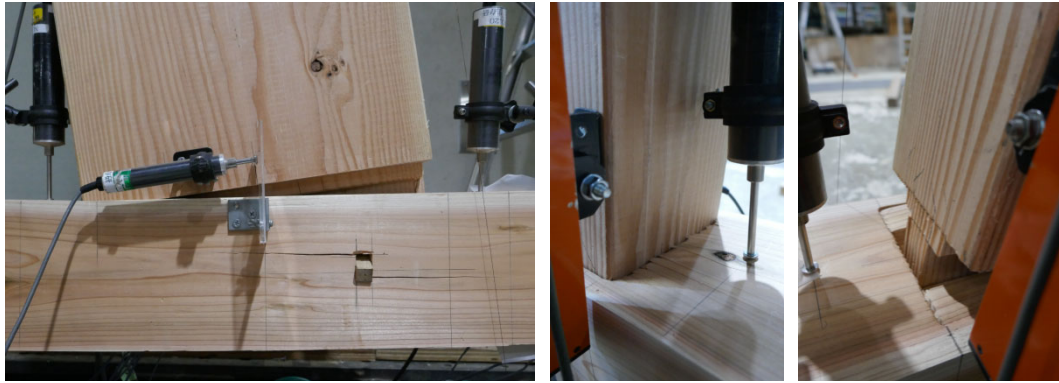
(a) Pull-in side (1/15rad)



(b) Push-over side (1/15rad)



(c) Pull-in side (1/10rad, final stage)



(d) Crack and embedment around the joint of bottom column at 1/10rad

写真 2.3.3-1 HF-J 試験体の変形の様子

(2) 水平荷重-変形角関係

図 2.3.3-1 に外力と見かけのせん断変形角の関係の履歴曲線を示す。本条件では仕口の曲げ抵抗成分と差鴨居の軸抵抗成分の両者が働くため、仕口無しの条件と比べると大きな耐力を示した。また、接合部の抵抗により、スリップ型の履歴形状を示した。

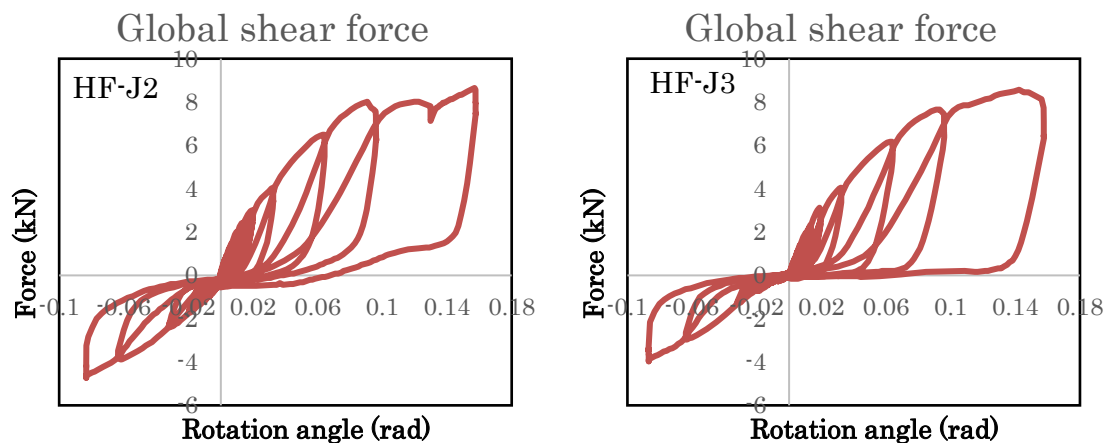
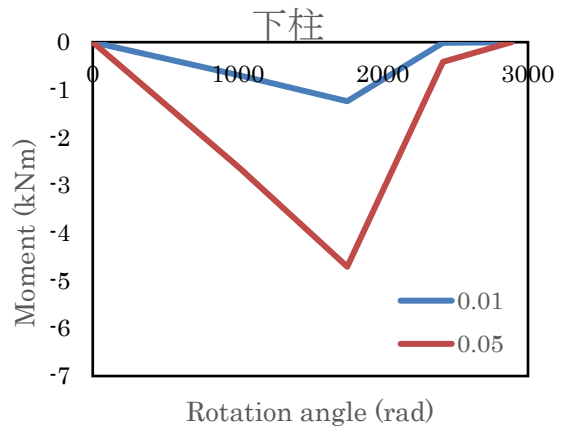
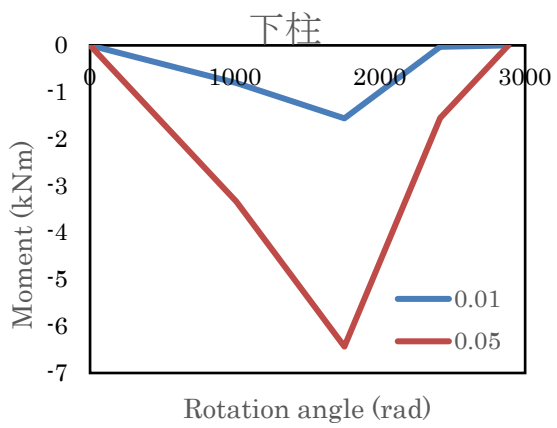
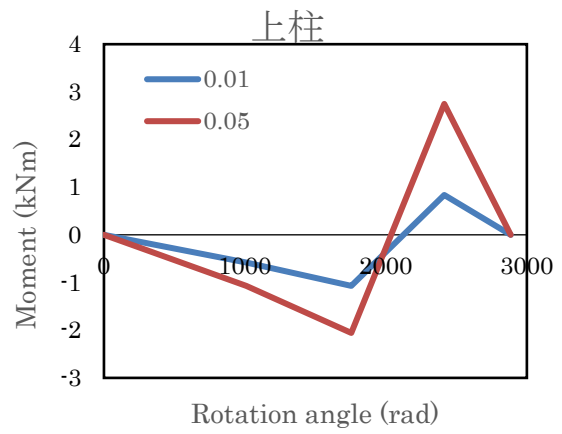
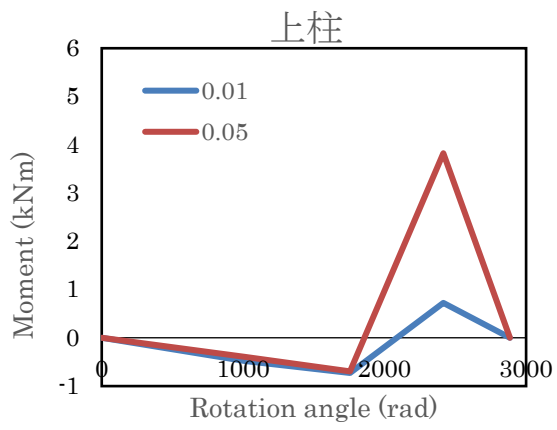


図 2.3.3-1 外力－見かけのせん断変形角関係

(3) 柱のモーメント分布

差鴨居仕口が負担するモーメントをより詳細に確認するため、柱の曲げモーメント分布を計算した。図 2.3.3-2 および 3 に柱のモーメントと位置の関係を示す。2 本の曲線はそれぞれ見かけの変形角が 1/100rad 時と 1/20rad 時のものに対応する。

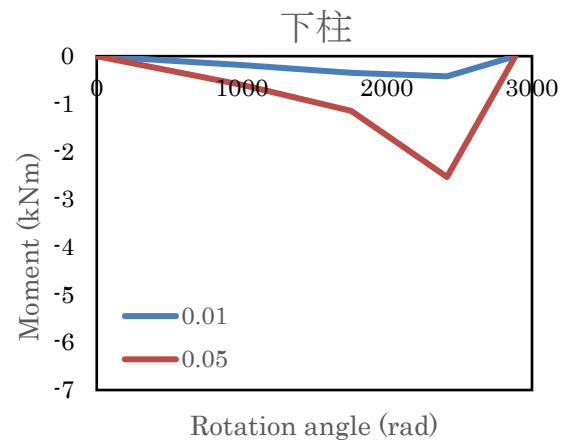
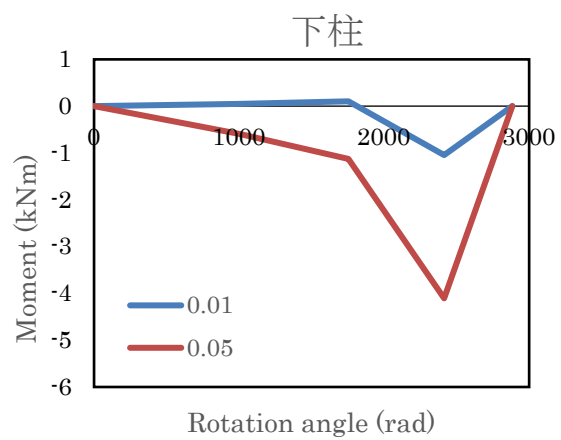
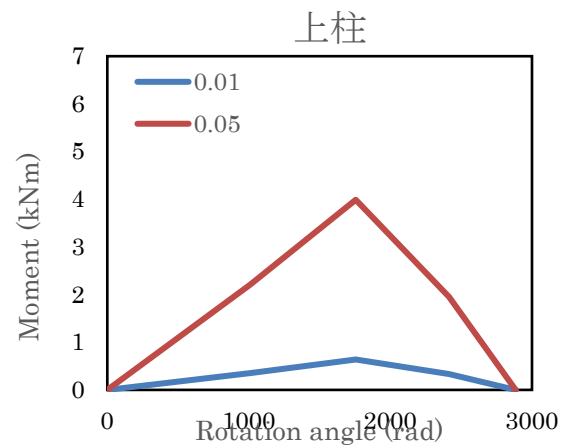
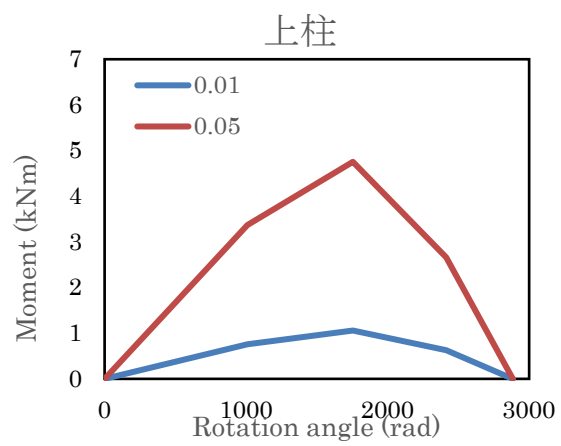
この結果は、仕口の回転モーメントに起因するものと差鴨居軸力に起因ものとの総和として発現したものと考えられる。本条件において、柱のモーメント分布の予想図を図 2.3.3-4 に示す。すなわち柱のモーメント分布はそれぞれ柱を単純梁モデルと仮定すると、前者は集中モーメント作用時のモーメント分布に、後者は集中荷重作用時のモーメント分布形状になるはずである。それらが重なり合うことで、実際のモーメント分布となっていると考えられた。



HF-J2

HF-J3

図 2.3.3-2 引き加力時の柱モーメント分布
(縦軸：モーメント値、横軸：柱の位置 (0：左側支点))
(左：HF-J2、右：HF-J3)



HF-J2

HF-J3

図 2.3.3-3 押し加力時の柱モーメント分布
 (縦軸：モーメント値、横軸：柱の位置 (0：左側支点))
 (左：HF-J2、右：HF-J3)

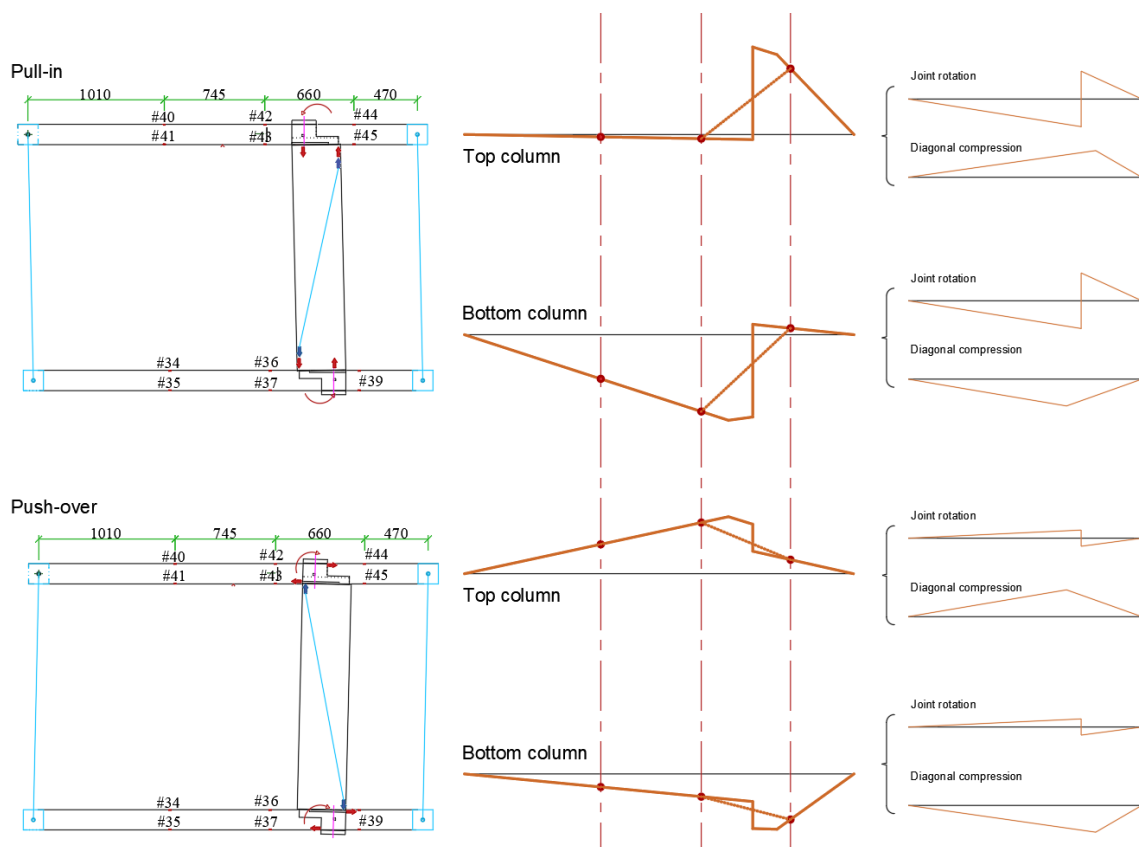


図 2.3.3-4 柱のモーメント分布とそれに影響する成分

(4) 仕口の回転抵抗成分と差鴨居軸抵抗成分の分離

図 2.3.3-4 において、柱の曲げモーメント分布曲線のギャップを生じさせるのは仕口の曲げ抵抗である事、接合部左右におけるモーメント分布曲線の傾きの差は差鴨居軸力によって生じる事、などの関係から、両成分を分離することができる。なお、仕口の曲げ抵抗成分は、接合部単体の曲げ試験などの扱いと同様に、差鴨居軸芯位置でのモーメント値として取り扱う。差鴨居軸抵抗成分はその作用位置を実測した接触長さから逆算して計算した。

図 2.3.3-5 に以上の手法によって求めた HF-J 試験における差鴨居端部仕口の負担モーメントー回転角関係を示す。結果は比較的良い値の取れた HF-J3 試験体のものである。図の上段に引き加力時の値（接合部抵抗は強軸側）を、下段に押し加力時の値（接合部抵抗は弱軸側）を示す。また、左右の図はそれぞれ下柱、上柱に対応する。比較のため、昨年度までに実施した、同形状の長ぼ込栓仕口の単位要素実験におけるモーメントー接合部回転角関係を併せて示した。

図 2.3.3-5 より、下記のことが推定できる。

- 上下の柱で似た性状の $M-\theta$ 関係が得られていることから、本計測結果は信頼出来る。
- 強軸側抵抗を単位要素実験の値と比較すると、初期剛性、降伏耐力ともに低下している様子がうかがえる。一方で、降伏後の二次勾配や最大耐力性能はむしろ向上する。
- 本結果は差鴨居に圧縮軸力が作用した条件下であるため、単位接合部の性能が影響を受けている可能性がある（相互作用の存在）。
- 弱軸側の結果では、初期剛性が小さかった。これは加工精度の問題が疑われた。

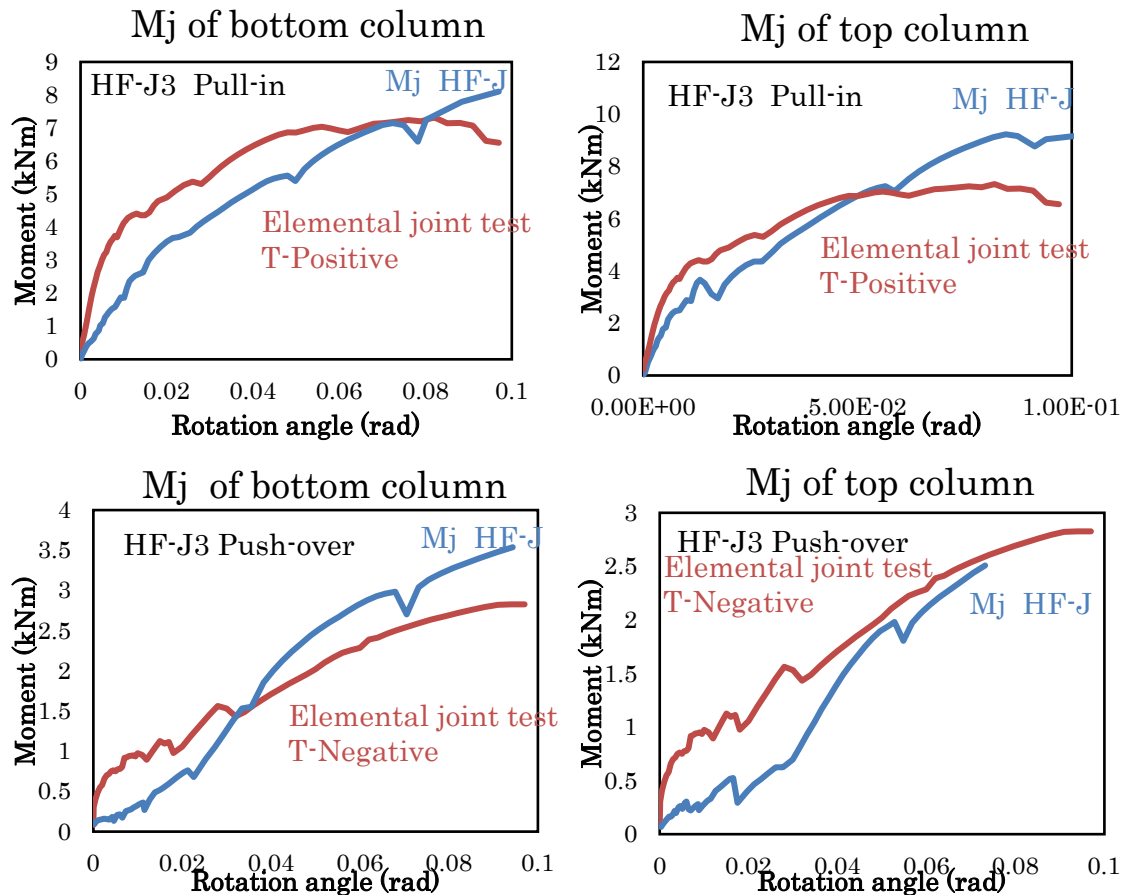


図 2.3.3-5 HF-J3 試験における差鴨居端部仕口の負担モーメントー接合部回転角関係と接合部単位要素試験時の値の比較（上：引加力時、下：押加力時）

図 2.3.3-6 に差鴨居の軸力の計測値を示す。ここでは 2.2.3 で論じた手法のうち、①タイロッドの軸力の総和 (Ns) および③柱の曲げモーメント分布 (Nc) の二つについて求めたが、両者は非常に良く一致した。この結果から以下の点が考えられる。

- Ns と Nc が一致したことから、図 2.3.3-4 の手法による軸抵抗成分の分離法の妥当性が裏付けられ、さらには同じ手法に基づく図 2.3.3-5 の結果の妥当性が確かめられた。
- 差鴨居に発生する軸力値を同一変形角時の押し加力側（接合部弱軸抵抗）と引き加力側（接合部強軸抵抗）とで比較すると、前者の方がより高い値となっている。また、図 2.3.3-7 に参考に示した値と、図 2.2.3-2 で検討した HF 試験時の発生軸力の値と比べると、HF-J 試験時の発生軸力が非常に小さい。
- この現象は図 2.3.1-1 に示す差鴨居軸力発生メカニズムを裏付けていると考えられる。すなわち、HF-J のような条件では差鴨居端部仕口の回転抵抗にともなうめり込み変形によって差鴨居軸力を発生せしめる柱曲げ一端部めり込みの直列バネの変形が幾分消費されており、これにより発生軸力が低下すると考えられる。

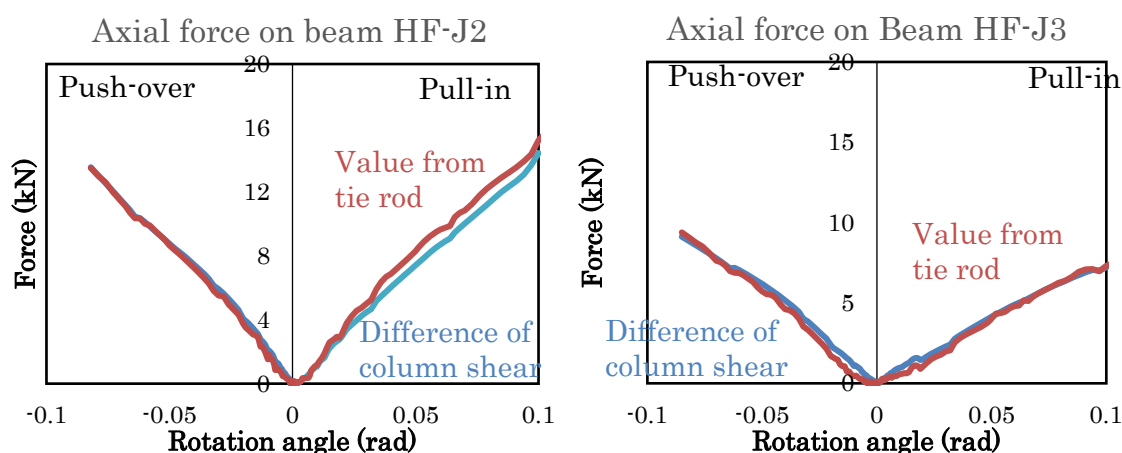


図 2.3.3-6 差鴨居軸力と見かけのせん断変形角の関係

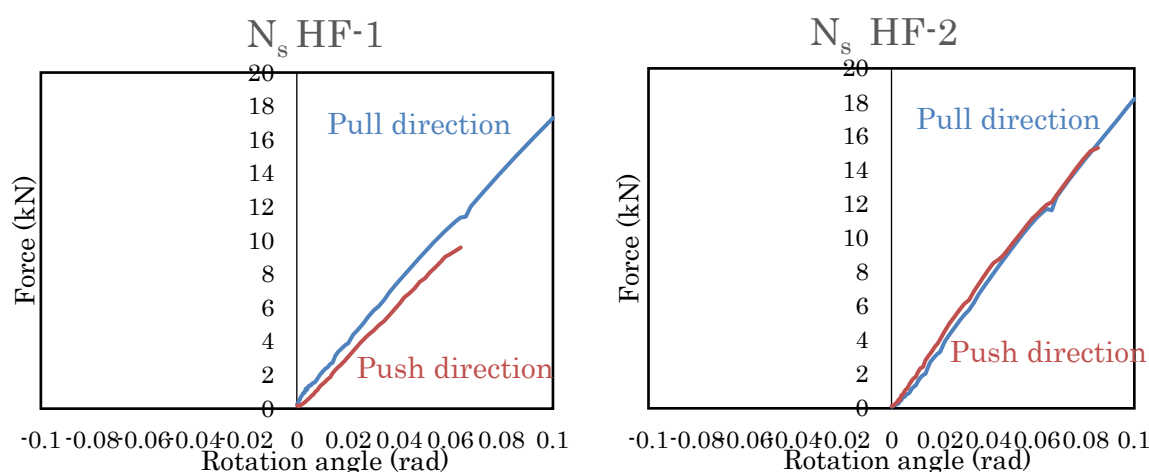


図 2.3.3-7 HF 試験時のタイロッドの軸力から求めた差鴨居軸力 (N_s) (図 2.2.3-2 より)

2.4 考察・まとめ

2.4.1 差鴨居軸力の力学モデルによる予測

端部仕口を有する構面では図 2.3.1-1 に示したように、差鴨居の軸力は接合部の回轉變形と部材の曲げ変形による拘束効果等を考慮することで決定される。本節では、差鴨居に生じる対角の圧縮力をせん断変形角との関係から推定する式を、次の力学モデルに基づいて説明する。

(1) 力の釣り合い条件

両端に接合部を持ち、変形を拘束された差鴨居には対角軸力 N_b が生じる。このとき、端部接合部では N_b と接合部の回転抵抗に伴う圧縮力 N_j が圧縮合力として作用する (ΣN)。 ΣN は接合部付近の回轉變形 θ_G に応じて、三角めり込みのめり込み基準式によって推定できる。

$$\Sigma N = N_j + N_b = \frac{x_p^2 y_p c_y E_{\perp}}{z_0} \left[\frac{1}{2} + \frac{2z_0}{3x_p} \right] \times \theta_G \quad (1)$$

ただし、 N_j : 差鴨居端部接合部回転抵抗に伴う圧縮力 (= 差鴨居端部接合部の引張力

T)、

N_b : 差鴨居の対角圧縮力、 x_p : 三角形めり込み接触長さ

x_p は本来 N_j と N_b の両者を考慮することによって定まるものである。しかし、 $N_j \gg N_b$ という仮定から、ここでは N_j のみを考慮して x_p が定まる (N_b による変化が無い) ものとする。

ここで接合部の回転抵抗に関わる力の釣り合いより、

$$N_j = T = K_T \times (d - x_p) \times \theta_G \quad (2)$$

ただし、 K_T : 差鴨居引張接合部の引張剛性

K_T は例えば長ほぞ込栓接合の場合込栓の 2 面せん断の推定式、雇い竿車知接合の場合でも車知栓の引張抵抗式などを用いて計算することができる。

式 (1) と式 (2) を連立させることで、 x_p は N_b の関数として与えられる。

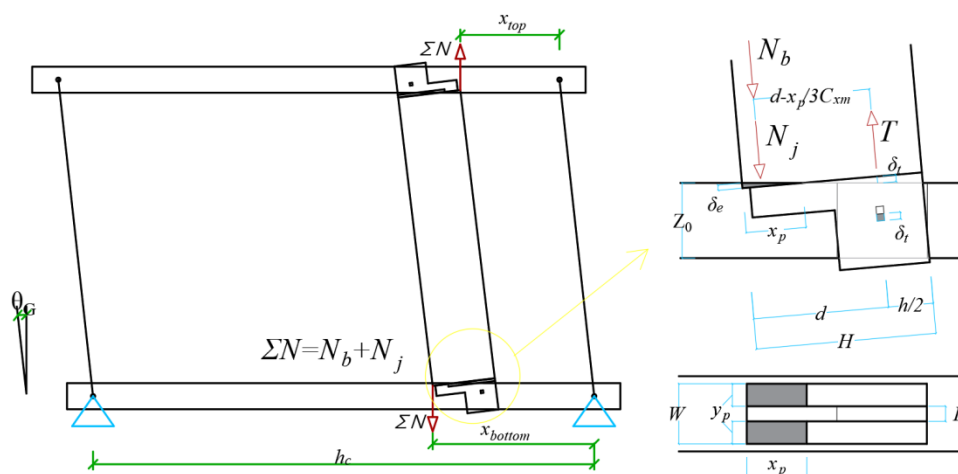


図 2.4.1-1 各要素の記号と力の釣り合い条件の概念

(2) 幾何学的変形の釣り合い

差鴨居が回転変形することにより、幾何学的な浮き上がり変形成分 δ_G が生じる。 δ_G は幾何学的に式 (3) 第 2 項で計算することができる。このとき、図 2.3.1-1、図 2.4.1-2 に示したように、 δ_G は部材の曲げ変形成分 δ_b と仕口端部のめり込み変位成分 $\sum \delta_e$ の和と釣り合う。

$$\delta_G = \left(1 + \frac{d_{cl} + d_{cr}}{2l_b}\right) \times h_b \theta_G = \sum \delta_b + \sum \delta_e \quad (3)$$

ここで、 d_{cl} , d_{cr} : 柱幅 (本試験では 150mm)、 l_b : 差鴨居長さ (本試験では 1760mm)

h_b : 差鴨居高さ (本試験では 360mm)、 θ_G : 全体の見かけせん断変形角

$\sum \delta_b$ と $\sum \delta_e$ は差鴨居軸力 N_b を与えることにより、それぞれ柱の曲げ変形剛性およびめり込み変形剛性を用いて計算することができる。

$\sum \delta_b$ は柱の曲げ剛性 K_b を考慮した次式で求まる。

$$\Sigma \delta_b = N_b \div K_b = N_b \div \frac{3h_c EI}{x^2(h_c - x)^2} \quad (4)$$

ここで、 h_c : 柱長、 x : 軸力 N_b の作用位置、 EI : 柱の曲げ剛性

$\Sigma \delta_e$ は三角形めり込みの最外縁のめり込み深さなので、接合部の回轉變形角にめり込み長 x_p を乗じて求まる。

$$\Sigma \delta_e = x_p \times \theta_G \quad (5)$$

式 (4) (5) を式 (3) に代入し、式 (1) (2) より求めた x_p と N_b の関係式を用いることで、 θ_G から N_b を求める事ができる。

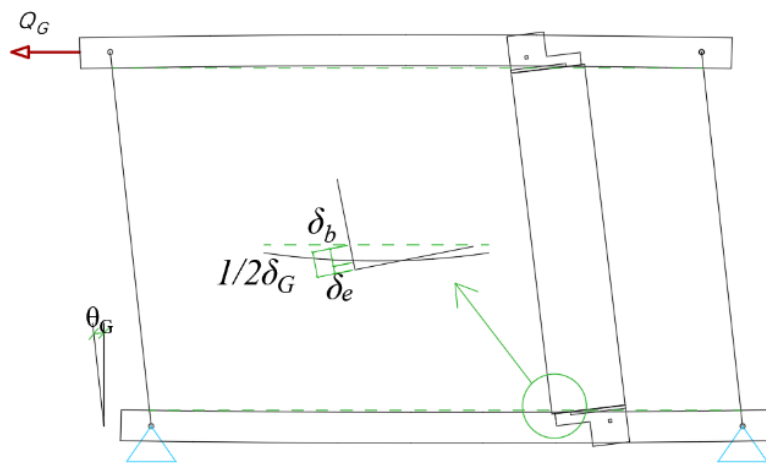


図 2.4.1-2 接合部付近に生じる変形

(3) 構面フレームに対する柱曲げ剛性の修正

ここまでの計算では、梁に生じるたわみ変形 $\Sigma \delta_b$ を差鴨居軸力 N_b のみを考慮して求めていた。これは、上下柱が同程度の曲げ剛性を持ち、また、接合モーメント抵抗が同じである場合にはモーメントによる曲げたわみは上下柱で相殺されることを考慮したためである。しかし、実際の垂れ壁付き軸組構面を想定すると、断面の異なる柱材の曲げ剛性は相当な差があり、また接合部回転抵抗も一端は閉じる側、他端は開く側となるため、大きな差が生じる、このため柱材のたわみ変形は左右柱で異なり、これを考慮した計算を行う必要がある。なお、本節で取り扱う H 型構面においても、上下柱材の曲げヤング係数には差があるため、以下で論じる手法により、より正確な挙動を予測できる。

ここでは、柱材の曲げたわみ δ_b を軸抵抗による変形性分 δ_{bb} と接合部回転抵抗による変形性分 δ_{bj} とに分けて取り扱うこととする。それぞれの計算方法は図 2.4.1-3 中に示した。

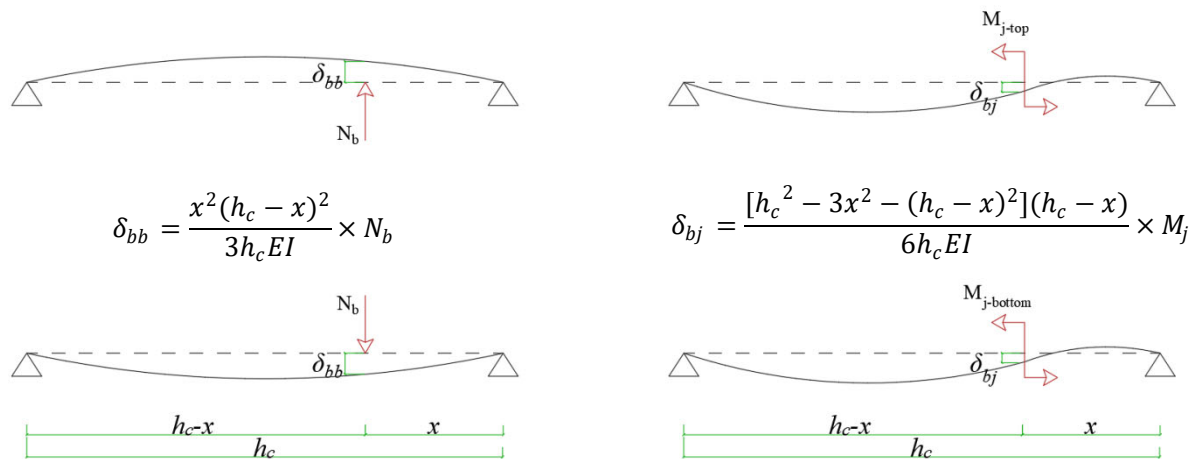


図 2.4.1-3 軸抵抗によるものと接合部回転抵抗によるものとに分離した柱材の曲げ変形

(3) 降伏後の挙動

差鴨居の軸力に影響する接合部の回転抵抗は、非線形挙動を示す。ここでは、引張側接合具のせん断降伏と圧縮側めり込み降伏を考慮したトリリニアとして取り扱う。既往実験値を参考に、それぞれの降伏変形角を定め（1次降伏点：接合具降伏、0.006rad、2次降伏点：めり込み降伏、0.01rad）、それぞれの降伏点後は接合具の引張剛性 K_T を 1/6、めり込み剛性を $1/8 K_{\Sigma N}$ とすることで取り扱った。

(4) 計算値と実験値の比較

図 2.4.1-4 に HF-J 試験体の差鴨居軸力計算値と実測値の比較を示した。差鴨居軸力は柱の曲げモーメント分布より求めたせん断力から推定した値を参照した。両者は精度良い合致を示し、(1) ～ (3) で示した推定手法の正しさを裏付けるものとなった。

図 2.4.1-5 には HF-J 試験で得られた接合部モーメントの実測値（柱の曲げモーメント分布から推定）と計算値を比較した。計算値は実測値を精度良く推定している。

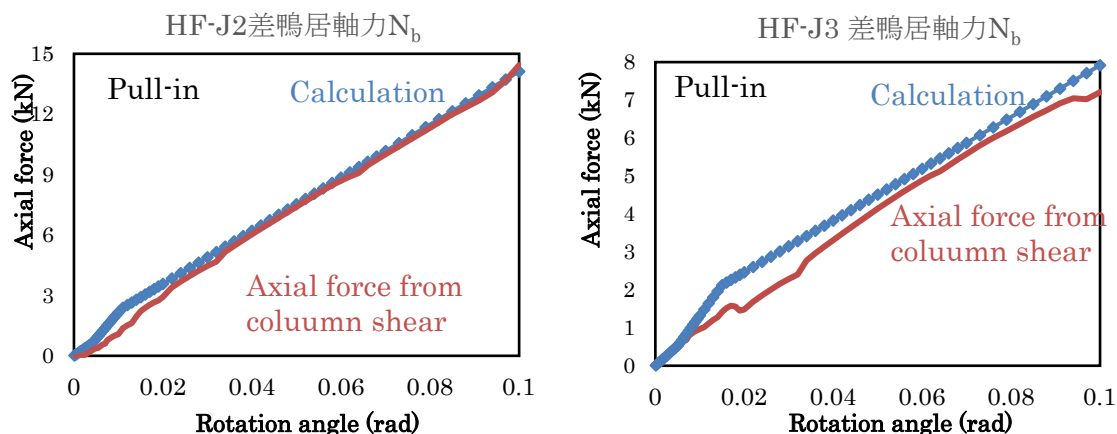


図 2.4.1-4 HF-J 試験体の差鴨居軸力計算値と実測値の比較

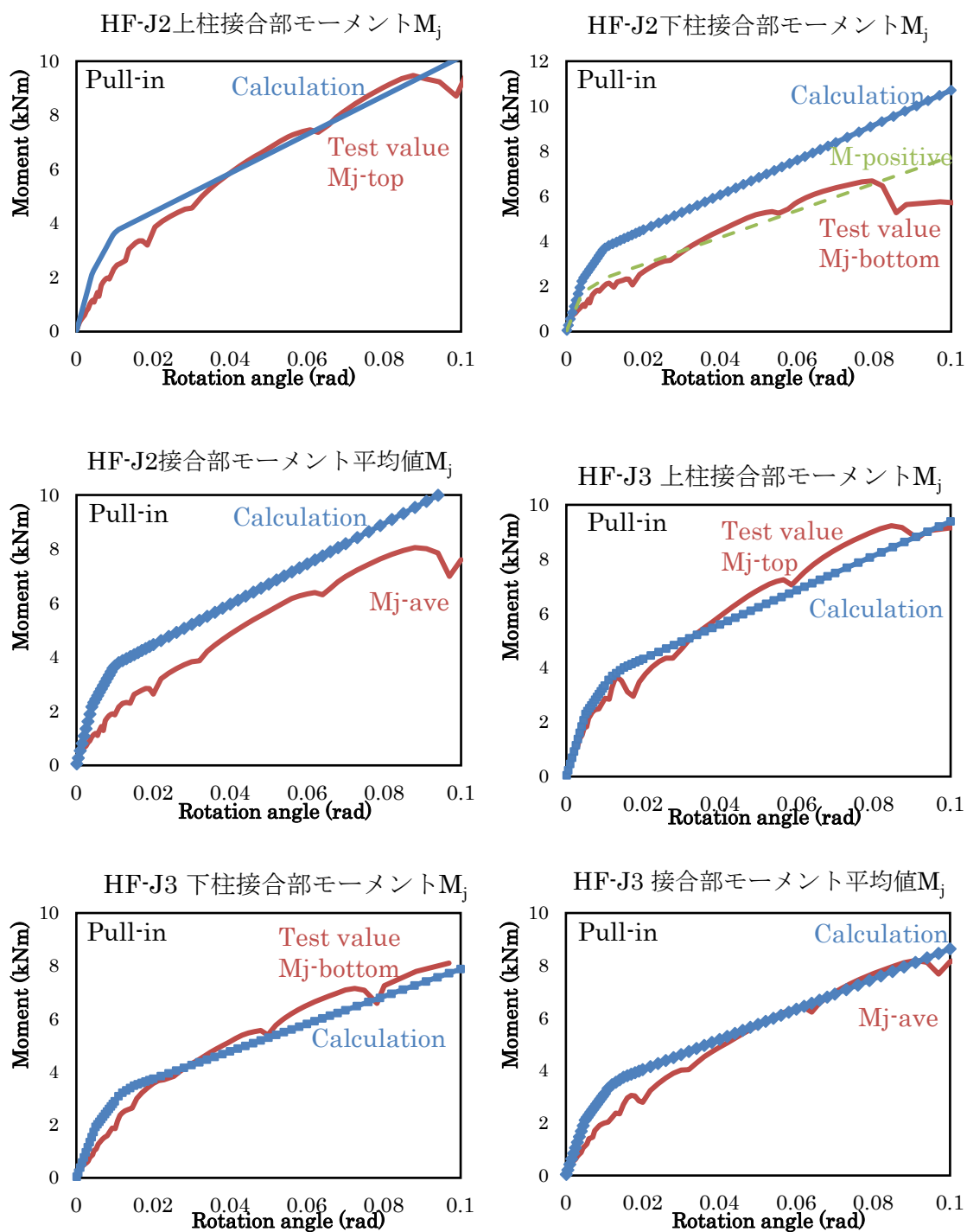


図 2.4.1-5 接合部モーメントの実測値と要素試験体接合部挙動の比較

2.4.2 まとめ

本章では垂れ壁付き構面における差鴨居の軸抵抗成分に着目し、耐力発現挙動を明らかにする事を目的に、H形状に単純化した試験体の水平せん断実験をおこなった。加えて端部仕口の有無の条件を比較することで、差鴨居に生じる軸力と接合部回転耐力との相互作用についても検討した。その結果、以下の事が明らかとなった。

- ・差鴨居に生じる軸力はせん断に伴う幾何学的な変形量と、柱の曲げ、差鴨居端部のめり込みの直列バネとの関係によって生じる。このため、特に柱の曲げ剛性の大小により大きな影響を受ける。
- ・差鴨居端部に仕口を有する場合、仕口の回転抵抗によって生じるめり込みバネの成分が上記の直列バネに加わるため、結果として発生する軸力は小さくなる。
- ・差鴨居に軸力が生じている場合、端部接合部の回転抵抗性能も相互作用として影響を受ける。具体的には剛性の低下、降伏耐力の低下、二次剛性の向上、終局モーメントの向上が生じる。
- ・部材の寸法、材料定数を用いて、評価式により差鴨居の発生軸力を推定することが可能である。また、込栓接合部の降伏後挙動を仮定することで、軸力と回転抵抗の相互作用も評価することができると考えられる。
- ・差鴨居の発生軸力が分かれば、構面全体の水平せん断力を推定可能である。

第3章 土壁の抵抗成分の検討実験

3.1 実験の目的と概要

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の成分である①接合部のモーメント抵抗成分の総和、②差鴨居の軸抵抗成分、③垂れ壁の水平せん断抵抗成分のうち、③に注目した検討を行う。重ね合わせの成立の可否を確認するため、実際に実験に使用した土壁の基本的性能を抑えておく事が主目的である。さらに、実際の垂れ壁であり得る寸法を想定し、アスペクト比の変化に応じた耐力性能の変化についても検討する。

土壁の水平せん断抵抗は、これまで全面土壁による検討が多くなされているが、垂れ壁に用いられる様な横縦のアスペクト比の大きい条件については知見が少ない。「伝統的構法のための木造耐震設計法」では、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としており、その結果耐力性能の減少を予測している。一方で垂れ壁における土壁への力の伝達経路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がある。本章の実験ではその効果について確認する。この荷重伝達経路については別の側面での問題も孕む。2章の差鴨居軸力の検討の個所で明らかとなったように、差鴨居に軸力が働く場合には接合部耐力との相互作用が確認された。土壁の端部圧縮によりストラットが作用すると、柱を押し広げる変形が生じ、差鴨居軸力や接合部耐力に影響を及ぼす可能性がある。仮に土壁への力の伝達経路が、端部圧縮と上下面の摩擦の両者であれば、さらに問題は複雑化するが、いずれにしてもどの程度の比率で起こりうるかを実験的に確認する必要がある。

このため、本章の実験では、

- ・昨年度までの検討で用いた土壁の単位耐力性能の確認
- ・アスペクト比の効果の検証
- ・荷重伝達メカニズムの解明

に焦点を当てた土壁の水平せん断試験を実施する。

3.2 純土壁の水平せん断実験

3.2.1 試験体

まず試験体の形状パラメータとしてアスペクト比に注目する。これまでの軸組構面試験結果に直接比較できるよう、芯々1820mm、内法高さ465mmの土壁寸法を基本とし、アスペクト比の異なる3条件を設定した。試験体は幅寸法を固定し、高さ寸法を変化させる事で構成した。すなわち、基本寸法である内法465mmのものをPM-Mとし、これを倍とした内法930mmのもの（PM-L）およびその2/3である内法310mmのもの（PM-S）である（図3.2.1-1）。

これらの土壁は抵抗をできる限り排除した周囲枠組みの中で養生し、実験に供した。抵抗を排除するため、周囲枠組みは 150mm 角のスギ材を組み合わせ構成し、図 3.2.1-4 に示すような接合部を用いることで緊結した。この接合部は、柱勝ちで大きなほぞ穴を有し、梁の長ほぞを差し込む。長ほぞのチリ部と柱ほぞ穴には外部を 1/10 の角度で削り取り、回転に対する抵抗力を小さくすることを意図した。なお、横架材の端部と長ほぞの上下面はそれぞれ圧縮力とせん断力を伝達する必要がある。このため、接触面長さをそれぞれ 50mm、40mm 残し、荷重伝達性能を確保した。部材の加工図を図 3.2.1-3 に、接合部詳細を図 3.2.1-4 に示す。

さらに本試験では土壁に対する力の伝達経路を確認するため、土壁が柱を端部圧縮する力を直接計測できる仕様とした。すなわち、上記の枠組み仕口は長穴ピンで構成されており、水平方向に対する拘束力を持たない。柱の水平方向への移動は柱に差し込んだピンをタイロッドで留めつけることで拘束する。試験時に土壁の端部圧縮が生じるとタイロッドでその荷重が計測できるという仕様である（図 3.2.2-1）。このため、枠材の横架材と柱の接触部のすべりをよくするため、施工時にテフロンシートを 2 枚重ねで挟み込んだ。

また、PM-S と同じ寸法の試験体で土壁の端部圧縮の影響を完全に除去したものとして、あらかじめたて枠材との間に隙間を設けた仕様を用意した（PM-So）。この試験体は、柱と土の間にスペーサーと縦胴縁を有しており、塗り土施工時にはスペーサーで縦胴縁を固定することで安定化するが、実験時にはスペーサーを外すことで水平方向への抵抗を完全に無くすることができる。

今年度の試験体の土材料は、昨年までの検討と異なり三重県産の土（長期水合わせ済み）を用いた。これは昨年まで使用していた徳島産土の生産業者の廃業により、入手が不可能になったためである。一方で少量の土材を残してあったため、PM-M 条件において徳島産の土でも試験体を作製し、土材の違いによる差異を確認することとした（PM-MT）。

土は図 3.2-2 に示すように、総塗り厚 70mm、うち荒壁 40mm、中塗り両面それぞれ 15mm の仕様である。荒壁は荒壁土とスサの混合、中塗りは土と砂を 2 : 1 の比率で混合し、さらに揉みスサを適量配合して調合した。PM-L、PM-M はそれぞれ中央に端部短ほぞ留めの横貫を有するが、PM-S 仕様では縦貫のみの仕様とした。

枠組み内に 30mm 程度の幅の間渡し竹を 450mm 程度のピッチで縦横に配し（端部ほぞ差）、さらに木舞竹を 100mm 程度のピッチで縦横にシュロ縄留めとした。

荒壁の施工は 2019 年 10 月末に開始し、荒壁塗り→（2 日）裏返し塗り→（1 日）貫伏→（7 週）大直し→（2 週）中塗り→（3 週）実験の手順で試験に供した。

枠木の加工、土壁の施工は全て昨年と同じ大工、左官の手による。

試験体は屋外で作製、小屋がけして養生した。試験時に枠木の表面を合板で厳重に保護し、面外およびせん断変形を生じない条件で慎重に実験室内に運搬し、試験に供した。

上に示した土壁が付いた構面試験体各 1 体の試験後、土を落としてフレームのみの試験体を制作し同様の試験を実施した。

試験体に用いた部材は、あらかじめ全ての材料の動的ヤング係数を打撃法で測定した。さらに、構面試験終了後に取り外した柱材を 2.2.1 と同様の手法で変スパン 3 点曲げ試験

を行い、曲げヤング係数の補正を行った。試験に用いた部材のヤング係数を表 3.2.1-2 に示す。

表 3.2.1-1 試験体仕様

形状	試験体	幅（内法）mm	高さ（内法）mm	名称	数量
構面	土壁大+ピンフレーム	1820（1670）	1080（930）	PM-L	1
	土壁中+ピンフレーム		615（465）	PM-M	1
	土壁中（徳島土）+ピンフレーム			PM-MT	1
	土壁小+ピンフレーム		460（310）	PM-S	1
	土壁小+ピンフレーム（土壁側面スペース有り）	1820（1580）	460（310）	PM-So	1
	ピンフレーム（PM-L 終了後）	1820（1670）	1080（930）	F:PM-L	1
	ピンフレーム（PM-M 終了後）	1820（1670）	615（465）	F:PM-M	1
	ピンフレーム（PM-SO 終了後）	1820（1670）	460（310）	F:PM-S	1

表 3.2.1-2 各試験に用いた材料のヤング係数

試験体	部位	樹種	断面（mm）	動的ヤング係数（Gpa）※1	含水率（%）
PM-L	上梁	スギ	150x150	11.32	22.2
	下梁	スギ	150x150	7.22	19.3
	右柱	スギ	150x150	7.24	17.3
	左柱	スギ	150x150	10.13	21.7
PM-M	上梁	スギ	150x150	7.36	21.9
	下梁	スギ	150x150	11.07	24.0
	右柱	スギ	150x150	9.76	21.1
	左柱	スギ	150x150	9.45	20.1
PM-MT	上梁	スギ	150x150	10.45	33.5
	下梁	スギ	150x150	7.44	28.0
	右柱	スギ	150x150	9.55	20.7
	左柱	スギ	150x150	7.43	16.8
PM-S	上梁	スギ	150x150	8.95	22.1
	下梁	スギ	150x150	10.44	26.3
	右柱	スギ	150x150	6.88	21.9
	左柱	スギ	150x150	11.07	24.0
PM-So	上梁	スギ	150x150	9.33	24.0
	下梁	スギ	150x150	9.82	20.7
	右柱	スギ	150x150	6.88	21.9
	左柱	スギ	150x150	11.07	24.0

※1：動的ヤング係数は加工前材料を打撃縦振動法にて計測したもの。

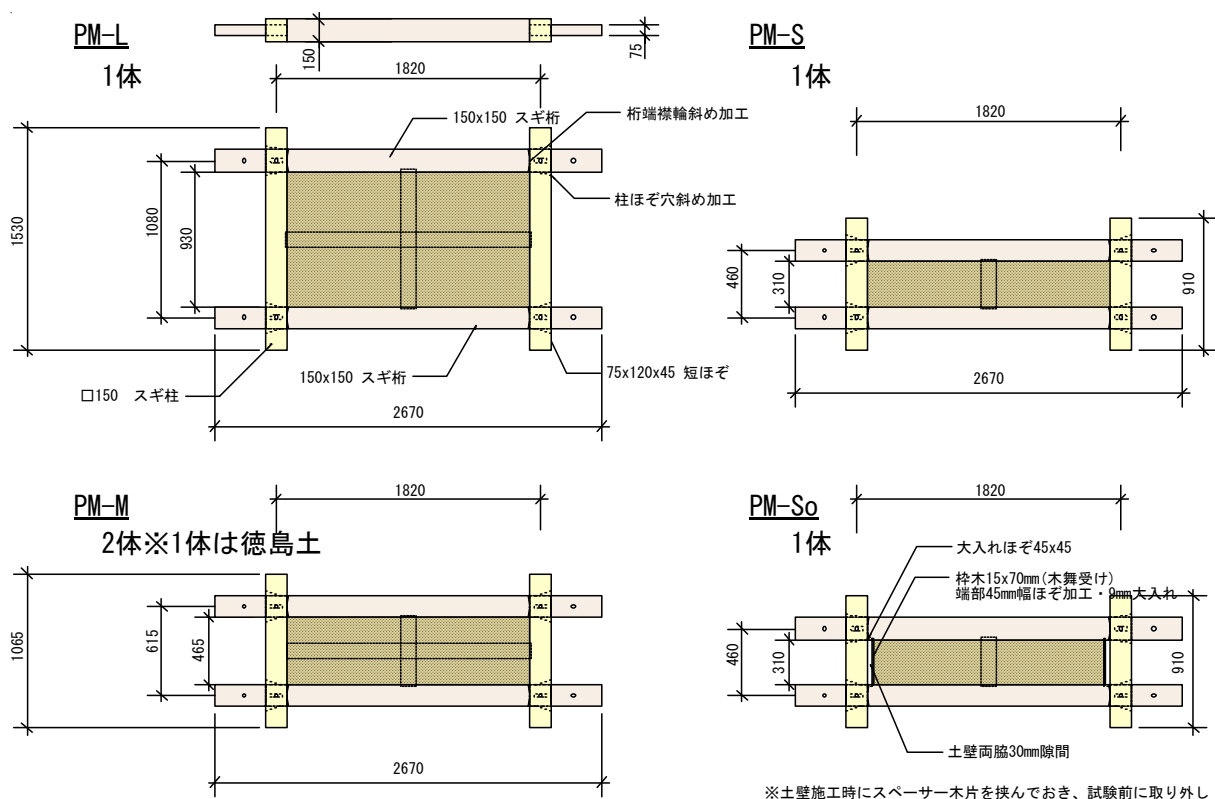


図 3.2.1-1 純土壁試験体

表 3.2.1-3 試験体仕様

軸部	項目	樹種	断面寸法 (mm)	規格
	柱	スギ (背割りあり)	高さ 150×幅 150	目視等級・特選一等
	上桁、 下桁	スギ (背割りあり)	高さ 150×幅 150	目視等級・特選一等

土塗り 壁	荒壁	三重産土+スサ	厚さ：40mm	貫伏：スサ
	中塗り	京都産土 2+砂 1+スサ	厚さ：30mm (表・裏各15mm)	貫伏：スサ
土塗り 壁 (徳島 産)	荒壁	徳島産土+スサ	厚さ：40mm	貫伏：スサ
	中塗り	徳島産土 2+砂 1+スサ	厚さ：30mm (表・裏各15mm)	貫伏：スサ

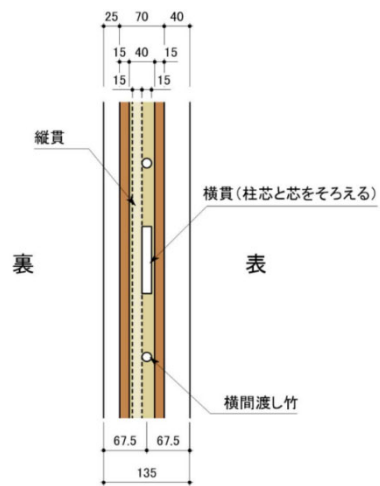
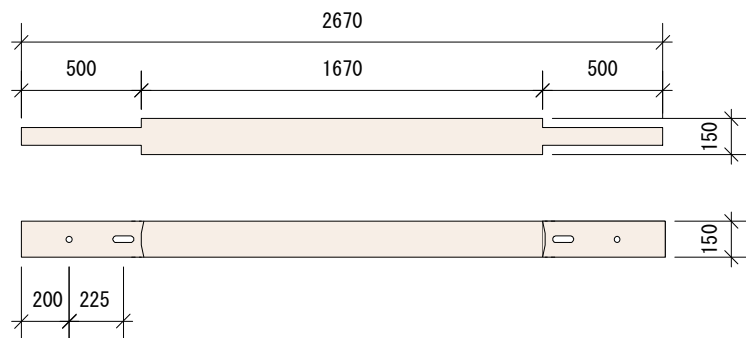


図 3.2.1-2 土壁詳細

純土壁横架材:スギ 150x150x2670×10



純土壁柱材:スギ 150x150 1530×2、1065×4、910×4

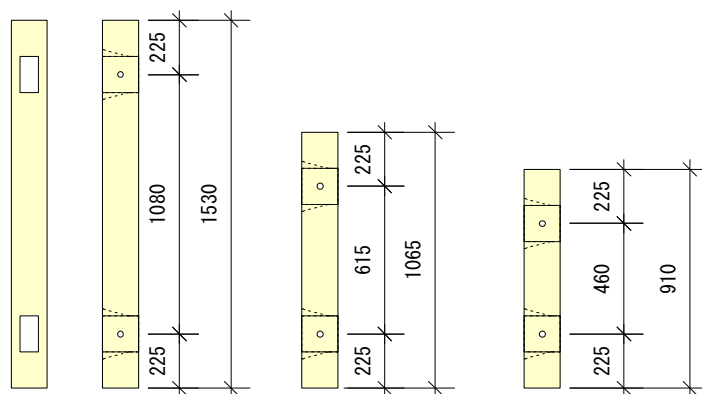


図 3.2.1-3 ピンフレームの部材加工図

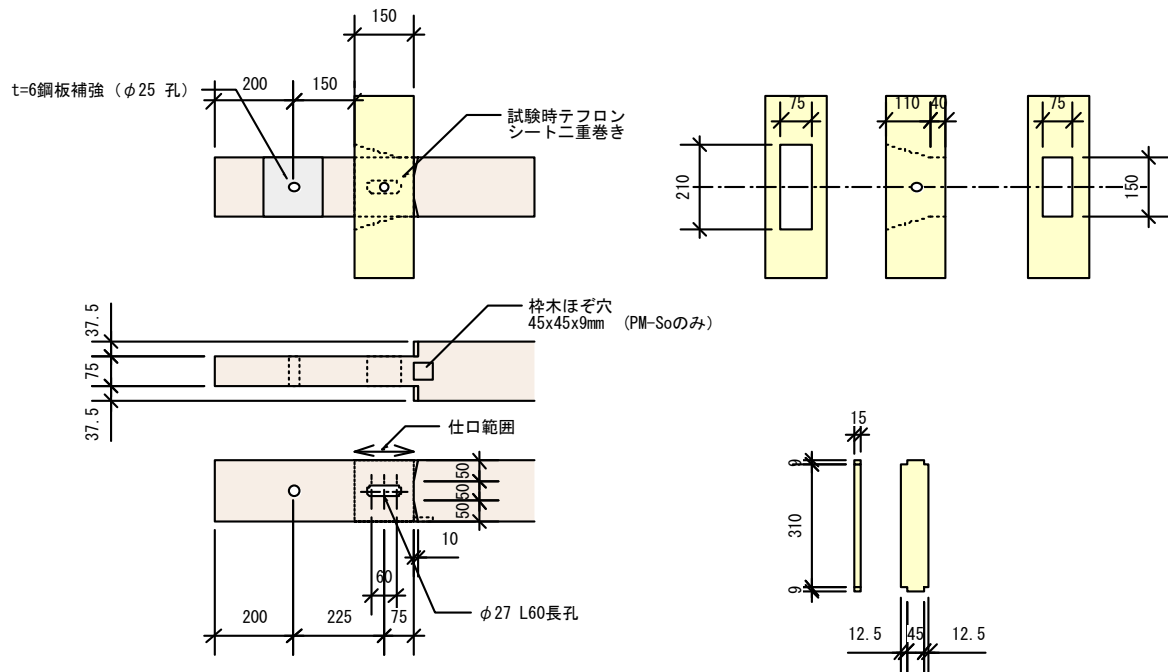


図 3.2.1-4 ピンフレームの接合部詳細



写真 3.2.1-1 ピンフレームの接合部詳細（長穴、テフロンシート挿入）

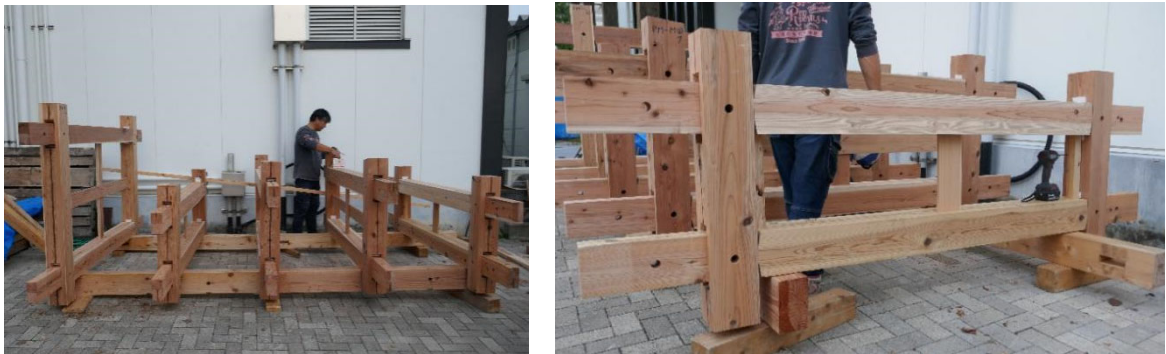


写真 3.2.1-2 PM 試験体の設置状況（屋外小屋がけ保管）



写真 3.2.1-3 試験体設置の様子

3.2.2 実験方法

試験体の設置状況を図 3.2.2-1 に示す。試験体は横架材が柱から突き抜けた形状をしており、その突き出したほぞを鋼板補強した後に鋼製治具でピン支持し、鋼製フレーム内に留めつけた。柱はやや浮いた状況となっており、自由に回転が可能である。同様につきだした上側横架材のほぞ先端を振れ止めで支持するとともに、鋼板補強したピン接合条件でオイルジャッキと接続し、加力点とした。各条件の試験体のセットアップの状況を図 3.2.2-2 に示す。

加力前にタイロッドを軽く手締めし、柱の拘束を行った。なお、手締め前に計測を開始することで手締めで生じる軸力を合わせて測定している。上側横架材の水平変位を代表変位とし、変位制御条件で正負交番繰り返しせん断载荷を行った。加力スケジュールは、以下に示す目標変形角で折り返す正負交番 3 回繰り返し加力を行った後、 $1/30$ 、 $1/15\text{rad}$ で正負交番 1 回繰り返し载荷し、最終的に大変位まで引き加力を行った。

変位制御のための目標変形角 (rad) $1/450$ 、 $1/300$ 、 $1/200$ 、 $1/150$ 、 $1/100$ 、 $1/75$ 、 $1/50$

試験終了後に土壁を除去し、再度 $1/10\text{rad}$ の正負交番単調载荷を実施することで、軸組のみの抵抗力を合わせて測定した。

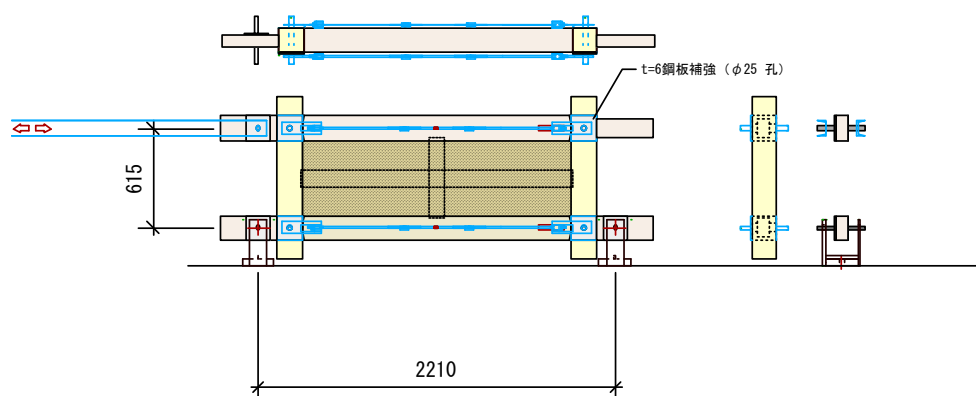


図 3.2.2-1 試験体の固定

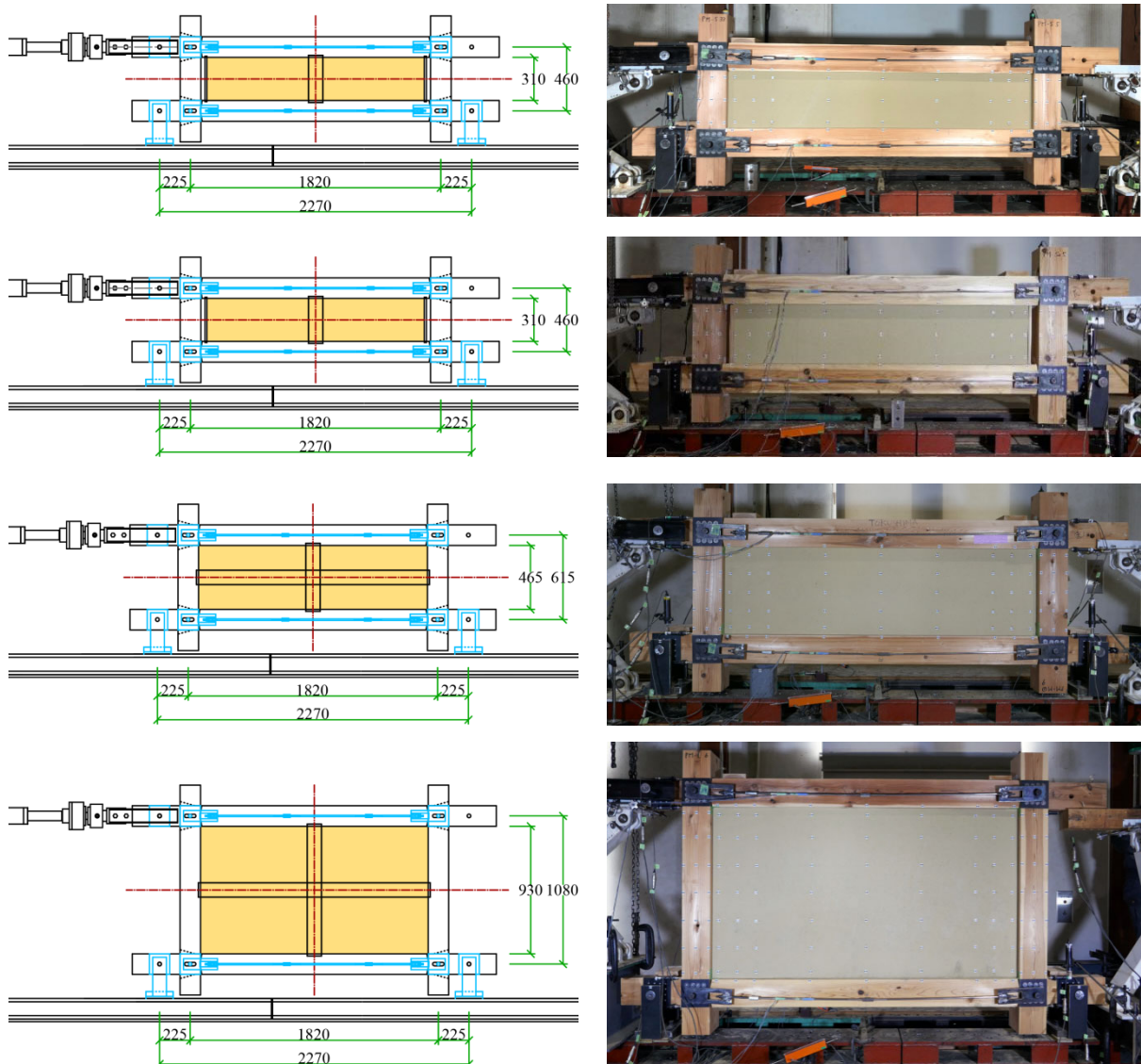


図 3.2.2-2 各試験体のセットの様子

3.2.3 計測計画

図 3.2.3-1 に変位の計測点を示す。また、土壁と周囲枠木との相対的な変形挙動を調査するため、土壁および枠木の表面にマーカーを添付し、高精度の写真を連続的に撮影することで後の画像処理による変位計算用の画像計測を行った。

試験体のせん断変形角は次の式で定義した。

$$(\#1-\#2)/\text{上下梁芯間距離}-(\#7-\#8)/\text{左右柱芯間距離}$$

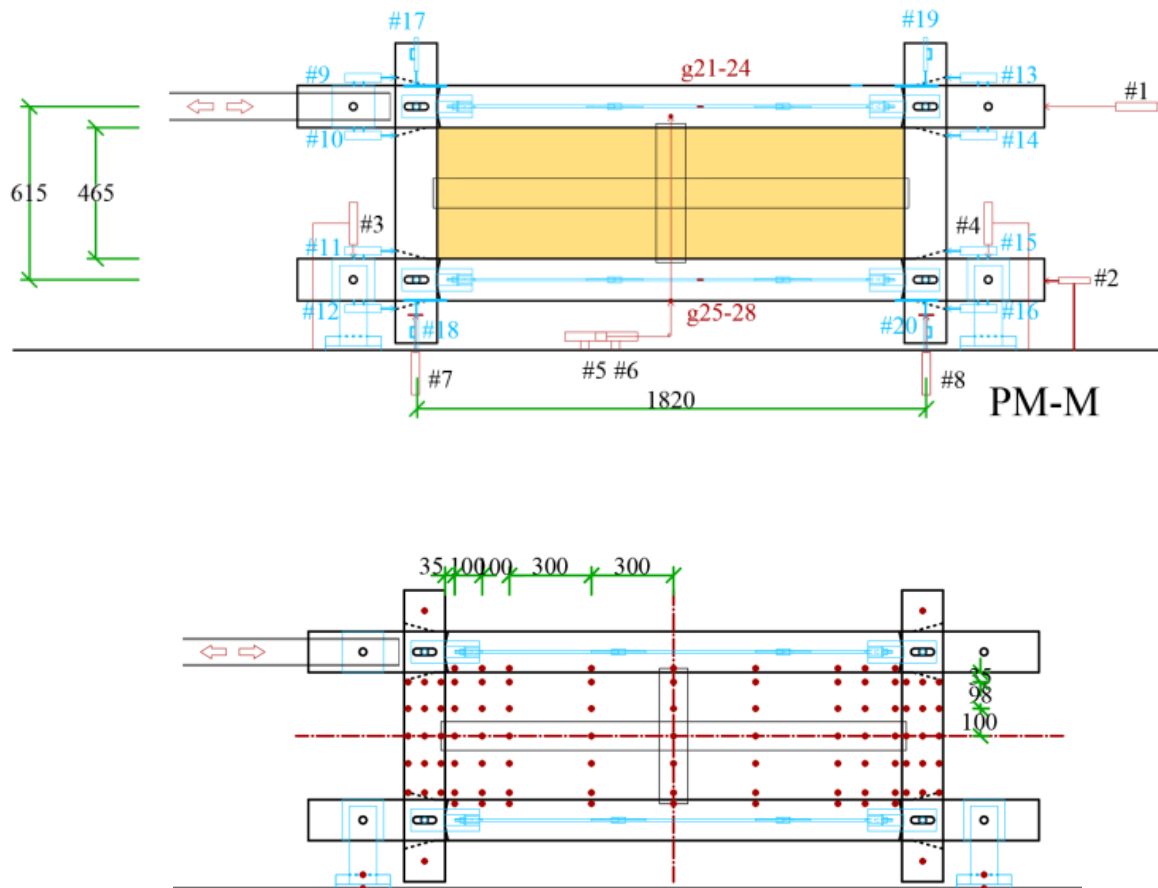


図 3.2.3-1 変位計測（上）と画像計測マーカー位置（下）

3.2.4 実験結果

（１）変形と破壊の様子

写真 3.2.4-2 に試験体の終局時の様子をしめす。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 3.2.4-1）。

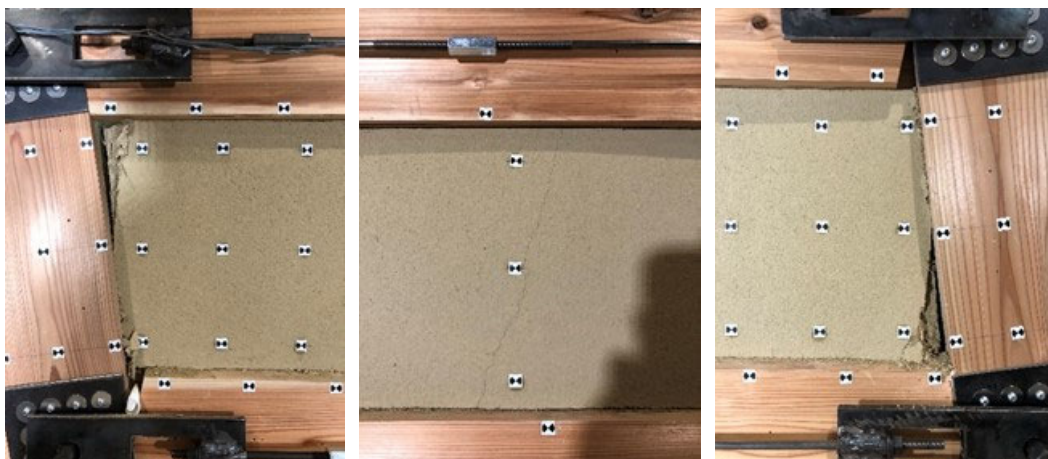


写真 3.2.4-1 PM-S 試験体終局時の様子（各部の拡大）



(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 3.2.4-2 終局時の様子



写真 3.2.4-3 軸組のみの抵抗の確認

(2) 荷重とせん断変形角の関係

得られた荷重-せん断変形角の処理について PM-M を例として説明する。図 3.2.4-1 上は試験で得られた荷重とせん断変形角の関係である。1/10rad を超える大変形時に荷重が再度増大に向かっている。これは枠組み自身も若干の抵抗力を持ち、大変形時に大きく働き始めるためである。同図左下が枠組みのみの抵抗値 (Q_F) となる。すなわち、試験で得られた外力 (Q_{F+W}) は土壁の抵抗とフレームの抵抗の和となっている。同一変形角時の両者の差分を取ることで、純粋な土壁のみの抵抗力 (Q_W) として定義した (図中右下)。

$$Q_W = Q_{F+W} - Q_F$$

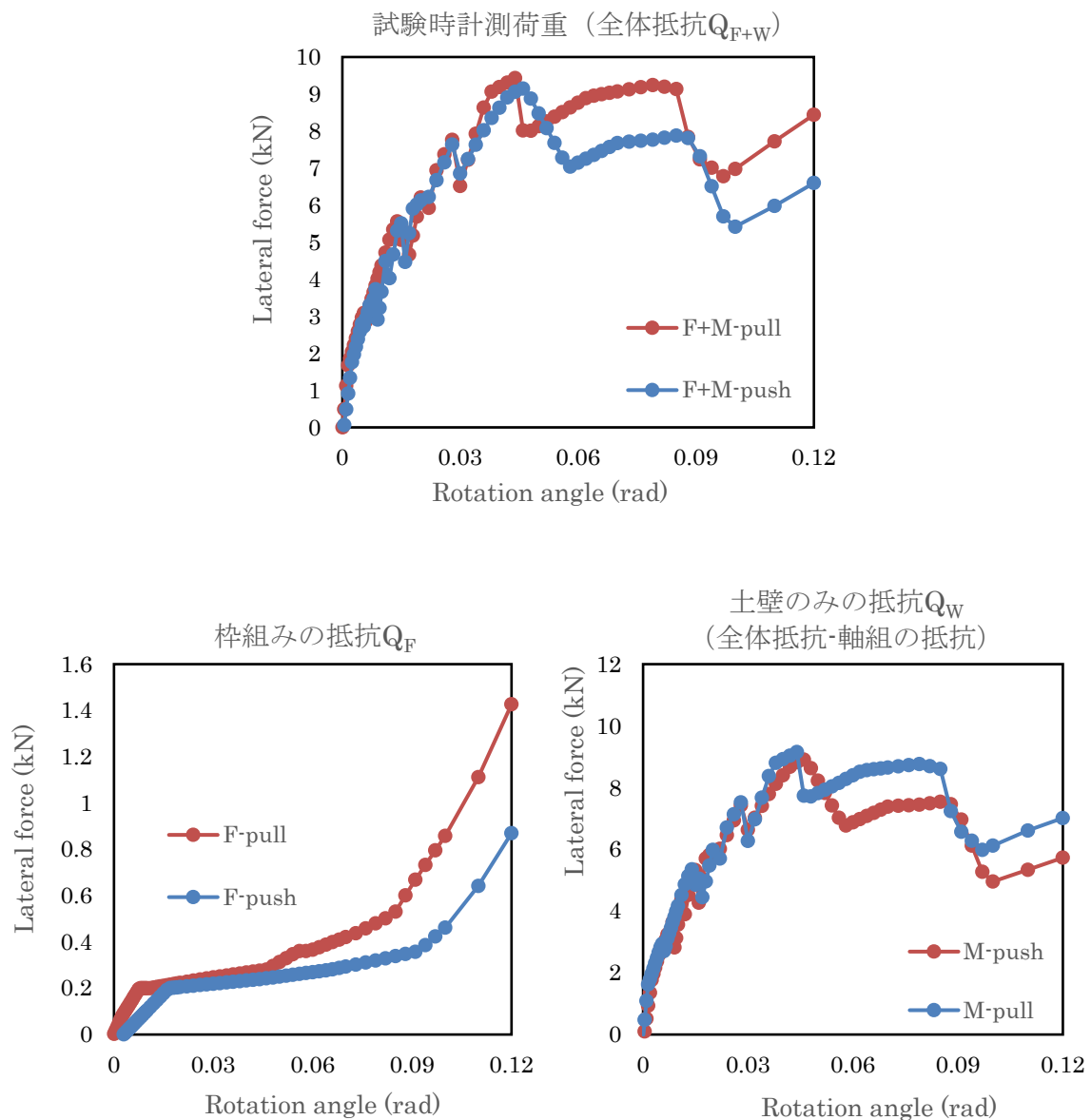


図 3.2.4-1 試験時の全体抵抗と軸組のみの抵抗およびその差分（PM-M）

図 3.2.4-2 に同様に処理した全ての試験体の土壁の抵抗力（ Q_W ）とせん断変形角の関係を示す。

まず、同図上段 PM-L 試験において、初期のクラックを生じたときのせん断力は 14.9kN 程度であった。0.02rad 程度まで直線的に増大した後、壁表面にクラックが生じたが急激な手威力低下には至らず、1/15rad 程度まで荷重を維持した。

次に中段の PM-M 試験体について、左側の三重産の土の試験体では最大荷重 10.76kN 程度、その後非常に粘り強い変形性能を示した。右側の徳島産土試験体（昨年度までのものと同じ材料）では、三重産土試験体に比べてやや剛性、耐力性能が小さく、最大耐力 8.92kN であった。

最後に PM-S 試験体について、初期の剛域が終わる時点の耐力は 8.64kN であったが、その後も荷重を維持し、大変形時にはむしろ最大耐力を更新する結果となった。両側に隙間

を設け、土壁端部圧縮抵抗を働かなくした **PM-So** 試験体では初期剛性はやや小さいものの、変形が大きくなるにつれて荷重負担が大きくなる傾向が見られ、終局時には **9kN** を超える耐力を示した。**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と言うことである。

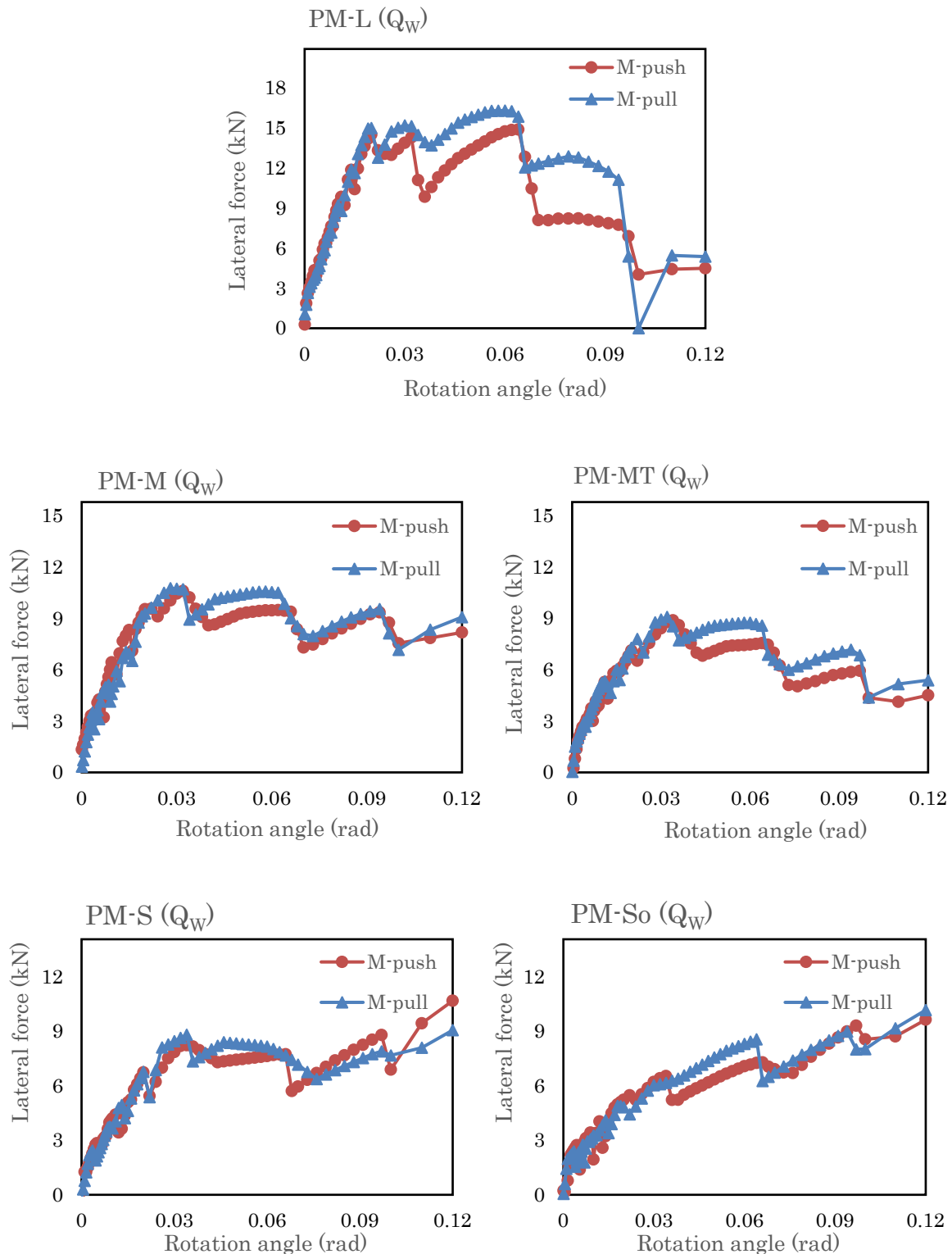


図 3.2.4-2 純土壁試験体の土壁せん断力 (Q_w) -せん断変形角関係

(3) タイロッドの軸力（土壁の側面圧縮成分の分離）

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枅材の傾斜に伴って、土壁端部が枅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、土壁上下面の枅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枅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 3.2.4-3 に土壁のせん断力伝達メカニズムの模式図を示した。

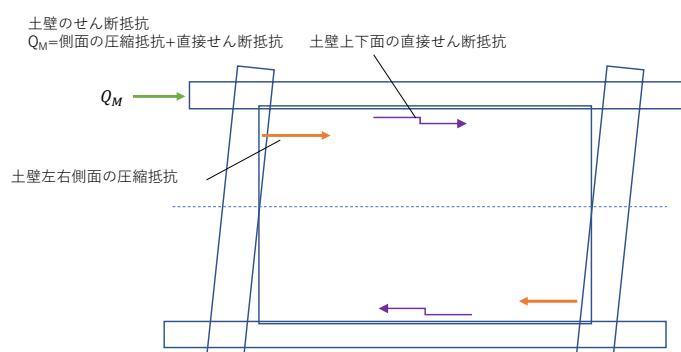


図 3.2.4-3 土壁のせん断力伝達メカニズムの模式図

ここで、今回の試験条件について考える。PM-So 試験体では土壁両側面と枅材との間に隙間を設けているため、基本的に側面の圧縮抵抗は働かないものと見なせ、 $Q_M =$ 上下面のせん断抵抗 (Q_f) となる。一方で、それ以外の条件では、側面の圧縮抵抗 Q_c が作用し、 $Q_M = Q_c + Q_f$ となる。柱はタイロッドで拘束されているため、タイロッドの軸力 (T_M) が側面の圧縮抵抗 (Q_c) として計測される事となる。

図 3.2.4-4 に PM-So 試験体の Q_M とタイロッドの軸力 T_M を示した。実際には PM-So 試験体でも大変形時に若干の軸力が計測されたが、 Q_M と T_M の差分を取った残りが、上下面のせん断抵抗成分 (Q_f) として計算される。なお、試験体は上下対称と見なせるが、タイロッドの軸力は試験体上下で計測された値の平均値を用いた。

次に図 3.2.4-5 にその他の純土壁試験体の Q_M とタイロッドの軸力 T_M を示した。これらの条件においても、 Q_M と T_M の差分を取った残りが、上下面のせん断抵抗成分 (Q_f) として定義される。また、タイロッドの軸力 T_M は側面の圧縮抵抗成分 (Q_c) として取り扱う。

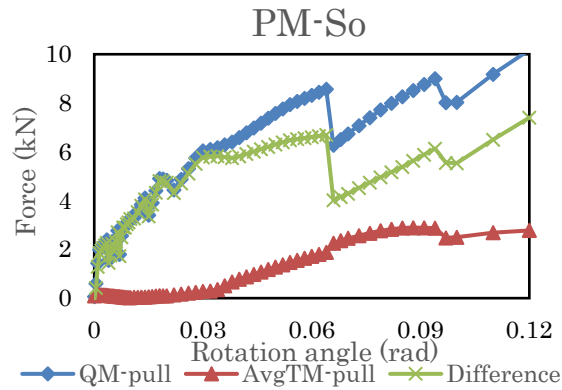


図 3.2.4-4 PM-So 試験体の Q_M とタイロッド計測軸力 (T_M)

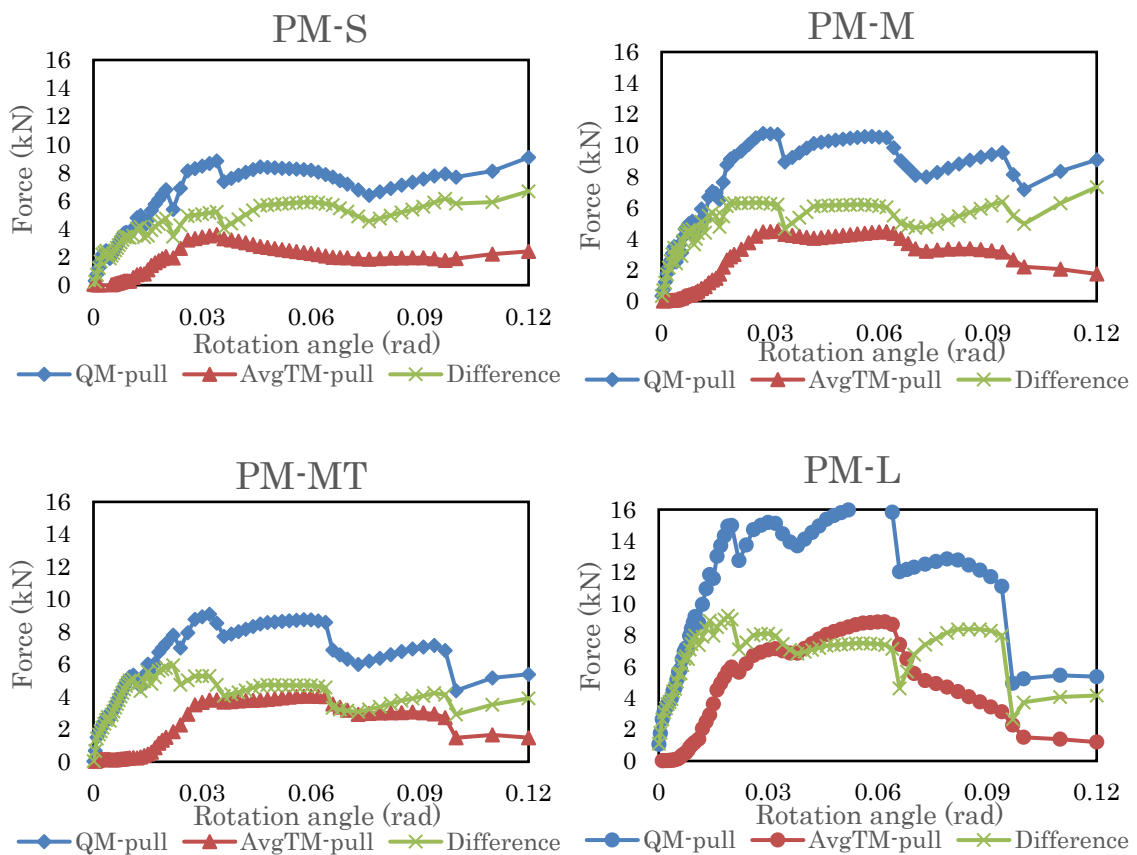


図 3.2.4-5 純土壁試験体の Q_M とタイロッド計測軸力 (T_M)

※ T_M =側面の圧縮抵抗成分 Q_c 、 Q_M - T_M =上下面のせん断抵抗成分 Q_f

図 3.2.4-6 に各試験体の Q_f と Q_c 、および Q_M に占める Q_f の割合をまとめた。今回の試験条件においては 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ない様子が見て取れる。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事が分かった。一方で、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。

アスペクト比が大きい場合、 Q_f は Q_c と比べて比較的大きく、PM-S では 1/15rad 時に 80%

弱の荷重を占めていた。

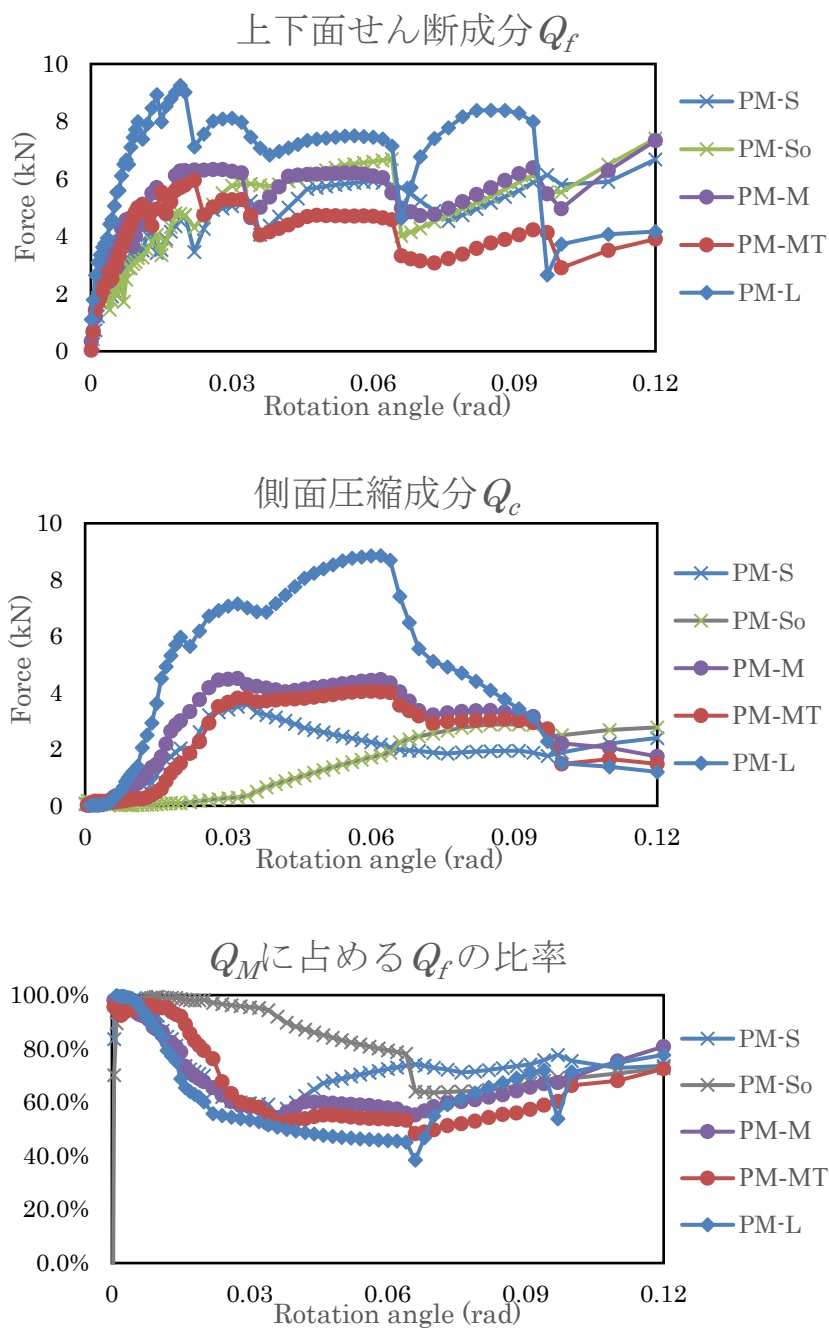


図 3.2.4-6 純土壁試験体の Q_f と Q_c および Q_M に占める Q_f の比率

3.3 考察・まとめ

3.3.1 土壁材質に関する考察

PM-M と PM-MT の結果を比較すると PM-M がやや高い耐力性能を持つ結果であった。これは土の材質によるものと考えられる。昨年まで用いていた徳島産土は、荒壁土ではありながら粒子の大きい軽石成分を含むようなじやりじやりとした触感が感じられた。このような荒壁土の性質が影響を及ぼした可能性がある。なお、この耐力差は主に土壁上下面のせん断成分に対して影響し、側面の圧縮抵抗にはあまり影響しない様子が見られた（図 3.2.4-6）。

後述する垂れ壁付き軸組構面について、昨年度までに実施した構面では徳島産土を用い、今年度実施した構面では三重産土を用いていることから両者の耐力差を考慮する。

3.3.2 土壁の荷重伝達機構に関する考察

土壁上下面のせん断抵抗による荷重負担は図 3.2.4-6 より、高い初期剛性を持ち、また安定した変形性能を有する事が分かった。その大きさの目安として、今回の条件では最大値で 6kN 程度と推定された。また、その効果は側面圧縮による抵抗と共働して働くものと考えられる。側面圧縮抵抗は、試験体高さが異なると大きく影響を受ける。また、最大値を迎えたあと緩やかに荷重低下を生じる。今回の結果では、初期に 1/100rad 程度の遊びがある様子が確認された。この遊びの原因は不明だが、タイロッドによる柱の開きの拘束が初期に効きにくい事が影響している可能性が考えられる。

土壁の荷重伝達機構の分離について、別の観点から考察を行った。アスペクト比の異なる試験結果について、クラックを生じた荷重とアスペクト比の関係を表 3.3.2-1 に示した。これをプロットしたものが図 3.3.2-1 である。

橙色は見かけのアスペクト比 H/L に対する関係であるが、試験結果は概ね直線関係を示し、その切片は 4kN 弱である。「伝統的構法のための木造耐震設計法」におけるモデルのように、曲げ系においてアスペクト比に比例して耐力が定まるという条件では切片は 0 となるため、この切片の値が、土壁上下面のせん断抵抗による耐力負担分による押し上げとみることができる。また、土壁の曲げ系の耐力を決定する実際の寸法比は、軸組を含んだ見かけのアスペクト比 H/L では無く、軸組を除外した土壁自身のアスペクト比 H'/L' に依存すると考えるのが自然である。これを図 3.3.2-1 中に青線で示した。この場合切片はもう少し大きく、6kN 程度となり、図 3.2.4-6 の試験結果と合致する。

本章では、純土壁試験を行うことで、土壁の荷重伝達メカニズムについて考察を行った。その結果、アスペクト比の大きい垂れ壁中の土壁のせん断抵抗を予測する際、アスペクト比に比例する曲げ伝達系のせん断抵抗に加えて、アスペクト比に依存せずに一定の効果を持つ土壁上下面直接伝達系のせん断抵抗を別途考慮することでより正確な推定が可能となる可能性が示唆された。

表 3.3.2-1 純土壁アスペクト比と耐力

	L	L'	H	H'	H/L	H'/L'	Pclack
	mm	mm	mm	mm			kN
PM-L	1820	1670	1080	930	0.59	0.56	14.94
PM-M	1820	1670	615	465	0.34	0.28	10.76
PM-MT	1820	1670	615	465	0.34	0.28	8.92
PM-S	1820	1670	460	310	0.25	0.19	8.64
PM-So	1820	1670	460	310	0.25	0.19	

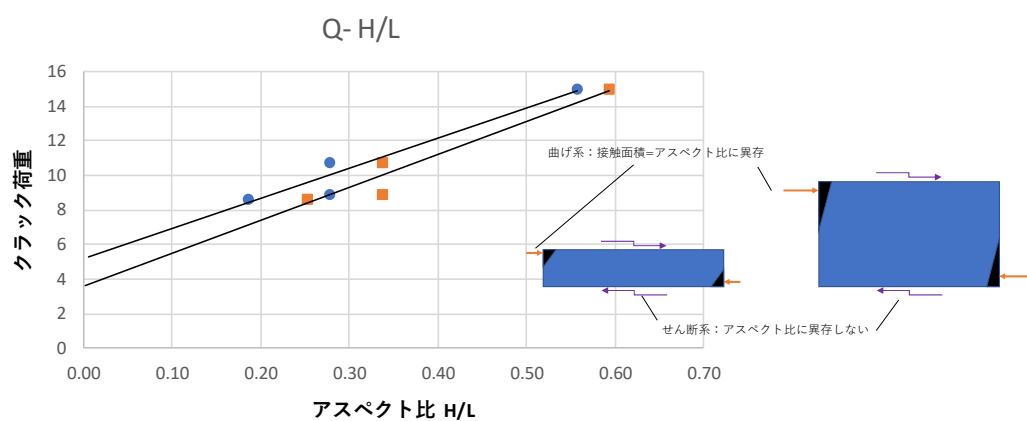


図 3.3.2-1 純土壁耐力とアスペクト比の関係

第4章 差し鴨居のみが存在する構面実験（追加）

4.1 実験の目的と概要

前年度に行った垂れ壁のつかない軸組のみの構面の水平載荷試験において、今年度検討した差し鴨居軸力の影響を加味した考察を行うため、同形状の軸組の再試験を行った。これにより考察の再現性と計測精度を確認する。

4.2 差し鴨居のみが存在する構面の水平載荷実験

4.2.1 試験体

試験体樹種、寸法、試験装置、加力方法等は H31 年度の検討内容と同等である。すなわち、試験体の基本仕様は以下の通り。

- ・ 差し鴨居端部の接合によって耐力性能が異なることを考慮し 2P-2P のスパンの柱 3 本の試験体形状とし、中央 180mm 角、両側 150mm 角の柱を用いる。
- ・ 左差し鴨居端部の接合仕様は右柱には長ほぞ込栓打ち、中央柱には雇い竿車知留めとする。
- ・ 小壁の形状は告示で規定される最低寸法（芯々750mm）とする。
- ・ 断面の大きい差し鴨居（梁せい 360mm）が取り付く仕様とし、桁（せい 150mm）と併せて小壁部寸法は実質 465mm となる。
- ・ 柱脚は土台仕様とし、かつ柱頭柱脚は解析上容易な長ほぞ仕口とする。

試験体の寸法とそのセットアップの様子を図 4.2.1-1、写真 4.2.1-1 に、接合部の詳細を図 4.2.1-2、図 4.2.1-3 に、その仕様条件を表 4.2.1-1 にそれぞれ示す。

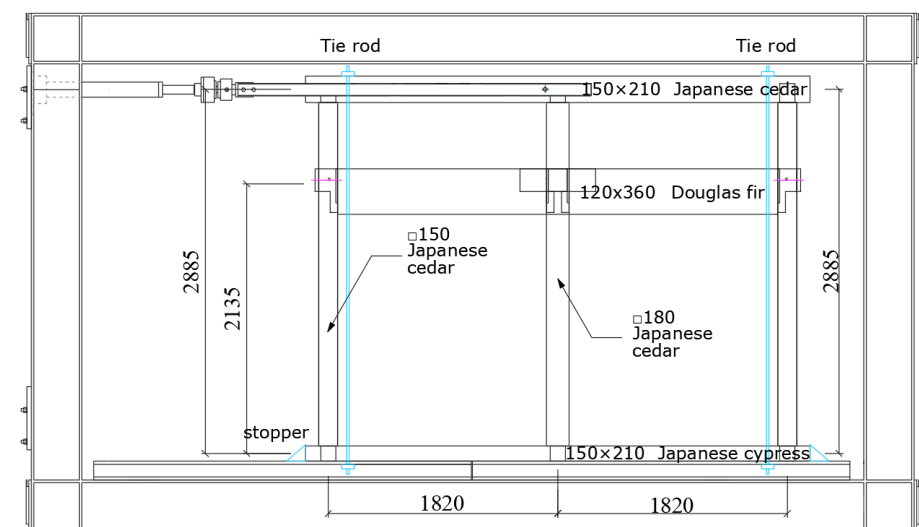


図 4.2.1-1 軸組のみ構面試験体



写真 4.2.1-1 軸組のみ構面試験体

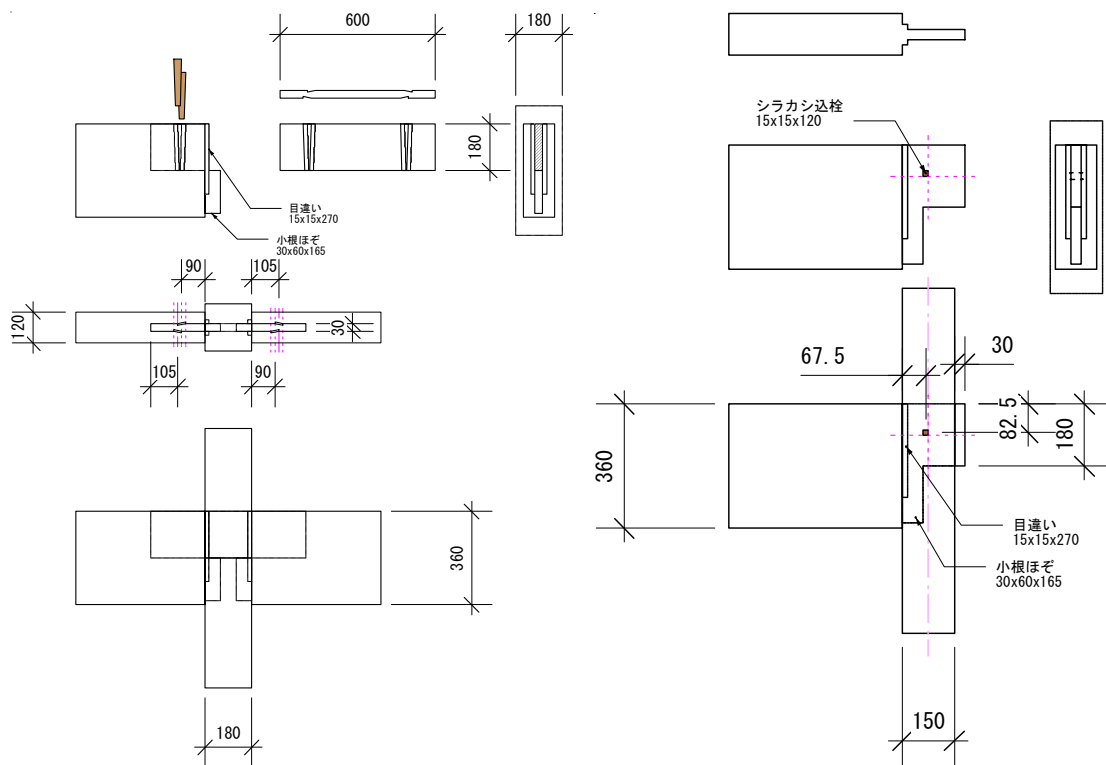


図 4.2.1-2 差鴨居接合部詳細（中央柱：雇い竿車知、左右柱：小根ほぞ差し込栓）

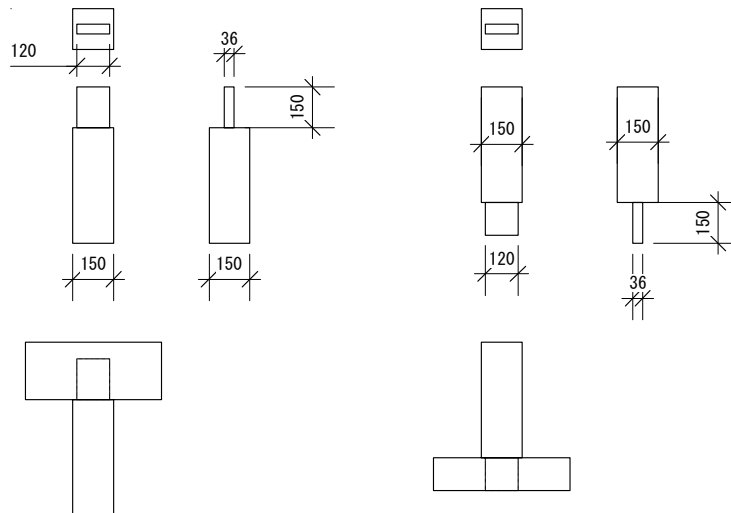


図 4.2.1-3 柱頭柱脚接合部詳細（長ほぞ）

表 4.2.1-1 仕口仕様

項目	仕様
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)

4.2.2 実験方法

実験は京大生存圏研究所木質材料実験棟で実施した。実験方法を図 4.2.1-1 に、実験の様子を写真 4.2.1-1 に示している。試験体頂部（フレーム：桁位置中心、接合部：柱頭）を水平に加力し正負交番繰り返し载荷を行った。加力点の水平変位を制御変位として変位制御による加力とした。

フレーム試験体について、タイロッド式試験法とし、両側柱よりやや内側の位置で桁上部と下部鋼製架台とをローラーを挟んだ全ねじロッドで緊結した。なお、初期セット時の配慮として、試験体作成時に梁が柱を引き寄せ、梁に軸力が生じる可能性があったため、梁端接合部の込栓打ち込み前にゲージ計測を開始し、込栓打ち込み前後での梁軸力の変動を計測した。この結果として軸力発生が無い事を確認した。

加力計画として、表 4.2.2-1 に示す変形角を目標として正負交番繰り返し加力を行った。なお、1/10rad.は引き側のみ 1 回加力とした。

表 4.2.2-1 目標変形角 (rad.)

目標変形角	1/450	1/300	1/200	1/150	1/100	1/75	1/50	1/30	1/15	最終
繰り返し回数	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1 (引側のみ)

4.2.3 計測計画

図 4.2.3-1 に歪みゲージと変位計の計測計画を示す。H31 年度の試験からの変更点は、ゲージ計測点について差鴨居中央付近での軸力計測用ゲージを増量し、また変位計測について中央柱の曲げたわみ計測、柱頭、柱脚の水平相対すべり計測を追加した。

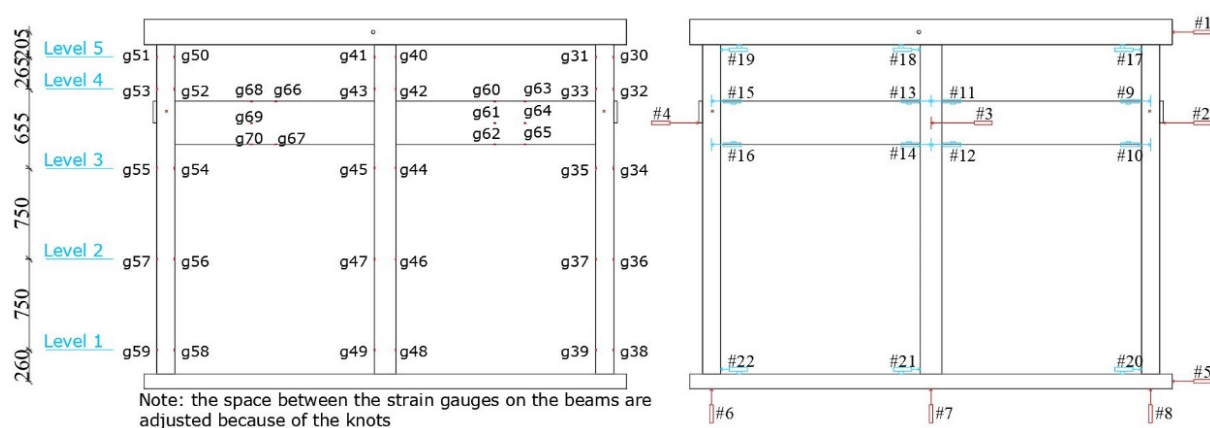


図 4.2.3-1 計測計画（左：歪みゲージ、右：変位計）

表 4.2.3-1 構面試験体の計測チャンネルリスト

CH 番号	計測項目	計測機器（全て東京測器）
#0	代表水平荷重	TCLM50kNb
#1	水平代表変位	DP-500e
#2	右柱梁心位置水平変位	DP-500e
#3	中柱梁心位置水平変位	DP-500e
#4	左柱梁心位置水平変位	DP-500e
#5	土台水平変位	CDP-50
#6	左柱梁上-柱水平相対変位	SDP-100
#7	左柱梁下-柱水平相対変位	SDP-100
#8	中柱左梁上-柱水平相対変位	SDP-100
#9	中柱左梁下-柱水平相対変位	SDP-100
#10	中柱右梁上-柱水平相対変位	SDP-100
#11	中柱右梁下-柱水平相対変位	SDP-100
#12	右柱梁上-柱水平相対変位	SDP-100
#13	右柱梁下-柱水平相対変位	SDP-100
#14	左柱鉛直変位	CDP-50
#15	中柱鉛直変位	CDP-50
#16	右柱鉛直変位	CDP-50
g1-8	柱心から 400mm 位置梁軸方向ひずみ	PFL-20-11-5LJC-F
g9-12	梁中心位置梁軸方向ひずみ	PFL-20-11-5LJC-F
g13-18	左柱表面柱軸方向ひずみ	PFL-20-11-5LJC-F
g19-24	中柱表面柱軸方向ひずみ	PFL-20-11-5LJC-F
g25-30	右柱表面柱軸方向ひずみ	PFL-20-11-5LJC-F

4.2.4 実験結果

（１）荷重-変位関係と変形の様子

構面試験体について、代表変位(#1)を試験体高さ H (2885mm) で除し、せん断変形角を得た。荷重-せん断変形角関係を図 4.2.4-1a に示す。また、試験体の変形の様子を写真 4.2.4-1 に示す。

1/15rad の大変形時には差鴨居端部の柱へのめり込みや、差鴨居接合部の引張側接合具（込栓、車知栓）の損傷が観察されたが、柱の折損などの明確な破壊を生じることは無く、荷重変形関係においても耐力低下せず推移した。なお、参考に H30 年度に検討した同形状の軸組のみ試験体の荷重-せん断変形角関係を図 4.2.4-1b に示す。両者には大きな違いは見られず、安定した精度で構面耐力が発現される様子が確認出来た。

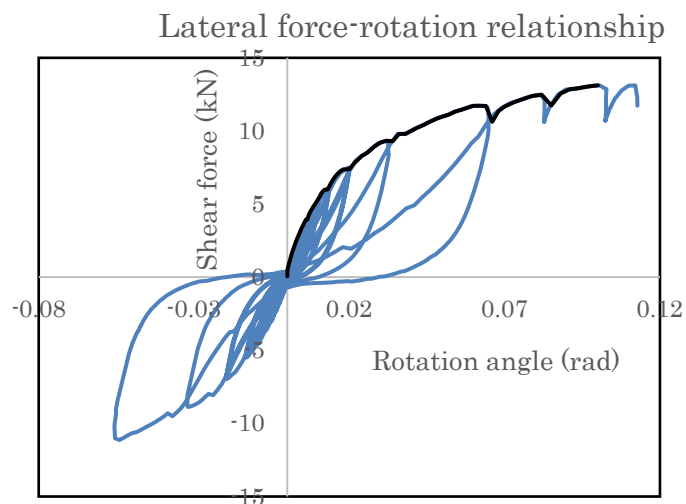


図 4.2.4-1a 荷重-見かけのせん断変形角関係

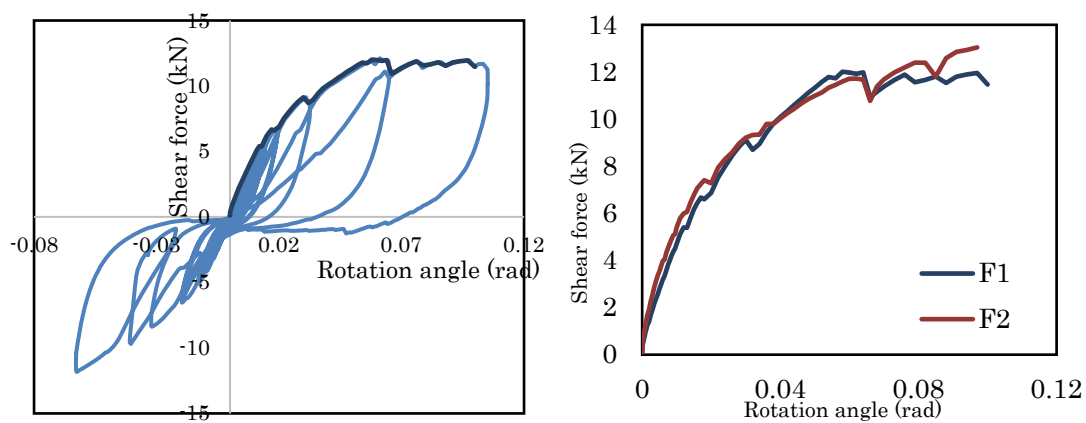


図 4.2.4-1b 参考：H30 年度軸組のみ試験体の荷重-見かけのせん断変形角関係
右：包絡線（F1：H30 年度、F2：本年度結果）



(a) 押し加力時 (1/15rad)



(b) 引き最終加力 (1/10rad)



(c) 接合部の回転とめり込み (1/10rad 引き加力時)



(d) 車知接合部の変形

写真 4.2.4-1 試験体の変形と破壊の様子

(2) 柱のモーメント分布

図 4.2.4-2 に本構面のモーメント分布の概念を示す。各柱は、差鴨居位置での接合部の回転モーメント (M_T 、 M_X)、柱上下端長ほぞ接合部からの回転モーメント (M_H)、差鴨居の軸抵抗に伴うモーメント (M_B) が作用する。 M_B は左右柱では 1 点集中荷重を受ける単純梁のモーメント分布となり、中央柱では逆方向 2 点集中荷重を受ける単純梁のモーメント分布となる。図 4.2.4-3 に柱のモーメント分布の実測値を示す。おおよそ図 4.2.4-2 の概念図と合致する分布が得られた。引き加力時には、右柱にはほとんどモーメントが作用しておらず、また、中柱は左柱と比べて同程度、またはやや小さいモーメント負担であった。

差鴨居下部分の柱において、計測した曲げモーメント分布の傾きから、柱の負担せん断力を求めたものを図 4.2.4-4 左に示す。また、3 本の柱のせん断力を積算したものを外力と比較したものを同図右に示す。せん断力の積算値は外力と一致することから、測定精度を確認した。

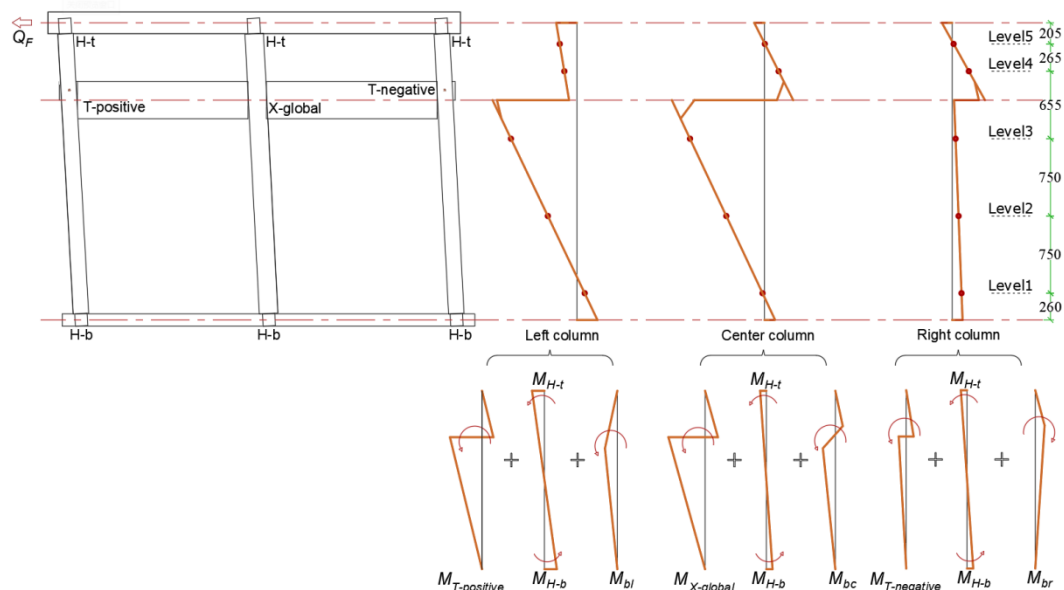


図 4.2.4-2 柱のモーメント分布の概念

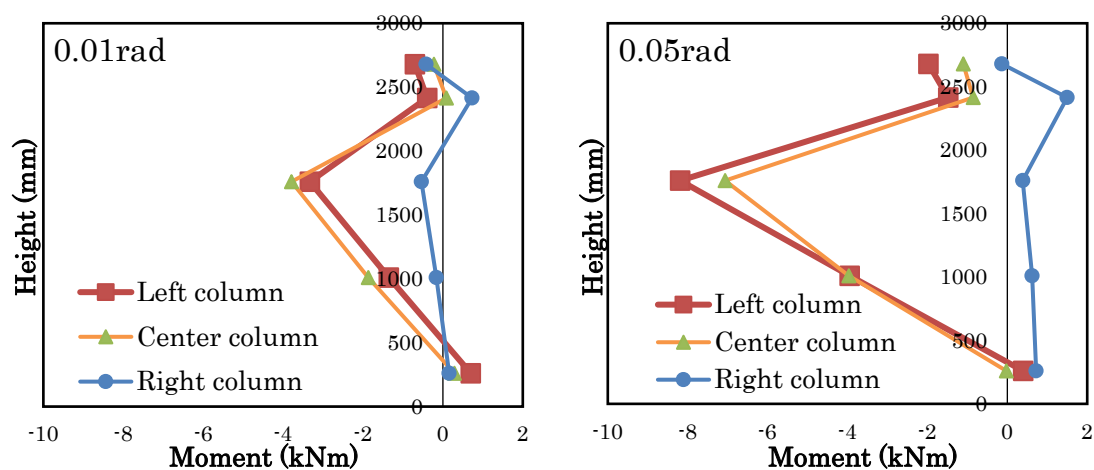


図 4.2.4-3 柱のモーメント分布実測値

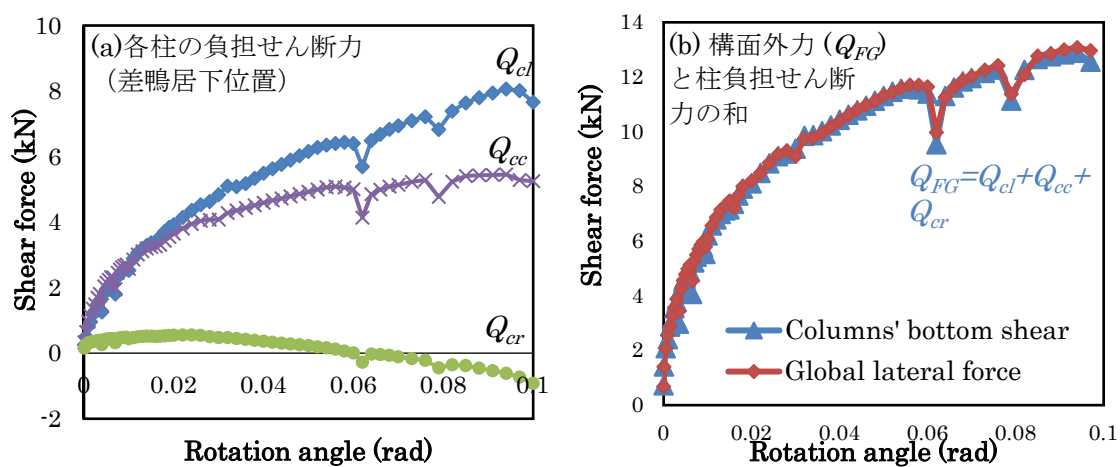


図 4.2.4-4 柱の負担せん断力と外力との関係

(3) 接合部の回転挙動

図 4.2.4-2 において、左右柱位置では差鴨居接合部位置でのモーメントの変化が接合部モーメント負担と見なせる。そこで図 4.2.4-3 の左柱モーメント分布直線を延長し、差鴨居位置での変化値を計算した。これを接合部回転角との関係で示したものを図 4.2.4-5 中 M_{l-T} として示す。同様に右柱でも計算でき、これを図 4.2.4-5 中 M_{r-T} として示した。

さらに図 4.2.4-3 の左柱差鴨居上下のモーメント分布直線の傾きの差が柱に作用する集中力、すなわち差鴨居に生じる軸力と見なせる。同様にして右柱についても差鴨居軸力を計算し、柱両側からの差鴨居軸力による中柱モーメントを計算できる。なお、軸力の大きさと発生モーメントは(4)項において詳述する。これを中柱のモーメント分布曲線の差鴨居位置での変化量から差し引くことで、差鴨居接合部による中柱モーメントを計算できる。これを図 4.2.4-5 中 M_{c-X} として示した。

M_{l-T} 、 M_{r-T} 、 M_{c-X} の各値を、それぞれ H30 年度に検討した要素試験（第 1 章のこれまでの実験一覧に示す「イ」「ロ」に該当）によって得られた単位接合部のモーメント-回転角関係と比較したものを図 4.2.4-6 に示す。 M_{l-T} 、 M_{c-X} において、要素試験結果と構面試験における結果に大きな差異が確認された。すなわち、 M_{l-T} であらわされる長ほぞ込栓仕様接合部（閉じる側）については、降伏点以降で構面におけるモーメントが要素試験におけるモーメントよりも大きく上回る結果となった。一方、 M_{c-X} であらわされる雇い竿車知仕様接合部（柱両側接合部）については、反対に降伏点以降で構面におけるモーメントが要素試験におけるモーメントを下回る結果となった。また、大変形時性能にも違いが見られ、要素試験においては 0.04rad 程度以降耐力低下する傾向を示したのに対し、構面試験体においては 0.1rad に至るまでモーメント負担を増大する傾向が確認された。

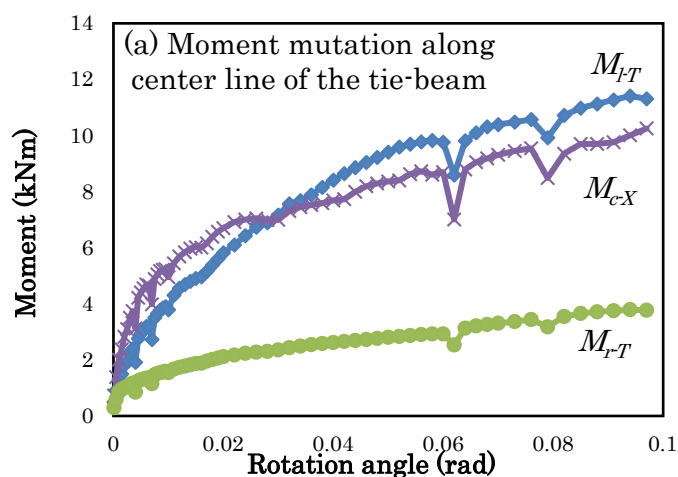


図 4.2.4-5 差鴨居端部接合部のモーメント負担と接合部回転角関係

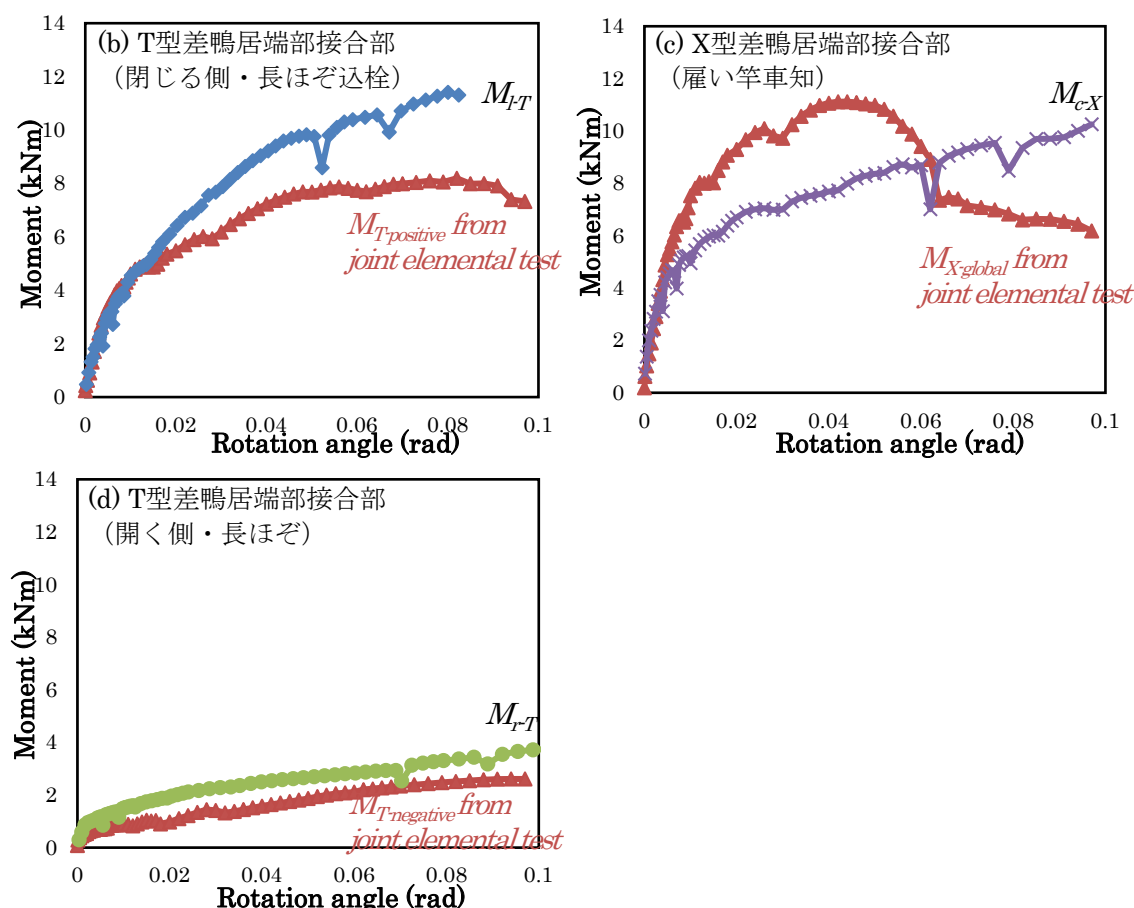


図 4.2.4-6 軸組構面試験体における差鴨居端部接合部挙動と単位接合部試験結果の比較

図 4.2.4-6 の結果は差鴨居に生じる軸力の影響を受けているものと推定できる。その様子を図 4.2.4-7 に示す。

すなわち、 M_{I-T} であらわされる長ぼ込栓仕様接合部（閉じる側）では、接合部回転に伴う圧縮と引張の偶力に加えて、差鴨居軸力が作用する。従って、同一モーメント負担時の引張力は単位要素試験時と比べると小さい。このため、圧縮側に生じるめり込み降伏は軸力の作用により単位要素試験よりも早期に生じる事となる一方で、引張側で生じる接合具のせん断降伏は単位要素試験よりも遅れる。また接合部の最大耐力は接合具のせん断破壊で決定されるため、圧縮軸力の作用により、最大耐力が向上する効果を生む。

一方、 M_{c-X} であらわされる雇い竿車知栓留め接合部（柱両側）では、接合部モーメントを生む偶力は、右側差鴨居の引き寄せ力が雇い竿を介して左側差鴨居を柱に押しつける事によって発生する。柱両側の差鴨居がそれぞれ柱に対し押しつけられる軸力を負担している場合、雇い竿に生じる軸力が低下することとなる。これによって接合部の負担モーメントは単位要素接合部の条件よりも小さくなる。一方、車知栓が引張降伏することによって定まる接合部の最大モーメントについては値そのものに影響することはないが、差鴨居軸力に伴う雇い竿の軸力減少により、最大変形角が伸びる効果を生む。

上記の様な傾向が、図 4.2.4-6 によって顕著に証明されたと考えることができる。

このように、差鴨居軸力は接合部モーメント抵抗に対し、肯定的な作用と否定的な作用を生む。図 4.2.4-6 に示した差鴨居端部の各接合部のモーメント負担の積算値を、構面試験結果と単位要素試験結果それぞれについて図 4.2.4-8 左に示す。同図より、差鴨居軸力の作

用が各接合部に肯定否定の相互作用を持つことにより、全体としては影響が小さくなることが見て取れる。特に 0.04rad までの初期の結果は要素試験結果と構面試験結果とではほぼ合致した。一方で、大変形時には構面試験における結果が要素試験結果を大幅に上回る結果となっており、差鴨居軸力の作用による肯定的な相互作用が強く働く事が確認された。同図右には上下柱端接合部を加味した全体モーメントの積算値を、構面試験結果と要素試験結果とで比較した。全体としては、差鴨居軸力の相互作用の影響は小さくなることが見て取れる。

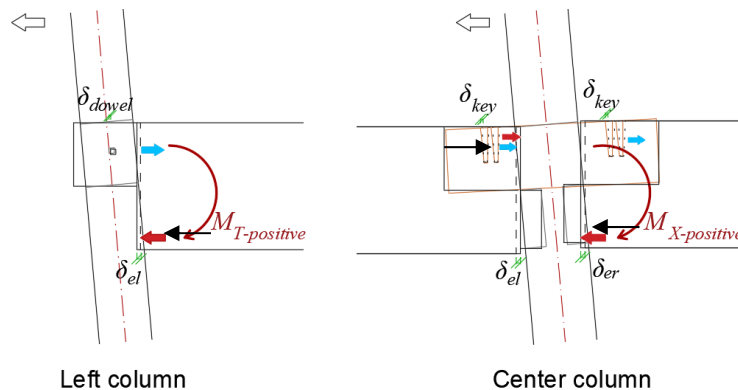


図 4.2.4-7 構面における差鴨居端部接合部

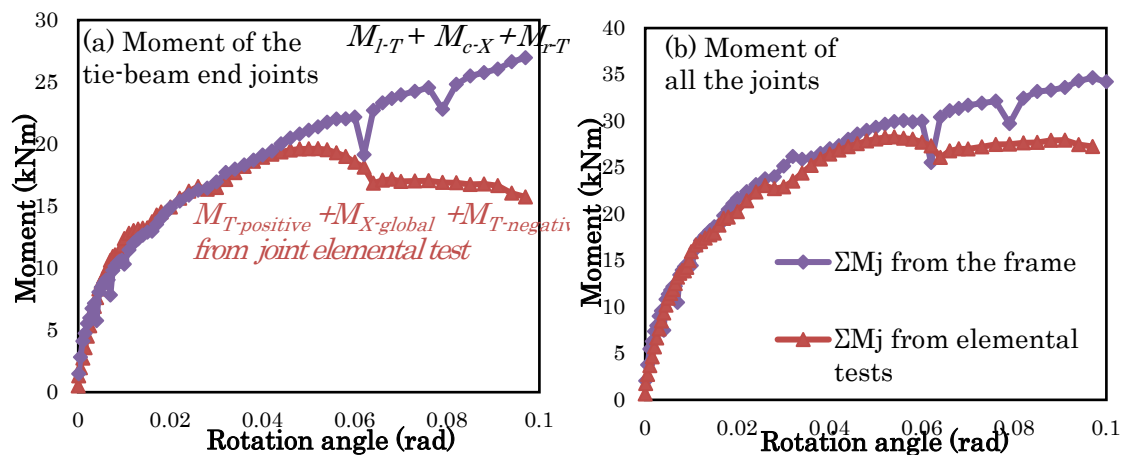


図 4.2.4-8 接合部モーメント積算値 要素試験結果と構面試験結果の比較
(左：差鴨居端部接合部のみ、右：柱上下接合部を含む)

(4) 差鴨居に生じる軸力

(3) 項において述べたように、図 4.2.4-3 に示した柱材のモーメント分布直線から差鴨居に生じる軸力を計算できる。図 4.2.4-2 の関係から、差鴨居上下におけるモーメント分布直線の傾きの差が柱に作用する集中力、すなわち差鴨居に生じる軸力と見なせる。同様にして右柱についても差鴨居軸力を計算した。結果を図 4.2.4-9 に示した。せん断変形角に応じて概ね弾性的に軸力が増加する傾向が見て取れ、 0.1rad 時に概ね 10kN 程度の軸力であった。また、左右の差鴨居で軸力の大きさに差が見られ、引き加力時に左側の差鴨居の軸力が右側よりも大きい値を示した。

また、試験体差鴨居表面に添付した歪みゲージの歪み計測値より軸力を求める検討を併せて行った。図 4.2.4-10 にゲージ添付位置を示す。ここでの計測歪みの平均値を用い、これに差鴨居の動的ヤング係数と断面積を乗じることで軸力に換算した。

$$\text{差鴨居軸力 } N = \varepsilon / 10^{-6} \times E_{\text{beam}} \times A_{\text{beam}}$$

計算結果を図 4.2.4-9 右に示す。ゲージによる軸力計算値は、柱モーメント分布による計算値に比べやや小さい値となったが、引き加力時に左側の差鴨居の軸力が右側よりも大きい値を示す（押し加力時にはその反対）という傾向は両者で合致した。

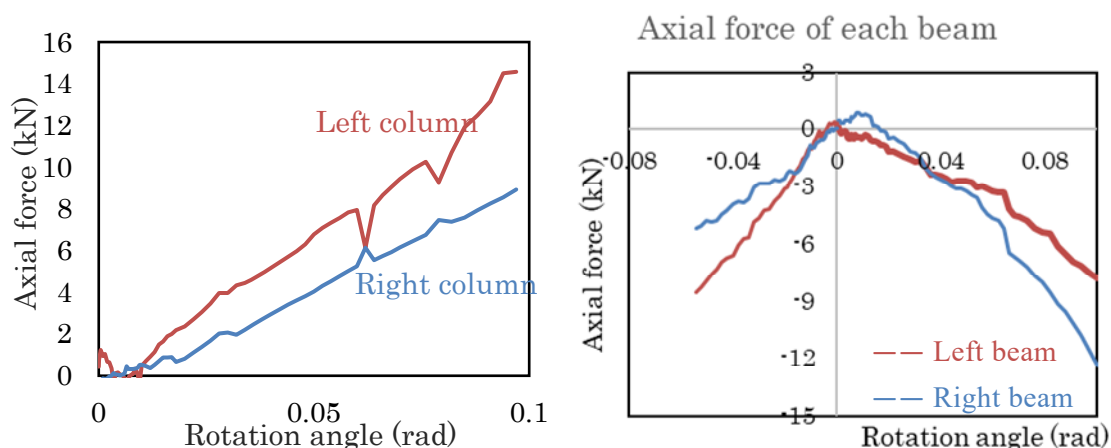


図 4.2.4-9 差鴨居の発生軸力の計算値
(左：柱せん断力より、右：差鴨居歪みゲージより)

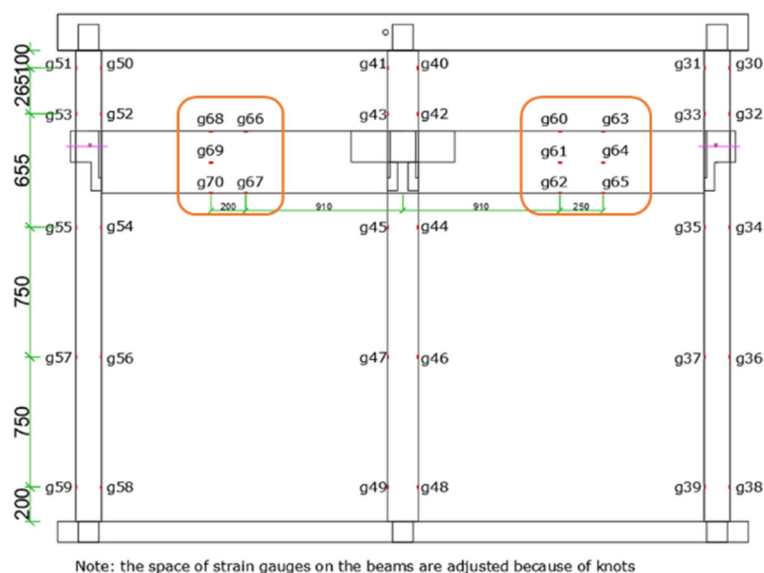


図 4.2.4-10 差鴨居表面歪みゲージ添付位置

(5) 差鴨居軸力によるせん断抵抗成分の計算

差鴨居軸力による構面のせん断抵抗成分を計算した。2.2.3 (5) の検討により、差鴨居軸力によるモーメント抵抗成分は軸力にその作用点間距離を乗じることで求められる。軸力作用点間距離は 2.2.3 (4) と同様に、梁端で計測した梁と柱の相対めり込み変位から接触長さ X_p を求め、その 1/3 を合力作用点までの距離 X_a と仮定し、下式によって軸力作用

点間距離を求めた。結果を図 4.2.4-11 に示す。また、(4) で求めた計測軸力 N に作用点間距離を乗じてモーメント抵抗を算出し、これを構面高さで除することで構面における差鴨居軸力の抵抗成分として計算した。結果を図 4.2.4-13 に示す。柱モーメント分より求めた計算値 $Q_{n,b}$ が差鴨居歪みゲージ計測値より求めた計算値 $Q_{n,g}$ よりもやや大きい値となっている。

また、重ね合わせが成立すると仮定すると、差鴨居の軸抵抗成分は構面全体のせん断力・変形角の関係より、接合部の回転抵抗によるせん断力成分を差し引き、さらに柱の曲げ変形成分を考慮することで求めることができる（差分値）。計算結果を図 4.2.4-12 に示す。図 4.2.4-13 中で、同結果を差鴨居軸力実測値から計算した差鴨居軸抵抗成分計算値（実測推定値）と比較した。両者は良く一致したことから、重ね合わせが成立している事を裏付ける結果となった。同時に、2.4.1 節で検討した評価式による差鴨居軸抵抗成分の計算結果（評価式推定値）と、差分値、実測計算値を比較した。評価式推定値は差分値、実測計算値と良い一致を示し、評価式による推定法が軸組構面においても有効である事を確認出来た。

$$\text{軸力作用点間距離} = h_b - X_{a\text{左柱}} - X_{a\text{右柱}}$$

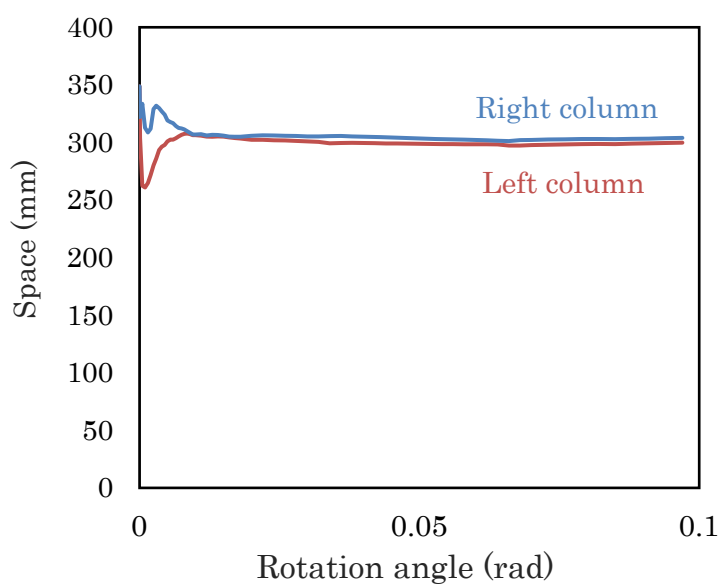


図 4.2.4-11 差鴨居軸力の作用点間距離

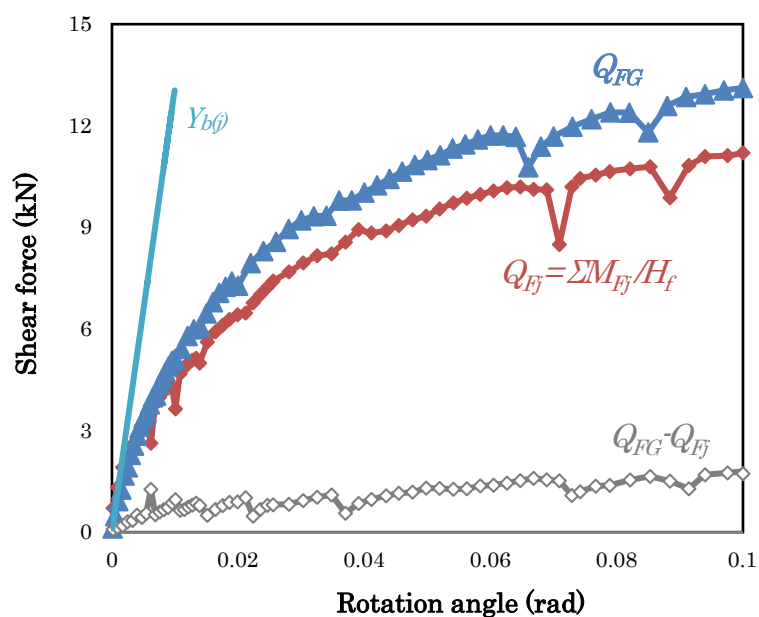


図 4.2.4-12 差分による差鴨居せん断抵抗成分の計算
(構面全体のせん断力-変形角関係から
接合部モーメント抵抗成分、柱曲げ変形性分を除去して計算)

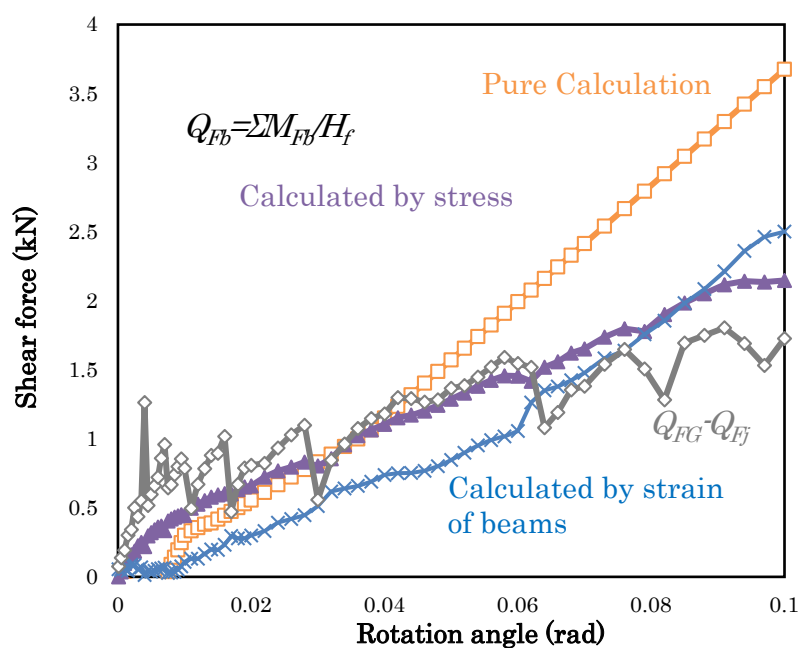


図 4.2.4-13 差鴨居軸力によるせん断抵抗成分計算値と差分値の比較

4.3 考察・まとめ

本章では軸組のみの構面の試験を行い、軸組構面内での詳細な差鴨居軸力や差鴨居端部接合部の回転挙動の評価を行った。結果を以下にまとめる。

- ・ 同仕様で実施した H30 年度の構面試験結果と本年度の試験結果の差が小さかったことから、伝統構法軸組構面の耐力発現の再現性は高いと考えられる。

- ・ 軸組構面内の差鴨居端部接合部の回転挙動の評価において、差鴨居に生じる軸力との相互作用が認められた。長ほぞ込栓接合部の回転性能は、圧縮軸力の存在により込栓接合具への引張力が減少するために降伏後の耐力性能が向上する。一方で、雇い竿車知接合部の回転性能は、引張力を伝達する雇い竿の負担軸力が減少するために、同一変形角時に負担できる耐力性能が減少する。一方で最大耐力には差が無く、より大変形まで荷重負担できるようになる性質を持つ。
- ・ 以上のような肯定的否定的な相互作用が生じるが、総和としての接合部回転抵抗による構面せん断力は、変形角が小さい段階では差鴨居軸力を考慮しない条件と差は見られず、大変形時にはより大きい耐力負担となる傾向が確認された。
- ・ 差鴨居に発生する軸力は柱のモーメント分布より推定可能であった。またそれを用いて計算される構面せん断力の差鴨居軸抵抗成分は、構面全体のせん断性能から接合部抵抗成分と柱の曲げ抵抗成分を差し引いて算出される結果と一致した。すなわち、重ね合わせが成立することが示された。
- ・ 3章で用いた推定式により、軸組構面においても差鴨居の軸抵抗成分を推定可能であることが示された。

第5章 垂れ壁の土壁負担分の検討実験

5.1 実験の目的と概要

これまでの検討で、垂れ壁付き軸組構面の耐力負担成分のうち、①接合部のモーメント抵抗成分の総和、②差鴨居の軸抵抗成分、③垂れ壁の水平せん断抵抗成分の個々の要素について検討し、それぞれの性状を確認するとともに評価式による推定の見通しを得た。

そこで本章ではこれら全ての要素を持つ軸組構面の水平せん断試験を実施し、重ね合わせの成立性を確認するとともに、個々の要素の相互作用がもたらす影響について考察を行う。

5.2 土が付いている垂れ壁の水平載荷実験

5.2.1 試験体

試験体は4章で論じた軸組試験体と同一の材料、断面寸法を持つ軸組中に、垂れ壁を有する形状である。垂れ壁の大きさをパラメータとし、昨年度実施した垂れ壁付き軸組構面を基本寸法（FW-M：第1章のこれまでの実験一覧の「き」に該当）として、垂れ壁せいが2倍となったもの（FW-L）および垂れ壁せいが2/3としたもの（FW-S）の2体である。それぞれ1体ずつの試験体を作製した（図5.2.1-1、図5.2.1-2）。

接合部の仕様は4章の軸組試験体と同一であるため省略する。それぞれ差鴨居の取り付く高さが異なる。また、昨年度実施したFW-M試験体では徳島産土を用いた垂れ壁としたのに対し、今年度の試験体FW-LとFW-Sには三重県産の土を用いた。土の材質や垂れ壁部の仕様については3章を参考されたい。

試験体は上下を反転させた状態で垂れ壁部を施工した。屋内において、純土壁試験体と同じ時間スケジュールで施工、養生し、試験に供した。

試験体を反力フレームに設置するにあたり反転吊り上げる必要があるが、垂れ壁部を合板によって厚く養生することで、面内・面外変形を抑制し、また軸組の柱間にもブレースを一時的に取り付け、試験体設置時の土壁への損傷が生じないように注意した。

試験体に用いた部材は、あらかじめ全ての材料の動的ヤング係数を打撃法で測定した。さらに、5.2.4（3）に示す通り、構面試験終了後に取り外した柱材の点曲げ試験を行い、曲げヤング係数の補正を行った。表5.2.1-1に使用した部材の樹種、断面と基礎材料定数を示す。

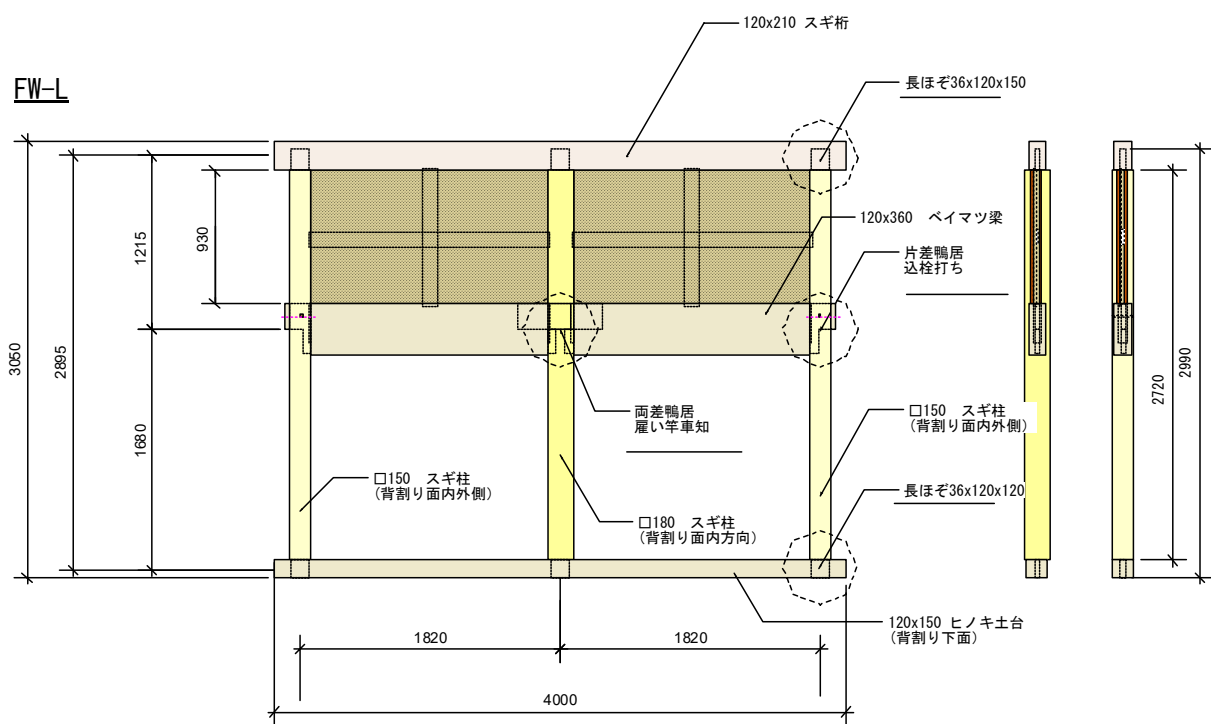


図 5.2.1-1 垂れ壁（大）のついた軸組構面 FW-L

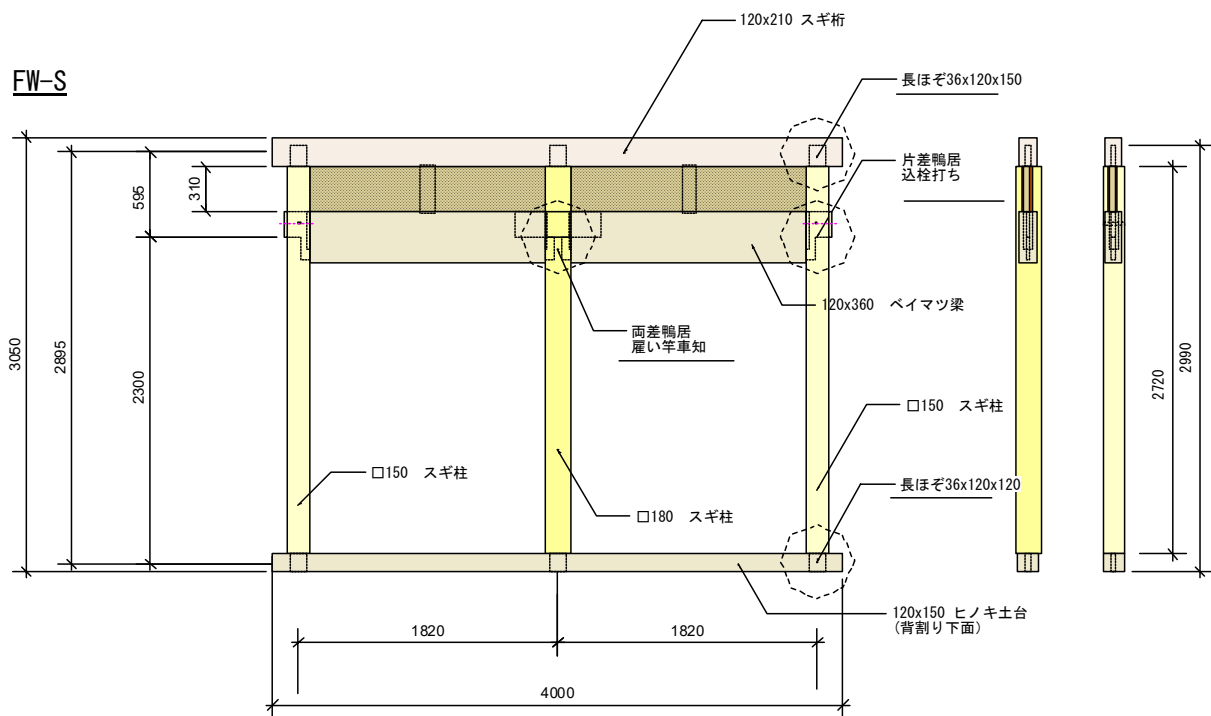


図 5.2.1-2 垂れ壁（小）のついた軸組構面 FW-S

表 5.2.1-1 各試験に用いた材料のヤング係数

試験体	部位	樹種	せい (mm)	幅 (mm)	動的ヤング係数 (Gpa) ※1	3点曲げ試験での曲げ ヤング係数 (GPa) ※2	含水率
FW-L	中柱	スギ	180	180	8.49	9.18	17.8
	右柱	スギ	150	150	8.59	9.76	15.9
	左柱	スギ	150	150	9.45	9.77	28.1
	差鴨居 (左右共通)	ベイマツ	360	120	11.08		11.2
	桁	スギ	210	120	8.83		17.4
	土台	ヒノキ	120	150	14.63		23.0
FW-S	中柱	スギ	180	180	8.06	8.86	18.2
	右柱	スギ	150	150	9.79	10.40	22.8
	左柱	スギ	150	150	8.22	9.35	16.6
	差鴨居 (左右共通)	ベイマツ	360	120	11.17		13.5
	桁	スギ	210	120	10.30		18.2
	土台	ヒノキ	120	150	13.64		22.4

※1：動的ヤング係数は加工前材料を打撃縦振動法にて計測したもの。

※2：3点曲げ試験での曲げヤング係数は、構面試験終了後に取り外した材料を図 2.2.1-3の方法で変スパン3点曲げ試験を実施し、得られた歪みゲージの値から平均値として算出したもの

5.2.2 実験方法

(1) 試験概要

実験は京大生存圏研究所木質材料実験棟で実施した。実験方法を図 5.2.2-1 に、実験の様子を写真 5.2.2-1 に示す。試験体頂部（桁位置中心、仕口：柱頭）を水平に加力し正負交番繰り返し載荷を行った。加力点の水平変位を制御変位として変位制御による加力とした。

構面試験体については、タイロッド式試験法とし、両側柱よりやや内側の位置で桁上部と下部鋼製架台とをローラーを挟んだ全ねじロッドで緊結した。

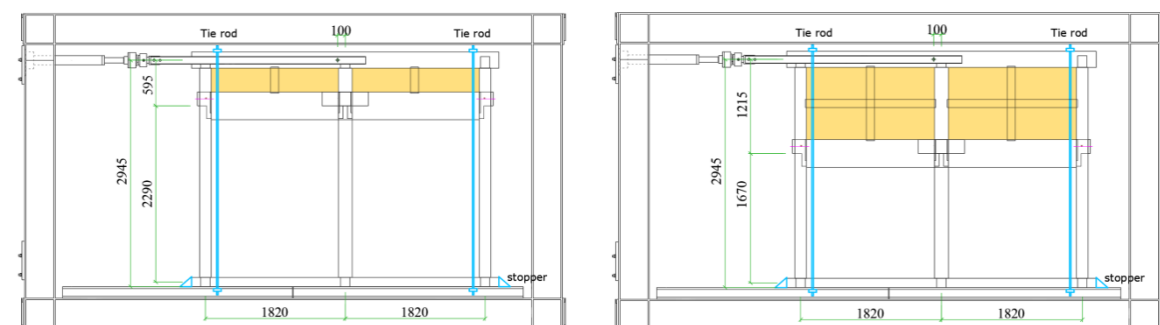


図 5.2.2-1 加力装置 (左 : FW-S、右 : FW-L)



写真 5.2.2-1 試験体セットアップ状況 (左 : FW-S、右 : FW-L)

(2) 加力計画

表 5.2.2-1 に示す変形角を目標として正負交番繰り返し加力を行った。なお、1/10 rad. は引き側のみ 1 回加力とした。加力スケジュールを図 5.2.2-2 に示す。

表 5.2.2-1 目標変形角 (rad.)

目標変形角	1/450	1/300	1/200	1/150	1/100	1/75	1/50	1/30	1/15	最終
繰り返し回数	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1 (引側のみ)

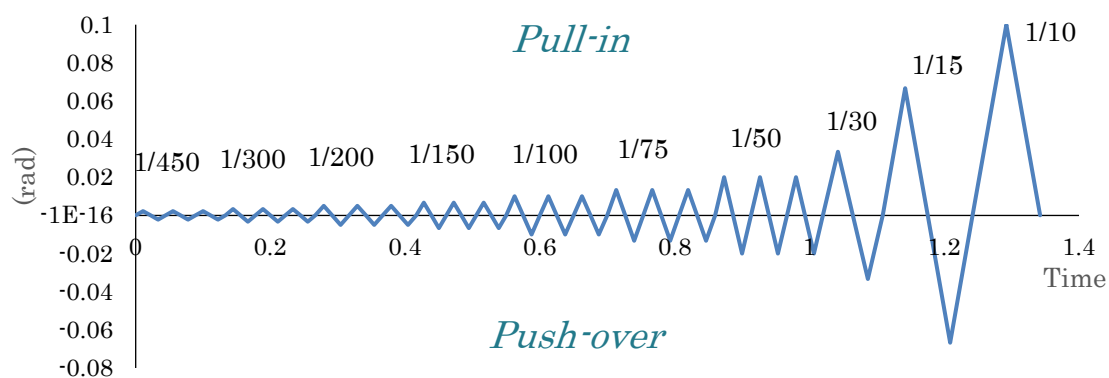


図 5.2.2-2 加力スケジュール

5.2.3 計測計画

計測計画を図 5.2.3-1 に、計測チャンネルリストを表 5.2.3-1 に示す。

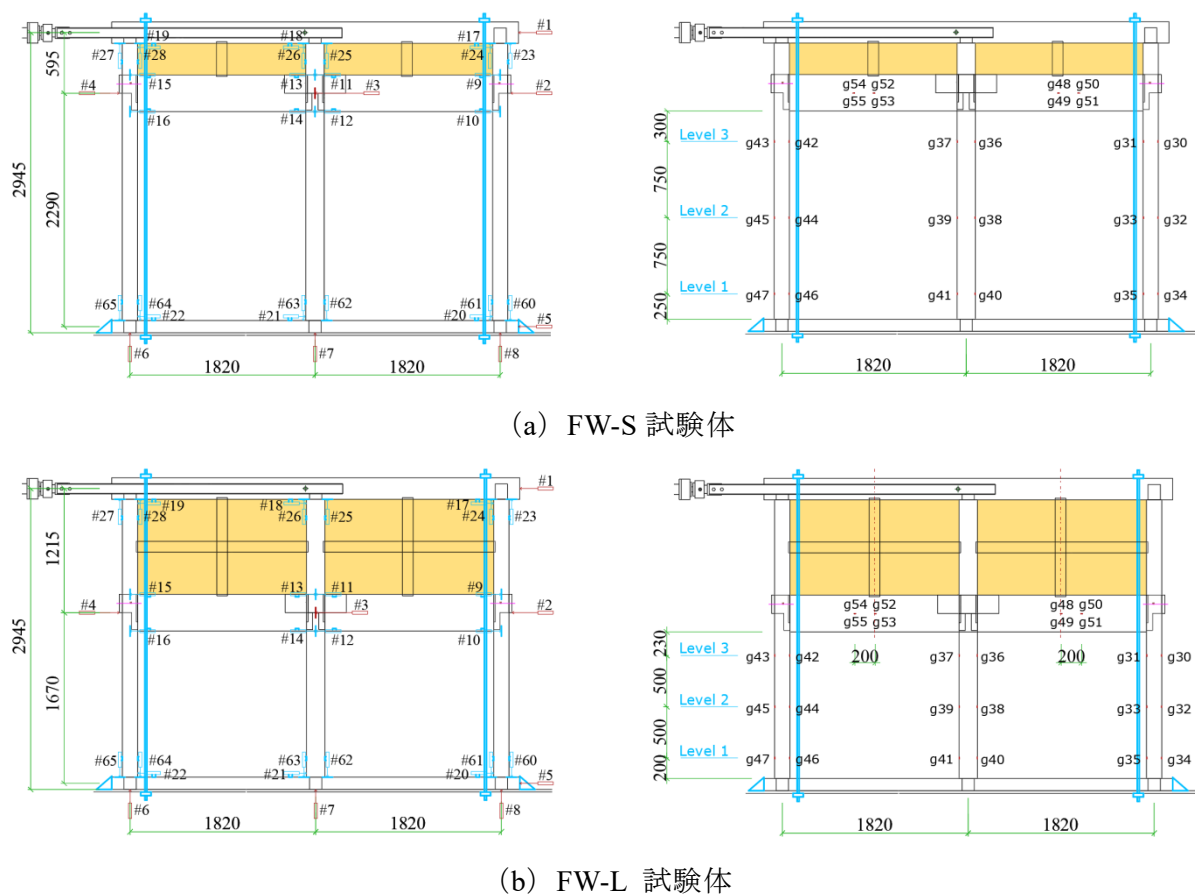


図 5.2.3-1 変形とひずみの計測計画 (左：変位、右：ひずみ)

表 5.2.3-1 構面試験体 FW-S、FW-L の計測チャンネルリスト

CH 番号	計測項目	計測機器（全て東京測器）
#0	代表水平荷重	TCLM50kNb
#1	水平代表変位	DP-500e
#2	右柱梁心位置水平変位	DP-500e
#3	中柱梁心位置水平変位	DP-500e
#4	左柱梁心位置水平変位	DP-500e
#5	土台水平変位	CDP-50
#6	左柱鉛直変位	CDP-50
#7	中柱鉛直変位	CDP-50
#8	右柱鉛直変位	CDP-50
#9	右柱梁上-柱水平相対変位	SDP-100
#10	右柱梁下-柱水平相対変位	SDP-100
#11	中柱右梁上-柱水平相対変位	SDP-100
#12	中柱右梁下-柱水平相対変位	SDP-100
#13	中柱左梁上-柱水平相対変位	SDP-100
#14	中柱左梁下-柱水平相対変位	SDP-100
#15	左柱梁上-柱水平相対変位	SDP-100
#16	左柱梁下-柱水平相対変位	SDP-100
#17	右柱上-梁水平相対変位	CDP-50
#18	中柱上-梁水平相対変位	CDP-50
#19	左柱上-梁水平相対変位	CDP-50
#20	右柱下-土台水平相対変位	CDP-50
#21	中柱下-土台水平相対変位	CDP-50
#22	左柱下-土台水平相対変位	CDP-50
#23	右柱右上-梁鉛直相対変位	SDP-50
#24	右柱左上-梁鉛直相対変位	SDP-50
#25	中柱右上-梁鉛直相対変位	SDP-50
#26	中柱左上-梁鉛直相対変位	SDP-50
#27	左柱右上-梁鉛直相対変位	SDP-50
#28	左柱左上-梁鉛直相対変位	SDP-50
g30-35	右柱曲げひずみ（1 対@750or500mm）	PFL-20-11-5LJC-F
g36-41	中柱曲げひずみ（1 対@750or500mm）	PFL-20-11-5LJC-F
g42-47	左柱曲げひずみ（1 対@750or500mm）	PFL-20-11-5LJC-F
g48-51	右梁中心位置梁軸方向ひずみ	PFL-20-11-5LJC-F
g52-55	左柱表面柱軸方向ひずみ	PFL-20-11-5LJC-F

5.2.4 実験結果

（１）荷重-変形角関係

構面試験体について、それぞれの代表変位(#1)を試験体高さ H（2885mm）で除し、せん断変形角を得た。今年度 FW-S、FW-L に加え、昨年度実施した試験体土壁構面試験体（昨年度名：FM、今年度名 FW-M）の荷重-せん断変形角関係を図 5.2.4-1 に示す。なお、FW-S、FW-L は三重県産土を用いた試験体であるのに対し、FW-M は徳島産土を用いており、若干仕様が異なる。

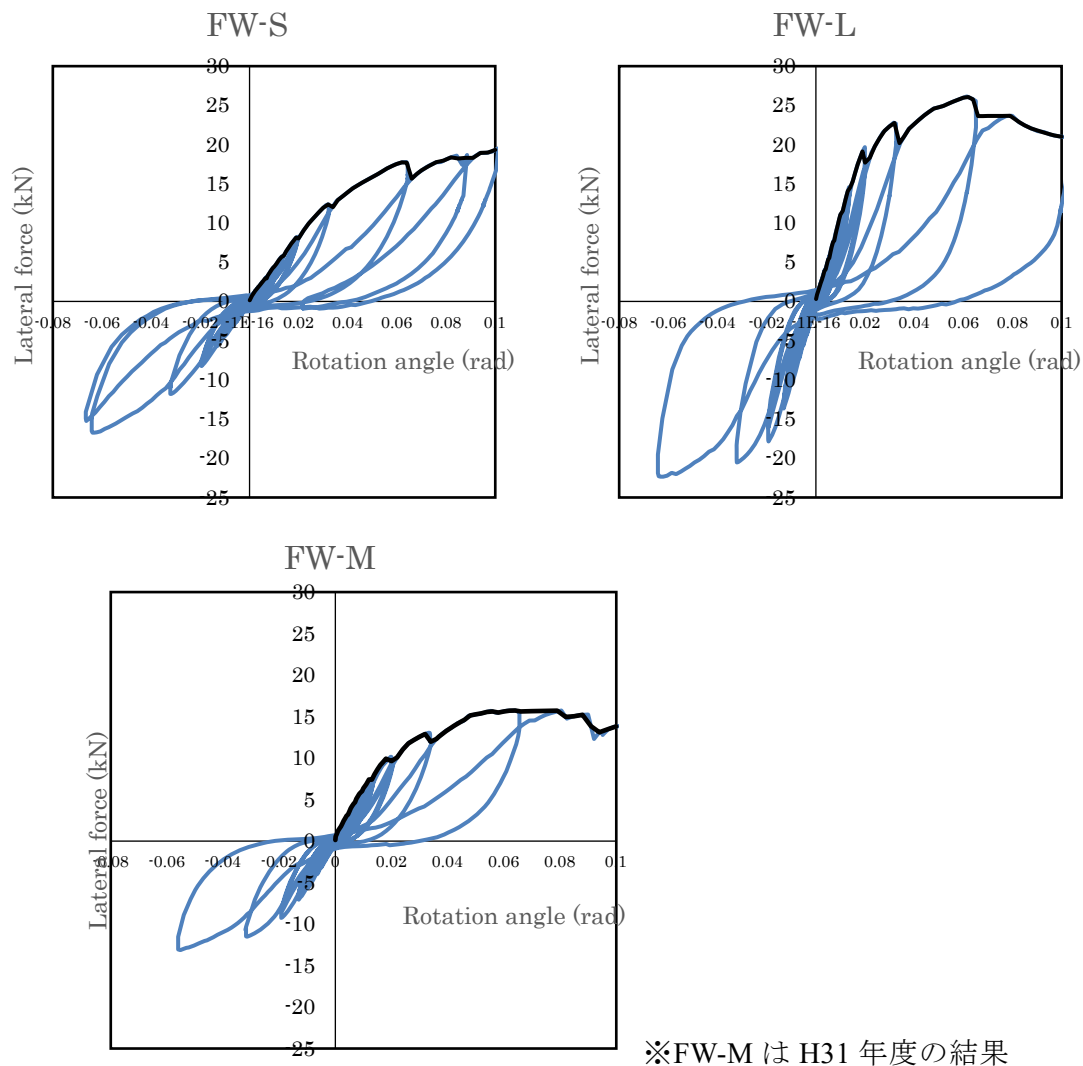


図 5.2.4-1 構面試験体の荷重-代表せん断変形角関係

(2) 変形の様子

試験体の変形の様子を写真 5.2.4-1～5.2.4-4 に示す。いずれの試験体も $1/15\text{rad}$ に至るまで概ね耐力低下や明確な破壊を生じることが無かった。土壁を有する試験体では終局に至るまで土壁にせん断ひび割れ等は生じず、土壁チリ部で圧縮破壊が進展した。

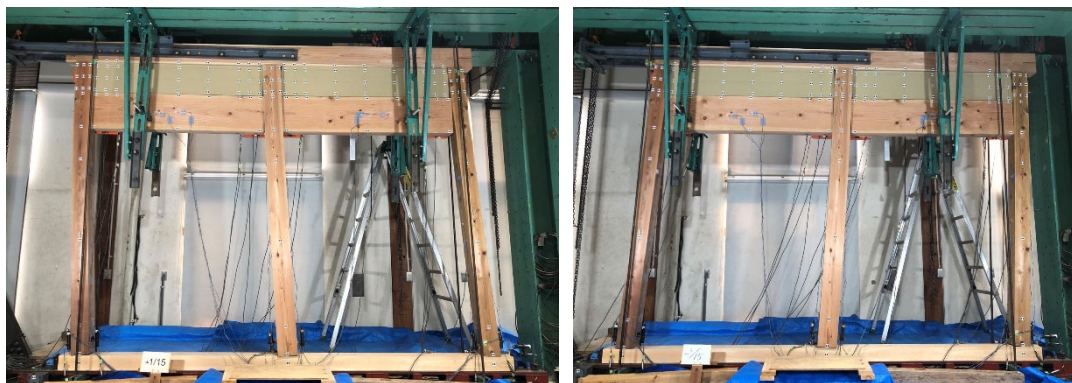
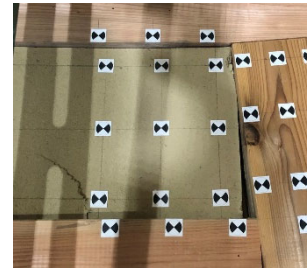
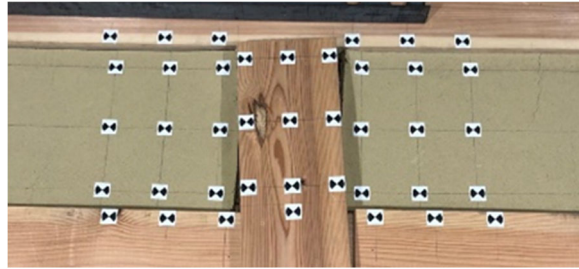
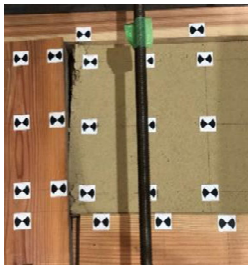


写真 5.2.4-1 FW-S 試験体の大変形時の全体像（左： $+1/15\text{rad}$ 、右： $-1/15\text{rad}$ ）



(a) 土壁の回転と梁の浮き上がり

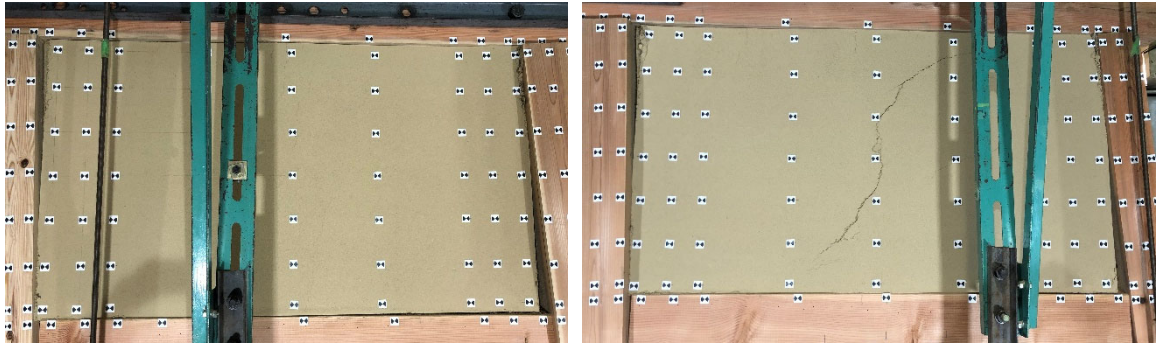


(b) 土壁端部の変形の様子

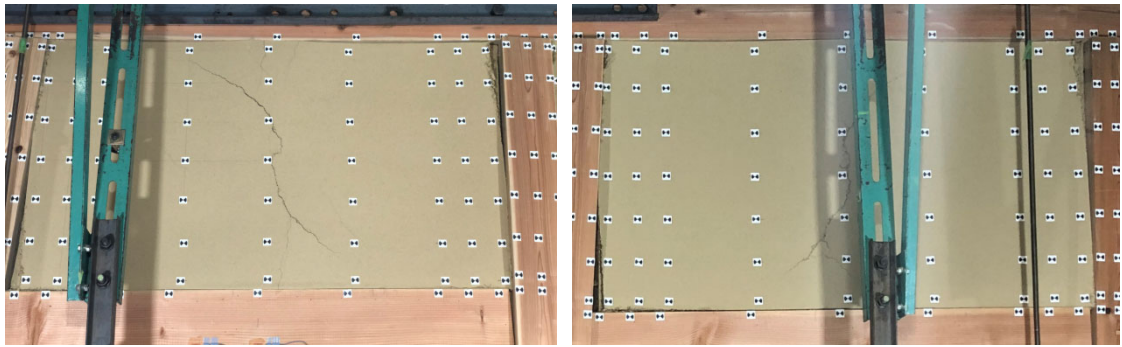
写真 5.2.4-2 FW-S 試験体の局所変形の様子 (+1/10rad)



写真 5.2.4-3 FW-L 試験体の大変形時の全体像 (左 : +1/15rad、右 : -1/15rad)



(a) 土壁損傷状況 (+1/15rad)



(b) 土壁損傷状況 (-1/15rad)

写真 5.2.4-4 FW-L 試験体の土壁の破壊状況

(3) 柱材のヤング係数の計測

構面試験体の柱材は曲げモーメントを負担し、曲げ変形が生じる。構面変形に占める柱材の曲げ変形性を分離し、また計測歪みより柱材のモーメント分布を正確に推定するために柱材の曲げ弾性係数を別途計測した。構面試験終了後に歪みゲージをつけたまま柱材を取り外し、上下ほぞ位置を支点、差鴨居位置を加力点とする変スパン 3 点曲げ試験を行った (図 5.2.4-2)。

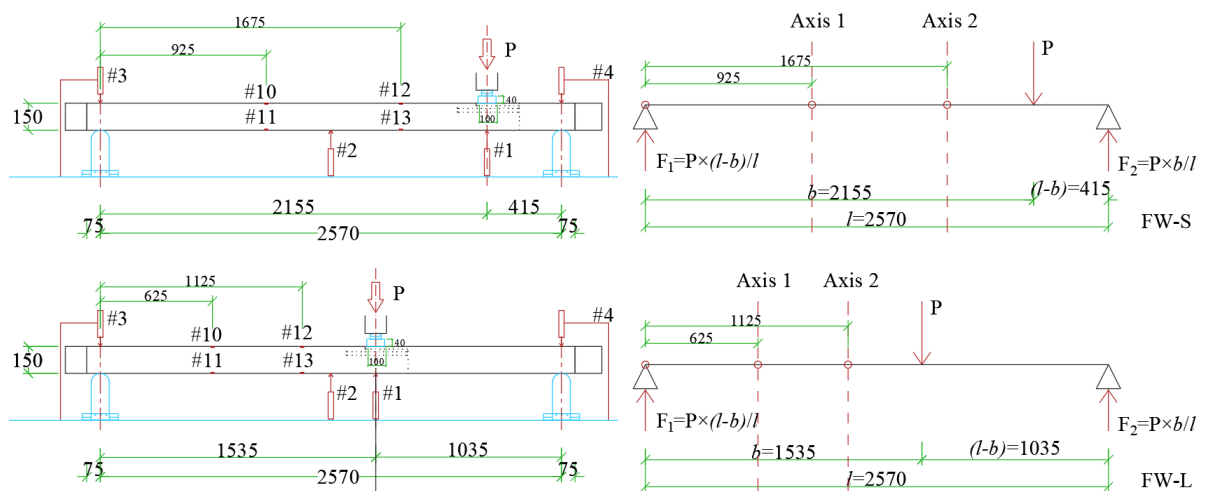


図 5.2.4-2 柱材の変スパン 3 点曲げ試験のセットアップ

単純梁モデルより、歪みゲージ添付位置のモーメントを次式で計算した。

単純梁モデルによる左右支点反力:

$$F_1 = P \times (l-b)/l; F_2 = P \times b/l;$$

ゲージ添付位置のモーメント:

$$\text{FW-S: } M_{\text{axis1}} = F_1 \times 0.925, M_{\text{axis2}} = F_1 \times 1.675$$

$$\text{FW-L: } M_{\text{axis1}} = F_1 \times 0.625, M_{\text{axis2}} = F_1 \times 1.125$$

モーメントを柱材の断面係数 Z で除することで、表面の曲げ応力を計算した。

$$\text{表面の曲げ応力 } (\sigma_{\text{axis1}}, \sigma_{\text{axis2}}) = M_{\text{axis}} / Z, (Z = bh^2/6);$$

柱材の歪みゲージ添付位置の曲げヤング係数は柱材上下面で、表面の曲げ応力/計測歪みの平均値を取ることで求めた。また、各計測点のヤング係数を平均し、柱の曲げヤング係数として代表値を求めた。柱各点の計測ヤング係数を表 5.2.4-1 に示す。

$$\text{MOE} = \text{Average } (\sigma_{\text{axis1}}/\epsilon_{\text{axis1}}, \sigma_{\text{axis2}}/\epsilon_{\text{axis2}})$$

また、本試験においては柱材を曲げ破壊するまで加力した。柱の曲げ破壊係数 MOR は下記の式で計算できる。

$$MOR = \frac{P_{\text{max}}}{Z_h} \times \frac{b(l-b)}{l}$$

ここで、柱の破壊位置には仕口によるほぞ穴を有している。MOR の算出には仕口のほぞ穴の断面欠損を考慮した断面係数を用いた。MOR の結果を表 5.2.4-1 中に併せて示す。MOR は 40～50MPa とすぎ材の基準強度に比べて大きく、今回の試験体の品質は高いものであったことがうかがえる。

$$Z_h = (b-b_h)h^2/6 \quad b_h: \text{柱ほぞ穴幅}$$

表 5.2.4-1 各柱の計測曲げヤング係数(平均値)

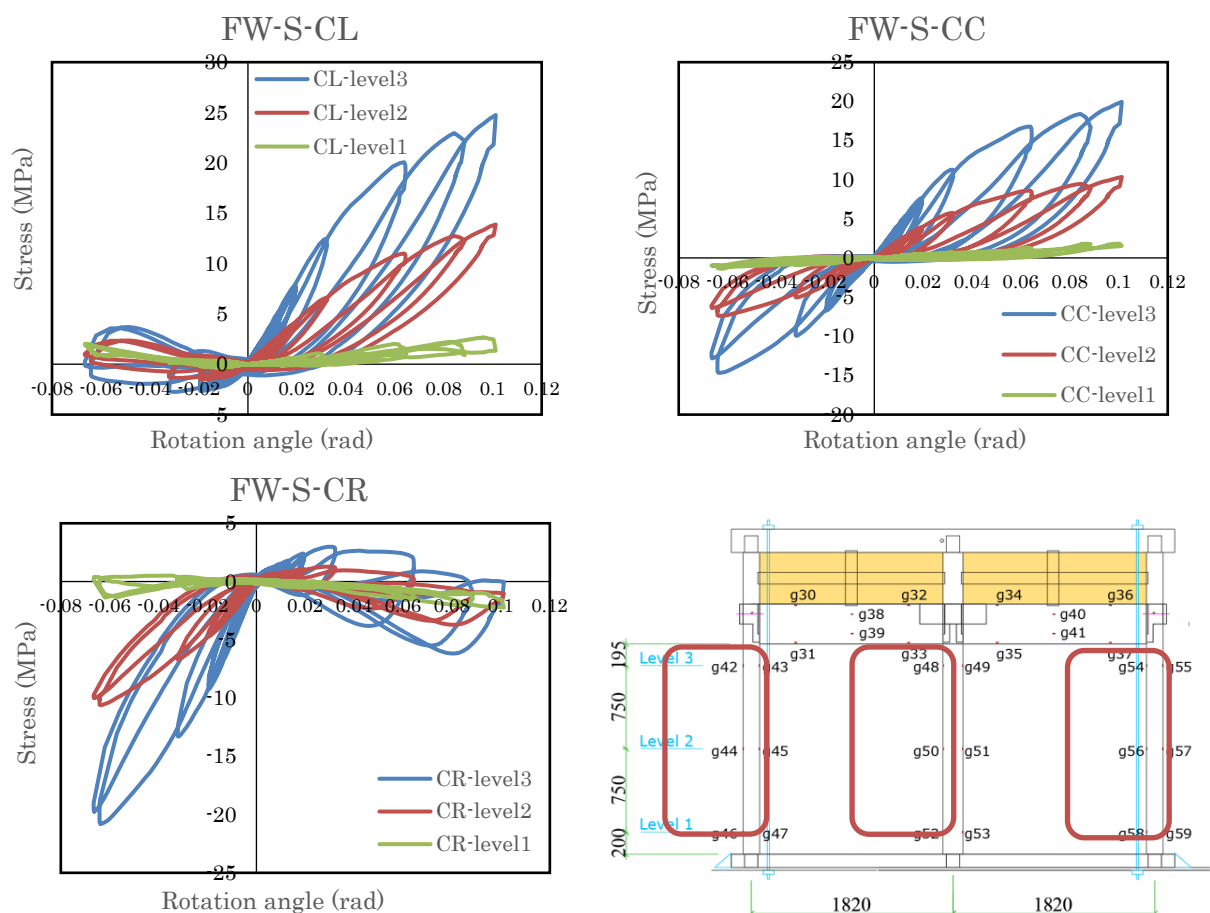
試験体		断面(mm)	曲げヤング係数 (GPa)	曲げ破壊係数 MOR (MPa)	含水率 (%)
FW-S	左柱 (CL)	150×150	9.35	39.02	22.5
	右柱 (CR)	150×150	10.40	46.40	27.3
	中柱 (CC)	180×180	8.86	32.71	25.0
FW-L	左柱 (CL)	150×150	9.77	51.19	30.0
	右柱 (CR)	150×150	9.76	44.56	24.4
	中柱 (CC)	180×180	9.18	36.42	25.8

(4) 柱材のモーメント分布

構面試験時に計測した柱材の歪みに、(3) で実測した曲げヤング係数を乗じて曲げモーメントを計算し、さらに断面係数を乗じて求めた柱材各位置の曲げ応力と構面せん断変形角との関係を図 5.2.4-3 に示す。さらに各柱高さ位置での分布を、引き加力時特定変形角ご

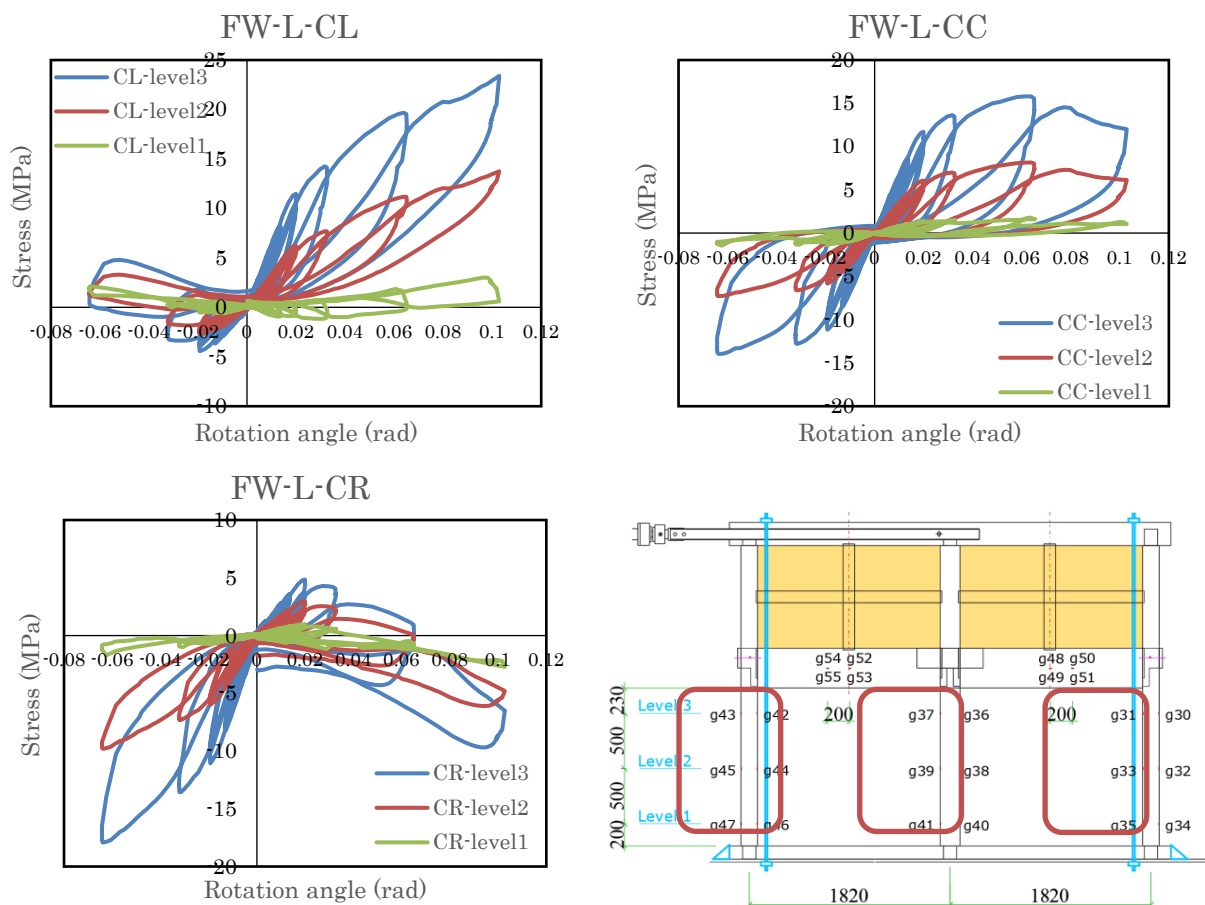
とに示したものを図 5.2.4-4 に示す。図 5.2.4-4 より、FW-S 試験体では引き加力時に左柱と中柱の曲げ応力が大きく、右柱差鴨居位置にはさほど曲げ応力が生じていない様子が分かる。なお、このときの曲げ応力の向きは柱を左向きにたわませる方向を正としている。一方、FW-L 試験体では、大変形時に右柱差鴨居位置の曲げ応力が正から負の値へと変化しており、むしろ柱を右側にたわませる力が働いていることが見て取れる。これはすなわち、差鴨居長ほぞ込栓が降伏または破壊し、柱を左に引き寄せる効果が無くなったため、差鴨居軸抵抗成分により柱が曲げられている効果と考えられる。

左柱において最大の曲げ応力が生じていたが、今回の試験条件では差鴨居位置の最大値は 20N/mm^2 程度であり、部材曲げ試験によって計測された破壊時曲げ応力度 ($40\sim 50\text{N/mm}^2$ 程度 $\times b/(b-b_h)$) に比べ余裕がある状態であった。



(a) FW-S 試験体

図 5.2.4-3 (1) 柱材の曲げ応力



(b) FW-L 試験体

図 5.2.4-3 (2) 柱材の曲げ応力

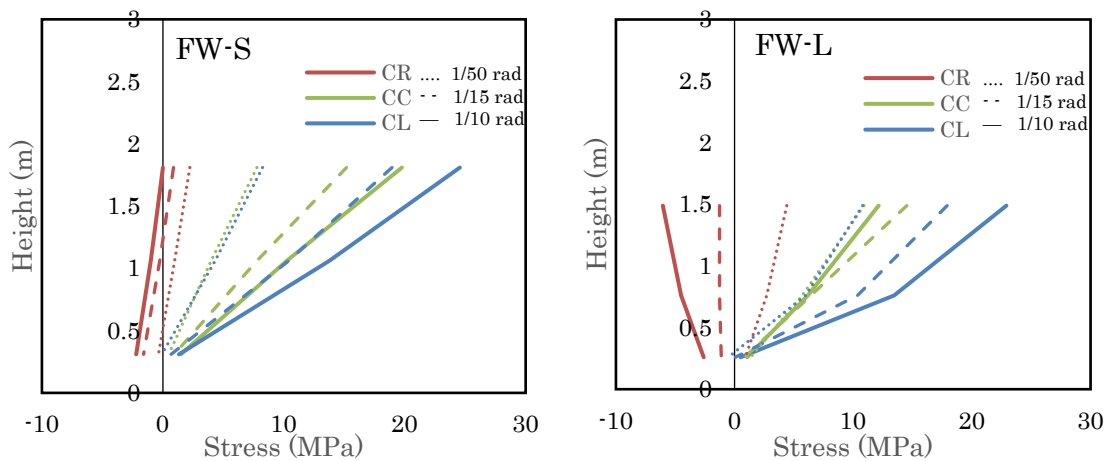


図 5.2.4-4 柱材の曲げ応力分布とその変遷

柱材の曲げ応力分布の傾きから、柱に生じるせん断力を計算した。引き加力時の結果を図 5.2.4-5 に示す。断面の大きい中柱のせん断力負担が大きい事が見て取れる。また、右柱

のせん断力負担は小さい。全ての柱のせん断力を合計すると図 5.2.4-1 に示す外力と一致することを確認した（図 5.2.4-5 右）。

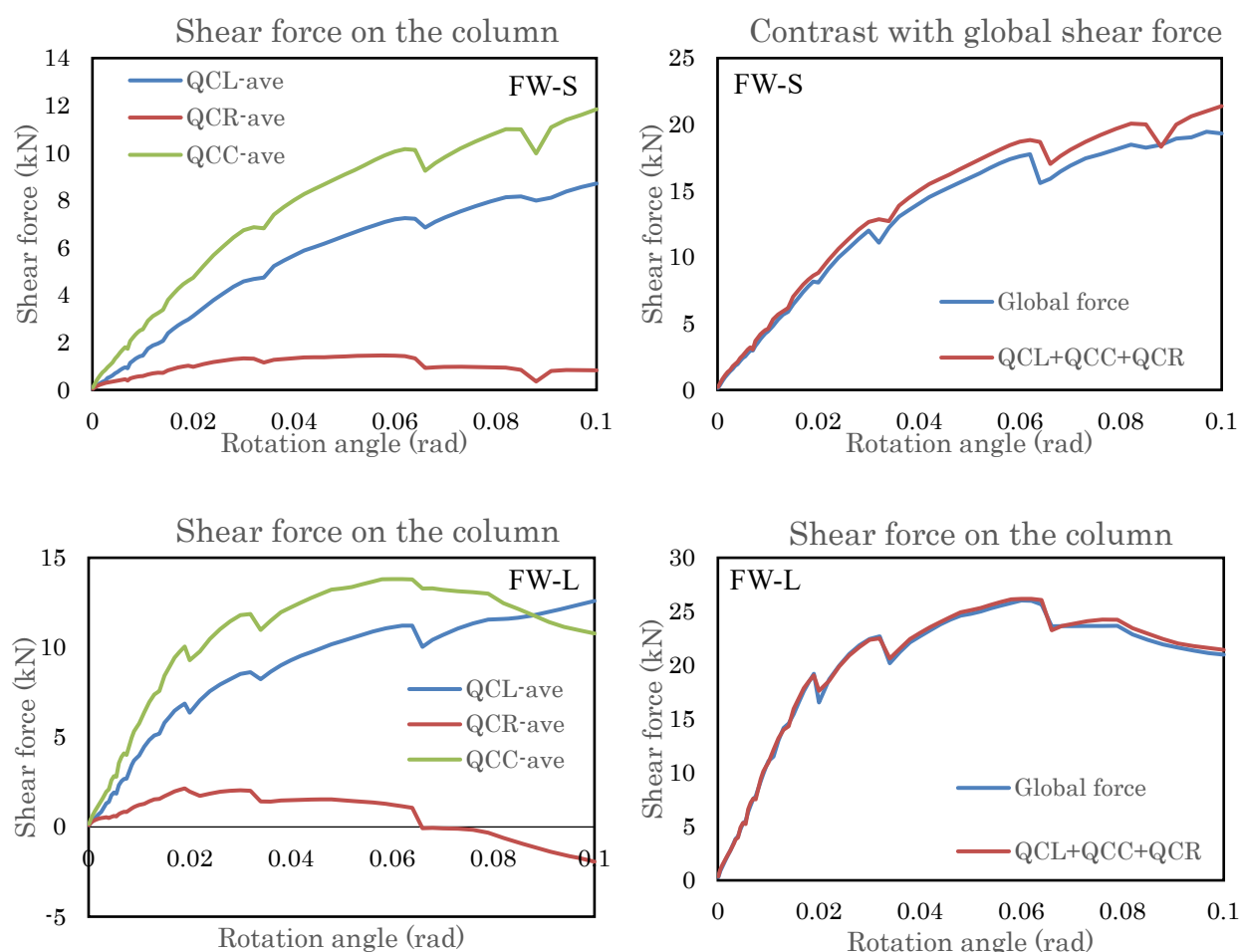


図 5.2.4-5 柱材のせん断力負担

(5) 差鴨居軸抵抗成分 Q_{FW-b}

差鴨居中央部に添付した歪みゲージの計測歪み（平均値）に、差鴨居ヤング係数（11410MPa）と断面積（ $360 \times 120\text{mm}$ ）を乗じて差鴨居軸力を計算した。結果を図 5.2.4-6 に示す。左右の差鴨居共に圧縮力が作用していた事が分かった。2 章図 2.2.3-8 に述べた手法により、差鴨居端部の回転変位の計測値から接触長さおよび合力作用位置を計算し、差鴨居両梁端での合力作用点間距離を差鴨居軸力に乘じることで、軸抵抗成分負担モーメントを算出した。これを構面試験体高さで除することで、構面せん断力における差鴨居軸抵抗成分を計算した。引き側加力時の結果を左右差鴨居ごとに示したものを図 5.2.4-7 に示す。

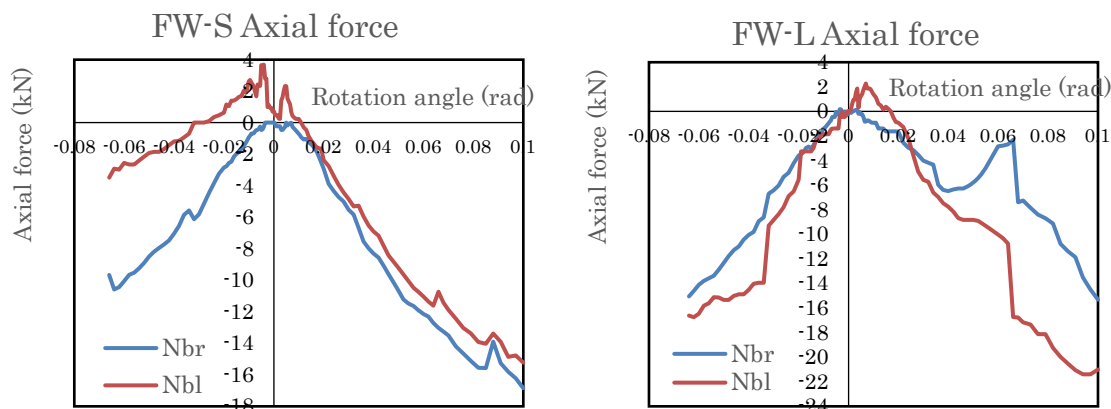


図 5.2.4-6 差鴨居の軸力

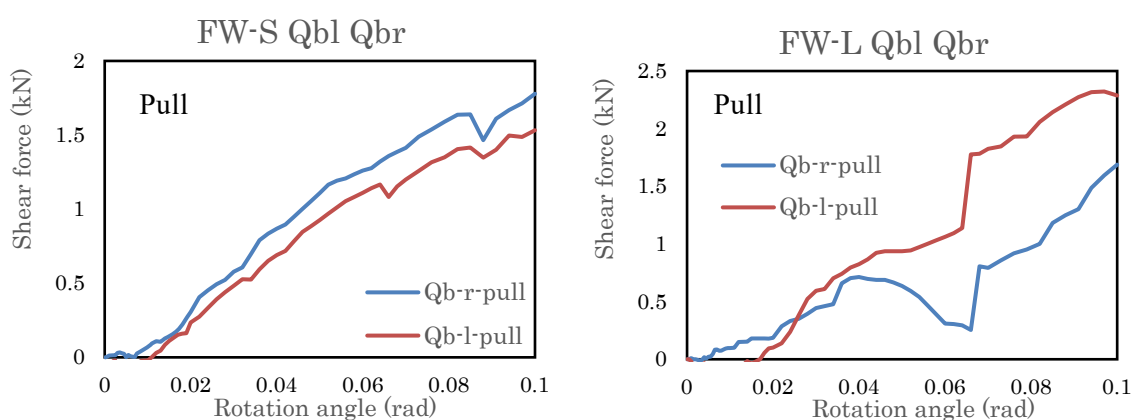


図 5.2.4-7 構面せん断力における、差鴨居の軸抵抗成分(左右差鴨居ごと、引き側加力時)

(6) 土壁せん断抵抗成分 Q_{FW-w}

垂れ壁付き構面試験における、土壁のせん断抵抗成分を求めた。ここでは、純土壁試験における Q_M の値を用い、これに純土壁試験における上下梁芯々距離と構面試験における構面高さの比率を乗じることで、土壁のせん断抵抗成分とした。

$$Q_{FW-S-w} = Q_{p-s} \times H_{PMS}/H_F \times 2 \quad (\text{小土壁試験体})$$

$$Q_{FW-L-w} = Q_{p-l} \times H_{PML}/H_F \times 2 \quad (\text{大土壁試験体})$$

小土壁試験体の場合 Q_{p-s} : 純土壁試験における Q_M 、

H_{PMS} : 純土壁試験における上下梁芯々距離

H_F : 構面試験における構面高さ

(7) 接合部回転抵抗成分 Q_{FW-J}

垂れ壁付き構面試験における、接合部の回転抵抗成分を求めた。ここでは、4章で述べた軸組のみ構面試験において求めた接合部の回転抵抗成分(Q_{Fj})に、軸組のヤング係数の比率を乗じることで算出した。

$$Q_{FW-Sj} = Q_{Fj}/E_{CF-avg} \times E_{CFW-S-avg} \quad (\text{小土壁試験体})$$

$$Q_{FW-Lj} = Q_{Fj}/E_{CF-avg} \times E_{CFW-L-avg} \quad (\text{大土壁試験体})$$

小土壁試験体の場合

Q_{Fj} : 軸組のみ構面試験における接合部回転抵抗成分計算値

E_{cF-avg} : 軸組のみ構面試験における柱材平均ヤング係数

$E_{cFW-S-avg}$: 垂れ壁付き構面試験における柱材平均ヤング係数

(8) 柱の曲げ変形成分 $\gamma_{b(w)}$

垂れ壁付き構面試験における柱の曲げ変形成分は、上記 (5) ～ (7) で計算される外力と接合部モーメントから差鴨居位置における水平力と接合モーメントを計算し、これを単純梁モデルにおいて、集中荷重、集中モーメントとしてあてはめることで計算した。

$$\gamma_b = \gamma_{b(j)} + \gamma_{b(w)}$$

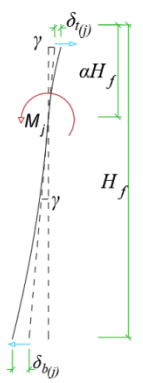
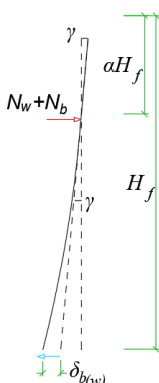
単純梁の条件	変形角計算式
	$Q_j = \frac{\Sigma M_j}{H_f}$ $\delta_{t(j)} = Q_j \times \frac{(\alpha H_f)^3}{3 \Sigma EI}$ $\delta_{b(j)} = Q_j \times \frac{(1-\alpha)^3 H_f^3}{3 \Sigma EI}$ $\gamma_{b(j)} = \frac{\delta_{t(j)} + \delta_{b(j)}}{H_f} = \frac{[\alpha^3 + (1-\alpha)^3] \times Q_j H_f^2}{3 \Sigma EI}$
	$Q_w + Q_b = \alpha(N_w + N_b)$ $\delta_{b(w)} = \frac{(1-\alpha)^3 H_f^3 (Q_w + Q_b)}{3 \Sigma EI}$ $\gamma_{b(w)} = \frac{\delta_{b(w)}}{(1-\alpha) H_f} = \frac{(1-\alpha)^2 H_f^2 (Q_w + Q_b)}{3 \Sigma EI}$

図 5.2.4-8 柱材の曲げ変形による構面せん断変形角の推定

(9) 重ね合わせの成立の確認

(5) ～ (8) で述べた各抵抗・変形成分から、重ね合わせの原理により垂れ壁付き構面実験の挙動の再現性を確認した。

- (a) 接合部曲げ抵抗成分
- (b) 土壁せん断抵抗成分
- (c) 差鴨居軸力成分
- (d) 柱の曲げ変形成分

(a) ～ (c) の抵抗成分を同一変形角時の値で加算し、さらに (d) の変形成分を同一せん断力時の値で加算することで、垂れ壁付き軸組構面の重ね合わせ推定値を求めた。結果試験結果と比較したものを図 5.2.4-9 に示す。

重ね合わせ推定値は、実験結果よりもやや安全側となる結果を示した。特に、土壁高さが小さい FW-S 試験体で誤差が大きくなる傾向が見られた。

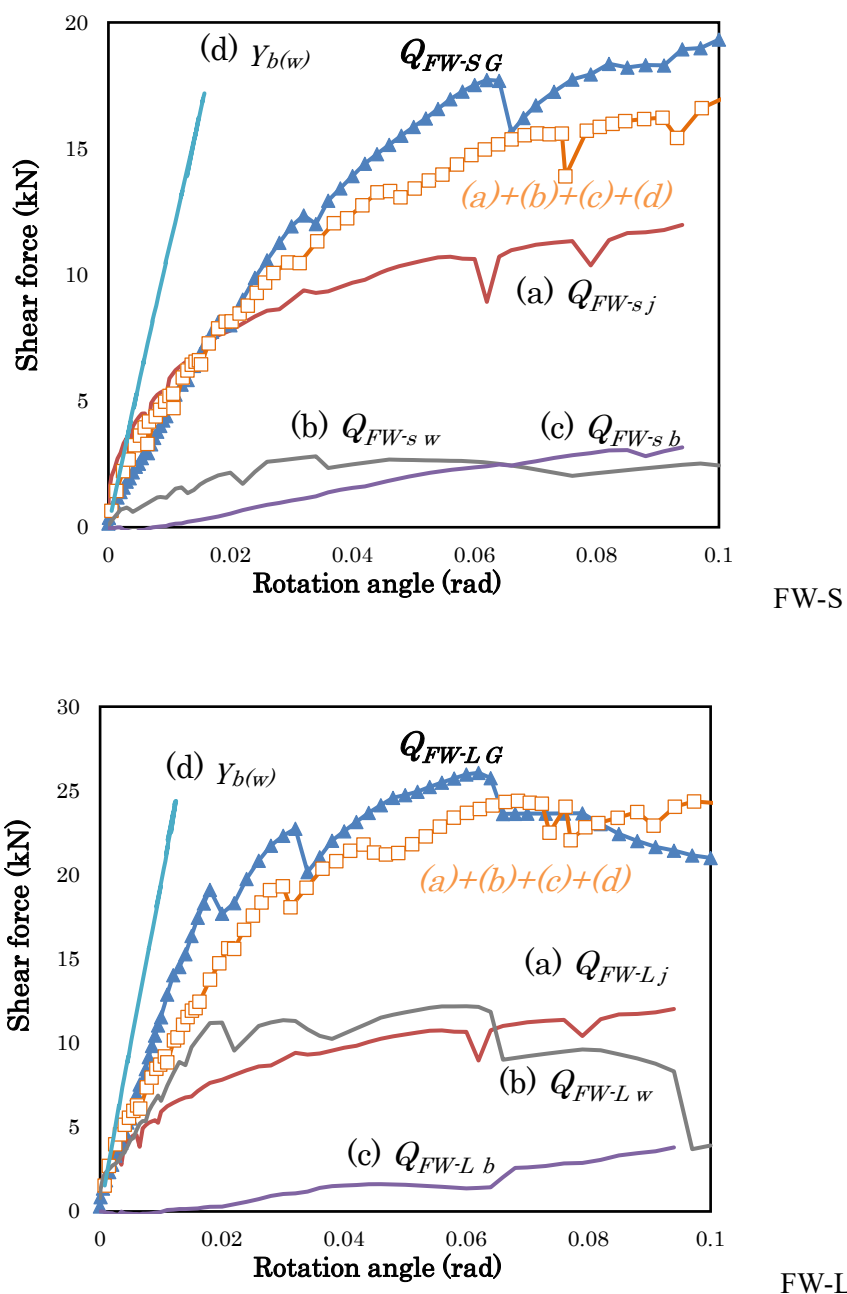


図 5.2.4-9 構面試験体の荷重-代表せん断変形角関係の重ね合わせ推定値との比較

(10) 土壁せん断抵抗成分 Q_{FW-w} の補正

(9) の結果より、重ね合わせ推定値は実験結果を過小評価することとなった。この原因として、純土壁試験で検討したように、土壁抵抗成分におけるせん断力伝達経路の違いを考慮していないことが考えられる。すなわち、土壁のせん断力伝達は、側面圧縮による抵抗成分と、上下面せん断による抵抗成分の2通りに分解される。純土壁試験は上下の梁の断面が小さい条件で行った。しかし、構面試験のように大きな断面の軸組を有する場合を想定する（土壁正味高さは同一だが、梁芯々距離が異なる）と、側面圧縮抵抗成分は曲げ抵抗型の挙動であるため梁芯々間距離が大きくなった分、その逆数を乗じて抵抗力を減じる必要がある。一方で上下面せん断抵抗成分は、直接せん断抵抗型の挙動であるため、軸組断面によらず、垂れ壁構面内では抵抗力に変化は無い。(6) の検討では、垂れ壁構面全体を同一のものとして取り扱っていたため、純土壁試験体と垂れ壁付き構面試験体の垂れ壁高さの比率に応じて、純土壁試験結果を全体的に耐力低下させる処理を行っていた。

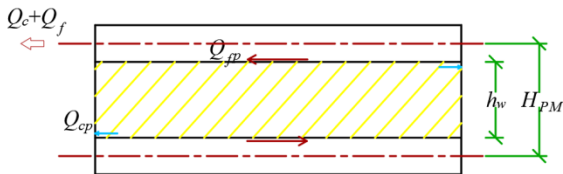
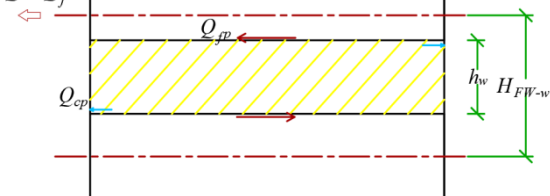
純土壁試験条件 (PM)	大断面軸組中の土壁
	
$Q_f = Q_{fp}$ $Q_c = Q_{cp} \frac{h_w}{H_{PM}}$	$Q_f' = Q_f$ $Q_c' = Q_c \frac{H_{PM}}{H_{FW-w}}$

図 5.2.4-10 土壁のみ試験体における軸組断面の違いとせん断力推定

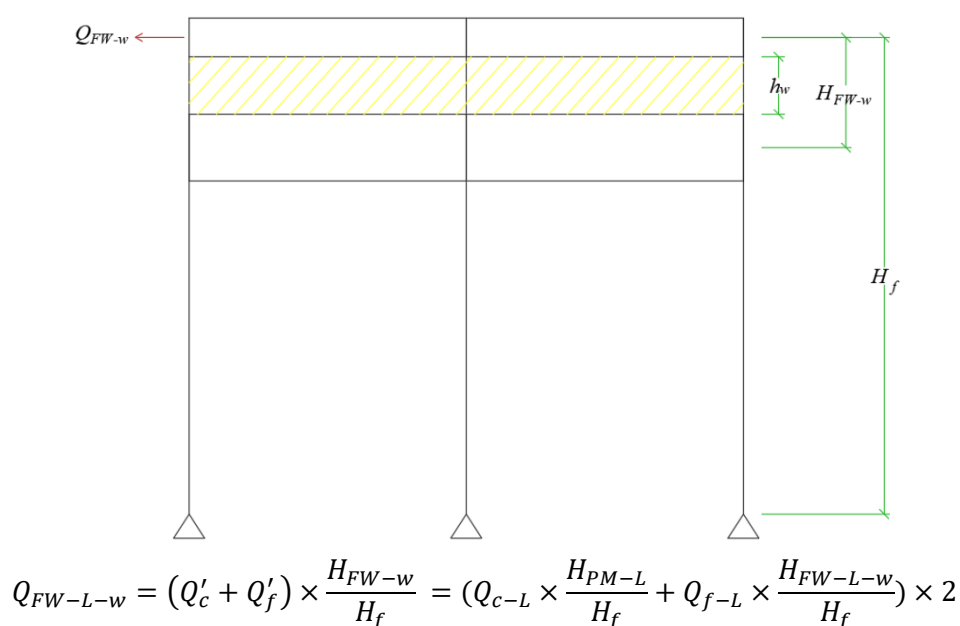


図 5.2.4-11 構面試験体における各高さ寸法条件とせん断力推定

そこで、ここでは3章の結果に応じて、垂れ壁部分のせん断抵抗成分を側面圧縮による抵抗成分と、上下面せん断による抵抗成分の2通りに分解し、前者は軸組高さ比に応じた耐力低下を考慮するが、後者はそれを考慮しない事とした。計算結果を図5.2.4-12に示す。推定結果は実験結果と精度良く一致した。

また、同様に、3章におけるPM-MT試験結果を用いて、H30年度に実施した構面試験体（土壁高さ：中）の結果と推定値を比較したものを図5.2.4-13上に示す。この条件においても、推定値は実験結果と精度良い一致を見せた。図5.2.4-13下は同様にH30年に実施した柱が無い小壁部分のみの試験体（W：差し鴨居有り＝第1章のこれまでの実験一覧の「い」に該当）の結果とPM-MT試験結果を比較したものである。H30年度の柱が無い小壁のみの試験体（W：差し鴨居有り）の結果から、接合部の回転抵抗成分と差し鴨居軸抵抗成分を除去した土壁せん断抵抗成分は、PM-MT試験結果より推定した大断面軸組時の抵抗力和精度良く一致している。これらのことから、土壁の荷重伝達経路を分離して取り扱うことで、垂れ壁付き構面の試験結果は重ね合わせ法により精度良く推定することが可能であると結論できる。

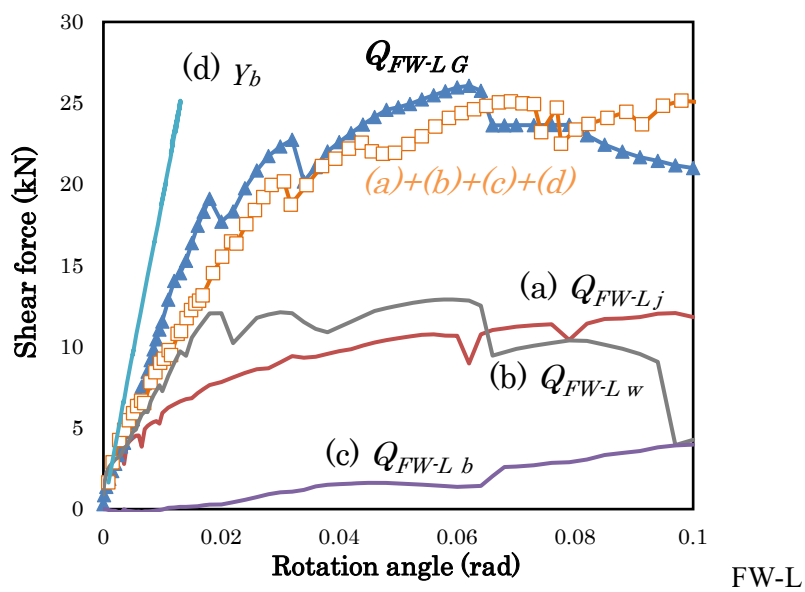
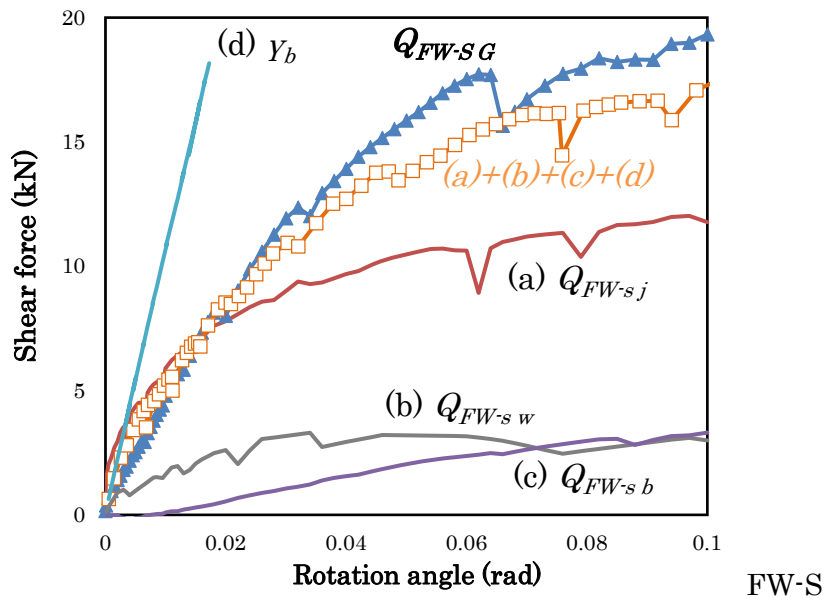
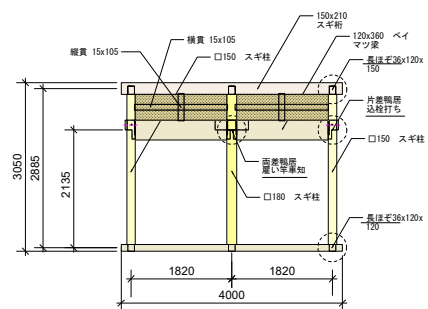
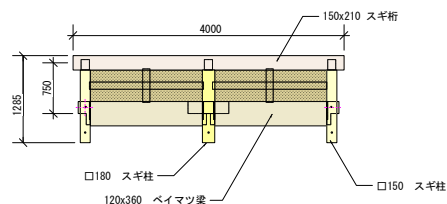


図 5.2.4-12 構面試験体の荷重-代表せん断変形角関係の重ね合わせ推定値との比較
(土壁抵抗成分を再検討して図 5.2.4-9 を補正)



H30 軸組+小壁型 (FM)

W Shear force distribution



H30 小壁型 (M)

図 5.2.4-13 H30 年度構面試験体の荷重-代表せん断変形角関係の重ね合わせ推定値との比較（土壁抵抗成分を再検討）

5.3 考察・まとめ

垂れ壁高さの異なる垂れ壁付き軸組構面試験を実施した。得られた結果を以下にまとめる。

- ・ 今回の条件では、いずれの条件でも柱が折損すること無く大変形まで挙動した。最大荷重時の柱の曲げ応力度は、柱材の実曲げ破壊係数に対して余裕があった。
- ・ 重ね合わせ法における推定について、(a) 接合部曲げ抵抗成分、(b) 差鴨居軸力成分、(c) 土壁せん断抵抗成分、(d) 柱の曲げ変形成分を考慮する方法を用いる際、土壁を単一の荷重伝達メカニズム（曲げ系）を持つとして取り扱うと、やや過小評価となる傾向が見られた。
- ・ 一方、3章で検討したように、土壁のせん断抵抗経路を側面圧縮と上下面せん断の両成分に分離し、それぞれに対して適切な高さ比に応じた低減を乗じる形で取り扱うことで、高精度で重ね合わせ法による構面試験結果の推定が可能であった。
- ・ 重ね合わせ法により分離した各抵抗力を概観すると、今回の試験条件における中小サイズの垂れ壁では、接合部の曲げ抵抗成分が最も大きかったが、大サイズの垂れ壁試験体では土壁抵抗成分が上回った。差鴨居軸抵抗成分はあまり大きな値とならないが、大変形時まで増加し続ける挙動を示す。

第6章 まとめと今後の課題

(1) 今年度の成果のまとめ

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。

具体的には、第1章に全体像を示したように差し鴨居等の接合部の性能と土壁部分の性能を分離して耐力要素を確認する実験を行い、それらを足し合わせた結果と、軸組全体の実験値が一致するかどうかを確認した。

その結果、本事業で実験を実施した仕様では、(a) 接合部曲げ抵抗成分、(b) 差鴨居軸力成分、(c) 土壁せん断抵抗成分、(d) 柱の曲げ変形成分を重ね合わせが成立することが確認できた。精度よく推定するためには、第3章で検討したように(c) 土壁せん断抵抗成分について、せん断抵抗経路を側面圧縮と上下面せん断の両成分に分離し、それぞれに対して適切な高さ比に応じた低減を乗じる形で取り扱うことが必要となることがわかった。

(c) 土壁せん断抵抗成分を土壁を単一の荷重伝達メカニズム(曲げ系)を持つとして取り扱うと、やや過小評価となる。

この結果は、本事業で実験を実施した仕様の範囲であり、例えば柱の断面大きく異なる場合や断面欠損がある場合や、差し鴨居仕口の納まりのばらつきによって、(b) 差鴨居軸力成分については異なることも予想される。また、(c) 土壁せん断抵抗成分については土の産地により性能が異なるが、今年度の成果では、土壁の産地の差は土壁上下面のせん断成分に対して影響し、側面の圧縮抵抗にはあまり影響しない様子が確認された。

この様に、伝統木造の仕様におけるばらつきについては注意が必要ではあるが、それぞれの耐力要素は建物全体から見ると寄与率は10%程度以下であり、そのばらつきによって生じる影響はその10%程度と考えられ、建物全体からすると1%程度の寄与となるため、設計上の判断としては現状で十分な精度が得られたと考えられる。

(2) 来年度の取り組みについての整理

来年度は、今年度の成果を生かし、差し鴨居のある断面の大きい軸材料をもつ構面について、壁倍率として加算できる条件を整理し、仕様規定としての技術基準の提案を行うための検討を行う。具体的には、今年度の結果から得られた各部の性能を取り込んだ構面モデルを作成し、実際にありえる構面パターンについてパラメトリックスタディーを行い、加算できる条件を整理行う。

建物としての性能は、差し鴨居の軸力および土壁のせん断力により柱が折れるところで決まるため、柱の折損がクライテリアとなる。差し鴨居の軸力、土壁のせん断力の推定がある程度の精度で求められたので、柱が折損する条件についてパラスタを行うことが可能となった。

ただし、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。断面欠損については現在は単純な断面係数で計算しているが、欠損部分が直交方向からの指し鴨居の部材等

で埋められている状況や、局所的な曲げ応力であるため、3等分4点载荷で決定された曲げ強度に対して、どの程度の低減となるかは知見が無い。

そこで来年度は、パラスタの実施の前に、柱の曲げについての断面欠損の影響を確認するためのデータ取得を計画している。断面欠損の影響を確認する実験については、差し鴨居等の横架材が取り付く本数、位置などをパラメーターとして実施する必要がある。

ただし、柱の曲げ実験に当たっては、以下のような課題を整理する必要がある。

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、それは現実においても稀なケースと思われる。

②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。

→来年度の実験は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。「○%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 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。

また、パラスタを行うに当たっては、実際の建物全体の変形を考えると、各部材の変形と一致しないことが想定されるので、理屈上、どこで層間変形角を取り、どこまでの差異を許容するかを決める必要がある。

伝統木造のような建物では、全体が柔らかいので、合わないことを前提とすることも想定されるが、以前の基準整備促進事業で実施した小屋組みの検討で行ったように、立体解析で検討することも候補となる。

第 7 章 添付資料

7.1 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	令和元年 8 月 7 日（水） 18：00～20：00	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 1」
第 2 回	令和元年 12 月 4 日（水） 18：00～20：00	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 1」
第 3 回	令和元年 2 月 20 日（木） 18：00～20：00	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 1」

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	2019年8月7日 水曜日 18:00～20:00				
場所	情報オアシス神田 オアシス1				
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
	協力委員	荒木康宏	秋山信彦		
	行政	青木亮	木戸聡		
	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 補助事業概要(交付申請書抜粋)

資料 03:WG 議事録(2019/6/6)+WG の資料 NO.06

資料 04:全体スケジュール

資料 05: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

資料 06:軸組型(F)再試験 速報

1. 国交省挨拶／事業概要の説明(資料 01、02)

- ・ 国交省・青木様より挨拶
- ・ 事務局より事業概要について説明。

2. 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(資料 NO.03、05、06)

- ・ 資料 NO.06 の最後のグラフは間違えている可能性がある。後日確認する。
- ・ 差し鴨居が大きくなったり、小壁の高さが大きくなると柱の折損が生じやすくなる。これについてはどう考慮するのか。
→ 垂れ壁付き独立柱では柱が折損する断面の場合、対象としない(=仕様からはずす)もしくはそれを考慮して低減している。差し鴨居も同様に考えることになる。
- ・ フレームの実験では、資料 NO.05 の図 13 で、右側の柱には曲げが生じていない。各接合部がそれぞれ性能を発揮しているといえないのでは？全ての要素を足すのが正しいのか？
→それも含めて検討を行う。
- ・ 変形が進むにつれて、回転抵抗の中心も移動するし、どの要素が性能を発揮するのが変わってくるのでは。
→ほぞの曲げ抵抗分と差し鴨居の軸力による抵抗分が加算できるかどうかという点の議論になるが、解析が詳細になりすぎるので、今回は加算は可能として進めたい。
- ・ 最終的な成果のとりまとめの落としどころはどのようになるのか？
→本事業では計算式の提案を考えている。それをういて柱、垂れ壁、差し鴨居の仕様(断面)の組み合わせ別の耐力の表を示すところまでが事業の成果となる。

- ・ 小根ほぞ差し込み栓のほぞの位置が、差し鴨居の両端で上下どのような組み合わせで配置されるのかで性能が大きく変わるのでは？線対称であればいいのだろうが。
→接合部の実験データがあるので、パラスタで確認したい。
- ・ 本検討は新築を対象としていると思うが、耐震補強で差し鴨居が開かないようにする方法等もある。本事業の成果はそのような例にも役に立つのでは。
→差し鴨居に生じる軸力がわかれば活用できると思うが。
- ・ 直交方向にも差し鴨居がくる場合、柱の欠損が大きくなって、期待する性能が得られないのでは？
→解析としては、そこまで追うことは困難。
→きちんとした大工なら、差し鴨居の位置をずらす等、対応を考えるはず。注意喚起は必要か。
- ・ 伝木は試験体のばらつきの問題はあると思うが。
→予算の関係で、試験体数はしぼる必要がある。
- ・ 左右の接合部の仕様が込み栓になっているが、柱の割裂を生じさせないように鼻栓することも多い。その場合、この検討とでは性能が違ってくるのではないか。
→これまでの報告書を参考にしつつ、今回はこの仕様とした。予算の関係もあり、仕様をしぼりこんでいる。
→差し鴨居のせいが小さければ、ほぞや込み栓の位置がどうであれ引張力が大きいですが、差し鴨居のせいが大きい場合、ストラット効果の圧縮力が引張力とキャンセルする。この現象を考えれば、どのような接合部であっても、差し鴨居が一定以上大きくなるとその差は無くなると言える。
→仕様の異なる接合部ではキャンセルの仕方は異なるかもしれない。これらについては、来年度の実験で確認することも検討したい。
→まずは、1仕様で理論構築をした上で、仕様を広げていくことを考えたい。
→次回、異なるタイプの差し鴨居については、データベースのものを示し、委員に確認していただく。（事務局）

5. その他

- ・ 各実験は京都大学で実施するが、実施日時については、委員にお知らせして公開する。

【次回以降の予定】

- ・ 第2回WG 9月10日（火） 18:00～20:00 @神田情報オアシス
- ・ 第2回委員会 12月4日（水） 18:00～20:00 @神田情報オアシス
- ・ 第3回委員会 2月20日（木） 18:00～20:00 @神田情報オアシス

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	2019 年 12 月 4 日 水曜日 18:00～20:00				
場所	情報オアシス神田 オアシス1				
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	植本敬大
	協力委員	荒木康宏	秋山信彦		
	行政	青木亮	木戸聡		
	事務局	平野陽子	山崎渉		

配付資料

資料 01: 前回の議事録 (2019/8/7)

資料 02: 事業全体の枠組み

資料 03: これまでの実験一覧

資料 04: これまでの検討内容

資料 05: 全体スケジュール

参考資料 01: 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 資料

参考資料 02: Basic test information of the Hshape frame with T type joint

Caluculation of the interaction of the joint and deep beam based on the HF-J test

1. 前回の議事録の確認

2. 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(資料 NO.02、03、04)

- ・ 最終的に、どのような破壊性状を許容するか判断はあるのか？
 - 今のところ、柱が曲げで破壊することは考えていない。
 - とすると、直交の差し鴨居がくると断面欠損が大きくなり計算上は柱が折れるので、そういう仕様は認めない、つまり、2スパン中央の1本の柱しか評価しないということになるが。
 - 垂れ壁付き独立柱でも、同じことが起こるのだが、その検討はしていない。
 - 直交方向の横架材の影響を本気で検討すると、かなり大変なことになる。この検討内では、欠損を考慮した断面で応力計算するなどして、何らかの配慮ができるようにしたい。破壊点を決めるということまでは難しい。
 - 振動台実験などでは、差し鴨居だけだと柱は折れないが、たれ壁が付くと折れる。
 - 断面欠損がある場合に、まともに応力分配がされているとすると断面係数 Z を 7 割とする等のルールがあるが、それを適用するのはどうか。
 - その程度であっても折れてしまうものが出てくる。まじめに断面性能を見ると、厳しい。
 - 横架材が外れなければ、柱が折れてもヒンジになるので、あるところまでは OK とする考え方もある。
 - 柱も細ければ変形でなかなか折れないが、太いと割とすぐ折れたりする。

→ここは課題として、もう少し検討したい。

- ・ 過去に、柱の断面欠損についての実験などは無いのか？
→金沢工大で、構面実験の試験体に直行方向の横架材を設けたものを用意して、その影響を確認した実験はある。徳島的那賀町の林業家の方々の要望で実施した。
- ・ 差し鴨居の接合部の引張は込み栓程度で足りているのか。積極的に引っ張る金物を付けるなどの対応をすると性能は上がるのか？
→この断面では、込み栓が壊れず、めり込みが進んで終局状態となる。せいが大きくなると、込み栓が壊れることも出てくると思う。
→込み栓の破壊時の性能が分かれば、単純に力の釣り合いから、どの程度のせいになると込み栓が壊れるかは計算で求められるかもしれない。
→文化財などでは、抜け出し防止用の金物を付けることをするが、あまり意味がないのか。
→今回の試験体のバランスは、柱が 180 mm 角でそれほど太くないため曲がっていき、差し鴨居にそれほど軸力が入らない。せいが大きくなると違ってくると思う。
- ・ 今のところは、接合部の先行破壊をしない、かつ、柱の折損をしないという、2つの前提条件での検討となる。そうなると、差し鴨居のせいなど、ある程度仕様が決まってくる。
→荷重変形は追えるが、どこで柱の折損が生じるかは特定できない。
- ・ 2連続スパンだと、中央の柱がパネルゾーンになってしまい、せん断で壊れたりほしくないのか？
→今回は、それほどの軸力が出ていないので、その様なことは生じない。また、2スパンになった時に、仕口の形状の影響で引っ張られる側の柱にはほとんど軸力が入らない。
- ・ 破壊性状については、スタンスを決めないといけなかもしれない。地震が終わった後に、修理ができるようにする(少々引き抜けても、めり込みで耐える仕口)のか、柱の折損が生じたら柱を取り替えるとするのか。
→構面において全ての破壊モードが見えてくれば、その検討は可能。
→理想的には、土壁が落ちた後に、差し鴨居が補ってくれるという構面がいいのだが。土壁を積極的に強くしようというのだけが解では無い。
- ・ 安全限界、終局変形のイメージは？他の耐震要素との足し合わせをどう考えるか？
→この仕様は、剛性が低いので、そこで壁倍率が決まる。ここでの評価はそこまでの検討となる。今後、類似の性能のものであれば足し合わせて別の評価について検討を行うということもあり得る。
→基準法上は壁倍率での足し合わせ OK となっているが、それに加え、変形角の大きい仕様同士であれば、現在過小評価となっているものをもっとちゃんと評価するルートを設けるということが考えられる。
→令 46 条 2 項の二の「方づえ」構造等の分類と同じ様な考え方ができるといいのかもしれない。
→この条文は削除しようかという話もあったが、伝統工法でうまく利用できるのであれば、残す意味はある。方づえについては、壁量を4指標から求めるとなった際に、昔解説本に示されていた計算方法がそぐわなくなり、解説本からも削除された。

- ・ 伝統木造においては、余裕としていた耐力要素をどんどんカウントするようになってきている。伝統木造としては、どの要素が構造的な余裕となるのか、整理しておく必要があるのではないかな。

5. その他

- ・ 各実験は京都大学で実施するが、実施日時については、委員にお知らせして公開する。

【次回以降の予定】

- ・ 第4回 WG 2月13日(水) 18:30～20:30 @神田情報オアシス
- ・ 第3回委員会 2月20日(木) 18:00～20:00 @神田情報オアシス

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	2020年2月20日 木曜日 18:00～20:00				
場所	情報オアシス神田 オアシス5				
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
	協力委員	荒木康宏	秋山信彦		
	行政	青木亮	木戸聡		
	事務局	平野陽子	山崎渉		

配付資料

資料 01-1: 前回の議事録(2019/12/4)

資料 01-2: WG の議事録(2020/2/14)

資料 02-1: 事業全体の枠組み

資料 02-2: これまでの実験一覧

資料 02-3: これまでの検討内容

資料 03: 今後の検討方針のための議事録の整理

資料 04: 報告書(案)

資料 05: 全体スケジュール

1. 前回の議事録の確認

2. 全体議論(資料 NO.02、03、04)

【柱の折損とは】

- ・ 「柱が折損」とあるが、具体的にどのような状態をいうのか？
→ 部材の曲げ破壊で、引張側の繊維が切れた状態をいう。
→ 曲げ破壊が生じるて軸力を支持できない状態をいうのか？
→ 圧縮力は面タッチがあれば伝えられるが、繊維が全断面にわたり切れた状態を、圧縮力が伝えられるかと許されるわけではない。

【柱の曲げの実験について】

- ・ 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のでは？ 心持ち材ならまだましたが、昨今大径木利用が課題であり心去材の柱もあり得る状況となってきているので、要望が出てくることも想定される。
→ 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高く出るのではないかと考えている。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、それは現実においてもレ

アなケースと思われる。

- ・ 昔、通し柱の胴差しの仕口の欠きこみの影響を実験をしたことがあるが、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違う。→来年度の実験は3点曲げで行い、加力は差し鴨居を付けて行うことをイメージしている。
- ・ 柱の欠損の曲げ破壊に及ぼす影響を見る際に、欠損部分に直交方向の部材が入っていてもあまり効かないのは？欠損は埋まるが圧縮側に繊維直交方向のものが入っている状態なので、ヤング係数の比率から考えるとほとんど効かないと思われる。
- ・ 直交方向に部材を入れて曲げの実験を行うと、直交方向の部材がこじられて隙間があいて部材が落ちてしまったりする。落ちないように固定して実験をする必要がある。
- ・ 差し鴨居で破壊される柱は、本当に曲げなのか、めり込みによるせん断もかかるのではと思う。
- ・ 樹種はスギを想定されているようだが、ヒノキも入れるべきでは。これまであまりヒノキのデータがない。また、神社仏閣となるとケヤキが使われることが多い。
→実験の対象については、実験計画を立案したところで、予算上どこまでできるかを検討する。
→正目と追正と板目で曲げ実験をすると針葉樹は強度差が出るが、広葉樹、特に散孔材では強度差が出ない。ケヤキは環孔材なので、少し影響があるはず。繊維傾斜の影響などを検討するのであれば、針葉樹が適している。
- ・ データの整理については、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 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。
→かなり難しい問題。その点をクリアしようとする統計的に処理できるような数のデータを取る必要がある。実験計画で慎重に検討する必要がある。

【その他】

- ・ 足元の留め方によっても構面性能が変わってくると思うのだが、足元の規定との整理も必要では？
- ・ 建物としての許容できる層間変形角もはっきりしておく必要がある。
→耐力要素の組み合わせについては、土壁と筋交いはそれほど問題がないと思っている。土壁がそこそこ厚いものだとして構造用合板の荷重-変形はそれほど変わらない。合板と筋交いの足し合わせがOKなのなら、土壁と筋交いもOKでは。ただ、垂れ壁付き独立柱を入れるとなると、かなり荷重-変形が異なるので、安全限界変形角をどう考えるかが関係する。1/15 ぐらいまでOKとするか、1/30 ぐらいで共通として抑えるとするか。後者なら、足せる性能はそれほど大きくならない。ただし、これは伝統木造に限ったことではないが。
→土壁に筋交いを埋め込む仕様だと、筋交いが土を落としてしまい、実は重ね合わせは難しいのでは？
→その問題は、土壁に限った話ではなく、合板や石膏ボードと筋交いの組み合わせでも生じ

る。

【今年度の成果について】

- ・ 垂れ壁が小さいものが理論値と合わない理由は？
→もう少し分析をやってみないとわからない。
→実験はともかく、設計的には垂れ壁の位置をどこでとるかによって評価が変わるのでは？現在の垂れ壁付き独立柱の告示では差し鴨居の中心としているが、この場合だと差し鴨居が大きくなると垂れ壁が小さくなることになる。差し鴨居の上端もしくは下端で取って、差し鴨居、垂れ壁とはどこなのかを明確にした方が設計式は作りやすいのでは？
→設計式としてはそうかもしれない。ただ、実験結果としては、垂れ壁が小さいものでは、圧倒的にフレームの軸力が大きく、多少垂れ壁などの影響が変わっても合わない。
- ・ 差し鴨居の軸力に仕口があると無いものと比較して 64%になるというのは、なぜ？
→差し鴨居による曲げモーメントを受けて、柱を押し広げる変形が生じるため。
- ・ 実際の建物での構面の配置を考えると、垂れ壁の小さいものは下屋、垂れ壁の大きいものは母屋部分にくると思うが、層間変位はどこに合わせて設定するのか？また、変形角は合うけど、柱の曲げ変形とせん断変形が合わない状況が生じる？差し鴨居レベルの変形が合っているとするのか、頂部の変形が合っているとするのか？建物全体の変形と各部材の変形が合わないが、理屈上、どこで取るかは決める必要があるか。
→建物全体として整理する必要がある。伝統木造のような建物では、全体が柔らかいので、合わないことを前提とすることもあり得るか？
→以前の小屋組みの検討ではそのような問題があるので立体解析することになった。

5. その他

- ・ 報告書は 4 月以降にデータを CD-R で委員に送付。大橋委員にのみ製本した報告書も同時に送付する。
- ・ 4 月 27・28 日が結果報告会になるが、五十田委員が海外出張中なので、河合委員が発表担当予定。追加で、指導課もしくは建築研究所が担当可能かどうか、確認する。

7.2 ワーキンググループ議事録

本事業で実施した検討 WG は以下の通りである。

	日 時	場 所
第 1 回	令和元年 6 月 6 日 (木) 10 : 00 ~ 12 : 00	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 3」
第 2 回	令和元年 9 月 10 日 (火) 18 : 00 ~ 20 : 00	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 2」
第 3 回	令和元年 11 月 25 日 (月) 18 : 00 ~ 20 : 00	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 2」
第 4 回	令和元年 2 月 13 日 (木) 18 : 30 ~ 20 : 30	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 2」

次ページから、検討 WG の議事録を掲載する。

第 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	2019 年 6 月 06 日 木曜日 10:00～12:00		
場所	情報オアシス神田 オアシス 3 会議室		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 北守顕久
	オブザーバー	大村 早紀	李 哲瑞
	協力委員	荒木康宏	秋山信彦
	行政	青木亮	木戸聡
	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 補助事業概要(交付申請書抜粋) 資料 03:構面試験体・接合部試験体-平成 30 年度報告書抜粋 3.2、3.3 資料 04:解析検討例 1-平成 29 年度報告書 3.3、3.4 資料 05:解析検討例 2-平成 26 年度報告書 第 2 編 4.1～4.5 資料 06:試験体案(交付申請書段階) 資料 07: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(これまでの経緯と課題) 資料 08:Research Plan for the fiscal year 2019 資料 09:試験体案(差し鴨居接合部実験・試験方法提案) 1. 国交省挨拶／事業概要の説明(資料 01、02) - 国交省・青木様より挨拶 - 事務局より事業概要について説明。 2. これまでの経緯と今年度の課題(資料 07-資料 03、04、05、08、09 はその詳細資料、資料 06) - 資料 07 中、平成 29 年度に実施した接合部の解析値と実験値は「概ね精度良くマルチリニアとして評価可能である」とあるが、本事業で確認しようとしている精度からみると、精度良く一致しているとは言いがたい。評価式の追加検討が必要か。 - 資料 07 中の「本プロジェクトの課題①軸組構面における差し鴨居軸力成分の評価」については、検討する際に、以下示す点が及ぼす影響が気になる。 ① 差し鴨居のストラット効果は、幅が小さくないときかない(差し鴨居の見付寸法の縦横比の影響が大きい)。→差し鴨居に働く軸力がわかれば解けるが。 ② ①の場合も、柱脚柱頭が完全なピンではなく、滑ったりめり込んだりすることで、見かけ上の差し鴨居の影響度は小さくなるのでは。 ③ 差し鴨居フレームが連続する(柱が 3 本以上となる)場合、中央の柱の曲げが抑制されて左右の側面の柱に変形などが分散される(側面の柱に壁が取り付けられない場合)。構面の形状が差し鴨居フレームへの軸組に及ぼす影響がかなりあるのでは。			

- ・ 以上のこともふくめ検証するための実験としては、資料 09 および資料 07 の図 12 に示す差し鴨居を立てた(フレームは寝かせた)試験方法で実施するのが良いか。→資料 06 の①、②の試験体をこの試験方法に変更する。
- ・ 課題①は、欄間のみがある差し鴨居フレームの検討に直結する。
- ・ 資料 07 中の「本プロジェクトの課題②小壁付き軸文構面における土壁と接合部の相互作用を考慮した評価法」については、昨年度も実施した、差し鴨居フレーム、小壁付きフレーム、小壁のみのセットで実験を行って検証したい。ただし、昨年度と同じ仕様するが、小壁の寸法(差し鴨居の位置)は変えて実施する。→資料 06 の④、⑤の試験体に相当
- ・ また、土壁部分のみの検証については、資料 06 の③の試験体で実施する。

3. 今後の進め方

- ・ 解析モデルは詳細なもの(部材端部に剛域を設けられ部材の太さを表現でき、バネをマルチスプリングとするようなモデル)を構築したい。また、FEM 解析でも検証するということも考えていく。解析モデルの案を、京大と松本でそれぞれ提案していく。
- ・ 解析モデルは資料 09 および資料 07 の図 12 に示す差し鴨居を立てた(フレームは寝かせた)試験が終了しなければ検討できないので、この実験については早急に着手して 7 月中に終了をめざす。
- ・ それ以外の実験は、上の実験と平行で実験計画を立案して見積もりを取得し、次回の WG 後にはすぐに発注をかけられるように準備をする。
- ・ 最終的なアウトプットをイメージしながら進める必要がある。告示としては、差し鴨居の断面(特にせい)、柱の寸法等が条件として残るが、パラスタとしてはこれらに加え、柱の本数、垂れ壁の有無、垂れ壁の寸法、ほぞの形状、側柱にとりつく壁などをパラメーターとして検証したい。
- ・ 告示では、現状の垂れ壁付き独立柱に一定以上の条件の差し鴨居が加わった場合はいくらか割増し可能であるような示し方になるか。また、垂れ壁がない、差し鴨居のみのフレーム(欄間が入った開口部フレーム)の場合の壁倍率も示すことになる。

4. その他

【次回以降の予定】

- ・ 全体委員会 以下の候補で日程調整を行う。@神田情報オアシス
7 月 4 日 13:00～／8 月 5 日 10:00～／8 月 7 日 18:00～
- ・ 第 2 回 WG 9 月 10 日 18:00～20:00 @神田情報オアシス

第 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	2019 年 9 月 10 日 火曜日 18:00～20:00		
場所	情報オアシス神田 オアシス 2 会議室		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 北守顕久
	オブザーバー	槌本敬大	
	協力委員	荒木康宏	秋山信彦
	行政	青木亮	本戸聡
	事務局	平野陽子	山崎渉

配付資料

資料 01: 第 1 回 WG 議事録(6/6)

資料 02: 第 1 回委員会議事録(8/7)

資料 03: 全体スケジュール

資料 04: 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

1. WG、委員会議事録の確認(資料 01、02)

- ・ 委員会議事録 p1 中段「フレームの実験では、資料 NO.05 の図 13 で、右側の柱には曲げが生じていない。各接合部がそれぞれ性能を発揮しているといえないのでは？全ての要素を足すのが正しいのか？」について、小根ほぞについては、接合部が開く側・閉じる側それぞれ別に考えており、右側の柱では開く側すなわち性能が低いものとして取り扱った上で加算しているので問題ないと考えている。

2. 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(資料 04)

- ・ p11 の test value とは何を意味しているのか。
→水平せん断力を示す。p10 の Q の式に示すように、軸力に作用点間の距離をかけて高さで割って求めている。
- ・ p9、p10 の図 17～19 を見ると、HF-2 のみ push と pull の値がずれているように見えるがそれはなぜか。
→明確な理由は分からない。もしかすると試験時にタイロッドが傾いてしまっていたことで、ゲージの値に影響しているのではないかとと思われる。その点で実際の性能としては、HF-1、HF-3 と同様に push と pull でそれほど大きな差はないと考えている。
→図 17 の HF-2 を見ると、0 から滑っていて力がどこかへ逃げているように見える。試験としてはあまりうまくいっていないように思われる。
- ・ p10 の Q の式における C_x は何か？
→めり込み基準式における端距離効果係数を示している。
→Q の式において、大変形時を考えたときに水平変位は引かなくてもよいのか。
→外力として計測した値は、その傾きに応じた荷重と定義して計算に用いている。実際のフレ

ームでは 90° 回転した状態となり、水平力の作用方向と差し鴨居の反力方向が合うので、それは考慮なくてよいと考えている。

フレームの実験や H 型の実験の結果を見ると、応力作用点間距離が短くなることを想定しない（変形を考慮しない）方が外力とのつり合いの計算は合っている。

- ・ 加算則が成立する、ということは単純に土壁の効果を加算できるということになる。ということは、後は土壁の加算できる寸法が分かればよい。すなわち Q_w が、どのぐらい小さければ見ないという寸法が明確になればよいということか。その場合 Q_w は実験で確認する必要があるとのことであるが、そうするとパラスタでは何を検討するのか。
→例えば土壁の内法高さを一定にし、差し鴨居のせいを大きくしていく。そうした時に土壁を足し算してはいけない領域（実際には足しても足さなくても影響しない可能性はあるが）をパラスタにより検討する、といったことが考えられる。
→差し鴨居と梁の芯々距離を固定で、差し鴨居のせいを大きくし、一定の大きさを超えると差し鴨居の下端を基準とした寸法として、土壁の寸法を変化させるといった検討でもよいのではないか。いずれにしてもモデル化はできるのではないだろうか。
→まずは Q_w のモデル化・確認のため、小壁のみ（仕口無し）試験体（図 25）の実験をする。
- ・ 小壁のみ（仕口無し）試験体（図 25）は何体ずつ実施する計画なのか？
→資料内には 1 体ずつとしているが、3 体ずつ実施できるかどうか予算を踏まえて検討する。
- ・ 小壁のみ（仕口無し）試験体（図 25）は、接合部は短ほぞのみであるため、施工時（土壁養生時）に保持しておくための治具が必要である。今回は新設が必要か。
→治具の新設は必要ない。
- ・ 仕口つき H 型試験体（図 26）はなぜ必要なのか？
→ほぞ差し込み栓とした接合部は、柱を押し広げるだけでなく、引張も生じる。その効果も含めてモデル化するために確認しておきたい。

3. 試験体スケジュール（資料 03）

- ・ H 型試験体の短い方（資料 03 の試験体②）は実施しない。
- ・ 仕口つき H 型試験体（資料 04 図 26）は、手配・実施を進める。
- ・ 小壁のみ（仕口無し）試験体（資料 04 図 25）、小壁寸法を変更した試験体（資料 04 図 24）は、発注は 9 月中とし、10 月末に施工完了し、10 週の養生期間を置く。小壁のみ（仕口無し）試験体（資料 04 図 25）の実験は 1 月に実施する予定。
→各試験体数は、予算を確認し、決定する。（事務局）
→図 24 は各 1 体、図 25 は各 3 体、図 26 は 3 体で予算上対応する（9/11 事務局確認）

4. その他

【次回以降の予定】

- ・ 第3回 WG 11月25日 18:00～20:00 @神田情報オアシス
- ・ 第2回全体委員会 12月4日 18:00～20:00 @神田情報オアシス

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	2019 年 11 月 25 日 月曜日 18:00～20:00		
場所	情報オアシス神田 オアシス 2 会議室		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 北守顕久
	オブザーバー	槌本敬大	
	協力委員	荒木康宏	秋山信彦
	行政	青木亮	木戸聡
	事務局	平野陽子	山崎渉
配付資料 資料 01: 第 2 回 WG 議事録(9/10) 資料 02: 全体スケジュール 資料 03: 実験リスト(S25+S32 で実施したもの・するもの) 資料 04-1: 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(最新・抜粋板) 資料 04-2: Basic test information of the Hshape frame with T type joint Caluculation of the interaction of the joint and deep beam based on the HF-J test 資料 05: 差し鴨居 H 型試験体図(仕口無し・仕口有り) 資料 06-01: 実大構面試験体図(垂れ壁 930・310)) 資料 06-02: 土壁構面試験体図(4 仕様+土壁違い 1 仕様) 1. WG、委員会議事録の確認(資料 01) 2. 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(資料 04、05、06 シリーズ) - 資料 NO04-1p.3 にある土壁構面のせん断力について、赤→で示されている力は、実際には間渡し竹や貫によるのではないのか？ →それもあるが、土がフレーム内に閉じ込められていることで生じる土と横架材の摩擦もある。その場合、直接横架材に応力が伝わるので、モデル化する際に考慮する必要があると考えている。その力を確認するために、資料 06-2 の PM-So(柱と土が接していない)という試験体を用意した。 - 資料 04-2 の p. 4 のグラフは、昨年度実施した接合部実験と今年度実施した差し鴨居接合部実験の比較だが、差があるのはなぜか？ →わからない。同じになるはずと思って実験をしたが、剛性がかなり異なる。試験体の精度の違い(ばらつき)か。 - 差し鴨居の仕口有りとし口無しを比較されているが、それは何の効果を見ていることになるのか？ →仕口にある場合には、モーメント抵抗と対角の軸力を単純に重ね合わせても合わず、その差を相互作用としている。			

→具体的には、対角方向の軸力成分を減らす作用＝モーメント抵抗と軸力成分が同時に発生することで、そうでない時と比較してめり込み成分が大きくなる＝めり込み成分が増えると梁の曲げ成分を減らすということ。

→それは込み栓が引っ張っているからでは？

→込み栓については別途モーメント抵抗で評価している。

→ほぞに注目すると、ほぞのみでも若干のモーメント抵抗が生じるが、それは評価しているか？

→重ね合わせの時にはカウントしているが、相互作用においては関係ないので見ていない。

→議論している内容は、幾何学的形状による応力の発生についてで、めり込みが進むことで幾何学的形状が変化するので、座標軸が変化する。その変化が、影響して、単純和にならなくなっている。

→対角の圧縮による梁の曲げの話と端部でのモーメント抵抗を切り離したことによって、単純和にならない状況を相互作用と言っているだけ。

- ・ 差し鴨居の仕口があることによって無い場合よりも対角の軸力が小さくなる(64%)という状況は、差し鴨居の材軸方向に引張が生じるような仕口に限定される現象と考えて良いか。

→その通り。差し鴨居と直交方法に引張が生じるような仕様であれば、仕口があることによって軸力が上がるかもしれない。

→一般的には、差し鴨居の仕口はこの形式となると思う。

→ただし、ダブル込み栓にすると状況は変わる可能性はある。

- ・ これまでの検討で、仕口の仕様はある程度限定されるものの、差し鴨居のモーメント抵抗および対角軸力とその相互作用について評価式はできて、差し鴨居の寸法等が変わった場合にはいちいち実験をしなくても計算で示せるようになったと考えていいのか？

→実験値との差は存在するが、その差が検討には問題が生じない範囲のものだと判断されるならはその通り。

→ただし、どの範囲まで再現できる評価式であるかはわからない。

→モーメント抵抗 M と対角軸力 P の関係は、部材のせいなどで変わってくるので、評価式の中にそれが入っている。(資料 04-2、p.6 にある $N_j = T = K_T \times (d - x_p)) \times \theta_G$)

- ・ 差し鴨居の評価式について、土壁が入ってきたときに、上の評価式に影響を与えることになるか？

→土壁のせん断力が全て柱に伝達されるなら押し広げられるような力が生じるし、梁から伝達するのであれば圧縮を受ける可能性もある。

→感覚的には土壁の対角方向の圧縮ブレースの効果の方が大きい気がする。

→既往の研究を見ると、土壁のアスペクト比が変わっても、それほど単位当たりの性能が変わらない。これは圧縮ブレース効果では無く、曲げ降伏モードでないと説明が付かない。土壁のせいが小さくなると、軸組の効果が支配的になるのは当たり前だが。

→土壁の実験を行い、土壁差し鴨居のモーメント抵抗および対角軸力にどのような影響を与えるかの検証を行うことになる。

- ・ パラスタを実施するためのモデルの構築については、どのようにするのか？

→現状では、これまでの実験データを用いて接合部および軸組についてモデルを構築する途中。土壁が入ったモデルとできるかどうかは、土壁の実験結果や先ほどの議論がどこまで整理されるかによる。

→モデルはFEMのソリッドモデルとフレームモデルの両方を考えている。パラストはフレームモデルで実施する。ソリッドモデルでは実験を再現してみる。

- ・ これまでの構面の実験は1体ずつだったが、信頼性を高めるために来年度3体やる必要があるかどうかは別途検討。
- ・ 今年度は、ソリッドモデルのイメージが示すぐらいまでか。実験が1月末～2月初旬となるので、モデルの完成は困難。
- ・ 資料06シリーズの土付きの構面試験体については、間渡し竹の位置などについても記入し、試験体を再現できるような情報を入れるようにする。(事務局より参考資料を送付)

4. その他

- ・ 第2回委員会12月4日の資料については、事務局で事業の全体像を示した図を作成し、それをメインで説明を行う。評価式や実験についての詳細な議論はあまり意味が無いので、参考資料として付けることとする。
- ・ 資料06-01、02に示す実大構面実験および土壁構面実験は、1月27日～2月7日の間で実施する。(資料02の全体スケジュールを修正)
- ・ これまでに終了している実験・検討部分については、早めに報告書作成に着手する。事務局および京大にて、早急に目次案を作成する。
- ・ 第4回WG 2月13日木曜日 18:30～20:30 @神田情報オアシス
→実験が全て終了した後、第3回委員会の前に設定
- ・ 第3回委員会 2月20日木曜日 18:00～20:00 @神田情報オアシス

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2月13日 木曜日 18:30～20:30		
場所	情報オアシス神田 オアシス2会議室		
参加者 (敬称略)	主査	河合直人	
	委員	五十田博	松本直之 北守顕久
	オブザーバー	槌本敬大	
	協力委員	荒木康宏	秋山信彦
	行政	青木亮	本戸聡
	事務局	平野陽子	山崎渉
配付資料 資料01-1:第3回WG議事録(11/25) 資料01-2:第2回委員会議事録(12/4) 資料02-1:事業全体の枠組み 資料02-2:これまでの実験一覧 資料02-3:これまでの検討内容 資料03:全体スケジュール 資料04:事業報告書(案) 1. WG、委員会議事録の確認(資料01) 2. 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(資料02、04シリーズ) 【報告書の記載内容について】 1月27日から2月5日にかけて京都大学生存圏で実施した土壁構面実験の速報について確認した。未だ分析前なのでなんとも言えないが、耐力要素としての土壁について高さ等をパラメーターとして実験を実施したが、試験体が1体であることや伝木の実験におけるばらつきの大きさを考えると、パラメーター毎の明確な差が検出できていない可能性がある。 →その様なばらつきがある工法であることを前提に、取りまとめる必要がある。 - 報告書のブラッシュアップについては、以下の点を留意して進める。 1. 破壊性状、垂れ壁の柱への接触、各柱のせん断力等。 2. 本来の目的、結論、加算に対して相互作用があるのか、あればどの程度なのかなど、本来の目的に対する回答。 【今後(来年度)の検討方針について】 - 今年度実施しようとした内容は、構面の評価を垂れ壁のせん断力に差し鴨居の軸力を足して行うこと。差し鴨居の軸力については、柱の曲げ変形を考慮する。課題は差し鴨居の軸力が正確に求められないことであり、これが求められれば構面の評価は可能。 最終的な破壊は柱の曲げが生じることで起こるので、柱の曲げの耐力評価が必要となる。			

- ・ 差し鴨居の軸力を求める際に、接合部との関係の影響を詳細に見ることにこだわる必要は無い。変形が進んだ際に仕口が逃げていくので差し鴨居の軸力が合わないという現象が生じているので、それを詳細に追いかけてようとしている。しかし、昨年度と同じ試験体で今年度も実施した実験では、2体で差し鴨居の軸力は異なっている。伝木の試験体では、接合部のごくわずかな納まり部分の当たりの程度などでばらつきがでるのは当然である。足し合わせ結果が実験結果と多少ずれる程度であれば、そこは安全側に低減率を掛ける等の対応が現実的。
- ・ 来年度年度、告示仕様としての提案を行うには、上を踏まえ、建物全体の設計を行う視点から、とりまとめの方針を決定する必要がある。
 - 差し鴨居は建物全体から見ると寄与率はどんなに高くても10%程度。そのうち、合わないとしている部分はそのまた10%程度とすると、建物全体からすると1%。分解している耐力要素の推定について、実験値とどれだけ合っていればOKとするかは、建物全体に寄与する割合等を考慮して判断することが必要。
 - 建物としての性能は、差し鴨居の軸力および土壁のせん断力により柱が折れるところで決まる。差し鴨居の軸力、土壁のせん断力の推定がある程度の精度で求められれば、柱が折損する条件についてパラスタを行うことで確認が可能。
 - 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。断面欠損については現在は単純な断面係数も示されているが、欠損部分が指し鴨居の部材等で埋められている状況でどのような挙動を示すかは知見が無い。来年度はこの実験を実施して、その結果を持ってパラスタを行うことが必要ではないか。
 - 断面欠損の影響を確認する実験については、差し鴨居等の横架材が取り付け本数、高さ方向の位置などをパラメーターとして実施する必要がある。

4. その他

- ・ 第3回委員会2月20日の資料については、本WGの資料02シリーズに来年度の計画案を書き込んだものと資料04の報告書(案)をブラッシュアップ(分析等が進んだもの)したものを用意する。
- ・ 第3回委員会 2月20日木曜日 18:00~20:00 @神田情報オアシス