

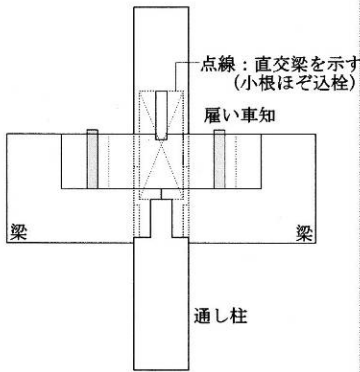
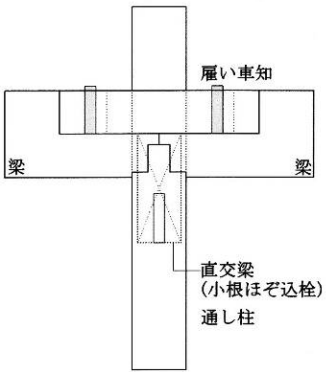
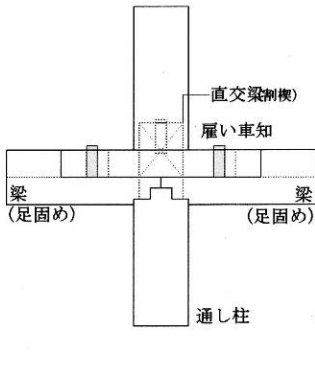
4. 6 継手・仕口

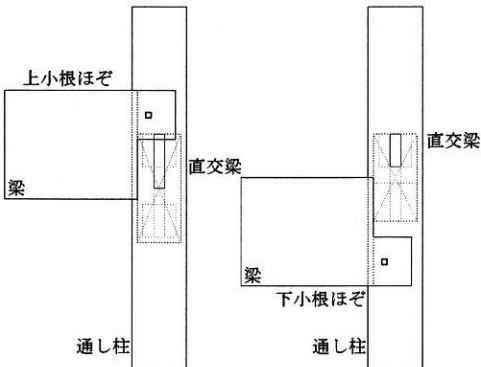
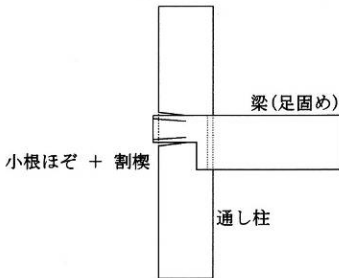
本節では、伝統的構法による試験体 No.4 の実大振動台実験の解析に資するため、振動大実験後の試験体から取り出した材料を用い、実際に No.4 で採用された接合部の中から代表的なものを選び接合部試験を行ったので、その結果について報告する。

4. 6. 1 試験体タイプと試験方法

(1) 試験体タイプ

実大試験体 No.4 の継手・仕口の詳細図等を参照し、解析に必要な継手・仕口を選択して11種類のタイプに分類した。同様の構成の継手・仕口で寸法の異なるものは、-1、-2のように枝番を付した。試験体タイプの番号①～⑪は、継手・仕口の仕様と、使用される部位、部材間の関係（納まり）がわかるよう、各々具体的な名称をつけて区分した。図 4.6.1-1 に各試験体タイプを示す。なお、図中の「実施試験法」については後述する。

①-1 通し柱両側梁雇い車知	①-2 通し柱両側梁雇い車知	①-3 通し柱両側梁雇い車知
		
実施試験法：A, B, G	実施試験法：A, B, G	実施試験法：A, B, G
通し柱：杉 150角 梁：杉 150×300 雇いほぞ：桧 30×150 車知栓：白樺 (7×30)	通し柱：杉 150角 梁：杉 120×240 雇いほぞ：桧 30×(120) 車知栓：白樺 (7×30)	通し柱：杉 150角 梁(足固め)：杉 120×150 雇いほぞ：桧 30×(75) 車知栓：白樺 (7×30)
詳細図 No. 4-18		

②-1, 2 通し柱片側梁上・下小根ほぞ差し込栓	③ 通し柱片側梁小根ほぞ差し割楔	
		
※試験法 E は②-2 のみ	実施試験法：C, E	
②-1 通し柱：杉 150角 梁：杉 150×300 込栓：桧15角	②-2 通し柱：杉 150角 梁：杉 120×240 込栓：桧15角	通し柱：杉 150角 足固め：杉 120×150 割楔：白樺
詳細図 No. 4-18	詳細図 No. 4-18	詳細図 No. 4-21

①-1 通し柱両側梁雇い車知 実施試験法：A, B, G 通し柱：杉 150角 梁：杉 150×300 雇いほぞ：桧 30×150 車知栓：白樫 (7×30) 詳細図 No. 4-18	①-2 通し柱両側梁雇い車知 実施試験法：A, B, G 通し柱：杉 150角 梁：杉 120×240 雇いほぞ：桧 30×(120) 車知栓：白樫 (7×30) 詳細図 No. 4-18	①-3 通し柱両側梁雇い車知 実施試験法：A, B, G 通し柱：杉 150角 梁(足固め)：杉 120×150 雇いほぞ：桧 30×(75) 車知栓：白樫 (7×30) 詳細図 No. 4-18
--	--	--

②-1, 2 通し柱片側梁上・下小根ほぞ差し込検 実施試験法：C, E ②-1 通し柱：杉 150角 梁：杉 150×300 込検：桧15角 ②-2 通し柱：杉 150角 梁：杉 120×240 込検：桧15角 詳細図 No. 4-18	③ 通し柱片側梁小根ほぞ差し割楔 実施試験法：C, E 通し柱：杉 150角 足固め：杉 120×150 割楔：白樫 詳細図 No. 4-21
---	---

⑥ 通し桁片側梁兜蟻掛け 実施試験法：D, E 管柱：杉 120角 梁：杉 150×240 桁：杉 150×300 詳細図 No. 4-19	⑦ 通し梁通し桁渡り顎掛け 実施試験法：A (※弱軸) 大引：杉 120×150 詳細図 No. 4-19
--	---

⑧ 梁梁下管柱竿車知継目に長ほぞ差し 実施試験法：B, C, G 管柱：杉 150角 梁：杉 150×300 直交梁：杉 120×300 車知栓：白樫 詳細図 No. 4-20	⑨ 梁梁上管柱竿車知男木に長ほぞ差し 実施試験法：B, C, G 管柱：杉 120角 梁：杉 120×300 直交梁：杉 150×300 車知栓：白樫 詳細図 No. 4-20
--	--

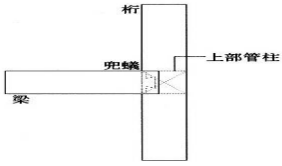
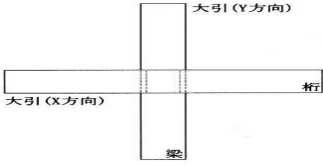
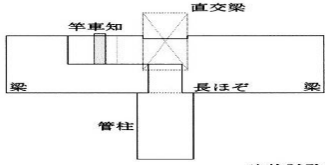
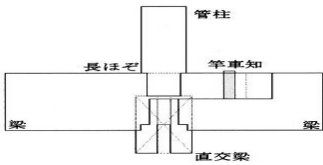
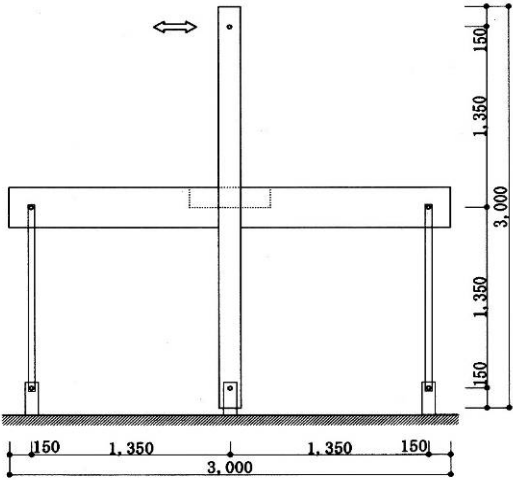
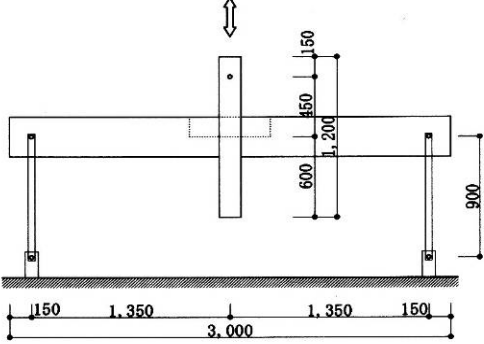
⑥ 通し桁片側梁兜蟻掛け  管柱：杉 120角 梁：杉 150×240 桁：杉 150×300 実施試験法：D, E 詳細図 No. 4-19	⑦ 通し梁通し桁渡り顎掛け  大引：杉 120×150 実施試験法：A (※弱軸)
⑧ 梁梁下管柱竿車知継目に長ほぞ差し  管柱：杉 150角 梁：杉 150×300 直交梁：杉 120×300 車知栓：白樺 実施試験法：B, C, G 詳細図 No. 4-20	⑨ 梁梁上管柱竿車知男木に長ほぞ差し  管柱：杉 120角 梁：杉 120×300 直交梁：杉 150×300 車知栓：白樺 実施試験法：B, C, G 詳細図 No. 4-20

図 4.6.1-1 試験体タイプ

タイプ①「雇い車知」については寸法パラメータの異なるものすべてを実施し、タイプ④「ほぞ差し」についてはほぞ長さが最大・最少のものを実施するなど、接合部試験を実施する具体的な仕様を適宜選定した。また、3 方差、4 方差となる仕口の直交梁要素についてもほぞ穴を設ける、短い直交梁とするなど、仕様調整を適宜行った。

(2) 試験方法

図 4.6.1-1 にも実施試験法として記号で示したが、各試験体タイプが使用される部位に求められる曲げ、引張り、せん断等の性能を明らかにするため、図 4.6.1-2 に示すA～Hの試験方法を採用した。

A：十字逆対称曲げ試験  試験体タイプ：4種類	B：十字対称曲げ試験  5種類
--	---

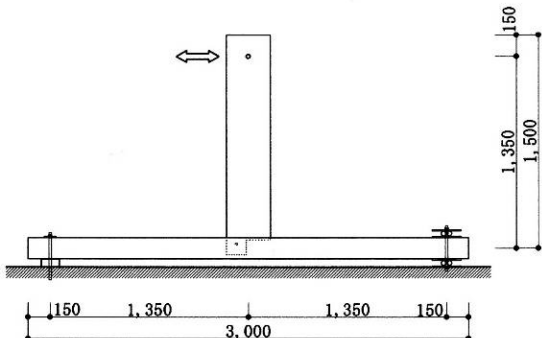
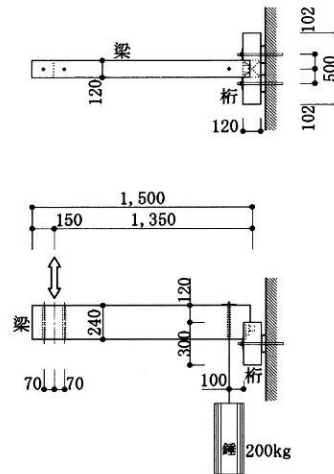
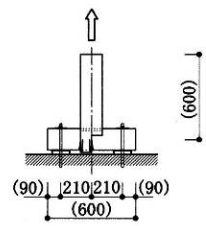
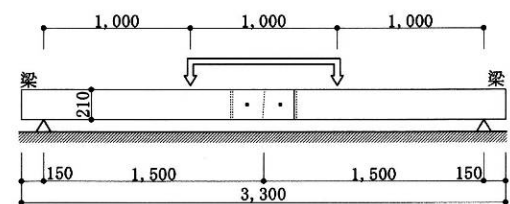
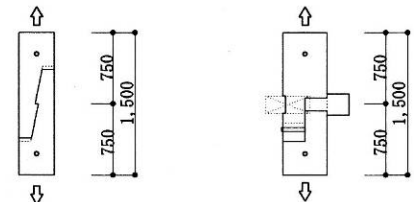
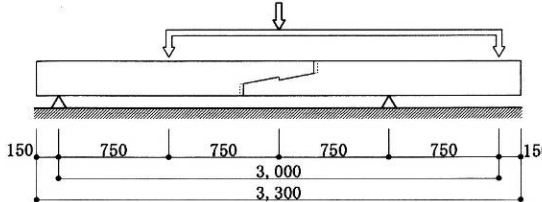
C : T字曲げ試験  8種類	D : T字面外曲げ試験  1種類
E : T字引張試験  4種類	F : 4点曲げ試験  2種類
G : 単純引張試験  9種類	H : せん断試験(大野式)  4種類

図 4.6.1-2 試験法 A～H と試験体寸法

試験法 A～D : 曲げ試験について、加力サイクルは、1/450、1/240、1/120、1/90、1/60、1/45、1/30、1/20、1/15、1/10、1/7rad の正負交番各 3 回繰り返し（人力の場合は各 1 回）とし、加力速度は各変形角によって適宜調整可とした。試験体の長さ寸法は、柱・梁の反曲点高さ（長さ）、材料の定尺寸法等から決定したが、実際にはせん断が卓越しない範囲で調整可とした。

試験法E～F：引張・せん断試験については、試験体材料等の都合から単調加力試験とした。

各試験法の注意事項についてを以下に記す。試験体数は、試験体タイプ（①～⑪）と試験法（A～H）の組み合わせ毎に各3体とした。なお試験体タイプと試験法の組み合わせを試験仕様とすると、今回の接合部試験仕様は合計で37種類となる。

A：十字逆対称曲げ試験

- ・床荷重による仕口の摩擦力は考慮しない。
- ・試験体タイプ⑦「渡り顎」の仕口中央にはボルト等によりはなれ止めを設ける。

B：十字対称曲げ試験

- ・図4.6.1-2では1,200mmとした柱材長さの変更に当たっては、横架材によるめり込みの影響が及ばない余長を確保する。
- ・試験体の自重はロードセルで計測する。

C：T字曲げ試験

- ・女木等両端部の固定法はピンローラーとし、加力する材が鉛直部材の場合にも軸力は付加しないものとする。
- ・曲げ試験は仕口の強軸方向について試験を行う。

D：T字面外曲げ試験

- ・仕口上部に乗る2階管柱の軸力相当分を加味する。

E：T字引張試験

- ・当初実施予定であった圧縮試験は中止とし、既存のめり込み式を用いて解析を行う。

F：4点曲げ試験

G：単純引張試験

- ・試験体の長さ寸法は試験装置に応じて調整する。
- ・試験時の偏心を考慮し、開き止め等を設置する。

H：せん断試験

（3）使用材料と試験体の木取り・加工上の注意事項など

- ・接合部試験に用いる材料（スギ）は、基本的に試験後の実大試験体 No.1～No.4 から取り出したものとし、不足材に新材を用いる場合や込栓、クサビ等の接合具については、加工前に物性試験を実施しておく。
- ・各試験体タイプの詳細寸法は、実際に加工された実大試験体の仕様を優先する。
- ・試験体の木取りは、木取り図（スケッチ：省略）を参考とするが、実大試験における損傷具合や加工痕の取り扱いについては、適宜判断して材料取りを行う。

4. 6. 2 仕口の十字曲げ試験

(1) 試験概要

本稿では、実大震動台実験で用いられた伝統構法住宅試験体の接合部のうち回転に対して抵抗すると期待されたものに関して、対称あるいは逆対称のせん断力を負荷される条件の耐力性能について、検討を行った。

試験条件は、A：十字逆対称曲げ試験と、B：十字対称曲げ試験の2条件である。これらは実大住宅試験体の耐力要素のうち、通し柱にとりつく接合部や柱上部で継がれた連続梁の接合部を取り出したもので、曲げ（回転）モーメントに対する抵抗性能と、限界変形性能を評価することを目的とする。十字逆対称曲げ試験体は水平せん断変形に伴う対称モーメントを受ける場合、十字対称曲げ試験体は柱の突き上げ等に伴う、順モーメントを受ける場合を意図している。

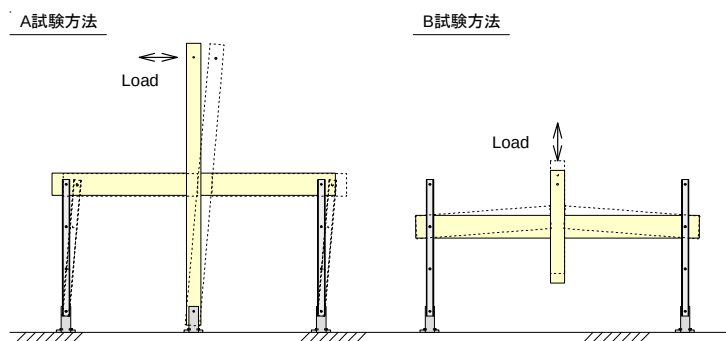


図 4.6.2-1 A・B 試験の概要

(2) 試験方法

1) 試験材料

試験に用いた材料は、柱、梁等の主要部材は全てスギで、基本的に試験後の実大試験体 No.1～No.4 から取り出したものとする予定であったが、実大試験体の損傷が大きく、大断面の部材を取りにくかったために、ほとんどの部材が新たに製材した新材を用いた。これら材料は多数の産地（実大試験体にも提供された産地）のものが混ざっており、各産地で異なった方法でグレーディングされた。試験直前には部材の含水率をケット科学研究所 電気抵抗式木材水分計 HM-520 (moco2) を用いて計測した。また、接合具として雇い実にはヒノキの心材を、車知にはシラカシの心材を用いた。

2) 試験体

(A) 十字逆対称曲げ試験

A①1～3 は 150 角のスギ通し柱に取り付く幅 120mm の両差しの梁（足固め）（スギ）の接合部である。梁せいの半分のせいで 30mm 幅の断面を持つヒノキの雇い実を使用して車知（シラカシ、断面 7×30mm）で止めつける。車知はその隅角が部材と実のせん断面上に来るように配置されるため、約 7/30 の傾きを持って打ち込まれる。また車知は深さ方向にやや傾斜がついており、打ち込みに伴い締め付け力を発生する仕組みである。A-①-1、A-①-3 は直交梁（片差し）要素による柱の断面欠損があるが、本試験における耐力性能に影響を持つものではないため平面図上では省略した。全条件でヒノキ実長さおよび車知止め付け位置は同じである。条件ごとに大入れの形状がやや異なるが雇い実の付近では全て 15mm の深さを持つ。A①試験体は、播磨社寺の大工によって組み立てられ、車知の打ち込みは大工の条件による。車知打ち込みから試験完了まで、試験体によって異なるが、概ね 2 日～2 週間の時間差があった。

A⑦試験体は床構面渡り顎を構成する相欠き仕口であるが、相欠き深さは 45mm と小さい。また

[illegible]

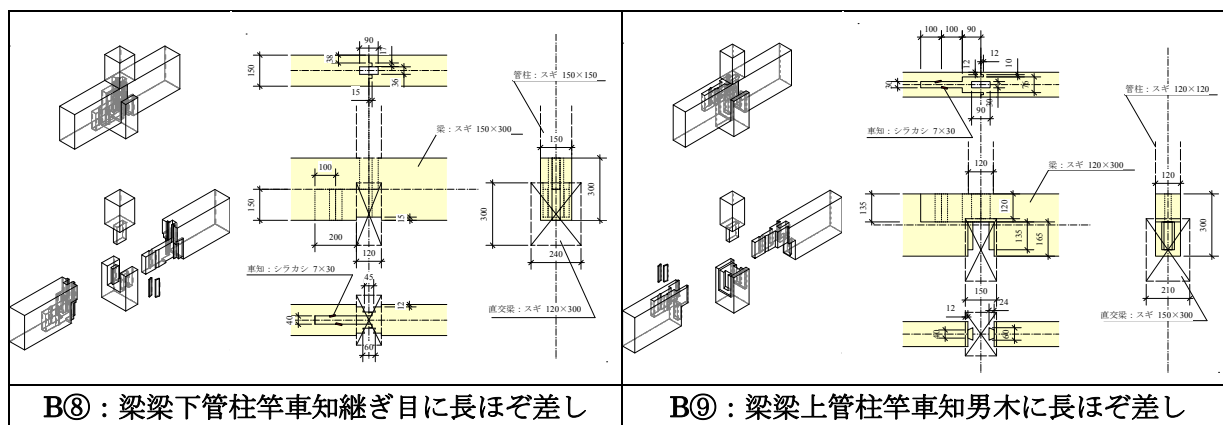


図 4. 6. 2-3 B 試験体詳細

3) 試験装置

(A) 十字逆対称曲げ試験

A 試験体は反力フレーム内に設けられた全点ピン接合の加力バーフレームに設置し、試験体上部の水平オイルジャッキによって強制変形を与えた。ジャッキ-接合部-下部ピンの鉛直スパンはA①1、A①2 および A⑦試験体ではそれぞれ 1350mm とし、A①3 試験体では 1350・260mm とした。一方左支持ピン-接合部-右支持ピンのスパンは全条件で 1350mm とした。これは実大試験体のモーメント中立軸と接合部とのスパンに概ね対応する条件である。

計測された頂部水平力に鉛直支点間距離 (A①1、A①2、A⑦：2700mm、A①3：1610mm) をかけて見かけの接合部回転モーメントとした。また左右の梁の上下における柱との相対変位の絶対差を変位計間距離 (梁せい+5mm) で除すことで接合部回転角を計算した (A①)。左右の梁での回転角の差は非常に小さかったが、以下両者を平均した値を用いて検討を行う。なお、A⑦試験体については鉛直・水平の部材相互の接合部回転角の平均値とした。

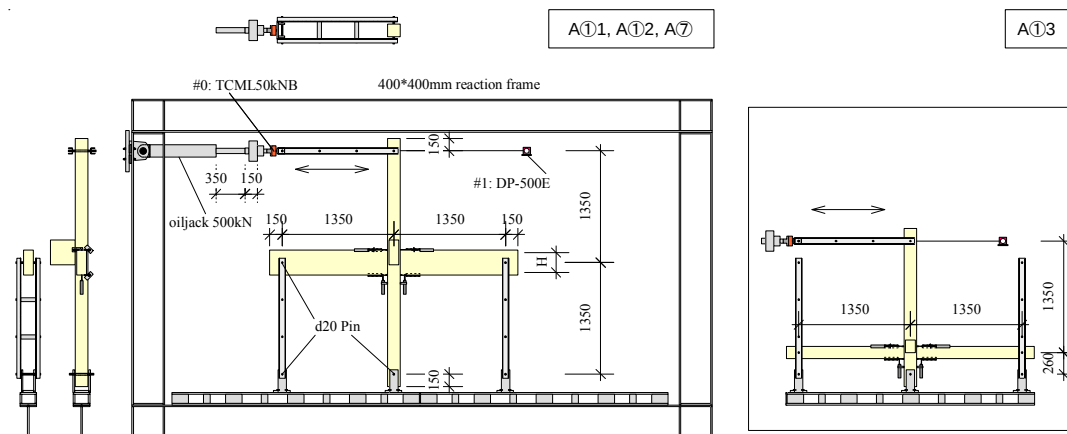


図 4. 6. 2-4 A 試験方法全体図



写真 4. 6. 2-1 A 試験方法全体 (順に：A①1、A①2、A①3、A⑦の各試験体)

(B) 十字対称曲げ試験

B試験体はA試験体と同様に、左支持ピン-接合部-右支持ピンのスパン 1350mm で左右の梁を基準面から 900mm の高さで両端ピンの反力バーで支持し、かつ試験体中央部の柱上部のピンより、アクチュエータを用いて強制鉛直繰返し変形を与えた。B①試験体は柱が通し柱のため、押し引き両方向の加力を同位置のピンで行ったが、B⑧、B⑨試験体は柱がほぞ差して刺さっただけの条件のため、引き加力を行うために試験体下部に溝型鋼を設置し、その両端で径 10mm の鋼製全ねじボルトで上部ピン位置から試験体を吊ることで、下側から試験体を引き上げる加力方法とした。なお、試験体の自重によるモーメントを除外するため、加力前の状態では試験体の自重は中央のピンにのみかかるよう、試験体位置を調整した。

計測された中央鉛直力の半分を支点反力とし、それに片側水平支点間距離 (1350mm) をかけることで見かけの接合部回転モーメントとした。また左右の梁の上下における柱との相対変位の絶対差を変位計間距離 (梁せい+5mm) で除すことで接合部回転角を計算した。B試験体では変形が進展すると左右の梁の弱い方でのみ変形が進行し、両側の差は非常に大きくなったが、ここでは便宜的に両方を平均した値を用いて検討を行う。

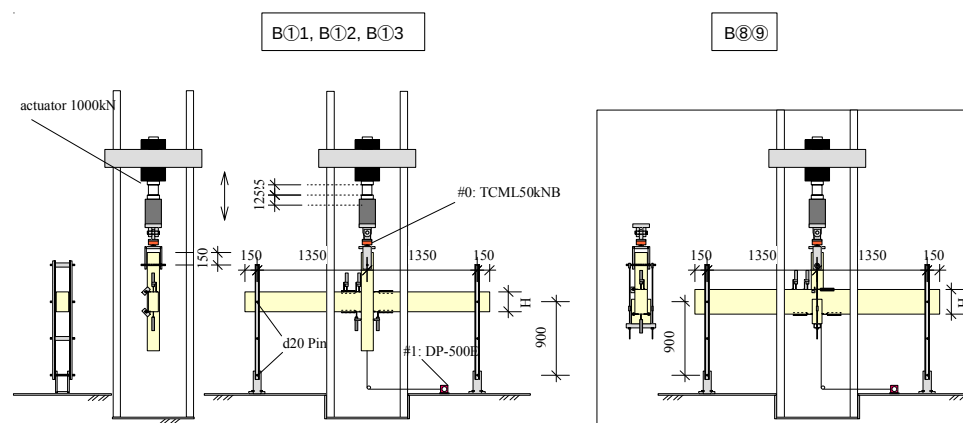


図 4. 6. 2-5 B 試験方法全体図

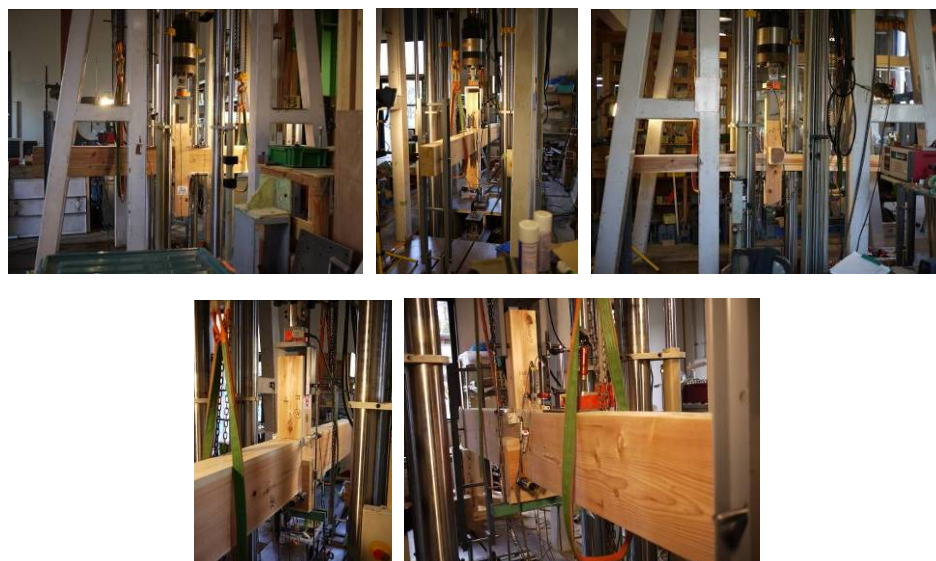


写真 4. 6. 2-2 B 試験方法全体 (順に：上段 B①1、B①2、右 B①3、下段 B⑧、B⑨の各試験体)

4) 加力スケジュール

A 試験体については、理研機器製自動加力制御システムと理研機器製油圧ジャッキ（ストローク 500mm、容量 500kN）を用いて試験体柱頂部で変位制御水平繰り返し加力を行い、かつ東京測器製 50kN ロードセル(TCLM50KN)を用いて頂部水平力を計測した。なお、繰り返しスケジュールにおける目標変形角は設置した変位計 DP500-E の計測値を用いて、鉛直ピン間距離で除した見かけの水平せん断変形角を用い、それぞれ 1/480, 1/240, 1/120, 1/90, 1/60, 1/45, 1/30, 1/20, 1/15rad の段階で正負三回繰り返し静的加力を行った。なお、当初計画されていた大変形 1/10, 1/7rad の目標回転角については、油圧ジャッキのストロークの制限上省略した。最終的に油圧ジャッキのストロークが一杯になるか、試験体の耐力が最大値の 80%以下に低下するまで強制変形を与えた。15mm/min(1/480rad)から 90mm/min(1/15rad)までステップ毎に徐々に増加する変位速度とした。

B 試験体については、Instron 製堅型試験機のアクチュエータ（ストローク 250mm、容量 1000kN）を用いて試験体柱頂部で変位制御鉛直繰り返し加力を行い、かつ東京測器製 50kN ロードセル(TCLM50KN)を用いて中央鉛直反力を計測した。なお、繰り返しスケジュールにおける目標変形角には、変位計 DP500-E による柱下部（B⑧,B⑨においては直交部材下部）の鉛直変位を水平支持バーと試験体中央のスパンで除して得られる、見かけの片側接合部回転角を用いた。それぞれ 1/480, 1/240, 1/120, 1/90, 1/60, 1/45, 1/30, 1/20, 1/15rad の段階で手動でクロスヘッドの方向と速度を切り替えることで繰り返し加力を行った。各条件 1 体については正負 3 回繰り返し加力としたが、試験期間の関係上、各条件 2 体については、正負 1 回繰り返し加力とした。なお、当初計画されていた大変形 1/10, 1/7rad の目標回転角については、油圧ジャッキのストロークの制限上省略した。最終的に油圧ジャッキのストロークが一杯になるか、試験体の耐力が最大値の 80%以下に低下するまで強制変形を与えた。3mm/min(1/480rad)から 60mm/min(1/15rad)までステップ毎に徐々に増加する変位速度とした。

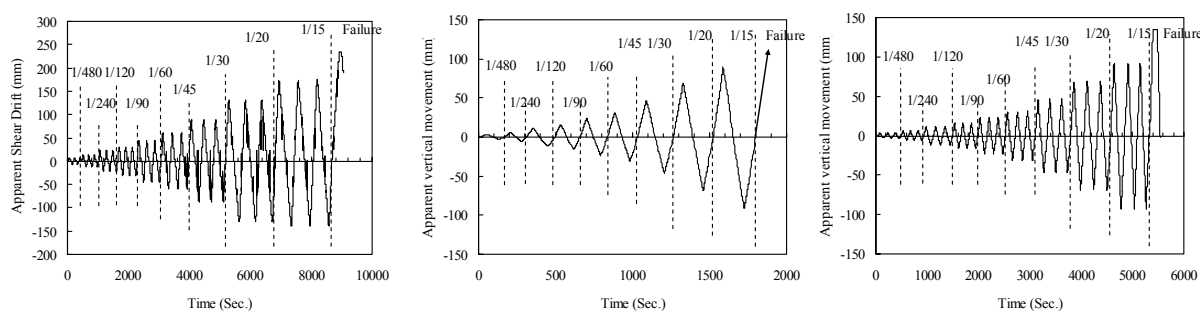


図 4.6.2-6 繰り返し加力スケジュール

(3) 試験結果

1) 試験材料

今回の試験体を使用した部材の材質特性を表 4.6.2-1 にまとめて示す。なおヤング係数（等級区分）値は材料の産地でそれぞれ行ったグレーディングに基づき、含水率は試験直前に各部材三点で電気抵抗式木材水分計を用いて計測した値の平均値である。

表 4. 6. 2-1 A 試験結果：完全弾塑性置換特性値

試験体		柱				梁左				梁右				直交部材	
		番号	ヤング係数 または等級	産地	含水率(%)	番号	ヤング係数 または等級	産地	含水率(%)	番号	ヤング係数 または等級	産地	含水率(%)	番号	含水率(%)
A①1	1	C-10	7.9	O	17.8	106	E90	T	15.5	106	E90	T	14.8		25.0
	2	C-20	9.9	O	22.5	106	E90	T	12.8	107	E90	T	17.0		26.2
	3	C-10	7.9	O	17.8	108	E90	T	13.0	106	E90	T	14.3		13.7
A①2	1	C-5	8.3	O	16.2	14	E90	T	18.3	14	E90	T	17.7		
	2	C-24	10.5	O	25.3	14	E90	T	20.2	21	E90	T	20.2		
	3	C-5	8.3	O	17.3	19	E90	T	19.8	21	E90	T	10.7		
A①3	1	通し柱 (No1 り5)	7.63	K	20.7	N07-1	E110	Su	15.8	N07-1	E110	Su	15.0		35.5
	2	通し柱 (No1 い5)	6.24	K	17.7	N06-2	E70	Su	18.0	N06-2	E70	Su	14.7		17.3
	3	通し柱 (No1 い13)	7.82	K	15.2	N06-1	E70	Su	19.8	N06-1	E70	21.3			12.7
		鉛直部材				水平部材左側				水平部材右側					
A⑦	1	13	E70	Y	16.8	54	E90	Y	20.5	54	E90	Y	20.2		
	2	67	E90	Y	13.7	41	E70	Y	24.3	41	E70	Y	26.2		
	3	5	E90	Y	15.5	40	E90	Y	19.2	40	E90	Y	17.0		
		柱				梁左				梁右				直交部材	
B①1	1	ほ5	9.83	K	18.8	107	E90	T	14.2	108	E90	T	17.2		33.3
	2	り9	E90	Sa	14.2	107	E90	T	14.3	107	E90	T	12.3		19.3
	3	ほ9	E110	Sa	17.0	108	E90	T	14.5	108	E90	T	13.0		28.8
B①2	1	通し柱 (No3 ほ9)		Sa	17.5	21	E90	T	17.3	21	E90	T	13.7		
	2	通し柱 (No2 リ①)		K	20.2	19	E90	T	10.5	19	E90	T	12.8		
	3	通し柱 (No2 イ⑬)		Sa	17.0	19	E90	T	10.8	14	E90	T	16.3		
B①3	1	通し柱 (No2 イ①)	E110	Sa	14.8	No6-8	E70	Su	15.0	No6-8	E70	Su	13.8		11.8
	2	通し柱 (No2 イ⑨)	E110	Sa	14.3	No6-7	E50	Su	10.2	No6-7	E50	Su	10.8		13.8
	3	通し柱 (No2 イ⑤)	E110	Sa	14.8	No6-6	E70	Su	13.2	No6-6	E70	Su	14.0		12.2
B⑧	1	C-20	9.9	O	19.7	B-3	9.92	O	15.3	胴差し (No1 ほ9)	E50	Su	15.3		16.0
	2	通し柱 (No2 ホ①)	E110	Sa	18.8	胴差し (No1 ほ7)	E50	Su	12.8	B-3	9.92	O	18.0		17.5
	3	通し柱 (No2 ホ①)	E110	Sa	16.7	胴差し (No1 ほ9)	E50	Su	12.0	B-7	6.46	O	26.5		15.5
B⑨	1	10007	9.9	O	10.0	50	E70	T	13.5	51	E70	T	13.5		15.0
	2	10011	6.6	O	15.0	50	E70	T	15.3	48	E70	T	11.7		14.5
	3	10010	9.0	O	20.3	49	E90	T	11.3	51	E70	T	14.5		16.0

ただし、産地は O：大河原（埼玉）、K：桂（和歌山）、T：T.S（徳島）、
Y：吉野（奈良）、Sa：坂口（奈良）、Su：杉生（愛知）

2) 十字逆対称曲げ試験

(A) A 試験体：変形過程と破壊性状の特徴

A 試験体では、全ての試験条件で柱の曲げやせん断による破壊の発生は生じなかった。また直交

部材は試験後も堅く締まっており、特に回転性能には影響を与えなかったと推察できる。

A①試験体では、回転に応じて梁の一方の側、すなわち梁の下端が圧縮を受ける側では、上端では雇い実を介して引張抵抗し、下端では梁木口が柱にめり込むことで抵抗・変形を生じ、梁全体の断面を生かしたで大きな回転抵抗を生じた。総じて下端のめり込み変形よりも上端の引張変形が大きい様子が観察されたが、これは下端ではめり込みのみが変形成分であるのに対し、上端では車知の変形の他に他方の梁の柱へのめり込み、他方の梁での車知の変形が累積されるためである。車知部分の変形は、車知の横圧縮変形の後、車知横断面が面外にはらむような褶曲変形と車知全体の回転変形を同時に生じ、最終的に車知短辺での曲げ破壊かせん断破壊を生じた。雇い実や梁の車知受け部分での縦圧縮変形はわずかであり、全て最終破壊は車知の破断であった。また接合部全体の耐力も、車知の破壊によって決定された。最大耐力の発現は、概ね引張側の梁上端の大入れが柱から抜け出す時と一致した。すなわち車知の回転に伴う梁を横に開く力を負担する大入れが抜け出すにつれ、横拘束が弱くなると共に梁に横引張変形が生じ、結果車知の回転変形が大きくなることで徐々に耐力低下を生じる。また回転変形が大きくなると、車知へのせん断応力成分か曲げ応力成分が卓越するため破断に至ったと考えられる。

梁の雇い実の挿入位置にほぼ沿って割裂を生じた場合も見られた。梁の横割裂は試験後の断面観察では梁中心から放射状に進展している様子が観察され、一つにはこの方向に乾燥割れがあったため、割れの起点になったことも予想される。A①3 試験体では、大入れが梁の全体にわたって存在しているため、大入れ全体が抜け出すことが無く、そのためか梁に横引張り割裂破壊を生じなかった（少なくとも、外部からは明確に観察されなかった）。このように、大入れを連続させるか、あるいはより深く取ることは、本試験体の様な形式の仕口の耐力向上と靱性の向上にとって非常に有効であることが示唆される。

雇い実（ヒノキ）の縦圧縮部はほとんど損傷受けることが無く、また雇い実に沿ったせん断破壊も発生しなかった。梁の縦圧縮部の中には縦圧縮破壊したものも見られたが、せん断破壊は発生しなかった。車知はシラカシであるとは言え、横圧縮を受けるために弾性係数に差があること、断面が扁平なため座屈的な曲げ変形が大きかったことなどから、雇い実の材質としてヒノキ以上のものを用いる必要はなく、車知との強度的関係性は十分であったと言える。

車知の破壊は、最終的に梁下端が圧縮を受ける側の梁で 100%発生した。これはその側の梁で大入れが引き抜けるために割裂を生じやすいため、車知の抵抗力の発揮には梁の横拘束が大きく影響していることを裏づけると共に、雇い実に生じる軸力も梁の両側で一定ではなく、雇い実の回転に伴う摩擦力が、実の引張力の一部を柱に伝達していることを示唆する結果であると言える。

他方の梁、すなわち梁下端が引張側となる梁では、梁下端での梁軸方向抵抗要素が存在しないため、梁下端が圧縮側となる梁に比べると梁端モーメントは非常に小さいと考えられる。しかしそれでも全く抵抗しない訳ではなく、梁せいの半分である雇い実の断面内で、車知のこじりによる回転抵抗は発生すると考えられる。また、梁から大きく突き出た雇い実はこちら側の梁を下に押しつけるが、梁下端は大入れで柱に鉛直拘束されているために、上下偶力による回転モーメントを発生する。これを雇い実の肘木効果と呼ぶが、肘木効果の結果として、雇い実にも回転変形が生じ、柱木口が雇い実にめり込んでいる様子や大入れ下端が柱木口からめり込みを受ける様子が観察された。

なお、A①2 試験体では雇い実に歪みゲージを貼り付けるために実の断面を緩やかに 5mm 程度書き込みを設けたが、それに影響されたような破壊の様子は観察されなかった。

A①1：通し柱両側梁雇い車知（梁せい 300）



左：A①1-1 車知のせん断破壊。

中：A①1-1 雇い実に残るめり込み痕（柱木口のめり込み）。

右：A①1-1 柱側めり込み痕（梁の柱へのめり込み）。



左：A①1-2 車知の一方にキクイムシによる損傷があった。

中：A①1-2 車知の損傷断面。キクイムシ損傷が全体にわたっている。

右：A①1-2 破壊時真横から。上部大入りが抜け出すことで梁に横割裂の発生。



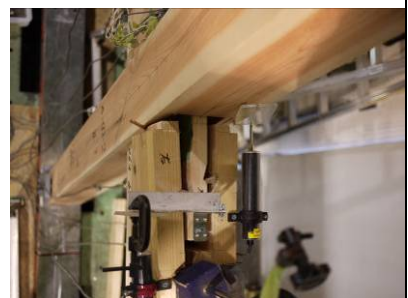
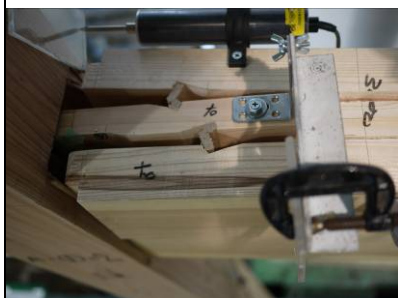
左：A①1-3 車知の回転による部材の縦割裂。

中：A①1-3 梁の割裂線（横から）。

右：A①1-3 車知は概ね健全。柱に残る開き抵抗痕。

写真 4. 6. 2-3 A①1 試験体の損傷状況

A①2：通し柱両側梁雇い車知（梁せい 240）



左：A①2-1 車知の曲げ折れ

中：A①2-1 真横から。雇い実とは概ね梁の上下移動に追随して回転する。

右：A①2-2 車知の回転と座屈変形、および梁の割裂



左：A①2-2 変形状況（真横から）。左右梁は回転に応じて上下にずれる。

中：A①2-2 変形状況（斜め上から）。

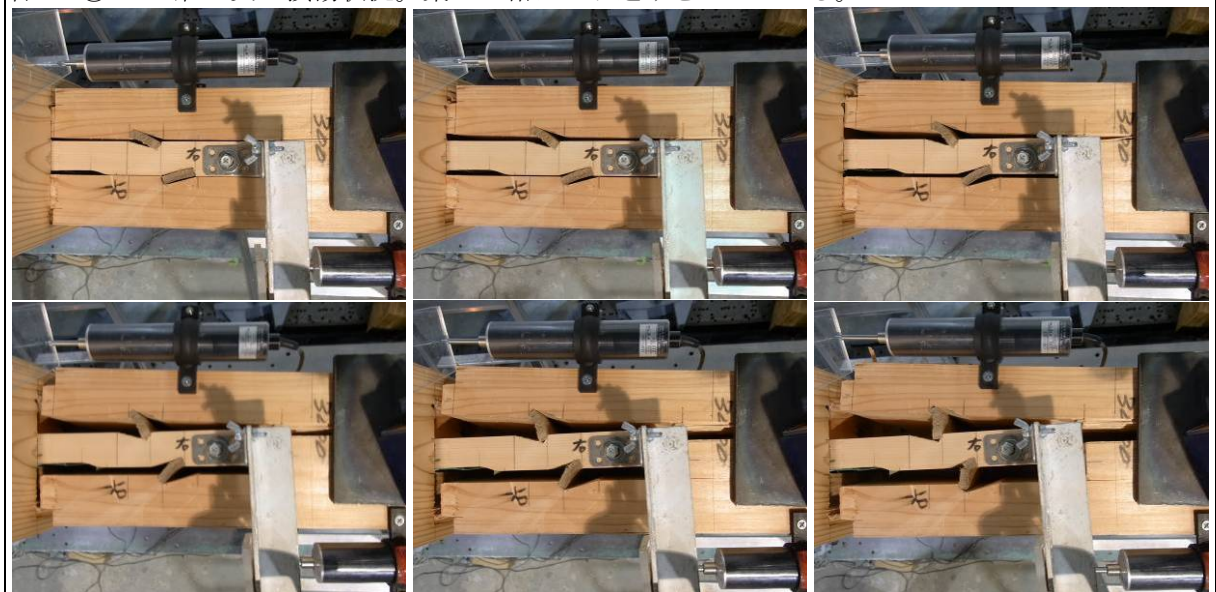
右：A①2-3 車知および梁の破壊詳細。



左：A①2-3 梁の破壊断面。

中：A①2-3 柱と梁の損傷状況。

右：A①2-3 雇い実の損傷状況。梁と一緒にめり込みを生じている。



A①2-3 車知の回転連続写真

写真 4. 6. 2-4 A①2 試験体の損傷状況

A①3：通し柱両側梁雇い車知（梁せい 150）



A①3-1 大変形時の様子。大入れが全入れのため、完全な引き抜けは生じない。

A①3-1 込み栓のせん断破断と雇い実の相対回転

A①3-1 車知の座屈（せん断）と梁車知受け部の圧縮破壊



A①3-1 仕口内部変形の模式的状況（実に大きなめり込み変形）

A①3-2 梁の破壊性状

A①3-3 梁の破壊性状



A①3-3 車知の S 字褶曲

A①3-3 取り出した水平部材の変形状況

A①3-3 柱のめり込み痕



A①3-2 車知の回転連続写真



A①3-3 車知の回転連続写真

写真 4. 6. 2-5 A①3 試験体の損傷状況

A⑦試験体では外部からは目立った変形-破壊は確認できなかったが、鉛直材の木口が水平材に隅角でめり込んでいる様子と、また試験後の断面観察では仕口内で水平材の木口が鉛直材の段差にめり込んでいる様子が観察された。変形に伴う仕口の面外への外れ変形は大きくなかった。

A⑦：通し梁通し桁渡り顎掛け（梁せい150）



A⑦-1 内部のめり込み変形

A⑦-2 部材のめり込み

A⑦-3 大変形時の様子

写真 4. 6. 2-6 A⑦試験体の損傷状況

(B) A 試験体：モーメント-回転角関係

図 4.6.2-7 に A①試験体それぞれの、図 4.6.2-8 に A⑦試験体の接合部モーメント-回転角関係を示す。特に第一象限においては、計測データ全体を用いて計算した完全弾塑性置換曲線を併せて示した。A①、A⑦試験体ともに原点回帰スリップ型の履歴ループであり、また正負交番変形により、特に初期弾性域の終了後に、反対側変形が影響し、各ステップ 2 回目の履歴において耐力低下している様子が見て取れるが、その後の繰り返しによるさらなる低下は無く、3 回の繰り返し変形によるダメージ蓄積の影響は大きくないと考えられる。

図 4.6.2-9、図 4.6.2-12 に各条件 3 体の包絡線を特定変形角毎で平均を取って定めた曲線を、試験条件毎で比較した図を示すが、以降同図を用いて説明を行う。

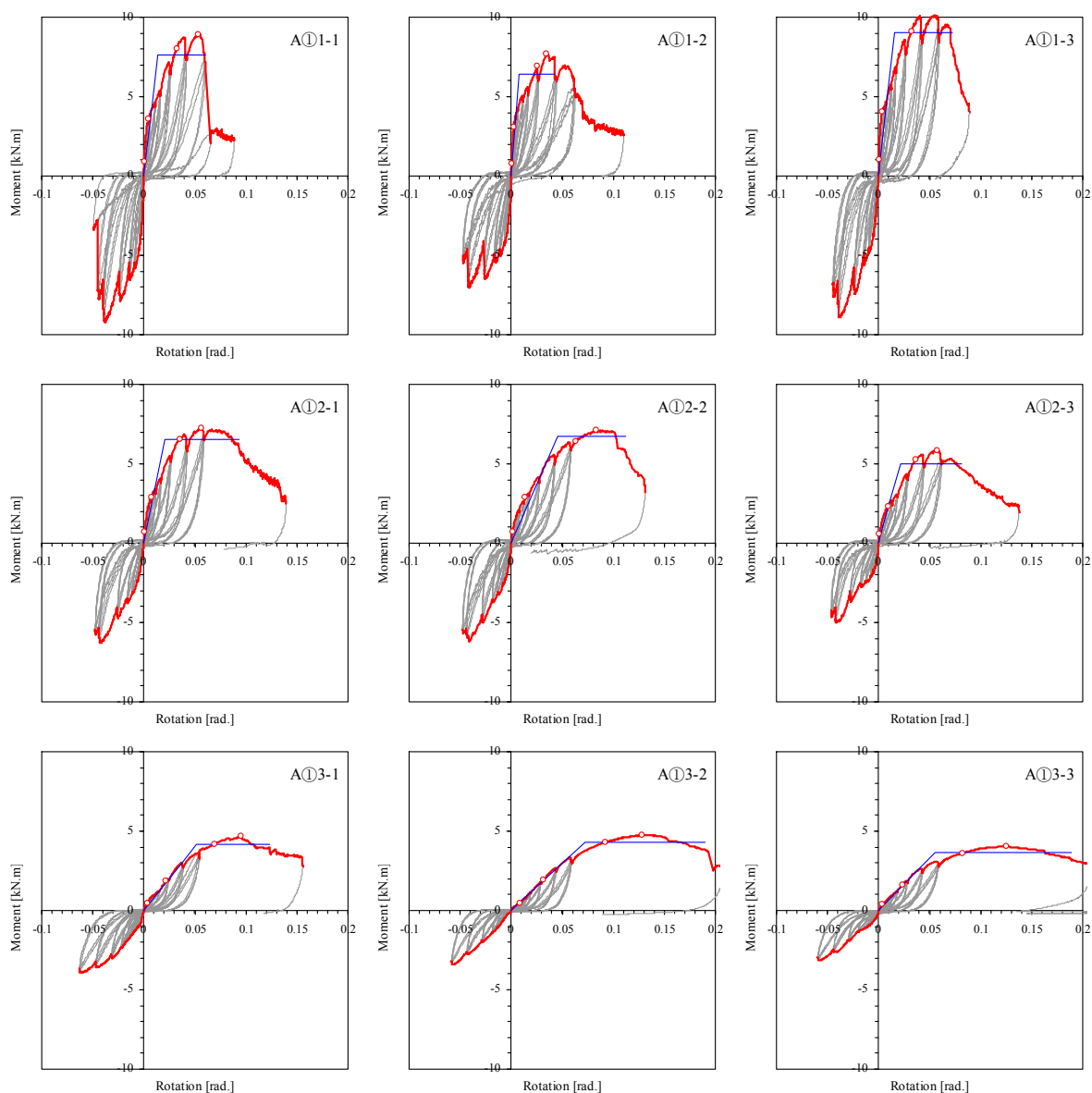


図 4.6.2-7 A①試験結果（履歴ループ、包絡線、完全弾塑性置換）

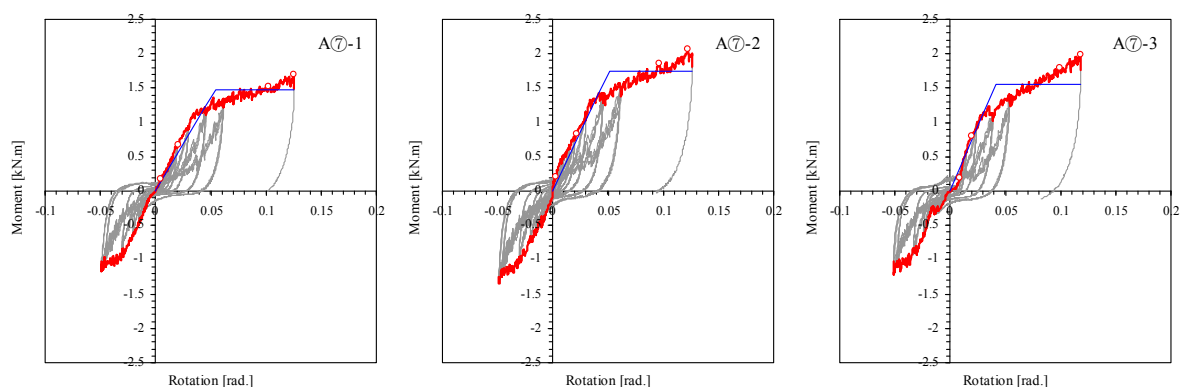


図 4.6.2-8 A⑦試験結果（履歴ループ、包絡線、完全弾塑性置換）

A①1 試験体の 3 体の試験体について、最大耐力にややばらつきが見られるものの、降伏値や全体的な変形挙動の差は小さかった。A①-2、A①-3 の各条件では、試験体毎のばらつきもきわめて小さ

い結果が得られた。

A①試験体では初期の立ち上がりの後、車知部分での変形が進行し、二次弾性域的な挙動を示し、最大耐力に達した後に直ちに耐力低下に転じた。材せいが大きいものほど、初期剛性や最大モーメントが向上するが、一方最大変形角が小さくなる傾向が見られた。耐力低下は A①1 で速やかであり、A①3 では非常に緩やかであった。ただし A①3 試験体では、1 次と 2 次の弾性域の区別が非常に困難であった。

図 4.6.2-10 に車知部分の連続写真を示した。その破壊性状と併せて論じると、1/60rad 程度までは車知の変形は顕著ではなく、初期弾性域からの降伏は、梁木口が柱にめり込み降伏することで生じていると推察できる。梁上部では引き抜かれる反対側の梁が柱にめり込むため、全体として雇い実が水平移動している様子が観察できる。その後車知の変形はやや増大しながら最大耐力を迎えるが、最大耐力時の変形角 θ_{max} (平均 A①1 : 0.048rad、A①2 : 0.066rad、A①3 : 0.116rad) に材せいを掛けることで得られる引き抜き変形 (下端でのめり込みを無視) は試験体せいによらず、A①1 : 14.4mm、A①2 : 15.84mm、A①3 : 17.4mm と概ね一致し、これは大入れ深さ 15mm とも近似する。すなわち、最大耐力の発現には梁上部の大入れの引き抜けが密接に関わっていると考えられる。しかしその後完全な耐力低下を生じるまでに A①2 や A①3 では θ_{max} の倍程度の変形能力があるため、破壊に至るメカニズムはより詳細な検討が必要と考えられる。

図 4.6.2-12 の A⑦試験体の包絡線について、試験体ごとのばらつきは非常に小さかった。通常の貫や相欠き接合と同様の、初期弾性域後も耐力増加を延々と続ける、バイリニア型の非常にねばり強い性質を示したが、二次弾性域では耐力が細かく増減する鋸歯状の曲線を示し、摩擦の影響がかなり大きいことが推察された。また試験時には変形に伴う摩擦滑り音が発生した。負担モーメントは A①型の試験体に対して非常に小さく、降伏モーメントで 1kN.m 強であった。

図 4.6.2-11、図 4.6.2-12 右図では各条件 3 体の平均化曲線の第 1、第 3 象限のものを相互に比較した。本試験体は左右対称であったため、比較可能な範囲内では両者の差はほとんど確認されなかった。つまり、片側の降伏が他方の耐力発現に影響を及ぼすメカニズムでは無いことが看守される。

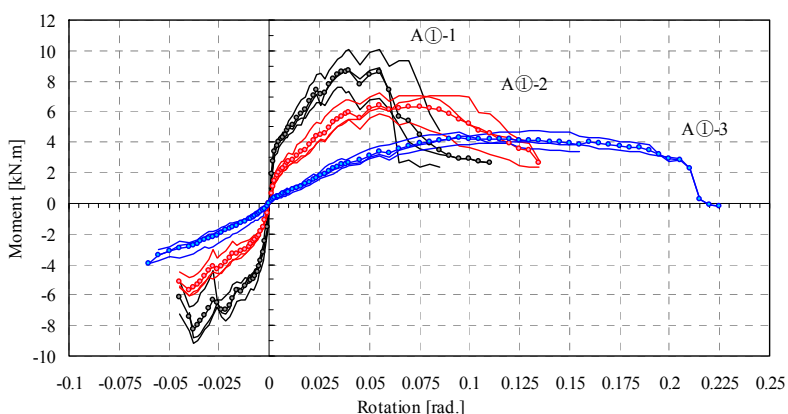


図 4.6.2-9 A①試験結果の平均曲線の比較

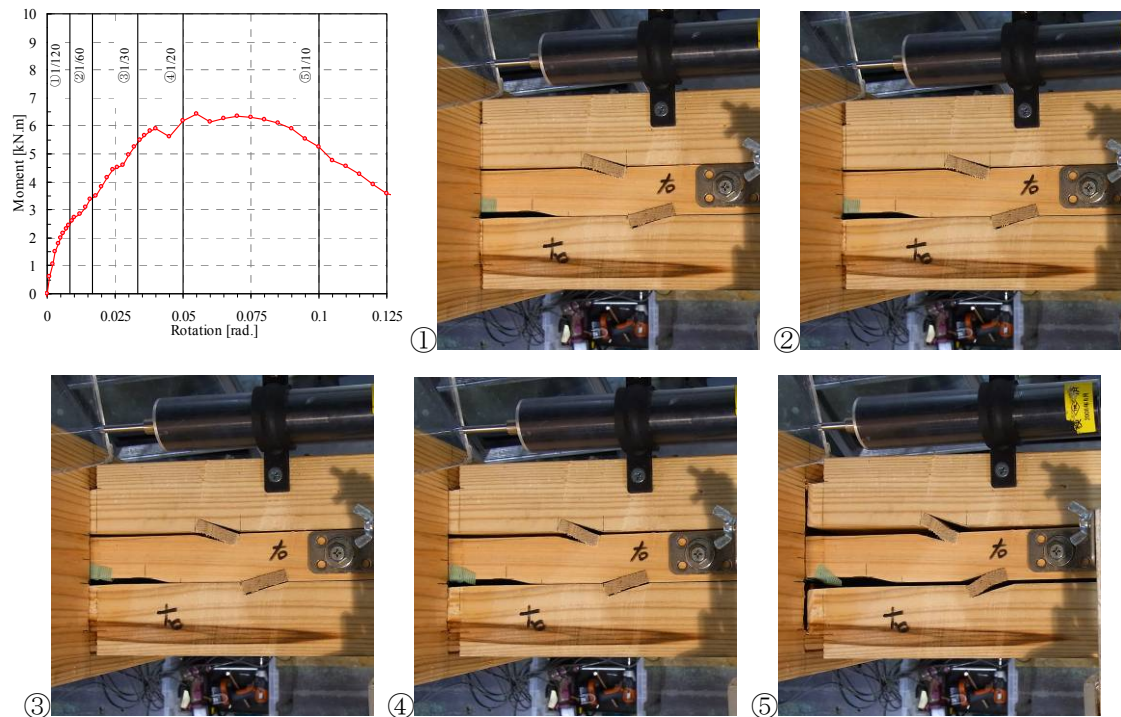


図 4.6.2-10 A①2-1 試験体車知の変形 : ①—③では車知の変形は小さく、雇い実が引き抜かれる。
④で大入れ上部が柱から突出すると、梁の横開きが発生し、急激に車知の変形が大きくなる。

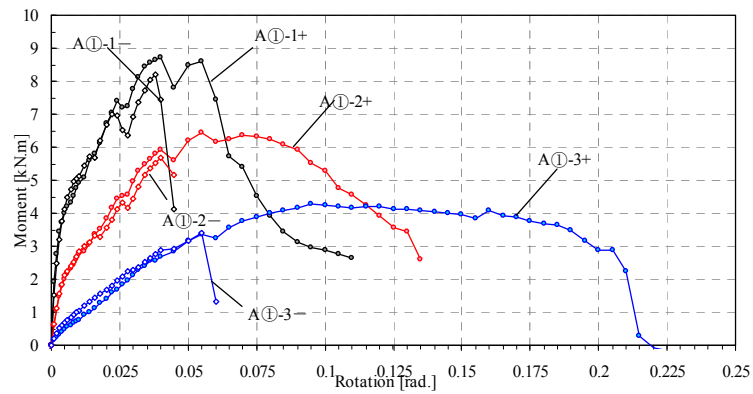


図 4.6.2-11 A①試験結果の押し引き側の比較

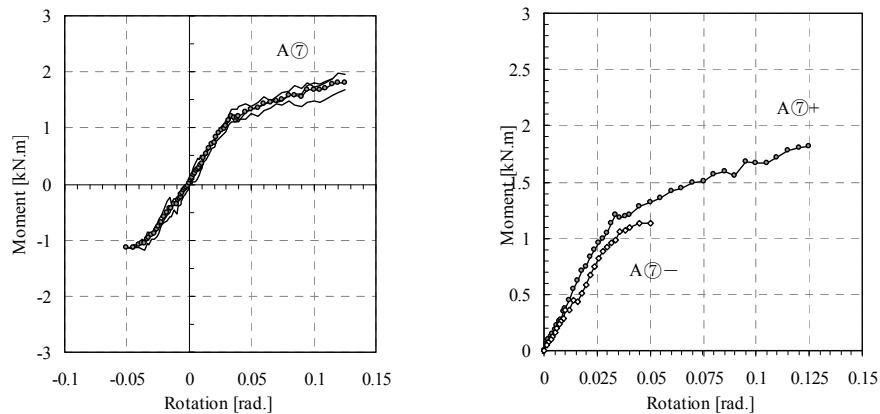


図 4.6.2-12 A⑦試験結果の平均曲線の比較（左）と押し引き側の比較（右）

(C) A 試験体：特性値

包絡線で示したように A①1 と A①2 はトリリニア型が、A⑦はバイリニア型がもっとも挙動と一致する置換形式と思われる。ただしここではもっとも実用的な形である、完全弾塑性型のバイリニアに置換し、その特性値を取り扱う。表 4.6.2-2 に A 試験体の結果の第一象限を完全弾塑性置換し、その特性値をまとめた。全体に回転角の特性値はばらつきが大きい傾向にあるが、モーメント特性値は 10%程度の CV に収まった。A①1 は A①3 に対して、梁せいが倍であるが初期剛性 K は 10 倍弱も大きい。一方で最大モーメント $M_{\max}$ や降伏モーメント M_y 、終局モーメント M_u はそれぞれ 2 倍～1.54 倍～1.9 倍と、材せい程度の向上が確認された。これは初期剛性はめり込みで発現される場合、反力距離（材せい）の 3 乗に比例するのに対し、強度の発現は梁上部の最大引き抜き量（変形角でない）が決定要因となったため、材せいが大きいほど早期に最大耐力に達したためかと思われる。図 4.6.2-13 に A①試験体の特性値平均値について、梁せいとの関係をプロットした。

表 4.6.2-2 A 試験結果：完全弾塑性置換特性値

		$M_{\max}$ kN.m	$\theta-M_{\max}$ rad.	M_y kN.m	θ_y rad.	M_u kN.m	$\theta-M_u$ rad.	$M(1/150)$ kN.m	K kN.m/rad.	μ
A①1 通し柱両側梁 い車知（梁せい 300）	1	8.94	0.054	4.21	0.008	7.63	0.014	3.79	556.2	4.4
	2	7.68	0.035	3.87	0.005	6.38	0.008	3.97	829.7	5.5
	3	10.14	0.056	5.07	0.009	9.07	0.016	4.60	571.4	4.5
	ave	8.92	0.048	4.38	0.007	7.69	0.012	4.12	652.4	4.8
	SD	1.23	0.012	0.62	0.002	1.34	0.004	0.42	153.7	0.6
	CV	0.14	0.24	0.14	0.31	0.17	0.34	0.10	0.24	0.13
A①2 通し柱両側梁 い車知（梁せい 240）	1	7.25	0.057	3.38	0.011	6.54	0.021	2.66	314.9	4.5
	2	7.13	0.083	4.25	0.029	6.74	0.046	2.04	147.3	2.5
	3	5.84	0.058	2.56	0.011	5.02	0.022	2.06	230.8	3.8
	ave	6.74	0.066	3.40	0.017	6.10	0.029	2.25	231.0	3.6
	SD	0.78	0.015	0.85	0.010	0.94	0.014	0.36	83.8	1.0
	CV	0.12	0.23	0.25	0.61	0.15	0.48	0.16	0.36	0.29
A①3 通し柱両側梁 い車知（梁せい 150）	1	4.65	0.095	3.03	0.037	4.17	0.052	0.81	81.0	2.4
	2	4.76	0.129	2.99	0.050	4.32	0.072	0.41	59.7	2.6
	3	4.02	0.126	2.50	0.038	3.65	0.055	0.52	66.3	3.4
	ave	4.48	0.116	2.84	0.042	4.05	0.060	0.58	69.0	2.8
	SD	0.40	0.018	0.29	0.007	0.35	0.011	0.21	10.9	0.5
	CV	0.09	0.16	0.10	0.17	0.09	0.19	0.36	0.16	0.19
A⑦ 通し梁通し桁渡 り顎掛け（梁せい 150）	1	1.69	0.125	1.22	0.044	1.48	0.054	0.24	27.4	2.3
	2	2.07	0.123	1.39	0.041	1.74	0.051	0.44	34.0	2.5
	3	1.99	0.118	1.13	0.030	1.55	0.041	0.08	37.7	2.9
	ave	1.92	0.122	1.24	0.038	1.59	0.049	0.25	33.0	2.6
	SD	0.20	0.004	0.13	0.008	0.14	0.007	0.18	5.2	0.3
	CV	0.10	0.03	0.11	0.20	0.09	0.14	0.71	0.16	0.11

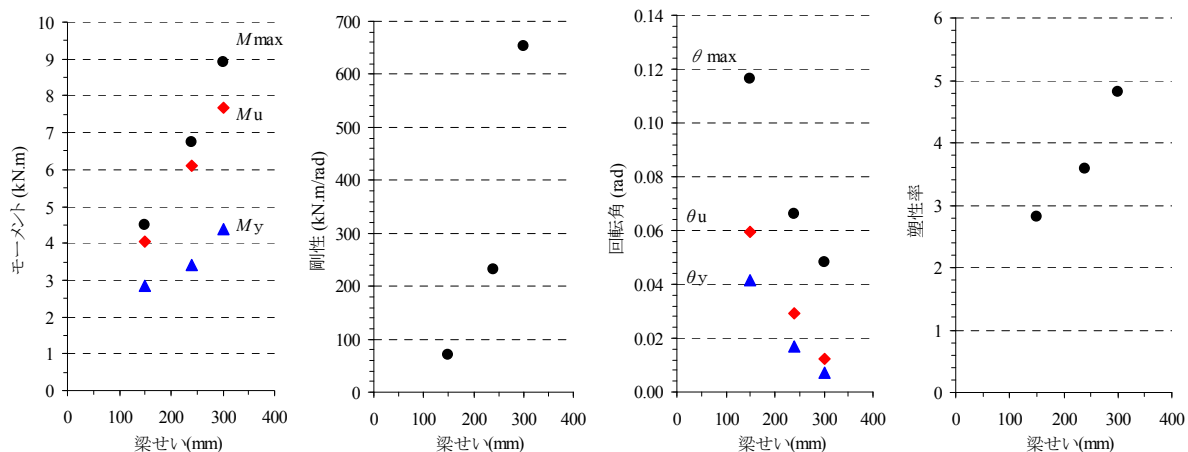


図 4.6.2-13 A①試験結果の特性値と梁せいの関係
左から、モーメント、回転剛性、特定変形角、塑性率

3) 十字対称曲げ試験

(A) B 試験体：変形過程と破壊性状の特徴

B 試験体は、全て押しと引きの条件で耐力性能が大きく異なる。一般に雇い実や竿が存在する側が引張力を受ける状態で耐力が大きく、その反対側では抵抗力が小さいものの 0 では無い。

B①試験体では雇い実が引張力を受ける条件（引き）で、車知が破断することにより破壊が先行したが、雇い実が圧縮を受ける条件（押し）での耐力が 0 にはならず、A①試験体で述べた肘木効果によって抵抗を示した。A①試験体とは異なり、梁のどちらか一方で降伏が生じると、変形は概ねそちら側でのみ進行し、破壊に至ったが、反対側の梁では健全な状態であることが多かった。梁のどちら側で破壊が生じるかは全くランダムであった。A①試験体と同様に、直交部材は最後まで堅く締まっており、またほぞ穴等が起点となる破壊も生じなかったため、耐力性能に影響することはないと考えられた。

車知の変形メカニズムは概ねA①試験体と同様であったが、A①に比べて雇い実とは梁に対して直角を保つ傾向にあり、その結果梁との回転角の差が大きくなるため、変形に応じて実の端部や車知が梁から浮き上がる様子が観察された。

A①試験体と同様に、雇い実が引張を受ける条件での最終的な破壊は、梁の上端部の大入れがほぞ穴から抜け出すことで梁に横引っぱり割裂が生じ、その結果車知の変形が大きくなった後に破壊に至る現象が観察された。竿や梁の車知を受ける部分でせん断破壊を生じることはなく、またヒノキ製雇い実の縦圧縮変形は小さかった。しかし中にはスギ製梁の車知を受ける木口が縦圧縮破壊を生じているものも存在した。

押し側加力時の雇い実の肘木効果は、引き側時に車知が健全なうちは効果的に働いていたが、車知が破壊を生じると、梁を柱に引きつけておく力がなくなり、変形に対して梁の下端の大入れが容易にほぞ穴から押し出され、耐力を失う様子が観察された。肘木効果により、A①3 条件の一体では、雇い実が曲げ破壊（下端の引張破断）を生じるものもあった。

B①1：通し柱両側梁雇い車知（梁せい 300）



- 左：B①1-1 大変形時の様子（引き側）。車知のせん断破壊によって降伏。
 中：B①1-1 大変形時の様子（押し側）。引き側で破壊した方向で一方的な破壊が進行する。
 右：B①1-2 破壊後の柱の破損状況。引き加力時のめり込み痕が残る。



- 左：B①1-3 車知の破壊後、実と梁のずれ変形。
 中：B①1-3 車知が回転し、曲げ折れる。
 右：B①1-3 押し加力時にこじられ、下部がせん断破壊仕掛けた雇い実。



B①1-2 引き側車知の回転連続写真

写真 4. 6. 2-7 B①1 試験体の損傷状況

B①2：通し柱両側梁雇い車知（梁せい 240）



- 左：B①2-1 大変形時の様子（引き側）
 中：B①2-1 大変形時の様子（押し側）。梁の大入りが押し出されて外れる。
 右：B①2-1 回転し、裏返った車知。



左：B①2-1 押し加力時、大入れ下部が柱に大きくめり込んでいる。
 中：B①2-2 破壊後の分解状況。雇い車知接合部の片方はほぼ健全である。
 右：B①2-2 Aと異なり、どちらの梁で破壊を生じるかはランダムである。



B①2-3 引き側車知の回転連続写真

写真 4. 6. 2-8 B①2 試験体の損傷状況

B①3：通し柱両側梁雇い車知（梁せい 150）



B①3-1 終局変形時の様子。車知は回転→曲げ折れにより破壊

B①3-1 梁継ぎ手内部の破損状況。車知打ち込み長さが少々短かった。車知回転に伴う横圧縮。

B①3-2 繰り返し変形を受け手の車知の飛び出し



B①3-2 車知が梁の縦圧縮でめり込む。

B①3-3 1/15rad 時変形状況。概ね左右均等に変形。

B①3-3 押し側加力時に雇い実が曲げ折れる。（一体のみ）



B①3-3 引き側車知の回転連続写真



B①3-1 押し側車知の回転連続写真（あまり明確な変形は見られない）

写真 4. 6. 2-9 B①3 試験体の損傷状況

B⑧試験体は両側の梁が竿車知止めされ、かつ梁の木口同士が面タッチしている試験体である。竿が梁の下端にあるため、押し加力時に大きな耐力を発生する。竿が引張力を受ける場合(押し側)、梁を押し広げる力には直交部材が挟み込んで抵抗するが、梁の上端が面タッチしていることもあり回転に対する変形性能は小さく、車知の破断時においても梁下端が蟻から抜け出してはいなかった。その結果として、最終的には車知の破断によって耐力が決定された。試験後、竿の切り欠き部にせん断破壊が存在したのも見られたが、耐力性能には大きな影響は無かったと考えられる。

引き加力時には車知のこじりによって竿部（断面 $40 \times 150 \text{mm}$ と大きい）に伝達される曲げモーメント、および梁の上下動が拘束されていることによる肘木効果が抵抗要素となる。しかし、今回の試験条件では直交部材と柱の相対距離が固定は試験ジグである引きボルトであったため、引き加力時に大きな竿への圧縮反力が柱に伝達された。このため、引き加力時の抵抗値はやや実際よりも過大評価であった恐れがあり、試験方法の再考が必要である。

B⑨試験体では梁上部の竿車知が、引き加力時に引張抵抗すると考えられたが、小さいモーメント時に、容易に竿車知基部に設けられたほぞ穴を起点としたせん断破壊により、破断に至った。そのため変形性能も非常に小さく、かつ脆性的な挙動のため、耐力要素としては不適當であると考えられた。ほぞ穴の位置や大きさに注意を払うことで、本形式の耐力性能を高めることが出来ると考えられる。また本形式では梁木口に設けられた蟻が、直交部材を介して引張力をやや伝達することが可能である。その結果直交部材には横引張力が働くが、大変形時には引張破壊を生じている様子が観察された。

B⑧：梁梁下管柱竿車知継ぎ目に長ぼぞ差し



B⑧-1 押し時竿切り欠き部のせん断破断（一体のみ）。耐力への影響は小。

B⑧-1 車知の圧縮座屈。梁の開きは小さい。

B⑧-2 車知の破壊状況。



B⑧-2 大変形時の様子。下端竿部で車知は破断している。

B⑧-3 竿に生じた曲げ破壊（おそらく引き時）。（一体のみ）

B⑧-3 今回の試験条件では引き時に梁の上下移動が下側後半と柱で拘束されたため、過大評価か。

写真 4. 6. 2-10 B⑧試験体の損傷状況

B⑨：梁梁上管柱竿車知男木に長ぼぞ差し



B⑨-1 引き時竿端部のせん断破断。（3体とも）

B⑨-1 押し時直交部材の割裂（3体とも）

B⑨-2 継ぎ手内部の破損状況。ありにわずかなめり込み痕。

写真 4. 6. 2-11 B⑨試験体の損傷状況

(B) B 試験体：モーメント-回転角関係

図 4.6.2-14、図 4.6.2-15 に B 試験体のモーメント-変形角関係の履歴ループと包絡線、および完全弾塑性置換のバイリニアを示す。また B①試験体の第 1，第 3 象限、B⑧試験体の第 3 象限、B⑨試験体の第 1 象限については計測データ全体を用いて計算した完全弾塑性置換曲線を併せて示した。ただし、B①試験体第 3 象限では下に凸の履歴を示し、完全弾塑性置換が定義出来ないものも多かったため、それについては除外してある。すべての試験体ともに原点回帰スリップ型の履歴ループであった。

図 4.6.2-16、図 4.6.2-17 に各条件 3 体の包絡線を特定変形角毎で平均を取って定めた曲線を、試験条件毎で比較した図を示すが、以降同図を用いて説明を行う。

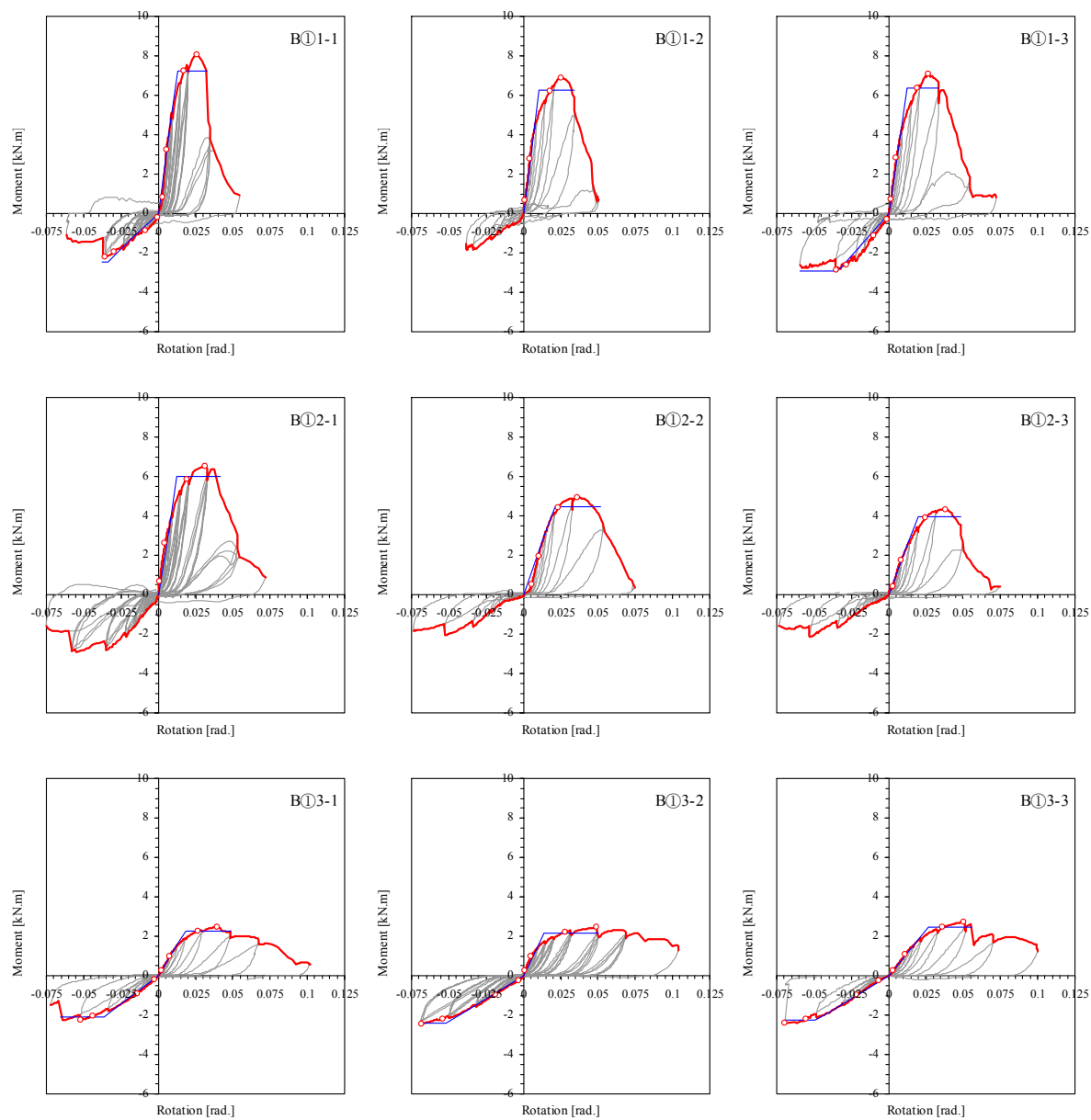
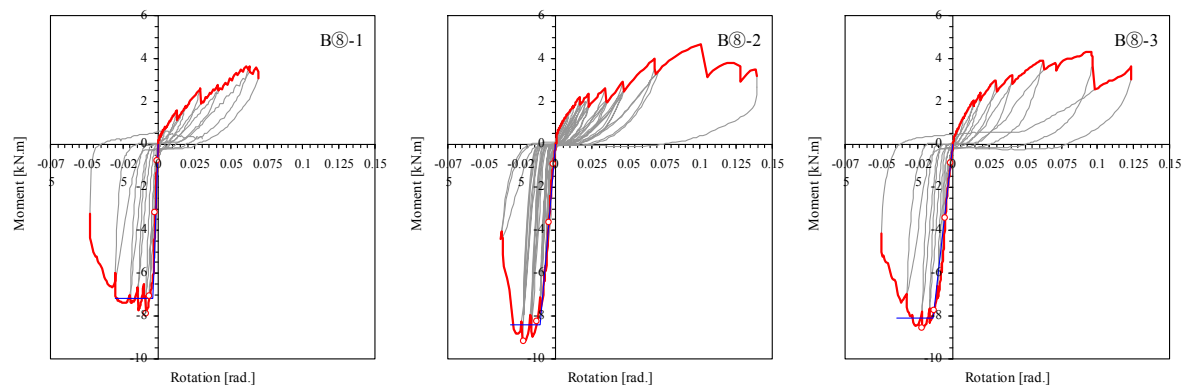


図 4.6.2-14 B①試験結果（履歴ループ、包絡線、完全弾塑性置換）



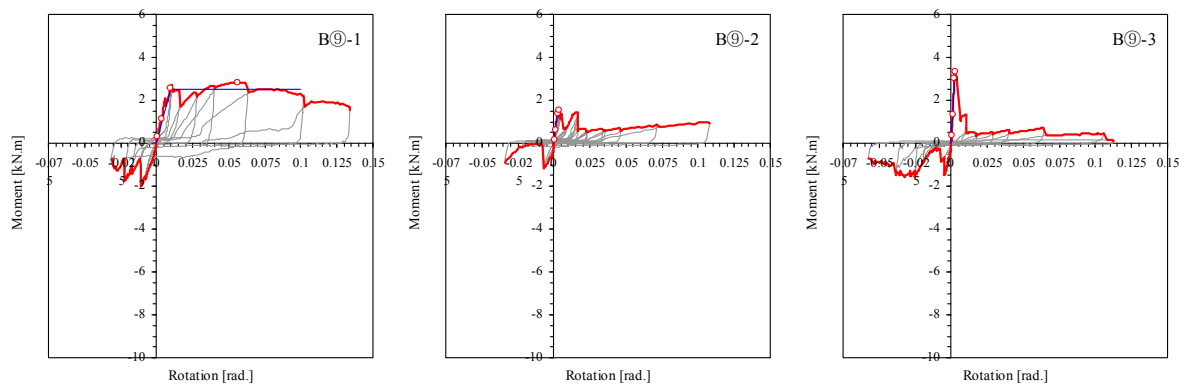


図 4.6.2-15 B⑧⑨試験結果（履歴ループ、包絡線、完全弾塑性置換）

B①試験体引き側について、B①2 の 3 体でややばらつきが見られたものの、B①1 と B①3 の条件では 3 体ともほとんど同一の履歴を描いた。基本的な履歴性状は A①試験体とよく似ているものであり、B①1—B①2—B①3 と試験体せいが小さくなるにつれて剛性、耐力が小さくなると同時に変形性能が増加する。最大耐力後の荷重低下曲線も、試験体せいが大きい程急激であった。

B 試験体においては A 試験体と異なり左右対称の軸方向力を受けるために、雇い実引張側における変形要素は車知の変形のみである（A 試験体では回転に寄与する引張側変形は両側の車知の変形と引張反対側梁のめり込み変形の累積）。そのため写真 4.6.2-17 の連続写真に見られるように、雇い実引張側において梁の開きが小さく、結果として梁の割裂を生じるに至る前に車知の変形が進行する。

図 4.6.2-16 右図は B①試験体の押し側（雇い実側梁が圧縮側）の履歴曲線である。試験体ごとにばらつきがやや大きく、また初期あそびが発生するものがあるなど、あまりきれいな曲線ではなかった。全体的に緩やかに寝た関係を描き、若干 B①1>B①3 という梁せいの大きいものほど剛性等が高くなる傾向はあるものの、全体としては梁せいによらず、ほとんど同じ曲線関係と仮定できる。

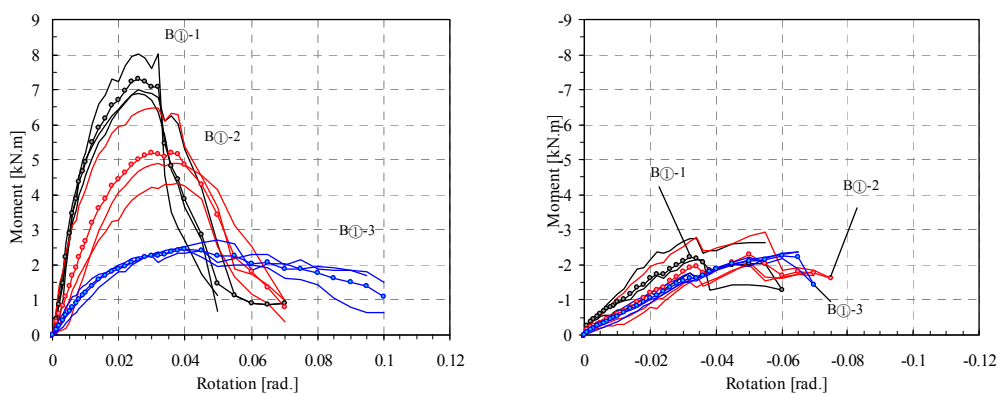


図 4.6.2-16 B①試験結果の平均曲線の比較（左：引き側、右：押し側）

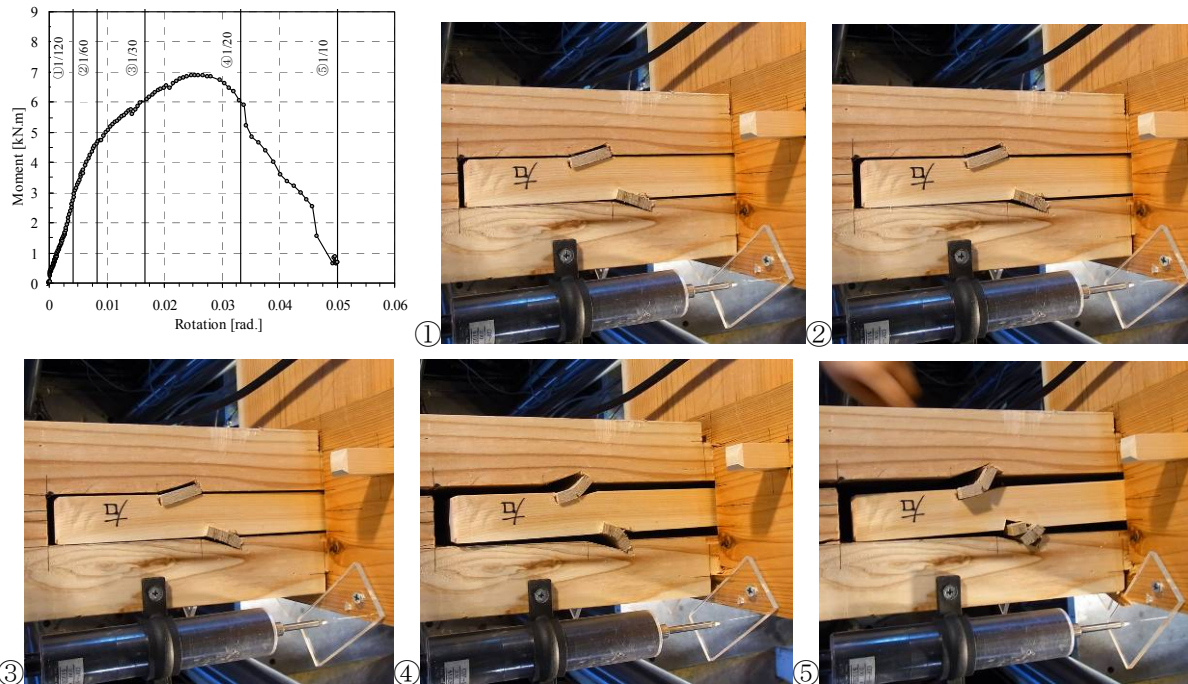


図 4.6.2-17 A①2-1 試験体車知の変形：①—③では車知の変形は小さく、梁下端圧縮側で大きく変形が進行していると考えられる。④で車知が座屈し始め、⑤では完全に座屈（曲げ）破壊を生じているが、梁は大入れからは抜けておらず、横割れの進行も小さい。

図 4.6.2-18 に B⑧試験結果（左）と B⑨試験結果の竿が抵抗する側を正とし、各条件 3 体の包絡線と、特定変形角で平均を取った平均化曲線を示した。B⑧試験結果には梁せいの等しい B①1 試験体の平均化曲線も重ねて示した。B⑧試験体は 3 体のばらつきが小さい履歴を描いた。B⑧試験体では梁端が木口接触しており、柱にめり込むことが無いため B①1 に比べて高い初期剛性を示す。また梁端のめり込みによる降伏モードも生じないため、7kN.m 付近で車知の座屈変形が発生するまで弾性域が継続した。また梁は直交部材で開きを拘束されているため、車知が完全に破断するまで履歴曲線は横に寝ながらも 1/30rad 程度までの靱性を発揮した。

先に述べたように B⑧引き側の履歴は、試験装置による拘束の影響が含まれ、正しい評価となっていない可能性があるため、ここでは検討から除外した。

B⑨試験体は竿の基部でのせん断破壊により、小さなモーメントで、また極めて脆性的な破壊を生じるため、耐力要素としては考慮しない方が無難と考えられる。試験体ごとのばらつきも大きく、ほぞ穴角の応力集中の影響を受ける等、加工精度も影響するため不安定な挙動となる。

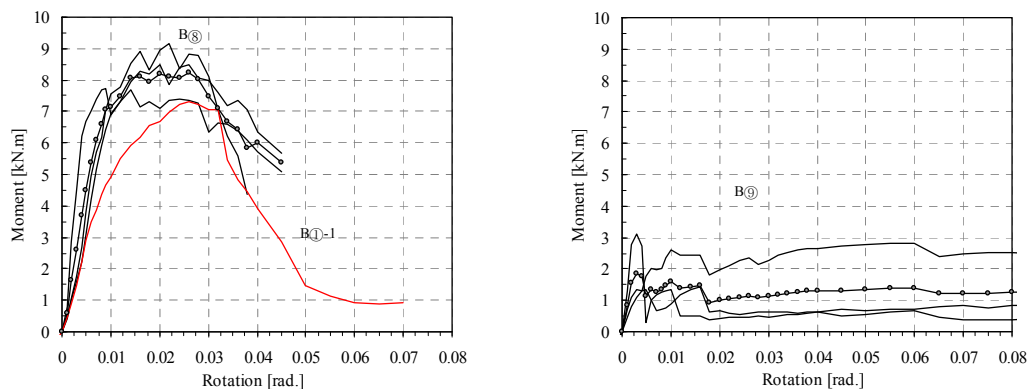


図 4.6.2-18 B⑧試験結果の平均曲線の比較（左）と B⑨試験結果の平均曲線の比較（右）

(C) B 試験体：特性値

表 4.6.2-3 に B①試験結果の雇い実が引張を受ける側における包絡線の完全弾塑性置換による特性値を示した。同様に、表 4.6.2-4 に B①試験結果の雇い実が圧縮を受ける側の結果を、表 4.6.2-5 に B⑧⑨試験結果の竿車知が引張を受ける側の結果を示した。特に B①の雇い実が引張を受ける側の特性値の、梁せいととの関係をプロットした図を図 4.6.2-19 に示す。

図 4.6.2-19 より、梁せいが大きくなるとモーメント特性値がほぼ直線的に増加している様子が見て取れる。一方で剛性は、A①試験体と同様に、梁せいの増加に対して 2 乗程度の増加関係を示した。変形角の特性値は梁せいの増加に対し、反比例的に減少した。また、塑性率は試験体せいによらず概ね一定であった。

表 4.6.2-3 B①試験結果：完全弾塑性置換特性値（雇い実が引張側）

		M_{max} kN.m	$\theta-M_{max}$ rad.	M_y kN.m	θ_y rad.	M_u kN.m	$\theta-M_u$ rad.	$M(1/150)$ kN.m	K kN.m/rad.	μ
B①1 通し柱両側梁雇 い車知（梁せい 300）	1	8.04	0.026	4.34	0.008	7.24	0.013	7.24	561.9	2.5
	2	6.90	0.025	4.14	0.007	6.27	0.010	6.27	600.7	3.3
	3	7.06	0.027	3.84	0.008	6.37	0.013	6.37	505.3	2.7
	ave	7.33	0.026	4.11	0.007	6.62	0.012	6.62	556.0	2.8
	SD	0.62	0.001	0.25	0.000	0.54	0.001	0.54	48.0	0.4
	CV	0.08	0.03	0.06	0.06	0.08	0.11	0.08	0.09	0.14
B①2 通し柱両側梁雇 い車知（梁せい 240）	1	6.51	0.031	3.50	0.007	5.99	0.013	5.99	471.0	3.3
	2	4.91	0.036	2.99	0.014	4.47	0.021	4.47	212.0	2.4
	3	4.32	0.038	2.25	0.011	3.96	0.020	3.96	200.7	2.4
	ave	5.25	0.035	2.92	0.011	4.80	0.018	4.80	294.5	2.7
	SD	1.13	0.004	0.63	0.003	1.06	0.004	1.06	152.9	0.5
	CV	0.22	0.10	0.22	0.31	0.22	0.25	0.22	0.52	0.17
B①3 通し柱両側梁雇 い車知（梁せい 150）	1	2.48	0.040	1.47	0.012	2.25	0.018	2.25	121.9	2.6
	2	2.44	0.049	1.38	0.009	2.17	0.014	2.17	155.6	3.6
	3	2.72	0.050	1.62	0.018	2.46	0.027	2.46	90.9	2.1
	ave	2.55	0.046	1.49	0.013	2.29	0.020	2.29	122.8	2.8
	SD	0.15	0.006	0.12	0.005	0.15	0.007	0.15	32.4	0.8
	CV	0.06	0.13	0.08	0.35	0.07	0.34	0.07	0.26	0.29

表 4.6.2-4 B①試験結果：完全弾塑性置換特性値（雇い実が圧縮側）

		M_{max} kN.m	$\theta-M_{max}$ rad.	M_y kN.m	θ_y rad.	M_u kN.m	$\theta-M_u$ rad.	$M(1/150)$ kN.m	K kN.m/rad.	μ
B①1 通し柱両側梁 雇い車知（梁せ い 300）	1	2.19	0.036	1.40	0.019	2.49	0.034	0.76	73.2	1.1
	2	1.86	0.038							
	3	2.88	0.035	2.72	0.032	2.94	0.035	0.84	85.2	1.7
	ave	2.31	0.036	2.06	0.026	2.71	0.034	0.80	79.2	1.4
	SD	0.52	0.001	0.93	0.009	0.32	0.000	0.06	8.5	0.4
	CV	0.23	0.04	0.45	0.35	0.12	0.01	0.07	0.11	0.31
B①2	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—

通し柱両側梁 雇い車知（梁せ い240）	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ave	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	SD	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B①3 通し柱両側梁 雇い車知（梁せ い150）	1	2.27	0.052	1.38	0.024	2.11	0.037	0.47	57.6	1.8
	2	2.44	0.068	1.62	0.035	2.39	0.052	0.39	45.9	1.3
	3	2.43	0.069	1.93	0.042	2.26	0.049	0.25	46.1	1.4
	ave	2.38	0.063	1.64	0.034	2.25	0.046	0.37	49.9	1.5
	SD	0.10	0.010	0.28	0.009	0.14	0.008	0.11	6.7	0.3
	CV	0.04	0.15	0.17	0.27	0.06	0.18	0.30	0.13	0.17

表 4. 6. 2-5 B⑧⑨試験結果：完全弾塑性置換特性値（竿車知が引張側）

		Mmax kN.m	θ -Mmax rad.	My kN.m	θ_y rad.	Mu kN.m	θ -Mu rad.	M(1/150) kN.m	K kN.m/rad.	μ
B⑧ 梁梁下管柱竿車 知継ぎ目に長ほ ぞ差し	1	7.89	0.009	6.01	0.004	7.17	0.004	7.23	1629.1	6.8
	2	9.17	0.022	6.63	0.008	8.43	0.011	5.64	788.3	2.9
	3	8.58	0.022	7.66	0.013	8.13	0.014	4.81	585.1	2.8
	ave	8.54	0.018	6.76	0.008	7.91	0.010	5.89	1000.8	4.2
	SD	0.64	0.008	0.84	0.005	0.66	0.005	1.23	553.5	2.3
	CV	0.07	0.43	0.12	0.56	0.08	0.50	0.21	0.55	0.55
B⑨ 梁梁上管柱竿車 知男木に長ほぞ 差し	1	2.83	0.056	2.51	0.009	2.50	0.009	1.73	265.0	10.6
	2	1.52	0.004	0.87	0.001	1.27	0.002	1.68	672.1	2.2
	3	3.35	0.002	2.54	0.002	2.98	0.002	1.12	1402.0	1.9
	ave	2.57	0.021	1.97	0.004	2.25	0.004	1.51	779.7	4.9
	SD	0.94	0.031	0.96	0.005	0.88	0.004	0.34	576.1	4.9
	CV	0.37	1.47	0.48	1.09	0.39	0.96	0.23	0.74	1.01

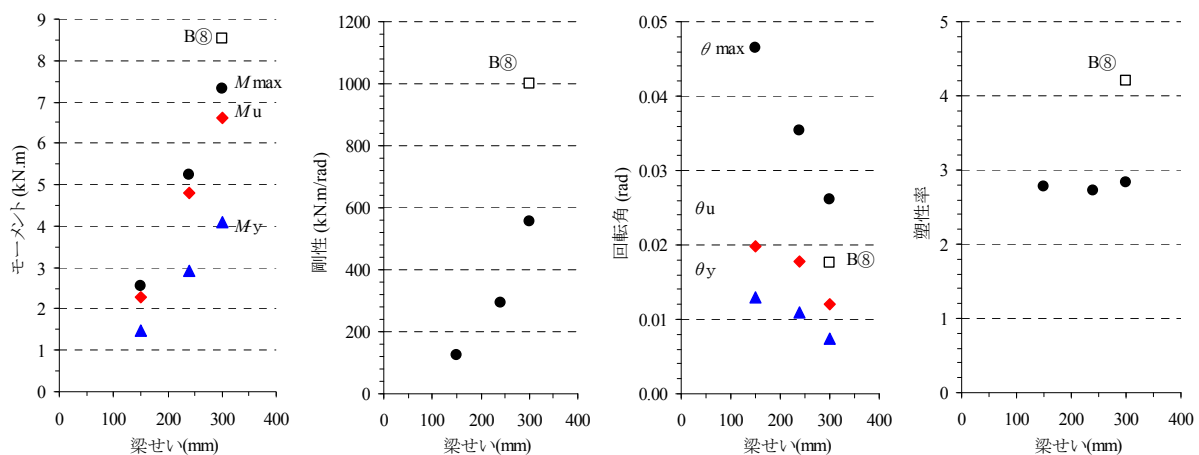


図 4. 6. 2-19 B①およびB⑧試験結果（実・竿が引張側）の特性値と梁せいの関係
左から、モーメント、回転剛性、特定変形角、塑性率

(4) 雇い実仕口の力学抵抗挙動の考察

これまで述べたように、A①の加力条件では梁の両側で異なった抵抗挙動を持ち、一方では雇い実の引張と梁下端のめり込みの、梁軸方向力を偶力とした抵抗挙動であり、他方は雇い実の肘木効果により、梁軸に対して直交する力を偶力とした抵抗挙動を持つことを説明した。A①試験結果では、両者が重なり合った結果が現れていると考えられる。一方で B①試験体では押し引きの加力方向が異なる場合に、上記の軸方向偶力抵抗と、肘木効果がそれぞれ別々に抵抗するメカニズムを持つ。これを検証するために図 4.6.2-21 に B①試験結果の正負の結果を累加した曲線を、A①試験結果と比較した。図から両者は耐力的には概ね一致し、上記の抵抗メカニズムの仮定が正しいことを裏付けるものであった。しかし B①試験結果の方が A①に対して剛性が高く、変形性能で劣った。これは A①試験体では引張側の材軸方向変形が、車知とめり込み変形の足し合わせであるために B①よりもかなり大きくなることと、A①試験体では雇い実が回転変形を受けるために、肘木効果の利きが悪くなるためであると考えられる。上記のメカニズムを考慮すれば、力学モデルによる耐力推定は比較的容易に行われるものと考えられる。

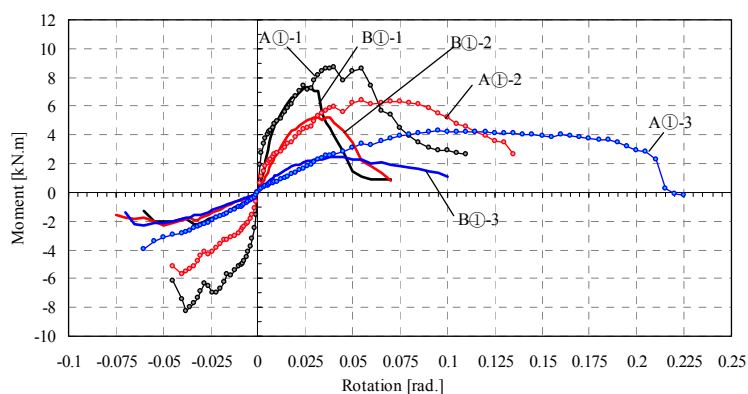


図 4.6.2-20 A①とB①の試験結果の比較

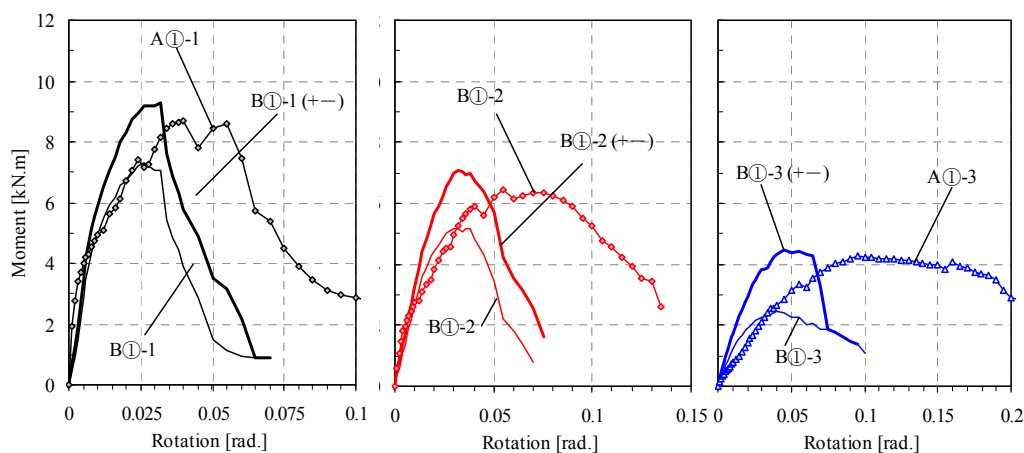


図 4.6.2-21 B①の正負の試験結果の累加とA①試験結果の比較

(5) まとめ

逆対称曲げ試験について、

- A①仕口は材せいが大きくなると剛性は 2・3 乗に比例して高まるが、モーメント特性値はほぼ 1 乗に比例して増加する。
- これは同仕口の最大モーメントが概ね梁端の大入れが柱から引き抜ける変形角で決定されることに起因する。
- 初期剛性・降伏モーメントの発現は、梁木口の柱へのめり込みで決定される。
- 車知の変形は弾性圧縮変形の後、圧縮座屈するように面外に湾曲し、最終的に曲げ折れるかローリングシアのせん断破壊を生ずる。
- 実や竿、梁木口の縦圧縮強度は車知の横圧縮強度よりはやや小さかったと考えられ、特にスギ材である梁木口、竿の接触面で圧縮破壊が進展する試験体も見られた。
- 車知は回転により破断が早まるため、耐力向上には梁の開き止めが非常に有効であると予想される。
- 今回の仕様の渡り顎仕口は、相欠き高さが小さいため、あまり大きな回転抵抗は有しない。

対称曲げ試験について

- 対称曲げ試験の抵抗メカニズムは、逆対称曲げ試験の左右の梁の抵抗メカニズムを分離したものである。
- 一方の回転には雇い実や竿の引き抜き抵抗と、梁木口の圧縮抵抗が偶力となってモーメントを発現し、他方の回転には雇い実や竿の肘木効果による、梁軸に直交する偶力によってモーメントを発現する。
- 両方向の抵抗を重ね合わせた耐力は、逆対称曲げ試験の耐力性能と概ね一致する。
- スギ竿車知の抵抗性能は、ヒノキ雇い実の抵抗性能と遜色なく強いが、竿車知基部にほぞ穴等の欠損がある（B⑨）と、容易にせん断破壊を生じる。
- B⑧B⑨試験体の竿が圧縮側の抵抗モーメントには期待できない。

4. 6. 3 仕口のT字面外曲げ試験

(1) 試験体の概要

本試験は実大試験体の加振と直交方向の桁に兜蟻掛けされた梁が、層間変形角で桁が転ぶのに伴ってはずれ落ちるようなことがないか確認するための実験である。試験体タイプは⑥の「通し桁片側梁兜蟻掛け」で、実験方法はD：T字面外曲げ試験である。試験体タイプの名称をD⑥とした。図 4.6.3-1 に試験体仕口の図を示す。桁、梁と桁にあいているほぞ穴を埋木するための上部管柱で構成される。いずれも材種は杉で、試験体数は3体である。試験体組立状況を写真 4.6.3-1 に示す。1 体目、2 体目、3 体目加力試験体をそれぞれ試験体Ⅰ、試験体Ⅱ、試験体Ⅲとした。

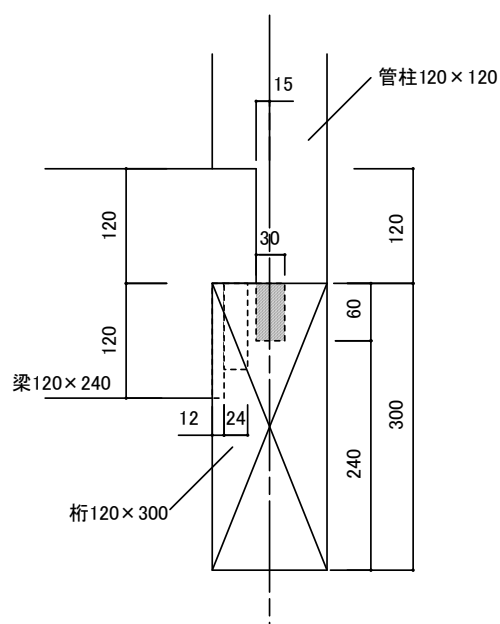
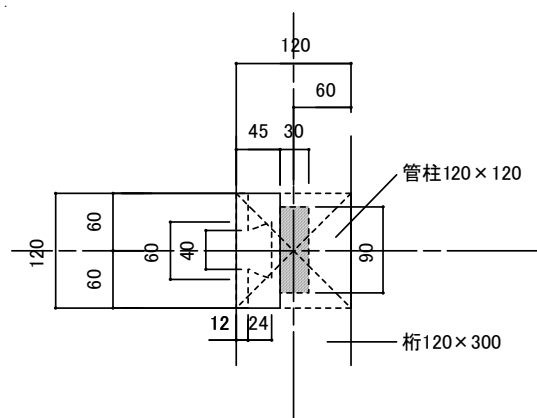


図 4. 6. 3-1 試験体仕口の寸法



写真 4. 6. 3-1 载荷前の梁の仕口部分



写真 4. 6. 3-2 仕口組立状況

(2) 実験の方法

試験体の加力方法の図と写真を図 4.6.3-2 と写真 4.6.3-3 に示す。仕口上部に載る 2 階管柱の軸力相当分として約 200kg の錘を吊るしている。桁に 2 階管柱用のほぞ穴があいているので、これに管柱を差しこみ、埋木をしている。しかし、120mm 角の断面のままでは上方向加力時にフレーム壁面が加力されてしまうので、管柱を加力に支障がないようにカットしている。オイルジャッキ先端に取り付けたロードセルより荷重 P を計測した。また変位計測は 1000mm ワイヤ変位計①より加力部の変位 d を計測した。他、②～⑤に CDP-25 を、⑥～⑨に SDP-100 の変位計を設置した。②、③より、梁と桁の相対回転角を、④、⑤より梁材の面外変位を、⑥～⑨よりフレームと桁の間の浮き上がり変位、回転角を求めた。②の変位計より計測した変位 d を加力点から桁中心までの距離 1350mm で除して、見かけの変形角を算出し、加力の制御を行った。加力のサイクルは 1/480、1/240、1/120、1/90、1/60、1/45、1/30、1/20、1/15、1/10、1/7rad. の 1 回ずつの正負交番として

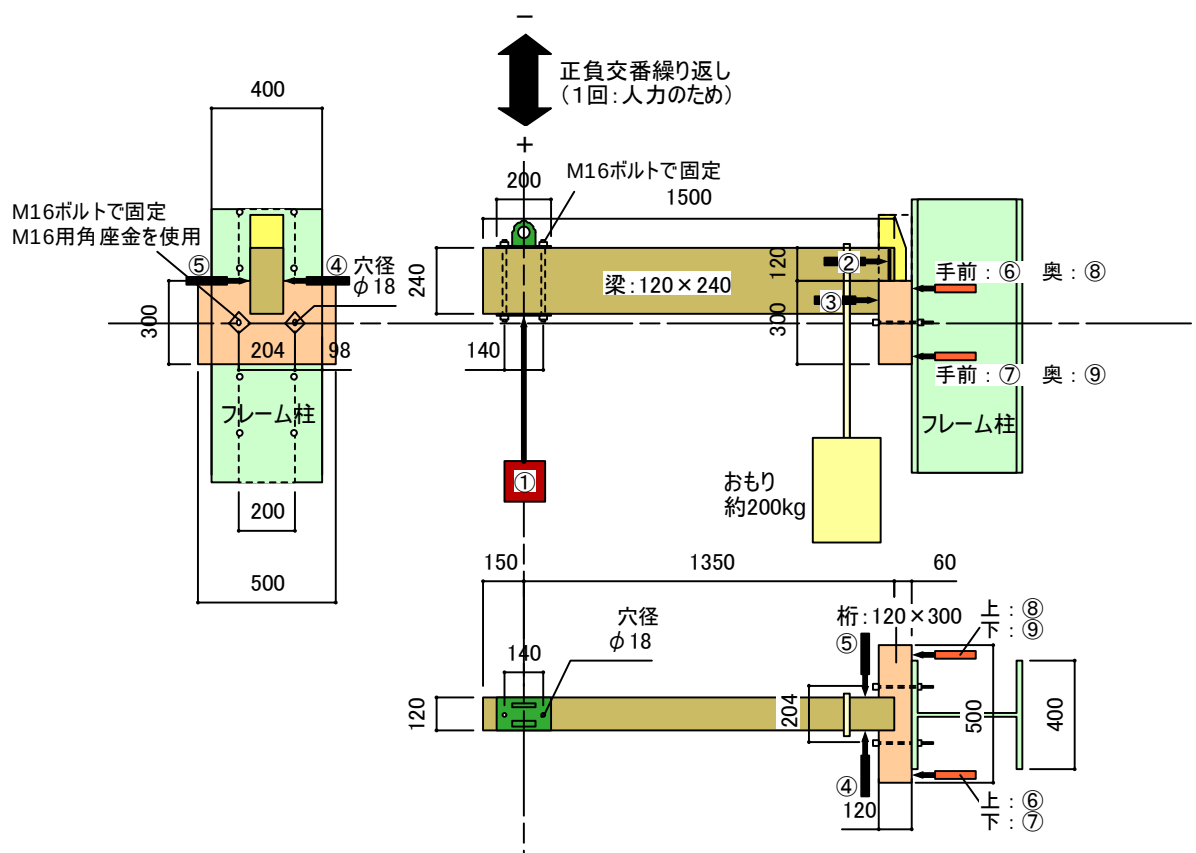


図 4.6.3-2 試験装置、変位計測箇所



写真 4.6.3-3 試験装置全景

(3) 実験の結果

1) 損傷過程と破壊モード

同じ形状の試験体を3体実験したが、損傷過程、破壊モードはすべて同じ結果とはならなかった。各試験体の加力前、加力中、加力後の写真 4.6.3-4～6 に示す。試験体Ⅰは桁の左側の蟻の側面が、引張力を受けて割れた。桁右側には損傷はなかった。試験体Ⅱは蟻部分に損傷はなく、桁に最初から入っていた仕口面側の真ん中の割れが原因で、正加力時にはその割れを閉じるような形で変形し、仕口面側でない面に割れが生じた。加力前と加力後の桁の写真を見ると、芯から左右方向に割れが拡大していることがわかる。試験体Ⅲは1体目と同じく、蟻の側面、上面に引張による割れが生じた。いずれの試験体も梁側には損傷は全くみられなかった。



写真 4. 6. 3-4 試験体Ⅰ（加力前の桁、加力中の桁の割れ、加力後の桁）

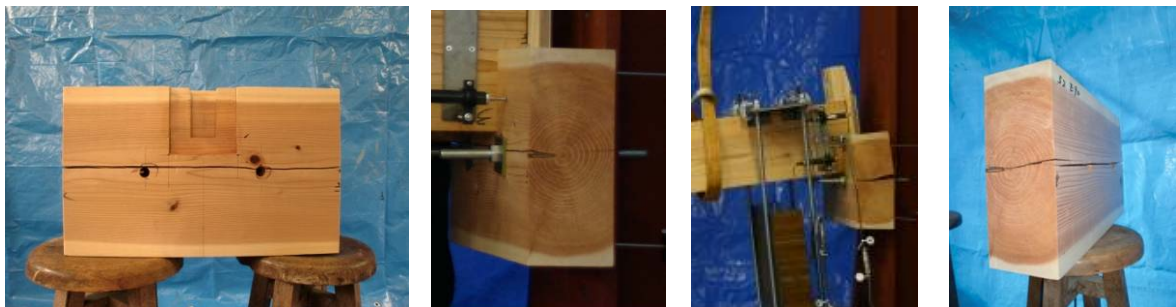


写真 4. 6. 3-5 試験体Ⅱ（加力前の桁の前面、加力前の桁の側面、加力中の桁の割れ、加力後の桁）



写真 4. 6. 3-6 試験体Ⅲ（加力前の桁の前面、加力中の桁右側の割れ、加力中の桁左側の割れ、加力後の桁）

2) M- θ 関係

図 4.6.3-3 に各試験体の M- θ 関係を示す。縦軸 M はロードセルにより得られた荷重に加力点から接合部までの距離 1350mm を乗じて求めている。横軸 θ は接合部回転角で表すべきだが、接合部回転角を求める変位計の取付位置付近（図 4.6.3-2 の変位計②、③）で損傷したり、桁が変形したりなどしたため、加力点真下に取り付けたワイヤー変位計で計測した値を 1350mm で除した見かけの変形角で表した。図 4.6.3-4 に見かけの変形角 θ と接合部回転角 θ' の関係を示す。各試験体の損傷状況が異なるため、これらのグラフも試験体ごとに異なる結果となった。

図 4.6.3-3 の M- θ 関係をみると、試験体 I は正加力時（ジャッキを下方方向に押し出す方向）に桁の蟻部分が引張力を受けて割れ、 $+1/20\text{rad.}$ を超えてすぐに耐力を低下させている。負加力時には耐力の低下が見られなかった。試験体 II は最初から桁に生じていた割れのため、早期に正加力時に耐力を低下させた。試験体 III は試験体 I と同様、正加力時に $+1/20\text{rad.}$ を超えてすぐに桁の蟻部分の引張によって割れが生じ、耐力を低下させた。本実験の接合部では約 $1/20\text{rad.}$ で桁の蟻部分が引張力を受けて割れ、耐力が低下するといえる。図 4.6.3-5 に各試験体の M- θ 関係の包絡線を示す。

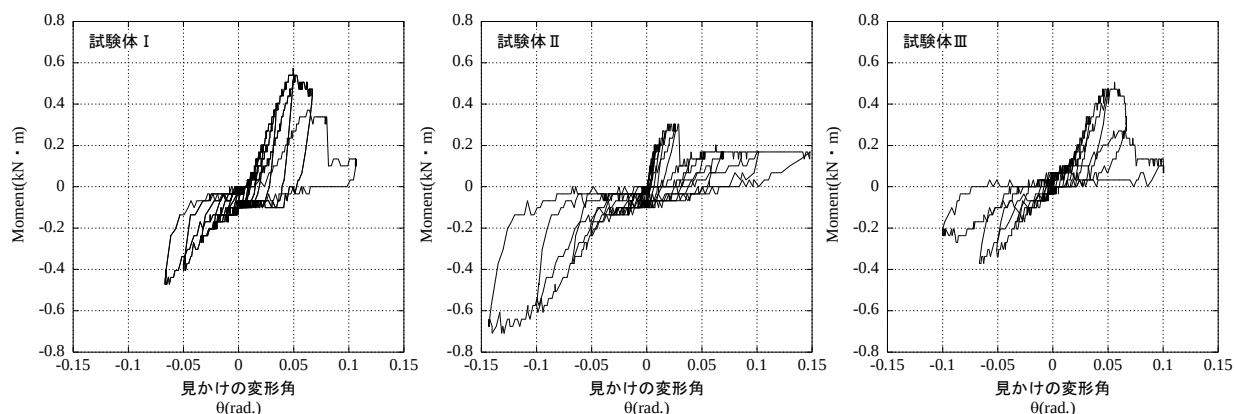


図 4.6.3-3 モーメント M-見かけの変形角 θ 関係（試験体 I，試験体 II，試験体 III）

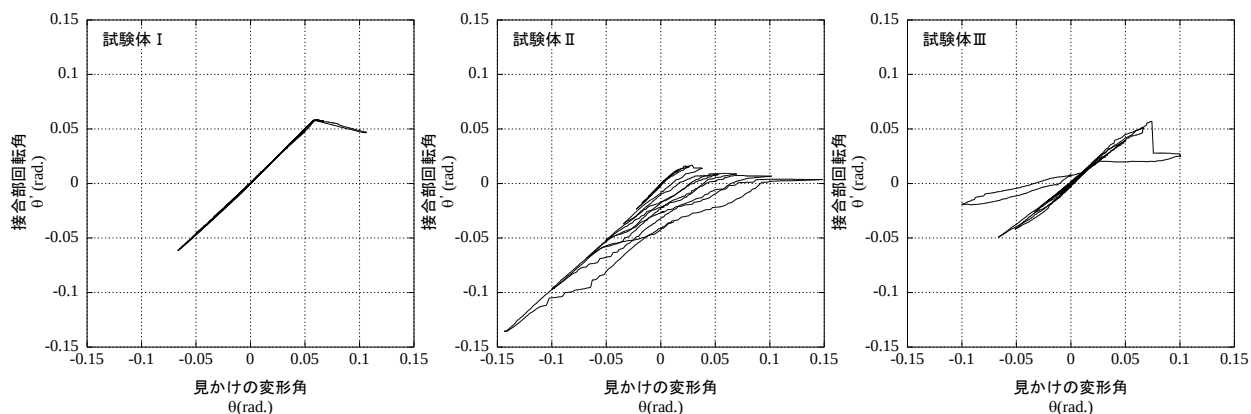


図 4.6.3-4 接合部回転角 θ' -見かけの変形角 θ 関係（試験体 I，試験体 II，試験体 III）

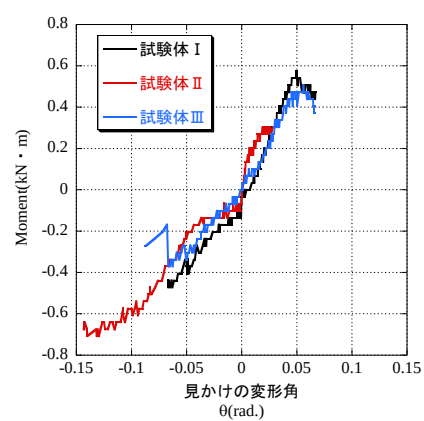


図 4. 6. 3-5 モーメント M-見かけの変形角 θ 関係 包絡線（試験体 I，試験体 II，試験体 III）

4. 6. 4 仕口のT字引張試験

(1) 試験体の概要

仕口のT字引張試験は、実大試験体 No. 4 に用いられた 4 種類の仕口について実施した。試験体の男木と女木の関係について図 4.6.4-1 に、各仕口の詳細寸法について図 4.6.4-2 に示す。試験体タイプを示すE②、E③、E⑤、E⑥について、記号は試験法（E：T字引張試験）を、番号は仕口や継手の仕様と、使用された部位、部材間の関係（納まり）を表す。継手仕口SWGでは、②は「通し柱片側梁上（下）小根ほぞ差し込栓」、③は「通し柱片側梁小根ほぞ差し割楔」、⑤は「通し梁小屋束寄蟻」、⑥は「通し桁片側梁兜蟻掛け」と命名したが、以後E②を「ほぞ込栓」、E③を「ほぞ割楔」、E⑤を「寄蟻」、E⑥を「兜蟻」と略して称する。

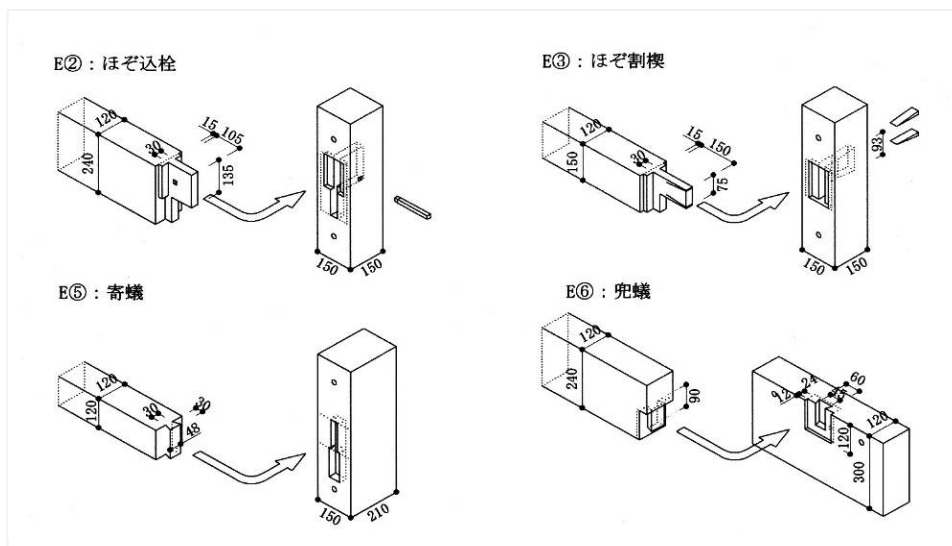


図 4. 6. 4-1 各タイプの男木と女木の関係

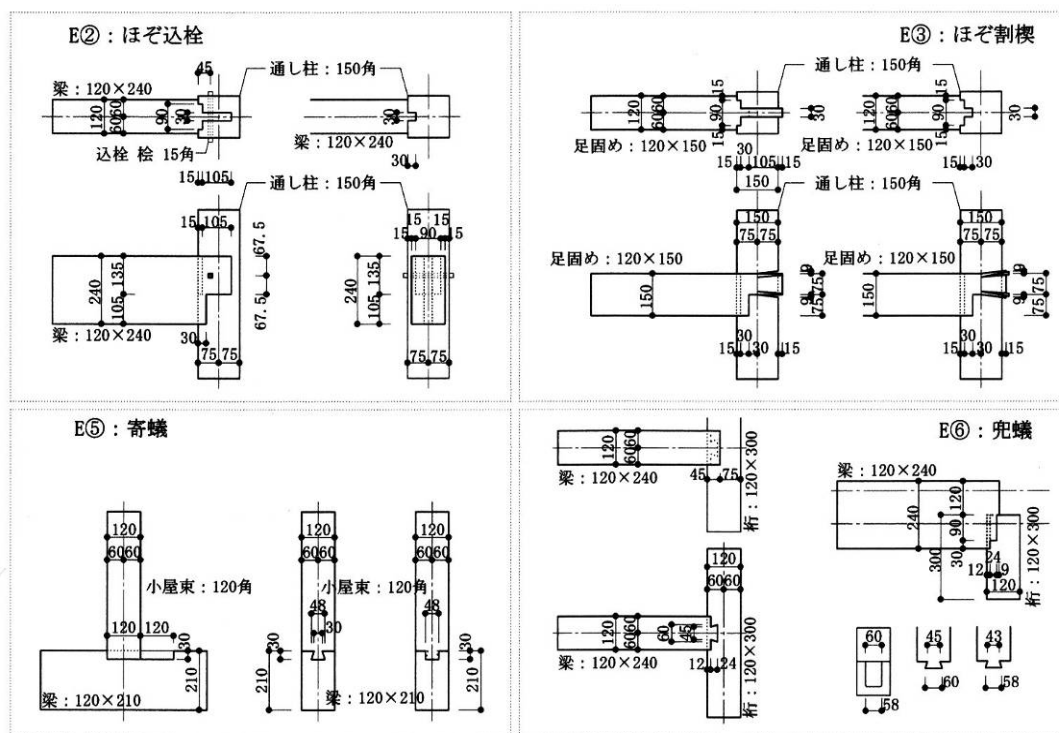


図 4. 6. 4-2 各試験体仕口の詳細寸法

男木と女木材には試験後の実大試験体から取り出したスギE70程度の天然乾燥材を、接合具について、込栓にはヒノキ15mm角、楔には白樫、厚13.5×幅30×長さ100mmを用いた。試験体はタイプ毎に各3体とした。

(2) 実験の方法

万能試験機（AG-IS／島津）により、2mm/min の速度で単調引張加力した。なお、試験概要等を図4.6.4-3に示すように、接合部に曲げが生じないよう加力芯位置と女木固定位置を適宜調整した。加力は相対変位30mmまで、または耐力を失うまでを目安に行ったが、E⑥(兜蟻)については女木の割裂が固定用アンカー位置に達する手前で加力終了とした。男木は厚さ10mmの鉄板で両側からはさみ込み、接合金物用ビス（TBA-65D／タナカ）を片側5本ずつ計10本打込んで固定した。女木はボルトM16、座金80×80×t9mmで鉄骨治具に固定した。

変位計はSDP-200をクロスヘッドとして加力点位置をはさんで対照になるよう配し、その平均値を男木と女木の相対変位とした。写真4.6.4-1に各タイプの試験状況を示す。

ただし兜蟻については1体目（E⑥-I）の試験結果（女木上端の割裂の影響）を踏まえ、2体目から変位計の設置位置と本数を変更した。

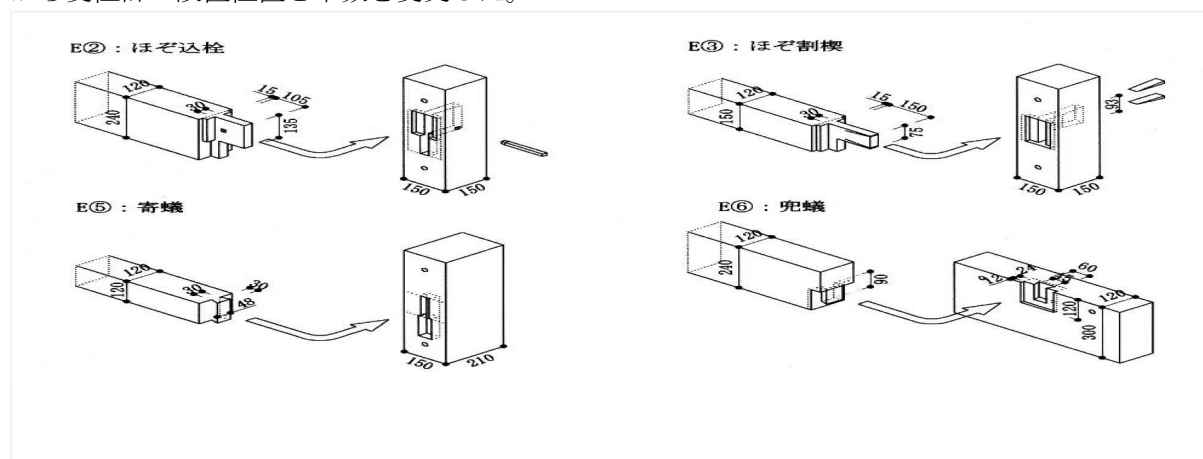


図4.6.4-3 各タイプの男木の固定位置と加力芯位置

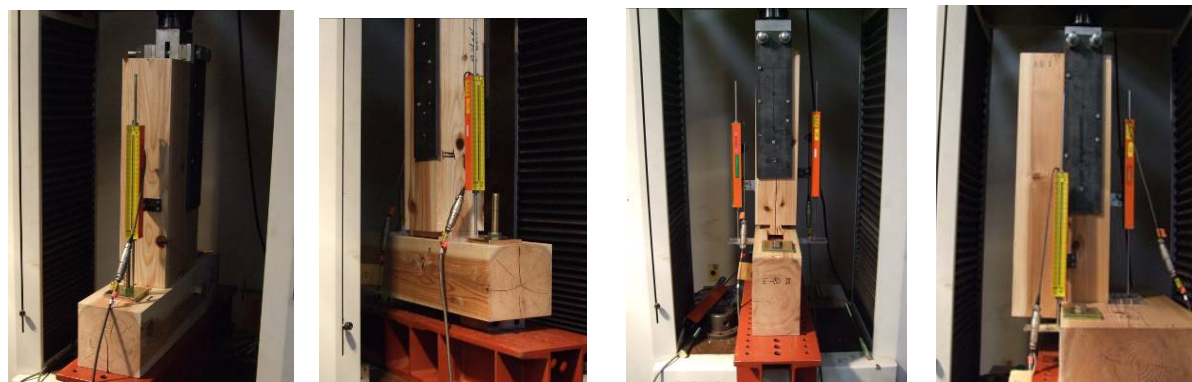


写真4.6.4-1 各タイプの試験状況（左から ほぞ込栓、ほぞ割楔、寄蟻、兜蟻）

(3) 実験の結果

(A) 試験体タイプ毎の特徴－損傷過程と破壊モード－

写真 4.6.4-2～4.6.4-5 にタイプ毎の損傷過程と破壊性状、解体後の状況などを示す。タイプ毎の各 3 体ともに同様の傾向が観察された。ほぞ込栓は、ほぞのせん断と込栓の曲げせん断性能に開きがあるため、3 体とも込栓の曲げせん断破壊により破壊したが、栓の曲げが起こった後も粘り強い挙動を示した。ほぞ割楔では変位 60mm 以上まで加力を行ったが、一気に耐力低下を引き起こすような脆性破壊は見られなかった。代表的な破壊性状は、男木両端部の女木木口面との摩擦による引張圧縮破壊であるが、3 体のうち 1 体では男木にあった節周りの目切れが原因で、男木が圧縮破壊した。寄蟻では女木の段階的な圧壊により、女木に対し相対的につぶれにくかった男木の引き抜けが順次進行し、また男木の引き抜けに伴う摩擦力により女木の割裂も併発した。ただ耐力は低いものの、 $0.8P_{\max}$ に至るまでには 20mm 程度の変位を要するように、粘り強い仕口であるといえる。

兜蟻では、女木木口面が男木にめり込み、その摩擦力により女木の仕口加工隅角部からの亀裂が進行したが、亀裂の進行にもかかわらず耐力は漸増した。ただし引張性能に関していえば、兜蟻は腰掛蟻・大入れ蟻仕口と区別する必要はないと思われる



写真 4.6.4-2 ほぞ込栓

(左より、打込み前の込栓、栓の破断、解体後の男木とちぎれた栓)



写真 4.6.4-3 ほぞ割楔

(左より、打込み前のクサビ、解体後の男木、男木端部の圧縮・引張破壊、節まわりの割れ)



写真 4.6.4-4 寄蟻

(左より、女木の圧壊と割裂、女木上端の割裂、解体後の女木、解体後の男木：つぶれてない)



写真 4.6.4-5 兜蟻

(左より、女木側面の割れ、女木上端の割れ、解体後の女木、解体後の男木)

(B) P- δ 関係

試験結果の P- δ 関係をタイプ毎に図 4.6.4-4 に示す。以下グラフをもとに仕様毎に考察を加える。

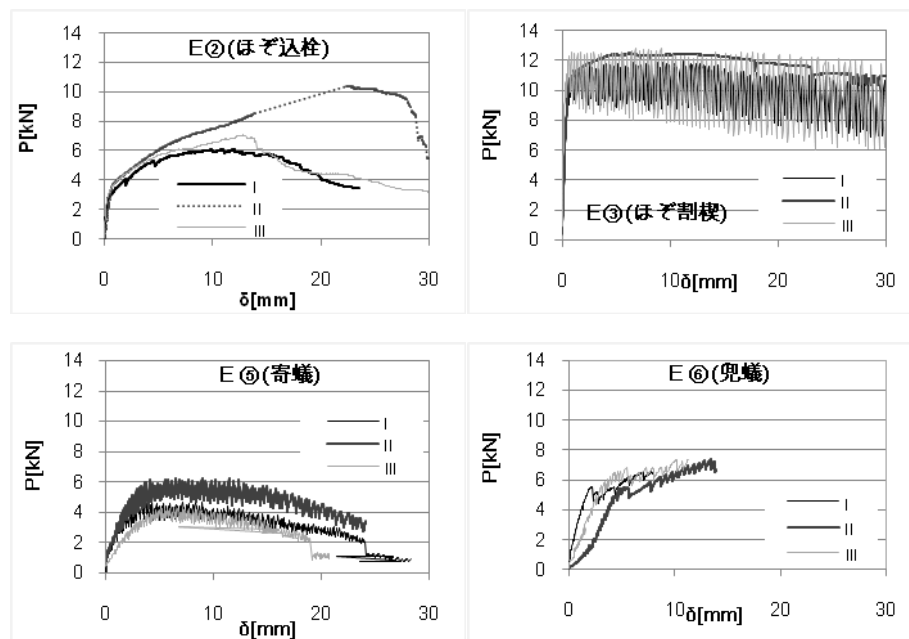


図 4.6.4-6 各試験仕様毎の P- δ 曲線

ほぞ込栓は 3 体とも荷重 3kN 付近から込栓の曲りが目視確認できるようになり、5kN 過ぎぐらいから込栓のめり込みに伴う音が観察された。3kN 付近に込栓の曲げ降伏時期が、5kN 付近に込栓のせん断破壊の開始時期があると推察される。変位が 15mm を越えとほぞの込栓穴が見えるようになるが、そこに至っても込栓が完全に破断することはなく、試験体 II を除き、ゆるやかに荷重低下しながら変位が増大した。試験体 II のみ変位が 20mm を越えるまで荷重が増大し続けたが、ほぞや込栓の材質には他の試験体との目立った違いは確認できなかった。

ほぞ割楔は 3 体ともほとんど男木が女木から抜け出すことなく、10kN 付近まで荷重が直線的に増大した。降伏は、男木側面テーパ一部のめり込みによって決まると思われるが、降伏後は少し抜け出しては音を立てて止まるということを繰り返して緩やかに荷重低下した。試験体 II の降伏後の挙動が他と異なるのは、ほぞ部にある節の影響でほぞ内部が圧縮破壊したと関係があると考えられる。なお加力前、クサビをほぞ部からの突出がないくらい打込んだ際、ほぞが割れ裂けるような音したが、荷重と変位の関係や、試験後解体時の観察結果から、負の影響はなかったものと思われる。

寄蟻は蟻の首長さが 30mm しかないため、荷重 1kN 程度で男木がめり込み降伏したものと思われる。

兜蟻は荷重 1 k N ぐらいから音が観察され、3kN すぎから女木の割裂が目立ってきた。試験体 II と III については変位計を 3 か所に設置したが、それらの平均値が試験体の挙動をうまく反映できなかったため、1 か所の変位計の値を用いてグラフ化を行っている。

ほぞ込栓を除き今回の仕様には、仕口を構成する男木が台形状の断面を持ち、男木のテーパ部分 (=接触面) におけるめり込みと接触面直交方向の摩擦力によって、引抜きに抵抗するという共通した機構がある。図 4.6.4-6 における降伏後のグラフからも荷重が上下に振れるギザギザとした独特の挙動が読み取れるが、動摩擦力と静摩擦力の範囲を動いているものと推察される。その荷重振幅の大きさは、寄蟻と兜蟻に比べ割楔が極端に大きい。男木の断面形状には共通点があるが、割楔と兜蟻の女木接触面は繊維方向加圧、一方寄蟻の女木接触面は繊維直交方向加圧であり、また接触面積

は割楔と兜蟻が 4500mm^2 程度、寄蟻は 7500mm^2 程度という違いがある。図 4.6.4-6・表 4.6.4-1 と併せると、接触面積の大小がそのまま仕口の引張性能の大小には直結しないことが明らかであり、接触面における繊維の方向別摩擦係数の違いや女木のめり込みも考慮すべきであると思われる（図 4.6.4-7 参照）。

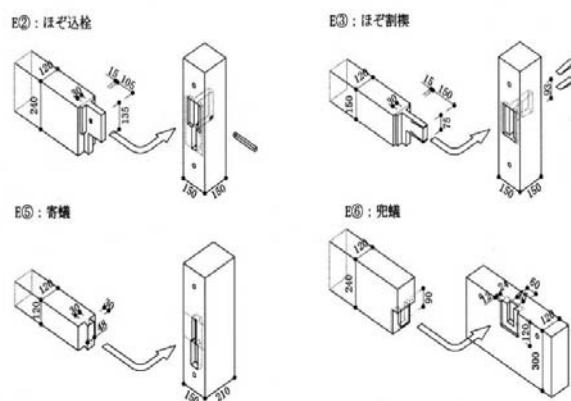


図 4.6.4-7 台形断面男木の詳細寸法

(C) 特性値

P- δ 曲線を完全弾塑性置換して得られた各種特性値をタイプ別に表 4.6.4-1 に示す。

表 4.6.4-1、図 4.6.4-6 をもとに特性値等の比較を行う。全体に、 P_y に比べ δ_y のバラツキが大き

い傾向があるが、それは初期ガタの影響と思われる。 $\frac{P_u}{P_y}$ を平均値で比較すると、ほぞ込栓が 1.67、

他は 1.2～1.35 程度。 P_y と $2/3 P_{\max}$ の関係は、ほぞ割楔と寄蟻は同程度、ほぞ込栓は $2/3 P_{\max}$ の方

が、兜蟻は P_y の方が高い。塑性率 μ は割裂の影響で早期に加力を終了した兜蟻を除きすべて 7 以上であり、中でもほぞ割楔の靱性には特筆すべきものがある。また、初期剛性 K は群を抜いて高いほぞ割楔を除き 1～4 程度と低い、ほぞ込栓の場合には、込栓の樹種・引き勝手の有無等で剛性を高くできる可能性がある。

表 4. 6. 4-1 完全弾塑性モデルに基づく特性値一覧

試験仕様	番号等	P_y	δ_y	$P_{\max}$	$\frac{2}{3}P_{\max}$	P_u	δ_u	K	μ
		[kN]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[kN/mm]	
E② ほぞ込栓	- I	3.20	0.82	6.11	4.07	5.49	18.06	3.91	12.87
	- II	5.14	3.19	10.36	6.91	8.89	28.78	1.61	5.21
	- III	3.94	1.18	7.06	4.71	6.13	15.52	3.32	8.42
	Ave.	4.09	1.73	7.84	5.23	6.83	20.78	2.95	8.83
	S.D.	0.98	1.28	2.23	1.49	1.81	7.04	1.20	3.85
	CV	0.24	0.74	0.29	0.29	0.26	0.34	0.41	0.44
E③ ほぞ割楔	- I	7.59	0.32	11.98	7.99	10.21	58.43	23.29	133.8
	- II	9.34	0.45	12.47	8.32	11.78	32.08	20.87	56.84
	- III	8.07	0.17	12.84	8.56	10.46	53.82	47.38	243.8
	Ave.	8.33	0.31	12.43	8.29	10.82	48.11	30.55	144.8
	S.D.	0.91	0.14	0.43	0.29	0.84	14.07	14.63	93.97
	CV	0.11	0.44	0.04	0.04	0.08	0.29	0.48	0.65
E⑤ 寄蟻	- I	2.82	1.11	4.72	3.15	4.03	14.97	2.55	9.45
	- II	4.17	1.68	6.24	4.16	5.59	17.93	2.48	7.95
	- III	2.86	2.37	4.32	2.88	3.77	14.44	1.21	4.62
	Ave.	3.29	1.72	5.09	3.40	4.47	15.78	2.08	7.34
	S.D.	0.77	0.63	1.01	0.67	0.98	1.88	0.76	2.47
	CV	0.23	0.37	0.20	0.20	0.22	0.12	0.36	0.34
E⑥ 兜蟻	- I	4.96	1.69	6.57	4.38	5.84	8.03	2.94	4.03
	- II	5.79	7.61	7.36	4.91	7.34	13.89	0.76	1.44
	- III	5.68	3.32	7.36	4.91	6.59	11.28	1.71	2.93
	Ave.	5.48	4.20	7.10	4.73	6.59	11.07	1.80	2.80
	S.D.	0.45	3.06	0.46	0.31	0.75	2.94	1.09	1.30
	CV	0.08	0.73	0.06	0.06	0.11	0.27	0.61	0.46

(4) まとめ

- ・実大試験体 No.4 に用いられた伝統的な仕口：ほぞ込栓、ほぞ割楔、寄蟻、兜蟻、について各々の引張性能や特徴を確認した。
- ・総じて剛性・耐力は低いが粘り強い仕口と判断できる。
- ・ほぞ割楔仕口は剛性・耐力・靱性に優れる。
- ・(兜)蟻仕口は女木の割裂を誘発するため靱性に欠ける。

4. 6. 5 仕口および継手の引張試験

(1) 試験体の概要

試験体は、図 4.6.5-1 および図 4.6.5-2 に示すような、伝統木造実大試験体に用いられた形状・寸法が異なる仕口および継手である。試験体の種類は 9 種類で各 3 体の合計 27 体である。試験体の種類および構成部材の寸法を表 4.6.5-1 に示す。

表 4.6.5-1 試験体の種類および構成部材の寸法

試験体	仕口および継手の種類	構成部材の寸法 (mm)		
G-①-1	通し柱両側梁雇い車知	・通し柱: 杉 (150×150)	・梁: 杉 (120×300)	・雇いほぞ: 桧 (30×150)
G-①-2		・車知栓: 白樫 (7×30)	・直交梁: 杉 (120×300)	・込栓: 桧 (15×15)
G-①-3		・通し柱: 杉 (150×150)	・梁: 杉 (120×240)	・雇いほぞ: 桧 (30×120)
G-⑧	梁梁下管柱竿車知継目に長ほぞ差し	・通し柱: 杉 (150×150)	・足固め: 杉 (120×150)	・雇いほぞ: 桧 (30×75)
G-⑨	梁梁上管柱竿車知男木に長ほぞ差し	・車知栓: 白樫 (7×30)	・直交梁: 杉 (120×150)	
G-⑩-1	梁梁追掛け大栓継ぎ	・梁: 杉 (150×300)	・直交梁: 杉 (120×300)	・車知栓: 白樫 (7×30)
G-⑩-2	梁梁追掛け継ぎ	・梁: 杉 (120×300)	・直交梁: 杉 (150×300)	・車知栓: 白樫 (7×30)
G-⑪-1	梁梁追掛け継ぎ	・管柱: 杉 (120×120)		
G-⑪-1	梁梁台持ち継ぎ			
G-⑪-2	梁梁台持ち継ぎ (ほぞ貫通)	・梁: 杉 (120×210)	・込栓: 桧 (15×15)	
G-⑪-2		・母屋: 杉 (120×120)		
G-⑪-2		・梁: 杉 (150×240)		
G-⑪-2		・ほぞ: 杉 (30×90)		

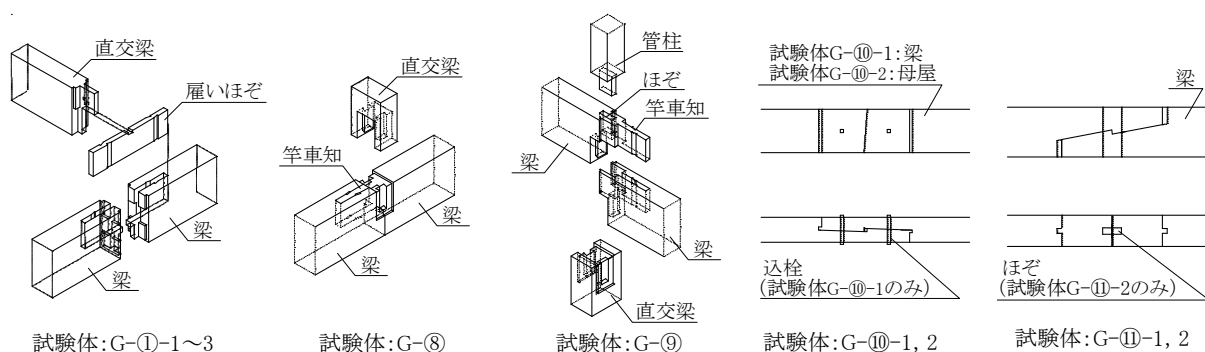


図 4.6.5-1 仕口および継手部の詳細

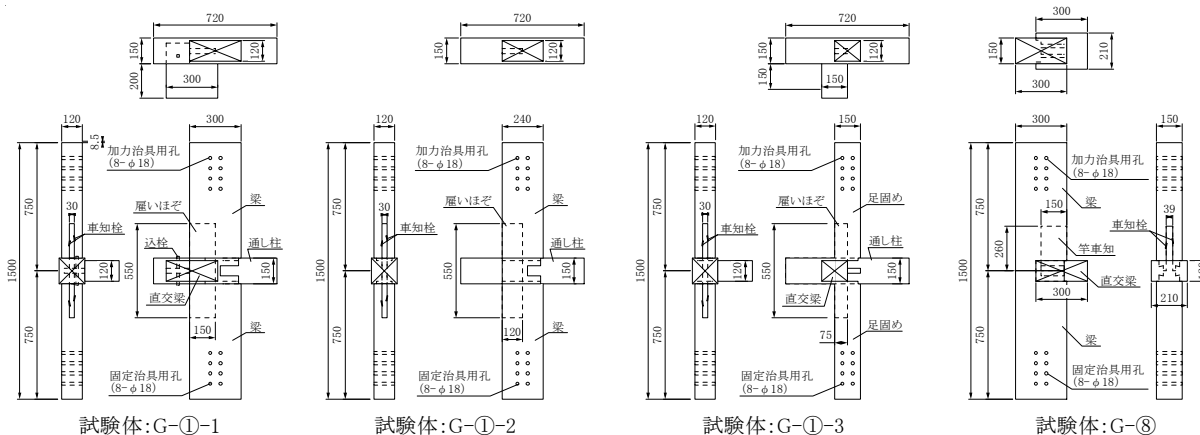


図 4.6.5-2.1 試験体の形状・寸法 (寸法単位: mm)

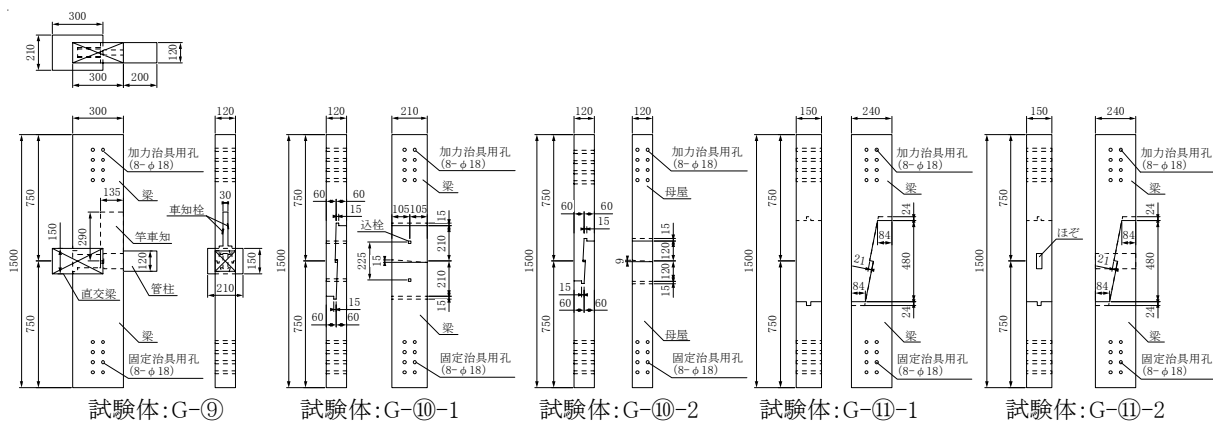


図 4.6.5-2 試験体の形状・寸法 (寸法単位: mm)

(2) 試験方法

試験は、図 4.6.5-3 および写真 4.6.5-1 に示すように、試験体の両端を固定治具および加力治具にボルト (8×M16) で固定し、試験体に単調荷重による引張力を加える方法により行った。また、図 4.6.5-3 に示す位置に設置した振れ止めローラーで 2 方向の水平移動を拘束した。

加力には、最大容量 300kN のオイルジャッキを用い、荷重値の検出には最大容量 100kN のロードセルを用いた。なお、加力は最大荷重に達した後、荷重が最大荷重の 80% 以下に低下するか、または変形量 δ が 30mm 以上に達するまで行うこととした。

試験体各部の変位量は、図 4.6.5-3 に示す位置に設置した変位計 Di を用いて測定した。なお、変形量は下式により算出した。

・変形量: $\delta = (D1 + D2) / 2 - (D3 + D4) / 2$

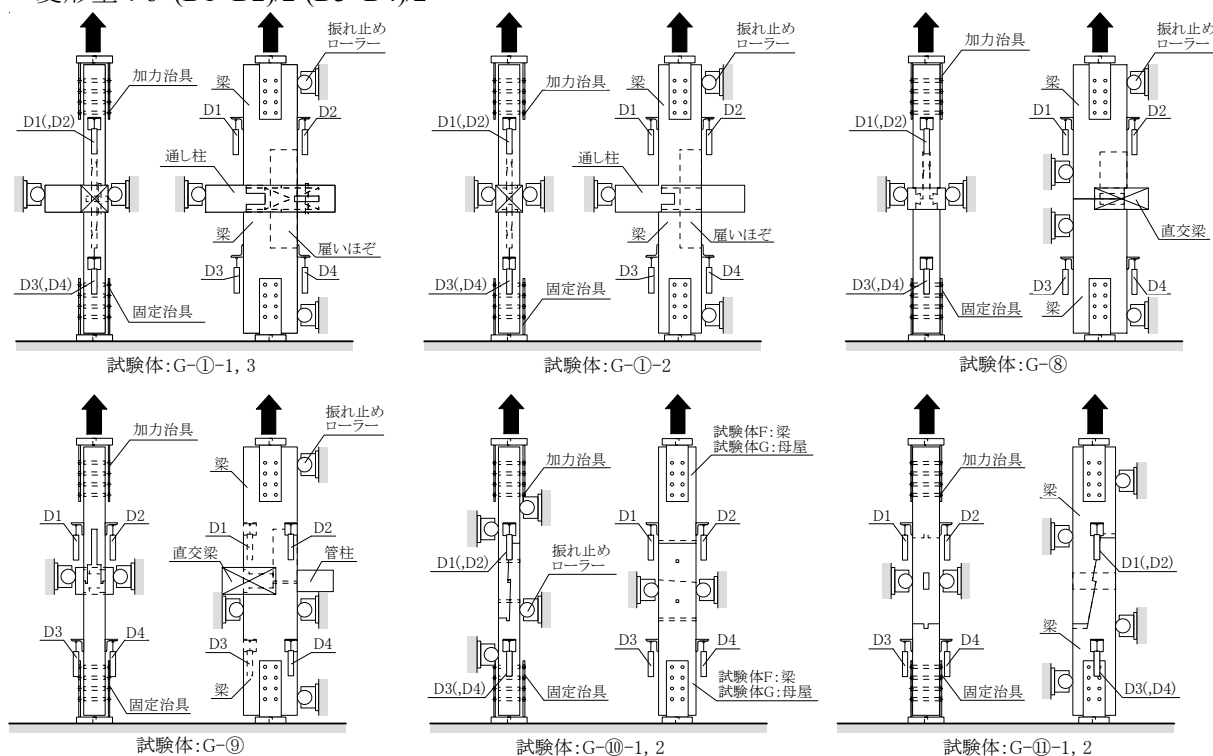


図 4.6.5-3 試験装置



試験体：G-①-1, 3



試験体：G-①-2



試験体：G-⑧



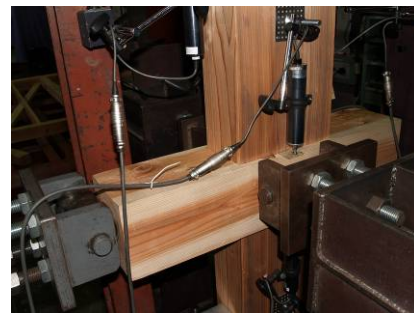
試験体：G-⑨



試験体：G-⑩-1, 2



試験体：G-⑪-1, 2



振れ止め設置状況

写真 4. 6. 5-1 試験装置

(3) 試験結果

1) 破壊状況

試験体毎に破壊状況を以下に示す。

(A) 試験体：G-①-1～3

破壊状況を写真 4.6.5-2 に示す。いずれの試験体とも、車知栓の回転が発生し梁側継手部が広がった。その後、最大荷重に達した後梁側継手部に割裂けが発生し荷重が低下した。なお、試験体 G-①-1 の各試験体で通し柱に割裂きが生じ、試験体 G-①-1 の No.3, 試験体 G-①-2 の No.2, No.3 および G-①-3 の No.2, No.3 では、車知栓の破損がそれぞれ確認された。



写真 4. 6. 5-2 試験体：G-①-1～3

(写真左より、車知の回転および梁側継手部の広がり（終了時）、通し柱の割裂き（終了時）、梁側継手部の割裂き（終了後）および車知栓の破損（終了時）)

(B) 試験体：G-⑧

破壊状況を写真 4.6.5-3 に示す。いずれの試験体とも、車知栓の回転が発生し梁側継手部が広がった。その後、試験体 No.1 では最大荷重に達した後梁側継手部に割裂けが発生し荷重が低下した。試験体 No.2 および No.3 では、最大荷重に達した後竿車知のせん断破壊が発生し、荷重が低下した。なお、車知栓は試験体 No.1 でねじれ破壊、試験体 No.2 および No.3 ではせん断破壊がそれぞれ確認された。



写真 4.6.5-3 試験体：G-⑧

(写真左より、梁側継手部の割裂き（終了後）、竿車知のせん断破壊（終了後）、
車知栓のねじれ破壊（終了後）および車知栓のせん断破壊（終了時）)

(C) 試験体：G-⑨

破壊状況を写真 4.6.5-4 に示す。いずれの試験体とも、若干の車知栓の回転が発生し、直交梁に割裂きが発生した。その後、竿車知と管柱ほぞ孔の間にせん断破壊が発生し、荷重が急激に低下した。



写真 4.6.5-4 試験体：G-⑨

(写真左より、竿車知と管柱ほぞ孔の間のせん断破壊（終了時）、継手部の状況（終了後）、
竿車知と管柱ほぞ孔の間のせん断破壊（終了後）および直交梁の割裂き（終了後）)

(D) 試験体：G-⑩-1, 2

破壊状況を写真 4.6.5-5 に示す。いずれの試験体とも、継手部が若干広がり、その後継手部にせん断破壊が発生し、荷重が急激に低下した。なお、試験体 G-⑩-1 では、込栓のせん断破壊が確認された。



写真 4.6.5-5 試験体：G-⑩-1, 2

(写真左より、試験体 G-⑩-1：継手部のせん断破壊（終了後）、試験体 G-⑩-2：継手部の
せん断破壊（終了後）および込栓のせん断破壊（終了後）)

(E) 試験体 : G-Ⅺ-1, 2

破壊状況を写真 4.6.5-6 に示す。試験体 G-Ⅺ-1 では継手部の隙間が広がりはじめ、その後継手部のせん断破壊が発生して荷重が急激に低下した。試験体 G-Ⅺ-2 では同様に継手部のせん断破壊が発生して荷重が低下したが、ほぞの効果により荷重低下は小さく、大きな変形能力が見られた。



写真 4.6.5-6 試験体 : G-Ⅺ-1, 2

(写真左より、試験体 G-Ⅺ-1 : 継手部のせん断破壊 (終了後)、試験体 G-Ⅺ-2 : 継手部のせん断破壊 (終了後)、継手部のせん断破壊 (終了後) およびほぞのせん断変形 (終了後))

2) P- δ 関係

図 4.6.5-4 に試験体毎の P- δ 関係を示す。

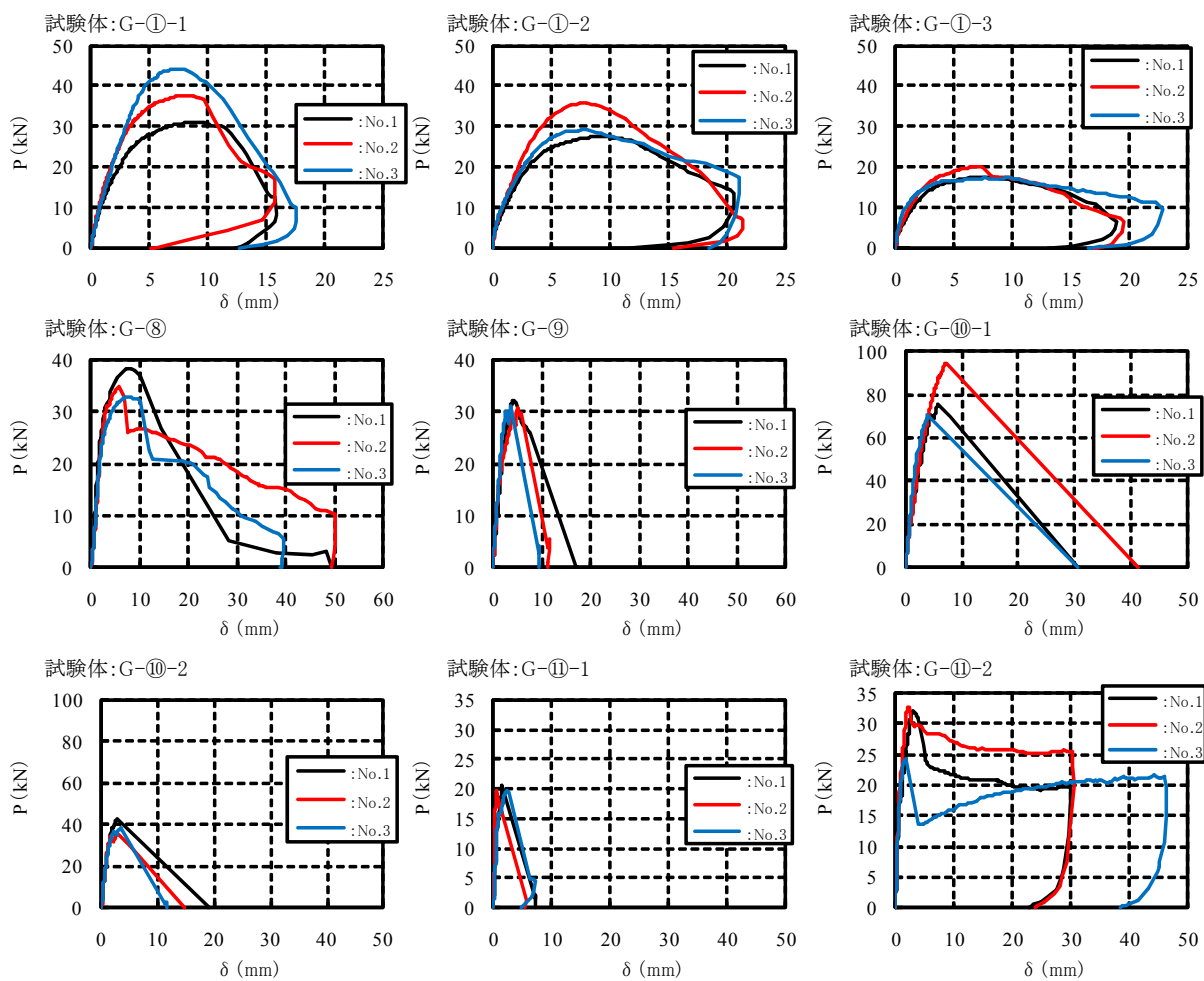


図 4.6.5-4 P- δ 関係

3) 特性値

各試験体の $P-\delta$ 関係を完全弾塑性置換して得られた各特性値を示す。

(A) 試験体 : G-①-1~3

表 4.6.5-2 に特性値を示す。各特性値の平均値で比較すると、各試験体とも最大荷重時の変形量 δ_{max} , 降伏変位 δ_y , 初期剛性 K は概ね同程度の値であった。また、降伏荷重 P_y , 最大荷重 P_{max} および終局耐力 P_u は、試験体 G-①-1→G-①-2→G-①-3 の順に小さな値となった。

表 4.6.5-2 試験体 : G-①-1~3 の特性値

試験体	番号等	P_y (kN)	δ_y (mm)	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)	$2/3P_{max}$ (kN)	P_u (kN)	δ_u (mm)	K (kN/mm)	μ
G-①-1	No.1	17.8	1.96	31.2	8.43	20.8	29.1	12.8	9.04	6.54
	No.2	20.7	1.74	37.7	8.03	25.1	35.0	10.8	11.9	6.23
	No.3	23.5	2.14	44.3	7.76	29.5	41.2	11.6	11.0	5.44
	Ave.	20.7	1.95	37.7	8.07	25.1	35.1	11.8	10.6	6.07
	S.D.	2.89	0.20	6.57	0.33	4.38	6.06	1.01	1.46	0.57
	CV	0.14	0.10	0.17	0.04	0.17	0.17	0.09	0.14	0.09
G-①-2	No.1	15.5	1.98	27.4	8.53	18.2	25.7	14.7	7.84	7.46
	No.2	20.1	2.15	35.7	7.62	23.8	33.3	12.7	9.36	5.88
	No.3	14.7	1.50	29.1	7.57	19.4	26.7	14.5	9.81	9.65
	Ave.	16.8	1.88	30.7	7.91	20.5	28.6	14.0	9.00	7.66
	S.D.	2.93	0.34	4.40	0.54	2.93	4.15	1.13	1.03	1.89
	CV	0.17	0.18	0.14	0.07	0.14	0.15	0.08	0.11	0.25
G-①-3	No.1	9.94	1.43	17.6	7.06	11.7	16.1	14.3	6.94	9.97
	No.2	11.6	1.52	20.1	7.16	13.4	18.0	11.9	7.65	7.84
	No.3	9.64	0.79	17.3	9.84	11.5	15.9	16.5	12.2	20.9
	Ave.	10.4	1.25	18.3	8.02	12.2	16.7	14.2	8.92	12.9
	S.D.	1.07	0.40	1.56	1.58	1.04	1.16	2.30	2.84	6.98
	CV	0.10	0.32	0.09	0.20	0.09	0.07	0.16	0.32	0.54

(B) 試験体 : G-⑧および G-⑨

表 4.6.5-3 に特性値を示す。各特性値の平均値で比較すると、初期剛性 K 以外の各特性値で試験体 G-⑨より G-⑧が大きな値となった。初期剛性 K では両試験体とも概ね同程度の値となった。なお、試験体 G-⑨では、最大荷重に達した後脆性的な破壊が発生した。

表 4.6.5-3 試験体 : G-⑧および G-⑨の特性値

試験体	番号等	P_y (kN)	δ_y (mm)	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)	$2/3P_{max}$ (kN)	P_u (kN)	δ_u (mm)	K (kN/mm)	μ
G-⑧	No.1	24.1	1.84	38.4	7.59	25.6	35.6	12.6	13.1	6.86
	No.2	25.1	2.25	34.9	5.53	23.3	32.3	7.19	11.2	3.19
	No.3	21.1	1.84	32.9	7.87	21.9	30.8	11.3	11.5	6.17
	Ave.	23.4	1.98	35.4	6.99	23.6	32.9	10.4	11.9	5.41
	S.D.	2.08	0.24	2.80	1.28	1.86	2.45	2.84	1.03	1.95
	CV	0.09	0.12	0.08	0.18	0.08	0.07	0.27	0.09	0.36
G-⑨	No.1	18.6	1.58	32.2	4.07	21.5	28.8	7.72	11.8	4.90
	No.2	16.5	1.21	30.7	4.85	20.5	26.9	6.74	13.7	5.56
	No.3	24.1	1.72	31.1	3.45	20.7	29.4	4.83	14.0	2.81
	Ave.	19.8	1.50	31.3	4.12	20.9	28.4	6.43	13.2	4.43
	S.D.	3.89	0.26	0.78	0.70	0.52	1.28	1.47	1.18	1.43
	CV	0.20	0.17	0.03	0.17	0.03	0.05	0.23	0.09	0.32

(C) 試験体：G-⑩-1 および G-⑩-2

表 4.6.5-4 に特性値を示す。各特性値の平均値と比較すると、初期剛性 K および塑性率 μ 以外の各特性値で試験体 G-⑩-2 より G-⑩-1 が大きな値となった。初期剛性 K および塑性率 μ では試験体 G-⑩-1 より G-⑩-2 が大きな値となった。なお、両試験体とも、最大荷重に達した後脆性的な破壊が発生した。

表 4.6.5-4 試験体：G-⑩-1 および G-⑩-2 の特性値

試験体	番号等	P_y (kN)	δ_y (mm)	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)	$2/3P_{max}$ (kN)	P_u (kN)	δ_u (mm)	K (kN/mm)	μ
G-⑩-1	No.1	50.8	2.89	75.9	5.78	50.6	70.1	11.0	17.6	3.79
	No.2	54.0	2.78	94.7	6.97	63.1	61.1	13.9	19.4	4.99
	No.3	43.8	1.64	70.4	3.88	46.9	63.1	9.38	26.7	5.72
	Ave.	49.5	2.44	80.3	5.54	53.6	64.8	11.4	21.2	4.84
	S.D.	5.20	0.69	12.7	1.56	8.48	4.72	2.27	4.85	0.97
	CV	0.11	0.28	0.16	0.28	0.16	0.07	0.20	0.23	0.20
G-⑩-2	No.1	23.5	0.84	42.5	2.74	28.4	38.6	5.95	28.2	7.13
	No.2	20.4	0.68	35.8	2.70	23.8	32.6	5.26	30.2	7.77
	No.3	20.5	0.69	38.2	3.44	25.4	34.9	5.07	29.7	7.37
	Ave.	21.5	0.73	38.8	2.96	25.9	35.4	5.43	29.4	7.42
	S.D.	1.78	0.09	3.43	0.42	2.29	3.01	0.46	1.06	0.33
	CV	0.08	0.12	0.09	0.14	0.09	0.09	0.09	0.04	0.04

(D) 試験体：G-⑪-1 および G-⑪-2

表 4.6.5-5 に特性値を示す。各特性値の平均値と比較すると、初期剛性 K および降伏変位 δ_y 以外の各特性値で試験体 G-⑪-1 より G-⑪-2 が大きな値となった。初期剛性 K では試験体 G-⑪-2 より G-⑪-1 が大きな値となり、降伏変位 δ_y は両試験体とも同程度の値となった。なお、G-⑪-1 では最大荷重に達した後脆性的な破壊が発生した。

表 4.6.5-5 試験体：G-⑪-1 および G-⑪-2 の特性値

試験体	番号等	P_y (kN)	δ_y (mm)	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)	$2/3P_{max}$ (kN)	P_u (kN)	δ_u (mm)	K (kN/mm)	μ
G-⑪-1	No.1	14.3	0.83	20.7	1.49	13.8	19.4	2.70	17.2	3.25
	No.2	10.2	0.14	19.8	0.51	13.2	17.6	1.29	72.9	9.19
	No.3	14.0	0.70	19.7	2.34	13.1	17.9	3.63	20.0	5.18
	Ave.	12.8	0.56	20.1	1.45	13.4	18.3	2.54	36.7	5.87
	S.D.	2.29	0.37	0.60	0.92	0.40	0.94	1.18	31.3	3.03
	CV	0.18	0.66	0.03	0.63	0.03	0.05	0.47	0.85	0.52
G-⑪-2	No.1	17.2	0.67	32.1	2.97	21.4	28.4	4.76	25.7	7.12
	No.2	17.9	0.60	32.8	2.06	21.8	28.3	12.5	29.9	20.9
	No.3	13.2	0.44	24.2	1.60	16.2	22.0	2.60	29.8	5.88
	Ave.	16.1	0.57	29.7	2.21	19.8	26.2	6.63	28.4	11.3
	S.D.	2.51	0.12	4.76	0.69	3.17	3.69	5.21	2.40	8.36
	CV	0.16	0.20	0.16	0.31	0.16	0.14	0.79	0.08	0.74

4) まとめ

- 伝統木造実大試験体に用いられた形状・寸法が異なる仕口および継手の引張試験を実施し、耐力および破壊性状を確認した。
- 雇いほぞを用いた仕口（G-①-1～3）では、梁せいの違いにより耐力の差が見られるが、破壊モードはすべて同じであり、最大荷重時の変形量もほぼ同じの値であった。
- 竿車知を用いた仕口（G-⑧および G-⑨）では、竿車知のせん断破壊又は竿車知と管柱ほぞ孔

の間にせん断破壊が発生し、脆性的な破壊形状を示した。

- 追掛け大栓継ぎ (G-⑩-1), 追掛け継ぎ (G-⑩-2) および台持ち継ぎの継手 (G-⑪-1) では、いずれも脆性的な破壊性状がみられたが、ほぞが差し込まれている台持ち継ぎの継手 (G-⑪-2) の場合は、最大荷重後の荷重低下が小さく変形に粘りが見られた。

(1) 試験体の概要

母屋：120×120

梁 : 150 × 240

240

84

24

240

240

24

150

24

Figure 10 illustrates the sectional view of a beam-column joint. The top diagram shows a side elevation with dimensions: beam width 150x240, column width 240, joint width 240, and various offsets of 24 and 84. The bottom diagram shows a cross-section of the joint with a total width of 300 and a central column width of 240.

4-350

(2) 実験の方法

1) 曲げ試験

東京衡機製造所 WU-1000・TK21 型(最大容量 1000kN)を用いて、支点間距離 3000mm、荷重点間距離 1000mm の 3 等分点 4 点荷重方式で曲げ試験を実施した。図 4.6.6-7 に F-⑩-1 試験体、図 4.6.6-8 に F-⑩-2 試験体の曲げ試験の概要を示す。全スパン変位の測定は、試験体長さ方向中央部の引張側に取り付けたワイヤー巻き込み式変位計(東京測器研究所 DP-1000C)及び両側面に取り付けた変位変換器(東京測器研究所 SDP-200D)で行ったが、曲げヤング係数の算出には変位変換器による変位量を用いた。なお、曲げ強さ f_m は以下で算出した。

$$f_m = \frac{aF_{ult}}{2Z} = \frac{3000F_{ult}}{bd^2}$$

ここで、 a ：支点－荷重点間距離(1000mm)、 Z ：断面係数、 F_{ult} ：最大荷重、 b ：材幅、 d ：材せい

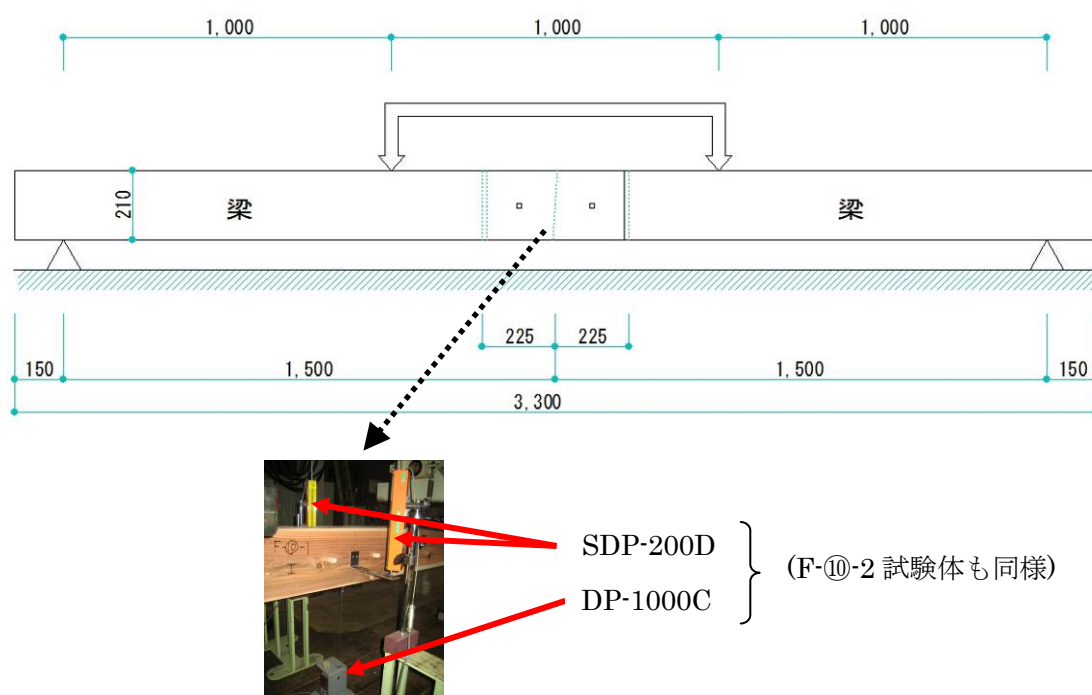


図 4. 6. 6-7 F-⑩-1 試験体の曲げ試験方法

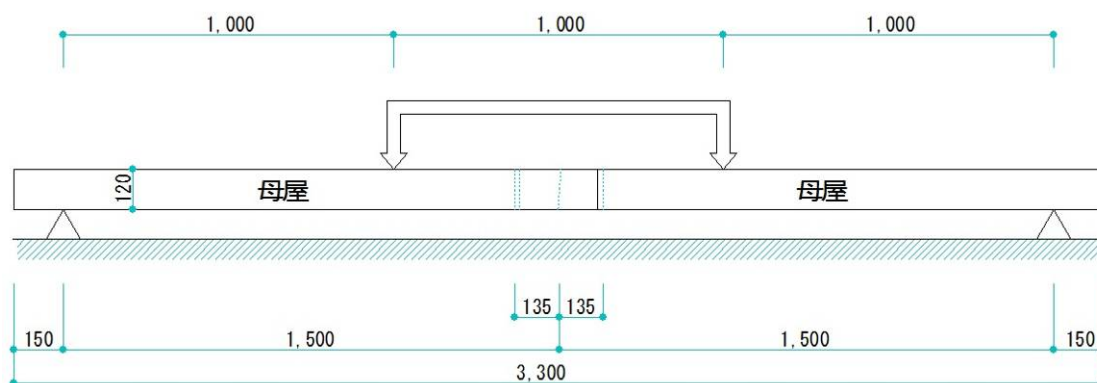


図 4. 6. 6-8 F-⑩-2 試験体の曲げ試験方法

2) せん断試験（大野式）

同じく東京衡機製造所 WU-1000・TK21 型を使用して、支点間距離及び荷重点間距離を 2250mm とした逆対称型のせん断試験(大野式せん断試験)を実施した。図 4.6.6-9～12 に各試験体のせん断試験の概要を示す。大野式せん断試験法は曲げ破壊に先行してせん断破壊を生じさせやすい特徴を有するが、これは最大せん断力が働く領域(中央 1500mm)において曲げモーメントの影響を比較的小さく抑えることができるためである。なお、せん断強さ f_v は以下で算出した。

$$f_v = \frac{3aF_{ult}}{2A(a+S)} = \frac{F_{ult}}{2bd}$$

ここで、 a ：支点－荷重点間距離(外側、750mm)、 S ：支点－荷重点間距離(中央、1500mm)、 A ：断面積、 F_{ult} ：最大荷重、 b ：材幅、 d ：材せい

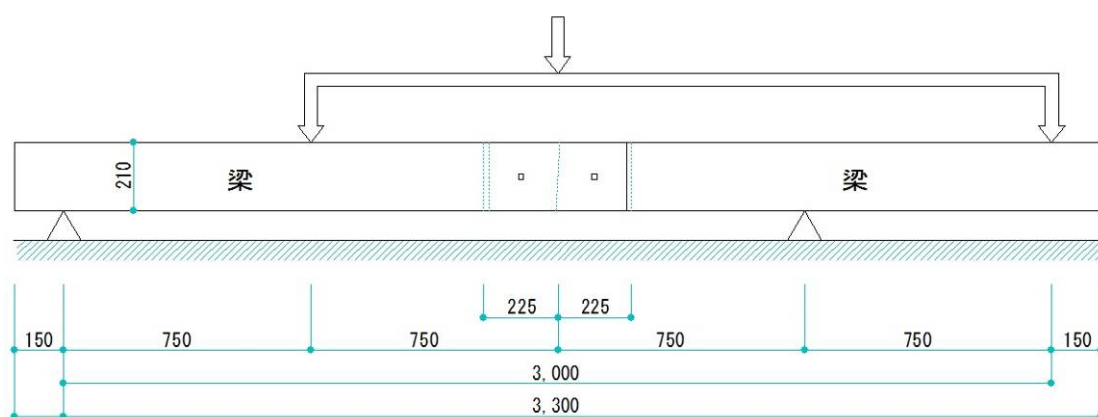


図 4.6.6-9 H-10-1 試験体のせん断試験方法

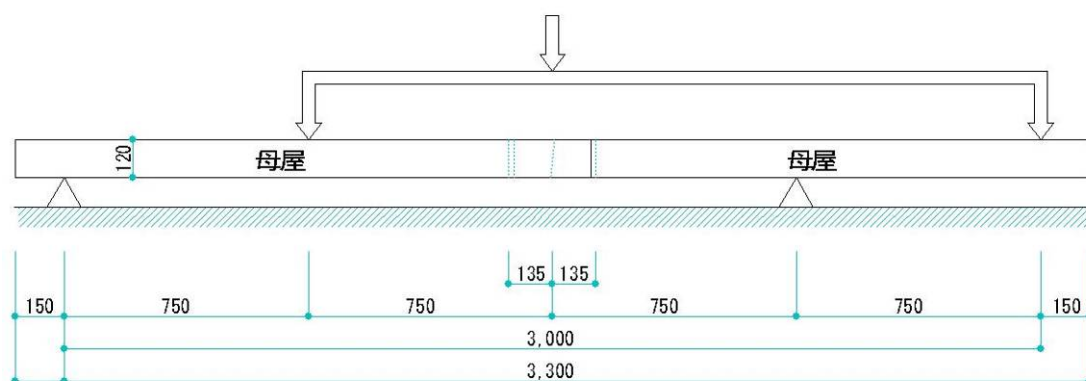


図 4.6.6-10 H-10-2 試験体のせん断試験方法

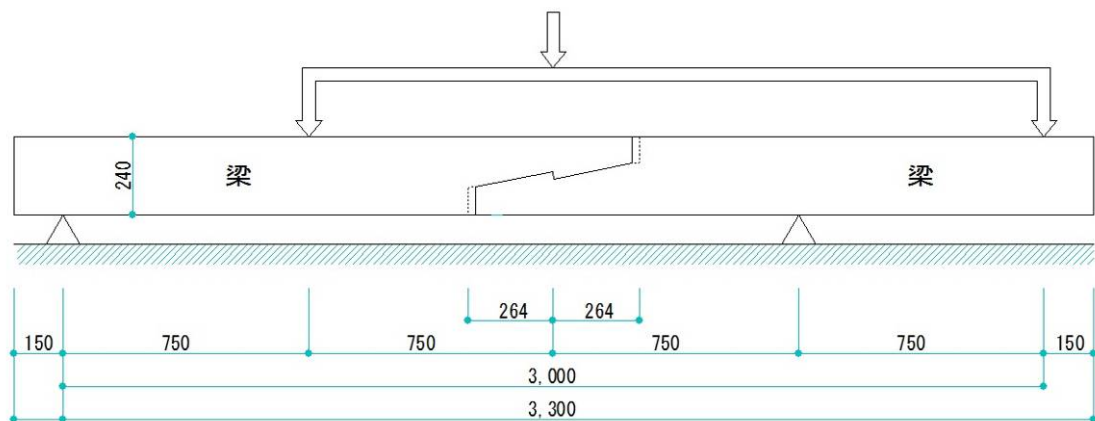


図 11 H-11-1 試験体のせん断試験方法

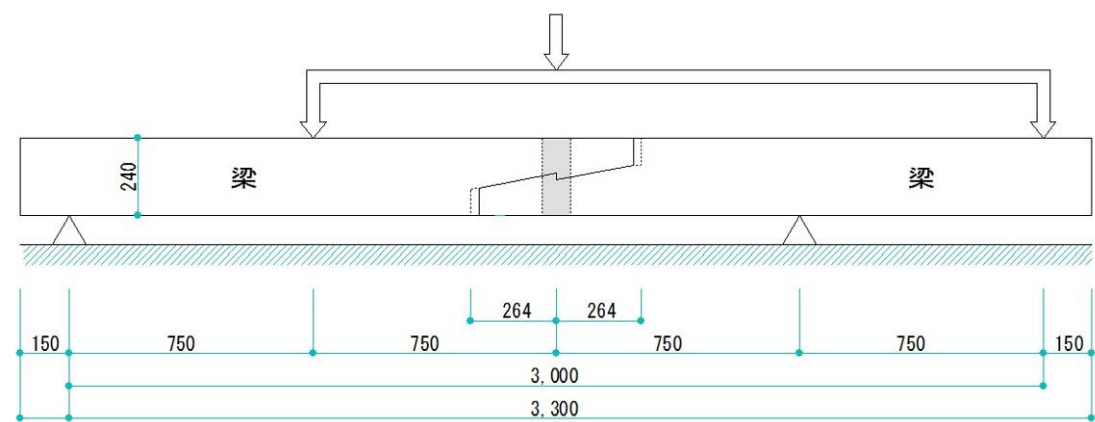


図 4. 6. 6-12 H-11-2 試験体のせん断試験方法

(3) 実験の結果

1) 試験体の材質

表 4.6.6-1 及び表 4.6.6-2 に供試体の密度、縦振動ヤング係数及び含水率を示す。ここで、含水率については、試験後に試験体を構成する 2 部材からそれぞれ 1 か所ずつ試験片を採取し、全乾法により含水率を算出した。曲げ試験体は全数が含水率 20%以下であったが、せん断試験体は 24 部材中 7 部材が含水率 20%を上回った。特に、150mm×240mm 断面の H-11-1 試験体が高い含水率を示した。

表 4. 6. 6-1 曲げ試験体の物性値

		密度 kg/m^3				縦振動ヤング係数 kN/mm^2			含水率 %		
		材1	材2	込栓1	込栓2	材1	材2	継手後	材1	材2	平均値
F - ⑩ - 1	I	392	398	434	464	5.8	6.1	4.4	17.8	17.7	17.8
	II	400	407	532	420	6.2	6.9	4.5	17.0	16.9	17.0
	III	422	420	443	519	8.3	8.7	3.4	17.7	17.7	17.7
F - ⑩ - 2	I	436	396	-	-	-	-	7.2	16.7	17.0	16.9
	II	463	406	-	-	-	-	5.9	17.1	17.4	17.2
	III	375	370	-	-	6.7	5.5	4.2	17.2	17.0	17.1

表 4.6.6-2 せん断試験体の物性値

		密度 kg/m ³					縦振動ヤング係数 kN/mm ²			含水率 %		
		材1	材2	込栓1	込栓2	ほぞ	材1	材2	継手後	材1	材2	平均値
H - ⑩ - 1	I	385	424	428	524	-	6.9	8.2	6.7	17.4	17.2	17.3
	II	369	365	528	465	-	6.7	5.5	3.3	18.3	16.9	17.6
	III	389	377	537	459	-	6.7	7.8	6.4	16.4	17.2	16.8
H - ⑩ - 2	I	472	431	-	-	-	7.8	7.4	6.7	17.4	17.2	17.3
	II	390	447	-	-	-	7.4	8.9	4.0	17.1	17.3	17.2
	III	518	459	-	-	-	9.1	9.0	7.5	22.2	18.8	20.5
H - ⑪ - 1	I	447	443	-	-	-	6.8	6.7	3.4	18.9	19.3	19.1
	II	428	425	-	-	-	8.2	8.5	1.9	37.5	28.3	32.9
	III	418	407	-	-	-	7.8	7.8	2.8	36.6	56.9	46.8
H - ⑪ - 2	I	437	426	-	-	408	7.7	7.5	4.6	24.0	25.2	24.6
	II	475	440	-	-	429	7.2	7.4	3.3	19.8	19.2	19.5
	III	460	512	-	-	483	6.1	7.3	3.3	18.5	18.5	18.5

2) 曲げ試験結果

曲げ試験時の破壊の進行状況例を図 4.6.6-13 及び図 4.6.6-14 に示す。いずれの試験体も加力初期に継手上部の割裂が発生し(図 4.6.6-13、図 4.6.6-14 の①)、最終的に追掛け継手のせん断破壊により最大荷重が決定された(Ⅱ②)。ただし、その後も耐力が完全に無くなるわけではなく、試験終了(耐力がゼロに近い時点)までに大きな変形量を示した(Ⅱ③)。

表 4.6.6-3 及び表 4.6.6-4 に最大荷重、曲げ強さ及び曲げヤング係数の結果を示し、図 4.6.6-15 及び図 4.6.6-17 に荷重変形曲線を示す。また、図 4.6.6-16 及び図 4.6.6-18 に各試験体の破壊状況を示す。全ての試験体において、最大荷重を示した後に荷重が急激に低下する脆性的な破壊性状を示す一方で、その後の継手のかみ合いにより完全に耐力がなくなるまでに 200～300mm のたわみ量が必要であるなど粘りのある性状も示した。



図 4.6.6-13 破壊の進行状況例 (F-⑩-1 試験体)



図 4.6.6-14 破壊の進行状況例 (F-⑩-2 試験体)

(A) F-⑩-1 試験体

表 4. 6. 6-3 F-⑩-1 試験体の曲げ試験結果

		最大荷重 kN	曲げ強さ N/mm ²	曲げヤング係数 kN/mm ²
F - ⑩ - 1	I	8.0	4.5	1.9
	II	7.6	4.3	1.6
	III	8.2	4.6	1.9
平均値		7.9	4.5	1.8

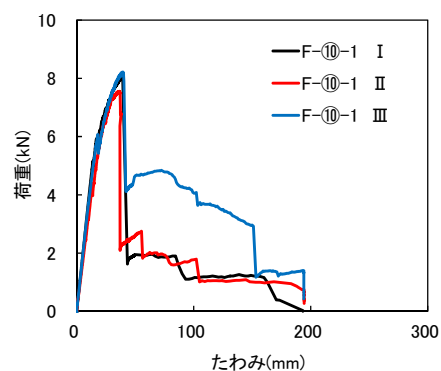


図 4. 6. 6-15 荷重変形曲線

注) たわみはワイヤー変位計による測定値



F-⑩-1 I



F-⑩-1 II



F-⑩-1 III

図 4. 6. 6-16 F-⑩-1 試験体の破壊状況

(B) F-⑩-2 試験体

表 4. 6. 6-4 F-⑩-2 試験体の曲げ試験結果

		最大荷重 kN	曲げ強さ N/mm ²	曲げヤング係数 kN/mm ²
F - ⑩ - 2	I	2.3	4.0	2.6
	II	2.1	3.6	2.3
	III	1.8	3.1	2.0
平均値		2.1	3.6	2.3

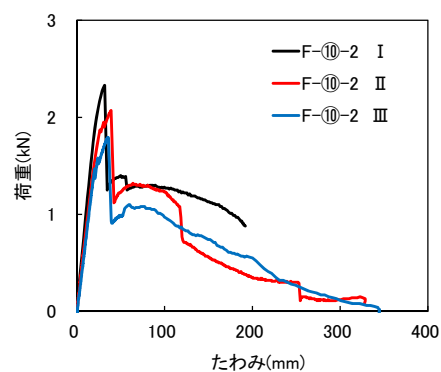


図 4. 6. 6-17 荷重変形曲線

注) たわみはワイヤー変位計による測定値

ただし、I のみは変位変換器による測定値



F-⑩-2 I



F-⑩-2 II



F-⑩-2 III

図 4. 6. 6-18 F-⑩-2 試験体の破壊状況

3) せん断試験結果

せん断試験時の破壊の進行状況例を図 4.6.6-19 及び図 4.6.6-20 に示す。H-⑩-1 及び H-⑩-2 試験体は破壊前に追掛け継手部分にずれが生じた。これは、込栓を使用している H-⑩-1 試験体も同様に確認された。その後、継手からの割裂が生じた際に荷重の一時的な低下が見られ、最終的に H-⑩-1 試験体は継手のせん断破壊及び水平せん断破壊が生じた。一方、H-⑩-2 試験体は継手のせん断破壊が主であった。

H-⑪-1 及び H-⑪-2 試験体は、台持ち継手の角部からの初期破壊が確認され、これが起点となって水平せん断によって破壊した。なお、ほぞの有無による破壊性状の違いはほとんど認められなかった。

表 4.6.6-5～8 に最大荷重及びせん断強さの結果を示し、図 4.6.6-21～24 に各試験体の破壊状況を示す。H-⑩-1 と H-⑩-2 試験体は断面寸法が異なるために最大荷重の違いが認められるが、両者のせん断強さの平均値は近い値を示した。また、H-⑪-1 と H-⑪-2 試験体については、同じ断面寸法ではほぞの有無の違いだけであるが、両者の最大荷重及びせん断強さに大きな違いは認められなかった。

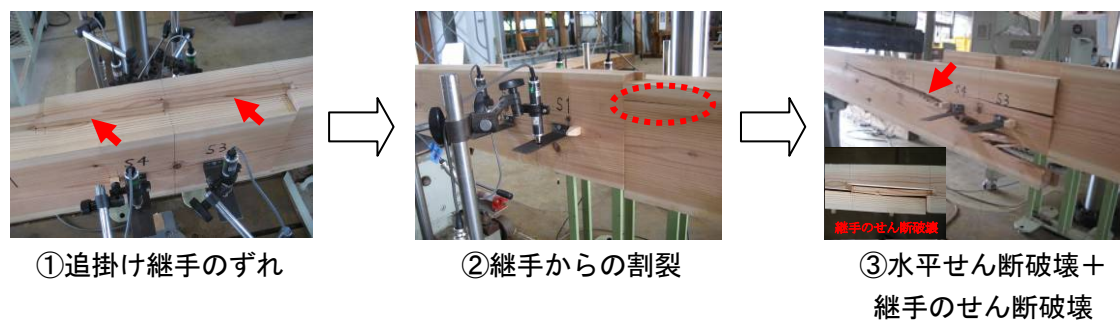


図 4. 6. 6-19 破壊の進行状況例 (H-⑩試験体)

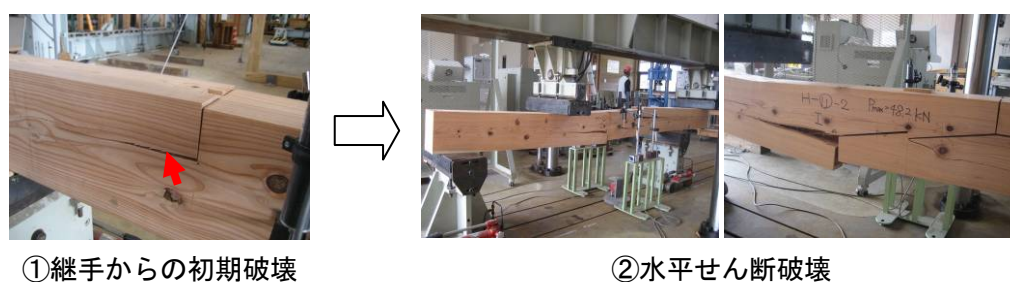


図 4. 6. 6-20 破壊の進行状況例 (H-⑪試験体)

(A) H-⑩-1 試験体

表 4. 6. 6-5 H-⑩-1 試験体のせん断試験結果

		最大荷重 kN	せん断強さ N/mm ²
H - ⑩ - 1	I	43.8	0.87
	II	36.8	0.73
	III	28.2	0.56
平均値		36.3	0.72



H-⑩-1 I



H-⑩-1 II



H-⑩-1 III

図 4. 6. 6-21 H-⑩-1 試験体の破壊状況

(B) H-⑩-2 試験体

表 4. 6. 6-6 H-⑩-2 試験体のせん断試験結果

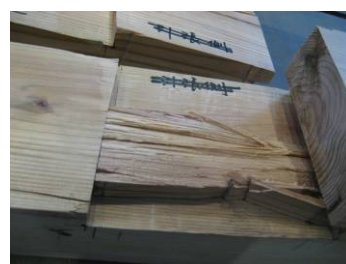
		最大荷重 kN	せん断強さ N/mm ²
H - ⑩ - 2	I	20.1	0.70
	II	20.2	0.70
	III	20.2	0.70
平均値		20.2	0.70



H-⑩-2 I



H-⑩-2 II



H-⑩-2 III

図 4. 6. 6-22 H-⑩-2 試験体の破壊状況

(C) H-⑪-1 試験体

表 4. 6. 6-7 H-⑪-1 試験体のせん断試験結果

		最大荷重 kN	せん断強さ N/mm ²
H - ⑪ - 1	I	48.3	0.67
	II	42.8	0.59
	III	40.0	0.56
平均値		43.7	0.61



H-⑪-1 I



H-⑪-1 II



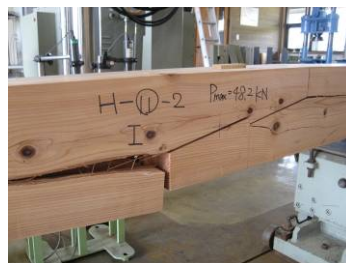
H-⑪-1 III

図 4. 6. 6-23 H-⑪-1 試験体の破壊状況

(D) H-⑪-2 試験体

表 4. 6. 6-8 H-⑪-2 試験体のせん断試験結果

		最大荷重 kN	せん断強さ N/mm ²
H - ⑪ - 2	I	48.2	0.67
	II	48.4	0.67
	III	42.4	0.59
平均値		46.3	0.64



H-⑪-2 I



H-⑪-2 II



H-⑪-2 III

図 4. 6. 6-24 H-⑪-2 試験体の破壊状況

(4) まとめ

- 曲げ試験体については、最大荷重を示した後に荷重が急激に低下する脆性的な破壊性状を示す一方で、その後の継手のかみ合いによって粘りのある性状も示した。
- 曲げ試験の加力初期に継手上部の割裂が発生し、最終的には追掛け継手のせん断破壊により最大荷重が決定された。
- 追掛け継ぎのせん断試験体については、破壊前に継手部分にずれが生じ、その後、継手からの割裂が生じた際に荷重の一時的な低下が見られた。最終的には、継手のせん断破壊及び水平せん断破壊が生じた。
- 台持ち継ぎのせん断試験体は、継手の角部からの水平せん断により破壊した。なお、ほぞの有無による破壊性状及び最大荷重の違いはほとんど認められなかった。