

3. 2 CLT 耐力壁に現し仕上げ用接合金物を用いた場合の耐力壁性状

3. 2. 1 試験目的及び試験体構成

1) 試験目的

接合部特性をもとに CLT 耐力壁の挙動や耐力を予測した結果と比較するために耐力壁試験を行う。また接合部仕様の違いで耐力壁性状がどのように変化していくか、また CLT 耐力壁として適当な接合方式はどのようなものかなど検討する基礎データとする。

2) 試験体構成

CLT 耐力壁は非常に剛性が高いため、引き抜き抵抗用の接合金物の強度特性が耐力壁の強度や変形性能に大きく影響を及ぼす。CLT 耐力壁の水平方向のせん断力に抵抗できるように金物を取り付けると、耐力壁が浮き上がろうとする際に少なからず抵抗してしまう。そこで水平方向のせん断力に対しては金物で抵抗させず、CLT 壁の脚部に水平変位拘束用のストッパーを設けた。これにより可能な限り直接、耐力壁端部の引き抜き方向の接合部特性が耐力壁性状に反映されるよう配慮した。この方法で 1m 幅と 2m 幅の耐力壁試験を行う。また CLT 耐力壁端部に設ける接合金物・接合具は CLT の木口に留めつけるホールダウン金物、CLT のパネル面に留めつける L 型ビス用金物、大きな引き抜き力対策としてタイロッド方式、施工性や納まりが良い長ビス方式とした。L 型ビス用金物や長ビスは引き抜き力のほか、せん断力にも同時に抵抗できるため水平方向拘束用のストッパーを除いて耐力壁試験と同仕様のまま 1m 幅の水平せん断試験を行う。これにより引き抜き力やせん断力を同時に抵抗できる接合部の性状確認を行う。また L 型ビス用金物や長ビスに可能な限り、せん断力のみが作用するよう、接合金物取り付け高さ近傍を水平加力し、せん断耐力の確認を行う。表 3.2.1-1 に試験体構成を、図 3.2.1-1～3.2.1-5 に接合金物・接合具を示した。

表 3.2.1-1 試験体構成

試験種別	水平変位拘束用ストッパー	接合金物 接合具	CLT仕様			試験数 (回)	試験体必要数 (体)	
			厚さ (mm)	高さ (mm)	ラミナ割付			
1m幅耐力壁試験	有	HD金物	90	3000	均等割り	1	1	
			90	3000	103+29幅	2	1 (同一試験体を上下反転再利用)	
		L型 ビス用金物	90	3000	均等割り	1	1※1	
		タイロッド 方式	150	3000	均等割り	1	1	
		長ビス	90	3000	均等割り	1	1※2	
2m幅耐力壁試験		HD金物	90	3000	均等割り	1	1	
		L型 ビス用金物	90	3000	均等割り	1	1	
1m幅 水平せん断 試験	耐力壁試験 と同仕様	無	L型 ビス用金物	90	3000	均等割り	1	0 (※1を上下反転再利用)
			長ビス	90	3000	均等割り	1	0 (※2を上下反転再利用)
1m幅純せん断試験		無	L型 ビス用金物	90	1000	均等割り	1	1
			長ビス	90	1000	均等割り	1	1
合計						12試験	9体	

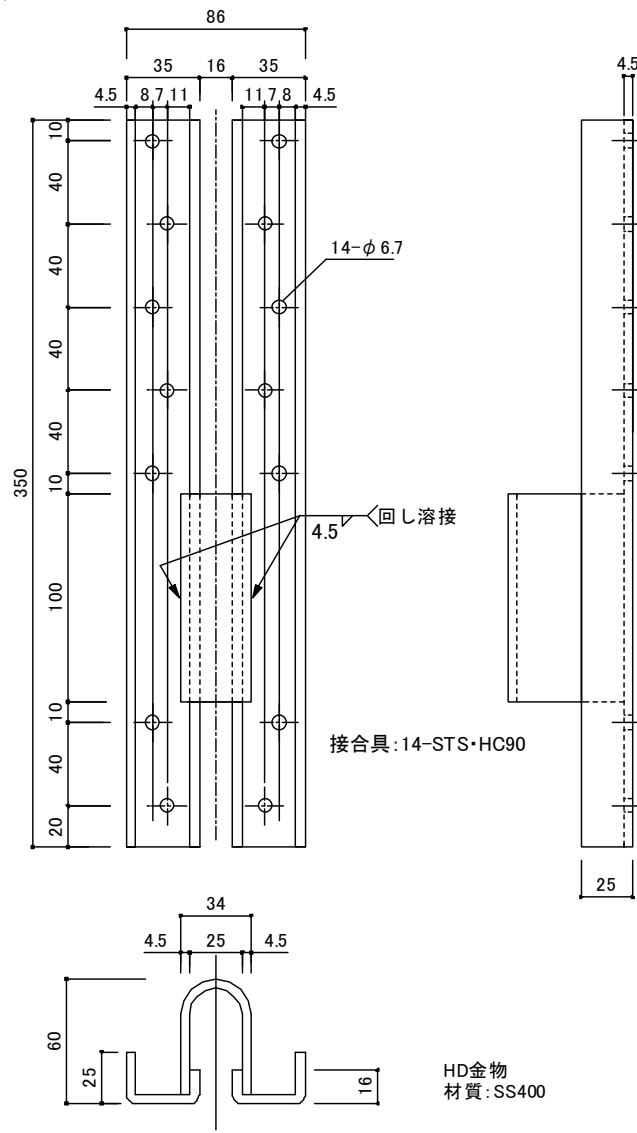


図 3.2.1-1 ホールダウン金物

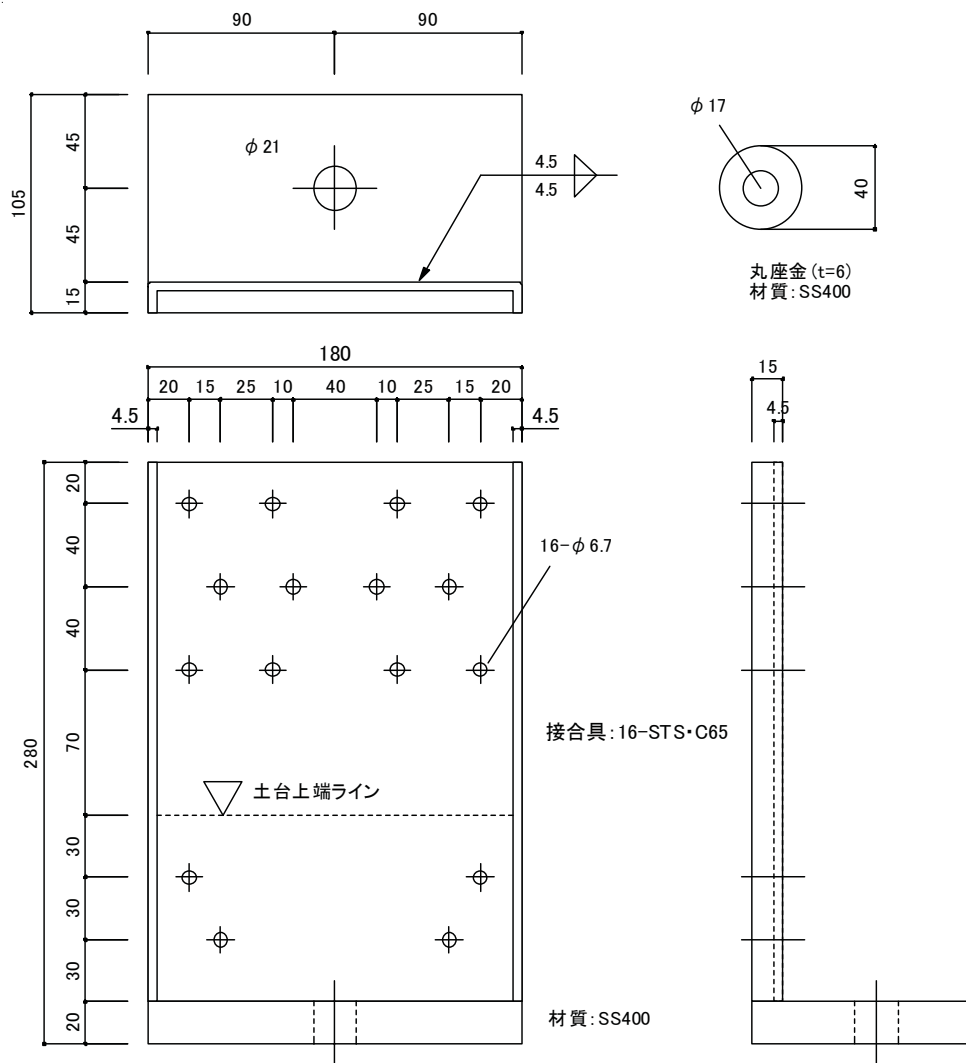


図 3.2.1-2 L型ビス用金物

タイロッドはM16 SNR490B（転造）とした。

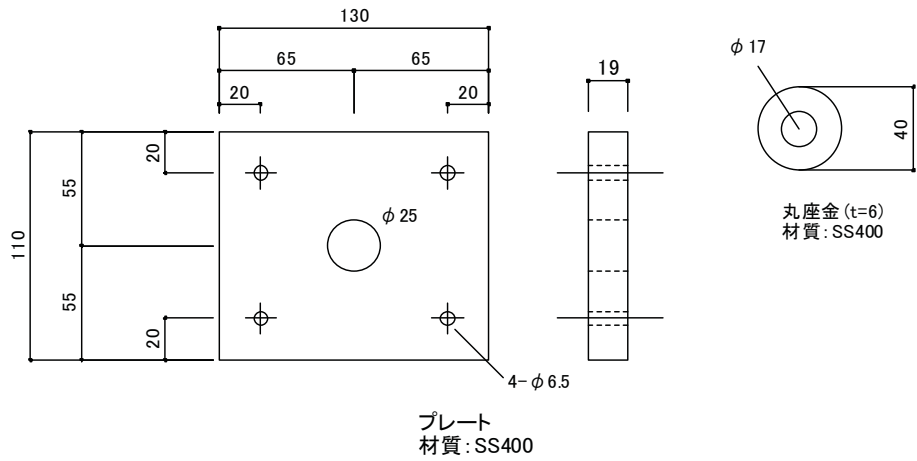


図 3.2.1-3 タイロッド用箱型金物（柱頭）

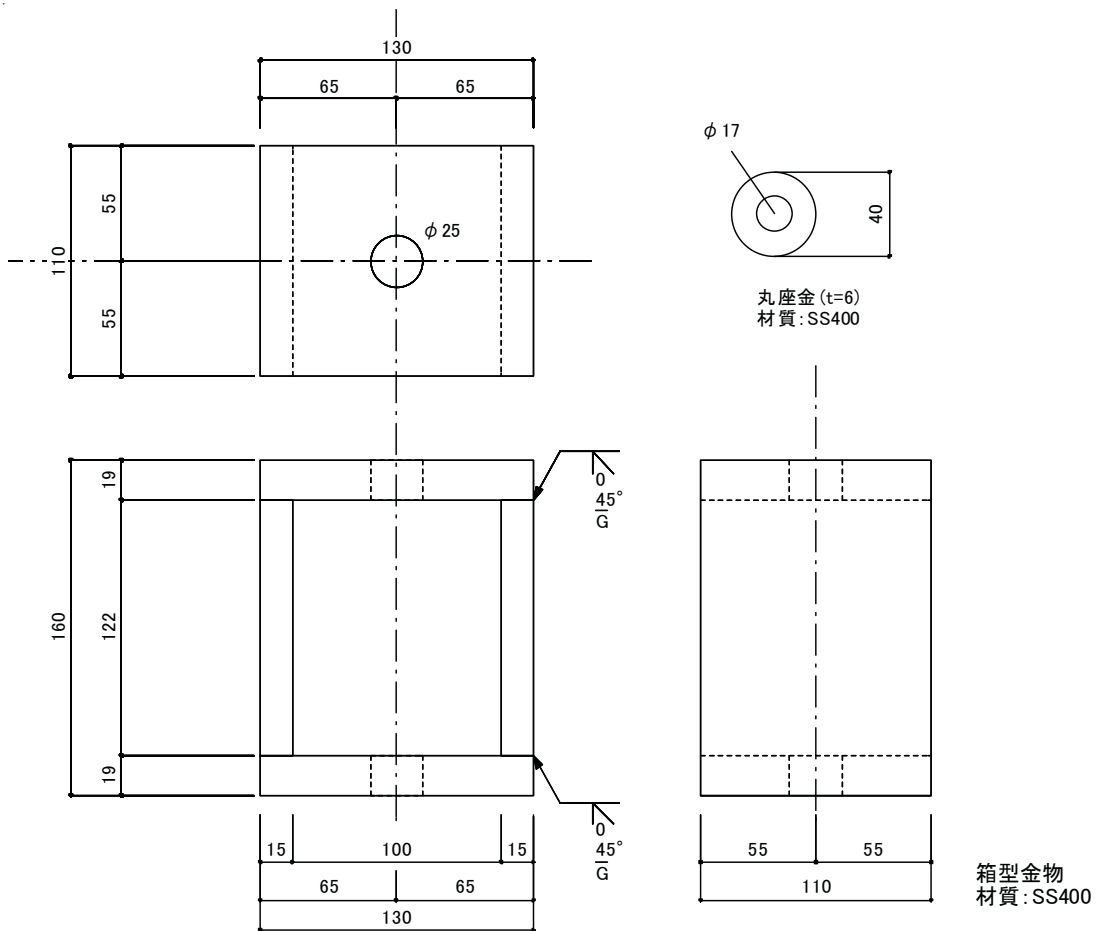
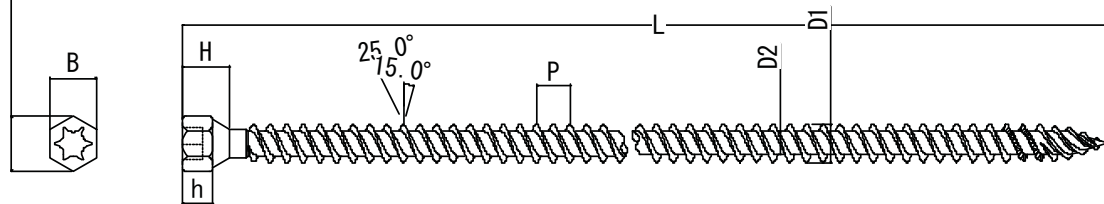


図 3.2.1-4 タイロッド用箱型金物（柱脚）

10.8 最小



ヘクスローブ
T-40

品番	B	H	h	$P_{\text{公}}$	D1	D2
PX8-L	9.70~ 10.00	9.00~ 10.00	6.20~ 6.70	7.00	7.75~ 8.10	5.15~ 5.45

UNIT:mm

サイズ	L
110	110±1.75
140	140±2.00
170	170±2.00
200	200±2.30
230	230±2.30
260	260±2.60
290	290±2.60
320	320±2.85

UNIT:mm

図 3.2.1-5 長ビス (東日本パワーファスニング製 PX8-170)

ラミナの割り付けは標準幅が 124mm で試験体中央から割り付ける均等割りとパネルの左右でラミナ幅が非対称となるものがある。CLT の木口から留めつけるホールダウン金物の接合部試験ではラミナ幅を 103mm に取り付けて試験をしていた。パネル幅の寸法上、片側を接合部試験のラミナ幅に合わせるともう一方は 29mm となり左右非対称のパネルとなり、耐力壁両端に取り付けたホールダウン金物のビスの打ち込み深さに差が生じてしまい、左右で強度差が生じてしまうことが考えられる。そこで左右非対称の場合、同一パネルの上下を反転させて 1 パネル当たり 2 回の試験を行えば、左右のラミナ幅の違いによる強度特性を確認できる。そこでホールダウン金物の耐力壁試験ではラミナ均等割り 1 試験とラミナが左右非対称 (103+29 幅) を上下反転させて 2 試験の計 3 試験を行うこととした。CLT は 90mm 厚の 3 層 3 プライ、MX60B とし土台はスギ製材 E70~90 程度とする。なおタイロッド方式のみ CLT は 150mm 厚の 5 層 5 プライ、土台は集成材 E55 程度とした。

図 3.2.1-6~3.2.1-10 にラミナ構成を図 3.2.1-11~3.2.1-20 に試験体図を示した。

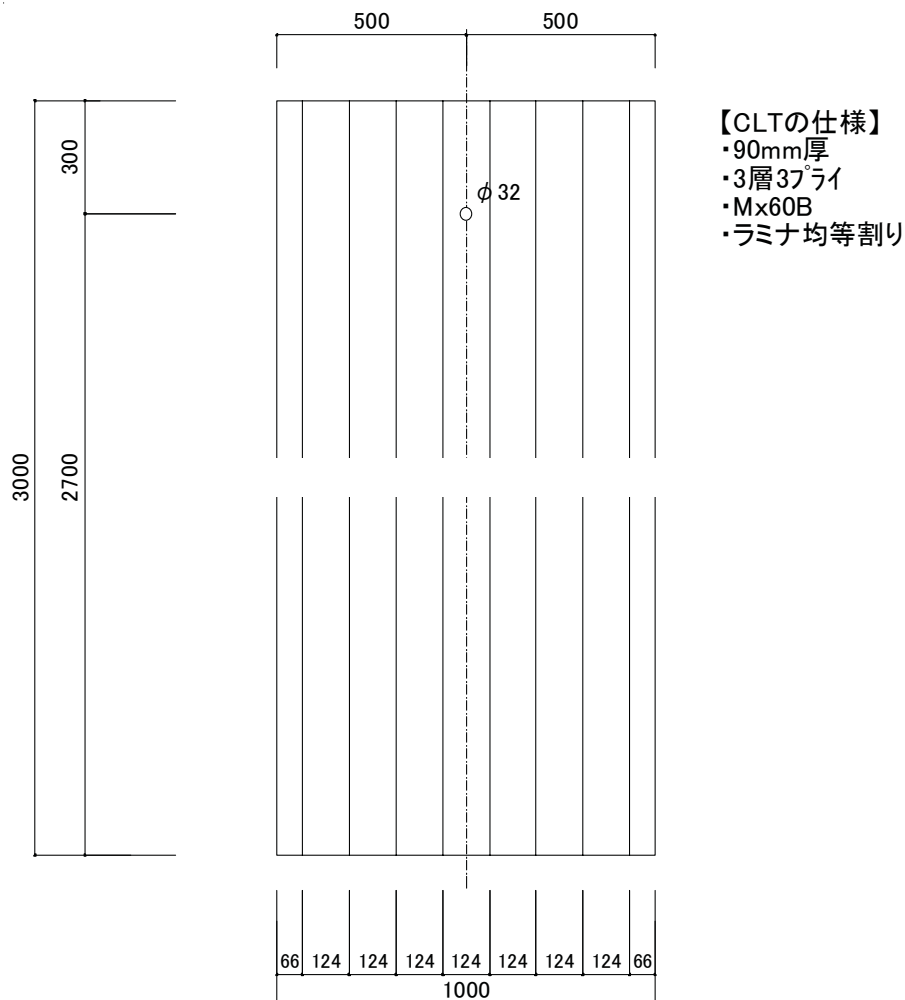
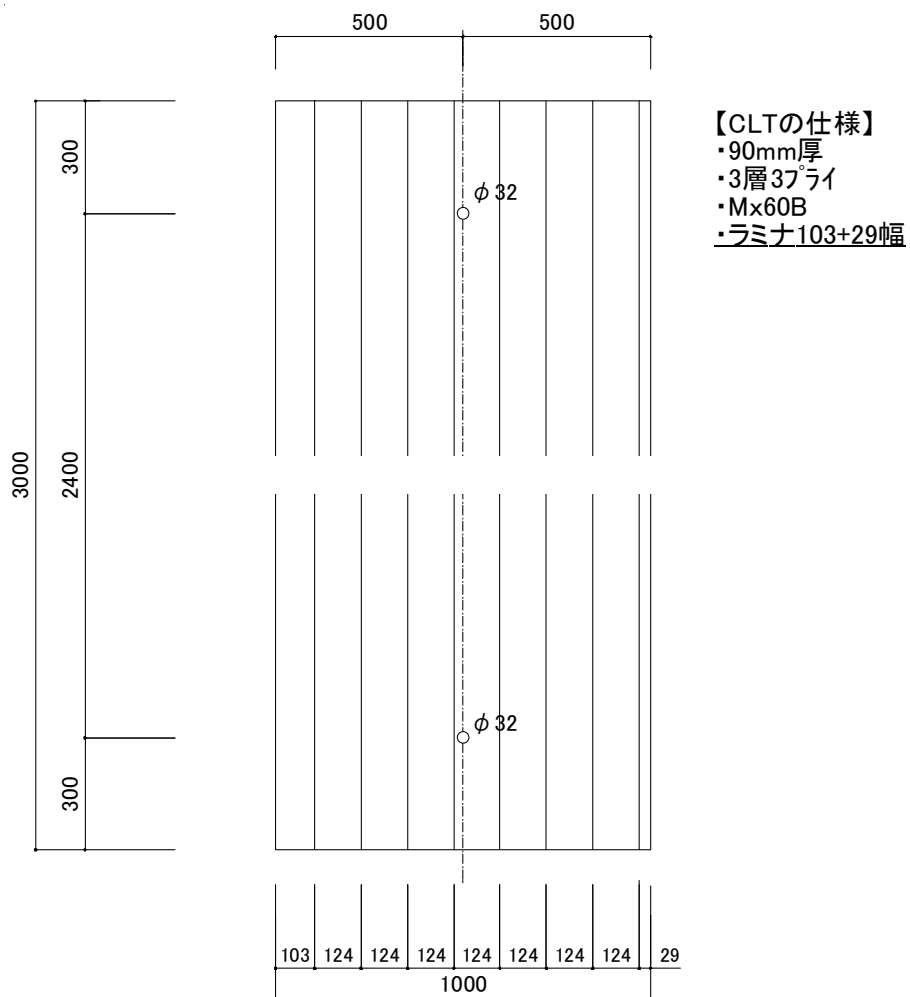


図 3.2.1-6 1m 幅ラミナ均等割り



※同一試験体を上下反転再利用
 ※接合部試験と同じラミナ幅となるよう配慮した試験体

図 3.2.1-7 1m 幅ラミナ左右非対称 103+29 幅

タイロッド方式の場合、ロッドを納めるために左右から欠き込みと脚部にはタイロッド用箱型金物を納めるための欠き込みを行った。

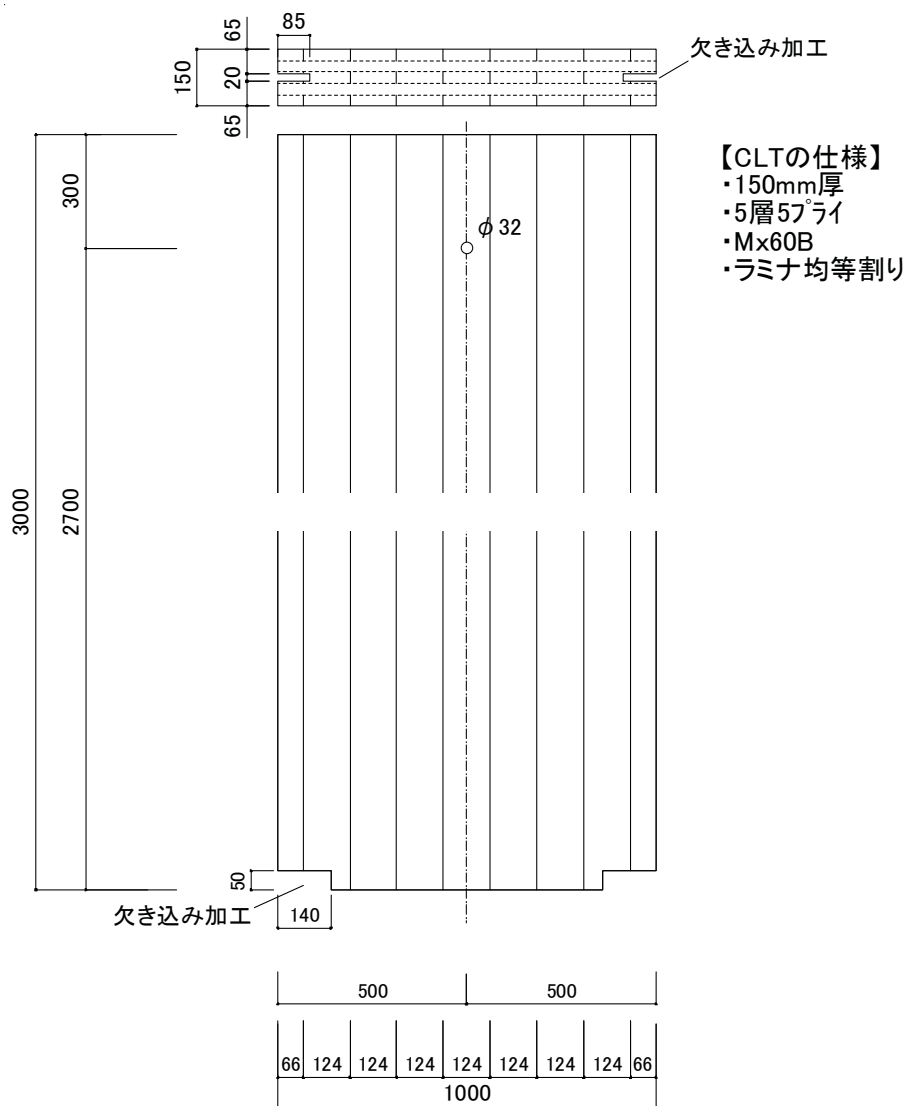


図 3.2.1-8 1m 幅タイロッド方式

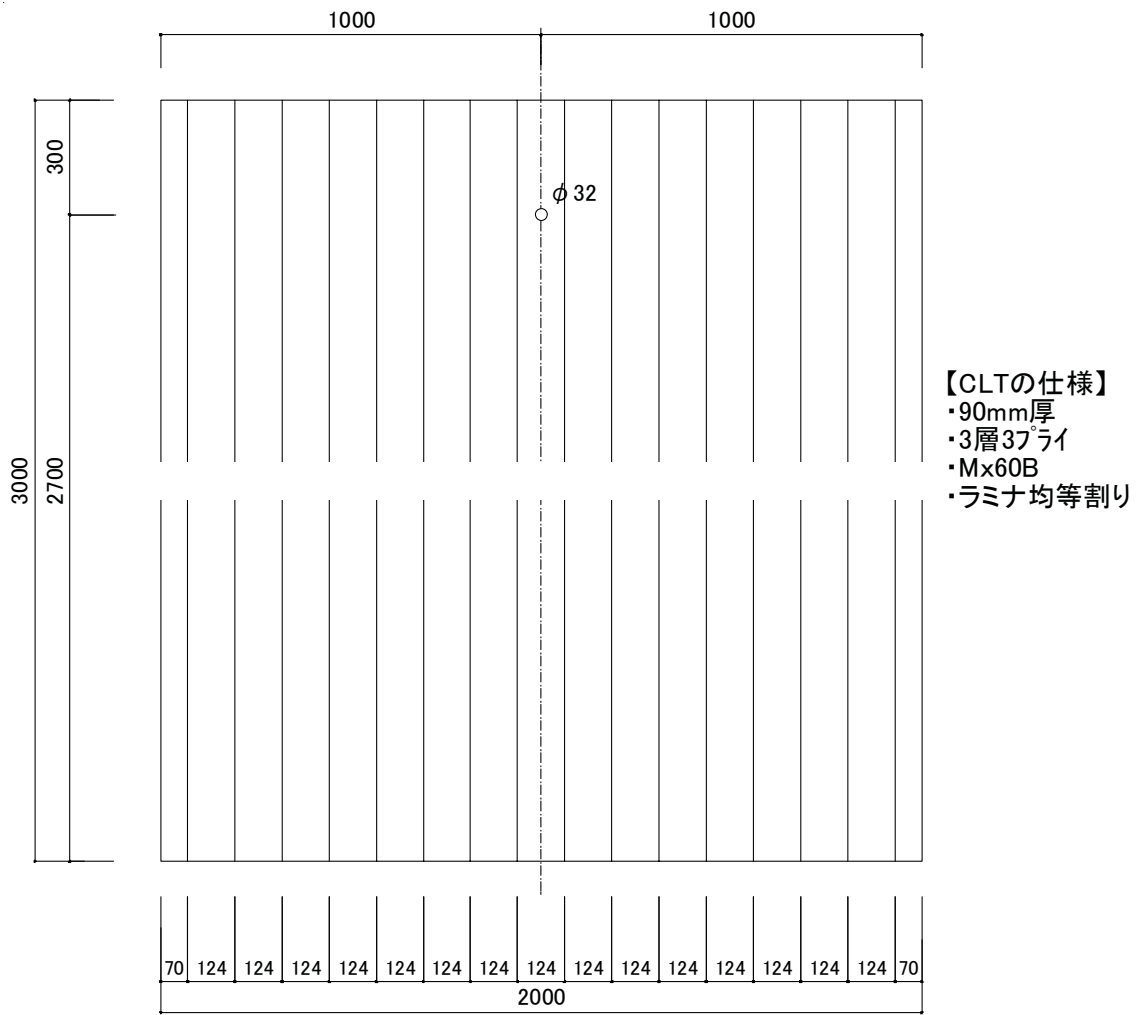


図 3.2.1-9 2m 幅均等割り

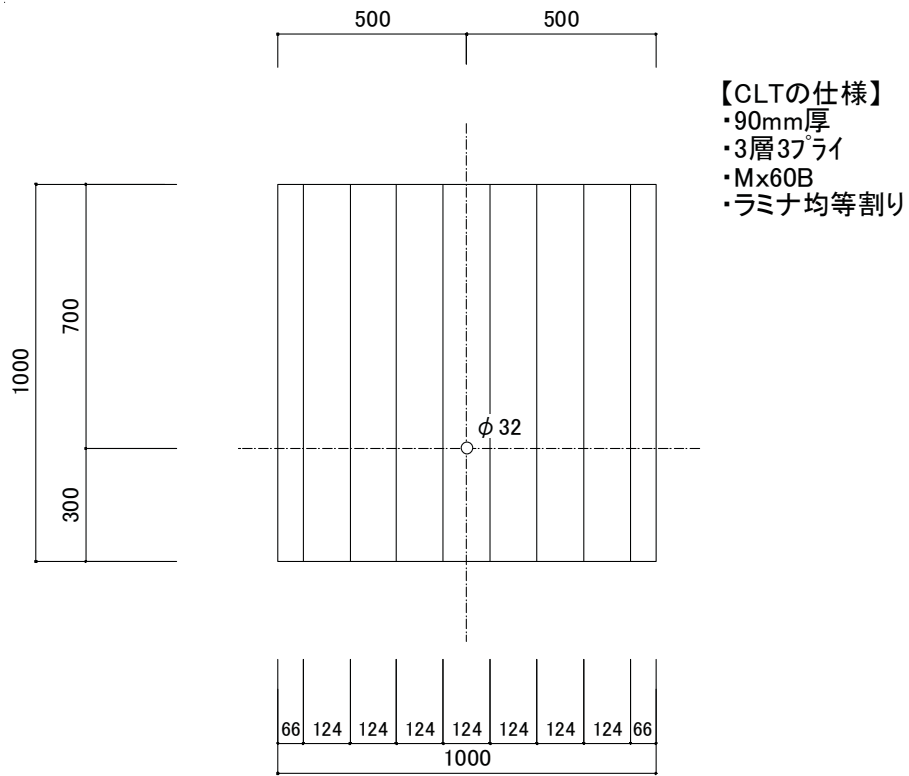


図 3.2.1-10 純せん断試験用（均等割り）

試験体名称: HD1-1(ラミナ29+103) 103側に取り付けた金物で破壊を想定
 HD1-2(ラミナ均等割り)
 HD1-3(ラミナ103+29) 29側に取り付けた金物で破壊を想定

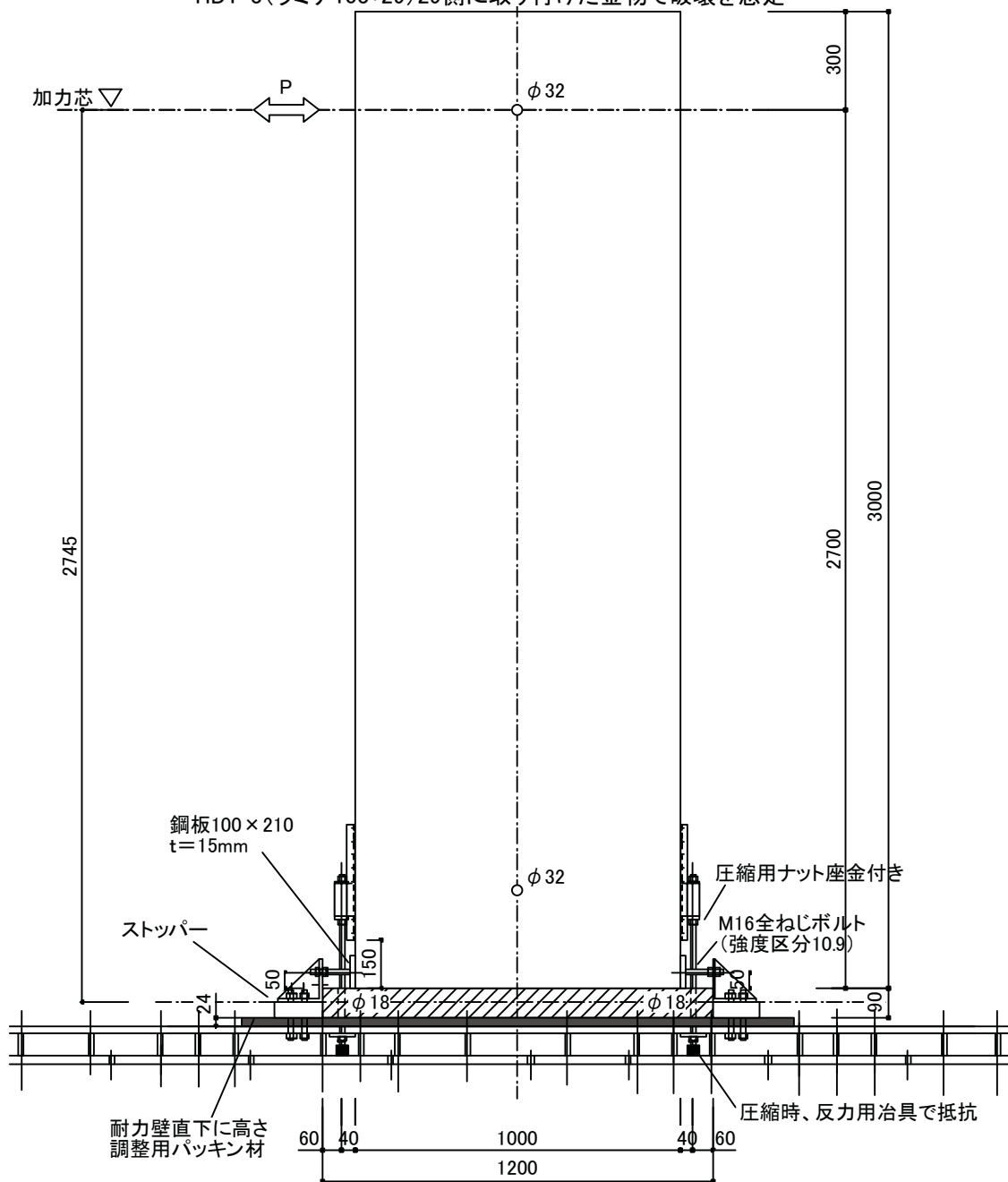


図3.2.1-11 1m耐力壁試験体図 (ホールダウン金物) ×3試験

試験体名称: HD2-1

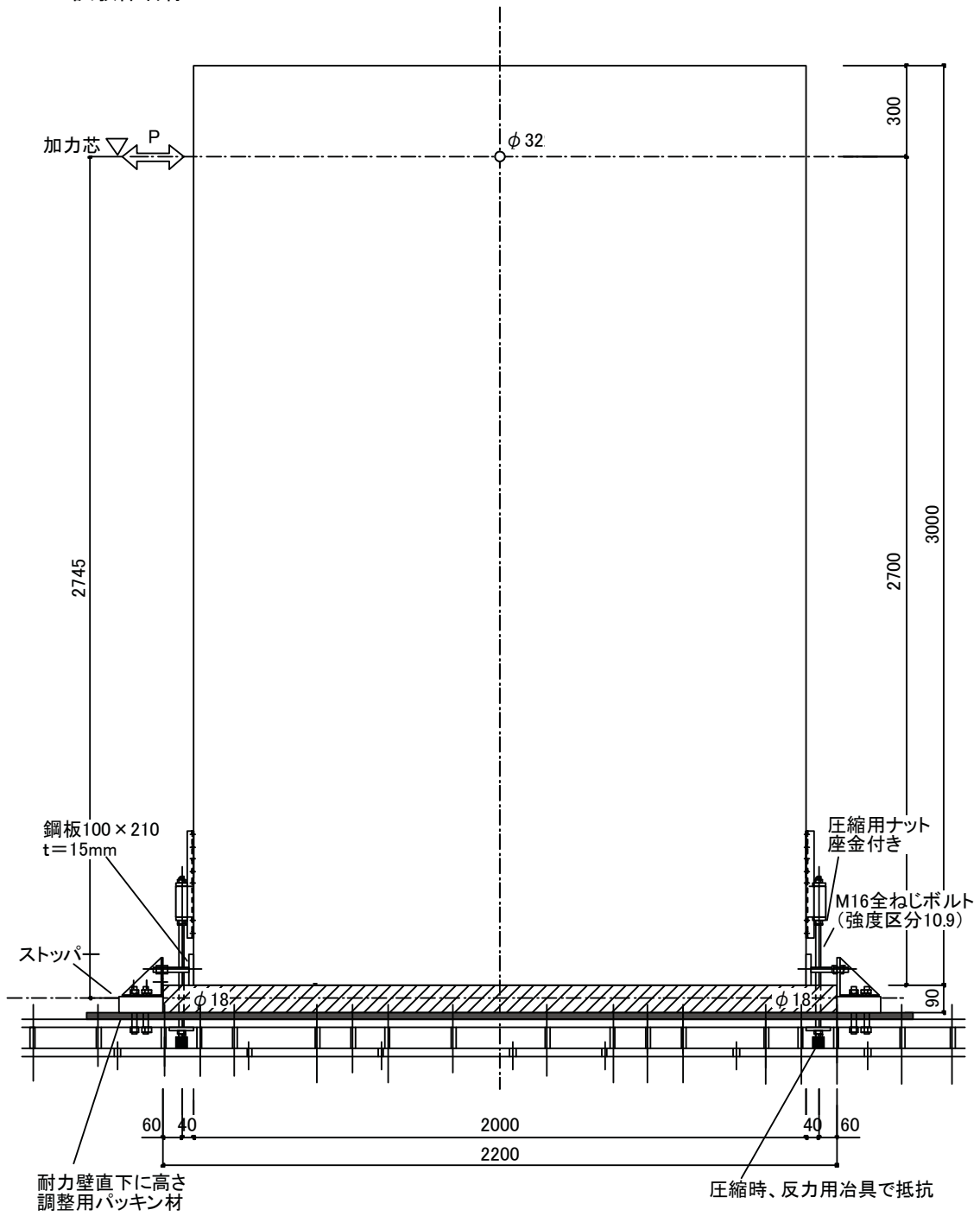


図3.2.1-12 2m耐力壁試験体図 (ホールダウン金物) ×1試験

試験体名称:L1-1

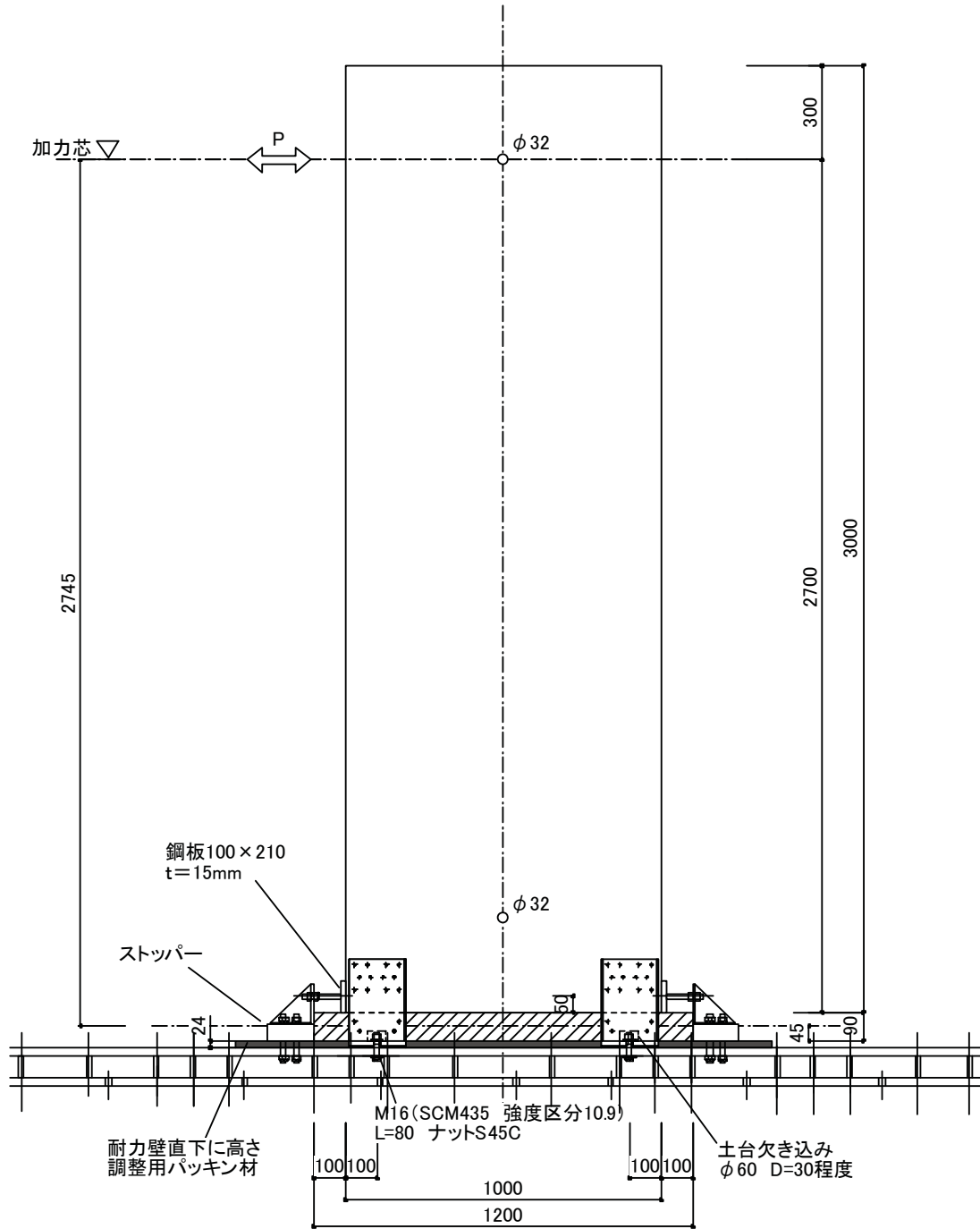


図3.2.1-13 1m耐力壁試験体図 (L型ビス用金物) ×1試験

試験体名称:L1-2

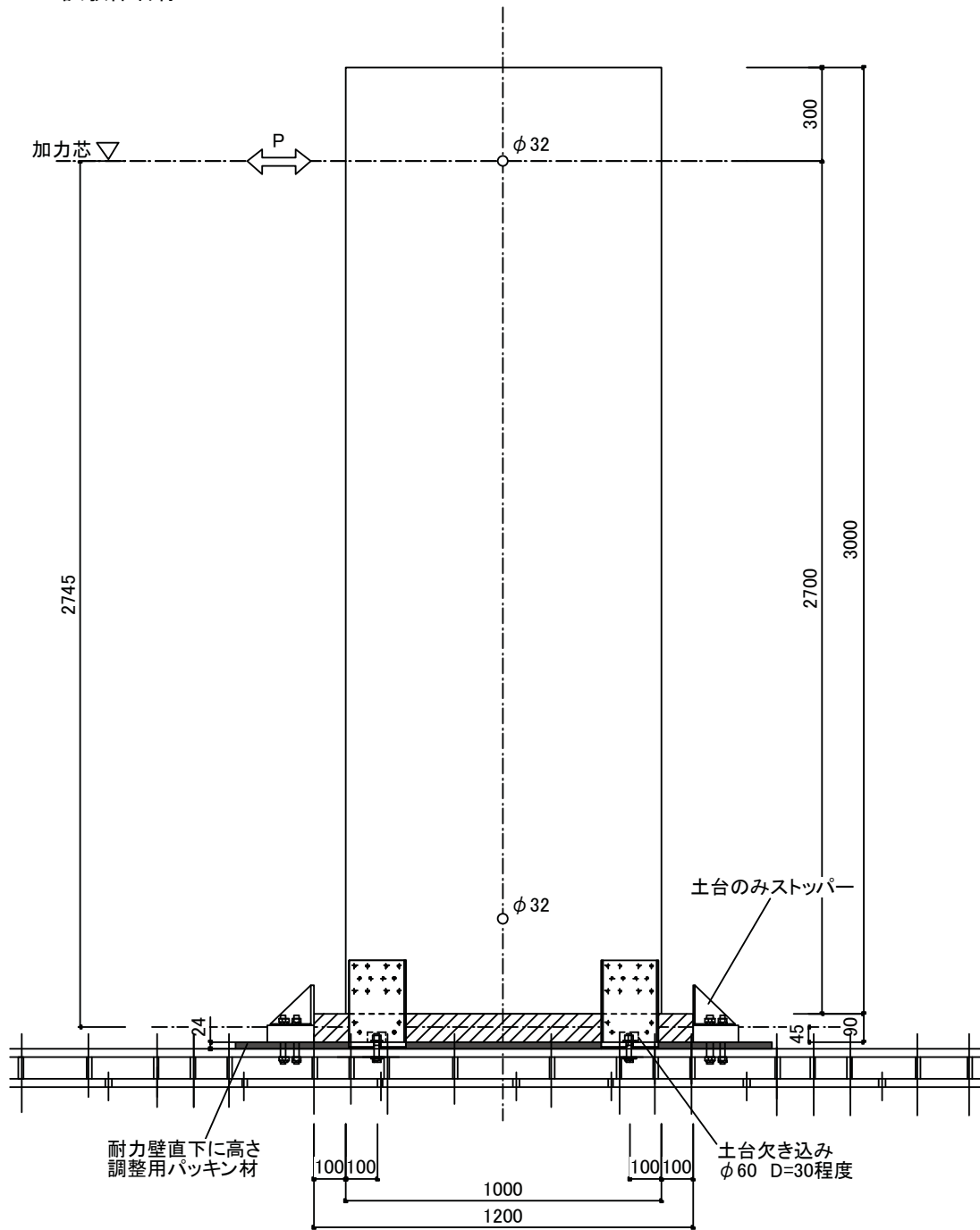


図3.2.1-14 水平せん断試験体図 (L型ビス用金物) ×1試験

試験体名称:L1-3

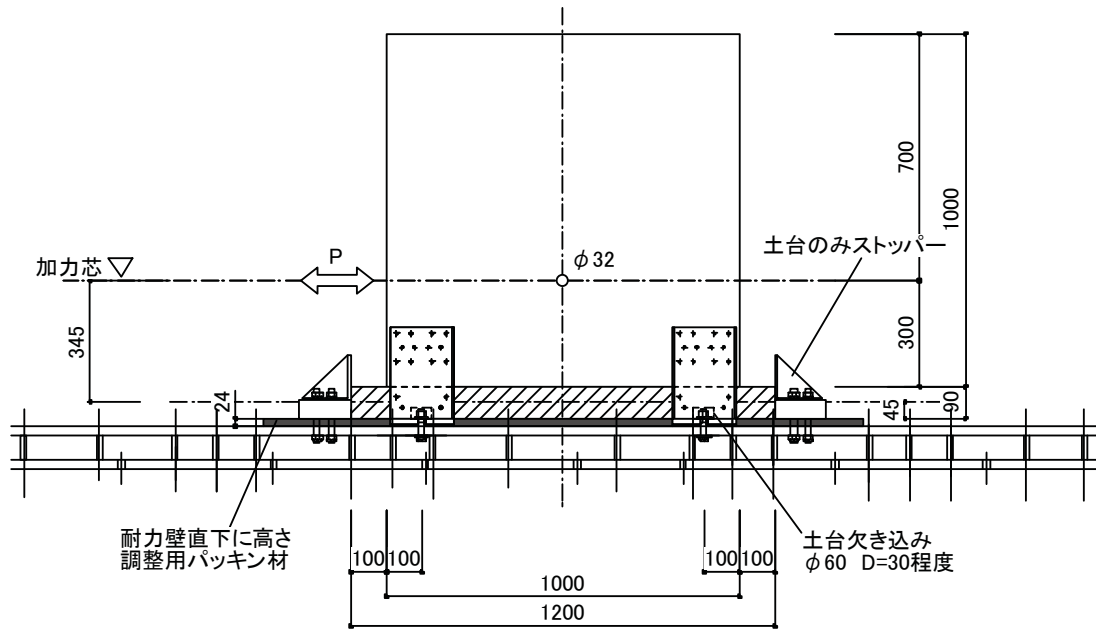


図3.2.1-15 純せん断試験体図 (L型ビス用金物) ×1試験

試験体名称:L2-1

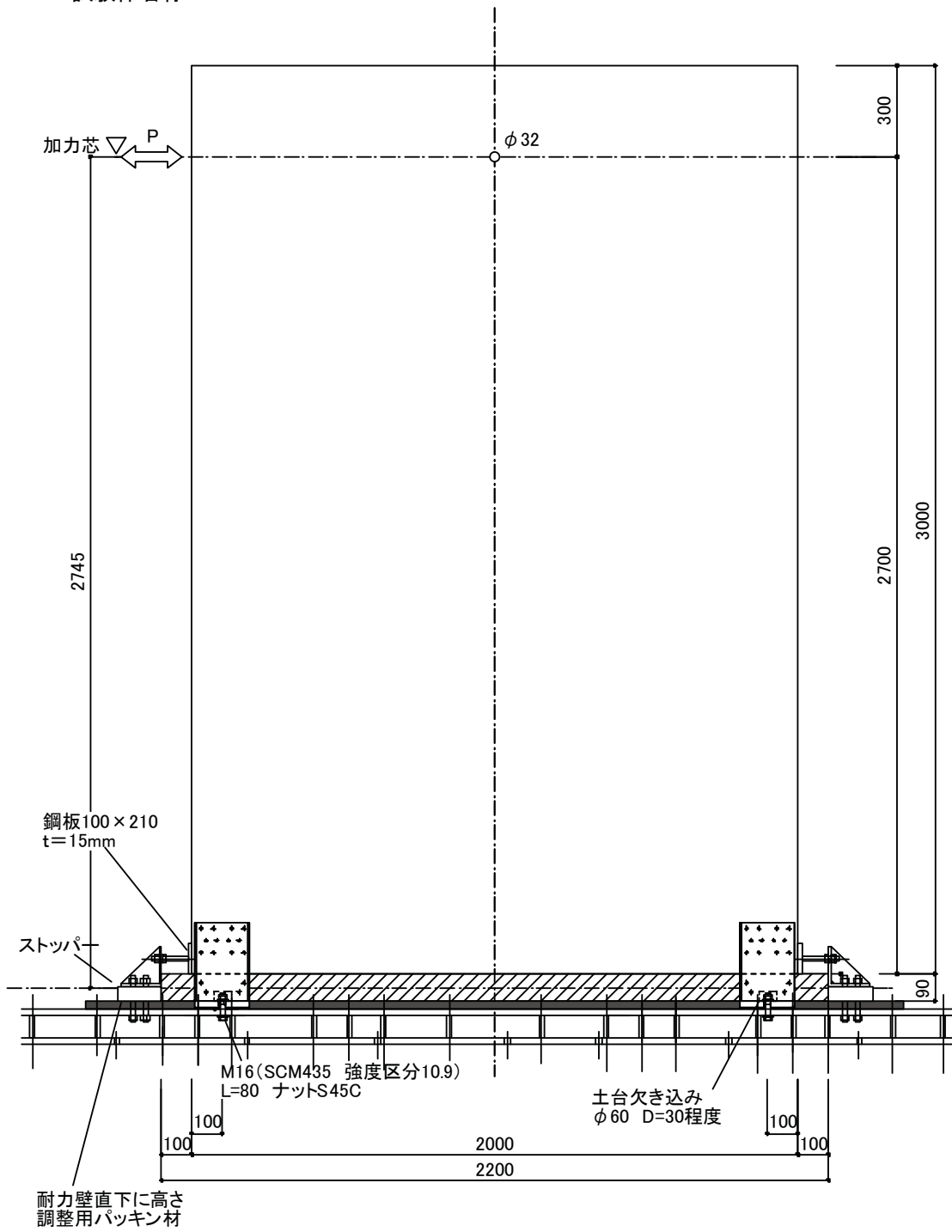


図3.2.1-16 2m耐力壁試験体図 (L型ビス用金物) ×1試験

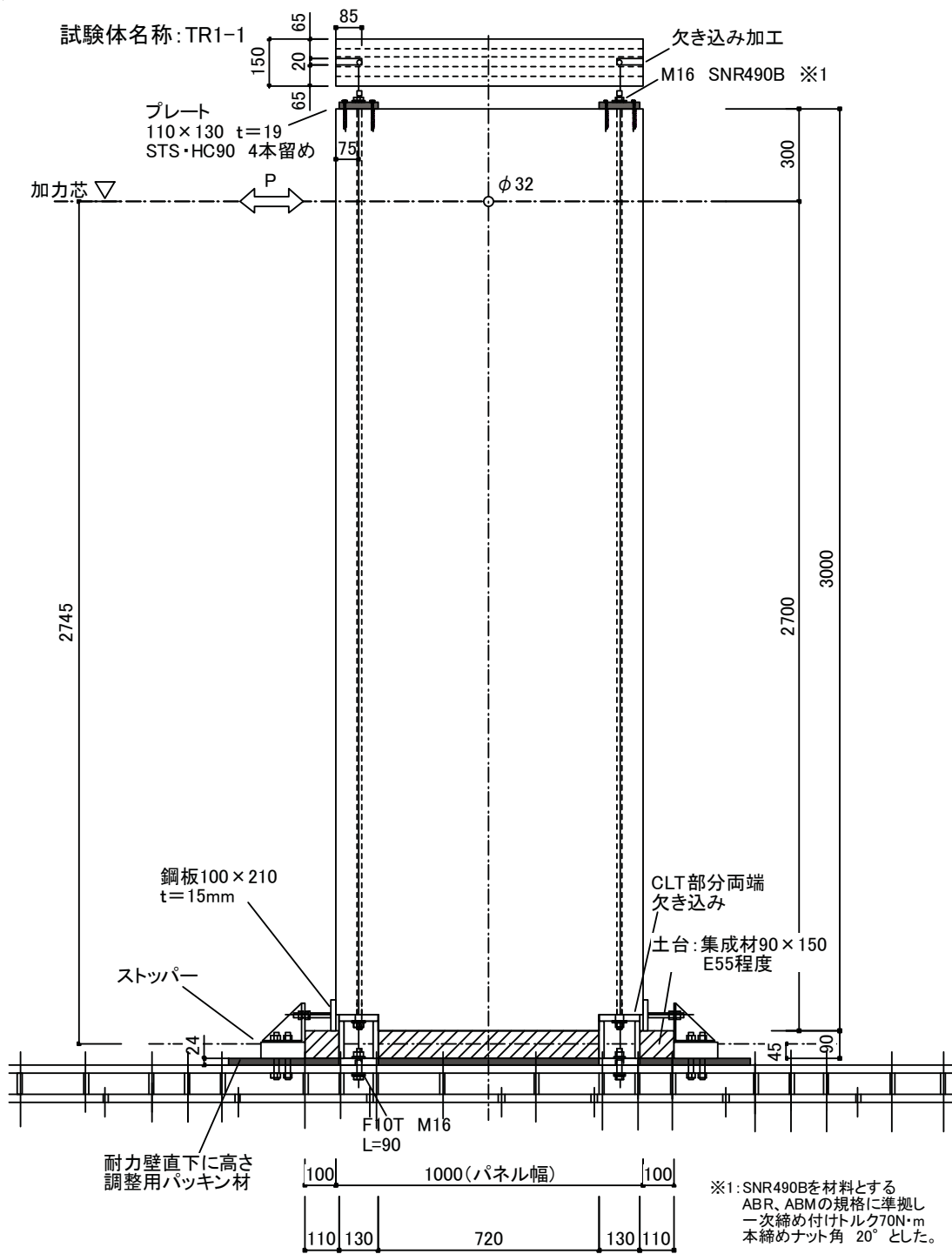


図3.2.1-17 1m耐力壁試験体図 (タイロッド方式) ×1試験

試験体名称:NB1-1

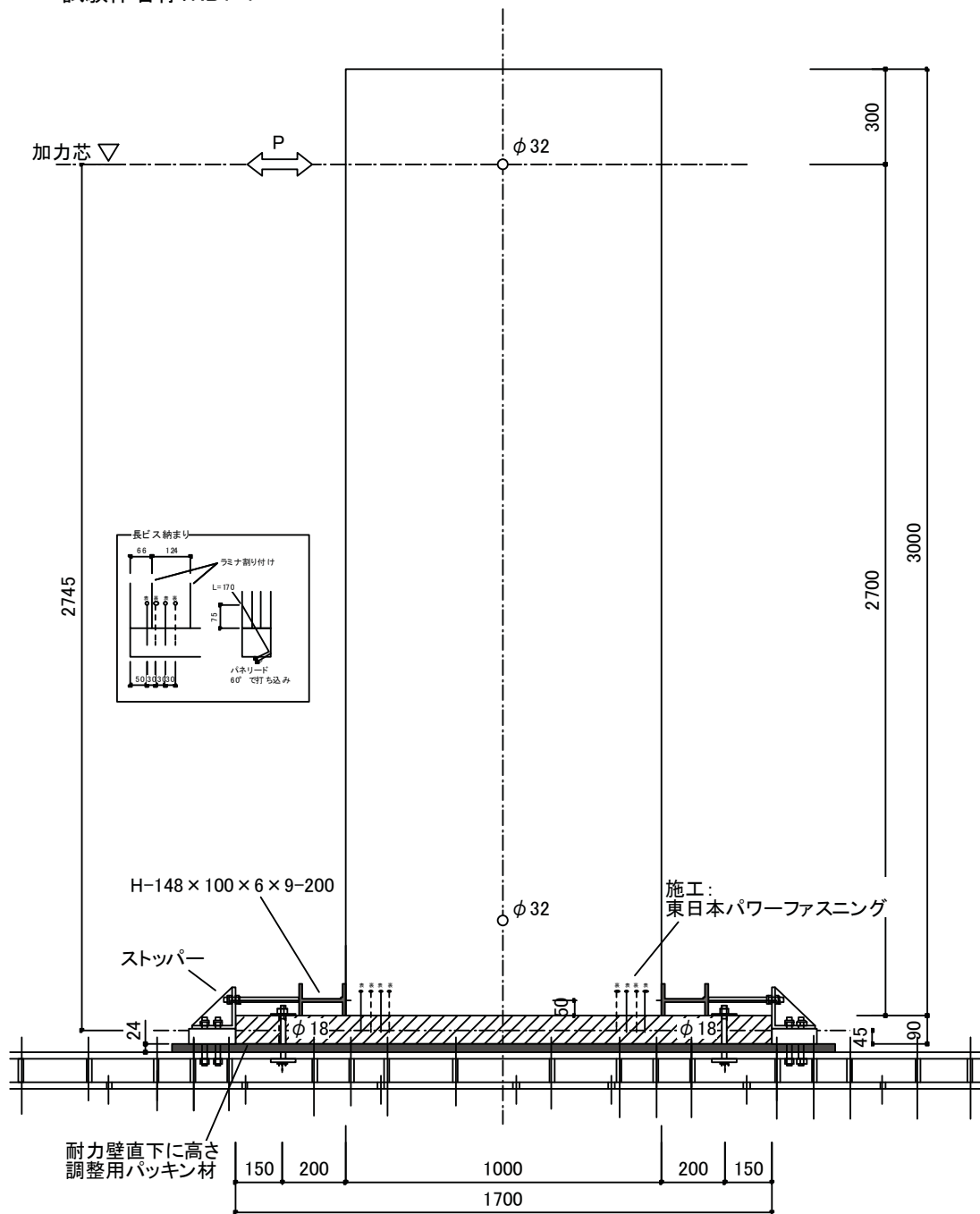


図3.2.1-18 1m耐力壁試験体図 (長ビス) \times 1試験

試験体名称: NB1-2

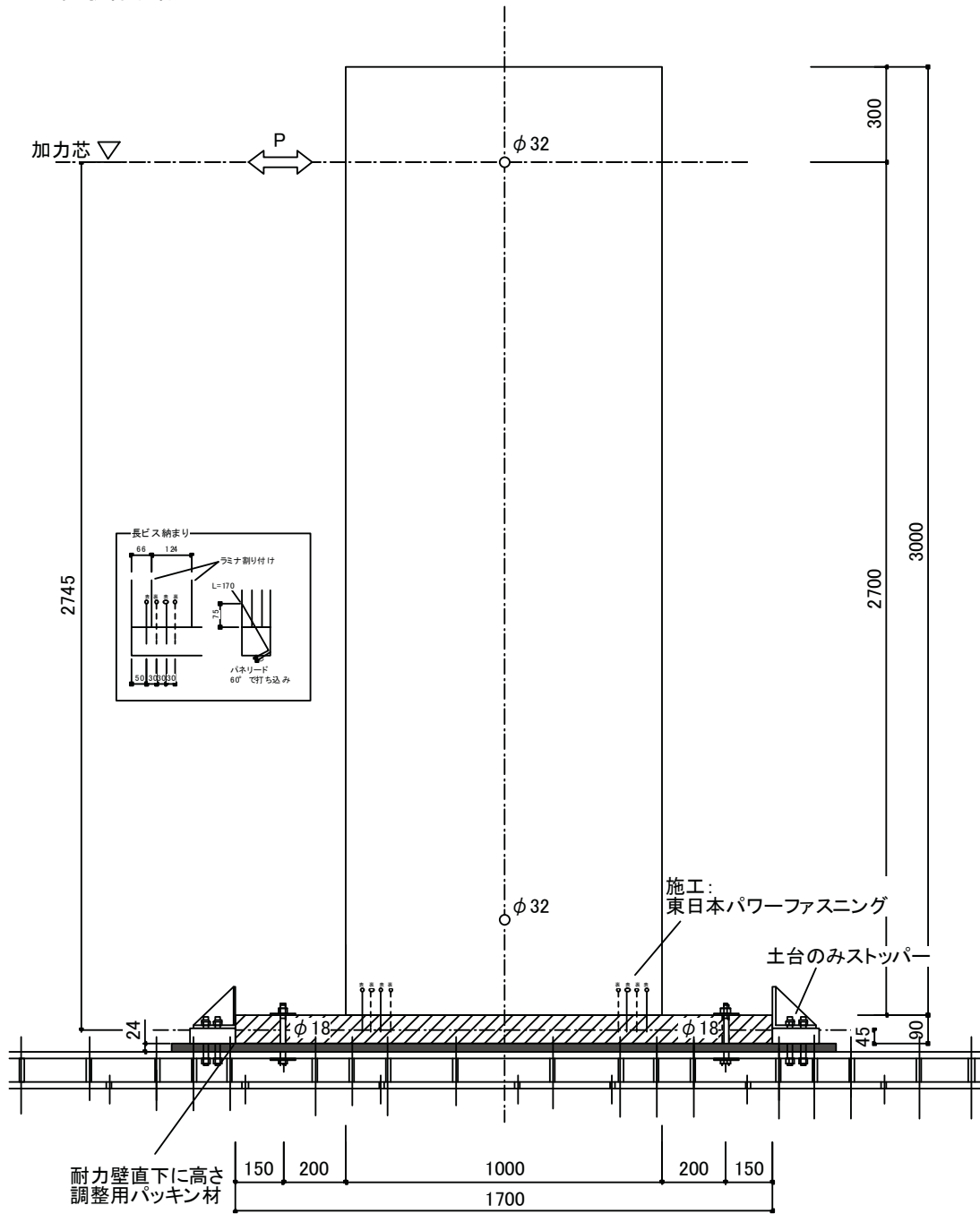


図3.2.1-19 水平せん断試験体図 (長ビス) ×1試験

試験体名称: NB1-3

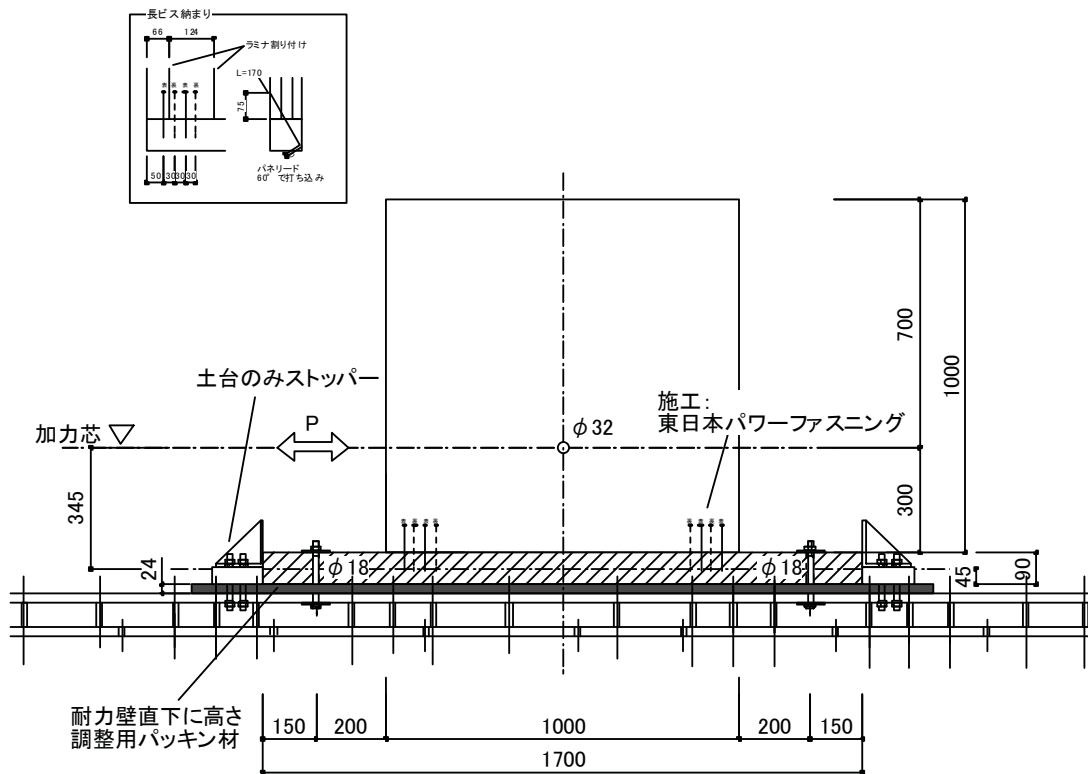


図3.2.1-20 純せん断試験体図 (長ビス) ×1試験

3. 2. 2 耐力壁試験結果

農総技 第 27-46 号
平成 28 年 2 月 23 日

依頼者 住所 東京都中央区東日本橋 2-15-5
モリビルディング 2 階
氏名 一般社団法人 日本 CLT 協会
会長 中島 浩一郎 殿

富山県農林水産総合技術センター所長

試験成績書

提出試料の試験成績は下記のとおりである

試験名	CLT 面内せん断試験	
試験品名 および数量	HD 金物 (1m 幅耐力壁 : ラミナ割り付け 29+103) (HD1-1)	1 試料
	HD 金物 (1m 幅耐力壁 : ラミナ均等) (HD1-2)	1 試料
	HD 金物 (1m 幅耐力壁 : ラミナ割り付け 103+29) (HD1-3)	1 試料
	HD 金物 (2m 幅耐力壁) (HD2-1)	1 試料
	L 型ビス用金物 (1m 幅耐力壁) (L1-1)	1 試料
	L 型ビス用金物 (水平せん断) (L1-2)	1 試料
	L 型ビス用金物 (純せん断) (L1-3)	1 試料
	L 型ビス用金物 (2m 幅耐力壁) (L2-1)	1 試料
	タイロッド (1m 幅耐力壁) (TR1-1)	1 試料
	長ビス (1m 幅耐力壁) (NB1-1)	1 試料
	長ビス (水平せん断) (NB1-2)	1 試料
	長ビス (純せん断) (NB1-3)	1 試料
		計
試験結果の概要	別紙のとおり	
担当者	木材研究所 木質構造課 木材研究所 木質構造課	清水 秀丸 若島 嘉朗
備考		

3. 2. 2. 1 試験体

1) 試験体構成材料

申請者より受領した、試験体の試験体写真および樹種・寸法（貴社申請値）を以下に示す。

【試験体名】HD 金物(1m 幅耐力壁：ラミナ割り付け 29+103) (HD1-1)

【軸組】土台：スギ E70～90 程度

【CLT】仕様：Mx60B 90mm 厚 3層 3 プライ

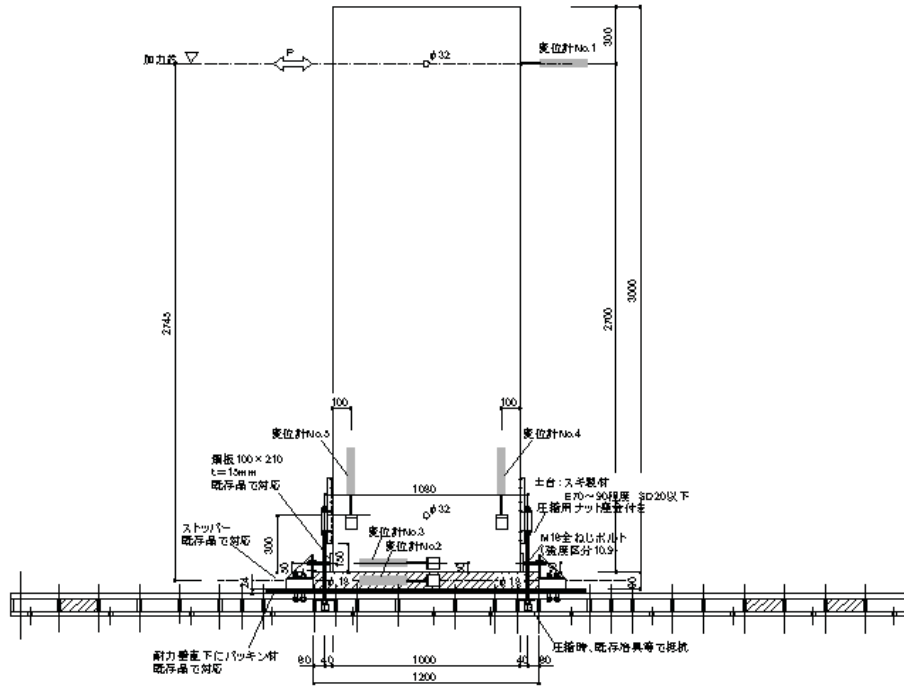


図 3.2.2.1-1 HD 金物(1m 幅耐力壁：ラミナ割り付け 29+103) 試験体立面図(HD1-1)

【試験体名】 HD 金物(1m 幅耐力壁：ラミナ均等) (HD1-2)

【軸組】 土台：スギ E70～90 程度

【CLT】 仕様：Mx60B 90mm 厚 3 層 3 プライ

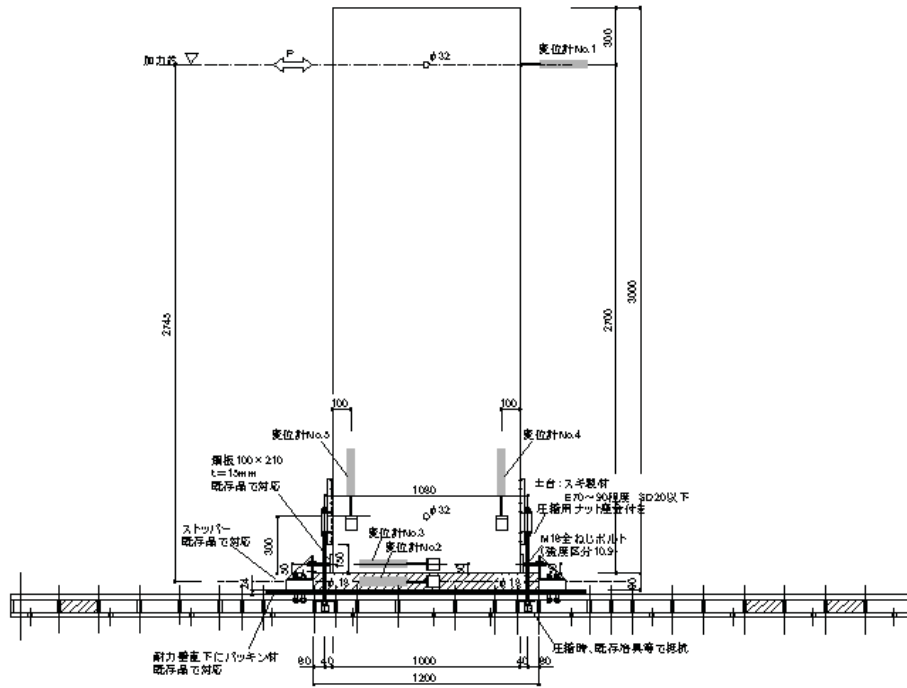


図 3.2.2.1-2 HD 金物(1m 幅耐力壁：ラミナ均等) 試験体立面図(HD1-2)

【試験体名】 HD 金物(1m 幅耐力壁：ラミナ割り付け 103+29) (HD1-3)

【軸組】 土台：スギ E70～90 程度

【CLT】 仕様：Mx60B 90mm 厚 3 層 3 プライ

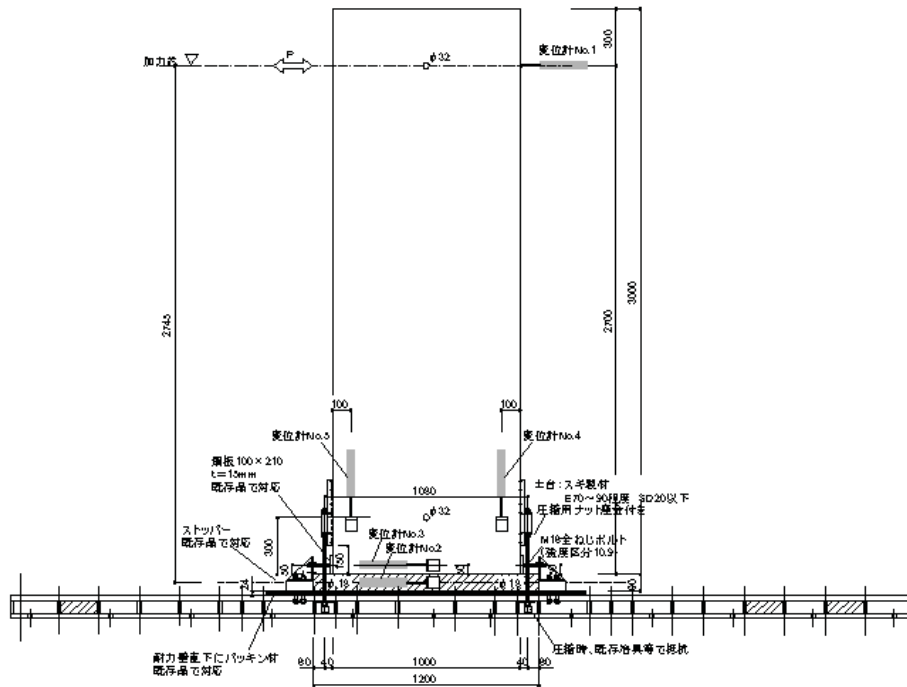


図 3.2.2.1-3 HD 金物(1m 幅耐力壁：ラミナ割り付け 103+29) 試験体立面図(HD1-3)

【試験体名】 HD 金物 (2m 幅耐力壁) (HD2-1)

【軸組】 土台 : スギ E70~90 程度

【CLT】 仕様 : Mx60B 90mm 厚 3 層 3 プライ

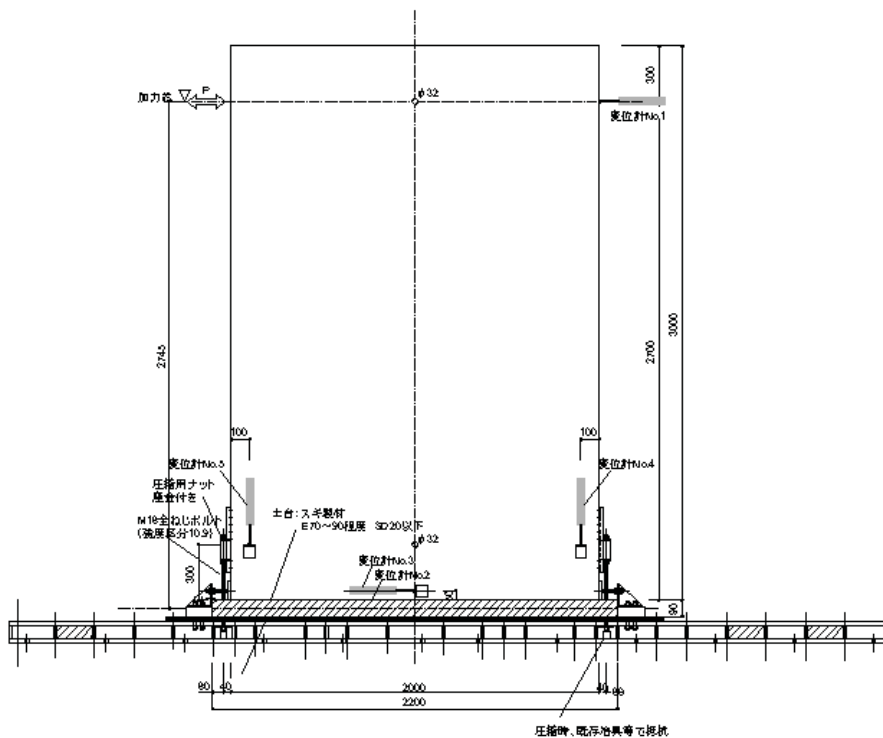


図 3.2.2.1-4 HD 金物 (2m 幅耐力壁) 試験体立面図 (HD2-1)

【試験体名】 L 型ビス用金物 (1m 幅耐力壁) (L1-1)

【軸組】 土台 : スギ E70~90 程度

【CLT】 仕様 : Mx60B 90mm 厚 3 層 3 プライ

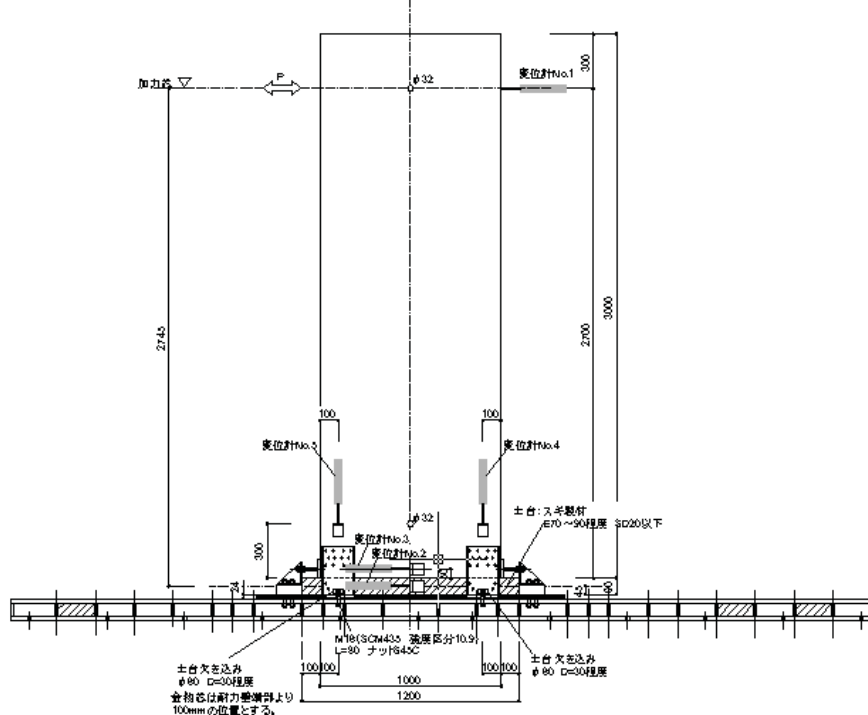


図 3.2.2.1-5 L 型ビス用金物 (1m 幅耐力壁) 試験体立面図 (L1-1)

【試験体名】 L型ビス用金物（水平せん断）（L1-2）

【軸組】 土台：スギ E70～90 程度

【CLT】 仕様：Mx60B 90mm厚3層3プライ

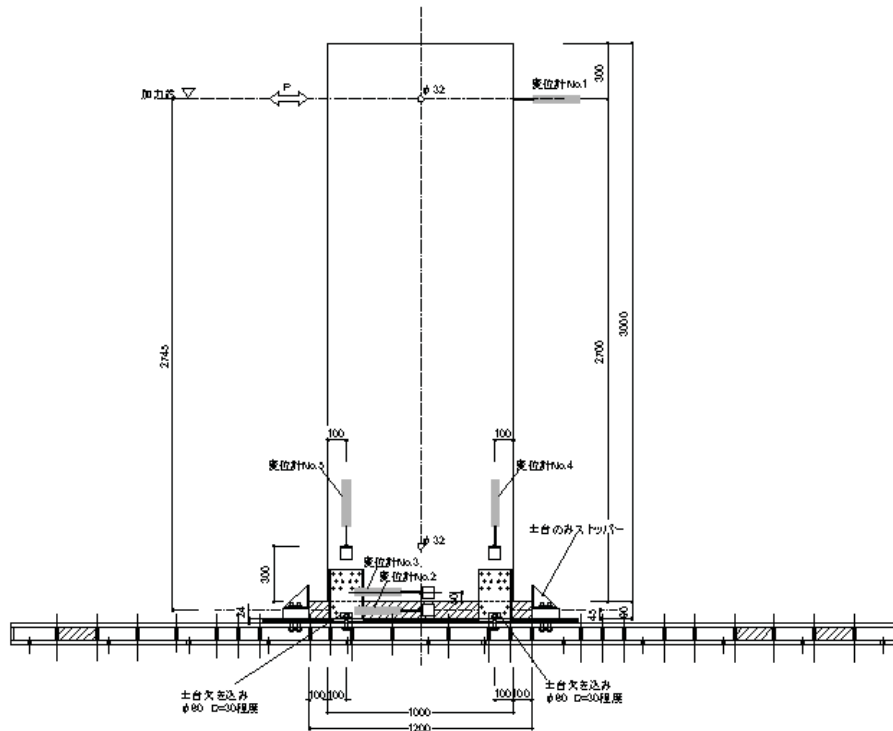


図 3.2.2.1-6 L型ビス用金物（水平せん断）試験体立面図(L1-2)

【試験体名】 L型ビス用金物（純せん断）（L1-3）

【軸組】 土台：スギ E70～90 程度

【CLT】 仕様：Mx60B 90mm厚3層3プライ

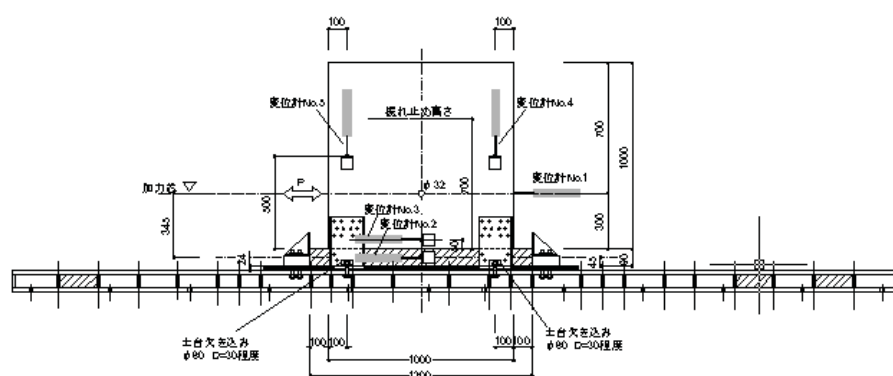


図 3.2.2.1-7 L型ビス用金物（純せん断）試験体立面図(L1-3)

【試験体名】L型ビス用金物（2m幅耐力壁）（L2-1）

【軸組】土台：スギ E70~90 程度

【CLT】仕様：Mx60B 90mm厚3層3プライ

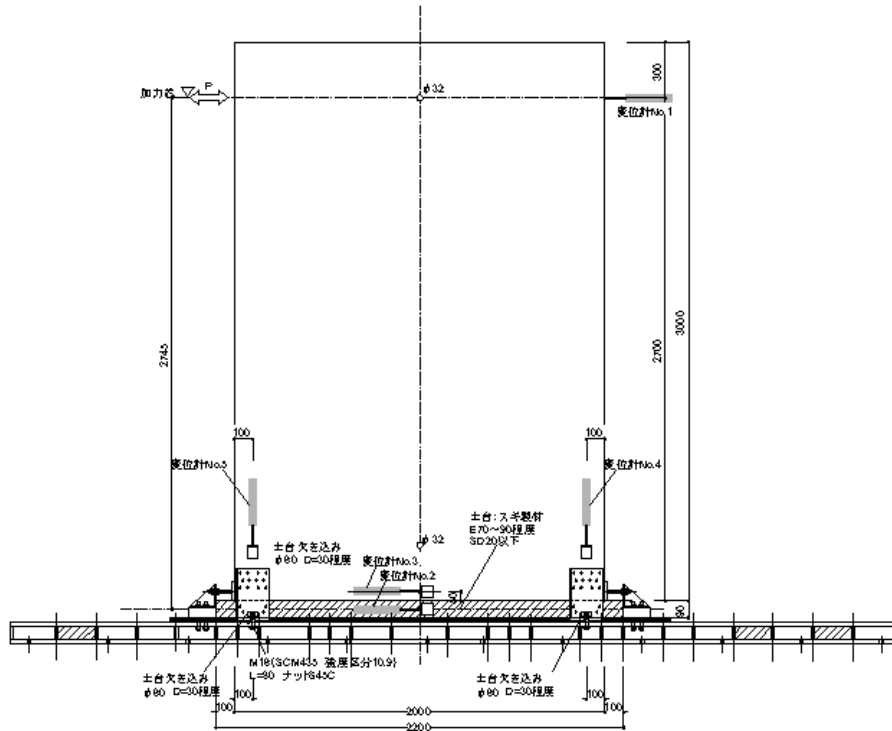


図 3.2.2.1-8 L型ビス用金物（2m幅耐力壁）試験体立面図(L2-1)

【試験体名】タイロッド（1m幅耐力壁）（TR1-1）

【軸組】土台：集成材 E50 程度

【CLT】仕様：Mx60B 150mm厚5層5プライ

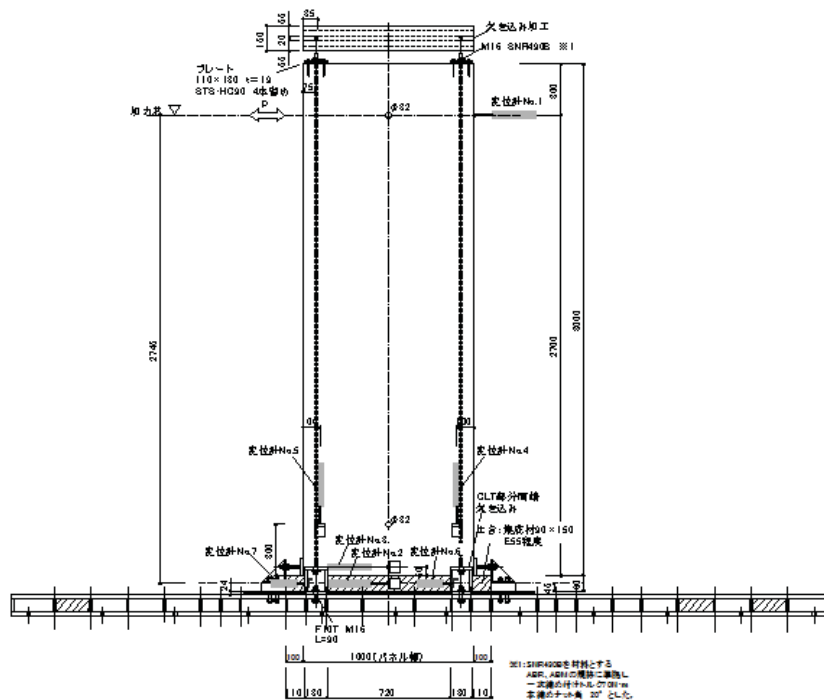


図 3.2.2.1-9 タイロッド（1m幅耐力壁）試験体立面図(TR1-1)

【試験体名】長ビス(1m幅耐力壁) (NB1-1)

【軸組】土台：スギ E70~90程度

【CLT】仕様：Mx60B 90mm厚3層3プライ

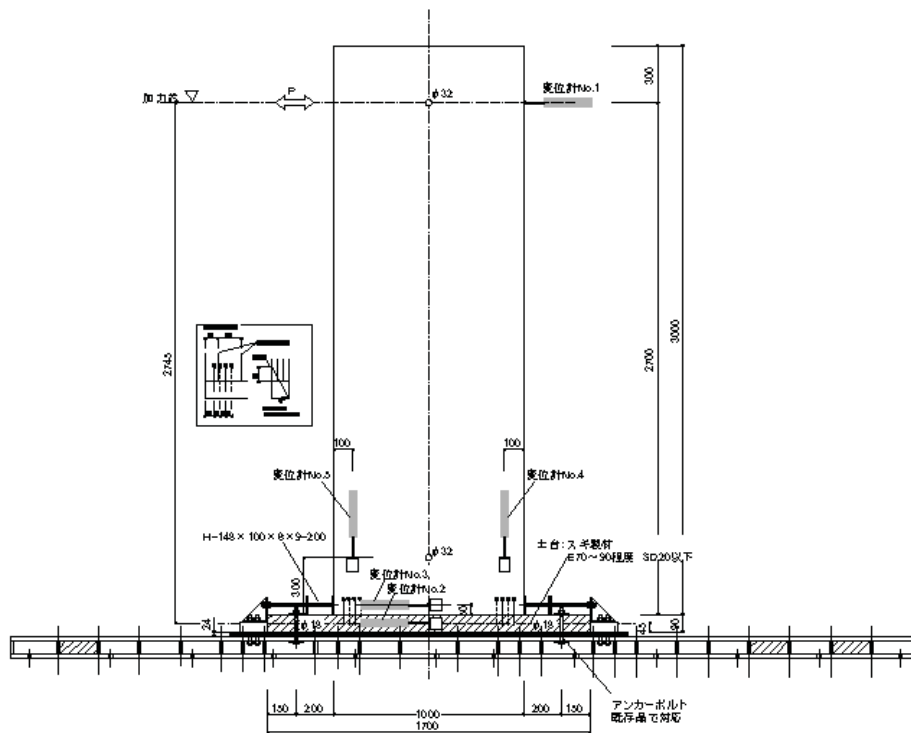


図 3.2.2.1-10 長ビス(1m幅耐力壁) 試験体立面図(NB1-1)

【試験体名】長ビス(水平せん断) (NB1-2)

【軸組】土台：スギ E70~90程度

【CLT】仕様：Mx60B 90mm厚3層3プライ

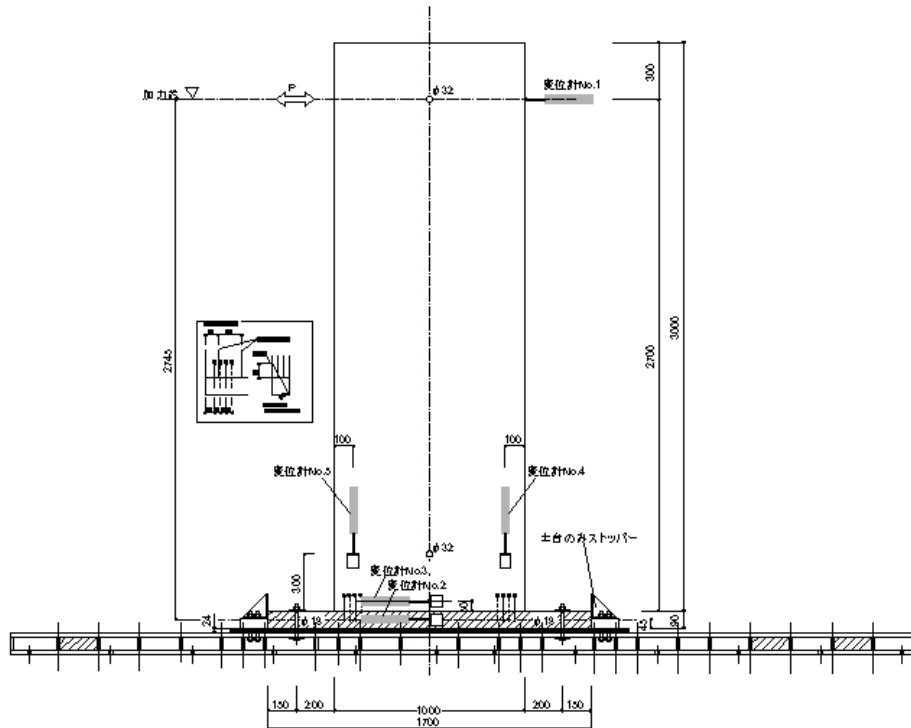


図 3.2.2.1-11 長ビス(水平せん断) 試験体立面図(NB1-2)

【試験体名】長ビス(純せん断) (NB1-3)

【軸組】土台：スギ E70~90 程度

【CLT】仕様：Mx60B 90mm厚3層3プライ

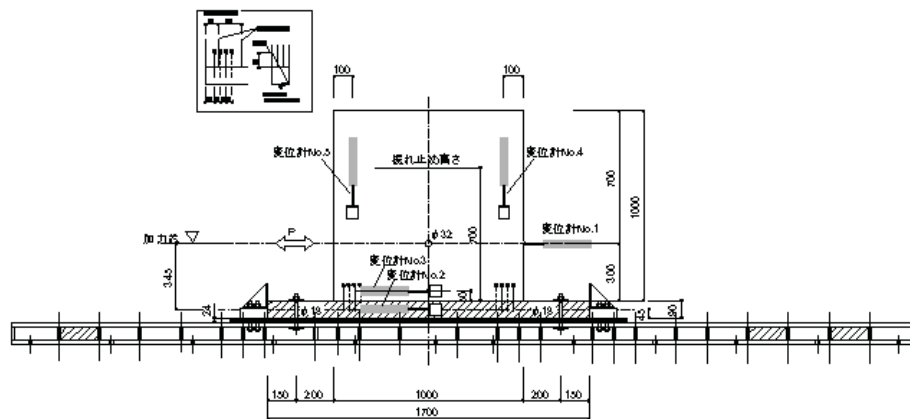


図 3.2.2.1-12 長ビス(純せん断) 試験体立面図 (NB1-3)



写真 3.2.2.1-1 試験体写真例 (HD2-1)

2) 試験体接合部詳細

省略

3) 試験体含水率

試験体樹種・寸法（貴社申請値）および、計測した重量、含水率を以下に示す。

表 3.2.2.1-1 試験体含水率等 (1/2)

試験体名称	CLT						備考
	長さ (cm)	高さ (cm)	幅 (cm)	重量 (kgf)	密度 (kgf/cm ³)	含水率 (%)	
HD1-1	100	300	9	116.5	0.43	13.0	
HD1-2	100	300	9	114.0	0.42	13.0	
HD1-3	100	300	9	116.5	0.43	13.0	
L1-1	100	300	9	113.0	0.42	11.5	
L1-2	100	300	9	113.0	0.42	11.5	
L1-3	100	100	9	37.5	0.42	10.5	
TR1-1	100	300	15	191.0	0.42	12.0	
NB1-1	100	300	9	113.0	0.42	13.0	
NB1-2	100	300	9	113.0	0.42	13.0	
NB1-3	100	100	9	39.5	0.44	11.5	
HD2-1	200	300	9	225.5	0.42	12.0	
L2-1	200	300	9	225.5	0.42	13.5	

表 3.2.2.1-2 試験体含水率等 (2/2)

	土台						備考
	長さ (cm)	高さ (cm)	幅 (cm)	重量 (kgf)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	
HD1-1	120	9	9	3.71	0.38	10.0	
HD1-2	120	9	9	3.82	0.39	10.5	
HD1-3	120	9	9	3.695	0.38	10.5	
L1-1	120	9	9	4.06	0.42	10.5	
L1-2	120	9	9	4.21	0.43	10.5	
L1-3	120	9	9	4.25	0.44	10.5	
TR1-1	11	9	15	0.615	0.41	15.0	左側土台
	72	9	15	3.95	0.41	15.5	中央土台
	11	9	15	0.59	0.40	10.5	右側土台
NB1-1	9	9	170	5.955	0.43	10.5	
NB1-2	9	9	170	5.845	0.42	10.0	
NB1-3	9	9	170	5.95	0.43	10.5	
HD2-1	9	9	220	7.75	0.43	11.5	
L2-1	9	9	220	7.96	0.45	11.5	

3. 2. 2. 2 試験方法

面内せん断試験は、木材研究所の壁せん断試験機を用いて実施した。壁せん断試験機の諸元を表 3.2.2.2-1 に、壁せん断試験機の状態を写真 3.2.2.2-1 に示す。

表 3.2.2.2-1 壁せん断試験機諸元

機器名	壁せん断試験機
概要	構面・接合部等の耐震性能試験 (せん断、曲げ、引張・圧縮試験)
製造	株式会社 鷺宮製作所
最大荷重	±100kN
最大ストローク	±200mm
最大速度	±0.08m/s
最大加速度	±2.51m/s ²
周波数範囲	0.01～5Hz



写真 3.2.2.2-1 壁せん断試験機

3. 2. 2. 3 試験および評価方法

試験および評価方法は、(財)日本住宅・木材技術センターが出版している「木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年版)」に準拠する。

1) 試験体作製および設置方法

鉛直構面の面内せん断試験の試験体作製・設置例を表 3.2.2.3-1 に示す。鉛直構面耐力壁の許容せん断耐力を算定するための試験は、柱脚固定式またはタイロッド式で行うこととし、試験体の設置方法例を図 3.2.2.3-1 に示す。

本試験は、すべて柱脚固定式で実施した。

TR 試験体についても、タイロッドに低降伏点鋼を使用しているため、柱脚固定式とした。

当該試験方法は、指定性能評価機関が耐力壁の倍率を評価する場合に採用する試験方法と同一である。本例は、昭和 56 年建設省告示第 1100 号「建築基準法施行令第 46 条第 4 項表一 (一) 項から (七) 項までに掲げる軸組と同等以上の耐力を有する軸組及び当該軸組に係る倍率の数値を定める件 (平成 16 年国土交通省告示第 1171 号による改正)」に規定する仕様ではなく、くぎの間隔を超えるものや部材断面が満たないもの、くぎの種類が異なるもの等を対象としている。本例は、面材大壁仕様であるが、面材真壁仕様やその他の仕様の耐力壁についても同様の試験とする。

左方向(正)、右方向(負)

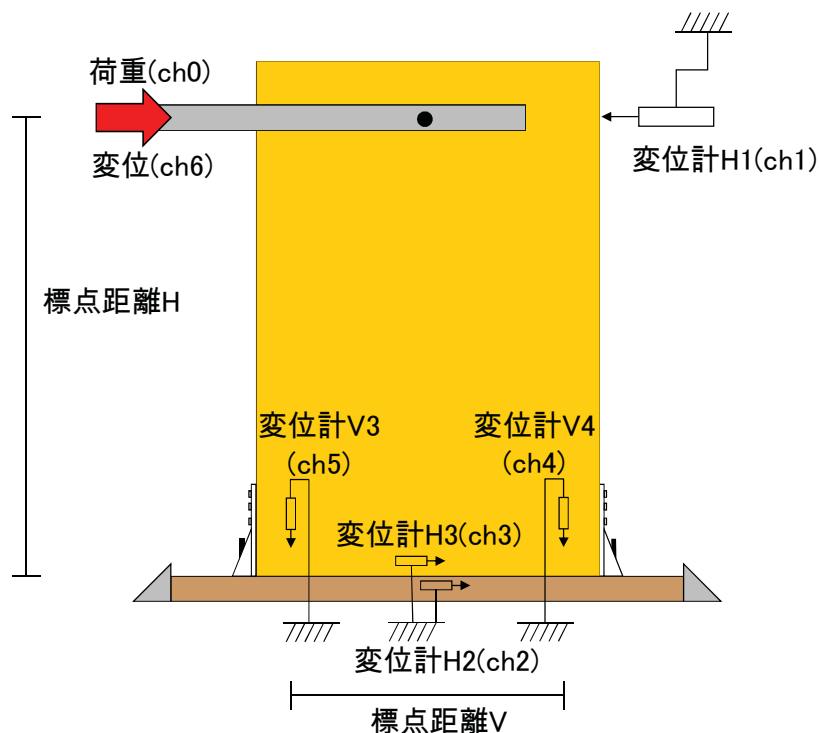


図 3.2.2.3-1 CLT 試験体の設置方法と計測箇所 (NB1-1~1-2、HD1-1~1-3、HD2-1、L1-1~1-2、L2-1)

左方向(正)、右方向(負)

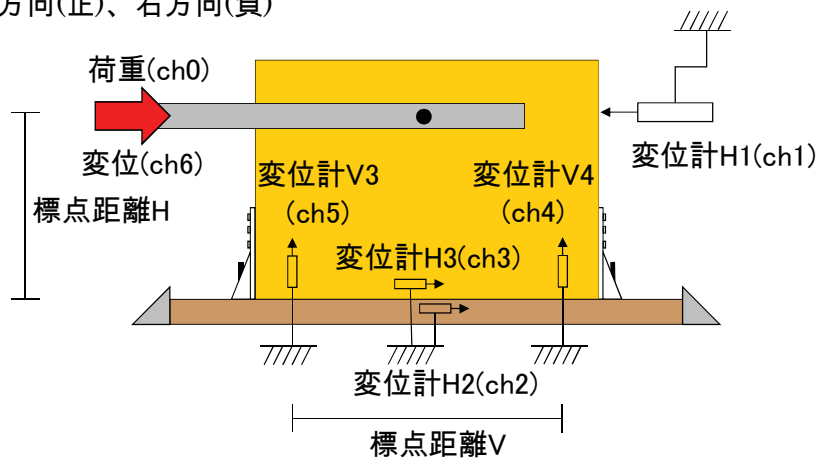


図 3.2.2.3-2 CLT 試験体の設置方法と計測箇所 (NB1-3、L1-3)

左方向(正)、右方向(負)

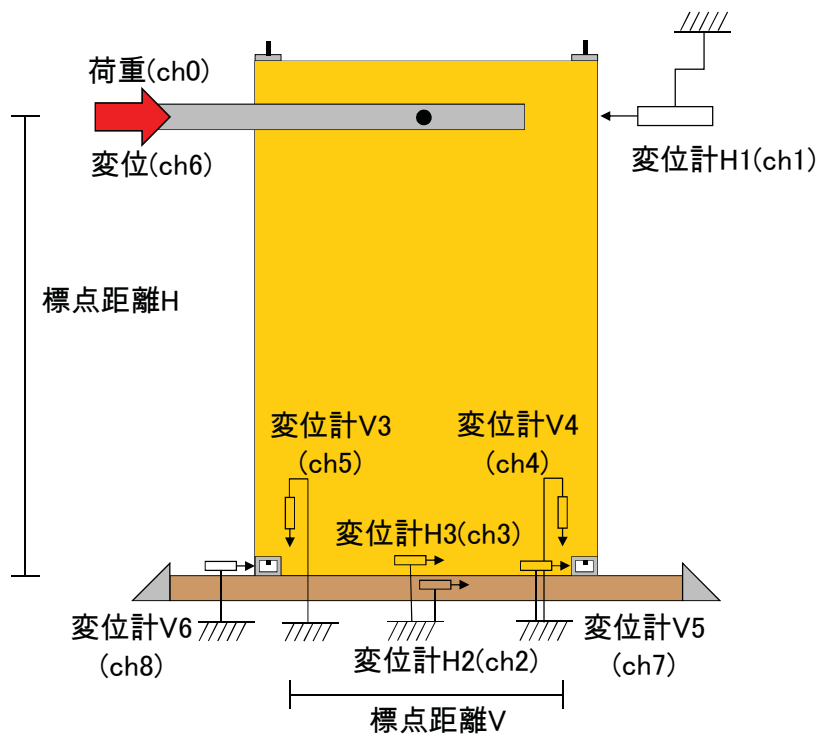


図 3.2.2.3-3 CLT 試験体の設置方法と計測箇所 (TR1-1)

表 3.2.2.3-1 試験体の作製・設置方法の例

項目	試験体の作製・設置方法
試験体の構成	柱、土台、間柱および梁の軸組並びに面材を想定した部材で構成する。
試験体の寸法	① 幅 1.82～2.00m、高さ 2.73～3.00m を標準とする。 ② 梁の断面寸法は 105×180mm、柱および土台の断面寸法は 105×105mm、継手間柱の断面寸法は 45×105mm
木材の樹種	梁にベイマツ、柱、土台および間柱にはスギ
試験体数	3 体以上
試験体の設置	柱頭・柱脚の仕口は以下のとおりとする。 ①柱脚固定式の場合 短ほぞ差し+N90 くぎ 2 本打ち、引き寄せ金物締めとする（短ほぞ寸法は、深さ 50mm、厚さ 30mm、幅 85mm）。 ②タイロッド式の場合 短ほぞ差し+N90 くぎ 2 本打ち程度の固定とする。仕口が先行破壊する可能性があるときは、必要に応じて山形プレート等で補強する。試験体を固定するボルト M16 用の孔径は $\phi 18\text{mm}$ とし、その位置は柱芯から外側に 200mm 離れた位置および試験体の中央の位置の 3 カ所とする。土台は、ボルト M16 と角座金 W9.0×80 を用いて、試験装置に強固に締め付けて固定する。 引き寄せ金物の引き寄せボルトは、最初にレンチ等で締め付けて馴染ませる。その後ゆるめて、試験時には手で締める程度の圧縮とし、ボルトに大きな拘束力を与えないこととする。

2) 試験方法

2-1) 加力方法

①加力は正負交番繰り返し加力とする。

②繰り返し履歴は、試験方法によって異なる。

柱脚固定式の場合

見かけのせん断変形角が 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50rad の正負変形時とする（床の場合は上記に 1/30rad を追加）。

タイロッド式の場合

真のせん断変形角が 1/600、1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50rad の正負変形時とする（床の場合は上記に 1/30rad を追加）。

③繰り返し回数は、履歴の同一変形段階で 3 回を原則とする（ただし、床の面内せん断試験は 1 回とする。）。

④加力が最大荷重に達した後、最大荷重の 80%の荷重に低下するまで加力するか、せん断変形角が 1/15rad 以上に達するまで加力する。

本試験は図 3.2.2.3-4 に示すとおり、見かけのせん断変形角が 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50rad まで正負交番 3 回繰り返し加力、1/50rad 以上は引ききりとした。

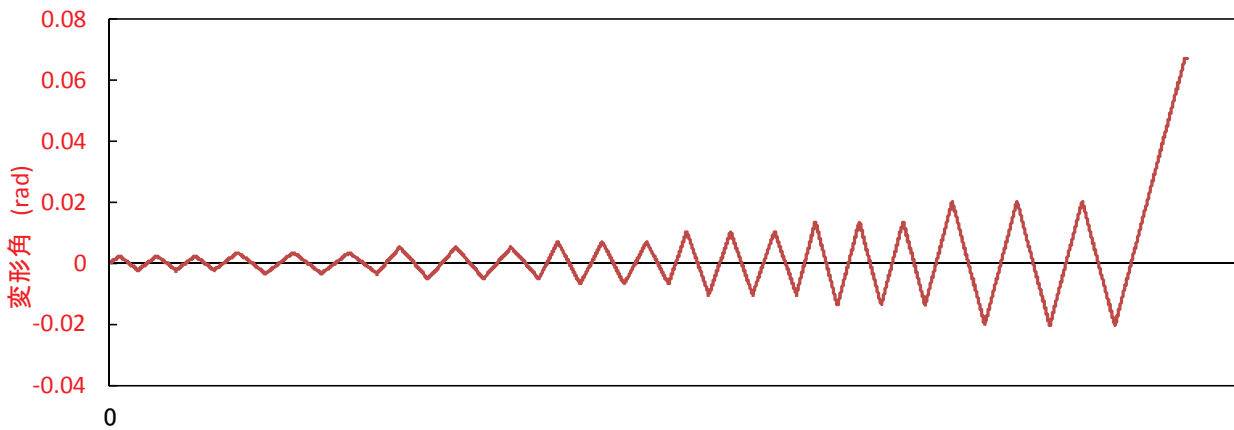


図 3.2.2.3-4 加力サイクル

2-2) 変位の測定

変位計測は、図 3.2.2.3-1 に示すような変位計 H1 で梁材または桁材の水平方向変位、変位計 H2 で土台または桁材の水平方向変位を、変位計 V3、V4 で柱または梁の脚部の鉛直方向変位をそれぞれ測定する。変位計はなるべく部材の軸心に取り付ける。

なお、タイロッド式については、タイロッドの浮き上がり拘束力を測定することが望ましい。

変位計の設置位置は図 3.2.2.3-1～3.2.2.3-3 の通りとする。

3) 評価方法

3-1) せん断変形角の算出

$$\text{見かけのせん断変形角 (rad)} \quad \gamma = \frac{\delta_1 - \delta_2}{H}$$

$$\text{脚部のせん断変形角 (rad)} \quad \theta = \frac{\delta_3 - \delta_4}{V}$$

$$\text{真のせん断変形角 (rad)} \quad \gamma_0 = \gamma - \theta$$

ここで、 δ_1 : 梁材 (水平構面の場合は加力桁材) の水平方向変位 (mm) (変位計 H1)

δ_2 : 土台 (水平構面の場合は固定桁材) の水平方向変位 (mm) (変位計 H2)

H : 変位計 H1 と H2 の間の距離 (mm)

δ_3 : 柱脚部 (水平構面の場合は梁脚部) の鉛直方向変位 (mm) (変位計 V3)

δ_4 : 柱脚部 (水平構面の場合は梁脚部) の鉛直方向変位 (mm) (変位計 V4)

V : 変位計 V3 と V4 の間の距離 (mm)

3-2) 包絡線の作成

包絡線は、最終破壊された側の荷重変位曲線より作成する。包絡線は、最初の立ち上がりの計測点を繰り返し点まで結ぶ。その後は、各繰り返し加力のピークおよびその間の適切な点を順次結んで曲線を作成する。最大荷重が繰り返し履歴以降で記録される場合は、最後の繰り返し点と最大荷重点を結ぶ。また、その間で適切な補助的な計測点を結びながら曲線を作成する。最大荷重以降は計測された点を結んで曲線とする。ただし、破壊により急激に低下したような計測点は、全体の状況を勘案した上で曲線を作成する。

3-3) 短期基準せん断耐力の算出

短期基準せん断(P)は、下記の(a)~(d)の値に、それぞれのばらつき係数を乗じて算出した値のうち最も小さい値とする。なお、ばらつき係数は、母集団の分布形を正規分布とみなし、統計的处理に基づく信頼水準 75%の 50%下側許容限界値をもとに次式より求める。

$$\text{ばらつき係数} = 1 - CV \cdot k$$

ここで、 CV : 変動係数 (標準偏差/平均値)

k : 信頼水準 75%における 50%下側許容限界値を求めるための係数

(表 3.2.2.3-2)

表 3.2.2.3-2 k の値 (50%下限値)

n (試験体数)	k
3	0.471
4	0.383
5	0.331
6	0.297
7	0.271
8	0.251
9	0.235

(a) 降伏耐力 P_y

(b) 終局耐力 $\frac{0.2P_u}{D_s}$

(c) 最大荷重 $\frac{2}{3}P_{\max}$

(d) 特定変形時の耐力

ここで、柱脚固定式は見かけのせん断変形角 1/120rad、タイロッド式もしくはターンバックル付きタイロッド式は真のせん断変形角 1/150rad

本試験は柱脚固定式で実施したため、(d)特定変形時の耐力は見かけのせん断変形角 1/120rad とした。

(a)～(d)等の値を算出するためには以下の通りの完全弾塑性モデルを作成する必要がある。これは、枠組壁工法の試験方法評価方法で提案されている図 3.2.2.3-5 に準じて①～⑫の手順で行う。包絡線は、測定した荷重変位曲線の終局加力を行った側の最初の荷重変位曲線より求める。なお、耐力壁、水平構面等の面内せん断試験では、変位を変形角と読み替える。

- ①包絡線上の $0.1P_{\max}$ と $0.4P_{\max}$ を結ぶ第 I 直線を引く。
- ②包絡線上の $0.4P_{\max}$ と $0.9P_{\max}$ を結ぶ第 II 直線を引く。
- ③包絡線に接するまで第 II 直線を平行移動し、これを第 III 直線とする。
- ④第 I 直線と第 III 直線との交点の荷重を降伏耐力 P_y とし、この点から X 軸に平行に第 IV 直線を引く。
- ⑤第 IV 直線と包絡線との交点の変位を降伏変位 δ_y とする。
- ⑥原点と (δ_y, P_y) を結ぶ直線を第 V 直線とし、その勾配を初期剛性 K と定める。
- ⑦最大荷重後の $0.8P_{\max}$ 荷重低下域の包絡線上の変位を終局変位 δ_u と定める。
- ⑧包絡線と X 軸および $x = \delta_u$ の直線で囲まれる面積を S とする。
- ⑨第 V 直線と $x = \delta_u$ の直線と X 軸および X 軸に平行な直線で囲まれる台形の面積が S と等しくなるように X 軸に平行な第 VI 直線を引く。
- ⑩第 V 直線と第 VI 直線との交点の荷重を完全弾塑性モデルの終局耐力 P_u と定め、その時の変位を完全弾塑性モデルの降伏点変位 δ_v とする。
- ⑪塑性率 $\mu = \left(\frac{\delta_u}{\delta_v} \right)$ とする。
- ⑫構造特性係数 D_s は、塑性率 μ を用い、 $D_s = \frac{1}{\sqrt{2\mu - 1}}$ とする。

本試験は見かけのせん断変形角 1/15rad までを包絡線とした。

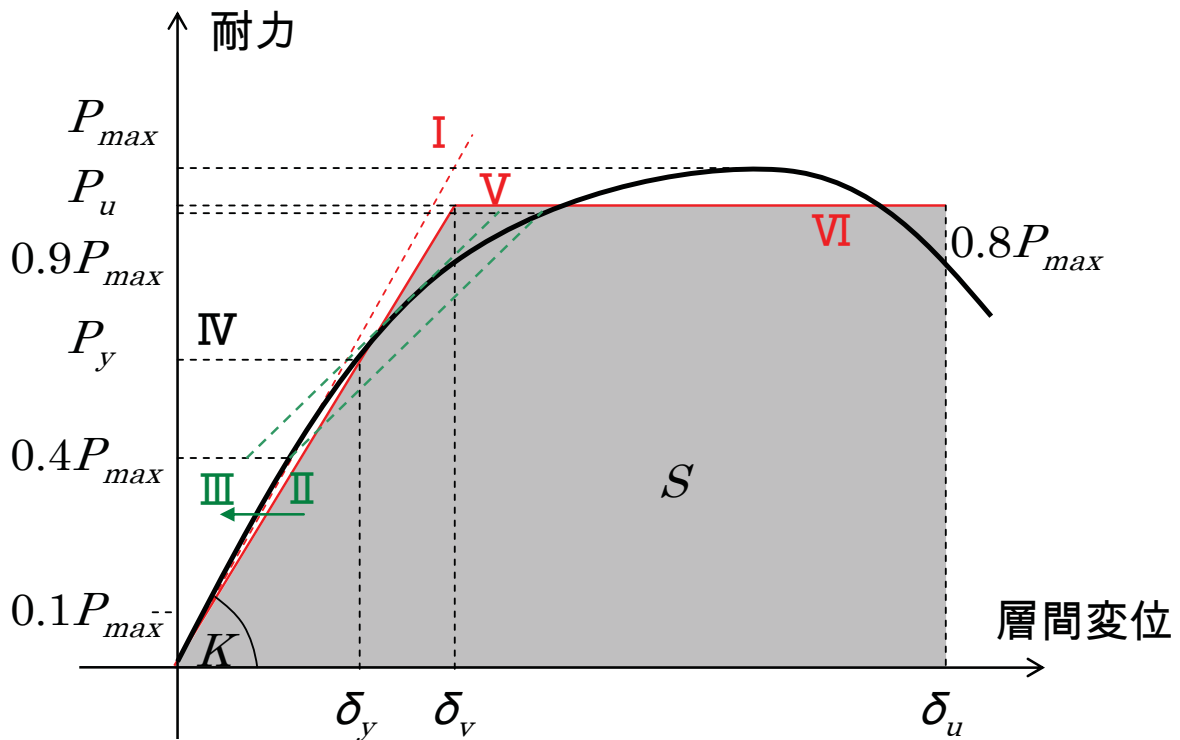


図 3.2.2.3-5 完全弾塑性モデルによる降伏耐力および終局耐力等の求め方

面材張り屋根構面の面内せん断試験の場合は、直交方向加力型による短期基準せん断耐力 P_{0A} と垂木平行方向加力型による短期基準せん断耐力 P_{0B} のうち、小さい値を短期基準せん断耐力 P_0 とする。

3-4) 短期許容せん断耐力の算定

短期許容せん断耐力 P_a は次式により算定する。

$$P_a = P_0 \cdot \alpha$$

ここで、 P_0 : 実験により決定された短期基準せん断耐力

α : 耐力に影響をおよぼす係数で、耐力壁の構成材料の耐久性・使用環境の影響、施工性の影響、許容応力度設計の前提条件を満たさない場合の影響等を勘案して定める係数

本試験は短期許容せん断耐力の算定を行わない。

3. 2. 2. 4 試験結果

CLT 面内せん断試験結果を表 3.2.2.4-1～3.2.2.4-2 に示す。各試験体の荷重変形曲線および完全弾塑性モデルを図 3.2.2.4-1～3.2.2.4-24 に示す。各試験体の実験前写真および最大変形時の損傷状況を写真 3.2.2.4-1～3.2.2.4-48 に示す。

L1-3 試験体は、表 3.2.2.2-1 に示す試験装置の最大荷重付近に達したため、試験体に目立った損傷が生じていなかったが実験を終了した。L1-3 試験体、TR1-1 試験体、NB1-3 試験体は、見かけのせん断変形角 1/15rad までに 0.8Pmax が記録されなかったため、1/15rad までの包絡線で評価を行った。

表 3.2.2.4-1 CLT 面内せん断試験結果

試験体名	降伏耐力 P_y (kN)	終局耐力 $0.2P_u/D_s$ (kN)	最大耐力 $2/3P_{max}$ (kN)	特定変形時 耐力 $P_{1/120}$ (kN)	短期基準 せん断耐力 P_o (kN)
HD1-1	15.50	10.96	17.71	18.04	10.96
HD1-2	14.18	8.56	18.40	19.70	8.56
HD1-3	12.47	9.60	17.22	20.11	9.60
HD2-1	32.54	18.90	44.05	57.77	18.90
L1-1	14.71	11.25	16.70	11.96	11.25
L1-2	14.06	11.20	16.55	11.42	11.20
L1-3	48.78	25.36	63.90	28.39	25.36
L2-1	30.16	24.34	38.99	36.14	24.34
TR1-1	15.40	16.38	15.87	17.03	15.40
NB1-1	4.98	2.47	5.92	7.92	2.47
NB1-2	4.45	2.15	5.63	7.83	2.15
NB1-3	35.59	15.75	37.01	13.99	13.99

注) 試験体 L1-3 は試験装置の最大耐力付近に達したため、損傷前に実験を終了

表 3.2.2.4-2 特性値一覧

試験体名	最大耐力 P_{max} (kN)	特定変形 時耐力 $P_{1/150}$ (kN)	降伏変位 δ_y (mm)	降伏変位 δ_v (mm)	終局変位 δ_u (mm)	塑性率 μ	構造特性 係数 D_s
HD1-1	26.57	15.40	18.70	30.51	86.94	2.85	0.46
HD1-2	27.60	16.40	15.48	28.09	52.87	1.88	0.60
HD1-3	25.83	16.88	12.50	23.15	61.56	2.66	0.48
HD2-1	66.07	48.80	10.87	20.04	34.88	1.74	0.64
L1-1	25.05	10.27	30.97	49.83	165.60	3.32	0.42
L1-2	24.83	10.02	30.37	50.90	169.18	3.32	0.42
L1-3	95.85	26.15	6.92	12.58	19.16	1.52	0.70
L2-1	58.48	31.60	16.84	29.82	92.35	3.10	0.44
TR1-1	23.80	15.81	16.58	23.12	179.70	7.77	0.26
NB1-1	8.88	6.82	12.18	19.92	32.83	1.65	0.66
NB1-2	8.44	6.73	10.90	18.90	27.78	1.47	0.72
NB1-3	55.51	11.95	7.77	11.02	18.94	1.72	0.64

注) 試験体 L1-3 は試験装置の最大耐力付近に達したため、損傷前に実験を終了

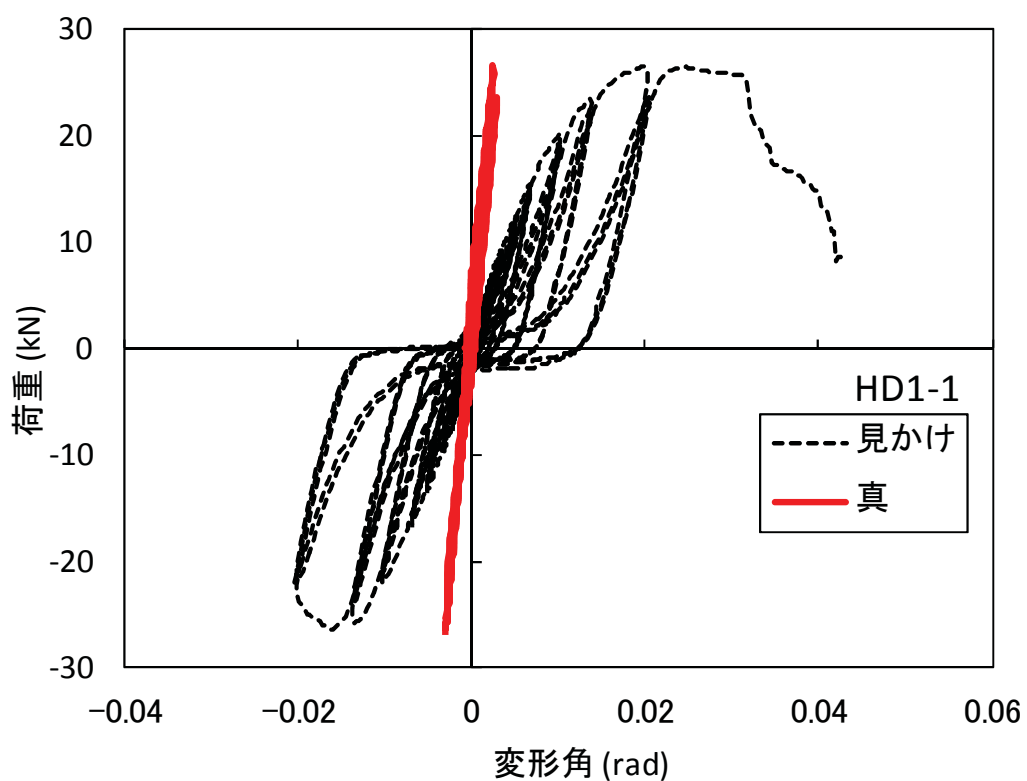


図 3.2.2.4-1 試験より得られた荷重変形角関係 (HD1-1)

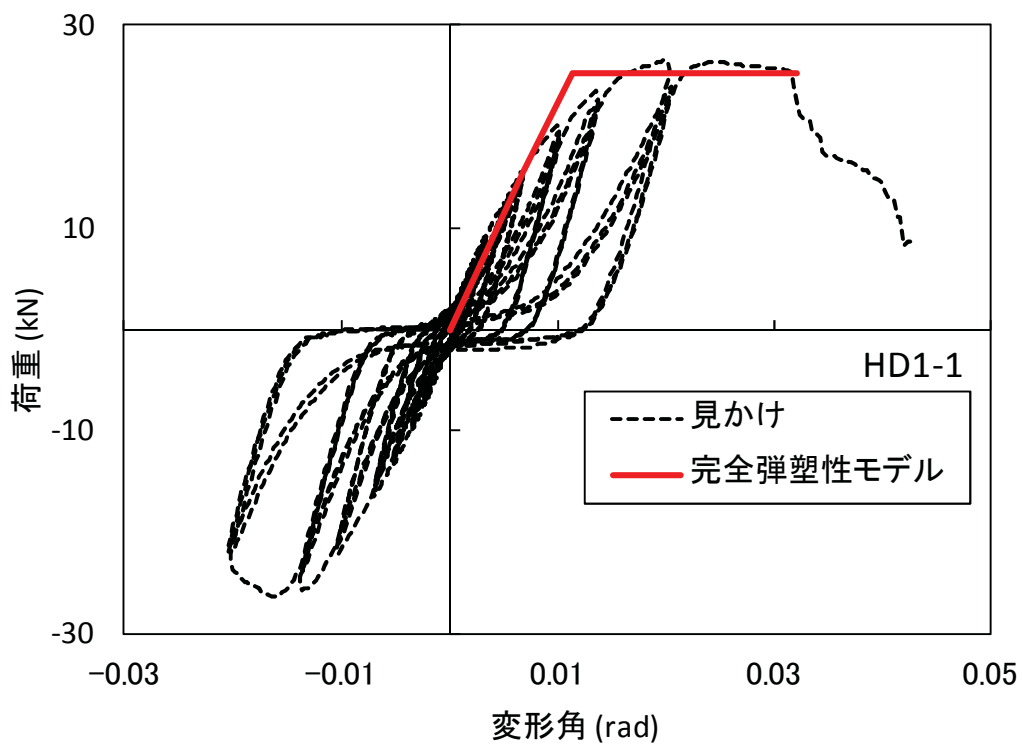


図 3.2.2.4-2 完全弾塑性モデル (HD1-1)

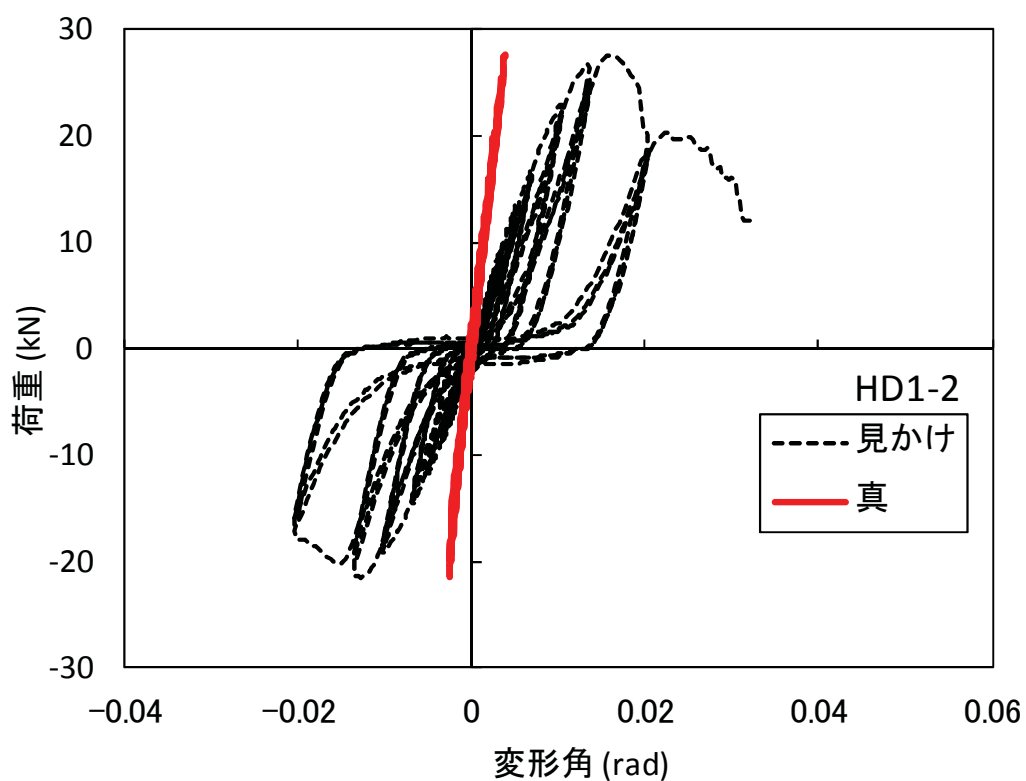


図 3.2.2.4-3 試験より得られた荷重変形角関係 (HD1-2)

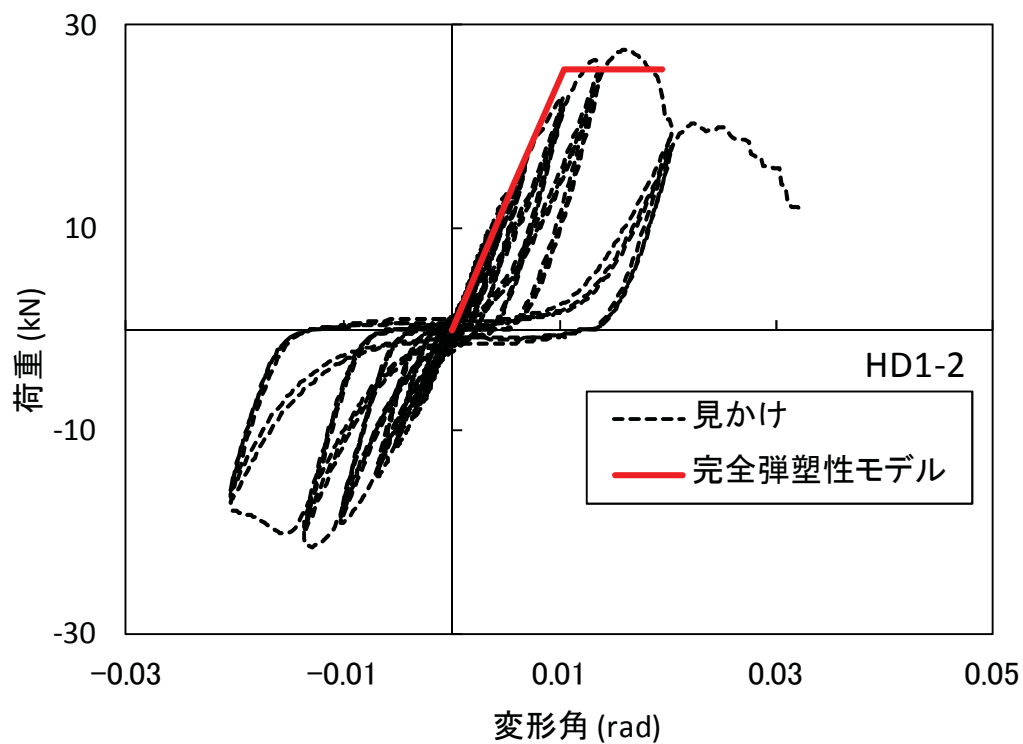


図 3.2.2.4-4 完全弾塑性モデル (HD1-2)

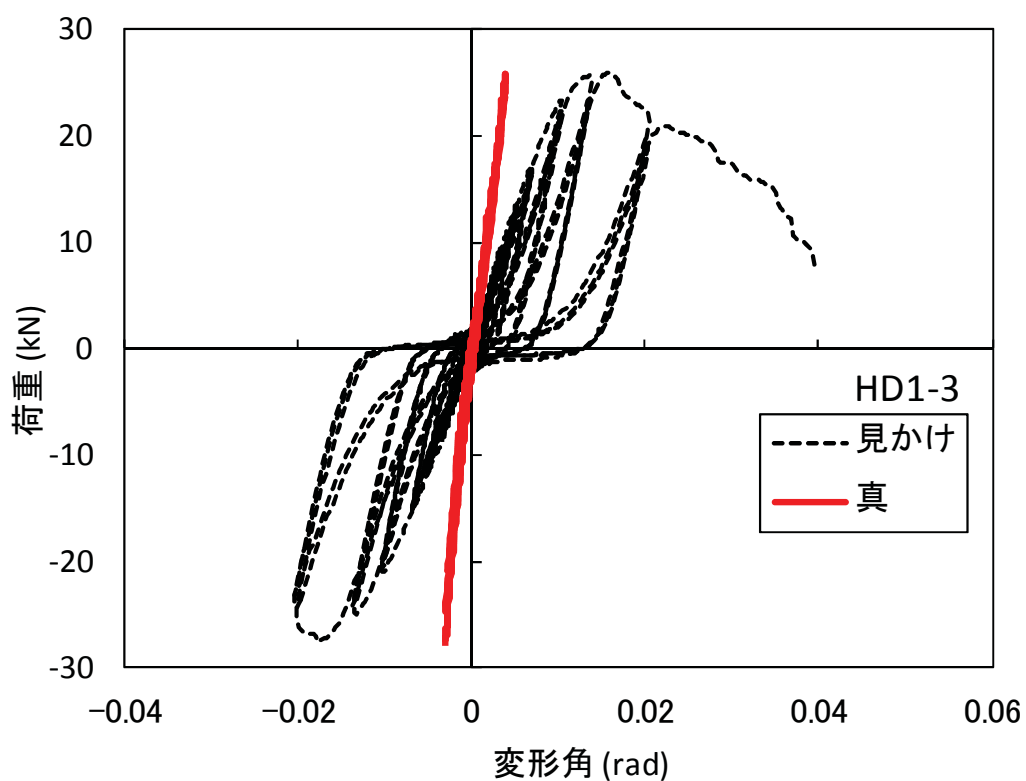


図 3.2.2.4-5 試験より得られた荷重変形角関係 (HD1-3)

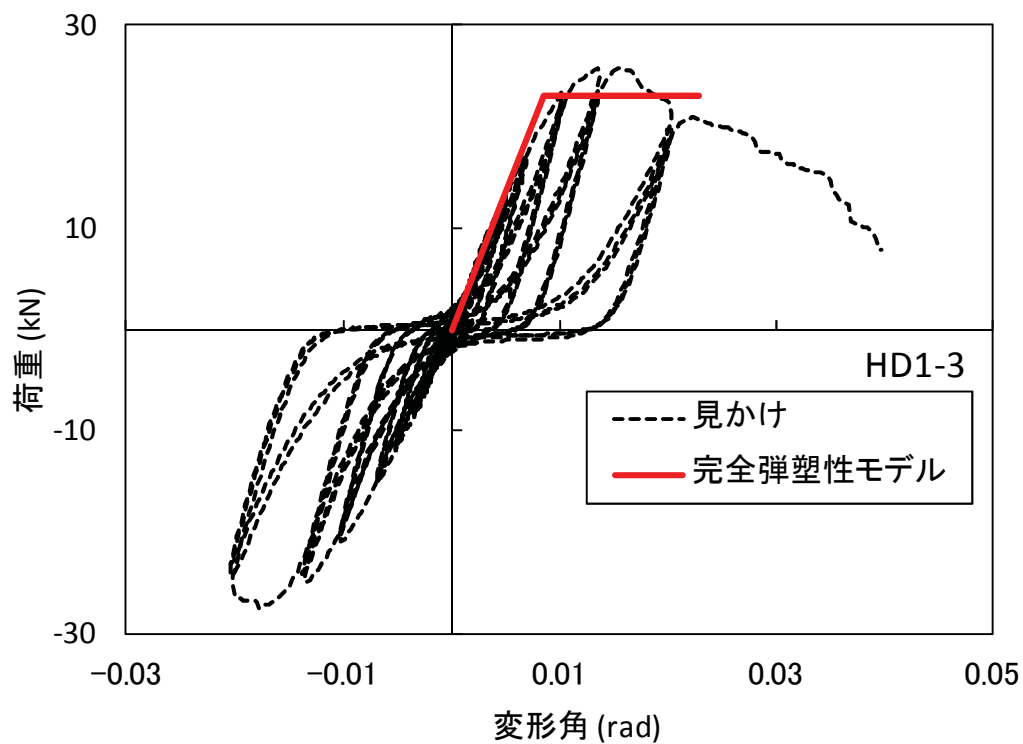


図 3.2.2.4-6 完全弾塑性モデル (HD1-3)

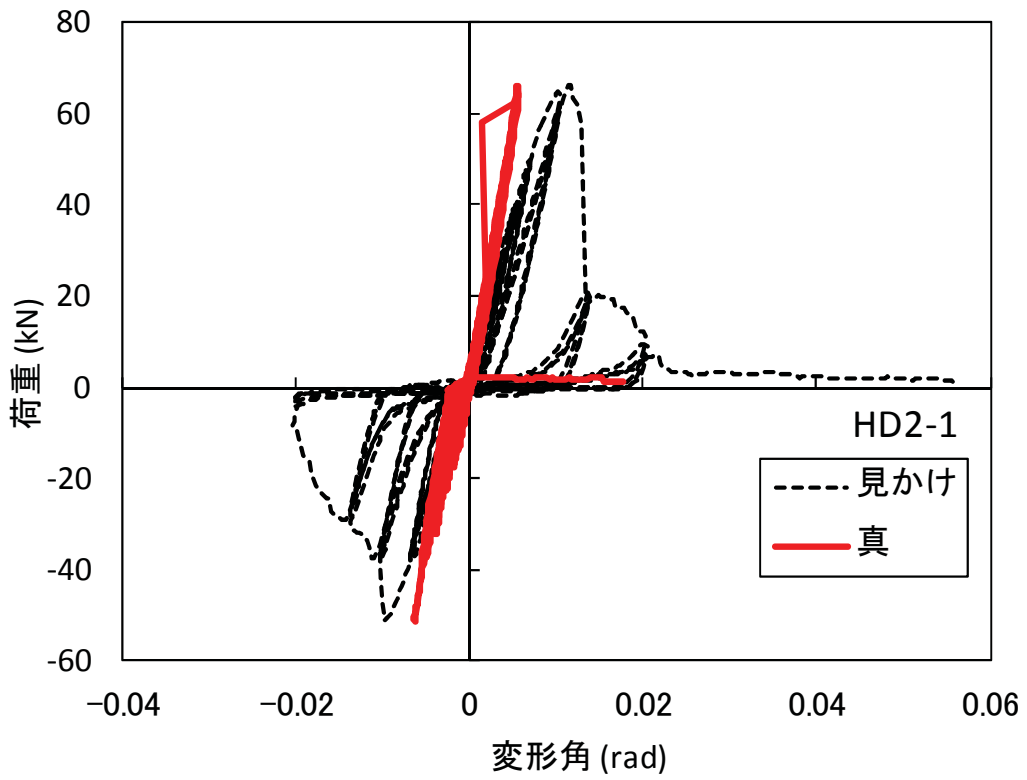


図 3.2.2.4-7 試験より得られた荷重変形角関係 (HD2-1)

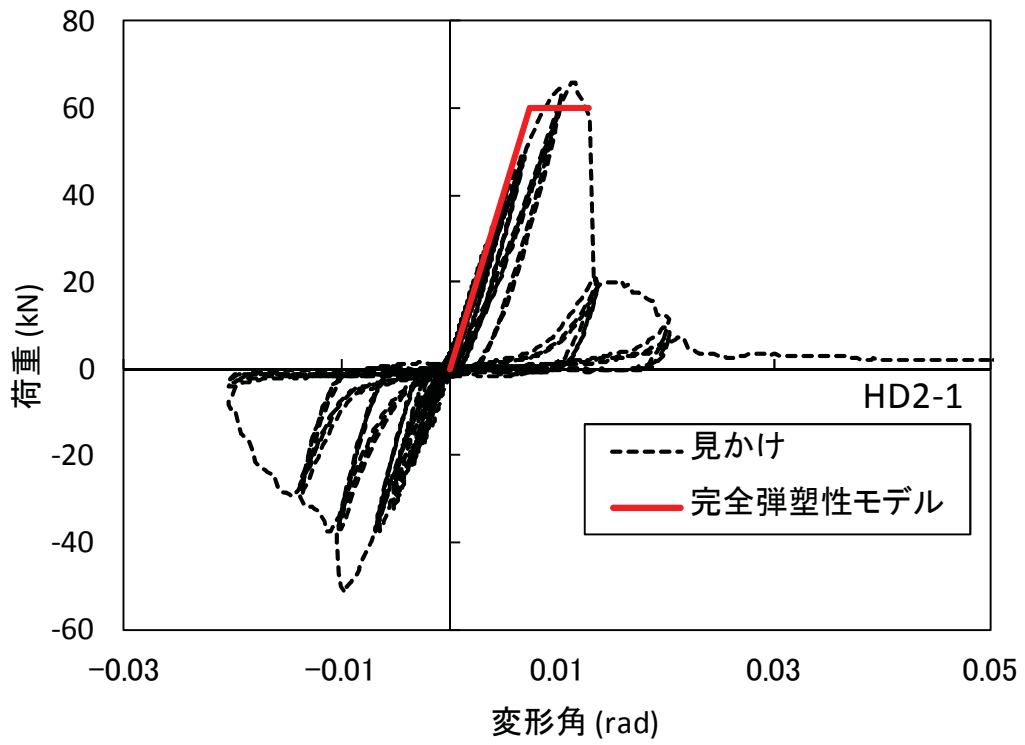


図 3.2.2.4-8 完全弾塑性モデル (HD2-1)

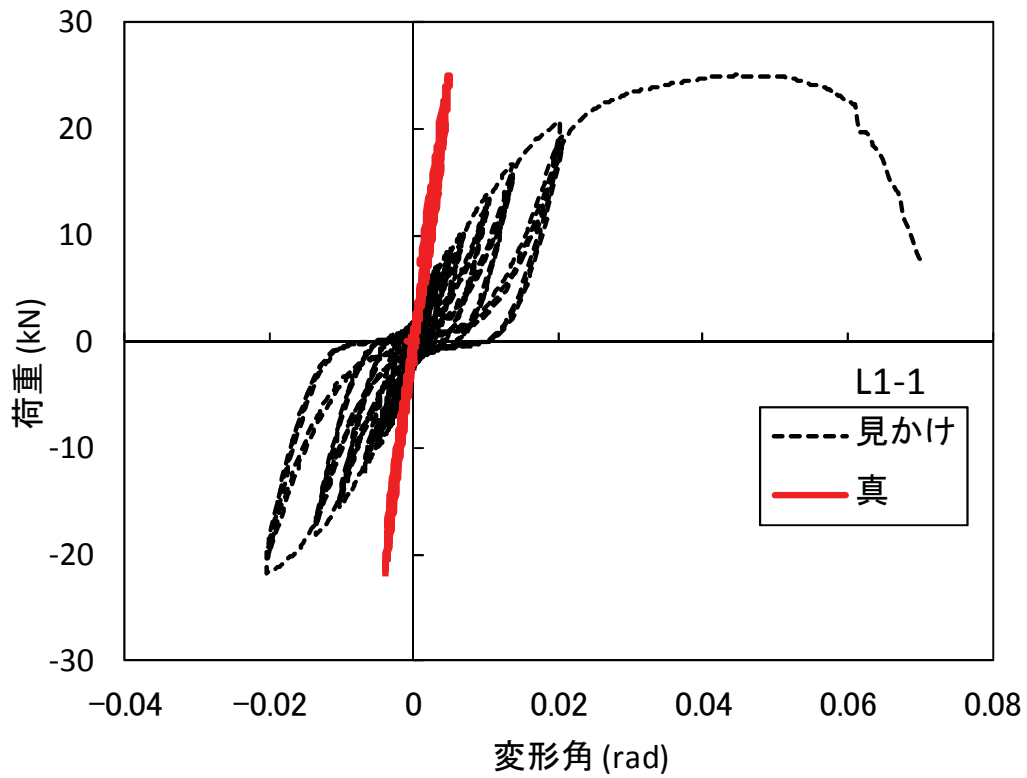


図 3.2.2.4-9 試験より得られた荷重変形角関係 (L1-1)

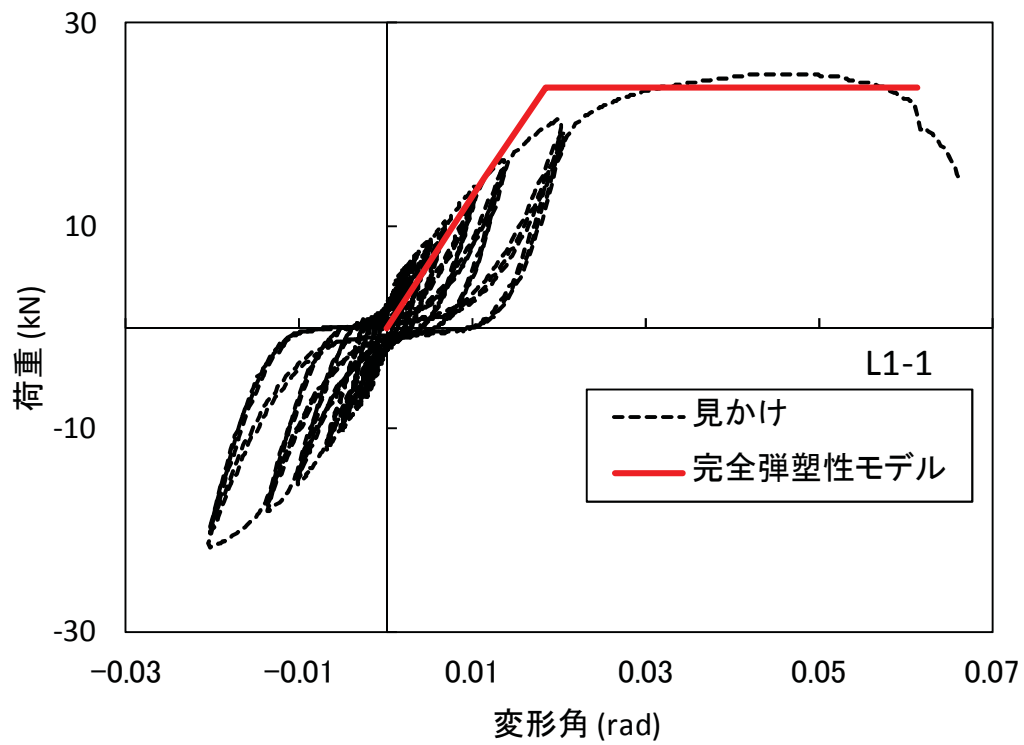


図 3.2.2.4-10 完全弾塑性モデル (L1-1)

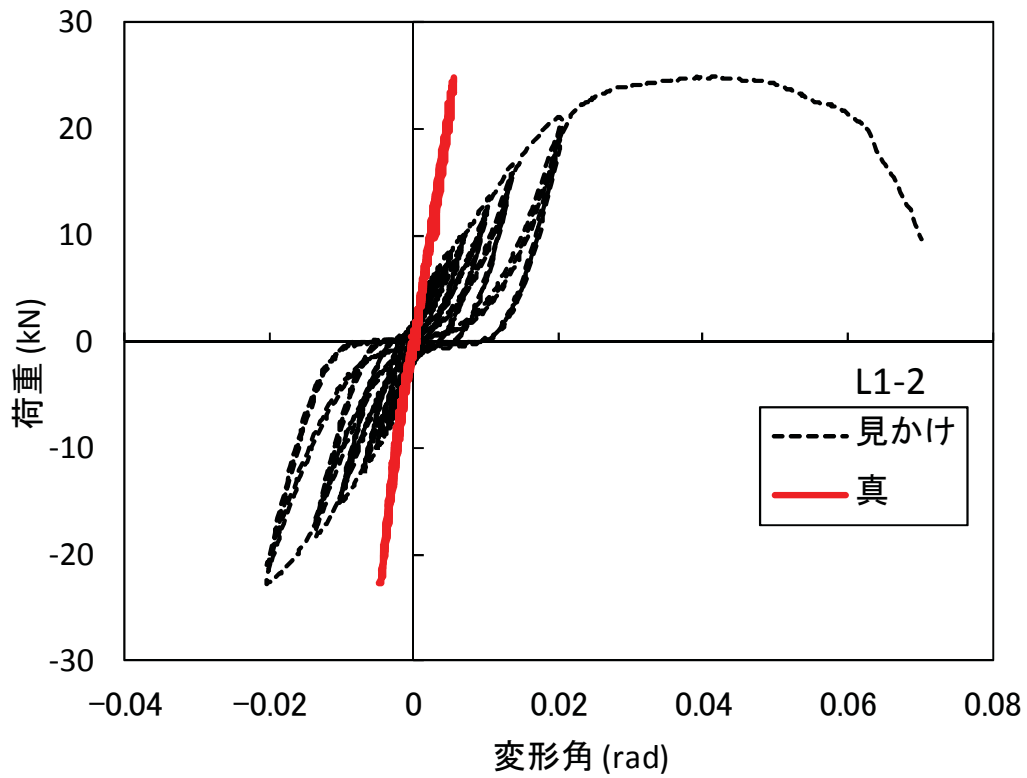


図 3.2.2.4-11 試験より得られた荷重変形角関係 (L1-2)

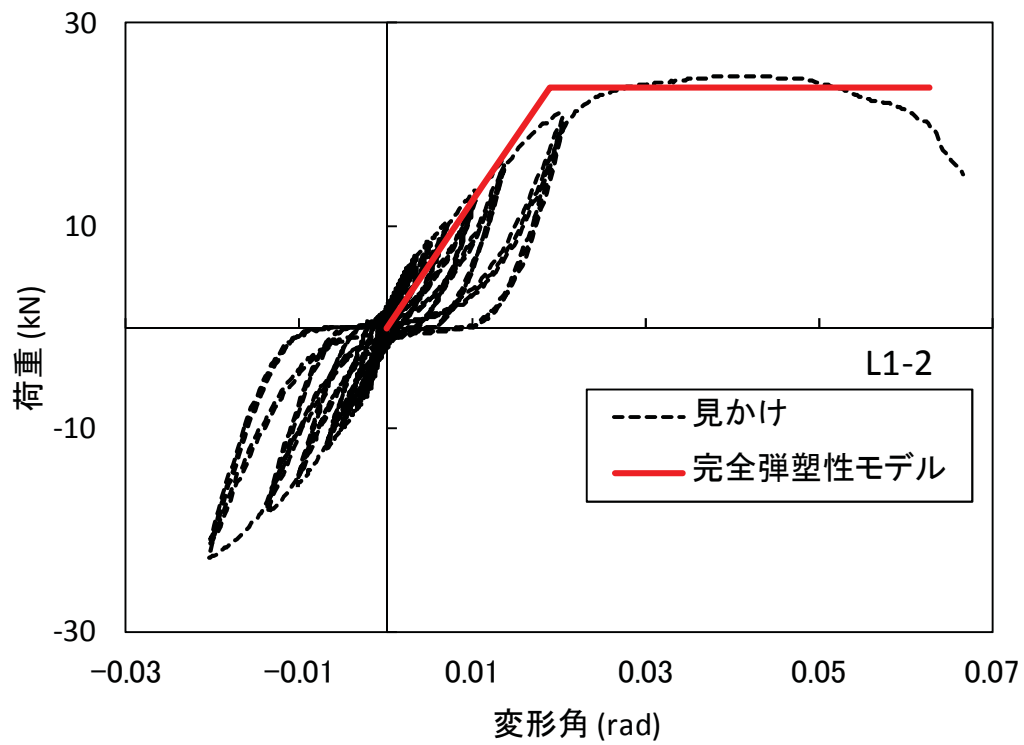


図 3.2.2.4-12 完全弾塑性モデル (L1-2)

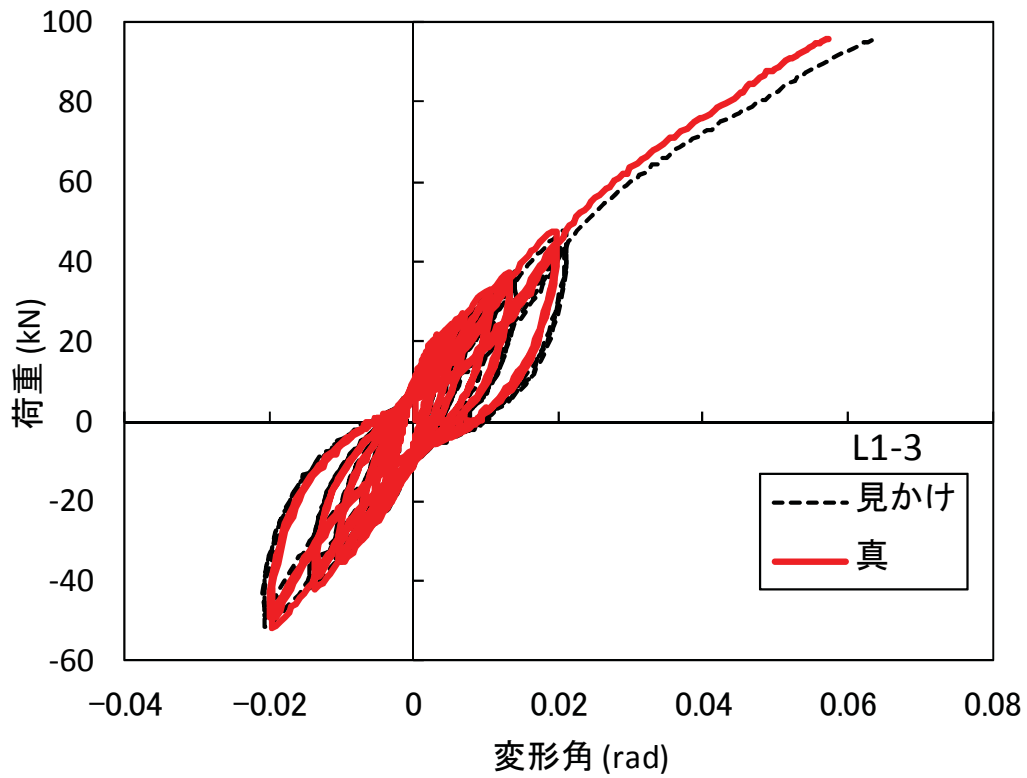


図 3.2.2.4-13 試験より得られた荷重変形角関係 (L1-3)

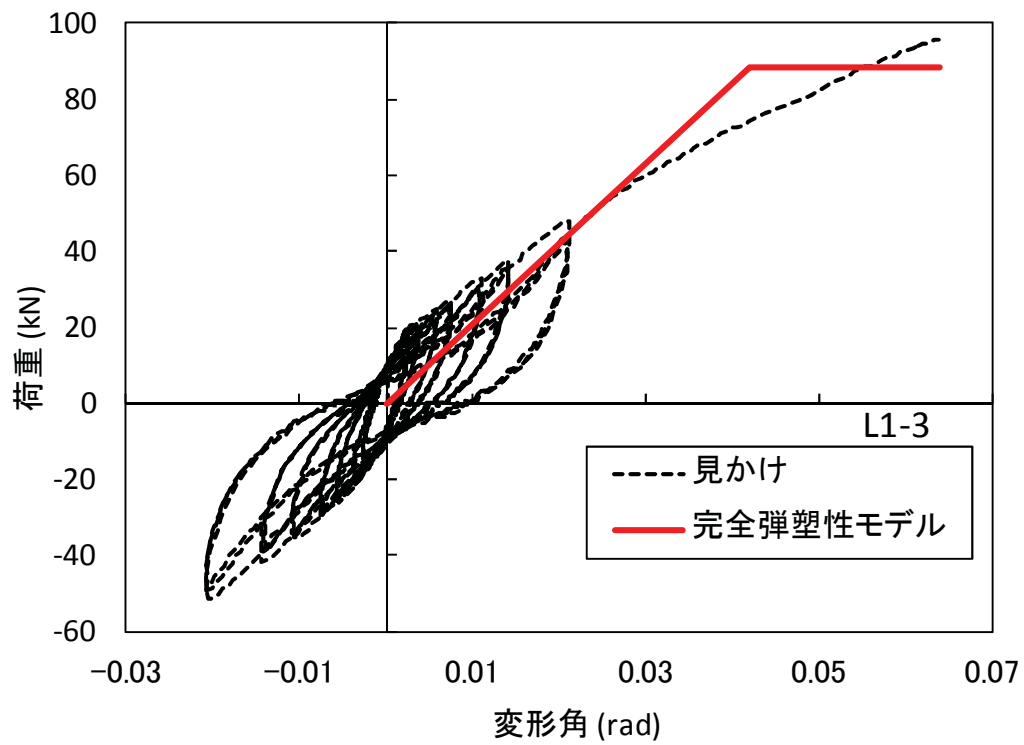


図 3.2.2.4-14 完全弾塑性モデル (L1-3)

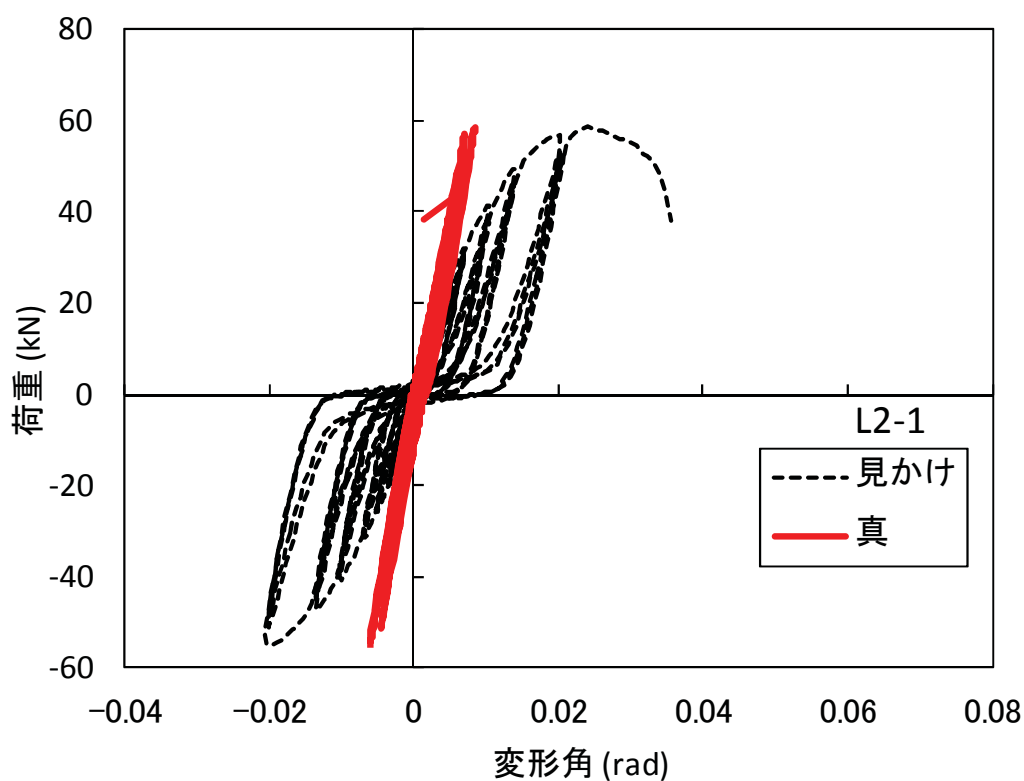


図 3.2.2.4-15 試験より得られた荷重変形角関係 (L2-1)

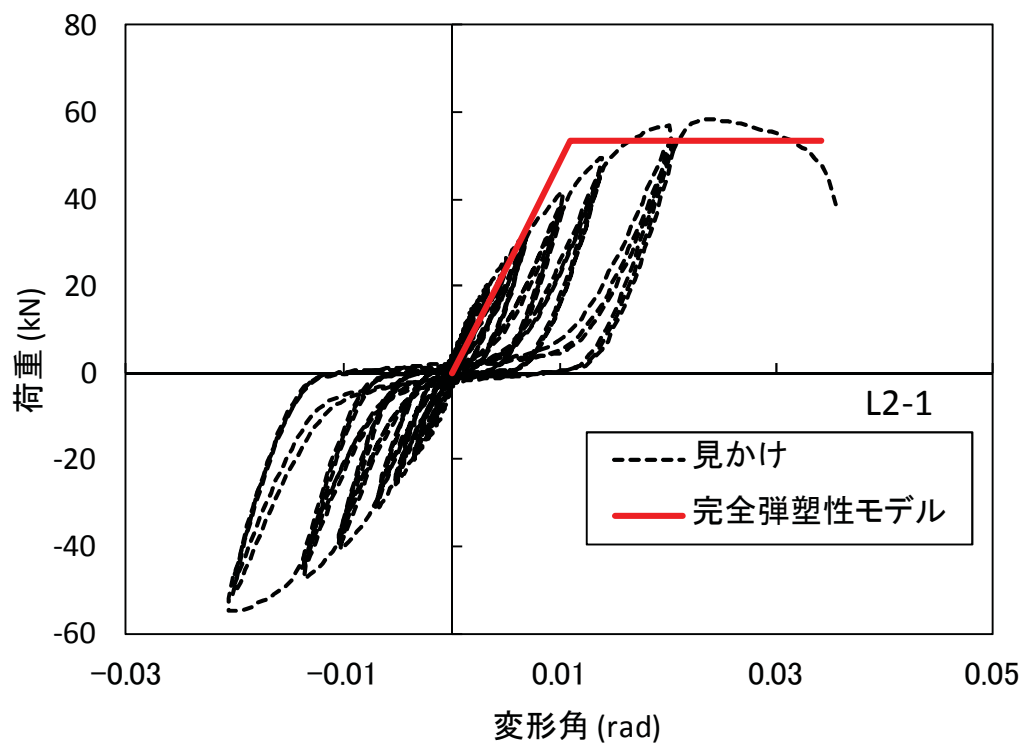


図 3.2.2.4-16 完全弾塑性モデル (L2-1)

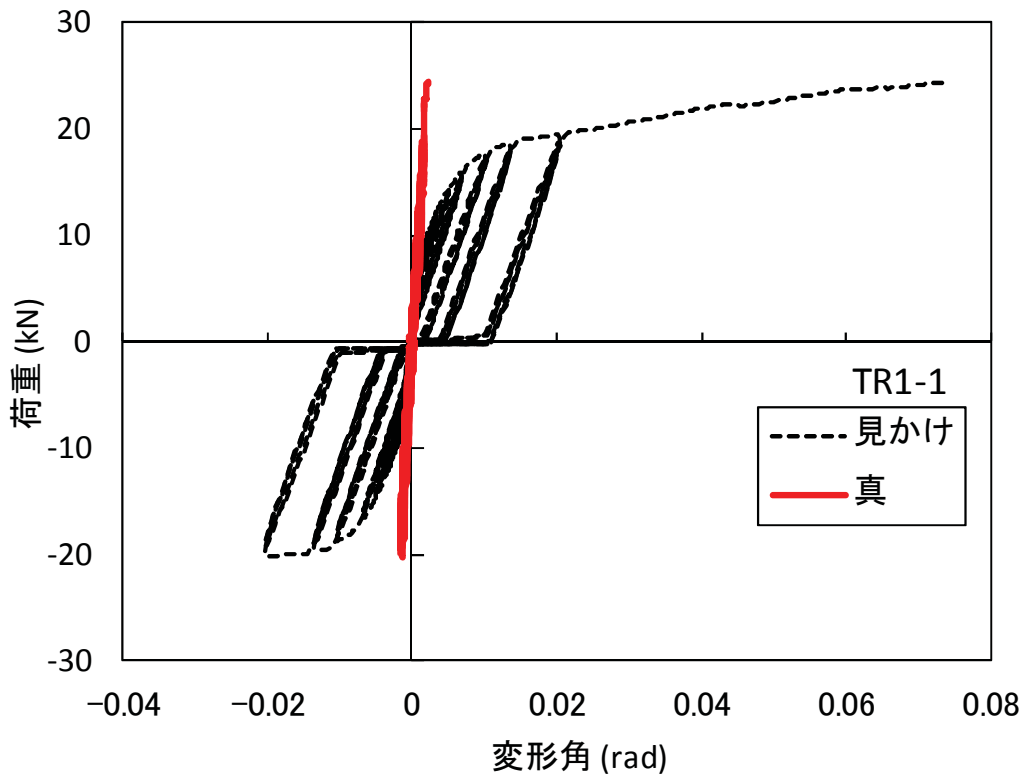


図 3.2.2.4-17 試験より得られた荷重変形角関係 (TR1-1)

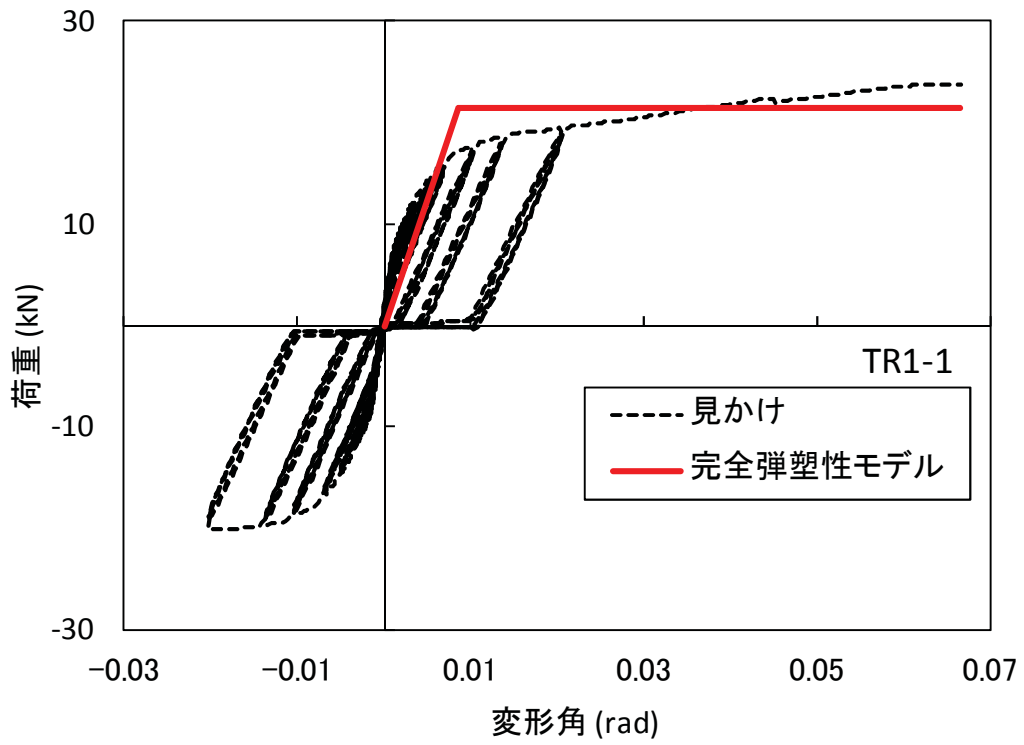


図 3.2.2.4-18 完全弾塑性モデル (TR1-1)

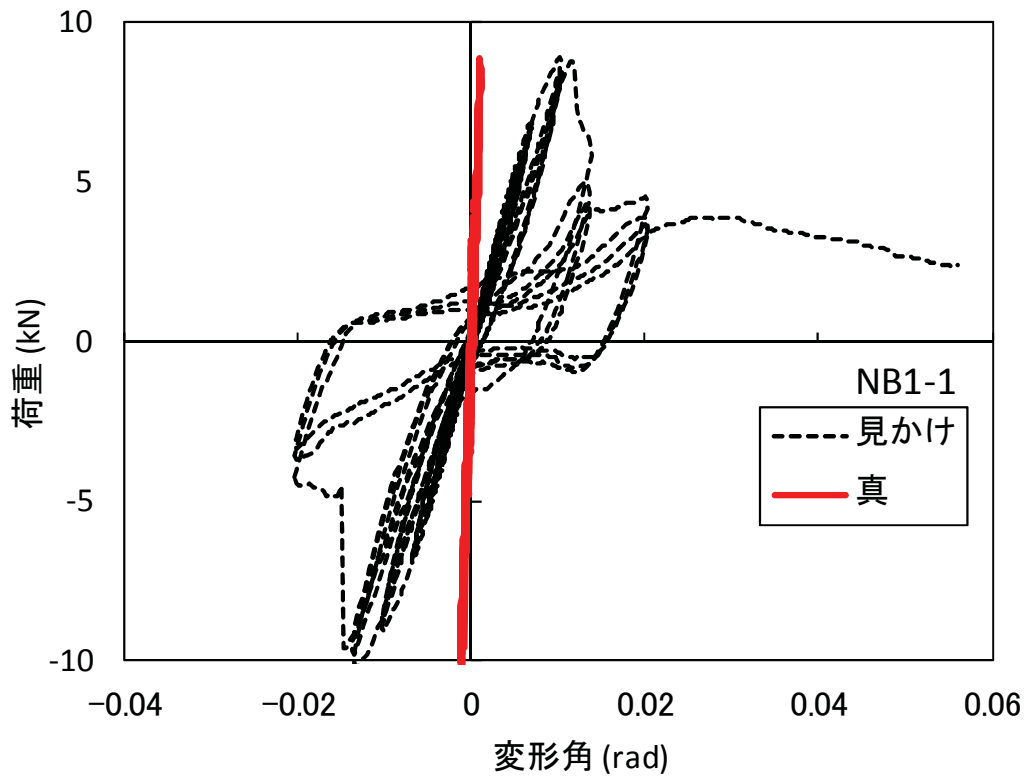


図 3.2.2.4-19 試験より得られた荷重変形角関係 (NB1-1)

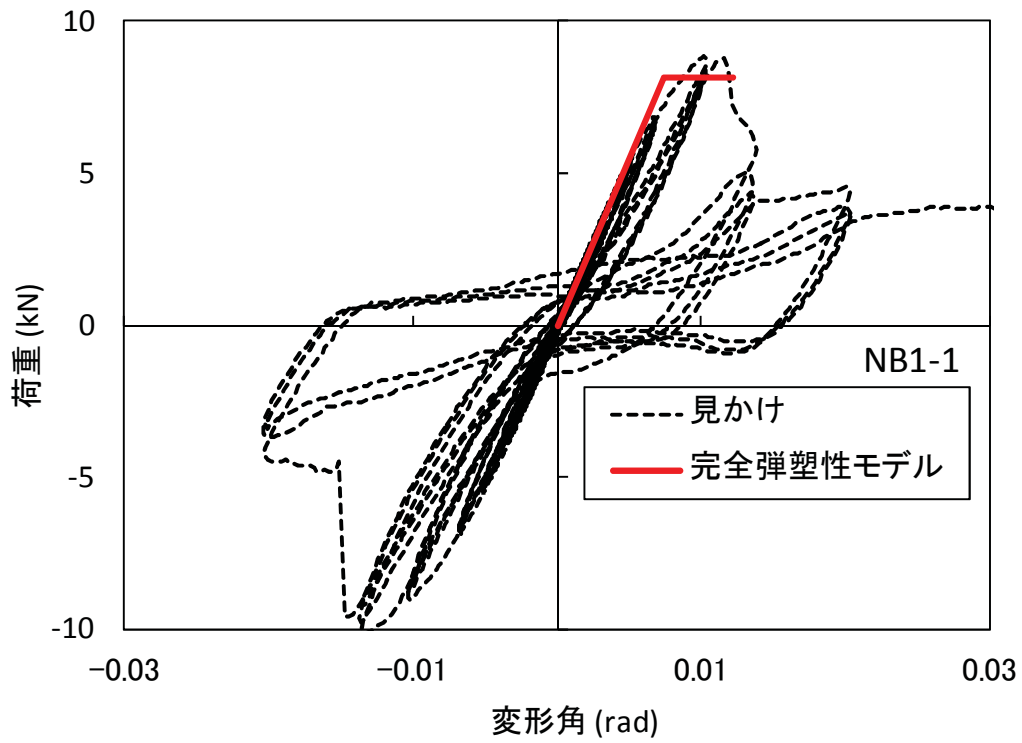


図 3.2.2.4-20 完全弾塑性モデル (NB1-1)

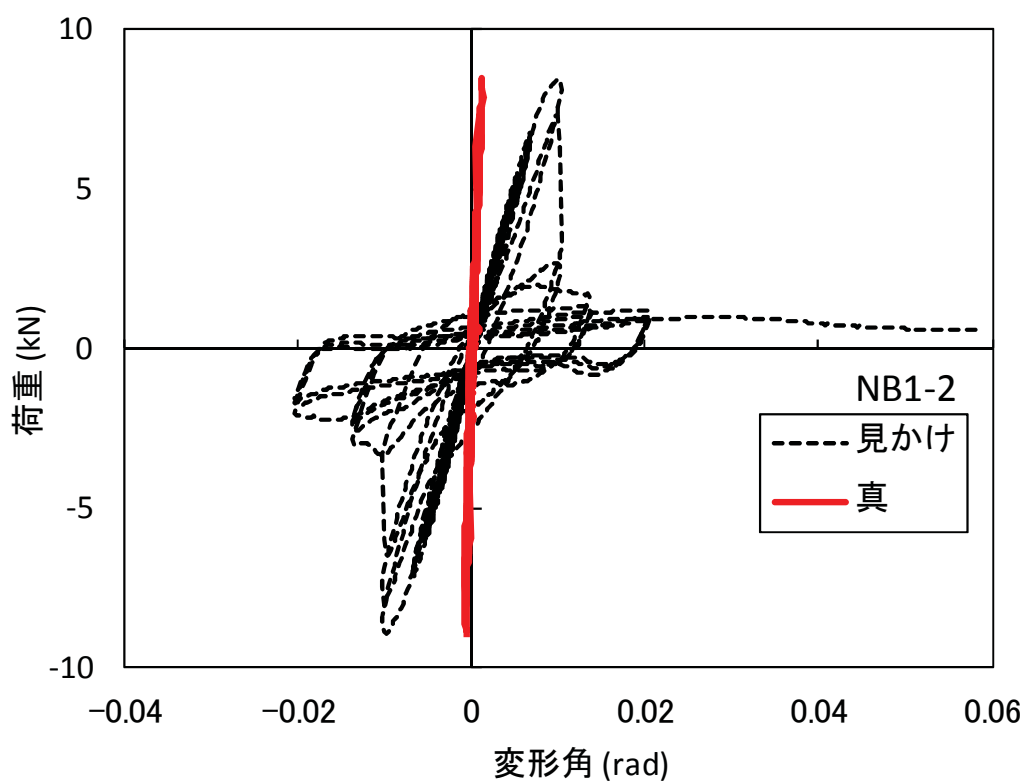


図 3.2.2.4-21 試験より得られた荷重変形角関係 (NB1-2)

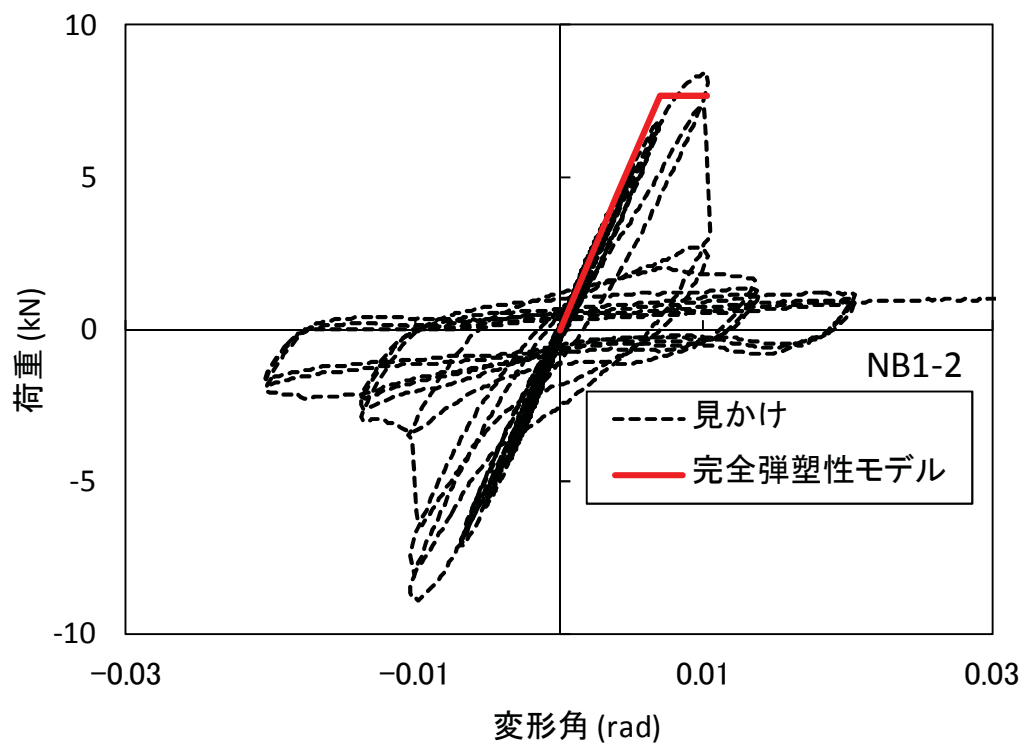


図 3.2.2.4-22 完全弾塑性モデル (NB1-2)

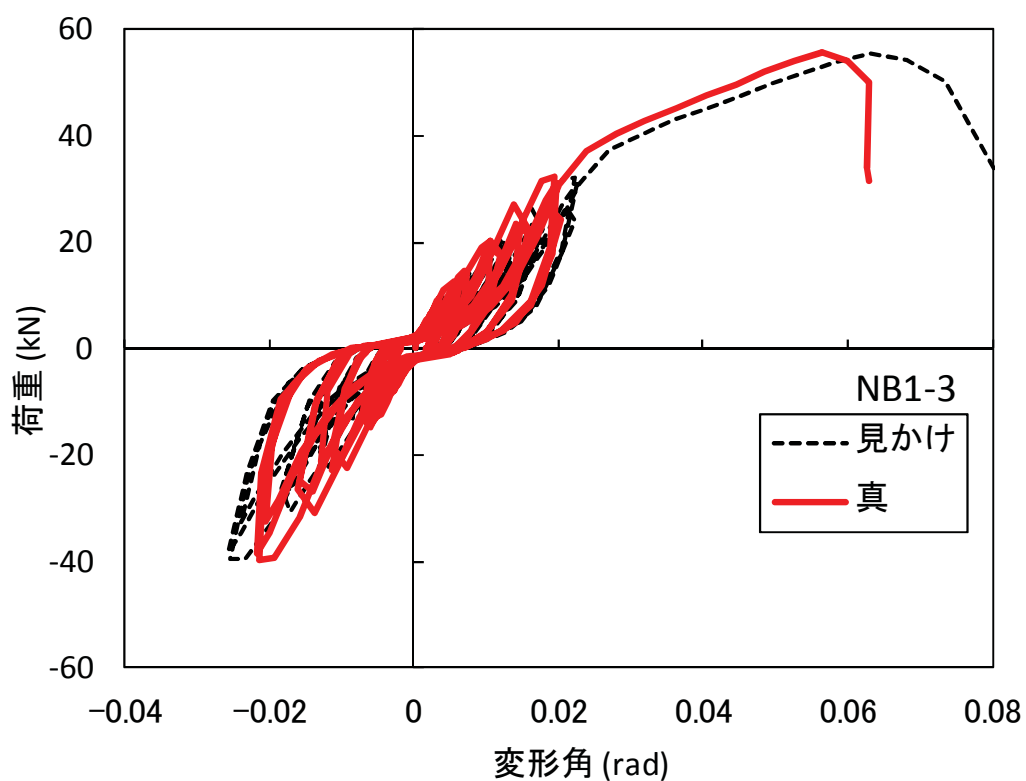


図 3.2.2.4-23 試験より得られた荷重変形角関係 (NB1-3)

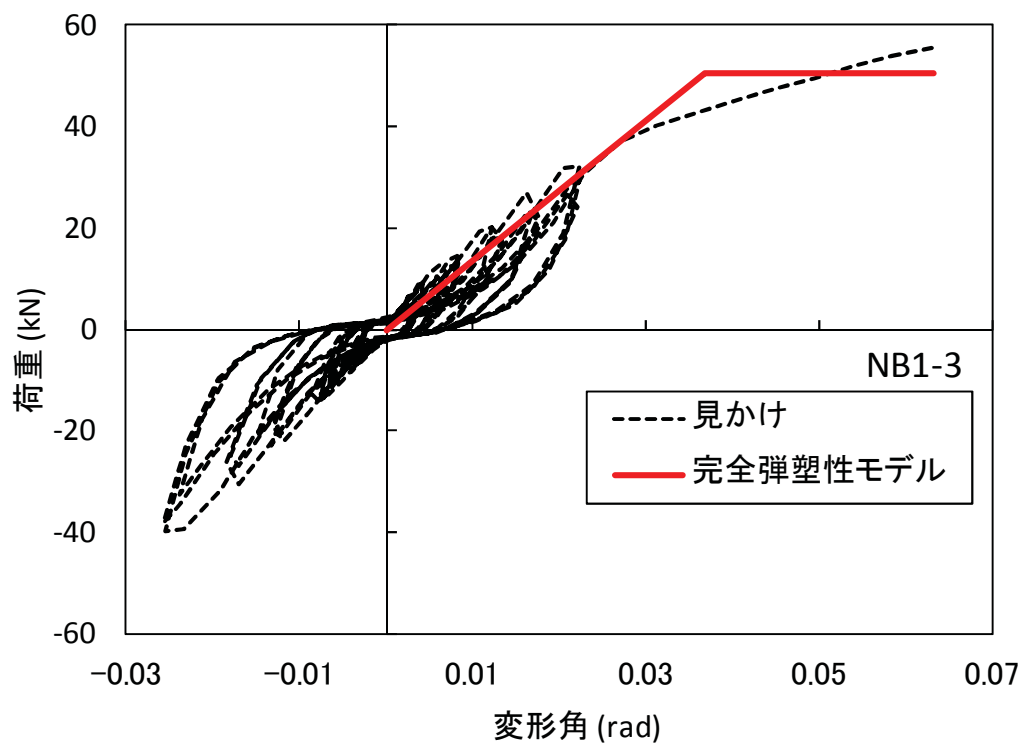


図 3.2.2.4-24 完全弾塑性モデル (NB1-3)



写真 3.2.2.4-1 試験前の試験体全景 (HD1-1)



写真 3.2.2.4-2 最大変形時の試験体全景 (HD1-1)



写真 3.2.2.4-3 柱脚部浮き上がりの様子 (HD1-1)



写真 3.2.2.4-4 引き寄せ金物のはずれ (HD1-1)



写真 3.2.2.4-5 試験前の試験体全景 (HD1-2)



写真 3.2.2.4-6 最大変形時の試験体全景 (HD1-2)



写真 3.2.2.4-7 柱脚部浮き上がりの様子 (HD1-2)



写真 3.2.2.4-8 引き寄せ金物のはずれ (HD1-2)



写真 3.2.2.4-9 試験前の試験体全景 (HD1-3)



写真 3.2.2.4-10 最大変形時の試験体全景 (HD1-3)



写真 3.2.2.4-11 柱脚部浮き上がりの様子 (HD1-3)



写真 3.2.2.4-12 引き寄せ金物のはずれ (HD1-3)



写真 3.2.2.4-13 試験前の試験体全景 (HD2-1)



写真 3.2.2.4-14 最大変形時の試験体全景 (HD2-1)



写真 3.2.2.4-15 柱脚部浮き上がりの様子 (HD2-1)

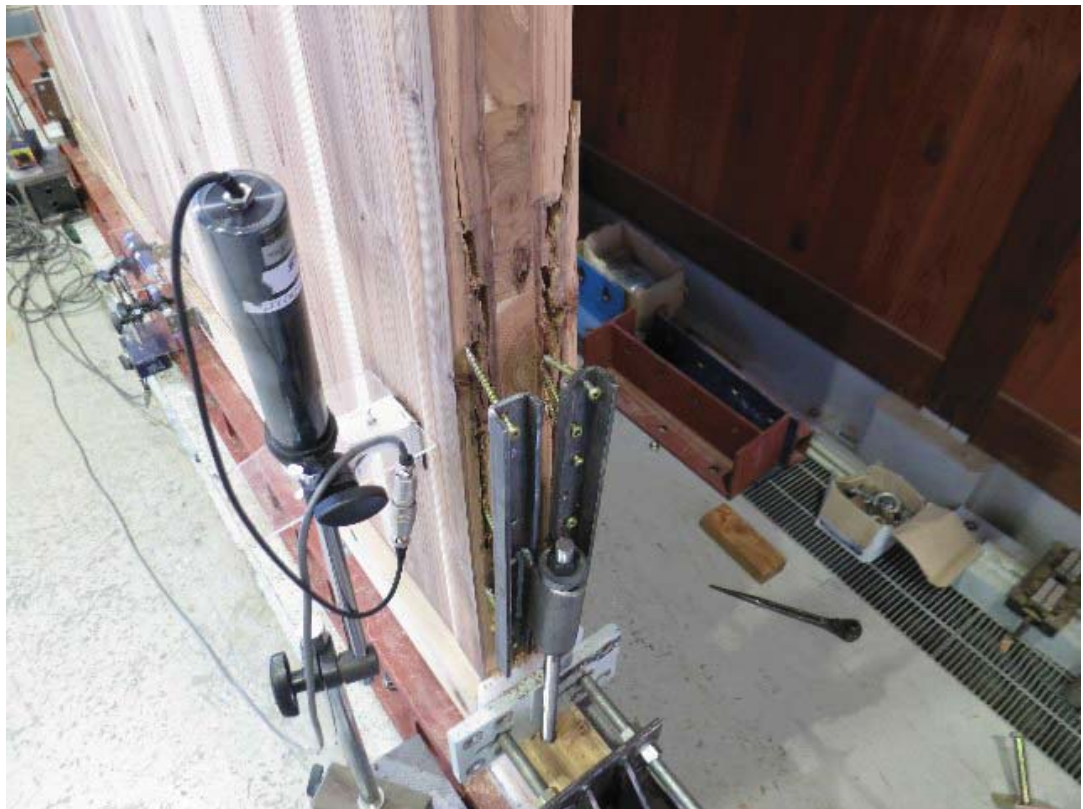


写真 3.2.2.4-16 引き寄せ金物のはずれ (HD2-1)



写真 3.2.2.4-17 試験前の試験体全景 (L1-1)



写真 3.2.2.4-18 最大変形時の試験体全景 (L1-1)



写真 3.2.2.4-19 柱脚部浮き上がりの様子 (L1-1)

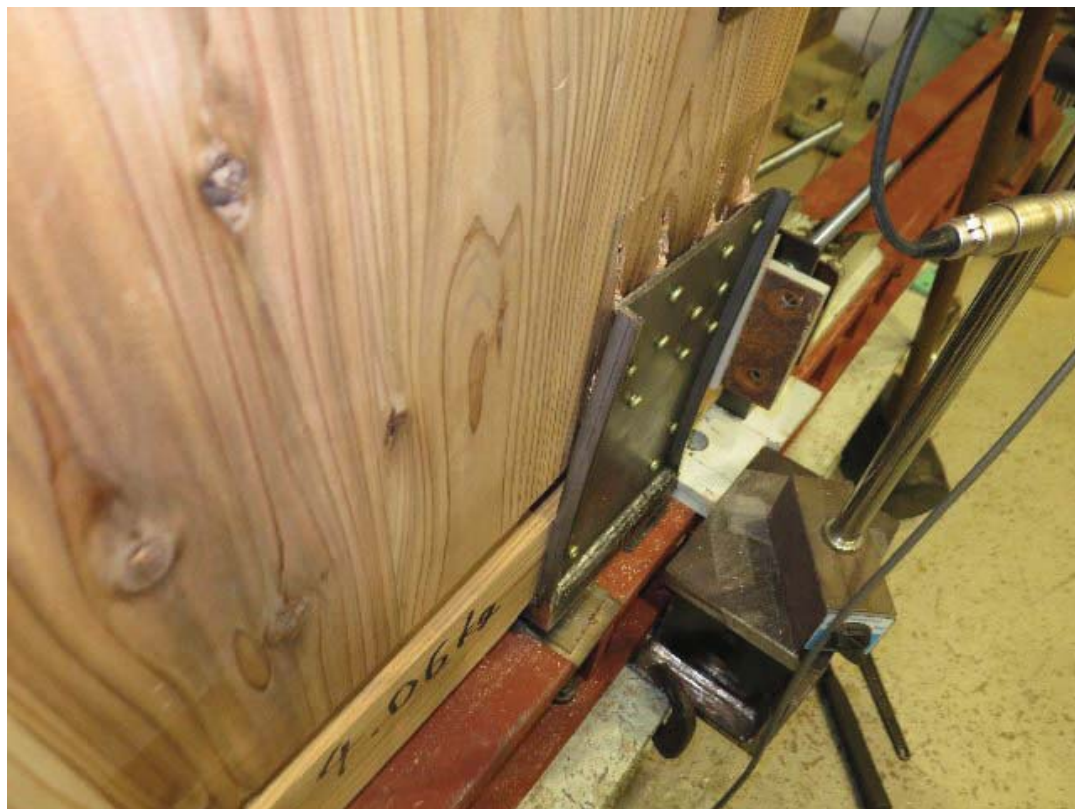


写真 3.2.2.4-20 L型金物のはずれ (L1-1)



写真 3.2.2.4-21 試験前の試験体全景 (L1-2)



写真 3.2.2.4-22 最大変形時の試験体全景 (L1-2)



写真 3.2.2.4-23 柱脚部浮き上がりの様子 (L1-2)



写真 3.2.2.4-24 L型金物のはずれ (L1-2)



写真 3.2.2.4-25 試験前の試験体全景 (L1-3)



写真 3.2.2.4-26 最大変形時の試験体全景 (L1-3)



写真 3.2.2.4-27 柱脚部浮き上がりの様子 (L1-3)



写真 3.2.2.4-28 L型金物のはずれ (L1-3)



写真 3.2.2.4-29 試験前の試験体全景 (L2-1)

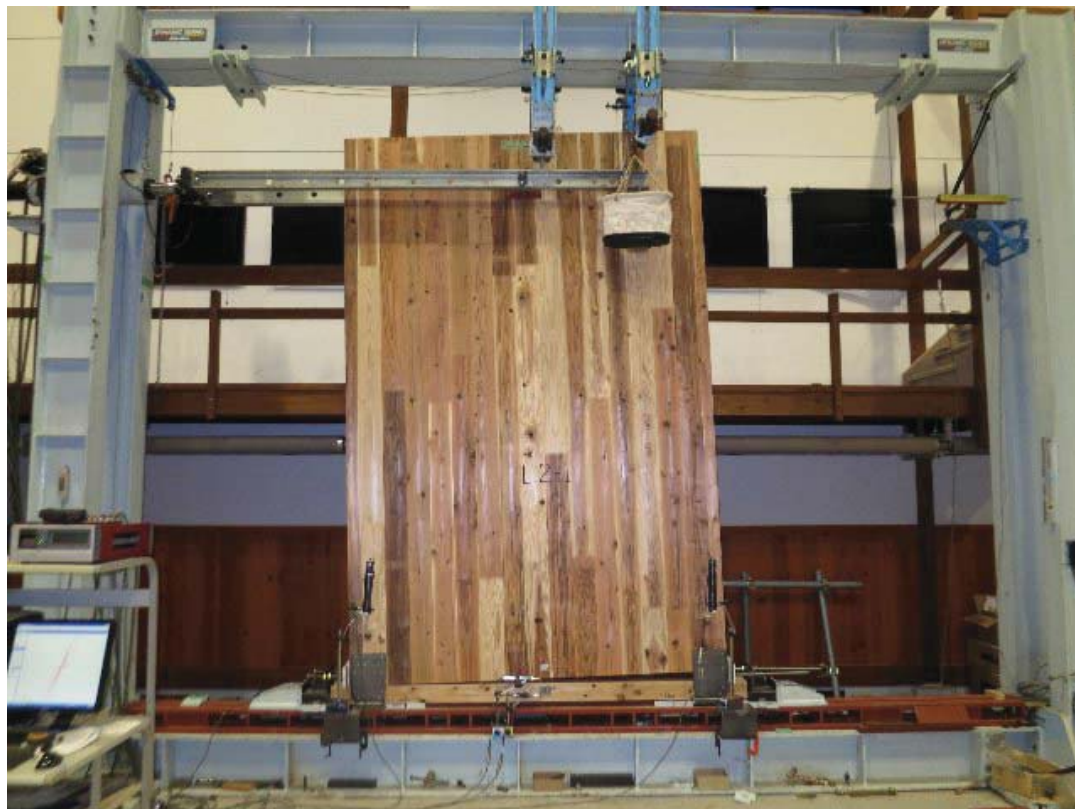


写真 3.2.2.4-30 最大変形時の試験体全景 (L2-1)



写真 3.2.2.4-31 柱脚部浮き上がりの様子 (L2-1)



写真 3.2.2.4-32 L型金物のはずれ (L2-1)



写真 3.2.2.4-33 試験前の試験体全景 (TR1-1)



写真 3.2.2.4-34 最大変形時の試験体全景 (TR1-1)



写真 3.2.2.4-35 柱脚部浮き上がりの様子 (TR1-1)



写真 3.2.2.4-36 タイロッドの伸びの様子 (TR1-1)



写真 3.2.2.4-37 試験前の試験体全景 (NB1-1)



写真 3.2.2.4-38 最大変形時の試験体全景 (NB1-1)



写真 3.2.2.4-39 右柱脚部浮き上がりの様子 (NB1-1)



写真 3.2.2.4-40 左柱脚部浮き上がりの様子 (NB1-1)



写真 3.2.2.4-41 試験前の試験体全景 (NB1-2)



写真 3.2.2.4-42 最大変形時の試験体全景 (NB1-2)



写真 3.2.2.4-43 柱脚部浮き上がりの様子 (NB1-2)



写真 3.2.2.4-44 右柱脚部浮き上がりの様子 (NB1-2)



写真 3.2.2.4-45 試験前の試験体全景 (NB1-3)



写真 3.2.2.4-46 最大変形時の試験体全景 (NB1-3)



写真 3.2.2.4-47 右柱脚部浮き上がりの様子 (NB1-3)



写真 3.2.2.4-48 右柱脚部浮き上がりの様子 (NB1-3)

3. 2. 2. 5 考察

＜ラミナ構成の違いによるホールダウン金物仕様の耐力壁性能＞

ホールダウン金物ではラミナ構成の違いにより降伏耐力に僅かな差がみられる。HD1-1 と HD1-3 は同一試験体を上下反転させて2回試験を行ったものであるが、ラミナが薄い側にビスを打った耐力壁の降伏耐力は僅かに低くなっているものの最大荷重においては大きな差は見られなかった。またグラフを比較しても双方に大きな差は見られないことからラミナの構成の違いによって耐力に差は生じないと考えても差し支えないと思われる。

表 3.2.2.5-1 ラミナ構成の違い

金物	試験体 名称	試験結果		ラミナ構成	備考
		降伏耐力 Py (kN)	最大耐力 Pmax (kN)		
ホールダ ウン金物	HD1-1	15.50	26.57	29+103	ラミナ103側で破壊
	HD1-2	14.18	27.60	均等割り	-
	HD1-3	12.47	25.83	103+29	ラミナ29側で破壊

＜水平変位拘束用ストッパーの有無による耐力壁性能＞

耐力壁試験と水平せん断試験の結果（例えば L1-1 と L1-2、NB1-1 と NB1-2）を比較すると、ほぼ差は認められず、水平変位拘束用のストッパーの有無で耐力に差は生じていないものと思われる。L1-3、NB1-3 は純せん断試験を行ったもので、L1-3 は試験機の容量を超えてしまったため、明確な最大荷重は得られていないが、グラフ形状より推定すると 120～140 k N の最大荷重を示したと思われる。純せん断試験の結果と耐力壁試験の結果を比較すると、5～7 倍以上純せん断の耐力が高いことが、推察も含め読み取れる。これより L 型ビス用金物や長ビスは鉛直方向の引き抜き抵抗に比べ、水平方向のせん断抵抗が非常に高く、水平変位拘束用のストッパーの有無で耐力に差は生じていないことから耐力壁の水平変位の拘束を行わないでも耐力壁の性能を引き出すことが可能であると考えられる。これより L 型ビス用金物や長ビスはせん断力と引き抜き力を同時に負担したとしても、耐力壁の挙動や応力を下部構造に伝達し得る接合方法であることが確認できた。

表 3.2.2.5-2 水平拘束用ストッパー有無による耐力壁性能

金物	試験種別	試験体 名称	水平変位 拘束用 ストッパー	試験結果	
				降伏耐力 Py (kN)	最大耐力 Pmax (kN)
L 型 ビス用 金物	耐力壁	L1-1	有	14.71	25.05
	水平せん断	L1-2	無	14.06	24.83
	純せん断	L1-3		48.78	95.85
長ビス	耐力壁	NB1-1	有	4.98	8.88
	水平せん断	NB1-2	無	4.45	8.44
	純せん断	NB1-3		35.59	55.51

<タイロッド方式>

タイロッド方式では耐力壁降伏時の端部引き抜き力とロッドの降伏点は概ね近い値を示していた。耐力壁の最大荷重時ではロッドの降伏点をすでに超えており、ロッドの伸びが耐力壁の挙動を示すという状況であった。箱型金物や柱頭のプレートでは目立った変形やめり込みは見られていなかったことから、ロッドの選定により耐力壁の挙動を決定づけることが可能と思われる。また非常に靱性が高かった。2m幅のCLT耐力壁など、耐力壁幅が大きい耐力壁では靱性が低下してしまう。一方タイロッドは非常に靱性が高いため、タイロッドと幅の大きい耐力壁を組み合わせると靱性の程度をバランスさせることができ非常に組み合わせとして良いと思われる。なお、耐力壁の端部引き抜き力は耐力壁のPyやPmax時の荷重に壁高さ2.7mを掛け、ロッド間の水平距離で除して求めた。

耐力壁降伏時のロッド応力度 = $48.92 \times 1000 / 157 \text{mm}^2 = 312 \text{N/mm}^2$

耐力壁最大荷重時のロッド応力度 = $75.60 \times 1000 / 157 \text{mm}^2 = 482 \text{N/mm}^2$

参考) SNR490B 降伏点 325 N/mm²以上 445N/mm²以下

引張強さ 490 N/mm²以上 610N/mm²以下

表 3.2.2.5-3 タイロッド方式

-	試験結果		耐力壁端部引き抜き力	
	降伏耐力 Py (kN)	最大耐力 Pmax (kN)	耐力壁降伏時 (kN)	耐力壁最大荷重時 (kN)
TR1-1	15.40	23.80	48.92	75.60

<1m 幅耐力壁と 2m 幅耐力壁の違い>

1m 幅の耐力壁の短期基準耐力の 2 倍が概ね、2m 幅の耐力壁の短期基準耐力となっており、同じ金物を取り付けられていても、脚長に短期基準耐力が比例するという結果であった。ただし、降伏変位や終局変位は 2m 幅になると 1m 幅に比べて小さくなっていた。

<耐力壁端部引き抜き力と接合部試験結果>

耐力壁端部引き抜き力と接合部試験結果とを比較すると、耐力壁降伏時や耐力壁最大荷重時の引き抜き力は接合部試験の各耐力と概ね符合しており、接合部試験の性状が CLT 耐力壁性状に反映されているものと思われる。

表 3.2.2.5-4 試験結果比較

-	試験結果		耐力壁端部引き抜き力		接合部試験結果	
	降伏耐力 Py (kN)	最大耐力 Pmax (kN)	耐力壁 降伏時 (kN)	耐力壁 最大荷重時 (kN)	降伏耐力 Py (kN)	最大耐力 Pmax (kN)
HD1-1	15.50	26.57	41.85	71.74	32.78	63.08
HD1-2	14.18	27.60	38.29	74.52		
HD1-3	12.47	25.83	33.67	69.74		
HD2-1	32.54	66.07	43.93	89.19		
L1-1	14.71	25.05	39.72	67.64	47.46	74.78
L1-2	14.06	24.83	37.96	67.04		
L1-3	48.78	95.85	-	-		
L2-1	30.16	58.48	40.72	78.95		
TR1-1	15.40	23.80	48.92	75.6	-	-
NB1-1	4.98	8.88	13.45	23.98	15.75	29.24
NB1-2	4.45	8.44	12.02	22.79		
NB1-3	35.59	55.51	-	-		

耐力壁の Py や Pmax 時の荷重に壁高さ 2.7m を掛け、耐力壁幅 1m や 2m で除して耐力壁端部引き抜き力を算出した。ただしタイロッド方式の場合は耐力壁幅ではなく、ロッド間の水平距離とした。

3. 3 CLT 耐力壁の強度性能予測と結果比較

1) 目的

CLT 耐力壁の荷重-変形角の関係は、接合部の強度性能が大きく影響する。前項 3.1 で実施した接合部試験の結果を使って CLT 耐力壁の荷重-変形角の推定を行った。

2) CLT 耐力壁に於ける回転中心位置の検討

既往の耐力壁試験の結果から、回転中心を算出した。図 3.3-1 は文献¹⁾より、図 3.3-2 は文献²⁾での実験結果から引用したものである。これらの耐力壁のように土台の上に CLT 壁パネルが設置される場合、圧縮側は CLT 壁パネルの土台への三角形めり込み変形が生じることにより、回転の中心は CLT 壁パネル端部より内側となる。

脚部の変位 δ_3 または δ_4 より脚部の回転角 y_0 は(1)式となり、回転中心からの距離 L_3 及び L_4 は、それぞれ(2)(3)式より算出できる(図 3.3-3)。なお、ここでは浮き上がり変形した場合を正としている。

$$\text{脚部の変形角} \quad y_0 = (\delta_3 - \delta_4) / W \quad (1)$$

$$\text{回転中心までの距離} \quad L_3 = \delta_3 / (\delta_3 - \delta_4) \times W \quad (2)$$

$$L_4 = -\delta_4 / (\delta_3 - \delta_4) \times W \quad (3)$$

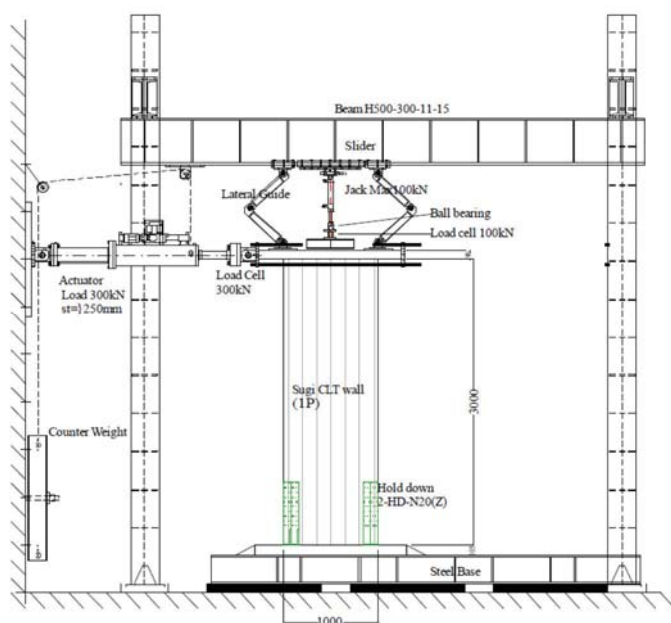


図 3.3-1 脚部に HD 金物を使った耐力壁
(軸力 0kN/仕様)

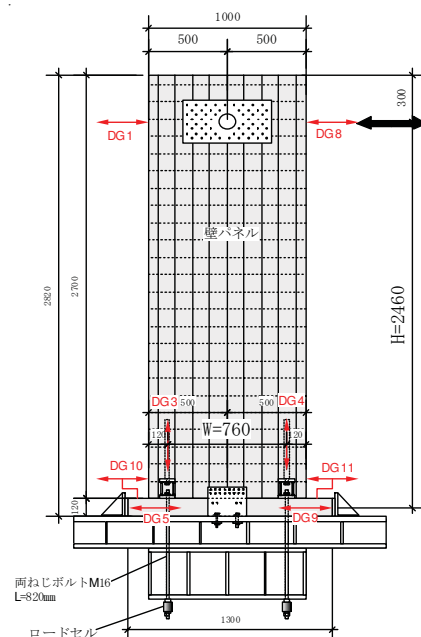


図 3.3-2 脚部を LSB 接合とし、せん断金物を設けた耐力壁

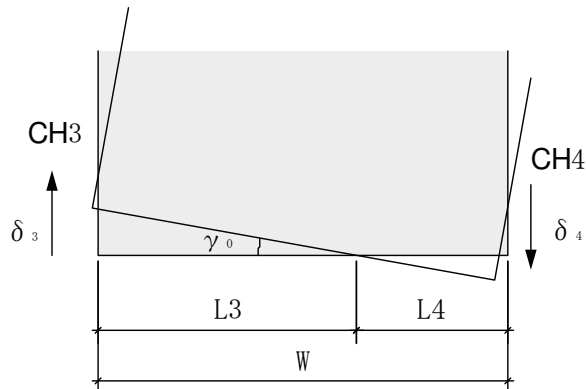


図 3.3-3 脚部の回転角と回転中心の位置

図 3.3-1 の試験から求めた L3 と L4 の比率を図 3.3-4 に、図 3.3-2 の試験から求めたものを図 3.3-5 に示す。結果より図 3.3-1 の試験では 8:2、図 3.3-2 の試験では初期は 5:5 で変形が進む毎に 8:2 となっていく結果となった。

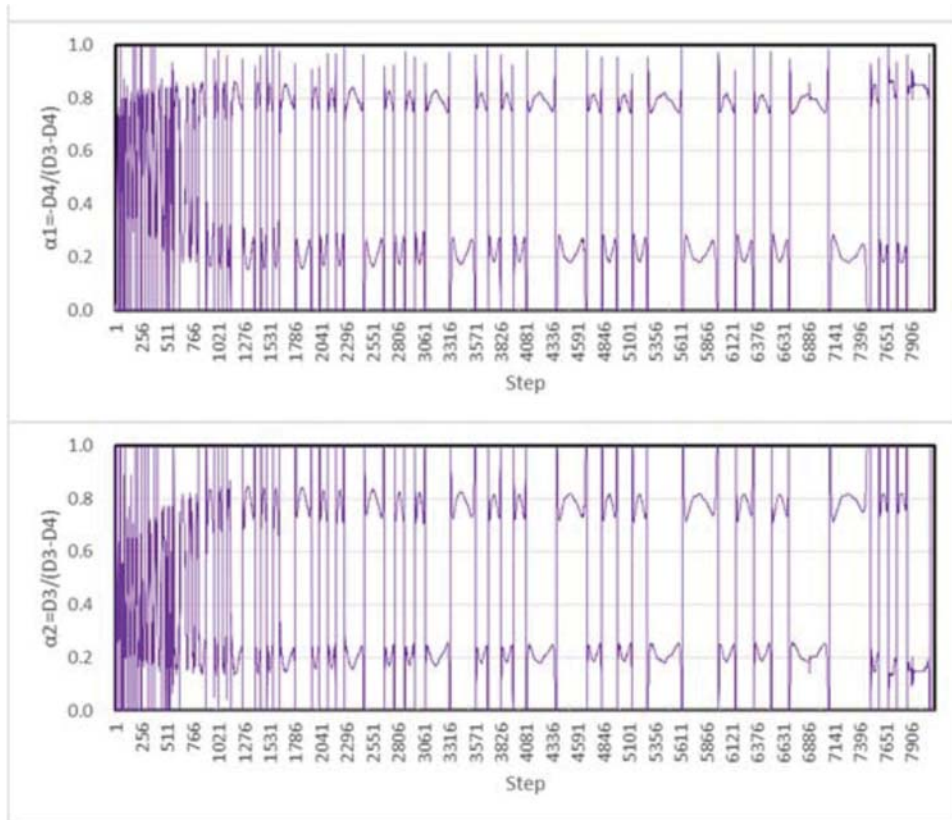


図 3.3-4 図 3.3-1 の試験から求めた L3 と L4 の比率

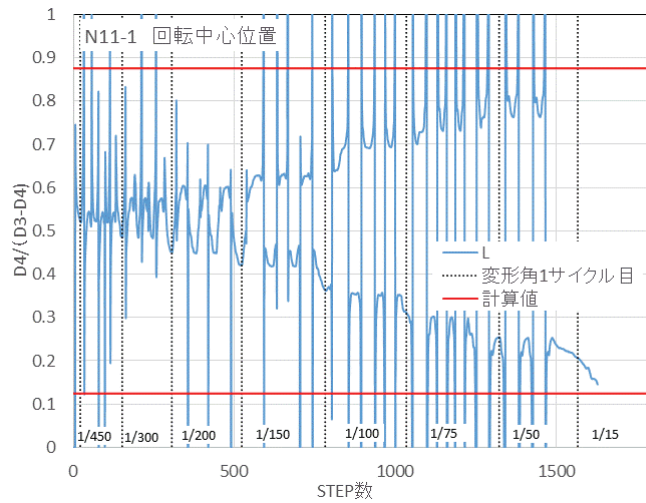


図 3.3-5 図 3.3-2 の試験から求めた L3 と L4 の比率

3) 回転半径及び加力点間距離の設定

前項 2) より、せん断金物の影響がない図 3.3-1 の検討結果から脚部の回転中心を 8:2 と仮定した。

文献³⁾よりモーメント抵抗接合の公式を準用する。

回転半径 L_p は、前回までの耐力壁試験の実験結果を用いて、耐力壁の幅 $W \times 0.8 \text{ mm}$ に CLT 端部から接合金物までの水平距離 l_c を足したものとし((4)式)、加力点間距離 L_a は、(5)式より算出するものとする。

$$L_p = 0.8W + l_c \quad (4)$$

$$L_a = W + l_c - \frac{0.2W}{3C_x} \quad (5)$$

$$\text{ただし、} C_x = 1 + \frac{4Z_0}{3(0.2L)} \left(1 - e^{-\frac{3X_1}{2Z_0}} \right) \quad (6)$$

l_c : CLT 端部から接合金物までの水平距離

耐力壁の内側に配置されている場合はマイナス、外側をプラス

Z_0 : 土台のせい 90 mm

X_1 : 壁端部から土台端部までの距離 HD 金物 300 mm

その他 0 mm

脚部金物の荷重及び変位を P_0 、 δ_0 、標点高さを H とすると、耐力壁の荷重 P 及び変形角 θ は(7)式及び(8)式で導ける。

$$P = P_0 X_a / H \quad (7)$$

$$\theta = \delta_0 / X_p \quad (8)$$

4) 推定結果と実験値の比較

推定結果と実験値を比較した結果を①～③に示す。図1～5に推測値と実験値のグラフを重ねたものを示す。接合部データは最終的に耐力壁の仕様として採用されたもののみを示した。

① HD 金物

回転半径 L_p と加力点間距離 L_a を図 3.3-6 に、特性値の比較を表 3.3-1 に、包絡線の比較を図 3.3-7 に示す。

表 3.3-1 に示すとおり、特性値に着目すると推定値・実験値共に $P_u \cdot 0.2/D_s$ で決定しており、値もよく一致した。ただし、図 3.3-7 に示すとおり包絡線を比較すると、グラフの性状がやや異なっていることが分かる。予測値より耐力壁の実験値の方が荷重、靱性共に大きくなる結果となった。荷重が高かった理由としては、耐力壁試験では CLT 壁の底部からの端距離を長くしたため割れにより荷重低下が軽減できたこと(写真 3.3-1、写真 3.3-2)、HD 金物を圧縮側にも効くように HD 座面部の両側にナットを設置したことが考えられる。靱性が高くなった理由としては、ロッキング挙動による影響で HD 板底部を中心にして回転し、上端ビスから引き抜けたこと(図 3.3-8 の θ_1 、写真 3.3-3)、HD 金物とボルトの接合部分がピン接合であるため、回転したこと(図 5 の θ_2)等が考えられる。終局変位のばらつきが大きいことにも影響している可能性がある。

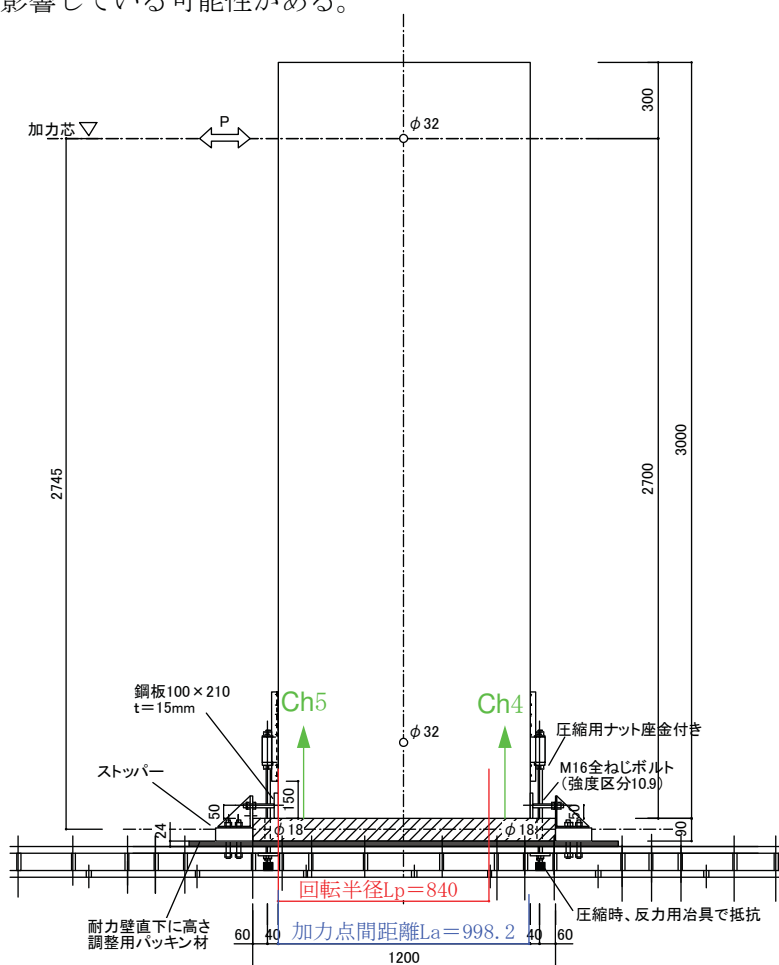


図 3.3-6 HD 金物耐力壁の L_p 及び L_a

表 3.3-1 HD 金物耐力壁 特性値の比較

項目	特性値		$P_u \cdot 0.2/D_s$ (kN)	$2/3P_{max}$ (kN)	P_{120} (kN)
	Py(kN)				
推定値	特性値	11.9	10.9	15.3	22.5
	壁倍率	6.1	5.6	7.8	11.5
実験値 (3体平均)	特性値	14.1	9.7	17.8	19.3
	壁倍率	7.2	5.0	9.1	9.8

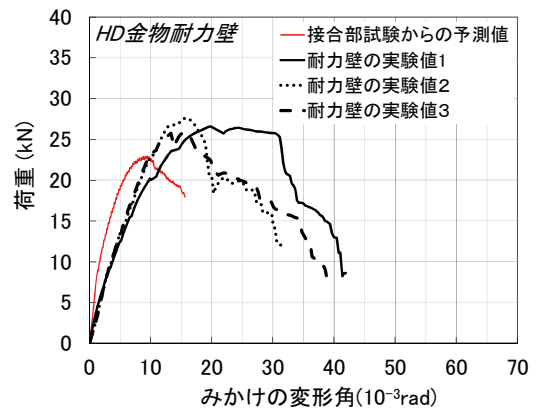


図 3.3-7 HD 金物耐力壁 包絡線の比較



写真 3.3-1 HD 接合部試験の壊れ方
(縁距離 短)



写真 3.3-2 HD 耐力壁の壊れ方
(縁距離 長)

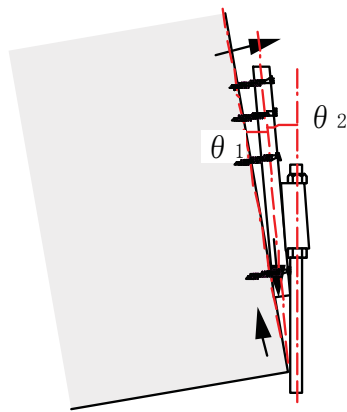


図 3.3-8 HD 金物耐力壁の靱性が想定より
高い理由



写真 3.3-3 HD のビスの引き抜け
による変形角

② ビス用金物

回転半径 L_p と加力点間距離 L_a を図 3.3-9 に、特性値の比較を表 3.3-2 に、包絡線の比較を図 3.3-10 に示す。

ビス用金物耐力壁については、予測値とよく一致する結果となった。

表 3.3-2 より、推定値、実験値共に $P_u \cdot 0.2 / D_s$ が最小値となり、図 3.3-10 に示すとおり包絡線の形状もほぼ一致する結果となった。

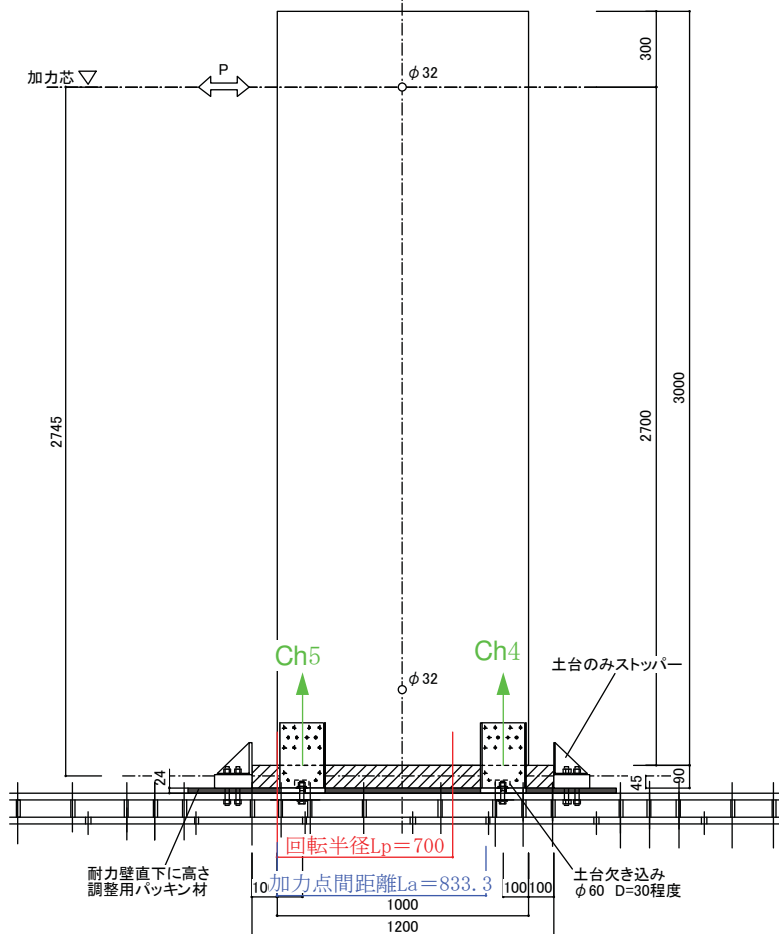


図 3.3-9 ビス用金物耐力壁の L_p 及び L_a

表 3.3-2 ビス用金物耐力壁 特性値の比較

項目	特性値		$P_u \cdot 0.2 / D_s$ (kN)	$2/3P_{max}$ (kN)	P_{120} (kN)
	P_y (kN)	壁倍率			
推定値	特性値	14.4	13.5	15.2	15.4
	壁倍率	7.4	6.9	7.7	7.9
実験値 (2体平均)	特性値	14.4	11.2	16.6	11.7
	壁倍率	7.3	5.7	8.5	6.0

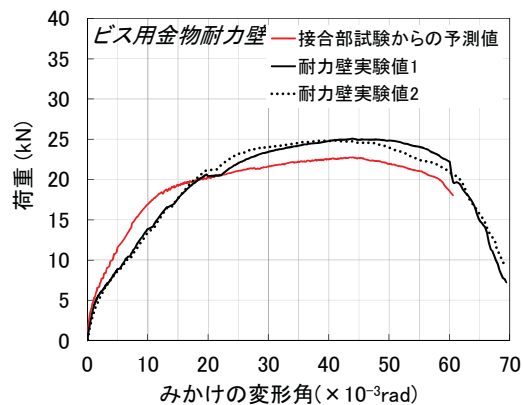


図 3.3-10 ビス用金物耐力壁 包絡線の比較

③ 長ビス

回転半径 L_p と加力点間距離 L_a を図 3.3-11 に、特性値の比較を表 3.3-3 に、包絡線の比較を図 3.3-12 に示す。

長ビス耐力壁については、荷重は一致したが、剛性及び靱性が全く一致しない結果となった。表 3.3-3 より、推定値では靱性が無さ過ぎて $1/120\text{rad}$ 時の耐力が算出できない結果となったが、実験値では算定可能となった。実験値では、 P_v が高かったことにより、推定値よりも $P_u \cdot 0.2/D_s$ が低い結果となった。一方、 P_y 及び P_{max} は良く一致する結果となった。包絡線の形状については、図 3.3-12 に示すとおり、実験値の方が剛性が低く、靱性が高いという結果となった。これはビスの曲げ変形によるものではなく、土台の曲げ変形によるものである。土台の材種や寸法、アンカーボルトの抑える位置によって剛性が変わってきてしまうので、本実験の成果を実務に用いるのは適切ではないと思われる。

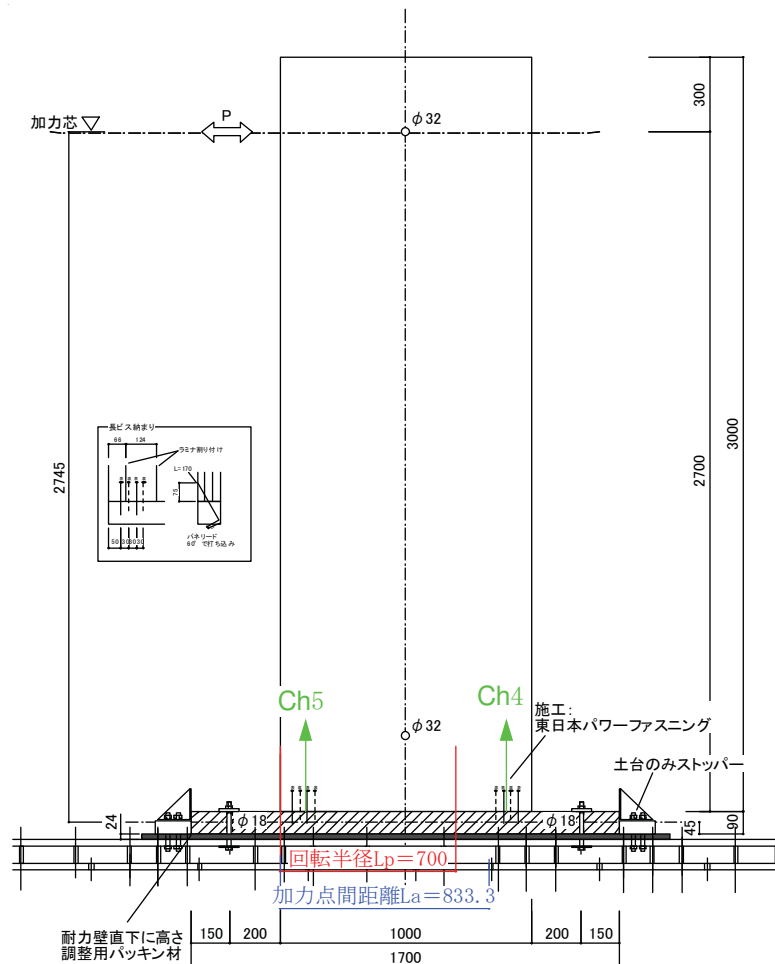


図 3.3-11 長ビス耐力壁の L_p 及び L_a

表 3.3-3 長ビス耐力壁 特性値の比較

項目 \ 特性値		特性値			
		Py(kN)	Pu・ 0.2/Ds (kN)	2/3P _{max} (kN)	P ₁₂₀ (kN)
推定値 (7体平均)	特性値	4.8	5.9	5.9	—
	壁倍率	2.4	3.0	3.0	—
実験値 (2体平均)	特性値	4.7	2.3	5.8	7.9
	壁倍率	2.4	1.2	2.9	4.0

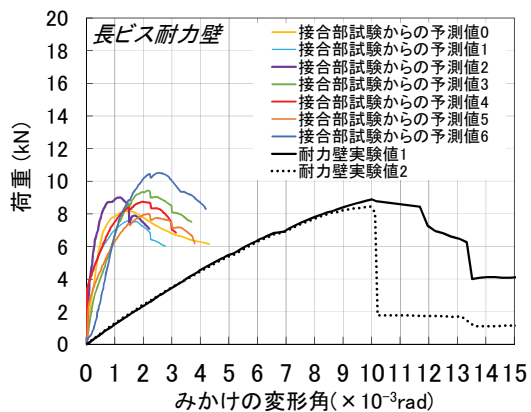


図 3.3-12 長ビス耐力壁 包絡線の比較

④ タイロッド耐力壁

タイロッドは JIS G 3138 建築構造用圧延棒鋼に定める規格より、ボルト SNR490B 転造ねじの降伏強度の下限値 325kN、引張強さの下限値 490kN、ボルトのヤング係数 201kN/mm²、ボルトの有効断面積 157 mm²として、剛性 K 、降伏耐力 P_y 、最大耐力 P_{max} 、二次剛性 K_2 を(9)~(12)式のとおり算出した。

タイロッド耐力壁は、ボルト脚部及びボルト頂部共に CLT の強軸層が接触面となるため、三角形めり込みは生じないものとした。したがって $L_a=L_p=925$ mmとなる (図 3.3-13)。計算の入力値と出力結果を表 3.3-4 に示す。この出力結果を元にバイリニア曲線を作成し、 P_u 、 D_s 、 P_{120} の値を算出した。

$$K = \frac{A_B \cdot E_B}{l_B} \cdot \frac{1}{L_a} \quad (9)$$

$$P_y = F_{Ty} \cdot A_B \cdot \frac{L_a}{l_B} \quad (10)$$

$$P_{max} = F_T \cdot A_B \cdot \frac{L_a}{l_B} \quad (11)$$

$$K_2 = \frac{P_{max} - P_y}{\frac{l_B \cdot \varepsilon}{L_p} - \frac{P_y}{K}} \quad (12)$$

ここで、 A_B ：ボルトの有効断面積 (mm²)

E_B ：ボルトのヤング係数 (N/mm²)

l_B ：ボルトのナット間長さ (mm)

F_{Ty} ：ボルトの降伏強度 (kN)

F_T ：ボルトの引張強さ (kN)

ε ：ボルトの伸び率

表 3.3-4 入力値と算定結果

	項目	算定値
入力値	ボルトの有効断面積 A_B (mm ²)	157
	ボルトのヤング係数 E_B (N/mm ²)	201000
	ボルトのナット間長さ l_B (mm)	3000
	回転中心距離 L_p (mm)	925
	ボルト降伏強度(N/mm ²)	325
	ボルト引張強さ(N/mm ²)	490
出力結果	ボルトの引張剛性 K_B (N/mm ²)	10519
	剛性(kN/rad)	9730
	降伏時の脚部引張荷重(kN)	51.0
	P_y (kN)	15.7
	θ_y	1.6
	P_m (kN)	23.7
	2次剛性(伸び4%として)	0.062

※文献³⁾では M36、全長 900 mm のボルトの実験結果によると SNR490B の塑性後の変形は 4% 伸びた時点まではほぼ直線的に伸び、8% 程度で最大荷重を迎え、その後の荷重は横ばいとなり、20% 付近で破断している。本検討では 4% として 2 次勾配を作成した。

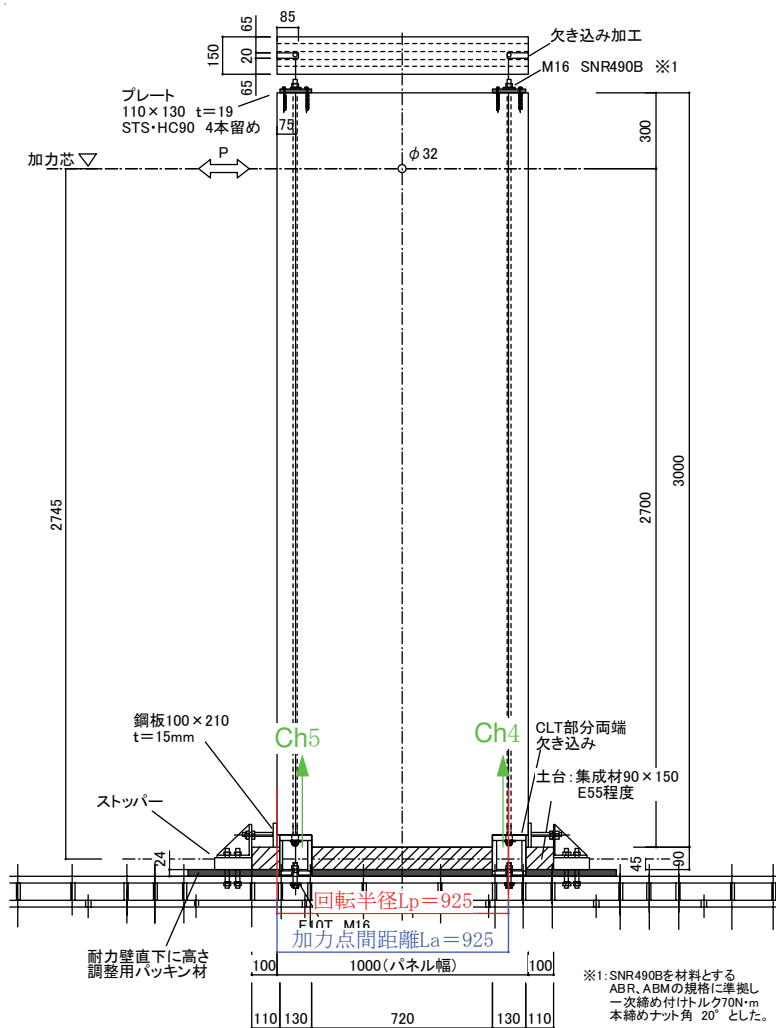


図 3.3-13 タイロッド耐力壁の L_p 及び L_a

算定結果として、回転半径 L_p と加力点間距離 L_a を図 3.3-13 に、特性値の比較を表 3.3-4 に、包絡線の比較を図 3.3-14 に示す。

表 3.3-5 に示すとおり特性値は推定値、実験値共に P_y で決定し、よく一致する結果となった。推定値の $P_u \cdot 0.2/D_s$ の値が高いのは、初期剛性が高めに推定されており、 δ_v が高めとなったためである。図 3.3-14 より、包絡線は剛性が高めに算出されたものの、 P_y 、 P_u 、二次剛性はよく一致した。

SNR490B の規格には、上限値と下限値があり、今回の推定値は安全側となる下限値で計算している。したがって今回のボルトのミルシートを参照すればより精緻な結果が得られる。

表 3.3-5 タイロッド耐力壁 特性値の比較

項目 \ 特性値		Py(kN)	Pu・ 0.2/Ds (kN)	2/3P _{max} (kN)	P ₁₂₀ (kN)
推定値	特性値	15.6	31.6	15.7	15.8
	壁倍率	8.0	16.1	8.0	8.1
実験値 (1体)	特性値	15.4	16.4	15.9	17.0
	壁倍率	7.9	8.4	8.1	8.7

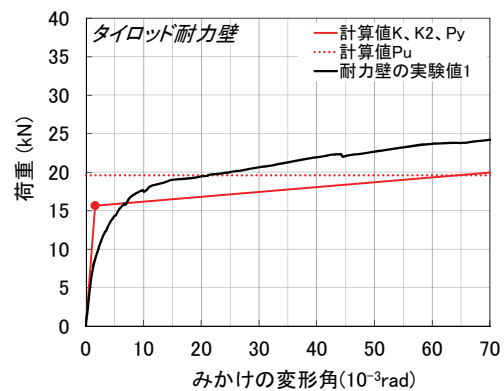


図 3.3-14 タイロッド耐力壁 包絡線の比較

5) 脚部の回転中心位置における計算方法とその結果

前項4)では、既往の試験結果から回転中心位置を8:2として計算したが、弾性域までなら既往の計算式(文献⁴⁾の引きボルトを利用したモーメント抵抗接合)を応用することによって、回転半径 L_p と加力点間距離 L_a を算出することができる。

算出方法は以下のとおりである。

土台等の上に配置された壁 CLT パネルがロッキング挙動する場合、図 3.3-15 に示すとおり、壁 CLT パネルが土台にめり込むことによって壁 CLT パネルの回転中心位置がパネル端部から中央に寄っていく。このとき、三角形めり込みと引張金物に於ける力と変形の釣り合い条件((13)式及び(14)式)により、回転半径 L_p 及び加力点間距離 L_a が算定できる。

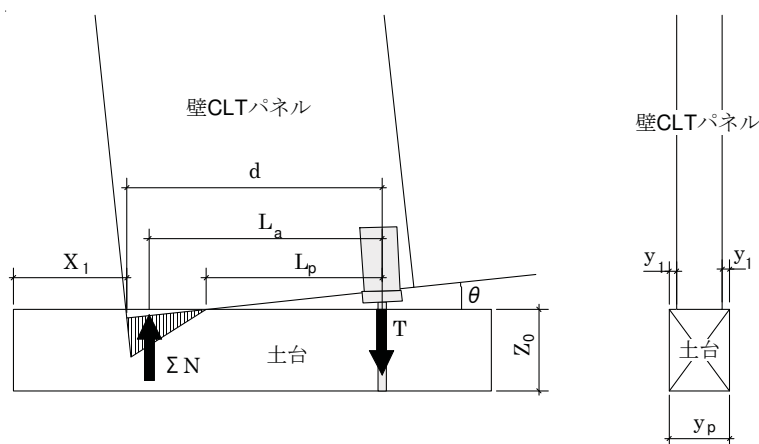


図 3.3-15 L_a 及び L_p 算定のための力学モデル

三角形めり込みの合力 ΣN と接合金物の引張力 T は力の釣り合いより

$$\Sigma N = T \quad (13)$$

三角形めり込みによる変形 $L_p \cdot \theta$ と接合金物の変形 δ_T の釣り合いより

$$L_p \cdot \theta = \delta_T \quad (14)$$

ΣN は三角形めり込み基準式より下式で与えられる。

$$\Sigma N = \frac{(d-L_p)^2 \cdot y_p c_y E_{\perp}}{2Z_0} \left\{ 1 + \frac{4Z_0}{3(d-L_p)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{3x_1}{2Z_0}} \right) \right\} \theta \quad (15)$$

(13)～(15)式より、 L_p は(16)式より算定できる。

$$L_p = \frac{(d-L_p)^2 \cdot y_p c_y E_{\perp}}{2Z_0} \left\{ 1 + \frac{4Z_0}{3(d-L_p)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{3x_1}{2Z_0}} \right) \right\} \cdot \frac{1}{K} \quad (16)$$

ここで、 K : 接合金物の剛性

E_{\perp} : 縦圧縮ヤング係数(ここでは $E_{\perp}=1/30 \cdot E_{\parallel}$ とした。)

n : 繊維方向に対する繊維直交方向の置換係数。

樹種グループ J1 で 7、J2 で 6、J3 で 5。

$$C_y = 1 + \frac{4Z_0}{3ny_p} \left(1 - e^{-\frac{3ny_2}{2Z_0}} \right)$$

L_N と T の加力点間距離 L_a は、(17)式となる。

$$L_a = d - \frac{\frac{d-L_p}{6}}{\frac{1}{2} + \frac{2Z_0}{3(d-L_p)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{3x_1}{2Z_0}} \right)} = d - \frac{d-L_p}{3 + \frac{4Z_0}{d-L_p} \cdot \left(1 - e^{-\frac{3x_1}{2Z_0}} \right)} \quad (17)$$

各試験体の L_p 及び L_a の値、並びに L_p 及び $(W-L_p)$ を壁の幅 W で除して求めた回転中心位置の比率の算定結果を表 3.3-6 に示す。ただし、入力値として与えている剛性は、初期剛性であるため、降伏後の回転中心位置までは算出できない。

表 3.3-6 計算から求めた L_p 、 L_a 及び回転中心位置(ただし、弾性域まで)

項目	HD耐力壁		ビス用金物耐力壁		長ビス耐力壁	タイロッド耐力壁		
	HD1-1~ HD1-3	HD2-1	L1-1、L1-2	L2-1	NB1- 1.NB1-2	TR1-1		
試験体番号	1p	2p	1p	2p	1p	1p		
記号・名称	単位	1p	2p	1p	2p	1p	1p	
入力値	E_{\parallel}	N/mm ²	7000	7000	7000	7000	7000	—
	E_{\perp}	N/mm ²	233	233	233	233	233	—
	n	—	5	5	5	5	5	—
	y_p	mm	90	90	90	90	90	—
	x_1	mm	300	300	0	0	0	—
	y_1	mm	0	0	0	0	0	—
	Z_0	mm	90	90	90	90	90	—
	d	mm	1040	2040	900	1900	900	—
	K	N/mm	35059	35059	9233	9233	54310	—
出力結果	C_y		1	1	1	1	1	—
	L_p	mm	652.7	1439.3	669.8	1549.8	444.9	925
	L_a	mm	941.3	1872.9	823.3	1783.3	748.3	925
	回転中心位置の比率		6.1:3.9	7.0:3.0	7.7:2.3	8.2:1.8	5.4:4.6	10.0:0.0

6) 脚部の回転中心位置における計算値と実験値の比較

図 3.3-16～図 3.3-25 は、実験に於ける STEP 数を X 軸に、鉛直変位計 Ch4 と Ch5 より算出した回転中心位置を Y 軸として示したものであり、前項の表 3.3-6 の計算値と比較を行った。

全般的な傾向として、実験値も計算値も剛性が低い金物は回転中心位置が外側に、剛性が高い金物は回転中心位置が内側となる傾向があり、実験値の個体差は大きいものの、計算値と概ね一致した。

HD 金物はビス用金物に比べ、引張剛性が高く、取り付け位置が壁端部の外側に配置されているため、回転中心位置が中央に寄る傾向がある(図 3.3-16～図 3.3-18)。回転中心位置の値のばらつきが大きい理由は、図 3-3-8 で示したように、ボルトと HD 金物接合部の施工精度等が影響しているものと思われる。一方、ビス用金物は比較的一定の位置で回転している(図 3.3-20、図 3.3-21)。いずれの金物も 2P 耐力壁(図 3.3-19、図 3.3-22)は回転中心位置が 1P 耐力壁よりも外側になる傾向にある。

長ビス耐力壁(図 3.3-23、図 3.3-24)は施工精度のばらつきが大きいと考えられ、実験結果も大きく異なる結果となった。推定値に近いのは NB1-2 であり、NB1-1 は推定より回転中心位置が外側に存在していた。

タイロッド耐力壁(図 3.3-25)については、脚部は箱型金物、頂部は座金が接しているため、横架材によるめり込みが発生しないものとして推定した。実験結果では回転中心位置がやや内側に発生することとなった。

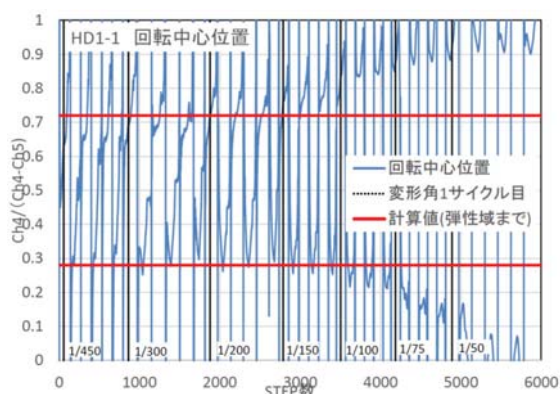


図 3.3-16 HD1-1 の回転中心位置

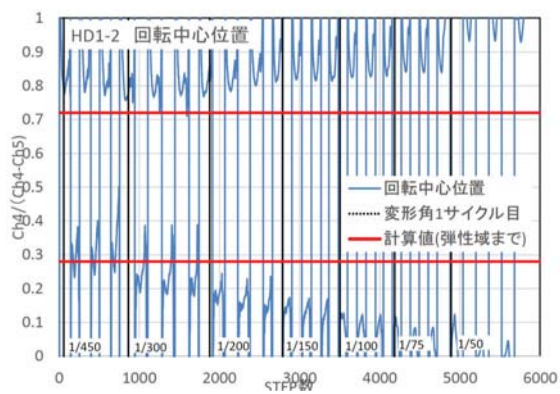


図 3.3-17 HD1-2 の回転中心位置

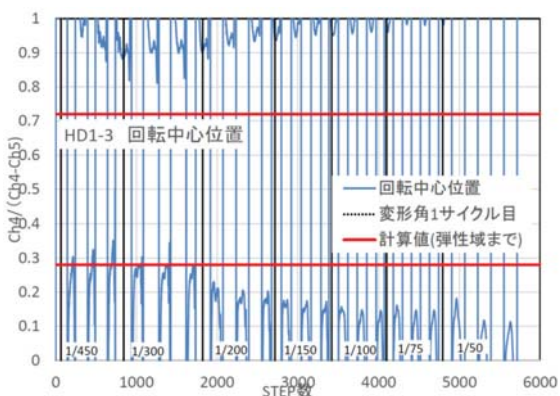


図 3.3-18 HD1-3 の回転中心位置

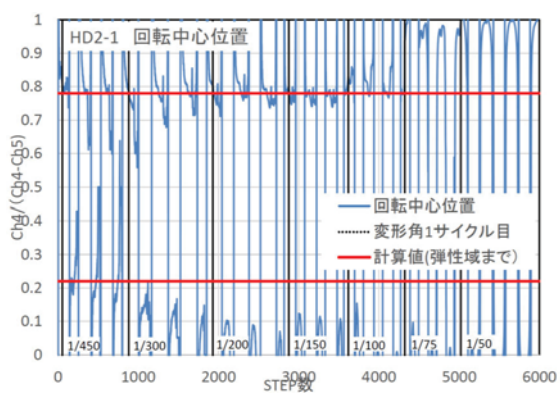


図 3.3-19 HD2-1 の回転中心位置

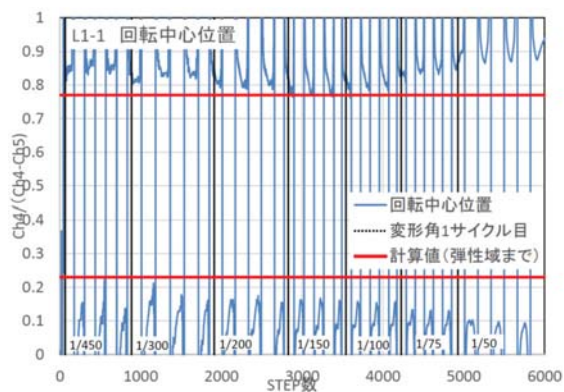


図 3.3-20 L1-1 の回転中心位置

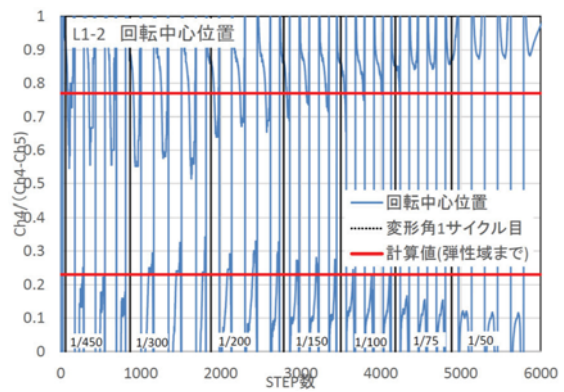


図 3.3-21 L1-2 の回転中心位置

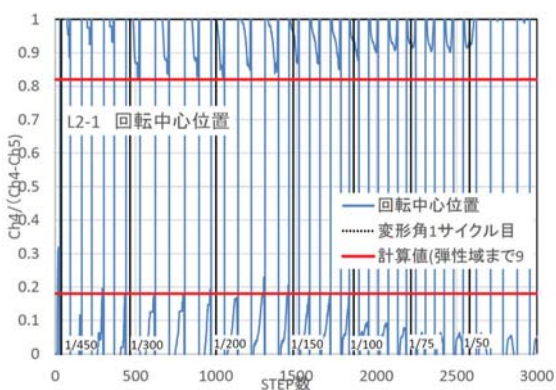


図 3.3-22 L2-1 の回転中心位置

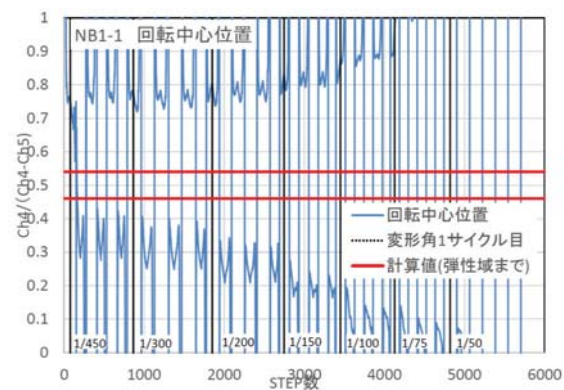


図 3.3-23 NB1-1 の回転中心位置

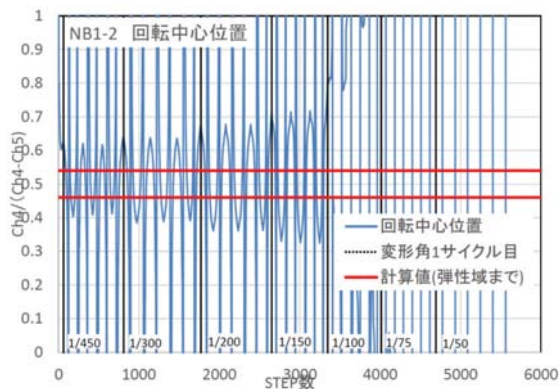


図 3.3-24 NB1-2 の回転中心位置

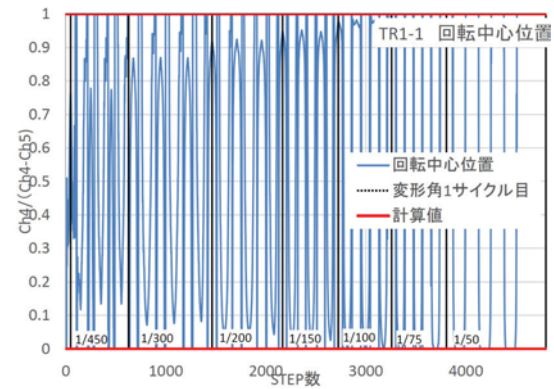


図 3.3-25 TR1-1 の回転中心位置

文献

- 1) 岡部 実、安村 基、小林 研治、孕石 剛、藤田 和彦：CLT 壁パネルの面内せん断試験における鉛直荷重の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集，2012(構造Ⅲ)，pp.339-340，2012.9
- 2) 小森谷 誠、早崎 洋一、鈴木 圭、原田 浩司、渡邊 拓史、松本 和行、三宅 辰哉、河合 直人：CLT 実物件のための構造設計に関する研究 その3 LSB 接合を用いた大型パネル実大構面水平加力実験(無開口、門型、開口)
- 3) 建築用アンカーボルトメーカー協議会：構造用アンカーボルト JIS B 1220 構造用転造両ねじアンカーボルトセット JIS B 1221 構造用切削両ねじアンカーボルトセット(カタログ)
- 4) (社)日本建築学会編：木質構造接合部設計マニュアル，p. 232