

第4章 木ねじの品質に関する検討と木ねじの 標準化の可能性に関する検討

第4章 木ねじの品質に関する検討と木ねじの標準化の可能性に関する検討

4.1 はじめに

木ねじをはじめとするビスにはさまざまな種類が存在するが、JIS 規格に指定されている木ねじ・タッピンねじ等を除き、その形状や材質は各製造業者独自のものとなっている。木ねじを使用した耐力壁の性能は、木ねじごとに耐力壁のせん断試験を行って、その結果を評価することになっているが、木ねじの寸法や組成、面材厚さ、枠組または軸組材の品質等の差異によって、その評価を別途行うのはあまりに非効率的である。しかも、木ねじは JIS 等で標準化された製品が極めて少ない。そこで、木ねじを使用した耐力壁の性能評価は接合部のせん断性能の評価に基づいて行うことができるようその標準化を試みる必要がある。

本年度は、せっこうボード接合部および耐力壁について、寸法・材質の特徴的なビスを用いて試験を行うことにより、ビスの違いによる影響について検討することとした。また、一面せん断試験結果を用いて耐力壁の水平せん断性能を解析により推定し、実験結果との比較を行った。

4.2 せっこうボード-ビス接合部の一面せん断性能

4.2.1 はじめに

現在、ビスを用いた耐力壁として認定を受けているもののほとんどはせっこうボード張り耐力壁である。そこで、本節ではせっこうボード接合部を対象としてせん断試験を行うこととした。本年度は寸法等が特徴的な市販のビスを選択し、一面せん断性能に与える影響について検討した。

4.2.2 試験方法

主材にはスギ製材を、側材には JIS A6901 に示すせっこうボード (GB-R、厚さ 12.5mm) を用いた。接合具には呼び径と長さが 3.3×30mm の造作用ビス (鋼製、谷径 2.0mm、ねじ部長さ 27mm、皿頭、座彫り機能付き)、4.8×50mm の皿木ねじ (JIS B 1112:ステンレス製、谷径 3.5mm、ねじ部長さ 32mm、皿頭、座彫り機能なし) を使用した。それぞれのビスについて、曲げ試験により性能の確認を行った。

図 4.2-1 に試験体概要を示す。試験部分(上部)は主材の両面から側材を接合具 1 本で留めつけ、非試験部分(下部)は 4.1×32mm の木ねじ 6 本で緊結した。接合具を留めつける際、主材と側材の間の摩擦除去は行っていない。加力方法は一方向引張加力および ISO16670 に示す正負繰り返し加力とした。試験体数は接合具種類、加力履歴ごとに各 3 体ずつ行った。

4.2.3 試験結果

ビスの曲げ試験により得られた塑性変形角-モーメント関係を図 4.2-2 に示す。3.3×30mm のビスは塑性変形が生じて間もなく脆性的な破壊を生じたが、4.8×50mm の木ねじでは加力を終えるまで荷重低下や亀裂の発生は見られなかった。

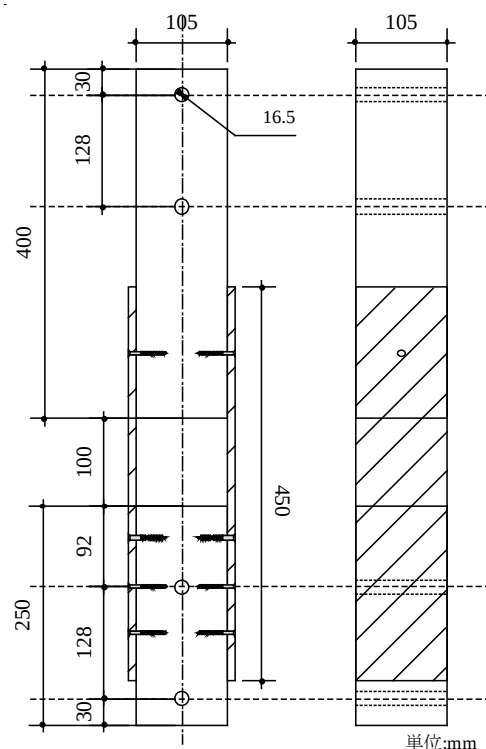


図 4.2-1 試験体概要

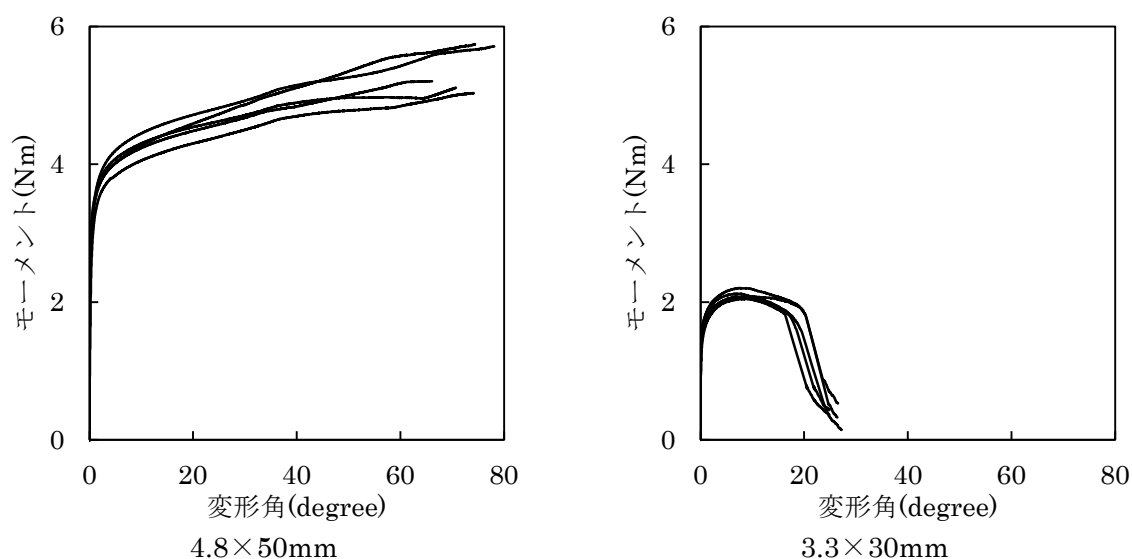


図 4.2-2 ビスの曲げ試験結果

試験後の破壊状況を図 4.2-2 に示す。3.3×30mm のビスを用いたシリーズでは、主材内部においてビスの曲げ降伏が確認された。一方向加力試験においてはせっこうボードの圧潰、ビス頭部のめり込みがみられた。ねじの破断も一部見られた。正負繰り返し試験においてはすべてのビスが破断により破壊に至った。破壊状況から推定される降伏モードはモード IIIb（側材および接合具が降伏）であった。

4.8×50mm の木ねじを用いたシリーズでは、主としてせっこうボードの圧潰により変位が進行した。一方向加力試験においては、曲げ降伏を生じる接合具が一部に見られた。正負繰り返し加力試験では 1 本の木ねじが破断を生じたものの、そのほかは一方向加力試験における挙動と同様であった。また、端距離が 50mm となる側材においては、せっこうボードの層内で破壊が生じ、荷重低下につながった。破壊状況から推定される降伏モードは主にモード Ia（側材が降伏）、一部モード IIIb（側材および接合具が降伏）であった。



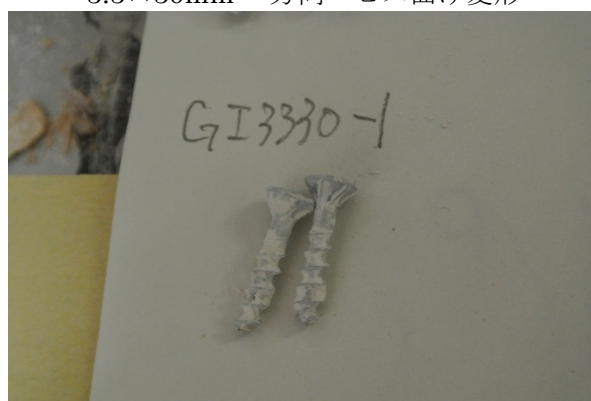
4.8×50mm 一方向 ボードの割れ



3.3×30mm 一方向 ビス曲げ変形



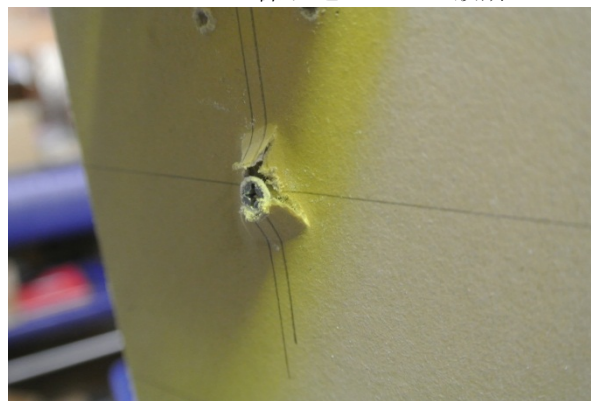
4.8×50mm 一方向 ビス曲げ変形



3.3×30mm 繰り返し ビス破断



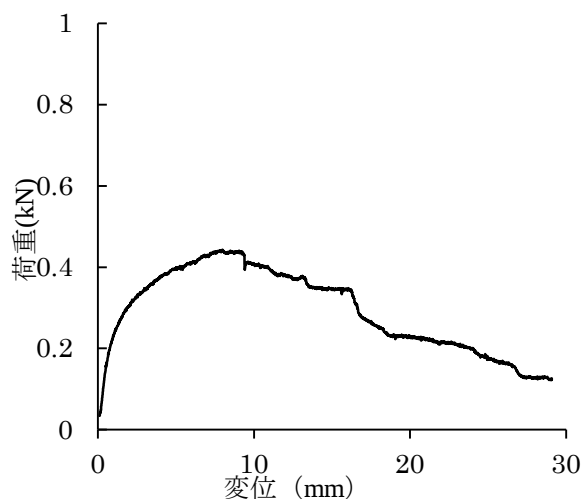
4.8×50mm 繰り返し ボードの破壊



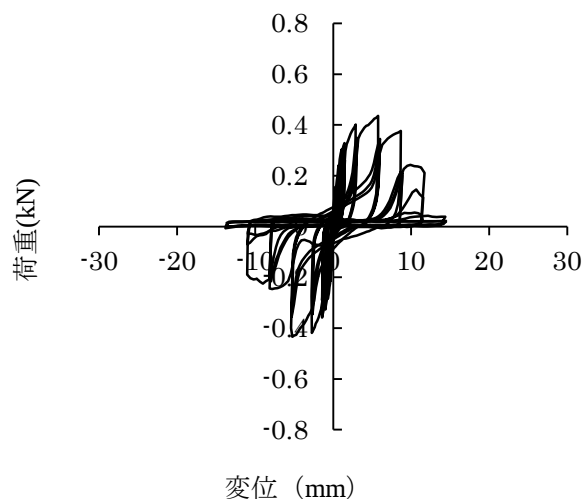
3.3×30mm 繰り返し ビス抜け出し

図 4.2-3 破壊状況

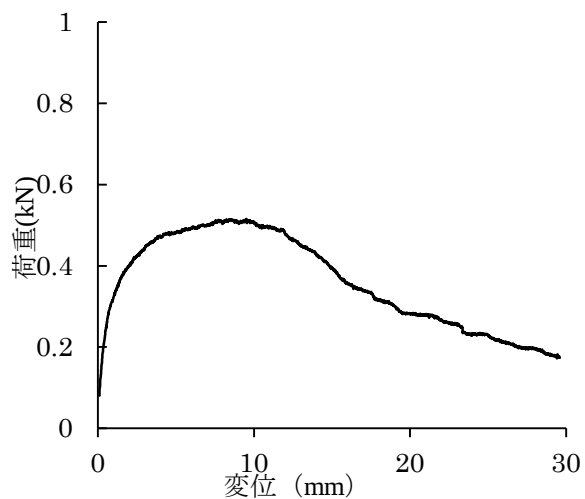
各シリーズにおける荷重と変位の関係を図 4.2-3 から図 4.2-4 に示す。



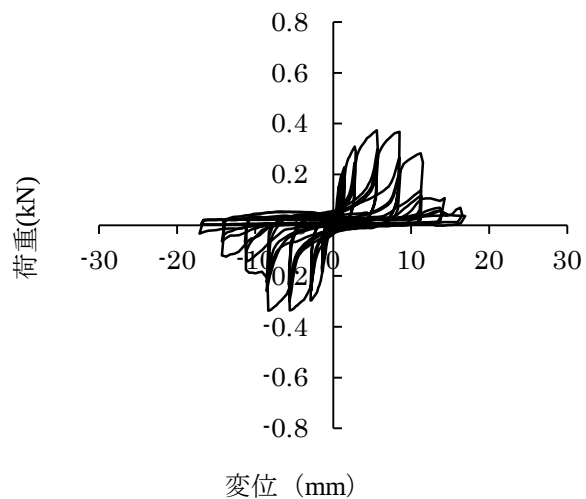
3.3×30mm 一方向 1 体目



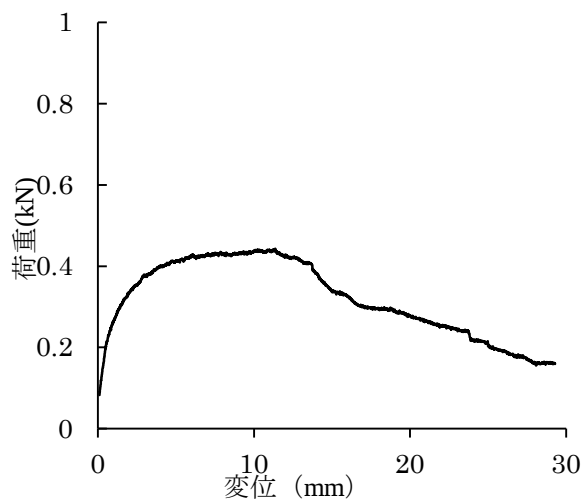
3.3×30mm 繰り返し 1 体目



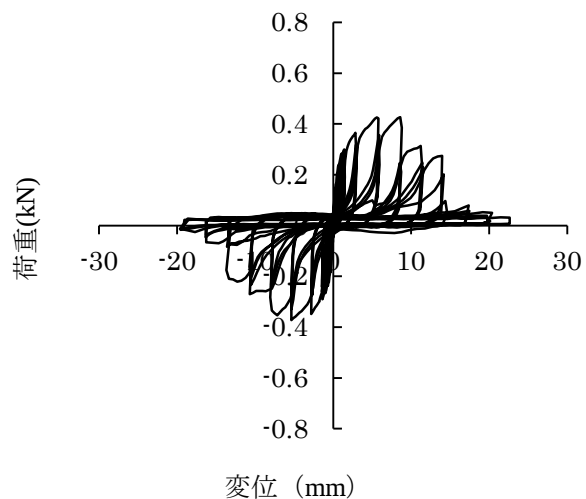
3.3×30mm 一方向 2 体目



3.3×30mm 繰り返し 2 体目

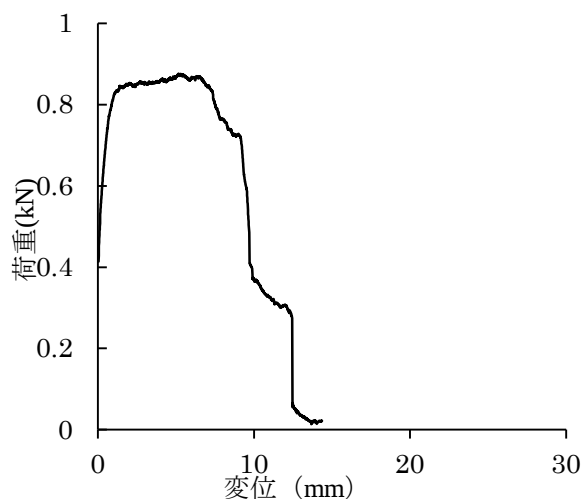


3.3×30mm 一方向 3 体目

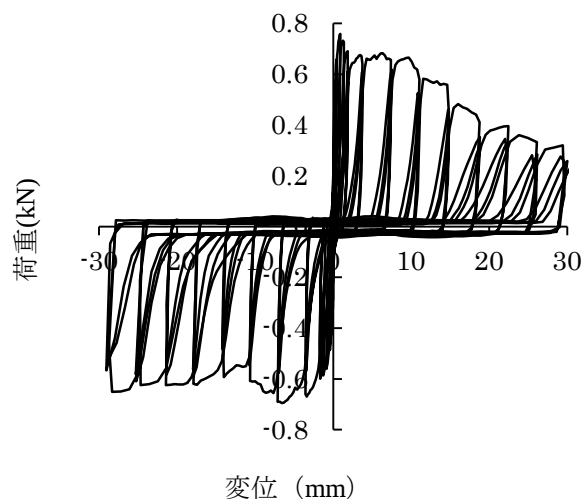


3.3×30mm 繰り返し 3 体目

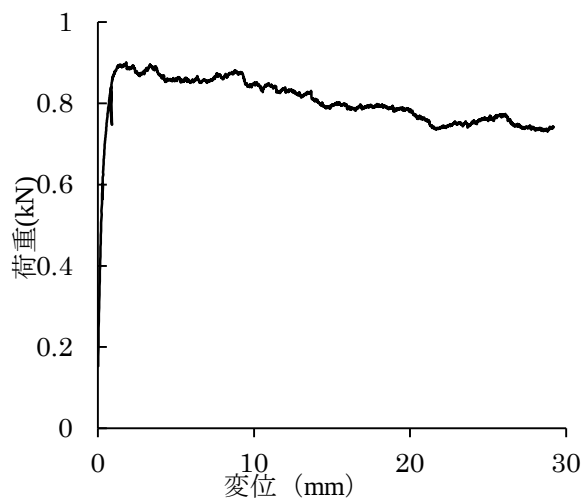
図 4.2-4 荷重変位曲線一覧（ビス：3.3×30mm）



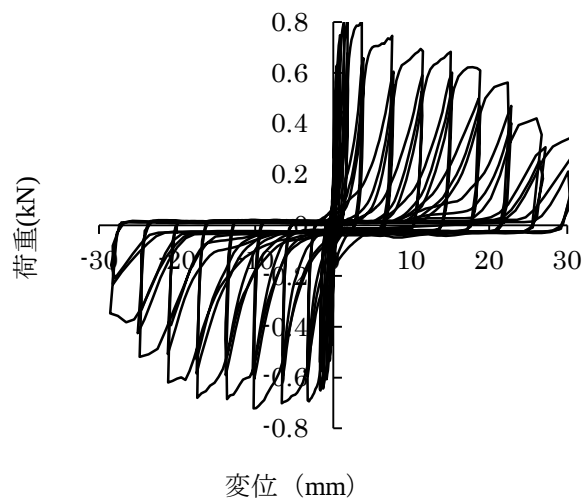
4.8×50mm 一方向 1 体目



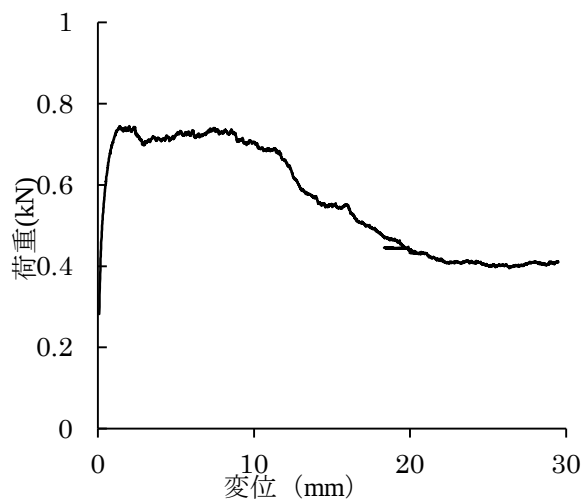
4.8×50mm 繰り返し 1 体目



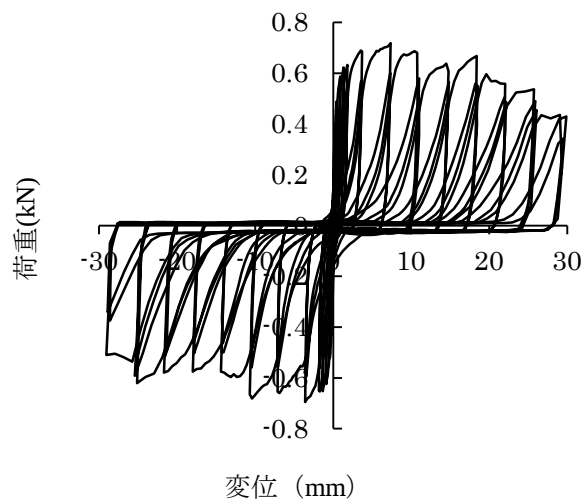
4.8×50mm 一方向 2 体目



4.8×50mm 繰り返し 2 体目



4.8×50mm 一方向 3 体目



4.8×50mm 繰り返し 3 体目

図 4.2-5 荷重変位曲線一覧（木ねじ：4.8×50mm）

荷重変位曲線から得られた特性値を表 4.2-1 に示す。3.3×30mm のビスを用いたシリーズでは、繰り返し加力により最大荷重、終局変位が低下する結果となった。4.8×50mm のビスを用いたシリーズについては、加力履歴による違いはあまり見られなかった。

表 4.2-1 特性値一覧

		P_y kN	D_y mm	$P_{\max}$ kN	$D_{\max}$ mm	P_u kN	D_u mm	K kN/mm	μ -	D_s -
3.3×30mm 一方向	1	0.26	1.27	0.44	7.96	0.40	13.50	0.20	6.85	0.28
	2	0.30	0.79	0.52	9.52	0.48	14.46	0.38	11.55	0.21
	3	0.25	0.89	0.44	11.37	0.41	14.60	0.28	10.10	0.23
	mean	0.27	0.98	0.47	9.62	0.43	14.19	0.29	9.50	0.24
	S.V.	0.03	0.25	0.04	1.70	0.04	0.60	0.09	2.41	0.04
4.8×50mm 一方向	1	0.47	0.08	0.88	5.17	0.82	9.21	5.60	62.58	0.09
	2	0.51	0.21	0.90	1.80	0.81	33.05	2.40	97.92	0.07
	3	0.42	0.17	0.74	2.00	0.71	12.94	2.45	44.31	0.11
	mean	0.47	0.16	0.84	2.99	0.78	18.40	3.48	68.27	0.09
	S.V.	0.04	0.06	0.08	1.89	0.06	12.83	1.83	27.26	0.02
3.3×30mm 繰り返し	1	0.24	0.90	0.41	8.58	0.37	10.85	0.27	7.82	0.26
	2	0.20	1.36	0.35	5.58	0.32	10.55	0.15	4.87	0.34
	3	0.24	0.90	0.41	8.58	0.37	10.85	0.27	7.82	0.26
	mean	0.23	1.05	0.39	7.58	0.36	10.75	0.23	6.83	0.29
	S.V.	0.02	0.26	0.03	1.73	0.03	0.17	0.07	1.70	0.04
4.8×50mm 繰り返し	1	0.49	0.54	0.72	7.35	0.67	21.95	0.90	29.59	0.13
	2	0.45	0.16	0.81	1.42	0.73	17.02	2.78	64.94	0.09
	3	0.49	0.54	0.72	7.35	0.67	20.76	0.90	27.84	0.14
	mean	0.48	0.42	0.75	5.37	0.69	19.91	1.53	40.79	0.12
	S.V.	0.02	0.22	0.05	3.42	0.03	2.57	1.08	20.93	0.03

4.3.1 はじめに

4.3.2 試験方法

The diagram illustrates a rectangular wooden frame assembly. The overall width is 2625 mm, composed of four segments of 455 mm each, plus end offsets of 300 mm and 450 mm. The total height is 2625 mm, with a base offset of 5 mm. Key components and their specifications are as follows:

- 梁 (Beam):** べいまつ 105×180
- 柱 (Column):** すぎ 105×105
- 間柱 (Intermediate Column):** すぎ 30×105
- 面材 (Face Material):** セッコウボード GB-R 12.5mm
- 接合具 (Fastener):** ビス @150mm
寸法 3.3×30mm、4.8×50mm
- 接合金物 (Metal Fastener):** 引き寄せ金物 HD-B¹⁵
- 土台 (Base):** すぎ 105×105

図 4.3-1 試験体概要

4.3.3 試験方法

(1) 一方向靜的水平加力試驗

(2) 正負繰り返し静的水平加力試験

51

において1サイクル、20%値、40%値、60%値、80%値、100%値、120%値・・・においてそれぞれ3サイクル正負繰り返し加力を行った。

4.3.4 結果と考察

(1) 破壊性状

破壊性状を図 4.3-2 に示す。全ての試験体において、端切れ、せっこうボードの圧潰が見られた。端切れは一方向加力試験よりも正負繰り返し試験の方が多かった。一方向加力試験では、接合部の変形がボード内側に進行する場合には端切れを生じない。これに対し、正負繰り返し試験ではいずれかの加力時においてボード外側への変形が生じるため、端切れの発生する頻度が増加した。せっこうボードの損傷は木ねじ 4.8×50mm、縁距離 12mm の試験体で特に顕著であった。これはビスの太さに対して縁距離が小さかったためと考えられる。なお、縁距離を 24mm とした試験体ではボードの端切れがほとんど生じなかったことから、ビスの太さに応じて適切な縁距離（少なくとも $4d$ ）を確保することが重要であるといえる。3.3×30mm のビスを用いた試験体では、一面せん断試験と同様にビスの破断が見られた。



4.8×50mm 一方向 ボードの欠け



3.3×30mm 一方向 頭部めり込み

図 4.3-2 破壊状況

単調加力試験、ISO による正負繰り返し試験における、荷重と見かけのせん断変形角の関係を図 4.3-3 に示す。加力履歴の影響は、接合部試験の際とおおむね同様の傾向を示した。木ねじ 4.8×50mm、縁距離 12mm の試験体では縁距離 24mm の試験体と比較して荷重が全体的に低くなっており、前述したボードの端切れによる影響と考えられる。

荷重変形関係から算出した各種特性値を表 4.3-1 に、短期基準せん断耐力と決定因子を表 4.3-2 に示す。短期基準せん断耐力は、試験体数が少なくばらつき等を考慮していないため、参考値である。繰り返し加力試験結果で比較すると、ビス 3.3×30mm を用いた試験体では 2.92～3.38kN、木ねじ 4.8×50mm を用いた試験体では 5.29～5.42kN となり、接合具の違いにより大きく異なる結果となった。なお、すべての試験体において決定因子は P_y となった。

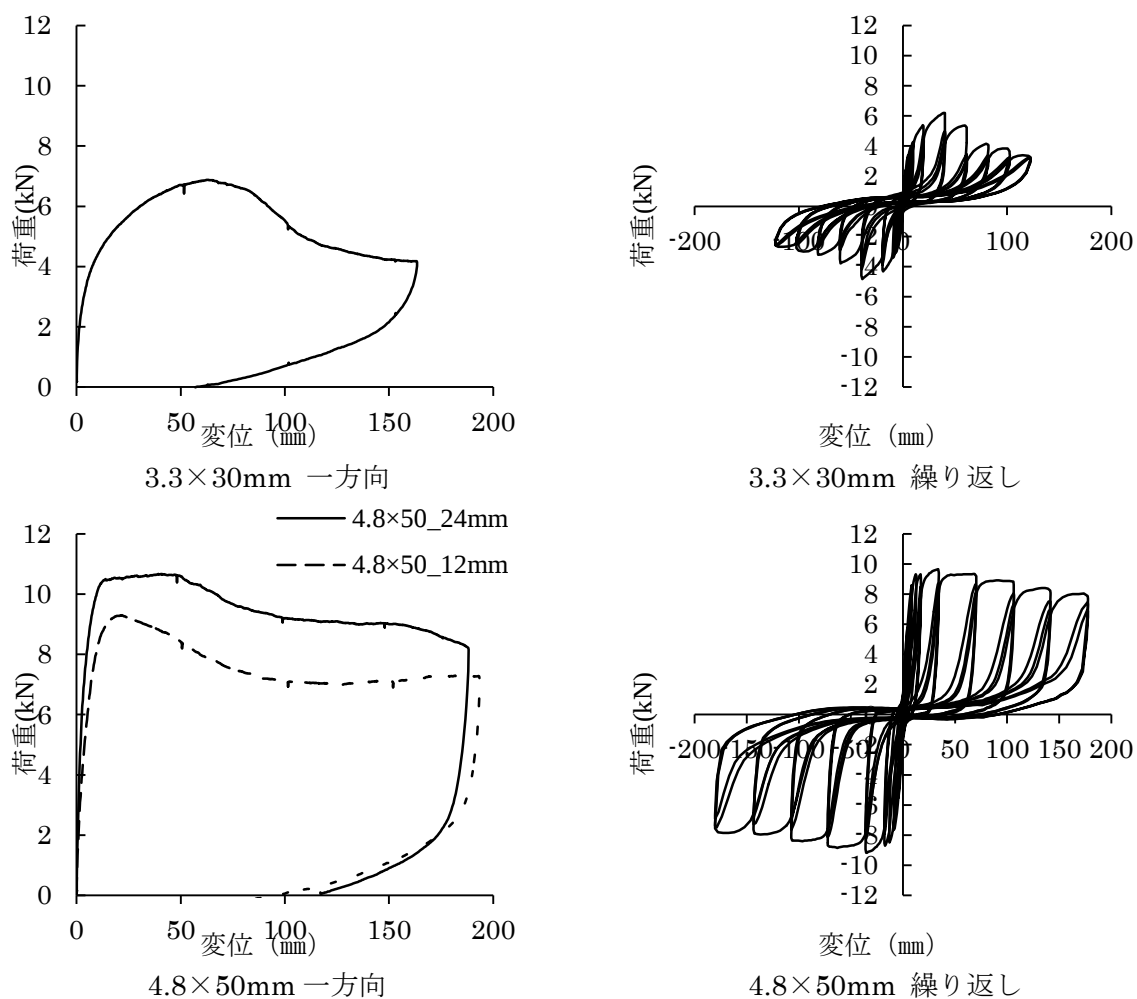


図 4.3-3 荷重変位曲線一覧

表 4.3-1 特性値一覧

	P_y kN	D_y mm	$P_{\max}$ kN	$D_{\max}$ mm	P_u kN	D_u mm	K kN/mm	μ -	D_s -
3.3×30mm 一方向	3.77	6.25	6.88	62.76	6.23	100.30	0.60	9.72	0.23
4.8×50mm 一方向	4.91	3.70	9.30	21.87	8.44	78.84	1.33	12.40	0.20
	5.93	2.52	10.67	40.94	9.59	177.15	2.36	43.51	0.11
3.3×30mm 繰り返し	3.38	6.74	5.75	40.18	5.15	65.05	0.50	6.35	0.29
	2.92	3.94	5.29	39.20	4.68	60.19	0.74	9.53	0.24
4.8×50mm 繰り返し	5.29	3.56	9.66	33.93	8.87	177.44	1.49	29.70	0.13
	5.42	4.10	9.18	35.49	8.39	180.35	1.32	28.42	0.13

表 4.3-2 短期基準せん断耐力

	P_y kN	$0.2P_u/D_s$ kN	$2/3P_{\max}$ kN	$P_{1/120}$ kN	P_a kN	決定項目
3.3×30mm 一方向	3.77	5.35	4.59	4.14	3.77	Py
4.8×50mm 一方向	4.91	8.23	6.20	7.66	4.91	Py
	5.93	17.79	7.11	9.65	5.93	Py
3.3×30mm 繰り返し	3.38	3.52	3.83	3.57	3.38	Py
	2.92	3.98	3.53	3.70	2.92	Py
4.8×50mm 繰り返し	5.29	13.56	6.44	8.60	5.29	Py
	5.42	12.53	6.12	7.60	5.42	Py

4.4 せっこうボード耐力壁の水平せん断性能の推定

本節では有限要素法を用いて、接合部試験結果をもとにした耐力壁のせん断性能の推定を試みた。

使用プログラムは、EFICOBOIS (by Nicolas Richard [1])を用いた。有限要素モデルの概要を図 4.4-1 に示す。面要素は直交異方性とし、柱梁接合部には圧縮・引張それぞれのバネ要素を用いた。

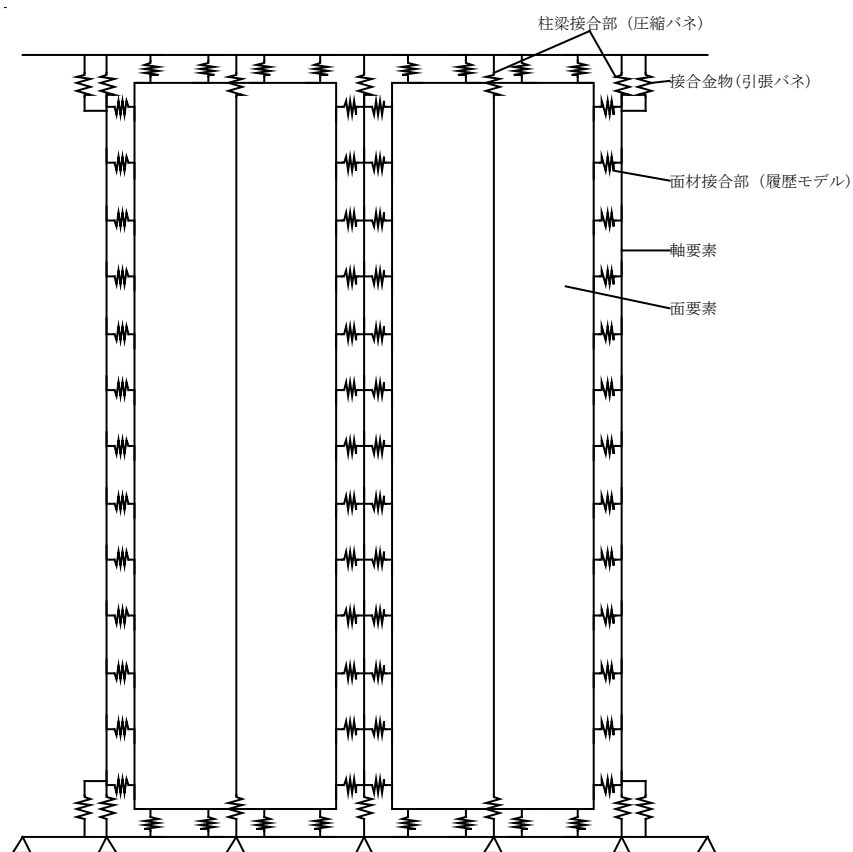


図 4.4-1 有限要素モデル

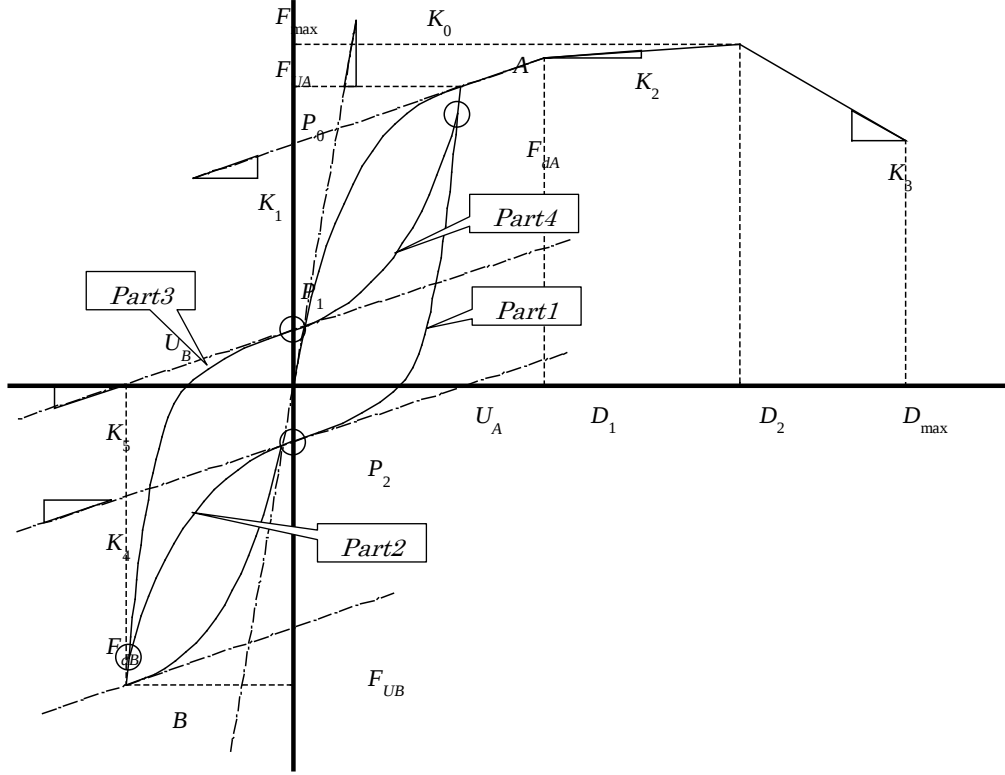


図 4.4-2 接合部履歴モデル

骨格曲線は下式のとおり。

$$0 \leq \Delta \leq D_1 : F(\Delta) = (P_0 + K_1 \Delta) \times (1 - \exp(-K_0 \Delta / P_0)) \quad (1)$$

$$D_1 < \Delta \leq D_2 : F(\Delta) = F(D_1) + K_2 (\Delta - D_1) \quad (2)$$

$$D_2 < \Delta \leq D_{\max} : F(\Delta) = F(D_1) + K_2 (D_2 - D_1) + K_3 (\Delta - D_2) \quad (3)$$

$$\Delta > D_{\max} : F(\Delta) = 0 \quad (4)$$

変位 D_1 まではFoschiのカーブとし、それ以降を傾き K_2 および K_3 の2直線で表した。変位 $D_{\max}$ 以降は荷重ゼロとする。

繰り返し部分は図 4.4-2 の part1-part4 に対してそれぞれ下式から求める。

$$\text{part1} : F(\Delta) = F_{dA} + (K_4 \Delta + P_2 - F_{dA}) \times (1 - \exp(K_0 (U_A - \Delta) / 2P_2)) \quad (5)$$

$$\text{part2} : F(\Delta) = F_{dB} + (K_4 \Delta + P_2 - F_{dB}) \times (1 - \exp(-K_y (U_B - \Delta) / 2P_2)) \quad (6)$$

$$\text{part3} : F(\Delta) = F_{dB} + (K_5 \Delta + P_1 - F_{dB}) \times (1 - \exp(K_0 (U_B - \Delta) / 2P_1)) \quad (7)$$

$$\text{part4} : F(\Delta) = F_{dA} + (K_5 \Delta + P_1 - F_{dA}) \times (1 - \exp(-K_y (U_A - \Delta) / 2P_1)) \quad (8)$$

F_{dA} および F_{dB} は繰り返し加力に伴う荷重低下を表す。低下率を示す係数 $\alpha_A \cdot \alpha_B$ は、逆方向加力時の最大荷重 F_{UB} または F_{UA} に応じて下式から求める。

$$F_{dA} = F_{UA} - \alpha_A (F_{UA} - (P_1 + K_5 U_A)) \quad (9)$$

$$F_{dB} = F_{UB} - \alpha_B (F_{UB} - (P_2 + K_4 U_B)) \quad (10)$$

ここで、 $\alpha_A = k \left| \frac{F_{UB}}{F_{\max}} \right|$, $\alpha_B = k \left| \frac{F_{UA}}{F_{\max}} \right|$, $K_4 = \frac{P_2}{U_A}$, $K_5 = \frac{P_1}{U_B}$, $K_y = \frac{F(D_y)}{D_y}$.

変位が降伏変位 D_y を超えた後は、逆方向加力時の最大変位 $U_A \cdot U_B$ に応じて骨格曲線に低減を乗じる。下式から β を求め、 $(1-\beta)$ を乗じる。

$$\beta_A = \gamma \left(\frac{U_B - D_y}{D_{\max} - D_y} \right), \beta_B = \gamma \left(\frac{U_A - D_y}{D_{\max} - D_y} \right) \quad (11)$$

骨格曲線に関するパラメータ $P_0, K_0, K_1, K_2, K_3, D_1, D_2, D_{\max}$ は接合部の一方向加力試験から算出したものを用い、繰り返し加力および低減に関するパラメータ P_1, P_2, D_y, k, γ は接合部の繰り返し加力試験から算出したものを用いた。

前節の耐力壁について、実験結果と解析結果の比較を図 4.4-3 に示す。3.3×30mm のビスを用いたシリーズではこれまでと同様に、単調加力および繰り返し加力の両方に対して良好な推定ができたといえる。一方、木ねじ 4.8×50mm、縁距離 24mm のシリーズについては、一方向加力における実験結果と計算結果がよく一致した。縁距離を 12mm としたシリーズではボードの端が欠けることにより耐力が発揮されなかったため、計算結果と比較して低い荷重を示した。繰り返し加力試験では実験結果において単調加力試験結果より最大荷重が低下したものの、終局変位は同程度となった。

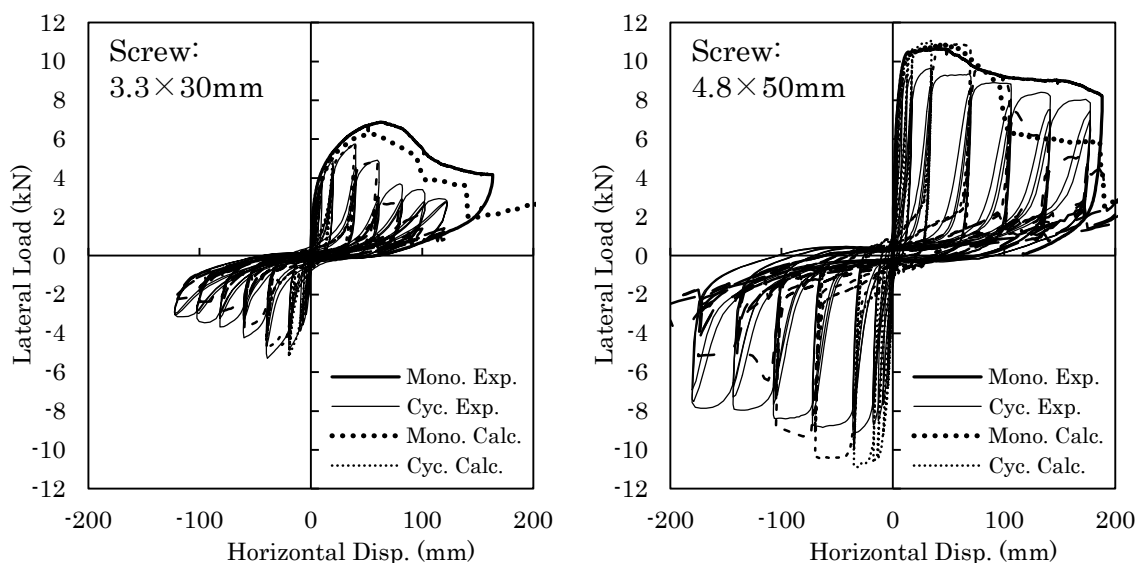


図 4.4-3 実験と解析の比較

4.5 まとめと今後の課題

本年度は、ビスを用いたせっこうボード接合部の一面せん断試験、および耐力壁の水平せん断試験を行うとともに、ビス接合部の一面せん断性能を用いて耐力壁の水平せん断性能の推定を試みた。その結果、以下の成果が得られた。

- ・ 接合部試験において、ビスの寸法や材質によって接合部の一面せん断性能に違いが見られ、繰り返し加力により脆性的な破壊形態を示した。
- ・ 耐力壁試験において、縁距離が小さくなるとボードの端切れが顕著になり、耐力壁の性能が低下した。適切な縁距離を確保している試験体については、接合部試験とおおむね同様の挙動を示した。
- ・ ボードの端切れなど耐力壁固有の破壊形態を生じさせなければ、一面せん断特性から耐力壁の水平せん断性能を推定することが可能であることが分かった。

また、これまでに行った試験結果および検討内容と、それに基づく今後の課題および方向性をまとめると以下の通りとなる。

◇ 接合部試験について

使用するビスの素性を明らかにする必要がある。各部の寸法や材質を明確にするとともに、曲げ試験やねじり試験などにより性能を確認する。

樹種を（たとえばスギに）限定するかどうかは検討の余地がある。耐力だけを評価するのであればスギでよいと思われるが、密度の高い樹種ではビスの破断を生じる恐れがあるため、スギを用いれば必ずしも安全側とはならない。

接合部に生じる初期摩擦は一面せん断特性において初期剛性、降伏変位に大きく影響を及ぼす。塑性率などを評価に用いる際は、初期摩擦に大きく影響を受けるので留意すること。なお、降伏荷重、最大荷重、終局変位に及ぼす影響は小さい。

耐力壁に応じた縁端距離で一面せん断試験を行うのは難しい。これらの影響は側面抵抗試験により確認する。

◇ 壁試験について

縁距離が小さいと面材の端切れが顕著になる。このような破壊が生じると一面せん断特性から推定される性能を発揮できないので、少なくとも $4d$ 以上確保することが望ましい。間柱に継ぎ目が位置する場合などは枠組壁工法と同様に縁距離の確保が難しい。その場合、解析モデルに縁距離の影響を含めて検討するか、実情に応じた側面抵抗試験結果を用いて評価するなどの工夫が必要である。また、せっこうボード耐力壁は荷重変形特性に占めるフレームの影響が大きい。

◇ 試験法、評価法のイメージ

一面せん断試験を行うことにより、耐力壁試験を行うことなく壁倍率等が与えられる仕組みを目指す。ただし、まったく壁試験を行わないで済むというのは考えにくい。たとえば、大臣認定における仕様として「JIS A 種ビス」などと記載されており、試験により A 種と認定されたビスであればどれを用いてもよいなどの形がありうる。

ビスのクラス分けは耐力と変形性能をもとに行う。クラス分けの結果、性能の高いものは壁試験が不要であるが、性能の低いものは壁試験を行う必要があるなど、扱いを変える。

試験法と評価法は同一の規格に含める方法と、別の規格に分離して引用する方法が考えられる。どちらの方法が望ましいかについてはさらに議論する必要がある。

