

木質構造における木ねじ接合部の一面せん断耐力 Single Shear Strength of Screwed Joints for Timber Structures

2. 構造 - 7. 木質構造

降伏耐力 降伏モード 終局耐力
降伏理論 支圧強度 終局変位

正会員
正会員

○名波 直道*
安村 基**
河崙 みき***

NANAMI Naomichi
YASUMURA Motoi
KAWASAKI Miki

1. 緒言

木造建築物において構造材や仕上げ材の分別解体が可能となれば、資源の再使用・再利用が推進されると考えられる。木質構造接合部において多く使用される釘に比して、木ねじやビスは解体が容易である。現在石膏ボードの接合に広く用いられるようになった木ねじを、他の接合にも適用することができれば、持続可能な循環型社会を構築する上でその意義は極めて大きい。

木ねじは、引き抜き抵抗の高さに期待した使用方法を採るもので、せん断力を負担する用途にはあまり用いられてこなかった。日本工業規格では、JIS B 1112¹⁾および1135²⁾に木ねじが規定されているが、実際に使用されている木ねじやビスの寸法・形状および材質は多種多様である。このことも一因となり、現在まで木ねじ接合部におけるせん断耐力・変形性能の検討はほとんどなされていない。

一方、建築学会の木質構造設計規準³⁾において、木ねじ接合部の許容一面せん断耐力は木材の密度および木ねじの呼び径によって算定されるが、これは木材同士を接合したのに関して規定したものである。それに対して、欧州規格 Eurocode 5⁴⁾における木ねじ接合部の降伏耐力算定は降伏理論(EYT)によっており、合板等の木質材料や鋼板との接合にも適用される。今後、様々な組合せの接合に木ねじが使用されることが予想され、それらの接合部に降伏理論が適用できれば、極めて合理的な設計が可能となろう。

そこで本研究では、JIS に準拠した木ねじを用いた接合部の一面せん断試験を行い、その耐力・変形性能を検討することとした。また、降伏理論により木ねじ接合部の降伏耐力および降伏モードの推定を試みることにした。

2. 木ねじ接合部の一面せん断試験

2.1 供試材料

1) 木ねじ JIS B 1112 十字穴付き木ねじに準拠した呼び径 3.8 および 4.5mm の木ねじを使用した。写真 1 および表 1 に、木ねじの一例および仕様をそれぞれ示す。頭部の形状は、合板および製材側材には皿木ねじを、鋼板側材には丸木ねじを用いた。長さは側材の厚さに応じて、25、32、38 および 50mm とした。使用した木ねじは、頭部付近に長さの約 1/3 程度の胴部を持つ 2 条ねじであった。ねじの山径は呼び径とほぼ同程度であり、ねじの谷径は山径の 0.7 倍前後であった。

2) 製材 主材および側材用の製材として、S-P-F204 材を使用した。気乾密度は主材用が 460~489kg/m³、側材用が 471~498kg/m³ の範囲のものを使用した。各試験条件とも平均密度が、主材用では 475kg/m³ 程度、側材用では 484kg/m³ 程度となるようにした。

3) 合板 側材用合板には、構造用合板 JAS 特類 2 級ラ一チ 9mm 厚 3ply および 15 mm 厚 5ply の 2 種類を使用した。9mm 厚合板は気乾密度が 606~667kg/m³ の範囲で、各試験条件とも平均密度が 637kg/m³ 程度となるようにした。15mm 厚合板では、気乾密度 604~663kg/m³、平均密度 636kg/m³ 程度とした。

表 1. 試験体の組合せおよび木ねじの仕様

試験体名	側材	側材厚 (mm)	頭部 形状	木ねじ						
				公称寸法(mm)		実測寸法(mm)				
				呼び径	長さ	胴径	山径	谷径	長さ	細り部長さ
09P38	構造用合板 特類2級 (ラ一チ)	9	皿	3.8	32	3.7	3.8	2.6	31.3	4.2
4.5				4.5		3.2	31.6	3.9		
15P38		15		3.8	38	3.7	3.8	2.6	37.6	3.6
4.5				4.5		3.1	37.4	4.6		
20L45	S-P-F製材	20		4.5	50	4.4	4.4	3.2	49.2	3.9
04S38	SS400鋼板	4.2	丸	3.8	25	3.7	3.8	2.6	23.7	3.0

* 静岡大学 農学部 森林資源科学科 助教授・農博

Assoc. Prof., Dept. of Forest Resources Science, Faculty of Agriculture, Shizuoka Univ., Dr. Agr.

** 静岡大学 農学部 森林資源科学科 教授・農博

Prof., Dept. of Forest Resources Science, Faculty of Agriculture, Shizuoka Univ., Dr. Agr.

*** 静岡大学 農学部 森林資源科学科 学生

Student, Dept. of Forest Resources Science, Faculty of Agriculture, Shizuoka Univ.

4) 鋼板 側材用鋼板には、JIS G 3101 による SS400 一般構造用圧延鋼板 4.2mm 厚を使用した。

2.2 試験体

図 1 に示すような、S-P-F204 主材の両面に側材を木ねじ 4 本で緊結した一面せん断試験体を用意した。側材には、ラージ合板 9 および 15mm 厚、S-P-F 製材 20mm 厚、および SS400 鋼板 4.2mm 厚を使用した。試験体の形状は 2 種類であり、製材・合板側材と鋼板側材で異なっていた。側材の幅は、製材のみ 89mm とし、その他はすべて 100mm とした。試験体の組合せを表 1 に示す。側材用製材および合板表面単板の繊維方向は主材の繊維方向と平行とした。なお、せん断試験時における主材と側材間の摩擦による影響をできるだけ排除するため、主材と側材間には 0.6mm 程度の間隔を持たせた。木ねじの先行穴径は主材・側材とも 1.5mm とし、鋼板の木ねじ穴は 4.0mm 径とした。

2.3 試験方法

試験体の上下をボルトにて治具に取付けた。強度万能試験機(島津製作所製オートグラフ AG-1)を用いて、平均変形速度 6mm/min にて一方向引張加力でせん断試験を各 3 体ずつ行った。荷重はクロスヘッドと治具の間に設置したロードセルで、主材と側材の相対変位は変位計にて測定した。一方向試験において、最大荷重を示した後、荷重が最大荷重の 80% まで低下した時点の変位を終局変位 D_u とした。その D_u をもとに、ISO 16670⁵⁾ に準拠した変位履歴を作成し、正負繰り返し加力にてせん断試験を各 6 体ずつ行った。設定変位が D_u の 1.25~10% までは各 1 回の加力、20% 以上では 20% ずつ変位を増加させ各 3 回の加力サイクルを繰り返した。なお、加力方向は主材の繊維方向と平行とし、すべての試験体において側材端部付近に開き止めを設置した。

2.4 耐力・変形性能の評価方法

一方向試験では荷重-変位曲線を、正負繰り返し試験では荷重-変位曲線における各設定変位第 1 サイクルの頂点を結んだ第 1 包絡線をもとに、各試験体の各耐力・変位を以下の方法で評価した。最大耐力 P_{max} の 10 および 30% の荷重を示す点を直線で結び、その直線をもとに 5% off-set 法を用いて降伏点、すなわち降伏耐力 P_y および降伏変位 D_y を求めた。off-set 量は、木ねじの呼び径から決定した有効径をもとにした。木ねじの有効径は、欧州規格 Eurocode 5 を参考に、呼び径の 0.75 倍とした。終局耐力 P_u は、降伏点を通る完全弾塑性のバイリニア型直線の D_u までのエネルギー吸収が、一方向の荷重-変位曲線あるいは正負繰り返しの包絡線のそれと等しくなるよう決定した。正負繰り返しの場合、 P_{max} は正およ

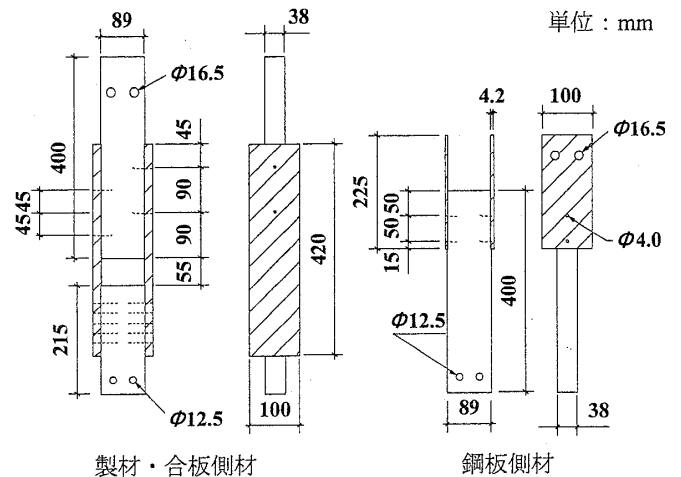


図 1. 木ねじ接合部一面せん断試験体の概要

び負の絶対値が大きいものを採り、その他は正・負の平均とした。

3. 降伏理論

木ねじ接合部の一面せん断における降伏耐力 $P_y(N)$ は以下の式(1)による。

$$P_y = C \cdot F_e \cdot d \cdot l \quad (1)$$

ここに、 C : 接合形式と降伏モードによって決定する接合形式係数、 F_e : 主材の支圧強度(N/mm^2)、 d : 木ねじの有効径(呼び径 $\times 0.75$)(mm)、 l : 主材厚(mm)である。

接合形式係数 C は、接合形式に応じた値を採る。すなわち、木材の主材に対して、(i)製材および合板のような木材・木質材料が側材となる場合、および(ii)鋼板側材の場合に応じて異なり、それぞれの場合で以下のうち最小の値を採る。

(i) 木材・木質材料(製材および合板)側材の場合

モード I(a) 1

モード I(b) $\alpha\beta$

モード II $\frac{\sqrt{\beta + 2\beta^2(1 + \alpha + \alpha^2) + \alpha^2\beta^3} - \beta(1 + \alpha)}{1 + \beta}$

モード III(a) $\sqrt{\frac{2\beta(1 + \beta)}{(2 + \beta)^2} + \frac{2\beta\gamma(\frac{d}{l})^2}{3(2 + \beta)}} - \frac{\beta}{2 + \beta}$

モード III(b) $\sqrt{\frac{2\alpha^2\beta^2(1 + \beta)}{(2\beta + 1)^2} + \frac{2\beta\gamma(\frac{d}{l})^2}{3(2\beta + 1)}} - \frac{\alpha\beta}{2\beta + 1}$

モード IV $\frac{d}{l} \sqrt{\frac{2\beta\gamma}{3(1 + \beta)}}$

(ii) 鋼板側材の場合

モード I 1

モード III $\sqrt{2 + \frac{2}{3}\gamma(\frac{d}{l})^2} - 1$

モード IV $\frac{d}{l} \sqrt{\frac{2}{3}\gamma}$

各式中の記号は次による。 α : 主材厚に対する側材厚の比(l'/l)、 β : 主材の支圧強度に対する側材の支圧強度の比(Fe'/Fe)、 γ : 主材の支圧強度に対する木ねじの降伏強度の比(F/F_e)、 F : 木ねじの降伏強度(N/mm^2)、 Fe' : 側材の支圧強度(N/mm^2)、 l' : 側材厚(mm)。

ここで、各降伏モードは次の通り。なお鋼板側材では、木ねじの鋼板へのめり込みはないものとする。I : 木ねじが降伏せず、主材あるいは側材にめり込む、II : 木ねじが降伏せず、主材および側材にめり込む、III : 木ねじが1箇所降伏、IV : 木ねじが2箇所降伏。

また、(i)における(a)および(b)は以下を示す。(a) : モードIあるいはIIIが主材中で発生、(b) : モードIあるいはIIIが側材中で発生。

4. 結果および考察

4.1 木ねじ接合部の一面せん断耐力および変形性能

表2および3に、一方向加力および正負繰り返し加力の一面せん断試験結果をそれぞれ示す。表中の耐力は木ねじ1本あたりのものであり、最大変位 D_{max} は最大耐力時の変位を示す。一方向および正負繰り返し試験の各耐力・変位を比較すると、両者が同程度かあるいは一方向が大きい値であった。 D_u については、各試験体とも正負繰り返しに比して一方向が高い値を示した。特に、15P38 および鋼板試験体の D_u ではその傾向が顕著であり、正負繰り返し試験を行うと粘りが減少することがわかる。15P38 では P_{max} に関して、両者の差異が大き

表2. 木ねじ接合部一方向加力一面せん断試験結果(1本あたり)

試験体	降伏耐力 $P_y(kN)$	降伏変位 $D_y(mm)$	最大耐力 $P_{max}(kN)$	最大変位 $D_{max}(mm)$	終局耐力 $P_u(kN)$	終局変位 $D_u(mm)$
09P38	0.579	0.836	1.69	12.4	1.32	17.7
09P45	0.693	0.659	1.94	11.3	1.57	18.6
15P38	0.675	0.576	1.70	10.4	1.37	15.1
15P45	0.754	0.547	1.85	10.8	1.54	16.3
20L45	0.916	0.842	2.52	18.8	2.09	29.2
04S38	0.709	0.774	1.86	7.34	1.67	17.2

表3. 木ねじ接合部正負繰り返し加力一面せん断試験結果(1本あたり)

試験体	降伏耐力 $P_y(kN)$	降伏変位 $D_y(mm)$	最大耐力 $P_{max}(kN)$	最大変位 $D_{max}(mm)$	終局耐力 $P_u(kN)$	終局変位 $D_u(mm)$
09P38	0.589 (0.036)	0.658 (0.110)	1.73 (0.07)	10.2 (1.44)	1.32 (0.05)	13.6 (1.44)
09P45	0.728 (0.084)	0.564 (0.149)	2.00 (0.18)	9.43 (1.28)	1.56 (0.11)	13.6 (2.47)
15P38	0.578 (0.060)	0.460 (0.028)	1.33 (0.11)	6.41 (0.60)	1.09 (0.10)	9.37 (1.87)
15P45	0.761 (0.058)	0.569 (0.042)	1.94 (0.24)	9.03 (1.35)	1.55 (0.13)	12.1 (1.22)
20L45	0.764 (0.067)	0.628 (0.013)	2.10 (0.24)	11.1 (1.82)	1.60 (0.12)	15.8 (2.61)
04S38	0.739 (0.074)	1.051 (0.096)	2.06 (0.14)	6.91 (0.76)	1.72 (0.14)	8.28 (0.98)

()内は標準偏差

いことから、耐力・変形性能の評価には正負繰り返し試験が望ましいと考えられる。

正負繰り返し試験にける各試験体の荷重-変位関係の例を図2に示す。図には第1包絡線も併せて示した。合板および製材側材については、15P38の最大耐力や粘りが小さいものの、他の試験体では荷重-変位関係が似た形状を示した。鋼板側材では最大耐力を示した後、荷重が急激に減少しており、粘りのないことがわかる。

同一側材試験体と比較すると、3.8mm径よりも4.5mm径試験体の方が高い耐力を示した。4.5mm径の試験体では側材による耐力の差はあまり見られなかったが、3.8mm径試験体では15mm合板に比べ9mm合板の方がやや高い耐力を示した。

正負繰り返し試験における降伏耐力 P_y と終局耐力 P_u の比較を図3に示す。側材および木ねじ径の種類・組合せによらず、 P_u は P_y の約2倍程度の値を示した。

一方向試験における降伏モードについては、09P38では木ねじが降伏せず主材・側材にめり込むモードIIが80%程度を占めたが、その他の試験体では木ねじが1箇所降伏するIIIが90~100%であった。正負繰り返し試験においては、09P45でIIおよびIIIがほぼ同程度起こっていたが、その他の試験体ではIIIが80~100%であった。9mm合板では一方向と正負繰り返しに差異が見られたが、その他の側材では両者に傾向は似ており、木材・木質材料では厚さが増加すると、モードIIIが多くを占めると考えられる。鋼板側材ではすべてモードIIIであった。

破壊性状を見ると、一方向試験では9mm合板および製材で木ねじの側材へのめり込みがほぼ100%を占め、15mm合板および鋼板では木ねじの破断が60~75%程度であった。正負繰り返し試験では、15P38および鋼板試験体で木ねじの破断が90%以上を占めたが、15P45および製材では55~65%程度であり、木ねじの抜けも多く見られた。9mm合板では70~80%程度が木ねじの抜けであった。正負加力の繰り返しに伴って、ねじ部が主材とかみ合うことにより、木ねじが抜けていく現象が生じたと考えられる。総じて、一方向では木ねじのめり込みが、正負繰り返しでは側材が薄い場合は木ねじの抜けが、鋼板や厚い側材では破断が多くなる傾向であった。

降伏モードと最終的な破壊性状は、一方向の09P38、および正負繰り返しにおける鋼板や厚い側材で関連性が見られた。

4.2 降伏理論による降伏耐力の推定

降伏理論による降伏耐力の計算を行った。計算に使用した木ねじの寸法は、設計時の利便性を考慮し、すべて公称値とした。木ねじ先端の細り部はねじが有効でないと判断し、細り部の長さが呼び径に近いことから、木ねじの有効長さとして公称長さから呼び径を差し引いた値を使用した。また、主材・側材の支圧強度および木ねじの降伏強度は、以下のように枠組壁工法建築物構造計算指針⁶⁾の値を用いた。S-P-F 製材および合板の支圧強度(平均値)をそれぞれ 35 および 41N/mm²とし、木ねじ 3.8 および 4.5mm 径の降伏強度を有効径に応じてそれぞれ 690 および 590N/mm²とした。

図 4 に降伏耐力の計算値と実験値の比較を示す。計算値の方が大きい傾向があるものの、全体的には両者の値は近いものとなった。特に 9mm 合板試験体においては、両者の値はよく一致した。

降伏理論による降伏モードは、15P45 がⅡ、製材がⅣ、鋼板がⅢであり、その他の合板はⅢ(b)であった。実験による降伏モードと比較すると、鋼板および正負繰返しにおける 15P38 ではほぼ一致しており、その他では降伏位置等に多少の差異が見られたが、モードⅢが多い点で両者の傾向は一致した。

降伏理論による降伏モードは、15P45 がⅡ、製材がⅣ、鋼板がⅢであり、その他の合板はⅢ(b)であった。実験による降伏モードと比較すると、鋼板および正負繰返しにおける 15P38 ではほぼ一致しており、その他では降伏位置等に多少の差異が見られたが、モードⅢが多い点で両者の傾向は一致した。

5. 結論

木ねじ接合部の一面せん断試験を行い、耐力・変形性能の検討、および降伏理論による降伏耐力の推定を行い、以下の知見を得た。1)一方向と正負繰返し試験の各耐力・変位は、同程度あるいは一方向が大きくなった。鋼板側材では正負繰返しにより粘りが減少した。耐力・変形性能の評価には正負繰返し試験が望ましい。2)同一側材では径が大きい方が高い耐力を示した。4.5mm 径では側材による耐力の差は見られ

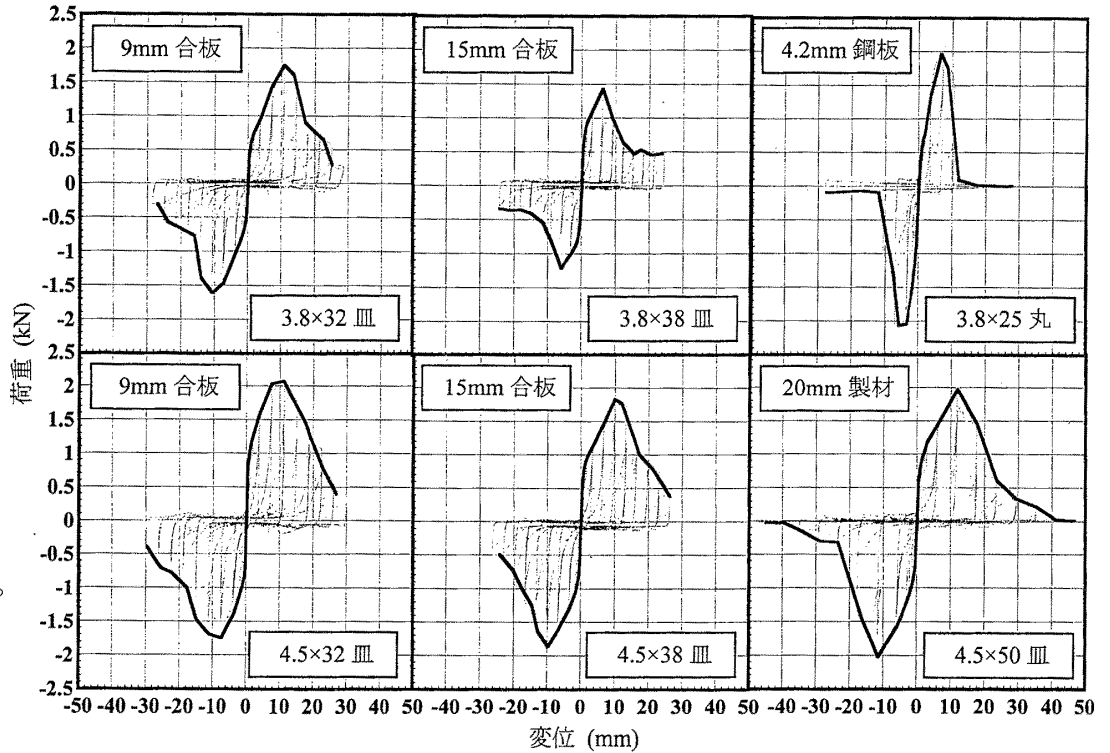


図 2. 正負繰返し試験における荷重-変位関係および第 1 包絡線

なかったが、3.8mm 径では薄い側材の方がやや高い耐力を示した。3)側材・木ねじ径の種類・組合せによらず、終局耐力は降伏耐力の約 2 倍程度の値を示した。4)実験による降伏モードはⅢが多く、降伏理論によるものと傾向は同様であった。5)破壊性状は、一方向で木ねじのめり込みが多く、正負繰返しでは破断と抜けが多かった。6)降伏理論による降伏耐力の計算値と実験値は、全体的に近い値を示した。

【参考文献】

- 1) JIS B 1112-1995 十字穴付き木ねじ, (財)日本規格協会, 1995.
- 2) JIS B 1135-1995 すりわり付き木ねじ, (財)日本規格協会, 1995.
- 3) (社)日本建築学会: 木質構造設計規準・同解説, 丸善, 2002.
- 4) EN 1995-1-1:2004(E) Eurocode 5 Design of timber structures, 2004.
- 5) ISO 16670:2003(E) Timber structures - Quasi-static reversed-cyclic test method, 2003.
- 6) 2002 年枠組壁工法建築物構造計算指針, 工業調査会, 2002.

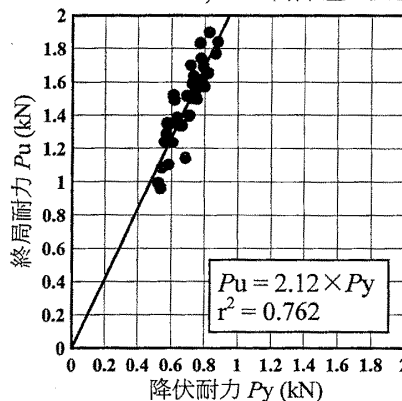


図 3. 正負繰返し試験における降伏耐力と終局耐力の関係

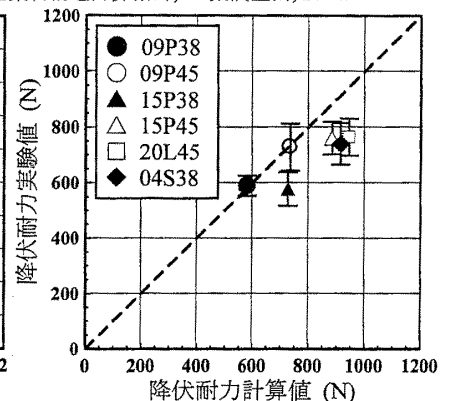


図 4. 降伏耐力の計算値と正負繰返し試験における実験値の比較