木ねじの形状が軽軟材の引き抜き性能に及ぼす影響

INFLUENCE OF WOOD SCREW SHAPE ON WITHDRAWAL PERFORMANCE IN SOFT AND LIGHT WOOD

白 恵 琇*, 森田秀樹**, 飯村 豊***, 今井 富士夫****

*Hei-Soo BAEK, Hideki MORITA, Yutaka IIMURA
and Fujio IMAI*

An experimental investigation was conducted to clarify the influence of wood screw shape on withdrawal performance as a fundamental step to develop a new wood screw, which is appropriate for soft and light wood. The characteristic results can be summarized as follows: (1) The improvement rate of withdrawal resistance by the penetration of unthreaded shank portion in Sugi was about two times higher than that in Douglas-fir. (2) The increase of thread minor diameter to the same thread major diameter in Sugi brought improvement in withdrawal resistance in contrast with the result in Redwood.

Keywords : *Soft and light wood, Wood screw, Shape factor, Withdrawal performance*

軽軟材, 木ねじ, 形状因子, 引き抜き性能

1. はじめに

1.1 研究背景・目的

循環型社会を目指すグリーンサプライチェーンの構築のために、早生資源の有効利用が望まれる。しかし、宮崎スギのように生長が早い木材は比較的軽くて軟らかいため⁴⁾、建築構造材として利用するにあたり接合性能の低さが大きな障害となっている。さらに、接合性能の低さによる接合金具の必要本数増加は、軸組コストに与える影響が大きい接合金物⁵⁾を大型化・重量化させる悪循環に陥り、比較的比重が高くて硬い木材を構造材として用いる場合に比べて軸組コストを上昇させる原因にもなっている。したがって、早生資源を活かした建築物の木造化を推進するためには、軽軟材に最適な接合技術の研究が必要不可欠である。

木材の接合に用いられる接合金具は様々なものがあるが、本研究では木ねじを研究対象にした。ここで言う木ねじは、木材または木質材料におねじだけで止めるねじの総称を指し、日本工業規格に定める狭義の木ねじ⁶⁾のみならず、コーチねじ⁷⁾、コーススレッド、接合金物止めつけ用ねじ⁸⁻¹⁰⁾などを含み、さらには木ねじに代用されるタッピンねじ^{7), 11)}なども含む。木ねじは釘と比較して引き抜き抵

抗が大きく、ボルトと比較して初期ガタが小さいという特徴がある。また、電動ドライバーの発達やリサイクルの推進を背景に施工性・解体性が評価され、造作用途（建具や家具の止めつけなど）のみならず構造用途（ボードや接合金物の止めつけなど）においてもその利用が拡大しつつある¹²⁾。

本研究では、「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」の施行によりスギ利用の必要性が高まりつつあることや木質構造の主要構造部材における木ねじの利用増加に伴って信頼性の高い木ねじが求められるようになってきていることなどの現状を考慮し、軽軟材の接合に有効な木ねじの開発を目的としている。

1.2 研究範囲・方法

構造用途に用いられる木ねじの引き抜き性能について、先行研究や規準類では主に木材の比重、木ねじの呼び径及びねじ部のねじ込み深さをパラメータとして評価しているが、小林¹²⁾はこれらが規格類などによる一般的な形状の木ねじのみを対象とした位置づけであると指摘している。近年には、用途拡大とともに様々な形状の木ねじが用いられるようになり、それらに着目した研究も見られるようになってきた（表1参照）。

本論文は、文献1), 2), 3)に発表したものにデータを追加してまとめたものである。

* 宮崎県木材利用技術センター 研究員
宮崎大学大学院農学工学総合研究科 大学院生

** 宮崎県木材利用技術センター 主任研究員・農博

*** 宮崎県木材利用技術センター 所長・農博

**** 宮崎大学工学部社会環境システム工学科 教授・工博

Researcher, Miyazaki Pref. Wood Utilization Research Center
Graduate Student, Interdisciplinary Graduate School of Agriculture and Engineering, Univ. of Miyazaki
Senior Researcher, Miyazaki Pref. Wood Utilization Research Center, Dr. Agr.
President, Miyazaki Pref. Wood Utilization Research Center, Dr. Agr.
Prof., Dept. of Civil and Environmental Engineering, Fac. of Engineering, Univ. of Miyazaki, Dr. Eng.

表 1 様々な形状の木ねじを対象にした近年の先行研究一覧

著者及び発表年度	用途	供試材	木ねじ	検討パラメータ
中谷ら ¹³⁾ 2005	構造用途 (門型ラーメンの接合)	ベイマツ集成材 E105-F300 (平均比重0.53)	D=30mm L=280mm	木材:先穴直径、ねじ 込み方向、縁距離 木ねじ:ねじ込み深さ
徳田ら ¹⁴⁾ 2006	構造用途 (接合金物の止めつけ)	スギ角材 (比重0.40~0.47)	D:5.4~5.5mm L:45~75mm	木材:比重、含水率 木ねじ:締め付けトルク
小林ら ¹⁵⁾ 2008	構造用途	スギ板材 (平均比重0.36) ツガ板材 (平均比重0.50)	D:4.5~5.5mm L:27.5~101.1mm	木ねじ:山径、谷径、 ピッチ、先端部形状な ど(各形状因子を独立的に 制御していないが、相関の 低い多種の市販ねじ使用)
水野ら ¹⁶⁾ 2008	構造用途 (ボードの止めつけ)	スギ板材 (平均比重0.35)	D=3.8mm L=38mm	木材:比重、平均年輪 幅、晩材厚さの合計、 晩材の数 木ねじ:ピッチ(ピッチが 粗いコーススレッド使用)
村上ら ¹⁷⁾ 2009	構造用途	スプルース板材 (平均比重0.44)	D:4.13~5.77mm L:47~65.2mm	木ねじ:ねじ山と木材と の単位有効接触面積
村上ら ¹⁸⁾ 2010	構造用途 (門型ラーメンの接合)	スプルース板材 (平均比重0.41)	D:15.2~30.2mm	木ねじ:径、ねじ山の 高さ、ピッチ

本論文は、軽軟材用木ねじ開発の基礎的段階として、木ねじの形状が軽軟材の引き抜き性能に及ぼす影響について実験的に検討した結果を報告するものである。ここでは、木ねじを構成する形状因子を詳細に分類した上で、各形状因子をパラメータとする引き抜き試験を行った。

供試材には、軽軟材の代表として高温・多雨で日射量が多い宮崎で植林されたスギ (*Cryptomeria japonica* (L.f.) D.Don) を用いたが、軽軟材特有の傾向を明らかにするため高比重材（ここでは、木質構造設計規準による J1 グループ：比重が 0.50 程度のもの）¹⁹⁾ と称されるベイマツ (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) 及びヨーロッパアカマツ (*Pinus sylvestris* L.) についても同様に引き抜き試験を行い、比較検討した。

図 1 木ねじ各部の形状因子

表 2 木ねじの仕様詳細

木ねじ 種類		木ねじ記号 (既製品または特注品)		A (既製品)	B (既製品)	C (既製品)	W (特注品)	X (特注品)	Y (特注品)	Z (特注品)		
		呼び径	D	6.25mm	6.25mm	6.25mm	7.00mm	7.00mm	5.70mm	7.00mm		
		呼び長さ ^{a)}	L	90mm	120mm	75mm	120mm	120mm	120mm	120mm		
		材料 ^{b)}	M	SWRCH22A	SWRCH22A	SWRCH22A	SWRCH22A	SWRCH22A	SWRCH22A	SWRCH22A		
		製造法 ^{c)}	MM	転造法	転造法	転造法	転造法	転造法	転造法	転造法		
木ねじ 形状因子		表面処理 ^{d)}	ST	デュラルコート	デュラルコート	デュラルコート	デュラルコート	デュラルコート	デュラルコート	デュラルコート		
		頭部	頭部径	D _h	12.30mm	12.30mm	9.80mm	12.30mm	12.30mm	12.30mm	12.30mm	
			頭部高さ	L _h	6.00mm	6.00mm	4.00mm	6.00mm	6.00mm	6.00mm	6.00mm	
			頭部形状	S _h	六角頭	六角頭	なべ頭	六角頭	六角頭	六角頭	六角頭	
軸部			凹み形状	DT _h	四角穴	四角穴	四角穴	四角穴	四角穴	四角穴	四角穴	
		胴部	胴部径	D _u	5.90mm	5.90mm	5.90mm	7.00mm	7.00mm	7.00mm	7.00mm	
			山径に対する胴部径の比	(D _u /D _{t-crest})	(0.94)	(0.94)	(0.94)	(1.00)	(1.00)	(1.23)	(1.00)	
			谷径に対する胴部径の比	(D _u /D _{t-root})	(1.33)	(1.33)	(1.33)	(1.59)	(1.59)	(1.59)	(1.23)	
			胴部長さ	L _u	30mm	45mm	15mm	30mm	30mm	30mm	30mm	
			呼び長さに対する胴部長さの比	(L _u /L)	(0.33)	(0.38)	(0.20)	(0.25)	(0.25)	(0.25)	(0.25)	
		ねじ部	ねじ部長さ	L _e	60mm	75mm	60mm	90mm	90mm	90mm	90mm	
			呼び長さに対するねじ部長さの比	(L _e /L)	(0.67)	(0.63)	(0.80)	(0.75)	(0.75)	(0.75)	(0.75)	
			有効ねじ部	山径	D _{t-crest}	6.25mm	6.25mm	6.25mm	7.00mm	7.00mm	5.70mm	7.00mm
				谷径	D _{t-root}	4.45mm	4.45mm	4.45mm	4.40mm	4.40mm	4.40mm	5.70mm
				山径に対する谷径の比	(D _{t-root} /D _{t-crest})	(0.71)	(0.71)	(0.71)	(0.63)	(0.63)	(0.77)	(0.81)
				ねじ山の高さ ^{e)}	H _t	0.90mm	0.90mm	0.90mm	1.30mm	1.30mm	0.65mm	0.65mm
ピッチ	P _t		2.82mm	2.82mm	2.82mm	2.30mm	3.00mm	2.30mm	2.30mm			
ねじ山の単位有効接触面積 ^{f)}	EA _t		5.36mm ² /mm	5.36mm ² /mm	5.36mm ² /mm	10.12mm ² /mm	7.76mm ² /mm	4.48mm ² /mm	5.64mm ² /mm			
ねじ山の角度	A _t		45°	45°	45°	45°	45°	45°	45°			
先端部	有効ねじ部長さ	L _{et}	56mm	71mm	53mm	83mm	83mm	83mm	83mm			
	ねじ先端の角度	A _e	-	-	35°程度	35°程度	35°程度	35°程度	35°程度			
	先端部長さ	L _e	4mm	4mm	7mm	7mm	7mm	7mm	7mm			
		先端部形状	S _e	ドリル刃先	ドリル刃先	スプーンカット	スプーンカット	スプーンカット	スプーンカット	スプーンカット		

注) a) $L = L_u + L_e$

b) SWRCH: JIS G 3507(冷間圧造用炭素鋼線材; Carbon steel wire rods for cold heading and cold forging)

c) ねじの製造法は、転造法と切削法に大別できる。

転造法: ねじ山が刻んでいる転造ダイスを線材に押しつけながら転がすことでねじ山を成形する方法

切削法: 超硬質の刃先で線材を回転させながら削り落とすことでねじ山を成形する方法

d) デュラルコート: 亜鉛めっきに特殊塗料を塗装した複合被膜による建築接合金物の防錆防食技術

e) $H_t = (D_{tr-crest} - D_{tr-root}) \div 2$

f) $EA_t = \{ (D_{tr-crest} \div 2)^2 - (D_{tr-root} \div 2)^2 \} \times \pi \div p$

木ねじは、図1に示すように大きく3つの部分に分類することができる。すなわち、①締め付けのためにドライバーとの連結部を有する頭部、②軸部外面にねじ切り加工がされていない胴部、③軸部外面に螺旋状のねじ山を有するねじ部である。さらに、ねじ部は、木部への食い付きを良好にするための先端部と先端部を除く有効ねじ部に分類することができる。なお、各部の形状因子として、①頭部においては、頭部径・頭部高さ・頭部形状など、②胴部においては、胴部径・胴部長さなど、③ねじ部においては、山径・谷径・ねじ山の高さ・ピッチ・ねじ山の角度・先端部形状などを挙げる事ができる。本論文の2章では、有効ねじ部以外の形状因子として胴部長さ・先端部形状、3章では、有効ねじ部の形状因子としてピッチ・ねじ山の高さ・谷径をパラメータとする引き抜き試験を行い、各形状因子と引き抜き性能との関係について検討した。2章と3章の実験に用いた木ねじは、主に接合金物の止めつけ用を想定し、呼び径5.7~7.0mm、呼び長さ75~120mmの範囲とした。表2にその仕様詳細を示す。

2. 有効ねじ部以外の形状因子に関する実験的検討

一般的に、木ねじの引き抜きに対する抵抗は有効ねじ部に負うところが大きいと言われているが、軽軟材用の新しい木ねじを開発する目的から、2章では改めて有効ねじ部以外の形状因子、例えば、胴部長さ・先端部形状について検討する。

注)試験体名は、「供試材種類-木ねじ種類(ねじ部のねじ込み深さ+胴部のねじ込み深さ)」の形で表す。
 供試材種類:St(スギの角材), Bt(ベイマツの角材)
 木ねじ種類:A, B, C
 ねじ部のねじ込み深さ:60mm, 75mm
 胴部のねじ込み深さ:0mm, 15mm, 30mm

図2 試験体概要(胴部長さ・先端部形状の検討)

2.1 実験概要

供試材には、スギとベイマツの製材(角材)を用いた。スギは幅125mm×厚さ125mm×長さ1000mmの芯持ち材を切らずにそのまま用い、後述する6条件を振り分けた。気乾比重は 0.414 ± 0.009 、年輪幅は 5.3 ± 0.9 mm、含水率は 12.7 ± 0.4 %であった。ベイマツは幅120mm×厚さ120mm×長さ1000mmの芯取り材(可能な限り二方桟を選別したもの)を長さ方向に10分割した後、比重を測定し、各グループ間の比重差(比重の平均と標準偏差)が最小となるように6グループに振り分けた。気乾比重は 0.622 ± 0.014 、年輪幅は 2.5 ± 0.4 mm、含水率は 15.1 ± 1.8 %であった。ここで、供試材標本の各値は「平均±標準偏差」の形で表したものである。木ねじは、市販されている既製品の中から有効ねじ部の形状因子が同一条件になるように選定したA, B, C(表2参照)の3種類を用いた。

試験体概要を図2に示す。胴部長さによる影響は、木ねじAと木ねじBを用いて胴部のねじ込み深さを0mm, 15mm, 30mmとして検討した。先端部形状による影響は、木ねじAと木ねじCを用いてドリル刃先とスプーンカットによる違いを比較した。木ねじの形状因子を上記のように設定した6条件について、スギとベイマツの2樹種を用い、全12種類の試験体を準備した。ここで、試験体数は1種類につき各10体とした。

図3に試験体図を示す。木ねじのねじ込みは、スギの場合、板目四面の任意の面から中心の髄に向かう方向に、ベイマツの場合、板目二面の木表から木裏に向かう方向とし、いずれも年輪と直角になるようにねじ込んだ。なお、先穴を開けずに電動インパクトドライバーを使用してねじ込むが、垂直にねじ込むためにドライバーガイ

(a) スギ試験体

(b) ベイマツ試験体

図3 試験体図(胴部長さ・先端部形状の検討)

ドを用いた。実験は、試験体を固定した後、木ねじの頭部に治具を引っ掛け、変位速度 1mm/min の静的単調加力とした。この時、クロスヘッド移動量を測定し、これを木ねじの引き抜き変位とした。最大荷重に達した後、荷重が 8 割以下まで低下した時点で実験を終了した。なお、木ねじのねじ込み後、加力を行うまでに 10 分～1 時間要した。また、試験体の固定方法はスギの場合とバイマツの場合で異なるが、実験の効率を考慮し、図 3 の(a)に示すクランプ固定具による方法から(b)に示すボルト締めによる方法に改善したものである。

2.2 実験結果・考察

(1) 実験結果

試験体の平均荷重－変位曲線を図 4 に示し、最大引き抜き耐力を表 3 に示す。なお、最大引き抜き耐力については、標本の実験結果が母集団に対して統計的に信頼性をもっているかを評価するために有意差検定を行った。

まず、スギの引き抜き試験結果を以下に述べる。

①スギにおける胴部長さの影響：ねじ部と共に胴部をねじ込んだ試験体 St-A(60+15)は、ねじ部のみをねじ込んだ試験体 St-A(60+0)に

図 4 平均荷重－変位曲線（胴部長さ・先端部形状の検討）

表 3 最大引き抜き耐力の比較（胴部長さ・先端部形状の検討）

(a) スギ試験体				(b) バイマツ試験体			
		St-A(60+0)		St-B(75+0)			
		平均値①	6.41 kN	平均値③	8.68 kN		
		変動係数	7%	変動係数	11%		
St-A(60+15)		①と②の間の 有意差検定 ◎ ①に対する②の比 126%		-			
平均値②	8.11 kN						
変動係数	7%						
St-B(75+15)		-		③と④の間の 有意差検定 ◎ ③に対する④の比 123%			
平均値④	10.68 kN						
変動係数	8%						
St-B(75+30)		-		③と⑤の間の 有意差検定 ◎ ③に対する⑤の比 122%			
平均値⑤	10.55 kN						
変動係数	6%						
St-C(60+0)		①と⑥の間の 有意差検定 × ①に対する⑥の比 106%		-			
平均値⑥	6.82 kN						
変動係数	6%						

		Bt-A(60+0)		Bt-B(75+0)			
		平均値①	11.54 kN	平均値③	12.28 kN		
		変動係数	7%	変動係数	6%		
Bt-A(60+15)		①と②の間の 有意差検定 ◎ ①に対する②の比 111%		-			
平均値②	12.86 kN						
変動係数	4%						
Bt-B(75+15)		-		③と④の間の 有意差検定 ◎ ③に対する④の比 109%			
平均値④	13.41 kN						
変動係数	5%						
Bt-B(75+30)		-		③と⑤の間の 有意差検定 ◎ ③に対する⑤の比 107%			
平均値⑤	13.19 kN						
変動係数	4%						
Bt-C(60+0)		①と⑥の間の 有意差検定 × ①に対する⑥の比 103%		-			
平均値⑥	11.86 kN						
変動係数	7%						

注) ◎: 有意差有り(α=0.01)、○: 有意差有り(α=0.05)、×: 有意差無し

注) ◎: 有意差有り(α=0.01)、○: 有意差有り(α=0.05)、×: 有意差無し

比べて最大引き抜き耐力が 1.70kN (26%) 向上した。同様に、ねじ部と共に胴部をねじ込んだ試験体 St-B(75+15)及び St-B(75+30)についても、ねじ部のみをねじ込んだ試験体 St-B(75+0)に比べて最大引き抜き耐力が 1.87~2.01kN (22~23%) 向上する結果となり、胴部ねじ込みによる引き抜き性能の向上効果が見られた。これらには有意水準 1%で有意差が認められた。ここで、実験に用いた木ねじの谷径に対する胴部径の比は 1.33 であった。一方、胴部のねじ込み深さが異なる試験体 St-B(75+15)と試験体 St-B(75+30)では、荷重一変位挙動や最大引き抜き耐力にほとんど差が認められなかった。②スギにおける先端部形状の影響：先端部形状のみが異なる試験体 St-A(60+0)と試験体 St-C(60+0)では、最大引き抜き耐力に 0.40kN (6%) の差が生じていたが、統計的に有意な差（有意水準 5%）は認められなかった。したがって、ドリル刃先とスプーンカットの先端部形状の違いは引き抜き性能に大きな影響を及ぼさないと推察される。

次に、ペイマツに対する引き抜き試験結果を示す。

③ペイマツにおける胴部長さの影響：試験体 Bt-A(60+15)は、試験体 Bt-A(60+0)に比べて最大引き抜き耐力が 1.32kN (11%) 向上し、試験体 Bt-B(75+15)及び Bt-B(75+30)についても、試験体 Bt-B(75+0)に比べて最大引き抜き耐力が 0.91~1.13kN (7~9%) 向上した。これらには有意水準 1%で有意差が認められたが、胴部のねじ込みによる最大引き抜き耐力の向上率は、スギの場合に対して半分程度にとどまった。なお、胴部のねじ込み深さが異なる試験体 Bt-B(75+15)と試験体 Bt-B(75+30)では、スギの結果と同様、引き抜き性能にほとんど差が認められなかった。

④ペイマツにおける先端部形状の影響：試験体 Bt-A(60+0)と試験体 Bt-C(60+0)における最大引き抜き耐力の差は 0.32kN (3%) と僅かで、統計的な有意差（有意水準 5%）も認められなかった。スギの結果と同様に、ドリル刃先とスプーンカットの先端部形状の違いは引き抜き性能に大きな影響を及ぼさないと推察される。

(2) 考察

日本工業規格に定める木ねじ⁹⁾の引き抜き性能は、木材の基準比重、木ねじの呼び径（山径）及び有効ねじ部のねじ込み深さを用いて算出するように木質構造設計規準において設計式が示されている¹⁹⁾。すなわち、木ねじの引き抜きに対する抵抗は有効ねじ部に負うところが大きく、有効ねじ部以外の部分は評価しないのが一般的であった。しかしながら、木ねじの胴部長さについて検討した実験結果から、スギの場合は胴部ねじ込みによる最大引き抜き耐力の向上率が 22~26%を示し、ペイマツの 7~11%に比べ 2 倍程度高くなったことが確認できた。すなわち、軽軟材の場合は、引き抜き性能向上への胴部の寄与が相対的に大きいものと推察される。その一方で、スギとペイマツのいずれも、胴部ねじ込み深さの増加による引き抜き性能向上に一定以上の効果は認められなかった。これは釘のような円筒形状の接合具の引き抜き性能が、打ち込み長さに比例して増加することと異なる傾向であった。以上の実験結果の要因について、割れにくく潰れやすい特性を持つ軽軟材に谷径より大きい径の胴部をねじ込むことで胴部周辺の木材が圧密され、ここでの締め付け力が部分的に高まるためと推察される。但し、ここで用いた供試材は、一般に建築構造材として多く流通・使用されているものを対象にしたためにスギが芯持ち材、ペイマツが芯去り材と条件が異なる。今

後、両者の引き抜き性能の向上率を定量的に比較するため、試験条件をより厳密に揃えた追加試験を行う予定である。

3. 有効ねじ部の形状因子に関する実験的検討

前述したように、木ねじの引き抜き性能を算出する設計式に反映されている形状因子は山径と有効ねじ部長さのみである¹⁹⁾。3 章では、設計式で考慮されていない形状因子、すなわち有効ねじ部のピッチ・ねじ山の高さ・谷径について検討する。

3.1 実験概要

供試材には、スギとヨーロッパアカマツの製材（板材）を用いた。スギは幅 100mm×厚さ 20mm×長さ 500mm の板目材 35 本を長さ方向に 4 分割してそれぞれ 4 グループに振り分けた。気乾比重は 0.398 ± 0.033 、年輪幅は $3.4 \pm 1.4\text{mm}$ 、含水率は $10.0 \pm 0.6\%$ であった。一方、ヨーロッパアカマツは幅 105mm×厚 20mm×長さ 500mm の板目材 35 本を長さ方向に 4 分割した後、比重を測定し、各グループ間の比重差（比重の平均と標準偏差）が最小となるように 4 グループに振り分けた。気乾比重は 0.566 ± 0.056 、年輪幅は $1.7 \pm 0.5\text{mm}$ 、含水率は $11.7 \pm 0.6\%$ であった。木ねじは、表 2 に示すように、有効ねじ部の形状因子を 1 条件ずつ変化させて設計・製造した特注品、W, X, Y, Z の 4 種類を用いた。

試験体概要を図 5 に示す。ピッチによる影響は、木ねじ W ($P_t=2.3\text{mm}$) と木ねじ X ($P_t=3.0\text{mm}$) を、ねじ山の高さによる影響は、木ねじ W ($H_t=1.3\text{mm}$) と木ねじ Y ($H_t=0.65\text{mm}$) を比較することで検討した。さらに、谷径による影響は、木ねじ W ($D_{t\text{-root}}=4.4\text{mm}$) と木ねじ Z ($D_{t\text{-root}}=5.7\text{mm}$) を用いて比較検討した。木ねじの形状因子を上記のように設定した 4 条件について、スギとヨーロッパアカマツの 2 樹種を用い、全 8 種類の試験体を準備

Sp-W(20+0)	Sp-X(20+0)	Sp-Y(20+0)	Sp-Z(20+0)
Ap-W(20+0)	Ap-X(20+0)	Ap-Y(20+0)	Ap-Z(20+0)

注)試験体名は、「供試材種類－木ねじ種類(ねじ部のねじ込み深さ+胴部のねじ込み深さ)」の形で表す。

供試材種類: Sp(スギの板材), Ap(ヨーロッパアカマツの板材)

木ねじ種類: W, X, Y, Z

ねじ部のねじ込み深さ: 20mm

胴部のねじ込み深さ: 0mm

図 5 試験体概要（ピッチ・ねじ山の高さ・谷径の検討）

した。ここで、試験体数は、1種類につき各35体と2章での角材の試験より多く確保したが、これは薄板使用により結果のバラツキが大きくなりやすいことを考慮したためである。

図6に試験体図を示す。木ねじのねじ込みは、板目面の木表から木裏に向かって年輪と直角になる方向に行った。なお、木ねじのねじ込み方法や加力、測定などの実験方法は2章と同様であるが、変位速度については2mm/minに設定した。これは、試験体数に配慮して速度を速めたほか、特別の意味はない。また、試験体の固定方法がスギの場合とヨーロッパアカマツの場合で異なるが、これは初期ガタを低減させるために図6の(a)に示す固定治具による方法から(b)に示すボルト締めによる方法に改善したものである。

図6 試験体図（ピッチ・ねじ山の高さ・谷径の検討）

3.2 実験結果・考察

(1) 実験結果

試験体の平均荷重－変位曲線を図7に示し、最大引き抜き耐力を表4に示す。

まず、スギの引き抜き試験結果を以下にまとめる。

①スギにおけるピッチの影響：ピッチを3.0mmと0.7mm（30%）広げた試験体Sp-X(20+0)は、ピッチが2.3mmの試験体Sp-W(20+0)と比較して、最大引き抜き耐力が0.08kN（3%）低い値を示したが、相互間に有意な差（有意水準5%）は認められず、荷重－変位挙動もほぼ一致していた。したがって、木ねじXと木ねじWにおけるピッチ変化量の範囲内に限り、ピッチが引き抜き性能に及ぼす影響は軽微であると推察される。

②スギにおけるねじ山の高さの影響：ねじ山の高さを0.65mmと0.65mm（50%）低くした試験体Sp-Y(20+0)は、ねじ山の高さが

1.3mmの試験体Sp-W(20+0)と比較して、最大引き抜き耐力が0.18kN（7%）低下し、相互間に5%の有意水準で有意差が認められた。谷径が同径である場合は、ねじ山の高さを高くすることでねじ山による機械抵抗が増加し、引き抜き性能が向上すると考えられる。③スギにおける谷径の影響：谷径を5.7mmと1.3mm（30%）大きくした試験体Sp-Z(20+0)は、谷径が4.4mmの試験体Sp-W(20+0)と比較して、最大引き抜き耐力が0.18kN（7%）向上した。また、相互間に5%の有意水準で有意差が認められた。山径が同径である場合は、ねじ山の高さを低くした方が引き抜き性能の向上をもたらす結果となり、ねじ谷による摩擦抵抗が引き抜き性能の向上に寄与することを示唆するものであった。この結果は、試験体Sp-Y(20+0)と試験体Sp-W(20+0)を比較して得られた結果②と一見相反するものであるが、これらのことから類推されることは、山径に対する谷径の比を適切に設計することにより、ねじ山による機械抵抗とねじ谷による摩擦抵抗の両者を効果的に寄与させる仕様が実現し得るということである。なお、木ねじZの山径に対する谷径の比は0.81であり、木ねじWの0.63より大きく、日本工業規格に定める木ねじの0.65～0.75よりもやや大きめの水準であった。

次に、ヨーロッパアカマツの引き抜き試験結果を示す。

④ヨーロッパアカマツにおけるピッチの影響：ピッチを広げた試験体Ap-X(20+0)は、試験体Ap-W(20+0)と比較して、最大引き抜き耐力が0.08kN（3%）低い値を示したが、有意な差（有意水準5%）は認められなかった。スギの場合と同様に、木ねじXと木ねじWにおけるピッチ変化量の範囲内に限り、ピッチによる影響は軽微であると考えられる。

⑤ヨーロッパアカマツにおけるねじ山の高さの影響：ねじ山の高さを低くした試験体Ap-Y(20+0)は、試験体Ap-W(20+0)と比較して、最大引き抜き耐力が0.41kN（11%）低下した。これには1%の有意水準で有意差が認められた。スギの場合と同様に、ねじ山による機械抵抗が引き抜き性能に及ぼす影響は大きいものと推察される。

⑥ヨーロッパアカマツにおける谷径の影響：谷径を大きくした試験体Ap-Z(20+0)は、試験体Ap-W(20+0)と比較して、最大引き抜き耐力が0.09kN（2%）高い値を示したものの、これに有意な差（有意水準5%）は認められなかった。このことから、ヨーロッパアカマツの場合、ねじ谷による摩擦抵抗の引き抜き性能向上への寄与は、スギと比べて小さいものと推察される。なお、谷径が木ねじWより大きい木ねじZをねじ込む際に割れが生じた試験体が数体あったことから、谷径が相対的に大きい木ねじを高比重材に使用場合には施工面で不利になる可能性があると考えられる。ここで、引き抜き性能を評価するにあたっては、割れが生じた試験体を除外し、類似の材に代替して行っている。

(2) 考察

村上らの先行研究によると有効ねじ部の引き抜き性能はねじ山による機械抵抗が大半を占め、ねじ谷による摩擦抵抗を取り除くとねじ山の単位有効接触面積（螺旋状に存在するねじ山を木ねじの軸方向に投影した面積をピッチで除したものに概ね比例する）の結果が報告されている¹⁷⁾。本実験においても、谷径が同径である場合、スギとヨーロッパアカマツのいずれもねじ山の高さが高いほど高い引き抜き性能を示しており、ねじ山による機械抵抗と引き抜き性能との強い相関関係が確認できた。一方、山径が同径である場合の谷

径について検討した結果、スギは谷径の増大による最大引き抜き耐力の向上率が 7%を示し、向上が認められなかったヨーロッパアカマツとは対照的な傾向を示したことが確認された。すなわち、スギの場合、谷径の増大に応じてねじ山の高さが低くなるものの、引き抜き性能は向上する結果となった。これは、軽軟材の場合、ねじ山による機械抵抗の低下率よりねじ谷による摩擦抵抗の増加率が大きく作用する可能性があることを示唆するものである。なお、山径、谷径、ねじ山の高さの形状因子は相互独立的不是なため、それぞれを効果的に寄与させる方法として山径に対する谷径の比を適切に設計することが考えられる。谷径の増大はねじ込む際の木材の押し潰しを促進し、締め付け力を高める効果があると推測され、軽軟材

の場合は山径に対する谷径の比を一般的な木ねじのそれより比較的大きく設定することで、その効果が得られやすくなると考えられる。

4. まとめ

軽軟材を建築構造材として有効利用するためには、比重差により接合性能が低下する課題を改善する必要がある。本論文は、軽軟材用木ねじ開発の基礎的段階として、木ねじの形状が軽軟材の引き抜き性能に及ぼす影響について検討したものであり、実験結果を要約すると以下ようになる。

- (1) 有効ねじ部以外の形状因子に関する検討結果
①胴部長さの影響：スギとペイマツのいずれも、ねじ部と共に胴部

図 7 平均荷重－変位曲線（ピッチ・ねじ山の高さ・谷径の検討）

表 4 最大引き抜き耐力の比較（ピッチ・ねじ山の高さ・谷径の検討）

(a) スギ試験体				(b) ヨーロッパアカマツ試験体					
		Sp-W(20+0)				Ap-W(20+0)			
		平均値①	2.51 kN			平均値①	3.70 kN		
		変動係数	13%			変動係数	11%		
Sp-X(20+0)		①と②の間の有意差検定		×	Ap-X(20+0)		①と②の間の有意差検定		×
平均値②	2.44 kN <th colspan="2"></th> <th>平均値②</th> <td>3.53 kN<th colspan="2"></th></td>				平均値②	3.53 kN <th colspan="2"></th>			
変動係数	16%	①に対する②の比		97%	変動係数	13%	①に対する②の比		95%
Sp-Y(20+0)		①と③の間の有意差検定		○	Ap-Y(20+0)		①と③の間の有意差検定		◎
平均値③	2.33 kN <th colspan="2"></th> <th>平均値③</th> <td>3.30 kN<th colspan="2"></th></td>				平均値③	3.30 kN <th colspan="2"></th>			
変動係数	15%	①に対する③の比		93%	変動係数	12%	①に対する③の比		89%
Sp-Z(20+0)		①と④の間の有意差検定		○	Ap-Z(20+0)		①と④の間の有意差検定		×
平均値④	2.69 kN <th colspan="2"></th> <th>平均値④</th> <td>3.79 kN<th colspan="2"></th></td>				平均値④	3.79 kN <th colspan="2"></th>			
変動係数	14%	①に対する④の比		107%	変動係数	12%	①に対する④の比		102%

をねじ込んだ試験体の最大引き抜き耐力がねじ部のみをねじ込んだ試験体のそれを上回った。また、その向上率は、ペイマツの7~11%に対してスギが22~26%を示し、2倍程度高かった。一方、胴部のねじ込み深さを増加させても(15mm→30mm)一定以上の性能向上は見られなかった。

②先端部形状の影響：スギとペイマツのいずれも、先端部形状が異なる試験体(ドリル刃先とスプーンカット)の荷重-変位挙動や最大引き抜き耐力にほとんど差が認められなかった。

(2) 有効ねじ部の形状因子に関する検討結果

①ピッチの影響：スギとヨーロッパアカマツのいずれも、実験に用いた木ねじにおけるピッチ変化量(0.7mm:2.3mm→3.0mm)の範囲内に限り、引き抜き性能に有意な差は認められなかった。

②ねじ山の高さの影響：スギとヨーロッパアカマツのいずれも、谷径が同径である場合にねじ山の高さを低くした試験体(1.3mm→0.65mm)の最大引き抜き耐力が低下する結果を示し、ねじ山による機械抵抗と引き抜き性能との相関関係が確認できた。その低下率は、スギで7%、ヨーロッパアカマツで11%となった。

③谷径の影響：山径が同径である場合に谷径を大きくしたスギ試験体(4.4mm→5.7mm)の最大引き抜き耐力が7%向上し、向上が認められなかったヨーロッパアカマツと対照的な結果となった。スギは、ねじ山による機械抵抗と共にねじ谷による摩擦抵抗が引き抜き性能の向上に寄与するものと推察される。

以上の検討結果を通じて、使用する木材の材料特性によって、木ねじの各形状因子の引き抜き性能への寄与度が異なる傾向を示す場合もあることが確認された。したがって、主に圧密効果に起因すると推測される軽軟材特有の傾向を逆に活用し、軽軟材に適した木ねじの形状を考案することで比重差による接合性能の低下を補える可能性があると考えられる。但し、本論文の結果は木ねじのねじ込み後10分~1時間ほど経過した時点における実験で得られたものであり、胴部のねじ込み及び同山径に対する谷径の増大による引き抜き性能の向上効果を積極的に評価するには、今後、その経時変化について検討する必要がある。さらには、軽軟材の材料特性と引き抜き性能の発現機構との関係をより明確に把握するために、木ねじと接触する木材の局所的な圧密を可視化する方法について検討する必要がある。

謝辞

本論文は、農林水産省の公募事業、「新たな農林水産対策を推進する実用技術開発事業」での研究課題「輸出ニーズに適応した建築物向け国産材インフィル部材の技術開発」による成果の一部である。また、木ねじの周辺技術情報についてご指導いただいた(株)カナイ、(株)タツミ、東日本パワーファスニング(株)をはじめとする多くの関係者に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 白恵瑋, 稲元靖教, 飯村豊, 森田秀樹, 椎葉淳, 並木高, 並木龍一, 濱野裕仁: 低比重材スギ用のビスの開発-ビスの胴部が引き抜き性能に及ぼす影響-, 第60回日本木材学会大会研究発表要旨集(宮崎), H18-1330, 2010.3
- 2) 森田秀樹, 白恵瑋, 椎葉淳, 田中洋, 皆内健二, 藤元嘉安, 飯村豊, 大熊幹章, 並木高, 並木龍一, 濱野裕仁: スギに適した木ねじ(スギねじ)

の開発-引き抜き試験結果-, 第61回日本木材学会大会研究発表要旨集(京都), D19-P-AM26, 2011.3

- 3) Hei-Soo Baek, Hideki Morita, Atsushi Shiiba, Yutaka Imura, Fujio Imai: Influence of Shape Factors of Wood Screw on Withdrawal Performance-Development of wood screw used for soft and light wood-, Proceedings of the 12th World Conference on Timber Engineering WCTE2012, Auckland, New Zealand, CD-ROM, 2012.7
- 4) 特定非営利活動法人木の建築フォーラム, 宮崎県木材利用技術センター: オビスギにみる現代技術によるスギ材の利用とその展望, 第7回木の建築フォーラム/都城・スギシンポジウム2004, 2004.11
- 5) 白恵瑋, 稲元靖教, 飯村豊, 皆内健二: 民需用中小規模非住宅木造の軸組コスト分析-鉄骨造と木造の試設計モデルによる検討を中心に-, 第13回木質構造研究会技術発表会技術報告集, pp.29~32, 2009.12
- 6) (財)日本規格協会: 日本工業規格 JIS B 1112 (十字穴付き木ねじ)・JIS B 1135 (すりわり付き木ねじ), (財)日本規格協会, 1995
- 7) (財)日本規格協会: 日本工業規格 JIS B 0101 (ねじ用語), (財)日本規格協会, 1994
- 8) 日本建材新聞社: 住宅ジャーナル編 金物工法ハンドブック, 日本建材新聞社・住宅ジャーナル, 2006.2
- 9) (株)カナイ: KANAI TECHNICAL CATALOGUE, No.0902, 2009.02
- 10) (株)タツミ: TATSUMI HOUSE MATERIALS CATALOGUE, Vol.4, 2009.04
- 11) (財)日本規格協会: 日本工業規格 JIS B 1115 (すりわり付きタッピンねじ)・JIS B 1122 (十字穴付きタッピンねじ)・JIS B 1123 (六角タッピンねじ)・JIS B 1125 (ドリリングタッピンねじ)・JIS B 1126 (つば付き六角タッピンねじ)・JIS B 1127 (フランジ付き六角タッピンねじ), (財)日本規格協会, 1995・1996
- 12) 小林研治: 木質構造におけるビス接合部の力学特性, 木材工業, Vol.64 No.6, pp.252~257, 2009.6
- 13) 中谷誠, 小松幸平: ラグスクリーボルトの引き抜き性能発現機構(第1報)-先孔直径、埋め込み深さ、埋め込み方向、縁距離が引き抜き性能に及ぼす影響-, 日本木材学会誌, Vol.51 No.2, pp.125~130, 2005.3
- 14) 徳田貴寛, 横谷榮次, 夏目正来, 島田俊一: 金物と木材を接合するビスの引抜き抵抗に関する実験研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集. C-1, 構造Ⅲ, pp.39~40, 2006.9
- 15) 小林研治, 相馬智明, 稲山正弘, 安藤直人, 青山章一, 秋山信彦: ビスの形状が引き抜き性能に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集. C-1, 構造Ⅲ, pp.317~318, 2008.9
- 16) Hirotatsu Mizuno, Yoshiaki Hattori: Withdrawal Strength of Screw with coarse threaded portion on Sugi, Proceedings of the 10th World Conference on Timber Engineering WCTE2008, Miyazaki, Japan, CD-ROM, 2008.6
- 17) 村上了, 北守顕久, 鄭基浩, 森拓郎, 小松幸平: 構造用スクリーボルトの引抜き挙動に関する研究-ビスねじ山の機械抵抗の影響-, 第59回日本木材学会大会研究発表要旨集(松本), H15-1400, 2009.3
- 18) 村上了, 鄭基浩, 中谷誠, 北守顕久, 小松幸平: スクリュー型接合具の引抜き抵抗の検討-径、ねじ山高さ、ピッチの影響-, 日本建築学会大会学術講演梗概集. C-1, 構造Ⅲ, pp.189~190, 2010.9
- 19) (社)日本建築学会: 木質構造設計規準・同解説-許容応力度・許容耐力設計法-, (社)日本建築学会, pp.210~221・279~285, 2006

(2012年8月9日原稿受理, 2012年12月27日採用決定)