

## 薄鋼板を用いた釘打ち接合部の強度性能 ( 第 1 報 )

- 引張性能 -

戸田 正彦

### Performance of Nailed Timber Joint Using Thin Steel Plates (I)

- Tensile performance -

Masahiko TODA

To determine the performance of nailed timber joints using thin steel side plates, not over 1mm thickness without lead holes for nails, tension tests were conducted. The following results were obtained.

- 1) Initial stiffness and ductility of the nailed timber joints with thin steel side plates without lead holes for nails were larger than those of conventional nailed timber joints with lead holes. Load values at yield were approximately equivalent to those of conventional joints.
- 2) The main failure mode was withdrawal of nails, but when the thickness of the steel plate was too thin for the nails, it was punching out and the performance was lower than for withdrawal. Drilling lead holes in the 1mm thick steel side plates caused the rupture of nails, the same as in conventional joints with lead holes.
- 3) Estimated values of bearing force did not differ greatly from observed values when the failure mode was punching out. But when the failure mode was withdrawal of nails, the observed values of the bearing force were higher than the calculated values. It is necessary for more useful estimation to consider the effect of crimping of steel plate made by driving nails without lead holes.

*Key words:* thin steel plate, punching out, withdrawal, lead-hole, ductility  
薄鋼板 , パンチングアウト , 引き抜け , 先孔 , 靱性

厚さ1mm以下のステンレス鋼板に先孔をあけずに釘打ちした接合部の引張試験を行い、以下の結果を得た。

- 1) 先孔をあける従来の鋼板添え板接合と比較すると、初期剛性および靱性は従来法を上回り、降伏耐力はほぼ同等であった。
- 2) 接合部の破壊形態はおもに釘の引き抜けであったが、釘径に対して鋼板厚さが薄い場合にはパンチングアウトとなり、引き抜けに比べて性能は低下した。また鋼板厚さが1mmの場合でも先孔をあけることによって破壊形態が従来法と同様に釘の破断となることが明らかとなった。
- 3) 最大荷重の推定を試みた結果、破壊形態がパンチングアウトの場合は精度良く推定できたが、釘の引き抜けの場合は実験値が推定値を大きく上回るケースが認められた。有効な推定値を得るためには、釘打ちの際に発生した鋼板のめくれによる影響を考慮する必要があると考えられる。

## 1. はじめに

木質構造設計規準<sup>1)</sup>(以下、設計規準)によると、側材を鋼板とする木材の釘打ち接合は、側材が製材や合板の場合に比べて1.25倍の許容耐力が認められている。しかし、この許容耐力の割増は側材の厚さが釘径の0.4倍以上の場合にのみ適用されることとなっている。このため、通常は鋼板に先孔をあける必要があり、木材同士の接合に比べると材料加工に大きな労力を必要とする。また一般的な釘打ち機では孔の位置に精度よく釘を打つことができないため、金づちで打つか特殊な釘打ち機を用いる必要があり、木材同士の接合に比べると施工性が劣る。

前報<sup>2)</sup>では、鋼板を用いて合板の場合と同様に加工や施工が簡易となるような接合工法の開発を目指して、先孔をあけずに釘打ちが可能となる鋼板厚さと釘種類の条件を検討した。その結果、厚さ0.6mm以下のステンレス鋼板であれば、金づちによって一般的に使用される釘を打ち込むことが可能であることが確認された。また釘打ち機を使用すればさらに厚い鋼板にも打ち込みが可能であった。

本研究では、厚さ1mm以下の薄鋼板に先孔をあけずに釘打ちした接合部の引張試験を行い、鋼板厚さや釘径による接合性能の変化を把握した。

なお、本研究の一部は日本木材学会大会(2004年8月、札幌)で発表した。

## 2. 試験体

試験体を構成する主材には、北海道産トドマツ(*Abies sachalinensis*, 断面105×105mm, 平均密度390kg/m<sup>3</sup>, 平均含水率11.2%)を用いた。側材は厚さ0.5, 0.6, 0.8, 1.0mmのステンレス鋼板(SUS304)を用いた。また比較のため先孔をあけた鋼板(厚さ8mm)およびカラマツ構造用合板(厚さ12mm)を用いた。

釘は枠組壁工法用の太め鉄丸釘CN50(径2.87mm), CN75(径3.76mm), CN90(径4.11mm)の3種類を用いた。CN50は全種類の側材に、CN90は0.6, 0.8, 1.0mmの鋼板に、CN75は0.8mmの鋼板に打ち込み、試験体を作製した。側材は主材の両面に設け、CN50の場合は一面あたり3本、CN75およびCN90は2本打ち込んだ。

試験体数は各条件とも7体(うち予備試験用1体)とした。

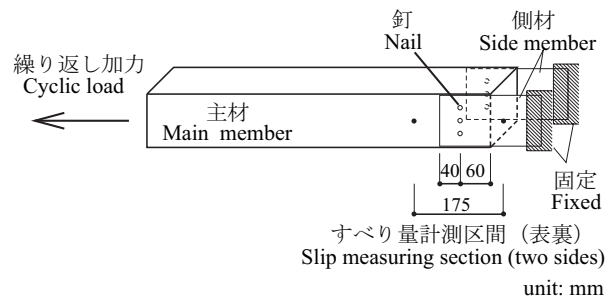
## 3. 試験方法

接合部の試験方法(第1図)および評価方法は、標準的な方法<sup>3)</sup>に準拠した。

引張加力は能力98kN(10tf)の繰り返し試験機(株式会社岩崎製)で行い、シリンダに取り付けたロードセル(容量196kN(20tf))で荷重値を検出した。

接合部のすべり量は、分解能1/100mm, 最大ストローク50mmの変位変換器を試験体両面に取り付け、175mmのすべり量計測区間で得られた変位の平均値とした。

各条件とも、予備試験体を単調加力によって破壊に至らしめ、得られた荷重とすべり量の関係から降伏すべり量 $y_y$ を計算した。その後、残りの6体について、その $y_y$ の1/2, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16倍の順で1回ずつ一方向の繰り返し加力を行った。加力は最大荷重に達したあと、最大荷重の80%に低下するか、またはすべり量が30mmを超えるまで行った。



第1図 引張試験方法  
Fig. 1. Tension test method.

## 4. 結果と考察

### 4.1 従来法との比較

試験結果を第1表に示す。また代表的な荷重-すべり量の関係包絡曲線(釘1本当たり)を第2図に示す。

厚さ1mm以下の薄鋼板に先孔をあけずに釘打ちした接合部の降伏耐力の平均値は、鋼板厚さによって多少異なるものの、厚さ8mmの鋼板に先孔をあけた従来法とほぼ同等であり、下限値をもとに計算する短期許容せん断耐力も同等であった。また初期剛性は1.8~2.7倍、靱性の指標である塑性率は2.0~3.5

第1表 引張試験結果

Table 1. Result of tension test.

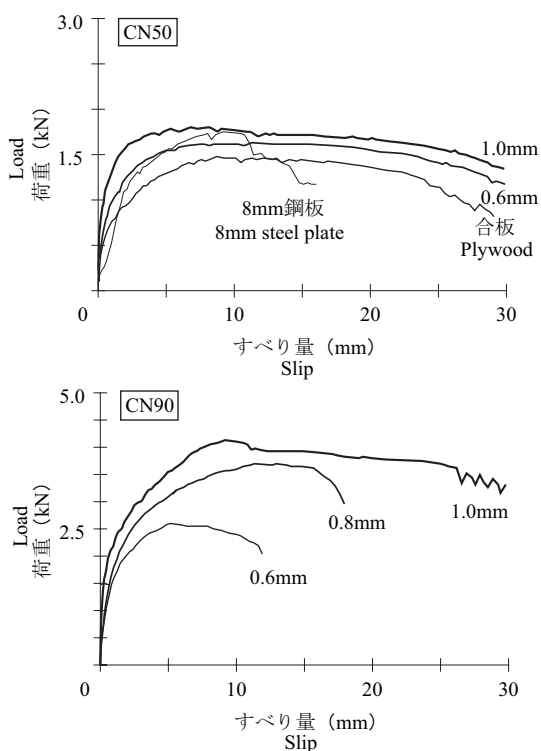
釘種 Nail type	側材 Side member		$P_{max}$	$P_y$	$K$	$\mu$	${}_sP_a$	破壊形態 Failure mode
CN50	薄鋼板 (ステンレス) Thin steel plate	0.5mm	av. 1.71	0.91	1.08	15.38	0.37	A(1), C(5)
			c.v. 0.09	0.08	0.09	0.37		
		0.6mm	av. 1.54	0.88	1.02	19.01	0.31	A(6)
		c.v. 0.13	0.12	0.24	0.22			
		0.8mm	av. 1.75	1.02	1.45	23.78	0.37	A(6)
		c.v. 0.09	0.12	0.23	0.22			
		1.0mm	av. 1.75	1.01	1.54	25.47	0.39	A(6)
		c.v. 0.08	0.10	0.21	0.19			
		合板 Plywood	av. 1.40	0.71	0.63	13.66	0.25	A(6)
		c.v. 0.11	0.13	0.18	0.21			
	8mm鋼板 8mm steel plate	av. 1.63	1.03	0.57	7.33	0.40	B(6)	
	c.v. 0.08	0.10	0.07	0.27				
CN90	0.6mm	av. 2.39	1.38	1.58	13.25	0.64	C(6)	
		c.v. 0.05	0.03	0.45	0.65			
	0.8mm	av. 3.61	2.05	1.64	8.69	0.91	C(6)	
		c.v. 0.06	0.05	0.21	0.15			
	1.0mm	av. 4.22	2.25	2.11	14.67	0.95	A(6)	
		c.v. 0.09	0.07	0.28	0.41			
CN75	0.8mm	av. 2.94	1.53	1.17	14.29	0.58	A(2), C(4)	
		c.v. 0.09	0.10	0.09	0.19			

$P_{max}$ : 最大荷重 (kN),  $P_y$ : 降伏耐力 (kN),  $K$ : 初期剛性 (kN/mm),  $\mu$ : 塑性率,  ${}_sP_a$ : 短期許容耐力 (kN), av.: 平均, c.v.: 変動係数

破壊形態: A: 引き抜け, B: 釘の破断, C: パンチングアウト, ( ) 内の数字: 試験体数

$P_{max}$ : Maximum load (kN),  $P_y$ : Yield load (kN),  $K$ : Initial stiffness (kN/mm),  $\mu$ : Ductility factor,  ${}_sP_a$ : Allowable load for short period (kN), av.: Average, c.v.: Coefficient of variation.

Failure mode: A: Withdrawal of nail, B: Break of nail, C: Punching out, Values in ( ): Number of specimens.



第2図 荷重 - すべり量の関係曲線

Fig. 2. Relationships between load and slip.

倍の値となり,従来法を上回る性能が得られることが明らかとなった。

前述したとおり,設計規準では,側材となる鋼板厚さは釘径の0.4倍以上とした場合に製材や合板の場合よりも許容せん断耐力を25%増加させることとしている。鋼板厚さを釘径の0.4倍以上とする根拠は不明だが,鋼板厚さが不十分な場合,力の加わる方向によっては鋼板がねじれたり座屈が発生する可能性があるため,それらを抑止する厚さが必要になると考えられる。

しかし例えば在来構法の柱と土台や横架材とをつなぐ金物として,厚さ0.6mmのステンレス鋼板

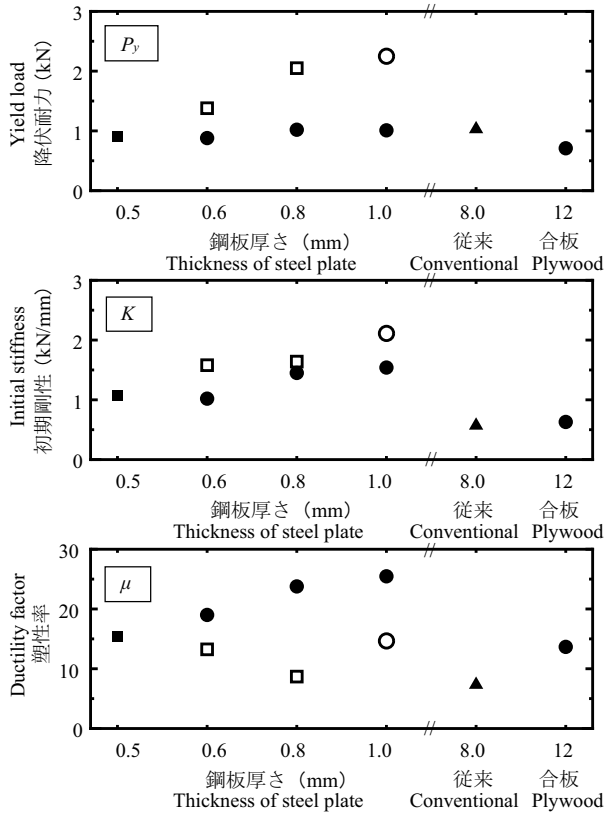
をビス止めするものがZマーク金物(山形プレートやひら金物)同等品として認定を受けている事例がある<sup>4)</sup>。この接合部に使用される金物が負担すべき荷重は,おもに柱の引き抜き方向の力であり,金物が圧縮力やせん断力に抵抗する能力はそれほど要求されないと考えられる。したがっておもに負担する荷重方向での強度性能が実験によって担保されれば,必ずしも鋼板厚さが釘径の0.4倍以上である必要はないと考えられる。

なお,厚さを薄くすることによって,さびが発生した場合の有効断面の減少の影響が大きくなることが懸念されるが,本接合工法では鋼板の材質をステンレスとすることによって防錆性能を確保している。

#### 4.2 薄鋼板の厚さによる影響

鋼板厚さと降伏耐力,初期剛性,塑性率との関係を第3図に示す。

降伏耐力は,CN50の場合は鋼板厚さに関わらずほぼ一定であるが,CN90の場合は鋼板厚さが薄い



第3図 鋼板厚さと性能値の関係  
Fig. 3. Relationships between thickness of steel and performance.

凡例)  $P_y$ ,  $K$ ,  $\mu$ : 第1表参照  
 : CN50, 引き抜け, : CN90, 引き抜け,  
 : CN50, パンチングアウト, : CN90, パンチングアウト,  
 : CN50, 釘破断  
 Legend)  $P_y$ ,  $K$ ,  $\mu$ : See Table 1.  
 : CN50, Withdawal, : CN90, Withdawal,  
 : CN50, Punching out, : CN90, Punching out,  
 : CN50, Breaking of nail

と低下している。破壊形態に着目すると、CN50は0.6mm以上ではすべて引き抜けであったが、CN90の場合は0.6, 0.8mmでは釘頭が鋼板を貫通するパンチングアウトであったことから、耐力は破壊形態に大きく依存すると思われる。したがってCN90でも厚さ1mm以上であれば破壊形態が引き抜けとなり、厚さによる耐力変化は少ないと予想されるが、すべての釘径に対して鋼板最大厚さを1mmに設定して実験を行ったため、1mmを超える場合の挙動については未確認である。

また初期剛性もCN50, CN90ともに鋼板厚さの影響を受けているが、これは従来法に比べて鋼板自体の剛性が小さいため、鋼板厚さが不十分な場合は釘頭の回転を完全には拘束できていないためと考えられる。

同様に塑性率についても破壊形態に依存し、CN90では釘の引き抜けである厚さ1mmの場合に最大となった。厚さ0.6mmの場合には0.8mmを上回る値が得られたが、これは0.6mmの場合には釘が鋼板を貫通し最大荷重に達したあとも釘頭が鋼板から離脱することなく荷重を負担し続けていったことによる。CN50ではパンチングアウトとなった0.5mmの場合にもっとも低い塑性率となっており、破壊形態が引き抜けとなることによってねばり強さが向上することが明らかとなった。

#### 4.3 釘径による影響

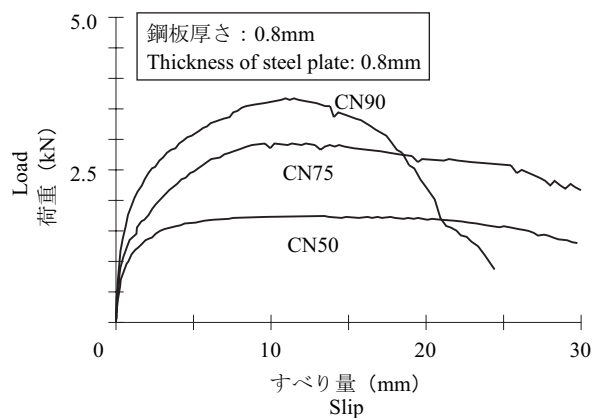
鋼板厚さ0.8mmの場合の各釘径ごとの代表的な荷重 - すべり量の関係包絡曲線(釘1本当たり)を第4図に、せん断性能の比較結果を第5図に示す。

釘径が大きくなるにしたがって、降伏耐力は増加しているが、初期剛性はほぼ変わらず、逆に塑性率は低下している。

注目すべきは破壊形態が釘径によって異なることであり、釘径が大きくなるにしたがって、釘の引き抜けからパンチングアウトへ移行しているのが確認された。

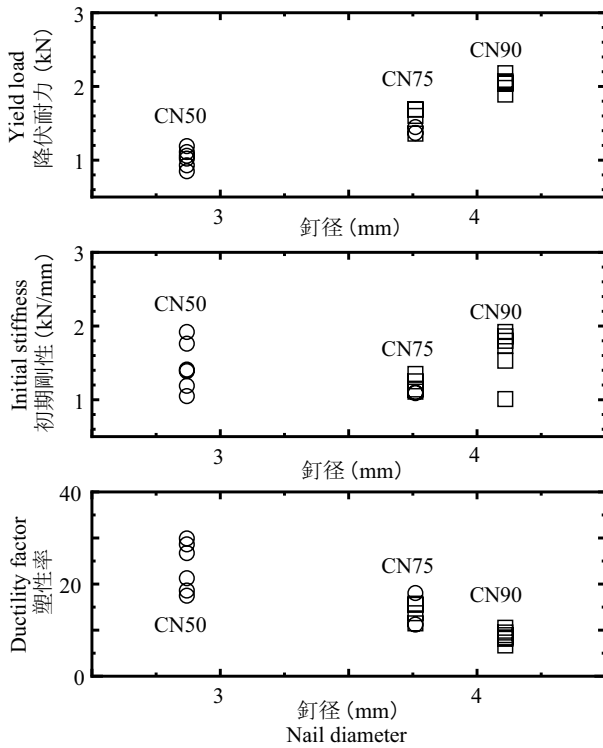
#### 4.4 せん断耐力の推定

設計規準のせん断耐力算定式は、接合部を構成する主材や側材、釘が破壊することなく変形が進み、釘の引き抜けによって最大荷重が決定される破壊形態を想定している。この算定式は、最大せん断荷重が釘径の1.8乗に比例するという実験結果に基づいており、最大荷重は以下の式で計算される<sup>5)</sup>。



第4図 荷重 - すべり量の関係曲線  
Fig. 4. Relationships between load and slip.





第5図 釘径による性能比較 (鋼板厚さ 0.8mm)  
Fig. 5. Performance comparison based on nail diameter (Thickness of steel plate: 0.8mm).

凡例) ○: 引き抜け, □: パンチングアウト  
Legend) ○: Withdrawal of nail, □: Punching out

$$P = 3.5 \times F_c \times d^{1.8}$$

ここで

$F_c$ : 主材の圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$d$ : 釘径 (mm)

一方、側材が合板の場合には、パンチングアウトの発生を考慮したもうひとつの算定式が用意されている。この算定式は合板が薄い等方性材料であるときの釘頭によるせん断強度をベースとして誘導されており、そのせん断強度は以下の式で計算される<sup>5)</sup>。

$$P = F_s \times t \times \dots \times d_n$$

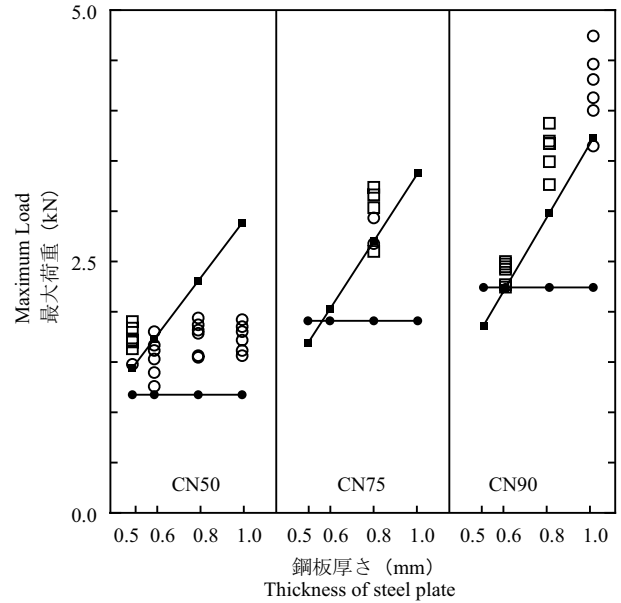
ここで

$F_s$ : 合板のせん断強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$t$ : 合板厚さ (mm)

$d_n$ : 釘の頭径 (mm)

薄鋼板を側材とする場合の破壊形態も合板同様に釘の引き抜けとパンチングアウトの2種類であるため、それぞれの破壊形態に応じて評価する必要がある。そこで、各釘径および鋼板厚さでのせん断耐力を破壊形態に応じて上記2式を用いて計算し、実験値との



第6図 最大荷重の実験値と推定値

Fig. 6. Observed and calculated values of maximum load.  
凡例) ○: 実験値 (引き抜け), □: 実験値 (パンチングアウト),  
●: 計算値 (引き抜け), ■: 計算値 (パンチングアウト)  
Legend) ○: Observed value (withdrawal of nail), □: Observed value (punching out), ●: Calculated value (withdrawal of nail), ■: Calculated value (punching out).

比較を行った。計算に当たって、主材の圧縮強度は密度 ( ) に比例するものとして、中井の報告<sup>6)</sup>のうちトドマツに関する相関関係から  $F_c = 8336 \times$  (N/mm<sup>2</sup>) とした。またステンレス鋼板のせん断強度は建築基準法告示より  $F_s = 235 / 3 = 135.7$  (N/mm<sup>2</sup>) とした<sup>7)</sup>。

各釘径とステンレス鋼板厚さに対応した最大荷重の実験値および破壊形態がパンチングアウトと引き抜けの場合の計算値を第6図に示す。

破壊形態がパンチングアウトの場合の実験値は計算値の1.1 ~ 1.2倍程度となり、側材を薄鋼板とした場合でも上記算定式が適用可能であることが明らかとなった。

一方、破壊形態が引き抜けの場合の実験値は計算値を大きく上回る傾向が認められた。これは、算定式では側材が製材の場合の実験結果からの回帰式をもとにしているためであると考えられる。小松の研究によると側材を鋼板とすることによる耐力の増大は、密度の低い樹種で30%、高い樹種で60%となっている<sup>8,9)</sup>。本試験結果ではCN50やCN75での引き抜けの場合には実験値は計算値の約1.45倍であり、側材が鋼板であることを考慮すると妥当な値と思われるが、CN90の場合には約1.9倍と顕著な増大と

第2表 先孔の有無による性能比較

Table 2. Performance comparison with or without lead holes.

条件 Conditions	$P_{max}$	$P_y$	$K$	$\mu$	破壊形態 Failure mode
先孔なし Without lead hole	4.22	2.25	2.11	14.67	引き抜け(6) Withdrawal of nail
先孔あり With lead hole	3.67	1.82	1.55	11.81	釘破断(6) Breaking of nail

 $P_{max}$ ,  $P_y$ ,  $K$ ,  $\mu$ : 第1表参照 $P_{max}$ ,  $P_y$ ,  $K$ ,  $\mu$ : See Table 1.

なっている。この原因として、釘打ちの際に発生する鋼板のめくれが主材にめり込むことによる付加的なせん断抵抗要素の影響がCN90の場合には大きいことが考えられる。

#### 4.5 先孔による影響

先に述べた鋼板のめくれがせん断性能に及ぼす影響を確認するため、厚さ1mmの鋼板に先孔をあけた場合の試験を行い、先孔がない(めくれがある)場合との性能比較を行った。使用した釘はCN90であり、先孔は釘径と等しい径のドリルで加工した。試験結果を第2表に示す。

先孔をあけることによって初期剛性は大きく低下している。この原因として、鋼板のめくれがないことによる影響のほかに、先孔と釘との間に透き間がわずかながらも発生したことや釘頭の回転によるめり込みが大きくなることが挙げられる。

なお先孔をあけることによって最大荷重も低下しているが、これは破壊形態が釘の引き抜けから釘の破断に変化したことが大きな要因と考えられるため、めくれが最大荷重に及ぼす効果の厳密な確認には至っていない。

いずれにせよ、先孔をあけずに釘打ちすることによって先孔をあける場合よりも強度性能が向上することが明らかとなったことから、本接合法は施工性のみならず強度性能においても従来法よりも優れていることが確認された。

#### 5. おわりに

厚さ1mm以下のステンレス鋼板に先孔をあけずに釘打ちした接合部の引張性能は、先孔をあける従来の鋼板添え板釘打ち接合よりも初期剛性と靱性において優れ、また降伏耐力もほぼ同等であることが明らかとなった。

しかし釘径に対して鋼板厚さが薄い場合には破壊形態がパンチングアウトとなり、十分な性能が得られなかった。また釘の引抜耐力は主材の密度に比例して大きくなる<sup>10)</sup>ことから、例えばカラマツのように密度が比較的大きい樹種の場合には、トドマツよりもパンチングアウトが発生しやすくなる可能性がある。釘接合の特徴であるねばり強さを発揮するためには破壊形態が釘の引き抜けとなることが望ましいため、接合部の設計に当たっては釘径と木材の密度および鋼板厚さのバランスを適切に考慮することが重要である。

本研究では、接合部に軸力が加わった場合の性能評価を行ったが、次報では、本接合法の利用用途の拡大を図るために、接合部のモーメント抵抗性能の評価を行う。

#### 文 献

- 1) 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 - ”, 日本建築学会編, 31(2002)
- 2) 戸田正彦：林産試験場報, 18(3), 5-10(2004)
- 3) (財)日本住宅・木材技術センター：“木造軸組工法住宅の許容応力度設計”(財)日本住宅・木材技術センター編, 151(2002)
- 4) (財)日本住宅・木材技術センター：“木造住宅用接合金物の使い方”, (財)日本住宅・木材技術センター編, 89(2005)
- 5) 神谷文夫, 鷲海四郎：木材学会誌, 35, 313-319(1989)
- 6) 中井孝, 山井良三郎：林試研報, 319号, 13-46(1982)
- 7) 国土交通省：建設省告示第2464号(2000)
- 8) 小松幸平：木材学会誌, 36, 1035-1041(1990)
- 9) 小松幸平：木材学会誌, 36, 1042-1049(1990)
- 10) 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 - ”, 日本建築学会編, 230(2002)

- 性能部 構造性能科 -  
(原稿受理：05.08.24)