◉特 集

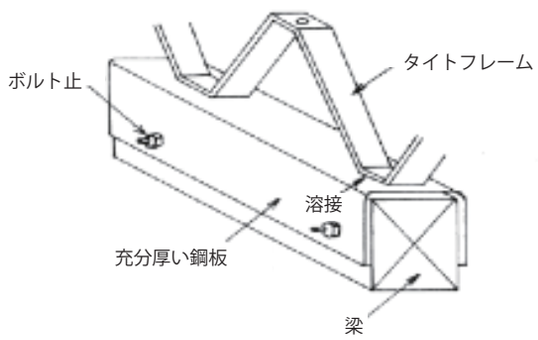
木造建築物における折板接合部の確認試験

一般社団法人日本金属屋根協会・技術委員会

1．背景

国交省・林野庁を中心に建築物における国産木材の利用促進が図られており、また延べ床面積 3,000 ㎡超の建築物は一定の防火措置を施すことにより準耐火構造等にできる建築基準法の一部改正（平成 26 年 6 月 4 日）が行われるなど、今後、中大規模の建築物においても木構造の採用が増加するものと予想される。この動きは金属屋根においても横葺き、立平葺き屋根などに限らずに折板葺き屋根についても、新たな市場の可能性が考えられる環境となってきた。

これに対して『鋼板製屋根構法標準 SSR2007』においては、「タイトフレームと木造下地との接合」は「原則として釘又はねじ留めは行わず、必要な強度・剛性を有した溶接可能な鋼材をボルトを介して固定する等の方法による」としている。また「ごく小規模な計画の場合で風荷重や温度伸縮の影響が小さいと考えられる場合は、タイトフレームを釘又はねじで直接接合する工法の採用も可能であると考えられるが、設計用荷重に対し釘またはねじの耐力は充分安全を見込んだ選定をする必要がある」としている。これらの記述は、従来、木造下地に対する折板屋根の適用がさほど想定されていなかったこと、またその挙動に関する十分な実験データがなかったことによるが、前述の社会背景を踏まえ、今回「タイトフレームと木造下地との接合」について特に「折板の温度伸縮によるタイトフレーム繰返し載荷」の影響に関する試験を実施した。



SSR2007 での例図

2．試験に際しての基本的な考え

◆木下地と折板タイトフレームの接合部耐力保持性能確認試験

日射の影響による金属製折板の伸縮を模擬した水平変位をタイトフレームに繰り返し与えた場合のねじ留め部の健全性を確認する。

①熱伸縮を想定した繰り返し載荷

SSR2007 の熱伸縮に関わる試験に準拠：10,000 回繰り返し水平載荷（30 年相当）、前後の引上げ荷重の差異や破壊性状を確認する。

②試験体数は各 6 体

木質構造設計基準・同解説 / 日本建築学会に準拠：木材の強度は鋼材に比べばらつきが大きい

③木の材質による差異

無垢材（杉）、集成材 (杉)2 種類 / 比重差等

③折板タイプ・屋根長さによる差異

K0920：屋根長さ 10mを想定　H1750：屋根長さ 20mを想定。タイトフレームの板厚は 2.3 ㎜

④ねじは 1 種類（φ6×L50 ㎜・木下地タイトフレーム用)

期　　間：平成 27 年 12 月 1 日～ 12 月 14 日
試 験 所：一般財団法人日本建築総合試験所
試験協力：サカタ製作所、日本パワーファスニング、淀川製鋼所

3．試験内容

3.1 試験体

試験体は、木製の梁を想定した木材に、ねじを用いて留め付けたタイトフレームである。木材は、等級の違う 2 種類の杉集成材（以後、等級 E65-F255 を集成材，等級

E75-F270 を HG 集成材と呼ぶ）と無垢の杉材の計 3 種類である。また、2 種類の集成材にははぜ締め形折板用タイトフレーム（以後、H-1750 と呼ぶ）を、杉材には重ね形折板用タイトフレーム（以後、K-0920 と呼ぶ）をそれぞれ留め付けた。試験体は、1 山分のタイトフレームを再現し、その両端の谷部をねじ 1 本（合計 2 本）を用いて木材に留め付けた。試験体数は各木材ごとに 12 体、合計 36 体とした。

試験体の仕様を表 1 に、試験体の種類を表 2 に、各試験体の外観を写真 1 に、詳細を図 1 および図 2 にそれぞれ示す。

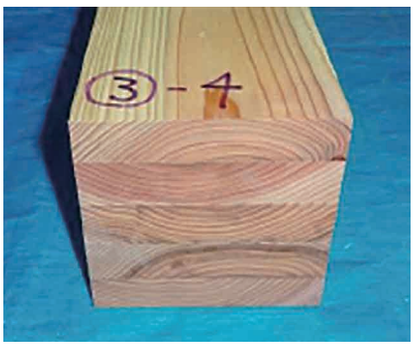
表 1　試験体の仕様

部位	仕様
木材	・同一等級構成集成材（杉） 105mm×105mm×700mm，等級：E65-F255（集成材） ・同一等級構成集成材（杉） 105mm×105mm×700mm, 等級:E75-F270（HG 集成材） ・無垢杉材 105mm×105mm×450mm
ねじ	スチール，φ6mm×L50mm
タイトフレーム	・H-1750（はぜ締め形折板用） 溶融亜鉛めっき鋼板（幅 40mm，厚 2.3mm） ・K-0920（重ね形式折板用） 溶融亜鉛めっき鋼板（幅 28.5mm，厚 2.3mm）

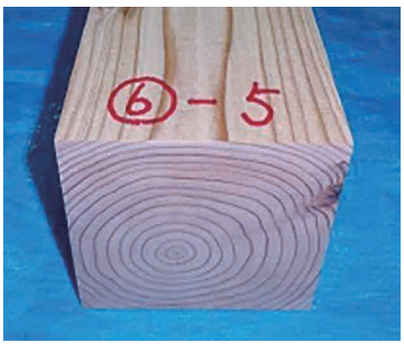
表 2　試験体種類

試験体記号	木材	タイトフレーム	試験体数	試験項目
①	集成材	H-1750	6	(b)（c）
②			6	(a)
③	HG 集成材		6	(b)（c）
④			6	(a)
⑤	無垢杉材	K-0920	6	(b)（c）
⑥			6	(a)

a. 集成材の木口

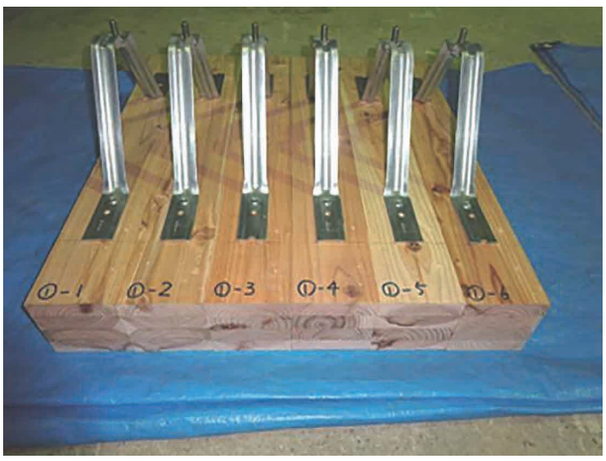


b.HG 集成材の木口



c. 杉の木口

d. 試験体①（集成材）の外観



e. 試験体①（集成材）の木口側

写真 1　試験体外観

3.2 試験方法

本試験は、鋼板製屋根構法標準（SSR 2007）に示された「二重折板屋根の断熱金具等を対象とした試験」の方法に準じて実施した。試験手順は次のとおりである。

（a）鉛直方向の引上げ試験

健全な状態（繰返し載荷を与えない状態）の試験体について、タイトフレームの引上げ試験を行ない、タイトフレームの固定部の強度を測定する。

（b）水平方向の繰返し載荷試験

新たな試験体を用いて、タイトフレーム山部に所定の変位量（想定される折板の熱伸縮による変位量）で繰返し載荷を行う。

（c）繰返し載荷後の鉛直方向引上げ試験

（b）の繰返し載荷試験を終えた試験体について、タイトフレームの引上げ試験を行ない、タイトフレームの固定部の強度を測定し、（a）からの強度低下の有無を確認する。

本試験では、3 種類の木材（1 種類：12 体）のうちの 6 体を（a）の試験用（試験体②，試験体④および試験体⑥）とし、残りの 6 体を（b）および（c）の試験体（試験体①，試験体③および試験体⑤）とした。

鉛直方向の引上げ試験では、図 1 に示すように試験体に引張治具を取付けた状態で試験機に組込み、荷重と変位量を連続的に測定した。水平方向繰返し載荷試験では、図 2 に示すようにスライドレールに取り付けられた試験用鋼製枠が所定の水平変位量に達するまでの載荷を 10,000 回繰返した。その回数は、日射による折板の伸縮が平均して 1 日に 1 回生じるとし、30 年間の繰返し総数（1×365×30 ≒10,000 回）を想定した。

試験状況を写真 2 に、各試験での変位量測定位置を図 1 および図 2 に示す。

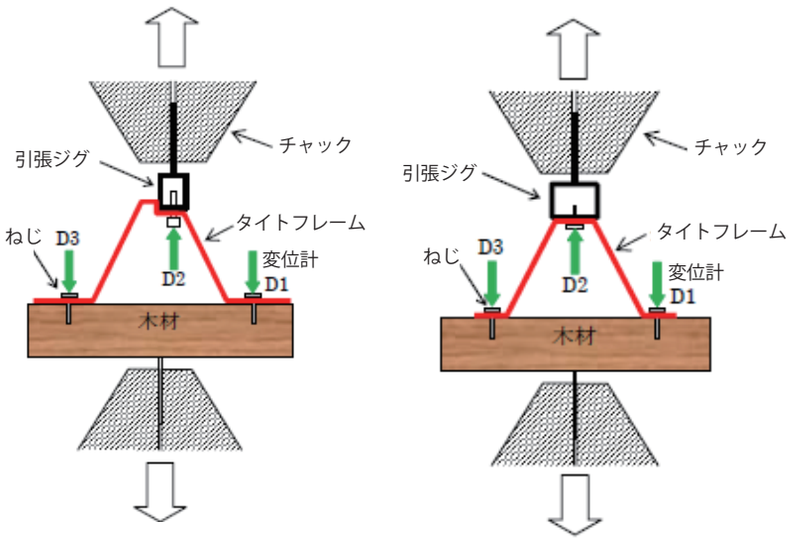


図 1 鉛直引き上げ試験体設置概要図

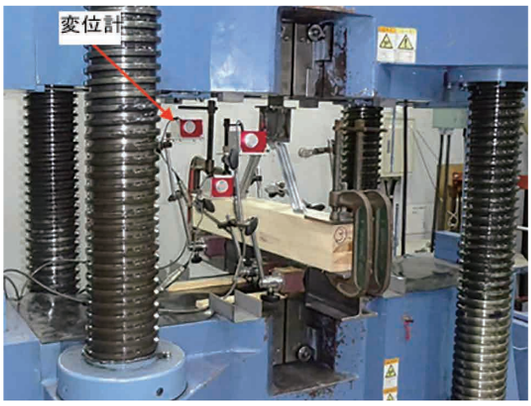


写真 2-(1)　試験状況：鉛直方向の引上げ試験

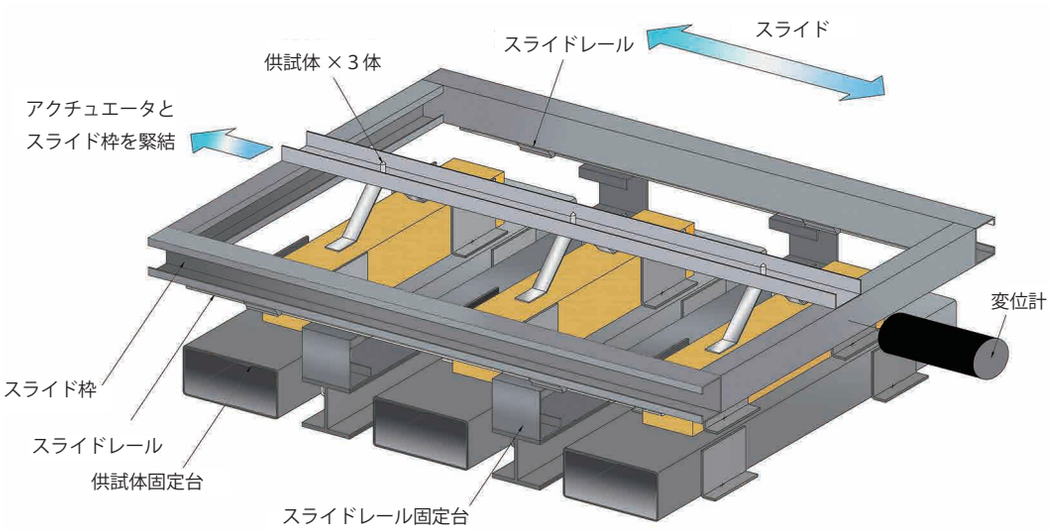


図２　水平方向の繰り返し載荷試験体図設置概要図

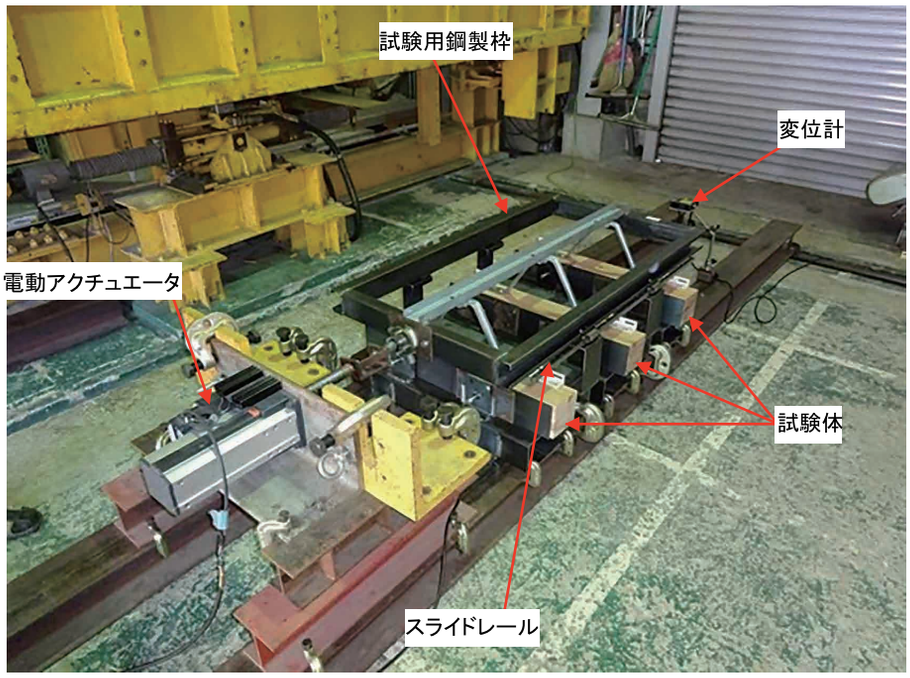


写真 2-(2)　試験状況 : 水平方向の繰返し載荷試験

3.3　熱伸縮による折板の水平変位量の設定

試験体に与えた熱伸縮による折板の水平変位量はSSR2007 に準拠し、日射によって生じる折板と構造体との温度差⊿t を 50K、折板（鋼板）の熱膨張率βを1.2×10^{-5}[1/K]、折板の全長 L を 20mおよび 10m（全長の両側に均等に伸縮すると想定し、折板端部での熱伸縮量の計算には L/2 を用いた）とした。

水平変位量δは、式 (1) により算出し、その計算結果を表３に示す。

$$\delta = L/2 \times \Delta t \times \beta \cdots\cdots\cdots (1)$$

表 3　設定された水平変位量

試験体記号	温度差 ⊿t（K）	折板の全長 L（m）	水平変位量 δ（mm）
①	50	20	6.0
③			
⑤		10	3.0

ねじの破断（試験体①-1）　ねじの抜け出し（試験体④-2）

写真 3　試験後の試験体の状況

4．結果

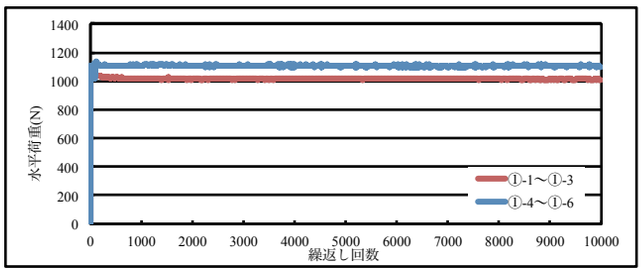
試験結果の概要を以下に、試験結果の一覧を表 3 に示す。また、水平繰返し変位を与えた時の繰返し回数による最大水平荷重の変化を図 3 に、健全な状態での鉛直引上げ試験および水平繰返し後の鉛直引上げ試験における荷重と変位量の関係を図 4 ～図 9 にそれぞれ示す。また、試験後の試験体の状況を写真 3 に示す。

4.1　鉛直方向の引上げ試験

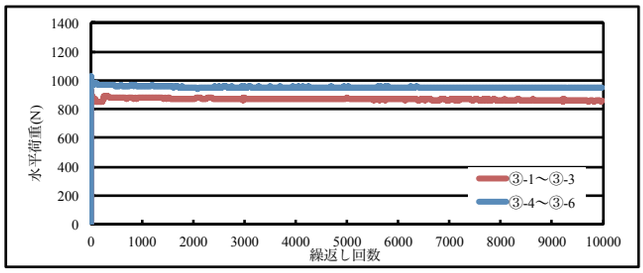
健全な状態での最大引上げ荷重は、試験体②で 6,781N, 試験体④で 6775N、試験体⑥で 6,361N であった。試験体②の破壊モードはねじの頭部が破断して破壊した。試験体④および試験体⑥の破壊モードはねじの頭部の破断と木材からのねじの抜け出しの 2 種類が観察された。

4.2　水平方向の繰返し載荷試験

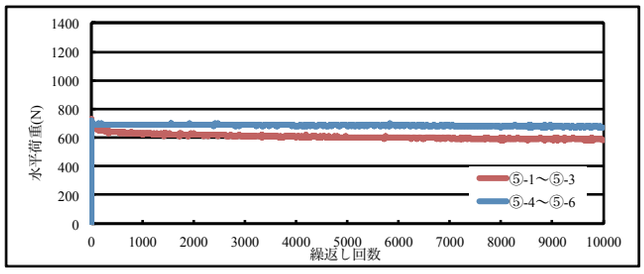
試験体①, 試験体③は、6.0mm の水平変位量を与えたが、繰返し回数が増加しても水平荷重に目立った低下は見られなかった。最大水平荷重は試験体①で 1138N、試験体③で 1025N であった。試験体⑤は、3mm の水平変位量を与えたが、繰返し回数が増加しても水平荷重に目立った低下は見られなかった。試験体⑤の最大水平荷重は 728N であった。



（1）試験体①（δ=6mm）



（2）試験体③（δ=6mm）



（3）試験体⑤（δ=3mm）

図 3　水平繰返し荷重曲線

4.3　繰返し載荷後の鉛直方向引上げ試験

水平繰返し載荷後の最大引上荷重は、試験体①で 7,448N，試験体③で 5,902N，試験体⑤で 5,595N であった。試験体①の破壊モードはねじの頭部が破断して破壊した。試験体③の破壊モードは木材からねじが抜け出して破壊した。試験体⑤の破壊モードはねじの頭部の破断と木材からのねじの抜け出しの 2 種類が観察された。

試験体①から③の水平繰返し載荷後の試験体の引上げ荷重は、健全な試験体の引上げ荷重より顕著な強度低下は観察されなかった。

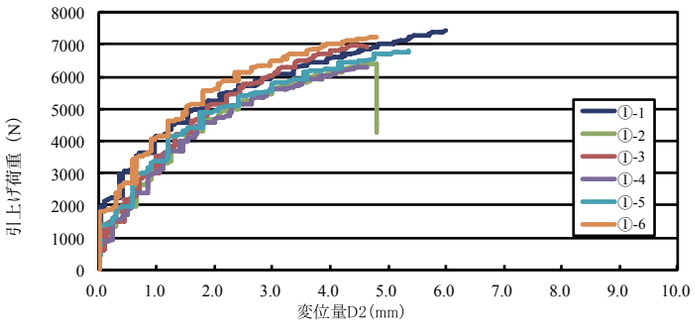


図４　試験体①における鉛直引上げ荷重 - 変位量曲線（繰返し後の状態，δ＝6.0mm）

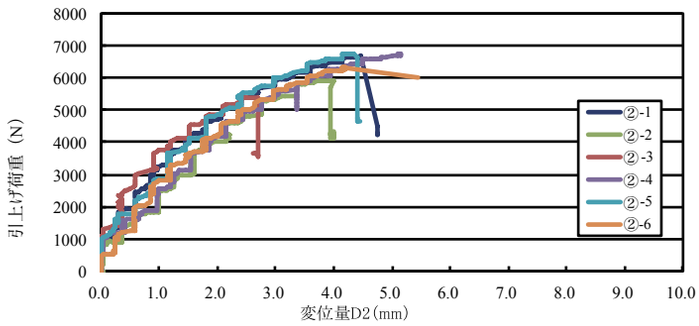


図５　試験体②における鉛直引上げ荷重 - 変位量曲線（健全な状態）

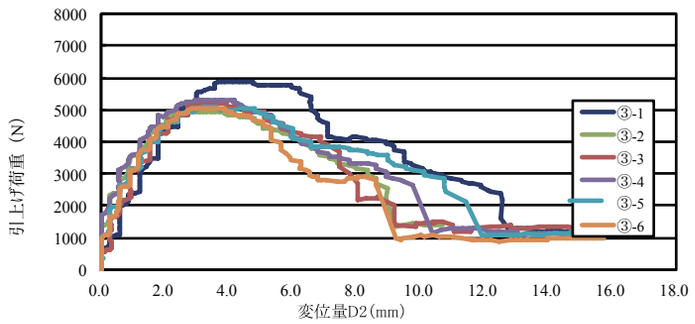


図６　試験体③における鉛直引上げ荷重 - 変位量曲線（繰返し後の状態，δ＝6.0mm）

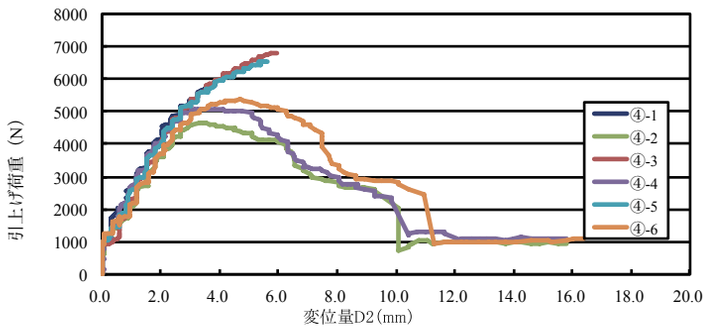


図７　試験体④における鉛直引上げ荷重 - 変位量曲線（健全な状態）

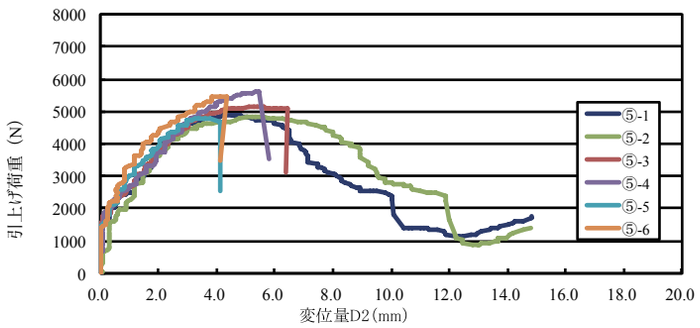


図８　試験体⑤における鉛直引上げ荷重 - 変位量曲線（繰返し後の状態，δ＝3.0mm）

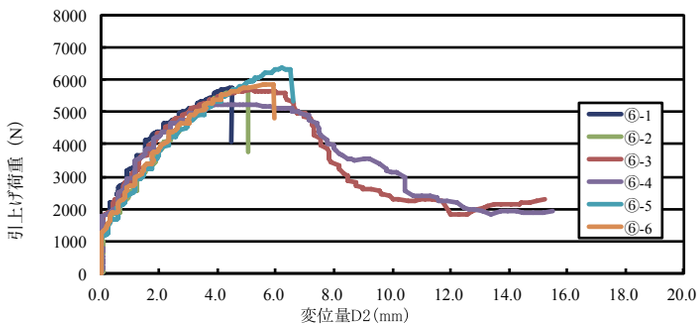


図９　試験体⑥における鉛直引上げ荷重 - 変位量曲線（健全な状態）

5．まとめ

◆熱伸縮を想定した繰り返し載荷の前後で引抜き強度に顕著な差異は確認されなかったが、杉材や HG 集成材で破壊性状にばらつきが見受けられた。

◆参考試験として実施したねじの単純引抜き試験で特異値が計測された（節部の強度を計測 /Fb-4）。
木下地ではバラツキに対する配慮が必要 (試験体は最低でも６体)。

木下地への固定に関しては、使用時の条件（①樹種、②密度、③含水率、④節の有無）①樹種、②密度、③含水率、④節の有無等によって、引抜き強度に大きな差（バラツキ）が生じてしまうため、実際に使用する木材と同一の物で試験を行い、試験体における①～④の状態を記録しておくことが望ましい。

◆ファスナー単体引抜き強度 ×２ ＞ １山タイトフレーム引抜き強度

ファスナー単体引抜き強度を確認するだけではタイトフレームに固定したファスナーの引抜き強度は判断できない。理由は、タイトフレーム１山の両際にファスナーを固定するため、引抜き荷重が作用するとファスナーは偏芯した力が掛かり、単体引抜き荷重より低い値となってしまう（写真 4）。

上記に記載したように、熱伸縮を想定した繰り返し載荷の前後で引抜き荷重に大差は確認されなかったが、木下地は使用時の条件（樹種・含水率・密度・節の有無）によるバラツキが大きく均一な条件が得にくいこともあり、実際に折板屋根が固定される条件に近い、繰り返し載荷を付加したタイトフレーム引抜き試験で接合部耐力を確認することが望ましい。

参考：ねじの単純引抜試験

試験体		結果	
材種	No.	最大荷重（N）	平均（N）
集成材	Fb-1	4429	5543
	Fb-2	4948	
	Fb-3	4755	
	Fb-4	8986	
	Fb-5	4242	
HG集成材	Fs-1	3630	3373
	Fs-2	3292	
	Fs-3	3330	
	Fs-4	2904	
	Fs-5	3708	

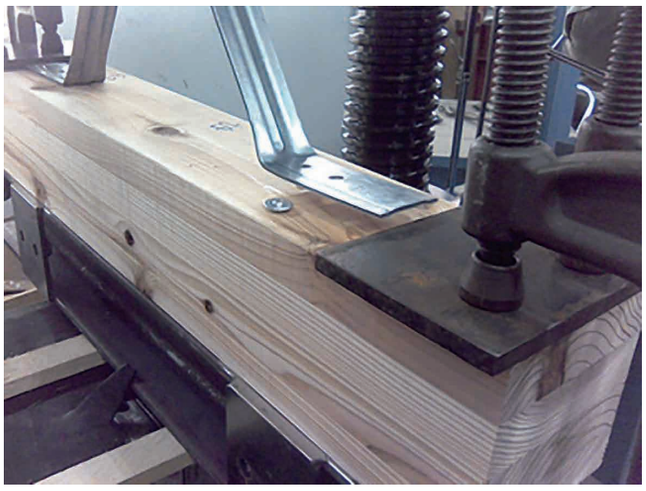


写真４　最大荷重時の状態

表 3　鉛直引上げ試験結果（試験体①～試験体⑥）

木材	試験体		木の比重	最大荷重 (N)	最大値	最小値	平均値	1～6標準偏差	破壊状況
集成材	水平繰返し後	①-1	0.44	7448	7448	6290	6834	445	ねじの頭部が破断
		①-2	0.44	6430					
		①-3	0.44	6948					
		①-4	0.45	6290					
		①-5	0.45	6851					
		①-6	0.45	7218					
	健全	②-1	0.44	6684	6781	5402	6311	552	ねじの頭部が破断
		②-2	0.44	5933					
		②-3	0.44	5402					
		②-4	0.43	6781					
		②-5	0.43	6749					
		②-6	0.44	6319					
HG集成材	水平繰返し後	③-1	0.38	5902	5902	4980	5271	332	木材からねじが抜け出した
		③-2	0.38	4980					
		③-3	0.38	5228					
		③-4	0.38	5327					
		③-5	0.38	5102					
		③-6	0.38	5084					
	健全	④-1	0.39	6135	6775	4660	5763	852	ねじの頭部が破断
		④-2	0.38	4660					木材からねじが抜け出した
		④-3	0.39	6775					ねじの頭部が破断
		④-4	0.39	5091					木材からねじが抜け出した
		④-5	0.38	6560					ねじの頭部が破断
		④-6	0.39	5358					木材からねじが抜け出した
杉（無垢材）	水平繰返し後	⑤-1	0.34	4914	5595	4798	5174	358	木材からねじが抜け出した
		⑤-2	0.34	4849					
		⑤-3	0.34	5416					ねじの頭部が破断
		⑤-4	0.40	5595					
		⑤-5	0.40	4798					
		⑤-6	0.40	5473					
	健全	⑥-1	0.40	5793	6361	5248	5776	358	ねじの頭部が破断
		⑥-2	0.38	5717					
		⑥-3	0.38	5675					木材からねじが抜け出した
		⑥-4	0.34	5248					
		⑥-5	0.36	6361					ねじの頭部が破断
		⑥-6	0.34	5862					