

## 中・大規模木造建築物への折板の適用 「集成材梁 + タイトフレーム」 強度試験報告

一般社団法人 日本金属屋根協会・技術委員会

### 1. はじめに

タイトフレームと木造下地との接合に関し、「鋼板製屋根構法標準 SSR2007」においては、「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。(中略)なお、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又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」として図1が示されている。

しかしながら現実には小規模な計画においては、タイトフレーム用ねじ(公称径6mm程度)がごく一般に市中流通している現状を踏まえ、日本金属屋根協会ではH27年に木質梁へのねじ固定の強度試験を実施し、K0920(いわゆる88折板)の流れ長さ20[m]程度の計画であれば実運用上問題のない強度を有することが確認されている<sup>\*1</sup>。

一方近年、国土交通省は中・大規模木造建築物の普及促進に注力しており、同省・国土技術政策総合研究所ではH29年度から「総合技術開発プロジェクト」テーマとして「新しい木質材料を活用した混構造建築物の設計・施工

技術の開発」(H29年度～H33年度)をスタート、同総プロ内の構造分科会において「折板接合部検討WG」が設置された。同検討WGでは、H1750(働き500、高さ160前後のはげ締め形折板)の流れ長さ50[m]程度を想定した検討及び載荷試験が実施され、その検討の成果として、集成材の梁とタイトフレームとのねじ留め接合部に関する試験・評価法(案)が日本建築学会にて公表された<sup>\*2</sup>。

H30年度に日本金属屋根協会では、公表された試験・評価法(案)に準拠した載荷試験を実施し、その強度面における適用可能性について一定の知見が得られたので、ここに試験の概要を報告する。なお、以下に示す試験結果は上述の総プロの技術的な検討において、関連する試験事例として参考にされている。

### 2. 試験項目と評価方法

試験項目は折板の熱伸縮を考慮した10,000回繰返し試験の前後での引張試験とした。引張試験の概念(JISA6514より)を図2に、また折板の熱伸縮を考慮した繰

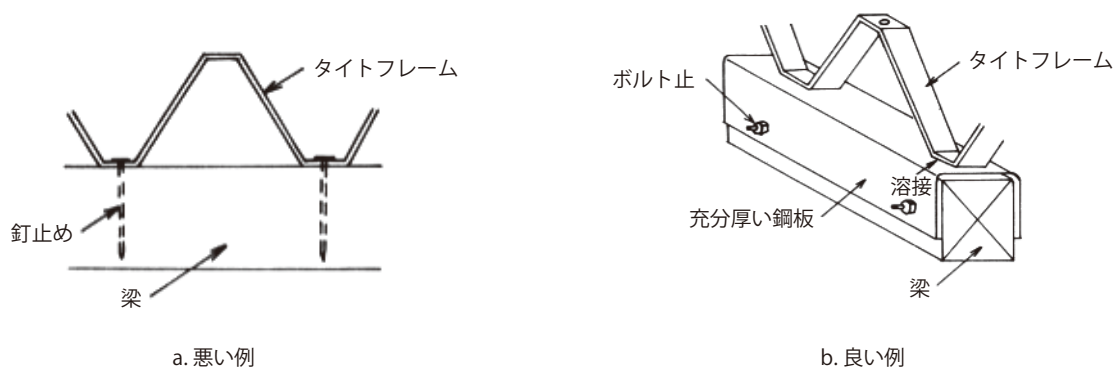


図1 木造下地材とタイトフレームの接合

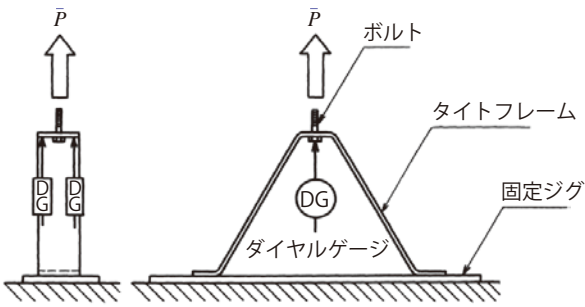


図2 引張試験の概念 (JIS A6514 より)

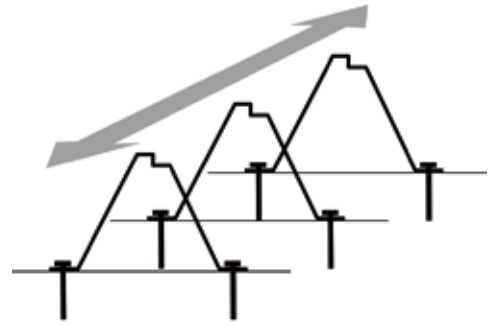


図3 折板の熱伸縮を考慮した繰返しの概念

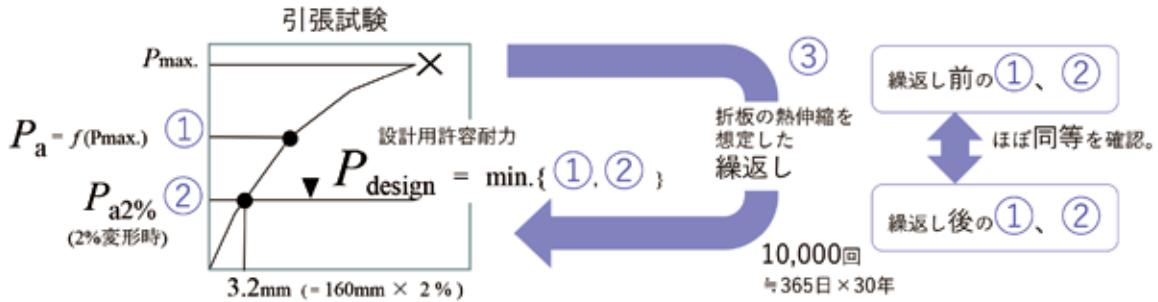


図4 評価方法の概念

返しの概念を図3に示す。通常、タイトフレームを鉄骨に溶接固定する場合にはこの繰返し試験は行わない。しかし、木質下地の場合では固定ねじの周辺木材の繰返しによる劣化、および強度低下の可能性が懸念されるため、この繰返しの前後で引張試験の結果に差異がないことを確認することとした。なおここで10,000回とは、1回/日×365日/年×30年≒10,000を想定している。また、試験体n数は6体以上とした。これは木質材料のバラツキを考慮したもので「木質構造設計規準・同解説：日本建築学会」に準じた。

次に評価方法としては、基本的にはSSR2007 (JIS

A6514) に準じた引張試験の評価方法をベースとし、まず繰返し載荷前の試験体 (最低6体) にて引張り ①最大荷重、②2%変形時荷重を計測する。次に繰返し載荷後の試験体 (同様に6体) にて同様に①および②を計測し、繰返しの前後において大きな差異がないことを確認する。設計用許容耐力には、①最大荷重に基づく設計用評価値および②2%変形時荷重、のうち小さいほうを採用する。以上の概念を模式的に図4に示す。

ここで、①最大荷重に基づく設計用評価式について、前述「折板接合部検討WG」において次式の評価式 (以下、「総プロ評価式 (案)」) が提案されている。

$$P_a = \frac{1}{3} jK_d jK_m P_w \quad (1)$$

ここで、 $P_a$ :許容引抜耐力(N)、  
 $jK_d$ :「木質構造設計規準・同解説」に定める荷重継続期間影響係数(短期は2.0)、  
 $jK_m$ :「木質構造設計規準・同解説」に定める含水率影響係数(環境区分IIは0.80)、  
 $P_w$ :引張試験で得た基準終局引抜耐力(N)であり、  
 信頼性水準75%の95%下側許容限界値として(2)式によって得る。

$$P_w = \bar{x} - K \cdot s \quad (2)$$

ここで、 $\bar{x}$ :ねじ接合部の引張試験で得た最大荷重の平均値(N)、  
 $s$ :ねじ接合部の引張試験で得た最大荷重の標本標準偏差(N)、  
 $K$ :試験体数に依存する定数(6体の場合、2.336)

この最大荷重に基づく設計用評価式としては、従来のSSR2007あるいはJIS A6514においては単純に $P_{max}$ の1/3としており、これは基本的に鉄骨梁への溶接固定を想定した評価式である。しかし、「総プロ評価式(案)」では木質下地へのねじ固定であることを鑑み、「木質構造設計規準・同解説:日本建築学会」に準じた形で上記(1),(2)式が提案されている。この評価式には「含水率影響係数」など木質構造特有のパラメータ要素も組み込まれており、より木質下地に最適化された評価式といえる。

### 3. 試験

#### 3.1 試験体

タイトフレームを図5に示す。後述のように図内のAの寸法が2%変形時荷重に大きく影響を与える。今回の試験

では $A=10$ [mm](ねじ留め作業上のほぼ最小限界値)から $A=45$ [mm](現行市販タイトフレームの既開口穴位置)までをパラメータとした。

木質下地(木質梁)および接合具(木質用ねじ)を図6に示す。木質下地(木質梁)の材料は中・大規模木造建築物を想定した集成材とした。また、接合具(木質用ねじ)には公称径8[mm]の高強度タイプを用いた。現在一般的に市中流通しているタイトフレーム用木質ねじは公称径6[mm]程度のもが多いが、中・大規模木造建築物へのH1750の適用を考えた場合、公称径6[mm]程度では強度不足であることがH27の試験結果より確認されている。一般にねじ径を大きくするとその強度は上昇するが、下穴なしで打ち込める径であることおよび製造コストの極端な上昇にならないことなどを鑑み、公称径を8[mm]とした。

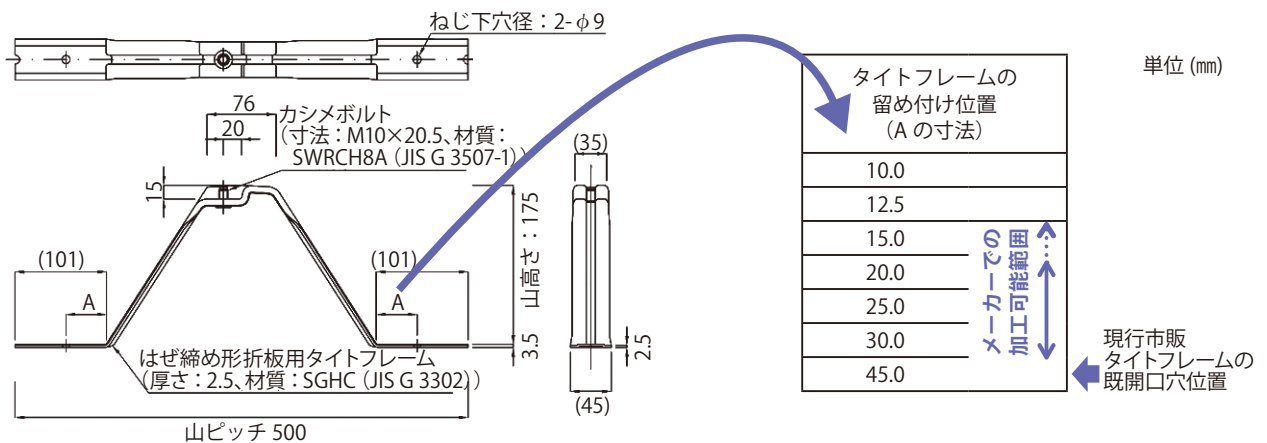


図5 タイトフレーム

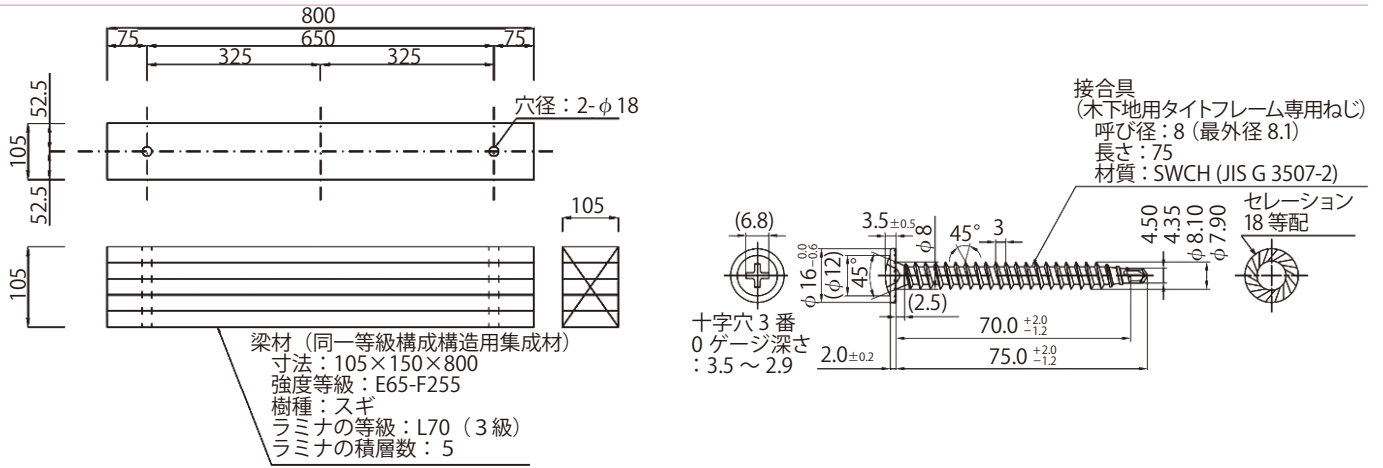


図6 木質下地(木質梁)および接合具(木質ねじ)

### 3.2 試験

引張試験の状況を図7に示す。

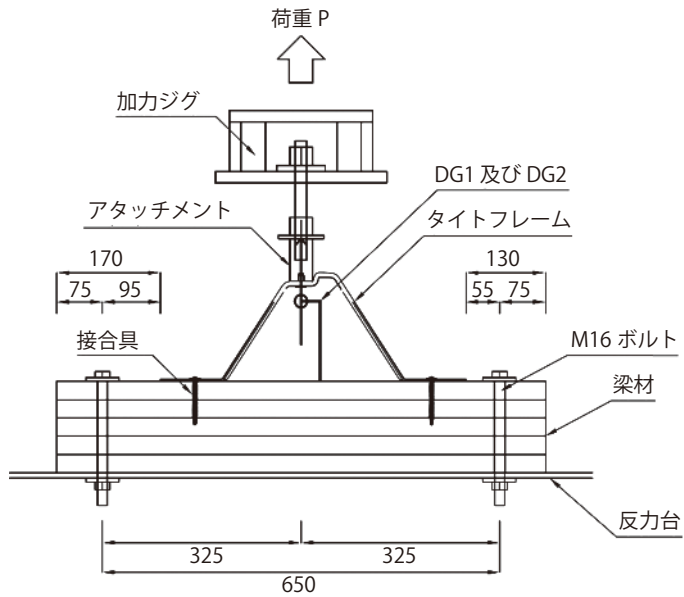
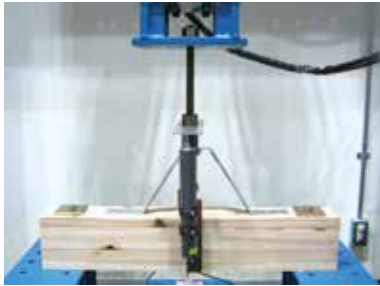


図7 引張試験状況

繰返し試験の状況を図8に示す。

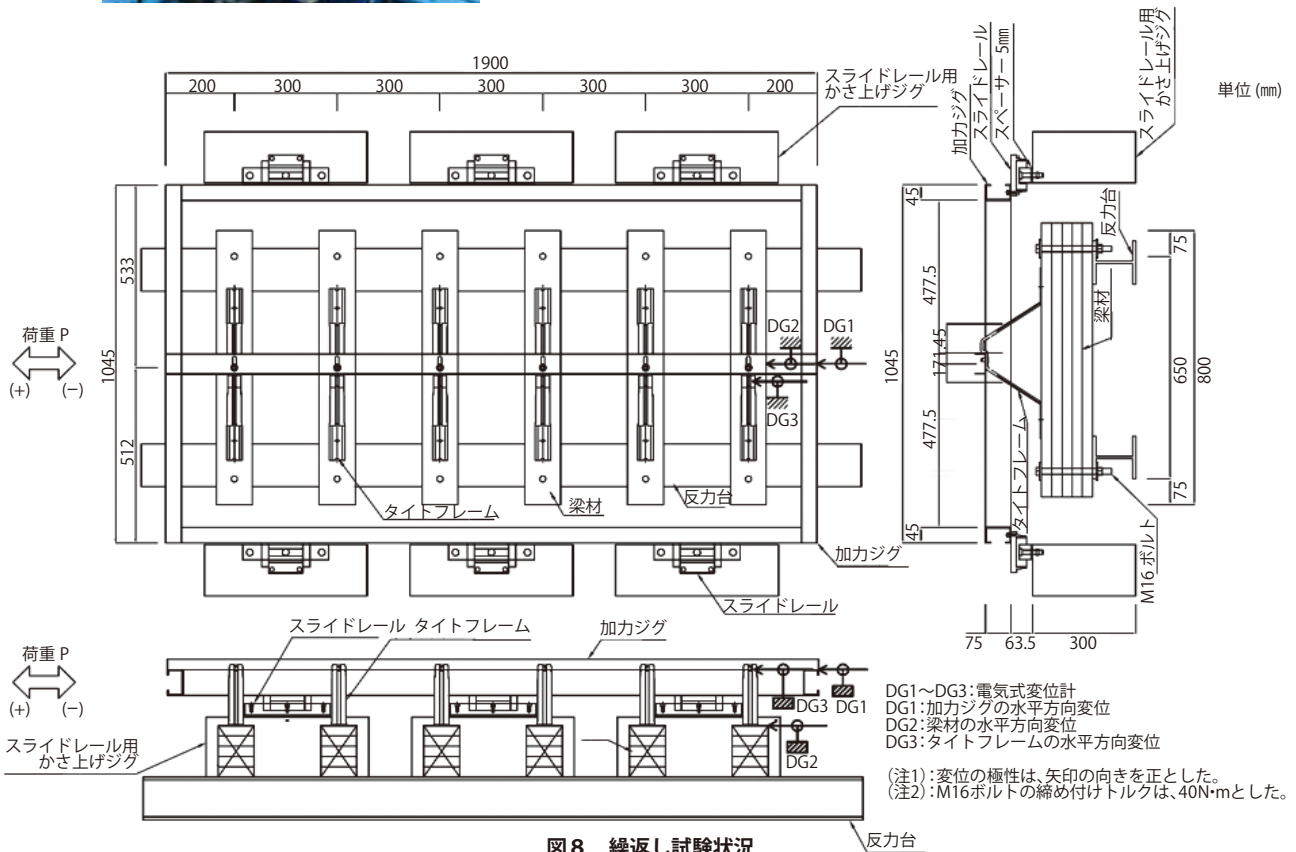


図8 繰返し試験状況

### 3.3 予備引張試験結果

前述タイトフレームのAの寸法をパラメータとした予備引張試験の結果を表1に示す。この予備試験の目的はAの寸法に対する挙動変化の概要把握であるため、ここでは試験体数は各1体としている。最大荷重に着目するとAの寸法とは無関係に数値にバラツキが見られるが、これは木質材料のバラツキである。

次に変形0[mm] → 3.2[mm] までの挙動をグラフ1に示す。ここで3.2[mm] = (160[mm] × 2%) の2%変形量である。前述木質材料バラツキの影響で若干の逆転はあるものの、Aの寸法が長くなるにともない、グラフの傾きが緩やかになる傾向が読み取れる。H1750の実運用上のタイトフレーム反力を考慮すると、A=20[mm]程度であれば十分な耐力(≒5.00[kN]程度)が期待できることをまずは確認した。

さらに、A=10[mm] および A=45[mm] の荷重 - 変形全体

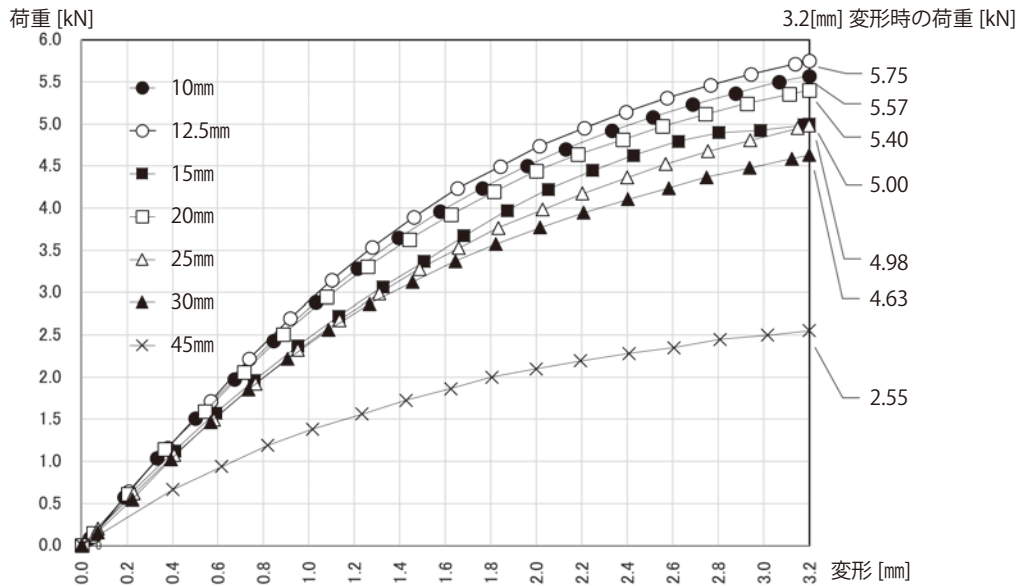
図の比較をグラフ2に示す。A=45[mm]では荷重≒3[kN]あたりから、荷重がほとんど上昇しないまま変形のみが進行するエリアが存在する。グラフ上に両矢印線で示す。このエリアにおける変形進行時のタイトフレームの変形挙動を図9に示す。①の引き上げ荷重に対し、A=45[mm]では②のようにタイトフレーム足元部分が回転変形を起こす。この部分の鋼材断面が全塑性モーメントに達すると理論上変形のみが進行する状態となる。ここで③のようにねじ固定位置を移動しAの寸法を小さくしてやると、Aの寸法にほぼ比例しながら回転モーメントも減少し、初期剛性上昇・回転変形抑制が可能となる。従来の鉄骨造に対する溶接固定においては、A≒0[mm]の位置まで溶接を施すためこのようなタイトフレーム足元の変形は問題とならないが、木質下地へのねじ留め固定においては、この変形に対して十分に留意する必要があることを確認した。

表1 予備引張試験結果

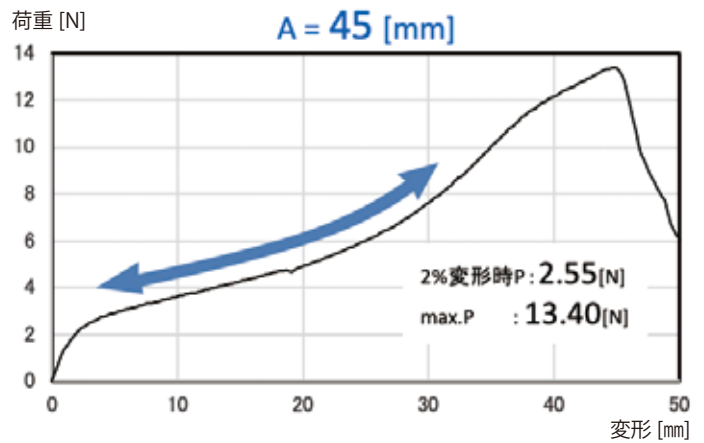
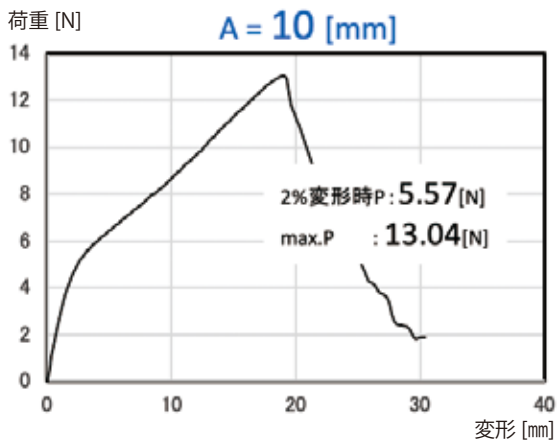
試験体 記号	最大荷重時		破壊性状	含水率 (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
	荷重 P (kN)	変位 δ (mm)			
H-1750-10 予	13.0	19.1	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	12.4	0.38
H-1750-12.5 予	10.9	15.8	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	11.3	0.38
H-1750-15 予	9.1	14.8	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	11.9	0.38
H-1750-20 予	13.3	26.2	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	12.0	0.39
H-1750-25 予	9.6	19.7	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	11.4	0.39
H-1750-30 予	14.1	32.7	タイトフレームの変形後、ねじ頭の破断	11.9	0.38
H-1750-45 予	13.4	44.6	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	12.4	0.41

A  
の  
寸  
法





グラフ1 変形0[mm]→3.2[mm]までの挙動 ※ 3.2mm = 2% 変形



グラフ2 A=10[mm] および A=45[mm] の荷重 - 変形全体図の比較

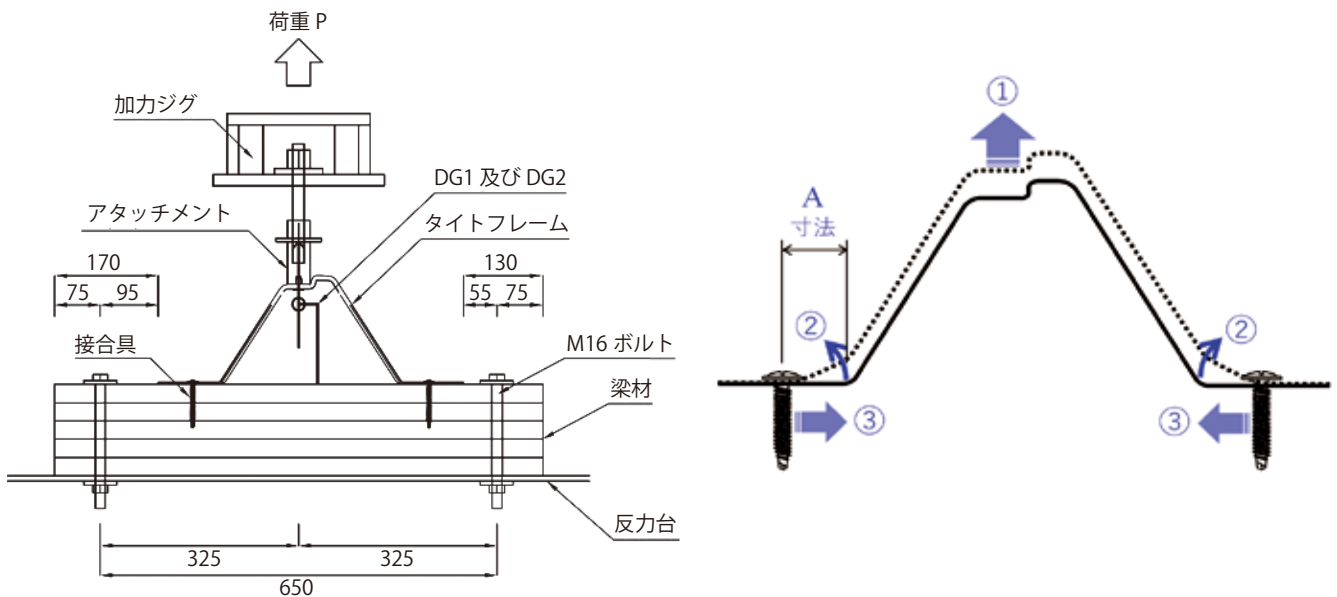


図9 両矢印線で示すエリアにおける変形進行時のタイトフレームの変形挙動

### 3.4 本試験結果と設計耐力

予備試験から得られた知見をベースに本試験（試験体 n 数：6 体 + 繰返し試験）を実施した。試験結果および評価結果を表 2 に示す。当初懸念された 10,000 回繰返しによる劣化可能性に関しては、繰返しの前後において引張荷重値はほぼ同等であり、繰返しによる影響は確認されなかった。これは A=15[mm] および A=45[mm] において同様の結果であり、A=15[mm] から A=45[mm] の範囲においては繰返しによる劣化は考慮不要であると考えられるため、A=20[mm] では繰返し後の試験を省略した。また、設計耐力： $P_{design}$  はすべて 2% 変形時荷重によって決まり、

2% 変形時荷重は A=15[mm] から A=45[mm] に向けて一律に低下するため、設計耐力も同様に低下する結果となった。ここで、A=45[mm] は 2% 変形時荷重の荷重が極端に低く、実運用には適さない。実運用上の A の寸法は  $\leq 20$ [mm] が望ましい。

以上より、本試験結果および評価方法による実運用上の設計耐力値は、下記となった。

- A = 15[mm] :  $P_{design} = 4.9$ [kN]
- A = 20[mm] :  $P_{design} = 4.6$ [kN]

表 2 本試験結果

	繰返し	最大荷重 [kN]	[参考] 最大荷重 / 3 [kN]	① 総プロ評価式(案) [kN]	② 2% 変形時荷重 [kN]	設計耐力 $P_{design} = \text{Min} \{ \text{①} \text{②} \}$ [kN]
A = 15mm	前	12.4	4.1	5.2	4.9	4.9
	後	13.1	4.4	5.2	4.8	
A = 20mm	前	12.2	4.1	5.6	4.6	4.6
	後			未実施		
A = 45mm	前	12.7	4.2	5.2	2.6	2.6
	後 ※振幅 ± 3mm	12.8	4.3	5.6	2.6 ※グラフから目測読取値	

### 4. まとめ

H27 年より、3 度に渡り「集成材（木造）梁 + タイトフレーム」の強度実験を行い、中・大規模木造模建建築（葺き長さ 50m を想定）における H1750 折板について、その強度面における適用可能性に一定の見通しが立った。また、当初懸念された折板熱伸縮による繰返し挙動に対するタイトフレーム接合部強度への影響は、（今回の一連の実験条件の下では）ほぼないことが確認された。

中・大規模木造建築物への H1750 折板の適用における実運用シミュレーション例として、

- 高さ 13m
- 地表面粗度区分Ⅲ

- 基準風速 38m/s.
- 梁スパン 4,000mm
- 一般部

の条件下では、タイトフレーム負担荷重は  $\approx 3.8$ [kN] 程度となる。今回の A=20[mm] における実験結果：タイトフレームの設計耐力 4.6[kN] はこれを十分に上まわる。

ただし、周辺部および隅角部においては、鉄骨造と同様に追加梁（ピッチ 1/2）が必要となる。

※ 1 <http://www.kinzoku-yane.or.jp/technical/pdf/2017-11.pdf>, 一般社団法人 日本金属屋根協会 技術委員会  
 ※ 2 日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）2018 年 9 月, 22265-22266, 喜々津仁密 国総研 建築研究部 他

表3 引張試験結果

試験体		最大荷重時		破壊性状	含水率 (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
記号	番号	荷重 $P$ (kN)	変位 $\delta$ (mm)			
H-1750-15	1	13.6	30.1	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	12.2	0.40
	2	13.7	30.0	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	11.9	0.42
	3	11.1	22.3	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	13.1	0.41
	4	11.6	21.7	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	13.0	0.40
	5	(16.4)	(38.0)	タイトフレームの変形後、ねじ頭の破断	(12.6)	(0.41)
	5'	12.6	25.0	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	13.2	0.40
	6	11.5	21.7	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	12.8	0.39
	平均	12.4	25.1	—	12.7	0.40
H-1750-20	1	12.5	28.7	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	12.8	0.41
	2	11.6	25.1	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	13.1	0.41
	3	11.4	25.5	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	12.7	0.40
	4	11.8	28.2	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	12.7	0.40
	5	13.2	29.4	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	13.5	0.40
	6	12.6	29.2	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	12.2	0.41
	平均	12.2	27.7	—	12.8	0.41

(注) 1. 試験体記号 H-1750-15-5 は、梁材のねじを留め付けた位置に節があったため参考値とした。また、( ) 内の値は平均値の算出から除いた。  
 2. 試験体記号 H-1750-15-5' は、試験体記号 H-1750-15-5 の代わりに追加した試験体である。

表4 繰返し後の引張試験結果

試験体		最大荷重時		破壊性状	含水率 (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
記号	番号	荷重 $P$ (kN)	変位 $\delta$ (mm)			
H-1750-15-A	1	14.2	28.3	タイトフレームの変形後、ねじ頭の破断	10.9	0.42
	2	11.6	22.6	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	12.2	0.41
	3	13.3	27.7	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	12.0	0.41
	4	11.5	22.6	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	12.3	0.41
	5	15.0	31.1	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	12.1	0.40
	6	13.1	27.1	タイトフレームの変形後、ねじの引抜け	12.6	0.40
	平均	13.1	26.6	—	12.0	0.41