集成材架構に適用する折板ぶき屋根の設計法（案）

令和元年６月

国土交通省国土技術政策総合研究所

建築研究部

はじめに

鉄骨造の架構に一般に採用される外装構法（折板等の鋼板製外装材）については、集成材架構にも採用するための標準設計法のニーズがある。このような背景を受けて、総プロ「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」では平成 29～30 年度の 2 か年にわたり、木質系構法の混用による建築物を対象に、集成材の大屋根架構に直接、鋼板製外装材を接合する際の設計法として、風荷重の作用下での引張耐力の評価法その他の技術資料を整備した。本検討の成果が、構造耐力上の観点で適切な接合部強度の確保、設計自由度の観点で大空間（大規模な屋根）の外装バリエーションの拡大、合理化の観点で施工期間の短縮に資することをねらう。

平成 29 年度には、木造の大屋根架構に折板ぶき構法を採用した事例の収集、採用に当たっての課題抽出を行った。そして、接合部強度の評価に課題があることを踏まえ、タイトフレーム接合部を対象にした引張試験法と許容耐力の評価法について検討した。

平成 30 年度には、上記の試験・評価法（案）を公表し、それに従って実施された試験・評価結果等を収集するとともに、接合部の実況に関する調査や関連するＦＥＭ解析を行った。そして、2 年間の調査研究の成果を以下の「集成材架構に適用する折板ぶき屋根の設計法(案)」としてとりまとめた。

なお、本設計法（案）は平成 30 年度末時点にとりまとめた内容であり、今度の検討成果等に基づき、加筆・修正する場合がある。

試験・評価法の検討に当たっては、平成 29 年度に構造分科会・折板接合部検討ＷＧ（主査：（公財）日本住宅・木材技術センター参与　岡田恒氏）を設置して議論を行った。また、試験体の事前検討にあたり、日本集成材工業協同組合、（一社）日本金属屋根協会、（一社）日本鋼構造協会にご協力頂いた。関係各位に御礼申し上げます。

（参考）

関連学会等での公表論文等：

1. 喜々津仁密，脇山善夫，中川貴文，河野博紀，上山耕平：集成材と折板屋根構成材とのねじ接合部の引張耐力の評価法に関する研究　その１　検討の概要と試験・評価方法の提案，日本建築学会学術講演梗概集(構造Ｉ)，pp. 529-530，2018 年
2. 河野博紀，上山耕平，喜々津仁密，脇山善夫，中川貴文：集成材と折板屋根構成材とのねじ接合部の引張耐力の評価法に関する研究　その 2　試験・評価結果，日本建築学会学術講演梗概集(構造Ｉ)，pp. 531-532，2018 年
3. 喜々津仁密:集成材と折板屋根構成材とのねじ接合部に関する FEM 解析の試み, 日本風工学会誌, 44(2), pp. 167-168，2019 年

更新履歴：

令和元年 6 月 26 日　ホームページ公表

令和７年１月６日　 参考資料 2 について、一部修正

集成材架構に適用する折板ぶき屋根の設計法（案）

目 次

1．適用の範囲　2
2．構造方法　4
2.1　構造方法の概要　4
2.2　タイトフレームと木造下地材との接合　4
2.3　下地構法　6
3．構造計算　7
3.1　構造計算の概要　7
3.2　接合部の許容耐力　8
4．タイトフレームのねじ留め接合部を対象にした試験・評価方法　8
4.1　引張試験方法　8
4.2　許容引張耐力の評価方法　10
参考資料 1　屋根の納まりに関するディテール　14
参考資料 2　温度伸縮による繰り返し変位を考慮した試験・評価方法　18
参考資料 3　接合部に作用する風荷重と耐力の計算例　24

1. 適用の範囲

本設計法（案）は、大屋根架構を構成する集成材による梁に屋根ふき材として鋼板製の折板を採用するための構造設計に適用する。

【解説】

（１）本設計法（案）の概要

本設計法（案）は、木質系構法の混用による建築物のうち、集成材による大屋根架構を有するものに適用するものである。このような大屋根架構に標準的な構法としては一般に、野地板を設けたうえで金属板ぶきや粘土瓦ぶき等の構法が採用されているが、野地板を設けない折板ぶき構法の採用に対するニーズも高い。しかし、折板ぶき構法は鉄骨造の大屋根架構に広く採用される一方で、木質系の大屋根架構に採用するための標準的な設計法は整備されていないのが現状である(図 1.1)。

そこで、ここでは集成材から構成される大屋根架構にも折板ぶき構法を採用するための設計法（案）を提示する。具体的には、折板ぶき構法の標準的な構造方法や構造計算の考え方をとりまとめるとともに、載荷試験を通して、集成材とタイトフレームとの間の接合部耐力に関する技術資料を整備する。

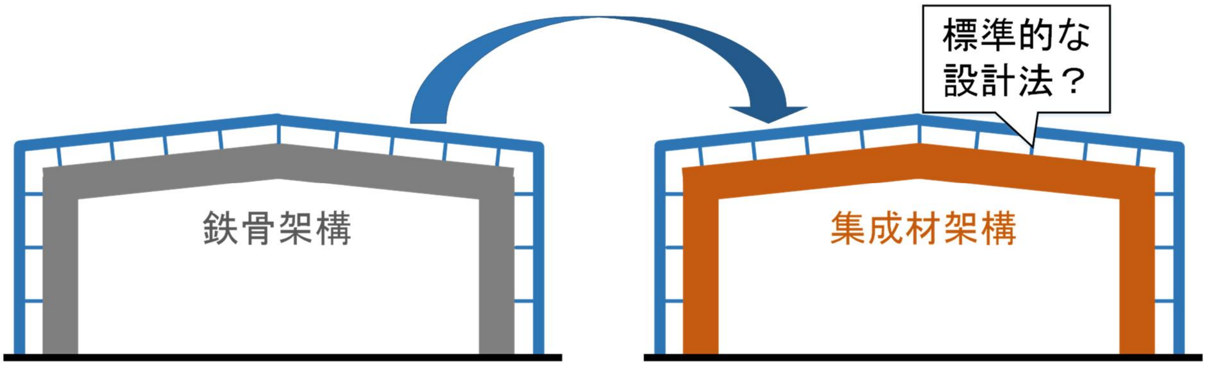


図 1.1　木造の大屋根架構への外装構法の採用イメージ

（２）標準仕様書等における折板ぶき構法の現状

公共建築木造工事標準仕様書（官庁営繕部）[1]や業界標準である鋼板製屋根構法標準 SSR2007[2]では、木造屋根に折板ぶき構法を採用できるのは小規模な建築物に限定している。そのうえで、採用する場合には母屋に鋼板を留め付け、その上でタイトフレームを溶接接合することとされている。また、木造計画・設計基準及び同資料（官庁営繕部）[3]では、屋根の主な形状に採用できる屋根ぶき構法として、折板ぶき構法は掲載されていない。したがって、木造の大屋根架構に折板ぶき構法を採用するための標準的な設計法は未整備なのが現状である。

（３）本設計法（案）による普及のイメージ

本設計法（案）の成果は、集成材架構を有する木造建築物の技術資料類のほか、関係業界団体の設計マニュアル類等に反映されることを想定している。

これらの資料やマニュアル類による本設計法（案）の普及を通して、適切な接合部強度の確保のほか、設計自由度の観点では大空間の外装バリエーションの拡大が期待でき、大規模な木造建築物の普及に寄与するものと考える。また、図 1.2 に示すように、折板ぶきの場合には他の屋根ふき構法の場合と比較して、

下地材を設置するための工程が少ないため、合理化の観点で施工期間の短縮等の効果も期待できる。

なお、日本集成材工業協同組合に加盟する20社対象の調査※) では、平成28年度に構造用大断面集成材を使用した建築物について、教育施設（学校・図書館等）73棟、体育施設（屋内運動場等）12棟、展示施設5棟、集会施設20棟、工場等9棟の建設実績があった。例えば、今後これらの用途施設が設計される際に、外装材の構法選択や耐力検討に本検討の成果を活用することができる。

※）http://www.syuseizai.com/jlwa/wp-content/uploads/2017/06/290627%E5%A4%A7%E6%96%AD%E9%9D%A2%E5%BB%BA%E7%AF%89%E7%89%A9%E8%AA%BF%E3%81%B9-1.pdf

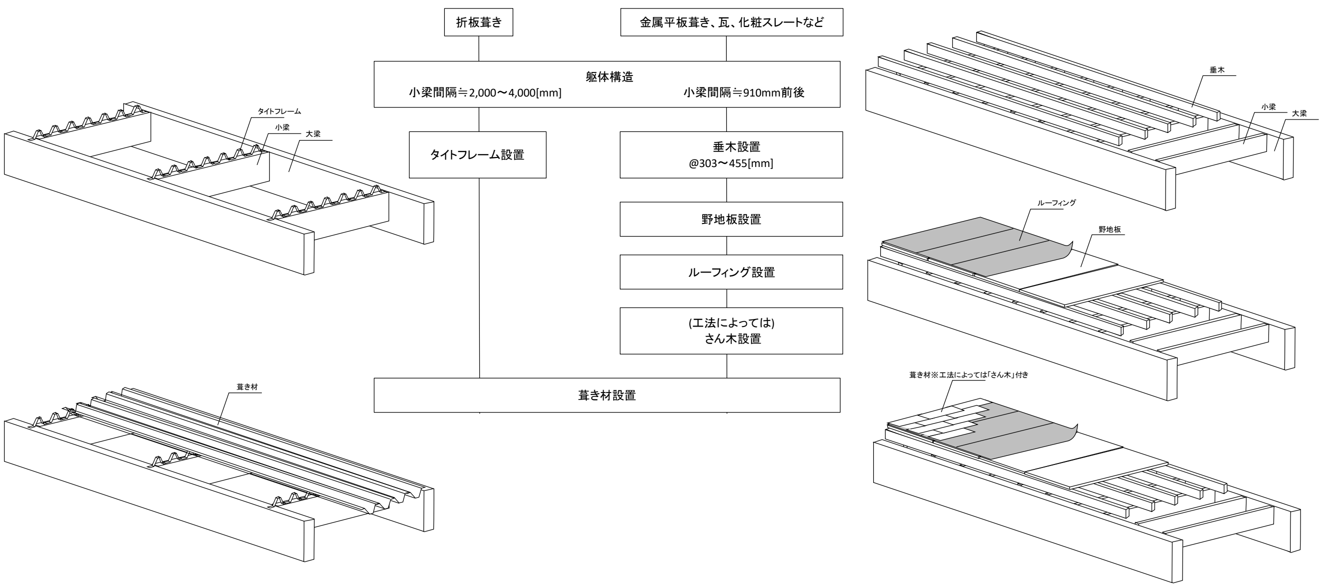


図1.2　折板ぶきとその他の屋根ぶき構法との施工の違い

（4）その他の外装構法への適用

本総プロでは、外装構法の設計法の開発に当たって折板ぶき屋根を対象にしたが、ここで検討した接合部の試験・評価方法の考え方は、その他の外装構法での接合部（壁パネルと胴縁との間のねじ留め接合部等）の設計や耐風性能の検討でも参考にすることができる。

2. 構造方法

2.1 構造方法の概要

> 折板ぶき屋根の構造方法は、建築基準法施行令（以下「令」）第 39 条の規定及び関連する規準類によるほか、タイトフレームと木造下地材との接合については 2.2 節、下地構法については 2.3 節による。

【解説】

屋根ふき材の要求性能や構造方法については、令第 39 条及び同条第 2 項に基づく昭和 46 年建設省告示第 109 号に規定されているが、折板屋根の詳細については定められていない。したがって、その詳細については関連する規準類として、例えば建築工事標準仕様書・同解説 JASS 12 屋根工事（(一社)日本建築学会）[4]、建築工事監理指針・下巻（(一社)公共建築協会）[5]、鋼板製屋根構法標準 SSR2007（(一社)日本金属屋根協会他。以下「SSR2007」）[2]等を参照することが望ましい。

これらの規準類では折板ぶき屋根の構造方法として、折板や接合用部品等に使用する材料、折板相互の接合等の考え方が定められており、鉄骨造下地の場合だけでなく、木造下地の場合にも参考になるものである。

本設計法（案）では、タイトフレームと木造下地材との接合について上記の規準類に示す方法以外の方法も採用できるよう、2.2 節に接合方法の考え方を新たに提示した。また、本章で扱っていない屋根端部等の構造方法については、参考資料 1 のディテールを参考にされたい。

2.2 タイトフレームと木造下地材との接合

> （1）タイトフレームは、梁等の下地材に確実に接合する。
>
> （2）タイトフレームと下地材との接合は、原則として溶接接合又はねじ留め接合とする。ここで、ねじ留め接合とする場合には、タイトフレームの下底での折れ曲がり位置からねじ留め位置の中心までの距離は 20mm以下とする。
>
> （3）接合部に作用する力が、当該部の許容耐力を超えないことが確かめられた接合方法によるものとする。ここで、ねじ留め接合とする場合には、第 4 章に示す方法にしたがって当該部の許容引張耐力を算出することができる。

【解説】

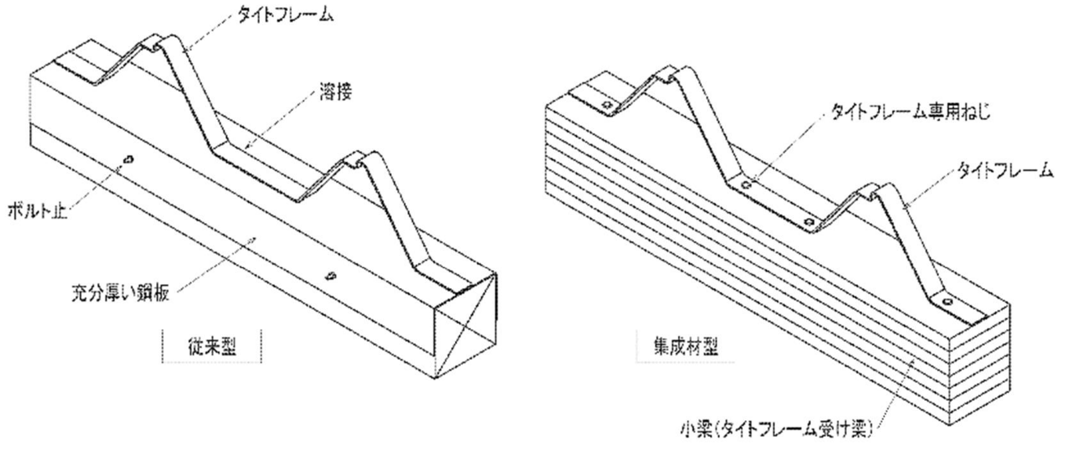
（1）タイトフレームの接合方法

タイトフレームは、折板に作用する力を躯体に確実に伝達できるように、梁等の下地材と接合しなければならない。

SSR2007 では、木造下地材との接合方法として、必要な強度・剛性を有した溶接可能な鋼材を木材の下地材にボルト留めした上で、当該鋼材にタイトフレームを溶接接合することを原則としている（図 2.1(a)）。

本設計法（案）では上記の溶接接合によるほか、下地の梁として集成材を使用し、かつ、接合部に作用する力が許容耐力を超えないことを確かめられた接合方法による場合には、タイトフレームを直接下地材にねじ留めすることもできることとした（図 2.1(b)）。一般に接合部に想定される耐力は、使用するタイトフレームの形状、ねじの形状（径、長さ等）、構造用集成材の種類によって異なるため、第 4 章では、接合部の実況を反映した試験体による引張試験を実施し、その結果から許容引張耐力を適切に評価する方法

を提示している。



(a) 溶接接合　　　　　(b)ねじ留め接合（新たに対象）

図 2.1　タイトフレームと木造下地材との接合

（２）ねじ留め接合での留意点

タイトフレームの下底での折れ曲がり位置とねじ留め位置との間の距離(図 2.2)が比較的大きくなると、下底の浮き上がり変位が大きくなる傾向が、図 2.3 に示す既往の引張試験で得られている。このように浮き上がり変位が大きくなると、構造耐力上の支障が生ずるだけでなく、屋根に求められる防水性の確保も難しくなることが想定される。そこで、試験で得られた荷重－変位関係の結果や製品製作の実態等を踏まえ、当該距離を 20mm以下にすることを原則とした。なお、溶接接合の場合には折れ曲がり部分の周りを隅肉溶接することとされているため、適切な施工がされていれば、上記のような浮き上がりが生ずるおそれはないものと考えられる。

また、折板ぶき屋根の流れ寸法が比較的大きいため、タイトフレームと木造下地材との接合部において、供用期間中の温度伸縮による繰り返し変位の影響が懸念される場合には、参考資料 2 に示す水平繰り返し試験・評価方法により、繰り返し変位の影響の程度を確認することができる。

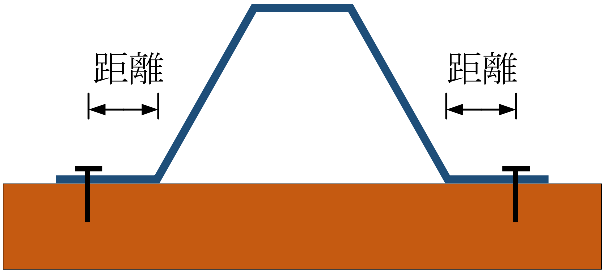
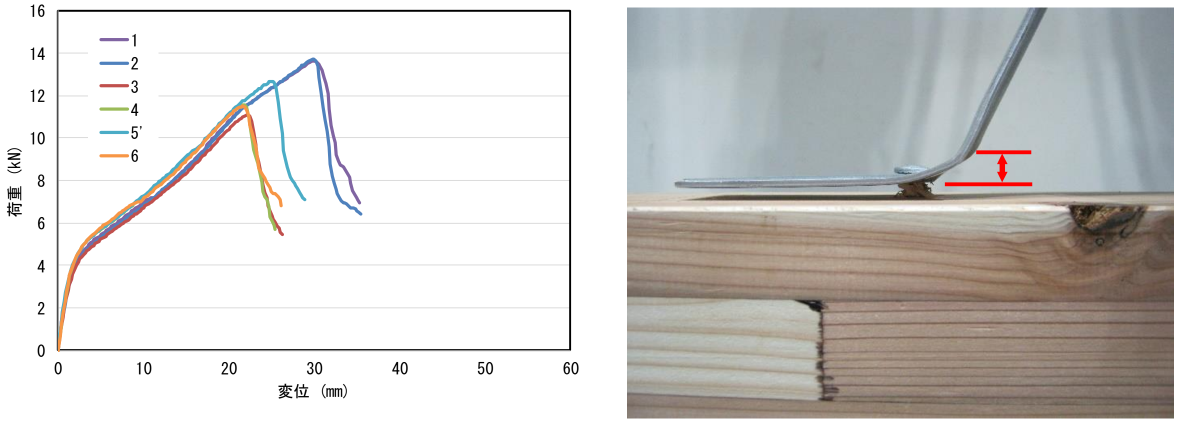
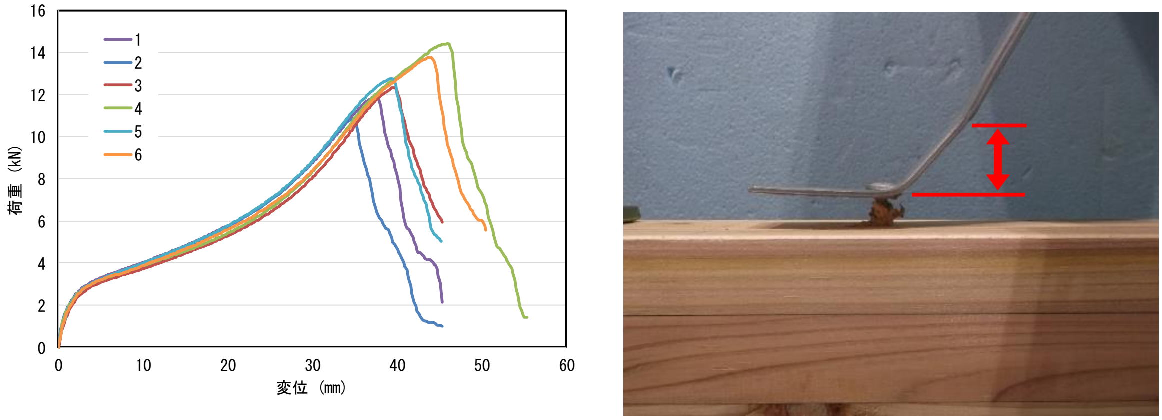


図 2.2　タイトフレームの下底でのねじ留め位置



(a) 下底の折れ曲がり位置からねじ留め位置までの距離が 15mmの場合



(b) 下底の折れ曲がり位置からねじ留め位置までの距離が 45mmの場合

図 2.3　タイトフレームのねじ留め位置を考慮した引張り試験結果の例

2.3　下地構法

（1）タイトフレームを接合する梁（以下「タイトフレーム受け梁」）は、適切な強度、剛性及び耐久性を有するものとする。

（2）屋根の周縁部ではタイトフレーム受け梁を追加する等して、折板ぶきの耐風性の確保に配慮する。

【解説】

（1）タイトフレーム受け梁の役割と品質

屋根架構の桁行方向に設け、タイトフレームを接合する梁（以下「タイトフレーム受け梁」）の役割は、折板材の負担する風荷重や積雪荷重等を躯体構造へ適切に伝達することである。したがって、タイトフレーム受け梁の設計に当たっては、作用する荷重・外力に十分に耐えられるだけの強度及び剛性を有すること、折板材裏面の湿気による腐食の防止のために耐久性のある材料を選択すること等の配慮が必要となる。

（2）折板ぶきの耐風性の確保に資する配慮

一般に、強風による折板ぶき屋根の被害としては、けらば部や軒先部などの周縁部から生じて、広範囲に折板材がはく離する事例がよく見られる。したがって、設計者、木工事業者、屋根専門工事業者の間での協議を通じて、これらの部位での梁間隔の検討を適切に行うことが重要である。例えば図 2.4 に示すように、周縁部でのタイトフレーム受け梁の間隔を一般部での同間隔の 1/2 倍とする等の設計上の配慮を行

うことが望ましい。

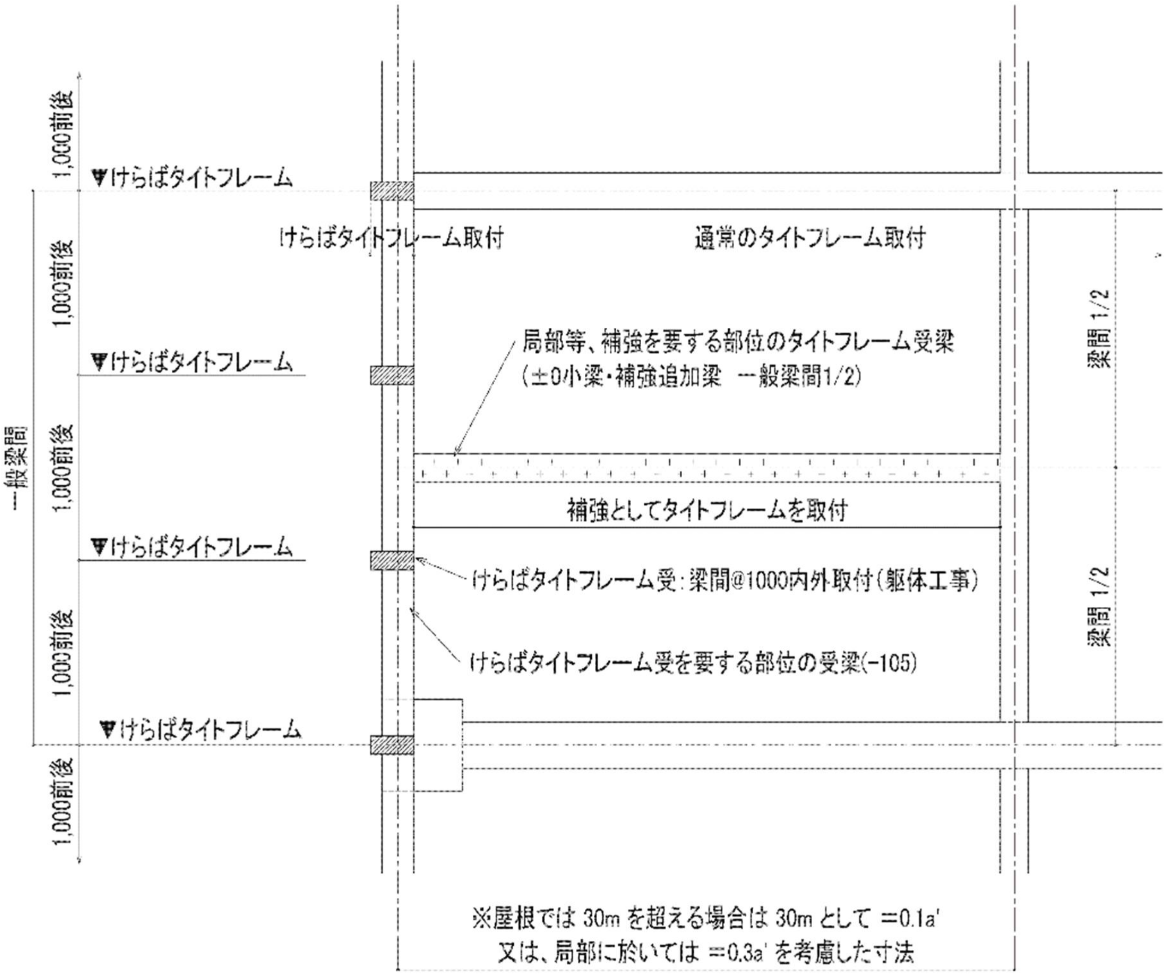


図 2.4　けらば部でのタイトフレーム受け梁の例

3. 構造計算

3.1　構造計算の概要

折板ぶき屋根の構造計算は、令第 82 条の 4 の規定及び関連する規準類によるほか、接合部の許容耐力については 3.2 節による。

【解説】

（1）荷重・外力の設定

屋根ふき材の構造計算については、令第 82 条の 4 及び同条に基づく平成 12 年建設省告示第 1458 号に規定されており、風荷重に対する検証が定められている。一方、SSR2007 では風荷重だけでなく、屋根上の積載荷重や積雪荷重の実況も考慮した荷重の組合せに対して検証することを求めており、これにしたがえば各種荷重・外力に対して余裕のある設計ができる。なお、折板自体は地震時の面内せん断力に抵抗することが難しく、梁等の下地材にこの力を負担させていることと、折板自体が比較的軽量で、面外方向の慣性力に対しては風荷重等に対する検証をしていれば十分な安全性を有するものと考えられることから、一般には地震荷重に対する検証は不要である。

（２）接合部の許容耐力の設定

折板と構成部品との接合部、構成部品同士の接合部の許容耐力については、同告示では算出方法の詳細を規定していない。したがって、関連する基規準として SSR2007 等を参照して、適切に算出する必要があり、その考え方を 3.2 節に示した。また、参考資料 3 には接合部に作用する風荷重と耐力の計算例を示した。

3.2　接合部の許容耐力

接合部の許容耐力は、その組み合わせに応じた載荷試験の結果に基づいて算出する。ここで、タイトフレームと木造下地材とのねじ留め接合部については、第 4 章に示す方法にしたがって当該部の許容引張耐力を算出することができる。

【解説】

折板ぶき屋根全体の構造安全性を確保するためには、折板自身の曲げ耐力だけでなく、各々の接合部での耐力も適切に評価して、設計荷重に対する当該各部の安全性を確かめることが必要である。この観点で SSR2007 では、構成部品等の組み合わせを反映した載荷試験に基づいて、各接合部の許容耐力を得ることを標準としており、ここでもその考え方に準じている。

また、タイトフレームと木造下地材との間をねじ留め接合する場合について、既往の規準類では標準的な耐力の評価方法が提供されていないことから、本設計法（案）では載荷試験の結果に基づく評価方法を提案し、第 4 章に示した。したがって、このようなねじ留め接合の場合には、第 4 章に示す方法にしたがって許容引張耐力を算出することが可能である。

4. タイトフレームのねじ留め接合部を対象にした試験・評価方法

4.1　引張試験方法

（１）　適用の範囲

以下に定める試験体、試験方法及び記録項目は、タイトフレームと集成材による梁とのねじ留め接合部を対象とした引張試験に適用する。

（２）　試験体

試験体は、実際の施工方法によってタイトフレームが集成材による梁にねじ留めされたものとし、タイトフレーム、集成材及びねじはそれぞれ以下による。また、試験体数は 6 体以上とする。

ｉ）タイトフレーム

原則として実況に応じたタイトフレームの品質及び形状寸法とし、上底部１か所、下底部２か所を含む１山の部分を対象にする。下底部２か所をそれぞれ集成材にねじ留めする。

ⅱ）集成材

原則として実況に応じた集成材の品質及び形状寸法とし、気温 20±3℃、湿度 65±5%の恒温恒湿条件で調湿したものを用いることを標準とする。ただし、試験場の制約等のために上記の条件と異なる場合には、その調湿条件を記録する。いずれの場合も、試験に供する直前の含水率又は密度を測定し記録する。

ⅲ）ねじ

原則として実況に応じたねじの品質及び形状寸法とする。

（3） 試験方法

引張試験は、タイトフレームの上底部における固定金具が取り付く位置に載荷を行う。最大荷重が得られるまで荷重を段階的に加え、各段階ごとの荷重に対応した変形量をダイヤルゲージ又はこれに相当する電気式変位計等により測定する。

（4） 記録項目

試験時の記録項目は、以下の通りとする。

ｉ）最大荷重に達するまでの各測定段階における荷重と変形量との対応関係

ⅱ）試験中に試験体に生じた変形又は破壊の状況

【解説】

（1）試験方法の概要

本試験方法の構成は、SSR2007 に定める「接合部を対象にした試験」のうち、タイトフレーム及び固定金具の方法に準じた。ここでは、引張方向の載荷方法のみ示しており、圧縮方向の載荷による検討が必要な場合には、SSR2007 の方法による。また、試験体数は木質構造設計規準・同解説－許容応力度・許容耐力設計法－(日本建築学会・以下「木質構造設計規準」)[6)]の定めにならって、6 体以上を原則としている。

（2）試験体

試験体は、実際の施工方法によってねじ留めされたものを採用することとしているので、先孔施工の要否、タイトフレームのねじ留め位置など、実状に合わせて製作する必要がある。また、試験体を構成するタイトフレーム、集成材、ねじはそれらの実況を反映したものを用いることを原則としており、集成材の調湿条件については、木質構造設計規準を参考にして定めた。

１山分のタイトフレームの形状は、Ｖの字ではなくハの字として、下底部２か所を集成材にねじ留めすることを基本としている。なお、ここでは屋根の一般部に取り付けるタイトフレームを想定しているため、ウェブの角度が非対称となる端部用タイトフレームを試験の対象とする場合には、本試験方法を参考にして載荷方法を別途検討されたい。

（3）試験の実施例

以下に、(一財) 建材試験センターにて実施した試験例を示す。加力の方法としては、試験体の梁材を反力台に固定した後、タイトフレームの山部の先端に加力治具を介して、鉛直上向きの引張り荷重を連続的に加えた。加力速度は、9mm/min を目安とした。変位の測定は、梁材と加力点の相対上下方向変位について行った。試験環境は、試験方法の定めにしたがって気温 20±3℃、湿度 65±5％とした。試験に使用した加力装置と測定装置を表 4.1、試験方法を図 4.1、試験実施状況を図 4.2 にそれぞれ示す。

また、2.2 節の定めに基づき、下底での折れ曲がり位置からねじ留め位置の中心までの距離として、15㎜と 20㎜ の 2 通りの試験体を対象にした。

表 4.1　加力装置と測定装置の概要

種類	名称	仕様
加力装置	100kN 自動コントロール式加力試験機	ロードセル：±50kN
測定装置	電気式変位計	容量：100mm、感度：100×10－6/mm、 非直線性：0.1%RO

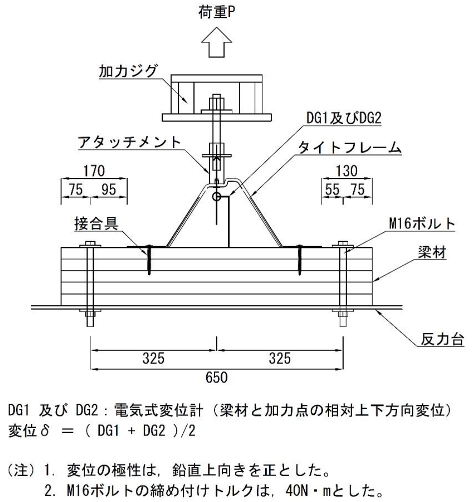


図 4.1　試験方法

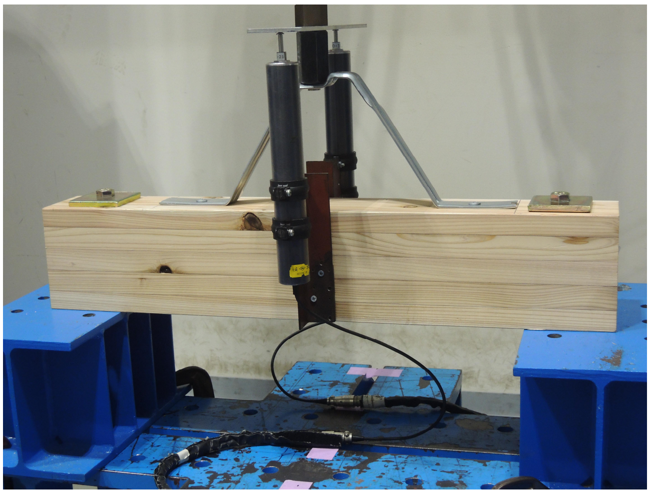
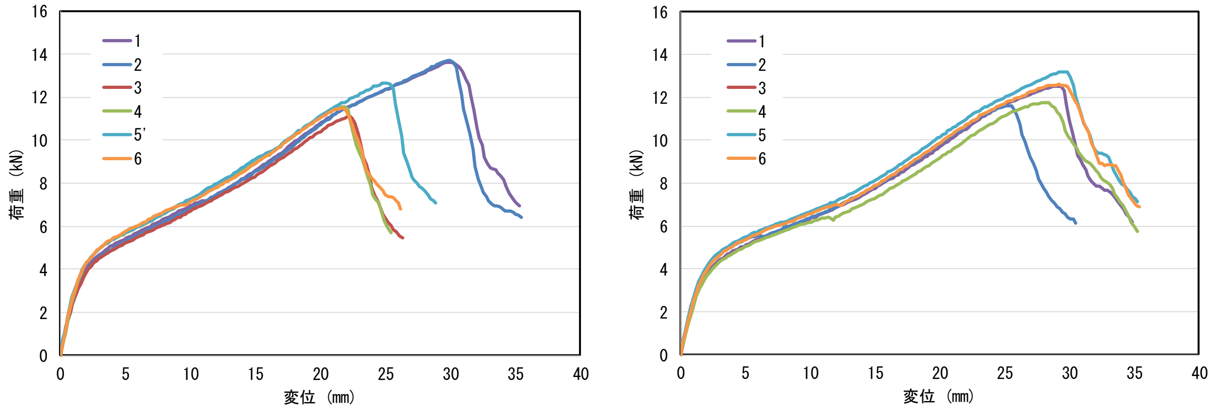


図 4.2　引張試験の実施状況

図 4.3 に試験で得た荷重－変位関係を示す。いずれのねじ留め位置の場合も、破壊性状としてはタイトフレームの変形後のねじの引き抜けであった。



(a)ねじ留め位置が 15mm の場合　　(b)ねじ留め位置が 20mm の場合

図 4.3　引張試験での荷重－変位関係

4.2　許容引張耐力の評価方法

（1）　適用の範囲

以下に定める評価方法は、タイトフレームと集成材による梁とのねじ留め接合部を対象とした引張試験結果の評価に適用する。

（２） 評価方法

対象とするタイトフレーム１山当たりのねじ留め接合部の許容引張耐力は、(4.1)式によって得るものとする。

$$P_a = min\left[P_d,\ \frac{1}{3}K_d\,K_m\,P_w\right] \qquad (4.1)$$

ここで、P_a：タイトフレーム１山当たりのねじ接合部の許容引張耐力(N)、P_d：タイトフレームの山高寸法の 2%に相当する変位が生じたときの荷重の平均値(N)、K_d：荷重継続期間影響係数)、K_m：含水率影響係数、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(4.2)式によって得る。

$$P_w = \bar{x} - k \cdot s \qquad (4.2)$$

ここで、$\bar{x}$：引張試験で得た最大荷重の平均値（N)、s：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

【解説】

（１）評価方法の概要

ここでは、4.1 節に示した引張試験の結果に基づき、ねじ留め接合部の許容引張耐力を評価する方法を提案する。本評価方法の構成は、木質構造設計規準に定める「接合部の標準試験方法」のうち、特定値の算出方法に準じた。

許容引張耐力は(4.1)式に示すとおり、タイトフレームの山高寸法の 2%に相当する変位に対応する荷重と基準終局引抜耐力に各種係数を乗じて得た荷重のうち、小さいほうの数値としている。ここで、2%変位は、JIS A6514－1995（金属製折板屋根構成材）から引用した。また、各種係数としては、木質構造設計規準に定める以下の数値を参照することができる。なお、環境区分Ⅱは、屋外に面する部分に使用される下地材が断続的に湿潤状態になるおそれのある環境とされており、タイトフレームの使用部位が概ねそれに該当する。

表 4.2 各種係数

係数	名称	数値
K_d	荷重継続期間影響係数（短期）	2.0
K_m	環境区分Ⅱ「断続的に湿潤状態となる環境」での含水率影響係数	0.80
k	試験体数に依存する定数（試験体数 6 体）	2.336

（２）評価の実施例

前節の試験結果を用いた評価の例を表 4.3 に示す。

表 4.3　前節の試験結果での評価の例

試験体				荷重値							密度	
ねじ径	ねじ長さ	ねじ留め位置	番号	最大荷重	平均値	標本標準偏差	Pw	1/3KdKmPw	2%変位時荷重	平均値Pd		平均
mm	mm			kN					kN		g/cm³	
8	75	下底折れ曲がり位置から15mm	1	13.60	12.4	1.12	9.73	5.19	4.90	4.99	0.40	0.40
			2	13.70					4.77		0.42	
			3	11.10					4.70		0.41	
			4	11.60					5.17		0.40	
			5	12.60					5.20		0.40	
			6	11.50					5.20		0.39	
8	75	下底折れ曲がり位置から20mm	1	12.50	12.2	0.69	10.56	5.63	4.60	4.73	0.41	0.41
			2	11.60					4.90		0.41	
			3	11.40					4.50		0.40	
			4	11.80					4.51		0.40	
			5	13.20					4.98		0.40	
			6	12.60					4.90		0.41	

留め付け間隔 15mm、20mm の場合について、それぞれ(4.1)式に基づき、許容引張耐力P_aを算定すると以下のようになる。いずれの場合も、タイトフレームの山高の 2%変位時での荷重値で許容値が決まっている。また、留め付け間隔 20mm のほうが、やや許容値が小さくなる結果となった。

・留め付け間隔 15mm の場合

$$P_a = min\left[P_d, \frac{1}{3} K_d\, K_m\, P_w\right] = min[4.99, 5.19] = 4.99 \text{（kN）} \qquad (4.3)$$

・留め付け間隔 20mm の場合

$$P_a = min\left[P_d, \frac{1}{3} K_d\, K_m\, P_w\right] = min[4.73, 5.63] = 4.73 \text{（kN）} \qquad (4.4)$$

（3）木質構造設計規準の耐力算定式との比較

木質構造設計規準の木ねじ接合に関する規定では、単位木ねじ接合部について、以下の基準終局引抜耐力P_wの算定式（以下、AIJ 算定式）が示されている。本研究での試験結果を AIJ 算定式での結果と比較した。

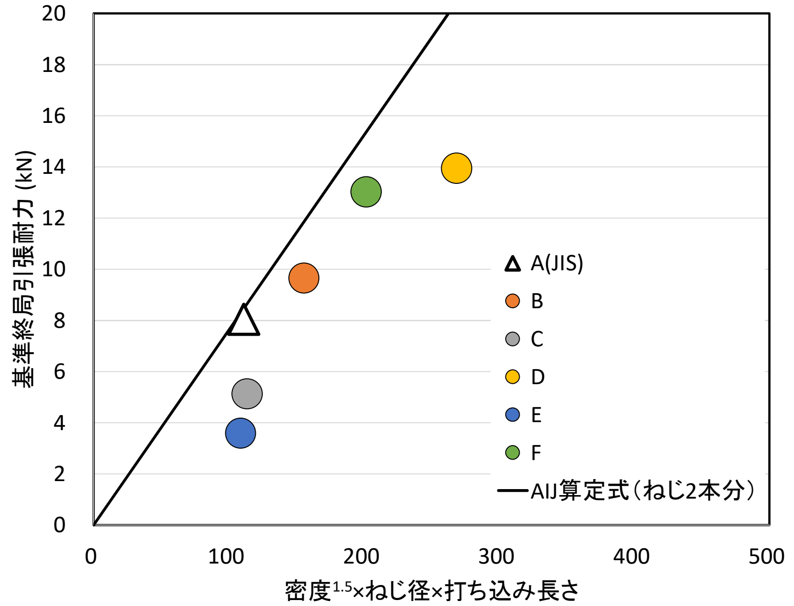
$$P_w = 38.1\, r_0^{1.5} \cdot d \cdot l_r \qquad (4.5)$$

ここで、r_0：木材の基準比重、d ：木ねじの呼び径(mm)、l_r ：木ねじの有効打ち込み長さ(mm)である。

図 4.4 に、基準終局引抜耐力について、本設計法(案)による評価結果と上記の AIJ 算定式の結果との比較を示す[7)]。試験結果は、AIJ 算定式の結果の 2 倍（ねじ 2 本分）よりも小さい結果になっていることがわかる。この理由として、タイトフレームが非対称形で片側のねじに力が偏ること、引張力が斜めに作用することが考えられる。「ねじの引き抜け」以外の破壊モードが支配的な場合（E・F）には、AIJ 算定式の結果との相違が比較的大きい。

過去の集成材屋根架構へのタイトフレームのねじ留め施工の事例をヒアリングすると、当該接合部での

耐力をAIJ算定式によって得た例もあった。しかし、以上の結果から、AIJ算定式によると危険側の可能性があるため、接合部の実況を反映した試験・評価を行うことを原則とすることが望ましい。



試験体記号	接合具（ねじ）	呼び径(mm)	長さ(mm)	梁材
A	十字穴付き木ねじ（JIS B1112）	5.8	75	同一等級構成構造用集成材（JAS）強度区分 E65-F255, 樹種スギ, 機械区分 L70(3 級)のみで構成
B	木下地用タイトフレーム専用ねじ	8	75	
C	木下地用タイトフレーム専用ねじ	8	55	
D	木下地用タイトフレーム専用ねじ	8	130	
E	木下地用タイトフレーム専用ねじ	6	70	
F	木下地用タイトフレーム専用ねじ	8	75	同一等級構成構造用集成材（JAS）強度区分 E95-F315, 樹種カラマツ, 機械区分 L100(3 級)のみで構成

図 4.4　基準終局引抜耐力の比較[7)]

参考文献

1) 国土交通省大臣官房　官庁営繕部：公共建築木造工事標準仕様書　平成 28 年版, 2016
2) 日本金属屋根協会・日本鋼構造協会：鋼板製屋根構法標準 SSR2007, 2008
3) 国土交通省大臣官房　官庁営繕部：木造計画・設計基準及び同資料, 2011
4) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS12　屋根工事, 2005
5) 公共建築協会：建築工事監理指針　平成 28 年版（下巻）, 2016
6) 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－, 2006
7) 河野ほか：集成材と折板屋根構成材とのねじ接合部の引張耐力の評価法に関する研究　その 2　試験・評価結果, 日本建築学会学術講演梗概集・構造Ⅰ, pp.531-532, 2018

参考資料１　屋根の納まりに関するディテール

A1.1　軒先の納め

（１）軒出の寸法は、折板の山高の５倍程度以下にすることが望ましい。
（２）軒どい及び竪どいの寸法は、原則として雨量計算の結果によるものとする。
（３）折板の先端部には、水切れを良くするための尾垂れを設ける。
（４）軒の外部に露出する部分には、原則として裏張り材を張らない。
（５）軒先の面戸には、必要に応じて防水上有効な措置を施す。
（６）前項までの他、建設地の環境条件その他の実況に応じた構法及び仕様とする。

【解説】

山高の５倍を超える軒出寸法では、はね出し部根元の山部でボルト廻りの局部的な座屈が生じやすくなる恐れがある。したがって、このような破壊形態を考慮できる特別な検討による場合以外には、山高の５倍程度以下を目安にすることが望ましい（図 A1.1）。

A1.2　けらば包みの納め

（１）けらばは、端部用タイトフレームによって補強する。
（２）けらば包みとして用いる鋼板は、折板と同等の品質を有するものとする。
（３）けらば包みは、端部用タイトフレーム又は下地金物に留め付ける。
（４）けらば包み同士の重ね部の留め付けは、細目ねじ又は耐水リベットによるものとする。
（５）パラペット及び壁側の納めについても、前項までの方法に準ずる。
（６）前項までの他、建設地の環境条件その他の実況に応じた構法及び仕様とする。

【解説】

（１）けらば包みの納め（図 A1.2）

壁側のけらば包みは、外壁材を介して登り胴縁にパッキン付き六角ドリルねじにて留め付ける。
けらば端部での折板のばたつき等を防ぐ目的で、タイトフレーム受け梁間（小梁間）で 1,000㎜前後の間隔で端部用タイトフレームを設け、折板の端部を補強する必要がある。端部用タイトフレームを取り付けるために大梁上に所定の間隔で受け材が必要になる。

（２）パラペット及び壁側の納め（図 A1.3）

パラペット及び妻壁の取合部についても、けらば端部と同様に、端部用タイトフレームで補強する。端部用タイトフレーム受けは、間隔 1,000㎜前後で壁側大梁に取り付ける。壁側の登り胴縁は雨押え（水切）の立ち上がり寸法（150㎜程度）を考慮して、折板の仕上げ面から概ね 100㎜程度の位置に設けるとよい。

折板側の取り合いは、端部用タイトフレームにドリルねじで直接固定する方法とはぜ金具で間接固定する方法がある。直接固定する場合は、折板を貫通するので防水上定形のシールテープを入れるのが望ましい。

A1.3　棟包みの納め

（１）折板の棟側端部には、止面戸の取り付けその他の防水上有効な措置を施す。

（２）棟包みとして用いる鋼板は折板と同等の品質を有するものとし、加工長さは折板の働き幅に応じた寸法とする。
（３）棟包みははぜ金具や折板に直接留め付ける。
（４）棟包み同士の重ね部の留め付けは、細目ねじ又は耐水リベットによるものとし、留め付け部は折板の山部に設ける。
（５）折板の熱伸縮等の影響を受ける恐れがある場合には、折板の長さ方向の伸縮を考慮した棟包みを用いる。
（６）片棟包みの納めについても、前項までの方法に準ずる。

【解説】

（１）棟包みの納め（図 A1.4）

棟梁ではその両側にタイトフレームを取り付けるが、受け下地はタイトフレームを２列取り付けるために必要な幅を確保する必要がある。はぜ締め形折板のタイトフレームを２列取り付ける場合、吊子（固定金具）どうしの干渉を避けるためタイトフレーム受けのフランジ幅を概ね 200mm 以上とする必要がある。

（２）片棟包みの納め（図 A1.5）

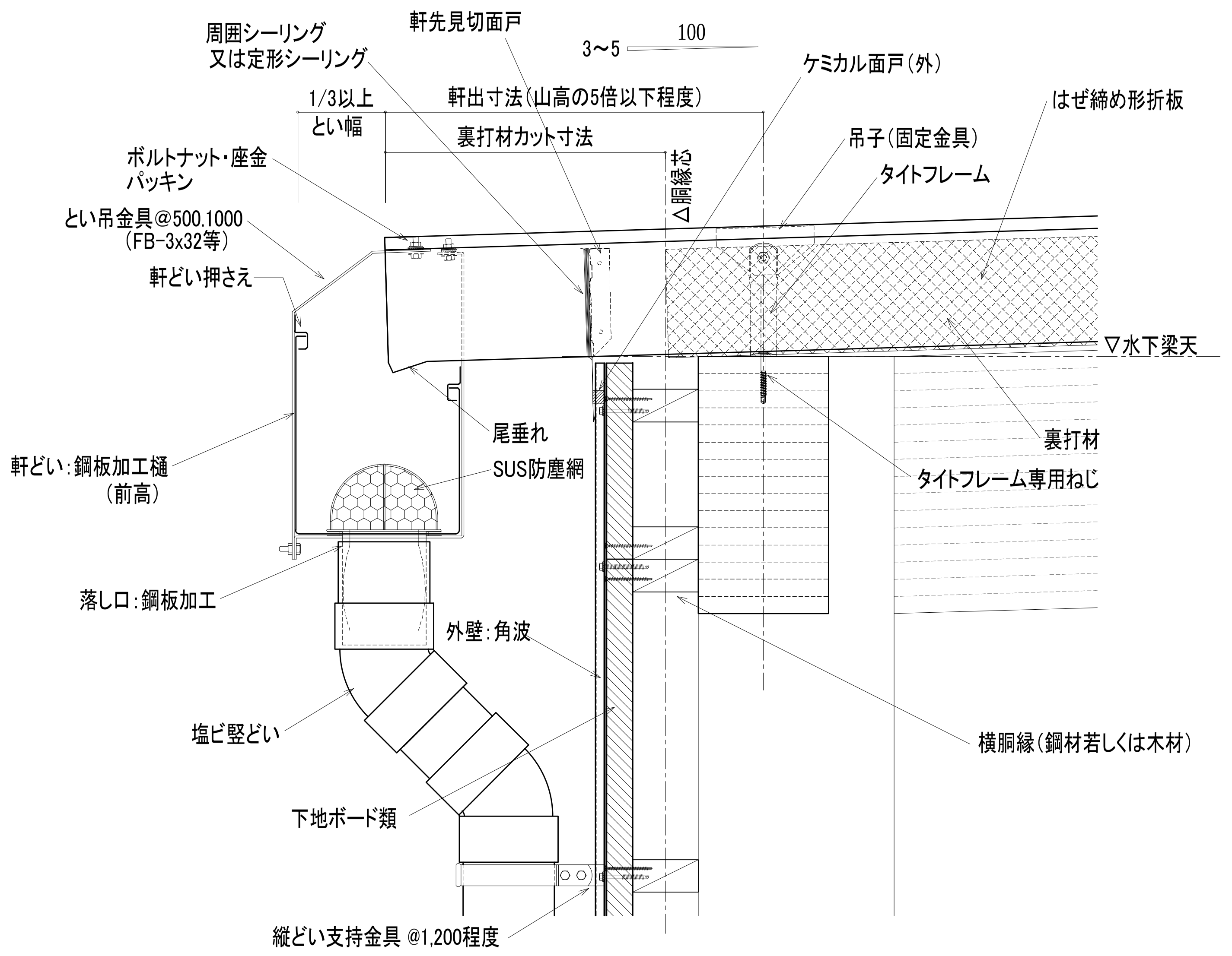
片流れ屋根の場合、片棟包みの基本的な構成は、通常の棟包みと同じである。折板の片棟包みの固定は、折板側はタイトフレームのボルトに直接固定する方法とはぜ金具で間接固定する方法がある。壁側は外壁を介して胴縁に確実に留め付ける。外壁と片棟包みの出幅は概ね 50mm 程度出すと水切れが良い。片棟包みの面幅（正面）はけらば包みと取り合うので見付けを合わせる。

A1.4　水上壁取り合い部の納め

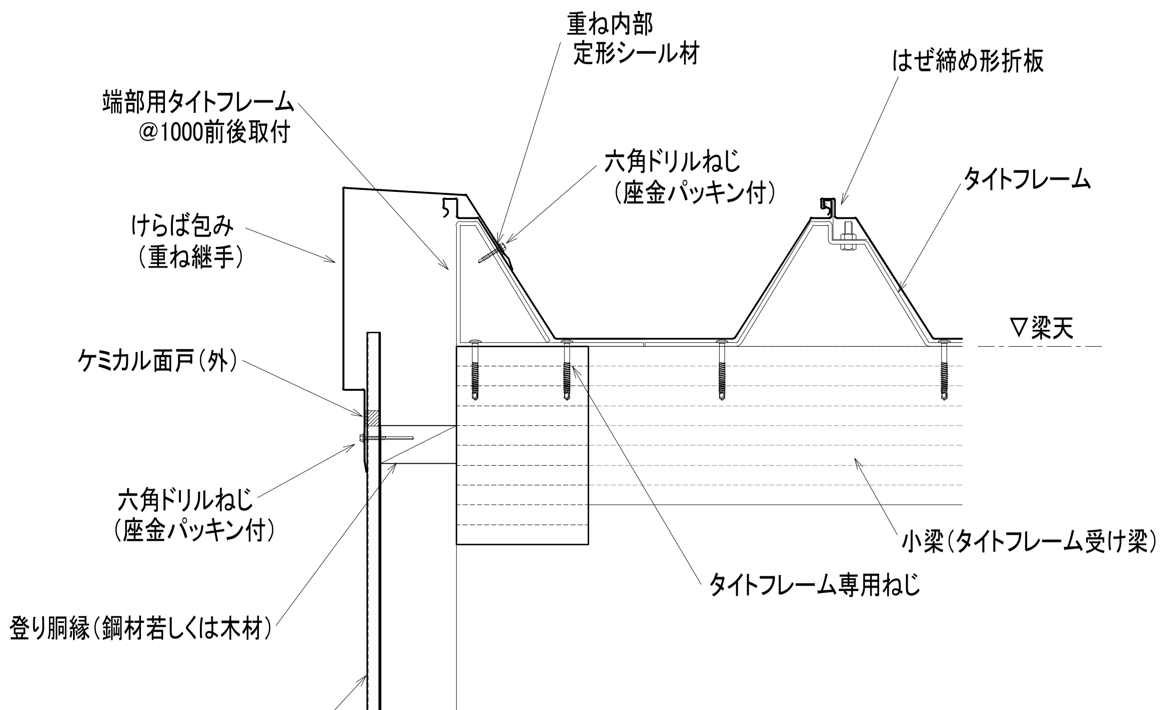
（１）水切は、外壁材等の裏面に概ね 150mm 程度立ち上げる。
（２）壁の下地としての胴縁は、折板の天端より 100mm 程度の高さに設ける。

【解説】

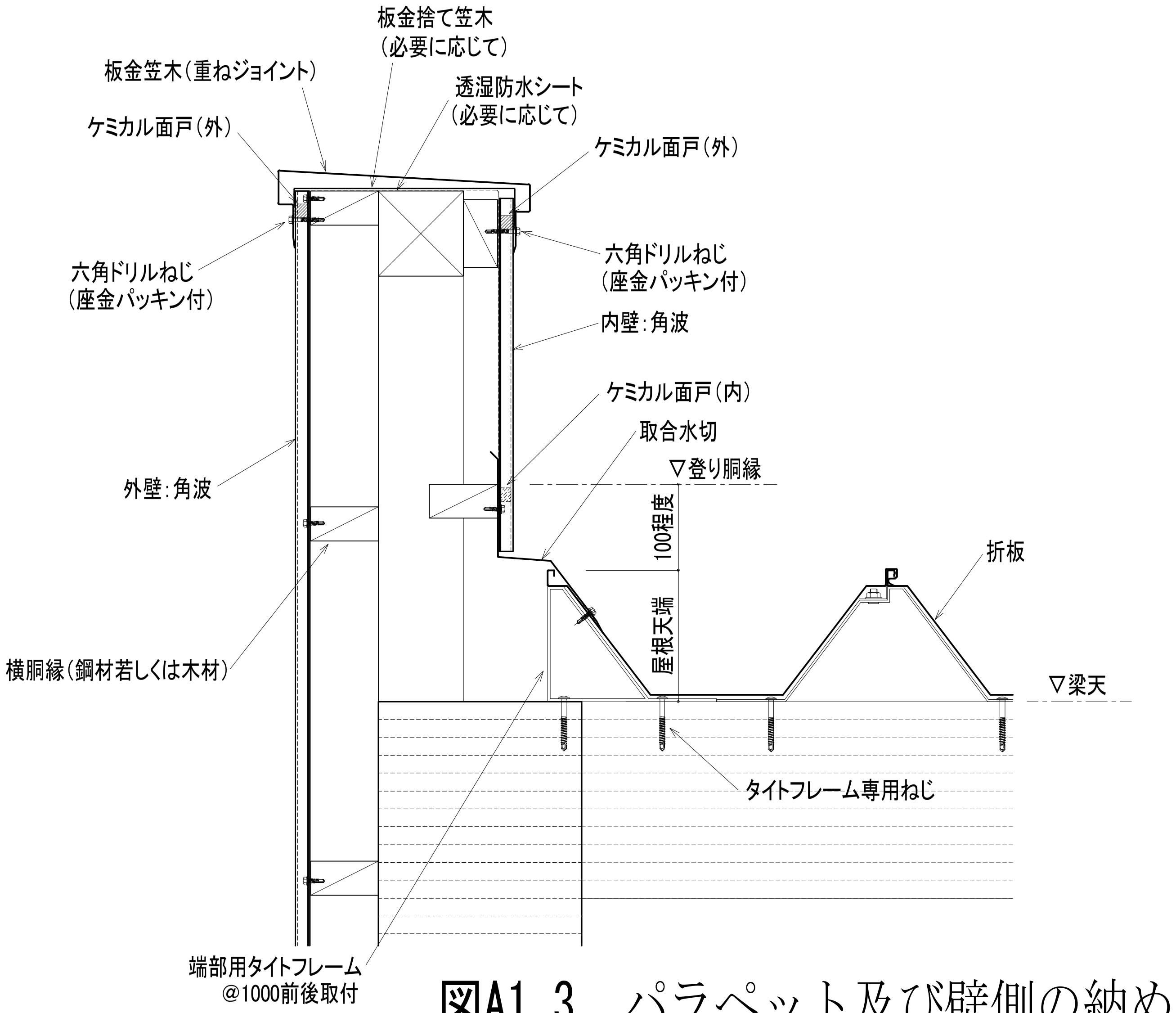
結露受けとして立上げ最上部は20mm程度で15°程度折ると、壁裏面の結露水を受けるのに都合がよい。折板側は所定の寸法に加工した水切をエプロン面戸や止面戸の上に被せて、折板に取り付けたはぜ金具にドリルねじ留めする。強風時の雨水は、はぜ部分で水走りを起こすので、水走り防止シールをエプロン面戸、はぜの水上端部に行う（図 A1.6）。



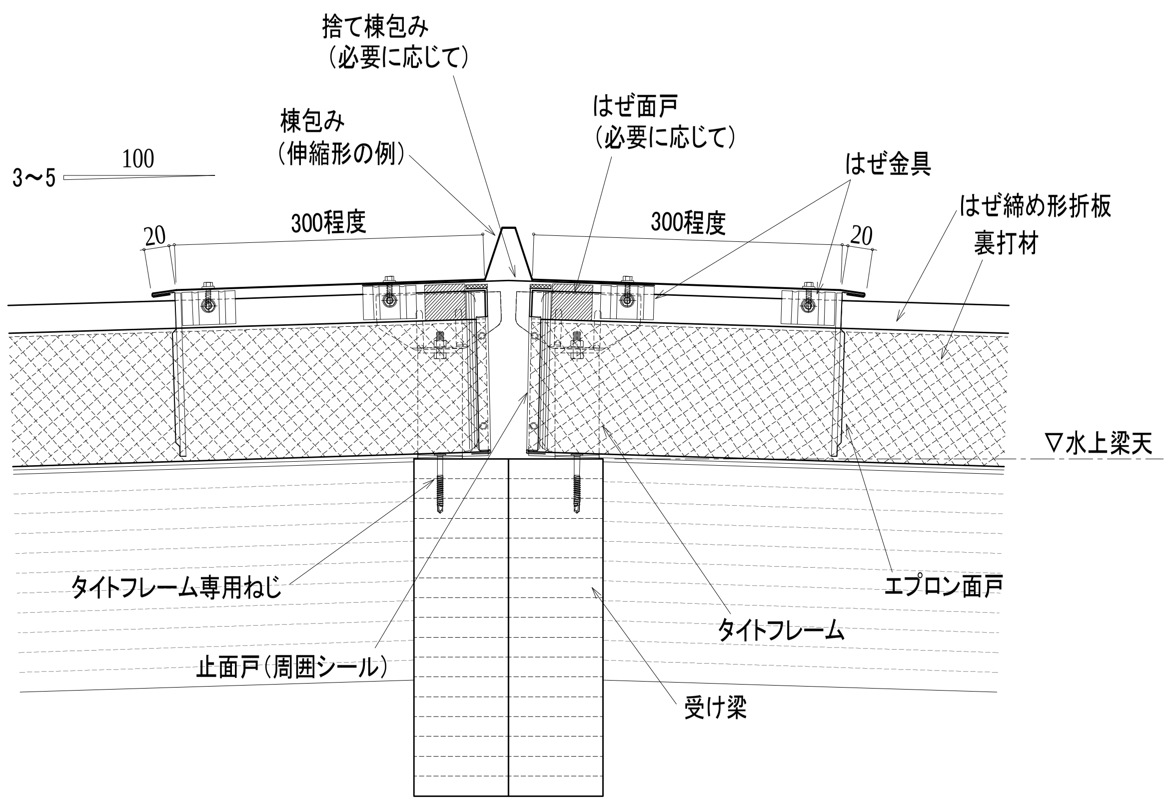
図A1.1　軒先の納め



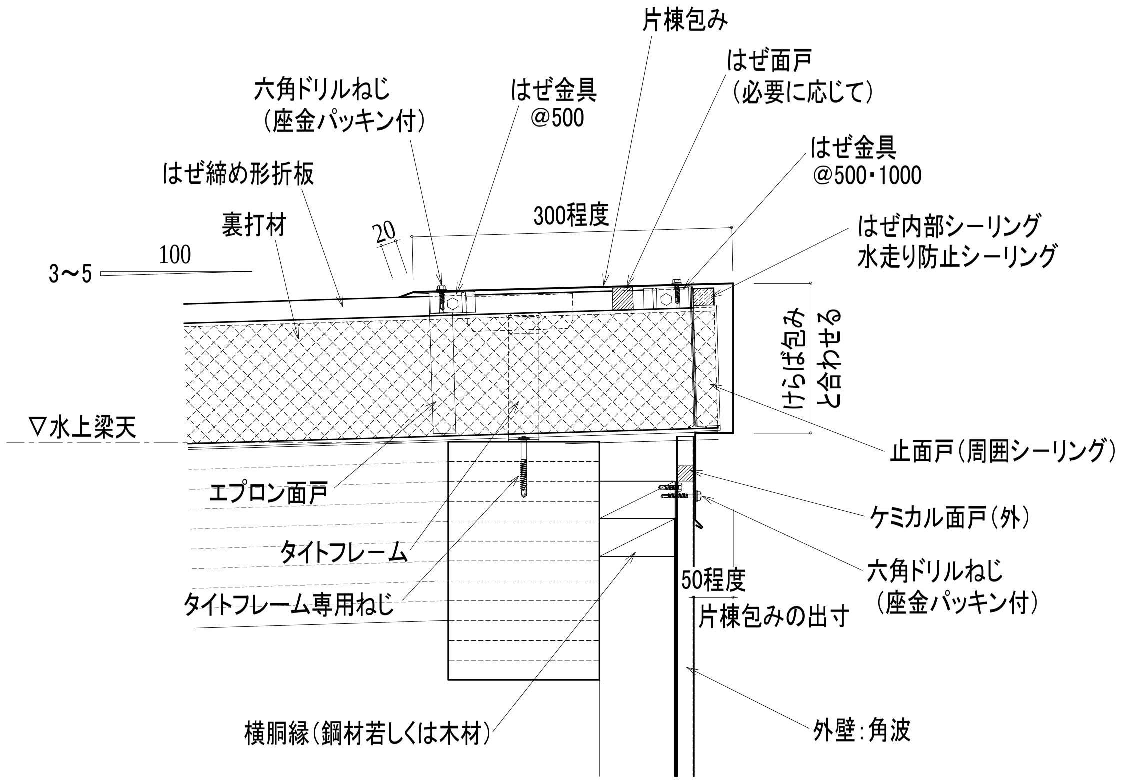
図A1.2　けらば包みの納め



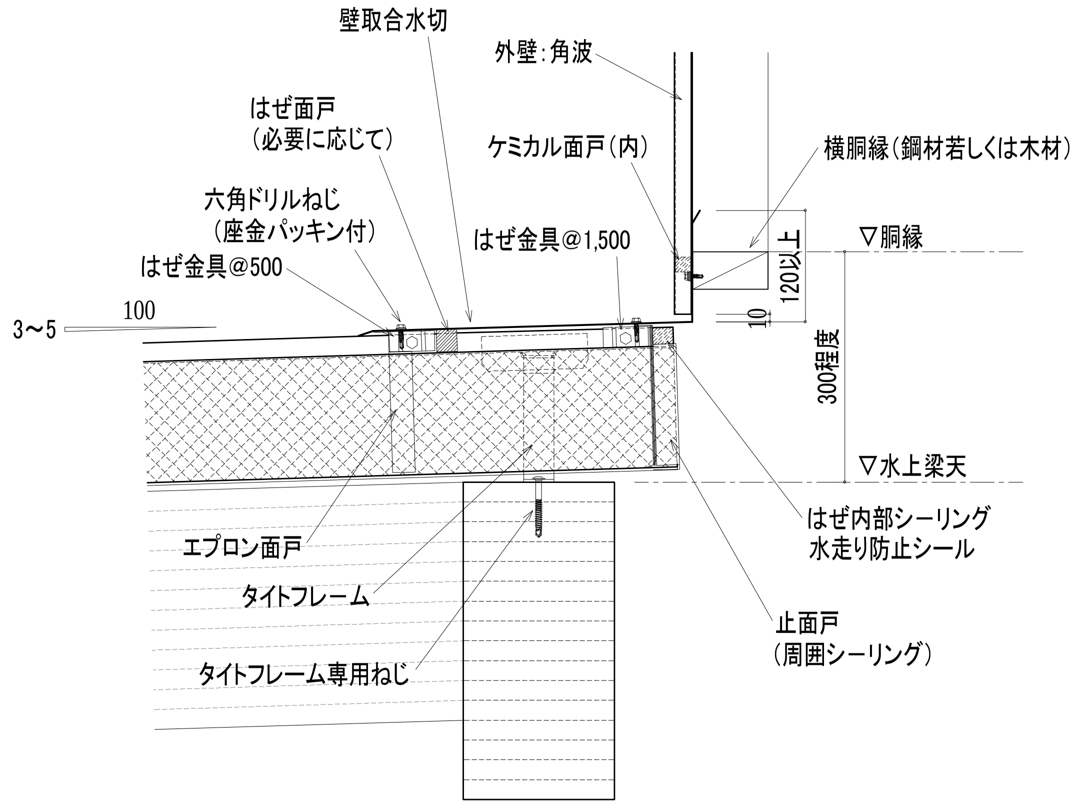
図A1.3　パラペット及び壁側の納め



図A1.4　棟包みの納め



図A1.5　片棟包みの納め



図A1.6　水上壁取り合い部の納め

参考資料２　温度伸縮による繰り返し変位を考慮した試験・評価方法

折板ぶき屋根の流れ寸法が比較的大きく、タイトフレームと木造下地材との接合部において、供用期間中の温度伸縮による繰り返し変位の影響が懸念される場合に活用することができる試験・評価方法を以下に示す。

A2.1　試験方法

（１）　適用の範囲

以下に定める試験体、試験方法及び記録項目は、タイトフレームと集成材による梁とのねじ留め接合部を対象とした載荷試験に適用する。

（２）　試験体

試験体は、実際の施工方法によってタイトフレームが集成材による梁にねじ留めされたものとし、タイトフレーム、集成材及びねじはそれぞれ以下による。また、試験体数は（３）項に掲げるｉ）の試験については１体以上、ⅱ）及びⅲ）の試験については６体以上とする。

ｉ）タイトフレーム

原則として実況に応じたタイトフレームの品質及び形状寸法とし、上底部１か所、下底部２か所を含む１山の部分を対象にする。下底部２か所をそれぞれ集成材にねじ留めする。

ⅱ）集成材

原則として実況に応じた集成材の品質及び形状寸法とし、気温 20±3℃、湿度 65±5%の恒温恒湿条件で調湿したものを用いることを標準とする。ただし、試験場の制約等のために上記の条件と異なる場合には、その調湿条件を記録する。いずれの場合も、試験に供する直前の含水率又は密度を測定し記録する。

ⅲ）ねじ

原則として実況に応じたねじの品質及び形状寸法とする。

（３）　試験方法

以下に掲げる方法にしたがって鉛直方向、水平方向それぞれの載荷を行う。

ｉ）鉛直方向の引張試験

水平方向の繰り返し載荷を行わない試験体について、タイトフレームの上底部における固定金具が取り付く位置（以下、「固定金具の位置」）に鉛直方向の載荷を行う。

ⅱ）水平方向の繰り返し載荷試験

あらかじめ設定した所定の変位量で、固定金具の位置に水平方向の繰り返し載荷を行う。この場合において、繰り返し回数は実況に応じて設定するものとする。なお、全ての試験体を折板の流れ方向に配列し、かつ、各試験体に一様に変位を作用させることができる場合には、全ての試験体に同時に載荷することができる。

ⅲ）繰り返し載荷後の鉛直方向の引張試験

ⅱ）に掲げる試験後の試験体について、固定金具の位置に鉛直方向の載荷を行う。

（４）　記録項目

試験時の記録項目は、（３）項に掲げる試験方法に応じて以下の通りとする。

ｉ）鉛直方向の引張試験
・　タイトフレームとねじに作用する鉛直方向の荷重
・　鉛直方向の変位量
・　試験中に試験体に生じた変形又は破壊の状況
ⅱ）水平方向の繰り返し載荷試験
・　タイトフレームとねじに作用する水平方向の荷重
・　水平方向の変位量
・　試験中に試験体に生じた変形又は破壊の状況
ⅲ）繰り返し載荷後の鉛直方向の引張試験
　ｉ）に掲げる試験の記録項目と同じ。

【解説】

（１）試験法の概要

折板ぶき屋根の流れ寸法が比較的大きくなる場合には、供用期間中、ふき材自身に温度伸縮が繰り返されるため、それによる強制変位が接合部に作用することとなる。特に折板ぶき屋根の流れ寸法が比較的大きくなる場合には、その変位量が比較的微小であっても、繰り返し作用が接合部耐力に与える影響の程度を検討する必要があることも考えられる。本試験方法は、そのような検討に活用することができる。ただし、本試験は必要な場合に行うものであり、接合部の許容引張耐力の評価に必須なものではない。

本試験方法の構成は、SSR2007 に定める「二重折板屋根の断熱金具等を対象とした試験」に準じており、屋根の流れ方向の繰り返し変位を作用させた後に引張り載荷を行う方法を示している。また、試験体数は木質構造設計規準・同解説－許容応力度・許容耐力設計法－（日本建築学会・以下「木質構造設計規準」）の定めにならって 6 体以上を原則としている。

（２）試験の実施例

以下に、（一財）建材試験センターにて実施した試験例を示す。載荷の方法としては、試験体 6 体を折板の流れ方向に並べ、各試験体の梁材を反力台に固定した後、タイトフレームの山部に加力治具を介して、水平方向の繰り返し変位を与えた。なお、タイトフレームの片側端部を加力方向に対して拘束するため、タイトフレーム端部から 25mm の位置にアルミ製アングルを設置した。変位の測定は、加力治具、タイトフレーム山部及び梁材の水平方向変位について行った。試験環境は、試験方法の定めにしたがって気温 20±3℃、湿度 65±5％とした。繰り返し載荷の条件を表 A2.1、試験に使用した加力装置と測定装置を表 A2.2、試験方法を図 A2.1、試験実施状況を図 A2.2 にそれぞれ示す。

表 A2.1　繰り返し載荷の条件

項目	条件
繰り返し回数	10,000 回（≒1 回/日×365 日×30 年）
振幅	±7.5mm（＝25m/2×1.2×10^{-5}×50）
波形	0.5Hz の正弦波
制御変位	DG1（加力治具の水平方向変位）

注）1. 測定は、開始直後と繰り返し回数が 500 の倍数回に達した時点から 30 秒間行った。
2. 加力制御は振幅が±7.5mm を超えるように行った。

表 A2.2　加力装置及び測定装置

種類	名称	仕様
加力装置	100kN 自動コントロール式加力試験機	ロードセル容量：±50kN
測定装置	電気式変位計	容量：50mm、感度：200×10^{-6}/mm、非直線性：0.1%RO 容量：500mm、感度：20×10^{-6}/mm、非直線性：0.3%RO
	デジタル動ひずみ測定器	荷重及び変位の測定

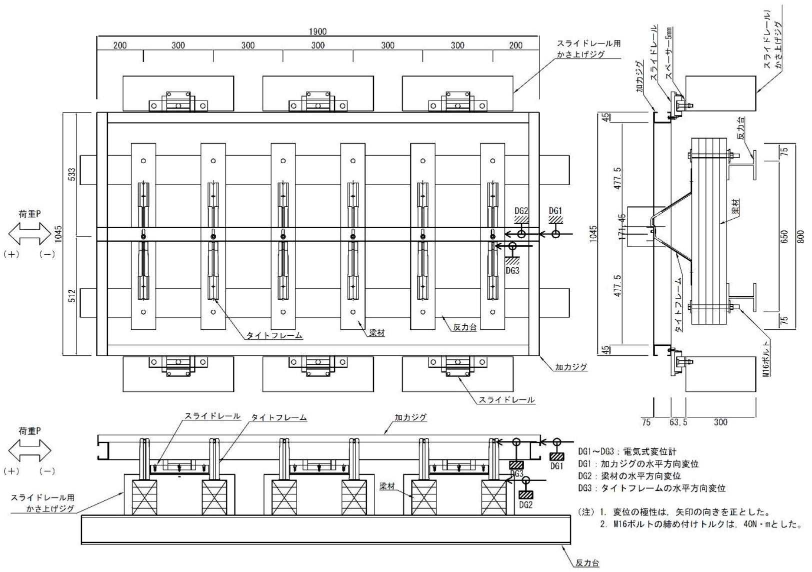


図 A2.1　試験方法

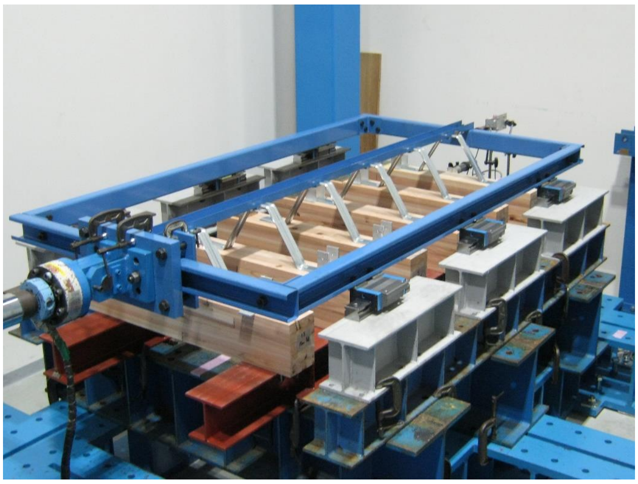


図 A2.2　試験実施状況

図 A2.3 に水平方向の繰り返し載荷終了後の試験体の状況を示す。載荷終了後のいずれの試験体にも、ねじとタイトフレームに構造耐力上の支障のある変形や亀裂等は確認されなかったが、タイトフレームの上底表面に摩耗がみられ、タイトフレームの下底の縁が接する木材に若干のめり込みが生じている。

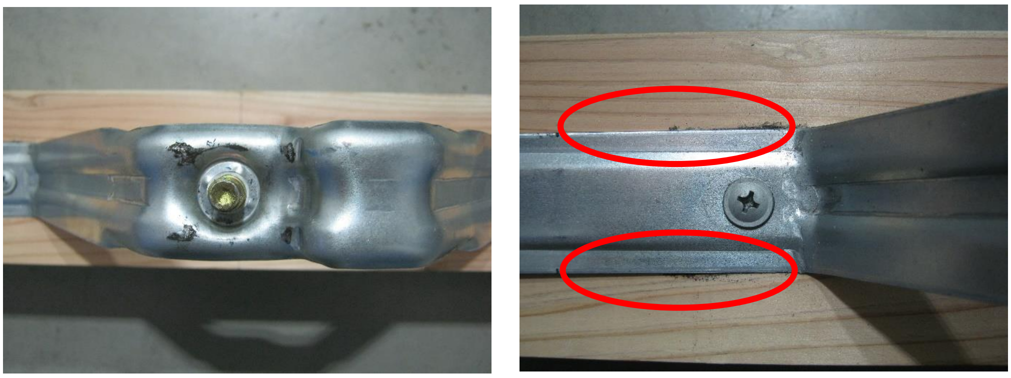


図 A2.3　載荷終了後の試験体の状況

次に、図 A2.4 に繰り返し載荷後の引張試験で得た荷重－変位関係、表 A2.3 に試験結果一覧をそれぞれ示す。

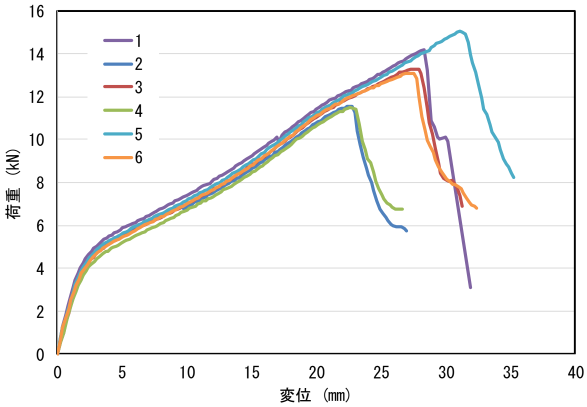


図 A2.4　繰り返し載荷後の引張試験での荷重－変位関係

表 A2.3　試験結果一覧

試験体				最大荷重	平均	密度	平均	破壊性状
ねじ径	ねじ長さ	ねじ留め位置	番号	kN		g/cm^3		
mm	mm							
8	75	下底折れ曲がり位置から15mm	1	14.20	13.1	0.42	0.41	タイトフレームの変形後、ねじ頭の破断
			2	11.60		0.41		タイトフレームの変形後、ねじの引き抜け
			3	13.30		0.41		タイトフレームの変形後、ねじの引き抜け
			4	11.50		0.41		タイトフレームの変形後、ねじの引き抜け
			5	15.00		0.40		タイトフレームの変形後、ねじの引き抜け
			6	13.10		0.40		タイトフレームの変形後、ねじの引き抜け

A2.2　評価方法

（1）　適用の範囲

以下に定める評価方法は、タイトフレームと集成材による梁とのねじ留め接合部（以下、単に「ねじ留め接合部」）を対象とした載荷試験結果の評価に適用する。

（２） 評価方法

以下のⅲ）に掲げる試験の結果に基づく評価に「合格」した場合、ⅱ）に掲げる試験で設定した変位量を、折板の温度伸縮による繰り返し荷重を受けるねじ留め接合部の許容変位差λとする。

ⅰ）鉛直方向の引張試験

繰り返し載荷を行わない試験体について、鉛直方向の引張試験を行い、ねじ留め接合部の最大荷重を確認する。

ⅱ）水平方向の繰り返し載荷試験

水平方向の繰り返し載荷試験を行い、試験体各部における損傷の状況を確認する。全ての試験体に疲労による有害な損傷が認められない場合は、ⅲ）に掲げる試験を行う。

ⅲ）繰り返し載荷後の鉛直方向の引張試験

ⅱ）に掲げる試験後の試験体について、鉛直方向の引張試験を行い、ねじ留め接合部の最大荷重を確認する。全ての試験体の最大荷重の平均値がⅰ）の試験結果と概ね同等であると認められる場合は、「合格」とする。

【解説】

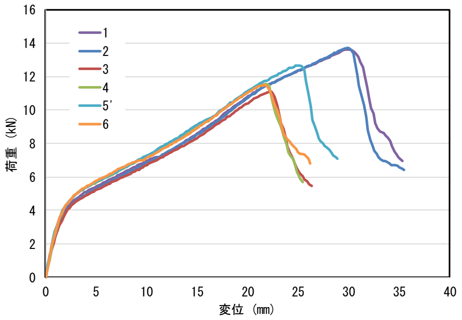
（１）評価法の概要

評価方法の構成は、鋼板製屋根構法標準 SSR2007 に定める「二重折板屋根の断熱金具等を対象とした評価」に準ずる。具体的には、水平繰り返し試験後に引張り載荷を行ったときの最大荷重と繰り返し試験をせずに引張り載荷を行ったときの最大荷重とを比較し、その同等性を評価する。そして、同等であることが評価できれば、試験対象の接合方法は、試験で設定した変位量に基づいて得られる折板の最大流れ寸法まで使用可能であると考えられる。

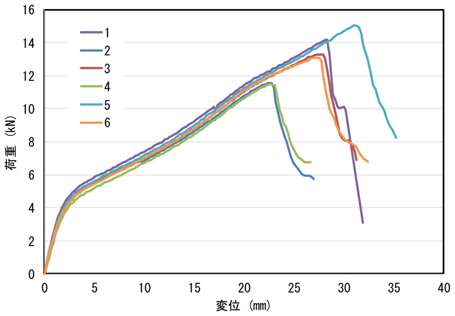
（２）評価の実施例

評価方法の定めにしたがって、試験結果に基づく評価を行う。

ⅰ）の鉛直方向の引張試験結果を図 A2.5(a)(図 4.3(a)の再掲)、ⅲ）の繰り返し載荷後の鉛直方向の引張り試験結果を図 A2.5(b)(図 A2.4 の再掲)にそれぞれ示す。両者の荷重－変位関係を比較すると同様の傾向を示している。また、最大荷重の平均値は、前者が表 4.3 より 12.4kN、後者が表 A2.3 より 13.1kN となっており、概ね同等であると認められる。したがって、この試験で対象にしたねじ留め接合部の仕様は、想定した条件下での繰り返しの影響に対して「合格」とすることができる。



(a)繰り返し載荷なし



(b)繰り返し載荷あり

図 A2.5 引張試験での荷重－変位関係

次に、この試験で設定した変位量7.5㎜を、折板の温度伸縮による繰り返し荷重を受けるねじ留め接合部の許容変位差λとし、想定する温度差Tを 50 度と仮定すると、(A2.1)式により折板の最大流れ寸法L_{max}は25mとなる。

$$L_{max} = \frac{2\lambda}{\alpha T} = \frac{2 \times 7.5 \times 10^{-3}}{1.2 \times 10^{-5} \times 50} = 25m \qquad \text{(A2.1)}$$

参考資料 3　接合部に作用する風荷重と耐力の計算例

以下では、工場等の比較的大きな屋根架構を想定して、折板ぶきのねじ留め接合部に作用する風荷重と耐力の計算例を示す。なお、実際の検討では、折板材の曲げに対する検討も必要であるが、ここでは省略している。

A3.1　設計概要

建設場所：基準風速 36m/s、地表面粗度区分Ⅲに該当する地域

建築物種別：工場・一部事務所（閉鎖型建築物）

主体構造：木造平屋

規　模　：48m×36m

屋　根　：片流れ屋根（勾配 3/100）

屋根平均高さ：8m

折板仕様：はぜ締め形 H-1750（タイトフレームのねじ留め位置 15mm、ねじ長さ 75mm）

A3.2　屋根架構

設計対象の屋根架構を図 A3.1 に示す。タイトフレーム受け梁の間隔は、一般部で 3m、周縁部（軒先・けらば）で 1.5m である。

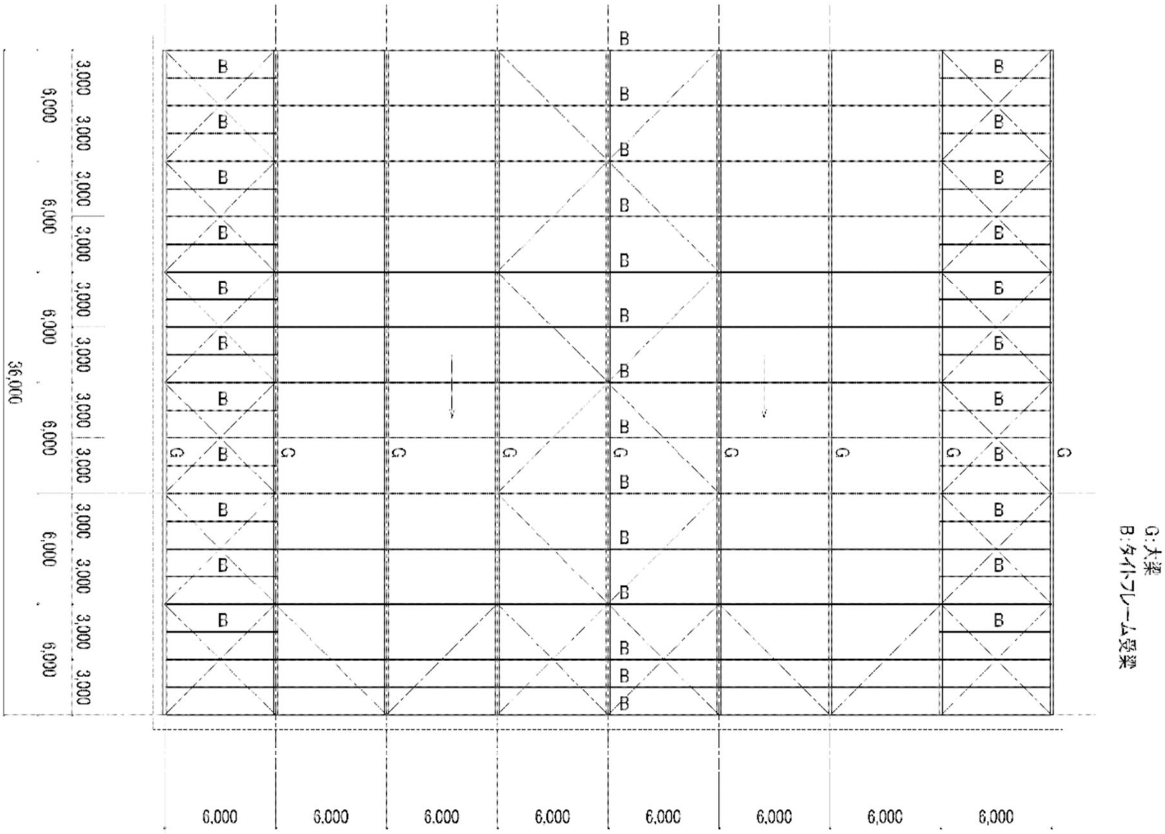


図 A3.1　設計対象の架構

A3.3　風荷重の算定

（１）平均速度圧の算出

平成 12 年建設省告示第 1454 号より、地表面粗度区分がⅢなので、Z_G＝450m、α＝0.2 となる。

$$E_r = 1.7\left(\frac{H}{Z_G}\right)^{\alpha} = 1.7\left(\frac{8}{450}\right)^{0.2} = 0.76 \quad \text{(A3.1)}$$

基準風速がV_0＝36m/s なので、(A3.1)式より平均速度圧$\bar{q}$は以下のようになる。

$$\bar{q} = 0.6{E_r}^2{V_0}^2 = 448 \ (\mathrm{N/m^2}) \quad \text{(A3.2)}$$

（２）ピーク風力係数の算出

屋根面の勾配 3/100 なので、$\theta = tan^{-1}(3/100) = 1.72$度

平成 12 年建設省告示第 1458 号より、切妻屋根面について

正のピーク外圧係数＝$C_{pe} \times G_{pe}$＝0×2.39＝0

負のピーク外圧係数は、同告示の表 3 より、部位に応じて下表のとおりとなる。

一般部	外周部	隅角部
－2.5	－3.2	－4.3

また、閉鎖型の建築物について、ピーク内圧係数は－0.5(ピーク外圧係数が 0 以上の場合)、0(ピーク外圧係数が負の場合)なので、ピーク風力係数は以下のとおりとなる。

正のピーク風力係数 $\hat{C}_f = 0 - (-0.5) = 0.5$

負のピーク風力係数$\hat{C}_f$は、部位に応じて下表のとおりとなる。

一般部	外周部	隅角部
－2.5	－3.2	－4.3

（３）風荷重の算出

風荷重は次式によって算出される。

$$\mathrm{W} = \bar{q}\ \hat{C}_f \quad \text{(A3.3)}$$

したがって、正と負の風荷重はそれぞれ下表のとおりとなる。

正の風荷重(N/m²)	225		
負の風荷重(N/m²)	一般部	外周部	隅角部
	－1,123	－1,437	－1,931

A3.4　接合部許容耐力の算定

折板１山分の許容耐力は、以下に示す３つの部分での耐力のうち、最も小さい数値を採用する。

1）折板材と固定金具との間の接合部における許容耐力 P_{a1}

2）固定金具とタイトフレームとの間の接合部における許容耐力 P_{a2}

3）タイトフレームと木下地との間の接合部における許容耐力 P_{a3}

上記のうち、1)のP_{a1}と 2)のP_{a2}については、SSR2007 の設計例３を参照し、それぞれ

P_{a1}＝5.5kN

P_{a2}＝10.8kN

とする。一方、3)のP_{a3}については、ねじ留め間隔が 15ｍｍなので、4.2 節に掲げる試験結果より

P_{a3}＝5.0kN

である。以上の結果から、折板１山分の許容耐力P_aは以下のようになる。

$$P_a = min[P_{a1}, P_{a2}, P_{a3}] = min[5.5, 10.8, 5.0] = 5.0\text{(kN)} \quad \text{(A3.4)}$$

A3.5　接合部の耐風安全性の検証

耐風安全性の検証は、屋根の一般部と周縁部について行う。

（１）屋根一般部

折板１山分の接合部に作用する引張力Pは、折板の働き幅bが 500mm、支持間隔lが 3m であり、支点反力を 1.15 とすると

$$P = 1.15wbl = 1.15 \times 1.123 \times 0.5 \times 3 = 1.94\text{(kN)} \quad \text{(A3.5)}$$

となる。したがって、許容耐力と比較すると

$$P = 1.94\text{(kN)} < 5.0\text{(kN)} \quad \rightarrow \text{OK} \quad \text{(A3.6)}$$

より、設計対象の接合部仕様は、屋根一般部に必要な耐風圧強度を満足している。

（２）屋根周縁部

屋根の周縁部として、最も風荷重の絶対値が大きい隅角部の値を採用する。周縁部では支持間隔lが 1.5m なので、上記（１）と同様の計算により

$$P = 1.15wbl = 1.15 \times 1.931 \times 0.5 \times 1.5 = 1.67\text{(kN)} \quad \text{(A3.7)}$$

となる。したがって、許容耐力と比較すると

$$P = 1.67\text{(kN)} < 5.0\text{(kN)} \quad \rightarrow \text{OK} \quad \text{(A3.8)}$$

より、設計対象の接合部仕様は、屋根周縁部に必要な耐風圧強度を満足している。ただし、参考資料１に示すディテール例も踏まえて、別途、軒先やけらば等の端部での耐風性の確保に配慮する必要がある。