

鋼板製外壁構法標準(SSW)－2011の概要

(財)日本住宅・木材技術センター
国土交通省国土技術政策総合研究所
三晃金属工業(株)
JFE鋼板(株)
(株)淀川製鋼所

岡田 恒
喜々津 仁密
工藤 幸則
宮腰 昌平
生田 浩介

1. はじめに

一般に角波等と呼ばれる鋼板製外壁材は、低層の工場や倉庫といった生産施設を中心に多様な用途の建築物の外壁材として採用されている。しかし、鋼板製外壁の構造安全性を検討する際に必要な技術資料等については、これまでに十分に整備されているとは言い難く、結果として構造安全性に関して適切な説明が行える状況にはなかったと思われる。このような背景を受けて、平成22年度に(社)日本金属屋根協会と(社)日本鋼構造協会の両団体のもとに委員会を組織して技術的な検討を行い、「鋼板製外壁構法標準(以下「SSW2011」)」がまとめられた。本書の編集に当たっては、建築基準法の規定への適合性、耐風安全性に関わる試験・評価法の標準化とともに設計施工のプロセスと役割分担の明確化等を検討した。また、地震時の層間変位追随性や防水性に関わる試験も通して多様な性能を明らかにするとともに、外壁材特有の課題である美観性確保の観点からも、製品の成形から設計・施工までの留意点を整理した。

一般に、鋼板製外壁の構造設計から施工の実態は折板等の鋼板製屋根のそれと類似した点も多い。両団体では既に平成19年度に「鋼板製屋根構法標準(以下「SSR2007」)」の改定を行った経緯もあり、SSR2007のなかで参考になる考え方はSSW2011にも積極的に取り入れたのが1つの特徴である。したがって、工場等の非住家建築物では鋼板製の外壁と屋根はよく併用されているので、それらの設計施工に際してSSW2011とSSR2007を併せて参照頂ければ、外装システムにおける構造性能の整合化が期待できよう。SSW2011は第1章 総則、第2章 設計、第3章 施工及び付録から構成される。本稿では第1章と第2章の内容について、その概要をまとめた。

2. 鋼板製外壁の概要

鋼板製外壁とは、長尺の鋼板を角波、大波その他これらに類する断面形状にロール成形した製品が張られた外壁を総称したものであり、断面形状等に応じて角波、大波、スパンドレル、小波又はリブ波といった製品名称で流通している。



図1 SSW2011とSSR2007

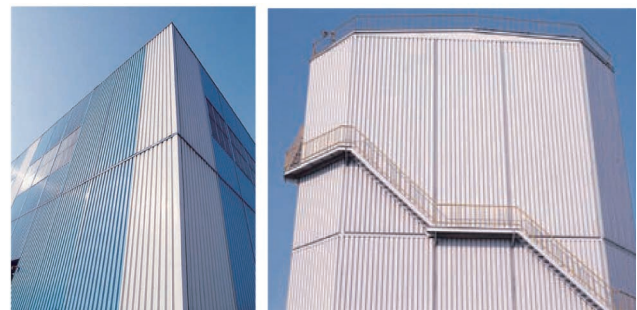


写真1 鋼板製外壁の例(工場)

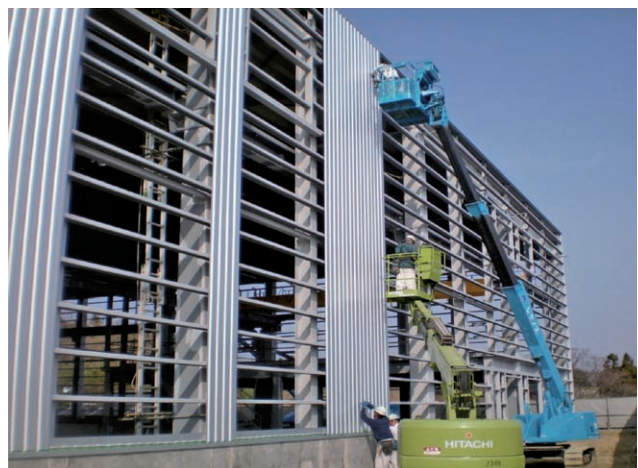


写真2 鋼板製外壁の施工状況

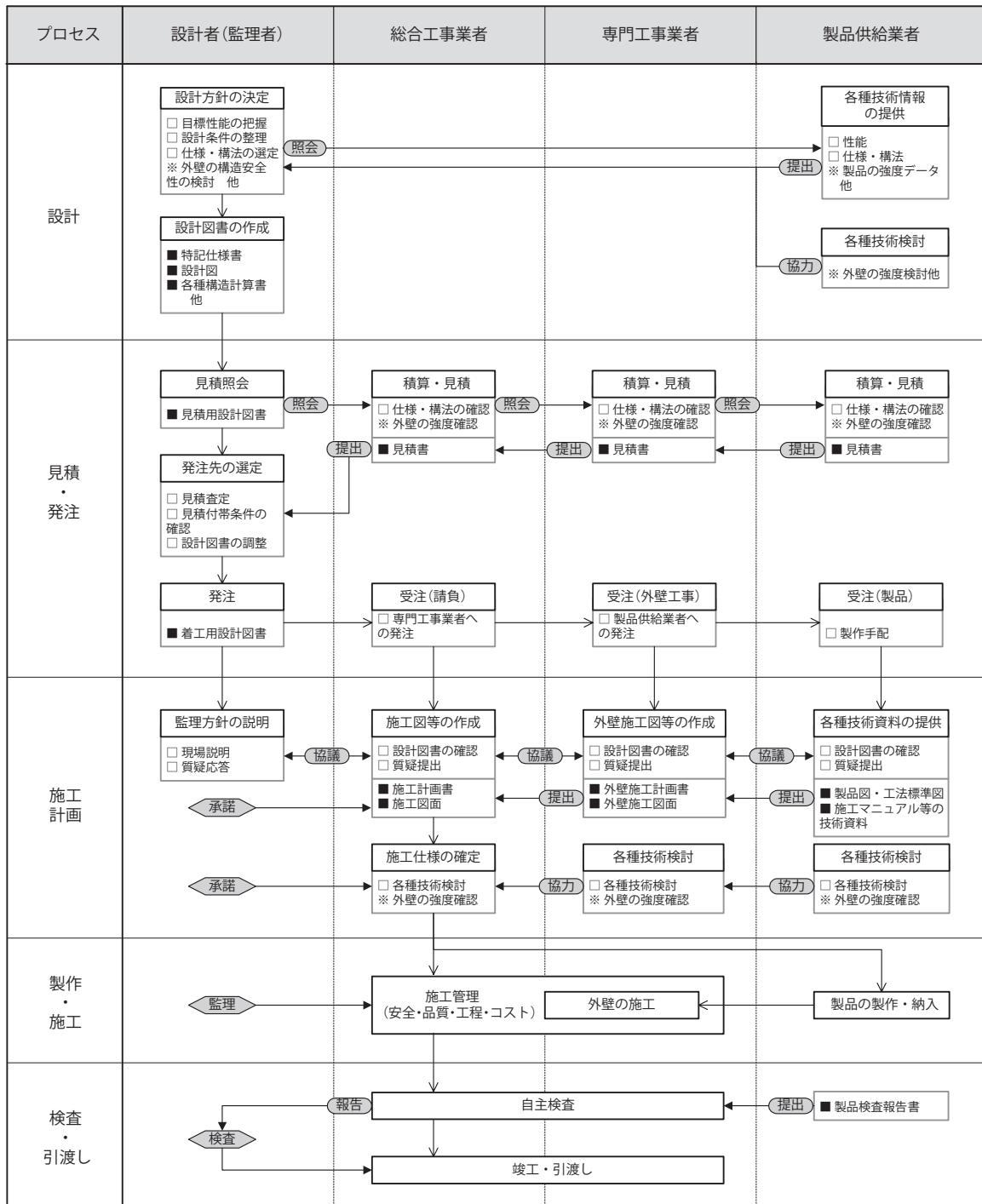
前述のように鋼板製外壁は主に工場、倉庫、体育館、店舗施設等の非住家建築物の外壁に採用されており、軽快なファサードを与えて意匠性にも優れている。写真1に鋼板製外壁の施工事例(工場)、写真2に施工状況を示す。

3. 設計・施工のプロセスと役割分担

鋼板製外壁の設計に当たっては、当該外壁に要求される構造安全性その他の性能が確保されるような仕様の選択及び適切な強度の検討等が行われなければならない。また施工に当たっても、建築基準法その他の関連法規にした

がって計画・実施することが求められる。

これらの設計・施工上必要とされる要件が確実に行われるためには、設計者、監理者、総合工事業者、専門工事業者及び製品供給業者(メーカー)の各主体間で、各々が行うべき役割の分担が明確にされていることが必要である。この点に関してSSR2007の内容に倣って、その流れと各主体間の役割分担の明確化を図り、設計・施工上の標準的な流れを掲げている(図2参照)。ここでは、設計者(監理行為も兼ねる場合)から製品供給業者までの各主体を明確に区別した上で、必要な技術検討や品質管理等の流れのなかで主体間の協力、協議、承諾及び監理等の業務関係を明らか



□ 技術検討項目等, ■ 作成する主な図書等, ※ 外壁の構造安全性確認に係る事項

図2 鋼板製外壁に関する設計・施工上の標準的なプロセス

にした。

鋼板製外壁に要求される性能を把握し、かつ、それらに対する目標を設定するのは第一義的には設計者の役割であるから、目標を達成するための強度の検討を含めた設計行為に対する責任は設計者に帰されるべきである。そして図2をみると、強度の検討及び確認は、設計(建築確認申請)、見積及び施工計画の3つの段階があることがわかる。特に設計段階においては平成19年の改正建築基準法により、一部の小規模な建築物を除いて、帳壁に対しても荷重・外力計算書、屋根ふき材等計算書等の確認申請図書が求められ、風圧力や許容耐力の数値等の根拠を提示することとされた。SSW2011では、これらの申請図書と各章・節に定める内容との対応関係を明確にし、設計者の利用の便を図っている。

4. 鋼板製外壁に要求される性能

SSW2011では鋼板製外壁に要求される基本的な性能項目として、耐風圧性能、耐震性能、防水性能、防耐火性能及び耐久性能を掲げている。これらの性能の内容は「建築工事標準仕様書・同解説JASS27 乾式外壁工事(日本建築学会)」での定義に準じたものである。

帳壁の耐風圧性能に関して建築基準法では、施行令第82条の4及び平成12年建設省告示第1458号に規定された風荷重に対して構造耐力上安全であることを確かめることとされている。具体的には、当該風荷重に対して外壁材と接合部に構造耐力上有害な変形が生じないこと等を確認する必要があり、SSW2011ではこの考え方にしたがって、耐力試験や耐風圧性試験の結果に基づく標準仕様、構造計算の方法を定めている。

また、耐震性能と防水性能に関しては、その性能を検証するための試験を行った。耐震性能については、JIS A 1414-2:2010 (建築用パネルの性能試験方法-第2部:力学特性に関する試験)に定める変形追随性試験に準じた試験を通して、重ね形接合による全谷固定、1谷おき固定いずれの場合も層間変形角が $\pm 1/60$ まで脱落しないことを確認した(写真3)。この結果から、施行令第82条の2に定める $1/120$ まで制限値を緩和することが可能であることがわかる。



写真3 変形追随性試験の試験体外観と変形状態(1/60時)

防水性能については、製品の構法や仕様にある程度依存するが外壁材同士の接合は重ねや差し込み等が基本なので、その接合部での防水性はあまり期待できないと考えるのが無難である。JIS A 1414-3:2010 (建築用パネルの性能試験方法-第3部:温湿度・水分に対する試験)に準じた試験の結果、風を伴った場合は、胴縁間での外壁材同士の重なり部分で風圧力による隙間が生じ多少の雨水が浸入することがわかった(写真4)。しかし重なり部分には水返しがあるため、図3に示すようにある程度の圧力まで雨水は下方に流れて土台水切より外部へ排出される。しかし、風雨が一定以上になると水返しを乗り越えて室内側へ流れ出す恐れがあるため、防水性を高めるために1) 浸入防止に力点を置く方法、2) 排水を重点に考える方法、又は3) 1)と2)の両者を併用する方法が有効と考えられ、SSW2011ではそれらの具体例を解説している。



写真4 水密性試験状況

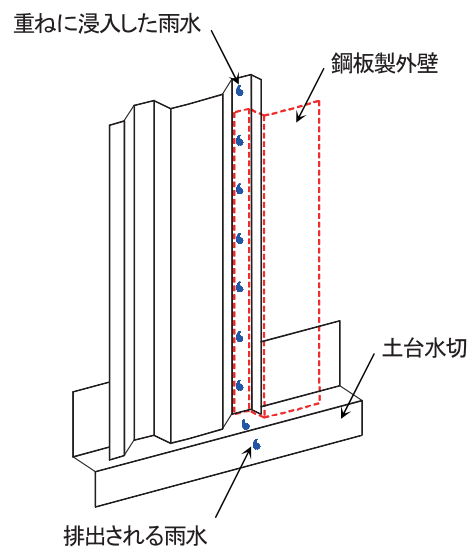


図3 鋼板製外壁の排水機構

また、上記の基本的な要求性能項目のほか、外壁材を他の材料と組み合わせることにより確保させる性能(断熱性能、遮音性能等)の考え方、外壁の美観性を確保させるための留意点及び維持管理の方法についても詳述している。

5. 鋼板製外壁の設計

5.1 設計の対象

SSW2011では、外壁材の張り方として縦張り又は横張り工法を設計の対象としている。また、外壁材同士の接合方法は外壁材の端部同士を重ねてビス留めする「重ね形」、端部にキャップを用いてかん合する等の「かん合形」及び端部の一方を隣り合う他方の端部に差し込む「差し込み形」の3通りがある(図4)。これらの名称は折板屋根の表記に倣ったものである。

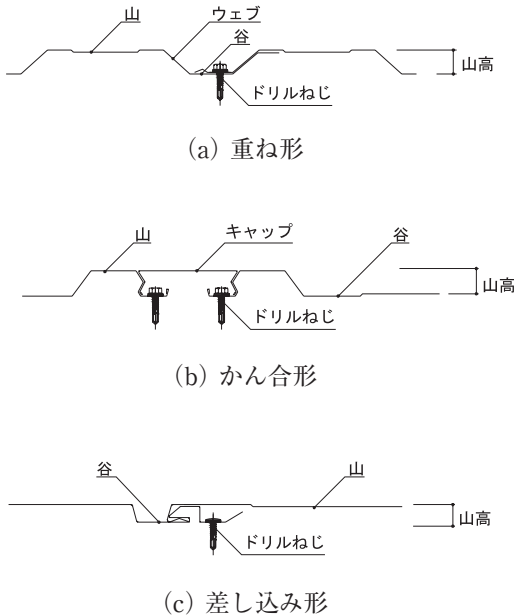


図4 鋼板製外壁の接合方法の種類

5.2 計算方法の種類と標準構法

SSW2011では建築基準法の帳壁の構造方法や風荷重の規定の趣旨に従うものとして、鋼板製外壁の構造設計法を定めている。具体的には接合方法の種類に応じて設計の考え方を示し、表1に示すように「仕様選択ルート」と「試験ルート」の2通りの計算方法を整備した。なお、平成12年建設省告示第1458号では高さ13m以下の部分で高さ13mを超える部分の構造耐力上の影響を受けない部分又は1階部分については適用除外とされているが、SSW2011ではこれらの部分についても構造計算の適用の対象としている。

重ね形による接合の場合は、断面形状その他の一定の条件を満たせば、試験によらずに設計用荷重に対する標準仕様を選択することができ(仕様選択ルート)、条件を満たさない場合は耐力試験又は耐風圧性試験の結果に基づいて構造安全性を確かめることとしている(試験ルート1又は2)。

また、かん合形又は差し込み形による接合の場合は、一般に断面形状や接合部のディテールが多様であり、外壁材と接合部ごとに別々に行う耐力試験の結果から外壁全体の耐力を適切に予想するのが難しい場合もあることを踏まえ、最も実態に近い耐力性能を評価できる耐風圧性試験結果によることを基本とした(試験ルート2)。そして、いずれの計算方法を採用する場合も、外壁の構造方法は表2に示す項目及び接合方法ごとに定めた「標準構法」による必要がある。

次節以降に、仕様選択ルートと試験ルートの設計の概要をそれぞれまとめた。

表1 接合方法に応じた構造計算の方法

接合方法		計算方法	仕様選択ルート	試験ルート1	試験ルート2
		重ね形	一定の条件を満たす場合	●	●
	上記以外の場合		●	●	
かん合形・差し込み形				●	

表2 標準構法(各接合方法共通の項目)

外壁材の厚さ	0.35mm以上0.8mm以下(塗装やめっき層を除く)
留め付け用部品の種類	呼び径4mm以上のドリルねじ又はこれと同等以上の強度を有するもの
留め付けの方法	原則として外壁材は谷で胴縁に留め付けること
胴縁の種類	原則として厚さ2.3mm又は3.2mmのリップ溝形鋼又は角形鋼管
胴縁の取り付け間隔	455mm、606mm又は910mm程度を標準とすること
出隅及び入隅の納め	出隅及び入隅カバーは胴縁に留め付けること

6. 仕様選択ルートによる設計

6.1 対象

仕様選択ルートは、以下の諸条件を満足した重ね形の接合による製品について、設計用荷重の大きさに応じた標準仕様を適切に選択することによって、設計用荷重に対する構造安全性を確保する方法である。

- ・ 外壁材の厚さ：0.4mm以上
- ・ 外壁材の断面：角波形状
- ・ 外壁材の山高：12.5mm以上27.5mm未満
- ・ 外壁材の谷ピッチ：110mm以上225mm未満
- ・ 胴縁への留め付け間隔：375mm以下
- ・ 留め付け用部品の種類：六角の頭部形状を有するドリルねじ(呼び径5mm以上)

この設計ルートはSSR2007の平板ぶき屋根構法の設計の考え方に倣ったものであり、各部の許容耐力等を算定するための試験を要せず、簡便に設計を行うことができる。

6.2 標準仕様

標準仕様は外壁材の厚さ、留め付け間隔及び胴縁間隔について定め、外壁材の山高22.5mmを境にして2通りの表で与えている。表3に山高が12.5mm以上22.5mm未満の場合

の標準仕様を示す。例えば、板厚0.35mmの場合や荷重の絶対値が3,200N/m²を超える場合は同表に仕様を掲げていないので、試験ルートによることになる。

また、胴縁間隔を910mmとする場合には強風時の防水性確保の観点から、防水紙の併用等の措置をすることを推奨している。

標準仕様は後述の試験ルートの方法に準じた試験を系統的に実施し、その評価結果から定めたものである。したがって、標準仕様を活用した設計は試験ルートに基づく設計と同程度に構造安全性が確かめられたものとして扱うことができる。

7. 試験ルートによる設計

試験ルートによる設計の場合には試験によって各部の許容荷重又は許容耐力を算出する必要があることから、SSW2011では外壁材と接合部を対象とした耐力試験や外壁全体を対象とした耐風圧性試験(圧力箱方式)の標準的な方法を定めている。これらの方法を検討するに当たり、類似した外壁製品(複合金属サイディング等)その他のJIS規格やSSR2007のほか、諸外国の試験規格や関連する研究成果も必要に応じて参考にした。これらの試験・評価の内容は、構造設計の場合だけでなく、製品供給業者が製品カタログに掲載する数値(許容スパン等の仕様や許容耐

表3 標準仕様(山高が12.5mm以上22.5mm以下の場合)

荷重の絶対値 (N/m ²)	流れ方向に直交する 留め付け間隔	胴縁間隔 (mm)		
		外壁材の厚さ		
		0.4mm	0.5mm	0.6mm
1,000	140mm以下	606	606	910
	280mm以下	606	606	606
1,200	140mm以下	606	606	910
	280mm以下	606	606	606
1,400	140mm以下	606	606	606
	280mm以下	606	606	606
1,600	140mm以下	606	606	606
	280mm以下	606	606	606
1,800	140mm以下	606	606	606
	280mm以下	606	606	606
2,000	140mm以下	606	606	606
	280mm以下	606	606	606
2,400	140mm以下	606	606	606
	280mm以下	455	606	606
2,800	140mm以下	606	606	606
	280mm以下	455	606	606
3,200	140mm以下	606	606	606
	280mm以下	455	455	455

力)を検討する場合にも標準的な方法として用いられることが望ましい。

一般に外壁を構成する接合部は、外壁材に作用する荷重が胴縁その他の構造部材や骨組に伝達されるうえでボトルネックとなりやすい。したがって、これらの耐力性能を適切に評価するためには、実況を反映した固定方法による試験体を用いて試験を行うことが重要である。また、各々の試験結果を踏まえて許容荷重等を評価する際には、いずれの方法も共通して最大荷重(圧力)の数値だけでなく試験体各部の変位量や変形の状況も考慮することとし、評価の考え方の整合性に留意した。

7.1 試験ルート1

試験ルート1では、仕様選択ルートの適用条件を満足しない重ね形の接合による製品について、外壁材の曲げ耐力試験から許容荷重、接合部の引張りの耐力試験から許容耐力をそれぞれ算出し、設計用荷重との比較を行って耐風安全性を確かめることとしている(図5)。

以下に外壁材と接合部の試験・評価の概要を示す。

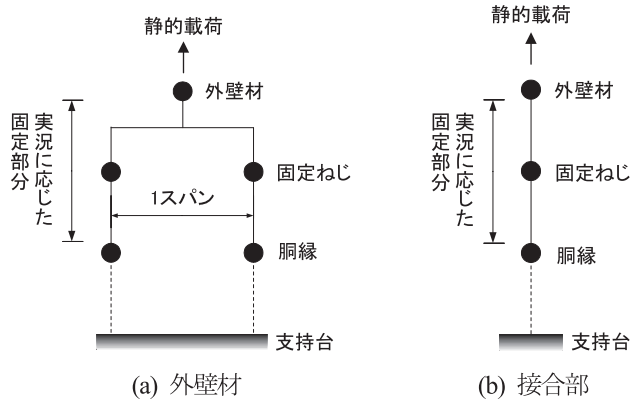


図5 試験で対象とする範囲

7.1.1 外壁材

(1) 試験体

試験体は、外壁材を実況に応じて胴縁に固定ねじで両端固定されたものとし、外壁材の幅は実際の働き幅を有するもので、長さは支点間距離に200mmを加えた長さとする。また、支点間距離は原則として実況に応じた胴縁間隔とする。試験体数は、試験体を上向き状態(正荷重)及び下向き状態(負荷重)でそれぞれ3体(計6体)とする。

(2) 試験方法

最大荷重が得られるまでに試験体に2等分1線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。載荷点には、それぞれ試験体の幅以上の長さのローラーと加圧板を用いるものとする。

試験は1スパンの試験体への2等分1線荷重によることとしており、試験体数はJIS A 6514:1995 (金属製折板屋根構成材)、JIS A 6711:2004 (複合金属サイディング)に定める方法に準じて、正、負荷重に対してそれぞれ3体とした。写真5に試験体の設置状況と破壊状況の例を示す。外壁材の山部で座屈が生じている。

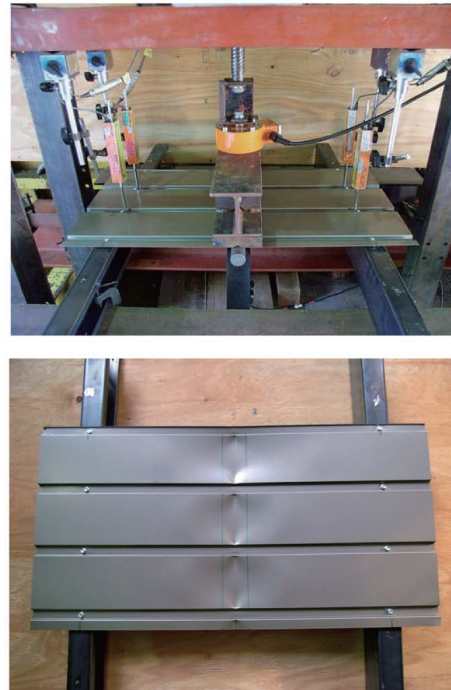


写真5 試験体の設置状況と破壊状況(正曲げの場合)

(3) 評価方法

対象とする外壁材の許容荷重は、原則として次に掲げる式により算出するものとする。

$$w_a = \frac{1}{bl} \cdot \min[2\bar{P}_{a1}, 1.6\bar{P}_{a2}] \quad (1)$$

ここで、 w_a : 外壁材の許容荷重(N/m²)、 b : 働き幅(m)、 l : 支点間距離(m)、 \bar{P}_{a1} : 最大荷重の0.5倍の平均値(N)、

\bar{P}_{a2} : 支点間距離の1/300に相当するたわみ量が生じたときの荷重の平均値(N)である。

ここでの評価の方法は、JIS A 6514:1995 (金属製折板屋根構成材)が保証する折板の曲げ耐力性能の考え方に準じて、最大荷重の0.5倍又は支点間距離の1/300に相当するたわみ量が生じたときの荷重をもとに、単位面積当たりの許容荷重を算出することとした。(1)式は、単純梁とみなした等分布荷重での最大曲げモーメントとたわみ量が集中荷重下で得た試験結果を上回らないことを条件にして得たものである。

7.1.2 接合部

(1) 試験体

試験体は、鋼板同士の重ね部が胴縁に留め付けられたものとする。鋼板は幅90mm×長さ100mm程度に切り出した成形前の平板とし、固定ねじの縁端距離は実況に応じた数値とする。試験体数は3体以上とする。

(2) 試験方法

試験体の胴縁を固定した状態で、最大荷重が得られるまで鋼板の両端を留め付けた治具に引張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。

接合部を対象とした試験体は2枚の鋼板の重なり部分、固定ねじ及び胴縁から構成される。ここで、鋼板を実際の外壁材と同じ角波形状の断面にすると、断面変形の進行とともに荷重が上昇し最大荷重が過大に評価されるので、安全側の試験結果が得られるものとして成形前の平板を重ね合わせたものを標準としている。

固定ねじを実際の仕様通りとすることはもちろん、留め付け孔からの鋼板の破れも破壊性状として想定されることから、固定ねじの中心軸から鋼板の縁端部までの距離を実況に応じた数値とすることが重要である。試験体の載

荷と破壊状況の例を写真6に示す。鋼板の端開き方向への裂けが生じている。

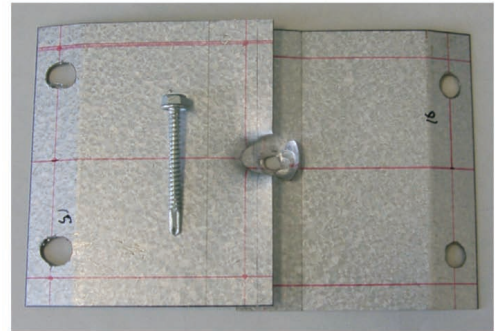
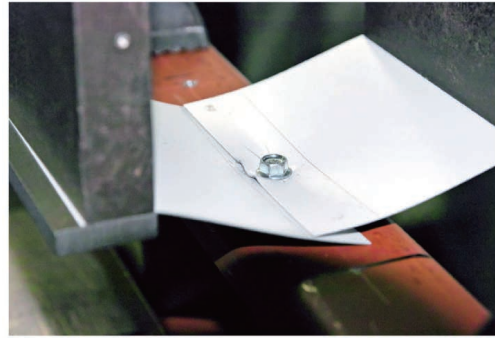


写真6 試験体の荷重と破壊状況の例

(3) 評価方法

対象とする接合部の許容耐力は、原則として次に掲げる式により算出するものとする。また、許容耐力に相当する荷重に達するまでの荷重段階において、いずれの試験体にも構造耐力上有害な変形が生じていないことを確認する。

$$P_a = \frac{\bar{P}_{\max}}{a} \quad (2)$$

ここで、 P_a : 接合部の許容耐力(N)、 \bar{P}_{\max} : 最大荷重の平均値(N)、 a : 2以上の数値である。

接合部の許容耐力の評価は、SSR2007に定める評価方

法と同様に以下の3点を包括的に考慮して、3体以上の試験結果の平均値を2以上の数値で除することを原則としている。

- ・ 損傷限界に概ね相当する耐力と最大耐力との比率
 - ・ 試験結果のばらつきを考慮した低減
 - ・ 試験体寸法と実際の仕様との差を考慮した低減
- 例えば図6に示す試験結果では、5体の最大荷重の平均値が1,955Nであるから、 $a=2$ とすれば $Pa=977\text{N}$ と評価される。

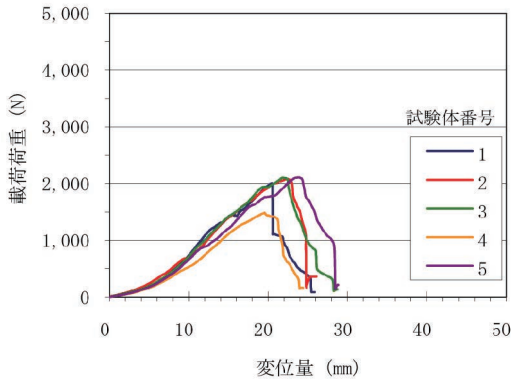


図6 試験結果の例(板厚0.4mmの場合)

7.2 試験ルート2

試験ルート2による設計は全ての接合方法の製品を対象にしており、圧力箱を用いた耐風圧性試験の結果をもとに耐風安全性を確かめることとしている。本設計ルートは、構成要素(外壁材・接合部)ごとの試験体ではなく、2スパン以上を原則とした接合部を含む試験体を用いて外壁全体の許容荷重を算出する点において試験ルート1と異なっている(図7)。

以下に試験・評価の概要を示す。

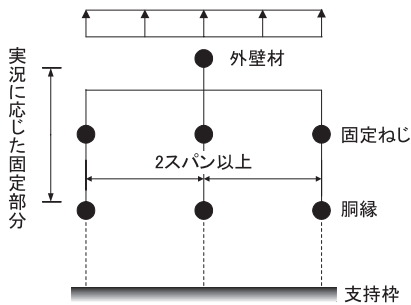


図7 試験で対象とする範囲

(1) 試験体

試験体は、幅が外壁材同士の接合部を2か所以上、長さ方向が2スパン以上の実際の施工方法によるものとし、支点間距離は原則として実況に応じた胴縁間隔とする。試験体数は、正圧及び負圧でそれぞれ1体以上とする。

試験体は圧力箱との間にすき間が生じないように取り付け、ねじれ及び曲がりのないように圧力箱に固定するとともに、試験体の端部と圧力箱との間で空気の漏れがないよう適切な措置を施す。また、試験体の鋼板相互の接合部からの漏気が多く加圧が困難な場合は、試験結果に影響しない程度にめばりする等、加圧可能な処置を適切に施すことが望ましい。

(2) 試験方法

図8及び以下に掲げる手順にしたがって、適切な大きさの予備加圧を行った後に正圧又は負圧を想定した加圧を行う。なお、いずれの圧力段階においても保持時間は60秒以上とする。

- 圧力0から適切な加圧速度で $3,000\text{N}/\text{m}^2$ まで段階的に加圧する。この場合において、原則として $1,000\text{N}/\text{m}^2$ 、 $2,000\text{N}/\text{m}^2$ 及び $3,000\text{N}/\text{m}^2$ にそれぞれ達した後、圧力0まで減圧し、残留変位の有無を確かめる。また、残留変位の確認後は再度減圧前の圧力まで加圧し、減圧前後の変位量に差が生じていないことを確かめる。
- $3,000\text{N}/\text{m}^2$ に達した後は、試験体が破壊するまで適切な加圧速度で段階的に加圧する。

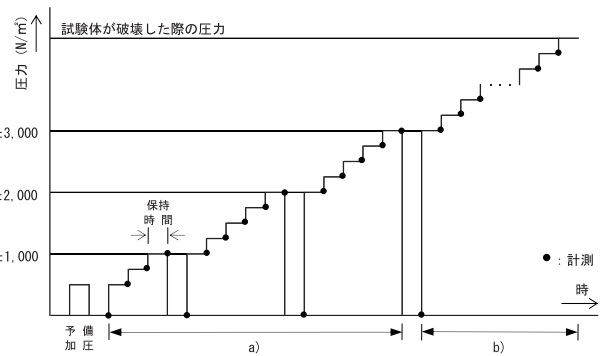


図8 加圧及び計測の手順

耐風圧性試験は重ね形の製品だけでなく、断面形状や接合部のディテールが多様であり、試験ルート1では外壁全体の耐力を適切に予想(評価)するのが難しいかん合形及び差し込み形の接合による製品も対象にしている。この

試験方法は薄板としての局所的な応力集中及び面外変形の影響を反映した評価が可能であるほか、試験体の長さ方向は2スパン以上を原則としているので固定部分を含む外壁全体の構造として最も実態に近い耐力性能を評価することができる(写真7)。



写真7 耐風圧性試験体と変位計設置状況(差し込み形の場合)

(3) 評価方法

対象とする鋼板製外壁全体の許容荷重は、原則として次に掲げる式により算出するものとする。

$$w_a = \min[w_{a1}, w_{a2}, w_{a3}] \quad (3)$$

ここで、 w_a ：鋼板製外壁全体の許容荷重(N/m²)、 w_{a1} ：最大圧力の0.5倍(N/m²)、 w_{a2} ：支点間距離の1/300に相当するたわみ量が生じたときの圧力(N/m²)、 w_{a3} ：各部に構造耐力上有害又は使用上の支障となる変形や残留変位が生じたときの圧力(N/m²)である。

評価にあたっては、試験ルート1の外壁材と同様に最大圧力の0.5倍(w_{a1})及び支点間距離の1/300に相当するたわみ量が生じたときの圧力(w_{a2})に加え、以下の変形性状が試験体の各部に認められないことも併せて確認することとしている。この確認項目によって、外壁材の長さ方向のたわみ量だけでは把握することができない幅方向の変形

性状も許容荷重の評価の際に考慮することができる。

- ・ 加圧段階に生じる構造耐力上有害な変形や損傷
- ・ 圧力の除荷後における使用上の支障となる変形や損傷



写真8 耐風圧性試験結果の例(重ね形の場合)

8. まとめ

本稿では、SSW2011における設計の考え方を中心にその概要を解説した。本書を有効に活用頂き、鋼板製外壁の各種性能の明確化や強風等による被災の低減に寄与できれば幸いである。

謝辞

SSW2011の編集作業は、鋼板製外壁構法標準委員会(事務局：(社)日本金属屋根協会、(社)日本鋼構造協会)及び同委員会に設置した編集WGの場で実施しました。各種試験・評価の標準化に関しては、系統的な検証試験の実施を(財)日本建築総合試験所 試験研究センターに依頼し、試験・評価方法の提案に対して適切なアドバイスを頂きました。また、日本パワーファスニング(株)、稲垣商事(株)及び(株)セキノ興産にも試験の実施に当たりご協力頂きました。ここに、以上の関係各位の皆様には謝意を表します。

最後に、出版に先立つ編集内容の監修を通して適切なご意見を頂いた(独)建築研究所 監修委員会委員の皆様には謝意を表します。