

当協会技術委員会で発行した『金属屋根の性能確認』の第1章 積雪荷重において、金属屋根における積雪荷重並びに強度検討についての考え方を取りまとめました。その後近年の積雪状況とそれに伴う屋根の被害事例などを踏まえて、その内容を補正したもので、その概要を再度紹介します(2006年11月号に収録)。なお全文は、当協会発行のCD-ROM『屋根を調べる』にPDFファイルで納めてあります。



屋根などの外装材は、積雪による荷重によって建築物の内部空間が損壊することを防止するという重要な役割を担っています。この目的を果たすには、耐積雪荷重設計において建築物にかかる積雪荷重の正確な算定と、それに対する屋根・外壁の強度の検討が必要になります。

強度の検討は葺き材だけではなく、屋根・外壁を構成する様々な部品についても行うことはいうまでもありません。これにより適切な屋根・外壁材及び部品の選択を行ない、併せて十全な施工を行なうことにより被害が防止されることになります。

1.1 荷重算定のフローチャート(次頁参照)

1.2 立地環境・建物形状等

積雪の状況は、その建物が立地する環境(海岸地域、多雪地域等)及び建物の形状や屋根の部位(軒先、けらば)によって様々であり、荷重を設定する上で十分な検討が求められます。

(1) 雪比重(積雪の単位荷重)

積雪の単位荷重は、積雪期間の長さ、地域の気象条件などによって大きな差が生じます。建築基準法では 20N/cm^2 / m^3 以上としています。この数値を無条件に受入れるのではなく、建設地点の条件を必ず検討する必要があります。多雪地域では、特定行政庁が決められている場合がありますので、確認が必要です。

(2) 偏荷重(不均等荷重)

屋根形状、風向き、日射方向などにより屋根上の積雪量が不均等になります。

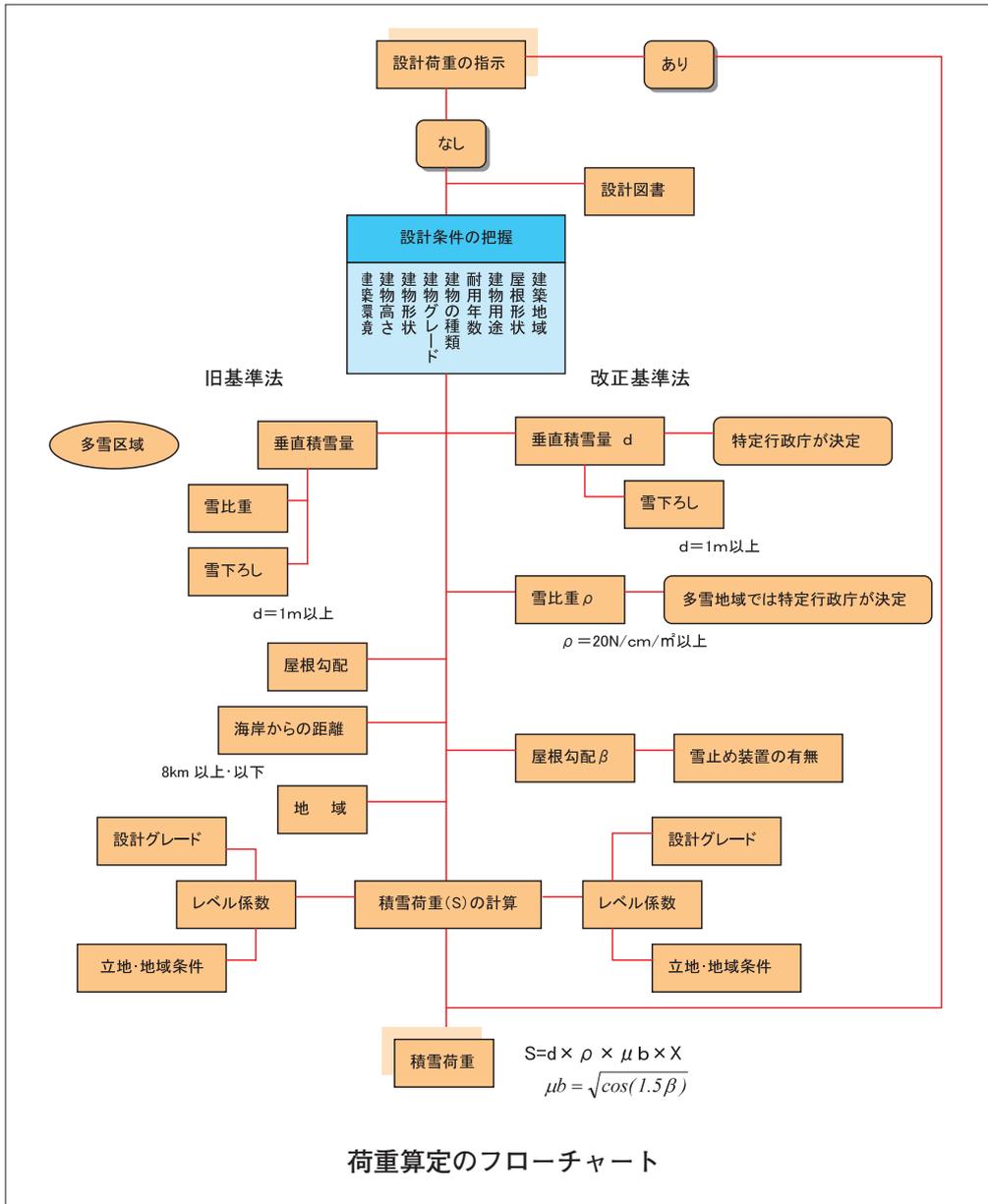
(3) 雪庇・巻垂れ・氷柱

軒出・はね出しなどの部位は片持ち梁として強度を検討する必要がありますが、それに加えて雪庇や巻垂れが発生しやすいので、十分な安全率を見込むようにします。

(4) 落雪(衝撃荷重)

下屋、庇、低層階屋根等への上層部屋根からの落雪は、極めて大きな荷重を発生させます。このような状況が懸念される形状の建物では、事前に積雪の処理方法を決めておくことが重要です。

上記のような現象が考えられる場所あるいは箇所では、積雪荷重の割増を考慮すべきです。さらに建築物の用途、耐用年数等を考慮して積雪荷重の割増・軽減の検討も必要になります。また、といた軒先からの出寸法も大きく取り過ぎないようにします。



1.3 積雪荷重の算出

建築基準法による積雪荷重の算出は次式によります。

$$S = d \cdot \rho \cdot \mu b \cdot X$$

垂直積雪量・多雪区域の積雪の単位荷重は、特定行政庁の定めた数値を採用します。
設計者などからデータの提供を受けてください。

(1) 垂直積雪量(d) …令86条3項

特定行政庁が建設省告示第1455号に基づき決めていますので、確認する必要があります。

* 平成12年建設省告示第1455号(平成12年5月31日：多雪区域を指定する基準及び垂直積雪量を定める基準)

積雪量が1mを超える場合、雪下ろしをすれば、雪下ろしの実況に応じて $d = 1\text{ m}$ まで減らして計算が可能です(令86条6,7項。建物の出入口に表示が必要となります)。

[多雪区域]

多雪区域は、特定行政庁が指定します。その基準は次のいずれかです。

- ① 垂直積雪量が1m以上の地域
- ② 積雪の初終期間間の平年値が30日以上

(2) 積雪の単位荷重(ρ) …令86条2項

積雪量1cmごとに20N/m²以上と定められています。多雪区域では、特定行政庁が別途決めている場合がありますので確認の必要があります。

雪下ろしの推奨

最近の降雪状況を見ると、短期間に大量の降雪があることに加えて積雪比重の増加(図1.4.2参照)が指摘されていますので、当初の設計荷重以下での不具合発生も十分考えられます。したがって、雪下ろしを実施することが事故を未然に防ぐためには有効です。

(3) 屋根形状係数(μb) …令86条4項

積雪荷重の低減係数で、雪止めがない場合は、次式で計算した屋根形状係数を乗じて積雪荷重を軽減することができます。なお、屋根形状係数も特定行政庁が別途定めていることがありますので、注意してください。

雪止めがなく屋根の勾配(β)が60°を超える場合は、積雪荷重を「0」とすることができます。

$$\mu b = \sqrt{\cos(1.5\beta)}$$

ここで、β：屋根の勾配(単位：度)

屋根勾配からのμbの算出は以下の式によります。表1.4.1に代表的な屋根形状係数の数値を示します。

$$\mu b = \sqrt{\cos(1.5 \times \tan^{-1}(\alpha/100))}$$

ここで、α/100：屋根勾配

表1 屋根勾配と屋根形状係数

勾配	α 分数表示 (tan θ)	β 角度表示 (θ・度)	μb
	3/100	1.718	0.9995
	5/100	2.862	0.9986
1寸勾配	10/100	5.711	0.9944
2寸勾配	20/100	11.31	0.978
2.5寸勾配	25/100	14.04	0.966
3寸勾配	30/100	16.70	0.9518
4.5寸勾配	45/100	24.23	0.8975
10寸勾配	100/100	45.00	0.6186

(4) レベル係数(X) … [1.2]とする

地域や立地の違いにより積雪の形態は変化するので、風向き・気温・雪質等により荷重を割増す場合などに使う係数です。以下に目安を示します。本書では、以下のような事例を総合的に考慮して、設計者から特別の指示のない場合は、レベル係数を[1.2]としています。

① 積雪の単位荷重(X=1.0~3.0以上)

積雪の単位荷重は、下記のような諸条件により30N/m²~60N/m²になることがあります。

#融雪・結氷を繰り返す地域

気温が氷点下以下に下がる地域断熱性が悪く屋根の雪が室温によって融ける建物etc

#積雪量が多く根雪が圧雪状態になる地域

#雪下ろし等の作業により圧雪されるとき

② 不均等荷重(X=1.0~3.0)

#屋根形状、風向き等により

雪だまり、吹き溜まりとなる箇所

#屋根の断熱性が異なる場所

#雪下ろしの不均等な場所

#屋根形状によっては、まれに流れ方向に対して「横」からの荷重がかかることがあります。

粉雪	ρ=0.05	100	1400
べた雪	ρ=0.1	100	
締雪	ρ=0.3	400	
ざらめ雪	ρ=0.45	400	
硬凍雪	ρ=0.7	230	
氷板	ρ=0.9	170	

▽屋根面

図1 軒先の積雪状況の実測値(三晃金属工業実測値) 昭和49年3月宮城県仙北郡南外村付近 ρは比重 単位：mm

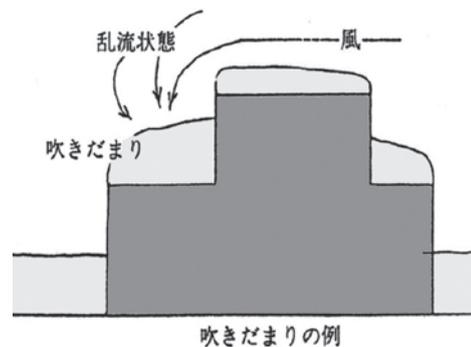
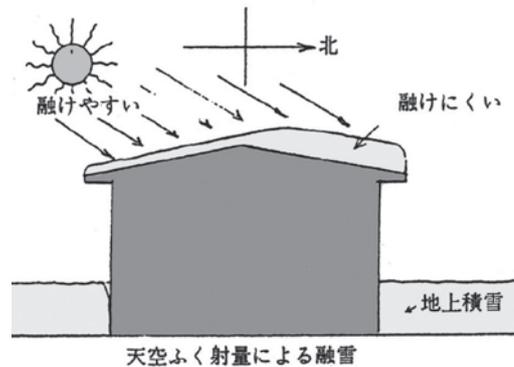


図2 不均等荷重

③ 雪庇・巻垂れ・氷柱(X=1.0~2.0)

④ 落雪(X=10~20)

上部階屋根からの落雪は衝撃荷重として扱います。

⑤ 耐用年数、用途など(X=0.8~1.2)

特別に考慮を加える場合があります。設計者の指示・了解が必要です。

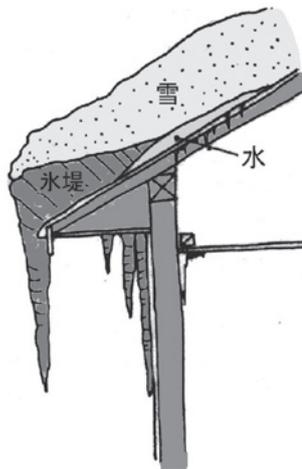
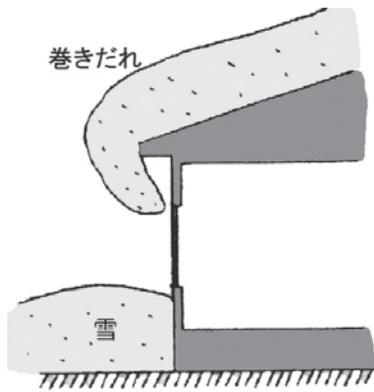


図3 巻垂れ、氷柱など

② 計 算

$$S = \boxed{d} \times \boxed{\rho} \times \boxed{\mu b} \times \boxed{X} \quad (\mu b = \sqrt{\cos(1.5\beta)})$$

(a) μb の算出

$$\mu b = \sqrt{\cos(1.5 \times 16.7)} \div 0.95 \quad \text{表1.4.1より}$$

(b) 積雪荷重の算出

$$\text{積雪荷重}(S) = 90 \times 20 \times 0.95 \times 1.2 =$$

$$\boxed{2052 \text{ N/m}^2}$$

1.4 屋根材の強度計算

算出した積雪荷重に対して、使用する屋根材及び接合部品などが十分な耐力を有しているか否かを検討します。屋根葺き材は、折板のように構造材として認められているものと平板葺きのように認められていないものがありますので、屋根の強度計算は二つに分けて考える必要があります。

(1) 折 板

折板の耐力性能は、JIS A6514（金属製折板屋根構成材：以下折板JISとする）に基づき実験により確認され、製品別に各メーカーのカタログ等に表記されています。詳しい内容については、JIS A6514、『鋼板製屋根構法標準』（SSR2007）を参照ください。折板の強度計算には以下の方法があります。

折板屋根の強度検討において、最近、短期間での大量の降雪や積雪比重の増加が指摘されているように、降雪状況がこれまでと大きく異なっていますので、十分な設計荷重を見込んでください。

(5) 計算例

③ 条件(設計図書より)

積雪の単位荷重	20N/cm / m ²	ρ	特定行政庁が定めた数値
垂直積雪量	90cm	d	多雪区域では特定行政庁が定めた数値
屋根勾配	3 寸		β (度) 表 1.4.1 を参照
雪止め金具	なし	μb	雪止めがある場合、 μb は適用できない
特記	なし	X=1.2	指示がない場合は、積雪の不確定要素を考慮して「1.2」とする

併せて、近年、積雪地域において底幅の広い折板の使用例が増えていますが、このような折板が積雪荷重(正圧)により梁の位置で座屈する事例が報告されています。積雪地域において底幅の広い折板を使用する場合は、強度検討において、断面係数(Z)は、正圧、負圧のうち小さい値を採用したほうが安全です(注)。

また、折板の断面性能は、所定の形状が確保されていることが前提です。したがって成型精度の管理を十分行う必要があります。特にはず部の精度維持が重要です。

① 折板簡便法

下記の条件下で折板耐力区分の許容荷重内での使用が可能で、計算が不要です。

[条件] 梁間：山高の25倍以下

軒出：山高の5倍以下

② 折板通常法

折板の断面性能を用いて、曲げモーメント及びたわみの検討を行ない、それぞれが許容範囲内であれば、使用が可能となります。

③ カタログ法(メーカーグラフ法)

メーカーのカタログ等に記載されている強度グラフ(正圧)を用いて梁間より強度を読み取り、積雪荷重以上であれば使用可能となります。

④ タイトフレーム強度の検討

積雪荷重によってタイトフレームが変形や座屈を起こすことがありますので、タイトフレームの強度検証を必ず行う必要があります。また、設計条件(勾配、雪止めの有無)によっては、側圧方向(流れ方向)の負荷も無視できませんので、側圧強度の検討を要する場合があります。溶接許容荷重等が積雪荷重より生じる支点反力以上であれば使用可能となります。

(2) 平板葺き(折板以外の金属屋根)

通常、野地板の上に施工される屋根葺き材の積雪荷重(正圧)に対する強度は、下地(鉄骨等の躯体)が負担するので、葺き材の検証は不要です。建築設計者または構造設計者に確認してください。メーカー仕様(下地を含めた複合屋根構造)のまま使用の場合は、そのメーカーが仕様通りの試験体で実験を

行ない、強度結果を提示しているため、その数値で強度を確認することができます。^{注)}

下地・接合部の強度(釘、木ねじ、タッピンネジ、垂木等)は、SSR2007、メーカーデータ等を参考に検証します。

[注]試験データは、最終強度、破壊強度、許容強度などと表記されています。その内容を誤らないよう利用する必要があります。

(3) と い

雨といの強度については、エキスパンション部、ジョイント部、縦といのつなぎ部など接合部の確認を行なうのが一般的で、といの本体の強度計算は特に必要ありません。むしろ、といが破壊することで屋根やその他の部位に被害を及ぼさないようにする設計法が主流です。積雪に対する雨といの強度設計(積雪荷重対策)では、雨といの取付金具の取付間隔と軒といの取付位置がポイントになります。また、軒先からの軒といの出寸法をとい幅の1/3程度として、といに積雪荷重がかからないように施工するのが一般的です。

(4) 幕板(パラペット・鼻隠し)

幕板本体は、外壁と同様に①メーカーデータ法②通常法により検討してください。幕板の下地材の強度については計算が可能です。

1.5 雪止め金具

現在行なわれている屋根からの落雪防止対策には、以下のような事例があります。

落雪防止対策では、雪止め装置による方法が最も普及しており、北海道などでは陸屋根(無落雪屋根)方式も多数見られます。融雪法については設計法など基本的な考え方が確立していないのが現状です。

落雪対策では、完全に落雪を防止するのではなく、少量ならば落雪させてもよい(少しずつ落雪させる)との考え方をとする地域もあります。このような場合は、屋根面が段状になる横葺きが有利といえます。

(1) 雪止め金具に対する考え方

雪下ろし屋根とする場合は、雪止めを取付け、確

表2 屋根の落雪対策

落雪防止策	
屋根形状による	陸屋根等…基本的に落雪しない
雪止め装置による	屋根上取付金具…原則として屋根葺き材で支える 葺き材との摩擦力で支えるため、金具の耐力が小さく取付け個数が増える
	構造材取付金具…母屋等下地構造材で支える 雪止め装置が葺き材を貫通するため、漏水対策等が必要
融雪法[降雪量以上の熱エネルギーを与え水として排出]	
流水装置による	地下水等…水の潜熱・凝固熱の利用 地下水等の成分(塩分等)により、屋根材への悪影響を及ぼす場合がある
加熱装置による	電力等…ジュール熱の利用 軒先のすもれ対策には有効、初期投資、経費面で課題が残る
	蒸気等…水蒸気潜熱の利用 現在は一般的でない

実に雪を止めておく必要があります。雪止めは無理な力がかからないようバランスよく取付けることがポイントです。

- ① 力が集中しないよう屋根全体に分散して設置する
- ② 軒先だけに取付けると屋根が傷みやすい
- ③ 片寄って取付けると端部の雪止めに過大な力がかわり、はぜなどを傷める
- ④ 軒先と雪止めの間隔が広すぎると氷塊が落下して危険である
- ⑤ 軒出の部分には雪止めを取付けない

また、雪止め装置は、屋根上に雪を一時的に止めておくものであり、落雪を完全に防止するものではないことを認識しておくとともに、ユーザーに周知する必要があります。

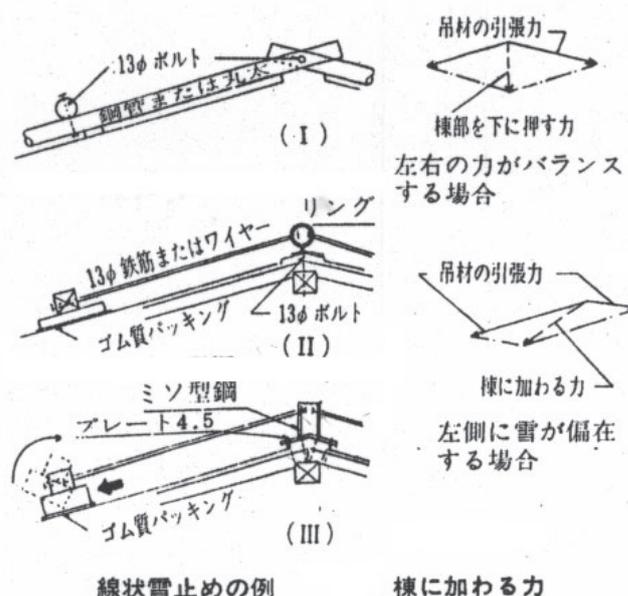


図4 線状雪止めの例

(2) 静止摩擦係数

屋根上に積雪している雪または水のずり落ちの荷重は、屋根葺き材との静止摩擦係数により決定されます。一般的に鋼板と雪の場合の静止摩擦係数は $\mu = 0.3 \sim 0.35$ とされています。しかし、温度(要因としては一番大きい)等の条件により、雪(氷)と屋根葺き材の間に必ず水が介在することになり、静止摩擦係数は極端に小さくなります。

このため、本書では静止摩擦係数を $\mu = 0.05$ としています。また、屋根材に負担をかけないためには、下図のような方法が望ましいといえます。

(3) 雪止めの金具の取付間隔

雪止め金具の取付け間隔を決める際には、積雪荷重等について以下の注意が必要です。

- ① 垂直積雪量(d)
建物の形状・立地場所(風向き)により、特定行政庁が決めた最深積雪量より大きくなる傾向があり、注意が必要です。また、片流れ屋根、

切妻屋根などでは屋根上に堆積した雪が軒先部分に徐々に集中する傾向にあり(巻きだれ)、氷柱も発生する恐れがあります。

したがって屋根材の軒先強度を検討するうえで注意が必要です。特に折板屋根では、軒先部の断面形状の崩れ(鉄骨の不陸、風による暴れ等)や連続性の中断などにより、断面性能が充分発揮されないことにも留意しなければなりません。

このため、積雪荷重の算定では安全を見た数値を採用することをお勧めします。本書では、建築基準法に基づいて算出した荷重に、レベル係数として1.2を乗じることにしています。

- ② 雪の単位荷重(ρ)
気象条件等により異常に大きく(50N/cm²以上)なるときの場合があります。注意してください。
- ③ 静止摩擦係数(μ)
金属板と雪の場合の静止摩擦係数は、一般

的には $\mu=0.3\sim 0.35$ 程度とされていますが、外気温や雪質による変化、水の介在を考慮して「0.05」とします。

(4) 雪止め金具の取付間隔の計算

① 計算条件

取付間隔を計算するには、以下のデータが必要となります。

①	積雪荷重(S)	$S=d \times \rho \times X$ (N/m ²) 屋根形状係数(μb)は、雪止め金具がある場合、使用できません。
②	金具すべり耐力(T)	N/個(金具メーカーに確認)
③	屋根の流れ長さ(L)	m
④	屋根の角度(β)	$\beta = \tan^{-1}(a/100)$ a/100は勾配を示す
⑤	金具の間隔(A)	m
⑥	屋根材料の静止摩擦係数(μ)	0.05

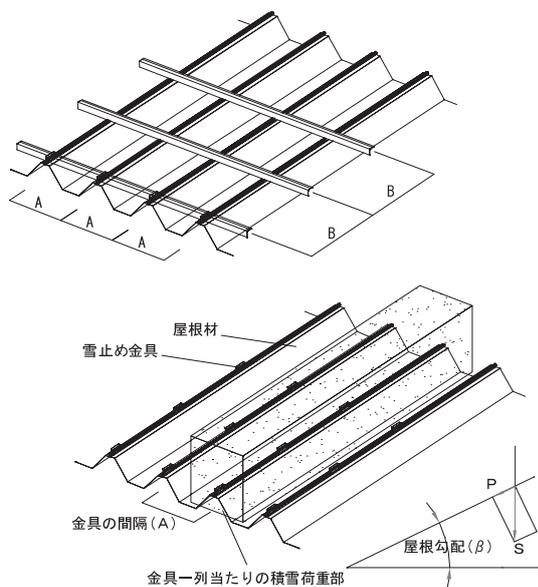


図5 雪止め金具の取付間隔

② 計算式

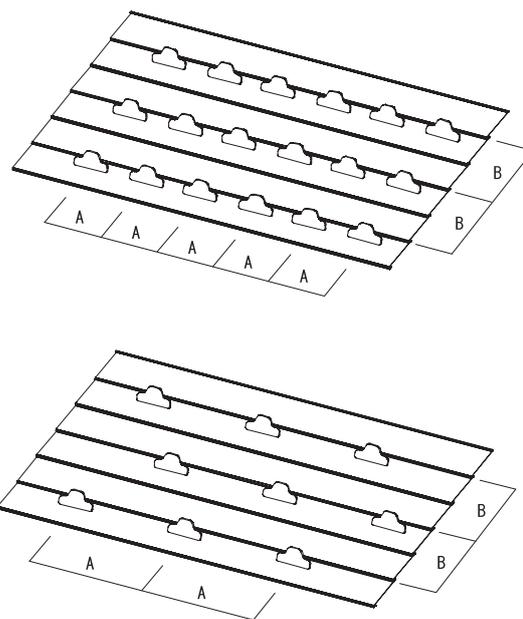
(a) 屋根の流れ長さに必要な雪止め金具の数(F)

$$F = \frac{(S \times A \times L) \times (\sin \beta - \mu \times \cos \beta)}{T}$$

(小数点以下を切上げる)

(b) 雪止め金具の取付間隔(B)

$$B \leq \frac{L}{F}$$



(5) 計算例

① 計算条件

積雪荷重	
垂直積雪量(d)	250cm
積雪の単位荷重(ρ)	30N
レベル係数(X)	1.2

屋根・金具の仕様	
金具すべり耐力(T)	1000N/個
屋根の流れ長さ(L)	12m
屋根の勾配(β)	$10/100 \div 5.7$ 表 1.4.4
金具の間隔(A)	0.4m
屋根材料の静止摩擦係数(μ)	0.05

② 計算

(a)積雪荷重 $S = d \times \rho \times X = 250 \times 30 \times 1.2 =$

9000N

#雪止めがある場合は、 μb (屋根形状係数)は適用できません。

(b)屋根の全長(12m)に加わる力

$S' = S \times A \times L = 9000 \times 0.4 \times 12 = 43,200\text{N}$

(c)流れ方向の力(勾配を加味)

$P = S' \times \sin \beta = 43200 \times \sin 5.7 = 4290.613189 \div$

$4,291\text{N}$

$\sin 5.7 \div 0.09932$ 切上げ

(d)摩擦力の検討

$P\mu = S' \times \mu \times \cos \beta = 43,200 \times 0.05 \times \cos 5.7 = 2149,3200 \div$

$2,149\text{N}$

$\cos 5.7 \div 0.995$ 切捨て

(e)雪が滑り落ちようとする力

$P_{\text{net}} = P - P\mu = 4291 - 2149 = 2,142\text{N}$

(f)必要な雪止め金具の数

$F = P_{\text{net}} \div T = 2142\text{N} \div 1000\text{N} = 2.14$ 個 切上げて \Rightarrow

3個

12m間に 3 段 取付を必要とする。

(g)取付間隔 $B \leq L \div F = 12\text{m} \div 3 = 4\text{m}$

取付ピッチ = 4000 mm以下

ります。折板の断面形状が上下対称形状(例：88タイプ、150タイプ)のものでは、正荷重強度も負荷重強度も同程度になります。

しかし、500タイプのはぜ折板のように谷部(下底)が山部(上底)に比べ、かなり広い場合は、負荷重強度が正荷重強度に比べ大きく低下します。これは谷部(下底)が広いため圧縮強度に弱いからです。

折板の強度検証では通常、メーカー各社がカタログに記載している断面性能値を使用して強度を検討しますが、この断面性能値は、JIS A6514 (金属製折板屋根構成材)に準拠した試験で得られた数値です。JIS試験は単純梁試験体で正圧及び負圧方向の試験を行い、断面性能もこの両者をカタログに記載しています。

実際の建築物での折板は単純梁形式であることは少なく、ほとんどが多連続梁形式です。次図は等正圧荷重での等スパン多連続梁形式のモーメント図の一例です。

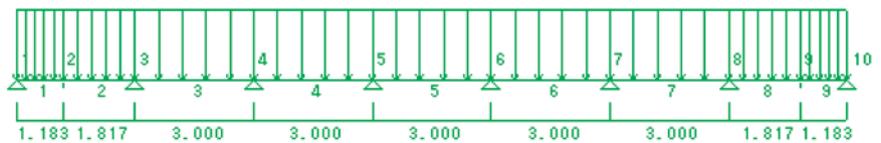
最大モーメントは第2梁位置で2.85kNmとなっていますが、ここで注意しなければならないことは、モーメントの方向が負曲げ方向だということです。すなわち、正圧荷重での検討でありながら、この部位の曲げ応力算定は、前述の負圧方向試験で得た断面係数(Z)を用いることになります(たわみ量算定は、正圧荷重の場合、正圧方向試験で得た断面二次モーメント(I)を使用します)。

[注：折板強度と断面係数]

一般的に積雪荷重のように上から下への荷重を正荷重(正圧)といい、強風時の屋根面の負圧など、下から上への荷重を負荷重(負圧)と呼んでいます。

折板強度は正荷重の場合、折板山側(上底)が圧縮側になり、折板谷側(下底)は引張側になります。逆に負荷重の場合は、折板山側(上底)が引張側になり、折板谷側(下底)が圧縮側にな

スパン・荷重図



モーメント・反力図



このため、上下対称形状の折板の場合は、正負の断面性能に差がありませんから、正圧方向の断面性能値を用いて計算してもかまいませんが、底幅の広い折板の場合、断面係数(Z)は負圧方向の数値(小さい数値)を採用したほうが安全サイドとなります。

特に最近、短期間での大量の降雪や積雪比重の増加が指摘されているように、降雪状況がこれまでと大きく異なっていますので、より安全を考えた場合、上記の措置をお取りください。

[参考：梁のたわみと折板強度]

折板屋根の強度検証では通常、「支持点の移動はないこと」を前提とし、強度検討書等では、あえて表現していないのが実情です。しかしながら、下地鉄骨のたわみが「0」ということはなく、折板同様に許容たわみ範囲内の変形は認められています。

折板強度に対しては、梁のたわみ量も影響を与えます。例えば、同じ荷重を受けても大梁と小梁ではたわみ量が異なります。積雪による折板屋根の座屈事例を検証したところ、除雪後も梁に残留歪が生じていて、小梁のたわみ量が小梁のそれに比べて著しく大きくなっている例が報告されています。

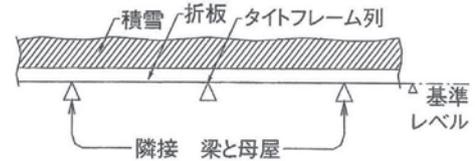
通常折板強度の検証に際して積雪荷重は、概ね次の積雪状態を仮定して採用します。

- *等分布積雪状態
- *吹き溜まり積雪状態
- *軒先の雪庇と巻き垂れ状態

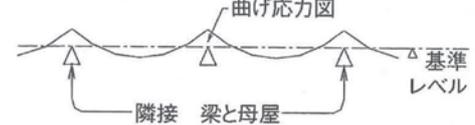
しかし、過去の損傷事例において、到底損傷が生じるはずのない等分布荷重の積雪量(設計荷重以下)で、折板支持端(タイトフレーム部)の直上列近くで座屈損傷が生じている現象が数多く見られます。この理由として、折板に対して前提とした積雪荷重だけでなく、下地鉄骨の「隣接する梁や母屋間で生じるたわみ量差」が集中荷重に変換し、付加された状態が生じていたと考えられます(右図)

(この項終わり)

①：2連梁折板の荷重図



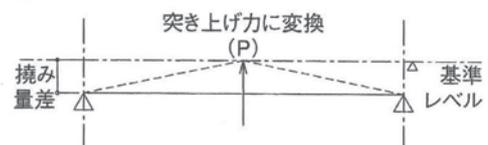
②：曲げ応力図



③：支持端のたわみ量差図



④：集中荷重図



⑤：曲げ応力図 (2次応力負荷図)



⑥：曲げ応力図 (合成応力図)

