

住宅の風災害の実例とその軽減策

岡田 恒 (建設省建築研究所
耐風研究室長)

1. 暴風による住宅の被害

1.1 被害の概要

暴風による強風の被害を概観する。一般によく見られる被害は次のようなものである。

(1) 外装仕上材の飛散, 破損

写真1-1~1-4に被害例を示す。屋根葺材, 外壁仕上材などの住宅の外装材が部分的に引き剥がされたり, 破損したりしている。このような場合は, 室内に雨漏りによって水が侵入するが, 構造的な被害は発生していない。引き剥がされた仕上材は空中を飛び, 数十メートルあるいは数百メートルの範囲に飛散する。飛散物は他の建物に衝突し, 新たな損傷を生み出す原因になる場合が少なからずある。



写真1-1 屋根葺材の被害 写真1-2 屋根葺材の被害

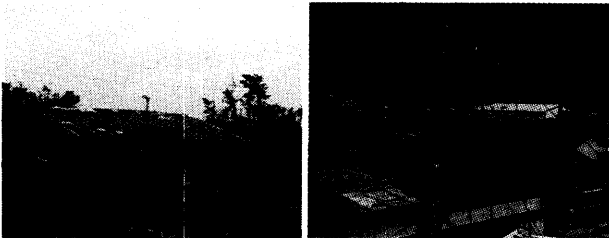


写真1-3 屋根葺材の被害 写真1-4 屋根葺材の被害

(2) 窓ガラスの破損

写真1-5~1-6に窓ガラスが割れている被害例を示す。窓ガラスが被害を受けると, 軽微なものは, ガラスの破片が窓際に散乱している程度でとどまっているが, 甚大なものは家具, 調度あるいは建具が家中に散乱し, 室内は雨をかぶって壊滅的な被害に至っている。

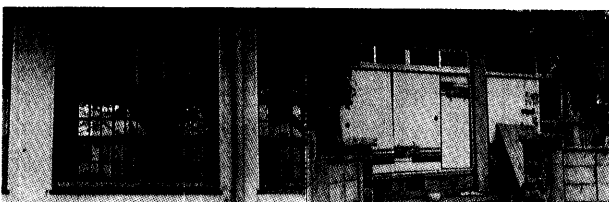


写真1-5 窓ガラスの被害 写真1-6 窓ガラスの破損

(3) 屋根の離脱

屋根の構造を木造在来軸組構法を例にとって図1-1に示す。写真1-7~1-8に示すように, 屋根の離脱という被害は, 野地板から飛ばされる, たる木から飛ばされる, 母屋から, 小屋からというようにいくつかある仕口, 継手部分のいずれかから上部が飛ばされる形態を呈している。もちろん被害が屋根全体に及ぶ場合も, 一部にとどまる場合もある。いずれにせよ, 屋根が吹き飛ばされた部分から, 雨や風が吹き込み, その下の室内は大きな物的損害を被ることになる。また飛ばされた屋根はそのままの形態で近くに落下するか, ばらばらになって遠くまで飛散する。

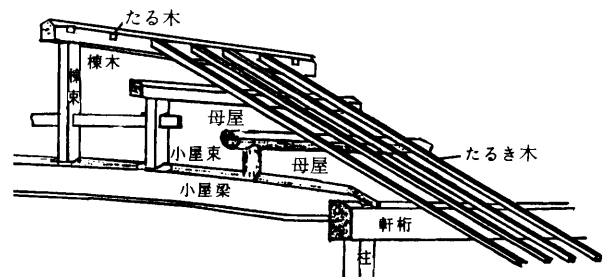


図1-1 屋根構造 (木造在来軸組構法)



写真1-7 屋根の離脱 写真1-8 屋根の離脱

(4) 外壁開口部の破損, 建具の離脱

外周部に広く開口をとり, そこに可動式の建具をはめ込んだ建物では, 写真1-9に示すようにその外周建具が破損し, 離脱する被害が見られる。外周壁に大きな穴が空いた状態になるため, 室内は壊滅的な被害を受けることになる。

(5) 倒壊, 転倒

写真1-10は住宅が倒壊したり, 転倒したりしている状態を示す。設計や施工に著しい欠陥がある場合や, 住宅の一部あるいは全体に著しい老朽化が見られる場合にこのような被害を受ける。また前記の(3)あるいは,

(4) のような被害を受けた後、さらに長時間強風にさらされた場合にもこのような被害に至る場合がある。



写真 1-9 外壁開口部の被害 写真 1-10 倒壊の例

1.2 被害の原因

前項で紹介した被害の原因を探ってみる。

(1) 外装仕上材の飛散、破損

屋根葺材や外装仕上材は、釘などで下地に留めつけられる。外装仕上材の飛散は、引き剥がそうとする風力が留めつけ強度を上回る場合に発生する。一方、破損は引き剥がそうとする風力に対し、留めつけ強度は十分だが、外装仕上材自体の強度が不足している場合に発生する。また、飛来物が衝突した場合にも発生する。

仕上材を引き剥がそうする風力は、建物上での位置と風向により異なる。屋根の場合軒先、けらば、棟で風力は大きくなる。したがって屋根葺材の被害はそのような場所で起きやすい。壁では出隅部の風力が大きい。そこでその部分の被害発生が起きやすい。いったん被害が発生すると、外装仕上材と下地との間の隙間に風が吹き込みやすくなり、他の部分へと被害が拡大していく。

仕上材の留めつけ強度は、年ごとに少しずつ低下する。気温の日変化、季節変化に伴う仕上材およびその下地材の温度伸縮により留めつけ部が繰り返し動かされる、また日常の風や振動により揺すられるからである。また、留めつけ材料自体も年々劣化する。したがって古い建物ほど被害を受けやすい。

(2) 窓ガラスの破損

少し古いが、伊勢湾台風時に被害原因を調べた例がある。表 1-1 にそれを示す。飛来物によると見られる被害がほとんどである。このことは、現在でもあまり変わらないと思われる。

表 1-1 窓ガラスの破壊原因

原因	破壊割合	備考
飛来物	41.2%	主として風上面
建具の破壊	26.0	
パテの飛散	16.0	主として風下面
振動	15.1	主として建具の振動による
風圧力	1.7	

建築学会、「伊勢湾台風災害調査報告書」、1961年より

(3) 屋根の離脱

屋根の離脱の原因は、吹き飛んだ部分と残った部分の結合部の結合強度不足である。離れた結合部すべてが強

度不足ということではない。特定の接合部に破壊が発生し、それが原因で周囲の接合部へ被害が拡大していくからである。厳密に言えば、最初に破壊した接合部の強度不足ということになる。

もう1つの原因として、内圧の変化に伴う風力の増大を挙げることができる。図 1-2 に示すように、軒裏や外壁の窓、開口部の破壊に伴い、破壊箇所から風が吹き込むことで、室内圧が増加する。屋根に作用する風力は、外圧と内圧の差であり、内圧が増加することにより風力が増加する。

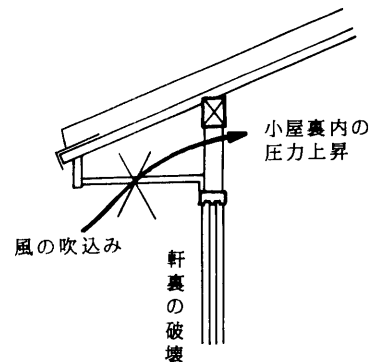


図 1-2 軒裏破壊に伴う風の屋根裏への吹き込み

(4) 外壁開口部の破損、建具の離脱

外周壁面開口部が引き戸などの可動建具である場合、その破損、離脱の原因には次のようなものがある

- イ. 飛来物の衝突
- ロ. サッシの剛性不足による過度のたわみ
- ハ. 戸車、レール、敷居の溝などの摩耗

2. 飛来物に対する計画

耐風性に優れた住宅を計画するには、暴風時に大量に発生する飛来物のことを忘れてはならない。飛来物は外壁にあるいは外壁にある窓に衝突し、それを破壊する。衝突によって室内に貫通する穴が空くと、そこから雨風が室内に侵入し、床、家具、建具等を傷める。さらにそこから侵入した風は室内圧を上昇させ、屋根等を吹き飛ばすような壊滅的な被害につながる場合もある。

2.1 飛来物

暴風時の飛来物には次のようなものがある。

- イ. 地上の小石、樹木の枝
- ロ. 地盤に緊結されずに置いてあるもの
ex. 簡易物置、ごみ箱、犬小屋、立て看板
- ハ. 建築物の外装材
ex. 鉄板、瓦、板、たる木
- ニ. 建築物の外に取付けたもの
ex. 看板、広告塔、温水器、アンテナ
- ホ. 建築物そのもの

2.2 飛来物に対する開口部の保護

飛来物から開口を保護する方法としては一般に次の3つが考えられる。

イ. 雨戸を設ける方法

ロ. 格子または格子戸を設ける方法

ハ. 臨時に板等を窓に打ちつける方法

イ、ロは常設の方法であり、ハは臨時の処置である。

2.3 雨戸、格子等の設計

(1) 設置階

近年、2階以上の部屋に雨戸を設置しない住宅が増加している。しかし表2-1に示す台風9119号の被害調査では、窓ガラスの被害率は1階と2階でほとんど差がなかった。これは飛来物が1階と2階とではほとんど差がなく襲ったことを示唆している。3階程度くらいまではおそらくほとんど差がないと思われる。2階、3階にも1階と同様雨戸等を設置することが望ましい。

表2-1 階別の開口部の被害率

	1階				2階			
	被害有	被害無	不明	合計	被害有	被害無	不明	合計
戸数	208	82	10	300	123	49	0	172
%	69	27	3	100	72	28	0	100

(2) 雨戸の設計

雨戸は飛来物対策として最も現実的かつ有効な方法である。一般に雨戸は閉め切った場合でも、その両端および上下端に隙間がある。そのために、もし風圧の時間変動がなければ、雨戸の外側の風圧と雨戸とそれが保護する窓面との間の空間の圧力とは同じになる。これは、雨戸の表と裏とに大きさが同じで逆向きの力が作用することを意味し、雨戸には全く風圧力が作用しないことになる。実際には風圧は時間変動しておりそのようなことはないが、それでも雨戸に作用する風圧力は通常の外壁開口部に作用する風圧力の5割以下程度で、大きな風圧力は作用しない。ただ、雨戸は飛来物等の衝撃に耐えるものでなければならない。瓦等が衝突しても変形が数センチメートル以下と大きくなく、それが貫通しないようなことが要求される。雨戸によって保護される窓に作用する風圧力は、極めて瞬間的に大きな風圧は雨戸が負担してくれるが、その設計用の風圧力を低減できるほどの減少は期待できない。

なお、雨戸は飛来物を受けた衝撃、あるいは風圧の変動でガタツキのために外れてはならない。そのようなことを防ぐためにはずれ防止のためのロック機構を備えている必要がある。

(3) 格子および格子戸

開口部の室外側に格子あるいは格子戸を設置すること

も、飛来物から開口部を保護するのに有効な対策である。ただし格子間隔を広げすぎると飛来物防止効果が少なくなる。格子間隔は15cm程度以下とする。幼児等の転落防止という観点からは11cm以下とするのがよい。

(4) 臨時に板などを打ちつける方法

雨戸や格子のない開口部では、窓の外側に板等を臨時に確実に打ちつけることができるようにする。板は適当な厚さの製材を15cm内外の間隔を空けて両端を釘打ちする。釘は板厚の3～4倍の長さのものを用いる。製材の代りに面積の広い合板等を用いるのは大きな風圧を受ける可能性があり、避けるのがよい。

3. 風圧に対する計画

3.1 設計風速の設定

耐風設計を始めるにあたっては、まず設計風速を設定しなければならない。設計風速は、その地方の過去の最大風速を参考に定める。建築基準法では設計において想定すべき速度圧（瞬間最大速度圧）の最低値を定めている。速度圧については後述するが、設定する設計風速はその速度圧に対応する風速を下回ることはできない。法律で定める最低限の速度圧を設計値として採用する場合でも、それが平均風速であるいは瞬間風速で何m/sに相当するかを設計者、建築主双方とも知っておくことが肝要である。

各地方の風の状況は、日本建築学会の建築物荷重指針に、各地における基本風速 U_0 が示されているので(図3-1)、それを参考にできる。「基本風速 U_0 」は、日本の国土のすべてを田園地帯と仮定したときの、地表面からの高さが10mにおける年最大風速(平均風速)の100年再現期待値である。

建設地点の周囲の状況とは、その敷地が市街地の中で周囲に建物が密集しているか、田園地帯であり周囲に建物がないかといったことである。周囲に林や建物が密集していれば、風はそれらによって弱められる。周囲に林や建物があまりなければ風当たりは強い。また、風速は一般に地表面からの高さが高いほど強く、その度合は敷地の周囲の状況によって変化する。住宅の高さは一般に地上10m程度以下であって、この範囲内では風速の高さ方向の変化はあまりない。設計風速は何年に1度の強風を考えるかといった、再現期間を変えることでも変る。

再現期間をどの程度にすればよいかは設計者の判断にゆだねられることであるが、表3-1に日本建築学会の建築物荷重指針に示された目安を参考に示しておく。同表には対応する再現期間換算係数 R を示す。100年と異なる再現期間の設計風速は、100年再現期間期待値の設計風速にこの R を乗ずることで得られる。表3-2は、以上述べた要素を考慮し日本建築学会の荷重指針によって求めた再現期間50年の設計風速である。

表 3-1 設計用再現期間の目安と対応する際限期間換算係数

建築物等の用途	設計用再現期間	再現期間換算係数(R)
極めて重要な建築物またはその部分	300年以上	1.11 (300年)
一般の建築物 (高層建築物を含む) またはその部分	100年以上	1 (100年)
小規模で軽微な住宅、店舗等	50年以上	0.93 (50年)
仮設建築物	10年以上	0.77 (10年)

表 3-2 日本建築学会の荷重指針による設計風速 (設計再現期間=50年、地上10m)

地表面粗度区分	周囲の状況	基準風速 (m/s)				
		26	30	35	40	50
II	田園地帯や草原のような農作物程度の障害物がある平坦地、樹木・低層建築物などが散在している平坦地	24 (m/s)	28	33	37	47
III	樹木・低層建築物が密集している地域あるいは中層建築物 (4~9階) が散在している地域	19	22	26	29	37
IV	中層建築物 (4~9階) が主となる市街地	14	16	19	22	27

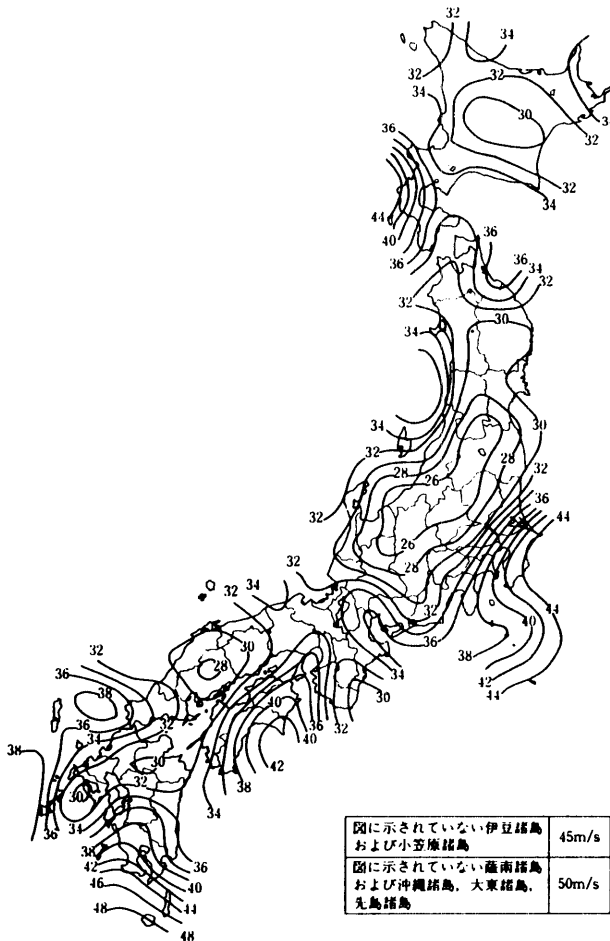


図 3-1 我が国各地における「基本風速 U_0 」の分布 (日本建築学会「建築物荷重指針」による)

風速は時間的に変動する。住宅は、ある瞬間に生ずる最大の風速 (=瞬間最大風速) に対して安全ように設計する。瞬間最大風速は平均風速の1.5倍程度である。

3.2 設計風圧力

設計風圧力は、水平方向の成分と鉛直方向の成分に分けられる。日本建築学会の荷重指針は、それら風力を速度圧 q (平均速度圧) とガスト影響係数 G_f 、風力係数 C および建物の水平投影面積 A_H あるいは鉛直投影面積 A_V の積で与えている。

$$F_H = C \cdot q \cdot G_f \cdot A_H \quad (1)$$

$$F_V = C \cdot q \cdot G_f \cdot A_V \quad (2)$$

ここで、 F_H = 設計風圧力の水平成分

F_V = " の鉛直成分

野地や屋根葺材の設計風圧力 F_R は、屋根面に垂直な力として次式で与えられる。

$$F_R = C \cdot q \cdot G_f \cdot A_R \quad (3)$$

ここで、 A_R = 設計対象屋根部材の面積

上式の中のガスト影響係数は、平均風力を瞬間最大風速に換算するための係数である。風速は時間的に変動している。また空間的にも変動している。そこでその風によって発生する風力も時間的、空間的に変動したものになる。建築物はある瞬間に発生する瞬間最大風速に対しても安全であるように設計しなければならない。そこで、平均風力を瞬間最大風速に換算するためにガスト影響係数を用いている。なお、外力が時間的に変動しているとき、構造物の剛性によっては共振現象等が発生し、構造物への影響がより大きくなる場合もある。ガスト影響係数はそのような影響を含めたものとなっている。

なお、建築物が比較的小規模な場合、ガスト影響係数はほとんど風速の時間変動によって支配される。そのような場合、ガスト影響係数は平均速度圧を瞬間最大速度圧に換算する係数と同じものになる。建築基準法はそのような想定のもとに設計風圧力を定めている。建築基準

法で定められる、上記 F_H , F_V , F_R はそれぞれ次式で与えられる。式中にはガスト影響係数は見当たらない。その代り速度圧が瞬間最大速度圧になっている。

$$F_H = C \cdot q \cdot A_H \quad (4)$$

$$F_V = C \cdot q \cdot A_V \quad (5)$$

$$F_R = C \cdot q \cdot A_R \quad (6)$$

ここで、 q = 瞬間最大速度圧

3.3 速度圧

設計風速を V [m/s] とすると速度圧は近似的に次の式で与えられる。風速として平均風速を代入すれば速度圧は平均速度圧、瞬間最大風速を代入すれば、瞬間最大速度圧になる。

$$q \text{ (又は } \mathbf{q}) = \frac{V^2}{16} \text{ [kgf/m}^2\text{]} \quad (7)$$

建築基準法施行令では、設計速度圧を瞬間最大速度圧の値として地盤面からの高さに応じて次のように与えている。これは、田園地帯や低層建築物が散在しているような平坦地を想定したものである。

(1) 主要構造部および外壁

$$q = 60\sqrt{h} \cdot Z \quad \text{高さ16m以下の部分}$$

(2) 屋根葺材

$$q = 120\sqrt{h} \cdot Z$$

ここで、 h = 設計する建築物の部分の地盤面からの高さ
 Z = 建設省告示1074号による地域係数

主要構造部等の設計速度圧から(7)式によって設計風速を逆算すると表3-3のようになる。なお、この風速は瞬間最大風速に相当し、地上10mの高さでのものである。

表3-3 建築基準法に定める設計速度圧と設計風速の関係 (地上10m, 瞬間最大風速)

地域係数 Z	0.4	0.5	0.6	0.65	0.8	1.0
設計速度圧 q [kg/m ²]	76	95	114	123	152	190
設計風速 V [m/s]	35	39	43	44	49	55

3.4 骨組設計用風力係数

風力係数は、建築物またはその部分の受ける風圧力の方向および大きさの度合を表すものである。図3-2は主骨組等を設計するとき用いる風力係数の数値の例である。

3.5 局部風力係数

屋根の葺材、野地材およびたる木を設計するとき、局部的に風圧が大きくなる場所があることを考慮する必要がある。その場合に用いる風力係数は図3-3のとおり。

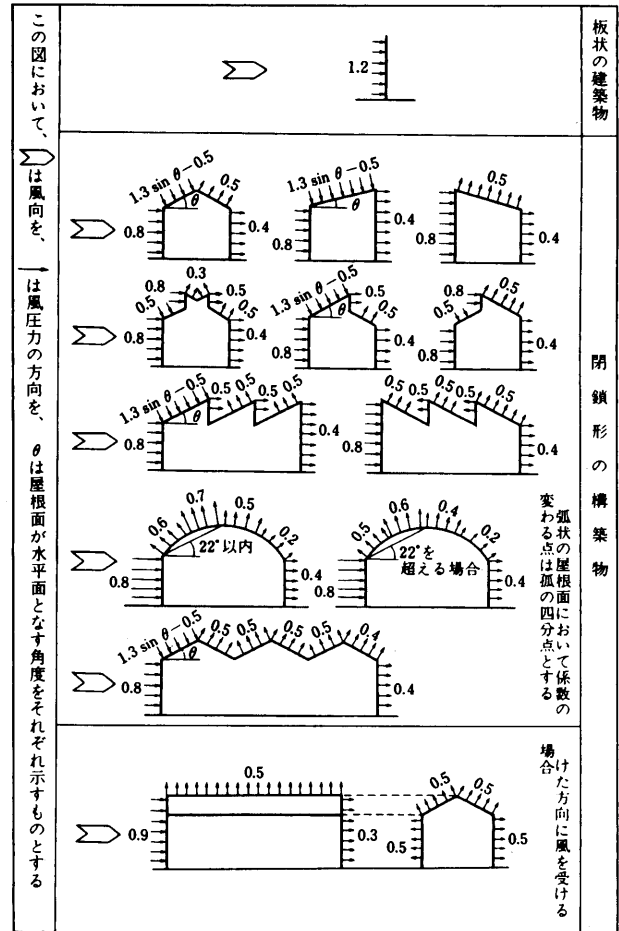


図3-2 風力係数

屋根形状	風力係数 C_e の範囲 (斜線部)	a-a 断面の風力係数分布	備 考
陸			
陸			
根			
切			
妻			$\tan \theta \leq 2/10$ の場合
陸			$2/10 < \tan \theta < 4/10$
根			$4/10 \leq \tan \theta$

(注) 1) ⇨: 風向を表す。
 2) 1/10が3mをこえるときは3mとする。
 出典 亜細亜学会「鋼鉄屋根構造標準」

図3-3 屋根葺材および屋根下地設計用風力係数

3.6 見付面積

見付面積とは図3-4に示すように、設計対象部分の、設計しようとしている力の向きに垂直な面への投影面積を言う。

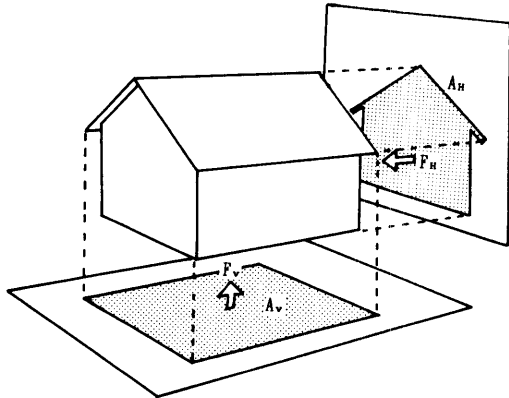


図3-4 見付面積

3.7 力の流れと破壊の現象

風圧力は、住宅の外側表面にある屋根葺材、外壁仕上材、窓、出入口などの部品に作用する。これらの部品に作用した力は、その部品を支えている部材に伝わる。その部品がさらに別の部品に支えられているとすれば、その支えている部品にも力は伝わっていく。以下、部材間の結合関係に応じて力は伝わり、最後には基礎を通じて地盤に流れ、地盤を变形させる。在来軸組木造を例にとると、この力の流れはおよそ図3-5のようになる。

強風により住宅が破壊するという現象は、力の流れが

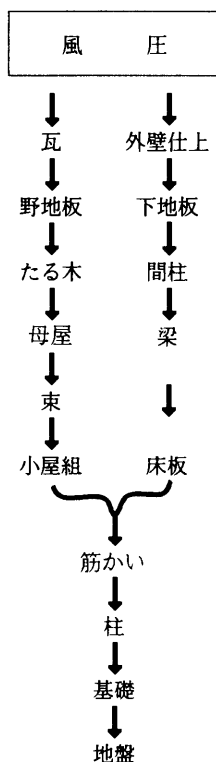


図3-5 力の流れ図(在来軸組木造)

どこかで断ち切られることである。断ち切れ方には2種類ある。1つは部材自体が破壊する場合であり、もう1つは部材と部材をつなぐ接合部が破壊する場合である。

3.8 主骨組の対風圧設計

主骨組は、3.2で求めた設計風圧力の水平方向成分 F_H と鉛直方向成分 F_V に対して安全なように設計する。

主要骨組に対する設計風圧力の水平成分は、表3-7のように計算する。風力係数は、風圧力が風上側の風圧と風下側の風圧の差で与えられることから、図3-2で与えられた風上側、風下側の風力係数の和で表3-5の風力係数 C_1 、 C_2 、 C_3 ないし C_r のように与えられる。なおこの水平成分は、外壁開口部等が飛来物で破壊されても、ほとんど影響は受けない。

平屋または2階建の木造建築物の場合には、設計風圧力の水平成分に対しては応力計算などは省略することができ、法令に定める必要な壁量(表3-4)を満足するように、壁を設けたあるいは筋かいを入れた軸組(=耐力壁)を設ければよい。

表3-4 風圧力に対する所要壁量

区 域	必要壁量(見付面積当たり cm^2)
特定行政庁が特に強い風が吹くとして定めた区域	50~75の間で特定行政庁が定めた値
その他の区域	50

設計風圧力の鉛直方向成分は表3-6のように計算する。求められた力に対し、法令の規定に準じて骨組各部の応力を算定し、構成部材の断面寸法および接合部の詳細を設計する。接合部の詳細については、3.9.2~3.9.5で述べる。

図3-2に示した風力係数は、外壁等に大きな孔がない状態に対してある一定の室内圧を設定して求められたものである。飛来物で外壁開口等が破壊して外壁に大きな孔が空いた場合は、それに伴って室内圧が変化する。設計風圧力の鉛直成分はこの影響を受ける。したがって、外壁開口等が破壊しても安全なように設計するには、外壁開口等が破壊した場合の室内圧の変化を考慮した風力係数(図3-6参照)を用いる必要がある。

主骨組の設計で重要なことは、部材と部材および部材と基礎の接合部をその部分の応力に応じて入念に設計し、確実に施工することである。この点については、住宅金融公庫の仕様書などを参考にするとよい。

3.9 屋根の対風圧設計

3.9.1 屋根葺材

屋根葺材に作用する風圧力は、葺材の上面と下面にそ

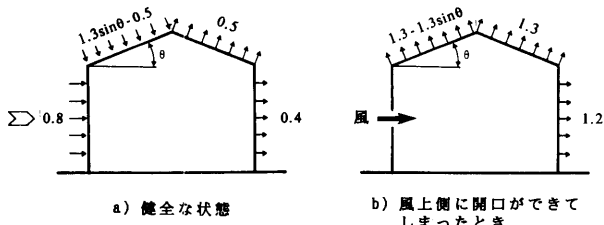


図3-6 開口部が破壊したときの風力係数の変化

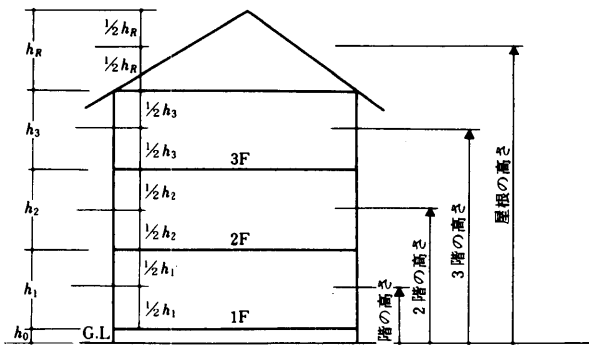
表3-5 主骨組の設計風圧力(水平力)の算定

主骨組の設計風圧力の算定式

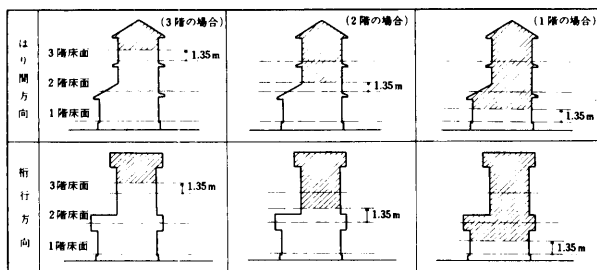
1階	$Q_1 = C_r \cdot q_r \cdot A_r + C_3 \cdot q_3 \cdot A_3 + C_2 \cdot q_2 \cdot A_2 + C_1 \cdot q_1 \cdot A_1$
2階	$Q_2 = C_r \cdot q_r \cdot A_r + C_3 \cdot q_3 \cdot A_3 + C_2 \cdot q_2 \cdot A_2$
3階	$Q_3 = C_r \cdot q_r \cdot A_r + C_3 \cdot q_3 \cdot A_3$

風力係数

	C_r	C_3, C_2, C_1
梁間方向	$0.9+0.3$	$0.9+0.3$
桁行方向	$1.3\sin\theta-0.5$	$0.8+0.4$



速度圧算定の高さの取り方



見付面積 (Ai) の取り方

それぞれ作用する圧力の差である。下面の圧力は、葺材の葺き方で変化する。葺材の下面周囲の隙間が風を誘い込むようになっていると下面圧が高まり葺材はその分だけ大きな風圧力を受ける。図3-7に示すような軒先や、けらばでは、瓦の端部を野地板の端から突出しすぎると、下面圧が高まりやすくなって、瓦の飛散を誘起しやすくなるので注意が必要である。

表3-6 主骨組の設計風圧力(鉛直力)の算定

屋根骨組の設計風圧力鉛直成分の算定式

$$P_v = C_r \cdot q_r \cdot A_{vr}$$

風力係数 C_r

$$1.3\sin\theta - 0.5, -0.5$$

速度圧算定の高さ h

平屋: $h_0 + h_1 + \frac{1}{2}h_r$

2階建: $h_0 + h_1 + h_2 + \frac{1}{2}h_r$

3階建: $h_0 + h_1 + h_2 + h_3 + \frac{1}{2}h_r$

見付面積 A_{vr} の取り方

図3-4の A_v 参照

なるので注意が必要である。

屋根葺材を強風で吹き飛ばされないようにするには、釘等で屋根葺材を野地板に緊結する必要がある。3.2で説明した風圧力から、葺材1枚当たりの風圧力を算出し、それに対して飛散ないように緊結部を設計する。

局所の葺材 ———— 局所風力係数

一般部 " ———— 骨組用風力係数

瓦の緊結は、原則としてその地方の慣習に従うのがよい。ここでは参考に住宅金融公庫の仕様書(平成4年度版)に従った緊結方法を示す。図3-8に示すように、軒瓦、袖瓦はすべて緊結する。谷縁の瓦もすべて緊結する。袖瓦、軒瓦のとなりの瓦もすべて緊結する。その他の瓦は登り4枚目ごとに緊結する。棟部分ののし瓦はすべて互いに緊結し、がんぶり瓦、丸瓦もすべて緊結する。緊結用には、直径2.4mm程度、長さ45~65mmの銅、ステンレス、または真鍮の釘を用いる。緊結線には径0.9

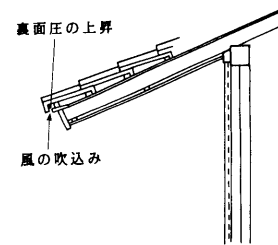


図3-7 軒先での瓦裏面への風の吹込み

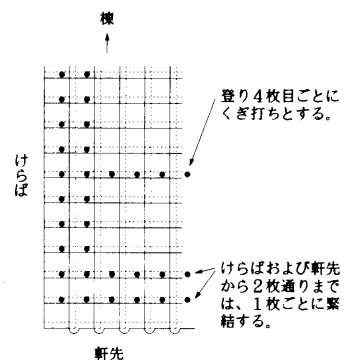


図3-8 瓦の緊結

mm以上の銅線を用いる。

なお、これでも強風時には瓦のずれ等を防ぐことは困難であり、瓦の飛散が生じることがある。飛散防止を図ることが絶対的に必要である場合には、木ねじの類や逆目釘等の特に抜けにくい釘を用い、すべての瓦を緊結するなどの処置が必要であろう。

金属板葺きについては、亜鉛鉄板会の「鋼板製屋根構造標準」に詳しいので、ここでは省略する。その他の葺材については、それぞれのメーカーの施工仕様に従って入念に施工する。

3.9.2 野地

野地の留めつけに要する釘の本数は次のように求める。

(1) 野地 1 m²あたりに作用する力 p を算出

野地 1 m²あたりに作用する力 p は(9)式で与えられる。

$$p = C \cdot q + W_1 \cdot \cos\theta \quad (9)$$

屋根の重さ W_1 [kgf/m²] は表3-7を参考に決める。

風力係数 C は図3-3による。すなわち

- ①・けらば
 - ・ $\tan\theta < 4/10$ のときの軒先
 - ・ $\tan\theta > 2/10$ のときの棟風下側

②・その他 ————— -0.5 または $1.3\sin\theta - 0.5$

以下①の部分をも局部風圧部、②の部分をも一般部と呼ぶ。外壁開口が破られ、室内圧が上昇し、その圧力が小屋裏に及ぶ場合、上記風力係数は次のようになる。

- ① 局部風圧部 ————— -1.5 → -2.3
- ② 一般部 {
 - -0.5 → -1.3
 - $1.3\sin\theta - 0.5 \rightarrow 1.3\sin\theta - 1.3$

p が負となったときは、野地を引き剥がそうとする風圧力が屋根重量を上回することを意味している。

表3-7 屋根の重さ (屋根葺材、野地板を合計した重さ)

屋根葺材の種類	屋根面1m ² あたりの重さ(W ₁)
和形粘土風瓦葺き (葺き土なし)	55.5 kgf
和形セメント瓦	47.5
平形厚型スレート	44.5
亜鉛鉄板瓦棒葺き (#28)	17.0
亜鉛鉄板平葺き (#28)	12.8

(2) たる木と野地の接合部に作用する力の算出

(1)で求めた p より、野地がたる木に支持される部分が1箇所あたり受ける力 P_1 [kgf] は、たる木間隔を L_1 [cm]、野地板の幅を B [cm] とすれば次式で与えられる。

$$P_1 = -p \cdot \frac{L_1 \cdot B}{10,000} \quad [\text{kgf}] \quad (10)$$

(3) 野地の留めつけに必要な釘等の本数

支持部に必要な釘の本数 (n) は、次式で与えられる。

$$n \geq \frac{P_1}{p_w} \quad (11)$$

ここで、 p_w = 釘の短期許容引抜耐力で「日本建築学会木構造計算規準・同解説(1988)」によれば、表3-8で与えられる。

表3-8 野地とたる木の接合に用いる短期許容引抜耐力

呼び方	釘の種類		短期許容引抜耐力 [kgf]	適用
	長さ	胴部径		
N38	38mm	21.5mm	10.8	野地板厚 9mm
			9.7	野地板厚 12mm
N50	50	2.75	16.8	野地板厚 15mm

(注) 釘の短期許容引抜耐力は次式で与えられる。

$$p_w = 300\rho^{2.5} d \cdot l$$

ここで ρ = 木材の気乾比重で、樹種グループ J1, J2, J3 でそれぞれ 0.42, 0.37, 0.32。

ここでは J3 を仮定した。

d = 釘の径 [cm]

l = 打込み長さ [cm] で、ここでは釘の長さから野地板の厚さを引いた値とした。

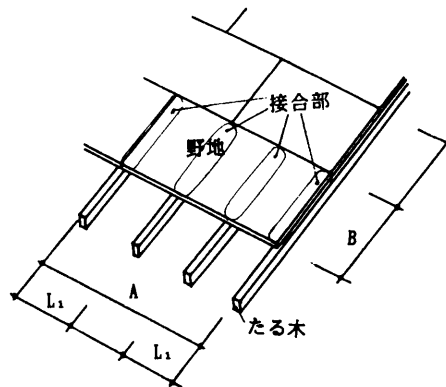


図3-9 野地とたる木の接合

3.9.3 たる木

たる木の母屋ないし軒桁への接合は、次のように設計する。

(1) たる木と母屋の接合部およびたる木と軒桁の接合部の力の算出

接合部の力 P_2 [kgf] は(9)式で得られる風圧力 p [kgf/m²] とたる木の屋根面 1 m²あたりの重さ W_2 [kgf/m²] から次のように得られる。たる木の重さ W_2 は表3-9に示す。

① たる木と軒桁の接合部

たる木間隔 L_1 [cm]、軒の出 L_2' [cm]、母屋間隔 L_2 [cm] より

$$P_2 = -(p + W_2 \cos\theta) \cdot \frac{L_1 (L_2' + \frac{L_2}{2})}{10,000 \cos\theta} \quad [\text{kgf}] \quad (12)$$

表3-9 たる木の重さ

たる木の種類	たる木の間隔 (L ₁)	重さ (W ₂)
平割35mm×50mm	45cm	2.7kgf/m ²
40mm×50mm	"	3.1
40mm×60mm	"	3.8

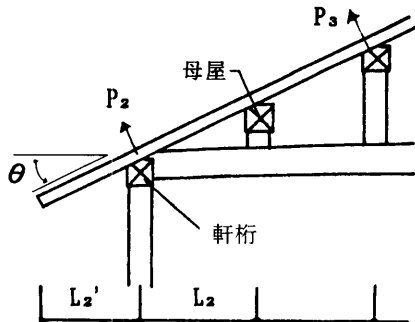


図3-10 たる木と母屋の接合

②たる木と母屋の接合部

たる木間隔 L₁ [cm], 母屋間隔 L₂ [cm] より

$$P_3 = -(p + W_2 \cos \theta) \frac{L_1 L_2}{10,000 \cos \theta} \text{ [kgf]} \quad (13)$$

<注> 局部風圧部と一般部では風圧力 p [kgf/m²] の値が異なる。
たる木の棟への接合強度は(13)式の1/2でよい。

(2) 釘, ひねり金物等の設計

局部風圧部では, ひねり金物, 折曲げ金物, くら金物等を用いて接合する。それぞれの強度は表3-10のとおり。

一般部では両側からの斜め釘打ち等の釘接合も可能である。表3-11に, 「日本建築学会木構造計算規準・同解説(1988)」に基づく, 斜め釘打ち等の釘による接合強度を示す。同表には, 脳天打ちの接合強度を釘が N100, たる木の背が4.5cmについて示してあるが, 脳天打ちは抜け易いので, 避けるのが望ましい。

(参)・斜め釘打ちの強度は, 釘の短期許容一面せん断耐力 (p_s) から次式で与えられる。

$$p_s = K d^{1.8} R$$

ここで, K = 樹種グループによる係数で, J1, J2, J3に対して510, 460, 400の値をとる。
ここでは J3を仮定した。

$$d = \text{くぎ径 (cm)}$$

$$R = \text{斜め釘打ちの低減係数} = 5/6$$

・脳天打ちの強度は短期許容引抜耐力 (p_w) として算定 (算定式は表3-8の下の(注)に示した)。樹種グループは J3を仮定した。打込まれた長さは, 釘の長さからたる木の背を引いた値とした。

3.9.4 母屋

母屋の小屋束への接合は, かすがい, 平金物等により行う。

表3-10 金物の強度 (住宅金融公庫建設指導部監修「木造住宅用金物の使い方」—Zマーク表示金物より—)

金物の種類	付属接合具	短期許容耐力*	
ひねり金物	ST-90	釘 ZN40	130 kgf
	ST-120	ZN40	160
	ST-150	ZN40	225
くら金物	SS(45×50)		325
	SS(50×100)		350
折曲げ金物	SF		170

表3-11 釘による接合強度 (短期許容耐力)

釘の種類	脳天打ち(たる木の背=4.5cm)	斜め釘打ち
N 75	—	47.8kgf
N 90	—	57.0
N100	40.1 kgf	69.9

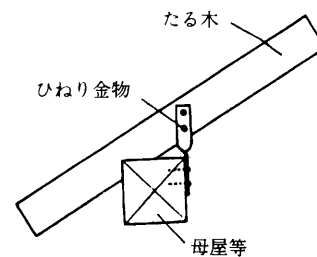


図3-11 ひねり金物によるたる木の母屋等への接合

(1) 屋根面に垂直な単位面積当たりの風圧力

母屋は主骨組であり, 局部風圧を考慮する必要はなく, 風力係数は図3-2で与えられる。負の風圧力は, 風下側屋根面で大きくなり, その風圧力とたる木, 野地および屋根葺材の重さとの差が母屋と小屋束を引き離す力となる。

(2) 母屋と小屋束の接合部に作用する力の算出

接合部の力 P₄ [kgf] は風力係数 C を図3-3で与えた(9)式で得られる風圧力 p [kgf/m²] とたる木の重さ W₂ [kgf/m²] から次のように得られる。

$$P_4 = -(p + W_2 \cos \theta) \frac{L_2 L_3}{10,000} + W_3 \frac{L_3}{100} \text{ [kgf]} \quad (14)$$

なお, L₂ は母屋間隔 [cm], L₃ は小屋梁間隔 [cm], W₃ は母屋の単位長さ当たりの重さ [kgf/m] である。

(3) かすがい, 平金物による接合強度を表3-12に示す。

3.9.5 小屋組

束と小屋梁, 小屋梁と壁体 (= 軒桁, 桁) の接合はかすがい, あるいは羽子板ボルトで行う。

(1) 小屋束と小屋梁の接合部に作用する力 P₅ [kgf] の算出

小屋束と小屋梁の接合部に作用する力 P₅ [kgf] は, 前項で述べた母屋と小屋束の接合部に作用する力 P₄ [kgf]

表3-12 かすがい、平金物等の接合強度（住宅金融公庫建設指導部監修「木造住宅用金物の使い方」—Zマーク表示金物 より—）

種類	記号	付属接合具	短期許容耐力
平金物	SM-12	釘ZN65	350kgf
かすがい	C 120		125

*：べいつが気乾材の場合

から小屋束の重さ W_4 [kgf] を引いたものである。

$$P_5 = P_4 - W_4 \text{ [kgf]} \quad (15)$$

(2) 小屋梁と壁体の接合部に作用する力の算出

小屋梁は、両端で壁体に支持されている単純梁と考える。小屋梁と壁体の接合部に作用する力 P_6 [kgf] は小屋梁に接合された束の接合部の力の和 ΣP_5 [kgf] と壁体間隔 L_4 [cm]、小屋梁の単位長さ当たりの重さ W_5 [kgf/m] より

$$P_6 = \frac{\Sigma P_5 - W_5 L_4}{2} \text{ [kgf]} \quad (16)$$

(3) かすがいを用いた接合部の強度は表3-12、羽子板ボルトを用いた接合部の強度を表3-13に示す。

表3-13 羽子板ボルトの接合強度（住宅金融公庫建設指導部監修「木造住宅用金物の使い方 Zマーク表示金物」より）

種類	記号	付属接合具	短期許容耐力
羽子板ボルト	SB・F	六角ボルト、ナットM12	800kgf
	SB・E	六角ボルト、ナットM12	800

*：べいつが気乾材の場合

3.9.6 計算例

(1) 野地とたる木の接合部

次の例について、野地をたる木に留める釘の本数の仮定に問題がないかを確認する。

速度圧に関する地域係数：1

屋根葺材：平形厚型スレート葺き（屋根葺材と野地板の屋根面 1m^2 当たりの重さの合計 = 44.5kgf/m^2 ）

屋根の平均高さ：7.4m

屋根勾配：3.5/10 (= 19°)

たる木間隔：45.5cm

野地：合板91cm×182cm×12mm厚

野地をたる木に留める釘：N38

野地をたる木に留める釘の本数(たる木支持部1箇所当たり)

：局部風圧部9本(=@100)、一般部5本(=@200)

a. 速度圧 $q = 60\sqrt{7.4} = 163$ [kgf/m²]

b. 野地に作用する屋根面に垂直な屋根面 1m^2 当たりの力

・局部風圧部（軒先，けらば，棟の風下側）

$$p = -1.5 \times 163 + 44.5 \times 0.94 = -202.7 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$$

・一般部

$$p = -0.5 \times 163 + 44.5 \times 0.94 = -39.7 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$$

c. 野地の支持部が1箇所当たり受ける力

・局部風圧部

$$P_1 = 202.7 \times \frac{45.5 \times 91}{10,000} = 83.9 \text{ [kgf]}$$

・一般部

$$P_1 = 39.7 \times \frac{45.5 \times 91}{10,000} = 16.4 \text{ [kgf]}$$

d. 釘の本数

・局部風圧部

$$n \geq \frac{83.9}{9.7} = 8.6 < 9 \text{ 本(=@100)} \rightarrow \text{OK}$$

・一般部

$$n \geq \frac{16.4}{9.7} = 1.7 < 5 \text{ 本(=@200)} \rightarrow \text{OK}$$

よって、局部風圧部、一般部とも仮定した釘本数に問題は無い。図3-12に、釘打ちのパターン例を示す。

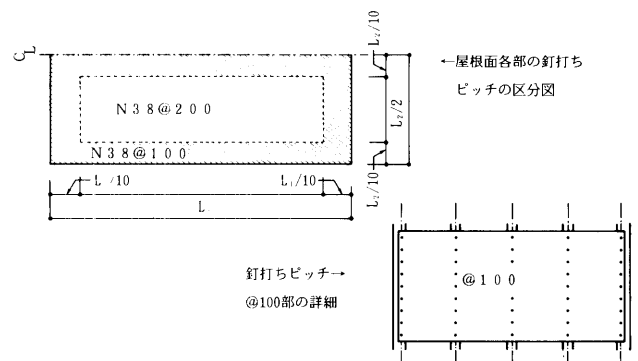


図3-12 野地の釘打ち

(2) たる木と母屋等との接合部

野地の場合と同じ例について、たる木の母屋等へ接合を次のように仮定したとき、その仮定に問題がないかを検証する。ただし、軒の出は60cmとする。

・たる木と軒桁：ひねり金物ST-150(=短期許容耐力225kgf)，図3-11参照

・けらば，棟風下側のたる木と母屋：ひねり金物ST-120(=短期許容耐力160kgf)

・一般部のたる木と母屋：N75両面斜め打ち(=短期許容耐力47.8×2kgf)

①たる木と軒桁の接合部

たる木間隔 $L_1 = 45.5$ [cm]，軒の出 $L_2' = 60$ [cm]，母屋間隔 $L_2 = 91$ [cm] より

$$P_2 = -(-202.7 + 3.1 \times 0.96) \frac{45.5 \times (60 + \frac{91}{2})}{10,000 \times 0.96}$$

$$= 99.9 [\text{kgf}] < 225 [\text{kgf}] \rightarrow \text{OK}$$

② けらば、棟風下側のたる木と母屋の接合部

$$P_3 = -(-202.7 + 3.1 \times 0.96) \frac{45.5 \times 91}{10,000 \times 0.96}$$

$$= 86.1 [\text{kgf}] < 160 [\text{kgf}] \rightarrow \text{OK}$$

③ 一般部のたる木と母屋の接合部

$$P_3 = -(-39.7 + 3.1 \times 0.96) \frac{45.5 \times 91}{10,000 \times 0.96}$$

$$= 15.8 [\text{kgf}] < 95.6 [\text{kgf}] \rightarrow \text{OK}$$

よって、仮定した接合方法に問題はない。

(3) 母屋と小屋束の接合

今までと同じ例について、母屋と小屋束をかすがい C120 (= 短期許容耐力 125kgf) を用いて接合したとして、それに問題がないかを検証する。母屋材等は次のように仮定する。

小屋梁間隔：182 [cm]

母屋材：べいつが (= 樹種グループ J2)

同断面寸法：105 [mm] × 105 [mm]

同単位長さ重量：4 [kgf/m]

屋根面の風圧力：一般部

母屋間隔 $L_2 = 91$ [cm]，小屋梁間隔 $L_3 = 182$ [cm]，母屋の単位長さあたりの重さ $W_3 = 4$ [kgf/m] より、

$$P_4 = (39.7 - 3.1 \times 0.96) \frac{91 \times 182}{10,000} - 4 \frac{182}{100}$$

$$= 53.5 [\text{kgf}] < 125 [\text{kgf}] \rightarrow \text{OK}$$

よって、仮定した接合方法に問題はない。

(4) 小屋梁と壁体の接合

今までと同じ例について、小屋梁と壁体の接合方法に問題がないかを検証する。なお小屋梁と壁体の接合方法、小屋梁間隔等は以下のとおりとする。

小屋梁と壁体の接合方法：小屋梁が引き抜かれないよう図 3-14 に示すように羽子板ボルト SB・F (短期許容耐力 800kgf) を用いて壁体に接合する。

小屋梁間隔：182cm

壁体間隔：①～③通りでは 180cm，③～⑦通りでは 360cm

小屋束：断面寸法 = 90mm × 90mm

樹種 = べいつが材 (樹種グループ J2)

長さ = 図 3-13 の左から 10, 41, 67, 41, 16cm

重さ = 短いものから 0.47, 1.23, 2.01kgf

小屋梁：断面寸法 = 160φ 丸太材

樹種 = べいまつ (樹種グループ J1)

重さ = 8.4kgf/m

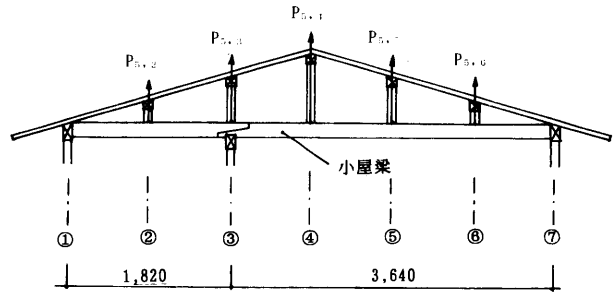


図 3-13 小屋梁に作用する力

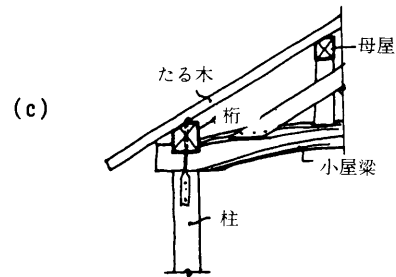
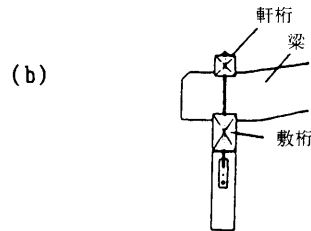
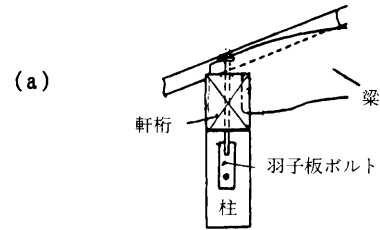


図 3-14 小屋梁の壁体への接合

風圧力：すべて風下側屋根面として算定する

1) 束と小屋梁の接合部に作用する力の算出

母屋と小屋束の接合部に作用する力 $P_4 = 53.5$ [kgf] と小屋束の重さ $W_4 = 0.47, 1.23, 2.01$ [kgf] より

$$P_{5,2}, P_{5,6} = 53.5 - 0.47 = 53.0 [\text{kgf}]$$

$$P_{5,3}, P_{5,5} = 53.5 - 1.23 = 52.3 [\text{kgf}]$$

$$P_{5,4} = 53.5 - 2.01 = 51.5 [\text{kgf}]$$

$P_{5,3}$ は左右の小屋梁に 1/2 ずつ負担させるものとする。よって、

$$\text{①～③通りでは } \Sigma P_5 = P_{5,2} + P_{5,3}/2 = 79.2 [\text{kgf}]$$

$$\text{③～⑦通りでは } \Sigma P_5 = P_{5,3}/2 + P_{5,4} + P_{5,5} + P_{5,6} = 183.0 [\text{kgf}]$$

2) 小屋梁と壁体の接合部に作用する力の算出

$$\text{①～③通り } P_5 = \frac{79.2 - 8.4 \times 1.8}{2} = 32.0 [\text{kgf}] < 800 [\text{kgf}] \rightarrow \text{OK}$$

$$\textcircled{3}\sim\textcircled{7}\text{通り } P_5 = \frac{183.0 - 8.4 \times 3.6}{2} = 76.4 [\text{kgf}] < 800 [\text{kgf}] \rightarrow \text{OK}$$

よって、いずれの小屋梁と壁体の接合部も仮定した接合方法に問題はない。

3.9.7 屋根の対風圧設計に及ぼす屋根葺材、屋根勾配の影響

屋根の対風圧設計には屋根葺材の重さが少なからず影響すると考えられる。また屋根勾配も同様である。そこで表3-7に示した5種の屋根葺材を想定し、また屋根勾配を変えそれらが屋根の対風圧設計に及ぼす影響を調べてみる。

(1) 野地とたる木の接合部

野地 1m²あたりに作用する力 p を求めた結果を図3-15に示す。p は局部風圧部では -190 ~ -235kgf/m²、一般部では -26 ~ -70kgf/m²である。p の局部風圧部では屋根葺材、屋根勾配による p の差は少ない。

野地厚12mm、釘 N38、釘打ちを図3-12に示したようなパターンとしたとき、局部風圧部での必要釘本数は9~10本、一般部で1~4本となる。したがって、前節の計算例で仮定した局部風圧部で10本、一般部で5本といった釘本数が想定してあれば、屋根葺材により、屋根勾配により、釘打ちパターンを変える必要はないことになる。

(2) たる木と母屋の接合部

上記で求めた p の値と、前節で示した計算例から分かるように、屋根葺材の違い、屋根勾配の違いで計算例で想定した接合方法で不十分となることはない。

なお、たる木を脳天打ちする方法は、軽い屋根葺材では絶対にとってはないことが p の値と計算例の結果から推定できる。

(3) 母屋と小屋束の接合部

住宅金融公庫の仕様書によれば、小屋束の断面寸法は一般地では90mm×90mm以上、多雪地では105mm×

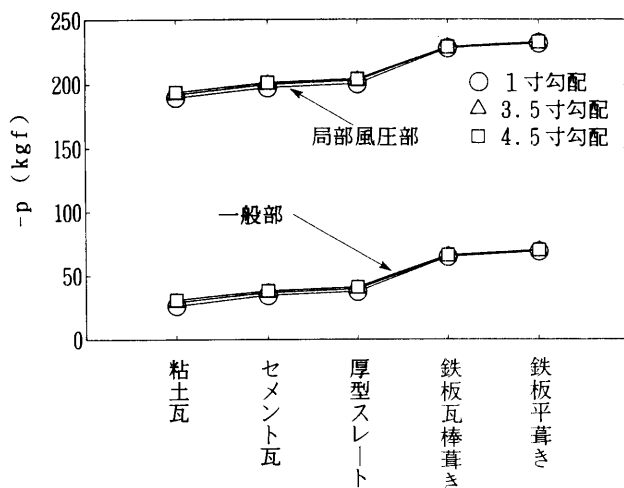


図3-15 野地に作用する吹き上げ力

105mmを標準とするとあるが、ここでは小屋束の断面寸法は105mm×105mmとして、屋根葺材、屋根勾配の P₄へ与える影響を調べる。

結果を図3-16に示す。図は計算例で仮定した接合方法で基本的には問題はないが、軽い屋根葺材の場合ほとんど余裕がなくなること示している。なお、断面寸法の違いによる母屋と小屋束の接合部に作用する力 P₄への影響は、示した計算例の場合、母屋材をべいつがとすれば、わずか3%である。

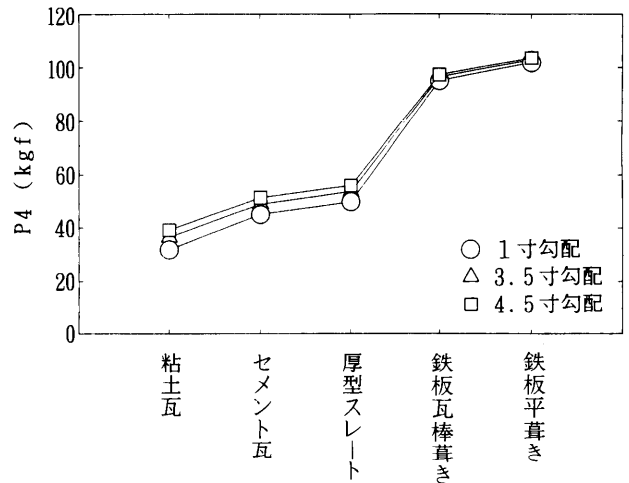
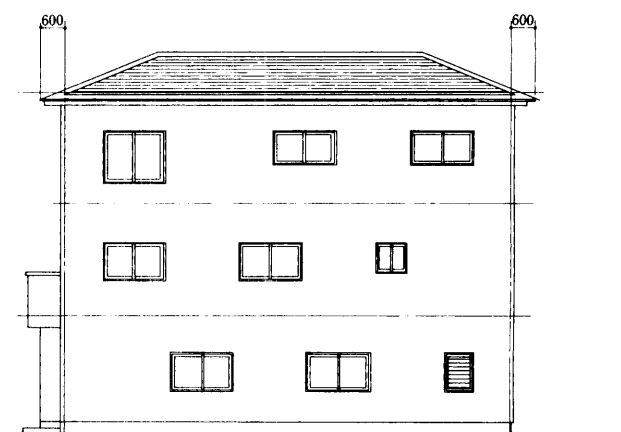


図3-16 母屋と小屋束接合部に作用する引き抜き力

3.10 外壁の対風圧設計

外壁、外壁開口の風力係数は図3-2に示した。なお、隅角部から見付け幅の1/10以下の部分については風力係数を-1.5とする。以下に示す例題のように速度圧設定において、高さが4m程度を下回るような低い場合、建築基準法に示された式をそのまま適用するのは危険である。4mを下回るような場合には、4mを代入するようにする。

外壁および外壁開口に作用する風圧力は室外側の圧力



立面図 S=1/100

図3-17 ガラスの設計例対象建物

と室内側の圧力との差である。したがって、飛来物等で外壁開口の一部が破壊することを想定する場合には、図3-6に示したような風力係数の変化を考慮して外壁および外壁開口部を設計することが必要となる。

以下に窓ガラスの対風圧設計例を示す。

[設計例]

図3-17に示す3階建て建物の窓ガラスを設計する。なお風力係数は、一般部は0.9、隅角部から見付け幅の1/10以下の距離にある部分は-1.5とする。

(1) 速度圧設定用窓高さ

- 1階：1.7m(4mとする)
- 2階：4.4m
- 3階：7.1m

(2) 速度圧(地域係数は1とする)

- 1階： $60\sqrt{4}=120$ [kgf/m²]
- 2階： $60\sqrt{4.4}=126$ [kgf/m²]
- 3階： $60\sqrt{7.1}=160$ [kgf/m²]

(3) 風圧力

- 1階：一般部, $p=C\cdot q=0.9\times 120=108$ [kgf/m²]
隅角部, $p=C\cdot q=1.5\times 120=180$ [kgf/m²]
- 2階：一般部, $p=C\cdot q=0.9\times 126=113$ [kgf/m²]
隅角部, $p=C\cdot q=1.5\times 126=189$ [kgf/m²]
- 3階：一般部, $p=C\cdot q=0.9\times 160=144$ [kgf/m²]
隅角部, $p=C\cdot q=1.5\times 160=240$ [kgf/m²]

以上の結果から、次に示すガラスの対風圧強度に基づき適正な板厚のガラスを選定する。

(4) ガラスの対風圧強度

ガラスの風圧力に対する許容面積 A [m²] と風圧力 p [kgf/m²]、板厚 t [mm] とは次の関係にある。表3-14にフロート板ガラスの場合の許容面積と風圧力の関係を示す。

$$A = \frac{30\alpha}{p} \left(t + \frac{t^2}{4} \right) \quad (17)$$

ここで、 α = ガラスの種類に応じて定められる数値で、代表的なガラスについて次の表3-15に示す。

表3-14 フロート板ガラスの耐風圧性能

ガラスの厚さ(mm)	4 mm			3 mm		
	1.8×0.9	0.9×0.9	0.6×0.4	1.8×0.9	0.9×0.9	0.6×0.4
ガラスの寸法(m × m)	1.8×0.9	0.9×0.9	0.6×0.4	1.8×0.9	0.9×0.9	0.6×0.4
ガラスの面積(m ²)	1.62	0.81	0.24	1.62	0.81	0.24
耐風圧力(kgf/m ²)	148	296	1,000	194	656	

表3-15 建設省告示109号に規定されたガラス種類によって定まる数値

ガラスの種類	フロート板ガラス		網入りみがき板ガラス	網入り型板ガラス	型板ガラス
	厚さ6mm以下	6mmを超える			
α	1.0	0.8	0.7	0.5	0.6

4. あとがき

住宅の風災害は、外装仕上材、窓ガラス、屋根の被害が主である。被害原因には飛来物による破損が挙げられる。また、屋根の被害原因には結合部の強度不足と、窓ガラスや外装仕上材の破損に伴う室内圧上昇といったものが原因と考えられる。

住宅の設計者は、設計した住宅の設計風速を知らなかったり、また軒裏に風力が作用することを知らなかったり、必ずしも十分な耐風設計の知識はないように思う。もちろんそのための資料等も十分ではない。ここでは例題を設けて、屋根構造の耐風設計のイロハを、設計風速の設定から順次示したつもりである。窓ガラスの耐風設計も示した。また飛散物対策が重要であることも示したつもりである。住宅の風災害は日本のどこかで、毎年繰り返されている。ここで示した事柄が住宅の風災害の軽減につながれば幸いである。