

風圧力算定に対する考え方

お話 岡田 恒 独立行政法人 建築研究所構造グループ長

建築基準法は2000年に大改正が行われ、屋根の安全性に最も影響の大きい「風圧力」に関する規定も大きく変わりました。この改正に伴い事務局には、規定の内容や算定に対する考え方などに対して数多くの問合せが寄せられました。

今月は、これら質問の中から代表的なものについて、独立行政法人・建築研究所の岡田構造グループ長に見解をお聞きしました。



荷重に対する挙動の違い

— 風圧力に関する規定で改正前の基準法の規定と現在の規定で大きく異なった点の一つに風圧力が屋根材や外壁材などの外装用と構造骨組用の二つに分けられたことがあります。まず、この理由をお聞かせ下さい。

岡田 安全に対して二段階の評価をしましょう、ということからです。この考えは地震の被害にどう対応するかということから考えられてきたものです。具体的には建物の安全に対して「損傷限界」と「安全限界」という二つのレベルを設けました。建物の安全を考えたときに、建物が倒壊するのは人命に直接的な影響を与えますので、このレベルを決めました。損傷限界というのは損傷したことによる劣化等を防止するために補修するといったことが多発しないように決めたものです。補修をするということは経済的な負担を強いることになります。また日常生活にも少なからず支障をきたします。それらに配慮して決めたものです。

風圧力においても風による建物の倒壊に対しては構造骨組が対応して…構造骨組でも当然、損傷限界はあるのですが…外装材は損傷限界だけを考えればよい、という形です。

それと、構造骨組と外装材では荷重に対する挙動が異なっているという点もあります。構造骨組は揺れますが、外装材は基本的に剛体として扱えるという違い、また、面積も構造骨組は大きく、外装材は小さなピースからなっている点からも風荷重の扱いは変わる…おおよそ、このような理由で分けました。

— 合理的に決めるようになったということでしょうか。

岡田 そうです。以前の基準法では一緒だったのですが、外装材はピースが小さくて剛体なのだから、構造骨組と違う荷重を取るの合理的です。

— その背景には風工学の進歩というか積み重ねがあったと思いますが、その辺の流れを簡単に教えてください。

岡田 現在の基準法の風圧力の規定は、新しい考え方…“ガスト影響係数法”というもの…に基づいています。この考えの最初の提唱者はカナダのダベンポートさんです。1960年代に提唱されたものが、日本では1980年代初頭に日本建築学会の建築物荷重指針でオーソライズされ、2000年に法律に取り入れられました。

— “ガスト影響係数法”はどういうものですか。

岡田 簡単に言うと、平均風速にガスト影響係数を乗じて荷重

を決めましょうという考えです。ガスト影響係数法は、風の乱れ…風が変動していること…を考慮し、これによって建物側も振動するという前提に立って荷重を決めていこうとするものです。

以前の基準法は、基本的に最大瞬間風速を単純に力に直したものです。風速が1点で変動していることしか考慮していませんでした。

外装用でどこまで検証するか

— 風圧力が二つに分かれたことで一番多く寄せられる質問が、強度計算をする際に外装材の風圧力で検証しなければいけない部材はどこまでかという点です。

岡田 一般的に言われているのは、外装材そのもの並びにその直下の支持部材とその結合部です。

— 荷重指針では二次部材…という言い方だったと思いますが…までは外装材用の風圧力で、という記述があったようですが…。

岡田 非構造部材、二次部材といわれるものは、外装用の荷重で検証する。屋根材とか外壁材を留め付ける部分までは、外装材用の荷重で考えなければいけないと思います。

— 母屋や垂木のサイズをどうするかで、屋根業者と鉄骨業者の見解が異なる、というケースはよく耳にします。

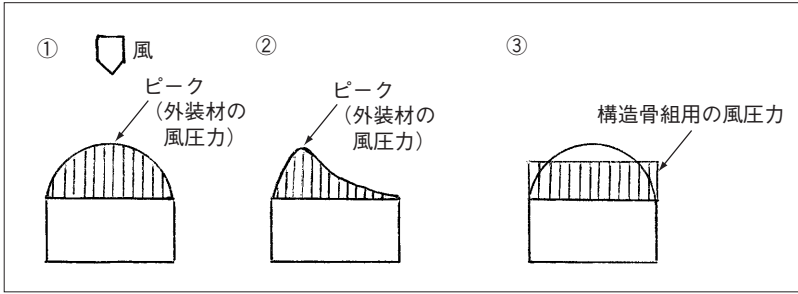
岡田 鉄骨業者が構造骨組用の荷重だけしか考えていない場合は、屋根業者のほうから「これでは、ダメ」と言わなければいけない。そう言わないと、屋根などが飛散したときに屋根業者だけが悪者扱いされてしまいます。

— 母屋・垂木及びその接合部は外装用の風圧力で見ておいたほうがよい？

岡田 構造骨組用、外装材用の両方を見て、判断すべきです。自分たちの首を絞めないためにも、そう考えたほうが良いと思います。

— 施工する業者が異なると調整は難しいようですが…。

岡田 建物の設計者が第一義ですから、設計監理をする人がスーパーバイズして、判断するというのが基本です。設計監理をする人に正しい情報を伝え、調整してもらいましょう。



荷重の大きさの違い

— 荷重のレベルとしては、構造骨組用よりも外装材用の風圧力のほうが大きくなる？

岡田 そうです。外装材のほうが大きくなる理由は色々ありますが、一番簡単に言うと、構造骨組用の荷重は風の圧力の平均値のようなものになりますが、外装材用は風圧の最大値のようなものを採らなければいけないので、風圧係数がどうしても大きくならざるを得ないのです。

建物に風上から風が当たると、風圧は模式図①のような分布をします。もちろん風向がゆがむと模式図②のようになりたりします。構造骨組用の風圧力は対象が梁などの長さも長く、負担幅も広いので①の部分を模式図③のように平均化したような荷重を考れば良いこととなります。

これに対して、外装材は一つのピースが小さいですから、ピースごとに荷重を受ける格好になります。そして模式図②のように風向きによって風圧の最大値は、建物の端になったり、中央になったり、どこにでも発生する可能性があります。従って、風圧の最大値…模式図②、③の矢印に当たる点…を荷重として設計しなければいけないこととなります。ここでの最大値という言葉は、基準法のピーク風力係数のピークをイメージされるかも知れませんが、基準法のピークは、最大瞬間の意味です。ここで言う最大値は風圧分布の最大値のことです。

風によって建物が揺れるという問題があります。この“共振効果”だけを比較すると、構造骨組のほうが大きくなる可能性があります。すごく軟らかくて“共振効果”がすごく大きくなる構造物があるとすれば、構造骨組のほうが大きくなる可能性があります。

ただ、通常の建物の場合、これによって増える割合は、さして大きくありません。それよりも面積の平均効果のほうが大きくて、結果として外装材用の荷重のほうが大きくなります。

50面体のサイコロ

— 次に基準風速についてお聞きします。これは10分間の平均風速で50年再現期待値、50年の間に60%ぐらいの確率で生じる風速とされています。

岡田 ベースになった考え方は、1年間の発生確率が1/50であるということです。それを逆算して50年再現期待値と言っています。年発生確率が2%、逆に発生しない確率が98%。「今年も発生しなかった」…というのが98/100で、それを50回やると、60数%になります。「今年もラッキーだった」というのが50回も続くのは、このぐらいの比率です。

50年に1回といっても、毎年続けて発生する可能性もゼロじゃありません。サイコロで「1」が出る確率は1/6ですが、1回サイコロを振って「1」が出たから、次は「1」が出ないかと思ったら、そんなことはありません。次も1/6の確率で出るわけです。

これと同じで50年再現期待値というのは1から50まである50面体のサイコロみたいなものです。そのサイコロで「1」が出る確率のようなものです。毎年それなりの確率があるわけですから、連続して出ても文句は言えない(笑)。

— 基準風速は、市町村単位で30mから46mまで段階的に決められています。過去の気象データを基本に定めたように聞いておりますが…

岡田 データには当然限りがあります。風速のデータは長いところで70年、短いところでは30年程度のデータしかありません。それを基に予測しています。

— 行政単位で決めているわけですから、そのくらいのデータの蓄積はあったわけですね。

岡田 そうですね。じゃ「本当に正しいのか」と言われれば、過去のこととしては「正しい」と思いますが、将来も同じようになるかというのは、

正直分かりません。気象変動とか色々ありますからね。今のところ基準風速で予測している50年再現期待値が現時点までで、高すぎるとか、低すぎるといったことを示す証拠はありません。概ね妥当なところであろうと思っています。

よく、「基準風速を超した、超さない」という話がありますが、50年再現期待値というのは、超すことがありうる風速です。したがって、「超したとか、納まっている」という議論はふさわしくありません。

基準風速の違う自治体が合併したら

— 具体的にはどのように決めたのですか。

岡田 観測データを開けた平坦な地形、地表面粗度区分で言えば「Ⅱ」の地域の地上高さ10mの10分間平均風速に換算してマップ化しています。気象官署は街中にあたりし、データも地上に近いところで取っています。このデータを一度上空に上げ…地面の影響のないところまで上げて、それから10mの高さまで降ろしてきています。データの上げ下げを行って決めたわけです。

実際の地域はほとんどが地表面粗度区分「Ⅲ」ですから、この地域では、風速を割り減らさなければいけません。基準法では割り減らす計算式を用意してあります。

— 法律の上では諸外国も、同じように平均風速という考え方を取っているのですか。

岡田 そうですね。「基準」という世界では、日本のほうが遅れていたのではないのでしょうか。ただ、外国ではモデルコードだけを決めておき、それを強制するかどうかは、もう一段下の段階で決めますから、日本ほど厳密に適用しているかどうかは分かりません。

— 最近は自治体の合併が多く見られます。基準風速が異なる自治体が合併した場合、どのような基準風速を採用すべきなのですか。例えば、さいたま市は基準風速が32mの大宮市と34mの浦和市が合併しています。

岡田 告示制定時の行政区分によります。ですから、さいたま市の場合、旧大宮地区は32m、旧浦和地区は34mとなります。告示内容が改正されるまで、制定時に決めたものが残ります。

最大瞬間風速の予測

— 基準風速から最大瞬間風速を予測することは可能ですか？

岡田 可能です。

まず、地表面粗度区分と地上高さから、当該の地点の平均風速を算定します。この場合に基準法にある「Er」の値を使います。「Er」は平均風速を換算する式です。具体的には次の手順です。

- ①地表面粗度区分Ⅱ、高さ10mのErを計算します。
- ②知りたい地域の地表面粗度区分…大体はⅢ…と高さのErを計算する。
- ③両者の比率を出し、それをその地点の基準風速（平均風速）にかける。

次に厳密にやろうとすれば、算出した平均風速に学会の荷重指針に基づき、地表面粗度区分と地上からの高さに応じた、乱れの強さ「I」を算定し、次の式を用いて計算すると最大瞬間

風速が導き出せます。Uが平均風速を示します。(1+3.3×I)は突風率と呼ばれるものです。

$$U_{max} = U(1 + 3.3 \times I)$$

便宜的には基準法のガスト影響係数(Gf)を用い、地表面粗度区分と地上からの高さに応じ、次の式も利用できます。ただし、ガスト影響係数には、面積平均や建物の剛性などが考慮されているため、計算結果は小さめになります。Uは先程と同じ手順で算出します。

$$U_{max} = U \times \sqrt{Gf}$$

— 大体どのくらいのレベルになりますか。

岡田 目安としては基準風速の1.4倍から～1.5倍というレベルです。

最大瞬間風速時の荷重

— では、最大瞬間風速時の荷重はどのように計算すればいいのですか。

岡田 その風速がちゃんとした数値であれば、次の式で計算できます。

$$\frac{1}{16} \times V^2$$

Vが最大瞬間風速で、単位はm/sec、出てくる荷重は…正確には速度圧ですが…kgf/m²です。最大瞬間風速が40mであれば100kgf/m²。ニュートン単位に直せば、980N/m²となります。

— 正確には速度圧ということですが、風力係数は？

岡田 最大瞬間風速の場合は、風に正対する平板では1～1.2、建物の側面の局部風圧の領域では-1.2～-1.5とかですが、符号を除いて目安としては「1」でいいと思います。

基準法には外装材で「-2.5とか -5.4」といった風力係数が出てきますが、これは平均風速を基にしたピーク風力係数です。ピーク風力係数と最大瞬間風速の速度圧を使って計算するととんでもない数値になります。まあ、パンザイしちゃいます(笑)。間違えないで下さい。

地表面粗度区分

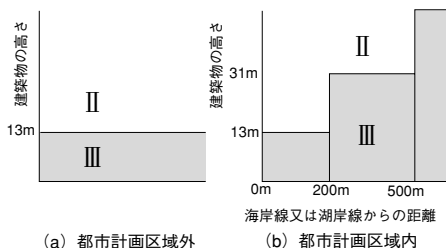
— 地表面粗度区分はI～IVの4段階に分かれており、IとIVについては、特定行政庁が指定することになっていますが、実際指定されているケースはありますか。

岡田 把握していません。

— 粗度区分の境界が分かりにくいという問合せもあります。

岡田 現象的に判断するには、難しいものがあります。学会の荷重指針も写真や絵で示しているわけですから。規制法である建築基準法では、それでは困りますから、都市計画区域であるかどうか及び地上からの高さで判断するようにしています(参考図参照)。基準法の上では、明確です。

ただ、最近は建物情報を含めて地図情報が電子化されつつあるので、将来は地表面粗度区分も定量化できるかもしれませんね。



(a) 都市計画区域外

(b) 都市計画区域内

※「海岸線又は湖岸線」は対岸までの距離が1500m以上のものとする

— 粗度区分がⅢからⅡになると平均速度圧は4割強アップしますね。

岡田 ⅡからⅠになっても同じくらいアップします。ですから、逆に言うと地表面粗度区分の判断を誤ると、被害が生じても不思議じゃないわけです。

シャッターの多い建物

— 建物が閉鎖系であるか開放系であるかによっても、風力係数が異なる規定になっていますが、これについて「シャッターが多く使われている建物で、風が強い場合は閉めて使用することだが、この場合は閉鎖系で計算してよいか」という質問があります。

岡田 計算してよいと思います。ただ、シャッターを閉めたとしても隙間がたくさんある場合は、開放型となります。

建物高さの算定—高さによる支配

— 一番多かった問合せが、同一の建物で高さが違う屋根(壁)…模式図④…がある場合、屋根(壁)の高さごとに平均速度圧を算出してよいか、というものでした。

岡田 厳密に言えば、風の流れを想像してもらって、空気力学的に一体として考えられるかどうかで判断することになります。例えば横から見た形が模式図⑤のAのような建物でも、上から見れば模式図⑤のB～Dとなっているケースがあります。この違いによって、風がどう流れるかを想像して、風の流れが変わりそうな場合は、一体として考えることになります。

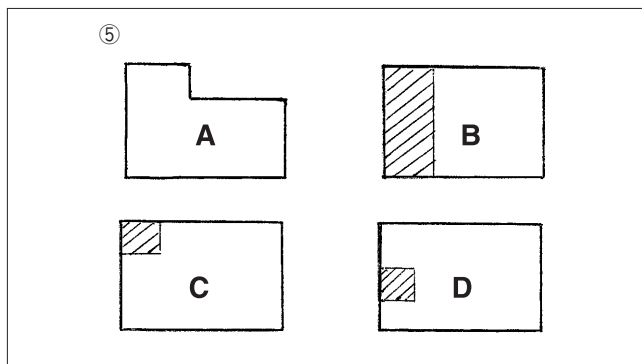
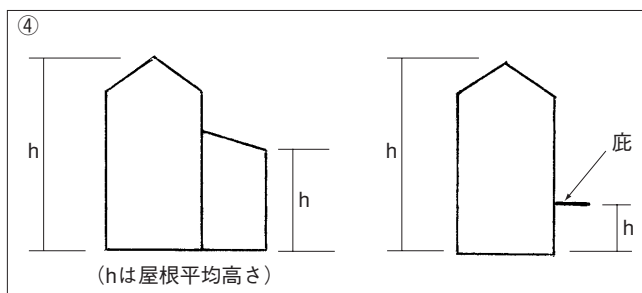
本来は、こういう言い方しかできません。風の流れ方が分からなければ風洞実験をして下さい、というのが基準法の考えです。実験をするのが難しいのなら、一番高いところを採って一体として考えてほしいです。

— 目安みたいなものはないのですか。

岡田 あくまで風洞実験で確認するのが原則ですが、目安としては、その部分の水平投影面積が、建築面積の1/4程度あるかないかです。1/4以下であれば、別個に考えていいと思います。

— 庇は分けては考えられない？

岡田 庇のような付属物は、明らかに全体として見なければいけません。100mの高さの建物の5mの位置に庇があっても、その庇の平均速度圧は、建物高さから算出する必要があります。



— 建物は全体として風の影響を受けることになり、風の影響の受け方の一つの要素として高さがあるということなのですか。

岡田 というよりも高さに支配されるわけです。建物の風上側は高さによって風圧の分布は分かれますが、風下側や側面の風圧力は建物の高さによって支配されてしまいます。建物高さの80%ぐらいの位置から風が降りてきて、側面、背面の風圧力を支配するのです。

100mの建物の5mの位置に庇があっても、80mぐらいの位置から風が降りてきて、そのエネルギーが庇を支配することになります。

崖地、高台の建物

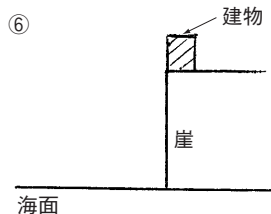
— 崖地や高台、斜面に建物が立地する場合は、崖の高さを建物高さにプラスする必要はありますか。

岡田 基準法としては、「崖などの高さをプラスしろ」とは、要求していません。Erを適切に割り増してほしいと求めています。これは、結果として同じことになるかも知れませんが…。

周囲の状況によっては、割り増さないで100%に近い確率で被害が生じますから、慎重に判断してもらいたいですね。その際の判断の参考になるのは、内容はちょっと限定されますが、建築学会の荷重指針です。

— 単に高さをプラスするだけでは、ダメなのですか。

岡田 単純にプラスするだけでは、ダメです。例えば、模式図⑥のようなケースで、海面からの高さを建物高さにプラスすればいいかという、そうとも言えません。その高さ以上のものが生じるとする見解もありますからね。高さだけは判断できません。このような場合、Erの値をどの程度割り増すかは、設計者のほうで風洞試験をしたり、種々の文献にあたったりして考えて下さいということなのです。



Erの意味

— E値の計算が外装材用と構造骨組用で異なるのは、どうしてなのですか（外装用=Er²、構造骨組=Er²Gf）。

岡田 最初の話と関連するのですが、外装材は平均速度圧を出し、それにピーク風力係数を乗じて荷重を求めています。これは、外装材の面積が一般に小さいこと、剛性が高いことなどから。そして部位の位置により風圧力の変動特性が風速の特性から予測がつきにくいからです。建物の側面や裏面の外装用の風圧力は、風速からだけ予測するととんでもない間違いを犯す可能性があります。

これに対して、構造骨組は風の性質がある程度予測できるので、平均速度圧に構造物の面積と動的特性を考えれば最大瞬間荷重が推定できるからです。これを推定する際に利用するのがガスト影響係数（Gf）です。ガスト影響係数で風の特性、建物の特性や建物の大きさを勘案してやるわけです。

— Erはどのような意味を持った数値なのですか。

岡田 平均風速をその建物が建っている地区の地表面粗度区分における建築物の屋根高さに換算する係数です。

— Erを割り増したほうがいいのかは、崖地などのほかにどのようなケースが考えられますか。

岡田 ビル風の影響を受ける、地域的な強風が吹くなどといったケースなどです。

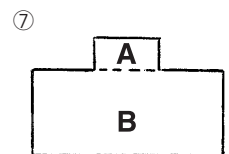
「a'」の出し方

— 外装材で風力係数を高くしなければいけない範囲を決める数値に「a'」があります。この決め方は、建物の平面の短辺長さと屋根平均高さの2倍の数値のうち小さなほう（30を超える場合は30）とされています。この場合、円形や五角形、凸、凹といった異形の建物のa'はどう考えればいいのか。

岡田 原則は風洞実験です。個人的にはその建物に内接する四角形と外接する四角形を考えて、その平均的なものを取ってもいいと思います。建物の形状と等価な四角形を考えて下さい。

— 例えば模式図⑦のAとBを別個に考えるというのはダメ？

岡田 それは姑息な手段だなあ（笑）。自然現象は許してくれないと思いますよ。安全側には外接する四角形を考えたほうがいいですね。



— 先程の1/4前後の基準で分けられる建物についてはどうですか。

岡田 分けて考えられる場合は、別個に取っていいと思います。

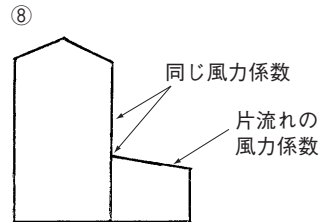
下屋の風力係数

— 壁と接する屋根（下屋など）の風力係数は、片流れ屋根と考えていいのでしょうか？

岡田 片流れ屋根と考えていいと思います。厳密に言えば、本体の大きさに比べて規模の小さな（高さが低い）下屋や外壁に近い位置の下屋の風力係数は正圧・負圧とも外壁と同じものになります。下屋が壁から遠く離れるに従って片流れ屋根の風力係数に近づいていくという感じです。

— 下屋の場合でも周辺部は
いわゆる局部として判断す
る？

岡田 壁際はともかくとし
て、それ以外の周辺部はそう
考えたほうが安全ですね。



庇の風力係数

— これも問合せの多い質問ですが、庇の風力係数の採り方は、
どうすればいいのでしょうか。

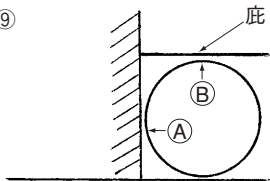
岡田 庇の上面については、下屋の場合と同じです。例えば本
体の建物の屋根に近い位置に庇が取り付けられていれば片流れ屋根
と考えられます。問題は庇の下面の風力係数です。普通考えると室内
圧を想定しがちですが、これはそれが取り付く壁面圧を
採りなさい、ということです。

— 壁面圧というと正圧？

岡田 壁面の負圧は庇を壁方向に引っ張るように働きますか
ら、屋根にとっては有利です。しかし、正圧は屋根を押し上げ
るように働きますので正圧を採るのが安全側ですね。ですから
庇の上面の負圧の風力係数は、屋根面の係数に壁面からのもの
を加える必要があります。

— 壁面圧の影響を受けるというのは、どのような理由からで
すか。

岡田 風圧は空気の圧力ですか
ら、風船と同じです。風船の皮
が壁と庇に同じように当たっ
ているかと思っていただければいい。
模式図⑨のAとBの圧力は同じで
す。軒天がよく被害を受けるの
も同じ理由です。



基準法には細かなことは規定されていませんが、今申し上げ
たことは知っておいてほしいですね。けらばがはね出している
場合や軒先が出ている場合も同じです。

風力係数の取り方

— 風圧係数は風洞実験によってもいいことになっています
が、建築学会の荷重指針の数値は使えないのでしょうか。同じ
ような質問ですが、円形の建物の外壁の風力係数は、どのよう
に判断しますか。

岡田 建築学会の荷重指針は風洞実験をベースに決めており、
風洞実験の結果と解釈できます。円形のケースも風洞実験…荷
重指針なども含む…により判断します。

— 負のピーク外圧係数の採り方で、切妻屋根が連続する建物
の場合、どうして棟部の隅を考慮しないのですか。

岡田 大きな負圧は、剥離流によって発生します。剥離流は風
上端で発生し、真ん中では発生しないためです。

— パラペットがある場合、風力係数は変わりますか。

岡田 影響はあります。しかし、その影響を単純に定量化する
ことはできません。

— 独立壁の風力係数は開放系と考えて、次のように計算して
もよいですか。

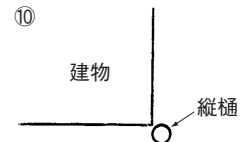
正圧：風下開放の風上壁面と考えて、
正の $C_{pe} \times G_{pe} - (-1.2)$

負圧：風上開放の風下壁面と考えて、
負のピーク外圧係数 (ex. -1.8 , -2.2) -1.5

岡田 それで結構です。

— 縦樋の風圧力はどのように計算したらいいのでしょうか。
バンドのアンカー強度は風圧力のみで検討してよいのか、自重
や水も考慮したほうがいいのでしょうか。

岡田 自重や水の力も加えて考慮し
たほうがいいでしょうね。縦樋は、
模式図⑩のような位置に取り付け
られるケースが多いですが、このよ
うな場所は剥離流で大きな力が生じ
やすいところです。また、剥離流のス
ピードが高まっている可能性も高い
ですから、独立壁として算出した風
圧を1.5~2倍してもいいかも
しれません。



— 告示1454号の表5 (閉鎖型及び開放型の建築物の C_{pi}) で、
閉鎖型の数値が「0及び-0.2」と規定されていますが、これは
どのように使えばいいのでしょうか。

岡田 0と-0.2の両方で計算して、厳しい数値のほうで設計し
て下さい、ということです。基準法で「及び」とある場合は、
両方の数値で検討して厳しい数値を採用するという意味です。

この規定に則して言えば、空気の圧力は強くなったり弱くな
ったりするので、両方検討する必要があります。中だけ見てい
ると「弱いほうが良い」と思えるかもしれませんが、外との兼
ね合いで考えると「弱いほうが厳しい」場合もあります。組合
わせた場合、どちらが厳しくなるか分からないので、両方検討
してくださいということです。正圧と負圧の代わりに、0と-
0.2を設定しているわけです。

形状の違いによる風圧力のかかり方

— 最後の質問になりますが、屋根材の形状の違いによって、
風圧力のかかり方は違ってきますか。

岡田 通常は変わらないと思っていただいてもかまいません。
一つの例として神奈川大学の熊先生が瓦で実験していますが、
瓦のJ形 (和瓦) とF形 (平板瓦) で一枚当たりの荷重はその
大きさが違うこともあり、異なっていますが、 m^2 当たりではほ
んど変わらないという結果が出ています。

— 折板などで斜辺が模式図⑪のよ
うに引っ張られるのではないか、とい
った問合せもあったのですが…。



岡田 基本的には屋根面に対して垂直方向に働く力を考えてお
けば良いと思います。さっきも言いましたように圧力は風船玉
ですから、力は面に対して直角にかかります。板にはいろいろ
な方向に力がかかります。しかし、屋根葺き材が複雑な形状を
していても、細かな部分の圧力は相殺しあうので、吊子のような
ものにかかる圧力は垂直方向を考慮しておけばよいと思いま
す。

— 長時間にわたりありがとうございました。