膜構造建築物における
風荷重および風力係数算定マニュアル

報 告 書

令和元年５月

一般社団法人 日本膜構造協会

膜構造建築物における風荷重および風力係数算定マニュアル

目 次　　ⅰⅱ

Ⅰ　本 文
1　はじめに　…… 3
2　研究の目的・概要、引用記号　5～8
2.1　研究の目的　…… 5
2.2　マニュアルの概要　…… 5
2.3　引用記号　…… 6
3　膜構造の風荷重算定方針　…… 9～12
4　膜構造風荷重算定チェックリスト　13
4.1　建築物概要　…… 13
4.2　構造骨組み設計用風荷重の算定　…… 13
5　風洞実験資料の読み方　14～22
5.1　風洞実験気流　…… 14
5.2　基準速度圧　…… 17
5.3　風圧係数と風力係数　…… 18
6　風圧係数・風力係数を設定するための基礎知識　23～49
6.1　風力係数・風圧係数に影響する因子　…… 23
6.2　建築構造物の形状による影響　…… 23
6.3　閉鎖形の建築物　…… 24
6.4　開放形の建築物　…… 37
6.5　風向による影響　…… 43
6.6　風の乱れによる影響　…… 44
6.7　表面粗度の影響　…… 45
6.8　地形による影響　…… 46
6.9　隣接障害物による影響　…… 46
6.10　平均時間による影響　…… 47
7　風洞実験論文等の活用例　50～72
（建築基準法・告示に規定されていない建築物の風力係数・風圧係数の推定）
7.1　球形ドーム（閉鎖型）　…… 51
7.2　球形ドーム（独立上屋）　…… 54
7.3　独立上屋（円弧屋根）　…… 56
7.4　HP 型サスペンション膜構造　…… 61
7.5　片持ち式スタンド上屋　…… 65

Ⅱ　参考資料
１　文献別の風洞実験論文等の一覧　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　73～79
２　建築形状別の風洞実験論文等の一覧　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　80～86

Ⅲ　付 録
Ａ１　膜構造の計算における留意点　87～108
A1.1　膜構造の特徴　・・・　87
A1.2　形状解析　・・　89
A1.3　応力変形解析　・・・　90
A1.4　膜材料等のモデル化　・・　95
A1.5　膜構造用ケーブルの構造計算　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　99
A1.6　荷重　・・・　101
A1.7　仮設建築物の設計荷重　・・　102
Ａ２　独立上屋のピーク風圧・風力の求め方　109～116
A2.1　構造骨組用風力係数　・・・　109
A2.2　外装材用ピーク風力係数　・・・　114
Ａ３　海外基準での風力係数を用いる場合の注意点　117～144
A3.1　オーストラリア／ニュージーランド基準(AS/NZS 1170.2:2011)の場合　・・・・・・・　117
A3.2　アメリカ土木学会(ASCE/SEI 7-05)の場合　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　122
A3.3　イギリス基準（BS 6399-2 : 1997）の場合　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　127
A3.4　フランス基準（Règles N.V.65）の場合　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　131
A3.5　荷重算定例　・・・　141
Ａ４　畜舎・堆肥舎の建築設計に係る告示・解説（2007 年版）の風力係数の適用について
・・・　145～146

１　はじめに

膜材料を用いた建築物が数多く建設される昨今，風荷重算定に際し風力係数が不確定要素を抱えたまま設定され，過度に安全な状況，場合によっては危険な状況を醸しだす恐れがある。巨大建築物であれば風力係数を設定するための風洞実験は常識的に採用される。しかし，小規模な建築物に対して風洞実験を実施するということは，建築費に実験費用が付加されることとなり，結果として高額な建設費用となることから実行され難い。また法規定に示される風圧係数および風力係数は，数少ない例示のみで多様な建築形態に対応できるとは言い難い。さらに風力係数研究の進歩に伴い，法規定の考え方にも高さ方向の風速や風の乱れの影響を考慮した設定を強いている。将来的には規定値に対応した風圧係数・風力係数が整備されると推察されるが現時点では限定的である。

上記の不確定性を改善する手段として収集した論文資料による風圧係数および風力係数を反映した設計を試みる場合，法規等の整合の考えなしで適用することは精算値との問題で齟齬が生じる。論文資料の適正な利活用を進める上では，膜構造の設計に携わる技術者は自らの風力係数設定のために適正な知識の向上を図る必要がある。

本委員会で策定したマニュアルは，建築基準法施行令･同告示および日本建築学会の規定から除外された範囲の建築物においても遜色のない範囲で風圧係数および風力係数を設定可能となることを目途として策案した。

日本膜構造協会・同委員会の立場としては，使用勝手を含めて有効に活用されることを願っている。

風力係数委員会　名簿

委員長	丸 田　榮 藏	元　日本大学 生産工学部　教授
委 員	植 松　　康	秋田工業高等専門学校　校長　　元　東北大学大学院 工学研究科　教授
委 員	本 郷　　剛	風・雪環境相談室　　元　鹿島技術研究所
委 員	黒 木　二三夫	日本文理大学　客員教授
委 員	河 端　昌 也	横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院　准教授

参画会員

清水建設(株)	菊 池　浩 利	技術研究所 環境基盤技術センター 風環境グループ　上席研究員
大成建設(株)	大 竹　克 浩	設計本部 構造設計第二部 設計室　シニア・エンジニア
(株)竹中工務店	山 本　秀 一	先進構造エンジニアリング本部 特殊架構・高度解析グループ　部長

ワーキンググループ

協立工業(株)	野 口　　孝	設計顧問
	橋 本　勇 一	設計部　副部長
大嘉産業(株)	佐 藤　　等	産業資材事業部 建築技術工事部　部長
	林　　司	産業資材事業部 建築技術工事部　課長
太陽工業(株)	野 口　明 裕	建築事業統括本部　設計本部長
	斉 藤　嘉 仁	建築事業統括本部 設計本部　課長

事務局

（一社）日本膜構造協会	宇都宮 啓 史	専務理事
	水 谷　明 大	事務局長
	畠 山　孝 宏	企画調査部長
	石 亀　哲 郎	技術指導部長

２　研究の目的・概要、引用記号

2.1 研究の目的

本研究委員会では，より安全を確保するために既発表の論文等の資料を有効に設計に反映できるよう本算定マニュアル策定を行った。

2.2　マニュアルの概要

本委員会で検討した研究概要は以下の通りである。

(1)　算定方針においては，構造骨組および外装材に対する風荷重算定について，膜構造の部材および部位に対する適用範囲を示すとともに設定の流れよって本算定マニュアルの適正な利活用を促している。

(2)　膜構造風荷重算定チェックリストでは，列記された設定項目を手順通り検討することによって適正に耐風設計図書の作成を行えるよう配慮している。

(3)　風洞実験資料の読み方では，文献等を活用して風圧力および風力係数を設定する場合，与えられる風圧係数・風力係数が現行の法規定による定義と異なる方法によって定められていることが多い。例えば，風洞実験における入射風の性質，平均時間（評価時間），基準速度圧などは風圧係数や風力係数，さらには荷重値を大きく左右する。ここでは，資料の意図を読み取るための解読方法を示している。

(4)　風圧係数および風力係数を設定するための基礎知識では，建築物の形態により変化する風圧力の性状に対し，設定に不測がないよう事例により示している。

(5)　風洞実験論文を活用した算定モデルでは，論文等から見出した類似形状の建築物に対する風圧係数や風力係数を対象とする建築物に引用する際の方法論について示している。

(6)　参考資料においては，収集した論文等の資料を分類し，論文の概要を示すことで，検索を容易にしている。

(7)　最後に，付録を設け，マニュアル利用者が文献資料の活用する際の参考を示した。

2.3　引用記号

< a >

a：サスペンション膜構造の代表寸法（7.4.1 項）

A：受圧面積、見付け面積（投影面積）

　　建築面積（チェックリスト中に用いる）

　　延べ床面積（チェックリスト中に用いる）

B：建築物の幅

< b >

b：屋根の幅（5.3.2 項で用いている）

< c >

C：風力係数の総称

C_D：抗力係数

C_L：揚力係数

C_{NH}, C_{NC}, C_{NL}：等価静的風力係数

C_{MP}：転倒モーメント係数

C_{MT}：捩れモーメント係数

C_{MR}：横揺れモーメント係数

C_{NW}, C_{NC}, C_{NL}: ドーム屋根の 3 領域に対し、最大荷重効果を与える瞬間の風力係数の空間平均値（7.23 項）

$C_{NW}^*, C_{NC}^*, C_{NL}^*$：$C_{NH}, C_{NC}, C_{NL}$ をガスト影響係数で除した等価静的風力係数（G_f=1.8）

Cp：風圧係数

Cpe：外圧係数

Cpi：内圧係数、室内圧係数（閉鎖形建物の場合）

C_{po}：屋根外面（上面）の風圧係数

C_{Pr}：屋根裏面の風圧係数

C_{pt}：屋根外面（上面）の風圧係数（C_{po} と同じ）

C_{pb}：屋根外面（下面）の風圧係数（C_{po} と同じ）

C_f：風力係数（=Cpe-Cpi , Cpo-Cpr, Cpt-Cpb）

C_{FZ}：風力係数（5.2.2 項）

$\hat{C}$pe：ピーク外圧係数

$\hat{C}$pi：ピーク内圧係数

$\hat{C}_f$：ピーク風力係数

$C_{f,peak}$：ピーク風力係数($\hat{C}_f$ と同じ)

C_R：独立上屋の風力係数

C*pi：内圧の変動効果係数（建築学会荷重指針）

< d >

D：建築物の奥行、

　　円形平面の代表幅（径）

　　円弧屋根のスパン

< e >

E　：風速の鉛直分布係数

Er　：平均風速の高さ方向分布係数

< f >

f : ライズ（軒から屋根頂部までの高さ）

F：空気力

F_D：抗力（風方向力）

F_L：揚力（風と直行する上向き方向力）

F_S：横力（風と直行する横方向力）

Fx： x 軸方向力

Fy： y 軸方向力

Fz： z 軸方向力

F_Z：$C_{FZ}q_H$（5.2.2 項で用いる高さ Z での風力）

F_{peak}：ピーク風力

F_{mean}：平均風力

< g >

g：ピークファクター（5.3.2 項）

G_f：ガスト影響係数

$G_f(H)$：高さ H におけるガスト影響係数

< h >

H　：基準高さ（軒高さと頂部高さの平均）

H_T：建築物の最高高さ（頂部高さ）

H_E：建築物の軒高さ

h　：軒の高さ

k：カルマン定数（≒0.4）

< i >

It：乱れ強さ

< l >

L：屋根・庇の出の長さ（5.3.2 項で用いている）

< m >

M_P：転倒モーメント

M_R：横揺れモーメント

M_T：捩れモーメント

< n >

N：柱軸力

N_{RU}：独立上屋の風上側の風力係数

N_{RL}：独立上屋の風下側の風力係数

< p >

P：風圧力

Pe：建物に作用する外圧

Pi：建物に作用する内圧

< q >

q　：速度圧＝1/2 ρV^2、設計速度圧（告示）

q_H：設計速度圧（基準高さにおける速度圧）

< s >

S：風洞実験による風圧係数・風力係数を基準法の定義に適用するための補正係数（5.2.3 項）

< t >

t：時刻

T：平均時間（評価時間）

< u >

U(Z)：地上 Z における風速

u(t)：時刻 t における風速

$\bar{U}$：平均風速

ú：変動風速

< v >

U_*：摩擦速度

V：風速

V_0：基準風速（告示）、基本風速（建築学会荷重指針）

< x >

ｘ：構造物の構造座標軸

< y >

ｙ：構造物の構造座標軸

< z >

ｚ：構造物の構造座標軸

Z：地溝からの高さ

Z_b, Z_G：風速の鉛直分布を特徴づける地表面からの高さ（告示、建築学会荷重指針）

<ギリシャ文字>

α：べき指数

δ：境界層高さ

γ：補正係数（7.3.3 項）

ρ：空気密度

σ_{Cp}：変動風圧係数

θ：風向

　　屋根勾配

３　膜構造の風荷重算定方針

膜構造設計に関する風荷重算定は，建築基準法施行令第 87 条（以下、令第 87 条）および関連する平成 12 年建設省告示 1454 号（構造骨組設計用風荷重　以下、告示第 1454 号）および平成 12 年建設省告示第 1458 号（外装材設計用風荷重）に準じ高さ 45m以下の建造物を対象として設定する。令第 87 条の規定による風力係数および風圧係数の設定に関しては，風洞実験によって求めることを原則とするが，告示第 1454 号に掲げる数値を用いることができるとしている。その他の形状にあってはそれぞれの類似の形状の数値に準じて定めるとしている。注）これら数値は単体規定であることから，隣接する大規模な建築物や障害物の影響について配慮する必要がある。

なお，告示において類似する形状がない場合，日本建築学会「建築物荷重指針・同解説」，日本畜産施設機械協会「畜舎設計規準・同解説」に示される形状の数値を参考にする。また，両指針においても適用外の形状にあっては，既往研究論文に示される風洞実験結果を参考にして風力係数および風圧係数を設定するものとする。そして，膜構造の荷重設定の流れは，構造骨組み用と外装材用に対し，それぞれ 図 3.1 フローチャートⅠ と 図 3.2 フローチャートⅡ を参考に進める。ただし，法規準において算定方針との齟齬が生じないよう，参考とする指針の数値の適用条件，また論文資料における風洞実験の実験条件を勘案し，法規準との整合を図る必要がある。とくに問題とされる点を以下に示す。

1）風洞実験気流および地表面粗度区分の相違による影響
2）設計速度圧と風洞実験による基準速度圧の不一致
3）構造物規模による影響

さらに，日本建築学会荷重指針を用いて荷重算定する場合，以下に掲げる告示との相違点を踏まえて，設定上十分な注意が必要である。

1）ガスト影響係数の設定方法
2）構造物の適用条件
3）風向の影響

また，膜構造建築物の屋根・壁を構成する構造部材の種類・部位により，構造骨組設計用，外装材設計用，いずれの風荷重を採用するかの適用範囲を下表とする。

表 3.1　適用範囲

<table>
<tr><td colspan="2">構造部位</td><td>屋根・壁</td></tr>
<tr><td colspan="2">鉄骨その他の構造の部位</td><td rowspan="2">**構造骨組設計用風荷重**</td></tr>
<tr><td rowspan="2">構造用ケーブル</td><td>構造架構を支持するもの</td></tr>
<tr><td>膜材料を支持するもの</td><td rowspan="4">**構造骨組設計用風荷重**
外装材設計用風荷重</td></tr>
<tr><td rowspan="2">膜</td><td>一般部</td></tr>
<tr><td>定着部近傍
（中間定着部・端部定着部）</td></tr>
<tr><td colspan="2">定着部材（2 次部材）</td></tr>
</table>

表 3.2　定着部材の適用範囲

定着部材（2 次部材）	・金物による定着	ケーブル・網 PL・アルミ FB・ 合成樹脂ロープ・ボルト等
	・合成樹脂ロープによる定着	レーシングパイプ・ハトメ布・ロープ等
	・ハトメ・抱き込み掛り布による定着	ハトメ・ハトメ布・ロープ等

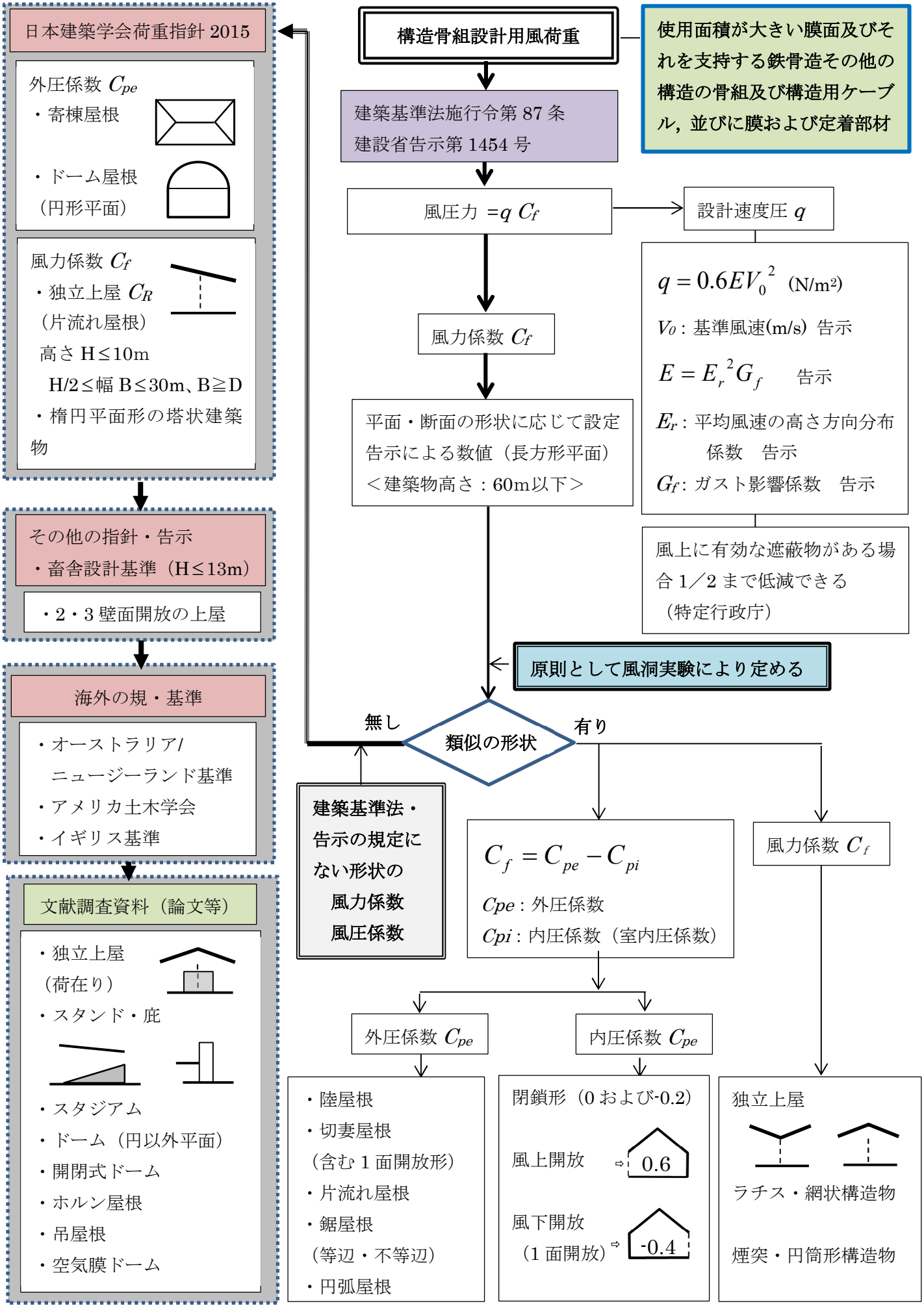


図 3.1　フローチャート I

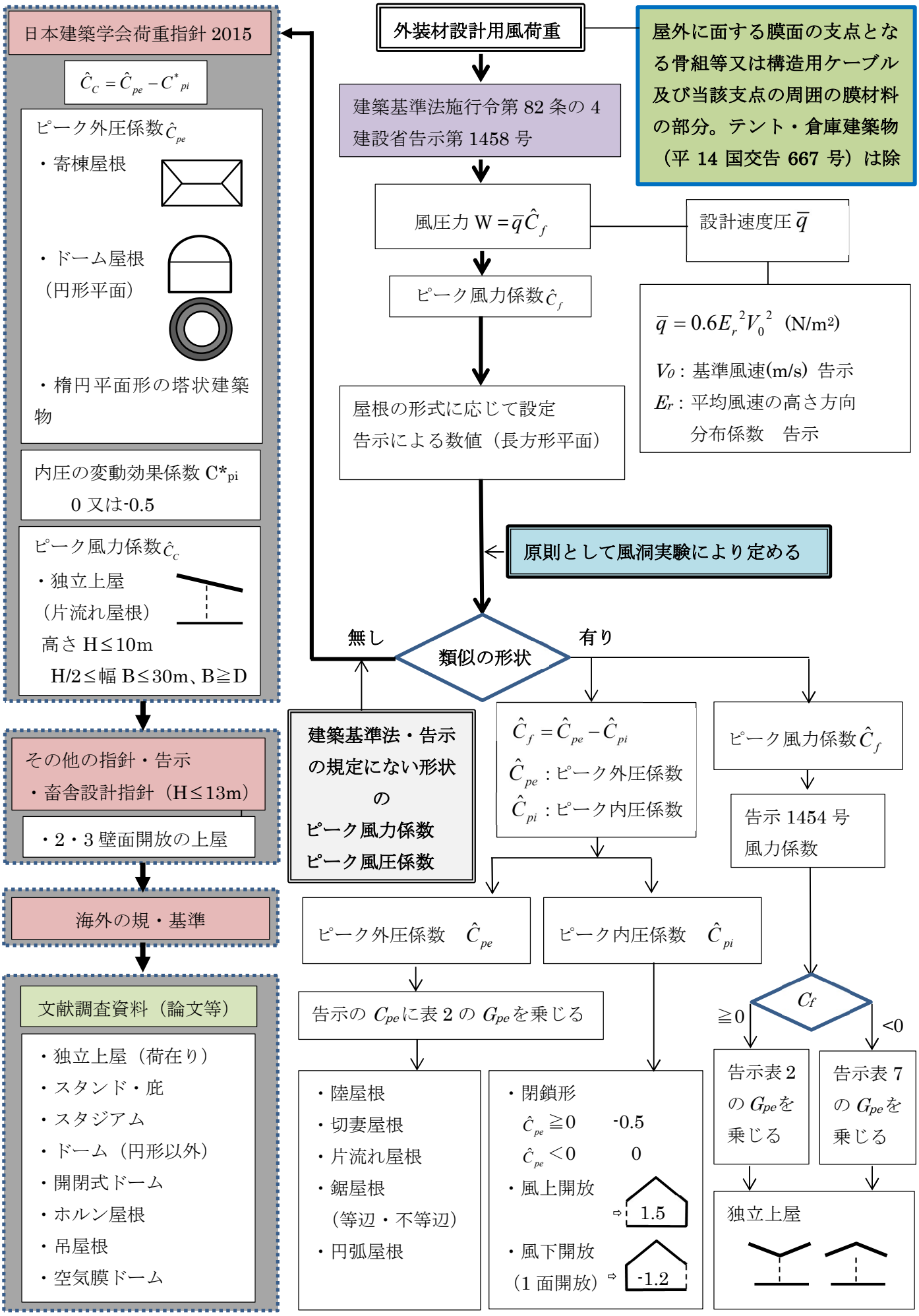


図 3.2　フローチャートⅡ

4　膜構造風荷重算定チェックリスト

4.1　建築物概要

□建築物名称　＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

□構造種別　＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

□建設地点　＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

（住所）　＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

□建築物高さ H

○建築物の最高高さは 60m以下である。

最高高さ H_T＝＿＿＿＿ (m)

軒高　　H_E＝＿＿＿＿(m)

H＝＿＿＿＿＿(m)　[$H=(H_T+H_E)/2$]

□建築物幅　B＝＿＿＿＿ (m)

□建築物奥行　D= ＿＿＿＿ (m)

□建築面積　A＝ ＿＿＿＿＿ （m^2）

□延べ床面積　A＝ ＿＿＿＿＿ （m^2）

□開口部：　○有　　○無　（ガラス窓は開口部と見做す）

周辺地域写真と配置図を添付

（写真は当該建築物を中心とする半径 1km）

（配置図には方位を挿入）

・立面図　（最低 2 面）

・平面図

（方位を挿入）

を添付する

4.2　構造骨組み設計用風荷重の算定

4.2.1 設計速度圧

□地表面粗度区分：○Ⅰ　○Ⅱ　○Ⅲ　○Ⅳ	Z_b＝＿＿＿(m)　Z_G=＿＿＿＿(m)　α＝＿＿＿	
○$G_f(H)$＝＿＿＿＿　H≦10m	○$G_f(H)$＝＿＿＿＿　10m<H<40m	○$G_f(H)$＝＿＿＿＿　H≧40m
○$E_r=1.7(Z_b/Z_G)^{\alpha}$＝ ＿＿＿＿＿＿＿　；　$H \leq Z_b$ ○$E_r=1.7(H/Z_G)^{\alpha}$＝ ＿＿＿＿＿＿＿　；　$H > Z_b$	（注） ①$G_f(H)$：10m<H<40m では、直線補間 $G_f(H)=\dfrac{\{(40-H)G_f(10)+(H-10)G_f(40)\}}{30}$ ②Vo：2 つの地方に跨るばあい大きい数値	
□　$E=E_r^2G_f(H)$＝＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿		
□　基準風速 Vo=＿＿＿＿＿＿＿＿ m/s		
□　設計速度圧 $q_H=0.6EV_0^2$＝＿＿＿＿＿＿＿ N/m^2		

4.2.2　風圧係数および風力係数

□風洞実験によって定める

○使用風洞機関：　＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

○風洞気流は、告示の地表面粗度区分に近似

○模型の縮尺率：＿＿＿＿＿

○基準速度圧は、告示と同じである。

○ピーク風圧の評価時間　＿＿＿＿＿

風圧測定孔の点数および位置の詳細を添付

実験に用いた気流分布を添付

□告示 1454 号に掲げる数値による。

○　C_f　（独立上屋　ラチス　網状　円筒形）

○　$C_f=C_{pe}-C_{pi}$　（陸 / 片流れ / 切妻 / 鋸/円弧　⇒　風上・風下壁面開放）

□告示 1454 号に含まれない形状

○建築学会建築物荷重指針　　○畜舎設計規準　　○文献等の資料（論文等の添付）

５　風洞実験資料の読み方

5.1　風洞実験気流

5.1.1　気流の種別

風洞実験に用いられる実験気流は，要求される結果によって異なるが，最近では乱流境界層を模した境界層流で行うことが多いようである。ときたま，小規模な建築物に対しては，取得する風圧の精度を優先し一様乱流を用い，また風圧の特性を追及する意味で一様流を採用する場合もある。

(1) 一様流（*Uniform flow , Smooth flow*）

時間・空間的に一様な分布をなす気流であり，一般的に気流の持つ乱れの強さが極めて小さい気流（乱れの強さ 0.5%以下が最適）。

(2) 一様乱流(*Uniform Turbulent Flow*)

乱流（Turbulent flow）を伴う一定風速分布である。乱流の度合いは，乱れの強さで区別する。

(3) 境界層流（*Boundary layer flow*）：

地球表面の乱流境界層（*Turbulent boundary layer*）を模した気流で，高さ方向に風速と乱れが変化する分布気流である。

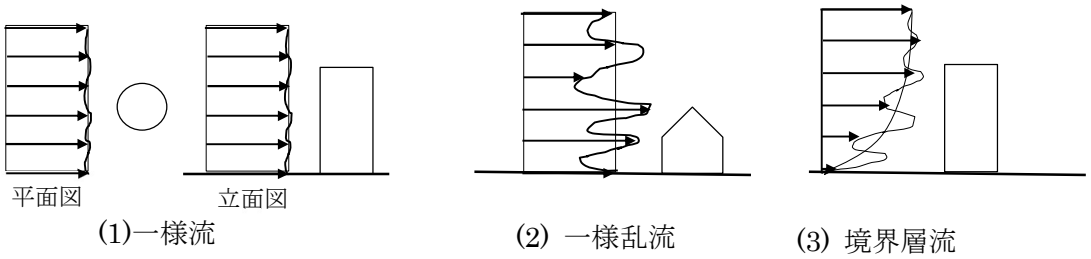


図 5.1 風洞気流の種類

5.1.2　気流の定義と取扱い

(1) 乱れの強さ I_t（*Intensity of turbulence*）

乱れ強さは，建設地点の地域性および地上からの高さによって相違する。乱れの強さ：気流の持つ風速変動の自乗平均平方根（変動風速 u' ）／平均風速 $\overline{U}$

$$I_t = \frac{u'}{\overline{U}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \left(u(t)-\overline{U}\right)^2 dt}}{\overline{U}}$$

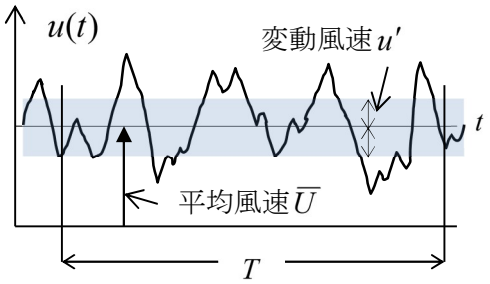


図 5.2　乱れ強さの定義

(2) 境界層厚（*Boundary layer thickness*：δ,or　*Gradient height*: Z_G）

境界層厚とは，風と地球の地表・地物の摩擦によって作られた剪（せん）断層の厚さを言うが，風洞実験において摩擦勾配（*Gradient*）がほぼ 0°になる高さ Z_G を総称し，耐風設計上用いている。

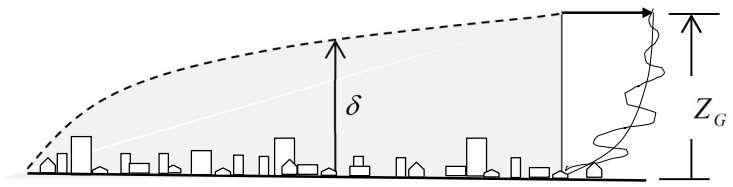


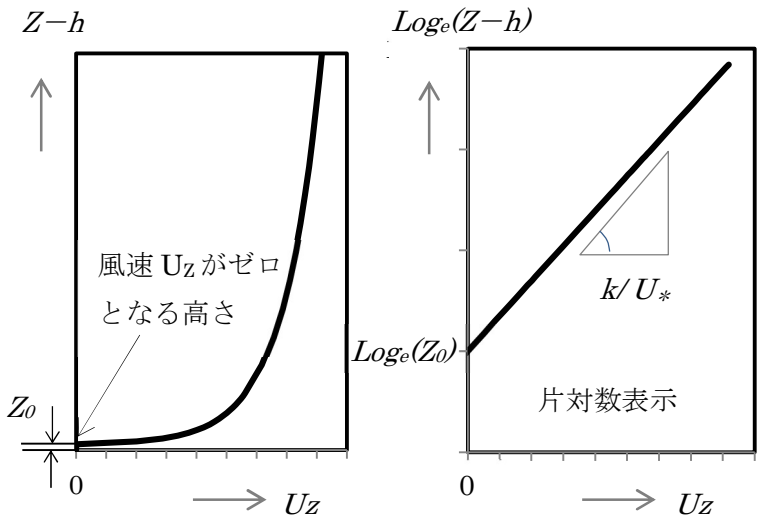
図 5.3　境界層厚

(3) 境界層を表す地域パラメータ

自然風を模擬した乱流境界層は，理論的な対数則(*Log law*)と経験的な指数則(*Power law*)で風速の高さ方向の変化を表すことが多い。

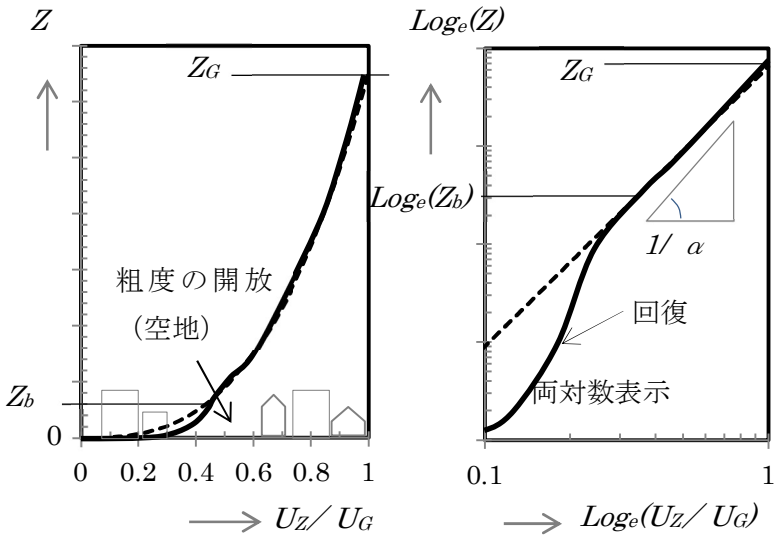
(ⅰ) 対数則　$$\frac{U_z}{U_*} = \frac{1}{k} \cdot \log_e \frac{Z-h}{Z_0}$$

k : カルマン定数≒0.4
h : 粗度の平均高さ（ゼロ平面変位）(*m*)
U_* : 摩擦速度(*m/s*)
U_Z : 地上からの高さ Z での風速(*m/s*)
Z : 地上からの高さ(*m*)
Z_0 : 粗度長(*m*)



(ⅱ) 指数則　$$\frac{U_z}{U_G} = \left(\frac{Z}{Z_G}\right)^{\alpha}$$

Z_b : 粗度の開放（空地）の影響で風速の回復を考慮した高さ(*m*)
Z_G : 境界層高さ(*m*)
α : べき指数
U_Z : 地上からの高さ Z での風速(*m/s*)
U_G : 地上からの高さ Z_G での風速(*m/s*)



上式中の粗度長 Z_0（*Roughness length*）と指数 α(*Power law exponent*)および地上からの高さ Z_b および Z_G を地域パラメータとよぶ。地表面粗度区分間の風速の変化とべき指数との関係を下式で表すパラメータ

（E は風速の鉛直分布）について，告示第 1454 号では表 5.1 に示すように、また日本建築学会荷重指針においては表 5.2 に示すように定めている。また風洞実験においては、高さ Z_b に埋もれる小規模な建築に対しては，一様乱流下での実験を行う場合がある。

$E=1.7 \times (H/ZG)^{\alpha}$; $H>Z_b$、

$E=1.7 \times (H/ZG)^{\alpha}$; $H \leqq Z_b$

5.1.3　地表面粗度区分（*Category of the ground surface roughness*）

風洞実験においては，上記地域パラメータの設定を建設地点の地表面粗度区分に準じ，縮尺率に応じて採用している。

表 5.1　告示第 1454 号による地表面粗度区分

地表面粗度区分		Z_b	Z_G	α
Ⅰ	都市計画区域外にあって，極めて平坦で障害物がないものとして特定行政庁が規則で定める地域	5m	250m	0.10
Ⅱ	都市計画区域外であって地表面粗度区分Ⅰの区域以外の区域（建築物の高さが１３メートル以下の場合を除く。）又は都市計画区域内にあって地表面粗度区分Ⅳの区域以外の区域のうち，海岸線又は湖岸線（対岸までの距離が１，５００メートル以上のものに限る。以下同じ）までの距離が５００メートル以内の地域（ただし，建築物の高さが１３メートル以下である場合又は当該海岸線若しくは湖岸線からの距離が２００メートルを超え，かつ，建築物の高さが３１メートル以下である場合を除く。）	5m	350m	0.15
Ⅲ	地表面粗度区分Ⅰ，Ⅱ又はⅣ以外の区域	5m	450m	0.20
Ⅳ	都市計画区域内にあって，都市化が極めて著しいものとして特定行政庁が定める区域	10m	550m	0.27

表 5.2　日本建築学会荷重指針

地表面粗度区分	建設地および風上側地域の地表面の状況	$Z_b(m)$	$Z_G(m)$	α
Ⅰ	海面または湖面のような，ほとんど障害物のない地域	3	250	0.10
Ⅱ	田園地帯や草原のような農作物程度の障害物がある地域，樹木・低層建築物などが散在している地域	5	350	0.15
Ⅲ	樹木・低層建築物が多数存在する地域，あるいは中層建築物（４～９階）が散在している地域	10	450	0.20
Ⅳ	中層建築物（４～９階）が主となる市街地	20	550	0.27
Ⅴ	高層建築物（１０階以上）が密集する市街地	30	650	0.35

5.2　基準速度圧（*Refference Velocity pressure or Dynamic pressure*）

速度圧は，建築物に作用する表面風圧 P や風力 F の大きさの基準化（無次元表示）に用いられる。耐風設計においては，下式のように風荷重の設定に基準速度圧 q を用いる。

$$P = C_p \cdot q$$
$$F = C_f \cdot q \cdot A$$

P：風圧（N/m^2 or kgf/m^2*）
F：風力(N or kgf *)
C_p, C_f ：風圧係数・風力係数
A：受圧面積あるいは見付面積（m^2）

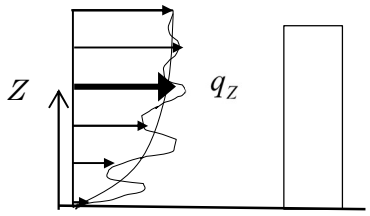
* 論文の中にはこの表記が見られる。これは，ニュートン単位規定以前には kgf/m^2　kgf が用いられていたためである。

5.2.1　速度圧の定義

速度圧は，風の運動エネルギーであり，風速の自乗に比例する下式によって定義されている。

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_Z{}^2$$

q：速度圧(N/m^2 or kgf/m^2)
；Pa で表示する場合もある)
ρ：空気密度≒1.22（kg/m^3）
U_Z：地上からの高さ Z での風速(m/s)

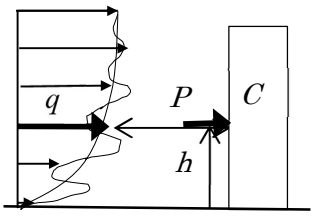


5.2.2　風洞実験における基準速度圧の設定

(1) 旧基準の取り扱い

昭和 25 年～昭和 56 年の建築基準法，いわゆる旧基準では下式の基準速度圧が定められ，建築物の部位と同じ高さの速度圧を用いることとなっていた。また，基準制定当初の風圧係数は，一様風での風洞実験で求められたものが主流であった。

$$P = C \cdot q(\mathrm{kgf/m^2})$$
$$q = 60 \cdot \sqrt{h}; h \leq 16m$$
$$q = 120 \cdot \sqrt[4]{h}; h > 16m$$
$$C = C_P \pm 0.2$$

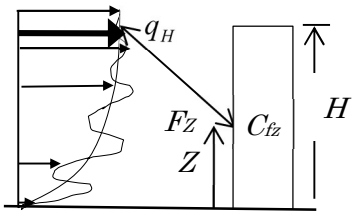


h：地上からの高さ(m)
C_P：風圧係数（外圧係数 C_{pe}）

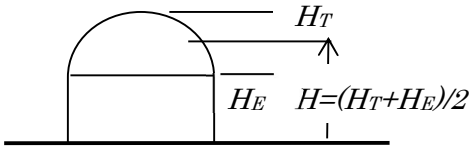
(2) 境界層流を用いた実験

近年の風洞実験における世界の潮流は，乱流境界層(*Turbulent boundary layer*)を模擬した気流において風圧・風力を計測することになってきたために，ある一定の高さの基準速度圧として下式のように建築物高さを代表させる方法が採用されてきた。

$$F_Z = C_{fz} \cdot q_H \qquad (N/m^2 \text{ or } kgf/m^2)$$



q_H : 建築物の高さにおける基準速度圧
（N/m^2 or kgf/m^2）
C_{fz} : 風力係数
Z : 地盤からの高さ(m)
H : 建築物の高さ（棟と軒の中間高さ）(m)
H_T : 建築物の最高高さ(m)
H_E : 建築物の軒高さ(m)



5.2.3　建築物高さ以外の高さでの速度圧を基準としている風洞実験結果の取り扱い

建築基準法施行令および日本建築学会荷重指針において設計用の基準速度圧は，建築物高さ H での速度圧 q_H としている。風洞実験においては，都合上基準速度圧を q_{HT} ないしは q_{HE} としている場合がある。

（1）荷重算定の際の注意

屋根中間高さを基準速度圧としていない風圧係数・風力係数の資料については，風洞実験の基準速度圧に対する設定高さを調べ，建築基準法施行令および建築学会荷重指針に定める設計速度圧は実験と同じ高さで設定しなければならない。

（2）規基準との比較するには

これらの実験で示された風圧係数および風力係数は直接施行令や指針値と直接比較することはできない。その際，それらの実験結果は，以下のように S を乗じて補正する必要がある。

$$S = \frac{q_H}{q_{HE}(or\ q_{HT})} = \left(\frac{H}{H_E(or\ \ H_T)}\right)^{2\alpha}$$

なお，式中の α は，風洞実験で用いられた乱流境界層の鉛直分布（高さ方向を与える）指数である。もし，H_E がゼロでかつライズが小さい建築物の場合，風洞実験では建築物の頂部ないしは上空の高さを基準としていることが多い。

5.3　風圧係数と風力係数（*Wind pressure coefficients and Wind force coefficients*）

参考資料にある風圧係数および風力係数は，執筆者が独自で定義した記号が用いられることが多いことから，ここでは，混同を避けるため設計に引用するための原則を纏めておきます。

5.3.1　風圧係数（外圧係数，内圧係数，室内圧係数）

風圧力は建築物の表面に作用する単位面積当たりの風の力である。そして，建築物周りの流れによる圧力場の変化によって，部位ごとに風圧値が相違する。

(1) 定義

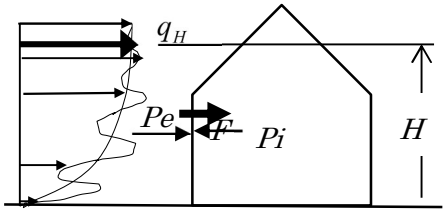
一般に，風圧係数は，境界層流中の風洞実験においては風圧 P を前出の基準速度圧 q_H で除すことにより与えられる。

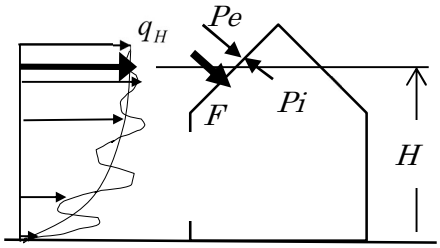
$$C_p = \frac{P}{q_H}$$

また，建築物が閉鎖形と開放形によって風圧 P は相違する。

建築物壁面に作用する風圧力は，外表面に作用する外圧と室内側の内圧の差によって与えられることから，風圧係数も下式のように表される。外圧係数と内圧係数を総称して風圧係数と呼ぶ。

$$C_f = C_{Pe} - C_{Pi}$$
$$C_{Pe} = P_e / q_H$$
$$C_{Pi} = P_i / q_H$$





C_f：風力係数
Cpe：外圧係数
Cpi：内圧係数
Pe　：外圧（N/m^2）
Pi　：内圧（閉鎖形の建物においては室内圧）（N/m^2）

内圧は，建築物表面の外圧による室内空気の流出入の総和で，外圧が作用する部位の隙間・空隙・開口部の空隙率によって影響される。

(2) よく用いられる風圧係数の記号

独立上屋および庇のように全ての部位の両面ともに外部に曝されている場合，先の定義の項で示した外圧係数 Cpe と内圧係数 Cpi の代わりに以下の表記とすることが多い。また，論文執筆者によって独自の表記があるので注意する。

$C_{Pe} \Rightarrow C_{P,out}, C_{P,outside}, C_{P,up}$

$C_{Pi} \Rightarrow C_{P,up}, C_{Pe,rear}, C_{P,inside}, C_{P,down}$

$C_P \Rightarrow C_C, C_{net}, C_{P,Total}$

＊符号は一般的に，建物の外表面から建物面作用する方向を正としている。

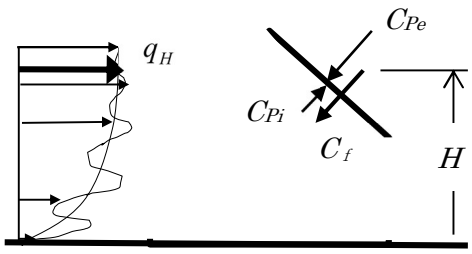


図 5.4　外部に晒された部位の風力係数

(3) 変動風圧係数を表す場合

σ_{Cp} ， $C_{P,rms}$ ， C'_P

外圧，内圧の表記については，それぞれに添え字 *e,i* を付ける。

(4) ピーク風圧係数

最大　$\hat{C}_p$ ，$C_{p,peak,max}$

最小　$\check{C}_p$ ，$C_{p,peak,min}$

外圧，内圧の表記については，(3)と同様それぞれ添え字 *e,i* を付ける。

5.3.2　風力係数

風力は，建築物表面に作用する風圧力の総和（積分量）であり，抗力，揚力および横力などに代表させて表現している。また，時として，前述の外装材の風圧力（差圧）についても風力係数と呼ぶ場合もある。

(1) 定義

任意の風向から物体に作用するときの風力係数は *C* は，下式によって定義される。

$$C = \frac{F}{q \cdot A}$$

F : 空気力(*N*)
q : 速度圧(*N/m²*)
A : 見付面積（投影面積）(*m²*)
　　or 代表面積（=*b*×*h*）

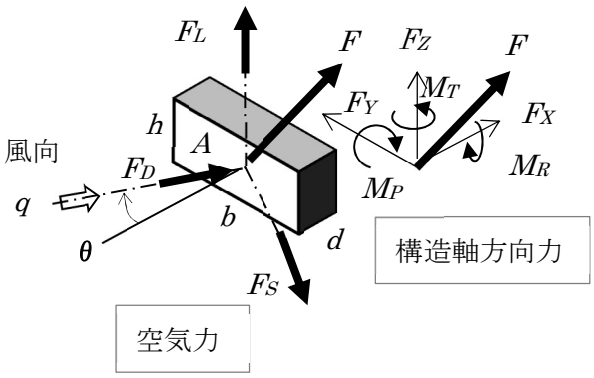


図 5.5 風力係数

一般に，この風力(空気力)*F* は，抗力 F_D，揚力 F_L，および横力 F_S の合力であり，かつ構造方向の力に分解と同時に転倒モーメント M_P，捩れモーメント M_T，および横揺れモーメント M_R が派生する。これらの 6 分力の風力係数は以下のように定義される。

$$C_D = F_D / qA \qquad C_{MP} = M_P / qBd \quad , B = d \times h$$

$$C_L = F_L / qA \qquad C_{MT} = M_T / qBd$$

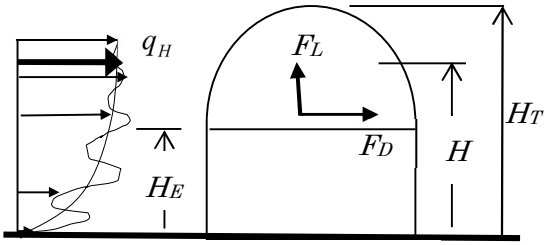
$$C_S = F_S / qA \qquad C_{MR} = M_R / qBd$$

境界層流の実験による風力係数は,
以下のように設定することが多い。

$$C_D = F_D / q_H \cdot A(Drag)$$

$$C_L = F_L / q_H \cdot A(Lift)$$

C_D : 抗力係数
C_L : 揚力係数
A : 見付面積（*Project area*）（m^2）
　　$A(Drag)$: 抗力に対して
　　$A(Lift)$:　揚力に対して
H: 平均高さ（m）=$(H_T+H_E)/2$



$H=(H_E+H_T)/2$

図 5.6　基準高さ

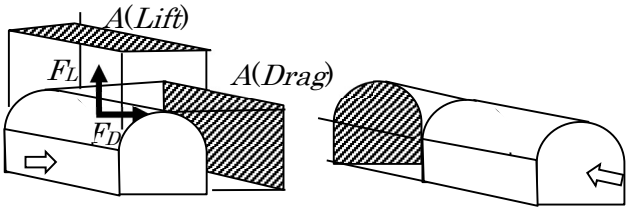


図 5.7　見付け面積

(2) 独立上屋・庇・スタンド屋根の建築物に用いられる風力係数の記号

$$C_{RU} = N_{RU} / q_H \cdot A$$

$$C_{RL} = N_{RL} / q_H \cdot A$$

$$A = L \times b$$

b : 屋根の幅(m)
L : 屋根・庇の出の長さ(m)

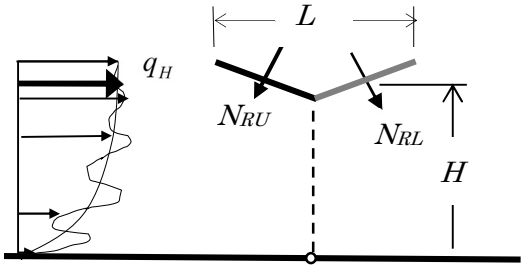


図 5.8　風力係数の正の方向

(3) 変動風力係数を表す場合

$$\sigma_{Cf} \quad , \quad C_{f,rms} \quad , \quad C'_f$$

(4) ピーク風力係数

最大 : $\hat{C}_f$　, $C_{f,peak,\max}$

最小 : $\breve{C}_f$　, $C_{f,peak,\min}$

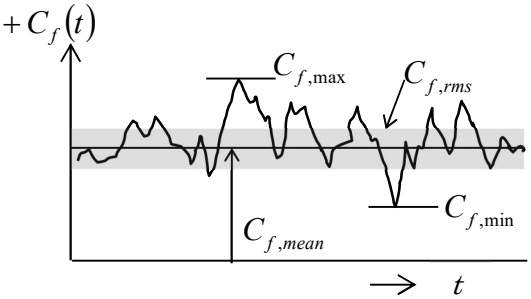


図 5.9　ピーク風力係数

(5) ガスト影響係数とピークファクター(Effective Gust-factor : G_f & Peak-factor :g)

一般に，建築物あるいは部位に作用するピーク風力係数 $C_{f,peak}$ は，その平均風力係数 C_{fmean} にガスト影響係数 G_f を乗じて与えられるものと定義している。また，ガスト影響係数は，ピークファクターg を用いて表現できる。

$$C_{f,peak} = G_f \cdot C_{f,mean}$$

$$G_f = \frac{F_{peak}}{F_{mean}} = \frac{C_{f,peak}}{C_{f,mean}} = 1 + g \cdot \frac{C_{f,rms}}{C_{f,mean}} \qquad g = \frac{C_{f,peak} - C_{f,mean}}{C_{f,rms}}$$

６　風力係数・風圧係数を設定するための基礎知識

風力係数・風圧係数の設定に際し，建築基準法施行令・告示，さらには日本建築学会「建築物荷重指針・同解説」ならびに日本畜産施設機械協会「畜舎設計規準・同解説」においても類推できず論文等の資料を基に定めることになった場合，真値に近い値でかつ安全側の設定とする必要がある。この場合，少なくとも風力係数・風圧係数の形成に関する基礎的な性質を考慮する必要がある。ここでは風力係数・風圧係数の数値を示すものではなく，風力係数・風圧係数設定に考慮すべき点について記載している。

6.1　風力係数・風圧係数に影響する因子

風力係数・風圧係数の数値の形成は建築構造物の周囲流れの変化に左右される。そして，この流れの形を影響する要因は以下のような因子である。

1）建築構造物の形状（平面・屋根勾配・壁面開口・連棟・壁面の凹凸等）
2）風向（水平・上下・風向変動）
3）規模（建築物・外装材・部材寸法等）
4）気流の性状（風速分布・乱れ等）
5）隣接障害物（隣接建物・隣接物）
6）地域性（平地・傾斜地・丘陵地・崖等）
7）平均時間

6.2　建築構造物の形状による影響

建築構造物には，地上に自立する建築構造物であり，建築物周りの流れを変える形状としては平面で構成される形状と曲面あるいは曲面と平面との組み合わせの形状をもつ建築物があり，ここでは以下の枠線に囲まれたものを対象としている。

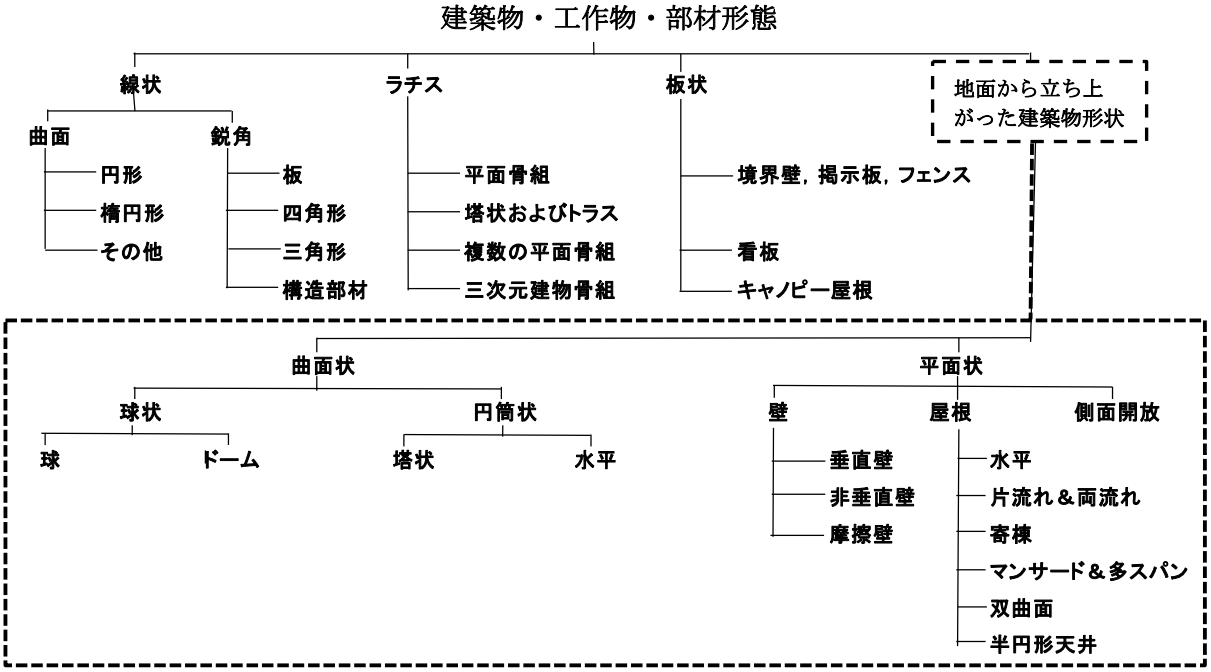


図 6.1　取り扱う建築物の形態

6.3　閉鎖形の建築物

6.3.1　長方形平面

長方形平面をもつ基本的な建築物形状は以下のものである。またこれら建物の屋根形状に変化を加えたり付属物（たとえば，パラペット，庇（キャノピー），ペントハウス，軒・けらばの出，越屋根など）が加わったりすることによって流れのパターンは変化し，場合によっては局部的に過大な風圧を作り出すこともある。

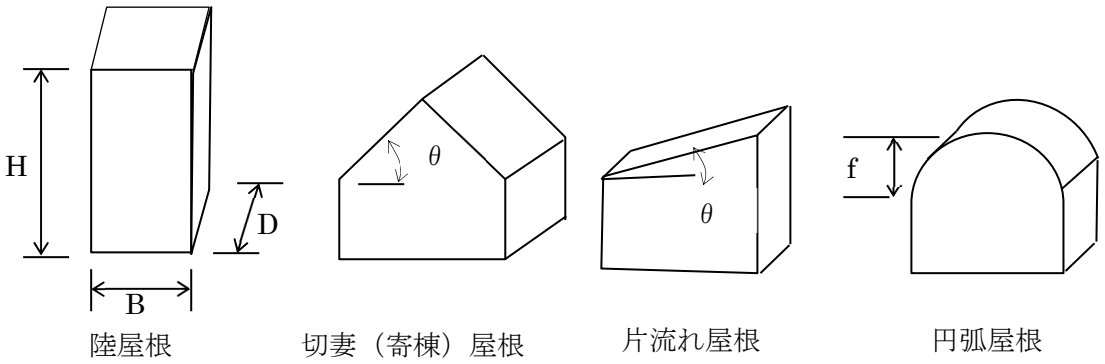


図 6.2　基本的な屋根形状

(1)　陸屋根の場合

陸屋根に作用する外圧は，建築物の形状（アスペクト比 H/B，断面比 D/B・D/H）によって変化する。

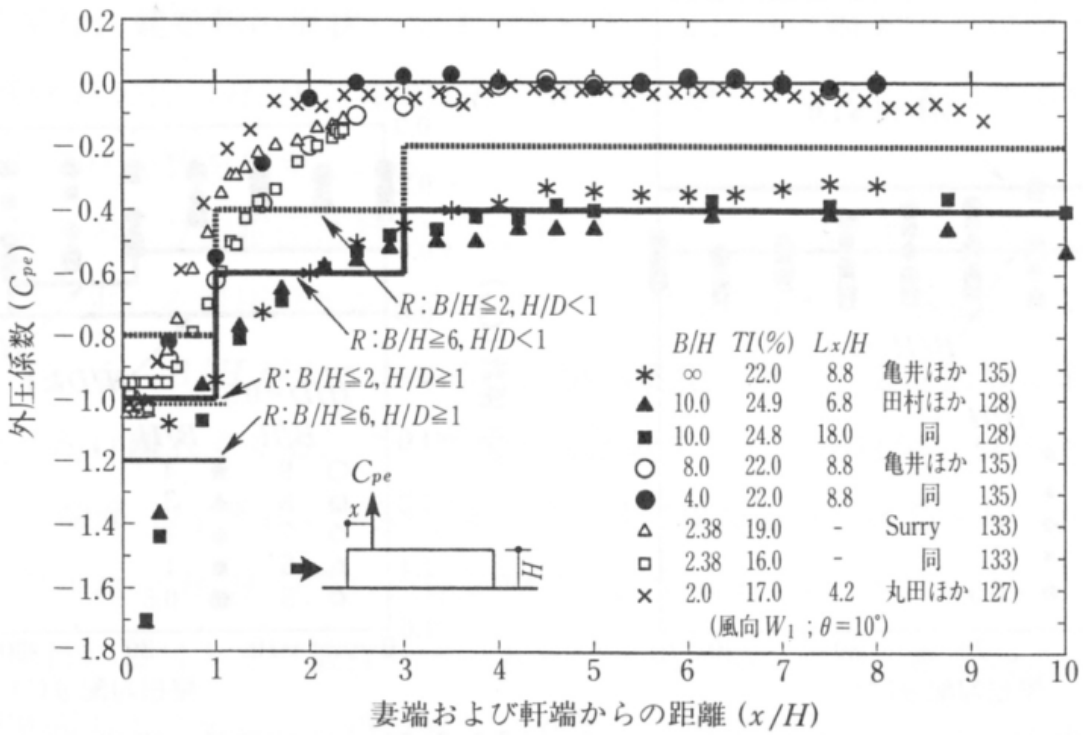


図 6.3　屋根面の外圧係数[2)]

①　建物奥行（D）による影響

建物の見付け幅（B）と高さ（H）が同じでかつ入射気流が同じ条件であれば，軒ではく離した流れはほぼ近似し再付着点はさほど相違しない。そのため再付着点の風上側での風圧分布はほぼ同じとなる傾向にある。

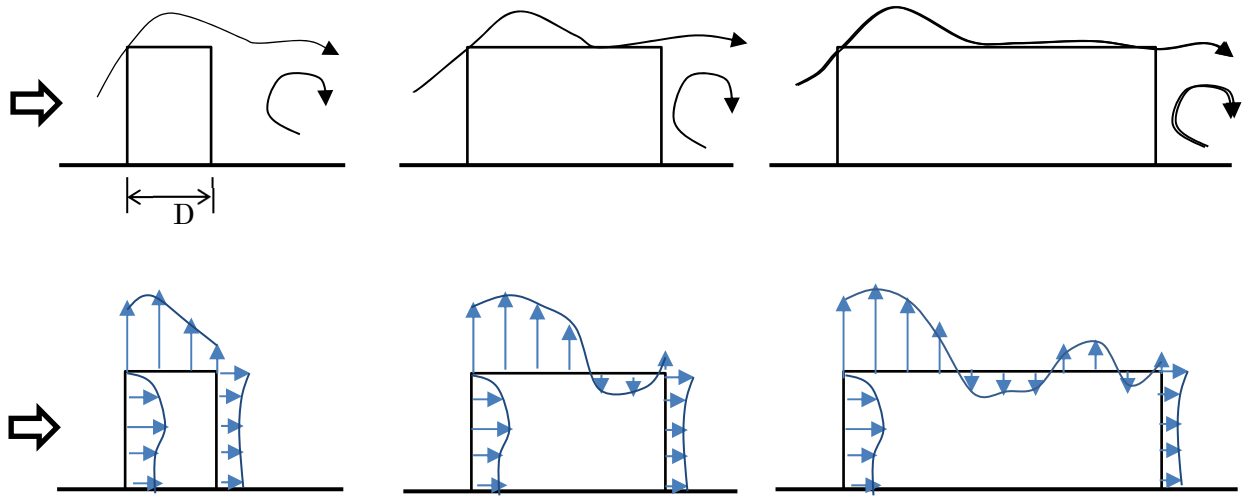


図 6.4　奥行変化による風の流れと風圧の出方

②　見付け幅（B）による影響

建物の高さ（H），奥行（D）が同じで幅のみが変化した場合，屋根面を回る風量が増大し屋根を越える風量は相対的に増大することによって風上側屋根の負の外圧係数は増大する。

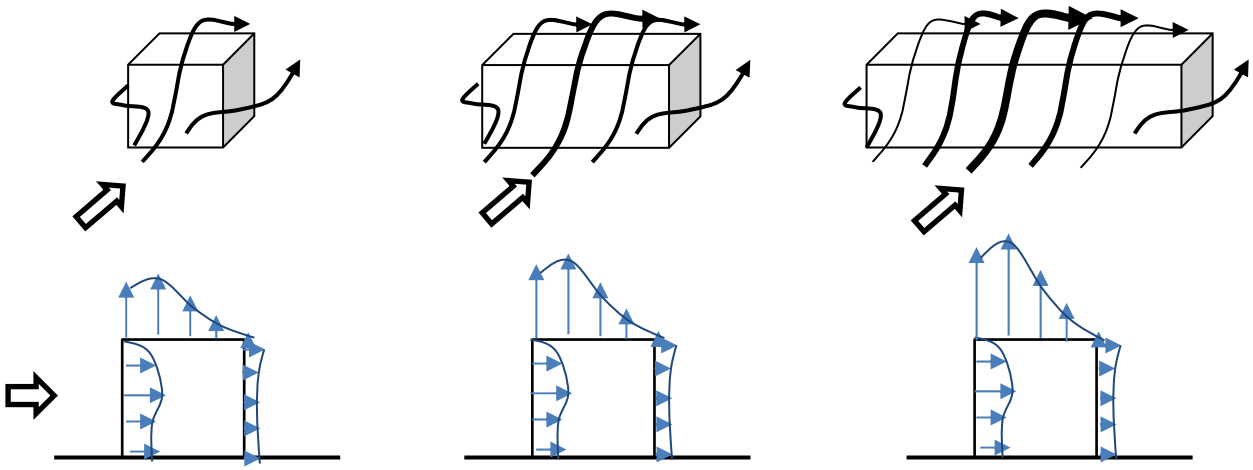


図 6.5　幅変化による風の流れと風圧の出方

②　建物高さ（H）による影響

建物の幅（B），奥行（D）が同じで、建物高さ（H）のみが高くなると，相対的に側壁面に回り込む風量より屋根面の風量が増大し外圧係数が大きくなる。一方，屋根面では高所となる分，外圧が増

大するが，基準速度圧 q_H が大きくなるので見かけ上風圧係数では減少する。

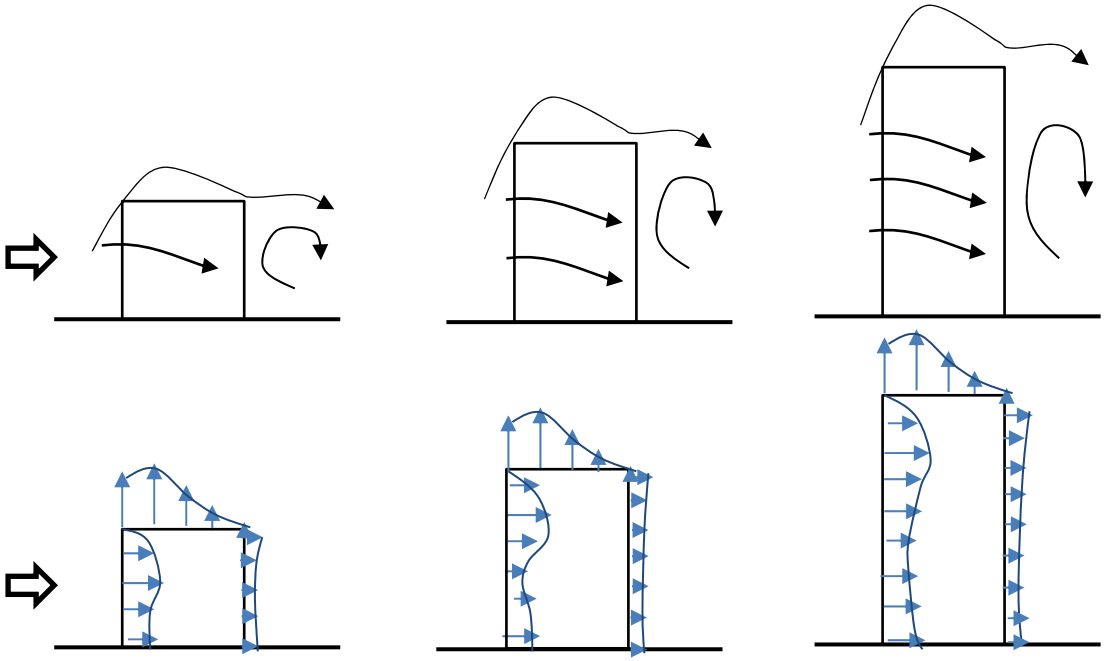


図 6.6　建物の高さ変化による風の流れと風圧の出力

④　建物形状と再付着

再付着現象は建物前縁の稜線ではく離した流れが再度建物壁面に付着する現象である。再付着が発生すると流れと建物面の間に Cavity が形成され，それに伴い強い渦の形成と強い局部風圧が発生する。建物の風上前縁から再付着点までの距離は，流体力学の鏡像的考えからおおよそ建物高さの 2 倍（2H），ないしは建物幅 B に位置すると考えられている。また，この再付着点は入射気流の乱れ（地域）や建物表面の粗滑度によっても早められる性質がある。

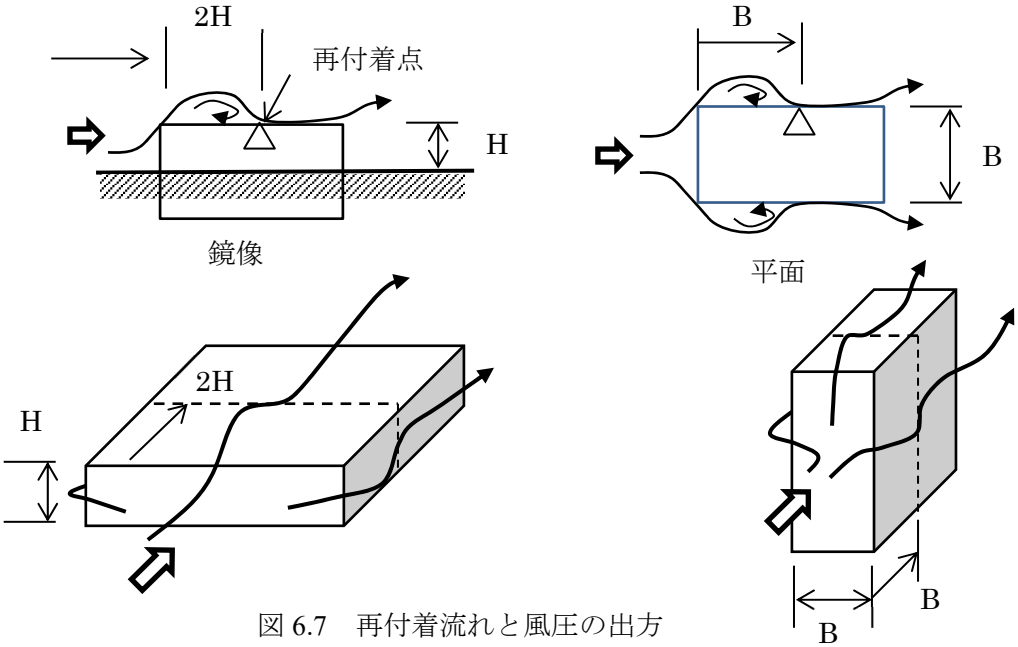


図 6.7　再付着流れと風圧の出力

(2) 勾配（屋根 θ）の場合

屋根勾配の増大によって前縁ではく離した流れの再付着が促進され，Cavity の形成による局部的な風圧低下が生じる（負圧が増大する）。θ＝５～10°において風上屋根面で最大となる。負の勾配の場合は勾配の増大によって負圧が増大する。なお，負の勾配であっても奥行（風方向）の長い平面形状の屋根では，再付着が起こりやすくなる。

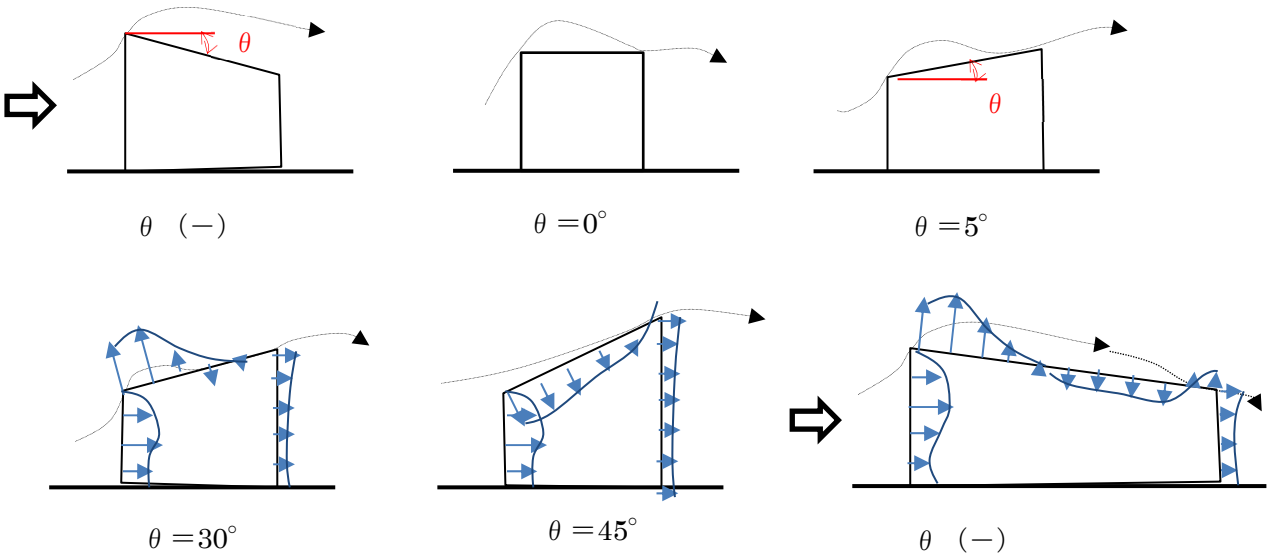


図 6.8　屋根勾配の変化による風の流れと風圧の出方

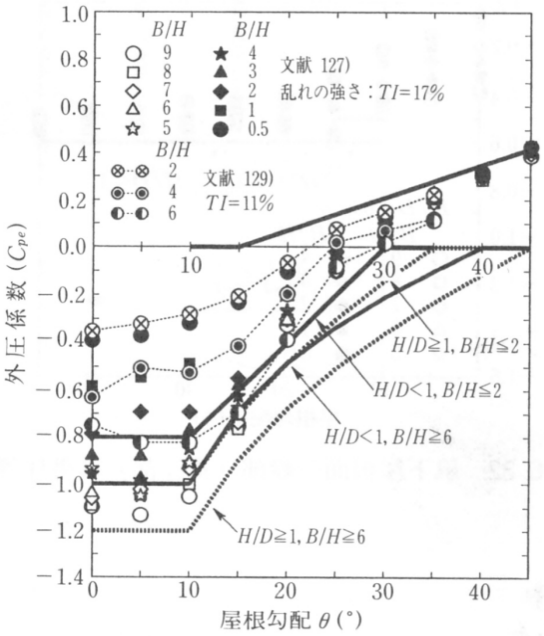
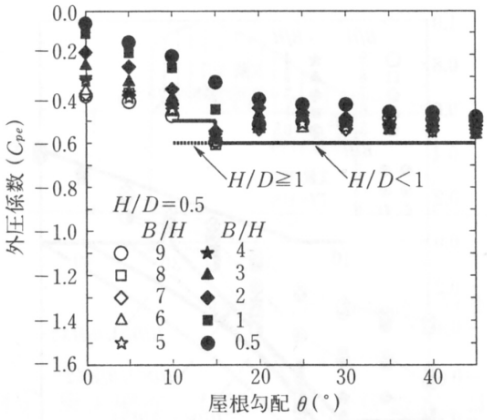


図 6. 6. 30　風上屋根面（RU 部）の外圧係数[2)]



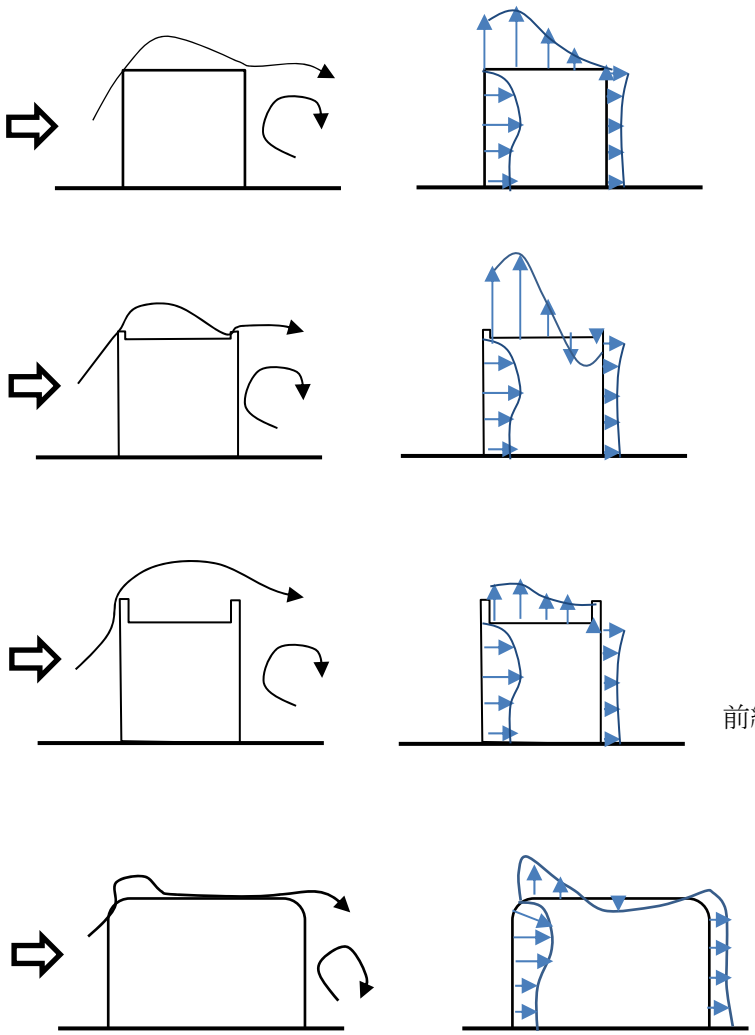
2)

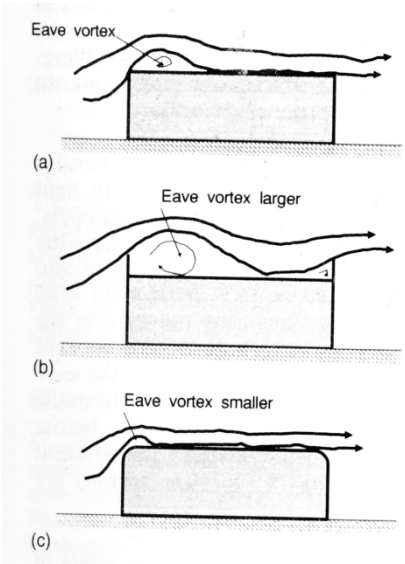
図 6. 6. 32　風下屋根面一般部（RL_1 部）の外圧係数

図 6.9　屋根勾配と外圧係数（建築学会指針 1993）

(3) 建物稜線の形（パラペット，隅欠き等）の影響

低いパラペットの場合，前縁ではく離した流れは下流のパラペットにより再付着しやすくなるが，パラペットが高くなると解消され，負圧は弱まる。　一方，建物稜線の形が曲面や隅欠きを設けた場合，流れのはく離が弱められ局部風圧（負圧）が抑制される可能性がある。





前縁形状によるはく離流の影響 1)

図 6.10　前縁の形による流れの変化と風圧の出方

（4）円弧屋根の rise と sag による影響

円弧屋根の建物に作用する風圧は，ライズ f と奥行の比(ライズ比 f/D）や軒の高さ h と奥行 D の比 h/D によって相違する。これは，ライズ f が小さい間は風上前縁（軒）ではく離が生じ，屋根風上側で大きな負の局部風圧が発生する。またライズ f が増大すると流れのはく離点は後方に移動する。そのため屋根風上側の屋根では正圧となり，ライズ比 f/D が増大するほど円弧屋根頂部で負圧が最大となる。

ただし，屋根面に粗さがあると流れのはく離点は，後方に移動し風圧分布も変化する（6.3.2-(2)で記述されるレイノルズ数効果と類似）。

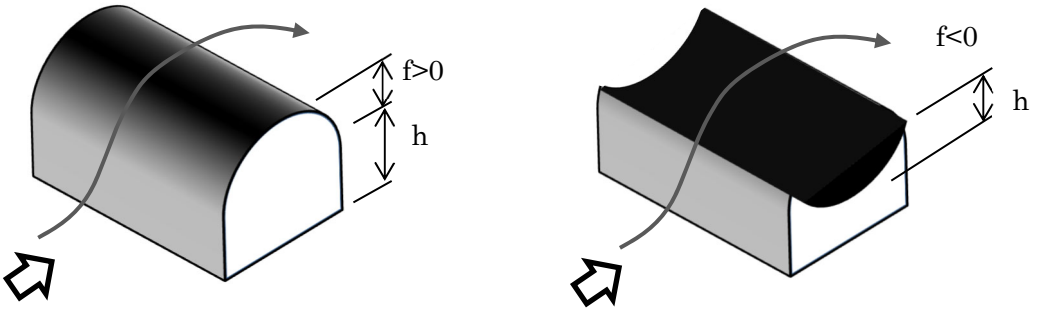
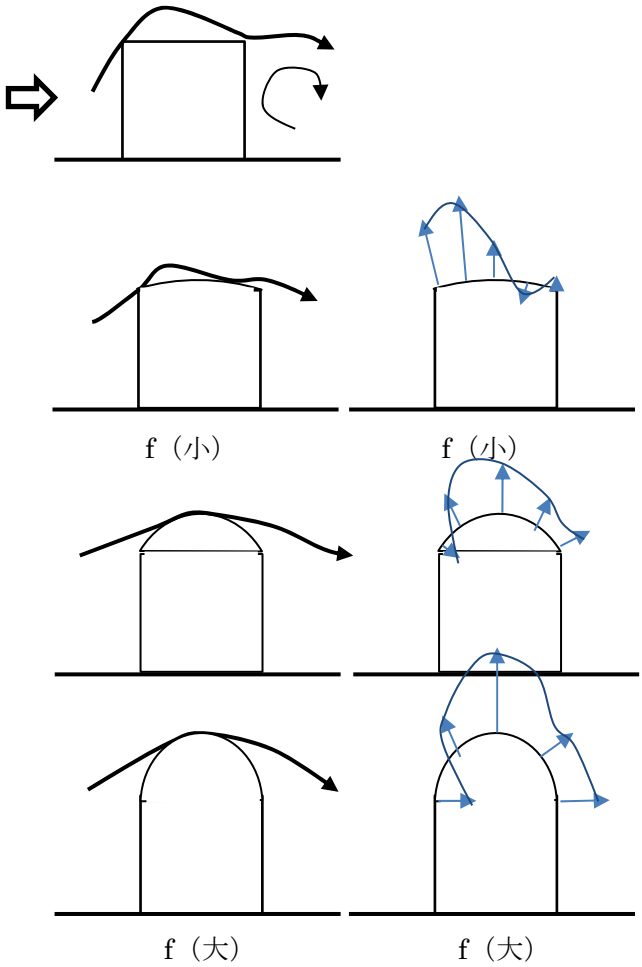
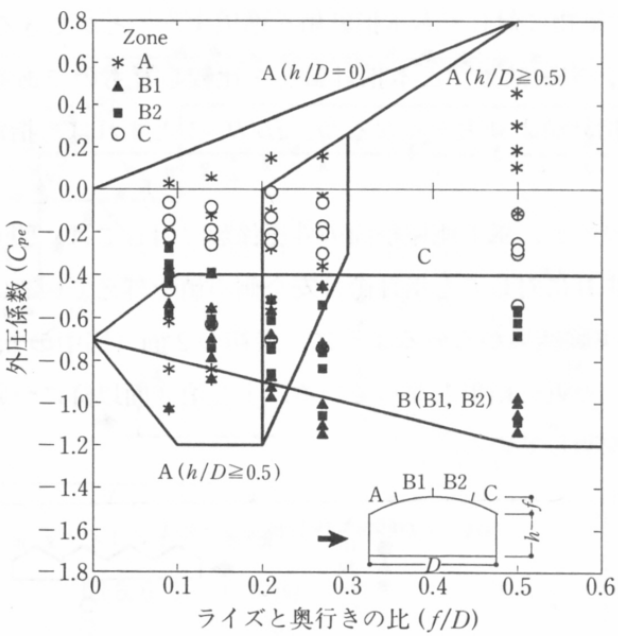


図 6.11　円弧屋根の形（ライズとサグ）





円弧屋根の外圧係数[2)]

図 6.12　円弧屋根のライズによる流れと風圧の出方

一方，sag (f<0)のある屋根の建物では，風上前縁ではく離が生じ，屋根面への再付着が生じなければ屋根の風圧はほぼ均一な負圧となるが奥行 D が増大すると再付着し易くなり風上側において局部的に負圧が増大する。

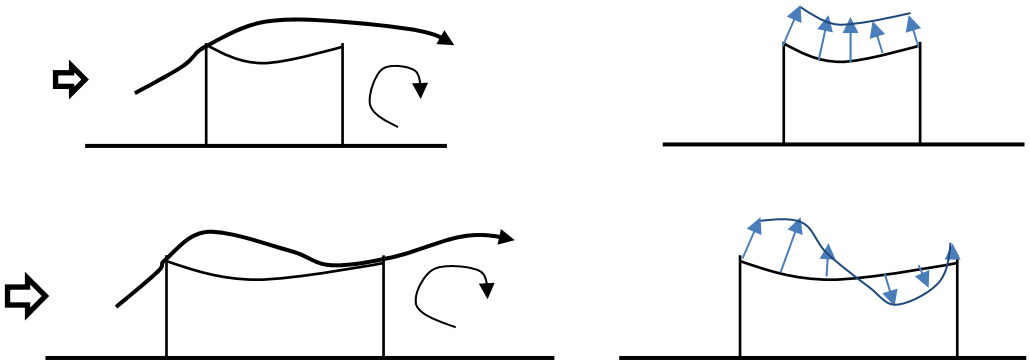
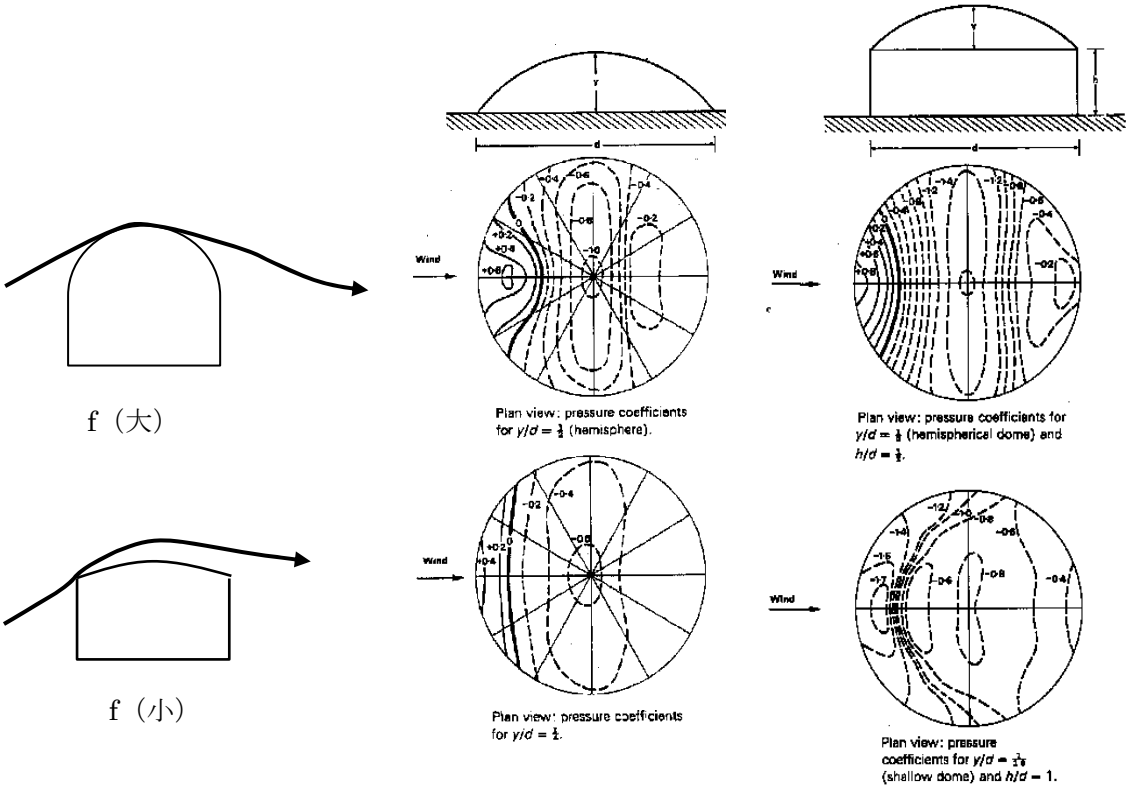


図 6.13　円弧屋根のサグによる流れと風圧の出方

6.3.2　円形平面

曲面をもつ建築物は Reynolds 数の影響を受けるとされる。すなわち風速や建築物の規模によって作用する風圧が影響される。しかし，乱流に晒された建築物や表面の粗度が大きい曲面の建築物ではその影響は少ないとされる報告もある。

ドーム屋根の建築物は屋根のライズ比 f/D やライズと軒高比 f/h によって屋根面に発生する風圧係数の性状は大きく変化する。そして，軒高さ h=0 の場合，風下面（後面）での風圧は正の風圧係数を示す場合もある。また，軒高さ h が増大するほど頂部の負圧は増大する。さらに，ライズが大きくなると風圧分布は風向と直行方向に縦縞模様となる。

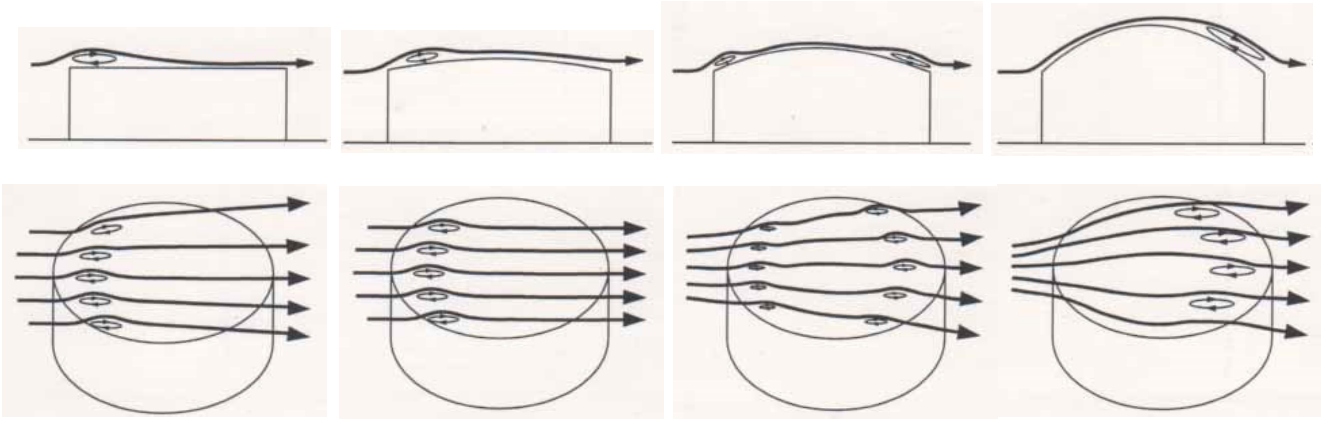


ドーム屋根の外圧係数（Maher の論文から引用）3)

図 6.14　ドーム屋根のライズによる流れと風圧の出方

(1) ライズ比 f/D による影響

まず，ドームのライズ比（ライズ/ドームの直径）により屋根面の流れがどのように変化するかを図 6.15 に，また平均外圧係数のライズ比・軒高比による中心軸に沿う風上端からの距離による変化を図 6.16 に例示する。



a) f/D=0　　b) f/D=0.05　　c) f/D=0.1　　d) f/D=0.2

図 6.15　　ライズ比によるドーム屋根面上の気流の変化例（h/D=1/3）[15)]

外圧係数は f/D=0 の場合，軒高での速度圧で，ライズを持つ場合はドーム頂部での速度圧で無次元化している。これは f/D=0.5 の場合に軒高での速度圧で無次元化すると，正の外圧係数が 1.0 を超える恐れがあるためである。

平屋根(f/D=0)の場合，軒高比 h/D=1 ですでに前縁剥離し，剥離泡を形成している。h/D が小さくなっても基本的には h/D=1 の分布に似ているが，さらに再付着が促進され，再付着位置が風上側に移動する。

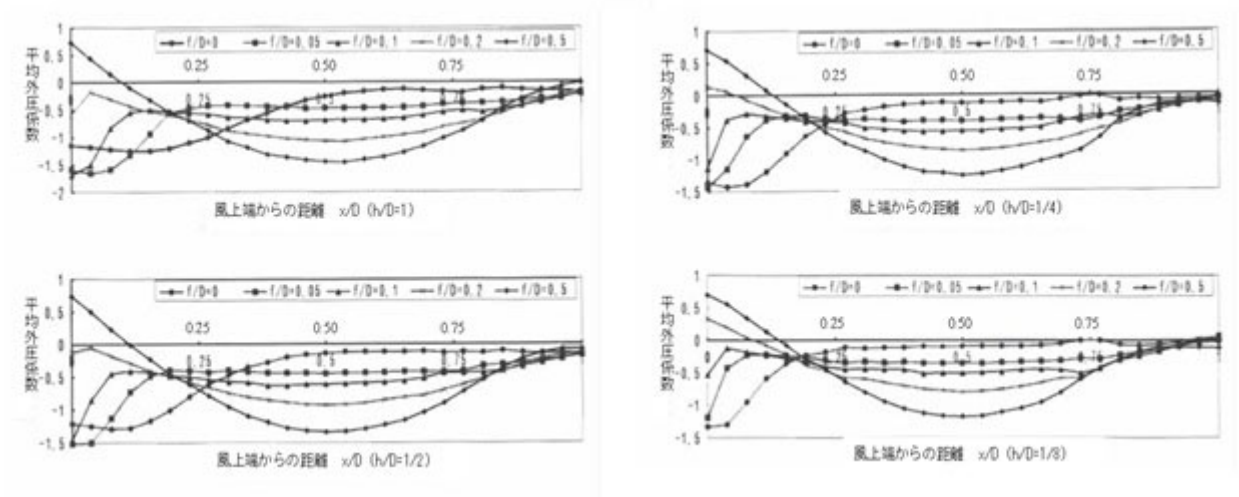


図 6.16 平均外圧係数のライズ比・軒高比による変化 [15)]

（ｉ）f/D=0.05 の場合，h/D=1 で明瞭に前縁剥離をし，再付着する分布形状を示す。h/D が小さくなると，前縁での剥離泡が小さくなり，風下での穏やかな圧力分布が風上側に近づく。

（ii）f/D=0.1 になると前縁剥離後すぐに再付着をして屋根面に沿って流れる現象が明瞭に表れる。h/D

が小さくなるにつれて屋根面上の流れに変化が現れ, h/D≦1/8 ではほとんど前縁剥離をしなくなり，中央に負圧の最大値が現れる。

（iii）f/D=0.2 では前縁剥離後すぐに再付着する分布を示し，h/D≦1/4 で気流は前縁剥離せず，屋根面に沿って流れ，風下端部に近い位置で剥離をする。その結果，0.05D付近まで正圧となり，屋根中央部付近で最大の負の外圧係数を持ち，風下端部で最小の負の外圧係数を持つ分布となる。

（iv）f/D=0.5 では気流は前縁剥離せず，屋根面に沿って流れ，屋根中央部風下で剥離し，風下端部に近い位置で再付着する傾向を示す。そのため 0.15D付近まで正圧となり，頂部付近で最大の負の外圧係数を持ち，風下端部で最小の負の外圧係数を持つ分布となる。

(2) レイノルズ数 Re および表面粗度による影響

次によく問題とされるのはレイノルズ数 Re と表面粗度である。レイノルズ数 Re は風速 V と代表長さ D と動粘性係数 ν で定められる係数（VD/ ν ）であるが, 風洞実験ではそれを一致させることができない。通常の建築物のレイノルズ数は$R_e = 10^6 \sim 10^8$　のいわゆる超臨界に位置するのに対し，一般に建築・土木分野で使用されている風洞実験設備では亜臨界の$R_e = 10^4 \sim 10^6$　のレイノルズ数を再現するのが精一杯である。ただ亜臨界の値が超臨界の値より大きいため，亜臨界での実験結果を用いていれば安全側の結果となるとの考えからそれらの値を用いている（図 6.17)。

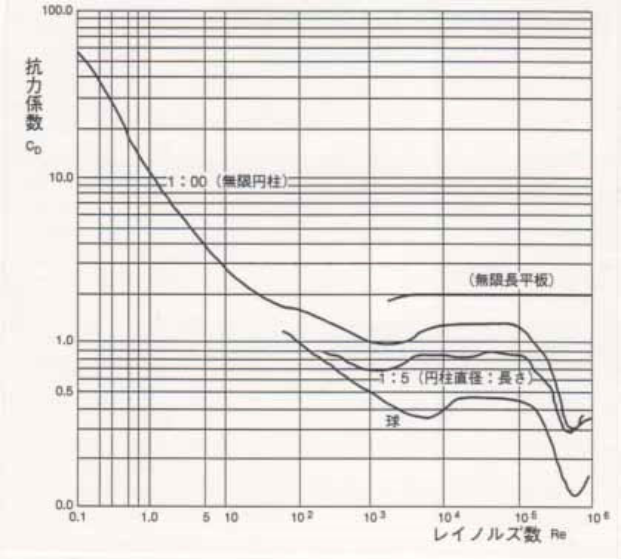


図 6.17　レイノルズ数による抗力係数の変化 [11)]

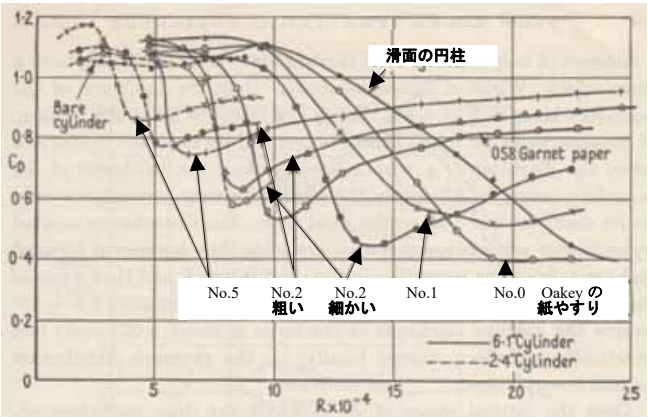


図 6.18　表面粗度による影響 [16)]

建築物の表面は滑面ではない。そのため，表面の粗さをどのように考慮するかも大きな問題となる。図 6.18 は表面の粗さが円柱の抗力係数 C_D にどのような影響を示したものであるが，表面の粗さが大きくなるにつれて臨界レイノルズ数（抗力係数が急激に低下するレイノルズ数）が小さくなる。表面の粗い円柱の抗力係数は滑らかな円柱の亜臨界での抗力係数より小さいので，表面が滑らかな状態での亜臨界での実験結果を用いていれば安全側の結果となるとの考えからそれらの値を用いている。なお、風圧係数の影響については、6.7 節を参考にする。

以上の基本的な性質を念頭に入れて閉鎖型球形ドームの風力係数を検討する必要がある。

6.3.3　その他の平面形

以下に掲げる平面形状の建物に作用する風圧は複雑である。原則としては，

(1) 低層の建物では風上前縁（軒）で流れははく離し，奥行が小さい場合は風下の後縁を越えるが，奥行が大きい場合には内側に入り込む流れを示す。

(2) 高層の建物では側壁に回り込む流れが支配的になるが，この場合でも奥行の長い平面形でははく離流れは再付着し易くなる。

(3) 再付着した部位では圧力は正圧となり，再剥離以降では負圧となる。

以下のいろんな形状の建物では，想定される流れと圧力の出方を表している。

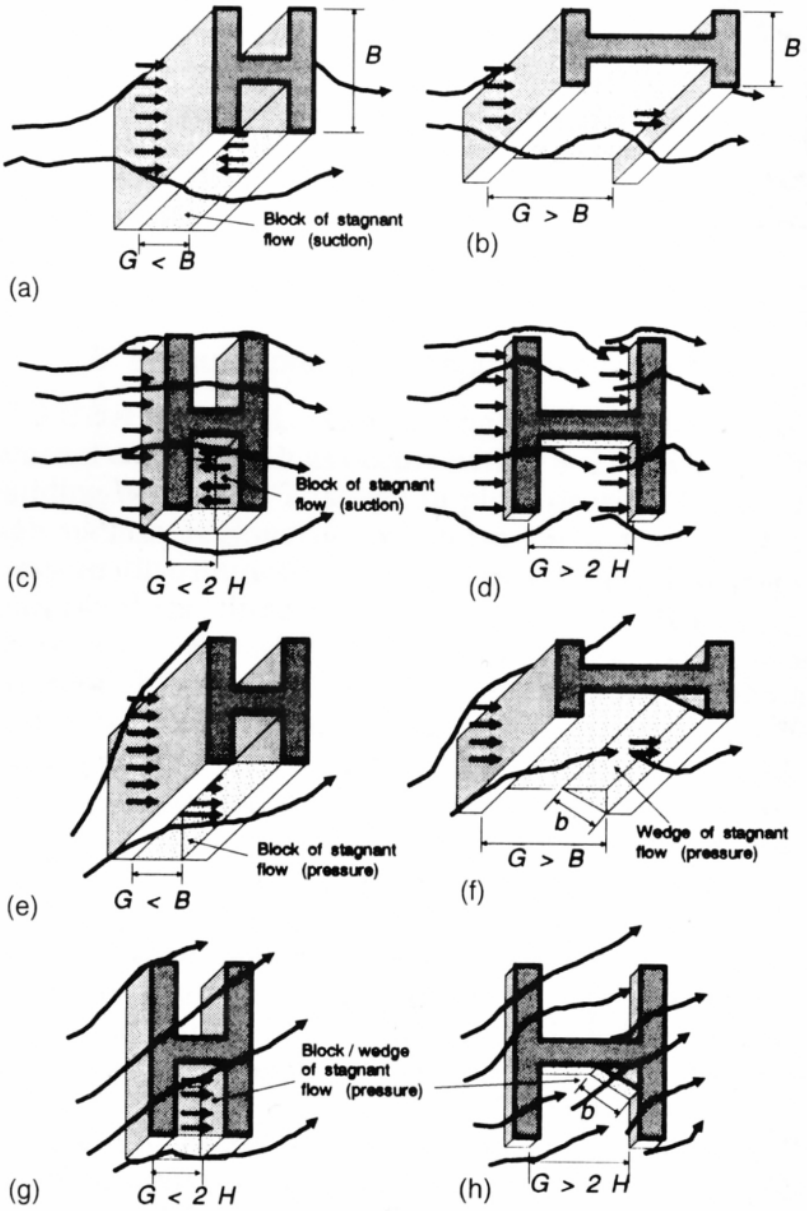


図 6.19　H 型平面の建物周りの流れ [1)]

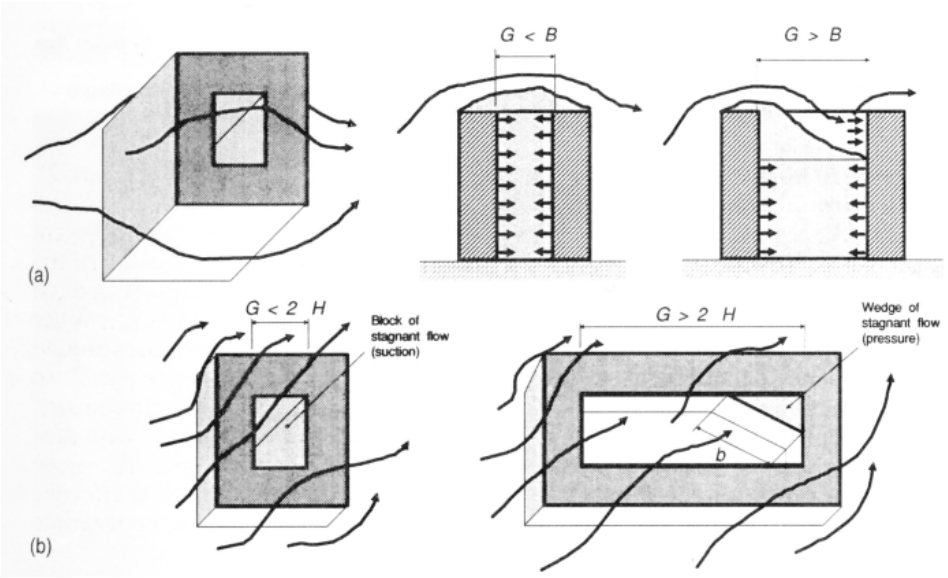


図 6.20　O 型平面（ボイド形）の建物周りの流れ [1)]

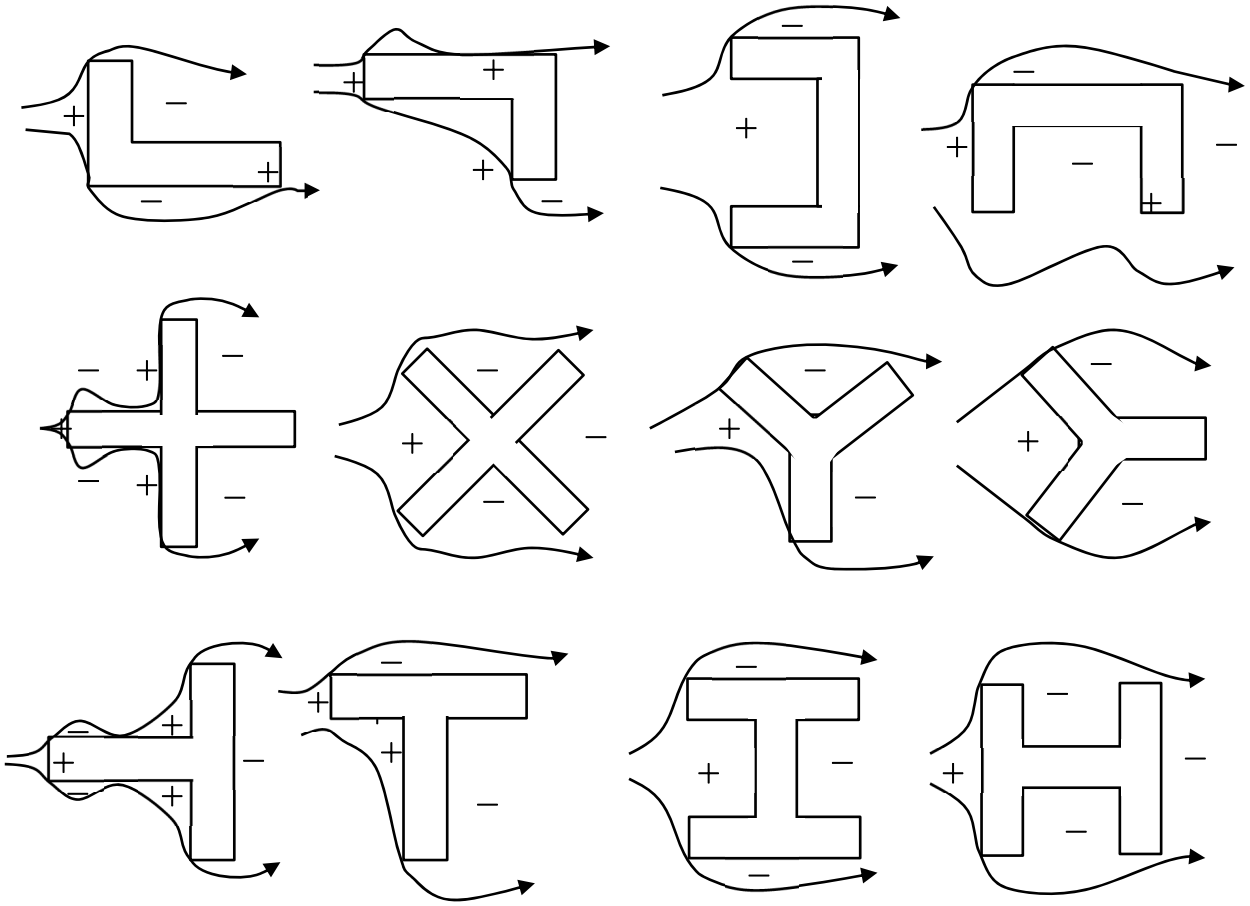
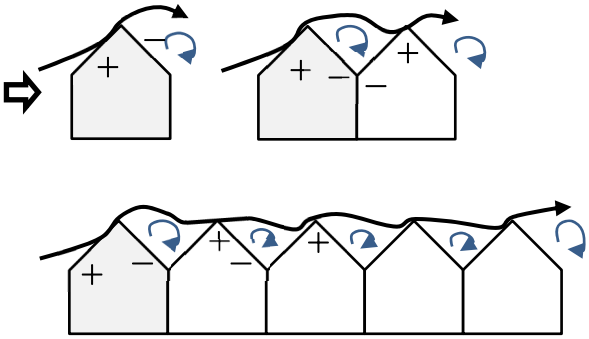
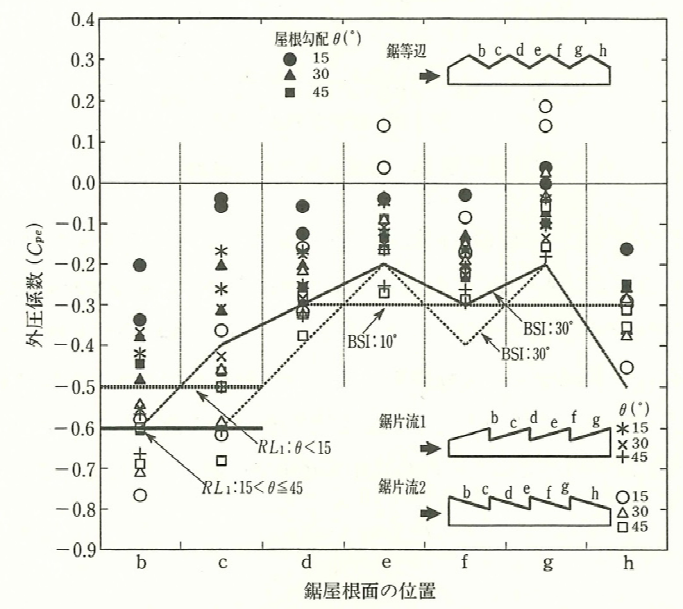


図 6.21　各種平面形の周辺流れと風圧の出方（＋－の表示は正圧と負圧領域；以降これに準ずる）

6.3.4　連棟形

連棟建物において，最前列の建物の風圧係数は単独の建物の値に近似する。３棟目以降の屋根面での流れは屋根凹凸の摩擦の影響が大きく屋根に這うような流れとなることにより風圧係数は低下し，さらに棟数が増大しても類似した傾向となる。これは先に記述した奥行の長い陸屋根建物における再付着後の性質と酷似している。





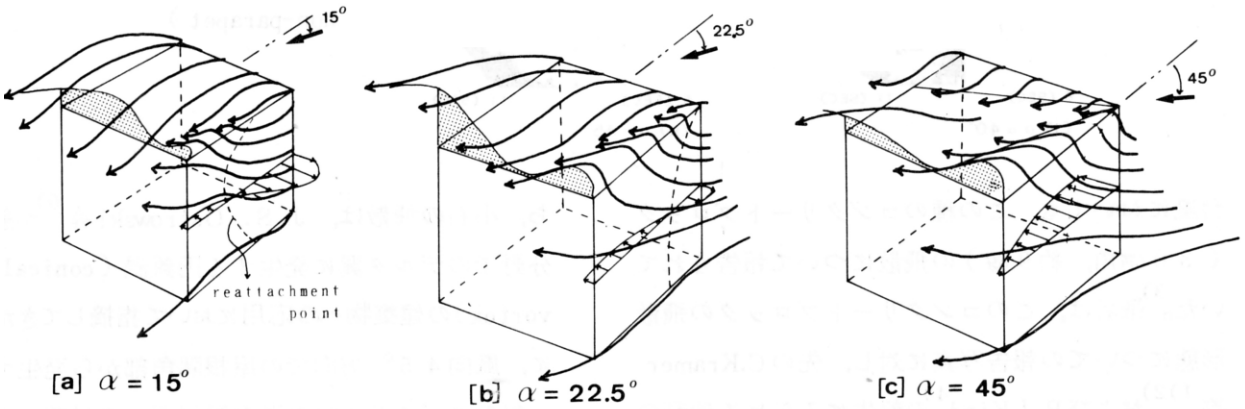
のこぎり屋根の外圧係数[2)]

図 6.22　のこぎり屋根周りの流れと風圧の出方

6.3.5　建物外表面に生じる局部風圧

(1) 屋根面に生じる局部風圧

屋根面に生じる強い局部風圧は，壁面からはく離した流れの屋根面での再付着がもたらす Cavity での渦や屋根隅から形成される円錐渦によって生じる。円錐渦は風向の変化によって勢いを増し，風向 45°±15°において強い局部風圧が発生する。20°以上のこう配屋根においては棟隅でも発生する。



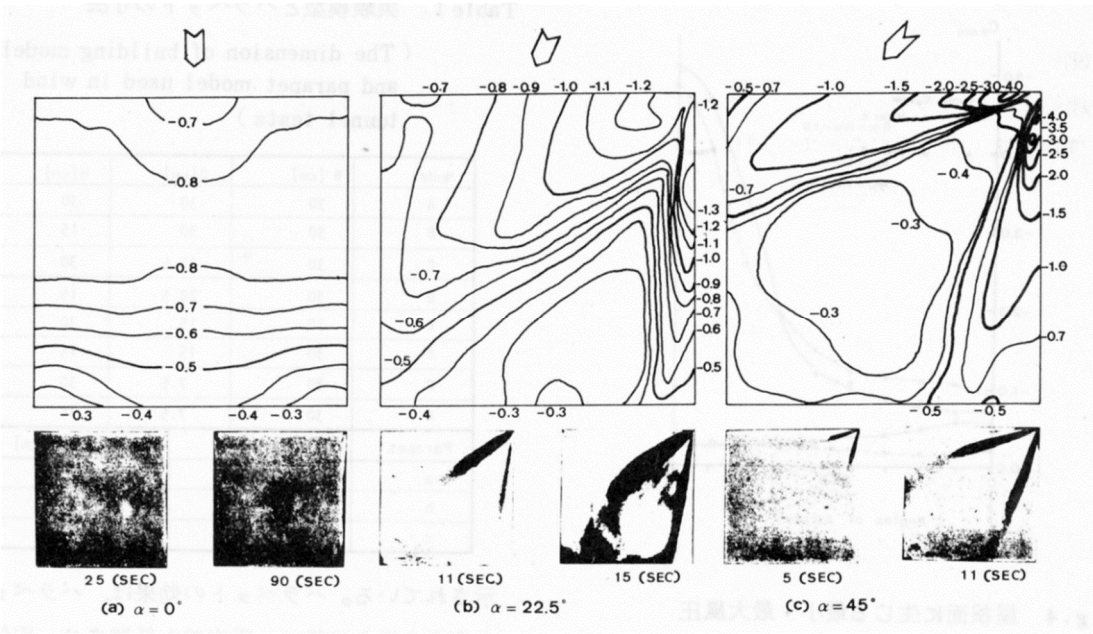


図 6.23　立方体周りの流れおよび屋根面の風圧係数と砂の飛散[4)]

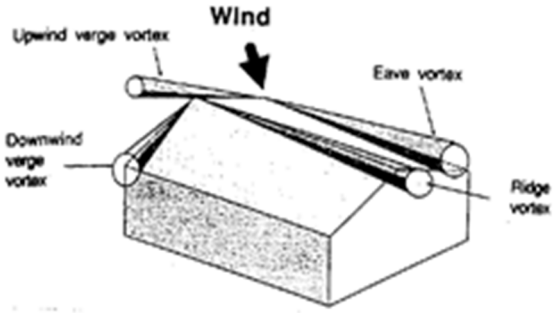


図 6.24　切妻屋根に生じる対の翼型渦[1)]

鋭角から鈍角に変化する屋根面においても，一般的な長方形平面と同様に円錐渦の形成と局部風圧が認められる。

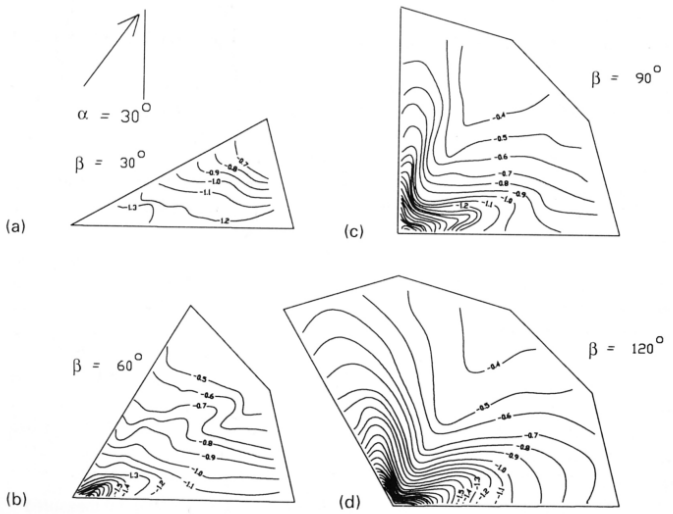


Figure 17.49 Effect of corner angle on flat roof pressures

図 6.25　コーナ角度の相違する建物の屋根面に生じる風圧係数[5)]

(2) 壁面に生じる局部風圧

側壁面に生じる局部風圧は，風上前縁ではく離した流れの再付着によって発生するが，入射風向によって強い縦渦が形成され上層と下層において強い局部風圧が生じる。とくに墓石型の屋根と壁面の境界付近は注意されたい。

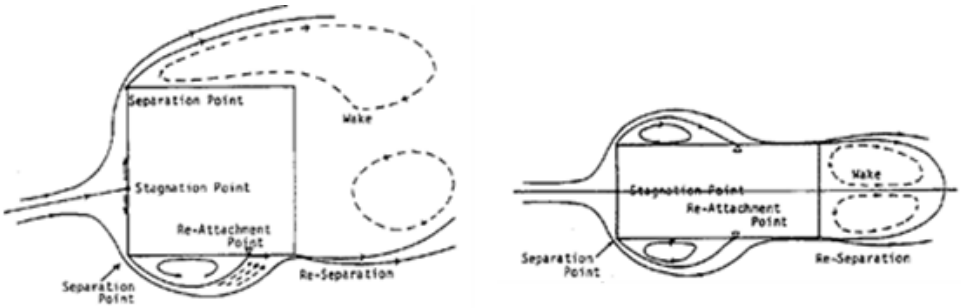


図 6.26　再付着流れ [6)]

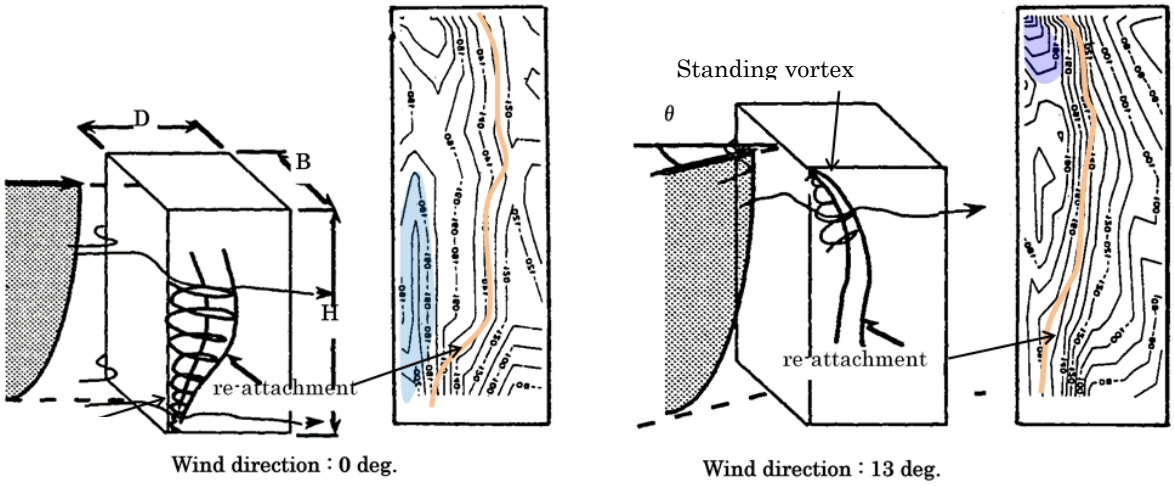


図 6.27　側壁面に生じる円錐渦と風圧分布 [7)]

6.4　開放形の建築物

6.4.1　1面開放の場合

風圧および飛来物によって壁面等が破壊され開口が生じた場合，開口部分の外圧が室内に流入し内圧と置き換えられる。開口から流入する風圧は，開口率に影響されるが５％以上の開口率でほぼ全開放となるとの報告もある。また，置き換えられる内圧は内壁面や天井部にほぼ均一に作用する。この置き換えられた内圧は部位によっては風圧力が外圧との合力によって著しく増大させる。壁面全体が開放である場合，開放とされる壁面の平均外圧（建物形状によって異なる）が内圧に置き換えられると考えてよい。なお，飛来物によって開口部分が生じた場合，フラッシュオーバーの現象により瞬発的に作用外圧を超える圧力上昇が生じるので注意する。

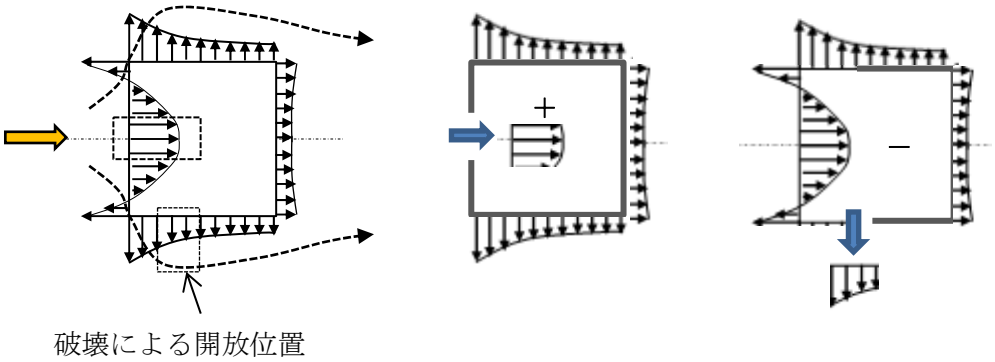


図 6.28　壁面の開口と内圧の出方

6.4.2　３壁面開放の場合

３壁面が開放となる建物では，側壁面によって孕んでいた空気が側壁面が無くなることで両脇から放出されるため，風上面のみ開放と比べて屋根と風下壁面に作用する風圧は低下する。しかしながら片持ち梁形式の構造となるため屋根の吹き上げ力ならびに節点でのモーメント力は大きいので注意を要する。

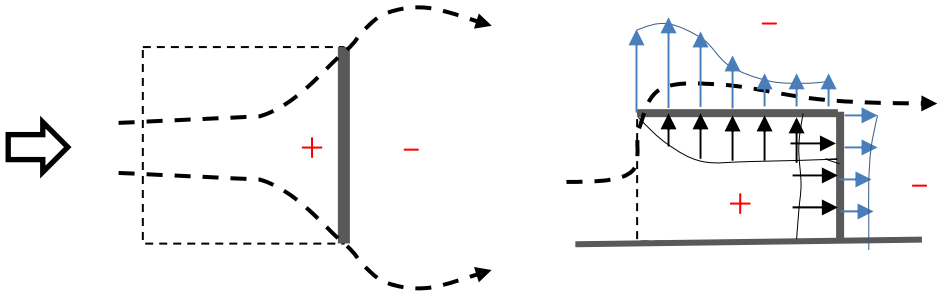


図 6.29　3 壁面開放の流れと圧力の出方

また，建物内の積み荷や階段等が存在すると屋根の吹き上げ力は増大する。

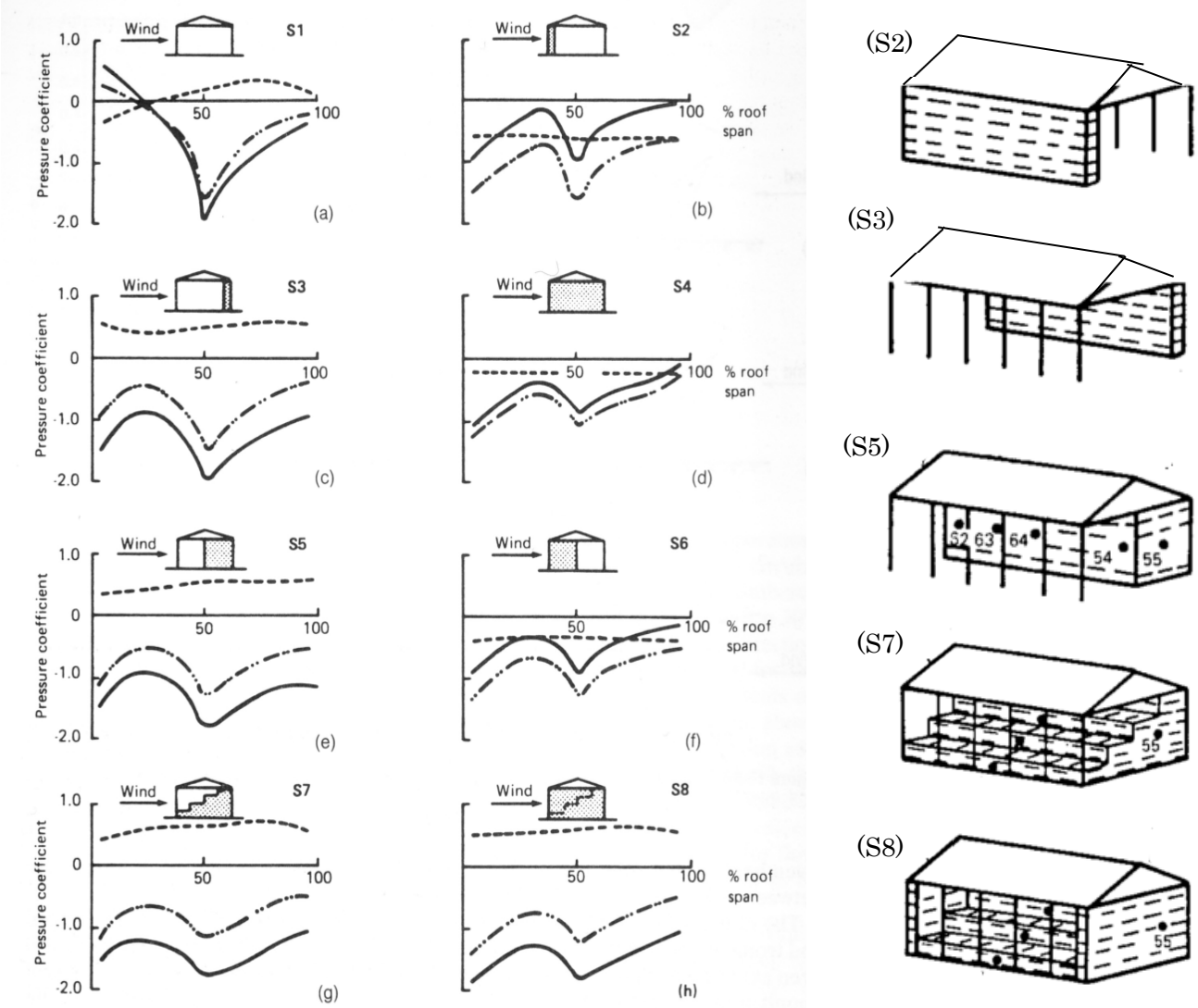


Figure 16.67 Effect of stacked contents on canopy loads (from reference 268)

図 6.30　上屋の風圧に関する積み荷および壁面有無による影響 [8)]

6.4.3　スタジアム等のスタンド屋根の場合

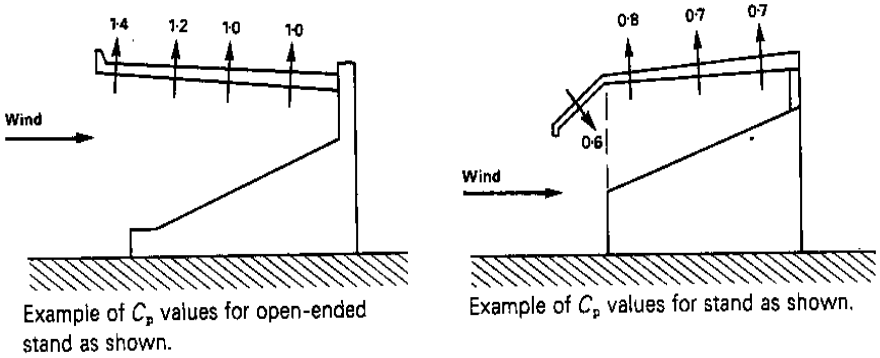


図 6.31　スタンド屋根の風圧係数 [3)]

長手スパン方向における屋根表裏の風圧係数 C_{po} と C_{pr},，そしてそれらの差圧である風力係数 C_f 分布を示している。裏面の風圧係数 C_{pr} では，スパン風上側屋根では負圧を示し，風下側屋根では正圧を示している。

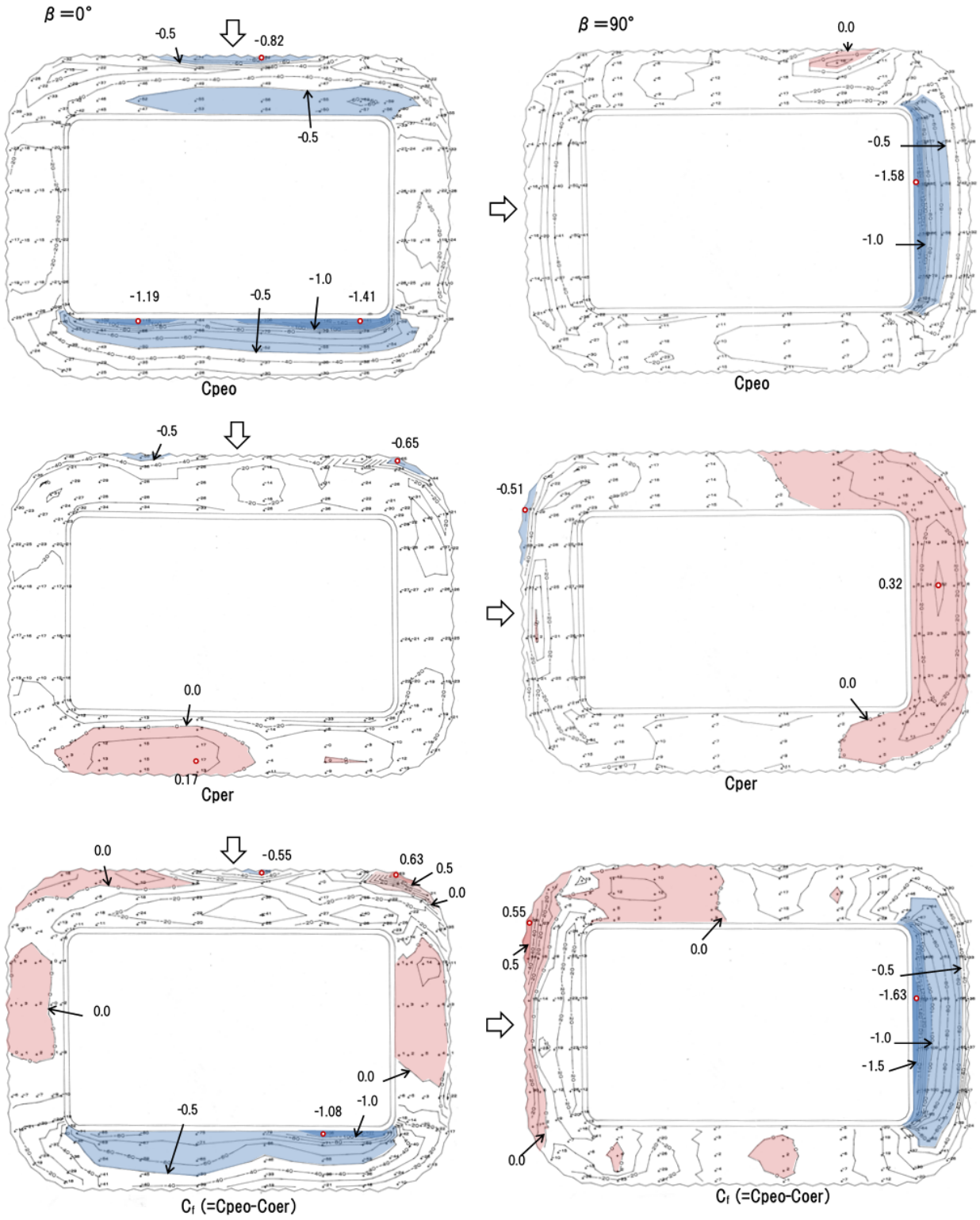


図 6.32　スタジアム屋根の風圧分布

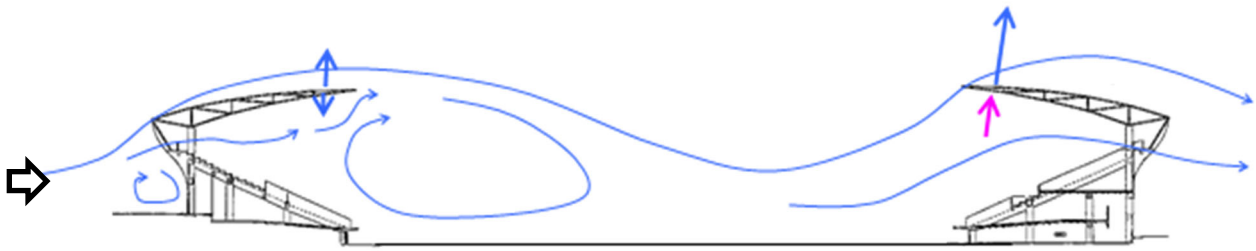


図 6.33　スタンドの風の流れ

ピーク風力係数 $\hat{C}_f$ は短手風向と長手風向における分布図の相違を表している。

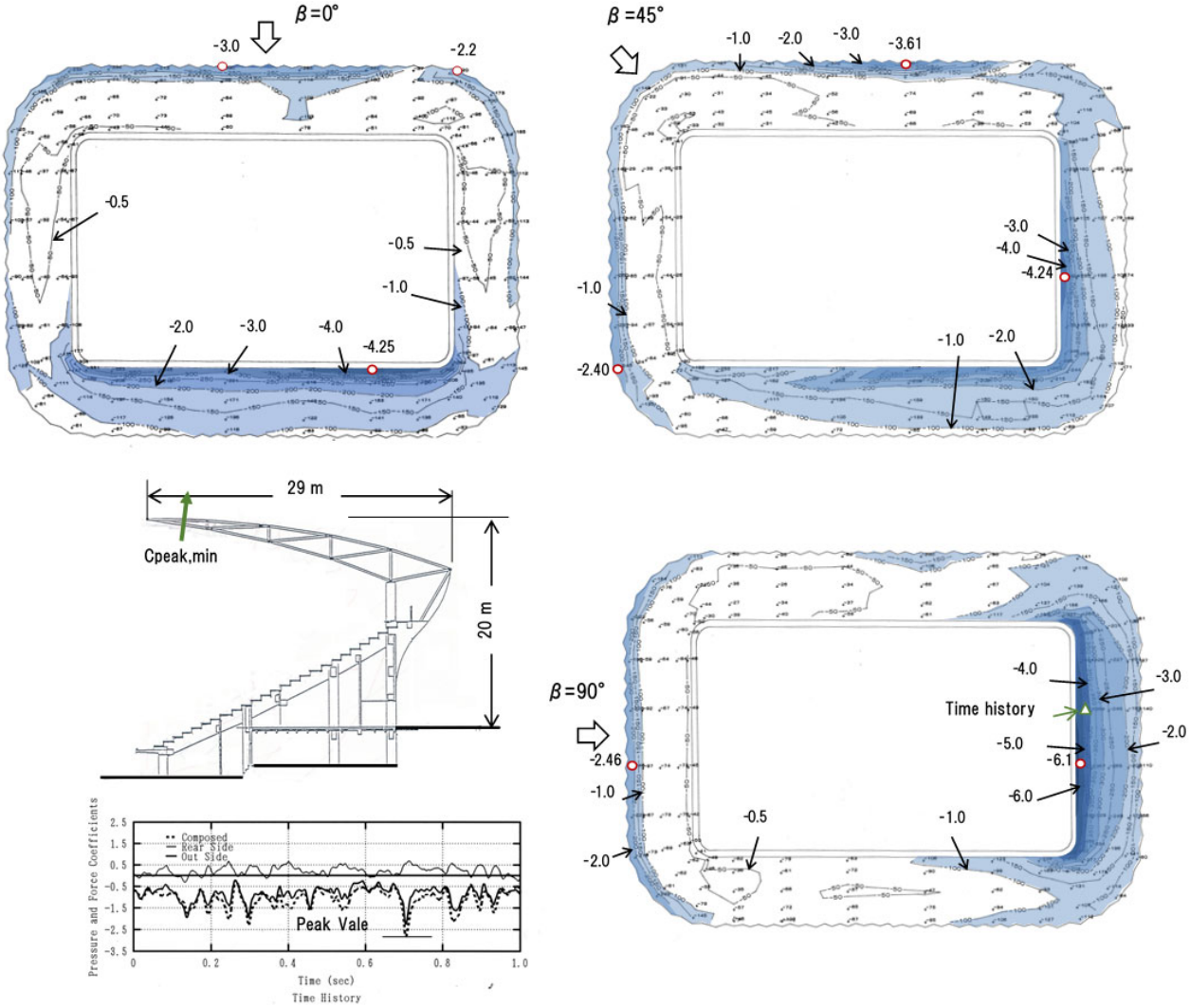


図 6.34　スタンドのピーク風力係数

6.4.4　独立上屋の場合

独立上屋は，駅のプラットホーム，バス停等の屋根に用いられている。屋根に作用する風力係数は，屋根勾配 θ，屋根下に置かれた荷および造作（壁）などの有無が屋根廻りの流れを変化させ，それによって

相違する。風力係数は，各屋根面に作用する風圧係数の差圧によって与えられる。

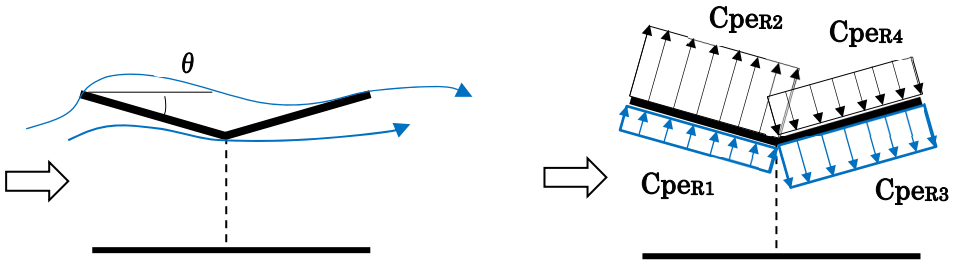


図 6.35　独立上屋の周辺流れと風圧の作用方向

一般に上屋根が水平（地盤面と平行）な場合は必ずしも作用風力はゼロではなく，入射気流の上下の変動により屋根面の表裏に瞬時に風圧が発生する。また，平行に入射する風であっても，屋根に厚みがあれば前縁ではく離しその近傍には局部的に負の風圧が生じる。さらには屋根下に積み荷ないしは板塀があれは屋根下を流れる風は遮られ屋根には大きな上向きの風力が作用することになる。

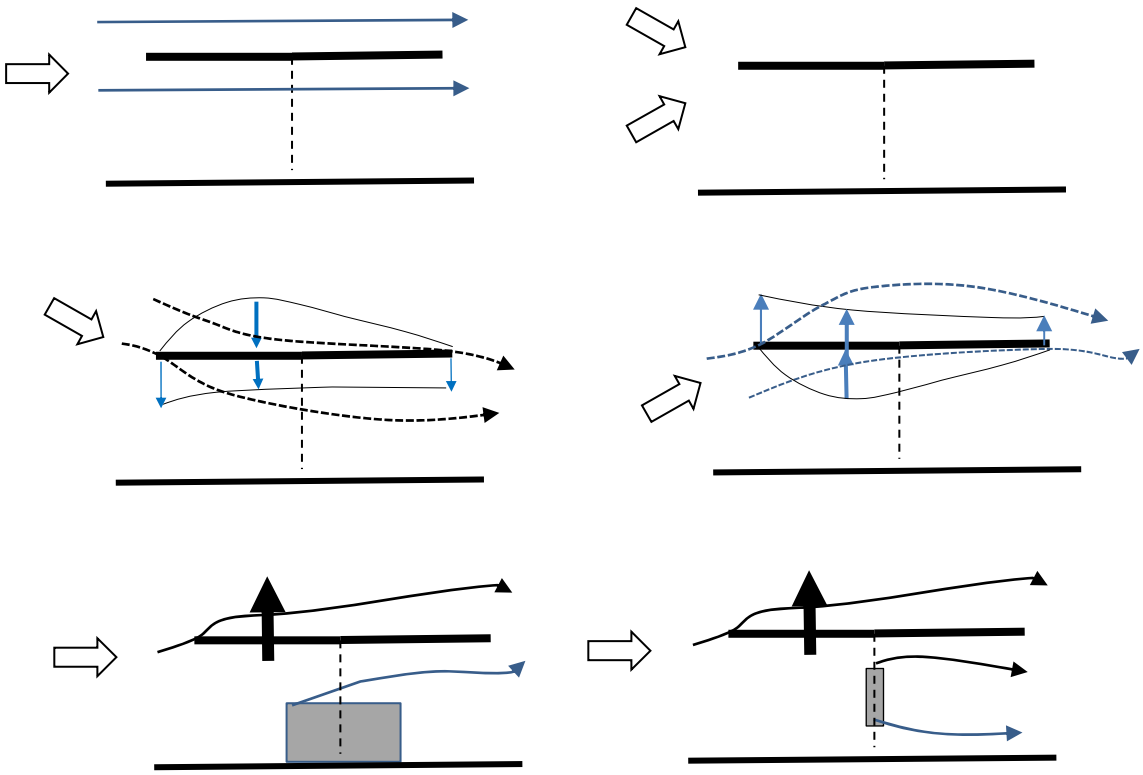


図 6.36　独立上屋に障害物の有無等による流れと作用風圧（風力）の方向

上屋根が曲面の場合，切妻や翼型とは発生する風圧の性状は大きく異なる。下図は円弧屋根とドーム屋根の例を示している。

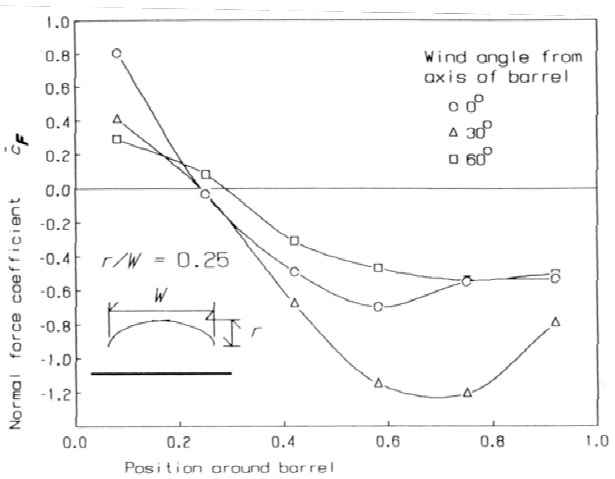


Figure 16.65 Loads on barrel canopy in smooth uniform flow (from reference 45)

図 6.37　円筒形上屋の風力係数
（J.O.V.Irminger の論文引用）[1)]

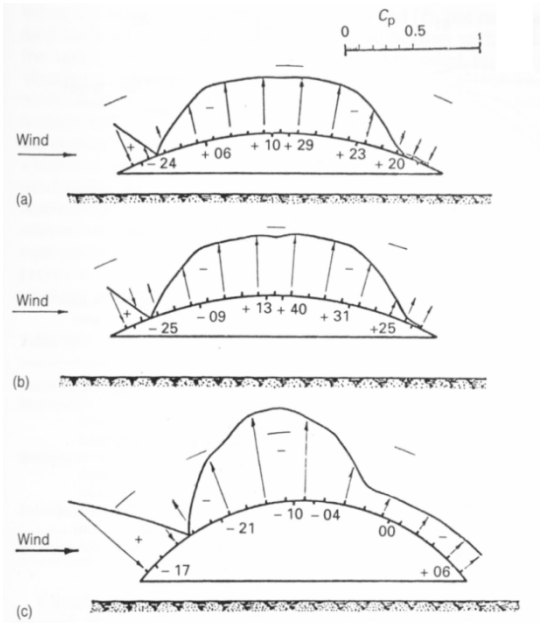


Figure 16.66 Distribution of normal loads on domed canopies (from reference 270) where r/W = (a) 0.25, (b) 0.25 and (c) 0.50

図 6.38　ドーム型上屋の風力係数[1)]

6.4.5　建物に併設する庇

建物壁面に併設する庇に作用する風力は，表裏両面の圧力差で与えられる。この作用風力は庇の地上からの高さ h と建物の高さ H との関係によって変化する。

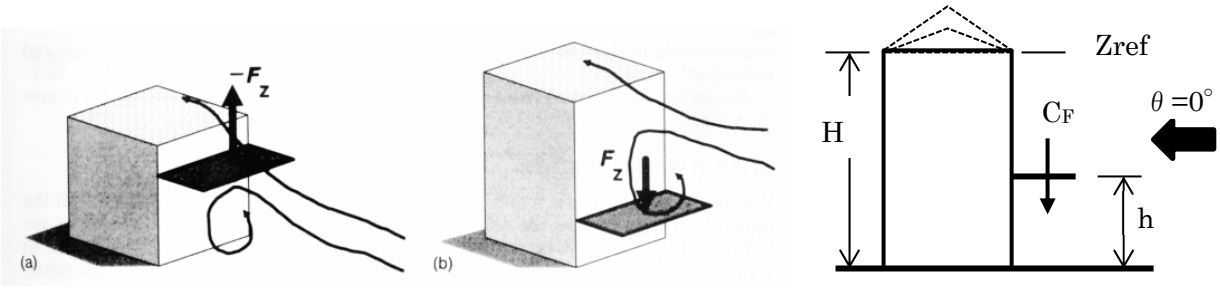


Table 20.28　Global vertical force coefficients for canopies attached to tall buildings　1）

Key diagram: Figure 20.57　　$\hat{q}_{ref}$ as height of building, $z_{ref} = H$

$H/h =$	2	3	6	12	18	24	30	36
	Pseudo-steady normal force coefficient, $\bar{C}_F\{\theta\}$							
θ = 0°	+ 0.30	+ 0.40	+ 0.69	+ 0.87	+ 0.92	+ 0.93	+ 0.93	+ 0.91
θ = 90°	− 0.24	− 0.70	− 0.95	− 1.04	− 1.16	− 1.30	− 1.29	− 1.16

図 6.39　庇の位置による流れと作用する風力係数[1)]

6.5　風向による影響

前出の 5)においても既述したように，風向の変化によってとくに屋根面端部および隅角部において流れの再付着による局部的な負圧の増大が生じる。下図は比較的勾配の強い切妻屋根の棟隅に生じる風圧

について表している。妻端部付近では著しい局部風圧が発生する。この性状は円弧屋根も同様に認められている。

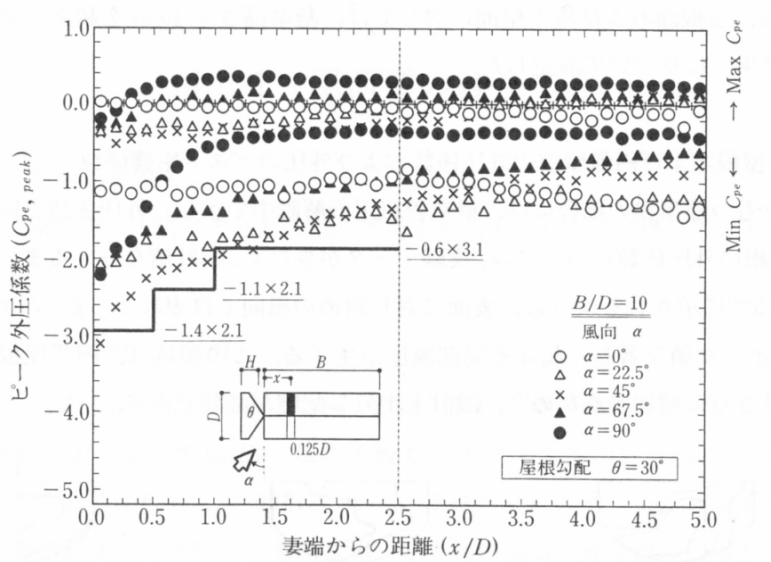


図 6.6.42 $H/B \geqq 6$ の建築物形状の風下屋根面に生ずるピーク風圧係数（切妻からの距離に対する変化）

図 6.40　入射風向による風圧の出方 [2)]

6.6　風の乱れによる影響

風の乱れは，地域性（海岸・都市）や地上からの高さによって相違する。したがって，建築物の部位が晒される乱れによって発生する風圧が異なってくる。それは乱れの大小によって流れのはく離性状が相違するためである。

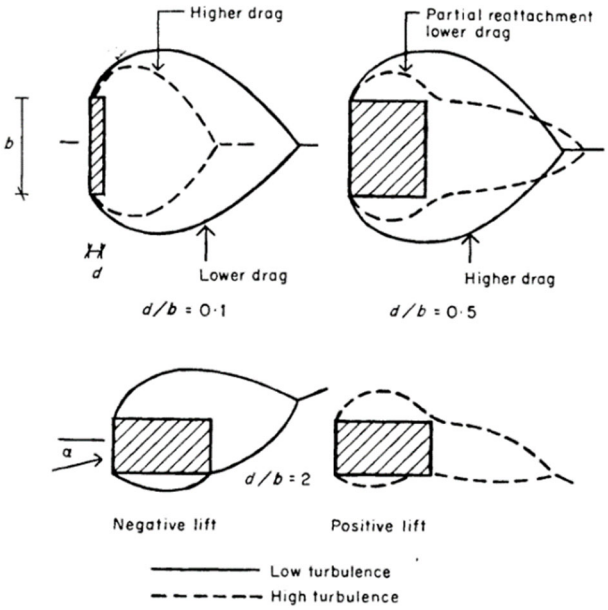


図 6.41 入射風の乱れの違いによる周辺流れ(Garshore の論文引用)[9)]

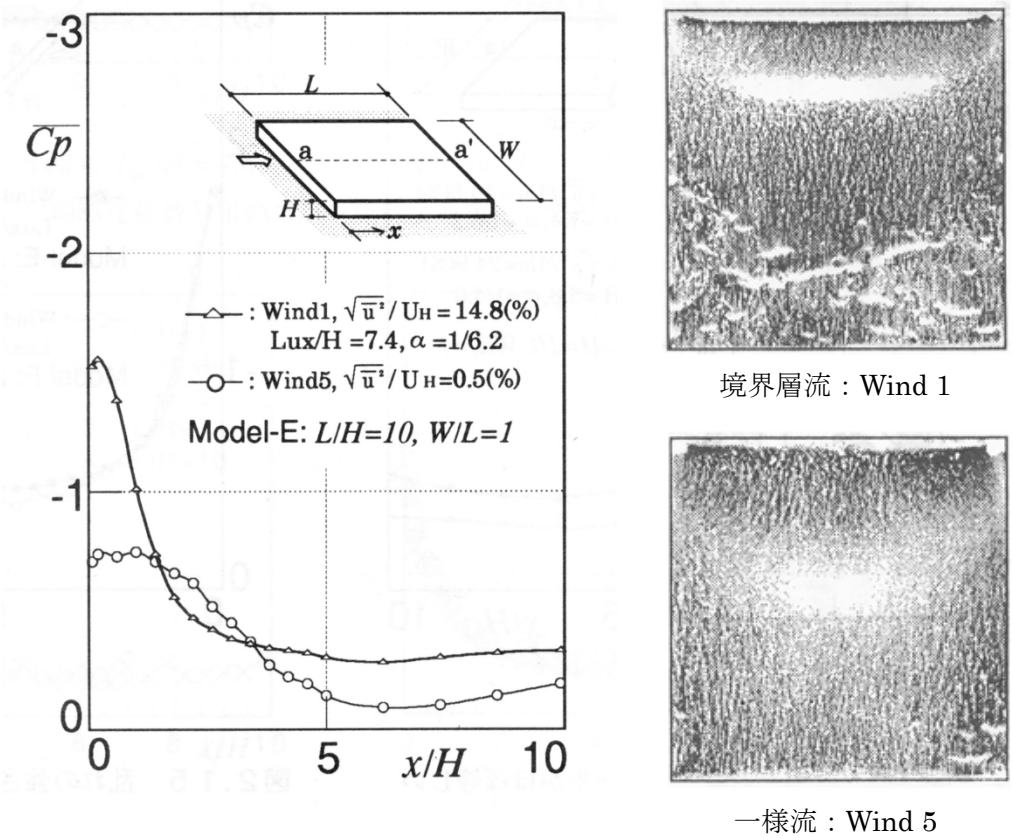


図 6.42　乱れの異なる入射風による低層陸屋の外圧係数 [10)]

6.7　表面粗度の影響

曲面をもつ建物の表面に生じる外圧係数は、表面粗度の影響をうける。表面の粗度により建物近傍の流れは乱流化し、はく離点が後方に遷移することで圧力分布が変化する。これは、入射風の乱流効果に類似するもので、はく離点近傍の負の外圧は小さくなる。

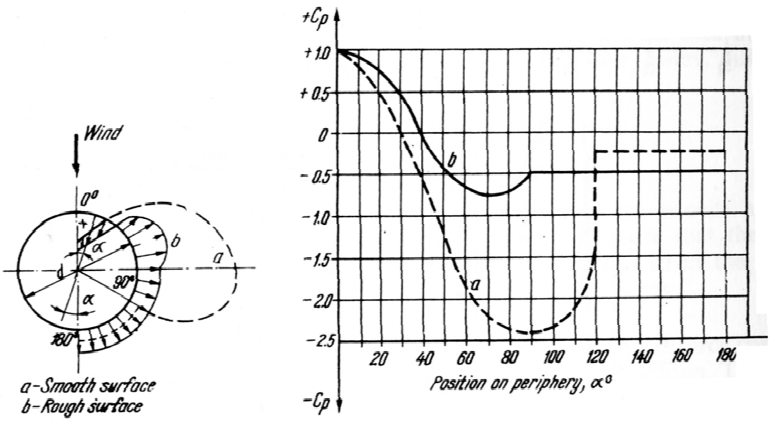


図 6.43　円筒構造物の表面粗度による影響（DIN）　[14)]

6.8　地形による影響

建設地点の地理的状況によって建物に入射する風は，建物に対して吹き上げあるいは吹きおろしとなることから状況に応じて影響を考慮しなければならない。

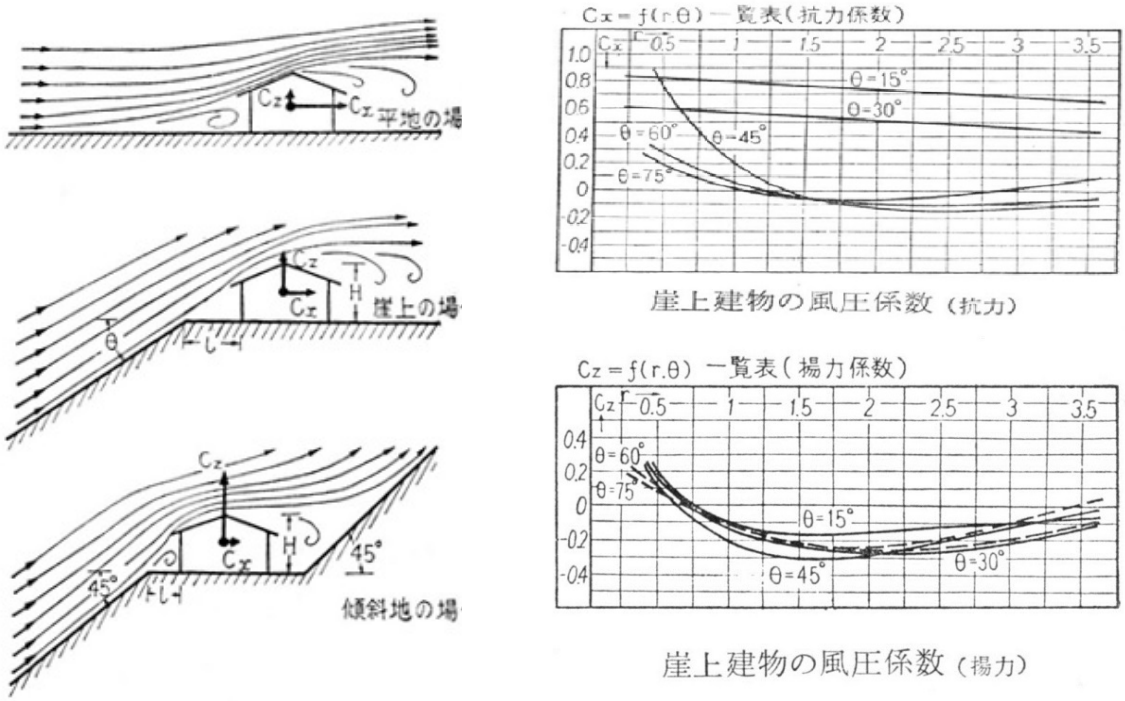


図 6.44　傾斜地に建つ建物に作用する風力 [11]

6.9　隣接障害物による影響

隣接して巨大な障害物が存在する場合，建設する建物はその相互作用による影響を受ける。基準および指針等に掲げられる数値はこれらの影響が考慮されていないので注意する。

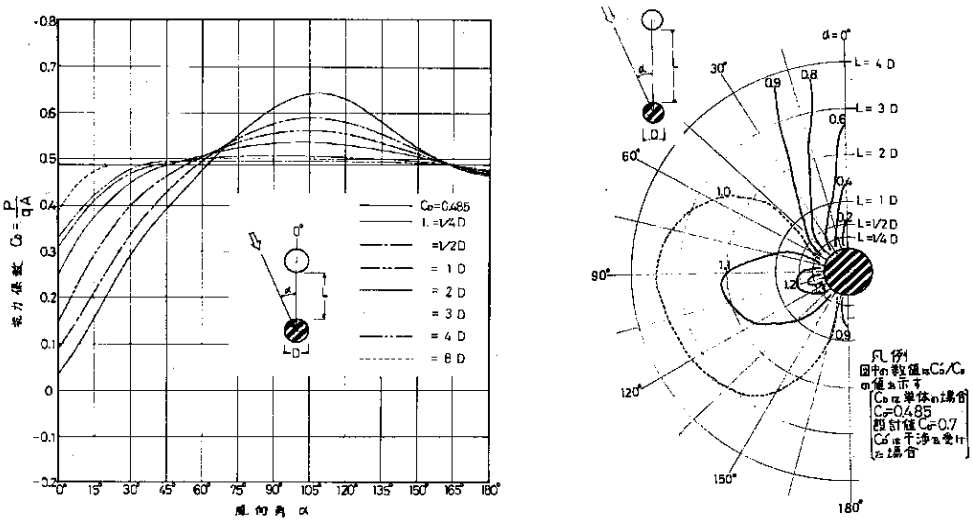
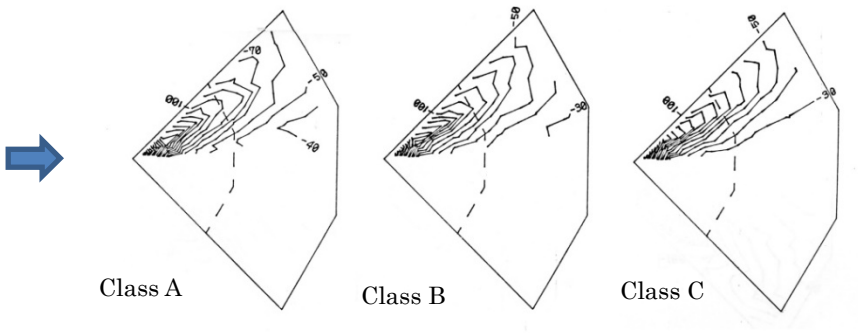


図 6.45　隣接建物が受ける風力 [12]

6.10　平均時間による影響

瞬間風圧に関する評価時間の相違によって局部的なピーク風圧の発生する範囲が変化する。常識的には，評価時間が短くなるほど局部風圧の発生領域が拡大する。以下の例は BS Code に基づく評価時間に従って実験的に求めた外圧係数分布を示している。なお，クラス A,B,C の評価時間はそれぞれ 1 秒，4 秒，16 秒に対応している。



Pseudo-static coefficients for wind direction 0 Degree (H=10cm, l/H=1)

図 6.46　平均時間の違いによる外圧係数[5)]

この評価時間のピーク風圧は，建材の固有振動数（材料，寸法，周辺固定度）や寸法効果（仕上げ材の設計寸法）を考慮して適用される。下図は，T.V. Lawson の提唱する TVL 法により検討された変動風圧のルートコヒーレンスを

$$|Z(n)|^2 = -\exp\left(-8n\frac{l}{U}\right)$$

としたときに，ピーク値の評価時間 T は，下式で与えられる。

$$T = 8\frac{l}{U}$$

ここで，l は外装材の寸法（2 点間距離 m），U 風速(m/s)である。これを適用すれば部材寸法に対する評価時間が設定できる。

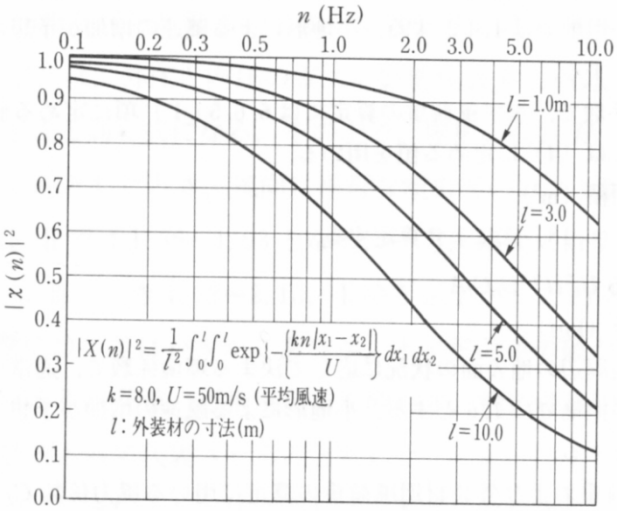
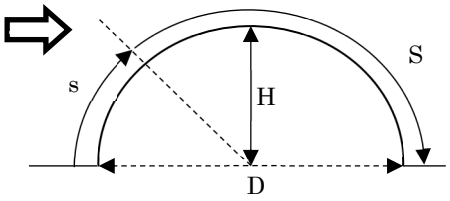
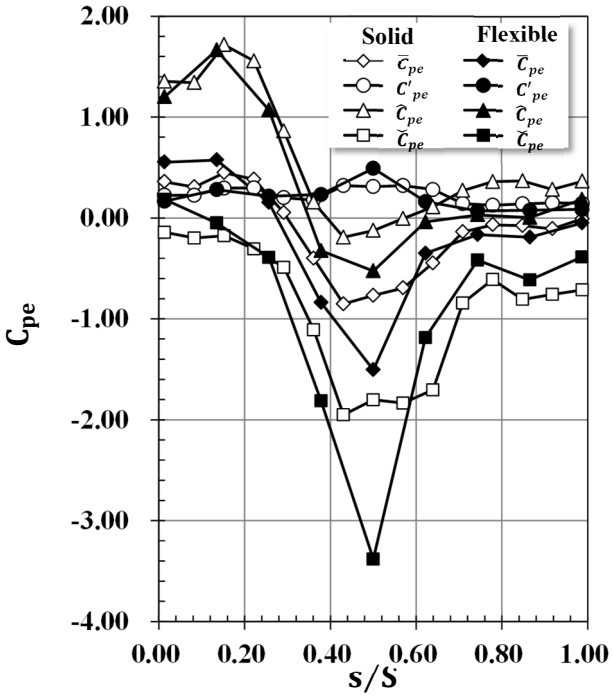


図 6.47　外装材の寸法による空力アドミタンス[2)]

一方，構造物が膜構造のように剛性に乏しい構造体は，変動する風外力により変形する。この場合，剛体の構造にかかる風圧力とは性質が大きく相違する。空気膜ドームの風洞実験により求めた模型中心部の平均風圧係数，変動風圧係数，ピーク風圧係数について剛体模型と柔模型による結果を比較したものである。



Dimensions of dome



Comparison with wind pressure coefficients of solid model and flexible model

図 6.48　剛模型と柔模型の風圧係数比較 [13)]

参考文献

1）N.J. Cook, The designer's guide to wind loading of building structures, Part2 Static structure, Butterworths, London, 1990

2）建築物荷重指針，日本建築学会　1993

3）C.W, Newbery and K.J. Eaton, Wind Loading Handbook, BRE Report, 1974

4）丸田榮藏，屋上に敷設した砂利やコンクリートブロックの飛散について，日本風工学研究会誌，11 号　昭和 57 年 1 月

5）E. Maruta, Wind pressure distribution on the roof of wedge shaped models, BRE Note, Mar. 1985

6）丸田榮藏，高層建築物周辺に生ずる強風領域に関する研究，博士論文，昭和 59 年 3 月

7）E. Maruta, et al, Effect on surface roughness for wind pressure on grass and cladding of buildings, Proceedings of 2nd European & African Conference on Wind Engineerig, Genova, Italy, June 22-26, 1997

8）A.P. Robertson, et al, Comparison of full-scale and wind-tunnel measurements of wind load on a free-standing canopy roof structure. J. of wind engineering and industrial Aerodynamics, 1986.23

9）R.M.Aynsley, et al, Aural Aerodynamics, Applied Science Publisers LTD London

１０）上田宏，変動風圧による荷重効果を考慮した陸屋根構造梁の風荷重に関する研究，
博士論文，1993.12
１１）亀井勇，松下清夫，和泉正哲，建築学体系　建築耐風・耐雪論，彰国社
１２）本間義教，亀井勇，丸田栄蔵，高層建築群の風圧力相互干渉，建築学会大会（東北）昭和 48 年 10 月
１３）加藤優輝，丸田榮藏，空気膜構造の作用風圧と構造強度に必要な内圧制御に関する基礎的研究，（境界層乱流中における柔模型を用いた風洞実験），膜構造協会論文集 No.26, 2013.3
１４）D. Ghiocel and D. Lungu, Wind, snow and temperature effects on structures based on probability, ABACUS Press, Tunbridge Well, Kent, 1975
１５）本郷　剛　「球形屋根に作用する風圧力に関する実験的研究」，東北大学学位論文　1995 年 1 月
１６）S.Goldstein　“Modern Developments in Fluid Dynamics Volume II”, Dover Publication, Inc. , New York

7　風洞実験論文等の活用例
（建築基準法・告示に規定されていない建築物の風力係数・風圧係数の推定）

平成 12 年建設省・建築基準法施行令第 87 条（以降施行令と呼ぶ）および建設省告示第 1454 号（以降告示と呼ぶ）には，数種類の閉鎖型建築物，独立上屋，ラチス構造物，円筒形の建物等限られたものについて風力係数・風圧係数が規定されているに過ぎない。現実的には，規定されていない建築物が大部分であり，その場合は風洞実験によるしか方法はない（2018 年時点では数値解析による方法は認められていない）。

しかしながら，風洞実験にかかる費用や時間を考慮すると，小規模の建築物にとっては望ましいことではなく，代替案を検討する必要がある。ある建物について，風力係数・風圧係数を定めようとすると，図 7.1.に示すような手順を採ることが一般的といえる。

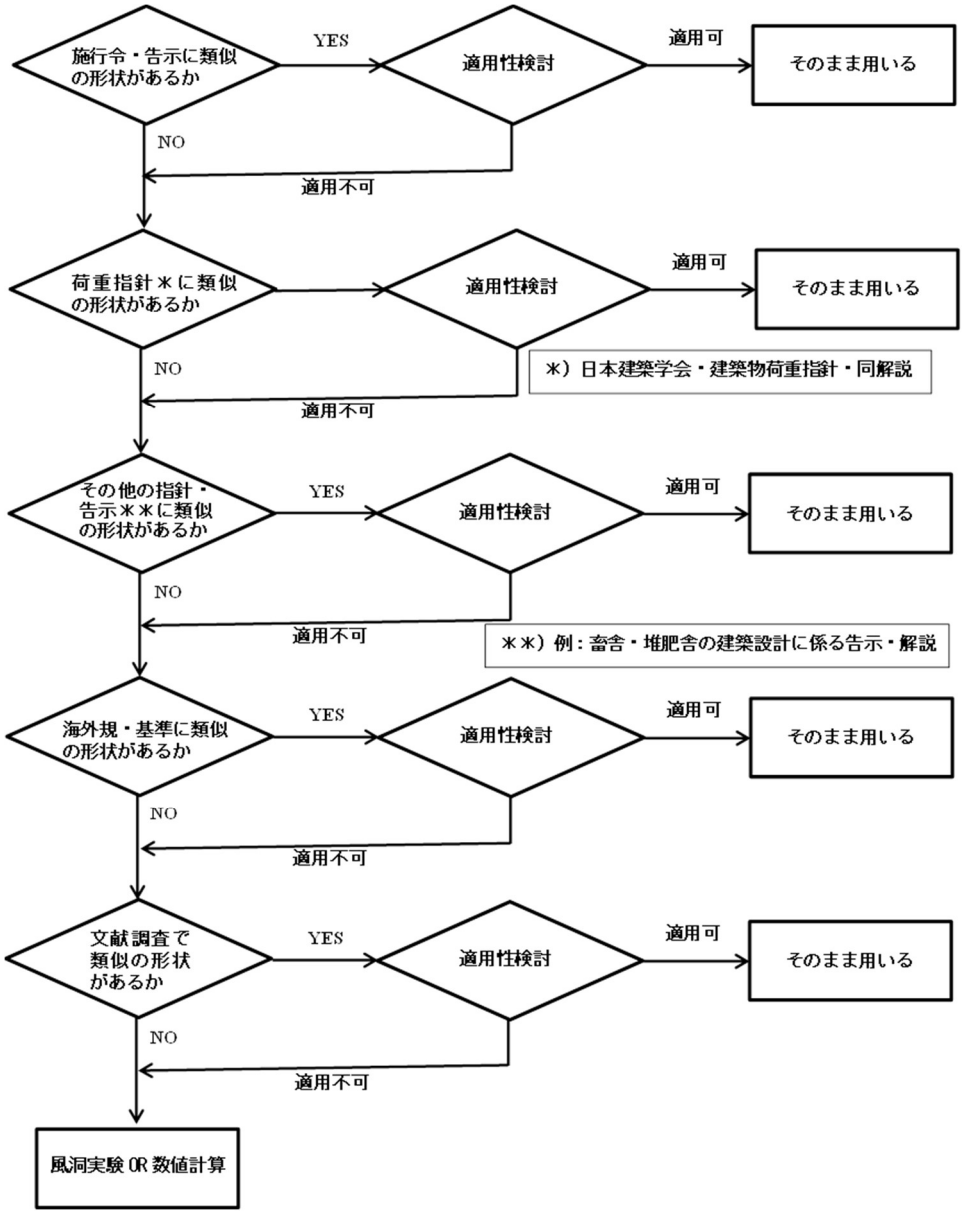


図 7.1　風力係数・風圧係数検討フロー図

このように，告示において形状が提示されていないもの，類推が困難な形状等に対する安全性の確保，またはスパンやライズ，高さなどの構成による適正化として，日本建築学会「建築物荷重指針・同解説（2015）（以降，荷重指針と呼ぶ）」や風洞実験の論文やデータを活用する算定方法を提示するものである。

本章では，多くの建設事例のある 4 つの形式を選び，マニアルに従って設計用風力係数について検討した。

なお，風洞実験データや論文の利用に際しては，風洞実験における元来の目的に沿った背景に配慮する必要がある。例えば，形状が類似していても，スタジアムや体育館，独立上屋といった実験の主旨を越えてはならない。よって，風洞実験を引用した場合には，実験の諸元を付しておく必要がある。

また，告示，荷重指針および畜舎等告示に示されている形式をまとめた一覧表を付録に掲載した。

以下に検討事例を示す。

7.1　球形ドーム（閉鎖型）

7.1.1　建物概要

検討する建物の概要を図 7.2 に示す。

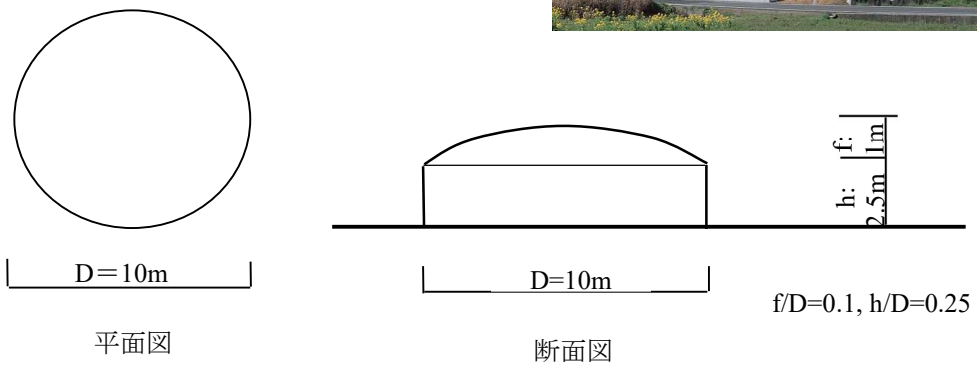


図 7.2　球形ドームの形状および寸法

7.1.2　設定方針

ここでは，当該建築物に対する構造骨組み用の風力係数を求めるものとし，第 3 章の「膜構造の風荷重算定方針」の図 3.1 のフローチャート I に準じ設定した。

施行令・告示において，曲面を有する形状は円弧屋根（円筒型）のみが規定され，当該建物のような球形ドームに類似される形状についての風力係数が規定されていないため，図 7.1 の検討フロー図により荷重指針を調査し，「円形平面でドーム屋根を持つ建築物の屋根面の外圧係数 C_{pe}」について規定していることが判明した（荷重指針表 A6.9(3)）。これらの球形ドームの外圧係数は，基本的には第 6 章，6.3.2 項の図 6.14 に示したような風洞実験結果から導かれたものである。

7.1.3　風力係数の設定

風力係数 C_f は，$C_f = C_{pe} - C_{pi}$ によって与えられるので，外圧係数 C_{pe} と内圧係数 C_{pi} をそれぞれ求めた。

(1) 外圧係数 C_{pe}

対象建物の形状, つまり, $f/D = 0.1,\ h/D = 0.25$ に該当する部分があるか, 適用性について検討する。

荷重指針の表 A6.99(3)より適用性が確認されたため，規定されている値を採用する。

R_a に対しては正・負の値が与えられているため，2 通りの組み合わせを考慮する必要がある（表 7.1)。

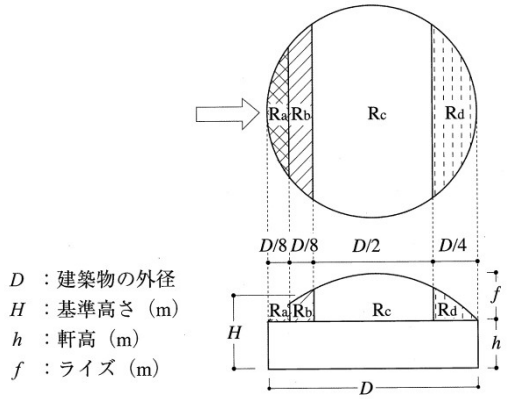


表 A6.9(3)　円形平面でドーム屋根をもつ建築物の屋根面の外圧係数 C_{pe}

部位 / f/D	R_a 部（正の係数）			R_a 部（負の係数）		
	h/D=0	h/D=0.25	h/D=1	h/D=0	h/D=0.25	h/D=1
0	検討不要			−0.6	−1.4	−1.2
0.05	0.3	0	0	0	−1.0	−1.6
0.1	0.4	0	0	0	−0.6	−1.2
0.2	0.5	0	0	0	0	−0.4
0.5	0.7	0.6	0.6	検討不要		

部位 / f/D	R_b 部			R_c 部			R_d 部		
	h/D=0	h/D=0.25	h/D=1	h/D=0	h/D=0.25	h/D=1	h/D=0	h/D=0.25	h/D=1
0	0	−0.8	−1.2	0	−0.1	−0.4	0	−0.1	−0.3
0.05	0	−0.4	−0.8	−0.2	−0.4	−0.4	−0.1	−0.3	−0.3
0.1	0	−0.4	−0.6	−0.4	−0.6	−0.6	−0.2	−0.4	−0.4
0.2	0	−0.4	−0.6	−0.6	−0.8	−1.0	−0.2	−0.4	−0.4
0.5	0	−0.3	−0.4	−1.1	−1.2	−1.3	−0.2	−0.4	−0.4

［注］表に掲げる h/D および f/D の数値の中間値については，それぞれについて直線補間した値とする．

図 7.3　日本建築学会・建築物荷重指針・同解説（2015）による球形ドームの規定

表 7.1　外圧係数の組み合わせによる外圧係数 C_{pe}

	組み合わせ1	組み合わせ2
R_a	0.0	−0.6
R_b	−0.4	−0.4
R_c	−0.6	−0.6
R_d	−0.4	−0.4

(2) 内圧係数 C_{pi}

告示では閉鎖型の建築物の内圧係数として $C_{pi} = 0$ 及び $C_{pi} = -0.2$ を与えているが, 荷重指針での外圧係数を採用しながら, 告示の内圧係数を用いるのは筋が通らないため, 荷重指針の内圧係数 $C_{pi} = 0$ 及び $C_{pi} = -0.4$ を用いる。

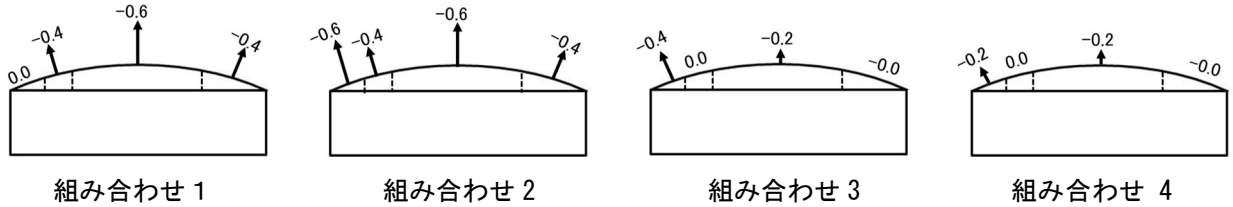
(3) 風力係数 C_f

風力係数は $C_f = C_{pe} - C_{pi}$ で与えられるので，風力係数の組み合わせは次の 4 通りとなる。

表 7.2　風力係数 C_f の組み合わせ

	$C_p = 0$		$C_p = -0.4$	
	組み合わせ1	組み合わせ2	組み合わせ3	組み合わせ4
R_a	0.0	−0.6	−0.4	−0.2
R_b	−0.4	−0.4	0	0
R_c	−0.6	−0.6	−0.2	−0.2
R_d	−0.4	−0.4	0	0

これを図示すると，図 7.4 のようになる。



組み合わせ 1　　組み合わせ 2　　組み合わせ 3　　組み合わせ 4

図 7.4　ドーム屋根の設計用風力係数 C_f

したがって図 7.1 によれば，これ以降の検討は不要となる。なお，屋根面上の風力の詳細な分布状況等を知りたい場合などは別途検討する。

7.2　球形ドーム（独立上屋）

7.2.1　建物概要

検討する建物の概要を図 7.5 に示す。これは図 7.2 の屋根が独立である場合に相当する。

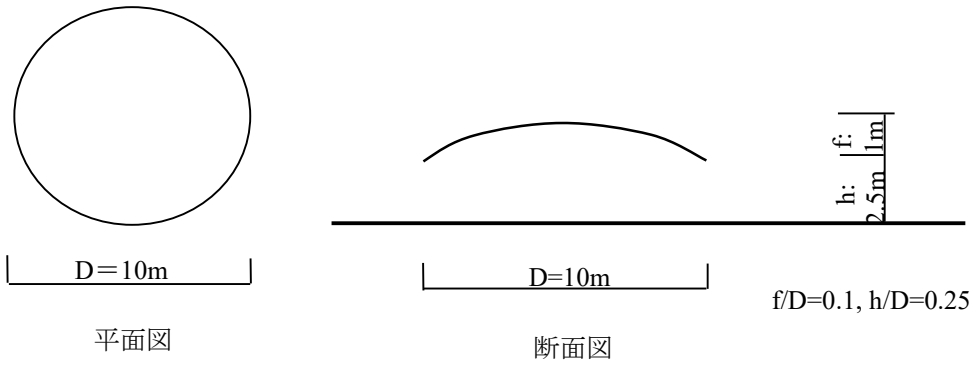


図 7.5　独立球形ドームの形状および寸法

7.2.2　設定方針

施行令・告示には，当該建物のような球形独立屋根に類似される形状についての風力係数が規定されていないため，図 7.1 の検討フロー図により検討する。その結果，荷重指針，その他の指針・告示，海外の規・基準にも規定されていないことが判明した。文献の類似資料調査で，山村・植松らの論文[1)] にライズ・スパン比 f/D=0.1～0.4，屋根平均高さ H=8.0m，D=15m のドーム型独立上屋について風洞実験を行った報告があることが分かった。従って，この論文を基に検討を試みる。

7.2.3　風力係数の設定

山村・植松[1)]らは，実スケールで直径 D=15m のドーム型独立上屋を対象に風洞実験を行い，屋根上下面で風圧を測定し，上面の風圧係数 C_{pt}，下面の風圧係数 C_{pb} より風力係数 $C_f=C_{pt}-C_{pb}$ を求めている。対象とした構造物は図 7.6 および表 7.3 の通りであり，屋根平均高さは H=8m である。風力は屋根平均高さでの速度圧 q_H で無次元化されている。

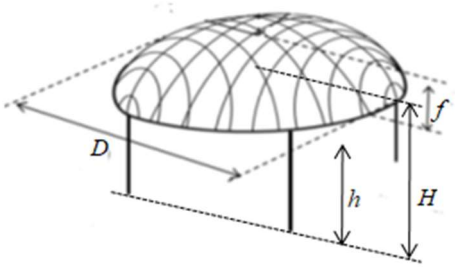


図 7.6　記号の定義

表 7.3　対象構造物のパラメータ

f/D	f (m)	D (m)	$f+h$ (m)
0.1	1.5	15	8.8
0.2	3.0	15	9.5
0.3	4.5	15	10.3
0.4	6.0	15	11.0

対象とした構造物は小規模であるとし，準定常仮定に基づいて風荷重を評価できるとした。柱軸力 N が最大ピーク値（最大引張力）を示す荷重を Load case A，最小ピーク値（最大圧縮力）を示す荷重を Load case B と定義する。

また，平均風力係数分布の形状に基づき，屋根面を風上側，屋根頂部周辺，風下側の 3 領域に分割した（図 7.7）。この 3 領域に対し，最大荷重効果を与える瞬間の風力係数の空間平均値 C_{NW}，C_{NC}，C_{NL} を求めた（表 7.4）。構造骨組用風荷重は建築基準法と同様，ガスト影響係数を用いて算定されるものとし，構

造骨組用風力係数は表 7.4 に示した風力係数をガスト影響係数で除し，最大荷重効果を再現するような等価静的風力係数 C_{NW}*，C_{NC}*，C_{NL}*として与える。ここではガスト影響係数は G_f=1.8 とし，構造骨組用風力係数として，表 7.5 を提案している。

ところで，検討対象とした独立球形ドームが f=1m，D=10m，h=2.5m であるのに対し，実験で対象としたものは f=1.5m，D=15m，h=7.25m と f/D=0.1 は等しいものの，軒高は 2.9 倍となっている。そのため，この実験結果をそのまま適用できるかが問題となる。文・山村・植松らは[2] さらに同じ模型で，屋根平均高さ H が 4，5，6，7，8m に変化した場合に，屋根上下面の平均風圧分布に及ぼす影響について調査している。その結果，f/D=0.1 の場合（軒高 h は 3.25，4.25，5.25，6.25，7.25m），平均風圧分布にほとんど変化がみられないとした。これらの結果より，対象の独立球形ドームに実験結果を適用できると考えられる。

従って，構造骨組用風力係数は表 7.6 となり，それを図示すると図 7.8 となる。

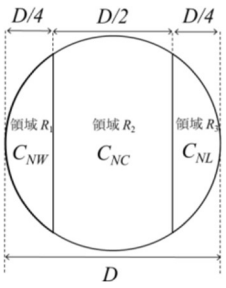


図 7.7　構造骨組用風力係数の定義

表 7.4　最大荷重効果を与える瞬間の風力係数の空間平均値

		C_{NW}		C_{NC}		C_{NL}	
Load case		A	B	A	B	A	B
f/D	0.1	1.2	1.9	-1.1	-0.6	-1.1	-0.8
	0.2	0.9	1.5	-0.9	-0.4	-1.4	-0.5
	0.3	0.9	1.6	-0.9	-0.5	-1.0	-0.2
	0.4	1.2	1.7	-0.8	-0.4	-0.4	0.1

表 7.5　構造骨組用風力係数の提案値

提案値		C_{NW}^*		C_{NC}^*		C_{NL}^*	
Load case		A	B	A	B	A	B
f/D	0.1	0.6	1.1	-0.6	-0.3	-0.6	-0.4
	0.2	0.5	0.8	-0.5	-0.2	-0.8	-0.3
	0.3	0.5	0.9	-0.5	-0.3	-0.6	-0.1
	0.4	0.7	0.9	-0.4	-0.2	-0.2	0.0

表 7.6　構造骨組用風力係数（f/D＝0.1）

	$f/D = 0.1$		
Load case	C_{NW}^*	C_{NC}^*	C_{NL}^*
A	0.6	-0.6	-0.6
B	1.1	-0.3	-0.4

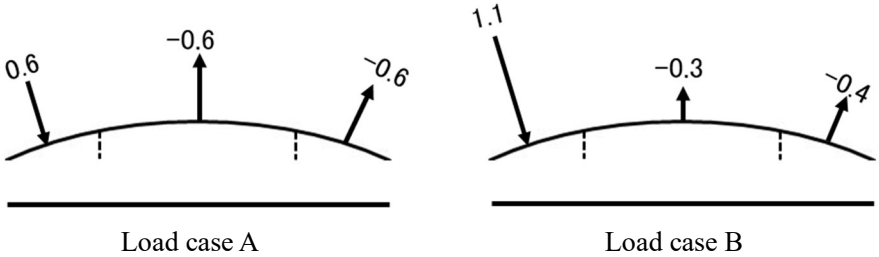


図 7.8　独立球形ドーム屋根の設計用風力係数

7.3　独立上屋（円弧屋根）

7.3.1　建物概要

独立上屋（円弧屋根）において，骨組設計用の風力係数を算定する。円弧屋根の独立上屋は，写真のような駐車場に建設されると仮定する。

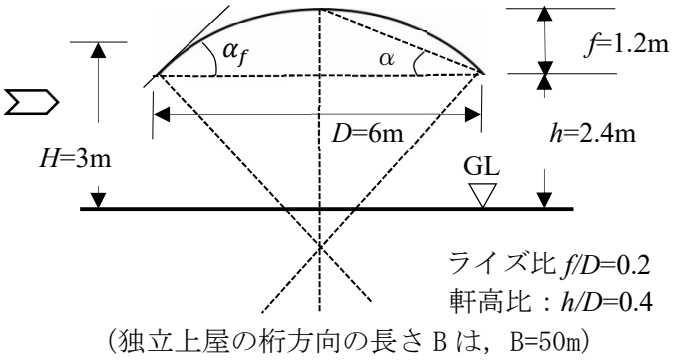


図 7.9　円弧上屋の形状と寸法

7.3.2　設定方針

円弧屋根を有する建築物の風力係数に関し，図 7.1 の検討フロー図により検討する。

(1)　告示には閉鎖型の円弧屋根についての規定はあるものの，独立屋根について風力係数が規定されていないため適用できない。

(2)　荷重指針の場合も，長方形平面で円弧屋根をもつ建築物の外力係数はあるものの，独立屋根についての規定はないため適用できない。

(3)　その他の指針・告示でも規定はないため適用できない。

(4)　海外の規・基準では，フランス基準 Regles N.V.65 （付録 A-3 を参照）があり，ライズ比 f/D が 1/4 以下の切妻独立上屋の風力係数に置き換えることができるとしている。

(5)　文献調査の類似資料に関しては，M.B. Natalini ら[3] がライズ比 f/D=0.17（ 軒高比 h/D=0.49 ）について，並びに山村・植松・高館ら[4] がライズ・スパン比 f/B=0.1～0.4，屋根平均高さ H=8.0m，B=15m の円弧型独立上屋について行った風洞実験の論文がある。

従来，慣例的にフランス基準の置き換え，すなわち円弧独立上屋を切妻独立上屋と置き換えによって風力係数を設定してきた。しかしながら，切妻屋根の場合，ライズ比 f/D が小さい風上側の流れは円弧屋根とそれほど差異はないと推定されるが，図 7.10 のように棟で剥離するため風下側の屋根面上の流れは大きく異なることが予想される。当然，両者の屋根上面の外圧係数分布は相違する。

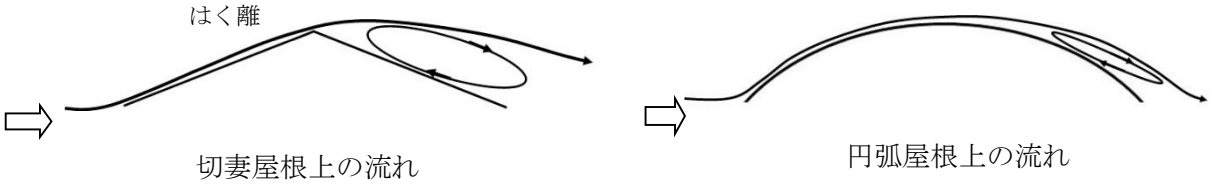
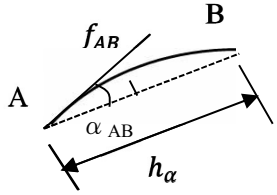


図 7.10　切妻屋根と円弧屋根の流れの相違

図 7.11 は，ライズ比が適用条件 $f/D \leqq 0.25$ を満たすことから，フランス基準に準じて風力係数分布を算出したものである。以上のように，結果は，円弧屋根頂部では風力係数が不連続となり実状とは異なる性状を示している。



$\alpha_{AB}=10.9^\circ \rightarrow f_{AB}/h_a = 0.096 < 1/7$

寸法比 $\lambda=h_a/D=0.11 < 0.2 \rightarrow \gamma a=1$

∴　適用可

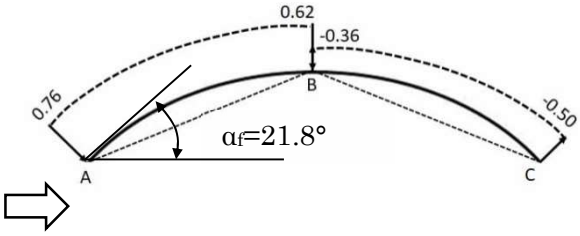


図 7.11　フランス基準を適用した場合の風力係数分布

従って，当該建物に対する風力係数の設定には，自然風を模擬した最新の風洞実験方法で得られた論文を基に円弧独立上屋の風力係数を設定することとする。

7.3.3　風力係数の設定

(1) M.B. Natalini の論文による風力係数の検討

M.B. Natalini 等[3)] は，屋根面上側に砂で粗さを付け，レイノルズ数を大きく見かけた風洞実験から独立円弧屋根（ライズ比 f/D=0.17，軒高比 h/D=0.49 ）の風力係数を求めている。その中心軸に沿う風力分布を図 7.12 に，また端部に沿う風力分布を図 7.13 に示す。これらによれば，中央部では風上端から約 0.25D，端部では 0.4D 付近まで正の分布を示し，以降は負の分布となっている。図 7.11 に示したフランス基準が置き換えることができるとしていた風力係数の分布は，中央部では実情と大きく異なる分布であり，どちらかというと端部に近い分布であることが分かる。

なお，図 7.12～13 からは中央部および端部での風力は検討できるものの，屋根全体としての荷重を検討することは困難である。

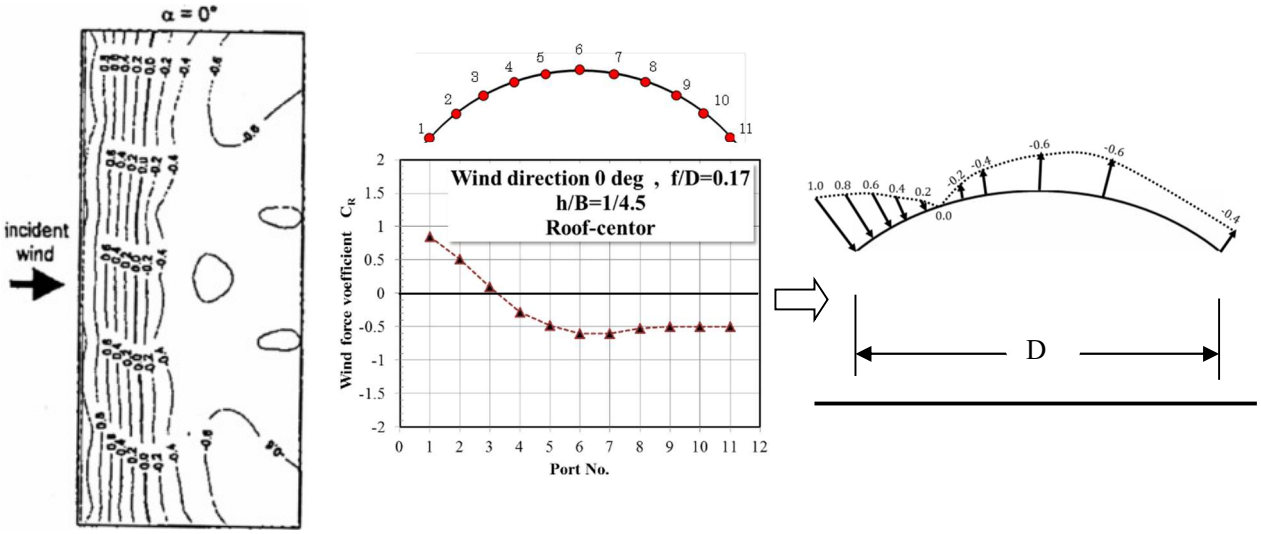


図 7.12　M.B. Natalini 等による風力係数分布（風向 0°，屋根中央部）

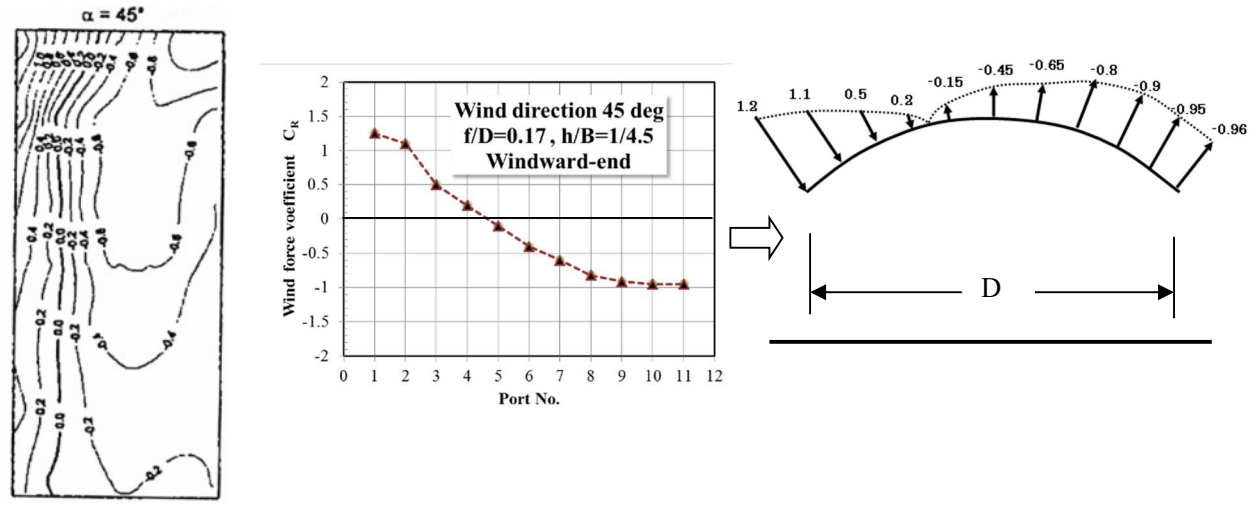


図 7.13　M.B. Natalini 等による風力係数分布（風向 45°，屋根端部）

（2）山村・植松・高館らの論文による風力係数の検討

山村・植松・高館ら[4]は，べき指数 α＝0.22 の境界層乱流中で，図 7.14 および表 7.7 の屋根平均高さ H=8m の円筒形独立屋根を対象に風洞実験を行い，図 7.15 に示す位置で屋根上面（表面）の風圧係数 C_{pt} と下面（裏面）の風圧係数 C_{pb} を測定している。風圧は屋根平均高さでの速度圧 q_H で無次元化されている。

図 7.16 および図 7.17 は，ライズ比 f/D=0.2 の場合の θ=0°と 30°について，屋根中央および端部における屋根上面と下面の平均風圧係数分布を示したものである。合わせて，先の M.B.Nataloni の結果と比較している。θ=0°の場合，いずれの測定ラインにおいても M.B.Nataloni の結果と概ね位置している。一方，風向 θ=30°の場合，風上側屋根端部での屋根上面の平均風圧係数分布に大きな差がみられるが，これは屋根端部からの測定位置による違いと考えられるとして，実験結果は中央の風洞実験結果と十分に対応しているとしている。

山村・植松・高館らは柱軸力 N が最大ピーク値（最大引張力）を示す荷重パターンを Load case A，最小ピーク値（最大圧縮力）を示す荷重パターンを Load case B と定義した。また，図 7.18 のように屋根面を領域分けし，構造用骨組風力係数を与えた。設計用風力係数は以下の手順で求めた。

【ステップ 1】

風向 0°（WD0），45°（WD45）それぞれの風向幅において，最大荷重効果（Load case A，Load case B）をもたらすような風力係数の基本値（WD0 のとき C_{NW0},C_{NC0},C_{NL0},WD45 のとき C_{NW45}，C_{NC45},C_{NL45}）を求める。

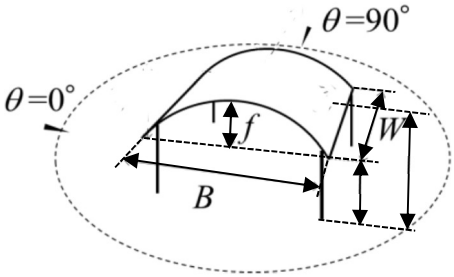


図 7.14　対象構造物の記号

表 7.7　対象構造物のパラメータ

f/B	f (m)	BおよびW (m)	$h+f$ (m)
0.1	1.5	15	8.8
0.2	3.0	15	9.5
0.3	4.5	15	10.3
0.4	6.0	15	11.0

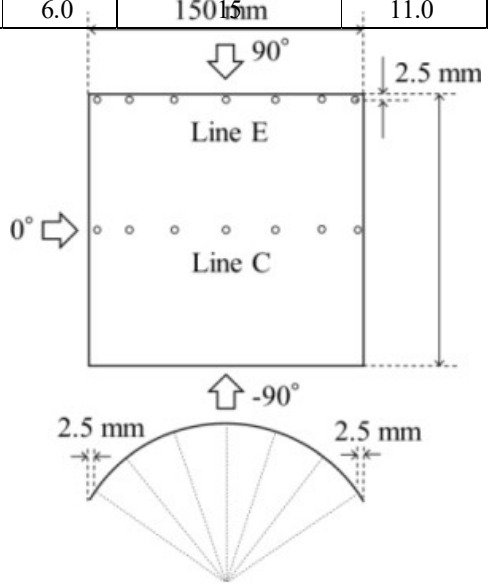
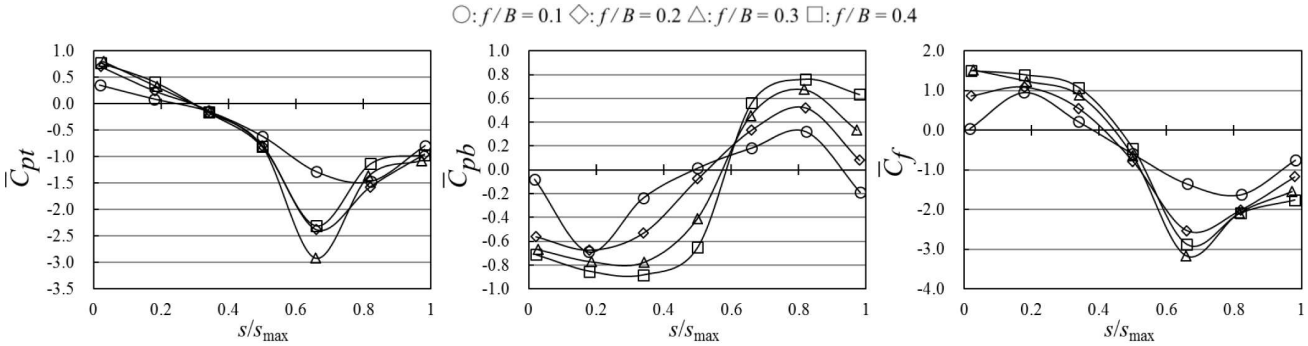


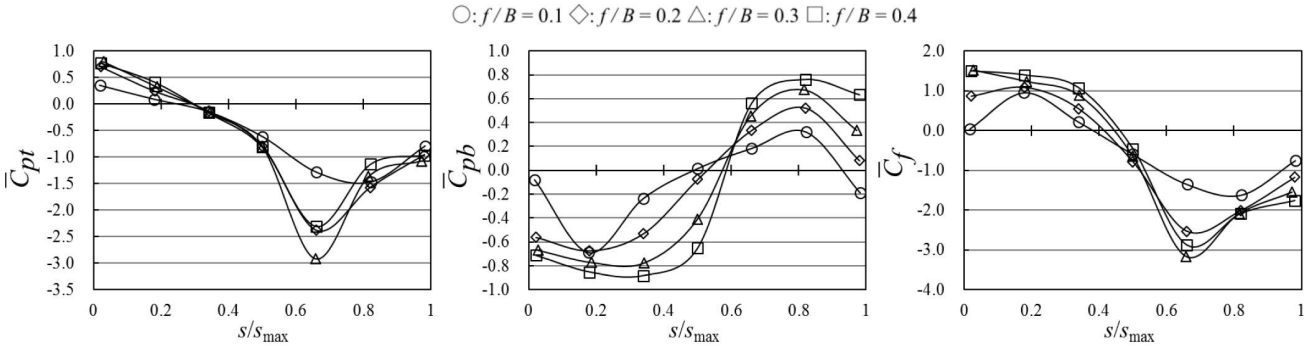
図 7.15　風圧測定位置

【ステップ 2】



(a) 屋根上面　　(b) 屋根下面　　(c) 風力係数

図 7.16　屋根上面と下面の平均風圧係数分布（ θ=0°）



(a) 屋根上面　　(b) 屋根下面　　(c) 風力係数

図 7.17　屋根上面と下面の平均風圧係数分布（ θ=45°）

荷重効果に及ぼす風向の影響を考慮するために補正係数 γ を求める。

【ステップ 3】

変動風力の動的荷重効果を考慮するために，ガスト影響係数 G_f を導入する。G_f は荷重効果の最大ピーク値と平均値の比として与える。

【ステップ 4】

ステップ 1～3 で得られた値を用いて，次式を用いて，構造骨組用風力係数（(WD0 のとき C_{NW0}^*, C_{NC0}^*, C_{NL0}^*, WD45 のとき C_{NW45}^*,C_{NC45}^*,C_{NL45}^*）を求める。

$$C_N^* = \frac{\gamma \cdot C_N}{G_f}$$

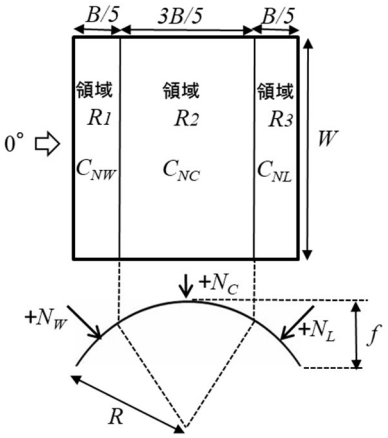


図 7.18　領域分けと構造用骨組風力係数の定義

このようにして求めた構造骨組用風力係数の提案値を表 7.8 に示す。

表 7.8　構造骨組用風力係数の提案値

(a) WD0

提案値(θ=0°)		R_1		R_2		R_3	
		C_{NW0}*		C_{NC0}*		C_{NL0}*	
Load Case		A	B	A	B	A	B
f/B	0.1	1.3	0.6	-0.5	0.0	-0.5	-0.4
	0.2	0.8	0.1	-0.6	0.0	-1.0	-0.3
	0.3	0.8	0.2	-0.7	0.0	-1.0	-0.4
	0.4	0.8	0.3	-0.8	0.0	-0.7	-0.5

(b) WD45

提案値(θ=45°)		R_1		R_2		R_3	
		C_{NW45}*		C_{NC45}*		C_{NL45}*	
Load Case		A	B	A	B	A	B
f/B	0.1	0.2	0.7	-0.6	0.0	-0.4	-0.4
	0.2	0.8	0.6	-0.7	-0.1	-1.0	-1.3
	0.3	0.8	0.8	-0.8	-0.3	-1.1	-2.1
	0.4	0.7	0.8	-0.8	-0.3	-1.3	-2.7

ところで，対象とした独立円弧屋根が *f*=1.2m，*B*=6m，*h*=2.4m であるのに対し，実験で対象としたものは *f*=3.0m，*B*=15m，*h*=7.25m と *f/B*=0.2 は等しいものの，軒高は 3 倍となっている。そのため，この実験結果をそのまま適用できるかが問題となる。文・山村・植松らは[2] 独立球形屋根に対し，屋根平均高さ *H* が変化した場合に，屋根上下面の平均風圧分布に及ぼす影響について調査している。その結果，*f/D*=0.4 の場合，平均高さが *H*≧5m（*h*≧2m）で平均風圧分布にほとんど変化がみられないとした。この結果が独立円弧屋根の場合も適用できると考え，構造骨組用風力係数を表 7.9 とした。それを図示すると図 7.19 となる。

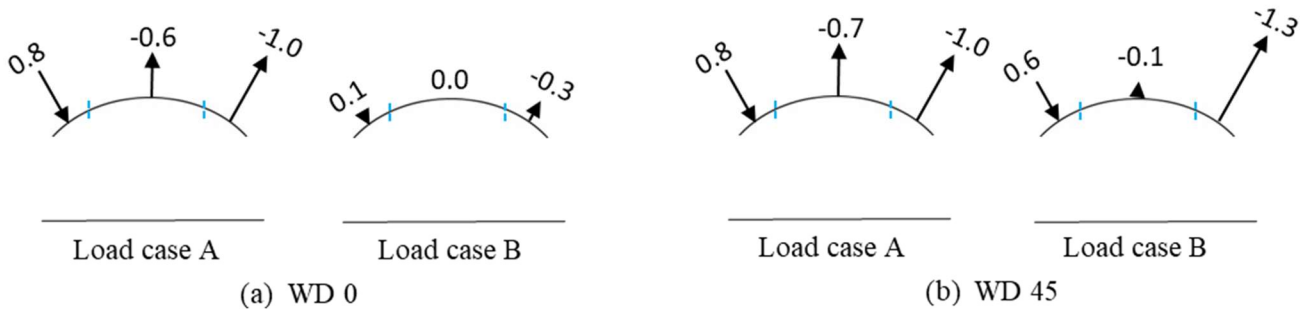
表 7.9　構造骨組用風力係数

(a) WD0

Load Case	*f/B* =0.2		
	C_{NW0}*	C_{NC0}*	C_{NL0}*
A	0.8	-0.6	-1.0
B	0.1	0.0	-0.3

(b) WD45

Load Case	*f/B* =0.2		
	C_{NW45}*	C_{NC45}*	C_{NL45}*
A	0.8	-0.7	-1.0
B	0.6	-0.1	-1.3



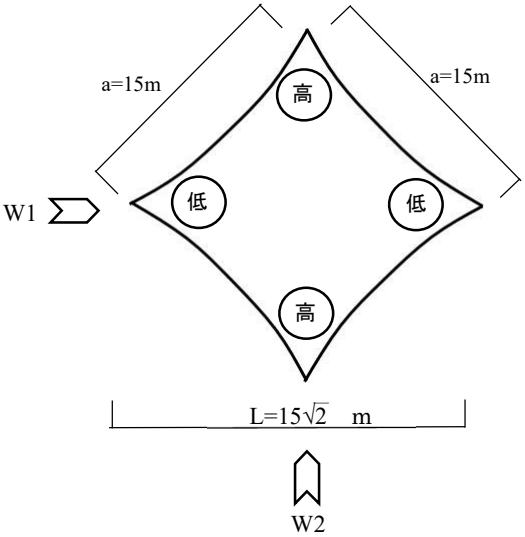
(a) WD 0　　(b) WD 45

図 7.19　独立円弧屋根の設計用風力係数

7.4　HP 型サスペンション膜構造

7.4.1　建物概要

4 点支持の HP 型サスペンション膜構造において，風荷重設計用の風力係数を設定する。

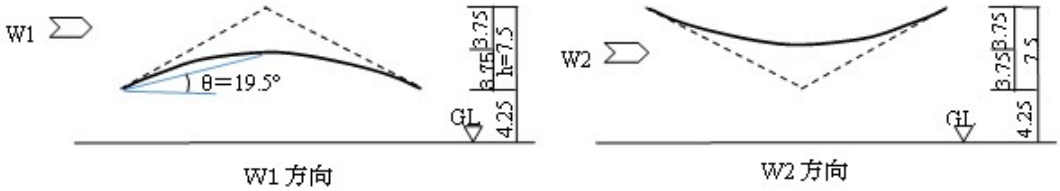


形式イメージ

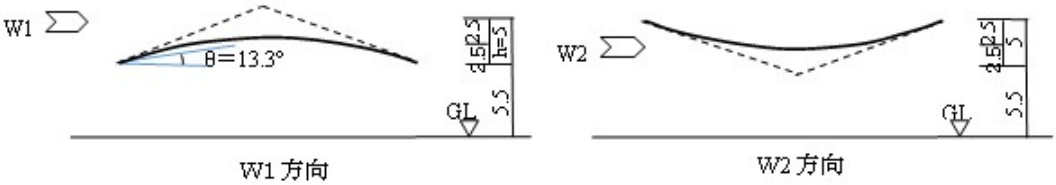
図 7.20　　HP 型サスペンション膜構造の形状と寸法

一辺（a）が 15m の HP 形状に対して，図 7.21 に示す屋根部分高さ（h）を 7.5m，5m，2.5m とした 3 Case に関し，風力係数の検討を行なう。なお，屋根中央部の高さは 8m の一定値とする。

(1) Case1　（ *h/a*= 1/2 ）



(2) Case2　（ *h/a*= 1/3 ）



(3) Case3

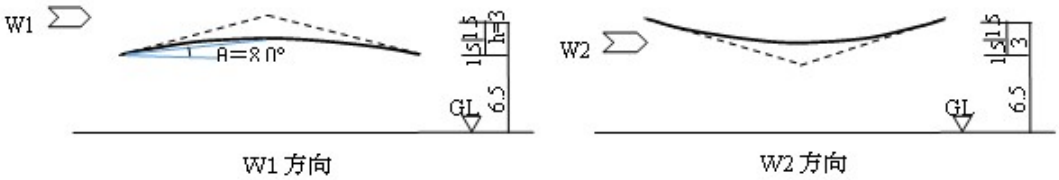


図 7.21　風力係数の検討ケース

7.4.2　設定方針

HP 型に類似した独立上屋の風力係数として，建築基準法施行令第 87 条や告示第 1454 号，および荷重指針に切妻，およびその直交方向の翼型屋根が示されているにすぎない。HP 型の上屋は，屋根全体が曲面で構成され，曲面の凹凸の形状，つまり W 1 方向でのライズ/スパン比と W2 方向でのサグ/スパン比に配慮する必要があるため，　前項の独立円弧屋根と同様，切妻屋根の係数を適用することに無理がある。

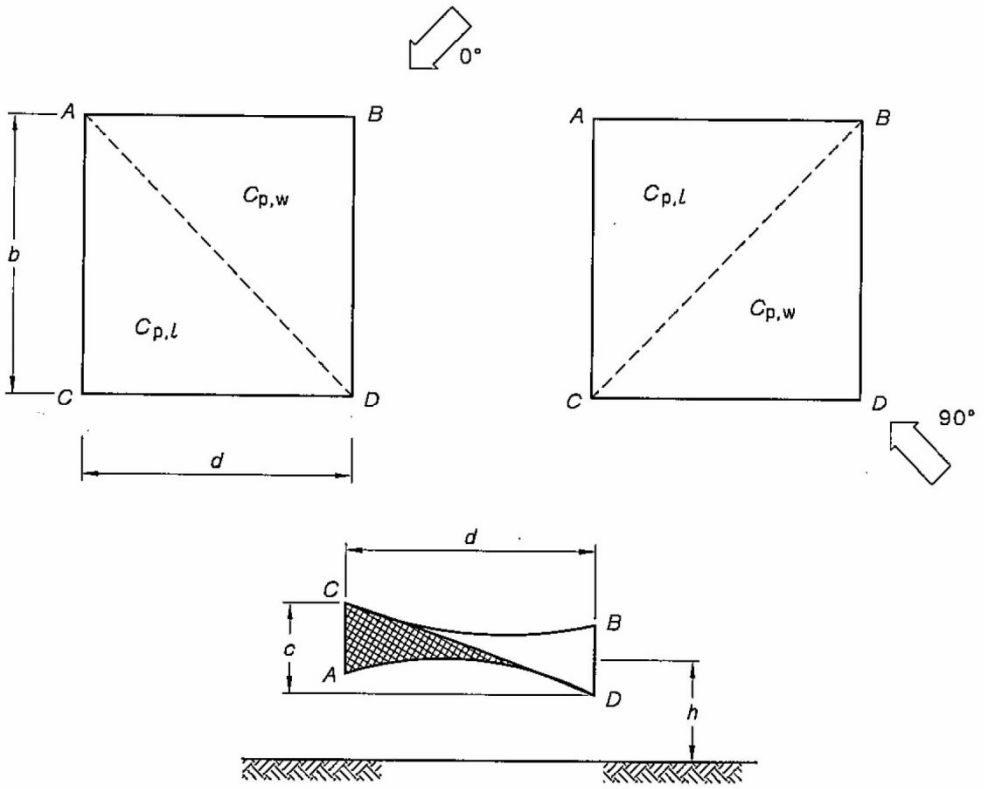
また，その他の指針にも該当するものが見当たらないため，海外規・基準を調査すると，オーストラリア／ニュージーランド基準（AS/NZS1170.0:2002）に図 7.22 に示すような HP 独立屋根の風力係数が規定されていることが判明した。しかしながら，検討建物の条件が図 7.22 の表 D7 の条件を満たさないため，さらに文献調査を行った。

その結果，植松，宮本，櫻井，ガヴァンスキによる風洞実験 [5] があることが判明したため，この論文を基に検討を加えることとする。

表D7　HP独立屋根の風力係数 ― 下部が空の場合

条件	$\theta°$	$C_{p,w}$	$C_{p,l}$
下部が空， $0.25< h/d < 0.5$, $0.1< c/d < 0.3$, かつ $0.75< b/d < 1.25$	0	0.45	0.25
		−0.45	−0.25
	90	0.45	0.25
		−0.45	−0.25

注：風力係数は下向きが正と定義，および同じ記号の値の組み合わせだけは必要に応じて検討する。



図Ｄ５　　ＨＰ独立屋根

図 7.22　　ＨＰ独立屋根の風力係数（AS/NZS1170.0:2002）

7.4.3　風力係数の設定

植松，宮本，櫻井，ガヴァンスキの風洞実験より風力係数を設定する。屋根面を風上側および風下側 1/2 領域に分割し，各領域に一定の風力係数を与える（図 7.23）。屋根に作用する風力および空力モーメントの，変動のピーク値から固定点（柱部）の引張最大力（荷重ケース A）と圧縮最大力（荷重ケース B）を計測し，２つの荷重ケース A・B に対する風上側と風下側の風力係数を求めている。上述の屋根部分高さ／辺長比（*h /a*）の 3 つの形状に対する風力係数を図示する（図 7.24）。

風洞実験諸元
- 風洞実験　：3 次元実験（境界層風洞）
- 風速　　：9m/s
- 風速縮尺率：1/3
- 実験模型　：1/100
- 実験風向　：0～90°　（@15°）
- 実験気流　：境界層乱流（べき指数 α=0.21
  ：地表面粗度区分Ⅲ）
- 実験形状　：棟軒高/辺長　3 タイプ

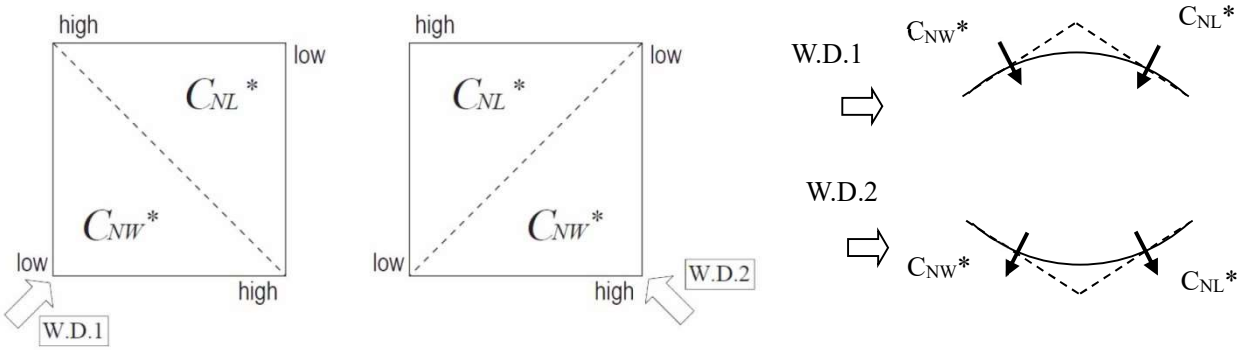
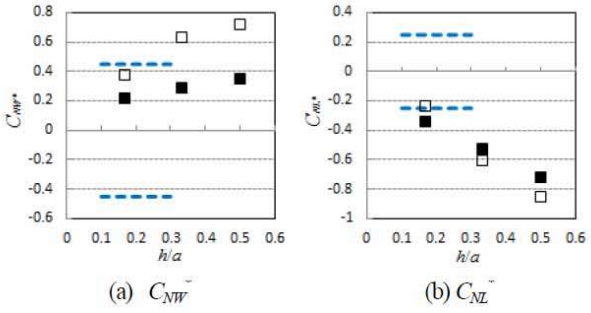
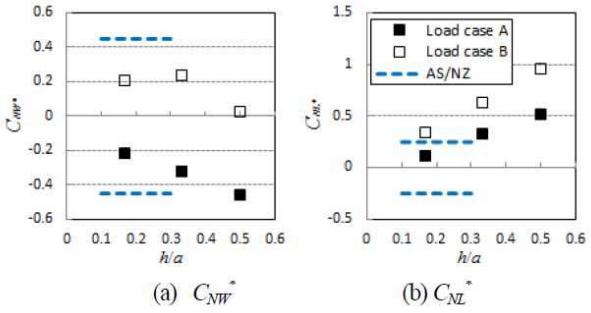


図 7.23　各領域の風力係数



(a) C_{NW}^*　　(b) C_{NL}^*

構造用風力係数（W.D.1）



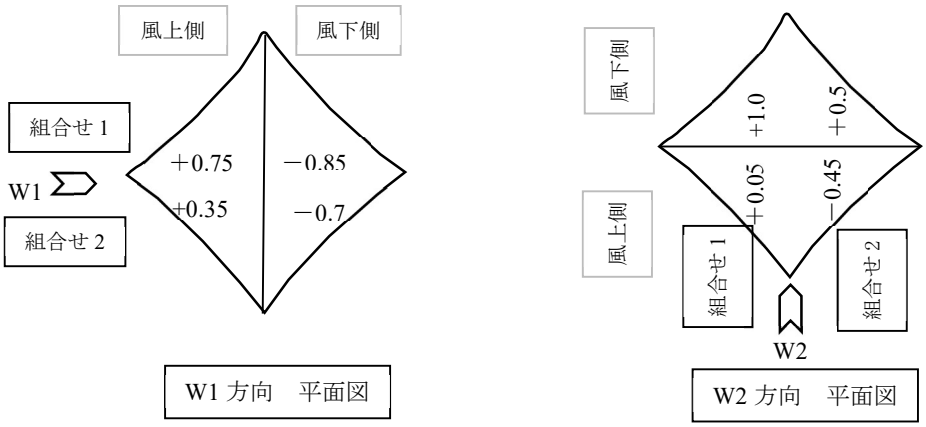
(a) C_{NW}^*　　(b) C_{NL}^*

構造用風力係数（W.D.2）

図 7.24　植松等による構造骨組用風力係数

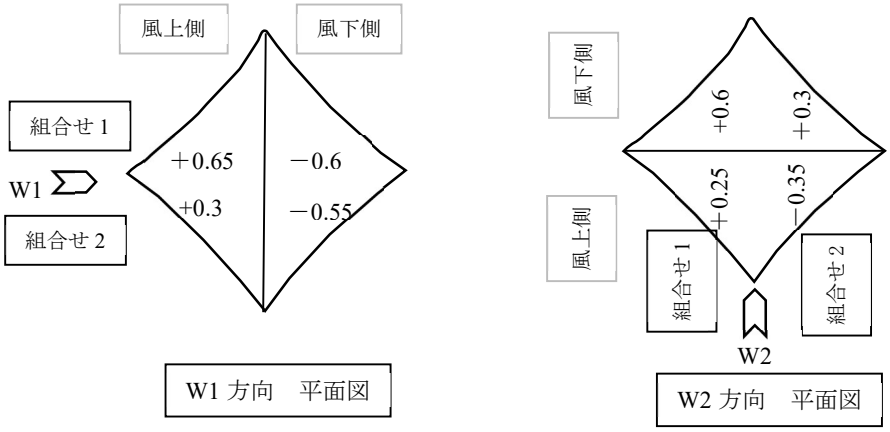
Case1～3 の形状の各面に作用する風力係数は，植松等の風洞実験結果を基に，荷重の組み合わせを考慮し，図 7.25 のように設定した。

（1）Case1



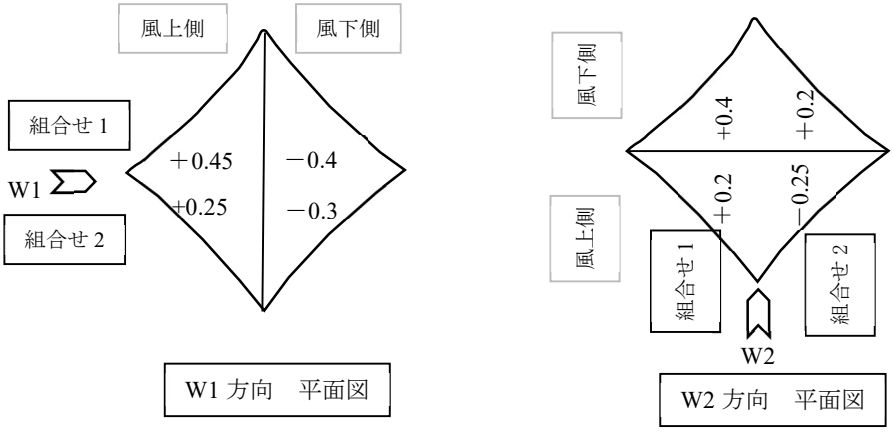
注：各組合せの掛け合せは不要

（2）Case2



注：各組合せの掛け合せは不要

（3）Case3



注：各組合せの掛け合せは不要

図 7.25　設計用風力係数

7.5　片持ち式スタンド上屋

7.5.1　建物概要

検討する建物の概要を図 7.26 に示す。

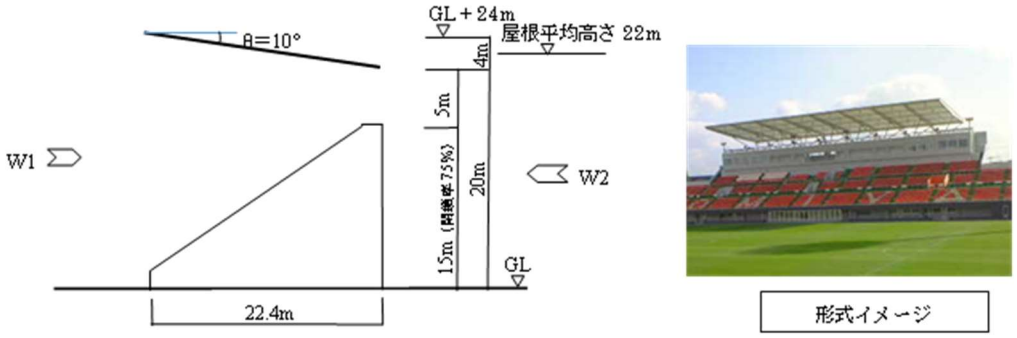


図 7.26　スタンド屋根の形状と寸法

7.5.2　設定方針

片持ち式スタンド屋根は一見，片流れ独立屋根の下部が物で閉塞された建物と考えることができる。図 7.1 の検討フロー図に従い検討すると，告示にはそもそも片流れ独立屋根について風力係数が規定されていない。次の荷重指針の場合，「長方形平面をもつ片流れ独立上屋の外力係数」はあるものの，下部に物が置かれた場合についての規定はないため適用不可となる。次にその他の指針・告示について調べると，畜舎・堆肥舎の建築設計に係る告示・解説（2007）には片流れ屋根の建物についての規定があり，4 面開放，つまり独立屋根についても規定があるが，やはり下部に物が置かれた場合についての規定はないため適用不可となる。

さらに，海外の規・基準に類似の規定があるか調査してみると，

（1）オーストラリア／ニュージーランド基準 AS/NZS1170.0:2002 には，片流れ独立屋根の風力係数に下部が塞がれた場合が規定されている。また，屋根とスタンドが密着した場合の規定がある（図 7.27，図 7.28）

表D4（A）　片流れ独立屋根の風力係数　（$0.25 \le h/d \le 1$の場合）

屋根勾配（α）°	θ =0°				θ =180°			
	$C_{p,w}$		$C_{p,l}$		$C_{p,w}$		$C_{p,l}$	
	下部が空	下部が閉塞	下部が空	下部が閉塞	下部が空	下部が閉塞	下部が空	下部が閉塞
0	−0.3,　0.4	−1.0,　0.4	−0.4,　0.0	−0.8,　0.4	−0.3,　0.4	−1.0,　0.4	−0.4,　0.0	−0.8,　0.4
15	−1.0	−1.5	−0.6,　0.0	−1.0,　0.2	0.8	0.8	0.4	−0.2
30	−2.2	−2.7	−1.1,　−0.2	−1.3,　0.0	1.6	1.6	0.8	0.0

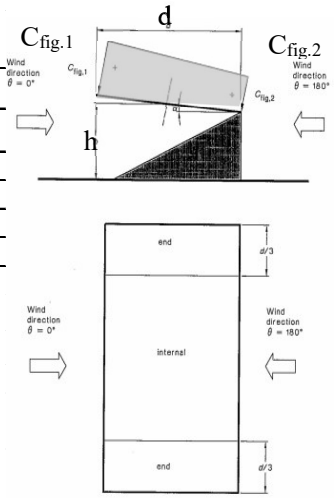
表D4（B）　片流れ独立屋根の風力係数（$0.05 \le h/d < 0.25$の場合）

条件	h/d	風上端からの水平距離(x)	風力係数
$\alpha \le 5°$ あるいは θ=90°の場合のすべてのα	$0.05 \le h/d < 0.25$	$x \le 1h$	$\alpha = 0°$の場合，表D4(A)での$C_{p,w}$に示された値
		$1h \le x \le 2h$	$\alpha = 0°$の場合，表D4(A)での$C_{p,l}$に示された値
		$x > 2h$	−0.2，0.2 下部が空の場合， − 0.4，0.2 下部が閉塞の場合，

図 7.27　片流れ独立屋根の風力係数（AS/NZS1170.0:2002）

表D10　独立片持ち屋根の風力係数　屋根勾配　$-7° < \alpha < 7°$ および $\theta = 0°$ の場合

		高さ/スパン比　$h/d \leq 1.4$		高さ/スパン比　$h/d > 1.4$	
荷重方向	区画位置	$C_{fig,1}$	$C_{fig,2}$	$C_{fig,1}$	$C_{fig,2}$
上向き荷重(−)	内　側	−1.8	−1.1	−1.4	−1.4
	端　部	−1.3	−1.0	−1.9	−1.1
下向き荷重(+)	内　側	0.25	0.15	0.20	−0.15
	端　部	0.55	0.65	0.20	0.0

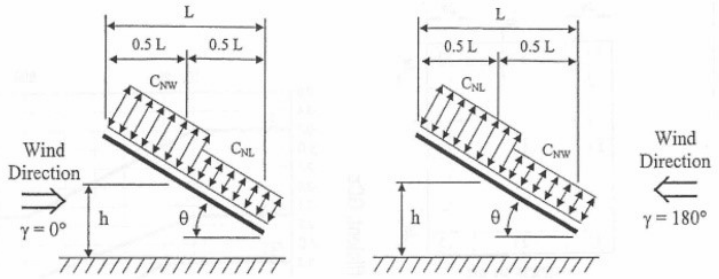


下部が閉鎖され，$\alpha = 0°$ で θ=90° の場合，表D4(B)の値を用いる。
下部が閉鎖され，$\alpha = 0°$ で θ=180° の場合，表D4(A)の値を用いる。
注
1. 屋根材への外装荷重は，下部が閉鎖されていると仮定し，D3節(独立屋根およびキャノピー)を使用する。
2. 当該の片持ち屋根の6倍の屋根高さ内に，似たような高さの観覧席がある場合，風洞実験あるいは類似の調査を実行すべきである。

図 7.28　独立片持ち屋根の風力係数（AS/NZS1170.0:2002）

(2) アメリカ土木学会の ASCE/SEI7-05 にも片流れ独立屋根の風力係数に下部が塞がれた場合が規定されている（図 7.29）が，屋根勾配が $\alpha = 10°$ であるため，適用できない。

主要耐風システム		0.25 ≤ h/L ≤1.0
図 6-18A	正味の風圧係数，C_N	片流れ独立屋根
開放型建築物		q≤45°，γ=0°，180°



Roof Angle θ	Load Case	Wind Direction, γ = 0°				Wind Direction, γ = 180°			
		Clear Wind Flow		Obstructed Wind Flow		Clear Wind Flow		Obstructed Wind Flow	
		C_{NW}	C_{NL}	C_{NW}	C_{NL}	C_{NW}	C_{NL}	C_{NW}	C_{NL}
0°	A	1.2	0.3	-0.5	-1.2	1.2	0.3	-0.5	-1.2
	B	-1.1	-0.1	-1.1	-0.6	-1.1	-0.1	-1.1	-0.6
7.5°	A	-0.6	-1	-1	-1.5	0.9	1.5	-0.2	-1.2
	B	-1.4	0	-1.7	-0.8	1.6	0.3	0.8	-0.3
15°	A	-0.9	-1.3	-1.1	-1.5	1.3	1.6	0.4	-1.1
	B	-1.9	0	-2.1	-0.6	1.8	0.6	1.2	-0.3
22.5°	A	-1.5	-1.6	-1.5	-1.7	1.7	1.8	0.5	-1
	B	-2.4	-0.3	-2.3	-0.9	2.2	0.7	1.3	0
30°	A	-1.8	-1.8	-1.5	-1.8	2.1	2.1	0.6	-1
	B	-2.5	-0.5	-2.3	-1.1	2.6	1	1.6	0.1
37.5°	A	-1.8	-1.8	-1.5	-1.8	2.1	2.2	0.7	-0.9
	B	-2.4	-0.6	-2.2	-1.1	2.7	1.1	1.9	0.3
45°	A	-1.6	-1.8	-1.3	-1.8	2.2	2.5	0.8	-0.9
	B	-2.3	-0.7	-1.9	-1.2	2.6	1.4	2.1	0.4

備考：
1. C_{NW} と C_{NL} はそれぞれ屋根表面の風上側と風下側の半分における（上から下に作用する）正味の風圧係数を表す。
2. 自由気流は 50%以下の遮蔽で気流を妨げない気流を指し，遮蔽気流は屋根の下の障害物が気流を妨げる（>50%ブロッケージ）ことを指す。
3. θ が 7.5° と 45° の間では直線補間が許される。θ が 7.5° より小さい値のときには，θ =0° の荷重係数を用いること。
4. プラスとマイナスの符号は，それぞれ表面を押す方向と引き剥がそうとする方向を指す。
5. 屋根勾配ごとにすべての荷重ケースが調査されること。
6. 記号：
   L: 風向に沿って測られた屋根の水平長さ(m)。
   h: 屋根の平均高さ(m)。
   γ：風向(°)。
   θ：水平からの屋根面の角度（度）

図 7.29　片流れ独立屋根の風力係数（ASCE/SEI7-05）

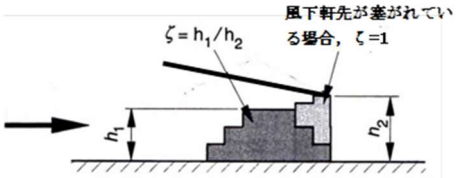
（3）イギリス基準 BS6399-2:1997 にも同様の規定がある（図 7.30）

表13 片流れ独立屋根に対する風力係数 C_p

勾配 α	荷重状態	全体係数	局部係数 A	局部係数 B	局部係数 C
0°	最大値，すべての ζ	+ 0.2	+ 0.5	+ 1.8	+ 1.1
	最小値，ζ =0	− 0.5	− 0.7	− 1.3	− 1.4
	最小値，ζ =1	− 1.2	− 1.3	− 1.8	− 2.2
5°	最大値，すべての ζ	+ 0.4	+ 0.8	+ 2.1	+ 1.3
	最小値，ζ =0	− 0.7	− 1.1	− 1.7	− 1.8
	最小値，ζ =1	−1.4 (−1.2)	−1.4 (−1.2)	− 2.6	−2.6 (−2.1)
10°	最大値，すべての ζ	+ 0.5	+ 1.2	+ 2.4	+ 1.6
	最小値，ζ =0	− 0.9	− 1.5	− 2.0	− 2.1
	最小値，ζ =1	−1.4 (−1.1)	−1.4 (−1.1)	− 2.6	−2.7 (−1.8)
15°	最大値，すべての ζ	+ 0.7	+ 1.4	+ 2.7	+ 1.8
	最小値，ζ =0	− 1.1	− 1.8	− 2.8	− 2.5
	最小値，ζ =1	1.5 (−1.0)	−1.5 (−1.0)	− 2.9	−2.7 (−1.6)
20°	最大値，すべての ζ	+ 0.8	+ 1.7	+ 2.9	+ 2.3
	最小値，ζ =0	− 1.3	− 2.2	− 2.8	− 3.2
	最小値，ζ =1	−1.5 (−0.9)	−1.5 (−0.9)	− 2.9	−2.5 (−1.5)
25°	最大値，すべての ζ	+ 1.0	+ 2.0	+ 3.1	+ 2.3
	最小値，ζ =0	− 1.6	− 2.6	− 3.2	− 3.2
	最小値，ζ =1	−1.4 (−0.8)	−1.5 (−0.8)	− 2.5	−2.5 (−1.4)
30°	最大値，すべての ζ	+ 1.2	+ 2.2	+ 3.2	+ 2.4
	最小値，ζ =0	− 1.8	− 3.0	− 3.8	− 3.6
	最小値，ζ =1	−1.4 (−0.8)	−1.4 (−0.8)	− 2.0	−2.3 (−1.2)

備考1　補間は0＜ζ＜1の充実率と中間の勾配に対して用いられる。
備考2　ζ =1に対して2つの値が与えられている場合，最初の値は低い風下軒先が塞がれている場合で，2番目の値（カッコ内）は高い風下軒先が塞がれている場合である。
備考3　荷重状態は起こりうる全ての風向を包括する。風向別有効風速を用いる場合は，以下の値を用いる。
a）得られた有効風速 V_e の最大値とこれらの C_p の値
b）文献[6]からの風向別 C_p の値

文献6　Cook,N.J. *The designer's guide to wind loading of building structures*, Part 2：Static structures. London：Butterworth Scientific, 1985



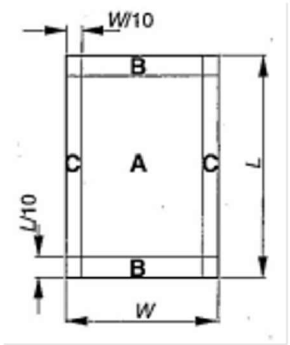


図 7.30　片流れ独立屋根の風力係数（BS6399-2:1997）

これらの基準を基に検討建物について風力係数を求めてみる。

7.5.3 風力係数の設定

検討建物は，屋根勾配が α = 10°，スタンドの高さが 15m，風下屋根面までの高さが 20mであるから，閉塞率は 75%となる。この条件のもとに，3 基準から風力係数を算定する。

（1）AS/NZS1170.0:2002 の場合

屋根の下部が閉鎖され，屋根勾配 α=10°，h/d=22/22.4=0.982≦1 の条件により，図 7.27 に示した表 D4-(A)を適用する。ここで，表中の「下部が空」とは屋根の下が材料などで断面の 50%以下が塞がれている場合であり，「下部が閉塞」とは 75%以上が塞がれている場合を指す。閉塞率および屋根勾配の中間値は直線補間で求める。補間は同じ記号同士で行い，同じ記号がない場合は補間の目的のため，0.0 を仮定する。結果を表 7.10 および図 7.31 に示す。

表 7.10　　AS/NZS1170.0:2002 による風力係数　(0.25≦h/d≦1)

屋根勾配（α°）	$\theta = 0°$ (w1)				$\theta = 180°$ (W2)			
	$C_{p,w}$		$C_{p,l}$		$C_{p,w}$		$C_{p,l}$	
	下部が閉鎖		下部が閉鎖		下部が閉鎖		下部が閉鎖	
0	−1.00	0.40	−0.80	0.40	−1.00	0.40	−0.80	0.40
15	−1.50	0.00	−1.00	0.20	0.00	0.80	−0.20	0.00
10	−1.33	0.13	−0.93	0.27	−0.33	0.67	−0.40	0.13

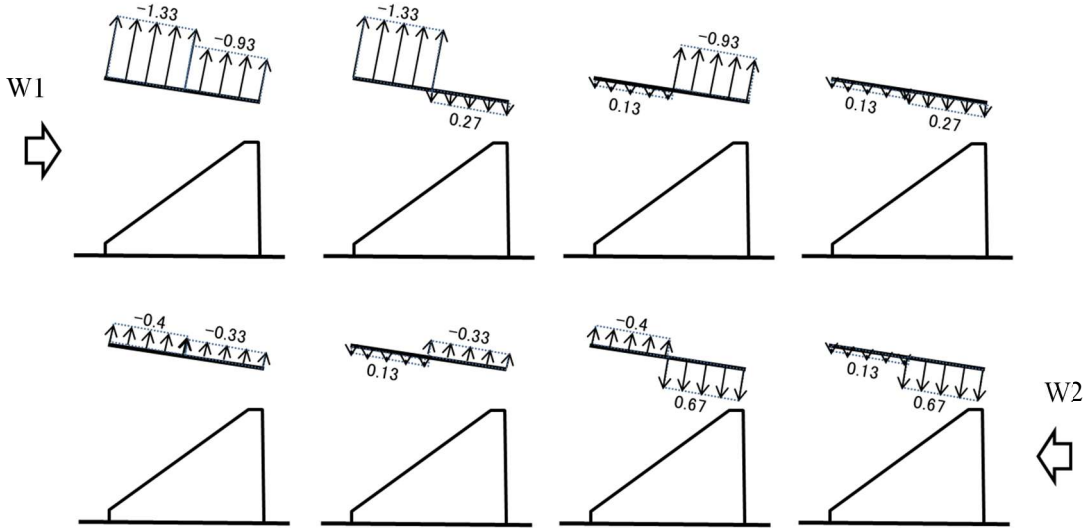


図 7.31　　AS/NZS1170.0:2002 による風力係数の組み合わせ

（2）ASCE/SEI7-05 の場合

本規定において，遮蔽されていない気流とは 50%以下の遮蔽により比較的遮蔽されていない気流を指す。遮蔽された気流とは気流を妨げる屋根の下の物体（閉塞率 50%以上）を指す。$\theta = 7.5°$から$\theta = 45°$の屋根勾配に対しては直線補間をする。結果を表 7.11 および図 7.32 に示す。

表 7.11　　ASCE/SEI7-05 による風力係数

屋根勾配（θ）	荷重状態	$\gamma = 0°$ 遮蔽された気流		$\gamma = 180°$ 遮蔽された気流	
		C_{NW}	C_{NL}	C_{NW}	C_{NL}
7.5	A	−1	−1.50	−0.20	−1.20
	B	−1.7	−0.80	0.80	−0.30
15	A	−1.1	−1.50	0.40	−1.10
	B	−2.1	−0.60	1.20	−0.30
10	A	−1.03	−1.50	0.00	−1.17
	B	−1.83	−0.73	0.93	−0.30

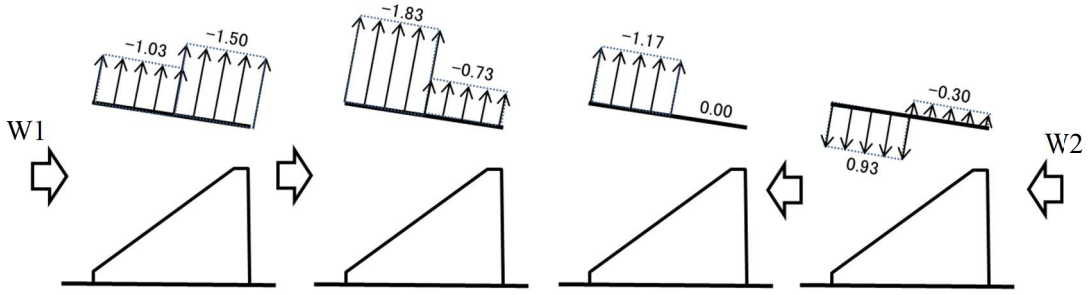


図 7.32　　ASCE/SEI7-05 による風力係数の組み合わせ

AS/NZS および ASCE/SEI で求めた風力係数はガスト風速（瞬間風速）に対応するものであることに注意する必要がある（「海外基準での風力係数を用いる場合の注意点」参照）。

（3）BS6399-2:1997 の場合

本規定では，屋根勾配に対して最大値と最小値が与えられ，最小値に対して閉塞率ζによる補間ができる。この風力係数は独立屋根を支える部材の設計に用いられ，風力の中心は風上端から0.3Wに作用させる。検討建物の場合，風下側の低い軒先が塞がれており，$\zeta = h_1/h_2 = 0.75$ であるから，表 13 より屋根勾配 $\alpha = 10°$ の場合の「全体係数」は，最大値はすべてのζに対して $C = +0.5$,最小値は$\zeta = 0$ で $C = -0.9$ ，$\zeta = 1$ で $C = -1.4$が規定されている。これらから閉塞率$\zeta = 0.75$の場合の最小値を求めると，$C = -1.275$ となる。風力係数は起こりうる全ての風向での荷重状態に対応しており，風向を考慮しなくてよい。結果を図 7.33 に示す。なお BS での風力係数は 1 時間平均風速に対応している（「海外基準での風力係数を用いる場合の注意点」参照）。

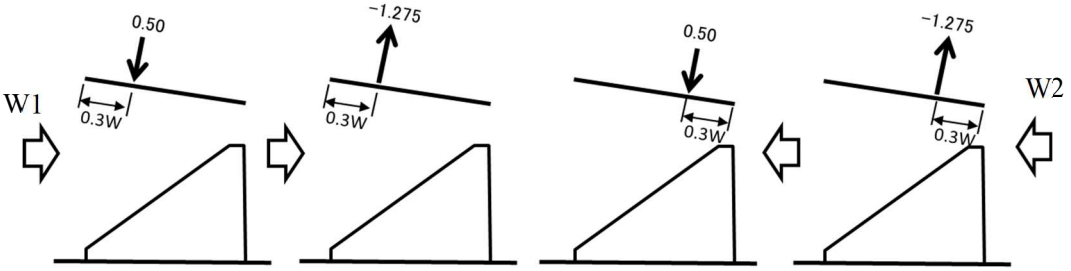


図 7.33　　BS6399-2:1997 による風力係数

これらの 3 基準のどれを用いるかは，どれが一番スタンド屋根にとって不利な荷重効果を示すかを検討しないと分からない。

（4）研究論文による検討

次に文献調査を行ってみる。片持ち式スタンド屋根については，小野等による「片持ち式スタンドルーフの空力特定に関する基礎的研究（その２）屋根形状・スタンドの影響」に風洞実験結果が記載されている。実験条件を簡単に示すと，実験気流は一様流で，模型の縮尺率は 1/100，一応 2 次元実験となっている。図 7.34 に示すような，実験模型であるから，スタンドの高さは 23m，屋根の幅は 28.4mとなる。また，風力係数はどの高さでの速度圧で無次元化されたか記載されていないが，一様流であるから高さは関係ないとの考えと思われる。しかしながら，スタンドの高さを考慮すると，自然風中では風速が一様とは考えられないので，実験結果の取り扱いには注意を要する。

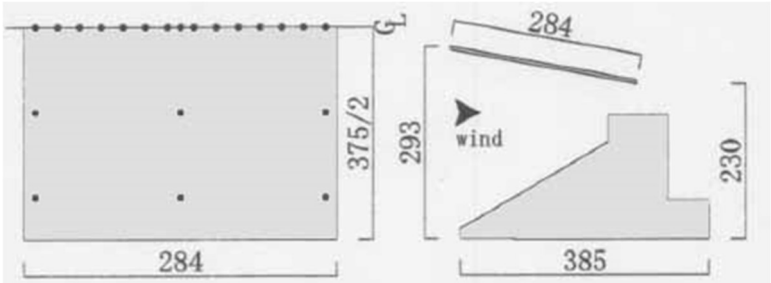
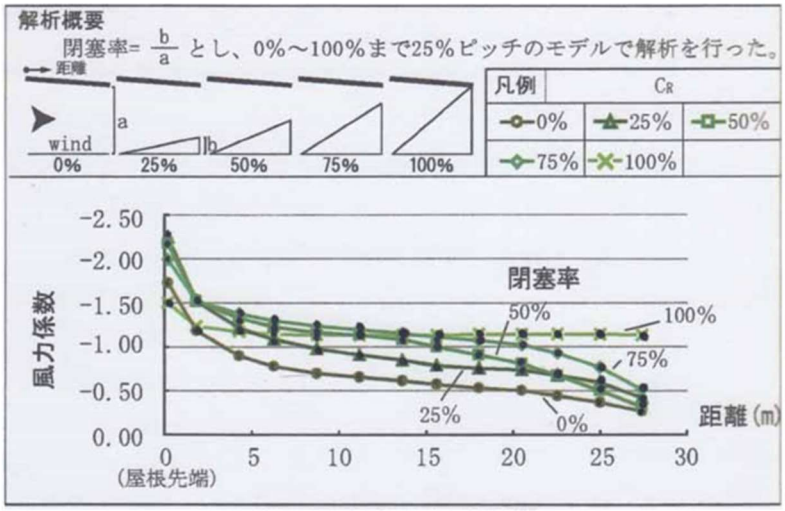


図 7.34　実験模型形状（単位 mm）

また，一様流と言うことから気流の乱れ強さは小さいものと推測され，この点からも実験結果の取り扱いに注意を要する。

建物形状や部位により一概には言えないが，一様流中での風圧は乱流中や勾配流中での風圧よりは大きめに出る傾向がある。

上述の文献には，風向 W1 における，スタンド高さの違い，すなわち閉塞率による局部風力係数の変化が示されている。屋根勾配はθ＝10°で，測定位置や風力係数の具体的な値が示されていないため，図から読み取ると，おおよそ図 7.33 のようになる。この実験では図 7.34 に示されたスタンド形状ではなく図 7.35 に示してあるような三角形でモデル化したものと考えられる。



屋根先端からの距離(m)	屋根先端からの距離比	閉塞率0%の風力係数	閉塞率25%の風力係数	閉塞率50%の風力係数	閉塞率75%の風力係数	閉塞率100%の風力係数
0.25	0.01	−1.50	−2.30	−2.20	−2.00	−1.50
1.75	0.06	−1.20	−1.55	−1.50	−1.50	−1.25
4.25	0.15	−0.90	−1.20	−1.35	−1.40	−1.20
6.25	0.22	−0.75	−1.10	−1.25	−1.30	−1.15
8.75	0.31	−0.70	−0.95	−1.15	−1.25	−1.15
11.25	0.40	−0.65	−0.90	−1.15	−1.20	−1.15
13.5	0.48	−0.61	−0.80	−1.10	−1.15	−1.15
15.5	0.55	−0.51	−0.75	−1.00	−1.10	−1.15
18	0.63	−0.53	−0.75	−0.90	−1.05	−1.15
20.5	0.72	−0.50	−0.70	−0.80	−1.00	−1.15
22.5	0.79	−0.45	−0.65	−0.65	−0.95	−1.15
25	0.88	−0.35	−0.55	−0.50	−0.75	−1.15
27.25	0.96	−0.25	−0.40	−0.30	−0.50	−1.15

図 7.35　閉塞率と風力係数の関係

図 7.35 より, 閉塞率 75%の風力係数をスタンド屋根面の屋根先端からの距離比に応じて与えればよい。各風力係数に，負担面積を乗じて全風力を算定し，全面積で除すれば，平均風力係数が求まる。表 7.11 に風上側，風下側に分けて算定した結果を示す。

図 7.36 に実験結果を適用した風力係数の分布図を，図 7.37 に風上・風下屋根面に分けて平均した風力係数の分布を示す。結果は AS/NZS 基準による風力係数に近い。

表 7.12　平均風力係数算定

屋根先端からの距離(m)	負担面積（m）	負担風力	平均風力係数
0.20	0.79	−1.58	−1.34
1.38	1.58	−2.37	
3.35	1.77	−2.48	
4.93	1.77	−2.31	
6.90	1.97	−2.46	
8.87	1.87	−2.25	
10.65	1.68	−1.93	
12.23	1.77	−1.95	−0.81
14.20	1.97	−2.07	
16.17	1.77	−1.77	
17.75	1.77	−1.69	
19.72	1.87	−1.40	
21.49	1.79	−0.90	

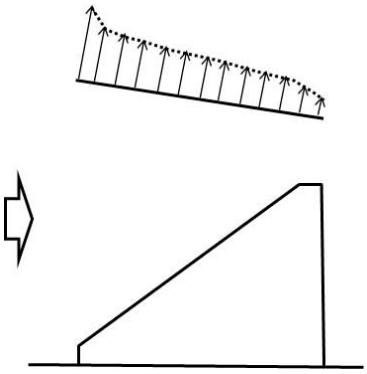


図 7.36　実験結果を適用した風力係数分布図

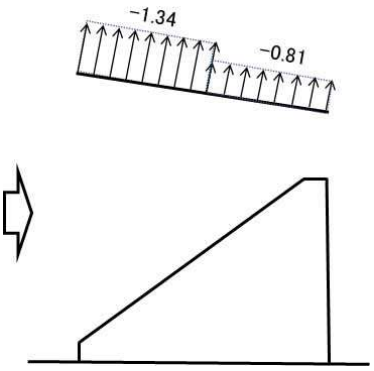


図 7.37　風上・風下に分けて平均した風力係数分布図

ちなみに W2 風向については，本実験は調査していない。

つぎに，小林ら[7]は図 7.38 に示すような屋根勾配 7.5°のスタンドを対象に一様流中で実験を行っている。スタンドの後ろに屋根が張り出しているため，検討中の建物と流れが変わり，直接的には適用できないと思われる。屋根勾配 7.5°については，告示でも「10°以下は・・」というような表現がある通り，屋根勾配による差はほとんどないと推定できる。実験結果を図から読んで示すと図 7.39 のようになる。

図 7.40 は図 7.39 を基に，荷重の負担面積が同じになるように風力係数を算定し，風上側と風下側に分けて平均風力係数を求めたものである。

AS/NZS，ASCE/SEI の荷重組み合わせとも類似していない。また小野らによる実験結果（図 7.37）よりも大きな風力係数を示していることが分かる。

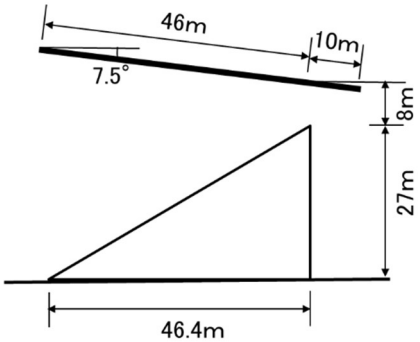


図 7.38　実験対象スタンド

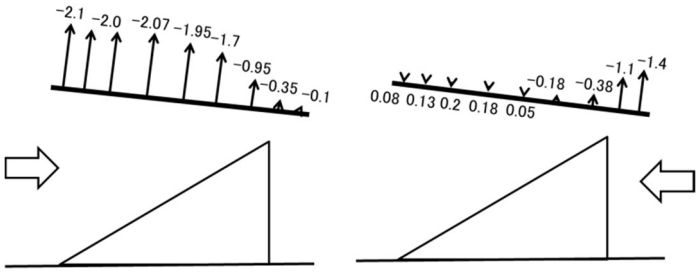


図 7.39　実験結果

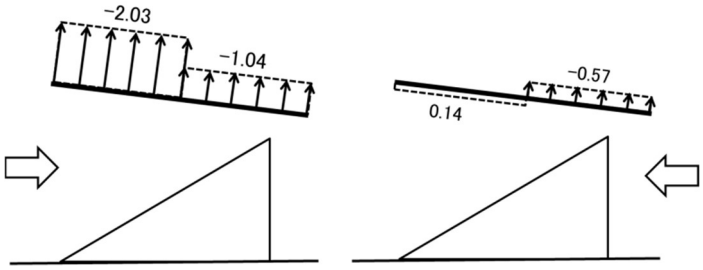


図 7.40　平均化した風力係数分布

（5）設計用風力係数の設定

これらのことから，計画スタンドの風力係数として，AS/NZS によるものを参照とするのが良いと思われる。

参考文献

１）山村，植松 :「曲面屋根を有する独立上屋の設計用風荷重に関する研究；その２　ドーム型屋根の場合」，膜構造研究論文集，第 31 号，25-32，2017

２）文，山村，植松 :「ドーム型独立上屋に作用する風力の特性に関する研究」，日本建築学会大会（東北）2018 年 9 月

３） M.B.Natalini, O.Canavesio, B.Natalini :「Pressure Distribution on Curved Canopy Roof」 The Second International Symposium on Wind and Structures 2002, Korea

４）山村，植松，高館 :「曲面屋根を有する独立上屋の設計用風荷重に関する研究；その１　円弧型屋根の場合」，膜構造研究論文集，第 31 号，11-24，2017

５）植松，宮本，櫻井，ガヴァンスキ :「ポーラスな独立上屋の設計用風荷重に関する研究　その２　HP 型屋根の場合」　膜構造研究論文集 2012 年 26 号

６）小野，宮里，斎藤，吉野，岡田，大森 :「片持式スタンドルーフの空力特性に関する基礎的研究（その 2）屋根形状　・スタンドの影響」，日本建築学会大会（九州）2007 年 8 月

７）小林，斎藤，黒木，岡田，塩澤 :「競技場スタンドを覆う片持ち屋根構造の構造計画および風荷重に関する研究（その２）簡易風洞実験の適用性について」，日本建築学会大会（近畿）1996 年 9 月

参考資料１　文献別の風洞実験論文等の一覧

文献別分類

１００：１０１～１６６	JWEIA（J. of Wind Engineering Industriaal Aerodynamics,
２００：２０１～２１３	その他,
３００：３０１～３５７	日本建築学会,
４００：４０１～４１４	国際シンポジウム,
５００：５００～５１２	風工学シンポジウム,
６００：６０１～６２１	日本風工学会誌, 日本風工学研究会誌
７００：７０１～７１２	日本膜構造協会研究論文集,
８００：８０１～８０８	ASCE（J. of Structural Engineering等）

表中の数字は、論文で扱われるＩ群の形状

○印は、関連する形状・計測法・整理方法の種類

参考資料１　文献別の風洞実験論文等の一覧

※文献番号（分類）　100：JWEIA（J. of Wind Engineering Industriaal Aerodynamics,　200：その他,
300：日本建築学会,　400：国際シンポジウム,
500：風工学シンポジウム,　600：日本風工学会誌, 日本風工学研究会誌
700：日本膜構造協会研究論文集,　800：ASCE（J. of Structural Engineering等）

表中の数字は、論文で扱われるⅠ群の形状
○印は、関連する形状・計測法・整理方法の種類

学会指針参考論文												Ⅰ群																						Ⅱ群					Ⅲ群									
												1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		風洞実験												
1993年版	2004年版	2015年版	文献番号	文献名	タイトル	著者	号	年	ページ	特徴	切妻	片流	寄棟	鋸	円筒	円弧型	独立上屋1面開放	独立上屋2面開放	独立上屋3面開放	独立上屋4面開放	庇（スタンド）	スタジアム	ドーム型	ホルン型	空気膜（1重）	空気膜（2重）	吊屋根・キールアーチ	HP型	連続体	開閉式	その他特殊形	CFD・その他	実測	一様流	一様乱流	境界層流	その他	係数値	分布図	等圧線図	全体空気力	構造軸力	流体軸力	モーメント	摩擦力	その他	日本鋼構造協会風力研究班文献No
											1	2	3	4	5	6	7			8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20															
			101	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	FLOW OVER SPHERICAL INFLATED BUILDINGS	B.G.NEWMAN , U.GANGULI and S.C.SHRIVASTAVA	17	1984	305-327	空気膜ドーム													○		13												○			○								○	42
			102	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	WIND TUNNEL STUDIES ON A DOME IN TURBULENT BOUNDARY LAYERS	N. TOY, W.D. MOSS and E. SAVORY	11	1983	201-212	ドーム（半球），境界層厚δ効果													11														○			○	○							
			103	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	TIME-AVERAGED AERODYNAMIC FORCES ACTING ON A HEMISPHERE IMMERSED IN A TURBULENT BOUNDARY	S. TANIGUCHI and H.SAKAMOTO, M.KITA and M. ARIE	9	1982	257-273	ドーム（半球）													11																									
			104	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	MEASUREMENTS OF WIND LOADS ON FULL- SCALE FILM PLASTIC CLAD GREENHOUSES	R.P.HOXEY and G.M.RICHARDSON	16	1984	57-83	温室（円弧・連続）実測						6													○				○						○									38
			105	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	A PARARIETRIC STUDY OF EXTREME PRESSURES FOR THE STATIC DESIGN OF CANOPY STRUCTURES	S.J.GUMLEY	16	1984	43-56	独立上屋 切妻・翼・片流 積荷の影響	○	○							7	8																		○										
			106	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	REDUCTION OF WIND LOADS ON A GRANDSTAND R00F	N.J.COOK	10	1982	373-380	スタンド屋根 Cp, Cppeak											9																	○			○							27
			107	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	A FULL-SCALE STUDY OF WIND LOADS ON AGRICULTURAL RIDGED CANOPY R00F STRUCTURES AND PROPOSALS FOR DESIGN	A.P.ROBERTSON, R.P.HOXEY and P.MORAN		1985		独立上屋（切妻・遮蔽壁・積荷の影響）	○						7		7	8														○						○									
			108	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Fluctuating and mean pressure measurements on a stadium covering in wind tunnel	J.Marighetti,A.Wittwer,M.DeBortoli,,B.Natalini,,M.Paluch, M.Natalini	84	2000	321-328	スタジアム屋根（壁あり無し）												10																○		○		○						
			109	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loads on attached canopies and their effect on the pressure distribution over arch—roof industrial buildings	M. J.Paluch, A.M.Loredo-Souza, and J.Blesslnann	91	2003	975-994	円弧屋根（工場・庇効果）						○					9																○		○	○		○	○					
			110	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Variations of wind prcssurc on hip roofs with roof pitch	Y.L..Xu、G.F Reardon	73	1998	267-284	寄棟屋根（勾配変化）			3																							○			○			○	○					
			111	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Observations of Reynolds number sensitivity in the separated flow、region on a bluff body	R.P.Hoxey,A.M.Reynolds,G.M.Richardson,A.P.Robefts on,J.L.Short	73	1998	231-249	切妻屋根（曲線エッジ形）	1																																				
			112	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	An efficient method for selection of vibration modes contributory to wind response on dome- like roofs	M.Nakayama,Y. Sasaki,K. Masuda,T. Ogawa	73	1998	31-43	ドーム（半球）下部構造													11																								
			113	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	The aerodynamics of a hangar membrane roof	M.Kazakevitch	77 78	1998	157-169	吊膜屋根（サグ）																	15										○		○	○	○		○					
		○	114	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Peak gust pressures acting on the roof and wall edges of a low-rise building	Y. Uematsu, N. Isyumov	77 78	1998	217-231	切妻屋根	1																										○			○							
			115	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loads on low buildings with 4:12 gable roof in open country and suburban exposures	P.C.Case, N.Isyumov	77 78	1998	107-118	切妻屋根 桁長さ変化	○																																				
			116	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Occurrence of peak lifting actions on a large horizontal cantilevered roof	K.M..Lam, J.G.Zhao	90	2002	897-940	独立上屋（片流れ・風下壁ありなし）		○								8																		○			○							
			117	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Effect of geometry on wind pressures on low—rise hip roof buildings	S. Ahmad, K Kumar	90	2002	755-779	寄棟・切妻	○		3																								○			○							
			118	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind pressures on permeably and impermeably-clad structures	A.P.Robertson, Ph.Roux, J.Gratraud, G. Scarascia, S.Castellano, M.Dufresne, de Virel, P.Palier	90	2002	461-474	円弧屋根（下部構造無し2D）						6																					○		○								
			119	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind tunnel modelling of mean pressures on planar canopy roof	B.Natalini,J.0.PIlarighetti, M.B.Natalini	90	2002	427-439	独立上屋（切妻　けらば壁あり）	○									8																	○			○							
			120	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Mean wind pressures on arched-roof buildings by computation	J.D.Holmes and D.A.Patcrson	50	1993	235-242	円弧屋根（CFD K&ε）						○																	20													
			121	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Characteristics of fluctuating wind pressure on long low-rise buildings with gable roofs	M.Kanda and E.Maruta	50	1993	173-182	切妻屋根（勾配・辺長比）	○																																				
			122	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loads on planar canopy roofs— Part I: Mean pressure distributions	C.W.Letchford and J.D. Ginger	45	1992	25-45	独立上屋（切妻）Cpmean	○									8																	○			○							
			123	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loads on planar canopy roofs ,Part 2: Fluctuating pressure distributions and correlations	J.D. Gingcr and C.W.Letchford	51	1994	353-370	独立上屋（切妻）Cppeak	○									8																	○			○							
			124	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	A wind tunnel study of the pressure distribution around sealed versus open low-rise buildings for naturally ventilated livestock housing	Y.Choinire,H.Tanaka,J.A.Munroe and A.S.Tremblay	51	1994	71-91	切妻屋根（開口窓・煙突）	1																																				
			125	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loading tests on models of two tension structures for EXPO'92,Seville	D.M.Sykcs	52	1994	371-383	膜構造（テンション膜）																						19															
			126	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind-induced forces on caves of low buildings	T. Stathopoulos, H. Luchian	52	1994	249-261	切妻屋根（軒の出）	1																										○			○							
			127	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	A case study of wind pressure and wind-induced vibration of a large span open-type roof	O. Nakamura,Y. Tamurab,K. Miyashita,M. Itoh	52	1994	237-248	スタジアム屋根												10																									
			128	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loads of and wind-induced dynamic behavior of a single-layer latticed dome	Y. Uematsu,N. Yamada,A. Inoue,T. Hongo	66	1997	227-248	ドーム（下部構造・ライズ変化）													11														○			○							
			129	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Researches on wind effects on domes in Brazil	J.Blessmann	65	1996	167-177	ドーム（壁開放）													11														○		○	○	○	○					
			130	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Design wind pressure coefficients for mono-slope roof :A time series approach	T.Stathopoulos,K.S. Kumar,A.R.Mohammadian	65	1996	143-153	片流れ屋根（勾配）		2																																			
			131	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Fatigue calculation on the roof sustaining cables of a large stadium in Paris	O.Flamand,J.Bietry,C.Barre,E.Germain,P Bourcier	64	1996	127-134	スタジアム屋根（トラス）												10																									
			132	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind pressures on a hemispherical dome	T.J.Taylor	40	1991	199-213	ドーム（半球・下部構造有り無し）													11														○			○	○						
			133	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Characteristics of wind pressure on special Large dome	S.Kawamura, T.Kiuchi, T.mochizuki	41-44	1992	1511-1512	ドーム（半球・3/4球・釣鐘）													11														○		○		○						
			134	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Experimental Study of Wind Pressure and Wind Force Characteristics on Dome Shaped Openable Roofs	T.Tsugawa, T.Hongo, M.Suzuki	41-44	1992	1509-1510	開閉式ドーム													○							18																
			135	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Aeroelastic model study of suspended cable roof	S.Kawakita,B.Bienkicwicz, and J.E.Cermak	41-44	1992	1459-1470	吊ケーブル屋根																	15																			
			136	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind induced response of a cable supported stadium roof	B.J.Vickery and M.Majowiecki	41-44	1992	1447-1458	スタジアム（ケーブル構造）												10					○																			
			137	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	WIND RESPONSE OF A LARGE TENSILE STRUCTURE:THE NEW R00F OFTHE OLINIIPIC STADIUM IN ROME	C. Borri, M.Majowiccki, P.Spinelli	41-44	1992	1435-1446	スタジアム（トラス構造）												10																									

学会指針参考論文											Ⅰ群																						Ⅱ群					Ⅲ群									
											1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	風洞実験														
1993年版	2004年版	2015年版	文献番号	文献名	タイトル	著者	号	年	ページ	特徴	切妻	片流	寄棟	鋸	円筒	円弧型	独立上屋1面開放	独立上屋2面開放	独立上屋3面開放	独立上屋4面開放	庇(スタンド)	スタジアム	ドーム型	ホルン型	空気膜(1重)	空気膜(2重)	吊屋根・キールアーチ	HP型	連続体	開閉式	その他特殊形	CFD・その他	実測	一様流	一様乱流	境界層流	その他	係数値	分布図	等圧線図	全体空気力	構造軸力	流体軸力	モーメント	摩擦力	その他	日本鋼構造協会風力研究班文献No
											1	2	3	4	5	6	7			8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20															
			138	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind Load on Grandstands around a Full Perimeter of a Stadium	S.O.Hansen, P.Haholt and K.Nielsen	41-44	1992	1423-1434	スタジアム(トラス構造)												10																								
			139	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Fluctuating wind pressure measured with tubing system	M Yoshida,K.Kondo and M.Suzuki	41-44	1992	987-998	空気膜ドーム(8角形)															13																				
			140	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Peak wind loads under delta wing vortices on canopy roofs	J. D. Ginger and C. W. Letchford	41-44	1992	1739-1750	独立上屋(切妻)	○									8																									
			141	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Codification of Wind Pressure Coefficients for Saw-tooth Roofs	T.Stathopoulos and P.Saathoff	41-44	1992	1727-1738	のこぎり屋根(片流れ)		○		4																					○		○	○	○					○	
			142	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	The Improved Performance of Hip Roofs in Extreme winds — A Case Study	D. Meecham	41-44	1992	1717-1726	切妻・寄棟屋根	○		3																							○				○							
			143	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Computation of Wind Pressures on Low-rise Structures	D.A.Paterson and J.D.Holmes	41-44	1992	1629-1640	格納庫(半円筒)妻面開放					5																													
			144	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind Pressures on Buildings with Multi—Level Roofs	T. Stathopoulos and H.D.Luchian	36	1990	1299-1308	階段型建物																					19					○			○	○							
			145	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Further full…scale and model pressure measurements on a cantilever grandstand	N.G.Pitsis and L.W.Apperley	38	1991	439-448	スタンド屋根(片持ち梁)											9																								
			146	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loading on a portal frame agricultural building	E.Savory,N.Toy,S.Dalley and J.Trussler	38	1991	335-345	切妻屋根(高床・軒先丸み)	1																									○				○							
○			147	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind pressure on roofs of various geometries	T. Stathopoulos and P.Saathoff	38	1991	273-284	のこぎり屋根(切妻)	○			4																					○			○	○							
○			148	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	The magnitude and distribution of wind— induced pressures on hip and gable roofs	D.Meecham,D.Surry and A.G.Davenport	38	1991	257-272	切妻・寄棟屋根	○		3																							○		○	○			○			
			149	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	AERODYNAMIC DAMPING AND STIFFNESS OF A SEMI — CIRCULAR R00F IN TURBULENT WIND	D.J.Daw and A.G.Davenport	32	1989	83-92	空気膜(半円筒)					○								13													○								○	
			150	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	WIND LOADS ON CIRCULAR STORAGE BINS,SILOS AND TANKS:1POINT PRESSURE MEASUREMENTS ON ISOLATED STRUCTURES	P.A.MACDONALD, K.C.S.KWOK , J.D .HOLMES	31	1988	165-188	円錐屋根(サイロ)軒高さ変化																			19							○			○						
			151	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	WIND INDUCED RESPONSE OF LOW—PROFILE CABLE —REINFORCED AIR—SUPPORTED STRUCTURES	Y.MATAKI, Y.IWASA, Y.FUKAO AND A.OKADA	29	1988	253-262	空気膜(下部構造有り)															13											○				○				○	
			152	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	REDUCING THE WIND LOADIN6 0N LARGE CANTILEVERED R00FS	W.H.MELBOURNE and J.C.K. CHEUNG	28	1988	401-410	スタンド屋根(片持梁)											9															○									
			153	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	DESIGN PRESSURE DISTRIBUT10N ON CIRCULAR SILOS WITH CONICAL R00FS	I.J.SABRANSKY and W.H.MELBOURNE	26	1987	65-84	円錐屋根(サイロ)勾配・ライズ																			19							○			○	○					
			154	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	STEADY WIND PRESSURES ON SOLAR COLLECTORS ON FLAT-R00FED BUILDINGS	A.RADU,E.AXINTE and C.THEOHARI	23	1986	249-258	ソーラパネル(屋上)																			19						○				○					
			155	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	AN EXPERIMENTAL STUDY OF A ONE-MEMBRANE TYPE PNEUMATIC STRUCTURE— WIND LOAD AND RESPONSE	S.KAWAMURA and T.KIUCHI	23	1986	127-140	空気膜ドーム(半球・長方楕円)												○			13									○			○	○								○	
			156	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	MODEL/FULL-SCALE PRESSURE MEASUREMENTS ON A GRANDSTAND	LAPPERLEY and N.G.PITSIS	23	1986	99-111	スタンド屋根(片持ち梁)											9																								
			157	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	COMPARISONS OF FULL-SCALE AND WIND-TUNNEL MEASUREMENTS OF WIND LOADS ON A FREE-STANDING CANOPY ROOF STRUCTURE	A.P.ROBERTSON and P.MORAN	23	1986	113-125	独立上屋(切妻)	○									8																									
			158	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	DESIGN WIND LOADS FOR RIDGED CANOPY ROOF STRUCTURES	A.P.ROBERTSON	24	1986	185-192	独立上屋(切妻・風上風下壁有無)	○								7	8																									
			159	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Aeroelastic modelling of air-supported roofs	Takeo Matsumoto	41-44	1992	1497-1507	空気膜															13																			
			160	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loads on free-standing canopy roofs; Part 1 local wind pressures	Yasushi Uematsu , Theodore Stathopoulos , Eri Iizumi	96	2008	1015-1028	独立上屋(切妻、片流れ)	○	○								8																	○		○	○	○						
			161	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind tunnel study of a cone-like shaped roof : Reynolds number effects	A.Zasso , S.Giappino , S.Muggiasca	94	2006	431-444	ホルン型(レイノルズ数影響)													12																						
			162	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loads on free-standing canopy roofs; Part 2 overall wind forces	Yasushi Uematsu , Theodore Stathopoulos , Eri Iizumi	96	2008	1029-1042	独立上屋(切妻、片流れ)	○	○								8																	○			○						
			163	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	The point and area-averaged wind pressure influenced by conical vortices on saddle roofs	Xin Dong , Jihong Ye	101	2012	67-84	HP屋根																		16								○			○						
			164	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Mean loads on vaulted canopy roofs	M.B.Natalini , C.Morel , B.Natalini	119	2013	102-113	独立上屋(円弧屋根)						○				8																	○		○	○	○						
			165	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Mean wind loads on porous canopy roofs	C.W.Letchford , A.Row , A.Vitale , J.Wolbers	84	2000	197-213	切妻、寄棟	○		3																							○				○						
			166	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Predicting dynamic wind loading on cantilevered canopy roof structures	R.H.Barnard	85	2000	47-57	スタンド											9																								
			201	日大生産学術	開口ドーム屋根を有する建物の風圧係数に関する風洞実験	丸田 栄蔵、神田 亮、杉井 武弘		12.1986	65-68	ドーム(開口率・ライズ・軒高)													11													○		○	○							
			202	BRE Digest	Wind loads on canopy roofs			1986	284	独立上屋(壁有無・積荷有無)	○	○	○	○						8																								
			203	Wind Loading Handbook		C.W.Newberry and K.J.Eaton		1974		独立上屋・スタンド・円弧・ドーム						○	○				9		○																					
			204	ECCS Recommendations	RECOMMENDAT10NS FOR THE CALCULATION OF WIND EFFECTS ON BUILDNGS AND STRUCTURES Technical Committee T12:Wind Effects			1978		各種形状風圧係数	○	○	○	4	○	○													○																
			205	Technical Report	WIND TUNNEL TEST AND ANALYSIS FOR GROUND MOUNTED AIR-SUPOPORTED STRUCTURERS	A.E.Diete, R.B.Proffitt, R.S.Chabot				空気膜ドーム												○		13																					
			206	ANNALES	AERODYNAMIQUE DU BATIMENT ET DES OUVRAGES D'ART	Jerzy WIANECK, Jacques DRIVIERE	N' 298	10.1972	102-111	ドーム(ライズ比、軒高変化)												11																							
			207	J. of the S.D	STATIC WIND LOADS ON CIRCULLAR CONCAVE CABLE R00FS	Gerald R.Seeley, Heinz Stefan, and Paul Christiano,3		8.1974	1593-1609	ケーブル屋根(円筒・くぼみ)					5																														56
			208	BRE Butterworth	The designer's guide to wind loading of building structures Part2 Static structures	N.J.Cook				独立上屋・ドーム	○	○								8			○						○															
			209	その他(論文、報告、書籍、指針他)	フランス館の構造設計	荒弘重、鈴木英夫	33	10.1969	81-84	半球ドーム												11							○				○		○		○								305
			210	その他(論文、報告、書籍、指針他)					259-261	フランス基準による風力係数	1	○				○																					○							
			211	その他(論文、報告、書籍、指針他)					153-161	各国基準による風力係数(風向変化)	○					○	○	○	7																		○	○							
			212	その他(論文、報告、書籍、指針他)	「畜舎・堆肥舎」の風洞実験報告書の概要					畜舎・堆肥舎(風洞実験)	○	○					○	○	○	○									19			○									○			

学会指針参考論文											Ⅰ群																						Ⅱ群					Ⅲ群									
											1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	風洞実験														
1993年版	2004年版	2015年版	文献番号	文献名	タイトル	著者	号	年	ページ	特徴	切妻	片流	寄棟	鋸	円筒	円弧型	独立上屋1面開放	独立上屋2面開放	独立上屋3面開放	独立上屋4面開放	庇(スタンド)	スタジアム	ドーム型	ホルン型	空気膜(1重)	空気膜(2重)	吊屋根・キールアーチ	HP型	連続体	開閉式	その他特殊形	CFD・その他	実測	一様流	一様乱流	境界層流	その他	係数値	分布図	等圧線図	全体空気力	構造軸力	流体軸力	モーメント	摩擦力	その他	日本鋼構造協会風力研究班文献No
											1	2	3	4	5	6	7			8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20														
			213	鹿島技術研究所年報	球形屋根に作用する風圧力 一設計風圧力設定法の提案一	本郷 剛、鈴木 雅靖、土谷学	44	12.1996		球形屋根													11														○		○								
	○	○	301	日本建築学会論文集	円筒形屋根を支える剛な2ヒンジアーチに作用する風圧力並びに風荷重によって生じる応力の特徴	上田 宏、羽 倉弘人、小田富司	496	6.1997	29-35	円弧屋根 (ライズ比・スパン比)					○	6																			○		○				○		○		○	
			302	日本建築学会論文集	球形ドームの屋根面に作用する風圧力の性状と屋根面の動的挙動	小河利行、中山昌尚、村山智	404	1989	95-102	ドーム (球形・ライズ・動特性)													11														○								○	
			303	日本建築学会報告集	開放型ホルン形状張力膜構造の―様流中における風力係数分布	永井佑季、岡田 章、宮里直也、斎藤正男	17	6.2011	499-504	独立上屋 (ホルン・連続体・一様流)										○			12					○							○				○	○	○							
			304	日本建築学会大会	開ロドーム屋根を有する建物の風圧性状 (そ の1 平均風圧の風洞実験)	杉井 武弘、丸田 栄蔵、神田 亮、本間 義教	九州	1989	97-98	ドーム (開口率・ライズ・軒高)													11														○			○	○							
			305	日本建築学会大会	開ロドーム屋根を有する建物の風圧性状 (その2 変動風圧の風洞実験)	丸田 栄蔵、神田 亮、本間 義教、杉井 武弘	九州	1990	99-100	ドーム (開口・開口率)													11														○			○								
○			306	日本建築学会大会	のこぎり屋根を有する建物の風圧係数に関ずる風洞実験 (そ の2)	亀井勇、丸田榮蔵、大谷和男	東北	s.57	2392-2393	のこぎり屋根	○			4																																
			307	日本建築学会大会	多目的ドームの構造設計 (その4 ドーム屋根面に作用する風圧特性)	渡壁守正、渡邉秀仁、荒井豊人、渡部幸宏、山下英利、中村修	北陸	2002	933-934	ドーム													11														○				○							
			308	日本建築学会大会	裁断球面屋根に作用する風圧力のPOD解析	田村淳一、中山昌尚、小河利行、増田圭司	北陸	2002	235-236	ドーム (裁断球面・POD解析)													11														○				○							
			309	日本建築学会大会	片持ち屋根先端部スタビライザ・ルーバーの設計用ピーク外圧係数評価	嶋田健司、堤康一郎、佐藤和広、田村幸雄、中村修、日比一喜	北陸	2002	247-248	片持ち屋根(先端部スタビライザ・ルーバー)											9																○			○								
	○	○	310	日本建築学会大会	円弧屋根に作用する風圧力の特性	菊池 浩利 、上田宏、日比一喜	東海	2003	147-148	円弧屋根 (ライズ比・スパン比)						6																														
			311	日本建築学会大会	円形平面を持つ陸屋根構造骨組の設計用風荷重に関する研究	茂木 剛、植松 康	東海	2003	149-150	陸屋根(円形平面)					5																						○		○					○				
			312	日本建築学会大会	円形平面を持つ陸屋根に作用する風圧のモデル化と風荷重評価への応用	植松 康、 茂木 剛	東海	2003	154-155	陸屋根 (円形平面・風圧モデル化)					5																						○		○									
			313	日本建築学会大会	プラットホーム上家の風圧特性について	佐々木晶邦、片岡 浩人、川口 彰久	東海	2003	155-156	独立上屋 (プラットホーム上家)										8														○	○			○										
			314	日本建築学会大会	しもきた克雪ドーム(仮称)の風荷重検討 (その1)風洞実験による外圧評価	相原 知子、細澤治、浅見豊、水谷太朗、寺崎浩、吉川優	東海	2003	157-158	ドーム													11											○	○			○										
			315	日本建築学会大会	しもきた克雪ドーム(仮称)の風荷重検討 (その2)開口条件を考慮した内圧評価	吉川優、浅見豊、寺崎浩、細澤治、水谷太朗、相原知子	東海	2003	159-160	ドーム (内圧)													11																								
			316	日本建築学会大会	大スパン片持ち屋根の耐風設計 その1 計画建物概要および風力特性	勝村 章、佐藤 和広、田村 幸雄、堤 康一郎、中村 修	東海	2003	163-164	片持ち屋根											9													○				○	○									
			317	日本建築学会大会	大変形を考慮した膜構造物の適正な風荷重評価について	黒木 雅代、黒木 二三夫	東海	2003	959-960	ドーム (大変形時)													11											○				○										
			318	日本建築学会大会	独立上屋の構造骨組用風力係数(切妻および翼型屋根の場合)	飯泉 江梨、植松 康	北海道	2004	85-86	独立上屋 (切妻・翼型)	○									8																○		○										
			319	日本建築学会大会	独立上屋に作用する風圧の特性と外装材用ピーク風力係数	植松 康、飯泉 江梨	北海道	2004	87-88	独立上屋 (ピーク風力係数)										8																○			○									
			320	日本建築学会大会	独立上屋の構造骨組用風力係数 その1 提案した風力係数の妥当性・適用性の検討	中原浩一、植松 康	関東	2006	153-154	独立上屋 (提案値の妥当性・適用性)										8																○		○										
			321	日本建築学会大会	独立上屋の構造骨組用風力係数 その2 片側支持タイプの片流れ屋根について	植松 康、中原浩一	関東	2006	155-156	独立上屋 (片流れ)		○								8																○		○										
			322	日本建築学会大会	大スパン片持ち屋根のユニバーサルな等価静的風荷重に関する新しい試みその1 最大荷重効果の符号	勝村 章、田村 幸雄、中村 修、吉田 智哉*	関東	2006	157-158	片持ち屋根 (等価性的荷重・最大荷重)											9														?												
			323	日本建築学会大会	大スパン構造物の風応答計測および動特性の推定	吉田 昭仁、田村 幸雄、Ji Young Kim、Dae Young Kim	九州	2007	119-120	大スパン屋根 (風応答計測・動特性)																				19		○														
			324	日本建築学会大会	レンズ型二重空気膜構造の強風時の構造挙動について (その1)膜面の風圧測定と性的応答性状	藤川英哲、斉藤公男、岡田章、宮里直也、宮下正人	九州	2007	919-920	空気膜構造(二重膜)															14								○													
			325	日本建築学会大会	レンズ型二重空気膜構造の強風時の構造挙動について (その2)動的応答解析手法の提案および柔模型を用いた風洞実験	宮下正人、斉藤公男、岡田章、宮里直也、水野公義	九州	2007	921-922	空気膜構造(二重膜・柔模型)															14								○													
			326	日本建築学会大会	ホルン型張力膜屋根の風荷重に関する基礎的研究 -ホルン型ユニットの連結配置の影響-	永井佑季 、岡田章 、宮里直也、吉野誠一、大森慎司、斎藤公男	九州	2007	923-924	独立上屋 (ホルン型張力膜屋根)								○		○			12					○							○				○										
			327	日本建築学会大会	片持式スタンドルーフの空力特性に関する基礎的研究 (その1)風洞実験結果と数値流体解析結果の比較	吉野誠一、宮里直也、大森慎司 、永井佑季 、岡田章、斎藤公男	九州	2007	925-926	片持屋根 (数値解析比較)											9														○				○										
			328	日本建築学会大会	片持式スタンドルーフの空力特性に関する基礎的研究 (その2)屋根形状・スタンドの影響	小野晋、宮里直也、斎藤公男、吉野誠一、岡田章、大森慎司	九州	2007	927-928	片持式屋根(屋根形状・スタンドの影響)											9														○				○	○								
			329	日本建築学会大会	片持式スタンドルーフの空力特性に関する基礎的研究 (その3)風荷重低減方法の提案	大森慎司、宮里直也、斎藤公男、吉野誠一、岡田章、永井佑季	九州	2007	929-930	片持屋根 (荷重低減方法)											9														○													
			330	日本建築学会大会	HP型サスペンション膜屋根に作用する風圧力の性状と屋根面の風応答 ーその1実験概要および屋根面に作用する風圧力の性状―	黒川雄太、増田圭司、小河利行、熊谷知彦、中山昌尚、真木英二郎、佐々木康人	中国	2008	947-948	サスペンション膜屋根 (HP型)																	16							○				○	○	○								
			331	日本建築学会大会	連結したホルン型張力膜屋根に関する基礎的研究 (その1)風洞実験に基づく風荷重評価	永井 佑季、斎藤 公男、宮里 直也 、小野 晋 、岡田 章	中国	2008	951-952	独立上屋 (ホルン型張力膜屋根・連結)										○			12					○				○	○				○										
			332	日本建築学会大会	メッシュ膜を用いた独立上屋の設計用風力係数に関する研究	松本 悟、荒勝文雄、植松康、武田文義	東北	2009	199-200	独立上屋 (メッシュ膜)	○	○								8														○						○								
			333	日本建築学会大会	円筒屋根面荷重評価のための流入変動風を用いた有限要素法流体解析 ―その2 円筒屋根面に作用する風圧力の性状―	山下拓三、田淵浩司、熊谷知彦、小河利行	東北	2009	855-856	円弧屋根 (CFD比較)						○															20					○		○									
			334	日本建築学会大会	開放型膜構造建築物の設計用風圧力に関する研究	黒木二三夫	東北	2009	857-858	膜構造 (開放型)	○					○	7	7														○			○			○	○								
			335	日本建築学会大会	大スパン曲面屋根に作用する非定常空気力の特性に関する研究 (その1)非定常空気力の定量評価	中村 真奈、奥田 泰雄、田中 賢嗣、丁 威、植松 康	関東	2011	59-60	円弧屋根 (非定常空気力)						6																○						○									
			336	日本建築学会大会	大スパン曲面屋根に作用する非定常空気力の特性に関する研究 (その 2)流体解析による再現と流れの可視化	田中 賢嗣、奥田 泰雄、中村 真奈、丁 威、植松 康	関東	2011	61-62	円弧屋根 (CFD)						○															20					○		○									

学会指針参考論文											Ⅰ群																						Ⅱ群				Ⅲ群									
											1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	風洞実験													
1993年版	2004年版	2015年版	文献番号	文献名	タイトル	著者	号	年	ページ	特徴	切妻	片流	寄棟	鋸	円筒	円弧型	独立上屋1面開放	独立上屋2面開放	独立上屋3面開放	独立上屋4面開放	庇(スタンド)	スタジアム	ドーム型	ホルン型	空気膜(1重)	空気膜(2重)	吊屋根・キールアーチ	HP型	連続体	開閉式	その他特殊形	CFD・その他	実測	一様流	一様乱流	境界層流	その他	係数値	分布図	等圧線図	全体空気力	構造軸力	流体軸力	モーメント	摩擦力	その他	日本鋼構造協会風力研究班文献No
											1	2	3	4	5	6	7			8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20														
			337	日本建築学会大会	Characteristics of Wind Pressure Fluctuations on Dome-like Roofs: Wind Pressure Coefficients and Power Spectra	Yuan-Lung Lo、Jun Kanda	関東	2011	63-64	ドーム (変動風圧)												11											○					○								
			338	日本建築学会大会	メッシュ膜を用いたHP型独立上屋の風力係数に関する研究	宮本ゆかり、櫻井洋充、植松 康、武田文義	関東	2011	65-66	独立上屋 (HP屋根・メッシュ)										○							16					○					○								
			339	日本建築学会大会	ビーム式空気膜構造の強風時における最適設定内圧に関する基礎的研究 (その1)低内圧時における基本的構造特性の把握	鏑木　雄太 、神崎　聡美、斎藤　公男、岡田　章、宮里　直也	関東	2011	819-820	空気膜構造 (ビーム式・最適設定内圧)														13																					
			340	日本建築学会大会	ビーム式空気膜構造の強風時における最適設定内圧に関する基礎的研究 (その2)静的風荷重時の検討及び最適内圧設定フローの提案	神崎　聡美、鏑木　雄太、斎藤　公男、岡田　章、宮里　直也	関東	2011	821-822	空気膜構造 (ビーム式・最適設定内圧設定法)														13													○		○	○							
			341	日本建築学会大会	ホルン型張力膜構造の風応答性状に着目した設計用風荷重に関する研究(その1) 独立型モデルの風圧力分布性状	松本良太、永井佑季、岡田章、松田歩弓、神田亮、斎藤公男、宮里直也	東海	2012	135-136	ホルン型(単独)										○			12													○		○	○	○						
			342	日本建築学会大会	ホルン型張力膜構造の風応答性状に着目した設計用風荷重に関する研究 (その2) 連結型モデルの風圧力分布性状	上松幸平、永井佑季、岡田章、松田歩弓、神田亮、松本良太、宮里直也、斎藤公男	東海	2012	137-138	ホルン型(連結)										○			12						○							○		○	○	○						
			343	日本建築学会大会	空気膜構造の構造強度に必要な内圧制御に関する研究	加藤 優輝、丸田 榮蔵	東海	2012	145-146	空気膜構造(必要内圧)												○		13										○												○	
			344	日本建築学会大会	大スパン曲面屋根に作用する非定常空気力の数値解析的検討	丁 威、中村 真奈、植松 康	東海	2012	153-154	円弧屋根(CFD)						○																	20				○			○								
			345	日本建築学会大会	耐風性に優れた園芸用鉄骨ハウスの断面形状に関する研究	山口 貴之、金 南昔、植松 康	東海	2012	155-156	園芸ハウス(CFD)																					○	20				○			○		○						
			346	日本建築学会大会	直線推動型HP屋根面に作用する風圧力の性状 -その1 実験及び数値解析概要と変動風圧の特性-	安竹涼平 、熊谷知彦 、綿貫雄太、増田圭司、小河利行 、佐々木康人	東海	2012	933-934	HP屋根																	16									○		○	○							
			347	日本建築学会大会	直線推動型 HP 屋根面に作用する風圧力の性状 - その 2 サグスパン比が風圧力に与える影響 -	綿貫　雄太 、増田　圭司 、小河　利行、佐々木康人、熊谷　知彦	東海	2012	935-936	HP屋根 (サグ比・CFD)																	○						20				○			○	○						
			348	日本建築学会大会	独立したホルン型張力膜構造の境界層乱流中における風洞実験 -風力係数の算出と静的応答解析—	城一裕樹、永井佑季、岡田章、松田歩弓、神田亮、松本良太、宮里直也、斎藤公男	東海	2012	941-942	ホルン型 (独立・応答解析)										○			○										20				○		○		○	○						
			349	日本建築学会大会	メッシュ膜を用いたHP型独立上屋の設計用風力係数に関する研究	宮本ゆかり、植松 康、武田文義	北海道	2013	147-148	独立上屋 (HP型・メッシュ膜)										○							16									○		○	○	○						
			350	日本建築学会大会	HP曲面を有する張力膜構造の風応性状に関する研究 (その1) レイノルズ数が風圧力特性に及ぼす影響	紹谷　友昭、永井　佑季、岡田　章、吉野　誠一、宮里　直也、松本　良太、廣石　秀造、神田　亮	北海道	2013	181-182	独立上屋 (HP曲面・単独)										○							16									○		○	○							
			351	日本建築学会大会	HP曲面を有する張力膜構造の風応答性状に関する研究 (その3) 膜設計用ガスト影響係数Gfmの評価	松本　良太、永井　佑季、岡田　章、吉野　誠一、宮里　直也、紹谷　友昭、廣石　秀造、神田　亮	北海道	2013	185-186	HP曲面										○							16									○		○								
			352	日本建築学会大会	膜構造による片流れ独立上屋の設計用風力係数に関する研究　－様々な荷重効果に基づく検討－	武田文義、吉野達矢、植松 康	北海道	2013	187-188	独立上屋(片流れ・荷重効果)		○								8																	○	○				○					
			353	日本建築学会大会	大スパン園芸用鉄骨ハウスの最適断面形状の検討	金南昔、山口貴之、植松 康	北海道	2013	189-190	大スパン(園芸ハウス・CFD)																					○	20			○			○	○								
			354	日本建築学会大会	畜舎建築物の設計用風荷重に関する研究 その1 構造骨組設計用平均風力係数	小川　秀雄、大熊　武司、丸川 比佐夫、片桐　純治、伊藤　純子	北陸	8.2002	189-190	畜舎(切妻)	○						7	7																			○	○								
			355	日本建築学会大会	畜舎建築物の設計用風荷重に関する研究 その2 構造骨組設計用ガスト影響係数	片桐　純治、小川　秀雄、大熊　武司、伊藤　純子、小林　義幸	北陸	8.2002	191-192	畜舎(切妻)・ガスト影響係数	○						7	7																			○	○	○					○		
			356	日本建築学会大会	畜舎建築物の設計用風荷重に関する研究 その3 屋根被覆材設計用ピーク風力係数	伊藤　純子、小川　秀雄、大熊　武司、丸川 比佐夫、片桐　純治	北陸	8.2002	193-194	畜舎(切妻)・風力計数	○						7	7																			○	○	○	○				○		
			357	日本建築学会大会	平屋根およびドーム屋根をもつ円形構造物に作用する空気力について ー建物に作用する空気力に関する実験的研究(その6)ー		近畿	10.1987	1451-1452	円形構造物(平屋根・ドーム屋根)					○								11													○		○					○		
○			401	BBAA	Design Value Suggestions for Wind Pressure on Basic Dome Shapes	E.MARUTA, K. FUJI, T. HONGO		1988	183-191	ドーム屋根(ライズ・下部構造)												11												○		○		○									
			402	ISBN Rotterdam	Wind force on canopies attached to low—rise buildings	H.Ueda, H.Hagura, H.Hamada		1999	1847-1852	庇 (長さ・幅・壁面位置の影響)										9																○		○		○						
			403	ISBN Rotterdam	Wind pressure distribution on a stadium roof by wind tunnel model test	L.DZhu,W.Chen,Z.C.Shi & F.Zhang		1999	1583-1590	スタジアム屋根											10														○			○								
			404	ISBN Rotterdam	Wind tunnel tests of a cable supported roof of a stadium	R.Jozwiak, J.Kacprzyk, J.A.Zuranski		1999	1511-1517	スタジアム屋根											10														○			○								
			405	ISBN Rotterdam	Wind induced loads on the monumental roof structure of the XII Century , `Palazzo della Ragione'in Padova	C.Borri & L.Facchini		1999	1105-1109	寄棟 (体育館・むくり屋根)			3																						○			○								
			406	ISBN Rotterdam	Wind loads on a group ofradomes	Torben Sondergaard		1999	583-590	ラドーム												11												○			○	○							
			407	WEBS	WIND EFFECTS ON FLOATING SURFACES IN LARGE OPEN TOP STORAGE TANKS	James F. MARCHMAN		1971	327-334	タンク屋根(浮き屋根)																						19														
			408	EACWE Genova	WIND LOADING ON A HYPERBOLIC PARABOLOID SUSPENDED R00F	I.Talvic		1997	1415-1421	8つり屋根(パラボラ)										9															○				○							
			409	3rd-Coll. Ind. Aerody.Aachen	WIND EFFECTS ON A CYLINDRICAL AIR SUPPORTED STRUCTURE	Paolo Spinelli		6.1978	179-193	空気膜ドーム														13																						
			410	4th-Coll. Ind. Aerody. Aachen	WIND LOADING ON THE ROOF OF A RACECOURSE GRANDSTAND	R.A.Sawyer		1980	85-96	庇										9																○			○	○							
			411	4th-Coll. Ind. Aerody. Aachen	Investigation of Flow Induced Oscillations of a Cantilever Roof Model	H.Mankau			75-84	スタンド屋根											10													○				○								
			412	Busan, Kore	Pressure Distribution on Curved Canopy Roof	M.B. Natalini, 0. Canavesio,.B. Natalini		2002	419-425	独立上屋 (円弧屋根)						○				8														?				○	○								
			413	ASCE	WIND LOADS ON DOME— CYLNDER AND DOME— CONE SHAPES	Francis J. Maher		10.1966	79-95	ドーム (半球・下部構造・天空)												11														△			○								47
			414	ASCE	WIND LOADS ON BASIC DOME SHAPES	Francis J. Maher		6.1965	219-228	ドーム												11												△			○								66
			500	風工学シンポジューム論文集	円筒状及び半球状空気膜構造の風による挙動	川村純夫、木本英爾、木内龍彦	6	11.1980	263-270	空気膜ドーム(円筒・半球)					○								○		13										○		○	○								141

学会指針参考論文											Ⅰ群																							Ⅱ群					Ⅲ群								
											1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		風洞実験													
1993年版	2004年版	2015年版	文献番号	文献名	タイトル	著者	号	年	ページ	特徴	切妻	片流	寄棟	鋸	円筒	円弧型	独立上屋1面開放	独立上屋2面開放	独立上屋3面開放	独立上屋4面開放	庇(スタンド)	スタジアム	ドーム型	ホルン型	空気膜(1重)	空気膜(2重)	吊屋根・キールアーチ	HP型	連続体	開閉式	その他特殊形	CFD・その他	実測	一様流	一様乱流	境界層流	その他	係数値	分布図	等圧線図	全体空気力	構造軸力	流体軸力	モーメント	摩擦力	その他	日本鋼構造協会風力研究班文献No
											1	2	3	4	5	6	7			8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20															
			501	風工学シンポジューム論文集	円形陸屋根に作用する風圧力に関する風洞実験	本 郷 剛、吉田 正邦	8	12.1984	159-166	ドーム (下部構造の有無・ライズ変化)												11												○					○								
			502	風工学シンポジューム論文集	大スパン構造物の屋根面に加わる風圧力の機構に関する考察	川村純夫、木本英爾、木内龍彦、田代伸一郎	8	12.1984	153-158	ドーム (半球)												11												○					○								161
			503	風工学シンポジューム論文集	球型空気膜構造に関する風洞実験	石井一夫、鈴木 俊男、中山 昌筒	8	12.1984	145-152	空気膜ドーム(半球・ラドーム他)												○		13																							160
			504	風工学シンポジューム論文集	低ライズケーブル補強空気膜構造の力学性状 に関する実験的研究 一 風圧力の性状と風荷重時の静力学特性について 一	深尾康三、岩佐義輝、又木義浩、2岡 田 章	8	12.1984	137-144	空気膜ドーム												○		13													○					○							159
			505	風工学シンポジューム論文集	ド ーム型開閉膜屋根の風圧・風力性状に関する実験的研究	鈴木 雅靖、吉田 正邦	11	12.1990	31-36	開閉式ドーム (球形)												○								18																	
			506	風工学シンポジューム論文集	開閉式ドーム屋根面に作用する平均風圧力の性状	桶屋眞士、 神山健二、高橋裕治、御厨孝二	11	12.1990	25-30	開閉式ドーム												○								18																	
			507	風工学シンポジューム論文集	大スパン片持ち屋根の風応答に関する研究	義江龍一郎、河井宏允、志村正幸、魏然	14	12.1996	539-544	庇 (片流れ根・勾配)		○								9																	○										
			508	風工学シンポジューム論文集	風とドーム屋根の相互作用に関する数値シミュレーシヨン	望月 勇、小河 利行、中山昌尚、増田 圭司	14	12.1996	211-216	ドーム屋根(CFD・下部構造)												○											20		○	○			○	○								
			509	風工学シンポジューム論文集	スパン100mに及ぶ二重空気膜構造物の風応答観測	増田 圭司、中山昌尚、佐々木康人、小河利行	15	12.1998	515-520	空気膜ドーム(2重膜)												○			14												○						○						
			510	風工学シンポジューム論文集	強制加振中の円筒屋根面に作用する風圧力に関する研究 —半円筒屋根面の場合—	石井 真紀子、山崎 航平、小河 利行、増田 圭司、中山 昌尚	16	11.2000	237-242	円弧屋根 (2次元)						6																							○		○								
			511	風工学シンポジューム論文集	開放型アーチ構造物に作用する風圧力に関する研究	吉川清峰、中下明文、林雅弘、古賀靖広、松本裕二、大熊武	16	11.2000	231-235	独立上屋 (円弧屋根)						○	7	7	7	8																	○					○						
			512	風工学シンポジューム論文集	勾配が比較的小さい独立上屋の構造骨組および外装材用風力係数	植松 康、飯泉 江梨、セォドル スタトポラス	18	12.2004	329-334	独立上屋 (片流・切妻・翼)	○	○								8																	○					○	○					
			601	日本風工学会誌	大型テントの壁面閉鎖による風荷重の増加	西村宏昭,高森浩治,丸山敬	121	10.2009	95-102	テント屋根(風上開放)連棟							○										15		○					○				○	○								
			602	日本風工学会誌	独立上屋の風荷重に関する研究; その4 天井付き屋根の外装材用ピーク風力係数	植松 康, 荒勝文雄, セォドル スタトポラス	116	7.2008	89-98	独立上屋 (Cppeak・天井付・切妻・翼・片流)	○	○								8																	○					○	○	○					
		○	603	日本風工学会誌	独立上屋の風荷重に関する研究;その3 提案した風力係数の妥当性と適用性	植松 康,飯泉 江梨、セォドル スタトポラス	109	10.2006	115-122	独立上屋 (風力係数提案と検証)	○	○								8																	○					○	○					
		○	604	日本風工学会誌	独立上屋の風荷重に関する研究;その2 構造骨組用風力係数	植松 康,飯泉 江梨、セォドル スタトポラス	107	4.2006	35-49	独立上屋 (骨組用風力係数)	○	○								8																	○					○						
		○	605	日本風工学会誌	独立上屋の風荷重に関する研究;その1 外装材用ピーク風力係数	植松 康,飯泉 江梨、セォドル スタトポラス	105	10.2005	81-102	独立上屋 (ピーク風力係数)	○	○								8																	○					○	○	○					
			606	日本風工学会誌	独立上屋の風荷重 その3 屋根下遮蔽物の影響	植 松 康, セオドル スタトポラス, 飯泉江梨	103	4.2005	221-222	独立上屋 (遮蔽物の影響)										8																	○					○	○		○			○			
			607	日本風工学会誌	独立上屋の風荷重 その1 外装材設計用風力係数	永井俊太郎,植 松 康, セオドル スタトポラス, 飯泉江梨	103	4.2005	217-218	独立上屋 (外装材用Cf)										8																	○					○	○	○					
			608	日本風工学会誌	独立上屋の構造骨組用風力係数 (片流れ屋根の場合)	植松 康,飯泉 江梨、セォドル スタトポラス	99	4.2004	161-162	独立上屋 (片流れ)		○								8																	○					○	○		○			○			
			609	日本風工学会誌	球形ドームに作用する風圧のモデル化と風荷重評価への応用	野口 満美, 植松 康	99	4.2004	157-158	ドーム (球形)風圧のモデル化												11															○					○	○	○					
	○		610	日本風工学会誌	独立上屋の構造骨組および外装材設計用風力係数	植松 康	95	4.2003	181-182	独立上屋 (切妻・翼型)	○									8																	○					○	○		○					指針	
	○	○	611	日本風工学会誌	球形ドームの構造骨組および外装材設計用外圧係数	野口 満美, 植松 康	95	4.2003	177-178	ドーム屋根(球形) 軒高・ライズ													11													○						○	○						指針	
			612	日本風工学会誌	Characteristics of Wind Pressures on Large Cantilevered Roofs : Effect of Roof inclination	J.G.Zhao and K. M. Lam	89	10.2001	533-536	片持ち屋根 (屋根傾斜)																						19					○						○						相関	
			613	日本風工学会誌	Wind Loads on Long Low—rise Buildings	J. D. Ginger and J. D. Holmes	89	10.2001	529-532	切妻・円弧屋根 (下部構造の有無)	○					6																					○					○		○	○		○				
			614	日本風工学会誌	膜構造物の風洞実験	浅見 豊	78	1.1999	49-50	膜屋根 (風洞実験相似性)					○									○						○		○			○					○			○						
			615	日本風工学会誌	陸屋根面上に形成される円錐渦のスイッチングについて ーその2 壁面の有無が陸屋根面上の円錐渦に与える影響ー	榊陽一、谷池義人、木内龍彦、谷口徹郎、中井重行、村松大輔	71	4.1997	107-108	独立上屋(片流れ) 一様流		○								8															○		○	○	○										
			616	日本風工学会誌	球形屋根に作用する風圧力に関する実験的研究—その2. 変動風圧係数およびピークファクターについて—	本郷 剛, 鈴木雅靖,土谷学	68	1996	1月14日	ドーム (球形・変動風圧係数他)												11																○	○	○	○								
			617	日本風工学会誌	球形屋根に作用する風圧力に関する実験的研究—その1. 平均風圧に及ぼす無流勾配および利ね強さの影響—	本郷 剛, 鈴木雅靖,土谷学	62	1995	23-33	ドーム (球形・ライズ・軒高)					○								11														○	○	○	○								
			618	日本風工学研究会誌	膜構造物に作用する風力と膜面生じる応力の関係について	河井宏允、小島 修	32	1987	43-44	テンション膜(連棟)														12					○							○		○	○	○							
			619	日本風工学研究会誌	低ライズケーブル補強空気膜構造の構造特性と耐風設計	岩佐義輝、又木義浩、深尾康三、岡田 章	25	9.1985	33-47	空気膜ドーム(補強ケーブル凹凸効果)												○		13													○		○	○	○		○					
			620	日本風工学研究会誌	低ライズケーブル補強空気膜構造に作用する風圧力と強風時の変形性状	岩佐義輝、又木義浩、深尾康三	24	1985	69-70	空気膜ドーム												○		13										○				○	○	○			○					
			621	日本風工学研究会誌	円筒形構造物に作用する風洞実験	本郷 剛、吉田正邦	18	1983	57-58	円筒屋根					5																							○	○				○				
			622	日本風工学会誌	日本における空間構造の形状・構造特性と耐風設計法	植松 康 曾根孝行 野口満美	96	2003	107-116	文献・アンケート調査(固有振動数・減衰定数)																						20														○	
			701	日本膜構造協会研究論文集	HP型独立上屋の設計用風力係数 —膜構造による独立上屋への適用の一考察—	武田文義、吉野達矢、植松康	26	2012	79-92	独立上屋(HP屋根・ライズスパン比・CFD比較)										○								○					20				○		○	○			○	○				
			702	日本膜構造協会研究論文集	ポーラスな独立上屋の設計用風荷重に関する研究 その2 HP型屋根の場合	植松康、宮本 ゆかり、櫻井 洋充、ガウ゛ァンスキ江梨	26	2012	71-78	独立上屋 (HP屋根・ポーラス開口率)										○						○									○		○			○							
			703	日本膜構造協会研究論文集	ポーラスな独立上屋の設計用風荷重に関する研究 その1 切妻・翼型・片流れ屋根の場合	植松 康、櫻井 洋充、宮本ゆかり、ガウ゛ァンスキ江梨	26	2012	63-70	独立上屋 (切妻・ポーラス開口率)	○	○								8																	○		○			○						
			704	日本膜構造協会研究論文集	空気膜構造の作用風圧と構造強度にZ、要な内圧制御に関する基礎的研究 (境界層乱流中における柔模型を用いた風洞実験)	加藤優輝、丸田榮藏	26	2012	51-62	空気膜構造(角丸長方形・柔模型・内圧制御)														13							○					○		○	○								○	
			705	日本膜構造協会研究論文集	空気膜構造の作用風圧と構造強度に必要な内圧制御に関する基礎的研究 (角丸長方形の平面を持つ最少曲面積形態に対する風洞実験)	加藤優輝、丸田榮藏	25	2011	1-16	空気膜構造(角丸長方形平面・ライズ)														13							○				○		○	○									
			706	日本膜構造協会研究論文集	開放型ホルン形状張力膜構造の設計用風荷重に関する基礎的研究 一様流・一様乱流を用いた風洞実験と実験結果を用いた応力変形性状について	永井 佑季、岡田 章 、宮里 直也、福田 隆徳、斎藤公男	24	2010	17-25	独立上屋 (ホルン型・一様乱流)										○				12												○	○		○	○	○								

学会指針参考論文												Ⅰ群																						Ⅱ群					Ⅲ群									
												1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	風洞実験														
1993年版	2004年版	2015年版	文献番号	文献名	タイトル	著者	号	年	ページ	特徴	切妻	片流	寄棟	鋸	円筒	円弧型	独立上屋1面開放	独立上屋2面開放	独立上屋3面開放	独立上屋4面開放	庇(スタンド)	スタジアム	ドーム型	ホルン型	空気膜(1重)	空気膜(2重)	吊屋根・キールアーチ	HP型	連続体	開閉式	その他特殊形	CFD・その他	実測	一様流	一様乱流	境界層流	その他	係数値	分布図	等圧線図	全体空気力	構造軸力	流体軸力	モーメント	摩擦力	その他	日本鋼構造協会風力研究班文献No
											1	2	3	4	5	6	7			8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20															
			707	日本膜構造協会研究論文集	妻面開放型骨組膜構造建築物の設計用風荷重に関する実験的研究	植松 康 高舘 祐貴 ｶﾞｳｧﾝｽｷ江梨	27	2013	15-22	妻面開放型(切妻)・風力係数	○						7	7																		○		○	○	○							
			708	日本膜構造協会研究論文集	メッシュ膜を用いたHP型独立上家の設計用風荷重	植松 康、宮本 ゆかり、ガウ゛アンスキ江梨	27	2013	1-13	独立上屋 (HP屋根)							7	7										○				○				○		○	○		○	○		○		荷重効果	
			709	日本膜構造協会研究論文集	妻面開放型骨組膜構造建築物の構造骨組用風力係数並びに外装材用ピーク風力係数	高舘 祐貴、植松 康、ｶﾞｳｧﾝｽｷ江梨	28	2014		開放壁面 (切妻屋根)	○						7	7																		○		○	○	○		○		○		設計値提案	
			710	日本膜構造協会研究論文集	妻面開放型骨組膜構造建築物の外装材用ピーク風力係数に関する研究	高舘 祐貴、植松 康、ｶﾞｳｧﾝｽｷ江梨	29	2015	1-11	開放壁面 (切妻屋根、外装材ピーク風圧)	○						7	7																		○		○	○	○							設計値提案	
			711	日本膜構造協会研究論文集	曲面屋根を有する独立上家の設計用風荷重に関する研究　その1　円弧型屋根の場合	山村 朗丸、植松 康、高舘 祐貴、	31	2017	11-24	独立上家 (円弧屋根)						○				7													○				○		○	○	○	○	○		○		設計値提案	
			712	日本膜構造協会研究論文集	曲面屋根を有する独立上家の設計用風荷重に関する研究　その2　ドーム型屋根の場合	山村 朗丸、植松 康、	31	2017	25-32	独立上家 (球形ドーム)										7			○									○				○		○	○	○	○	○				設計値提案	
			801	J. of Structural Engineering	Comparison of field and wind tunnel pressure coefficients for a light-frame industrial building	G.Doudak, G.McClure, I.Smith, T.Stathopoulos	135	2009	1301-1304	低層建築物(実測)																					○		○			○			○									
			802	J. of Structural Engineering	Effects of incident flows on wind loads and their combinations on a low-rise building immersed in a long upstream fetch	Y.C.Kim, Y.Tamura	140	2014		低層建築物(風圧係数)																					○					○			○									
			803	J. of Structural Engineering	Influence of surrounding buildings on wind loads acting on low-rise building	Y.C.Kim, A.Yoshida, Y.Tamura	139	2013	275-283	周辺建物による影響																					○					○			○									
			804	J. of Structural Engineering	International comparison of wind tunnel estimates of wind effects on low-rise buildings : Test-related uncertainties	W.P.Fritz, B.Bienkiewicz, B.Cui, O.Flamand, T.C.E.Ho, H.Kikitsu, C.W.Letchford, E.Simiu	134	2008	1887-1890	風洞実験比較	○																									○			○									
			805	J. of Architectural Engineering	Performance of roof tiles under simulated hurricane impact	P.Huang, A.Mirmiran, A.G.Chowdhury, C.Abishdid, T.L.Wang	15	2009	26-34	実物大実験		○																								○				○								
			806	J. of Achitectural Engineering	Wind effects on roofs with high-profile tiles : experimental study	R.Li, A.G.Chowdhury, G.Bitsuamlak, K.R.Gurley	20	2014		実物大実験	○	○	○																							○			○									
			807	J. of Structural Engineering	Wind tunnel studies on sawtooth and monosloped roofs	D.O.Prevatt, B.Cui,	136	2010	1161-1171	鋸型屋根　片流屋根		○		○																					○		○	○	○								
			808	J. of Structural Engineering	Wind-induced cladding and structural loads on low-wood building	I.Zisis, T.Stathopoulos,	135	2009	437-447	低層建築物　屋根瓦	○																									○		○	○	○								

参考資料２　建築形状別の風洞実験論文等の一覧

建築形状分類

Ａ：　切り妻、片流れ、寄せ棟
Ｂ：　のこぎり屋根
Ｃ：　円弧（連棟）
Ｄ：　独立屋根 （FRAT、片流れ、切り妻、HPシェル） １面・２面・３面・４面開放
Ｅ：　庇、スタンド
Ｆ：　スタジアム
Ｇ：　ドーム（閉鎖、開閉）
Ｈ：　ホルン
Ｉ：　HPシェル
Ｊ：　空気膜（一重、二重）
Ｋ：　その他
Ｌ：　規準・指針
（ 外 ）

文献番号（分類）

１００：JWEIA（J. of Wind Engineering Industriaal Aerodynamics,
２００：その他,
３００：日本建築学会,
４００：国際シンポジウム,
５００：風工学シンポジウム,
６００：日本風工学会誌, 日本風工学研究会誌
７００：日本膜構造協会研究論文集,
８００：ASCE（J. of Structural Engineering等）

参考資料２　建築形状別の風洞実験論文等の一覧

建築形状分類　A：切り妻、片流れ、寄せ棟　B：のこぎり屋根　C：円弧（連棟）
D：独立屋根（FRAT、片流れ、切り妻、HPシェル）１面・2面・3面・4面開放
E：庇、スタンド　F：スタジアム　G：ドーム（閉鎖、開閉）
H：ホルン　I：HPシェル　J：空気膜（一重、二重）
K：その他　L：規準・指針　（外）

※文献番号（分類）　100：JWEIA（J. of Wind Engineering Industriaal Aerodynamics,　200：その他,
300：日本建築学会,　400：国際シンポジウム,
500：風工学シンポジウム,　600：日本風工学会誌, 日本風工学研究会誌,
700：日本膜構造協会研究論文集,　800：ASCE（J. of Structural Engineering等）

									Ⅰ群																						Ⅱ群					Ⅲ群									
									1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		実験													
形状分類	文献番号	文献名	タイトル	著者	号	年	ページ	特徴	切妻	片流	寄棟	鋸	円筒	円弧型	独立上屋1面開放	独立上屋2面開放	独立上屋3面開放	独立上屋4面開放	庇（スタンド）	スタジアム	ドーム型	ホルン型	空気膜（1重）	空気膜（2重）	吊屋根・キールアーチ	HP型	連続体	開閉式	その他特殊形	CFD・その他	実測	一様流	一様乱流	境界層流	その他	係数値	分布図	等圧線図	全体空気力	構造軸力	流体軸力	モーメント	摩擦力	その他	日本鋼構造協会風力研究班文献No
									5	1	6	4	6	7	5			28	17	9	29	7	18	2	3	8	0	3	8	10															176
A	110	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Variations of wind prcssurc on hip roofs with roof pitch	Y.L.Xu、G.F Reardon	73	1998	267-284	寄棟屋根（勾配変化）			3																							○			○	○								
A	114	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Peak gust pressures acting on the roof and wall edges of a low-rise building	Y. Uematsu, N. Isyumov	77 78	1998	217-231	切妻屋根	1																																				
A	117	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Effect of geometry on wind pressures on low—rise hip roof buildings	S. Ahmad, K Kumar	90	2002	755-779	寄棟・切妻	○		3																							○				○								
A	121	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Characteristics of fluctuating wind pressure on long low-rise buildings with gable roofs	M.Kanda and E.Maruta	50	1993	173-182	切妻屋根（勾配・辺長比）	○																																				
A	126	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind-induced forces on caves of low buildings	T. Stathopoulos, H. Luchian	52	1994	249-261	切妻屋根（軒の出）	1																									○				○								
A	142	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	The Improved Performance of Hip Roofs in Extreme winds — A Case Study	D. Meecham	41-44	1992	1717-1726	切妻・寄棟屋根	○		3																							○				○								
A	146	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loading on a portal frame agricultural building	E.Savory,N.Toy,S.Dalley and J.Trussler	38	1991	335-345	切妻屋根（高床・軒先丸み）	1																									○				○								
A・外	148	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	The magnitude and distribution of wind— induced pressures on hip and gable roofs	D.Meecham,D.Surry and A.G.Davenport	38	1991	257-272	切妻・寄棟屋根	○		3																							○		○		○	○			○				
A	354	建築学会大会	畜舎建築物の設計用風荷重に関する研究 その1 構造骨組設計用平均風力係数	小川　秀雄、大熊　武司、丸川 比佐夫、片桐　純治、伊藤　純子	北陸	8.2002	189-190	畜舎(切妻)	○						7	7																			○	○											
A	355	建築学会大会	畜舎建築物の設計用風荷重に関する研究 その2 構造骨組設計用ガスト影響係数	片桐　純治、小川　秀雄、大熊　武司、伊藤　純子、小林　義幸	北陸	8.2002	191-192	畜舎(切妻)・ガスト影響係数	○						7	7																			○	○	○					○				
A	356	建築学会大会	畜舎建築物の設計用風荷重に関する研究 その3 屋根被覆材設計用ピーク風力係数	伊藤　純子、小川　秀雄、大熊　武司、丸川 比佐夫、片桐　純治	北陸	8.2002	193-194	畜舎(切妻)・風力計数	○						7	7																			○	○	○					○				
A	613	日本風工学会誌	Wind Loads on Long Low—rise Buildings	J. D. Ginger and J. D. Holmes	89	10.2001	529-532	切妻・円弧屋根（下部構造の有無）	○					6																				○			○		○	○		○				
A	707	日本膜構造協会研究論文集	妻面開放型骨組膜構造建築物の設計用風荷重に関する実験的研究	植松 康 高舘 祐貴 ｶﾞｳｧﾝｽｷ江梨	27	2013	15-22	妻面開放型(切妻)・風力係数	○						7	7																			○		○	○	○							
A	708	日本膜構造協会研究論文集	メッシュ膜を用いたHP型独立上家の設計用風荷重	植松 康、宮本 ゆかり、ガウ"ァンスキ江梨	27	2013	1-13	独立上屋（HP屋根）							7	7										○				○					○		○	○		○	○		○		荷重効果	
A	709	日本膜構造協会研究論文集	妻面開放型骨組膜構造建築物の構造骨組用風力係数並びに外装材用ピーク風力係数	高舘 祐貴、植松 康、ｶﾞｳｧﾝｽｷ江梨	28	2014		開放壁面（切妻屋根）	○						7	7																			○		○	○	○		○		○		設計値提案	
A	710	日本膜構造協会研究論文集	妻面開放型骨組膜構造建築物の外装材用ピーク風力係数に関する研究	高舘 祐貴、植松 康、ｶﾞｳｧﾝｽｷ江梨	29	2015	1-11	開放壁面（切妻屋根、外装材ピーク風圧）	○						7	7																			○		○	○	○						設計値提案	
A	711	日本膜構造協会研究論文集	曲面屋根を有する独立上家の設計用風荷重に関する研究　　その1　円弧型屋根の場合	山村 朗丸、植松 康、高舘 祐貴、	31	2017	11-24	独立上家（円弧屋根）						○				7												○				○		○	○	○	○	○		○		設計値提案	
A	712	日本膜構造協会研究論文集	曲面屋根を有する独立上家の設計用風荷重に関する研究　　その2　ドーム型屋根の場合	山村 朗丸、植松 康、	31	2017	25-32	独立上家（球形ドーム）										7			○									○				○		○	○	○	○	○				設計値提案	
A	801	J. of Structural Engineering	Comparison of field and wind tunnel pressure coefficients for a light-frame industrial building	G.Doudak, G.McClure, I.Smith, T.Stathopoulos	135	2009	1301-1304	低層建築物(実測)																					○		○			○		○									
A	802	J. of Structural Engineering	Effects of incident flows on wind loads and their combinations on a low-rise building immersed in a long upstream fetch	Y.C.Kim, Y.Tamura	140	2014		低層建築物(風圧係数)																					○					○		○									
A	803	J. of Structural Engineering	Influence of surrounding buildings on wind loads acting on low-rise building	Y.C.Kim, A.Yoshida, Y.Tamura	139	2013	275-283	周辺建物による影響																					○					○		○									
A	804	J. of Structural Engineering	International comparison of wind tunnel estimates of wind effects on low-rise buildings : Test-related uncertainties	W.P.Fritz, B.Bienkiewicz, B.Cui, O.Flamand, T.C.E.Ho, H.Kikitsu, C.W.Letchford, E.Simiu	134	2008	1887-1890	風洞実験比較	○																									○		○								○		
A	805	J. of Architectural Engineering	Performance of roof tiles under simulated hurricane impact	P.Huang, A.Mirmiran, A.G.Chowdhury, C.Abishdid, T.L.Wang	15	2009	26-34	実物大実験		○																									○	○									
A	806	J. of Achitectural engineering	Wind effects on roofs with high-profile tiles : experimental study	R.Li, A.G.Chowdhury, G.Bitsuamlak, K.R.Gurley	20	2014		実物大実験	○	○	○																							○			○								
A・B	807	J. of Structural Engineering	Wind tunnel studies on sawtooth and monosloped roofs	D.O.Prevatt, B.Cui,	136	2010	1161-1171	鋸型屋根　片流屋根		○		○																						○		○	○	○								
A	808	J. of Structural Engineering	Wind-induced cladding and structural loads on low-wood building	I.Zisis, T.Stathopoulos,	135	2009	437-447	低層建築物　屋根瓦	○																									○		○	○	○								
B	141	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Codification of Wind Pressure Coefficients for Saw-tooth Roofs	T.Stathopoulos and P.Saathoff	41-44	1992	1727-1738	のこぎり屋根（片流れ）		○		4																						○		○	○	○						○		
B	147	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind pressure on roofs of various geometries	T. Stathopoulos and P.Saathoff	38	1991	273-284	のこぎり屋根（切妻）	○			4																						○		○		○								
B	306	建築学会大会	のこぎり屋根を有する建物の風圧係数に関ずる風洞実験(そ の2)	亀井勇、丸田榮蔵、大谷和男	東北	s.57	2392-2393	のこぎり屋根	○			4																																
C	104	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	MEASUREMENTS OF WIND LOADS ON FULL- SCALE FILM PLASTIC CLAD GREENHOUSES	R.P.HOXEY and G.M.RICHARDSON	16	1984	57-83	温室（円弧・連続）実測						6													○				○					○									38
C	118	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind pressures on permeably and impermeably-clad structures	A.P.Robertson, Ph.Roux, J.Gratraud, G. Scarascia, S.Castellano, M.Dufresne, de Virel, P.Palier	90	2002	461-474	円弧屋根（下部構造無し2D）						6																				○		○										
C	301	建築学会論文集	円筒形屋根を支える剛な2ヒンジアーチに作用する風圧力並びに風荷重によって生じる応力の特徴	上田 宏、羽 倉弘人、小田 富司	496	6.1997	29-35	円弧屋根（ライズ比・スパン比）					○	6																					○		○			○		○			
C	310	建築学会大会	円弧屋根に作用する風圧力の特性	菊池 浩利 、上田宏、日比一喜	東海	2003	147-148	円弧屋根（ライズ比・スパン比）						6																														
C	333	建築学会大会	円筒屋根面荷重評価のための流入変動風を用いた有限要素法流体解析　ーその2　円筒屋根面に作用する風圧力の性状—	山下拓三、田淵浩司、熊谷知彦、小河利行	東北	2009	855-856	円弧屋根（CFD比較）						○																19					○		○								
C	334	建築学会大会	開放型膜構造建築物の設計用風圧力に関する研究	黒木二三夫	東北	2009	857-858	膜構造（開放型）	○					○	7	7															○			○			○	○							
C	335	建築学会大会	大スパン曲面屋根に作用する非定常空気力の特性に関する研究（その1）非定常空気力の定量評価	中村 真奈、奥田 泰雄、田中 賢嗣、丁 威、植松 康	関東	2011	59-60	円弧屋根（非定常空気力）						6																	○					○									

									Ⅰ群																							Ⅱ群				Ⅲ群									
										1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		実験												
形状分類	文献番号	文献名	タイトル	著者	号	年	ページ	特徴	切妻	片流	寄棟	鋸	円筒	円弧型	独立上屋1面開放	独立上屋2面開放	独立上屋3面開放	独立上屋4面開放	庇（スタンド）	スタジアム	ドーム型	ホルン型	空気膜（1重）	空気膜（2重）	吊屋根・キールアーチ	HP型	連続体	開閉式	その他特殊形	CFD・その他	実測	一様流	一様乱流	境界層流	その他	係数値	分布図	等圧線図	全体空気力	構造軸力	流体軸力	モーメント	摩擦力	その他	日本鋼構造協会風力研究班文献No
									5	1	6	4	6	7		5		28	17	9	29	7	18	2	3	8	0	3	8	10														176
C	336	建築学会大会	大スパン曲面屋根に作用する非定常空気力の特性に関する研究 （その 2）流体解析による再現と流れの可視化	田中 賢嗣、奥田 泰雄、中村 真奈、丁 威、植松 康	関東	2011	61-62	円弧屋根 （CFD）						○																19					○		○								
C	412	Busan, Kore	Pressure Distribution on Curved Canopy Roof	M.B. Natalini, 0. Canavesio,,B. Natalini		2002	419-425	独立上屋 （円弧屋根）						○				8														?					○	○							
C・G	510	風工学シンポジューム論文集	強制加振中の円筒屋根面に作用する風圧力に関する研究 —半円筒屋根面の場合—	石井 真紀子、山崎 航平、小河 利行、増田 圭司、中山 昌尚	16	11.2000	237-242	円弧屋根 （2次元）						6																				○		○								
D	107	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	A FULL-SCALE STUDY OF WIND LOADS ON AGRICULTURAL RIDGED CANOPY R00F STRUCTURES AND PROPOSALS FOR DESIGN	A.P.ROBERTSON, R.P.HOXEY and P.MORAN	21	1985	167-205	独立上屋 （切妻・遮蔽壁・積荷の影響）	○						7		7	8												○					○										
D	119	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind tunnel modelling of mean pressures on planar canopy roof	B.Natalini,J.0.PIlarighetti,M. B.Natalini	90	2002	427-439	独立上屋（切妻　けらば壁あり）	○									8															○			○								
D	122	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loads on planar canopy roofs— Part I: Mean pressure distributions	C.W.Letchford and J.D. Ginger	45	1992	25-45	独立上屋(切妻) Cpmean	○									8															○		○	○								
D	123	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loads on planar canopy roofs ,Part 2: Fluctuating pressure distributions and correlations	J.D. Gingcr and C.W.Letchford	51	1994	353-370	独立上屋（切妻） Cppeak	○									8															○		○	○								
D	160	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loads on free-standing canopy roofs; Part 1 local wind pressures	Yasushi Uematsu , Theodore Stathopoulos , Eri Iizumi	96	2008	1015-1028	独立上屋(切妻、片流れ)	○	○								8																									
D	162	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loads on free-standing canopy roofs; Part 2 overall wind forces	Yasushi Uematsu , Theodore Stathopoulos , Eri Iizumi	96	2008	1029-1042	独立上屋(切妻、片流れ)	○	○								8																									
D	164	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Mean loads on vaulted canopy roofs	M.B.Natalini , C.Morel , B.Natalini	119	2013	102-113	独立上屋(円弧屋根)						○				8															○		○	○	○						
D	165	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Mean wind loads on porous canopy roofs	C.W.Letchford , A.Row , A.Vitale , J.Wolbers	84	2000	197-213	切妻、寄棟	○		3																						○				○						
D	212	その他（論文、報告、書籍、指針他）	「畜舎・堆肥舎」の風洞実験報告書の概要					畜舎・堆肥舎(風洞実験)	○	○					○	○	○	○											18			○									○			
D	318	建築学会大会	独立上屋の構造骨組用風力係数（切妻および翼型屋根の場合）	飯泉 江梨、植松 康	北海道	2004	85-86	独立上屋 （切妻・翼型）	○									8																	○									
D	319	建築学会大会	独立上屋に作用する風圧の特性と外装材用ピーク風力係数	植松 康、飯泉 江梨	北海道	2004	87-88	独立上屋 (ピーク風力係数)										8															○			○								
D	320	建築学会大会	独立上屋の構造骨組用風力係数 その1 提案した風力係数の妥当性・適用性の検討	中原浩一、植松 康	関東	2006	153-154	独立上屋 （提案値の妥当性・適用性）										8															○		○									
D	321	建築学会大会	独立上屋の構造骨組用風力係数 その2 片側支持タイプの片流れ屋根について	植松 康、中原浩一	関東	2006	155-156	独立上屋 （片流れ）		○								8															○		○									
D	332	建築学会大会	メッシュ膜を用いた独立上屋の設計用風力係数に関する研究	松本 悟、荒勝文雄、植松 康、武田文義	東北	2009	199-200	独立上屋 (メッシュ膜)	○	○								8													○					○								
D	512	風工学シンポジューム論文集	勾配が比較的小さい独立上屋の構造骨組および外装材用風力係数	植松 康、飯泉 江梨、セォドル スタトポラス	18	12.2004	329-334	独立上屋 （片流・切妻・翼）	○	○								8															○			○	○							
D	602	日本風工学会誌	独立上屋の風荷重に関する研究: その4 天井付き屋根の外装材用ピーク風力係数	植松 康, 荒勝文雄, セォドル スタトポラス	116	7.2008	89-98	独立上屋 （Cppeak・天井付・切妻・翼・片流）	○	○								8															○		○	○	○							
D	603	日本風工学会誌	独立上屋の風荷重に関する研究:その3 提案した風力係数の妥当性と適用性	植松 康,飯泉 江梨、セォドル スタトポラス	109	10.2006	115-122	独立上屋 （風力係数提案と検証）	○	○								8															○		○	○								
D	604	日本風工学会誌	独立上屋の風荷重に関する研究:その2 構造骨組用風力係数	植松 康,飯泉 江梨、セォドル スタトポラス	107	4.2006	35-49	独立上屋 （骨組用風力係数）	○	○								8															○			○								
D	605	日本風工学会誌	独立上屋の風荷重に関する研究:その1 外装材用ピーク風力係数	植松 康,飯泉 江梨、セォドル スタトポラス	105	10.2005	81-102	独立上屋 （ピーク風力係数）	○	○								8															○		○	○	○							
D	606	日本風工学会誌	独立上屋の風荷重 その3 屋根下遮蔽物の影響	植 松 康, セォドル スタトポラス, 飯泉江梨	103	4.2005	221-222	独立上屋 （遮蔽物の影響）										8															○		○	○		○			○			
D	607	日本風工学会誌	独立上屋の風荷重 その1 外装材設計用風力係数	永井俊太郎,植 松 康, セォドル スタトポラス, 飯泉江梨	103	4.2005	217-218	独立上屋 （外装材用Cf）										8															○		○	○	○							
D	608	日本風工学会誌	独立上屋の構造骨組用風力係数 （片流れ屋根の場合）	植松 康,飯泉 江梨、セォドル スタトポラス	99	4.2004	161-162	独立上屋 （片流れ）		○								8															○		○	○		○			○			
D	610	日本風工学会誌	独立上屋の構造骨組および外装材設計用風力係数	植松 康	95	4.2003	181-182	独立上屋 （切妻・翼型）	○									8															○		○	○		○					指針	
D	615	日本風工学会誌	陸屋根面上に形成される円錐渦のスイッチングについてーその2 壁面の有無が陸屋根面上の円錐渦に与える影響ー	榊陽一、谷池義人、木内龍彦、谷口徹郎、中井重行、村松大輔	71	4.1997	107-108	独立上屋（片流れ） 一様流		○								8														○			○	○	○							
D	703	膜構造研究論文集	ポーラスな独立上屋の設計用風荷重に関する研究 その1 切妻・翼型・片流れ屋根の場合	植松 康、櫻井 洋充、宮本ゆかり、ガウ"ァンスキ江梨	26	2012	63-70	独立上屋 （切妻・ポーラス開口率）	○	○								8															○		○				○					
E	106	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	REDUCTI0N OF WIND LOADS ON A GRANDSTAND R00F	N.J.COOK	10	1982	373-380	スタンド屋根 Cp, Cppeak											9														○			○								27
E	109	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loads on attached canopies and their effect on the pressure distribution over arch—roof industrial buildings	M. J.Paluch, A.M.Loredo-Souza, and J.Blesslnann	91	2003	975-994	円弧屋根 （工場・庇効果）						○					9														○		○	○		○	○					
E	116	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Occurrence of peak lifting actions on a large horizontal cantilevered roof	K.M..Lam, J.G.Zhao	90	2002	897-940	独立上屋 （片流れ・風下壁ありなし）		○								8															○			○	○							
E	309	建築学会大会	片持ち屋根先端部スタビライザ・ルーバーの設計用ピーク外圧係数評価	嶋田健司、堤康一郎、佐藤和広、田村幸雄、中村修、日比一喜	北陸	2002	247-248	片持ち屋根(先端部スタビライザ・ルーバー)											9														○			○								
E	316	建築学会大会	大スパン片持ち屋根の耐風設計 その1　計画建物概要および風力特性	勝村 章、佐藤 和広、田村 幸雄、堤 康一郎、中村 修		2003	163-164	片持ち屋根											9												○				○	○								
E	327	建築学会大会	片持式スタンドルーフの空力特性に関する基礎的研究 (その1)風洞実験結果と数値流体解析結果の比較	吉野誠一、宮里直也、大森慎司 、永井佑季 、岡田章、斎藤公男	九州	2007	925-926	片持屋根 （数値解析比較）											9													○				○								
E	328	建築学会大会	片持式スタンドルーフの空力特性に関する基礎的研究 (その2)屋根形状・スタンドの影響	小野晋、宮里直也、斎藤公男、吉野誠一、岡田章、大森慎司	九州	2007	927-928	片持式屋根（屋根形状・スタンドの影響）											9													○				○	○							
E	402	ISBN Rotterdam	Wind force on canopies attached to low—rise buildings	H.Ueda, H.Hagura, H.Hamada		1999	1847-1852	庇 （長さ・幅・壁面位置の影響）											9														○		○			○						
E	410	4th-Coll. Ind. Aerody. Aachen	WIND LOADING ON THE ROOF OF A RACECOURSE GRANDSTAND	R.A.Sawyer		1980	85-96	庇											9														○			○	○							
E	411	4th-Coll. Ind. Aerody. Aachen	Investigation of Flow Induced Oscillations of a Cantilever Roof Model	H.Mankau			75-84	スタンド屋根												10												○			○								
E	507	風工学シンポジューム論文集	大スパン片持ち屋根の風応答に関する研究	義江龍一郎、河井宏允、志村正幸、魏然	14	12.1996	539-544	庇 （片流れ根・勾配）		○									9																○								
E	612	日本風工学会誌	Characteristics of Wind Pressures on Large Cantilevered Roofs: Effect of Roof inclination	J.G.Zhao and K. M. Lam	89	10.2001	533-536	片持ち屋根 （屋根傾斜）																					18				○				○					相関	

									Ⅰ群																							Ⅱ群					Ⅲ群									
										1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		実験													
形状分類	文献番号	文献名	タイトル	著者	号	年	ページ	特徴	切妻	片流	寄棟	鋸	円筒	円弧型	独立上屋1面開放	独立上屋2面開放	独立上屋3面開放	独立上屋4面開放	庇（スタンド）	スタジアム	ドーム型	ホルン型	空気膜（1重）	空気膜（2重）	吊屋根・キールアーチ	HP型	連続体	開閉式	その他特殊形	CFD・その他	実測	一様流	一様乱流	境界層流	その他	係数値	分布図	等圧線図	全体空気力	構造軸力	流体軸力	モーメント	摩擦力	その他	日本鋼構造協会風力研究班文献No
									5	1	6	4	6	7		5		28	17	9	29	7	18	2	3	8	0	3	8	10															176
F	108	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Fluctuating and mean pressure measurements on a stadium covering in wind tunnel	J.Marighetti,A.Wittwer,M.De Bortoli,,B.Natalini,,M.Paluch, M.Natalini	84	2000	321-328	スタジアム屋根（壁あり無し）												10														○		○		○							
F	113	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	The aerodynamics of a hangar membrane roof	M.Kazakevitch	77 78	1998	157-169	吊膜屋根（サグ）																	15								○		○	○	○		○					
F	403	ISBN Rotterdam	Wind pressure distribution on a stadium roof by wind tunnel model test	L.DZhu,W.Chen,Z.C.Shi & F.Zhang		1999	1583-1590	スタジアム屋根												10														○			○								
F	404	ISBN Rotterdam	Wind tunnel tests of a cable supported roof of a stadium	R.Jozwiak, J.Kacprzyk, J.A.Zuranski		1999	1511-1517	スタジアム屋根												10														○			○								
F	408	EACWE Genova	WIND LOADING ON A HYPERBOLIC PARABOLOID SUSPENDED R00F	I.Talvic		1997	1415-1421	8つり屋根（パラボラ）											9														○				○							
G	102	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	WIND TUNNEL STUDIES ON A DOME IN TURBULENT BOUNDARY LAYERS	N. TOY, W.D. MOSS and E. SAVORY	11	1983	201-212	ドーム（半球），境界層厚δ効果													11												○				○	○						
G	128	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loads of and wind-induced dynamic behavior of a single-layer latticed dome	Y. Uematsu,N. Yamada,A. Inoue,T. Hongo	66	1997	227-248	ドーム（下部構造・ライズ変化）													11																							
G	129	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Researches on wind effects on domes in Brazil	J.Blessmann	65	1996	167-177	ドーム（壁開放）													11												○		○	○	○	○						
G	132	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind pressures on a hemispherical dome	T.J.Taylor	40	1991	199-213	ドーム（半球・下部構造有り無し）													11												○			○	○							
G	133	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Characteristics of wind pressure on special Large dome	S.Kawamura, T.Kiuchi, T.mochizuki	41-44	1992	1511-1512	ドーム（半球・3/4球・釣鐘）													11												○		○		○							
G	201	日大生産学術	開ロドーム屋根を有する建物の風圧係数に関する風洞実験	丸田 栄蔵、神田 亮、杉井 武弘		12.1986	65-68	ドーム（開口率・ライズ・軒高）													11												○		○	○								
G	213	鹿島技術研究所年報	球形屋根に作用する風圧力 ー設計風圧力設定法の提案ー	本郷 剛、鈴木 雅靖、土谷 学	44	12.1996		球形屋根													11												○		○									
G	302	建築学会論文集	球形ドームの屋根面に作用する風圧力の性状と屋根面の動的挙動	小河利行、中山昌尚、村山智	404	1989	95-102	ドーム（球形・ライズ・動特性）													11												○		○	○							○	
G	304	建築学会大会	開ロドーム屋根を有する建物の風圧性状（その1 平均風圧の風洞実験）	杉井 武弘、丸田 栄蔵、神田 亮、本間 義教	九州	1989	97-98	ドーム（開口率・ライズ・軒高）													11												○			○	○							
G	305	建築学会大会	開ロドーム屋根を有する建物の風圧性状（その2 変動風圧の風洞実験）	丸田 栄蔵、神田 亮、本間 義教、杉井 武弘	九州	1990	99-100	ドーム（開口・開口率）													11												○			○								
G	307	建築学会大会	多目的ドームの構造設計（その4 ドーム屋根面に作用する風圧特性）	渡壁守正、渡邉秀仁、荒井豊人、渡部幸宏、山下英利、中村修	北陸	2002	933-934	ドーム													11												○				○							
G	308	建築学会大会	裁断球面屋根に作用する風圧力のPOD解析	田村淳一、中山昌尚、小河利行、増田圭司	北陸	2002	235-236	ドーム（裁断球面・POD解析）													11												○				○							
G	314	建築学会大会	しもきた克雪ドーム（仮称）の風荷重検討（その1）風洞実験による外圧評価	相原 知子、細澤治、浅見豊、水谷太朗、寺崎浩、吉川優	東海	2003	157-158	ドーム													11										○	○			○										
G	315	建築学会大会	しもきた克雪ドーム（仮称）の風荷重検討（その2）開口条件を考慮した内圧評価	吉川優、浅見豊、寺崎浩、細澤治、水谷太朗、相原知子	東海	2003	159-160	ドーム（内圧）													11																							
G	317	建築学会大会	大変形を考慮した膜構造物の適正な風荷重評価について	黒木　雅代、黒木　二三夫	東海	2003	959-960	ドーム（大変形時）													11											○					○							
G	337	建築学会大会	Characteristics of Wind Pressure Fluctuations on Dome-like Roofs: Wind Pressure Coefficients and	Yuan-Lung Lo、Jun Kanda	関東	2011	63-64	ドーム（変動風圧）													11										○						○							
G	357	建築学会大会	平屋根およびドーム屋根をもつ円形構造物に作用する空気力について ー建物に作用する空気力に関する実験的研究（その6）ー		近畿	10.1987	1451-1452	円形構造物（平屋根・ドーム屋根）					○								11														○		○				○			
G	401	BBAA	Design Value Suggestions for Wind Pressure on Basic Dome Shapes	E.MARUTA, K. FUJI, T. HONGO		1988	183-191	ドーム屋根（ライズ・下部構造）													11											○		○		○								
G	413	ASCE	WIND LOADS ON DOME— CYLNDER AND DOME— CONE SHAPES	Francis J. Maher		10.1966	79-95	ドーム（半球・下部構造・天空）													11												△				○							47
G	501	風工学シンポジューム論文集	円形陸屋根に作用する風圧力に関する風洞実験	本 郷 剛、吉田 正邦	8	12.1984	159-166	ドーム（下部構造の有無・ライズ変化）													11											○					○							
G	502	風工学シンポジューム論文集	大スパン構造物の屋根面に加わる風圧力の機構に関する考察	川村純夫、木本英爾、木内龍彦、田代伸一郎	8	12.1984	153-158	ドーム（半球）													11										○						○							161
G	504	風工学シンポジューム論文集	低ライズケーブル補強空気膜構造の力学性状 に関する実験的研究 ー 風圧力の性状と風荷重時の静力学特性について ー	深尾康三、岩佐義輝、又未義浩、岡 田 章	8	12.1984	137-144	空気膜ドーム													○		13												○			○							159
G	505	風工学シンポジューム論文集	ド ーム型開閉膜屋根の風圧・風力性状に関する実験的研究	鈴木 雅靖、吉田 正邦	11	12.1990	31-36	開閉式ドーム（球形）													○							17									○							
G	506	風工学シンポジューム論文集	開閉式ドーム屋根面に作用する平均風圧力の性状	桶屋眞士、神山健二、高橋裕治、御厨孝二	11	12.1990	25-30	開閉式ドーム													○							17									○							
G	508	風工学シンポジューム論文集	風とドーム屋根の相互作用に関する数値シミュレーション	望月 勇、小河 利行、中山 昌尚、増田 圭司	14	12.1996	211-216	ドーム屋根（CFD・下部構造）													○									19		○	○			○	○							
G	509	風工学シンポジューム論文集	スパン100mに及ぶ二重空気膜構造物の風応答観測	増田 圭司、中山昌尚、佐々木康人、小河利行	15	12.1998	515-520	空気膜ドーム（2重膜）													○			14										○				○							
G・C	510	風工学シンポジューム論文集	強制加振中の円筒屋根面に作用する風圧力に関する研究　—半円筒屋根面の場合—	石井 真紀子、山崎 航平、小河 利行、増田 圭司、中山 昌尚	16	11.2000	237-242	円弧屋根（2次元）						6																					○		○							
G・外	609	日本風工学会誌	球形ドームに作用する風圧のモデル化と風荷重評価への応用	野口 満美, 植松 康	99	4.2004	157-158	ドーム（球形）風圧のモデル化													11												○		○	○	○							
G	611	日本風工学会誌	球形ドームの構造骨組および外装材設計用外圧係数	野口 満美, 植松 康	95	4.2003	177-178	ドーム屋根（球形）軒高・ライズ													11												○			○	○					指針		
G	616	日本風工学会誌	球形屋根に作用する風圧力に関する実験的研究 —その2. 変動風圧係数およびピークファクターについて—	本郷 剛, 鈴木雅靖,土谷 学	68	1996	1月14日	ドーム（球形・変動風圧係数他）													11													○	○	○	○						
G	617	日本風工学会誌	球形屋根に作用する風圧力に関する実験的研究 —その1. 平均風圧に及ぼす気流勾配および乱れ強さの影響—	本郷 剛, 鈴木雅靖,土谷 学	62	1995	23-33	ドーム（球形・ライズ・軒高）					○								11													○	○	○	○						
G	621	日本風工学研究会誌	円筒形構造物に作用する風洞実験	本郷 剛、吉田正邦	18	1983	57-58	円筒屋根					5																							○	○				○				
H	303	建築学会報告集	開放型ホルン形状張力膜構造の—様流中における風力係数分布	永井佑季、岡田 章、宮里直也、斎藤正男	17	6.2011	499-504	独立上屋（ホルン・連続体・一様流）										○				12					○					○				○	○	○							
H	326	建築学会大会	ホルン型張力膜屋根の風荷重に関する基礎的研究 -ホルン型ユニットの連結配置の影響-	永井佑季 、岡田章 、宮里直也、吉野誠一、大森慎司、斎藤公男	九州	2007	923-924	独立上屋（ホルン型張力膜屋根）								○		○				12					○					○				○									
H	331	建築学会大会	連結したホルン型張力膜屋根に関する基礎的研究（その1）風洞実験に基づく風荷重評価	永井佑季、斎藤公男、宮里直也 、小野晋 、岡田　章	中国	2008	951-952	独立上屋（ホルン型張力膜屋根・連結）										○				12					○				○	○				○									

									Ⅰ群																							Ⅱ群					Ⅲ群									
									1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		実験														
形状分類	文献番号	文献名	タイトル	著者	号	年	ページ	特徴	切妻	片流	寄棟	鋸	円筒	円弧型	独立上屋1面開放	独立上屋2面開放	独立上屋3面開放	独立上屋4面開放	庇（スタンド）	スタジアム	ドーム型	ホルン型	空気膜（1重）	空気膜（2重）	吊屋根・キールアーチ	HP型	連続体	開閉式	その他特殊形	CFD・その他	実測	一様流	一様乱流	境界層流	その他	係数値	分布図	等圧線図	全体空気力	構造軸力	流体軸力	モーメント	摩擦力	その他	日本鋼構造協会風力研究班文献No
									5	1	6	4	6	7		5		28	17	9	29	7	18	2	3	8	0	3	8	10															176
H	341	建築学会大会	ホルン型張力膜構造の風応答性状に着目した設計用風荷重に関する研究(その1) 独立型モデルの風圧力分布性状	松本良太、永井佑季、岡田章、松田歩弓、神田亮、斎藤公男、宮里直也	東海	2012	135-136	ホルン型(単独)										○				12												○		○	○	○							
H	342	建築学会大会	ホルン型張力膜構造の風応答性状に着目した設計用風荷重に関する研究 (その2) 連結型モデルの風圧力分布性状	上松幸平、永井佑季、岡田章、松田歩弓、神田亮、松本良太、宮里直也、斎藤公男	東海	2012	137-138	ホルン型（連結）										○				12					○							○		○	○	○							
H	348	建築学会大会	独立したホルン型張力膜構造の境界層乱流中における風洞実験 -風力係数の算出と静的応答解析—	城一裕樹、永井佑季、岡田章、松田歩弓、神田亮、松本良太、宮里直也、斎藤公男	東海	2012	941-942	ホルン型 (独立・応答解析)										○				○									19				○		○		○	○						
H	601	風工学会誌	大型テントの壁面閉鎖による風荷重の増加	西村宏昭,高森浩治,丸山 敬	121	10.2009	95-102	テント屋根（風上開放）連棟							○										15		○					○				○	○							
H	618	風工学会誌	膜構造物に作用する風力と膜面生じる応力の関係について	河井宏允、小島 修	32	1987	43-44	テンション膜（連棟）														12					○							○		○	○	○						
H	706	膜構造研究論文集	開放型ホルン形状張力膜構造の設計用風荷重に関する基礎的研究 ー様流・一様乱流を用いた風洞実験と実験結果を用いた応力変形性状について	永井 佑季、岡田 章 、宮里 直也、福田 隆徳、斎藤 公男				独立上屋 （ホルン型・一様乱流）										○				12											○	○		○	○	○							
I	163	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	The point and area-averaged wind pressure influenced by conical vortices on saddle roofs	Xin Dong , Jihong Ye	101	2012	67-84	HP屋根																		16								○			○							
I	330	建築学会大会	HP型サスペンション膜屋根に作用する風圧力の性状と屋根面の風応答 ーその１実験概要および屋根面に作用する風圧力の性状—	黒川雄太、増田圭司、小河利行、熊谷知彦、中山昌尚、真木英二郎、佐々木康人	中国	2008	947-948	サスペンション膜屋根 （ HP型）														16											○			○	○	○							
I	338	建築学会大会	メッシュ膜を用いたHP型独立上屋の風力係数に関する研究	宮本ゆかり、櫻井洋充、植松 康、武田文義	関東	2011	65-66	独立上屋 （HP屋根・メッシュ）										○								16					○						○								
I	346	建築学会大会	直線推動型HP屋根面に作用する風圧力の性状 -その１ 実験及び数値解析概要と変動風圧の特性-	安竹涼平 、熊谷知彦 、綿貫雄太、増田圭司、小河利行 、佐々木康人	東海	2012	933-934	HP屋根														16												○			○	○							
I	347	建築学会大会	直線推動型 HP 屋根面に作用する風圧力の性状 - その 2 サグスパン比が風圧力に与える影響 -	綿貫 雄太 、増田 圭司 、小河 利行、佐々木康人、熊谷 知彦	東海	2012	935-936	HP屋根 （サグ比・CFD）																		○				19				○			○	○							
I	349	建築学会大会	メッシュ膜を用いたHP型独立上屋の設計用風力係数に関する研究	宮本ゆかり、植松 康、武田文義	北海道	2013	147-148	独立上屋 （HP型・メッシュ膜）										○								16								○		○	○	○						
I	352	建築学会大会	膜構造による片流れ独立上屋の設計用風力係数に関する研究　　ー様々な荷重効果に基づく検討ー	武田文義、吉野達矢、植松 康	北海道	2013	187-188	独立上屋（片流れ・荷重効果）		○								8																	○	○			○					
I	701	膜構造研究論文集	HP型独立上屋の設計用風力係数 —膜構造による独立上屋への適用の一考察—	武田文義、吉野達矢、植松康	26	2012	79-92	独立上屋（HP屋根・ライズスパン比・CFD比較）										○								○				19				○		○	○			○	○				
I	702	膜構造研究論文集	ポーラスな独立上屋の設計用風荷重に関する研究 その2 HP型屋根の場合	植松康、宮本 ゆかり、櫻井 洋充、ガウ゛ァンスキ 江梨	26	2012	71-78	独立上屋 （HP屋根・ポーラス開口率）										○								○								○		○			○					
J	101	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	FLOW OVER SPHERICAL INFLATED BUILDINGS	B.G.NEWMAN , U.GANGULI and S.C.SHRIVASTAVA	17	1984	305-327	空気膜ドーム													○		13											○				○						○	42
J	151	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	WIND INDUCED RESPONSE OF LOW—PROFILE CABLE—REINFORCED AIR—SUPPORTED STRUCTURES	Y.MATAKI, Y.IWASA, Y.FUKAO AND A.OKADA	29	1988	253-262	空気膜 （下部構造有り）															13											○				○						○	
J	155	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	AN EXPERIMENTAL STUDY OF A ONE-MEMBRANE TYPE PNEUMATIC STRUCTURE— WIND LOAD AND RESPONSE	S.KAWAMURA and T.KIUCHI	23	1986	127-140	空気膜ドーム （半球・長方楕円）													○		13									○			○		○							○	
J	209	その他（論文、報告、書籍、指針他）	フランス館の構造設計	荒弘重、鈴木英夫	33	10.1969	81-84	半球ドーム													11						○				○		○			○								305
J	339	建築学会大会	ビーム式空気膜構造の強風時における最適設定内圧に関する基礎的研究 (その1)低内圧時における基本的構造特性の把握	鏑木 雄太 、神﨑 聡美、斎藤 公男、岡田 章、宮里 直也	関東	2011	819-820	空気膜構造 （ビーム式・最適設定内圧）															13																						
J	406	ISBN Rotterdam	Wind loads on a group ofradomes	Torben Sondergaard		1999	583-590	ラドーム													11													○				○	○						
J	500	風工学シンポジューム論文集	円筒状及び半球状空気膜構造の風による挙動	川村純夫、木本英爾、木内龍彦	6	11.1980	263-270	空気膜ドーム（円筒・半球）					○								○		13											○		○	○							141
J	503	風工学シンポジューム論文集	球型空気膜構造に関する風洞実験	石井一夫、鈴木俊男、中山昌筒	8	12.1984	145-152	空気膜ドーム（半球・ラドーム他）													○		13																					160
J	614	日本風工学会誌	膜構造物の風洞実験	浅見 豊	78	1.1999	49-50	膜屋根 （風洞実験相似性）					○										○						○		○			○			○			○				
J	619	日本風工学研究会誌	低ライズケーブル補強空気膜構造の構造特性と耐風設計	岩佐義輝、又木義浩、深尾康三、岡田 章	25	9.1985	33-47	空気膜ドーム（補強ケーブル凹凸効果）													○		13											○		○	○	○		○				
J	620	日本風工学研究会誌	低ライズケーブル補強空気膜構造に作用する風圧力と強風時の変形性状	岩佐義輝、又木義浩、深尾康三	24	1985	69-70	空気膜ドーム													○		13								○				○	○	○			○				
J	704	膜構造研究論文集	空気膜構造の作用風圧と構造強度にZ、要な内圧制御に関する基礎的研究 (境界層乱流中における柔模型を用いた風洞実験)	加藤優輝、丸田榮藏	26	2012	51-62	空気膜構造（角丸長方形・柔模型・内圧制御）															13							○				○		○	○						○	
J	705	膜構造研究論文集	空気膜構造の作用風圧と構造強度に必要な内圧制御に関する基礎的研究 (角丸長方形の平面を持つ最少曲面積形態に対する風洞実験)	加藤優輝、丸田榮藏	25	2011	1-16	空気膜構造（角丸長方形平面・ライズ）															13							○		○				○	○							
K	144	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind Pressures on Buildings with Multi—Level Roofs	T. Stathopoulos and H.D.Luchian	36	1990	1299-1308	階段型建物																						18				○			○	○						
K	150	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	WIND LOADS ON CIRCULAR STORAGE BINS,SILOS AND TANKS:1POINT PRESSURE MEASUREMENTS ON ISOLATED STRUCTURES	P.A.MACDONALD, K.C.S.KWOK , J.D .HOLMES	31	1988	165-188	円錐屋根（サイロ） 軒高さ変化																						18					○		○	○						
K	153	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	DESIGN PRESSURE DISTRIBUT10N ON CIRCULAR SILOS WITH CONICAL R00FS	I.J.SABRANSKY and W.H.MELBOURNE	26	1987	65-84	円錐屋根（サイロ） 勾配・ライズ																						18				○			○	○	○					
K	154	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	STEADY WIND PRESSURES ON SOLAR COLLECTORS ON FLAT-R00FED BUILDINGS	A.RADU,E.AXINTE and C.THEOHARI	23	1986	249-258	ソーラパネル（屋上）																						18				○		○			○					
K	313	建築学会大会	プラットホーム上家の風圧特性について	佐々木晶邦、片岡浩人、川口彰久	東海	2003	155-156	独立上屋 （プラットホーム上家）										8													○	○				○								
K	345	建築学会大会	耐風性に優れた園芸用鉄骨ハウスの断面形状に関する研究	山口貴之、金 南昔、植松 康	東海	2012	155-156	園芸ハウス(CFD)																						○	19				○			○		○				
K	353	建築学会大会	大スパン園芸用鉄骨ハウスの最適断面形状の検討	金 南昔、山口貴之、植松 康	北海道	2013	189-190	大スパン(園芸ハウス・CFD)																						○	19			○			○	○						
K	511	風工学シンポジューム論文集	開放型アーチ構造物に作用する風圧力に関する研究	吉川清峰、中下明文、林 雅弘、古賀靖広、松本裕二、大熊 武	16	11.2000	231-235	独立上屋 （円弧屋根）						○	7	7	7	8																○			○							

									Ⅰ群																							Ⅱ群					Ⅲ群									
										1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		実験													
形状分類	文献番号	文献名	タイトル	著者	号	年	ページ	特徴	切妻	片流	寄棟	鋸	円筒	円弧型	独立上屋1面開放	独立上屋2面開放	独立上屋3面開放	独立上屋4面開放	庇（スタンド）	スタジアム	ドーム型	ホルン型	空気膜（1重）	空気膜（2重）	吊屋根・キールアーチ	HP型	連続体	開閉式	その他特殊形	CFD・その他	実測	一様流	一様乱流	境界層流	その他	係数値	分布図	等圧線図	全体空気力	構造軸力	流体軸力	モーメント	摩擦力	その他	日本鋼構造協会風力研究班文献No
									5	1	6	4	6	7			5		28	17	9	29	7	18	2	3	8	0	3	8	10															176
L	211	その他（論文、報告、書籍、指針他）					153-161	各国基準による風力係数 (風向変化)	○					○	○	○	7																			○	○									
	103	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	TIME-AVERAGED AERODYNAMIC FORCES ACTING ON A HEMISPHERE IMMERSED IN A TURBULENT BOUNDARY	S. TANIGUCHI and H.SAKAMOTO, M.KITA and M. ARIE	9	1982	257-273	ドーム（半球）													11																								
	105	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	A PARARIETRIC STUDY OF EXTREME PRESSURES FOR THE STATIC DESIGN OF CANOPY STRUCTURES	S.J.GUMLEY	16	1984	43-56	独立上屋 切妻・翼・片流 積荷の影響	○	○							7	8																○		○									
	111	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Observations of Reynolds number sensitivity in the separated flow、region on a bluff body	R.P.Hoxey,A.M.Reynolds,G.M.Richardson,A.P.Robeftson,J.L.Short	73	1998	231-249	切妻屋根 (曲線エッジ形)	1																																			
	112	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	An efficient method for selection of vibration modes contributory to wind response on dome- like roofs	M.Nakayama,Y. Sasaki,K. Masuda,T. Ogawa	73	1998	31-43	ドーム（半球） 下部構造													11																								
	115	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loads on low buildings with 4:12 gable roof in open country and suburban exposures	P.C.Case, N.Isyumov	77 78	1998	107-118	切妻屋根 桁長さ変化	○																																			
	120	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Mean wind pressures on arched-roof buildings by computation	J.D.Holmes and D.A.Patcrson	50	1993	235-242	円弧屋根 (CFD K&ε)						○																19															
	124	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	A wind tunnel study of the pressure distribution around sealed versus open low-rise buildings for naturally ventilated livestock housing	Y.Choinire,H.Tanaka,J.A.Munroe and A.S.Tremblay	51	1994	71-91	切妻屋根 (開口窓・煙突)	1																																			
	125	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind loading tests on models of two tension structures for EXPO'92,Seville	D.M.Sykcs	52	1994	371-383	膜構造 (テンション膜)																					18																
	127	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	A case study of wind pressure and wind-induced vibration of a large span open-type roof	O. Nakamura,Y. Tamurab,K. Miyashita,M. Itoh	52	1994	237-248	スタジアム屋根													10																								
	130	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Design wind pressure coefficients for mono-slope roof :A time series approach	T.Stathopoulos,K.S. Kumar,A.R.Mohammadian	65	1996	143-153	片流れ屋根 (勾配)		2																																			
	131	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Fatigue calculation on the roof sustaining cables of a large stadium in Paris	O.Flamand,J.Bietry,C.Barre, E.Germain,P Bourcier	64	1996	127-134	スタジアム屋根 (トラス)													10																								
	134	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Experimental Study of Wind Pressure and Wind Force Characteristics on Dome Shaped Openable Roofs	T.Tsugawa, T.Hongo, M.Suzuki	41-44	1992	1509-1510	開閉式ドーム														○							17																
	135	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Aeroelastic model study of suspended cable roof	S.Kawakita,B.Bienkicwicz,and J.E.Cermak	41-44	1992	1459-1470	吊ケーブル屋根																		15																			
	136	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind induced response of a cable supported stadium roof	B.J.Vickery and M.Majowiecki	41-44	1992	1447-1458	スタジアム (ケーブル構造)													10					○																			
	137	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	WIND RESPONSE OF A LARGE TENSILE STRUCTURE:THE NEW R00F OFTHE OLINIIPIC STADIUM IN ROME	C. Borri, M.Majowiccki, P.Spinelli	41-44	1992	1435-1446	スタジアム (トラス構造)													10																								
	138	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind Load on Grandstands around a Full Perimeter of a Stadium	S.O.Hansen, P.Haholt and K.Nielsen	41-44	1992	1423-1434	スタジアム (トラス構造)													10																								
	139	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Fluctuating wind pressure measured with tubing system	M Yoshida,K.Kondo and M.Suzuki	41-44	1992	987-998	空気膜ドーム（8角形）																13																				
	140	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Peak wind loads under delta wing vortices on canopy roofs	J. D. Ginger and C. W. Letchford	41-44	1992	1739-1750	独立上屋 (切妻)	○									8																										
	143	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Computation of Wind Pressures on Low-rise Structures	D.A.Paterson and J.D.Holmes	41-44	1992	1629-1640	格納庫（半円筒） 妻面開放					5																															
	145	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Further full…scale and model pressure measurements on a cantilever grandstand	N.G.Pitsis and L.W.Apperley	38	1991	439-448	スタンド屋根（片持ち梁）												9																								
	149	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	AERODYNAMIC DAMPING AND STIFFNESS OF A SEMI— CIRCULAR R00F IN TURBULENT WIND	D.J.Daw and A.G.Davenport	32	1989	83-92	空気膜 (半円筒)					○											13										○									○	
	152	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	REDUCING THE WIND LOADIN6 0N LARGE CANTILEVERED R00FS	W.H.MELBOURNE and J.C.K. CHEUNG	28	1988	401-410	スタンド屋根（片持梁）												9														○										
	156	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	MODEL/FULL-SCALE PRESSURE MEASUREMENTS ON A GRANDSTAND	LAPPERLEY and N.G.PITSIS	23	1986	99-111	スタンド屋根 (片持ち梁)												9																								
	157	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	COMPARISONS OF FULL-SCALE AND WIND-TUNNEL MEASUREMENTS OF WIND LOADS ON A FREE-STANDING CANOPY ROOF STRUCTURE	A.P.ROBERTSON and P.MORAN	23	1986	113-125	独立上屋(切妻)	○									8																										
	158	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	DESIGN WIND LOADS FOR RIDGED CANOPY ROOF STRUCTURES	A.P.ROBERTSON	24	1986	185-192	独立上屋(切妻・風上風下壁有無)	○								7	8																										
	159	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Aeroelastic modelling of air-supported roofs	Takeo Matsumoto	41-44	1992	1497-1507	空気膜																13																				
	161	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Wind tunnel study of a cone-like shaped roof : Reynolds number effects	A.Zasso , S.Giappino , S.Muggiasca	94	2006	431-444	ホルン型(レイノルズ数影響)															12																					
	166	J. of Wind Engineering Industrial Aerodynamics	Predicting dynamic wind loading on cantilevered canopy roof structures	R.H.Barnard	85	2000	47-57	スタンド												9																								
	202	BRE Digest	Wind loads on canopy roofs			1986	284	独立上屋(壁有無・積荷有無)	○	○	○	○						8																										
	203	Wind Loading Handbook		C.W.Newberry and K.J.Eaton		1974		独立上屋・スタンド・円弧・ドーム						○	○					9		○																						
	204	ECCS Recommendations	RECOMMENDAT10NS FOR THE CALCULATION OF WIND EFFECTS ON BUILDNGS AND STRUCTURES Technical Committee T12:Wind Effects			1978		各種形状 風圧係数	○	○	○	4	○	○																○														
	205	Technical Report	WIND TUNNEL TEST AND ANALYSIS FOR GROUND MOUNTED AIR-SUPOPORTED STRUCTURERS	A.E.Diete, R.B.Proffitt, R.S.Chabot				空気膜ドーム														○		13																				
	206	ANNALES	AERODYNAMIQUE DU BATIMENT ET DES OUVRAGES D'ART	Jerzy WIANECK, Jacques DRIVIERE	N' 298	10.1972	102-111	ドーム (ライズ比、軒高変化)														11																						
	207	J. of the S.D	STATIC WIND LOADS ON CIRCULLAR CONCAVE CABLE R00FS	Gerald R.Seeley, Heinz Stefan, and Paul Christiano,3		8.1974	1593-1609	ケーブル屋根(円筒・くぼみ)					5																															56
	208	BRE Butterworth	The designer's guide to wind loading of building structures Part2 Static structures	N.J.Cook				独立上屋・ドーム	○	○								8				○						○																
	210	その他（論文、報告、書籍、指針他）					259-261	フランス基準による風力係数	1	○				○																						○									
外	311	建築学会大会	円形平面を持つ陸屋根構造骨組の設計用風荷重に関する研究	茂木 剛、植松 康	東海	2003	149-150	陸屋根（円形平面）					5																						○		○					○			
外	312	建築学会大会	円形平面を持つ陸屋根に作用する風圧のモデル化と風荷重評価への応用	植松 康、 茂木 剛	東海	2003	154-155	陸屋根 (円形平面・風圧モデル化)					5																						○		○								
外	322	建築学会大会	大スパン片持ち屋根のユニバーサルな等価静的風荷重に関する新しい試みその1 最大荷重効果の符号	勝村 章、田村 幸雄、中村 修、吉田 智哉*	関東	2006	157-158	片持ち屋根 (等価性的荷重・最大荷重)												9													?												
外	323	建築学会大会	大スパン構造物の風応答計測および動特性の推定	吉田 昭仁、田村 幸雄、Ji Young Kim、Dae Young Kim	九州	2007	119-120	大スパン屋根 (風応答計測・動特性)																						18		○												

									Ⅰ群																							Ⅱ群				Ⅲ群									
										1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		実験												
形状分類	文献番号	文献名	タイトル	著者	号	年	ページ	特徴	切妻	片流	寄棟	鋸	円筒	円弧型	独立上屋1面開放	独立上屋2面開放	独立上屋3面開放	独立上屋4面開放	庇（スタンド）	スタジアム	ドーム型	ホルン型	空気膜（1重）	空気膜（2重）	吊屋根・キールアーチ	HP型	連続体	開閉式	その他特殊形	CFD・その他	実測	一様流	一様乱流	境界層流	その他	係数値	分布図	等圧線図	全体空気力	構造軸力	流体軸力	モーメント	摩擦力	その他	日本鋼構造協会風力研究班文献No
									5	1	6	4	6	7		5			28	17	9	29	7	18	2	3	8	0	3	8	10														176
外	324	建築学会大会	レンズ型二重空気膜構造の強風時の構造挙動について　（その1）膜面の風圧測定と性的応答性状	藤川英哲、斉藤公男、岡田章、宮里直也、宮下正人	九州	2007	919-920	空気膜構造（二重膜）																	14								○												
外	325	建築学会大会	レンズ型二重空気膜構造の強風時の構造挙動について　（その2）動的応答解析手法の提案および柔模型を用いた風洞実験	宮下正人、斉藤公男、岡田章、宮里直也、水野公義	九州	2007	921-922	空気膜構造（二重膜・柔模型）																	14								○												
外	329	建築学会大会	片持式スタンドルーフの空力特性に関する基礎的研究(その3)風荷重低減方法の提案	大森慎司、宮里直也、斎藤公男、吉野誠一、岡田章、永井佑季	九州	2007	929-930	片持屋根（荷重低減方法）												9													○												
	340	建築学会大会	ビーム式空気膜構造の強風時における最適設定内圧に関する基礎的研究(その2)静的風荷重時の検討及び最適内圧設定フローの提案	神崎聡美、鏑木雄太、斎藤公男、岡田　章、宮里直也	関東	2011	821-822	空気膜構造（ビーム式・最適設定内圧設定法）																13											○		○	○							
	343	建築学会大会	空気膜構造の構造強度に必要な内圧制御に関する研究	加藤 優輝、丸田 榮藏	東海	2012	145-146	空気膜構造(必要内圧)														○		13									○											○	
	344	建築学会大会	大スパン曲面屋根に作用する非定常空気力の数値解析的検討	丁 威、中村 真奈、植松 康	東海	2012	153-154	円弧屋根（CFD）						○																19				○			○								
外	350	建築学会大会	HP曲面を有する張力膜構造の風応性状に関する研究(その1）レイノルズ数が風圧力特性に及ぼす影響	総谷友昭、永井佑季、岡田 章、吉野誠一、宮里直也、松本良太、廣石秀造、神田　亮	北海道	2013	181-182	独立上屋（HP曲面・単独）											○								16								○		○	○							
外	351	建築学会大会	HP曲面を有する張力膜構造の風応答性状に関する研究(その3）膜設計用ガスト影響係数Gfmの評価	松本良太、永井佑季、岡田　章、吉野誠一、宮里直也、総谷友昭、廣石秀造、神田　亮	北海道	2013	185-186	HP曲面											○								16								○		○								
	405	ISBN Rotterdam	Wind induced loads on the monumental roof structure of the XII Century , `Palazzo della Ragione'in Padova	C.Borri & L.Facchini		1999	1105-1109	寄棟（体育館・むくり屋根）			3																							○				○							
	407	WEBS	WIND EFFECTS ON FLOATING SURFACES IN LARGE OPEN TOP STORAGE TANKS	James F. MARCHMAN		1971	327-334	タンク屋根（浮き屋根）																						18															
	409	3rd-Coll. Ind. Aerody.Aachen	WIND EFFECTS ON A CYLINDRICAL AIR SUPPORTED STRUCTURE	Paolo Spinelli		6.1978	179-193	空気膜ドーム																13																					
	414	ASCE	WIND LOADS ON BASIC DOME SHAPES	Francis J. Maher		6.1965	219-228	ドーム														11												△			○								66
外	622	日本風工学会誌	日本における空間構造の形状・構造特性と耐風設計法	植松 康 曽根孝行 野口満美	96	2003	107-116	文献・アンケート調査(固有振動数・減衰定数)																						19														アンケート	

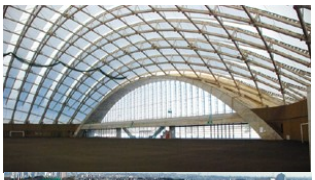
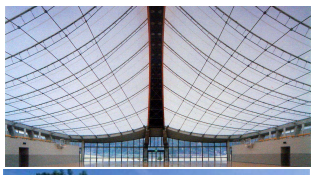
Ａ１　膜構造の計算における留意点

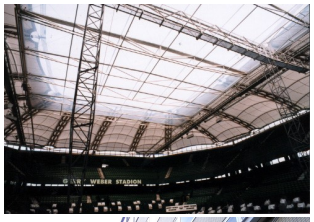
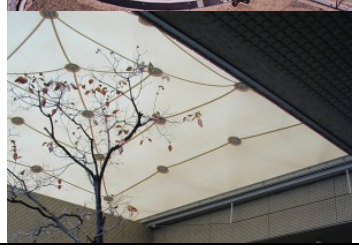
A1.1　膜構造の特徴

膜構造は軽量で開放的な大空間を構築することができる。一方、風などの外力に対する変形は他の構造に比べて大きく、形状や部位によっては膜材料やケーブルに大きな応力を生じる場合がある。そのため膜構造の解析においては、骨組、膜材料およびケーブルのモデル化、荷重および外力の設定を適切に行うことが重要である。

膜構造の形態は表 A1.1 のように多種多様であるが、支持架構の形式によって骨組膜構造、サスペンション膜構造、空気膜構造、開閉式膜構造の 4 種類に大別される。膜面には、図 A1.1 のように織布をコーティングした膜材料やフィルム，ケーブルが用いられる。その厚さは大きくても 1mm 程度であるため、膜材料は曲げ剛性が小さく、圧縮応力を負担できない（座屈してしわを生じる）。同様にケーブルも圧縮力を負担できない（ゆるみを生じる）。したがって、膜構造は膜体外周部の引込みや支持点の突上げ，ケーブルの緊張，内圧などで膜面にプレストレス（初期張力）を導入し、適切な張力状態に保つことが必要である。膜面は自重や内圧などの外力と、膜張力やケーブル張力などの内力の釣合を満足する必要があり、釣合形状から外れた形状を任意に作ることはできない。また風や雪などの付加荷重を受けると、膜面は変形して新たな釣合状態に移行する。初期の釣合曲面を求める解析を形状解析、付加荷重に対する釣合状態を求める解析を応力変形解析といい、これらの解を求めるには、変形後の釣合に基づく 3 次元の有限変形解析または大変形解析が必要で，FEM（有限要素法）解析が一般に用いられる。ただし、膜面が平面や球形，円筒のように単純な形状の場合は 2 次元モデルによる略算法も適用可能である。

表 A1.1 膜構造の種類と代表例

名称	特徴	建築物の例
骨組 膜構造	鉄骨造その他の構造の骨組に膜材料を張ることにより、屋根または外壁を形成する構造方法。	
サスペンション 膜構造	膜材料を主材料として用い、基本形状を吊り構造（サスペンション構造）とした構造方法。曲率が大きく躍動感のある形態が特徴である。	

空気 膜構造	空気支持方式 膜材料を用いて形成された屋根および外壁の室内側の空間の内圧を高めて、膜材料を張力状態とし、荷重および外力に抵抗する構造方法。	
	空気膨張方式 円筒や袋状に加工した膜の内圧を高めて、膜材料を張力状態とし、荷重および外力に対して抵抗する構造方法。	
開閉式 膜構造	膜材料を折りたたむ、または骨組に膜材料を張ったパネルを移動することにより、必要に応じて屋根を開閉することができる構造方法。閉鎖型と開放型の異なる空間を両方できる。	 

【告示 666 号（膜構造の構造方法）における用語の意義】
骨組膜構造　鉄骨造その他の構造の骨組に膜材料又は膜構造用フィルム（以下「膜材料等」という。）を張り，当該骨組及び当該膜材料等を一体とし，膜材料等に張力を導入して荷重及び外力を常時負担することのできる平面又は曲面とすることにより，構造耐力上主要な部分である屋根版又は壁を設ける構造をいう。
サスペンション膜構造　構造用ケーブルに膜材料等を張り，膜材料等に張力を導入して荷重及び外力を負担することのできる平面又は曲面とすることにより，構造耐力上主要な部分である屋根版又は壁を設ける構造をいう。
開閉式膜構造　開閉式膜構造の用語は用いずに,「膜面に使用する骨組を構成する鉛直部材の脚部をけた行方向のみに移動する滑節構造とし，屋根版及び壁に用いる膜面を折りたたむことにより伸縮する構造とする当該屋根版及び壁の部分」や「可動式膜面」と表記されている。
【告示 666 号（膜構造の構造方法）におけるエアクッションの扱い】膜構造用フィルムにあっては、袋状にした内部の空気圧を高めて張力を導入して平面又は曲面の形状を保持することができる。（つまり、膜構造用フィルムによるエアクッションは骨組膜構造またはサスペンション膜構造、開閉式膜構造に分類される。）

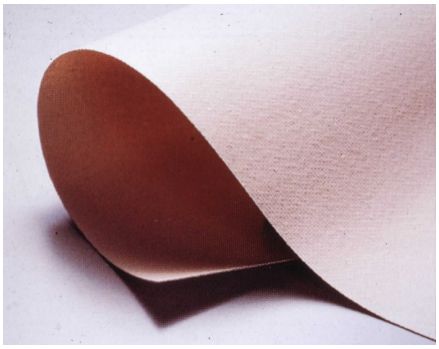
表 A1.1 に膜材料等の種類と特徴を示す。膜材料はガラス繊維または合成繊維による織布（基布）をフッ素や PVC 等の樹脂でコーティングしたもので，高い強度と剛性が特徴である。膜構造用フィルムは基布を持たないため，低強度で伸びが大きいが，膜材料にはない透明性がある。

表 A1.2　膜材料等の種類と特徴

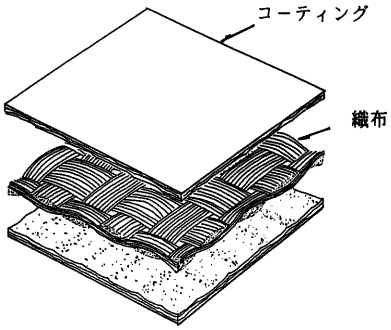
名称	膜材料 A 種	膜材料 B 種	膜材料 C 種	テント倉庫用膜材料	膜構造用フィルム
基布	ガラス繊維織布		合成繊維織布		フッ素樹脂（ETFE）
コーティング材	フッ素樹脂（PTFE 等）	合成樹脂（PVC 等）			
厚さ	0.5～1.0mm 前後			0.45mm～	0.1～0.5mm
引張強さ	100～150kN/m	100～150kN/m	20～130kN/m		5～30kN/m （50～60N/mm^2）
特徴	◎高強度 ◎不燃性	◎高強度 ◎不燃性～○防炎性	○中～高強度 ○防炎性	○低～中強度 ○防炎性	△低強度 ○防炎性

	◎耐候性 △耐屈曲性	○耐候性 ○経済性	○～△耐候性 ◎経済性	△耐候性 ◎経済性	◎耐候性 ◎透明性 （透過率 0～97%）

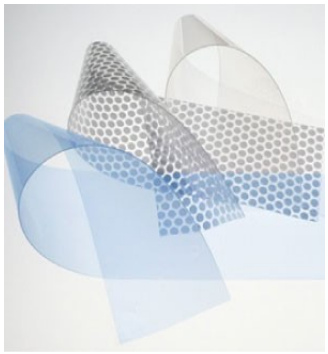
PTFE（Poly Tetra Fluoro Ethylene 四フッ化エチレン）、PVC（Poly Vinyl Chloride 塩化ビニル）
ETFE（Ethylene Tetra Fluoro Ethylenr エチレン・四フッ化エチレン共重合体）



(a) 膜材料 A 種



(b) 織布膜材料の構成



(c) 膜構造用フィルム

図 A1.1 膜材料等の概要

A1.2　形状解析

シャボン玉や石鹸液で形成される曲面は，面内のあらゆる方向に均等な張力が生じた等張力曲面で，膜構造の代表的な釣合形状である。図 A1.2 は膜面の曲率と形状を表している。ガウス曲率（曲面上の直交する 2 方向の曲率の積）が正の球面，零の円筒，負の HP，鞍形，カテノイドを基本形状として，外周や骨組，ケーブル，内圧等の境界条件の違いにより多様な形状が生まれる。正または負のガウス曲率の形成には内圧や骨組等による面外方向の支持が必要で，その他はガウス曲率が負の曲面または平面になる。

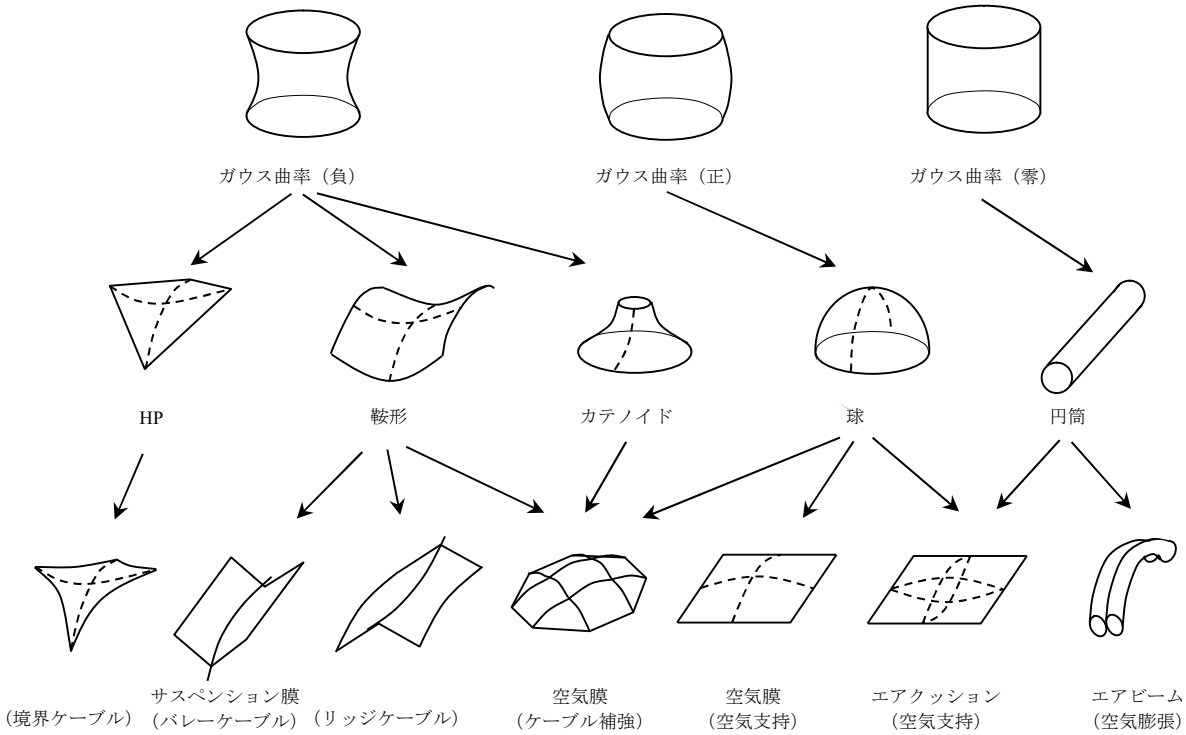


図 A1.2　膜面の曲率と形状

膜面の形状解析には，対象領域を有限個の節点と要素（メッシュ）で分割して初期形状を生成し，節点の強制変位や内圧等の幾何学的および力学的境界条件を与え，釣合条件を満足するように節点変位を求める FEM（有限要素法）が一般に用いられる。解析には幾何学に基づいた極小曲面法と力学に基づいた初期応力法がある。初期応力法は，主応力方向の張力比（引張力が最大となる方向の張力とこれに直交する方向の張力の比）と境界条件を設定し，形成可能な釣合曲面を求める。張力比が 1：1 以外の異方張力曲面も形成可能であるが，張力導入直後の膜材料は糸の初期ゆるみやコーティング材の粘性により，張力が時間とともに低下する現象（応力緩和，リラクセーション）があり，張力差が減少する方向に変化する。たとえば，円錐状の膜面を形成したい場合には，放射方向にケーブルを配置するなど張力を膜以外の材に負担させることが必要である。また重量が大きい金物や懸垂物がある場合は，これらを考慮して初期形状を決定する必要がある。解析結果については，

- 滑らかな曲面形状が得られていること。
- 要素のつぶれや大きなゆがみが生じてないこと。
- 解が収束していること。

をチェックして，解の妥当性を確認する。**図** A1.3 のように，曲率の大きなケーブル境界や鋭角な突上げ部を有する場合は，要素が大きく変形してつぶれやゆがみを生じやすい。要素のつぶれや大きなゆがみが生じると解の精度や収束が悪くなるため，これらが生じないようメッシュを切り直すなどの工夫が必要になる。

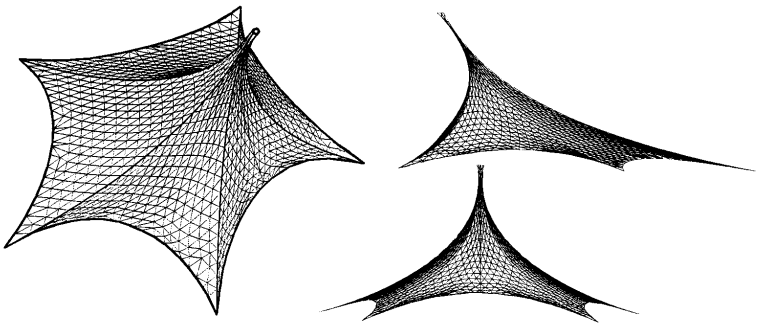


図 A1.3 ケーブル境界をもつ場合の形状解析例

A1.3 応力変形解析

(1) 解析上の考慮点

荷重・外力に対する膜面の応力変形解析にあたっては，

- 膜材料は曲げ剛性，圧縮剛性をもたないこと。
- 膜材料は異方性材料であること。
- 膜面は二軸応力状態にあること。
- 膜面は初期張力を有していること。
- 変形が比較的大きいこと。

などを考慮する必要がある。幾何形状と荷重分布がともに単純な場合は解析的に解を求めることも可能であるが，一般には有限変形または大変形理論に基づいた FEM による非線形解析が用いられる。

膜材料は圧縮応力を負担できないため，リンクリング（しわ）の発生を考慮した解析が必要である。

これが正しく考慮されないと，現実には起こりえない圧縮応力を含んだ応力状態になるため注意が必要である。

膜面への張力導入過程の解析（施工時解析）を行う場合には，初期の製作曲面（裁断図形状）に対して，外周および突上げ部の強制変位や内圧など，実際の施工手順を模擬して検討を行う。

応力変形解析においては，

- 膜面と支持架構の相互作用が適切に評価されていること。
- 膜面と支持架構の解析を個別に行う場合は，膜張力による支持架構の変形が膜面の応力状態に及ぼす影響に留意する。影響が大きい場合は，再度膜面の解析を行う。
- 膜材料等のリンクリング，ケーブルのゆるみを考慮できること。
- 風圧力や内圧のように膜面の法線方向に作用する荷重・外力は，膜面の変形に追従して荷重方向を変化させること。

(2) 膜面の簡単な計算

膜材料曲面を手計算で解く方法は，簡単な曲面の場合に限られ，また通常は全体形態のなかで部分的な計算となる。荷重条件も簡単なものとなるので，荷重設定，形態設定は膜材料引張り強さ，変形について安全側に設定を行って計算する必要がある。

骨組膜構造における平行な部材間やアーチ間に取り付けられた膜面で，膜面の取り付け位置について，アーチ間方向がアーチ平行方向に比べ短い場合には，積雪荷重に対してアーチ間支持点方向のみで抵抗するという仮定が成立する。このように膜面の一方向のみで荷重を負担するという仮定を置くことが可能な場合では，簡単な計算によって膜張力及び変形を近似的に求めることができる。

一方向のみを考える場合，計算式は仮定の仕方によってこれまで様々な式が誘導されている。ここに示す式もそれらの一つであり，比較的簡単な式となっている。

膜曲面について，荷重に対する変位に膜材料の伸びを考慮することが必要であり，膜材料が張られた状態での支持点間方向の引張剛性を用いる。一方向計算のため，膜材料の見掛けポアソン比，面内せん断剛性は計算には用いない。

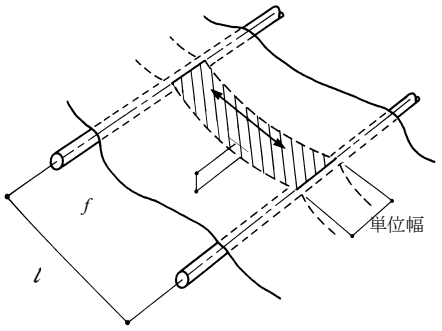


図 A1.4 一方向応力の仮定

（膜材料の糸方向に沿った一軸応力計算）

支点間に張られた膜面の張力を求める略算法を以下に示す。

① 荷重が鉛直方向に作用する場合

◆不等高支持点の場合

図 A1.5 のように，初期長さ L_0，引張剛性 Et の膜面が，スパン l，高低差 h で両端を支持され，鉛直分布荷重 $W(x)$ に対してサグ f_0，水平反力 H を生じて釣合状態にあるものとする。鉛直荷重を受ける膜面は懸垂曲線になるが，サグが小さい範囲（おおむねサグ比 f_0/l が 0.2 以下）では膜面を放物線と仮定しても誤差は小さい。放

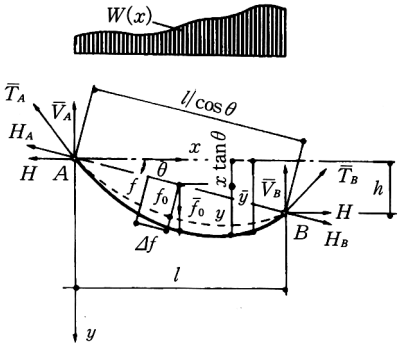


図 A1.5

物線の場合には次式が成立する。

$$H^3 + (L_0 - l)\frac{Et}{L_0}H^2 - \frac{DEt}{2L_0} = 0 \qquad (1)$$

ただし，$D = \int Q^2 dx$　(表 A1.3 参照)

また，支点 A，B における鉛直反力を$\overline{V}_A, \overline{V}_B$，膜張力を T_A，T_B とすると，

$$H_A = H_B = \frac{H}{\cos\theta} \qquad (2)$$

$$\overline{V}_A = V_A + H \cdot \tan\theta = R_A + H \cdot \tan\theta \qquad (3)$$

$$\overline{V}_B = V_B + H \cdot \tan\theta = R_B + H \cdot \tan\theta \qquad (4)$$

$$\overline{T}_B = \sqrt{H_B{}^2 + \overline{V}_B{}^2} \qquad (5)$$

$$\overline{T}_A = \sqrt{H_A{}^2 + \overline{V}_A{}^2} \quad \text{7u8} \qquad (6)$$

ただし, R_A, R_B は図 1.5 の AB 間を単純梁としたときの支点 A，B の鉛直反力を表す。
膜面の長さは次式で求めることができる。

$$L = l\left(1 + \frac{8}{3}\cdot\frac{\overline{f}_0{}^2}{l^2} + \frac{h^2}{2l^2}\left(1 - 8\cdot\frac{\overline{f}_0{}^2}{l^2}\right)\right) \qquad (7)$$

◆ 等高支持点の場合

等高支持点の場合には,

$$L_0 = l\left(1 + \frac{8}{3}\cdot\frac{f_0{}^2}{l^2}\right) \qquad (8)$$

となる。支持点 A，B の鉛直反力を V_A，V_B とすると，

$$T_A = \sqrt{H_A{}^2 + V_A{}^2} \qquad (9)$$

$$T_B = \sqrt{H_B{}^2 + V_B{}^2} \qquad (10)$$

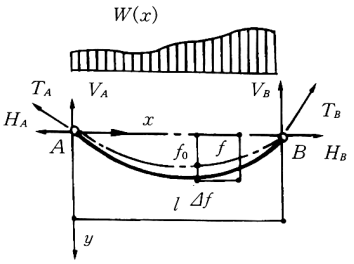


図 A1.6

膜面の長さは次式により求められる。

$$L = l + \frac{1}{2H^2}\cdot D \qquad (11)$$

変形後のサグ f は，式（1)で求められた水平反力 H を表 A.1.3 のサグを求める式に代入して求める。また，サグの増分 Δf は，$\Delta f = f - f_0$ として求められる。

◆ 等分布荷重で初期状態でのサグのない場合

膜面が平面の場合には，初期のサグと膜面の長さは $f_0 = 0$，$L_0 = l$ なので，式（1）より，

$$H = \sqrt[3]{\frac{Et \cdot D}{2l}} \tag{12}$$

となる。また, 等分布荷重の場合には表 A1.3 より $D = \frac{W^2 l^3}{12}$ となる。このとき表 A.1.3 のサグ $f = \frac{Wl^2}{8H}$ は, 膜面の変位に一致する。以上より，膜面の変位δ，鉛直反力 V，水平反力 H，膜張力 T はそれぞれ次式で求められる。

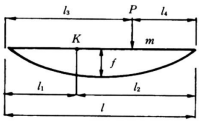
$$\delta = \sqrt[3]{\frac{3Wl^4}{64Et}} \tag{13}$$

$$V = \frac{W \cdot l}{2} \tag{14}$$

$$H = \frac{W \cdot l^2}{8\delta} \tag{15}$$

$$T = \sqrt{V^2 + H^2} \tag{16}$$

表 A1.3 荷重分布とサグ及び D の関係



$d_1=l_1/l,\ d_2=l_2/l,\ d_5=d_1-$
$d_3=l_3/l,\ d_4=l_4/l$

N	荷重分布形状	曲　線　形　状	サグ fi の位置	サ　　グ	$D=\int Q^2 dx$
1		$Y_K=\frac{Wl^2}{2H}(d_1-d_1^2)$	0.500	$f=\frac{Wl^2}{8H}$	$D=\frac{W^2l^3}{12}$
2		$Y_K=\frac{l^2}{6H}[(2W_1+W_2)d_1-3W_1d_1^2+(W_1-W_2)d_1^3]$	$d_3=[-W_1\pm\frac{1}{3}\sqrt{3(W_1^2+W_1W_2+W_2^2)}]/(W_1-W_2)$	曲線形状 Y_K の式にサグ fi の位置 (d_3) を代入し，サグ f を求める。	$D=\frac{W_1^2l^3}{45}+\frac{W_2^2l^3}{45}+\frac{7W_1W_2l^3}{180}$
3		$Y_K=\frac{W_2l^2}{6H}(d_1-d_1^3)$	0.577	$f=\frac{W_2l^2}{9\sqrt{3}H}$	$D=\frac{W_2^2l^3}{45}$
4		$Y_{K1}=\frac{Wl^2}{12H}(3d_1-6d_1^2+4d_1^2)$ $Y_{K2}=\frac{Wl^2}{12H}(1-3d_1+6d_1^2-4d_1^3)$	0.500	$f=\frac{Wl^2}{24H}$	$D=\frac{W^2l^3}{30}$
5		$Y_{K1}=\frac{Wl^2}{8H}(3d_1-4d_1^2)$ $Y_{K2}=\frac{Wl^2}{8H}(1-d_1)$	0.475	$f=\frac{9Wl^2}{128H}$	$D=\frac{5W^2l^3}{192}$
6		$Y_{1K}=\frac{l^2}{8H}[(3W_1+W_2)d_1-4W_1d_1^2]$ $Y_{2K}=\frac{l^2}{8H}[(-W_1+5W_2)d_1-4W_2d_1^2]$	$\frac{1}{8}\left(3+\frac{W_2}{W_1}\right)$	$f=\frac{l^2}{128H}\left(9W_1+6W_2+\frac{W_2^2}{W_1}\right)$	$D=\frac{5W_1^2l^3}{192}+\frac{5W_2^2l^3}{192}+\frac{6W_1W_2l^3}{192}$
7		$Y_{K1}=\frac{Pl}{2H}d_1$ $Y_{K2}=\frac{Pl}{2H}(1-d_1)$	0.500	$f=\frac{Pl}{4H}$	$D=\frac{P^2l}{4}$
8		$Y_{K1}=\frac{Pld_4}{H}d_1$ $Y_{K2}=\frac{Pld_3}{H}(1-d_1)$	d_3	$f=\frac{Pld_3d_4}{H}$	$D=P^2d_3d_4l$
9		$Y_{1K}=\frac{Pl}{H}(2-2d_3-d_5)d_1$ $Y_{2K}=\frac{Pl}{H}[(1-2d_3-d_5)d_1+d_3]$ $Y_{3K}=\frac{Pl}{H}(2d_3+d_5)(1-d_1)$	d_3 d_3+d_5	$f=\frac{Pld_3}{H}(2-2d_3-d_5)$ $f=\frac{Pl}{H}(2d_3-2d_3^2-3d_5d_3+d_5-d_5^2)$	$D=P^2l[4d_3(1-d_5-d_3)+d_5(1-d_5)]$
10		$Y_{1K}=\frac{Wl^2}{2H}(d_1-d_1^2)+\frac{Pld_4}{H}d_1$ $Y_{2K}=\frac{Wl^2}{2H}(d_1-d_1^2)+\frac{Pd_3l}{H}$ $\times(1-d_1)$	$\frac{1}{2}+\frac{Pd_4}{Wl}$ $\frac{1}{2}-\frac{Pd_4}{Wl}$	$f_1=\frac{1}{H}\left[\frac{Wl^2}{8}-\frac{P^2d_4^2}{2W}+Pld_4\left(\frac{1}{2}+\frac{Pd_4}{Wl}\right)\right]$ $f_2=\frac{1}{H}\left[\frac{Wl^2}{8}-\frac{P^2d_2}{2H}+Pld_2\left(\frac{1}{2}-\frac{Pd_3}{Wl}\right)\right]$	$D=\frac{W^2l^3}{12}+WPl^2d_3d_4+P^2ld_3d_4$
11		$Y_{1K}=\frac{Wl^2}{2H}(d_1-d_1^2)+\frac{Pl}{H}d_1$ $Y_{2K}=\frac{Wl^2}{2H}(d_1-d_1^2)+\frac{Pl}{H}d_3$ $Y_{3K}=\frac{Wl^2}{2H}(d_1-d_1^2)+\frac{Pl}{H}(1-d_1)$	0.500	$f=\frac{1}{H}\left(\frac{Wl^2}{8}-Pld_3\right)$	$D=\frac{Wl^3}{12}+2WPl^2d_3d_4+2P^2ld_3$

参考文献：Rühle, Räumliche Dachtragwerke Band 2, VEB Verlag 1970.

② 荷重が膜面に垂直に作用する場合

荷重が膜面に垂直に作用する場合でも，サグ比がわずかであれば鉛直荷重との差異は小さいので①を適用することが可能である。内圧を受ける空気膜のように法線方向に均等な圧力が作用すると，膜面の形状は球や円筒になる。**図** A1.7 は，圧力を受ける円筒の断面を表したものである。無ひずみ状態で曲率半径 R_0 の円筒に一様な圧力 p が作用して曲率半径 R の円筒に変形し，張力 T で釣合うものとする。スパン L，ライズ h，無ひずみ時および変形後の半開角をそれぞれ θ_0，θ とするとき，圧力と張力の釣合式，膜の伸びと張力の関係式，曲率半径とライズの関係式は次のように表される。

$$T = pR \tag{17}$$

$$T = \left(\frac{R\theta}{R_0\theta_0} - 1 \right) Et \tag{18}$$

$$R = \frac{L}{2\sin\theta} = \frac{L^2 + h^2}{8h} \tag{19}$$

これらを p について解くと次式が得られる。

$$p = \left(\frac{\sin\theta_0}{\theta_0}\theta - \sin\theta \right) \frac{2Et}{L} \tag{20}$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{4hL}{L^2 + h^2} \tag{21}$$

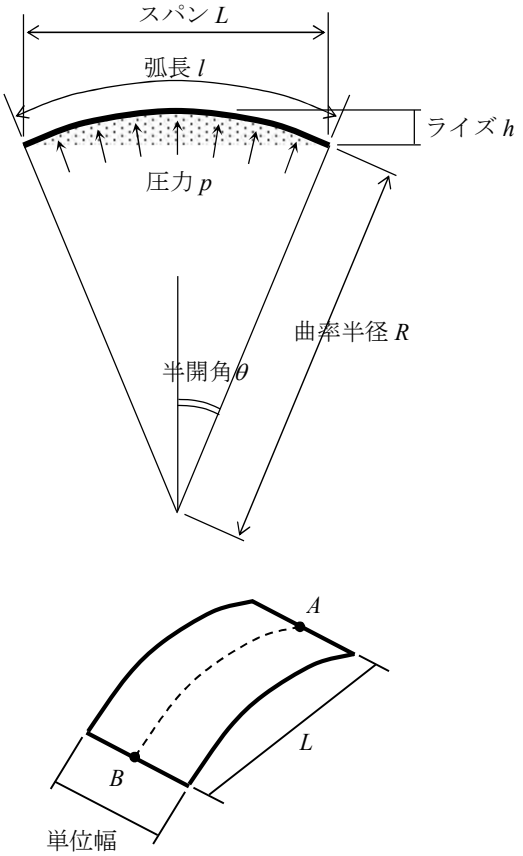


図 A1.7　均等圧力を受ける円筒状の膜面

ゆえに式(18)，(20)，(21)を用いれば，任意のライズ h に対して力の釣合式と変位の適合条件を満足する圧力 p と張力 T を求めることができる。

これら略算法の適用範囲は形状や荷重が単純な場合に限られるが，FEM による数値解析結果の妥当性を確認する場合にも有効である。

A1.4　膜材料等のモデル化

膜材料は面内方向の引張力に対しては基布（織布），せん断力に対してはコーティング材が主に抵抗する。平織の織布は**図** A1.8 のようにタテ糸とヨコ糸が交互に織られているため，張力導入前の膜材料には初期緩み（糸および糸相互のあそび）があり，張力導入時にはタテ糸とヨコ糸の立体的な形状変化によるクリンプ交換（引張力により，一方の糸の波形（クリンプ）が他方の糸に移行する現象）が生じる。**図** A1.10 は，膜材料 A 種の 2 軸引張試験で得られた荷重とひずみを関係，５通りの荷重比ごとに示したものである。膜材料 A 種には初期緩みやクリンプ交換の影響が顕著に現れるが，膜材料 B，C 種およびテント倉庫用膜材料ではこれらの影響が少ない。

図 A1.8 平織の織布とクリンプ交換

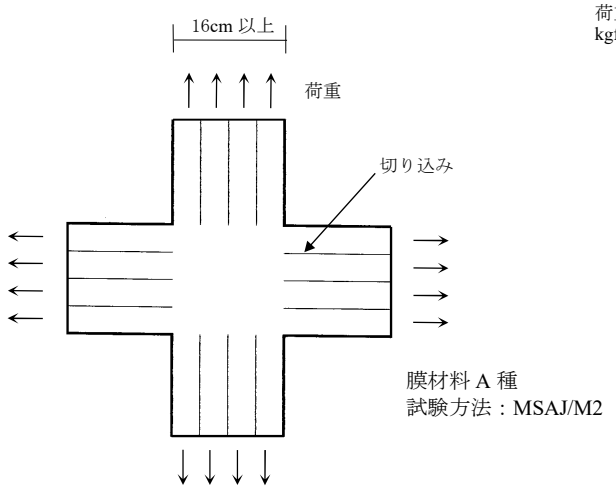


図 A1.9 試験体形状

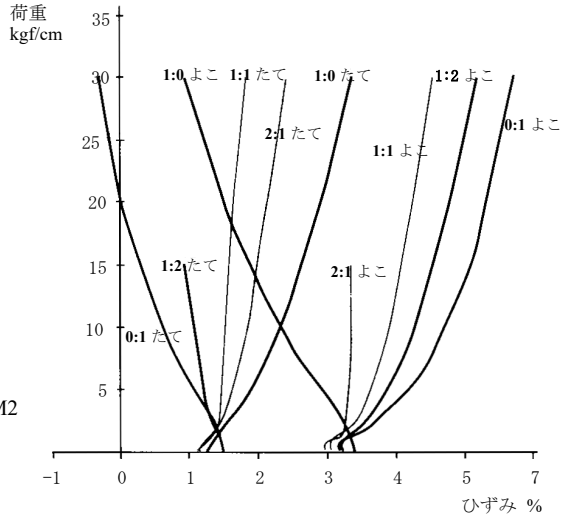
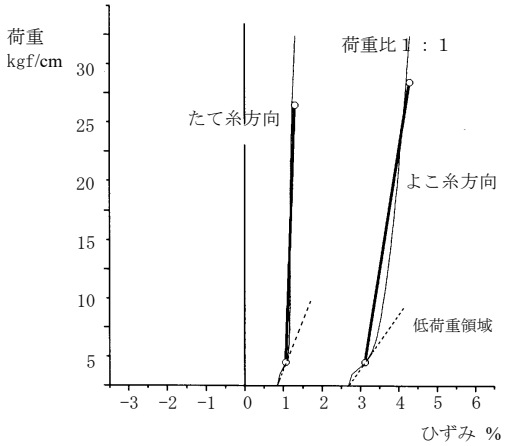


図 A1.10 膜材料 A 種の各荷重比の荷重ひずみ曲線の例

初期張力に相当する低荷重領域（膜材料 A 種では 2kN/m，B 種，C 種では 1kN/m）の点と，膜材料の基準強度の約 1/4 に相当する荷重点を結んだ線分についての各々の勾配より膜材料の設計用弾性定数を求める。



設計用弾性定数計算用
実験値
低荷重領域の弾性定数計算用

図 A1.11 荷重比 1:1 の荷重ひずみ曲線と低荷重領域の線形化

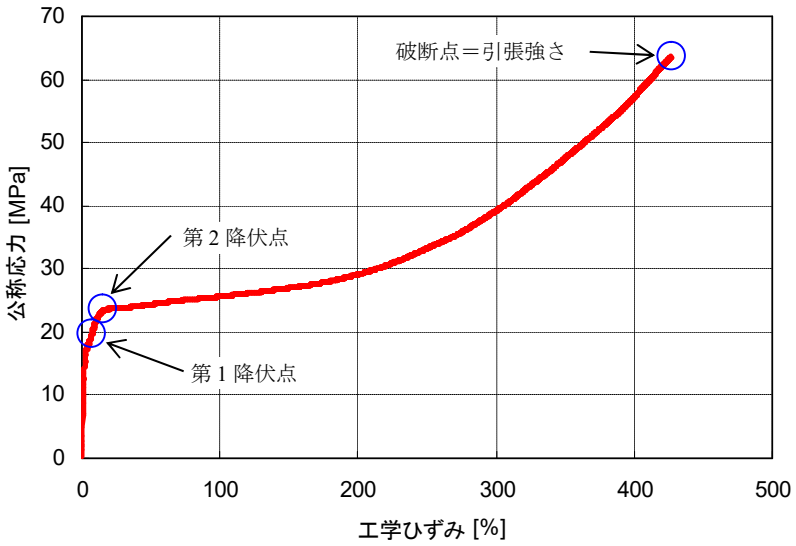


図 A1.12　ETFE フィルムの SS 曲線（1 軸引張）

弾性体理論より，図 A1.13 のような平面応力状態にある等方性弾性体の x,y 方向の応力を σ_x, σ_y，ひずみを ε_x, ε_y，せん断応力を τ_{xy}，せん断ひずみを γ とすると，応力－ひずみ関係式は次式で表される。

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} & 0 \\ E_{21} & E_{22} & 0 \\ 0 & 0 & G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma \end{bmatrix} \qquad (22)$$

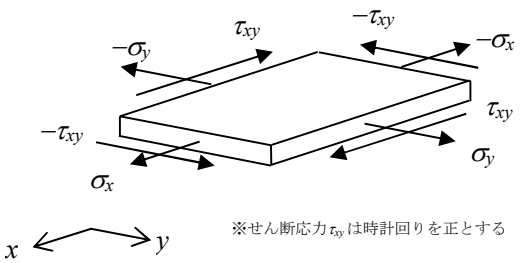


図 A1.13　平面応力状態

ただし、$E_{11} = E_{22} = \dfrac{E}{1-\nu^2}$,　$E_{12} = E_{21} = \dfrac{\nu E}{1-\nu^2}$,　$G = \dfrac{E}{2(1+\nu)}$　(23)

E は引張弾性率（ヤング率），ν はポアソン比，G はせん断弾性係数を表す。

直交異方性弾性体の場合は，x,y 方向の弾性定数が異なる。各方向の引張弾性率を E_x，E_y およびポアソン比を ν_x，ν_y とすると，

$$E_{11} = \frac{E_x}{1-\nu_x\nu_y},\quad E_{22} = \frac{E_y}{1-\nu_x\nu_y},\qquad E_{12} = E_{21} = \frac{\nu_x E_y}{1-\nu_x\nu_y} = \frac{\nu_y E_x}{1-\nu_x\nu_y} \qquad (24)$$

となる。また，せん断弾性率は引張弾性率およびポアソン比から独立した値となる。式(24)の第 3 式は，引張弾性率およびポアソン比が次式の相反関係を満足することを表している。

$$\frac{E_y}{E_x} = \frac{\nu_y}{\nu_x} \qquad (25)$$

膜材料 A 種は図 A1.10 に示すように，たて糸方向とよこ糸方向の伸張特性が大きく異なる。これは膜材料を構成する織布の性質に起因するものである。膜材料の製造工程では，たて糸方向に引張力を加えてコーティングを行うことにより平滑性を確保するため，たて糸は直線的な一方，よこ糸は大きくウェーブした（波打った）状態で初期緩みも大きい。各方向の織糸は図 A1.8 のように交差しているため，張力

バランスが変化すると立体的な形状変化を生じる。特に一方の糸のウェーブが他方の糸に移行する現象をクリンプ交換という。これらの織布特性に起因する挙動は，ガラス繊維織布を用いる膜材料 A 種，B 種に顕著で，非線形性が強い。単一の樹脂によるフィルムは厚さ方向に均質で，その剛性や引張強さは厚さに比例するため，単位断面積あたりの力の単位で表される。それ以外の膜材料等は厚さ方向に均質ではないため，剛性や引張強さ，許容応力度等は単位幅あたりの力で評価する必要がある。

膜材料の設計用の引張剛性及び見掛けポアソン比の値をどのように設定するかは種々の方法があるが，日本膜構造協会試験法標準「膜材料弾性定数試験方法（MSAJ/M -02-1995）」による方法などを参考とすることができる。また，膜材料の面内剪せん断剛性については，同試験法標準「膜材料面内せん断剛性試験方法（MSAJ/M-01-1993）」を参考として値を設定することができる。

（低荷重領域の弾性定数）

膜材料の製作曲面は無張力曲面であり，設計上要求する初期張力状態を考慮して，製作時にやや小さめの形態とし，これを施工時に伸ばして初期張力状態の形態とするので，この低荷重領域の曲線勾配を使って膜材料面製作用の弾性定数を求めることとなる。しかし低荷重領域では，膜材料のコーティング材の粘弾性の影響も大きく，また織糸間の緩みも含まれており，弾性定数を求めてもばらつきが大きいが，試験結果より，図 1.5 に示すような曲線の直線化が一般に行われている。

（膜材料非線形性を考慮した解析）

膜材料は材料非線形性も強く，精確な解析を行うには，このことも考慮した解析が要求されるが，この点を考慮した解析法はまだ研究段階にあり，引張応力に対しては現段階では近似的には線形材料として扱ってもよい。

（一軸糸方向のみの引張剛性）

膜材料を一軸糸方向のみで荷重及び外力を負担するという仮定による構造計算を行う場合には，ポアソン比及び面内せん断剛性は使わないで，糸方向の引張剛性のみの値が必要となる。一方向のみの引張剛性は，一軸引張試験による引張剛性の算出となる。

A1.5　構造用ケーブルの構造計算

構造用ケーブルの構造計算を行うにあたっては，
本告示に示された構造用ケーブルの使用の範囲では次の事項を考慮する。

- ケーブル部材は，引張力のみに抵抗する弾性部材と仮定することができる。
- ケーブル材料は多くの場合，ケーブル材料の曲げ剛性を無視して差し支えないが，特にケーブル径が大きい場合，あるいは曲率半径を小さく曲げた場合には曲げ剛性を無視できない場合もあるので，特別の場合には考慮する。

ステイケーブル

ステイケーブルのように直線状に長く張られたケーブルでは自重によるたわみの影響がでるので，直線材とした仮定ではケーブル端部での見掛け引張剛性は減少する。構造計算において，ケーブル材を有限要素法で解く場合には，ケーブル自重を考慮し，ケーブル定着節点間に更に節点を別に設けて解析が一般に行われる。このようにすれば，ケーブル材料の見掛け弾性係数を考慮する必要は実用的にはない。

見掛け弾性係数の計算式は

$$E_c = \frac{E_e}{1 + \left\{ \frac{1}{12} \times \frac{(\gamma l_0)^2}{\sigma^3} \right\} E_e}$$

Ec：見掛け弾性係数

γ ：比重

σ ：ケーブル応力

l_0 ：ケーブル長

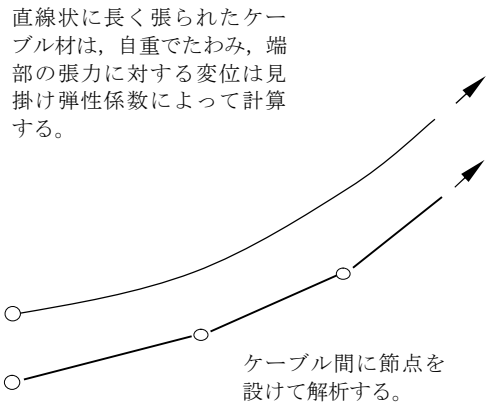


図 A1.14 撓んだケーブルの解析

鉄骨造のような剛な構造とケーブル材との組み合わせでは，ケーブル材料の初期たわみによる見掛け引張剛性の低下による剛な構造への影響が大きい場合には，これを考慮する必要がある。また，剛な構造の変形によるケーブル材の張力の消失に留意し，適正な初期張力をケーブル材に与える。

押えケーブル

膜材料面の押えケーブルは，膜材料面に定着されていない状態では，膜材料面の荷重による変形により膜曲面上を滑り，移動することができる。しかし，一般の解析では，ケーブル要素節点と膜材料面の有限要素節点と共通の節点をもち，膜，ケーブルの複合構造として解析されている。実際には膜材料とケーブル材料との摩擦抵抗を無視すれば，ケーブル張力は風圧力のように面に垂直に作用するような場合にはほぼ等張力となるが，膜材料節点を共有しているため，膜材料面の張力が大きい部分では，その局部的ケーブル張力で実際の場合より，膜張力は低く評価され，ケーブル張力は高く評価されることとなる。

ケーブル節点を膜材料面上の滑り節点として解析する方法はいくつかの手法が提案されている。実用的には，ケーブル節点と三角形膜要素と間にばねを入れた解析例もあるが，膜材料面の解析上の節点と

ケーブル材料の解析上の節点を共通のものとして解析された場合には，得られた結果について考察を加え，膜材料，ケーブル材料とも安全側の設定を行う。

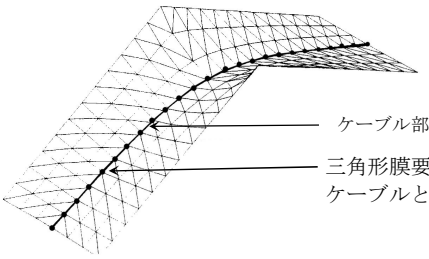


図 A1.15 ケーブルと膜の共通節点

引張弾性係数

ケーブル材の弾性係数は，その構成によってかなりの幅があり，また同じ構成であっても，径により異なり，プレストレッチングの方法によっても異なる。さらに製造ロットによるばらつきもある数値となる。

構造用ケーブル材料の構造計算用の引張弾性係数は，製造時ロットによるばらつきが比較的大きく「ケーブル構造設計指針・同解説」では，試験により求めることを原則とし，試験を行わない場合，ケーブル材のプレストレッチング後の引張弾性係数は最小値として，次のように仮定できるとしている。

表 A1.4　構造用ケーブルの引張弾性係数の最小値

ケーブル材料	引張りの弾性係数　N/mm^2
構造用ストランドロープ	140,000
構造用スパイラルロープ，構造用ロックドコイルロープ	160,000

弾性係数の単位は N/mm^2 としているが，断面積については，JIS G3549（構造用ワイヤロープ）－2000 では付表の標準断面積，JIS G3525（ワイヤロープ）－1998 及び JIS G3546（異形線ロープ）－2000 では解説に示されている断面積係数（ロープ径の二乗に対するロープ標準断面積の比）より標準断面積を算出する。標準断面積算出の際は，ロープ中心部繊維心は含まず，鋼心のみを含む。

初期伸び

図A1.16は構造用ケーブル材料のプレストレッチング後の荷重－伸びの関係をモデル化したもので，低荷重領域で初期伸びが生ずる。弾性係数はこの荷重－伸び線図の直線領域における勾配としている。

図 A1.16 における直線領域の始点 A のたて座標の P_a は，構造用ケーブルの構成によって異なるが，破断荷重の 10%程度である。測長マーキングを実施する際のプレストレス荷重 P_m は，通常 P_a より大きな値が設定され，施工に際しては，そのマーキングを基準として長さ調整がされる。従って施工時には伸ばされた状態となっており，短期荷重に対する伸びの評価を行う場合には，初期伸びを考慮する必要はない。ただし，施工時の引き込み量等に関しては初期伸びの影響を考慮する。また，長期荷重が P_a 以下の場合には短期荷重に対する伸びの評価に際して，ケーブル材のサグの影響を含めて適正な弾性係数を設定する必要がある。

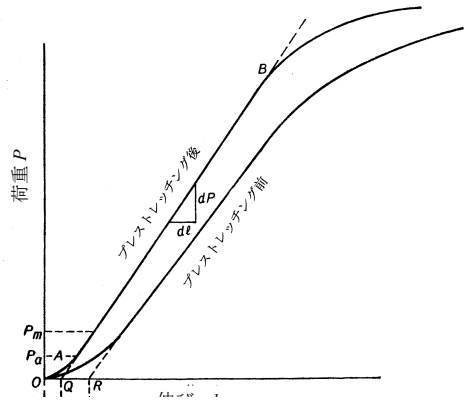


図 A1.16 構造用ケーブルの荷重伸び曲線

表 A1.5 ケーブル材の初期伸び（%）(建築構造ケーブル設計施工指針)

ケーブル材料	初期伸び
JIS G3525（ワイヤロープ） JIS G3546（異形線ロープ）	繊維心：0.3~0.4 程度 ロープ心：0.2~0.3 程度
JIS G3549（構造用ストランドロープ）	0.1 ~0.2
JIS G3549（構造用スパイラルロープ）	0.05 ~0.1
JIS G3549（構造用ロックドコイルロープ）	0.05 ~ 0.1

A1.6 荷重

骨組等への荷重

膜面に発生した張力は，架構骨組・構造用ケーブルへ流れる。膜面の構造解析を架構骨組，構造用ケーブルと一体として行う場合はよいが，膜面に発生した張力の反力を使い，別途，架構骨組又は架構構造用ケーブルの構造計算に用いる場合は，構造用ケーブルでは膜材料からの張力により比較的大きな変形が起こる。この変形により膜材料の張力が変化するので，再度膜材料の張力の計算が必要となる。架構構造用ケーブルと膜材料とは一体として解析することが望ましい。

また，骨組の構造計算を行う場合，膜材料の反力と張力方向を考慮せず，荷重を分担する面積に応じて直接骨組に荷重が作用すると考えると，膜材料の反力の方向と逆の方向が想定される場合が発生することもあるので注意する。例えば，膜面がある凹状態にサグをもっている場合，上向きの風圧力によっても膜面が上に凸状態にならない場合には，風圧力によって発生する骨組への応力は下向きの状態のままとなる。特に膜面に押えケーブルのある場合には，上向きの風圧力によっても，膜面は上に凸の状態にはならない。上向きの風圧力は主に押えケーブルが負担することとなり，骨組には下向きの荷重が作用することとなる。

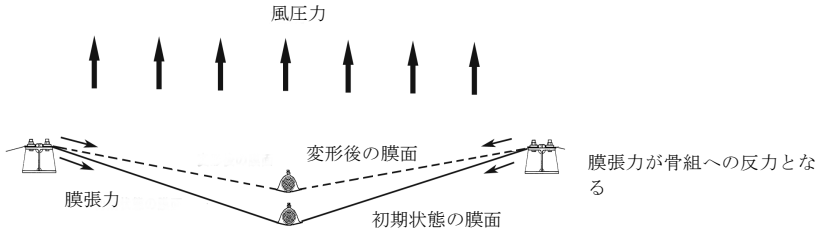


図 A1.17 骨組への反力

A1.7　仮設建築物の設計荷重

建築基準法施行令第 147 条の規定（仮設建築物等に対する制限の緩和）では，法第 85 条第 2 項（災害時の応急仮設建築物等），第 5 項（仮設興行場，博覧会建築物，仮設店舗等）のいずれかに該当する仮設建築物は，令第 3 章第 8 節の構造計算の規定は適用除外とされている。したがって，仮設建築物の設計に用いる荷重及び外力は，特定行政庁の許可のもとで，供用期間の実況に応じて設定することになる。過去においては空気膜構造の仮設建築物について，建築基準法旧第 38 条の認定に基づく通達「ニューマチック構造（空気膜構造）設計規準（昭 46 住指発第 309 号）」により，風圧力の算出の際に考慮する設計用再現期間を 10 年として設計が行われていた。その後，日本建築学会より期限付き構造物の設計・施工マニュアル・同解説や期限付き建築物設計指針，建築物荷重指針が発刊され，期限付き建築物の設計荷重の再現期間や基本風速，再現期間換算係数の考え方が整理された。ここでは，これら指針等のうち風荷重に関わる内容を再掲し，基本風速および再現期間換算係数の算出方法を示す。

1986 年には日本建築学会から発刊された「期限付き構造物の設計・施工マニュアル・同解説－各種建築物（膜構造・つり構造等）及び工作物－」では，膜構造による仮設建築物の設計荷重に関して，以下のように規定されている。

期限付き構造物の設計・施工マニュアル・同解説－各種建築物（膜構造・つり構造等）及び工作物－

4.1　荷重・外力

4.1.1　期限付き構造物に作用する荷重及び外力としては，固定荷重・積載荷重のほか，実況に応じて積雪荷重・風圧力・土圧・地震動および衝撃による外力を採用する。

4.1.2　固定荷重は実況に応じて計算する。

4.1.3　積載荷重は，工事中および使用期間中の実況に応じて設定する。

4.1.4　積雪荷重の設定は次による。

(1) 使用期間中に降雪期を含まない場合は，積雪荷重を採用しなくよい。

(2) 雪おろし・消雪・滑雪など積雪荷重の低減に有効な対策を講じない場合の積雪荷重は，(1)式によって計算する。

$$S=\alpha \cdot p \cdot Z_S \qquad (1)$$

記号　S：設計用屋根上積雪荷重（kg/m^2）

α：地上積雪深に対する屋根上積雪深の比。降雪時の風によって生じる屋根積雪の吹払いおよび偏分布，ならびに長期にわたって積雪が残存する地方における日降雪時の日射による融雪量の平均的不均一性に応じて推定する。

p：屋根積雪の全層平均単位重量（積雪深 1cm 当り kg/m^2）で，実況に応じて定める。

Z_S：建設地点付近の地上年最大積雪深の再現期待値。再現期間は表 4 に定める年数以上とする。

表 4　積雪荷重算定用年最大積雪深の再現期間（年）

応力組合せ条件 ＼ 建築物・工作物の種別		A 種	B 種
地震・風荷重による応力と組み合わせる場合		2	2
上記以外の場合	使用期間が 1 年の場合	4	3
	使用期間が 2 年以上の場合	使用期間の 3 倍	使用期間の 2 倍

［注］1．使用期間の 1 年に満たない端数は，1 年に切り上げる。

2．A種は，不特定多数の人が集まるような用途のもの，または大規模なもの。
B種はそれ以外のもの。

3．積雪荷重の低減に必要な対策を講じた場合の積雪荷重は，その対策の有効性に応じて設定する。

4.1.5　設計用雪荷重は掲示して，これを超えないよう管理する。

4.1.6　風圧力は，日本建築学会「建築物荷重指針」に準じて設定する。ただし，設計風速の再現期間は表 5 に定める年数以上とする。

表 5　設計風速の再現期間（年）

応力組合せ条件＼建築物・工作物の種別		A 種	B 種
積雪荷重と同時に作用させる場合		2	2
上記以外の場合	使用期間が 1 年の場合	4	3
	使用期間が 2 年以上の場合	使用期間の 3 倍	使用期間の 2 倍

［注］1．使用期間の 1 年に満たない端数は，1 年に切り上げる。
2．A種は， B種の定義は，表4の［注］2による。

4.1.7　地震力は建築基準法施行令による。ただし，使用期間が 5 年以下の場合は低減した値とすることができる。

2013 年には，「期限付き建築物設計指針」が新たに刊行され，期限付き建築物を「仮設建築物と恒久建築物の間にある仕切りを取り払い，両者を統一する設計思想上の概念で一定の使用期間および使用条件を設定して使用する建築物」と定義して，期限付き建築物の計画，構造設計，使用期間中の必須事項，期限満了後の対応について規定および解説を行い，設計例や設計荷重低減の検討例が示された。

期限付き建築物設計指針（2013 年）

3.3　設計荷重

期限付き建築物の構造計算における設計荷重の低減は，以下のように定める。

(1) 積載荷重については，その上限値が建築物に明示され，積載荷重の適切な管理が行われる場合には，実況に応じた値を用いてよい。

(2) 雪荷重，風荷重および地震荷重については，次に示す定められた条件の下では，低減することができる。

①雪荷重および風荷重：恒久建築物と同じ設計用雪荷重および設計用風荷重に対する建築物の安全性を，事前予防処置により確保することが可能であることを構造計算により確認している場合。

②稀に発生するレベルの地震荷重：極めて稀に発生するレベルの設計用地震荷重に対する建築物の安全性を，保有水平耐力計算などで確認している場合。

低減された設計荷重の基本値は，建築物の使用期間 L［年］に安全係数 r を乗じたものを再現期間 rL［年］とする再現期間換算係数 k_r（rL）と，恒久建築物に対する各設計荷重の基本値の再現期間 L_0［年］に対する再現期間換算係数 k_r（(L_0)，および各設計荷重の基本値 P_0 を用いて，次式で計算する。

$$P(rL) = \frac{k_r(rL)}{k_r(rL_0)} P_0$$

ここで P（rL）は，使用期間 L と安全係数 r に応じて低減された設計荷重の基本値である。

(3) 安全係数 r は，設計荷重を超える地震荷重への遭遇や事前予防処置によって建築物の使用性が損なわれて損失が生じるリスク，事前予防処置に要するコスト，設計荷重の低減によって得られるメリットを考慮して rL が L_0 を超えない範囲で設計者が適切な値を設定してよい。

この指針では，「荷重には，規模も時刻も地点も発生予測不可能な地震のようなもののほか，事前の観測などによってある程度の予測や対処が可能な大雪強風などがある。前者に対しての備えを削減するのは困難であるが，後者に対しては事前対処する時間が十分に取れるのであれば軽減や削減は検討できるものとなる。」との考え方に基づいて，使用期間と安全係数に応じて低減された設計荷重の基本値の考え方

を示している。ただし使用期間と安全係数の具体的な数値は示されていない。再現期間換算係数は日本建築学会の建築物荷重指針に示されており，参考にすることができる。

建築物荷重指針・同解説（2015 年）

A6.1.4　再現期間換算係数

再現期間換算係数 k_{Rw} は，（A6.3）式により算定する。

$$k_{Rw}=0.63(\lambda_U-1)\ln t_R-2.9\lambda_U+3.9 \qquad \text{(A6.3)}$$

ただし，$\lambda_U=\dfrac{U_{500}}{U_0}$

U_{500}：地表面の状況が A6.1.7 項に定める地表面粗度区分Ⅱの場合の，地上 10m における 10 分間平均風速の再現期間 500 年に対する値（m/s）であり，図 6.2 により定める。

U_0　：基本風速（m/s）で A6.1.3 項により定める。

t_R　：設計用再現期間（年）

同指針の再現期間換算係数による計算例として，東京と名古屋の設計用再現期間ごとの換算後の風速を**表** A1.6 に示す。**図** A1.18～A1.19 は，日本国内の地表面粗度区分Ⅱ、地上 10m での風速を再現期間 500 年，100 年，1 年の各ケースについて示したものである。これによると，設計用再現期間 50 年および 1 年に対する換算後の風速は，それぞれ東京で 34.8m/s，22.5m/s，名古屋で 29.8m/s，17.5m/s となる。一方，**図** A1.20 は，建築基準法施行令第 87 条および告示 1454 号に定められている基準風速分布である。基準風速は地表面粗度区分Ⅱの地上 10m における再現期間が概ね 50 年である暴風の 10 分間平均風速に相当する値で，東京と名古屋の基準風速 V_0 はいずれも 34m/s となっている。再現期間が概ね 50 年とされているように，建築基準法の基準風速は建築物荷重指針による 50 年再現期待値と必ずしも一致しない。仮設建築物の設計においては，これらの点を考慮したうえで，建築物荷重指針を用いて設計用再現期間に応じた設計風速を設定するのが妥当であろう。

表 A1.6　設計用再現期間と換算後の風速の計算例

設計用再現期間（年）	再現期間換算係数		換算後の風速	
	東京	名古屋	東京	名古屋
U_{100}	37	32		
U_{500}	42	37		
l_U	1.135	1.156		
	k_{Rw}	k_{Rw}	$k_{Rw}U_{100}$	$k_{Rw}U_{100}$
1	0.61	0.55	22.5	17.5
5	0.75	0.71	27.6	22.6
10	0.80	0.77	29.8	24.8
20	0.86	0.84	31.9	26.9
30	0.90	0.88	33.2	28.2
40	0.92	0.91	34.1	29.1
50	0.94	0.93	34.8	29.8
100	1.00	1.00	37.0	32.0
200	1.06	1.07	39.2	34.2
300	1.09	1.11	40.5	35.5

400	1.12	1.14	41.4	36.4
500	1.14	1.16	42.1	37.1

以上のように，再現期間換算係数の算出には設計用再現期間の設定が必要である。前述の期限付き構造物の設計・施工マニュアルでは，建築物・工作物の種別，応力組合せ条件によって荷重の再現期間を定め，積雪，風荷重に対しては使用期間が 2 年未満の場合は 3～4 年，使用期間が 2 年以上の場合はその 2～3 倍としている。また積雪荷重については，使用期間中に降雪期を含まない場合は，積雪荷重を採用しなくよいとしている。なお，強風時には撤去することを前提とした小規模なテントや工作物は，同マニュアルの適用範囲外となっている。

過去の大規模な博覧会では，使用期間が半年から 1 年未満の場合にも再現期間を 10 年としたうえで，新しい技術や材料を用いた大型の仮設建築物を積極的に採用することも行われている。

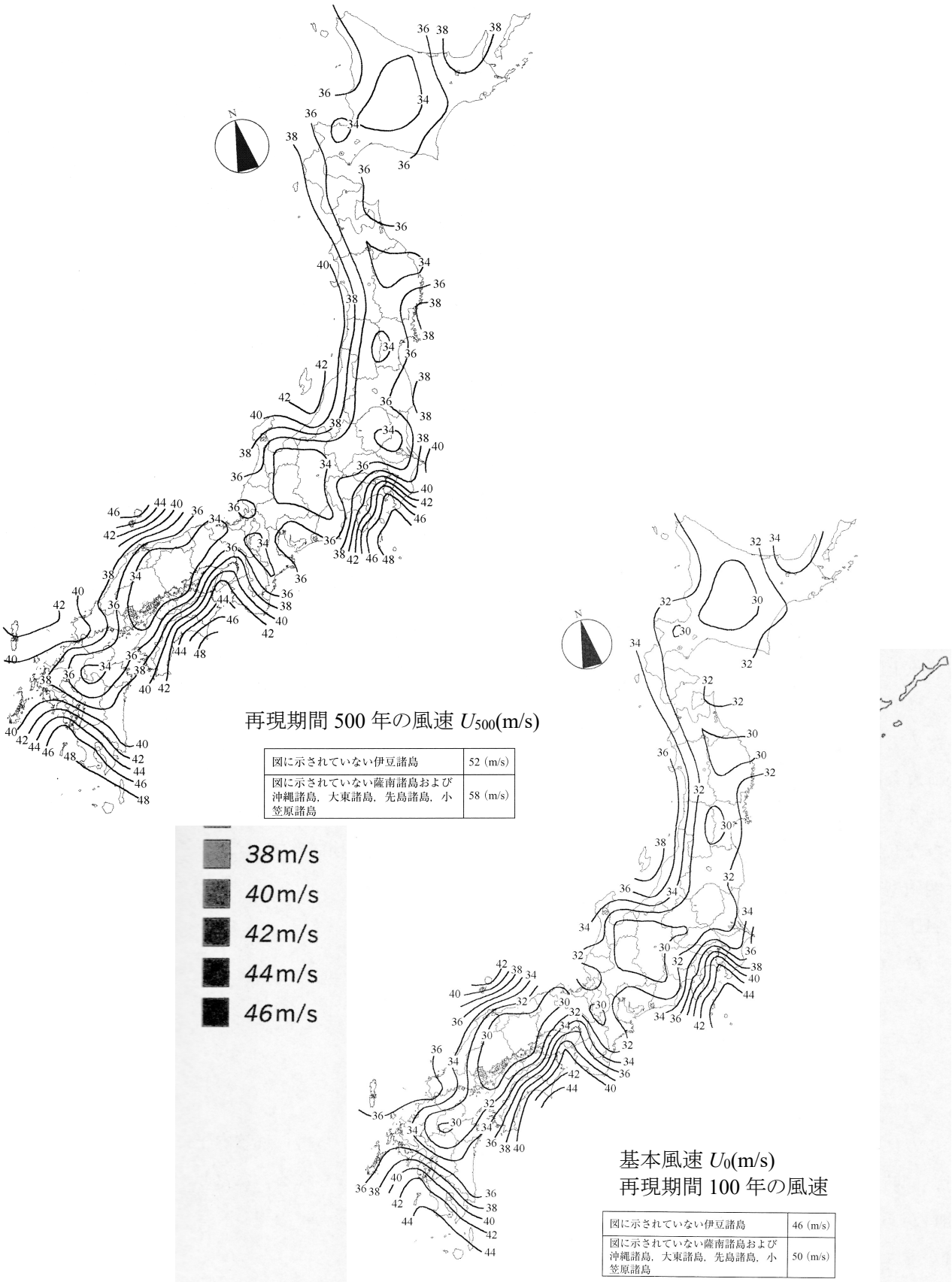
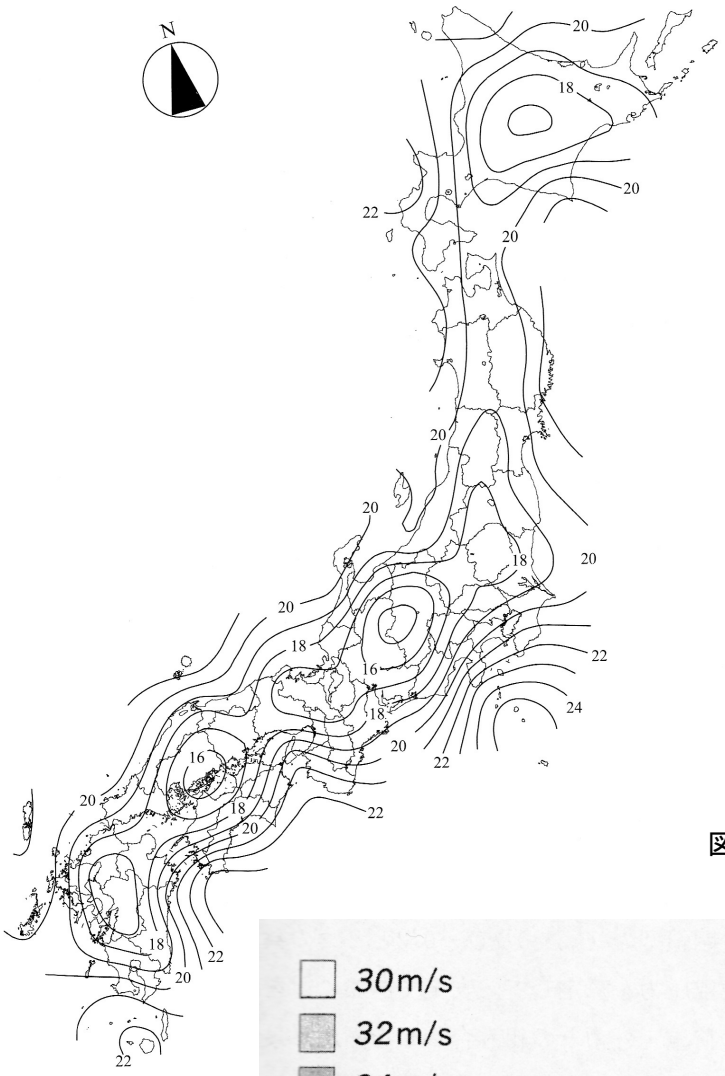


図 A1.18 地表面粗度区分Ⅱ、地上 10m での風速
（出典：建築物荷重指針・同解説 2015）



再現期間1年の風速(m/s)

図に示されていない伊豆諸島および薩南諸島，沖縄諸島，大東諸島，先島諸島，小笠原諸島	27

図 A1.19　地表面粗度区分Ⅱ、地上 10m での風速
（出典：建築物荷重指針・同解説 2015）

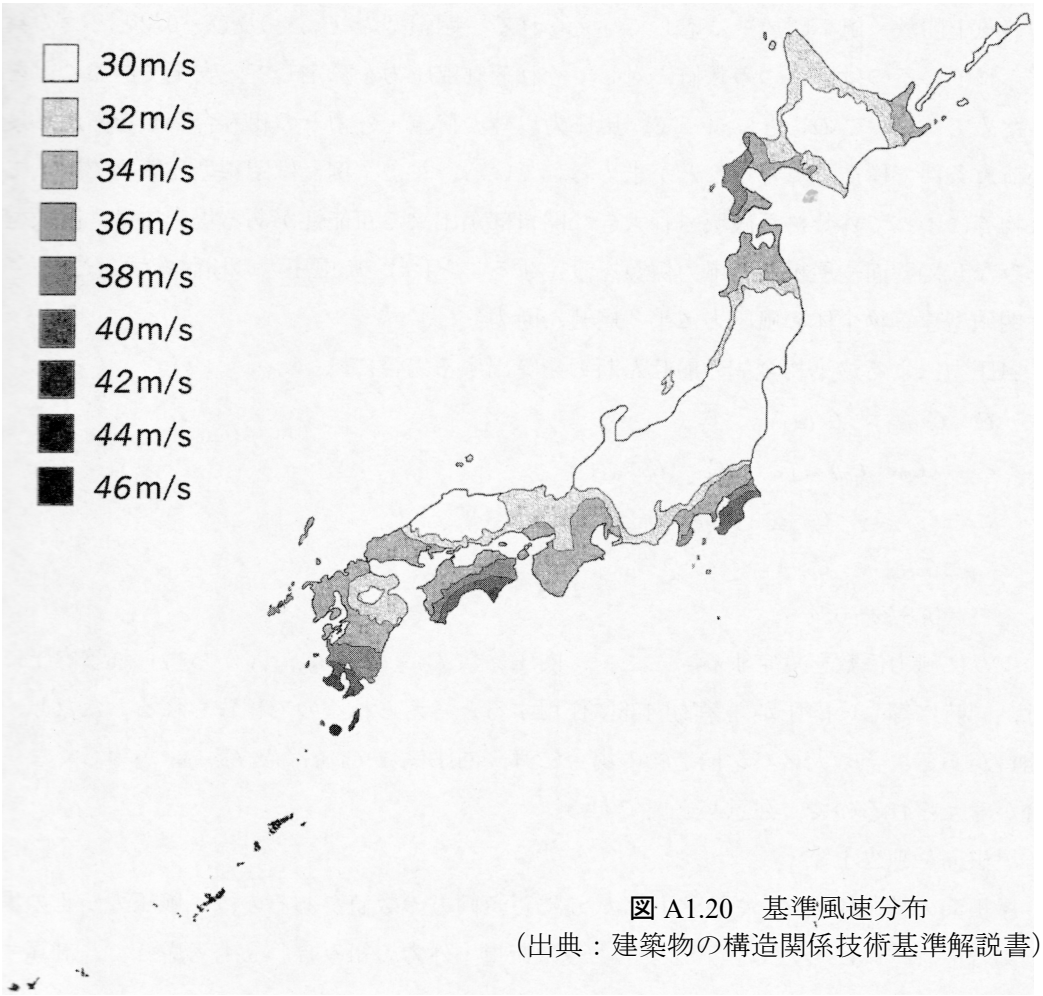


図 A1.20　基準風速分布
（出典：建築物の構造関係技術基準解説書）

（参考文献）

1) 日本膜構造協会「膜構造建築物技術基準・同解説」日本膜構造協会 1989
2) 日本膜構造協会「膜構造建築物構造設計の手引・計算例集」日本膜構造協会 1989
3) 日本膜構造協会「開閉屋根を有する膜構造建築 - 構造設計手引」日本膜構造協会 1996
4) 日本建築学会「荷重指針・同解説」日本建築学会 2015
5) International Association for Shell and Spatial Structures(IASS)“Recommendations for Air-Supported Structures”1985
6) 日本膜構造協会「膜構造の形状解析（形状決定の問題）概説」膜構造研究論文集 89
7) 日本建築学会「開閉式屋根構造設計指針・同解説」日本建築学会 1993

Ａ２　独立上屋のピーク風圧・風力の求め方

A2.1　構造骨組用風力係数

独立上屋は一般に壁がなく柱のみで支えられた構造物であるため，屋根の上下面が乱れの大きな流れに晒される。したがって，上下面ともに大きな変動風圧が作用することになる。屋根面に作用する単位面積当たりの風力 f (N/m^2)は図 A2.1 に示すように，上面に作用する風圧 p_U(N/m^2)と下面に作用する風圧 p_L(N/m^2)の差 $f = p_U - p_L$(N/m^2)で与えられる。構造物に作用する風圧は一般に面を押す方向を正とするので，風力は上面を上から下に押す方向を正とする。p_U および p_L は屋根平均高さ H での速度圧 $q_H = 1/2\rho U_H^2$ (ρは空気密度(kg/m^3)，U_H は屋根平均高さでの平均風速(m/s))で基準化され，風圧係数 C_{pU}，C_{pL} で表される。

$$C_{pU} = \frac{p_U}{\frac{1}{2}\rho U_H^2}, \quad C_{pL} = \frac{p_L}{\frac{1}{2}\rho U_H^2} \qquad \text{(A2.1), (A2.2)}$$

同様に，風力 f も q_H で基準化され，風力係数 C_f で表される。

$$C_f = \frac{f}{\frac{1}{2}\rho U_H^2} = C_{pU} - C_{pL} \qquad \text{(A2.3)}$$

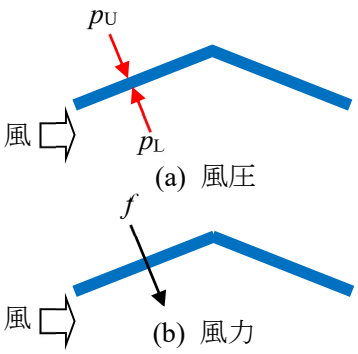
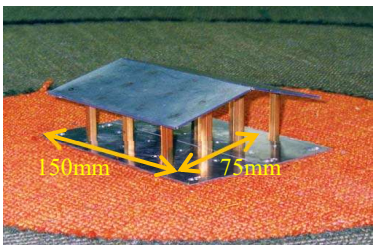


図 A2.1　独立上屋に作用する風圧・風力

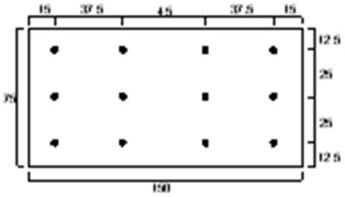
p_U，p_L，f はいずれも時間によって不規則に変動する量であるから，本来，$C_{pU}(t)$，$C_{pL}(t)$，$C_f(t)$と表すべきであるが，簡単のため，ここでは(t)を省略して表す。

p_U および p_L の変動成分は接近流の乱れと屋根端部での流れの剥離に伴う渦に起因して発生するため，両者はある相関を持ちながら不規則に変動する。したがって，一般的には，p_U と p_L のピーク値が同時に発生することはない。風力 f のピーク値を正確に評価するためには，p_U と p_L を同時に測定し，両者の差をとって得られる f の時刻歴から直接評価する必要がある。

風洞実験で独立上屋に作用する風力を測定するためには，図 A2.2 に示すような上下面同位置に風圧測定孔を設けた風圧模型を作製し，風洞気流中で同時測定する必要がある。圧力測定孔に作用する風圧は，屋根内部および屋根を支える柱の内部を通る導圧管を介して風洞床下に置かれた圧力変換器で測定されるのが一般的である。風力係数の詳細な分布を求めるには，圧力測定孔を密に配置したいが，測定点数が多くなると導圧管の数も多くなるため，模型での屋根の厚さと柱のサイズが大きくなり，実際の独立上屋の形状とは大きく異なり，屋根まわりの流れが歪められてしまう。結果として，風力係数を正しく測定することができない。因みに，図 A2.2 の例では，屋根の厚さは 2mm であり，片側屋根(大きさ 75mm×150mm)の上下面にそれぞれ 12 点ずつ圧力測定孔が設けられている(図 A2.2(b))。



(a) 模型写真



(b) 圧力測定孔配置(片面)

図 A2.2　風圧実験模型の例

図 A2.3　風力実験模型の例

通常の模型製作方法では，圧力測定点数，屋根の厚さ，柱の太さはこの程度が限界であると考えられる。最近では 3D プリンターを用いた模型作製が可能となり，これを用いればもっと多くの測定点を設けることが可能になるであろう。

構造物全体に作用する風力や空力モーメントは，分力計（風力天秤）によって直接測定することができる。その場合，図 A2.3 に示すような模型が用いられる。この場合，屋根の厚さや屋根を支持する柱の太さも実構造物に近い値で再現できる。測定も比較的簡単であるが，屋根に作用する風圧や風力の空間的な分布を求めることはできない。

基規準で与えられる独立上屋の構造骨組用風力係数は，風上屋根と風下屋根（片流れ屋根の場合，風上 1/2 領域と風下 1/2 領域）それぞれに対して与えられているのが一般的である。ここで，風上屋根および風下屋根に作用する風力 N_W および N_L は，領域内の各点に作用する風力 f を面平均することで求めることができ，風洞実験では近似的に次式で計算することができる（図 A2.4 参照）。

$$N_W = \int_{A_W} f dA \approx \sum_j f_j \cdot \Delta A_j \qquad \text{(A2.4)}$$

$$N_L = \int_{A_L} f dA \approx \sum_j f_j \Delta A_j \qquad \text{(A2.5)}$$

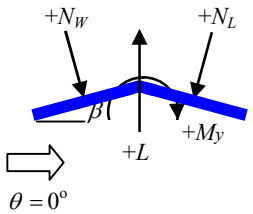


図 A2.4　独立上屋に作用する風力

ここに，A_W および A_L は，それぞれ風上および風下屋根の面積，f_j および ΔA_j は圧力測定点 j における風力(風圧差)およびこの点の荷重負担面積を表す。N_W および N_L は次式のように無次元化される。

$$C_{NW} = \frac{N_W}{q_H A_W}, \quad C_{NL} = \frac{N_L}{q_H A_L} \qquad \text{(A2.6), (A2.7)}$$

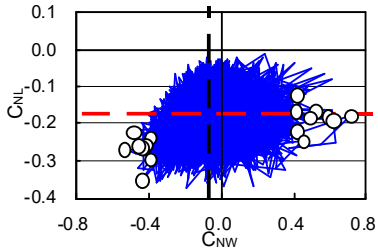


図 A2.5　$C_{NW}-C_{NL}$ リサージュ（切妻屋根，勾配 β=5°）

C_{NW} と C_{NL} は時々刻々不規則に変化する値であり，そのリサージュを描くと図 A2.5 のようである。これは，図 A2.2 に示した模型を用いた風洞実験で測定された実時間 90 分に相当する結果である。図中，○印は C_{NW} が 10 分間のうち最大あるいは最小ピーク値をとるときの C_{NW} と C_{NL} の組み合わせを表している。これより，C_{NW} と C_{NL} は一定の相関をもって変動するが，両者が同時にピークになることはない。したがって，ピーク値同士を組み合わせると，荷重を過大評価する結果となる。また，構造骨組用風力係数として，便宜的に C_{NW} と C_{NL} の時間平均値が用いられることもあるが，それは必ずしも適切ではない。屋根勾配が低いときには，平均値は小さくなるが（例えば，屋根勾配 β =0° の場合，平均値はほぼ 0），気流の乱れにより変動風力は大きな値を示すので，平均値にガスト影響係数を乗じることで設計用風力係数を評価することはできない。変動風力の荷重効果を適切に評価できるような風力係数を設定する必要がある。

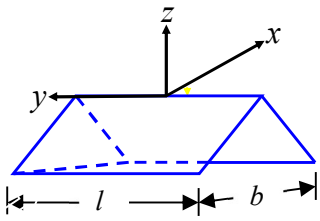


図 A2.6　座標軸の定義

図 A2.6 に示すように座標系を設定すると，設計上特に重要となるのは z 方向の風力(揚力)L と y 軸まわりのモ

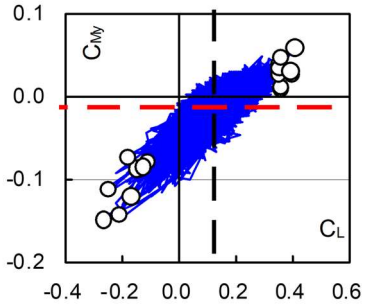
ーメント(空力モーメント)M_yである。これらは，次式のように無次元化され，揚力係数 C_L および空力モーメント係数 C_{My} で表される。

$$C_L = \frac{L}{q_H(b \cdot l)}, \quad C_{My} = \frac{M_y}{q_H(b^{*2} \cdot l)} \qquad \text{(A2.8), (A2.9)}$$

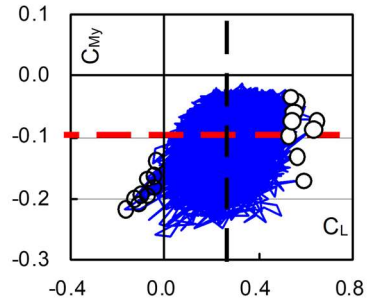
ここに，b^*は「けらば」に沿った屋根の実長さであり，$b^* = b/\cos\beta$ で与えられる。(A2.6)，(A2.7)式で定義される C_{NW}，C_{NL} は，C_L，C_{My} を用いて以下のように表すことができる。

$$C_{NW} = -C_L - 4C_{My}, \quad C_{NL} = -C_L + 4C_{My} \qquad \text{(A2.10), (A2.11)}$$

図 A2.7 に C_{My}−C_L 関係のリサージュを示す。図中の破線は，C_{My} および C_L の時間平均値である。比較的低勾配の切妻・翼型屋根や片流れ屋根の場合，図 A2.7(a)に示すように，C_L と C_{My} は比較的高い相関をもって変動しており，両者がほぼ同時にピーク値をとる。しかし，図 A2.7(b)に示すように，勾配が大きくなると両者の相関は低くなり，ピーク値が同時には生じなくなる。したがって，ピーク値同士の組み合わせでは荷重を過大評価する結果となる。そこで，それらの相関を適切に考慮して風力係数を設定する必要がある。図 A2.7 より，サージュの包絡線は図 A2.8 に示すように，C_L および C_{My} の平均値と最大・最小ピーク値で定義される六角形で近似的に表すことができる。そこで，1～6 の各頂点における C_L，C_{My} の組み合わせに基づき設計用風力係数を評価するのが適当であろう。



(a) 勾配β= 5°



(b) 勾配β= 15°

図 A2.7　C_{My}−C_L リサージュ（切妻屋根）

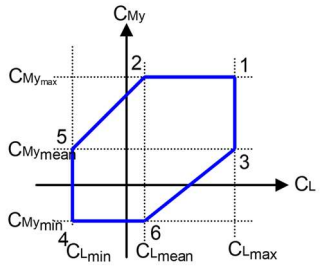


図 A2.8　C_{My}−C_L リサージュ包絡線の六角形による近似

いま，構造骨組用風力係数を設定するにあたり，図 A2.9 に示すように，屋根は剛で四隅の柱で支持されているものと仮定し，設計上重要な荷重効果として柱軸力に着目する。風上屋根および風下屋根(片流れ屋根の場合，風上側および風下側 1/2 領域)の風力係数 C_{NW} と C_{NL} がそれぞれ一定であると仮定すると，柱軸力は C_{NW} と C_{NL}，あるいは，(A2.10)，(A2.11)式より C_L と C_{My} を用いて計算することができる。なお，風向θ= 0°の場合，$N_1 = N_2$，$N_3 = N_4$となる。

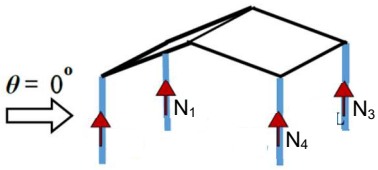


図 A2.9　注目する荷重効果

図 A2.8 に示す六角形の頂点を与える 6 組の(C_L，C_{My})に対して柱軸力を計算し，最大引張力と最大圧縮力を与える C_L と C_{My} の組み合わせを求めると，それに対応する風力係数 C_{NW}, C_{NL} を(A2.10)，(A2.11)式を用いて定めることができる。片流れ屋根および低勾配の切妻屋根や翼型屋根の場合，ピーク値同士の組み合わせ(図 A2.8 の例では，頂点 1 と 4)で柱軸力が最大(引張)あるいは最小(圧縮)となるが，比較的勾配の大きい切妻屋根や翼型屋根では，それら 2 頂点以外の点で最大あるいは最小となることが多い。さらに，片流れ屋根並びに低勾配の切妻・翼型屋根の場合，風向θ= 0°(棟に直交)の場合に，柱軸力の最大・最小ピーク値が発生するので，θ= 0°に対する C_{NW} および C_{NL} の

値(以下，C_{NW0} および C_{NL0} と表す)を基本に構造骨組用風力係数を設定することができる。しかし，屋根勾配が大きくなると，いくらか斜めの方向から風が吹いたときに柱軸力の最大・最小ピーク値が発生するようになる。そこで，$\theta = 0° \pm 45°$ の範囲における柱軸力の最大・最小ピーク値と $\theta = 0°$ における柱軸力の最大・最小ピーク値との比を γ としたとき，C_{NW0} および C_{NL0} を γ 倍することで，最大荷重効果を再現する等価な風力係数を定めることができる。

高さ数メートル，幅 20 メートル程度と規模が比較的小さく，剛性が高い独立上屋を想定すれば，規模効果，共振効果いずれも小さいと考えられる。そのような場合には，変動風速の動的荷重効果は主として気流の乱れによって与えられるので，日本建築学会「建築物荷重指針」(以下，「荷重指針」と呼ぶ)や建設省告示(以下「告示」と呼ぶ)のように，設計風荷重をガスト影響係数法に基づいて設定することができ，しかもガスト影響係数 G_f は準定常仮定に基づき，近似的に次式で与えられる。

$$G_f = (1 + 3I_u)^2 \tag{A2.12}$$

以上より，構造骨組用風力係数 $C_{NW}{}^*$，$C_{NL}{}^*$ は次式で与えられる。

$$C_{NW}{}^* = \frac{\gamma \cdot C_{NW0}}{G_f}, \quad C_{NL}{}^* = \frac{\gamma \cdot C_{NL0}}{G_f} \tag{A2.13), (A2.14}$$

荷重指針における独立上屋の構造骨組用風力係数は以上のような考え方に立って設定されたものであり，切妻および翼型独立上屋に対しては表 A2.1 のように，また，片流れ独立上屋に対しては表 A2.2 のように規定されている。比較のため，告示第 1454 号での規定値を示すと表 A2.3 のようである。荷重指針と告示では，風力係数の規定方法が異なるので，値そのものを直接比較できないが，告示の値は荷重指針と比較して全体的に大きめに設定されている。これは，告示では風上屋根および風下屋根に作用する風力の最大・最小ピーク値に基づいて設定されていることによると推定される。なお，文献 A2.1)によれば，荷重指針の風力係数をオーストラリア・ニュージーランド基準の値と比較すると，風力係数値は異なるが，それらを用いて計算される柱軸力の値はほぼ一致する。

文献 A2.1) 植松　康，飯泉江梨，セオドルスタトポラス：独立上屋の風荷重に関する研究：その 2　構造骨組用風力係数，日本風工学会論文集，Vol.31，No.2，pp.35-49，2006.

表 A2.1　切妻・翼型独立上屋の構造骨組用風力係数(建築物荷重指針)

屋根勾配θ	風力の組合せ 1		風力の組合せ 2	
	R_a 部	R_b 部	R_a 部	R_b 部
−20°	−0.8	0.6	0.0	0.6
−10°	−0.6	0.4	0.1	0.6
0°	−0.4	0.1	0.2	0.1
5°	−0.4	−0.2	0.4	−0.1
10°	−0.2	−0.4	0.5	−0.3
15°	0.0	−0.6	0.7	−0.5
20°	0.2	−0.5	0.8	−0.4

[注] 表に掲げるθ(°)の数値の中間値については，直線補間した値とする.

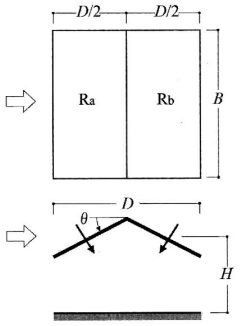


表 A2.2 片流れ独立上屋の構造骨組用風力係数(建築物荷重指針)

風向	屋根勾配θ	風力の組合せ 1		風力の組合せ 2	
		R_a 部	R_b 部	R_a 部	R_b 部
W_1	0°	−0.4	0.1	0.2	0.1
	15°	−1.2	0.0	0.0	0.0
	20°	−1.4	−0.2	0.0	0.0
W_2	0°	0.1	−0.4	0.1	0.2
	15°	0.0	0.0	0.2	1.0
	20°	0.0	0.0	0.3	1.3

[注] 表に掲げるθ(°) の数値の中間値については，直線補間した値とする.

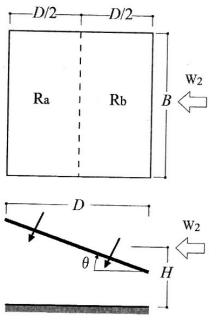


表 A2.3 切妻・翼型独立上屋の構造骨組用風力係数(建設省告示第 1454 号)

図 4 独立上家（表 6 を用いるものとする。）

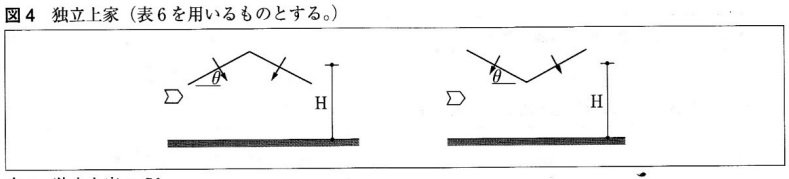


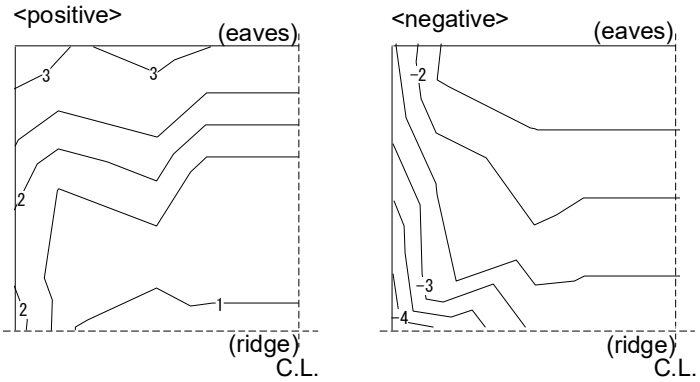
表 6 独立上家の Cf

θ ＼ 部位	切妻屋根				翼型屋根			
	風上屋根		風下屋根		風上屋根		風下屋根	
	正	負	正	負	正	負	正	負
(1) 10 度以下の場合	0.6	− 1.0	0.2	− 0.8	0.6	− 1.0	0.2	− 0.8
(2) 10 度を超え、30 度未満の場合	(1)と(3)とに掲げる数値を直線的に補間した数値							
(3) 30 度	0.9	− 0.5	0	− 1.5	0.4	− 1.2	0.8	− 0.3
けた行方向に風を受ける場合にあっては、10 度以下の場合の数値を用いるものとし、風上から H 相当の範囲は風上屋根の数値を、それ以降の範囲は風下屋根の数値を用いるものとする。								

A2.2　外装材用ピーク風力係数

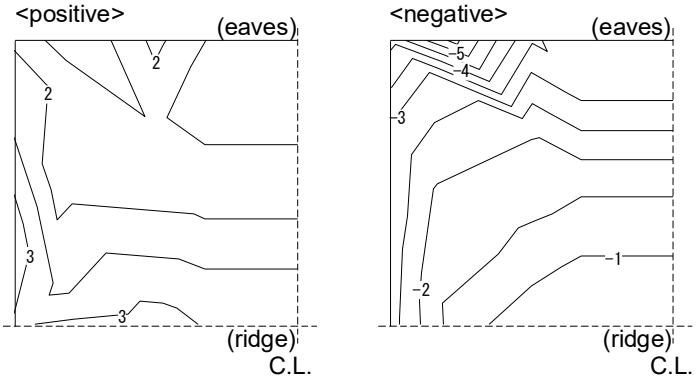
図 A2.10～A2.12 は，切妻・翼型・片流れ独立上屋(屋根勾配β = 15°)について，全風向中の最大(正)および最小(負)ピーク風力係数の分布を示す。なお，図は屋根の対称性を考慮し，切妻・翼型独立上屋については 1/4 領域，片流れ独立上屋については 1/2 領域のみ示している。ここで，ピーク風力係数は，地表面粗度区分Ⅱ(田園地帯)相当の境界層乱流中で得られた各測定点における風力係数の時刻歴を用い，実時間 10 分における最大・最小ピーク値のアンサンブル平均値である。なお，実験では，図 A2.2 に示したような圧力測定孔を均等配置した模型に加えて，屋根周辺部に圧力測定孔を密に配置した模型も用いている。これより，屋根隅角部に大きなピーク風力が作用することが分る。特に，翼型や片流れ独立上屋の場合に負のピーク風力係数が大きい。これは，斜め方向からの風が吹いたとき，端部を頂点とするような円錐形の渦が発生することによるものと考えられる。

屋根葺き材等の外装材は一般に寸法が小さいので，外装材用ピーク風力係数は図 A2.10～A2.12 に示すような全風向中の最大・最小ピーク風力係数分布に基づいて設定される。荷重指針では，外装材の荷重負担面積を 1m^2 と仮定し，最大・最小ピーク風力係数分布を面平均した値を求め，図 A2.13～A2.15 に示すように，屋根領域をいくつかの領域に分け，各領域に対して外装材用ピーク風力係数を規定している。このような外装材用ピーク風力係数は，外装材だけでなく，その定着部分や繋ぎ梁などの二次部材の設計に用いられる。



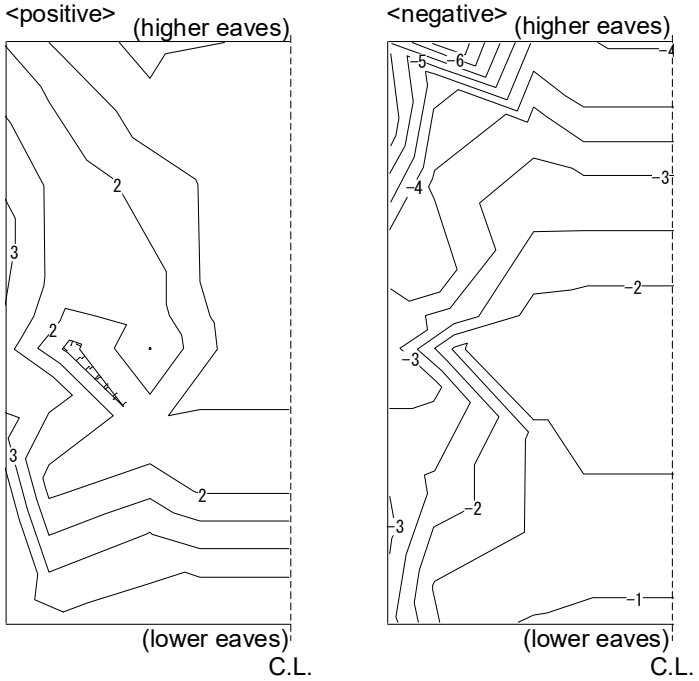
(a) 最大ピーク風力係数　　(b) 最小ピーク風力係数

図 A2.10　全風向中の最大・最小ピーク風力係数の分布（切妻，θ = 15°）



(a) 最大ピーク風力係数　　(b) 最小ピーク風力係数

図 A2.11　全風向中の最大・最小ピーク風力係数の分布（翼型，θ = 15°）

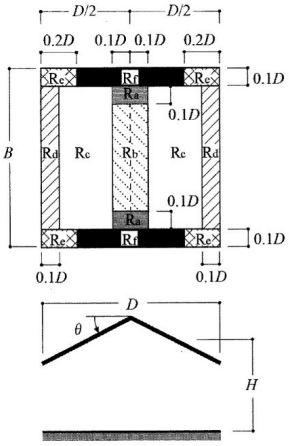


(a) 最大ピーク風力係数　　(b) 最小ピーク風力係数

図 A2.12　全風向中の最大･最小ピーク風力係数の分布（翼型，$\theta = 15°$）

	正のピーク風力係数					負のピーク風力係数				
	屋根勾配θ					屋根勾配θ				
	0°	5°	10°	15°	20°	0°	5°	10°	15°	20°
R_a 部	2.0	2.2	2.4	2.6	2.9	−1.6	−1.6	−3.2	−4.2	−4.0
R_b 部	2.0	2.2	2.4	2.6	2.9	−1.6	−1.6	−2.4	−3.0	−2.9
R_c 部	2.0	2.2	2.4	2.6	2.9	−1.6	−1.6	−1.8	−2.5	−2.4
R_d 部	2.2	2.6	2.9	3.3	3.4	−2.8	−2.8	−1.6	−1.4	−1.7
R_e 部	2.2	2.6	2.9	3.3	3.4	−2.8	−2.8	−2.8	−2.8	−2.7
R_f 部	2.2	2.2	2.2	2.2	2.4	−2.8	−2.8	−3.2	−4.2	−4.0

［注］表に掲げるθ(°) の数値の中間値については，直線補間した値とする．

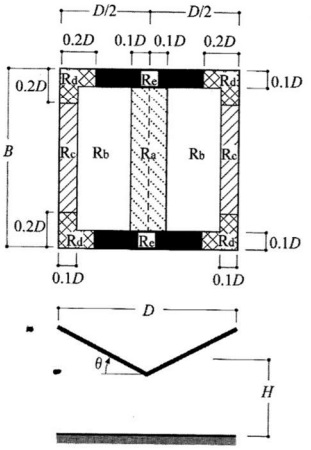


B ：建築物の幅（m）
D ：建築物の奥行（m）
H ：基準高さ（m）
θ ：屋根勾配（°）で，符号は左図に示す方向を正とする．

図 A2.13　切妻独立上屋のピーク風力係数（荷重指針）

	正のピーク風力係数					負のピーク風力係数				
	屋根勾配θ					屋根勾配θ				
	0°	5°	10°	15°	20°	0°	5°	10°	15°	20°
R_a 部	2.0	1.9	2.4	3.2	3.2	−1.6	−1.9	−2.6	−3.0	−3.2
R_b 部	2.0	1.9	1.9	2.4	2.6	−1.6	−1.9	−2.6	−3.0	−3.2
R_c 部	2.2	2.0	1.9	2.4	2.6	−2.8	−3.6	−3.6	−3.6	−3.8
R_d 部	2.2	2.0	1.9	2.4	2.6	−2.8	−3.6	−4.6	−4.8	−4.9
R_e 部	2.2	2.0	2.4	3.2	3.2	−2.8	−2.8	−2.8	−2.8	−3.0

［注］表に掲げるθ(°) の数値の中間値については，直線補間した値とする．

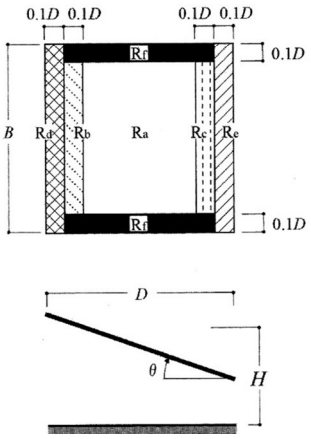


B ：建築物の幅（m）
D ：建築物の奥行（m）
H ：基準高さ（m）
θ ：屋根勾配（°）で，符号は左図に示す方向を正とする．

図 A2.14　翼型独立上屋のピーク風力係数(荷重指針)

	正のピーク風力係数					負のピーク風力係数				
	屋根勾配θ					屋根勾配θ				
	0°	5°	10°	15°	20°	0°	5°	10°	15°	20°
R_a 部	2.0	2.1	2.2	2.3	2.7	−1.6	−2.0	−2.5	−3.3	−3.5
R_b 部	2.0	2.1	2.2	2.5	3.1	−1.6	−4.2	−5.1	−6.3	−6.7
R_c 部	2.0	2.7	3.3	3.5	4.6	−1.6	−2.8	−2.8	−2.8	−3.6
R_d 部	2.2	2.1	2.2	2.5	3.1	−2.8	−4.2	−5.1	−6.3	−6.7
R_e 部	2.2	2.7	3.3	3.5	4.6	−2.8	−2.8	−2.8	−2.8	−3.6
R_f 部	2.2	2.7	3.3	3.5	4.6	−2.8	−3.0	−5.1	−6.3	−6.7

［注］表に掲げるθ(°) の数値の中間値については，直線補間した値とする．



B ：建築物の幅（m）
D ：建築物の奥行（m）
H ：基準高さ（m）
θ ：屋根勾配（°）で，符号は左図に示す方向を正とする．

図 A2.15　片流れ独立上屋のピーク風力係数(荷重指針)

Ａ３　海外基準での風力係数を用いる場合の注意点

建築基準法や日本建築学会・建築物荷重指針で規定されていない形状について調査した結果，海外基準に類似の形状の建物，構造物が規定されている場合がある。その場合，そこに規定されている風圧係数や風力係数を用いる場合，その背景について注意深く検討する必要がある。

風荷重の計算は国によってその方法が異なっている。速度圧一つを取り上げてみても，高さによる変化，構造物の大きさによる低減などを考慮している国，基準風速として，瞬間風速を用いる国，10 分間平均風速を用いる国，1 時間平均風速を用いる国と多種多様である。更にいろいろな係数が乗じられて，その国固有の荷重計算式となっている。

A3.1　オーストラリア／ニュージーランド基準(AS/NZS 1170.2:2011)の場合

オーストラリア／ニュージーランド基準 AS/NZS 1170.2:2011 Stractural design actions Part 2 : Wind actions では片流れ独立屋根，切妻独立屋根，翼型独立屋根，HP 独立屋根，スタンド屋根などについて風力係数を与えている。これらの風力係数を用いる場合, 風荷重 F は次式で求める。

$$\mathrm{F} = (0.5\rho_{air})\left[V_{des,\theta}\right]^2 C_{fig} C_{dyn} A_z \ \ (\mathrm{N})$$

ここに，ρ_{air} ： 空気密度 ＝ 1.2 kg/m^3

$V_{des,\theta}$ ： 建物に直交する(通常 0°，90°，180°，270°)設計風速(m/s)で，建設地点の風速$V_{sit,\beta}$ の最大値に等しい。

$V_{sit,\beta} = V_R\, M_d\, M_{z,cat}\, M_s\, M_t$

V_R ： 1/R の年間超過確率に対する地域のガスト風速(m/s)

M_d ： 主要８風向(N,NE,E,SE,S,SW,W,NW)に対する風向係数

$M_{z,cat}$ ： 地形／高さ係数

M_s ： 遮蔽係数

M_t ： 地形係数

C_{fig} ： 風力係数

C_{dyn} ： 動的応答係数

A_z ： 高さ z での基準面積

これから分かるように，風速はガスト風速(AS/NZS 1170.2:2002 によれば，3 秒ガスト風速)である。従って，AS/NZS 1170.2:2011 の風力係数を用いる場合，V_Rにそのまま我が国の 10 分間平均風速を適用することはできない。使用したい場合は，年最大瞬間風速に基づく再現期待値を算出する，あるいは後に示す風速換算図を利用するなどの方法を採り，ガスト風速にするなどの手段が必要となる。その際の基準高さは地形区分２(我が国の地表面粗度区分 II に相当すると考えられる)での地上高さ 10m と考えられる。

また，風力係数 C_{fig} は独立屋根の場合は次式で与えられる。

$$C_{fig} = C_{p,n} K_a K_l$$

$C_{p,n}$：基準中の表 D4～D10 に示す，独立屋根の風上半分($C_{p,w}$)あるいは風下半分($C_{p,l}$)に対する風力係数から得られる，屋根面に垂直に作用する風力係数

（正は下側への圧力）

K_a：面積低減係数：独立屋根および庇の設計の場合，面積低減係数は$K_a = 1.0$

K_l：局部風圧係数：外装材および独立屋根や庇の外装を直接支えるために供される部材の設計の場合，局部風力係数は下表 D1 に示されている値を用いる。独立屋根および庇の他の部材およびその他のすべての条件では$K_l = 1.0$

表D1　開放構造物への局部風力係数

条件	記　　述	局部風力係数
1	風上側屋根端あるいは 10°以上の屋根勾配を持つ棟の風下側から $1.0a$の距離内にある　　の面積への風圧	1.5
2	風上側屋根端あるいは 10°以上の屋根勾配を持つ棟の風下側から $0.5a$の距離内にある　$0.25a^2$以下の面積への風圧	2.0
3	10°以下の屋根勾配を持つ独立屋根の風上隅角部から$0.5a$ の距離内にある　$0.25a^2$以下の面積への上向きの風圧	3.0

注

1　ここで，a は独立屋根あるいは庇の短いほうの水平距離の　20%

2　外装材の面積が表D1にある複数で条件にわたる場合は，K_l の最大値を用いる

3　屋根上のいかなる局部風力係数の面積の最大アスペクト比は4を超えてはならない

動的応答係数 C_{dyn} については 1 次固有振動数が 1Hz 以上の場合は $C_{dyn} = 1.0$ とし，1 Hz 未満の場合は高層建物および独立の塔については算定方法を示している。また，庇屋根については，0.5Hz 未満については基準でカバーしておらず，0.5 Hz～1 Hz については算定方法を示している。いずれについてもここでは説明を省略する。

以下に AS/NZS 1170.2:2011 に示されている風力係数を例示する。便宜上，図中の表の番号は AS/NZS 1170.2:2011 のままとした。

表D4(A)　片流れ独立屋根の風力係数（$0.25 \le h/d \le 1$の場合）

屋根勾配 (α)°	$\theta = 0°$				$\theta = 180°$			
	$C_{p,w}$		$C_{p,l}$		$C_{p,w}$		$C_{p,l}$	
	下部が空	下部が閉塞	下部が空	下部が閉塞	下部が空	下部が閉塞	下部が空	下部が閉塞
0	−0.3, 0.4	−1.0, 0.4	−0.4, 0.0	−0.8, 0.4	−0.3, 0.4	−1.0, 0.4	−0.4, 0.0	−0.8, 0.4
15	−1.0	−1.5	−0.6, 0.0	−1.0, 0.2	0.8	0.8	0.4	−0.2
30	−2.2	−2.7	−1.1, −0.2	−1.3, 0.0	1.6	1.6	0.8	0.0

表D4(B)　片流れ独立屋根の風力係数（$0.05 \le h/d < 0.25$の場合）

条件	h/d	風上端からの水平距離(x)	風力係数
$\alpha \le 5°$ あるいは $\theta = 90°$の場合のすべてのα	$0.05 \le h/d < 0.25$	$x \le 1h$	$\alpha = 0°$の場合，表D4(A)での$C_{p,w}$に示された値
		$1h \le x \le 2h$	$\alpha = 0°$の場合，表D4(A)での$C_{p,l}$に示された値
		$x > 2h$	-0.2，0.2 下部が空の場合， -0.4，0.2 下部が閉塞の場合，

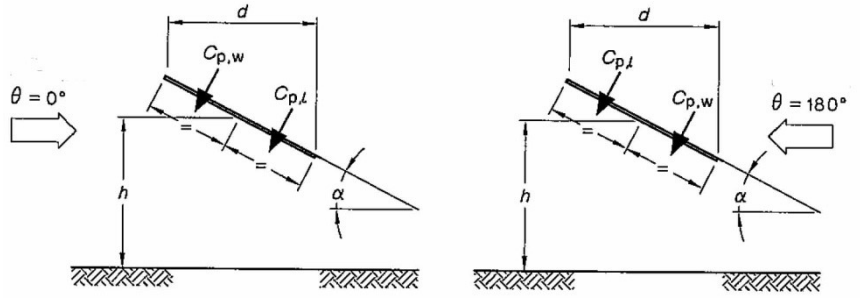


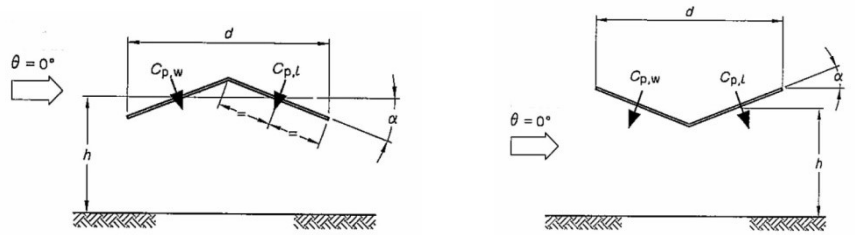
図 A3.1　　AS/NZS による片流れ独立屋根の風力係数

表D5　切妻独立屋根の風力係数　（$0.25 \le h/d \le 1$の場合）

屋根勾配 (α)°	$\theta = 0°$			
	$C_{p,w}$		$C_{p,l}$	
	下部が空	下部が閉塞	下部が空	下部が閉塞
≦15	−0.3 , 0.4	−1.2	−0.4, 0.0	−0.9
22.5	−0.3, 0.6	−0.9	−0.6, 0.0	−1.1
30	−0.3, 0.8	−0.5	−0.7, 0.0	−1.3

表D6　翼形独立屋根の風力係数　（$0.25 \le h/d \le 1$の場合）

屋根勾配 (α)°	$\theta = 0°$			
	$C_{p,w}$		$C_{p,l}$	
	下部が空	下部が閉塞	下部が空	下部が閉塞
7.5	−0.6 , 0.4	−0.7	0.3	−0.3
15	−0.6, 0.4	−0.8	0.5	−0.2
22.5	−0.7, 0.3	−1.0	0.7	−0.2



切妻独立屋根　　翼型独立屋根

図 A3.2　　AS/NZS による切妻および翼型独立屋根の風力係数

表D7　HP独立屋根の風力係数 ― 下部が空の場合

条件	$\theta°$	$C_{p,w}$	$C_{p,l}$
下部が空， $0.25< h/d < 0.5$, $0.1< c/d < 0.3$, かつ $0.75< b/d < 1.25$	0	0.45	0.25
		−0.45	−0.25
	90	0.45	0.25
		−0.45	−0.25

注：風力係数は下向きが正と定義，および同じ記号の値の組み合わせだけは必要に応じて検討する。

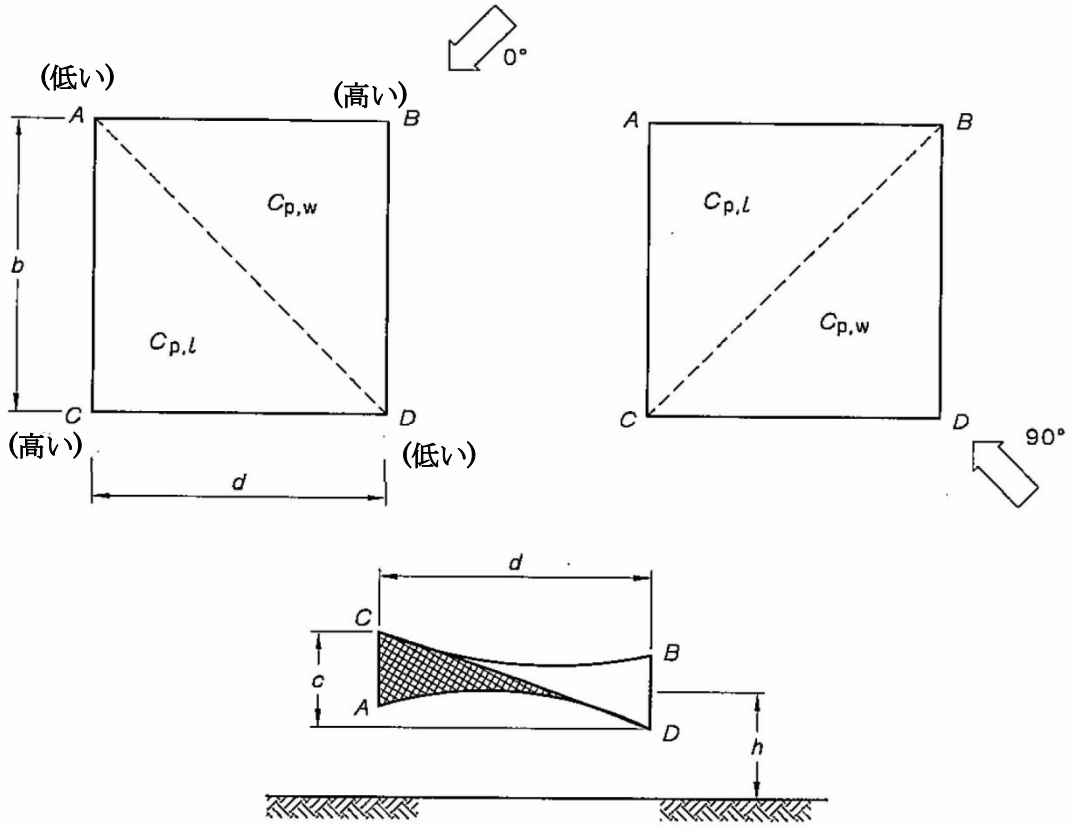


図 A3.3　　AS/NZS による HP 独立屋根の風力係数

表D10　独立片持ち屋根の風力係数　屋根勾配　$-7° < \alpha < 7°$ および $\theta = 0°$ の場合

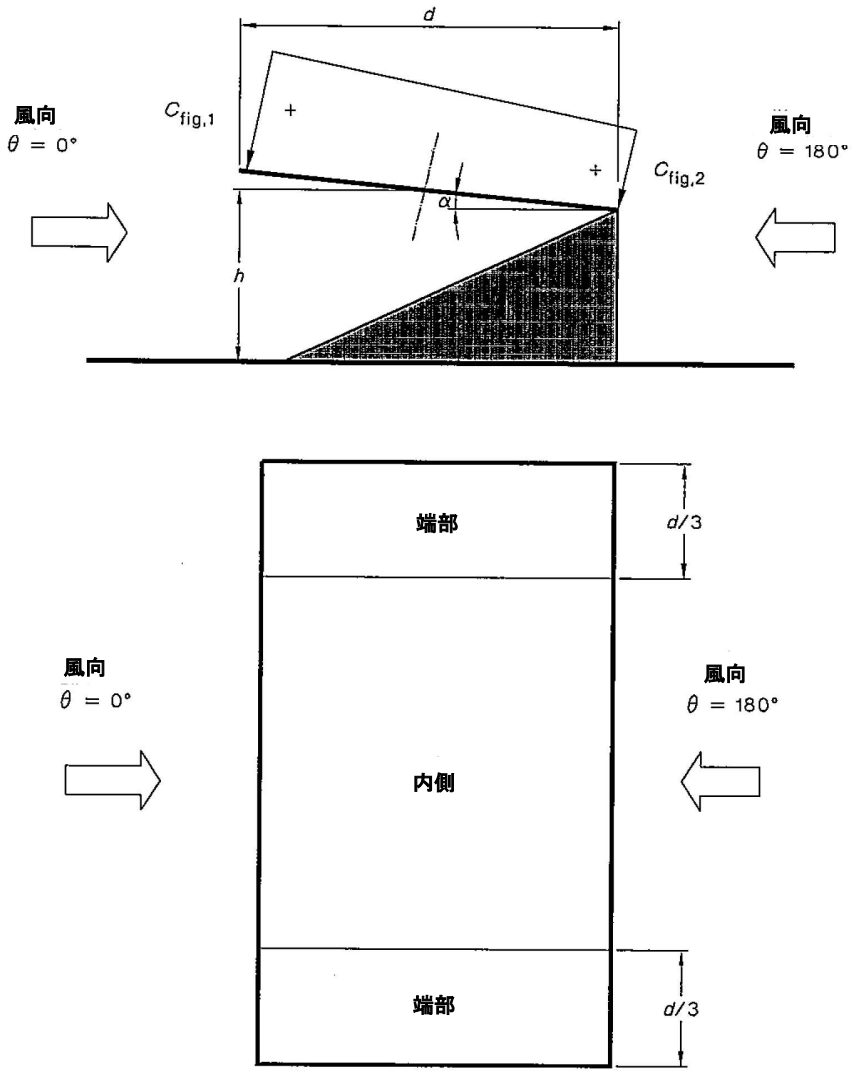
		高さ/スパン比	$h/d \leq 1.4$	高さ/スパン比	$h/d > 1.4$
荷重方向	区画位置	$C_{fig,1}$	$C_{fig,2}$	$C_{fig,1}$	$C_{fig,2}$
上向き荷重(−)	内　側	−1.8	−1.1	−1.4	−1.4
	端　部	−1.3	−1.0	−1.9	−1.1
下向き荷重(+)	内　側	0.25	0.15	0.20	−0.15
	端　部	0.55	0.65	0.20	0.0

下部が閉鎖され，$\alpha = 0°$ で $\theta = 90°$ の場合，表D4(B)の値を用いる。

下部が閉鎖され，$\alpha = 0°$ で $\theta = 180°$ の場合，表D4(A)の値を用いる。

注

1. 屋根材への外装荷重は，下部が閉鎖されていると仮定し，D3節(独立屋根およびキャノピー)を使用する。
2. 当該の片持ち屋根の6倍の屋根高さ内に，似たような高さの観覧席がある場合，風洞実験あるいは類似の調査を実行すべきである。



風下側が解放されている場合は基準には規定されていない

図 A3.4　　AS/NZS による独立片持ち屋根の風力係数

A3.2　アメリカ土木学会(ASCE/SEI 7-05)の場合

アメリカ土木学会の ASCE 7-05 Minimum Design Loads for buildings and other Structures においても，片流れ独立屋根，切妻独立屋根，翼型独立屋根について風荷重を規定している。風荷重は次式で求める。

$$\mathrm{p} = q_h G C_N$$

ここに，q_h = 建設地点でのあらゆる風向に対して最大の風荷重をもたらす粗度区分を用いた平均屋根高さ h で評価される速度圧

= $0.613 K_h K_{zt} K_d V^2 I\ (N/m^2)$；$V\ (m/s)$

K_h = 風当り区分に基づく，高さ h での速度圧露風係数

K_{ht} = 高さ h での地形係数

K_d = 風向係数

V = 基本風速，m/s。粗度区分 C での地上 10m の 3 秒ガスト風速に相当

I = 重要度係数

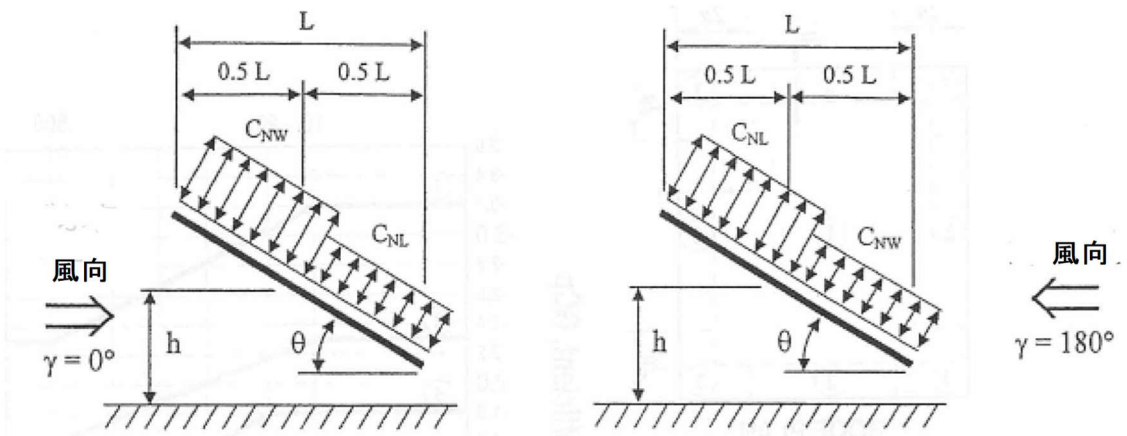
G = ガスト影響係数

C_N = 規準中の図 6-18A から図 6-18D で決定される風力係数

したがって，基本風速に我が国の 10 分間平均風速をそのまま適用することはできない。オーストラリア／ニュージーランド基準同様，年最大瞬間風速に基づく再現期待値を算出する，のちに示す風速換算図を利用するなどの方法を採ることになる。

以下に **ASCE/SEI 7-05** に示されている風力係数を例示する。便宜上図表の番号は **ASCE/SEI 7-05** のままとした。なお，ここでは正味の風圧係数(Net Pressure Coefficient)は風力係数と表現している。

主要耐風システム		$0.25 \leq h/L \leq 1.0$
図6−18A	風力係数, C_N	片流れ独立屋根
開放型建築物		$\theta \leq 45°$, $\gamma = 0°, 180°$



屋根勾配 θ	荷重状態	風向, $\gamma=0°$				風向, $\gamma=180°$			
		遮蔽されてない気流		遮蔽された気流		遮蔽されてない気流		遮蔽された気流	
		C_{NW}	C_{NL}	C_{NW}	C_{NL}	C_{NW}	C_{NL}	C_{NW}	C_{NL}
0°	A	1.2	0.3	−0.5	−1.2	1.2	0.3	−0.5	−1.2
	B	−1.1	−0.1	−1.1	−0.6	−1.1	−0.1	−1.1	−0.6
7.5°	A	−0.6	−1.0	−1.0	−1.5	0.9	1.5	−0.2	−1.2
	B	−1.4	0.0	−1.7	−0.8	1.6	0.3	0.8	−0.3
15°	A	−0.9	−1.3	−1.1	−1.5	1.3	1.6	0.4	−1.1
	B	−0.9	0.0	−2.1	−0.6	1.8	0.6	1.2	−0.3
22.5°	A	−1.5	−1.6	−1.5	−1.7	1.7	1.8	0.5	−1.0
	B	−2.4	−0.3	−2.3	−0.9	2.2	0.7	1.3	0.0
30°	A	−1.8	−1.8	−1.5	−1.8	2.1	2.1	0.6	−1.0
	B	−2.5	−0.5	−2.3	−1.1	2.6	1.0	1.6	0.1
37.5°	A	−1.8	−1.8	−1.5	−1.8	2.1	2.2	0.7	−0.9
	B	−2.4	−0.6	−2.2	−1.1	2.7	1.1	1.9	0.3
45°	A	−1.6	−1.8	−1.3	−1.8	2.2	2.5	0.8	−0.9
	B	−2.3	−0.7	−1.9	−1.2	2.6	1.4	2.1	0.4

備考

1 C_{NW} と C_{NL} はそれぞれ屋根表面の風上側および風下側半分に対する風力係数（上面および下面からの寄与分）を示す。

2 遮蔽されていない気流とは50%以下の遮蔽により比較的遮蔽されていない気流を指す。遮蔽された気流とは気流を妨げる屋根の下の物体（閉塞率50%以上）を指す。

3 7.5° から45° の屋根勾配に対しては直線補間が許される。7.5° 未満の屋根勾配については 0° の風力係数を用いる。

4 プラスとマイナスの符号は，それぞれ屋根表面に向かって作用する力と離れる力を意味する。

5 各屋根勾配に対して示されたすべての荷重状態が調査されるべきである。

6 記号

L ： 風向に沿って測った屋根の水平長さ，ft （m)

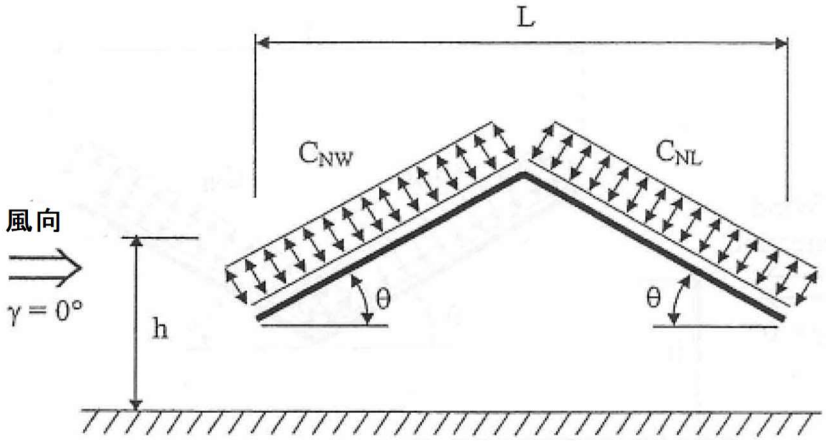
h ： 平均屋根高さ，ft. (m)

γ ： 風向，°

θ ： 水平からの屋根面の角度，°

図 A3.5 ASCE/SEI による片流れ独立屋根の風力係数

主要耐風システム		$0.25 \leq h/L \leq 1.0$
図6-18B	風力係数, C_N	切妻独立屋根
開放型建築物		$\theta \leq 45°$, $\gamma = 0°, 180°$



屋根勾配 θ	荷重状態	風向, γ=0°, 180°			
		遮蔽されてない気流		遮蔽された気流	
		C_{NW}	C_{NL}	C_{NW}	C_{NL}
7.5°	A	1.1	−0.3	−1.6	−1.0
	B	0.2	−1.2	−0.9	−1.7
15°	A	1.1	−0.4	−1.2	−1.0
	B	0.1	−1.1	−0.6	−1.6
22.5°	A	1.1	0.1	−1.2	−1.2
	B	−0.1	−0.8	−0.8	−1.7
30°	A	1.3	0.3	−0.7	−0.7
	B	−0.1	−0.9	−0.2	−1.1
37.5°	A	1.3	0.6	−0.6	−0.6
	B	−0.2	−0.6	−0.3	−0.9
45°	A	1.1	0.9	−0.5	−0.5
	B	−0.3	−0.5	−0.3	−0.7

備考

1 C_{NW} と C_{NL} はそれぞれ屋根表面の風上側および風下側半分に対する風力係数(上面および下面からの寄与分)を示す。

2 遮蔽されていない気流とは50%以下の遮蔽により比較的遮蔽されていない気流を指す。遮蔽された気流とは気流を妨げる屋根の下の物体(閉塞率50%以上)を指す。

3 7.5° から45° の屋根勾配に対しては直線補間が許される。7.5° 未満の屋根勾配については片流れ屋根の風力係数を用いる。

4 プラスとマイナスの符号は, それぞれ屋根表面に向かって作用する力と離れる力を意味する。

5 各屋根勾配に対して示されたすべての荷重状態が調査されるべきである。

6 記号

L : 風向に沿って測った屋根の水平長さ, ft (m)

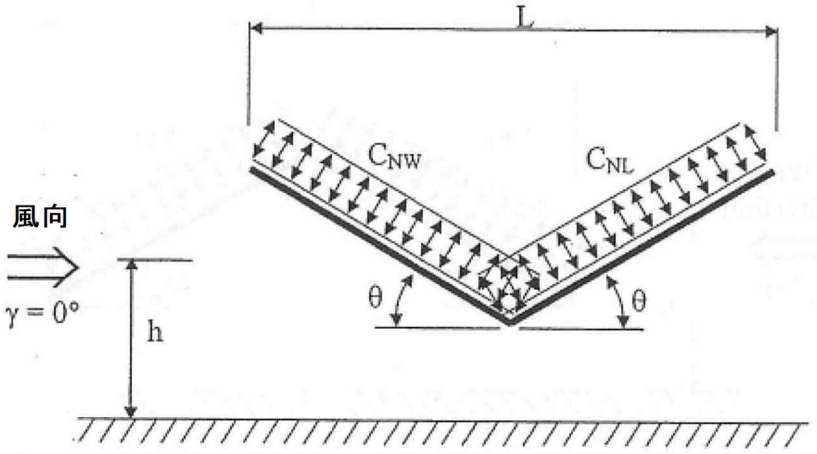
h : 平均屋根高さ, ft. (m)

γ : 風向, °

θ : 水平からの屋根面の角度, °

図 A3.6 ASCE/SEI による切妻独立屋根の風力係数

主要耐風システム		$0.25 \leq h/L \leq 1.0$
図6-18C	風力係数, C_N	翼型独立屋根
開放型建築物		$\theta \leq 45°$, $\gamma = 0°, 180°$



屋根勾配 θ	荷重状態	風向, γ=0°, 180°			
		遮蔽されてない気流		遮蔽された気流	
		C_{NW}	C_{NL}	C_{NW}	C_{NL}
7.5°	A	−1.1	0.3	−1.6	−0.5
	B	−1.2	1.2	−0.9	−0.8
15°	A	−1.1	0.4	−1.2	−0.5
	B	0.1	1.1	−0.6	−0.8
22.5°	A	−1.1	−0.1	−1.2	−0.6
	B	−0.1	0.8	−0.8	−0.8
30°	A	−1.3	−0.3	−1.4	−0.4
	B	−0.1	0.9	−0.2	−0.5
37.5°	A	−1.3	−0.6	−1.4	−0.3
	B	0.2	0.6	−0.3	−0.4
45°	A	−1.1	−0.9	−1.2	−0.3
	B	0.3	0.5	−0.3	−0.4

備考

1 C_{NW} と C_{NL} はそれぞれ屋根表面の風上側および風下側半分に対する風力係数(上面および下面からの寄与分)を示す。

2 遮蔽されていない気流とは50%以下の遮蔽により比較的遮蔽されていない気流を指す。遮蔽された気流とは気流を妨げる屋根の下の物体(閉塞率50%以上)を指す。

3 7.5° から45° の屋根勾配に対しては直線補間が許される。7.5° 未満の屋根勾配については片流れ屋根の風力係数を用いる。

4 プラスとマイナスの符号は, それぞれ屋根表面に向かって作用する力と離れる力を意味する。

5 各屋根勾配に対して示されたすべての荷重状態が調査されるべきである。

6 記号

L : 風向に沿って測った屋根の水平長さ, ft (m)

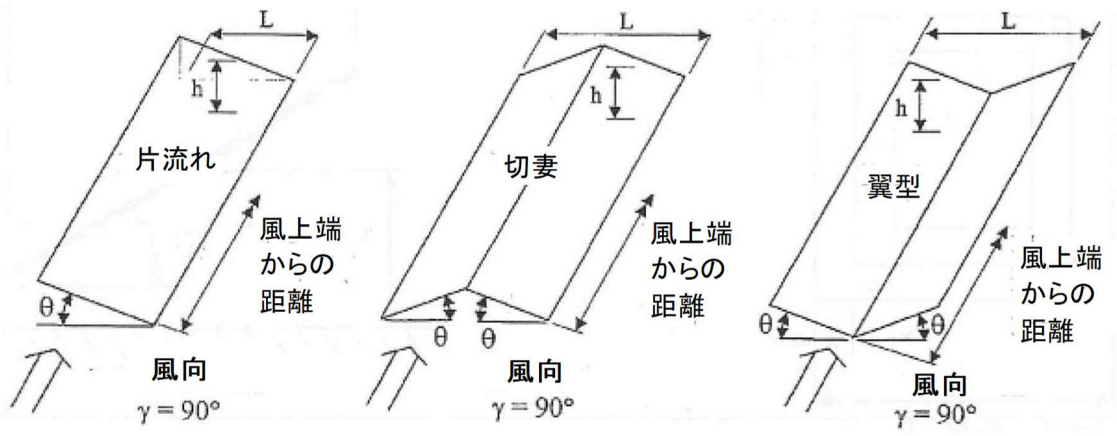
h : 平均屋根高さ, ft. (m)

γ : 風向, °

θ : 水平からの屋根面の角度, °

図 A3.7 ASCE/SEI による翼型独立屋根の風力係数

主要耐風システム		$0.25 \leq h/L \leq 1.0$
図6-18D	風力係数, C_N	翼型独立屋根
開放型建築物		$\theta \leq 45°$, $\gamma = 0°, 180°$



風上端からの水平距離	屋根勾配 θ	荷重状態	遮蔽されてない気流 C_N	遮蔽された気流 C_N
$\leq h$	すべての形状	A	−0.8	−1.2
	$\theta \leq 45°$	B	0.8	0.5
$> h$, ≤2h	すべての形状	A	−0.6	−0.9
	$\theta \leq 45°$	B	0.5	0.5
$> 2h$	すべての形状	A	−0.3	−0.6
	$\theta \leq 45°$	B	0.3	0.3

備考

1 C_N は風力係数(上面および下面からの寄与分)を示す。

2 遮蔽されていない気流とは50%以下の遮蔽により比較的遮蔽されていない気流を指す。遮蔽された気流とは気流を妨げる屋根の下の物体(閉塞率50%以上)を指す。

3 プラスとマイナスの符号は, それぞれ屋根表面に向かって作用する力と離れる力を意味する。

4 各屋根勾配に対して示されたすべての荷重状態が調査されるべきである。

5 $\theta < 5°$ の片流れ独立屋根の場合, 示された C_N の値は $\gamma = 0°$ および $0.05 \leq h/L \leq 0.25$ のケースにも適用する。他の h/L については図6-18Aを参照のこと。

6 記号

L : 風向に沿って測った屋根の水平長さ, ft (m)

h : 平均屋根高さ, ft. (m)

γ : 風向, °

θ : 水平からの屋根面の角度, °

図 A3.8 ASCE/SEI による翼型独立屋根の風力係数

A3.3　イギリス基準(BS 6399-2 ： 1997)の場合

イギリス基準 BS 6399-2 : 1997 Loading for buildings – Part 2 : Code of practice for wind loads では片流れ独立屋根，切妻独立屋根，翼型独立屋根(いずれもキャノピーと表現している)について規定し，次式で求める。

$$p = q_s C_p C_a$$

ここで，q_s ＝ 速度圧 ＝ $0.613\,V_e{}^2$

V_e ＝ 有効風速 ＝ $V_S \times S_b$

$V_s = V_b \times S_a \times S_d \times S_s \times S_p$

V_b ＝ 基準風速（m/s）

S_a ＝ 高度係数

S_d ＝ 風向係数

S_s ＝ 季節係数

S_P ＝ 確率係数

S_b ＝ 地形及び建築物係数

C_p ＝ 風力係数(正味の風圧係数)

C_a ＝ 外圧係数に対する規模効果係数

基準風速V_bは開けた地形での，海抜 10m高さにおける再現期間 50 年の 1 時間平均風速である。従ってイギリス基準における基準風速に我が国の風速をそのまま用いることができない。あえて適用する場合は 10 分間平均風速を 1 時間平均風速に換算する必要がある。方法の一つとして，Vellozzi,J. and Cohen, E. (“Gust Response Factors”, ASCE, J. of Struct. Div. June 1968 pp.1295-1313)による換算図（図 A3.9）がある。また，Mackey (“Effets du Vent sur les Bâtiment Élevés”)は表 A3. 1 のような換算表を示している。

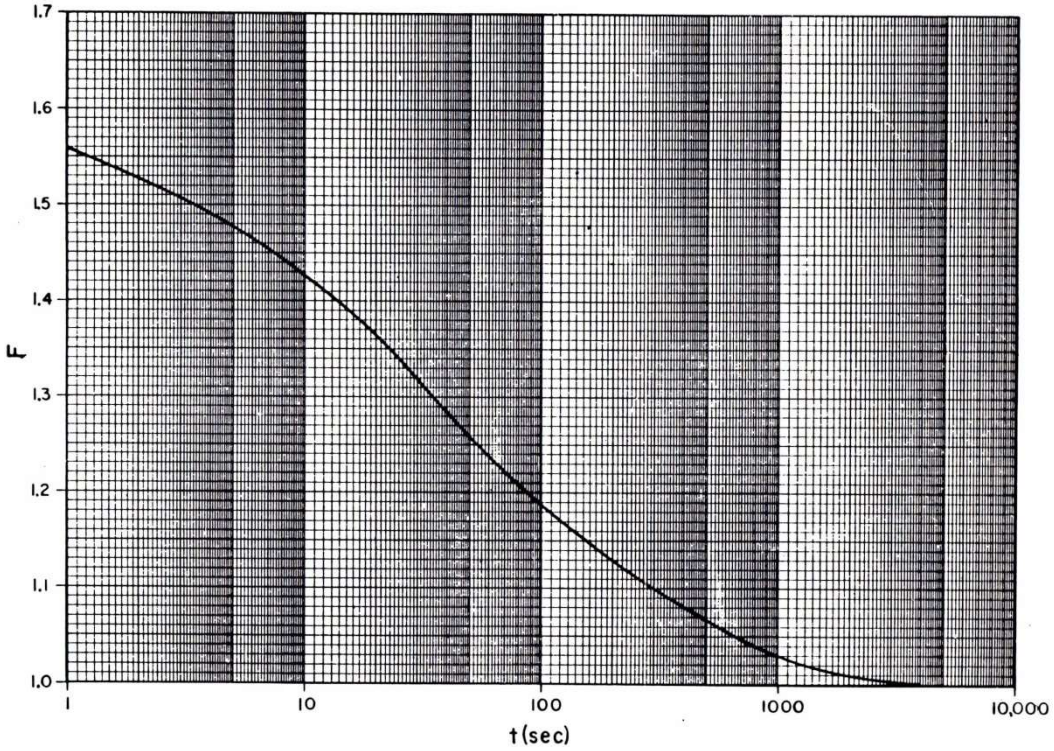


図 A3.9　　開けた場所での 1 時間平均風速に対する t 秒平均風速の比(Vellozzi,J. and Cohen, E.)

表 A3.1　　Mackey による 1 時間平均風速に対する t 秒平均風速の比

	平　均　時　間　t(sec)								
	3600	600	300	60	30	10	5	3	1
都市	1.000	1.202	1.279	1.461	1.538	1.662	1.738	1.797	1.922
郊外	1.000	1.108	1.150	1.248	1.290	1.356	1.398	1.430	1.496
海岸	1.000	1.047	1.062	1.102	1.120	1.147	1.164	1.177	1.205

図 A3.9 と表 A3.1 を比較すると，Vellozzi,J. and Cohen, E.の換算図は Mackey の郊外よりやや都市化した場所でのものと推定される。

以下に BS 6399-2 : 1997 に示されている風力係数を例示する。便宜上図表の番号は BS 6399-2 : 1997 のままとした。なお，ここでは正味の風圧係数(Net Pressure Coefficient)は風力係数と表現している。

表 A3.2　　BS6399-2 による片流れ独立屋根の風力係数

表13　片流れ独立屋根に対する風力係数　C_p

勾配 α	荷重状態	全体係数	局部係数		
			A	B	C
0°	最大値，すべての ζ	+ 0.2	+ 0.5	+ 1.8	+ 1.1
	最小値，ζ＝0	− 0.5	− 0.7	− 1.3	− 1.4
	最小値，ζ＝1	− 1.2	− 1.3	− 1.8	− 2.2
5°	最大値，すべての ζ	+ 0.4	+ 0.8	+ 2.1	+ 1.3
	最小値，ζ＝0	− 0.7	− 1.1	− 1.7	− 1.8
	最小値，ζ＝1	−1.4 (−1.2)	−1.4 (−1.2)	− 2.6	−2.6 (−2.1)
10°	最大値，すべての ζ	+ 0.5	+ 1.2	+ 2.4	+ 1.6
	最小値，ζ＝0	− 0.9	− 1.5	− 2.0	− 2.1
	最小値，ζ＝1	−1.4 (−1.1)	−1.4 (−1.1)	− 2.6	−2.7 (−1.8)
15°	最大値，すべての ζ	+ 0.7	+ 1.4	+ 2.7	+ 1.8
	最小値，ζ＝0	− 1.1	− 1.8	− 2.8	− 2.5
	最小値，ζ＝1	1.5 (−1.0)	−.5 (−1.0)	− 2.9	−2.7 (−1.6)
20°	最大値，すべての ζ	+ 0.8	+ 1.7	+ 2.9	+ 2.3
	最小値，ζ＝0	− 1.3	− 2.2	− 2.8	− 3.2
	最小値，ζ＝1	−1.5 (−0.9)	−1.5 (−0.9)	− 2.9	−2.5 (−1.5)
25°	最大値，すべての ζ	+ 1.0	+ 2.0	+ 3.1	+ 2.3
	最小値，ζ＝0	− 1.6	− 2.6	− 3.2	− 3.2
	最小値，ζ＝1	−1.4 (−0.8)	−1.5 (−0.8)	− 2.5	−2.5 (−1.4)
30°	最大値，すべての ζ	+ 1.2	+ 2.2	+ 3.2	+ 2.4
	最小値，ζ＝0	− 1.8	− 3.0	− 3.8	− 3.6
	最小値，ζ＝1	−1.4 (−0.8)	−1.4 (−0.8)	− 2.0	−2.3 (−1.2)

備考1　補間は0＜ζ＜1の充実率と中間の勾配に対して用いられる。

備考2　ζ＝1に対して2つの値が与えられている場合，最初の値は低い風下軒先が塞がれている場合で，2番目の値（カッコ内）は高い風下軒先が塞がれている場合である。

備考3　荷重状態は起こりうる全ての風向を包括する。風向別有効風速を用いる場合は，以下の値を用いる。

a）得られた有効風速 V_e の最大値とこれらの C_p の値

b）文献〔6〕からの風向別 C_p の値

文献 6　Cook,N.J. *The designer's guide to wind loading of building structures*, Part 2：Static structures. London：Butterworth Scientific, 1985

表 A3.3　　BS6399-2 による両流れ独立屋根の風力係数

表14　両流れ独立屋根に対する風力係数　C_p

勾配 α	荷重状態	全体係数	局部係数			
			A	B	C	D
−20°	最大値，すべての ζ	+ 0.7	+ 0.8	+ 1.6	+ 0.6	+ 1.7
	最小値，ζ＝0	− 0.7	− 0.9	− 1.3	− 1.6	− 0.6
	最小値，ζ＝1	− 1.5	− 1.5	− 2.4	− 2.4	− 1.2
−15°	最大値，すべての ζ	+ 0.6	+ 0.6	+ 1.5	+ 0.7	+ 1.4
	最小値，ζ＝0	− 0.6	− 0.8	− 1.3	− 1.6	− 0.6
	最小値，ζ＝1	− 1.5	− 1.5	− 2.7	− 2.6	− 1.2
−10°	最大値，すべての ζ	+ 0.4	+ 0.6	+ 1.4	+ 0.8	+ 1.1
	最小値，ζ＝0	− 0.6	− 0.8	− 1.3	− 1.5	− 0.6
	最小値，ζ＝1	− 1.4	− 1.4	− 2.5	− 2.5	− 1.2
−5°	最大値，すべての ζ	+ 0.3	+ 0.5	+ 1.5	+ 0.8	+ 0.8
	最小値，ζ＝0	− 0.5	− 0.7	− 1.3	− 1.6	− 0.6
	最小値，ζ＝1	− 1.4	− 1.4	− 2.3	− 2.4	− 1.2
+5°	最大値，すべての ζ	+ 0.3	+ 0.6	+ 1.8	+ 1.3	+ 0.4
	最小値，ζ＝0	− 0.6	− 0.6	− 1.4	− 1.4	− 1.1
	最小値，ζ＝1	− 1.2	− 1.2	− 2.0	− 1.8	− 1.5
+10°	最大値，すべての ζ	+ 0.4	+ 0.7	+ 1.8	+ 1.4	+ 0.4
	最小値，ζ＝0	− 0.7	− 0.7	− 1.5	− 1.4	− 1.4
	最小値，ζ＝1	− 1.2	− 1.2	− 1.8	− 1.6	− 1.6
+15°	最大値，すべての ζ	+ 0.4	+ 0.9	+ 1.9	+ 1.4	+ 0.4
	最小値，ζ＝0	− 0.8	− 0.9	− 1.7	− 1.4	− 1.8
	最小値，ζ＝1	− 1.2	− 1.2	− 1.6	− 1.3	− 1.7
+20°	最大値，すべての ζ	+ 0.6	+ 1.1	+ 1.9	+ 1.5	+ 0.4
	最小値，ζ＝0	− 0.9	− 1.2	− 1.8	− 1.4	− 2.0
	最小値，ζ＝1	− 1.2	− 1.2	− 1.5	− 1.2	− 1.7
+25°	最大値，すべての ζ	+ 0.7	+ 1.2	+ 1.9	+ 1.6	+ 0.5
	最小値，ζ＝0	− 1.0	− 1.4	− 1.9	− 1.4	− 2.0
	最小値，ζ＝1	− 1.2	− 1.2	− 1.4	− 1.1	− 1.6
+30°	最大値，すべての ζ	+ 0.9	+ 1.3	+ 1.9	+ 1.6	+ 0.7
	最小値，ζ＝0	− 1.0	− 1.4	− 1.9	− 1.4	− 2.0
	最小値，ζ＝1	− 1.2	− 1.2	− 1.3	− 1.1	− 1.6

備考1　充実率に対する補間は0＜ζ＜1の範囲で用いられる。
備考2　中間の勾配に対する補間は同じ符号の値間で用いられる。
備考3　荷重状態は起こりうる全ての風向を包括する。風向別有効風速を用いる場合は，以下の値を用いる。
a）得られた有効風速 V_e の最大値とこれらの C_pの値
b）文献〔6〕からの風向別 C_p の値

文献 6　Cook,N.J. *The designer's guide to wind loading of building structures*, Part 2：Static structures. London：Butterworth Scientific, 1985

表 A3.4　　BS6399-2 による独立多スパン屋根に対する低減係数

表15　独立多スパン屋根に対する低減係数

位置	すべての充実率ζに対する係数	
	最大値に対して	最小値に対して
端部スパン	1.00	0.81
2番目のスパン	0.87	0.64
3番目およびそれ以降のスパン	0.68	0.63

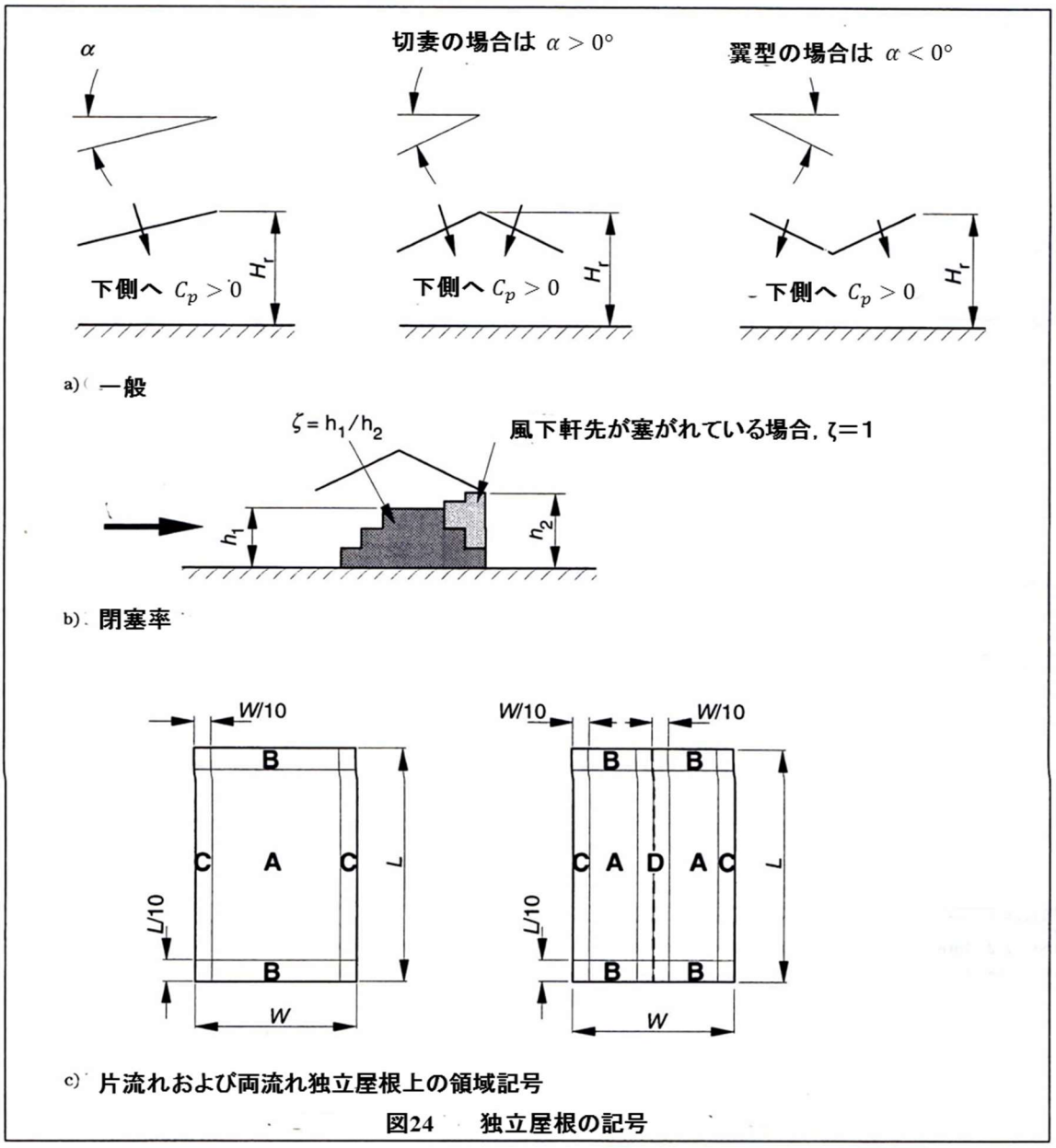


図 A3.10　　独立屋根の記号

ところで，Vellozzi,J. and Cohen, E.によると，1 時間平均風速に対する 10 分(600 秒)平均風速は 1.055 倍, 3 秒平均風速は 1.51 倍であるから 10 分平均風速と 3 秒ガスト風速の比は$1.51/1.055 = 1.431$となり，Mackey によれば$1.430/1.108 = 1.29$となる。また Durst,C.S.(Wind speed over short periods of time, Meteor. Mag., Vol.89, No.1056, 181-187, 1960)によれば，平地で 10 分平均風速と 5 秒ガスト風速の比はおおよそ$1.46/1.07 \sim 1.48/1.06 = 1.364 \sim 1.396$となる。これらから考えると, 3 秒ガスト風速は 10 分平均風速の 1.4 倍程度を見ればよいと考えられる。

同様に，10 分平均風速を 1 時間平均風速にするには Vellozzi,J. and Cohen, E.では 1/1.055＝0.949 倍，Mackey では 1/1.108＝0.903 倍となる。Durst,C.S.によれば，1/1.07＝0.945～1/1.06＝0.943 となる。これから考えると，１時間平均風速は１０分平均風速の 0.94 倍程度を見ればよいと考えられる。

A3.4　フランス基準(Règles N.V.65)の場合

フランス基準 Règles Difinissant les Effets de la Neige et du Vent sur Constructions et Annexes では片流れ独立屋根，切妻独立屋根について風力係数を与えている。計算式は以下で与える。

$T_{dn} = \beta T_{sn}$　：　通常時

$T_{de} = (0.5 + \theta/2)\beta T_{se}$　：　異常時（建物の耐用年限中に出現するような最大瞬間風速を対象）

$T_{sn} = C_{t0} q_{hn} \delta \gamma_0 K_s$

$T_{se} = 1.75 T_{sn}$

C_{t0} ： 風力係数

$q_{hn} = 2.5(H + 18) q_{10}/(H + 60)$

$q_{10} = {V_{10}}^2/16.3\ (N/m^2)$

V_{10} ： 地上 10mでの風速（m/s）

H　： 建物高さ

δ ： 速度圧低減係数

γ_0 ： 風力係数に乗じる係数

K_s ： 地形係数

$\beta = \theta(1 + \xi\tau)$ ： 動的割り増し係数

θ ： 建物の形状による全体係数

ξ ： 応答係数

τ ： 変動係数

フランス基準では，地域をⅠ，Ⅱ，Ⅲに分類し，通常時風速，異常時風速を与えている。通常時風速に対する異常時風速の割合はおおよそ 1.32 倍である。これらのことから，地上 10mでの風速は 10 分間平均風速と推定され，フランス基準の風力係数をそのまま，我が国の速度圧に用いてもよいようである。

フランス基準 Règles Definissant les Effets de la Neige et du Vent sur Constructions(N.V.46) での独立屋根の規定によると，切妻独立屋根の場合の風力係数は以下のように求める。

まず，屋根面を表面と裏面に分け，各面の風圧係数を算定する。

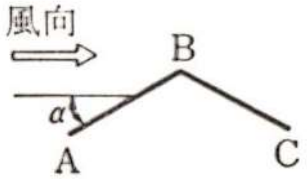
１）表面

a)　風上屋根面（A－B）に対しては

$C = 1.3\alpha/30 - 0.5$ (正圧)，ただし，最大値は＋0.8，最小値は 0

b)　風下屋根面（B－C）に対しては

$C = -1.3\alpha/30$　(負圧)，但し，最大値は 0，最小値は－0.5



２）裏面

裏面に対しては複雑な与え方となる。

a)　0≦α≦30°の場合

まず，屋根稜線Bに対して $C = 0.5(\alpha/30 - 1)$ (負圧)を与える。A端にはこの値の 2 倍の風圧係数を与え，C端には 0 の風圧係数を与え，それぞれを直線で結ぶ。例えば α＝20 度の場合，B端

では風圧係数は$C=-0.167$であるから，Ａ端には$C=-0.33$が与えられ，裏面Ａ－Ｂには－0.33 から－0.167 に，Ｂ－Ｃには－0.167 から 0 に直線的に変化する風圧が与えられる。

b) 30≦α≦90°の場合

全面に一定値　$C=0.5(\alpha/30-1)$（負圧）を与える，ただし，最小値は－0.5

３）風力係数

a) 第１の場合

１），２）で求めた風圧係数を合成する。例えばα＝20 度の場合，風上屋根面Ａ－Ｂの表面には$C_{表A-B}=0.37$，風下屋根面Ｂ－Ｃの表面には$C_{表B-C}=-0.5$が作用する。裏面には，Ａ端で$C=-0.33$，Ｂ端で$C=-0.167$，Ｃ端で$C=0$であるから，屋根面Ａ－Ｂの合力はＡ端で$C_{A端}=0.37-(-0.33)=0.70$，Ｂ端で$C_{B端}=0.37-(-0.167)=0.537$となる分布となる。屋根面Ｂ－Ｃでは，Ｂ端で$C_{B端}=-0.5-(-0.167)=-0.333$，Ｃ端で$C_{C端}=-0.5-0=-0.5$となる分布となる。

b) 第２の場合

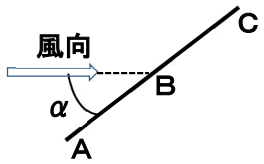
第１で求めた風力係数に，さらにすべての裏側に$C=+0.5$（正圧）を加える。したがって上述の例の場合，屋根面Ａ－Ｂでは，Ａ端で$C_{A端}=0.70-(0.5)=0.20$，Ｂ端で$C_{B端}=0.537-(0.5)=0.037$，屋根面Ｂ－Ｃでは，Ｂ端で$C_{B端}=-0.333-(0.5)=-0.833$，Ｃ端で$C_{C端}=-0.5-(0.5)=-1.0$となる分布となる。

それらをまとめると表 A3.5 のようになる。

表 A3.5　　切妻独立屋根の風圧係数・風力係数の算定(N.V.46)

屋根勾配	表面風圧係数		裏面風圧係数			第1風力係数			第2風力係数		
(°)	A-B	B-C	A点	B点	C点	A点	B点	C点	A点	B点	C点
0	0.000	0.000	−1.000	−0.500	0.000	1.000	0.500	0.000	0.500	0.000	−0.500
5	0.000	−0.217	−0.833	−0.417	0.000	0.833	0.417	−0.217	0.333	−0.083	−0.717
10	0.000	−0.433	−0.667	−0.333	0.000	0.667	0.333	−0.433	0.167	−0.167	−0.933
15	0.150	−0.500	−0.500	−0.250	0.000	0.650	0.400	−0.500	0.150	−0.100	−1.000
20	0.367	−0.500	−0.333	−0.167	0.000	0.700	0.533	−0.500	0.200	0.033	−1.000
25	0.583	−0.500	−0.167	−0.083	0.000	0.750	0.667	−0.500	0.250	0.167	−1.000
30	0.800	−0.500	0.000	0.000	0.000	0.800	0.800	−0.500	0.300	0.300	−1.000
35	0.800	−0.500	−0.083	−0.083	−0.083	0.883	0.883	−0.417	0.383	0.383	−0.917
40	0.800	−0.500	−0.167	−0.167	−0.167	0.967	0.967	−0.333	0.467	0.467	−0.833
45	0.800	−0.500	−0.250	−0.250	−0.250	1.050	1.050	−0.250	0.550	0.550	−0.750
50	0.800	−0.500	−0.333	−0.333	−0.333	1.133	1.133	−0.167	0.633	0.633	−0.667
60	0.800	−0.500	−0.500	−0.500	−0.500	1.300	1.300	0.000	0.800	0.800	−0.500
90	0.800	−0.500	−0.500	−0.500	−0.500	1.300	1.300	0.000	0.800	0.800	−0.500

独立片流れ屋根の場合は以下のようになる。



１）風上側の面

$C=1.3\alpha/30-0.5$　（正圧），ただし，最大値は＋0.8，最小値は 0

２）風下側の面

a) 0≦α≦30°の場合

平均風圧係数は　$C=-0.5$　（負圧）

ただし，正圧の端部であるＡ点では，この値の 2 倍，すなわち $C=-1.0$ を与え，負圧の端部となるＣ点では $C=0$ を与え，その間は直線的に変化させる。

b) 30≦α≦90°の場合

Ａ点には $C=0.25(\alpha/30-1)-1$ を与え，Ｃ点には $C=-0.25(\alpha/30-1)$ を与え，その間は直線的に変化させる。

それらをまとめると表 A3.6 のようになる。

表 A3.6　　独立片流れ屋根の風圧係数・風力係数の算定(N.V.46)

屋根勾配	表面風圧係数	裏面風圧係数	
(°)	A−C	A点	C点
0	0.000	−1.000	0.000
5	0.000	−1.000	0.000
10	0.000	−1.000	0.000
15	0.150	−1.000	0.000
20	0.367	−1.000	0.000
25	0.583	−1.000	0.000
30	0.800	−1.000	0.000
35	0.800	−0.958	−0.042
40	0.800	−0.917	−0.083
45	0.800	−0.875	−0.125
50	0.800	−0.833	−0.167
60	0.800	−0.750	−0.250
90	0.800	−0.500	−0.500

表 A3.5 および表 A3.6 を示したものが，図 A3.10 である。

フランス基準は 1965 年に改訂され，N.V.65 となった。2000 年 4 月版でも N.V.65 であり，内容に変更はない。

N.V.65 による切妻独立屋根の風力係数は以下のように求める。

屋根面と水平面がなす角度(屋根勾配)α に従い，**図 A3.11（R-III-15，カッコ内は基準での番号）**より風上屋根面Ａ点および，Ｂ点に作用する風力係数を求め，それを直線で結ぶ。例えば，屋根勾配 α＝20°の場合，Ａ点での風力係数は C=+0.75 であり，Ｂ点での風力係数は C=+0.575 となるから，これを直線で結んだものが，風上屋根面に作用する風力係数となる。

次に風下屋根面の場合，図Ａ3.12（R-III-15）より，Ｂ点での風力係数は C=－0.325 であり，Ｃ点での風力係数は C=－0. 50 が与えられるから，これを直線で結んだものが，風下屋根面に作用する風力係数となる。

ここで，前述の N.V.46 と風力係数の求め方が異なっていることが分かる。

それでは，屋根面の表側と，裏側の風圧係数はどのようにして求めればよいかについて説明する。

N.V.65 によれば，風上側屋根面Ａ－Ｂの表側については，風圧係数は次のように与えられる。

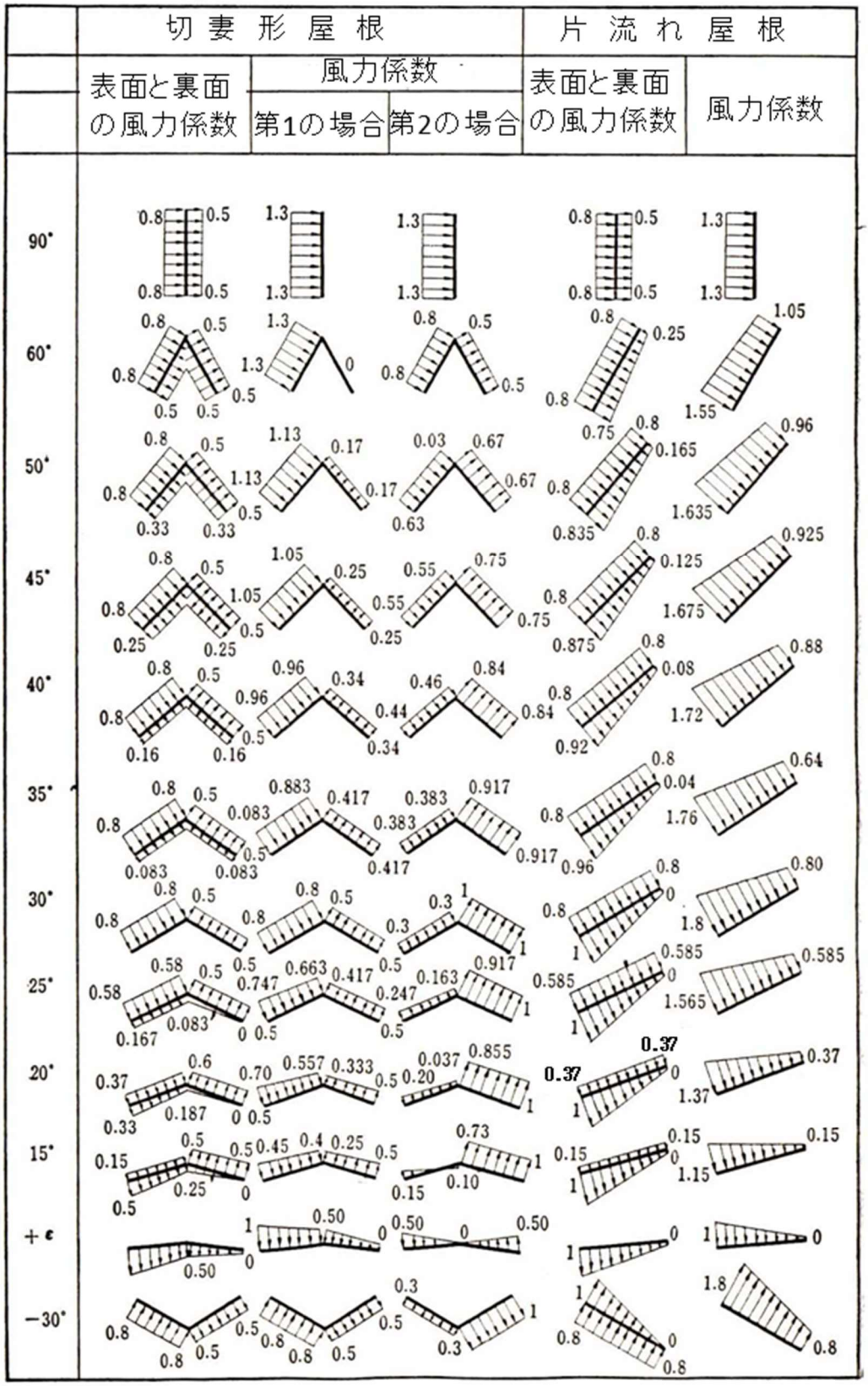
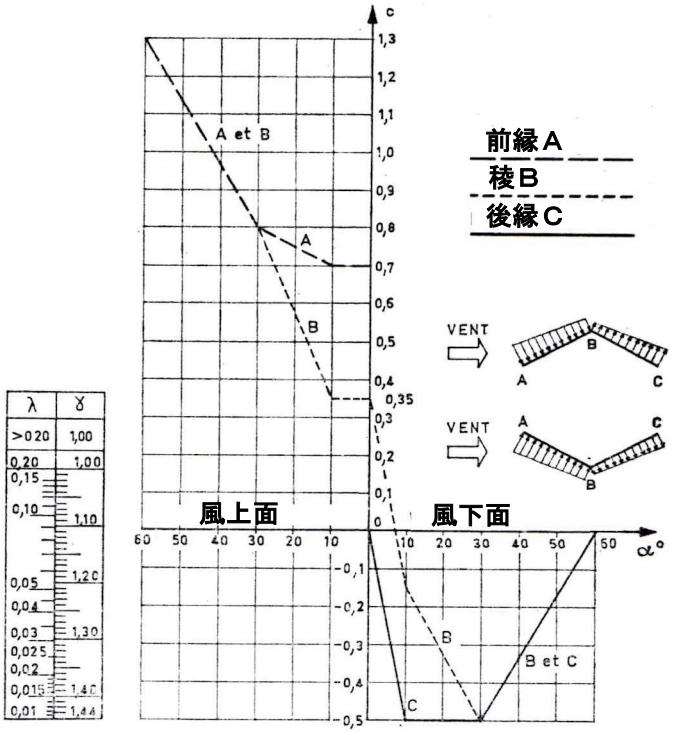


図 A3.10　切妻独立屋根・片流れ独立屋根の風圧係数・風力係数(N.V.46)



図A3.11(R-III-15)　　切妻独立屋根面の風力係数

$0° \leq \alpha \leq 10°$　　$C_1 = 0$

$10° < \alpha < 30°$　　$C_1 = +0.8((\alpha - 10)/20)$

$\alpha \geq 30°$　　$C_1 = +0.8$

風下屋根面Ｂ－Ｃの表側については

$0° \leq \alpha < 10°$　　$C_1 = -0.5\,\alpha/10$

$\alpha \geq 10°$　　$C_1 = -0.5$

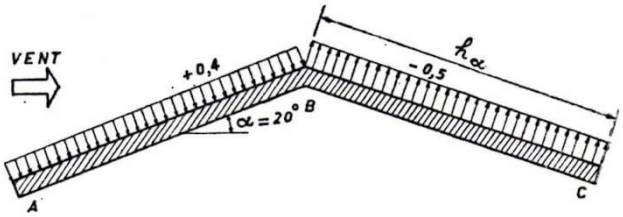


図 A3.12(C-III-50)　表側屋根面の風圧係数(α=20°, γ=1)

例えば，風向角 α=20°の場合，Ａ－Ｂの表側には $C_1 = +0.8\frac{20-10}{20} = +0.4$ が作用し，Ｂ－Ｃの表側には $C_1 = -0.5$ が作用する(図 C-III-50 参照)。

したがって，屋根面の裏側に作用する風圧係数は屋根面表側の風圧係数から，前に求めた風力係数を引くことにより求めることができる。

風上端Ａ点には

$C_2 = C_1 - \mathrm{C} = 0.4 - 0.75 = -0.35$

風上稜線Ｂ点には

$C_2 = C_1 - \mathrm{C} = 0.4 - 0.575 = -0.175$

風下稜線Ｂ点には

$C_2 = C_1 - \mathrm{C} = -0.5 - (-0.325) = -0.175$

風下側後縁Ｃ点には

$C_2 = C_1 - \mathrm{C} = -0.5 - (-0.5) = 0$

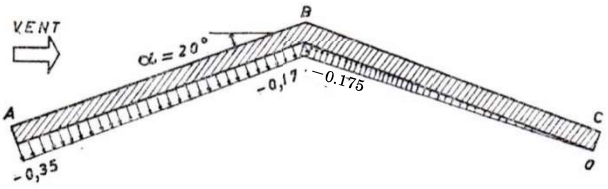


図 A3.13 (C-III-51)　裏側屋根面の風圧係数(α=20°，γ=1)

の風圧係数が作用する。Ａ点とＢ点，Ｂ点とＣ点の値を直線で結べば作用する風圧係数の分布となる(図 A3.13(C-III-51)参照)。

それらをまとめると表 A3.7 のようになり，一部を図示したものが，図 A3.14 である。

表 A3.7　　切妻独立屋根の風力係数・風圧係数の算定(N.V.65)

屋根勾配	風上屋根面風力係数		風下屋根面風力係数		風上屋根表面風圧係数		風下屋根表面風圧係数		風上屋根裏面風圧係数		風下屋根裏面風圧係数	
(°)	A点	B点	B点	C点	A点	B点	B点	C点	A点	B点	B点	C点
0	0.700	0.350	0.350	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	−0.700	−0.350	−0.350	0.000
5	0.700	0.350	0.100	−0.250	0.000	0.000	−0.250	−0.250	−0.700	−0.350	−0.350	0.000
10	0.700	0.350	−0.150	−0.500	0.000	0.000	−0.500	−0.500	−0.700	−0.350	−0.350	0.000
15	0.725	0.463	−0.238	−0.500	0.200	0.200	−0.500	−0.500	−0.525	−0.263	−0.263	0.000
20	0.750	0.575	−0.325	−0.500	0.400	0.400	−0.500	−0.500	−0.350	−0.175	−0.175	0.000
25	0.775	0.688	−0.413	−0.500	0.600	0.600	−0.500	−0.500	−0.175	−0.088	−0.088	0.000
30	0.800	0.800	−0.500	−0.500	0.800	0.800	−0.500	−0.500	0.000	0.000	0.000	0.000
35	0.883	0.883	−0.417	−0.417	0.800	0.800	−0.500	−0.500	−0.083	−0.083	−0.083	−0.083
40	0.967	0.967	−0.333	−0.333	0.800	0.800	−0.500	−0.500	−0.167	−0.167	−0.167	−0.167
45	1.050	1.050	−0.250	−0.250	0.800	0.800	−0.500	−0.500	−0.250	−0.250	−0.250	−0.250
50	1.133	1.133	−0.167	−0.167	0.800	0.800	−0.500	−0.500	−0.333	−0.333	−0.333	−0.333
60	1.300	1.300	0.000	0.000	0.800	0.800	−0.500	−0.500	−0.500	−0.500	−0.500	−0.500

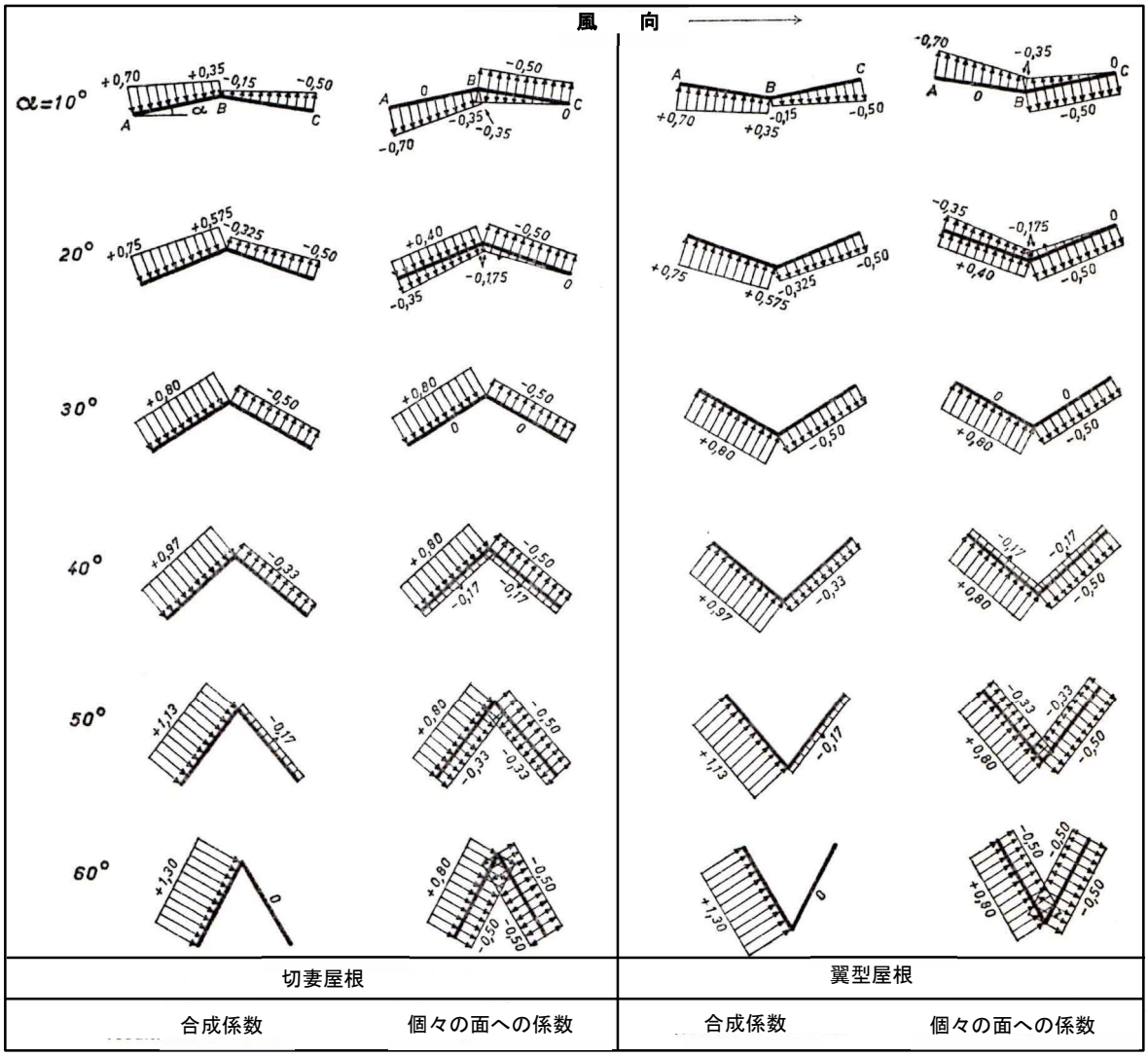


図 A3.14　　切妻独立屋根の風力係数・風圧係数

N.V.65 で与えられる風圧係数，風力係数は，寸法比 $\lambda = h_\alpha / l$ と風向角 α によって求められる係数が

$\gamma = 1$ の場合である。ここで，h_α は屋根面の最大傾斜角に沿う長さ，l は屋根の軒先に平行な長さである(図 A3.15(C-III-45)参照)。寸法比 λ は風向角 α に対し，以下のように求める。

$0° \ll \alpha \ll 45°$ の場合　$\lambda = h_\alpha(1 + \cos 2\alpha)/l$

$\alpha > 45°$ の場合　$\lambda = h_\alpha / l$

これで求まった λ を用い，図A3.11(R-III-15)の関数尺から γ を求めてその値を表 A3.7 または図 A3.14 の値に乗じる。

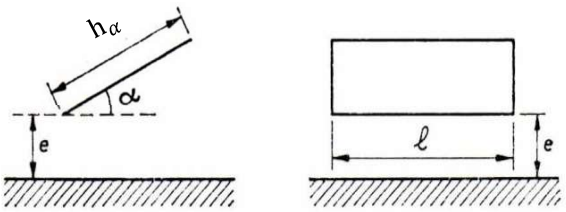
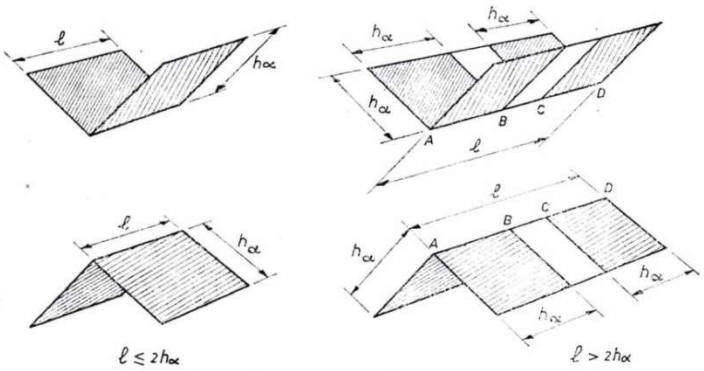


図 A3.15(C-III-45)　寸法比の定義

$\lambda < 0.2$ の場合は，風向角 α の値の如何にかかわらず，λ の関数として図A3.11(R-III-15)の関数尺で与えられる係数 γ を乗じる。

また，屋根面の裏側に風があたるような場合，図 A3.16(C-III-52)に示す領域に $C = +0.5$ の極端な荷重が加わることがあるとしている。これは N.V.46 の第 2 風力係数に相当する。



屋根面の内側に$C = +0.5$ の過度の圧力　　$AB = CD = h_\alpha$の斜線の内側に$C = +0.5$ の過度の圧力

図 A3.16(C-III-52)

片流れ独立屋根の場合も同様の計算過程を経る。図 A3.17(R-III-14)に片流れ独立屋根面の風力係数を示す。

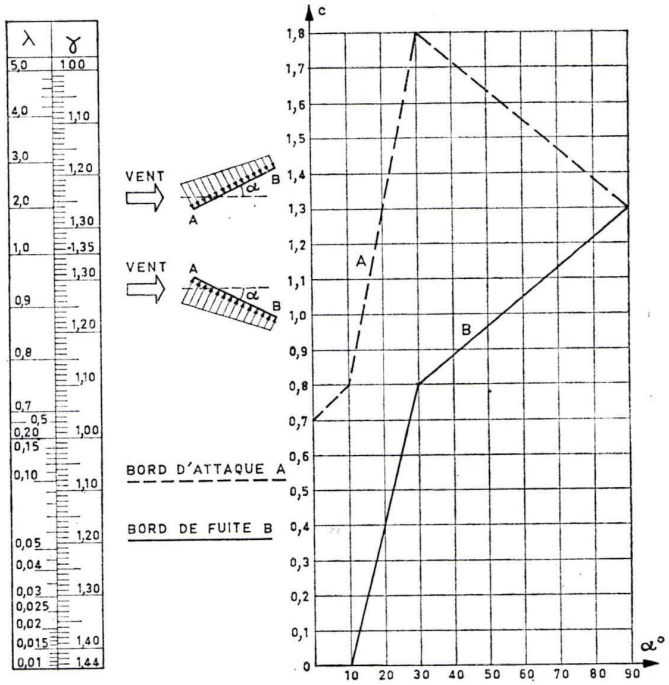


図 A3.17(R-III-14)　　片流れ独立屋根面の風力係数

屋根面Ａ－Ｂの表側の風圧係数は，切妻屋根のＡ－Ｂ面に作用するものと同じ算定式を用いる。すなわち

$$0° \leq \alpha \leq 10° \qquad C_1 = 0$$

$$10° < \alpha < 30° \qquad C_1 = +0.8((\alpha - 10)/20)$$

$$\alpha \geq 30° \qquad C_1 = +0.8$$

裏側の風圧係数の求め方も切妻屋根と同様である。

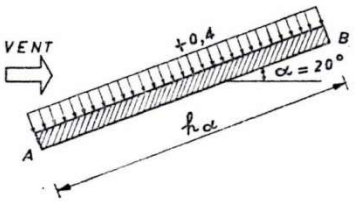


図 A3.18(C-III-48)独立片流れ屋根表面の風圧係数例

($\gamma = 1$ および $\alpha = 20°$ の場合)

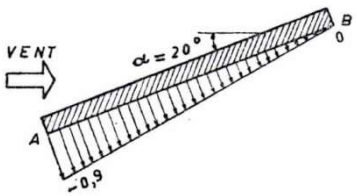


図 A3.19(C-III-49)独立片流れ屋根裏面の風圧係数例

($\gamma = 1$ および $\alpha = 20°$ の場合)

表 A3.8 に独立片流れ屋根の風力係数・風圧係数の算定結果を，図 A3.20 に一部を図示する。

表 A3.8　　独立片流れ屋根の風力係数・風圧係数の算定(N.V.65)

屋根勾配	風力係数		屋根表面風力係数		屋根裏面風圧係数	
(°)	A点	B点	A点	B点	A点	B点
0	0.700	0.000	0.000	0.000	−0.700	0.000
5	0.750	0.000	0.000	0.000	−0.750	0.000
10	0.800	0.000	0.000	0.000	−0.800	0.000
15	1.050	0.200	0.200	0.200	−0.850	0.000
20	1.300	0.400	0.400	0.400	−0.900	0.000
25	1.550	0.600	0.600	0.600	−0.950	0.000
30	1.800	0.800	0.800	0.800	−1.000	0.000
35	1.758	0.842	0.800	0.800	−0.958	−0.042
40	1.717	0.883	0.800	0.800	−0.917	−0.083
45	1.675	0.925	0.800	0.800	−0.875	−0.125
50	1.633	0.967	0.800	0.800	−0.833	−0.167
60	1.550	1.050	0.800	0.800	−0.750	−0.250
90	1.300	1.300	0.800	0.800	−0.500	−0.500

ここで求めた風力係数，風圧係数は，独立切妻屋根と同様，$\gamma = 1$ の場合であり，寸法比 λ により図 A3.17(R-III-14)の関数尺で読み取った γ と風向角 α との関数である係数 γ_α を表 A3.8 または図 A3.20 の値に乗じる。

$\lambda \geq 0.2$ の場合

$\alpha \leq 25°$　　$\gamma_\alpha = 1$

$25° < \alpha < 35°$　　$\gamma_\alpha = ((\alpha - 25)/10)\gamma + ((35 - \alpha)/10)$

$35° \leq \alpha \leq 40°$　　$\gamma_\alpha = \gamma$

$40° < \alpha < 50°$　　$\gamma_\alpha = ((50 - \alpha)/10)\gamma + ((\alpha - 40)/10)$

$\alpha \geq 50°$　　$\gamma_\alpha = 1$

$\lambda < 0.2$ の場合

α の如何にかかわらず $\gamma_\alpha = \gamma$

α が 0 に等しい場合には，以下の値についてその安定性を確かめる必要がある。

前縁では $C = \pm 0.7$ ，後縁では $C = 0$

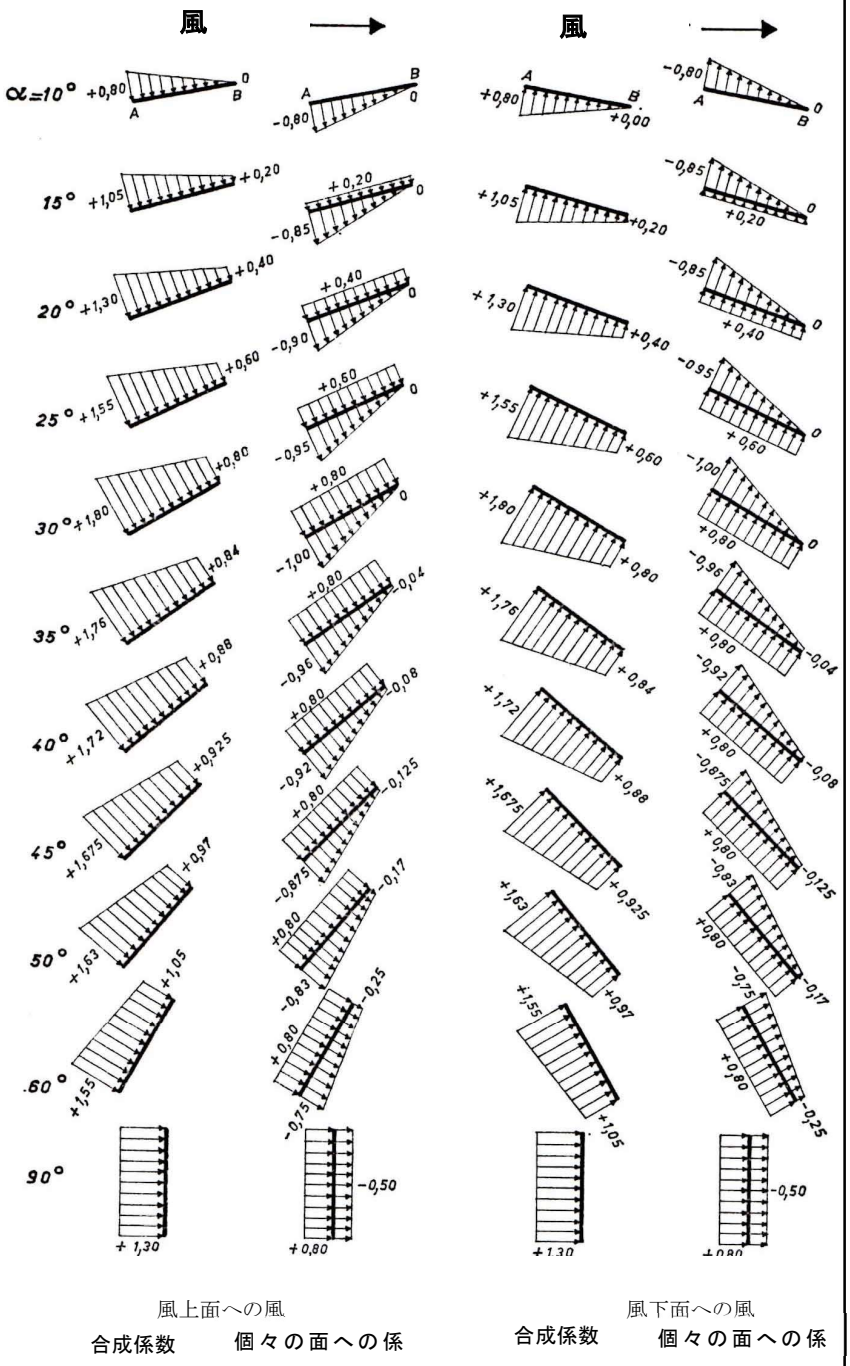


図 A3.20　　片流れ独立屋根の風力係数・風圧係数

フランス基準では，独立円弧屋根については，独立切妻屋根の風圧係数が適用できるとしている。すなわち対称な２つの斜面を持つ建物として以下の場合をあげている。

１) 平面の斜面を持つ屋根

２) f/h_α が 1/7 より小さいか等しい円弧状の斜面を持つ屋根。この場合，弦で形成される斜面で各ドームを置き換える(図 A3.21(C-III-49) 左)。

３) $f/2l$ が 1/4 より小さいか等しい，地面に対して凹の対称ドーム屋根。この場合，弦で形成される斜面で各ドームを置き換える(図 A3.21(C-III-49) 右)。

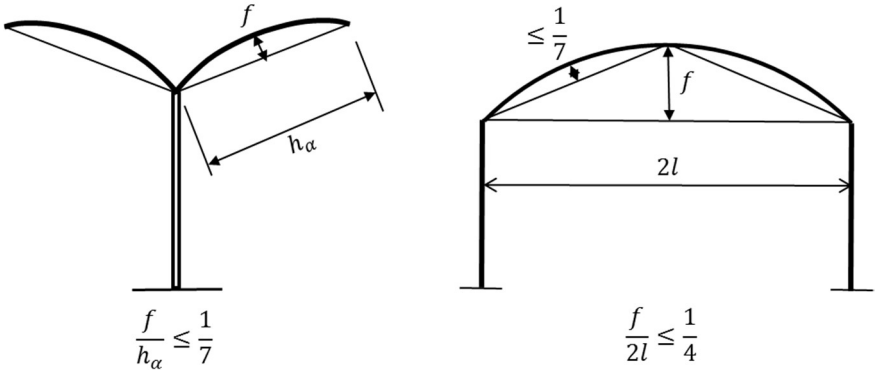


図 A3.21(C-III-49)

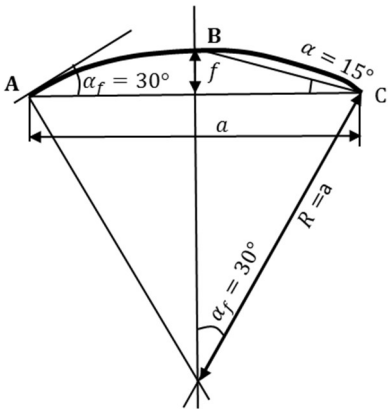


図 A3.22

基準では図 A3.22 に示すようなドーム屋根を例題として示している。つまり弦長 a を半径 R とし，中心角 $\theta = 2\alpha_f = 60°$ を持つドーム屋根を取り上げている。また，屋根の幅を $l = 4a$ と仮定している。

ライズは $f = R(1 - \cos(\theta/2)) = a(1 - \cos 30°) = 0.133a$

従って $f/2l = f/a = 0.133a/a < 1/4$

ドームは半弦により構成される角度 $\alpha = 15°$ を持つ２つの斜面，に置き換えることができる。

つまり，図 A3.23 に示すＡ－Ｂが図 A3.21(C-III-49)の左図の h_α に相当する切妻屋根で構成されていると置き換える。

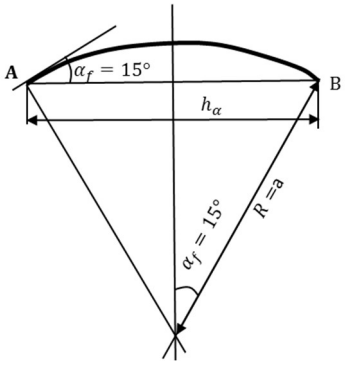
したがって，$h_\alpha = 2 \times R \times \sin 15 = 2\,a \sin 15 = 0.518\,a$

次に寸法比λを算定する。図 A3.23 において $0° \ll \alpha = 15° \ll 45°$ であるから

$$\lambda = \frac{h_\alpha}{l}(1 + cos2\alpha) = \frac{0.518a}{4a} \times (1 + cos30°) \cong 0.242 > 0.2$$

したがって，$\alpha = 15° \leq 25°$ であるから $\gamma_a = 1$

表 A3.7 を参考に，風上端 A，中央部 B，風下端 C の風圧係数を求め



ると，　　図 A3.23

A 点の風上屋根表面風圧係数　$C = 0.200$

B 点の風上屋根表面風圧係数　$C = 0.200$

B 点の風下屋根表面風圧係数　$C = 0.500$

C 点の風下屋根表面風圧係数　$C = 0.500$

A 点の風上屋根裏面風圧係数　$C = -0.525$

B 点の風上屋根裏面風圧係数　$C = -0.263$

C 点の風上屋根裏面風圧係数　$C = 0.000$

となる。それを図にしたものが，図 A3.24b で，それを基に風力係数にしたものが図 A3.24a である。

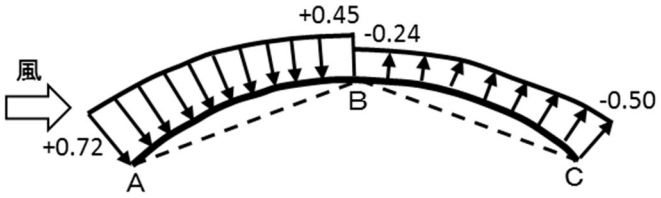


図 A3.24a

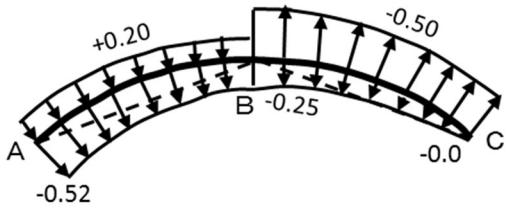


図 A3.24b

水平な端に斜めの風が当たる場合，図 A3.16(C-III-52)に示したように，各端部の $h_\alpha = 0.518a$ に等しい部分(図 A3.25)の内側に $C = +0.5$ の圧力が作用することがある。結果として，その部分については図 A3.26 のような荷重についても検討する必要がある。

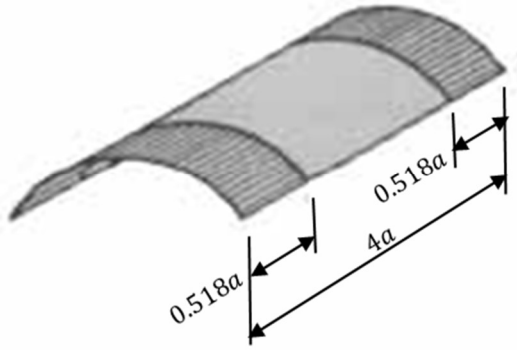


図 A3.25

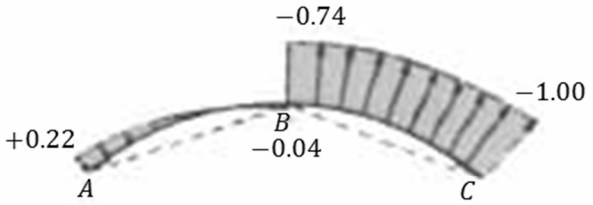


図 A3.26

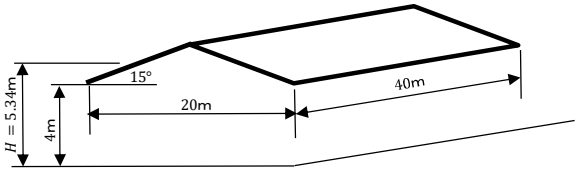
A3.5　荷重算定例

風速の換算方法を含めて，風荷重を算定してみる。例として屋根勾配 15°，幅 20m，奥行き 40m，地上から 4mに高さに立つ切妻屋根を取り上げる。場所は開けた地域で設計風速は地上 10mで，10 分間平均で 30m/sec とする。各基準の算定方法に従った結果を表 A3.9 に示す。速度圧の算定結果を見ると，AS/NZS 1170.2，ASCE/SEI 7-05 は瞬間風速のため速度圧が大きいことが分かる。このことは動的応答係数，あるいはガスト影響係数が 1 以下になることを暗示する。また，BS6399-2 では 1 時間平均風速の割には速度圧が大きく，地形及び建築物係数に瞬間風速に換算する係数が含まれていると考えられる。ち

なみに告示でのガスト影響係数を考慮したものは 2.2 倍になるので，ほかの国の速度圧に近づく。Règles N.V.65 も動的割り増し係数を考慮すれば速度圧は大きくなる。

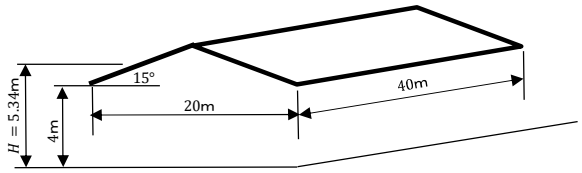
表 A3.10 は速度圧として告示によるものを用い，風力係数は各国の基準のものを用いた場合の算定結果である。この場合は，各国の風力係数の特徴が表れた結果となっていることが分かる。どちらの考え方が良いかは決断できない。

表 A3.9　　速度圧および荷重算定例(各基準の算定方法による)



基準名	告　　示	AS/NZS 1170.2 : 2011	ASCE/SEI 7-05	BS 6399-2:1997	Règles N.V. 65
条件	粗度区分　II 基準風速　30 m/sec 再現期間50年の10分間平均風速 Z_b=5(m) Z_G=350(m) α=0.15	Terrain Category 2 V_R : ガスト風速 本来なら再現期間50年の3秒ガスト風速を求めるべきであるが，ここでは換算係数1.4を乗じて求める。	地表面粗度区分　C V : ガスト風速 本来なら再現期間50年の3秒ガスト風速を求めるべきであるが，ここでは換算係数1.4を乗じて求める。	country V_b : 1時間風速 本来なら再現期間50年の1時間風速を求めるべきであるが，ここでは換算係数0.94を乗じて求める。	粗度区分無し V : 平均風速 10分間平均風速（再現期間不明）
$P=C\cdot q\cdot A$ の単純式にした場合の q に相当する部分	$q=0.6EV_0{}^2(N/m^2)$ $E=E_r{}^2G_f$ E_r: 平均風速の高さ方向の分布を表す係数 G_f : ガスト影響係数 V_0 : 基準風速	$q=(0.5\rho_{air})\left[V_{sit,\theta}\right]^2C_{dyn}(N/m^2)$ ρ_{air}: 空気密度 $=1.2\ kg/m^3$ $V_{sit,\theta}=V_RM_d\left(M_{z,cat}M_sM_t\right)$ M_d : 風向係数 $M_{z,cat}$: 地形・高さ係数 M_s : 遮蔽係数 M_t : 地形係数 C_{dyn} : 動的応答係数	$q=0.613K_hK_{zt}K_dV^2IG(N/m^2)$ K_h: 高さhでの速度圧露風係数 K_{zt}: 高さhでの地形係数 $=(1+K_1K_2K_3)^2$ K_d: 風向係数 I: 重要度係数 G: ガスト影響係数	$q_s=0.613V_e{}^2(N/m^2)$ $V_e=V_s\times S_b$: 有効風速 $V_S=V_b\times S_a\times S_d\times S_s\times S_p$ S_a : 高度係数 S_d : 風向係数 S_s : 季節係数 S_p : 確率係数 S_b : 地形及び建築物係数	$q_n=q_{hn}\delta\beta K_s\gamma_0(N/m^2)$:通常時 $q_e=1.75(0.5+\theta/2)q_n$: 異常時 $q_{hn}=2.5(H+18)\,q_{10}/(H+60)$ $q_{10}=V^2/16.3\ (N/m^2)$ δ : 速度圧低減係数 β : 動的割り増し係数 K_s : 地形係数 γ_0 : 風力係数に乗じる係数 θ : 建物形状による全体係数
各規準の算定式による速度圧	以下の計算ではガスト影響係数，動的応答係数あるいは動的割り増し係数を算定することが困難なためそれらを1.0と仮定して速度圧を算定する。				
	H: 建築物の高さと軒の高さとの平均= 5.34(m) $E_r=1.7(H/Z_G)^{\alpha}$ =1.7(5.34/350)$^{0.15}$=0.908 $G_f=1.0$ $E=E_r{}^2G_f=0.908^2\times1.0$ $=0.824$ $q=0.6EV_0{}^2=0.6\times0.824\times30^2$ $=445\ (N/m^2)$	$V_R=1.4\times30=42.0$(m/sec) $M_d=1.0$ $M_{z,cat}=0.91+(1-0.91)$ $\times(5.34-5)\div(10-5)$ $=0.916$ $M_S=1.0$ $M_t=1.0$ $C_{dyn}=1.0$ $V_{sit,\theta}=V_RM_d\left(M_{z,cat}M_sM_t\right)$ $=42.0\times1.0\times0.916\times1.0\times1.0=38.47$ $q=(0.5\rho_{air})\left[V_{sit,\theta}\right]^2C_{dyn}$ $=0.5\times1.2\times38.47^2\times1.0$ $=888\ (N/m^2)$	$V=1.4\times30=42.0$(m/sec) $K_h=2.01\left(z/z_g\right)^{2/\alpha}$ $=2.01(5.34/274.32)^{2/9.5}$ $=0.874$ $K_{zt}=(1+1\times1\times1)^2=1.0$ $K_d=1.0$ I= 1.0 G= 1.0 $q=0.613K_hK_{zt}K_dV^2IG$ $=0.613\times0.874\times1.0\times1.0\times42^2\times1.0\times1.0$ $=945.08(N/m^2)$	$V_b=0.94\times30=28.2$(m/sec) $S_a=S_d=S_s=S_p=1.0$ $V_S=V_b\times S_a\times S_d\times S_s\times S_p$ $=28.2\times1.0\times1.0\times1.0\times1.0$ $=28.2(m/sec)$ S_bを決める海岸までの距離を2km以下と仮定 $S_b=1.62+(1.78-1.62)$ $\times(5.34-5)\div(10-5)$ $=1.63$ $V_e=V_s\times S_b=28.2\times1.63$ $=46$(m/sec) $q_s=0.613V_e{}^2=0.613\times46^2$ $=1297(N/m^2)$	$V=30$(m/sec) $q_{10}=V^2/16.3=30^2/16.3=55.2$ $(daN/m^2)=552(N/m^2)$ $q_{hn}=2.5(H+18)\,q_{10}/(H+60)$ $=2.5(5.34+18)552/(5.34+60)$ $=493$ $H\leq30m, L=40m$ $\delta=0.75$ $\beta=K_s=1.0$ $h_\alpha=10/cos15=10.35$ $\lambda=h_\alpha(1+cos2\alpha)/l$ $=10.35\times(1+cos30)/40$ $=0.48>0.2$ $\therefore\gamma_0=1.0$ $q_n=q_{hn}\delta\beta K_s\gamma_0$ $=493\times0.75\times1.0\times1.0\times1.0=369.75(N/m^2)$ $\theta=0.7$ (h$\leq30m$) $q_e=1.75(0.5+\theta/2)q_n$ $=1.75(0.5+0.7/2)369.75$ $=550(N/m^2)$
風力係数算定	以下の風力係数は各規準の算定法に従ったものである。また，局部風力係数が定められている場合であっても一般部について算定しており，下部が閉塞されていないものとする				
	告示平建告第1454号　表6より $10<\alpha<30°$　であるから 風上屋根$C_f=0.675\ ,-0.875$ 風下屋根$C_f=0.15\ ,-0.975$	$C_{fig}=C_{p,n}K_aK_l$ K_a = 面積低減係数 $=1.0$ K_l = 局部風力係数 $=1.0$ 表D5より $\alpha\leq15°$　であるから $C_{p,w}=-0.3\ ,\quad 0.4$ $C_{p,l}=-0.4\ ,\quad 0.0$	$h=5.34m\ ,L=20m$であるから $0.25\leq h/L=0.267\leq1.0$ 図6-18Bより 荷重ケースA $C_{NW}=1.1\ ,C_{NL}=-0.4$ 荷重ケースB $C_{NW}=0.1\ ,C_{NL}=-1.1$	表14より 最大値，すべてのζ　$C_p=0.4$ 最小値，ζ=0　$C_p=-0.8$	$\gamma_0=1.0$　であるから風力係数の補正は必要ない。 図R-III-15より 風上屋根 $C_A=0.725$ $C_B=0.463$ 風下屋根 $C_B=-0.238$ $C_C=-0.500$
荷重算定	算定式 $W_f=q\cdot C_f\ (N/m^2)$ 風上屋根 W_f =445×0.675=300.4 W_f =445×(−0.875)=−389.4 風下屋根 W_f =445×0.15=66.8 W_f =445×(−0.975)=−433.9	算定式　$F=q\cdot C_{fig}\ (N/m^2)$ 風上屋根 F =888×0.4=355.2 F =888×(−0.3)=−266.4 風下屋根 F =888×0.0=0 F =888×(−0.4)=−355.2	算定式　$p=q\cdot C_N\ (N/m^2)$ 荷重ケースA $p_{NW}=945.08\times1.1=1039.6$ $p_{NL}=945.08\times(-0.4)=-378.0$ 荷重ケースB $p_{NW}=945.08\times0.1=94.5$ $p_{NL}=945.08\times(-1.1)=-1039.6$	算定式　$p=q_sC_p\ (N/m^2)$ 最大値，すべてのζ $p=1297\times0.4=518.8$ 最小値，ζ=0　$C_p=-0.8$ $p=1297\times(-0.8)=-1037.6$	算定式 通常時　$T_{sn}=q_n\cdot C_{t0}\ (N/m^2)$ 異常時　$T_{se}=q_e\cdot C_{t0}\ (N/m^2)$ 風上屋根A端 $T_{sn}=369.75\times0.725=268.1$ $T_{se}=550\times0.725=398.8$ 風上屋根B端 $T_{sn}=369.75\times0.463=171.2$ $T_{se}=550\times0.463=254.7$ 風下屋根B端 $T_{sn}=369.75\times(-0.238)=-88$ $T_{se}=550\times(-0.238)=-130.9$ 風下屋根C端 $T_{sn}=369.75\times(-0.5)=-184.9$ $T_{se}=550\times(-0.5)=-275$

表 A3.10　速度圧および荷重算定例(告示の速度圧を用いた場合)



基準名	告　　示	AS/NZS 1170.2 : 2011	ASCE/SEI 7-05	BS 6399-2:1997	Règles N.V. 65
条件	粗度区分　II 基準風速　30 m/sec	Terrain Category 2 V_R :ガスト風速	地表面粗度区分　C V :ガスト風速	country V_b :1時間風速	粗度区分無し V :平均風速
速度圧の算定方法	$q = 0.6EV_0{}^2 (N/m^2)$ $E = E_r{}^2 G_f$ E_r: 平均風速の高さ方向の分布を表す係数 G_f :ガスト影響係数 V_0 :基準風速	告示のガスト影響係数を用いることにより，ガスト風速を用いた場合と同等の速度圧が算定できると仮定	告示のガスト影響係数を用いることにより，ガスト風速を用いた場合と同等の速度圧が算定できると仮定	10分間平均風速に換算係数0.94を乗じて，1時間平均風速にし，告示のガスト影響係数を用いることにより，有効風速を用いた場合と同等の速度圧が算定できると仮定	異常時速度圧は建物の耐用年限中に起こりうる最大瞬間風速を対象にしているので，告示による速度圧で対応できると仮定
速度圧の算定	H: 建築物の高さと軒の高さとの平均= 5.34(m) $E_r = 1.7(H/Z_G)^{\alpha}$ =1.7(5.34/350)$^{0.15}$=0.908 $G_f = 2.2$ $E = E_r{}^2 G_f = 0.908^2 \times 2.2$ $= 1.814$ $q = 0.6EV_0{}^2 = 0.6 \times 1.814 \times 30^2$ =979.6 (N/m^2)	q=979.6 (N/m^2)	q=979.6 (N/m^2)	$V_b = 0.94 \times 30$=28.2(m/sec) $V_e = V_s \times S_b = 28.2 \times \sqrt{2.2}$ =41.8(m/sec) q_s=0.613$V_e{}^2 = 0.613 \times 41.8^2$ =1071.1(N/m^2)	q_e=979.6 (N/m^2)
風力係数算定	以下の風力係数は各規準の算定法に従ったものである。また，局部風力係数が定められている場合であっても一般部について算定しており，下部が閉塞されていないものとする				
	告示平建告第1454号　表6より $10 < \alpha < 30°$　であるから 風上屋根$C_f = 0.675, -0.875$ 風下屋根$C_f = 0.15, -0.975$	$C_{fig} = C_{p,n} K_a K_l$ K_a = 面積低減係数 = 1.0 K_l = 局部風力係数 = 1.0 表D5より　$\alpha \leq 15°$　であるから $C_{p,w} = -0.3$,　0.4 $C_{p,l} = -0.4$,　0.0	$h = 5.34m$, $L = 20m$であるから $0.25 \leq h/L = 0.267 \leq 1.0$ 図6-18Bより 荷重ケースA $C_{NW} = 1.1$, $C_{NL} = -0.4$ 荷重ケースB $C_{NW} = 0.1$, $C_{NL} = -1.1$	表14より 最大値，すべてのζ　$C_p = 0.4$ 最小値，ζ =0　$C_p = -0.8$	$\gamma_0 = 1.0$　であるから風力係数の補正は必要ない。 図R-III-15より 風上屋根 $C_A = 0.725$ $C_B = 0.463$ 風下屋根 $C_B = -0.238$ $C_C = -0.500$
荷重算定	算定式 $W_f = q \cdot C_f$ (N/m^2) 風上屋根 W_f =979.6 ×0.675=661.2 W_f =979.6 × (−0.875)=−857.2 風下屋根 W_f =979.6 ×0.15=146.9 W_f =979.6 × (−0.975)=−955.1	算定式　$F = q \cdot C_{fig}$　(N/m^2) 風上屋根 F =979.6 ×0.4=391.8 F =979.6 × (−0.3)=−293.9 風下屋根 F =979.6 ×0.0=0 F =979.6 × (−0.4)=−391.8	算定式　$p = q \cdot C_N$　(N/m^2) 荷重ケースA p_{NW} = 979.6 × 1.1=1077.6 p_{NL} = 979.6 × (−0.4)=−391.8 荷重ケースB p_{NW} = 979.6 × 0.1=98 p_{NL} = 979.6 × (−1.1)=−1077.6	算定式　$p = q_s C_p$　(N/m^2) 最大値，すべてのζ p = 1071.1 × 0.4 =428.4 最小値，ζ =0　$C_p = -0.8$ p = 1071.1 × (−0.8) = −856.9	算定式 異常時　$T_{se} = q_e \cdot C_{t0}$　(N/m^2) 風上屋根A端 T_{se} = 979.6 × 0.725 =710.2 風上屋根B端 T_{se} = 979.6 × 0.463 =453.6 風下屋根B端 T_{se} = 979.6 × (−0.238) = −233.1 風下屋根C端 T_{se} = 979.6 × (−0.5) = −489.8

Ａ４　畜舎・堆肥舎の建築設計に係る告示・解説（2007 年版）の風力係数の適用について

低層建築物の屋根・壁面に作用する風力係数の事例[1)]として「畜舎・堆肥舎の建築設計に係る告示・解説（2007 年版）」が上げられる。上記の告示・解説では，既存畜舎形状を参考に表 A4.1 に示す 39 種類の形状で風洞実験が実施され，屋根・壁面の風力係数が定められている。ただし，畜舎・堆肥舎では併用期間や使用目的等から設計用速度圧の算定に「特定畜舎等建築物の種類に応じた低減係数（R：設計用再現期間による換算係数，風速の鉛直分布を定める Z_b=3m の適用）」を適用し，風荷重の低減を行っている。膜構造物への適用は，表 A4.1 に示した形状に類似した建築物の風力係数のみで，設計速度圧の算定に用いている低減係数の適用はできない。以下に，告示・解説に記載されている風力係数の風洞実験の実験条件を示す。

風洞実験の実験条件[2)]

(1) 模型縮尺は，S=1/40（片流れの場合　B：D：H=1050：600：88mm）

(2) 実験気流は，風速の鉛直分布のべき指数は α＝1/7 の地表面粗度区分Ⅱ相当。
（屋根平均高さの乱れの強さ約 15%，乱れのスケールは約 45cm）

(3) 実験風向　桁壁に正対する風向（片側桁壁開放時は開放側壁面に正対する風向）を 0 度として 30 度ピッチである。

(4) 風力係数は屋根平均高さの速度圧で無次元化している。

(5) 建築物が全面閉鎖の場合でも桁壁面と屋根面の間に 4mm（模型寸法）の隙間を設けている（例えば切妻屋根の桁壁面に対して 5%程度の隙間率）。このため閉鎖形の形状でも内外の差圧を考慮した風力係数として記載されている。

風洞実験では，B：D：H=40：24：3.5m 程度の建築物が地表面粗度区分Ⅱ相当の地域に計画された場合を想定している。このため風力係数の適用は，同規模・同地域特性に計画される膜構造物への適用が望まれる。ただし，規模の大きな建築物への適用は，風洞実験に比べて軒高の風速の乱れ強さが小さくなる影響で建築物に作用する風力の変動成分が減少する傾向となる。また，規模の小さな建築物への適用は，変動成分が増加する傾向のため注意が必要となる。構造骨組用風荷重の算定では，建築基準法施行令に準拠して計画建物の周辺環境に応じた地表面粗度区分やガスト影響係数 G_f を用いて算定する必要がある。

参考文献 3)，4)に地表面粗度区分Ⅱ相当における畜舎建築物の設計用荷重に関するガスト影響係数，外装材用のピーク風力係数の記載がある。ガスト影響係数については，筆者らの検討結果[3)]から切妻屋根の妻断部で 2.7～3.6 程度であるが，妻壁が風荷重を負担することが期待でき，その他の屋根形状では 2.5 程度かそれ以下との報告が示されている。

参考文献

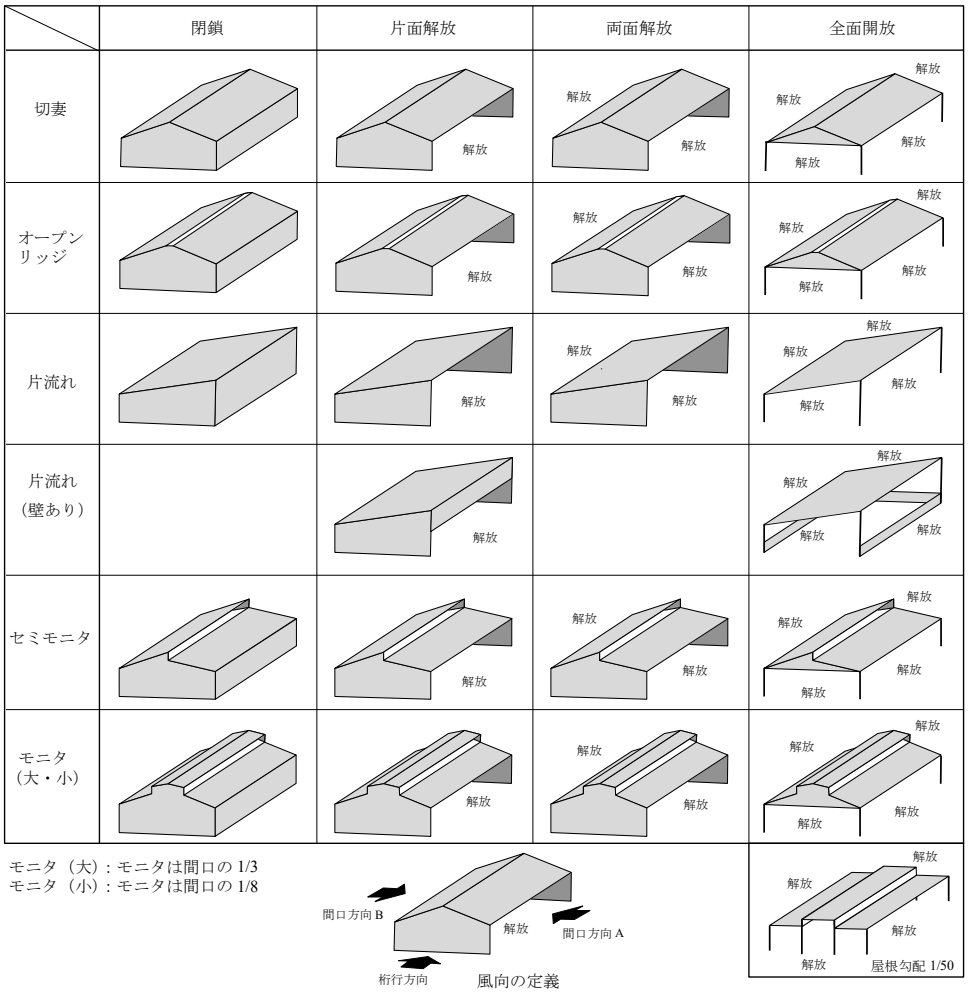
1) 畜舎・堆肥舎の建築設計に係る告示・解説（2007 年版），社団法人中央畜産会，2007

2) 小川秀雄，大熊武司，丸川比佐夫，片桐純治，伊藤純子，畜舎建築物の設計用荷重に関する研究　その 1 構造骨組設計用平均風力係数，日本建築学会梗概集，pp. 189-190，2002

3) 片桐純治，小川秀雄，大熊武司，伊藤純子，小林義幸，畜舎建築物の設計用荷重に関する研究　その 2 構造骨組設計用ガスト影響係数，日本建築学会梗概集，pp. 191-192，2002

4) 伊藤純子，小川秀雄，大熊武司，丸川比佐夫，片桐純治，畜舎建築物の設計用荷重に関する研究　その 3 屋根被覆材用ピーク風力係数，日本建築学会梗概集，pp. 193-194，2002

表 A4.1　畜舎・堆肥舎の建築設計に係る告示・解説（2007 年版）の対象物一覧表

対称物		閉鎖			片面開放			両面開放			全面開放		
タイプ	屋根勾配	風向			風向			風向			風向		
		間口方向A	間口方向B	桁行方向	間口方向A	間口方向B	桁行方向	間口方向A	間口方向B	桁行方向	間口方向A	間口方向B	桁行方向
切妻	1/10	○		○	○	○	○	○		○	○		○
	2/10	○		○	○	○	○	○		○	○		○
	3/10	○		○	○	○	○	○		○	○		○
オープンリッジ	1/10	○		○	○	○	○				○		○
	2/10	○		○	○	○	○				○		○
	3/10	○		○	○	○	○	○		○			
片流れ	1/10	○	○	○	○	○	○				○	○	○
	1.5/10	○	○	○	○	○	○						
	2/10	○	○	○	○	○	○						
	3/10	○	○	○	○	○	○						
片流れ（壁アリ）	1/10				□	□	□						
	1.5/10				□	□	□				△	△	△
	2/10				□	□	□				△	△	△
	3/10				□	□	□						
セミモニタ	3/10	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
モニタ大	3/10	○		○							○		○
	1/50										○		○
モニタ小	3/10	○		○									

□：上部壁面あり　　△：下部の一部に擁壁