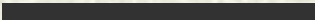


# 風荷重，耐風設計等 の基準の合理化に関する調査

株式会社 風工学研究所

財団法人 日本住宅・木材技術センター



## 具体的な3つの課題

- (1) 寄棟屋根、ベランダ、屋上広告板、屋根ふき材裏面圧等に係る風力係数、塔状建築物、屋根等のガスト影響係数に関しては明確な基準が設けられていないこと。
- (2) 外装材等に作用する風圧力は平成12建設告示第1458号の規定に基づき計算することになるが、一部の外装材以外はその耐風設計に必要な情報が明示されていないため、基準の明確化が望まれること。
- (3) 平成12年建設省告示第1449号に煙突等に関する工作物の構造計算の基準を定めているが、風車のように上部に大きな荷重が作用する塔状工作物の構造設計に必要な情報が明示されていないため、基準の明確化が望まれること。

# 本年度

---

全体として3～5年計画ということで、本年度は実態調査を主目的とし、現状での問題点や課題を抽出することに重点を置き、抽出した問題点を踏まえ今後の課題も取りまとめた。

# 調査の特徴および実施方法

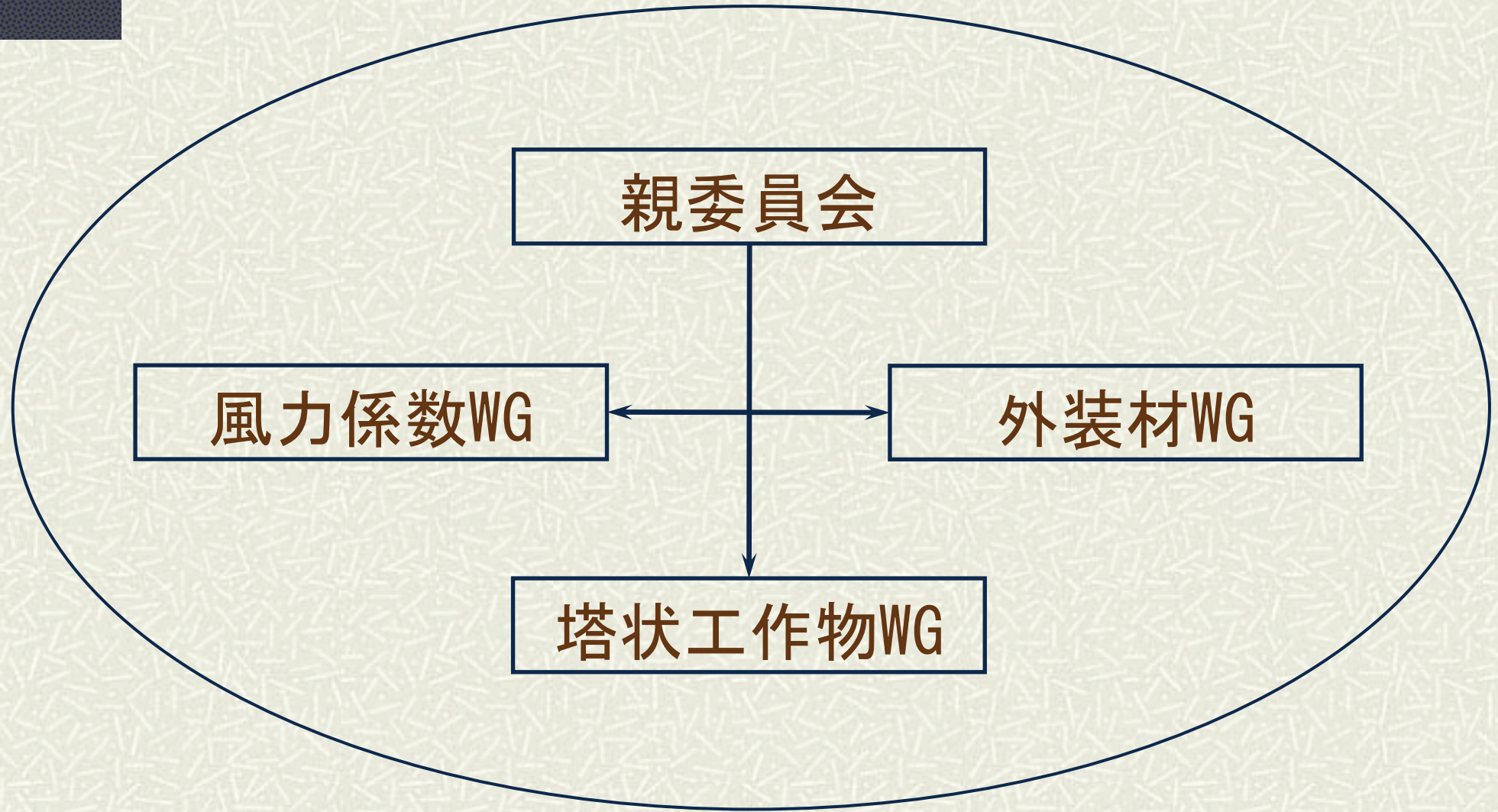
幅広い検討

研究, 設計, 評価, 管理, 施工

多方面からの検討が  
必要

委員会形式

# 検討委員会



# 風力係数WG

---

- (1) 基準法に示される風力係数の実情の把握  
整備されているもの, 未整備なもの
  - (2) 基準法に示される風力係数の見直しの必要性
  - (3) 基準法に示されない風力係数に関する検討
    - (a) 実験データの解析
    - (b) 文献や海外基準による調査
-

# 風力係数(構造骨組)の実情

部位等	建物形状, 対象物	備考	外圧		内圧	風力係数	ガスト
			Cpe+ (mean)	Cpe- (mean)	Cpi (mean)	Cf (mean)	Gf (for Cf)
壁面	角柱状(陸屋根)建物		告表1		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
	煙突その他円筒形の構造物		-		-	告表9	告1.3項
	片流れ屋根		告表1		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項

建物形状, 対象物	外圧		内圧	風力係数	ガスト
	Cpe+ (mean)	Cpe- (mean)	Cpi (mean)	Cf (mean)	Gf (for Cf)
片流れ屋根	告表1		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
切妻屋根	告表1		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
寄棟屋根					
円弧状屋根	告表1		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項

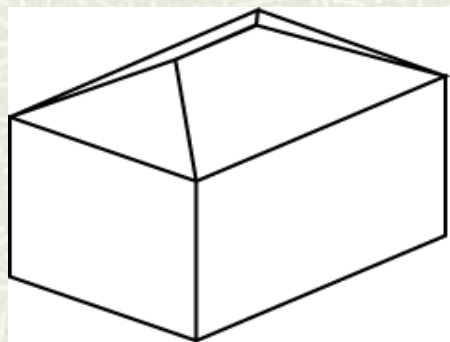
屋根面 (風向: 桁行き方向)	建物形状, 対象物	備考	外圧		内圧	風力係数	ガスト
			Cpe+ (mean)	Cpe- (mean)	Cpi (mean)	Cf (mean)	Gf (for Cf)
屋根面 (風向: 桁行き方向)	開放型建築物(切妻以外)		-		-	告表6	告1.3項
	独立上屋(陸屋根, 切妻)		-		-	告表6	告1.3項
	独立上屋(V型)		-		-	告表6	告1.3項
	独立上屋(片流れ)						
	片流れ屋根(軒なし)			指表A6.9(1)	指表A6.11	Cpe-Cpi	指A6.3.2
	片流れ屋根(軒あり)						
	切妻屋根(軒なし)			告表2	告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
	切妻屋根(軒あり)						
	寄棟屋根(軒なし)						
	寄棟屋根(軒あり)						
	円弧状屋根			指表A6.9(2)	指表A6.11	Cpe-Cpi	指A6.3.2
	片流れ屋根(連続)中のこぎり屋根						
	切妻屋根(連続)						
	開放型建築物						
独立上屋(陸屋根, 切妻)							
独立上屋(V型)							
独立上屋(片流れ)							
その他	ラチス構造物		-		-	告表7	告1.3項
	金網・その他網状		-		-	告表8	告1.3項
	地上に立つフェンス		-		-	指表A6.15	指A6.3.1
	各種部材断面		-		-	指表A6.16	指A6.3.1
	パラポアンテナ						
	太陽光発電, 太陽熱温水パネル						
	看板(壁面設置, 自立広告塔)						
別平面形状(菱形, 三角, 他)							

# 風力係数(構造骨組)の実情

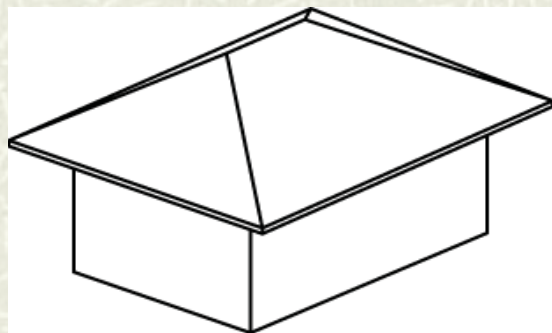
部位等	建物形状、対象物	備考	外圧		内圧	風力係数	ガスト
			Cpe+ (mean)	Cpe- (mean)	Cpi (mean)	Cf (mean)	Gf (for Cf)
壁面	角柱状(陸屋根)建物		告表1	-	告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
	煙突その他円筒形の構造物		-	-	-	告表9	告1.3項
壁面 (風向:張り間方向)	片流れ屋根		告表1		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
	切妻屋根		告表1		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
	寄棟屋根						
	円弧状屋根		告表1		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
	片流れ屋根(連続)のこぎり屋根	指針には無	告表1		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
	切妻屋根(連続) 開放型建築物(切妻) 開放型建築物(切妻以外)	指針には無 指針には無	告表1 告表1		告表5 告表5	Cpe-Cpi Cpe-Cpi	告1.3項 告1.3項
壁面 (風向:桁行き方向)	片流れ屋根		指表A6.9(1)		指表A6.11	Cpe-Cpi	指A6.3項
	切妻屋根		告表1		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
	寄棟屋根						
	円弧状屋根		指表A6.9(2)		指表A6.11	Cpe-Cpi	指A6.3項
屋根面	角柱状(陸屋根)建物(軒なし)		告表2		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
	角柱状(陸屋根)建物(軒あり)						
屋根面 (風向:張り間方向)	円形平面トーム屋根		指表A6.10		指表A6.11	Cpe-Cpi	指A6.3項
	円形平面円錐屋根						
	片流れ屋根(軒なし)		告表3		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
	片流れ屋根(軒あり)						
	切妻屋根(軒なし)		告表3		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
	切妻屋根(軒あり)						
	寄棟屋根(軒なし)						
	寄棟屋根(軒あり)						
	円弧状屋根		告表4		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
	片流れ屋根(連続)のこぎり屋根		告表3		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
	切妻屋根(連続)		告表3		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
	開放型建築物(切妻)		告表3		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
	開放型建築物(切妻以外)						
	独立上屋(陸屋根、切妻)		-		-	告表6	告1.3項
独立上屋(V型)		-		-	告表6	告1.3項	
独立上屋(片流れ)							
屋根面 (風向:桁行き方向)	片流れ屋根(軒なし)		指表A6.9(1)		指表A6.11	Cpe-Cpi	指A6.3.2
	片流れ屋根(軒あり)						
	切妻屋根(軒なし)		告表2		告表5	Cpe-Cpi	告1.3項
	切妻屋根(軒あり)						
	寄棟屋根(軒なし)						
	寄棟屋根(軒あり)						
	円弧状屋根		指表A6.9(2)		指表A6.11	Cpe-Cpi	指A6.3.2
	片流れ屋根(連続)のこぎり屋根						
	切妻屋根(連続)						
	開放型建築物						
独立上屋(陸屋根、切妻)							
独立上屋(V型)							
独立上屋(片流れ)							
その他	ラチス構造物		-		-	告表7	告1.3項
	金網・その他網状		-		-	告表8	告1.3項
	地上に立つフェンス		-		-	指表A6.15	指A6.3.1
	各種部材断面		-		-	指表A6.16	指A6.3.1
	パラソランテナ						
	太陽光発電、太陽熱温水パネル						
	看板(壁面設置)、自立広告塔						
別平面形状(菱形、三角、他)							



# 構造骨組・屋根面(風向:張り間方向)



屋根面  
(風向:張り間方向)



片流れ屋根(軒なし)

片流れ屋根(軒あり)

切妻屋根(軒なし)

切妻屋根(軒あり)

寄棟屋根(軒なし)

寄棟屋根(軒あり)

円弧状屋根

片流れ屋根(連続)=のこぎり屋根

切妻屋根(連続)

開放型建築物(切妻)

開放型建築物(切妻以外)

独立上屋(陸屋根, 切妻)

独立上屋(翼型)

独立上屋(片流れ)

## 構造骨組・その他

その他

ラチス構造物

金網・その他網状

地上に立つフェンス

各種部材断面

パラボラアンテナ

太陽光発電, 太陽熱温水パネル

看板(壁面設置, 自立広告塔)

別平面形状(菱形, 三角, 他)

# 風力係数(外装材)の実情

部位等	建物形状, 対象物	備考	外圧係数	ガスト	ピーク外圧係数 $\hat{C}_{pe}$		ピーク内圧	ピーク
			$C_{pe+}$	Gf	正	負	係数 $\hat{C}_{pi}$	風力係数 $\hat{C}_f$
屋根面	片流れ屋根		告表1	告表2	$Gf \cdot C_{pe+}$	告表3	告表6	$\hat{C}_{pe} - \hat{C}_{pi}$
	片流れ屋根(軒あり)							
	切妻屋根		告表1	告表2	$Gf \cdot C_{pe+}$	告表3	告表6	$\hat{C}_{pe} - \hat{C}_{pi}$
	切妻屋根(軒あり)							
	寄棟屋根							
	寄棟屋根(軒あり)							
	円弧状屋根		告表4	告表2	$Gf \cdot C_{pe+}$	告表5	告表6	$\hat{C}_{pe} - \hat{C}_{pi}$
	片流れ屋根(連続)=のこぎり屋根		告表1	告表2	$Gf \cdot C_{pe+}$	告表3	告表6	$\hat{C}_{pe} - \hat{C}_{pi}$
	切妻屋根(連続)		告表1	告表2	$Gf \cdot C_{pe+}$	告表3	告表6	$\hat{C}_{pe} - \hat{C}_{pi}$
	独立上屋(陸屋根, 切妻)		告*表6	告表2	$Gf \cdot C_{pe+}$	告表7	-	$\hat{C}_f$
	独立上屋(翼型)		告*表6	告表2	$Gf \cdot C_{pe+}$	告表7	-	$\hat{C}_f$
	独立上屋(片流れ)							
円形平面ドーム屋根			-	-	指表A6.20	指表A6.20	指表A6.21	$\hat{C}_{pe} - \hat{C}_{pi}$
円形平面円錐屋根								
開放型建築物	指針には無						告表6	
帳壁	矩形平面建築物		告表8	告表9	$Gf \cdot pe+$	告表10	告表11	$\hat{C}_{pe} - \hat{C}_{pi}$
	板状建築物*	B/D>5						
	隅欠きを有する矩形平面建築物	H>45m			指表A6.17	指表A6.17	指表A6.21	$\hat{C}_{pe} - \hat{C}_{pi}$
	隅切りを有する矩形平面建築物	H>45m			指表A6.17	指表A6.17	指表A6.21	$\hat{C}_{pe} - \hat{C}_{pi}$
	陸屋根, 片流れ屋根, 切妻屋根	H≤45m			指表A6.18(1)	指表A6.18(1)	指表A6.21	$\hat{C}_{pe} - \hat{C}_{pi}$
	円形平面建築物				指表A6.19	指表A6.19	指表A6.21	$\hat{C}_{pe} - \hat{C}_{pi}$
	別平面形状(菱形, 三角, 楕円, 他)							
	ポイド内帳壁							
	ダブルスキン, 目地開放外装パネル							
	屋上目隠しパネル, ルーバー							
開放型建築物	指針には無						告表6	
その他	屋根葺き材(瓦, スレートなど)							
	軒天井, 庇							
	ダブルスキン							
	ピロティータン							
	バルコニー手すり							
	看板(屋上広告塔), ベントハウス							
	看板(壁面設置, 自立広告塔)							
壁面縦リブ, 横リブ								

## 外装材・屋根面

### 屋根面

片流れ屋根

片流れ屋根(軒あり)

切妻屋根

切妻屋根(軒あり)

寄棟屋根

寄棟屋根(軒あり)

円弧状屋根

片流れ屋根(連続)=のこぎり屋根

切妻屋根(連続)

独立上屋(陸屋根, 切妻)

独立上屋(翼型)

独立上屋(片流れ)

円形平面ドーム屋根

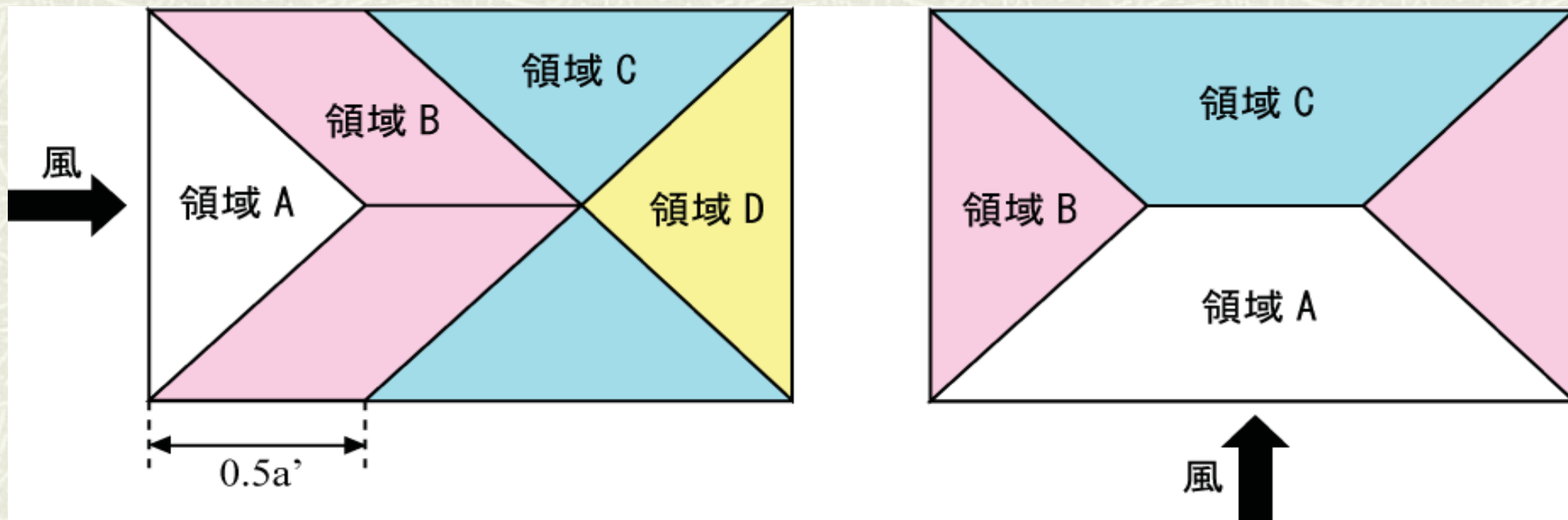
円形平面円錐屋根

開放型建築物

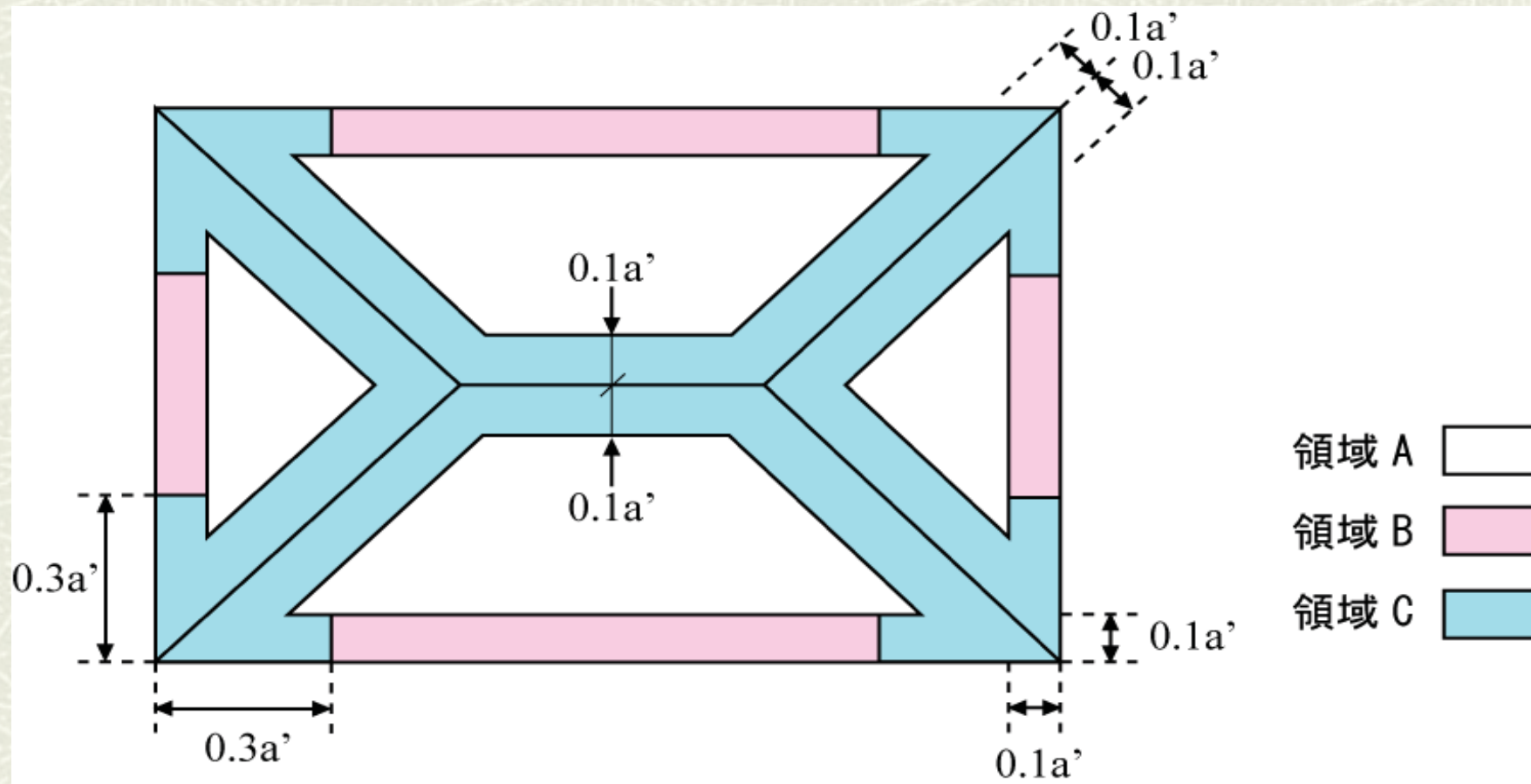
## 構造骨組・その他

その他	屋根葺き材(瓦, スレートなど)
	軒天井, 庇
	ダブルスキン
	ピロティー天井
	バルコニー手すり
	看板(屋上広告塔), ペントハウス
	看板(壁面設置, 自立広告塔)
	壁面縦リブ, 横リブ

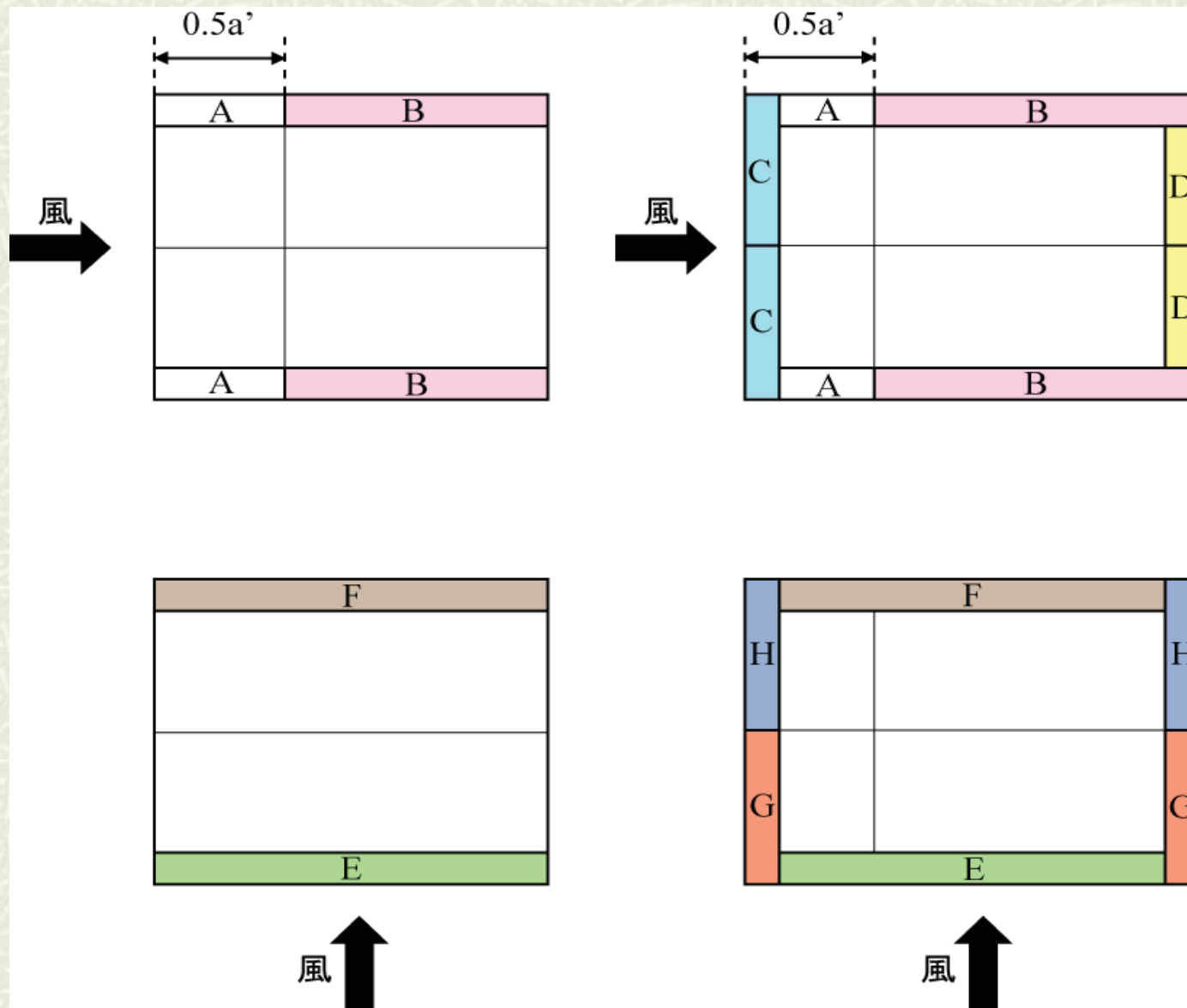
# 寄棟屋根(構造骨組)の荷重分布



# 寄棟屋根(外装材)の荷重分布

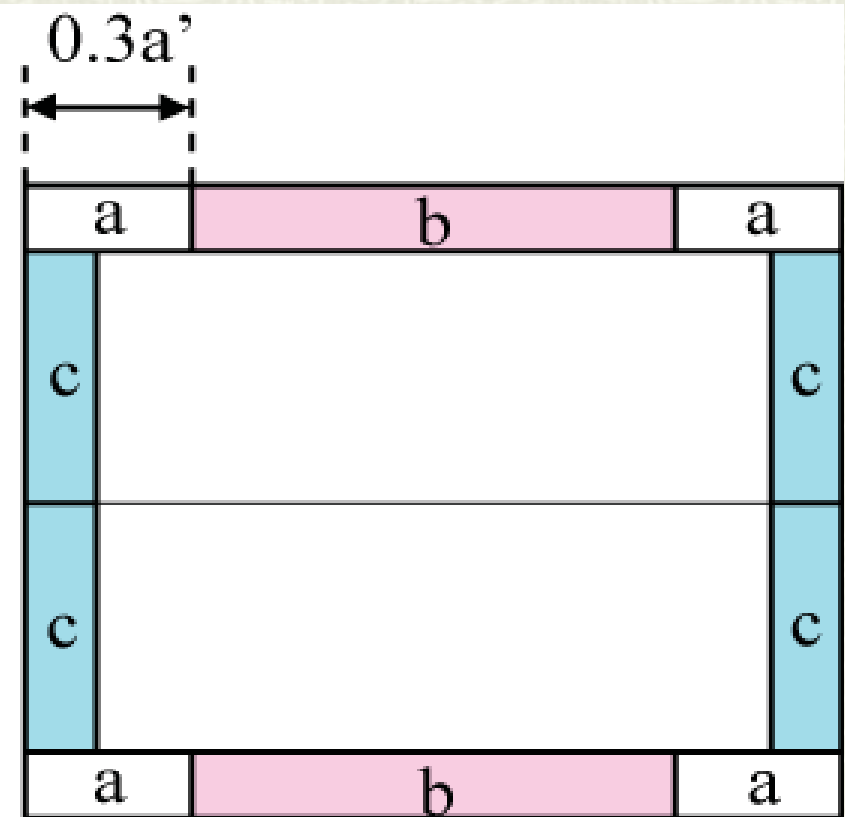
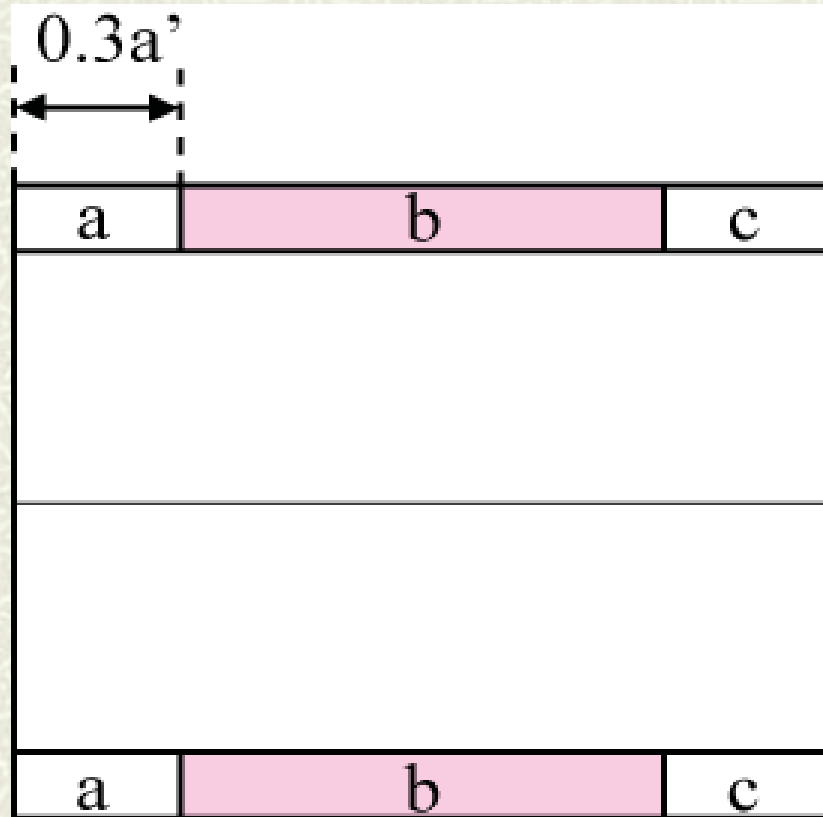


# 軒(構造骨組)の荷重分布





# 軒(外装材)の荷重分布



# 風力係数関連のまとめと今後の課題

- 1) 建築基準法に示される風力係数を整理し、荷重指針との関係も含め、不足している部分を明らかにした。
- 2) 2004年の荷重指針の改定により風力係数関連の見直しが行われ、現状の基準法の値とに差異が生じたものがあり、比較整理した。
- 3) 建築基準法および荷重指針で示されていない風力係数について、既往の文献や海外基準を整理して示した。
  - ex) 寄棟屋根, ベランダ, 屋上広告板, ダブルスキン, バルコニー手摺り, 太陽熱温水器, 屋根ふき材, 等ただし、荷重算定には十分な情報が必ずしも示されておらず、今後、2年間で風洞実験を中心とした検討が必要である。

# 外装材WG

## 1. 外装材に関する用語の整理

外装仕上げ材及びその支持部材 = Components and Cladding(ASCE)

## 2. 建築基準法における外装仕上げ材及びその支持部材の耐風設計に係る規定の整理

## 3. 外装仕上げ材及びその支持部材の耐風設計に関する現状

各業界に対してアンケート調査とヒヤリング調査を実施

### 1) 調査対象:

- ・**屋根ふき材**: 粘土瓦ぶき・スレートぶき・金属板ぶき・折板ぶき・銅板ぶき
  - ・アスファルトシングルぶき・シート防水
- ・**開口部**: サッシ・シャッター・ドア・ガラス
- ・**外壁**: 乾式サイディング・金属系サイディング・押出成形セメント・ALCパネル

### 2) 調査内容: 耐風性能の定義, 構造方法, 構造計算の方法

# 3.外装材仕上げ材及びその支持部材の耐風設計に関する現状調査

## 1. 外装材に関する用語の整理

外装仕上げ材及びその支持部材 = Components and Cladding(ASCE)

## 2. 建築基準法における外装仕上げ材及びその支持部材の耐風設計に係る規定の整理

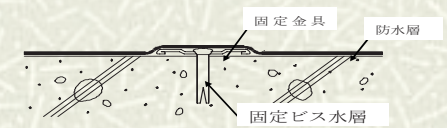
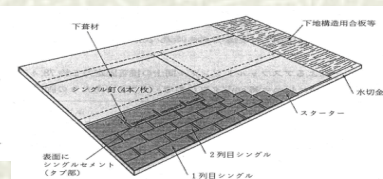
## 3. 外装仕上げ材及びその支持部材の耐風設計に関する現状

各業界に対してアンケート調査とヒヤリング調査を実施

### 1) 調査対象:

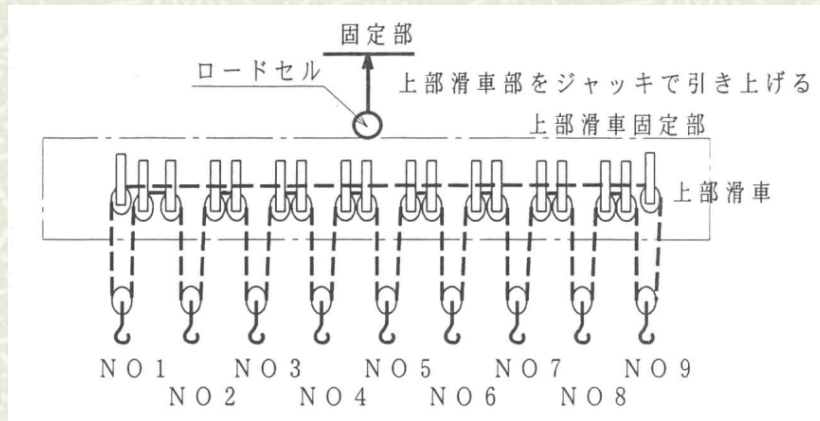
- ・**屋根ふき材**: 粘土瓦ぶき・スレートぶき・金属板ぶき・折板ぶき・銅板ぶき  
・アスファルトシングルぶき・シート防水
- ・**開口部**: サッシ・シャッター・ドア・ガラス
- ・**外壁**: 乾式サイディング・金属系サイディング・押出成形セメント・ALCパネル

### 2) 調査内容: 耐風性能の定義, 構造方法, 構造計算の方法



# 粘土瓦




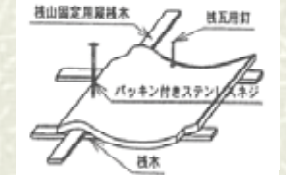

## 瓦の加力試験



・構造計算の概要  
 社)全日本瓦工事業連  
 盟のホームページで紹介

・疲労による耐力低下と対温  
 度伸縮性能  
 ・耐衝撃性能

表 3.3.2 基準風速の大きさに応じた標準工法 (J形瓦工法の場合)<sup>1)</sup>

工法	基準風速 [m/s]								
	30	32	34	36	38	40	42	44	46
ちどり緊結 	可能	不可能							
全数緊結 	可能	可能 (条件付き)			不可能				
7形釘差込み補強 	3枚列ごと補強 可能								
	2枚列ごと補強 可能								
棧瓦固定縦棧 	3枚列ごと補強 可能		未確認						
	2枚列ごと補強 可能								
組み合わせ葺き 	全数緊結 可能								

# スレート

## スレートの加力試験

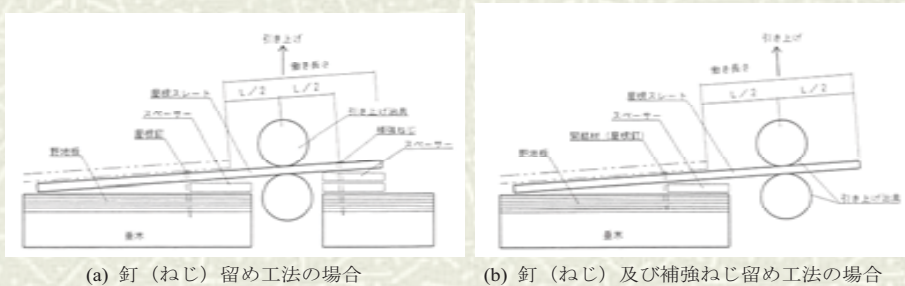


図 3.3.3 試験に用いる試験体<sup>6)</sup>

### (1)試験体

試験に用いる試験体は、原則として屋根スレート本体 1 枚を実際の施工状態と同様の方法で野地板に取り付けたものとする。実際の葺き上げと同じ状態になるように、屋根スレートと野地板の間にはスペーサーを取り付ける。野地板及び緊結材は実際に用いられるものと同様のものとする。

試験体は、引き上げ治具（鋼管）が取り付けられるように緊結方法により下地の形状等を考慮する（図 3.3.3 参照）。

### (2)引き上げ力

風圧力による引き上げ力は建築基準法の規定に基づいて算定する。

### (3)加力装置

加力装置は、屋根スレートの働き面に対して、ほぼ均等の荷重が与えられるものとする。現在考えられる方法としては、万能試験機等に引き上げ治具を直接取り付ける直接方式と、ワイヤーを介して引き上げ治具を引き上げるワイヤー方式がある。引き上げ治具は鋼管を使用し、屋根スレートの加力位置を鋼管 2 本で挟み込み荷重を与える。

### (4)加力方法

(3)に示した加力装置を用い、(2)で求めた引き上げ力を繰り返し設定荷重として、引き上げ加力を 150 回繰り返す。繰り返しの間隔は 1000N 当たり 10 秒程度（1 サイクル当たり 5～20 秒）とする。

### (5)試験結果の評価

150 回の繰り返し加力中、以下の点を目視等により確認すること。

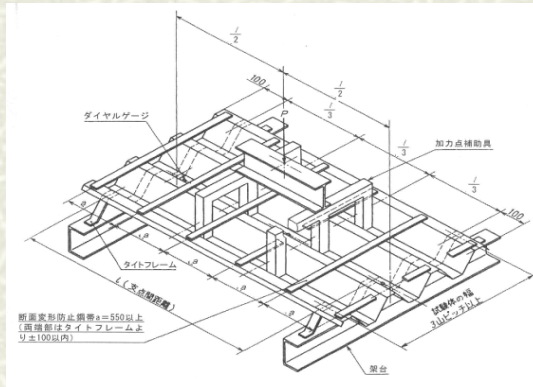
- 1) 屋根スレートが破断しないこと
- 2) 屋根スレートや緊結材に不具合が生じ、所定の加力ができなくなるしないこと
- 3) 緊結材が抜けたり、浮き上がらないこと（目安として変位が概ね 2mm 以下）

以上の確認ができた場合、試験を行った屋根スレートの施工方法は、設定した風圧力に対する耐力があると判定する。

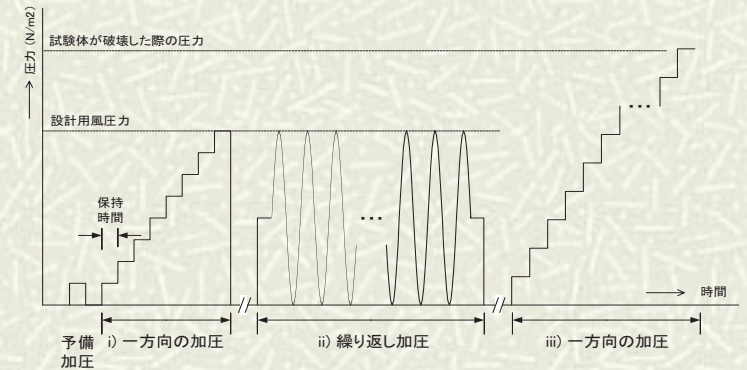
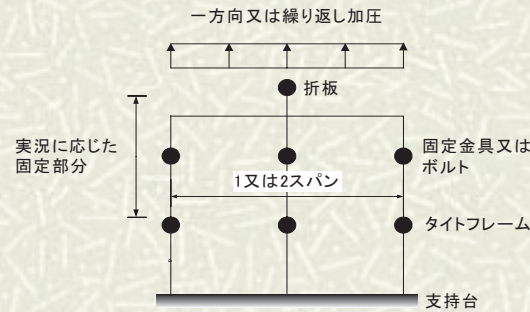
なお、150 回の繰り返し後、破壊するまで引き上げを行い、最大引き上げ荷重と破壊状況を確認する。ただし、この結果は参考記録とし、性能判定には関係させない。

# 折板

## 折板の加力試験



## 耐風圧性試験



## 構造計算方法

折板各部は以下の(3.3.3), (3.3.4)式を, 折板と構成部品との接合部は(3.3.5)式をそれぞれ満たすよう設計する。

$$M_a > M \quad (3.3.3)$$

$$\delta < l/300 \quad (\text{片持梁の場合} < l/200) \quad (3.3.4)$$

$$P_a > P \quad (3.3.5)$$

ここで,  $M_a$ : 折板の許容曲げモーメント,  $M$ : 設計用荷重の組み合わせによって折板各部に生ずる曲げモーメント,  $\delta$ : 折板のたわみ,  $l$ : 折板の支点間距離,  $P_a$ : 接合部の許容耐力及び  $P$ : 設計用荷重の組み合わせによって接合部に生ずる力 である。

# 折板の構造確認

## 折板各部

$$M_a > M$$

$M_a$  : 許容曲げモーメント

$M$  : 折板各部に生ずる曲げモーメント

$$\delta < l/300$$

$\delta$  : 折板のたわみ

$l$  : 折板の支点間距離

## 構成部品の接合部

$$P_a > P$$

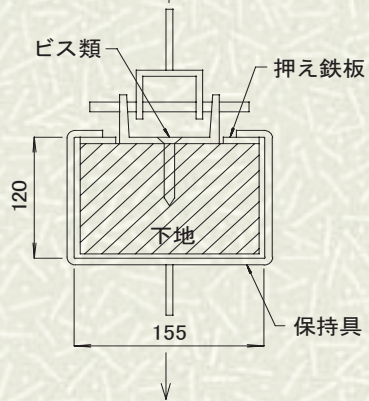
$P_a$  : 接合部の許容耐力

$P$  : 接合部に生ずる力

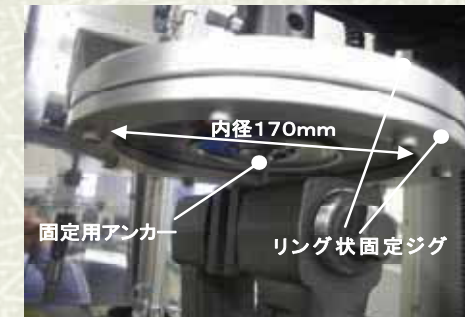
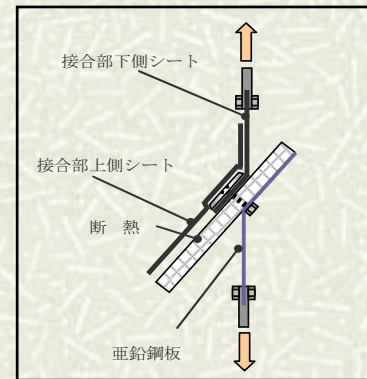


# シート防水

## 固定アンカー(ビス)の引き抜き強度試験



## 固定金具周辺の接合強度試験(固定金物とシートの接合強度)



## 構造計算方法

### (a)使用構造材料

合成高分子系シートには、加硫ゴム系、塩化ビニル樹脂系、熱可塑性エラストマー系の3種類があり、それらの規格はJIS A 6008「合成高分子系ルーフィングシート」に定められている。シートの材料強度としては、JIS A 6008に規定されている引張試験による破断強度を採用する。

### (b)荷重・外力の計算

使用部位(屋根、庇、ベランダ)に作用する風圧力は建築基準法施行令87条2項、告示1454号並びに1458号に基づいて定める。

### (c)応力の計算

接着および密着工法の場合、(b)で計算された風圧力が各部分に作用するとして応力を計算する。一方、機械的固定工法の場合、(b)で計算された風圧力に固定部1箇所当りの荷重負担面積を乗じて固定部に作用する力を計算する。

### (d)安全性の検討

(c)で計算された応力と許容耐力との比較によって行う。許容耐力は破壊荷重の1/2とする。破壊荷重は工法に応じ、以下のように定める。

①接着・密着工法の場合：シートと下地の接着強度(N/m<sup>2</sup>)とする。

②機械的固定工法の場合：「固定金具部分の破壊強度(N/本)×固定本数(本/m<sup>2</sup>)」により求めた単位面積当りの固定強度(N/m<sup>2</sup>)とする。固定金具部分の破壊強度(N/本)は、固定金物の固定ビス引抜強度、固定金物とシートの接合強度、固定金物と固定ビスの引抜強度のうちの最小値とする。

# ALCパネル

## パネルの曲げ強さ試験

JIS A 5416-1997: 軽量気泡コンクリートパネル

(ALCパネル)の9.5(パネルの曲げ強さ試験)

## 構造計算

ALC取付け構法標準・同解説

パネル強度とパネル取り付け強度の確認

表 3.3.16 取付け構法別耐風荷重性能 (N/m<sup>2</sup>)

取付け構法の種類	正圧	負圧
ロッキング構法	2000	1600
スライド構法	2000	1200
ボルト止め構法	2000	1600

# サッシ・ガラス

## 耐風圧試験

JIS A 1515(建具の耐風圧試験方法)圧力箱試験

## 構造計算

### (1) サッシ

- (a) 風圧力の算定 ⇒ 外壁に同じ
- (b) たわみ計算 ⇒ たわみ率の規定(JISA4706)
- (c) 応力判定 ⇒ 許容応力度(アルミ,  $11000\text{N}/\text{cm}^2$ )

### (2) ガラス

- (a) 風圧力の算定 ⇒ 外壁や屋根に同じ
- (b) ガラス厚さ ⇒ 矩形の4辺支持のはめ込みガラスの場合, 告示1458により決定

# 外装材関連のまとめ

- 1) 日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説や業界マニュアル等の規準類によって、「外装仕上げ材及びその支持部材」の耐風性能の定義、構造方法や構造計算の方法等が何らかの形で示されている。2007年の建築基準法施行規則の改定により各業界が対応したものと考えられる。
- 2) 設計者、施工者、建材生産者との間で「外装仕上げ材及びその支持部材」の範囲について明確になっていない部分が存在する場合がある。
- 3) 「外装仕上げ材及びその支持部材」の構造計算の外力として建築基準法を明記したものと明記していないものに分かれた。
- 4) 「外装仕上げ材及びその支持部材」の耐力に関する試験法については、日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説や業界マニュアル等によって示されているが、様々な試験法が提案されている。
- 5) 国内の基規準には飛散物に対する「外装仕上げ材及びその支持部材」の耐衝撃性能に関する情報はなく、海外の基規準での飛散物に対する情報等をまとめた。

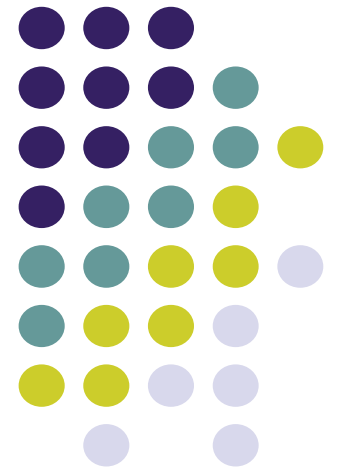
# 外装材関連の今後の課題

- 1)「外装仕上げ材及びその支持部材」の耐風性能を確保するために、「外装仕上げ材及びその支持部材」と構造部材との関係をそれぞれの建材について明確にする。
- 2)「外装仕上げ材及びその支持部材」の耐風性能評価に関して、風圧力の計算法、建材の耐力に関する試験法等の妥当性について検討する。また、標準的な試験法や評価法の考え方を整理し提案する。
- 3)「外装仕上げ材及びその支持部材」の耐風性能評価に関して、構造計算の代わりに、仕様書や試験によって確認する場合があります、これらの仕様や試験法の妥当性を検討する。
- 4)飛散物に対する「外装仕上げ材及びその支持部材」の耐衝撃性能に関する試験法や評価法について検討する。

本課題は5ヶ年を予定しており、上記の調査課題を順次実施していく必要がある。

# 塔状工作物WG

- ✓ 主な規基準の収集
- ✓ 塔状工作物と建築物の構造設計の比較
- ✓ 煙突の構造設計の現状
- ✓ 風車の構造設計の現状





# 塔状工作物WG

- 煙突等、塔状工作物は社会生活に重要な役割
- 建築基準法：平成12年建設省告示第1449号
  - 煙突等の基準
    - 風圧力＝建築物の規定に従うこと
      - 必要に応じ風向直交方向の検討
    - 地震力＝曲げモーメント、せん断力分布を規定
      - 必要に応じ振動特性を考慮
  - 煙突と風車に焦点
    - 合理的な設計法を探る
      - 耐風、耐震性能に係わる基本データの収集
      - 関連指針、規基準の調査
      - 構造設計の実態調査

- 建築物とは構造特性が異なるが？
- 必要な場合とは？
- 荷重分布は適切か？



# 塔状工作物に関し調査した基規準

建築基準法	建築物一般	国土交通省
風力発電支持構造物 構造設計指針	風車支持物	2007年、土木学会
煙突構造設計指針	煙突	2007年、建築学会
CICIND	煙突	フランス
ACI	煙突(コンクリート)	アメリカ
IEC61400-1	風車	イギリス
GL wind 2003	風車	ドイツ
DNV2007	風車	ノルウェー





# CICIND / IEC61400

- CICIND
  - 鋼製煙突、コンクリート煙突を対象
  - 特徴
    - 高次モードの考慮
    - 風向方向に加え、風直角方向振動に対する指針
    - 薄肉シェルのおバリング振動の指針
- IEC61400
  - 風車の国際規格
  - 風車のハブ高さの風速を基準に I、II、III、Sの風車を4クラスに分類
  - 疲労と終局状態を検証



## 建築物と塔状工作物の構造設計の比較

項目	建築物	塔状工作物
荷重外力	風荷重と地震荷重は同時には考慮しない	風車:地震荷重の検討に発電時平均風荷重を考慮
地震力の分布	$A_i$ 分布	直線分布
1次固有周期	$T=0.03h$ 等	煙突:— 風車:ロータ、ナセルを集中荷重とし、変形曲線から算定
減衰定数	地震:5%応答スペクトル、超高層はRC3%、S2% 風:2%ガスト影響係数	告示(風は建築物流用) 適宜



# 風車の耐風・耐震設計等の現状

- 1999年以降、強風により風車タワーの座屈や基礎等の崩壊などの重大事故の報告があった





# 風車の耐風・耐震設計等の現状

- 1999年以降、強風により風車タワーの座屈や基礎等の崩壊などの重大事故の報告があった
- 土木学会において、構造設計の問題点などの検討がなされ、2007年「風力発電設備支持物構造設計指針・同解説」が出版された
- WGでは、上記指針をもとに、風車支持構造物の耐風・耐震設計等の考え方を整理するとともに、残されている課題を明らかにした



# 風車支持構造物**構造安全性照査**

- 風荷重
  - 設置場所は風当たりの良い場所が選ばれる
    - 通常の基本風速では設計風速を過小評価の恐れ
  - ピッチ、ヨー制御で、強風時の風荷重の低減
- 地震荷重
  - 運転時風荷重の考慮
- 構造特性
  - 構造減衰が小さい
  - 片持ち形式
  - トップヘビー



# 風車支持構造物風圧力に対する照査

## ● 考慮する必要がある風荷重

発電時平均風荷重	長期荷重、地震荷重との組合せ
発電時最大瞬間風荷重	短期荷重(暴風時より、多頻度)
暴風時最大瞬間風荷重	短期荷重

風直角方向振動について、  
共振風速は発電時風速以内にある  
ただし、ブレード、ナセルにより渦が乱される

## ● 風力係数

- 厳密なもの入手困難
- 土木学会指針: 支持構造物設計用に標準的なものを設定

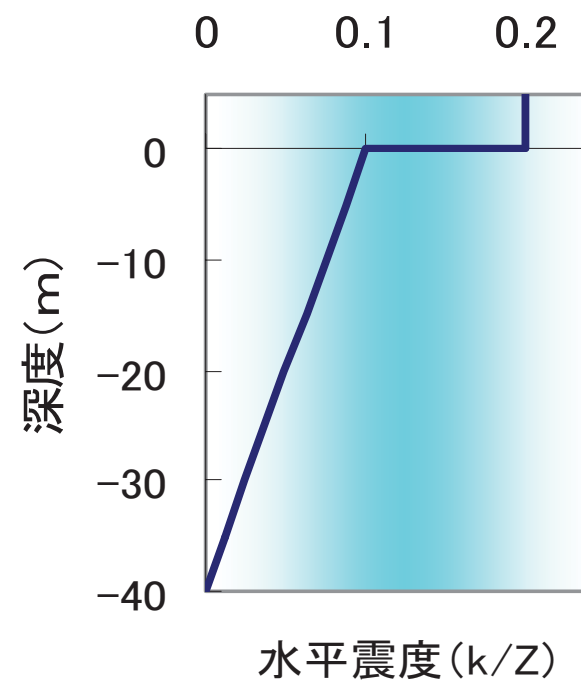


# 風車支持構造物地震力に対する照査

- 工学的基盤の加速度応答スペクトル
- I、II、III種地盤で、表層地盤の増幅特性を考慮
- 地震力の高さ方向分布＝直線分布
- 構造減衰は0.5%
- ペDESTALと基礎の地震力

$$k = 0.2Z$$

$$k \geq 0.1 \left( 1 - \frac{H}{40} \right) Z$$





# 風車支持構造物現状分析のまとめ

- 耐風設計
  - 設計風速
    - 平坦な地形の場合、地表面粗度区分と高さ
    - 複雑地形のとき、地形の影響を評価する必要
  - ガスト影響係数
    - 詳細法
    - 簡便法(建築基準法に倣って、構造減衰の関数)
  - 発電時の荷重が最大荷重となる場合がある
    - 制御の影響を受ける、評価方法の検討が必要
    - 疲労荷重(現在未検討)の検討が必要





# 風車支持構造物現状分析のまとめ

- 耐震設計
  - 構造減衰が小さい
    - 応答が大きく変動
    - 評価法の検討必要
  - 高次モードの影響の検討が必要



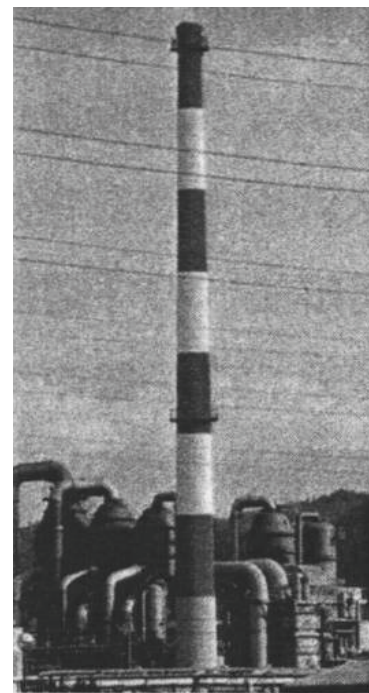
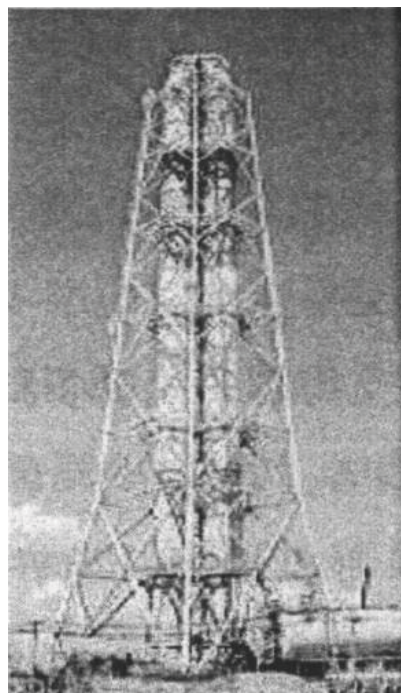
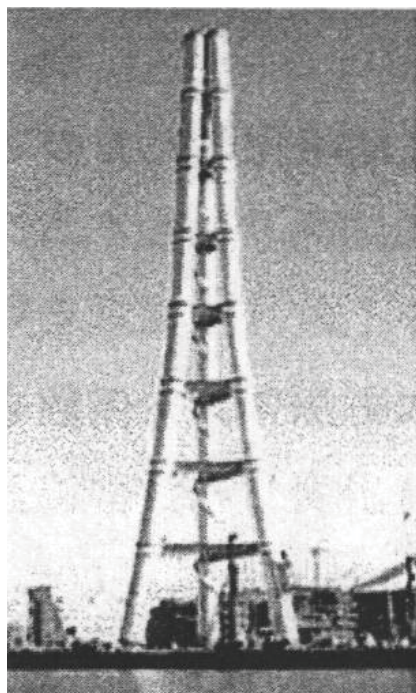
# 煙突の耐風・耐震設計等の現状

- 煙突の構造仕様
  - 鋼製煙突
  - 鉄筋コンクリート煙突
- 構造規定
  - 2007年建築基準法の改正
    - 高さ60m以下は原則、特定行政庁で審査
      - 仕様規定
    - 高さ60m超は、性能評価機関で審査、大臣認定
- 稀な地震、風は検証、ごく稀は求められない



# 鋼製煙突

- 支配荷重は風荷重
- 形状：鉄塔支持形、多脚形、自立形（円筒形と環境調和形と称する円筒形以外の形状）





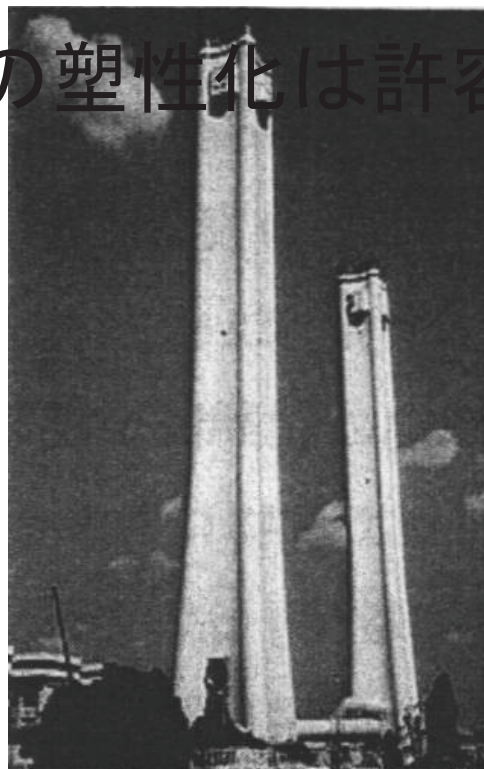
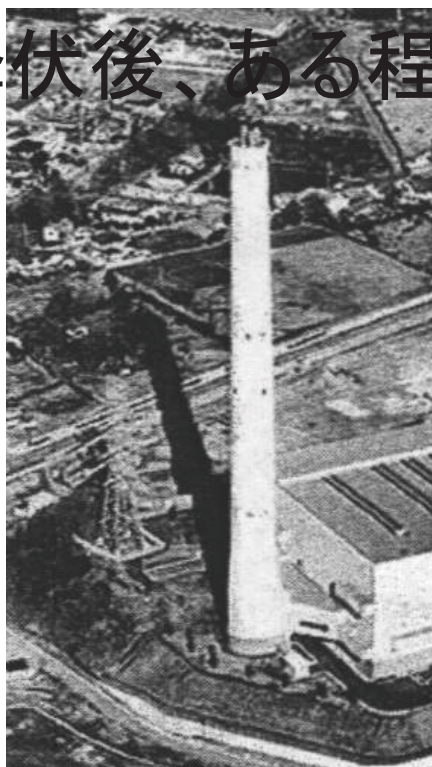
# 鋼製煙突

- 支配荷重は風荷重
- 形状：鉄塔支持形、多脚形、自立形（円筒形と環境調和形と称する円筒形以外の形状）
- 構造減衰が小さい
- 多脚形では常時排煙の確率が高く、温度応力が大きい
- 片持型、塑性化は不安定の恐れ
- 薄肉シェル：局部座屈、開口部が弱点



# 鉄筋コンクリート煙突

- 支配荷重は地震荷重
- 形状は自立形（円筒形、環境調和型）
- 鉄筋降伏後、ある程度の塑性化は許容できるが、片持ち型





# 煙突 風圧力に対する安全性照査

- 構造設計で検討される風荷重

風向方向	告示式	短期
風直角方向	建築学会・荷重指針 同 ・煙突指針	疲労、短期

- 建築物(構造減衰が煙突より大)の検証法を流用
- 風力係数
  - 円筒形 極超臨界Re数  $C_d=0.7$
  - 環境調和型は風洞試験
  - BCJ煙突構造設計施工指針には多くの実験例



# 煙突 地震力に対する検証

- 60m以下の煙突
  - 告示により曲げモーメントとせん断力
  - 高さの関数で与えている
- 60m超は時刻歴応答解析
  
- 建築学会煙突指針
  - 曲げモーメントとせん断力を与えている。
  - 減衰、1次固有周期の補正をしている



## 煙突 その他

- 鋼製煙突の局部座屈
  - 建築基準法には円筒の局部座屈の規定はない
  - 学会煙突指針に、NASAの実験式に基づく許容応力
- 基礎
  - 学会基礎構造設計指針によっている
  - 煙突の地震被害は筒身の被害はあるが、基礎はない
  - 告示は水平震度0.1とされている





# 煙突 現状分析結果のまとめ

- 温度の影響
  - 無視できる仕様にするか、考慮すべき
- 風圧力
  - ガスト影響係数に減衰、固有周期の影響を反映する必要がある
  - 風直角方向の検討、個材振動の検討、疲労損傷の検討が必要
- 地震力
  - 減衰、1次固有周期の影響等を検討すべき
  - 高さ方向分布は直線分布が採用されているが、その妥当性の検証が必要



# 煙突 分析結果のまとめ

- 地震力
  - 減衰、1次固有周期の影響等を検討すべき
  - 高さ方向分布は直線分布が採用されているが、その妥当性の検証も必要
  - 基礎の水平震度の妥当性の検証

# 全体のまとめ

風荷重、耐風設計等に関する基準の  
合理化の検討

- 風力係数WG
- 外装材WG
- 塔状工作物WG





# 調査概要と課題

- 風力係数に関する現状調査
  - 指針、基準等に示されていない風力係数
    - 寄棟屋根、円錐屋根、等
  - 文献調査、風洞試験によるデータの収集
- 外装仕上材等の耐風設計の現状調査
  - 建材業界に要求性能、構造方法等のアンケート調査を実施
  - 構造方法や、構造計算方法等の妥当性の検証
- 塔状工作物の構造計算に関する現状調査
  - 煙突および風車支持構造物について、現状の構造計算方法等を調査
  - 形状、構造特性等に即し、構造安全性の照査方法の再検討