

風圧力，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

共同研究者 独立行政法人 建築研究所



3つの課題

- (1) 風力係数, ピーク外圧係数, ピーク外圧係数およびガスト影響係数を充実する。
 - (2) 外装材等の構造方法, 構造計算などの性能評価, 検証方法を検討する。
 - (3) 風力発電用風車を含む塔状工作物の構造設計に必要な情報の充実および計算方法を検討する。
-

調査の特徴および実施方法

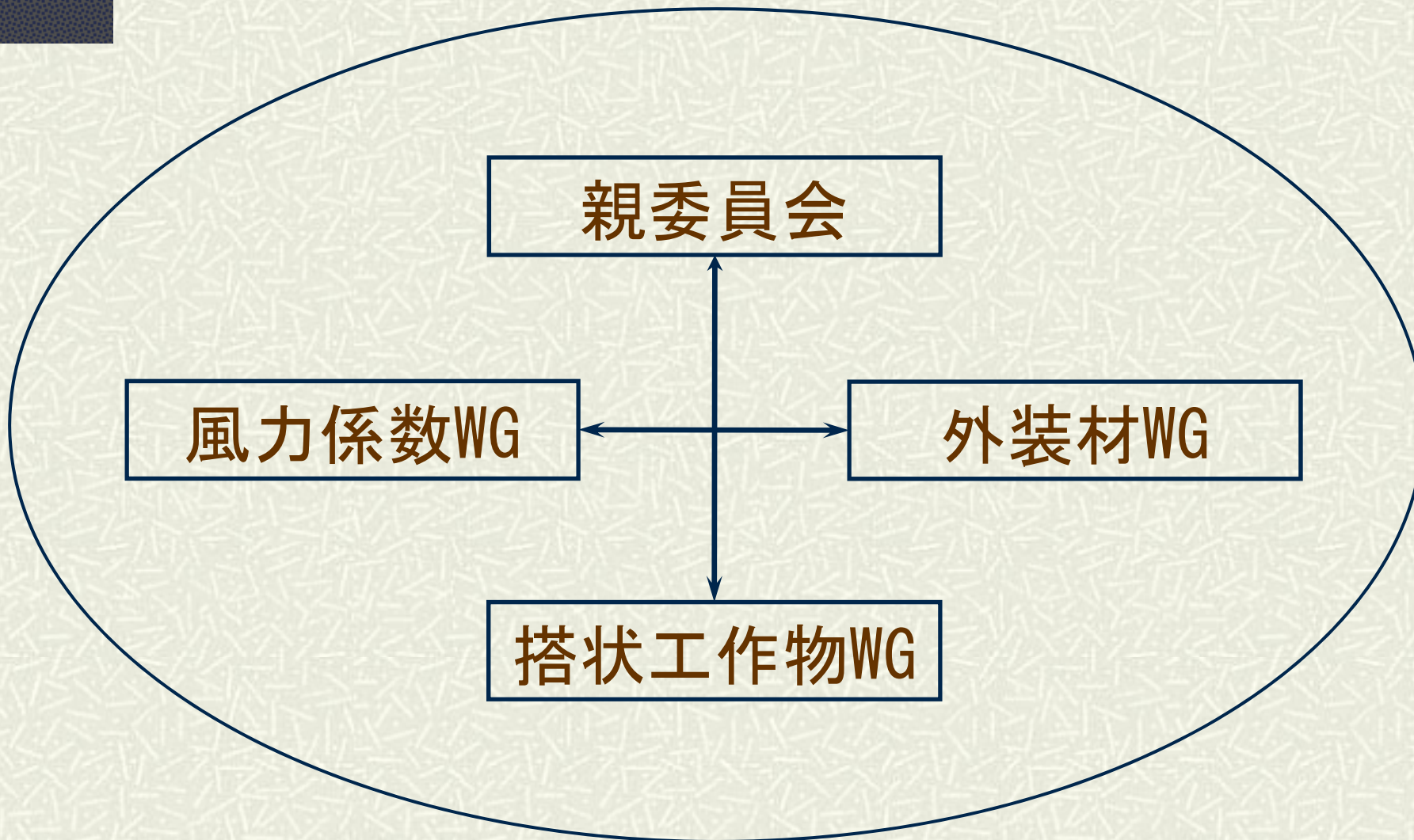
幅広い検討

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

風力係数

平成20年度調査

風力係数等を整理し、不備で二ーズの高いものとして以下があげられた。

寄棟屋根の風力係数

軒のある屋根の風力係数

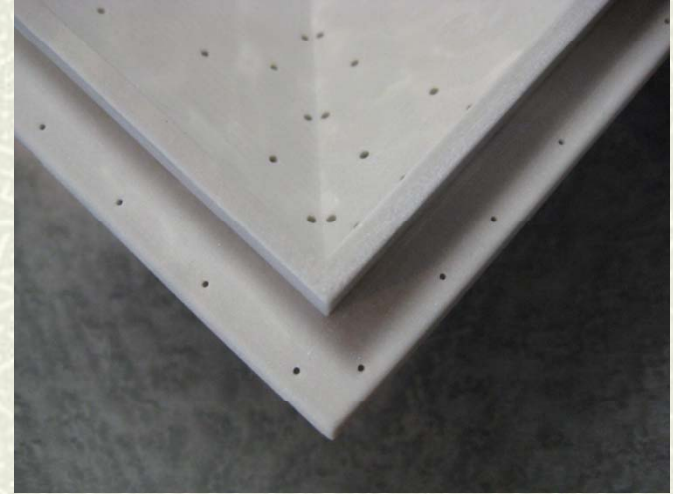
風洞実験

記号	風洞実験実施機関名
K	鹿島建設
S	清水建設
T	竹中工務店
U	東京工芸大学
M	三井住友建設
W	風工学研究所

風洞実験

陸屋根		切妻屋根		寄棟屋根	
屋根勾配	軒	屋根勾配	軒	屋根勾配	軒
0°	無	10°	無	10°	無
	30cm		30cm		30cm
	60cm		60cm		60cm
		20°	無	20°	無
			30cm		30cm
			60cm		60cm
		30°	無	30°	無
			30cm		30cm
			60cm		60cm
		45°	無	45°	無
			30cm		30cm
			60cm		60cm

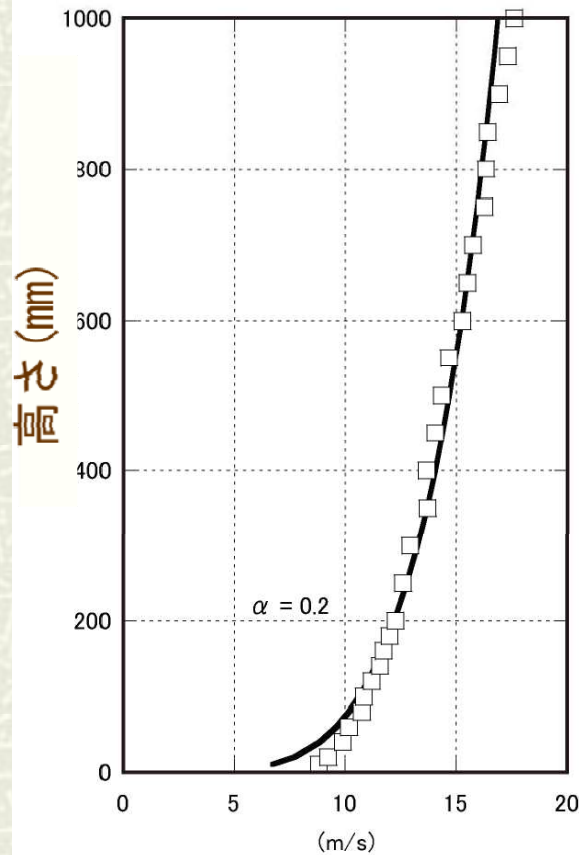
実験模型



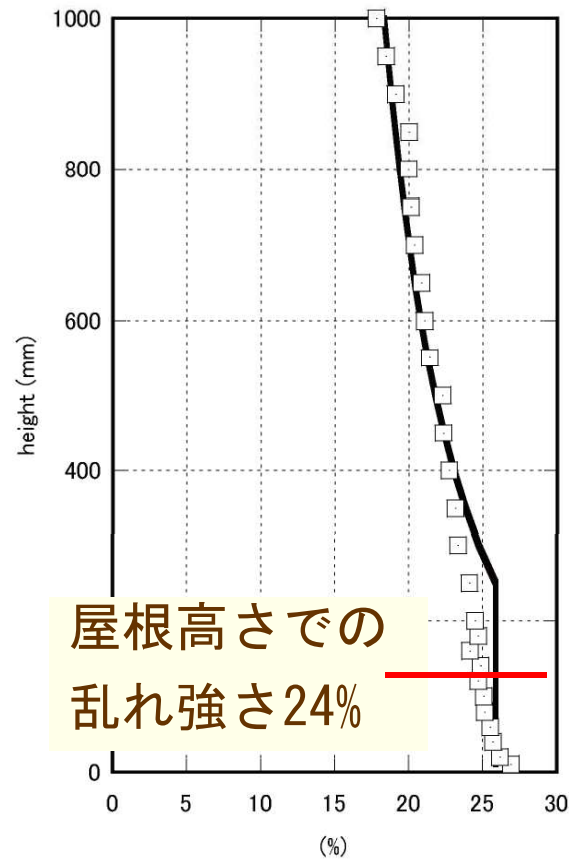
実験風景



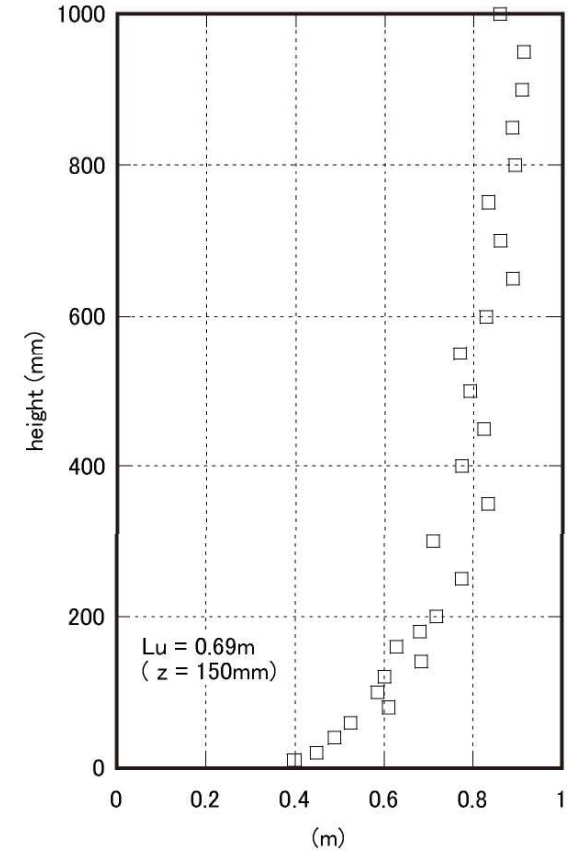
実験気流 (目標: 地表面粗度区分Ⅲ)



平均風速

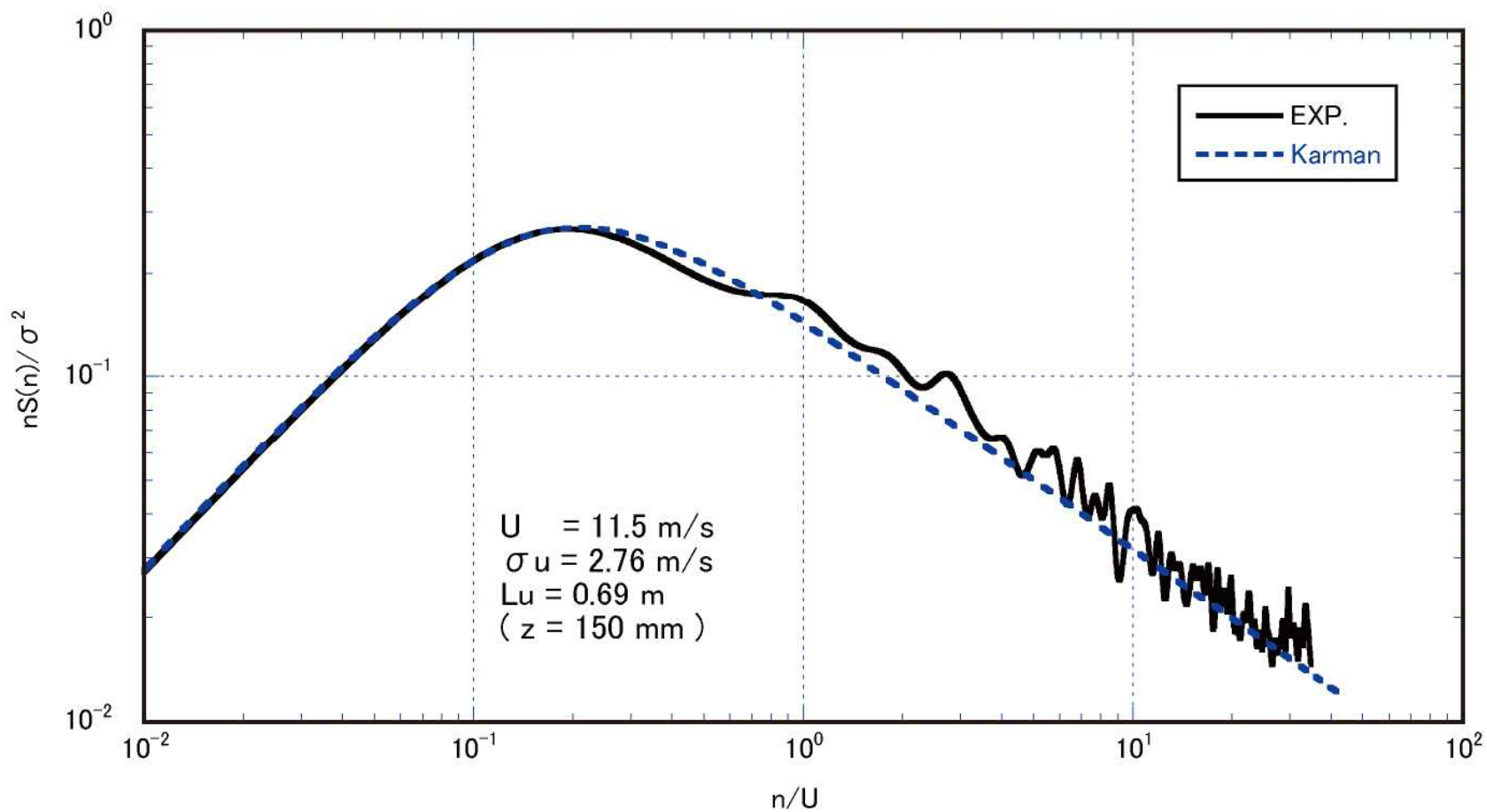


乱れ強さ

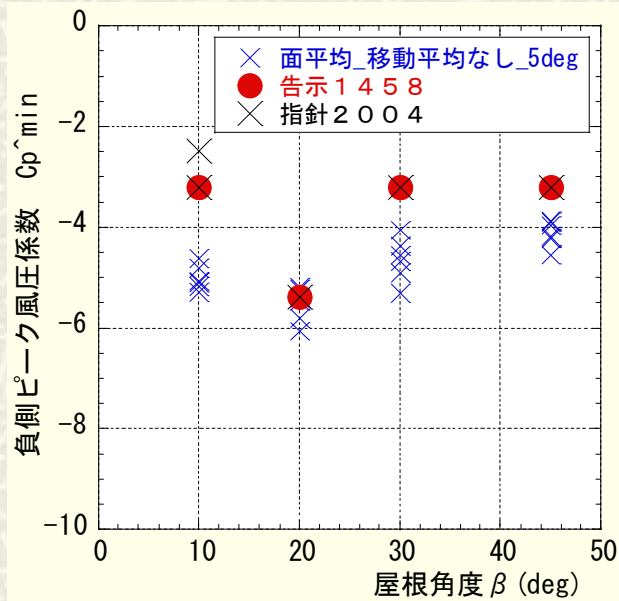
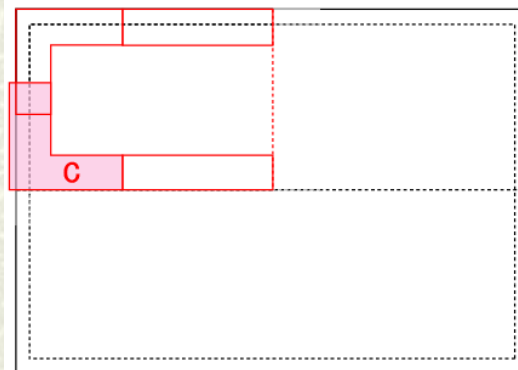


乱れのスケール

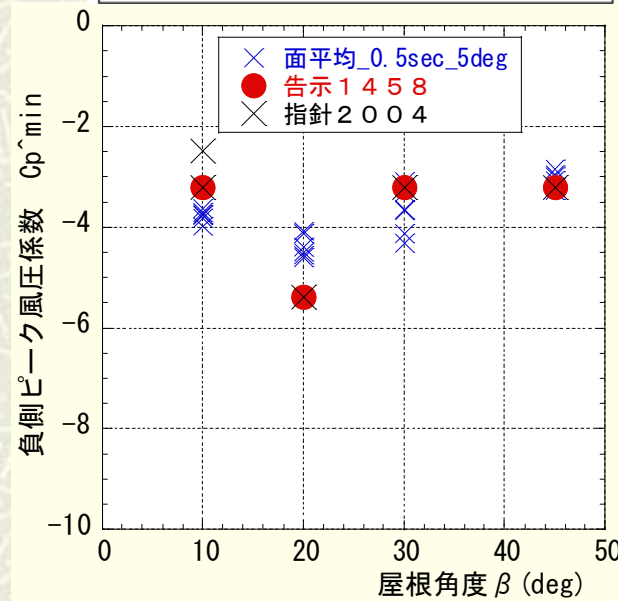
変動風速のパワースペクトル密度



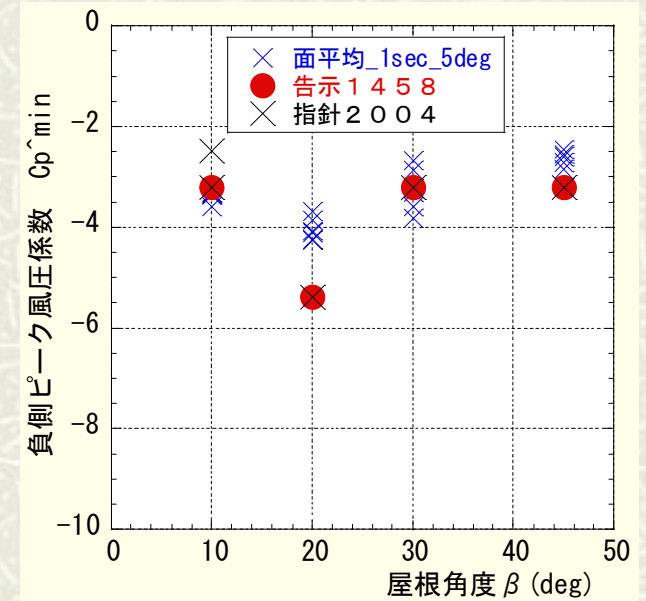
切妻屋根ピーク外圧係数 (1m²面平均)



0.02秒平均値瞬間

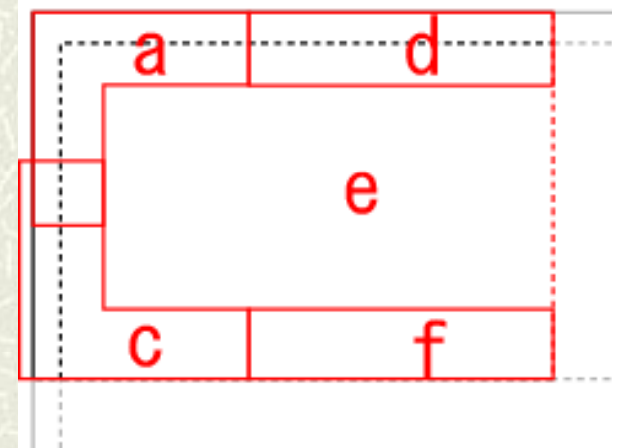
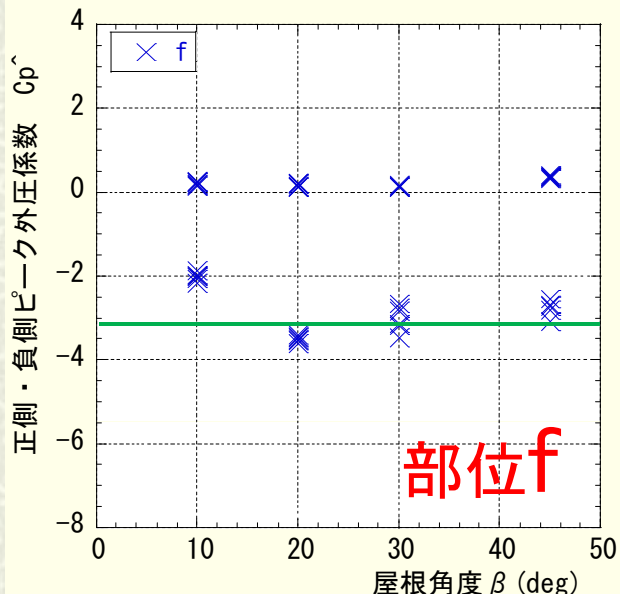
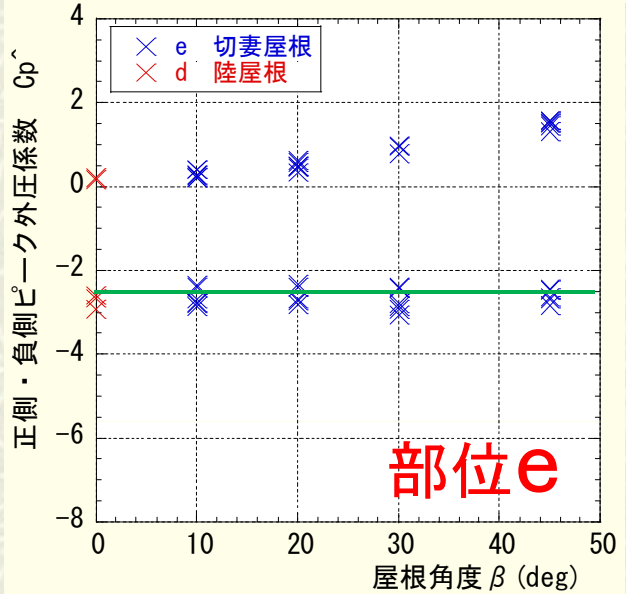
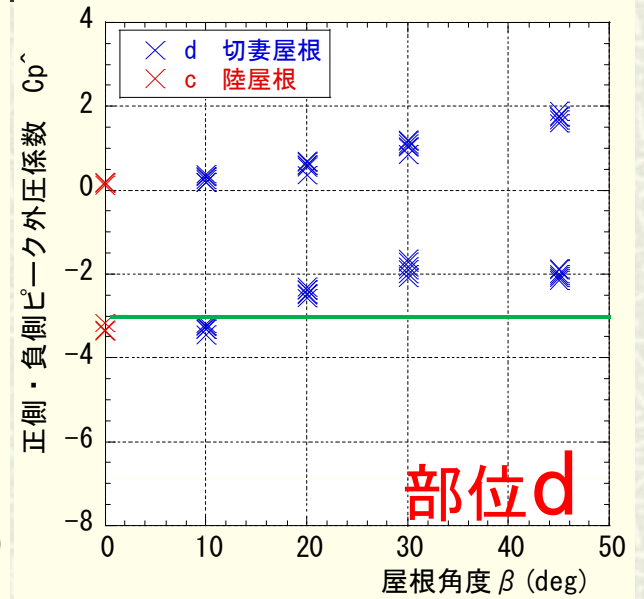
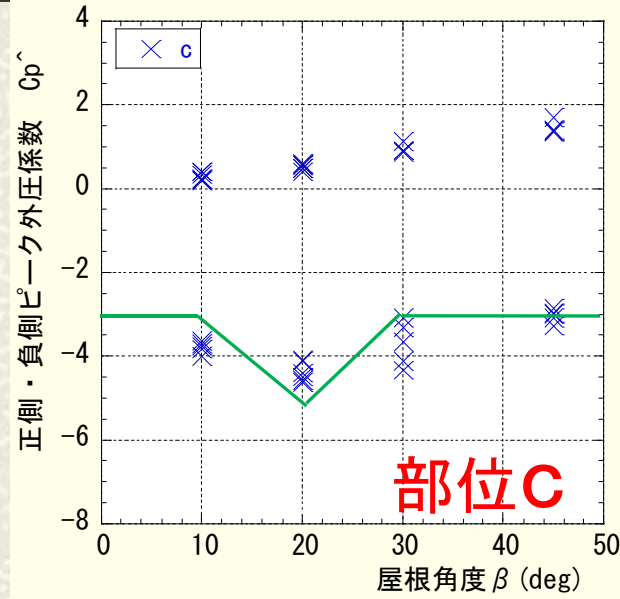
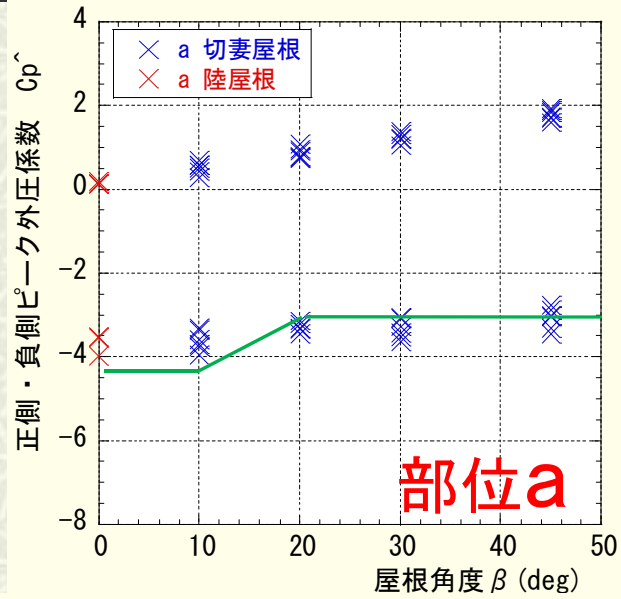


0.5秒平均値瞬間

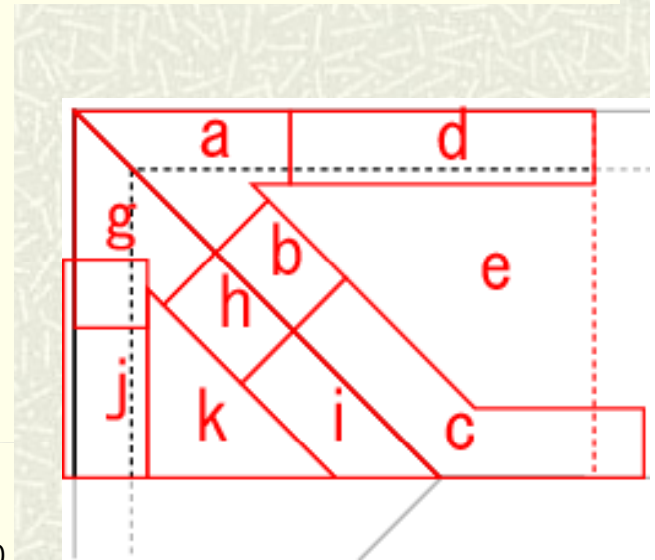
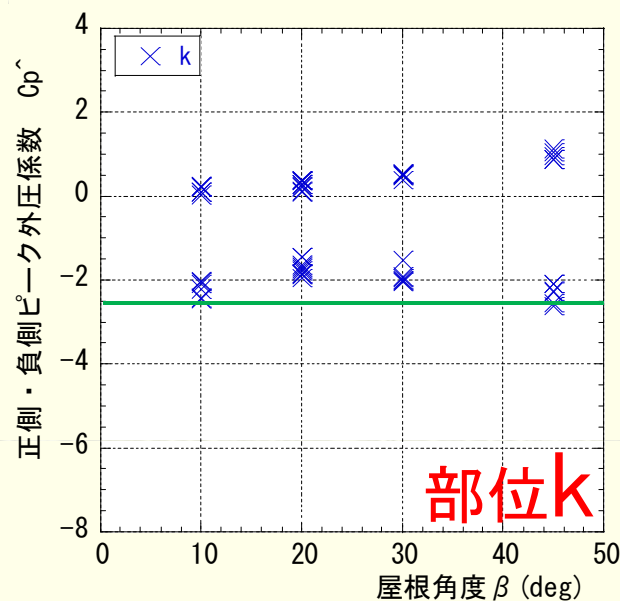
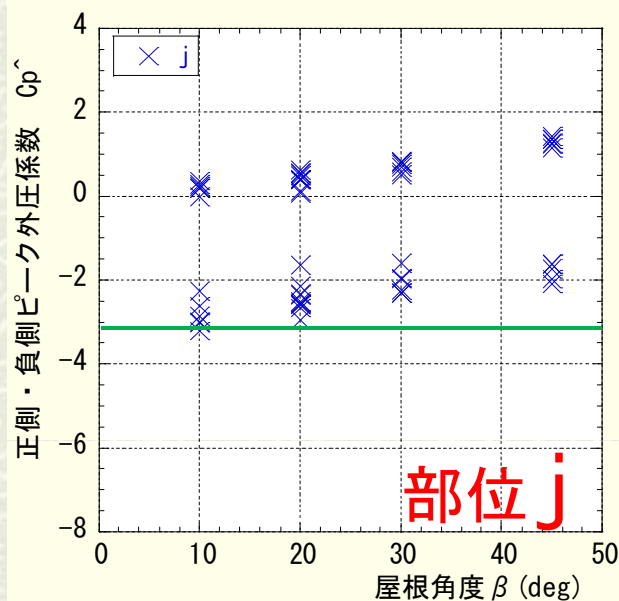
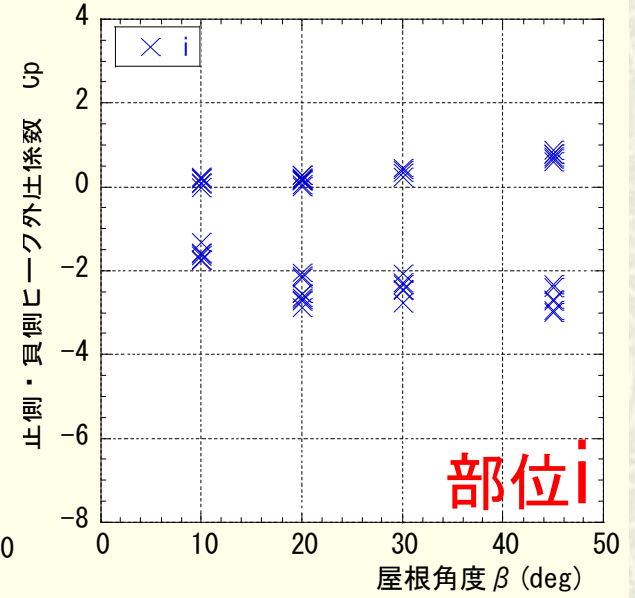
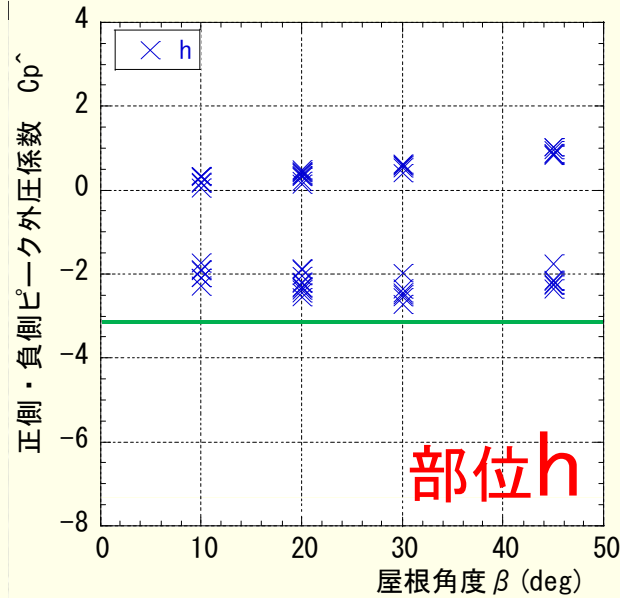
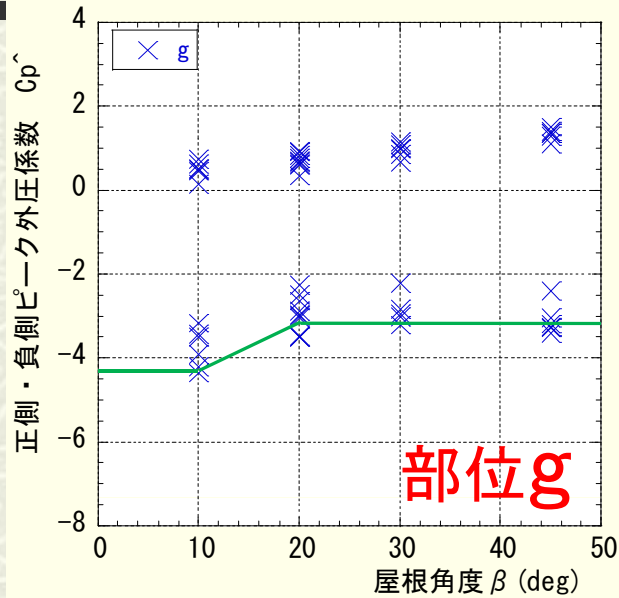


1秒平均値瞬間

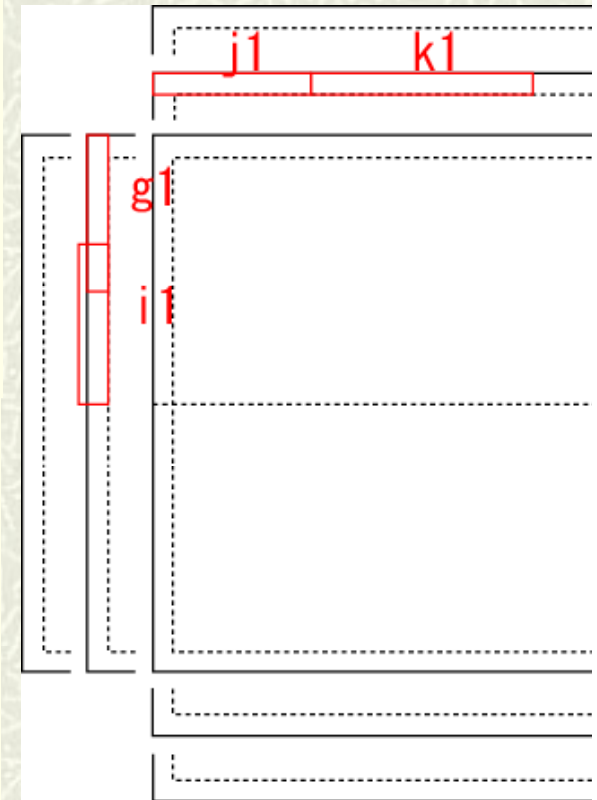
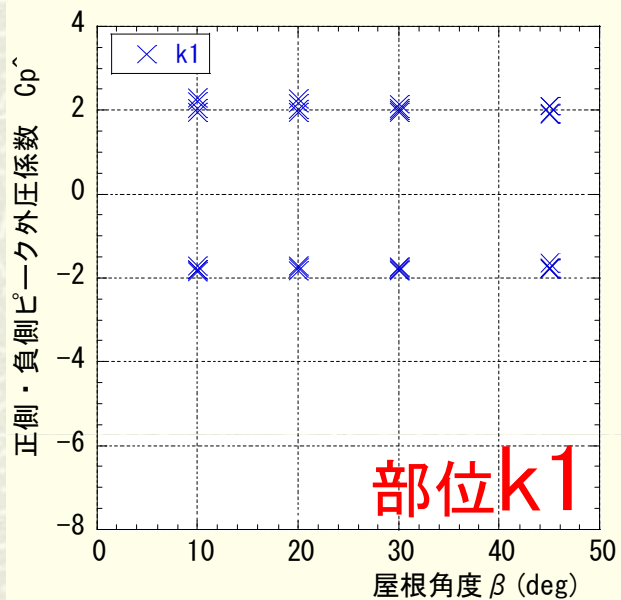
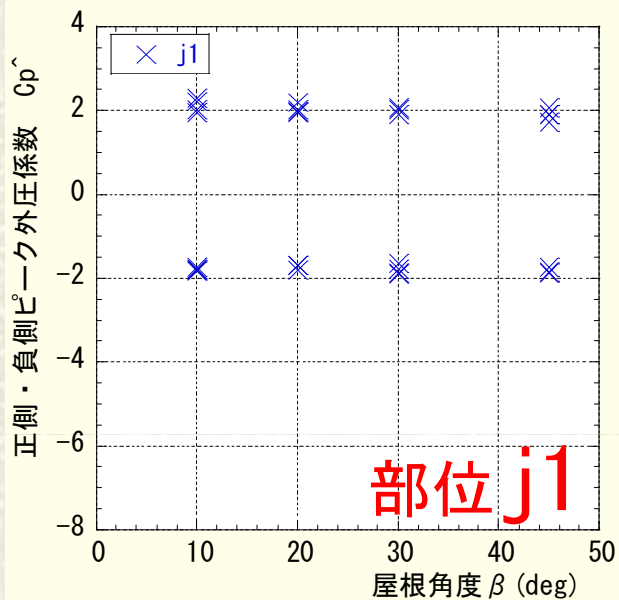
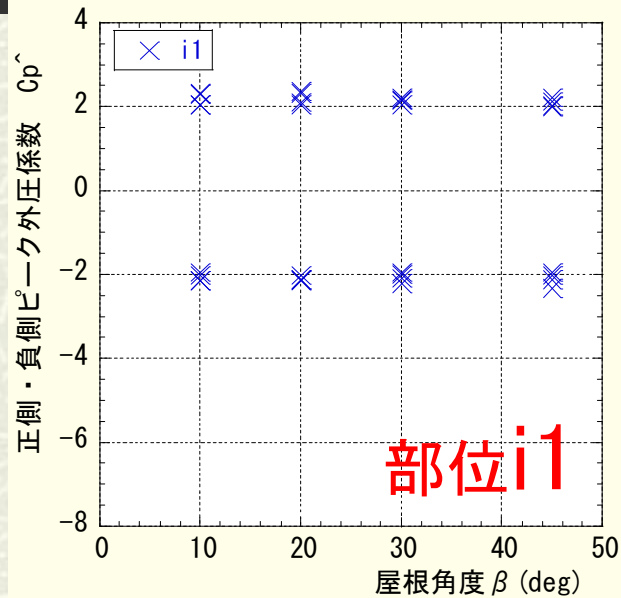
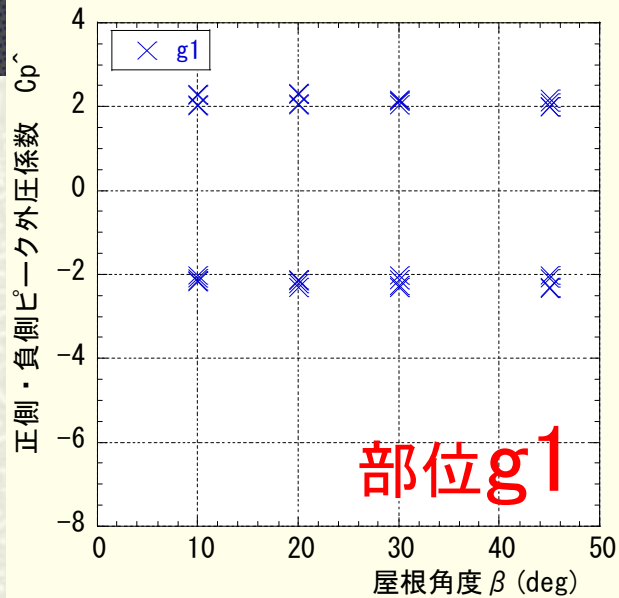
切妻屋根ピーク外圧係数(告示との比較)



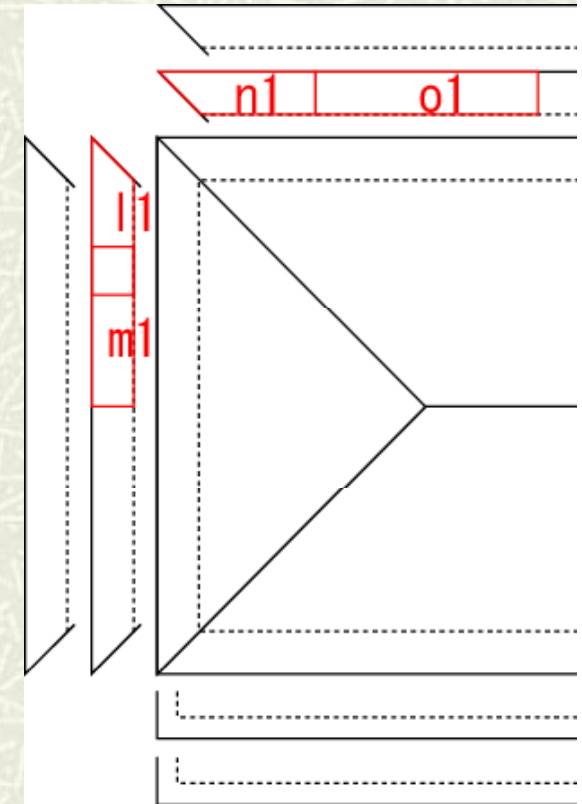
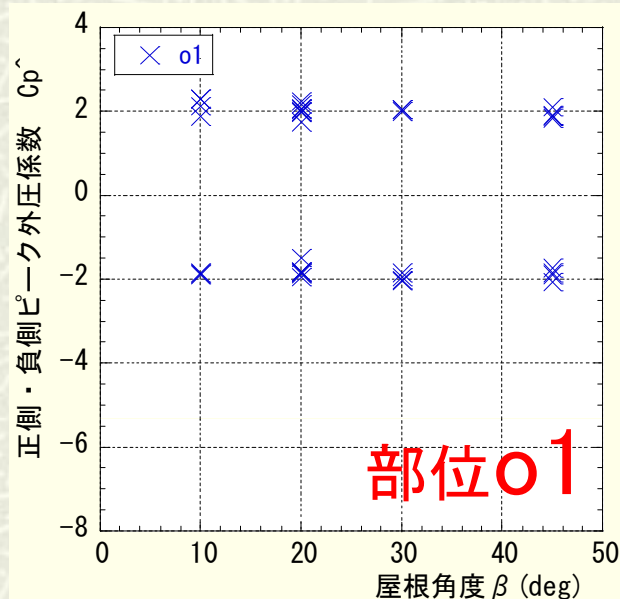
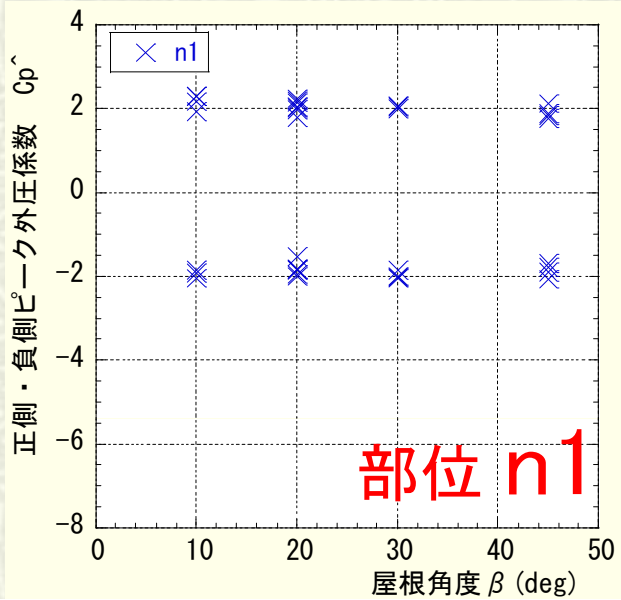
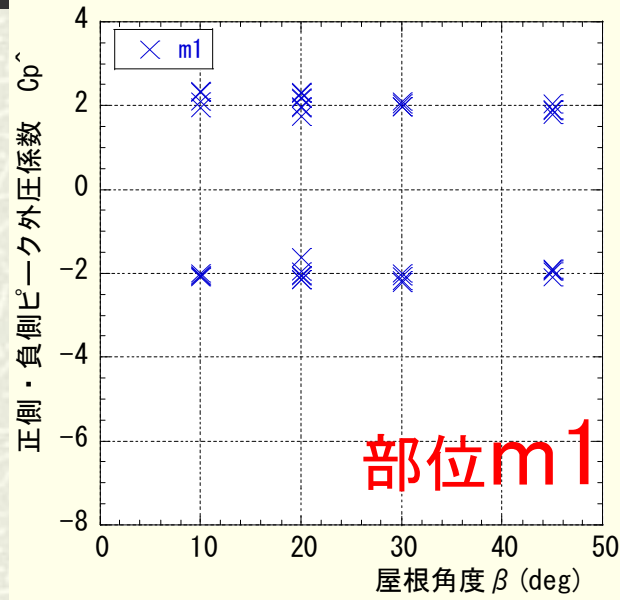
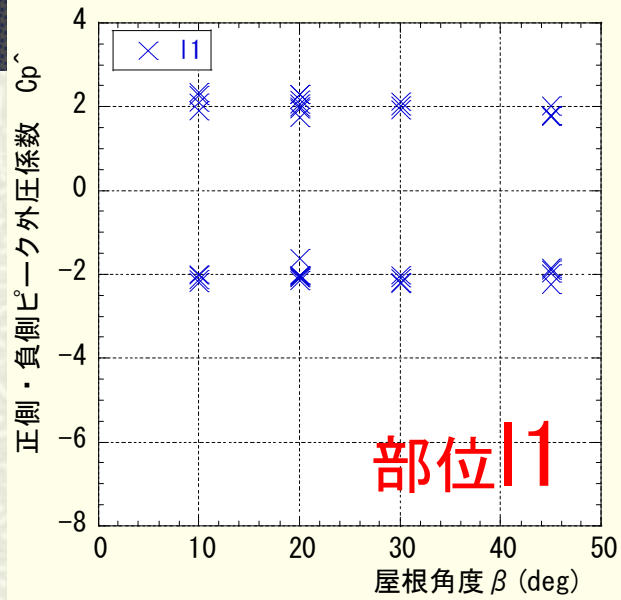
寄棟屋根ピーク外圧係数



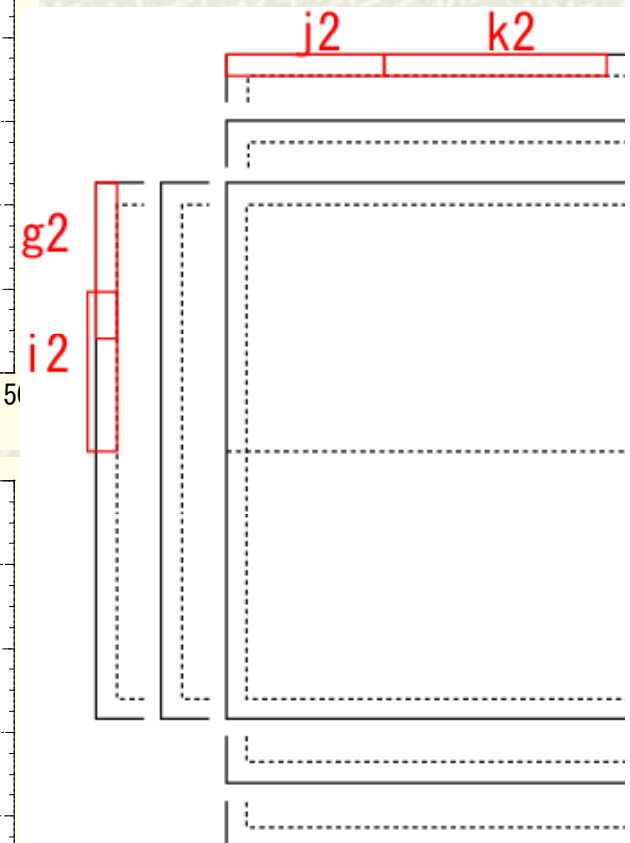
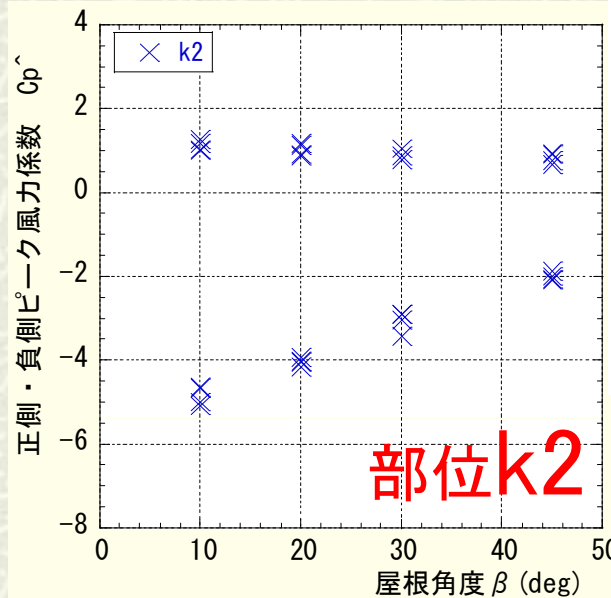
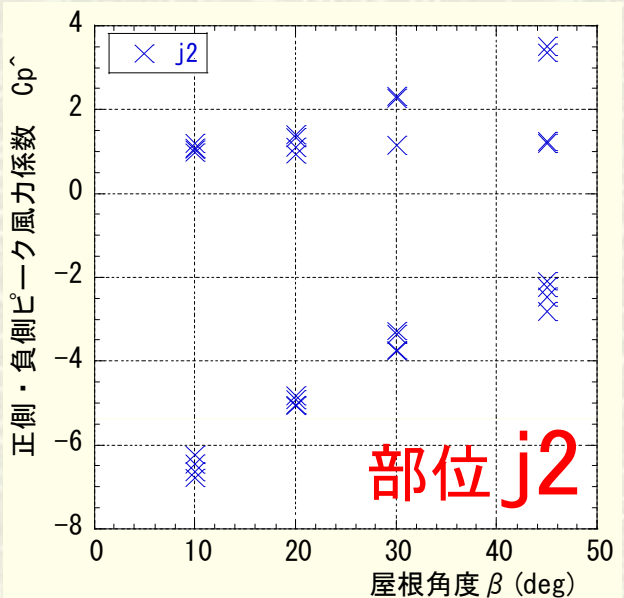
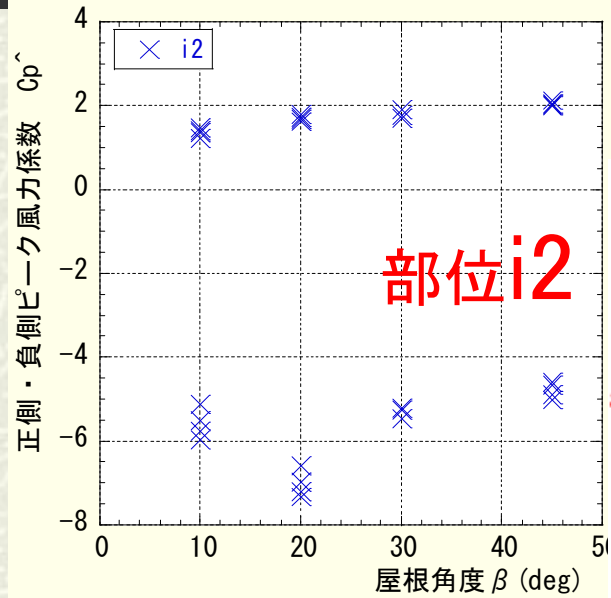
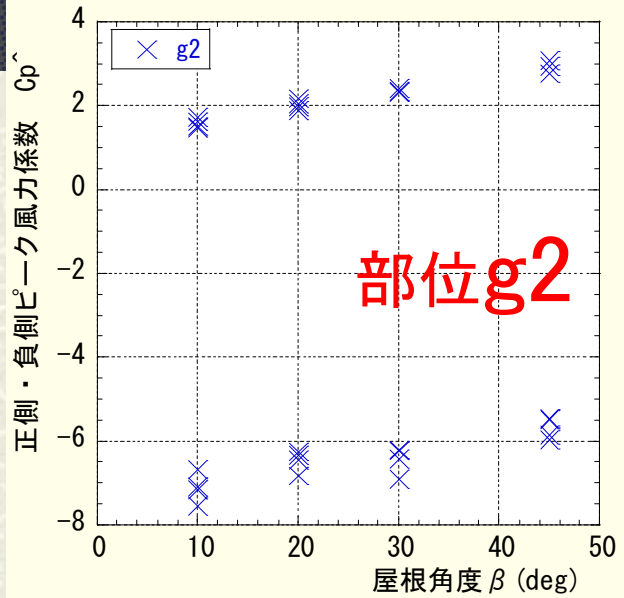
切妻屋根軒裏のピーク外圧係数



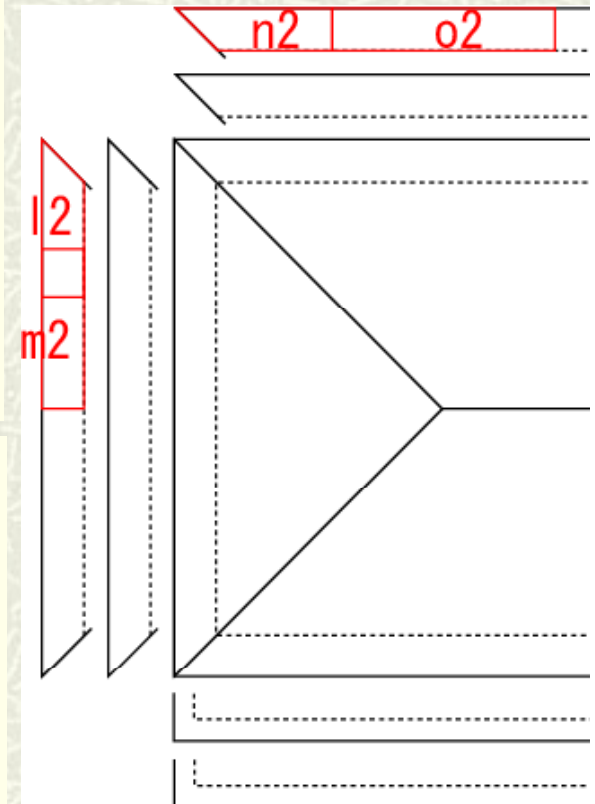
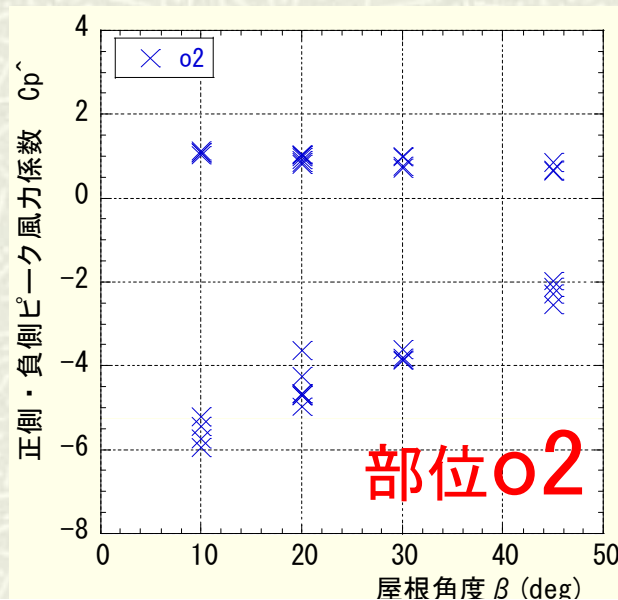
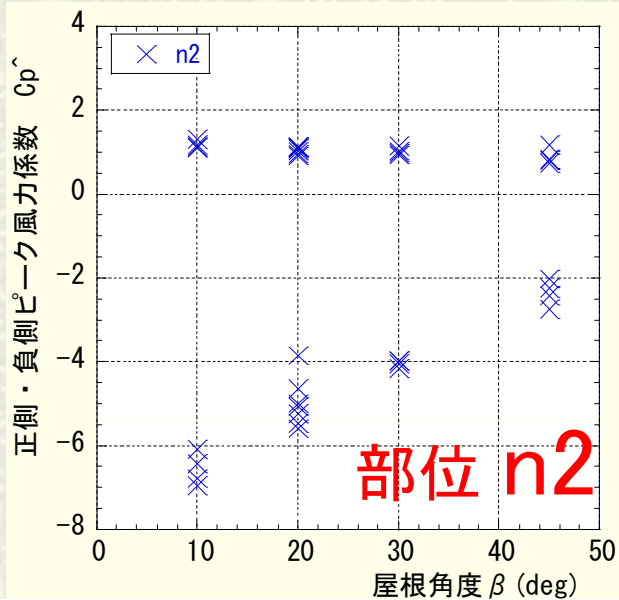
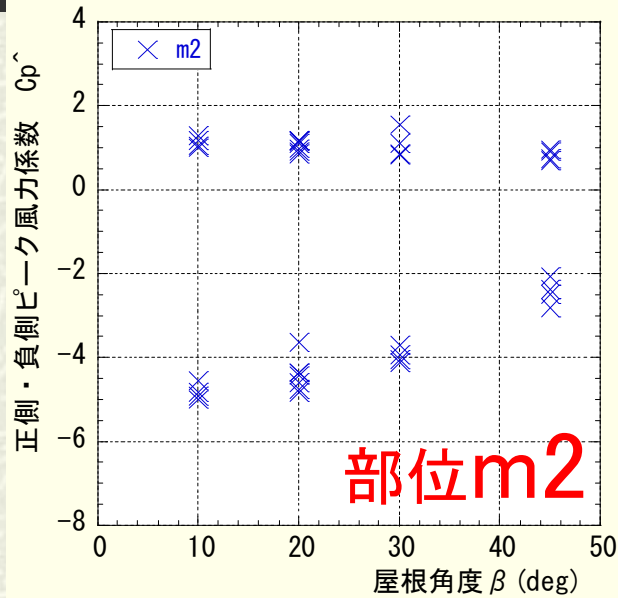
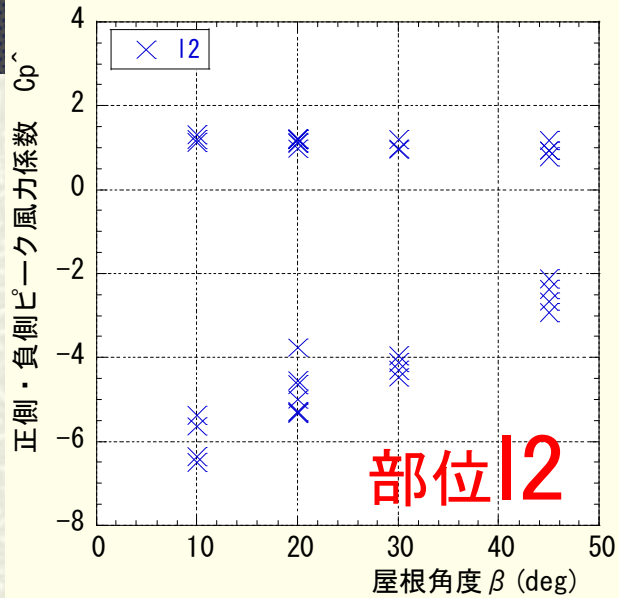
寄棟屋根軒裏のピーク外圧係数



切妻屋根軒裏のピーク風力係数



寄棟屋根軒裏のピーク風力係数



構造骨組の風荷重

- 1 風力係数
 - (1) 寄棟屋根
 - (2) 軒のある屋根
- 2 ガスト影響係数

現施行令の屋根面の値については、
検討の必要がある

以上の不足分については、風力分布を屋根の構造特性を考慮した荷重効果として評価する必要があり、今回、その解析に必要なデータを取得し、合わせてデータの1次解析を行った。



外装材WG

外装材（平成21年度の調査項目 1）

- 平成20年度の実態調査の結果を踏まえて、建材業界の規準類における外装材等の耐風性能の定義、構造方法及び構造計算の方法等の性能評価・検証法について、再度アンケート・ヒアリング調査を行った。
 - 平成20年度の調査団体に2団体加えた、17建材製造業界団体を対象とした。
-

外装材（平成21年度の調査項目 2）

- 特定行政庁の建築主事に対しても，外装仕上材及びその支持部材の構造計算に関して，ヒアリング調査を実施
- 強風時に外装仕上材が大きな被害を受ける飛来物に対する耐衝撃性能試験案の検討

アンケート調査結果 建築主事

- 屋根ふき材等の構造安全性を確認するのに必要な情報(外力, 耐力等)がまだ十分には整備されていない。
- 業界のガイドライン等の正確な情報が「建築物の構造関係技術基準解説書」等に掲載されれば参考にすることができる。

調査実施業界団体

屋根系	帳壁・開口部系
瓦	サッシ
スレート	シャッター・ドア
金属板	ガラス
折板	窯業系サイディング
銅板	金属系サイディング
アスファルトシングル	押出成形セメント
シート防水	ALCパネル
	カーテンウォール

アンケート調査結果 対象範囲

屋根系

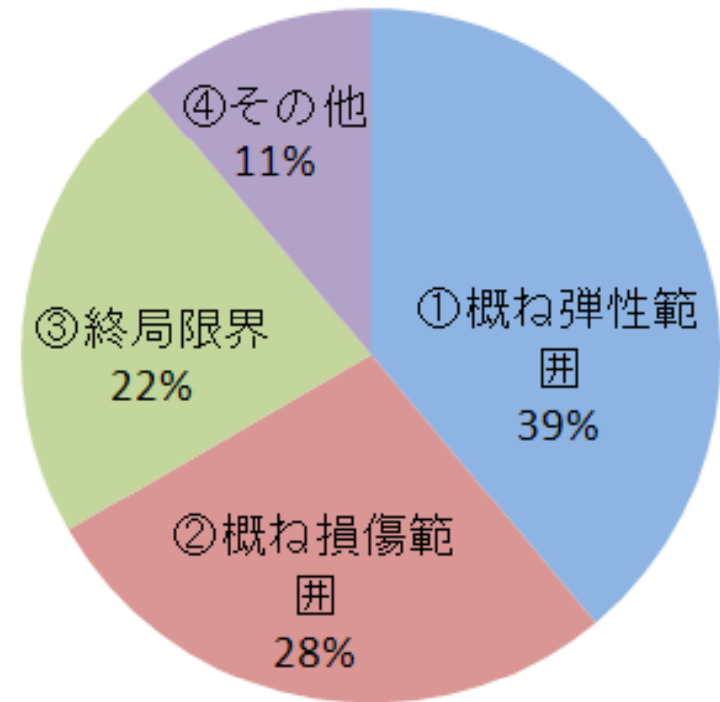
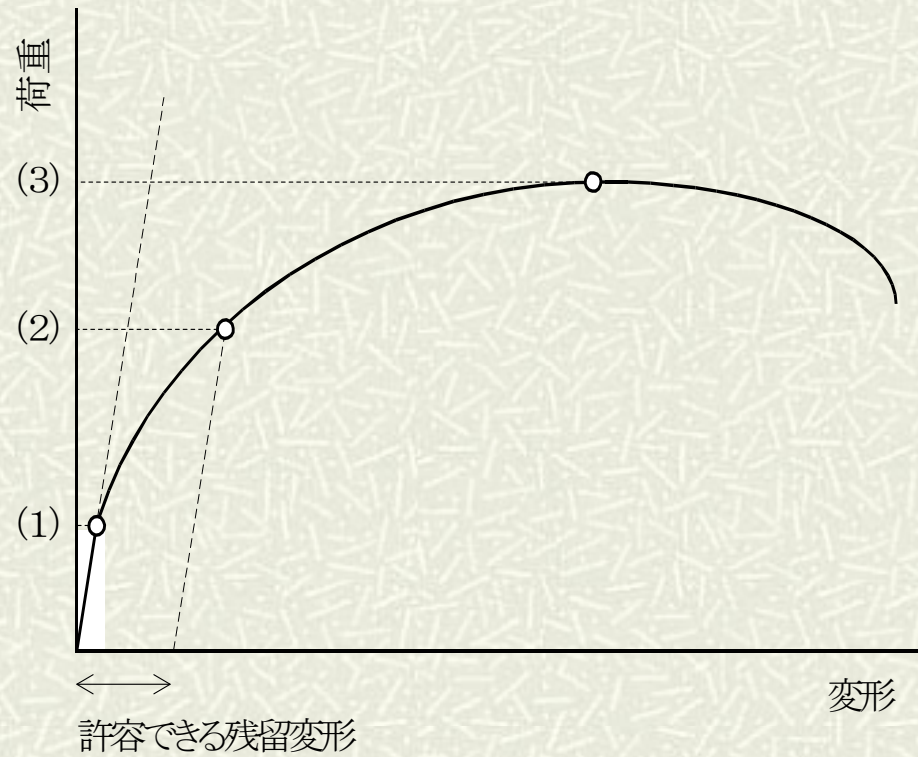
外装仕上材	接合部材	下地材	下地が取付く部材	構造骨組
	銅板	瓦	スレート 金属板	
		シート防水		
		アスファルトシングル		

アンケート調査結果 対象範囲

頂壁・開口部系

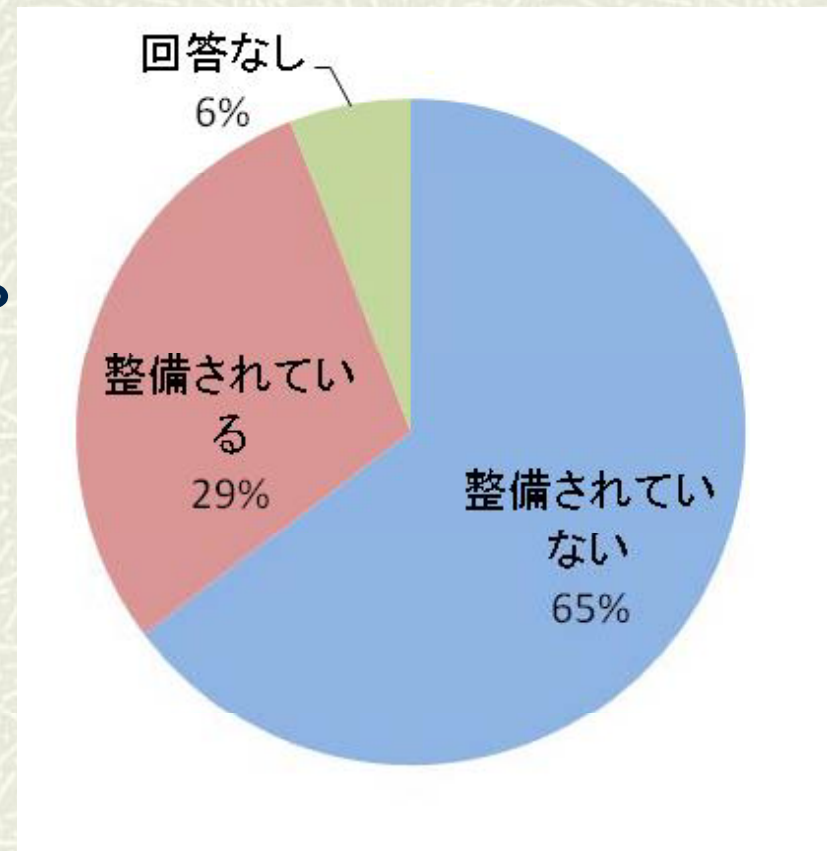
外装仕上材	接合部材	下地材	下地が取付く部材	構造骨組
ガラス	サッシ 金属系 サイディング 金属カーテン ウォール PCカーテン ウォール		ALCパネル 押出成形セメント 窯業系サイディング 重量シャッター	

アンケート調査結果 限界状態



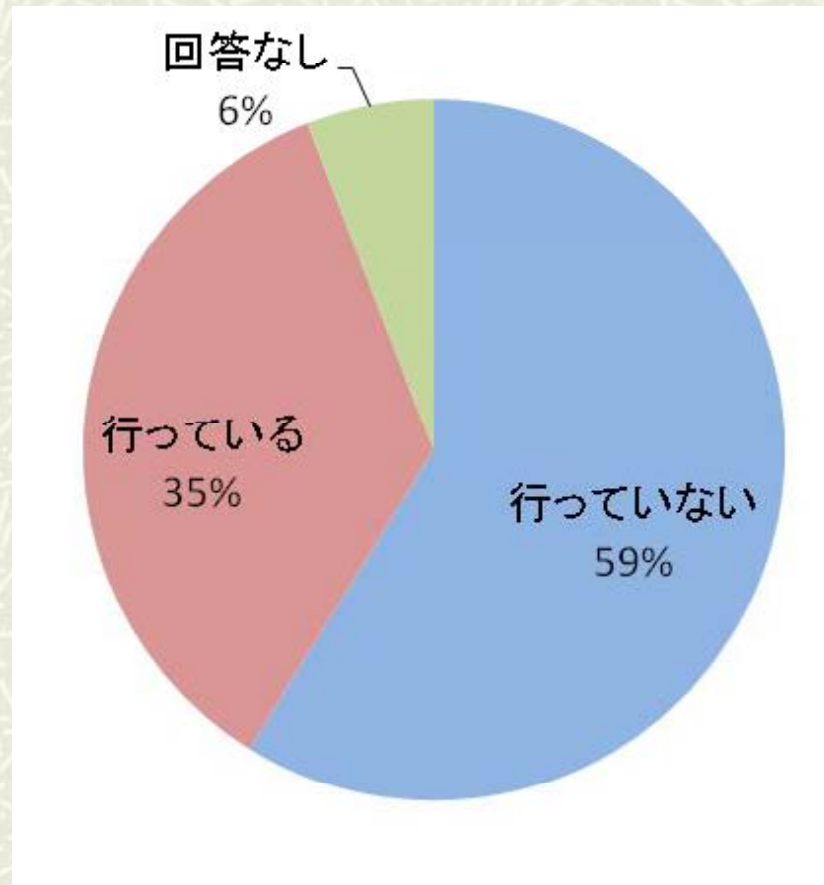
アンケート調査結果 レベル2への配慮

設計風荷重の1.6倍相当の荷重に対して構造上安全であることを検証方法、または考え方が整備されているか？



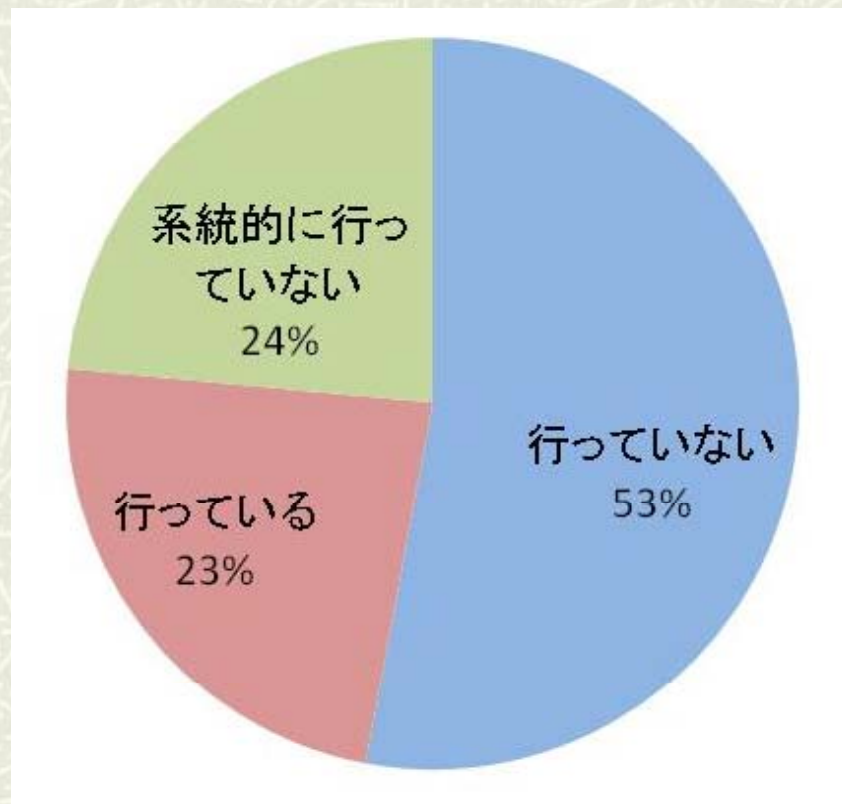
アンケート調査結果 疲労への配慮

材料の繰り返し試験は行っているか？



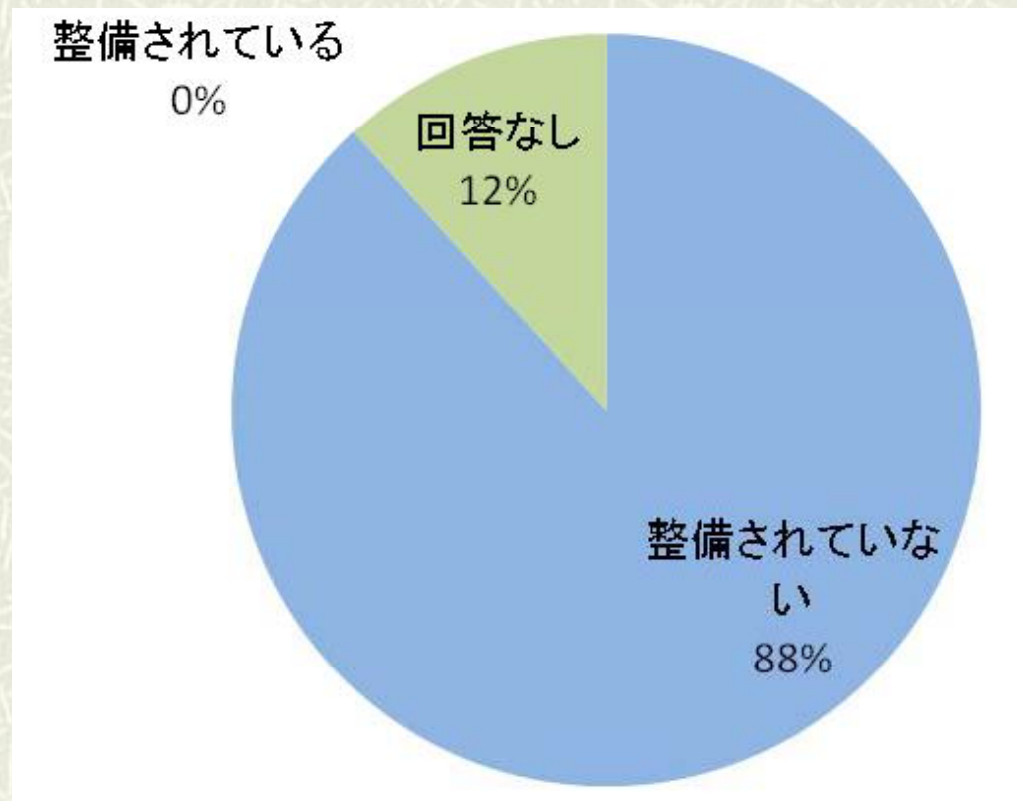
アンケート調査結果 強風被害例の収集

業界として強風被害調査事例の
系統的な整理を行っているか？



アンケート調査結果 飛来物への配慮

強風時の飛来物に対する外装仕上材の耐衝撃性能が規定されているか、または予定はあるか？



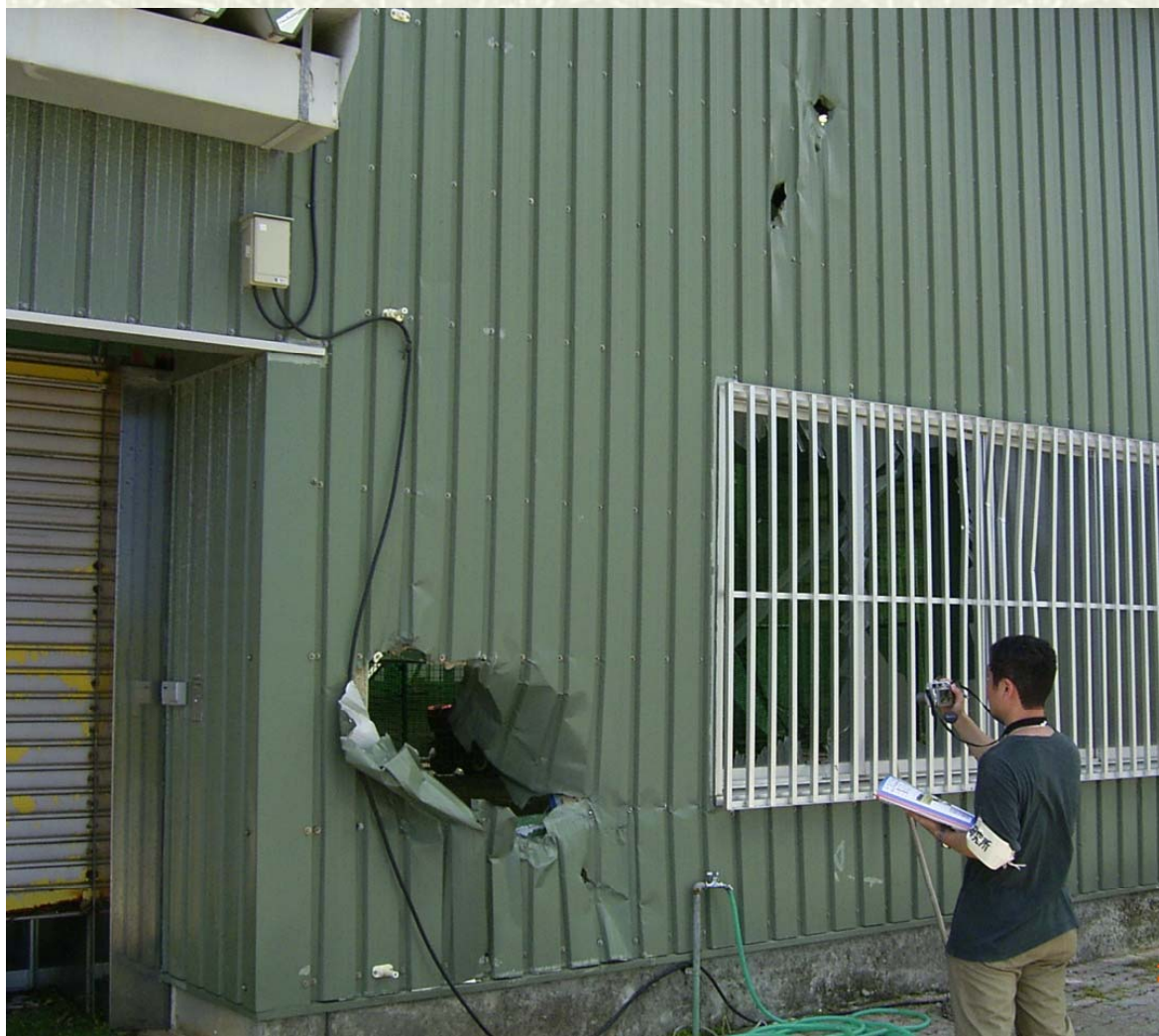
全体試験と部分試験

大半の試験が部分試験となるが、力の伝搬や加力方法が必ずしも全体の状況と一致しない。

飛来物に対する配慮

アンケートでもみられたように外装材製造メーカーでは飛来物に関する意識は低い。⇒事故が多い

飛散物



2004年台風 6 号， 飛散物



飛来物に対する配慮

建築物などの用途や重要度別に飛来物の
防御の必要性を検討した。

飛来物耐衝撃性能試験の具体的な方法を
検討した。

- ◆ 煙突の構造設計に関する検討
- ◆ 風力発電設備支持物の構造設計に関する検討

塔状工作物WG

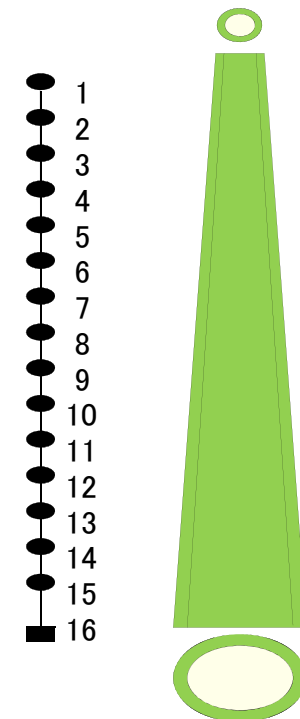
煙突についての検討

- 地震荷重の評価方法
- 個材振動の検討方法
- 屋上突出煙突の耐震性の評価方法
- 大口径鋼管の局部座屈の評価方法
- RC煙突の終局耐力の評価方法
- S煙突の終局耐力の評価方法

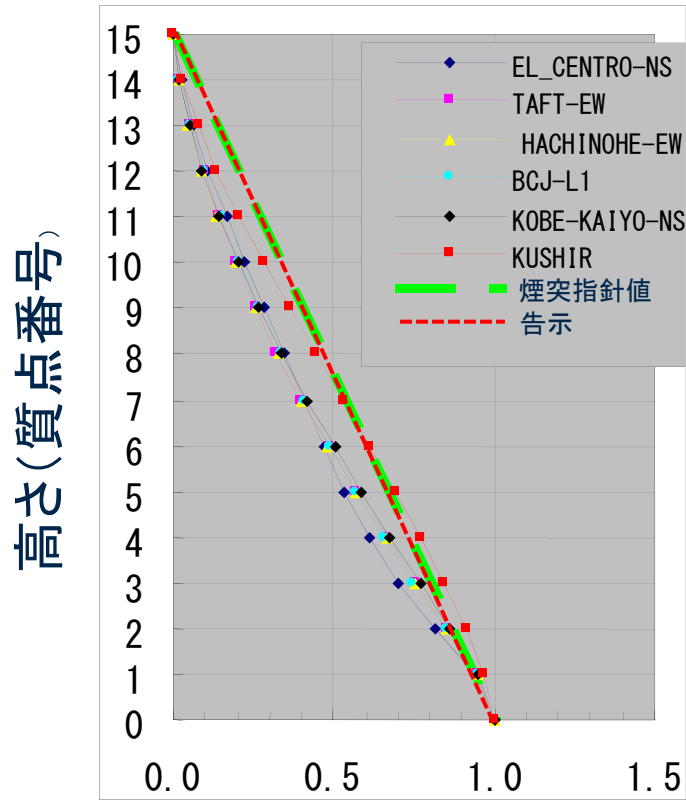
煙突の地震力の分布

- モデル煙突を用いた地震力の分布の調査
- 高さ40mと60mRC煙突、構造減衰2%
- 時刻歴応答解析(神戸等、BCJ)

平面形状	煙突高さ H(m)	平面寸法		1次固有 周期 T1(s)
		頂部 D or R(m)	脚部 D or R(m)	
正方形	60	4.0	4.0	1.3
		5.0	5.0	1.0
		6.0	6.0	0.86
円形	40	4.0	4.0	0.71
	60	5.0	5.0	1.2

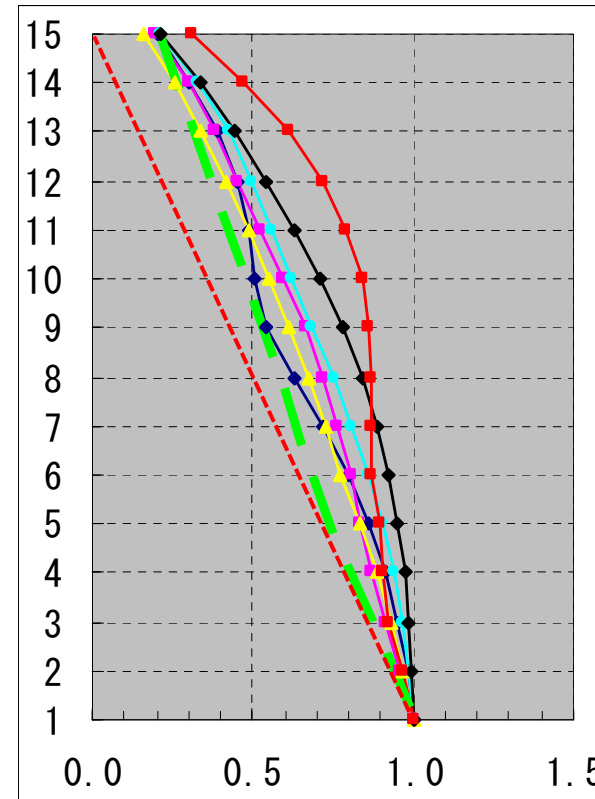


煙突の地震力の分布



曲げモーメント / 底部の曲げモーメント

(a) 曲げモーメント分布

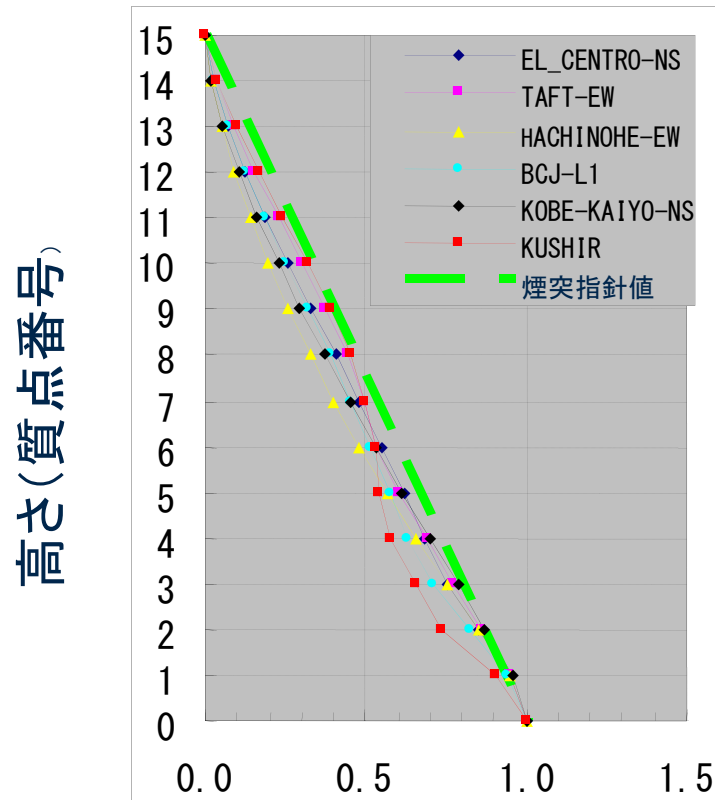


せん断力 / 底部のせん断力

(b) せん断力分布

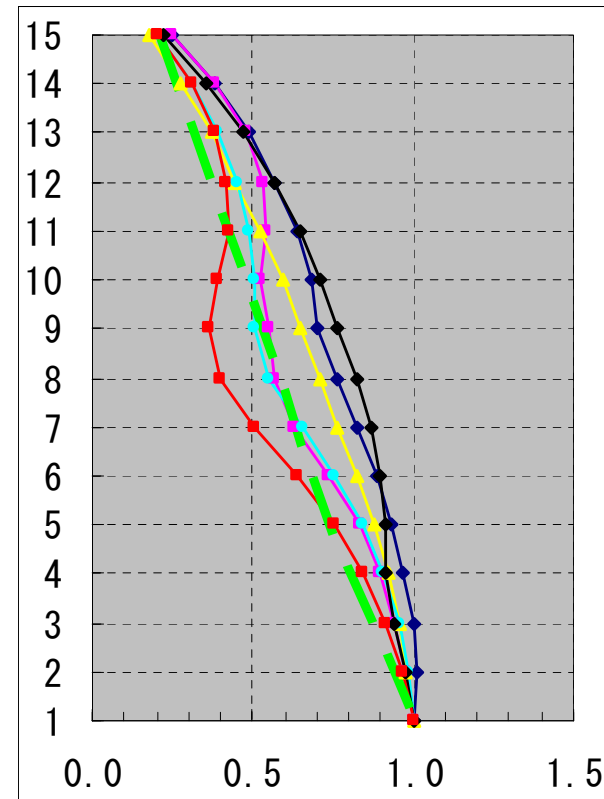
40m円形煙突の地震応答解析結果

煙突の地震力の分布



曲げモーメント / 底部の曲げモーメント

(a) 曲げモーメント分布



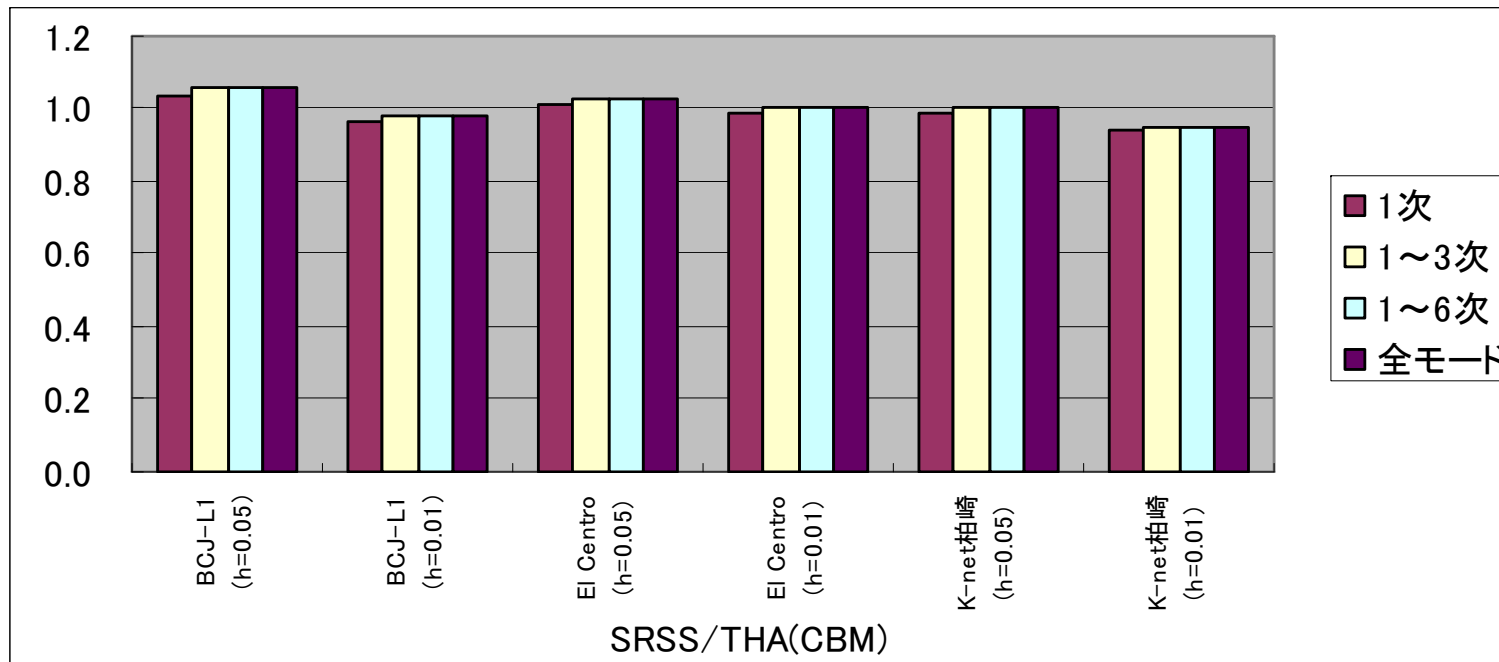
せん断力 / 底部のせん断力

(b) せん断力分布

60m円形煙突の地震応答解析結果

煙突の地震ベースモーメント

- 時刻歴 (THA) と SRSS の比較
 - 高さ60m鋼製煙突:
 - 減衰定数は各次モードに対して1%、5%

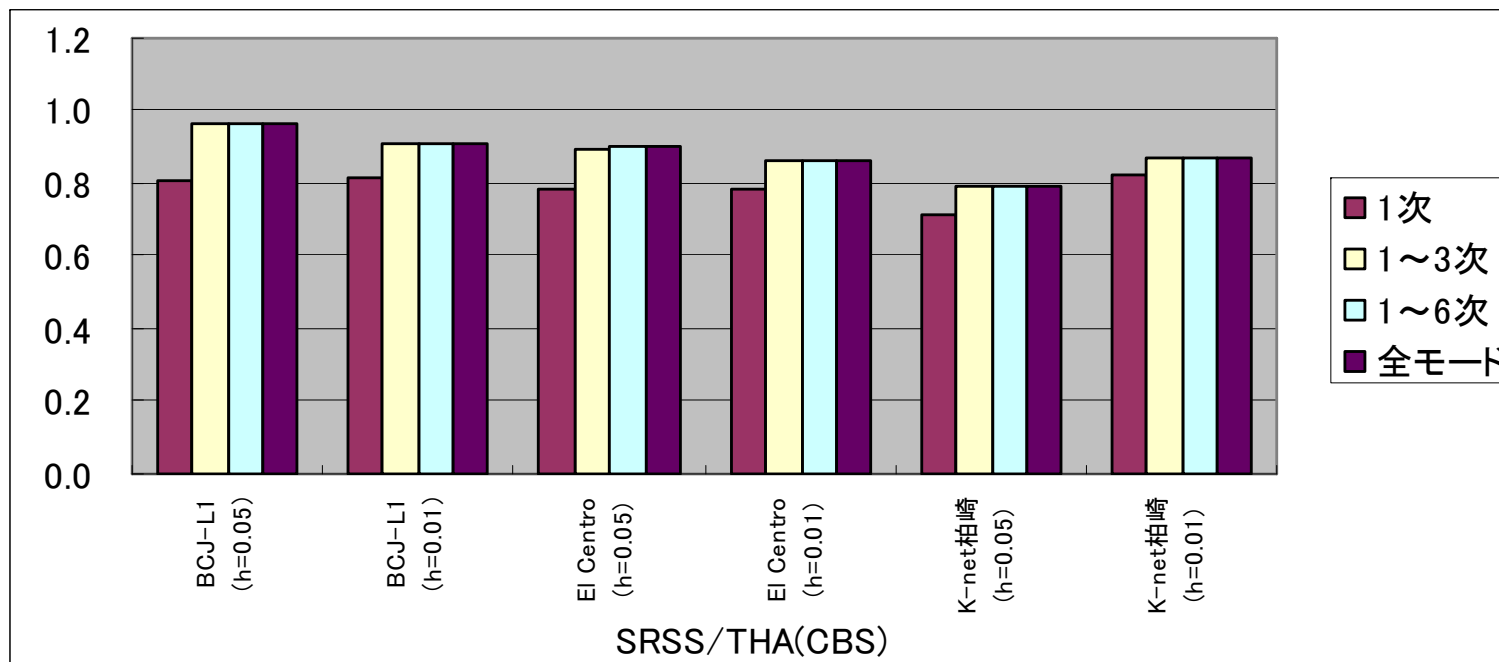


(a) ベースモーメント係数の比較

煙突の地震ベースシャー

- 時刻歴 (THA) と SRSS の比較

- 高さ60m鋼製煙突
- 減衰定数は各次モードに対して1%、5%



(b) ベースシャー係数の比較

個材振動の検討

- 独立煙突では、必要に応じ風直角方向の検討を行う
- 鉄塔支持型煙突ではそれらとは別に、支持鉄塔の組み立て部材の検討(=渦励振)が必要
- 共振風速 $U_r = f_L \cdot D / St$

指針名	荷重指針(円形断面)	煙突指針(円形、矩形断面)
検討必要な条件	$L/D \geq 15$, かつ $U_H / f_L \cdot D \geq 4.2$	$L/D \geq 15$, かつ $U_H / f_L \cdot D \geq 0.83 / St$
	L=部材の長さ D=部材の外形 U_H =風速	f_L =部材の1次固有振動数 St=ストローハル数 円形断面0.2、矩形0.125~0.127 H型0.137~0.145
荷重算定式	$W = Fn(M, L, D, f_L, \zeta_h, U_H)$ M=材の質量、 ζ_h =減衰定数	

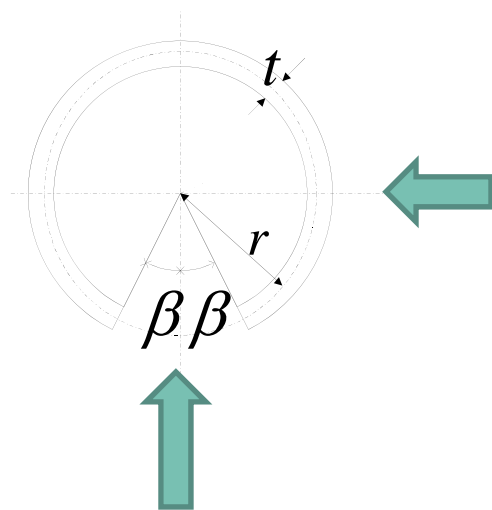
個材振動の検討

- 小口径鋼管の共振風速、共振時荷重の試算
 - 小口径鋼管： $\phi 114.3 \times 4.5$ (12.2kg/m), 長さ5m

端部支持条件	次数	固有振動数 (Hz)	共振風速 (m/s)	共振時荷重 (等分布仮定での曲げモーメント(tm))
両端ピン	1	12.5	7.1	0.048
	2	49.4		
片端ピン、片端固定	1	19.3	11.0	-
	2	62.5		
両端固定	1	28.0	16.0	-
	2	77.1		

RC煙突の終局耐力

- 煙突構造設計指針を参考に
 - モデル煙突: 高さ45m
 - 曲げ終局強度、せん断終局強度を算定
 - 柱脚開口の影響を調査 ($\beta=30^\circ$)



終局曲げモーメント: 無開口に対する比

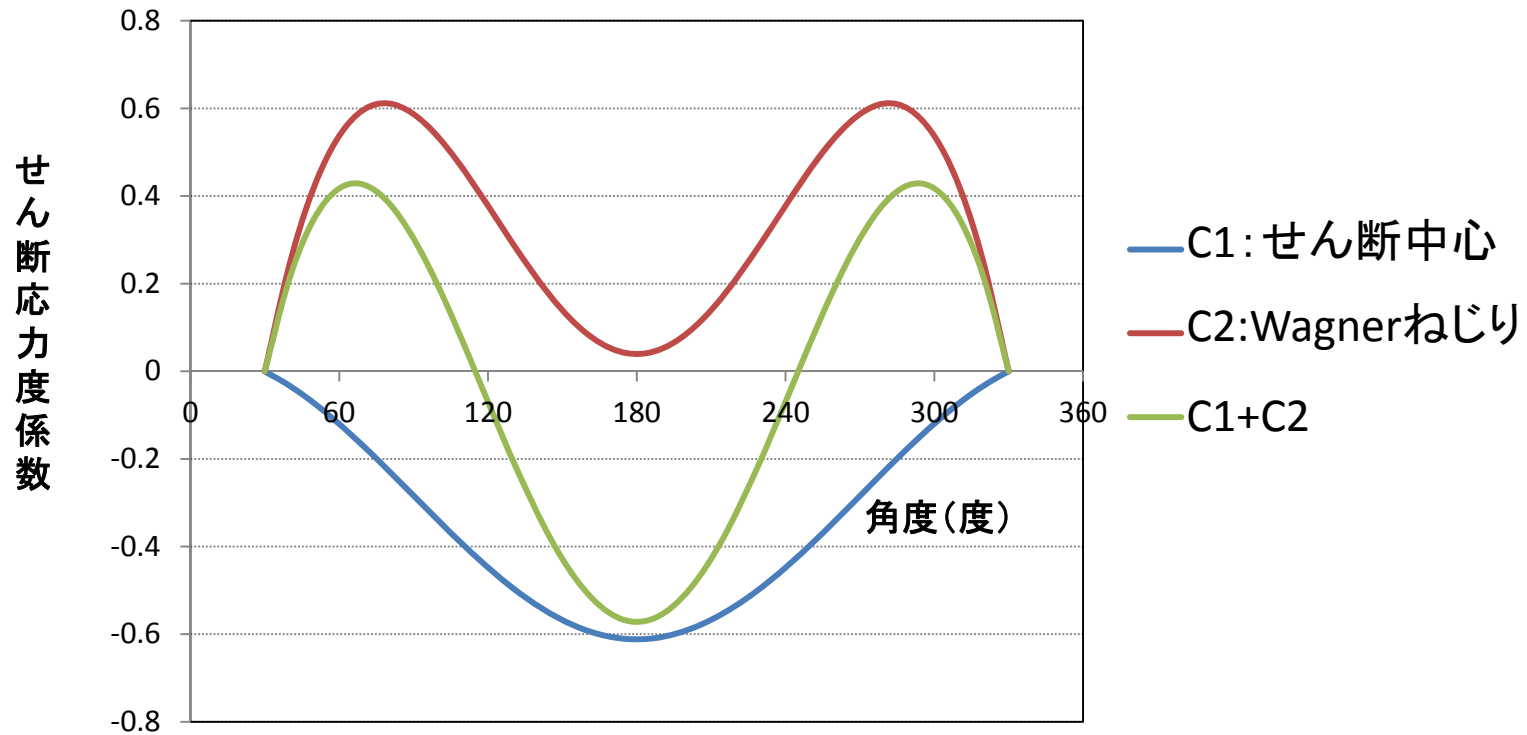
開口 (圧縮側)	開口 (引張側)	開口 (直交方向)
0.80	0.72	0.87

せん断耐力: 開口に対する比

開口直交方向に水平力	開口方向に水平力
0.56	0.63

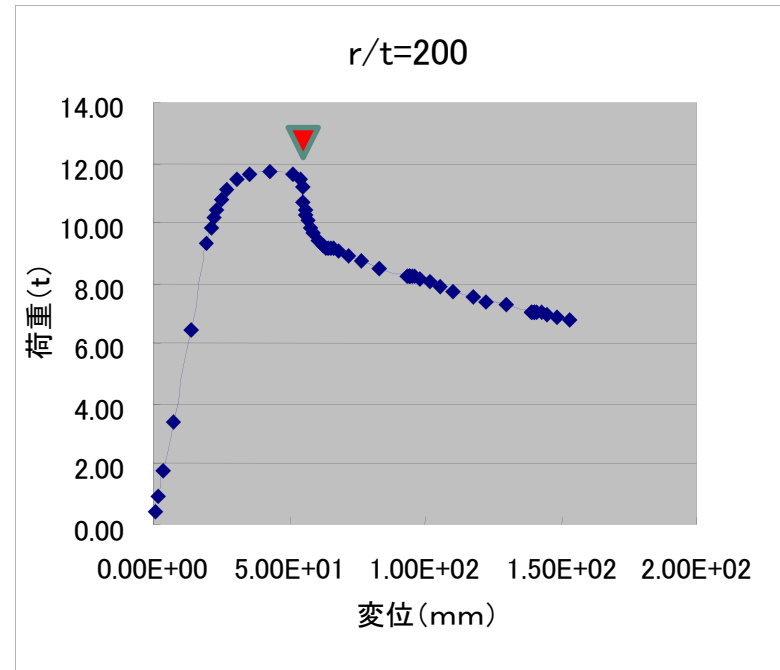
RC煙突のせん断応力度分布

- 水平力が、開口と直交方向に作用
 - $\beta=30^\circ$ の場合



大口径鋼管の局部座屈

- 風車: $r/t \leq 100$
- 煙突: $100 \leq r/t \leq 300$
- FEM解析により曲げ座屈耐力算定、指針との比較



座屈耐力の比較

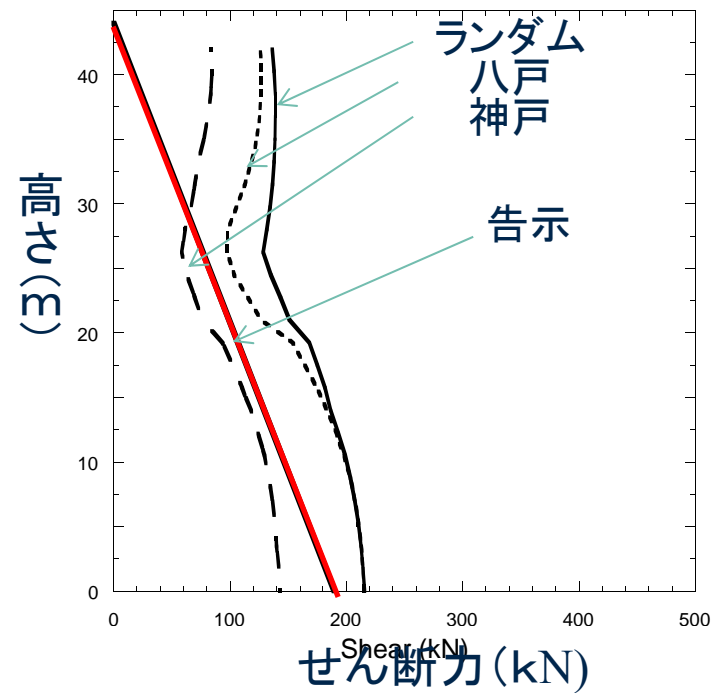
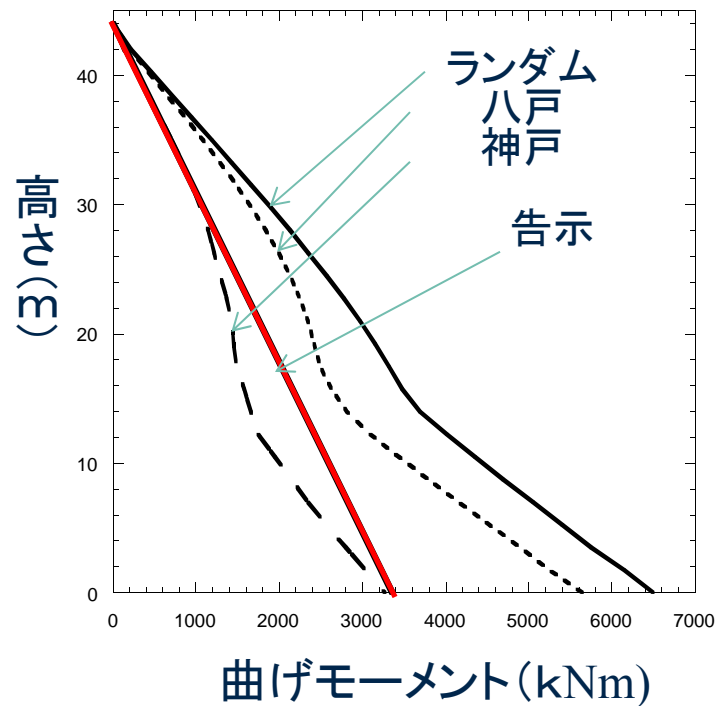
r/t	50	100	150	200	250
①指針	36.56	17.61	11.0	7.84	5.86
②FEM/1.2	40.13	19.74	12.94	9.78	7.81
②/①	1.10	1.12	1.18	1.25	1.33

風力発電設備支持物についての検討

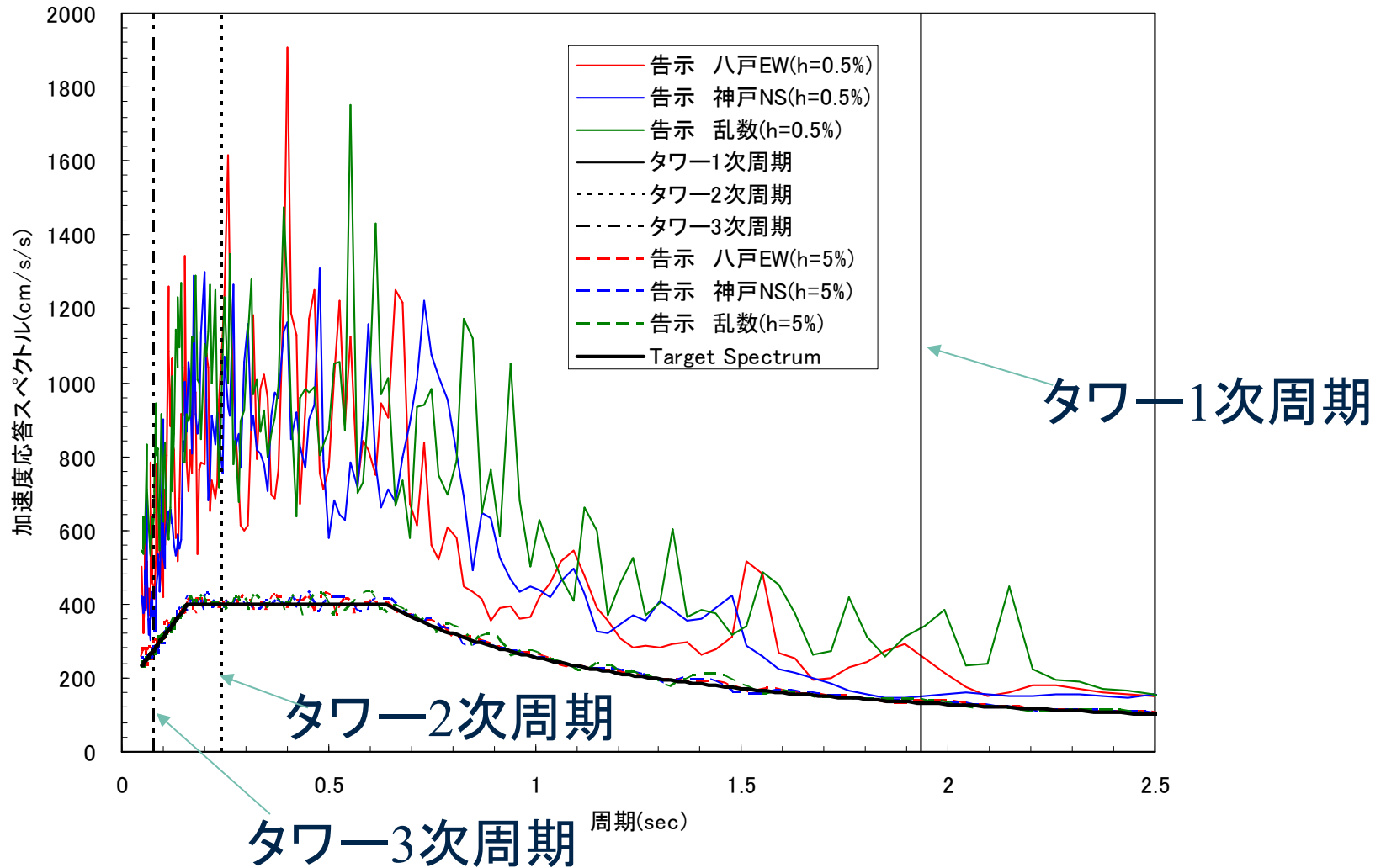
- 地震時時刻歴応答解析
 - 曲げモーメント分布、せん断力分布
 - ナセル、ブレードに対する地震力によるタワーのねじれモーメントの評価
- 暴風時時刻歴応答解析
 - ガスト影響係数の試算
 - 曲げモーメント、せん断力とヨー角との関係
 - 発電時の転倒モーメント、ガスト影響係数

風力発電施設支持物(風車)の地震力

- 風車: ハブ高さ44m、構造減衰0.5%
- 地震波: 応答スペクトル形状は告示波、基本最大加速度値は160gal(中地震動C0=0.2の約1.7倍)、位相はランダム、八戸、神戸等)



風力発電施設支持物の応答スペクトル



風車のねじれ地震力の評価

- ねじれの影響

風車: ハブ高さ44m、構造減衰0.5%

- 簡易式による評価

$$M_t = W \cdot a \cdot L / g$$

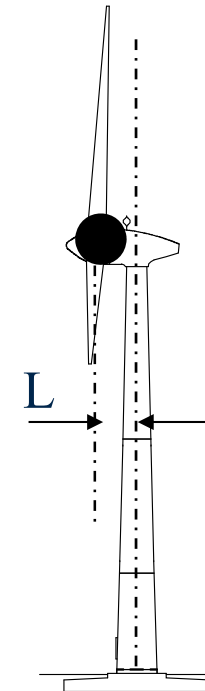
ここで、 W : ナセルの重量

a : ナセル高さの応答加速度

L : ナセルの偏心距離

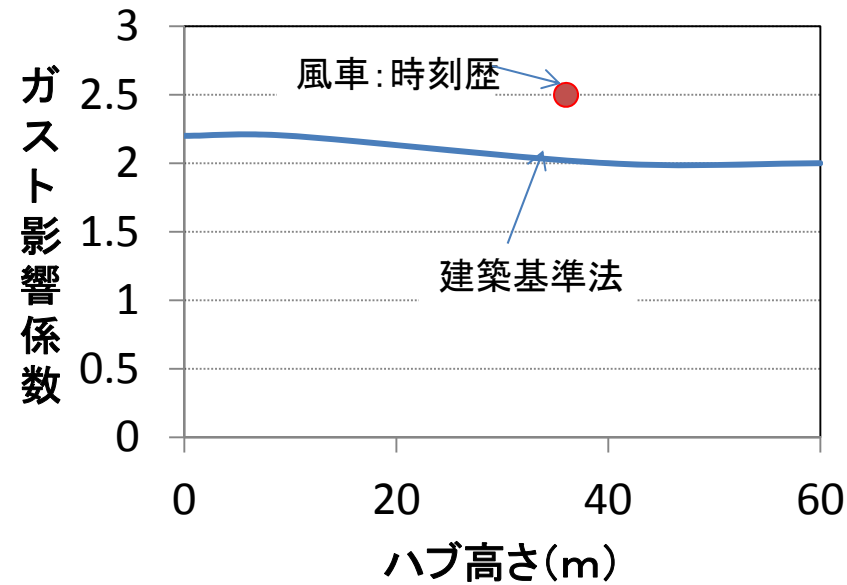
- 偏心時刻歴との差

位相	多質点/簡易式(%)
乱数	108.9
神戸NS	97.45
八戸EW	141.4



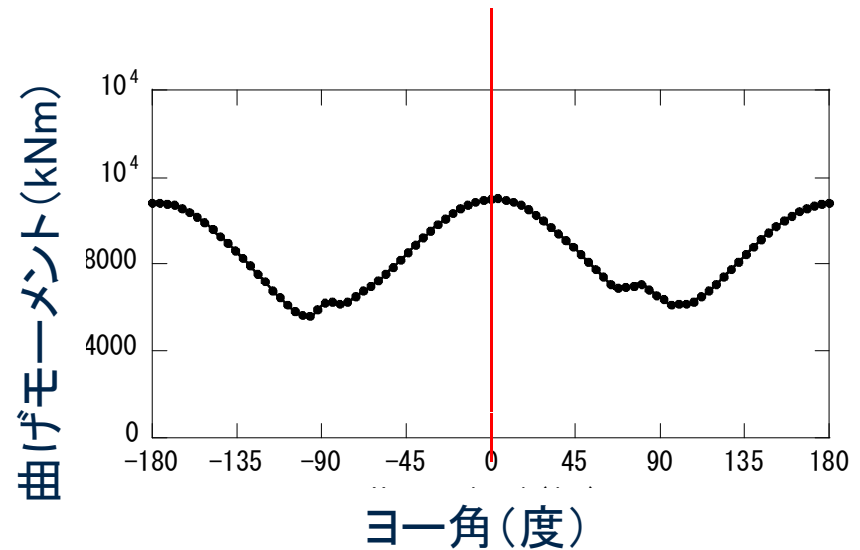
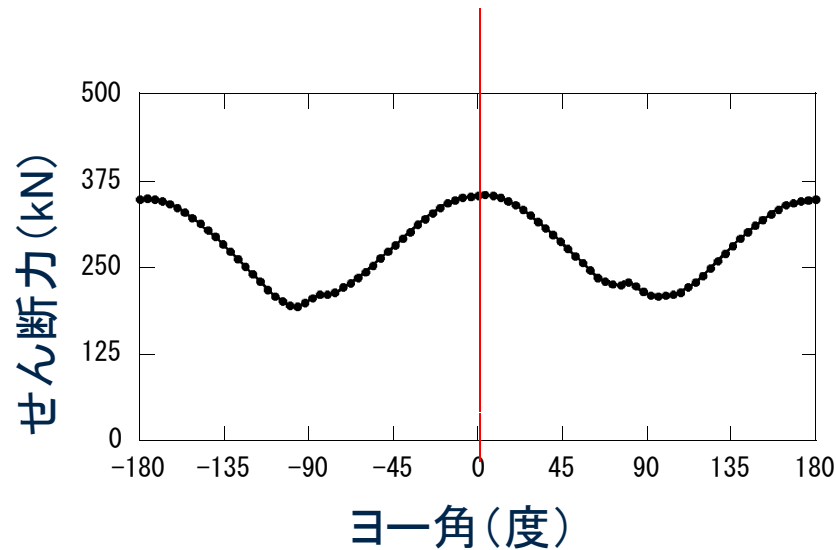
風車の風荷重(ガスト影響係数)

- ガスト影響係数の試算
 - 風車: ハブ高さ44m、構造減衰0.5%
 - 地表面粗度区分 II



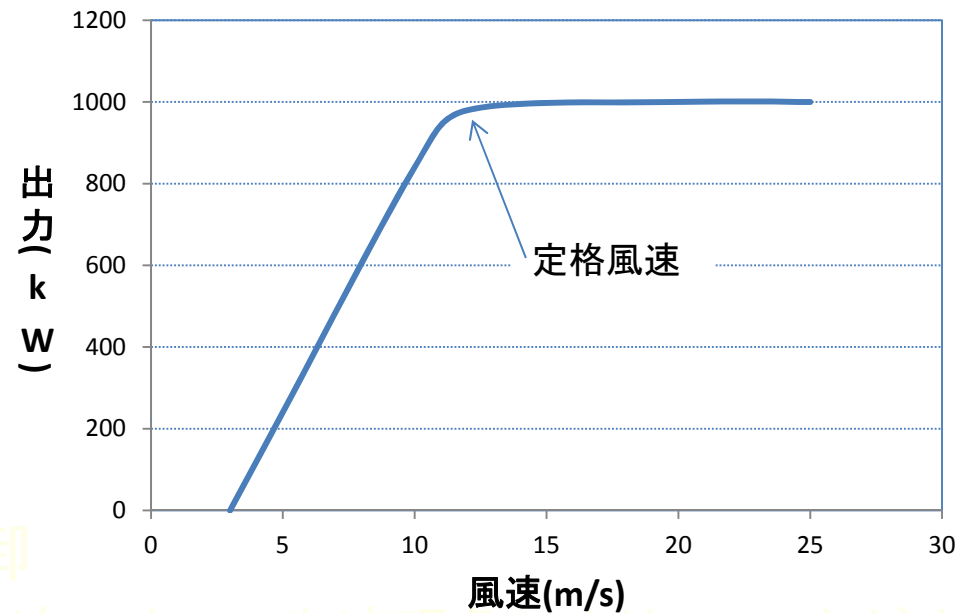
風車の風力と風向の関係

- ヨー角（風向とロータ軸との水平面内でのなす角）と風力との関係
- ハブ高さ36mの風車で試算



風車の発電時風荷重

- 発電時の制御
 - ピッチ(=ブレードの角度)制御
 - 定格以下の風速では、ピッチを0度で発電量を最大に
 - 定格以上の風速ではピッチを変え、発電量を一定に

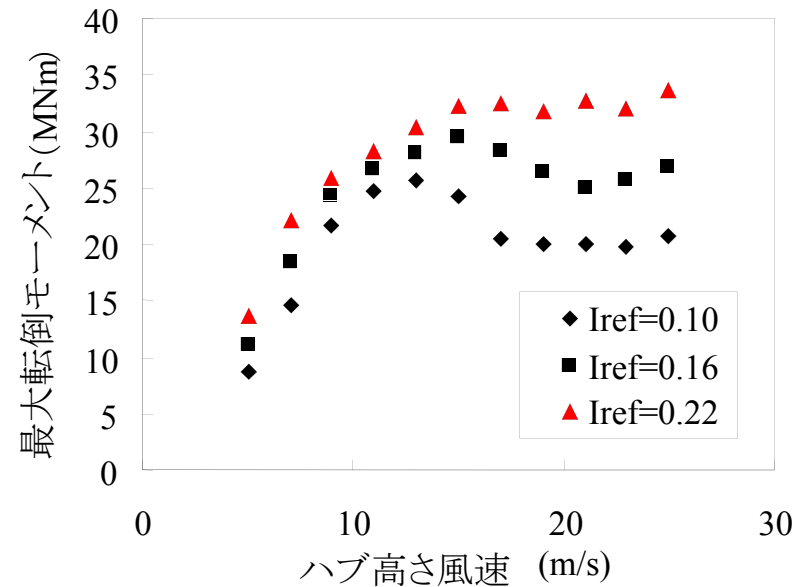
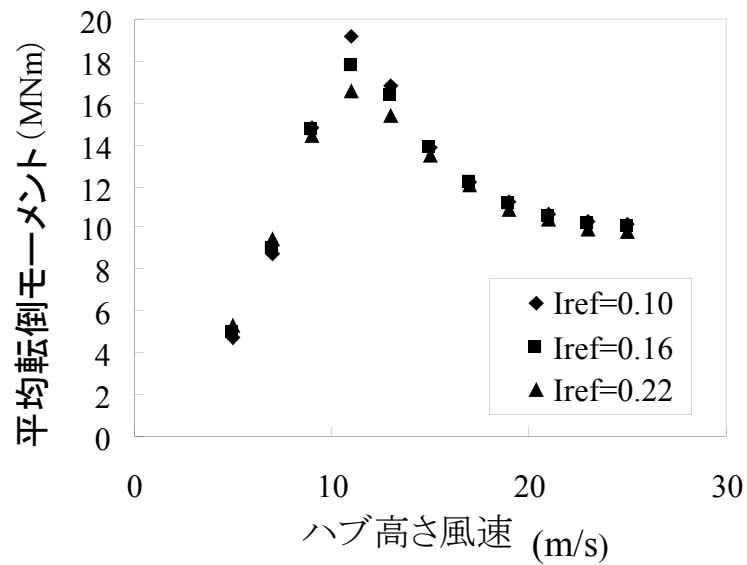


ストール制御

- 一定風速以上で、失速現象により、ロータが止まる

風車の発電時風荷重

- 風車: ハブ高さ76.5m、定格風速12m/s
 - ピッチ制御
- 風: 乱れの強さのレベルを10~20%程度まで3段階変える



まとめ

- 風力係数WG
 - **H21年度**: 屋根模型を用いて風洞実験により寄棟、切妻、陸屋根の風力係数等を調査
 - **今後の課題**: 現行基準の必要な見直しを検討する
- 外装材WG
 - **H21年度**: 建材生産業界を対象に試験法、評価法の調査、建築確認における屋根葺き材等の構造計算確認の調査
 - **今後の課題**: 荷重、外力計算書等の標準の作成を検討する
- 塔状工作物WG
 - **H21年度**: 煙突、風力発電設備支持物の地震力、風力の調査
 - **今後の課題**: 60m以下を対象とする、設計指針等の作成を検討する