

第3章 ベランダ手すり

3.1 はじめに

集合住宅のベランダ手すりは広く普及しているにも関わらず、風荷重算定のためのピーク風力係数が建築基準法関連告示や建築物荷重指針には定められていない。ベランダ手すりのモデルを対象にした既往の研究によると、隅角部以外の一般部においてはベランダの外側と内側で平均的には等圧となるため、ピーク風力係数は壁面よりかなり小さいことが示されているが、隅角部のピーク風力係数については実験結果に差異が認められている。

そこで本検討では、まず既往の風洞実験の結果を整理したうえで、一般的な中層集合住宅のベランダ手すりを対象に風洞実験を実施した。そして、実験結果を設計用ピーク風力係数として整備した。

3.2 既往の風洞実験

3.2.1 風洞実験方法

本節では、中高層建築物のベランダ手すりに関する既往の風洞実験結果をまとめる。

一般にベランダ手すりに作用する風力 W_B は、外側に作用する風圧力 P_{e1} と、内側に作用する風圧力 P_{e2} との差圧によって表すことができる (図 3.2.1.1 参照)。

$$W_B = P_{e1} - P_{e2} \quad (3.2.1.1)$$

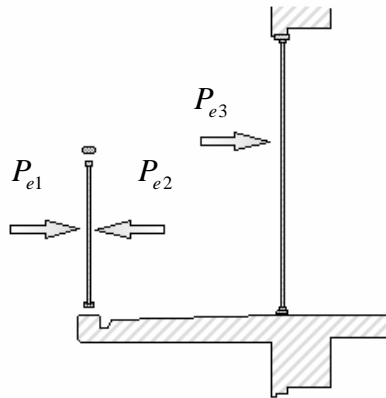


図 3.2.1.1 風圧力のイメージ図

一方、ベランダ内側に作用する風圧力 P_{e2} は、外壁面に作用する風圧力 P_{e3} と高い正の相関があるため、 P_{e2} の代わりに P_{e3} を用いてベランダ手すりに作用するピーク風力係数を推定できる^{1),2)}。

以下では、式(3.2.1.2)に示すように、 P_{e1} と P_{e2} の差圧 W_B から直接求めた各部のピーク風力係数の風洞実験結果を示すが、ベランダ手すりに作用する風力は、部位によって大きく異なるため、図 3.2.1.2 に示すように建築物との位置関係によって、中央部 (建築物壁面の前面のベランダ)、隅角部 A (建築物隅角部を回っているベランダの隅角部)、隅角部 B (建築物隅角部を回っていないベランダの端部) に区別してまとめた。

$$\hat{C}_{f,B} = \frac{\hat{W}_B}{q} \quad (3.2.1.2)$$

$\hat{C}_{f,B}$: ベランダ手すりのピーク風力係数
 q : 基準速度圧

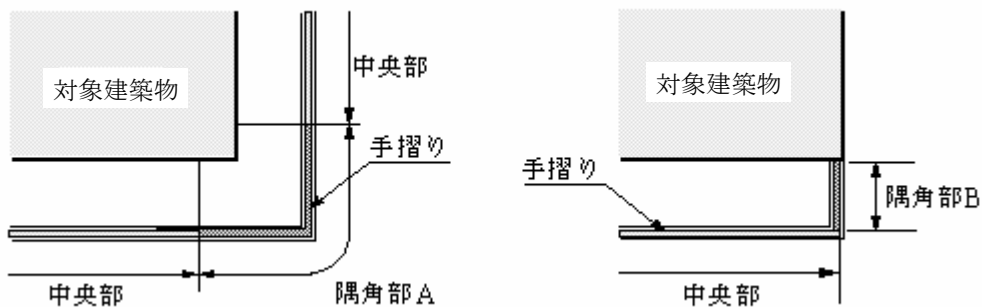


図 3.2.1.2 ベランダ手すり配置による各部の定義

3.2.2 風洞実験結果

図 3.2.2.1 は、10 階建、15 階建及び 20 階建の集合住宅を対象とした、バルコニーが隅角部を回っている場合の風洞実験結果である。それぞれの対象建築物の大きさは、10 階モデルで $B:D:H = 42\text{m}:12\text{m}:30\text{m}$ 、15 階モデルで $B:D:H = 42\text{m}:12\text{m}:45\text{m}$ 、20 階モデルで $B:D:H = 20\text{m}:20\text{m}:60\text{m}$ である。実験は地表面粗度区分Ⅲ相当の境界層乱流で行ったものであり、実時間換算で平均化時間は 1sec、評価時間 10min で 5 回のアンサンブル平均を行っている。

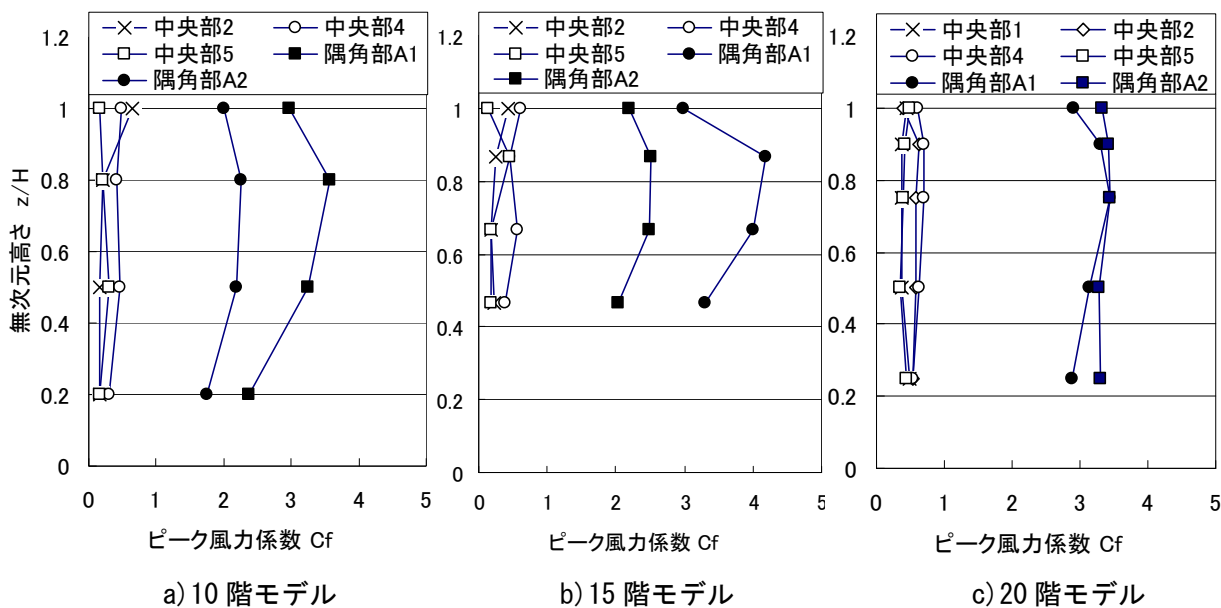
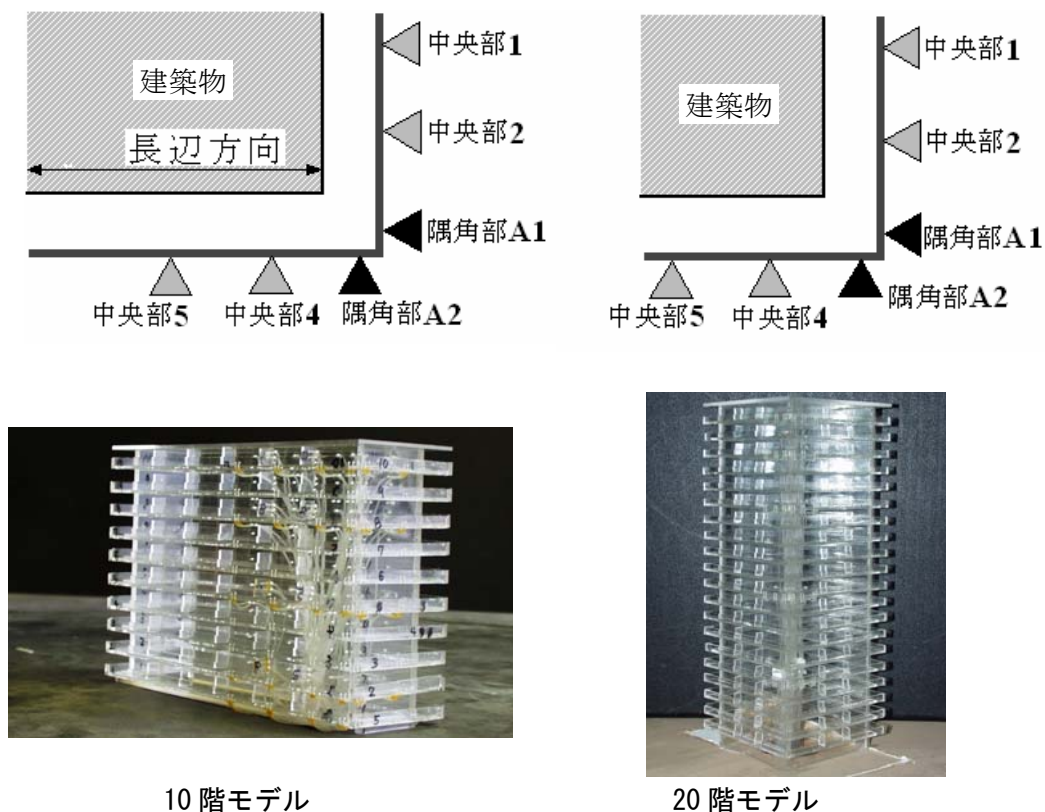


図 3.2.2.1 バルコニー手すりのピーク風力係数

風洞実験結果によると、中央部でバルコニー手すりが壁面の前面にある場合は、バルコニー外側の風圧

力 P_{e1} と内側の風圧力 P_{e2} が、正の相関を持って変動するため、ピーク風力係数はそれほど大きくなりません。一方、隅角部 A では風向によっては、外側と内側で正負が逆の風圧力が働く場合があります、その時に大きな風力となる。なお、隅角部 A のピーク風力は、 P_{e1} の負圧が低い場合に生じ、外側向きの風圧力である。隅角部 A のピーク風力は、主に P_{e1} の負圧の影響が大きいため、壁面の負の外圧係数と同様に、高さ方向での変化は比較的少ない。また、中央部においても、ピーク風力の高さ方向変化には顕著な傾向は見られない。

図 3.2.2.2 は、10 階建てでベランダが隅角部を回っていない場合の集合住宅を対象とした、2 つの風洞実験結果を示す。これらの実験では、実験条件が異なることから、表 3.2.2.1 にそれぞれの実験概要を示す。風洞実験結果によると、中央部でベランダ手すりが壁面の前面にある場合は、前述の図 3.2.2.1 と同様に、ピーク風力係数はそれほど大きくなりません。一方、隅角部 B では、 P_{e1} が壁面に発生する局部負圧と同程度となるため、前述の隅角部 A (ベランダ手すりが回っている場合) より大きくなる傾向にある。また、高さ方向の変化には顕著な傾向は見られない。

表 3.2.2.1 実験概要

	実験 a)	実験 b)
対象建築物辺長比	B:D:H=30m:10m:30m	B:D:H=28m:14m:30m
実験模型縮尺	1/60	1/200
実験気流	粗度区分IV	粗度区分III
評価時間	10min	10min
平均化時間	0.9sec	1sec
アンサンブル平均	5回	5回

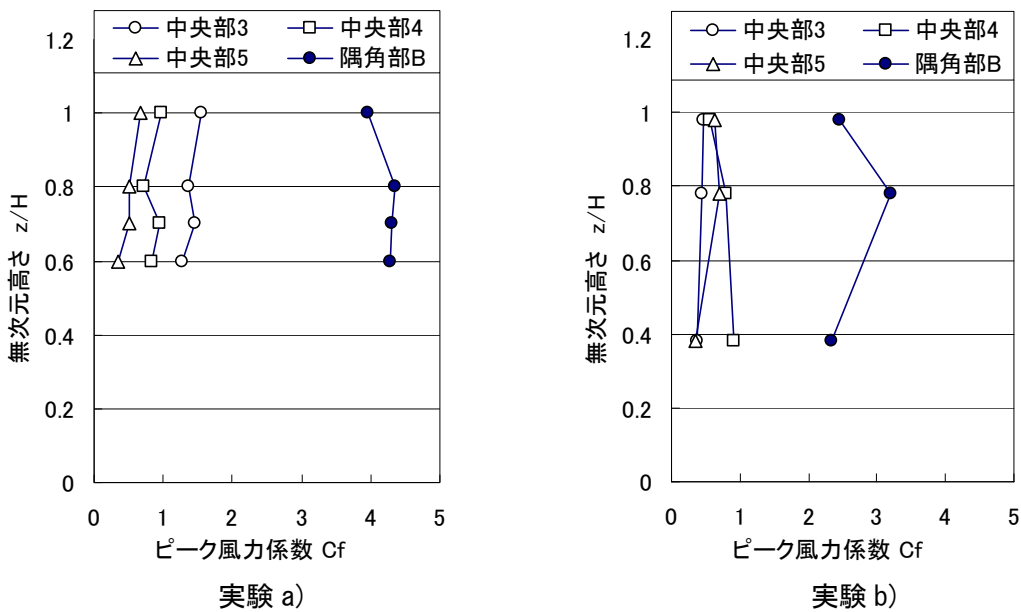
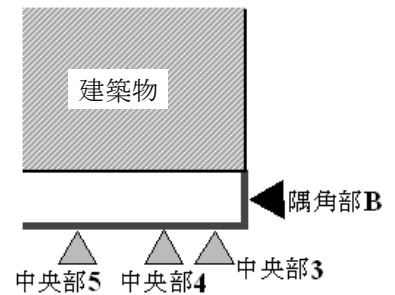


図 3.2.2.2 ベランダ手すりのピーク風力係数

以上より、負のピーク風力係数を図 3.2.2.3 のような部位に分け、整理すると表 3.2.3.2 に示すようになる。

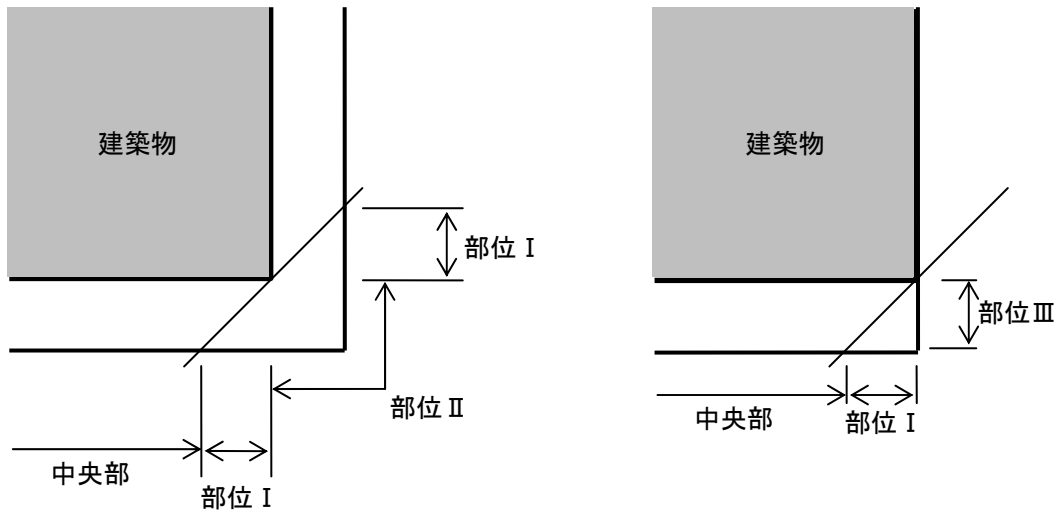


図 3.2.2.3 ベランダ手すりのピーク風力係数部位分けの定義

表 3.2.3.2 部位別の負のピーク風力係数

部位	中央部	部位 I	部位 II	部位 III
ピーク風力係数	1.0 以下	1.5 以下	3.0~4.0	3.8~4.5

隅角部以外の中央部においては、平均風力はベランダの外側と内側で等圧となると考え、式(3.2.2.1)で算定されるピーク風力係数が妥当と考えられる。

$$\hat{C}_{f,B} = \hat{C}_{pe} \frac{(G_{pe} - 1)}{G_{pe}} \quad (3.2.2.1)$$

$\hat{C}_{f,B}$: ベランダ手すりのピーク風力係数 (隅角部以外)

\hat{C}_{pe} : 近接する外壁面のピーク外圧係数

G_{pe} : 平 12 建告第 1458 号で規定される帳壁の正圧部の G_{pe}

3.3 風洞実験

3.3.1 風洞実験方法

3.2.2 節に示した既往の実験結果において、隅角部のピーク風力係数にばらつきが見られたこと、ベランダ手すりの大きさに対し平均化時間 1 秒は長いと考えられることなどから、既往の研究と同一形状建物を対象に風洞実験を実施した。

1) 風洞実験模型

風洞実験模型は、図 3.3.1.1、図 3.3.1.2 に示すように一般的な中層集合住宅を対象とし、28m×14m の矩形平面を有する 10 階建建物を縮尺 1/200 で作製した。ベランダの出幅は 2m とし、隅角部を回っているベランダと回っていないベランダを再現した。風圧測定点は、10 階、8 階、4 階の隅角部周辺のベランダ手すりの表面、裏面及び外壁面に合計 66 点を配置した。

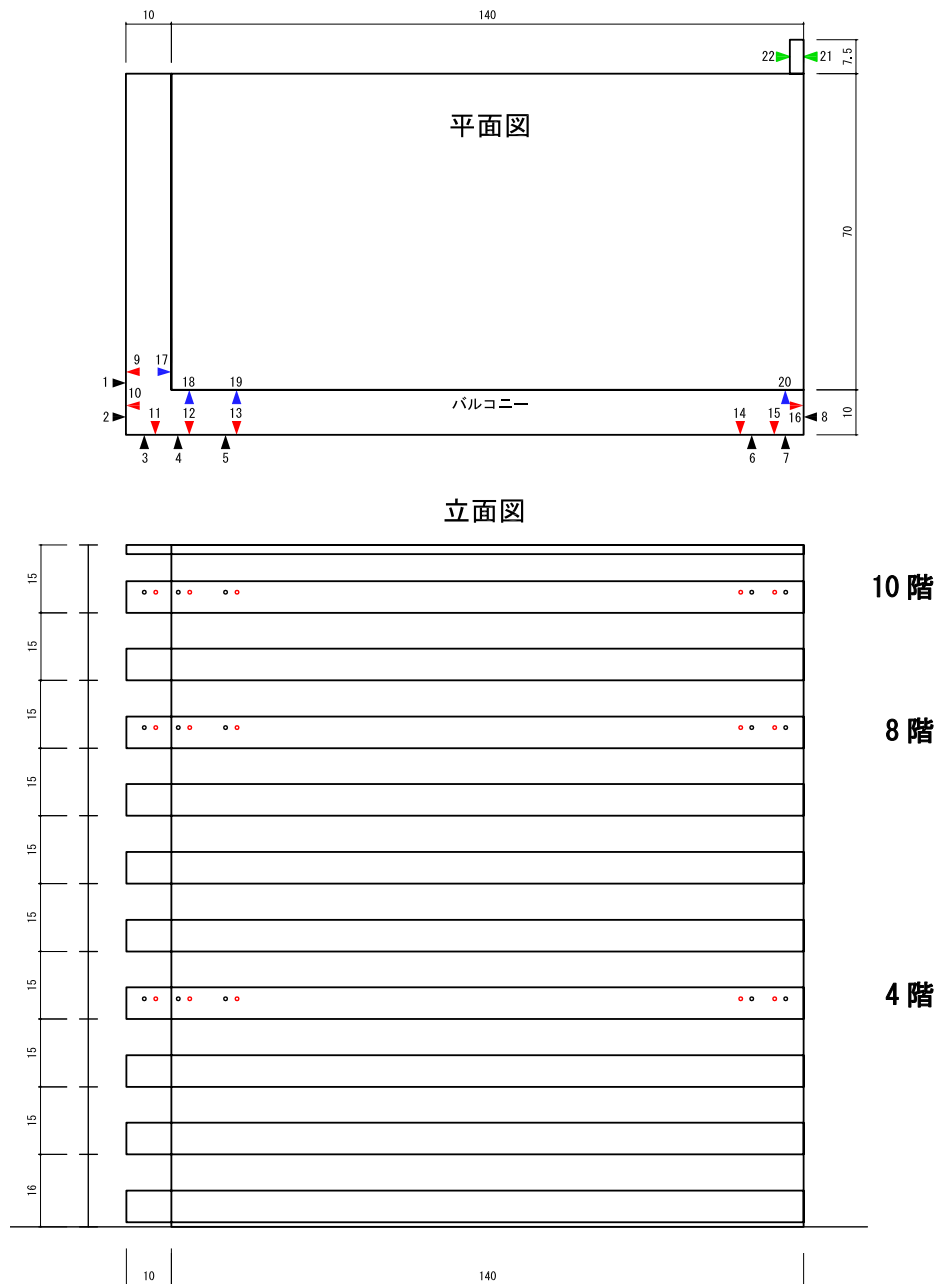


図 3.3.1.1 実験模型測定点



図 3.3.1.2 実験模型

風圧測定孔から圧力センサーまでは、長さ 33.5mm の銅パイプに 70cm のビニールチューブを繋いだ配管とした。測定系のゲイン特性及びフェイズ特性を図 3.3.1.3 に示す。

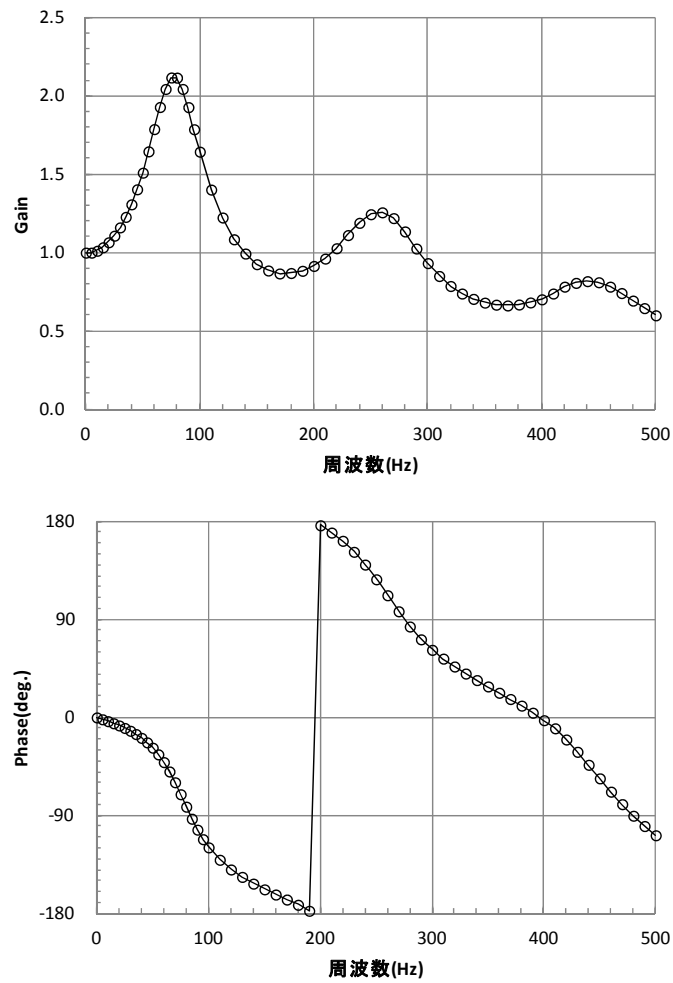


図 3.3.1.3 風圧の伝達特性

2) 実験装置

実験に使用した風洞は、(株)竹中工務店の閉鎖回流型境界層風洞であり、測定部断面は幅 3m×高さ 2m である。

3) 実験気流

実験気流は地表面粗度区分Ⅲを目標とした。作成された気流特性を図 3.3.1.4 に示す。

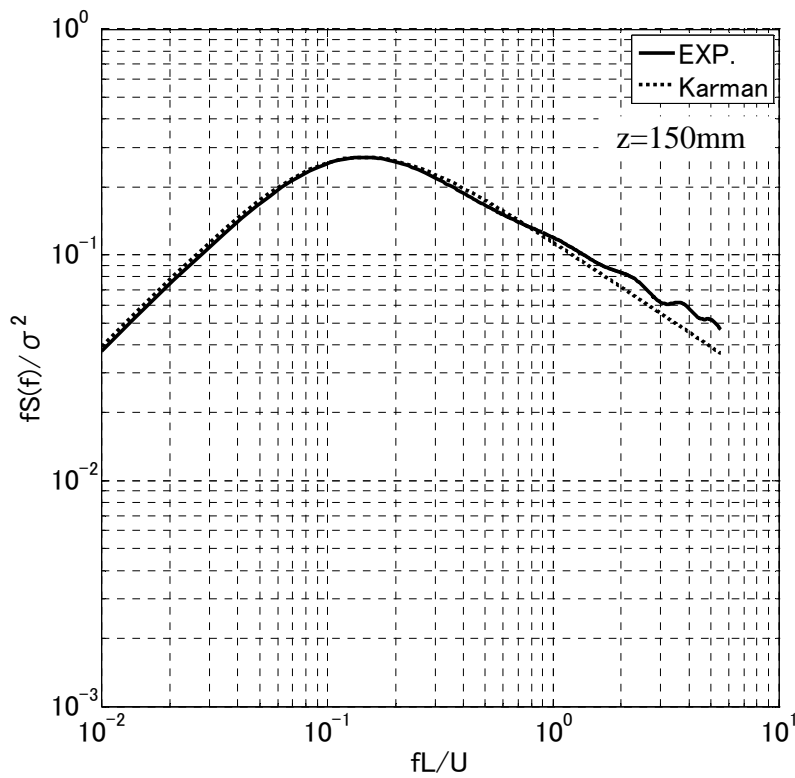
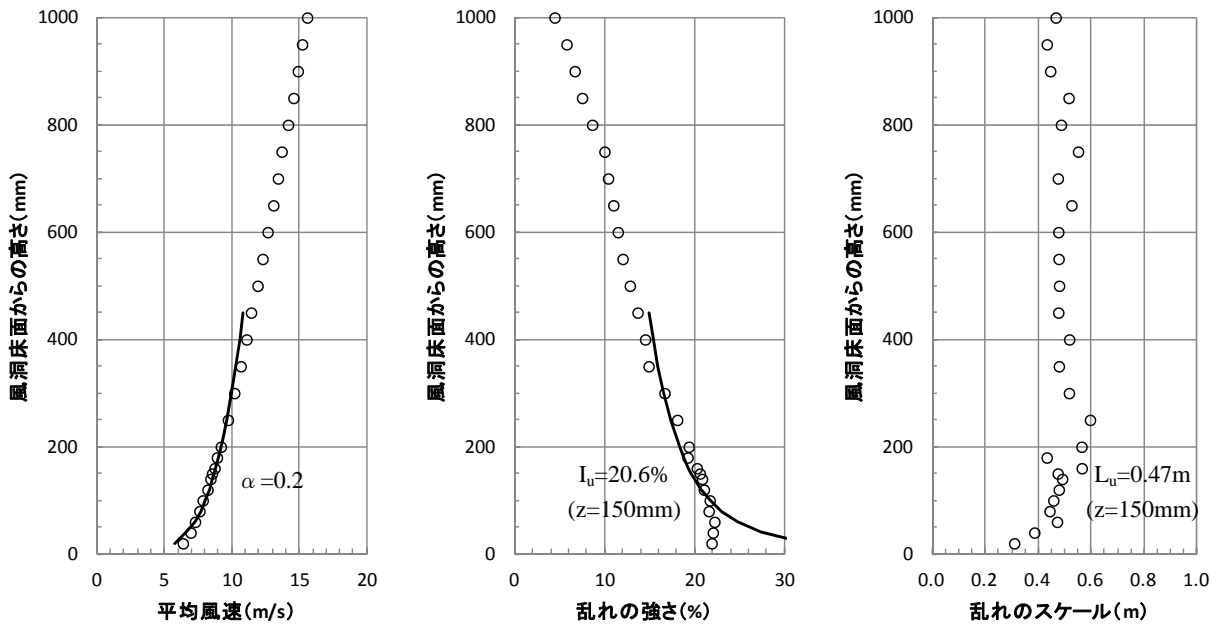


図 3.3.1.4 実験気流

4) 実験風向

実験風向は図 3.3.1.5 に示すように、 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ の範囲を 5° 間隔、72 風向とした。

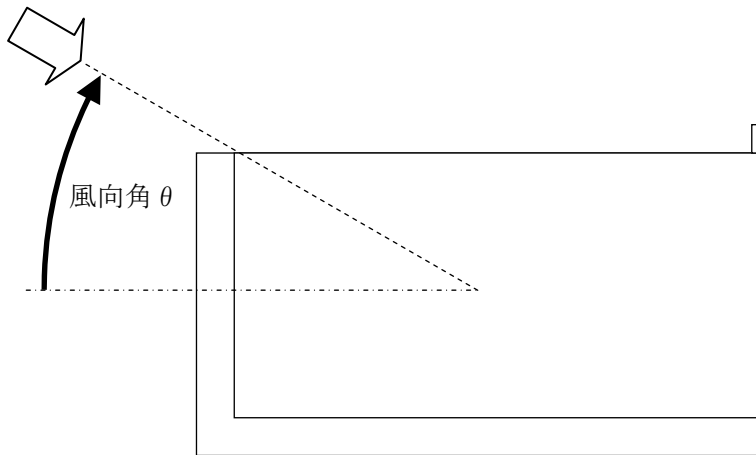


図 3.3.1.5 実験風向

5) 実験条件

実験条件は以下の通りである。また、風洞内模型設置状況を図 3.3.1.6 に示す。

- 実験風速($z=150\text{mm}$) : 8.4m/s
- 風速スケール : 1/4
- 時間スケール : 1/50
- サンプルング周波数 : 1,000Hz
- ローパスフィルター : 500Hz
- 10 分間相当データ数 : 12,000 個



図 3.3.1.6 風洞内模型設置状況

3.3.2 風洞実験結果

1) 空間平均と平均化時間

ピーク風荷重を評価する際に、どの程度の大きさの物体を対象とするかによって平均化時間の設定は異なる。理想的にはその物体の大きさの空間平均をとることであるが、現実には難しいところである。そこで多くの場合、式(3.3.2.1)の TVL 法³⁾によって検討されている。

$$T = \kappa L / V \tag{3.3.2.1}$$

- T : 平均化時間(秒)
- κ : 相関を示すディケイファクター
- L : 対象とする部材の長さ(m)
- V : 風速(m/s)

ディケイファクター κ は建物形状や対象物体により異なり、一般的には 1~8 程度の値が設定されている。今般の風洞実験について同ファクターを検討した。図 3.3.2.1 は、負のピーク風力係数が最小となる風向角 280° の場合の測定点 No.2 と No.1、風向角 5° の場合の測定点 No.3 と No.4 での風力のルートコヒーレンスを示したものである。これより、2 点間の相関は 4 階よりも 10 階、8 階が高く、ディケイファクター κ は概ね 8 程度であることがわかる。

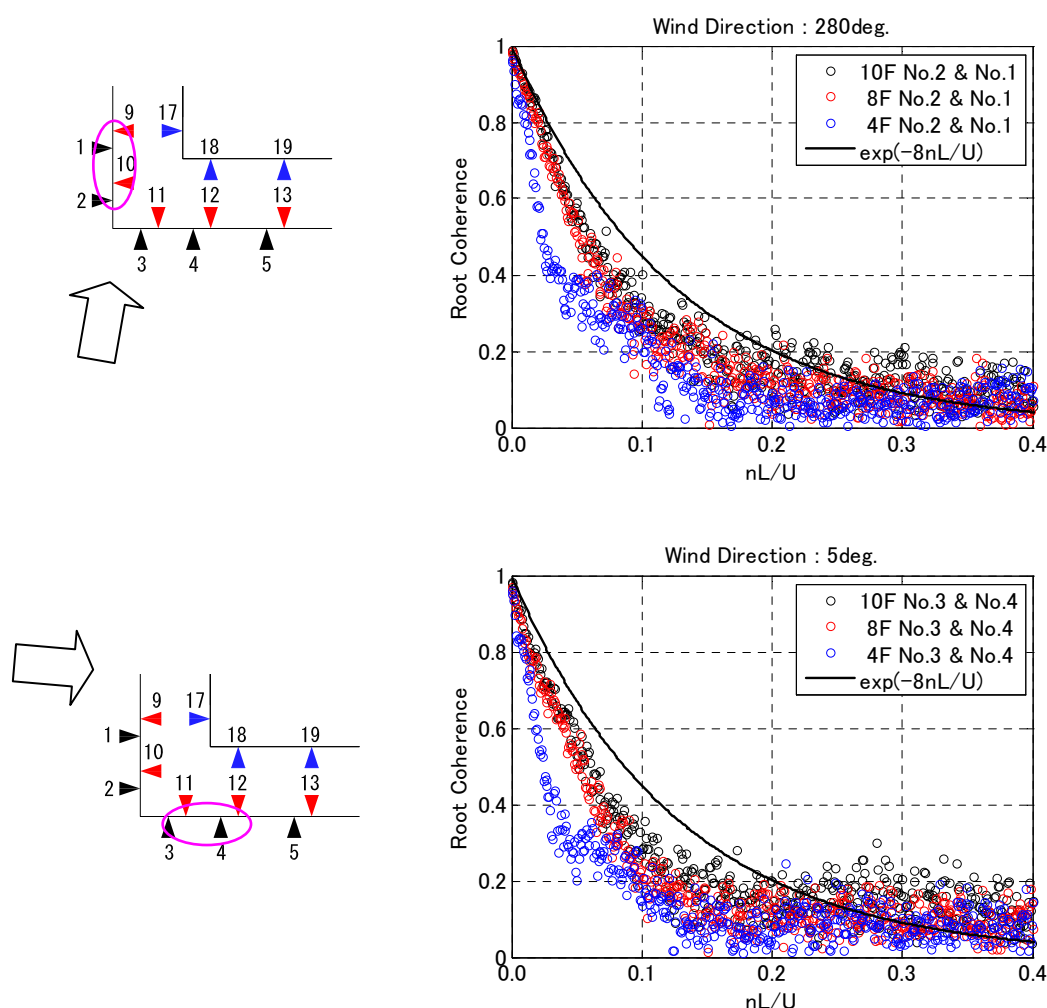


図 3.3.2.1 風力のルートコヒーレンス

ここで、ディケイファクター κ を 8、風速を 32m/s、 L はベランダ手すりの一般的な大きさ 1m とし、平均化時間を算定すると、 $T = 0.25$ 秒となる。

以上より、今回の実験結果のピーク値として、平均化時間は 0.25 秒、参考として短い平均化時間 0.1 秒及び現行の告示におけるピーク値の平均化時間 0.5～1.0 秒を考慮した 0.5 秒の 3 種類について検討した。

2) 実験結果

風洞実験結果より外圧係数を算定する際の評価時間は 10 分、ピーク値を算定する際のアンサンブル平均の回数は 10 回とし、外圧係数及び風力係数を式(3.3.2.2)～式(3.3.2.5)により算定した。なお、ベランダ手すりの風力は表裏の風圧力から風力の瞬間値とし、平均値及びピーク値を評価した。

$$\overline{C_{pe}} = \frac{\overline{p_e}}{q_r} \quad (3.3.2.2)$$

$$\hat{C}_{pe} = \frac{\hat{p}_e}{q_r} \quad (3.3.2.3)$$

$$C_f = \frac{\overline{p_f}}{q_r} \quad (3.3.2.4)$$

$$\hat{C}_f = \frac{\hat{p}_f}{q_r} \quad (3.3.2.5)$$

$\overline{C_{pe}}$: 平均外圧係数

$\overline{p_e}$: 平均外圧

q_r : 基準速度圧 ($z=150\text{mm}$)

\hat{C}_{pe} : ピーク外圧係数

\hat{p}_e : ピーク外圧

C_f : 平均風力係数

$\overline{p_f}$: ベランダ手すりの平均風力

\hat{C}_f : ピーク風力係数

\hat{p}_f : ベランダ手すりのピーク風力

図 3.3.2.2～図 3.3.2.8 に平均外圧係数、負のピーク外圧係数及び正のピーク外圧係数の風洞実験結果を示す。同図では、それぞれ上段が 10 階、中段が 8 階、下段が 4 階の各 8 部位の外圧係数、ピーク外圧係数については平均化時間 0.5 秒、0.25 秒及び 0.1 秒の 3 種類について示す。各部位について、ベランダ手すり外側の外圧係数を黒丸で示し、それに対応するベランダ手すり内側の外圧係数を赤丸で、壁面の外圧係数を青丸で示す。風向角と外圧係数との関係を見ると、高さの影響は小さいこと、ベランダ外側の外圧はベランダ内側の外圧よりも壁面の外圧に類似していることがわかる。

図 3.3.2.9～図 3.3.2.11 に平均風力係数、負のピーク風力係数及び正のピーク風力係数の風洞実験結果を示す。ピーク風力係数については、平均化時間 0.5 秒を黒丸、0.25 秒を赤丸及び 0.1 秒を青丸で示す。結果の検討に際し以下で示す測定点番号(No.)は、ベランダ手すり表面の測定点番号とする。正負のピーク風力係数の最大・最小値を比較すると、ベランダ手すり中央部 (No.5, No.6) では、正のピーク風力係数の絶対値がやや大きい、他の部位では負のピーク風力係数の絶対値が大きい。負のピーク風力係数に着目すると、隅角部を回っているベランダ手すり (No.2, No.3) では、中層階である

8 階で最も大きくなっているのに対し、隅角部を回っていないベランダ手すり (No.8) では、低層階である 4 階で最も大きくなっている。負のピーク風力係数の最小値は $-4 \sim -5$ であり、隅角部を回っている場合と回っていない場合で明確な差異は認められない。負のピーク風力係数が -4 を超える範囲は、隅角部が回っている場合は、ベランダの出幅に相当する領域 (No.2, No.3) であり、隅角部を回っていない場合はベランダ終端部 (No.8) に限定される。

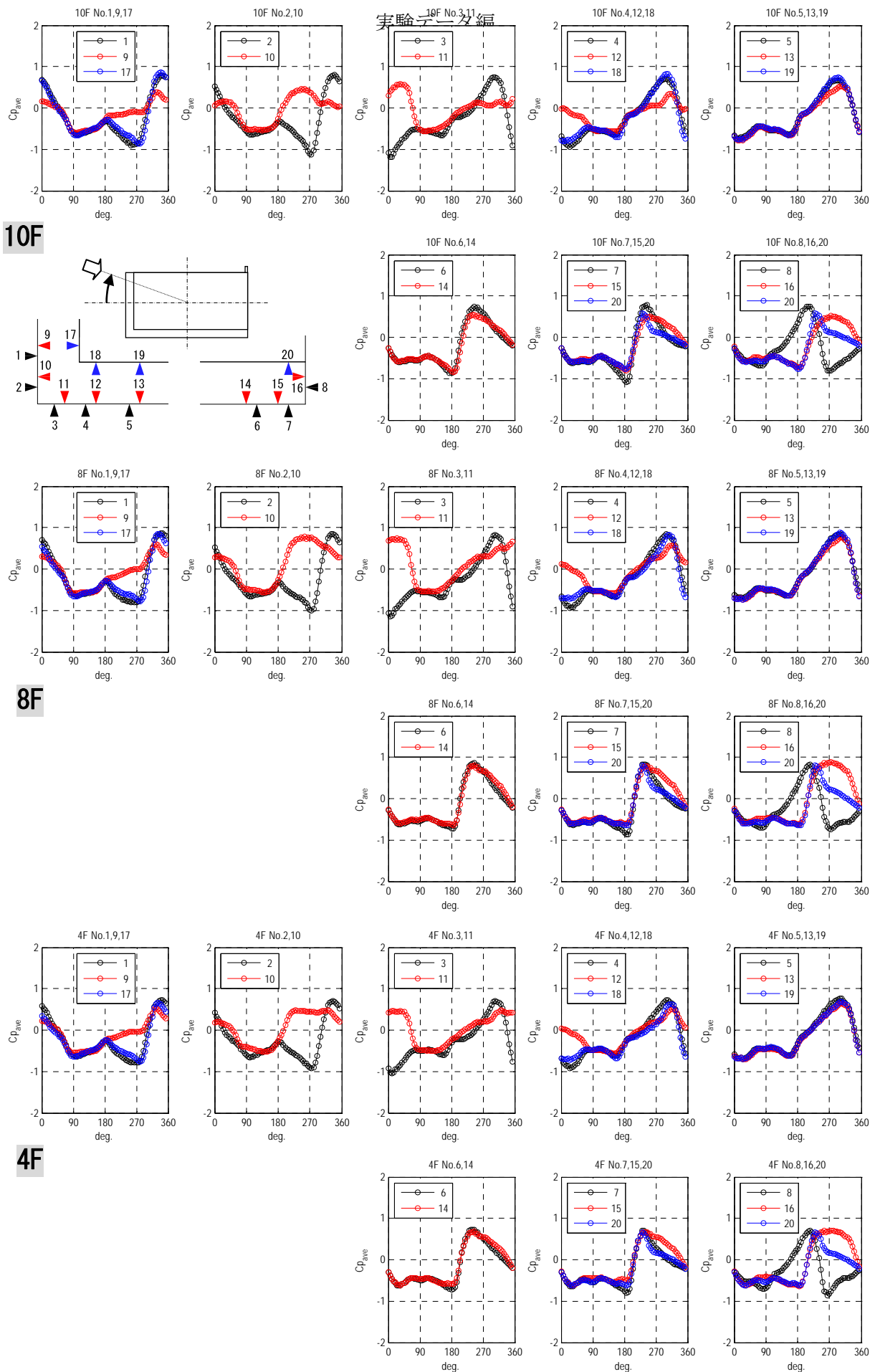


图 3.3.2.2 平均外压系数

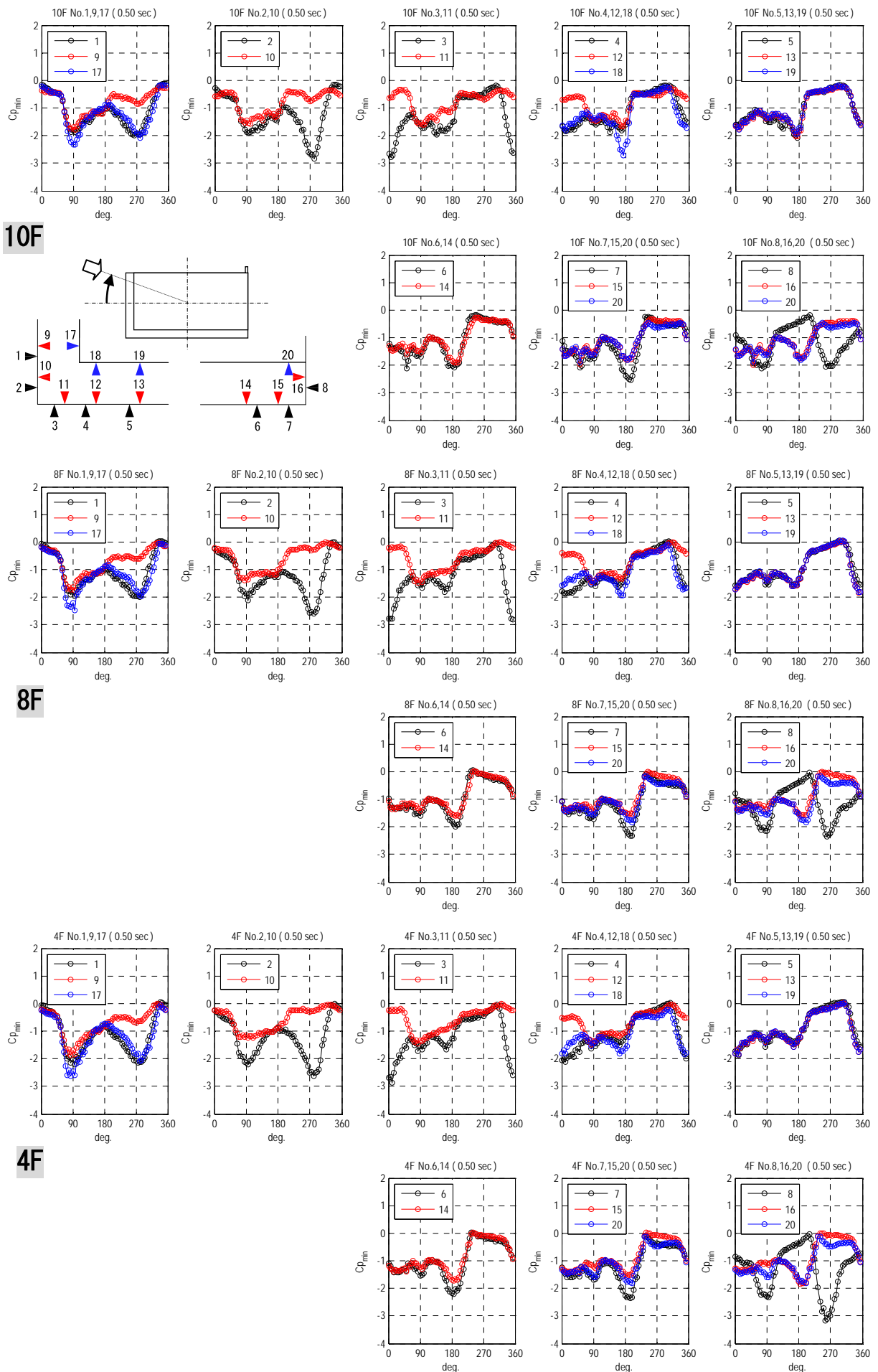


図 3.3.2.3 負のピーク外圧係数 (平均化時間 0.5 秒)

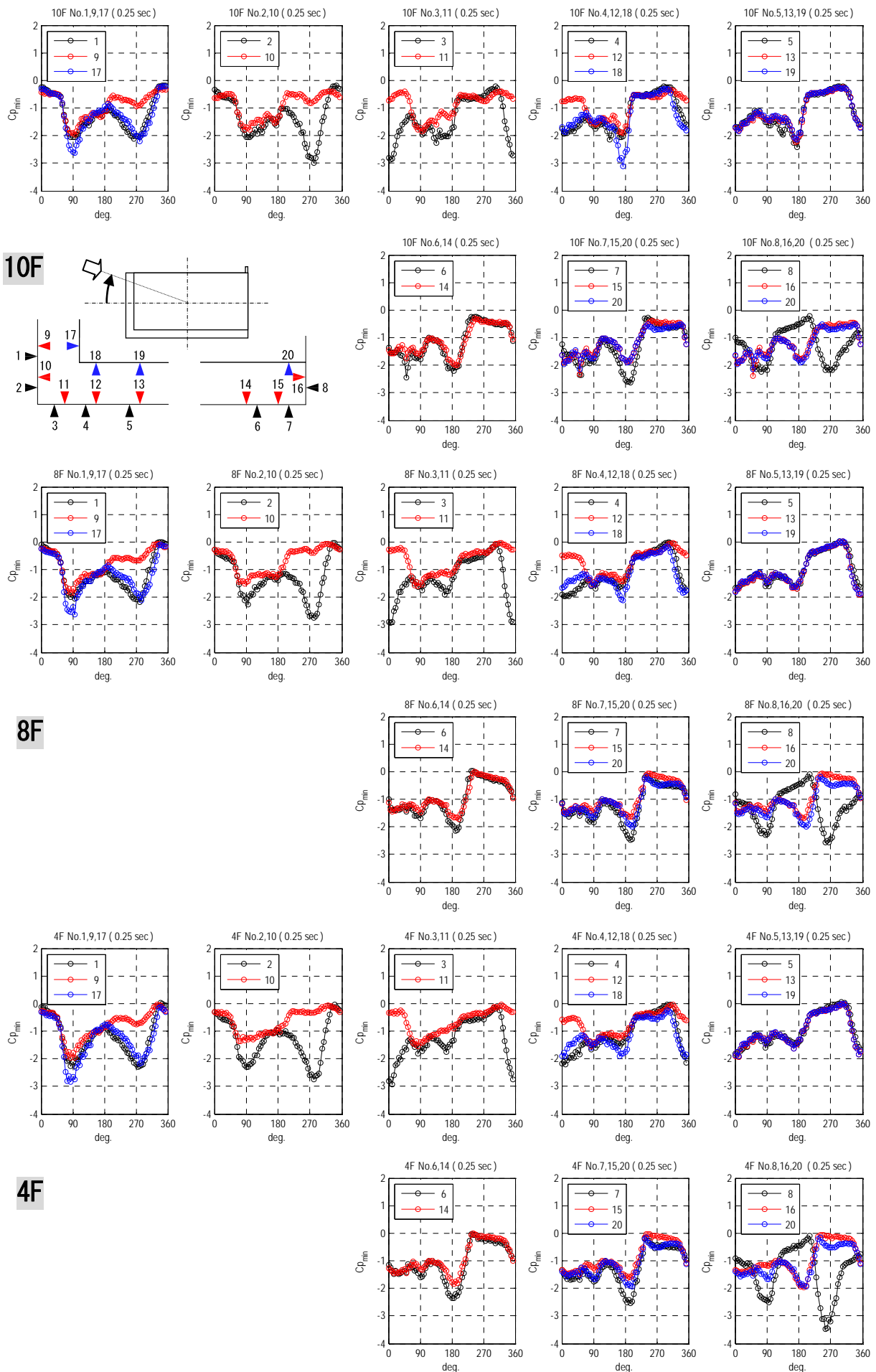
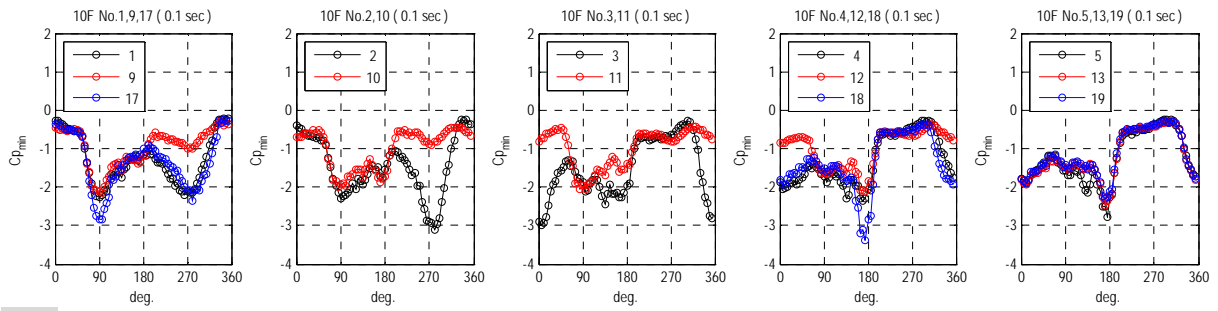
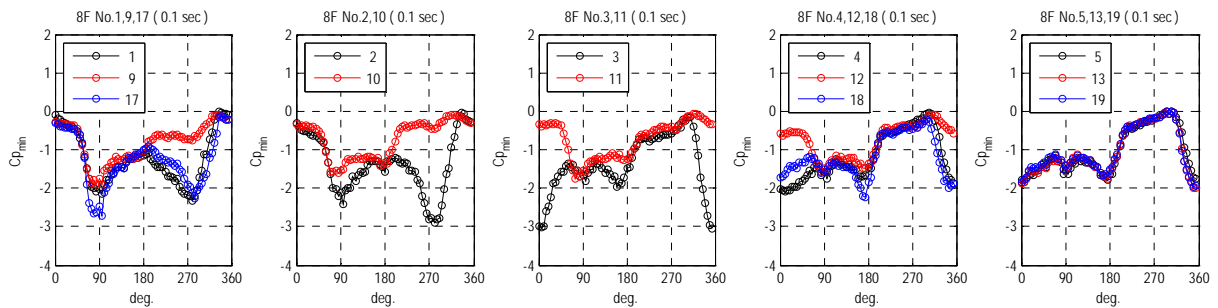
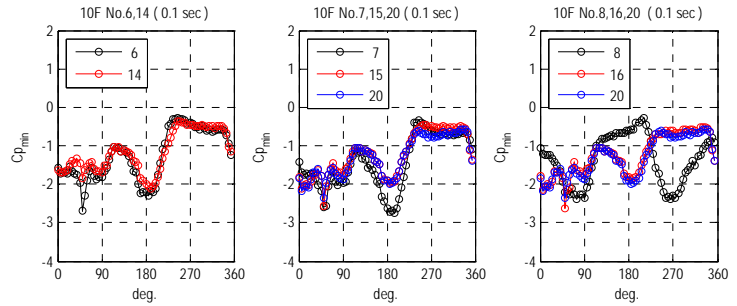
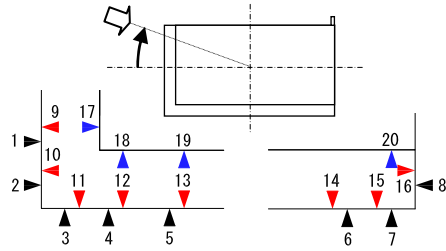


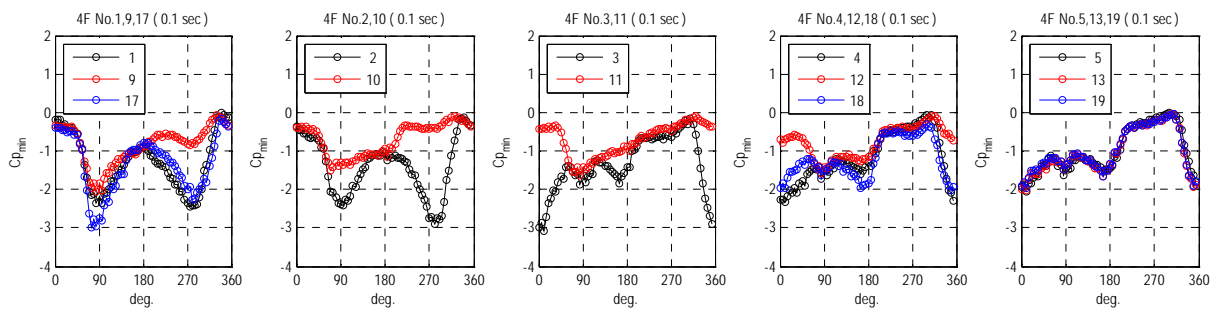
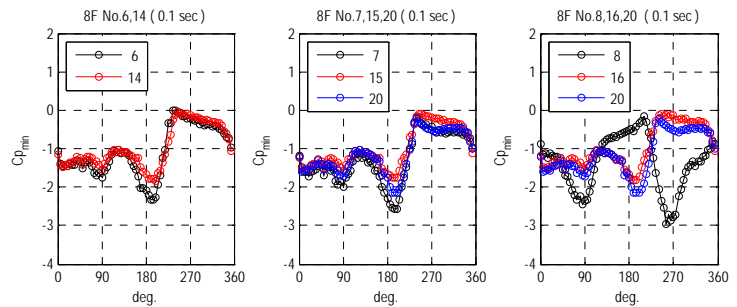
図 3.3.2.4 負のピーク外圧係数 (平均化時間 0.25 秒)



10F



8F



4F

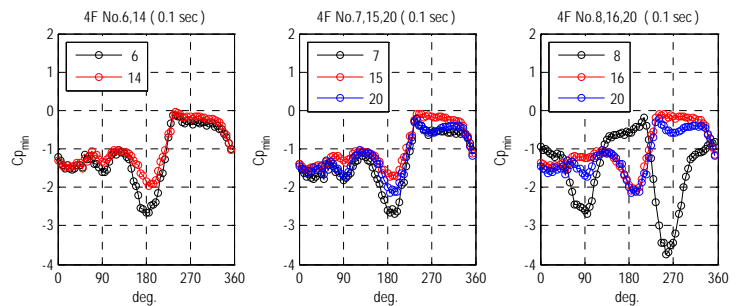
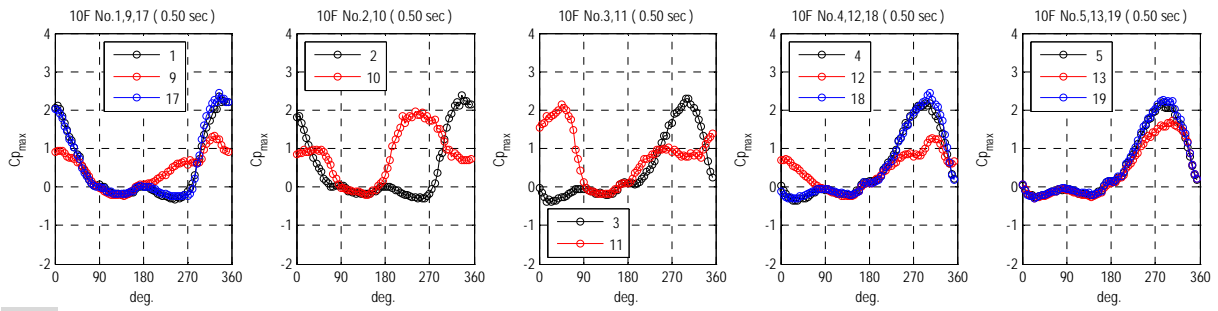
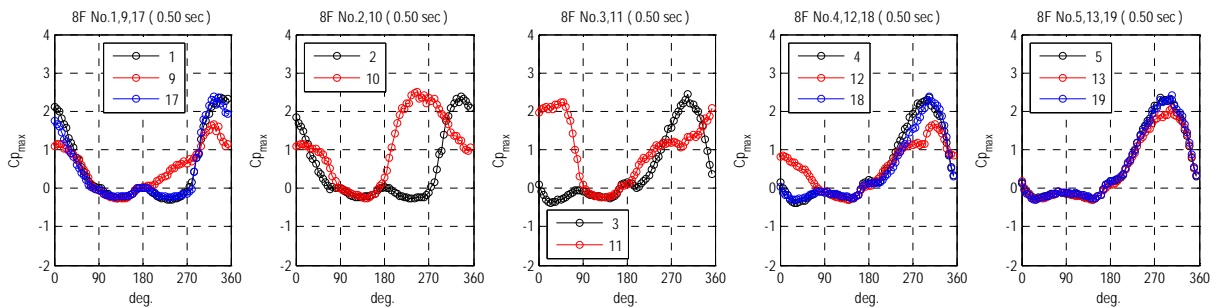
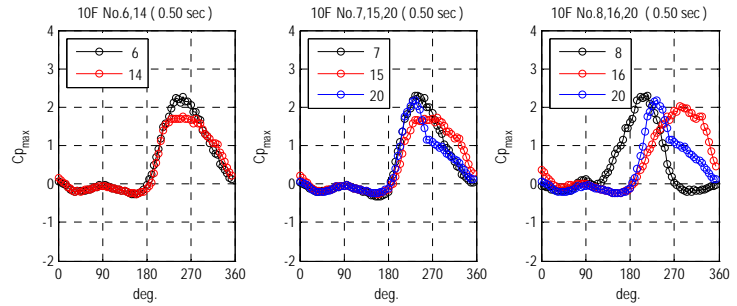
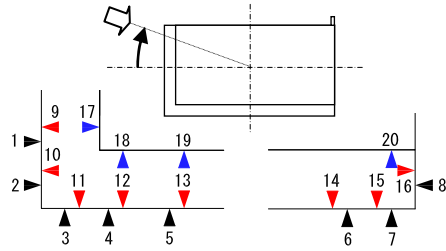


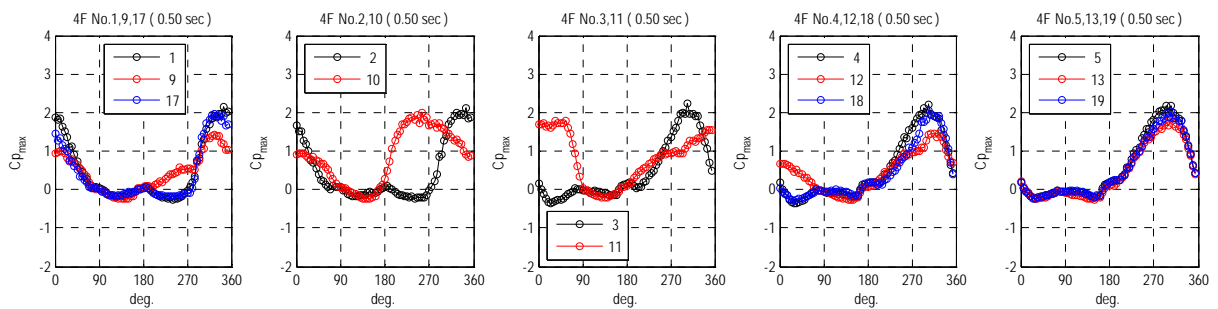
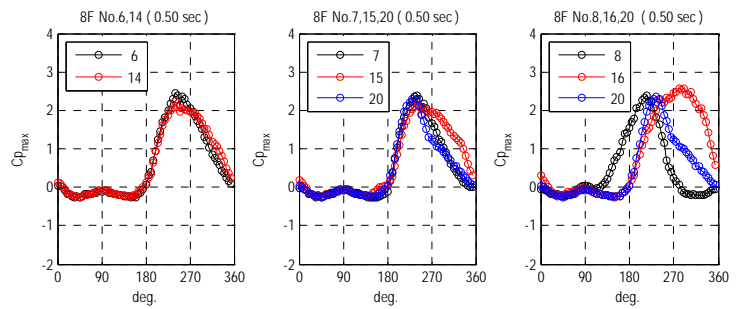
図 3.3.2.5 負のピーク外圧係数 (平均化時間 0.1 秒)



10F



8F



4F

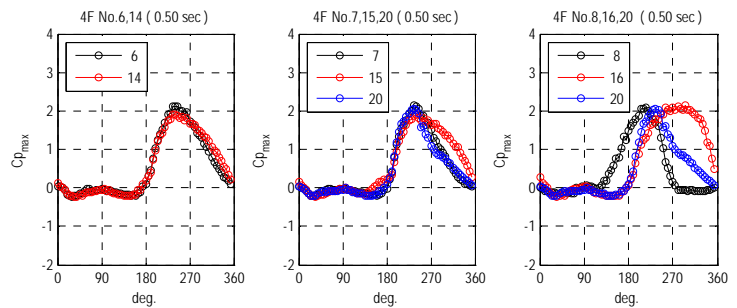


図 3.3.2.6 正のピーク外圧係数 (平均化時間 0.5 秒)

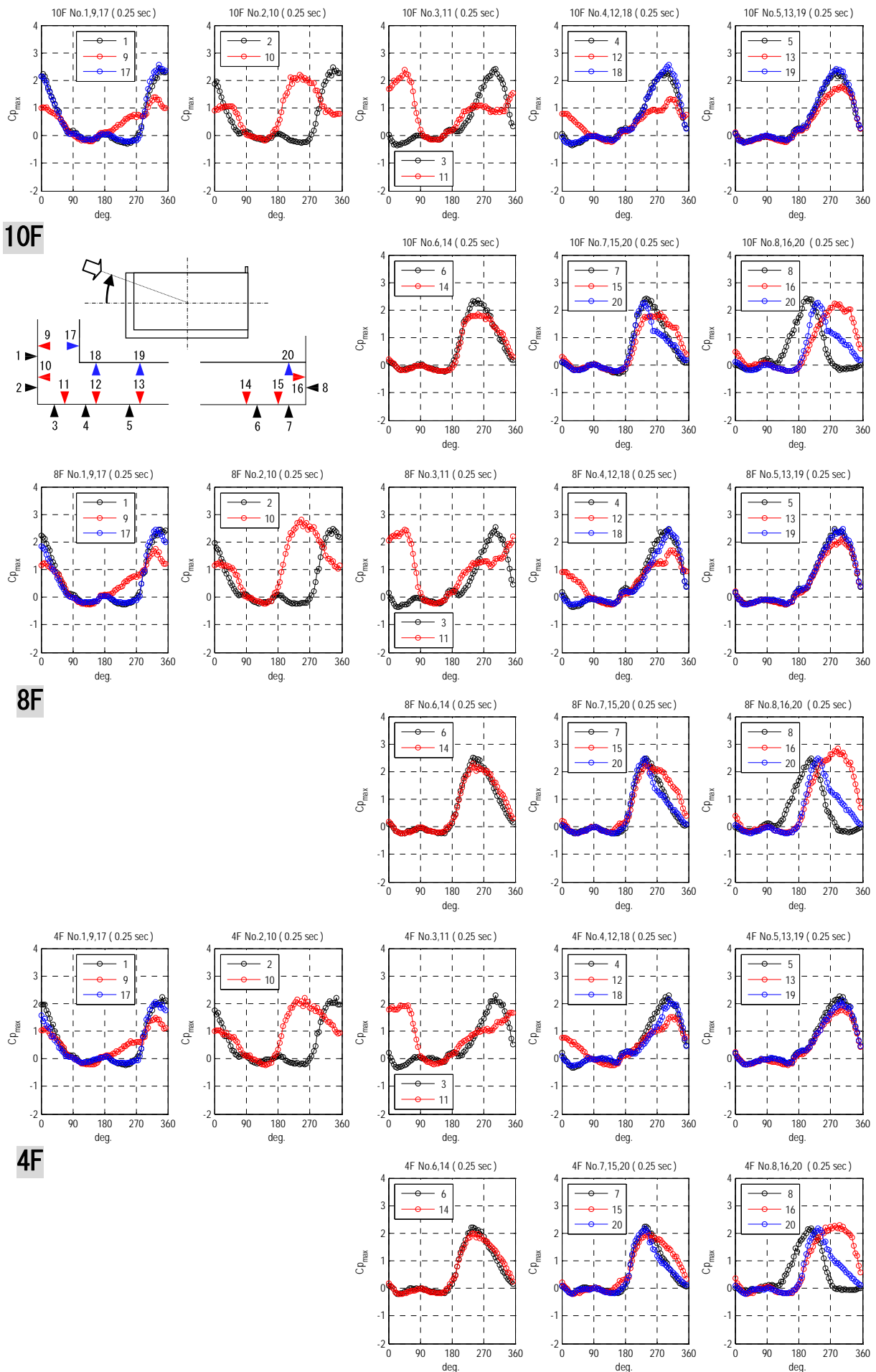
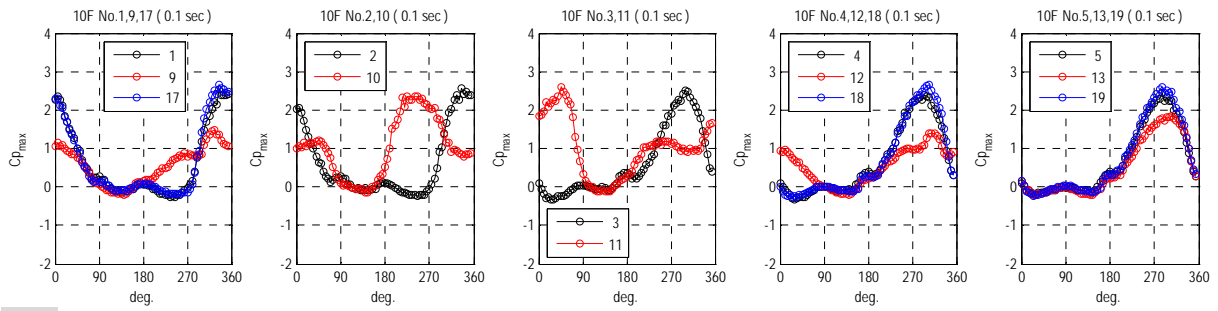
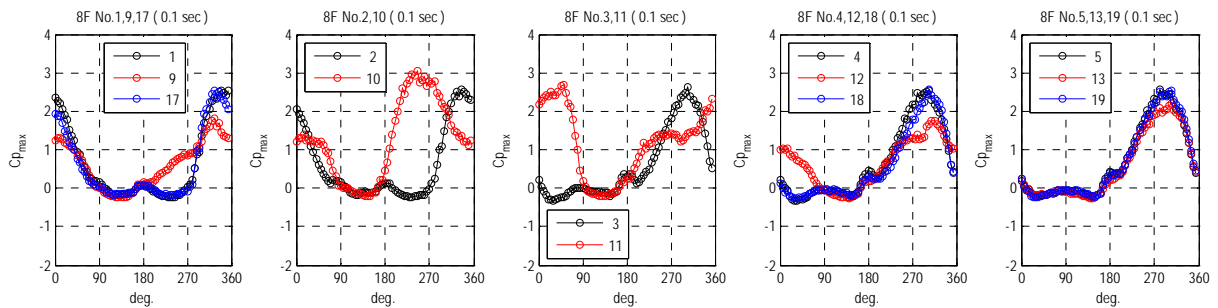
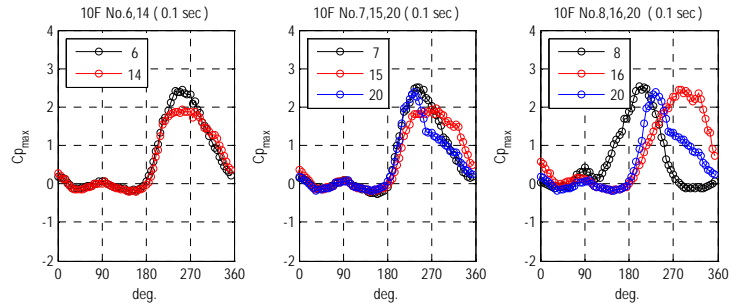
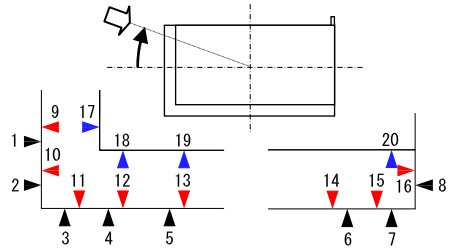


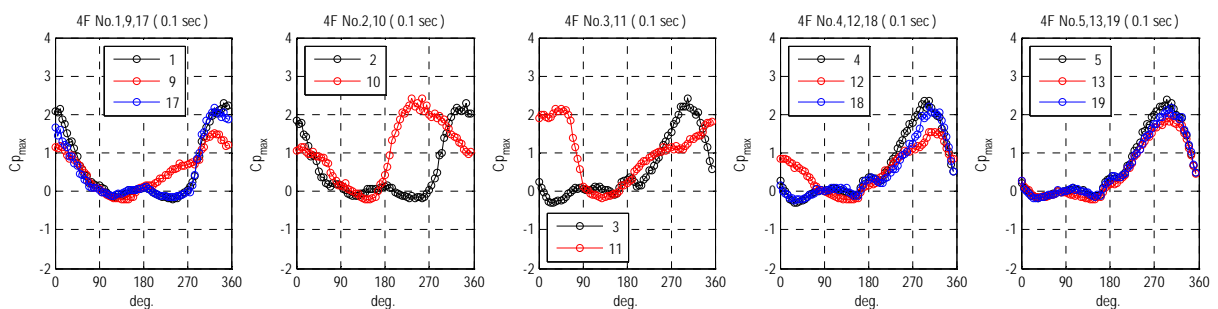
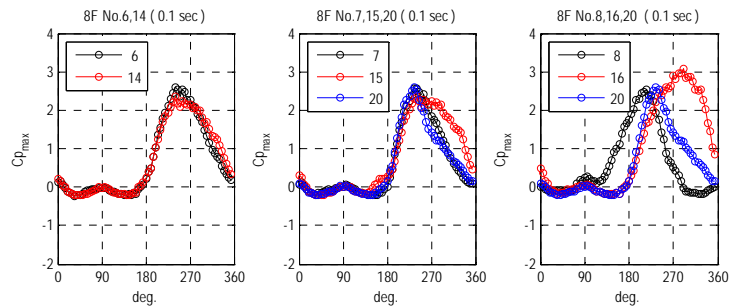
図 3.3.2.7 正のピーク外圧係数 (平均化時間 0.25 秒)



10F



8F



4F

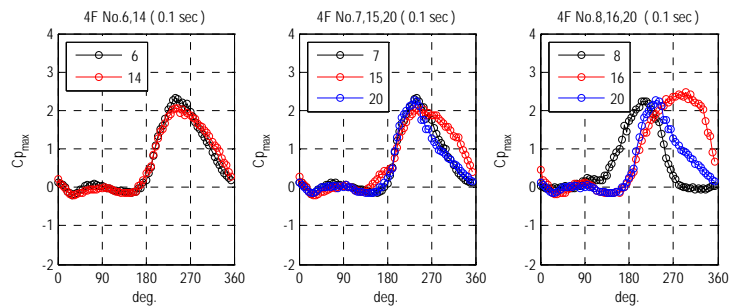


図 3.3.2.8 正のピーク外圧係数 (平均化時間 0.1 秒)

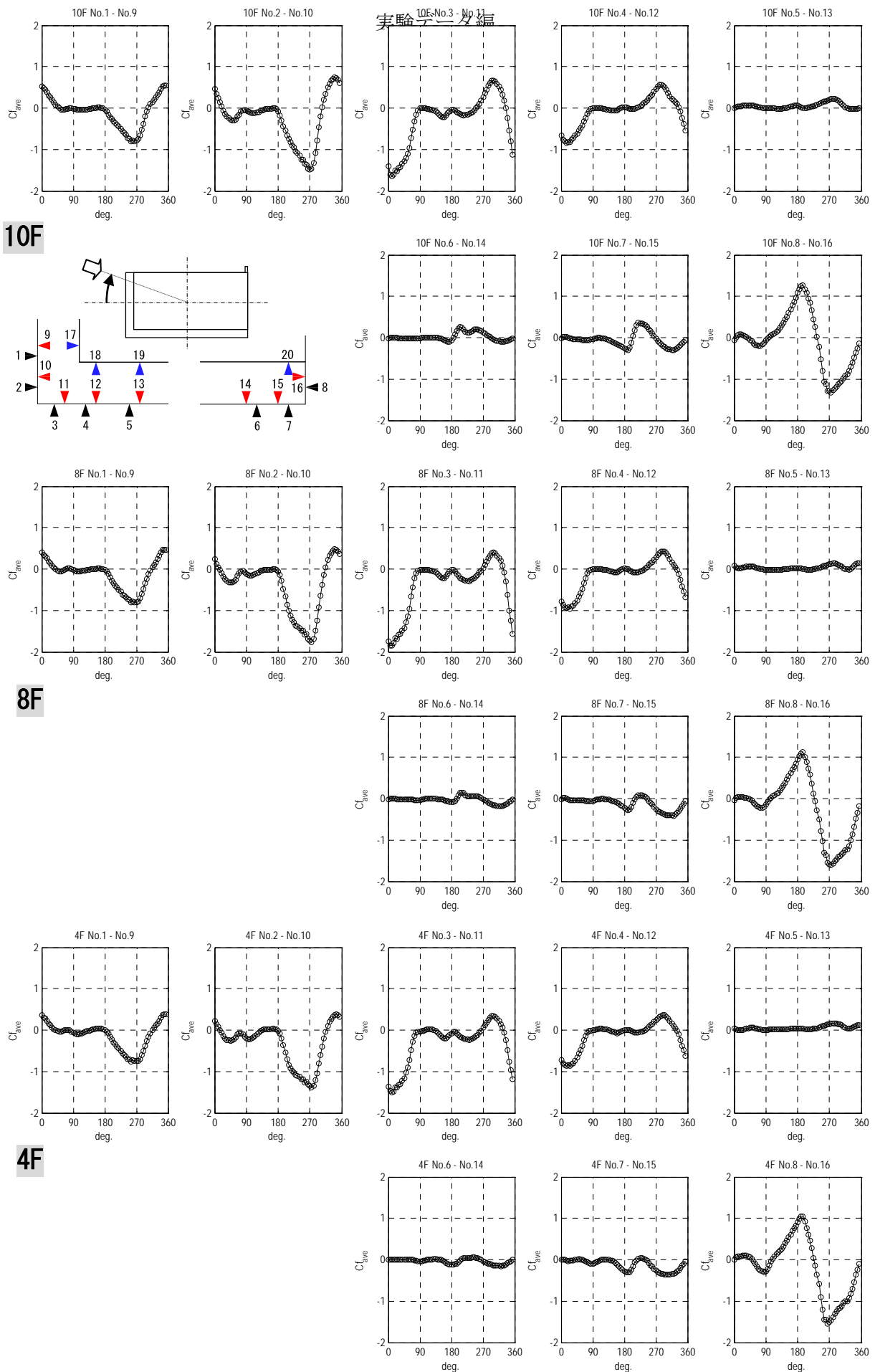
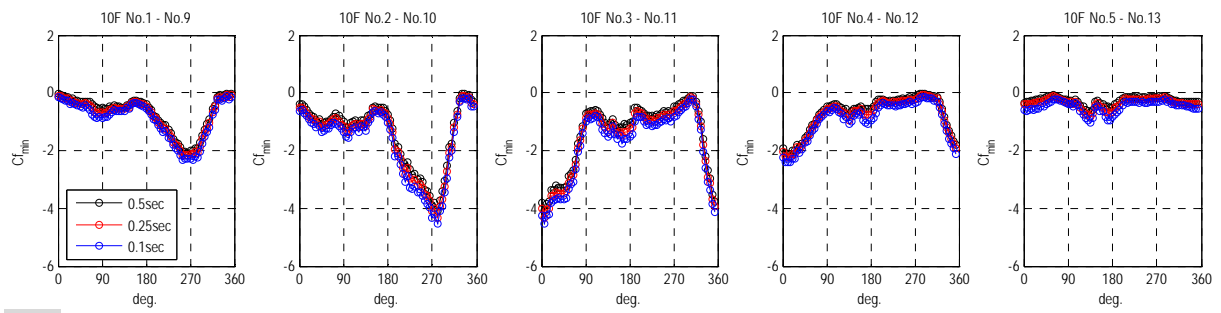
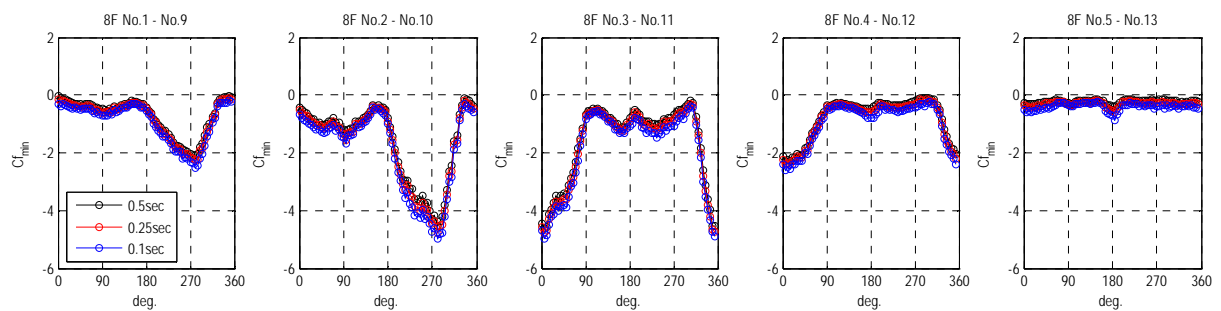
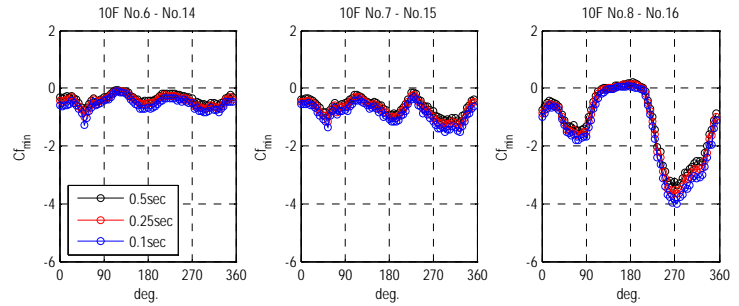
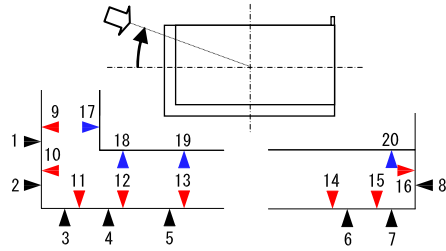


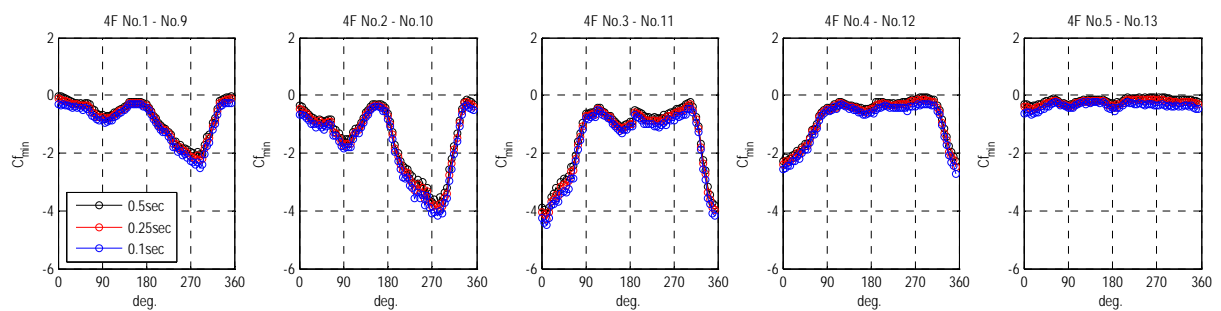
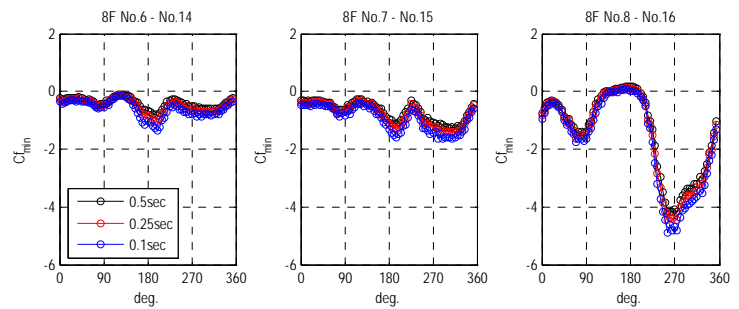
图 3.3.2.9 平均風力係数



10F



8F



4F

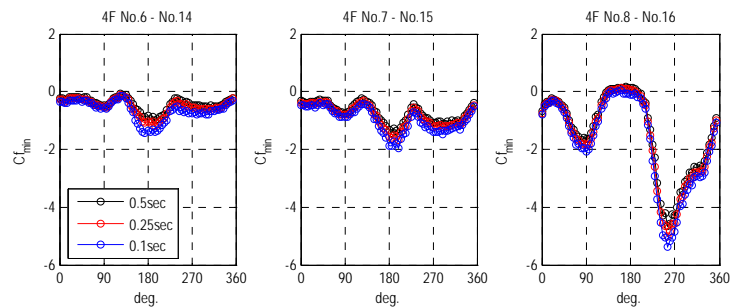


図 3.3.2.10 負のピーク風力係数

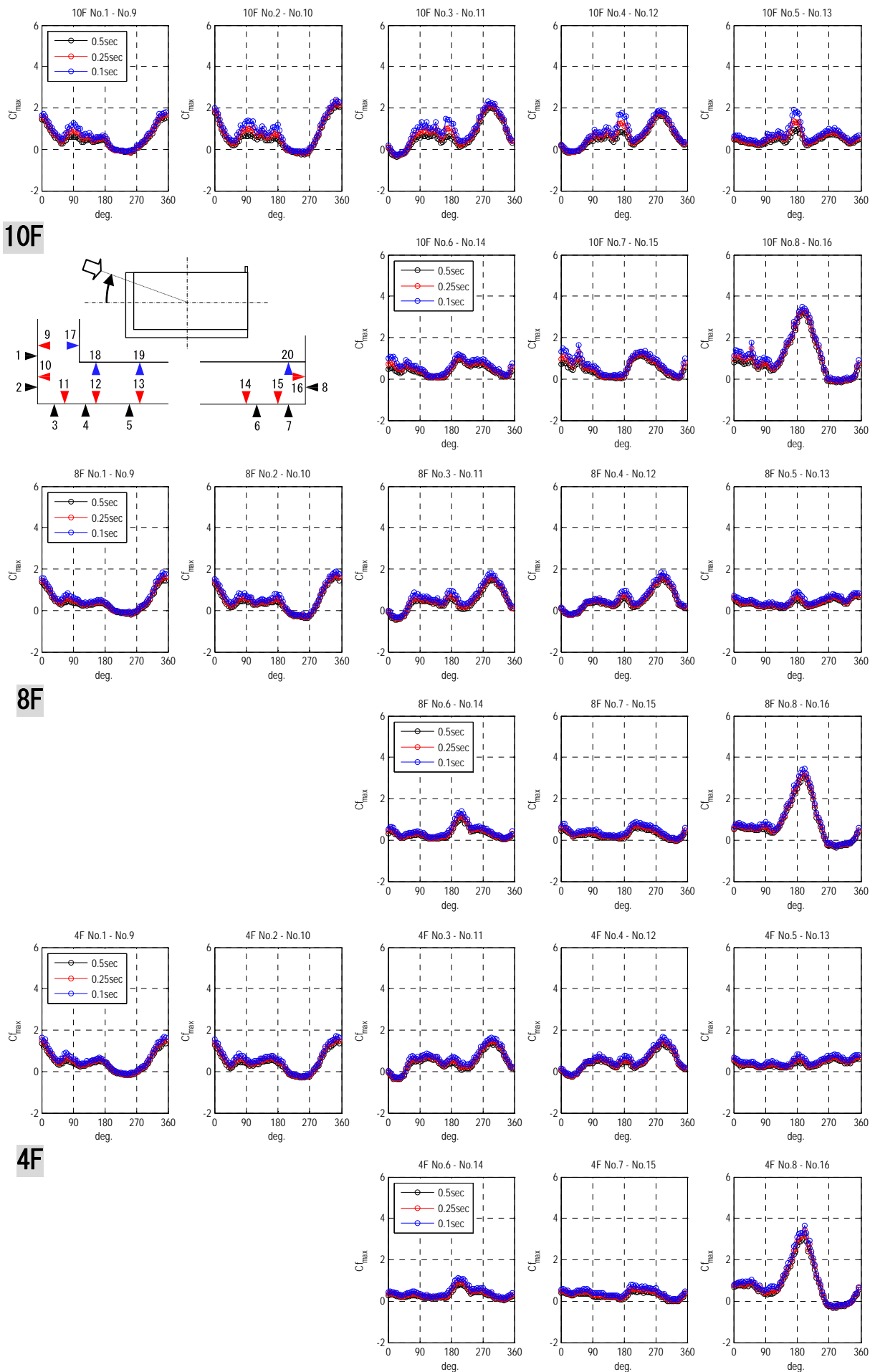


図 3.3.2.11 正のピーク風力係数

3.3.3 設計用ピーク風力係数の検討

ベランダ手すりのピーク風力係数の実験値を表 3.3.3.1 に示す。ここでの風洞実験結果は平均化時間 0.25 秒及び 0.5 秒のピーク風力係数である。ピーク風力係数は高さに係わらず一定の値とし、隅角部 A, 隅角部 B の領域は図 3.3.3.1 に示すように、各々ベランダの出幅の 1 倍以内、1~2 倍の範囲とした。また、式(3.2.2.1)によって算出した中央部のピーク風力係数は、実験値に対してやや安全側の値となっている。

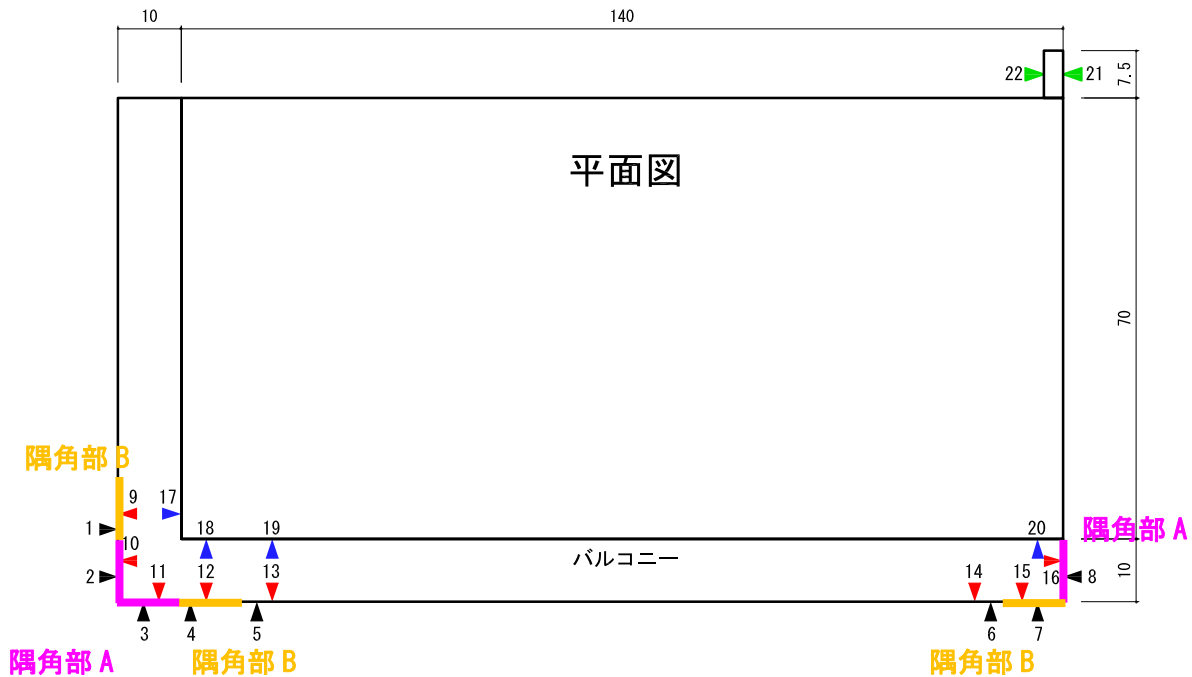
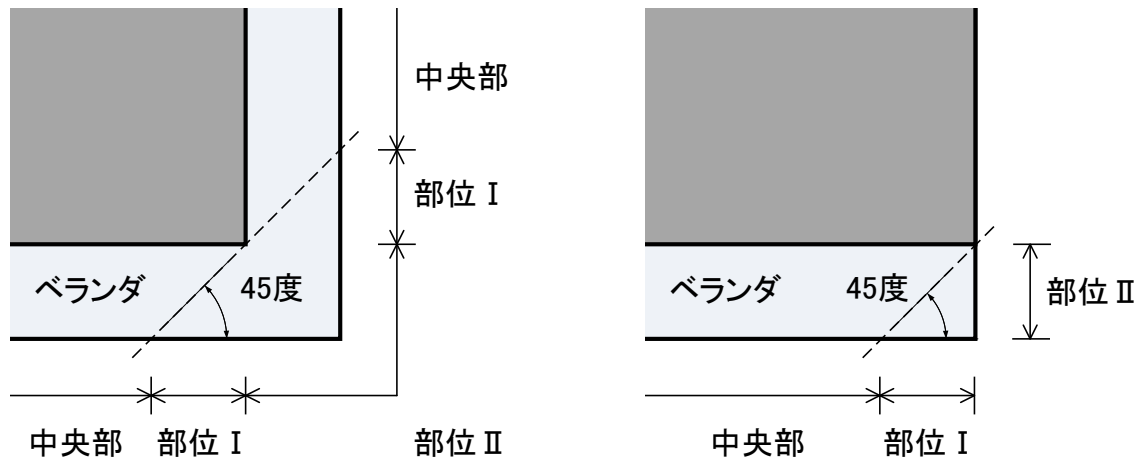


図 3.3.3.1 隅角部 A, B の領域

表 3.3.3.1 ベランダ手すりのピーク風力係数の実験値

部位	風洞実験結果, 平均化時間 0.25 秒 (0.5 秒)				部位内最大値
	測定点位置 (ベランダ手すり 表面の測定点番号)	10 階	8 階	4 階	
隅角部 A	No.2	-4.32 (-4.09)	-4.78 (-4.52)	-3.99 (-3.80)	-5.0 (-4.7)
	No.3	-4.33 (-4.08)	-4.79 (-4.62)	-4.29 (-4.10)	
	No.8	-3.70 (-3.40)	-4.46 (-4.17)	-5.03 (-4.67)	
隅角部 B	No.1	-2.16 (-2.08)	-2.25 (-2.09)	-2.26 (-2.06)	-2.5 (-2.3)
	No.4	-2.25 (-2.13)	-2.41 (-2.29)	-2.47 (-2.27)	
	No.7	-1.36 (-1.17)	-1.44 (-1.29)	-1.70 (-1.45)	
中央部	No.5	1.37 (0.98)	0.77 (0.69)	0.72 (0.64)	1.4 (1.2)
	No.6	1.05 (0.96)	1.20 (1.06)	-1.20 (-1.02)	
中央部	式(3.2.2.1)	1.53	1.51	1.28	1.5

以上の結果と 3.2.2 節で示した既往の実験結果（表 3.2.2.2）を踏まえて、一般的な中層集合住宅におけるベランダ手すりの設計用ピーク風力係数の提案値を図 3.3.3.2 に示す。



設計用ピーク風力係数

部位	中央部	部位 I	部位 II
正	1.5	2.0	3.5
負	-1.5	-2.5	-5.0

図 3.3.3.2 ベランダ手すりの部位に応じた設計用ピーク風力係数

参考文献

- 1) 森脇一樹, 岡崎充隆, 谷池義人, 谷口徹郎: 中高層集合住宅の手摺りに加わる風圧力の性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.179-180, 2003.
- 2) 山内豊英, 岡崎充隆, 谷口徹郎, 谷池義人: 建築物のバルコニー手摺りに作用する風荷重, 第 19 回風工学シンポジウム論文集, pp.383-388, 2006.
- 3) T. V. Lawson : Wind Effects on Buildings, Vol.1, 2. Applied Science Publishers LTD.