

神奈川大学 23 号館(免震棟)の風応答性状に関する研究

その1 風力特性

中層 RC 造免震建築物 風洞実験 風力

○正会員 伊藤 純子* 正会員 大熊 武司**
同 丸川比佐夫* 同 岡田 創**
同 下村 祥一** 同 軽部 英生**

1. はじめに 地震荷重の低減を目的に, 免震装置を設置した建築物が多く見られるようになってきた. 神奈川大学 23 号館の建設においても, 地震時の災害の低減を目的として免震装置が設置された. RC 造免震建築物は免震層の水平剛性が小さく, また地震荷重の低減により上部構造の剛性も耐震設計の建築物に比べて小さい. そのため, RC 造のような比較的自重の大きいものでも, 受風面積の大きな建築物は, 風外乱の影響を受け易くなると考えられる.

本研究は, 神奈川大学 23 号館を対象に, 風応答性状に関する検討を行った. その 1 では, 風洞実験より得られた風力特性について, その 2 では居住性を対象として応答加速度の性状について報告する.

2. 建物概要 対象建物は, 図1に示すように地上高さ 30.95m (地上 8 階, 地下 2 階, 塔屋 2 階) であり, RC 造の上部構造と下部構造の間に免震装置を設置した免震構造¹⁾である.

3. 実験概要 実験は, 室内回流式エッフェル型風洞 (幅 2.2m, 高さ 1.8m, 測定胴長さ 20m) で実施した. 実験気流は,

荷重指針²⁾の地表面粗度区分 III を目標としたべき指数 0.2 の乱流境界層流とした. 模型頂部高さの乱れ強さは約 20%, 乱れのスケールは約 30cm である.

模型の縮尺は 1/400 とし, 対象建物模型は免震層より上部を再現した. 周辺模型は建設地周辺が複雑な地形を有することより, 半径 400m の範囲について地形および周辺建物を再現した. ターンテーブル端部と風洞床面に高低差が生じる部分にはスロープを設置した (写真 1). 測定は, 対象建物単体の場合 (以下, case1 とする) と周辺地域を再現した場合 (以下, case2 とする) について行った.

風力は, 5 分力天秤により, 5 成分の風力 (水平力 F_X, F_Y , 転倒モーメント M_X, M_Y , 振りモーメント M_Z) を免震層レベルで測定した. サンプリング周波数は 200Hz, ローパスフィルターは 80Hz, データ数は 8192 個で 8 回測定した. 風向は, 北側壁面に正対する方向を 0° とし, $0^\circ \sim 350^\circ$ を 10° 間隔とした.

4. 実験結果 本報では水平力および振りモーメントの測定結果について述べる. なお, 転倒モーメントの特性は水平力と同様であった. 平均風力係数 C_{FX}, C_{FY}, C_{MZ} および変動風力係数 $C'_{FX}, C'_{FY}, C'_{MZ}$ は (1), (2) 式より求めた.

$$C_{FX} = \frac{\bar{F}_X}{q_H B H}, C_{FY} = \frac{\bar{F}_Y}{q_H B H}, C_{MZ} = \frac{\bar{M}_Z}{q_H B^2 H} \quad (1)$$

$$C'_{FX} = \frac{\sigma_{FX}}{q_H B H}, C'_{FY} = \frac{\sigma_{FY}}{q_H B H}, C'_{MZ} = \frac{\sigma_{MZ}}{q_H B^2 H} \quad (2)$$

ここで, $\bar{F}_X, \bar{F}_Y, \bar{M}_Z$ は風力の平均値, $\sigma_{FX}, \sigma_{FY}, \sigma_{MZ}$ は風力の標準偏差, q_H は頂部高さの速度圧であり, case2 の場合は地形模型も含めた模型頂部高さの速度圧とした.

図 2 に平均風力係数, 図 3 に変動風力係数を示す. 平均風力係数は, Y 方向風力において実験ケースによる差異が見られるが, X 方向風力および振りモーメントには実験ケースによる顕著な差は見られない. Y 方向風力の場合, 実験ケースによる差異は, 風向 $90 \pm 30^\circ$ および $270 \pm 30^\circ$ の範囲で顕著であり, 周辺建物および地形を再現することによって平均風力係数が 0.4 程度低下する. 変動風力係数は, いずれの風力成分においても case1 の場合の方が大きい. 特に Y 方向の風向 270° 付近では, case2 の変動風力係数は, case1 の場合の 1/2 程度の値となる.

図 4 に変動風力のパワースペクトル密度の一例として Y 方向風力および振りモーメントの風向 180° および 270° の結果を示す. Y 方向風力, 振りモーメントとも風向 270° では風速変動のパワースペクトル密度と類似した広帯域にパワーが分布する形状である. 風向 180° では, 顕著ではない

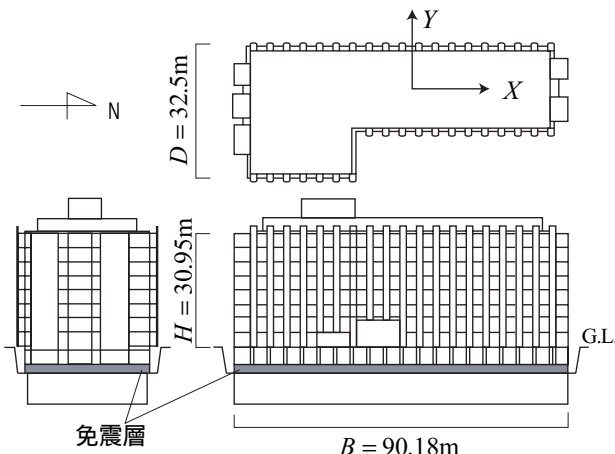


図 1 対称建物

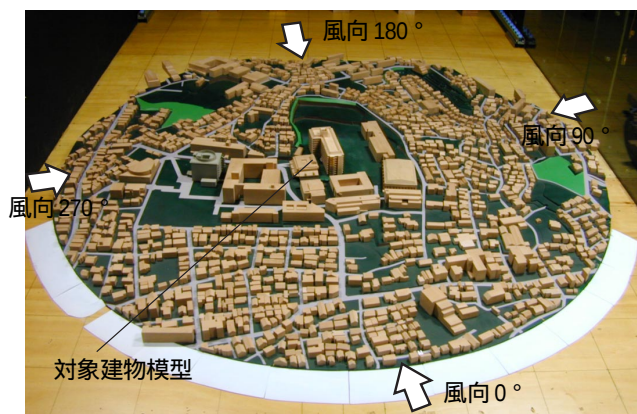


写真 1 実験模型 (地形および周辺建物を再現した場合)

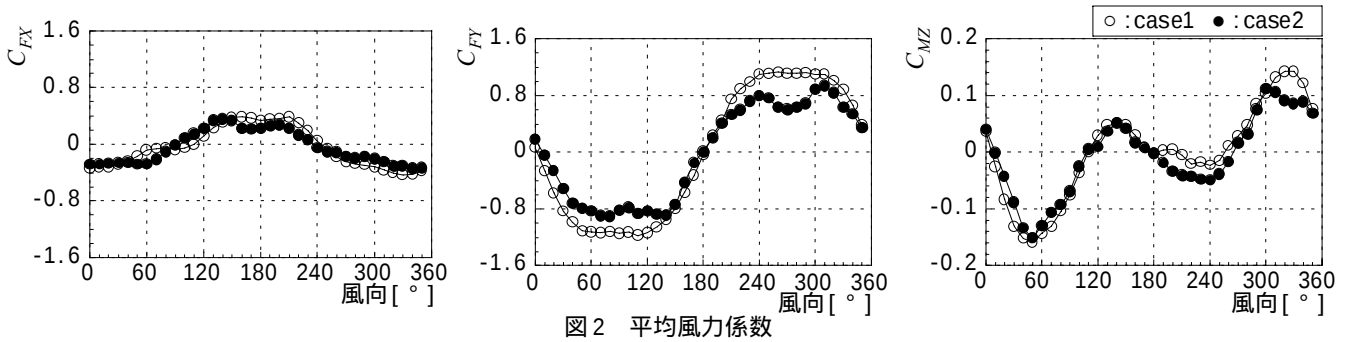


図2 平均風力係数

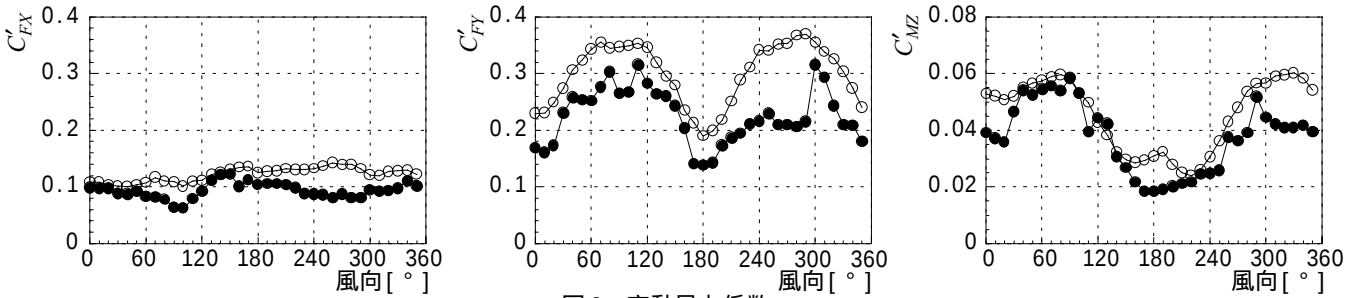
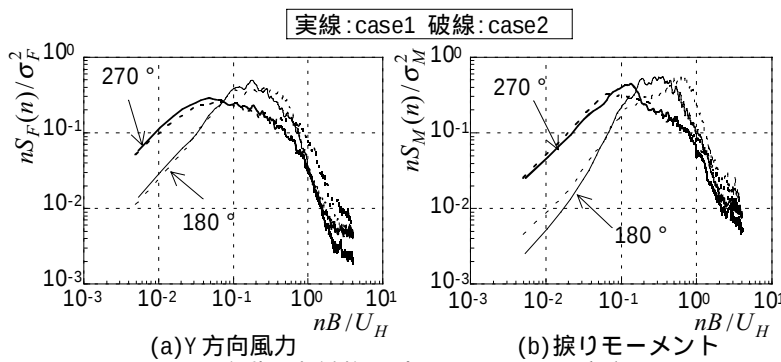


図3 変動風力係数



(a) Y 方向風力 (b) 振りモーメント
図3 変動風力係数のパワースペクトル密度

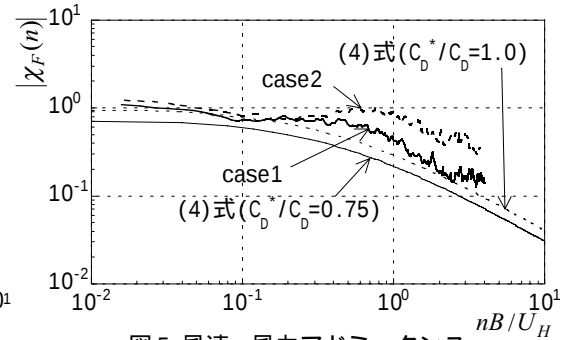


図5 風速 - 風力アドミッタンス
(風向 270°, Y 方向風力)

が無次元振動数0.3付近を中心にパワーの集中が見られる。実験ケースによるパワースペクトル密度の差は、ほとんどの風向で見られる。従って、高周波数領域におけるパワーの増大は周辺建物および地形の影響によると考えられる。

5. 風速-風力アドミッタンス 建築物に生じる変動風力が風速変動によって生じると仮定した場合、風速 - 風力アドミッタンス $|\chi_F(n)|^2$ を用いて(3)式のように表せる。

$$S_F(n) = 4(q_H C_D B H)^2 |\chi_F(n)|^2 S_{uR}(n) / U_H^2 \quad (3)$$

ここで、 C_D は平均抗力係数、 $S_F(n)$ は変動風力のパワースペクトル密度、 $S_{uR}(n)$ は頂部高さにおける変動風速のパワースペクトル密度、 U_H は頂部高さの平均風速である。図5に長辺に正対する風向270°のY方向風力(風方向風力)を用いて求めた風速 - 風力アドミッタンスの平方根を示す。なお図中には文献2)を参考に準定常仮定に基づいて(4)式より求めたアドミッタンスの平方根の値も示した。

$$|\chi_F(n)|^2 = \left(\frac{C_D^*}{C_D} \right)^2 \frac{1}{(1 + \alpha + \beta)^2} |J_y(n)|^2 |J_z(n)|^2 \quad (4)$$

ここで、 C_D^* は風上側と風下側の変動風力の相関を加味した

風力係数、 α は平均風速分布のべき指数、 β は振動モード、 $|J_y(n)|^2$ 、 $|J_z(n)|^2$ は変動風速のジョイントアクセプタンスであり、変動風速のコ・コヒーレンスの減衰定数 $k=8$ とした³⁾。図5に示す算定結果では、 $\alpha = \beta = 0$ 、 $C_D^*/C_D = 0.75$ および 1.0 (完全相関) とした。

風速 - 風力アドミッタンスの平方根は、実験ケースに関わらず低周波数側では1に近い値を示す。高周波数側では case2 は case1 に比べて大きくなる。(4)式で求めた値と比較すると、case1 の場合は $C_D^*/C_D = 1$ として求めた時とほぼ一致するが、case2 の場合は高周波数側で大きな値を示す。

6. おわりに 神奈川大学23号館に作用する風力特性を風洞実験により求めた。対象建物に作用する変動風力係数は、単体に比べて周辺建物および地形を再現した場合は風向に関わらず概して小さくなるが、変動風力のパワースペクトル密度は居住性の検討に関連した周波数領域で大きくなる。

参考文献

- 1) 安達直人, 内山正次, 引田智樹, 大熊武司; 神奈川大学23号館(免震棟)および新1号館の振動実験(その3), 2001年日本建築学会大会(関東)掲載予定, 2) 日本建築学会; 建築物風荷重指針・同解説, 1993, 3) 大熊武司, 神田順, 田村幸雄; 建築物の耐風設計, 鹿島出版会, 1996

* 泉創建エンジニアリング都市環境技術研究所

** 神奈川大学工学部建築学科