

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	荷重指針を基準とした超高層建物の簡易風応答予測指標
Title(English)	An index that provides a simple prediction of the wind response of high-rise buildings based on loading guidelines.
著者(和文)	沖村将大, 佐藤大樹, 田中英之, 曾根孝行, 渡井一樹, 今野大輔
Authors(English)	Masahiro Okimura, Daiki Sato, Hideyuki Tanaka, Takayuki Sone, Kazuki Watai, Daisuke Konno
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, , pp. 95-96
Citation(English)	, 構造 I, , pp. 95-96
発行日 / Pub. date	2024, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

荷重指針を基準とした超高層建物の簡易風応答予測指標

超高層建物 風応答 時刻歴応答解析
パワースペクトル密度

1. はじめに

近年の施工技術の発展に伴う建物のさらなる高層化が予想されるため、超高層建物の風応答評価の重要性が増している。超高層建物の風応答評価には多質点系モデルを用いた時刻歴応答解析が必要となる場合がある¹⁾。その際、風力による応答を解析前に大まかに把握することで、時刻歴応答解析にその風力を用いることの有用性を確認できる。筆者ら^{2), 3)}は、一般化風力のパワースペクトル密度（以下、PSD）の大小の確認のみでは風応答を把握することは難しいことから、指標が大きいほど応答も大きくなるような風力の PSD の評価指標を提案した。しかし、この指標は評価対象風力による応答の大小が把握できるものに留まっており、具体的な応答予測には至っていない。そこで本報では、評価指標^{2), 3)}を拡張し、荷重指針から算出できる応答を基準として、荷重指針よりどれほど大きな応答を与える風力かを評価する指標を提案する。また、既存の簡易的な風応答評価法として、スペクトルモーダル法が挙げられる。スペクトルモーダル法との差別化として、本指標では時刻歴応答解析の予測を目的とする。

2. 建物モデルおよび風力概要

本報では辺長比 $B/D=1.0$ かつアスペクト比 $H/B=5.0$ (H, B, D : 建物高さ, 幅, 奥行き) の超高層建物を対象とする。また、 H および 1 次固有周期 $1T_f$ (1 次固有振動数 $1f$) をパラメータとする。建物密度 $\rho_f=175 \text{ kg/m}^3$ とし、質量 m_i は高さ方向に一様であると想定した 10 質点せん断型モデルを用いる。構造減衰を剛性比例型とし、 $1T_f$ に対して 1 次減衰定数 $1\zeta_f=0.02$ を用いた。 i 層の剛性 k_{fi} は建物の 1 次固有モード $1\Phi_{fi}$ が高さに比例して分布するようになるように決定した。

建物に作用する風力は荷重指針⁴⁾に基づき、風洞実験⁵⁾ (風力 1) および CFD⁶⁾ (風力 2) により得られた層風力係数データを対象建物における基準風速を 36 m/s として再現期間 100 年, 500 年, 1000 年風力へ変換を行ったものを用いる。なお、小地形の影響、季節係数および風向係数の影響は考慮していない。また、建物の壁面に正対する風向を対象とし、1 組につき 10 質点分の波形を 0.05 秒刻み 12000 (600 s) ステップとして、5 組ずつ取り出した。また、風力評価には上記風力の 1 次モーダル風力を用いる。解析は無次元振動数 $1f^*$ ($=fB/U_H$, U_H : 設計用風速) が 0.11 から 0.14 の範囲で複数ケース行った。

3. 風力評価指標の算出方法³⁾

図 1 に風力 1, 風力 2, 荷重指針の風方向および風直交

正会員 ○沖村 将大*¹ 正会員 佐藤 大樹*²
同 田中 英之*³ 同 曾根 孝行*³
同 渡井 一樹*³ 同 今野 大輔*³

方向の PSD を示す。風力評価は文献 7) を参考に PSD を、境界振動数 f_b ($=1f/3$) を境とした準静的成分と共振成分に分けて行う。

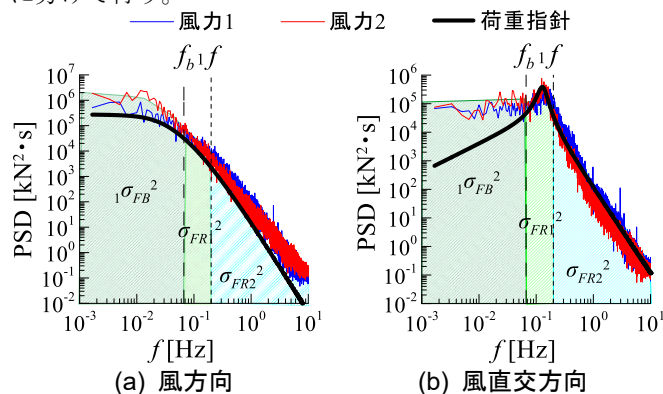


図 1 1 次モーダル風力のパワースペクトル密度

風方向風力の風方向変位への影響は風方向風力の準静的成分の標準偏差 $1\sigma_{FB}$ (図 1) によって評価可能²⁾であり、風力の風方向速度、加速度および風直交方向変位、速度、加速度への影響は下記の風力の共振成分の評価指標 $1\sigma'_{FR}$ によって評価可能³⁾である。 $1\sigma'_{FR}$ は以下の式で表される。

$$1\sigma'_{FR} = \sqrt{\frac{\beta_{FR}}{\alpha_{FR}} \sigma_{FR1}^2 + \sigma_{FR2}^2} \quad (1)$$

ここで、 α_{FR} は風方向であれば式(2)、風直交方向であれば式(3)で、 β_{FR} は式(4)で表される。 $(\sigma_{FR1}$ および σ_{FR2} は図 1 参照)

$$\alpha_{FR} = 3.95 \ln(1f^*) + 13.61 \quad (2)$$

$$\alpha_{FR} = \begin{cases} -9765.4(1f^*)^3 + 4904.5(1f^*)^2 - 556.01f^* + 18.5 & \dots 1f^* < 0.24 \\ -745.0(1f^*)^3 + 1260.4(1f^*)^2 - 709.71f^* + 143.4 & \dots 1f^* \geq 0.24 \end{cases} \quad (3)$$

$$\beta_{FR} = 3.311\zeta_f + 1.04 \quad (4)$$

上記の $1\sigma_{FB}$ および $1\sigma'_{FR}$ は、値が大きいほどその風力による応答も大きくなるといった指標である。

4. 指標の比と応答の比の関係

4.1 モデル式の提案

荷重指針を基準とした $1\sigma_{FB}$ の比 γ_{FB} , $1\sigma'_{FR}$ の比 γ_{FR} , 建物頂部応答 (変位, 速度, 加速度) の標準偏差 σ_D , σ_V , σ_A の比 γ_D , γ_V , γ_A を定義する (評価対象風力の値/荷重指針の値)。以降、添え字の d は風方向, l は風直交方向を表す。図 2 に複数ケースでの風方向における γ_{FBd} と γ_{Dd} の関係、風方向における γ_{FRd} と γ_{Vd} および γ_{Ad} の関係、風直交方向における γ_{FRl} と γ_{Dl} , γ_{Vl} , γ_{Al} の関係を示す。図 2 より、これらすべてにおいて、風力の比 (γ_{FB} もしくは γ_{FR}) と応答の比 (γ_D , γ_V , γ_A) には正の相関があり、線形近似により式(5)

から式(10)を得た。

$$\begin{aligned}\gamma_{Dd} &= 0.17\gamma_{FBd} + 1.41 & (5) \quad \gamma_{Vd} &= 1.12\gamma_{FRd} - 0.22 & (6) \\ \gamma_{Ad} &= 1.30\gamma_{FRd} - 0.41 & (7) \quad \gamma_{DI} &= 1.47\gamma_{FRI} - 0.42 & (8) \\ \gamma_{VI} &= 1.91\gamma_{FRI} - 0.88 & (9) \quad \gamma_{AI} &= 2.10\gamma_{FRI} - 1.07 & (10)\end{aligned}$$

また、図2に示すケース以外でも、プロットはおおむね近似曲線上にあることを確認している。

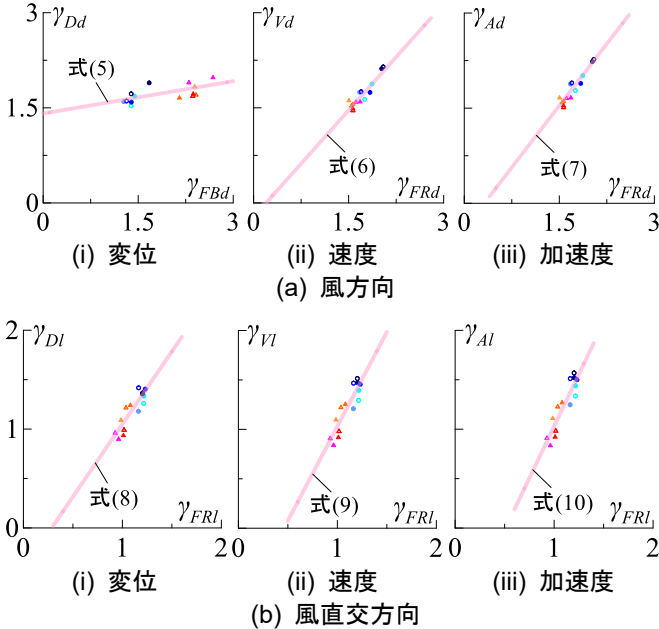


図2 荷重指針を基準とした風力の比と応答の比の関係

5. 簡易応答予測

本章では文献3) (3章) および4章で示した式を用いた応答評価の例を示す。図3に風方向および風直交方向の σ_D 、 σ_V 、 σ_A をそれぞれ示す。応答は風力1を用いた時刻歴応答解析結果および荷重指針による一般化風力のPSDを用いたスペクトル応答解析結果である。代表して、図3(b)の(i)に示す風直交方向変位に着目した風力評価について述べる。まず、風力1の風直交方向における σ_{FR} は86.6であり、荷重指針の風直交方向風力の σ_{FR} は70.4であった。よって、 γ_{FRI} は1.23である。これを式(8)に代入して $\gamma_{DI} = 1.38$ を得る。この γ_{DI} を荷重指針による応答に乘じることによって、評価結果を得ることができる。これらの風力評価により、風力1は荷重指針の1.38倍の風直交方向変位を得るような風力であると評価できる。図3(b)の(i)より、この評価結果は時刻歴応答解析結果とおおむね一致する。また、他の応答でも評価結果と解析結果がおおむね一致するため、風力評価指標の有用性が確認できる。

6. おわりに

本報では、評価指標^{2), 3)}を拡張し、荷重指針から算出できる応答を基準として、荷重指針よりどれほど大きな応答を与える風力かを評価する指標を提案した。風力評価

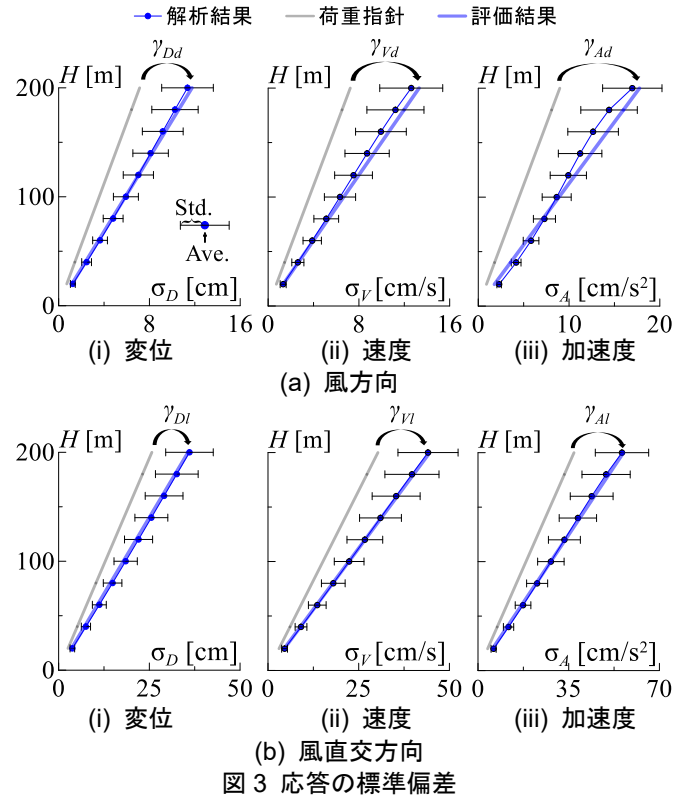


図3 応答の標準偏差

指標の比と応答の比の関係をモデル化し、ある風力が荷重指針の何倍の応答（標準偏差）を得るような風力であるかを評価可能であることを示した。

謝辞

本報告は、株式会社竹中工務店、東京工業大学佐藤研究室との共同研究であり、本研究の一部は、文部科学省「富岳」産業機動的課題の一環としてスーパーコンピュータ「富岳」の計算資源の提供を受けて実施しました。(課題番号: hp210292) ここに記して感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 日本免震構造協会：免震建築物の耐風設計指針，2023
- 2) 沖村将大，佐藤大樹，田中英之，曾根孝行，渡井一樹，畔上泰彦，今野大輔：超高層建物の応答に対する風力の影響評価指標 その1 風力の変動成分の違いが応答に及ぼす影響，日本建築学会関東支部研究報告集，2064，pp.465-468，2024.3
- 3) 沖村将大，佐藤大樹，田中英之，曾根孝行，渡井一樹，畔上泰彦，今野大輔：超高層建物の応答に対する風力の影響評価指標 その2 評価指標の構築方法および検証，日本建築学会関東支部研究報告集，2065，pp.469-472，2024.
- 4) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，2015
- 5) 平塚紘基，佐藤大樹，田中英之：履歴型ダンパーを有する超高層制振建物の弾塑性風応答予測，日本建築学会技術報告集，第27巻，第66号，pp.662-667，2021.6
- 6) 沖村将大，佐藤大樹，田中英之，曾根孝行，渡井一樹，畔上泰彦：風洞実験およびCFDより得られた風力を用いた超高層建物の時刻歴応答解析 その1 気流特性および風力特性の比較，日本建築学会関東支部研究報告集，I，pp.493-496，2023.2
- 7) 吉江慶祐，大熊武司，北村春幸，和田章：広帯域性の変動風力を受ける弾塑性構造物の応答変位振幅の確立分布，日本建築学会構造系論文集，第604号，pp.37-46，2006.6

*1 大成建設株式会社

(元東京工業大学 大学院生)

*2 東京工業大学科学技術創成研究院 准教授・博士(工学)

*3 株式会社竹中工務店

*1 Taisei Corporation

(Former Graduate Student, Tokyo Institute of Technology)

*2 Associate Prof., IIR, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

*3 Takenaka Corporation