

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	風力スペクトルの平滑化と建築物荷重指針・同解説を用いた風応答予測の関係
Title(English)	Effect of wind spectrum smoothing on the accuracy of wind response prediction using the building loading standard
著者(和文)	小林 稜, 佐藤大樹, 田中英之, Alex Shegay
Authors(English)	Ryo Kobayashi, Daiki Sato, Hideyuki Tanaka, Alex Shegay
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 151-152
Citation(English)	, , , pp. 151-152
発行日 / Pub. date	2022, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

風力スペクトルの平滑化と建築物荷重指針・同解説を用いた風応答予測の関係

正会員	○小林稜* ¹	同	佐藤大樹* ²
同	田中英之* ³	同	Alex Shegay* ⁴

超高層建物
風応答解析建築物荷重指針・同解説
パワースペクトル密度

1. はじめに

一般的に風荷重や応答を評価する際には、「建築物荷重指針・同解説」¹⁾(以下、「荷重指針」)が用いられる。

「荷重指針」において、1次応答変位の標準偏差 ${}_1\sigma_q$ を求める際、解析モデルの固有振動数 ${}_1f$ における入力風力のパワースペクトル密度の値 ${}_1S_F({}_1f)$ を用いて算出する。そのため、 ${}_1S_F({}_1f)$ にばらつきがある場合、 ${}_1\sigma_q$ に影響を及ぼすと考えられる。このばらつきを小さくする方法として、複数波によるアンサンブル平均や移動平均などスペクトルを平滑化する方法が用いられる。そのため本報では、風力のパワースペクトル密度の平滑化を行うことによる「荷重指針」の風応答予測と、時刻歴応答解析による風応答予測を比較することで、平滑化が風応答予測に及ぼす影響について検討を行うことを目的とする。

2. 解析モデル概要

2.1 解析モデル

対象建物を図1(a)に示す。建物密度 $\rho = 175 \text{ kg/m}^3$ 、質量は高さに一様であるとし、高さ $H = 200 \text{ m}$ 、辺長比 $D/B = 1$ (D, B : 幅, 奥行き, $D = B = 40 \text{ m}$)の20質点せん断型モデルとする²⁾。フレームの1次固有周期 ${}_1T$ は、 ${}_1T = 3.0 \text{ s}$, ${}_1T = 5.0 \text{ s}$ の2種類とし、建物の1次固有モードは直線モードとした。構造減衰は剛性比例型として、 ${}_1T$ それぞれに対して1次減衰定数 ${}_1\zeta = 1\%, 2\%, 3\%, 4\%, 5\%$ の5種類を用いる。

本報では、1次モードの風応答のみに注目し、1次モーダル質量 ${}_1M$ と1次モーダル風力 ${}_1F$ として与えた時に、1次応答変位 ${}_1q(t)$ を生じる水平1自由度の1質点系モデルで解析・検討を行う(図1(b))。

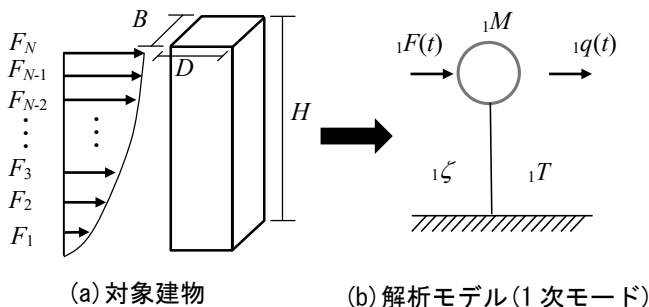


図1 解析モデル化概要

2.2 入力風力

構造物に作用する風力は風洞実験結果²⁾を用いた。実験気流は「荷重指針」の地表面粗度区分Ⅲの気流を目標に作成された。対象建物を想定した実験模型は、高さ 300 mm , $D/B = 1.0$ の角柱模型とし、層風力は高さ方向に9層分測定した。基本風速は $U_0 = 36 \text{ m/s}$ 、風速は再現期間500年相当とし、頂部風速は $U_H = 57.9 \text{ m/s}$ を想定した。検討用風力は、1組につき20質点分の風力波形を 0.05 s 秒刻み14000ステップとした。各風力波形前後に 50 s のエンベロープを設け、中間の 600 s が重ならないように $700 \text{ s} \times 10$ 組取り出した(wave1~10)。検討用風力入力方向は、平均成分を有さない変動成分のみの風直交方向風力とする。

3. 応答の標準偏差とパワースペクトル密度について

3.1 予測式の概要

1次モーダル変位の標準偏差 ${}_1\sigma_q$ の予測値は、非共振成分 σ_{qB} と共振成分 σ_{qR} に二乗和平方根として式(1)(以下、予測式)のように表すことができる³⁾。

$${}_1\sigma_q = \sqrt{\sigma_{qB}^2 + \sigma_{qR}^2} = \frac{{}_1\sigma_F}{{}_1M (2\pi {}_1f)^2} \sqrt{1 + \frac{\pi {}_1f {}_1S_F({}_1f)}{4 {}_1\zeta {}_1\sigma_F^2}} \quad (1)$$

ここで、 ${}_1S_F({}_1f)$: 固有振動数 ${}_1f$ における1次モーダル風力のパワースペクトル密度、 σ_{qB} : 1次モーダル変位の標準偏差の非共振成分、 σ_{qR} : 1次モーダル変位の標準偏差の共振成分、 ${}_1\sigma_F$: 1次モーダル風力の標準偏差である。

3.2 モーダル風力のパワースペクトル密度 ${}_1S_F({}_1f)$

検討を行うアンサンブル数は3波、5波、10波の3種類とする。本報では、固有振動数 ${}_1f (= 1/{}_1T)$ に対して一定の振動数範囲 f_{band} を設定し、移動平均を行い ${}_1S_F({}_1f)$ を算出することを考える。バンド比 $\alpha_{\text{band}} (= f_{\text{band}}/{}_1f)$ は $0\% \sim 20\%$ の範囲とした。図2に ${}_1T = 5 \text{ s}$ における ${}_1S_F(f)$ の全体(i)と、 α_{band} が $0\%, 1.3\%, 10\%, 20\%$ となる範囲(ii), 移動平均後のスペクトルの拡大図(iii)を示す。

図2より、アンサンブル数が多いほど ${}_1S_F(f)$ のばらつきが小さくなり、バンド比が広いほど滑らかになることがわかる。

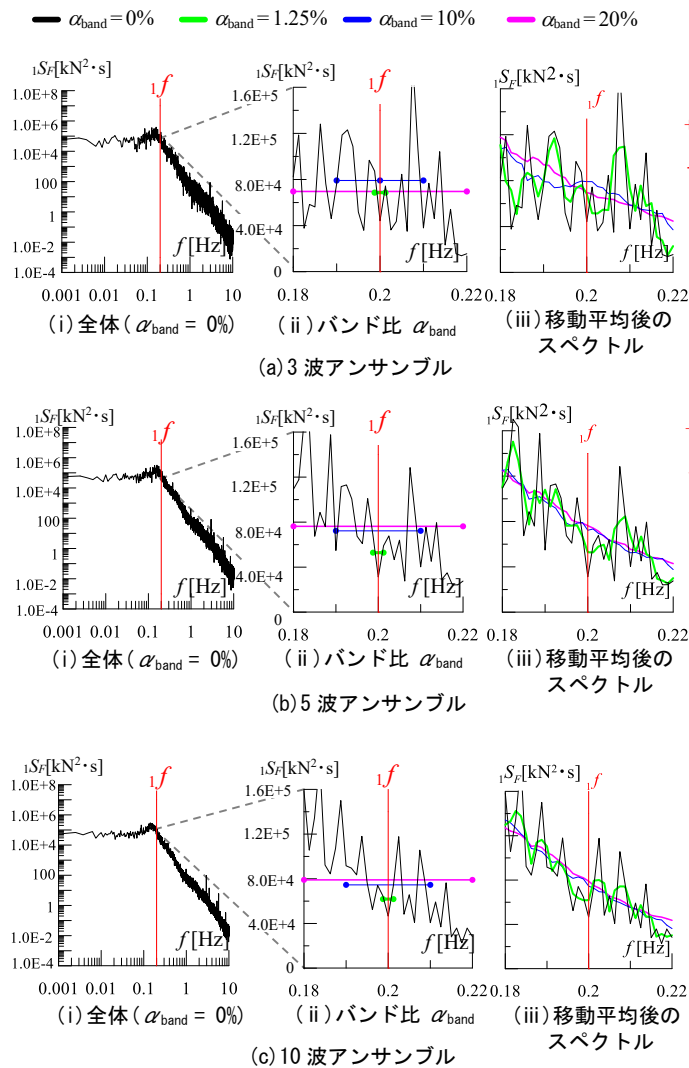


図2 各アンサンブル数における $iS_f(f)$ の変化 ($iT=5$ s)

3.3 有効なバンド幅 $\alpha_{band,V}$ の分析

図3(a), (b)に $iT=3$ s, 5 s における, 時刻歴応答解析 (THA) により求めた応答変位の標準偏差 (10 波のアンサンブル平均) の値に対する予測式 (Pre) によって求めた応答変位の標準偏差の比 Pre/THA をそれぞれ示す。また, 破線は誤差が $\pm 3\%$ となる範囲を示している。

$iT=3$ s において, バンド幅 α_{band} の値が大きくなると Pre/THA の値は一度大きくなるが, 全体としては減少する傾向がある。また, 減衰定数 $i\zeta$ が大きいほど, Pre/THA の値は小さくなる。そして, アンサンブル数が大きくなるほど Pre/THA のばらつきが小さくなるものの, 全体が 1 に収束する様子は見られなかった。

$iT=5$ s の場合, α_{band} の値が大きくなるほど Pre/THA の値が全体として増加の傾向があることがわかる。また, 減衰定数 $i\zeta$ が大きいほど, Pre/THA の値は小さくなる。そして, アンサンブル数が多くなるほど Pre/THA の値のばらつき, 増加に近い形となる。ことがわかった。

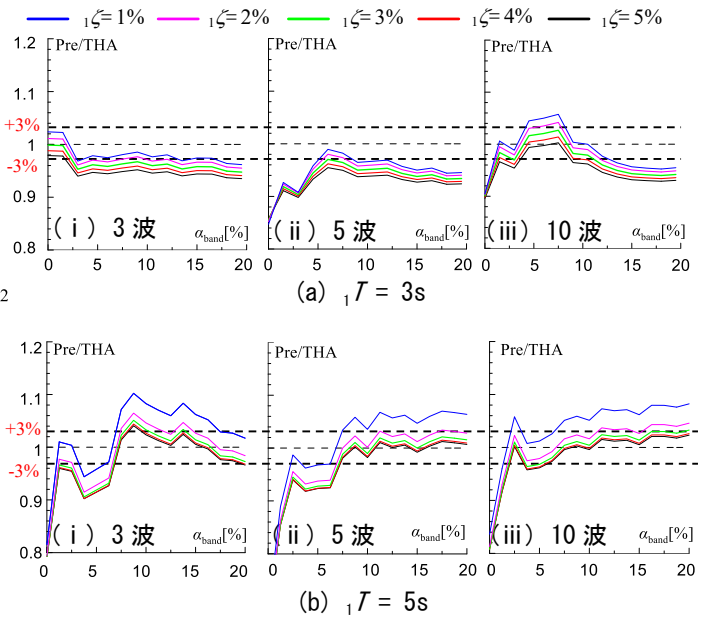


図3 α_{band} と Pre/THA の関係

本報では Pre/THA の値が初めて $\pm 3\%$ 以内となるような α_{band} を有効なバンド幅 $\alpha_{band,V}$ と定義する。 $iT=3$ s においては, アンサンブル数が 3, 10 の場合は全ての減衰定数で破線内に収まる値があることから $\alpha_{band,V}$ が定まるといえるが, アンサンブル数が 5 の場合は, 減衰定数によって $\alpha_{band,V}$ が定まらない場合がみられる。 $iT=5$ s においては, 全てのアンサンブル数と減衰定数において $\alpha_{band,V}$ を定めることが出来る。このように, アンサンブル数と $\alpha_{band,V}$ の間に一定の傾向は見られなかった。

4. まとめ

本報では, 風力のパワースペクトル密度の平滑化を行うことによる「荷重指針」の風応答予測に及ぼす影響を検討することを目的として, 時刻歴応答解析による風応答予測と比較し, パラメータごとに有効なバンド幅の検討を行った。

謝辞

本研究は, 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 JST 産学競争プラットフォーム共同研究推進プログラム (JPMJOP1723) によるものです。ここに記して感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, 2015
- 2) 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
- 3) 日本建築学会: 建築物荷重指針を活かす設計資料 2-建築物の風応答・風荷重評価/CFD 適用ガイド, 2017.2
- 4) 大熊武司, 神田順, 田村幸雄: 建築物の耐風設計, 鹿島出版会, 2004.6

*1 東京工業大学環境・社会理工学院 大学院生

*2 東京工業大学未来産業技術研究所 准教授・博士 (工学)

*3 株式会社竹中工務店 技術研究所 主任研究員・博士 (工学)

*4 東京工業大学未来産業技術研究所 助教・Ph.D.

Graduate Student, School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology

Associate Prof., FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

Senior Chief Researcher, Research & Development Institute, Takenaka Corporation, Dr. Eng.

Assistant Prof., FIRST, Tokyo Institute of Technology, Ph.D.