T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	応答と制御力を考慮した超高層アクティブ免震のためのガストファクター方法 （その 3：予測方法の修正）
Title(English)	Gust factor approach for high-rise active base-isolated buildings considering response and control force Part 3: Revision of estimation equation
著者(和文)	陳 引力, 佐藤大樹, 宮本 皓, 佘 錦華
Authors(English)	Yinli Chen, Daiki Sato, Kou Miyamoto, Jinhua She
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 97-98
Citation(English)	, , , pp. 97-98
発行日 / Pub. date	2023, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

日本建築学会大会学術講演梗概集
（近畿） 2023 年 9 月

応答と制御力を考慮した超高層アクティブ免震のためのガストファクター方法
（その 3：予測方法の修正）

アクティブ制御　免震構造　LQR
ガストファクター　最大制御力

正会員　○陳　引力[*1]　同 佐藤大樹[*2]
同　宮本　皓[*3]　同 佘　錦華[*4]

1. はじめに

本報その 1 とその 2 ではアクティブ免震を対象とした，数値シミュレーションを行わずに最大応答と最大制御力を予測するためのガストファクターを提案した [1)-3)]。また，6 ケースの LQR 重みマトリックスを用いて精度検証を行い，提案したガストファクターの適応範囲を明確にした。数値例により，一部のケースにおいて，制御力の予測誤差が大きいことが確認され，その原因を明確にした。

その 3 では前報で提案した制御力のガストファクターを修正し，全ての LQR 重みマトリックスのケースにおいて，最大制御力を正確に予測できる方法の提案を目的とする。

2. 従来の予測式と適応範囲

式その 1 で示された制御力のガストファクター（その 1，式(12)）は以下の予測式を用いる。

$$G_u = \sqrt{G_D^2 + G_V^2} \tag{1.}$$

ここに，G_Dは変位のガストファクターで，本研究は荷重指針の予測式を用いる [4)]。G_Vは次式で定義される。

$$G_V = (G_D - 1)\omega_{\mathrm{m1}} \frac{\mathbf{K_{PV}}\bar{\mathbf{X}}}{\mathbf{K_{PD}}\bar{\mathbf{X}}} \tag{2.}$$

ここに，ω_{m1}は制御系の 1 次固有角周波数で，$\mathbf{K_{PD}}$と$\mathbf{K_{PV}}$はそれぞれ変位フィードバックゲインと速度フィードバックゲインである。$\bar{\mathbf{X}}$は平均変位ベクトルである。

重みの設定により，式(1)が適応できない場合があることは本報その 1 で確認した。この原因については，以下のように考えられる。式(2)の分母と分子はフィードバックゲインと平均変位ベクトルの内積からであり，その値は平均応答変位の空間角度に影響される。

$$\mathbf{K_{PD}}\bar{\mathbf{X}} = \|\mathbf{K_{PD}}\| \cdot \|\bar{\mathbf{X}}\| \cos\theta_D \tag{3.}$$

$$\mathbf{K_{PV}}\bar{\mathbf{X}} = \|\mathbf{K_{PV}}\| \cdot \|\bar{\mathbf{X}}\| \cos\theta_V \tag{4.}$$

ここに，θ_Dは平均変位ベクトル$\bar{\mathbf{X}}$と$\mathbf{K_{PD}}$との角度であり，θ_Vは$\bar{\mathbf{X}}$と$\mathbf{K_{PV}}$との角度である。

しかし，アクティブ制御の平均制御力により，平均応答変位が抑えられる。

$$\bar{\mathbf{X}} = \bar{\mathbf{X}}_{\mathrm{initial}} - \tilde{\bar{x}}_0 \tag{5.}$$

ここに，$\bar{\mathbf{X}}_{\mathrm{initial}}$は制御なしの時の平均変位ベクトルであり，$\tilde{\bar{x}}_0$は平均制御力により抑えられた免震層の平均変位である。

Fig. 1 に平均応答変位ベクトルと制御なしの場合の 1 次モードの間の角度θ_0を示す。Fig. 1 より，$\tilde{\bar{x}}_0$が大きくなるとθ_Dが大きくなる。特に，免震層の平均応答が負のあたいになる場合はθ_0の値急激に増加し，式(1)の適応範囲外となる。

3. 予測式の修正

免震構造の場合は一般的に 1 次モードが支配的であるため，本報では，平均変位を下記のように仮定する。

$$\bar{\mathbf{X}} = \bar{x}_0 \mathbf{\Phi}_{\mathrm{m1}} \tag{6.}$$

ここに，$\bar{x}_0$は免震層の平均変位であり，$\mathbf{\Phi}_{\mathrm{m1}}$は 1 次モードベクトルである。

式(4)を式(2)に代入すると，次式が得られる。

$$G_V = (G_D - 1)\omega_{\mathrm{m1}} \frac{\mathbf{K_{PV}}\mathbf{\Phi}_{\mathrm{m1}}}{\mathbf{K_{PD}}\mathbf{\Phi}_{\mathrm{m1}}} \tag{7.}$$

本法では，式(5)の値を用いて，制御力のガストファクターを修正する。式(2)と比較し，式(5)は平均応答変位を用いないため，平均応答変位ベクトルの空間角変化に起因する予測精度の低下の問題の解決に期待できる。

3. 修正式の精度検証

本報では，その 1 で示したモデルと風方向風力を用いて，制御力のガストファクターの修正式の精度検証を行う。

Fig. 2 にその 1 で示された重みマトリックスの 6 ケースにおいての数値シミュレーションの結果を示す。Fig. 2 により，以下のことがわかった。

- Case 2 を除き，全ての Case において本報で修正した制御力のガストファクターが数値シミュレーションの結果と精度良く一致する。Case 2 において，予測値の精度が悪い原因としては，制御系が不安定になることが考えられる（Fig. 3）。
- 速度に重みをつける場合（Cases 5 and 6），制御力のガ

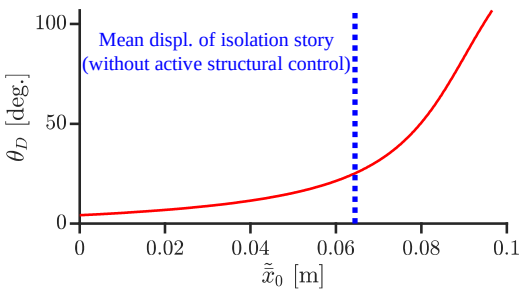


Figure 1: Dependency of angle between mean-displacement vector and 1st mode on active suppressed mean displacement of isolation story

Gust factor approach for high-rise active base-isolated buildings considering response and control force
Part 3: Revision of estimation equation

CHEN Yinli
SATO Daiki
MIYAMOTO Kou
SHE Jinhua

ストファクターの予測値も β = 15 付近に極値がある。その原因は 1 速度に重みをつけることにより，β = 15 付近で 1 次固有周期は極値となることが考えられる。

Fig. 3 に最上層のみに重みを設置した Case 2 において，β = 24 の時の各層の最大応答を示す。Fig. 3 により，上記のケースにおいて，制御系の応答は発散することがわかった。

5. まとめ

本報その 3 では，その 1 で提案された制御力のガストファクターを修正した。修正したガストファクターは従来のものと比較し，広い適応範囲で精度よく最大制御力を予測することを確認した。

また，数値例により，制御装置を免震層のみに設置し，上部構造のみに重みをつける場合，制御系は不安定になる可能性があることをわかった。

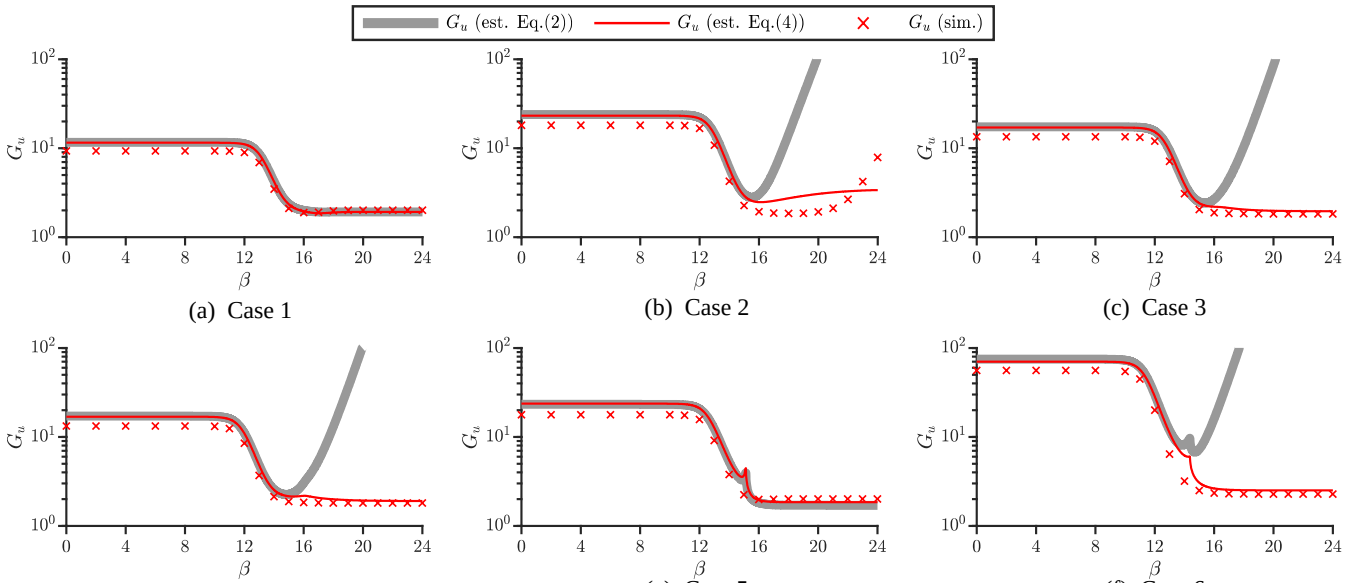
参考文献

1) 佐藤大樹，陳引力，宮本皓，佘錦華：応答と制御力を考慮した超高層アクティブ免震のためのガストファクター方法（その 1：予測方法と数値例），2022 年度日本建築学会大会，2022.9

2) 佐藤大樹，陳引力，宮本皓，佘錦華：応答と制御力を考慮した超高層アクティブ免震のためのガストファクター方法（その 2：予測方法の適応範囲と LQR 重みマトリックスの設定の提案），2022 年度日本建築学会大会，2022.9

3) Yinli Chen, Daiki Sato, Kou Miyamoto, and Jinhua She: Estimating the maximum response and maximum control force for high-rise base-isolated buildings with active structural control in along-wind direction, Engineering Structures, vol. 216, pp. 110712, 2020.9

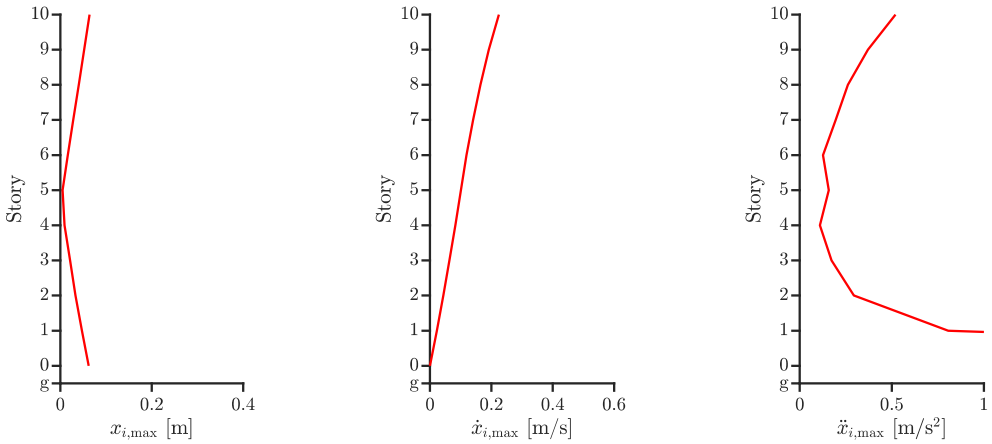
4) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，2015.2



(a) Case 1 (b) Case 2 (c) Case 3

(d) Case 4 (e) Case 5 (f) Case 6

Figure 2: Gust factor for control force: conventional vs. revised



(a) Displacement (b) Velocity (c) Acceleration

Figure 3: Maximum responses of each story of case 2 (β = 24)

*1 東京理科大学　工学部建築学科　博士
*2 東京工業大学　未来産業技術研究所　博士（工学）
*3 清水建設　技術研究所　博士（工学）
*4 東京工科大学　工学部機械工学科　博士（工学）

*1 Tokyo Univ. of Science, Faculty of Eng., Dept. of Arch., Ph.D.
*2 Tokyo Institute of Tech., FIRST, Dr. Eng.
*3 Tokyo Institute of Tech. FIRST Dr. Eng.
*4 Tokyo University of Tech. Dept. of Mech. Eng. Dr. Eng.