

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	高摩擦弾性すべり支承を有する超高層免震建物のクリープ性を考慮した風応答予測 その3：時刻歴風応答解析を用いない風応答予測手法
Title(English)	Wind-response prediction of high-rise base-isolated buildings with high-friction sliding bearing incorporating creep property Part3. Simple estimation method without time history analysis
著者(和文)	二村夏樹, 佐藤大樹, 稲井慎介, 丸尾純也
Authors(English)	Natsuki Futamura, Daiki Sato, Shinsuke Inai, Junya Maruo
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 655-656
Citation(English)	, , , pp. 655-656
発行日 / Pub. date	2021, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

高摩擦弾性すべり支承を有する超高層免震建物のクリープ性を考慮した風応答予測

その3：時刻歴風応答解析を用いない風応答予測手法

正会員 ○二村夏樹*¹ 同 佐藤大樹*¹
同 稲井慎介*² 同 丸尾純也*²

超高層免震建物 時刻歴風応答解析 クリープ性

1. はじめに

その1で天然ゴム系積層ゴム支承(NRB)、高摩擦弾性すべり支承(ESB)、オイルダンパー(OD)を有する超高層免震建物の時刻歴風応答解析を行い、その2でクリープ性を考慮した簡易風応答評価法²⁾の適用結果を示した。その3では風方向(クリープ性を考慮)、風直交方向について時刻歴応答解析を用いない風応答予測手法を提案し、その精度を時刻歴解析と比較することにより検証する。

2. 免震層最大変位の予測手法

本章では、風方向ではクリープ性を考慮した簡易風応答評価法に従い、平均、変動成分のそれぞれについて予測を行う。また、風洞実験値を用いない荷重指針を準用した手法(2.1節)と、風洞実験より得られる風外力を用いるスペクトルモーダル法による手法(2.2節)を示す。

2.1 荷重指針⁷⁾を準用した予測手法(AIJ)

2.1.1 (風方向) 免震層の平均変位の予測

免震層の平均荷重 $Q_{0,m}^{AIJ}$ を式(1)より算出する⁷⁾。

$$Q_{0,m}^{AIJ} = \sum_{i=0}^{10} W_{Di,m} \quad (1.1)$$

$$W_{Di,m} = q_H C_{Di} A_i \quad (1.2)$$

ここで、 q_H ：速度圧、 C_{Di} ： i 層目の風力係数、 A_i ： i 層目の地表面からの高さ Z_i (m)における見付面積を表す。ESBが平均成分に無抵抗であるという簡易風応答評価法の仮定により、免震層の平均変位 $\delta_{0,m}$ はNRBの剛性 K_{NRB} を用いて式(2)より求められる。

$$\delta_{0,m} = Q_{0,m}^{AIJ} / K_{NRB} \quad (2)$$

2.1.2 風方向変動成分および風直交方向の免震層最大変位の予測

<手順1>免震層の最大変位 $\delta_{0,max}$ の決定

<手順2>免震層の等価剛性 $k_{0eq}(\delta_{0,max})$ の決定

免震層の1次剛性 k_{01} 、2次剛性 k_{02} 、すべり出し荷重 Q_{0y} 、免震層の等価剛性 $k_{0eq}(\delta_{0,max})$ を式(3)~(6)より算出する。

$$k_{01} = K_{NRB} + K_{ESB} \quad k_{02} = K_{NRB} \quad Q_{0y} = k_{01} \delta_{0y} \quad (3), (4), (5)$$

$$k_{0eq}(\delta_{0,max}) = \begin{cases} k_{01} & (\delta_{0,max} \leq \delta_{0y}) \\ \{Q_{0y} + k_{02}(\delta_{0,max} - \delta_{0y})\} / \delta_{0,max} & (\delta_{0,max} > \delta_{0y}) \end{cases} \quad (6)$$

ここで、 K_{ESB} ：ESBの1次剛性、 δ_{0y} ：免震層のすべり出し変位を表す。

<手順3>等価固有振動数 $f_{eq}(\delta_{0,max})$ および等価固有モード $\{1\phi_{eq}\}(\delta_{0,max})$ の決定

$k_{0eq}(\delta_{0,max})$ を用いて、1次の等価固有円振動数 $1\omega_{eq}(\delta_{0,max})$ 、等価固有モード $\{1\phi_{eq}\}(\delta_{0,max})$ を式(7)より算出する。

$$([K_{eq}] - 1\omega_{eq}^2[M]) \{1\phi_{eq}\} = 0 \quad (7)$$

ここで、 $[K_{eq}]$ 、 $[M]$ ： $\delta_{0,max}$ における全体等価剛性マトリクス、全体質量マトリクスを表す。また、式(8)より1次等価固有振動数 $f_{eq}(\delta_{0,max})$ を算出する。

$$f_{eq}(\delta_{0,max}) = 1\omega_{eq} / 2\pi \quad (8)$$

<手順4>等価減衰定数 $1h_{eq}(\delta_{0,max})$ の決定

$\delta_{0,max}$ における免震建物全体の1次等価減衰定数 $1h_{eq}(\delta_{0,max})$ を式(9)より算出する。

$$1h_{eq}(\delta_{0,max}) = \sum_{i=0}^{10} h_i W_i / \sum_{i=0}^{10} W_i \quad (9)$$

ここで、 h_i ： i 層目の減衰定数を表し、式(10)より得られる。

$$h_i = \Delta W_i / (4\pi W_i) \quad (10)$$

ここで、 W_i ：弾性ひずみエネルギー、 ΔW_i ： i 層目のサイクルエネルギーを表し、式(11)、(12)より得られる。

$$W_i = \begin{cases} (1/2) \cdot {}_u k_i \delta_i^2 & (1 \leq i \leq 10) \\ (1/2) \cdot k_{0eq} \delta_{0,max}^2 & (i = 0) \end{cases} \quad (11)$$

$$\Delta W_i = 2\pi h_i k_i \delta_i^2 \quad (1 \leq i \leq 10) \quad (12.1)$$

$$\Delta W_0 = \begin{cases} \pi C_{11} \omega_{eq} \delta_{0,max}^2 & (\delta_{0,max} \leq \delta_{0y}) \\ \pi C_{11} \omega_{eq} \delta_{0,max}^2 + 4Q_{ESB0}(\delta_{0,max} - \delta_{0y}) & (\delta_{0,max} \geq \delta_{0y}) \end{cases} \quad (12.2)$$

ここで、 h ：上部構造の減衰定数、 C_1 ：ODの1次減衰係数、 Q_{ESB0} ：ESBのすべり出し荷重を表す。 δ は i 層目の層間変位であり、式(13)で表される。

$$\delta_i = \{({}_1\phi_{eqi} - {}_1\phi_{eqi-1}) / {}_1\phi_{eq0}\} \delta_{0,max} \quad (1 \leq i \leq 10) \quad (13)$$

<手順5>免震層の等価層せん断力 $Q_0(\delta_{0,max})$ の算出

風方向変動成分の免震層の等価層せん断力 $Q'_{D0}(\delta_{0,max})$ を式(14)より算出する⁷⁾。

$$Q'_{D0}(\delta_{0,max}) = \sum_{i=0}^{10} W'_{Di} \quad (14.1)$$

$$W'_{Di} = q_H C_{Di} G'_D A_i \quad (14.2)$$

$$G'_D = G_D - 1 \quad (14.3)$$

ここで、 W'_{Di} ： i 層目の風方向変動成分荷重、 G_D ：構造骨組用風方向ガスト影響係数を表す。また、風直交方向の免震層の等価層せん断力 $Q_{L0}(\delta_{0,max})$ を式(15)より算出する⁷⁾。

$$Q_{L0}(\delta_{0,max}) = \sum_{i=0}^{10} W_{Li} \quad (15.1)$$

$$W_{Li} = 3q_H C'_{Li} A_i (Z_i / H) g_L \sqrt{1 + \phi_L^2 R_L} \quad (15.2)$$

ここで、 W_{Li} : i 層目の地表面からの高さ $Z(m)$ における風方向直交荷重、 C'_L : 風直交方向変動転倒モーメント係数、 H : 基準高さ、 g_L : 風直交方向振動のピークファクター、 ϕ_L : 振動モード補正係数、 R_L : 振動の共振係数を表す。

<手順 6>免震層変位の予測値の算出

層せん断力 $Q_0(\delta_{0,max})$ と免震層変位 $\delta_{0,max}$ との関係のプロットし、免震層の復元力特性と交わる点を風方向変動成分および風直交方向の予測値として算出する。また、風方向変動成分の予測値を免震層の最大変動変位 δ'_0 として式(16)より簡易風応答評価の予測値 δ^*_0 を算出する。

$$\delta^*_0 = \delta_{0,m} + \delta'_0 \quad (16)$$

2.2 スペクトルモーダル法を用いた予測手法 (SMA)

2.2.1 (風方向) 免震層の平均変位の予測

免震層の平均荷重 $Q^{SMA}_{0,m}$ を、時刻歴解析に用いた風外力の i 層目の平均風外力 $F_{i,m}$ を用いて式(17)より算出する。

$$Q^{SMA}_{0,m} = \sum_{i=1}^{10} F_{i,m} \quad (17)$$

また、免震層の平均変位 $\delta_{0,m}$ を式(2)と同様に求める。

2.2.2 風方向変動成分および風直交方向の免震層最大変位の予測

手順 1~4, 6 は 2.1.2 節と同様に算出する。

<手順 5>免震層の等価層せん断力 $Q_0(\delta_{0,max})$ の算出

1 次モーダル風力 ${}_1F(t)$ を、風方向変動風外力または風直交方向風外力の時刻歴 ${}_1F'_i(t)$ を用いて式(18)より算出する。

$${}_1F(t) = \sum_{i=0}^{10} {}_1\phi_{eqi} \cdot F'_i(t) \quad (18)$$

1 次モーダル変位のパワースペクトル密度 ${}_1S_q(f)$ を、 ${}_1F(t)$ のパワースペクトル密度 ${}_1S_F(f)$ 、力学的アドミッタンス ${}_1H(f)$ を用いて式(19)より算出する。

$${}_1S_q(f) = |{}_1H(f)|^2 \cdot {}_1S_F(f) \quad (19.1)$$

$${}_1H(f) = \frac{1}{1 - (f/f_{eq})^2 + 2i_1 h_{eq} (f/f_{eq})} \cdot \frac{1}{{}_1K_{eq}} \quad (19.2)$$

ここで ${}_1K_{eq}$: 1 次モーダル剛性であり式(20)より算出する。

$${}_1K_{eq} = \{ {}_1\phi_{eq} \}^T [K_{eq}] \{ {}_1\phi_{eq} \} \quad (20)$$

AIJ では ${}_1f_{eq}$ における変動転倒モーメントのパワースペクトル密度より、1 次モーダル変位の標準偏差 ${}_1\sigma_q$ を近似的に算出しているが、SMA では全振動数にわたって ${}_1S_q(f)$ の積分を行い、式(21)より算出する。

$${}_1\sigma_q = \sqrt{\int_0^\infty {}_1S_q(f) df} \quad (21)$$

免震層の等価層せん断力 $Q_0(\delta_{0,max})$ を式(22)より算出する。

$$Q_0(\delta_{0,max}) = k_{0eq} g {}_1\sigma_q {}_1\phi_{eq0} \quad (22)$$

ここで、 g : ピークファクターであり、ここでは荷重指針を準用し、式(23)より算出する g 。

$$g = \sqrt{2 \ln(600 f_{eq}) + 1.2} \quad (23)$$

3. 免震層最大変位の予測結果および予測精度の検証

図 1 に予測結果 (例として S1D0/D1) と時刻歴解析結果 (THA) を示す。また、図 2 に全モデルの予測精度を示す。

AIJ と SMA の予測結果はほぼ同じとなった。図 1(a)より、AIJ より算出した平均成分は THA と概ね一致している。また図 2 より予測精度は概ね誤差 20 %以内となっている。

4. おわりに

本報その 3 では、時刻歴風応答解析を用いない風応答予測手法を提案し、予測精度は概ね誤差 20 %以内であることを確認した。

謝辞, 参考文献 その 2 にまとめて示す。

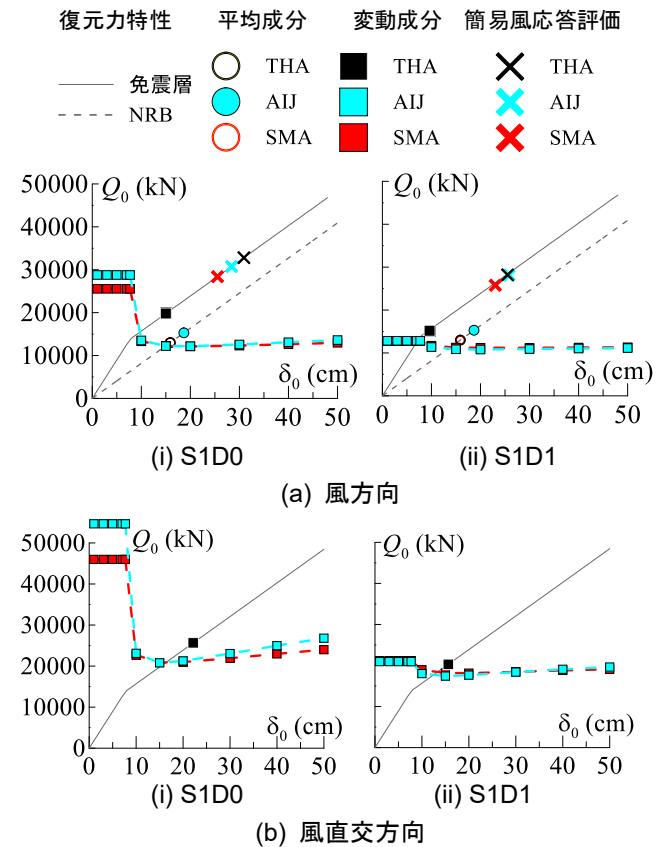


図 1 免震層最大変位の予測結果

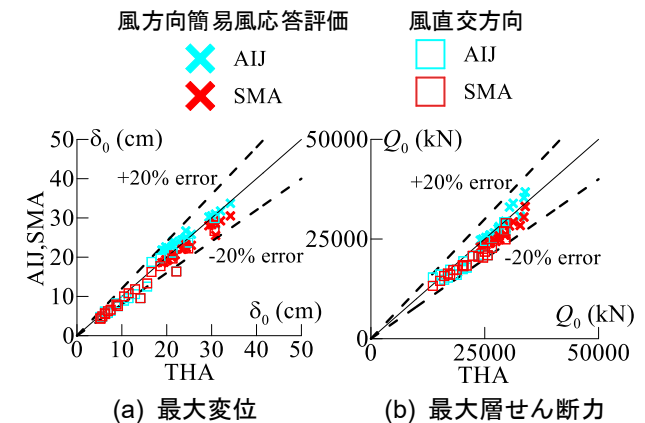


図 2 免震層最大応答の予測精度

*1 東京工業大学

*2 戸田建設株式会社

*1 Tokyo Institute of Technology

*2 TODA Corporation