

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	高摩擦弾性すべり支承の速度依存性が高層免震建物の風応答に及ぼす影響
Title(English)	Effect of velocity dependence of high friction elastic sliding bearings on wind response of high-rise seismic isolated buildings
著者(和文)	牧平康也, 佐藤大樹, Alex Shegay, 三須基規, 稲井慎介, 石田琢志, 丸尾純也
Authors(English)	Koya Makihira, Daiki Sato, Alex Shegay, Motoki Misu, Shinsuke Inai, Takushi Ishida, Junya Maruo
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , , pp. 711-712
Citation(English)	, , , pp. 711-712
発行日 / Pub. date	2022, 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の速度依存性が高層免震建物の風応答に及ぼす影響

正会員	○牧平康也* ¹	同	佐藤大樹* ¹
同	Shegay Alex* ¹	同	三須基規* ²
同	稲井慎介* ³	同	石田琢志* ³
同	丸尾純也* ³		

高層免震建物 高摩擦弾性すべり支承 速度依存性

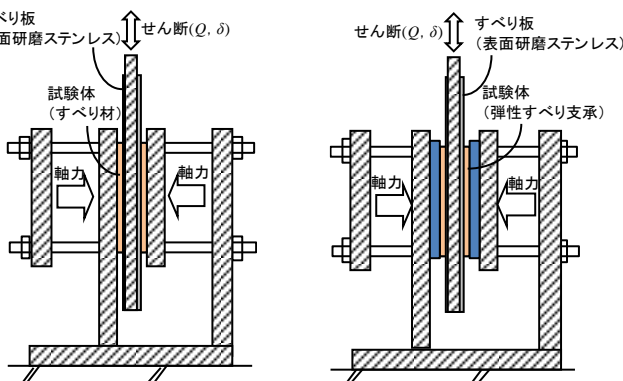
1. はじめに

近年、免震建物の高層化が進んでおり、風外力に対する応答解析の重要性が高まっている。その中で、免震構造部材である高摩擦弾性すべり支承（以下、弾性すべり支承）は、先行研究¹⁾²⁾によりその摩擦係数に速度依存性をもつことがわかっている。風力を受ける際の応答速度は、地震応答と比較して非常に低いため、この速度依存性による影響を検討することが重要である。しかし、従来の解析モデルはこの速度依存性を考慮していない。

そこで本報では、弾性すべり支承の速度依存性を考慮した解析モデルを構築し、それに対して時刻歴風応答解析を行うことにより、速度依存性による影響を検討する。なお、本報では特に速度依存性の影響が大きいと推察される風方向風力を対象に時刻歴風応答解析を行う。

2. 加振実験の概要

すべり材および弾性すべり支承に対して加振実験を行った。図1にすべり材実験および弾性すべり支承の実験セットアップを示す。すべり材実験では速度の条件を変えた三角波および正弦波を、弾性すべり支承実験では面圧、振幅、速度の条件を変えた三角波および正弦波を変位制御で加振した。すべり材には外径90mm、厚さ4mmの充填剤入りPTFEを、すべり板には表面研磨ステンレスを用いた。天然ゴムは外径100mm、厚さ0.8mm、層数5枚、総厚4mmとした。さらに、すべり板の温度を測るために、すべり板の裏側の中心に熱電対を取り付けた。



(a) すべり材実験 (b) 弾性すべり支承実験
図1 実験セットアップ

3. 解析用モデルの構築

図2に実験の摩擦係数-速度関係を示す。この図から、すべり材の摩擦係数は速度のべき乗に比例すること、速度が0に近づいても摩擦係数が0とはならないことが確認できる。よって本報では、すべり材を剛塑性ばねと非線形ダッシュポットの並列結合によってモデル化が出来ることと仮定する。このモデル（以下、非線形3要素モデル）の摩擦係数式を次式により決定した。

$$\mu = \mu_0 + \text{sgn}(v) * \eta |v|^\alpha \quad (1)$$

なお、 μ_0 ：剛塑性ばねの降伏荷重 Q_{k0} を実験での軸力 N で除した値、 η ：NLDPの係数 C_k を軸力 N で除した値、 α ：NLDPの係数である。これらの値を、実験結果から算定した。算定については、 μ_0 を最初に決定した上で、 η と α を差の最小二乗近似によって求めた。実験データは、速度が0.01cm/sから20cm/sまでの結果を用いた。非線形3要素モデルの模式図を図3に示す。

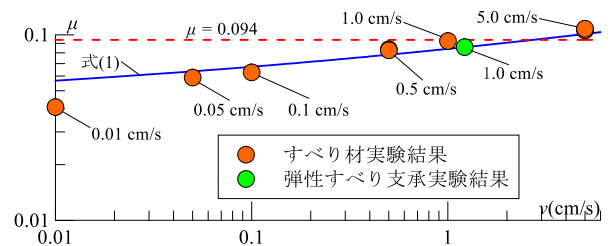


図2 実験結果とモデル式

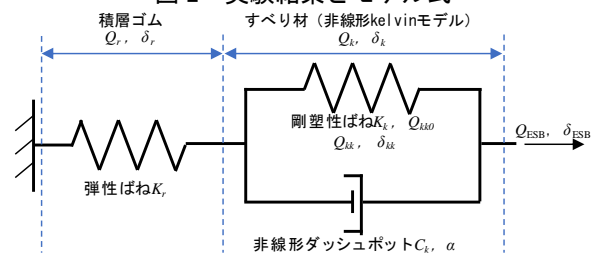
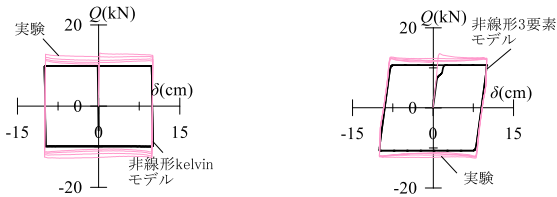


図3 非線形3要素モデルの模式図

一方、従来のモデル（以下、弾塑性モデル）ではすべり材部分を剛塑性ばねのみで模擬している。このすべり出し荷重となるとき摩擦係数の値は、耐震設計用の摩擦係数の値から0.094と定めた³⁾。

ここで、非線形3要素モデルのすべり材部分（以下、非線形 Kelvin モデル）および非線形3要素モデルが正確に部材を模擬出来ていることを確認するために、実験と同じ

条件の三角波の強制変位解析を0.01~40cm/sの速度範囲で行った。例として、0.5cm/sおよび1.0cm/sケースの実験と解析結果の比較を図4に示す。この図より、実験結果と解析結果が概ね一致していることが確認できる。



(a) すべり材(速度0.5cm/s) (b) 弾性すべり支承(速度1.0cm/s)
図4 実験結果と強制変位解析結果

4. 時刻歴風応答解析の概要

速度依存性の影響を確認するために、免震建物の解析モデルに対して時刻歴解析を行った。解析モデルには、上部構造10質点、免震層1質点の11質点等価せん断モデルを用いた。高さ $H = 150$ m、辺長比 $D/B = 1$ (D, B : 幅, 奥行き, $D = B = 50$ m) とする。なおこれは文献⁴⁾と同モデルである。免震層には積層ゴム、弾性すべり支承、オイルダンパーの3つの部材を入れ、弾性すべり支承に弾塑性モデルと、非線形3要素モデルを用いた2種類の解析モデルを用意した。また、免震部材の設定による差を確認するために、弾性すべり支承のみ増やした解析ケースと、オイルダンパーのみ増やした解析ケースも用意した。ここで、建物重量に対する弾性すべり支承のせん断力の割合 α_S を $n\%$ 、オイルダンパーのせん断力の割合 α_D を $m\%$ としたとき、その建物モデルを S_nD_m と呼称する。本報では S1D1, S4D1, S1D4 の3つに2種類の弾性すべり支承のモデル化を合わせた、計6つのモデルに解析を行った。

解析に用いた風力は文献⁴⁾に示す風力を、基準風速 $U_0 = 36$ m/s での再現期間500年風外力(設計風速 $U_H = 54.7$ m/s)へと変換したものである。解析には分割した9つの波を用い、それらのアンサンブル平均により応答値を評価した。

5. 時刻歴風応答解析の結果

免震層変位 δ の時刻歴波形の一例を図5に、各層最大変位 x_{max} のアンサンブル平均を図6に示す。まずは速度依存性の影響として、S1D1 に対する解析結果を確認する。図5, 図6(a)より、応答変位は非線形3要素モデルの方が大きいことが確認できる。ただし、免震層最大変位のアンサンブル平均は弾塑性モデルに対して非線形3要素モデルが1.06倍程度という微差であった。

次に、部材設定の違いの影響として S4D1 および S1D4 に対する結果を確認する。図5, 図6(b)から、S1D1 に対し弾性すべり支承が増えるほど弾性すべり支承モデルによる応答変位の差が小さくなることが確認できる。参考ま

で、免震層最大変位の2種のモデルでの差は、S1D1 は1.04 cm, S4D1 は0.475 cm である。ここで、2種の弾性すべり支承モデルの応答変位に差が生じるのは、すべり出し荷重の値が変化することが原因である。つまり、弾性範囲内では差は生じない。弾性すべり支承が増えたとすべり出し荷重も大きくなるため、すべり出し変位に到達せず、差が小さくなると考えられる。

また、図5, 図6(c)からオイルダンパーが増えるほど弾性すべり支承モデルによる応答変位の差が大きくなることを確認できる。免震層最大変位の2種類のモデルでの差は、S1D1 は1.04 cm, S1D4 は1.49 cm である。これは、オイルダンパーが増えるとその分応答速度が減少し、速度依存性による影響をより強く受けるからと考えられる。

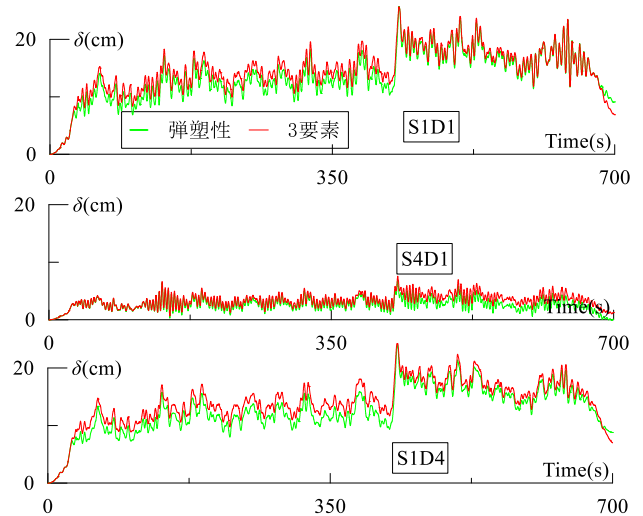


図5 免震層変位の時刻歴波形の一例

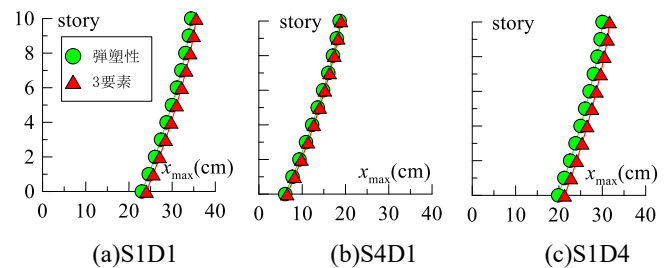


図6 各層最大変位のアンサンブル平均

6. まとめ

本報では弾性すべり支承の速度依存性を考慮した解析モデルで時刻歴解析を行い、その結果風力を受けた時の摩擦係数の変化による影響が微差であることを確認した。

参考文献

- 1) 高橋良和ほか：各種依存性を考慮したすべり型免震支承の数値モデルに関する一考察，土木学会，応用力学論文集，第8号，2005.8
- 2) 日本建築学会：免震構造設計指針，2013
- 3) 弾性すべり支承カタログ，
(<https://www.swcc.co.jp/cs/products/catalog/pdf/esb.pdf>)，(参照2021.12)
- 4) 二村夏樹ほか：高摩擦弾性すべり支承を有する超高層免震建物の時刻歴風応答解析 その1，日本建築学会関東支部研究報告集，pp.305-308，2021.3

*1 東京工業大学

*2 昭和電線ケーブルシステム株式会社

*3 戸田建設株式会社

*1 Tokyo Institute of Technology

*2 SWCC SHOWA CABLE SYSTEMS

*3 TODA Corporation