

可動支点と分離された梁・床を有する高層ビルディングの固有周期

崇城大学工学部エコデザイン学科 正会員 片山拓朗

1. はじめに

筆者らは、固有周期が軒高に概ね比例する従来型ビルディングに比べて固有周期が約2倍となり、減衰装置の装着により容易に高い減衰性能を持たせることが可能な中・高層ビルディングの新しい架構法を提案している¹⁾。提案架構法は、下部構造に固定された固定側副構造と下部構造上の可動支点で支持された可動側副構造およびこれらの二つの副構造の上部を結合する連結副構造で構成され、上記の三つの副構造が一体となって振動する骨組構造である。ここでは、可動側副構造の両脇に一对の固定側副構造を配置する提案架構法について、水平固有周期と質量比（可動側副構造の総質量と構造全体の総質量の比）の関係および可動側副構造と固定側副構造の間に設置する粘性減衰装置による付加減衰を、集中質量、せん断ばねおよびダッシュポットを用いた振動モデルの固有値解析により検討する。

2. 振動モデル

(1) 提案架構法と振動モデル

図-1 に提案架構法の振動モデルを示す。可動支点で支持された可動側副構造の両側に一对の固定側副構造を配置し、可動側副構造と固定側副構造の上部は連結副構造体で連結され、三つの副構造体は一体化される。階数と階層高をそれぞれ n と h とし、総高を $H=nh$ とする。

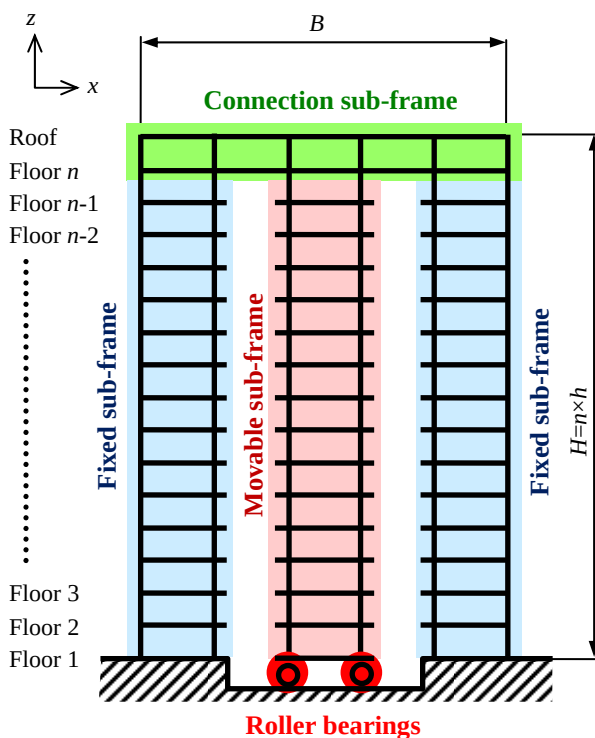


図-1 提案架構法と振動モデル

x 方向の水平層間変形特性はせん断ばねでモデル化し、可動側副構造と固定側副構造の全てのせん断ばね定数をそれぞれ k_M 、 k_F とし、連結副構造（Roof と Floor n の間）のせん断ばね定数を k_C とする。質量は梁・床位置の集中質量としてモデル化し、可動側副構造と固定側副構造の floor 2 から floor $n-1$ の集中質量をそれぞれ m_M と m_F とし、可動側副構造の Floor 1 の質量を $2m_M$ とし、連結副構造の Roof と Floor n の質量をそれぞれ m_C とする。ただし、可動側副構造、二つの固定側副構造および連結副構造の総質量をそれぞれ α_M 、 α_F および α_C とし、これらを次式で表す。

$$\alpha_M = nm_M \quad (1)$$

$$\alpha_F = 2(n-2)m_F \quad (2)$$

$$\alpha_C = 2m_C \quad (3)$$

また、振動モデルの総質量を α_T とし、次式で表す。

$$\alpha_T = \alpha_M + \alpha_F + \alpha_C \quad (4)$$

可動側副構造の総質量と構造全体の総質量の比を β_M として次式で定義する。

$$\beta_M = \frac{\alpha_M}{\alpha_T} \quad (5)$$

振動モデルの質量行列と剛性行列をそれぞれ M 、 K とすると、固有振動数 ω と固有ベクトル $\mathbf{x}$ は、次式の

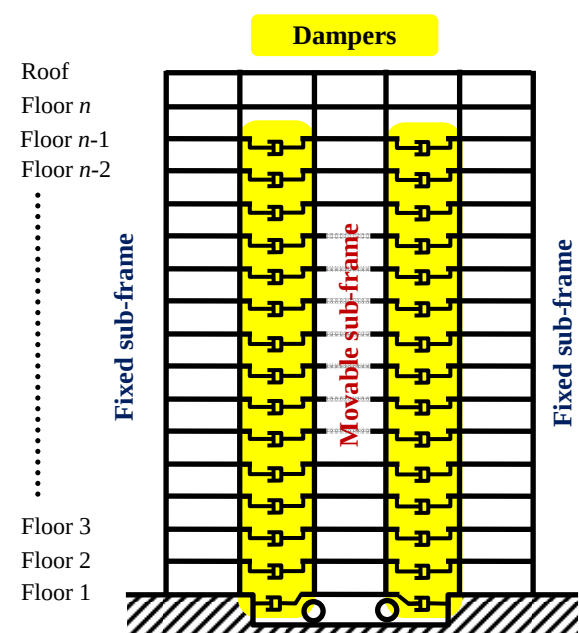


図-2 減衰装置の配置

固有値問題を解いて得られる.

$$(K - \omega^2 M)x = 0 \quad (6)$$

数値実験では, 式(6)で得られる固有周期 $T = 2\pi/\omega$ と質量比 β_M の関係を調べる.

(2) 減衰装置による付加減衰定数

図-2 に提案架構法における減衰装置の配置を示す. 可動側副構造と固定側副構造のそれぞれの梁・床を水平方向に減衰装置で連結する. 減衰装置としては摩擦型, 弾塑性型および粘性型の何れも設置が可能と考えられる. ここでは, 減衰装置 (Damper) の粘性減衰係数を d として, 粘性型減衰装置の設置による付加減衰量を検討する.

付加減衰の減衰行列を D とすると, 振動モデルの複素固有値問題は次式で表わされる.

$$(K + \lambda D + \lambda^2 M)y = 0 \quad (7)$$

ここに, λ と y はそれぞれ複素固有値と複素ベクトルである. 減衰系の固有振動数 ω_d と付加粘性減衰係数 ζ_d はそれぞれ次式で表わされる.

$$\omega_d = |\lambda| \quad (8)$$

$$\zeta_d = -\frac{\text{Re}(\lambda)}{|\lambda|} \quad (9)$$

数値実験では粘性減衰係数 d と付加粘性減衰定数 ζ_d の関係を調べる.

3. 数値実験

一般の高層ビルディングの固有周期は高さに比例し, S 造の場合の水平一次固有周期 $\bar{T}$ は次式で近似される.

$$\bar{T} = 0.03H \quad (10)$$

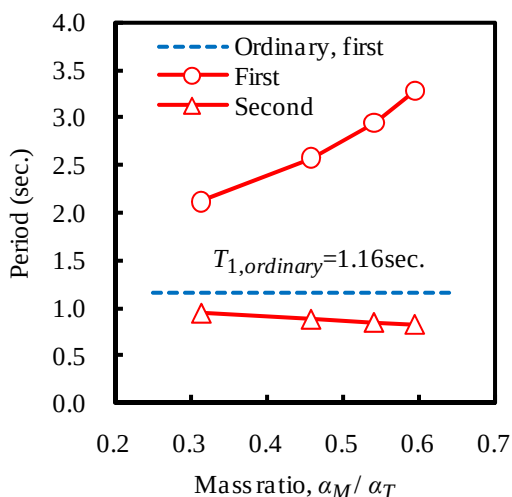


図-3 水平固有周期と質量比

ここで, 階数と階層高と回数をそれぞれ $n=11$ と $h=3.5m$ と仮定すると, 高さは $H=38.5m$ となる. この時の固有周期は式 (10) より $\bar{T} \approx 1.16s$ となる. また, 全ての層間水平ばね定数と層間質量がそれぞれ k と m である n 層構造の固有周期は次式で表わされる.

$$\bar{T} = \frac{\pi\sqrt{m/k}}{\sin\left(\frac{\pi}{4n+2}\right)} \quad (11)$$

固有周期が $\bar{T} \approx 1.16s$ となるためには, 式(11)より, $\sqrt{k/m} \approx 39.7 \text{ rad/s}$ であれば良い.

図-3 は固有値解析によって得られた図-1 の振動モデルの固有周期と質量比の関係である. ただし $n=11$, $\sqrt{k_F/m_F} = \sqrt{k_M/m_M} \approx 0.9\sqrt{k/m}$ とした. 図より, 質量比が 0.5 を超えると, 一般の高層ビルに比べて固有周期が 2 倍になると予想される.

図-4 は, 複素固有値解析によって得られた減衰装置の粘性減衰係数 d と付加粘性減衰定数 ζ_d の関係である. 図には, 上下間の階層変位を利用する粘性減衰装置を装着した一般の高層ビルの付加粘性減衰定数も併記する. 図より, 提案架構法では, 一般の高層ビルに比べて, 減衰装置の装着により大きな付加減衰を得ることができると予想される.

謝辞

本研究は科学研究費補助金 (基盤研究 (C), 課題番号: 20560454, 研究代表者: 片山拓朗) の助成を受けて実施した. ここに謝意を表する.

参考文献

- 1) Takuro Katayama, Toshitaka Yamao, Natural Vibration Modes of a Folded Cantilever Shear Structure, Proceeding of the 4th International Conference on Advances in Structural Engineering and Mechanics, pp.1317-1325, Korea, 2008.

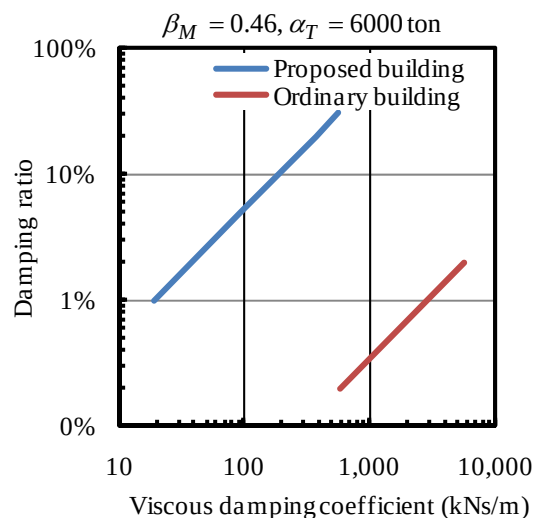


図-4 一次モードの付加減衰定数