

建物振動を統一的に記述する式の連結制振への拡張
 Extension of the Unified Formula Describing Building Vibration to Joint Damper

○池田芳樹・松本祐輝

○Yoshiki IKEDA, Yuki MATSUMOTO

For two adjacent buildings connected by a joint damper, an inverse problem is formulated based on the pole allocation method in control theory. The structural system is simplified as a two-degree-of-freedom lumped-mass damped shear model. The introduced closed-form formula becomes an extension of the unified governing equation that expresses the relation between an assigned control target and structural parameters for an earthquake-resistant building, a seismically isolated building, or a passively controlled building. For joint damper, the extended formula similarly describes the relation between additional damping ratios and structural parameters. The formula directly estimates damping effect on objective buildings from damper size, which improves trial-and-error work at the initial design stage.

1. はじめに

隣り合う建物2棟を繋いだダンパによって振動低減を図る連結制振を、極配置法に基づいて考察している。ダッシュポットで表現したダンパによって2つの1質点1自由度系モデルを繋いだ2質点2自由度系モデル(図1)を用いて、連結制振の基本特性を把握している。

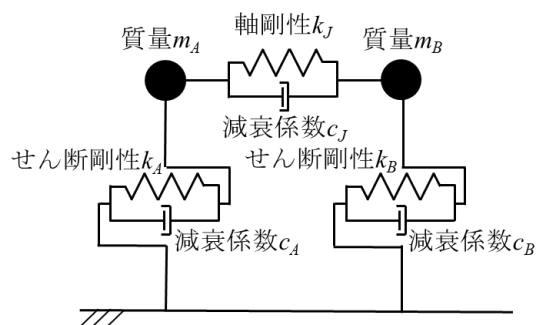


図1 2棟連結制振の2質点2自由度系モデル

文献1から4では、3質点3自由度系1本棒せん断振動型モデルに極配置法を適用して、基礎免震、中間層免震、同調型マスダンパまたは層間ダンパによる制振の効果を統一表現する式の存在を明らかにした。その式は、固有振動数と減衰比を表現する極を振動モードごとに指定すると、モデルを表現するパラメータの値が自ずと制約されることを意味していた。さらに文献5では、1本棒せん断振動型モデルを多質点系多自由度系(図2)に一般化して、建物の耐震、免震および制振を統

一表現する次式を導いた。

$$\sum_{i=1}^n \frac{c_i}{k_i} = 2 \sum_{j=1}^n \frac{h_j}{\omega_j} \quad (1)$$

ここに、 k_i と c_i は*i*層の剛性と減衰係数、 ω_j と h_j は*j*次振動モードの固有円振動数と減衰比である。

本論文は、建物1棟の振動を支配する上式を図1に示す連結制振に拡張して、統一表現をさらに一般化している。

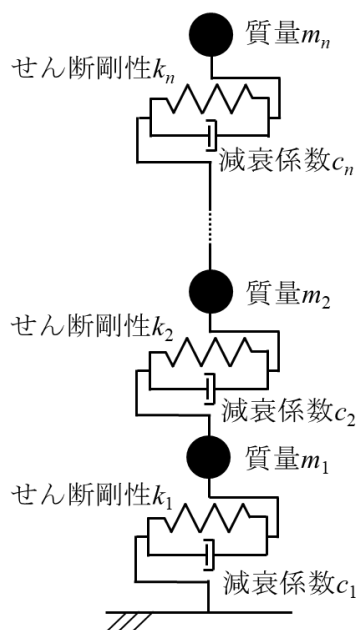


図2 多質点多自由度系1本棒モデル

2. 極配置法による連結制振の表現
 2棟の地面固定端からの変位を x_A と x_B 、地動加

速度を \dot{y} とおくと、図 1 の運動方程式は

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} m_A & 0 \\ 0 & m_B \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_A \\ \ddot{x}_B \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_A + c_J & -c_J \\ -c_J & c_B + c_J \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_A \\ \dot{x}_B \end{Bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} k_A + k_J & -k_J \\ -k_J & k_B + k_J \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_A \\ x_B \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} m_A \\ m_B \end{bmatrix} \ddot{y} \end{aligned} \quad (2)$$

となる。2つの振動モードで ω_j と h_j ($j=1, 2$) を指定して極配置法を適用すると、式(1)に対応する次式が得られる。

$$\frac{c_A}{k_A + \frac{1}{\frac{1}{k_B} + \frac{1}{k_J}}} + \frac{c_B}{k_B + \frac{1}{\frac{1}{k_J} + \frac{1}{k_A}}} + \frac{c_J}{k_J + \frac{1}{\frac{1}{k_A} + \frac{1}{k_B}}} = 2 \sum_{j=1}^2 \frac{h_j}{\omega_j} \quad (3)$$

3. 統一式と定点理論の統合

式(3)を連結制振の定点理論⁶⁾に結び付ける。この理論は連結部にダッシュポットのみを考慮し、非減衰建物を仮定しているから、 $c_A = c_B = k_J = 0$ とおくと、式(3)は次式に簡略化される。

$$\frac{c_J}{\frac{1}{\frac{1}{k_A} + \frac{1}{k_B}}} = 2 \sum_{j=1}^2 \frac{h_j}{\omega_j} \quad (4)$$

上式を式(1)に関連付ければ、左辺の分母は k_A と k_B を直列に繋いだ時の等価剛性であり、それが c_J と並列に配置されていると理解できる。

定点は、建物応答の地動に対する周波数伝達関数上で c_J の値を変化させても動かさない2点 (P点とQ点) であり、そこで伝達関数が極大になるように定点理論は c_J を選んでいる。定点は2つ存在するため、 $h_j = c_J / 2\sqrt{m_B k_B}$ で定義した減衰比の平均値を最適値 $h_{J,opt}$ としている (図3)。 $h_{J,opt}$ は質量比 $\mu = m_B / m_A$ のみに依存する。文献6には示されていないが、 $h_{J,opt}$ は閉じた形で表現できる。

$$h_{J,opt} = \frac{h_P + h_Q}{2} = \frac{|1 - \mu|}{4\sqrt{2(\mu+1)^3}} \left(2 + \mu + \frac{1+2\mu}{\sqrt{\mu}} \right) \quad (5)$$

2棟で同じ減衰効果を得るために、 $h_1 = h_2 = h$ とおく。さらに、実用的な c_J の範囲で、建物単独の2つの固有円振動数 ω_A と ω_B が2つのモードの固有円振動数 ω_1 と ω_2 にほぼ等しいことを考えると、式(4)からジョイントダンパの最適減衰比と建物に与える減衰効果の関係式(6)を得る。

$$h = \frac{1 + \mu\gamma^2}{1 + \gamma} h_{J,opt} \quad (6)$$

上式は、質量比 μ 、固有振動数比 $\gamma = \omega_B / \omega_A$ およ

ダンパの最適減衰比 $h_{J,opt}$

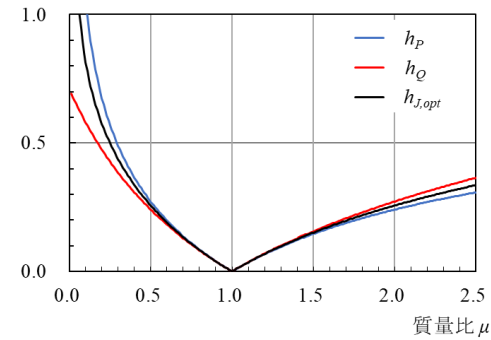


図3 ダンパの最適減衰比の建物質量比との関係⁶⁾

2棟の建物の減衰比 h

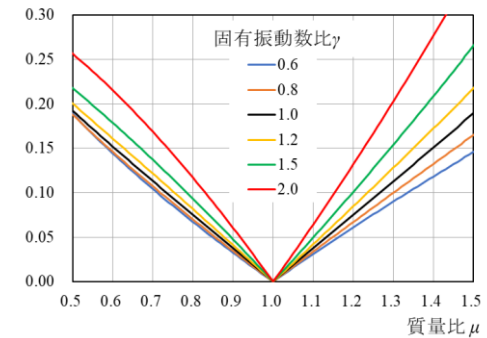


図4 定点理論と統一式の統合による建物減衰比

びダンパの最適減衰 $h_{J,opt}$ から、建物の減衰が定まることを意味し、連結制振による効果が見通せる。

4. まとめ

2棟連結制振に極配置法を適用して、すでに1棟の建物で得られている建物振動を支配する統一式を拡張した。この式を連結制振の定点理論に結び付けると、2棟に同じ減衰効果を与えるダンパの大きさを決めることが可能になり、連結制振の試行錯誤的な設計が改善される。

参考文献

- Ikeda Y.: Fundamental equation based on pole allocation for interstory seismic isolation of buildings, *Structural Control and Health Monitoring*, Vol.28, No.3, 19 pages, 2021
- 池田：建物の基礎免震，中間層免震および同調型マスダンパによる制振の統一的理解，京都大学防災研究所年報，第64号B，pp.24-42，2021.12
- 松本，池田：建物の基礎免震，中間層免震および同調型マスダンパによる制振の統一的理解，構造工学論文集（日本建築学会），第68B巻，pp.367-375，2022.4
- Ikeda Y. and Matsumoto Y.: Unified description of passive vibration control for buildings based on pole allocation applied to three-degree-of-freedom model, *Structural Control and Health Monitoring*, Vol.29, No.9, 17 pages, 2022
- 池田，松本：建物のパッシブ振動制御の極配置法に基づく統一的理解，京都大学防災研究所年報，第65号B，pp.14-29，2022.12
- 岩浪，鈴木，背戸：並列構造物の制振法に関する研究 (P, T, Q 定点理論による方法)，日本機械学会論文集C編，第52巻，第484号，pp.3063-3072，1986.12