

連結された 2 重系構造物の最適制振

蔭 山 満 吉 田 治
安 井 讓

A Study on an Optimal Damping System for Interconnected Double Frame Structures

Mitsuru Kageyama Osamu Yoshida
Yuzuru Yasui

Abstract

A mutual reaction type vibration control method is effective in controlling vibration of high-rise buildings during large earthquakes. This is a method of promoting interaction between control force and reaction force by connecting two structures with a damper.

In this paper, the authors present an optimal frequency adjustment method and an optimal damping of two interconnected structures. It is possible to make the transfer function peaks of both structures equal and lowest using either spring devices or levers with additional masses at the connecting part.

Generally, this system would be considered to be used for two adjacent buildings, where the direction of vibration control is restricted to only one and there cannot be expected to be many applicable cases. Accordingly, the authors also propose a method of applying this system to a single building with a double frame structure.

概 要

高層建物の曲げ変形を効率的に制振するためには、建物頂部に水平方向の制御力を付与することが必要となる。本研究では、制御力の反力を、TMD や AMD の様に付加質量の慣性力で取るのではなく、並立する構造系に取ることによって、建物頂部に水平力を付与する方式を考える。この制振法の基本原理は、並立する建物をダンパーで連結することによって、エネルギー吸収を行うことにある。この方式で効率的にエネルギー吸収を行うためには、非減衰系での固有振動数調整が必要となる。本報告では、連結バネおよび、付加質量とテコを用いた方法によって、この最適調整が可能であること、および、テコを介して連結することの有効性について述べる。さらに、1つの建物を2重の系で構成する事によって、1棟で水平2方向の制振を完結する方法を提案し、その装置の概念についても報告する。

1. はじめに

制振の対象構造物を高層建物と低層建物に分類すると、高層建物では曲げ変形を制御することが必要となり、せん断変形が卓越する低層建物と比べて、その制振方法は限定されたものとなる。曲げ変形を効率的に制御する方法として、建物頂部に水平力を付与する方法が考えられる。この方式では、制御モーメント力がその水平力に建物高さを乗じたものとして得られるため、柱に軸力を付与するテンドン方式に比較して、制御力の効率がよい。この種のものとして、現在、TMD や AMD が実用化されている。しかし、これらの装置で大地震時の制振を行おうとした場合、付加質量の振幅を装置の許容ストローク以下に抑えるためには、過大な付加質量が必要となり、その実現が困難と考えられる。

本報告では、制御力の反力を、TMD や AMD の様に付加質量の慣性力で取るのではなく、並立する構造系に取ることによって、建物頂部に水平力を付与する方式を考える。この制振法の基本概念は、並立する建物をダンパーで連結するもので、既に多くの研究者が提案している

ものである。ここで、新たにこの種の研究報告を行う意図は、この方式で最も効果的な制振を行うためには、非減衰系での固有振動数調整が必要であること、連結バネまたは、付加質量とテコを用いた方法によって、この最適調整が可能であること、および、テコを介して連結することの有効性を示すこと等にある。

さらに、本報告では、1つの建物を2重の系で構成することによって、1棟で水平2方向の制振を完結する方法を提案し、その装置の概念についても報告する。

2. 最適値について

ここで言う最適値とは、双方の系の地動に対する伝達関数のピーク値を同時に低減する連結方法を意味するものとする。各質点の伝達関数は特定の振動数で、連結ダンパーの値に関係なく、同じ伝達率の点を通過するという、定点定理が存在することはよく知られている。その定点は、ダンパーがない ($c_s = 0$) の場合とダンパーが無限大 ($c_s = \infty$) の場合の伝達関数の交点 P, Q として、簡単に求めることができる。その交点 P, Q を同じ高さにそろえ、その P, Q 点が伝達関数のピークとなるよう

にダンパーを設計した場合が、ここで言う最適設計となる。図-1は双方の構造系の関係が元々固有振動数調整を必要とせず、連結ダンパーのみで最適設計が可能となる場合の伝達関数を示したものである。この様な固有振動数調整を必要としない場合は、双方の構造系の質量比と剛性比の関係が反比例の場合に限定され、一般性を持たない。そこで、本研究では、この制約を取り除き、最適設計の範囲を広げることを目的として、連結バネおよび、付加質量と連結テコを用いた固有振動数調整法を提案することとし、以下にその紹介を行う。

2.1 バネとダンパーで直接連結する場合

図-2に示すバネとダンパーで連結された系において、伝達関数のP, Q点を同じ高さにそろえるためには、連結系での固有振動数調整が必要である。ここでは、その固有振動数調整に連結バネ k_s を用いた場合の最適値、およびそのP, Q点を伝達関数のピークとするためのダンパー c_s の最適値について検討する。

連結バネを含む系に対し、伝達関数を用いて直接的な方法でその厳密な最適解を求めることは可能であるが、その解は非常に複雑で、一般的には用い難いものとなる。それ故、ここでは簡潔な形で表される準最適値を求めることを目的として、モーダルな観点から、その近似解へのアプローチを試みた。その誘導過程を以下に示す。

図-2に示すように双方の系をバネとダンパーで直接連結するとした場合の振動方程式は、

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K_t]\{x\} = -[M]\ddot{y} \dots\dots\dots(1)$$

となる。但し、

$$[M] = \text{diag}(m_1, m_2)$$

$$[C_t] = \begin{bmatrix} c_s & -c_s \\ -c_s & c_s \end{bmatrix}$$

$$[K_t] = [K] + \begin{bmatrix} k_s & -k_s \\ -k_s & k_s \end{bmatrix}$$

$$[K] = \text{diag}(k_1, k_2)$$

式(1)左辺で決まる系の特性方程式をラプラスの演算子 s を用いて表すと、次式が得られる。

$$S_0(s) = a_4s^4 + a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + a_0 \dots\dots\dots(2)$$

但し、

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= k_s(k_1 + k_2) + k_1k_2 \\ a_1 &= c_s(k_1 + k_2) \\ a_2 &= k_s(m_1 + m_2) + m_1k_2 + m_2k_1 \\ a_3 &= c_s(m_1 + m_2) \\ a_4 &= m_1m_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

ここで、連結ダンパーを含まない系の特性方程式は次式で示される。

$$S_k(s) = a_4s^4 + a_2s^2 + a_0 \dots\dots\dots(4)$$

いま、 $S = i\omega$ の関係を用いて、式(4)を振動数 ω で表すと、

$$S_k(i\omega) = a_4\omega^4 - a_2\omega^2 + a_0 \dots\dots\dots(5)$$

となる。式(5)をゼロとする根を ω_1, ω_2 とすると、これらは非減衰系の固有振動数であり、その積は根と係数の関係より、次式で示される。

$$(\omega_1\omega_2)^2 = a_0/a_4 \dots\dots\dots(6)$$

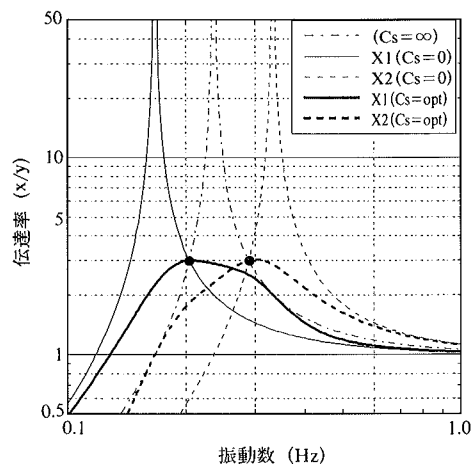


図-1 ダンパーのみで最適な場合の伝達関数

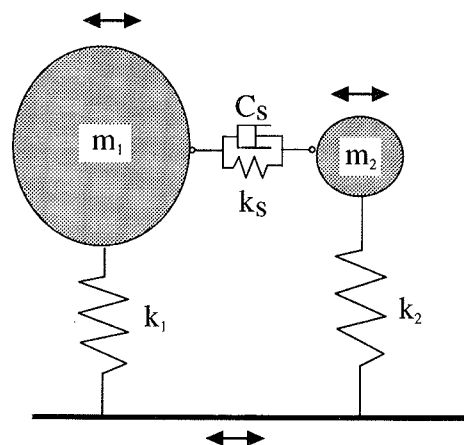


図-2 ダンパーとバネで連結されたモデル

伝達関数の交点P, Q点はダンパーがない ($c_s = 0$) 場合とダンパーが無大 ($c_s = \infty$) の場合の伝達関数の交点である。ダンパーが無大の場合の系は1質点系の場合と同じ特性となり、その固有振動数 ω_0 は連結バネに依存しない値として、次式で表される。

$$\omega_0 = \sqrt{(k_1 + k_2)/(m_1 + m_2)} \dots\dots\dots(7)$$

バネで連結された系の伝達関数は、そのピーク帯域近くの振動数では、非連成近似できるものと仮定する。この仮定の基で、伝達関数の交点P, Q点を同じ高さにそろえるための連結バネ k_s の条件を求める。その方法として、次の考え方をを用いる。1質点系の伝達関数は振動数軸に対数スケールを用いると、固有振動数に関係なくその形状が相似形になることはよく知られている。その場合、P, Q点を同じ高さにそろえるための条件は、 ω_0 が対数振動数上で ω_1 と ω_2 の中央になっていることである。このことを式で表すと、

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_1\omega_2} \dots\dots\dots(8)$$

である。これら式(6)～式(8)の関係を満足する連結バネが k_s ここで言う準最適値 k_{opt} であり、次式で示される。

$$k_{opt} = \frac{(\mu\alpha - 1)(\alpha - \mu)}{(1 + \mu)^2(1 + \alpha)} k_1 \quad \dots\dots\dots(9)$$

但し, $\mu = m_2/m_1$ $\dots\dots\dots(10)$

$$\alpha = k_2/k_1 \quad \dots\dots\dots(11)$$

式(9)で示される連結バネの準最適値がゼロとなるのは、質量比 μ と剛性比 α が次の関係を満足する場合である。

$$\alpha = 1/\mu \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$\alpha = \mu \quad \dots\dots\dots(13)$$

式(12)は双方の構造物の質量比と剛性比のみで最適固有振動数となる場合で、双方の系として最も望ましい条件を示し、式(13)は連結制振が不可能な最悪条件を示す。式(9)から分かるように、剛性比 α が、式(12)と式(13)の間の値をとる場合、最適連結バネ k_s は負の剛性となる。このことはバネを用いた固有振動数調整が不可能であることを示す。この場合の固有振動数調整法は次節で扱うこととし、ここでは次に、最適連結バネと併用する場合の最適連結ダンパーの誘導を行う。

式(9)の準最適連結バネで連結された非減衰系の固有振動数を ω_1 , ω_2 とすると、式(4)の特性方程式は次式で表される。

$$a_4 s^4 + a_2 s^2 + a_0 = a_4 (s^2 + \omega_1^2) (s^2 + \omega_2^2) \quad \dots\dots\dots(14)$$

式(14)を式(2)に代入して、連結ダンパーを含む場合の特性方程式を ω_1 , ω_2 を用いて表すと、

$$S_0(s) = a_4 s^4 + a_4 (\omega_1^2 + \omega_2^2) s^2 + a_4 \omega_1^2 \omega_2^2 + a_1 s^3 + a_3 s^3 \quad \dots\dots\dots(15)$$

となる。双方質点の伝達関数のピーク高さが等しいという条件を、特性方程式上では減衰定数 h が同じ値をとる2つの固有値を持つとして考える。その固有振動数を ω_{0P} と ω_{0Q} とした場合の特性方程式を、式(15)と等価な形にするため、式(16)の形で与える。

$$S_1(s) = a_4 (s^2 + 2h\omega_{0P}s + \omega_{0P}^2) (s^2 + 2h\omega_{0Q}s + \omega_{0Q}^2) \quad \dots\dots\dots(16)$$

式(15)と式(16)が等価であるためには、次の条件を満足していなければならない。

$$(\omega_{0P}\omega_{0Q})^2 = (\omega_1\omega_2)^2 \quad \dots\dots\dots(17)$$

$$\omega_{0P}^2 + \omega_{0Q}^2 + 4h^2\omega_{0P}\omega_{0Q} = \omega_1^2 + \omega_2^2 \quad \dots\dots\dots(18)$$

$$2ha_4(\omega_{0P} + \omega_{0Q}) = c_s(m_1 + m_2) \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$2ha_4\omega_{0P}\omega_{0Q}(\omega_{0P} + \omega_{0Q}) = c_s(k_1 + k_2) \quad \dots\dots\dots(20)$$

ここで、P, Q点の振動数を ω_P , ω_Q とすると、この振動数を固有振動数 ω_{0P} と ω_{0Q} とすることは出来ない。なぜなら、非連成を仮定した場合の ω_P と ω_Q は次式で与えられ、その場合、式(17)が成立しないためである。

$$\omega_P = \sqrt{\frac{\omega_1(\omega_1 + \omega_2)}{2}} \quad \dots\dots\dots(21)$$

$$\omega_Q = \sqrt{\frac{\omega_2(\omega_1 + \omega_2)}{2}} \quad \dots\dots\dots(22)$$

式(15)が ω_P と ω_Q に最も近い固有振動数を持つための条件は、式(17)～式(20)の ω_{0P} と ω_{0Q} に ω_P と ω_Q を代入し、それぞれの式で、右辺から左辺を引いたときの、残差の絶対値を最小にすることである。式(17)の残差は確定値であるので、式(18)～式(20)で、未定係数

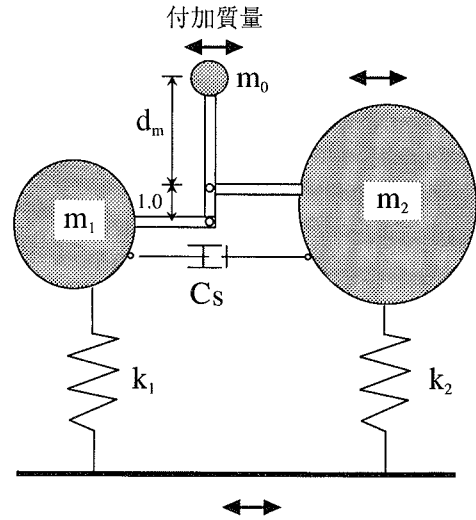


図-3 テコを介した付加質量とダンパーで連結されたモデル

を h とした最小自乗法を適用することになる。しかし、式(18)において、 h の2乗の項が含まれるため、2次式を含む最小自乗問題となり、直接的な方法でその解を求めると、非常に複雑な形となる。そこで、ここでは、以下の考え方に沿って、簡潔な形の近似解を示すことにする。

まず、式(18)で、この式の残差をゼロとする場合の減衰定数 h を求める。その式は

$$h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(\omega_1^2 + \omega_2^2) - (\omega_P^2 + \omega_Q^2)}{\omega_P \omega_Q}} \quad \dots\dots\dots(23)$$

で表される。次に、式(23)を式(19)および式(20)の h に代入することによって求まる c_s の平均値を最適減衰係数 h_{opt} とする。ここで、 $a_4 = m_1 m_2$ であることを用いると、 c_{opt} は

$$c_{opt} = h_{opt} m_1 m_2 (\omega_P + \omega_Q) \left(\frac{1}{m_1 + m_2} + \frac{\omega_P \omega_Q}{k_1 + k_2} \right) \quad \dots\dots\dots(24)$$

となる。いま、式(17)から発生する残差がゼロの場合は、式(24)で示される c_{opt} は厳密解となる。しかし、先に述べた様に、式(17)は必ず残差を持つので、式(26)の c_{opt} は収束計算における第1次近似解に相当するものとなる。そこで、次に、その解の精度を考える。式(17)から発生する残差を Δ とし、式(17)の係数 $(\omega_1 \omega_2)^2$ に対する比を求めると

$$\Delta / (\omega_1 \omega_2)^2 = \{1 - (\omega_1 + \omega_2)^2 / 4\omega_1 \omega_2\} \quad \dots\dots\dots(25)$$

で表される。この式から分かるように、振動数比 (ω_2 / ω_1) の小さい実際的な範囲では、式(17)から発生する残差の影響度は小さいと言える。それ故、これを無視した近似解の式(24)で、充分実用的な精度が得られる。

2.2 付加質量とテコ連結を用いた場合

連結バネによる最適固有振動数調整法によって導かれる式(9)で最適バネ剛性が負の剛性となる場合、この方法による固有振動数調整が不可能となる。ここでは、その場合に適用する固有振動数調整の方法として、図-3に示すように、双方の構造系に支点を設けたテコの先

端に付加質量を用いる方法を提案し、その最適テコ比を誘導する。

双方の構造物に設けた支点間距離に対する付加質量設置位置と支点の距離の比を d_m とし、構造物間を前節と同じように、ダンパーで直接連結した場合の振動方程式は、

$$[M_t]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{D\}\ddot{y} \quad \dots\dots\dots(26)$$

となる。但し、

$$[M_t] = [M] + \begin{bmatrix} m_0 d_m^2 & -m_0 d_m (d_m + 1) \\ -m_0 d_m (d_m + 1) & m_0 (d_m + 1)^2 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(27)$$

$$\{D\} = (-m_1 + m_0 d_m \quad -m_2 - m_0 (d_m + 1))^T \quad \dots\dots\dots(28)$$

式(26)の左辺の項で構成される特性方程式は次式で示される。

$$S_0(s) = b_4 s^4 + b_3 s^3 + b_2 s^2 + b_1 s + b_0 \quad \dots\dots\dots(29)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{但し、} \quad & b_0 = k_1 k_2 \\ & b_1 = c_s (k_1 + k_2) \\ & b_2 = m_0 d_m^2 (k_1 + k_2) + k_1 m_0 (1 + 2d_m) \\ & \quad + m_1 k_2 + m_2 k_1 \\ & b_3 = c_s (m_0 + m_1 + m_2) \\ & b_4 = m_0 d_m^2 (m_1 + m_2) \\ & \quad + m_0 m_1 (1 + 2d_m) + m_1 m_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(30)$$

式(29)を出発点として、連結バネを用いた前節の場合と同様に展開すると、最適テコ比は次のように求まる。

$$d_{mopt} = (-b_m \pm \sqrt{b_m^2 - a_m c_m}) / a_m \quad \dots\dots\dots(31)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{但し、} \quad & a_m = \eta (1 + \mu) (1 + \alpha)^2 \\ & b_m = \eta (1 + \alpha)^2 \\ & c_m = (\mu + \eta) (1 + \alpha)^2 - \alpha (1 + \mu + \eta)^2 \\ & \eta = m_0 / m_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(32)$$

この d_{mopt} は図-3に示すように、質点2側の支点からのテコ比を示すものであり、この値が負の場合は、質点1側に付加質量を取り付けることになる。

最適減衰定数については、前節のバネ連結の場合と同じ、

$$h_{opt} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(\omega_1 + \omega_2)^2 - (\omega_P + \omega_Q)^2}{\omega_P \omega_Q}} \quad \dots\dots\dots(33)$$

としてもとまるが、その時の最適減衰係数 c_{opt} は連結バネの場合と異なり、

$$c_{opt} = h_{opt} b_4 (\omega_P + \omega_Q) \left(\frac{1}{m_0 + m_1 + m_2} + \frac{\omega_P \omega_Q}{k_1 + k_2} \right) \quad \dots\dots\dots(34)$$

となる。

3. テコを介してバネおよびダンパー取り付け た場合

2章の最適連結バネ k_{opt} および連結ダンパー c_{opt} は、双方の構造物間に直接用いるとした前提で導かれたものである。ここでは、直接連結する方法に変えて、連結部にテコを介してバネ k_s およびダンパーを設置した場合の増幅効果を検討する。

テコを介して、ダンパーおよびバネを取り付けた場合の振動方程式は次式で示される。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C_t]\{\dot{x}\} + [K_t]\{x\} = -[M]\ddot{y} \quad \dots\dots\dots(35)$$

但し、

$$[C_t] = \begin{bmatrix} c_s d_c^2 & -c_s d_c^2 \\ -c_s d_c^2 & c_s d_c^2 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(36)$$

$$[K_t] = [K] + \begin{bmatrix} k_s d_k^2 & -k_s d_k^2 \\ -k_s d_k^2 & k_s d_k^2 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(37)$$

$$[K] = \text{diag}(k_1 \quad k_2) \quad \dots\dots\dots(38)$$

ここで d_c と d_k とはダンパーおよびバネを取り付ける位置のテコ比を示す。式(36)と(37)から、テコを介してダンパーおよびバネを用いることによって、テコ比の2乗に比例した連結特性となることが分かる。

直接連結するものとして誘導した先の準最適バネ k_{opt} およびダンパー c_{opt} は、テコ連結手法を用いることによって、

$$c_{opt} = d_c^2 c_s \quad \dots\dots\dots(39)$$

$$k_{opt} = d_k^2 k_s \quad \dots\dots\dots(40)$$

の関係を満足する材料係数(c_s , k_s)とテコ比で表される。このテコ比という新たな自由度を得ることによって、最適な連結に必要なバネおよびダンパーの材料選択の幅が飛躍的に広がることになる。

4. 解析モデルによる検討

解析モデルとして取り上げる構造系の質量比 μ と剛性比 α の関係を次に示す。

$$\text{モデルA} \quad \mu = 1.0 \quad \alpha = 4.0$$

$$\text{モデルB} \quad \mu = 0.1 \quad \alpha = 0.4$$

モデルAは連結バネを必要とする場合の例であり、モデルBは付加質量と連結テコを用いた調整が必要な場合の例である。連結しない場合の双方の構造系を、それぞれ3秒と6秒の固有周期の系とする。

図-4と図-5に、モデルAの場合の伝達関数の結果を示す。図中の($c_s = 0$)と($c_s = \infty$)の表示は連結ダンパーをゼロおよび無限大とした場合の伝達関数を、($c_s = c_{opt}$)は最適ダンパーを用いた場合の伝達関数をそれぞれ示す。モデルAの場合、固有振動数調整のために連結バネが必要なケースであるが、図-4は連結ダンパーのみを用いた場合の伝達関数を、図-5は準最適連結バネを用いて固有振動数調整を行った場合の伝達関数をそれぞれ示す。これらの図から固有振動数調整を施すことによって、最適ダンパーを用いた制振時の伝達関数が改善されていることが分かる。しかし、図-5の準最適連結バネを用いた場合でも、完全にはその伝達関数のピーク値がそろっていないことも認められる。

この原因は、図-5で用いた準最適連結バネ k_{opt} は、それで連結した場合も、連結時の固有振動数をピークとする非連成系の近似が成り立つとした仮定条件より求めたため、真の最適連結バネとの間に誤差が生じたためと考えられる。図-4と図-5に示される非減衰系のピーク振動数を比較すると、連結バネは、非減衰系の固有振動数を高い方に移動する役割を果たしていることが分かる。この認識の下で、図-5を見ると、ここで求めた準最適連結バネ k_{opt} が若干大きすぎる事が分かる。そこで、これを初期値として、連結バネ k_{opt} をパラスタ的に

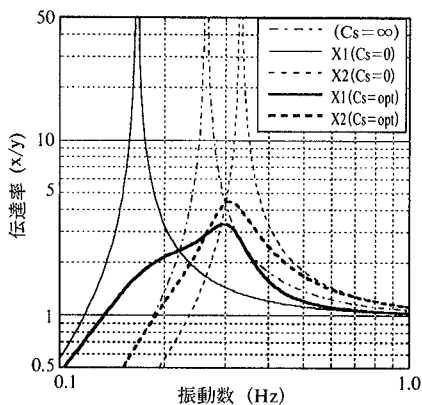


図-4 モデル A の伝達関数 (無調整)

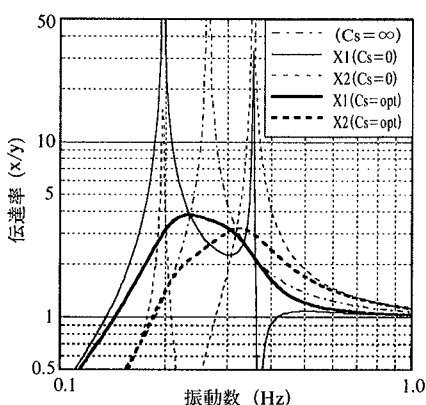


図-5 モデル A の伝達関数 (準最適調整)

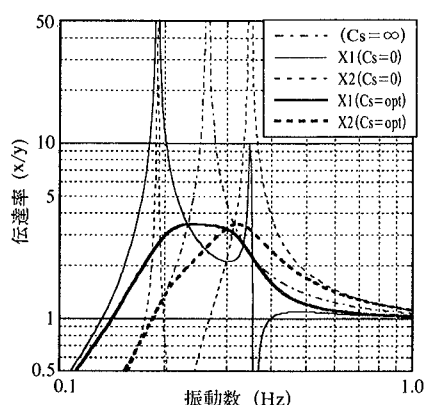


図-6 モデル A の伝達関数 (最適調整)

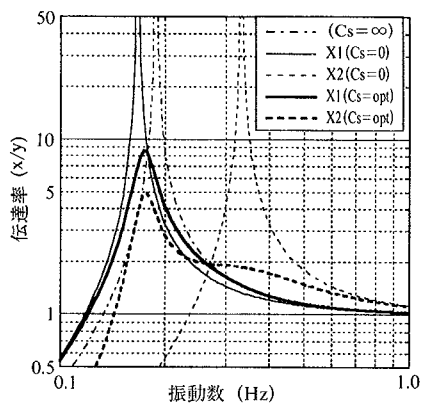


図-7 モデル B の伝達関数 (無調整)

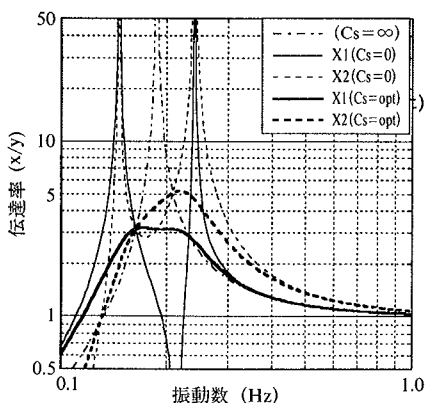


図-8 モデル B の伝達関数 (準最適調整)

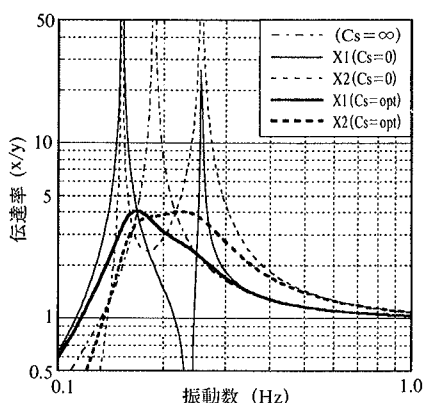


図-9 モデル B の伝達関数 (最適調整)

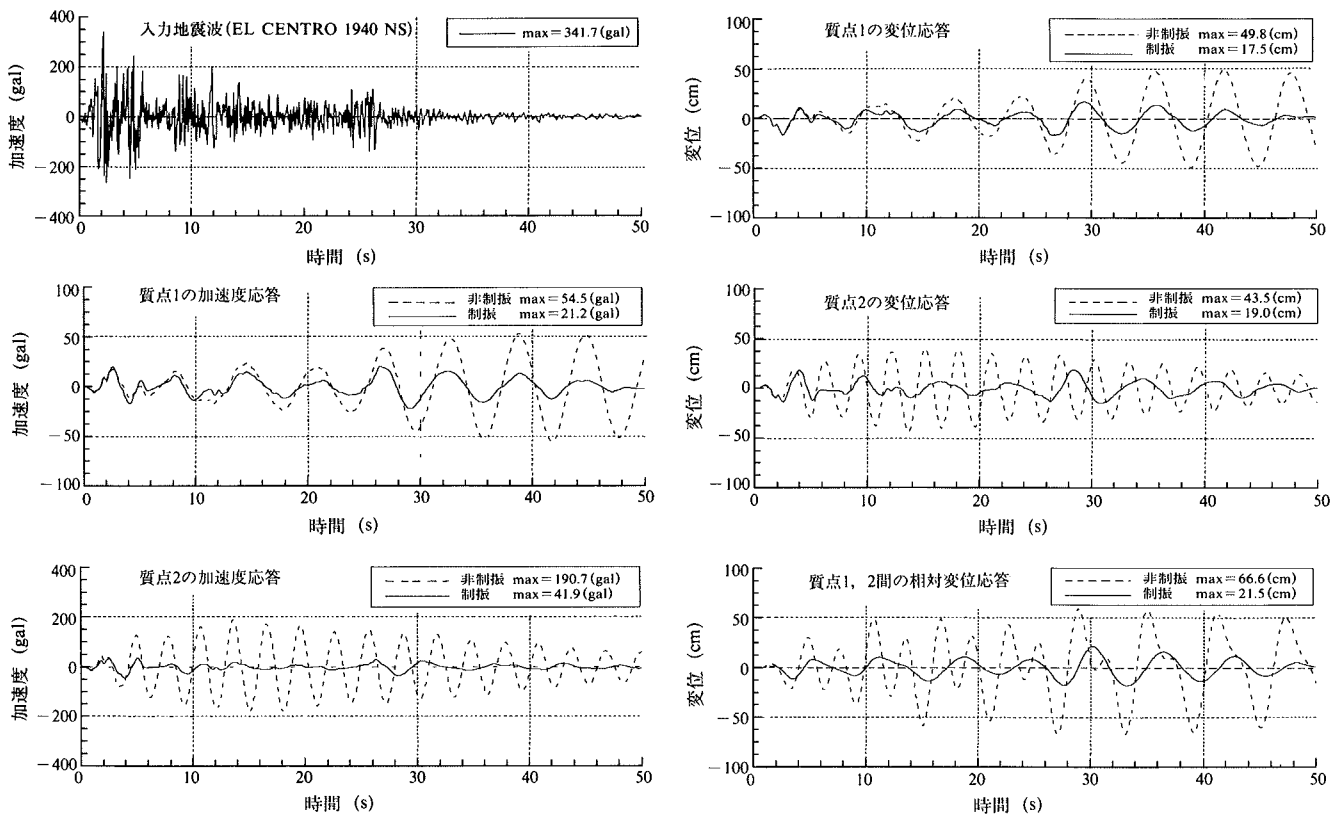


図-10 モデル B の時刻歴応答

変化させた収束計算を行った。図-6の伝達関数は、連結バネにこの収束値を用いた場合の結果を示したものである。この収束計算は容易であり、収束値は厳密解によって求めた結果とほぼ一致することを確認した。この結果より、複雑な厳密解を用いずとも、準最適連結バネ k_{opt} を初期値として用いることにより、容易に厳密解に近い値を探し得ることが分かる。

図-7～図-9は、固有振動数調整に付加質量と連結テコを必要とするモデルBに対する伝達関数の結果である。図-7は固有振動数の調整を行わない場合の伝達関数を、図-8は付加質量と連結テコを用いた準最適テコ比 d_{mopt} による固有振動数調整を行った場合の伝達関数を示したものである。モデルBの場合は、モデルAの場合より連成の影響が大きく現れており、 d_{mopt} を用いた固有振動数調整の誤差も若干大きい。この場合も、モデルAの場合の収束計算と同様に、真の最適テコ比を見いだすことは容易であり、その結果を示したものが図-9である。

以上の結果より、連結バネ、または連結テコを介して付加質量を用いる最適固有振動数調整を伴った連結制振を考えることにより、その固有振動数調整を行わない場合より、伝達関数のピーク値を下げる事が可能となることが分かる。

図-10は、モデルBに対し、El Centoro NS を入力とした場合の最適制振時と非制振時の時刻歴応答比較を示したものである。同図では、入力加速度波形、双方質点の加速度応答、変位応答、および双方質点間の相対変位応答量を示してある。その結果、この制振を行うことによって、これら全ての応答量が大幅に低減されていることが分かる。

5. 1 棟完結型制振装置の概念

1つの建物内で連結手法を用いた制振を適用可能な場合の建物として、図-11に示すような2重構造形式の建物が考えられる。その場合のテコ連結装置は、屋上階に設けられ、同図にはその配置も示してある。この配置図に見られるごとく、1方向の振動に対して、その方向と直角線上に対称に2個の装置を設ける。この対称配置の一对の装置によって、ねじれ振動に対しても減衰の付与が可能となる。従って、2方向の振動に対処するためには、計4個の装置を用いることになる。

テコ連結装置で水平2方向の制振を行うためには、対象の振動方向と直交する振動成分をテコ連結装置が拘束しないことが必要となる。そのためには、直交する振動成分を逃がすスライド機構が必要となる。一方、テコ連結装置を用いた場合、テコ比が重要な要素となり、テコ比は常に一定に保つ必要がある。

図-11の装置では、テコ支点の片方の軸を固定とし、他方の支点軸の下に、直交する振動方向(テコの梁方向)に滑るスライド機構を設ける。その場合、ダンパーおよびバネは固定軸のテコ支点を設けた側の建物に設置しな

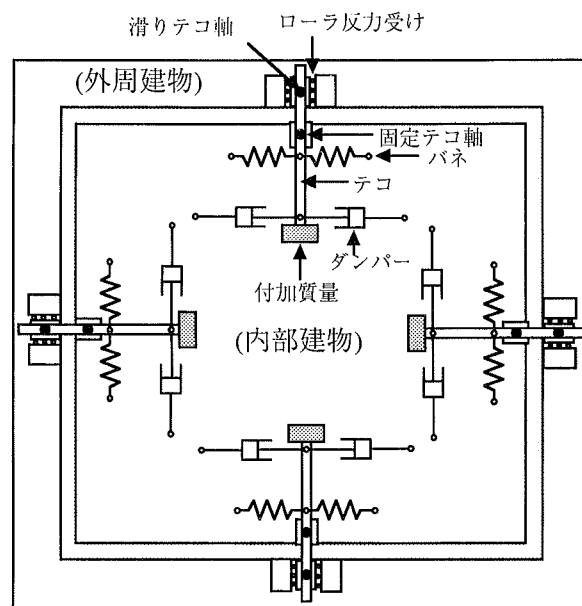


図-11 屋上に設置する連結制振装置の概念

ければならないが、付加質量の場合はどちらに設けてもよい。

以上の構成によって、直交方向の振動成分の影響を受けず、テコ比が常に一定で、しかも、直交方向の振動に対して自由なテコ連結が可能となる。

6. 結び

連結バネ、または連結テコを介して付加質量を用いる最適固有振動数調整を伴った連結制振を考えることにより、その固有振動数調整を行わない場合の伝達関数を比べて、その制振の効果がよくなる事が確認された。また、3秒と6秒の超高層建物を意識した系を想定し、それらを最適連結した場合の地震応答計算によって、それら単独時の応答量に比べ、大幅に低減することが認められた。

今回の検討では、双方の構造系を1質点系とした基礎的検討を示した。今後、多質点系を対象とした場合の理論展開、および実験による検証を通して、実用化を図りたいと考える。

参考文献

- 1) 岩浪, 鈴木, 背戸: ダンパーとばねで連結された並列構造物の制振法, 機会学会・D&D 制御講演論文集 (Vol. B), p.504~509, (1992)
- 2) 井川, 山田, 横山, 橋: 2棟連結による制振システムに関する研究, 日本学術会議・アクティブ制震(振)シンポジウム論文集, p.333~340, (1992)
- 3) 蔭山, 安井: 複合構造物の制振に関する研究(その1), 日本建築学会関東支部研究報告集, p.33~36, (1993)
- 4) 蔭山, 安井: 複合構造物の制振に関する研究(その2), 日本建築学会関東支部研究報告集, p.37~40, (1993)