

1.はじめに

隣接した2つの構造物をエネルギー吸収デバイスにより連結することによる動的応答の低減を行うシステムはジョイントダンパーとして知られている。本研究では、2構造物を連結するデバイスとして粘摩擦ダンパーを用いた場合について検討したものである。従来の研究により知られている最適粘性導出法と等価線形法の併用による粘摩擦ダンパーの最適パラメータ導出法を提案するとともに、模型を用いた振動台実験によりその有効性を検証した。

2.最適ダンパーパラメータ設定法

最適粘性ダンパーパラメータについて ジョイントダンパーとして粘性ダンパーを用いた場合の最適な粘性係数の決定法に関しては、PQ 定点理論を利用した蔭山らによる導出式[1]や複素固有値解析により一次減衰定数を最大にする値を算出する方法が知られている。しかし実際に用いられる粘性ダンパーは、摩擦の影響により非線形挙動をする事が予想される。このように、ダンパーに摩擦力が存在する場合の最適粘性係数は、PQ 定点理論を利用した導出式により算出された値とは異なったものとなるため、これを考慮した決定法が必要である。

PQ 定点理論について ジョイントダンパーによる振動制御対象モデルが2つの質点系とみなせる場合は、PQ 定点理論を利用できる。この構造系のダンパー減衰係数を様々に変化させた際の変位振幅比曲線の通る定点をP点、Q点としその点で各々極大値を取り、またP点とQ点の高さが等しくなる場合を最適調整条件とする。この考え方に基づく最適粘性は次式により与えられる。[1]

$$C_{opt} = h_{opt} m_1 m_2 (\omega_p + \omega_Q) \left(\frac{1}{m_1 + m_2} + \frac{\omega_p \omega_Q}{k_1 + k_2} \right) \quad \cdots (1)$$

ただし、本式で得られる値は剛性による固有振動数調整をしておらず、 h に関して二次式を含む最小自乗問題となるため、完全な最適値ではなく、準最適値として与えられている。なお、 h_{opt} は最適減衰の平均値と考えられる。

導出法の提案 図1に導出法のフローを示す。まず連結構造物系の一次固有振動数を算出し、この周波数でのサイン波加振を仮定する。またジョイントダンパーに付随する摩擦力の基で、ダンパーストロークが最適粘性の場合と等しくなると仮定して、次式(2)によりでダンパー粘性係数を算出する。

$$C_d = C_{opt} - \frac{F_{friction}}{2\pi^2 f} \quad \cdots (2) \quad C_{opt}: \text{最適粘性係数} \quad F_{friction}: \text{ダンパー摩擦力} \\ f: \text{加振周波数} \quad C_d: \text{粘摩擦ダンパー粘性係数}$$

次に、本式で得られた粘性係数を用いて動的応答解析を行い、最適粘性ダンパーを仮定した場合と、ダンパーストローク振幅や変位・荷重履歴ループの履歴吸収エネルギーの差を確認する。履歴形状が異なる場合には、発生荷重が等しくなるように、または履歴吸収エネルギー量が等し

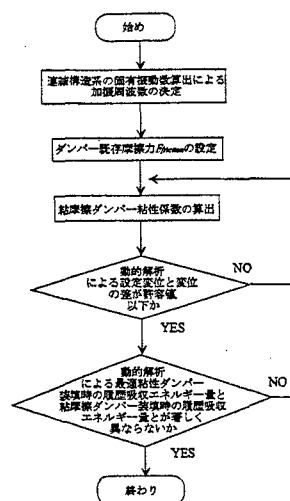


図1 パラメータ設定フロー



図2 模型実験モデル

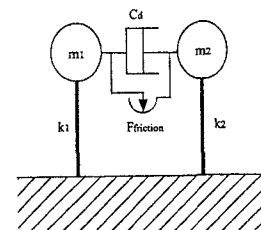


図3 模型モデル図

表1 模型モデル諸量

	構造物1	構造物2
質量(kg)	2.34	3.85
剛性(N/m)	493.9	509.6
高さ(cm)	37.8	37.8
固有振動数(Hz)	2.31	1.83
減衰定数(%)	1.4	1.4

くなるようにダンパーの粘性係数を更新し、繰り返しの収束計算により求める。

3. 模型実験

対象モデル 模型実験モデルとその図を図 2、3 に示す。固有振動数の異なる 2 組の質量を板バネで支持した形式の構造物を、電磁式アクチュエータで連結した構造系を採用した。解析においては各々自由度系としてモデル化した。なお、諸元を表 1 に示す。また、電磁式アクチュエータには 0.45N の摩擦力が存在し、粘摩擦ダンパーとして挙動するように実験を行う。PQ 定点理論に基づく(1)式によるジョイントダンパーの最適

粘性係数は 6.3Nsec/m であり、これに対し提案法により粘摩擦ダンパーの粘性係数を算出した結果は約 2.0Nsec/m であった。図 4 に、解析による履歴形状の比較を示す。

実験結果 振動台によりスイープ波加振(1Hz-5Hz 25sec 20gal)を行った時刻歴応答の実験結果を図 5 に示す。本結果からジョイントダンパーによる応答低減の有効性が確認できる。また、図 6 にダンパーの粘性係数を最適値よりも増加させた場合の時刻歴応答の実験結果を示す。これらより、過度な粘性を与えると、逆に最大応答が増加することが指摘できる。これらの結果から最適粘性が存在することが明らかである。

解析による最適粘性・摩擦力の考察 最適パラメータ導出法により得られたパラメータの組み合わせの最適性について検討する。図 7 にダンパーの減衰係数と摩擦力を変化させた構造物 1 の最大応答加速度等高線図を示す。なお加振条件は、スイープ波加振(1Hz-5Hz 25sec 20gal)である。図 6 を見ると、提案法により算出したパラメータの組み合わせは、最適な領域の近傍にあることがわかる。最も応答が低減される領域から外れている理由は、ダンパーの剛性による固有振動数調整を行っていない点や、もともと 0.45N という摩擦力が過大である点が挙げられる。なお、応答加速度に関して粘性係数と摩擦力の関係がほぼ一次関数的な対応になっているという性質があることがわかる。

4. まとめ

粘摩擦ダンパーを用いて隣接する構造物の振動制御が可能であることが実験的に検証された。また、その最適パラメータについて、従来より知られている方法と等価線形法を併用した設定法が有効であることを示した。

参考文献 1) 蔭山ほか、連結された 2 重系構造物の最適制振、大林組技術研究所報告集 No.49 2) 蔭山ほか、連結制振におけるダンパーの最適配置に関する研究、第 10 回日本地震工学シンポジウム論文集、1998

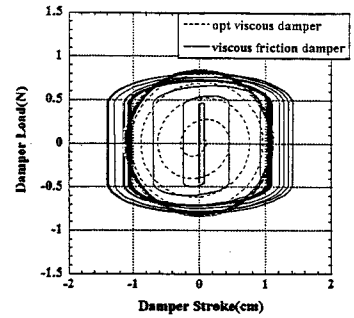
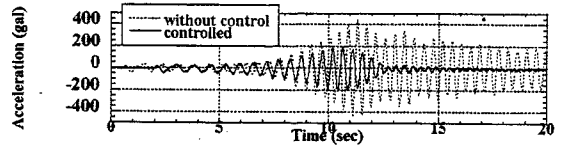
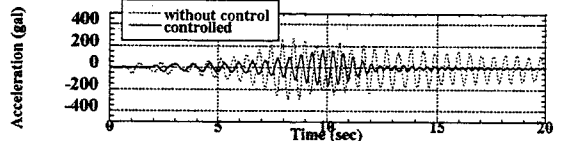


図 4 履歴形状比較

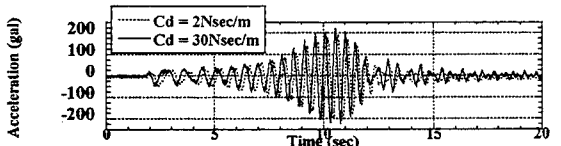


(a) 構造物1

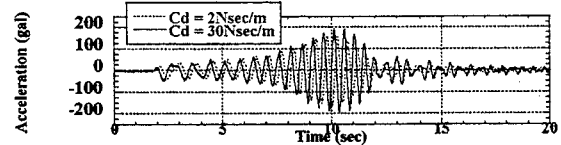


(b) 構造物2

図 5 時刻歴応答比較 (最適粘性時)



(a) 構造物1



(b) 構造物2

図 6 時刻歴応答比較 (過度粘性時)

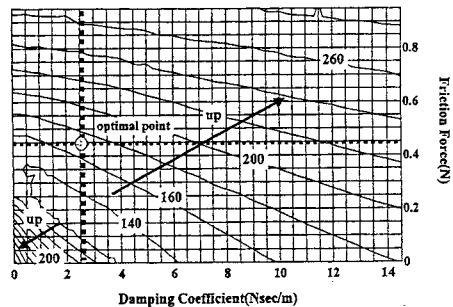


図 7 最大加速度応答等高線図 (構造物 1)