

衝撃質量ダンパの応答特性に関する考察

和歌山工業高等専門学校 正会員 小川一志

1. はじめに

衝撃質量ダンパ（以下、**IMD** と記す）は耐風制振装置¹⁾としてすでに幾つかの構造物に適用されているが、走行車両や地震時の振動に適用するには耐風制振の場合に比べて約 1 桁大きな対数減衰率 1.0 程度の制振性能が必要となる。その際、IMD の制振性能は重錘と構造物の衝突状況によって決定されることから、重錘と構造物との相対的な動きを正確に把握することが求められる。ここでは、IMD の制振性能を高めたときの重錘と構造物の動きについての解析値を実験値と比較し、その妥当性を確認した。

2. IMD の応答解析

(1) 衝突の関係式

重錘と構造物の衝突に関する関係式は次式で与えられる。

$$\dot{u}' - \dot{x}' = -e(\dot{u} - \dot{x}) \quad (1)$$

$$M\dot{u}' + m\dot{x}' = M\dot{u} + m\dot{x} \quad (2)$$

ここに、 $\dot{u}$ 、 $\dot{x}$ は衝突前の構造物と重錘の速度、 $\dot{u}'$ 、 $\dot{x}'$ は衝突後の構造物と重錘の速度、 M 、 m は構造物と重錘の一般化質量、 e は反発係数を示す。

重錘と構造物の一般化質量比 $\mu = m/M$ とおくと、衝突後の構造物と重錘の速度は次のようになる。

$$\dot{u}' = \frac{(\dot{u} + \mu\dot{x}) - e\mu(\dot{u} - \dot{x})}{1 + \mu} \quad (3)$$

$$\dot{x}' = \frac{(\dot{u} + \mu\dot{x}) + e(\dot{u} - \dot{x})}{1 + \mu} \quad (4)$$

(2) IMD 付き構造物の運動方程式

衝撃質量ダンパの制振性能は重錘と構造物との衝突状況によって影響されることから、重錘と構造物相互の動きを正確に把握することが望まれる。ここでは図 1 に示すように質量 M 、ばね定数 K を有する構造物に質量 m 、振り子長 l の衝撃質量ダンパを付設した振動系を想定し、Lagrange の方法を用いて、IMD 付き構造物の運動方程式を誘導した。

$$M\ddot{x} + m\ddot{x} + Kx + ml\ddot{\theta}\cos\theta - ml\dot{\theta}^2\sin\theta = 0 \quad (5)$$

$$ml^2\ddot{\theta} + mgl\sin\theta + ml\ddot{x}\cos\theta - ml\dot{x}\dot{\theta}\sin\theta = 0 \quad (6)$$

ここで、左辺の最終項 2 つの項は重錘を支持する振り子の支点が並進する構造物に付設されていることによって生じる力である。

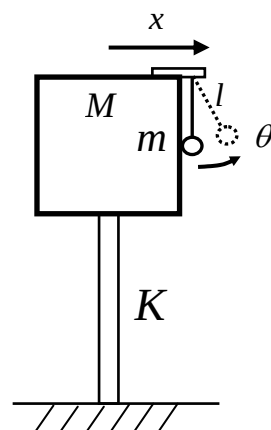


図1 IMD 付き構造物

3. 振動実験

振動実験に使用した供試体は、図 2 に示すように高さ 1.6m の塔模型と振り子に支持された重錘の組合せからなっている。塔模型の重錘との衝突部には緩衝用ゴムを貼り付けている。重錘と緩衝用ゴムの間の反発係数は 0.4～0.5 である。

振動実験では、塔模型に初期変位を与えた後、開放して自由減衰させ、重錘と塔模型の変位をレーザ変位計で計測した。

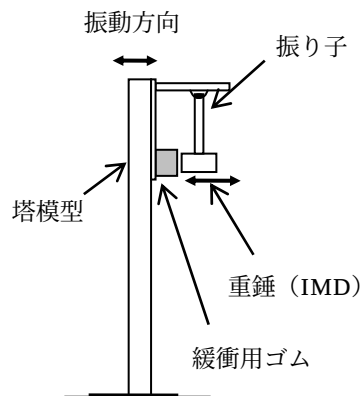


図2 IMD 模型の構成

キーワード： 制振装置，衝撃質量ダンパ，IMD，振動実験，数値解析

連絡先： 〒644-0023 和歌山県御坊市名田町野島 77 和歌山工業高等専門学校環境都市工学科 TEL0738-29-8456

4. 実験および解析の結果

図2に示すようなIMD付き塔模型において、重錘と塔構造物の一般化質量比 m/M を5.5%、振動数比 N_0/N_1 を1.965としたときの振動実験と数値解析の結果を図3に示す。数値解析には、Runge-Kuttaの方法を用いた。ここで、 N_0 は塔構造物の振動数、 N_1 は重錘の振動数とする。塔構造物の構造減衰（IMDが非作動のときの対数減衰率）は0.011である。図3より明らかなように塔構造物の振幅に関して実験値と解析値はほぼ一致している。さらに、振幅値からIMDが作動のときの対数減衰率（近似的にIMDによる付加減衰とみなせる）を算出したのが図4であるが、実験値と解析値ともに、3波目で対数減衰率が約1.0の値を示している。

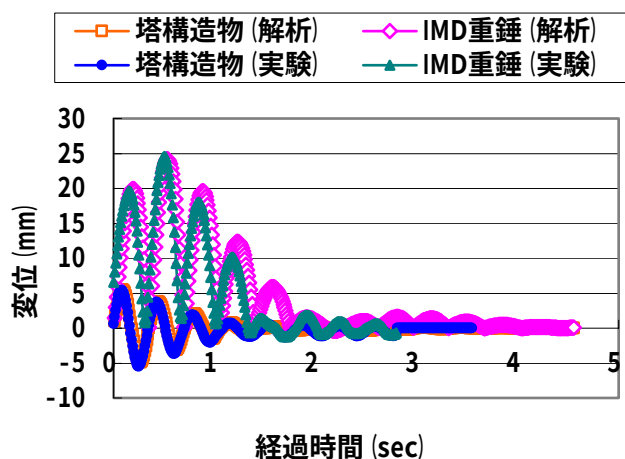


図3 塔と重錘の応答

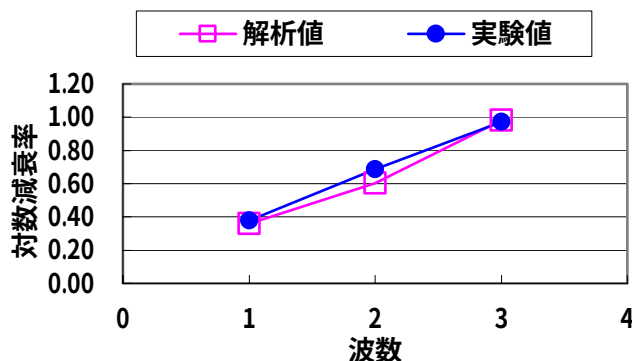


図4 IMDによる付加減衰

重錘と構造物の振動数比 N_0/N_1 によってIMDの減衰性能が受ける影響を調べたのが図5である。ただし、重錘と塔構造物の一般化質量比5.3%とする。解析値 ($N_0/N_1=1.917$) は実験値と良く一致している。図中、1mm以下の振幅で実験結果の振幅がほと

んど減衰していないのは、この場合、重錘が塔構造物と付着してしまい、両者が衝突を止めていることによる。

振動数比 $N_0/N_1=2.0$ のとき、振動は最も急速に減衰して、図6に示すように対数減衰率（付加減衰）は1.5に達する。振動数比 N_0/N_1 が最適値2.0から10%ずれた1.80または2.20の場合でも対数減衰率として約0.3程度を期待することができる。

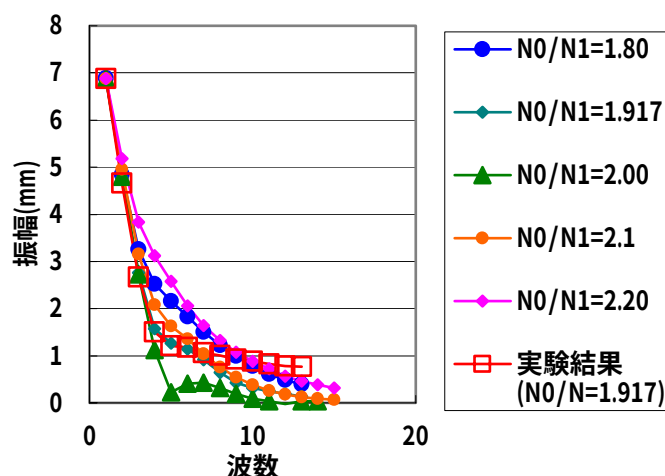


図5 振動数比の影響

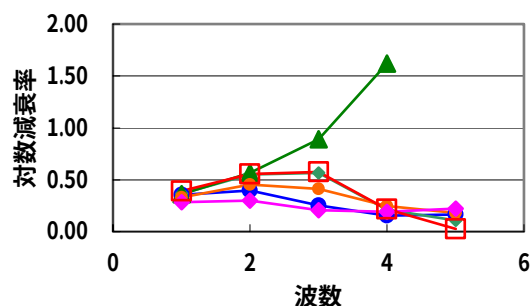


図6 IMDによる付加減衰

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 構造物の振動に対するIMDの制振効果を数値解析で評価できることを振動実験で確認した。
- (2) IMDによって構造物の対数減衰率を1.0程度にできることが理論的および実験的に認められた。

参考文献

- 1) 小川, 林, 坂井: 衝撃質量ダンパ(IMD)方式による塔の耐風制振装置, 風工学シンポジウム, 1990
- 2) 小川, 尾立: 高い付加減衰性能を有する衝撃質量ダンパ(IMD)の検討, 鋼構造年次論文報告集, 2003