

I-603

衝撃質量ダンパ(IMD)の小型化

川崎重工業 正員 小川一志
川崎重工業 正員 ○斎藤敏雄

1. まえがき

衝撃質量ダンパ(IMD)は重錘と構造物との衝突(正確には、緩衝用ゴムを介しての衝突)にともなうエネルギー散逸を構造物の制振に利用するものである。IMDの特徴は、重錘と構造物の振動数比を1:2に調整するとともに、重錘と構造物との衝突部の隙間を0に設定して、重錘と構造物の衝突エネルギーが最大となる正面衝突を繰り返すようにしていることである。その結果、重錘と構造物との衝突だけで、同調質量ダンパ(TMD)と同程度の制振効果を発揮させることができる。IMDは重錘と緩衝用ゴムおよび重錘を支持するリンクから構成されるが、低振動数の場合、IMDのリンク長が過大となる恐れがある。本稿ではIMDの寸法の小型化に関する検討結果について報告する。

2. IMDの小型化

図1に示すような振子の振動数 f は次式で与えられる。

$$f = 1/(2\pi) \cdot \sqrt{g/L} \quad \dots \dots \dots (1)$$

例えば、構造物の振動数が0.2 Hzのとき、重錘の振動数を0.1 Hzに調整するためには、振子長は約25 mに達して現実的な寸法とはいえなくなる。

低い振動数に対応した振子として、倒立型がよく用いられるが、ここでは図2に示すような両天秤型を考える。両天秤型振子の振動数 f は次式で与えられる。

$$f = 1/(2\pi) \cdot \sqrt{g(m_1 L_1 - m_2 L_2)/(m_1 L_1^2 + m_2 L_2^2)} \quad \dots (2)$$

上側(倒立側)の質量の大きさ m_2 と振子回転中心からの距離 L_2 を操作することで、振子の振動数を任意に調整することができる。

この振子をTMDに適用する場合、下側の質量 m_1 と上側の質量 m_2 の慣性力が相殺し合うことから、 $m_1 L_1$ と $m_2 L_2$ の差に比例してTMDの制振効果は低下する。

それに対してIMDの場合、重錘の作動は構造物の動きにともなう慣性力ではなく、構造物との衝突力に基づいて励起されることから、IMDの制振効果は両天秤型振子の運動量に対応した $m_1 L_1$ と $m_2 L_2$ の和に比例するものと考えられる。

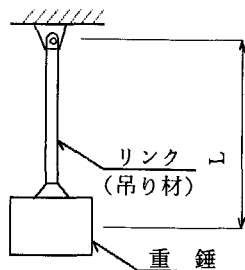


図1 振子

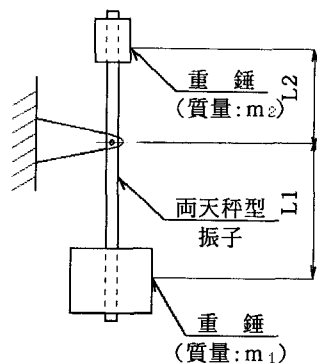


図2 両天秤型振子

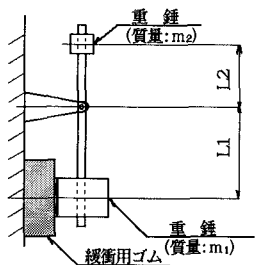


図3-1両天秤型試験装置(下側衝突型)

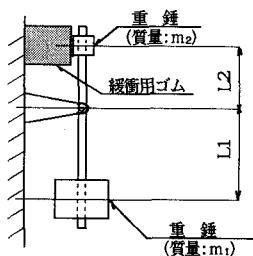


図3-2両天秤型試験装置(上側衝突型)

3. 振動実験による確認

IMDにおける両天秤型振子の有効性を確認するために振動実験を実施した。ここでは構造物と衝突する重錘（下側衝突型の場合、質量： m_1 ）と反対側の重錘（質量： m_2 ）がIMDの制振効果を妨げることがないかどうか調べた。具体的には下側の質量 m_1 が衝突する両天秤型振子（図3-1）と上側の質量 m_2 が衝突する両天秤型振子（図3-2）で制振効果の違いを調査した。

試験条件を表1に、主塔のIMD非作動時、IMD作動時（IMD上側衝突型および下側衝突型の場合）の主塔の減衰波形を図4に、主塔の自由減衰波形から読みとったIMD非作動時およびIMD作動時における、主塔の塔頂振幅と波数の関係を図5に示す。

表1 試験条件

	上側衝突型	下側衝突型
重錘の有効質量比	1.71%	1.41%
主塔と重錘の振動数比(N_0/N)	1.99	1.99
主塔の振動数： N_0	3.597Hz	3.597Hz
重錘の振動数： N_1	1.804Hz	1.804Hz

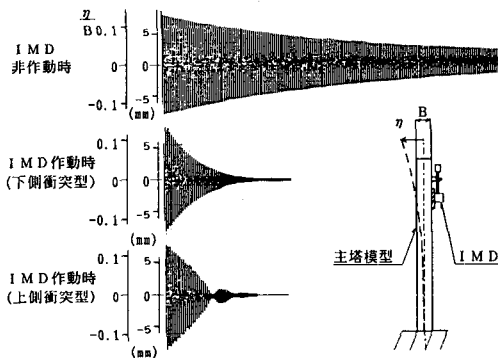


図4 主塔の減衰波形

主塔模型と重錘の振動数比(N_0/N)は1.99、重錘と主塔模型の一搬化質量比はIMDが上側衝突型の場合は1.71%であり、下側衝突型の場合は1.41%である。IMDは主塔模型の倍振幅1mm～17mm ($2\eta/B=0.016\sim0.27$)の範囲で上側衝突型の場合も下側衝突型の場合も共に有効に作動している。但しIMDが上側衝突型の場合は、天秤型振子の支持点がヒンジ構造であり若干のガタが有るため振動途中でIMD周期にくるいが生じ、応答波形にビートが生じる。

基準振幅 ($2\eta=2\text{mm}$) $2\eta/B=0.032$ におけるIMD非作動時の主塔の構造減衰は $\delta=0.0063$ であり、IMDが下側衝突型の場合は $\delta=0.103$ 、上側衝突型の場合も平均として捉えれば下側衝突型と同程度かそれ以上の制振効果が得られる。

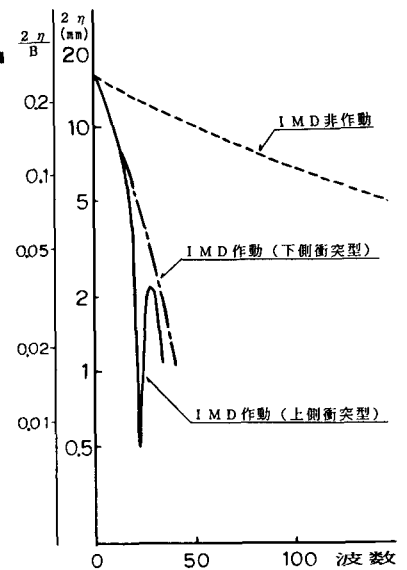


図5 主塔の塔頂振幅と波数の関係

4. あとがき

試験結果以下のことがわかった。

- ① 両天秤型衝撃質量ダンパ (IMD) は、重錘が上側衝突型および下側衝突型共に同程度の制振効果がある。すなわち両天秤型IMDにおいて構造物と衝突する重錘と反対側の重錘がIMDの制振効果を妨げることはない。
- ② 両天秤型IMDを使用することによって、コンパクトなIMDを設計することができる。

参考文献

- 1) 小川, 井手, 斎藤: 衝撃質量ダンパ (IMD) の斜張橋主塔への適用, 構造工学論文集, Vol. 39A, 1993. 3
- 2) 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, 第11回風工学シンポジウム論文集, 1990. 12