

衝撃力の小さい IMD の具体化

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)は重錘と塔状構造物に付設された緩衝材との衝突によって塔状構造物の振動を減衰させる装置である(図1)。IMDの付加減衰は重錘と緩衝材との衝突によっており、衝撃力の存在はIMDにとって不可欠であるとともに、使用性を制約する課題ともなっている。これまでの研究によると、IMDの付加減衰は重錘と塔状構造物(緩衝材)との間の質量比、振動数比および反発係数によって決定され、衝撃力の大きさは重錘が緩衝材に衝突する時の滞留時間に反比例する^{1),2)}。本稿では緩衝材の反発係数と滞留時間の調整によって、付加減衰性能を有しながら衝撃力を大幅に小さくしたIMDの具体例について報告する。

2. 緩衝材の理論的検討

緩衝材を図2に示すようなバネとダンパの組合せでモデル化するとき、緩衝材のバネ定数 k と減衰係数 c は次式のように表される²⁾。

$$k = m(\pi / \Delta T)^2 \quad (1)$$

$$c = mV_1^2(1-e^2)/(\pi A^2\omega) \quad (2)$$

$$\text{さらに関係式 } A\omega = (V_1+V_2)/2 = V_1(1+e)/2 \quad (3)$$

$$\text{減衰定数 } h = c/(2m\omega) \quad (4)$$

を考慮すると、

$$h = (1-e^2)/(2\pi) \cdot [2/(1+e)]^2 \quad (5)$$

ただし、 m は重錘質量、 V_1 は衝突直前の重錘相対速度、 V_2 は衝突直後の重錘相対速度、 ΔT は滞留時間、 e は反発係数、 ω は重錘が緩衝材に衝突している間の角振動数($=\pi/\Delta T$)である。

式(1)と式(5)から緩衝材のバネ定数 k は滞留時間 ΔT と、減衰定数 h は反発係数 e と各々に 1 対 1 の関係にある。すなわち、緩衝材の滞留時間はバネ定数から、反発係数は減衰定数から決定される。

一方、重錘が緩衝材と衝突するときの衝撃力 F はバネ定数 k と沈下量 A から算定される。

$$F = kA = m(\pi / \Delta T)^2 A \quad \text{<計算法 1>} \quad (6)$$

または、衝突時の運動エネルギーと歪エネルギーの関係から、

$$F = kA = m(V_1/A)^2 A \quad \text{<計算法 2>} \quad (7)$$

あるいは、衝撃力 F は重錘の運動量変化と力積の関係から次式で与えられる。

$$F = (\pi/2)(mV_2 - mV_1)/\Delta T \quad \text{<計算法 3>} \quad (8)$$

3. 実験的検討

3.1 実験概要

振動実験に使用した供試体は高さ 1.6m の塔模型と IMD (振子で支持した重錘)の組合せからなる。塔模型と重錘との衝突部には緩衝材を貼り付けた。塔模型質量 11.61kg、重錘質量 0.194kg(塔頂換算 0.136kg)、塔振動数 2.68Hz、重錘振動数 1.45Hz とした。塔模型の構造減衰(対数減衰率)は 0.011 であった。

緩衝材として 1) ゴム S (軟質ゴム)、2) スポンジ、3) 板バネ(0.3mm)、4) 板バネ(0.6mm)の 4 種類を使用した。緩衝材の板バネ(0.3mm)は板厚 0.3mm の板バネ

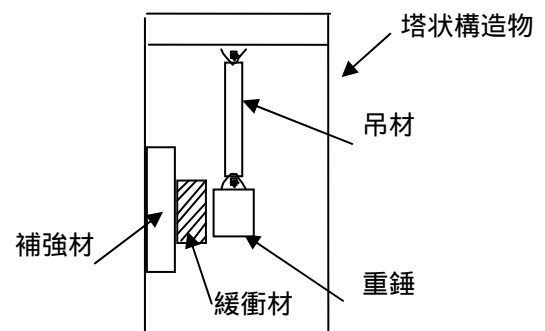


図1 IMDの機構

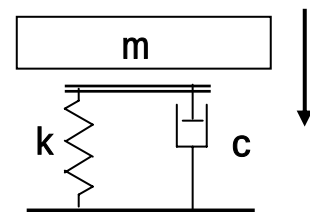


図2 緩衝材のモデル化

キーワード 衝撃質量ダンパ, IMD, 衝撃力, 緩衝材, 反発係数, 滞留時間

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 TEL 0738-29-8456

2枚の間にゴムを挟んだもので、固定端から衝突部までの張出長は50mmとした。バネ定数を弱くして滞留時間を長くし、挟んだゴムのせん断変形によって減衰を付加し反発係数を設定することを意図した。

3.2 緩衝材の反発係数と滞留時間

振動実験の結果として、各種緩衝材に対する重錘の反発係数と滞留時間を表1に示す。ゴムS(従来の緩衝材)のときに比べて、板バネでは反発係数が比較的大きく、滞留時間が長くなっている。特に、板バネ(0.3mm)のときには滞留時間がゴムSのときの約8倍になっている。

3.3 緩衝材のバネ定数と衝突時の衝撃力

緩衝材のバネ定数を図3に示す。計算法1は式(6)、計算法2は式(7)による。ゴムSのバネ定数は36～53kN/m、板バネ(0.3mm)のバネ定数は1.2～1.4kN/mとなる。重錘が緩衝材と衝突するときの衝撃力を図4に示す。計算法3は式(8)による。実験時の重錘が緩衝材に衝突する直前の速度は0.30m/sとする。板バネ(0.3mm)(緩衝材の種類3)の衝撃力はゴムS(緩衝材の種類1)のときの1/5～1/8に低減している。ゴムSのとき、計算法によるバラつきがあるのは、滞留時間0.005sに対してサンプリング間隔0.001sと粗いために計測精度が低下したことによる。

3.4 IMDによる付加減衰

塔模型にIMDを付設したときの、塔模型の減衰自由振動波形を図5に示す。実験条件は3.1に述べたとおりとする。緩衝材に板バネ(0.3mm)を使用することで、ゴムS(従来の緩衝材)のときに比べて塔模型の減衰率が明らかに大きくなっている。その要因としては、板バネ(0.3mm)の場合、反発係数の値が0.8近辺になったことと、衝突時の滞留時間が長いことで重錘の振動周期が延び重錘と塔模型の振動数比が2.0に近づいたことが挙げられる。

4. まとめ

緩衝材のバネ定数と減衰機能を調整することで、緩衝材の反発係数と滞留時間を設定し、付加減衰性能を有しながら衝撃力を大幅に小さくしたIMDを実現できることを示した。本稿の例では、緩衝材に板バネ(0.3mm)を使用することにより、衝撃力の低減(1/5～1/8)と従来の緩衝材以上の付加減衰性能を両立させることができた。

表1 反発係数と滞留時間

種類	緩衝材の材質	反発係数	滞留時間
1	ゴムS	0.65	0.005
2	スポンジ	0.65	0.017
3	板バネ(0.3mm)	0.83	0.040
4	板バネ(0.6mm)	0.81	0.021

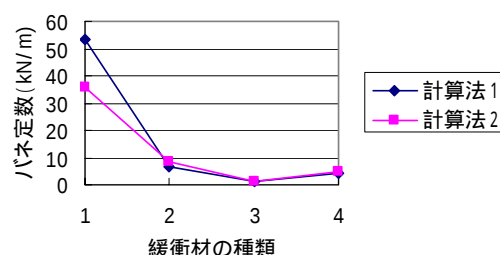


図3 緩衝材のバネ定数

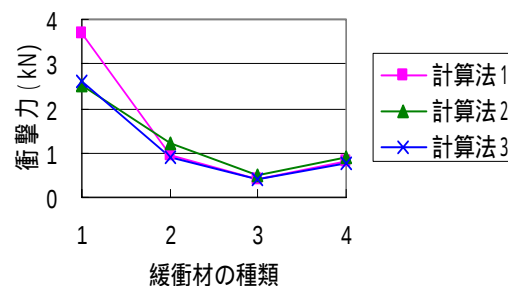


図4 重錘の衝撃力

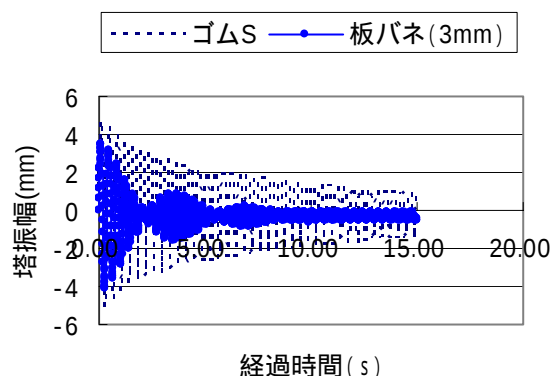


図5 IMDによる減衰効果

謝辞 本研究の実験に際しては、和歌山工業高等専門学校環境都市工学科5年(研究当時)稲田佑介氏の協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

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, 北東: 衝撃質量ダンパ(IMD)における重錘の衝撃力と付加減衰性能, 鋼構造年次論文報告集, 2006