

徳島大学大学院 学生員 ○原田 陽平
 徳島大学工学部 フェロー 平尾 潔

徳島大学工学部 正 員 成行 義文
 姫路市役所 正 員 後藤 弘成

1. はじめに 本研究では、MITMD (Multiple Impact Tuned Mass Dampers) という振動制御装置を免震橋に設置し、免震橋の制振効果に関する基礎的なデータを得ることを目的として、TMD の個数、それらの周期、ならびに質量比等を変化させて地震応答解析を行った。それらの解析結果を MITMD 非設置の免震橋の解析結果と比較することにより、MITMD の制振効果について若干の検討を行った。

2. 解析方法

(1) 解析モデル 本研究では、MITMD を備えた免震橋を図-1 に示すようにモデル化した。MITMD とは、MTMD の効果に IMD の衝撃力による影響を付加することにより、トータルでの制振効果を高めようとする装置である。MITMD の構造は、図-1 のように TMD の機能を持たせた剛体箱の中にフリーな重錘が入っているものとする。また橋脚は RC 橋脚を想定しているが、本研究では MITMD の基本性能の把握を目的としているため、その復元力履歴特性は初期弾性剛性を有する線形とした。また、同様に免震支承の復元力履歴特性も、等価剛性を有する線形とした。

(2) 衝撃力の算定法 重錘が図-2 のように剛体箱の壁に衝突した時の運動量を考える。重錘の質量を m_{an} 、衝突直前の重錘の速度を $\dot{x}_{an0}$ 、衝突直後の重錘の速度を $\dot{x}_{an1}$ 、衝撃力を P_{Hn} 、および水平方向の反発係数を e_H 、衝突時間を Δt とすると、衝突前と衝突後で次の関係式が成り立つ。

$$\text{① 衝突法則より} \quad \dot{x}_{an1} = -e_H \cdot \dot{x}_{an0} \quad (1)$$

$$\text{② } x \text{ 方向の運動量の変化より} \quad m_{an} \cdot \dot{x}_{an1} - m_{an} \cdot \dot{x}_{an0} = -P_{Hn} \cdot \Delta t \quad (2)$$

また、(1) 式と (2) 式より衝撃力は、次式のように表される。

$$P_{Hn} = -\frac{m_{an} \cdot (\dot{x}_{an1} - \dot{x}_{an0})}{\Delta t} = \frac{m_{an} \cdot \dot{x}_{an0} \cdot (e_H + 1)}{\Delta t} \quad (3)$$

(3) 入力地震動 入力地震動としては、1940 年 El Centro 記録および、1995 年兵庫県南部地震神戸海洋気象台記録（神戸記録）の 2 種類の地震動記録を用いた。

3. 構造特性値 免震橋の構造特性値は、道路橋免震設計マニュアル（案）¹⁾ に示されている設計例を基に、表-1 のように算出した。また、各 TMD の質量 m_{bj} は式 (4)、剛性 k_{bj} は式 (5) より算出する。これらの式中、 n : TMD の個数、 M : 免震橋のみの総質量、 $\mu = m_b / M$ 、 T : 各 TMD の固有周期を表している。なお、TMD の固有周期 T の決定には、阿部ら²⁾⁻³⁾の方法を用いた。また、重錘は一辺の長さが R の立方体である。重錘の材質は鋼とする。重錘を動きやすくして、衝突回数がより多くなるようにするために、重錘底面が接する剛体箱の面には潤滑油が塗られているものとする。重錘の質量は、式(6)より算出する。今回は $\mu = 0.01$ 、 $\mu_b = 0.1$ を与えている。

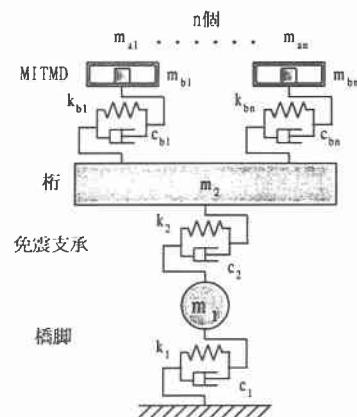


図-1 MITMD を備えた免震橋

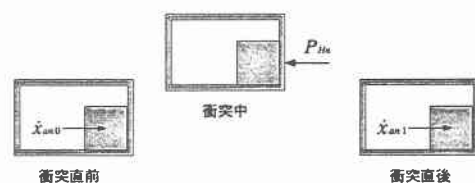


図-2 重錘の衝突

表-1 免震橋の構造特性値

橋脚の質量 m_1	202.51 $kg \cdot sec^2 / cm$
橋脚の剛性 k_1	880000 kgf / cm
上部構造の質量 m_2	736.1 $kg \cdot sec^2 / cm$
支承の剛性 k_2	14496 kgf / cm
1 次の固有周期 T_s	1.4275 sec
1 次の減衰定数 h	0.02

$$m_{bj} = \frac{\mu \cdot M}{n} \quad (4)$$

$$k_{bj} = \frac{4\pi^2}{T_j^2} \cdot m_b \quad (5)$$

$$m_{aj} = \mu_b \times m_{bj} \quad (6)$$

4. 制振効率 本研究では、制振効果を表す指標として、式(7)のような制振効率 C_e を用いる。式(7)中、 $x_{d\max}$ は制振装置設置時の最大応答変位、また、 $x_{\max}$ は制振装置非設置時の最大応答変位である。この指標は、1.0を越えることがなく、値が大きいほどMITMDによる制振効果が高いことを表す。また、 $C_e < 0$ となると、MITMDの設置が逆効果になることを意味する。

$$C_e = 1 - \frac{x_{d\max}}{x_{\max}} \quad (7)$$

5. 各パラメータと制振効率との関係

EL-Centro 記録および神戸記録のそれぞれの場合について、最も制振効率が高い場合MITMD 設置時、非設置時における各部の時刻歴変位応答ならびに衝撃力の時刻歴を図-4に示す。同図より、どちらの地震動記録に対してもMITMD を設置することで、橋脚ならびに上部構造の基礎からの相対変位の最大値が抑えられていることが分かる。また、それぞれ剛体箱の最大相対変位が上部構造のそれに比べて4~5倍になっており、かなり大きく振動し、エネルギーを散逸させていることが分かる。重錘の衝撃力に関しても、剛体箱が大きく変位している箇所では、かなり大きな衝撃力が発生しエネルギーが散逸されていることが分かる。図-5はTMDの個数と制振効率の関係を示したものである。入力地震動がEl-Centroの場合は、TMDの個数が増えるに従って、制振効率が大きくなっている。しかし、入力地震動が神戸の場合は、TMDが1個から複数個になるとやや大きくなっていくが、9個以降は小さくなっている。これより、TMDの個数を増やすことが、必ずしも制振効率を高めることにならないことが分かる。ただし、

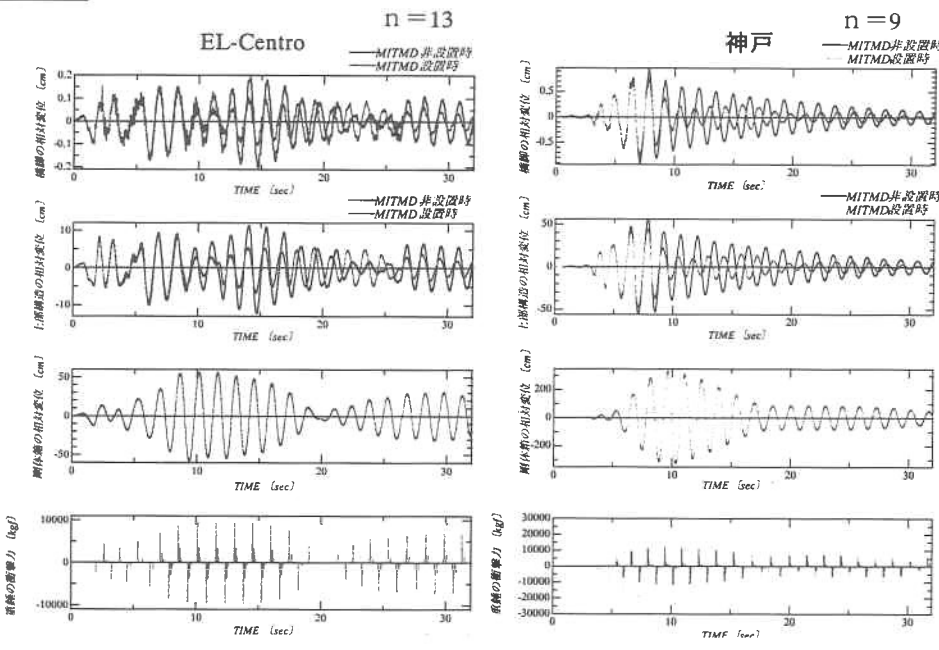


図-4 MITMD 設置時の時刻歴変位応答

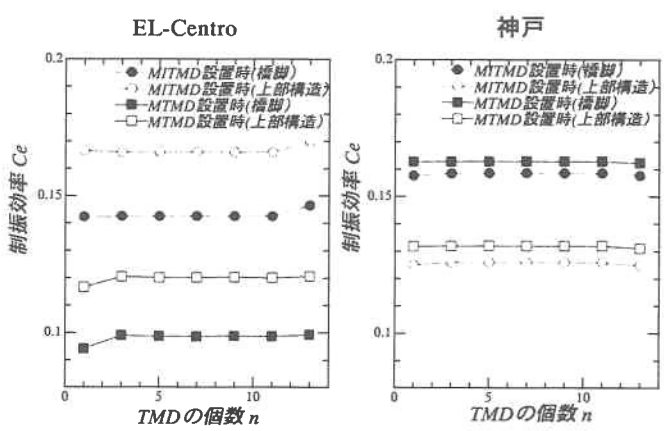


図-5 TMDの個数と制振効率の関係

El-Centro, 神戸ともTMDを複数とした場合の方が、単一のTMDの場合より制振効率が高くなっていることから、同調させる周期および周期幅が適正であれば、TMDの個数を増やすことで、制振効率を高めることができると思われる。参考のため、MTMD設置時の結果も同時に示している。入力地震動特性によっては、衝撃吸収装置を付加しても必ずしも制振効率が上がるとは限らないことが分かる。

6. おわりに 本研究より、次の2つの結論が得られた。①MITMDの各パラメータを適正に設定すれば、免震橋に対して制振効果がある。②TMDの個数や周期等、ならびに入力地震動特性がMITMDの制振効果に及ぼす影響は大きい。

7. 参考文献 1) (財)国土開発技術研究センター：道路橋の免震設計法ガイドライン（案），平成元年3月。2) 阿部雅人・藤野陽三：マルチプル同調質量ダンパー（MTMD）の基本的特性，土木学会論文集，No.465/I-23,pp.87～pp.96，平成5年4月。3) 阿部雅人・藤野陽三：マルチプル同調質量ダンパー（MTMD）の性能評価式，土木学会論文集，No.465/I-23,pp.97～pp.106，平成5年4月。