

鹿島技術研究所 正員 〇一宮利通 鹿島技術研究所 正員 竹田哲夫  
 同上 飯塚真巨 鹿島土木設計本部 岡本裕昭

1. はじめに

フローティングタイプのPC斜張橋は長周期化することにより地震応答の低減を図っており、耐震性に優れた構造物であると言われている。しかし、その半面で、主桁の応答変位が大きくなるという欠点もある。そこで、本研究では、主桁の橋軸方向の変位を小さく抑えることを目的として、PC斜張橋に対するTMD (Tuned Mass Damper) の適用性を検討した。ここでは、大幅な低減を狙うのではなく、20%程度の低減を目標とした。

2. 解析の概要

中央スパンが250mの3径間連続PC斜張橋を解析の対象とし、これを図-1に示すようにフレーム系モデルに単純化して、直接積分による時刻歴応答解析を行った。1次振動モードは図-2に示すとおりである。PC斜張橋の減衰特性は1次と2次の振動モードで5%となるようなRayleigh減衰とし、TMDの減衰は速度比例型の減衰として与えた。

まず、TMDの減衰の大きさの影響を検討するために、TMDの主桁に対する質量比を一定にし、減衰定数hを表-1に示すように変化させて解析を行った。次に、TMDの質量の大きさの影響を検討するために、減衰定数を一定にし、質量比を表-2に示すように変化させて解析を行った。

入力地震波は道路橋示方書V耐震設計編に定められた時刻歴応答解析用標準波形(Ⅱ種地盤用)を用いた。また、入力地震波の影響を検討するために、Ⅰ種地盤用およびⅢ種地盤用の標準波形を用いた解析も行った。

3. TMDの設定

PC斜張橋は多自由度系の構造物で、刺激係数の大きい高次モードが存在するのが特徴である。しかし、主桁の変位については、図-2に示すような主桁がスウェイする1次モードが最も支配的であるので、ここでは、1次モードにのみ着目して、その振動を小さくすることとした。それによって、主桁慣性力も低減するので、これに伴う主塔や橋脚の断面力についても低減することが期待できる。

1自由度系の構造物の場合、TMDを設置することによって、振動モードは主構造物とTMDが同方向に振動するモードと逆方向に振動するモードの2つに分かれる。この2つのモードによる主構造物の応答変位が最小となるような最適固有振動数比 $\gamma$ は次式で与えられる<sup>1)</sup>。

$$\gamma = \omega_2 / \omega_1 = 1 / (1 + m/M)$$

ここに、 $\omega_1$ 、 $\omega_2$  ; 主構造物およびTMDの固有振動数

M、m ; 主構造物およびTMDの質量

ここでは、主構造物の質量は主桁の質量に斜材の半分の質量を加えたものと考えた。

TMDは、活荷重の主径間載荷によって生じる負反力を防ぐためのカウンターウェイトとしても活用するために、両側の端橋脚の支承部に設置することとした。

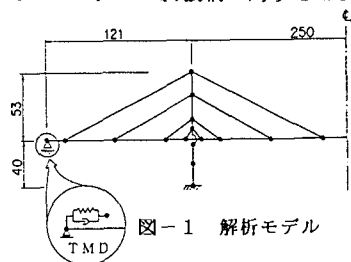


図-1 解析モデル

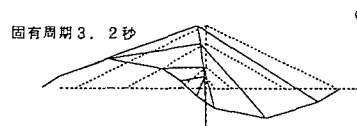


図-2 1次振動モード

表-1 解析条件および結果 (TMDの減衰の影響)

case	m/M	h (%)	桁端変位 (%)
1-0	0.1	0	105
1-1		5	74
1-2		10	79
1-3		20	85

表-2 解析条件および結果

(TMDの質量の影響)

case	m/M	h (%)	桁端変位 (%)
2-1	0.01	10	98
2-2	0.1		79
2-3	0.5		58

4. 解析結果および考察

(1) TMDの減衰の影響

表-1の解析結果をみると、減衰定数が0%、5%、10%、20%の場合、主桁の最大応答変位はそれぞれTMDを付けない場合の105%、74%、79%、85%になっている。最も効果的な減衰定数は5%前後であると思われる。また、主塔や橋脚の曲げモーメントは90%程度に低減していた。

(2) TMDの質量の影響

表-2の解析結果をみると、主桁に対するTMDの質量比が1%では主桁の最大応答変位の低減はほとんどなく、質量比が10%および50%では最大応答変位はそれぞれTMDを付けない場合の79%および58%に低減していた。これより、TMDの質量は主桁の質量の10%程度以上必要であり、質量が大きいほど応答の低減は大きいことが分かる。この場合のTMDのバネの伸びは40cm程度であった。

(3) 地震波形の影響

質量比10%、減衰を10%のTMDを設置した場合に、I種・II種・III種それぞれの地盤用標準波形を用いて地震応答解析を行った結果を図-3に示す。II種およびIII種地盤用の波形を用いた場合は主桁の最大応答変位がどちらも79%に低減しているが、I種地盤用の波形を用いた場合は91%であった。これは、TMDは振動し始めてから効果を発揮するので、I種地盤のように初期にピークが存在するような波形に対しては効果が十分に発揮されないためと考えられる。

5. おわりに

質量比が10%程度のTMDを設置すれば、主桁の応答変位を低減するのに十分有効であることを確認した。また、TMDの減衰定数の最適値は5%前後であり、質量比は大きいほど有効であることなどが分かった。

一般に、PC斜張橋の主桁はボックスタイプが採用されるので、TMDを設置する空間は十分であり、端橋脚支承上に設置すれば負反力対策としても有効である。今後、TMDの実用化に当たっては、TMDのバネや減衰を与える具体的な方法を検討する必要がある。

本研究は鹿島とCUREの共同研究の一環として、カリフォルニア大学アーバイン校のVillaverde助教授と行った研究成果の一部である。

参考文献 1) 藤野陽三「構造物の制振対策(土木分野)」、日本風工学会誌、平成2年7月

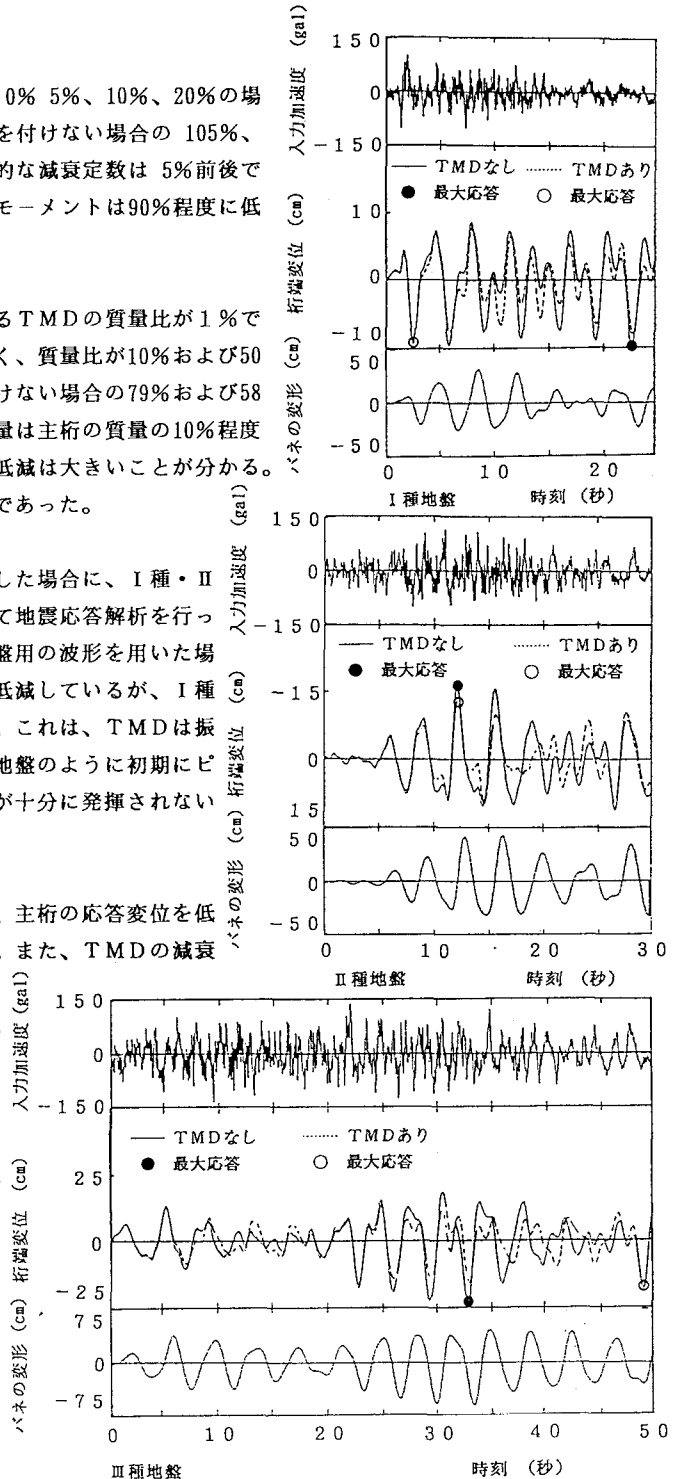


図-3 入力および応答波形