

(株)熊谷組技術研究所 正員 金子誉, 田中港, 鈴木猛康
同 大阪支店 正員 足立喜隆

1. はじめに

筆者等は、固有周期が2秒程度のPC橋の震動制御を対象に、TMDを基本として制御力の増幅を図った桁端ダンパー機構の開発を目指している。本文では、まず減衰装置の概要を紹介し、次いで構造モデルと運動方程式について述べ、最後に簡単な地震応答解析による制震効果の検討例を示す。

2. 装置の概要

図-1に提案する桁端ダンパーの構造を示す。ダンパーはPC箱桁内部の端部に設置され、橋軸方向の震動制御を行う。ダンパーの基本要素であるTMDは橋軸方向にスライド可能な台に水平支持され、さらに、レバーにより桁外部(橋台)、構造物および台が結ばれる。このレバー部は、地盤(橋台)を支点、TMD台を力点、構造物を作用点とする「てこ」とみなせる。したがって、地震時に生じるTMDの慣性力がレバー部に伝わると、アーム比に応じて地盤から拘束力が働き、この2つの力の和が制震力として桁へ作用する。このように、提案ダンパーは、「てこの原理」を用いてTMDの制御力を増幅させるものである。

3. 構造モデルと運動方程式

構造物を1自由度系として扱えば、減衰装置を組み込んだ系は図-2に示すように、3質点バネマス系において、台と構造物の変位が地盤に固定されたレバーで拘束されたものとして表現できる。以下、添字D、T、SはそれぞれTMD、台、構造物を表わすものとする。変位 u の拘束条件は、

$$u_T = (1+\alpha)u_S, \quad \alpha = r/r_0 \quad (1)$$

であり、系の地震時の運動方程式は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} m_D & 0 \\ 0 & (1+\alpha)^2 m_T + m_S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{u}_D \\ \ddot{u}_S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_D & -(1+\alpha)c_D \\ -(1+\alpha)c_D & (1+\alpha)^2 c_D + \alpha^2 c_T + c_S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{u}_D \\ \dot{u}_S \end{bmatrix} \\ & + \begin{bmatrix} k_D & -(1+\alpha)k_D \\ -(1+\alpha)k_D & (1+\alpha)^2 k_D + \alpha^2 k_T + k_S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_D \\ u_S \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} m_D & 0 \\ 0 & (1+\alpha)m_T + m_S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \ddot{u}_g \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、 m 、 c 、 k は質量、減衰係数、剛性、 u_g は地盤の変位である。

4. 地震応答解析による検討例

地震応答解析を行い、提案ダンパーの制震効果の検討を行った。対象橋梁は主桁重量8,000tf、固有周期1.5sec、減衰定数0.05のPC橋を想定した。ダンパーのアーム比($\alpha=1, 2$)をパラメータとし、在来型TMDおよび無制御の場合と比較した。また、ダンパーは調和外力に対して最適調整されているものとした¹⁾。表-1に解析モデルの諸元を示す。解析は式(2)をNewmark- β 法により解いて行い、入力地震動は図-3に示す修正開北橋記録(レベル2、I種地盤用標準波)²⁾を用いた。

ダンパーの制御力波形を図-4に示す。提案ダンパーは在来型TMDのおよそ $(1+\alpha)$ 倍の制御力が得られており、「てこの原理」が働いていることが判る。また、早い時点から比較的大きな制御力となっている。次に、構造物の応答変位波形を図-5に示す。最大変位は無制御で37.2cm、在来型TMDで33.6cm(10%減)であるのに対し、提案ダンパーでは $\alpha=1, 2$ の場合にそれぞれ28.4cm(24%減)、25.0cm(33%減)と制震効果がより大きくなっている。

5. まとめ

「てこの原理」を利用してTMDの制震力を増幅させる橋梁用桁端ダンパー機構を考案した。地震応答解析に

より、在来型TMDの制震効果が10%であったものから提案ダンパーでは約30%へと改善されることが示された。

なお、本研究は建設省土木研究所、(財)土木研究センターおよび民間19社による官民共同研究「高減衰材料を用いた長大橋の免震技術の開発」の一貫として行ったものである。

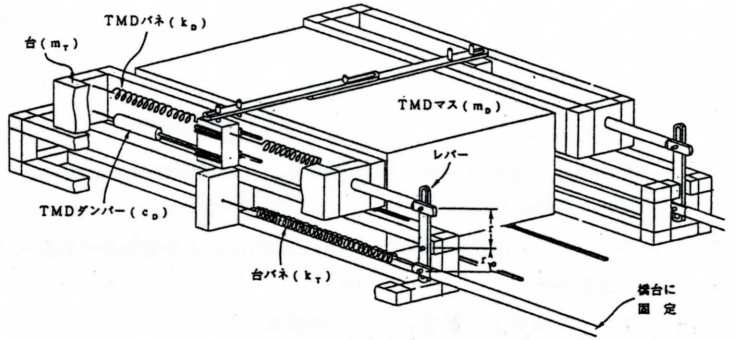


図-1 提案ダンパーの機構

表-1 解析モデルの諸元

		在来型 TMD	提案ダンパー	
			$\alpha=1$	$\alpha=2$
質量比	$\mu = m_D/m_S$	0.05	0.05	0.05
	$\mu' = m_T/m_S$		0.005	0.005
振動数比	$\nu = \omega_D/\omega_S$	0.9524	0.8780	0.7428
	$\nu' = \omega_T/\omega_S$		5.0000	3.0000
減衰定数	h_D	0.1336	0.2654	0.3688
	h_T		0.0000	0.0000

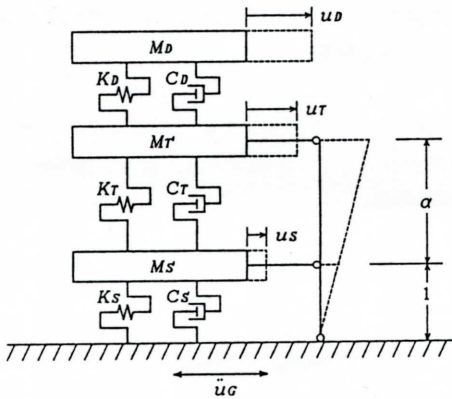


図-2 提案ダンパーの構造モデル

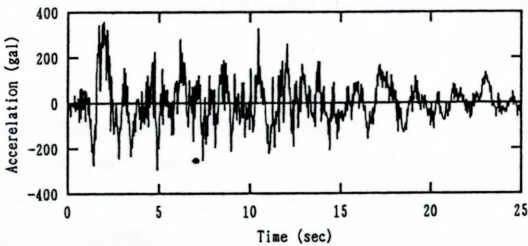


図-3 入力地震動波形（修正開北橋記録）

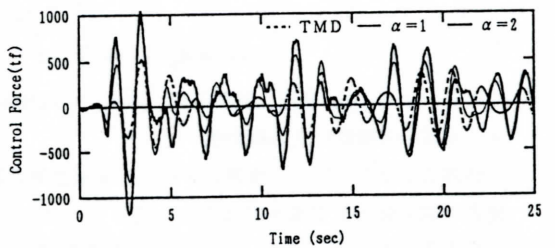


図-4 制御力波形

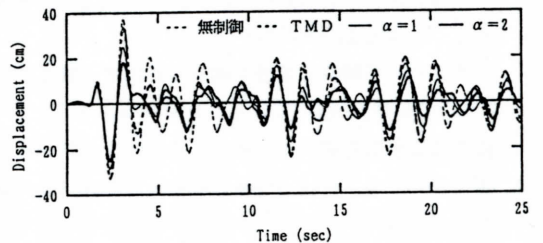


図-5 応答変位波形

参考文献

- 金子，他：相対変位利用型減衰装置の考案，第9回日本地震工学シンポジウム，1994(投稿中)
- 建設省：道路橋の免震設計法マニュアル(案)，1992.10