

トラス型反力構造とてこを利用したTMD型制振装置による 交通荷重作用下の桁たわみ振動制御

九州大学大学院 学生員 神農 誠 フェロー 大塚久哲
 (株)熊谷組 正員 鈴木猛康 正員 金子 誉
 住友金属工業(株) 正員 井澤 衛 正員 利根川太郎

1. はじめに

高架橋上を車両が通過することにより発生する橋桁のたわみ振動（交通振動）を軽減するための対策として、動吸振器（TMD）が盛んに研究されている。しかしTMDが交通振動制御を目的として実橋に取り付けられた例は少ない¹⁾。そこで本研究では従来のTMDに比べてコンパクトで、かつ実際に設置可能と思われるTMD型制振装置（パワフルTMD²⁾）を開発した。本研究のパワフルTMDは交通荷重により誘発される桁たわみ振動を制振対象とし、てこの原理を応用して在来型TMDの制御力を大きく増幅することで制振効果を向上させている。また実測交通振動波形を用いて振動応答解析を実施することにより、不規則な交通荷重に対するパワフルTMDの制振効果を検証した。

2. パワフルTMDの制振原理

図1にパワフルTMDを単純桁橋の桁下に設置した場合の模式図を示す。ここで外力は橋の支間中央に作用するものとする。パワフルTMDはてこ・TMDおよび反力をとるためのトラス（以下、反力トラス）で構成される。ここに r_L はてこ比である。また反力トラスは橋桁と同じ支間長で単純支持されるものとする。桁のたわみ1次振動を制振対象とすれば、パワフルTMD設置点（支間中央）は振動モードの腹にあたる。交通荷重が橋桁から反力トラスに伝わると、反力トラスは反力をしてこに返す。その反力はてこを介してTMDを振動させる。その結果生じたTMDの慣性力はてこにより r_L 倍に増幅されたのち、桁に制御力として作用する。

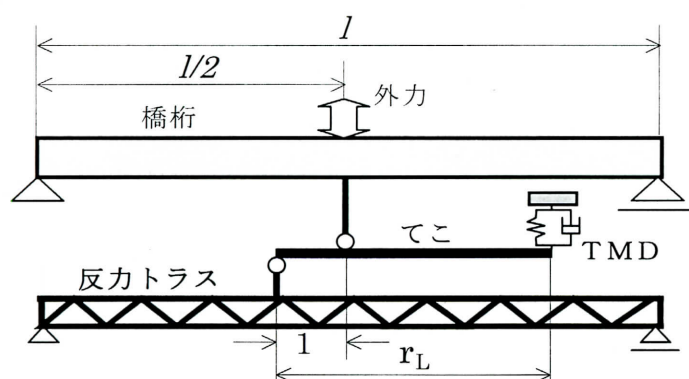


図1 パワフルTMDの模式図

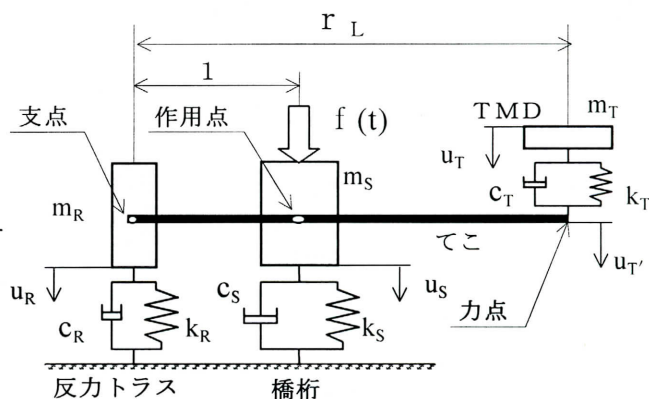


図2 橋桁-パワフルTMD系の力学モデル

3. 橋桁-パワフルTMD系の動力学モデルと運動方程式

図2に橋桁-パワフルTMD系の力学モデルを示す。モデル化に際し、橋桁・TMDおよび反力トラスをそれぞれ1質点系に置換する。てこは各質点を互いに連結している。図2のてこにおいて、TMD設置部は力点、反力トラス設置部は支点、桁との連結部は制御力の作用点に相当する。

式(1)は桁に外力が作用した場合の系の運動方程式である。ここに、 $m \cdot k \cdot c$ および u はそれぞれ質量・剛性・減衰係数（橋桁・反力トラスの場合は1次振動モードの換算質量・換算剛性および換算減衰係数）および変位を表し、添字S・RおよびTはそれぞれ橋桁・反力トラスおよびTMDを表す。

4. パワフルTMDの設計

支間長 40m・5主桁・単位重量 21.8tf/m の単純桁橋を制振対象とし、パワフルTMD付き橋桁の周波数

キーワード：振動制御（パッシブ）、動吸振器（TMD）、てこ、交通荷重、実測交通振動波形

連絡先：〒812-0053 福岡市東区箱崎6-10-1 九州大学工学部建設都市工学科 TEL092-642-3268

伝達関数の最大値を最小にするという最適化基準³⁾に従って在来型TMDおよびパワフルTMDの最適無次元パラメータを求めた。表1にその結果を示す。ここで質量比・剛性比および振動数比は橋桁を基準としている。またパワフルTMDのTMD部の最適減衰定数は0.692であるが、ここでは0.3と仮定する。

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} m_S & 0 & 0 \\ 0 & m_R & 0 \\ 0 & 0 & m_T \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_S \\ \ddot{u}_R \\ \ddot{u}_T \end{Bmatrix} \\
 & + \begin{bmatrix} c_S + r_L^2 c_T & -r_L(r_L - 1)c_T & -r_L c_T \\ -r_L(r_L - 1)c_T & c_R + (r_L - 1)^2 c_T & (r_L - 1)c_T \\ -r_L c_T & (r_L - 1)c_T & c_T \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}_S \\ \dot{u}_R \\ \dot{u}_T \end{Bmatrix} \\
 & + \begin{bmatrix} k_S + r_L^2 k_T & -r_L(r_L - 1)k_T & -r_L k_T \\ -r_L(r_L - 1)k_T & k_R + (r_L - 1)^2 k_T & (r_L - 1)k_T \\ -r_L k_T & (r_L - 1)k_T & k_T \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_S \\ u_R \\ u_T \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f(t) \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (1)
 \end{aligned}$$

表1 設定したパラメータ

制振方法	在来型TMD	パワフルTMD
てこ比 r_L	(1.00)	5.00
TMDの質量比 μ	0.010	0.010
反カトラスの剛性比 κ	—	0.240
反カトラスの質量比 μ'	—	0.015
反カトラスの振動数比 ν'	—	4.00
TMDの最適振動数比 ν_{opt}	0.990	0.813
TMDの最適減衰定数 h_{Topt}	0.061	0.692(0.300)

5. 実測交通振動波形を用いた振動応答解析

表1のパラメータを有する在来型TMD付き橋桁・パワフルTMD付き橋桁に、一般的な鋼単純合成鉄桁橋（支間長 34m・6主桁）で計測された支間中央部の振動加速度波形3波を10秒間入力した。図3・図4および図5にそのときの橋桁の変位応答を示す。表2は橋桁の最大応答変位の一覧である。これらの図表から、どの入力加速度波形でも在来型TMDよりパワフルTMDのほうが全体的に変位応答を低減できており、かつ最大応答変位の低減率も高いことがわかる。

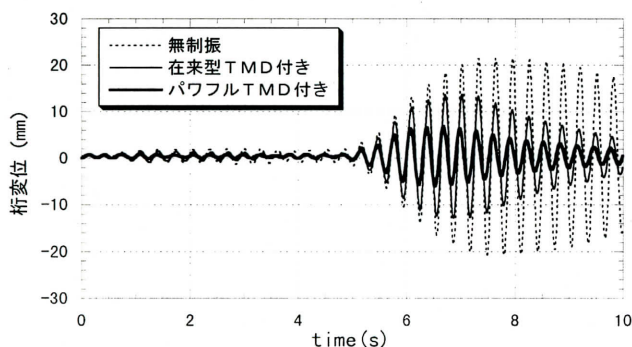


図3 kom109入力時の橋桁の変位応答

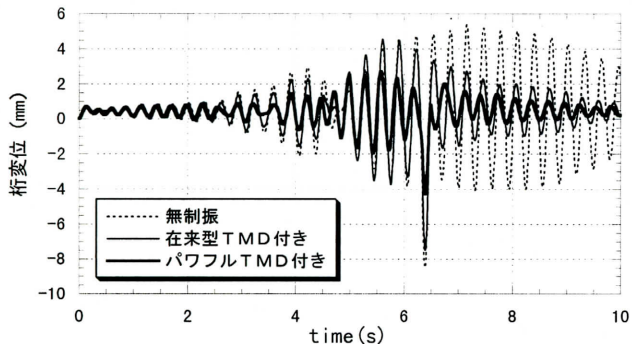


図4 kom209入力時の橋桁の変位応答

表2 橋桁の最大応答変位の比較

加速度波形	制振方法	最大応答変位(mm)	発生時刻(s)	最大応答変位の低減率(%)
kom109	無制振	21.6	7.65	—
	在来型TMD	13.8	7.02	36.1
	パワフルTMD	6.78	6.68	68.6
kom209	無制振	-8.51	6.39	—
	在来型TMD	-7.49	6.40	12.0
	パワフルTMD	-4.26	6.39	50.0
kom309	無制振	23.7	4.04	—
	在来型TMD	15.0	3.10	36.7
	パワフルTMD	6.19	2.44	73.9

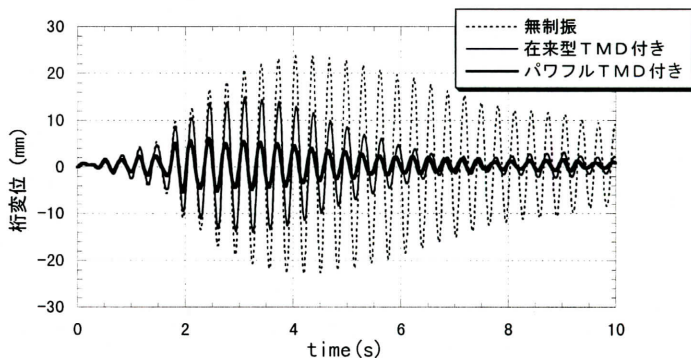


図5 kom309入力時の橋桁の変位応答

6. まとめ

- 1) てこの原理を応用して在来型TMDの制御力を向上させた桁たわみ振動用パワフルTMDを開発した。
- 2) 実測交通振動波形を用いた振動応答解析の結果、パワフルTMDは不規則な交通荷重が作用する橋桁の最大応答変位を無制振時の約3~5割に低減できている。これは在来型TMDの約2~4倍の低減率である。

参考文献 1) 梶川康男：橋梁環境振動，橋梁振動コロキウム'97 論文集，pp.71-76，1997.8

2) 金子，他：てこを利用して制震効果を高めたTMD型橋梁用制震装置，第1回免震・制震コロキウム講演論文集，1996.11

3) 岡林隆敏・加賀敏明：動吸振器の最適設計に関する考察，橋梁交通振動に関するコロキウム論文集 PART B，1995.12