

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振動抑制効果

九州大学工学部 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

交通荷重による橋梁の振動は、橋脚を介し周辺地盤・家屋に伝播することからこれを抑える必要がある。そうした橋梁交通振動の軽減対策の一つとして動吸振器(TMD)が研究されており、実用に供されているものもある。本研究では、てこの原理を応用しTMDの制御力を大きく増幅することで、橋梁の曲げ1次振動を効果的に抑制する装置を提案し、その制振効果を在来型TMDと比較して検証している。

2. てこの原理を応用した制振装置の概要

図-1に提案制振装置(以下、パワフルTMD)を等断面・支間長1の単純桁橋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。桁の曲げ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。走行車両から桁に作用する外力が反力トラスに伝わると、反力トラスは反力をてこに返す。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。

3. 橋桁-パワフルTMD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自由度系に置換する。各質点のはてこにより互いに拘束される。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となる。

式(1)は桁に荷重が作用した場合の系の運動方程式である。ここに、 m ・ k ・ 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次振動モードの一般化質量・一般化剛性および

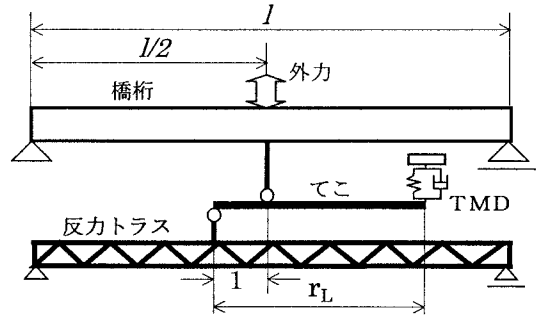


図-1 パワフルTMDの模式図

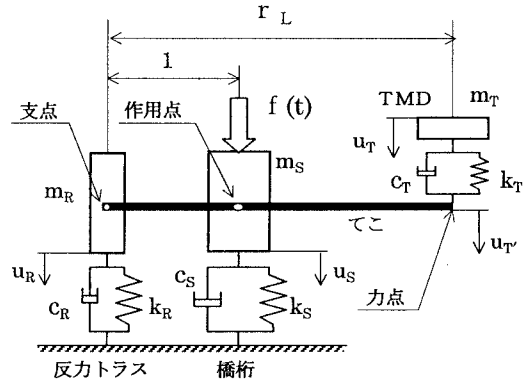


図-2 橋桁-パワフルTMD系の力学モデル

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

一般化減衰係数) および変位を表し、添え字 $S \cdot R$ および T はそれぞれ橋桁・反力トラスおよびTMDを表す。なお式(1)において、てこ比を $r_L=1$ とおくと反力トラスに関する項が消えて、橋桁-在来型TMDの2自由度系運動方程式となる。

4. パワフルTMDの基本設計

パワフルTMDの基本設計に際し、まず反力トラスの剛性 k_R を無限大と仮定すると、式(1)はてこ互いに拘束された橋桁-TMDの2自由度系運動方程式となる。Den Hartog による古典的最適化理論に従い、この系におけるTMDの最適条件式を導くと式(2)・式(3)のようになる。

$$V_{opt} = \frac{1}{1+r_L^2 \mu} \quad (2)$$

$$h_{Topt} = \sqrt{\frac{3r_L^2 \mu}{8 \cdot (1+r_L^2 \mu)}} \quad (3)$$

ここに、 μ : 橋桁に対するTMDの質量比、 v_{opt} : 橋桁に対するTMDの固有円振動数比の最適値、 h_{Topt} : TMDの減衰定数の最適値である。また式(2)・(3)において、てこ比を $r_L=1$ とおくと在来型TMDの最適条件に一致する。

5. パラメトリックスタディーによる

パワフルTMDの振動抑制効果の検証

解析に際し、交通荷重として調和外力を仮定する。図-3は、パワフルTMDを設置した橋桁、あるいは在来型TMDを設置した橋桁に調和外力が作用した場合の共振曲線である。表-1に図-3の算出の際に設定した無次元パラメータを示す。ここに、 μ' : 橋桁に対する反力トラスの質量比、 v' : 橋桁に対する反力トラスの固有円振動数比、 λ : 橋桁に対する調和外力の固有円振動数比(外力振動数比)である。また橋桁・反力トラスの減衰定数はともにゼロとしている。

次に、橋桁に対する反力トラスの剛性比 κ を式(4)で定義する。式(4)において μ' を一定とすれば、 v' が大きくなるほど κ も大きくなる。

図-3において、 v' 以外のパラメータを固定し、 v' を $v' \rightarrow \infty$ ($k_R \rightarrow \infty$) から小さくしていくと橋桁の動的応答倍率DMFの最大値は大きくなることがわかる。表-1の条件下でのパワフルTMDは、

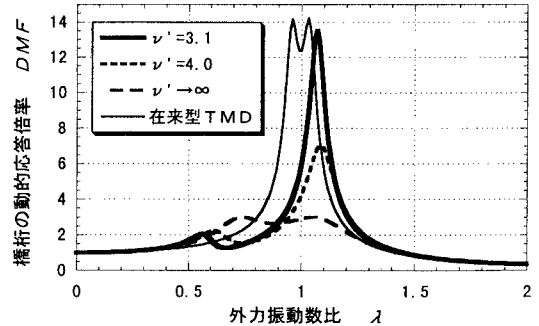


図-3 パワフルTMD, 在来型TMDを取り付けた橋桁の共振曲線

表-1 各パラメータの設定値

	パワフルTMD	在来型TMD
r_L	5	1
μ'	0.01	0.01
μ'	0.015	—
v_{opt}	0.80	0.99
h_{Topt}	0.274	0.061

$$\kappa = \frac{k_R}{k_S} = \mu' \cdot v'^2 \quad (4)$$

v' を3.1以上にするにより、DMFの最大値 DMF_{max} を在来型TMDよりも小さくすることができる。このとき剛性比 κ は14%以上が必要になる。また $v' = 4.0$ にすると、パワフルTMDは DMF_{max} を在来型TMDのそれより50%小さくすることができる。このとき剛性比 κ は24%となる。

6. まとめ

- 1) てこの原理を応用しTMDの制御力を強化した交通振動用制振装置(パワフルTMD)を提案した。
- 2) パワフルTMDでは、橋桁に対する反力トラスの剛性比が制振効果に大きく影響する。
- 3) パワフルTMDは、橋桁に対する反力トラスの剛性比をじゅうぶん大きくすることで、同一質量比の在来型TMDより高い制振効果が期待できる。

<参考文献>

- 1) 金子, 勝川, 鈴木, 井澤, 利根川: てこを利用した制震効果を高めた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, pp241-248, 1996.11.
- 2) 山口宏樹: 構造振動・制御, 共立出版, 1996