

日本鋼管 正会員 加納 勇
日本鋼管 正会員 辻 松雄
日本鋼管 正会員 津村 直宜

1. まえがき 長大橋の架設工事途中において、独立状態の主塔が風によってカルマン振動を起す可能性があり、それが有害と考えられる場合にはなんらかの制振対策がとられる。本報告は、主塔の耐風制振装置として動吸振器^{1), 2)} (TMDと略す) を考えたときの有効性を実験的に調査した結果の概要である。

TMDの適用実施は、歩道橋、高層ビルなどに数例みられるが^{3), 4), 5)}、主塔への適用はないようである。この場合、所要の制振機能の他に製作費が安いこと、装置規模が小さいこと、機構が単純でメンテナンスが容易であること、などの条件も満さなくてはならない。我々は、これらの条件を満たすと考えられる、粘弾性体を使用した振り子式TMDを考案し、模型による振動実験を行なった。

2. TMDの特性 制振しようとする主塔の振動のモードを ϕ とし、この ϕ がTMDを付けたことによって大きく変わらないと仮定すれば、TMDを付けた主塔の運動方程式は次のようになる。

$$\begin{cases} \frac{M_t}{\phi_d^2} \ddot{U}_t + \frac{C_t}{\phi_d^2} \dot{U}_t + C_d(\dot{U}_t - \dot{U}_d) + \frac{K_t}{\phi_d^2} U_t + K_d(U_t - U_d) = \frac{F}{\phi_d} \\ M_d \ddot{U}_d + C_d(\dot{U}_d - \dot{U}_t) + K_d(U_d - U_t) = 0 \end{cases}$$

ここで、

M_t : 主塔の等価質量 M_d : TMDのおもりの質量

$M_t = \int (\text{分布質量}) \times \phi^2 dx$

C_t : 主塔の等価減衰係数 C_d : TMDの減衰係数

K_t : 主塔の等価剛度 K_d : TMDのばね定数

$\omega_t^2 = K_t/M_t$ $\omega_d^2 = K_d/M_d$

U_t : 主塔の変位 ($\phi = 1.0$) U_d : TMDのおもりの変位

F : 主塔への外力 ϕ_d : TMD取付点のモード振巾

TMDの振動特性値 M_d, C_d, ω_d を系統的に変えて、方程式を解けば、TMDの特性を知ることができる。

制振効果の表現として、複素固有値から得られるモード減衰、定常外力応答の最大値などがあるが、ここでは、模型実験結果と関連して、次の応答振巾比 κ を用いることにした。なお、 M_d は装置規模、制振効果を左右する重要な値であるから、特に、 M_t/ϕ_d^2 との比 β をもって表わす。

$$\text{応答振巾比 } \kappa = \frac{\text{TMDのない塔の塔頂最大応答振巾}}{\text{TMDのある塔の塔頂最大応答振巾}}$$

$$\text{等価質量比 } \beta = \frac{M_d}{M_t} \phi_d^2$$

図1に、理論値の例として、 $\beta = 1/180$ のときのTMDの特性を κ の曲線で示す。

3. 模型実験 塔高460cm、1次モードの $M_t = 0.272 \text{ Kg s}^2/\text{cm}$ 、 $\omega_t = 9.61 \text{ rad/s}$ の塔模型(図2)に、 $M_d = 0.00145 \text{ Kg s}^2/\text{cm} \times 2$ 台の粘弾性体使用振り子式TMD模型(図3)を高さ360cm($\phi_d = 0.725$)の位置に取付けて、不平衡式起振器による強制加振実験を行った。 $\beta = 1/178$ である。起振力 $F = 0.30 \text{ Kg}$ であるが、これは、カルマン振動時の応答振巾から推定される外力にほぼ匹敵する。TMDの特性値である ω_d と C_d は、おもりのつり長さ ℓ_d と粘弾性体の体積 V_d によって変えることができる。

図1に実験の結果をプロットした。理論値と比較することにより、本装置がほぼ理論通りの性能を発揮することがわかる。理論上、 $\kappa_{\max} = 17.7$ が得られる装置であるが、実験では $\kappa = 16.7$ を得ている。このときの共振曲線と自由減衰振動波形を、塔だけ(TMDなし)の状態と比較して図4、図5に示す。なお、

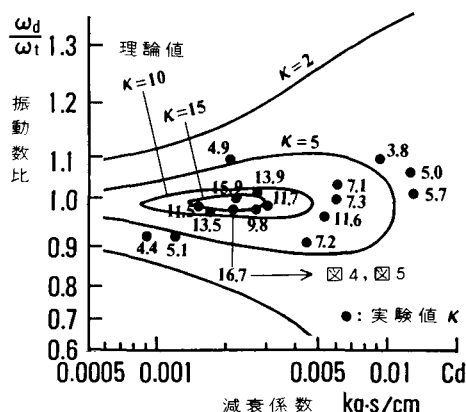


図1 TMDの ω_d, C_d と制振効果 κ
($\beta = 1/180$)

TMDの特性値は、
 $\omega_d = 9.42 \text{ rad/s}$,
 $C_d = 0.0021 \text{ kg s/cm}$
 であるが、その減衰
 波形を図5に示した。

マサツが動かぬよ
 うに工夫された本装
 置は、主塔の微小振
 動（塔頂加速度で数
 gal）に対しても作
 動する。図5参照。

最大限の効果を発
 揮させるには、TMD
 を最適値 $\omega_{d, \text{opt}}$,
 $C_{d, \text{opt}}$ にセットさ
 せなくてはならない

が、 C_d のセットずれは効果に大きな影響を与えない。図1参照。

4. あとがき 今回の実験から、粘弾性体を使用した振り子
 式TMDは、理論に近い効果を発揮することが分った。粘弾性
 体の特性の変化、主塔固有振動数とのチューニングのずれなど
 を考えたとしても、等価質量比 $\beta = 1/180$ 程度の装置を取付け
 ることで、主塔の対数減衰率は0.05～0.10を確保できる。

長大橋の主塔の耐風制振装置として実績をもつスライディングブロック方式、油圧ダンパー重錘方式に比べ、
 索を張らなくてすむ点が、特に海峡長大橋などの工事を考えたとき、本方式の大きな特長である。完成系だ
 けでなく架設により変化してゆく塔への適用については、取付スペースなどの配慮を要する。

なお、工事中の主塔を対象に述べたが、本装置は一般の塔状構造物に対しても当然適用可能である。

参考文献 1) Den Hartog: Mechanical Vibration, Mc GRAW-HILL, 1947 2) 高橋, 倉西: 動吸振器
 による可撓性構造物の振動抑制について, 土木学会論集No. 308, 1981-4 3) 松崎, 西岡, 松本: 歩道橋
 に取り付けた吸振器の効果について, 土木学会論集No. 261, 1977-5 4) R.T.Jones, A.J.Pretlove,
 R. Eyre: Two case studies in the use of tuned vibration absorbers on footbridges, The Structural
 Engineer Vol.59 B, 1981-6 5) R.J.Mc Namara: Tuned Mass Damper for Buildings, ASCE ST9, 1977-9

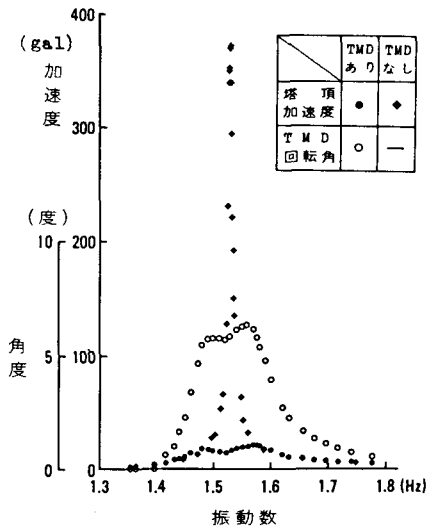


図4 共振曲線 ($F=0.3 \text{ kg}$)

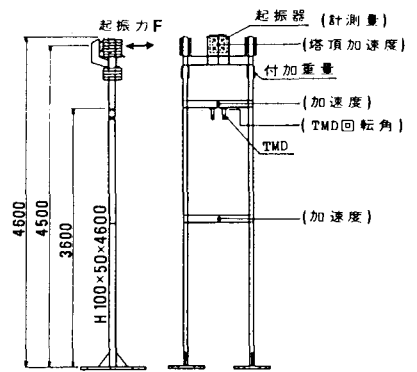


図2 塔の模型

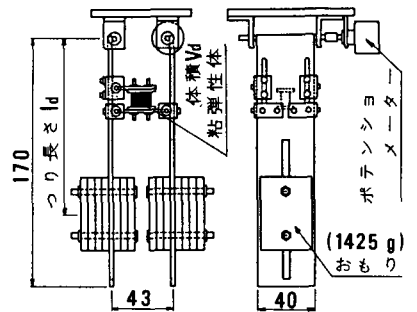


図3 TMDの模型

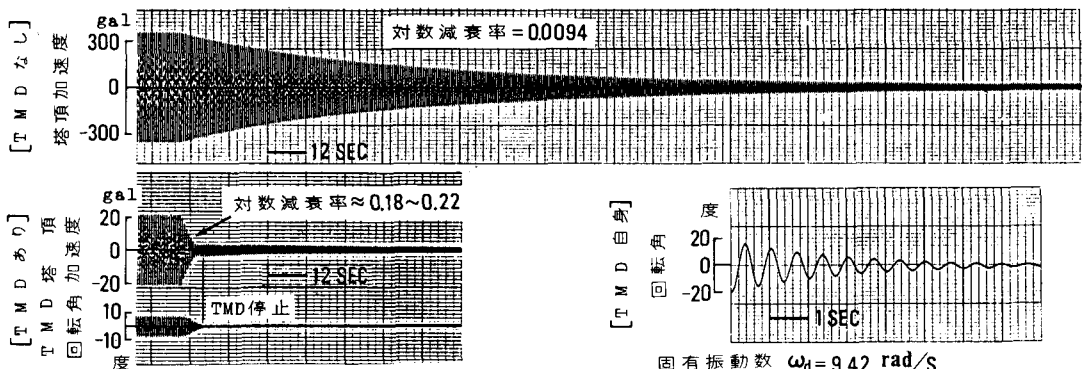


図5 塔とTMDの自由減衰波形

固有振動数 $\omega_d = 9.42 \text{ rad/s}$
 対数減衰率 = 0.24 ($C_d = 0.0021 \text{ kg s/cm}$)