

## I-462

## Dual Tuned Mass Damperの調和入力に対する最適パラメータについて

建設省土木研究所 正員 ○運 上 茂 樹  
U S C 正員 A.M. Abdel-Ghaffar

## 1. はじめに

近年、構造物の振動制御を目的とした各種の装置が開発されているが、その中でもTuned Mass Damper (略TMD)は、主に風に対する建築物あるいは橋梁の振動制御を目的として実構造物に設置される事例が増えており、その有効性が確認されている。TMDの最適パラメータ(同調比と減衰定数)については、Den Hartog<sup>1)</sup>により定式化されて以来、各種の入力に対するパラメータの設定法が提案されており、また、TMDの有効性は、その質量比とストローク量に大きく影響されることが知られている。本文は、TMDの質量比あるいは必要なストローク量を小さくすることを目的として、TMD2つを並列に取り付けた場合(Dual TMD)の最適パラメータを求めるとともに、その有効性を検討した結果をまとめたものである。

## 2. 解析方法

図-1に示すような線形1自由度モデル(主システム)にDual TMDを装備した場合には運動方程式は次式のように表すことができる。

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_s \\ \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2\xi\omega & -\mu_1(2\xi_1\omega_1) & -\mu_2(2\xi_2\omega_2) \\ 0 & 2\xi_1\omega_1 & 0 \\ 0 & 0 & 2\xi_2\omega_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_s \\ \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega^2 & -\mu_1\omega_1^2 & -\mu_2\omega_2^2 \\ 0 & \omega_1^2 & 0 \\ 0 & 0 & \omega_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 1 \\ e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} \ddot{u}_g \quad (1)$$

ここで、 $x_s$ ,  $x_1$ ,  $x_2$ は主システムの地動に対する相対変位及びDual TMDの主システムに対する相対変位を、 $\omega$ ,  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ 及び $\xi$ ,  $\xi_1$ ,  $\xi_2$ はそれぞれの固有円振動数及び減衰定数を示す。 $\mu_1$ ,  $\mu_2$ はDual TMDの主システムに対する質量比、 $e_1$ ,  $e_2$ は影響係数と呼び、TMDの自由度の方向と外力の入力方向の関係を示し、1(同じ方向)あるいは0(その他)の値をとる。また、 $\ddot{u}_g$ は地動加速度あるいは主システムに直接作用する加速度を示す。Dual TMDの場合には与えられた質量比に対して設定されるべきパラメータは同調比と減衰定数の4つとなる。なお、Single TMDを装備した非減衰の1自由度モデルの場合には閉じた形の解析解が求めることができるが、減衰を考慮した場合には数値的に解く必要があり、本検討では、外力 $\ddot{u}_g$ に対する主システムの変位の振動数応答関数のピークが全振動数に対して最小になるように、すなわち、調和入力 $\ddot{u}_g = \ddot{u}_g \exp(i\omega t)$  ( $\omega$ : 外力の円振動数)に対する変位応答振幅の最大値を最小化した。最適値を求める際には、Quasi-Newton法及びFinite-difference Gradient法を用いた最適化サブルーチン(IMS L Math Library)を用いた。

## 3. 解析結果

図-2は、主システムの最適応答比、Dual TMDの最適同調比及び減衰定数と質量比の関係を示したものである。ここで、応答比はTMDを装備しない場合と装備した場合の振動数応答関数の最大値の比、同調比は主システムの固有振動数に対するTMDの固有振動数の比で定義される。なお、ここでは主システムの減衰定数は0.02, 0.05, 0.1を、影響係数はともに0を、また質量比は同じ( $\mu_1 = \mu_2$ )と仮定している。また、横軸の質量比はDual TMDの場合には合計値を示している。図-2(a)によれば、Single TMDと同一の質量比であってもDual TMDは主システムの応答を数%のオーダーではあるがより小さくすることができる。図-3は、質量比が0.05 (Dual TMD: 0.025×2)、主システムの減衰定数が0.02の場合の振動数応答関数を示したものである。Single TMDを装備した場合には全体としては2自由度系となるためピークが2つ求められるが、Dual TMDの場合には3自由度系となるため3つのピークが得られる。主システムの変位応答を最小化するという条件のもとでは、これらのピークはそれぞれ同一の値を有することになり、Dual TMDの方がそのピークが小さくなる。しかしながら、図-3(b)によれば、それぞれSingle TMDの半分の質量比を有するDual TMDの変位応答はSingle TMDよりも最大で約50%大きくなる場合がある。図-4は、前述と同じ条件のもとで初期変位を与えて自由振動を発生させた場合の変位応答を示したものである。これによれば、質量比の合計が同じ場合にはDual TMDの方がわずかではあるが速く振動を抑えることができる。ただし、Dual TMD本体の応答変位は、Single TMDよりも最大で約15%大きくなっている。

#### 4. 結 論

調和入力に対するDual TMDの最適設定値を求めるとともに、質量比が同一となるSingle TMDとの比較を行い、その有効性を検討した。以上の結果をまとめると以下ようになる。

- 1) Dual TMDは主システムの応答を同一の質量比を有するSingle TMDよりも小さくすることができる。このため、大型のTMD1台よりも小型のTMDを2台設置する方が有効となる場合がある。
- 2) ただし、上記の数値条件においてはDual TMDのストロークは、Single TMDよりも振動数応答関数の場合には最大で約50%、自由振動で約15%大きくなり、より大きいストロークが必要となる場合があることに注意を要する。

[参考文献] 1) Den Hartog, J. P.: "Mechanical Vibration", MacGraw-Hill, 1956

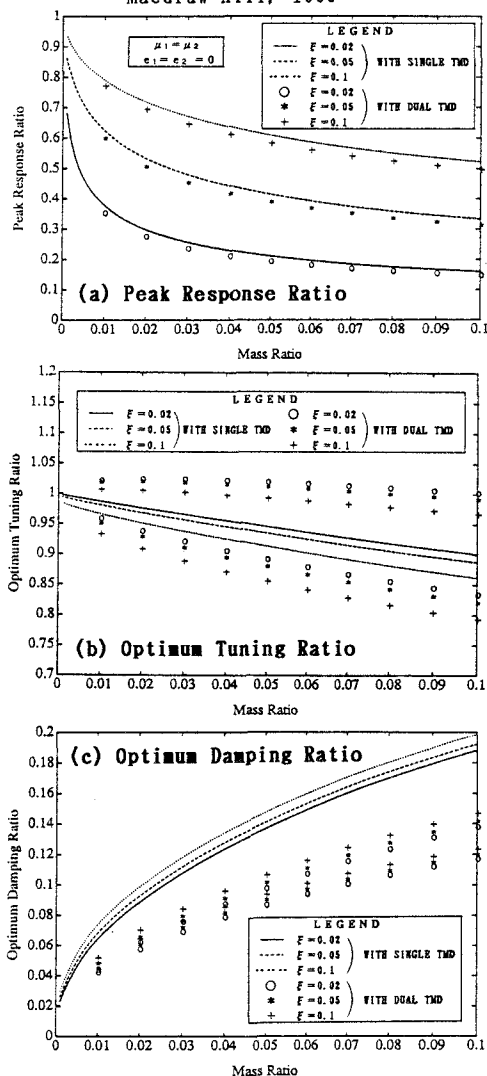


図-2 最大応答比、同調比及び減衰定数と質量比の関係

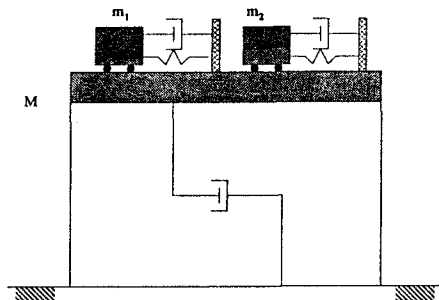


図-1 Dual TMD システム

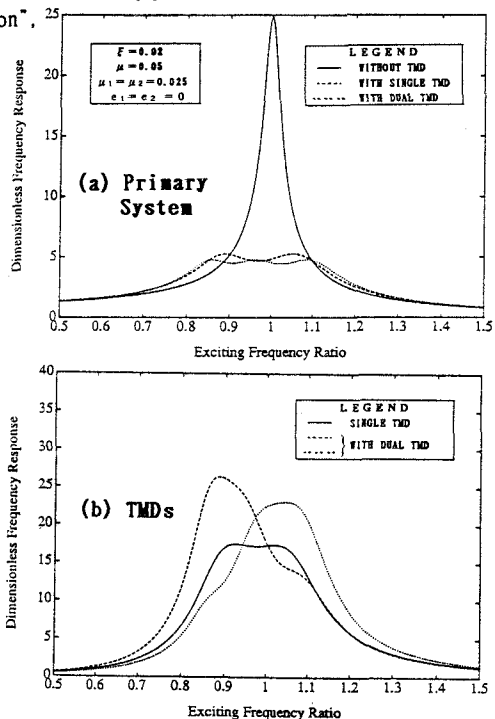


図-3 振動数応答関数

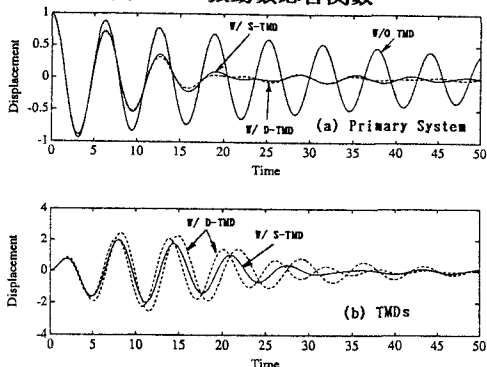


図-4 初期変形を与えて求めた自由応答波形 ( $\xi = 0.02$ ,  $\mu = 0.05$ ,  $\mu_1 = \mu_2 = 0.025$ )