

鉄建建設 正員 栗栖 基彰
 埼玉大学 正員 山口 宏樹
 埼玉大学 正員 奥井 義昭

1. まえがき 振動制御に対する関心がようやく高まり、構造物の制振対策事例も数多くなりつつある。その多くは今のところパッシブタイプの制振法であり、代表的なものとしてTMD(Tuned Mass Damper)がある。TMDの理屈は比較的簡単であり、Den Hartogの古典的とも言える理論¹⁾に尽きると言っても過言ではなからう。本研究はこの古典理論の若干の補足を考えたものである。

2. 構造物の減衰を考慮したTMDの最適化 古典理論では、構造物の減衰を無視した場合にのみ存在する共振曲線の固定点を用い、TMDの最適化がなされている。構造物減衰を考慮したTMDの最適設計理論もその後示されている²⁾が、本研究では土木構造物の制振に限定し、単一正弦波による強制振動（共振）および自励振動の二つの振動現象につき、最適化の考え方を示すことにする。

最適化の目的関数は振動現象により当然変えるべきであり、本研究では強制振動に対し、TMD付構造物の変位応答が最大となる共振振動数で評価した有効減衰 h_{eff} ³⁾、自励振動に対してはTMD付構造物の固有振動のうち構造物が主として振動するモードに対する減衰 h^* 、をそれぞれ目的関数とし、それを最大ならしめるようにTMDのパラメータを決定して、最適化を図る。

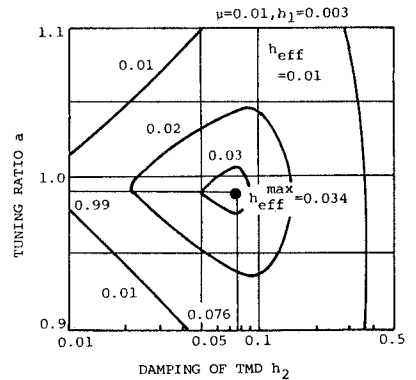
Fig.1(a),(b)はTMDの設計パラメータである同調比 a とTMD減衰定数 h_2 を変えたとき、 h_{eff} と h^* とがどう変化するかを示したものである。質量比 μ は1%、構造物減衰定数 h_1 は0.003($\delta=0.01$ 相当)に設定している。図より明かなように、強制振動、自励振動に対してTMDの効果は異なり、最適同調比 a_{opt} は同じであるものの、最適減衰 h_{2opt} が異なっている。この最適減衰は構造物減衰を無視した古典理論による最適値とも異なり、Table 1にそれらの値を対比して示した。表には同調比、TMD減衰の最適値などを質量比、構造物減衰で表した近似式をも示してある。自励振動に対する式は

Table 1 TMDの最適パラメータおよび最大制振効果

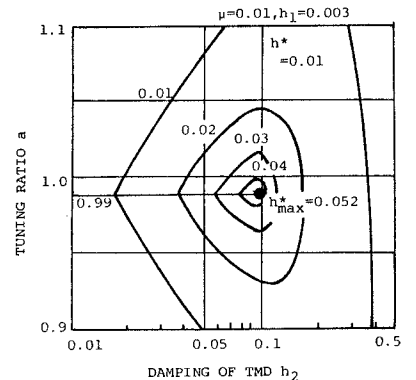
	Den Hartog	Forced	Self-Excited
a_{opt}	$\frac{1}{1+\mu}$	—	$1-\mu$
	0.99	0.99	0.99
h_{2opt}	$\sqrt{\frac{3\mu}{8(1+\mu)^3}}$	—	$\sqrt{\mu}$
	0.060	0.076	0.10
h_{max}	$\frac{1}{2}\sqrt{\frac{\mu}{2+\mu}}$ *	—	$\frac{h_1+\sqrt{\mu}}{2-\mu}$
	0.035	0.034	0.052

* Obtained by using ' $L_1=1/2h$ '
 (Numbers are for $\mu=0.01$ & $h_1=0.003$)

Fig.2は古典理論での最適TMDを用いた場合、構



(a) 強制振動（有効減衰）



(b) 自励振動（モード減衰）

Fig. 1 同調比、TMD減衰と制振効果

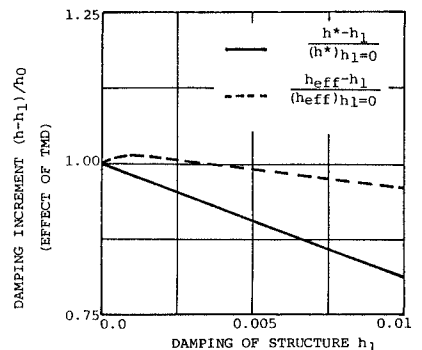


Fig. 2 制振効果に及ぼす構造物減衰の影響

造物の減衰によってTMDの制振効果がどう変化するかを示したものであり、強制振動（破線）では影響が少ないものの、自励振動（実線）では構造物減衰の存在により効きが悪くなることがわかる。

TMDの最適値が求められたとしても、構造物やTMDの不確定要因が存在することから、TMDの設計にはその信頼性の検討のためにFig. 1に示したような図が必要となる。Fig. 1を厳密に得るには、2自由度系の計算とはいえ、それなりの手間がかかるわけで、比較的簡単にある程度の精度で近似解が求まればそれに越したことはない。有効減衰では共振振動数を得る計算が簡単ではないことから、これをTMD付構造物の固有振動数で近似して有効減衰を評価することを考えると、その誤差はFig. 3のようである。最適値の極、近傍以外は誤差は小さく、有効な近似であるといえよう。一方、モード減衰については、Pacheco・藤野⁵⁾の摂動法による近似式を直接用いることを考え、その誤差をFig. 4に図示した。TMD減衰が最適値より大きな場合に相当大きな誤差が生じ、注意を要することがわかる。

3. 摩擦が存在する場合のTMDの効果 TMDの機構上、TMDの作動には固体摩擦力が影響することが考えられる。固体摩擦力の存在する場合について等価線形化法により共振曲線を求めたものがFig. 5である。図より明らかなように、摩擦が存在する場合には構造物の応答変位がある程度の大きさ L_{1c} にならないとTMDが作動しない。この L_{1c} を摩擦力の大きさに対して示したのがFig. 6で、質量比 μ が大きいTMDほど摩擦の影響は小さく、構造物の小さな応答にも作動することがわかる。また、TMDの制振効果については、有効減衰の摩擦力による変化を示したFig. 7により考察できる。TMD減衰 h_2 を最適値、あるいはそれ以上にした場合には摩擦の存在により制振効果が急激に落ちるが、 h_2 を小さく選定した場合には摩擦力の大きさによっては効果が大きくなることもある。

4. まとめ 構造物の減衰の有無、対象とする振動現象の種類によりTMDの最適設計値および制振効果が異なることを示すと同時に、固体摩擦の存在によるTMDの制振効果の変化を明らかにした。

【参考文献】 1)Den Hartog: MECHANICAL VIBRATIONS(1956). 2) Warburton, Earthquake Eng. and Structural Dynamics, Vol. 8, 197-217(1980). 3)寺元, 構造工学論文集, Vol.36A, 1129-1140(1990). 4)栗栖, 埜大卒論, 1990. 5)Pacheco, Proc. JSCE, Vol. 6, No.1, 191s - 200s(1989).

Fig. 5 TMDに摩擦がある場合の共振曲線

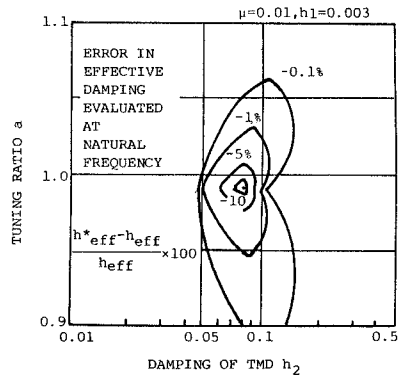


Fig. 3 固有振動で評価した有効減衰の誤差

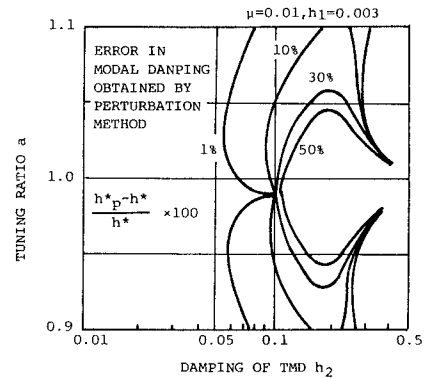


Fig. 4 摂動法によるモード減衰の近似誤差

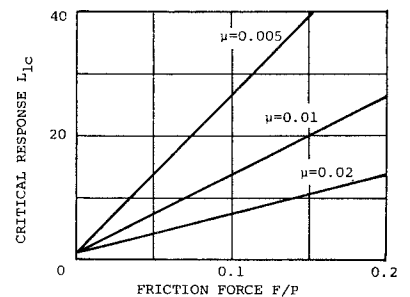


Fig. 6 TMDが作動するときの構造物応答

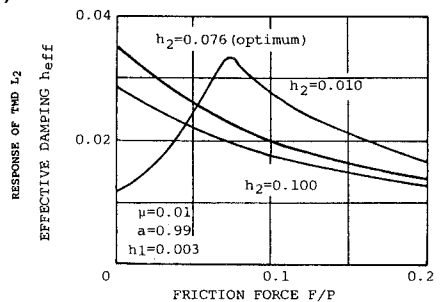


Fig. 7 制振効果に及ぼす固体摩擦力の影響