

東電設計（株） 正会員 黒瀬 浩公 正会員 吉田 郁政

1. はじめに

TMD (Tuned Mass Damper) のチューニングに関しては既に多くの研究がなされており¹⁾、その理論もほぼ明かにされている。アクティブとパッシブのハイブリッド法であるA TMD (Active Tuned Mass Damper) のチューニングはTMDのチューニングをそのまま用いていることが多いが、A TMDの最適な剛性、減衰は制御力に依存し、TMDの最適値と異なることが報告されている²⁾。その一方でA TMDではTMDと異なりチューニングが制振効果に与える影響はあまり大きくないという報告もされている³⁾。そこでA TMDの剛性、減衰の最適なチューニングについて1質点モデルを用いて数値解析により基礎的検討を行なった。

2. 検討モデルおよび検討方法

検討に用いたモデルを図-1に示す。TMDモデル、またA TMDに関しては2つのモデル、パネとアクチュエーターを直列に連結したタイプ（以後直列型と呼ぶ）およびそれらを並列に連結したタイプ（以後並列型と呼ぶ）を考えた。主構造系の諸元を表-1に示す。

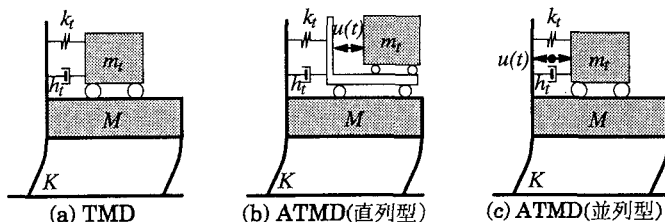


図-1 検討モデル

表-1 モデル諸元

主構造系	固有振動数	3Hz
	減 衰	0.5%
A TMD	質 量 比	0.5%
	剛 性	0~2.0*
	減 衰	0~2.0*

* : TMD既存のチューニングに対する比

制御則は最適制御を用い、応答は相対速度および相対変位のrms値(root mean square)で評価した。主構造系の応答Rは次式で表すことが出来る。

$$R = f(k_t, h_t, u) \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 k_t , h_t : A TMDの剛性と減衰、 u : 制御力である。なお、ここでの制御力は外力を完全に相殺するために必要な力

$$u_0 = Mz \quad \dots \dots \dots (2)$$

のrms値で基準化した。ここで、 M は構造物の総重量、 z は地動加速度である。

(1)式から分るように、主構造系の応答はA TMDの剛性、減衰および制御力の関数となっている。そこで、A TMD (TMDを含む) の剛性、減衰をパラメタにし、TMDの既往のチューニング方法¹⁾による値を基準として各々0~2倍までを30分割して各格子点における応答値を求めた。そして、ある制御力における応答の剛性-減衰平面におけるコンター図を作成し、その最小点をその制御力における最適な剛性および減衰と考えた。入力地震動は図-2の入力1を用いた。

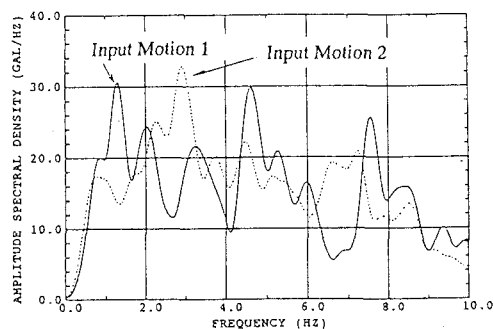


図-2 入力地震動のフーリエスペクトル

3. 検討結果

TMDによる検討結果を図-3に示す。図の横軸が剛性、縦軸が減衰および紙面に垂直な方向が構造系の応答を示しており、図の中心がTMDの既往の方法によるチューニング点、×印がコンターの最小点を示している。

同図から分るように数値解析により得られた最適なチューニング点は、既往の方法によるチューニング点と比べると剛性はほぼ一致しているものの、減衰は小さな値となっている。ただし、全体に縦長のコンターになっており、減衰に関しては剛性ほど感度が低いことが分る。

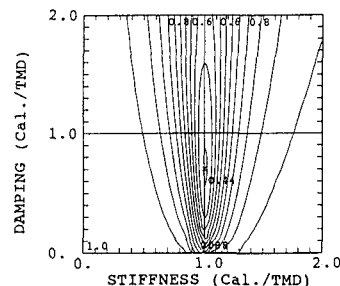


図-3 TMDによるコンター図

次に、ATMDに関する検討結果を図-4に示す。制御力は0.2とした。剛性に注目すると、直列型では最適チューニングはTMDのチューニング点に比べ硬く、並列型では柔らかくなる結果となった。これは、制御力を加えた際にATMDのパネがアクティブとして機能を十分に発揮させようとした結果と思われる。図-5に制御力と最適チューニングとの関係を示す。制御力を大きくするに従いこの傾向は大きくなる。また、直列型では剛性を柔らかくするとコンターが密になり応答が急激に大きくなっていることが分る。減衰に関しては縦長のコンターであり、図-5からも傾向は見られず制御性能にはほとんど影響がない。

最後に直列型と並列型で、TMDのチューニングと制御力に応じて最適化したチューニングによるトレードオフ曲線を比較した結果を図-6に示す。

ATMDのタイプによる比較では、全制御力レベルで直列型に比べ並列型の方が制御性能が良いことが分る。また、既往のチューニングと制御力レベルに応じて最適化したチューニングとの比較では、さほど大きな差は現れなかった。これは図-3, 4から分るように、ATMDによるコンター図はTMDに比べ疎であり、剛性および減衰のチューニングに関して感度が低いと考えることができる。ただし、制振効果の目標を無制振場合の応答の15%まで落すように設定したとすると、例えば並列型で既往のチューニングを用いた場合には、制御力が0.37程度必要なのに対し、最適なチューニングを用いた場合には0.27程度で同じ効果を得ることができる。

4. まとめ

本検討では、ATMDモデルのチューニングに関して1質点モデルを用いた基礎的検討を行なった。その結果は次のようにまとめることができる。

- (1) TMDによる検討結果より、TMDのチューニングは減衰よりも剛性に大きく依存し、制御性能はチューニングにより大きく影響される。
- (2) ATMDでは、制御力に応じて最適な剛性および減衰が存在する。ただし、コンター図が疎になることから、チューニングによる制御性能の差はTMDほど大きくない。特に、減衰はほとんど感度がない。
- (3) ATMDのタイプによる比較では、直列型より並列型の方が制御性能が良い。ただし、直列型の利点としてフェイルセーフ機能、低騒音等が指摘されている⁴⁾。

参考文献

- 1) 松平 精：基礎振動学，現代工学社
- 2) 渡辺・吉田：ハイブリッドアクティブ動吸振器のパラメータの最適化，Dyn Des Conf, vol.1991, No.910-39, pp70-73, 1991
- 3) 田村・三田他：ハイブリッドマスダンパーの高層建物への適用に関する研究，アクティブ制振シンポジウム論文集，pp233-240, 1992
- 4) 吉田・渡辺：大地震に対する高層建物用ハイブリッドアクティブ動吸振器の提案，日本機械学会論文集 C Vol.58, No.550, pp1808-1813, 1992

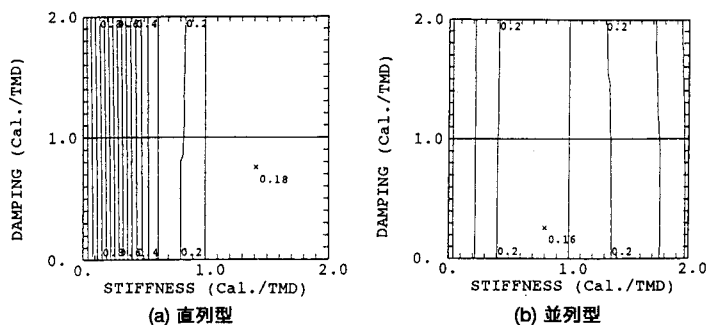


図-4 ATMDによるコンター図

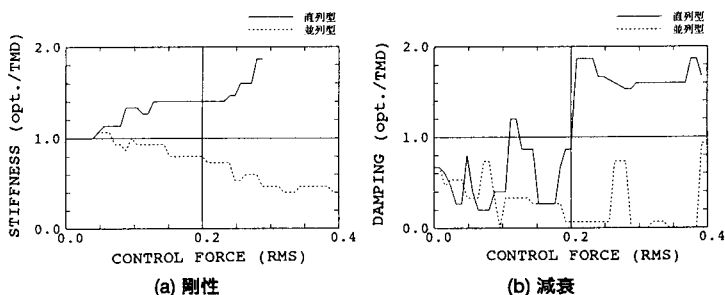


図-5 最適チューニング～制御力関係

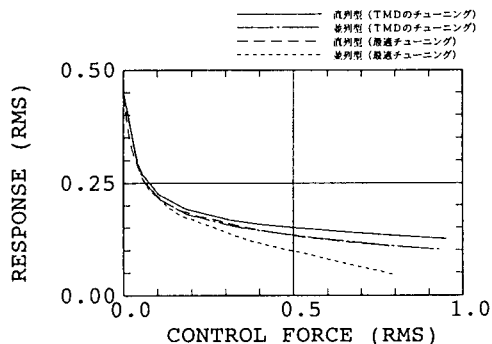


図-6 トレードオフ曲線による比較