

それぞれの振動の速度変化に対して0~2秒でスペクトル解析を実行した結果を図20に示す。1次モードの次に3次モードの振動が多く混ざっており、その傾向はZ方向振動の方が顕著である。また、図15と図16の比較からパターン(3)の方が制振効果が高い。図20より、X方向の振動の方が3次モードの振動数成分が小さいので、その方向にTMDを設置した方が振動を抑えることができたためであると考えられる。

また、そのように2つのモードが入り混ざった特徴があるため、初期変位は新設計式を用いて求めた値よりも大きく取った方が有効であり、パラメトリックに検討していくことが必要である。

4. 平板モデル実験による初期変位付与型 TMD の制振効果の確認

4.1 実験概要²⁾

写真1に実験装置の全体像を、写真2にTMDモデルを示す。1200×200mmの鋼板の中央にTMDを取り付ける。初期変位は電磁石を用いて与え、振動を感知すると電磁石が外れて初期変位が解放される。TMDの減衰はダンパーで与え、その値はTMDの自由振動応答曲線から対数減衰率を用いて求めると、考慮した周期の違いにより、7.03%~8.65%程度の差がある。

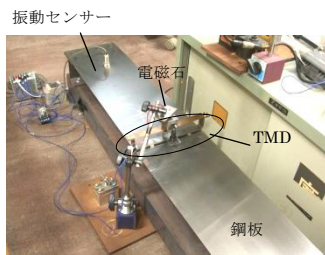


写真1 実験装置

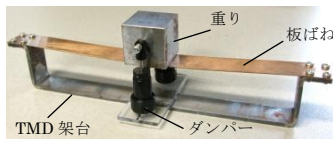


写真2 TMDモデル

4.2 固有振動性状

鋼板の中央部にTMDの架台を取り付けたモデルに対して線形固有値解析を行う。鋼板の材料定数は、ヤング係数 $2.05 \times 10^{11} (\text{N/m}^2)$ 、ポアソン比 0.3、質量密度 $7,850 (\text{kg/m}^3)$ とした。表4に1~4次までの固有振動数を示す。また図21に示す1次モードを制御モードとして選択する。

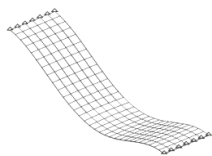


図21 1次モード形状

表4 固有振動数

モード次数	固有振動数(Hz)
1	12.14
2	34.85
3	40.38
4	66.40

4.3 実験結果と解析結果の比較

実験結果と、TMDの減衰比を7.03%にした場合、8.65%にした場合において、TMDの初期変位と、打撃直後の応答である1/4周期目 ($\omega t = \pi/2$) の応答と時刻歴全体での最大振幅の関係を用いて実験結果と解析結果を図22で比較する。

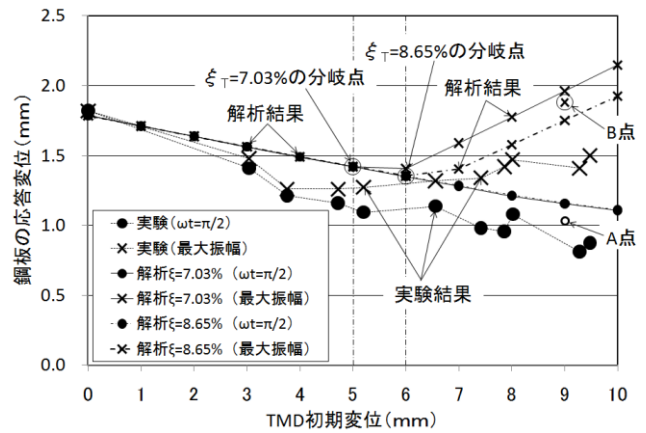


図22 実験結果と解析結果の比較

実験と解析のいずれにおいても、TMDの初期変位が小さいうちは、初期応答が最大振幅となっており、初期変位を大きくするに従ってその応答値も小さくなるが、初期変位がある値よりも大きくなると後に来る最大応答の方が大きくなる分岐点が存在する。

また、初期変位の増加に伴って誤差が大きくなっていく。これは、モデル実験では、電磁石を用いてTMDに初期変位を与えているため、電磁石の電源を切ってもしばらく残留磁力が残っていたのではないかと考えられる。また、電磁石を用いてTMDに初期変位を与える際に、そのTMDに付随して鋼板も持ち上げられるため、この鋼板に付随した初期変位の影響も実験では受けているのではないかと考えられる。

以上のように実験と解析では多少のばらつきは存在するが、全体の傾向はよく一致していることが分かる。

5. 結

うなりの発生しないTMD減衰比の大きい領域に着目した初期変位付与型TMDの設計式を提案し、その制振効果とロバスト性が優れていることを確認した。

複数のモードが存在する多自由度系アーチにおいて初期変位付与型TMDの適用方法を示し、取り付け方向によって得られる制振効果が異なることがわかった。複数のモードが混ざった場合の初期変位の設定を考える必要がある。

実際に平板モデルを用いた実験においても制振効果が確認された。また、解析と実験の比較より、解析的検討の妥当性を確認した。

参考文献

- 1) 吉中進・谷口与史也：初期変位付与型TMDを用いた空間構造の過渡応答の振動制御—初期変位設定式に関する基礎的検討—, 日本建築学会構造系論文集 第75巻 第653号, 1299-1308, 2009.7
- 2) 吉中進・西山秀司・谷口与史也：インパルス外力下における初期変位付与型TMD制振効果の確認のための平板モデル実験, 日本建築学会技術報告集, 第37号, pp.835-840
- 3) 山口宏樹著：構造振動・制御, 共立出版株式会社, 1996.5
- 4) M.Abe and T.Igusa: Semi-Active Dynamic Vibration Absorbers for Controlling Transient Response, Journal of Sound and Vibration, Vol.198(5), pp.547-569

討 議 等

◆討議 [谷池義人]

多自由度系モデルに適用する場合に、1次モードを制御モードとして選んでいるが、2次モードや3次モードに対してはどうか。

◆回答：今回は水平方向の有効質量比の最も大きかった1次モードを制御モードとして選んでいるので、1次モードの腹の位置にTMDを設置しています。2次モードまたは3次モードを制御する場合にはまた別のTMDを設計する必要があります。

◆討議 [谷口与史也]

アーチのモデルでTMDの設置パターンの違いによって最適値がずれているが、設置パターンの違いを設計式のパラメータの中で考慮に入れているのか。設計式に取り入れる必要はないのか。

斜め方向に設置しているが、どういう基準で斜めにしたのか。

◆回答：初期変位の設計式には固有円振動数と応答初期速度のパラメータが含まれており、応答初期速度はTMDの設置パターンによってそれぞれ異なってくるため、設置パターンにより初期変位の大きさを覚えて解析しています。今後設置パターンを設計式に取り入れていく必要があります。

斜め方向は、1次モードの腹のノードが変位している方向に取り付けています。

◆討議 [松村政秀]

なぜインパルス外力に着目したのか。インパルス以外の継続している外力に対してもうなりの影響なく制振効果はあるのか。

◆回答：TMDはパッシブ型の制振装置なので、TMDが安定した振動状態になるまでには時間がかかるため、インパルス応答初期の制振効果には課題があります。本研究ではTMDに初期変位を与えることで従来のTMDの弱点である過渡応答初期にも制振効果を発揮させようとしているものなので、最も基本的なインパルス応答に着目しました。調和外力や地震外力に対する検討は今後の課題です。

◆討議 [角掛久雄]

なぜ水平方向にTMDを設置したときの方が制振効果が得られたのか。

◆回答：鉛直方向の振動に対しては水平方向の振動よりも多く3次モードの振動が混ざっていたため、水平方向にTMDを設置した方がより制振効果が得られたのではないかと考えられます。