単体型 TCMD の性能と制振効果

東海大学　学生会員　○小室　貴裕
東海大学　正会員　　島崎　洋治

１．緒言

構造物の振動発生原因には地震や風，道路や鉄道を走行する車両，建築や土木工事の建設機械によるものなどがあげられる．これらの振動によって引き起こされた振動の周期が構造物の固有周期と一致した場合に共振現象が起こり，構造物が大きく揺れる．この大きな揺れは,居住空間の安全性や快適性など，日常生活に支障をきたすのみならず，構造物の信頼性，精度，品質，寿命などまでも損なう．これらの問題を解決する有効な手段の１つとして制振[1)]が挙げられる. 制振手法には多くの種類があり, 分類の仕方も多様であるが，大きく分けてパッシブ型制振（TMD）とアクティブ型制振（AMD）の 2 つがある．ここで提案する制振装置はパッシブ型に属するクレイドル（ゆりかご）型制振装置（Tuned Cradle Mass Damper:TCMD）[2,3)] である．パッシブ型制振装置には比較的短周期で微小な振幅の制振に適している「同調質量ダンパ（Tuned Mass Damper:TMD)」，道路照明柱などの道路構造物に設置される「転動型制振装置（Tuned Rotary Mass Damper:TRMD）[4,5,6)]，超高層ビルの屋上に設置される「同調液体ダンパ（Tuned Liquid Damper:TLD)」などがある．参考文献（2,3）に示された TCMD は 3 つの円形レール上を，3 個の車輪をもつ錘が移動する形式である．これは，「TMD」のようなバネやダッシュポットを必要としない単純な機構を持ち，保守が容易な上に，「TLD」と比較しても設置面積が 15 %程度（水の比重:1 に対する鉄の比重:8）と省スペースで設置できる特徴がある．さらに多分割して設置することも可能なので，施工が容易である．ここで提案する単体型 TCMD は円形レールに曲率変化を持たせ，単体の円柱状の錘が一定の振動数で揺れるように工夫してある．この円弧状レールは，揺れが大きくなるに従って曲率半径が小さくなる特徴を持ち，この曲率半径は振り子の方程式を厳密に解くことにより決定することが出来る．このことで，円弧の幅が狭まり，クレイドル（TCMD のレールを含む部分）の型がコンパクトになる利点もある．また，レールの数を従来の 3 本から 2 本に減らすことで，より構造をシンプルにしてある．

本研究では 1 秒程度の固有周期を持つペンシルビルや歩道橋，また次世代移動体通信の基地局用アンテナなどの制振を目標に，単体型 TCMD が構造物に与える減衰効果を自由振動実験により確認する．また，装置の周波数調整機構についても紹介する．

２．TCMD 模型

図-1 は実際に使用した TCMD 模型である．この装置は銅板 2 枚を平行に並べて置いてあり，その板には揺動子の振動が一定になるように曲率を変化させた円弧のレールがある．揺動子は直径 80 mm 厚さ 80 mm の鉄の円柱でできている．鉄の円柱の車輪の両端には，専用の MC ナイロンが取り付けてあり，片側 6 個の磁石が取り付けられるようになっている．装置減衰を得るために揺動子の片側に銅板を付け磁気ダンパー用の非鉄金属とした．揺動子が回転して揺れる際，揺動子の磁石と円弧の銅板面との間に渦電流が生じ，揺動子に減衰を与えることができる. 揺動子の減衰の強さは, 取り付ける磁石の個数により調節することができる．本実験で使用した TCMD 模型の質量は約 3.93 kg(梁部分有効質量の約 2 %)である．

キーワード：制振，TCMD，パッシブ型，クレイドル型制振装置，単体型 TCMD
連絡先　〒259-1292　神奈川県平塚市北金目 1117　東海大学土木工学科
TEL　0463(58)1211　　FAX　0463(50)2045

図-2 は周期調整用揺動子である．図-3 は周期調整用リングを取り付けた図であり，この調整リングを取り付けることにより 1.04 Hz～1.28 Hz まで周期を調節することができる．今回の実験では周波数が 1.06 Hz となる装置を用いた．

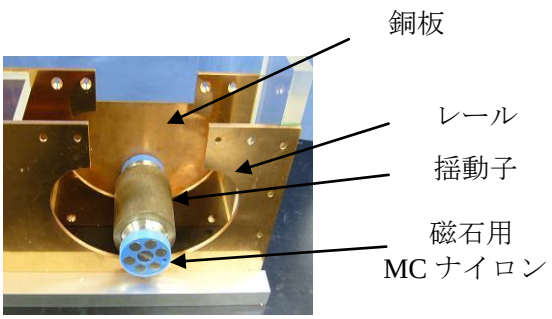

図-1　TCMD 模型

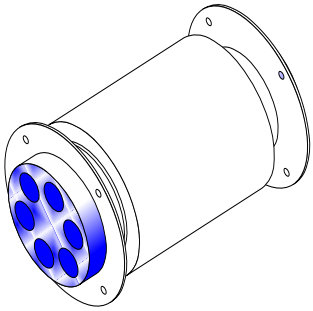

図-2　揺動子

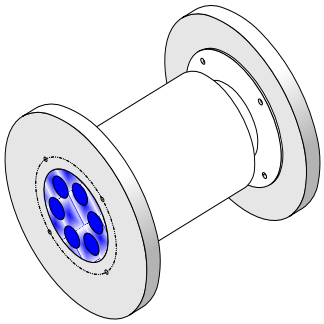

図-3　調整リング付揺動子

2.2　単体型 TCMD 減衰波形

図-4 は磁石 6 個時の単体型 TCMD 自由振動時の減衰波形である．図中の◆印間は減衰定数計算点である．また，図-5 は磁石の個数を 0 個～6 個に変化させた単体型 TCMD の減衰定数を示したものである．

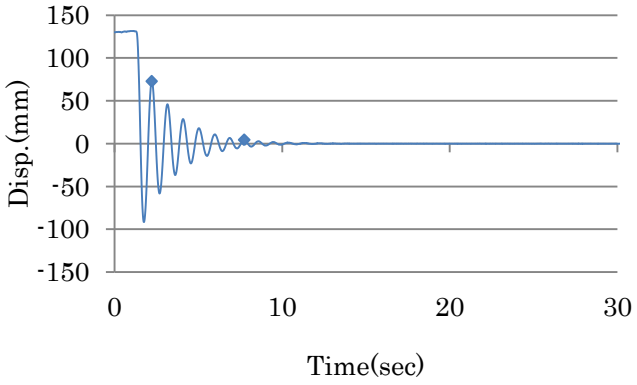

図-4　TCMD 減衰波形(磁石 6 個)

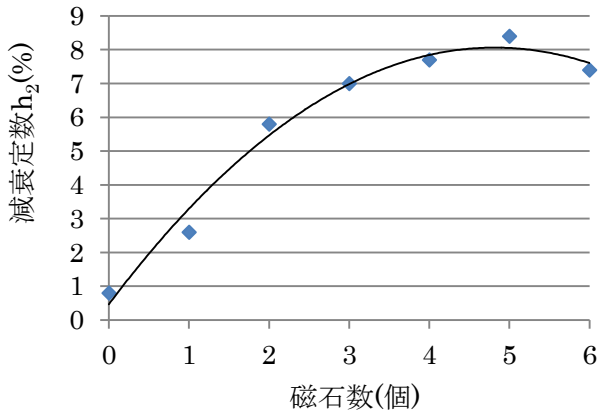

図-5　TCMD 減衰定数

2.3　ラーメン構造模型

図-6 にラーメン構造模型を示す.このラーメン構造模型は支柱材が PL-60×8 の鋼材（SS400）を 4 本使用しており,長さは 1300mm で一方向のみにせん断型の振動をする．支柱材 4 本分のバネ定数 k=11.1 kgf/cm で,TCMD を含めた模型の有効質量は 220kgf である.ここで，両端固定と仮定した場合の支柱材のバネ定数は，k=11.7 kgf/cm，また有効質量はこのバネ定数と図-7 から求めた構造物の固有振動数 1.06 Hz より 196kg である. 図-7 は非制振時の波形で，◆印間から計算した構造物の減衰定数は 0.0063 である．実験では，ラーメン構造模型に TCMD を取り付け，制振時と非制振時の自由振動実験を行う．

実験は，構造模型の梁部分を水平方向に引張り，初期変位を与えて自由振動させる．この時の構造模型の動きを 1 秒間で 120 コマ撮影できる高速ビデオカメラを使用し，30 秒間測定する．制振時では，TCMD に取り付ける磁石を 1 個～6 個に数を変化させ，構造模型の変位応答の変化を自動追尾・動作解析ソフトウェアを使用し，揺動子の水平変位量を解析した．

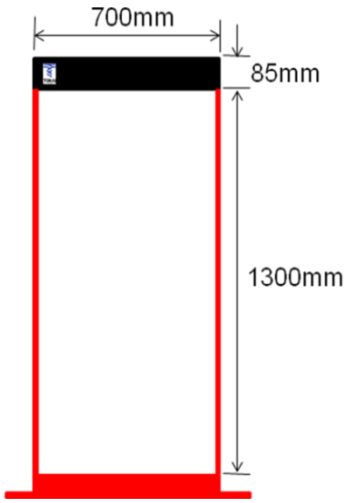

図-6　ラーメン構造模型

3. 制振実験結果

図-8～図-14 は制振時の波形で，揺動子に取り付けた磁石の個数を 1 個～6 個に変化させたときの変位応答波形の変化を示したものである．

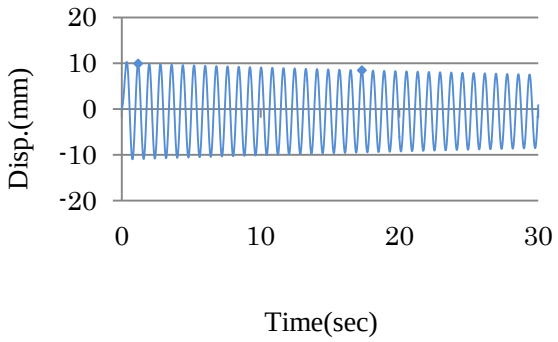

図-7 非制振時構造物波形

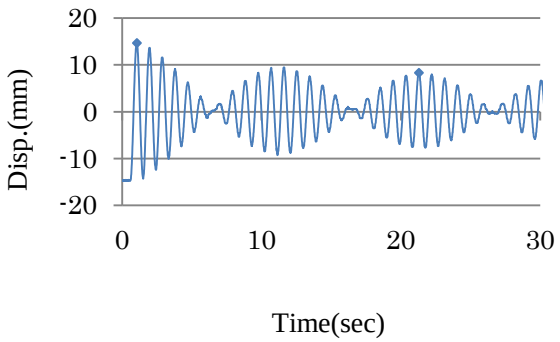

図-8 制振時構造物波形(磁石 0)

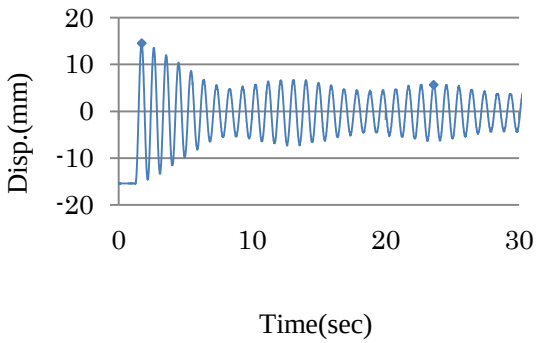

図-9 制振時構造物波形(磁石 1)

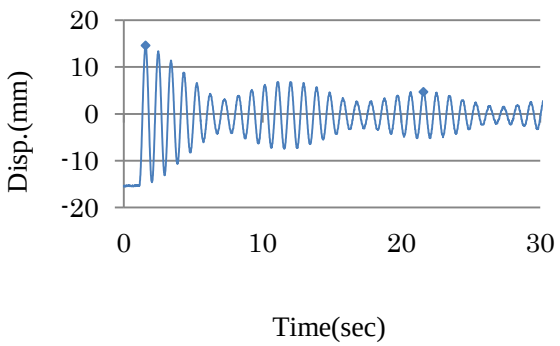

図-10 制振時構造物波形(磁石 2)

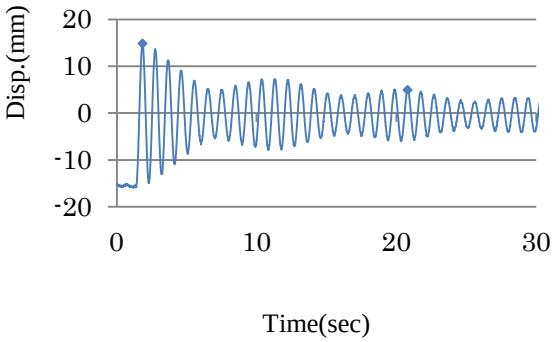

図-11 制振時構造物波形(磁石 3)

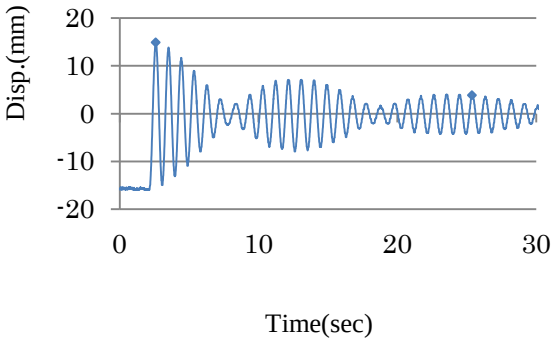

図-12 制振時構造物波形(磁石 4)

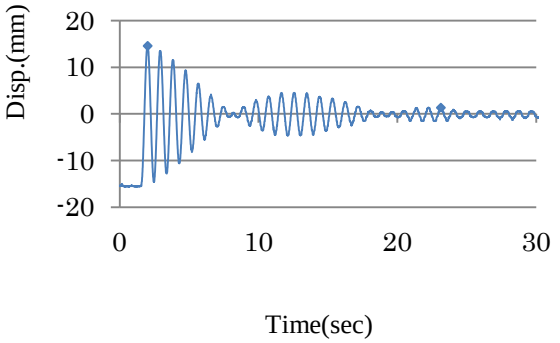

図-13 制振時構造物波形(磁石 5)

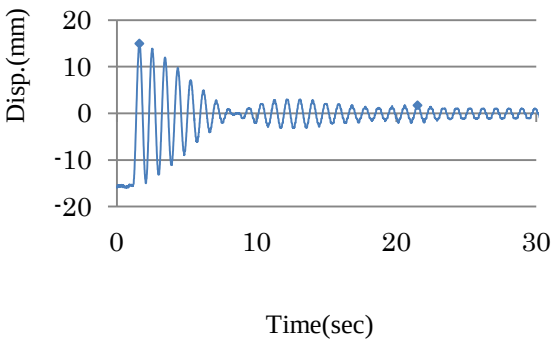

図-14 制振時構造物波形(磁石 6)

図に示すように，ほとんどの波形でビート現象が観察できる．図-14 は磁石 6 個で自由振動させた時の変位波形である．この波形変位は 10 秒手前で揺れが一度収まり，その後，小さなビート現象を起こしているが，他の波形と比較してもわずかな揺れである．図-15 は図-8～図-14 の◆印間から計算した構造物の減衰定数であり，直線的に変化していることが分かり，磁石 6 個の時の減衰定数が一番大きく，この実験での最適な磁石個数は 6 個であることが確認できる．

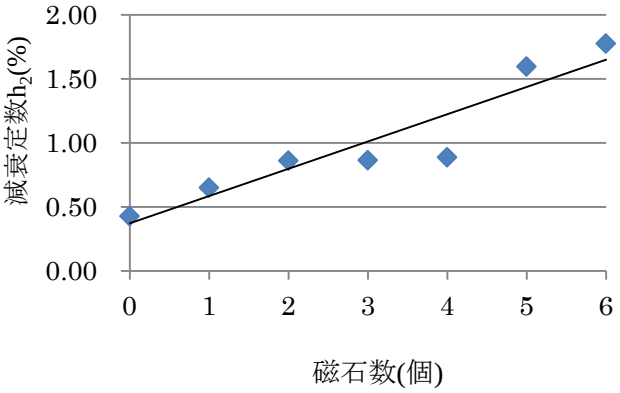

図-15　構造模型減衰定数

論文

4. 結言

本研究は，実用化に向けた 1Hz 程度で揺れる構造物のための単体型 TCMD を提案した．この TCMD は，円弧の曲率半径を変化させることで，一定揺れ速度で運動する．今回の構造模型を使用した単体型 TCMD の自由振動実験から，この装置の良好な減衰効果を確認することができた．

自由振動実験では，TCMD の揺動子減衰が構造物制振に大きな影響を与えることを定性的な範囲で整理することができた．

本装置は構造物上に分割して設置可能で，既存の建築物などに補強工事を伴わないで施工することが可能である．今後，単体型 TCMD の磁気ダンパーの改良や，周期調整機構の効果確認，さらに実際の構造物への供用・製品化を目標に，数値計算による装置の最適化に関する研究を進めてゆく予定である．

参考文献

1) 金田勝徳　他：建築の耐震耐風入門，彰国社，2007.
2) 武井啓充，島崎洋治：クレイドル型制振装置における実験と解析，土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集，第Ⅰ部門，pp.1189-1190，2008.
3) 武井啓充，島崎洋治：Vibration Control Effects of Tuned Cradle Damped Mass Damper, Journal of applied Mechanics Vol.13, pp.587-594, 2010.
4) 近藤隆行，島崎洋治：転動型制振装置に関する基礎的研究，土木学会第 25 回関東支部技術研究発表会講演概要集，第Ⅰ部門，pp.146-147，1998
5) 尾畑守夫, 森尻渉, 島﨑洋治:転動型制振装置の自由振動における制振効果, 構造工学論文集, Vol.47A, pp.381-391，2001
6) 尾畑守夫，森尻渉，島﨑洋治：転動型制振装置の照明柱に対する制振効果，土木学会論文集 No.766/I-68, 339-350, 2004.
7) 長屋幸助，関口肇：反転磁極の組合せによる高減衰磁気ダンパの開発とその解析，日本機械学会論文集 C 編，57-544，pp.3800-3805，1991.
8) Den Hartog, J. P., Mechanical Vibration, McGraw-Hill, New York, 1956.
9) Obata, M. and Shimazaki Y., Optimum Parametric Studies on Tuned Rotary-Mass Damper, Journal of Vibration and Control, 14(6): 867-884, 2008.