

振り子の単振動を利用した制振構造模型（TMD）の開発

長谷川研究室
01712039 奥田 碩志

1. はじめに

制震（振）構造には装置の駆動に外部動力が必要なアクティブ方式と外部エネルギーが不要なパッシブ方式とがある^{（例えば 1）}。超高層建物やタワーなどの減衰が小さい構造物では、居住性向上のため風揺れや地震のあと揺れ対策に同調型マスダンパー（TMD）が制振装置として良く用いられる。TMD は建物周期と同調するようにマスとバネが設定された制振装置で、振動すると建物に共振して建物の振動エネルギーを吸収する、いわゆる動的吸振器（ショックアブソーバー）の役割を果たす。ここでは、TMD 制振の原理が理解しやすい教材開発を目的として、錘による簡単な振り子を用いた TMD 制振模型の設計・制作・実験を行った。

2. TMD 模型の設計

設計にあたっては、まず建屋模型の固有周期 T_M を設定し、これと同調するように振り子の固有周期 T_P ($=T_M$) を決定する。設計プロセスを整理して **図 1** に示す。まず、同図(1)のように、模型の柱として用いたピアノ線の曲げ剛性 EI を算定した。算定にあたっては、単純梁の中央に集中荷重 P を作用させ、中央たわみ δ を計測して $P \sim \delta$ 関係を求め、これを直線近似して EI ($=0.08159\text{Nm}^2/\text{本}$) を算定した。

つぎに、建屋模型の固有周期を算定する (**図 1** (2)参照)。まず、建屋の質量を $M=0.64\text{ kg}$ とし、建屋模型をせん断型モデルに仮定して、先に求めた EI から柱材のばね定数 K ($=7.83\text{N/m}$) を算定した。せん断型モデルを仮定すると、建屋模型の固有周期は $T_M=0.9$ 秒となる。これより、これと同調する振り子の質量 m と長さ L を決定する (**図 1** (3)参照)。ここに、振り子の質量 m は建屋質量の $1/10$ とし、振り子の固有周期が $T_P=T_M$ となるように振り子の長さ L を決定すれば、 $m=60\text{g}$ で $L=20\text{ cm}$ の振り子がここでの同調型マスダンパー（TMD）となる。

3. TMD 模型の制作と実験

まず、TMD 制振模型の制作工程を **図 2** に示す。制作にあたっては、柱材にピアノ線 ($\phi 2\text{ mm}$) を、建屋質量に板材 (幅 $230\text{ mm} \times 230\text{ mm}$, 厚さ 20 mm) を用いた。振動実験の際、建屋質量と架台部に挿入されるピアノ線の挿入口が拡幅しないよう、止め金具を挿入口に固定してから削孔し、その後にピアノ線を挿入する手順とした。最後に、せん断型モデルであることを確認して TMD 制振模型の完成とした。

制作した模型を用いて、建屋頂部に初期変位を与え、これを解除する方法で自由振動実験を行った。実験では同調比 (T_P/T_M) が異なる 3 ケースについて、それぞれ建屋挙動を観察した (**図 3** 参照)。まず、実験ケース (a) では $T_P=T_M$ であるから、振り子と建屋が互いに共振し合うことで振動エネルギーの吸収が見られ、振り子が大きく揺れるときに建屋が制動する現象を確認できた。一方、 $T_P \neq T_M$ となるように設定したケース (b) では、同調しないために建屋と振り子が各々の固有周期で揺れ、制振効果が見られなかった。また、(c) では $T_P=T_M$ であるが、振り子の質量が過大なため、建屋質量の一部となって建屋の固有周期が長周期化し、やはり制振効果は見られなかった。**図 4** では、このような TMD による制振効果の原理をブランコの制動に置き換えてみた。「建屋=ブランコ」、「振り子=人間」とすると、TMD による制振はブランコの制動によく似ている。

4. まとめ

制振装置として広く利用されている同調型マスダンパー（TMD）の原理が理解しやすい教材開発を目的として、振り子の単振動を利用した制振構造模型を設計・制作した。今後の課題として、振動エネルギーの吸収がより明確な模型開発が望まれる。

【参考文献】

- 1) 稲田ほか：耐震・免震・制震のわかる本，彰国社，85-118，1999.

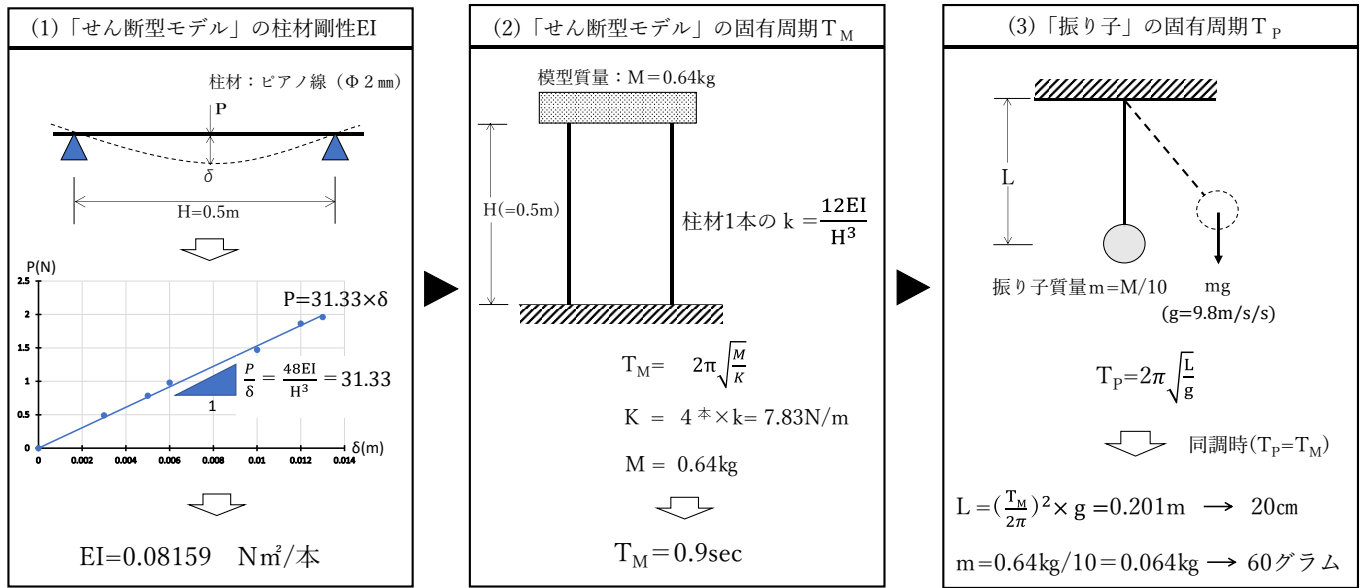


図1：TMD制振模型の設計プロセス

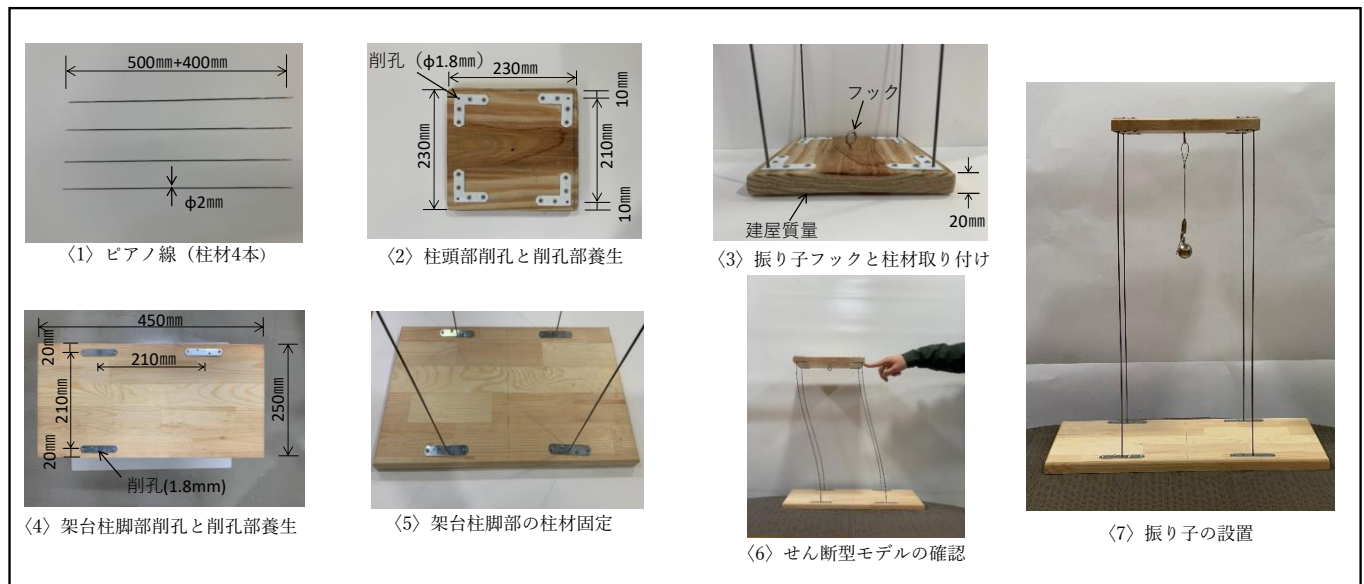


図2：TMD制振模型の制作工程

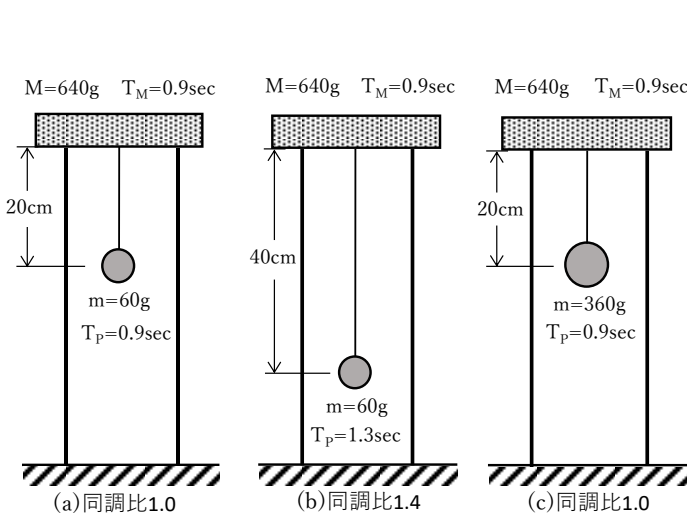


図3：同調比 (T_P/T_M) の異なる実験ケース

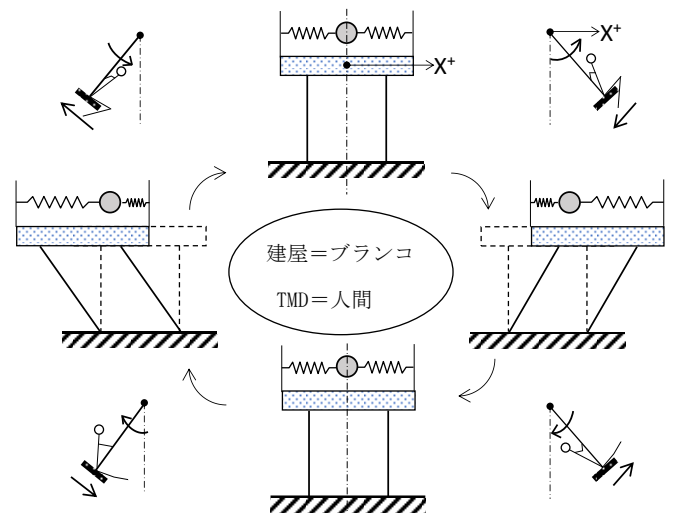


図4：TMDの原理とブランコの制動