

1. ポータブル振動台を用いた建築振動実験教材の開発と改良に関する研究

1210920025 片山将太

指導教員 藤井大地 教授

防災教材 振動教材 卓上振動台 振動模型 2軸振動

1. はじめに

日本の建築教育は、伝統的に意匠・計画設計だけでなく、構造設計、環境・設備設計、生産管理などを総合的に教えるホーリスティックな教育がなされてきた。しかしながら、全国の一級建築士登録者数は約 36 万人に及ぶのに対して、構造設計一級建築士の登録者数は未だ約 9300 人と、非常に少ないのが現状である。一方、高校教育までの理系離れと、少子化の影響により、多くの大学が、受験生に人気の高い意匠・計画設計に重点を置き、構造設計に必要な高度な構造教育を縮小する傾向にある。このような背景から、最近では、構造設計者不足が深刻になりつつあり、大学の方も、将来構造設計一級建築士を取得できる人材を十分に育成できていない実情がある。

以上のような背景から、本研究室では、高校生や大学生に建築構造の大切さや面白さを肌で感じてもらうために、ポータブル振動台を用いた実験教材の開発を行ってきた。これまでに開発した教材は、(1)建物の共振現象を理解してもらうもの、(2)建物が地震に耐える仕組みとして、耐震、制震、免震の 3 種の技術を理解してもらうもので、これらの教材を用いて、高校での出張授業、オープンキャンパスでの体験授業、大学における振動学の授業等で、その有効性を検討してきた。その結果、どの授業においても、「非常にわかりやすい」、「建築構造に興味を持てた」との感想が多く聞かれた。

また、本実験教材の良いところは、学生が手作りで作成したことによる親近感や、派手に崩壊する迫力などが、メーカーの製品にはないインパクトを与える点にある。反面、昨年までに開発した実験教材は、耐久性に問題があり、実験中に部材が壊れたり、損傷によって、目的の現象が再現できなかつたりすることが頻発した。

そこで、本研究の目的は、昨年までの実験模型の良さを保ちつつ、耐久性を改善し、さらにこれまで示せなかった、TMD (Tuned Mass Damper) の技術を説明する実験模型を開発し、その効果を検討することにある。

2. 建物の共振現象を説明する模型の改良

本研究では、建物の共振現象を説明する模型として、図 1 に示すような模型を開発している。本模型は、低層、中層、高層のビルを 1 自由度系のラーメン構造でモデル化し

ている。昨年までの模型では、柱をひのき板で作成していたため、強度に問題があり、激しい共振現象で板が折れてしまうことがあった。そこで、本研究では、この問題を解決するため、図 1 に示すように、ひのき板の柱をアクリル板に改良した。その結果、何度共振実験を行っても壊れない実験模型となった。



図 1 低層、中層、高層ビルの共振現象を説明する模型

3. 耐震、制震、免震技術を説明する建物模型の改良

図 2 は、昨年までに開発した、建物の耐震、制震、免震技術を説明するための建物模型を示す。本模型では、柱をステンレスパイプとし、その中を通したゴムに張力を与えて図中に示すような金具で止めることで、柱と床および天井板のピン接合を表現している。この模型は、鉛直荷重には強いが、水平荷重には非常に弱くなっており、振動台に地震力を与えて揺らすと崩壊する。しかし、これにひのき棒やケント紙の筋交等を装着すると、耐震性が発揮され、崩壊しなくなる。また、ひのき棒やケント紙で作成した筋交いの脱着も、以前は押しピンで行っていたが、これでは押しピンの穴が増えると刺すところが無くなるため、図の右に示すような金具を床と天井板に埋め込むことで、ねじで脱着できるように改良している。



図 2 耐震、制震、免震技術を説明する模型 (その 1)

しかしながら、図 2 に示す模型では、時間が経つとゴムの張力が無くなり、摩擦ダンパー等の制震模型を装着した場合でも崩壊が生じてしまうため、実験の度に張力を与え直す必要があった。また、崩壊によってゴムにひび割れが生じるため、定期的にゴムを新品に交換する必要があった。このような問題を解決するため、昨年度の研究では、図 3 に示すように、柱と床および天井板のピン接合を磁力の強いネオジウム磁石と金属板で実現する模型を開発した。

そこで、本研究では、図 2 の模型を用いて、高校での出張授業、オープンキャンパスでの体験授業を実施した。その結果、図 2 の模型に比較して耐久性が向上し、崩壊も豪快さを増して、地震の恐ろしさを伝えるには良い模型であることが確かめられた。しかしながら、度重なる崩壊で、檜棒の断面にへこみが生じ、建物の崩壊が一様でなくなったため、さらなる改良が必要となった。

図 4 の模型は、本研究で図 3 の模型の問題点を改良したものである。この模型では、柱をステンレスパイプの中にさらにステンレスパイプを差し込んだ 2 重のステンレスパイプで作成し、その両端に外側パイプの内径に等しいネオジウム磁石を挿入し接着している。これにより、図 3 の柱に比較して格段に強度が上がり、模型の耐久性も向上した。本研究では、図 4 の模型を用いた実験を、高校の出張授業、大学の振動学の講義で実施し、耐震、制震、免震の特性を、迫力をもって実証できることが確かめられた。



図 3 耐震、制震、免震技術を説明する模型（その 2）

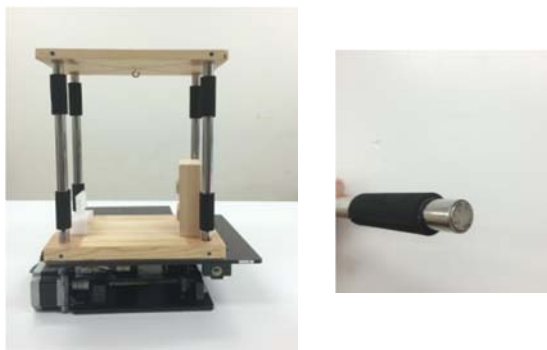


図 4 耐震、制震、免震技術を説明する模型（その 3）

4. 免震技術を説明する免震基礎模型の改良

図 5 は、昨年度開発した免震基礎模型と、今年度開発した免震基礎模型を示す。昨年度の模型では、ビー玉の転が

りて免震効果を実現し、ビー玉同士の擦れ合いで減衰効果を実現するものとなっていた。しかしながら、このモデルでは免震効果が十分に得られず、数回に一度、建物模型が崩壊してしまうことがあった。このため、本研究では、これを改良し、図の右に示すように、ビー玉の擦れ合いを無くすことで免震効果を高め、縁に配置した縁止め材との微妙な擦れ合いで減衰効果を実現するモデルとした。この改良により、免震実験では、建物模型が確実に崩壊しなくなった。



図 5 免震技術を説明する免震基礎模型

5. TMD 制震模型の開発

図 6 は、五重塔の心柱制震を説明するために、本研究で開発した TMD 制震模型を示す。本模型は、当初、細いひもに五円玉を釣って、五円玉の個数でチューニングを行ったが、建物模型の固有振動数が高すぎてうまく行かなかった。そこで、ひもを太いものに変えてやや剛性を増し、さらに 2 質点系の 2 次振動に共振するようにチューニングを行った。その結果、この TMD 制震模型で、建物模型の共振振動を抑制する効果が見られた。

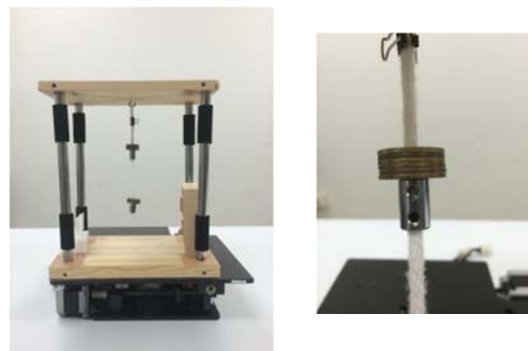


図 6 制震技術を説明する TMD 制震模型

6. まとめ

本研究では、昨年までの振動実験模型の良さを保ちつつ、耐久性を改善し、さらにこれまで示せなかった、TMD の技術を説明する実験模型を開発し、その効果を検討した。その結果、実験模型の耐久性が向上し、共振を抑える TMD の効果も確かめることができた。