

免震模型の設計・制作と振動台実験 (その1) 目標性能と免震模型の材料選定

長谷川研究室
01512005 天沼 良太

1. はじめに

世界有数の地震国日本には、「対震」構造として耐震・免震・制震構造がある。その中でも免震構造は地震入力を遮断できる構造として、病院や庁舎などの多くの重要施設に適用されるようになった。しかしながら、その原理が広く知られているとは言えない。そこで、免震効果のメカニズムが理解できるような模型を設計・制作して、振動台による実証実験を行った。まず、(その1)では目標性能を設定して免震模型材料を選定し、(その2)ではアイソレータの積層化について、(その3)では非免震模型との比較から免震効果について検討した。

2. 目標性能と免震模型の概要

全体検討フローを図1に示す。一般に、免震建屋の T_M (免震周期)は3秒程度に設定されることが多い¹⁾。ここで、建屋がRC造10階建てとすれば、建屋周期 T_B は略算式($=0.1N$, N :階数)から約1秒となる。そこで、免震模型の設計にあたっては、周期比が $T_M/T_B=3\sim 4$ を目標とした。

建屋モデルは固有周期が0.1秒から1秒まで設定可能な質点系共振模型²⁾を使用する。免震支承(アイソレータ)は建屋モデルの鋼板基礎(4.83kg)を支持し、1基あたりの負担質量を均等にするため4基とする。以上で述べた免震模型の概要を図2に示す。免震支承の受圧面は $B\times B$ の正方形として積層化し、その積層板にはプラスチック($t=1.2\text{mm}$)を使用する。

免震模型の設計にあたっては、図2中の(1)式から T_M (免震周期)を算出する。そのためには、同図(2)式から K (せん断ばね定数)を算出する必要がある。結局、免震支承を設計するためには、免震材料の G (せん断弾性係数)を同定する必要がある、これを次項の自由振動実験から決定する。

3. 自由振動実験による材料定数(G, h)の同定

せん断弾性係数 G を同定するため、固有周期を求める自由振動実験を行った。自由振動実験の概要を図3に示す。免震材料の候補は図4で示すように、ゴムスポンジから2種類、ウレタンフォームから4種類の計6ケースとした。ここで、各試験体は4層に積層化し、頂部に設置した鋼板に初期変位を与える方法で自由振動実験を行った。実験では鋼板上に重錘を設置して、積載荷重の異なる3ケース(W_i , $i=1\sim 3$)を実施した。試験体頂部には加速度計を配置し、自由振動実験による減衰波形を記録した。

加速度減衰波形から6ケース全ての T_{Mi} (固有周期)を読み取り、図3中の(3)式より G を同定した。結果は図4に一覧して示す通りで、 T_M をできるだけ T_B と離すために、最も G の小さい材料を選定する方針で同図(f)の高反発ウレタンフォーム(ER-1)を免震材料に決定した。図5には、例として(a) #45Nと(f) ER-1の加速度減衰波形を示す。

最後に、加速度減衰波形から対数減衰率を用いて h (減衰定数)を同定した。方法は図5(a)に示すように、一周ごとの振幅比 d を図6のように直線近似して傾きとして求め、 $h=\ln(d)/2\pi$ から同定した。結果は図4に一覧した通りで、免震材料として選定した(f) ER-1では、 $h=10\%$ 程度の大きな減衰性能が得られた。

4. まとめ

実在する免震建屋と同様、免震模型の周期比が $T_M/T_B=3\sim 4$ となるように目標性能を定め、できるだけ「建屋周期 \ll 免震周期」となるように高反発ウレタンフォームを模型材料として選定した。

【参考文献】

- 1) 鹿島 都市防災研究会：制震・免震技術，鹿島出版会，107-137，1996。
- 2) 飯島直哉：共振模型の設計と開発，2015年度ものづくり大学卒業研究梗概集，119-120，2016。

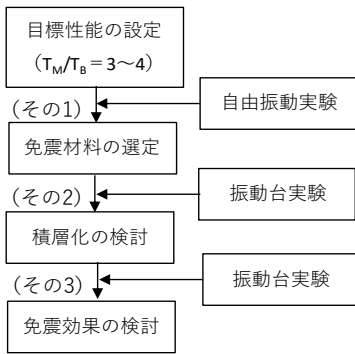


図1：全体検討フロー

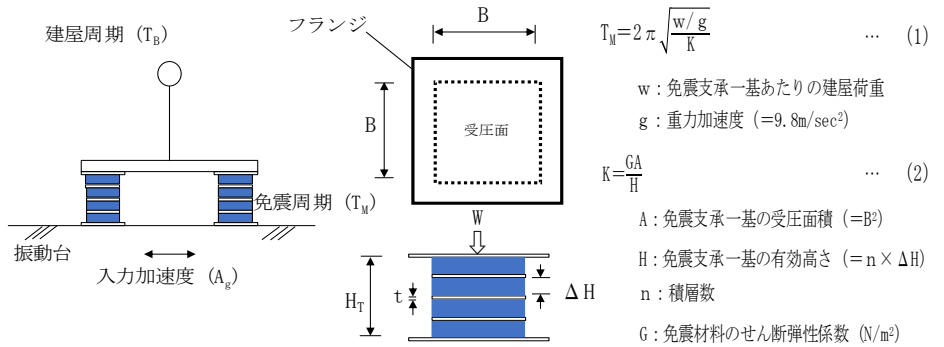


図2：免震模型の概要

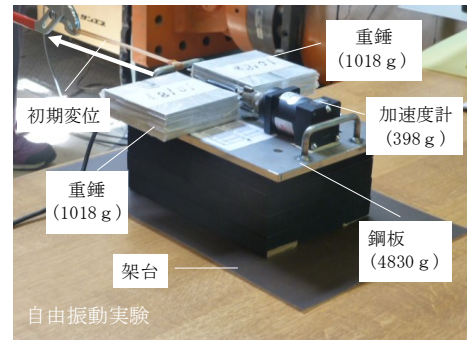
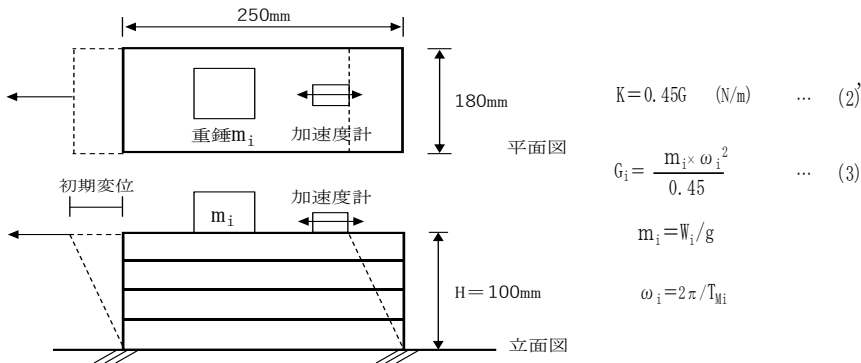


図3：せん断弾性係数 (G) の同定に用いた試験体と自由振動実験の概要

| 種類 | ゴムスポンジ | | | ウレタンフォーム | | | |
|--------------------------------|--------------|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | 商品名 | (a) #45N | (b) ネオスポン | (c) 低反発 EMM | (d) 低反発 F-6 | (e) 低反発 F-2 | (f) 高反発 ER-1 |
| 初期変位状態 | | | | | | | |
| 固有周期 T_M (sec) | $m_1=5$ 228g | 0.098 | 0.091 | 0.124 | 0.143 | 0.157 | 0.171 |
| | $m_2=6$ 246g | 0.106 | 0.104 | 0.133 | 0.162 | 0.182 | 0.190 |
| | $m_3=7$ 264g | 0.116 | 0.108 | 0.145 | 0.176 | 0.199 | 0.220 |
| せん断弾性係数 G (N/m^2) | | 48 000 | 53 600 | 30 400 | 21 300 | 17 100 | 14 700 |
| 減衰定数 h (%) | | 6.2 | 9.4 | 4.9 | 6.3 | 10.5 | 10.8 |

図4：自由振動実験ケースと結果一覧

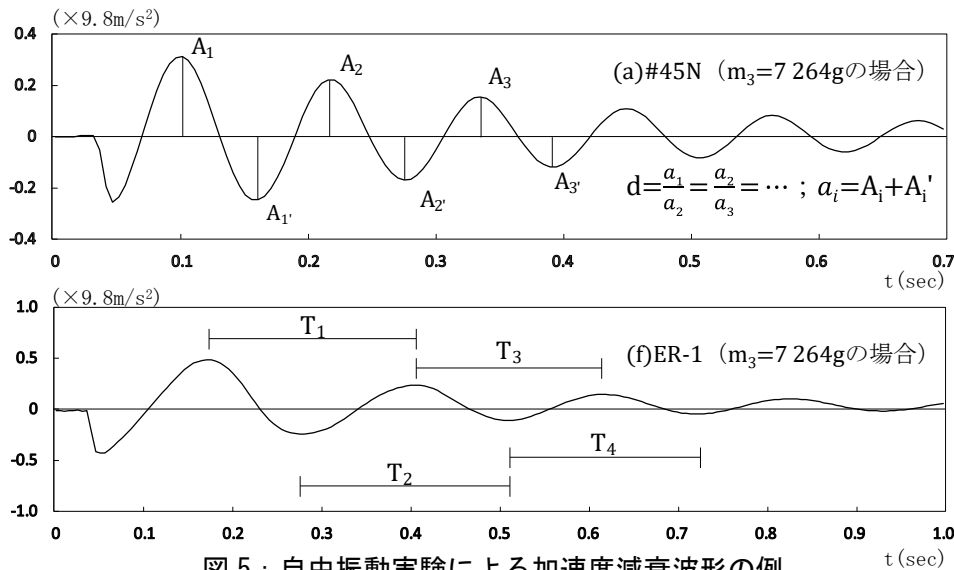


図5：自由振動実験による加速度減衰波形の例

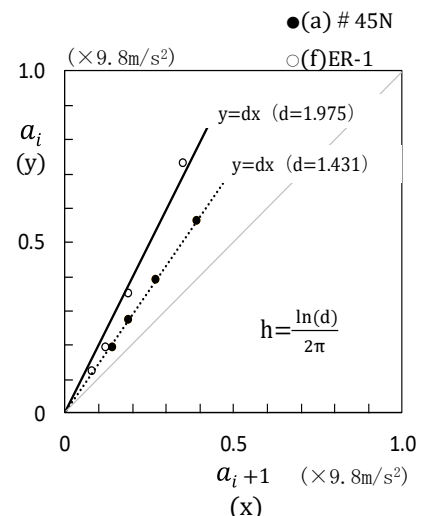


図6：対数減衰率