

共振模型の設計と開発

長谷川研究室
01212011 飯島 直哉

1. はじめに

阪神大震災では、その後キラーパルスと呼ばれるようになった周期約 1 秒の地震動が卓越し、これと共振した周期約 1 秒前後の建物、たとえば RC 造 10 階程度の建物が甚大な被害を受けた¹⁾。そこで、ここでは地震防災の観点から、このような現象を簡単な 1 質点系モデルで実証できる「共振模型」の開発を試みた。

2. 共振模型の設計方法

すでに共振模型は教材として実用化されているが、いずれも曲げ材として板ばねが用いられているため、固有周期と振動方向が限定されている^(例えば²⁾)。ここでは、固有周期を可変とし、その周期帯域を広くとれるピアノ線を用いた共振模型を開発した。その設計・開発ステップを図 1 と図 2 に示す。これらを参照して、共振模型の設計方法をまとめると以下の通りである。

① 曲げ剛性の同定

ピアノ線を片持ち梁として、先端の荷重～変形関係を計測し、図中の(1)式と(2)式の等値により、ピアノ線の曲げ剛性 EI を同定する。

② 固有周期の設定

①で同定した EI を用いて図中の(3)式と(4)式より、質量 M と設定高さ L をパラメータとした 1 質点系モデルの固有周期・振動数を設定する。

③ 振動台実験

開発した共振模型の振動台実験を行い、実験と理論による共振曲線の比較から所定の性能を確認する。これについては次章で詳述する。

3. 振動台実験による検証

開発した模型の性能を確認するため振動台実験を行った。実験にあたっては、本学ストラクチャー実習場に設置の水平 2 方向電磁式振動台を用いた。加

振方法は 1~6Hz まで連続的に振動数を漸増するスイープ加振とした。実験は図 2 で示した模型の鋼製架台部と可動質量の重錘部に加速度計を設置して、その応答を計測した。

質量 $M=50\text{g}$ を高さ $L=40\text{cm}$ に取り付けた場合の共振曲線を図 3 に、 $M=100\text{g}$ を $L=40\text{cm}$ に取り付けた場合の共振曲線を図 4 に示す。これらはそれぞれ図 1 中の(5)式による実験結果と、(6)式による理論計算の比較で示してある。これから分かるように、実験と理論はかなり良い対応を示すことから、ここでの設計の妥当性が検証されたといえる。

なお、理論による共振曲線のピークが実験と最も整合するのは、ピアノ線の減衰定数が $h=0.01$ (1%) の場合であり、これは鉄骨建物の減衰定数として良く用いられる $h=1\sim 1.5\%$ に対応している。

最後に学習教材としての活用を考慮し、質量 M とその設置高さ L の組合せによる固有周期 T の早見表を表 1 に、M と T の組合せによる L の早見表を表 2 に整理した。同表を用いれば、適用に際して模型の固有周期が比較的容易に設定可能となる。

4. まとめ

地震防災の観点から、振動理論に基づいてシンプルな共振模型を設計・開発し、振動台実験によって所定の性能を確認した。この模型は固有周期を広帯域で任意に設定可能なことから、今後は防災教材・学習教材としての活用が期待できる。

【謝辞】

共振模型の開発に際し、本学「鋼構造基礎および実習」担当の高木進一講師から貴重なアドバイスを頂きました。ここに記して感謝致します。

【参考文献】

- 1) 清水建設株式会社技術研究所：1995 年兵庫県南部地震調査報告書，1995.2
- 2) 名古屋大学地震工学防災グループ：
<http://www.sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp/>

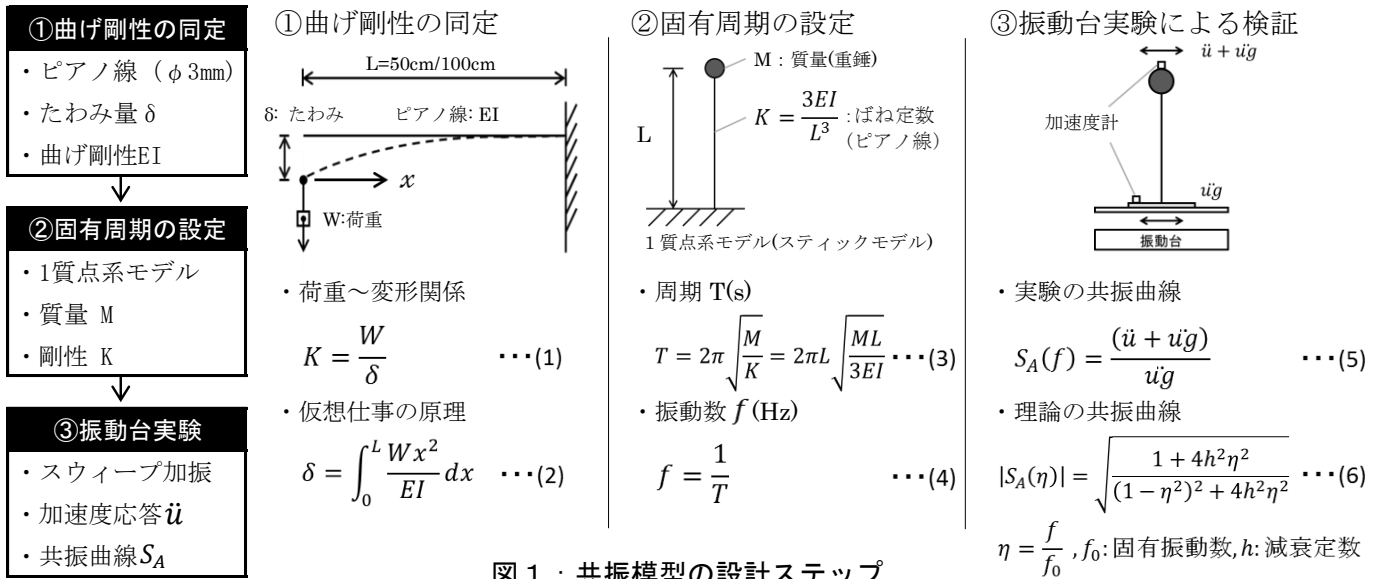


図 1 : 共振模型の設計ステップ

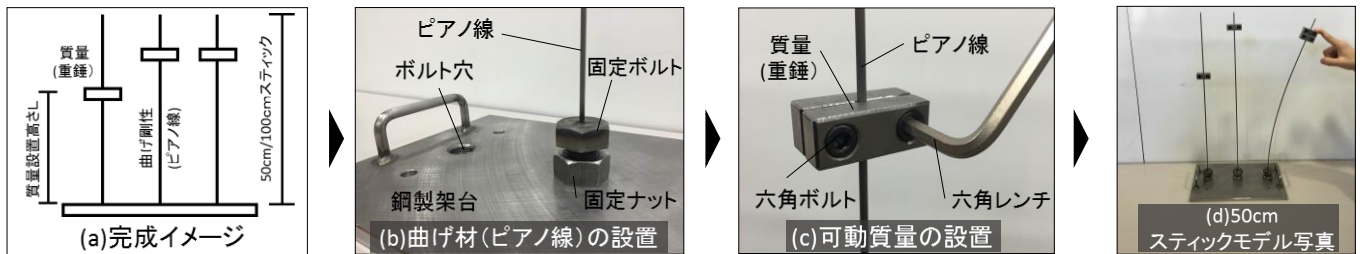


図 2 : 共振模型の開発ステップ

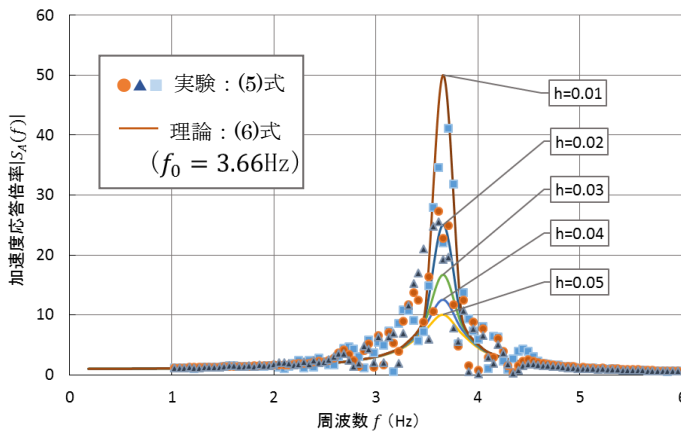


図 3 : 共振曲線の比較 (M=50g, L=40cm の場合)

表 1 : 固有周期 T (固有振動数 f) の早見表

50cmスティックモデル		EI=0.563Nm ²			
L(cm)	M1(g)	M2(g)	M3(g)	M4(g)	
25	0.14s (7.40Hz)	0.19s (5.23Hz)	0.23s (4.27Hz)	0.27s (3.70Hz)	
30	0.18s (5.63Hz)	0.25s (3.98Hz)	0.31s (3.25Hz)	0.36s (2.81Hz)	
35	0.22s (4.47Hz)	0.32s (3.16Hz)	0.39s (2.58Hz)	0.45s (2.23Hz)	
40	0.27s (3.66Hz)	0.39s (2.59Hz)	0.47s (2.11Hz)	0.55s (1.83Hz)	
45	0.33s (3.06Hz)	0.46s (2.17Hz)	0.57s (1.77Hz)	0.65s (1.53Hz)	
50	0.38s (2.62Hz)	0.54s (1.85Hz)	0.66s (1.51Hz)	0.76s (1.31Hz)	

100cmスティックモデル		EI=0.358Nm ²			
L(cm)	M1(g)	M2(g)	M3(g)	M4(g)	
75	0.88s (1.14Hz)	1.25s (0.80Hz)	1.53s (0.66Hz)	1.76s (0.57Hz)	
80	0.97s (1.03Hz)	1.37s (0.73Hz)	1.68s (0.60Hz)	1.94s (0.52Hz)	
85	1.06s (0.94Hz)	1.50s (0.67Hz)	1.84s (0.54Hz)	2.12s (0.47Hz)	
90	1.16s (0.86Hz)	1.64s (0.61Hz)	2.00s (0.50Hz)	2.32s (0.43Hz)	
95	1.26s (0.80Hz)	1.78s (0.56Hz)	2.17s (0.46Hz)	2.51s (0.40Hz)	
100	1.36s (0.74Hz)	1.92s (0.52Hz)	2.35s (0.43Hz)	2.71s (0.37Hz)	

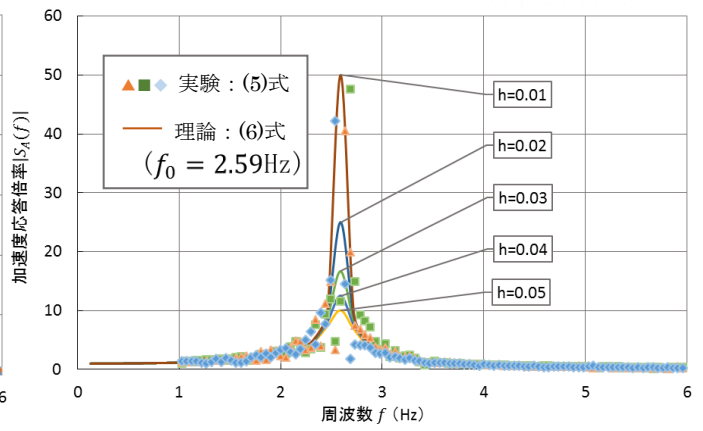


図 4 : 共振曲線の比較 (M=100g, L=40cm の場合)

表 2 : 質量設置高さ L の早見表

50cmスティックモデル		EI=0.563Nm ²			
T(f)	M1(g)	M2(g)	M3(g)	M4(g)	
0.25s (4.00Hz)	37.7cm	29.9	26.1	23.7	
0.30s (3.33Hz)	42.5	33.8	29.5	26.8	
0.35s (2.86Hz)	47.1	37.4	32.7	29.7	
0.40s (2.50Hz)	—	40.9	35.7	32.5	
0.45s (2.22Hz)	—	44.2	38.7	35.1	
0.50s (2.00Hz)	—	47.5	41.5	37.7	

100cmスティックモデル		EI=0.358Nm ²			
T(f)	M1(g)	M2(g)	M3(g)	M4(g)	
0.60s (1.67Hz)	58.1cm	46.1	40.3	36.6	
0.80s (1.25Hz)	70.4	55.8	48.8	44.3	
1.00s (1.00Hz)	81.6	64.8	56.6	51.4	
1.20s (0.83Hz)	92.2	73.2	63.9	58.1	
1.50s (0.67Hz)	—	84.9	74.2	67.4	
2.00s (0.50Hz)	—	—	89.9	81.6	