

**鉄筋コンクリート造球形シェルの減衰評価
ハーフパワー法で使用するフィルタ設計を含めて**
**Damping Evaluation of a Reinforced Concrete Spherical Shell
Including of Filter Design Used in the Half-Power Method**

○新宮清志¹, 平塚聖敏², 近藤典夫³, 平野至哲⁴

*Kiyoshi Shingu¹, Kiyotoshi Hiratsuka², Norio Kondo³, Yoshinori Hirano⁴

Abstract: Damping ratios are tried to make clear through impact vibration experiments of a reinforced concrete spherical shell that is used for a planetarium. In the experiments, velocity detectors are used and velocities in the vertical direction and two horizontal directions are measured at each measurement point. In evaluation of damping ratios, the half-power method is applied to measured velocities. And, filter design that is used in the half-power method is discussed.

1. 背景

構造物の振動現象において、減衰は重要な性質の一つであるが、構造物の減衰定数を正確に評価することは外力や内部摩擦等の様々な要因により理論から求めることは極めて困難である^{[1], [2]}。現状では、観測や実験に基づく評価が行われている。減衰定数を精度よく評価・算出することが可能ならば構造物の動的挙動を明らかにすることができ、ひいては減衰定数を調整する振動制御を通し、構造コストの低減・省エネルギー化が考えられる^[3]。

2. 目的

シェル・空間構造物は災害時の避難場所や避難施設に多く使用されるために、シェル・空間構造物の動的挙動や減衰特性を把握することが社会的急務となっている。立道、新宮・平塚・湯川・大塚らの研究により今までに 54 件のシェル・空間構造物を対象に研究が行なわれているが、シェル・空間構造物の減衰特性を精密に把握するには至っていない^{例えは[4]-[6]}。本研究の目的は、シェル・空間構造物の減衰を明らかにしていくこと、また、シェル・空間構造物の応答解析時に使用する減衰データベース作成の一助とすることである。

2011 年に振動実験を行った千葉県習志野市総合教育センター内にあるプラネタリウム館 (Photo 1) の RC 球形シェル屋根についての減衰評価は不十分であった。



Photo 1 RC Spherical Shell

そこで本稿では、フィルタ設計を通じてこれまでとは異なる波形の前処理を工夫することにより衝撃加振実験の計測結果を分析し、より精密な減衰評価を行い、分析・考察する。

3. 内容

3.1 デジタルフィルタの構成^{[7], [8]}

デジタルフィルタの種類は、有限インパルス応答 (FIR) と無限インパルス応答 (IIR) の 2 つの形式がある。後者の IIR 型フィルタは、無限のインパルス応答を持つことから、比較的低次で期待する周波数応答を実現でき、処理時間も短時間であることが特徴である。この IIR 型フィルタの設計法としては、間接設計法と直接設計法がある。間接設計法とは、始めに与えられた設計仕様を満足するアナログプロトタイプフィルタを設計し、これにバターワース伝達関数による変数変換を行うことでデジタルフィルタの伝達関数を求める方法である。直接設計法とは、アナログフィルタを利用せずに直接的にデジタルフィルタを設計する方法である。ここでは間接設計法を利用する。

本研究では、シェル構造の減衰定数を分析・評価するので、バンドパスフィルタ処理を用いて、応答の 1 次卓越振動数に着目する。ハーフパワー法により減衰評価を行なうために実験データをフィルタ処理することで、より精密に周波数応答に基づいた減衰評価を行う^[7]。

3.2 フィルタの設計

フィルタ設計の仕様においては、応答タイプはバンドパスを利用し、設計手法は前述後者の IIR 型を用いる。利用したデータはフーリエ変換により周波数のピーク値が 21.9[Hz]となるので、この値がシェルの 1 次固有振動数であると考えられる。通過域端周波数、阻

1 : 日大名誉教授 2 : 日大理工研・研究員 3 : 日大理工・教員・海建 4 : 平成建設

止域端周波数, 阻止域減衰量は数種類のパターンを試し, 通過周波数帯域外から阻止域周波数帯域のデータを連続して滑らかに減衰させることができる数値を採用し, 適切なフィルタを作成する.

その結果, 通過域端周波数はピーク値から±0.5[Hz]で21.4[Hz]~22.4[Hz], 阻止域端周波数はピーク値から±1.5[Hz]で20.4[Hz]と23.4[Hz], 阻止域減衰量は50[dB]で設定することにより理想のフィルタ型を得た. 通過域リップルは1[dB]とした.

また, 阻止域減衰量に関しては50[dB]で減衰しないものは10[dB]刻みで減衰量を増やすことで, 連続して滑らかなフィルタを見出した.

4. 評価方法

減衰定数の評価方法として, 周波数応答データから減衰定数を同定する方法であるハーフパワー法を用いる. ピーク値の両側にピーク値のハーフパワー点に等しい点を取り, その2周波数幅 $f_2 - f_1$ との比に(1)式のような関係がある. ただし, f_0 は, ピーク値の周波数である.

$$\text{減衰定数 } h = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{f_2 - f_1}{f_0} \quad (1)$$

5. 評価結果

速度計の配置図は Figure 1 の通りである. 算出した減衰定数について ch 毎にまとめたものを Table 1 に示し, 文献[10]における当該構造物の衝撃加振実験での減衰評価はカーブフィット法によってなされている. その結果を Table 2 に示す.

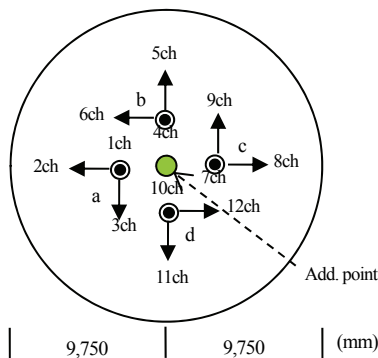


Figure 1 Layout of Velocity Detectors

Table 1 Damping Ratios by this Research

	Damping ratios (%)			
	1 ch	4 ch	7 ch	10 ch
Ave.	2.11	2.00	1.98	2.02
Whole ave.	2.03			

Table 2 Damping Ratios in Ref.[10]

	Damping ratios (%)			
	1 ch	4 ch	7 ch	10 ch
Ave.	2.50	3.76	3.40	1.90
Whole ave.	2.89			

6. 結論

- (1) 文献[10]の結果は, ch 毎にやや大きなばらつきが生じているが, 本研究のフィルタ処理を用いたハーフパワー法による減衰評価では, 前節の結果から分かるようにばらつきが小さく, かなり正確に減衰定数を評価することができた.
- (2) 習志野市総合教育センターのプラネタリウム館として使用されている鉄筋コンクリート造球形シェルの減衰定数は, ほぼ2.0%である.

7. 参考文献

- [1] 日本建築学会: 建築物の減衰, 2000.10
- [2] 日本建築学会: 各種建築物の減衰セミナー, 評価手法の比較検討と性能設計への応用, 2004.2
- [3] 日本建築学会: 新「シェル・空間構造」セミナー—シェル・空間構造の減衰と応答制御—, 2002.11
- [4] 立道郁生: 既往の振動測定に基づく空間構造物の減衰特性に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第20号, pp.87-92, 2004.12
- [5] 湯川正貴・新宮清志・平塚聖敏: シェル・空間構造物の減衰評価に関する研究—HP シェル及び円筒形シェル屋根の振動実験— 日本建築学会構造系論文集 第74巻 646号 pp.2271-2280, 2009.12
- [6] 新宮清志・平塚聖敏・大塚直・湯川正貴: シェル・空間構造の減衰評価研究—ある球形シェルの減衰特性とシェル・空間構造の減衰傾向分析—, 構造工学論文集, 58/B, pp.475-480, 2012.3
- [7] The MathWorks, Inc. 2009 信号処理体験セミナー
- [8] 朴炳植: <http://www-akaz.ist.osaka-u.ac.jp/~pak/lecture/HumanInfoProcessing/DigitalFilter.pdf>
- [9] 森田高市・神田順: 常時微動による減衰定数評価手法に関する考察, 構造工学論文集 vol.42B, pp.553-560, 1996
- [10] 新宮清志・石山雄介・平塚聖敏・湯川正貴: シェル・空間構造物の減衰評価に関する研究 4棟の構造物の振動実験による減衰評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1分冊, pp.691-692, 2012.9