

高精度振動特性推定法による構造物損傷検知のための実験的研究

長崎大学工学部 正 員 ○奥松 俊博 長崎大学工学部 フェロー 岡林 隆敏
 長崎大学工学部 学生員 沖永 泰知 長崎大学大学院 学生員 中宮 義貴

1. はじめに

老朽化あるいは損傷の発生した構造物の健全度を評価するため、振動性状の変化を定常的に且つ高精度に監視することは極めて重要である。部材の損傷や劣化により構造物の全体剛性は低下するが、それに伴う振動数の変化はごく微小であることが多い。本研究は、損傷状態を考慮した5層ラーメン模型を用いて、健全状態から損傷状態に移行する際の、構造物の微小な振動特性の変化の検出を目的としたものである。振動数の微小な変化を検出し評価するために、高精度振動特性推定法¹⁾を用いている。

2. 高精度振動特性推定システム

(1) 推定システム

本システムで用いる高精度振動特性推定法は、検出した構造物振動データから固有振動数を推定するものである。構造物振動は、構造物固有の振動数と外乱の性質による振動数が混在する。混在した振動数の中から構造物固有の振動数を抽出するために、本方法ではARモデルによる構造同定を行っている。ARモデルのパラメータを適切に設定することにより、構造物の固有振動数を抽出することが可能となる。取り込まれた振動データを元に、開発した高精度構造同定エンジンで直ちに処理することにより、固有振動数が算出される。本システムでは以上の動作を自動化している。

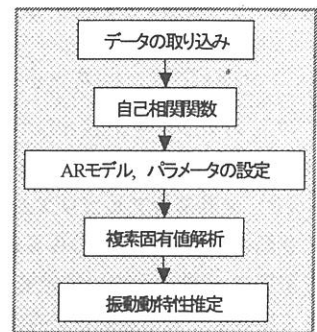


図-1 構造同定手法

(2) 高精度構造同定エンジン

同定エンジンとして開発した構造同定手法の流れを模式的に示したものが図-1である。まず、取り込まれた応答データの自己相関を算出し、次にARモデルの作成、スペクトル解析、パラメータの設定を行う。ARモデルから複素固有値解析を行うことにより振動特性を算出する。ARモデルの特性方程式とその根を(1)式および(2)式に示した。この根と振動パラメータとの関係は(3)式および(4)式で表され、固有円振動数 ω_k と減衰定数 h_k を推定することができる¹⁾。

$$Z^n - \alpha_1 Z^{n-1} - \alpha_2 Z^{n-2} - \dots - \alpha_n = 0 \quad (1) \quad Z_k = X_{Re}^k \pm iX_{Im}^k \quad (2)$$

$$h_k \omega_k = (-1/\Delta) \ln \sqrt{X_{Re}^2 + X_{Im}^2} \quad (3) \quad \omega_k \sqrt{1 - h_k^2} = (1/\Delta) \tan^{-1}(X_{Im} / X_{Re}) \quad (4)$$

3. 構造物模型振動台実験

(1) 構造物模型

本実験の対象となる構造物模型は5層ラーメン構造である。その概型を図-2に、諸元を表-1に示した。本研究では、構造物の損傷による固有振動数の変動を確認することを目的とするために、5層ラーメンの層間にブレースを設置した構造とした。任意の位置のブレースを意図的に破断させることにより、構造物の損傷発生を再現することができる。ブレースは、写真-1に示すように、鋼線、ばね($k=0.5\text{kgf/cm}$)お

表-1 構造物諸元

構造	5層ラーメン
材質	アルミニウム
密度	0.0028kgf/cm^3
弾性係数	$7.0 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$

表-2 固有振動数

次数	固有振動数(Hz)	
	ケース1	ケース2
1次	1.694	1.654
2次	4.936	4.841
3次	7.758	7.662
4次	9.928	9.869
5次	11.29	11.27

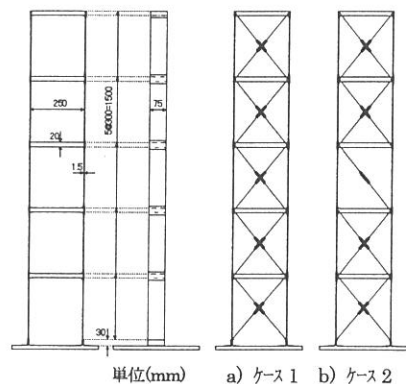


図-2 構造物模型

図-3 実験モデル

よび破断部分となるプラスチック製ストリングから構成される。図-3はブレースを設置した状態の構造物模型を模式的に表したものである。図-3a)は全層にブレースを設置したもの(ケース1)であり。また図-3b)は、中間層のブレース数1本を欠いたもの(ケース2)である。有限要素法により求めた両ケースの固有振動数を表-2に示した。

(2) 実験概要

図-4に振動台実験の概要を表す。振動台上に設置した構造物模型は、振動台を起振させることにより励起される。地震力として白色雑音を入力した。構造物模型の振動を速度計で検出し、PC内の構造同定エンジンに取り込むことで、混在する振動数の中から、構造物の固有振動数を推定する。速度計は振動モードを考慮して構造物第1層に設置した。計測サンプリング刻みは1/100秒である。ブレースの破断方法は、図-4中の変圧器により破断箇所を熱して切断する仕組みとした。破断箇所を写真-1に示す。計測時間は破断前後各15分とした。同定エンジンに基づき、パラメータを設定し振動数を自動推定した。30秒間に1回の割合で振動数を推定する。

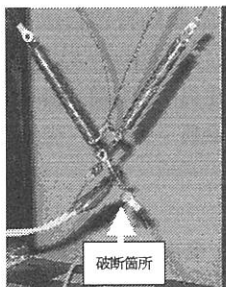


写真-1 ブレース構造

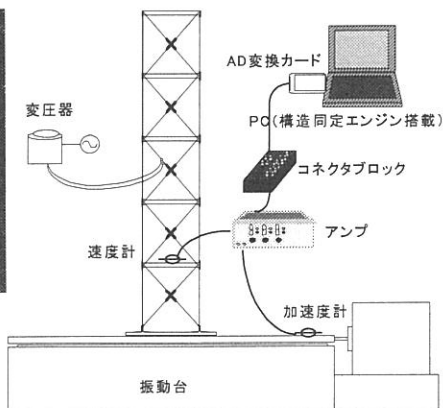


図-4 振動台実験概要

4. 実験結果と考察

第1層で得られた速度データを元に、図-1の手順で求めた推定振動数を図-5示す。1次から4次までの各次固有振動数の推定結果を示したものが図-6である。縦軸は振動数、横軸は推定回数を表す。30回目ではブレースを破断した。ブ

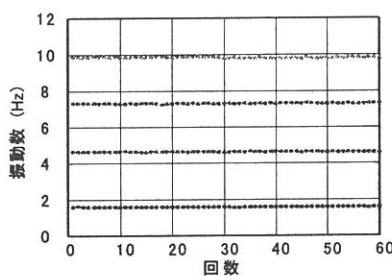


図-5 振動数推定結果

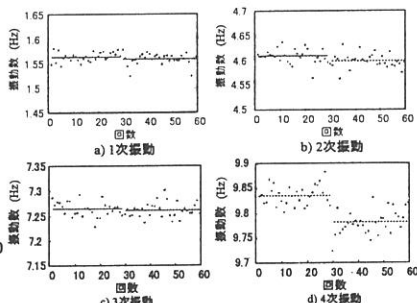


図-6 各次振動数推定結果

レース破断前後の推定振動数の平均値を表-3および図-6内の線で表した。表-3には振動数平均値とともに、破断前後差および変動率を示している。破断により4次振動の低下が顕著であることが分かる。しかし、その差は0.055Hz(変動率0.559%)と極めて小さい。また1~3次振動においては、損傷に伴う振動数差が0.005Hz~0.01Hzと極小であったが、このような微小な振動数の変化でも、本システムにより検出可能であることが確認された。実験結果は、表-3に示す事前解析結果と比較して低い値を示しているが、これはセンサー等付加質量によるものと考えられる。

表-3 振動数推定結果

次数	推定振動数 (Hz)							
	実験結果				解析結果			
	破断前	破断後	差	変動率 (%)	破断前	破断後	差	変動率 (%)
1次	1.563	1.558	0.005	0.320	1.694	1.672	0.022	1.299
2次	4.608	4.598	0.010	0.217	4.940	4.904	0.036	0.729
3次	7.264	7.261	0.003	0.041	7.807	7.660	0.147	1.883
4次	9.836	9.781	0.055	0.559	9.979	9.955	0.024	0.241

5. まとめ

構造物の損傷を考慮した振動台実験結果から、本推定法およびシステムによって、微小な振動数の変化を検出できることが確認された。今後は、統計処理法やフィルタリングによる、より精度の高い振動数推定法の確立、また土木構造物をはじめ様々な分野の構造物への適用を検討する予定である。

[参考文献]1) 中宮, 岡林, 奥松: ARモデルによる土木構造物の高精度振動特性推定法, 土木学会第57回年次学術講演会,

第I部門, pp.1667-1668(平成14年9月)