

中電技術コンサルタント 正会員 ○佐竹 亮一
 広島大学大学院 フェロー会員 中村 秀治
 広島大学大学院 石井 抱
 広島大学大学院 辻 徳生

1. はじめに

近年、コンピュータやセンサなどに関する技術の発展は著しい。新たな技術として石井ら¹⁾によって高速高解像度ビジョンが開発されている。

本研究では高速ビジョン技術を活用して、構造全体の局所変位を同時多点計測ができることを前提に構造物の振動特性の同定について検討を行ない、構造物の劣化や損傷を振動特性の変化から同定する方法を提案する。具体的には、高速ビジョンにより同時に 100 点以上の標点の変化を 1/1000 秒間隔で取得し、応答変位波形から、固有直交関数展開により、固有ベクトルの変化から損傷部材を同定する方法を提案する。

2. 固有直交関数展開

固有直交関数展開はランダムに変動している変量の集合の全要素と最も良く相関する確定的関数 $\phi(x, y)$ を見つけることである。つまりランダムに変動する構造物の動的変位 $p(x, y, t)$ が与えられたとき、確定的関数 $\phi(x, y)$ への $p(x, y, t)$ の投影が最大となるものを捜す。正規化して式で表わせば、

$$\frac{\iint p(x, y, t) \phi(x, y) dx dy}{\sqrt{\iint \phi^2(x, y) dx dy}} = \max \quad (1)$$

である。式(1)の最大化は 2 乗平均の意味で求めることができる。

$$\frac{\iint p(x, y, t) \phi(x, y) dx dy \cdot \iint p(x', y', t) \phi(x', y') dx' dy'}{\iint \phi^2(x, y) dx dy} = \lambda > 0 \quad (2)$$

これは固有値問題で

$$\iint R_p(x, y, x', y') \phi(x', y') dx' dy' = \lambda \phi(x, y) \quad (3)$$

$R_p(x, y, x', y')$ は動的変位 $p(x, y, t)$ の空間相関である。 $dx \times dy$ が長方形で一様に分布し、 M 個の点での動的変位が得られている場合は、マトリクス表現で置き換えることができ、

$$\{R_p\} \{\phi\} = \lambda \{\phi\} \quad (4)$$

ここで $\{R_p\}$: 動的変位の空間相関マトリクス,
 $\{\phi\}$: 空間相関マトリクスの固有ベクトル
 λ : 空間相関マトリクスの固有値

式(4)から得られる固有ベクトル $\phi_m(x, y)$ の直交性を利用して、元の動的変位は

$$p(x, y, t) = \sum_{m=1}^M a_m(t) \phi_m(x, y) \quad (5)$$

と表される。ただし、

$$a_m(t) = \frac{\iint p(x, y, t) \phi_m(x, y) dx dy}{\iint \phi^2(x, y) dx dy} \quad (6)$$

ここで $a_m(t)$: m 次規準座標(m 次主成分)

$\phi_m(x, y)$: m 次固有ベクトル(m 次固有モード)である。

3. 実験条件

図 1 に示す 2 層ラーメン構造を実験供試体とした。図 1 に変位計測点番号および部材番号を示す。高速ビジョンによる多点変位計測の計測点を 40 点設定した。計測箇所は柱部材を対象とし、正面より高速ビジョンによって計測する。

計測は図 1 に示す打診点に水平方向外力を作用させ、そのときの応答変位を、1,000fps で 1 秒間計測した。

損傷のない状態の供試体を健全モデルとし、損傷は 1 層目の柱部材④に与え、以下の 3 ケースの健全度について比較した。

(a) 損傷モデル A : 部材④に 10%の断面欠損を与えた場合。断面欠損は部材長さ方向にシリコンを除去した。

(b) 損傷モデル B : 部材④に 20%の断面欠損を与えた。また部材④の外側に位置するアクリルを 1 本除去する。

(c) 損傷モデル C: 部材④に 50%の断面欠損を与えた。
 損傷モデル B に加えて部材④の外側に位置するアクリルをさらに 1 本除去する。

4. 実験結果

固有直交関数展開を用いて、計測データから各次の規準座標を算出し固有振動数、固有モードを求めた。損傷による固有振動数の変化を図 2 に示す。1 次固有振動数は健全な場合から損傷が増すごとに減少している。

損傷による 1 次固有モードの変化を図 3 に示す。損傷が大きい損傷モデル C では部材④のモード形状が健全時に比べ変化していることがわかる。しかし固有モードの変化は小さく、劣化や損傷に関する感度は低いといえる。

本検討では部材ごとの固有ベクトルに着目し、健全な場合と劣化や損傷を有する場合の固有ベクトルの変化によって劣化や損傷箇所を同定する。その方法として、健全時と劣化時の固有ベクトルの内積を考察する方法を提案する。

固有ベクトルを健全時と劣化時について求め、それぞれの内積を求める。図 4 に部材ごとの健全時と損傷モデル A,B,C との内積を示す。図 4 より部材④の固有ベクトルの内積は損傷の増加に伴って減少していることがわかる。

5. 結論

高速ビジョン技術を活用して、構造物全体の変位の同時多点計測により得られた応答変位波形から固有振動数および固有振動モードを求めた。劣化および損傷箇所の特定方法として、部材ごとの応答の固有ベクトルの変化から劣化や損傷箇所を特定する方法を示した。

参考文献

- 1) I. Ishii, K. Kato, S. Kurozumi, H. Nagai, A. Numata, and K. Tajima: Development of a Mega-pixel and Mili-second Vision System using Intelligent Pixel Selection, 2004 1st IEEE Technical Exhibition Based Conference on Robotics and Automation (TExCRA 2004), pp.9-10, 2004
- 2) 田村幸雄: 固有直交関数展開のランダム変動場への応用のすすめ, 日本風工学会誌第 65 号, pp.33-40, 1995

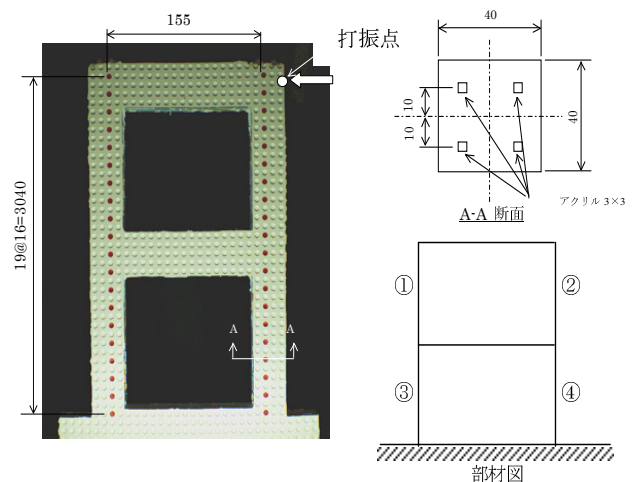


図 1 実験供試体

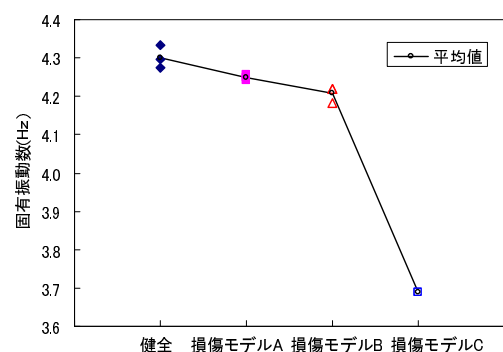


図 2 損傷による固有振動数の変化

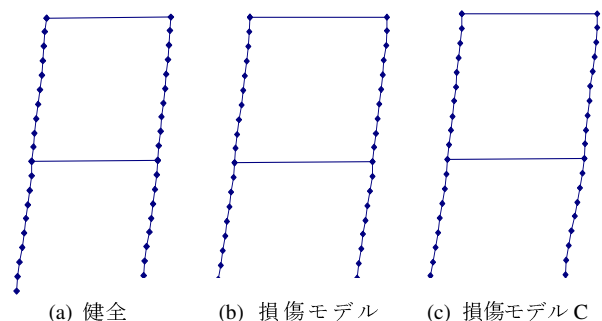


図 3 1 次固有モードの変化

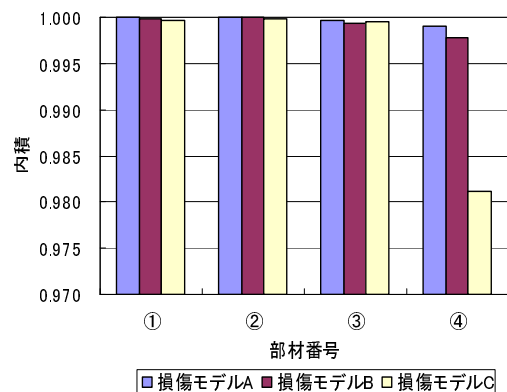


図 4 固有ベクトルの内積