

京都大学工学部 正員 山田 善一

〃 〃 竹倉 宏和

〃 〃 学生員 土谷 忠温

1 まえがき

多自由度系構造物の応答解析には、モード解析がよく用いられる。この場合減衰項は質量項 $[M]$ 、剛性項 $[K]$ 、あるいはそれらの1次結合等と比例すると仮定される。この仮定は構造物が比較的均質で構成で light damping となる場合は妥当であろう。レオレフリ橋のタワー・ピア系のような構造物では、タワー部とピア部の減衰機構が非常に異なり、系全体で上述のような減衰項の採用には疑問がある⁽¹⁾。以上のような理由から、タワー・ピア系の模型(Fig. 1)を使って振動実験を行い、得られた振動特性より、減衰項 $[C]$ を決定する方法をこゝみず。なお本文における右下の添字 T は、タワー部についての項又行列の右肩に付してノットは軸置行列を表わす。

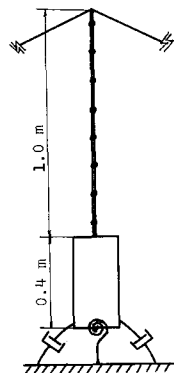


Fig. 1

2 減衰項 $[C]$ の求め方

対象系の運動方程式は、タワー部の自由度を $(n-1)$ 、ピア部を1自由度とすると

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = \{f(t)\} \quad (1)$$

ここで減衰項は、Fig. 1を参照して、

$$[C] = \begin{bmatrix} [C_T] & \{0\} \\ \{0\} & -H \cdot C_{m,1} + C_p + H \cdot C_{m,1} \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} [C_T]; \text{タワー部の}(n-1) \times (n-1) \text{次減衰マトリックス} \\ C_{m,1}; [C_T] \text{の}(n-1, n-1) \text{要素, } H; \text{ピア高} \end{array} \quad (2)$$

(1)式を正規直交モードマトリックス $[U]$ を用いて、規準座標 $\{p\}$ で表わすと、

$$[U]\{\ddot{p}\} + [C]\{\dot{p}\} + [W^2]\{p\} = [U]\{f(t)\} \quad (3)$$

$$[C] = [U][C][U] \quad (4)$$

(a)方法 I ⁽²⁾

対象系のタワー部のみを考えると、その構成は均質でありタワー部の減衰効果は小さく、タワー部の減衰項 $[C_T]$ は、近似的に次のように表わせる。

$$[U]^\top [C_T] [U] = [2h_i \omega_i]_T \quad (5)$$

故に(2),(4),(5)式より、 $[C_T]$ を誘導すると、

$$[C_T] = ([U]^\top)^{-1} [2h_i \omega_i]_T [U]^{-1} \quad (6)$$

$$= [M_T] [U]^\top [2h_i \omega_i]_T [U] [M_T] \quad (7)$$

今実験で、 $m (\leq n)$ 次までの振動特性が求まるとすると、(7)式は次のようになる。

$$\begin{aligned} [C_T] &= \sum_{i=1}^m 2h_i \omega_i [M_T] \{u_i\}_T \{u_i\}_T^\top [M_T] \\ &= [1 \text{ 次振動の減衰効果}] + [2 \text{ 次振動の減衰効果}] + \dots + [m \text{ 次振動の減衰効果}] \end{aligned} \quad (7')$$

(b) 方法Ⅱ

(1)式に、右方から $[C_T]$ を乗ずると、

$$[C_T][C_T] = [M_T][C_T]^{-1} \omega_i \omega_j \quad (8)$$

(8)式を計算すると、 i 次振動について $(m-1)$ 次連立方程式が得られる。即ち

$$[C_T] \{ \phi_j \}_i = \sum_{k=1}^{m-1} h_k \omega_k [M_T] \{ \phi_j \}_i \quad (9)$$

今 m 次までの振動特性が実験から得られれば、(9)式が m 個成立する。よって $[C_T]$ の未知数は $\frac{(m-1)m}{2}$ 個あるから、 $m \cdot (m-1) \geq \frac{m(m-1)}{2}$ の時解は求まる。ある1つの振動モードのみを用いて、ビルディングの減衰項 $[C]$ において、その対角項を求めたものに文献(3)がある。

3 実験方法とその整理

タワー部の減衰効果は、タワーシャフトに取り付けた添持板の締付けの程度とトルクレンチで調節し、ピア部の減衰効果はoil damperの調節によった。実験順序は

- (i) ピア部のみの振動実験より、 C_p を決定する。
 - (ii) ピア部を完全固定し、タワー部のみの振動実験より各振動次の共振曲線を探る。
- 次に本実験では、3次までの振動特性を求めたので、以下の方法で減衰マトリックス $[C]$ を計算した。

- (1) ピアの減衰係数 C_p は、ピアの回転運動より次式で求める。

$$C_p = \beta_p C_{pcr} = \beta_p \cdot 2 \sqrt{J \cdot K_r} \quad (10)$$

ここで β_p はピアの減衰定数、 J は回転慣性モーメント、 K_r は地盤の回転バネ定数とする。

- (2) タワーの減衰定数 h_i は、得られた共振曲線より共振・動数 ω_i での振幅の $1/2$ に於る振動数 ω_1, ω_2 から、次式によって求めた。

$$h = C/C_{cr} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} \quad (11)$$

- (3) タワーの振動モードは、タワー各点でひずみ振幅を測定し、ひずみモードからタワーの変位モードを求め、それを正規化して modal matrix を作成した。即ち実験より得られたひずみモード曲線と多項式で近似し、これを2回積分して変位モード $\{A_i\}$ を求めた。変位モードの正規化は $\{A_i\} = \alpha_i \{ \phi_j \}_i$ とし、

$$[M_T] \{ \phi_j^2 \}_i = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^{n-1} m_j \quad (12)$$

によって得た $[C_T] = [\phi_j]_1, [\phi_j]_2, [\phi_j]_3$ として、modal matrix を求めた。

- (4) 減衰マトリックス $[C]$ は、方法Ⅰ、方法Ⅱで $m=3$ として $[C_T]$ を求め、これをピアの減衰係数 C_p を(2)式に代入して、系全体の減衰マトリックス $[C]$ を求めた。

なお実験および計算結果ならびに得られた1般的な減衰項 $[C]$ を用いた場合の固有値については、当日発表する。

参考文献

- (1) 山田, 辰巳, 喜多河; フリ橋のタワーピア系の地震応答に関する実験的研究, 土木学会第23回年次学術講演概要 I-181
- (2) Ray, W. Clough; Analysis of structural vibrations and dynamic response, Japan-U.S. seminar on matrix methods of structural analysis and design, Aug. 25-30, 1969
- (3) Funahashi, Kinoshita, Aoyama; Vibration tests & test to failure of a 7 stories building survived a severe earthquake, 4th W.C.E.E. 1969