

I-82 常時微動によるモード解析の実用化

九州大学 工学部 正員 小坪 清 真

九州大学 工学部 学生員 島 野 清

九州大学 工学部 学生員 〇串 間 正 敏

1. まえがき

今日常時微動測定による地震時地盤卓越周期の推定, ランダムな走行荷重による橋梁の振動と解析(その固有振動周期を求めるなど, 不規則振動論を応用して地盤および構造物の振動性状と解析することが行なわれている。しかしこれらは構造物の固有周期や減衰定数を解析するにとどまり振動型まで解析した例はない。本論文は, パワースペクトルの平方根分布は, 振動型に近似的に等しくなるという理論に基づき, 構造物の卓越周期, 振動型を1次だけでなく高次まで解析しようとするものである。本法の利点は, 従来の振動試験法によると近年各地で建設されているような長大な土木構造物になると, 装置が大がかりになったり, 加振力不足という困難を生じるが, 本法は起振機を必要としないだけでなく, 複雑な構造物でも比較的簡単に測定解析できる。

2. 不規則振動論による多自由度系の変位応答

r 次の振動型が $Y_r(x)$, 固有円振動数 m_r , 減衰定数が n_r の多自由度系が, 地動加速度 $\ddot{u}(t)$ をうけるときの振動変位のパワースペクトルは次式で表わされる。

$$S_y(\omega) = |\alpha_y(i\omega)|^2 \cdot S(\omega) \quad (1)$$

ここに $\alpha_y(i\omega)$ は任意点スリセフタンス, $S(\omega)$ は地動のパワースペクトル。

$\alpha_y(i\omega)$ は次式で表わされる。

$$\alpha_y(i\omega) = \sum_r \frac{\beta_r \cdot Y_r(x)}{m_r^2 - \omega^2 + 2i k_r \omega} \quad \beta_r: r \text{ 次の刺激係数} \quad (2)$$

$$|\alpha_y(i\omega)|^2 = \left\{ \sum_r \frac{\beta_r \cdot Y_r(x) \cdot (m_r^2 - \omega^2)}{(m_r^2 - \omega^2)^2 + 4k_r^2 \omega^2} \right\}^2 + \left\{ \sum_r \frac{\beta_r \cdot Y_r(x) \cdot 2k_r \omega}{(m_r^2 - \omega^2)^2 + 4k_r^2 \omega^2} \right\}^2 \quad (3)$$

k_r が十分小さくかつ, 固有振動数が, はなれている場合には, 近似的に次式で表わされる。

$$|\alpha_y(i\omega)|^2 \doteq \sum_r \beta_r^2 \cdot Y_r^2(x) \cdot \frac{1}{(m_r^2 - \omega^2)^2 + 4k_r^2 \omega^2} \quad (4)$$

従って, S 次の固有振動数における変位のパワースペクトルは

$$S_y(\omega) = \left\{ \sum_r \beta_r^2 \cdot Y_r^2(x) \cdot \frac{1}{(m_r^2 - \omega^2)^2 + 4k_r^2 \omega^2} \right\} \cdot S(\omega) \doteq \beta_s^2 \cdot Y_s^2(x) \cdot \frac{1}{4k_s^2 \cdot m_s^2} \cdot S(\omega) \quad (5)$$

すなわち, パワースペクトル平方根分布は, 振動型 $Y_s(x)$ に近似的に等しくなる。

3 実験概要および基本的考え方

実験は九大水工土木の建物図-1で各階と屋上に速度型換振器(感度2D/line)を置き, 短手方向と長手方向の常時微動を増中器を通してデータレコーダに記録し, 次に述べる方法により処理した記録を, AD変換器で, 1次は0.025sec, 2次以上は0.00625secまでデータ個数2500個づつDigital化した。

この常時微動には全ての次数の振動が含まれており、その中でも1次が特に卓越している。その結果この記録をそのまゝ解析して、パワースペクトルを求めると、高次は1次に比べて小さいパワーしかなく、1次のモードはとれるが高次までのモードを求めることは困難である。そこで記録を photo-Corder にとり出すが、またはスペクトルアナライザーでパワースペクトルを解析して、各次数の固有周期の推定を行い、2次のスペクトルをとるときは、ハイパスフィルターで1次を Cut し、3次を取るときは、2次以下を Cut 増幅したものを記録する処理法を使用した。

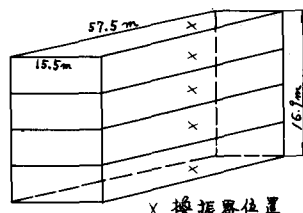


図-1

図-2 は測定した常時微動をフィルターに通したものである。(2-a) より1次周期が推定できる。(2-b), (2-c) は推定した1次、2次周期以下を Cut して増幅した図。2次、3次の周期がよく出ているのが判る。この方法により、順次パワーの大きい低次を取り除き、増幅してパワースペクトルを求めるので、高次のモードが求められる訳である。

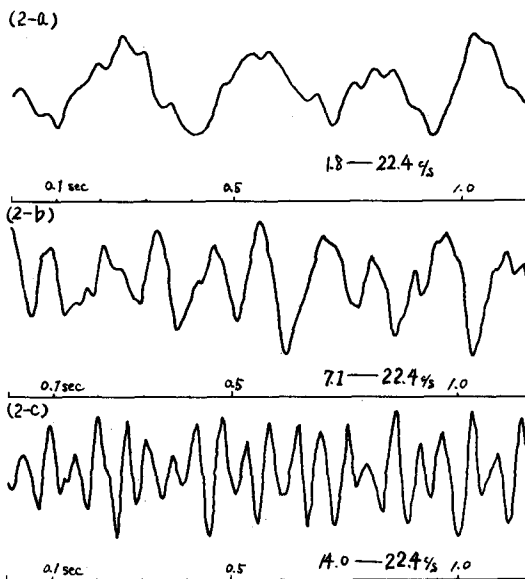


図-2

4. 数値計算

パワースペクトル計算は次の2つの方法を用いた。

- i) Δt ごとのある個のデータ、 $y_k (k=1, 2, \dots, N)$ の自己相関関数を求めてからパワースペクトルを求める従来の方法。
- ii) クーリー、チキーの算法である高速フーリエ変換 (FFT) を用いて求める方法。

計算結果は講演時に発表する予定である。

5. 結び

常時微動による構造物のモード解析は、簡便かつ有力な手法であるが、次の点が今後の問題点である。

- i) 卓越周期点におけるパワースペクトルは、少しのきざみで大きく違う。モードを求めるには、卓越周期点に於けるパワースペクトルの最大値が必要であるが、 $\Delta \omega$ のきざみが大きいと真の最大値が求まらない。従って、おおよその卓越周期が判ったら、その幅をさらに小さくきざむ必要がある。
- ii) パワースペクトルは絶対値であるため複雑なモードの場合には、その符号を知る上に困難がある。これは、各チャンネル同時にフィルターをかけて記録する事により、その位相関係から知ることもできると思われる。
- iii) 振動周期の近い次数のモード分離法。
- iv) スペクトルの大きさ精度に及ぼす window 計算法。
- v) 支点 (基礎) の変位の処理法 (弾性支持か固定支持の判別)。振動源は地盤にあり、その際基礎も振動している。このスペクトルをどのように考えるか。等。

参考文献 小坪山景「構造物の雑微動解析による振動特性の推定」土木学会西部支部論文集 46-2