

東京工業大学 総合理工 ○学員 片岡俊一
正員 大町達夫

1. はじめに 今日、構造物の動的応答を求める方法として、モード重ね合せ法が多く使用されているが、この場合のモードと実際の構造物のモードとが異なっている可能性は少なくない。また、その他様々な点からも実物のモードを知ることは重要なことであると考えられる。しかしながら、現在のところ、実物のモードを得る為には、多大な労力と計算量を要している。本報告は、多変量解析手法の一つである因子分析法を適用し、多点同時観測の常時微動データより、簡便に、多自由度構造物の固有振動形と固有振動数とを求めることを試みたものである。

2. 因子分析法について³⁾ 因子分析法を振動問題について書き下すと、式(1)になる。すなわち、時刻 t の各々分散を1に基準化された N 次元観測ベクトル X_t は、振動パターンを列にとった($N \times m$)のパターン行列 A と、 m 次元の評価(スコア)ベクトル f_t との積、及び残差項 ε_t とで表わせると仮定するものである。 N は観測点数、 m は振動パターン数である。これを模式化したものが図-1である。ここで

$$\begin{aligned} X_t &= A f_t + \varepsilon_t & (1) \\ X &= A f & (2) \\ R A_i &= \lambda_i A_i & (3) \\ A_i &= [A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{iN}]^T & (4) \\ & \quad (i=1, 2, \dots, m) \\ f &= [A^T A]^{-1} A^T X & (5) \end{aligned}$$

パターンと言ったのは、 A の各列が振動学で言う振動形と必ずしも一致しないからである。 A 及び f を求める基本的な考え方は、次の通りである¹⁾。まず

(1)式より何らかの方法で ε_t を除去し、

$X = \{X_t\}$, $f = \{f_t\}$,

を用いて、(2)式とする。 X の相関行列を R とすると(2)式は(3)式のように、 R の固有値 λ_i と固有ベクトル A_i を求める問題になる。また、 f は A が求まった後(5)式で与えられる。

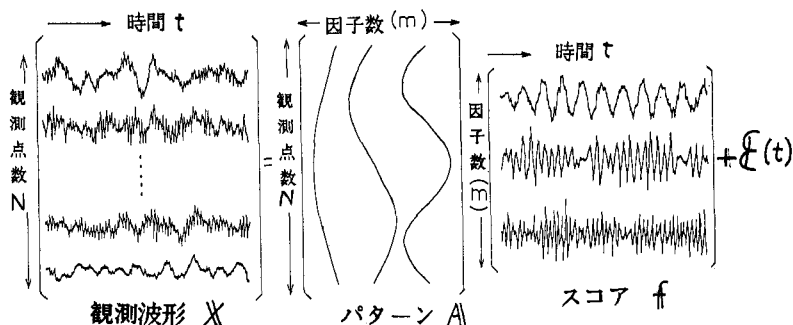


図-1 因子分析法の模式図

3. 解析に使用した振動波形

今回は、愛知県にある新豊根ダムで測定された常時微動変位波形を利用して、振動パターンを求めた。新豊根ダムは、高さ117m、長さ311mの非対称放物線ドーム型コンクリート式アーチダムである。測点は図-2のように、st1からst4まで選び、st1からst4までのダム軸直交方向水平動4成分

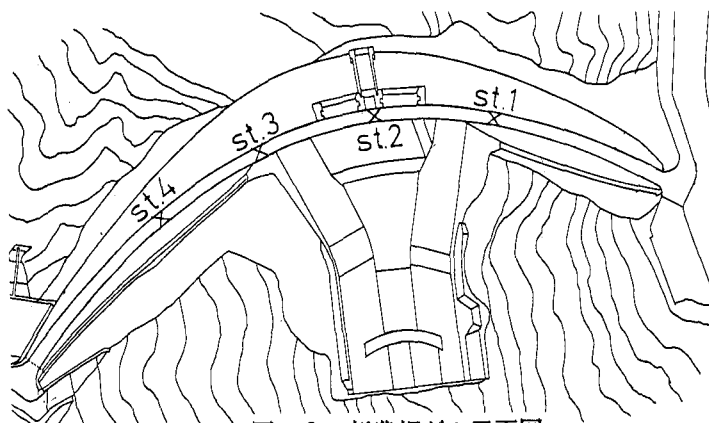


図-2 新豊根ダム平面図

と、st1、st2の鉛直動2成分、計6成分とを同時に記録した。st2で測定された常時微動のフーリエスペクトルを図-3に示す。

4. 解析結果 測定された常時微動は低振動数域で卓越ピークが見られ、直接、因子分析法を適用すると、第一に低振動数の振動パターンが得られたので、2Hz以下の低振動数帯をカットし因子分析を行った。その結果得られたパターンは3つであり、対応するスコアのパワースペクトルと共に、抽出された順に図-4に示す。

第一の振動パターンは、ダムの対称一次モードに対応するものと考えられる。スコアのスペクトルのピーク振動数3.6Hzと図-3のピーク振動数とが一致していることから妥当であると言える。第二の振動パターンはダムの逆対称一次モードに対応するものと考えられる。過去の経験によればアーチダムの最低次の振動モードは、逆対称一次であることが多く²⁾、その固有振動数は本ダムの場合3Hzであると推定される。これらのことは本結果の妥当性を示していると考えられる。第三の振動パターンについては、ダムの振動モードと対応をつけることは困難である。この理由としてスコアのスペクトルには、2つの顕著なピークが認められ、各々のピークに対応する振動形が異なっている事が考えられる。確かに、狭帯域バンドパスフィルターによる、各ピーク付近の瞬時モードは異なっている。

5. まとめ 今回の解析では、因子分析法を用い容易に固有振動形と固有振動数とを求める手がかりが得られたと考えられる。しかし、求めた振動パターンは、対応するスコアのスペクトルのピークが顕著であったとしても、振動学でいうモードそのものではないと考えた方が妥当であり、純粋な振動形を求める為には、更に手法を洗練する必要がある。

最後に、測定を快く許可していただいた関係諸氏に謝意を表す。

(参考文献) 1) スペクトル解析 日野幹雄著

2) 耐震工学 岡本瞬三著

3) 因子分析法 芝祐順著

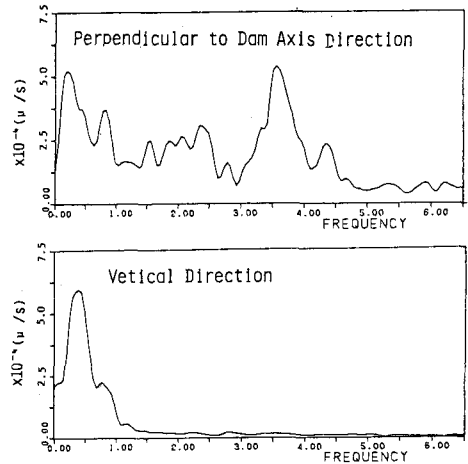


図-3 st2における常時微動のフーリエスペクトル

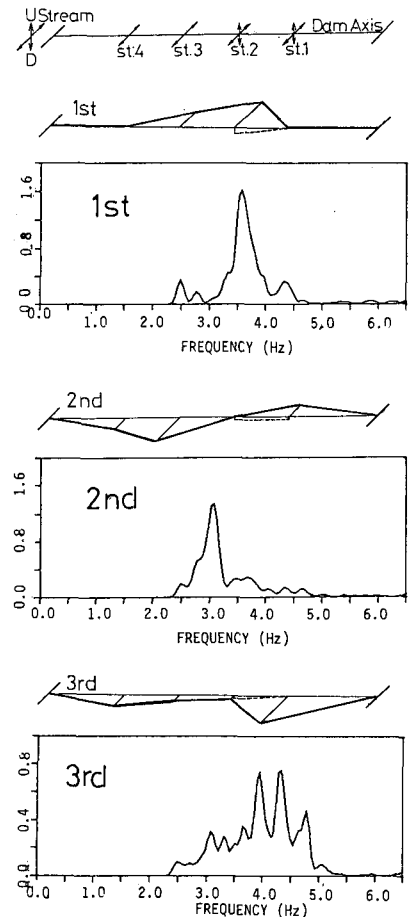


図-4 抽出された振動パターンとスコアのパワースペクトル