

○清水建設(株) 正会員 片岡俊一  
東工大 総合理工 正会員 大町達夫

1. はじめに ダムの耐震性は、社会的に非常に重要な問題であり、その評価の為には実ダムの振動性状を正確に知ることが必要と思われる。しかしながら、実測振動データはダム固有の振動性状の複雑さに加え、ダムに対する入力を適確に知ることができないことより、その解釈は一般に容易ではない。

例えば、複数の観測点における同時観測の常時微動のスペクトル振幅より振動形を推定することを考えてみる。ダムは山間部の微動レベルの低い場所にあり、数km離れた位置にある発電機の影響を容易に受けやすい。このような場合には、ダム上での振動データの卓越振動数と固有振動モードの固有振動数とが一致するとは考え難く、他の振動モードの影響を受け、複素フーリエ係数より推定した振動形、特に、位相判定が正しくない可能性がある。

ここでは、ダムの振動性状を知る為  
に実測振動データを固有振動モードに  
分解するいわゆる逆問題を、因子分析  
の結果を利用して解くことを試みた。

2. 手法 因子分析法を振動問題に  
適用した場合の模式図を、Fig.-1に示  
す。つまり因子分析法は、分散1に基  
準化された観測データ行列 $X(t)$ を、最  
もうまく表わすような形状関数である  
因子パターン行列 $A$ と、時間関数であ  
る因子スコア行列 $F(t)$ との積及び、残差項 $\varepsilon(t)$ と  
の和で表わそうとするものである。この式は、振  
動学のモード重ね合せの式、(2)式とその意味する  
ところは似ているが、根本的な相異は、因子分析  
法では各スコア毎に正規直交条件を課しているに  
対し、振動学の基準座標ではそれが無い点である。

因子分析法を直接適用するだけで、振動形と基  
準座標を粗く推定できること、更に因子スコアと  
基準座標の卓越振動数が一致することは前回発表  
した<sup>1)</sup>。しかし、時間関数に正規直交条件を課して  
いる以上、因子分析の結果をただちに振動形と基

準座標として考えることは、困難である。ここ  
では、結果を次のように改良することを考えた。ま  
ず、因子スコア $F$ は、同じ次元数の基準座標の線  
形結合で表わせるとし正規行列 $B$ を用いて(3)式で  
表わすと、 $F$ の正規直交条件より(4)式が求まる。  
 $F$ 、 $Q$ ともに分散1と考えれば、 $B^{-1}$ は $Q$ と $F$ との  
相関行列になる。また $B^{-1}$ は直交座標系を斜行座標  
系に変換していると考えられることも可能である。今  
 $Q$ は未知であるが、 $F$ と $Q$ との卓越振動数は前述  
のように通常は一致すると考えられるので、 $Q$ の  
代わりに $F$ の卓越振動数成分を利用し、 $B^{-1}$ を求め  
る。(5)式の $AB$ にデータの標準偏差を乗じたもの  
を振動形の推定値、 $B^{-1}F$ を基準座標の推定値と考  
える。数種の数値実験を行った範囲では、これら  
のものは推定値として十分な精度を有していた。

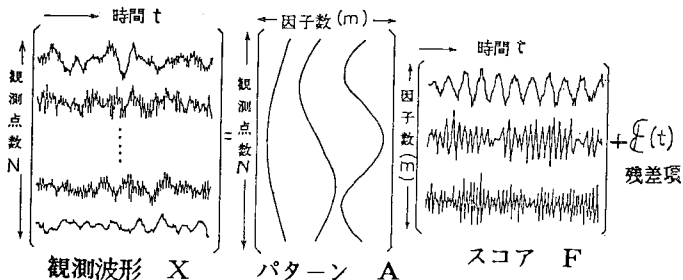


Fig.-1 Idea of Factor Analysis

$X(t) = AF(t) + \varepsilon(t)$	(1)
$Z(t) = \Phi Q(t) + n(t)$	(2)
Z : 元の観測波形行列	
Φ : 振動形行列	
Q : 基準座標行列	
n : 測定に伴うノイズ	
$F = BQ$	(3)
$B^{-1} = E (QF^t)$	(4)
$X = AF + \varepsilon$	
$= AB^{-1}F + \varepsilon$	(5)

3. 実測データへの適用 本手法をFig-2に示す黒又川第一ダム上6点(図中の1,2,3,4,5,6)で測定されたダム軸直交方向成分の常時微動変位波形に適用してみた。本ダムは高さ91m,長さ276mのコンクリート重力式ダムである。上流6kmの地点に出力17,000kw,回転数5Hzの発電機があり、副次的に7.2Hzの振動数成分を発生している。また下流5kmの地点には出力61,500kw,回転数6.3Hzの発電機があり測定中は、両発電所とも操業中であった。Fig-3に各測点でのデータの大きさを考慮した因子パターンを示す。因子パターンは谷形状に対応したものになっており、固有モードの振動形と対応づけられる。一方因子スコアのパワースペクトルをFig-4に示す。

1次には顕著な3つのピークが見られるが、7.2Hzは2次のスコアで顕著なので、2次のスコアに対応する振動モードのもの、6.3Hzは3つのスコアすべてに含まれており、前述のことより入力に起因するものと考えられる。3次の3つのピークについては現時点では解釈が困難である。基準座標の代りに1次では5.0Hz、2次では7.2Hz、3次は9.5Hz付近の振動数成分に着目し、結果を改良した。推定した振動形を、スペクトル振幅より推定したもの(破線)と比較して、Fig-5に示す。これを見ると1次と3次は両者ともよく一致しているが、2次では符号が逆転している点が

参考文献) 1. 片岡、大町  
因子分析法による多自由度構造物の振動解析の試み 土木学会第38回年講概要集P. 79

ある。真の振動形は不明ながらも、前述の事柄よりフーリエ係数による位相判定に疑問が残り、更に形がスムーズであることから本手法による推定振動形の方が妥当であるように思われる。また、推定した基準座標のパワースペクトルを最大値1に基準化してFig-5に示すが、変換に利用したピークがいずれも顕著になっていることが分かる。

4. まとめ 本報告で提案した手法は入力としての地山の振動性状が概略分かれば、十分に適用可能と考えられ、ダムの振動性状を大きく把握するには計算時間も短いことから適当な手法と言えよう。なお、測定は電源開発(株)の御好意により行った。記して感謝の意を示す。

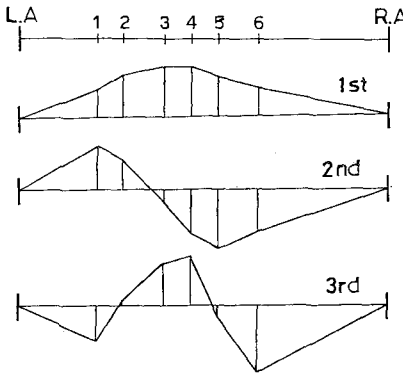
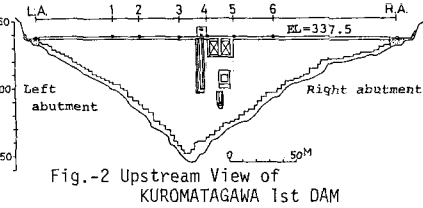


Fig.-3 Modified Factor Patterns

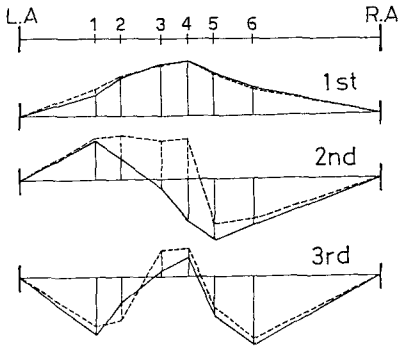


Fig.-5 Estimated Vibration Shapes  
----- Spectral Amplitudes

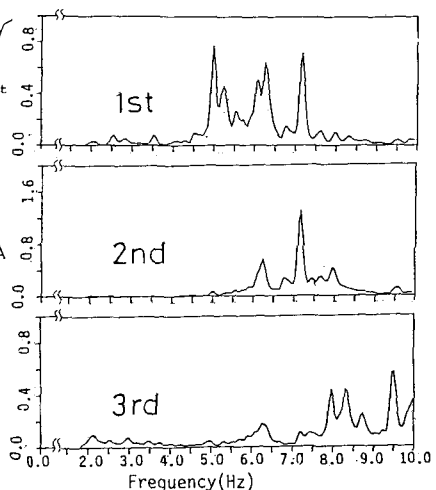


Fig.-4 Power Spectra of Factor Scores

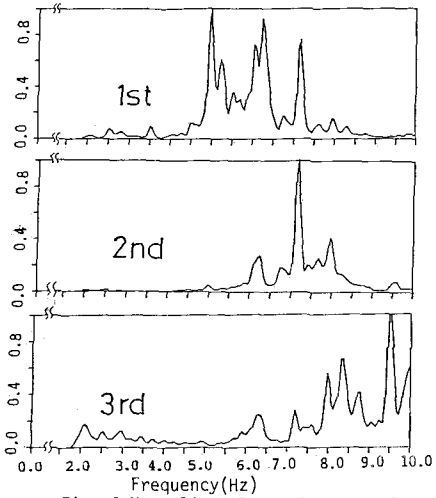


Fig.-6 Normalized Power Spectra of Estimated Normal Coordinates