

時系列振動解析を用いた河道内状態推定に関する研究

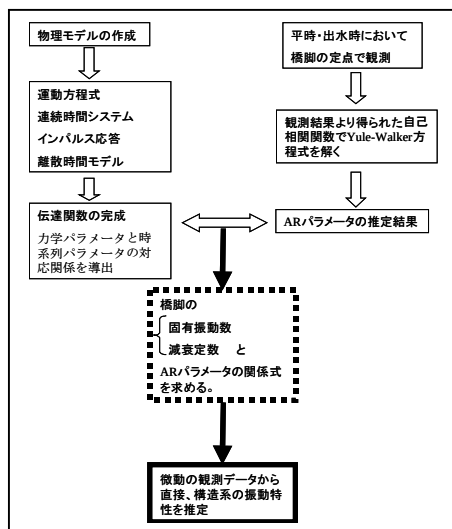
群馬大学大学院 学生会員 藤田智之
群馬大学工学部建設工学科 正会員 松本健作
群馬大学工学部建設工学科 非会員 神戸大典
株式会社数理設計研究所 非会員 菅正信

・ 研究目的

出水中は大量の激流が流れており、河道内に立ち入って計測等を行うことが非常に困難であるが、河川工学上、出水中における河道内の現象を把握することは非常に重要であると考えられる。

本研究は時系列振動解析技術を、流体・河床および河川構造物からなる連成系に適用し、橋脚その他河川構造物に設置した振動計によって記録される加速度信号から出水中における種々の水理諸量を推定し、防災の観点からみた河川環境の健全性を診断するシステムの開発を試みるものである。

・ 研究内容



本研究では自動制御の分野で用いられる定常時系列の概念を用いて線形系の応答の予測を行い、その結果から系のパラメータを推定する手法を用いる。河川構造物の動力学モデルを作成し、そこから離散時間モデルの理論的導出を行う。そして力学パラメータと時系列パラメータの対応関係導出を行う。

さらに、観測した加速度信号の自己相関関数を用いてYule-Walker 方程式を経由することにより自己回帰・移動平均過程の係数を推定する。この係数と構造物の固有振動数と減衰定数の間に成立する関係式を用いることにより、橋梁の振動観測データからリアルタイムで水位や流量、河道内地形などの水理諸量を直接推定しようとするものである。ここでは最初の段階として振動特性と水位との相関性について検討を行った。

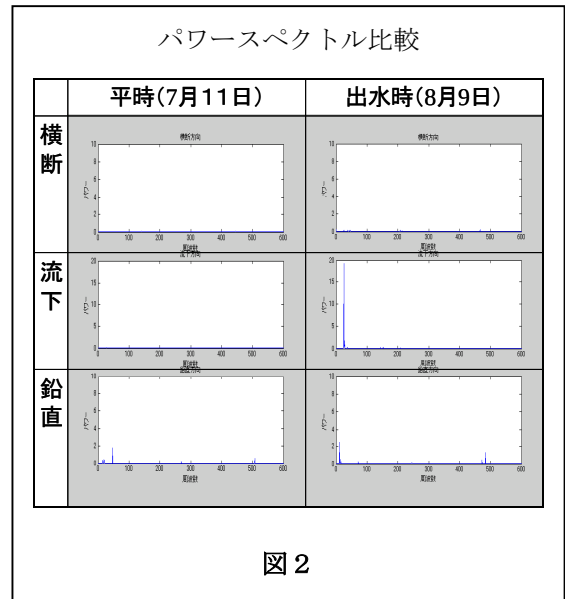
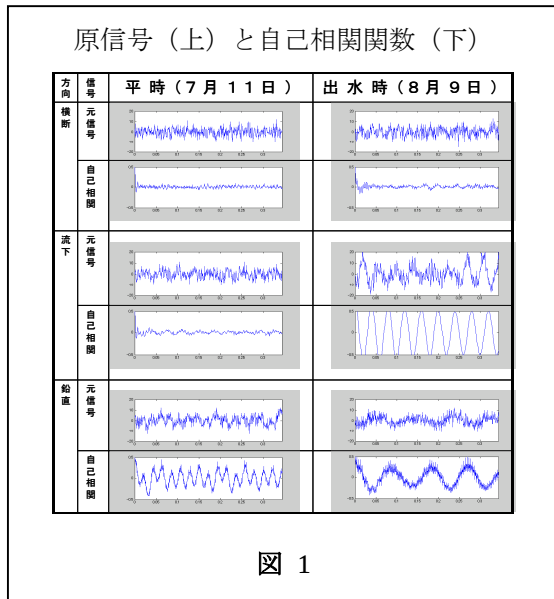
・ 現在までの成果

① 条件の異なる観測結果より求められる自己相関関数とパワースペクトルの比較

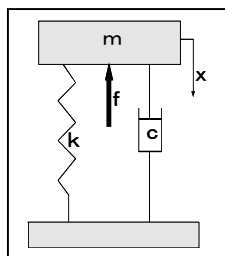
栃木県葉鹿橋において任意に設置箇所を選び、加速度センサーを順次取り付けて、それぞれの箇所について、横断、流下、鉛直方向と三つの方向を設定し、それぞれの加速度のデータを得た。下図に示すのは橋梁の同じ地点において観測条件によって最も顕著に違いの現れた結果である。また観測は7月11日、8月9日のものであり、水位は国土交通省から公表になっているデータよりそれぞれ1.25m、3.85mとなっている。7月11日は平時の状態、8月9日は台風10号による出水時の状態でそれぞれ同じ地点で観測を行った。図1は平時（7月11日）、出水時（8月9日）の観測データで、上から横断、流下鉛直方向を表しており、原信号とその自己相関関数を用いて雑音を除去したもののそれぞれの比較である。そのサンプリング数はおよそ1190Hzである。また図2は原信号にフーリエ変換を施しそれをパワースペクトルに変換したものの平時と出水時の比較である。特に相違が見られたのが流下方向であり平時、出水時によって自己相関ではっきりと違いが見られた。またその周期は $T=0.04(s)$ となっている。

キーワード：時系列振動解析、河道、状態推定

連絡先：〒376-0041 群馬県桐生市天神町 1-5-1 群馬大学工学部建設工学科 TEL 0277-30-1640



② 物理モデルの作成から力学パラメータと時系列パラメータの対応関係導出まで



①の結果をうけて振動に関連した出水によるモードの変化を確認したため河川構造物の動力学モデルを作成した。まず河川構造物のモデルを簡略化するため、流下方向、鉛直方向に分け考えることにした。力学モデルは地盤、橋脚からなる1自由度系とし、左図のように表現した。左図は鉛直方向の図である。ここで記号 m, c, k は質量、粘性減衰係数、剛性を意味した力学パラメータと呼ばれるものである。

出水中の河川構造物は要素が複雑であるため振動系への洗掘力が未知である。よって本研究では未知である橋脚に対する入力 $f(t)$ を白色雑音とし、橋梁に取り付けた加速度計から観測される振動加速度を出力とした加工モデルの定式化を行った。同定対象の物理法則を表す微分方程式をラプラス変換し連続時間システムの伝達関数 $H(s)$ を求める。伝達関数 $H(s)$ を逆ラプラス変換して連続時間システムのインパルス応答を $h(t)$ を求め、それを離散時間化し離散時間システムのインパルス応答 $h(n)$ を求める。 $h(n)$ を Z 変換して離散時間システムの伝達関数 $H(z)$ を求める。ここで求めた伝達関数が ARMA モデルの伝達関数 $H(z) = B(z) / A(z)$ となる。以上を踏まえ本研究で求められたのが①式である。

$$H(z) = \frac{1 - b_1 z^{-1}}{1 - a_1 z^{-1} - a_2 z^{-2}} \quad \text{———①}$$

ここで AR パラメータと力学パラメータ m, k, c の関係は以下ようになる。

$$\begin{aligned} a_1 &= f_1^{(1)} + f_2^{(1)} & f_1^{(1)} &= e^{-\frac{c \pm \sqrt{c^2 - 4mk}}{2m} T} \\ a_2 &= -f_1^{(1)} \cdot f_2^{(1)} & f_2^{(1)} &= e^{-\frac{c \mp \sqrt{c^2 - 4mk}}{2m} T} \end{aligned}$$

・ おわりに

物理モデルの作成から力学パラメータと時系列パラメータの対応関係導出まで求めることができた。これに関する精度検証を AIC(赤池情報基準)を計算し行いたい。平時・出水時ともに様々な振動特性を示す事から、水位（流量）の他に風速・気温・湿度など振動に影響を与える因子が多く存在するものと思われる。それら河川構造物の振動に影響する雑音を消去し、出水のみによる橋梁への振動特性への関連性を検討していきたい。現在、振動特性より水位の推定を行っているがこの振動特性より次は流量を推定し、構造物の状態診断の検討を進めていきたい。その結果に関しては講演時に発表したい。

<参考文献>

- 1) 中溝高好：信号解析とシステム同定：コロナ社：1988年3月
- 2) 大類重範：デジタル信号処理：日本理工会出版：2001年12月

- 3) 土岐憲三・佐藤忠信・生木泰秀：自己回帰・移動平均法による構造物の動的パラメータの推定：京都大学防災研究所年報第 21 号 B－2：昭 53 年 4 月