

低越流せき下流部水路底面上の圧力変動特性

岡山大学 正員 名合 宏之
 岡山大学 正員 〇古川 修三
 岡山県庁 国本 健司
 日本通信建設 中山 浩司

低越流せき下流部の流況は、せき形状あるいは流量などによって著しく異なるが、とくに、せき下流面の傾斜が急で、かつ流量が比較的大きい場合には、下流部水路の水面上は著しく変動し、あたかも気泡が発生したような様相を呈する。このような流況においては、水路底面上の圧力は著しく変動し、河床の安定上、好ましくない影響を及ぼすことが予想される。本研究は、このような低越流せき下流部の流況、とくに、圧力変動特性について実験的な検討を加え、この種の水工構造物の水理学的設計法確立のための一助にしようとするものである。

実験は、まず、圧力変動の大小の目安となる気泡の、発生条件を明らかにするため、せき高 D 、せき下流面勾配 β および流量(越流水深 H_0)と可能な限り変化させて行ない、その時の水面形、ナップ部における水面形勾配 θ 、せき下流面上の渦領域の範囲 α および気泡の発生位置 X 、その大きさを測定した(図-1)。その結果、明らかになったことは主に次の2点である。

- 1) 気泡発生現象は、一般に、流量が大きく、せき高が小さく、せき下流面勾配が大きいときほど著しい。
- 2) せき下流面勾配 β とナップ部における水面形勾配 θ および気泡、渦領域の存否の関係はほぼ次のようである。

$\beta < \theta$ --- 気泡なし --- 渦領域なし
 $\beta = \theta$ --- あずかに存在 --- あずかに存在
 $\beta > \theta$ --- 存在 --- 存在

つぎに、水路底面上の圧力変動の流れ方向の変化を調べるため、渦領域の中と気泡発生直下およびその中間2地点、計4地点で圧力測定を行なった。また、せき上流の水面変動とかなり大きく、その影響を調べるために、せき上流では波高計を用いてその変動を測定した。なお、圧力測定は、水路底面に穴をあけ、拡散形半導体小形圧力変換器を取り付け、増巾器を介して磁気テープに記録した。また、波高測定は、容量式波高計を用いて磁気テープに記録した。テープに記録された電流の強さを0.02秒毎に、10.24秒間、計512個の値をサンプリングし、AD変換を行なった。その結果の1例を示すと図-2のようになる。これらの値から平均、分散およびスペクトルを求めた。なおスペクトル計算はFFT法により求め、その際、平均化を行なった。

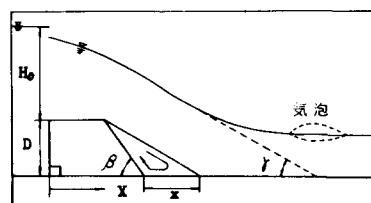


図-1 流況概要図

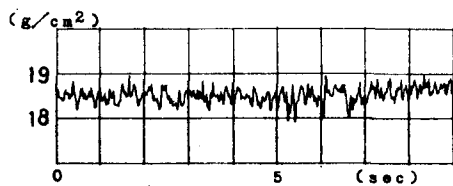


図-2 圧力変動例

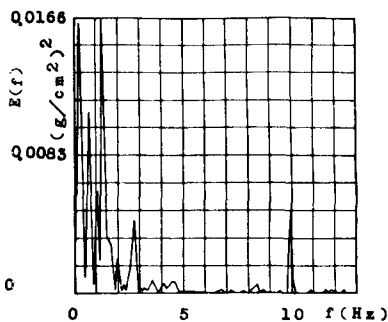


図-3 水面変動スペクトル ($X/D = -4$, $\sqrt{Q} = 0.427$)

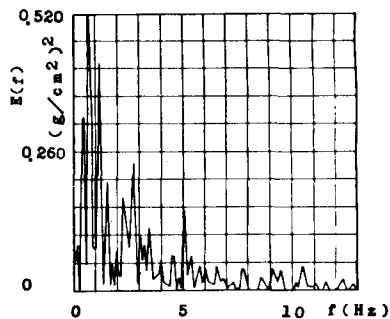


図-4 圧力変動スペクトル ($X/D = 2.6$, $\sqrt{Q} = 1.83$)

・平均: $\bar{x} = (1/N) \sum_{k=1}^N x_k$, ここに, x_k : データ, N : データ数

・分散: $\sigma_x^2 = (1/N) \sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x})^2$

・スペクトル: $X_k = x_k - \bar{x}$ とし, 離散的フーリエ変換の係数

$A^{(j)} = \sum_{k=0}^{N-1} X_k W^{kj}$ ($j=0, 1, \dots, (N-1)$), ここに, $W = \exp(-\frac{2\pi i}{N})$, $i = \sqrt{-1}$

従って, パワースペクトルは $R_p^{(k)} = \frac{2}{N\Delta t} \{ [\Delta t \cdot \text{Re}(A^{(k)})]^2 + [\Delta t \cdot \text{Im}(A^{(k)})]^2 \}$

($k=0, 1, \dots, (\frac{N}{2}-1)$), ここに, Δt : サンプリング時間間隔,

$\text{Re}(A^{(k)})$: $A^{(k)}$ の実数部, $\text{Im}(A^{(k)})$: $A^{(k)}$ の虚数部

つぎに, せき高 $D=10\text{cm}$, せき下流面勾配 55° で流量 $Q=80\%$ の場合の, せき上流での水面変動スペクトルおよびせき下流4地点での底面上の圧力変動スペクトルは図-3~7に示されるとおりである。図の縦の縮尺は, 各場合の最大スペクトル値を 6.1cm として表わしている。図-3, 4, 5から判断すると, 図-3において卓越した周波数 0.2Hz , 0.7Hz , 1.3Hz のうち, 0.2Hz は図-5のスペクトルに, 0.7Hz , 1.3Hz は図-4のスペクトルに顕著な影響を与えている。つまり, 渦領域内の底部圧力変動およびその直後の圧力変動の卓越した周波数は, せき上流のゆっくりした変動の影響とみなせよう。また, 渦内の比較的大きい周波数 5Hz の全変動に占める割合は比較的小さいのに対して, 渦直後の変動周波数の $4\text{Hz} \sim 6\text{Hz}$ の全変動に占める割合は比較的大きいと考えられる。また, 図-6はさらに下流の底部圧力であるが, その傾向はさらに大きい。しかし, 図-7にみられるようにさらに下流の気泡直下の底部圧力変動は, 分散とかなり小さくなり, 変動の支配的な周波数も 2Hz 以下の小さなものとなる。また, 同じせきを用いて同一地点 ($X/D=3.0$) において, $Q=70, 80, 90\%$ の場合の圧力変動スペクトルを較べると(図-5, 8, 9), $Q=70\%$ の時, 比較的大きい周波数 $5 \sim 6\text{Hz}$ の全変動スペクトルに占める割合は 80% の場合よりも大きく, また, 90% の時, 80% のスペクトルに $2 \sim 3\text{Hz}$ 前後の低周波数の変動が加わっている。これらの原因も, $Q=80\%$ の時, $X/D=3.0$ は渦領域の境界に非常に近く, 70% の時, 渦領域が小さくなり, 図-6と同様なスペクトルになり, また, 90% の時, 渦領域が大きくなり, 図-4と同様なスペクトルになると考えられる。

以上, 低越流せき下流部水路底面上の圧力変動特性について, 実験的な検討をおこなったが, このような圧力変動が河床安定に及ぼす影響については, 今後, さらに詳細な検討をすすめていく予定である。

参考文献

日野幹雄: スペクトル解析

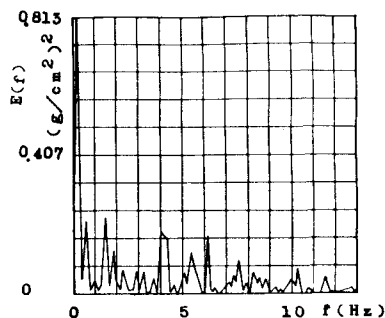


図-5 圧力変動スペクトル ($X/D=3.0, \bar{v}^2=2.01$)

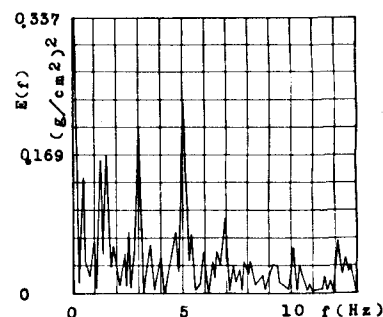


図-6 圧力変動スペクトル ($X/D=3.9, \bar{v}^2=1.54$)

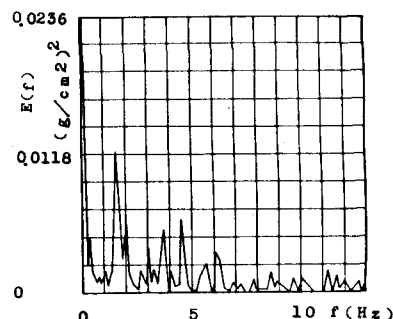


図-7 圧力変動スペクトル ($X/D=6.2, \bar{v}^2=0.0599$)

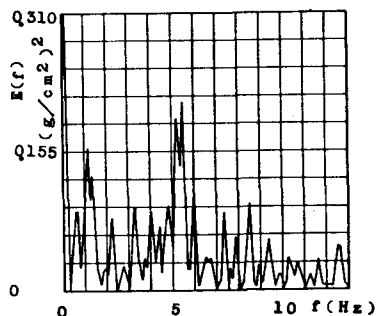


図-8 ($X/D=3.0, \bar{v}^2=1.26, H/D=1.57$)

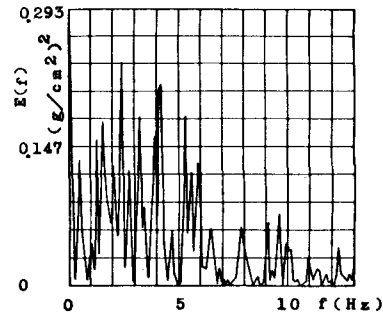


図-9 ($X/D=3.0, \bar{v}^2=1.55, H/D=1.79$)