

東京都立大学大学院 学 生 員 尾 上 靖
 東京都立大学工学部 正 員 安 川 浩
 東京都立大学工学部 正 員 宇 井 正 和

1 緒言 平常は開水路状態にある管渠において下流側の境界条件の変化により満管部分と開水路部分の混在する流れが生じる。この際満管部分と開水路部分の接合部 (front) に着目し、その前後に位置するそれぞれの領域の境界点に適確な境界条件を与えることができるならばいずれの領域に対しても不定流解析が可能となる。本研究の目的はそれらの境界条件の設定法を管渠に付随する伏越近傍に試みるにより伏越を含む管渠の過渡現象を解析する糸口を求めようとするものである。

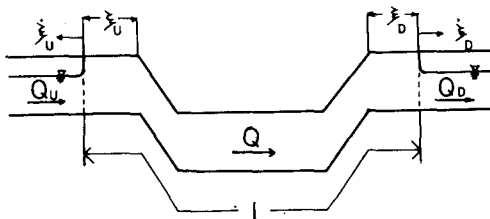


図-1 伏越の概念

2 理論的考察 伏越下流側から満管に近い水深を持った段波が襲来し伏越下流端に衝突して生じる front を考察する。

図-1 に示される伏越下流側 front 直後の動水勾配線高度 h_D と front 前面の開水路側境界点 S_2 の水位、流量は相互依存の関係にあり次の諸式が成り立つ。

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{gA}{\ell} (h_u - h_D) - \frac{gn^2}{AR^{4/3}} |Q|Q \quad (2-1)$$

$$\dot{\xi}_D = \frac{d\xi_D}{dt} = \frac{Q_D - Q}{A_D - A} \quad (2-2)$$

$$\frac{Q_D}{A_D} - \frac{Q}{A} = \left(\frac{1}{A_D} - \frac{1}{A} \right) \sqrt{\frac{1}{\rho} (P - P_D) / \left(\frac{1}{A_D} - \frac{1}{2A} \right)} \quad (2-3)$$

$$h_D = Z_{CD} - \frac{1}{2g} \left(\frac{Q_D}{A_D} - \dot{\xi}_D \right)^2 \quad (2-4)$$

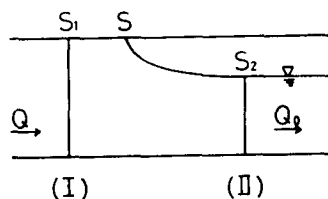


図-3 front の概念図

式 (2-3) は断面(I), (II)の間に運動量方程式を適用し、 S_1 点と S 点の間にベルヌーイの定理を用いることにより導かれる。

もし式 (2-2) において、 $\dot{\xi}_D$ が下流域の constant state 領域における α 特性曲線 $dx/dt = u_0 + c_0$ の傾き α_0 より大きければ、front は shock を形成し、断面(I)は既知となり ($Q_1 = Q_0$, $y_1 = y_0$)、式 (2-4) より断面(II)の境界条件として h_D が定まる。

他方 $\dot{\xi}_D < \alpha_0$ であれば条件不足で h_D は定まらない。このとき初期特性曲線 $dx/dt = u_0 + c_0$ 上の点 R_1 より発し、式 (2-2) で示される front 軌跡上の点 R_0 に至る β 特性曲線 $dx/dt = u_0 - c_0$ に沿って次の特性方程式が成り立つ。

$$u_1 - Q_1 = u_0 - Q_0 \quad (2-5)$$

ここに Q は Escoffier の stage variable であり次式で定義される。

$$Q = \int_0^y \sqrt{\frac{gB(\xi)}{A(\xi)}} d\xi$$

$A(\xi)$: 水深 ξ における流水断面積

$B(\xi)$: 水深 ξ における水路幅

式 (2-5) を用いることにより、開水路部分の境界点 S_2 の水位、流速を求めることができ、さらに front の移動速度 $\dot{\xi}_D$ 、front 直後の動水勾配線高度 h_D を求めることができる。

初期条件として、 Q_1 , Q_0 , y_0 が与えられれば、式 (2-1) より 1 時間ステップ Δt 経過後の Q が定まる。(伏越上流端についても Q が与えられれば式 (2-5) に対応する、 α 特性方程式 $u + Q = \text{const}$ により水

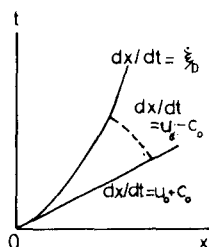


図-3 特性曲線

位が定まり、管項に水面が達すれば上流側 front が形成される。)

3. 解析方法並びに結果 簡単のため矩形断面水路を考察する。管高 X_0 、特性速度 $\sqrt{g X_0}$ により諸量を無次元化したならば、未知である境界点 S_2 の水深 y_2 に関する条件式が式 (2-3), 式 (2-5) から満管部流速 u をパラメーターとして求まる。

$$u_0 - 2\sqrt{y_0} - u = f(y_2) = (1 - y_2) \sqrt{\frac{1 - y_2^2}{y_2(2 - y_2)}} - 2\sqrt{y_2} \quad (2-6)$$

$f(y_2)$ は図-4 に示される変化をなし、その最小値は -2 である。

解析対象には図-5 に示す東京都下水道局管内森ヶ崎幹線の 2 本の人孔を有する伏越を選んだ。この伏越は過去にたびたび人孔蓋飛散現象を生じたが、満管状態を想定したシミュレーションによっては蓋飛びを生ずることがなかった。それで今回の開水路状態から満管状態へ移行する過渡現象としての解析をおこなうこととなった。

図-6 の諸図は流速 1 m/s、水深 1.5 m の初期条件の下で、水深 2.2 m の段波が下流より襲来すると想定した場合の計算結果を示すものであり、時間軸は特性時間 $X_0 / \sqrt{g X_0}$ により無次元化してある。

4. 結論並びに今後の課題 今回の考察において front 前後の境界条件を定めることにより伏越近傍の管内過渡現象を分析する手懸りを得ることができた。

また解析上の簡便化のため front 前面の開水路部分をそこから充分に離れた constant state の領域と連続的に接合するものとし、front 前面部分と constant state の間に生じうる内部 shock の存在を無視した。今後は開水路部分を含めた不定流解析をおこない、内部 shock の問題を解決し、実験を加えることにより、精度の高い解析法へ発展させていきたい。

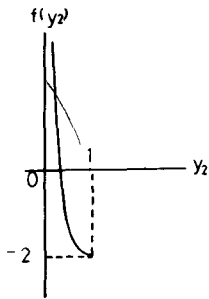


図-4 $f(y_2)$

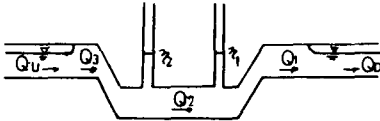


図-5 人孔付伏越

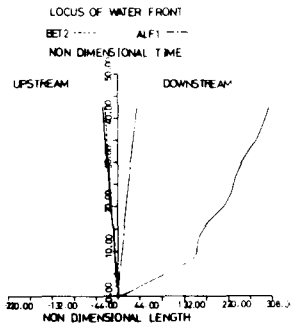


図-6(a) front の軌跡

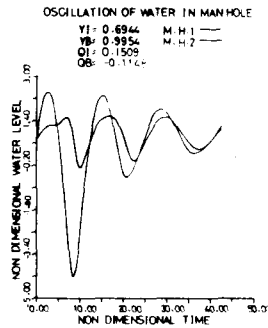


図-6(b) 人孔内水位

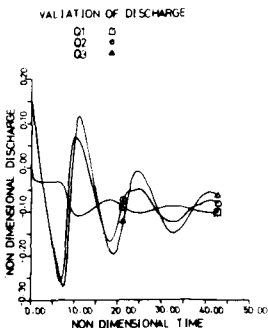


図-6(c) 管内流量

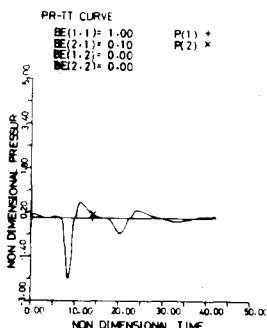


図-6(d) 人孔内空気圧

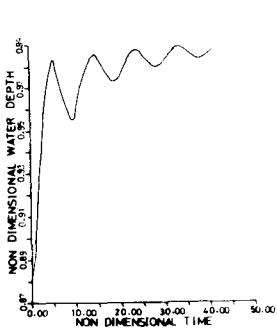


図-6(e) 伏越上流側 front の前面水位

参 考 文 献

- 1) Stoker, J. J., "Water waves", Interscience, 1957.
- 2) Benjamin, T. B., "Gravity currents and related phenomena", J. of Fluid Meche, Vol. 31, 1968
- 3) Wiggert, D. C., "Transient flow in free-surface, pressurized system", Proc. ASCE, 1972
- 4) 丸井・安川・新井・宇井, "Dam break wave と管渠内段波", 総合都市研究 No. 14, 1982