

東京都立大学大学院	学生員	村越 重紀
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
東京都立大学大学院		金 学秀

1.はじめに

本研究では急勾配管路内射流における上流側から満管部が押し出す現象の数学モデルを提案している。図 1 に示すように勾配 1/50、管径 10cm、全長 14.6m の管路の両端に整流水槽を設け、管路内に No.1 から No.6 の抵抗線式水位計を設置し、検定水槽と上・下流側整流水槽のそれぞれにサーボ式水位計を設置した。管路流入口にはベルマウスを設けている。実験は開水路非定常流(射流)の状態から上流側整流水槽への流量を増加させることによって管路内の流れを満管に移行させ、各水位計の出力は直記式電磁式シロに記録した。

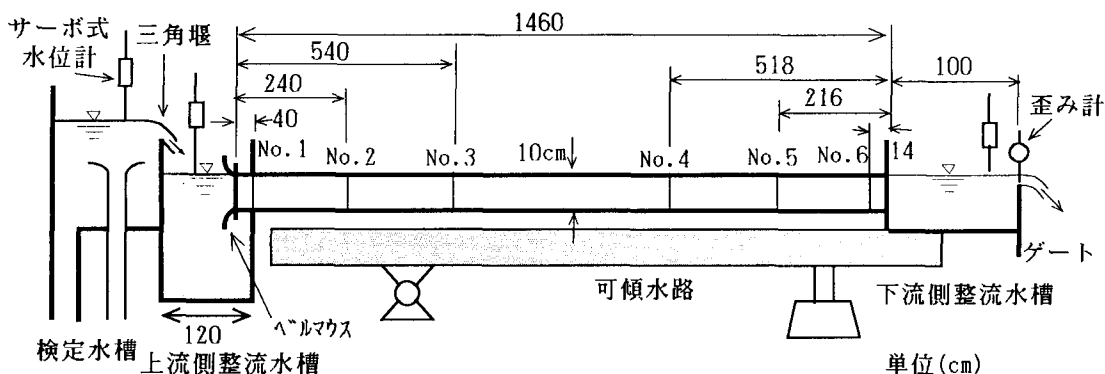


図 1: 実験装置

2. 基礎方程式

開水路から満管へ移行する流れは上流側整流水槽の水位変化 dE/dt 、被圧管内非定常流の方程式 dQ_1/dt 、境界の移動速度 $D = d\xi/dt$ の連立常微分方程式方程式により表される。

$$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{S} (Q_0(t) - Q_1) \quad (1)$$

$$\frac{dQ_1}{dt} = gA_1(I - I_f) \quad (2)$$

$$\frac{d\xi}{dt} = D = \frac{Q_1 - Q_2}{A_1 - A_2} \quad (3)$$

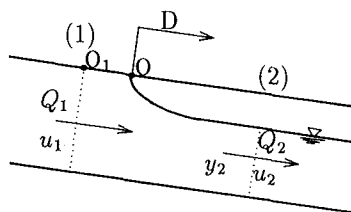


圖 2: 管・開水路境界

但し Q_0 は三角堰からの供給流量、 I_f は摩擦勾配を表す。 Q_i, A_i はそれぞれ図 2 に示す管・開水路境界を挟む支配断面 (1), (2) における流量と流水断面積を表す。また I は動水勾配で次式により表される。

$$I = \frac{1}{\xi} \left(E - \frac{\alpha Q_1^2}{2gA_1^2} + S_0\xi - d - \frac{p_1}{\rho g} \right) \quad (4)$$

但し S_0 は水路床勾配、 ξ は移動する境界の座標、 α はエネルギー補正係数を表し、 p_1 は支配断面 (1) の管頂圧力を表す。

式 (1)~(3) の連立方程式には A_2, Q_2, p_1 の 3 つの未知数があるために条件を課す必要がある。図 2 において境界の移動速度で移動する座標系から観察すると運動は定常と考えられる。移動座標系における流速と流量をそれぞれ v_i, Q' で表すと支配断面 (1), (2) の間の運動量方程式と連続式及び管頂に沿う流線上の激み点 O と O_1 に Bernoulli の定理を適用すれば、それらは次式で表される。

$$\rho Q'(v_2 - v_1) = P_1 - P_2 + A_1 p_1 \quad (5)$$

$$\alpha \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = 0 \quad (6)$$

$$Q' = A_i v_i \quad (7)$$

式 (5), (6) より p_1 を消去し、 Q' について解くと式 (8) 式に示される y_2 のみの関数として表される。

$$Q' = F(y_2) = A_2 \sqrt{\frac{2}{A_2} (P_1 - P_2) / \left[2 - \frac{A_2}{A_1} (2 - \alpha) \right]} \quad (8)$$

支配断面 (2) における水深 y_2 が移動座標系による限界水深と仮定すれば、 y_2, Q', p_1 は数値的に次のように決定される。

$$\frac{y_2}{d} = 0.6879, \quad \frac{Q'}{\sqrt{gd^5}} = 0.4331, \quad \frac{p_1}{\rho g} / d = -0.1672 \quad (9)$$

一方、静止座標系での流量は $Q_i = Q' + A_i D$ より D を消去すれば、 Q_2 は Q_1 によって表され、式 (1)~(3) は連立常微分方程式として閉じ数値的に容易に解くことができる。

3. 計算結果並びに考察

図 3 に初期流量 $4.857(\ell/s)$ から $11.709(\ell/s)$ に増加させた場合の上流側整流水槽の水位変化である $E-t$ 曲線を示す。水位変化は式 (1) により与えられることから満管部の流量 Q_1 は実測値によく追従していることが結論づけられる。一方、管・開水路境界の移動を表す $\xi-t$ 曲線 (図 4) では満足すべき一致が見られない。これは移動座標系の流量が限界水深の条件式によって決定されたことに起因すると考えられる。それに代わるべき方法の導入を今後の課題とする。

4. 謝辞

本研究の推進にあたり多大な貢献をされた静岡県土木部 中田達彦、大林組 新谷裕人の両氏 (当時大学院生) に深く謝意を表する。

5. 参考文献

- 1). Benjamin, T. B., Gravity current and related phenomena, Journal of Fluid Mechanics, Vol.31, 1968.
- 2). 川口士郎・安川 浩, 「下水管渠内水流管理システムに関する研究」, 東京都立大学, 1984.

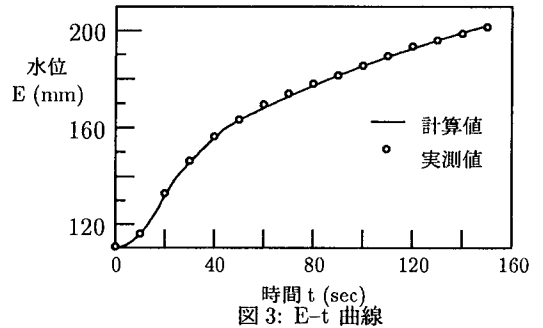


図 3: $E-t$ 曲線

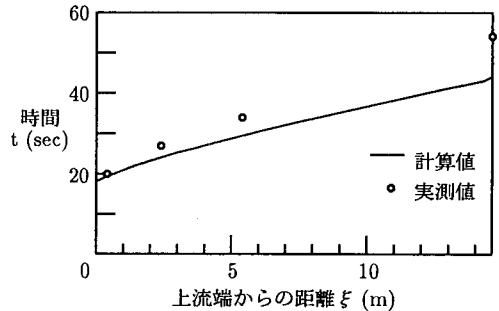


図 4: $\xi-t$ 曲線