

II-71

管水路・開水路遷移を含む 円管内流れ水面形の近似計算

北海道大学工学部 (正) 船水尚行, (正) 高桑哲男

1. はじめに

雨水管網の設計・解析のためには管網全体を対象とした流れ状況の解析法の開発と管網内で局所的に起こる雨水管独特の現象の解明が必要となる。先に、筆者らは管水路状態から開水路状態へと流れ状態が変化する場合について定常流室内実験結果と従来の水面形の計算法による計算結果との比較を行い、図-1に示すように、・管水路状態から開水路状態への変化は急激で、遷移部では安定な減衰振動様の水面形状を呈すること、・従来の計算法では開水路部分の水面形状はほぼ計算できるが、管水路状態の存在を予測できないこと、・管水路部の動水位が管頂以下の値を示す場合があることなどを報告した¹⁾。本報告では、この管水路から開水路流れへの急激な変化が生じる場所と管水路部の動水位の概略値の推定法について述べる。

2. 管水路・開水路遷移の近似計算法

管水路流れから開水路流れへの遷移が急激であることから、遷移部を図-2のような不連続面と仮定する。管水路部分、開水路部分をそれぞれ断面1,2とすると連続の式(式(1))、運動量保存の式(式(2))、エネルギー保存の式(式(3))は以下のように書かれる。なお、式(2)には壁面摩擦力と重力、式(3)では位置エネルギー差は他の項と比較して微小と仮定している。

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = Q \quad (1)$$

$$\rho Q (v_1 - v_2) + [P]_1 - [P]_2 = 0 \quad (2)$$

$$\left(\frac{v_1^2}{2g} + y_1^* \right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + y_2 \right) - \Delta h = 0 \quad (3)$$

ここに、 A ：断面積、 v ：断面平均流速、 $[P]$ ：断面の全圧力、 y_1^* ：断面1の圧力水頭、 Δh ：遷移に伴う損失水頭、 Q ：流量

まず、実験結果を用いて式(3)中の Δh の整理を試みる。開水路部分の水面形は従来の水面形の計算法による結果とほぼ一致する¹⁾ことから、開水路部の水面形の計算結果と管水路・開水路の遷移面の実験結果との交点の水位を y_2 の推定値とする。図-3の実験条件における水面形の実験結果より推定した y_2 を図-4に示す。 y_2 は流量により定まり、管底勾配にはほとんど影響されていない。加えて、断面2において静水圧分布を仮定することにより、

$$[P]_2 = \frac{\rho g D^3}{4} \left(\frac{\sin^3 \phi_2}{2} + \frac{\cos \phi_2 \sin 2\phi_2}{4} - \frac{\phi_2 \cos \phi_2}{2} \right) \quad (4)$$

$$\phi_2 = \arccos(1 - 2y_2/D) \quad (5)$$

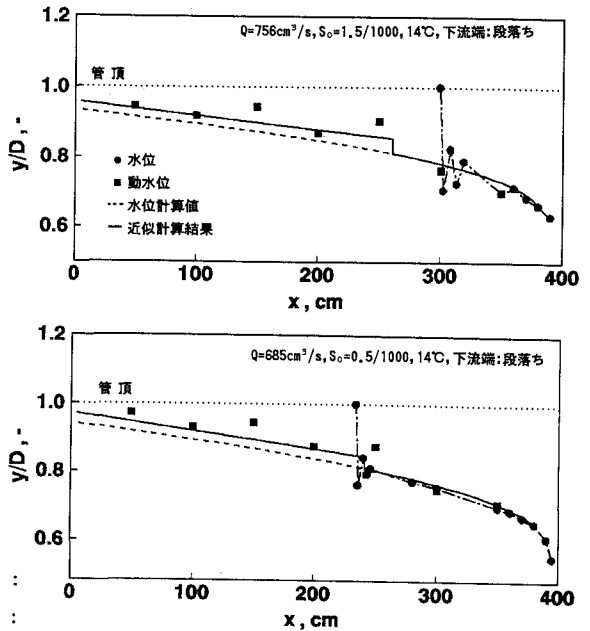


図-1 水面形の実測値と計算値の比較

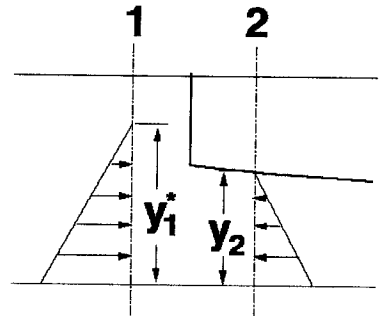


図-2 遷移部の近似

を得る．以上の仮定を用いて， $y_2 \rightarrow [P]_2 \rightarrow [P]_1 \rightarrow y_1^* \rightarrow \Delta h$ の順に各値を計算し， $\Delta h = f \cdot v_2^2 / 2g$ と表現して，局所損失係数 f を断面 1，2 の面積比で整理すると図-5 のようになる．

次に，管水路状態から開水路状態へ変化する場所の推定法を示す．管水路状態から開水路状態への遷移が急激である原因の一つとして，円管流では同一流量に対して二つの水深が存在することが考えられる．すなわち，本実験に用いたアクリル管では抵抗特性がブラジウスの式で表現されるので¹⁾，水深と直径の比が約0.811では満管時の流量と等しくなり，この値以上の水深では同一流量に対して二つの水深が得られる．図-4 に示した y_2/D の推定値は流量に依存しているものの，ほぼ0.811付近の値をとっていることから，満管状態から水深と直径の比が約0.811の開水路状態への不連続な遷移が生じると仮定する．すなわち， y_2/D を常に0.811と一定と仮定する．この仮定により求めた管水路状態から開水路状態への遷移点（上流端からの距離）の計算値と実測値の比較を図-6 に示す．

以上より，管水路状態から開水路状態への遷移を含む円管流流れの水面形の近似計算法は以下のように整理される．

- ・従来の水面形の計算法により，水深が0.811Dとなる場所まで下流端より水深を計算する．この区間が開水路流れ区間となる．
- ・次に，式(3)を変形して得られる次式により y_1^* を計算する．ここで，摩擦損失係数 f の値は水深0.811Dの断面積と管の断面積の比によって定まる約0.0117とする．また， v_1 は管水路状態での断面平均流速である．

$$y_1^* = y_2 + f \frac{v_2^2}{2g} + \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right) \quad (6)$$

- ・次に，断面 1 の動水位を y_1^* として管水路部分の動水勾配線を計算する．

以上の近似計算法による計算結果を図-1 中に実線で示す．

3. まとめ

雨水管などに用いられている円形断面管路流れの特徴の一つである，管水路状態から開水路状態への遷移に関する検討の一環として，遷移場所および，管水路区間の動水位の近似計算法について報告した．雨水管網全体の流れ状況の解析において，本近似計算法による誤差がどの程度影響するかについての検討が必要であろう．

参考文献

- 1) 船水尚行，高桑哲男：開水路・管水路遷移流れの実験的研究，第28回衛生工学研究討論会講演集，1992

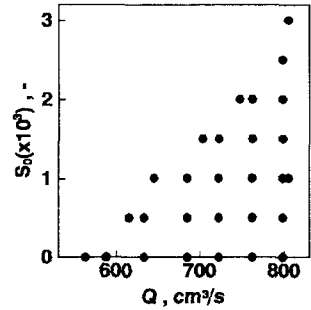


図-3 設定流量，勾配

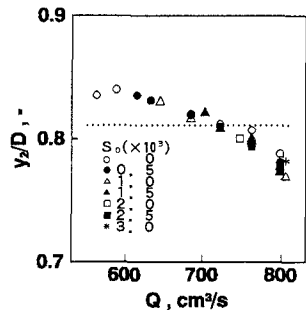


図-4 y_1 の推定値

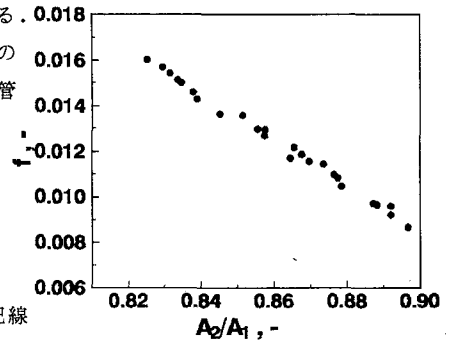


図-5 局所損失係数

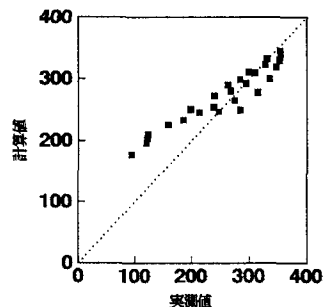


図-6 遷移点の計算値と実測値の比較