

II-230

管路流入口としてのベルマウスの特性について

東京都立大学 正会員 宇井 正和

東京都立大学 正会員 安川 浩

1. はじめに

流入口にベルマウスを付けた管路において、流入水面がベルマウスの上端に接するようになると管内には満管の流れと開水路の流れが交互に発生する。筆者らは、それを一種のセルフ・プライミング現象と考え、その発生の原因や管内流の運動について、実験的また解析的な考察を進めてきた。しかし、ベルマウスでの流況はその現象の発生原因としても、また解析上の境界条件としても重要であるが、詳細な特性は確定されているわけではない。ここでは、種々の管路勾配における流量と流入水頭との関係を実験的に求め、ベルマウスの流況を検討するとともに、セルフ・プライミングの発生メカニズムを見いだすことを目的としたものである。

2. 実験装置

実験用管路は図-1に示すように、勾配可変の架台上に、直径10cm、長さ1mのアクリル管を9本連結し、その先端にベルマウスを付けたものである。ベルマウスは整流水槽と接続し、計量水槽からの流れがスムーズに流入するよう設けたものである。

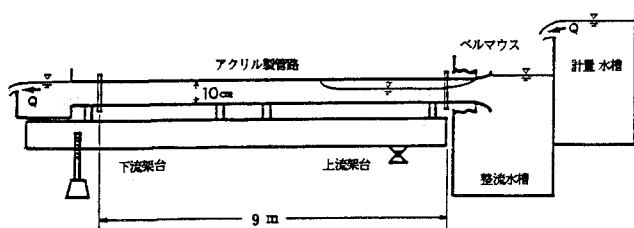


図-1 実験管路

ベルマウスは、短径5.5cm、長径15cmの楕円形の回転体の形状をしたものである。実験では、所定の勾配にセットした管路に、計量水槽から既知流量 Q を流入し、安定した管内流に達した後、整流水槽水位を測定した。管路下流端には長さ1.2m、幅50cmのゲート付き矩形水槽を取り付け、管路端水位を管頂高と等しくし、下流端条件を常に一定に保った。管路勾配はセルフ・プライミングの発生を期待し、管内が射流になる範囲内で変化させた。

3. 流況特性

ベルマウス先端の直径は20cmで、後部直径（管路直径）の2倍であるため、断面積としては4倍の大きさになる。それ故、図-2に示すようにベルマウス前後に水位差が生じ、管路勾配が急になるほどそれは大きくなる。そのため、水槽水面が管頂より高くてもベルマウス内部は開水路状態を保つことができる。その水位差によって加速された流れは、管路壁に沿って流れる部分も加わり、管路底から湧き上がるように中央に集められ、水面に脈動の原因をつくっている。管内の流れはセルフ・プライミングが発生するまでは、等流状態へ向かう漸変流と考えられるが、下流端条件による跳水が管路内部で発生するため、その直前で最小の水深となっている。

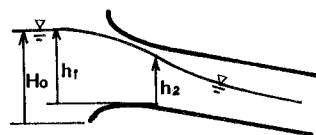


図-2 流入状況

ベルマウス内断面は円形であるため、水面幅（ T ）は水面が上がるほど小さくなっていく。一方、水面と壁面との接点では、表面張力による盛り上がり高がほとんど一定であるため、流量が多くなると、水面上部の空間は矩形形状を呈す（図-3参照）。この盛り上がりと T の大きさが同程度になると空気の連行が始まり、大気と管内空気域との間に圧力差が生じ、管内の方が水頭高で1~2cm低くなる。この矩形形状の孔が、水面上の乱れにより閉じると満管の流れが発生し、管路下流方

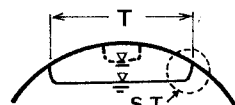


図-3 空気孔

向へと伸長していく。この満管流がどこまで伸びるかは流量や管路勾配に依存し、再び空気孔の出現によって、管内にエアーポケットができ、開水路流れが発達する。

図-4は管内流量を変化させたときのベルマウス流入水頭を、管路勾配をパラメータにして図示したものである。横軸は流量、縦軸は水位を、各々実次元のまま表してある。右側の4本の曲線を見ると、流量が少ない間は、管路勾配に依存せず、ほとんど1本の曲線に重なり合って単調に増加していることがわかる。

しかし、流量が5.5ℓ（水位11.5cm）あたりになると、曲線の傾きは緩やかになり、水位の増加傾向は減少する。しかしさらに流量が増すと、曲線は再びもとの傾きに近い値で増加していくが、この回復する流量は管路勾配によって異なり、急勾配になるほど流量は大きくなる。管内の流れから見ると、この緩勾配の範囲はセルフ・プライミングの発生領域に対応している。それ故、管内に空気を連行する時と、満管状態になる時にわずかの水位変動が生じるが、図中にハッチしたところが変動領域である。しかし、大きな特徴として、セルフ・プライミングの始まるときの流量は、管路勾配に依存せず全て同じ流量で発生することである。したがって、ある特別な場合は、このハッチ領域を持たない、即ち変曲点のない単調増加な曲線をもたらす管路勾配の存在が予想される。

図-5はマンニングの流量公式を用いた、円形管路における流量曲線であり、管路勾配毎に示したものである。実線は粗度係数 $n=0.01$ 、また破線は $n=0.009$ に対する変化である。1点破線は限界水深曲線である。それ故、限界曲線より下側にある流量曲線の領域は射流状態で流れることになる。図-4と比較してみると、射流領域が少なくなるほどセルフ・プライミングの発生領域が小さくなることから、発生のための最小勾配は、限界水深曲線と流量曲線が交点を持たない管路勾配と推測することができる。

マンニングの流量公式（1）と限界状態の式（2）より管路勾配は 0.00437（ $=1/229$ ）が得られた。

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad \text{----- (1)}$$

$$Q = A \sqrt{gD} \quad \text{----- (2)}$$

ここで、 A ：流水断面積、 R ：径深、 I ：管路勾配、 D ：水理水深、 g ：重力加速度、である。

図-4中の左側の曲線は、セルフ・プライミングが生じない管路勾配から得られたものである。この曲線は、右側の4本の曲線とは異なり重なり合う部分を持たず、独立した単調増加曲線となっている。それ故、射流の管路での曲線の一致は、ベルマウス内において限界水深を持つためと考えられる。

4. 参考文献

(1) 宇井、安川；セルフ・プライミングに関する実験的研究、第44回土木学会年講、1989

(2) UI, YASUKAWA；On The Phenomenon of Self-Priming in Circular Conduit, Proc. 7th APD=IAHR（投稿中）

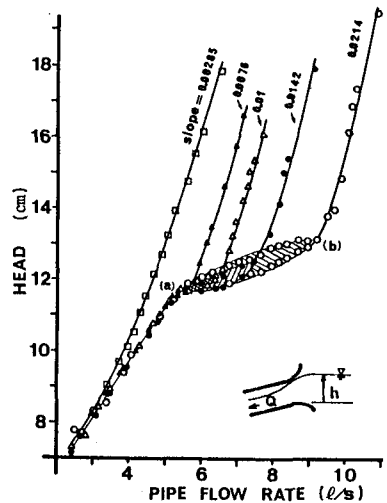


図-4 流量と流入水頭

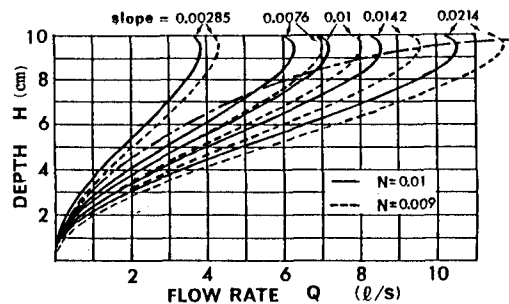


図-5 流量曲線