

滑面上の流水蛇行

金沢工業大学 正員 中川 武夫
 金沢工業大学 学生員 ○加藤 禎之
 金沢工業大学 窪喜 秀夫

1 緒言

流水蛇行とは一般に滑面上で流水の軌跡が曲りくねる現象のことである。流水蛇行の代表的な例としては電車、自動車等の窓ガラスを伝って流れる雨水が描く軌跡を挙げることができよう。流水蛇行は流水、滑面および空気の三者が共有する接触線に働く表面張力、流水内の流体粒子に働く力（重力、遠心力等）に支配されるのみならず、接触角のヒステリシスにも影響を受ける極めて複雑な流体力学的現象である。なお、接触角とは接触線に垂直な流水断面内における滑面と流水表面とのなす角であり、接触角のヒステリシスとは接触線が表面張力によって後退を開始する後退接触角と前進を開始する前進接触角との間に接触線が動かない接触角の遊びの範囲が存在するという属性をさす。

本研究の主な目的は滑めらかな円管内壁面上の流水蛇行の特性を明らかにすることである。

2. 実験および結果の考察

Fig. 1に実験装置の概要を示した。実験は垂直に保持された内径50mm、外径56mm、長さ1000mmの亚克力製円管の上縁から20mmの点に内径5mm、外径7mmのビニール・パイプの出口を固定したのち、一定水位に保たれた高水槽からビニール・パイプによって導びかれた水の流量を制御弁によりコントロールして各実験ケースごと所要の一定流量を円管内壁に沿って流出させた。実験パラメーターは流量であり、各ケースの流量は円管下部に設置されたピーカー中に一定時間内にたまった水の量をメスシリンダーで測定することによって求めた。

本実験の主な測定項目はビニール・パイプ出口から流水蛇行軌跡が不安定となる点までの円管中心軸に沿う直線距離 x および流水蛇行軌跡の蛇行率 l/x である。ここで、 l はビニール・パイプ出口から流水蛇行軌跡が不安定となる点までの流水蛇行軌跡に沿って測った長さである。

Fig. 2に円管内壁面上の流水蛇行を例示した。ここで、流量は $0.9 \text{ (cm}^3/\text{s)}$ であり、円管を保持している垂直板に描かれた格子の一辺の長さは 2 cm である。この図から、流水が円管内壁面上を激しく蛇行している状況を理解することができよう。Fig. 3にビニール・パイプ出口から流水蛇行軌跡が不安定となる点までの円管中心軸に沿う直線距離 x と流量 Q との関係を示した。この図は、 $Q \leq 0.1 \text{ (cm}^3/\text{s)}$ の範囲においては流水は液滴状で下流し、 $0.1 \leq Q \leq 0.7$ の範囲においてはビニール・パイプ出口から円管終端までの全体にわたって流水は安定な蛇行形状を示し、 $Q \geq 0.7$ の範囲においてはビニール・パイプ出口から直線距離 x までは流水は安定な蛇行形状を示すが、これより下流においては流水の軌跡が時間的に変化する不安定な蛇行となることを示している。部分的に不安定な蛇行形態を示す範囲においては直線距離 x は流量 Q の増加に伴って急激に減少し、 $Q \approx 1.8 \text{ (cm}^3/\text{s)}$ において最小値約 2.5 cm となるが、以後は流量の増加に伴って再び増加することが明らかとなった。

Fig. 4に蛇行率 (l/x) が流量 Q にどのように依存するかを示した。この図から、蛇行率 $S = l/x$ は流量 Q が増加するに伴って1から徐々に増加し、 $Q \approx 1.1 \text{ (cm}^3/\text{s)}$ において最大値 1.6 程度に達することがわかる。しかしながら、さらに流量を増加すると蛇行率は急激に減少し、 $Q \approx 1.4 \text{ (cm}^3/\text{s)}$ において再び1程度となることがわかる。ところで、本実験で取扱った流水蛇行現象を単純化して見れば、流水の接触線に対して垂直方向に働く表面張力と流水内の流体粒子に対して垂直下方に働く重力とのバランスにより流水の軌跡が決められているものと考えることができる。たとえば、Fig. 4は流量が非常に小さい範囲と流量が一定値 ($Q \approx 1.4 \text{ cm}^3/\text{s}$) 以上の範囲では重力効果が表面張力効果より卓越しているため、流水軌跡は直線的になるが、これら二つの間の流量範囲においては表面張力効果が重力効果に比べて卓越してくる結果として蛇行率が1以上となり、この卓越の程度が流量に依存するためにこの図のように蛇行率が変化するものと解釈することができる。

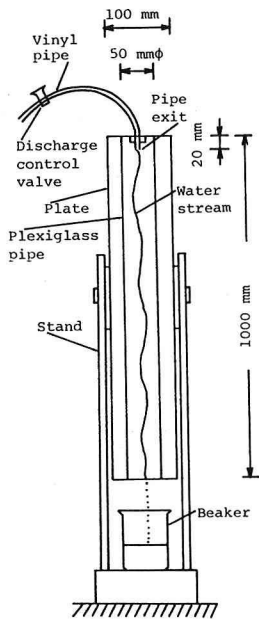


Fig.1 Schematic diagram of the experiment (units:mm)

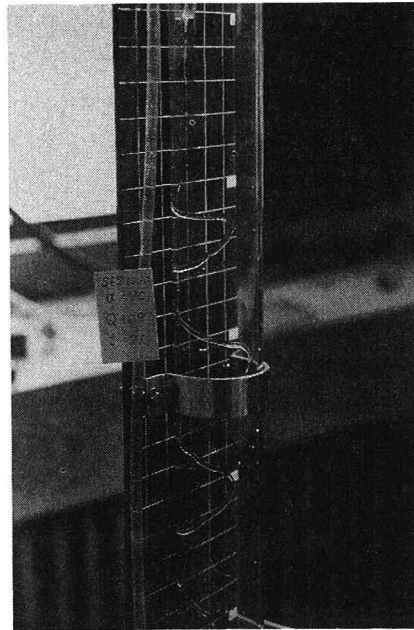


Fig.2 Stream meander inside a plexiglass pipe $Q=0.9[\text{cm}^3/\text{s}]$

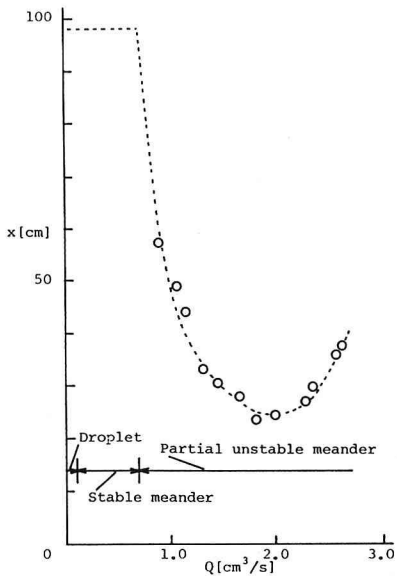


Fig.3 Distance x of unstable point from vinyl pipe exit vs. discharge Q

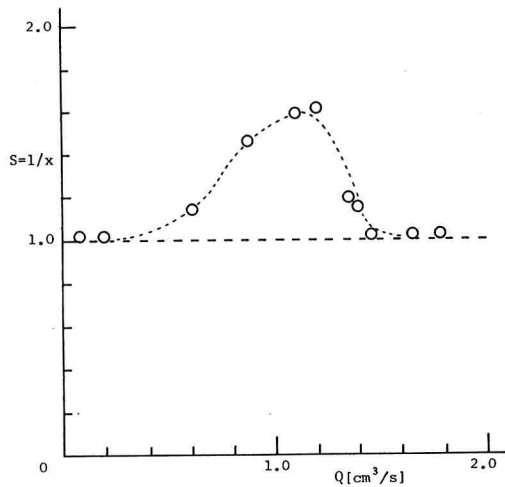


Fig.4 Sinuosity S vs. discharge Q