

中国の多段式水時計に関する基礎的研究

千葉工業大学 学生員 ○黒田 啓一
千葉工業大学 学生員 荒井 綾
千葉工業大学 正会員 篠田 裕

1. 研究目的

水時計は、その種類や用法は異なっても、エジプト、ギリシャ、インド、中国など、世界各地で広く使用された歴史がある。その中でも漏刻と称する中国の水時計は、単一槽から流出する水量の非均一性を、複数槽を順次に使用することで、流出量の均一性すなわち水位の均一上昇を得られることを利用したものと考えられる。水理学的には、トリチェリの定理としてよく知られている原理が、これに相当して活用されている。

この漏刻の巧みな仕組み、すなわち、順次変化する流出量が、その繰り返しのよって定常的な流出量に近づく仕組みについて、水理学な見地から解析するとすれば、どのような問題があるのか検討することを、研究のテーマに選んだ。

実物大の模型実験を行って各槽の流量係数、水位変動範囲を定め、過年度当研究室で開発したシミュレーションソフトに代入して、現象をシミュレートした。本研究では、数値解析しか得られなかったが、シミュレーションプログラムを、Windows上で動作するアプリケーションプログラムに改変、さらに水位変化の可視化や詳細なデータ表示ができるようにして、水理学的に水時計の原理を解析することを目的としている。

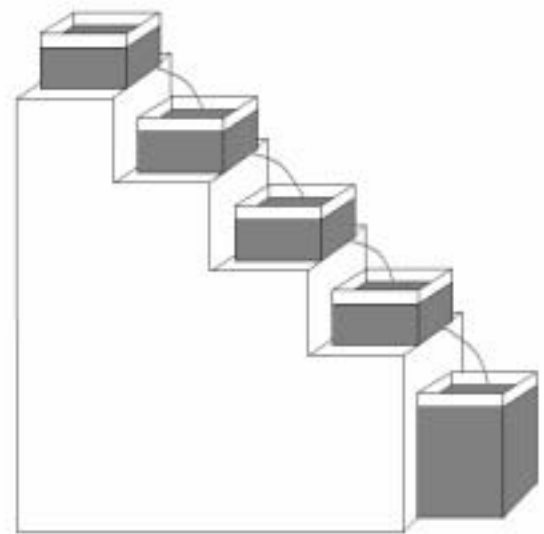


図1 多段式水時計

2. 多段式水時計

漏刻のタイプは、オリフィス型とサイフォン型に大別されるが、取り扱いが容易なオリフィス型に注目し、研究を行った。オリフィスからの流出現象を応用し、その水位変動を、多段式にすることで、最下槽の水位を一定上昇させるのが、水時計の原理である。

図1に示すように、今回使用したこの水時計は、オリフィスを持つ四槽と、最下段で水を受ける受水槽一槽から成り立っている。最下段の受水槽に水位変化を読み取るための目盛りをつけておくことにより、時間を計測することができる。

3. オリフィス

本実験では、流量係数の制御を容易にするために、透明アクリル樹脂製水槽の側壁に穴の開いたゴム栓をし、その中心

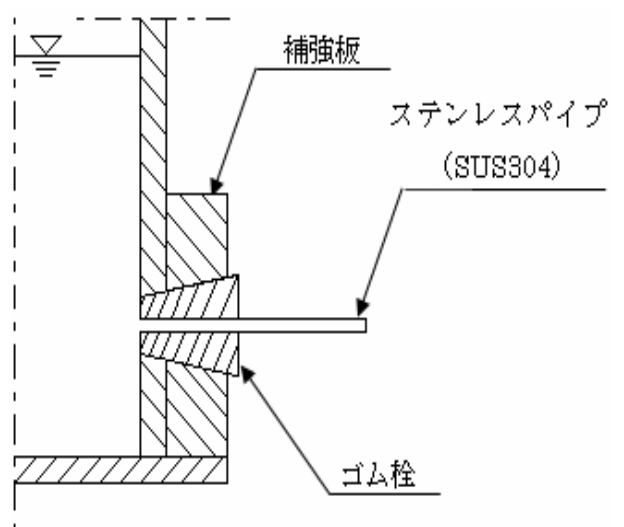


図2 オリフィス詳細図

キーワード：多段式水時計・シミュレーションソフト・数値実験の可視化

連絡先：〒275-8588 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 千葉工業大学 工学部 土木工学科 Tel 047-478-0446

にステンレスパイプ（SUS304）を通し、そこから水が流出する構造とした。詳細を図2に示す。

4. 流量係数

各水槽のオリフィスの流量係数は、オリフィスの流出量をバケツで受水し、その質量増加量を流出量に換算して、トリチェリの式から求めた。過年度のシミュレーションプログラムは、水位と流量係数の関係を反映できないので、各水槽で得られた算術平均による流量係数も求めた。

5. 実験結果

第一水槽から第四水槽のオリフィスの流量係数を測定したが、図3に第一水槽の結果を例示する。水位が下降するに従い流量係数が減少している。旧シミュレーションプログラム用の流量係数は、得られたデータを算術平均して $C=0.67$ となり、水位と流量係数の関係の近似曲線は図3に示すように $C=0.0534\ln(h)+0.5215$ を得た。

6. シミュレーション

コンピュータシミュレーションプログラムは、従来のアルゴリズムを改変して、水位と流量係数の関係を入れて精度を上げることとした。図4に、流量係数固定（改良前のプログラム）と流量係数変動式を用いたシミュレーション結果を、最下段（第五）水槽の水位の実測値とともに示す。

7. 結果の整理

シミュレーションプログラム改変の結果、実測値に近い値を得ることが出来た。コンピュータシミュレーションでは、水位、流出量ともに、詳細なデータを得ることができ計測可能時間を定めることも出来る。また、水槽水位を可視化したことと、全体の水位の変化を簡単に読み取ることができるようになった。

第五槽の水位が定常的に上昇するためには、第四槽の流出量と流入量が計測可能範囲内で同一になることが条件である。このためには、各水槽のオリフィスの流量係数がほぼ同一で、第一水槽から第三水槽間で、水位変化による流量係数の変化の影響を吸収するようなシステムが働く必要がある。そのためには最適な初期水位があり、これらを算定するためにも、本シミュレーションプログラムは利用できるものと考えている。

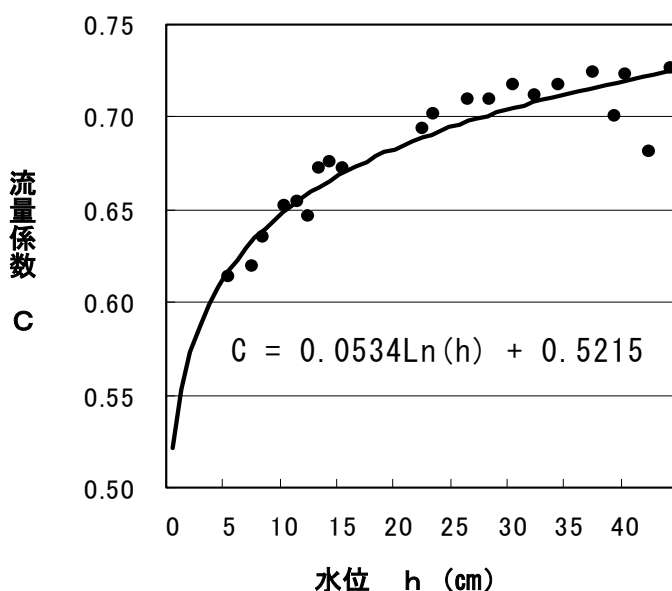


図3 第一槽オリフィス流量係数

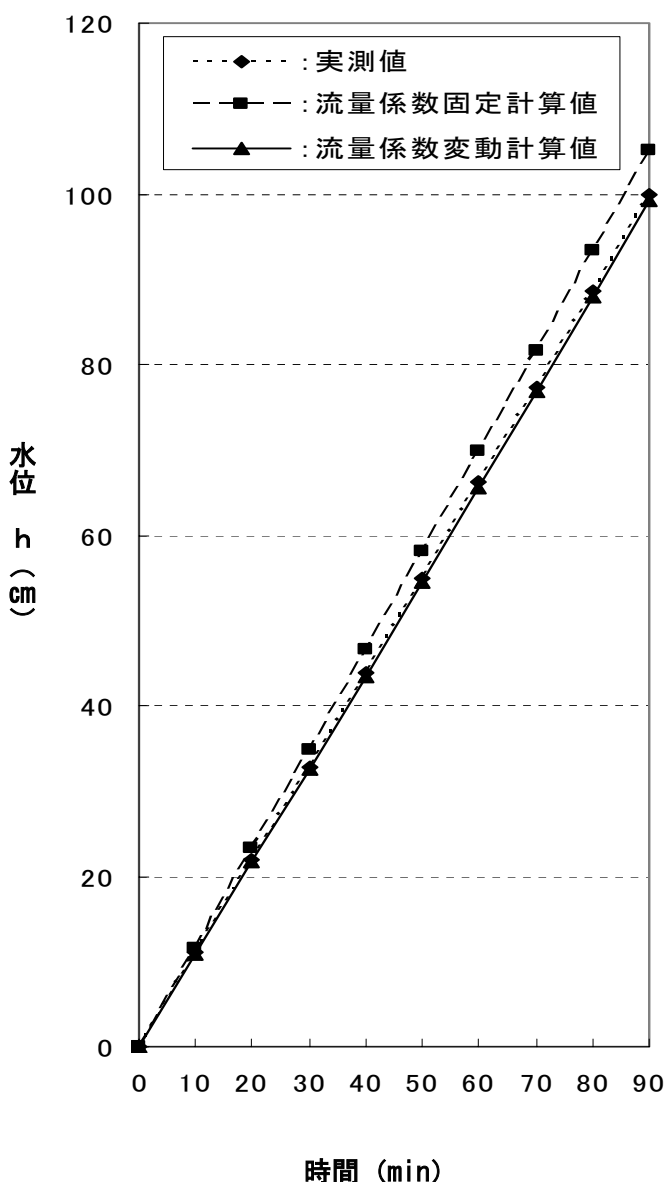


図4 実測値とシミュレーションの比較