

円錐形水槽を使用した水時計の特性についての実験的研究

千葉工業大学 学生員 ○目時 大地

千葉工業大学 正会員 篠田 裕

1. 研究の背景

人類は、有史以前より太陽の位置などにより、時の概念を持っていて、太陽の位置を知るために発明されたのが、日時計だった。

しかし、日時計は、晴天の日中しか利用することができない欠点があるため、別の物理現象から時間を測定する方法が考えられた。水が小孔（オリフィス）から落ちる体積を使う水時計が紀元前 1400 年から紀元前 700 年頃、エジプト、イタリア、中国など考案された後、貿易によって知識が伝播し、世界各地へ伝わった。

今から 1350 年ほど前の、天智 10 年 4 月 25 日（西暦 671 年 6 月 10 日）、天智天皇は律令国家を目指す上で、時間の管理が重要だとし、箱型水槽の水時計を製造した。日本で初めて時刻制度が誕生し、平安時代の末まで使われていた（図 - 1）。

日本の水時計は、「漏刻」（図 - 2）と呼ばれる中国の水時計が元になっている。漏刻は、階段状に連なった円錐形の水槽のオリフィスから水が漏れ落ち、一番下の水槽の水位を読むことで、時刻を計測する仕組みとなっている。

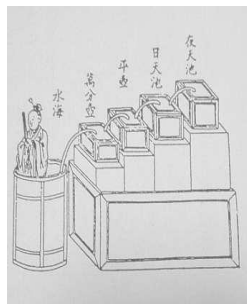


図-1 飛鳥時代の水時計 図-2 中国出土古代漏刻

2. 研究目的

当研究室では、この漏刻を取り上げ、円筒形の水時計の解析とシミュレーションを行ってきた。本研究では、古代漏刻のような仕組みで、水槽の形が円錐形の場合について研究することとした。すなわち、各水槽のオリフィスの水深と流量係数の関係を実測し、その結果をシミュレーションソフトに代入し、実測値とシミュレーションの結果を比較・検討することで、円錐形漏刻を解析する。

3. シミュレーションソフト

Microsoft Visual Basic 2010 Express を用いて、シミュレーションプログラムを作製する。このソフトを使用することで、Windows 上で水時計の動作をシミュレートすることができ、水位変化の可視化や詳細なデータを表示することとする。

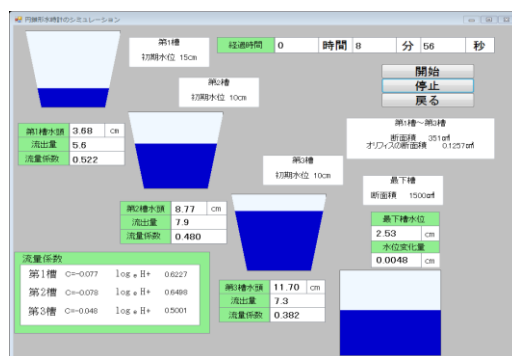


図-3 シミュレーションソフト画面

4. 円錐形水槽の水時計の作製

円錐形水槽に 14ℓ のバケツを使用する（図-4）。バケツは、口の部分が出ているため、その影響を受けない所まで水位を下げ、そこを水面の上限値として使用する。オリフィス（図-5）は、底面から 1 cm の位置に内径 0.4 cm 穴を電動ドリルで開けた。これらの円錐形水槽を、図 - 6 に示すように階段状に配置し、最終段の水槽は、四角形とした。

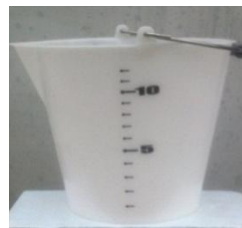


図-4 円錐形水槽

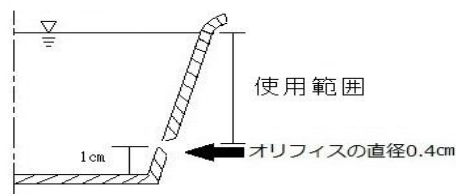


図-5 オリフィスの断面図

キーワード 漏刻, 円錐形水時計, シミュレーション, 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 建築都市環境学科 Tel 047-478-0446



図-6 円錐形水時計の模型

5. 実験

各円錐形水槽のオリフィスの流量係数を実測し、それをシミュレーションソフトに導入する。円錐形水槽模型の最下層水槽の水位変化の実測値とシミュレーションの計算結果から、水時計の精度を解析する。

5.1 実験手順

A: 流量係数の測定 (予備実験)

- ・デジタルポイントゲージと容量式波高計を使用し、約 1 cm ごとの電圧を測定し、水位と電圧の関係を求める。(キャリブレーション)
- ・容量式波高計で 1 分毎の水位の変化を計測する。
- ・計測データをエクセルで整理, 流量係数を求める。

B: 最下層水槽の水位変化の測定

- ・流量係数の測定と同様、デジタルポイントゲージと容量式波高計を使用し、最下層水槽の水位と電圧の関係を求める。
- ・水位の高さは、第 1 水槽を 15 cm、第 2・第 3 水槽を 10 cm に設定する。
- ・容量式波高計で、30 秒毎の最下層水槽の水位の変化を計測。
- ・最下層水位変化の測定は、3 回行い平均値を求める。

5.2 実験結果

流量係数測定実験は、水位と流量係数の関係を曲線近似することとして、数式を求めた結果

第 1 容器: $C = -0.0771 \ln(h) + 0.6227$

第 2 容器: $C = -0.0781 \ln(h) + 0.6498$

第 3 容器: $C = -0.0481 \ln(h) + 0.5001$

となった。図 - 7 に第 1 水槽の場合の実測値と近似式を示す。

円錐形水時計の最下層水位変化の測定実験の結果と、流量係数測定実験により得た流量係数式をシミュレーションソフトに代入し、数値計算した結果を図 - 8 に示す。

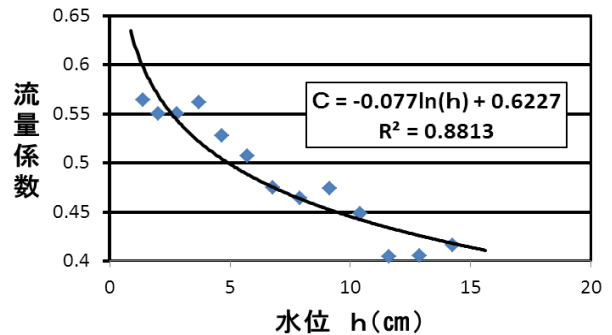


図 - 7 流量係数曲線図 (第 1 水槽)

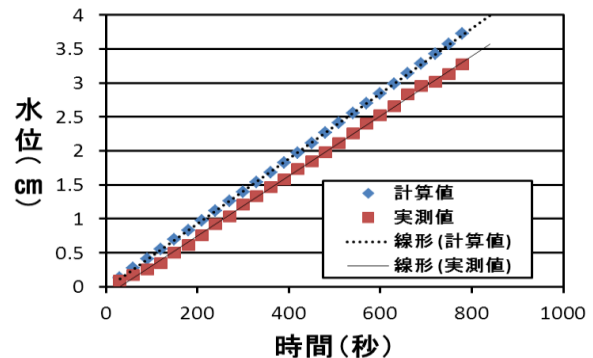


図 - 8 実測値と流量係数変動計算値の比較

5.3 結果の整理

流量係数測定実験の結果、第 3 容器の流量係数がやや低い数値となった。それが一因か、図-8 に見るように、実測値が計算値を下回る結果となった。

6. 考察

断面積が方形の場合は、水位が下がるにつれ、流量係数は下がっていくが、図 - 7 に示すように、円錐形水槽の流量係数は、水位が下がるにつれ、流量係数は、上がっていく形となった。第 3 水槽の流量係数が小さくなったのは、オリフィスの穴の開け方によるものと考えられる。円錐形水時計は、水位が変わるにつれ、断面積も変わるので、水の微妙な水位変動が、シミュレーションとの誤差に関係していると思われる。

今後の課題として、オリフィスの加工精度を揃えることが、シミュレーションの結果との差を少なくすることになるのではないかと考える。

参考文献

- 1) 日本時刻史ホームページ
http://www.geocities.jp/afi_651/japantime.html
- 2) 金城俊哉:「世界でいちばん簡単な Visual Basic の e 本」秀和システム、2011
- 3) 水工研究室:工学基礎実験水理学基礎実験教材、2011