

模型流下水面による蒸発・凝縮機構の把握

正会員 川口 泰文*1 正会員 瀬野 和人*2
正会員 〇絵内 正道*3 正会員 羽山 広文*3
正会員 森 太郎*3

Keywords : 蒸発量、凝縮量、開放水面、調湿・除湿

1. はじめに

流水面での凝縮・蒸発現象は、既往の研究^{2),3)}により、凝縮(蒸発)量の推定式、物質伝達率や対流熱伝達率の特性が明らかにされているが、水辺を冷却除湿装置として利用する場合、流下水面の方が設置面積当りの水面面積は大きく有利になる。そこで本報では、流下水面での凝縮および蒸発機構の性状を把握するため、模型実験により凝縮量・蒸発量とその変動要因(気流速、水蒸気圧差、温度差、相対湿度、水面の形状)を明らかにすることを試みた。

2. 凝縮量・蒸発量の測定

2-1 基礎的な検討

水面での凝縮や蒸発は、水面と水面上を流れる室空気との間の物質移動現象であり、両者の相対速度に影響されるものと考えられる。流下水路の傾度と流量を与条件にして流下速度分布を測定すると、どの設定条件においてもある距離を流下すると流量別、傾度別にほぼ一定の速度(終速度)に達することが分かってきた。そこで、次に示す凝縮(蒸発)量の測定に際し、流下水面は終速度以降を曝露面積とすることにした。

2-2 実験概要と測定結果

実験では、流下水と空気の温・湿度、流下水の流速と近傍気流速との相対速度 ΔV を設定し、物質(水蒸気)と熱の移動を測定した。図1に示す幅800mm×落差2400mm、傾度90°の模型に流下水面を付設し、恒温室内で温・湿度を調整した空気を水面上にエアカーテン用ファンで送り込んだ。循環水は、家庭用フリーザーを用いて冷却。凝縮量

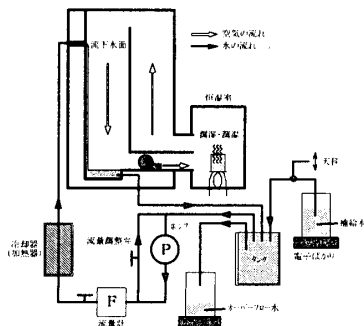


図1 実験装置の系統図

は貯水タンクの増加水量をオーバーフローさせ、電子ばかりで検出(但し、蒸発量は減少量よりも多くの水を補給し、オーバーフロー水量として測定)。気流速の設定は、流下速度との相対速度を0.77、0.41、0.0m/s(凡例はVelo-1からVelo-3で表示)の3段階とした。その他の設定条件を表1に示す。

表1 設定条件

| | |
|--------|--------------------------|
| 流下水面規模 | 幅800mm、落差2400mm |
| 水面傾度 | 90° |
| 相対速度 | 0.77m/s, 0.41m/s, 0.0m/s |
| 温度差 | -2.4°C~-14.0°C |
| 相対湿度 | 37%~89% |
| 水蒸気圧差 | -8.4mmHg~4.0mmHg |

気流速別に整理すると、蒸発量Z(凝縮量はマイナスで表記)は、図2、図3に示す様に水蒸気圧差 Δf との関係で良い相関を示すが、その近似直線より上方の測定結果は点群の中で相対湿度 R_h が低く、下方のものは相対湿度が高くなっている。水蒸気圧差が0でも、温度勾配(温度差)による水分移動(Soret Effect)が存在するといわれている⁵⁾。この現象は既報の流水実験でも現れており、空気温度と水蒸気圧の情報を併せ持っている相対湿度を温度勾配に準拠し、凝縮や蒸発に関係する第3の影響要因として仮定して簡易な近似化を試みた。

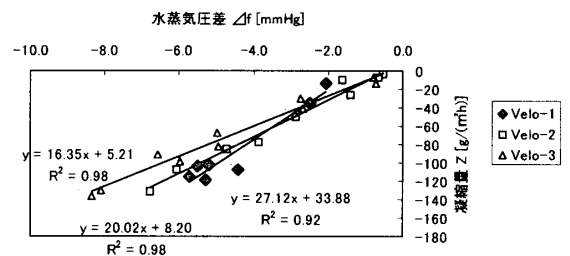


図2 水蒸気圧差と凝縮量

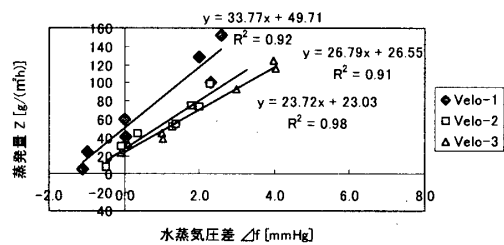


図3 水蒸気圧差と蒸発量

Condensation and Evaporation Rates on a Surface of Running Waterfall in a Small Model.

ENAI Masamichi et al.

2-3 相対湿度による簡易近似

凝縮（蒸発）量に対する相対湿度の影響量を見るために、同一気流速の測定結果毎に、最小2乗法を用いて水蒸気圧差との関係を表す近似平面 ($Z=a_1\Delta f+b_1RH+c_1$) を推定した。その近似結果によれば、相対湿度を100%とした場合、近似直線がほぼ原点を通過することが分かった。これは水温と空気温が等しく、水蒸気圧差が0の状態（飽和状態）では、流下水面上で凝縮も蒸発も生じないことを意味する。そこで、水蒸気圧差が0で相対湿度が100%のとき、凝縮・蒸発量を0として①式を整理すると、②、③式のような実験式が得られる。

$$Z = a\{\Delta f - b(100 - R_H)\} \quad \dots\dots ①$$

$$Z = (15.0\Delta V + 15.5)\{\Delta f + 0.031(100 - R_H)\} \quad \dots\dots ② \text{ (凝縮)}$$

$$Z = (14.7\Delta V + 19.0)\{\Delta f + 0.035(100 - R_H)\} \quad \dots\dots ③ \text{ (蒸発)}$$

この実験式に実験データを代入し、凝縮（蒸発）量を推定すると、図6に示す様にそれらの推定値は実測値とほぼ一致した。設計に際しては、この実験式に必要な諸数値を代入することで、流下水面における凝縮量、あるいは蒸発量の予測が可能となるだろう。

3. おわりに

屋内公開空地等に水面温度を調節できる水辺を計画することにより、水辺を湿度環境の調整施設として使うことができる。水温を露点温度以下にした場合、除湿と潜熱除去に加え、対流と輻射を含めた顕熱冷却による涼房効果も期待でき、冬期には、熱的に弱い個所の結露害を払拭することも可能となる。循環水が低温になると、水交換の回数も減り、省エネルギーと共に水辺の管理も容易となる。

本報告の要約は次のようになる。

- ① 流下水の終速度を確認し、傾度と流量から終速度を推定する簡易な実験式を求めた。
- ② 流下水面での凝縮・蒸発量は水と空気の水蒸気圧差、相対速度、空気の相対湿度から算出できる。

参考文献

- 1) 瀬野・川口・絵内・羽山・森：屋内公開空間の水辺周辺の温度・湿度分布の測定結果，空気調和・衛生工学会北海道支部第34回学術講演会論文集，pp.45-48，2000
- 2) 絵内・前田・森・荒谷・川口：冷却流水面による大規模吹き抜け空間の調湿・除湿 第1報，空気調和・衛生工学会論文集，No. 72，pp47-56，1999.1
- 3) 前田：流水面を有する大規模吹き抜け空間の湿度環境計画，修士論文，1997.2
- 4) 瀬野：アトリウムに付設された流下冷却水面による温・

*1 JR北海道（工修） JR Hokkaido Co. Ltd., (M.E.)
 *2 北海道大学大学院工学研究科・大学院生 Graduate Student, Graduate School of Engineering, Hokkaido Univ.
 *3 北海道大学大学院工学研究科・工博 Prof. and so on, Graduate School of Engineering, Hokkaido Univ. (Dr. Eng.)

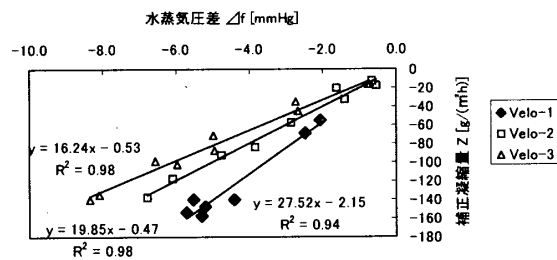


図4 水蒸気圧差と補正凝縮量

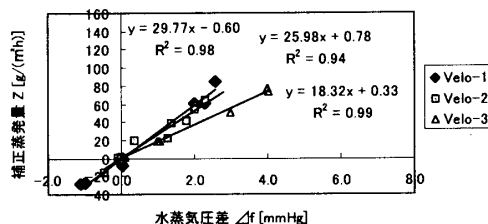


図5 水蒸気圧差と補正蒸発量

表2 凝縮・蒸発近似平面における係数

| 凝縮 | ΔV | a | b |
|--------|------------|-------|--------|
| Velo-1 | 0.77 | 27.96 | -0.060 |
| Velo-2 | 0.41 | 19.95 | -0.018 |
| Velo-3 | 0.00 | 16.32 | -0.015 |

| 蒸発 | ΔV | a | b |
|--------|------------|-------|--------|
| Velo-1 | 0.77 | 29.61 | -0.039 |
| Velo-2 | 0.41 | 26.39 | -0.027 |
| Velo-3 | 0.00 | 18.43 | -0.040 |

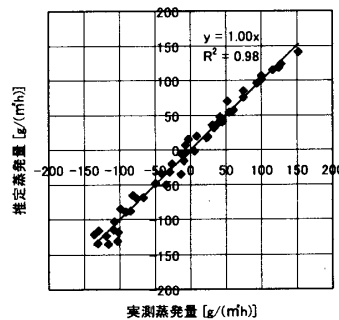


図6 実測値と推定値との比較

- 湿度環境調整，卒業論文，1999.11
- 5) 長島：移動速度論，pp.125-129，コロナ社，1978
 - 6) 空気調和・衛生工学便覧Ⅰ 第10版，pp181，1981
 - 7) 渡辺：建築計画原論Ⅱ，pp.54-pp66，丸善，1965