



Title	冷却流水面とハイブリット換気による屋内公開空地の熱・空気環境に関する研究：第2報 水-空気境界の壁法則の検討
Author(s)	森, 太郎; 西澤, 繁毅; 菊田, 弘樹 他
Citation	大会学術講演梗概集. D-2, 環境工学II, 熱, 湿気, 温熱感, 自然エネルギー, 気流・換気・排煙, 数値流体, 空気清浄, 暖冷房・空調, 熱源設備, 設備応用, 2006, 805-806
Issue Date	2006-07-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/50677
Rights	日本建築学会. 本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである.
Type	journal article
File Information	GKKD-2_805-806.pdf



冷却流水面とハイブリッド換気による屋内公開空地の熱・空気環境に関する研究 第2報 水-空気境界の壁法則の検討

冷却流水面 CFD 境界条件 PIV

正会員○森 太郎 *
正会員 西澤繁毅 **
正会員 菊田弘樹 ***
正会員 絵内正道 ***
正会員 羽山広文 ***

1. はじめに

最近,大規模な複合ビルから小規模なオフィスビルに至るまで,主空間の前室,あるいは動線の整理等の目的を持った吹き抜けやホールを持つ建物が増えている.本研究ではこれらの空間のことを屋内公開空地と呼称し,この屋内公開空地において,冷却流水面をスポット空調の装置として利用することで,空調条件の緩和による省エネルギーを達成できるのではないかとという観点で研究を進めている.

本報告では,水-空気境界モデルの開発の現状と精度向上に向けた実験方法の概要を報告する.

2. 現在までの研究成果

スポット空調効果を検討するためには気流動,温度,湿度を連成した数値解析が必要である.これまでに数値解析を前提とした水平,垂直流水面における熱・物質伝達の実験式を作成し^{[1][2][3]},ゾーンモデル^[5]とCFD^[4]による解析結果を報告してきている.

2.1 CFDと実測結果の照合

熱・物質伝達の実験式,またこれを利用した水-空気境界の熱・物質伝達モデルの汎用性を検討するため,これらをCFDに組み込んだ.また,精度を検討するため実大規模の実験を行った.

1)CFDの概要

CFDの解析モデルを図-1に示す.実験を再現したもので実験空間の半分をモデル化し, $z=0$ 面に対称面を設定している.

乱流モデルは標準 $k-\varepsilon$ 二方程式モデル(鉛直方向の運動方程式と ε の輸送方程式に水蒸気の影響を含め

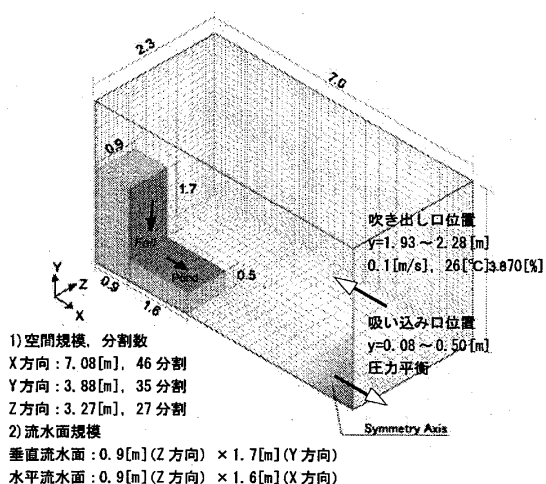


図-1 解析モデル

てある),離散化手法は有限体積法を用い,解法にはSIMPLE法を用いた.差分スキームは中心差分と風上差分のハイブリッド法を採用した.

2)解析条件

解析時の空調条件等について図-1内に示す.流水は表面流速を,流水水面(滝)で 4.6×10^{-1} [m/s],流水面(プール)で 9.4×10^{-3} [m/s]とし,移動境界として,一般化対数則によって解析モデル内に再現した.

3)解析パラメータ

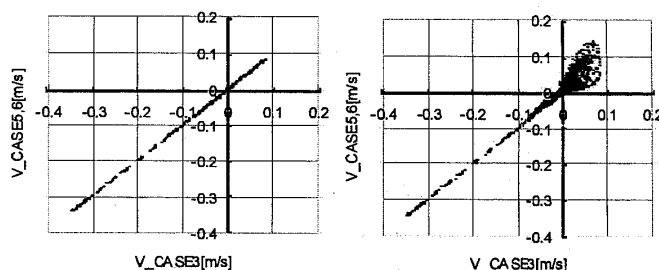
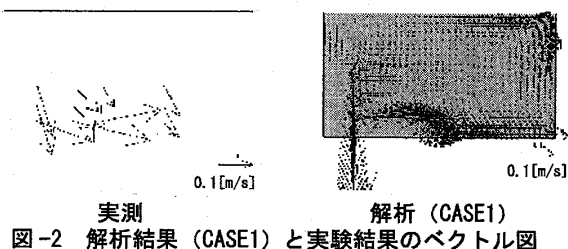
解析パラメータを表-1に示す.CASE1を基本計算として,実験との比較を行い,CASE2では,蒸発,凝縮の際に発生する潜熱の検討,CASE3では,壁面粗度パラメータの検討を行った.

表-1 解析ケース^{注)}

	水温[C]	粗度パラメータ[]	備考
CASE1	19.1	9.7	実験データとの比較
CASE2	19.1	9.7	潜熱発生なし
CASE3	19.1	20.0	粗度パラメータ

注)CASE2:CASE1においては,発生した潜熱は,全て第一コントロールボリュームのエネルギー式に代入しているが,発生した潜熱のうち水側,空気側にそれぞれ放出される潜熱の比率は不明である.潜熱の組み込みの有無によって分布が大きく変わるのならば,最適な比率を考えなければならないため,計算を行った.

CASE3:粗度パラメータを9.7から20に変化させた場合,移動境界壁がより粗面の結果となることを意味する.実験に用いられた流水面の表面には,規模は小さいが凹凸があり,その影響によって流水面近傍の流れが変化する可能性がある.その場合,CASE2と同様に最適な粗度パラメータを考慮しなければならない.そのために検討を行ったケースである.



Improvement of a thermal environment for an indoor openspace by hybrid ventilation and cool running water

Mori Taro et. al

4) 解析結果

図-2はCASE1の解析結果と実験結果のベクトル図を比較した図である。流水面に接する空気は解析と実験でほぼ同様の流れが見られるが、池の上部の流れが、解析(右図)では左方向となっているのに対し、実験(左図)では右下方向であり、実験の方がより大規模な下降流が形成されているのがわかる。

図-3は横軸にCASE1のy方向速度、縦軸にCASE2,3のy方向速度をプロットした図である。もしも、CASE2,3で検討をしたような事柄が、気流分布に影響を与えるのであればプロットされたデータは $y=x$ の直線から大きく逸脱するはずだがそうはなっていない。実は、図-2で生じた相違の原因をCASE2,3に求めたのだが、これらが流れ場全体に与える影響は小さく、図-2の実験結果に生じているような大きな流れを生じさせることができないことがわかった。

3. 自由表面境界条件^[5]

以上の検討より、気流分布の相違は、潜熱や表面粗度以外に原因があると判断した。現在、その候補の一つとして考えているのが自由表面境界条件である。移動境界であると同時に、その存在が表面近傍の乱流構造を変化させるために運動量や熱・物質輸送過程に大きな影響を与える流れである。

自由表面境界条件を表-3に示す。式(1)は連続の式、式(2)、(3)は流れに対して法線方向、接線方向の運動量保存式である。(3)式は境界面におけるせん断応力の平衡式と見ることにもできる。左辺の第1項を無視し、他の3項に注目すると、水側の境界付近の速度分布で生じたせん断応力を空気側は接線方向と法線方向の速度分布で平衡させている。また、粘性係数の比 μ_l/μ_g は約60であり、水側に比べ、空気側に大きな速度分布が生じることが分かる。

4. PIVによる流速分布把握

PIV(粒子画像流速測定法)は、流れに微小な粒子を混入する事で流れを可視化し、その粒子挙動を追跡する事によって非定常流速分布を計測する手法であ

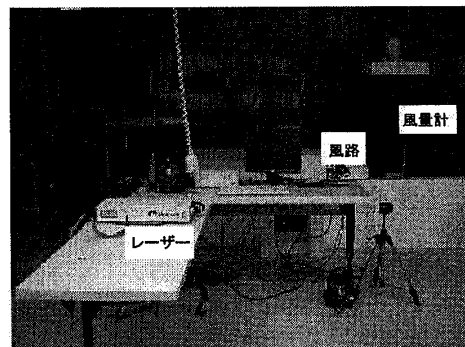
る。本研究では、今後、PIVを用いて境界面周辺の平均速度分布を測定していく。

3.1 測定例

風洞に約100[m³/h]の空気を送風し、その際に床面付近に生じる速度分布を測定した。鉛直方向に速度の水平、垂直方向成分を平均化した結果を図-5に示す。10[mm]以下の部分に、所謂、内層が生じているのがわかる。

4. おわりに

本研究は、数値解析の精度を向上させるためPIVを用いて流水面近傍の流速分布を把握することを目的としている。今後は実験を流水面にうつし、温度を変更させながらデータベースの作成を行っていく。



- ①PC:画像取得と流速分布計算を実施
 ②シンクロナイザー(KANOMAX社, MODEL611034):カメラとレーザーにトリガーを送信し両者の同期をとる装置。
 ③カメラ(KANOMAX社, デジタルCCDカメラ80046):シンクロナイザーのトリガーにより粒子画像を撮影し、画像をPCに送信
 ④レーザー(LITRON社, ダブルパルスYAGレーザー, 300[mJ], 4[ns]):粒子撮影用のフラッシュ。シンクロナイザーのトリガーによりレーザーライトシートを作成。
 なお、ひとつの流速分布を得るためには、二枚の画像が必要で、両者の撮影間隔は500[μs]。今回実施した測定では、この二枚ペアの画像を15[Hz]で10組撮影し、10組の流速分布から平均速度場を求めた。

図-4 実験装置

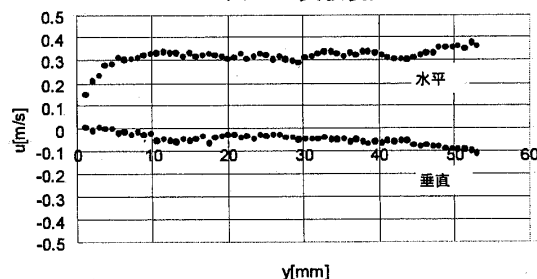


図-5 床面付近の平均速度分布

【謝辞】

本研究は科学研究費補助金(基盤研究B, 課題番号17360280, 代表: 絵内正道)の補助を受けた。記して感謝の意を表す。

【引用・参考文献】

- [1] 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, 空気調和衛生学会論文集 No. 72 (1999), pp47-56
 [2] 絵内, 森, 川口, 羽山; 冷却流水面による大規模吹き抜け空間の調湿・除湿第2報, 空気調和衛生学会論文集 No. 89 (2003), pp37-43
 [3] 森, 絵内, 会田, 斎藤, 羽山; 冷却流水面による大規模吹き抜け空間の調湿・除湿第3報, 空気調和衛生学会論文集 No. 95 (2004), pp25-33
 [4] 森, 絵内, 会田, 斎藤, 羽山; 冷却流水面による大規模吹き抜け空間の調湿・除湿第4報, 空気調和衛生学会論文集
 [5] 大宮司久明他: 乱流の数値流体力学—モデルと計算—, 第11章自由表面乱流, 東京大学出版会, 1998, pp. 513-539

表-3 自由表面境界条件

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = w \quad (1)$$

$$p_l - 2\mu_l \left(\frac{\partial u_l^n}{\partial n} \right) + \gamma \chi = p_g - 2\mu_g \left(\frac{\partial u_g^n}{\partial n} \right) \quad (2)$$

$$\mu_l \left(\frac{\partial u_l^n}{\partial \tau} + \frac{\partial u_l^\tau}{\partial n} \right) = \mu_g \left(\frac{\partial u_g^n}{\partial \tau} + \frac{\partial u_g^\tau}{\partial n} \right) \quad (3)$$

式(1)~(3)の記号

h : 水深[m], u, v, w : 各方向の流速[m/s], p : 圧力[Pa], γ : 表面張力[N/m]
 χ : 曲率[-], μ : 粘性係数[Pa·s], n, τ はそれぞれ法線方向、接線方向を表している。
 添え字, l, g はそれぞれ液体、気体を表している。

* 釧路工業高等専門学校

** 国上技術政策総合研究所

** 北海道大学

* Kushiro national college of tech.

** National Institute for Land and Infrastructure Management

*** Hokkaido Univ.