

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8報 PIV 実験結果とCFDの低レイノルズ数乱流モデルによる気流速度分布比較

屋内公開空地 冷却流水面 PIV  
CFD 気流速度分布

正会員 ○酒井 孝一郎\*1 同 森 太郎\*2  
同 西澤 繁毅\*3 同 菊田 弘輝\*4  
同 絵内 正道\*5 同 羽山 広文\*6

1. 研究の背景・目的

本研究では、大規模な複合ビルなどに見られるアトリウムやホールを屋内公開空地と呼称している。これらは建物の入口付近に計画されていることが多く、ほとんどの事例で植生や滝などの自然要素が多数設置されている。

既往の研究では、屋内公開空地に設置されている流水面をスポット空調システムの1つとして利用し、屋内公開空地における環境維持や省エネルギー化を考えている。本研究の目的は、その基礎的取り組みとしてPIVを用いて流水面近傍の気流速度分布を把握し、PIVを用いた実験による結果とCFDで得られた解析結果との比較から、流水面とその上層にある空気層との関係性の把握にある。

2. 実験概要

本実験に使用したPIVは、図-1のようなシステムからなっている<sup>1)</sup>。なお、ひとつの気流速度分布を得るためには、2枚の画像が必要で、両者の撮影間隔は500[μs]、本報告で実施した測定では、この2枚ペアの画像を15[Hz]で100組撮影した。なお、実験に際し微小粒子に油霧を用いた。

本実験に使用した流水面は簡易風洞内(700W[mm]×1800D[mm]×1100H[mm])に設置し、寸法は水の流れ方向に450[mm]、直行方向に300[mm]である。これを床面レベルから20°傾け、流水路に水を流し、PIVにより気流速度分布を測定した(図-2及び図-3)。

表-1に実験パラメータを示す。流量と水温を変化させた場合に、3ヵ所の測定位置における流水面近傍の気流速度分布がどのように違ってくるのかを把握した。

3. 実験結果

結果の一部を図-4に示す。これまでの研究<sup>1)</sup>と同様に、測定位置ごとに比較してみると、下流に向うにつれて最大気流速度が大きくなる傾向にあり、影響を受けている範囲も拡大していることが分かった。ただし、常に下流側が最大気流速度とならない場合も見られ、その要因は測定距離が狭小で、流水面の移動境界面速度による反映があまり見られなかったことによるものではないかと考えられる。その一方で、流量が多くなるにつれて移動境界付近の気流速度が減少していることが分かった。流水幅が一樣であれ

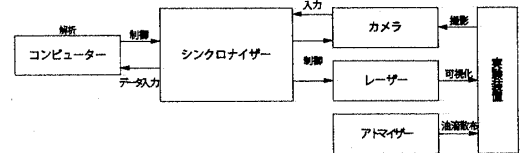


図-1 PIV概要

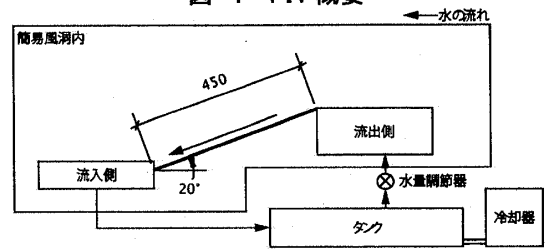


図-2 実験装置概要

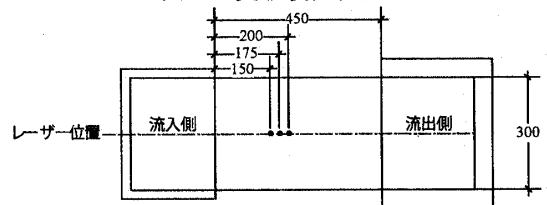


図-3 測定位置概要

表-1 実験パラメータ一覧

実験番号	流量[l/min]	測定位置[mm]	水温[°C]	
1-1	11.0	150	コントロールなし (約15.0°C)	
1-2		175		
1-3		200		
2-1	8.0	150		
2-2		175		
2-3		200		
3-1	5.4	150		10.0
3-2		175		
3-3		200		
4-1	11.4	150	5.0	
4-2		175		
4-3		200		
5-1	9.0	150		
5-2		175		
5-3		200		
6-1	7.0	150		
6-2		175		
6-3		200		
7-1	11.0	150		
7-2		175		
7-3		200		
8-1	9.4	150		
8-2		175		
8-3		200		
9-1	6.2	150		
9-2		175		
9-3		200		

A Study on the Thermal and Air Environment for Indoor Open Spaces by Hybrid Ventilation and Cool Running Water  
Part 8 Comparison of Air Velocity Distribution by the Experimental Result of PIV and Low-Reynolds Number Turbulence Model of CFD

SAKAI Koichiro et al.

ば、流水速度が速くなるにつれて、水深は浅くなる。しかし、本実験では流水幅は下流に行くにつれ、表面張力などの力によって狭くなった。このことから水深を一定と仮定すると、流量が多い場合に流水主速度と移動境界面速度の差が大きくなったのではないかと考えられる。

#### 4. CFD との比較

##### 4.1. CFD の概要

本研究で、CFD 解析に用いた解析空間は x 方向に 5.0[m]、y 方向に 5.0[m]、z 方向に 2.0[m] である。格子分割の影響を避けるため、解析空間の床面と 20° の角度を設けて簡易風洞を設け、その内部に 20° 傾いた流水面を移動境界として設置した(図-5)。そのため、重力加速度の方向を鉛直から 20° ずらして設定した。流水面には移動境界条件を設定してあり、移動境界と空気との粗度は滑面<sup>1)</sup>とした。パラメータは流水面と簡易風洞外側との温度差とした。なお、数値解析には標準 k-ε 二方程式モデルと低 Re 数乱流モデルの 2 種類を使用した。

##### 4.2. CFD 解析結果

PIV によって測定した気流速度分布(実験番号 1-2)と CFD 解析の結果を比較したものを図-6 に示す。境界層流れの発生位置に関して、低 Re 数モデルは PIV 実験結果とよく一致しているが、標準 k-ε モデルは大きく異なっていることが分かった。標準 k-ε モデルは等方性乱流を前提としているが、流水面境界付近で、等方性乱流という仮定が困難で、その結果、実験結果と異なったのではないかと考えられる。

各パラメータにおいて、下方に向かって流れる風量(図-7)を求めた。温度差が 10[°C] になると風量は 2 倍に、温度差が 15[°C] になると 3 倍になっていることが分かる。PIV 実験結果は低 Re 数モデルの約 10[°C] の温度差を与えた場合の結果と一致している。しかし、比較対象の温度差は 2.5[°C] (気温 20.1[°C]、水温 17.6[°C]) であり、低 Re 数モデルほど差がない。しかし、これまでの研究結果<sup>2)</sup> から流水面の表面温度と水温は一致しないことが分かっている。空気の条件(20.1[°C]、30[%])を考えると湿球温度が約 11[°C] であり、その温度差は 9[°C] となり、低 Re 数モデルとほぼ一致していることが分かった。

#### 5. 総括

本研究から以下のような知見を得た。

1. 実験により、流水面近傍の気流速度分布を把握した。この結果、測定距離が狭いと気流速度分布に大きな違いが現れないことが分かった。

\*1 北海道大学大学院工学研究科 修士課程

\*2 国立釧路工業高等専門学校 准教授・博士(工学)

\*3 国土技術政策総合研究所 博士(工学)

\*4 北海道大学大学院 助教・博士(工学)

\*5 北海道大学大学院 教授・工学博士

\*6 北海道大学大学院 准教授・博士(工学)

2. PIV の実験結果と CFD 解析の結果を比較した。この結果、低 Re 数モデルと PIV 実験結果はよく一致していることが分かった。

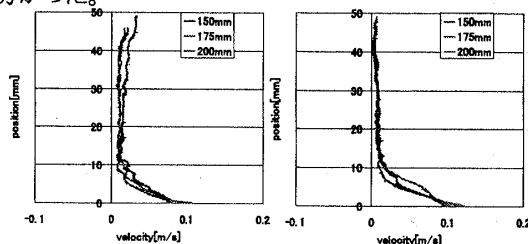


図-4 気流速度分布(水温コントロールなしにおける流量 11.0 [l/min] (左)と流量 5.4 [l/min] (右))

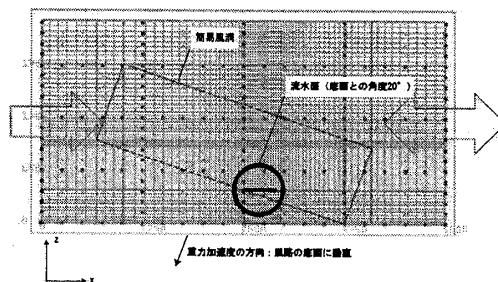


図-5 CFD 解析モデル

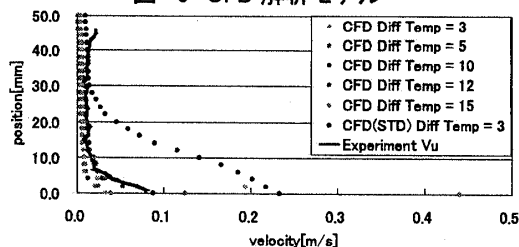


図-6 実験結果との比較

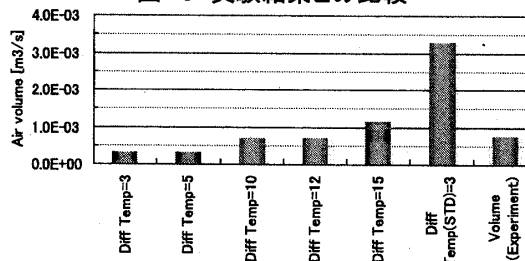


図-7 風量

【参考文献】

1) 酒井、森、西澤、菊田、絵内、羽山; 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 5 報、空気調和衛生工学会大会学術講演梗概集(2007)、pp1885-1888  
 2) 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、空気調和衛生工学会論文集 No.95(2004)、pp25-33

【謝辞】

本研究は科学研究費補助金(基盤(B)2)科研番号、代表絵内正道)の補助を受けた。記して感謝する。

Graduate Student, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.

Assoc.Prof., Kushiro National College of Tech., Dr.Eng.

National Institute for Land and Infrastructure Management, Dr.Eng.

Assis.Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.,Dr.Eng.

Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr.Eng.

Assoc.Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr.Eng.