

人工気象室における雨滴をトレーサーとした PIV 解析による速度推定
Velocity estimation by PIV method using raindrops as a tracer in artificial weather chamber

○胡家龍・栗田剛・西嶋一欽

○Jialong HU, Tsuyoshi KURITA, Kazuyoshi NISHIJIMA

Building damages caused by strong winds are increasing in recent years. To reduce the wind-caused damages, it is necessary to know the characteristics of the wind, especially the 3-dimensional velocity field. Authors are trying to estimate wind velocity by PIV/PTV method with raindrops as the tracer. This report will discuss a 2-dimensional raindrop PIV experiment made in an artificial weather chamber. In this experiment, average wind speeds were set as 2.2m/s and 2.7m/s, and the PIV results showed the horizontal raindrop speeds were 2.4m/s, 3.4m/s, respectively. The vertical raindrop speeds were estimated to be 2.2m/s and 2.5m/s, respectively. Further, the estimation method of raindrops' acceleration by PIV will be investigated in order to improve the accuracy.

1. はじめに

近年台風などの強風による建物被害が増加している。強風被害低減のためには、風の性状、特に風速場を三次元的に明らかにすることが必要である。筆者らは、粒子画像流速測定法 (PIV) や粒子追跡法 (PTV) を雨滴に適用することで、雨滴の軌跡から風速を推定する手法を検討している。本報告では、人工気象室を用いて、人工的な降雨と風を再現した状況下で画像を撮影し、その画像に対して PIV を適用することで風速を推定する際の課題を抽出する。

2. 実験概要

実験は、東急建設 (株) 技術研究所の人工気象室で実施した。人工気象室の諸元を表 1 に示す。画像の撮影は、LED ランプとレンズを組み合わせて作成したシート状の光源と高速度カメラを用いて行った。図 1 に人工気象室における機器の配置を示す。降雨は天井の 4 か所の降水ノズル (図中の赤丸) を用いて降雨強度 60mm/h で降らせた。風速は、送風装置 (吹出し口サイズ: 幅 2m×高さ 1.4m) を用いて 0,1,3m/s の 3 段階で設定した。表 2 に実験ケースを示す。実験時の風速は 2 次元超音波風速計で測定した。

高速度カメラは、シート光に対して 38 度の角度で 1,500 mm 離れた場所に設置した。画素数は 1280pixel×800pixel である。画素と実寸法との対応は、中心位置に置いたスケールの撮影と、カメラの設置角度との関係から求めた。画像の撮影

間隔は 1000 μ s とし、1s 間の撮影を 1 ケースにつき 3 回行った。

寸法	幅5m×奥行6.2m×高さ5.6m
温度範囲	-10~60°C
湿度範囲	10~95%RH (30°C時)
降水量	60, 180, 300mm/h
降雪量	20mm/h
日射量	最大1kW/m ²
風速	最大10m/s

表 1 人工気象室の諸元

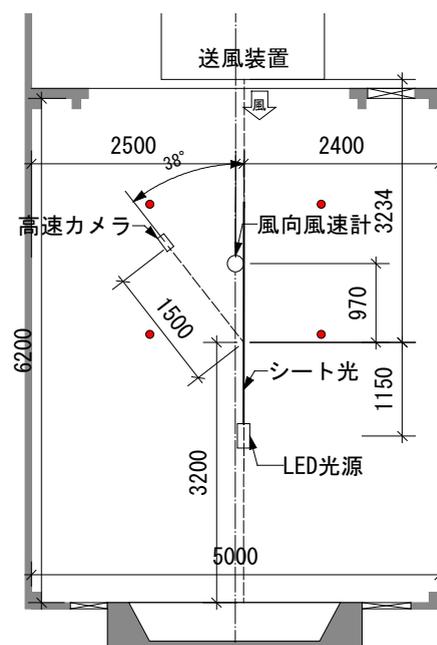


図 1 実験状況

表2 実験ケース

ケース	B4-0	B4-1	B4-3
降水量(mm/h)	60		
設定風速(m/s)	0	1	3

3. 実験結果

PIV解析は、Dantec社のDynamic Studioを用いて、Adaptive Correlationにより行った。探査領域サイズは 32×32 pixelで、Overlapは50%とした。

図2にケースB4-0の撮影画像とPIV解析によって求めた速度ベクトルを示す。白点線は撮影画像の中心（撮影面とシート光が交差する位置）を示す。PIVで推定した画像の中央部付近（赤丸内）の移動速度は4.3m/sであった。連続する2枚の画像間の雨滴の移動距離から求めた速度は4.1m/s程度であり、PIVとはほぼ一致した。撮影された雨滴の粒径（幅）は約0.8mmであるので、Gunn & Kinner¹⁾の実験による落下速度3.27m/sよりはやや大きな速度であった。

図3にケースB4-1の速度ベクトル図を示す。実験時に風速計で測定した風速は約2.2m/sであった。画像の中央部付近の解析結果を実際の距離に換算した結果、水平方向の移動速度は約2.4m/s、鉛直方向の移動速度は約2.2m/sであり、ベクトルの角度は鉛直軸に対して約47°であった。

図4にケースB4-3の速度ベクトル図を示す。実験時の風速は約2.7m/sであった。ケースB4-1と同様に実際の距離に換算した結果水方向の移動速度は約3.4m/s、鉛直方向の移動速度は2.5m/sであった。ベクトルの角度は鉛直軸に対して約54°であった。

ケースB4-1、B4-3ともに、PIV解析で推定した風速は、実験風速に近い値を示した。しかし、今回の実験は、2次元で撮影しているため、雨滴の面外方向の影響は考慮できていない。また、雨滴には鉛直方向の重力と風による抗力が作用しているため、雨滴の加速度を算出して運動方程式を解く必要があるが、PIV解析結果から加速度を精度よく算出する方法については今後検討が必要である。

4. まとめ

人工気象室内で降雨装置と送風装置を用いて、雨滴をトレーサーとした画像にPIV解析を適用して移動速度を推定した。引き続き推定精度の向

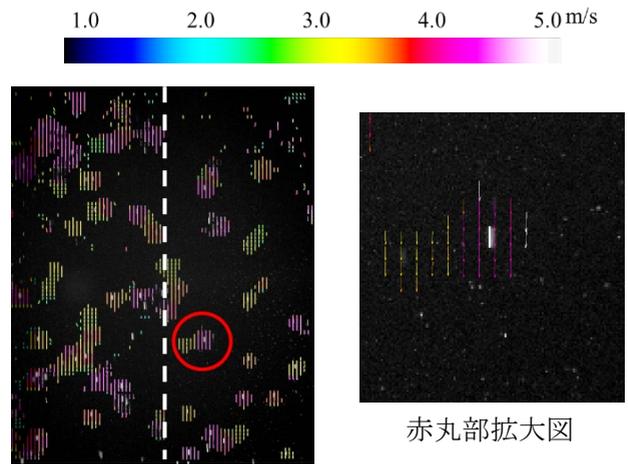


図2 ケースB4-0のPIV解析結果

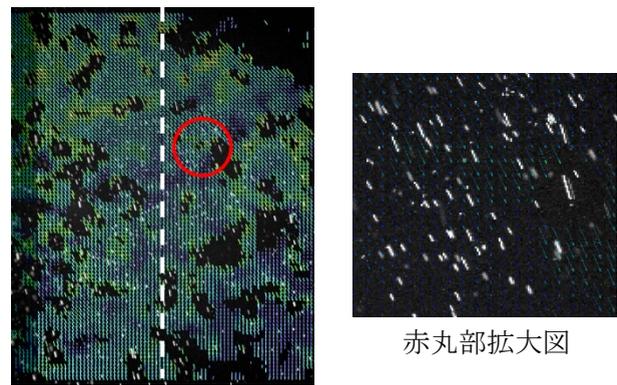


図3 ケースB4-1のPIV解析結果

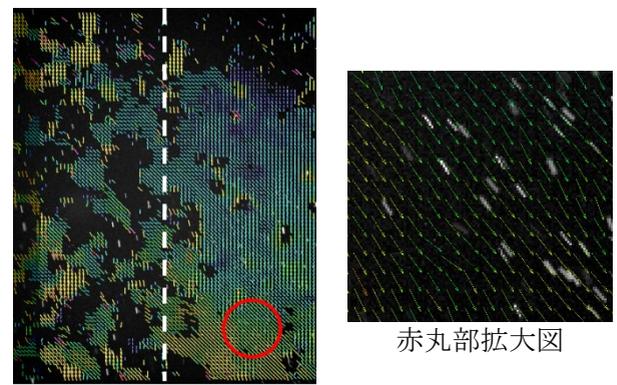


図4 ケースB4-3のPIV解析結果

上について検討を行う。

謝辞 本研究は京都大学防災研究所一般共同研究(2021G-05)の成果である。

参考文献 1)Gunn and Kinzer:The Terminal Velocity of Fall for Water Droplets in Stagnant Air, J. of Meteorology, Vol.6, 1949
2)高野, 竹原:超高速撮影による落下雨滴の速度・粒径および形状の計測, 土木学会論文集 B1,Vol.70,No.4,2014