

ステレオ PTV による雨滴追跡に関する屋外実験 Field experiment on raindrop tracking by stereo PTV

○栗田 剛・西嶋一欽

○Tsuyoshi KURITA, Kazuyoshi NISHIJIMA

For the purpose to reduce the wind-caused damages it is necessary to understand the characteristics of the wind, especially three-dimensional wind velocity field. Authors have investigated ways to estimate wind velocity by PIV/PTV methods with raindrops as the tracer. This report describes a stereo PTV experiment conducted outdoors with artificially sprayed water droplets. PTV analysis was performed on images captured by two high-speed cameras at 2000 fps, and the 3D trajectory of water droplets, horizontal movement speed, vertical movement speed, and droplet volume were estimated. The trajectory was almost linear and succeeded in estimating its trajectory with little variation; however, the estimation of the volume involved relatively large variation.

1. はじめに

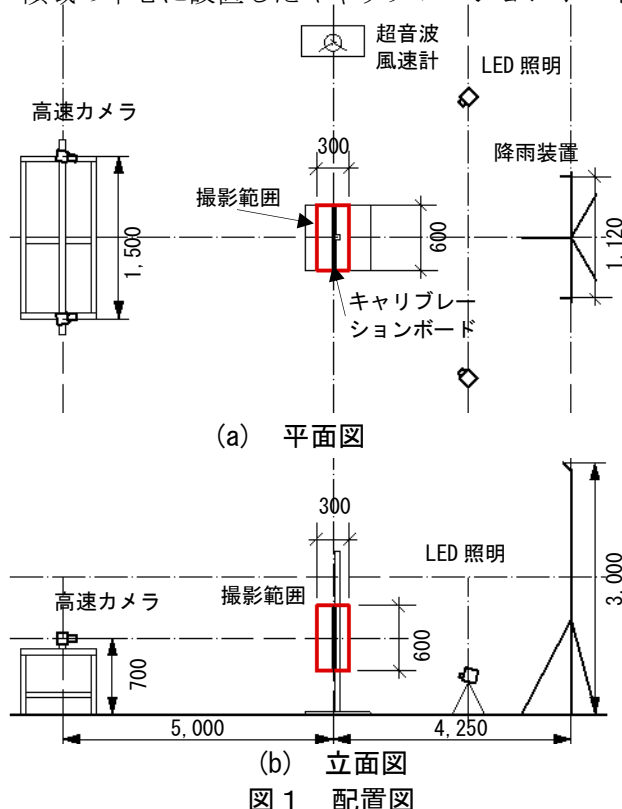
近年台風などの強風による建物被害が増加している。強風被害低減のためには、風の性状、特に風速場を三次元的に明らかにすることが必要である。筆者らは、粒子画像流速測定法 (PIV) や粒子追跡法 (PTV) を雨滴に適用することで、雨滴の軌跡から風速を推定する手法を検討している。これまでに、境界層風洞内に発生させた一様流の中に水滴を落下させ、撮影した水滴の軌跡から得られた加速度を運動方程式に代入して得られた風力ベクトルを用いて推定した風速値の精度検証¹⁾や、人工気象室内で撮影した雨滴画像の PIV 解析から移動速度を推定する手法の検討²⁾を行ってきた。

水滴の軌跡による風速の推定では、1粒の水滴から推定した風速の値がばらつく結果となり、その原因の特定と改善が必要であることが分かった。本稿では、高フレームレートでのステレオ撮影による 3DPTV において水滴の軌跡や水滴の大きさの変化がどの程度把握できるかを検討した。

2. 実験概要

実験は、東急建設 (株) 技術研究所の屋外ヤードで実施した。図 1 に配置図を示す。撮影のための水滴は、雨滴を人工的に発生できるレインカーテン (テクノコア社製) の粒径 2 mm 相当のノズルを用いて高さ 3m から散布した。解析画像は、2台の高速カメラ (ナックイメージテクノロジー製: M-cam) と 2 台の高輝度 LED ランプを用いてス

テレオ撮影した。撮影条件は、撮影速度 2000fps で露光時間 $200 \mu\text{sec}$ としたケース 1, 撮影速度 2000fps で露光時間 $500 \mu\text{sec}$ としたケース 2 の 2 種類とし、光源は 2 ケースとも水滴の奥側から照射した。撮影領域は、カメラの前方 5m の位置を中心に 600 mm 四方、奥行方向に $\pm 150 \text{ mm}$ の範囲とした。水滴の軌跡の解析はフローテックリサーチ社の FtrPTV-3D で行った。空間の位置は、撮影領域の中心に設置したキャリブレーションボード



に対して、カメラを 50mm ピッチで±150 mmの範囲で前後させた撮影画像を用いて幾何光学モデルによるキャリブレーションから算定した。

3. 実験結果

解析した結果のうち、水滴が 100 ステップ以上連続して推定できたデータについて結果を示す。図 2 に水滴の 3 次元の軌跡を示す。ケース 1, ケース 2 の結果とも水滴は直線的に移動しており、ステップごとのばらつきは小さかった。水滴毎の軌跡は十分に推定できていると考えられる。図 3 に水平方向 (x 方向) の移動速度の時間変化を示す。x 方向の移動速度は、データによって平均値が異なる結果を示した。データごとの平均値はケース 2 のほうがケース 1 よりもやや大きく、値のばらつきはケース 1 のほうが大きかった。図 4 に鉛直方向 (z 方向) の移動速度の時間変化を示す。ケース 1-1 と 1-3 の平均値は近い値を示したが、ケース 1-2 は異なる平均値を示した。ケース 2 のデータはほぼ同様の平均値であったが、ケース 1 よりも絶対値がやや大きな値であった。値のばらつきは水平方向と同様にケース 1 のほうが大きかった。Gunn ら³⁾によれば、粒径 2mm 程度の雨滴の落下速度は 6m/s 程度であり、今回の結果も近い値を示してはいるが、ケースごとの差異については検討が必要である。図 5 に水滴の体積の時間変化を示す。撮影画像から推定した水滴の体積は、ケース 1 のほうがケース 2 に比べて小さい値であり、データごとにばらつきが見られた。体積の推定値は、水滴の軌跡、移動速度に比べてステップごとの変化、データごとの差異が大きかった。風速の推定精度向上には水滴の大きさや形状の関係を把握する必要があり、そのためには今回得られた大きさのばらつきが何に起因しているかなどより詳細な検討が必要である。

4. まとめ

2 台の高速カメラでステレオ撮影した画像を用いた 3 次元 PTV 解析により、水滴の大きさおよび軌跡を判別することができた。今後この結果を用いて風速値の推定を実施する予定である。

謝辞 本研究は京都大学防災研究所一般共同研究 (2021G-04) の成果である。ステレオ PTV の撮影、解析は (株) フローテックリサーチ後藤様に多大なるご協力を頂いた。ここに記して謝意を示す。

参考文献 1)三宅,栗田,西嶋:風工学シンポジウム論文集,2022, 2) 胡,栗田,西嶋:京都大学防災研究所研究講演発表会,2022, 3)Gunn and Kinzer:'The Terminal Velocity of Fall for Water Droplets in Stagnant Air, J. of Meteorology, Vol.6, 1949

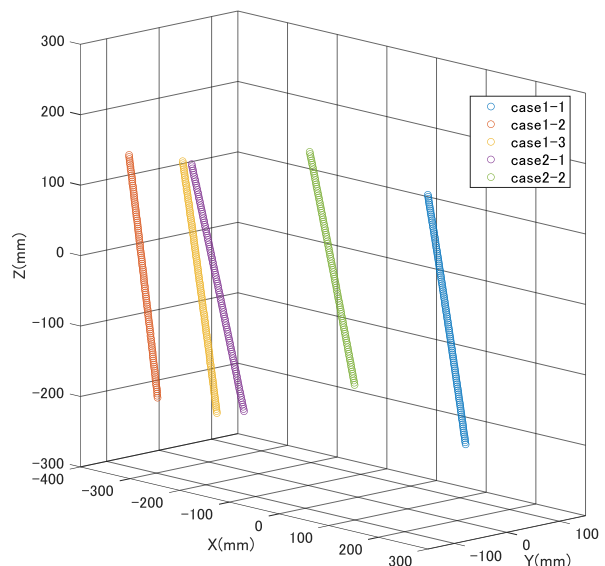


図 2 水滴の軌跡

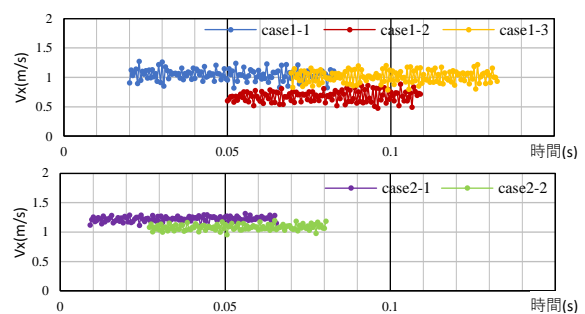


図 3 水滴の水平方向移動速度

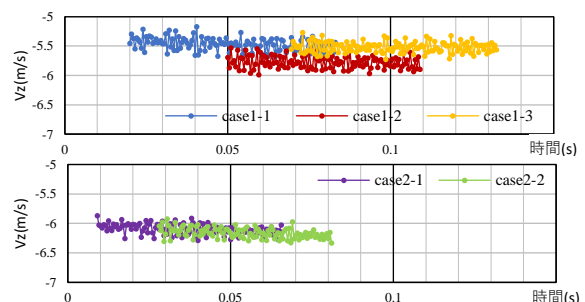


図 4 水滴の鉛直方向移動速度

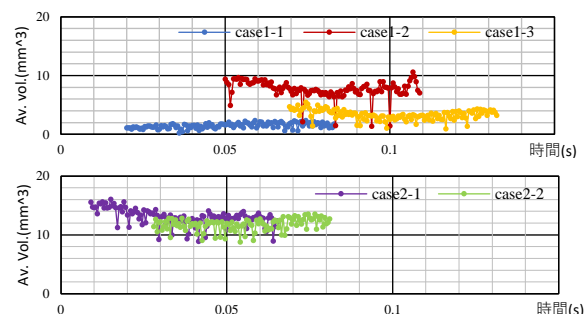


図 5 水滴の粒子の体積の時間変化

2023.4.1 実験ケースに間違いがあったため下記部分の修正を行った。

修正箇所	修正前	修正後
2. 実験概要 8行目	撮影条件は、撮影速度 2000fps で露光時間 500 μ sec, 光源を水滴の手前側から照射したケース 1, 撮影速度 2000fps で露光時間 200 μ sec, 光源を水滴の奥側から照射したケース 2 の 2 種類とした。	撮影条件は、撮影速度 2000fps で露光時間 200 μ sec としたケース 1, 撮影速度 2000fps で露光時間 500 μ sec としたケース 2 の 2 種類とし、光源は 2 ケースとも水滴の奥側から照射した。
図 1	LED 照明の位置を 2 か所	LED 照明の位置を 1 か所