

第II部門 画像解析による浮遊物質濃度の時・空間分布の推定法に関する研究

大阪公立大学大学院工学研究科 学生会員 ○西村 優太
 大阪公立大学大学院工学研究科 学生会員 ニコラス エコ サプトラ
 大阪公立大学大学院工学研究科 フェロー会員 重松 孝昌

1. 研究背景・目的

津波が発生すると、津波が海底や河川底の土砂を巻き上げて陸上に運び、甚大な被害を与えるため、その正確な予測に基づく対策が重要である。そのためには、津波流れ中の時空間的な土砂濃度分布を把握し、土砂輸送のメカニズムを解明する必要がある。従来は濁度計を用いた土砂濃度測定が主流であったが、低い空間解像度や流れへの影響が課題であった。近年、こうした課題を解決するため、流体に干渉せず高い時空間解像度を持つ画像解析が注目されており、流体中の土砂濃度推定に関する研究が進められている。

下園ら¹⁾や、J. Schneider ら²⁾は、面光源を用いて光減衰に基づく土砂濃度推定法を開発し、重力流や孤立波における土砂濃度を推定した。しかし、津波と流動特性が類似し、津波研究で多用されるダムブレイク流では土砂濃度推定が行われていない。そこで本研究では、ダムブレイク流を対象に画像解析による時空間的な土砂濃度推定を行い、濃度推定手法の適用可能性を示すことを目的とする。

2. 実験手法

図-1 に実験装置の概要を示す。この実験では、長さ 1.5m、幅 0.15m、高さ 0.6m の水槽を使用した。貯水槽（幅 0.4m）はアクリル板で仕切られており、その水深は 0.135m であった。

ダムブレイク流れにおける土砂の分布は、画像解析を用いて分析した。視野は、高さ 0.09m、幅 0.09m で、ダム壁から 0.91m 離れた位置に設定され、高速度カメラ（Phantom Miro LAB 320, NOBBYTECH 製）で 400 fps で撮影した。また、

カメラ対面の水路壁に平面型 LED ライト（PCS-UMX 250, 高さ 0.10m, 幅 0.10m）を設置した。

ゲートは重錘落下式の機構で操作された。ワイヤーを取り付け、上部に設置した滑車を経由させた。さらに、ゲートに取り付けた加速度計（Kyowa Electronic Instruments 製 AS-2GB）で開門を検出し、その信号を撮影開始のトリガーとした。

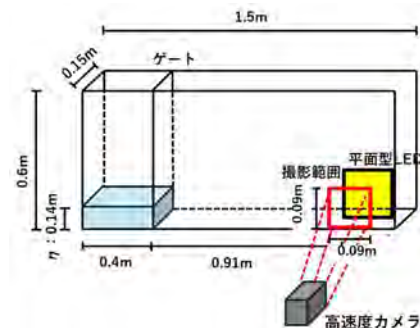


図-1 実験装置の概要図

実験には、中央粒径 d_{50} 0.05mm の珪砂 9 号を用いて実験を行った。実験は校正実験と本実験に分けて実施した。校正実験では、土砂濃度と画像の輝度値の関係を調べ、本実験ではダムブレイク流れの質量濃度の解析を行った。校正実験時では、まず貯水槽に水 3.0 kg を注ぎ、清水状態で画像を取得した。その後、珪砂を 12g（質量濃度 0.4%）加えて十分に攪拌し、均質な状態にしたうえで、貯水槽内の画像を 1000 枚（2.5 秒）取得した。以降、質量濃度が 5.2% に達するまで、同僚の珪砂を 13 回にわたって追加し、画像を取得した。

本実験では、貯水槽に水 8.0kg を注ぎ、それぞれ 40g, 160g, 400g の珪砂を投入し、土砂の質量濃度が 0.50%, 2.0%, 5.0% になるように調整した。水面が乱れないように注視しながら土砂を攪拌し、実験を実施した。

3. 解析手法

画像解析には光の減衰から濃度を推定する Beer-Lambert 法を用いて行った。この手法は、以下の式により表される。

$$C_n = -\frac{1}{\varepsilon L} \log_{10} \frac{I_n}{I_0} \quad (1)$$

ここに、 C_n は質量濃度、 I_n は濃度 C_n における平均輝度、 I_0 は濃度0%（清水）の平均輝度、 ε は減衰係数、 L は光路長（水槽幅）を示す。

本研究では、ダムブレイク流れに水面が存在するため、水面検出も併せて実施した。濃度水底は水面下の領域に限定して適用した。また、土砂を含む水では光が散乱し、この影響により光の反射が不均一になる傾向がある。そのため、本研究では光の散乱の影響を抑制する目的で、解析領域を16等分し、各領域ごとに輝度を平均化して解析を行った。解析領域の分割方法は図-2に示す。

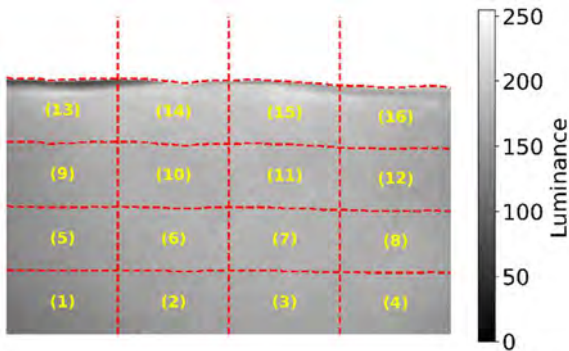


図-2 解析領域

4. 解析結果

図-3 に土砂濃度と輝度の関係を示す。

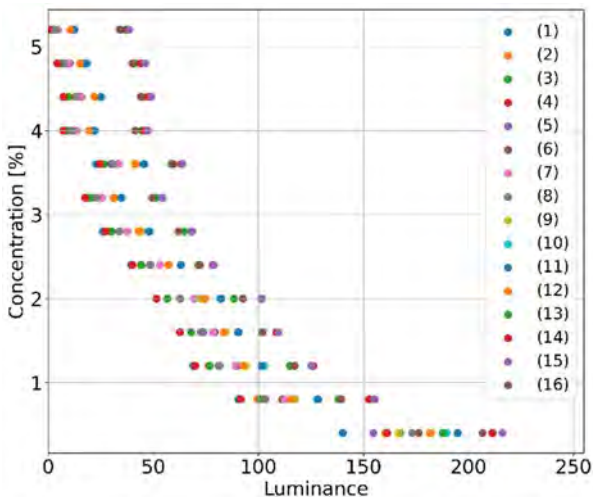


図-3 土砂濃度と輝度の関係

この図では、濃度が高いほど、画像の輝度が小さくなる傾向を示している。この関係性を用いてダムブレイク実験における土砂濃度の推定を行った。

図-3~5に初期質量濃度 C_0 0.50%、2.0%、5.0%における流れ先端到達から土砂濃度のピークまでの濃度推定結果を示す。尚、撮影範囲上部はカットしている。

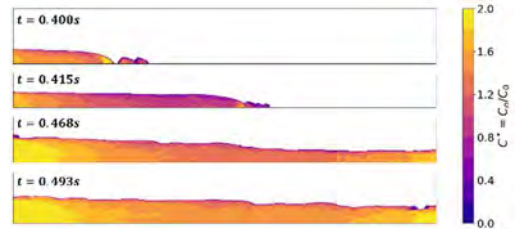


図-3 $C_0 = 0.5\%$



図-4 $C_0 = 2.0\%$



図-5 $C_0 = 5.0\%$

これらの図より、波前付近の土砂濃度は当初低いものの、波前が伝播した直後に急激に上昇する様子や、ピーク時の放射状に広がる濃度分布の構造が確認できた。

5. 結論

本研究では、画像解析を用いたダムブレイク流中の時空間的土砂濃度推定を試みた。その結果、推定された濃度分布から、波前通過後に土砂濃度が急激に上昇し、ピーク時には放射状に広がる特徴的な濃度分布が確認された。

<参考文献>

- 1) 下園武範, 佐々木淳之, 岡安章夫, 松林由里子: 光遮断方式による高濃度浮遊砂の画像計測, 海岸工学論文集, 第 55 巻, pp1436-1440, 2008
- 2) J. Schneider, Y. Dossmann, O. Farges, M. Regnier, S. Kiesgen de Richter, Investigation of particle laden gravity currents using the light attenuation technique, Experiments in Fluids, Vol.64, 2023