

用排水機場が付設された低地排水路における複雑な流れ場の流況解明 Investigation of complex flow dynamics in a lowland drainage channel with a pumping station

○平塚大樹* 高木強治*

Daiki HIRATSUKA, Kyoji TAKAKI

1. はじめに

千葉県北部に位置する印旛沼は、農業、工業、水道、観光資源として重要な役割を果たしているが、都市化の進展により水質悪化が深刻化している。このため、「印旛沼二期農業水利事業」として循環灌漑が導入され、排水路の水を再利用することで水資源の有効活用と水質改善が図られている。循環灌漑の運用評価においては、流域から排水路への出水量の推定が重要であり、既往研究では排水路内の貯水量変化に着目し、流入量を逆算する手法が用いられてきた。この際、排水路全体の水位が一様に変化すると仮定し、機場付近の水位変化と水面面積を用いて貯水量の変化を近似的に求めている¹⁾。しかし、対象となる排水路は勾配がなく全長2km以上、幅15m程度の細長い形状であり、ポンプの稼働により流れが生じることから、水位が全体で均一に変化するという仮定には検討の余地がある。そこで本研究では、排水路を1次元開水路流れとしてモデル化し、実際のポンプ稼働条件や流入条件に基づくシミュレーションを行うことで、既存手法の妥当性を検証するとともに、流域からの出水量の推定に向けた課題を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

対象は、北印旛沼東岸の白山甚兵衛機場および大竹排水機場に接続する1号導水路である。これを1次元の開水路流れとしてモデル化し、CIP-CSL3法により浅水波方程式を数値的に解いて水深と流速の時間変化を再現した。観測データおよび現地運用に基づき、流況の典型的なパターンとして以下の2条件を設定し、シミュレーションを実施した。

(1) 通常時：非灌漑期・無降雨時に小型ポンプ(1.5m³/s)が水位に応じて自動稼働・停止する状況を再現。なお、灌漑期の通常運用もおおむね同様と考えられる。

(2) 大雨時：灌漑期の強雨により、排水ポンプが2台(計6.0m³/s)から3台(計10.5m³/s)へと切り替わる状況を設定し、水面形の乱れを検討した。

それぞれのシナリオにおいて、以下の2つの方法で排水路内の貯水量変化を求めた。

ΔV：本研究で構築した数値モデルにより得られた水深分布から、各断面の断面積を計算し、全区間の体積を積算することで求めた。流況の空間的不均一性を考慮した精度の高い推定であり、比較の基準となる「正確な値」として位置づける。

ΔV*：用排水機場付近の水位変化に、一定の水面面積を乗じることで近似的に求めた。これは既往研究において一般的に用いられていた簡易推定法である。

*東京大学大学院農学生命科学研究科 Graduate School of Agricultural and Life Sciences

キーワード：管・開水路流れ 数値流体力学

3. 結果

(1) 通常時

図1に示すように、ポンプ稼働直後は下流側の水位が低下したが、6時間程度で水位は均一化した。図2では水位の最大・最小差は5cm未満に収まり、流況は空間的にほぼ同様だった。図3の ΔV^* と ΔV の比較からも、両者の差は小さく、簡易手法でも大きな誤差は生じなかった。

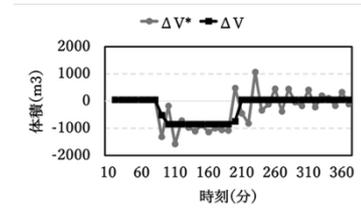
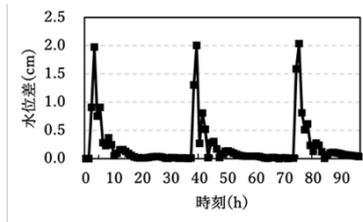
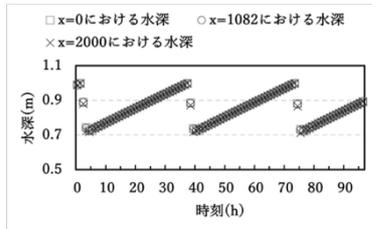


図1 通常時の3地点の水位比較 Water Level Comparison at Three Locations (Normal Conditions) 図2 通常時の最大の水位差 Maximum Water Level Difference (Normal Conditions) 図3 通常時の ΔV^* と ΔV の比較 Comparison of ΔV^* and ΔV (Normal Conditions)

(2) 大雨時

図4に示すように、ポンプ切替時(180分, 300分頃)に水位が急変し、下流と上流で明確な差が生じた。図5の水位差は最大で20cm程度となり、水面形が大きく乱れた。図6に示す ΔV^* と ΔV の比較では、ポンプ切替時に 1000m^3 以上の差が生じたケースもあり、簡易手法では過大・過小評価が生じる可能性が示された。

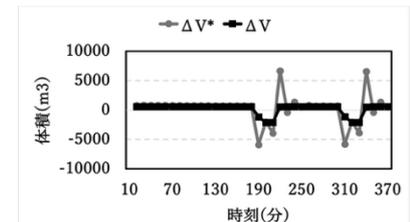
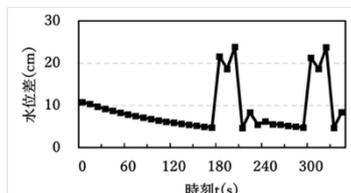
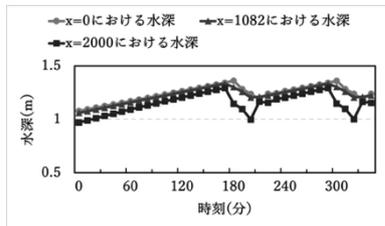


図4 大雨時の3地点の水位比較 Water Level Comparison at Three Locations (Heavy Rain Conditions) 図5 大雨時の最大の水位差 Maximum Water Level Difference (Heavy Rain Conditions) 図6 大雨時の ΔV^* と ΔV の比較 Comparison of ΔV^* and ΔV (Heavy Rain Conditions)

4. 考察・結論

通常時のシナリオでは水位分布が短時間で均一化し、 ΔV^* と ΔV の差は小さかったため、簡易手法も一定の条件下では実用可能と考えられる。一方、大雨時にはポンプ切替により水面形が乱れ、 ΔV^* と ΔV の差が大きくなり、簡易手法の適用には限界があることが示された。排水路内の流況をより高精度に再現することで、水路末端の水位の時間変化から流域全体の出水傾向を把握できる可能性はあるが、現実の流況は複雑であり、水位観測のみで横流入量を正確に逆推定するのは困難と考えられる。今後は、流況モデルの精度向上に加え、観測点の増設や流入実態(流入位置等)の把握も含めた、多角的なアプローチの検討が求められる。

参考文献: 1) 岸本龍人 (2024): 印旛沼循環灌漑地区における浸透流入を考慮した水収支と流出過程の分析