

キーワード：畦間灌漑、自動制御、モニタリングシステム、土壌浸透能推定モデル

1. はじめに

米国カリフォルニア州においては 405 万 ha の農地が存在し、その約 70%が地表灌漑を導入している。その中で最も一般的な灌漑方法の一つとして、畦間灌漑法があるが、これは導入が容易な反面、極めて原始的な水管理に依存し、結果として灌漑効率の低下が著しいという側面を併せ持つ。近年、工業用水や都市用水への需要が高まる中、農業用水を出来る限り効率的に用いることが現代社会の要求であり、そのためには畦間灌漑法による損失水量を最小限に抑えることが不可欠である。本研究では、畦間灌漑の自動制御を念頭に置いた、基礎的な自動水足監視システムの開発と畦間浸透能推定モデルの評価を行った。

2. 魚雷型監視センサー

魚雷型監視センサーは、①アナログ式センサー、②電気ケーブル (27m)、④ロータリーエンコーダ、③21X データロガー、⑤12DC ステッパーモータ、⑥12VC バッテリー、⑦電気回路から構成される (Fig. 1)。畑地の畦間を流下する灌漑水が畦間に置かれた魚雷型センサーに接触すると (Fig. 2)、21X データロガーは電気信号をリアルタイムで探知し、直ちに畦間の下流端後方に設置されている 12DC ステッパーモータを起動させ、センサーに接続されている電気ケーブルを畦間の下流側へと牽引する。センサーの移動距離は、ロータリーエンコーダで、巻き込む電気ケーブルの長さをパルス信号化することにより制御した。ロータリーエンコーダから送られるパルス信号数が設定値に達すると、21X データロガーがステッパーモータを直ちに停止させ、魚雷型センサーを次の観測点に待機させる仕組みになっている。灌漑水が魚雷型センサーに接触する時間は 21X データロガーに自動的に保存され、畦間の観測地点を定間隔に設定し、上記の過程を繰り返すことで灌漑中の水足の動向を自動的に監視することが可能となる。センサーを用いた水足監視試験はカリフォルニア大学デービス校農業試験場内の畦長 70m のトマト栽培畑において 2004 年 4 月から 6 月迄の灌漑期に行った。

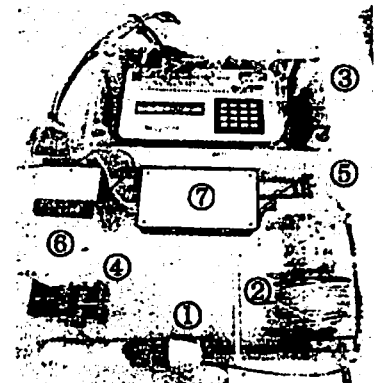


Fig. 1. Torpedo-shaped water arrival sensor unit



Fig. 2. Torpedo-shaped water arrival sensor

3. 水足前線曲線 (Wetting front advance trajectory)

魚雷型モニタリングセンサーを利用し、灌漑中における灌漑水の水足を自動観測した結果を Fig. 3 に示す。畦間を流下する水足の速度は、灌漑水の流量が一定に保たれた場合、時間が経過すると同時に指数関数的に減少する事が分かっているが、この図からもその傾向が明らかである (Upadhyaya ら, 1999)。

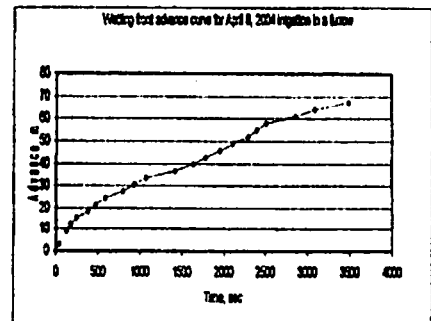


Fig. 3. Wetting front advance trajectory in a furrow

4. 土壤浸透能推定モデル (Semi-empirical cumulative infiltration model)

畦間灌漑法において、流入流量が一定に保たれた場合の水足前線がある時間 t (min) に到達する距離 X (m) は次式(1)によって示される。

$$X = \xi_{\max}(1 - e^{-ct}) \quad (1)$$

ここで、 X = 水足到達距離(m); ξ_{\max} = 最大水足到達距離(m); c = 土壤定数; t = 経過時間(min). また、Upadhyaya ら (1999) はボリュームバランス法 (Lewis-Milne 式) と Horton の浸透能方程式から、灌漑水の水足がある距離 X (m) に到達した時の総流入量を次式(2)によって示した。

$$Q = qt = \sigma_2 i_i \left[\frac{X}{c} - t(\xi_{\max} - X) \right] + \sigma_2 i_f \left[t(2\xi_{\max} - X) - \frac{2X}{c} \right] + \bar{A}X \quad (2)$$

ここで Q = 総流入量(m³); q = 流入流量 (m³/min); σ_2 = 畦間の平均潤辺 (m); i_i = 初期浸入能 (m/min); i_f = 最終浸入能(m/min); \bar{A} = 平均通水断面積(m²). 本研究においては畦間灌漑導入畑において流入流量と畦間湛水量を測定し、魚雷型監視センサーによって得られた水足前線曲線と併用して、上記の二つの数理モデルを SAS 統計解析ソフトウェアを用いて評価した。モデル評価

についての結果を Table. 1 及び、Fig. 4, Fig. 5 に示す。水足前線推定モデルおよび土壤浸透能推定モデルにおける、予測値と実測値との決定係数はそれぞれ 0.985、0.976 と非常に高い結果が得られた。

Table 1. Regression analysis of wetting front advance and cumulative infiltration

Parameters of the wetting front advance equation			Parameters of the semi-empirical cumulative infiltration equation			
ξ_{\max} (m)	c	r^2	A (m ²)	$\sigma_2 i_i$ (m ³ /min)	$\sigma_2 i_f$ (m ³ /min)	r^2
200.7	0.0158	0.985	0.0044	0.000295	0.000187	0.976

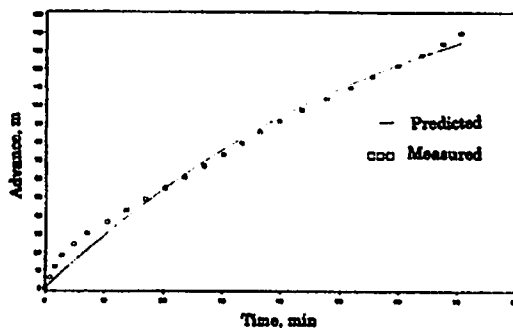


Fig.4 Experimental versus predicted wetting front advance

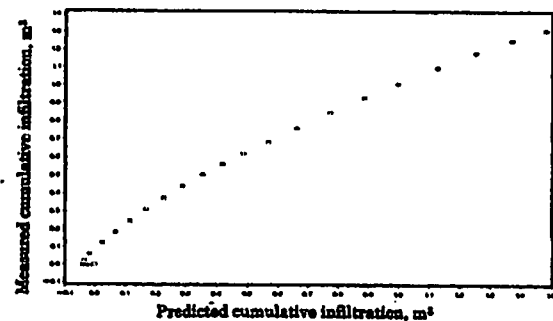


Fig.5 Experimental versus predicted cumulative infiltration values

4. 結論

畦間灌漑の自動制御の実用化に向けての一つのアプローチとして、水足の動向を自動監視する魚雷型監視センサーを開発した。また、センサーによって得られたデータを用い、灌漑水の土壤浸透能推定モデルの評価も行った。モデル評価においては、予測値と実測値の相関関数が非常に高いことから、効率的水管理のための一つの重要なパラメーターとしての、モデルの実用化への可能性を示した。

5. 参考文献

Upadhyaya, S. K. and Raghuwanshi, N. S. (1999): Semiempirical infiltration equation for furrow irrigation system. J. Irrig. And Drain. Div., ASCE, Vol. 125, No. 4.