

ライシメータの下端圧力制御システムの開発

土壌圏循環学研究室 518310 上田隼輔

(指導教員:坂井 勝)

1 はじめに

蒸発散量の把握は、適切に農地の水管理を行う上で必要不可欠である。圃場における蒸発散量の測定は難しく、その方法の一つとして、周辺土壌を再現した土壌カラムの重量変化を測定する重量ライシメータがある。しかし従来のライシメータは、下端の影響で、周辺圃場の水分条件を再現できないという問題点があった。そこで、カラム下端の土中水圧力と周辺土壌の同深度の土中水圧力が一致する様にライシメータ下端へ給排水する、下端圧力制御システム搭載のスマートフィールドライシメータが開発されている。一方、日本の様に降雨が多く土壌水分変化が激しい現場では、2つの圧力値を一致させるために給水ポンプと排水ポンプが交互に常に稼働し、ポンプに負荷がかかっていた。

本研究では、ポンプの稼働時間が短く、下端圧を外部圧値近傍に制御するライシメータの下端圧力制御システムの開発を目的とした。

2 方法

2.1 ライシメータ

本研究では、直径・高さが 30 cm のライシメータを使用した(図1)。ライシメータの下端部には給排水口のポーラスカップと下端圧測定用テンシオメータが設置され、珪砂が充填されている。用いた珪砂の水分特性曲線の空気侵入圧は-100 cm 程度で、水分量変化に対する土中水圧力 h の変化は、 $h > -100$ cm の水分飽和領域で大きく、 $-100 > h > -500$ cm の領域では小さい。ライシメータに付属するフィールドボックスの中には、給水・排水用のぜん動式ポンプ2つが設置されている。外部圧測定用テンシオメータを用いて、別途周辺土壌の土中水圧力を測定する。また、ライシメータ内部の上部から 5、15、25 cm 深に水分計と圧力計を設置した。

2.2 下端圧力制御システムの開発

データロガーCR1000(Campbell 社)に給水・排水ポンプ、および下端圧・外部圧測定用テンシオメー

タを接続し、CRBasic Editor で制御プログラムを作成した。ライシメータ下端部において、給水・排水口と下端圧測定用テンシオメータの空間的な配置と、珪砂内の圧力伝播により、給水・排水ポンプの稼働と下端圧の反応に時間差が生じる。そこで、下端圧が目標値である外部圧とある幅の中で一致する制御を目指し、外部圧に一定の値を考慮した圧力値を上下の閾値とした。ここで、下端圧が上下の閾値を越えたら外部圧と一致するまで給水・排水ポンプを稼働する圧力による制御方法(方法①)と、下の閾値を超えたら設定した短時間給水ポンプを稼働する稼働時間による制御方法(方法②)という2つの方法を検討した。

2.3 検証実験

開発した下端圧力制御方法を検証するために、三重大学構内の B 棟で室内実験を行った。ライシメータに三重大附属農場の土(2 mm ふり通過分)を充填した。定圧ポンプを外部圧測定用テンシオメータに接続し、外部圧一定条件下で実験を行った。ここで、対象とする三重大附属農場内畑地において 30 cm 深の圧力変化は0~-200 cm 程度であるため、外部圧を-60 cm、-200 cm に設定した。また、外部圧に対し閾値を $\pm 5 \sim 30$ cm に設定した。下端圧・外部圧の変化と、給水・排水ポンプの稼働時間を 10 秒間隔で測定した。

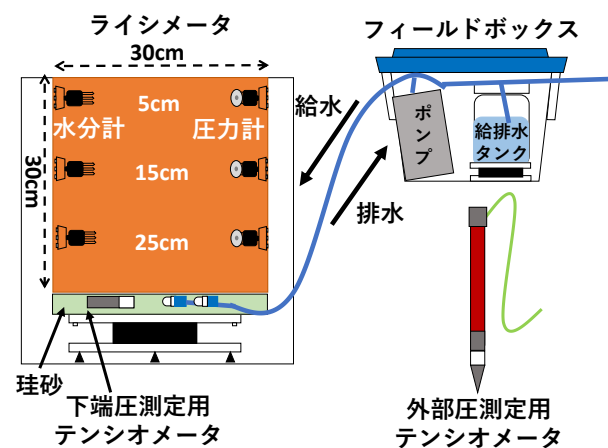


図 1 ライシメータの概略図

3 結果

3.1 圧力による制御の結果

圧力による制御(方法①)について、外部圧 -200 cm(閾値 ± 5 cm)を与えた場合の、下端圧・外部圧の変化とポンプ稼働の結果を図2に示す。給水・排水ポンプ停止後も下端圧の増減が続き、ポンプ稼働と下端圧の応答に時間差が生じた。外部圧 -200 cmの場合、給水時は短時間(2分)で下端圧が上の閾値を大きく超えて上昇したが、排水時は長時間かけて(7時間)低下した。これは珪砂が不飽和状態であるため、ポンプ稼働に対する排水効率が低いためだと考えられる。その結果、排水が24時間の内14時間生じ、長時間排水ポンプが稼働した。

方法①について、外部圧 -60 cm(閾値 ± 30 cm)を与えた場合の結果を図3に示す。この時の横軸の経過時間は秒であることに注意する。下端圧は閾値のおよそ範囲内にとどまったが、約2分間という短い周期で上下の閾値に到達し、給水・排水ポンプが30秒ごとに交互に稼働した。これは、珪砂が飽和状態であるため、 -200 cmに比べて排水ポンプの稼働による下端圧の反応が速いためだと考えられる。そのため、計測中の約8割の時間ポンプが稼働し、短時間で頻繁に稼働と停止を繰り返すことから、ポンプへの負荷が大きいと言える。方法①では下端圧を外部圧に近づけることが難しく、ポンプの稼働時間が長い。

3.2 稼働時間による制御の結果

稼働時間による制御(方法②)について、外部圧 -200 cm(閾値 ± 10 cm)、給水ポンプ稼働時間を20秒に設定した時の結果を図4に示す。給水ポンプが20秒稼働後、下端圧は上の閾値まで上昇したが、方法①に比べて(図2)上がり幅は小さかった。その後、排水ポンプが約40分稼働し、下の閾値に再び到達するまでに6時間程度ポンプは停止した。ポンプの稼働時間は25時間の内80分程度と短く、下端圧も外部圧 ± 10 cmの範囲内で制御することができた。25 cm深の土中水圧力と水分量の測定結果は ± 10 cmの変動の影響は受けず、設定外部圧に対応した値を示した。稼働時間による制御方法は、ポンプの稼働時間が少ないため負荷が小さく、下端圧をある程度の圧力範囲内で制御できる方法だと考えられる。一方、ポン

プ稼働時間の設定は経験的なものになり、外部圧 -60 cmの場合については今後より詳細な検証が必要である。

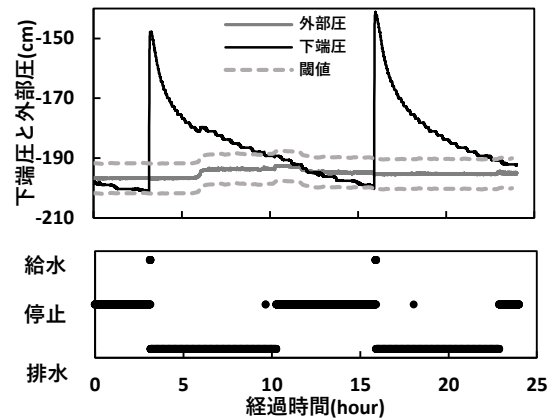


図2 圧力による制御、外部圧 200 cm(閾値 ± 5)の外部圧と下端圧(上)、ポンプ稼働(下)

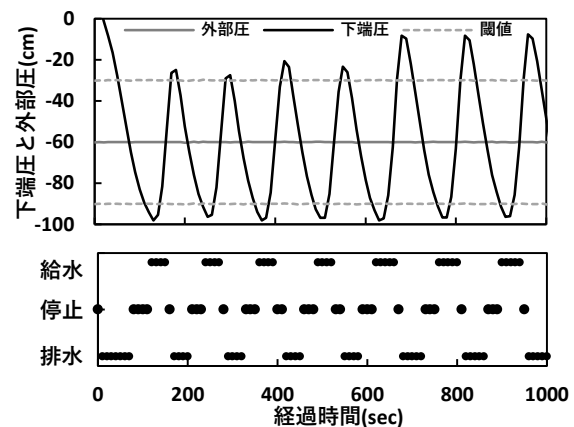


図3 圧力による制御、外部圧 60 cm(閾値 ± 30)の時の外部圧と下端圧(上)、ポンプ稼働(下)

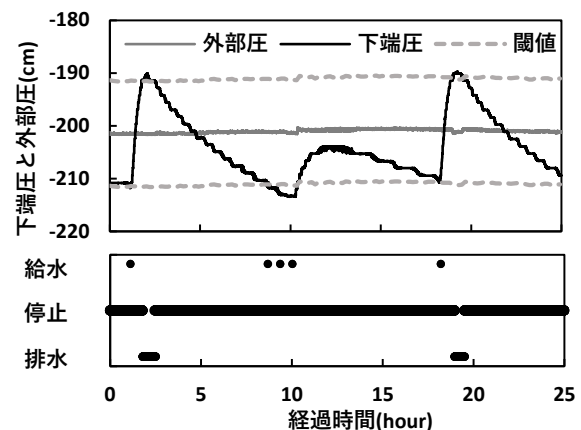


図4 稼働時間による制御、外部圧 200 cm(閾値 ± 10)の時の外部圧・下端圧(上)、ポンプ稼働(下)