

スマートフィールドライシメータの下端圧力制御システムの検証

土壌圏循環学研究室 520312 片桐悠偉

(指導教員:坂井 勝)

1. はじめに

土壌から大気への水分放出である蒸発散を定量的に評価することは、農地での適切な水管理や農地の水循環の解明につながる。蒸発散の測定方法の一つに、土壌を充填したシリンダの重量変化をロードセル等で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、例えば降雨時にシリンダ下端に水が溜まり、圃場の土壌水分条件を再現できないという課題があった。そこで、シリンダ下端と周辺土壌の土中水圧力が一致するように、ポンプでシリンダ下端に給排水する、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た。上田(2021)は、外部圧に対してある程度の閾値の範囲内で下端圧を制御する方法を開発し、ポンプ稼働の負荷を軽減した。また住田(2022)は、屋外で下端圧制御の現場検証を行った。しかし、この研究では下端圧-20~-30 cm という湿潤領域の限られた圧力範囲での検証であった。そこで本研究では、より広圧力範囲で下端圧力制御システムの検証を行った。

2. 方法

2. 1 ライシメータ

直径 30 cm 高さ 50 cm のライシメータを使用した(図 1)。下端部には下端圧測定用のテンシオメータと給排水口のポーラスカップを設置し、珪砂を充填した。下端部のポーラスカップは給排水ポンプと繋がっており、ぜん動式ポンプで給排水を行った。またシリンダ上部には三重大学附属農場の畑土(2 mm ふるい通過分)を 30 cm 充填した。目標となる設定圧±10 cm の範囲で下端圧が一致する様に、給排水ポンプを制御した。下端圧が設定圧の上限値や下限値に達した際に、それぞれ排水ポンプと給水ポンプを一定時間稼働する様に、データロガー CR1000X で制御した。

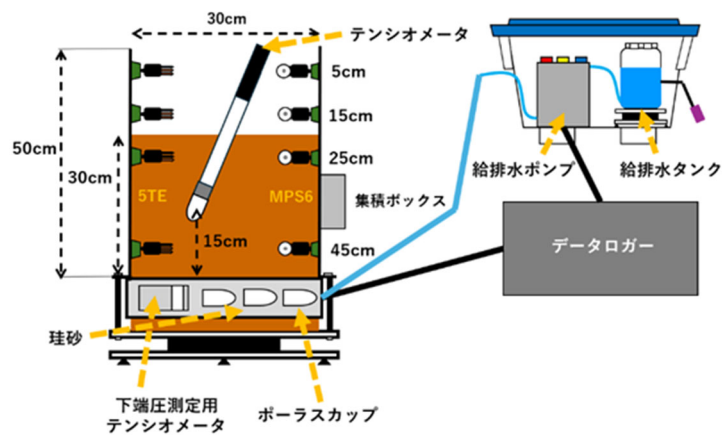


図 1 ライシメータの概略図

2. 2 研究方法

実験は、三重大学構内の B 棟内で行った。任意の設定圧を与えた際の下端圧の変化と給水・排水ポンプの稼働時間を 10 秒間隔で測定した。設定圧は珪砂の水分特性曲線(図 2)に基づき与えた。珪砂が不飽和状態での排水ポンプ稼働は、水と一緒に空気も吸い込むため、本来ポンプに負荷をかける可能性がある。しかし、畑地において短期間でも低圧領域での制御が必要になる場合があるため、その際の下端圧応答は把握する必要がある。そこで珪砂が飽和状態の-20, -80, -110 cm, および不飽和状態の-200, -300 cm を設定圧とした。また下端から 15 cm 上にテンシオメータを設置し、土中水圧力の変化を測定した。

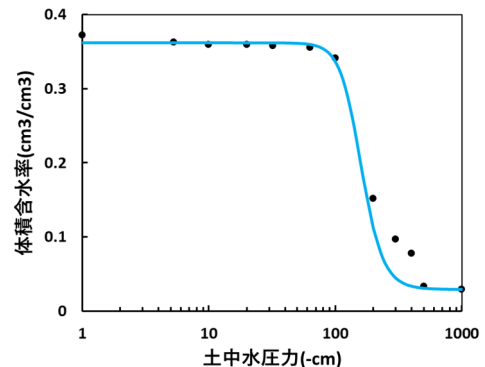


図 2 ライシメータの概略図

3. 結果

設定圧-20 cm の下端圧の時間変化, ポンプ稼働状況, 下端から 15 cm 上の土中水圧力を図 3 に示す。下端圧が下限値-30cm まで低下すると給水ポンプが稼働し, -25~-30 cm の範囲で上下動を繰り返した。下端圧の変動間隔とポンプ稼働間隔が時間と共に長くなっている。これは測定開始時にシリンダ内の土が乾燥していたためであり, 下端と土壌の圧力差が徐々に小さくなるにつれて, 平衡状態に近づいていったと考えられる。測定期間 40 時間のうち給水ポンプがおよそ 9 分稼働し, 時間割合としては 0.3 % 程度である。設定圧-80 cm では, 計測時間 40 時間に対して給水ポンプがおよそ 1 分(0.04 %), 設定圧-110 cm では, 45 時間でポンプ稼働はなかった。ポンプ稼働が少なかった理由は, 下端珪砂とシリンダ内土壌の圧力が平衡に近かったためであり, -20 cm についても平衡状態であればポンプ稼働は更に少なくなると考えられる。

設定圧-200 cm の結果を図 4 に示す。下端圧が上限値に達したときに排水ポンプが稼働し, 下端圧は-190~-200 cm の範囲で変動した。下端圧が上昇しているのは, 上部の土から下端部に水が流入したためである。排水ポンプの稼働時間はおよそ 1 時間で, 測定期間 35 時間の 2 % であり, 飽和状態の-20, -80, -110 cm と比べて稼働時間が長かった。設定圧-300 cm の結果を図 5 に示す。測定開始直後, 下端圧は閾値の範囲内を出た。上限値を大きく超えたわけではないが範囲内に戻るのに排水ポンプがおよそ 15 時間稼働した。これは測定期間 40 時間の 37.5 % であり, 同じ不飽和の-200 cm と比べて長時間稼働した。これは低圧状態になるにつれ, 珪砂の透水性が悪くなり下端圧が変化しづらくなるからだと考えられる。以上より珪砂が飽和状態および不飽和でも-200 cm 程度のときでは, ポンプの稼働時間が少なく, 下端圧を制御することができる。一方で-200 cm より低圧状態になると, ポンプ稼働による負荷が大きくなる可能性があることを留意する必要がある。

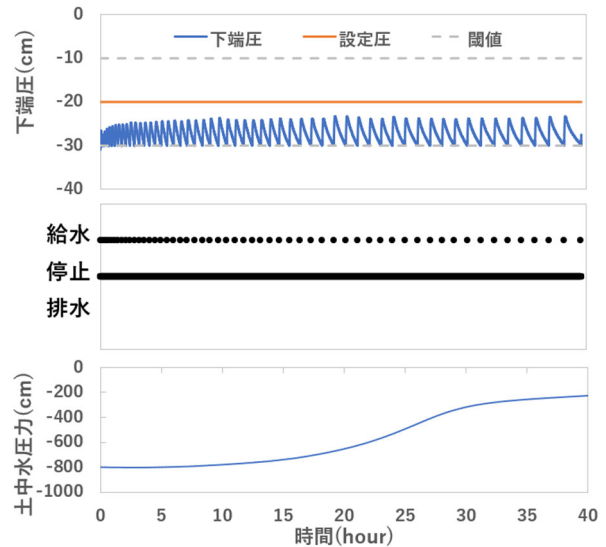


図 3 設定圧-20 cm のとき

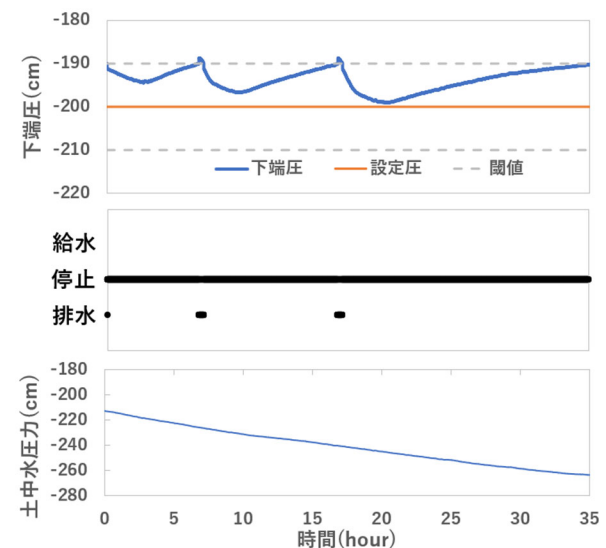


図 4 設定圧-200 cm のとき

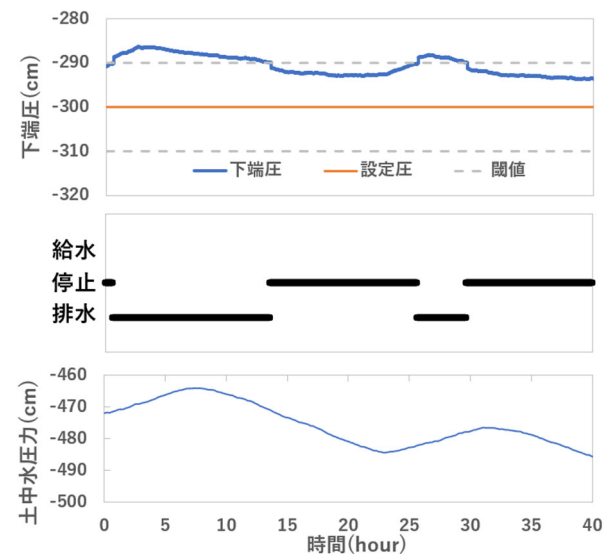


図 5 設定圧-300 cm のとき