

学 位 論 文 要 旨  
SUMMARY OF DOCTORAL THESIS

氏名 Name: 河合 隆行

題目 Title: 砂丘地における降雨浸透および地下水流動特性

Percolation Mechanism and Groundwater Flow System at Sand Dune

乾燥・半乾燥地での農業生産に用いられる灌漑水は主として地下水に依存する。また、乾燥・半乾燥地に広く広がる砂地は、地下水涵養能の高さから水源涵養機能が期待されている。しかし、砂地での長期水文観測手法が限られてきたため、降雨浸透や地下水流動のプロセスには未解明の部分が多い。

そこで本研究では、まず、従来限界のあった砂地における基本的な土壌水分・地下水モニタリング手法を提案し、その性能の検証も行った。また、この種々の手法を用いて鳥取大学乾燥地研究センターの研究用砂丘斜面において諸水文量を3年間に渡りモニタリングし、砂地の基本的な地下水涵養システムを明らかにした。これらの詳細については次のようにまとめられる。

本論Ⅱ.では、研究の基礎となる観測対象地の地形・地質について検討した。0.241 km<sup>2</sup>の面積を有する砂丘斜面にて合計7400地点の詳細な地形測量を行い、地形図を作成した。また、地質を同定するため、砂丘地にて深度20m前後の簡易貫入試験を18地点で行った。簡易貫入試験と併せてボーリング掘削も行った。それらの結果をもとに凝灰角礫岩盤の基盤地質図を作成した。結果として、地形と地下基盤の形状は一致しておらず、地下水流動に基盤形状が大きな影響を与えている可能性が示唆された。また、斜面の一部には難透水性の火山灰層が層状に堆積していた。砂地における土壌水分・地下水モニタリングを行うには、これら基盤や難透水性の火山灰層の影響を考慮した精密・高精度な水文観測が必要であるとの結論を得た。

本論Ⅲ.では砂地盤での鉛直方向への掘削手法と土壌水分センサの校正方法を新たに提示した。砂地における縦孔の掘削方法としては集塵機を用いた「吸引掘削法」を開発した。吸引掘削法は一人での作業が可能であり、20mの掘削を約70分で終了することができる。また、機械掘りやハンドオーガー法と比較して約10倍の速さで掘削でき、コストの面や施工者を選ばないという特性をもつ。これらの性能は砂地における観測孔掘削方法として有用性が高いと考えられた。特徴的な水分保持特性を有する砂地盤での土壌水分センサの校正法として、減水方式の校正方法を発案した。この減水方式校正方法により、高水分領域から低水分領域までの幅広い校正が精度よく行えた。また、校正の度にセンサロッドを抜き差しする必要がなくなったため、乾燥密度やセンサロッドと試料の接触程度が等しい条件下での校正が可能となった。

本論Ⅳ.では、現地モニタリングの結果をもとに砂地の不飽和帯における降雨浸透プロセスの解析を行った。その結果、砂地の不飽和帯全層の土壌水分量の賦存状態は均一ではな

く、乾湿互層状態になっていることを明らかにした。また、降雨浸透イベントを検討した結果、砂地の浸透形態は土壌水分量の増減が単独で波状に下降していく単波動形式であった。この単波動の浸透波は全ての浸透イベントにおいて速やかに地下水面にまで到達せず、土壌水分量の初期条件にある程度依存するものの、およそ連続降水量が 40mm 以上の場合にのみ、10.0m の不飽和帯全層を通過する大きな浸透波が発生した。そのため、その年の降水特性にもよるが、浸透波の到達による地下水涵養は年間で 10 回以下しか発生していない。この浸透波の進行速度は降雨期（5,6,7,8,9 月期）と降雪期（12,1,2,3 月期）で大きく異なる。降雨期には深度 4.0m までの到達に約 60 時間、降雪期には深度 4.0m までに約 190 時間を要する。浸透波の進行速度が降雪期で 2 - 3 倍遅い理由として浸透水の温度に起因する粘性の違いが原因と考え、温度を考慮した不飽和浸透シミュレーションにより明らかにした。また、鉛直方向の砂層構造変化が浸透・土壌水分賦存量に与える影響を評価するため、深度ごとの粒度分析、強熱減量や、分解能の高い 2kg のランマーを用いた簡易貫入試験や実施した。結果として、不飽和帯で土壌水分が滞留する部位ではかつ強熱減量も大きかった。これらから、断言はできないが同じ深度で土壌水分が停滞することが繰り返されることで、砂粒子が風化・細粒化し、時間経過とともに土壌水分の停滞が進行するとも考えられた。また、Nc2kg を用いて、砂層中の鉛直方向の葉理構造を求められることが明らかになった。この葉理構造による層区分は、土壌水分の乾湿互層状態と良く一致しており、葉理構造が砂丘の不飽和層の土壌水分挙動を大きく左右する因子であることが示された。そこで葉理構造が浸透プロセスや土壌水分の賦存状態を左右することを確認するため、不飽和浸透シミュレーションを実施した。乾湿互層となる土壌水分の鉛直プロファイルが砂粒分の鉛直プロファイルを考慮することで再現できた。

本論 V. では、数年間に及ぶ毎日の地下水観測結果をもとに、地下水流動特性の解析を行った。年間の地下水位の変動は数 0.1 - 3.0m 程度であり、より不飽和帯域の厚い地点ほど水位変動が大きかった。地下水位のピークは年に 2 回あり、梅雨・台風期と融雪期の後と合致する。また、地下水位の変動では、不飽和帯が 3.0m 以下である地域、また、火山灰層の分布域および基盤岩の迫り出している地域では、降水イベント毎に地下水位の変動が現れた。不飽和帯が 3.0m 以下である地域では、ほとんどの連続降水量イベントの際に深度 3.0m 付近まで浸透波が到達するため、地下水位が変動する。火山灰層の分布域および基盤岩の迫り出している地域では、不飽和・飽和の側方浸透流が卓越するため地下水位が変動する。また、水理水頭値の解析により、観測斜面における地下水の流動域、流出域の区分が明らかになった。次に地下水位の変動量マップを作成し、降水イベントによる地下水位変動が日を経るごとに斜面上方へ移動する現象を捉えた。この現象を水の高まりが伝播・拡散していく、地下水の波及現象とした。この地下水波及現象により、不飽和帯中で浸透波が未到達であるにも関わらず地下水位が変動する、地下水位先行変動現象を説明できることが示唆された。

本研究により、砂地での水文観測技術が向上し、不飽和帯から飽和帯までの連続した水文モニタリングが可能になった。また、砂丘での長期モニタリングの結果、砂地での降雨浸透特性が明らかになり、その特性を左右する因子も特定できた。加えて鳥取砂丘での地下水分状態および流動特性を明らかにし、斜面における地下水位先行変動現象を波及現象で説明できることを示した。