

氏名	中村公人
学位(専攻分野)	博士(農学)
学位記番号	農博第1027号
学位授与の日付	平成11年1月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	農学研究科農業工学専攻
学位論文題目	土層を利用した熱貯留に関する基礎的研究

(主査)

論文調査委員 教授 三野 徹 教授 高橋 強 教授 河地利彦

論文内容の要旨

本研究は、土層を利用した熱貯留技術の一つである帯水層熱エネルギー貯留技術(ATES)における蓄熱効率向上のための知見を得るために、飽和-不飽和土壌中の熱・水分同時移動現象を実験的、理論的に解明したものである。特に、室内実験では現場への適用性を考え、比較的規模の大きな土壌カラムを用い、土層は粒径の異なる2種類の砂土で成層化されている。実験より土壌中の熱・水分同時移動形態を把握するとともに、モデルによる解析を行い、その適用性と応用例までを言及している。

第1章では、ATESの適切な設計、管理、環境評価のためには、土壌中の熱・水分移動現象の解明と定量化が不可欠であることを述べている。

第2章では、飽和-不飽和土壌中の熱・水分移動現象に関するこれまでの研究成果を総括し、モデルの入力パラメータとしてその定式化が必要となる土壌特性値(土壌水分特性曲線、不飽和透水係数、水蒸気拡散係数、熱伝導率)に関する知見を整理している。

第3章では、本研究で行った「地下水位変動型」と「地下水位一定型」の熱・水分移動実験の概要を示している。前者では、地下水盆で囲まれ、外部との水の出入りがない場合を、後者では、周囲の帯水層あるいは河川、海などとの水の出入りがある場合を想定している。また、本実験に用いた砂土の各種土壌特性を示している。

第4章では、ATESにおける蓄熱効率向上のための手段として、地下排水によって形成される低水分量土層が帯水層中に蓄えられた熱エネルギーの損失に対して断熱効果の役割を果たすか否かを地下水位変動型の実験結果より検討している。その結果、低水分領域では熱伝導量が熱伝導率の低下とともに減少するが、それを補完するように水分移動に伴う熱移動が生じるため、帯水層からの熱損失は抑制されないことを明らかにしている。

第5章では、土壌中の熱・水分移動がどのような駆動力で、どの程度生じているのかを、地下水位一定型の実験結果から解析している。その結果、粒径の大きな不飽和土壌中では、熱伝導と温度勾配による水蒸気移動に伴う潜熱輸送が主な熱移動成分であることなどを明らかにしている。また、用いた粗砂の温度勾配による水蒸気拡散係数の補正係数が従来提案されてきた値より大きいことを示し、不飽和の粗砂層中では、水蒸気を含んだ空気の移流とそれに伴う熱移動機構が存在する可能性を示唆している。

第6章では、土壌中の熱・水分同時移動現象のモデル化を行い、地下水位変動型実験に対する数値解析を行っている。その結果、カラム内で形成される温度、水分環境での各種土壌特性値が適切に定式化されれば、モデルが有効であることを示している。特に、上端側が高温になるように温度勾配が形成されると、低水分領域において、温度勾配による水蒸気移動だけでなく、圧力水頭勾配による同移動、液状水移動とそれらに伴う熱移動が温度場と土壌水分量の形成に関わるため、これらの移動係数である不飽和透水係数や水蒸気拡散係数の定式化が重要となることを示している。さらに、モデル運用の実用性からモデルの単純化の可能性を検討している。その結果、下端側が高温になるように温度勾配が形成される場合には、

圧力水頭勾配による水蒸気移動、水分移動に伴う顕熱輸送、圧力水頭・不飽和透水係数の温度依存性、温度勾配による水蒸気拡散係数の補正係数の省略もしくは簡略化が可能であることを明らかにしている。

第7章では、前章で有効と結論付けられたモデルを用いた応用例を示している。まず、蓄熱効率の面から有効な蓄熱帯水層システムについて検討を行っており、帯水層厚が大きいほど蓄熱効率が向上することなど、蓄熱帯水層選定の際の一助になるような知見を得ている。別の応用例では、乾燥寒冷地での食料保冷システムとして、冬季の冷熱を土壌中もしくは潜熱蓄熱システムに導いておいて、夏季にその蓄冷熱を食料保冷の熱源として利用する技術を提案しており、保冷に必要な熱負荷量を計算することにより、このシステムが理論的に可能であることを示している。

第8章では、以上の知見を要約するとともに、土壌を利用した熱貯留の解析における有用な知見を得ることができたことを強調している。

論文審査の結果の要旨

近年、自然エネルギーの利用技術の開発が注目を集めているが、その一つに帯水層熱エネルギー貯留 (ATES) がある。これは、地下の帯水層に温水または冷水を貯留しておき、それを道路の融雪、家屋冷暖房、ハウス栽培などの熱源として利用するものである。ATESの効率的な運用のためには、土壌中の熱・水分同時移動現象に関する知見が不可欠となる。

本研究は、室内実験とその解析により、実験的、理論的に土壌中の熱・水分移動形態を解明し、そのモデル化について言及したもので、評価できる点は以下の通りである。

1. 土壌中の熱・水分同時移動現象は土壌の水分特性 (土壌水分特性曲線、不飽和透水係数、水蒸気拡散係数)、熱的特性 (熱伝導率) に支配される。したがって、それらの決定法が重要になるが、特に、粒径が大きな砂土の不飽和透水係数の測定・推定法は確立されていないのが現状である。この研究の中では、長さ約1 mの土壌カラムを用いた排水試験からこうした粒径の大きな土壌の不飽和透水係数を精度良く推定する方法を提示している。これは、良好な帯水層を対象とする際の不飽和透水係数の決定に有効である。
2. ATESにおいては、貯留した熱エネルギーをいかに長期間保持するか、つまり蓄熱効率の向上が重要な課題となる。ここでは、地下排水によって形成される低水分土層が、蓄熱帯水層からの熱損失を抑制する低熱伝導土層となり得るかどうかを検討しており、低水分土層中での温度勾配による水蒸気移動に伴う熱移動によって、熱損失は抑制されないことを明らかにした。
3. 粒径の大きな土壌中で生じる水蒸気移動には、水蒸気拡散による成分以外に水蒸気を含んだ空気の移流に伴う成分が含まれていることを推論しており、こうした成分を温度勾配による水蒸気拡散係数に含めることが可能であることを解析により実証した。
4. こうした水蒸気移動とそれに伴う熱移動も考慮した温度勾配下にある土壌中の熱・水分同時移動モデルは、土壌の各種土壌特性が適切に定式化されれば有効であることを明らかにした。また、温度勾配の重力方向に対する向きの違いによって、土壌特性値の必要な精度が異なることを示した。これはモデルの単純化への重要な知見である。
5. ここで用いられた土壌中の熱・水分同時移動モデルがATESまたは土層内蓄熱の理想的なシステム設計に利用可能であることを提示した。

以上のように、本論文では土壌中での熱エネルギーと水分の同時移動に関する現象の解明を行い、効率的なATESを計画・設計する上での貴重な知見を得ている。したがって、土壌物理学、地下水学、エネルギー工学の発展に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士 (農学) の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成10年11月16日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士 (農学) の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。