

氏名	馮 懷 平
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 2879 号
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 24 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	工 学 研 究 科 社 会 基 盤 工 学 専 攻
学位論文題目	Multiphase Deformation Analysis of Elasto-viscoplastic Unsaturated Soil and Modeling of Bentonite (弾-粘塑性不飽和土の多相変形解析とベントナイトのモデル化)
論文調査委員	(主 査) 教 授 岡 二 三 生 教 授 松 岡 俊 文 准 教 授 木 元 小 百 合

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、不飽和土の弾粘塑性モデルを構築するとともに、不飽和シルトの三軸試験結果を弾粘塑性有限要素解析法によってシミュレーションし、その有効性を明らかにするとともに、不飽和ベントナイトの膨潤挙動のモデルによって室内膨潤試験に適用し、廃棄物遮蔽構造のベントナイト膨潤による変形を明らかにした成果をまとめたものであり、序論、結論を含め7章から成る。

第1章は序論であって、本研究の背景となる不飽和土の構成式および膨潤性粘土に関する諸問題、不飽和土の解析法の従来の研究成果について述べるとともに、本研究の目的および各章の概要を示している。

第2章では、不飽和土の力学的な取り扱いに必要な応力変数について既往の研究及び特徴についてレビューするとともに、3相混合体の立場から考察し、不飽和土の解析では、全応力と平均間隙水圧の差である骨格応力とサクシオンを応力変数として用いていることが有効であることを示した。サクシオンは実際には、構成式のパラメータに取り込むことが合理的であり、飽和土のコラプス現象も記述しうる。構成式としては、飽和粘土に対して提案されている構造劣化を考慮し得る弾粘塑性構成式に対して、静的な降伏曲面と過圧密境界面をサクシオンの関数とし、サクシオンの減少とともに、これらの曲面が縮小するとの仮定を用いてサクシオンの効果を構成式に導入している。さらに、空気-水-土の3相混合体理論に基づいた updated Lagrangian 法による不飽和土の変形解析のための有限要素法を導いている。

第3章においては、第2章で導いた不飽和土の弾粘塑性構成式と三相多孔質体理論に基づいた多相系3次元有限要素法によって、DLクレイに対する排気排水および非排気-非排水三軸試験のシミュレーションを行い、応力-ひずみ曲線、間隙水圧および空気圧を再現し、実験結果を提案法はよく再現することができることを示している。排気試験の解析では、サクシオンが大きくなるほど強度は増加し、体積圧縮が減少すること、ひずみ速度効果は小さいが無視できないことも解析によって再現されている。また、非排気-非排水試験での空気圧、水圧、サクシオン、応力径路や応力-ひずみ関係もよく再現されている。

第4章では、交通荷重や地震時の不飽和土の挙動の解析のため必要な繰り返し構成式を誘導するため、アームストロングなどによって導入された非線形移動硬化則により弾粘塑性構成式を拡張している、さらにこの提案式を用いて繰り返し載荷時の不飽和シルトの繰り返し非排気-非排水三軸試験結果を解析し、定量的には今後の研究が必要であるが定性的にはよくその挙動をよく予測している。解析では実験結果に比べ、ひずみの予測が過剰であり、サクシオンの変化が小さい。

第5章では、廃棄物遮蔽材として工学的に有用な地盤材料であるベントナイトの膨潤特性を粘土結晶間への水の吸収を内部変数を用いてモデル化している。モデル化では、水イオンの吸収による体積膨張の項を新たに付加するとともに、吸水による自由間隙の減少による硬化現象を構成式に取り入れた。このようにして膨潤挙動を取り入れたベントナイトの構成式をもちいて、一次元膨潤試験結果に適用し、膨潤圧の時間的な変化や膨潤圧力がピークに達したあと減少する現象を解明している。膨潤特性が、乾燥密度と含水比の影響を受けることを解析でも示し、定量的な膨潤圧の予測が可能となった。

第6章では、岩盤内に建設が構想されている廃棄物遮蔽構造のモデルに対する2次元3相有限要素解析により、浸透によるベントナイトの膨潤圧が周辺の地盤や構造物に与える効果を明らかにし、廃棄物遮蔽構造の設計に対して有用な情報を得ている。

第7章は結論として、本研究によって得られた結果をまとめるとともに、今後の課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、不飽和土の弾粘塑性モデルを構築するとともに、不飽和シルトの三軸試験結果を弾粘塑性有限要素解析法によってシミュレーションし、その有効性を明らかにするとともに、不飽和ベントナイトの膨潤挙動のモデルによって室内膨潤試験に適用し、廃棄物遮蔽構造のベントナイト膨潤による変形を明らかにした成果をまとめたものであり、得られた成果は以下のとおりである。

1. 不飽和土の力学的な取り扱いに必要な応力変数について考察し、不飽和土の解析では、全応力と平均間隙水圧の差である骨格応力とサクションを応力変数として用いていることが有効であることを示した。構成式としては、飽和粘土に対して提案されている構造劣化を考慮し得る弾粘塑性構成式に対して、静的な降伏曲面と過圧密境界面をサクションの関数とし、サクションの減少とともに、これらの曲面が縮小するとの仮定を用いてサクションの効果を構成式に導入している。

2. 提案構成式を、不飽和シルトであるDLクレーの単調負荷条件下で行われた三軸排水及び非排水試験に対して適用し、新たに開発した空気-水-土の三相混合体理論に基づいたupdated Lagrangian法による有限要素法によって、応力-ひずみ曲線、間隙水圧および空気圧を再現することに成功している。

3. 交通荷重や地震時の不飽和土の挙動の解析のため、非線形移動硬化則の導入により拡張した弾粘塑性構成式を用いて繰り返し載荷時の不飽和シルトの繰り返し非排気非排水試験結果を解析し、定量的には今後の研究が必要であるが定性的にはよくその挙動をよく予測している。

4. 廃棄物遮蔽材として工学的に有用な地盤材料であるベントナイトの膨潤特性を粘土結晶間への水の吸収を内部変数を用いてモデル化するとともに、吸水による自由間隙の減少による硬化現象を構成式に取り入れたベントナイトの構成式を提案し、一次元膨潤試験結果に適用して、その有効性を明らかにしている。

5. 廃棄物遮蔽構造のモデルに対する二次元解析により、浸透によるベントナイトの膨潤圧が周辺の地盤や構造物に与える効果を明らかにし、廃棄物遮蔽構造の設計に対して有用な情報を得ている。

以上、本論文は、不飽和土の3相系弾粘塑性モデルを提案し、その有効性を明らかにするとともに、工学的に重要な廃棄物遮蔽材であるベントナイトのモデルを提案しその有効性を明らかにしたものであり、学術上、實際上寄与するところが少ない。よって、本論文は、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成20年1月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。