氏　　名	郭　思良
学位の種類	博　士（工　学）
学位記番号	博　甲　第　　８８１６　　号
学位授与年月日	平成　３０年　９月　２５日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当
審査研究科	システム情報工学研究科
学位論文題目	Numerical Application of SPH Method for Large Deformation Problems in Geotechnical Engineering （地盤工学の大変形問題に対する SPH 法の適用）

主　　査	筑波大学　教授	博士(工学)　松島　亘志
副　　査	筑波大学　准教授	博士(工学)　庄司　学
副　　査	筑波大学　助教	博士(工学)　田中　聖三
副　　査	筑波大学　助教	博士(工学)　山本　亨輔
副　　査	京都大学　教授	博士(工学)　渦岡　良介

論　文　の　要　旨

審査対象論文は，粒子法の一種である SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法を，地盤工学の大変形問題に適用する際の諸課題について検討したものである．SPH 法は連続体の大変形問題を簡便に解析できる手法であり，地盤工学の問題に対しても多くの適用例がある．しかしながら，精度の良い解析を行うためには，細かな手法やアルゴリズムの取捨選択が必要であり，どのような場合にどのような手法が適しているかの指針が明確になっておらず，汎用解析手法として用いる際の障壁となっている．本論文は，最新の文献から得られる，様々な手法・アルゴリズムについて，数種類の代表的な構成モデルとともに，いくつかの基本的な解析を行って，それらの有効性や欠点などを洗い出して，統一的な視点からの整理を試みている．得られた知見は，今後の SPH 法の汎用コード化に大きく資するものである．

また，それらの検討を踏まえた上で，(1)液状化地盤の流動に伴って基礎杭へ作用する流動圧の評価，(2)崩壊斜面の流動量評価，という，地盤工学に関わる２つの重要な大変形流動問題に対して，SPH 法解析による検討を行っている．(1)に関しては，模型実験との比較を通して，よく用いられる粘性流体モデルやビンガムモデルでは，パラメータを調整しても，杭周りの流動速度場と，杭に作用する流動圧を両方を合わせることはできず，２相系モデルなどの詳細モデルが必要となることを示した．また(2)に関しては，固体粒子集合体の解析手法としての個別要素法による解析結果と比較して，SPH 解析に用いた μ(I)レオロジーモデルの適用性や限界について検討を行っている．得られた知見は，SPH 法の適用性の検証のみならず，地盤の複雑な流動挙動の解明にも資するものである．

審　査　の　要　旨

【批評】

論文前半は，SPH 法に関する基礎的検討である．これまで SPH 法は多くの地盤材料の大変形・流動解析に用いられてきたが，元々の SPH 法は，固体材料の表現や境界面での表現に問題があり，その対処のために様々な手法・付加アルゴリズムが提案されてきた．しかしながら，それらの手法は，特定の境界値問題に対して提案され，有効性が検証されているのみで，汎用的な有効性についての議論が十分なされていないのが現状である．本研究は，そのような現状に対して，より良い新手法を提案するのでなく，既存の手法を様々な条件下で比較し，その有効性や問題点を議論している．最終的にどのような手法の組み合わせが最適か，といった指針までは提案できていないが，汎用解析手法として SPH 法を位置づけるために重要な知見を得ていると評価できる．

論文後半は，SPH 法を用いた応用研究である．現状の地盤工学に関わる多くの数値解析は有限要素法で行われることが多いが，地盤が混合されながら流動する大変形問題に関しては，汎用的な解析手法が確立していない．本論文では，その中でも工学的に重要な(1)液状化地盤の流動に伴って基礎杭へ作用する流動圧の評価，(2)崩壊斜面の流動量評価，に対して SPH 法を用いて検討を行っている．

(1)に関しては，いくつかの研究や設計指針において，流動する液状化地盤を等価な粘性流体またはビンガム流体としてモデル化することが行われている．その場合は，実験や観測などと合うように粘性係数や降伏応力の値が決められることになるが，その理論的根拠は乏しい．本論文では，注意深く設計された模型実験によって杭に作用する流動圧と杭周りの粒状体(ポリスチレンビーズ)の流動場を計測し，上述の等価流体モデルでは，パラメータを調整しても，両者をきちんと合わせることはできないことを示している．これは，群杭などで地盤の流動に対する幾何学的拘束が付与されたときの流動圧の算定などに影響を及ぼす重要な知見である．

(2)に関しては，特に粉体物理の分野で近年活発に研究がなされている μ(I)レオロジーモデルに対して，固体粒子集合体の解析手法としての個別要素法(DEM)による解析と SPH 法による解析結果とを比較して，モデルの適用性や限界について検討を行っている．特に，個別要素法で表現される様々な粒子物性に対する流動特性の変化を SPH 法で再現できるかの検討，通常行われている定常流れだけでなく，流動開始から流動終了までの非定常流れについての適用性の検討，などの知見は，SPH 法の適用性検証のみならず，地盤の複雑な流動挙動の解明にも資するものである．

以上を総合的に判断して，本論文は博士(工学)の学位にふさわしい学位論文であると評価できる．

【最終試験の結果】

平成 30 年 7 月 31 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。