



岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

CIP-based numerical analysis for large deformation of geomaterials

メタデータ	言語: eng 出版者: 公開日: 2008-02-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 森口, 周二 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12099/1965">http://hdl.handle.net/20.500.12099/1965</a>

氏名(本籍)	森口周二(福井県)
学位の種類	博士(工学)
学位授与番号	甲第 244号
学位授与日付	平成 17年 3月 25日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	<b>CIP-based numerical analysis for large deformation of geomaterials</b> (CIP法に基づいた地盤材料の大変形解析)
学位論文審査委員	(主査) 教授 八嶋 厚 (副査) 教授 杉戸 真太 教授 佐藤 健 助教授 張 鋒 教授 中井 照夫

## 論文内容の要旨

地盤工学における大変形問題には、工学的に重要な問題が多く含まれている。近年特に重要視されている問題として、液状化地盤の側方流動や土砂災害がある。液状化地盤の側方流動は、1983年の日本海中部地震を契機に研究が進められ、その被害が多く報告されている。また、土砂災害に関しては、2001年に土砂災害防止法が施行され、危険範囲の指定や住民への情報提供などのソフト対策の推進が明確化された。また、そのような地盤が広範囲にわたり流動するような問題だけではなく、杭貫入に伴う杭周辺地盤の乱れによる支持力の低下や、サンプリング時の採取試料の乱れなども重要な問題である。しかし、現状では、それら的大変形問題を精度よく数値解析で再現することは困難である。地盤の変形解析には、有限要素法などの Lagrange 表記法に基づく手法が広く用いられており、大変形領域では、解析メッシュが大きく変形し、数値解析の精度が著しく低下するためである。ALE (Arbitrary Lagrangian-Eulerian) 法などを用いることにより、ある程度までの変形を再現することが可能であることが確認されているが、地盤の流動を伴うような大変形問題への適用は難しい。また、粒子法やフリーメッシュ法による地盤の大変形解析も報告されているが、パラメータの設定が難しく、実務で広く用いられるまでには至っていない。

近年の大変形解析の分野では、固体力学に基づく解析手法とは全く異なる考え方による解析手法が提案されている。その手法では、地盤材料を粘性の変化する流体と仮定し、流体力学に基づいて解析を行う。この流体力学に基づく解析手法では、Euler 表記法による表現となるため、解析メッシュは空間に固定され、大変形領域でも解析メッシュが変形しない。そのため、大変形領域でも精度が低下することはない。既に、この手法を用いて、土砂流動や液状化地盤の側方流動など、いくつかの解析事例が報告され、その有効性が確認されている。本研究でも、流体力学の分野で高度に発展した CIP(Constrained Interpolated Profile)法を用いて地盤の大変形を取り扱う。しかし、これまでに提案されている地盤の変形問題に適用された流体力学に基づく数値解析手法には 3 つの問題点が残されている。1つ目は、それぞれの手法の適用範囲が狭く、汎用性に乏しいという点で

ある。2つ目は、解析パラメータの物理的な意味が薄く、解析に用いるパラメータを決定することが困難という点である。3つ目は、計算における数値不安定性である。本研究では、これらの問題点を解決し、種々の地盤の大変形問題に対して CIP 法をベースとする解析手法を提案し、その有効性及び適用範囲を明らかにすることを目的とする。

本研究では、地盤材料の変形特性を表現するために、モール・クーロンの破壊規準を考慮できる Bingham 流体モデルを提案した。これにより、地盤材料の内部摩擦角と粘着力をパラメータとして用いることが可能となった。また、材料の粘性が時間的、また空間的に急激に変化するために数値不安定性が発生することがわかったため、支配方程式の粘性項の計算に陰解法を用いることにより、この問題を解決した。

提案手法を用いて、粒状材料と粘性材料の流動解析を行った。解析結果から、提案手法が地盤材料の変形特性を適切に表現することができることが確認された。また、地盤中への剛体の貫入を解析し、貫入問題に対する有効性を確認した。しかし、地盤材料と剛体表面の摩擦の取り扱いについて課題を残した。

また、実現象を対象とした解析として、2003年に宮城県築館町で発生した土砂流動を提案手法を用いて再現した。現地で採取した試料を用いてスランプ試験を行い、それを数値解析で再現することにより解析に用いるパラメータの値を決定した。解析結果は、最大流動速度については実際の値よりも多少低い値となったが、到達距離や最終形状については実測値とほぼ一致した。

さらに、理論解が得られている現象との比較として、地盤の支持力問題に提案手法を適用した。重量を無視した粘性土地盤の支持力解析を行い、得られた結果を Prandtl の解と比較した。解析結果は Prandtl の解とほぼ一致した。

最後に、土砂の衝撃力に関する実験及び解析を行った。実験は、室内で模型斜面を作成し、流下する砂の衝撃力を測定した。また、斜面角度を変化させて、斜面角度による衝撃力の違いを確認した。この模型斜面を用いた実験を、提案手法を用いて2次元で再現し、解析結果と実験結果を比較した。衝撃力と流動中の形状について比較した結果、解析結果は実験結果を適切に再現していることが確認された。しかしながら、土砂が衝突する際に、衝突壁下部で土砂と衝突壁の間に空隙が残り、それが原因となって解析結果の一部に数値不安定が確認された。

一連の数値シミュレーションと実験により、提案手法が地盤の大変形問題に対して適用性が高いことが確認された。特に土砂流動問題に対しては、内部摩擦角と粘着力というわずか2つのパラメータを用いるだけで、土砂の到達距離や衝撃力に関して精度の高い結果が得られるため、非常に実用性に優れた手法といえる。しかしながら、3次元解析の精度、剛体と地盤材料との間の摩擦の取り扱い、土砂衝突時の数値不安定などについては十分に検証されていないため、今後の課題として残される。

## 論文審査結果の要旨

地盤工学における大変形問題には、液状化地盤の側方流動、土砂災害、杭やサンプラーの貫入問題等の工学的に重要な問題がある。しかしながら、従来から用いられている Lagrange 表記法に基づく解析手法では、変形に伴う解析メッシュのゆがみが原因となり、大変形問題を解くことが難しい。粒子法やフリーメッシュ法による地盤の大変形解析も報告されているが、パラメータの設定

が難しく、実務で広く用いられるまでには至っていない。本研究では、地盤材料の大変形問題を数値解析で表現するために、Euler 表記法に基づく解析手法である CIP(Constrained Interpolated Profile)法を用いる。Euler 表記法に基づく解析手法では、メッシュは常に空間に固定されているため、大変形を表現することができる。Euler 表記法に基づく解析手法を地盤の大変形問題に適用するという発想は、既に提案されているものであり、土砂流動や液状化地盤の側方流動など、いくつかの解析事例が報告され、その有効性が確認されている。しかし、これまでに提案されている地盤の変形問題に適用された Euler 表記法に基づく解析手法には 3 つの問題点が残されている。1 つ目は、それぞれの手法の適用範囲が狭く、汎用性に乏しいという点である。2 つ目は、解析パラメータの物理的な意味が薄く、解析に用いるパラメータを決定することが困難という点である。3 つ目は、計算における数値不安定性である。本研究の目的は、これらの問題点を解決し、種々の地盤の大変形問題に対して CIP 法をベースとする解析手法を提案し、その有効性及び適用範囲を明らかにすることである。

本研究では、地盤材料の変形特性を表現するために、モール・クーロンの破壊規準を考慮できる Bingham 流体モデルを提案した。これにより、地盤材料の内部摩擦角と粘着力をパラメータとして用いることが可能となった。また、材料の粘性が時間的、また空間的に急激に変化するために数値不安定性が発生することを確認し、支配方程式の粘性項に陰解法を適用することにより、この問題を解決した。

提案手法を用いて、粒状材料と粘性材料の流動解析を行った結果から、提案手法が地盤材料の変形特性を適切に表現することができることが確認された。また、地盤中への剛体の貫入を解析し、貫入問題に対する有効性を確認した。しかし、地盤材料と剛体表面の摩擦の取り扱いについては十分ではなく、今後の課題として残されている。

また、実現象を対象とした解析として、2003 年に宮城県築館町で発生した土砂流動を提案手法により再現している。現地で採取した試料を用いてスランプ試験を行い、それを数値解析で再現することにより解析に用いるパラメータの値を決定した。解析結果は、最大流動速度については実際の値よりも多少低い値となったが、到達距離や最終形状については実測値とほぼ一致し、提案手法が土砂災害の予測手法として十分な精度を有するものであることを確認した。

さらに、理論解が得られている現象との比較として、地盤の支持力問題に提案手法を適用した。重量を無視した粘性土地盤の支持力解析を行い、得られた結果を Prandtl の解と比較した。解析結果は Prandtl の解とほぼ一致し、地盤の変形特性だけでなく、応力場についても適切に表現できていることを確認した。

最後に、土砂の衝撃力に関する模型実験及びその再現解析を行った。実験は、室内で模型斜面を作成し、流下する砂の衝撃力を測定した。また、斜面角度を変化させて、斜面角度による衝撃力の違いを確認した。この模型斜面を用いた実験を、提案手法を用いて 2 次元で再現し、解析結果と実験結果を比較した。衝撃力と流動中の形状について比較した結果、解析結果は実験結果を適切に再現していることが確認された。しかしながら、土砂が衝突する際に、衝突壁下部で土砂と衝突壁の間に空隙が残り、それが原因となって解析結果の一部に数値不安定が確認された。

一連の解析結果により、提案手法が地盤の大変形問題に対して適用性が高いことが確認された。特に土砂流動問題に対しては、内部摩擦角と粘着力というわずか 2 つのパラメータを用いるだけで、土砂の到達距離や衝撃力に関して精度の高い結果が得られるため、非常に実用性に優れた手法とい

える。しかしながら、3次元解析の精度、剛体と地盤材料との間の摩擦の取り扱い、土砂衝突時の数値不安定などについては十分に検証されていないため、今後の課題として残されている。

## 最終試験結果の要旨

八嶋 厚、杉戸真太、佐藤 健、張 鋒および中井照夫で構成する審査委員会は、本論文および別刷りなどを慎重に検討した。本論文は学位論文として十分完成された内容を有していること、提出された学位論文および発表論文は、申請者により書かれていることを確認した。また最終試験（公聴会）を平成17年2月14日に開催し、審査委員会での審査の結果、合格と判定した。