

氏名	こばやし しゅん いち 小林 俊 一
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	論工博第 3768 号
学位授与の日付	平成 16 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	Limit and Shakedown Design in Geotechnical Engineering (地盤工学における極限ならびにシェイクダウン設計法に関する研究)

論文調査委員 (主査) 教授 田村 武 教授 関口 秀雄 教授 岡 二三生

論文内容の要旨

本論文は、応用力学的見地から、地盤工学における古典的塑性論に基づく極限解析あるいはシェイクダウン解析を再考察したもので、とくに最適化理論の主問題—双対問題の枠組から1つの新しい定式化とそれに伴う数値計算手法を提案している。全体で8章から成っている。

第1章は研究の位置づけと論文構成を述べている。

第2章は本論文で提案する定式化を詳しく述べた部分である。とくに古典的塑性論の力学的、数学的な説明を基礎に従来の極限解析の位置づけを示している。さらに剛塑性境界値問題に対し、主双対内点法に基づく混合型剛塑性有限要素法を定式化した。具体的には、下界法に基づくLagrangianを定義し、双対性を利用して上界法を導出したあと、さらに相補性条件に着目し、双対ギャップを単調に減少させて解を得るパス追跡型主双対内点法による定式化手法を行った。構造力学からの簡単な例として3本部材の不静定トラスを取り上げ、それを用いて定式化の妥当性を確認している。上記の定式化に基づき数値解析コードを実際に開発して、その性能を数値実験で調査し、計算結果の妥当性や収束性状を確認した。特に線形計画法で開発された内点法を非線形計画問題に適用した本手法は、1つの新しい剛塑性解析の数値解析に有用となりえる。具体的には、応力制御問題、変位速度制御問題、非関連流れ則への拡張等について論じている。

第3章は、前章の内容をシェイクダウン解析に拡張する方法を述べている。すなわち、Koiterの定理、Melanの定理に基づく古典的なシェイクダウン解析手法を精査し、非線形最適化問題として再構築するとともに、内点法に基づく解析手法を提案した。これは、数学的な構造として上述した剛塑性有限要素法の直接的な拡張となっている。また、アルゴリズムのうえからは、極限解析と同じサイズの方程式で計算できることを示した。

第4章は、地盤工学で用いられる慣用的な極限解析法、すなわち、すべり線法や極限解析法を応用力学的な観点から見直したものである。とくに運動学的許容な速度場と静力学的に許容な応力場を用い、いくつかの簡単な例では正解が得られることや、あるいは、かなりの精度で正解の範囲を明示することができることを示した。一方で、従来の方法には力学的曖昧さが残ることを指摘した。

第5章は、地盤工学の代表的な問題である支持力に関し、よく知られている古典的な解と本論文で提案する手法による数値解を比較し、後者による解は十分な精度を有することを確認した。また、傾斜荷重に対する支持力問題についても2つの方法による解はほとんど一致していることから、ここで提案する手法の発展の可能性と有望性を指摘している。

第6章はマクロエレメント法とシェイクダウン解析を利用した多基礎構造物の支持特性評価法を提案するとともに、シェイクダウン解析では極限荷重の6割～8割の大きさの限界荷重が得られることを示した。とくに本解析法は他の解析法と比較して少ない計算時間で支持特性が評価できることを示した。

第7章はアンカー付き矢板擁壁の安定解析を対象としたものである。ここでは、極限解析による補強工法の定量的評価法の例を示した。また、実際の地盤材料はいわゆる強度と残留強度を有しているが、地盤と補強材のピーク強度におけるひず

みレベルの相違を考慮した新しい設計概念を提案している。

第8章は本論文のまとめであり、得られた成果とともに今後に残されたいくつか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、地盤工学において古典的塑性論に基づく極限解析およびシェイクダウン解析を応用力学的見地から再考察したものである。とくに最適化理論における Lagrange の双対定理の枠組から1つの新しい定式化とそれに伴う数値計算手法を提案している。また、これまで応用力学的解釈が明確でなかった種々の解法についてそれぞれの理論的背景を詳しく論じた。得られた成果の主たるものは以下の通りである。

1. 剛塑性境界値問題に対し、主双対内点法に基づく混合型剛塑性有限要素法を定式化した。具体的には、下界法に基づく Lagrange 関数を定義し、双対性を利用して上界法を導出したあと、さらに相補性条件に着目し、双対ギャップを単調に減少させて解を得るパス追跡型主双対内点法による定式化手法を行った。そして、つりあい条件と適合条件、さらに上界法および下界法を同時に考慮しながら解き進む方法を提案した。
2. 上記の定式化に基づき数値解析コードを実際に開発して、その性能を数値実験で調査し、計算結果の妥当性や収束性状を確認した。特に線形計画法で開発された内点法を非線形計画問題に適用した本手法は、1つの新しい剛塑性解析の数値解析に有用となりえる。従来の剛塑性有限要素法では剛体域（弾性域）の取り扱いには誤差を生み出す要因があるが、本手法では剛体域をそのまま直接に扱うことができるところが特徴である。
3. 波浪のように繰り返し荷重を受ける海洋構造物などでは、極限解析よりもむしろシェイクダウン解析が有効である。すなわち、その構造物が最終的に弾性応答内に留まるかどうかの荷重の範囲を決定する問題である。本論文では、Koiter の定理、Melan の定理に基づく古典的なシェイクダウン解析手法を精査し、非線形最適化問題として再構築するとともに、内点法に基づく解析手法を提案した。これは、数学的な構造として上述した剛塑性有限要素法の直接的な拡張となっている。
4. 支持力、斜面安定、土圧等の古典的な地盤工学的な問題に対し種々の個別的な計算手法があるが、その力学的意義は必ずしも明確になっているとはいえない。とくに静力学的許容な場を基本とするか、幾何学的に許容な場を基本とするかが曖昧であった。ここではそれらの問題を極限解析の立場から考察し、それぞれの意義を明確にした。すなわち、古典的な剛塑性問題である支持力、斜面安定、土圧等について極限解析の立場から考察し、上界法ならびに下界法による解はきわめて単純に得られるばかりでなく、工学的に重要な意義を有していることを明らかにした。また、従来しばしば用いられる極限つりあい法は理論的根拠が不明確で、塑性設計法に基づく手法を用いるべきであることを主張している。
5. 古典的な手法と近代的な手法の間には大きな差異があり、両者を関連付けることは困難なように見えるが、剛塑性理論を用いればそれらの相互の意味が明らかになり、それぞれの発展に繋がる可能性と手法を述べている。

以上要するに本論文は、これまで長い間にわたって工学的手法として認められてきた古典的塑性論の地盤工学への適用方法を基本的な応用力学的観点から考察したうえ新たな手法を提案したものであり、実際上、学術上寄与するところが少なくない。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15年12月3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。