

氏名	足立紀尚 あだちとしひさ
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第1301号
学位授与の日付	昭和55年5月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	堆積軟岩の力学的挙動に関する研究

(主査)
論文調査委員 教授 赤井浩一 教授 柴田 徹 教授 小林昭一

論文内容の要旨

本論文は、半固結状態にある堆積岩の力学的挙動を明らかにするために、その強度特性と変形特性とを論じ、これを記述する構成式を誘導するとともに、工学的応用として軟弱地山中のトンネル掘削に関する諸問題を考察したものであって、序論および2編10章からなる。

序論では、軟岩の力学特性を解明し把握することの必要性を述べるとともに、地盤材料の構成式の確立、地盤モデルの作成と解析、計測手法の開発および現地計測工法の樹立とその施工規制への適用などを総合した設計施工指針の立案をはかるべきことを強調している。

第1編は、軟岩の力学的挙動と構成式に関する研究をまとめたものである。

第1章はその序論であって、岩石質材料はその硬軟にかかわらず多少ともダイレイタンスを示し、かつ時間依存性を有する非弾性体であるが、定性的には土質材料の挙動と異なるところがないことから、地盤材料の広い範疇の中で軟岩の力学特性を明らかにし、軟岩を対象とする構造物の安定・変形問題の解析に適用しうる構成式を求めることが本編の目的であると述べている。

第2章においては、まず土質材料の構成式に関する従来の研究を概観し、ついで本研究の理論構成の基礎となる連続体力学と、軟岩の構成式を誘導するために必要な Drucker の弾塑性理論および Perzyna の弾粘塑性理論を述べている。ついで、過圧密粘性土のひずみ硬化-軟化挙動を説明しうるように、臨界状態エネルギー理論を修正した著者の理論を記述し、さらに正規圧密粘性土の時間依存変形挙動を実験的に明らかにして、唯一的な応力-ひずみ-時間関係が存在することを示している。また、これらの実験結果と弾粘塑性理論にもとづいて、正規圧密粘性土の時間依存特性をも表現できるように拡張した著者の構成式を与えている。

第3章においては、軟岩の力学的挙動を調べる三軸圧縮試験の問題点を中心に実験上の留意事項を述べ、ついで多孔質凝灰岩である大谷石を軟岩試料として用いた実験結果を記している。すなわち、飽和した軟岩の力学的挙動は有効応力によって唯一的に表現することができるが、その最大強度、残留強度ともに拘束圧と非線形な関係にあり、また、強度と体積ひずみの間にも唯一的な非線形関係が成立することを示し

た。これらのことから、軟岩の破壊規準は単に応力間のみで表わすのは不十分であって、応力と体積ひずみ間関係式も同時に与える必要があることを述べ、新しい破壊規準を提案した。さらに、あるせん断応力以上の応力を軟岩に載荷するとクリープ破壊が生ずるという限界応力の存在を見出し、それ以下でのせん断変形は粘弾性的であり、一方、体積変化は時間依存性を示さないが、この応力以上では変形は体積膨張を伴う粘塑性流動となり、定常クリープ状態では偏差ひずみ速さも体積ひずみ速さもほぼ一定となることを示した。

第4章においては、前章で明らかにされた軟岩の力学的挙動に関する実験事実と、第2章で論述した著者の理論にもとづいて、ダイレイタンスーと時間依存性の両者を記述できる弾粘塑性体としての軟岩の構成式を誘導している。すなわち、軟岩の塑性降伏応力は、偏差応力と偏差ひずみの関係を両対数紙上に描いて得られる直線の折点として決定され、この値は先行履歴応力以下の拘束圧のもとでは全体積ひずみが収縮から膨張に転ずる応力とほぼ等しいことを明らかにした。さらに、塑性体積膨張が生ずる拘束圧のもとでは、ひずみ硬化による後続降伏面が初期降伏面と類似の形状をとることから、弾塑性理論によって軟岩の塑性降伏関数を決定した。

第5章は第1編の結論である。

第2編は、軟岩地山中のトンネル掘削に関する研究をまとめたものである。

第6章はその序論であって、すべてトンネル工事にかかわる問題は、第1に水が関係する現象にいかに対処するか、第2に軟弱な地山の掘削に伴って起こる事象をいかに処理するかが課題であることを述べ、また、施工の基本は地山を緩めることなく弾性変形のみを許すことにあることを最近の新オーストリア式掘削工法 (NATM) と関連づけて説明している。

第7章においては、高圧湧水下のトンネル工事における排水孔の効果と、止水のためのグラウト処理区域の適正規模について、青函海底トンネルにおける事例を用いて論じている。その結果、地山を有効応力によって定義される弾塑性体と考えることにより、排水孔の効果を解明することができ、青函トンネルにおける諸条件下では、最小限トンネル径の3倍の注入域が必要であると結論している。

第8章においては、軟岩地山中のトンネル掘削に伴って生ずる変形の時間依存挙動を、青函トンネルにおけるクリープ変形の計測データと有限要素解析によって考察し、安定に向かう地山の変形は切端掘削後、時間の経過とともに急速に減少するが、その変形速度は掘削方法によってかなり影響をうけることを見出している。一方、崩壊に向かう地山のクリープ速度は大きいレベルに保たれるか、または増加する傾向を示すことが測定され、クリープ変形の速さによって地山の安定、不安定を判定することの可能性を示唆している。

第9章はトンネル掘削の基本理念にもとづいた計測の意義と、施工規制を目的とした現地計測工法の現況と展望を述べ、さらに計測と設計の結びつきを NATM および応力制御工法による具体例について論じたものである。

第10章は第2編の結論である。

論文審査の結果の要旨

構造物を建設するという立場からのみならず、斜面崩壊などの地盤災害を防止するという立場からも、堆積軟岩を対象としなければならない事例が増しつつある。本論文は、軟岩では岩石そのものの力学特性が岩盤の挙動と密接な関係をもつとみなしうるとの観点から、堆積軟岩の強度特性と変形特性を論じ、これを記述する弾粘塑性体としての構成式を提案するとともに、実際設計施工への応用について理論的・実験的研究を行った結果をまとめたものであり、その成果のおもなものは以下のとおりである。

1. 軟岩の力学的挙動との比較に供するため、過圧密粘性土のダイレイタンスー特性に関して三軸試験装置を用いた詳細な実験を行い、その塑性降伏特性に対する検討を通じて、従来一般に無視されていた降伏曲面内の塑性せん断変形と体積膨張過程におけるひずみ硬化-軟化現象を説明できる構成式を誘導した。

2. 同じく軟岩の特性との比較において、正規圧密粘性土の時間依存変形挙動を各種の載荷条件に対する実験式の相互関係について調べ、有効応力表示によれば唯一的な応力-ひずみ-時間関係が存在することを明らかにし、これらの実験結果と Perzyna の弾粘塑性理論にもとづいて、正規圧密粘性土の時間依存性をも表現できるように拡張した新しい構成式を記述した。

3. 軟岩の力学試験としての三軸試験は、通常土質試験や岩石試験とは異なった装置上ならびに手法上の制約が加わるが、本研究では系の空気圧制御と間隙水圧測定を主体とする新しい型の装置を試作して軟岩の強度の有効応力表示を可能にし、応力と体積ひずみの関係をも含めた破壊規準を提案するとともに、クリープ破壊に対する限界応力をもって軟岩の長期安定に対する工学設計の基準としうることを示した。

4. 粘性土に対する前述の構成関係と、軟岩の力学的挙動に関する実験結果にもとづいて、ダイレイタンスーと時間依存特性の両者を記述できる弾粘塑性体としての軟岩の構成式を提案した。すなわち、まず軟岩の塑性降伏応力の意義を明らかにした後、塑性体積ひずみが生ずる状況下では、ひずみ硬化による後続降伏面が初期降伏面と類似の形状をとることを利用して、軟岩の塑性降伏関数を決定した。

5. 高圧湧水下のトンネル工事における排水孔の効果と、止水のためのグラウト処理区域の適正規模の決定に関して事例による理論的解析を行い、地山を有効応力によって定義される弾塑性体と考えることにより排水と遮水の効果を定量的に評価しうることを示した。

6. 軟岩地山中のトンネル掘削に伴って生ずる変形の時間依存挙動を、青函海底トンネルにおけるクリープ変形の計測と有限要素解析によって考察し、変形の安定化の有無の予測に関して変形速度による判定法を示唆するとともに、施工規制を目的とした現地計測工法に対して明確な理論的根拠を与えた。

これを要するに、この論文は、半固結状態にある堆積岩の力学的挙動を明らかにするために、精密な実験と計測によってその強度特性と変形特性を調べ、これを普遍的に表現しうる構成式を提示するとともに、工学的応用として軟岩中のトンネル掘削に関する諸事例を解析し、多くの重要な知見を得たものであって、地盤工学の分野において学術上、実際上裨益するところが少なくない。

よって、本論文は、工学博士の学位論文として価値あるものと認める。