報告番号	※甲 第 3331号

主論文の要旨

題名 軟岩と不連続性岩盤の力学特性評価および変形解析に関する基礎的研究

氏名 山辺 正

主論文の要旨

報告番号	※甲第　　号	氏名	山辺　正

工学的に問題となる岩盤の主な存在形態には、次の二種がある。第一は、内部に含まれる不連続面は比較的少ないが、岩盤を構成する岩石実質部分の強度・変形性能が劣るために問題となる岩盤である。この種の岩盤においては、構成岩石そのものの力学特性を知ることが重要な課題である。第二は、内部に規模や成因の異なる大小多数の不連続面が存在する亀裂性岩盤である。この種の岩盤においては、亀裂を含まない実質部分は概して堅硬であるが、多数の不連続面が存在するために、その力学的な取扱を難しくする。これらの岩盤内あるいは岩盤上に構造物を安全かつ経済的に設置するためには、その力学特性を把握する必要があることは言うまでもない。本研究は、これらの岩盤の力学特性を総合的に捉えるために、軟岩から成る岩盤と多数の亀裂を含む岩盤の力学特性のうち変形挙動に着目して、その評価手法と解析方法について基礎的な研究を行いその結果をまとめたもので、６章から成っている。

第１章では、工学的に問題となる岩盤の存在形態が、軟岩から成る岩盤と亀裂性の岩盤に分類できることを示した後、各々の岩盤に対して提案されている従来の評価手法と変形解析手法について概観するとともに、本論文の構成について言及した。

第２章では、堆積性軟岩と風化によって生じた軟岩の変形特性を、等方応力下とセン断応力下の変形特性に分けて論じている。

主論文の要旨

報告番号	※甲第　　号 乙	氏名	山辺　正

多数の軟岩に関する等方応力下の変形特性を調べることによって、それらが堆積盆・構成鉱物・応力履歴の地域性に起因して独得の性質を有することを明らかにするとともに、その変形特性の特徴をパターン化して示した。また、これらの軟岩に共通するセン断変形特性に関する性質を明らかにした。特に、堆積性の軟岩においては、その強度発現が密度に依存するものと内部粒子間の固結力に依存するものとに分離できることを明らかにした。さらに、これらの変形特性の特徴を記述する構成式を考える上では hardening parameterに塑性仕事量を選び、ダイレイタンシー関数を用いることにより弾塑性構成式を定式化し得ることを明らかにした。

第三紀のシルト岩を具体的な対象として、拘束圧力をfeed back 制御するシステムを採用し、最小主応力一定試験・平均有効主応力一定試験・最大主応力一定試験の各試験を実施した。一般に、軟岩を対象にした大規模掘削においては、掘削に伴い内部の応力状態は刻々変化する。これらの応力経路を代表する経路として上記の三種を検討した結果、各々の応力経路に対して良好な近似を得る構成方程式を決定することができた。したがって、ここで提案する構成式を取り入れた解析を実施し、実構造物における計測結果との照合が必要な段階に達したといえる。

続いて、軟岩に適する非線形な破壊規準を求めるために、ベキ関数破壊規準の適合性を各種の軟岩について検討した。また、拘束圧力下の圧

主論文の要旨

報告番号	※甲第　　号	氏名	山辺　正

裂試験を実施した結果、内部に引張応力が存在し、その引張応力で破壊が生じる時にも平均有効主応力が正（圧縮）の範囲内で、ベキ関数破壊規準が適用できることが判明した。この破壊規準を用い、一軸圧縮強度と圧裂引張強度を知ることにより、非線形な破壊包絡線を推定する手法を提案し、実験結果と良好な一致を見た。

第３章では、亀裂性の岩石，片理の発達した異方性の岩石および規則的な亀裂を含む積層体の強度・変形特性を表現する方法について考察している。

ここでは、既に前章で得た非線形な破壊規準が、亀裂性の岩石，片理の発達した異方性の岩石および規則的な亀裂を含む積層体の強度特性にも適用し得ることを確認した。これらの岩石は、多数の不連続面を内包するという岩盤の基本的特性を備えていると考えられる。ここで示した破壊規準は、元来、圧縮側だけの強度規準になっているが、岩盤の内部で引張力は、ほとんど伝達されず、岩盤内には少なくとも自重に相当する初期応力が存在することを考慮すれば、この規準が不連続面を含む岩盤の強度規準として適当であることがわかる。さらに、上に示した供試体の変形特性を求めるために、まず、単一の不連続面に関する変形特性を垂直方向およびセン断方向の各々に対して詳細に調べ、それらの応力依存性を考慮した形式で変形特性を定式化した。この定式化にあたっては、表面の粗さと断面積の異なる不連続面を使用しており、それらの効

主論文の要旨

報告番号	※甲第　　号 乙	氏名	山辺　正

果を包含するものとなっている。この単一の不連続面の変形挙動に関する結論を拡張して、不連続群を含む岩盤モデルとしての積層体の挙動を推定する構成式を求め、増分形式の有限要素法による数値解析を実施した。その結果、二軸圧縮試験のみならずサーチャージを伴うモデル岩盤の平板載荷試験に対しても、この構成式の適用性が確認された。

第4章では、亀裂の幾何学性をテンソル量で表現するクラックテンソル理論を適用して、不連続性岩盤と等価な非線形および線形異方弾性体を定義し、その解析に含まれるパラメータの決定方法に関して検討している。

まず、クラックテンソル理論に基づいて亀裂性岩盤の調査・解析システムの概念を明らかにし、変形解析の位置づけを行った。その後、クラックテンソル理論による亀裂性岩盤の変形解析に関する定式化を行い、解析に必要なパラメータについて検討した。また、多数の亀裂を含む岩石を斜面崩壊現場から切り出し、それを用いて作成した供試体による圧縮試験を実施して詳細なデータを得、その挙動の複雑さを明らかにした。一方、クラックテンソル理論を用いた有限要素解析プログラムを作成し、そのプログラムにより原位置大型二軸載荷試験結果および多数の亀裂を含む岩石供試体についての圧縮試験結果を精度よく説明し得ることを示した。最後に、原位置平板載荷試験にもとづいて、クラックテンソルによる解析に必要なパラメータを逆解析的に決定する方法について提案し

主 論 文 の 要 旨

報告番号	※甲 乙 第　　号	氏 名	山辺　正

た。

第５章では、破壊応力に達した要素内に新たに弾塑性体のクラックを導入する新しい有限要素を提案している。

stress transfer method を併用する事により、岩盤において観察される誘導異方性の効果のみならず、地盤の極限耐力を求め得ることを明らかにした。また、解析に用いるパラメータが、一般的な拘束圧力一定の三軸圧縮試験から決定できる事も判明した。さらに、剛体の押し込み問題として知られるHillの理論解との比較から、本解析手法が工学的にみて安全側の極限耐力を与えるとの知見を得た。この解析手法を応用して、斜面上の基礎に載荷重を受ける問題を解析し内部の亀裂進展状況を明らかにするとともに、極限耐力に及ぼす載荷位置の影響について考察した。

第６章は、各章で得られた成果を総括したものである。

各章で得られた成果をまとめるとともに、それら相互の関係を示し、軟岩から成る岩盤および多数の亀裂を有する岩盤の変形解析に関する著者の結論が述べられている。すなわち、軟岩から成る岩盤において変形特性を考える上では応力経路に依存した構成式を用いるべきであること、また、多数の亀裂を有する岩盤にあっては、入力パラメータに十分の配慮をした上で変形解析を行うべきであることが述べられている。