

氏名	西好一 にし こういち
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第1609号
学位授与の日付	昭和58年7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	地盤材料の弾-塑性挙動と構造物基礎の設計への応用に関する研究

論文調査委員 (主査) 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、種々の载荷条件下における砂および軟岩の力学的挙動を弾塑性論的に考察し、それらの変形特性並びに強度特性を表現しうる構成式を誘導して、各種構造物基礎の設計問題に適用しようとする研究について記述したものであって、緒論および2編10章からなる。

第1編は、地盤材料の弾塑性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、地盤材料の強度-変形特性に関する既往の研究成果を概観し、あわせて本研究の骨子となる弾塑性理論の概要を述べている。

第2章においては、三軸装置を用いた基本的な要素試験の結果から、排水条件下における正規圧密飽和砂の力学特性について記述している。まず、三軸圧縮および三軸伸張の種々の応力径路に沿った砂の変形特性について論じた後、砂の降伏条件をせん断によるものと圧密によるものとに区別する必要があることを指摘するとともに、それぞれに対する降伏条件式を提示した。そして、各降伏条件を満足する塑性ポテンシャルについて考察して具体的な表現を与え、非関連流動則と等方硬化理論にもとづいて一般応力条件下の砂の構成式を誘導し、その適用性を実験的に検証した。

第3章においては、正規圧密および過圧密の状態にある飽和砂が非排水条件下で示す強度・変形特性について論じ、前章で述べた等方硬化理論を拡張して、繰返し载荷による間隙水圧の累積現象と、それにもとづく砂の液状化破壊の機構を究明している。まず、単調载荷三軸試験の結果から砂のダイレイタンス特性について考察を行い、ついで振動载荷三軸試験によって間隙水圧の累積が停止する平衡状態が存在することを示し、これが砂の正規圧密または過圧密の状態にかかわらず唯一的に決定できることを明らかにした。そして、この平衡状態を Rendulic の有効応力面上で一つの楕円として近似し、等価圧密圧力の概念を用いて砂の弾性限界の表示式を与え、さらに任意の圧密履歴を有する飽和砂が液状化へ至る際の変形挙動を調べて、初期液状化後の変形は過密比に無関係であることを示した。

第4章においては、泥岩を主体とした軟岩の力学特性に関する実験的研究について記述している。まず、有効拘束圧が $0.3 \sim 6 \text{ MN/m}^2$ の範囲における各種の静的並びに振動三軸試験の結果から、用いた泥岩は

時間依存性のある力学的挙動を示し、最大強度と残留強度に対する破壊線は有効応力面上においていずれも強い非線形性をもつことを明らかにした。さらに、クリープ破壊時間と最小クリープひずみ速度が反比例の関係にあり、また振動載荷時における強度は繰返し回数の増加に伴って減少するが、その関係は初期軸差応力と周波数に依存することを見出した。また、クリープ試験の結果から誘導された応力とひずみ速度の関係が一定ひずみ速度条件下の破壊規準によるものとほぼ一致することや、振動載荷時における累積ひずみ現象並びに強度と繰返し回数との関係などを統一的に解釈できることを示した。加えて、内部に破断面や不連続面を有する供試体を用いた圧密非排水せん断試験と振動載荷試験結果にもとづいて、泥岩の残留強度特性に対する考察を行った。

第5章は本編の結論である。

第Ⅱ編は、弾塑性構成式による構造物基礎の設計手法を扱ったものである。第6章はその序論であって、各種の試験にもとづいた地盤モデルの作成と、地盤材料の弾塑性構成式を用いた数値解析法の提案並びに検証を行うための手順について記述している。

第7章においては、砂礫地盤上に建設された大型マッドコンクリート基礎の施工時の土圧並びに沈下挙動を対象として、砂礫に対する三軸試験の結果から第2章で述べた構成式の適用性を確認するとともに、平板載荷試験を対象とした数値解析の結果を用いて、地盤のモデル化に際し必要となる材料定数の決定法を述べている。そして、基礎の施工順序を考慮した数値計算を行って実測結果と比較し、施工履歴・地盤の塑性化・局部破壊をシミュレートしうる弾塑性有限要素解析手法の適用を検証している。

第8章においては、海底地盤に敷設される大口径取水管および支持地盤の間の相対剛性をパラメーターとした弾塑性有限要素解析を行い、剛性管または管底地盤より周辺地盤の沈下が卓越する場合は突出状態に、一方、たわみ性管または管底地盤の沈下が卓越する場合は溝状態に、それぞれ相当する土圧分布が出現することを述べている。また、模型実験で測定された管頂部および側方部での土圧、管体変位量並びに管体応力と有限要素解との間に良好な対応が示され、埋設管-地盤系の相互作用を考慮した解析手法の適用性が確認された。

第9章においては、粘性土と砂を用いた模型実験の結果から、単杭に作用するせん断応力は圧密に伴って増加する有効鉛直土圧と比例関係にあり、一方、群杭では杭間の土の拘束により有効鉛直土圧が減少して群杭効果と称せられる支持力の低減がみられることを明らかにしている。そして、杭の幾何学的配置条件のみにより群杭の軸力低減率を評価しうる算定式を提案し、あわせて前編で述べた地盤材料の弾塑性構成式を用いて、杭と地盤との間のすべり特性を導入した有限要素解析を実施している。

第10章は本編の結論である。

論文審査の結果の要旨

土や岩石などの地盤材料は、静的あるいは動的な載荷のもとで一般に強い非線形性と非弾性を示し、これらは載荷速度、応力径路並びにダイレイタンスー依存性として現われるが、それらを取り入れた汎用的な構成関係はいまだ確立されていない。一方、近年大型化する構造物基礎の設計において、従来の極限解析による安定性の検討および弾性理論による地盤内応力と変形の予測に代わるべき高精度の解析手法が要

求されている。本論文はこのような観点から、種々の载荷条件下における地盤材料の力学的挙動を弾塑性論的に考察し、基礎の設計問題に対してそれを適用した研究の結果をまとめたものであって、主要な成果を列記すれば以下のようである。

1. 三軸圧縮および三軸伸張の種々の応力径路に沿った砂の変形特性を広範な要素試験によって調べ、砂の降伏条件として、せん断によるものと圧密によるものとを個別に提示した。この降伏条件式と塑性ポテンシャルを用い、有効応力比と正八面体塑性せん断ひずみの関係、および平均有効応力と間隙比の関係を、せん断並びに圧密に対する降伏時の硬化関数としてそれぞれ与えた後、非関連流動則と等方硬化理論にもとづいて一般応力条件下の砂の構成式を誘導し、その適用性を実験的に検証した。

2. 振動载荷三軸試験によって、正規圧密および過圧密の状態にある飽和砂が非排水条件下で示す強度並びに変形特性を調べ、静的な砂に対して提案した等方硬化理論を拡張して、繰返し载荷による間隙水圧の累積現象と、それにもとづく砂の液状化破壊の機構を究明した。一方、振動载荷による間隙水圧の累積が停止する平衡状態が出現する場合のあることを示し、これが砂の過圧密履歴に関わりなく唯一的に決定できることを明らかにした。

3. 泥質堆積岩に対する三軸試験の結果から、この種の軟岩は時間依存性のある挙動を示し、最大強度と残留強度に対する破壊線が有効応力面上において、ともに強い非線形性をもつことを明らかにした。また、クリープ破壊時間と最小クリープひずみ速度とが逆比例の関係にあり、破壊時のひずみに着目して誘導した応力-ひずみ速度関係式が、一定ひずみ速度下における最大強度に対する破壊規準や、振動载荷による強度と繰返し回数との関係などをも広く説明できることを示した。

4. せん断によりいったん破断された軟岩の再せん断時、並びにこの破断面に近い傾斜の弱面を有する供試体のせん断時の残留強度は、そのような内部欠陥をもたない岩石の残留強度と一致することを見出し、破断面または弱面上での強度は、その面における粒子の破砕程度と配列方向並びにひずみ速度に依存するが、有効応力にもとづくならば、上記の不攪乱岩石供試体の残留強度に対する破壊規準により統一的に把握しうることを明らかにした。

5. 上述のような基礎的な研究で得られた地盤材料の弾塑性挙動を表現する構成式を、砂礫地盤上に建設された大型構造物基礎の支持力、潮位変動による繰返し载荷を受ける大口径埋設管の土圧、および圧密進行中の地盤内基礎杭に作用する負の摩擦力などの実際の設計問題に適用し、それぞれの解析結果を現地計測あるいは模型実験の結果と比較していずれも良好な一致を得た。

以上要するに、この論文は、種々の载荷条件のもとにおける地盤材料の力学的挙動を統一的に表現しうる弾塑性構成関係を提示し、その妥当性を実地に検証して工学的に有用な多くの知見を得たものであり、ここに得られた成果は学術上、実際上寄与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。

また、昭和58年6月14日論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。