

氏名	八木則男 やぎのりお
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第795号
学位授与の日付	昭和50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	繰り返し荷重を受けた砂の力学特性とその応用に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 村山 朔郎 教授 柴田 徹 教授 松尾 新一郎

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、繰り返し荷重を受ける砂の変形特性を明らかにするとともに、その成果を利用して、繰り返し荷重を受けた砂地盤の液状化・沈下等の諸問題の解明についての基礎的な研究をとりまとめたもので、緒論、結論のほか8章よりなっている。

緒論は、本研究の必要性と目的および各章の研究概要を述べたものである。

第1章は、この研究に関連する砂の基礎的な力学特性として、静荷重の載荷時における砂の変形特性と強度特性について考察したものである。砂の変形機構を検討するため、モデル化した球の配列を想定し、等大球が規則配列した場合に対して応力とひずみの関係を求めるとともに粒子の配列構造の影響を考察している。また砂の内部摩擦特性、ダイラタンシー特性等について従来の知見をのべるとともに、それらを補足する実験を行ない、上記諸特性を規定する上に砂の相対密度がもつ意義を考察している。

第2章は、せん断応力が繰り返し作用したときの砂の排水時の変形特性を実験的に究明した結果を述べたものである。土の変形は一般にせん断応力によるものと等方的な有効応力によるものとに分けられるが、ここでは、繰り返しせん断を受けた後に砂に残る残留体積変化について繰り返しせん断試験によって詳細に検討し、その結果を解析して、破壊応力以下の一定応力振幅での繰り返し載荷では残留体積変化は繰り返し回数 n の直交双曲線関係であらわされることおよびせん断応力の振幅と有効応力の比の3乗に比例することを見出した。またこれらの関係に及ぼす有効応力、砂の相対密度、粒径等の影響を系統的に明らかにしている。

第3章は非排水状態の飽和砂に繰り返しせん断応力が作用したとき各サイクル中に発生する過剰間げき水圧の特性式を、前章で得られた残留体積変化特性と砂の膨張特性を用いて導びいている。ついでこれらの式は一定応力振幅ならびに不規則な応力振幅の場合にも適用されることをのべ、その検証を非排水三軸繰り返しせん断試験により実施し、いずれの場合に対しても式の結果は実験結果とよく一致することを確めた。また、これらの実験結果から、式中に含まれる係数を相対密度の関数で与えて式の実際の適用を

はかった。さらに、繰り返しせん断試験において、従来より問題点とされている試験機の型式による間げき水圧の発生状態の相異を試験時の応力条件の面より考察するとともに、地盤における間げき水圧の発生状態と比較している。

第4章は、第2章および第3章での排水、非排水状態での繰り返しせん断試験より得られる比較的ひずみ振幅の大きい場合の砂の動せん断弾性係数が有効垂直応力およびひずみに依存する関係を述べ、従来より得られている結果と比較検討したものである。

第5章では、まず、従来より提案されている液状化判定法についての問題点について検討したのち、前章までの結果に地震動解析から求められる地震時におけるせん断応力の深さ方向の分布を導入して、飽和した砂地盤が地震のような繰り返しせん断を受けたときの液状化、沈下、支持力の算定法について述べたものである。すなわち第3章で示した過剰間げき水圧を与える式を用いて、種々の相対密度を有する砂地盤中に発生する過剰間げき水圧を算出した。なお計算例には新潟地盤に対して Seed らによって解析された不規則なせん断応力波形を使用した。この計算結果より、新潟地震時における地盤の液状化の判定を試みたところ、液状化の深さ方向の範囲は新潟地震において他の研究者によって推定されている範囲とほぼ一致していることを示した。また、相対密度が大きくて、液状化に至らないような砂地盤については発生した過剰間げき水圧の消散に伴って発生する地盤の沈下の算定法および過剰間げき水圧に起因する支持力の低減量を算定するための計算式を導くとともに、それらの計算例を示している。さらに繰り返しせん断が作用したとき過剰間げき水圧の発生がなく、ただちに沈下するような不飽和砂地盤の沈下の計算法についても第2章の結果を用いて若干の考察を行なっている。

第6章は、有効垂直応力が繰り返し作用したときの体積変化について述べたものである。ここでは等方圧縮応力の代わりに側方拘束の1次元圧縮状態での繰り返し载荷試験により、応力～圧縮量の関係、繰り返し回数と残留圧縮量の関係を求め、砂の種類、密度が広範囲に変化する砂に対し、これらの関係を示す特性式を求めるとともに、式中の係数は砂の相対密度によって変化するが、各係数間には砂の種類や相対密度と無関係に一定の関係が存在することを見出した。このような特性式の特性によって、1次元繰り返し圧縮を受けた砂地盤の沈下量が単調増加荷重を用いた圧縮試験結果の圧縮係数から直ちに推定できるようにした。

第7章では、まず、被圧帯水層での地下水圧の変動の伝播が砂の圧縮係数と透水係数からなる係数を有する熱伝導型の微分方程式で示されることを、正弦波的に変動させた地下水圧の伝播に関する模型実験により確かめ、ついでこのような地下水圧の変動の伝播がある場合の被圧帯水層の沈下を解析した。すなわち、このような被圧地下水圧の変動を被圧帯水砂層に作用する有効応力の変動に換え、第6章の成果を導入して沈下の推移を解析した。

第8章は、盛土等における締め固め過程を1次元の繰り返し圧縮とみなして、第6章の結果を拡張して、間げき率で示した締め固め度と転圧ローラーの重量、転圧回数、まき出し厚の関係を解析したものである。

結論は、以上の研究成果を要約したものである。

論文審査の結果の要旨

砂は繰り返し荷重を受けると一定荷重下の場合の力学特性と異なった特性を示す。故に基礎地盤や土構造物の耐震設計等においては従来より、荷重の繰り返しによる影響の定量的な解明が要望されていた。この論文は、砂が繰り返し荷重を受けた場合の変形特性を土質力学の立場から明らかにし、その結果を用いて、地震などによる繰り返し荷重を受けた砂地盤について、液状化の予測法、沈下や支持力の計算法について論じたもので、得られた主な成果を要約すればつぎの通りである。

1) 地盤が繰り返しせん断を受けたときに発生するおそれがある、沈下または過剰間げき水圧の解析に必要な繰り返しせん断後の残留体積変化を繰り返しせん断試験によって詳細に検討し、残留体積変化とせん断応力の有効垂直応力に対する比との間に定量的な関係があることを見出した。またせん断の繰り返し回数とその回の終了時における残留体積変化の関係は双曲線で表わされることを明らかにし、これより繰り返し回数が十分に大きくなったときの残留体積変化量を推定する方法を確立した。

2) 非排水状態にある飽和砂が所定回数の繰り返しせん断を受けた後の過剰間げき水圧を与える式を上記の残留体積変化と応力比の関係から誘導した。この式は、従来より問題とされていた地震のような不規則なせん断応力の繰り返しの場合にも適用でき、また間げき水圧の発生過程を逐次追跡することができ、さらにこの式の妥当性を非排水三軸繰り返しせん断試験によって規則的および不規則なせん断応力振幅の場合に対して検証し、いずれもよい一致を示すことを確めた。

3) 上記の研究成果に地震時におけるせん断応力の深さ方向の分布を導入して、飽和砂からなる地盤が地震のような繰り返しせん断を受けたとき発生する過剰間げき水圧の計算法および地盤の液状化に対する判定法を提案した。さらに、過剰間げき水圧の消散に伴って発生する砂層の沈下量および過剰間げき水圧発生に起因する地盤の支持力の低減量を算定するための新たな計算式を導くとともに、それらの計算例を示すことにより、これらの実用性を明らかにした。

4) 砂に有効垂直応力が繰り返し作用したときの圧縮特性を明らかにする目的で、1次元繰り返し圧縮試験を行ない、種類、密度が広範囲に変化する砂に対して、応力～圧縮量、圧縮量～繰り返し回数の関係式を求め、その結果の検討を行った。この検討により、式中の係数は砂の相対密度により変化するが、各係数の間には砂の種類や相対密度とは無関係に一定の関係が存在することを明らかにした。この式の特長によって、1次元繰り返し圧縮を受けた後の砂地盤の沈下量が単調増加荷重を用いた圧縮試験結果の圧縮係数から直ちに推定できるようにした。

5) 前項の繰り返し1次元圧縮の研究成果を被圧帯水層における地下水圧の繰り返し変動に伴う帯水層の沈下の算定法および転圧ローラーによる盛土の締め固め時の締め固め度の特性式に発展させ、1次元圧縮を伴う実際現象の定量的解明をはかった。

以上を要するに本論文は、繰り返し荷重を受ける砂の基礎的な変形特性を究明するとともに、その結果を地盤に適用して、飽和した砂地盤の液状化の判定法、繰り返し荷重が作用したときの砂地盤の沈下や支持力の算定法等にいくつかの新しい知見を得たものであって、学術上、實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。