

氏 名	小 西 純 一 こにしじゆんいち
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1144 号
学位授与の日付	昭 和 54 年 3 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	砂のような粒状体の変形・強度挙動に関する微視的考察

論文調査委員 (主査) 教授 赤井浩一 教授 松尾新一郎 教授 丹羽義次

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、粒子の集合からなる砂のような粒状体の変形と強度の機構を解明することを目的として、光弾性材料を用いた二次元模型粒状体の各種試験により、粒子間力や配列の異方性と主応力比の関係などを調べた研究の結果を述べたものであって、序論・結論を含め10章からなっている。

第1章は序論であって、粒状体の力学に関する研究の目標・範囲・方法などを述べ、本論文の目的を明らかにしている。

第2章においては、粒状体の力学的性質を支配する諸要因について、従来の研究を引用しつつ物性論的に考察している。すなわち、粒状体の力学的性質は、粒子そのものの性質と粒子の集まりとしての性質に支配され、さらに現実的には試験条件によっても影響されることを述べている。

第3章においては、粒状体の変形・強度に関する代表的な研究として、ダイレイタンスーに関する初期の研究、微視的考察にもとづく研究、塑性論的研究、統計論的研究のおおのについて概観している。

次章以降において、光弾性材料で作られた直径6mmないし10mmの円柱形粒子からなる二次元模型粒状体を用いて各種の実験と結果の考察を行っているが、いずれの試験においても、応力-ひずみ関係などの巨視的挙動は砂の土質力学的挙動とよく一致しており、粒子レベルでの微視的観察を行うための砂のモデルとして、この模型粒状体が適当であると結論している。

第4章においては、二次元模型粒状体の二軸圧縮試験結果にもとづいて、粒状体のひずみ硬化過程の微視的考察を行った結果を述べている。この過程では、粒子間接点における接平面に立てた法線方向が、二軸方向の応力比の増大とともに最大主応力方向へ集中してゆき、ダイレイタンスーもまた構造異方性の発達と密接な関係を有することが知られた。また、粒子間接点において伝達される粒子間力の平均値は粒子接点角によって変わり、最大主応力方向で極大、最小主応力方向で極小となる。さらに、接点で発揮されている摩擦角は粒状体全体では正規分布をなし、粒状体の変形の一つの時点において、すべりが生じている接点はごく少数であることを明らかにした。

第5章においては、二次元粒状体の単純せん断試験結果として、粒子間力から応力への変換を行って応

力状態の変化を調べると、主応力軸がせん断応力の増大にともなって徐々に回転してゆくことを見い出している。また、せん断応力の負荷面が、従来の説のように必ずしも最大傾角面にも最大せん断応力面にも該当しないことを示した。さらに、粒子接点の法線方向は、せん断の場合にも、せん断応力の増大につれて最大主応力の方向に集中する傾向があることが判明した。

第6章においては、二次元粒状体の繰返し単純せん断試験の結果を記述している。一方向繰返しせん断においては、初回のせん断のさい、ひずみ硬化によって生じた粒子構造が除荷時にかなり保存されるので、第2回目以降の载荷に対しては、わずかのひずみで直ちに抵抗することができ、最終的には弾性状態に到達する。これに反して、両方向繰返しせん断においては、せん断応力の向きが変わるごとに主応力方向も正負反転し、大幅な粒子再配列がなされて新たなひずみ硬化を繰返すことが明らかにされた。

第7章においては、主応力差が存在するもとで粒状体のひずみ硬化機構を理論的に考察し、応力比—構造関係式と粒子間力の推定式を導いて、これらが実測とよく一致することを確かめている。すなわち、先述のように粒状体の変形は、ある時点においてごく少数の接点で生ずるすべりにより支配されると仮定して理論式を誘導し、それが従来の砂質土に対する提案式をより厳密化したものであることを立証した。また、粒状体全体について粒子間接点の接平面の法線方向の確率密度関数と、任意面でのものとの関係を理論的に究明した。

第8章においては、粒状体の単純せん断における主応力軸の回転に関して理論的考察を行い、粒子構造から主応力軸の回転角を求める式を導くとともに、その回転角の正接とせん断—垂直応力比との間に線形比例関係が存在することを明らかにしている。

第9章においては、粒状体の静止土圧状態について微視的考察を行っている。すなわち、側方ひずみがない状態で粒子接点において発揮されている摩擦角を調べると、二軸圧縮の場合と同様に少数のすべり接点が存在することが認められ、これは一種の塑性的な変形であるが、側方変位が拘束されているので変形の自由度は小さく、ひずみ硬化が完全には生じ得ないことが知られた。

第10章は本研究の結論である。

論文審査の結果の要旨

個々の粒からできている粒状体は、物質そのものが不連続な構造をもっている上に、接触している粒子が応力下でかなりの程度離れるような変形を生ずるので、固体や液体のような連続的な変形は生じ得ない。さらに粒状体には、せん断応力をうけて体積変化を起こすという、ダイレイタンス特性が顕著であり、この点でも通常の連続体力学では扱い難い特徴を有する。

本論文は、元来ばらばらの粒からなる砂のような粒状体の土質力学的性質を、粒子集合の微視的相互作用によるものとして捉え、光弾性材料からなる二次元模型を用いて、圧縮試験や繰返しせん断試験などにより、粒子間力や配列の異方性と主応力比の関係などを調べた研究の結果をまとめたものであって、得られた成果の主なものを列記すると次のようである。

1) 二軸圧縮状態にある粒状体のひずみ硬化過程においては、粒子間接点でその接平面に立てた法線方向が、二軸方向の応力比の増大とともに最大主応力方向へ集中し、ダイレイタンスもまた構造異方性の

発達と密接な関係を有することが知られた。

2) 粒子間接点において伝達される粒子間力の平均値は粒子接点角によって変わり、またそこで発揮されている摩擦角は粒状体全体では正規分布をなし、粒状体の変形の個々の時点において、現にすべりが生じている接点はごく少数であることを明らかにした。

3) 単純せん断状態における粒子間力から粒状体の応力状態の変化を調べた結果、主応力軸はせん断応力の増大ともなう徐々に回転し、粒子接点の法線方向は、せん断応力の増大につれて最大主応力の方向に集中する傾向があることを見出した。

4) 繰返しせん断をうける粒状体の挙動については、一方向繰返しでは最初のせん断のさい、ひずみ硬化により生じた異方的な粒子構造が除荷時にもかなり保存され、繰返し回数が増大とともに弾性状態に近づく。これに反して、両方向繰返しせん断においては、せん断応力の向きが変わるごとに主応力方向も回転し、大幅な粒子再配列によって、回を追うにつれひずみ硬化が更新されることを認めた。

5) このようにして実験的に観察された粒状体の変形や強度特性から、主応力差が存在するもとでのひずみ硬化機構を理論的に究明し、応力比—構造関係式と粒子間力の推定式を導いて、これらが従来砂質土に対して提案されていたものより厳密であることを立証した。また、粒状体がせん断されるさい、粒子構造から主応力軸の回転角を求める式を導くとともに、その回転角の正接とせん断—垂直応力比との間に比例関係が存在することを示した。

これを要するに、この研究は粒状体の変形や強度が由来する機構を明らかにするために、粒子の集合状況や配列とともに、粒子間で伝達される力の大きさと方向、および変形ともなうそれらの変化について徹底的に詳細な考察を加え、従来よく知られていなかった砂のような摩擦材料の力学特性を解明したものであって、ここに得られた新たな知見は学術上、実際上貢献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。