

論文の内容の要旨

論文題目 平面ひずみ圧縮試験における砂の微視的構造と
すべり面の形成過程に関する研究

氏名 中瀬 仁

地盤は、すべり面を形成して破壊する。Newland and Allely(1957)によって示された平面的なすべり面のモデル(すべり面近傍の平均的粒子接点角方向にすべり面に沿って剛体的に滑るモデル)は、土質力学の微視的手法における標準的な概念となっている。

これに対して、砂の平面ひずみ圧縮試験における供試体に現れるすべり面は、土粒子10~20粒分からなるといわれる幅を持ち、三次元的に見てせん断層、二次元的にはせん断帯(shear band)と呼ばれ、立体的な構造を持つことが予想される。

一方、荷重を受ける粒状体には、 σ_1 方向に卓越する粒子の立体構造(Oda, 1974)が存在することが知られている。粒状体は、この構造によって支えられ、この構造が変形することにより全体が変形すると考えられる。

従って、幅のあるすべり面の形成メカニズムは、この土粒子の立体構造と密接な関係があると考えられ、これを明らかにすることが本研究の目的である。

本研究では、粒状体に形成される立体構造を構造骨格と称し、特に材料の強度が頭打ちになってひずみ軟化を生じるまでの区間は、構造骨格に大きな変化はないものと仮定し、菱形のセルを最小単位とする格子状の構造をその力学モデルとして想定した。

この格子状の構造の変形特性が、理論的事実や実験的事実と整合することを、概念的に説明し、粒状体の力学モデルとしての格子状モデルが合理性において特に逸脱したものではないことを示した。次に、ステンレスの細板を組み合わせた格子状モデルの変形パター

ンを調べ、構造骨格に観察されるであろう変形の局所化パターンを類型化した。

一方、研究を進める上で強力な道具となる個別要素法について、アクリル棒やアルミ棒の積層体に対する圧縮試験を対象にシミュレーションスタディを実施し、実験結果を良好に再現することを示した。この実験とシミュレーションの中で、ディスクや丸い棒の集合体も、二次元的粒状体として挙動し、破壊する場合にはすべり面を形成すること、局所変形には、粒子の回転が密接に係わっていることを示した。

次に、実際の砂に発生するひずみの局所化とせん断層の形成過程についていくつかの実験をレビューし、平面ひずみ圧縮試験では、まず中央部にせん断帯が複数交差する形でひずみが局所化すること、非対称一次モード等の全体変形を伴ってすべり面を形成すること、すべり面の形成はブロック化の過程であること等を確認した。

この実験事実について、格子状の構造をアルミフレームを用いてモデル化し、これを直接圧縮して供試体に現れる変化を観察した。その結果、供試体中央部にひずみが局所化し、すべり面が形成される過程でこれに直交する複数の小すべり面が形成されること等、圧縮過程における砂に観察される局所化のパターンと対応する局所変形およびその履歴が観察された。この局所化変形のパターンは、格子状モデルの変形パターンとの類似していることを示し、この現象を支配する要因は格子構造の適合条件であることを示した。また、格子モデルのユニットの変形が次々に連鎖しすべり面を形成する際に、強度の低下が生じることから、砂材料に観察されるひずみ軟化は、構造骨格の変形連鎖に伴う荷重方向に対する構造の弱化によるものであると考えた。

また、個別要素法の要素を格子状に配置しこれを圧縮する様子を観察した。その結果、変形の局所化が飛び飛びに伝播し、供試体をブロックに分割すること、ブロックへの分割が終了したとき強度が頭うちとなること、全体変形に伴ってブロックの統合が始まり、すべり面が一つに定まる様子等を観察した。

最後に、大量のアクリル棒に対する平面ひずみ圧縮試験とこれに対するシミュレーションおよび数値実験を行って、ここまで検討してきたことと整合するかどうか観察した。その結果、圧縮の過程で現れるひずみの局所化のパターンは、格子構造に現れるそれとよく似ていること、全体変形の繰り返しにより、対応するすべり面が代わる代わる発生すること、構造骨格の柱を構成する要素が回転して発生する変形が飛び飛びに伝播して立体的なすべり面を形成している様子等を観察した。