

III-231

不飽和粒状体における強度特性の発生機構に関する基礎的研究

京都大学工学部 正会員 建山 和由
建設省 正会員 日下部 隆昭

1. はじめに 不飽和土の力学特性の発生機構を考察するために、土粒子接点における懸架水の表面張力が不飽和粒状体の力学特性に及ぼす影響を数値計算と実験により検討を行った。ただし、不飽和粒状体の力学特性としては、応力レベルが小さく、懸架水の影響が明瞭に現れる直立壁面のすべり破壊強度を採用した。

2. 不飽和粒状体に関する数値計算手法について 不飽和土では間隙は水で満たされておらず、間隙水は土粒子接点でつづみ状に保持されてメニスカスを形成する。図-1は土粒子を等大球の集まりでモデル化したとき、土粒子接点に保持される水の状態を示したものである。このとき、メニスカスの曲率半径を r (m)、つづみ状に保持された水の中央部の半径を b (m)、水膜のなす角度を α とすると、水の表面張力により2粒子間に働く張力 H (N)は(1)式により表わされる¹⁾。ここで T は水の表面張力で、15°Cにおいて0.0735N/mである。また b と r は幾何学的関係から土粒子半径 R と水膜角 α により表わすことができる(2式)。不飽和粒状体内では数多くの粒子接点があり、それらの点には(1)式で表わされる粒子間力が働き、それらが集まって不飽和土特有の力学特性を生じさせる。図-2は、不飽和粒状体を等大球の集合体でモデル化したとき、その間隙比、含水比、等大球の粒子半径からこの粒状体の単位面積当りに働く水の表面張力に起因する粒子間力(以下、内部結合応力 σ_s と呼ぶ)を計算で求めるためのフローチャートである²⁾。

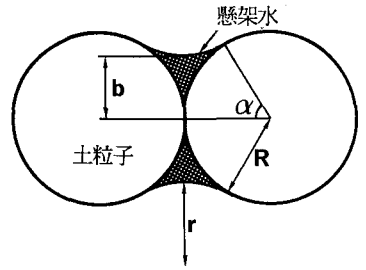


図-1 土粒子接点の懸架水

$$H = \pi b^2 T \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{b} \right) + 2\pi b T \quad \dots(1)$$

$$\begin{aligned} b &= R (\tan \alpha + 1 - \sec \alpha) \\ r &= R (\sec \alpha - 1) \end{aligned} \quad \dots(2)$$

3. 低含水比域における保水の偏在について

前節で説明した計算では、粒状体内の水は粒子接点に均等に配分されるとして内部結合応力を算定したが、実際には保水の偏在が考えられる。特に含水比の小さい試料においては、水の偏在が著しく、ある程度以上の保水角を持った懸架水が試料内の一部の接点で保持されると考えられる。そこで今回は粒子接点における保水角の下限値を設け、含水比が低い場合には、この下限値以下で保持される水は存在しないと仮定し計算を行うことにする。この場合、水は下限値の保水角でもって、一部の接点に配分されると仮定している。

4. 直立壁面のすべり破壊について 図-3に示すように不飽和粒状体で作られた直立壁面を考える。粒状体が完全に乾燥もしくは飽和している場合には直立壁面は自立することができずずれてしまうが、不飽和状態では前記の内部結合応力の作用により、粒子の相互移動が妨げられるため、ある高さまでは自立することができる。すなわち、

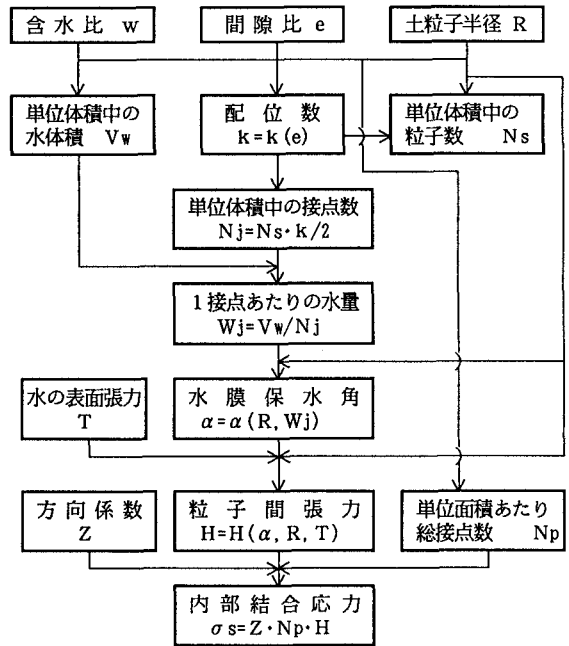


図-2 不飽和粒状体における内部結合応力の計算手法

(3)式で表わされる見かけの粘着力が働き、これがすべりに対して抵抗するため、壁は自立すると考えられる。このため、不飽和粒状体で作られた直立壁面をすべらせるためには上表面に荷重を加える必要がある。いま、図-3に示すように高さH(m)の直立壁面の上表面に等分布荷重q(N/m²)を載荷したときに壁が三角形のくさび状にすべると仮定すると(すべり面と直立壁面とのなす角をθとする)、壁上面に載荷した荷重qとすべり角θは(4)式で表わされる。ただし、φ、c、γはそれぞれ粒状体の内部摩擦角(deg)、粘着力(N/m²)、単位体積重量(N/m³)である。この(4)式中の粘着力cに(3)式で表されるcを代入すると、不飽和粒状体で作成した直立壁面がすべり破壊を生じるときの上載荷重qを求めることができる。

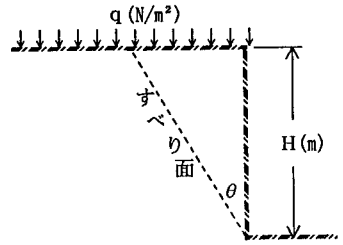


図-3 直立壁面のすべり破壊

$$c = \sigma s \cdot \tan \phi \dots\dots\dots(3)$$

$$\tan 2\theta = \frac{1}{\tan \phi} \dots\dots\dots(4)$$

$$q = \frac{2 \cdot c}{\tan \theta} - \frac{1}{2} \cdot H \cdot \gamma$$

5. 直立壁面のすべり破壊実験 前節の考え方の妥当性を検討するため、図-4に示すような土槽とガラスビーズを用いて 直立壁面の破壊実験を行い、すべりを生じさせるときの上載荷重に関し、実測値と上記の計算値との比較を行った。実験に用いた試料は直径0.08mmのガラスビーズで比重は2.53、含水比を2.5、4.1、5.9、6.3%の4段階変化させた。実験では最初、可動壁を固定した土槽内に所定の含水比に調整したガラスビーズを約3cmの厚さで敷き均し、これを約20cmの厚さまで積み重ねて直立壁面を作成した。その後、可動壁を取り払い、試料上面に等分布荷重を載荷し、すべりが生じたときの上載荷重qの大きさとすべり角θを測定した。実験は各含水比について緩詰めと密詰めとの2通りの試料に対して行った。

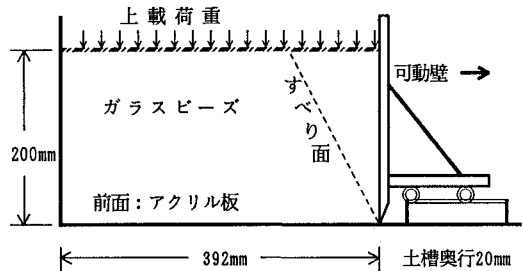


図-4 直立壁面のすべり破壊の実験装置

これに対する数値計算は、ガラスビーズの比重Gs=2.53、粒子直径R=0.08mmとし、単位体積重量γ、含水比w、直立壁の高さH、すべり角θには実測値を代入し 内部結合応力σsを求め、これと(3)、(4)式から上載荷重qを求めた。また、低含水比域における保水角の下限値としては40°を用いた³⁾。図-5はこの上載荷重qの実測値と予測値を比較した結果である。この図からは今回の実験に関する限り一部バラツキはあるものの、実測値と予測値は比較的良好に一致しており、現象をよく表わしているものと考えられる。

6. まとめ 不飽和粒状体の強度特性の発生機構を考察することを目的とし、不飽和粒状体で作成した直立壁面の破壊現象に関して、室内模型実験ならびに土を等大球の集合体でモデル化した数値計算により検討を行った。この結果、今回の実験の範囲では等大球モデルで実際の現象を表わせることが明らかになった。

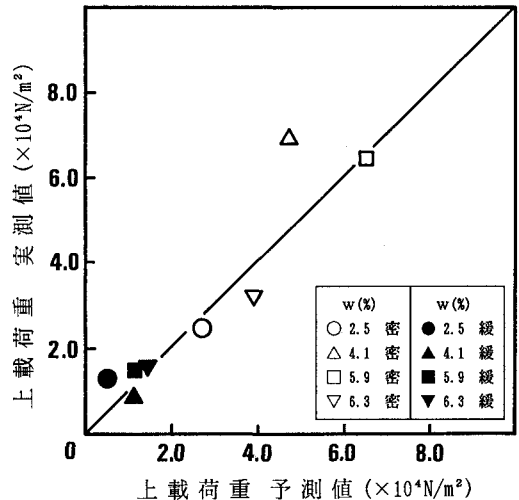


図-5 直立壁面破壊実験における上載荷重の実測値と予測値の比較

参考文献 1)田中達夫著：「粉体プロセス入門」工学図書，p.50，1981年， 2)畠 昭治郎，建山和由，藤本直昭：「水浸時挙動を考慮した土の締固め施工基準の決定方法について」，土木学会論文集，第382号/Ⅲ-7，1987年， 3)日下部隆昭，建山和由：「不飽和土の力学特性とサクシオンとの関係に関する理論的考察」，平成3年度土木学会関西支部研究発表会，1991年