

砂防地すべり技術センター
京都大学農学部
京都府立大学農学部

正会員 〇松本和樹
正会員 佐々恭二
入手桂二

1. ええがき

筆者の一人佐々恭二は地下水面を平行に上昇させる斜面崩壊のモデル実験によって地下水面付近で生ずる現象をくり返し観察した。この現象は有効応力を用いたモール・クーロン式などでは説明できず、また地下水が表面にでないことからパイピングでも説明できない。これについてベーン試験による剛性率の測定（変形の範囲を測定して計算）により水面の所に剛性率の極小値が表われることを確認し、これを用いて水面におけるすべりも、透水層最深部（不透水層上面）のすべりも同一の崩壊機構で説明することが出来た^{1)~4)}。次に剛性率が水面の所で極小値をとる原因である水因垂直応力の概念、これについてのこれまでの研究の概略及び今回の単純せん断試験によって求めた飽和度と水因垂直応力の関係について述べる。

2. 水因垂直応力の概念及びこれまでの研究の概略

土が飽和状態にある時、土粒子表面について毛管水、吸着水はその表面張力によって土粒子相互を引っつける働きをしている。この水による土粒子を引っつける力は見方を変えたと土粒子を押している力＝垂直応力（または等方応力）と同じ働きをしているので、これを水因垂直応力 (Hydro-normal stress) と名づけた³⁾。飽和状態で作用する間ゲキ水圧をマイナスの水因垂直応力と考えると、モールの式は $\tau = c + (\sigma + \sigma_{hy}) \tan \phi$ で表わされ、モールの式をすべての含水状態に当てて適用可能にすることが出来る。土を Voigt モデル（井山、柴田モデルと同じ）として表わし、せん断強度は上降伏値 G_1 （または降伏値 G_2 ） γ_g に付スプリングが変形した時のせん断力と考へ、かつ下降伏値 $\tau_0 = c$ とすると、上の拡張モール・クーロン式より直ちに $G = \frac{\tau - \tau_0}{\gamma_g} = \frac{\tau - c}{\gamma_g} = \frac{\tan \phi}{\gamma_g} (\sigma + \sigma_{hy})$ となり、剛性率 G は σ と σ_{hy} に linear であることが推定される。

図1～3は豊浦標準砂についてベーン試験で測定した剛性率 G_s （井山・柴田モデルの下降伏値以上の実質的な剛性率 $G_s = \frac{G_1 - G_2}{\gamma_g}$ ）の変化である。図1は含水率一定の時の剛性率は土中深度＝垂直応力と共に linear に増加していることを示している。図2は同一深度で剛性率を測定した場合、地下水面が近づくとも剛性率が低下し、水中に入るとさらに低下することを示している。図3は、地下水面があるとき、土中深度を変えて測定したものであり、含水率が一定の所では σ と共に増加し、水面の上の含水率増大の著しい所では σ の増大にもあわらず、 σ_{hy} の低下が大きいのと剛性率は低下することを示している。上記三つの関係は弾性波速度測定法によって再確認された。⁶⁾

その一例を図4である。

3. 単純せん断試験による水因垂直応力と

飽和度の関係

次に、1). 図2～4のような水面位置との関係だけではなく、飽和度との関係。2). モデル実験及び図1～4のように垂直応力の小さい所ではなく大きい所（土中深度の深い所に相当する場合）3). 弾性波やベーン試験の測定のような比較的

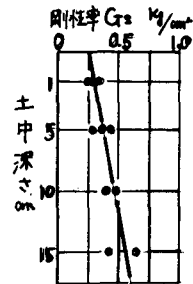


図1 剛性率 G_s と土中深度の関係
地下水面なし
乾燥密度 1.47 g/cm^3

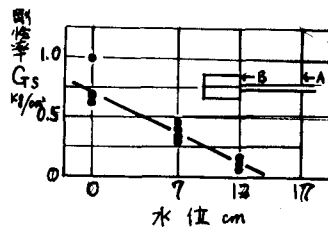


図2 剛性率 G_s と地下水位の関係

A: 砂層表面
B: ベーンの羽根の位置
乾燥密度 1.47 g/cm^3

ヒズミの小さい所をなく、上降伏値までの大きいヒズミの所を調べるために単軸せん断試験によって斜面崩壊が問題となるマサエ ($D_{50}=150\mu$, $D_{60}/D_{10}=3.67$, $D_{10}=6\mu$, 砂分=82.2%, シルト分11.4%, 粘土分=6.4%,)を用いて、深さ6m-8mに相当する 1.2 kg/cm^2 の垂直応力の上降伏での割線剛化率を述べた。

その結果が図5、図6である。上降伏値も剛化率も飽和度によってかなり大きく変化しており、図3、図4のような現象のマサエの深い所でも生じていることを推定させる。飽和度との関係は100%飽和のとマサエの垂直応力の0で最小であり、これより少し飽和度が下がるとかなり急激に剛化率、上降伏値ともに増大し、その後あまり変化のない所を経て徐々に増大する。そして、気乾状態でpeakに達し、100℃で炉乾燥して毛管水を除去すると再び低下する。しかし、100%飽和時の値より低下しない。この差の分が吸着水の表面張力による水因垂直応力の成分と考えられる。

最後に、研究にあたり色々とおアドバイスをいただいた 京都大学の武居有恒、小橋隆治先生、京都府立大学の日置象一先生に感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 佐々：斜面安定解析-I - 主として標準砂使用室内実験に基づいて - 新砂防 No.85 1972
- 2) 佐々：斜面安定解析-II - 主として標準砂使用室内実験に基づいて - 新砂防 No.90 1974
- 3) K. Sasa, A. Takei : Fundamental Research for the Analysis of Slope Stability, Memoris of the College of Agriculture Kyoto Univ. No.108 1976
- 4) K. Sasa, A. Takei : An Analysis of Slope Stability, Memoris of the College of Agriculture Kyoto Univ. No.108 1976
- 5) 佐々、阪田：弾性伝達率による $G_s = g_s(0+\sigma')$ 関係について、第11回土工学会研究発表会、1976
- 6) 佐々、阪田、日置：地下水面上昇及び工格り圧変化に伴う砂中の弾性定数の変化について、S51年土木学会関西支部講演会

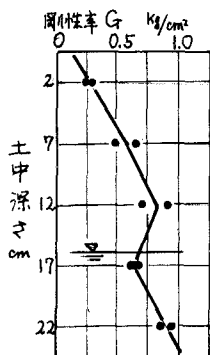


図3 剛化率 G_s と土中深さの関係

△: 地下水面
乾燥密度 1.478 g/cm^3

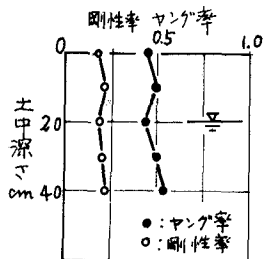


図4 弾性定数と土中深さの関係
乾燥密度 1.418 g/cm^3

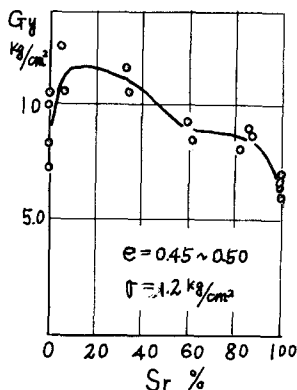


図5 剛化率 G_s と飽和度 S_r の関係

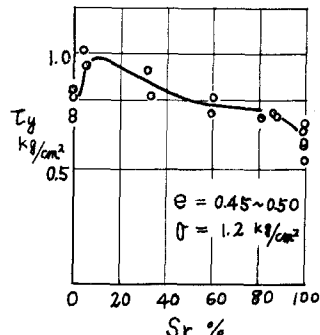


図6 上降伏値 T_y と飽和度 S_r の関係