

日本大学理工学部 正〇宮森建樹

(院) 下辺 悟

1. まえがき

筆者らは主応力がそれぞれ異なる応力状態における乾燥砂の応力-変形特性について実験的に調べている。いさるで、平均主応力一定の条件下では偏差応力がある程度の大きさに達するまでは応力比ひずみの方向は比較的よく一致するが、偏差応力が大きくなるにしたがってひずみが応力の方向とは異なり特定の向きにズレてくることを確認した。このように応力比ひずみの方向がズレてくるのはせん断に伴う砂粒子の再配列やダイラタンシ-特性に密接な関係をもつものと考えられる。今回は前回の報告に引き続いて、平均主応力一定の多軸応力条件下における乾燥砂の応力-変形特性に関して破壊変化をも含めて検討するとともに、同じく平均主応力一定の多軸応力条件下での繰返しせん断試験の結果について報告する。

2. 応力-変形特性

主応力空間の π 平面上において偏差応力を π 平面と静水圧軸と交わる点から直線的に増加させるようなせん断試験より求められる砂の応力-変形の一般的関係を縦軸に τ_{oct}/σ_{oct} をとり横軸に δ_{oct} をとって示すとFig-1のようである。(ここに $\sigma_{oct} = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$, $\tau_{oct} = \{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2\}^{1/2}/3$, $\delta_{oct} = [\{(e_1 - e_2)^2 + (e_2 - e_3)^2 + (e_3 - e_1)^2\}/3]^{1/2}$)。圧縮状態から伸張状態にいたる各応力経路に対応する $\tau_{oct}/\sigma_{oct} - \delta_{oct}$ 曲線の最大値、すなわち破壊時の $(\tau_{oct}/\sigma_{oct})_f$ は土の破壊規準によって異なる。たとえば土の破壊がMohr-Coulombの破壊規準に従うものとすれば、圧縮試験($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$)の $(\tau_{oct}/\sigma_{oct})_f$ と伸張試験($\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$)のそれとの比は粘着力が0の場合、内部摩擦角 ϕ を用いて $\{2 + \tan^2(45^\circ + \phi/2)\} / \{2 \tan^2(45^\circ + \phi/2) + 1\}$ で表される。

応力経路と変形の関係を調べるために π 平面上に等ひずみ時の τ_{oct}/σ_{oct} を示したのがFig-2である。これはひずみが小さいうちは圧縮状態、伸張状態における τ_{oct}/σ_{oct} の大きさは殆んど変わらず、等ひずみ線は円に近い形状を示す。ひずみが大きくなるに従って圧縮状態の τ_{oct}/σ_{oct} は伸張状態のそれより大きくなり、その傾向はひずみとともに顕著になる。しかしながら δ_{oct} の形状は外に凸でありMohr-Coulombの破壊規準のように直線にはならない。 $\sigma_{oct} = 0.8, 1.0, 1.2 \text{ kg/cm}^2$ の結果と縦軸に τ_{oct}/σ_{oct} 、横軸に応力経路と示す角度 θ ($\theta = 0^\circ$: 圧縮, 60° : 伸張)をとり、等ひずみ時の τ_{oct}/σ_{oct} を示したのがFig-3である。

これより $\sigma_{oct} = 0.8 \sim 1.2 \text{ kg/cm}^2$ の範囲では平均主応力に関係なく等ひずみ時の τ_{oct}/σ_{oct} は等しく、ひずみは τ_{oct}/σ_{oct} ,

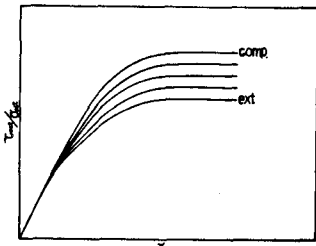


Fig-1 応力比ひずみの関係

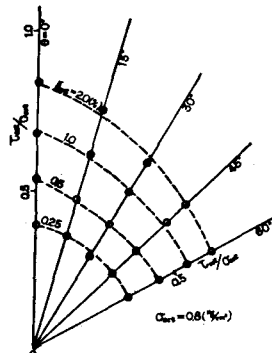


Fig-2 等ひずみ曲線

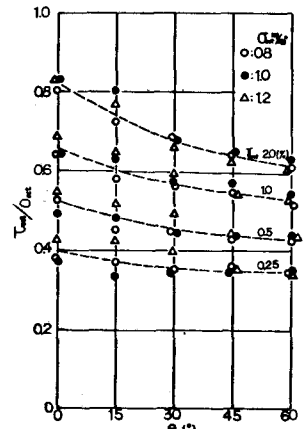


Fig-3 応力経路と等ひずみ時の応力比

すなわち3面体応力の傾き角によって決まるといえる。

3. 体積変化-変形特性.

$\sigma_{oct} = 0.8 \text{ kg/cm}^2$ で行った試験の体積変化率と σ_{oct} の関係は Fig-4 に示した。この場合、平均主応力は試験を通じて一定に保たれているので体積変化は圧縮によるものを含み全せん断による。 $\Delta V/V - \sigma_{oct}$ の関係は圧縮状態から伸張状態に近づくにしたがって σ_{oct} の小さいところでダイラタンシーが発生する傾向を示している。Fig-5 には π 平面上にひずみ増分の方向と体積が最も収縮したときの τ_{oct}/σ_{oct} を示した。この応力比も等ひずみ線 (Fig-2) と同様に外に凸の形状となる。

またひずみ増分方向のズレは体積が最も収縮したときの τ_{oct}/σ_{oct} 以前の応力状態のときから生じており、ダイラタンシーの発生する前から応力とひずみ増分方向の不一致が起きていることがわかる。これより砂のような土ではせん断の初期から応力とひずみ増分方向の不一致が生じているといえる。

4. 繰返しせん断試験

$\sigma_{oct} = 0.8 \text{ kg/cm}^2$ に保ったまま $\sigma_1/\sigma_3 = 3, 5$ (オ1回目 = 3, オ2回目 = 5) として繰返しせん断試験を行なった。結果の1例として $\theta = 15^\circ$ の場合を示すと Fig-6 のようである。これより再載荷過程ではあらかじめ加えた σ_1/σ_3 を越えないときは弾性的な変形を示すが、それ以上になると著しく降伏することがある。また $\Delta V_1, \Delta V_2$ についてみると、再載荷過程では除荷過程の体積変化と異なり全体に左方に移っているが、これは再載荷過程では膨張が生じていることを示している。再載荷時の ΔV が除荷時のそれより膨張側になる傾向は圧縮および伸張状態以外の応力経路において著しい。Fig-7 に繰返しせん断試験の応力経路とひずみ経路を示した。これより応力経路とひずみ経路は除荷および再載荷過程をも含めて一致しないこと、また降伏が生じるとひずみ経路は直線的になり、その方向は Fig-5 に示したひずみ増分の方向に一致し、繰返しによる影響がなくなる。

5. あとがき.

以上の結果をまとめると次のようである。(i) 等ひずみ時の応力を π 平面上で示すと外に凸の曲線となる。(ii) 伸張状態におけるダイラタンシーは圧縮状態に比べて小さいひずみで発生する。(iii) 応力とひずみ増分の方向のズレはせん断の初期から生じる。(iv) 繰返しせん断においては降伏時にはひずみの方向は繰返しによる影響を受けない。

参考文献

宮森・日野「乾燥砂の多軸圧縮試験」オ9国土工学研究発表会。

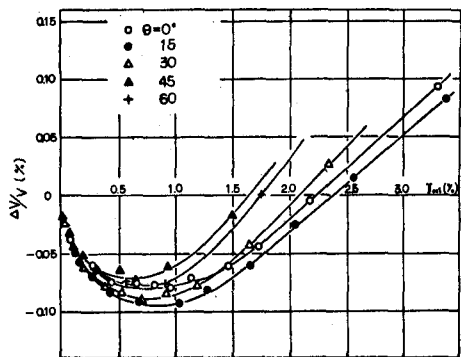


Fig-4. ひずみと体積変化の関係

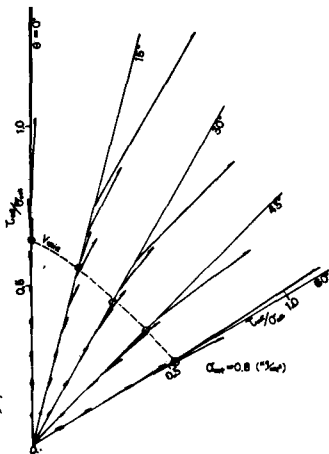


Fig-5. ひずみ増分と V_{min} の応力比

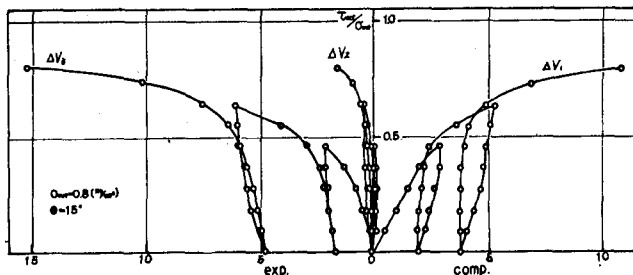


Fig-6. 繰返しせん断試験結果

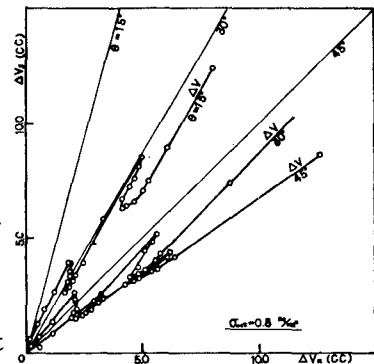


Fig-7. 繰返しせん断のひずみ経路