

## 1 まえがき

砂の様な粒状体の応力ひずみ関係式を表現するために、弾塑性論が近年多く用いられてきている。

しかしながら、その多くの場合、ある砂の一定密度における応力ひずみ関係を表現するにとどまり、また種々の特性は式に取り入れられていない。砂の弾性及び塑性的変形特性について実験的考察を行なう事は、式の適用性及びその限界等を知る上でも重要なことである。

本文は側方拘束状態に於ける三種の試料の弾塑性の性質に関する実験結果と、等方圧密を受けた砂について塑性論に基づいて得られた応力ひずみ関係式を異方圧密を受けた砂のせん断変形に適用する一つの試みについて報告する。

## 2 実験方法及び結果

### ① 側方拘束圧縮試験

実験に用いた砂の物性は右表の通りである。

実験は側方拘束の一次元圧縮によって行なわれた。試料の容器は内径5.0 cm、高さ10.0 cmの円柱形の塩化ビニル管を用い、軸変位は $1/100$  mm 精度のダイヤルゲージで測定した。

| 試料     | ビーズ   | 白石川砂  | 豊浦標準砂 |
|--------|-------|-------|-------|
| 比重     | 2.49  | 2.62  | 2.60  |
| 最大間ゲキ比 | 0.664 | 0.880 | 0.926 |
| 最小間ゲキ比 | 0.577 | 0.658 | 0.576 |

この実験では、まず上限荷重 $7.05 \text{ kg/cm}^2$ まで段階的に載荷し、その後は上限荷重と下限荷重 $0.88 \text{ kg/cm}^2$ との間で、

載荷・除荷を繰り返した。載荷・除荷を一サイクルとし、連続したサイクルの上限・下限荷重における軸変位が、 $1/100$  mm 以内になったところで弾性状態に達したと定義した。

砂の応力ひずみ曲線を次式で近似する。

$$\varepsilon = \alpha D_r^\beta \quad (1)$$

(1)式で砂の応力ひずみ曲線を表わした時、その係数 $\alpha$ と $\beta$ の値をFig. 1, 2に示す。Fig. 1は初期載荷、Fig. 2は弾性状態におけるものである。

初期載荷において、試料の種類によ

$\alpha (\times 10^{-3})$

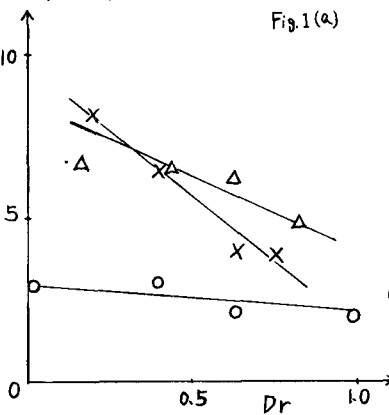


Fig. 1(a)

$\beta$

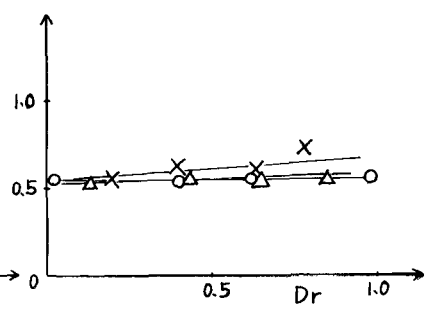


Fig. 1(b)

$\alpha (\times 10^{-3})$

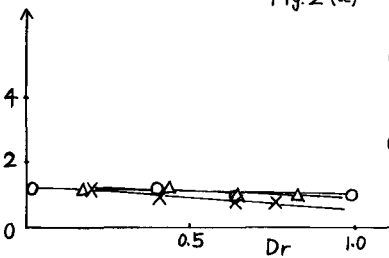


Fig. 2(a)

$\beta$

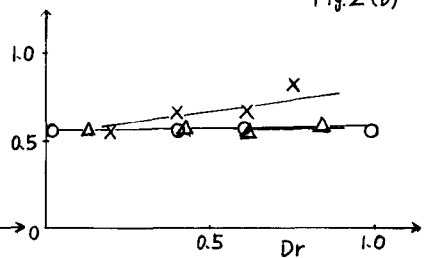


Fig. 2(b)

$\alpha$ の値はかなり異なった変化を示す。粒子形状が球に近いビーズでは相対密度が変化しても、 $\alpha$ はほとんど変わらない。しかし、粒子形状が角ばった白石川砂、豊浦砂では相対密度の増加に伴い、 $\alpha$ がかなり顕著に減少した。弾性状態においては、 $\alpha$ はほとんど変化せず  $1.0 \times 10^{-3}$  近傍の値を有した。

$\beta$ の値については、初期荷重、弾性状態においても顕著な変化は見られず、相対密度の変化にかかわらず、 $\alpha$ 5前後の値をとるようである。

## ②異方圧密を受けた砂のセン断試験

使用した三軸試験器は、軸圧 $\sigma_a$ と側圧 $\sigma_r$ とが独立に制御できる機構を有し、シリンダーの直径は供試体直径に等しい。加圧操作は手動で行ない、応力制御法で試験を行なった。中間主応力は常に $\sigma_r$ と等しい。供試体の寸法は直径5.0cm、高さ13.0cmを標準とする。

軸変形はダイヤルゲージ(精度 $1/100$ mm)で測定し、体積変形はビューレット(精度 $1/10$ cc)を用いて間ゲキ水の出入りを測定した。荷重はクリープによる変形が収まるのを待って、次の荷重段階に移るといって極めてゆっくりとしたものである。

実験に用いた試料は、豊浦標準砂であり、ロートで少しずつモールド内に詰め、初期間ゲキ比 $e_0 = 0.75 \sim 0.78$ に調節した。

実験の応力経路はFig.3に示す通りである。

Fig.4にセン断ひずみを、Fig.5に体積ひずみを、それぞれ実験の実測値と理論曲線を比較して示す。この実験においても、繰り返し試験を行なったが、ここでは全ひずみ量についてのみ述べる。

図中実線で表わした曲線は、等方圧密後のセン断変形について塑性論に基いて得られた式を異方圧密後のセン断変形に拡張したものである。

飛田、諸戸、柳沢による砂の変形についての式を再録するとセン断ひずみについて

$$d\epsilon^p = \frac{a \eta^2}{(\eta_s - \eta)^2} - \frac{1}{\eta_0} d\eta \quad (2)$$

ダイレイタンスについて

$$d v^p = (\eta_0 - \eta) d\epsilon^p \quad (3)$$

これを異方圧密効果に拡張するために理論曲線は、 $\eta \rightarrow \eta - \eta_0$ ,  $\eta_0 \rightarrow \eta_w - \eta_0$ とおきかえた式による推定である。

$$\epsilon^p = \frac{3}{2} \left[ \frac{a (\eta_s - \eta_0)^2}{\alpha (\eta_s - \eta) (\eta_0 - \eta_w)} + C \right] \quad (4)$$

$$v^p = -\frac{3}{2} \Delta \gamma (\eta - \eta_w) \quad (5)$$

なる式が得られる。なお伸張側の $\eta$ ,  $\eta_w$ についてはモール・クーロンの破壊基準により修正した。

すなわち  $\eta = \frac{3 \sin \phi}{3 - \sin \phi}$  によって求められる圧縮側の $\phi$ 値を、伸張側では $(-\phi)$ として、伸張側の $\eta_s$ ,  $\eta_w$ を求めた。

理論曲線は、圧縮側ではかなり実測値に近似するが、伸張側では合致しない点も多い。

## 3 参考文献 飛田、諸戸、柳沢「砂の変形における応力経路依存性に関する考察」第13回土質工学研究発表会

