

Ⅲ－12

砂の二方向非排水せん断挙動

東北大学 ○（学）山本 秀裕（学）田地 陽一（正）菅野 高弘

1. まえがき

地盤内の変形モードに近い変形を与えることのできる二方向せん断試験装置を用いて非排水せん断試験を行い、非排水試験へのストレス・ダイレイタンス式の適用性、実験結果と松岡の研究との比較について報告する。

2. 供試体及び実験方法

地盤内の応力・変形状態は、一般に K_0 状態と考えられており、これを再現できる二方向純粋せん断試験装置を用いて実験を行った。（図1）供試体は、一辺10cmの立方体で、豊浦標準砂（ $e_{mx}=0.966$ 、 $e_{mn}=0.592$ 、 $G_s=2.64$ ）を空中落下法により比較的緩く（ $D_r=40\%$ ）で堆積させて作成している。またスケンプトンの係数、 $B>0.95$ で実験を行った。

3. 実験結果及び考察

龍岡らは排水試験におけるストレス・ダイレイタンス関係を非排水に適用すると次のようになるとしている。ただし式は加藤が行った二方向排水せん断試験の結果を使用した。

$$\tau/P' = a\{(dP'/P')/d\gamma\} + b \quad (a=47.0, b=1.10) \quad \cdots (1)$$

（図2）は本研究で行った上載圧 0.75kgf/cm^2 で行ったV方向非排水単調せん断載荷試験の結果をプロットしたものであるが、加藤らの結果と同様に直線関係となり、①については実験条件が同じであるため係数もほぼ等しいことが分かる。（① $a=41.5, b=1.017$ ② $a'=-30.5, b'=-0.144$ ）

この式は次のように展開すると非排水試験におけるせん断仕事の式になる。

$$\tau d\gamma = adP' + bP'd\gamma = dWs \quad \cdots (2)$$

これを使ってせん断仕事を計算した結果が（図3）である。Aは実験結果、Bは①の直線関係を用いた計算結果、Cは初期せん断部分に②の直線関係を用いた計算結果である。どちらもよく近似しているようにみえるが、初期せん断部分を拡大してみると（図4）、せん断初期部分では必ずしも合っているとは言えない。

次に、以下に示す3つの手法で求めた主ひずみ ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_3 をそれぞれ比較した。なお（1）

（2）については松岡の導いた式に従って求めた。式の一部を（a-1）、（a-2）に示す。

（1）MM面上の応力比-ひずみ関係式から求めた ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_3

（2）SMP面上の応力比-ひずみ関係式から求めた ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_3

（3）実験で測定したひずみを主ひずみに変換して求めた ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_3

図5は、松岡の研究と上載圧 0.50kgf/cm^2 で行ったV方向単調せん断載荷試験の結果とを比較した ϵ_1 である。

（1）と（2）を比較すると最初はほぼ等しいが、（1）の方が大きくなっていく傾向にある。これは（1）ではひずみの重ね合わせができると仮定しているので塑性ひずみが大きくなるにつれ、合わなくなっていくものと思われる。 ϵ_2 、 ϵ_3 についても同様である。また（3）と（1）（2）を比較すると、（3）より（1）（2）が徐々に大きくなっていくことが分かる。これは本実験では境界条件の影響でひずみが生じにくくなっていることや、

（1）（2）では発生するひずみが構成式のパラメータに敏感であることなどがあげられる。次に二方向純粋せん断試験装置に比べて拘束条件の少ない排水三軸圧縮試験の結果と比較したのが（図6）である。これを見るとせん断初期の部分では（1）以外はほぼ一致しているが、応力比が大きくなっていくにしたがって徐々に合わなくなっていくことが分かる。松岡は、使用する構成式の4個のパラメータのうち3個（ λ 、 μ 、 μ' ）が砂によって決定できる物質定数としており、他の1個（ γ_0 ）が供試体の状態に依存するとしているが、本実験で用いた様な境界条件には適用できないことが示された。今回はV方向載荷についてのみ示したが、H方向載荷についても同様の結果を得ている。

4. 結論

（1）龍岡らのストレス・ダイレイタンス式の非排水条件への適用法は、二方向せん断試験装置による非排水試験結果にも適用できる。ただし、せん断初期部分については別の取り扱いが必要と思われる。

（2）松岡の研究は本実験には適用することができず、パラメータを物質定数として取り扱うことにはいささか無

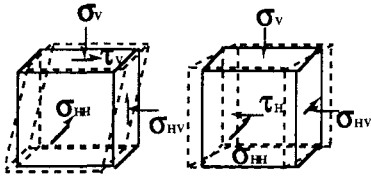
理があることが示唆された。また各MM面で発生するひずみの重ね合わせができるとした仮定の妥当性を検討する必要があると思われる。

5.参考文献

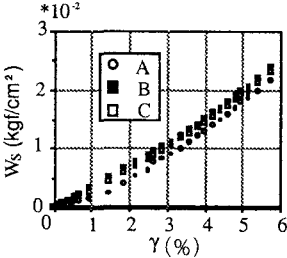
村山 朔郎：土の力学的挙動の理論、技報堂出版

加藤 定良：多方向せん断時における砂の変形、強度に関する研究、東北大学修士学位論文

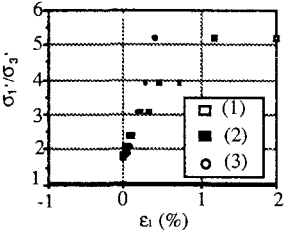
土の構成式入門、土と基礎（講座）、龍岡・軽部 3 1－8、P 5 7－P 6 4、松岡・中井 3 2-2、P 8 3－9 0



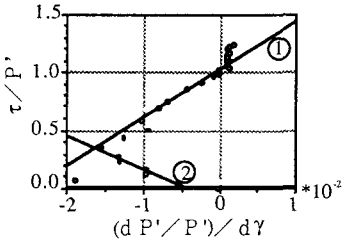
図－1 応力と変形



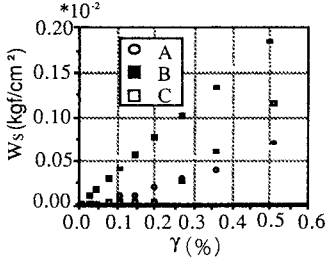
図－3 仕事－せん断ひずみ関係



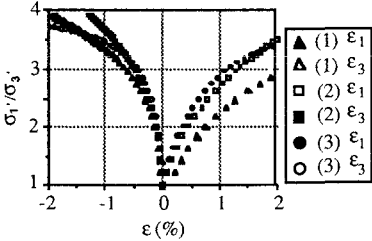
図－5 応力比－ε₁関係



図－2 非排水の応力比－せん断ひずみ増分関係



図－4 図－3のせん断初期部分の拡大図



図－6 三軸圧縮の応力比－ひずみ関係

(a－1)

$$\begin{aligned} \epsilon_i &= f\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_3}\right) + f\left(\frac{\sigma_i}{\sigma_2}\right) & \epsilon_2 &= f\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_3}\right) + g\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right) & \epsilon_3 &= g\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_3}\right) + g\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_3}\right) & X &= \sqrt{\frac{\sigma_1}{\sigma_j}} - \sqrt{\frac{\sigma_j}{\sigma_1}} \\ f\left(\frac{\sigma_i}{\sigma_j}\right) &= \frac{\gamma_0 \exp\left(-\frac{\mu}{(\mu' - \mu)}\right)}{2} \exp\left\{\frac{X}{2(\mu' - \mu)}\right\} \left\{ \frac{X^2}{8} + \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\lambda} - \frac{\mu' - \mu}{2}\right)X + (\mu' - \mu)^2 - (\mu' - \mu) + \frac{2\mu'}{\lambda} + 1 \right\} \quad (i < j) \end{aligned}$$

(a－2)

$$\begin{aligned} X &= \frac{\tau_{SMP}}{\sigma_{SMP}} & d\epsilon_i &= a_i d\epsilon_{SMP} + b_i d\gamma_{SMP} & (a_i, b_i \text{は方向余弦}) \\ d\gamma_{SMP} &= \left\{ \frac{\gamma_0}{(\mu' - \mu)} \right\} \exp\left\{ \frac{X - \mu}{(\mu' - \mu)} \right\} dX & d\epsilon_{SMP} &= \left\{ \frac{(\mu - X)}{\lambda} \right\} d\gamma_{SMP} \end{aligned}$$