

佐賀県土木課(元東京大学大学院) 坂元 信
 東京大学生産技術研究所 藤岡文夫
 日立造船(株)技術研究所 川村大蔵

筆者らは1g(重力)の下での平面ひずみ模型支持力実験の解析のために、砂箱側面(σ₂面)で観察される変位場・ひずみ場から模型地盤内の応力場を推定することを試みている。地盤内に変位の不連続面(あるいは Shear band, せん断層)が発生する前は各点での局所的なひずみ増分の特性方向(のひずみがない方向)とディレイタンシ角 $\nu = \arcsin \frac{-(\dot{\epsilon}_1 + \dot{\epsilon}_2)}{\dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_2}$ から動員される摩擦角 ϕ_{mob} を $\arcsin \left(\frac{R-1}{R+1} \right)$, $R = \frac{K(1+\sin \nu)}{1-\sin \nu}$, $K(\sigma)$ のように推定できよう。せん断層が発生してからは、これに関する情報から各点での応力特性曲線の方角と ϕ_{mob} の値が推定できよう。そこで平面ひずみ圧縮試験におけるすべり層の情報とマクロ的(供試体平均の)応力状態の関係を考察した。平面ひずみ圧縮試験は飽和豊希砂を用い、 $\sigma_3' = 0.05 \sim 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲で行った。供試体を空中落下法で生成する時の堆積面と σ_3 の方向のなす角度 δ を $0 \sim 90^\circ$ の範囲で変えた。供試体は高さ $h = 10.5 \text{ cm}$, 長さ(σ_2 方向) $l = 8 \text{ cm}$, 幅(σ_3 方向) $w = 4 \text{ cm}$ である。

すべり面と $\phi = \arcsin \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3} \right)$ の関係: 供試体σ₂作用面には軸ひずみ $\epsilon_a \approx 12\%$ の時に写真-1に示すようなすべり面が観察できる。この写真ではセル本とセルの存在のために上下方向と水平方向の長さの比が実際の1/1.15倍になっている(実際はもと細長い)。実際の場合には図-2に模式的に示すようにすべり層と堆積面の関係は $\delta = 0^\circ$, $\delta = 90^\circ$ の時以外は「 $\alpha-\alpha$ 」(堆積面とは方向が大きく異なっている)「 $\beta-\beta$ 」(堆積面とは平行に近い)のように2つありうる。⁴⁾ 本研究では $\delta = 45^\circ$ の実験は合計9つ行ったが(図-3), すべり層 $\beta-\beta$ が発生したのは2つだけであった。更に、 $\alpha-\alpha$, $\beta-\beta$ のすべり層の発生の方角と ϕ の値の間には明瞭な関係はなかった。従って、少なくとも $\delta = 45^\circ$ では「平面ひずみ圧縮試験では堆積面により平行なすべり層 $\beta-\beta$ が発生し、それに対応する ϕ が測定され、すべり層 $\alpha-\alpha$ に対する ϕ (これは $\beta-\beta$ に対応する ϕ より大きいと考えられる)が測定されない」ということは成立していないようである。 $\delta = 23^\circ$ と 34° の時は $\beta-\beta$ のすべり層だけが発生したが、 $\delta = 11^\circ, 45^\circ, 67^\circ$ では両方のすべり層が発生した。現在の所上記命題が $\delta = 23^\circ$ と 34° の時に成立しているかどうかは不明である。

以上要するに、本研究で得られた $\delta = 23^\circ$ と 34° 以外での $\phi(\delta)$ の値はすべり層の方向 ($\alpha-\alpha$ または $\beta-\beta$) によらず適用できるようなのである。

すべり層の方向 θ (図-1) と応力特性曲線の方角 $45^\circ + \phi/2$ の関係: 文献1の図-4および本論文の図-4に示すように、 θ と

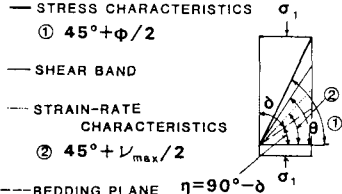


図-1 各種の方向の定義

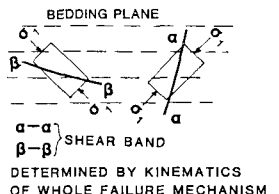


図-2 すべり層と堆積面の間の2つの関係

$\delta = 90^\circ$ $\epsilon_a \approx 12\%$	PSL-24	PSC-24	PSC-3	PSC-33
$\sigma_3' (\text{kgf/cm}^2)$	0.05	0.5	1.0	4.0
$e_{0.05}$	0.714	0.670	0.722	0.714
$\phi(^{\circ})$	46.7	47.8	45.6	44.3

写真1

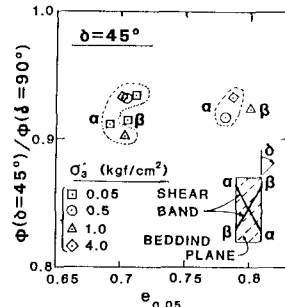


図-3, $\delta = 45^\circ$ の時の ϕ の異方性。
 $\phi(\delta = 90^\circ)$ は $\delta = 90^\circ$ の時の ϕ (詳しくは文献3を参照されたい)。

45°+φ/2 は一致せず、δの強い関数のようである。δ=23°と34°の時はすべり層と堆積面の方向が一致しようとしてゐるが、δ=34°の時はθが特に小さくなりつつ、両者が一致しようとしてゐるようである。図-4を用いて観察されたθから45°+φ/2を推定できる¹⁾。

変位の不連続量Δとマクロ的φ_{mob}=arcsin((σ₁-σ₃)/(σ₁+σ₃))の関係；図-5は、密な供試体を用いた3つの拘束圧(σ₃'=0.05, 1.0, 4.0 kgf/cm²)での実験結果である。σ₃'が大きい程、(σ₁/σ₃)_{max}が生ずる時のε₁が大きくなるのは、σ₃'が大きい程供試体内の変形の様子はσ₃'が大きい程高いからであり、σ₃'が大きい程荷重後の荷重下の仕方がσ₃'が大きい程滑らかなのは、σ₃'が大きい程供試体内の変形の非一様性、すなわちすべり層への変形の集中の程度はσ₃'が大きい程高いからである(詳しくは文献5参照)。後者のことは写真1で明確に分かる。更にこのことはε₁>4~5%でのσ₁/σ₃はσ₃'が大きい程小さく、この時の(-dε₁/dε₁)がゼロに近くなると、より真の残留状態になっていることから推定できよう。図-6は測定されたΔとφ_{mob}の関係である。これを用いて測定されたΔからφ_{mob}を推定できよう。

すべり層の幅ωは拘束圧σ₃'が大きい程小さい。従って、同-a ΔとΔ/ω=すべり層内の平均せん断ひずみはσ₃'が大きい程大きい。たとえば点FではΔ/ω=2.87/7.36(mm)=0.39(39%)、点MではΔ/ω=2.73/4.41=0.62(62%)、点TではΔ/ω=2.93/2.15=1.36(136%)である。ε₁≒5%であるF, M, Tでのσ₁/σ₃はσ₃'によって異なるのはこのΔ/ωの値の大幅な相違によって説明されよう。

まとめ：本研究では平面ひずみ供試体内の局所的応力の分布は測定していない(砂を用いているので、しなくてはならない)。従って、ここに示したθ~45°+φ/2関係、φ_{mob}~Δ関係を局所的応力~ひずみ変位関係として用いるには若干疑問が残る。

参考文献 1) 龍岡文夫・谷和夫・川村大蔵(1985)「重力(1g)下における小型模型支持力実験における地盤の進行的破壊について」第40回土

木学会、Ⅲ、2) 坂元信・龍岡文夫・川村大蔵・二葉義人(1985)「極低拘束下における平面ひずみ圧縮強度・変形特性」2)と3)は第20回土質学会、名古屋。3) 川村大蔵・龍岡文夫・坂元信・二葉義人(1985)「平面ひずみ圧縮強度・変形特性の異方性」4) 三笠正人・高田直樹・大島昭彦(1984)「一次元圧密粘土と自然堆積粘土の非排水強度の異方性」土と基礎、11月号。5) 川村大蔵・龍岡文夫・坂元信(1985)「局所的ひずみ分布からみた平面ひずみ供試体の応力~ひずみ関係について」第40回土木学会、Ⅲ

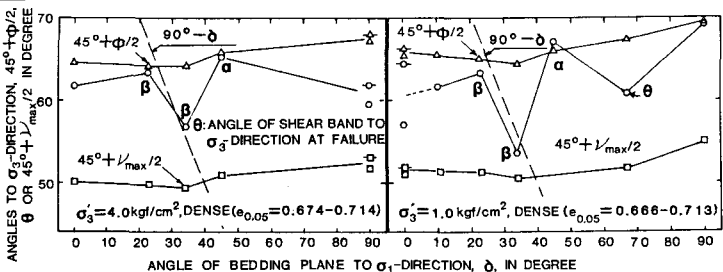


図-4 各種の方向の実験(α, βはすべり層の方向を示す、図-2)

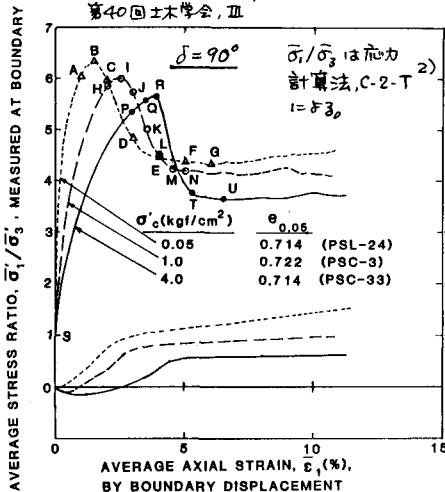


図-5、σ₃'による平均的「応力~ひずみ」関係

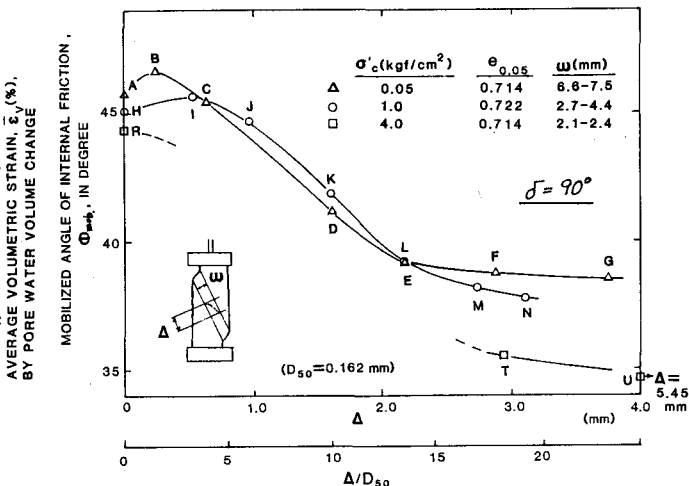


図-6 測定されたΔとφ_{mob}の関係。