

長崎大学工学部 正員・落合英俊

同

長田博文

同

児玉秀昭

1. まえがき セン断面(ゾーン)も指定した直接せん断型のせん断試験では主軸が回転する。また水平方向の $\pm$ ズリ増分が常にゼロであるため、せん断箱内の平面 $\pm$ ズリ要素の方向が支配され、その結果、要素内の限界スベリ面は一般に水平面と一致せず、水平面上の応力比 τ/σ_n は破壊を支配する平面 $\pm$ ズリ要素内の限界スベリ面との応力比 $(\tau/\sigma_n)_{max}$ よりむしろ小さくなる。本文では直接せん断型のせん断試験での主応力軸の回転に關する小田・小高⁽²⁾の式 $\tau/\sigma_n = K \cdot \tan \psi$: (1) を用いてモール応力円を作出し、せん断条件なる応力の最大傾角面などの定式化を図るとともに、Cole⁽³⁾の試験結果とを比較検討した。また(1)式の定数 K の意味を検討し、傾角摩擦角 ϕ との関係、応力の最大傾角 $(\tan \phi_m = (\tau/\sigma_n)_{max})$ との関係について検討した。

2. 小田・小高の式とモール応力円 水平面上の応力 σ_n 、 τ とする。(1)式の ψ = 最大主応力軸と鉛直軸のなす角 = 最大主応力面と水平面のなす角であるので、最大主応力 σ_1 とすれば、Pole の座標は $(\sigma_1 - K\sigma_n, \tau)$ となる。 (σ_n, τ) 、 $(\sigma_1, 0)$ 、 $(\sigma_1 - K\sigma_n, \tau)$ が σ 軸上に中心をもつモール応力円上にありかつはるはるという条件より、 $\sigma_1 = (\tau^2 + K^2\sigma_n^2)/K\sigma_n$ 、 $\sigma_3 = (1-K)\sigma_n$ 、Pole の座標 = $[\tau^2 + K(1-K)\sigma_n^2]/K\sigma_n$ となる。それゆえ、最小主応力 σ_3 は τ と無関係に σ_n のみによつて一義的に決定され、垂直応力 σ_1 一定でせん断応力 τ を増加させる通常の直接せん断型のせん断試験でのモール応力円、Pole および最大主応力軸の方向 ψ は図-1(a)となる。

3. 応力の最大傾角面 $(\tau/\sigma_n)_{max}$ 面 水平面と $(\tau/\sigma_n)_{max}$ 面とのなす角を ω とすれば、図-2の幾何学的関係より、 $\omega = 45^\circ + (\phi_m/2) - \psi$: (2) ここで ϕ_m は応力の最大傾角である。また、 $\sin \phi_m = (\sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_1 + \sigma_3) = [(\tau/\sigma_n)^2 + K^2]/[(\tau/\sigma_n)^2 + K(2-K)] = [\tan^2 \phi + K^2]/[\tan^2 \phi + K(2-K)]$: (3) ここで ϕ は水平面上の応力の傾角 $\tan \phi = \tau/\sigma_n$ である。(1)~(3)式より、各応力状態における応力の最大傾角面を ϕ_m とすると、求めることができる。また、応力の最大傾角面と最大主応力軸のなす角 $\alpha = 90^\circ - \psi - \omega = 45^\circ - (\phi_m/2)$: (4) となる。

4. 最大せん断応力面 (τ_{max}) 面 水平面と τ_{max} 面とのなす角を β とすれば、図-2より $\beta = 45^\circ - \psi$: (5) 式より明らかなるように $\beta = 45^\circ$ ($\tan \psi = 1$) のとき $\beta = 0$ となる。すなわち τ_{max} 面と水平面が一致するときの水平面上の応力比 $(\tau/\sigma_n)_{\beta=0}$ が(1)式の定数 K に等しくなる。図-3の $K = 0.574$ とした場合の応力変化に伴う ψ 、 ω 、 β 、 α 、 ϕ_m 、 ϕ の値を求めた。図-4はCole⁽³⁾のLeighton Buzzard Sand (L.B. Sand)の試験結果とを比較し、 ϕ_m によらずよく一致している。なお、小田らはL.B. Sand に対して $K = 0.58$ としており、どうしてその値を求めるのに不明である。L.B. Sand に対して $K = 0.574$ という値を用いた理由は次に述べる。

5. 定数 K について (1)式の定数 K は材料定数と説明されてはいるが、どのような材料定数と意味してはいるのか、またどうして定数の不明な材料でよいのか。4.2述べたように定数 K は $\beta = 0$ となるときの水平面上の応力比である。 $K = (\tau/\sigma_n)_{\beta=0}$ 。また $\beta = 0$ のとき $K = (\tau/\sigma_n)_{\beta=0} = [(\sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_1 + \sigma_3)]_{\beta=0} = \sin \phi_{m, \beta=0}$: (6) ところがSchafeld & Wroth⁽⁴⁾は“Critical State における砂の挙動は von Mises タイプの破壊状態に支配される”ことを示している。直接せん断型のせん断試験では、平面 $\pm$ ズリ条件が満足されるので、Bishop⁽⁵⁾と同様にCritical State において $\sigma_3 = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$ とすれば、von Mises の破壊状態は最大せん断応力 τ と一致する。それゆえ、直接せん断型のせん断試験におけるCritical State での砂の挙動は近似的に最大せん断応力 τ によつて支配されると考えられる。したがって、 $\beta = 0$ のときの応力の最大傾角はCritical State での摩擦角 ϕ と等しいと考えられる。 $\phi_{m, \beta=0} = \phi_v$: (7)。(7)式より $K = \sin \phi_v$: (8)。Cole⁽³⁾はL.B. Sand に対して、 $\sin \phi_v = 0.574$ という試験結果を示している。図-5、4の $K = 0.574$ としたのは以上の理由によるものであり、試験結果ともよく一致している。なお、Cole⁽³⁾は最大せん断応力面と水平面が一致するという仮定は必ずしも材料とは関係ないものであるが、彼は材料を砂と見做し、 ϕ は ϕ_v と報告している。これは砂は材料とは、つまり砂は

