

名古屋大学 正会員 ○八木 英樹
 不動産建設 正会員 川瀬 泰裕
 鴻池組 正会員 山崎 美昭

1. はじめに；土の性質は本来的にばらつき、しかもそのばらつきはかなり大きい。このため、例えば調査や試験結果の平均値のみに着目するようなやり方は、危険あるいは不経済な設計を招く結果となる。ここでは、土質諸係数を確率変数としてとらえ、一面セン断試験による τ の分布特性、クーロンの破壊基準を利用したときの C 、 $\tan\phi$ の分布特性について報告する。また、それらに対する供試体寸法の影響について検討する。

2. 実験方法；一面セン断試験機としては一般に用いられる上部セン断箱固定型のものを用いた。初期供試体寸法は、直径6.0cm、厚さ2.0cmのものと直径10.0cm、厚さ2.0cmの2種類とした。供試体作製は次のようにした。すなわち、含水比、単位体積重量が初期状態において各供試体とも同一となるように突き固めた。供試体の含水比は $w=5.5\sim 6.7\%$ の範囲のものである。土試料は土粒子比重 $G_s=2.69$ 、最適含水比 $w_{opt}=11.9\%$ 、最大乾燥密度 $\gamma_{dmax}=1.94\text{g/cm}^3$ 、また日本統一土質分類によれば、ツルトまじり砂(SM)に属するものである。セン断速度は 1mm/min とし、実験個数としては、垂直応力 σ の各水準($\sigma=0.4, 0.8, 1.2\text{ kg/cm}^2$)に対して40~50個を目録とし、合計で270個程度の試験を実施した。

3. 実験結果と考察；まず、セン断強度 τ の分布特性についてみよう。図1は τ の頻度分布と、これに適合する連続的な分布形を描いたものである。いずれの σ レベルにおける τ の分布も χ^2 適合度検定の結果、有意水準5%で正規分布するといえる。 τ の分布特性を表わす平均値 μ_τ 、標準偏差 S_τ 、変動係数 V_τ は図1中に併記されている。図1で重要なことは、供試寸法の大きい方が同一の σ レベルについて μ_τ 、 S_τ が小さく分布形がSharpな形を示す

ことである。この理由は次のように考えられる。一面セン断試験によ、て求められるセン断応力には、セン断面近傍の特性ばかりでなく、セン断面より離れた部分の影響も含まれる。そのため、同一の厚さならば、面積の大きい方が、計測値の中に占めるセン断面近傍以外の影響が小さいと考えられる。また供試体が均一の状態であるとしても、セン断面において強弱は存在し、供試体の面積が大きければ、セン断面における強度の弱い部分が強調されることが考えられる。

次にセン断抵抗角 ϕ 、粘着力 C の分布特性についてみてみよう。 C 、 ϕ の分布特性を以下の方法で推定する。最初に、 σ の各水準におけるセン断強度 τ の分布を正規分布とする。ついで、 σ の各水準における τ の正規分布より τ を一つづつランダムに選出する。そしてそれぞれの τ がクーロンの破壊規準($\tau=C+\sigma\tan\phi$)に従うとして最小自乗法で直線近似をして、 C 、 ϕ を求める。この操作をくり返し行ない、 C 、 ϕ の分布形を求める

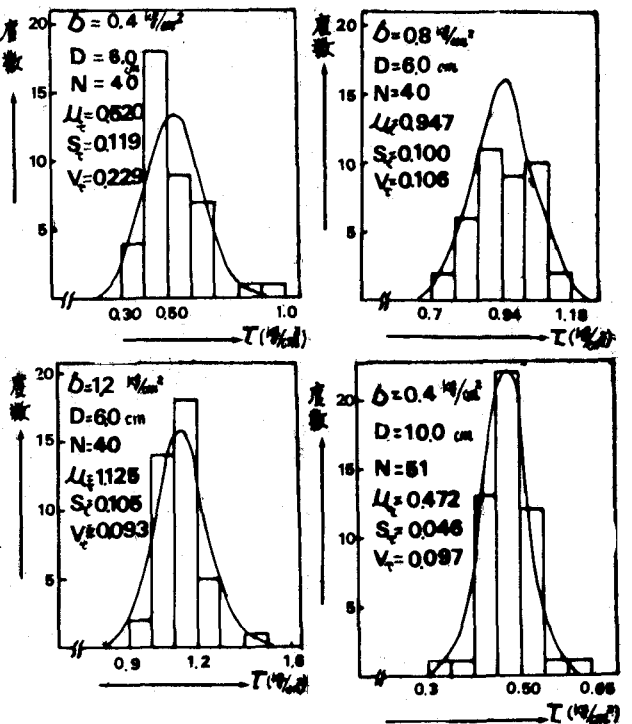


図1 τ の分布

のである。すなわち垂直圧力 σ_i に対するせん断強度 τ_i の分布より一つ選ばれたせん断強度を τ_i とすると、 $\tan\phi$ は次式で求められる。

$$\tan\phi = \frac{1}{\frac{2}{3}\sigma_i - 3\sigma^2} \left\{ \sum_{i=1}^3 (\sigma_i - \bar{\sigma}) \tau_i \right\} \quad (1)$$

$$C = \bar{\tau} - \tan\phi \cdot \bar{\sigma} \quad (2)$$

式(1)(2)において、 σ_i ($i=1, 2, 3$)は定数であり、 τ_i は σ_i に関して独立に正規分布するから $\tan\phi$ 、 C もまた正規分布するといえる。そして、その平均値 $\mu(\tan\phi)$ 、 $\mu(C)$ 、および分散 $S^2(\tan\phi)$ 、 $S^2(C)$ は次式で与えられる。

$$\mu(\tan\phi) = \frac{1}{\sum_{i=1}^3 \sigma_i^2 - 3\sigma^2} \left\{ \sum_{i=1}^3 (\sigma_i - \bar{\sigma}) \mu(\tau_i) \right\}, \quad S^2(\tan\phi) = \frac{1}{\sum_{i=1}^3 \sigma_i^2 - 3\sigma^2} \left\{ \sum_{i=1}^3 (\sigma_i - \bar{\sigma})^2 S^2(\tau_i) \right\}$$

$$\mu(C) = \frac{1}{3} \left\{ \bar{\tau} - \frac{\bar{\sigma}(\sigma_i - \bar{\sigma})}{\sum_{i=1}^3 \sigma_i^2 - 3\sigma^2} \right\} \mu(\tau_i), \quad S^2(C) = \frac{1}{3} \left\{ \bar{\tau} - \frac{\bar{\sigma}(\sigma_i - \bar{\sigma})}{\sum_{i=1}^3 \sigma_i^2 - 3\sigma^2} \right\} S^2(\tau_i)$$

表1に $\tan\phi$ 、 C の平均値、標準偏差、変動係数を示す。表1より、 $\tan\phi$ 、 C の平均値、標準偏差、変動係数次のことがわかる。供試体直径10.0cmにおける計算結果と供試体直径6.0cmのそれを比較すると、供試体寸法の大きい方が強度係数 C 、 $\tan\phi$ の分布においてばらつきが小さい。 τ の分布形を用いて、 C 、 $\tan\phi$ の分布を求めたのであるから、 τ の分布形がよりSharpであれば、 C 、 $\tan\phi$ の分布もよりSharpな形を示すのは当然の結果とも思われる。われわれは通常各 σ レベルにおける τ を直径6.0cmの供試体で一面せん断試験より求め、その τ 値から C 、 $\tan\phi$ を求めて設計計算を行なっている。ところが、供試体寸法をそのように規定する根拠が存在するとは思われない。本報告では、統計学的な取扱いを

し工学的に有利となる供試体寸法を推定しようとしたが上記の二つの実験結果で結論を下すことはあずかしい。しかし、この二つより、図2に示す性質が考えられる。もし、図2のように平均値、標準偏差が収束するような直径が見出されるならば今後の試験法に対して有意義な示唆を与えるであろう。

4. まとめ：一面せん断試験を供試体の寸法をかえて行なう結果、供試体寸法の大きい方が τ の平均値、標準偏差とも小さくなった。また、 τ は供試体の大きさにかかわらず、正規分布で近似できることが認められ、クーロンの破壊基準($\tau = C + \sigma \tan\phi$)に基づいて C 、 $\tan\phi$ の分布形を規定すると、供試体寸法が大きくなれば、 C 、 $\tan\phi$ のばらつきは小さくなり、平均値も減少する傾向を示した。一方、一面せん断試験を行うにあたり、垂直圧力の範囲は設計対象によってほぼ決められるが、その範囲の中でいくつの垂直圧力 σ について試験を行なえばよいのか、すなわち水準数の問題が残る。水準数を多くすれば C 、 $\tan\phi$ の分布形の標準偏差は小さくなると考えられるが、例えば供試体直径10.0cmの実験結果(表1)のように3水準であっても標準偏差が十分小さいときには、 σ の水準数を多くすることは、調査費の莫大が無駄が生ずる。一般に、総個数(試験個数)が同じであるとき、分布形を推定するのに、水準数を増して各水準における τ の個数を減らすのがよいが、これと逆に、水準数を減らして τ の個数を増やすのがよいかなど、今後解決されるべき問題がある。なお、本報告に引き続き、供試体寸法をもう一種類加えて一面せん断試験を行ない、工学的に最も有利となる供試体の大きさを調べていく予定である。

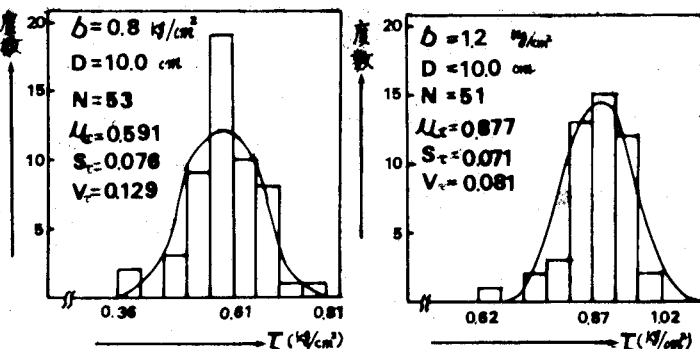


図1 τ の分布

供試体直径	平均値 μ	標準偏差 S	変動係数 V
6 cm			
$\tan\phi$	0.762	0.194	0.255
C	0.254	0.176	0.693
10 cm			
$\tan\phi$	0.513	0.104	0.203
C	0.235	0.081	0.345

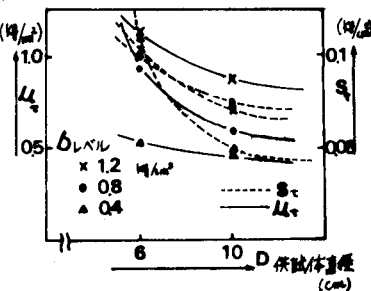


図2 供試体直径の変化による

μ_τ 、 S_τ の予想される変化