

名古屋大学工学部 正員 工博 松尾 稔
 京都大学工学部 正員 工博 黒田勝彦
 日本港湾エンジニアリング 正員 大林卓人

1. はじめに

構造物の設計においては、土質諸係数のばらつきの評価が重要なウェイトを占める場合が多い。したがって、現行設計法のより良い適用という観点から、土質調査や土質試験結果のばらつきの性質を把握しておくことは、きわめて重要である。筆者らは、この観点に立ち、ここ数年来、土質諸係数のばらつきの性質とその処理法に関して研究を進めている。本文は、この一連の研究の一部で、不飽和土の土質諸係数について考察した結果である。研究内容は、不飽和シルトを用いた多数の室内一面せん断試験結果について考察したもので、主として、(1)せん断強度での分布特性、(2)力学係数 c 、 $\tan\phi$ の分布特性、(3) c 、 $\tan\phi$ と物理定数 w 、 γ_d との相関性、(4) c と $\tan\phi$ の相関性などについて検討している。

2. 実験の概要

実験は目的別に2種類(実験Ⅰ、実験Ⅱ)に分かれる。実験Ⅰは上記の目的(1)のために実施した試験で、含水比 $w=20\%$ 、乾燥密度 $\gamma_d=1.5\text{ g/cm}^3$ 、垂直応力 $\sigma=1.6\text{ kg/cm}^2$ の条件下で、100個の一面せん断試験を行なった。実験Ⅱは上記の目的(2)~(4)のために実施したもので、表-1に示す如く、 w を3水準、 γ_d を5水準にとり、(γ_d , w)の各組について、 $\sigma=0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0\text{ (kg/cm}^2\text{)}$ の5水準で、各水準ごとに4回の一面せん断試験を行なった。結局、実験Ⅱでは、合計 $4 \times 3 \times 5 \times 4 = 240$ 個のせん断試験を行なったことになる。

各実験はいずれもフィルドムのコア用の山土を現地から採取したもので、その物理的性質は表-2に、粒徑加積曲線は図-1に示した。用いた試験機は下部可動型一面せん断試験機で、供試体寸法は直径6cm、高さ2cmで所定の密度になるよう、せん断箱内で突き棒によって締め固めた。せん断は供試体の初期沈下を終了した時分から開始し、1mm/minのひずみ制御で手動でせん断した。供試体の含水比の調節は予め行なっているが、せん断終了後の測定によって目標値から±0.5%以上離れているものについては不合格とし考察の対象からはずした。これは後述するように分散分析のデータとするのに不適当であるという理由による。また、せん断強度としては文献(4)に従い、せん断変形を6mmで整理した。

3. 実験結果の考察

実際の設計で問題となるのは、土のせん断強度でそのもののばらつきであるが、すべての垂直応力に対してのばらつきを検討することは不可能である。したがって、現実問題としては、土の破壊がモール・クーロン規準に従うとして、土の力学係数 c 、 $\tan\phi$ のばらつきを検討する方法がとられている。この場合、普通は数水準の σ に対するで実験的に求め、これを最小自乗法で直線を引き c 、 $\tan\phi$ を求める。ここで、 c 、 $\tan\phi$ の母集団分布を把握するためには、 σ の各水準で多数のせん断試験結果が必要となり、結果的には σ の各水準におけるでの分布を求める操作と労力的に変わりはない。したがって、 σ の各水準で数個の σ で求め、その結果から、 c 、 $\tan\phi$ の分布を求めることができれば便利である。以下、この点を検討する。

3-1. σ の分布と c 、 $\tan\phi$ の分布について

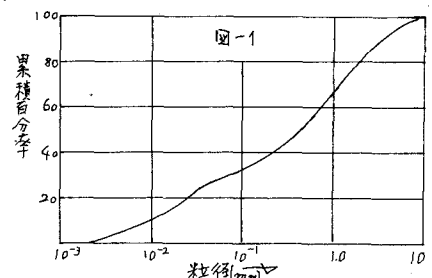
図-2は、実験Ⅰの結果を頻度分布の形に整理したものである。

表-1

w (%)	10	15	20
1.35	20	20	20
1.40	20	20	20
1.45	20	20	20
1.50	20	20	20

表-2

物理的性質	測定値
G_s	2.622
$(\gamma_d)_{\max}$ (g/cm ³)	1.77
w_{opt} (%)	15.9
$U.L.$ (%)	43.4
$P.L.$ (%)	28.6
$P.I.$ (%)	14.8



図中の曲線は正規分布を仮定して当てはめた曲線であり、検定によつて等分散性が確認できた。この結果から、固定された $(\bar{w}, w)$ の下では正規分布することがわかる。ところで、 $c, \tan\phi$ を最小自乗法で求めるとき、 σ の水準における T と $\bar{w}$ 、水準数を n とすると、これは次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} c &= (\sum_{i=1}^n c_i^2 - n\bar{c}^2) / (\sum_{i=1}^n \bar{w}_i^2 - n\bar{w}^2) \\ \tan\phi &= (\sum_{i=1}^n \bar{w}_i c_i - n\bar{w}\bar{c}) / (\sum_{i=1}^n \bar{w}_i^2 - n\bar{w}^2) \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

上式からわかるように、 $\bar{w}$ が正規分布すれば、 $c, \tan\phi$ も正規分布する。実際、実験Ⅱの結果から、 $(\bar{w}, w) = (1.5, 20)$ の場合について、 $c, \tan\phi$ の分布を求めると図-3(a), (b)のようになり、これは χ^2 -検定で正規分布することが確認できた。このように、 $(\bar{w}, w)$ の固定された条件にも拘らず、 $c, \tan\phi$ はかなりの範囲で分布しているのであるから、実際地盤における $w, \bar{w}$ のばらつきを考えれば、 $c, \tan\phi$ はここに示したのものよりも広範囲に分布することが予想される。したがって、現地盤に対する設計を考えるとき、 $c, \tan\phi$ と $\bar{w}, w$ との関係を知っておくことは重要な意味を持っている。

3-2. $c, \tan\phi$ と $\bar{w}, w$ の関係について

実験Ⅱの結果から、 $c, \tan\phi$ と $\bar{w}, w$ について分散分析をしたのが表-3、4である。表からわかるように、 $c, \tan\phi$ に対して含水比 w の効き方が顕著であることが注目されるが、 $w, \bar{w}$ に対して直交多項式展開すると次式を得る。

$$c = 0.1290 - 0.0023(w-15)^2 - 0.0034(\bar{w}-1.425) + 0.075(w-15)(\bar{w}-1.425) + 0.0234(w-15)^2(\bar{w}-1.425) \dots\dots (2)$$

$$\tan\phi = 0.6004 - 0.0117(w-15) + 0.8614(\bar{w}-1.425) - 0.094(w-15)(\bar{w}-1.425) - 0.0262(w-15)^2(\bar{w}-1.425) \dots\dots (3)$$

上式で得られた関係に、実際地盤での $w, \bar{w}$ のばらつきを持ち込め、さらに図-2のようなばらつきを考慮することによって、実際の設計での $c, \tan\phi$ の算出が可能である。

3-3. $c, \tan\phi$ の相関性について

図4は、実験Ⅱの結果を用いて、含水比 w の「グループ」ごとに $c, \tan\phi$ の相関図を描いたものである。図で注目されるのは、最適な含水比を超えている場合の相関が他の場合と異なっている点である。現在のところ、 w_{opt} を超えると何故 $c, \tan\phi$ の相関度が低くなるのかよくわからず、詳細なメカニズムは今後の研究課題と考えている。

4. 参考文献

- 1) 松尾、黒田；土木学会論文報告集、第196号、1971
- 2) 松尾、黒田；土木学会論文報告集、第203号、1972
- 3) 松尾、黒田；土木学会論文報告集、第208号、1972
- 4) 松尾、黒田；土木基礎、Vol.15, No.2, 1967

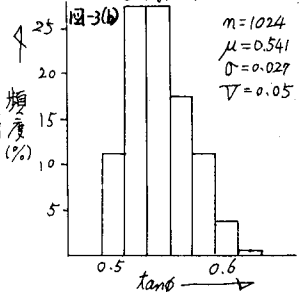
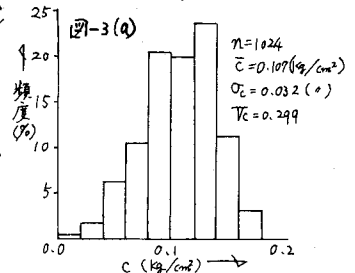
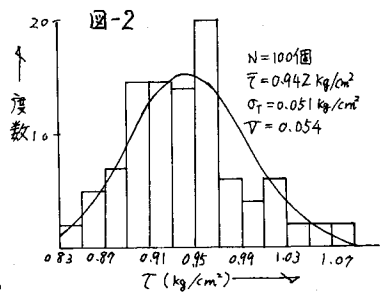


表-3 cの分散分析

因子	自由度	変動	分散	F-検定	棄却率	直交多項式の係数
		β	V	$\alpha=5\%$	(%)	
w 2次	1	0.00905	0.00905	*	49.7	-0.0023
$\bar{w}$ 1次	1	0.00139	0.00139	*	10.3	0.1866
w 1次 $\times \bar{w}$ 1次	1	0.00353	0.00353	*	19.4	0.0252
w 2次 $\times \bar{w}$ 1次	1	0.00286	0.00286	*	15.7	0.0234
誤差	7	0.00146	0.0021		4.9	
T	11	0.01822				

表-4 tan phiの分散分析

因子	自由度	変動	分散	F-検定	棄却率	直交多項式の係数
		β	V	$\alpha=5\%$	(%)	
w 1次	1	0.02714	0.02714	*	60.3	-0.0117
$\bar{w}$ 1次	1	0.00676	0.00676	*	15.0	0.4246
w 1次 $\times \bar{w}$ 1次	1	0.00532	0.00532	*	12.3	-0.0940
w 2次 $\times \bar{w}$ 1次	1	0.00359	0.00359	*	8.0	-0.0262
誤差	7	0.00198	0.0028		4.4	
T	11	0.04498				

