

对土的抗剪强度指标（直剪试验） 确定方法的研究

舒福华

（机械工业部第三勘察研究院 武汉市 430030）

【提要】本文分析了图解法求 c 、 φ 值的不科学性及非唯一性，（GBJ7—89）规范推荐方法求 c 、 φ 值的进步（唯一性）及不足（机械性），并提出了采用最小相对误差绝对值来确定 c 、 φ 值的新方法，提高了 c 、 φ 值的可信度。

【Abstract】 The unscience and the properties of multiresolution of the value of c and φ by graphic solution, and the advances (unique) and lacks (mechanism) of the value of c and φ by standard (GBJ7-89) are analysed in this paper. A new method to determine the value of c and φ by using the absolute value of the least relative error is proposed. The reliability of the value of c and φ are improved by this method.

0 引言

在新的国家规范——《建筑地基基础设计规范》（GBJ7—89）施行之前，关于直剪试验中土的抗剪强度指标粘聚力 c 及内摩擦角 φ 值的提出，大量使用的是图解法，即在抗剪强度 s 与试验压力 p 构成的 s - p 直角坐标系中，根据同一土样每组试验（一般每组试验用4个试样）结果 (p_1, s_1) 、 (p_2, s_2) 、 (p_3, s_3) 、 (p_4, s_4) 在坐标系中构成的四个点绘制成直线，绘制原则是尽可能使四点落在直线上，或尽可能使四点处于直线附近。该直线在纵轴（ s 轴）上的截距即为土的粘聚力 c 值，与横轴（ p 轴）夹角即为土的内摩擦角 φ 值。

上述方法的优点是简明快捷，缺点是由于直线有多种联法，故不同的人对同一土样往往得出不同的 c 、 φ 值，这就造成了 c 、 φ 值的提出带有人为因素，即同一土样的 c 、 φ 值具有非唯一性。

1 新规范的进步与不足

《建筑地基基础设计规范》（GBJ7—89）从根本上解决了 c 、 φ 值的唯一性问题。该规范在附录7中提出了直剪试验中每组试

验的 c 、 φ 基本值的求法：

$$\varphi_i = \arctg \left[-\frac{1}{\Delta} (k \Sigma p s - \Sigma p \Sigma s) \right] \quad (\text{附7-1})$$

$$c_i = \frac{\Sigma s}{R} - \frac{\Sigma p}{R} \text{tg} \varphi_i = s_m - p_m \text{tg} \varphi_i \quad (\text{附7-2})$$

$$\Delta = R \Sigma p^2 - (\Sigma p)^2 \quad (\text{附7-3})$$

式中 p ——垂直压力；
 s ——水平剪力；
 k ——每组试样数。

将每组试验所得出的 (p_1, s_1) 、 (p_2, s_2) 、 (p_3, s_3) 、 (p_4, s_4) 等数据，用式（附7-1）、（附7-2）、（附7-3）求出 c 、 φ 值，实际上是按线性回归方法得出的，其结果具有工程数学上的正确意义，它解决了图解法的牵强附会及人为随意性，保证了同一组试样 c 、 φ 值的唯一性。

然而，众所周知，大量的工程地质数据的统计计算中，对一些明显不合理或离散性较大的数据，正确的作法是应该将其舍弃，不予参加统计。这种“不合理性”或“离散

性”来源于许多方面，如土质的欠均匀，人工操作的失误，试验测试仪器的误差，试验中试样的破损变形，读数误差等。在土的直剪试验中，毫无疑问地也存在这些问题，(GBJ7—89)规范在求 c 、 φ 基本值时，是将每组试验的所有试样的试验结果机械地用式(附7-1)~(附7-3)求出，其结果有时很难保证 c 、 φ 值的准确程度，甚至由于个别试样数据的“失真”，而使 c 、 φ 值“面目全非”。

如何根据每组试样有限的试验数据(p_1, s_1)、(p_2, s_2)、(p_3, s_3)、(p_4, s_4)来提出 c 、 φ 的准确值呢？这正是本文所要探讨的问题。

2 c 、 φ 值的准确提供方法研究

在分析了图解法求 c 、 φ 值的缺点(人为性及非唯一性)及(GBJ7—89)规范求 c 、 φ 值的方法(具有结果的唯一性，缺乏结果的准确性)的基础上，笔者认为下述方法求 c 、 φ 值不仅可以保证结果的唯一性，而且在很大程度上提高了结果的准确性。

首先引入抗剪强度相对误差的概念，如图1所示，设 $A-A'$ 线为按(GBJ7—89)规范附录7方法确定的库仑包线，“ \times ”代表试验数据点，则某试验数据点的抗剪强度相对

误差 M_i 为：

$$M_i = \frac{S_i - S'_i}{S_i} \times 100\%$$

同时假设每试验试样数为4，分别得出的试验数据为(p_1, s_1)、(p_2, s_2)、(p_3, s_3)、(p_4, s_4)，采用线性回归方法：

由(p_1, s_1)、(p_2, s_2)、(p_3, s_3)、(p_4, s_4)求出 c_1 、 φ_1 及 M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 ；(注： c_1 、 φ_1 就是 GBJ7—89 规范求出的结果)。

另外，由4个试验数据点中的3个形成的四种组合分别来求得四组 c 、 φ 值——

由(p_1, s_1)、(p_2, s_2)、(p_3, s_3) 求出 c_2 、 φ_2 及 M_1 、 M_2 、 M_3 ；

由(p_1, s_1)、(p_2, s_2)、(p_4, s_4) 求出 c_3 、 φ_3 及 M_1 、 M_2 、 M_4 ；

由(p_1, s_1)、(p_3, s_3)、(p_4, s_4) 求出 c_4 、 φ_4 及 M_1 、 M_3 、 M_4 ；

由(p_2, s_2)、(p_3, s_3)、(p_4, s_4) 求出 c_5 、 φ_5 及 M_2 、 M_3 、 M_4 。

从(c_1, φ_1)~(c_5, φ_5)5组 c 、 φ 值选取一组，使其所有 M 值的绝对值 $|M|$ 均最小(大量一般工程均可满足 $|M| \leq 5\%$ 的条件)，则该组 c 、 φ 值即为最准确的土的抗剪强度指标值。

下面举两个例子来说明以上的方法。

例1：某土样进行了4个试样的直剪试验，当垂直压力分别为 $p_1 = 50\text{kPa}$ ， $p_2 = 100\text{kPa}$ ， $p_3 = 150\text{kPa}$ ， $p_4 = 200\text{kPa}$ 时，测得土样的水平剪力分别为 $s_1 = 49\text{kPa}$ ， $s_2 = 48\text{kPa}$ ， $s_3 = 104\text{kPa}$ ， $s_4 = 138\text{kPa}$ ，求出该组土样的 c 、 φ 值。

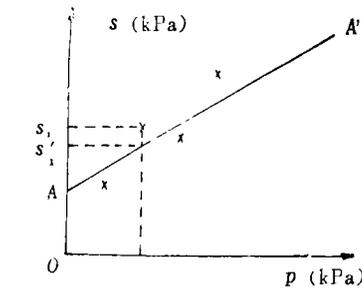


图 1

解： $c_1 = 4.0\text{kPa}$ ， $\varphi_1 = 32.9^\circ$ ， $M_1 = 34.80\%$ ， $M_2 = -30.10\%$ ， $M_3 = -2.90\%$ ， $M_4 = 3.50\%$
 $c_2 = 12.0\text{kPa}$ ， $\varphi_2 = 28.8^\circ$ ， $M_1 = 24.08\%$ ， $M_2 = -28.34\%$ ， $M_3 = 10.10\%$ ，—
 $c_3 = 4.0\text{kPa}$ ， $\varphi_3 = 32.5^\circ$ ， $M_1 = 36.68\%$ ， $M_2 = -29.11\%$ ，—， $M_4 = 5.01\%$
 $c_4 = 18.7\text{kPa}$ ， $\varphi_4 = 30.4^\circ$ ， $M_1 = 2.00\%$ ，—， $M_3 = -2.53\%$ ， $M_4 = 1.44\%$
 $c_5 = -38.3\text{kPa}$ ， $\varphi_5 = 42.0^\circ$ ，— (c_5 出现负值，舍去)

所以，该组土样的 c 、 φ 值选为 $c = 18.7\text{kPa}$ ， $\varphi = 30.4^\circ$ 时最准确，抗剪强度相对误差绝对值最小(见图2)。

例2: 已知 $p_1 = 50\text{kPa}$, $p_2 = 100\text{kPa}$, $p_3 = 150\text{kPa}$, $p_4 = 200\text{kPa}$

$s_1 = 56.25\text{kPa}$, $s_2 = 76.17\text{kPa}$, $s_3 = 96.58\text{kPa}$, $s_4 = 151.33\text{kPa}$

求准确的 c 、 φ 值。

解:	c_i	φ_i	M_1	M_2	M_3	M_4
	$c_1 = 18.7\text{kPa}$	$\varphi_1 = 31.4^\circ$	14.28%	-4.48%	-12.41%	7.50%
	$c_2 = 36.0\text{kPa}$	$\varphi_2 = 22.0^\circ$	0.01%	-0.30%	-0.01%	—
	$c_3 = 18.7\text{kPa}$	$\varphi_3 = 33.1^\circ$	9.80%	-9.06%	—	1.68%
	$c_4 = 21.3\text{kPa}$	$\varphi_4 = 31.0^\circ$	9.57%	—	-13.38%	7.01%
	$c_5 = -4.71\text{kPa}$	$\varphi_5 = 36.9^\circ$	—	(c_5 出现负值, 舍去)		

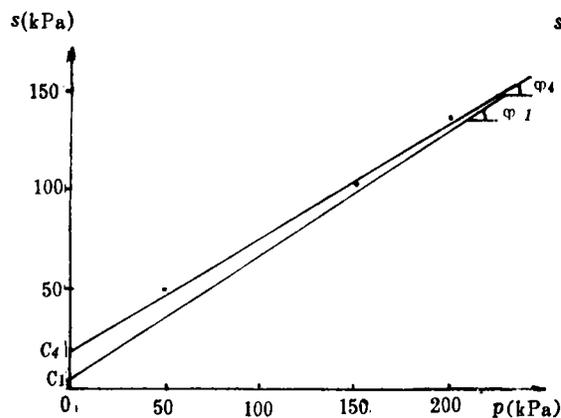


图 2

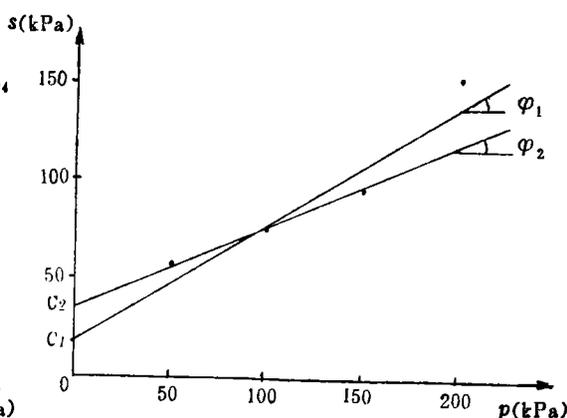


图 3

该组土样的 c 、 φ 值应选为 $c = 36.0\text{kPa}$, $\varphi = 22.0^\circ$ (见图3)

从以上两个例子可以看出, 采用以上方法求出的 c 、 φ 值不但是唯一的 (取使大多数数据点抗剪强度相对误差绝对值 $|M|$ 最小的那组 c 、 φ 值), 而且舍弃了少数不合理因素, 大大提高了 c 、 φ 值的可信度。

3 结语

随着国家规范的几次修订, 有关土的直剪试验的抗剪强度指标的提供方法越来越趋于合理化及严密化。本文旨在现行规范的基础上, 强调了应该提高 c 、 φ 值的准确性, 摒弃照搬规范而不考虑不合理因素的机械作

法。文中推荐的方法可在微机中计算, 只需输入每组试验的 (p_i, s_i) 值, 即可由微机打印出所有计算结果, 并选出唯一的、最准确的抗剪强度指标 c 、 φ 值。

参 考 文 献

- 1 《工业与民用建筑工程地质勘察规范》(TJ21-77)
- 2 《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89)
- 3 《土工试验方法标准》(GBJ123-88)
- 4 《工程地质手册》(第三版). 中国建筑工业出版社, 1992. 12