

微型贯入仪测定界限含水量的试验研究

秦植海

(河北水利专科学校, 沧州, 061001)

1. 问题的提出

目前, 国内各部门测定界限含水量的方法较多, 但没有统一的标准^[1], 因而限制了各部门对土的工程性质的交流。并且这些测定方法在定义含水量时, 均采用土体处于两种稠度状态之间的界限含水量值。如液限含水量 w_L 是土体处在流动状态和可塑状态之间的界限含水量值。然而, 两种稠度状态的界限只是一种模糊的概念, 没有一个定量的标准。实际上粘性土稠度的软硬反映了土体强度的大小, 并且重塑粘性土的含水量与强度之间存在着唯一的关系^[2]。因此, 直接以重塑粘性土的强度定义界限含水量概念将更加清晰。

国外及我国各部门采用不同的方法测定的界限含水量所对应的等效抗剪强度虽不尽相同, 但十分接近。本文仅讨论土木工程中常用的粘性土的液限含水量 w_L 及塑限含水量 w_P 。GBJ123-88《土工试验方法标准》(以下简称《标准》), 圆锥仪液限强度1.7kPa与卡萨格兰德硬底碟式仪液限强度1.7kPa、瑞典圆锥仪液限强度1.7kPa、英国圆锥仪液限强度1.6kPa基本相同; 《标准》圆锥仪塑限强度119kPa^[2]与滚搓法塑限强度平均值114kPa^[2]、反向挤出法塑限强度116kPa相吻合^[2]。本文建议可直接用这些等效抗剪强度定义重塑粘性土的界限含水量。

测定粘性土抗剪强度的方法较多, 有三轴不排水剪切试验、无侧限抗压强度试验、十字板剪切试验。这些方法因试验用土量多, 仪器构造及操作均较复杂, 且造价高, 限制了在测定界限含水量方面的应用。微型贯入仪因其构造简单、液晶显示贯入阻力、操作方便、其探头与《标准》所规定使用的圆锥锥头十分接近, 是测定界限含水量比较理想的仪器。

2. 微型贯入仪读数与粘性土体不排水抗剪强度的关系

为了找到反映贯入阻力大小的微型贯入仪读数与重塑粘性土体不排水抗剪强度的关系, 对16种粘性土土样($w_L=29.5\%\sim 60.2\%$ $w_P=14.3\%\sim 30.2\%$ $I_p=14.2\sim 30.1$)做了上百次试验, 获得740个数据, 通过回归分析得到相关式如下:

$$\tau_+ = 0.512R - 0.09 \quad (\text{相关系数 } r = 0.974) \quad (1)$$

式中 R 为反映贯入阻力大小的微型贯入仪读数, 0.1N ; τ_f 为重塑粘性土室内小十字板抗剪强度, kPa 。

微型贯入仪读数 R 与土体抗剪强度 τ_f 的关系曲线见图1。显著性水平 $\alpha=0.01$ 时, 临界相关系数 $r_{\text{临}}=0.298$; $\alpha=0.05$ 时, 临界相关系数 $r_{\text{临}}=0.229$ 。式(1)的相关系数 0.974 远大于临界相关系数, 接近 1.0 , 说明微型贯入仪读数 R (即贯入阻力) 与抗剪强度之间存在着良好的线性相关关系, 这一点从理论上也可得到证明^[8]。

式(1)与安徽省水利科学研究所对19种粘性土做的对比试验结果吻合^[3]。

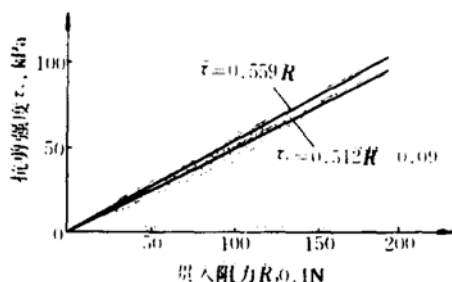


图1 τ_f - R 关系曲线

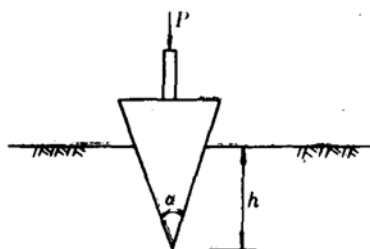


图2 液限仪圆锥

根据极限平衡理论(见图2), 设 P 代表圆锥的重力, A 代表圆锥与土的接触面积, 则沿此表面的极限剪应力

$$\tau = \frac{P \cos \frac{\alpha}{2}}{A} = \frac{P \cos^2 \frac{\alpha}{2}}{\pi h^2 \tan \frac{\alpha}{2}} = \frac{Q P}{h^2} \quad (2)$$

式中 α 为圆锥的顶角; Q 为圆锥的形状系数, $\alpha=30^\circ$ 时, $Q=1.11$; P 为圆锥自重, N ; h 为圆锥入土深度, mm 。

当 $\alpha=30^\circ$, $h=1\text{cm}$ 时, $\tau=1.11P (\text{N}/\text{cm}^2)$ 。

质量 76g 的圆锥在其自重作用下下沉 1cm , 圆锥与土体接触面上的极限剪应力为

$$\tau = 1.11P = 1.11 \times 0.76 = 0.844 (\text{N}/\text{cm}^2) = 8.44 \text{kPa}$$

安徽省水利科学研究所实测值为 4.25kPa ^[3], 实测值与理论值之比 $F = 4.25/8.44 = 0.504$, 因此可得到圆锥入土为 1cm 时, 圆锥与土体接触面实际极限剪应力和圆锥贯入阻力之间存在如下关系:

$$\tau = 1.11 F P' = 1.11 \times 0.504 P' = 0.559 P' (\text{N}/\text{cm}^2) = 0.559 R (\text{kPa}) \quad (3)$$

式中 P' 为圆锥贯入阻力 (N); R 为反映贯入阻力大小的微型贯入仪读数 (0.1N)。

式(3)与式(1)接近。

3. 测定界限含水量的方法比较

为了验证微型贯入仪测定界限含水量的正确性, 采用式(1)对25种粘性土土样进行对比试验, 结果如下:

(1) 采用微型贯入仪测定对应于《标准》圆锥仪 5s 下沉 $2, 10, 17\text{mm}$ 时的抗剪强度平均值,

分别为117.2, 6.9, 2.2kPa。与《标准》圆锥仪测定液、塑限含水量的等效抗剪强度值119, 8.4, 1.7kPa接近。(测试仪误差 ± 0.3 kPa)。

(2)以119kPa的等效抗剪强度定义塑限含水量 w_p , 采用微型贯入仪测定的含水量值与《标准》圆锥仪5s下沉2mm测定的含水量值相比差0.3%(平均值), 最大差值1.8%; 以8.4kPa的等效抗剪强度定义液限含水量 w_{L10} , 采用微型贯入仪测定的含水量值与《标准》圆锥仪5s下沉10mm测定的含水量值相比差1.6%(平均值), 最大差值3.2%(工程中多年来以圆锥15s下沉10mm时, 土样的含水量定义为液限含水量 w_L , 工程技术人员已积累了一定经验, 作为过渡, 新规程保留了圆锥下沉10mm时的液限含水量, 为相区别, 加下角标记为 $w_{L10}^{(1)}$); 以1.7kPa的等效抗剪强度定义液限含水量 w_L , 采用微型贯入仪测定的含水量值与《标准》圆锥仪5s下沉17mm测定的含水量值相比差3.4%(平均值), 最大差值7.2%。

(3)用上述两种方法测定得到的塑性指数 I_{p10} , I_p 确定土名, 其相符率均为96%(I_{p10} 是与 w_{L10} 对应的塑性指数); 不符者, 其塑性指数 I_{p10} , I_p 处于土的名称分界处。

4. 结 语

(1)直接以重塑粘性土的抗剪强度定义界限含水量概念清晰, 较为合理(实际上其他方法也是以强度定义界限含水量, 只是采用间接的形式^[2])。即土体具有117.2kPa的不排水抗剪强度时的含水量为塑限含水量 w_p ; 土体具有2.2kPa不排水抗剪强度时的含水量为液限含水量 w_L 。或117.2, 2.2kPa不排水抗剪强度所对应的含水量分别为重塑粘性土的塑限含水量 w_p 及液限含水量 w_L (过渡液限含水量 w_{L10} 略)。如工程中使用液限指数 I_L 判断粘性土的工程性质: $I_L > 1.0$ 土体处于流动状态; $I_L < 0$ 土体处于坚硬状态。若采用新的界限含水量定义, 解释上述内容概念十分清晰; 当土体强度小于2.2kPa时处于流动状态; 土体强度大于117.2kPa时处于坚硬状态。

(2)采用微型贯入仪测定界限含水量费用低、操作方便。微型贯入仪价格不足液塑限联合测定仪价格的1/2, 其自重、体积仅有液塑限联合测定仪的几十分之一。测试时贯入仪入土深度不因土的含水量而变化, 均采用10mm, 贯入阻力的大小采用液晶数字显示, 具有较高的精度。液塑限联合测定仪是在沉降过程中读数, 精度难以保证。当含水量较小时, 人为因素对试验成果影响较大。如含水量接近塑限时, 圆锥入土深度仅2~5mm, 在刮平试杯土面时, 土膏较硬, 易使土膏表面形成1mm以上的凹凸不平的麻面, 凹凸深度与测试深度之比 $D=1.5/2=0.75$, 较微型贯入仪定义的 $D(=1.5/10=0.15)$ 大很多(凹凸深度取1.5mm), 对试验结果影响很大。若采用较大的含水量, 圆锥入土较深, 其塑限含水量为外插, 精度更不易保证^[2]。使用微型贯入仪测定粘性土的界限含水量只需在5s时间内将探头缓缓贯入土膏10mm, 显示屏马上以数字显示贯入阻力 $R(0.1N)$, 根据关系式(1)换算成不排水抗剪强度 τ_+ , 在双对数坐标纸上确定试验点(w, τ_+), 以不同的含水量做3次试验, 可得到一条直线。大量试验结果表明, 这种试验方法所测结果重现性好。117.2, 2.2kPa所对应的含水量分别为土的塑限含水量 w_p , 液限含水量 w_L 。某试样用上述两种测试方法所得的结果如图3、图4所示。

使用微型贯入仪测定界限含水量所采用的等效抗剪强度与GBJ123-88《土工试验方法标准》吻合, 因此本方法所测结果可直接用于现有的各种有关规范。

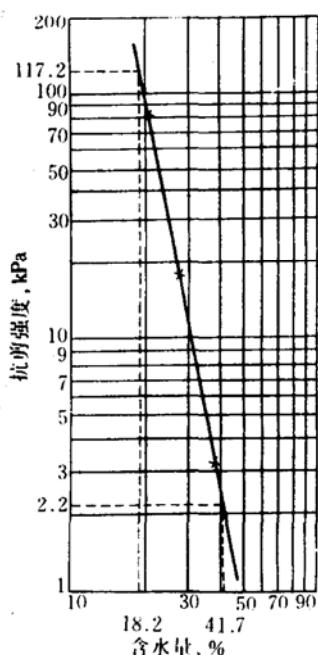


图3 微型贯入仪测定界限含水量

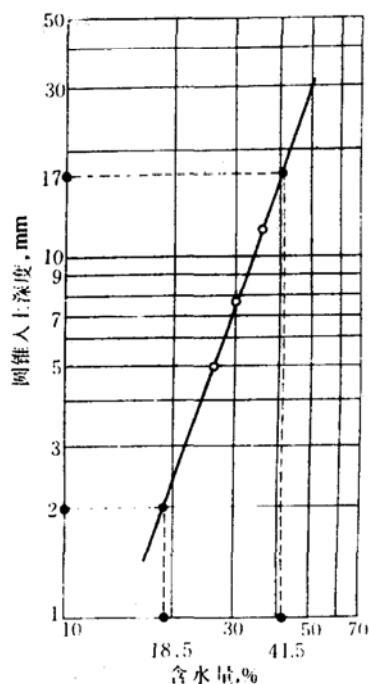


图4 液塑限联合测定仪测定界限含水量

鉴于上述原因,希望有关部门对这种新的界限含水量的定义方法、测定方法给予重视、推广。这与怀特(White, I.L)提出的挤出法^[2](用土的强度定义界限含水量)相似,并且更简单,可能是测定界限含水量比较理想的方法。

由于这项试验研究所使用的土样均取自沿海地区,所获得的抗剪强度与贯入阻力的关系,其代表性可能受到局限。因此欢迎全国各地同仁对本地区土体进行对比试验,积累资料,汇总后得出全国通用的抗剪强度与贯入阻力之间的关系式,以使界限含水量的定义方法、测试方法更加合理、简便、精确,也便于对土的工程性质进行更深入的研究。

本课题在立项、试验及成文过程中都得到陈卫祖教授的指导,本校工业与民用建筑专业8915班、市政工程专业8902班同学做了大量试验工作,在此一并致谢。

参 考 文 献

1. 土工试验规程(SD128-84).第1分册.第2版.北京:水利电力出版社,1987.61~70, 234~244.
2. 蒋彭年.稠度试验的研究与发展.岩土工程学报,1989,11(5): 1~15.
3. 莫 宜,盛树攀,马梅英.土工实验室测定技术.北京:水利电力出版社,1987.53~54.

勘误:本刊1993年第3期《非饱和土的水气运动规律及其工程性质》一文更正如下:

页码	行数	错误	正确
11	2	吸水	吸力
16	5	$k_w = \dots = D(S)/(-dS/dP_c)$	$k_w = \dots = D(S)(-dS/dP_c)$
20	12	边值问题博士论文	边值问题[博士论文]