维普资讯 http://www.cqvip.com

抗剪强度、抗剪强度指标、土体

第 11 卷第 3 期(总 40)　　地　基　处　理　　2000 年 9 月

一题一议　主持人:龚晓南

漫谈土的抗剪强度和抗剪强度指标*

(15)

龚晓南

106-108　(浙江大学土木工程学系　杭州　310027)

TU411.7

众所周知,摩擦型材料的抗剪强度不仅与材料性质有关,还与作用在剪切面上的法向应力大小有关。人们常用抗剪强度指标来描述摩擦型材料的性质,采用摩尔—库伦定律计算该类物体的抗剪强度:

$$\tau_f = c + \sigma \mathrm{tg}\varphi \tag{1}$$

式中　c——粘聚力;

σ——剪切面上的法向应力;

φ——摩擦角。

通常将土体视为摩擦型材料,用式 1 来计算土体的抗剪强度。c、φ 是描述土体材料属性的抗剪强度指标,τ_f 是土体抗剪强度。在工程讨论或在工程报告文件中经常听到或看到某土层抗剪强度 c 和 φ 是多大,这种将抗剪强度指标大小与抗剪强度大小相混淆显然是不合适的。

土是多相体,以饱和粘性土为例,土体在经受外荷作用时是处于排水状态还是不排水状态,对其抗剪强度值是有不小影响的。另外剪切面上的法向应力也有两种描述,一种是总应力 σ,另一种是有效应力 σ'。因此图 1 中单元土体 A 的抗剪强度 τ_f 表达式如下:

不排水条件下:

$$\begin{aligned}\tau_f &= c + \sigma \mathrm{tg}\varphi \\ &= c + (\sigma' + u_f)\mathrm{tg}\varphi\end{aligned} \tag{2}$$

也可表示为

$$\tau_f = c' + \sigma' \mathrm{tg}\varphi' \tag{3}$$

上两式中,c 和 φ 称为总应力强度指标,c' 和 φ' 称为有效应力强度指标,u_f 为土体破坏时超孔隙水压力。由式 2 和式 3 计算得到的抗剪强度值 τ_f 应是相等的。

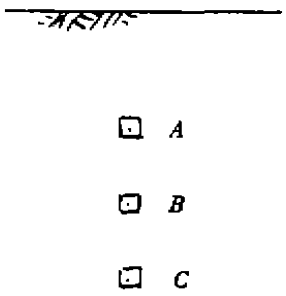

图 1　地基土体抗剪强度

完全排水条件下,通常指剪切过程中土体中超孔隙水压力及时得到消散,土体中总应力和有效应力值是相等的。完全排水条件是一种理想情况。完全排水条件下,土体抗剪强

* 收稿日期:2000 年 5 月

维普资讯 http://www.cqvip.com

度表达式为

$$\tau_{fd} = c_d + \sigma \mathrm{tg}\varphi_d \tag{4}$$

上式中完全排水条件下抗剪强度指标 c_d 和 φ_d 与有效应力强度指标 c' 和 φ' 基本上是相等的，但由式4计算得到的完全排水条件下土体的抗剪强度值 τ_{fd} 比由式2和式3计算得到的不排水条件下土体的抗剪强度值要大得多。常规三轴固结不排水剪切试验(CIU试验)和固结排水剪切试验(CID试验)有效应力路径如图2所示，τ_{fD} 为排水条件下土体抗剪强度，τ_{fU} 为不排水条件下土体抗剪强度。由图中可看到不排水条件下和排水条件下土体抗剪强度的差别。

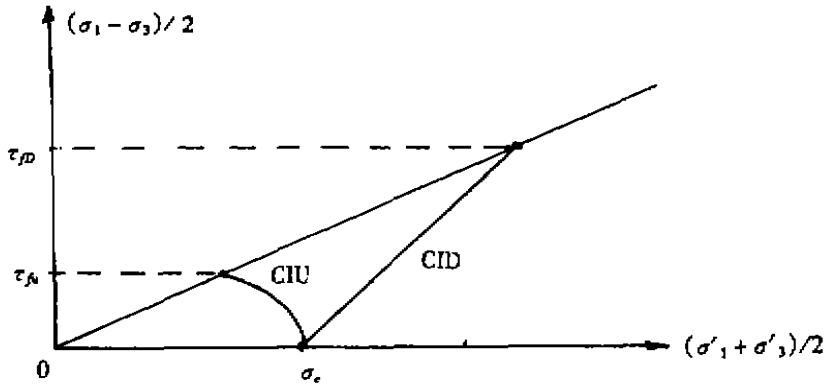

图2 CIU试验和CID试验的有效应力路径

地基土体在荷载作用下不可能处于完全不排水状态，也不可能处于完全排水状态。实际地基中土体处于两者之间，视土体渗透性大小及土层边界排水条件而定。实际地基中土体抗剪强度也处于两者之间。当土体渗透系数较小时，加荷速率较快时，稳定分析取不排水抗剪强度是合适的，而且是偏安全的。

一般情况下，地基土体抗剪强度是随着加荷过程变化的，而其抗剪强度指标(总应力强度指标 c 和 φ，有效应力强度指标 c' 和 φ')应是不变的，或者说基本上不变，是定值。从这一点看，强调抗剪强度与抗剪强度指标的涵义的差别也很有必要。

下面讨论地基土体不排水抗剪强度的测定方法。设图1所示为均质地基。采用不固结不排水三轴试验可以测定 A、B、C 三个单元土体的不排水抗剪强度值 $(C_u)_A$、$(C_u)_B$ 和 $(C_u)_C$。由于所处深度不同，土体上覆土重不同，三个单元土体的不排水抗剪强度值是不相同的，且 $(C_u)_C > (C_u)_B > (C_u)_A$。由十字板试验结果可知土体不排水抗剪强度值对均质地基或对同一层土沿着深度是线性增长的。采用固结不排水试验可以测定地基土体的总应力强度指标和有效应力强度指标。根据地基土体中的固结应力可以应用式2或式3计算地基中各种深度土体的不排水抗剪强度。由上述分析，采用不固结不排水三轴试验和三轴固结不排水试验均可测定土的不排水抗剪强度。应该指出的是：前者一个试验只能测定地基中某一点土的不排水抗剪强度，它不能代表一个土层的不排水抗剪强度。如应用于稳定分析，应测出多点，并推出不排水抗剪强度沿深度的分布规律。后者得到的是土层土体的材料属性，地基土体不排水抗剪强度可以根据地基中初始应力应用式2或式3计算。两者比较：一个

维普资讯 http://www.cqvip.com

是测定某一单元土体的抗剪强度，一个是测定某一土层的抗剪强度指标。从这里也可看到区分抗剪强度和抗剪强度指标的重要性。

顺便指出某些教科书认为：当土体渗透系数较小、排水条件不良，加荷速率较快时，土体的抗剪强度可由不固结不排水试验测定，而不能由三轴固结不排水剪切试验测定。笔者认为上述概念不是很合适。根据前面分析，不固结不排水三轴试验和固结不排水试验均可用以测定土体的不排水抗剪强度值。软土地基不排水条件下稳定分析时既可采用不固结不排水剪切试验测定的不排水抗剪强度值，也可采用固结不排水剪切试验测定的强度指标推算得到的不排水抗剪强度值。忽略试验误差，对同一地基土层同一深度的土体，两者测定的不排水抗剪强度值应是相等的。

前面谈到通常将土体视为摩擦性材料，但地基土体有其特殊性。一般摩擦性材料，加载和卸载时抗剪强度指标是一致的。由于地基土体的结构性，其抗剪强度指标是分段的，如图3所示，图中 p_c 可理解为前期固结压力，或土体结构性强度点 A 所对应的横座标值。第一段摩尔包线纵坐标轴上截距为 C，与横坐标轴成 φ_e 角；第二段摩尔包线与横坐标轴成 φ

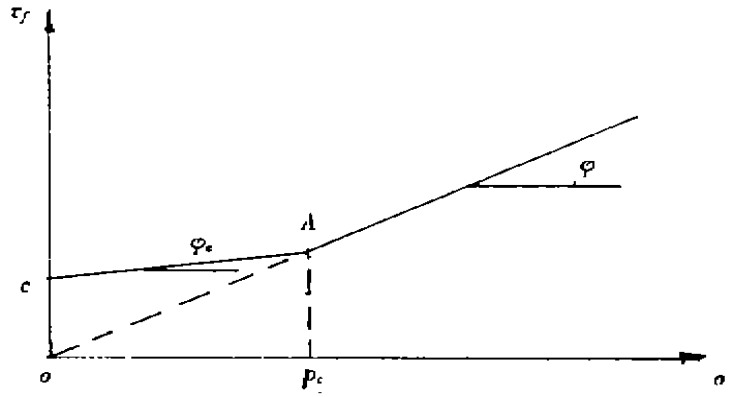

图3 地基土体抗剪强度指标

角，纵坐标轴上截距等于零，或接近于零。这一概念笔者认为在工程界和学术界普遍重视不够，在卸载区域稳定分析时不是没有想到强度指标取值的不同，就是想到也难以从工程地质勘测报告中获得有关参数。