14.土的抗剪强度

土的抗剪强度是指土体对于外荷载所产生的剪应力的极限抵抗能力。当土中某点由外力所产生的剪应力达到土的抗剪强度时,土体就会发生一部分相对于另一部分的移动，该点便发生了剪切破坏。

1）库仑定律

土的抗剪强度一般由库伦定律表示如下：

砂土： $\tau_f = \sigma.\tan\varphi$ （2.34）

黏性土： $\tau_f = c + \sigma.\tan\varphi$ （2.35）

式中 τ_f —土的抗剪强度（kPa）；

σ —作用在剪切面上的法向应力（kPa）；

c —土的黏聚力（kPa）

φ —土的内摩擦角（°）

以 σ 为横坐标轴，τ_f 为纵坐标轴，抗剪强度线如图 所示。直线在纵坐标轴上的截距为黏聚力 c，与横坐标的夹角为 φ。c、φ 称为土的抗剪强度指标。

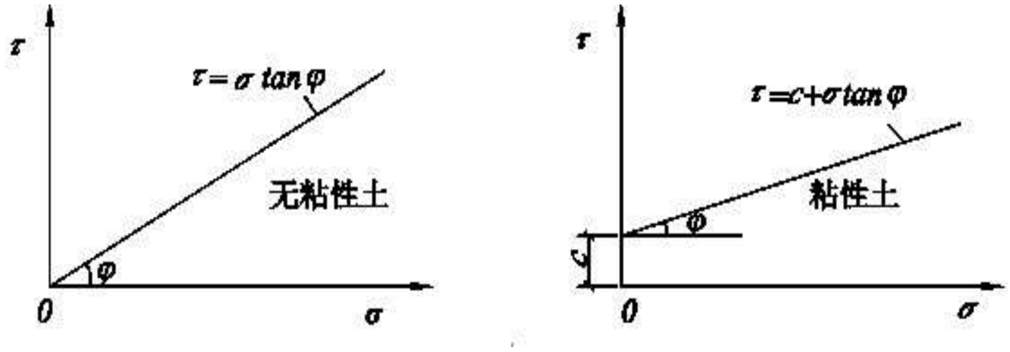

图2.15 土的抗剪强度

【讨论】：土的抗剪强度不是一个定值，而是剪切面上的法向总应力 σ 的线性函数；对于无粘性土，其抗剪强度仅仅由粒间的摩擦力（$\sigma.\tan\varphi$）构成；对于粘性土，其抗剪强度由摩擦力（$\sigma.\tan\varphi$）和粘聚力（c）两部分构成。

2）土的极限平衡条件

①土中一点的应力状态

在自重与外荷作用下土体(如地基)中任意一点的应力状态，对于平面应力问题，只要知道应力分量即 σ_x、σ_z 和 τ_{xz}，即可确定一点的应力状态。对于土中任意一点，所受的应力又随所取平面的方向不同而发生变化。但可以证明，在所有的平面中必有一组平面的剪应力为零,该平面称为主应力面。其作用于主应力面

的法向应力称为主应力。那么，对于平面应力问题，土中一点的应力可用主应力 σ_1 和 σ_3 表示。σ_1 称为最大主应力，σ_3 称为最小主应力。由材料力学可知当土中任一点的应力 σ_x、σ_z、τ_{xz} 为已知时，主应力可以由下面的应力转换关系得出：

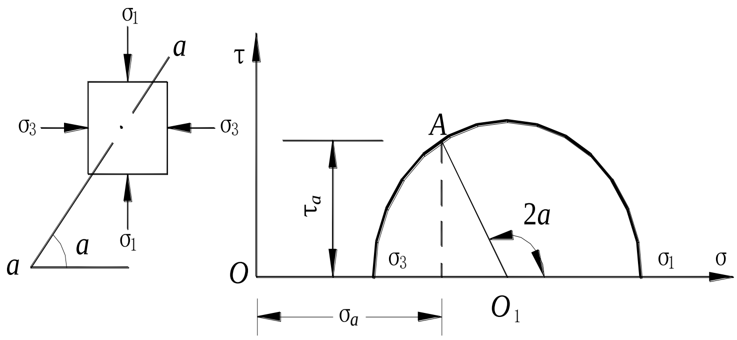

图 2.16 莫尔圆表示一点的应力状态

$$\begin{matrix}\sigma_1\\\sigma_3\end{matrix}=\frac{\sigma_z+\sigma_x}{2}\pm\sqrt{(\frac{\sigma_z+\sigma_x}{2}+\tau^2{}_{xy})} \qquad （2.36）$$

主应力平面与任意平面间的夹角由下式得出：

$$\alpha=\frac{1}{2}tg^{-1}(\frac{\tau_{xy}}{\sigma_z-\sigma_x}) \qquad （2.37）$$

α 角的转动方向与摩尔应力圆图上的一致。

②土的极限平衡条件

把莫尔应力圆与库仑抗剪强度包线绘于同一坐标系中（图 2.17），按其相对位置判别某点所处的应力状态。

a.应力圆 I 与强度包线相离，即 $\tau<\tau_f$ ，该点处于弹性平衡状态；

b.应力圆 II 与强度包线在 A 点相切，即 $\tau=\tau_f$ ，该点处于极限平衡状态；应力圆 II 称为极限应力圆。此时，该点处于濒临破坏的极限状态。

c.应力圆III与强度包线相割，即 $\tau>\tau_f$ ，该点处于破坏状态。实际不能绘出。

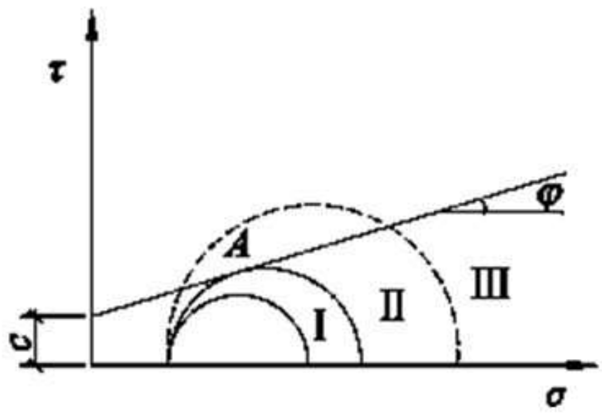

图 2.17 不同应力状态下的莫尔圆

莫尔-库仑破坏准则：

把莫尔应力圆与库仑强度包线相切的应力状态作为土的破坏准则，即莫尔-库仑破坏准则。

根据土体莫尔-库仑破坏准则，建立某点大、小主应力与抗剪强度指标间的关系。

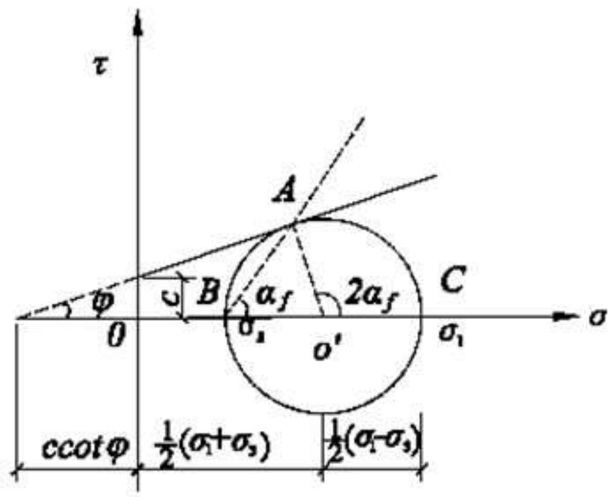

图 2. 18 极限平衡时的莫尔圆

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2(45^0 + \frac{\varphi}{2}) + 2c\tan(45^0 + \frac{\varphi}{2}) \quad (2.38)$$

$$\sigma_3 = \sigma_1 \tan^2(45^0 - \frac{\varphi}{2}) - 2c\tan(45^0 - \frac{\varphi}{2}) \quad (2.39)$$

公式(2. 38)至(2. 39)可以用来判断土体中一点的应力状态。

讨论：上两公式是等价的。

上两公式即为土的极限平衡条件式。对于无粘性土，$c = 0$，有

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2\left(45^o + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (2.40)$$

$$\sigma_3 = \sigma_1 \tan^2\left(45^o - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (2.41)$$

依图可分析出：土处于极限平衡状态时，破坏面与大主应力作用面的夹角为 α_f 为：

$$\alpha_f = \frac{1}{2}(90^0 + \varphi) = 45^0 + \frac{\varphi}{2} \quad (2.42)$$

讨论：剪破面并不产生于最大剪应力面，而与大主应力作用面成 $45^0 + \frac{\varphi}{2}$ 的夹角。