

文章编号: 1000-7598 (2011) 02-0471-03

有效应力强度指标与总应力强度指标的关系

陈 娟

(武汉科技大学 城市学院, 武汉 430083)

摘 要: 由总应力强度指标计算的 α_f , 并不是试样破坏时的真实破裂角, 而仅是一个假想的破裂角, 与之对应的平面是一个假想的剪切破坏面。试验结果表明, 试样破坏时的真实破裂角, 是用有效应力强度指标 φ' 计算的 α'_f 。分析论证了在关于土的抗剪强度计算的相关公式中, 有效应力强度指标与总应力强度指标不可混用, 且公式中有效应力强度指标应与有效应力相对应、总应力强度指标应与总应力相对应。

关 键 词: 有效应力强度指标; 总应力强度指标; 有效应力; 总应力

中图分类号: TU 411.7

文献标识码: A

Relationship between effective stress intensity index and total stress intensity index

CHEN Juan

(City College of Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430083, China)

Abstract: When the soil specimens are ruptured the rupture angle α_f , which is obtained from the calculation using the total stress intensity index is not the real rupture angle. It is only a hypothetical rupture angle. Corresponding to the hypothetical rupture angle is the hypothetical shear rupture surface. According to the results of the tests, it is concluded that the real rupture angle α'_f is obtained from the calculation using the effective stress intensity index φ' when the soil specimens are ruptured. It is analyzed and demonstrated that, in the shear strength calculation formula of the soil related, the effective stress intensity index and the total stress intensity index can not be confused. And in the formula, the effective stress intensity index should correspond to the effective stress; the total stress intensity index should correspond with the total stress.

Key words: effective stress intensity index; total stress intensity index; effective stress; total stress

1 引 言

地基计算中必须验算地基的承载力, 而地基的承载力实际上是由土的抗剪强度所控制。土的抗剪强度是土的重要力学性质之一, 挡土墙和地下结构的土压力, 堤坝、基坑以及各类边坡的稳定性也均由土的抗剪强度所控制。所以, 土的抗剪强度指标的正确选择和应用对工程实践具有重要意义。而目前的相关文献中, 有 α_f 与 α'_f (α_f 与 α'_f 为破坏面与大主应力作用面间的夹角, 分别用总应力强度指标、有效应力强度指标求得)、有效应力强度指标与总应力强度指标、有效应力与总应力混用的现象。通过试验可知, 试样破坏时的真实破裂角是用有效应力强度指标 φ' (φ' 为土的有效内摩擦角) 计算的 α'_f 。本文通过分析, 论证了在关于土的抗剪强度计算的

相关公式中, 有效应力强度指标与总应力强度指标不可混用, 且公式中有效应力强度指标应与有效应力相对应、总应力强度指标应与总应力相对应。

2 对混用 2 种指标的分析论证

2.1 正、误两种解法的对比

这里先介绍下由赵明华主编的《土力学与基础工程》^[1]由武汉理工大学出版社出版的高校教材中的一道例题及其解法。

该书例 5.1 (P114): 一饱和黏土试样在三轴压缩仪中进行固结不排水剪试验, 施加的围压 $\sigma_3 = 200$ kPa, 试样破坏时的轴向偏应力 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f = 280$ kPa, (σ_1 、 σ_3 分别为大、小主应力), 测得孔隙水压力 $u_f = 180$ kPa, 有效应力强度指标 $c' = 80$ kPa (c' 为土的有效黏聚力), $\varphi' = 24^\circ$, 求破裂面

收稿日期: 2009-12-14

作者简介: 陈娟, 女, 1971 年生, 硕士, 工程师, 国家一级注册结构工程师, 主要从事岩土、抗震等方面的研究。E-mail: chenjuan1005@yahoo.com.cn

上的法向应力和剪应力, 以及该面与水平面的夹角 α_f 。

解: 由于 $\sigma_3 = 200$ kPa, $(\sigma_1 - \sigma_3)_f = 280$ kPa, 故 $\sigma_1 = 280 + 200 = 480$ kPa,

$$\alpha_f = 45^\circ + \varphi' / 2 = 45^\circ + 24^\circ / 2 = 57^\circ \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) + \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \cos 2\alpha_f = \\ &= \frac{1}{2}(480 + 200) + \frac{1}{2}(480 - 200) \cos 114^\circ = 283 \text{ kPa} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\alpha_f = \\ &= \frac{1}{2}(480 - 200) \sin 114^\circ = 127 \text{ kPa} \end{aligned} \quad (3)$$

式中: σ 、 τ 分别为土中任一截面上的法向应力和剪应力。

现给出笔者的解法:

由于 $\sigma_3 = 200$ kPa, $(\sigma_1 - \sigma_3)_f = 280$ kPa, 故 $\sigma_1 = 280 + 200 = 480$ kPa,

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - u_f = 480 - 180 = 300 \text{ kPa} \quad (4)$$

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - u_f = 200 - 180 = 20 \text{ kPa} \quad (5)$$

式中: σ' 、 τ' 分别为有效的法向应力和有效的剪应力。

$$\alpha'_f = 45^\circ + \varphi' / 2 = 45^\circ + 24^\circ / 2 = 57^\circ \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \sigma' &= \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3) \cos 2\alpha'_f = \\ &= \frac{1}{2}(300 + 20) + \frac{1}{2}(300 - 20) \cos 114^\circ = 103 \text{ kPa} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \tau' &= \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3) \sin 2\alpha'_f = \\ &= \frac{1}{2}(300 - 20) \sin 114^\circ = 127 \text{ kPa} \end{aligned} \quad (8)$$

两种解法看似答案一样, 但笔者认为, 教材上的解法是不对的。

2.2 算例错误原因的分析

图 1 为饱和黏性土的固结不排水试验 (固结不排水试验以符号 CU 表示) 结果, 图中实线圆及其 (实线的) 公切线为 CU 试验所得的总应力条件下的极限应力圆及其总应力强度包线, 虚线圆及其 (虚线的) 公切线为有效应力条件下的极限应力圆及其有效应力强度包线。破坏面与大主应力作用面间的夹角为

$$\alpha_f = 45^\circ + \varphi_{cu} / 2 \quad (9)$$

式中: φ_{cu} 为由固结不排水试验 (CU) 得到的土的内摩擦角。

$\alpha'_f = 45^\circ + \varphi' / 2$, 而图 1 中很显然 $\varphi_{cu} \neq \varphi'$, 故 $\alpha_f \neq \alpha'_f$ 。所以教材解法的错误之一, 式 (1) 将有效应力强度指标值 φ' 与总应力强度指标值 φ_{cu} 混为一谈, 这是最关键的错误。

土的抗剪强度是取决于有效应力, 而不是总应力。由总应力强度指标 φ_{cu} 计算的 α_f , 并不是试样破坏时的真实破裂角, 而仅是一个假想的破裂角, 与之对应的平面是一个假想的剪切破坏面, 该面上的法向应力 σ_f 和剪应力 τ_f 是总应力条件下的极限应力圆及其总应力抗剪强度包线的切点的坐标。试样破坏时的真实破裂角, 是用有效应力强度指标 φ' 计算的 α'_f [2]。同一种黏性土在相同的围压下 3 种试验方法中, 无论是不固结不排水剪试验, 还是固结排水剪试验, 或是固结不排水剪试验, 虽然总应力强度包线和总应力强度指标各不相同, 但都可得到近乎同一条有效应力强度包线, 有效应力强度指标基本相同, 即不同试验方法下的有效应力强度存在着惟一性关系的特征, 试样真实剪切破坏面的位置是惟一的, 它们与最大主应力作用面 σ'_1 的夹角均为 $\alpha'_f = 45^\circ + \varphi' / 2$ 。

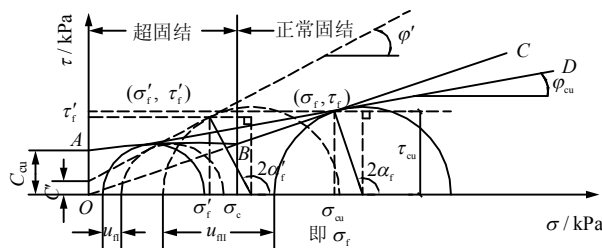


图 1 饱和黏性土的固结不排水试验结果
Fig.1 The result of consolidated-undrained triaxial test of saturated clay

图 1 中公切线与极限应力圆的切点处于极限平衡状态, 本文论述时, 切点处的各物理量下脚标均用 f 表示, 如图中有效应力条件下和总应力条件下的切点坐标分别用 (σ'_f, τ'_f) 、 (σ_f, τ_f) 表示 (图中下脚标为 CU 的表示 CU 试验得到的指标), 用正常固结段予以说明,

$$\left. \begin{aligned} \tau_f &= R \cos(2\alpha_f - 90^\circ); \quad \tau'_f = R' \cos(2\alpha'_f - 90^\circ) \\ R &= \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3); \quad R' = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

由于 $R = R'$, $\alpha_f \neq \alpha'_f$, 所以, $\tau_f \neq \tau'_f$ 。

所以, 教材解法的错误之二, $\tau_f \neq \tau'_f$, 即 $\tau \neq \tau'$ 。教材的解法的得数与正确答案一致, 是因为 $(\sigma_1 - \sigma_3) = (\sigma'_1 - \sigma'_3)$, α_f 又与 α'_f 混为一谈, 故教材式 (3) 求出的 τ_f 实际上是 τ'_f 。

再看下一个分析:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_f &= \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2} - R \sin(2\alpha_f - 90^\circ) \\ \sigma'_f &= \frac{(\sigma'_1 + \sigma'_3)}{2} - R' \sin(2\alpha'_f - 90^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

由于

$$\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = \frac{(\sigma'_1 + u_f) + (\sigma'_3 + u_f)}{2} = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} + u_f, (R = R') \quad (12)$$

而 $\alpha_f \neq \alpha'_f$, 所以, $\sigma_f \neq \sigma'_f + u_f$ 。

教材公式 (2) 的得数正好是 $\sigma = \sigma' + u_f = 103 + 180 = 283 \text{ kPa}$, 教材解法的错误之三, 根源仍在于有效应力强度指标值 ϕ' 与总应力强度指标值 ϕ_{cu} 混为一谈。

用 CU 试验中的正常固结段为例, 有效应力条件下的极限应力圆是 CU 试验所得的总应力条件下

的极限应力圆, 向左移动一个相应的 u_f 值的距离, 而圆的直径保持不变而获得的。所以, $\sigma_1 = \sigma'_1 + u_f$, $\sigma_3 = \sigma'_3 + u_f$ 是正确的, 但从上面对解法的分析中, 可以看到 $\sigma_f \neq \sigma'_f + u_f$, $\tau_f \neq \tau'_f$, 更不会有 $\tau_f = \tau'_f + u_f$ 。

3 结 语

应用有效应力强度指标 ϕ' 计算的 α'_f 来表示试样破坏时的真实破裂角, 而不是用由总应力强度指标 ϕ_{cu} 计算的 α_f 。很关键的一点: 在关于土的抗剪强度计算的相关公式中, 如库仑公式、任一截面上的法向应力和剪应力的计算公式、极限平衡条件公式以及破坏面与大主应力作用面间的夹角的计算公式, 有效应力强度指标与总应力强度指标不可混用, 且公式中有效应力强度指标应与有效应力相对应、总应力强度指标应与总应力相对应, 这样就不会再出错了。

参 考 文 献

上接第 422 页

- [7] 朱珍德, 方荣, 朱明礼, 等. 高温周期变化与高围压作用下大理岩力学特性试验研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(11): 2279—2283, 2290.
ZHU Zhen-de, FANG Rong, ZHU Ming-li, et al. Study of mechanical performance of marble under high pressure and cyclic temperature[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2007, 28(11): 2279—2283, 2290.
- [8] 朱合华, 闫治国, 邓涛, 等. 3 种岩石高温后力学性质的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(10): 1945—1950.
ZHU He-hua, YAN Zhi-guo, DENG Tao, et al. Testing study on mechanical properties of tuff, granite and breccia after high temperatures[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2006, 25(10): 1945—1950.
- [9] 张渊, 张贤, 赵阳升. 砂岩的热破裂过程[J]. 地球物理学报, 2005, 48(3): 656—659.
ZHANG Yuan, ZHANG Xian, ZHAO Yang-sheng. Process of sandstone thermal cracking[J]. **Chinese Journal of Geophysics**, 2005, 48(3): 656—659.
- [10] 顿志林, 晁俊奇, 刘希亮, 等. 高温双向约束下岩石膨胀应力测试装置的研制[J]. 河南理工大学学报, 2008, 27(6): 685—688.
DUN Zhi-lin, CHAO Jun-qi, LIU Xi-liang, et al. The test device design of swelling stress of rock under bidirection restraints and high temperature[J]. **Journal of Henan Polytechnic University**, 2008, 27(6): 685—688.
- [11] 秦本东, 谌伦建, 晁俊奇, 等. 高温石灰岩膨胀应力的试验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2009, 38(3): 326—330.
QIN Ben-dong, CHEN Lun-jian, CHAO Jun-qi, et al. Experimental research on the swelling stresses in limestone at high temperatures[J]. **Journal of China University of Mining & Technology**, 2009, 38(3): 326—330.
- [12] 秦本东, 何军, 谌伦建. 石灰岩和砂岩高温力学特性的试验研究[J]. 地质力学学报, 2009, 25(3): 253—261.
QIN Ben-dong, HE Jun, CHEN Lun-jian. Experimental research on mechanical properties of limestone and sandstone under high temperature[J]. **Journal of Geomechanics**, 2009, 25(3): 253—261.