

吸力在非饱和土强度中的应用

仲晓晨

(苏州市交通工程质量监督站, 江苏 苏州 215003)

摘要:利用改进后的三轴试验仪, 运用轴平移技术, 通过试验研究了吸力对非饱和膨胀土强度特性的影响. 试验表明, 强度参数 φ^b 随吸力变化而变化, 两者有一定的相关关系. 在此基础上对非饱和土强度理论公式和有效应力公式进行了修正.

关键词:非饱和土强度; 吸力; 理论公式修正; 三轴试验仪

中图分类号: TU432

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2003)05-0011-03

非饱和土强度理论研究是岩土工程界长期以来的一个非常重要的课题. 同饱和土理论相比, 它引入了一个非常重要的状态变量——吸力, 即 $u_s = u_a - u_w$, 称作基质吸力, 为孔隙气压力与孔隙水压力之差. 它是表征土对水亲合能力的一个物理量, 对非饱和土的强度特性有重要影响, 可通过陶土板等试验获得^[1].

关于吸力在非饱和土强度中的作用, Fredlund^[2]用如下公式表达:

$$\tau_f = c' + (\sigma - u_a) \tan \varphi' + (u_a - u_w) \tan \varphi^b \quad (1)$$

$$c = c' + (u_a - u_w) \tan \varphi^b \quad (2)$$

$$\tau_s = (u_a - u_w) \tan \varphi^b \quad (3)$$

$$\tau_s = c - c' \quad (4)$$

式中: c' , φ' 分别为有效粘聚力和有效内摩擦角, 通过饱和土三轴试验求得; c 为总粘聚力; τ_s 为基质吸力引起的强度, 即吸附强度; φ^b 为强度参数, 与非饱和土的种类和吸力有关.

本文利用改进后的三轴试验仪^[3], 运用轴平移技术, 通过试验研究了吸力对非饱和土强度特性影响, 探求了强度参数 φ^b 与吸力之间的相关关系. 由此对非饱和土强度理论公式和有效应力公式进行了修正.

1 试验结果分析

研究的土样为湖北膨胀土, 中等膨胀性, 土粒的相对密度为 2.73, 自由膨胀率 70%, 矿物组成以伊利石为主, 含蒙脱石. 土样均采用室内击实试样. 初始含水量取 17%, 基质吸力分别控制为 0 (即饱和土

样), 50, 80, 120, 200 kPa. 干密度取 1.5 g/cm^3 . 采用三轴固结不排水试验, 在施加周围压力、孔隙压力后, 按照剪切速率 0.009 mm/min 进行剪切.

1.1 应力应变关系

应力应变关系如图 1 所示.

图 1 表明, 非饱和膨胀土的吸力对膨胀土的应力应变关系具有重要影响. 吸力越大, 曲线出现的峰值越大, 同时达到峰值所需的轴向应变越小.

1.2 强度分析

1.2.1 c' 和 φ' 的求取

c' 和 φ' 是通过饱和土样的三轴试验获得的. 由图 1 的饱和土样的应力应变关系曲线可以得到它的强度包线, 如图 2 所示, 并求得 $c' = 35 \text{ kPa}$, $\varphi' = 21.2^\circ$.

大量文献资料表明, 对于“等同”的土样, 即具有相同的含水量和干密度的土样, 强度参数 φ' 是不随吸力而变化的. 从吸力分别为零和 50 kPa 时两组强度包线试验中也能得到证实 (图 2 和图 3). 吸力为零时, φ' 为 21.2° ; 吸力为 50 kPa 时, φ' 为 21.0° . 两者相差无几, 近似相等, 可统一取 21.0° . 这样当吸力改变时, 可认为强度参数 φ' 不变. 由此可以绘出不同吸力时的强度包线, 见图 4. 图中强度包线同 τ_f 轴的截距为总粘聚力 c , 它们的值可由图中直接读出, φ' 值都为 21.0° .

1.2.2 吸力与强度的关系

从总粘聚力 c 中分离出各自的吸附强度 τ_s 用式 (4) 表达. 绘制出不同吸力时的吸附强度如图 5 所示.

由图 5 可知, 两者有着很好的直线相关关系. 这样, 就可以获得吸附强度同吸力的相关表达关系式:

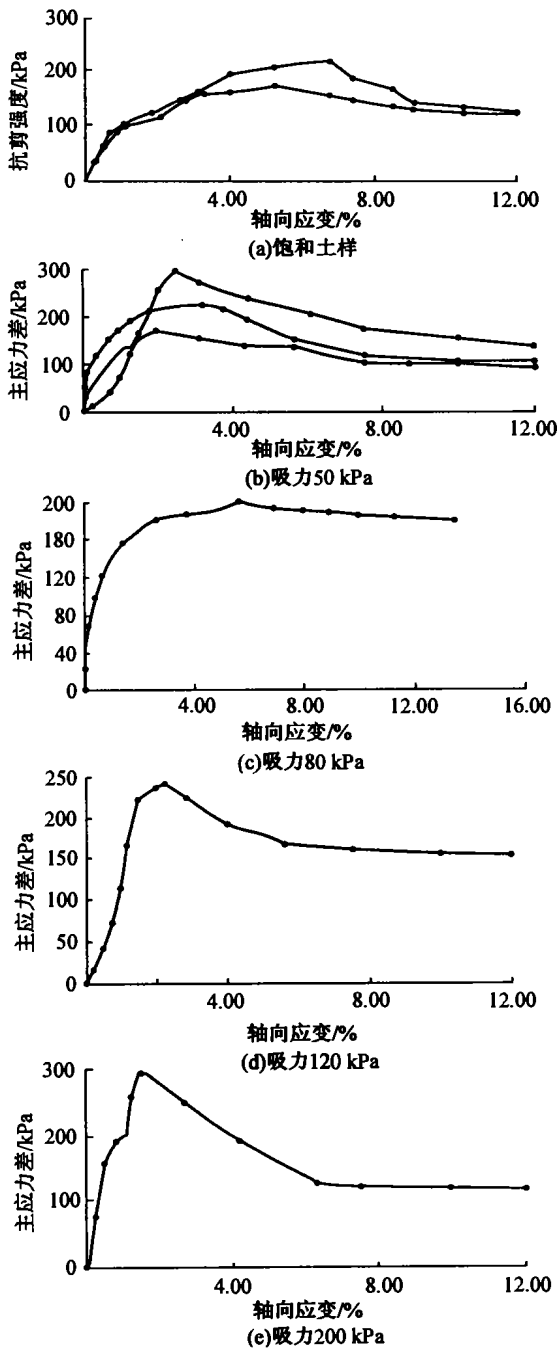


图1 不同吸力时应力应变关系曲线

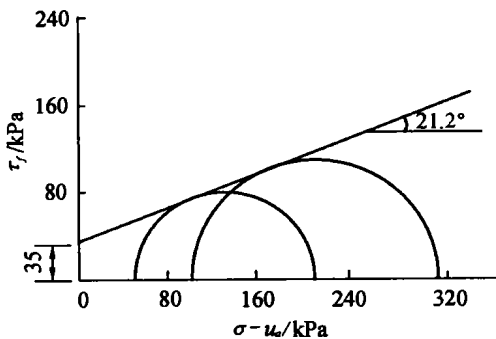


图2 饱和土样的强度包线

$$\tau_s = Au_s^B \quad (5)$$

式中: A, B 为试样参数, 其中 $A = 1.01, B = 0.76$.

由式(3)和式(5)可以得到:

$$\varphi^b = \tan^{-1}(Au_s^{B-1}) \quad (6)$$

从式(6)可以看出强度参数 φ^b 不是常量, 它与吸力 u_s 有关, 是随吸力变化而变化的. 当吸力很小时, φ^b 较大, 其中饱和时最大, 为 21° ; 随着吸力的增大, φ^b 逐渐减小, 当吸力为 200 kPa 时, 减小到 15.9° , 减小幅度达 24% (图 6).

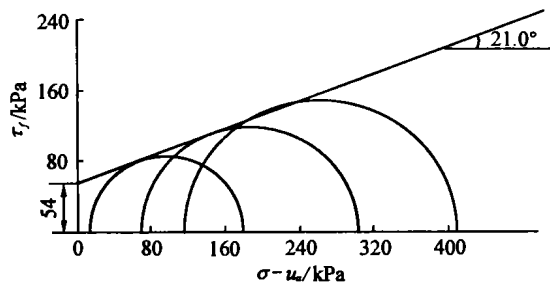
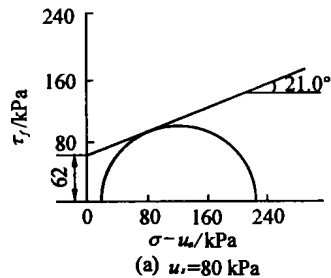
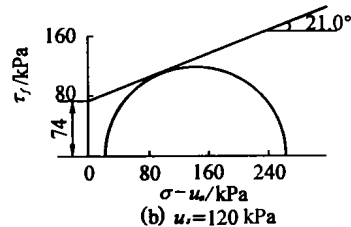


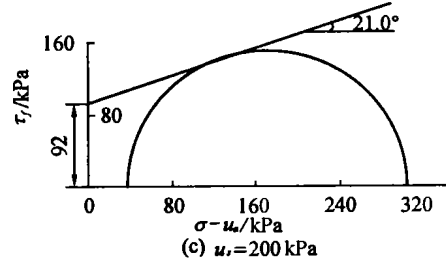
图3 吸力 50 kPa 时的强度包线



(a) $u_s = 80$ kPa



(b) $u_s = 120$ kPa



(c) $u_s = 200$ kPa

图4 不同吸力时的强度包线

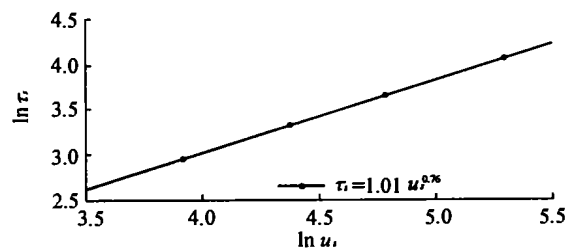


图5 吸附强度同吸力的关系曲线

1.2.3 修正后的非饱和土强度理论公式

沈珠江^[4]指出: 非饱和土的强度理论公式应是

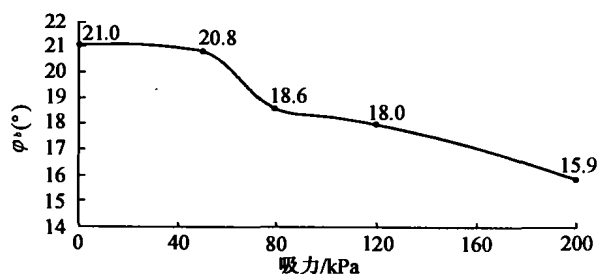


图6 不同吸力时的 φ^b 值曲线

用能够各自独立的参数变量来描述的非线性表达式。如今强度参数 φ^b 不是一个独立的状态变量,而是同参数吸力相关的。因此,现有的非饱和土强度理论公式需进行适当的修正,使之参数成为各自独立的变量。

由试验结果可知,修正后的理论公式可用下式表达:

$$\tau_f = c' + (\sigma - u_a) \tan \varphi' + A u_s^B \quad (7)$$

$$\text{或} \quad \tau_f = c' + (\sigma - u_a) \tan \varphi' + A_1 u_s^B \tan \varphi' \quad (8)$$

$$A_1 = A / \tan \varphi' \quad (9)$$

式中: A, A_1, B 为试验参数。显然,表达式中的变量都为独立的变量。

1.2.4 非饱和土有效应力公式

在上述基础上,我们不难建立一个新的非饱和

土有效应力公式:

$$\sigma' = \sigma - u_a + A_1 u_s^B \quad (10)$$

2 结论

本文利用改进后的三轴试验仪,运用轴平移技术,通过试验研究了吸力对非饱和膨胀土的强度特性的影响,得出如下结论:

a. 非饱和膨胀土的强度参数 φ^b 不是常量,而是随吸力变化而变化的,两者呈一定的相关关系。

b. 现有的非饱和土强度理论公式需进行适当的修正。

参考文献:

- [1] 刘国楠. 三轴试验中非饱和土试样吸力的量测[J]. 岩土工程学报, 1994, 16(5): 108 ~ 112.
- [2] Fredlund. 非饱和土的力学性能与工程应用[J]. 岩土工程学报, 1991, 13(1): 152 ~ 157.
- [3] 徐永福, 殷宗泽. 非饱和膨胀土的三轴试验研究[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(2): 234 ~ 241.
- [4] 沈珠江. 非饱和土力学的回顾与展望[J]. 水利水电科技进展, 1996, 16(2): 1 ~ 3.

(收稿日期: 2002-10-17 编辑: 张志琴)

(上接第6页)

新安江水库削峰, 杭州洪水位相应降低 0.5 ~ 0.7 m, 拦蓄了一些小洪水, 小洪水冲刷机会下降, 汛前河道容积因此减少; 又因河道水流输沙能力与流量成高次方关系, 流量越大, 输沙能力越强, 洪水对于河床的塑造能力因此越强。兴建水库以后, 削减了洪峰, 长远来看下游河道将会萎缩, 导致洪水位抬升。

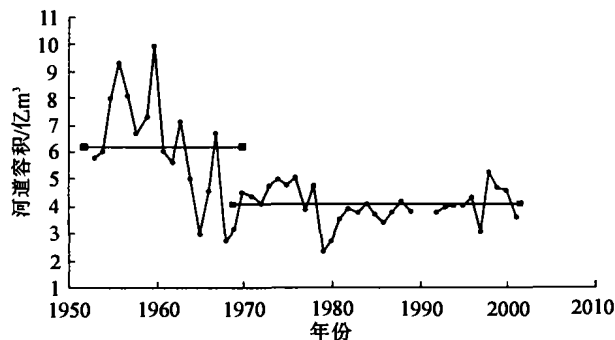


图4 钱塘江河口段河道容积的历年变化

8 结 语

钱塘江河口是强潮河口, 沿江洪水位决定于上游流域洪水, 以及包括天文潮、台风暴潮在内下游潮

汐的高低强弱。各站点洪水位对上、下游洪水和潮汐的响应特性取决于当时钱塘江的河道状况。

在自然状态下, 钱塘江口潮势很强, 高潮位变幅甚大; 上游流域径流不大但集中; 加之强潮河口河道游荡, 河床大幅冲淤, 河槽频繁摆动, 沿江洪水位也随之急剧变化。

半个世纪以来, 上游兴修水库, 流域洪水已得到很大程度的控制; 河口大规模围涂, 海宁八堡以上河段游荡已被抑制, 河道趋于稳定。同时, 沿江对洪水、潮汐的响应特性因此有一定程度的变化。大规模围涂缩窄了河道, 加强潮波反射, 下游高潮位有所抬升; 因减小河道过水断面, 遇同样洪峰沿江洪水位有抬高。水库在削减洪水洪峰的同时, 降低了下游河道造床流量, 使河道有所萎缩, 尤其削减了洪峰前流量, 减少了峰前河道冲刷, 导致洪水位相应升高。

本文得到韩曾萃、林炳尧、周潮生等同志的诸多帮助, 特致谢意。

参考文献:

- [1] 韩曾萃, 金嘉光. 钱塘江河口缩窄前后潮位的变化[C]. 见: 中国海洋工程学会编. 第十届中国海洋工程学术讨论会论文集[A]. 北京: 海洋出版社, 2001.

(收稿日期: 2002-12-25 编辑: 张志琴)