

DOI: 10.11779/CJGE201703006

不同黏性土的残余强度及其抗剪强度指标特性研究

许成顺, 王 馨, 杜修力, 戴福初, 王国盛, 高 岩

(北京工业大学城市与工程安全减灾教育部重点实验室, 北京 100124)

摘 要: 利用环剪仪系统地研究了 17 种不同塑性指数的饱和黏性土在不同固结状态下的残余强度的变化规律, 分析了当前法向应力、超固结比、塑性指数和多级剪切方式对残余强度的影响, 重点给出了大变形条件下的抗剪强度指标随塑性指数的变化规律及实用公式。试验结果表明: 残余强度随当前法向应力的增大而增大; 超固结比对残余强度没有显著的影响; 随着塑性指数的增大, 残余强度逐渐减小; 残余强度在较小的当前法向应力水平下具有明显的非线性; 在大变形条件下, 残余内摩擦角随塑性指数的增大而减小; 最后给出了残余内摩擦角与塑性指数的函数关系式。

关键词: 残余强度; 塑性指数; 超固结比; 残余内摩擦角

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2017)03-0436-08

作者简介: 许成顺 (1977-), 女, 教授, 主要从事土动力学与岩土地震工程研究。E-mail: xuchengshun@bjut.edu.cn。

Experimental study on residual strength and index of shear strength characteristics of different clay soils

XU Cheng-shun, WANG Xin, DU Xiu-li, DAI Fu-chu, WANG Guo-sheng, GAO Yan

(Key Laboratory of Urban Security and Disaster Engineering of Ministry of Education, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Using the ring shear apparatus, the variation rules of residual strength of 17 saturated claysoil samples with different plasticity indices under different consolidation conditions are studied. The influences of current normal stress, over-consolidation ratio, plastic index and multistage shear mode on the residual strength are analyzed. The variation of shear strength index with different plasticity indices under large deformation and the corresponding practical formula are investigated. The test results show that with the increase of the current normal stress, the residual strength increases. The over-consolidation ratio does not have a significant impact on the residual strength. With the increase of the plasticity index, the residual strength reduces gradually. Under the small stress level the residual strength is nonlinear. Under large deformation, the residual internal friction angle increases while the plasticity index decreases. Finally, the formula for the relation between the residual internal friction angle and the plasticity index is proposed.

Key words: residual strength; plasticity index; over-consolidation ratio; residual internal friction angle

0 引 言

中国是一个滑坡灾害多发的国家, 滑坡导致交通中断、河道堵塞、厂矿摧毁、村镇掩埋, 造成大量的人员伤亡和经济损失^[1]。目前, 滑坡灾害的防护工作已引起工程界和学术界的广泛关注, 但对于滑坡土体内在力学机理以及防护工程的研究仍处于初级阶段。对于天然滑坡的滑动面或断层面, 滑坡土体由于多次滑动会发生较大的变形。因此, 在进行边坡稳定性分析时, 应该采用残余强度作为破坏条件, 即残余强度条件下黏聚力和内摩擦角的确定是滑坡稳定性评价及滑坡治理工程设计中的核心问题^[2]。这里的残余强度是指在缓慢剪切加载下, 发生较大的剪切位移后所达到的最小稳定抗剪强度^[3], 它反映的是大变形条件下土体的抗剪强度。为了研究大变形条件下土体的抗剪强

度及强度参数的特性, 国内外学者已进行大量的试验研究。张雅慧等^[4]和许四法等^[5]均通过直剪试验研究含水率对抗剪强度及内摩擦角和黏聚力的影响, Shriwantha等^[6]通过少量环剪试验得到超固结比对重塑黏土抗剪强度的影响, Timothy 等^[7]研究得出残余强度条件下抗剪强度参数的确定对研究滑坡稳定具有重要的作用。

已有的对土体强度特性和变形行为的试验研究大多数采用常规的直剪仪或三轴仪, 由于这些仪器在试验过程中无法保证试样受力面积不发生变化, 因此不能准确反映大变形条件下土的抗剪强度及其抗剪强度指标特性。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (“973” 计划) 项目 (2011CCB13600); 国家自然科学基金项目 (51278015)

收稿日期: 2016-01-28

环剪仪作为一种新型的试验装置能够实现在剪切过程中保持剪切面积不变^[8]。在连续的位移条件下进行剪切加载时,保证了应力的均匀分布,满足大变形剪切条件,确保了试验结果的准确性。因此,环剪试验是研究滑坡土体变形和强度特性最有效的手段之一。目前,利用环剪仪对黏性土残余强度和抗剪强度指标特性进行研究的试验比较少。在已有的环剪试验中,戴福初等^[9]、孙涛等^[10]、吴迪等^[11]通过环剪仪对不同塑性指数的超固结黏土的峰值强度和残余强度特性进行了研究,但是以往的研究重点均集中在相同类型的黏性土在不同固结状态下的抗剪强度特性,对不同类型黏性土的抗剪强度变化规律及其抗剪强度指标特性缺乏系统性研究。Laureano 等^[12]仅通过环剪试验得出非饱和粉质黏土的抗剪强度变化规律,未研究饱和黏性土的相关规律。

本文利用环剪仪,针对 17 种不同塑性指数的饱和黏性土进行了系统的试验,探讨大变形条件下黏性土的抗剪强度特性,研究当前法向应力、超固结比、塑性指数和多级剪切方式对残余强度的影响,重点研究抗剪强度参数随塑性指数的变化规律。

1 试验概况

1.1 试验设备及试样制备

试验所用的仪器是 DTA—138 型环剪仪,该装置是北京工业大学从日本诚研社引进的先进土工设备。仪器的测试精度高且具有良好的稳定性,环剪速度可控制范围为 $0.0005^{\circ}/\text{min} \sim 100^{\circ}/\text{min}$,土体试样的尺寸为内径 10 cm,外径 15 cm,高 2 cm,试样如图 1 所示。



图 1 环剪试样

Fig. 1 Sample of ring shear tests

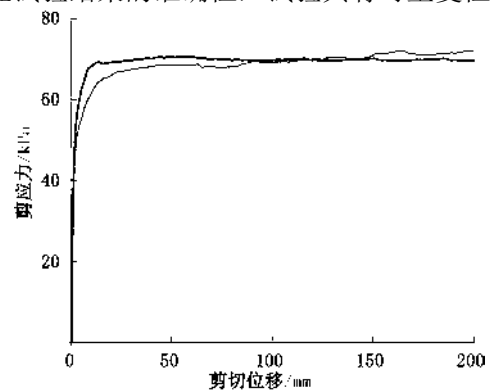
试样制备过程中,首先将黏性土加水配成含水率大于液限的稀泥浆土,然后充分搅拌静置 24 h 之后,将泥浆倒入固结筒中进行前期固结,获得饱和黏性土试样,待 24 h 内固结变形不超过 0.01 mm 时,认为固结完成^[13-15]。组装环剪仪,将前期固结完成的试样放置在环剪仪内,利用环刀制成环状试样后,在所需法向应力下进行固结。待固结完成后便可进行大位移环剪试验直至达到稳定的残余强度。

1.2 试验方案

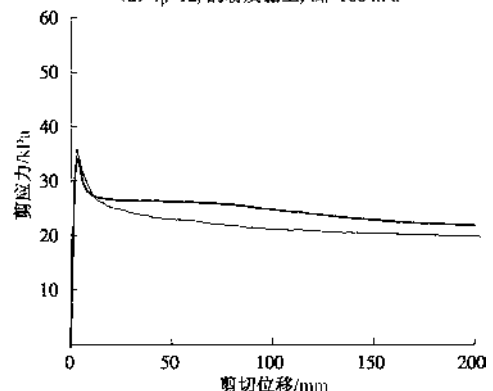
试验选用 17 种不同塑性指数的饱和黏性土试样。本文共包括 58 组试验,试验工况如表 1 所示。通过控制前期固结压力 p_c 与当前法向应力 σ_0 的比值可以获得不同超固结比的试样。本文始终选取剪切速率为 $1^{\circ}/\text{min}$,开展固结排水(CD)试验。试验方法选用单级剪和多级剪^[9]。单级剪是指试样固结后,只在一级有效固结压力或当前应力下进行剪切;多级剪是指试样在较低法向应力下剪切达残余强度后,再加载至下一级当前法向应力,固结后继续剪切,如此反复。试验中的试样分为两类,一类为选取天然界中的原状土经扰动后制成的试样,另一类为利用高岭土、伊利石和其他试样按一定比例配制成的试样。

1.3 试验稳定性验证

为了测试该装置的稳定性,本文针对 $I_p=12$ 和 $I_p=32$ 的饱和黏性土,在试验条件完全相同的情况下分别进行了两组对比试验,试验结果如图 2 所示。图 2 (a) 为 $I_p=12$,超固结比 $\text{OCR}=2$ 的饱和粉质黏土,在当前法向应力为 $\sigma_0=100 \text{ kPa}$ 下进行的两组对比试验;图 2 (b) 为 $I_p=32$,超固结比 $\text{OCR}=2$ 的饱和黏土,在当前法向应力为 $\sigma_0=50 \text{ kPa}$ 下进行的两组对比试验。由图 2 (a) 和 (b) 可以看出,无论是粉质黏土还是黏土,两组对比试验的应力-位移曲线基本吻合。充分说明,该装置具有良好的稳定性,测试精度高,能够保证试验结果的准确性,试验具有可重复性。



(a) $I_p=12$ 的粉质黏土, $\sigma_0=100 \text{ kPa}$



(b) $I_p=32$ 的黏土, $\sigma_0=50 \text{ kPa}$

图 2 环剪试验稳定性验证

Fig. 2 Verification of stability of ring shear tests

表 1 试验工况
Table 1 Test schemes

| 黏土种类 | 塑限 $w_p/\%$ | 液限 $w_L/\%$ | 塑性指 数 I_p | 当前法向应 力 σ_v/kPa | 前期固结应 力 p_c/kPa | 超固结比 OCR | 剪切速率级 $\dot{\gamma}/(^{\circ}\cdot\text{min}^{-1})$ | 剪切 方式 | 试验 方法 | 试样 出处 |
|------|----------------|----------------|----------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------|--|----------|----------|----------|
| 粉质黏土 | 13 | 23 | 10 | 50 | 100 | 2.0 | 1 | 单级剪 | CD | 自配土样 |
| | | | | 100 | 200 | 2.0 | 1 | | | |
| | | | | 150 | 300 | | | | | |
| | 29 | 41 | 12 | 50 | 100 | 2.0 | 1 | 单级剪 | CD | 涿州市 |
| | | | | 100 | 200 | | | | | |
| | | | | 150 | 300 | | | | | |
| | 18 | 31 | 13 | 50 | 100 | 2.0 | 1 | 多级剪 | CD | 金沙江上游 |
| | | | | 100 | 200 | | | | | |
| | | | | 150 | 300 | | | | | |
| | 21 | 35 | 14 | 50 | 100 | 2.0 | 1 | 多级剪 | CD | 北京市丰台区 |
| | | | | 100 | 200 | | | | | |
| | | | | 150 | 300 | | | | | |
| | 27 | 42 | 15 | 50 | 50 | 1.0 | 1 | 单级剪 | CD | 涿州市 |
| | | | | 50 | 100 | 2.0 | | | | |
| | | | | 50 | 200 | 4.0 | | | | |
| | | | | 50 | 350 | 7.0 | | | | |
| | | | | 100 | 200 | 2.0 | | | | |
| | | | | 150 | 300 | | | | | |
| 黏土 | 25 | 45 | 20 | 50 | 100 | 2.0 | 1 | 多级剪 | CD | 北京市丰台区 |
| | | | | 100 | 200 | | | | | |
| | | | | 150 | 300 | | | | | |
| | 20 | 44 | 24 | 50 | 100 | 2.0 | 1 | 单级剪 | CD | 涿州市 |
| | | | | 100 | 200 | | | | | |
| | | | | 150 | 300 | | | | | |
| | 28 | 53 | 25 | 50 | 100 | 2.0 | 1 | 多级剪 | CD | 自配土样 |
| | | | | 100 | 200 | | | | | |
| | | | | 150 | 300 | | | | | |
| | 16 | 42 | 26 | 50 | 100 | 2.0 | 1 | 单级剪 | CD | 北京市丰台区 |
| | | | | 100 | 200 | | | | | |
| | | | | 150 | 300 | | | | | |
| | 25 | 53 | 28 | 50 | 50 | 1.0 | 1 | 单级剪 | CD | 涿州市 |
| | | | | 50 | 100 | 2.0 | | | | |
| | | | | 50 | 200 | 4.0 | | | | |
| | | | | 50 | 350 | 7.0 | | | | |
| | | | | 100 | 200 | 2.0 | | | | |
| | | | | 150 | 300 | | | | | |
| | 31 | 60 | 29 | 50 | 100 | 2.0 | 1 | 多级剪 | CD | 安徽省合肥市 |
| | | | | 100 | 200 | | | | | |
| | | | | 150 | 300 | | | | | |
| | 18 | 48 | 30 | 50 | 100 | 2.0 | 1 | 多级剪 | CD | 湖南省永顺 |
| | | | | 100 | 200 | | | | | |
| | | | | 150 | 300 | | | | | |
| 19 | 51 | 32 | 50 | 100 | 2.0 | 1 | 单级剪 | CD | 湖南省永顺 | |
| | | | 100 | 200 | | | | | | |
| | | | 150 | 300 | | | | | | |
| 19 | 51 | 32 | 50 | 100 | 2.0 | 1 | 多级剪 | CD | 湖南省永顺 | |
| | | | 100 | 200 | | | | | | |
| | | | 150 | 300 | | | | | | |
| 17 | 50 | 33 | 50 | 100 | 2.0 | 1 | 单级剪 | CD | 北京市朝阳区 | |
| 14 | 50 | 36 | 50 | 100 | 2.0 | 1 | 单级剪 | CD | 北京市朝阳区 | |
| 22 | 62 | 40 | 50 | 100 | 2.0 | 1 | 多级剪 | CD | 自配土样 | |
| | | | 100 | 200 | | | | | | |
| | | | 150 | 300 | | | | | | |
| 38 | 84 | 46 | 50 | 50 | 1.0 | 1 | 单级剪 | CD | 涿州市 | |
| | | | 50 | 100 | 2.0 | | | | | |
| | | | 50 | 200 | 4.0 | | | | | |
| | | | 100 | 200 | 2.0 | | | | | |
| | | | 150 | 300 | | | | | | |

试验中进行了 15 组不同塑性指数的饱和黏性土在超固结比为 OCR=2，当前法向应力分别为 $\sigma_0=50$ ，100，150 kPa 下的环剪试验，由于得到的试验结果趋

2 试验结果及分析
2.1 当前法向应力对残余强度的影响

势基本相同, 因此本文仅选取两种典型饱和黏性土的试验结果进行分析。

图3为不同塑性指数的饱和黏性土在超固结比为 $OCR=2$, 当前法向应力分别为 $\sigma_0=50, 100, 150$ kPa下的应力-位移关系曲线。其中, 图3(a)为 $I_p=15$ 的饱和粉质黏土, 图3(b)为 $I_p=24$ 的饱和黏土。

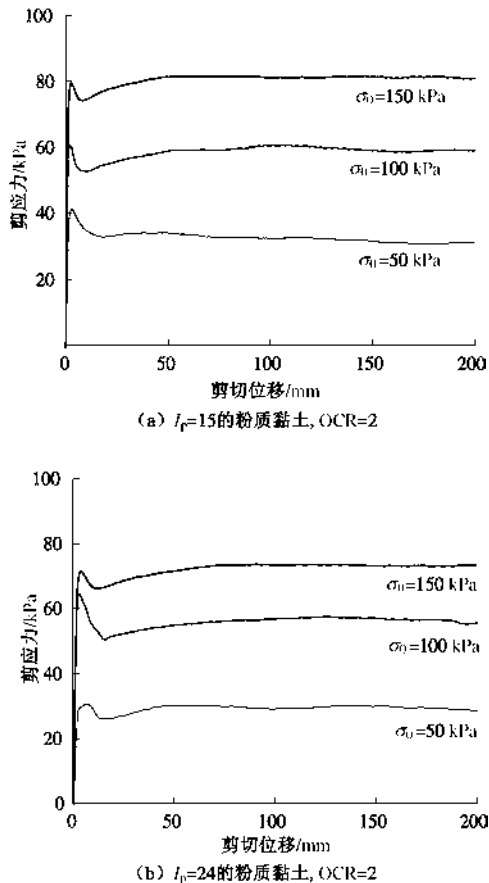


图3 当前法向应力对残余强度的影响

Fig. 3 Effects of current normal stress on residual strength

从图3中可以发现, 无论是粉质黏土还是黏土, 残余强度随法向应力的增大而明显增大。在已有的研究中, 李小伟等^[16]也得出相似的规律。

2.2 超固结比对残余强度的影响

本文分别对 $I_p=15$ 的饱和粉质黏土和 $I_p=28$, $I_p=46$ 的饱和黏土, 在当前法向应力为 $\sigma_0=50$ kPa下, 进行了不同超固结比的黏土试验, 试验结果如图4所示。

由图4可知, 超固结比对峰值强度有一定的影响, 但对残余强度几乎没有影响。在已有的试验研究中, 张昆等^[17]和黄志芳^[18]也得到了类似的结论。并且, 对比图4(a)、(b)和(c)发现, 不同塑性指数对黏土的峰值强度和残余强度均有影响, 下文将详细分析。

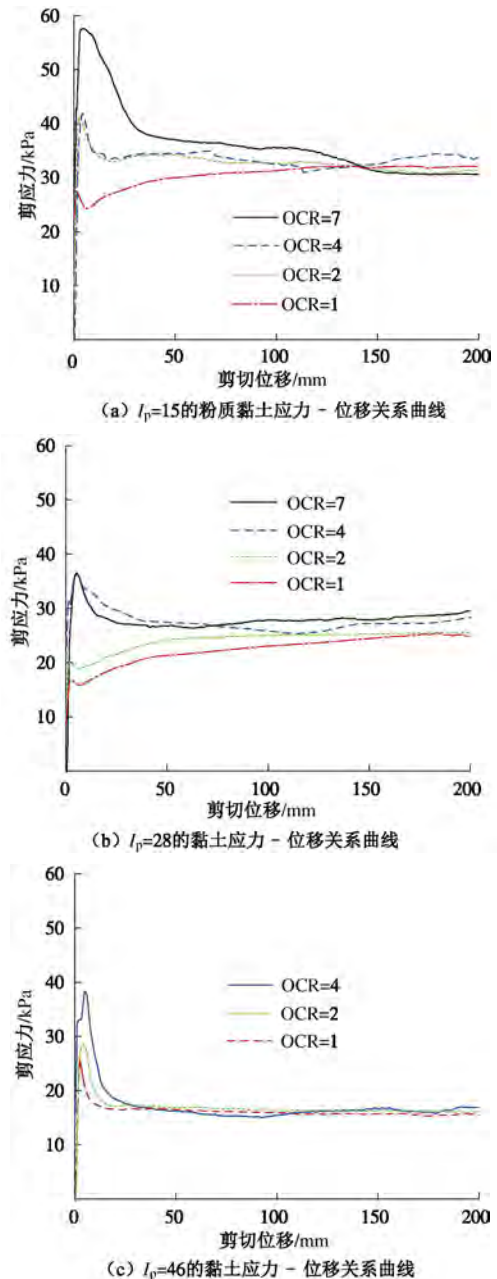


图4 不同超固结比试验结果比较

Fig. 4 Comparison of test results under different over-consolidation ratios

2.3 单级剪与多级剪切方式对残余强度的影响

本研究选取 $I_p=32$ 的饱和黏土在相同超固结比下, 进行了单级剪与多级剪对比试验, 试验结果见图5。该试验的单级剪条件是, 超固结比为 $OCR=2$, 当前法向应力分别为 $\sigma_0=50, 100, 150$ kPa下不同试样的单次剪切。多级剪的条件是, 超固结比仍为 $OCR=2$, 同一试样进行多次剪切加载。首次加载中, 保持当前法向应力为 $\sigma_0=50$ kPa, 加载剪切至土体破坏并达到稳定残余强度; 第二次加载中, 首先施加 $\sigma_0=200$ kPa进行固结, 待固结完成后, 保持当前法向应力为 $\sigma_0=100$ kPa进行剪切, 同样加载到土体达到稳定残余强度; 第三

次加载前先施加 $\sigma_0=300$ kPa进行固结,待固结完成后,保持当前法向应力为 $\sigma_0=150$ kPa进行最后的剪切,待土体达到稳定残余强度时试验完成。

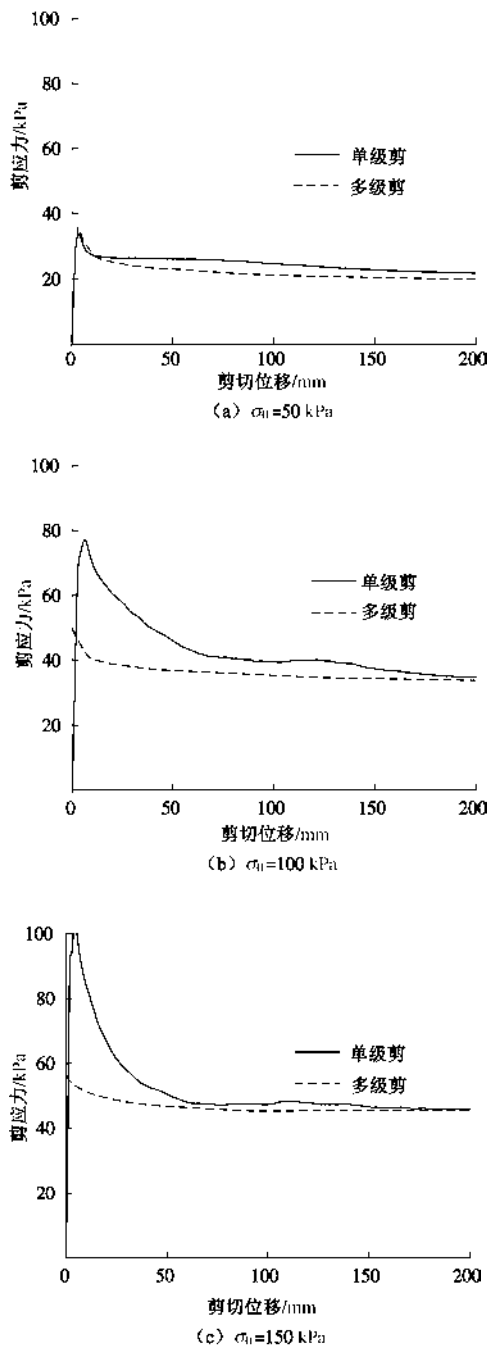


图5 $I_p=32$ 的黏土单级剪与多级剪残余强度比较图

Fig. 5 Comparison of residual strengths of single-stage shearing and multistage shearing when $I_p=32$

从图5(a)中可以发现,单级剪与多级剪首次加载时的峰值强度和残余强度基本一致,这是因为多级剪的首次加载与单级剪在相同固结条件即超固结比为OCR=2以及相同当前法向应力 $\sigma_0=50$ kPa下,试验步骤完全相同。因此,该结果证明了本文试验装置的稳定性。对比图5(b)、(c)可知,无论是单级剪还是

多级剪,在相同当前法向应力下,饱和黏土的峰值强度明显不同,而残余强度基本相同,并且在多级剪时,峰值强度显著下降。由于试样高度仅20 mm,在多级剪的每次加载时,试样的沉降量有限,滑动面保持基本不变,因此,多级剪的峰值强度明显低于单级剪的峰值强度。但是,多级剪的残余强度与单级剪的残余强度基本相同。由此证明,剪切方式对残余强度没有显著的影响。黏性土在大变形阶段已接近临界状态,其强度取决于土性,与应力历史、剪切方式等均没有直接关系。戴福初等^[9]在之前的研究中也得到与本文类似的结论。

2.4 塑性指数对残余强度的影响

图6给出了15种不同塑性指数的黏性土的应力-位移曲线。所有试验条件相同,即OCR=2,当前法向应力均为 $\sigma_0=100$ kPa。从图中可以发现,塑性指数对黏土的峰值强度和残余强度具有显著的影响。对于残余强度,它随着塑性指数的增大,逐渐减小。但是,峰值强度并没有呈现明显的规律,这是由于峰值强度不仅与塑性指数有关,还受到黏性土矿物成分组成的影响^[19]。

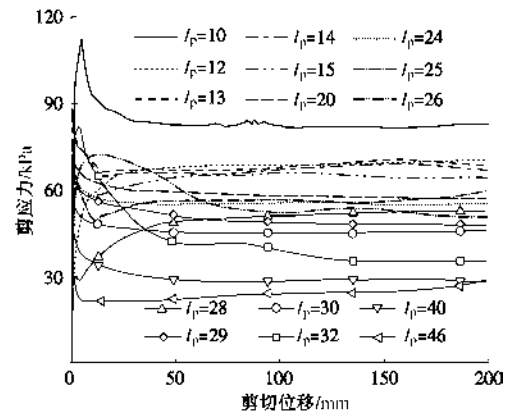


图6 塑性指数对残余强度的影响(OCR=2)

Fig. 6 Effects of plasticity index on residual strength

图7给出了当前法向应力分别为 $\sigma_0=50, 100, 150$ kPa时的残余强度随塑性指数的变化规律。图中的残余强度均为剪切变形达到200 mm时的强度值。从图7中可以发现,对于同一种饱和黏性土,残余强度随法向应力的增大而增大。在相同当前法向应力下,残余强度随塑性指数的增大而减小,并且,不同当前法向应力下,残余强度随塑性指数的变化趋势基本相同。

值得注意的是尽管文中黏性土取自不同地方或自己配制,但其塑性指数基本能够反映残余强度的宏观变化规律。

2.5 塑性指数对残余抗剪强度指标特性(φ)的影响

由上文分析可知,残余强度受超固结比和多级剪切方式的影响很小,但受塑性指数的影响较大。因此,

本节主要研究塑性指数对大变形条件下抗剪强度指标的影响。在土体力学特性的研究中, 最常用的抗剪强度指标为残余内摩擦角 φ 。

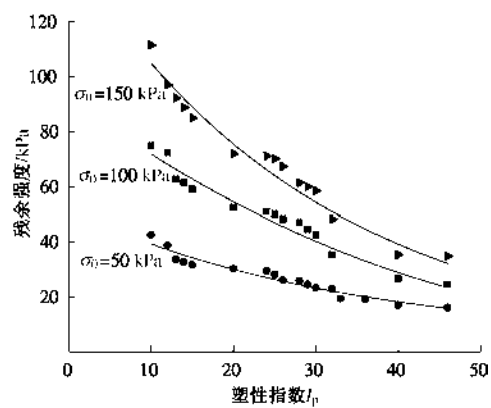


图7 塑性指数和残余强度的关系

Fig. 7 Relation between plasticity index and residual strength

在大变形条件下, 一般可认为黏聚力 c 为 0, 因此可通过残余强度与当前法向应力的比值获得残余内摩擦角。图 8 给出了 17 种不同塑性指数的饱和黏性土在不同当前法向应力下的残余内摩擦角 φ 与塑性指数的关系, 其具体内摩擦角如表 2 所示。

表 2 不同塑性指数饱和黏性土的残余内摩擦角

Table 2 Residual internal friction angles of saturated clays with different plastic indices

| 塑性指数 I_p | $\sigma_0=50$ kPa 下残余内摩擦角 $\varphi/(\circ)$ | $\sigma_0=100$ kPa 下残余内摩擦角 $\varphi/(\circ)$ | $\sigma_0=150$ kPa 下残余内摩擦角 $\varphi/(\circ)$ |
|------------|---|--|--|
| 10 | 40.38 | 36.76 | 36.62 |
| 12 | 37.68 | 35.85 | 32.88 |
| 13 | 33.90 | 32.04 | 31.56 |
| 14 | 33.12 | 31.53 | 30.62 |
| 15 | 32.31 | 30.5 | 29.51 |
| 20 | 31.08 | 27.65 | 25.60 |
| 24 | 30.38 | 26.95 | 25.34 |
| 25 | 29.54 | 26.53 | 24.82 |
| 26 | 27.49 | 25.71 | 24.15 |
| 28 | 27.18 | 25.13 | 22.24 |
| 29 | 26.09 | 23.97 | 21.77 |
| 30 | 25.02 | 22.99 | 21.29 |
| 32 | 22.71 | 19.40 | 17.90 |
| 33 | 22.31 | — | — |
| 36 | 20.93 | — | — |
| 40 | 18.72 | 14.90 | 13.24 |
| 46 | 17.73 | 13.74 | 13.07 |

由图可知, 在 3 种不同当前法向应力水平下, 残余内摩擦角均随着塑性指数的增大而减小, 且具有相同的趋势。

值得注意的是从图 8 中可见, 不同应力水平下其残余内摩擦角并不一致。为了探讨不同应力水平对内摩擦角的影响, 本文针对 $I_p=32$ 的饱和黏性土, 在超固结比为 $OCR=2$, 当前法向应力分别为 $\sigma_0=25, 50, 100, 150, 200, 300$ kPa 下进行了剪切试验, 试验结

果如图 9 所示。从图中可以发现, 在当前法向应力 $\sigma_0 < 150$ kPa 时, 当前法向应力与残余强度具有明显的非线性; 在当前法向应力 $\sigma_0 > 150$ kPa 时, 当前法向应力与残余强度具有良好的线性关系。戴福初等^[9]通过数值模拟分析, 也证实了应力水平对残余内摩擦角的影响。

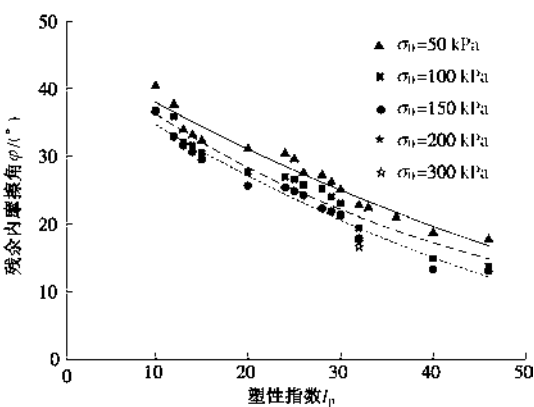
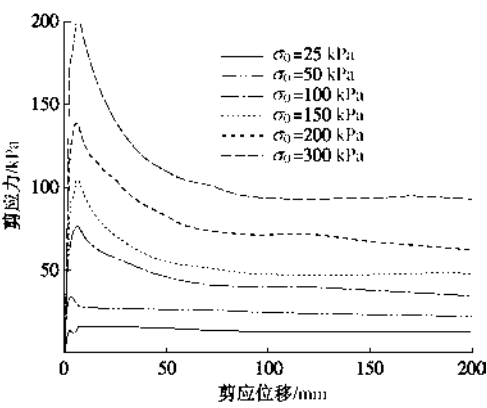
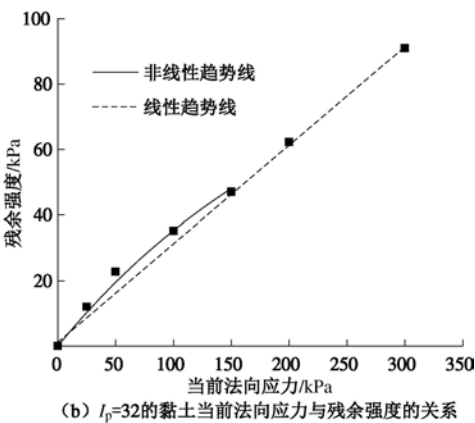


图8 塑性指数与残余内摩擦角的关系曲线

Fig. 8 Relation between plasticity index and internal friction angle



(a) $I_p=32$ 的黏土当前法向应力对残余强度的影响



(b) $I_p=32$ 的黏土当前法向应力与残余强度的关系

图9 不同应力水平对残余内摩擦角的影响($OCR=2$)

Fig. 9 Effects of different stress levels on residual internal friction angles

为指导实际边坡工程中, 黏性土残余强度的取值范围, 为边坡稳定性研究和灾害控制提供了主要的依

据, 本文将 17 种黏性土的内擦角与塑性指数之间的关系用以下指数形式拟合:

$$\varphi = A \exp(BI_p) \quad .$$

其参数取决于当前法向应力。表 3 给出了不同法向应力水平下的参数的取值。

表 3 不同当前法向应力水平下经验公式系数

Table 3 Coefficients of empirical formula under different normal stresses

| 当前法向应力 σ_0 /kPa | A | B |
|------------------------|-------|--------|
| 50 | 47.76 | -0.022 |
| 100 | 47.53 | -0.027 |
| 150 | 47.34 | -0.028 |

3 结 论

本文利用环剪仪对17种不同塑性指数的黏性土试样进行了系统的试验研究, 分析了黏性土残余强度的变化规律及影响因素, 给出了残余内摩擦角与塑性指数之间关系的实用公式, 得到了以下有意义的结论:

- (1) 残余强度随当前法向应力的增大而明显增大。
- (2) 超固结比对残余强度没有显著的影响。
- (3) 多级剪切方式对残余强度没有影响, 单级剪与多级剪的残余强度基本相同。
- (4) 塑性指数是影响残余强度的重要因素, 残余强度随塑性指数的增大而逐渐减小。
- (5) 当应力水平较小时, 当前法向应力与残余强度具有明显的非线性关系, 当当前法向应力大于150 kPa时, 当前法向应力与残余强度具有良好的线性关系。
- (6) 在同等当前法向应力水平下, 残余内摩擦角随塑性指数的增大而减小, 残余内摩擦角与塑性指数之间的实用关系公式可以用指数函数表示。

参考文献:

[1] 王恭先. 滑坡雪域滑坡防治技术文集[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010. (WANG Gong-xian. The study of landslide and landslide prevention technology[M]. Beijing: China Communications Press, 2010. (in Chinese))

[2] KAYA A, KWONG J K P. Evaluation of common practice empirical procedures for residual friction angle of soils: Hawaiian amorphous material rich colluvial soil case study[J]. Engineering Geology, 2007, **92**(1): 49 - 58.

[3] SKEMPTON A W. Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory[J]. Géotechnique, 1985, **35**(1): 3 - 18.

[4] 张雅慧, 胡 斌, 秦雨樵, 等. 含水率和干湿循环对人工填土边坡稳定性的影响[J]. 水电能源科学, 2014, **32**(8): 65 - 68. (ZHANG Ya-hui, HU Bin, QIN Yu-qiao, et al. Influence of water content and dry-wet cycles on stability of artificial filled slope[J]. J Water Resour Power, 2014, **32**(8): 65 - 68. (in Chinese))

[5] 许四法, 王志健, 胡 琦, 等. 重塑非饱和粉质黏土抗剪强度特性试验研究[J]. 浙江工业大学学报, 2015, **43**(2): 227 - 231. (XU Si-fa, WANG Zhi-jian, HU Qi, et al. An experimental study on the shear strength characteristics of remolded unsaturated silty clay[J]. J Zhejiang Univ Tech, 2015, **43**(2): 227 - 231. (in Chinese))

[6] SHRIWANTHA B V, SHINYA N, SHO K, et al. Effects of overconsolidation ratios on the shear strength of remoulded slip surface soils in ring shear[J]. Engineering Geology, 2012, **131**(132): 29 - 36.

[7] TIMOTHY D S, HANGSEOK C, SEAN M. Drained shear strength parameters for analysis of landslides[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2005, **131**: 575 - 588.

[8] ABOUZAR S, SCOTT M O. A new ring shear device to measure the large displacement shearing behavior of sands[J]. Geotechnical Testing Journal, 2011, **32**(3): 1 - 12.

[9] 戴福初, 王思敬, 李焯芬. 香港大屿山残坡积土的残余强度试验研究[J]. 工程地质学报, 1998, **6**(3): 223 - 229. (DAI Fu-chu, WANG Si-jing, LI Chao-fen. The drained residual strength of volcanics-derived soil sampled on lantau island, Hongkong[J]. Eng Geol, 1998, **6**(3): 223 - 229. (in Chinese))

[10] 孙 涛, 洪 勇, 栾茂田, 等. 采用环剪仪对超固结黏土抗剪强度特性的研究[J]. 岩土力学, 2009, **30**(7): 2000 - 2004. (SUN Tao, HONG Yong, LUAN Mao-tian, et al. Shear strength behavior of overconsolidated clay in ring shear tests[J]. Rock Soil Mech, 2009, **30**(7): 2000 - 2004. (in Chinese))

[11] 吴 迪, 简文彬, 徐 超. 残积土抗剪强度的环剪试验研究[J]. 岩土力学, 2011, **32**(7): 2045 - 2050. (WU Di, JIAN Wen-bin, XU Chao. Research on shear strength of residual soils by ring shear tests[J]. Rock Soil Mech, 2011, **32**(7): 2045 - 2050. (in Chinese))

[12] LAUREANO R H, CLAUDIA L V, ANAND J P. Residual shear strength of unsaturated soils via suction-controlled ring shear testing[J]. Engineering Geology, 2014, **172**(8): 1 - 11.

[13] 丁树云, 毕庆涛, 蔡正银, 等. 环剪仪的试验方法研究[J]. 岩土工程学报, 2013, **35**(增刊2): 197 - 201. (DING Shu-yun,

- BI Qing-tao, CAI Zheng-yin, et al. Test procedures for ring shear apparatus[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 35(2): 197 - 201. (in Chinese))
- [14] 许成顺, 尹占巧. 不同黏性土的抗剪强度特性试验研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2013, 44(12): 1432 - 1438. (XU Cheng-shun, YIN Zhan-qiao. Experimental study on shear strength of different cohesive clay[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2013, 44(12): 1432 - 1438. (in Chinese))
- [15] GB—T 50123—1999 土工试验方法标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 1999. (GB—T 50123—1999 Standard for soil test method[S]. Beijing: China Planning Press, 1999. (in Chinese))
- [16] 李小伟, 吴益平, 张 荣, 等. 滑带土抗剪强度特性的环剪试验研究[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(27): 273 - 277. (LI Xiao-wei, WU Yi-ping, ZHANG Rong, et al. Research on shear strength behavior of slide zone soil on ring shear test[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(27): 273 - 277. (in Chinese))
- [17] 张 昆, 郭菊彬. 滑带土残余强度参数试验研究[J]. 铁道工程学报, 2007, 8(8): 13 - 16. (ZHANG Kun, GUO Ju-bin. Experimental research on the residual strength parameters of slip soils[J]. J Railw Eng Soc, 2007, 8(8): 13 - 15. (in Chinese))
- [18] 黄志芳. 常规三轴试验测定土的残余强度[J]. 矿产与地质, 1999, 2(13): 117 - 121. (HUANG Zhi-fang. Determining of residual strength of soil by routine triaxial testing[J]. Miner Resour Geology, 1999, 2(13): 117 - 121. (in Chinese))
- [19] 何 蕾, 文宝萍. 矿物成分与水化学成分对黏性土抗剪强度的控制规律及其应用[D]. 北京: 中国地质大学, 2014. (HE Lei, WEN Bao-ping. Impact of mineralogical composition and water chemistry on the shear strength of clay and its application[D]. Beijing: China Univ Geosci, 2014. (in Chinese))

第三届地基处理和地基控制技术国际会议预告

会议背景: 地基处理和地基控制技术是目前岩土工程学科的重要研究领域, 我国长三角广泛分布的软基工程以及滨海地区大规模的围海造地工程为地基处理和控制的理论和技术研究提供了广阔的舞台, 同时也促进着我国在相关研究和应用领域赶超世界领先水平。本次会议旨在为了进一步加强各国在该领域的学术交流与合作, 促进地基处理和控制技术的研究理论和工程应用, 有效提升我国在地基处理领域中的学术地位及国际影响力。

主办单位: 浙江工业大学。

时间、会场: 2017年10月27—10月29日; 地点: 杭州之江饭店。

参会代表: 会议主席 Cai Yuanqiang, Zhejiang University of Technology, China; 国际评委委员会主席 Buddhima Indraratna, University of Wollongong, Australia; 本地组织委员会主席 Gong Xiaonan, Zhejiang University, China。

本次会议境外参会代表多、来自全球各个地区, 扩大了我校的国际影响力。会议详细信息参见: www.icgi2017.org。

(会议组委会 供稿)