

土与结构物的接触特性研究

李建华, 祝方才, 廖新贵

(湖南工业大学 岩土工程研究所, 湖南 株洲 412008)

摘要: 土与结构的接触特性受土的类型、密实度、含水量等许多因素的影响, 为研究株洲地区典型红土与混凝土结构物的接触特性, 设计了9种不同含水量和密实度的土样, 并对每种土样分别加上50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa 4级不同的法向应力, 进行改进的直剪试验。试验数据表明: 土与混凝土块接触面抗剪强度随土体密实度的增大而增大, 随土体含水率的增大而减小; 界面粘聚力随土体含水量的增大先增大后迅速减小, 在塑性状态含水量附近时达到峰值。

关键词: 含水量; 密实度; 剪应力; 接触面; 抗剪强度

中图分类号: TU413

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2009)03-0001-04

Study on Contact Characteristics between Soil and Structure

Li Jianhua, Zhu Fangcai, Liao Xingui

(Institute of Geotechnical Engineering, Hunnan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

Abstract: Contact characteristics between soil and structure are related to soil types, degree of compaction, water content, etc. In order to study the contact characteristics between typical clays of Zhuzhou and concrete structure, 9 soil samples of different water content and compaction degree are designed, and 4 different normal stress are applied to each type of soil samples with 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa and 400 kPa for improved direct shear tests. The results show that the shear strength of the contact surface is larger with the density increscent, when the water content is larger, it is decreased with water content. The interface cohesion increases firstly with the water content increasing and after that rapidly decreases, it reaches the peak in plastic limit water content.

Keywords: water content; degree of compaction; shear stress; contact surface; shear strength

结构物与土体之间的相互作用问题一直是土木工程和岩土工程界研究的重要课题。土与结构物接触面力学特性研究涉及到土力学的各方面, 如挡墙与其后土的接触、桩与桩周土的接触、锚杆或土钉与土的接触等。由于2种材料物理力学性质差异较大, 因此在受到外部荷载作用时, 2种材料的变形也不一致, 这就会在界面上产生较大的剪应力。正确地分析接触面上的受力变形机理和剪切破坏的发展, 并进行合理的计算, 对结构的安全是必需的, 也是至关重要的。

对于土与结构物的作用不少学者已做了大量的研

究工作。胡黎明^[1]等利用改进的直剪仪进行了砂土与结构物的接触面剪切试验, 研究了不同接触面相对粗糙度对接触面物理力学性质的影响, 并通过数字照相技术记录了接触面附近砂土颗粒的位移情况, 分析了土与结构物接触面剪切破坏的变形机理。试验结果表明, 土与结构物接触面相对粗糙度存在一临界 R_{cr} , 光滑接触面剪切破坏时无明显的剪应力峰值, 为理想弹塑性模式; 粗糙接触面伴有应变软化和剪胀现象。殷宗泽^[2]等分析了土与混凝土接触面上的剪切变形特性, 提出了刚塑性变形观点和一种有厚度的接触面单元。

收稿日期: 2009-03-25

基金项目: 湖南省教育厅科学研究基金资助项目(03C579), 湖南工业大学研究生创新基金资助项目(CX0821)

作者简介: 李建华(1983-), 男, 湖南郴州人, 湖南工业大学硕士研究生, 主要从事深基坑开挖及新型支挡结构研究,

E-mail: lijh8818@163.com

张冬霖^[3]等在单剪试验的基础上,分析和探讨了接触面剪切破坏和变形的机理,提出了错动位移、剪切位移以及接触面“剪切错动带”的概念,并建立了一种新的接触面模型。卢廷浩^[4]等通过改进的直剪仪进行黏土自身以及与不同材料接触面的实验研究,得出了土与结构接触界面的力学参数与接触材料类型及土体含水率密切相关。当土体含水率增大时,黏土内部摩擦角缓慢减小,而黏土与混凝土和黏土与砖接触界面的摩擦角急剧降低,土体内部的粘聚力逐渐减小,土与结构接触界面的粘聚力均先增大后减小,各接触类型的接触界面抗剪强度随土体含水率的增大均呈下降趋势。范臻辉^[5]等通过改进的直剪仪对不同干密度的膨胀土与混凝土块接触面进行直剪试验,研究膨胀土性质对接触面特性的影响,得出膨胀土与混凝土块接触面的剪切曲线均呈加工软化型,其峰值剪应力、残余剪应力符合 Mohr-Coulomb 准则,最后得出将膨胀土与结构物接触面的剪切曲线简化为三折线曲线的结论。苗鹏^[6]等基于三轴试验,研究非饱和膨胀土试样在不同压实度、不同围压以及不同饱和度条件下的剪切特征,试验结果表明:其它条件相同时,膨胀土土体强度随压实度的增大而提高;在一定范围内随净围压值的增大而提高;随饱和度逐步增加,膨胀土粘聚力 c 值减小。

在土钉支护结构中,对钉-土的相互粘结强度以及力学性能进行研究是边坡支护稳定性分析的重要组成部分。本文通过不同含水量和压实度的湘中典型红土与混凝土块的改进直剪试验研究,分析得出了湘中红土与混凝土结构物接触面的力学特性。

1 改进的直剪试验

1.1 试样的制备

本试验所用土样为株洲地区某住宅小区取的红粘土,粘土取回之后先风干、碾散。土工试验得出土样的典型参数如表 1。

表 1 土样物理力学参数

Table 1 The physical parameters of soil

液限 /%	塑限 /%	土颗粒质量密度 /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	最优含水量 /%	最大干密度 /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
32.4	15.2	2.69	20.8	1.754

为系统分析土的性质对接触面的影响,本文设计了 9 种土样,分别配置了含水率为 12%、17%、23.4% 和密实度分别为 80%、85%、90% 的环刀试样,拌匀密封保养 1~2 d,使土样充分吸收水分后,制成直径为 61.8 mm、高为 20 mm 的环刀试样。

环刀土样的制备方法^[7]:

- 1) 将碾散风干的土样过 2 mm 筛,充分拌匀;
- 2) 用烘干法(温度 105~110 °C、时间 ≥ 8 h)量测

土样风干含水率,计算配制一定含水量的土样所需的加水量;

3) 用喷雾器喷洒预配的加水量,然后用塑料袋袋装搅拌均匀的土样,袋口扎紧后放置于密封保湿缸内润湿 24 h 以上,以保证土样中水分均匀;

4) 再次用烘干法量测配置土样实际含水率;

5) 按设计的干密度计算制备土样所需的质量;

6) 将称量好的土样均匀地放入内侧涂黄油环刀内,静力均匀缓慢地压紧到所需密实度。

1.2 试验用直剪仪

试验中采用四联电动直剪仪,如图 1 所示。

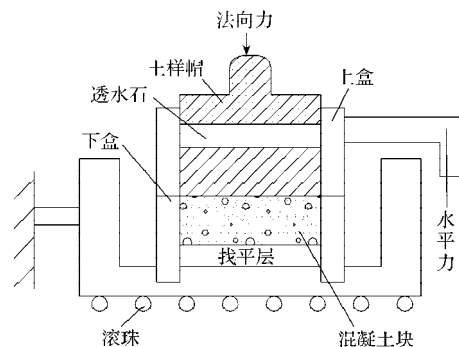


图 1 直剪仪

Fig. 1 The direct shear apparatus

将原直剪仪下盒的透水石换成混凝土块用以模拟桩或注浆土钉等混凝土结构物,其上顶面与下剪切盒顶面平齐。

1.3 直剪试验

混凝土试验块根据剪切盒下盒体积的大小由普通水泥砂浆直接制作而成,表面经抹平后自然形成,经过室内正常养护 28 d 取出放置于剪切下盒,对准剪切盒上下盒,在试样上放上滤纸和透水石,将试样小心地推入剪切盒内,移动转动装置,调整测力计等仪器装置,进行剪切试验,本试验不考虑表面粗糙度的影响。整个试验中,混凝土试块没有更换,但每次试验结束都要对其表面进行清理。试验严格按照土工试验法进行快剪,垂直压力分别为 50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa。在剪切过程中记录土与结构物接触面的剪应力和相对剪切位移,若测力计读数有明显后退即停止剪切;当测力计读数无明显后退时,剪切至剪切位移为 6 mm 时停机,此时取剪切位移 4 mm 对应的剪应力为抗剪强度^[7]。

2 试验结果分析

土体与混凝土剪切时所加的法向应力不同,其剪切变形与剪应力的关系也不一样。本文仅对含水率为 12%,密实度分别为 80%、85%、90% 以及密实度为 80%,含水率分别为 12%、17%、23.4% 的 2 组数据进行分析,建立以剪应力为纵坐标,剪切位移为横坐标

的关系曲线。

2.1 土体的密实度与粘聚力和内摩擦角的关系

由试验数据得到剪应力与剪切位移曲线关系, 如图2所示。

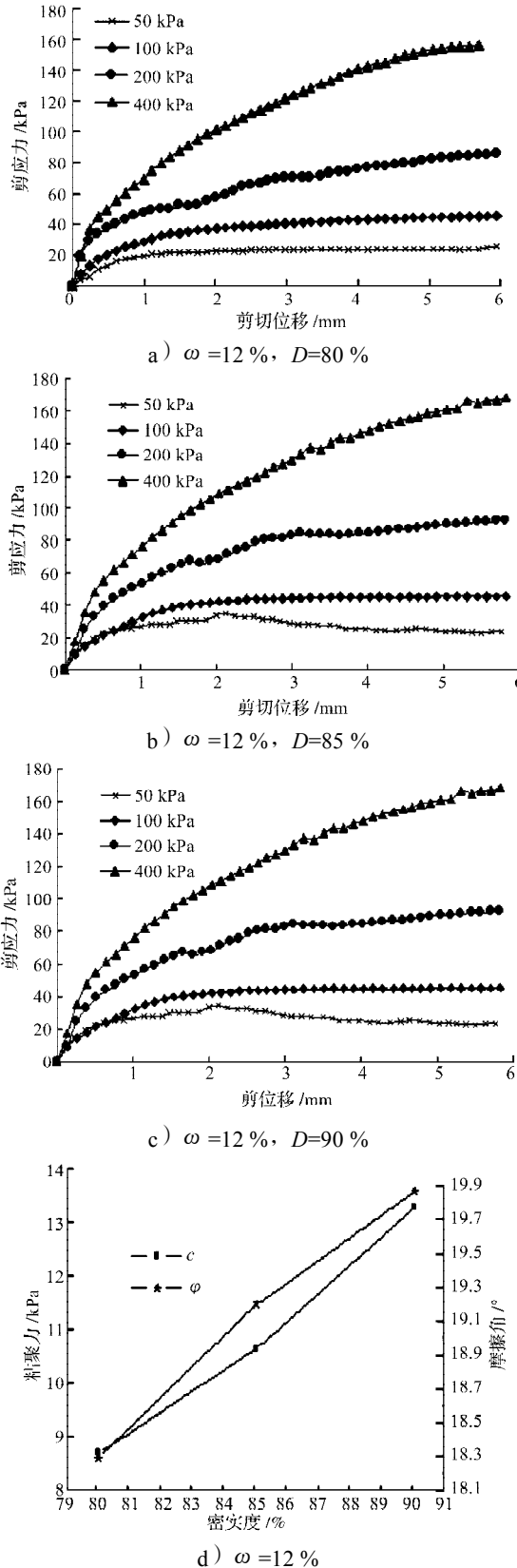


图2 不同密实度情况下的剪切强度

Fig. 2 Shear strength with different degree of compaction

由试验数据对极限剪应力与密实度和法向应力拟合可得到相应的拟合方程, 见表2、3及图3、4。

表2 剪应力与密实度的拟合方程

Table 2 The fitting equation of shear stress and density

法向应力 /kPa	拟合方程	k_1	B	拟合度 R
50	$Y=0.4125X-9.2206$	0.4125	-9.2206	0.9951
100	$Y=0.5810X-30.7349$	0.5810	-30.7349	0.9849
200	$Y=1.7116X-61.2650$	1.7116	-61.2650	0.9970
400	$Y=1.8593X-8.8448$	1.8593	-8.8448	0.9882

表3 剪应力与法线应力的拟合方程

Table 3 The fitting equation of shear stress and normal stress

密实度 /%	拟合方程	k_2	B	拟合度 R
80	$Y=0.3305X+8.7007$	0.3305	8.7007	0.9995
85	$Y=0.3482X+10.6380$	0.3482	10.6380	0.9966
90	$Y=0.3750X+12.0520$	0.3750	12.0520	0.9954

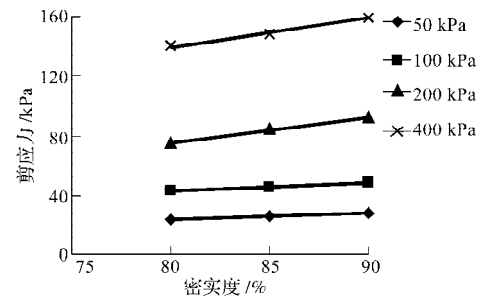


图3 剪应力与密实度的拟合曲线

Fig. 3 The fitting curve of shear stress with different degree of compaction

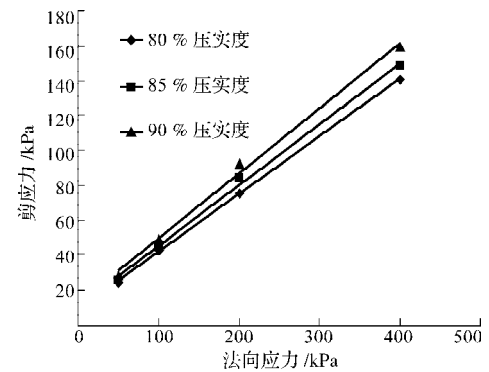


图4 剪应力与法向应力的拟合曲线

Fig. 4 The fitting curve of shear stress with normal stress

由图2~4以及表2、3可知: 土体与结构物接触面的抗剪强度随着正应力的增大而线性增加。当含水率一定时, 随着密实度的增大, 剪应力线性增加, 其原因主要是粘聚力与摩擦角随密实度的线性增大, 如图2中d)所示, 从而验证了可利用Mohr-Coulomb准则建立土与混凝土等结构物接触面强度公式的正确性。Mohr-Coulomb强度公式表示为:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (1)$$

式中： c 为接触面粘聚力；

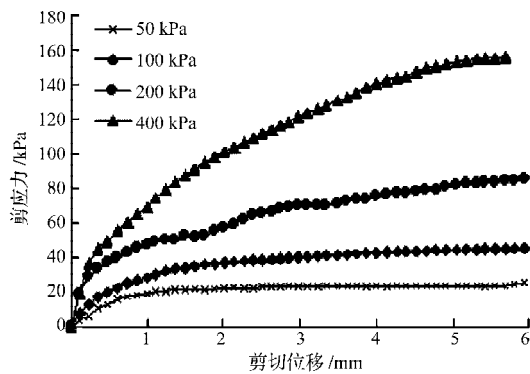
φ 为接触面内摩擦角；

σ 为法向正应力。

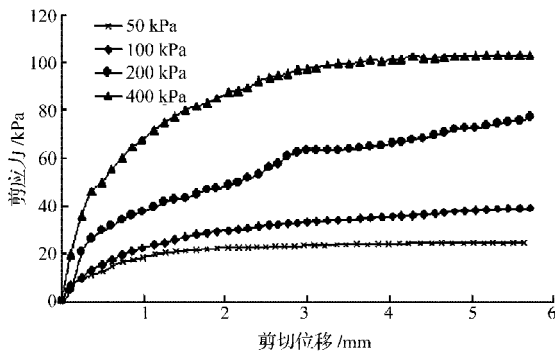
从以上分析说明，土的密实度对接触面剪切特性有一定影响，土体越密实，土的强度越高，从而增强接触面的抗剪性能。随着密实度的增大，内粘聚力增加，这可从土体内部结构分析：土体越密实，土颗粒间以及土颗粒与结构物间的咬合作用越强，使得其间结合力越大，这结合力便是土体的内粘聚力，同时这也增大了接触面间的摩擦角。

2.2 土体的含水量与粘聚力、内摩擦角的关系

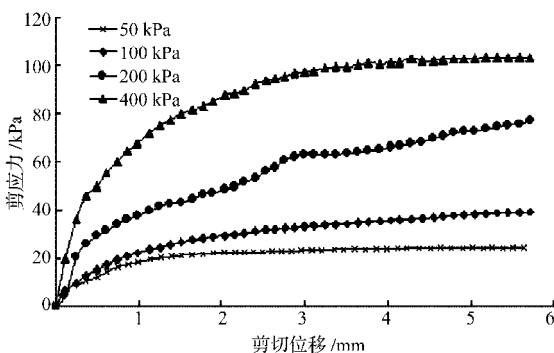
当压实度控制在80%时，探讨土体含水量对抗剪强度的影响，得到图5所示的关系曲线。



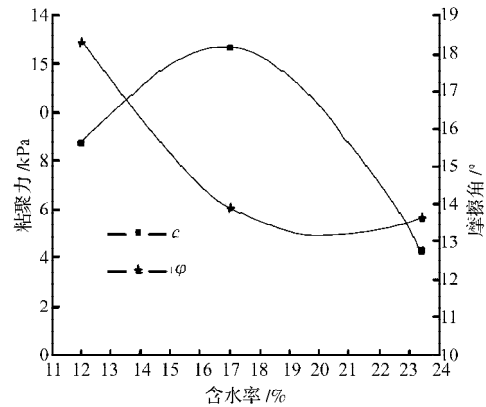
a) $\omega = 12\%$, $D = 80\%$



b) $\omega = 17\%$, $D = 80\%$



c) $\omega = 23.4\%$, $D = 80\%$



d) $D = 80\%$

图5 不同含水率情况下的剪切强度

Fig. 5 Shear strength with different water content

由图5中的d)所示，土体的抗剪强度对含水率的变化较为敏感，含水量增大或减小，接触面粘聚力与摩擦角呈现明显的变化趋势，其表现为，随着含水率的增大，土与混凝土块接触面的摩擦角线性减小，最后趋于稳定；接触面粘聚力先是增大，达到一峰值后迅速减小，与峰值粘聚力对应的含水率约在15%~18%。然而，此时的含水量正好是土体本身处于塑性状态的含水量，在上覆压应力作用下，土与结构物达到最佳的粘结状态，从而界面粘聚力达到峰值，随后粘聚力迅速减小的原因可能是多余的孔隙水汇集在土与混凝土块的接触面，形成一层薄结合水膜，结合水膜起到了润滑作用，削弱了接触面粘聚力，从而降低了土体与结构物之间的抗剪强度。

3 结论

本文通过多组土与混凝土试块的直剪试验，得到了不同密实度、不同含水率情况下土与结构物接触面的剪切特性试验数据，并得到如下结论：

1) 土与混凝土块接触面的剪应力符合Mohr-Coulomb准则强度公式 $\tau = c + \sigma \tan \varphi$ ，从而可通过直剪摩擦试验量测 c 与 φ 等参数值，建立土与结构物接触特性研究的本构模型。

2) 土与混凝土块接触面抗剪强度随土体干密度的增大而增大，随土体含水率的增大而呈现出线性减小。从本文分析可知，抗剪强度的大小基本上受接触面粘聚力大小的影响，粘聚力与摩擦角对水的敏感性较大。

3) 由试验数据分析可知，土与结构物间的界面抗剪强度受含水量的影响较大，因此，在边坡支护或填土路堤施工时，要注意对工程进行防水处理，控制土体含水量在塑性状态附近为宜。

(下转第14页)