

DOI: 10.3880/j.issn.1006-7647.2010.04.004

含水量对滑动带强度影响的细观结构试验

石北啸¹ 陈蕴生² 李 宁^{2,3}

(1. 河北工程大学资源学院, 河北 邯郸 056038; 2. 西安理工大学岩土工程研究所, 陕西 西安 710048; 3. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要:为深入研究含水量的变化对滑动带强度的影响,根据实际滑动带组分特征,配制不同含水量滑动带试样,运用大型多功能材料试验机进行室内试验研究。含水量变化时,对滑动带进行细观结构定性与定量分析,初步建立滑动带宏观变形与细观结构之间的联系。研究表明:随含水量增加,滑动带的强度发挥提前,强度明显降低,颗粒翻滚、旋转、定向排列的特征明显。孔隙率急剧增大,滑动带开始滑动,孔隙率增长速度变缓,说明滑动带内部薄弱部分出现微裂纹;当孔隙率突然减小,说明滑动带内某处微裂纹贯通而形成滑动面,滑动带破坏。初步说明孔隙率可以作为滑动带强度表述的定量指标。

关键词:含水量;滑动带强度;细观结构;定量分析;孔隙率

中图分类号: TU43 文献标识码: A 文章编号: 1006-7647(2010)04-0013-04

Meso-structural experiment on influences of water content on intensity of slip zone//SHI Bei-xiao¹, CHEN Yun-Sheng², LI Ning^{2,3} (1. College of Resources, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China; 2. Geotechnical Engineering Research Institute, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 3. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In order to study the influences of the variation of water content on the intensity of slip zone, laboratory tests were performed by using large-scale multi-function testing machine. The samples with different water contents for the slip zone were prepared according to the characteristics of actual slip zone. With the variation of water content, the meso-structure of the slip zone was qualitatively and quantitatively analyzed, and the relation between macro-deformation and meso-structure was established. The results show that: with the increase of water content, the intensity of the slip zone acts ahead of time and obviously decreases and is characterized by particle rolling, rotating and directional arrangement. The porosity sharply increases, and the slip zone begins to slide. When the growth rate of the porosity becomes slow, it means that micro-cracks appear in the weak part of the slip zone. When it suddenly decreases, it means that micro-cracks transfixion and sliding surface are formed and the slip zone fails. The porosity can be expressed as a quantitative index for the intensity of the slip zone.

Key words: water content; strength of slip zone; meso-structure; quantitative analysis; porosity

水是影响边(滑)坡稳定性的主导因素之一。降雨(雪)、地表水流变化、水库蓄水及库水位变动、冻融作用和人类工程活动等都会造成边坡岩土体内水环境条件的改变,从而导致边坡失稳破坏。因此,含水量变化对滑动带强度的影响引起研究者的广泛关注^[1-5]。室内试验是常用的方法之一,大量的试验研究表明^[6-9],对于大型、巨型滑坡,滑动带强度参数的微小变化都会带来滑坡推力的大幅度改变,给边(滑)坡稳定性评价及治理工程设计的合理性及可靠性、崩滑地质灾害的预测预报带来相当大的不确定性。因此,从细观角度出发,研究含水量变化对滑动

带强度的影响,并揭示其强度机理具有十分重大的现实意义^[10-14]。

1 室内试验

1.1 试样配置及试验方案

为充分体现滑动带的实际物质组成,根据滑动带物质组分特征,选取西安市北郊某工地黏土和砂粒,黏土的初始孔隙比为1.04,密度为1.7 g/cm³,塑限为19.69%。经筛分后按试验要求配制不同含水量滑动带试样。试样配比:含砂质量分数为20%,初始孔隙比为1.02,密度为2.76 g/cm³,大于2mm的

基金项目:河北省教育基金(2007111);陕西省教育厅省级重点实验室重点科研计划(05JS34);邯郸市基金(0921105045-4)

作者简介:石北啸(1977—),男,河北清苑县人,硕士,讲师,从事岩土工程、地质工程教学及科学研究工作。E-mail: shibx@hebeu.edu.cn

颗粒占 0% ,大于 1mm 的颗粒占 5% ,大于 0.5mm 的颗粒占 10% ,大于 0.25 mm 的颗粒占 15% ,大于 0.075 mm 的颗粒占 20% ,其他占 50%。运用西安理工大学岩土工程研究所研制的 WDT-1500 大型多功能材料试验机 ,对不同含水量时的滑动带抗剪强度进行室内试验研究。该试验机配备自动伺服装置 ,直剪试验的同时 ,可以自动采集剪力、位移等相关数据。为使试样不是沿某一固定位置破坏 ,而是在滑动带内部破坏 ,对传统直剪仪加以改进 ,在直剪仪两边增加活动挡板 ,使滑动带厚度可以调节 ,剪切示意图见图 1。

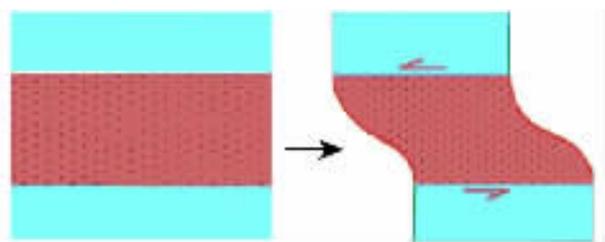


图 1 滑动带剪切示意图

试验时 ,先连续施加法向压力 ,加载速率为 500 N/s ,达 10 kN 后 ,保持不变 ,并随时观测法向变形 ,当 10 min 内法向变形小于 0.005 mm 后 ,采用位移控制的方法施加剪力 ,剪位移速率为 1 mm/min ,达到 15 mm 后 ,停止加载 ,保存数据 ,先卸载剪力 ,后卸载法向压力 ,最后卸试样 ,对试样进行拍照、分割 ,自然风干后 ,待微观结构研究时使用。试验结果见表 1。

表 1 不同含水量滑动带抗剪强度试验结果

编号	含水量/ %	峰值剪力/ kN	最终法向 变形/mm
ss-1	10.00	8.20	0.364
ss-2	15.93	8.15	0.260
ss-3	18.93	4.78	0.127
ss-4	21.33	3.66	0.106

1.2 试验结果分析

对以上室内试验结果 ,绘制剪力 ~ 剪位移曲线、剪力随含水量变化曲线 ,如图 2、图 3 所示。从图中可以看出 :①无论含水量大小 ,在滑动初始阶段 ,剪力随剪位移增加增长明显 ,并且 ,含水量越大 ,剪力增长趋势变缓。②随着含水量增大 ,滑动带的抗剪强度明显减小。含水量由 10.00% 增大到 21.33% ,滑动带的剪力就由 8.20 kN 降低到 3.66 kN ,这充分说明 ,含水量的大小对滑动带强度影响非常明显。③随含水量的增大 ,滑动带强度发挥提前。例如 :含水量为 21.33% 的试样与含水量为 10.00% 的试样相比 ,在剪位移 5 mm 左右 ,含水量为 21.33% 的试样剪力为 3.508 kN ,约为残余强度的 96% ,也就是说在剪位移 5 mm 处 ,已经基本达到最大抗剪强度 ,而此

时含水量为 10% 的试样剪力为 6.001 kN ,仅为残余强度的 73%。

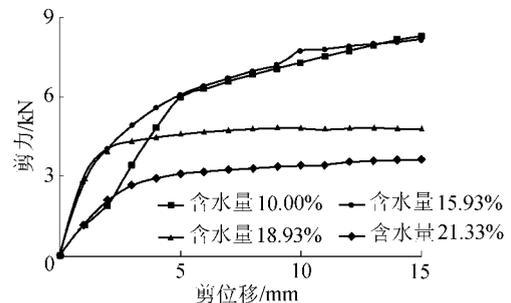


图 2 剪力 ~ 剪位移曲线

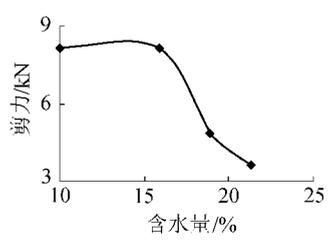


图 3 剪力随含水量变化曲线

以上试验结果表明 ,随含水量的增加 ,滑动带抗剪强度明显减小 ,达到最大抗剪强度的剪位移相对缩短 ,最终法向变形量减小。

2 微观结构定性分析

室内试验完成后 ,选取代表性试样 ,切割成截面边长为 1 cm 的长方柱体 ,风干后人工截断成 1 cm × 1 cm × 1 cm 的立方体 ,用英国爱德华冷干机在 - 50 °C 状态下抽真空 12 h 以上 ,使土中非结晶的冰升华 ,从而达到土样既干燥又不变形的目的。当真空度达到试验要求后喷镀金膜 ,将镀膜后的样品放入扫描电子显微镜的样品室 ,根据研究需要 ,调整放大倍数和最佳观察点进行拍照。对不同含水量试样取样后 ,通过扫描电子显微镜得到图像(图 4)。

从图 4 可以看到 :随含水量增大 ,颗粒翻滚、旋转、定向排列的特征越来越明显 ,颗粒之间的孔隙由原来较明显的大孔隙逐渐变成不明显的微孔隙。从图 4(a)可以看到 ,虽然大部分颗粒在位置上已经发生移动 ,并且颗粒之间的微裂纹已经显现 ,但微裂纹错综复杂 ,发展方向并不是很明晰 ;图 4(b)中的颗粒均朝同一方向排列 ,并且明显地成层状排列 ,微裂纹总体发展的方向性比较清晰 ;图 4(c)中的颗粒定向与分层现象更加明显 ,已经很明显地看到各层颗粒之间所形成的微裂纹发展成了滑动面。

分析认为 :含水量增加使土颗粒周围的结合水膜变厚 ,颗粒胶结性能变弱 ,致使颗粒之间的分子引力变弱 ,结构性降低 ,使颗粒之间更容易分离 ;当含水量超过塑限后 ,颗粒周围会出现自由水 ,水在颗

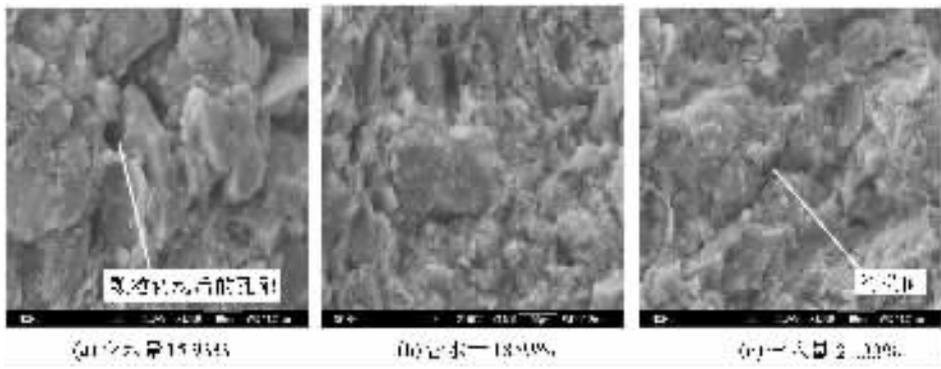


图4 通过扫描电子显微镜得到的试样图像

粒表面起的润滑作用使颗粒之间的连接“断裂”,颗粒之间的接触点减少,甚至在某些薄弱部位(如微裂纹)会产生水的絮流,致使颗粒之间的摩擦力降低,使颗粒在水的润滑作用下更容易翻滚,而滑动带抗剪强度主要还是由颗粒之间摩擦形成的,因此,滑动带的抗剪强度也会随之降低。

含水量越大,颗粒之间接触点越少,摩擦力越小,在相同法向压力下,颗粒之间越容易发生翻滚,小颗粒就越容易填充到大颗粒形成的孔隙中,在较小的剪位移内颗粒调整的速度就越快,结构密度越好,滑动带的抗剪强度越提前发挥。

3 微观结构定量分析

对不同含水量情况下得到的 SEM 图像做预处理(亮度校正、图像二值化处理),将图像的不均匀亮度进行校正后,把灰度图像转换成黑白图像,其中白色部分为颗粒,黑色部分为孔隙。灰度图像的亮度范围为 0~255,二值化处理的关键是阈值的选择,即选取 1 个亮度值来划分黑白两部分,从而区分颗粒和孔隙。常用的阈值选取有平均值法、中值法等,笔者采用的是直方图来确定灰度阈值。图像经过预处理前后的微观结构对比,如图 5 所示。

从处理后的二值图可知:含水量较小时,试样内部孔隙分布凌乱,个别位置存在较大孔隙;含水量越大,孔隙分布越趋向于滑动面附近,内部孔隙大小越均匀,说明在剪切过程中颗粒翻转、滚动使得周围小孔隙合并,并逐渐在滑动面附近成定向性,而离滑动面位置较远的大孔隙被压缩、分割成小孔隙,且含水量越大,现象越明显。

IPP 软件的计数和尺寸测量功能强大,可按自动或手动 2 种方式对目标图像进行计数、统计、归类、测量等操作。运用 IPP 软件对不同含水量的各试样进行孔隙率及颗粒定向性分析,如表 2 所示。

研究表明,随含水量增大,滑动带中孔隙率逐渐降低,沿剪切带平行方向颗粒质量分数成增多趋势,

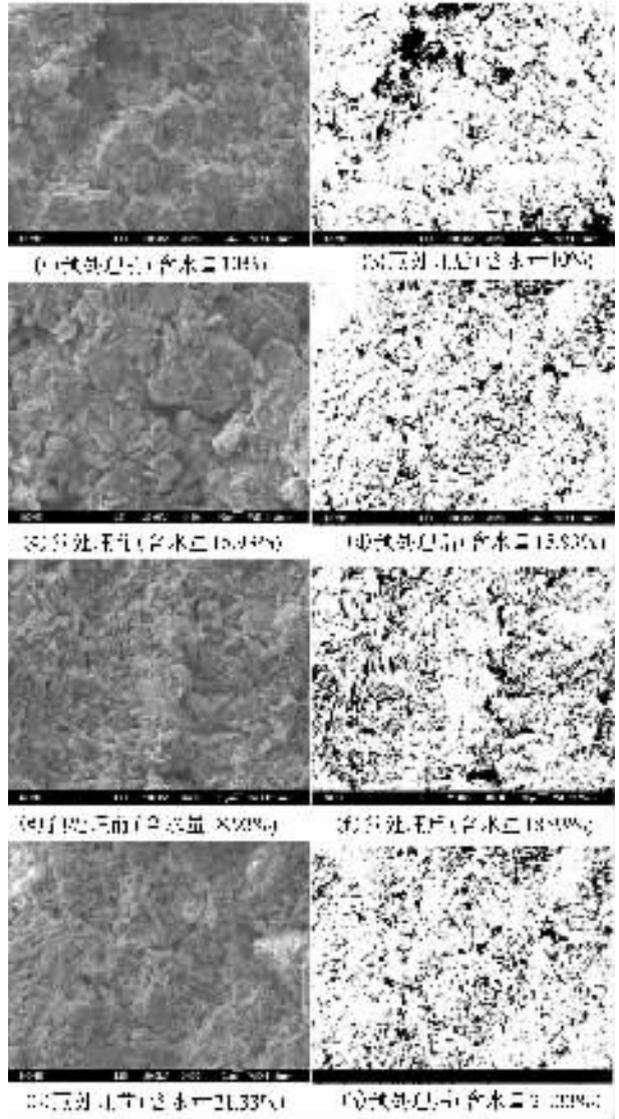


图5 预处理前后不同含水量情况下图像的微观结构对比

表2 不同含水量试样定量研究结果

试样	含水量/ %	孔隙率/ %	沿剪切带平行方向 颗粒质量分数/%
ss-1	10.00	14.30	77.78
ss-2	15.93	12.03	83.62
ss-3	18.33	11.30	82.97
ss-4	21.33	10.02	80.86

当含水量比较大时,沿剪切带平行方向颗粒质量分

数稍有减少。沿剪切带平行方向上的颗粒有些是在法向压力下固结时调整过来的,有些是在剪力作用下利用水的润滑作用翻转过来的,随着含水量的增大,颗粒翻转更容易、更迅速。但当含水量超过某一界限后,沿剪切带平行方向的颗粒不再增加,反而有少量减少(图6)。主要是因为超过界限含水量后,里面的大颗粒利用水的作用形成骨架较快,小颗粒受到大颗粒的保护,不再发生翻转,因而从统计的角度看,沿剪切带平行方向上的颗粒质量分数不增加反而降低,和宏观上看到的有所差别。

孔隙率随含水量增大而呈直线形式迅速减小(图7)。主要是因为水的润滑作用使颗粒更容易翻转,内部形成的孔隙容易被翻转的颗粒填充,因而孔隙率就会减小。

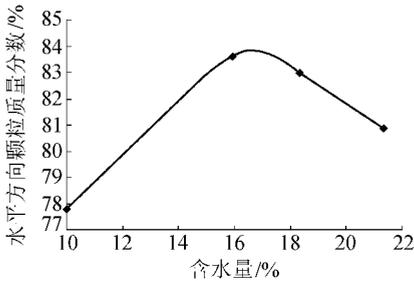


图6 水平方向颗粒质量分数与含水量关系曲线

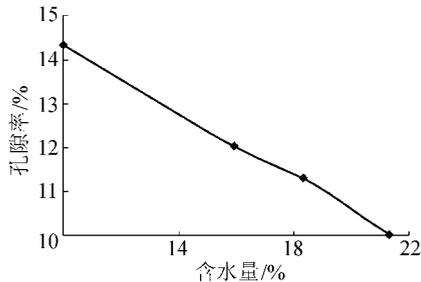


图7 孔隙率与含水量关系曲线

4 结论

a. 随含水量增加,滑动带抗剪强度明显减小,达到最大抗剪强度的剪位移相对缩短,最终法向变形量减小。

b. 含水量的增加,使颗粒之间接触点减少,分子引力变弱,颗粒周围的结合水膜变厚,滑动带的原始结构被破坏,颗粒之间更容易产生相对位移,颗粒之间的摩擦力降低,而滑动带抗剪强度主要是由颗粒之间摩擦形成的,因此滑动带的抗剪强度也随之降低。

c. 将细观定性、定量分析与室内试验综合考虑,得出滑动带的孔隙率随含水量增加而逐渐降低的结论,并将孔隙率作为滑动带强度的定量性指标,

初步建立滑动带强度的细观与宏观之间的联系。即可以用孔隙率的变化对滑动带的滑动过程进行评判:孔隙率急剧增大,说明滑动带开始滑动;孔隙率增长速度变缓,说明滑动带内部薄弱部分开始出现微裂纹;当孔隙率突然减小,则说明滑动带内某处微裂纹贯通而形成滑动面,滑动带被破坏。

参考文献:

- [1] 米海珍,李如梦,牛军贤.含水量对兰州黄土剪切强度特性的影响[J].甘肃科学学报,2006,18(1):78-81.
- [2] 林锋,丁秀美,杨松.滑带土强度对水的敏感性直剪试验研究[C]//李宁.第八次全国岩石力学与工程学术大会论文集.西安:西安理工大学,2004.
- [3] 胡展飞,傅艳蓉.基于不同初始含水量的软黏土抗剪强度的试验研究[J].上海地质,2001(1):38-42.
- [4] 李保雄,苗天德.黄土抗剪强度的水敏感性特征研究[J].岩石力学与工程学报,2006,23(5):1003-1008.
- [5] ZHOU Jian, YU Jian-lin. Influences affecting the soil-water characteristic curve [J]. Journal of Zhejiang University Science, 2005, 6A(8):797-804.
- [6] 苗天德,刘忠玉,任九生.湿陷性黄土的变形机制与本构关系[J].岩土工程学报,1999,21(4):383-387.
- [7] TANYA L L. A general solution method for an anti-plane shear crack dynamically accelerating along abimaterial interface [J]. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 2005, 53:639-653.
- [8] 毕庆涛,姜国萍,丁树云.含水量对红黏土抗剪强度的影响[J].地球与环境,2005,33(3):144-147.
- [9] 张国军,宋汉周.某水电站坝址软弱夹层与水相互作用的试验研究[J].勘察科学技术,2007(4):21-24.
- [10] 刘宏力,石豫川,刘汉超.软弱层带抗剪强度经验公式[J].水土保持研究,2005,12(6):39-41.
- [11] 刘彬,聂德新.断层泥强度参数与含水率关系研究[J].岩土工程学报,2006,28(12):2164-2167.
- [12] FINNO R J, HARRIS W W. Shear bands in plane strain compression of loose sand [J]. Geotechnique, 1997, 47(1):149-165.
- [13] ARSLAN H, STURE S. Finite element analysis of localization and micro-macro structure relation in granular materials. part I: formulation [J]. Acta Mechanica, 2008, 197:135-152.
- [14] SCHÄFFER B, STAUBER M. Soil and macro-pores under uniaxial compression. I: mechanical stability of repacked soil and deformation of different types of macro-pores [J]. Geoderma, 2008, 146:183-191.

(收稿日期:2009-10-13 编辑:方宇彤)