

膨胀土边坡加固实验研究

史晓慧
河海大学岩土工程科学研究所，南京（210098）
E-mail: s12331690@126.com

摘 要：滑坡是一种破坏性十分大的自然灾害。在我国，滑坡分布十分广泛，涉及到水利工程、矿山工程、道桥工程、建筑工程等诸多工程领域。同时由于膨胀土具有“胀缩性、裂隙性和超固结性”，这给边坡的治理带来了更大的难度，因此对膨胀土滑坡治理的研究具有更重要的意义。
关键词：膨胀土边坡，吸力，抗剪强度

1. 概述

地球上大部分的表层土都处于非饱和状态，尤其在那些干旱和半干旱地区，由于受气候条件的影响，存在着若干种与工程相联系的非饱和土问题。如：膨胀土、黄土、残积土，其中膨胀土以其“膨胀性、裂隙性、超固结性”给工程造成了巨大的危害^{[1][2]}。

为了研究非饱和和膨胀土滑坡的机理，在镇江黄山地区进行了一次大型的人工边坡试验。该试验旨在阐明边坡形态的一些相关问题。并进行了一系列测量，诸如测定含水率的含水率计、测定吸力的吸力计、测定孔隙水压力的孔隙水压力计、测定边坡水平变形的测斜仪、测定水平向土压力的土压力计、以及测定降雨量的量雨器。这些仪器都被安排或埋设在边坡场地内。本文主要症对该人工边坡含水率计和吸力计的量测结果行进了分析，并对边坡的抗剪强度进行了定量的计算。这对于边坡的稳定分析具有指导意义。

2. 监测点布置及测量仪器

选择的场地位于镇江南徐大道黄山滑坡。该地区地表水比较丰富。这一段膨胀土为回填土，呈可塑状态；物理力学指标的统计结果：自由膨胀率为 40%~50%，为弱膨胀土。该滑坡曾于 2003 年治理过，打设了若干抗滑桩。但近三年的观察发现原抗滑桩没有能的起到良好效果。为了更好的研究膨胀土边坡的基理，又选取了一典型自然土坡，进行人工开挖，坡顶：20m×6m，坡面：20m×2m，坡比：1:1.5。在边坡的右侧土下 0.5m 处布置土工布，防止雨水下渗，用作对比观察。

土体吸力测试探头与仪器采用美国 SOILMOISTURE 公司的 G-BLOCK 吸力探头辅之以张力计和热传导探头方法，含水率探头也采用美国 SOILMOISTURE 公司。仪器布置见图 1、图 2。场地共布置了 12 个含水率探头和 12 个吸力探头，沿坡中，坡顶竖直钻孔埋设。埋设深度从 0.5m~2.7m。数据稳定后每隔天读数一次。雨中雨后则增加读数次数。

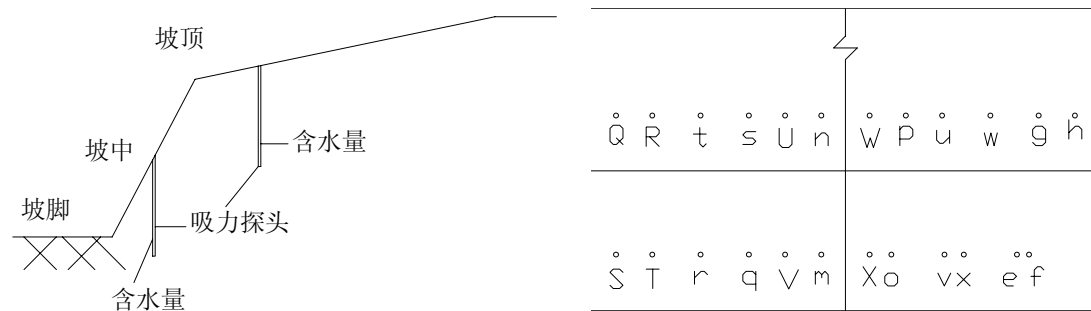


图 1 仪器布置断面图

图 2 仪器布置平面图

3. 监测数据分析

本文取一次完整的降雨过程来分析, 图 3 为右侧坡(坡下 0.5m 处辅有土工布)的吸力随时间变化图, 从图中可以看出在 8 月 2 日有一次降雨过程, 但是吸力变化很小, 没有受到天气影响, 主要是由于土工布将起到了很好的防渗效果。图 4 为右侧坡(坡下 0.5m 处辅有土工布)的含水率的变化曲线, 从图中可以看出除 V 点探头外基本都保持不变, 主要由于 V 点探头埋点靠近土工布的边缘, 侧向渗透造成了含水率的变化。

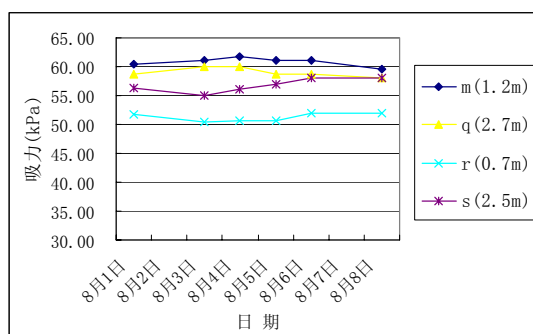


图 3 右侧坡吸力变化

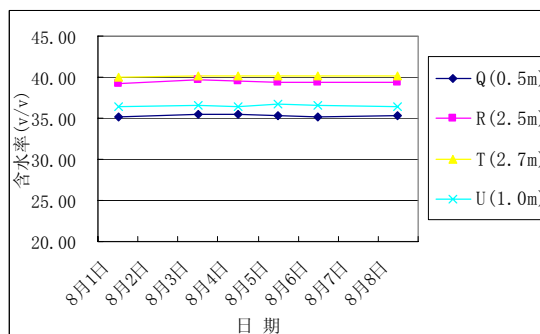


图 4 右侧坡含水率

图 5 为左侧坡(坡下未辅有土工布)的吸力随时间的变化图, 从图中可以看出吸力随着降雨的过程而出现较大的起伏, 但同时降雨对不同深度的含水率的影响也是不同的, h、p、f 探头变化较大, 而 e、g 探头基本没有变化, 主要是由于 2.5m 的位置接近浸润线, 基本处于饱和状态, 干湿循环对此位置的吸力和含水率没什么影响。另外, 吸力的读数有一定的分散性, 这与测定的点太少有关。图 6 为左侧坡(坡下未辅有土工布)的含水率变化, 同样可以看出降雨的影响深度在 2.0m 左右。

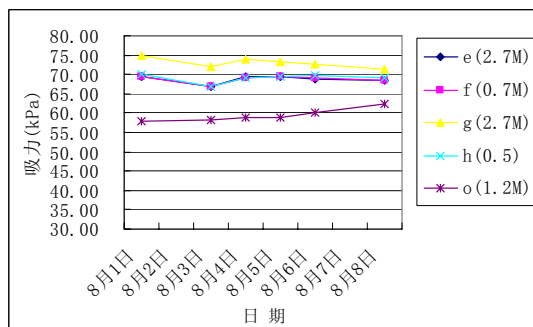


图 5 为左侧坡吸力变化

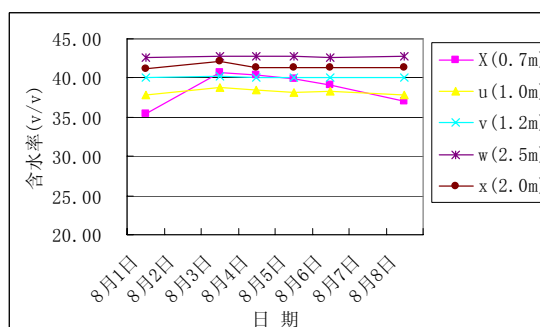


图 6 左侧坡含水率变化

同时综合对照左右侧土坡的吸力和含水率变化发现, 土工布对于防止降雨的入渗确实起到了较好的效果。

4. 土水特征曲线分析

非饱和膨胀土的土—水特征曲线主要受土粒的矿物成分、孔隙的大小及分布、孔隙的结构、土体的收缩性、土的应力历史和温度等因素影响。不同类型的土, 所得到的土—水特征曲线也有所不同。对于非饱和膨胀土的土—水特征曲线的数学模型的数学表达式, 本文采用了多项式函数^{[2][3][4]}

$$S(u) = \begin{cases} 0 & u > u_r \\ a + bu + cu^2 & u_b \leq u \leq u_r \\ 1 & u < u_b \end{cases} \quad (1)$$

式中 $S(u)$ 是饱和度的函数, $u = u_a - u_w$ 为基质吸力, $u_b = (u_a - u_w)_b$ 是土水特征曲线在饱和时的吸力值, $u_r = (u_a - u_w)_r$ 为残余含水率对应的基质吸力, a 、 b 和 c 为参数, 由所测得的数据 (现场所测的吸力和体积含水率) 根据最小二乘法拟合而得出。拟合得 $a=155.45$, $b=-3.3908$, $c=0.022$ 。由图 7 得进气值和残余饱和度对应的吸力值估算为 20 kPa 和 100 kPa。

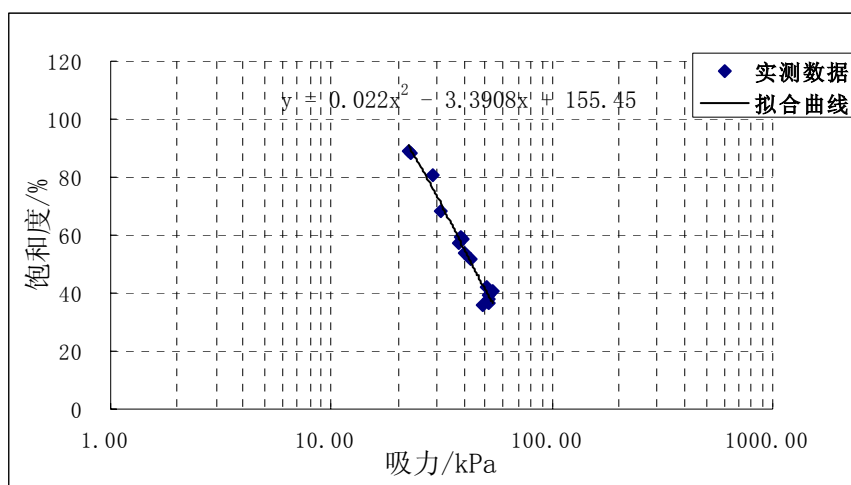


图 7 土坡的土-水特征曲线

5. 非饱和土的强度问题

本文采用 Vanepalli S K 和 Fredlund D G 等^[5]提出的非饱和土的强度公式:

$$\tau_f = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi' \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (2)$$

式中 τ_f 为非饱和土的剪切强度; c' 和 ϕ' 为饱和土的有效强度参数; θ 为体积含水率; θ_s 为饱和土的体积含水率; θ_r 为残余体积含水率。

体积含水率 θ 与饱和度 S 的关系式:

$$\theta = \frac{Se}{1+e} \quad (3)$$

故通过公式 (3) 可以计算出 θ 、 θ_s 、 θ_r , 加上土水特征曲线提供的残余含水率。这样只要知道饱和状态下的 c' 和 ϕ' , 就可以得出非饱和膨胀土任意含水率时的强度。在两侧边坡计算得土下 0.5m、1.0m、1.5m、2.0m 处的抗剪强度值如图 8, 从图中可以看出, 右侧边坡的抗剪强度明显高于左侧。同样我们从图中可以看出, 土体的抗剪强度随着降雨的过程而出现起伏, 且有一定的滞后性。

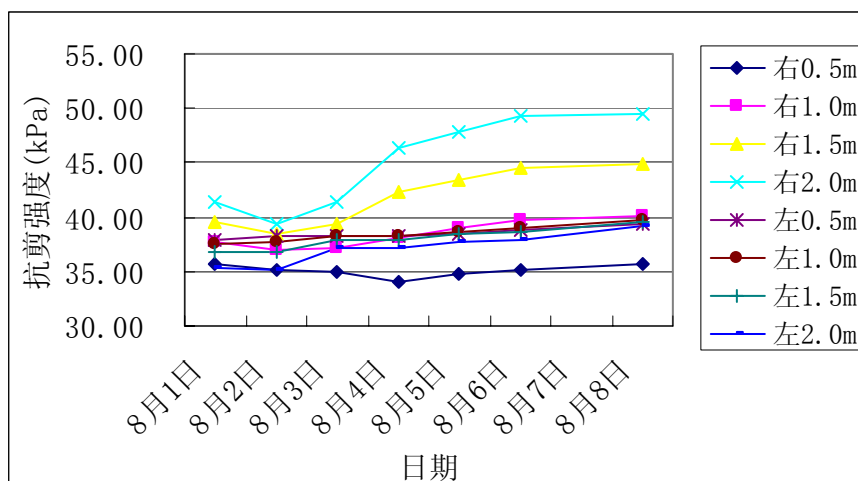


图8 两侧边坡的抗剪强度值

6. 结论

根据本工程测得的体积含水率和吸力值,确定了该边坡坡顶不同深度土体野外土-水特征曲线,并得出了如下主要结论和建议:

1. 通过铺设土工布来减少雨水的下渗,即减少含水率可以很好的确保土的抗剪强度,从而对提高滑坡的稳定性具有很好的效果;
2. 大气对膨胀土的影响一般情况下随深度增加而减小,对本地区的影响深度大约为2.0m;大气进气值约为20 kPa,残余饱和度对应的基质吸力大约为100 kPa;
3. 雨水入渗引起非饱和土中基质吸力的丧失或减小是降雨引起土坡稳定性降低的主要机理,而本工程采用的土工布能较好的解决雨水的入渗,从而确保土坡的稳定;
4. 降雨对体积含水率和吸力的作用具有滞后性,滞后的时长同时受膨胀土矿物成分、土粒的结构、渗透等因素的影响。

参考文献

- [1] 包承纲,詹良通. 非饱和土性状及其与工程问题的联系 岩土工程学报 2006, 28(6): 64-67
- [2] 吴舟礼,黄润秋,胡瑞林,李志清,熊野生. 膨胀土自然边坡吸力和饱和度的量测. 岩土工程学报 2005, 27(3): 64-67
- [3] 戚国庆,黄润秋. 土-水特征曲线的通用数学模型研究 工程地质学报, 2004, 12(2): 182-186
- [4] 李爱国,岳中琦,谭国焕,李焯芬. 土体含水率和吸力量测及其对边坡稳定性的影响 岩土工程学报 2003, 25(3): 64-67
- [5] Vanapalli S K, Fredlund D G, Pufahl D E, et al. Model for the Prediction of Shear Strength with Respect to Soil Suction[J]. Can Geotechn J, 1993, 33(3): 371-389

Experimental research on expansive soil slope reinforcement

Shi Xiaohui

Geotechnical Institute, HoHai University, Nanjing (210098)

Abstract

Landside is a destructive natural disaster, which is widely distributed in China and concerns with many fields of engineering, such as water conservancy project, mining engineering, architecture engineering. What's more, expansive soil has swell-shrink property, fissure property, over-consolidation property, which cause more problems on slope treatment. So the study on expansive soil landslide correction has more fundamental significance.

Keyword: expansive soil slope, soil suction, shear-strength