

文章编号: 1000-7598 (2014) 01-0130-04

裂隙面对强膨胀土抗剪强度影响分析

赵 鑫, 阳云华, 朱瑛洁, 张良平, 麻 斌

(长江岩土工程总公司(武汉), 武汉 430010)

摘 要: 膨胀土作为一种特殊性土, 其抗剪强度取值不同于一般的黏性土。实践证明, 在进行膨胀土边坡设计时, 不仅要考虑土体的土块强度, 而且也要考虑裂隙面强度, 其抗剪强度在很大程度上受其裂隙面规模与产状的影响, 尤其是对裂隙极发育的强膨胀土而言。为了更加真实地模拟强膨胀土在裂隙面控制下的剪切破坏, 特在南水北调中线工程南阳段强膨胀土地段进行大剪试验, 通过拟合试验数据, 对强膨胀土抗剪强度影响因素进行分析。结果表明, 裂隙面的发育程度、倾角、裂面的起伏程度都对强膨胀土的抗剪强度有着很大的影响。

关 键 词: 强膨胀土; 抗剪强度; 裂隙面

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

Analysis of impact of crack surface on shear strength of strong expansive soil

ZHAO Xin, YANG Yun-hua, ZHU Ying-jie, ZHANG Liang-ping, MA Bin

(Changjiang Geotechnical Engineering Corporation, Wuhan 430010, China)

Abstract: Expansive soil as a kind of special soil, its shear strength value is different from the common cohesive soil. In practice, it is proved that in the design of expansive soil slope, not only the soil block strength, but also the crack surface strength must be considered. It is impacted by the crack surface scale and occurrence, in particular, to the strong expansive soil which grows extremely crack surface. In order to simulate more realistic shear failure of strong expansive soil under the control of the crack surface, the in-situ direct shear experiment of strong expansive soil for South-to-North Water Transfer Project in Nanyang section is made; through matching the data of strong expansive soil, and shear strength influencing factors are analyzed. The results show that all of the crack surface development degree, the slope angle and the crack surface fluctuation degree have great influences on the strong expansive soil shear strength.

Key words: strong expansive soil; shear strength; crack surface

1 引 言

南水北调中线工程总干渠全长约 1 432 km, 其中, 总干渠明渠段渠坡或渠底涉及到膨胀土(岩)累计长度约 380 km。渠道沿线存在多种复杂的工程地质问题, 其中膨胀土(岩)质边坡稳定就是中线需要解决的关键工程地质问题之一。

膨胀土具有多裂隙性, 这使得膨胀土边坡容易产生滑坡。膨胀土内部天然分布着较多的裂隙, 使其天生具有“内伤”。当雨水或地表水进入膨胀土内部, 且膨胀土含水率发生改变时, 裂隙面强度降低, 胀缩作用导致已有裂隙产生扩展、剪切变形, 在渠坡附近则可能由此引发变形失稳。裂隙的存在使土

体强度不均匀和复杂化, 膨胀土裂隙通常十分光滑, 强度低, 裂隙的分布、规模和产状控制了膨胀土边坡滑坡的发生。膨胀土体中的裂隙不仅控制了渠道边坡稳定性, 还决定了膨胀土滑坡的形态和破坏机制^[1-6]。

2 现场大剪试验

2.1 地层基本情况

本次采取的强膨胀土位于南阳二标桩号 95+300 位置, 岗地地形, 据现场开挖编录情况, 原地表高程 142~134 m 揭露地层为 al-plQ₂ 黏土, 浅褐黄, 硬塑状, 短小裂隙较发育, 据室内自由膨胀率试验结果, 自由膨胀率 $\delta_{ef} = 57\%$, 属弱膨胀土,

收稿日期: 2012-10-09

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划课题(No. 2011BAB10B02)。

第一作者简介: 赵鑫, 男, 1981 年生, 博士, 工程师, 主要从事土的工程性质方面研究工作。E-mail: zhaoxin8182@163.com

该层底部有一层铁锰质结核富集层与强膨胀土分界，厚度约 20~30 cm，134 m 以下至渠底 130 m 高程，均为强膨胀土。

试验高程选定在 133 m，揭露地层为 Q_2^{al-pl} 黏土，浅黄色~浅棕黄色，土体几乎被沿裂隙面充填的浅灰绿色黏土全部包裹，厚度一般为 1~3 mm，最厚约 15 mm，使土体开挖面多显示为浅灰绿色，土体结构紧密、湿，呈硬塑状，大裂隙及长大裂隙极发育，裂面均光滑，多起伏，平直者少见，大裂隙及长大裂隙线密度大于 30 条/m，其产状各向均有分布，无明显规律。通过在试验地点取样进行自由膨胀率试验分析，自由膨胀率 $\delta_{ef} = 100\%$ ，属强膨胀

土，见图 1，物理性能参数统计见表 1。



图 1 试验地点强膨胀土

Fig.1 Strong expansive soil in test site

表 1 强膨胀土物理性能参数统计表

Table 1 Parametric statistics of physical properties of strong expansive soil

统计项	土粒相对密度	含水率 /%	密度 /(g/cm ³)	干密度 /(g/cm ³)	孔隙比	饱和度 /%	液限 /%	塑限 /%	塑性指数	液性指数	自由膨胀率 /%
平均值	2.70	26.1	1.96	1.55	0.761	93	72.7	29.1	43.6	-0.08	100.0

2.2 试验基本情况

本次试验试样尺寸为 40 cm×40 cm×15 cm，加压系统为千斤顶，采用油压表与百分表进行数据采集，按照试验计划均匀施加垂直荷载至某一预定值，让试块土体在此荷载下进行压缩，每隔 20 min 记录其垂直变形，当垂直变形达到相对稳定(0.01 mm/h)后，开始施加水平荷载；适当选择施加水平荷载的速率，一般每隔 1 min 施加水平荷载 1 次，及时记录其垂直方向、水平方向的应力、应变，同时观察周围土的变形现象，水平剪切试验控制在 20 min 内；当水平变形急剧增长或水平变形量达试体尺寸的 1/10 时，即认为土体已经破坏，可结束试验；最后及时对采集的数据进行整理、分析，绘制水平位移与剪切应力曲线^[7-8]。

根据渠段开挖情况，选取强膨胀土揭露高程 133 m 进行试验，共进行了 11 组试验，均沿水平面进行剪切，试验编号及剪切类型见表 2。

表 2 现场直剪试验工作量一览表

Table 2 Work schedule of in-situ direct shear test

序号	高程/m	试验编号	剪切类型	正应力/kPa
1	133	95133W-1	无荷快剪	
2	133	95133T-1	天然快剪	25
3	133	95133T-2	天然快剪	50
4	133	95133T-3	天然快剪	100
5	133	95133T-4	天然快剪	50
6	133	95133T-5	天然快剪	75
7	133	95133T-6	天然快剪	100
8	133	95133T-7	天然快剪	75
9	133	95133B-1	饱和快剪	38
10	133	95133B-2	饱和快剪	31
11	133	95133B-3	饱和快剪	50

通过观察试样施加的正应力，可以发现，与天然快剪相比，饱和快剪的正应力普遍较小，这是因为强膨胀土具有遇水膨胀软化、强度降低的水理特性。当进行饱和快剪试验时，如果所施加的垂直荷载过大，试样垂直方向的变形极易变得很大，使试样产生压缩破坏，故在试验过程中，无法像天然快剪一样施加过高设定的垂直荷载，这正是反映了强膨胀土在水理力学方面的特性。

3 试验成果对比分析

将不同压力下、不同剪切类型所得试验数据绘制水平位移-剪切应力关系曲线，见图 2。

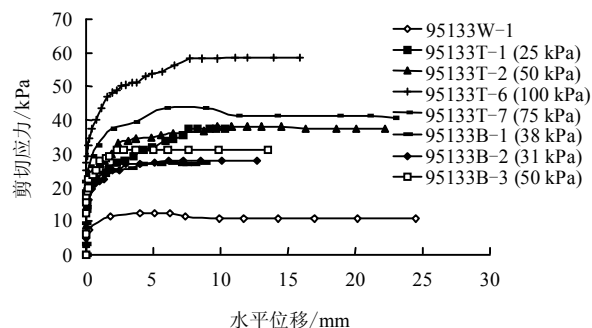


图 2 不同剪切类型、不同荷载下水水平位移-剪切应力关系曲线

Fig.2 Horizontal displacement-shear stress curves with different shear types and loadings

通过图 2 分析得知，水平位移-剪切应力基本上呈现双曲线关系，荷载越大，则其抗剪强度也越大；

饱和剪切由于土体含水率高于天然剪切土体,故其抗剪强度明显降低,这反映在工程实际中,当膨胀土边坡遇地下水、降雨浸泡时,其土体的抗剪强度较天然状态下小,此时更容易产生滑坡等地质现象,所以应当避免膨胀土边坡长期浸泡。

为了对比分析在相同荷载作用下,不同的裂隙分布地带其抗剪强度的差别,在高程 133 m 处分别进行了 50、75、100 kPa 试验对比,绘制曲线如图 3~6 所示。

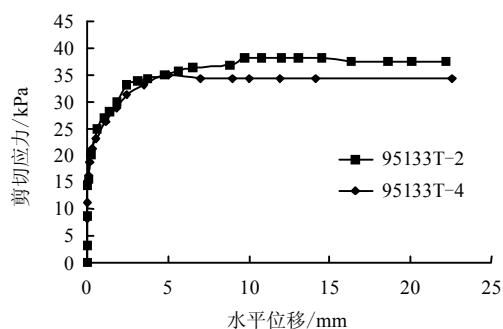


图 3 相同荷载下(50 kPa)天然快剪水平位移-剪切应力关系曲线

Fig.3 Horizontal displacement-shear stress curves of natural quick shear under the same loading (50 kPa)

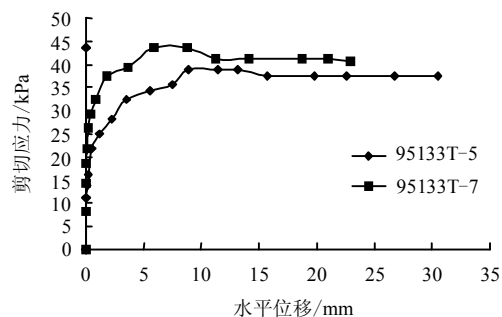


图 4 相同荷载下(75 kPa)天然快剪水平位移-剪切应力关系曲线

Fig.4 Horizontal displacement-shear stress curves of natural quick shear under the same loading (75 kPa)

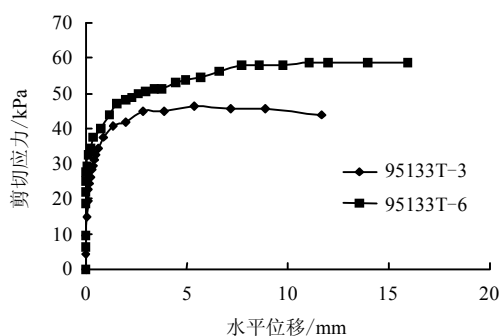


图 5 相同荷载下(100 kPa)天然快剪水平位移-剪切应力关系曲线

Fig.5 Horizontal displacement-shear stress curves of natural quick shear under the same loading (100 kPa)

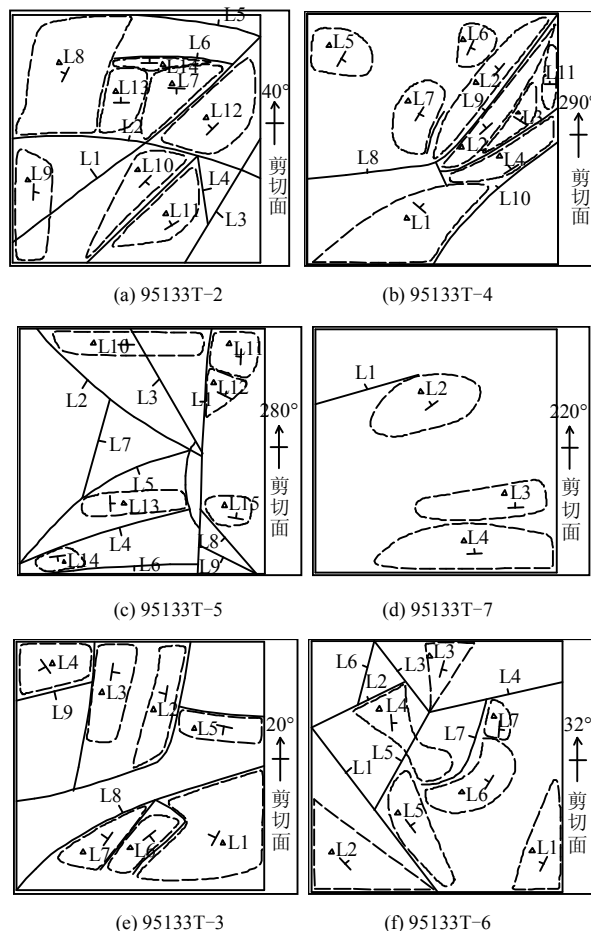


图 6 不同垂直荷载下的试验剪切面

Fig.6 Test shear surfaces under different vertical loadings

表 3 不同垂直荷载下的试验剪切面参数

Table 3 Parameters of testing shear surface under different vertical loadings

荷载 /kPa	试样	剪切面描述	抗剪强度 /kPa
50	95133T-2	裂隙面约占剪切面的 60%左右,多以中倾角~陡倾角为主,裂隙面起伏最大高差约 10 cm。裂隙面主要产状共 3 组: ①0°/46° ②38°/58° ③175°/63°	37.50
50	95133T-4	裂隙面占剪切面的 60%,多以缓倾角为主,裂隙面起伏最大高差为 15 cm。裂隙面主要产状共 2 组: ①10°/28° ②220°/38°	34.38
75	95133T-5	裂隙面约占剪切面的 40%,单个裂隙面不大,多以缓倾角为主,剪切面粗糙不平,起伏高差 1~5 cm,裂隙面主要产状共 2 组: ①13°/12° ②308°/15°	37.50
75	95133T-7	裂隙面约占剪切面的 25%左右,多以中倾角为主,剪切面起伏、粗糙不平,起伏高差最大约 10 cm。裂隙面主要产状共 1 组: ①200°/37°	40.63
100	95133T-3	裂隙面占剪切面的 70%左右,裂隙面以缓倾角为主,最大高差约 9 cm。裂隙面主要产状共 2 组: ①335°/20° ②286°/30°	43.75
100	95133T-6	裂隙面约占剪切面的 90%左右,以陡倾角为主,最大起伏高差约 9 cm,裂隙面主要产状共 2 组: ①330°/80° ②116°/55°	58.75

分析图3~6及表3可以发现,即使在相同的垂直荷载作用下,土体的抗剪强度也有所不同。

(1) 当荷载 50 kPa 时, 95133T-2 试样的剪切强度略大于 95133T-4 试样, 现场描述发现该两组裂隙面占剪切面面积均约为 90%, 但是裂隙面产状不同, 95133T-2 以中~陡倾角为主, 而 95133T-4 以缓倾角为主, 故当施加剪切荷载时, 试样更容易沿着缓倾角的裂隙面产生破坏, 导致抗剪强度较低。

(2) 当荷载 75 kPa 时, 95133T-7 试样的剪切强度略大于 95133T-5 试样。在剪切面描述中, 95133T-7 试样裂隙面仅占剪切面的 25%, 且以中~陡倾角为主, 裂隙面最大起伏高差达 10 cm, 而 95133T-5 试样裂隙面占剪切面的 40%, 且以缓倾角为主, 裂隙面最大起伏高差仅为 1~5 cm, 故当施加剪切荷载时, 试样容易沿着缓倾角裂隙面滑动产生破坏。

(3) 当荷载 100 kPa 时, 95133T-6 试样的剪切强度略大于 95133T-3 试样, 虽然 95133T-6 试样裂隙面占剪切面比例为 90%, 95133T-3 试样裂隙面占剪切面比例为 70%, 前者大于后者, 但是前者裂隙面是以陡倾角为主, 而后者以缓倾角为主, 故当施加剪切荷载时, 试样容易沿着缓倾角裂隙产生滑动破坏。

4 结 论

强膨胀土体由于长大裂隙极发育, 且裂隙之间的贯通性非常好, 裂隙之间充填的黏土厚度一般均比较大, 使得强膨胀土体的承载力受裂隙的影响很大, 裂隙发育程度主要影响土体的抗剪强度, 因此强膨胀土的抗剪强度除了土体强度, 还有裂隙强度, 影响试样抗剪强度的因素可以归结为以下三点, 按优先考虑程度排序:

(1) 裂隙面占剪切面的百分比, 所占比例越大, 裂隙面连通性越好, 则抗剪强度就越小。

(2) 当裂隙面占剪切面的百分比相当时, 应考虑裂隙面的产状, 与剪切面倾角相近的裂隙面更容易产生滑动, 导致抗剪强度偏小。

(3) 裂隙面的起伏高差越大, 裂隙面越不容易产生滑动, 抗剪强度也越大。

参 考 文 献

- [1] 王保田, 张福海. 膨胀土的改良技术与工程应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [2] 中华人民共和国城乡建设环境保护部. GBJ112-87 膨胀土地区建筑技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1989.
- [3] 阳云华, 马贵生, 强鲁斌. 南阳膨胀土试验段现场大剪及室内试验对比分析[J]. 人民长江, 2001, 46(16): 21-23.
YANG Yun-hua, MA Gui-sheng, QIANG Lu-bin. Comparative analysis of in-site and laboratory large shear test on expansive soil in Nanyang area[J]. *Yangtze River*, 2001, 46(16): 21-23.
- [4] 徐永福, 史春乐. 膨胀土的强度特性[J]. 长江科学院院报, 1997, 14(1): 8-41.
XU Yong-fu, SHI Chun-le. Strength characteristics of expansive soils[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 1997, 14(1): 8-41.
- [5] 姚海林, 郑少和, 葛修润. 裂隙膨胀土边坡稳定性评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(2): 2331-2335.
YAO Hai-lin, ZHENG Shao-he, GE Xiu-run. Assessment on slope stability in cracking expansive soils[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2002, 21(2): 2331-2335.
- [6] 李青云, 程展林, 龚壁卫, 等. 南水北调中线膨胀土(岩)地段渠道破坏机理和处理技术研究[J]. 长江科学院院报, 2009, 26(11): 1-9.
LI Qing-yun, CHENG Zhan-lin, GONG Bi-wei, et al. Failure mechanism and treatment technology of expansive soil slope of middle route project[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2009, 26(11): 1-9.
- [7] 中国有色金属工业昆明勘察设计研究院. YS5221-2000 现场直剪试验规程[S]. 北京: 中国计划出版社, 2001.
- [8] 工程地质手册编写委员会. 《工程地质手册》[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.