

膨胀岩的时效性在深基坑支护工程的应用

徐建华¹ 朱 真¹ 丰江红²

(1. 广西地矿工程建设有限公司, 广西南宁 530023; 2. 广西地质学会, 广西南宁 530028)

【摘要】 鉴于膨胀岩物理力学特性及其工程特性的研究, 结合深基坑支护工程使用时间短的自身特点, 寻找膨胀岩抗剪强度衰变期与基坑支护工程使用安全期之间的关系, 提出如何利用这种时差效应, 为工程带来更多经济效益的设计取值方法。以南宁市昌泰东盟园深基坑支护工程为例, 通过不同时期的勘察取样以及采取的不同试验方法分析, 进一步佐证膨胀岩时效性在深基坑支护工程设计施工中的应用价值。

【关键词】 膨胀岩; 时效性; 深基坑支护; 参数

【中图分类号】 TU 443; TV 551.4

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2012.05.013

The Application of the Bracing Engineering for Timeliness Effect of Swelling Rock on Deep Foundation

Xu Jianhua¹ Zhu Zheng¹ Feng Jianghong²

(1, GuangXi Geology and Mineral Construction Engineering CO., Ltd., Nanning 530023, Guangxi, China;

2, Geological Society of, Nanning 530028, Guangxi, China)

【Abstract】 Research of the projecting feature depending on swelling rock physical and mechanical characteristics and the engineering characteristics. The characteristics bracing engineering of deep foundation pit combined with substructure. Look for relations of decay period and safe period, the timeliness effect was put forward by their relational, For this to made economic effect design methodology. A Case Study of Nanning, which was testified further by the timeliness effect of bracing engineering of deep foundation pit on swelling rock.

【Key words】 swelling rock; timeliness effect; bracing engineering of deep foundation; parameter

0 引言

做好深基坑支护工程是城市建设向地下延伸开发工作的前提, 同时也是维护周边环境安全稳定必不可少的工作。深基坑支(维)护工程的特点是安全性要求高, 不可逆性, 属于临时建(构)筑物, 且风险性大。

深基坑支护工程也是边坡支护工程的一种特例, 膨胀岩中的深基坑支护工程更具有明显的特点。在以往膨胀岩地区边坡支护工程的工作中走过两个阶段: 第一阶段, 由于对膨胀岩土认识不足, 按一般岩土性质进行勘察设计, 导致很多边坡支护工程在膨胀力的作用下反复设计、反复施工, 造成很多问题。如南昆铁路百色线路段, 就因为膨胀岩膨胀导致南昆铁路开通运营时间拖延了多年。又如广西军

事体育学校膨胀岩山体滑坡^[1]也是反复设计施工, 1987年开始设计施工治理该滑坡, 经过减载放坡、锚杆支护和抗滑桩等多次设计施工, 但仍多处出现挡墙断裂、锚杆脱落、桩顶位移冒浆、冒泥等现象。第二阶段, 人们对膨胀岩土有了一定认识: 膨胀岩抗剪强度在经风化一段时间后物理力学参数衰变迅速(时效性), 在边坡(深基坑)支护设计施工上, 唯有采用饱和状态下的物理力学指标, 才是确保边坡(深基坑)支护工程安全稳定的有效手段。结果造成投资过大、工期过长、浪费大的现象。

支护设计目的就是要控制好支护体变形量, 其变形量不影响其周边建(构)筑物正常使用为原则。深基坑支护工程为临时结构, 使用工期短, 在开挖过程中膨胀岩体受到破坏, 膨胀岩开始风化, c 、 φ 值衰

变开始展现出它的的时效性。通过利用这种时效性来控制好基坑变形,维护周边的建(构)筑物安全稳定是值得深入探讨的课题。

本文以总占地面积 20 919 m²、基坑深 20 m 的南宁市昌泰东盟园深基坑支护工程为例,探讨这类工程设计施工的工作方法。

1 膨胀岩土研究现状及深基坑支护技术

膨胀岩土是一种特殊的非饱和土,经典的土力学理论在膨胀土问题中已显得无能为力。因此,用非饱和土力学理论来研究膨胀土问题在理论和实际两方面都具有重大意义。早在 1956 年 W. G. Holtz 和 H. J. Gibbs^[2] 首先研究了膨胀岩土的工程性质,他们做了一系列膨胀岩土试验研究;1970 年 Huder-Amberg 就泥岩采用常规固结仪进行了单轴应变膨胀试验,得到了轴向膨胀应变与轴向膨胀压力的对数呈线性关系^[3];1989 年国际岩石力学学会膨胀岩专业委员会公布了“泥质膨胀岩试验的建议方法^[4]”,特别提到三维试验研究的观点”;1993 年我国的扬庆^[5]等在改造的土三轴剪切仪进行了三轴膨胀试验研究,综合考虑了吸水量及应力对膨胀的影响,测定了膨胀岩膨胀应变与三轴应力、吸水量之间的关系。

近年对膨胀岩膨胀性能的研究主要有宏观、微观和现场实验等途径。除宏观角度的膨胀参数试验、微观角度膨胀岩结构研究,还有现场进行的原岩现场抗压、抗剪试验以及模拟工程实物破坏的模型试验等。中国科学院武汉岩土力学研究所谭罗荣等^[6]对膨胀土膨胀特性的变化规律有深入研究,另外,韩华强、陈生水等^[7-8]对膨胀土变形特征以及对边坡稳定性影响研究有独到之处。

关于目前深基坑支护技术的应用与研究已经有很多成果与书籍,重视时空效应,推广动态设计和信息化施工技术是未来发展方向^[9]。

2 膨胀岩的工程性质

1)膨胀岩的风化特性:膨胀岩因含强亲水性黏土矿物,具有孔隙性、胀缩性,所以受大气风化营力作用的影响尤为显著。工程实践表明,只要膨胀岩直接暴露于空气中(特别是雨季),都可观测到岩体表面出现碎裂、泥化,形成表面松散层现象(见图 1)。这便是膨胀岩在大气营力作用下产生的风化作用,这种作用常常表现在岩体结构的破坏、强度降低,从而直接影响到膨胀岩地基与边坡的稳定性。



图 1 第三系泥岩钻探岩芯照片

2)膨胀岩的流变性:流变学主要研究材料在应力、应变、温度、湿度和辐射条件下,材料与时间因素有关的变形、流动和破坏规律。膨胀岩中夹泥质粉砂岩风化后很容易出现流变效应,包括与膨胀岩风化时间关的扩容、挤压流动和卸荷后的影响,有经常导致基坑出现溜坍和坍塌现象(见图 2)。

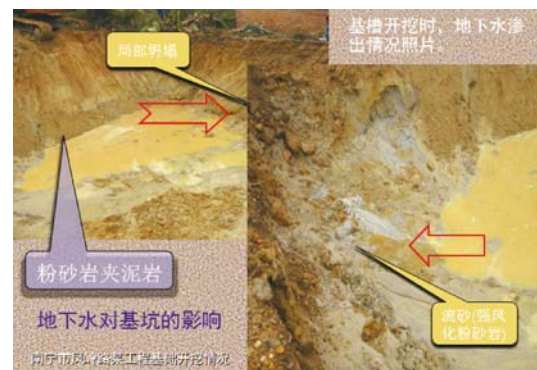


图 2 膨胀岩基坑流变现象

3)膨胀岩的强度衰减特性:膨胀岩刚暴露于地表时,具有较高的强度,而一经吸水强度迅速降低。通过广西膨胀岩地区大量工程勘察资料表明,下第三系膨胀岩现场试验及室内剪切试验研究了含水量增大引起的强度衰减是膨胀岩的本质特性。

4)膨胀岩的崩解和湿化性:膨胀岩的湿化现象在理论上可以用太沙基和佩克(1967)提出的气致崩溃力学来解释。膨胀岩的失水干燥使其吸湿压力提高,大量裂隙、孔隙充满空气,当干燥膨胀岩侵水后,由于吸湿化压力的作用,水很快沿裂隙通道渗入,岩块内空气被挤到内部压缩。随着外部水侵入量的增加,内部空气压力上升,导致岩土体骨架沿最弱面发生破裂而逐渐崩散解体(见图 1)。

3 影响深基坑稳定的几种因素

1)拟建建筑物本身对深基坑支护的影响:建筑物大小、规模和地下室层数,以及基础型式,是决定

基坑深度、规模的主要因素,另外,拟建建筑物的基础型式也是影响到深基坑的稳定性。

2)周围建筑物对深基坑支护的影响:基坑开挖将直接影响到周边建筑物或管线的安全性。因此,基坑周边建筑物(含建筑物基础型式)及道路管线等内容,将直接影响基坑支护的形式和投资,也是确定基坑支护形式一个主要因素之一。

3)静压水对基坑支护的影响:开挖期间基坑性状的改变是由开挖卸荷所致;开挖间歇期内的变化一般由于土体的固结和蠕变所引起。开挖问题与岩土工程中其它问题的主要区别在于,土方开挖使坑底土体应力处于释放状态,由于卸荷而在坑底土体中产生超静负孔压。

4)膨胀岩(土)特性变化规律^[6]对基坑支护的影响:在深基坑开挖过程中,膨胀岩的干密度、含水量、饱和度等值均发生变化,它对整个深基坑支护的影响也是显而易见的,其结果直接影响到设计中 c 、 φ 取值问题和基坑的安全性。

5)开挖速率对基坑支护的影响:开挖速率直接关系到基坑工程的施工速度乃至高层建筑主体工程的工期,因此确定合理的开挖速率是基坑工程设计的一项重要内容。对此,浙江大学土木工程系的应宏伟等关于软粘土深基坑开挖时间效应的有限元分析^[10]有比较好地研究,通过他们调查研究指出,基坑开挖速率快,开挖结束时墙体水平位移也大,反之亦然。

6)降雨对基坑支护的影响:对一个深基坑支护工程选择季节性施工有着重要的意义,因为降雨对基坑支护的影响非常明显,杨正国^[11]的膨胀土高边坡开挖支护设计分析研究成果就证明降水大小对边坡开挖支护影响结果。

7)含水率的影响:根据蒋忠信等^[12]人的百色第三系膨胀岩地基容许承载力与含水率呈良好的线性下降关系表明,含水量每增加 1%,地基容许承载力约降低 10~15 kPa,极限强度降低 20%~30%;室内快剪试验所得含水量每增加 1%, c 值降低 17 kPa,综合摩擦角可降 3°。

4 工程实例分析

1)工程概况

拟建项目位于南宁市东盟商务区,建筑物占地面积 20 919 m²,五栋楼,高 33 层,设有两层和三层地下室。场地四周三面均与道路高层建筑相邻,且埋有高压线、排污沟、电信电缆等,空间极为狭窄,均不能自然放坡,基坑深度 20 m。场地工程地质条件复杂,局部为新近开挖回填整平的填土厚为 12 m(主要成分

为圆砾夹黏土),其它为第三系强膨胀岩地层组成,强风化粉砂质泥岩与粉砂岩互层,为半成岩岩石。根据相关规范判本场地泥岩为强胀缩性岩(见表 1)。

表 1 胀缩性评价表

岩性	自由膨胀率 $\delta_{ef}/\%$	膨胀总率 $\delta_{xs}/\%$	相对膨胀率 $\delta_{xe50}/\%$	胀缩性评定
粉砂质泥岩	62.20	6.39	1.18	强胀缩土

2)各参数值

根据本工程场地 2009 年 1 月 15 日的岩土工程勘察报告提供的 53 个实验参数统计结果,其物理学参数见表 2。

表 2 岩土参数表

岩性	天然重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 标准值/kPa		内摩擦角 标准值/(°)		饱和三轴 剪值	
		c_k^*	c_r^{**}	φ_k^*	φ_r^{**}	c_u/kPa	$\varphi_u/(\text{°})$
素填土	19.0	15		8			
强风化粉砂质泥岩	20.2	110	47.0	15.5	12.0	15.3	5.5
强风化粉砂岩	21.5	37.3	8.5	28.1	21.2	0	16
中等风化粉砂质泥岩	21.0	150	58.0	26.0	15.8	22	12

注: * 为天然三轴剪; ** 为天然反复剪切残余强度

在本基坑开挖后,由于一些原因没有按原设计要求进行,近一年时间才断断续续开挖施工,借此根据场地实际情况,在同一地段不同时间在约 1 m 深左右多次取样,送实验室进行抗剪强度试验,各参数见表 3—表 5。

表 3 强风化粉砂质泥岩参数表

取样日期	间隔时间/d	延时/d	天然重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 c_k^*/kPa	内摩擦角 $\varphi_k^*/(\text{°})$
2009-01-15	0	0	20	110	15.5
2009-10-18	275	275	19.6	100	14.1
2010-03-18	151	426	19.2	55	13.5
2010-06-17	91	517	19.3	75	12.5
2010-08-19	63	580	19	15.3	12

表 4 强风化粉砂岩参数表

取样日期	间隔时间/d	延时/d	天然重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 c_k^*/kPa	内摩擦角 $\varphi_k^*/(\text{°})$
2009-01-15	0	0	21.5	37.3	28.1
2009-10-18	275	275	21.3	35.5	25.2
2010-03-18	151	426	21.2	31.2	23.3
2010-06-17	91	517	21.0	15.8	23.1
2010-08-19	63	580	21.0	8.3	23.0

表5 中等风化粉砂质泥岩参数表

取样日期	间隔时间/d	延时/d	天然重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 c_k^*/kPa	内摩擦角 $\varphi_k^*/(^\circ)$
2009-01-15	0	0	21.5	150	26
2009-10-18	275	275	21.3	92	23
2010-03-18	151	426	21.2	81.3	21
2010-06-17	91	517	21	63	19.5
2010-08-19	63	580	21.1	48.2	16.5

3) 参数分析

鉴于膨胀岩直接受水影响较大,同时也便于试样分析简单化,本次工程取样点都尽可能避免表层取样,且选择岩土样地段避免受降雨水影响的地段。为此,本次研究均没有统计当时降雨情况与取样之间的关系。根据时间与各参数的关系,绘制曲线图3—图5。通过表2—表5数据和关系曲线图3—图5分析,可以看出基坑开挖逐渐取样的数据 c 、 φ 值的变化:随着取样时间的推移各参数值趋于接近天然反复剪残余强度值,即:

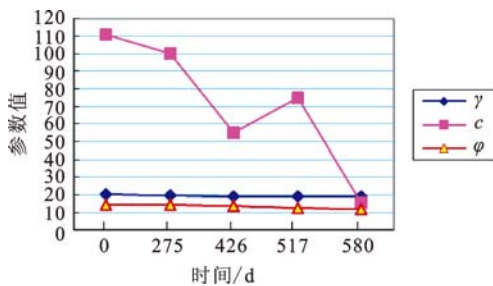


图3 强风化泥岩参数-时间关系曲线图

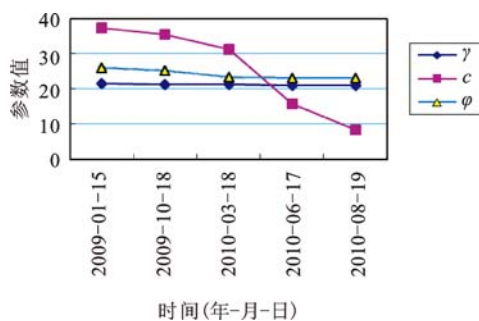


图4 强风化粉砂岩参数-时间关系曲线

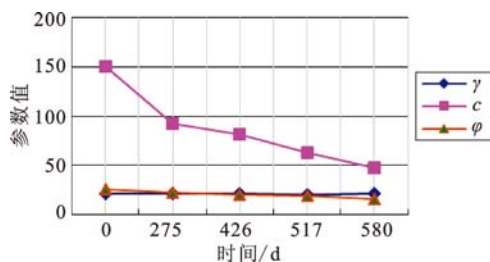


图5 中等风化泥岩参数-时间关系曲线

强风化粉砂质泥岩 $c=47\text{ kPa}$ 、 $\varphi=12^\circ$;

强风化粉砂岩 $c=8.5\text{ kPa}$ 、 $\varphi=21.2^\circ$;

中等风化粉砂质泥岩 $c=58.0\text{ kPa}$ 、 $\varphi=15.8$ 。

饱和状态下的强度值 (c_u 、 φ_u 值) 只有在基坑被大水浸泡下才可能发生,而实际施工过程中让基坑成为水坑是不允许的。多数基坑开挖是一个很快的过程,要分不同时间同样点多次取样,获得一系列的 φ 、 c_r 值是很难的。事实上基坑支护设计取值多从岩土工程勘察报告中提取,而大多数勘察报告给出的抗剪强度值多为直剪或三轴快剪,其参数值远大于实际值。

通过本基坑逐渐开挖后取样分析,其参数值选取直接采用天然反复剪残余强度值更合理。

4) 方案比选

鉴于场地条件,本设计均采用上述岩土参数设计出3个方案,各方案支护形式、造价和优缺点见表6。

表6 设计方案对比表

编号	支护形式	参数选取	工期/d	投资/万元	优缺点
方案一	放适当坡、3~8排锚索加钢筋通腰梁、砂浆喷锚	取快剪强度值,见表2	85	580	投资少、工期快,但安全系数低,膨胀岩参数取值不合理,出危险
方案二	素砼 $\phi 600$ 长螺旋桩处理填土地段,其余用3~8排锚索加槽钢腰梁、局部用微型桩	取天然反复剪残余强度值,见表2	95	830	安全稳定、不受场地限制,施工方便,变形量好控制,但要严格按信息化施工
方案三	用钢筋砼 $\phi 800$ 桩、间距1500,加8排锚索、腰梁	取饱和三轴剪值,见表2	150	1900	安全稳定,施工受场地限制,且造价高、工期长

本场地 20 m 深、安全等级为一级的近垂直黏土地层的基坑,按黏土仅采用锚杆(索)支护是超出现有相关规程技术要求的。本场地地层特点在于基坑的岩土性质有特殊性,即第三系膨胀岩介于土与岩石之间,仅简单地用土或岩石体为介质取参数分析计算,肯定不合理。表2中的值试验快剪强度远远大于一般粘土地层的物理力学参数,通过深基坑软件计算,锚索加锚杆支护就达到设计安全要求了(方案一),但现场实际情况是膨胀岩经开挖露出后,其岩土物理力学性质急剧变化,且工期长基坑暴露

无法控制,根据对该地区多年的边坡支护工作经验,其最终结果安全性是达不到要求的。另外第三设计方案采用表2中饱和和三轴剪值(相当于泥岩全泥化)计算,结果总造价太高,显然该方案也不合理,原因是该场地地下水较低、泥岩没有完全暴露,其泥岩不可能长期浸泡在水中。为此,第二方案本着从实际出发,首先考虑膨胀岩具有的特性——抗剪强度衰变的时间效应,同时考虑到基坑支护安全要求的特点,结合实际取样分析调整设计,使本工程设计施工达到安全、经济的原则。

在实际基坑施工过程中,我们根据基坑监测情况调整设计,如部分增加或减少锚索数量,以及调整孔间距,重视时空效应,动态设计和信息化施工,完成了该基坑支护施工,后经三年的使用效果良好。

5 结 语

1)通过大量的实际设计施工经验表明,合理选取 c 、 φ 参数,在施工过程中适时取样,调整设计施工图非常重要。在膨胀岩地区选取天然反复剪残余强度试验数据更为合理。

2)注重时空效应是深基坑支护工程未来发展的方向,在膨胀岩土深基坑支护设计中,充分考虑时间效应这个因素更为具体更为重要,能达到省时省力、节省投资的经济效益和社会效益。

参 考 文 献

[1] 徐建华,莫一星. 广西军事体育学校膨胀岩山体滑坡整治的反思[J]. 广西地质,1999(1):41-45.

- [2] W. G. Holtz and H. J. Gibbs, Engineering, Properties of Expansive Clays, Proc. Am. Soc. Civ. Engrs. 1956:121.
- [3] W. Wittke and B. Pierau, Foundations for the Design and Construction of Tunnel in Swelling Rock, Proceeding of the 4th international Congress on Rock Mechanics, Montreux, Sweiterland, 1979.
- [4] H. H. Einstein, Suggested Methods for Laboratory Testing of Argillaceous Swelling Rock, Int. J. Roc Meth. Min. Sci., 1989(3):415-426.
- [5] 扬庆,廖国华. 膨胀岩三轴膨胀试验的研究[J]. 岩石力学与工程学报,1994(1):51-58.
- [6] 谭罗荣,孔令伟. 膨胀土膨胀特性的变化规律研究[J]. 岩土工程力学,2004,25(10):1555-1559.
- [7] 韩华强,陈生水. 膨胀土边坡长期强度变形特性和稳定性研究[J]. 岩土工程学报,2004,26(3):422-424.
- [8] 韩华强,陈生水. 非饱和膨胀土强度及变形特性试验研究[J]. 岩土工程学报,2008,30(12):1872-1876.
- [9] 中国土木工程学会力学及岩土工程分会主编. 深基坑支护技术指南[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [10] 应宏伟,谢康和. 软粘土深基坑开挖时间效应的有限元分析[J]. 计算力学学报,2000(3):350-354.
- [11] 杨正国. 膨胀土高边坡开挖支护设计分析[J]. 路基工程,2010(3):136-138.
- [12] 蒋忠信,冯升龙. 百色盆地膨胀岩强度试验条件效应的研究[J]. 中国地质灾害与防治,1994(1):55-63.

收稿日期:2012-07-04

(上接第262页)

参 考 文 献

- [1] 刘之葵,梁金城,朱寿增,等. 岩溶区含溶洞岩石地基稳定性分析[J]. 岩土工程学报,2003,25(5):629-633.
- [2] 刘宏,赵跃平,邬相国,等. 强溶蚀带岩溶地基稳定性研究[J]. 矿业研究与开发,2011,31(3):35-39.
- [3] 张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社,1994:384-386.

- [4] 袁道先. 中国岩溶动力系统[M]. 北京:地质出版社,2002:102-105.
- [5] 王亨林,黄练红,高岩川,等. 昆明新机场航站区岩溶形态特征及其发育规律探讨[J]. 工程勘察,2010(增1):54-60.
- [6] GB 50007—2002 建筑地基基础设计规范[S].

收稿日期:2012-08-08