

甘孜地区高填方回填土三轴试验研究*¹

黄佩 鲜志娟 武中鹏 邓凯伦 余孟飞 刘宏

(贵州大学国土资源部喀斯特环境与地质灾害重点实验室, 贵州贵阳 550025)

【摘要】: 对甘孜地区非饱和高填方回填土(灰岩碎石土、全风化变质砂岩、粉质粘土)进行三轴不固结不排水试验研究, 对不同压实度、不同含水量、不同围压下试样的破坏形态、破坏点轴向应变、应力应变关系、残余强度、抗剪强度指标等进行对比分析。试验结果表明: 试样破坏形式与含水率和围压有关, 含水率越高, 围压越大越容易出现鼓胀破坏、越不容易出现剪切面; 破坏点轴向应变与含水率和围压大小有关; 分析三种土的粘聚力和内摩擦角随含水率的变化趋势发现甘孜地区粉质粘土遇水稳定性最差, 灰岩碎石土遇水稳定性最好。

【关键词】: 甘孜地区, 回填土, 三轴试验, 抗剪强度, 含水率, 应力应变

【中图分类号】: TU411 **【文献标识码】**: A **【文章编号】**: 1003-6563(2017) 03-0054-05

0 引言

由于甘孜地区地势起伏高差大, 在该地区的机场、公路、铁路建设中为满足建设条件, 务必进行深挖高填, 形成了许多高填方边坡^[1]。边坡稳定分析结果的可靠性很大程度上取决于抗剪强度指标的正确选择, 这一点对山区高填方边坡的稳定分析尤为重要^[2]。

甘孜地区地处青藏高原高寒地区, 是典型的高原气候, 这种高海拔、较大的昼夜温差、季节性冻融循环会使高原地区土的性质跟其他地方的土有较大的差异。且通常我们研究土的强度主要针对饱和土, 但在实际工程中的土一般都是非饱和土, 许多学者建立起非饱和土的抗剪强度的理论公式和本构模型^[3-4], 也有学者研究了非饱和土与工程的联系如包承纲^[5], 但由于基质吸力^[6]测量技术复杂、难度较大, 目前还没有一种非饱和土的抗剪强度理论在工程上得到广泛的应用。

本文以甘孜地区某高填方为项目依托进行三轴不固结不排水试验对场区内回填土进行研究, 场区内广泛分布有全一强风化的变质砂岩, 灰岩碎石土和粉质粘土, 填料为场区内挖方土石料。本次试验研究了以上这三种土在不同含水率, 不同压实度下土的强度特性。试验研究对甘孜地区高填方工程建设提供依据。

1 试验方案

1.1 土样物理性质

¹ 收稿日期: 2016-12-24; 修回日期: 2016-12-29

作者简介: 黄佩(1991-), 硕士研究生, 研究方向: 地质灾害防治与地基处理。

通讯作者: 刘宏(1976-), 博士研究生, 教授, 研究方向: 岩土体稳定和地质灾害防治。

表 1 甘孜地区回填土主要物理参数

Tab. 1 Main physical parameters of backfilling soil in Ganzi area

土的类型	灰岩碎石土 (HY)			全风化变质砂岩 (SY)			粉质粘土 (FN)								
	90	93		90	93		90	93							
压实度/%	90	93		90	93		90	93							
最大干密度/(g/cm ³)	2.10			2.11			1.96								
含水率/%	8	10	14	8	10	14	8	10	13	12	14	16	12	14	16
最优含水率/%	8.4			10.2			13.4								

1. 2 试样制备

试验采用应变控制式三轴仪进行常规三轴剪切试验，根据土工试验方法标准^[7]，试样制备过程如下：

1) 本次试验所用土分为灰岩碎石土，变质砂岩碎石土、粉质粘土，采用击实法对扰动土进行试样制备，试样直径 39.1 mm，试样高度 80 mm。选取一定数量的代表性土样，过 2 mm 筛，测定风干含水率，按要求的含水率算出所需加水量。

2) 将需加的水量喷洒到土料上拌匀，稍静置后装入塑料袋，然后置于密闭容器内 24 h，使含水率均匀，取出土料复测其含水率。

3) 根据要求的干密度，称取所需土质量。按试样高度分层击实，本次试验为分 4 层击实。各层土料质量相等。每层击实至要求高度后，将表面刨毛，然后再加下一层土料。如此继续进行，直至击完最后一层，完成扰动土试样制作。每次试样做相同含水率的两种压实度一共 10 个样，制备好的试样用保鲜膜密封包裹，直至本组试样全部制备完成，进行剪切。

1. 3 试验过程

具体步骤如下：

1) 将土样放进用橡胶膜套好的承膜筒内，在压力室的底座上先后放上不透水板、试样、不透水板，将承膜筒从试样外取出，在最上面那个不透水板上放好试样帽，并用橡皮套将橡皮膜的两端箍紧，防止在剪切的过程中水将试样浸湿。

2) 将试样安装在三轴仪后，将压力室外的玻璃罩用螺栓箍紧，打开进水阀门，使水逐渐充满压力室，水充满压力室后关闭位于压力室上部的排气孔。

3) 打开上升开关，让压力室上升，直至试样帽与活塞以及测力计轻触。将测力的百分表和测量位移的百分表调零。

4) 关闭排水阀，打开压力阀，设置围压，调节调压螺旋，使压力室的围压接近设计围压值，固定好粗调压螺旋后打开 0.3 围压按钮自动加压。当压力室实际压力等于设定值之后设定剪切速率为 0.4 mm·min⁻¹，开始剪切，并记录数据。

5) 每一组的围压均为 100 kPa、200 kPa、300kPa、400 kPa，粉质粘土直至轴向应变达到 15% 时，全风化变质砂岩和灰岩碎石土直至试样明显剪坏或者轴向应变达到 15% 时止。

2 试验结果分析

对试验结果进行整理,以横向应变为横坐标,大小主应力差为纵坐标做曲线图,可得出应力应变关系曲线,如图2(HY代表灰岩碎石土、BY代表全风化变质砂岩、FN代表粉质粘土、K表示压实度、W表示含水率)所示。此曲线上的峰值点为破坏点,无峰值时取15%轴向应变的主应力差值作为破坏点。

2.1 试样破坏形态

如图1所示,灰岩碎石土填料在含水率为8%、10%时,均出现明显的剪切面,破坏面与最大主应力方向夹角为 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$;含水率在14%时,围压为100kPa、和200 kPa时,仍能看到剪切面,围压为300kPa、和400 kPa时,试样呈鼓胀破坏形式。



图1 甘孜地区回填土三轴试验试样剪切破坏形态
Fig.1 Shear failure forms of the triaxial test samples of backfilling soil in Ganzi Area

全风化变质砂岩在含水率为8%时,两种压实度的试样均出现明显的剪切面,破坏面与最大主应力方向夹角为 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$;含水率在10%时,两种压实度的试样在围压为100 kPa和200 kPa时均出现剪切面,围压为300 kPa和400 kPa时均为鼓胀破坏。含水率为13%,压实度为90%和93%的土样均未出现明显的剪切面而为鼓胀破坏。含水率为12%、14%、16%的粉质粘土均为鼓胀破坏。

2.2 含水率与破坏点轴向应变的关系

对土的 $\sigma - \varepsilon$ 曲线进行分析:灰岩碎石在100kPa围压下,破坏点轴向应变基本上在2%上下浮动;在200 kPa围压下,破坏点轴向应变基本上在2.4%上下浮动;在300 kPa围压下,破坏点轴向应变在 $y = 0.049 + 2.3778$ 上下浮动,随含水率呈上升趋势;在400 kPa围压下,破坏点轴向应变在 $y = 0.4227 + 2.9$ 上下浮动,随含水率呈上升趋势。总体来看灰岩碎石土破坏点的轴向应变随含水率的升高而升高,并在含水率为14%,压实度为93%时达到最大值15%。全风化变质砂岩破坏点的轴向应变随含水率的升高而升高,在含水率为13%时达到轴向应变最大值15%。粉质粘土在剪切的过程中,应力应变曲线并无明显峰值,它的破坏点为规范规定的轴向应变15%。

2.3 应力应变关系

由剪应力应变关系曲线(图2)可以看出,灰岩碎石土在低含水率时,是有驼峰的应变软化型^[8]。随着含水率的增大,驼峰逐渐消失,变为驼峰不明显的应变软化型,当含水率继续增大到14%时,在高围压、高压实度的作用下,会发展成为应变硬化^[9-10],应力应变曲线无峰值出现,并随着应变的增加,应力趋于缓慢增加;全风化变质砂岩仅仅在含水率为8%,低围压、低压实度的作用下出现了驼峰,高围压和高压实度的作用下,全风化变质砂岩是呈驼峰不明显的应变软化现象,随着含水率的继续

增加到含水率为 13%，高压实度的作用下出现应力硬化；粉质粘土的应力应变曲线表现为应变硬化。

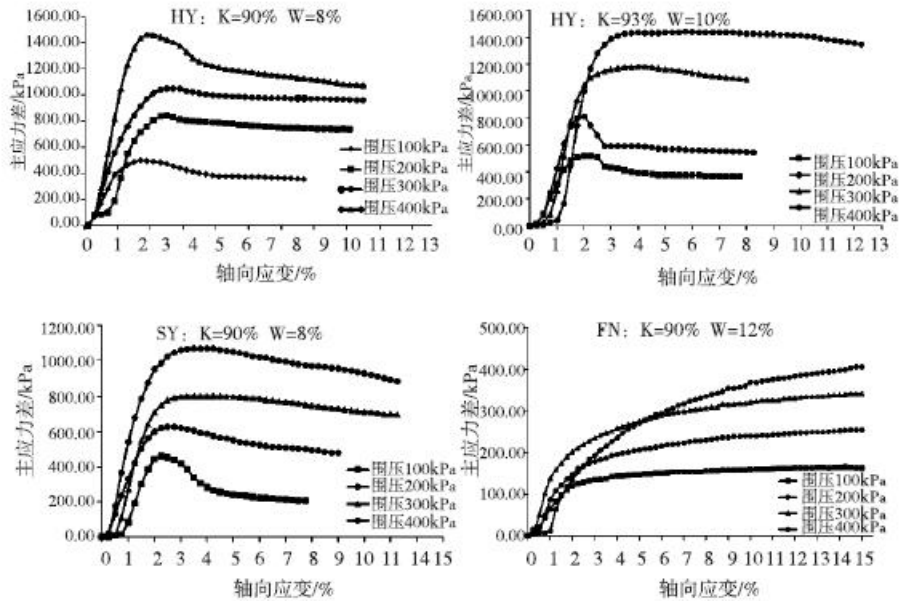


图 2 甘孜地区回填土三轴试验应力应变关系曲线

Fig. 2 The stress–strain curves of backfilling soil in Ganzhi area

2. 4 残余强度

残余强度是指以缓慢剪切速率在达到相当大剪切位移条件下的最小剪切强度值^[11]。土的残余强度是岩土工程中的重要参数，它在土体工程特性评价、边坡稳定性分析与设计及老滑坡体的稳定性评价等研究中具有极其重要的意义^[12]。本次试验在相同围压相同压实度情况下，灰岩碎石土和全风化变质砂岩应变软化的残余强度在 280 kPa — 400 kPa 范围内波动，并未随着含水率的增大明显降低；粉质粘土在相同的压实度下，随着含水率的增大，残余强度有降低的趋势；三种土在压实度增大、围压增大的情况下残余强度都会增大。

2. 5 抗剪强度指标

以法相应力 σ 为横坐标， τ 为纵坐标，在横坐标上以 $(\sigma_{1r} + \sigma_{3r}) \cdot 2^{-1}$ 为圆心，以 $(\sigma_{1r} - \sigma_{3r}) \cdot 2^{-1}$ 为半径画破坏总应力圆，作该破坏总应力圆的包线，求出内摩擦角和粘聚力。不同土在不同含汇率，两种压实度下强度参数如表 2 所示。

表2 甘孜地区回填土抗剪强度指标

Tab. 2 Shearing strength of backfilling soil in Ganzi area

	含水率/%	压实度/%	内摩擦角/°	粘聚力/kPa
灰岩碎石土 (HY)	8	90	35.89	68.20
		93	40.11	56.40
	10	90	32.62	34.90
		93	37.84	68.60
	14	90	31.70	41.80
		93	34.85	45.10
	含水率/%	压实度/%	内摩擦角/°	粘聚力/kPa
全风化变质 砂岩(SY)	8	90	26.93	68.60
		93	30.39	55.70
	10	90	24.92	48.00
		93	31.53	70.20
	13	90	26.58	24.00
		93	30.76	68.00
粉质粘土 (FN)	12	90	16.92	32.59
		93	28.20	39.71
	14	90	14.07	42.80
		93	18.77	35.70
	16	90	12.88	21.30
		93	14.39	21.40

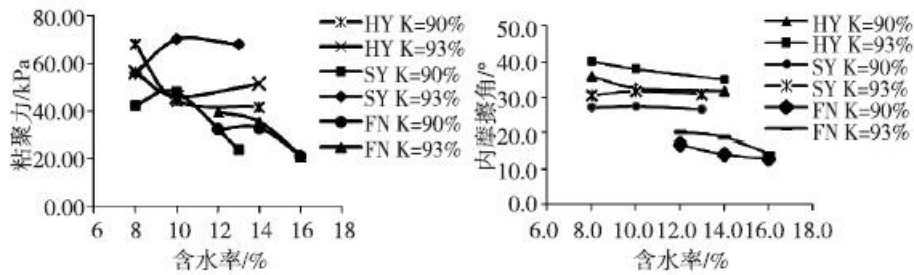


图3 甘孜地区回填土粘聚力、内摩擦角与含水率关系图

Fig. 3 The relationship between moisture content and cohesive strength/internal friction angle of backfilling soil in Ganzi area

土的内摩擦角与含水率由图3可看出,同一种土,相同含水率下压实度越大,内摩擦角和粘聚力越大;三种土的内摩擦角在最优含水率处达到峰值,超过最优含水率后随含水率的增大而减小,粉质粘土的降低速率最大;三种土的相同含水率、相同压实度下,内摩擦角从大到小依次为灰岩碎石土最大、变质砂岩次之、粉质粘土最小。

3 结论

通过对甘孜地区高填方回填土的三轴压缩试验研究,可以得出以下结论:

1) 甘孜地区高填方回填土在三轴压缩不固结不排水试验中,试样破坏形式与含水率和围压有关,含水率越高,围压越大越容易出现鼓胀破坏、越不容易出现剪切面,试样鼓胀破坏与剪切破坏的分界点是:灰岩碎石土含水率14%、围压300 kPa,全风化变质砂岩含水率10%、围压300 kPa,粉质粘土低于含水率12%。

2) 甘孜地区灰岩碎石土、全风化变质砂岩含水率与破坏点轴向应变的关系,在低围压下灰岩碎石土破坏点在定值附近波动,在高围压下随含水率增大呈上升趋势;全风化变质砂岩随含水率的增大破坏点轴向应变也随之增大;粉质粘土在试验范围内无峰值点。

3) 灰岩碎石土和全风化变质砂岩在低含水率时,会出现带有驼峰的应变软化现象,随着含水率的增大,驼峰逐渐消失,变为驼峰不明显的应变软化,继续增大变为应变硬化;粉质粘土在试验含水率内都为应变硬化。

4) 超过含水率后三种土的粘聚力和内摩擦角整体上都随含水率的增大而降低,但是降低的幅度不同进而分析得出粉质粘土遇水稳定性最差,灰岩碎石土遇水稳定性最好。

5) 通过三轴压缩不固结不排水试验,归纳整理了甘孜地区高填方回填土破坏形式、破坏点轴向应变、残余强度、内摩擦角和粘聚力在最佳含水率附近的值,对甘孜地区高填方工程建设以及地质灾害防治具有一定的借鉴意义和参考价值。

参考文献【REFERENCES】

[1] 刘宏. 四川九寨黄龙机场高填方地基变形与稳定性系统研究[J]. 地球与环境, 2005, 33(S1): 133-135.

LIU H. A systematic research on the deformation and stability of high embankment of Jiuzhai-Huanglong, Airport, Si Chuan China [J]. Earth & Environment, 2005, 33(S1) : 133-135.

[2] 张新连, 宋二祥, 徐明. 块碎石强度非线性对山区高填方边坡稳定性的影响 [J]. 工业建筑, 2010, 40(12) : 65-69.

ZHANG X L, SONG E X, XU M. Influence of nonlinear strength of rockfill on slope stability of high fills in mountainous regions [J]. Industrial Construction, 2010, 40(12) : 65-69.

[3] 姚攀峰. 再论非饱和土的抗剪强度 [J]. 岩土力学, 2009, 30(8) : 2315-2318.

YAO P F. Discussion on shear strength of unsaturated soils [J]. Rock & Soil Mechanics, 2009, 30(8) : 2315-2318.

[4] 姚攀峰, 祁生文, 张明. 基于路径的非饱和土抗剪强度指标确定方法 [J]. 岩土力学, 2009, 30(9) : 2605-2608.

YAO P F, QI S W, ZHANG M. Simplified method for determining shear strength of unsaturated soils based on different paths [J]. Rock & Soil Mechanics, 2009, 30(9) : 2605-2608.

[5] 包承纲, 詹良通. 非饱和土性状及其与工程问题的联系 [J]. 岩土工程学报, 2006, 28(2) : 129-136.

BAO C G, ZHAN L T. Relationship between unsaturated soil behavior and engineering problems [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(2) : 129-136.

[6] 林鸿州, 李广信, 于玉贞, 等. 基质吸力对非饱和土抗剪强度的影响 [J]. 岩土力学, 2007, 28(9) : 1931-1936.

LIN H Z, LI G X, YU Y Z, et al. Influence of matric suction on shear strength behavior of unsaturated soils [J]. Rock & Soil Mechanics, 2007, 28(9) : 1931-1936.

[7] 国家质量技术监督局. 土工试验方法标准: GB/T50122-1999 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1999.

The State Bureau of Quality and Technical Supervision. Soil test method standard: GB/T50122-1999 [S]. Beijing: China Planning Press, 1999.

[8] 沈珠江. 理论土力学 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.

SHEN Z J. Theoretical Soil Mechanics [M]. Beijing: China Water Power Press, 2000.

[9] 殷德顺, 和成亮, 陈文. 岩土应变硬化指数理论及其分数阶微积分理论基础 [J]. 岩土工程学报, 2010, 32(5) : 762-766.

YIN D S, HE C L, CHEN W. Theory of geotechnical strain hardening index and its rationale from fractional order calculus [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(5) : 762-766.

[10] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.

QIAN J H, YIN Z Z. Principle and computation of soil mechanics [M]. Beijing: China Water Power Press, 1996.

[11] 龚壁卫, 詹良通, 刘艳华, 等. 非饱和膨胀土的抗剪强度特性研究 [J]. 长江科学院院报, 2000, 17(5): 19-22.

GONG B W, ZHAN L T, LIU Y H, et al. Study on shear strength of expansive soils [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2000, 17(5): 19-22.

[12] 戴福初, 王思敬, 李焯芬. 香港大屿山残坡积土的残余强度试验研究 [J]. 工程地质学报, 1998, 6(3): 223-229.

DAI F C, WANG S J, LI C F. The drained residual strength of volcanics-derived soil sampled on Lantau island, Hongkong [J]. Journal of Engineering Geology, 1998, 6(3): 223-229.