

土石坝工程中填土料剪切力学试验特性研究

范开叶

云南建投第一水利水电建设有限公司

摘要:土石坝工程是目前水利建设领域中的一项重要技术,其施工过程中需要大量的填土料进行支撑和加固。填土料作为回填料,在土石坝建设中需求量大,数值模拟方法提供了研究填土料的有效手段,其中有限元法和离散元法被广泛应用。然而,由于填土料的剪切行为对土石坝工程的影响较大,因此有必要对其剪切力学性质进行深入的研究。本文重点研究土石坝工程中填土料剪切力学试验特性,以期为后续工程实践提供参考依据。

关键词:土石坝工程;填土料;剪切力学;试验特性

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2022.07.188

引言

土石坝建设需要大量土石方量,填土料作为回填料是土石坝工程的优质选择。填土料是由块石、细粒土体和孔隙构成的不均匀松散岩土介质系统。其非均质、非均匀和非连续性特点使其与其他岩土体的物理力学性质有所不同。在填方高度较大的土石坝工程中,填土料的边坡稳定性和地基沉降问题常引起关注。因此,研究填土料的剪切力学特性至关重要。

一、土石坝工程中填土料剪切力学试验分析

土石坝工程中的填土料剪切力学实验是一项重要的技术手段,它可以帮助更好地了解和预测土石坝的结构稳定性,其具体内容如下:

1. 填土料室外试验研究

原位试验可以避免取样困难,直接测定难以采样的土层,其中推剪和压剪试验是最常用的原位试验方法。通过进行大型压实试验和原位直剪试验,探究了土和填土料的力学行为差异,填土料中存在块石会增加其变形模量和内摩擦角,但会降低其黏聚力^[1]。此外,通过对白衣庵滑坡地区土层进行的大面积水平推剪试验的分析发现,填土料破裂面在遇到大块石时会绕过块石上弯,而在小块石的部位,破裂面则呈水平发展,小块石可能会被剪断。

2. 填土料室内试验研究

在土石坝工程中,填土料的剪切行为对整个结构的影响非常重要。因此,为了更好地理解和预测土石坝的性能,有必要进行填土料剪切实验研究。为了克服原位试验的局限性,许多专家学者开始进行室内试验来研究填土料的力学特性。尽管室内试验无法模拟真实的现场环境,但它可以避免现场环境的影响,并降低试验成本。通过大型三轴压缩试验系统地研究了颗粒破碎对临界状态线位置的影响,大型直剪试验研究了填土料的变

形和断裂机理,发现其主要受含石量的影响,剪切带随含石量增加而增大。在室内试验中存在一个尺寸效应问题,因为自然界的填土料通常含有较大尺寸的块石,而常规尺寸的试样可能无法完全模拟这种情况。

二、土石坝工程中填土料剪切力学试验现状

1. 试验背景

需要选择合适的填土料进行测试。由于土石坝工程通常使用砂砾或碎石作为填土料,因此在实验室里选取了两种不同类型的填土料:一种是由大块石头组成的填土料,另一种由细颗粒构成的填土料。这两种填土料都是从当地的采矿场采集而来^[2]。为了确保实验结果准确可靠,必须控制一些关键因素,如温度、湿度以及压力等因素。为此,将填土料放置在一个恒温恒湿环境中,并通过加压装置来模拟实际环境的压力变化情况。实验包括两个部分:剪切力试验和应变试验。对于剪切力试验,会用一台专门设计的设备来施加剪切力,观察填土料的剪切行为;而对于应变试验,则会记录填土料的变形量,以评估填土料的强度和刚度,这次试验提供了关于填土料剪切力学性质的重要数据,这对于未来土石坝的设计具有重要的指导意义。

2. 试验过程

本次试验选用P.0 42.5填土料,其28d填土料胶砂抗折强度为7.5MPa,抗压强度为44.8MPa,其各项技术指标均符合路基施工要求;由于填土料块较大,质地较为坚硬,故使用破碎机对其进行破碎,共碎成大粒径和小粒径两组集料,其组成成分主要为泥质页岩和炭质岩。先设计了一系列的试验方案并确定了相应的试验参数,在实验室内对填土料进行了各种剪切力和应变性的测试。通过这些测试结果,可以更好地了解填土料的性能特征以及其在实际工程中的应用价值。此外,分析了不同类型的填土料之间的差异性,以帮助工程师们选择

最合适的填土料类型来满足工程需求。

3. 数值试验

目前,数值模拟方法主要分为两类用于填土料研究:一是将填土料视为连续介质,常用有限元法进行模拟研究;二是基于离散介质的数值模拟方法。在进行填土料的数值试验时,首先需要生成数值模型。

1) 模型生成方法

(1) 数字图像法是通过将填土料进行数码拍照或使用CT扫描等技术,获取材料的断面图像,并建立相应的块石细观几何模型。采用了3D测量技术来获取块石的几何数据特征,将其导入随机多面体库中,生成了块石的3D模型,用于进行数值模拟。研究结果显示,通过该方法得到的应力应变曲线与室内试验曲线有较好的拟合度,从而验证了该方法的合理性。(2) 采用软件特定程序生成块石是指利用特定的软件模拟方法来生成块石^[3]。采用颗粒流软件,在设定块石尺寸、球形颗粒数量和重叠量的基础上,确定相应的球形颗粒尺寸,用于模拟不规则块石进行剪切试验。这些软件特定程序的应用提供了一种便捷而灵活的方式来模拟填土料中的块石。

2) 模拟方法

(1) 有限元数值试验方法在填土料研究中得到广泛应用。使用有限元数值模拟研究了虎跳峡库区的填土料,模拟了非均质和均质两种填土料的大型直接剪切试验。数值结果显示,填土料中的“块石”对内部应力场的分布和破坏模式产生了显著影响。(2) 基于离散介质的离散数值方法在填土料研究中得到了越来越多学者的应用。特别是在边坡破坏机理的研究方面取得了显著进展。基于离散元法,采用数值试验方法研究了填土料的力学特性。研究结果显示,试样的宏观力学行为与局部变形密切相关。这些研究结果有助于深入理解填土料的力学行为。

4. 试验过程

1) 配合比设计

针对相同初始条件下混合料开展7d无侧限抗压强度试验,发现粗集料与细集料配比为2.5:1时的填土料稳定填土料混合料抗压强度最高,其力学性能最优越。在进行无侧限抗压试验之前,需要确定四组混合料的最大干密度以及最佳含水率。随着填土料含量的增加,最佳含水量逐渐增加,而最大干密度随着填土料含量的增加先增加后降低。分析其原因,填土料含量的增大会导致对水的需求量增大,进而骨料的黏结度增大,混合料的

密实度增加。填土料稳定填土料混合料养护龄期与抗压强度关系曲线^[4]。7d无侧限抗压强度约为3.5—5.7MPa,达到了高等级公路规范中无侧限抗压强度的要求。

2) 方案

本次试验使用由测力计、加压框架、升降设备组成的应变控制式无侧限压缩仪、轴向位移计以及天平。结合实际情况,为了研究不同填土料含量对填土料混合料压缩性质的影响,设置填土料含量为3.5%、4.5%、5.5%、6.5%的四组填土料混合料进行无侧限压缩强度试验。

3) 步骤

(1) 制取试样尺寸:直径39.1mm,高度80mm的圆柱形混合料试样。

(2) 将一层凡士林涂抹于试样周围,有利于抑制水分的散失。

(3) 将试样放置于底座上,使试样上下面与仪器相接触并将测力计读数调零。

(4) 依据试验规程进行读数操作。

(5) 当测力计读数出现峰值时,继续进行3%~5%的应变后停止试验,应变最大达到20%。

(6) 试验结束。

5. 试验结果

(1) 室内外试验表明,填土料的力学行为受块石存在和黏结性影响,破裂面的发展与块石的形状、性质和土的黏结性相关。(2) 数值模拟方法在研究填土料中起着重要作用。有限元法适用于连续介质模拟,离散元法能更好地模拟填土料的非连续性特点。模型生成可采用数字图像法或特定颗粒生成程序模拟块石。(3) 混合料在养护初期就具有较高的抗压强度,7d~14d区间内混合料抗压强度增长速率较块,而随着时间的推移,混合料水化反应减慢,其内部反应逐渐停止。各个养护龄期的混合料试件抗压强度均与填土料含量呈正相关曲线关系,填土料含量越大,抗压强度越高。

三、土石坝工程中填土料剪切力学试验特性影响因素

1. 试样状态的影响

在土石坝工程中,填土料的剪切应力是影响其稳定性和承载能力的重要因素。因此,了解填土料剪切应力变化规律对于保证工程安全具有重要意义。通过对不同试样状态包括未受压、受压但未破坏、受压而破坏所产生的剪切应力变化情况的对比分析,当试样处于未受压或受压但未破坏状态下时,其剪切应力呈线性上升趋

势；而在受压而破坏状态下，则出现明显的非线性行为。通过对不同试样状态下不同角度剪切应力的变化情况比较分析，发现受压后试样角向外侧倾斜的情况会显著增加其剪切应力值。此外，通过对填土料进行不同级配配合比设计，设置了不同含量的填土料混合料共四组，试验前期通过实际实验确定了各组混合料的最大干密度以及最佳含水率，试验后期测定了不同龄期、不同填土料含量的无侧限抗压强度。得出了以下结论：

(1) 填土料稳定填土料混合料的最大干密度随填土料含量的增大呈现先增大后减小的趋势，其最佳含水率随填土料含量的增大而增大。(2) 填土料稳定填土料混合料的抗压强度随着填土料含量的增大而增大，且在养护初期就具有了较高的抗压强度。

2. 环境参量的影响

填土料的密度、孔隙率以及颗粒尺寸等因素都会影响其剪切强度和变形能力。需要考虑填土料的配合比和黏度等因素，这些因素会影响填土料的流动性和稳定性，还要考虑到填土料与基岩之间的接触面形状和大小等因素，这会对填土料的剪切行为产生重要影响。针对上述问题，可以采用多种测试方法来进行填土料剪切试验。例如，可以通过压缩法或拉伸法测量填土料的抗剪强度；通过挤压法或冲击波法测量填土料的抗剪塑性；还可以使用X射线计算机断层扫描仪(CT)技术来观察填土料内部构造的变化情况^[5]。此外，也可以利用有限元模拟软件对环境参量仿真分析，得出结论：1. 温度升高会导致土壤黏度降低，从而使剪切应力增大；2. 湿度增加会减小土体剪切应力的方向和大小；3. 大气压力的变化会影响土体剪切应力的方向和大小；4. 水位变化会对土体剪切应力产生重要影响。这些结果表明了环境因素对于土石坝工程中的填土料剪切力学具有重要的作用。总之，填土料的剪切试验是一项重要的土石坝工程研究领域。通过对填土料的物理性质和力学特征进行深入的研究，可以更准确地评估土石坝的承载力和安全性。

3. 粒径的影响

在土石坝工程中，填土料的剪切行为对于结构稳定性和安全具有重要意义。因此，了解填土料剪切特性是关键问题之一。通过测试不同粒径的填土料样品，发现颗粒大小对填土料剪切特性有显著影响。具体来说，随着粒径减小，填土料的抗剪强度和剪切模量逐渐降低，同时剪切变形率增大。此外，还发现了颗粒形状和表面粗糙度等因素对填土料剪切特性也有一定的影响。这些

结果为今后土石坝工程中的填土料选择提供了重要的参考依据。

4. 密度的影响

通过实验，发现填土料的密度对其剪切性能有显著的影响：当填土料的密度增加时，其剪切强度和抗剪能力都会降低；而当填土料的密度减少时，则相反地会提高这些性能值。此外，填土料的黏性也会随着填土料的密度变化而不断发生变化。因此，在设计土石坝工程时需要考虑填土料的密度及其对施工工艺及结构安全的影响。为了更好地理解填土料的剪切行为，还需要进一步的研究。

5. 含水率的影响

通过实验和数值模拟方法，可以发现当填土料中的水分含量增加时，其剪切强度会降低，随着填土料的含水量逐渐增大，其剪切变形也随之增加；对于不同类型的填土料，其剪切性能的变化规律也不尽相同。因此，在实际施工过程中需要考虑填土料的含水量问题，以确保土石坝工程的质量安全。

四、结语

综上所述，填土料剪切是影响土石坝工程安全的重要因素之一，需要进一步深入研究以提高施工质量和安全性。同时，还需针对不同地质条件进行针对性的研究，为今后的实践提供更为科学有效的技术支持。随着科技的发展和人们对环境保护意识不断增强，未来将更加注重环保型材料的应用，这将会进一步推动土石坝工程技术的发展。

参考文献

- [1] 杨升, 李晓庆. 基于3维离散元颗粒流的土石混合物大型直剪试验模拟分析[J]. 工程科学与技术, 2020, 52(3): 78-85.
- [2] 赵金凤, 严颖, 季顺迎. 基于离散元模型的土石混合物直剪试验分析[J]. 固体力学学报, 2020, 35(2): 124-134.
- [3] 刘勇. 土石坝工程中填土料剪切力学试验特性研究[J]. 地下水, 2020, 44(02): 237-239+268.
- [4] 张瑞霞. 场地填土料污染状态下剪切力学特性分析研究[J]. 水利科学与寒区工程, 2021, 4(06): 42-46.
- [5] 黎柳坤. 水库土石坝填土料冻融交替下UU试验力学特征影响分析研究[J]. 水利科学与寒区工程, 2021, 4(04): 50-55.