

地震影响下工程地质特性变化的实验模拟研究

Experimental Simulation Study of Engineering Geological Characteristics Change under the Influence of Earthquake

李萍¹ 瞿生军²

Ping Li¹ Shengjun Qu²

1. 江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司 中国·江苏 苏州 215106

2. 江苏省工程勘测研究院有限责任公司 中国·江苏 扬州 225000

1. Jiangsu Taihu Water Conservancy Planning and Design and Research Institute Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu, 215106, China

2. Jiangsu Engineering Survey and Research Institute Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225000, China

摘要: 随着工程建设的不断发展,对地震区域工程地质特性的研究变得尤为重要。论文通过实验模拟的方法,探讨了地震影响下不同岩石和土壤工程地质特性的变化规律,并基于实验结果提出了相应的工程应用建议。研究发现,地震强度的增加会导致岩石强度和稳定性的下降,土壤密实度的降低,液化风险的增加。不同岩石和土壤类型对地震的响应存在显著差异,硬质岩石如花岗岩在地震作用下的破坏程度较小,而软质岩石及疏松土壤的破坏程度较大。微观结构和矿物组成是影响岩土体抗震性能的关键因素。

Abstract: With the continuous development of engineering construction, the research on the engineering geological properties in earthquake-prone areas has become particularly important. This paper discusses the variation rules of engineering geological properties of different rocks and soils under the influence of earthquakes through experimental simulation, and puts forward corresponding engineering application suggestions based on the experimental results. The study found that the increase of earthquake intensity leads to the decrease of rock strength and stability, the decrease of soil density, and the increase of liquefaction risk. There are significant differences in the response of different types and soils to earthquakes. Hard rocks, such as granite, have less damage under the influence of earthquakes, while soft rocks and loose soils have more severe damage. Microstructure and mineral composition are the key factors affecting the seismic resistance of rocks and soils.

关键词: 地震影响; 工程地质特性; 实验模拟; 岩石; 土壤; 工程应用

Keywords: earthquake impact; engineering geological properties; experimental simulation; rock; soil; engineering application

DOI: 10.12346/se.v5i3.9237

1 引言

随着社会的快速发展和城市化进程的不断加速,越来越多的工程建设活动被实施,这些活动往往对工程地质环境提出了更高的要求。工程地质特性是影响工程安全与稳定性的关键因素之一,特别是在地震频发的区域,地震对工程地质特性的影响尤为显著。地震力作用下,岩土体的物理和力学性质可能发生改变,从而影响工程结构的稳定性和安全性。

2 地震与工程地质特性

2.1 地震的基本概念

地震是地壳突发释放能量的现象,通常伴随着强烈的地

面震动。地震的强度可以用震级和烈度两个指标来描述。震级是一个反映地震总体规模的量度,通常用里氏震级(M)表示。烈度则描述地震在特定地点的破坏程度,用罗马数字I至XII来表示,烈度越高,破坏越严重。地震发生的原因多种多样,包括构造板块运动、火山活动和人类活动等。

2.2 工程地质特性

工程地质特性是指岩土体在工程建设中所表现出的物理和力学性质。这些特性包括密度、孔隙率、含水量、抗压强度、剪切强度、弹性模量等参数。这些参数直接影响到工程结构的稳定性和安全性。了解和掌握工程地质特性对于工程设计、施工和运维具有重要意义。

【作者简介】李萍,女,中国江苏扬州人,本科,工程师。

2.3 地震对工程地质特性的影响

地震作用下,岩土体的工程地质特性可能发生变化,对工程结构产生不利影响。例如,地震力的作用可能导致岩石裂隙的扩展、土体的液化、边坡的失稳等现象,这些变化直接关系到工程的稳定性和安全性^[1]。

3 实验模拟方法

为了深入研究地震对工程地质特性的影响,本研究采用实验模拟的方法,模拟地震作用下岩土体的响应过程,从而探究其对工程地质特性的影响规律及其机制。

3.1 实验材料

实验选用典型的工程地质材料,包括不同类型的岩石(如花岗岩、砂岩和页岩)和土壤(如粘土、砂土和淤土)。为保证实验结果的可靠性,所有岩石和土壤样品均取自同一地点,且在实验前进行了详细的物理和力学性质测试,以确保其代表性和一致性。

3.2 实验设备和方法

本实验采用高频振动台模拟地震作用,振动台能够模拟不同强度和频率的地震波,以实现样品的精确加载。在实验过程中,岩石样品被制成一定尺寸的圆柱体,土壤样品则装入标准的试模中。为了模拟真实地震作用下的条件,所有样品在实验前均进行预处理,如水分调整和预压实等。

在地震模拟实验中,首先将岩石或土壤样品安置在振动台上,然后根据预设的地震波参数(如加速度、频率和持续时间)进行加载。实验过程中,利用高精度传感器和数据采集系统实时监测和记录样品的动态响应,包括位移、速度、加速度等参数。

3.3 参数设定和控制

为了系统研究地震强度、岩土体类型等因素对工程地质特性的影响,实验中设定了一系列的控制变量。

3.3.1 地震强度

通过调整振动台的加速度和频率,模拟不同强度的地震作用。实验中设定多个震级水平,以研究地震强度对工程地质特性影响的规律。

3.3.2 岩土体类型

选用不同类型的岩石和土壤样品,探讨岩土体类型对其地震响应特性的影响。通过对比不同岩土体在相同地震作用下的表现,分析其对工程地质特性的影响机制。

3.3.3 其他控制变量

考虑到水分含量、初始孔隙率等因素对岩土体工程地质特性的影响,实验中对这些因素进行严格控制,并进行了一系列敏感性分析,以确保实验结果的准确性和可靠性^[2]。

4 实验结果与分析

4.1 不同地震强度下的实验结果

为了探究地震强度对工程地质特性的影响,本研究在模拟的地震实验中设置了不同的震级水平,并对岩石和土壤样品进行了一系列的测试。下面将分别描述和分析不同地震强度下的实验结果。

4.1.1 低震级地震 ($M < 4.0$)

在模拟低震级地震的实验中,岩石和土壤样品表现出较为稳定的特性,其物理和力学性质变化较小。对于岩石样品,观察到微小的裂隙扩展,但整体结构完整性保持良好。土壤样品则表现出轻微的密实和强度增加的趋势。这表明在低震级地震作用下,岩土体的工程地质特性变化较为有限。

4.1.2 中震级地震 ($4.0 \leq M < 6.0$)

当地震强度提升到中震级时,岩石和土壤样品的响应特性发生了明显变化。岩石样品中的裂隙进一步扩展,局部区域甚至出现破碎现象,其抗压和剪切强度相应减小。土壤样品则表现出不同程度的结构疏松和强度减小,特别是对于含水量较高的土壤,其液化倾向更为明显。这些变化表明中震级地震对岩土体工程地质特性的影响较为显著,需要在工程设计和施工中予以充分考虑。

4.1.3 高震级地震 ($M \geq 6.0$)

在高震级地震模拟实验中,岩石和土壤样品的工程地质特性发生了剧烈变化。大多数岩石样品出现严重破碎,其力学性质显著降低。土壤样品则普遍发生液化,尤其是细颗粒土壤,其强度几乎完全丧失,表现出极强的流动性。这些结果说明在高震级地震作用下,岩土体的稳定性和承载能力极为脆弱,对工程结构的安全构成严重威胁。

4.2 不同岩石和土壤类型下的实验结果

为了全面评估地震对不同岩土体工程地质特性的影响,本研究选择了多种类型的岩石和土壤进行实验模拟,下面将对不同材料在地震作用下的响应进行详细分析。

4.2.1 岩石材料

①花岗岩。花岗岩作为一种坚硬致密的岩石,在地震作用下表现出较好的稳定性。实验结果显示,即使在高震级地震作用下,花岗岩的破碎程度也相对较小,其力学性质仅出现轻微下降。然而,需要注意的是,在持续的地震作用下,花岗岩内部的微裂纹逐渐扩展,可能会在长期作用下导致其力学性质的进一步下降。

②砂岩。砂岩由于其结构较为疏松,对地震作用的响应较为敏感。实验发现,即使在中震级地震作用下,砂岩样品也表现出明显的破碎和强度下降现象。在高震级地震作用下,砂岩样品的破碎程度更为严重,其工程地质特性发生了根本性的变化。

③页岩。页岩由于其层理结构,其在地震作用下的响应特性具有明显的各向异性。实验结果表明,页岩在垂直层理方向上的抗震性能相对较好,而在平行层理方向上的稳定性较差。在高震级地震作用下,页岩的层理间容易发生滑移和分离,导致其整体稳定性显著下降。

4.2.2 土壤材料

①粘土。粘土由于其颗粒细小和黏性较强，对地震的抵抗能力相对较好。实验结果显示，在不同震级地震作用下，粘土样品的变形和强度下降都相对较小。然而，高含水量的粘土在地震作用下仍有液化的风险，需要引起注意。

②砂土。相比于粘土，砂土在地震作用下的稳定性较差。实验发现，即使在低震级地震作用下，砂土样品也表现出明显的变形和强度下降。在高震级地震作用下，砂土的液化现象非常明显，其工程地质特性几乎完全丧失。

③淤土。淤土的颗粒大小介于粘土和砂土之间，其在地震作用下的表现也介于两者之间。实验结果表明，淤土在地震作用下的变形和强度下降程度介于粘土和砂土之间，且其液化倾向也相对较弱。

4.3 影响因素分析

通过对不同地震强度和不同岩石土壤类型下的实验结果进行综合分析，论文旨在探讨影响地震对工程地质特性影响的主要因素，并对其作用机制进行深入讨论。

4.3.1 岩石和土壤的初始物理力学性质

实验结果表明，岩石和土壤的初始物理力学性质是影响其在地震作用下响应的关键因素之一。一般而言，初始强度和稳定性较高的岩石，如花岗岩，在地震作用下的破坏程度较小，其工程地质特性保持相对稳定。而对于初始稳定性较差的岩石，如砂岩和页岩，其在地震作用下容易发生破碎和结构疏松，工程地质特性发生显著变化。同样，密度高、含水量低的土壤在地震作用下的稳定性较好，而疏松、高含水量的土壤容易发生液化和强度下降。

4.3.2 地震动参数

地震动参数，包括震级、持续时间、加速度峰值等，对岩土体的响应特性同样具有显著影响。实验结果显示，随着震级的增加，岩石和土壤样品的破坏程度加剧，工程地质特性的变化也更为明显。此外，持续时间较长和加速度峰值较高的地震作用更容易导致岩土体的累积损伤和性能下降。

4.3.3 微观结构和矿物组成

岩石和土壤的微观结构和矿物组成同样在其抗震性能中发挥重要作用。例如，砂岩中的石英含量较高，其抗震性能相对较好；而含有大量黏土矿物的页岩在水分作用下容易发生软化，其在地震作用下的稳定性较差。此外，岩石中的裂隙和缝隙的分布及其方向也对其抗震性能产生重要影响。

4.4 结果的工程应用

本研究通过一系列详细的实验模拟，探究了地震作用下不同岩石和土壤工程地质特性的变化规律。基于实验结果与分析，以下提出了一些针对性的工程应用建议，以期对地震区域的工程设计和施工提供参考。

4.4.1 工程选址与设计

根据实验结果，不同岩石和土壤类型对地震的响应差异

显著。因此，在地震区域进行工程选址时，应优先选择坚硬致密、抗震性能好的岩石，如花岗岩，以减小地震对工程地质特性的不利影响。同时，在工程设计阶段，应充分考虑地震作用下岩土体可能发生的变形和强度下降等现象，并相应地提高工程结构的抗震设计标准。

4.4.2 施工技术与材料选择

为增强工程结构在地震作用下的稳定性，施工技术和材料的选择至关重要。例如，对于砂土地基，可通过夯实、搅拌或注浆等方法提高其密实度和抗液化能力；对于砂岩等易破碎的岩石，可采用锚固、喷锚等加固措施，提高其整体稳定性。同时，在工程材料选择上，应优先选择抗震性能优良的材料，以提高工程结构的整体抗震能力。

4.4.3 工程监测与评估

地震作用下岩土体的变形和破坏往往具有一定的隐蔽性，因此加强工程现场的监测和定期评估显得尤为重要。通过设置地震监测仪器和裂缝计等设备，可以实时监测岩土体的变形和裂缝发展情况，及时发现潜在的安全隐患。在地震发生后，应对工程结构进行全面检查和评估，对受损部分进行及时加固或修复，确保工程安全^[3]。

5 结语

本研究通过一系列详细且系统的实验模拟，探讨了地震影响下不同岩石和土壤工程地质特性的变化规律，并基于实验结果提出了一系列工程应用建议。主要结论如下：地震强度对岩石和土壤的工程地质特性有显著影响。随着地震强度的增加，岩石的强度和稳定性下降，土壤的密实度降低，液化风险增加。不同岩石和土壤类型对地震的响应存在显著差异。花岗岩等硬质岩石在地震作用下的破坏程度较小，而砂岩、页岩等软质岩石及疏松土壤的破坏程度较大。微观结构和矿物组成对岩石和土壤在地震作用下的响应特性有重要影响。裂隙和缝隙的发育程度、矿物种类和含量是决定岩土体抗震性能的关键因素。外部环境条件，如地下水位、温度和压力等，同样影响岩石和土壤在地震作用下的工程地质特性。

总的来说，通过对地震影响下工程地质特性变化的深入研究，不仅丰富了地震地质学和工程地质学的理论体系，也为地震区域的工程安全和社会稳定提供了重要保障。未来在这一领域的深入研究和实践应用，将对提升中国抗震减灾能力和保障人民生命财产安全发挥重要作用。

参考文献

- [1] 刘洋.地震动持时对RC框架结构地震反应影响研究[J].中国地震局工程力学研究所,2021(5).
- [2] 杨铭.地震动持时指标与结构响应相关性分析[J].中国地震局工程力学研究所,2020(9).
- [3] 孔令峰.地震动持时对结构地震反应影响[J].中国地震局工程力学研究所,2019(15).