

Error Analysis of Dynamic Triaxial Test Process

Wenqiang Huang

School of Civil Engineering and Transportation Engineering of Guangdong University of Technology, Guangzhou
Email: thundercaller6789@126.com

Received: Jan. 20th, 2013; revised: Feb. 25th, 2013; accepted: Mar. 8th, 2013

Copyright © 2013 Wenqiang Huang. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Among indoor soil tests, dynamic triaxial test is an important method in the study of dynamic properties of soil but with certain discrete in test results. Both the test operator and dynamic triaxial system itself bring some errors, such as errors in the sample preparation process, the damping force of the system, the lag of the test data, and so on. In order to improve and use dynamic triaxial test better for soil dynamic characteristics and solving practical problems, it is necessary to analyse errors in the whole process of dynamic triaxial test and improve the accuracy of dynamic triaxial test.

Keywords: Triaxial Test; Soil Dynamics; Dynamic Characteristics; Test Error

动三轴试验过程的误差分析

黄文强

广东工业大学土木与交通工程学院, 广州
Email: thundercaller6789@126.com

收稿日期: 2013 年 1 月 20 日; 修回日期: 2013 年 2 月 25 日; 录用日期: 2013 年 3 月 8 日

摘要: 动三轴试验是室内土工试验中研究土体动力特性的重要方法, 但从试验结果来看具有一定的离散性。这既有试验操作者的人为误差, 也有动三轴仪系统本身带来一定误差, 如试样制备过程中的误差, 系统本身的阻尼力, 试验数据的滞后性等等。为了更好地改进和利用动三轴试验研究土体动力特性并解决相关实际问题, 有必要对动三轴试验全过程的误差进行分析, 提高动三轴试验的准确度。

关键词: 动三轴试验; 土动力学; 动力特性; 试验误差

1. 引言

土的变形与动强度特性及其工程参数是分析和评价土工建筑物与地基动力响应及稳定性的基础。利用三轴试验容器来研究土动力学问题的方法, 由我国黄文熙教授(1959年)首先提出^[1], 1962年水电部“土工试验操作规程”修订中列入了动三轴试验项目, 而动三轴试验在国外得到迅速发展是在1966年以后^[2]。许多研究人员都曾利用振动三轴仪进行了大量的土动力特性的试验研究, 并取得了可喜的研究成果: 美

国学者 H. B. Seed 等人基于动三轴试验成果提出了 Seed 简化液化判别法。

黄博等人在 GDS 公司研制的双向动三轴试验系统基础上, 通过误差分析和改进, 实现了对轴向与径向荷载的准确控制, 以及对二者相位差的合理调整, 较好地实现了双向振动条件下地震荷载的模拟, 为进一步对比单向、双向振动条件对土体动力特性的影响作了一些有意义地探索和研究^[3]。王军等人通过 GDS 双向动三轴设备进行一系列饱和和软黏土的变围压动

三轴试验，系统研究循环偏应力和循环围压耦合对饱和和软黏土孔压特性的影响^[4]。

在采用相同的试验操作方法的情况下，各试验单位的结果往往具有一定的离散性。因而，在进行动三轴试验时，有必要对土样的采取与制备、试验操作、数据处理等过程中可能出现的误差加以分析，改进试验设备和流程，以提高动三轴试验结果的准确度^[5]。本文主要是作者通读一些动三轴试验有关文献后并结合了该院新进的 GCTS 真三轴设备试验具体情况，对动三轴试验中可能出现的一些问题的综述，特别是在试验误差方面，以期加深自身对动三轴试验的理解和进行相关试验及改进试验的知识储备。

我院岩土工程研究所从美国引进的 SPAX-2000 真三轴测试系统，其三轴加载如图 1 所示，测试系统如图 2 所示。

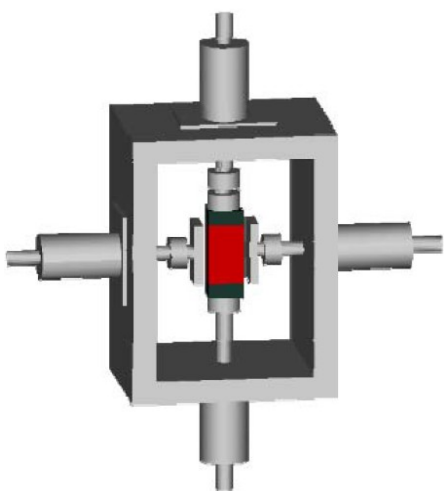


Figure 1. SPAX-2000 triaxial loading
图 1. SPAX-2000 三轴加载

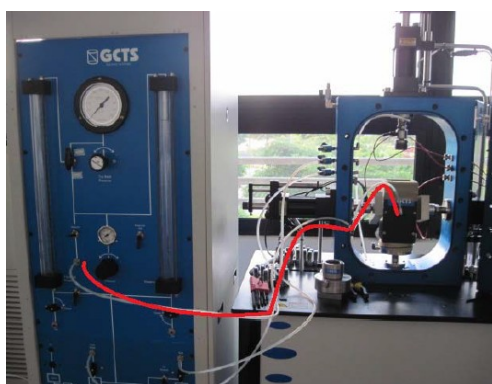


Figure 2. SPAX-2000 triaxial test system
图 2. SPAX-2000 静动真三轴系统

2. 试样制备与饱和

按照水利部规范“土工试验规程(SL237.1999)”(以下简称规范), 重塑的砂样可采用水下制样法。采用水下制样法易产生误差之处是: 所称的砂样有时很难全部填入到对开模中, 这使得砂样质量会有少许损失, 故在拆除对开模后, 应量测试样的高度和直径以复核试样的干密度。如计算出所装试样没有达到预控干密度的 $\pm 0.01 \text{ cm}^3$, 则应在试验前重新装样。同时, 平行试验时各试样间的干密度差值应小于 0.03 g/cm^3 。此外, 如重塑砂样过程未在试验机上实现而制样饱和后又难以移动, 则可采用预冻结的方式进行处理, 之后可加小围压和通无气水的方式解冻^[6]。

目前, 对于试样的饱和有多种方法, 例如: CO_2 饱和法, 反压法和抽气饱和法等, 在必要的情况下还需要多种方法共同使用。

在饱和过程中操作不当也极易出现误差。采用水下制样法时对试样可不荐进行饱和处理, 但需保证制样过程中砂土颗粒始终处于无气水中而不暴露于空气中, 否则饱和度会受到影响。采用 CO_2 和无气水进行试样饱和时, 它们应置换出量测孔压和体变管路中的空气, 否则管路中原有气体返回至试样中将使试样的饱和度降低。试样的饱和程度由孔压系数 B 反映出来, 如饱和度未达到要求, 则可再进行反压饱和。除与其他饱和方法共同使用外, 反压饱和和主要用于对原状试样的饱和。由于应力释放, 孔隙水中溶解气体的气化, 土样结构膨胀导致孔隙压力减小, 形成不饱和状态。反压使气泡再次溶于孔隙水, 使得不饱和试样趋于饱和。

采用各种方法制备土样, 所用的时间都各不相同, 如饱和和所需时间上的差异等。同时, 各单位试验设备不同, 试样的尺寸大小也有区别, 不可避免的存在尺寸效应。如何使动三轴试验制样更加规范化, 是需要考虑的问题。

GCTS 真三轴设备制备饱和土样时, 主要采用反压饱和的控制方法, 具体制备试样所达到的土性指标有待进一步的验证。

3. 动荷载的施加

动三轴试验, 施加的是动荷载, 典型的是双向振

动的情况：水平向动载与垂直向动载之间的施加情况，以及由它们的相位差关系所引起的误差^[7]。主要涉及到施加的围压，动荷载的幅值，波形，频率，循环周次等等。根据各个试验目的和方案的不同，以及试验设备的区别，动荷载的施加实际上存在一定的盲目性，各单位所做试验缺少可比性。例如：即使同样的试验方案在不同的设备上所做的结果都存在较大的差异，究其原因，各单位设备机械制作工艺有别，施加动荷载的程序和方法不同，导致实际施加的荷载出现差异化，因而不具备可比性，也就使得对实际工程问题的模拟一定程度地失真。

GCTS 真三轴设备可以施加较高频率的动荷载，可是高频荷载的施加实际上带来了应变应力传感器反应滞后等相关问题，后面也将提到。另外值得注意的是，试验过程中，试验人员制备的试样是否真的受到了所设定的动荷载的有效作用，这一点，不能盲目相信仪器设备，有待进一步检验。

4. 系统阻尼力

目前，多数静动三轴仪的压力传感器都安放在压力室的加压活塞上。由压力传感器所反映出的荷载，既包括了土试样所承受的荷载，也包括了加压活塞为克服其与压力室间的动摩阻力所需的荷载和克服试样橡皮膜拉伸张力所需要的荷载。通常称后两种非土样所承受的力为仪器系统的阻尼力 F_{η} 。显然，土样所承受的实际荷载应等于压力传感器所反映出的荷载值，减去系统克服阻尼力所需的那部分荷载。为此，张建民等提出了采用水试样校正系统阻尼的方法^[8]。试验表明：该方法对消除仪器系统阻尼的影响是十分有效的，正为各个试验单位所接受。

动三轴设备，包括 GCTS 真三轴设备，在使用时，经常会发现设置的围压(水压)大小和传感器显示的大小不一致的情况，这里面可能既包括压力室形成的有效围压实际大小的误差，也包括传感器测得的误差，基于科学的严谨性，准确性有待进一步验证和提升。另外在垂直方向的上下加压板，上压力板由于重力原因导致试验前的预下沉，虽经系统试验指令发出后会自动复原，但是否复原到位，是否会对实际加压产生影响，有待商榷。试验条件的达到、机械制造和工艺流程有进一步优化和提高自己的空间。

5. 试验记录的滞后问题

对试验数据的分析整理中可以发现，有时数据的记录存在一定的滞后现象，其中最为突出的是孔压滞后于相应的动荷^[9]。这主要是由于孔压传感器位于压力室外时，与试样存在一定的距离，这造成了孔压的实际波动与测定值之间具有一定的时间差。这种情况可通过分析荷载或变形变化特征点与相应时刻孔压变化特征点间的关系，确定实测孔压与实际孔压值之间的时间差。在整理数据时，可将孔压相对于动载做适当平移，这样能在一定程度上消除由于实测记录的滞后给试验结果带来的误差^[10]。

此外，液压式双向振动三轴试验机在侧向动载和轴向动载的量值都较高且差别较大的条件下，容易出现侧向动载不能达到预定值^[11]。毫无疑问，这对试验结果是有影响的。因此，必须在试验前得到油源压力与其所提供的动载大小间的相互关系。

我院新进的 GCTS 真三轴设备在动荷载施加频率过大时，可能出现传感器反应滞后或者过于灵敏的情况，如：设置加载程序时，尚未到加载时刻，即传感器突然收到试样接受到一个冲击荷载，有可能是设置命令生效后因系统加载程序的编制问题导致加载板会对试验有一个试接触的冲击荷载，实际原因有待分析讨论。

6. 结语

动三轴试验广泛应用于对土体动力特性的研究，人们研究动弹性模量、动剪切模量、阻尼比、动强度、动孔压及抗液化特性、动荷载的种类等因素之间的相互关系，试图模拟许多实际工程问题^[12]。就室内土工试验而言，动三轴试验的结果和准确度受到各方面因素的影响，包括来自试验人员的(人为误差)和仪器系统本身的(系统误差)^[13]。人为误差需要试验人员在试验过程中不断提高试验技能来消除；而仪器本身的系统误差则需要在试验中发现、总结、校正、改良。必须承认，有一些误差是不可能完全消除的。

从上述分析中可看出制样和饱和过程多存在人为误差，制样过程中的误差将导致试样的密度与预设值存在差异，这可在制样后对试样进行量测复核；而饱和度通过孔压系数 B 控制，在一定条件下饱和度不满足要求时对试样再进行反压饱和。若还不能达到要

求则应考虑重新制样^[14,15]。动载施加方面仍有很大的改进和完善的空间。系统的阻尼力带来的误差是显著的,需要根据设备和试验方案的不同采取措施尽量消除。试验数据的滞后现象主要通过某些特征点来判断和分析。

每一种动三轴试验设备虽然在设计思路基本上一致,但都有其各自的特点。我院从美国引进的 SPAX-2000 真三轴测试系统仍可以从上述几个方面尽量消除人为误差和系统误差^[16]。

综上所述,试验人员只有在深刻理解试验意图,仔细分析试验全过程的误差来源的基础上才能对其进行合理校正。动三轴试验经过不断地改进对于人们认识和解决实际工程问题必将发挥更大的作用。

参考文献 (References)

- [1] 谢定义. 土动力学[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1988.
- [2] 安徽水利科学研究所. 标准砂振动液化第一次对比试验成果汇总[R]. 合肥, 1981.
- [3] 黄博, 施明雄. 双向振动三轴试验的调整与实现[A]. 土工测试新技术——第 25 届全国土工测试学术研讨会论文集[C]. 2008: 134-140.
- [4] 王军, 谷川. 动三轴试验中饱和和软黏土的孔压特性及其对有效应力路径的影响, 2012, 31(6): 1290-1296.
- [5] 周加林. 双向动三轴实验误差的分析与校正[J]. 大坝观测与土工测试, 1995, 19(6): 37-40.
- [6] 南京水利科学研究所土工研究所. 土工试验技术手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [7] Y. Yoshimi, H. Oh-Oka. Influence of degree of shear stress reversal on the liquefaction potential of saturated sand. Soils and Foundations, 1975, 15(3): 27-40.
- [8] G. R. Martin, W. D. L. Finn and H. B. Seed. Fundamentals of liquefaction under cyclic loading. Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineering, 1975, 101: 423-438.
- [9] 周建, 龚小南, 李剑强. 循环荷载作用下饱和和软粘土特性试验研究[J]. 工业建筑, 2000, 30(11): 43-48.
- [10] 张建民, 段云秦. 振动三轴试验中仪器系统阻尼力的水试样校正法[J]. 岩土工程学报, 1989, 11(1): 79-84.
- [11] 吴世明. 土动力学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [12] GBSL237-1999, 土工试验规程[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [13] 何昌荣. 动模量和阻尼的动三轴试验研究[J]. 岩土工程学报, 1997, 19(2): 39-48.
- [14] 蔡袁强, 梁旭, 李坤. 水泥土-土复合试样的动力特性[J]. 水利学报, 2003, 10: 19-25.
- [15] 栾茂田, 郭莹, 李木国等. 土工静力-动力液压三轴一扭转多功能剪切仪研发及应用[J]. 大连理工大学学报, 2003, 43(5): 670-675.
- [16] GCTS 真三轴设备手册.