

doi: 10.11835/j.issn.1005-2909.2018.06.024

欢迎按以下格式引用:秦鹏飞.土工测试技术及工程应用研究[J].高等建筑教育,2018,27(6):137-142.

土工测试技术及工程应用研究

秦鹏飞

(郑州铁路职业技术学院,河南 郑州 450018)

摘要:土工测试和土力学试验在土力学学科的形成、发展中具有重要地位,土力学学科发展必须将理论和实验紧密结合起来。文章简要分析和总结了土的基本物理性质试验、直剪试验、三轴压缩试验、共振柱试验和无侧限抗压强度试验等室内试验,以及静载荷试验、标准贯入试验、静动力触探试验、旁压试验和十字板剪切试验等现场试验的试验方法及其工程应用情况,阐述了土工试验的重要意义。

关键词:土工试验;室内试验;现场试验;应用研究

中图分类号:G642.0;TU22

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2018)06-0137-06

著名岩土工程专家沈珠江院士指出,试验土力学是现代土力学的一个重要分支^[1-2]。土工测试和土力学试验在土力学学科的形成和发展过程中具有重要地位,土力学的发展必须将理论和实验紧密结合。土工试验不可替代的作用主要表现在以下几个方面:一是土是颗粒性、碎散性的不连续介质,只有通过试验才能揭示这种材料特有的力学性质;二是土力学试验作为土力学科学研究的重要环节,是验证各种理论正确性和实用性的主要手段,也是确定工程设计参数的基本方法;三是只有通过室内或现场土工试验,才能揭示出不同固结状态、不同组成成分土的不同力学性质,对于湿陷性黄土、多年冻土等特殊土,以及非饱和土和人工复合土等尤为重要;四是土工离心模型试验、足尺试验及现场原位测试试验等可直接为土木工程建设服务,同时也是开展数值计算反算和实现信息化施工的依据。所以,土力学的研究和土工实践从来都不能脱离土工试验,土力学相关理论的发展进步必须紧密依托功能日益强大和完善的土工测试技术。

一、土工室内试验

土工室内试验是在土工实验室开展完成的试验,一般为常规测试性试验,主要包括土的基本物理性质试验、击实试验、液塑限联合测定试验、直剪试验、静动三轴压缩试验、空心扭剪试验、共振柱试验和无侧限抗压强度试验等。土工室内试验为工程技术人员开展土工测试,从而深入理解土工

修回日期:2018-09-01

基金项目:郑州铁路职业技术学院博士科研启动基金(201802001)

作者简介:秦鹏飞(1984—),男,郑州铁路职业技术学院铁道工程学院副教授,主要从事地基处理的研究,(E-mail) qinpengfei@emails.bjut.edu.cn。

特性及规律创造了重要条件。

(一) 土的基本物理性质试验

土的基本物理力学性质试验主要是为了测定土的天然密度、孔隙比、含水率等基本物理指标而开展的试验。土的天然密度采用环刀法测定,含水率采用烘干法测定,而孔隙比则根据相对密度、天然密度和含水率换算而定。

(二) 直剪试验

直剪试验是简捷测定土体抗剪强度的试验,是一种重要的土工室内试验。常用的直剪仪分为应变控制式和应力控制式两种。应变控制式直剪试验在操作过程中,通过缓慢推动剪切盒下盒,使试样产生水平位移,并测定剪切应变以计算土的抗剪强度;应力控制式则是对试样分级施加水平力,使土样产生剪切位移,从而测定土的抗剪强度。应变控制式操作方法能较准确地测出剪切强度的变化规律,应力控制式则有较大困难,因而《土工试验方法标准》推荐采用应变控制式测定土体的抗剪强度^[3-5](图1)。

直剪试验的测试结果可以为次要的、一般性的工程建设提供有效可靠的指导。但若工程的重要性巨大、技术复杂,则不能简单依赖直剪试验所得的试验指标,此时应对测试技术提出更高要求。这是由于直剪试验存在一定的局限性:试样的剪切面并不是土体受力最薄弱的平面,受力面积在剪切过程中不断发生变化;剪应力、剪应变分布不均匀;不能严格控制排水条件,不能测得孔隙水压力。

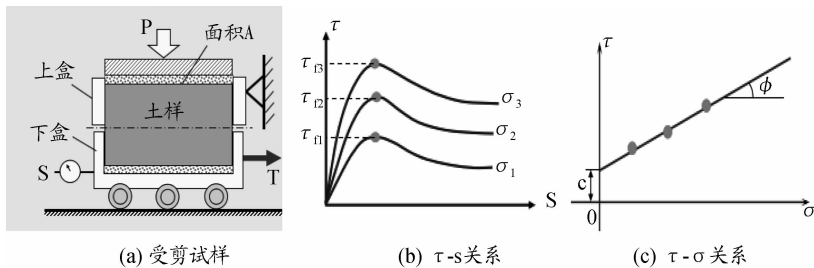


图1 直接剪切试验图示

(三) 三轴压缩试验

三轴压缩试验是土工实验室内设施相对完善、功能相对齐全的试验,且应力条件比较复合明确和均匀,可以控制排水条件和测量孔隙水压力,同时还可以进行多种应力组合试验。根据土样固结排水所要求的不同条件,三轴试验可分为不固结不排水剪(UU试验)、固结不排水剪(CU试验)、固结排水剪(CD试验)三种基本方法^[6-7]。

三轴压缩试验为土工技术的发展进步作出了很大贡献,但仍然不是完美无缺的技术。从受力状态方面考虑,实际地基土处于三向应力状态,而受测试样则处于轴对称应力状态,因此无法考虑中主应力和初始固结主应力方向角等因素的影响。许多科研单位与高校的同行对三轴试验仪器的改进、研制及开发作出了很大努力,研制出了一批新型三轴试验设备。如郑州建筑研究院地基所开发研制出能自动控制应力路径的多功能三轴仪,同济大学参考国内外相关三轴测试技术研制出一种 K_0 固结真三轴仪,西安理工大学开发拉压与扭剪功能研制出双向三轴仪,河海大学与日本等国外技术专家合作共同研制了一种新型的多功能静动三轴仪,香港理工大学设计和改进了一种新的双室三轴仪。

(四) 共振柱试验

共振柱试验是一种利用振动波在试样中传播的特性来测定试样的模量及阻尼比的土工实验。

共振柱仪的基本原理是在一定湿度、密度和应力条件下的圆柱或圆筒形土样上,以不同频率施加纵向激振或扭转激振,使土样扭转向振动或纵向振动,测定其共振频率,以确定弹性波在土样中传播的速度,再切断动力测记出振动衰减曲线。根据这个共振频率和土样的几何尺寸,计算土样动模量 G_d 或 E_d , 根据衰减曲线计算阻尼比 λ 。

(五) 动三轴试验

动三轴测试技术在动三轴仪中测试完成,其与静三轴测试技术的区别在于轴向采用周期动荷载。动三轴测试仪由三个部分组成:压力室及加压系统;激振器及激振系统;量测试件动应力、动应变和动孔压的量测装置。根据轴向周期动荷载施加方式的不同,常见的动三轴仪分作电磁激振式、液压式和气动激振式等。实验操作过程中圆柱形试件受轴向动荷载作用而发生竖向振动,或竖向与侧向双向振动,孔压和应力应变测量装置可以对试样的孔隙水压力及动应力、动应变等参数进行量测,用以判定土样液化可能性,并进行其他土动力学特征的相关研究^[8-9]。

20世纪七八十年代中国水利水电科学研究院等国内相关科研院所采用动三轴仪对砂土的动力特性进行了研究,取得了系统的研究成果。国内高校和其他科研院所纷纷借鉴效仿,极大地推动了动三轴仪测试技术在土动力特性教学和科研试验中的应用。

(六) 无侧限抗压强度试验

无侧限抗压强度试验是使试样处在无侧限的状态和条件下开展的试验。试验时直接在试样顶部施加轴向压力直至试样破坏,从而确定土体的抗剪强度。无侧限抗压强度试验较三轴压缩试验更简便快捷。

二、现场试验

在施工现场或野外开展的试验一般为现场试验,主要有静载荷试验、标准贯入试验、静动力触探试验和十字板剪切试验等。现场测试试验同样是重要的土工测试技术,它可以弥补室内试验测试结果的不足,同时它还是工程勘察、地基承载力检测的重要方法和手段。

(一) 静载荷试验

静载荷试验是检测地基承载力大小的一种现场测试技术。试验过程中通过圆形或方形承压板逐级对地基缓慢施加荷载,用以模拟建筑物产生的实际基底压力 p ,并同时记录各级荷载所产生的地基沉降量 s 。通过对 $p-s$ 关系曲线的分析整理,结合弹性理论公式便可求得土的变形模量和地基承载力(图2)。静载荷试验适用于砂土、粉土、黏性土地基及各种复合地基的承载力检测^[10-12]。

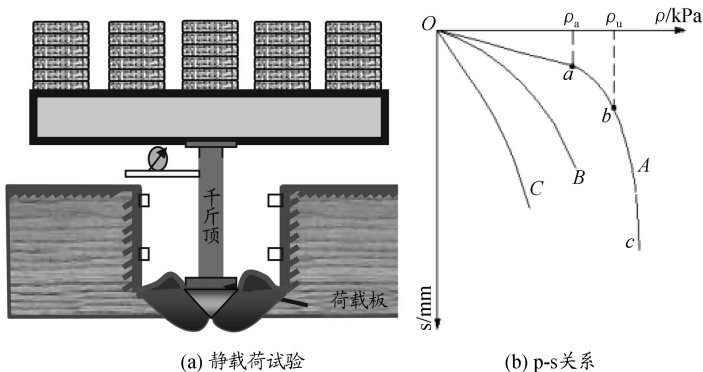


图2 现场静载荷试验图示

地基检测中常用的静载荷试验主要有浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验、岩基载荷试验、复合地基载荷试验、桩(墩)基载荷试验和锚杆(桩)试验。根据加载方式的不同可采用竖向抗压试验、竖向抗拔试验和水平载荷试验。静载荷试验能够比较准确地反映建筑物地基受荷产生沉降变形直至破坏的全过程,试验结果真实、准确、可靠,已被工程界普遍认可和接受,并被列入各国地基承载力检测的规范或规定中。

(二) 静动力触探试验

静力触探(CPT)是通过一定的机械装置,利用准静力将标准规格的金属探头垂直均匀地压入土中,从而测定土层阻力和地基承载力的原位测试技术。测试过程中金属探头由于受到土层的阻力而产生一定的压力,其大小与土的强度成正比。测试装置的金屬探头内置有电子传感器,可以将土层的阻力转换为电讯号,由仪表测量并显示出来。根据需要还可实现数据的自动采集和静力触探曲线的自动绘制。静力触探试验数据可用于土层分类、承载力的确定、土的变形性质指标和单桩承载力估算,以及粉、砂土的液化判别等。

动力触探(DPT)是利用一定的锤击能量,将一定规格的探头打入土中,按贯入的难易程度来评价土的力学性质。对难以取样的碎石类土及静力触探难以贯入的土层,动力触探是十分有效的测试手段。

(三) 标准贯入试验

标准贯入试验(SPT试验)是地基液化判别和工程地质勘察中广泛采用的一种原位测试技术^[13-15],试验设备主要有标准贯入器、触探杆和穿心锤等三部分。试验操作时令质量为63.5 kg的穿心锤沿导杆自由下落,将贯入器击入土中。贯入器入土深度自150 mm至300 mm所需要的锤击数称为标贯锤击数,用以评定砂土的密实度和粘性土的强度、变形模量及液化可能性。

标准贯入试验在岩土工程勘察和地基处理中还可作为砂土分类和确定砂土地基承载力的参考依据,对钻探不易取样的砂土和砂质粉土进行物理、力学性质的评定具有独特的意义。

(四) 旁压试验

旁压实验是一种钻孔横向载荷实验,是工程地质勘察和公路工程等建设中常用的现场测试技术,常分为预钻式、自钻式和压入式三种。试验过程中通过施压使旁压器产生膨胀,旁压膜则将膨胀压力传给钻孔周围的土体,连续施压直至土体发生破坏。根据测得的膨胀压力与土体变形之间的关系,可以绘制应力-应变(或钻孔体积增量、或径向位移)关系曲线,从而实现对所测土体的承载力、变形性质等性能的评价^[16-18]。

旁压试验测试技术20世纪30年代由德国工程师Kogler发明,之后迅速在各国推广使用。旁压试验的主要优势表现在:一是实用性大。旁压试验可同时评定地基土的强度和变形两种性能,测试结果能直接反映承载力 f_u 、旁压模量 E_m 、初始压力 P_0 、临塑压力 P_r 、极限压力 P_L 以及侧向基床反力系数 K_n 等参数的大小。二是适用性广。旁压试验在卵石土、碎石土、粗砂土、粉土、黏性土以及软岩和极软岩等地基中均有广泛应用,而且测试结果不受地下水的影响,最大测试深度可达20~30 m深。三是可操作性强。旁压试验投入机械设备少,操作简单、灵活。

(五) 十字板剪切试验

十字板剪切试验是测定饱和软粘土的不排水抗剪强度及灵敏度等参数的现场测试试验。试验所测得的抗剪强度值,相当于天然土层在试验深度处原位固结压力下的不排水抗剪强度。试验时

通过施加外力将十字板压入一定深度的软黏土中,并通过对板架施加扭矩,使十字板在土中缓慢等速旋转一周,形成一个圆柱形的土体破坏面,见图3所示。根据圆柱体表面抵抗力矩的大小,可以换算出土的抗剪强度^[19-21]。

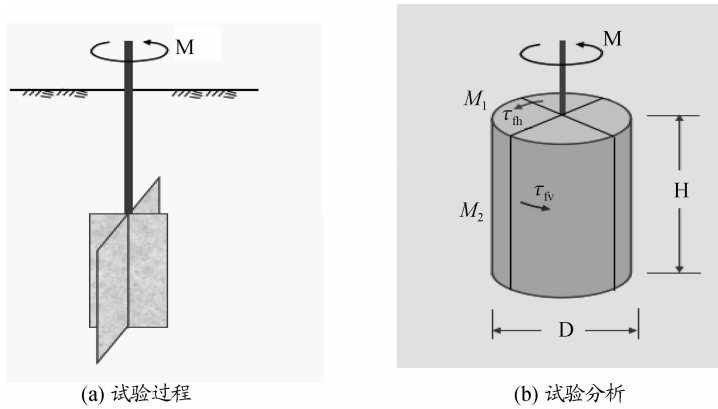


图3 十字板剪切试验

十字板剪切试验不需要采集土样,能最大限度地保持软粘土的天然应力状态和原状结构,测试结果具有较高的准确度和代表性,是一种推广价值较高的现场原位测试技术。研究人员通过对现场测试和室内测试的结果进行对比分析发现,十字板剪切试验所得的抗剪强度普遍高于三轴压缩试验和无侧限抗压强度试验等室内试验所得的抗剪强度,其幅度高达10%~30%。就目前土工测试技术的发展水平,采用十字板剪切试验评价饱和和软土的强度特性具有其他方法无法比拟的优点。

三、结语

土工测试和土力学试验在土力学学科的形成和发展过程中有着重要的地位,土力学的发展必须将理论和实验紧密结合起来。本文系统分析和总结了土的基本物理性质试验、直剪试验、三轴压缩试验、共振柱试验、无侧限抗压强度试验等室内试验,以及静载荷试验、标准贯入试验、静动力触探试验、旁压试验和十字板剪切试验等现场试验的试验方法,为土工技术人员从事相关测试研究提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1]李广信.高等土力学[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [2]钱家欢,殷宗泽.土工原理与计算[M].2版.北京:中国水利水电出版社,2000.
- [3]余凯,姚鑫,张永双,李成功,欧璐.基于面积和应力修正的直剪试验数据分析[J].岩石力学与工程学报,2014(7):675-680.
- [4]李广信,吕采.土强度试验的排水条件与强度指标的应用[J].工程勘察,2006(3):11-14.
- [5]Kitazume M, Maruyama K. Collapse failure of group column type deep mixing improved ground under embankment [C]// Proceedings of the International Conference on Deep Mixing 2005. US: ASCE, 2005: 245-254.
- [6]秦鹏飞.不同应力路径下饱和粉土强度与变形特性试验研究与现场监测分析[D].北京:北京工业大学硕士学位论文,2010.
- [7]Kitazume M, Okano K, Miyajima S. Centrifuge model tests on failure envelope of column type mixing method improved ground [J]. Soils and Foundations, 2000, 40(4): 43-55.
- [8]田兴旺,殷国览,张殿光,等.土建类专业工程应用型人才培养机制研究[J].高等建筑教育,2018,27(4):29-33.

- [9] 许成顺. 复杂应力条件下饱和砂土剪切特性及本构模型的试验研究[D]. 大连: 大连理工大学博士学位论文, 2006.
- [10] 贺瑞霞, 任德生, 曹洪亮. 工程地质勘察中的标准贯入试验[J]. 铁道建筑, 2010(3): 60-62.
- [11] 王毅红, 高磊, 白涛, 等. 标准贯入与砂土地基承载力关系的试验研究[J]. 四川建筑科学研究, 2010, 36(3): 120-122.
- [12] 刘翔宇, 杨光华, 杨球玉, 等. 旁压试验在深厚强风化花岗岩层中的应用[J]. 工程勘察, 2016(7): 31-36.
- [13] 胡顺洋. 基于工程应用的土力学实验开放式教学改革探索[J]. 高等建筑教育, 2018, 27(14): 122-125.
- [14] 邵青, 蔡汉利, 胡汉兵, 等. 旁压测试在轨道交通地质勘探中的应用——以武汉地铁2号线为例[J]. 人民长江, 2016, 47(S): 89-93.
- [15] 郭建波, 刘晓明. 预钻式旁压试验在厦门地铁岩土工程勘察中的应用[J]. 铁道勘察, 2014(2): 54-58.
- [16] 陈志雄, 卢黎, 卢琼. 土力学基于慕课的翻转课堂教学模式探析[J]. 高等建筑教育, 2018, 27(2): 64-67.
- [17] 谢焰云, 王强. 十字板剪切试验在港珠澳大桥岛隧工程勘察中的应用[J]. 水运工程, 2013(7): 39-42.
- [18] 王广禄, 康久昆, 孔庆宇. 十字板剪切试验在围海堤坝滑坡中分析研究[J]. 中国水运, 2013, 13(6): 188-190.
- [19] 冯锦艳, 于志全. 突出实践和创新的地基与基础工程教学改革[J]. 高等建筑教育, 2018, 27(4): 58-61.
- [20] 邓代强, 吴鸿云, 袁爱平, 等. 充填料浆十字板剪切测试分析[J]. 地下空间与工程学报, 2014, 10(2): 299-305.
- [21] 刘亚洲, 权锋, 黄兴. 十字板剪切试验在软土地基勘察中的应用[J]. 勘察科学技术, 2013(1): 35-38.

Research on soil test and engineering application

QIN Pengfei

(School of Architectural Engineering, Zhengzhou University of Industrial Technology, Zhengzhou 450010, P. R. China)

Abstract: Soil test and soil mechanics test are very important in the development of soil mechanics, the theory and experiment must be closely combined. Briefly summarizes the test on basic physical property of soil, direct shear test, three axial compression test, resonant column test, unconfined compressive strength test and static load test, standard penetration test, cone penetration test, pressure meter test and vane shear test field test, points out the important significance of soil test.

Key words: soil test; laboratory test; field test; application research

(责任编辑 王 宣)