

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2016.04.034

土力学课程教学中平面试验台的研制与应用

商翔宇,王奇石,梁恒昌

(中国矿业大学 力学与建筑工程学院,江苏 徐州 221116)

摘要:土力学课程具有理论与实践并重的特点,其核心教学内容譬如地基承载力理论通常采用与工程实际并不一致的假设。然而由于教学条件的限制,该课程类似教学内容无法得以实践,教学效果也就难以保证。为了弥补这一不足,文章介绍了适用于本科土力学课程教学的平面综合试验台的研制与应用。利用该试验台,可以完成对包括地基承载力、土压力和边坡等重要土力学问题的模拟研究。实践表明,该试验台具有传统教学无法替代的功能。

关键词:土力学;实践教学;综合试验台;平面应变

中图分类号:G642.0;TU43

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2016)04-0142-04

土力学课程是土木工程、水利水电工程以及地质工程等多个本科专业的专业基础课程^[1]。该课程既包括土的基本物理力学性质,例如含水量、液塑限以及抗剪强度,也包括应用此类基本性质的经典土力学问题,例如地基承载力、土压力和边坡稳定性。现有的土力学课程本科教学通常涵盖土的基本物理力学性质试验的实践教学环节。但是,受教学条件的限制,地基承载力的平板载荷试验、分析土压力的挡土结构试验以及边坡试验等重要试验均无法得以开展。因为课程中相应的理论,譬如地基承载力理论、土压力理论均采用了便于分析的简化假设^[1];又如,众所周知的 Rankine 土压力理论假设挡墙背部与墙后填土无摩擦等,但在实际地基工程中能满足此类理想假设的情况并不存在。如果能进行有针对性的类似试验,学生便可以深入理解土力学基本理论与工程实际的联系与区别^[2]。因此,有必要对目前土力学课程中的土力学试验教学环节进行改进,以有利于创新型人才的培养^[3-4]。但是,目前相关文献尚不多见关于在该课程中展开上述类似综合试验的研究^[5],因此有必要进行适合土力学课程本科教学的上述试验的应用研究,以达到改善课程教学效果的目的。

由于受到教学成本和学时的限制,在土力学课程教学中开展足尺度的平板载荷试验以及挡土墙试验等,目前还不现实,也没有太大的必要性,而模型试验为解决上述问题提供了可能的合理途径^[6-7]。上文提及的经典土力学问题

收稿日期:2015-21-21

基金项目:2013年度住房和城乡建设部“土木工程专业卓越计划专项”;中国矿业大学教学改革项目(2014SY02)

作者简介:商翔宇(1977-),男,中国矿业大学力学与建筑工程学院副教授,博士,主要从事土力学教学与研究,(E-mail)xyshang@cumt.edu.cn。

一般可视为平面应变问题,因此,设计研制能够开展平板载荷试验、挡土墙和边坡稳定模拟实验的平面应变综合试验台,不仅成本较小,而且其模型尺寸适合本科实践教学,是本文研究的核心内容。

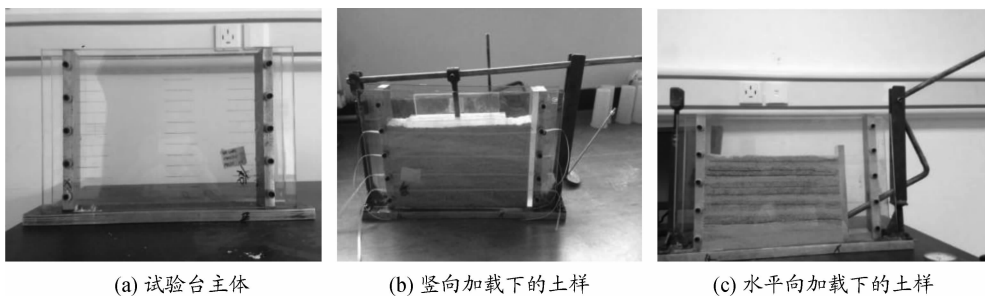
一、土力学课程平面应变综合试验台的研制

针对土力学课程的三大经典土力学问题:地基承载力、土压力和边坡稳定性问题所设计的试验台,首先需要满足能够进行上述三类平面应变试验模拟的要求;其次,试验台要能够便于教学应用,这主要体现在较小的试验尺度和试验过程的直观性上。基于上述考虑,本文主要介绍平面应变综合试验台的研制,包括试验台主体、加载装置和变形量测装置。

(一) 试验台主体

试验台主体是一个用于放入土样来模拟地基土、挡土墙后填土和天然边坡土的容器。考虑到便于教学的试验台体轻量化的要求、容器的刚度需要

承受内部土压力载荷的要求,以及满足尽量减小内部土体与容器侧壁摩擦的要求,试验台底座采用厚 20 mm、宽 90 mm、长 500 mm 的 1060 系列精制铝合金板,垂直于试验台体长度方向的两块正面板采用厚 20 mm、宽 50 mm、长 295 mm 的相同的精制铝合金板,平行于试验台体长度方向的两块侧板则采用厚 8 mm、宽 300 mm、长 500 mm 的钢化玻璃板,方便学生直观观察试验过程。其中正面板的钢化玻璃与侧板的铝合金板由 10 根直径为 10 mm 有效长度为 20 mm 的 6.8 级螺栓连接,侧板的铝合金板与底座铝合金板由 4 根直径为 8 mm 有效长度为 30 mm 的 6.8 级螺栓连接。在钢化玻璃、铝板之间的接缝处,均采用胶黏剂将其彼此密封粘结,以加强不同部分之间的稳定连接,也可以防止土颗粒的漏出。整个模型重量为 5.93 Kg,试验台主体实物图见图 1(a)。



(a) 试验台主体

(b) 竖向加载下的土样

(c) 水平向加载下的土样

图 1 综合平面试验台

为了实现模型试验中竖向和水平向的加载功能,设计了两套杠杆来实现竖向和水平向的逐级加载。此外为测量土体变形,通过固定在侧向板上的位移百分表来测量土体的竖向和水平向位移,见图 1(b)(c)。

(二) 试验台功能

利用上述综合平面试验台,可以按要求在其容器内装入土样来模拟地层、墙后填土以及简单边坡等,然后通过在其上面施加竖向载荷或水平载荷,分别模拟地基承载力、挡墙土压力以及边坡稳定性等土力学课程中的重要试验。在整个试验过程中,试验者可以透过玻璃板直观观测土体的变形或破坏情况,还可以通过分析测量获得力—位移数值,绘制相应的试验曲线。

二、综合试验台的应用与效果

(一) 地基承载力等试验应用

如前所述,利用本文介绍的平面试验台可以进行平面应变模型的地基承载力、挡墙土压力以及边坡稳定等试验模拟。限于篇幅,这里重点对条形基础下的地基承载力试验进行介绍,其余两种试验过程类似,不再进行详细描述。

1. 实验准备

试验所用的土样选用标准砂,其原因一是便于

试验操作的方便;二是已经事先得到了所用标准砂的基本力学性质,譬如不同初始密度情况的内摩擦角,因此试验结果便于与相应理论进行对比研究。本试验选用的初始密度为 1.7g/cm^3 的标准砂。按照设计好的模型尺寸(土样高度为 23.5cm)和密度,分多层(5层)逐次装入计算质量对应的土样(总重为 7 590g)。实验前应准备好足够的上述标准砂。为了便于观察土样的变形过程,在土样中每隔一定高度放置一根红色柔软细线;与本实验中上部土体变形相对应,其布置原则为下部间隔大于上部布置间隔,上部间隔为 3~4cm,下部为 5~6cm。条形基础对应应用有机玻璃板来模拟,将其放置在地基土体中央顶部。在该板上施加代表上部建筑重量的竖向载荷,并使该板顶面与百分表的测杆接触,以测量地基的竖向变形。

2. 实验过程

通过在杠杆上逐级增加砝码实现逐级施加竖直载荷,每隔一段时间间隔记录竖向变形量,待其变形达到稳定标准,进行下级载荷施加;根据砝码重量和百分表读数,绘制相应的荷载—位移曲线,即 $p-s$ 曲线。试验的结束标准为承压板周围的土体被明显侧向挤出,或者 $p-s$ 曲线出现陡降段。由于试验选用的是干的标准砂,因此每级载荷下的地基变形稳

定能在较短时间内达到(15分钟左右),因此方便在实际教学中应用。

另外,在整个试验过程中,可以通过智能手机或相机拍摄照片或录制视频,观察地基土体随施加竖向载荷增大的变化过程。

3. 实验数据后处理

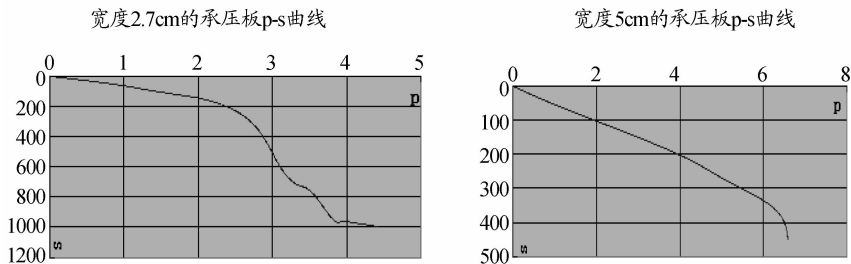


图2 试验获得的 $p-s$ 曲线

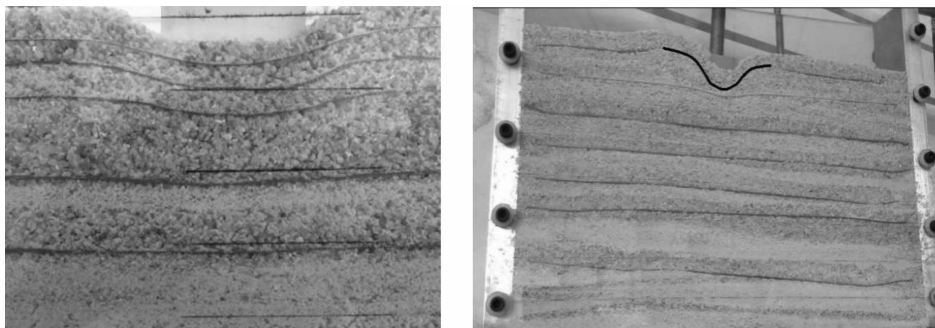
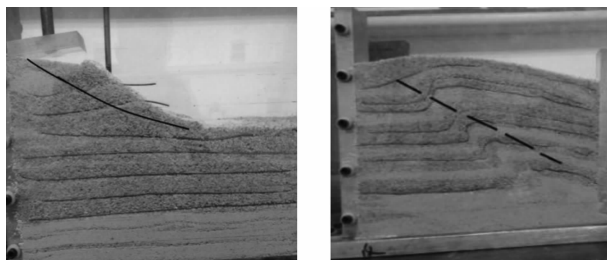


图3 试验过程中地基的变形

如图4所示给出边坡试验和挡墙被动土压力试验获得的土体破坏时的变形情况,其具体试验过程

不再赘述。图中的黑线为后续处理时标出的破坏面位置。



(a) 边坡试验

(b) 被动土压力试验

图4 模拟试验中的土体变形

(二) 教学效果

笔者在课堂教学中按照自愿原则选出部分学生,应用本文介绍的试验台进行了上述三种模型试验,并录制了相应视频资料供后续教学应用。此次教学实践表明,本科生进行上述综合试验,能获得如下常规课堂教学无法达到的多层次教学效果。

一是,学生对书本上讲解的试验现象有了更直观和深刻的认识。譬如上述地基承载力试验中地基土体的变形模式,以及最后的破坏剪切模式;挡墙后填土在被动土压力极限状态时,土体中破裂面形成过程,以及其形状和角度。

二是,学生对课本相应理论的影响因素有了更为深入的认识。以地基承载力试验为例,通过改变基础宽度和地基土的密度以改变其相应内摩擦角,

本次试验研究了不同基础宽度对地基承载力的影响,所获得的 $p-s$ 曲线如图2所示。图3则给出了实验过程中获得的地基土体的变形情况,可以看到基础两侧的土体隆起和基础底部土体向下的运动。结合图2中的具有明显转折点的荷载-沉降曲线,可以认为该地基发生了整体剪切破坏。

从而研究这些因素对于试验获得的地基极限承载力的具体影响和作用;通过试验明显增强了学生的试验设计能力,以及对试验细节的把握程度。

三是,通过对比获得的试验结果与相应的土力学理论,有助于学生深入理解与认识理论和实践之间的关系。譬如学生发现获得的试验地基极限承载力明显大于由太沙基理论计算的地基极限承载力,在分析了各种试验因素后,认为这应归因于实验中侧板对土的摩擦力。后来通过在侧板与土样之间添加减摩层(青稞纸)试验验证了分析结论。此外,学生还发现挡墙后破裂面角度与基于 Rankine 土压力理论的理想角度十分接近。通过上述实践过程的研究,不仅可以加深学生对土力学理论的理解,而且提高了学生的动手能力以及分析、解决问题的能力。

四是,通过此类研究,极大地激发了学生的学习兴趣。书本中相对复杂的知识点,譬如边坡的稳定性分析技术,平时学生对动手计算有畏难情绪。但是,获得了试验结果后,学生能够主动去计算,迫切希望能够算出结果与试验进行对比。另外,有的学生还能进一步设计出新的试验来验证对比。譬如,他们提出由 $p-s$ 曲线的直线段推算出变形模量,与由固结试验获得的压缩指数进行对比研究,并与笔者开发的土力学有限元仿真软件模拟结果进行对比^[8]。

五是,除了上述较直接的教学效果外,基于上述研究拍摄剪辑的视频资料,已准备在国内开放资源平台向学生开放,预期能取得更为可观的效益。

三、结语

本文介绍了一种适用于土力学课程本科教学的平面应变综合试验台。有了此试验台可以进行土力学课程中地基承载力、挡墙土压力以及边坡稳定性等问题的模型试验研究。实践表明,该试验台能够达到完成上述三种平面应变问题试验的目的,并能使学生深入掌握土力学理论,激发学生学习兴趣,切实提高学生的动手和分析、解决问题的能力。该综

合试验台客观上改进了现有土力学课程的实践教学环节,成为必要的实践教学资源,具有一定的推广价值。

参考文献:

- [1] 陈仲颐,周景星,王洪瑾. 土力学[M]. 北京:清华大学出版社,1994.
- [2] 贺瑞霞,张国强. 土力学课程特点及其教学方法的探讨[J]. 高等建筑教育,2007,16(2):92-94.
- [3] 王俊杰. 工程类专业土力学实验教学改革[J]. 高等建筑教育,2009,18(6):110-114.
- [4] 廖原. 土力学实验教学模式改革探讨[J]. 实验室科学,2013,16(6):81-83.
- [5] 姬凤玲. 土力学试验教学项目改革探析[J]. 中国建设教育,2015(1):17-19.
- [6] 沈杨,葛冬冬,陶明安,杜文汉. 土力学原理可视化演示模型实验系统的研究[J]. 力学与实践,2014,36(5):662-666.
- [7] 谢定义,陈存礼,胡再强. 试验土工学[M]. 北京:高等教育出版社,2011.
- [8] 商翔宇,郑秀忠,梁恒昌. 土力学本科教学有限元仿真软件的开发与应用[J]. 高等建筑教育,2014,23(2):136-139.

Development and application of plane test-bed for teaching of soil mechanics

SHANG Xiangyu, WANG Qishi, LIANG Hengchang

(School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, P. R. China)

Abstract: Soil mechanics focus on both fundamental theories and engineering practices. Its core contents including the theory of bearing capacity of foundation usually take assumptions which disagree with the practical engineering conditions. However, the practice teaching of such contents was unavailable due to the limited teaching conditions. As a result, the teaching effect was unsatisfactory. To fill up the deficiency above, a multiple-function plane test-bed which was applicable to the soil mechanics teaching was developed. Based on this test-bed, typical issues in soil mechanics including bearing capacity of foundation, earth pressure and slope stability can be physically simulated. It is shown that the present test-bed has beneficial effects which traditional teaching does not have.

Keywords: soil mechanics; practice teaching; multiple-function test-bed; plane strain

(编辑 王 宣)