

文章编号:1673-9469(2015)03-0005-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2015.03.002

土压力盒标定方法研究

蒋明杰^{1,2}, 朱俊高^{1,2}, 沈靠山³, 吉恩跃^{1,2}, 钱彬^{1,2}

(1. 河海大学 岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学 岩土工程研究所, 江苏 南京 21009; 3. 浙江省钱塘江管理局 勘测设计院, 浙江 杭州 310016)

摘要:采用刚性加载和柔性加载的方式, 分别对粗粒土进行了土压力盒砂标试验, 即砂标方法1和砂标方法2, 并设计了一种新型标定方法砂标方法3来与之对比。结果发现除了砂标方法1标定曲线离散率太高, 明显不能运用于实际以外; 砂标方法2和砂标方法3标定曲线离散率小, 可以满足室内试验精度及实际工程应用要求。然后在室内进行大型压缩试验, 研究砂标方法2、砂标方法3以及厂家提供的水标方法和笔者改善后的修正水标法在土中的适用性, 经研究发现砂标方法2和修正水压标定法对土压力的计算较适用。

关键词:土压力盒; 砂标方法; 水标方法; 标定曲线

中图分类号: TG333.17

文献标识码: A

Research of methods of pressure box calibration

JIANG Ming-jie^{1,2}, ZHU Jun-gao^{1,2}, SHEN Kao-shan³, JI En-yue^{1,2}, QIAN Bin^{1,2}

(1. Key Laboratory of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Jiangsu Nanjing 210098, China; 2. Geotechnical Research Institute, Hohai University, Jiangsu Nanjing 210098, China; 3. Zhejiang Qiantang River Management Bureau Survey Design Institute, Zhejiang Hanzhou 210098, China)

Abstract: The author uses the rigid and flexible loading method, respectively for pressure box calibration of coarse-grained soil, which is the first sand pressure calibration method and the second sand pressure calibration method, and designed a new methods of pressure box calibration of coarse-grained soil which is the first sand pressure calibration method comparing with them. Study found that except that the first sand pressure calibration method obviously can not be applied to practical because of the high discrete rate of the calibration curve, the second and third sand pressure calibration method have a low discrete rate of the calibration curve, which can meet the accuracy of laboratory test and engineering application requirements. Then, through the large compression experiment in door, the author study applicability of the second and third sand pressure calibration method and water pressure calibration method that manufacturers provide and the author have improved, The results show that, the second sand pressure calibration method and improved water pressure calibration method are applicable to the count of soil pressure.

Key words: pressure box calibration; sand pressure calibration method; water pressure calibration method; the calibration curve

土压力的测量是实验研究与土力学理论的一个重要方面, 是土工测试技术中重要一环, 除了在特定情况下能通过测定土体支撑结构的变形来换算土压力外, 一般采用土压力传感器即土压力盒直接测量。土压力盒在使用前, 要求有能供数据

分析用的标定曲线。现在大多数土压力盒的制造厂家会提供一条经过处理的、在水压作用下的标定曲线, 理论上水压标定结果是比较准确的, 但是利用土压力盒测量土中某点的土压力, 其在土中受力环境与在水中的受力环境相差较大, 因此将

收稿日期: 2015-04-24

基金项目: 973 计划课题(2013CB036404); 高等院校博士学科点专项科研基金(20110094110002); 江苏省“六大人才高峰”项目资助, 中央高校科研基金(2014B34014)

作者简介: 蒋明杰(1990-), 男, 湖南邵阳人, 博士, 主要从事土石坝方面的研究。

水压标定曲线直接应用到土中还是值得商榷的。与此同时,越来越多的学者致力研究标定环境与应用环境相一致的砂压标定方法,并得到不少成果。如陈志坚等^[1]研究表明:标定成果与标定介质的密实程度有关;李鸿法^[2]等人发现在进行砂压标定时,标定曲线受标定介质的性质和密度影响较大;左元明^[3]通过砂压标定试验,研究底板压力分布、不同的埋设方法、不同的填砂厚度等对标定试验的影响;李彦坤等^[4]发现土压力盒在倾斜埋设时砂标线的线性关系较差;谢永利^[5]等人通过对电阻式微型压力盒进行标定试验与分析,得出结论:当填砂高度较小时,砂标曲线与油标曲线基本重合,随着填砂高度的增加,砂标曲线呈内凹状,与油压标定结果相差越来越大,土压力盒所受的真实压力小于填砂自重。

本文对土压力盒进行多种砂压标定试验,并对厂家提供的水压标定参数加以修正,作为修正水标方法与砂标法作比较。并在室内进行大型压缩试验,将土压力盒埋设在土中测量土压力,研究各标定方法在土中的适用性。

1 试验方案

1.1 试验材料和制备方法

试验材料采用某坝覆盖层料,由于此坝覆盖层主要是由砂卵砾石料组成,其颗粒粒径较大。而目前的常规试验仪器尺寸直径多为 10.1 cm 和 30 cm,在室内直接对原级配料进行试验研究难度较大,需要对原级配料进行缩尺,以满足仪器对试样的尺寸限制。本文通过等量代替法缩尺得到最大粒径为 60 mm 的替代料,试样密度为 2.22 g/cm³,对应相对密度为 80%。试样的级配见表 1 所示。

表 1 试验土样颗粒级配

Tab. 1 Grain composition of coarse-grained soil in specimen

粒组/mm	60~40	40~20	20~10	10~5	<5
含量/%	17.64	23.79	18.38	10.42	36.43

1.2 试验设备与方案

本文选用的砂压标定的加载仪器是河海大学万能试验机,标定罐为长方体,其长宽为 180 mm,深度为 120 mm。选用 4 个钢弦式土压力盒,编号分别为 1201、1202、2201、2203。土压力盒水平放在标定罐底部中心处,然后填入标定介质,进行多

次平行的标定试验,标定介质采用覆盖层中的细料,其受力环境与应用环境较相似,可减小应力集中等现象^[6-7]。

土压力盒的形状为扁平圆形盒状金属结构,其直径为 58 mm,高度为 27 mm。压力盒的外壳采用钢质,并制作成封闭结构。当土压力盒受力面受力后土压力盒的变形如图 1 所示。

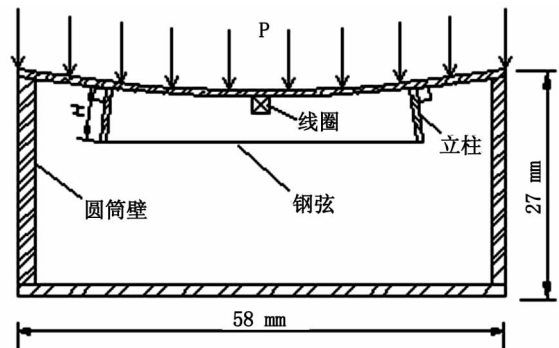


图1钢弦式土压力盒受力图

Fig. 1 Sketch map of steel type soil pressure

由土压力盒构造可知:土压力盒表面受力后都将引起频率的变化,上表面受压时,频率增加,侧面受压时频率减小,下表面受压时频率基本不变^[8]。土压力盒测土压力的原理是通过频率计测土压力盒频率,再根据标定公式换算得到此时土体所受压力,公式的理论推导过程参见有关文献^[1]。

$$p = \frac{4L^2 p}{k_2} (f^2 - f_0^2) = K(f^2 - f_0^2)$$

式中, K 为压力盒灵敏系数,需通过土压力盒标定曲线求得; f 分别为外力 P 作用时土压力盒的频率,通过频率计测得; f_0 为土压力盒的初始频率,可由土压力盒标定曲线或者频率计确定。

本文砂标试验采用两种加载方式,分别为刚性加载和柔性加载。刚性加载即在标定介质上面直接加 18 cm × 18 cm 的钢板,压力加在钢板中心;柔性加载则是在钢板与标定介质中间加入弹性较好的硅胶板,厚度约 2 cm,使得上部集中荷载能较均匀地施加在标定介质表面。本文将这两种试验分别称为砂标方法 1、砂标方法 2。

本文设计了一种新型标定方法,将土压力盒水平放置,在土压力盒受力面上放置微大的钢环,钢环内壁光滑,在钢环内填充细料(1~5 mm),钢环与土压力盒有一定间隙(约 2 mm),压力施加在标定介质上表面,标定介质高约 6 cm,本文称之为砂标方法 3。

最后,将由制造厂家提供的水压作用下的标

定曲线加以改进,即取频率计测得的初始频率作为水压标定的初始频率,灵敏系数 K 不变,作为修正水标法和砂标方法进行比较。

2 标定试验结果分析

2.1 标定方法离散率分析

对每个土压力盒进行多次平行的砂标方法 1,砂标方法 2,砂标方法 3 试验,标定结果见表 2。

表 2 标定方法离散率

Tab. 2 Discrete rate of calibration method					
土压力盒 离散率/%	1201	1202	2201	2203	
砂标方法 1	6.2	33.1	32.1	139.3	
砂标方法 2	22.46	16.03	13.09	22.46	
砂标方法 3	4.43	7.61	4.26	4.49	

从表 2 可知,采用砂标方法 1 进行标定时,编号为 1201 的土压力盒,在平行试验中测得的标定曲线较接近;其余压力盒较离散。四个土压力盒的离散率分别为 6.2%、33.1%、32.1%、139.3%,特别是编号为 2203 的土压力盒,多次标定曲线相差较大,无法应用到工程实践中。因此笔者认为砂压标定方法 1 不能作为标定方法。

而采用砂标方法 2 和砂标方法 3 进行标定时,四个土压力盒的标定曲线,除个别曲线较离散外,多次平行试验获得的标定曲线较集中,多次相同条件下的标定曲线离散率小,完全可以满足室内试验精度及实际工程应用要求。

2.2 各种标定方法的标定参数比较

由标定试验获得标定曲线,从标定曲线中可获得土压力盒的灵敏系数及初始频率。对每个土压力盒进行多次平行试验,取平均值作为土压力盒的标定参数。砂标方法 1、砂标方法 2 和砂标方法 3 的计算结果见表 2。水压标定参数由厂家直接提供,其灵敏系数及初始频率见表 3。本文修正水压标定法的灵敏系数与水压标定法一样,只是改变其初始频率,即取频率计测得的初始频率作为修正水压标定法的初始频率。

由表 3 可知,三种砂标方法得到的灵敏系数 K 相差较大,而对土压力盒进行标定试验,由于土压力盒的灵敏系数 K 和初始频率 f_0 都是土压力盒固

有性质,与标定方法无关,通过不同标定方法测得的标定参数应该相同,说明砂压标定试验不是严格意义上的标定方法。但砂压标定标定环境与土压力盒应用环境相似,使得砂标方法还是有很大实用价值。

表 3 不同标定方法得到的标定参数

Tab. 3 The calibration curve of the second Sand pressure calibration method

方法	标定参数	1201	1202	2201	2203
砂标方法 1	K	0.348	0.348	0.463	0.943
	$/10^{-6} \text{MPa} \cdot \text{Hz}^{-2}$				
1	f_0/Hz	1 640.91	577.91	619.51	666.9
砂标方法 2	K	0.367	0.331	0.453	0.758
	$/10^{-6} \text{MPa} \cdot \text{Hz}^{-2}$				
2	f_0/Hz	1 658.51	623.51	649.91	670.7
砂标方法 3	K	0.798	0.677	1.215	1.443
	$/10^{-6} \text{MPa} \cdot \text{Hz}^{-2}$				
3	f_0/Hz	1 674.51	627.91	665.1	1 665
水压标定	K	0.449	0.595	0.962	0.977
	$/10^{-6} \text{MPa} \cdot \text{Hz}^{-2}$				
	f_0/Hz	1 570.61	521.71	594.41	615.1

3 不同标定方法适用性分析

虽然砂标法 2 和砂标法 3 的标定曲线离散率小,完全可以满足室内试验精度及实际工程应用要求,但是否可以应用到工程中测土压力还需进一步深入研究。其具体方法是在室内进行大型压缩试验,将土压力盒埋设在试样中测量土压力。通过频率计测量不同表面压力下土压力盒的频率,用上述四种标定方法计算竖向土压力。实际上,试样表面压力应该等于竖向土压力,故可通过试验表面压力和通过不同标定方法测得竖向土压力的关系,研究各标定方法的适用性。不同标定方法计算的竖向应力与试样表面压力关系曲线见图 2 ~ 图 5。

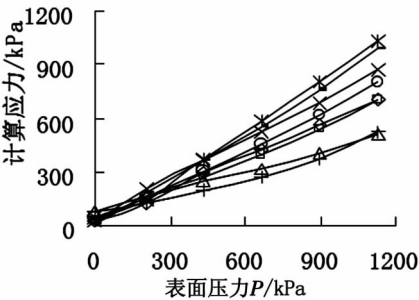


图2 砂压标定方法2计算的土压力

Fig. 2 The calculation of earth pressure of the second sand pressure calibration method

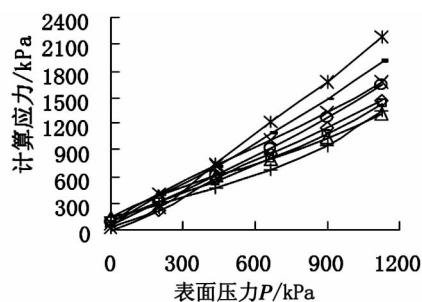


图3 砂压标定方法3计算的土压力

Fig.3 The calculation of earth pressure of the third sand pressure calibration method

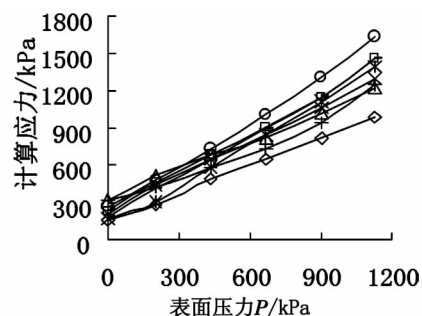


图4 水压标定方法计算的土压力

Fig.4 The calculation of earth pressure of the water pressure calibration method

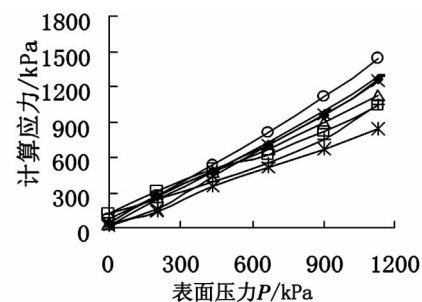


图5 修正水压标定法计算的土压力

Fig.5 The calculation of earth pressure of the improved water pressure calibration method

从图2~图5看出:三种标定方法计算的竖向应力与试样表面压力关系基本为线性的,计算的应力随试样表面压力增大而成比例增大。不同的标定方法计算的土压力相差较大,砂标方法2计算的土压力较小,并小于表面压力,但相差不大。砂标方法3计算的土压力较大,远大于表面压力,水压标定法计算的土压力也较大,在表面压力为0时计算的土压力较大,这是由于初始频率引起的。说明砂标方法3和水压标定法并不是合适的标定方法。修正水压标定法计算的土压力较接近表面压力,说明对水压标定法进行修正是合适的。

多次平行试验中,砂标方法2计算的土压力分布较均匀,且较离散。砂标方法3、水压标定法和修正水压标定计算的土压力较集中。在最后一

级压力下,砂标方法2测得的最大最小土压力差约450 kPa,砂标方法3、水压标定法和修正水压标定法,除离散最大的两条曲线外,测得的最大最小土压力差分别约300、200、250 kPa。

砂标方法2计算土压力较离散可能是土压力盒标定试验误差引起的。而砂标方法3、水压标定法和修正水压标定法由于本身的标定误差较小,因此计算的土压力较集中,计算的土压力离散是试样本身因素引起的,如制样不均匀、压力施加不均匀等因素。

因此本文认为:砂标方法3不能作为合适的标定方法,水压标定成果不能直接应用于实际工程中,修正水压标定法对土压力的计算可能较适用,砂标方法2也可能适用,但是计算的土压力误差可能较大。

4 结论

1) 砂标方法1在标定试验中,标定曲线离散率太高,明显不能运用于实际。

2) 砂标方法2在标定试验中,标定曲线离散率小,可以满足室内试验精度及实际工程应用要求。

3) 砂标方法2和修正水压标定法与实际情况较符合,建议在试验和实际工程中运用这两种标定方法测量土压力。

参考文献:

- [1] 陈志坚,游庆仲,林 闽. 振弦式压力盒在刚性接触面应力监测中的应用研究[J]. 中国工程科学, 2002, 4(12): 80-85.
- [2] 李鸿法,张惠庭,刘慧茹. 土压力盒标定的研究[J]. 路基工程, 1986(2): 79-83.
- [3] 左元明. 土压力盒的标定[J]. 水利水运科学研究, 1981(1): 23-33.
- [4] 李彦坤,王 珂,郝岳伟. 不同埋设状态下土压力盒砂标试验研究[J]. 岩土工程界, 2008(11): 67-69.
- [5] 谢永利,王晓谋. 关于电阻式微型压力盒的标定与分析[J]. 西安公路学院学报, 1993, 13(3): 23-27.
- [6] 王云球,孙一清,施善云. 小型静、动两用双层薄膜压力盒的研制[J]. 河海大学学报, 1987, 15(5): 94-100.
- [7] 曾进伦,张 义. 箔式微型压力盒的研制[J]. 水电自动化与大坝监测, 1982(2): 11-19.
- [8] DAIGLE L, ZHAO J Q. The influence of temperature on earth pressure cell readings[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2004, 41(3): 551-559.

(责任编辑 王利君)