

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2015.03.009

环境友好型竖井材料的排水特性研究

史梦珊, 邓岳保, 孔婷婷, 史伟伟, 李 洲, 沈挺挺, 蔡 康
(宁波大学 建筑工程与环境学院 土木工程系, 浙江 宁波 315211)

摘要: 排水固结法是目前软土地基处理中常用的一种方法, 该法可较好的解决地基的沉降和稳定性问题, 常采用砂和塑料排水板作为竖井材料。为了节省造价同时保护生态环境, 提出了利用秸秆草绳和废旧衣物等材料代替砂或塑料排水板作为排水材料的想法。试验通过对设置不同材料的模型地基进行固结压缩对比, 从而获得不同材料竖井地基的排水特性。结果发现: 秸秆草绳和废旧衣物均可起到竖向排水井的功效; 秸秆草绳的排水效果较好, 但是埋藏在软土中的草绳在两个月后腐烂, 耐久性不理想; 旧衣物的强度下降不明显, 其耐久性能满足软土地基排水要求。

关键词: 软土地基; 固结沉降; 竖向排水井; 环境友好; 排水特性

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2015)03-0045-04

Research on Drainage Characteristics of Environmental Friendly Materials

SHI Meng-shan, DENG Yue-bao, KONG Ting-ting, SHI Wei-wei, LI Zhou, SHEN Ting-ting, CAI Kang
(Department of Civil Engineering, Faculty of Architectural, Civil Engineering & Environment,
Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China)

Abstract: Drainage consolidation method, utilizing sand and plastic drainage plates as shaft materials commonly, is a common method in the treatment of soft soil foundations at present. It can better deal the problems of foundation settlement and stability. In order to save cost and preserve the ecological environment, recycled materials such as straw ropes and recycled clothing were proposed to replace sand and plastic plates as shaft materials for the drainage wells. Through the indoor experiments, the drainage characteristics of different materials used in different foundation models were obtained based on the comparison of consolidation tests. The results indicate that both the straw ropes and the recycled clothing can serve as the vertical drainage well with the straw ropes being better, however ropes rot in two months after buried in the soft soil, so its durability is unsatisfactory. While recycled clothing has similar strength as the ropes, and its durability can basically meet the drainage requirements of soft soil foundations.

Keywords: soft soil foundation; consolidation settlement; vertical drainage well; environmental friendly; drainage characteristics

近三十年以来,我国东部沿海地区和内陆湖区经济快速发展。与此同时,大规模的工程建设也在进行中。但是,东部地区土层和湖区地基大多都是淤泥质土、淤泥等软土。软土地基的存在对建筑物、道路、铁路等修建造成很大的威胁。软土地基问题的处理恰当与否,不仅直接影响建筑物的造价,而且直接影响建筑物的使用,因此软土地基处理的重要性愈来愈引起重视^[1-4]。

竖井排水固结法是一种重要且有效的软土地基处理技术^[5-8]。所谓竖井排水固结,是指地基在荷载作用下,通过预先布置的竖向排水井,使土中的孔隙水慢慢排出,土体孔隙比减小,地基发生固结变形,地基土的强度逐渐增强^[9]。该法通过缩短排水距离,加速地基硬化,缩短预压工程的预压期,使其在短时期内达到较好的固结效果,提前完成沉降;并加速地基土抗剪强度的增长,使地基承载力提高的

收稿日期:2014-12-26

修稿日期:2015-01-31

基金项目:国家自然科学基金(51308309);宁波市自然科学基金项目(2014A610168)

作者简介:史梦珊(1993—),女,浙江慈溪人,本科生,所学专业为土木工程。E-mail:714443654@qq.com

通信作者:邓岳保(1983—),男,湖南岳阳人,博士,讲师,主要从事软土地基处理方面的教学与科研工作。E-mail:dengyuebao@nbu.edu.cn

速率始终大于施工荷载增长的速率,以保证地基的稳定性^[10-12]。

1936年瑞典地质学家 Kjellman 首先研制了排水纸板,他利用带沟槽的纸板作为排水通道^[13]。该法首先在欧洲推广,后来日本也采用这种方法,而美国等国家多采用砂井排水法。纸板排水法的先期效果较好,但是纸板排水材料容易被截断,并且存在排水通道内水头损失随时间增大等问题,因而随后发展成塑料排水板^[14]。目前,竖井排水固结法所采用的竖井材料通常指的是砂和塑料排水板。这两类材料的排水能力较强,但其成本不能忽视。本着降低工程造价和绿色环保的理念,提出了利用草绳(可用秸秆等编织而成)和废旧衣物等环境友好型材料作为排水井材料的想法。本文介绍了试验过程,在数据处理和理论分析的基础之上,对比了不同排水材料的排水特性。

1 试验准备

1.1 竖井材料选取

围绕“环境友好型”这一主题,本试验选取的排水材料必须是环保节能,同时还应具备一定的吸排水能力。因此,“废物利用”这一概念使选材范围进一步缩小。试验采用控制变量和选择对照的原则进行。变量即为不同的竖井埋置材料,最终选取的材料为:中砂、草绳以及废旧衣料。另设一组空白变量作为对照。

1.2 饱和土样制备

试验土样为宁波城区第四层软土。为了制备四组相同的土样,首先用木质榔头将块状土体敲碎、碾压,再过 2 mm 筛。将获取的土体均分成四等分,并装于四个塑料袋。软土与水的配比问题成为软土制作的关键。第一次配比,在每袋土体中倒入了等量的水(预设含水率为 40%),扎紧袋口静置一夜,使水分与土体充分接触。次日发现土体并没有完全湿润,未达到理想的饱和状态。第二次配比在原有的基础上进行改进,即加过量的水,静置 48 h。两天后发现,多余的水分渗出于土样表面,证明土样已经达到饱和状态^[15]。

土样制作完成后均分为四等份放置在 4 个相似的透明玻璃容器(直径 20 cm,高度 22 cm)中,并在 4 个土样上铺设 2 cm 厚度的中砂,用 2.55 kg 砝码进行预加载。要指出的是,为了排除对后续试验的影响,在中砂层下事先设置了一层透水棉布,以方便在初步软土固结成型后取下使试验顺利开展。一周以

后,用百分表测得土样在 1 h 内沉降量已经小于 0.01 mm。取下四个容器中的砂垫层,模拟软土地基的试样制作完成。

1.3 竖井设置

试验中,竖井打设深度为 20 cm,竖井直径为容器直径的 1/10,即 2 cm。采用孔径大小为 2 cm 的塑料空心管,将其插在 3 个需要安放排水材料的容器的圆心位置(另一组作为空白对照,编号 1),通过多次的抽取,将其中的软土取出。并将砂、草绳、废旧衣物依次放进 3 个竖井中,依次编号为 2、3、4,再将等量的中砂平铺至四组软土表面,厚度约 2 cm。竖井地基模型制作完成,见图 1。



图 1 竖井地基模型

2 试验过程

2.1 试验加载

试验通过给软土土样施加荷载的方式,加速软土固结速度,从而在较短的时间内测得土样沉降量,通过组间对比确定排水材料固结效率。考虑到砝码的大小同样会对土样的沉降产生影响,砝码必须与软土表面大小尽可能的接近,以排除荷载只对部分软土产生压力将其底下软土挤至边缘,使试验产生较大误差的可能。试验最终确定选用直径 18 cm,重 2.55 kg 的砝码作为施压荷载。

试验首先在已填满软土并打好竖井的玻璃容器分别加入砂、草绳、旧衣物,并留出一组作为空白对照,将玻璃容器放置在平整、稳定的桌面上进行,四个玻璃容器按序号依次排列。接着在每个玻璃容器的软土层上方铺置相同高度的沙垫层用于排水。将测量沉降量的仪器百分表安放在容器的同一边,表头安置在砝码边缘上。百分表使用前,先检查表头的灵活性,使用时,把百分表固定在稳定的支架上,

为方便读数,在测量前将百分表调零。接着,将荷载同时轻放于砂垫层上,然后迅速安放百分表表头于砝码边缘,以此来保证软土在初始沉降发生时就能够读取到相对准确的数据,依次记下大、小指针刻度盘的指针位置,随后按照 15 s、30 s、1 min、2 min、4 min、8 min、16 min、30 min、1 h、2 h、4 h、15 h、18 h、23 h、42 h、48 h 的时间间隔进行数据的读取记录,见图 2。



图 2 试验加载

2.2 试验数据

通过试验测试,得到沉降随时间变化数据,如表 1 所示。

表 1 土样沉降随时间变化表 单位:mm

时间 t/s	沉降值			
	对照组	砂组	草绳组	旧衣物组
30	0.017	0.028	0.000	0.007
60	0.020	0.030	0.000	0.009
120	0.020	0.030	0.000	0.010
240	0.059	0.061	0.008	0.021
480	0.066	0.071	0.011	0.032
960	0.075	0.091	0.021	0.046
1800	0.090	0.120	0.042	0.068
10800	0.165	0.328	0.240	0.200
14400	0.345	0.570	0.398	0.260
54000	0.432	0.704	0.670	0.462
64800	0.450	0.715	0.684	0.470
82800	0.482	0.748	0.724	0.500
151200	0.500	0.760	0.770	0.530
172800	0.500	0.790	0.790	0.530

根据表 1,可做出沉降随时间 ($S_t - t$) 关系曲线,如图 3 所示。

图 3 中,软土沉降快慢直观的表明了不同排水材料在软土排水固结中的不同效果。在相同时间内,沉降量越大,排水效果越好。

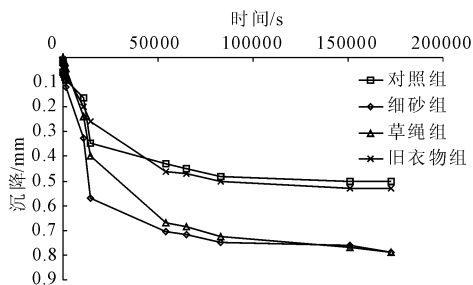


图 3 土样沉降量随时间变化曲线

3 实验结果及分析

采用经典的太沙基固结理论进行数据处理^[16]。根据太沙基固结理论,有:

$$T_v = \frac{C_v t}{H^2} \quad (1)$$

$$U = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp(-T_v) \quad (2)$$

式中: T_v 为竖向固结时间因数(无量纲); H 为压缩土层最大的排水距离,因土层为单向排水(上面透水), H 取土层厚度(cm); t 为时间(s); C_v 为土的固结系数($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$); U 为固结度(无量纲)。

根据式(2)可计算出地基平均固结度。然后再利用下式计算在地基任意时刻 t 的地基固结变形量:

$$S_t = 1 - U \cdot S_\infty \quad (3)$$

式中: S_∞ 为最终沉降量(mm)。

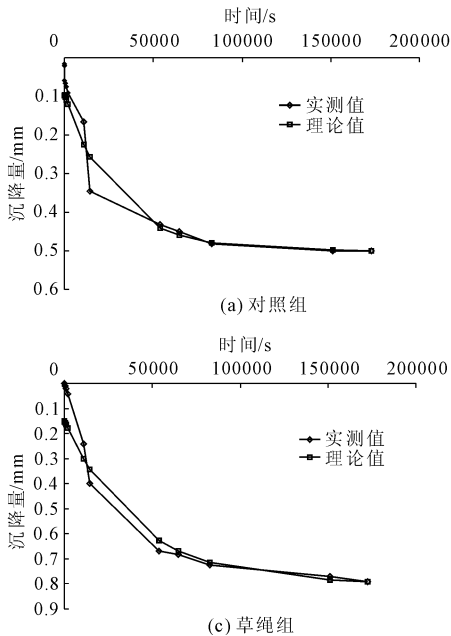
在上述公式中,地基的固结系数 C_v 未知,其余量已知。为此,根据实测数据结合拟合分析方法得到 C_v 值。要说明的是,该值反映的是地基土和竖井材料综合的排水效果^[14]。图 4 所示为不同组试验理论分析拟合曲线;表 2 为拟合得到的为不同材料竖井地基的固结系数。

表 2 排水特性测试结果

竖井材料	固结系数 $C_v / (\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
细砂	0.0023
草绳	0.0018
旧衣物	0.0009
对照组	0.0006

由表 2 可知:对照组的模型地基由于不采用竖井排水,48 h 沉降量最小,为 0.5 mm,其拟合得到的固结系数为 $0.0006 \text{ cm}^2/\text{s}$;砂井模型地基的排水效果最好,48 h 沉降量为 0.76 mm,其固结系数为 $0.0023 \text{ cm}^2/\text{s}$;草绳排水地基 48 h 的沉降量为 0.77

mm,其固结系数为 $0.0018 \text{ cm}^2/\text{s}$,是不加排水井地基固结系数的 3 倍;废旧衣物地基 48 h 的沉降量为



0.53 mm,其固结系数为 $0.0009 \text{ cm}^2/\text{s}$,是不加排水井地基固结系数的 1.5 倍。

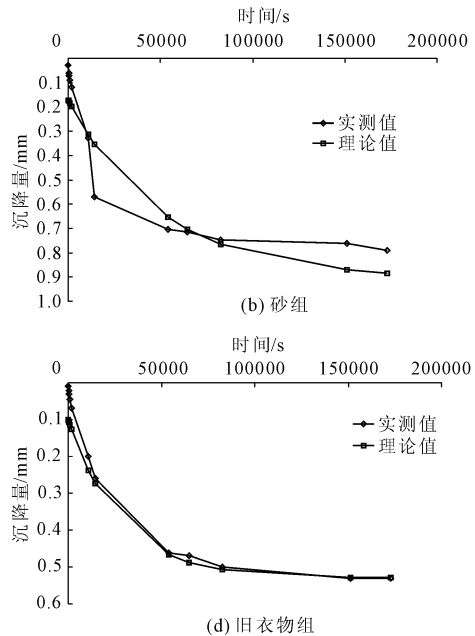


图 4 理论分析与实测数据对比

通过实验发现,经过两个月的时间,草绳已经开始腐烂,表现出较差的耐久性,无法单独长时间的埋置于土体中;相对而言,旧衣物的耐久性则较好。经过分析认为,若草绳直接与软土接触,草绳将很容易腐烂。于是拟提出一种组合型的新型竖井。该新型竖井是在草绳外壁以螺旋方式缠绕废旧衣物布条,然后再在外层缠绕尼龙绳,见图 5。组合型竖井一方面利用了草绳材料良好的排水功能,同时其耐久性较单一的草绳提高。当然,其可操作性以及具体的排水效果需要开展试验来进行验证。

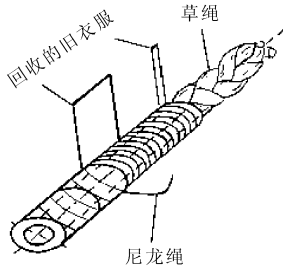


图 5 草绳和旧衣物相结合的新型竖井

4 结 语

为了比较不同材料竖井的排水效果,开展了四组模型地基固结压缩试验。一组为对照组、其余三组分别用中砂、草绳、旧衣物作为竖井材料,并测定各组在相同大小荷载作用下的沉降量随时间变化情

况,最后基于太沙基固结理论公式进行数据处理,得到了各组模型地基的竖向固结系数,得到的最终结论如下:

(1) 在相同时间内,不同竖井地基的沉降量不同;地基竖向固结系数由大到小排列为:砂井排水地基 $0.0023 \text{ cm}^2/\text{s}$,草绳排水地基 $0.0018 \text{ cm}^2/\text{s}$,旧衣物排水地基 $0.0009 \text{ cm}^2/\text{s}$,不加竖井排水的模型地基 $0.0006 \text{ cm}^2/\text{s}$;排水效果较好的是砂和草绳,旧衣物次之。

(2) 草绳组的实验土样的竖向固结系数较大,排水性能较强,接近中砂的排水性能,废旧衣物也有一定的排水功能。

(3) 草绳和旧衣物的使用能够充分利用秸秆、布料等废弃资源,真正做到降低成本,保护环境,是一种良好的环境友好型的排水材料。

致谢: 本文得到了宁波大学本科科研项目的支持。宁波大学岩土工程研究所为本文试验研究提供了平台,研究生尹铁锋对本文试验工作给予了诸多指导,在此一并感谢。

参考文献:

- [1] 赵维炳. 排水固结加固软基技术指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [2] 陈平山, 房营光, 莫海鸿, 等. 真空预压法加固软基三维有限元计算[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(4): 564-570.