

软土振动排水固结的室内模型试验研究

胡成林 胡静

江苏河海建设有限公司, 江苏 镇江 212000

[摘要]文章尝试用周期性振动荷载代替冲击荷载,即采用振动排水固结法处理软土。借鉴振动采油,并结合动力排水固结法。设计将一定频率的机械波通过人工震源在地面上形成波动场,传递到一定深度范围内的土体上,然后再对土层进行大面积的震动和加固,使松软的土基在波动的作用下,推进固结过程的速度更快,效率更高。在不同地区,受矿物成分、沉积条件、物理和化学等因素影响,软土的含水率、扰动程度都不一样。所以有必要对不同土样的振动排水固结特性进行试验分析。

[关键词]软土;振动;室内模型;试验研究

DOI: 10.33142/hst.v5i7.7602

中图分类号: TU41

文献标识码: A

Study on Indoor Model Test of Soft Soil Vibration Drainage Consolidation

HU Chenglin, HU Jing

Jiangsu Hehai Jianshe Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212000, China

Abstract: This paper attempts to replace impact load with periodic vibration load, that is, adopt vibration drainage consolidation method to treat soft soil. The vibration oil recovery method and the dynamic drainage consolidation method are used for reference. In the design, the mechanical wave of a certain frequency will form a wave field on the ground through the artificial source and transmit it to the soil within a certain depth range, and then the soil layer will be vibrated and strengthened in a large area, so that the soft soil foundation will promote the consolidation process faster and more efficient under the effect of the wave. In different regions, affected by mineral composition, sedimentary conditions, physical and chemical factors, the moisture content and disturbance degree of soft soil are different, so it is necessary to conduct experimental analysis on the vibration drainage consolidation characteristics of different soil samples.

Keywords: soft soil; vibration; indoor model; test study

引言

软土广泛分布于中国的东南沿海、珠江三角洲、长江三角洲等地区。特点是天然含水率高,天然孔隙比大,抗剪强度低,抗压性能高,渗透性差^[1-2]。工程实践中遇到的较难处理的地基之一是软土地基,承载力低,沉降变形大,差异沉降显著。近年来,软土上的构筑物建设随着我国经济的高速发展而频繁出现,软土地基处理也成为困扰工程建设的一大难题。

动力排水固结技术是一种复合型软土地基处理技术,主要是利用强夯法的夯击机具与排水系统组合对软土地基进行加固,当使用质量较大的夯锤时,会产生较大的冲积应力,容易导致在软土中短时间内产生较大的孔隙水压力,如果不能及时排出,就容易形成“橡皮土”,这是一种复杂的软土地基处理质量小的时候影响深度就不够了,根本无法把基础打得更深。而且这种方法在建设的时候噪音比较大,对周边的环境影响比较严重。

2 理论基础

(1) 机械波本身穿透性强,加载试样时可使土体产生一定幅值的受力振动,也可引起共振,其频率与土体本身的振动频率相同时,由于机械波本身具有很强的穿透性。共振能改善震动效果。

(2) 研究认为颗粒运移的速度和距离在频率一定、振幅不同的情况下是不一样的。从实验来看,颗粒运移在振幅较低的区间内随振幅的增大而变得不是十分显著。在振幅较大的情况下,颗粒的运动速度明显加快,而且移动的距离也出现了大幅的上升。

(3) 波幅一定,即波幅不变的波动压力,粒子运动的速度和距离在频率不同的情况下是不一样的。在一定的频率范围内,频率提高了,粒子运动的速度和距离都提高了,但粒子运动速度和距离与频率之间的关系却没有线性地提高。

3 试验目的和试验内容

试验目的是验证这一技术的可行性,分析试验过程中的振动参数(包括频率、围压、振动荷载幅值)和软土自身特性(含水率、扰动程度)对试验结果的影响。为此试验目的,根据试验需求以及相关仪器的设计方案,我们自主研发了一套动态排水固结渗透仪。在试验中添加静压排水固结法处理软土试样作为对照试验组,可以用来确定振动排水固结法处理软土的提高效率。

试验内容包括:(1) 试验过程中的应变监测。动态固结渗透仪可以设置不同的参数,并能在试验过程中实时记录试验过程中的沉降变化,通过对试验过程中沉降变化的观察,确定哪种参数更有利软土的振动排水固结。(2) 软土自身特

性对试验结果影响分析。选用不同土样进行振动排水固结试验，观察由此产生的排水以及应变差异，分析造成差异的原因，为以后振动排水固结的实际应用提供指导。

4 振动排水固结试验轴向累积应变-时间关系

4.1 轴向应变与时间关系曲线

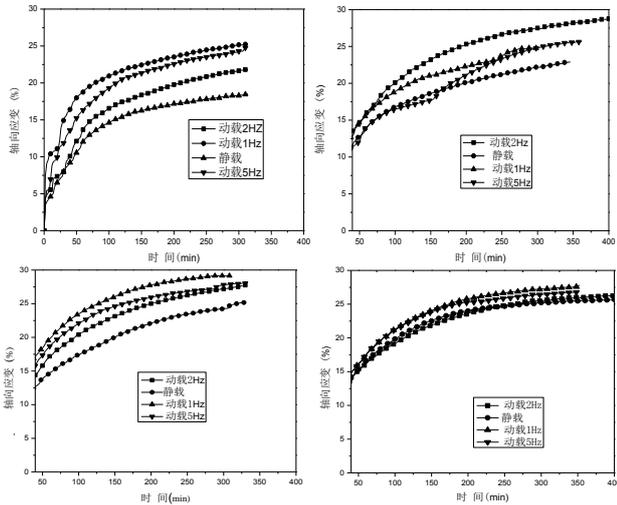


图1 不同频率下轴向应变与时间关系图

图1是软土在荷载作用下的轴向应变-时间关系变动图，当超静孔隙水压力消散时土体沉降逐渐增大，沉降是否稳定时，衡量土体加固效果的重要因素。土样在荷载作用下应变值逐渐增加，而应变增加幅度逐渐减小，曲线大体上从总体变化趋势看可分为三个阶段：刚施加荷载时的瞬时应变变化阶段(0-1min)，由于软土具有高含水率、压缩性大的特点，施加瞬时荷载后，应变会急剧增加；轴向应变快速增长阶段(1-200min)，在这一阶段，软土受到荷载作用后，轴向应变逐渐增加，总的应变量占总应变的60-70%。且由于振动荷载的施加，静压排水的轴向应变速率会小于振动排水固结。两者之间的差别不断扩大；轴向应变趋于稳定阶段(200-400min)，在此阶段由于此时试样孔隙率降低，土样变得密实，所以在这一阶段，轴向应变速率降低，轴向应变逐渐趋于稳定。振动排水和静压排水的总排水量和轴向应变差别不再继续扩展。

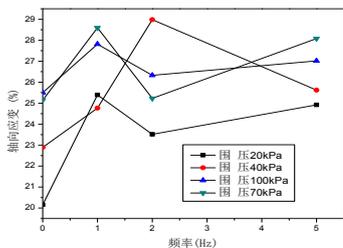


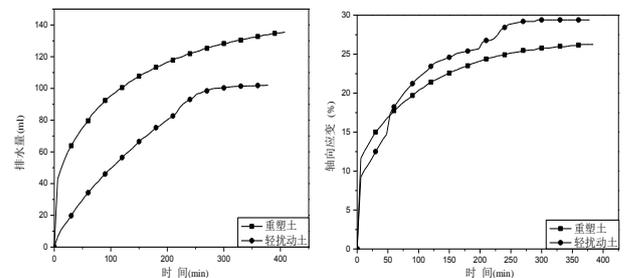
图2 频率与轴向应变之间的关系

在同样的围压、同样的振动荷载、不同频率的作用下，我们可以看到，当振动频率为1Hz或2Hz时，轴向应变会明显高于其他频率下的振动排水固结和静压排水固结，这说明振动频率接近软土试样固有频率，在振动频率为1Hz

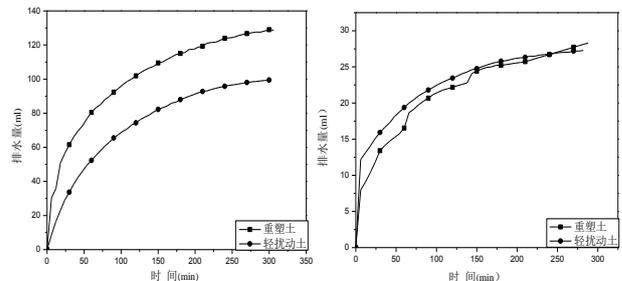
或2Hz时，引起软土试样共振，以振动排水固结效果最佳。在相同振动频率作用下，不同围压下，可以看出围压越高，轴向应变越大。说明围压的升高有利于累积轴向应变的增加，从而有利于排水固结，从图中可以看出，随着围压的升高，振动排水固结与静压排水固结之间的差别会慢慢减小。这表明围压的升高可以弱化振动作用，同时也说明振动排水固结对于浅层地基处理效果较优。

4.2 扰动程度对试验结果的影响

图3为轻度扰动重塑土样振动排水固结试验结果对比图，围压100kPa，振幅0.05kN，频率分别为1、2、5Hz。从试验结果可以看出，轻微扰动和重塑土样的累积轴向应变和在相同条件下会有明显的差异，并且随着频率的不同，这种差异也会有差异。对比图4会发现，在相同条件下，重塑土样的排水速度比原状土样小，但轴向的应变率比轻度扰动土样大，这也就造成了重度扰动土样的排水总量小，但累积的轴向应变却比轻度扰动土样在振动排水固结试验结束后更大的情况。并且在更短的时间内重塑土壤样本以达到排水和应变平衡。主要是因为当土体结构受到扰动时，土体的性质就会发生变化，土体结构受到扰动时，土体的性质就会发生变化，土体结构就会发生变化。这主要体现在两个方面：第一，土体内部的物理和力学性状在土体原状结构受到扰动后会发生变化，如重塑土样中含有较多的孔隙，而孔隙的存在会导致土体的压缩性增加，因此相对于轻度的扰动土样而言，应变会更大一些。并且因为孔隙容积的存在，会对排水造成阻碍，造成较轻微的扰动土样排水速率较低。二是重塑土样与自然沉积土样在应力状态和应变状态上存在差异，会直接影响土样内部上部荷载的传播扩散方式。综上所述，重塑土与轻度扰动土在振动荷载作用下，由于土样受外界作用力的影响，使微观结构发生变化，从而产生不同的动力反应。



(a) $f = 1\text{Hz}$



(b) $f = 2\text{Hz}$

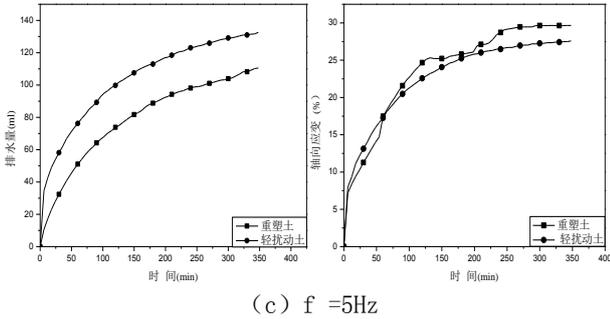


图3 扰动特性对试验结果影响

4.3 含水量的影响

软土中的含水率直接影响压缩性和总体强度^[58-59]。采用人工配置的方式进行试验分析,使试样具有一定的代表性和试验的单一性。根据现场调查和长江流域镇江段软土取样分析,设定含水量变化为可能范围,烘干后捣碎并过筛0.5毫米后,将重塑土的含水量配制成液限1.0倍、原状土1.25倍,即对应的含水量分别为46.15%、57.86%。器皿中充分搅拌配置好的试样,静置3天后密封配置好的重塑土试样,使土壤充分混合水分。

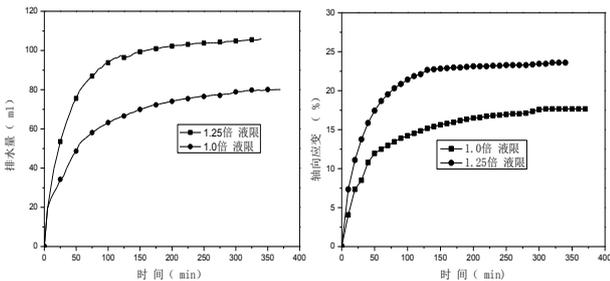
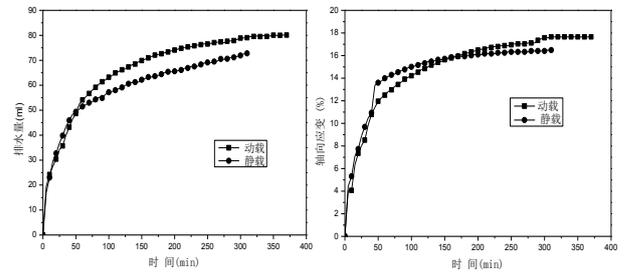
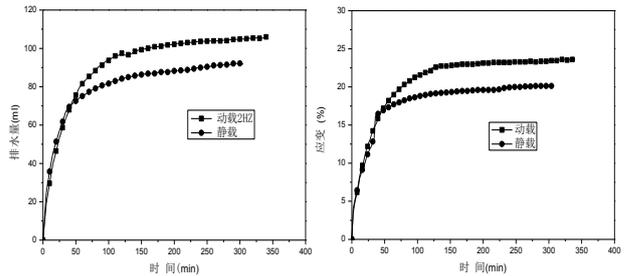


图4 不同含水率对振动排水固结试验结果

由图4可见,含水率较高试样的和轴向应变在前期静压排水阶段(0-40min)会较高,随着振动荷载的作用和时间的推移,这种差异会慢慢增大,直至试验结束。因此含水率高的试样排水速度更高,轴向应变速度也更高,因而轴向应变量的和累积也更大。图5为静压排水固结试验与振动排水固结试验中不同含水率土样的比较试验结果。由图5可以总结出振动排水固结效果优于静压排水固结,无论是总还是累计轴向应变,但随着含水率的变化,振动排水固结法处理试样效果会有明显的变化:含水率越高,软土试样处理的振动排水固结法提高效率越高。这主要是由于软土中的自由水分随着含水率的提高而增加,流动性增强,黏滞性降低;由于含水率增加,相邻微粒间的距离增大,土粒间的相互作用就会减弱,水土分离在施加振动荷载后,作用就会比较明显。



(a) 1.0 倍液限



(b) 1.25 倍液限

图5 不同含水率对排水固结试验结果

5 结语

采用振动排水固结处理软土较静压排水固结法可以获得更大的轴向应变,说明施加振动荷载对与提高轴向应变速率,增加累积轴向应变有明显效果。且振动频率以及围压对振动排水固结试验具有重要影响。当施加的震动频率与固有的土样频率比较接近时,震动的效果就比较明显了。加大围压可获得较大的轴向应变,但振动排水固结与静压排水固结的区别,以及频率不同,围压升高的同时也会减弱。

振动排水固结试验不同性质土样的动力响应机制不同。含水率越高,相对于静压排水固结,振动排水固结的效率就越高;与轻度扰动土样相比,重塑土样的振动排水固结试验由于重塑土的透水性要小,导致重塑土样的和排水速率没有轻度扰动土样高,因此其压缩性会更高。

【参考文献】

- [1] 薛茹,李广慧. 动力排水固结法加固软土地基的模型试验研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(11): 3242-3248.
- [2] 经纬,刘松玉,邵光辉. 软土地基上路堤沉降变形特征分析[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(6): 728-730.
- [3] 刘勇健,李彰明,张丽娟. 动力排水固结法在大面积深厚淤泥软基加固处理中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(2): 4000-4007.

作者简介: 胡成林(1986.4-),男,学历:本科,目前职务:项目经理。