

文章编号:1673-9469(2010)01-0038-04

## 静压桩与土体间滑动摩擦及其时效性研究

孙晓东<sup>1</sup>, 宋可新<sup>2</sup>, 张敬<sup>3</sup>

(1. 天津城市建设学院, 天津 300384; 2. 天津海泰建设开发有限公司, 天津 300384;  
3. 天津市房地产经营开发集团有限公司, 天津 300061)

**摘要:**静压桩贯入地基时, 桩侧面与土之间会产生滑动摩擦。采用改进直剪仪进行试验, 研究了静压桩与天津滨海新区土体间的滑动摩擦及其时效性, 得出了静压桩与土的外摩擦角及其变化规律, 并总结了静压桩与土摩擦力的时效性机理。研究发现滑动摩阻力与土的类型、法向应力有关, 且与法向应力近似呈直线关系; 随着时间的增长, 粘土和淤泥质土与桩之间的摩阻力显著增大, 且与桩的承载力增长曲线相近。对进一步研究天津滨海地区静压桩的挤土效应和承载力具有一定的参考价值。

**关键词:**静压桩; 滑动摩擦; 时效性; 承载力

中图分类号: TU443

文献标识码: A

### Study on sliding friction and time effect between jacked pile and soil

SUN Xiao-dong<sup>1</sup>, SONG Ke-xin<sup>2</sup>, ZHANG Jing<sup>3</sup>

(1. Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China; 2. Tianjin Haitai Construction and Exploitation Corporation, Tianjin 300384, China; 3. Tianjin Real Estate Development Management Group Co. Ltd., Tianjin 300061, China)

**Abstract:** Sliding friction comes into existence between soil and the surface of jacked pile during the process of penetrating. Based on the laboratory test the sliding friction and its time effect between jacked pile and soil in Tianjin Binhai New Area are studied with the improved direct shear apparatus. Angle of external friction and its law between jacked pile and soil are obtained. And the mechanism of time effect is also summarized. The results show that friction resistance is related with soil type, and is approximately linear to the vertical pressure. The increase of friction resistance between pile and clay or mud silt is proportional to the increase of carrying capacity of the pile with the time going by. It has some reference significance for the research on soil compaction effect and carrying capacity of the jacked pile in Tianjin Binhai New Area.

**Key words:** jacked pile; sliding friction; time effect; bearing capacity

静压桩以其噪音低、不污染环境、对桩身无冲击力以及能在沉桩时显示压桩力等优点, 在我国越来越受到重视。但静压桩属于挤土桩, 在贯入过程中将使下部土体侧向移动。沉桩过程中, 桩尖首先强力挤压土体, 造成了土体的重塑和破坏。桩身在已经扰动了的土体中进行大变位运动, 桩与土之间产生滑动摩擦。这种滑动摩擦不同于静摩擦, 也不同于打入桩的动摩擦<sup>[1]</sup>。

关于桩侧摩阻力  $f$  的计算, Chandler 在 1968 年提出了粘性土中的经验公式<sup>[2]</sup>。

土被扰动后强度会降低, 但随着时间的增长, 强度可以部分恢复或全部恢复, 这种时效性称为土的触变性。相应的, 滑动摩阻力也有时效性。侧摩阻力的提高是桩基承载力提高的主要因素<sup>[3]</sup>, 特别是在软土地区, 由于软土结构性强、灵敏度高、渗透性低等特点, 受沉桩的挤土作用, 桩周土承载力的时效性会更加明显<sup>[4]</sup>, 因而很有必要研究摩阻力的时效性。

### 1 试验研究

收稿日期: 2009-12-28

基金项目: 天津市自然科学基金(09JCYBJC07800), 天津市高等学校科技发展基金项目(20071006), 天津城市建设学院学生科研基金项目  
作者简介: 孙晓东(1982-), 男, 河北张家口人, 硕士研究生, 从事岩土工程的研究。

1.1 研究对象

以天津滨海地区土体为研究对象,鉴于扰动土与原状土的滑动摩擦试验曲线差别不大,由于条件所限只取扰动土作定性研究,土样部分参数见表1、表2。

1.2 试验仪器及试验方法

改造直剪仪,将原来仪器的下透水石换成混凝土试块,在试块周围的剪切盒表面涂一层凡士林,以减小剪切盒边缘与土体摩擦引起的误差。对于静压桩,桩土界面特征往往取决于桩表面的粗糙程度<sup>[5]</sup>。自

制混凝土试块,尽量使试块表面粗糙度与桩身表面相同,尺寸与下剪切盒大小相同。

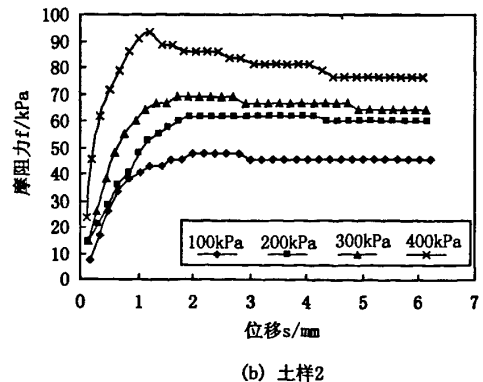
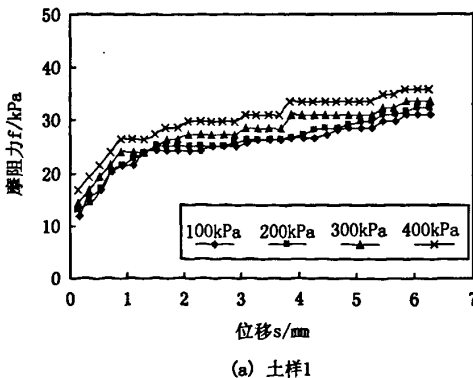
取4组土样(见表1),每组切4个,分别在100 kPa、200 kPa、300 kPa、400 kPa 垂直荷载作用下放置混凝土试块进行剪切。水平剪切推进速度为0.02mm/s,记录摩擦力  $f$  和滑动位移  $s$ 。装样时尽量不要扰动土样,剪切时注意速度的稳定性。一般滑动位移变形达到4 mm 时认为土样破坏,若读数一直增加,则待滑动位移变形达到6 mm 为止。试验中发现在剪切完成后,淤泥质土、粘土和粉质粘土均有少量土颗粒粘附在混凝土试块表面,粉质砂土无此现象。

表1 动摩擦试验土样参数  
Tab.1 Soil parameters of sliding friction test

土样编号	名称	$\gamma$ /( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )	w %	e	$E_s$ /MPa	$w_p$ %	$w_L$ %	$I_p$	$I_L$	c /kPa	$\varphi$ /( $^\circ$ )
土样1	淤泥质土	17.4	65.03	1.192	2.83	23.2	63.58	40.38	1.04	18	10.5
土样2	粘土	19.4	38.58	0.987	3.29	18.1	40.3	22.2	0.92	22	16
土样3	粉质粘土	20.4	22.15	0.808	3.81	19.17	30.96	11.79	0.253	25	16.5
土样4	粉质砂土	20.2	24.1	0.754	10.2	--	--	--	--	--	--

表2 时效性试验土样参数  
Tab.2 Soil parameters of time effect test

土样编号	名称	$\gamma$ /( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )	w %	e	$E_s$ /MPa	$w_p$ %	$w_L$ %	$I_p$	$I_L$	c /kPa	$\varphi$ /( $^\circ$ )
土样5	淤泥质土	17.4	65.03	1.192	2.83	23.2	63.58	40.38	1.04	18	10.5
土样6	粉质粘土	20.4	22.15	0.808	3.81	19.17	30.96	11.79	0.253	25	16.5
土样7	粉质砂土	20.2	24.1	0.754	10.2	--	--	--	--	--	--
土样8	砂质粉土	19.8	21.8	0.923	8.95	17.3	23.6	6.5	0.73	13	33



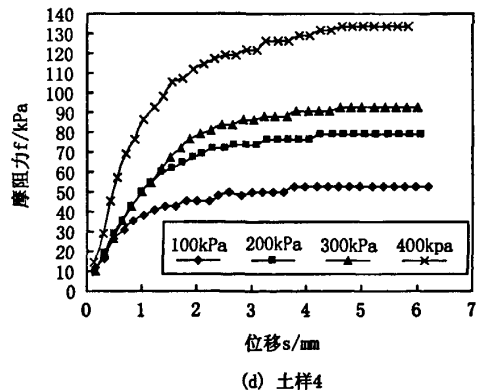
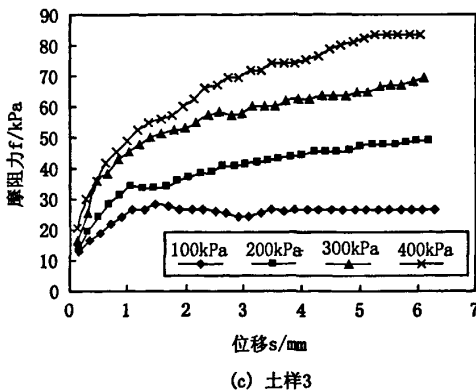


图1 混凝土试块与土的滑动摩擦曲线

Fig.1 Sliding frictional curves of concrete and soil

另取4组土样(见表2),进行摩阻力时效性试验。用以上相同的方法安装试样,试样静置一定时间(0d、1d、7d、14d)后再进行剪切,记录刚开始启动时的最大阻力  $f_{max}$ 。试验需要的时间较长,为了保持土样含水量等的一致性,将土样一次性切割,放于养护箱中保存,分批使用。试样静置过程中,为防止土样水分蒸发需在剪切盒周围盖上湿布,定期洒水养护。

## 2 试验结果与分析

1) 滑动摩擦试验结果:按横坐标为位移,纵坐标为滑动摩阻力,作混凝土试块与土的滑动摩擦曲线,见图1。滑动摩阻力  $f$  与法向应力  $\sigma$  关系见图2。

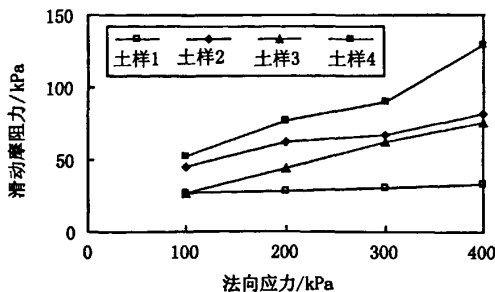


图2 摩阻力与法向应力关系曲线

Fig.2 Relation between sliding friction and normal stress

2) 时效性试验结果:根据启动时的最大阻力  $f_{max}$  作出土样(5-8)的摩阻力时效性增长幅度曲线,见图3。图4为土样在不同静置时间下的摩阻力变化曲线。

图1中,土样1最大摩阻力不到40 kPa,并且在不同的法向应力下摩阻力变化不大;而土样4在法向应力为100 kPa时就已达到52.5 kPa,法向应力为400 kPa时最大摩阻力可以达到133.8 kPa。可见滑动摩阻力与土的类型、法向应力有关,即土的强度越高产生的摩阻力越大,法向应力越大摩阻力越大,不同的土在不同法向应力下的滑动摩阻力差别明显。

如图2所示,极限滑动摩阻力  $f$  与  $\sigma$  近似成直线关系,并由此进一步求出各土样的外摩擦角  $\varphi$ ,见表3。表4为相应各土样的内摩擦角,可以看到土样的外摩擦角要小于其内摩擦角,土质越软差值越大。

由图3、图4知,经过一定时间的静置,砂土摩阻力提高幅度很小,粉土摩阻力提高也不到30%,不是很明显;而粉质粘土强度可以达到原来的140%,淤泥质土强度甚至可以3倍的增长。分析得知,由于砂土无触变性,且产生的孔隙水压力消散很快,所以强度没有变化或变化很小;淤泥质土和粉质粘土的触变作用使其损失的强度随时间逐步恢复,且在开始增长较快,后期变缓,最终接近于极限值。

表3 土样外摩擦角

Tab.3 Angles of external friction

外摩擦角	淤泥质土	粘土	粉质粘土	粉质砂土
$\varphi/(^\circ)$	1.4	6.4	9.4	13.7

表4 土样内摩擦角

Tab.4 Angles of inside friction

外摩擦角	淤泥质土	粘土	粉质粘土	粉质砂土
$\varphi/(^\circ)$	10.5	16	16.5	--

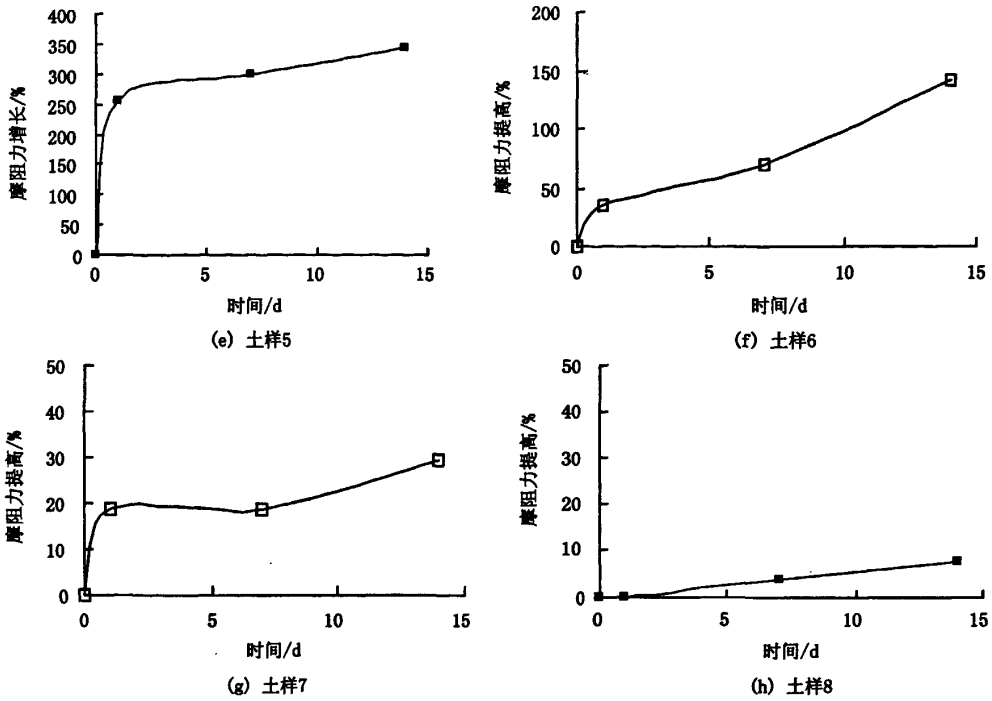


图3 土摩擦力时效性增长幅度曲线

Fig.3 Curves of friction increasing of soils

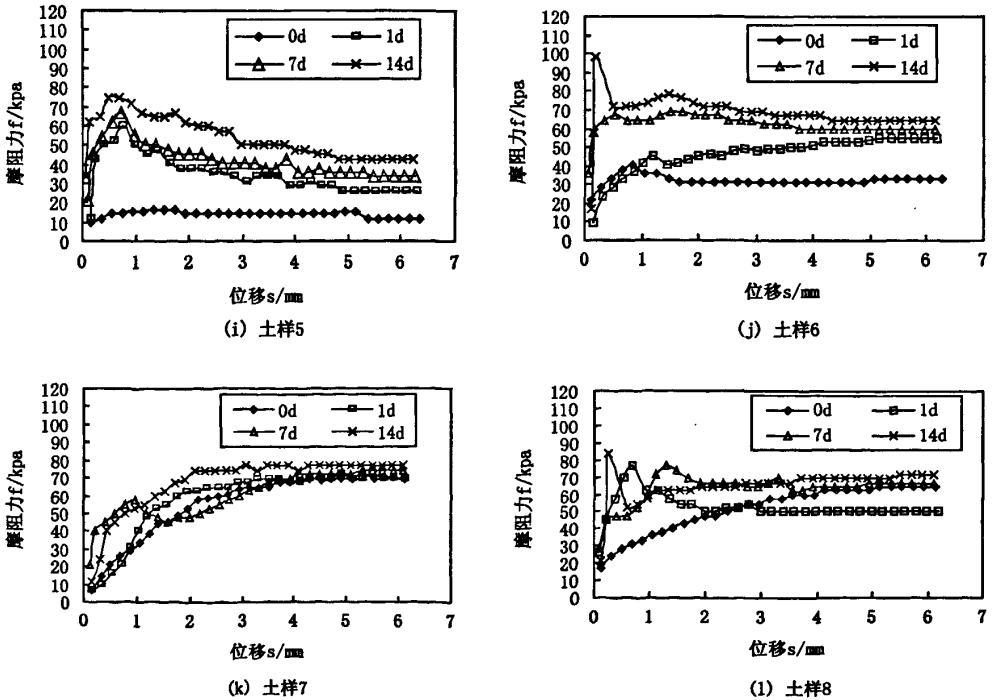


图4 土摩擦力随时间变化曲线

Fig.4 Time effect curves of friction of soils

分布园:通常,分布式的孵化器园区用地因为现状条件被划分成相对独立的几块,每一块有几栋甚至只有一栋建筑,园区的建设基本是“见缝插针”。这种园区的典型例子是东南大学科技园、上海交通大学科技园、同济大学科技园等。

集中园:这种情况校园周边并不多见,因为多数地处城市中心区的校园周边很难找到区位良好,并具有一定规模的土地来建设比较完整的大学科技园孵化器。而清华科技园孵化器、哈工大科技园孵化器是这种类型的代表。

虚拟园:对孵化器来说,如何解决资金问题扩大孵化空间,是一个很大的压力;同时,对于科技教育水平不高的城市、大学,建设虚拟孵化器便成为一种可行的途径,这也是当前科技园孵化器发展的必然趋势,是科技园孵化器适应信息化发展的举措。

深圳虚拟国家大学科技园孵化器是深圳市政府为吸引和促进国内外著名高校、科研院所到深圳进行科技成果转化、高层次人才培养和中小型企业孵化而建立的高科技园区。

## 4 结语

大学科技园孵化器的选址、创办方式和产业

(上接第 41 页)

李雄等<sup>[6]</sup>对重塑饱和软土进行不同休止时间的 UU 三轴试验,得到重塑土内聚力随休止时间的恢复情况为:土的内聚力开始增长较快,后期减缓,最终趋于极限值。这与本文摩擦力的时效性规律是一致的。

## 3 结论

1) 利用混凝土试块模拟现场桩来研究桩与土间的滑动摩擦试验是可行的。试验得到的各土体外摩擦角可作为沉桩数值模拟的参数。

2) 试验表明滑动摩阻力与土的类型、法向应力有关,随着土体强度和法向应力的增长,滑动摩阻力也相应增长,且增长近似呈线性。

3) 土的外摩擦角要小于其内摩擦角,土质越软差值越大。

4) 试验发现砂土和粉土与桩的摩阻力时效性

方向要依据具体情况选择。各地的情况不同,因而大学科技园的发展模式也不尽相同。中国的国情决定了大学科技园不能一刀切,不能搞清一色。要结合不同地区的实际情况,因地制宜,探索多种办园模式。只有大学科技园孵化器的宏观定位的准确和微观区域创新环境的培育结合,才能实现其可持续发展。

## 参考文献:

- [1] 庄宁,杨小鹏.大学科技园的建设与发展[M].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [2] 崔钢.一般地方高校应高度重视科技成果转化工作[J].黑龙江高教研究,2004(8):24-26.
- [3] 张莉,杨蕴霞.大学科技园建设与发展刍议[J].航海教育研究,2007,24(1):38-40.
- [4] SANG CHUL PARK, The roles of high-tech oriented private companies in science cities: A case study of tsukuba science city in japan and taedeok science town in south korea[J]. Korea Observer, 2000, 31, 1;
- [5] 刘双云.印度班加罗尔科技园的发展特点与经验借鉴[J].理工高教研究 2006, 25(06): 34-35.
- [6] 郭晓娟.浅谈英国牛津大学科技园的成功之道[J].中国高等教育, 2006(1): 61-21.

(责任编辑 刘存英)

不明显;粘土、淤泥质土具有显著的时效性,前期增长幅度较大,后期减缓,最终趋于极限值。

## 参考文献:

- [1] 张明义,邓安福.桩-土滑动摩擦的试验研究[J].岩土力学, 2002, 4(23): 246-249.
- [2] 张明义.静力压入桩的研究与应用[M].北京:中国建材出版社, 2004.
- [3] 张明义.层状地基上静力压入桩的沉桩过程及承载力的试验研究[D].重庆:重庆大学, 2001.
- [4] 夏建中,罗占友,张矢舟.软黏土中压桩承载力的时效性分析与预测[J].岩土力学, 2006, 10(增 27): 793-796.
- [5] 张忠苗.桩基工程[M].北京:中国建筑工业出版社, 2007.
- [6] 李雄,刘金砺.饱和软土中预制桩承载力时效的研究[J].岩土工程学报, 1992, 14(4): 9-16.

(责任编辑 刘存英)