粉土的破坏方式浅探

吴保全[1,2] 李天斌[1]
(1.成都理工大学环境与土木工程学院 2.河南省诚城岩土工程有限公司)

摘 要 保持小主应力和中主应力相等,在大主应力方向加荷是地基工作的普遍应力路径。该路径下分别对粉土实施几组静载荷试验和观察数十根静压桩工程中粉土的侧向变形现象。针对资料和结果,对其应力应变关系及反映侧向变形变化规律进行特定条件的研究。研究表明,粉土在特定的应力路径下排水剪切,大主应力方向首先压缩,中小主应力方向膨胀,之后大主应力方向塑性流动,是土力学中未曾研究的现象和结果。

关键词 粉土 应力路径 应力应变关系

在人为工程因素作用下,由于工程土体的边界条件繁杂,土体发生各种复杂的变化,例如压缩、蠕变、沉降、流变、破损等,因此,通过室内试验、原位测试、实例观测分析和重现这些变化过程是一个重要的研究课题。但是,实际工程中的相同力学属性的土体形状分布空间大,要在实验室中按土体的原型来模拟和重现其破坏演化过程几乎是不可能的,所以通常根据土体性质或应力状态或力学机理或它们的组合,按照一定规则、按比例缩小制成模型,在设定的物理和化学环境中,研究模型的破坏演化过程,研究模型在外荷载作用下的变化过程,多以其外形尺寸变化来分析土体的应力与应变规律,并以此建立相应的本构关系。但是,营建模型的边界条件存在一些问题,如周边装置的材质与原状土不一致、施加荷载的方式和时间与实际工程不同、模型物质组成的岩性单一、模型的内部构成与原状土有区别、未考虑土体散粒性、尺寸小、人为影响因素等,一般很难观察到土体内部的破坏变化,若要观察其变化整个过程则更困难。

常规的静载荷试验虽然修正试验室的模型的部分边界条件,接近土体局部自然状态,原位测试的仪器尺寸虽比室内试验仪器的尺寸大许多,但观测土体的破坏深度仅限于仪器尺寸一倍的深度内,且更深部土体的破坏特性很难获取,土体中破坏面的确定仍然停留在推测水平上。为了测定土中破坏面和破坏后地基土的状态,第一,选择适当的场地土体,实施非传统、破坏性的静载荷试验,观测地基土的破坏面分布状况和破坏后地基土应变规律;第二,通过静压桩基础的基坑开挖,观测到桩周深层粉土破坏现象和分布状态。

本文综合破坏性静载荷试验和静压桩后对土体开挖观测资料,尤其是在小、中主应力不变或相对变化较小即 $\Delta\sigma_2=\Delta\sigma_3\approx 0$、大主应力持续增加,即 $\Delta\sigma_1=c$(c恒定值)时,在郑州地区粉土互层状地基土中,揭示出土体的破坏特性不同于传统土力学理论之处。

1 试验和实例观察的对象

为观测土的破坏面和破坏后的状态,选定郑州地区经常出现的两个典型土层剖面作为研究对象。

第一个剖面(表 1):地基土多为薄层、新近沉积的粉土、粉质粘土、粉细砂,各个土层的颜色均不相同,同一土层的力学性质相对均匀,局部存在极薄的夹层。水位埋深 1.5m,为局部潜水。

第二个剖面(表 2):土层多为薄层、互层状的粉土、粉细砂,单元土层相对均匀,粉土的粘粒含量相对较少。地下水位埋深 2.8m,为上部潜水。

2 试验、观察的方式

2.1 静载荷试验场地处理、设备、观测方式

试验坑的宽度大于承压板宽度的 3倍,实际宽度大于 6.5m。承压板高程与天然地基土表面高程相等,并保持地基土原状结构和天然湿度。地基土平整度保证承压板与地基土均匀接触。区别于通常载荷试验起见,承压板面积为 $2m^2$ 的正方形钢板,钢板的单边尺寸 1414mm,厚度 60mm,防止挠曲发生,在其上覆 $1m^2$ 圆形、厚度 60mm 的钢板。采用 JCQ - 503静力载荷测试仪,具有自动判稳、定时自

收稿日期〕 2007 - 8 - 02

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 鑫子地基土物理力学指标

层号	h	地层名称	颜色	$w/(\%)$	r	e	l_1	I_p	$c_{值}$	$\Phi_{值}$	C_u	Φ_u	f_k	a_{1-2}	E_{1-2}
1	0.90	粉土	黄褐	24.2	20.2	0.654	0.94	6.8	11	30.1	45	26.5	110	0.12	12.7
2	2.10	粉质粘土	灰黑	29.3	19.4	0.818	0.78	13.6	16	13.4	20	4.0	80	0.42	4.6
3	2.03	粉土	灰黄	24.9	20.1	0.677	0.89	7.6	15	30.4	50	33.5	135	0.11	14.1
4	1.16	粉质粘土	灰黑	26.6	19.7	0.726	1.00	10.5	11	21.1	10	4.0	80	0.25	3.8
5	1.63	粉土	灰	26.1	20.0	0.701	0.86	8.4	14	32.6	10	29.0	115	0.11	13.2
6	1.23	粉质粘土	灰黑	25.4	19.3	0.755	0.58	14.6	27	13.4	6	3.5	120	0.43	3.49
7	1.56	粉土	灰	26.2	19.6	0.759	0.77	9.9	33	11.4	30	11.0	170	0.17	11.9
8	1.35	粉质粘土	灰黑	33.2	18.8	0.948	0.77	15.8	27	15.9	20	4.7	100	0.40	4.4
9	3.15	粉土	灰	22.9	20.3	0.638	0.74	8.7	21	26.9	13	8.0	180	0.14	8.6
10	12.1	细砂	灰黄	300	0.08	35.0									

参数单位: h—土层厚度 (m), r—kN·m^{-3}, $c_{值}$—kPa, $\Phi_{值}$—(°), a_{1-2}—MPa^{-1}, E_{1-2}—MPa, f_k—土承载力标准值, kPa,

表 2 土层物理力学参数

层号	土名	h	$w/(\%)$	r	e	w_1	I_p	$c_{值}$	$\Phi_{值}$	c_u	Φ_u	a_{1-2}	E_{1-2}	f_k
1	粉土	1.6	17.8	20.0	0.69	21.3	7.9	1.6	19.2	1.8	24.1	0.16	6.2	126
2	粉细纱	1.8	19.5	20.5	0.67	20.0	6.7	0.12	15.9	135				
3	粉土	2.2	20.4	19.5	0.68	21.9	8.1	1.0	20.0	2.0	26.0	0.19	8.0	130
4	粉土	2.6	19.8	20.5	0.58	22.9	8.1	5.0	27.0	4.0	25.0	0.13	13.6	200
5	粉细纱	3.6	20.6	20.4	0.58	2.0	33.0	0.0	31.8	0.09	18.1	240		
6	粉土	1.8	19.7	20.6	0.56	21.5	6.7	3.0	31.5	3.0	33.0	0.08	17.0	25

参数单位: h—土层厚度 (m), r—kN·m^{-3}, $c_{值}$—kPa, $\Phi_{值}$—(°), a_{1-2}—MPa^{-1}, E_{1-2}—MPa, f_k—土承载力标准值, kPa,

动测读、记忆、打印或输出原始数据和曲线等功能。用以向承压板施加垂直荷载为 5000kN 液压千斤顶。灵敏度高、线性好、分辨率高、5000kN 的轮辐式测力传感器量测千斤顶施加荷载的大小; 为了保证压板沉降测试精度,使用具有漂移低、抗干扰能力强、大量程的容栅式位移传感器 4只,安装在载荷板上,量测载荷板在荷载作用下的垂直位移。

土力学是一门实践性很强的学科,它的发展与土工试验测试技术的发展密切相关。为充分揭示粉土等破坏特性,试验依据《建筑地基基础设计规范》附录的规定实施,并综合参考场地粉土破坏荷载值的大小估算试验目标粉土等的极限承载力值,确定总的荷载数值为破坏值的两倍以上。加荷采用分级稳定的方式。地基土破坏、承压板下沉一定深度后,持续分级增加荷载,观察破坏过程中承压板周边一倍承压板直径周围地基土的具体行为。

实验结束,沿着承压板相互垂直的直径的两个方向对地基土进行开挖探槽,探槽采用人工开挖,观测地基土的破坏状况,比较开挖剖面上原状、压板下、压板周边等土的破坏状态。

2.2 静压桩过程中桩周和桩端土破坏方式

足尺寸的原型实验是土工试验中最高规格的试验,尤其是地基土纵深方向的破坏结果的观察是现在土力学试验缺失的内容。但是,由于任何工程均不可能进行破坏试验,依靠预埋的测试仪器对于纵深方向测试,也因为测试仪器的局限性,不能够获取全面资料和数据。现在,众多的基础理论均建立在这些有局限性的测试资料、数据、推测破坏面上,纷繁复杂的力学模型和本构关系就是如此。

一个偶然机会,即在第一剖面的工程条件下,场地在第一层粉土面上进行静压桩施工。施工后的楼号开挖,开挖深度 9.6m。静压桩的根数为 671。因为有 46%静压桩的承载力不满足设计标准,为探讨其中的原因,对施工现场进行踏勘,基坑开挖到设计深度后,桩周平面处地基土中出现颜色迥然有别原位黑灰色粉质粘土的泥皮环,紧贴桩体的泥皮环为褐黄色粉土等,分布均匀,而且在等高度的地基土中平面内,每一根桩的桩周均存在此环。

那么泥皮环在其他土层中是否存在呢? 为此,对每个楼号的桩的施工和开挖制定如下观察方式:

(1) 静压桩施工入土过程;

(2) 基坑开挖时,分层开挖桩身周边地基土;

(3) 观测泥皮环特性及组成。

3 试验、观察的结果

图 1为 6组中的 5组静载荷试验开挖观测结果,探槽垂于承压板,开挖深度 3m。图中 abcfg范围为剪切破坏的地基土体, ac为剪切破坏面, cdef面

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

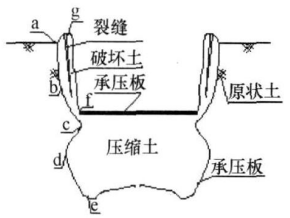


图 1 静载荷试验及开挖剖面

左侧为压缩土体,压缩体呈现中间部位中鼓状的梯形,梯形底部压缩边线为近弧线,e点处深度最大。

另外一组试验由于地基土的不均匀,在荷载未达 350kPa,试验装置侧向倾斜,压板下的地基土在图 1中的 c、f范围挤出承压板,挤出点为 c和 f。

图 2为 126根桩分层开挖的桩及桩周土的截面图,开挖深度达 9.6m。桩的每个截面中,围绕桩均有不同颜色的泥皮环。

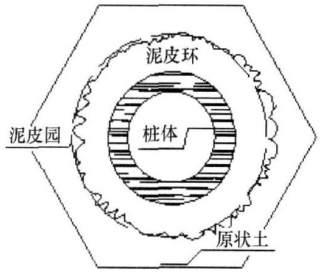


图 2 桩体分层开挖平面

泥皮环的外侧呈园齿状,其均可拟合为与桩同心的园,同心圆直径大小与桩周边的土层力学性质有关而与压桩时的荷载大小无关。

泥皮环的外部分布着原状地基土,原状土中没有剪切破坏面的分布,即,没有传统理论中假设的破坏面。泥皮环在垂直方向的分布为:宽度不相同,即不同土层中的环的宽度不相同。

泥皮环中土体的含水量大于周边地基土,为软塑状。静压桩入土时,土的初始破坏状态与静载荷试验坑的垂直观测结果相同。

4 试验和观察结果的分析

4.1 静载荷试验

试验中,荷载 $p \leq 100$kPa之前,承压板的沉降总量 s很小,$s = 0.45$mm,并且能够很快达到稳定,一般情况是在 60min内达到稳定。承压板与原状土间没有破坏变形的迹象。

$p = 275$kPa,压板的 $s = 4.60$mm, $\triangle s = 4.15$mm,稳定时间同上。承压板的原状土出现微剪切裂缝,裂缝的倾斜面与承压板平面的夹角为 $(45° + \phi/2)$因此这一结果符合 Mohr - Columb破坏理论,即最大主应力和最小主应力方向的夹角。探槽开挖揭示:剪切裂缝的垂向延伸深度不大于 f点。

$p = 300$kPa,压板的 $s = 35.50$mm, $\triangle s = 30.90$mm,稳定时间 90min。承压板边缘极微隆起,隆起过程中,剪切裂缝开始闭合,g点的局部改变为微张裂缝。

$p = 350$kPa,压板的 $s = 79.80$mm, $\triangle s = 44.30$mm,稳定时间 180min。承压板边缘的地基土隆起,隆起最高点 g的高度 30.0mm,隆起部分的宽度 (f点外侧)41.0mm, g点的张裂缝宽度加大。

$p = 400$kPa,压板的 $s = 131.70$mm, $\triangle s = 51.90$mm,稳定时间 240min。承压板边缘的地基土隆起,隆起最高点 g的高度 82.0mm,隆起部分的宽度(f点外侧) 45.0mm, g点有张裂缝宽度达到 15.0mm。

$p = 450$kPa,压板的 $s = 266.80$mm, $\triangle s = 133.10$mm,稳定时间 360min。承压板边缘地基土隆起急骤,隆起最高点 g的高度 139.0mm,隆起部分的宽度(f点外侧) 48.0mm, g点处张裂缝宽度达到 20.0～30.0mm,且裂缝条数增加, g点的高度虽然增加, a与 g点间的水平距离增大。

实验坑开挖揭示:

b、f两点间的水平距离为 20.0mm～41.0mm。在粉土层的顶部为 41.0mm,往下,则为 20.00～30.00mm。

破坏土体位于 a、b、c点连线上, b、c点连线是一条随着承压板下沉而变化的曲线,空间分布为一个曲面;随着承压板的垂直沉降,曲面持续下降。 c和 f点在二组实验坑中是相同的一个点,但是,在另外四组实验坑中 c和 f点不是相同的一个点,有一定距离。

压缩体的密实度高于原状土,密实度呈现垂直向的梯度分布,越接近承压板的压缩土体,其密实度越高,向下则越接近原状土的密度。压缩体底部近弧形分布,其中心点距离承压板中心最短。

破坏土体为软～可塑状的粉土,侧向原状土均匀时,其对称的分布在承压板周边;侧向原状土不均匀时,分布不对称,接近 c和 f点时,破坏土体为软塑状,离开两点一定距离时,为可塑状。

4.2 静压桩桩周的泥皮环

静压桩初始压入一定深度的、第一层黄褐色的粉土的破坏现象与静载荷试验坑开挖的现象完全相

(下转第 56页)

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

于古河道在南京市浅层地下水循环中处于主导地位,这种影响使区域地下水流场发生改变,降低古河道"流域"地下水的循环代谢,加剧地下水的污染。根据张宋祜等人的研究结果[7],深层地下水的开采量中35.19%的水量来自上层越流补给,浅层地下水污染的加剧还将对深层地下水产生影响,为城市未来的发展提出了新的环境问题。

相比而言,地铁工程施工期间对地下水环境产生的影响是局部范围内的,在一个较长的时间内是能够得到缓解的,而地铁工程在运营中对地下水环境的影响则是大范围的,在时间上有明显的"滞后性",并且这种影响具有"累积效应"。

4 结论和建议

综上所述,地下水因地铁的修建被打破了原有的平衡,地铁在施工期和营运期不仅会引起地面不均匀沉降,影响邻近建筑物的稳定性,而且还会改变地下水质、造成一定的污染,使地下水径流系统发生变化。为了减轻地铁建设对于地下水环境的不良影响,应查清地下水的现状,寻找地下水的变化规律,使水文地质勘测深度与渗流分析理论相匹配。在地铁隧道的初步设计阶段,就要基本查清隧道地下水的补给、径流、排泄条件以及地下水的分布、运动规律、变化趋势,提出数值计算分析所需的水文地质参数。应加强地下水勘探技术研究和经费投入,提高勘探和分析精度,达到既经济又安全的目的,减少隧道病害的发生,保障隧道的长期稳定与安全。

参 考 文 献

[1] 高大钊. 岩土工程的回顾与前瞻[M]. 北京:人民交通出版社, 2001. 1-1.

[2] 冯国栋(译). 太沙基为岩土技术创刊(1938)所写的前言[J]. 土工基础, 1999(6):3-8.

[3] 张有天, 张武功. 隧洞水荷载的静力计算[J]. 水利学报, 1980,(3).

[4] 梁尧簇. 水工隧洞中的渗透动水压力[J]. 岩土工程学报, 1984,(1).

[5] In-Mo Lee, Seok-Woo Nam. The study of seepage forces acting on the tunnel lining and tunnel face in shallow tunnels[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2001(16):31-40.

[6] 许 劼, 王国权, 李晓昭. 城市地下空间开发对地下水环境影响的初步研究[J]. 工程地质学报, 1999,(1).

[7] 张宗祜,施德鸿,沈照理,等. 人类活动影响下华北平原地下水环境的演化与发展[J]. 地球学报, 1997,18(4):337-3441.

第一作者通讯地址:南京市东南大学成园研究生公寓一舍605 **邮编**:210096

(上接第47页)

同。分层开挖的结果显示:泥皮环分布在桩周,灰色或回黑色的粉质粘土层中分布着黄褐色~灰黄色的可塑~流塑状粉土环,环的宽度视粉质粘土层塑性状态确定。流塑状的粉质粘土中,环的宽度为可塑状粉质粘土中的一倍,即:宽度46mm±,塑性状粉质粘土中环的宽度为21mm±。环外侧比较光滑,环外的原状地基土中没有剪切带和破坏面分布。粉土中分布着粉质粘土的泥皮环,环的宽度同样视粉土层的密实度而有不同的变化,密实度越大,环的宽度越小,反之,则异。环的颜色多为灰色~灰黑色。环的外侧锯齿状明显。环的宽度17~30mm。环的外侧原状土中没有剪切带和破坏面出现。桩的端部下地基土完全被压缩,压缩后的形状与静载荷试验中承压板下的压缩土体的形状完全相同。也与室内试验样变形结果完全相同[1,2]。

不同的是压缩土体中没有传统理论假设的破坏面存在,桩端同样存在一个中鼓、压密实的梯形土体。梯形土体随着桩身下沉过程而不断地被挤出桩周。

5 结论

(1) 传统的极限承载力理论中,地基土土体的力学属性被人们假设刚性-理想弹性体。在破坏状态时,一部分地基土沿着一条稳定的滑动面移动破坏,并且破坏面上的抗剪强度的变化是完全均匀的,破坏面是双螺旋状,忽略了与实际观测结果的差异。

(2) 传统认为地基土体破坏的标志是双螺旋滑动面的四个基点同时处于破坏的状态。即为基础底部的三角体加上相邻的三角体同时失稳。忽略了土的散粒破坏特性即局部破的特点。

参 考 文 献

[1] 施 斌,姜洪涛,等. 在外力作用下土体内部裂隙发育过程的CT研究3[J]. 岩土工程学报, 2000(5):537-540.

[2] 王靖涛,曹红林,丁美英,等. 基于数码相机的土三轴式样变形的数字图像测量[J]. 华中科技大学学报(城市科学版), 2004(2):1-4.

第一作者通讯地址:郑州市经七路15号院3号楼58号 **邮编**:450002

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net