

福州市区软土工程特性浅析

李泳慧

北京城建勘测设计研究院有限责任公司 北京 100020

摘要: 本文通过对福州地区软弱土采取室内试验及原位测试手段,采用统计学分析方法对软土物理力学指标及原位测试结果进行统计对比分析,并结合软弱土的微观结构对软土工程特性进行了分析,归纳出福州市区软土的物理力学指标经验值,提出了福州市区软土的工程特性及适用地铁工程的勘察手段,为福州后续工程建设提供借鉴意义。

关键词: 软土; 力学指标; 工程特性

引言

福州市位于福建省东南沿海,近年来经济快速增长,人口急剧膨胀,由此带来的交通拥堵问题十分突出,发展城市轨道交通已被提到城市发展战略高度。福州市区普遍分布有软土,软土作为一种特殊性岩土对工程建设十分不利,目前,软土种类较多,各行业对软土的定义也不同,但总体上认识较一致,即软土是一种含水量大(大于液限)、压缩性高、天然孔隙比大于或等于1.0、抗剪强度低的细粒土^[1],包括淤泥、淤泥质粘土、淤泥质粉土、泥炭、泥炭质土等。福州市区软土一般由伊利石、高岭石等数片至数十片片状粘土矿物聚集相叠在一起构成的微结构单元,其形态多为厚片状,大小一般在1~10 μm ,微结构单元间一般呈无序排列,以面-面、边-面接触,排列不规则,主要结构格架是絮凝结构,总体来说,具絮凝结构的软土,孔隙数量多而小,一般1~5 μm ,透水性弱,含水量大,压缩性强^[4]。福州市区软土除具备以上共同的特性外,又有它的区域性,由于海陆交互沉积的特点,使得软土中夹有或多或少的砂土颗粒,地方规范^[2]对这类软土定名为淤泥夹砂或淤泥中细砂互层。本文依附福州市轨道交通2号线项目,在对软土室内土工试验结果及现场原位测试成果进行统计分析的基础上,通过对比分析、查阅地方规范及参考已有成果,对福州市区软土的工程特性进行了分析评价,为以后工程建设提供参考。

1 工程概况

福州地铁2号线西起闽侯县,东至鼓山脚下,穿越福州市区,呈东西走向,全长28.289km,本文数据来源其中的18个工点,涉及长度约13km。根据区域地质资料,福州市区软土主要为第四系全新世地层,为海陆交互沉积,厚度从几米到几十米不等,厚度变化较大。根据勘察结果,沿线软土普遍分布,因此软土的工程特性对拟建地铁工程影响较大,需进行全面深入的分析,确保地

铁建设安全。

2 软土的物理力学指标分析

根据勘察结果2号线沿线软土基本分3类:淤泥、淤泥质土和淤泥夹砂。

表1 软土物理力学指标统计表

土名	深度	含水量	密度	液性指数	孔隙比	压缩性	
						a_{1-2}	E_{s1-2}
	m	%	g/cm^3			MPa^{-1}	MPa
淤泥	0-10m	62.3	1.57	1.38	1.722	1.19	2.33
	> 10m	58.8	1.58	1.38	1.647	1.01	2.68
淤泥质土	0-10m	48.2	1.68	1.23	1.327	0.80	3.01
	> 10m	46.9	1.68	1.23	1.307	0.71	3.30
淤泥夹砂	0-10m	53.5	1.63	1.31	1.495	0.93	2.78
	> 10m	48.7	1.67	1.29	1.376	0.83	3.10

续表1

土层名称	深度	固结快剪		渗透系数	
		c	ϕ	水平	垂直
	m	kPa	$^{\circ}$	$\text{cm}/\text{s}(10^{-7})$	
淤泥	0-10m	17.5	7.8	5.87	5.03
	> 10m	19.1	8.2	5.12	4.37
淤泥质土	0-10m	19.6	8.7		
	> 10m	21.4	9.2	3.83	3.56
淤泥夹砂	0-10m	19.6	8.9	13.1	12.4
	> 10m	20.2	9.6	8.65	8.97

通过上表可以看出:

软土含水量大,密度小,孔隙比大于1.0,其中淤泥大于1.5,抗剪强度低,粘聚力一般小于20kPa,内摩擦角 8° 左右,压缩模量小于3MPa,基本符合工程界对软土的认识。

由于软土在静水或缓慢流动的环境中沉积,孔隙大,含水量大,力学性质差,细粒含量高,透水性差。海陆交互沉积使得软土中夹有不同程度的砂,产生了一种混合土即淤泥夹砂,由于淤泥中砂含量很不均匀,局

部含砂较多且形成过水通道的地层，其透水性明显提高，应按弱透水层考虑。室内土工试验做出的液性指数基本都大于1，呈流塑状态，但现场钻探揭露软土岩芯基本能保持原来的状态，两者产生的差异性主要为室内试验在土完全失去结构强度的扰动状态下测得，而现场钻探取出的土未经扰动，具有一定的结构强度，能抵抗部分变形。

由于长期压实作用，土中孔隙水压力慢慢消散排水固结，含水量、孔隙比随深度增大逐渐变小，密度随埋

深的增大稍有增加；渗透系数随深度的增加变小，由于地层层状沉积特点使得水平渗透系数较垂直渗透系数大；软土的可压缩性随深度增加变小，抗剪强度指标随深度增加变大，故埋深大的土质较埋深小的强度高。

3 软土的原位测试结果分析

目前软土地区应用最多的为静力触探和十字板剪切试验。为了更全面、准确的反应地质情况及为以后工程建设积累经验，勘察方法除了上述两种常用方法外增加了旁压试验。

表2 原位测试结果统计表

试验项目	土层名称	锥尖阻力 q_c (MPa)	侧摩阻力 f_s (kPa)	承载力基本值 f_0 (kPa)	变形模量 E_0 (MPa)	压缩模量 E_s (MPa)
静力触探试验	淤泥	0.3 ~ 0.8	5.8 ~ 12.1	41 ~ 103	2.0 ~ 4.9	1.9 ~ 3.7
	淤泥质土	0.4 ~ 1.3	7.4 ~ 20.2	54 ~ 165	2.6 ~ 10.9	2.1 ~ 5.3
	淤泥夹砂	0.6 ~ 2.6	9.3 ~ 36.0	67 ~ 177	4.1 ~ 28.5	3.1 ~ 9.9

续表2

十字板剪切试验		原状土 C_u (kPa)	重塑土 C_u' (kPa)	灵敏度 S_t
	淤泥	16.4 ~ 45.8	3.8 ~ 9.8	3.6 ~ 8.6
	淤泥质土	22.2 ~ 65.1	4.2 ~ 16.8	3.8 ~ 7.7
	淤泥夹砂	21.0 ~ 58.6	4.1 ~ 14.2	3.6 ~ 7.6
旁压试验		旁压模量 E_m (MPa)	变形模量 E_0 (MPa)	地基土承载力特征值 f_{sk} (kPa)
	淤泥	1.7 ~ 3.1	6.6 ~ 12.6	88 ~ 163
	淤泥质土	1.1 ~ 5.5	3.4 ~ 15.2	90 ~ 175
	淤泥夹砂	1.1 ~ 5.6	3.7 ~ 12.9	101 ~ 161

静力触探试验所测得的三种软土的压缩模量与室内土工试验较接近，稍微偏高，因土样在取样、包装及运输过程中受到部分扰动，土的应力状态发生变化，使土的力学性质降低，而静力触探试验的试验对象是未扰动土，该土的应力状态未受到影响，因此静力触探试验较室内土工试验结果偏高，实际应用过程中可在此基础上进行适当折减，其中淤泥夹砂由于含砂量不均匀，所测得的结果变化范围较大，勘察过程应对淤泥夹砂进行颗分，含砂多则取大值，反之取小值。根据原位测试结果计算得淤泥地基承载力60kPa左右，淤泥质土与淤泥夹砂地基承载力100kPa左右，与地方规范^[3]附录D的经验值基本一致。

十字板剪切试验计算公式如下：

灵敏度：

$$S_t = C_u / C_u'$$

结果表明软土在未受到扰动前粘聚力一般大于20kPa，淤泥可小于20kPa，当受到扰动破坏后，软土的抗剪强度急剧下降，显示出软土具有触变性、高灵敏性，灵敏度约为4~7。

福州市区旁压试验测试手段较少使用，积累的经验

也较少，本工程旁压试验采用预钻式，通过表2可以看出，试验结果显示较其他原位测试方法偏高，尤其淤泥的试验结果差别更大。因预钻式旁压试验，成孔后软土应力状态改变，加之软土侧压力系数大，会发生缩孔现象，在试验前已经产生较大变形，试验过程要先抵消已产生的变形，因淤泥更软，试验过程较难区分抵消的变形与新发生的变形，因此试验结果差异较大。软土地区采用旁压试验应从以下两个方面考虑：

首选自钻式旁压试验；

条件不允许时，应以大量测试数据为基础，对比其他原位测试手段，建立不同原位测试结果之间的经验关系，结合地区经验最终确定软土的变形及强度参数。

4 软土工程特性分析

福州市区地下水位较高，土中孔隙基本被水充满，对于需要大面积处理软土的工程（如停车场），由于软土的弱透水性，软土的排水固结时间很长，应增加土体的排水通道或堆载重度，加快孔隙水压力消散速度，使软土加速固结，缩短工期。

絮凝结构的软土孔隙比大，灵敏度高，压缩性高，强度低，易变形，对于基坑工程，作用在围护结构上的

土压力较大,对围护结构的强度要求较高,从而会增加工程造价;同时高灵敏度的软土受施工扰动影响较大,易导致软土抗剪强度骤降,土体失稳,发生坑壁坍塌、地面沉陷等事故,此外软土还具有蠕变性,在剪应力作用下会发生缓慢而长久的剪切变形,对于工期较长的工程,不利于变形控制。软土地区的基坑工程,应加强围护结构的强度,采用复合地基加固坑底软土,分段开挖,尽量减小施工扰动,同时加强围护结构及周边建(构)筑物的位移监测。

软土地区桩基工程,桩侧易产生负摩阻力,作用在桩上的荷载增大,不利于沉降控制,且软土厚度的变化易产生不均匀沉降。目前,主要从桩身几何构造、软土地基本身、改善桩土界面特性以及施工质量等几个方面采取相应措施来消减桩侧表面负摩阻力。可在桩的承载力及稳定性满足要求的前提下,可尽量减小桩径、降低桩体刚度;采用沥青涂层以增加桩土界面的光滑程度;施工时采用合适的施桩顺序、施桩速度等。

隧道对沉降要求较严格,尤其是不均匀沉降,而软土孔隙比大、压缩性高、易变形,对线路工程影响很大,而地铁工程一般都在第四系地层中建设,需经常处理软土带来的问题。目前地铁一般采用盾构法施工,该方法能较好的适用软土地层,但在盾构机进出井端头位置需采用加固手段,对于淤泥类软土一般采用搅拌桩处理。由于软土的蠕变性,地铁运营过程,列车动荷载及周边新建工程的影响,尤其是未来城市地铁的立体化建设使得隧道纵向变形的大小及其不均匀性达到了不可忽略的程度,由此产生的后果为衬砌/管片附加应力增加,衬砌/管片变形、开裂,隧道发生漏水,国内对这方面的研究起步较晚,目前常见做法是通过注浆或搅拌桩加固已有建(构)筑物的周边地层,增强地基土的强度,减小地基土变形,但由于地铁为线路工程,沿线个别点的加固会导致与整体沉降不协调,产生差异沉降,短期内对地铁工程不会造成影响,但随着时间的推移,软土的

蠕变性逐渐表现出来,该影响会越来越明显,严重的会导致衬砌/管片开裂、轨道扭曲,目前这方面的研究较少,应作为今后研究的一个重点。

5 结论

5.1 福州市区软土大致可分为三类:淤泥、淤泥质土和淤泥夹砂。软土为絮凝结构,含水量高、密度低、孔隙比大(大于1.3)、液性指数基本大于1.0、灵敏度高、压缩性高、抗剪强度较低。

5.2 福州市区淤泥夹砂含砂量不均匀,透水性较其它两类软土高,不宜作为隔水层考虑。

5.3 由于室内土工试验的局限性,试验测定的软土状态与现场直观认识具有差异性,差异性来源于未扰动的软土具有一定的结构强度。

5.4 福州市区软土原位测试手段应以静力触探和十字板为主,旁压试验宜采用自钻式,或者在大量预钻式试验结果基础上,总结与其他原位测试结果的经验关系,消除因软土缩孔变形带来的影响。

5.5 软土的弱透水性不利于排水及预压固结,须增加土体中的排水通道;软土的低强度、高压缩性及蠕变性,使基坑工程围护结构上的土压力增大,坑底土体易隆起,地基土强度低、易变形;桩基工程易产生负摩阻力;隧道工程易产生不均匀沉降,特别是线路纵向变形对隧道衬砌以及轨道的影响应作为以后研究的重点。

参考文献

- [1]常士骝,张苏民.工程地质手册(第四版).北京:中国工业出版社,2008.88-123
- [2]公路工程名词术语.北京:水利水电出版社,1987.159-211
- [3]林琛.福州市区软土基本性质的研究[J].福建地质,2000(03):175-180.
- [4]廖少明,侯学渊.软土盾构法隧道设计与施工的最新研究进展[J].地下空间,1998(S1):406-412+454.