维普资讯 http://www.cqvip.com

江苏地质,25(2),106—110,2001

文章编号:1003-6474(2001)02-0106-05

江苏连云港地区滨海相软土地质特性研究❶

陈艺南[1],谈　清[2],殷红岩[3],潘华良[1]

(1.东南大学岩土工程研究所,江苏 南京 210096;2.南京建邺基础设施开发公司,江苏 南京 210026;3.南京民用建筑设计院,南京 江苏 210016)

摘要:根据江苏连云港地区大量的工程地质勘察资料,就该区软土层的成因类型、物理力学特性、室内试验问题、现场原位测试,特别是力学指标的确定进行了深入的探讨和分析,结果表明:室内试验确定连云港地区软土力学指标误差大,有些指标与实际误差在2倍以上,常难以把握。用十字板、CPT方法有较好的效果。

关键词:海积;冲海积;高液限粘土;十字板;CPT;力学指标;江苏连云港

中图分类号:TU411.3　　**文献标识码**:A

1 前　言

自然界的土体是由砂粒、粉粒与粘粒三种颗粒组成的混合体。软土是工程建设中遇到工程问题最多的一种土,我国各建筑行业对软土的定义各有不同,《建筑地基基础设计规范》GBJ7-89中软土为淤泥及淤泥质土,淤泥为在静水或缓慢的流水环境中沉积,并经生物化学作用形成、其天然含水量大于液限,天然孔隙比大于或等于1.5的粘性土,当天然孔隙比小于1.5但大于或等于1.0的土为淤泥质土;铁路工程设计手册《桥梁地基和基础》中软土为:在静水或缓慢的流水环境中沉积、经生物化学作用形成的饱和软弱粘性土,对软土的主要特征描述为:"天然含水量高(≥液限),孔隙比大(≥1.0),压缩系数高($>5(kPa)^{-1}$)",强度低($c<20kPa$,$\phi<5°$),渗透系数小($K=10^{-7}cm/s\sim10^{-8}cm/s$);人民交通出版社《铁路工程地质手册》中软土为含有大量亲水的胶体颗粒,具有海绵状结构,因此其孔隙比大、含水量高、透水性小、抗剪强度低、压缩性大;中国建筑工业出版社的《工程地质手册》中软土为天然含水量大、压缩性高、承载能力低的一种软塑到流塑状态的粘性土,如淤泥、淤泥质土以及其他高压缩性饱和粘性土、粉土等;《岩土工程勘察规范》(GB50021-94)中软土为天然孔隙比大于或等于1.0,且天然含水量大于液限的细粒土。

沿海软土的承载力通常是根据含水量确定,但由于软土性质复杂,取样易失水、易扰动,制样易扰动,试验有一定难度,规范中用含水量确定力学指标较单一,因含水量获取的精度有差异,软土的力学指标室内试验与原位测试结果不一致。有的甚至相差较大(2倍~3倍)。

本文根据连云港地区及地区高速公路岩土工程资料和工程实践,认为连云港软土随成因的不同可以划分出残坡积、冲海积、海积软土3种类型,不同成因类型的软土其各自的物理力学性质有所不同,工程设计中力学指标的选取应考虑到上述因素而有所区别。

因此建议在软土界定时考虑不同成因,在承载力及变形参数方面应加强原位试验,并以原位试验结果(如十字板,静力触探)来统一进行软土物理力学性质的确定。

2 连云港软土的类型及其物理力学性质

2.1 软土的类型及分布

连云港地区位于鲁中南丘陵与淮北平原的结合部,整个地势自西北向东南倾斜,平均海拔高度3m

收稿日期:2001-05-05;修订日期:2001-05-14;编辑:毕焚森

❶ 2001年3月,东南大学岩土工程研究所完成了《连徐高速公路连云港A1~A7标段软土地基加固设计与施工评价研究报告》,作者主持了其中的工程地质部分,此文为项目成果之一。

作者简介:陈艺南(1964—),男,广西陆川人,东南大学岩土工程研究所讲师、工程师。

维普资讯 http://www.cqvip.com

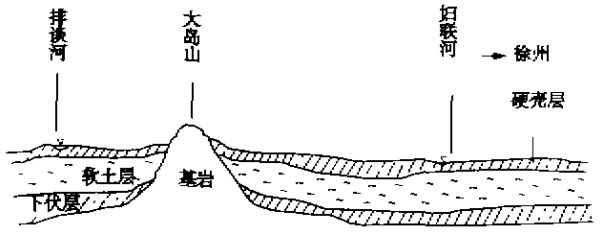


图 1　徐州至连云港工程地质纵断面示意图

~4m,在地质历史中广泛沉积了一套灰—灰绿色流塑淤泥及淤泥质粘土的软土,随着第四纪新构造运动、河流作用,海侵地质作用形成了一套广泛分布的典型的以海积作用为主,以冲海积、残坡积为辅的软土层。见图 1,随着原始地貌位置和沉积环境的不同,从龙山、虎山、大岛山的低山丘陵地区易形成残坡积的软土层;而在排淡河、妇联河地区形成冲海积的软土层;在广布的平原为海积的软土层。在不同类型的软土各具不同的野外特征,如残坡积软土分布多呈透镜体状态,没有层理构造,细粒含量相对较少;冲海积软土层,多见有粉土、粉砂薄层,具(水平交错)不规则交错层理,呈山楂薄饼状,同时夹层见有典型冲积形成的褐色粘土薄层,细粒含量中等;广泛分布的海积软土,灰—灰绿色,见有少量不规则交错层理,细粒含量较高。在野外根据地质单元、地貌特征和肉眼、手捻方法等易于区别和划分。

2.2　连云港软土总的物理力学性质及规律

图 2 系连云港主要海积(海相沉积)软土层的物理力学指标的统计图[2],其中,图 2(a)反映,软土层物理性质指标浅部(上部)(< 3m),有所变化,大于 3m,指标变化不大;图 2(b)反映,静力触探(CPT 试验)、十字板、无侧限抗压试验确定的力学指标明显随深度增加而增加、线性关系显著。

2.3　不同类型软土的物理力学性质

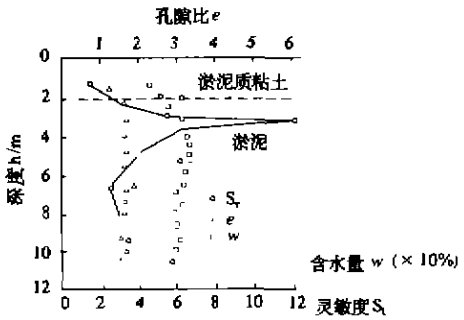
表 1 中列出了对不同成因类型软土的土工试验和现场原位试验数据的统计结果。

不论什么成因类型的软土,其结构性较差,在野外钻探取土和运输过程中极易扰动失水,钻探时孔壁易塌堵,难于采样,取上的土样多扰动失水,夹薄层粉砂,粉土土样振动水析现象严重,从而使室内试验结果失真。在以软土作为路堤持力层时,常由于施工方法不当软土的结构受扰动,而使工程失败或留下隐患,在高填方路堤的路肩坡角下,易产生软土地基的隆起,说明软土的变形稳定性差。

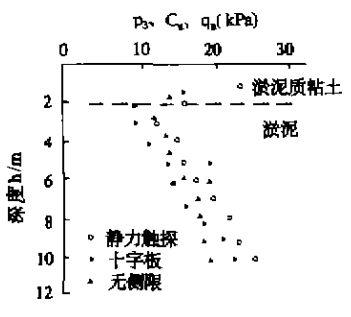
连云港软土与砂性土相比,它的渗透系数较小,对地基排水固结不利,剪切试验时,在竖向压力下比砂性土难于排水固结,快剪时的内部应力接近于总应力,因此会得到偏大的内摩擦角和内聚力 C_c。当夹粉砂、粉土时,得到的内摩擦角偏大更明显。

由于连云港地区软土夹粉土粉砂含水量高,现场钻孔取样多有失水,实验室打开样品时,样品盒底多有积水,可见严重失水。海积软土因粘粒含量高,失水量比残坡积、冲海积软土少。正是由于软土土工试验测得的含水量失真而偏低,从而使孔隙比也减少,测得的压缩指标 E_s 值偏大,即造成用含水量确定的承载力偏大,用 E_s 确定沉降变形比实际值偏小,因而用土工试验数据对连云港软土进行工程设计、变形验算会给工程留下安全隐患。如用含水量确定承载力,用土工 E_s 等变形指标计算路堤变形沉降一定要乘以修正系数,该系数有待大量工程实践总结。

若用原位测试静力触探(CPT 试验)、十字板确定连云港软土承载力、变形模量,则不论什么成因软土,都有较统一的结果[2]。



(a) e, w, S_t 分布图



(b) 综合强度分布图

图 2　连云港地区地层参数随深度的分布规律图

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 1 不同成因软土的物理力学性质

类型	项 目	ω(%)	e	S_r(%)	ω_L(%)	ω_p(%)	I_L	I_p	E_s(MPa)	q_c(MPa)	f_s(MPa)
Q_4^m 海积	范围值	55.0~81.8	1.584~2.305	94~100	36.45~62.3	21.18~44.40	1.45~2.55	15.27~35.9	0.85~2.12	0.16~0.39	0.0048~0.0082
	平均值(fm)	66.36	1.871	98.2	45.53	26.01	1.93	22.6	1.447	0.29	0.0064
	标准差(σf)	6.27	0.168	2.02	9.699	6.526	0.563	8.573	0.455	0.05	0.0008
	变异系数(δ)	0.094	0.089.9	0.020	0.213	0.251	0.292	0.379	0.315	0.171	0.127
	统计个数(n)	25	25	25	25	24	24	24	22	15	15
Q_4^m~Q_4^{al} 冲海积	范围值	45.8~85.8	1.510~2.398	95~100	35.51~55.6	19.9~34.68	1.12~2.49	12.96~32.7	0.96~1.84	0.19~0.23	0.0045~0.0073
	平均值(fm)	61.46	1.732	96.9	43.73	25.94	1.689	22.22	1.366	0.20	0.0063
	标准差(σf)	8.773	0.250	2.82	8.874	6.680	0.434	6.295	0.330	0.11	0.0015
	变异系数(δ)	0.143	0.144.4	0.030	0.203	0.258	0.257	0.283	0.241	0.180	0.245
	统计个数(n)	18	18	18	16	16	16	16	16	12	12
Q_4^{al}~Q_4^{el} 残坡积	范围值	54.2~77.5	1.510~2.260	97~100	32.3~65.1	22.0~47.9	1.10~2.30	14.0~39.5	0.79~1.93	0.18~0.34	0.0055~0.0074
	平均值(fm)	67.9	1.900	99.1	48.8	32.1	1.50	24.70	1.29	0.28	0.0066
	标准差(σf)	9.692	0.254	1.140	10.090	9.516	0.362	8.469	0.373	0.050	0.0006
	变异系数(δ)	0.143	0.137	0.010	0.207	0.297	0.236	0.342	0.288.4	0.180	0.085.5
	统计个数(n)	21	21	21	21	21	21	21	21	10	10

表 2 f_0 表

天然含水量 ω(%)	36	40	45	50	55	65	75	85
静力触探 q_c(MPa)	0.87	0.78	0.69	0.51	0.42	0.33	0.24	0.19
f_0(kPa)	100	90	80	70	60	50	40	20

根据对不同成因连云港软土样品进行原位测试统计，结合《建筑地基基础设计规范》GBJ7-89 附录五、沿海地区淤泥和淤泥质土承载力基本值表，应综合考虑原位测试静力触探 q_c 值。根据对连云港地区 100 组静探及 30 组十字板剪切试验统计，得到表 3 用天然含水量 ω 和静探锥尖侧摩阻力 q_c 来综合确定 f_0。

将上表与《建筑地基基础设计规范》GBJ7-89 附表 5-5 相比，确定了高含水量 75%、85%，沿海软土的承载力，同时考虑高含水量软土取样，测试的失真，增加了原位测试方法确定软土承载力，增加了连云港软土力学指标正确判断的可靠度。

就软土的状态，由于液限试验对软土的局限，用液性指数 I_L 来划分状态、不能正确反映软土的真实性质，如室内试验得软土样的压缩系数 $a_{1-2}=2.89MPa^{-1}$，$E_{s(1-2)}=1.00MPa$，说明这一软土样工程性质很差，但天然含水量小于高液限值，$I_L<1$，划分为软塑状态，显然不太合适。为此《南京地基基础设计规范》DB32/112-95 提出按第一指标天然含水量和第二指标压缩模量来确定软土地基承载力，但由于室内试验对含水量、孔隙比、压缩模量因失水而失真，所以我们认为还是用原位测试来判断确定为好。

关于利用静力触探估算软土的不排水抗剪强度。软土的不排水抗剪强度 C_u 是建筑地基、路基稳定性和承载力计算中一个非常重要的指标，国内外常用十字板剪切试验获得饱和软土的抗剪强度 C_u 值，但十字板试验不能获得连续的试验数据，而且还受设备和场地条件的限制，因此在连云港岩土工勘资料中我们用双桥探头锥尖阻力 q_c 与十字板强度 C_u 建立了如下关系：

$$C_u=0.053\,8q_c \quad (q_c<600kPa)$$

由于现场十字板的剪切速率比室内不排水剪的剪切速率快得多，且连云港软土多含薄层粉砂、粉土，因此结果偏高，所以上式应按 0.85~0.90 折减。

2.4 不同类型软土的颗粒含量分析

表 3 为连云港地区的残坡积、冲海积、海积软土的粘粒、粉粒、砂粒含量。从表中可以看出连云港地区海积、冲海积成因的软土，其粘粒(<0.005mm)含量均超过 50%，有些高达 70%以上；残坡积成因的软土相对较低，只有 30%~40%，有些样低于 30%，而粉粒含量高达 65%以上。这就决定了连云港不同成因的软土有其差异性。

连云港软土高液限($\omega_L=50\%\sim65\%$)，高塑性($I_p=22.0\sim39.5$)，一般海积软土 60%以上的粒组是粘粒(<0.005m)，冲海积软土 50%以上的粒组是粘粒(<0.005m)，其比表面积大，毛细现象活跃、缓慢。而海积、冲海积软土粉粒含量在 30%~40%，砂粒含量较低均小于 10%；残坡积软土与海积、冲海积软土粒度组成上显著不同，40%以下的粒组是粘粒(<0.005m)，粉粒含量在大于 65%，砂粒含量较低均小于 2%。因海积、冲海积软土和残坡积软土三种成因软土极不均匀，导致塑限试验时，塑限离

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 3　连云港地区海积、冲海积、残坡积软土颗分表[1]

（单位：%）

土　名	成因	砂粒 0.25mm～0.074mm	粉粒 0.074mm～0.005mm	粘度 <0.005mm
Q_4^m	海积	2.90	37.10	60.00
		4.50	35.40	60.10
		1.40	32.00	66.60
		2.30	25.90	71.80
$Q_4^m \sim Q_4^{al}$	冲海积	9.70	34.00	56.30
		4.40	41.80	53.80
		3.80	42.80	53.40
		2.80	44.20	53.00
$Q_4^{dl} \sim Q_4^{el}$	残坡积	1.00	84.50	14.50
		0.70	65.00	34.30
		1.70	74.30	24.00
		0.30	65.30	34.40

①表 3 各成因土的四组数据为连云港地区四个相同成因区段的统计资料（即相同成因工程地质单位统计资料）

散性大，在进行液限试验时，因粘粒含量高，圆锥沉入在 15 秒内不能稳定，测得的含水量离散性也很大，试验误差明显增大，可比性差。因而塑限、液限、塑限指数、液性指数多呈高的变异性，都不宜作为评价软土的工程性质的指标。

连云港地区的冲海积、海积软土的高粘粒含量，表现出高液限，颗粒比表面积大，颗粒带电明显，结合水膜厚，孔隙大，从而表现出连云港地区软土具有高含水量、高液限、低密度、低强度、高压缩性、低透水性，高灵敏度的特点。同时由于该区软土中夹薄层粉土粉砂的不规则性，表现出多数物理力学指标的离散性和不确定性的一面。

上述特点与其成因密切相关。残坡积软土与地形地貌、母岩相关，冲海积的形成与一次性雨量的大小、山洪的大小及内陆河流作用有关，而冲海积、海积的形成主要与海侵的时间规模、静水环境密切相关，这一点上连云港与长江三角洲（如上海）和江苏南京的漫滩相沉积为主的软土有较大的区别。

从前面分析可见，目前对软土用天然含水量，或天然含水量、压缩模量双指标来对连云港地区软土进行力学指标评判，因取样、试验的失真，使得在实际操作中难于把握。[1]与[4]确定力学指标的依据显然在统计的样品中没有包括连云港地区的高液限软土，特别是高含水量（含水量 > 75%）的软土，而且软土的成因类型考虑的也较少。

3　结束语

软土是一种具有特殊工程性质的土类，其物理力学指标、成因类型的微变都对工程建筑有较大的不良影响。现行规范均把软土作为一个独立的土类进行规定，对工程实践有重要的指导作用。但由于软土的成因复杂，钻探取样困难，运输和室内制样扰动大，常使其物理力学指标失真。本文通过对连云港地区不同成因类型的软土的室内和现场原位测试结果的分析，强调应以现场原位试验（如双桥静力触探 CPT 试验）来确定其工程力学性质，将更符合工程实际。同时给出了相应的建议，供参考。

从现行规范中软土的力学指标确定看，目前按室内试验的天然含水量，压缩模量确定工程设计指标值较难把握，特别是高液限、高含水量无法应用规范，矛盾较大，因此按现行规范还应对高液限、高含水量、高压缩性、不同成因类型的软土进行深入的研究。

参考文献：

[1] GBJ7－89，建筑地基基础设计规范[S].

[2] 赵九斋.连云港软土路基沉降研究[J].岩土工程学报，2000，(6).

[3] 蒋振雄，刘松玉，方磊.论我国高等级公路建设的主要岩土工程问题[J].东南大学学报，2000，(6).

[4] DB32/112－95，南京地区地基基础设计规范[S].

[5] 钱家欢，殷宗泽.土工原理与计算[M].北京：中国水利水电出版社，1996.

[6] GB50021－94，岩土工程勘察规范[S].

维普资讯 http://www.cqvip.com

Study on the Geological Characteristics of Soft Soil in Littoral Facies, Lianyungang, Jiangsu

CHEN Yi-nan[1], TAN Qing[2], YIN Hong-yan[3], PAN Hua-liang[1]

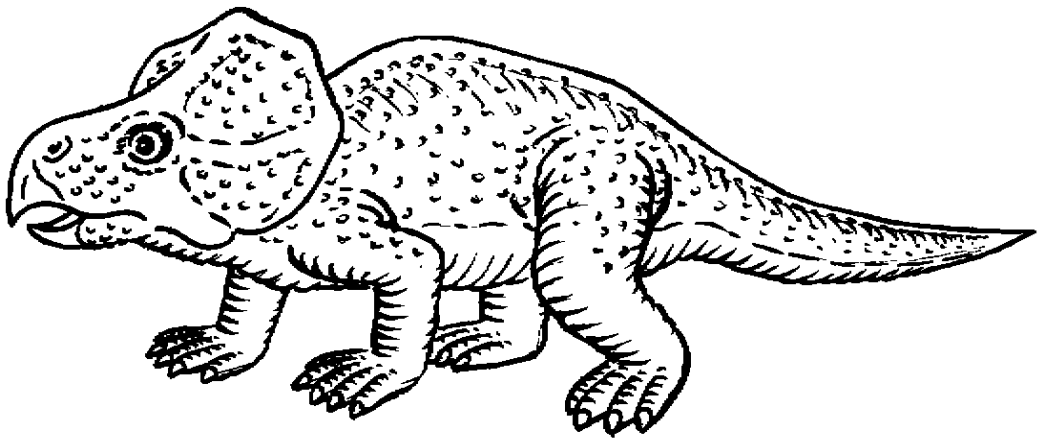
(1. Geo-technical Engineering Institute, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. Infrastructure Development Company of Jianye District, Nanjing 210026, China; 3. Nanjing Civil Architecture Design Institute, Nanjing 210016, China)

Abstract: Based on a great number of investigation information on engineering geology, the authors make discussions and analyses on the genetic types, physical and mechanical characteristics, inside experiment, site test of original locality and the determination of mechanical criteria in particular in the studied region. The results demonstrate that the inside experiment makes a big error in determining the mechanical criteria of the soft soil in the region of Lianyungang and the error for some of the criteria with the reality is over twice, the handling is usually difficult. The effects produced by cross panel and CPT method are better.

Keywords: Marine sedimentation; Alluvial marine sedimentation; Soil of high liquid limit; Cross panel; CPT; Mechanical criterion; Liangyungang, Jiangsu

华夏龙谱(19)

——安氏原角龙(*Protoceratops andrewsi Granger et Gregory*, 1923)



1921 年～1930 年间,美国纽约自然历史博物馆馆长 H.F.Osborn 派 C.Andrews 率队到中国寻找人类起源发祥地。后来将搜寻区缩小到宁夏、甘肃、河北、内蒙古及蒙古,虽未找到人类化石,但却找到大量恐龙化石。其中一种发现于蒙古戈壁巴音札克盆地"焰崖"上白垩统下部牙达赫达组红色砂岩的四足行走鸟臀类恐龙化石,常大小多只个体连同蛋化石被成窝埋藏。经研究认为是一种原始的角龙类,为表彰考察队长 Andrews,特命名为安氏原角龙。这种以植物为食的恐龙化石在内蒙古乌拉特旗及宁夏额齐纳旗等地也有发现。1988 年,中国加拿大恐龙考察队在内蒙古包音满达呼上白垩统下部发掘出 20 多件不同年龄的原角龙头骨、3 副较完整骨架、几窝蛋及迄今最小的胚胎化石。这种恐龙可能为避沙漠恶劣气候而掘穴群居哺育幼雏,故有时会连同巢穴被沙暴埋葬使化石常成窝保存。

特征:体长 1.5m～5m,头骨长 0.4m～0.5m,高而尖的钩形喙嘴。牙齿 3 尖形,适于咬断植物茎叶。鳞骨与顶骨向后扩张形成宽大颈盾,雄性的颈盾比雌性的更发达。眼眶孔大,松果孔小。肩胛骨细长,荐部窄长,肠骨上边缘甚直。四肢粗壮,前肢比后肢短,胫骨以股骨长,股骨有第 3 突起,脚掌宽厚,趾端有爪形蹄,适于沙上行走。

分布:宁夏、内蒙古及蒙古晚白垩世早期沙漠绿洲。

(钱迈平)