维普资讯 http://www.cqvip.com

连云港软土工程特性初探

陈艺南 潘华良 刘松玉 缪林昌
（东南大学岩土工程研究所）

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，总结了我国沿海地区高速公路软土地基出现的地质灾害多是因为软土层纵横断面厚薄分布不均、勘测过程中现场及室内试验提供的设计指标与实际差异过大等综合因素造成。综合对比我国沿海地区高速公路软土地基地质灾害，总结出高速公路软土地基勘测应选用合理的手段，提出勘测设计指标的确定应以十字板、CPT现场试验为准。

关键词 海积 冲海积 高液限黏土 十字板 CPT

1 前言

我国各行业对软土的定义有所不同。《建筑地基基础设计规范》（GBJ7—89）中软土为淤泥及淤泥质土；交通部的《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》（JTJ017—96）中软土为滨海、湖沼、谷地、河滩沉积的天然含水量高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低的细粒土；《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（淤泥及淤泥质土）的承载力室内试验确定主要是根据含水量，但由于软土性质复杂，取样易失水、易扰动、制样也易扰动，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（2～3倍）。

2 连云港软土的类型及物理力学性质

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3～4 m，在地质历史中广泛沉积了一层灰—灰绿色流塑淤泥及淤泥质黏土的软土，随着第四纪新构造运动、河流作用、海侵地质作用形成了一层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；而在以排谈河、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

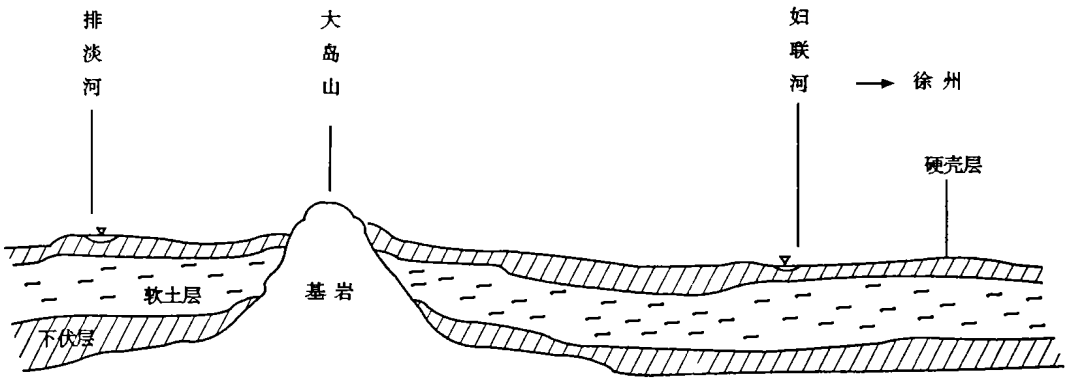


图1 徐州—连云港工程地质纵断面示意图

维普资讯 http://www.cqvip.com

土层。不同类型的软土各具有野外特征，如残坡积软土分布多呈透镜体状态特点，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黏土薄层，细粒含量中等；广泛分布的海积软土，灰一灰绿色，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

根据连云港主要海积（海相沉积）的软土层的物理力学指标的统计图，见图 2，可知：软土层物理性质指标浅部（上部）（< 3 m），有所变化，大于 3 m，物理指标变化不大，力学指标呈明显的线性关系；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。

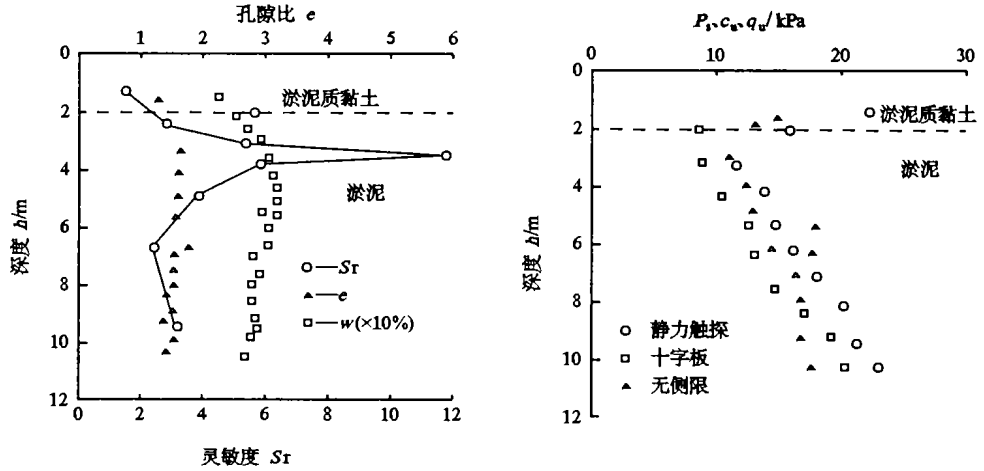


图 2 连云港地区地层参数随深度的分布规律图

2.3 不同类型软土的物理力学性质

根据对不同成因类型软土的土工试验和现场原位试验，经统计软土的物理力学性质见表 1。

不论什么成因类型的软土，其结构性较差，在野外钻探取土样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。实验室打开样品时，样品盒底多有积水，失水严重。海积软土因黏粒含量高，失水量比残坡积、冲海积软土少。正是由于软土试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，因而用土试数据对该区软土进行工程设计、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。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，在高填方路堤的坡脚下，易产生软土地基的隆起；说明软土的变形稳定性差。

该区软土渗透系数较小，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凝聚力 c。当夹粉砂、粉土时，得到的内摩擦角偏大更明显。

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。

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 组静探统计。得到表 2 用天然含水量 w 和静探锥尖侧摩阻力 q_c综合确定 f_0。

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 1 连云港地区软土的物理力学性质表

类型	项目	w/%	e	w_L/%	w_c/%	I_L	I_p	E_s/MPa	q_c/MPa	f_s/MPa
Q_4^m 海积	范围值	55.00 ~ 81.80	1.584 ~ 2.305	36.45 ~ 62.30	21.18 ~ 44.40	1.45 ~ 2.55	15.27 ~ 35.90	0.85 ~ 2.12	0.16 ~ 0.39	0.004 8 ~ 0.008 2
	平均值 (f_m)	66.36	1.871	45.53	26.01	1.93	22.60	1.447	0.29	0.006 4
	标准差 (δ_f)	6.27	0.168	9.699	6.526	0.563	8.573	0.455	0.05	0.000 8
	变异系数 (δ)	0.094	0.089 9	0.213	0.251	0.292	0.379	0.315	0.171	0.127
	统计个数 (n)	25	25	25	24	24	24	22	15	15
Q_4^m ~ Q_4^{al} 冲海积	范围值	45.80 ~ 85.80	1.510 ~ 2.398	35.51 ~ 55.60	19.90 ~ 34.68	1.12 ~ 2.49	12.96 ~ 32.70	0.96 ~ 1.84	0.19 ~ 0.23	0.004 5 ~ 0.007 3
	平均值 (f_m)	61.46	1.732	43.73	25.94	1.689	22.22	1.366	0.20	0.006 3
	标准差 (δ_f)	8.773	0.250	8.874	6.680	0.434	6.295	0.330	0.11	0.001 5
	变异系数 (δ)	0.143	0.144 4	0.203	0.258	0.257	0.283	0.241	0.180	0.245
	统计个数 (n)	18	18	16	16	16	16	16	12	12
Q_4^{dl} ~ Q_4^{el} 残坡积	范围值	54.20 ~ 77.50	1.510 ~ 2.260	32.30 ~ 65.10	22.00 ~ 47.90	1.10 ~ 2.30	14.00 ~ 39.50	0.79 ~ 1.93	0.18 ~ 0.34	0.005 5 ~ 0.007 4
	平均值 (f_m)	67.90	1.900	48.80	32.10	1.50	24.70	1.29	0.28	0.006 6
	标准差 (δ_f)	9.692	0.254	10.09	9.516	0.362	8.469	0.373	0.050	0.000 6
	变异系数 (δ)	0.143	0.137	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	10	10

表 2 连云港地区软土承载力基本值

天然含水量 w/%	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

将表 2 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} = 2.89 MPa^{-1}，E_{s1-2} = 1.00 MPa，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》（DB 32/112 – 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：

$$c_u = 0.0538\ q_c \qquad (q_c < 600\ \text{kPa})$$

维普资讯 http://www.cqvip.com

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、海积软土的黏粒、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，其黏粒含量（< 0.005 mm）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%，有些试样低于 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（w_L = 50% ~ 65%）、高塑性（I_p = 22.0 ~ 39.5），一般海积软土 60% 以上的粒组是黏粒（< 0.005 m），冲海积软土 50% 以上的粒组是黏粒（< 0.005 m），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% 以下的粒组是黏粒（< 0.005 m），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，塑限离散性大，在进行液限试验时，因黏粒含量高，圆锥沉入在 15 mm 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。

表 3 连云港地区海积、冲海积、残坡积软土颗分表

成　　因	砂粒/% (0.250 ~ 0.074 mm)	粉粒/% (0.074 ~ 0.005 mm)	黏粒/% (< 0.005 mm)
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 ~ 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} ~ 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

连云港地区的冲海积、海积软土的高黏粒含量，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。

我们认为这与其成因密切相关，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。《建筑地基基础设计规范》（GBJ7—89）与《南京地基基础设计规范》（DB32/112 - 95）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，特别是高含水量的软土（> 75%），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

维普资讯 http://www.cqvip.com

强夯法加固大宇水泥公司日照港内铁路地基的应用

李德柱
（铁道第三勘察设计院地路处）

摘　要　叙述对早期建港填海的人工填筑土及人工吹填淤泥，采用填土挤淤及强夯处理效果，复合地基承载力满足设计要求，计算影响深度修正系数为 0.6～0.7。

关键词　人工填筑土　强夯　标贯试验

1　概述

大宇水泥（山东）有限公司日照工厂港内铁路配套工程，线路在港内铁路整备场接轨，全长 3.66 km，地层为 20 世纪 80 年代初建港时填海形成的人工填筑土（花岗岩风化物）及人工吹填的淤泥，其中淤泥分布长约 1.5 km，厚度大，呈流塑状态。线路末端 1.7 km 长左侧 10 m 为防波堤及防浪墙，墙高 3.2 m。根据地质、地形条件，最初设计为碎石桩、分层回填碾压及强夯等地基处理方案，经过技术经济比较，并结合现场的实际情况，最后采用了淤泥地段填土挤淤，然后全部采用强夯的方案。

2　工程地质条件

属滨海浅海地区，20 世纪 80 年代初修建港口时经人工填海改造而成，地形平坦，局部地表低洼积水。地表出露人工堆积层，为吹填的淤泥质砂黏土和填筑土；下伏第四系全新统沉积层和燕山期花岗岩。吹填的淤泥质砂黏土和填筑土于填筑过程中形成互层。

人工填筑土：黄褐色，松散，潮湿—饱和，为花岗岩风化物，呈砂砾状，厚 0～14.1 m，标准贯入试验击数 $N_{63.5}=4\sim9$ 击。

吹填土：淤泥质砂黏土，灰黑色，流塑，局部夹碎石，厚 1.5～16.8 m。各项物理力学指标如表 1。

表 1　吹填土物理力学指标

	含水量 ω/%	重度 r/（kN·m^{-3}）	孔隙比 e	压缩系数 a/MPa^{-1}	凝聚力 c/kPa	内摩擦角 φ/（°）	有机质含量/%
最小值	32.0	16.6	0.760	0.440			
最大值	93.9	19.2	1.601	2.324			
推荐值	71.0	17.4	1.300	0.939	3	3	9.6

3　设计计算

此段路基填高 2～5 m，对于淤泥质土地基地段，首先采用填土（粗粒砂—花岗岩风化物）挤淤的措施，使地表形成大于 5 m 的硬层，其范围为路堤坡脚外 10 m。根据地质条件及路基对地基的要求，采用强夯法对地基进行加固处理。经计算，采用锤重 100 kN，落距 10.0 m，夯点间距 3.5 m，有效影响深度 5～6 m，加固后地基承载力可达到 150 kPa。

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。

收稿日期：2001—07—11