



鱼山海域不同埋深厚层软弱土的 工程地质特点

陈刘浩，吴朝东，高晓兵

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司，上海 200032)

摘要：结合鱼山海域工程勘察成果，采用数理统计的方法，对鱼山海域浅表部广泛发育的厚层软土层的纵向、横向工程地质特点进行分段分析、比对，探讨厚层软土层在不同埋深条件下的物理力学性质的变异性，并揭示其随埋深的变化规律，为判别厚层软土的工程地质特点和确定地基处理的范围、深度及地基加固工艺提供技术参考。分析结果表明：随着埋深条件的变化，厚层软土的工程地质性质存在一定的变化，且底部比顶部的工程地质性质更好。

关键词：鱼山海域；厚层软土；工程地质特点；变异性；埋深

中图分类号：TU 4；U 652

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2021)05-0151-04

Engineering geological characteristics of thick soft soil under different buried depths offshore in the Yushan area

CHEN Liu-hao, WU Chao-dong, GAO Xiao-bing

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: Based on engineering examples offshore in the Yushan area and geotechnical engineering investigation results, in view of the variability of the vertical and horizontal engineering geological characteristics of the thick soft soil layer widely developed in the shallow part of the Yushan offshore, we carry out segmented analysis and comparison by the method of mathematical statistics, probe into the variability of the physical and mechanical properties under different buried depths and reveals its variation law with the buried depth, to provide technical reference for identification of the engineering geological characteristics of thick soft soil and determination of the scope and depth of foundation treatment, and foundation reinforcement technology. The analysis results show that with the change of the buried depth, the engineering geological property of thick soft soils changes, and the engineering geological property at the bottom are better than that at the top.

Keywords: the Yushan sea area; thick soft soil; engineering geological characteristic; variability; buried depth

鱼山地区位于舟山群岛西北部，距岱山本岛8.0 km。西临杭州湾，东临太平洋，北与上海国际航运中心洋山深水港区相毗邻。地理位置优越，一方面背靠长三角经济带，有着广袤的经济腹地；另一方面与亚太地区的众多港口呈扇形辐射之势。

工程上常将软土^[1-2]细分为淤泥质土、淤泥、泥炭质土和泥炭等，具有天然含水率高、天然孔隙比大、压缩性好、抗剪强度低、固结系数小、固结时间长、灵敏度高、扰动性大、透水性差、土层层状分布复杂、各层之间物理力学性质相差较大等特点。

文渊^[3]在收集舟山地区大量工程勘察报告的基础上,结合舟山地区整体实际,对软土的土性参数概率特征进行了比较细致的统计与研究。由于鱼山地区的独特地理位置以及地质发展环境,区域内广泛沉积了以软黏性土、淤泥、淤泥质土为代表的深厚软土,而很少有文献资料对本区域内软土的纵向、横向工程地质特点进行研究。为此,本文采用统计学的方法对区域内的软土土性参数进行统计分析,重点研究常用土性参数的变异性^[4],为类似工程在基础设计、地基处理等方面提供技术支持。

1 研究概况

根据鱼山地区海域若干岩土工程勘察项目的勘察资料可知,该地区第四纪海相沉积的软土层

叠加厚度一般大于 30.0 m,主要为灰黄色-灰色淤泥、灰色淤泥质粉质黏土、灰色粉质黏土,局部呈黏性土混粉细砂状,或被厚度分布不均匀的粉细砂层分成若干层。本文按软土层整体埋深的揭露情况,分第 1 段(<10.0 m)、第 2 段(10.0~20.0)、第 3 段(20.0~30.0 m)、第 4 段(>30.0 m)等区段,分别统计各区段天然含水率、天然密度、塑性指数 3 个物理指标和压缩系数、压缩模量、直剪固结快剪强度指标值 3 个力学指标^[5-7]以及各区段的原位测试成果(野外实测标贯击数^[8])的平均值、标准值、变异系数,然后对各区段土性参数的相关特性进行对比分析。

2 各区段软土层指标横向分析比对

各区段软土层统计指标^[9-10]分布情况见表 1。

表 1 土工试验指标

分段	统计项目	含水率	天然密度	塑性指数	压缩系数	压缩模量	直剪固结快剪	
		w/%	$\rho_m / (\text{t} \cdot \text{m}^{-3})$	I_p	$a_{0.1-0.2} / \text{MPa}^{-1}$	$E_{s_{0.1-0.2}} / \text{MPa}$	黏聚力 C/kPa	内摩擦角 $\phi/(^\circ)$
第 1 段	最大值	57.0	1.86	21.9	1.64	5.2	13.0	26.0
	最小值	32.4	1.61	10.2	0.40	1.5	10.0	13.0
	平均值	44.8	1.73	13.8	0.95	2.6	11.2	20.3
	标准值	43.7	1.72	13.4	0.87	2.4	11.0	19.0
	标准差	6.16	0.06	2.32	0.31	0.86	0.54	3.77
	变异系数	0.14	0.03	0.17	0.33	0.32	0.05	0.19
	修正系数	0.98	0.99	0.97	0.92	0.92	0.98	0.94
	统计数量/个	96	78	96	67	67	27	27
第 2 段	最大值	54.3	1.84	23.1	1.57	5.2	15.0	27.0
	最小值	32.2	1.63	10.2	0.40	1.5	10.0	9.0
	平均值	45.1	1.71	16.2	0.78	3.2	12.2	19.0
	标准值	43.9	1.70	15.4	0.72	3.0	11.8	17.2
	标准差	5.76	0.05	3.40	0.27	0.96	1.25	4.84
	变异系数	0.13	0.03	0.21	0.35	0.30	0.10	0.26
	修正系数	0.97	0.99	0.96	0.93	0.94	0.96	0.91
	统计数量/个	66	64	66	50	50	24	24
第 3 段	最大值	52.0	1.88	22.5	1.25	6.0	18.0	25.0
	最小值	29.5	1.60	10.6	0.35	1.9	11.0	9.0
	平均值	41.5	1.74	16.2	0.69	3.4	13.7	16.5
	标准值	40.5	1.73	15.6	0.65	3.2	13.1	15.2
	标准差	5.05	0.05	3.12	0.20	0.85	1.72	4.45
	变异系数	0.12	0.03	0.19	0.29	0.25	0.13	0.27
	修正系数	0.97	0.99	0.96	0.94	0.94	0.96	0.92
	统计数量/个	69	69	69	58	58	31	31

续表1

分段	统计项目	含水率 w/%	天然密度 $\rho_m/(t \cdot m^{-3})$	塑性指数 I_p	压缩系数 $a_{0.1-0.2}/MPa^{-1}$	压缩模量 $E_{s_{0.1-0.2}}/MPa$	直剪固结快剪	
							黏聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$
第4段	最大值	52.2	1.84	26.7	0.95	6.6	21.0	25.0
	最小值	30.4	1.64	10.8	0.32	2.5	13.0	11.0
	平均值	41.2	1.73	17.0	0.58	4.1	16.2	18.0
	标准值	39.8	1.72	15.9	0.54	3.9	15.3	16.4
	标准差	6.04	0.05	4.57	0.17	1.09	2.55	4.57
	变异系数	0.15	0.03	0.27	0.30	0.26	0.16	0.25
	修正系数	0.97	0.99	0.94	0.93	0.94	0.94	0.91
	统计数量/个	59	59	56	56	56	24	24

根据各区段软土层的物理力学性质及标贯击数的横向统计结果可知: 同一区段, 软土指标参数变异系数变化范围普遍较小, 物理指标的变异系数比力学指标的变异系数低, 天然密度的变异系数一般最小, 压缩系数的变异系数一般最大, 而含水率、塑性指数和直剪固结快剪指标的变化程度不明显。另外, 由于鱼山海域厚层软土层在横向

发育的均匀性存在差异, 局部层内揭示粉细砂薄夹层较多, 导致部分指标(如标贯击数等)的离散性较大。

3 各区段软土层指标纵向分析对比

各区段软土层原位测试成果(标贯击数)对比见表2。各区段软土层指标标准值对比见表3。

表2 原位测试成果

分段	统计数量/个	标贯击数 $N/\text{击}$			标准差	变异系数	修正系数	标准值/击
		最大值	最小值	平均值				
第1段	492	4.0	0.5	0.6	0.45	0.71	0.95	0.6
第2段	421	6.0	0.5	1.4	1.10	0.81	0.93	1.3
第3段	489	8.0	0.5	2.4	1.40	0.59	0.95	2.3
第4段	260	9.0	1.0	4.5	1.76	0.39	0.96	4.3

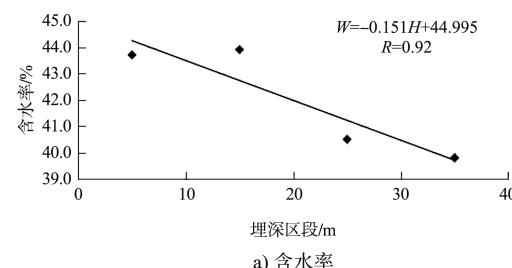
注: 为方便统计, 将野外实测标贯击数中 <1 击者按0.5击计。

表3 各区段软土层指标标准值

分段	含水率 w/%	天然密度 $\rho_m/(t \cdot m^{-3})$	塑性指数 I_p	压缩系数 $a_{0.1-0.2}/MPa^{-1}$	压缩模量 $E_{s_{0.1-0.2}}/MPa$	直剪固结快剪		标贯击数 $N/\text{击}$
						黏聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	
第1段	43.7	1.72	13.4	0.87	2.4	11.0	19.0	0.6
第2段	43.9	1.70	15.4	0.72	3.0	11.8	17.2	1.3
第3段	40.5	1.73	15.6	0.65	3.2	13.1	15.2	2.3
第4段	39.8	1.72	15.9	0.54	3.9	15.3	16.4	4.3

对表3的数据进行线性回归趋势拟合^[11], 得到线性相关系数 R 。

各区段软土层指标标准值散点图及线性相关系数见图1。



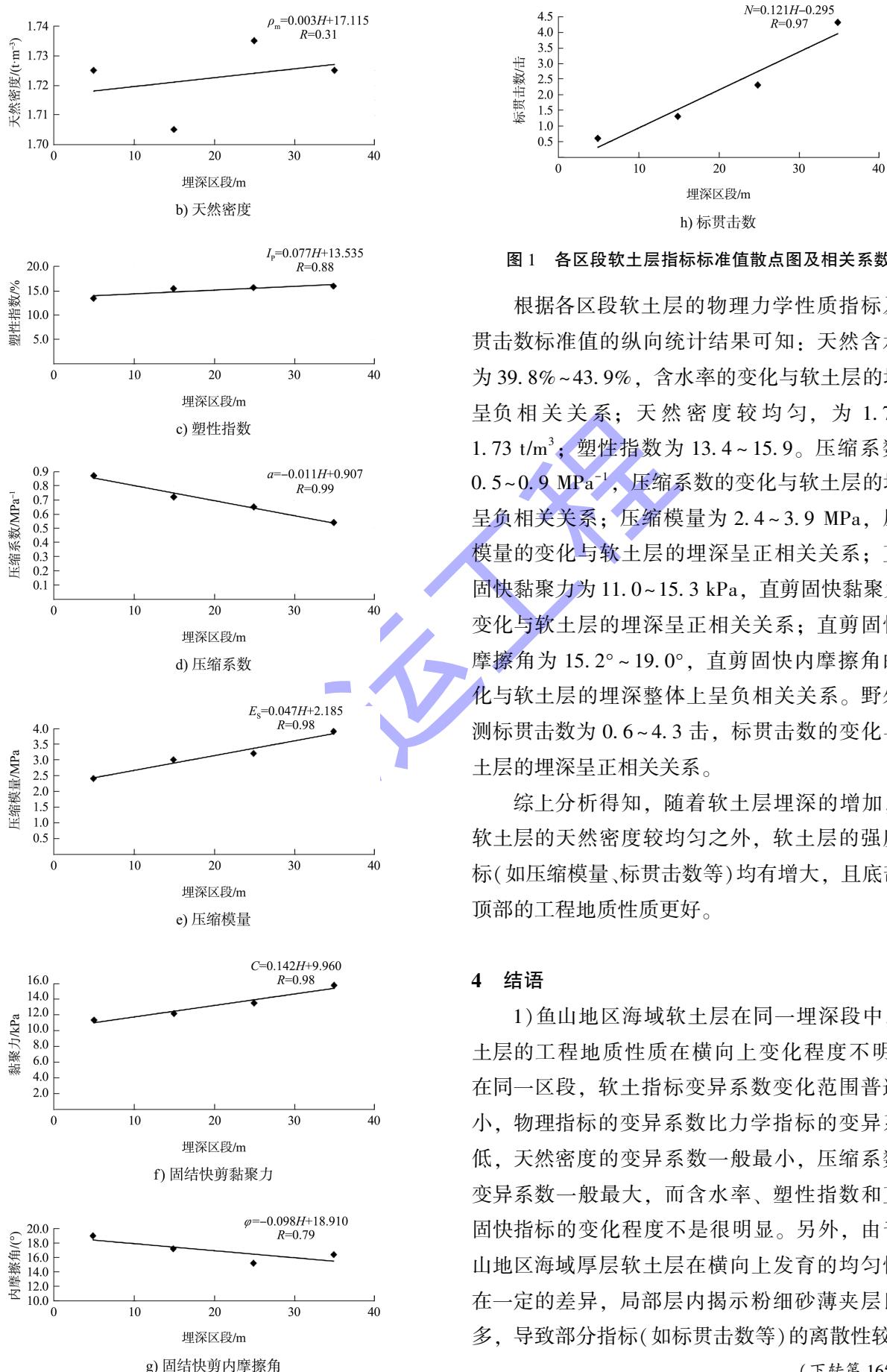


图 1 各区段软土层指标标准值散点图及相关系数

根据各区段软土层的物理力学性质指标及标贯击数标准值的纵向统计结果可知：天然含水率为 39.8%~43.9%，含水率的变化与软土层的埋深呈负相关关系；天然密度较均匀，为 1.70~1.73 t/m³；塑性指数为 13.4~15.9。压缩系数为 0.5~0.9 MPa⁻¹，压缩系数的变化与软土层的埋深呈负相关关系；压缩模量为 2.4~3.9 MPa，压缩模量的变化与软土层的埋深呈正相关关系；直剪固快黏聚力为 11.0~15.3 kPa，直剪固快黏聚力的变化与软土层的埋深呈正相关关系；直剪固快内摩擦角为 15.2°~19.0°，直剪固快内摩擦角的变化与软土层的埋深整体上呈负相关关系。野外实测标贯击数为 0.6~4.3 击，标贯击数的变化与软土层的埋深呈正相关关系。

综上分析得知，随着软土层埋深的增加，除软土层的天然密度较均匀之外，软土层的强度指标(如压缩模量、标贯击数等)均有增大，且底部比顶部的工程地质性质更好。

4 结语

1) 鱼山地区海域软土层在同一埋深段中，软土层的工程地质性质在横向上变化程度不明显。在同一区段，软土指标变异系数变化范围普遍较小，物理指标的变异系数比力学指标的变异系数低，天然密度的变异系数一般最小，压缩系数的变异系数一般最大，而含水率、塑性指数和直剪固快指标的变化程度不是很明显。另外，由于鱼山地区海域厚层软土层在横向上发育的均匀性存在一定的差异，局部层内揭示粉细砂薄夹层比较多，导致部分指标(如标贯击数等)的离散性较大。