

## · 地质勘察 ·



## 鱼山海域软土分布特性及其地基处理方法

顾敏智, 赵树光

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 为评价鱼山岛海域软土发育特性, 进行软弱黏性土层的物理力学性质指标及其空间分布发育特征研究。通过分析其附近海域大量的钻探、十字板剪切试验和土工试验等资料, 得知鱼山海域软土主要为夹较多粉砂薄层的淤泥质粉质黏土层, 其厚度及埋深均由山前冲洪积地带向滨海地带逐渐变大。同时, 提出鱼山地区软土地基处理的方法。

**关键词:** 软土; 力学性质; 分布发育特征; 地基处理

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)05-0146-05

**Soft soil distribution characteristics and ground treatment in the Yushan sea area**

GU Min-zhi, ZHAO Shu-guang

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

**Abstract:** To evaluate the characteristics of soft soil in the Yushan Island sea area, we research the physical and mechanical property indices and spatial distribution development characteristics of soft clay layer based on the analysis of a large number of investigation data from the drilling, vane shear test and geotechnical test data in the sea area near Yushan Island, and conclude that soft soils in the Yushan Island sea area are mainly silty, powdery clay layers interspersed with thin layers of more chalky sand, and its thickness and depth of burial gradually increase from the pre-hill alluvial zone to the coastal zone. Meanwhile, we propose the soft ground treatment method in the Yushan area.

**Keywords:** soft soil; mechanical property; distribution development characteristics; ground treatment

鱼山岛位于舟山市岱山县附近海域, 属于滨海地带和山前冲洪积地带地貌。根据舟山区域地质资料<sup>[1]</sup>, 舟山海域软土广泛分布, 土性主要为淤泥质粉质黏土, 具有强度低、压缩性好、灵敏度高等特点, 工程地质性质极差, 发育厚度最大约 50.0 m<sup>[2]</sup>。因鱼山海域前期勘察资料较少, 为了对该区域软土的发育特性作系统评价, 本文通过钻探取样、标贯试验、十字板剪切试验和室内土工试验等方法, 对鱼山海域软土的成因、分布特征及物理力学性质进行探讨和分析, 获取相关参数。

**1 区域地质及软土成因****1.1 区域地质****1.1.1 地质构造**

鱼山岛隶属舟山群岛, 在大地构造上处于浙闽隆起区的中段, 区域内未发现活动断裂带。

**1.1.2 地震及区域稳定性**

鱼山地区地震动峰值加速度为 0.1g, 地震基本烈度为 7 度。自 1523 年以来发生的地震最高震级为 4.75 级(镇海), 其余均小于 4 级。总体而言, 鱼山地区地震活动少、震级小, 场地基本稳定。

### 1.1.3 岩土层

鱼山海域以中生代火山岩系为基础, 其上部沉积了厚度数十至数百米的新生代沉积物。第四纪沉积层厚度受新构造运动和基岩原始地形的控制, 变化极大。滨海平原区分布的沉积物以海相为主, 山麓沟谷处以陆相为主, 近山坡处以坡积为主, 沟谷处以冲洪积为主<sup>[3]</sup>。

### 1.2 软土成因

鱼山地区第四纪沉积物成因类型较复杂, 邻近海域较为发育的软土层总体上属于第四纪冰川影响下形成的海相沉积, 由于古气候冷暖交替变化, 引起海退海侵, 沉积了很厚的饱和软黏性土和粉砂性土等。

## 2 软土的空间分布特征

通过对 2015—2019 年在鱼山海域完成的约 700 个钻孔资料的分析可知, 鱼山海域软土极其发

育, 且直接裸露于海底, 下部地层岩性以第四纪海相沉积粉质黏土为主。软土层底板埋深发育特征基本与鱼山海域基岩顶板埋深一致, 总体表现为由鱼山岛山前冲洪积地带向滨海地带逐渐变大的趋势<sup>[4]</sup>。

### 2.1 软土层底板埋深

图 1 为鱼山附近海域软土③<sub>2</sub>淤泥质粉质黏土层底板等值线图。由图 1 可知, 鱼山海域软土层③<sub>2</sub>淤泥质粉质黏土底板埋深一般由山前冲洪积地带-9.0~ -4.0 m 逐渐过渡到滨海地带-48.0~-20.0 m 左右。总体来说, 鱼山东侧海域软土层底板埋深普遍大于鱼山西侧海域。其中, 东侧海域滨海地带软土层底板埋深一般为-45.0~-35.0 m; 西侧一般为-30.0~-20.0 m。软土底板埋深较大的区域有 2 个, 分别分布在鱼山西北侧海域(埋深为-48.0~-40.0 m) 和鱼山东南侧海域(埋深为-45.0~-40.0 m)。



图 1 鱼山附近海域③<sub>2</sub>层底板等值线 (单位: m)

## 2.2 软土层发育厚度

图 2 为鱼山附近海域③<sub>2</sub>淤泥质粉质黏土层发育厚度的等值线图。由图 2 可知, 鱼山海域软土层③<sub>2</sub>淤泥质粉质黏土发育厚度一般由山前冲洪积地带 4.0~7.0 m 逐渐过渡到滨海地带 20.0~42.0 m。总体来说, 鱼山东侧海域软土层发育厚度较西侧大。

其中, 东侧海域滨海地带软土层发育厚度一般为 20.0~30.0 m; 西侧一般为 30.0~40.0 m。软土发育厚度较大的区域主要有 2 个, 分别分布在鱼山西北侧海域(厚 38.0~42.0 m)和鱼山东南侧海域(厚 36.0~38.0 m)。

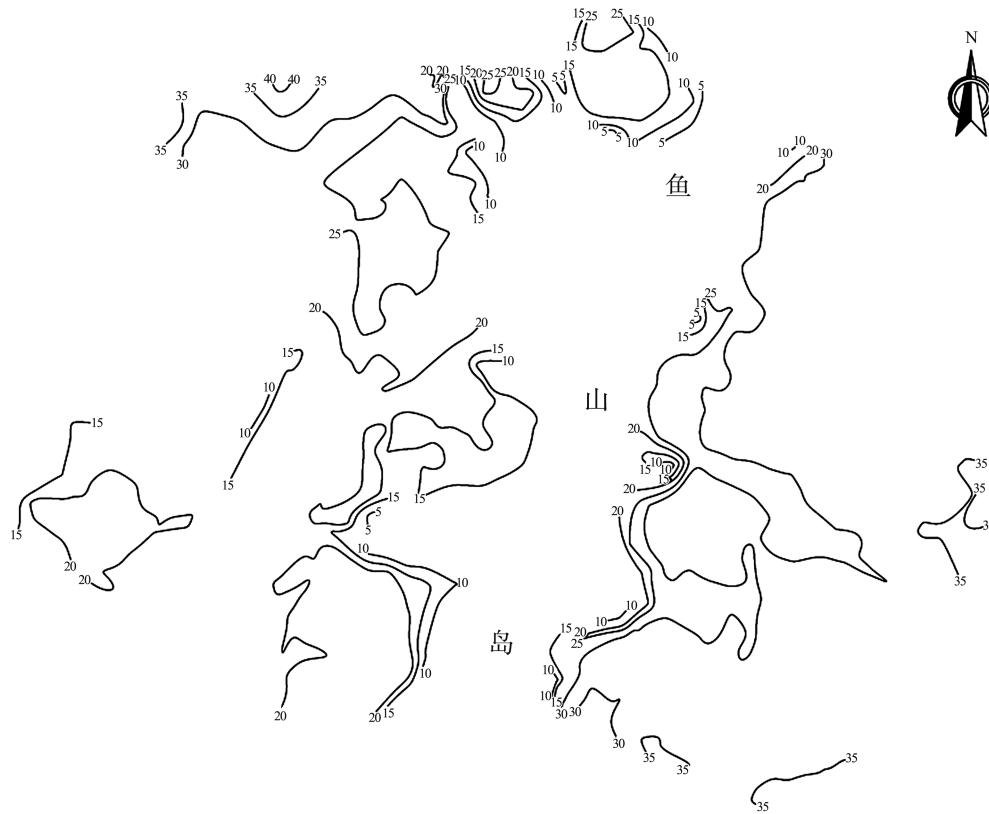


图 2 鱼山附近海域③<sub>2</sub>发育厚度等值线 (单位: m)

## 3 软土的物理力学性质

基于约 900 个工程地质钻孔、40 个十字板剪切试验孔和采用水压式薄壁取土器采集的约 3 000 个高质量原状土样, 获得鱼山海域软土的各项物理力学指标, 具有充分的代表性。因部分区域软土层厚度较大, 自上而下物理力学性质存在差异, 故以高程-25.0 m 为界, 分上、下 2 层进行统计, 结果见表 1。

该地区以淤泥质粉质黏土为主, 局部区域表层 1.0~2.0 m 为淤泥, 呈灰色、饱和、流塑-软塑, 夹有粉砂薄层, 局部呈互层状, 其土质不均

匀, 含水量大、压缩性高、地基承载力低。因普遍夹有较密实的粉砂层, 导致部分固快或快剪内摩擦角指标、十字板剪切试验指标偏大。通过计算, 并结合当地经验得知, 该区软土承载力特征值  $f_{ak}$  在 50~70 kPa, 根据抗震规范对 7 度地区的要求,  $f_{ak} < 70$  kPa 的软土应该考虑震陷的可能性, 并宜采用室内三轴试验和 H. B. Seed 简化方法加以判定。因此, 在该区进行工程建设时, 需要进行震陷分析。根据前期研究资料, 舟山海相有机质残体的质量百分比含量为 0.05%~1.00%, 海相软土所含主要离子包括 Si、Al、K、Fe、Na、Mg、Ca<sup>[5]</sup>。

表1 鱼山海域软土物理力学指标

高程	值别	天然	天然	比重	天然	塑性	液性	压缩	压缩	前期固结压力	压缩指数	渗透系数	
		含水率	密度		孔隙比	指数	指数	系数	模量			垂直向 $K_v$ / $(10^{-7} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1})$	水平向 $K_h$ / $(10^{-7} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1})$
$\geq 25 \text{ m}$	最小值	40.1	1.69	2.72	1.034	11.7	1.27	0.68	2.0	63.0	0.349	2.80	5.60
	最大值	51.0	1.90	2.74	1.349	16.0	1.85	1.22	3.1	159.0	0.640	6.00	9.70
	平均值	44.0	1.77	2.72	1.176	13.6	1.53	0.87	2.5	113.0	0.449	4.20	7.51
$< 25 \text{ m}$	最小值	36.3	1.67	2.72	1.028	12.3	1.13	0.68	2.3	63.0	0.349	2.80	5.60
	最大值	46.1	1.85	2.74	1.330	16.8	1.51	1.06	3.1	159.0	0.640	6.00	9.70
	平均值	41.3	1.75	2.72	1.166	14.9	1.27	0.81	2.7	113.0	0.449	4.20	7.51
高程	值别	直剪固快		直剪快剪		三轴不固结不排水			十字板剪切强度			标准贯入击数	
		内摩擦角 $\varphi_{eq}/(^\circ)$	黏聚力 $C_{eq}/\text{kPa}$	内摩擦角 $\varphi_q/(^\circ)$	黏聚力 $C_q/\text{kPa}$	内摩擦角 $\varphi_u/(^\circ)$	黏聚力 $C_u/\text{kPa}$	原状 $q_u/\text{kPa}$	重塑 $q'_u/\text{kPa}$	灵敏度 $S_t$			
	最小值	12.0	11.0	6.0	12.0	0.0	10.0	14.2	7.9	1.8		<1	
	最大值	21.0	12.0	10.0	14.0	0.0	28.0	33.3	15.6	2.1		4	
	平均值	16.3	11.3	8.2	12.8	0.0	16.5	20.2	10.6	1.9		2	
	最小值	13.0	12.0	8.0	12.0	0.0	12.0	16.0	10.1	1.6		2	
	最大值	19.0	14.0	12.0	15.0	0.0	31.0	36.9	18.9	2.0		7	
	平均值	16.8	13.0	8.9	13.5	0.0	19.0	23.8	13.2	1.8		4	

由表1可知, ③<sub>2</sub>淤泥质粉质黏土层-25.0 m以下主要物理指标天然含水率平均值比-25.0 m以上低6%左右; 主要力学指标十字板剪切强度、三轴不固结不排水强度指标分别提高18%、15%左右。总体上, 由上至下物理力学性质呈逐渐变好的趋势。

#### 4 特殊性岩土评价

鱼山海域软土具有压缩性强、强度低、灵敏度高的特点, 一般不能满足建筑物对地基承载力的要求。

钻孔灌注桩在鱼山地区应用较广泛, 由于区内软土具有触变和流变性, 在成桩时极易发生缩径, 从而导致桩径变小, 影响桩身完整性及单桩承载力。

随着上部荷载的增加, 软土地基沉降的速度会越来越大, 从而对陆域形成或海堤工程的稳定性产生较大的影响; 同时, 由于软土层往往夹杂大量的砂粒成分, 各区域软土力学性质存在差异, 软土地基沉降速率及沉降量不一致, 从而导致地基的稳定性较差。

#### 5 软土地基处理方法

根据国内外经验, 鱼山海域软土地基处理手

段主要有换填法、爆破排淤填石法、排水固结法等多种成熟的处理手段。

1)换填法: 软土层埋藏浅且厚度小区域, 如鱼山岛山前冲洪积地带, 软弱厚度一般为4.0~7.0 m, 可采用换填法, 以砂石、灰土和矿渣等强度较高的材料置换软土层, 形成复合地基, 是十分经济、有效的办法。

2)排水固结法: 软土地基强度低、含水率高、孔隙比大。为解决陆域形成后软土地基的沉降和稳定性问题, 往往要求软土在荷载作用下充分排水, 使软土的天然强度随固结逐渐提高。由于软土的渗透性差, 常需要为加速排水固结而采取措施。该区域软土夹杂较多粉砂薄层, 具有一定的层理构造, 为水平渗流提供了良好的条件, 有利于土层横向排水固结, 同时在软土中设置砂井、袋装砂井、塑料排水板等纵向排水通道, 可加速地基排水固结的速率。

3)爆破排淤填石法: 针对鱼山海域软土发育厚度普遍较大的特性, 海堤软基处理可采用沿海地区比较成熟的爆破排淤填石法, 根据国内外软土地基处理的理论研究和工程实践资料, 可采用多排爆炸排淤填石置换方案。

4)桩基础: 对荷载大、沉降限制严格的建筑

物, 宜采用桩基础, 以达到减少沉降量或差异沉降的目的。

## 6 结论

1) 鱼山海域软土主要为淤泥质粉质黏土, 局部区域表部为淤泥, 局部粉砂薄层含量较高, 呈互层状, 属于海相沉积构造。

2) 鱼山海域软土直接揭露于泥面, 底板埋深由山前冲洪积地带-9.0~-4.0 m 逐渐过渡到滨海地带-48.0~-20.0 m; 厚度由山前冲洪积地带4.0~7.0 m 逐渐过渡到滨海地带 20.0~42.0 m。东侧埋深、厚度普遍大于西侧。

3) 在鱼山地区软土发育区段进行工程建设时, 可采用换填、爆破排淤填石、排水固结等方法进行地基处理。

(上接第 55 页)

2) 对最大累计沉降量进行 5% 的修正后, 推算的总沉降量在 1 500 mm 左右, 推算固结度在 70%~80%。推算的总沉降量仍略小于理论计算的总沉降量。分析认为, 理论计算时, 对于排水未打穿的粉质黏土层, 按照完全固结计算其最终沉降量。但在实际沉降发展过程中, 因为板下区没有排水通道, 导致板下区土层沉降发展的时间非常缓慢, 这也导致用双曲线法反算总沉降量时, 这部分沉降难以被体现出来<sup>[4-6]</sup>。

## 8 结语

1) 采用塑料排水板+堆载预压法处理深厚软土地基的方法, 能在堆载期消除大部分的土体沉降。

2) 土体的沉降收敛的时间受制于塑料排水板的排水效率, 对于深厚软土地基来说, 一定深度以下的塑料排水板的排水效率迅速衰减, 导致固结速率落后于理论计算的速率。

3) 对于塑料排水板未打穿的土层, 由于没有排水板作为排水通道, 孔隙水压力难以消散, 沉降发展得非常缓慢。用双曲线法结合实测资料反

## 参考文献:

- [1] 胡荣荣, 金立权, 陈国军. 浙江省岱山县地质灾害发育特征及其控制因素[J]. 地质灾害与环境保护, 2013, 24(2): 26-29.
- [2] 吴钧. 舟山地区工程地质条件及勘察中的若干问题[J]. 浙江建筑, 2009, 26(6): 43-45.
- [3] 汪豫忠. 舟山群岛地区的地质构造背景[J]. 华南地震, 1995, 15(1): 55-61.
- [4] 吴朝东, 顾敏智, 陈凯, 等. 鱼山工程一~三期岩土工程勘察报告[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2016—2019.
- [5] 汪明元, 单治钢, 王亚军, 等. 应变控制下舟山岱山海相软土动弹性模量及阻尼比试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(7): 1503-1512.

(本文编辑 郭雪珍)

算最终沉降量时应对这部分沉降进行修正。此部分沉降发生以及收敛的时间, 仍需要更进一步的实测资料进行分析验证。

## 参考文献:

- [1] 中交天津港湾工程研究院有限公司. 港口工程地基规范: JTS 147-1—2010[S]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- [2] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [3] 孙昊月, 王清, 林坚民, 等. 双曲线法和指数曲线法推算软土地基沉降量的准确性比较[J]. 煤炭技术, 2010, 29(1): 167-170.
- [4] 阮春生. 大乌龟岛至颤珠山岛海堤沉降分析[J]. 水运工程, 2008(10): 170-175.
- [5] 耿雪玉, 吕顺, 于洁. 基于真空-堆载联合预压法的未打穿竖井地基固结分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(10): 2151-2155.
- [6] 孙常青, 饶锡保, 王月香. 沉降观测曲线的拟合和最终沉降量的确定[J]. 长江科学院院报, 2002(5): 58-61.

(本文编辑 王璁)