

舟山城市海岸防潮堤工程地质研究

杨永鹏

(浙江省水利水电勘测设计院, 浙江 杭州 310002)

摘要: 通过舟山城市防洪工程防潮堤地基工程地质条件研究, 分析研究舟山定海—沈家门一线海岸防潮堤工程场区范围内Ⅱ层淤泥质软土特征层位的分布规律及其土层工程地质特性, 对防潮堤的地基处理、施工设计等提供工程地质参数。

关键词: 工程地质研究; 土层特性; 分布规律; 舟山海岸防潮堤

中图分类号: P753 P642

文献标识码: A

文章编号: 1671-1211(2008)S3-0113-04

0 前言

舟山市城市防潮堤工程位于舟山市定海老塘山—沈家门东港塘一线海岸, 防潮堤总长约 60 km。海岸上部分布的Ⅱ层淤泥质软土具有含水量高、压缩性高、高灵敏度、承载力低、土质松软等工程地质特性, 作为工程建设中的主要地基软土层, 其水平、垂直方向的变化, 对建筑物的整体布置、地基处理方式起着较大影响。通过舟山城市防潮堤工程地质条件研究, 分析防潮堤地基土层工程地质特征, 分布规律, 对舟山定海—沈家门一线海岸工程场区范围内地基土层的分布及其物理力学性质, 进行工程地质条件评述, 为防潮堤的地基处理、施工设计等提供工程地质参数。

1 区域地质概况

舟山海岛位于浙江省东北部, 处于长江、钱塘江、甬江出海交汇处的海域, 属于海岛丘陵地貌。沿海分布有大小不一的海积平原和广阔的滩涂。

舟山海岛属浙东南陆相火山岩区, 出露地层为侏罗系上统(J_3)火山碎屑岩系, 划分为高坞组(J_{3g})流纹质晶屑熔结凝灰岩或流纹质晶屑玻屑凝灰岩; 西山头组(J_{3x})流纹质含角砾玻屑熔结凝灰岩、流纹质玻屑凝灰岩与深灰色流纹质晶屑玻屑凝灰岩或熔结凝灰岩互层, 间夹沉凝灰岩、粉砂质泥岩、凝灰质粉砂岩等; 茶湾组(J_{3c})凝灰质粉砂岩、沉凝灰岩夹玻屑凝灰岩、玻屑凝灰岩夹凝灰质粉砂岩等; 九里坪组(J_{3j})岩性为紫红色流纹斑岩。白垩系下统馆头组(K_{1g}): 下部为紫红色凝灰质含砾砂岩、凝灰质粉砂岩、粉砂岩等, 上部为流纹质含角砾晶屑玻屑熔结凝灰岩, 零星分布, 厚度大

于 516 m^[1]。

第四系上更新统冲洪积、坡洪积(Q_3)灰黄—棕色含泥砂砾石及含砾粉质粘土, 分布于河流的阶地上, 厚度 3~10 m; 全新统海积(mQ_4)灰色—青灰色淤泥质粘土、砂质粘土, 分布于沿海平原地带, 厚度 8~20 m; 全新统冲积—冲洪积($al-pQ_4$)浅灰色—褐黄色粉砂土、粉质粘土夹碎砾石, 分布于山麓沟口、溪谷中, 厚度 5~10 m。

工程区位于浙闽粤沿海燕山期火山活动带北段, 浙东南褶皱带丽水—宁波隆起的北部, 镇海—温州北北东向大断裂带从西部海域通过, 昌化—定海东西向断裂带位于工程区以北, 形成了以北东向断裂为主, 北西向和南北向断裂相辅的断裂基本格架。

工程区位于慈溪—定海地震带内, 七十年代以来地震活动性有活跃趋势, 区域稳定性资料分析属于基本稳定区。根据“中国地震动参数区划图(1/400万)”($GB18306-2001$), 舟山本岛地震动峰值加速度为 0.1 g, 场地地震动反应谱特征周期基岩 0.35 s, 软土为 0.65 s。

2 土体工程地质特性

组成防潮堤基土层自地表 15~20 m 以浅主要划分为三个工程地质层, 上部为(I层)人工填土, 防潮堤基底高程以下普遍分布(Ⅱ层)淤泥质软土、(Ⅲ层)粉质粘土、粘土, 部分地段为粉质粘土夹碎石、砂等, 从上至下简述如下:

I层人工填土(μQ)上部为含碎石粉质粘土, 下部为粉质粘土。

I₁为含碎石粉质粘土, 灰黄色, 可塑, 普遍分布, 在村镇附近多为杂填土, 结构松散, 土质不均, 厚度 1.05~5.10 m。

I₂为粉质粘土,灰黄色,可塑,普遍分布,土质不均,顶板高程 2 30 m,厚度 0~2 00 m。土层物理力学指标: $W=28.2\% \sim 28.8\%$; $r=19.4 \sim 19.7 \text{ kN/m}^3$; $e=0.77 \sim 0.81$; $a_v=0.33 \sim 0.36 \text{ MPa}^{-1}$; $E_s=4.90 \sim 5.20 \text{ MPa}$ $q_{快剪}=10.6 \sim 27.9 \text{ kPa}$ $\phi_{快剪}=6.8^\circ \sim 13.3^\circ$; 静探 $P_s=0.5 \sim 1.2 \text{ MPa}$ $f_k=100 \text{ kPa}$

II层淤泥质粉质粘土 (mQ_4^2),局部夹淤泥或粉土透镜体。青灰—灰黑色,饱和,流塑—软塑,鳞片状构造,高含水量,高压缩性,低强度,顶板高程 0.83 ~ -1.30 m,土层厚 4.00 ~ 11.00 m。土层物理力学指标: $W=33.6\% \sim 57.5\%$; $r=17.1 \sim 19.7 \text{ kN/m}^3$; $e=0.80 \sim 1.54$; $a_v=0.20 \sim 1.44 \text{ MPa}^{-1}$; $E_s=1.60 \sim 5.40 \text{ MPa}$ $q_{快剪}=1.1 \sim 10.7 \text{ kPa}$ $\phi_{快剪}=2.3^\circ \sim 22.3^\circ$; $q_{固快}=2.5 \sim 11.4 \text{ kPa}$ $\phi_{固快}=12.5^\circ \sim 24.8^\circ$; 静探 $P_s=0.3 \sim 0.5 \text{ MPa}$ $C_u=18.0 \sim 24.1 \text{ kPa}$ $f_k=60 \sim 80 \text{ kPa}$

II_{si}淤泥,灰—灰黑色,饱和,流塑,具高压缩性,低强度,在盐河海塘西段揭露,顶板高程 -5.13 ~ -8.63 m,土层厚度 0~3.50 m。土层物理力学指标: $W=57.0\% \sim 60.0\%$; $r=17.0 \sim 17.2 \text{ kN/m}^3$; $e=1.53 \sim 1.56$; $a_v=1.64 \sim 1.88 \text{ MPa}^{-1}$; $E_s=1.2 \sim 1.4 \text{ MPa}$ $q_{快剪}=4.7 \text{ kPa}$ $\phi_{快剪}=8.1^\circ$; $q_{固快}=2.3 \sim 13.4 \text{ kPa}$ $\phi_{固快}=10.5^\circ \sim 18.0^\circ$; 静探 $P_s=0.3 \text{ MPa}$ $C_u=8.7 \sim 15.3 \text{ kPa}$ $f_k=50 \sim 60 \text{ kPa}$

III层粉质粘土、粘土 ($al-Q_4^1$),黄褐—灰黄色,湿,可塑—硬塑,含水量有铁锰质及氧化物斑点,土质较好。在沈家门一带为粉质粘土夹碎石、砂。顶板高程 -4.00 ~ -7.84 m,土层厚度 2.00 ~ 7.00 m。土层物理力学指标: $W=22.4\% \sim 27.4\%$; $r=19.2 \sim 20.6 \text{ kN/m}^3$; $e=0.62 \sim 0.80$; $a_v=0.12 \sim 2.10 \text{ MPa}^{-1}$; $E_s=5.7 \sim 13.8 \text{ MPa}$ $q_{快剪}=6.4 \sim 61.7 \text{ kPa}$ $\phi_{快剪}=2.4^\circ \sim 23.0^\circ$; $f_k=120 \text{ kPa}$

表 1 防潮堤基土层性质变化对比表

| 分段位置 | I 层 | II 层 | III 层 |
|-----------|--------------|------------------|----------------------|
| 海口闸—鸭蛋山码头 | 含碎石粉质粘土 | 淤泥质粉质粘土、淤泥 | |
| 竹山门—客运码头 | 含碎石粉质粘土、粉质粘土 | 淤泥质粉质粘土 | 粉质粘土 |
| 尖山岗嘴—鳌头浦闸 | 含碎石粉质粘土 | 淤泥质粉质粘土 | 粉质粘土 |
| 洋螺塘—司前塘段 | 粉质粘土 | 淤泥质粉质粘土 | 粉质粘土 |
| 煤气公司段 | | 淤泥质粉质粘土 | 粉质粘土、粉质粘土 |
| 沈家门中弄塘段 | 粉质粘土 | 淤泥质粉质粘土、淤泥粘土、粉土 | |
| 沈家门一期—三期段 | | 淤泥质粘质粉土 | 粘质粉土夹碎石、粉质粘土夹碎石、粉质粘土 |
| 东港一期开发区段 | | 淤泥质粉质粘土、淤泥、淤泥质粘土 | 粉质粘土 |

3 防潮堤各段堤基工程地质条件

各段防潮堤沿线均分布第四系全新统海积—冲海积层,组成防潮堤基土层自地表 15~20 m 以浅主要划分为三个工程地质层,各段防潮堤堤基工程地质条件分述如下:

3.1 盐河海塘西段(海口闸—鸭蛋山码头)段

3.1.1 工程地质条件

组成防潮堤基土层主要划分为两个工程地质层,上部为(I层)人工填土,防潮堤基底高程以下普遍分布(II层)淤泥质软土。

I层人工填土(Q)含碎石粉质粘土,黄褐—灰黄色,湿—稍湿,可塑—硬可塑,土质不均匀,土层厚度 0.7~1.05 m。

II淤泥质粉质粘土(mQ_4^2),青灰色,饱和,流塑—软塑,鳞片状构造,土质差,顶板高程 0.52~0.82 m,

土层厚度 $\geq 10 \text{ m}$ 。

II_{si}淤泥(mQ_4^2),青灰色,饱和,流塑,鳞片状构造,土质差,顶板高程 -2.78 ~ -5.13 m,土层厚 3.5~4.4 m。

3.1.2 工程地质评价

I层含碎石粉质粘土,厚度 0.7~1.05 m,土质不均匀,如采用天然地基,应对下卧软土层进行沉降、稳定计算;II层淤泥质粘性土为高含水量,高压缩性,低强度的软土,工程地质条件差,为控制防潮堤基抗滑和变形的土层,应进行地基处理。本段浅部未见良好的桩基持力层。

3.2 定海竹青二期海塘西段(竹山门—客运码头)段

3.2.1 工程地质条件

组成防潮堤基土层主要划分为三个工程地质层,上部为(I层)人工填土,防潮堤基底高程以下普遍分布(II层)淤泥质软土和(III层)粉质粘土。

(1) I层人工填土(Q),上部为含碎石粉质粘土,下部为粉质粘土。I₁层含碎石粉质粘土,黄褐—

灰黄色, 湿—稍湿, 可塑—硬可塑, 土质不均匀, 土层厚度 1.2~2.0 m。I₂ 层粉质粘土, 黄褐—灰黄色, 湿—稍湿, 可塑—硬可塑状, 土质较好。土层厚度 0.8~2.0 m。

(2) II 淤泥质粉质粘土 (mQ₄²), 青灰色, 饱和, 流塑—软塑, 鳞片状构造, 高含水量, 高压缩性, 低强度, 顶板高程 0.08~0.16 m, 土层厚 10.8~≥11.0 m。

(3) II 层粉质粘土 (al-Q₄¹), 黄褐—灰黄色, 稍湿, 硬可塑, 含铁锰质及氧化物斑点, 土质较好。本次勘探在 JK2 孔中揭露, 顶板高程 -10.64 m, 土层厚度 ≥1.5 m。

3.2.2 工程地质评价

I 层含碎石粉质粘土, 厚度 0.8~2.0 m, 土质不均匀, 如采用天然地基, 应对下卧软土层进行沉降、稳定计算; II 层淤泥质粘性土为高含水量, 高压缩性, 低强度的软土, 工程地质条件差, 为控制防潮堤基抗滑和变形的土层, 应进行地基处理。II 层粉质粘土, 为中低压缩性, 工程地质条件较好, 是建筑物的桩基持力层, 但顶板埋藏较深, 一般 ≥13~15 m, 土层厚度待进一步查明。

3.3 十六门海塘(尖山岗嘴—鳌头浦闸)段

3.3.1 工程地质条件

组成防潮堤基土层主要划分为三个工程地质层, 上部为 (I 层) 人工填土, 防潮堤基底高程以下普遍分布 (II 层) 淤泥质软土、(III 层) 粉质粘土。下伏基岩为侏罗系上统高坞组 (J₃g) 含角砾破屑熔结凝灰岩。

(1) I 层人工填土 (rQ) 含碎石粉质粘土, 黄褐—灰黄色, 湿—稍湿, 可塑—硬可塑, 土质不均匀, 土层厚度 2.25~4.00 m。

(2) II 淤泥质粉质粘土 (mQ₄²), 青灰色, 饱和, 流塑—软塑, 鳞片状构造, 高含水量, 高压缩性, 低强度, 顶板高程 0.77~-1.00 m, 土层厚 4.0~5.75 m。

(3) III 层粉质粘土 (al-Q₄¹), 黄褐—灰黄色, 稍湿, 硬可塑, 含水量有铁锰质及氧化物斑点, 土质较好。顶板高程 -4.98~-5.00 m, 土层厚度 ≥5.33 m。

下伏基岩为侏罗系上统高坞组 (J₃g) 含角砾破屑熔结凝灰岩, 新鲜岩石致密坚硬、块状, 强风化厚度 ≥2.0 m。

3.3.2 工程地质评价

I 层含碎石粉质粘土, 厚度 2.25~4.00 m, 土质不均匀, 如采用天然地基, 应对下卧软土层进行沉降、稳定计算; II 层淤泥质粉质粘土为高含水量, 高压缩性, 低强度的软土, 工程地质条件差, 为控制防潮堤基抗滑和变形的土层, 应进行地基处理。II 层粉质粘土, 为中低压缩性, 工程地质条件较好, 可作为建筑物的桩基持力层; III 层和强风化凝灰岩均可作为建筑物的桩基持力层。

3.4 洋螺塘—司前塘段

3.4.1 工程地质条件

组成防潮堤基土层主要划分为三个工程地质层,

上部为 (I 层) 人工填土, 防潮堤基底高程以下普遍分布 (II 层) 淤泥质软土、(III 层) 粉质粘土。

(1) I 层人工填土 (rQ), 上部为含碎石粉质粘土, 下部为粉质粘土。I₁ 层含碎石粉质粘土, 黄褐—灰黄色, 湿—稍湿, 可塑—硬可塑, 土质较好, 土层厚度 1.0~1.5 m。I₂ 层粉质粘土, 黄褐—灰黄色, 湿—很湿, 可塑—软塑状, 土质较好, 土层厚度 0.5~1.4 m。

(2) II 淤泥质粉质粘土 (mQ₄²), 青灰色, 饱和, 流塑—软塑, 夹薄砂层, 土质不均匀, 土层厚度 7.5~13.4 m。

(3) III 层粉质粘土 (al-Q₄¹), 灰黄色, 稍湿, 硬可塑, 土质较好。局部地段夹粘土, 土质稍差。

3.4.2 工程地质评价

I 层含碎石粉质粘土, 厚度 1.0~1.5 m, 土质不均匀, 如采用天然地基, 应对下卧软土层进行沉降稳定计算; II 层淤泥质粘性土为高含水量, 高压缩性, 低强度的软土, 工程地质条件差, 为控制防潮堤基抗滑和变形的土层, 应进行地基处理; II 层粉质粘土, 为中低压缩性, 工程地质条件较好, 可作为建筑物的桩基持力层。

3.5 煤气公司段

3.5.1 工程地质条件

组成防潮堤基土层主要划分为两个工程地质层, 防潮堤基底高程以下普遍分布 (II 层) 淤泥质软土和 (II 层) 粉质粘土。

(1) II 层淤泥质粉质粘土 (mQ₄²), 灰色, 饱和, 流塑, 夹薄层粉砂, 含有机质、贝壳碎屑等, 土层厚 1.0~9.8 m。

(2) III 层粉质粘土 (al-Q₄¹), 可划分为两个亚层。①III₁ 层粉质粘土, 以土黄色为主, 混兰灰青等斑纹, 稍湿, 可塑—硬塑, 夹腐殖质、姜结核等, 土质较好, 土层厚度 7.9~22.2 m。②III₂ 层粉质粘土, 青灰色, 混淡土黄色, 稍湿, 可塑, 局部软塑, 土质较均匀, 局部粘性较好。土层厚度 0~22.8 m。

3.5.2 工程地质评价

II 层淤泥质粘性土为高含水量, 高压缩性, 低强度的软土, 土质差, 为控制堤基抗滑和变形的土层, 工程地质条件差, III 层粉质粘土, 为中低压缩性, 中等强度, 工程地质条件较好, 可作为建筑物的桩基持力层。

3.6 沈家门中弄塘段

3.6.1 工程地质条件

组成防潮堤基土层主要划分为三个工程地质层, 上部为 (I 层) 人工填土, 防潮堤基底高程以下普遍分布 (II 层) 淤泥质软土、(III 层) 粉质粘土。

(1) I 层人工填土 (rQ) 粉质粘土, 灰—灰褐色, 湿, 可塑, 土质不均匀, 土层厚度 2.0~2.4 m。

(2) II 淤泥质粘土 (mQ_4^2), 灰色, 饱和, 流塑—软塑, 含有机质, 土质差, 土层厚 5.0~6.0 m。

(3) III 层粘性土、粉土互层 (mQ_4^3), 滨海相沉积, 可分为两个亚层。①III₁ 层粘性土, 土质较软弱, 土层厚度 1.0~2.3 m。②III₂ 层粉土, 呈稍密状, 土质不均匀, 土强度较高, 土层厚度 1.0~3.0 m。

3.6.2 工程地质评价

I 层含碎石粉质粘土, 厚度 2.0~2.4 m, 土质不均匀, 如采用天然地基, 应对下卧软土层进行沉降稳定计算; II 层淤泥质粘性土为高含水量, 高压缩性, 低强度的软土, 土质差, 为控制堤基抗滑和变形的土层, 工程地质条件差; III₁ 层粘性土, 强度较低, 工程地质条件差。III₂ 层粉土, 土强度稍高, 工程地质条件较好, 本段在勘探深度内未见桩基持力层。

3.7 沈家门一期—三期段

3.7.1 工程地质条件

组成防潮堤基土层主要划分为三个工程地质层, 防潮堤基底高程以下普遍分布 (II 层) 淤泥质粉质粘土、(III 层) 粉质粘土夹碎石、砂, 粉质粘土; 下伏基岩为侏罗系上统 (J_3) 强风化凝灰岩。

(1) II 层淤泥质粘性土 (mQ_4^2), 可划分为两个亚层: ①II₁ 层淤泥质粘质粉土 (mQ_4^2), 灰色, 饱和, 流塑, 鳞片状构造, 土层厚 0.6~2.4 m。②II₂ 层淤泥质粘质粉土 (mQ_4^2), 淡灰—灰色, 饱和, 软塑—流塑, 高压缩性, 土层厚度 3.0~9.0 m。

(2) III 层粘性土、粘质粉土夹碎石、砂 (mQ_4^3), 上部为粘质粉土夹碎石、砂, 下部为粉质粘土夹碎石、砂, 可分为三个亚层:

①III₁ 层粘质粉土夹碎石、砂 ($al-Q_4^1$), 灰黄色, 饱和, 松散—稍密, 土质不均匀, 以碎石、砂为主, 碎石含量 30%~50%, 粒径最大可达 10 cm; 砂为中粗砂, 含量 30%~50%, 土层厚度 0.5~2.5 m。

②III₂ 层粉质粘土 ($al-Q_4^1$), 青灰—青黄—黄色, 湿—很湿, 软塑—可塑, 局部夹有少量碎石、砂。土层厚度 0.5~4.0 m。

③III₃ 层粉质粘土夹碎石、砂 ($al-Q_4^1$), 以碎石、砂为主, 碎石含量 40%~50%, 粒径最大可达 10 cm 以上, 含少量砂。土层厚度 1.0~2.0 m。

下伏基岩为侏罗系上统 (J_3) 凝灰岩, 新鲜岩石致密坚硬块状, 强风化厚度 ≥ 2.0 m。

3.7.2 工程地质评价

II 层土的含水量为 41.0%~42.6%, 压缩模量 2~6 kPa~29 kPa 为高压缩性, 低强度的淤泥质土, 其中 II₁ 层土的物理力学指标离散性大, 土质不均。上述土层为控制防潮堤基抗滑和变形的土层, 工程地质条件

差。III₂ 层土含水量为 34.4%, 压缩模量 4.9 kPa 为中压缩性土, 工程地质条件较好。III₃ 层为含碎石粉质粘土, 覆盖于强风化凝灰岩上, 工程地质条件较好。

III₃ 层和强风化凝灰岩均为建筑物良好的桩基持力层。

3.8 东港一期开发区段

3.8.1 工程地质条件

组成防潮堤基土层主要划分为两个工程地质层, 防潮堤基底高程以下普遍分布 (II 层) 淤泥质软土、(II 层) 粉质粘土。

(1) II 层淤泥质粘性土 (mQ_4^2), 可划分为四个亚层:

①II₁ 淤泥质粉质粘土, 灰—灰黑色, 饱和, 软塑, 含有机质, 土质较均匀, 粘性好, 土层厚 0~4.5 m。

②II₂ 淤泥, 灰—青灰色, 饱和, 流塑, 土质较均匀, 粘性好, 局部缺失, 顶板高程 -3.4~-3.7 m, 土层厚 0~19.8 m。

③II₃ 淤泥质粘土, 青灰色, 饱和, 软塑, 含有机质, 土质较均匀, 粘性好, 顶板高程 -5.0~-12.6 m, 土层厚 0~17.35 m。

④II₄ 层淤泥质粉质粘土, 灰—青灰色, 饱和, 软塑, 夹薄砂层, 见贝壳碎屑等, 厚度不均匀, 顶板高程 -8.0~-27.0 m, 土层厚 1.0~17.0 m。

(2) III 层粉质粘土 ($al-Q_4^1$), 棕黄—灰黄色, 夹灰色和淡青色条纹及氧化物斑点, 湿—稍湿, 可塑—硬可塑, 土质较好。顶板高程 -18.0~-20.0 m, 土层厚度约 6.0 m。

3.8.2 工程地质评价

II 层淤泥质粘性土为高含水量, 高压缩性, 低强度的软土, 工程地质条件差, 为控制防潮堤基抗滑和变形的土层, 应进行地基处理。II 层粉质粘土, 为中低压缩性, 工程地质条件较好, 可作为建筑物的桩基持力层^[2]。

4 结语

舟山市定海—沈家门一线海岸, 沿线分布第四系全新统浅海—滨海相沉积的 II 层淤泥质软土层, 随区域的沉积环境变化其性质变化较大, 埋藏浅, 含水量高, 强度低, 土层厚度大, 施工中易产生塑流破坏, 是建筑物地基及岸坡稳定的控制层。因此在工程建设必须注意 II 层淤泥质软土在工程场区的水平、垂直分布规律, 及与其他几个工程地质特征层位的组合规律, 这对于本地区的工程建筑设计和工程施工具有十分重要意义。

参考文献:

- [1] 浙江省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [2] 浙江省水利水电勘测设计院. 舟山市城市防洪工程可行性研究工程地质勘察报告 [R]. 2002.