

小狮子口海堤的滑动原因和经验教训

金德钢

(宁波市水利水电规划设计研究院, 浙江 宁波 315000)

摘要: 简要介绍浙江小狮子口围垦海堤施工过程中的两次滑动情况, 分析海堤滑动的主要原因是加荷速率太快及加荷方式和施工程序不合理, 得出的经验教训是: 软土地基筑堤应加强施工观测工作, 掌握堤基强度随着加荷逐渐变化的规律, 控制加荷速度。

关键词:软土地基;海堤;滑坡

中国分类号:U656.31+4

文献标识码: B

文章编号:1006-7647(2001)03-0046-03

1 工程概况

小狮子口工程位于象山港中段奉化市东南松岙乡境内,距奉化市大桥镇约 50 km,距宁波市 70 km。小狮子口工程堤线全长 1.96 km,围涂面积 224 km²,流域集雨面积 40.64 km²,涂面高程为吴淞 1.2 ~ 2.4 m。该工程曾于 1960 年 3 月动工围垦,投资 12 万元,抛石 4.5 万 m³,1962 年因故停工,现经多年沉降,涂面增高,抛石基本与涂面持平。工程设计建设期 3 年半。海堤基础处理方案采用土工布结合碎石垫层,(0+500)设计断面见图 1。

a. 水文特征.象山港属于强潮海湾;落潮流比涨潮流更急促,历时短,流量大,泥沙一般不落淤,整个象山港中部基本上以基岩海岸为主,径流含沙量较少,大部分泥沙由潮流挟沙落淤形成,因此工程所在地属微淤涨型海涂地貌。

b. 地基条件.海堤地基属第四系地层,为海相

沉积为主的软土地层,可分为三层:Ⅰ层淤泥—淤泥质粘土,天然容重为 17 kN/m^3 ,天然含水量为 54%,空隙比为 1.5,呈饱和流塑状态,出露于整个涂面,层厚 $0.9 \sim 3 \text{ m}$;Ⅱ层灰色淤泥,天然容重为 16.2 kN/m^3 ,天然含水量为 65%,空隙比为 1.8,呈饱和流塑状态,高压缩性,层厚 $3.2 \sim 6 \text{ m}$;Ⅲ层灰色淤泥—淤泥质粘土,天然容重为 17 kN/m^3 ,天然含水量为 57%,空隙比为 1.7,呈饱和流塑状态,层厚大于 9 m 。

显然,工程地基均为软土层,承载力低,抗剪强度低,渗透性能差。海堤地基土层物理力学性能指标见表 1。

c. 地形地质条件评价、从地形上看,海堤地形从狮子山向黄岩山逐渐升高,约以 0.6% 坡率递增,颇有规律;从地质上看,海堤土质均为软土层,地层性质变化不大,从地质指标看,从狮子山向黄岩山逐渐变好。

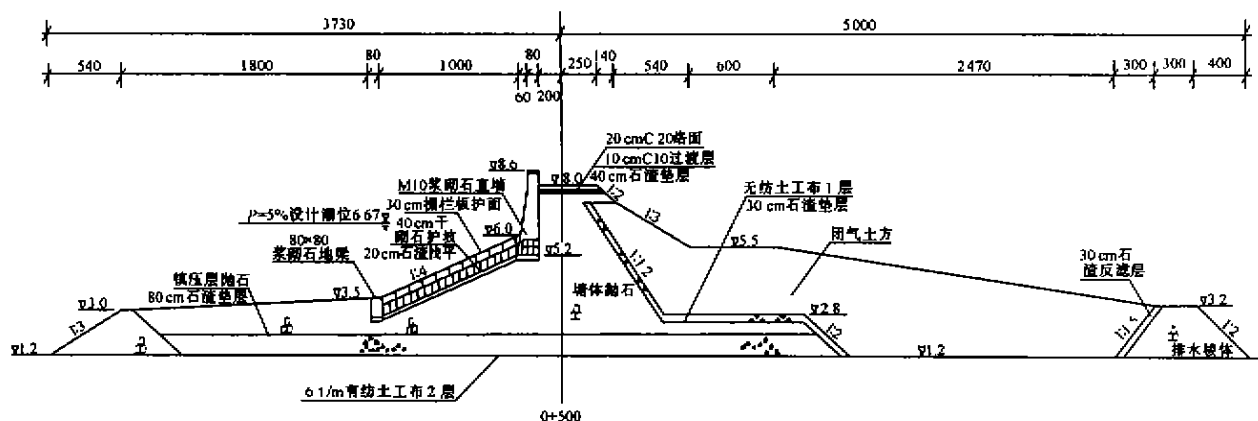


图 1 小狮子口海堤标准断面(单位:cm)

作者简介:金德钢(1969—),男,浙江宁海人,高级工程师,主要从事水利规划和水工结构设计。

表1 小狮子口海堤地基土层物理力学性能指标

堤段名称	土层编号	土层名称	含水量 $\omega/\%$	容重 $\gamma/(kN \cdot m^{-3})$	液限 $\omega_L/\%$	塑性指数 I_p	孔隙比 e	压缩系数 α/MPa^{-1}	固结系数 $C_\alpha/(cm^2 \cdot s^{-1}) \times 10^{-4}$	直快剪		直固快		天然十字板强度 $S_0 = C_u + \lambda Z$ /kPa
										C_q kPa	Φ_q /°	C_{eq} /kPa	Φ_{eq} /°	
黄岩山	I	淤泥—淤泥质粘土	53.1	17.2	42.2	22.1	1.47	1.59	6.93	7.85	2.0	14.1	11.0	$S_0 = 3.03 + 0.78Z$
	II	淤泥	65.4	16.2	49.8	24.7	1.83	1.96	7.19	4.85	2.0	13.6	11.0	$S_0 = 3.03 + 0.78Z$
	III	淤泥—淤泥质粘土	57.6	16.9	45.7	23.3	1.65	1.74	7.00	4.87	3.0	9.5	11.1	$S_0 = 3.03 + 0.78Z$
中间段	I	淤泥—淤泥质粘土	55.1	17.2	44.9	23.3	1.52	1.39	6.52	4.00	2.3	7.8	9.5	$S_0 = 2.76 + 0.81Z$
	II	淤泥	63.9	16.4	49.3	24.3	1.77	2.15	6.05	2.02	3.0	9.4	9.5	$S_0 = 2.76 + 0.81Z$
	III	淤泥—淤泥质粘土	57.2	17.1	45.3	23.3	1.58	1.17	6.99	3.62	2.0	10.6	10.0	$S_0 = 2.76 + 0.81Z$
狮子山	I	淤泥—淤泥质粘土	54.9	17.0	44.2	22.1	1.51	1.24	8.04	3.50	2.0	11.1	10.5	$S_0 = 3.02 + 0.72Z$
	II	淤泥	67.5	16.2	50.2	24.6	1.89	2.30	6.61	4.75	1.5	8.8	10.0	$S_0 = 3.02 + 0.72Z$
	III	淤泥—淤泥质粘土	54.6	17.2	46.4	23.1	1.51	1.49	6.99	2.45	2.0	6.3	11.0	$S_0 = 3.02 + 0.72Z$

2 两次滑动情况与原因分析

2.1 两次滑动情况

第一次滑动发生在黄岩山段海堤 1+390 至 1+650 堤段,当石坝高程从 4.0m 加高到 5.3m 时,石坝顶宽 5.0m,靠外海侧沉降 20cm,内侧土石交界处沉降 80~90cm,堤顶向内倾斜,外海涂面隆起 20~40cm,范围 5~10m;第二次滑动发生在 0+820 至 0+950 堤段,当浆砌直墙从 6.3m 加高至 8.0m,内坡土方从 6.3m 加高至 7.5m 时,石坝顶宽 5m,土石交界处最大沉降 1.5m,轴线最大外移 90cm,地梁沉降 30~50cm,斜坡由 1:4 变为 1:10 左右,外海涂面隆起 20~50cm,范围 5~15m。

2.2 滑动原因分析

经过断面测量,查看施工纪录,对照施工加荷速率与设计加荷速率(表 2),可分析出海堤滑动的原因。

表2 施工与设计加荷时间比较

桩号		设计加荷时间	施工加荷时间	工期提前
		/d	/d	/d
1+390 至 1+650	土方	330	290	40
	石方	480	455	25
0+820 至 0+950	土方	820	640	180
	石方	1100	970	130

首先,对第一次滑动,施工加荷与设计基本接近,从补充勘察地质资料看,滑坡段地处古河道,实际地质强度比设计略微偏弱,使海堤在施工过程中处于临界稳定状态,是发生滑动的主要原因。从表 2 可见,第二次加荷施工比设计工期提前 4~6 个月,由此可判断出加荷速率太快是发生滑动的主要原因。从理论上分析,软土地基上筑堤,地基强度随着荷载的增加而逐渐变化的状态,可用式(1)来描述:

$$S = S_0 + \Delta S_c - \Delta S_t \quad (1)$$

式中: S_0 为天然地基的抗剪强度; ΔS_c 为由于地基固结而增长的抗剪强度; ΔS_t 为由于切应力引起抗剪强度的衰减; S 为软土地基随着荷载的增加而变

化的抗剪强度。

由式(1)可以看出,地基强度随着荷载的变化,有可能增长也有可能减少,若欲使地基强度随荷载的增加而增长,必须充分认识并掌握其变化规律,具体地说欲使 ΔS_c 增长快些而使 ΔS_t 为最小,则应采取排水垫层或 PVC 排水板等地基处理措施,给地基创造排水固结的条件,同时应严格按照设计加荷曲线进行控制,始终使地基强度的增长与因加荷产生的切应力相适应,这样地基就稳定。若加荷速率太快,致使加荷产生的切应力超过了地基强度的增长时,地基就会产生局部破坏,甚至发生整体滑动。因此,认识和掌握地基强度随着加荷而逐渐变化的规律是软土地基筑堤的关键。

其次,加荷方式和施工顺序不合理,也是发生滑动的原因之一。加荷方式要薄层轮加、均衡上升,一次加荷不能太高。施工顺序要先加足镇压层,后填筑堤身,先筑石坝,后填土方,要求土方比石坝迟缓一个施工期。实际施工采取闭气土方与石坝同时进行,一次加土高度超过 1.5m,第二次滑动就是因此造成的。

以上所述的原因均为造成滑动的外因,滑动的内因是地基地质条件差。

2.3 补强措施

对第一次滑坡已于 1998 年 3 月实测了海堤断面,并进行现场十字板和静力触探试验。根据实测资料对若干断面进行分析计算,对设计断面进行了调整和补强。

对第二次滑坡采用加固方案,为外海增加抛石 19m(共 37m),基础采用一层土工布,径向抗拉强度 60kN/m,地梁高程 3.9m 不变,镇压层抛石高程按 3.5m 控制,镇压层外侧斜坡允许按自然坡度抛填,要求滑坡段汛期后进行直墙修复处理,斜坡恢复。要求施工严格控制加荷速率,对 6.5m 高程以上一次坝顶堆石加荷厚度不应大于 50cm,并有一定的停荷时间(30~60d),断面沿线应均衡上升,加荷过程应加强观测,一旦发现沉降异常(日沉降大于 10mm),

立即停止加荷,确保海堤安全。

该工程已于 1998 年 11 月下旬顺利地堵口合龙。目前海堤高程基本上达到设计高程,滑坡修复正在进行中。

3 经验与教训

a. 关于地基处理方案。从垫层处理软土地基的理论和工程实践经验看,垫层法对不同软土厚度的效果大相径庭,即对较薄软土层的排水固结效果显著,而对较厚软土层的排水固结效果就差得多。而且对堤坝的稳定而言,软土层的厚度比坝高的影响更大。

根据实际情况,小狮子口海堤的全线若能采用 PVC 排水板处理方案要稳妥得多。由于小狮子口工程在 1960 年曾进行大量抛石,且海堤轴线无外移可能,因此我们设计时只能采用碎石垫层加加筋土工布进行地基处理。当然,采用 PVC 排水板方案,也要控制加荷速率,不然也要发生滑动;采用垫层方案,只要按照设计要求控制加荷速率进行施工,也可取得满意结果,两者都有工程实例。

b. 加强施工观测。在山区水库软土地基上筑堤的观测设备,有边桩位移、沉降管及孔隙水压仪,而且在观测、分析、指导施工方面都积累了许多宝贵的经验。但对数千米长的海涂上筑堤来说,上述观测手段有诸多不便。只好采用按设计加荷速率曲线,同时配合沉降观测,来指导施工。建议今后在海堤建设中应同时观测边桩位移与沉降,两者配合观测才能真正达到控制加荷速度的要求。

观测指标:位移量每日小于 4 mm;沉降量每日小于 10 mm,以两个桩连续两日位移量不超过 8 mm,沉降量不超过 20 mm 为准。观测时间:施工期每日一次,停荷期每三日一次。

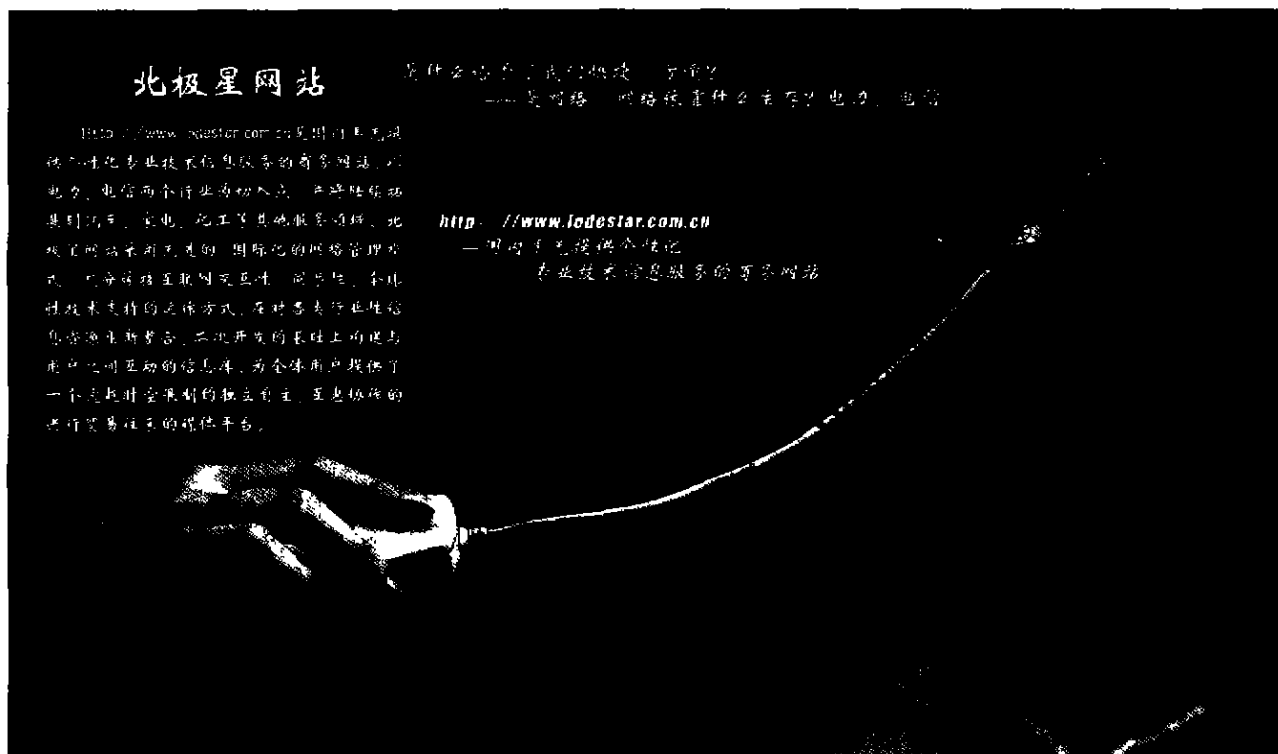
观测要定人员、定仪器、定时间,连续观测,观测资料要及时分析,以观测成果来指导施工,控制加荷速率。

此外也应特别强调:施工机械随着社会技术经济的发展而更新换代,运输工具以往用手拉车、胶轮车,现在都用自卸汽车,对软土地基筑坝,最好采用 1~3 t 小型自卸车上坝,既灵活又轻便,切忌采用 10 t 以上的大型汽车上坝,以控制运载工具来控制加荷速率。

c. 按照客观规律进行施工。眼下建设发展速度很快,各种建设工程如雨后春笋般涌现出来,但遗憾的是很多工程为赶进度抢时间,违背客观规律,人为改变工期,只求进度,不顾质量,导致重新返工,特别是在软土地基上筑堤坝,由于加荷过快,致使堤基滑动,造成人力、物力、财力上的浪费。克服这种现象,关键在于要尊重客观规律,倡导实事求是的工作作风。

总之,由于软土地基的强度很低,当前地质勘探机具、测试设备及其一系列的技术手段都比较落后,加上经费、时间的限制等因素,很难使有限的资料完全符合实际情况,因此必须要求建设、设计、施工等单位对软土地基筑堤坝的特性和规律有一个共识,在建设过程中要配合默契,做到精心设计、精心施工加上精心指挥,才能使工程的建设达到多快好省的共同目的。

(收稿日期:1999-11-03 编辑:张志琴)



北极星网站

http://www.ledstar.com.cn 北极星网站

—— 是什么给了我们建设一个更好的未来 ——

—— 是什么给了我们建设一个更好的未来 ——

http://www.ledstar.com.cn

—— 是什么给了我们建设一个更好的未来 ——

—— 是什么给了我们建设一个更好的未来 ——