

景丰联围双层堤基抽沙压渗计算方法探讨

王日莲

(肇庆市水利水电勘测设计院, 广东 肇庆 526040)

摘要 介绍了景丰联围丰乐围堤的地质情况, 针对双层堤基堤段透水性强, 堤脚易渗, 在汛期高水位时渗水比较严重, 且有些堤段会发生喷砂、管涌、涌水等现象, 进行了弱透水层等厚无限长双层地基及弱透水层等厚有限长双层地基的渗流计算, 根据承压水头计算得出堤后填沙盖重厚度, 再由填沙盖重厚度试算得出填塘压渗范围。计算结果表明, 利用抽沙压渗处理方法可以解决堤围内坡脚的渗流稳定问题, 确保堤围的安全运行。

关键词 双层堤基 抽沙压渗 压渗厚度 压渗范围 景丰联围大堤

中图分类号 :TU472 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-764X(2006)S1-0124-03

1 景丰联围丰乐围堤地质概况

肇庆市景丰联围丰乐围堤大部分堤段的地质构成自上而下为:①人工素填土②灰黄色粉质黏土③砂层④深灰色粉质黏土⑤(花斑)黏土⑥砂砾层⑦砂卵石层⑧基岩,见图 1。

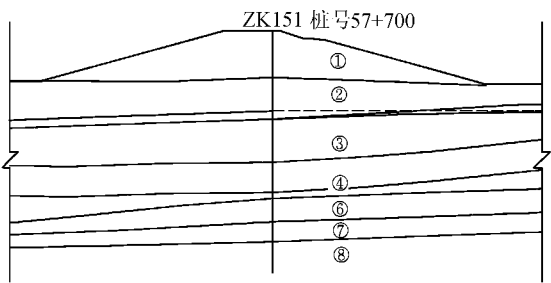


图 1 景丰联围加固工程地质横断面

依据各土层渗透性判别黏性土层为弱透水层,砂及砂卵石层多属强透水层,尤其是③砂层为近代河流冲积层,含泥量少,渗透性强,与河床砂层连通,埋藏浅,是堤基渗漏关键层,⑦砂卵石层为更新代冲积层,深埋于连续分布的黏性土层之下,对堤基渗流影响小。据资料表明,汛期外江高水位时丰乐围堤段龙湾、村美、鱼苗场、炮仗地、新基潭、付仔等险段,堤后曾出现砂喷、管涌、涌水、内水塘冒砂等现象^[1]。由于这些堤段的表层土为灰黄色粉质黏土,渗透系数一般小于 1×10^{-4} cm/s,而下部砂层透水性较强,厚度较大,最大有 10 m 厚,渗透系数一般大于 1×10^{-2} cm/s,所以这部分地基均为双层地基。

根据地质勘察和实地调查,新基潭堤段的弱透水层相对较厚,在 1.5m 以上,且在堤内没有被穿透,该堤段的地基可视为等厚无限长双层地基;龙湾、村美、鱼苗场、炮仗地、付仔堤段历史上发生过砂喷、管涌、涌水、内水塘冒砂等现象,或是上覆弱透水层较薄,一般小于 1.5 m,有的甚至只有 0.5 m,堤内鱼塘已将弱透水层基本挖穿,下伏的强透水砂层从堤内的鱼塘边外露,弱透水层只有堤内坡脚至鱼塘边的有限范围,故这些堤段的地基可视为等厚有限长双层地基。

2 计算依据

为了堤围的安全运行,应对以上堤段进行抽沙压渗处理。根据《堤防工程设计规范》^[2]进行渗流计算,主要计算参数取自于文献[3]中附图和工程地质勘察报告。由于该报告在对景丰联围堤防加固设计时按抵御 50 年一遇设计洪水的标准进行加高加固,并对险工险段分不同险情进行除险整治。本次抽沙压渗处理工程是该报告规划内容的一部分,设计标准与该报告一致,设计洪水标准为 50 年一遇^[4],堤防断面为景丰联围加固规划设计标准断面。

3 渗流计算

参考《堤防工程设计规范》,本工程双层地基渗流和覆盖计算按弱透水层等厚无限长双层地基及弱透水层等厚有限长双层地基两种情况进行计算,采

作者简介:王日莲(1973—),女,广东和平人,工程师,从事水利水电工程设计工作。E-mail: wrldgn@yahoo.com.cn

用《堤防工程设计规范》中附录 E.7 中的相应公式 , 首先计算出双层地基中弱透水层各点的承压水头 , 然后用计算出的承压水头代入附录 A.3 中的公式计算出相应点的盖重厚度^[2] , 进而确定填塘压渗厚度(高程)和填塘压渗范围。

3.1 弱透水层等厚无限长双层地基

根据地质报告与实测断面情况 , 新基潭堤段采用桩号 56 + 580 地质断面进行计算 , 该断面钻孔编号为 ZK147(由于新基潭堤段内没有钻探断面 , 所以就近选取地质断面) , 计算参数见表 1 , 计算简图见图 2。

表 1 计算参数

计算断面	外江水位 H/m	表层弱透水地基		底层强透水地基		外滩防冲段长度 L_1/m	堤坝底宽度 b/m
		渗透系数 $k_1/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$	厚度 T_1/m	渗透系数 $k_0/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$	厚度 T_0/m		
新基潭段 56 + 580 (ZK147)	11.54	9.8×10^{-5}	2.35	2.8×10^{-2}	4.9	0	70.664
鱼塘场段 50 + 300 (ZK186)	11.413	3.8×10^{-4}	1.30	4.0×10^{-2}	7.3	0	63.614

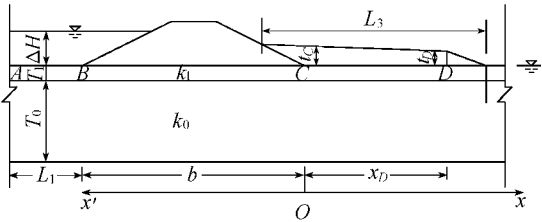


图 2 弱透水层等厚无限长双层地基渗流计算简图

3.1.1 填塘压渗厚度(高程)及填塘压渗范围

填塘压渗厚度(高程)是根据《堤防工程设计规范》中双层地基渗流计算 , 得出弱透水层底板的承压水头 , 再根据多层地基土石堤背水侧各点的透水盖重厚度计算进行确定。

a. 堤围标准断面下游坡脚弱透水层底板的承压水头计算。对于背水侧无限长等厚双层地基 , 堤围标准断面下游坡脚侧水平段弱透水层底板的承压水头用公式(1)进行计算^[2] :

$$h = \frac{\Delta H}{1 + Ab + \text{th}AL_1} e^{-Ax} \tag{1}$$

式中 : h 为 x 点弱透水底板的承压水头 , m ; ΔH 为外江水位与弱透水地基顶面高程之差 , m ; b 为堤坝底部宽度 , m ; x 为 CD 段横坐标 ; L_1 为上游侧弱透水层至堤围标准断面上游坡脚长度 , m ; A 为越流系数 , $A = \sqrt{\frac{k_1}{k_0 T_1 T_0}}$, 其中 k_1 为弱透水层渗透系数 , cm/s ; k_0 为强透水层渗透系数 , cm/s ; T_1 为弱透水层厚度 , m ; T_0 为强透水层厚度 , m 。

由于本段地基的弱透水层为粉质黏土 , 强透水

层为粉细砂及中细砂 , 所以参照《广东省景丰联围加固工程地质勘察报告》^[1] , 粉质黏土与中细砂的渗透系数采用邻近地质剖面的数据 , 如果邻近地质剖面没有参考数据 , 就采用地质报告中同类土层的建议值。根据地质剖面与钻孔资料 , 粉质黏土的渗透系数参照附近钻孔 ZK151 的粉质黏土的渗透系数 , $k_1 = 9.8 \times 10^{-5} \text{cm/s}$, 砂层的渗透系数参照 ZK151 的砂层的渗透系数 , $k_0 = 2.8 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 。弱透水层的厚度 $T_1 = 2.35 \text{m}$, 中细砂层的厚度 $T_0 = 4.9 \text{m}$, $L_1 = 0 \text{m}$ 。外江水位为 11.54 m , 弱透水地基顶面高程取堤内地面高程 , 为 5.56 m , 则 $\Delta H = 5.98 \text{m}$, 计算得出内堤脚 C 点的承压水头 h_C 为 2.679 m 。

b. 填塘压渗高程(厚度)的确定。土石堤背水侧各点的透水盖重厚度可按式(2)进行计算^[2] :

$$t_i = \frac{Kh_i \rho_w - (G_s - 1)(1 - n)T_1 \rho_w}{\rho} \tag{2}$$

式中 : t_i 为 i 处的盖重厚度 , m ; h_i 为根据渗流计算得出的 i 处表层弱透水层的承压水头 , m ; G_s 为表层弱透水层土粒的相对密度 ; n 为表层弱透水层土粒的孔隙率 ; T_1 为表层弱透水层厚度 , m ; ρ 为盖重土石料的密度 , $\rho = 1600 \text{kg/m}^3$; ρ_w 为水的密度 , $\rho_w = 1000 \text{kg/m}^3$; K 为管涌安全系数 , 取 1.5。新基潭堤段处于丰乐围青岐涌上游段 , 粉质黏土的物理力学指标参照这段的建议值进行取值 , 则 $G_s = 2.61$, $n = 0.5$ 。根据以上参数及计算结果 , 可计算得出内堤脚 C 点的盖重厚度 t_C 为 1.329 m 。因下游坡脚处高程 $H_C = 5.56 \text{m}$, 则压渗起始高程 $H_{\text{始}} = H_C + t_C = 6.889 \text{m}$, 取 $H_{\text{始}} = 7.00 \text{m}$ 。

显然 , 堤围标准断面下游坡脚 C 处弱透水层底面的承压水头最大 , 是最危险处 , 用此处的承压水头计算出盖重厚度 , 并以此盖重厚度与相应地面高程来确定填塘压渗高程是偏于安全的。

c. 填塘压渗范围的确定。填塘压渗范围是从堤围标准断面下游坡脚起的压砂宽度。填塘压渗范围是经试算得出。若下游坡脚侧某一点距离 C 点为 x , 计算该点的弱透水层承压水头 h_x 和盖重厚度 t_x , 当 $t_x \leq 0$ 时 , 就说明在这一宽度范围以外不需再加盖重 , 所以填塘压渗范围宽度就取这一计算宽度。

当堤围标准断面下游坡脚处 $x_D = 40 \text{m}$ 时 , $h_D = 1.244 \text{m}$, 计算得 $t_D = -0.160 \text{m}$ (D 点为下游地面上承压水头接近 0 的一点) , 所以填塘压渗范围宽度取 $x_D = 40 \text{m}$, 那么填塘压渗平台顶宽度 L_3 (填塘压渗平台起始高程与设计标准断面相交点至填塘压渗顶末端的宽度)取 50 m 即可满足要求。为了便于填塘压渗平台排水 , 把平台做成一定坡度 , 且压砂末端顶高程应结合附近地面高程以及鱼塘的水位高程 , 填塘压

渗之后不能形成新的积水区,所以取 $H_{\text{末}} = 6.50 \text{ m}$ 。

3.1.2 填塘压渗结构形式

根据以上计算,该堤段填塘压渗方案定为:在内坡高程 7.00 m 至内坡地面填砂,填塘压渗宽度为 40 m ,填塘压渗平台宽度 L_3 为 50 m 。在填塘压渗末端采用土工织物垫层覆盖后抛 50 cm 块石护脚,在上部 50 cm 用 30 cm 厚干砌石护坡,顶高程为 6.50 m ,边坡为 $1:2.0$,并在填塘压渗平台上离堤脚一定距离 (9 m) 处设置一条宽 6 m 的泥结石防汛道路。结合水土保持及环境保护,在填塘压渗表面铺盖一层土层,厚 0.2 m ,进行直播种草,这样,既起绿化作用又可保护、加固填砂层不被水流冲刷。

3.2 弱透水层等厚有限长双层地基

根据地质报告与实测断面情况,采用鱼苗场堤段桩号 $50 + 300$ 断面,该断面钻孔编号为 ZK186(选取地基条件较差断面进行计算)表层弱透水地基所参考地质断面为钻孔 ZK123,底层强透水地基参考地质断面为 ZK132。其余险段计算相类似,计算参数见表 1,计算简图见图 3。

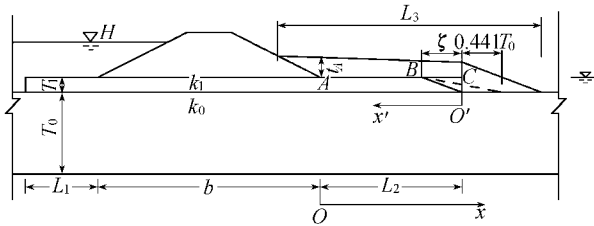


图 3 弱透水层等厚有限长双层地基计算简图

3.2.1 填塘压渗厚度(高程)及填塘压渗范围

a. 堤围标准断面下游坡脚弱透水层底板的承压水头计算。背水侧透水地基上弱透水层等厚有限长双层地基可用以下方法计算弱透水层底板的承压水头。用公式(3)~(5)^[2]试算 ζ ,以确定出逸段与非出逸段的分界点:

$$\frac{H - H_1}{\frac{1}{A} \text{th} A(L_1 + d') + b + \frac{1}{A} \text{th} A(L_2 - \zeta)} = \frac{1}{\text{ch} A(L_2 - \zeta)} = \frac{H_1 - H_0}{\zeta + 0.441 T_0} \quad (3)$$

$$A = \sqrt{\frac{k_1}{k_0 T_1 T_0}} \quad (4)$$

$$d' = \frac{1}{A} \text{arth} A(0.441 T_0) \quad A(0.441 T_0) < 1 \quad (5)$$

出逸段 AB 透水层水位按式(6)^[2]计算:

$$h = H_1 + \frac{(H - H_1) \frac{1}{A} \text{th} A(L_2 - \zeta)}{\frac{1}{A} \text{th} A(L_1 + d') + b + \frac{1}{A} \text{th} A(L_2 - \zeta)} + \frac{\text{sh} A(L_2 - \zeta - x)}{\text{sh} A(L_2 - \zeta)} \quad (6)$$

非出逸段 BC 透水层水位按式(7)^[2]计算:

$$h = H_0 + (H_1 - H_0) \frac{x' + 0.441 T_0}{\zeta + 0.441 T_0} - \Delta x' \quad (7)$$

式中 $\Delta x'$ 由《堤防工程设计规范》^[2]中表 E.7.2 计算求得。当 $x' = 0$ 时 $\Delta x' = (H_1 - H_0) \frac{0.441 T_0}{\zeta + 0.441 T_0}$; H 为外江水位, H_1 为下游侧出逸段 AB 段 A 处堤内地面高程, H_0 为下游侧非出逸段 BC 段 C 处堤内水位, L_1 为上游侧弱透水层至堤围标准断面上游坡脚长度, L_2 为下游侧盖重至堤围标准断面下游坡脚长度, ζ 为非出逸段长度, x 为 AC 段横坐标, x' 为 BC 段横坐标。

根据地质剖面与钻孔资料,采用邻近地质钻孔 ZK123 粉质黏土的渗透系数, $k_1 = 3.8 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$; 采用邻近地质钻孔 ZK132 砂层的渗透系数, $k_0 = 4.0 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ 。参照 $50 + 300$ 地质断面,弱透水层的厚度 $T_1 = 1.30 \text{ m}$,中粗砂层的厚度 $T_0 = 7.30 \text{ m}$, $L_1 = 0 \text{ m}$ 。结合该桩号的水位高程及弱透水层顶面高程,外江水位 $H = 11.413 \text{ m}$,弱透水层顶面高程取堤内地面高程, $H_1 = 5.5 \text{ m}$,堤内水位 $H_0 = 5.28 \text{ m}$ 。

通过试算,当 $\zeta = 2.9053 \text{ m}$, $L_2 = 40 \text{ m}$ 时,式(3)等号两侧相等,左边 = 右边 = 0.03592 ,进一步可以计算出堤围标准断面下游坡脚 A 处承压水位 $h_A = 7.160 \text{ m}$,出逸段末端 B 处承压水位 $h_B = 5.500 \text{ m}$,非出逸段末端 C 处水位 $h_C = 5.280 \text{ m}$ 。

b. 填塘压渗高程的确定。由计算出的各点水位得出相应点的水头,代入式(2),计算得 $t_A = 1.070 \text{ m}$, $t_B = -0.480 \text{ m}$, $t_C = -0.690 \text{ m}$ 。

显然,在堤围标准断面下游坡脚 A 处弱透水层底面的承压水头最大,是最危险处,用此处的承压水头计算出盖重厚度,并由此盖重厚度与相应地面高程来确定填塘压渗高程偏于安全。

因堤围标准断面下游坡脚处高程 $H_A = 5.50 \text{ m}$,则压砂起始高程 $H_{\text{始}} = H_A + t_A = 6.574 \text{ m}$,取 $H_{\text{始}} = 7.00 \text{ m}$,填塘压渗顶末端高程 $h_{\text{末}} = H_A + t_B = 5.018 \text{ m}$,且压砂末端顶高程应结合附近地面高程以及鱼塘的水位高程,填塘压渗之后不能形成新的积水区,所以取 $H_{\text{末}} = 6.50 \text{ m}$ 。

c. 填塘压渗范围的确定。在试算确定出逸段与非出逸段分界点的过程中,当 $\zeta = 2.9053 \text{ m}$, $L_2 = 40 \text{ m}$ 时,式(3)等号两侧相等,所以填塘压渗范围即取 $L_2 = 40 \text{ m}$ 。

3.2.2 填塘压渗结构形式

根据以上计算,该堤段填塘压渗方案与弱透水层等厚无限长双层地基时的填塘压渗方案相同。

(下转第 134 页)

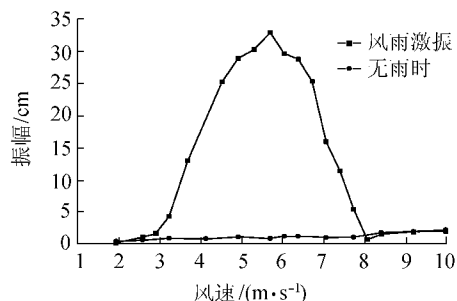


图6 $\varnothing 139$ 压痕凹坑拉索在无雨时与风雨激振时拉索的振幅随风速变化

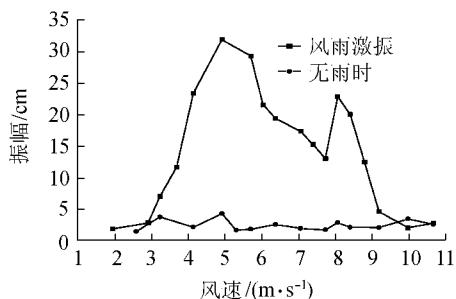


图7 $\varnothing 158$ 压痕凹坑拉索在无雨时与风雨激振时拉索的振幅随风速变化

4 阻尼器装置

苏通大桥斜拉索的阻尼器为油压阻尼器^[1],将油压阻尼器通过支架系统连接在斜拉索上。由于连接点可以离开锚头相当距离,效果比橡胶垫圈好,在国内已成功应用于杭州钱塘江三桥。改进的有调节孔的油压阻尼器可以优化减振效果,已成功应用于南京长江二桥。

油压阻尼器主要由连接器、液压部件和钢管支座等组成。液压部件的外壳一般固定在钢管支座上,斜拉索通过连接器与液压部件的金属活塞杆相连,斜拉索的振动位移打破液压部件内部金属活塞两端原先的压力平衡而产生的阻力,即阻尼器产生阻尼力,该阻尼力反作用于斜拉索后即可达到斜拉索减振的目的。该阻尼器分为内置式和外置式两种,均已分别成功应用于不同长度的斜拉索上。

5 结 语

苏通大桥采用索端阻尼器和气动措施并用的综合减振方案。经过试验测试,斜拉索减振效果满足要求,气动措施减振方案使用的是压痕凹坑斜拉索,并且改进使用油压阻尼器,减振效果显著,为以后大跨度斜拉桥的超长斜拉索的减振提供了很好的例子。

参考文献:

[1] 胡国明,代波涛,李寿英.斜拉桥斜拉索的振动及其控制措施[J].石家庄铁道学院学报,2004,17(1):76-79.

[2] MARSUMOTO M,SHIRAIISHI N,SHIRATO H. Rain-wind induce vibration of cable-stayed bridges[J]. Wind Eng & Industrial Aerody,1992,44:2011-2012.
[3] 彭天波.斜拉桥拉索风雨振的机理研究[D].上海:同济大学,2000.
[4] 钱雪松,艾永明.斜拉桥拉索的减振措施[J].工业技术经济,2004,23(6):106-107.
[5] 黄麟,郭志明,王国砚,等.斜拉桥抗风雨激振的理论分析[J].同济大学学报:自然科学版,2002,30(5):569-571.
[6] 顾明,刘善军,林志兴.斜拉桥拉索的风雨振动及控制[J].上海力学,1998,19(4):281-287.
[7] 李文勃.斜拉桥拉索风雨激振及气动减振措施研究[D].上海:同济大学,2002.

(收稿日期 2006-06-16 编辑 高建群)

(上接第126页)

4 结 语

根据双层地基的渗流计算结果可知,承压水头越大,弱透水层越薄,渗透系数越小,则压砂厚度越大,压渗范围越长,反之压砂厚度越小,压渗范围越短。双层堤基堤段透水性强,堤脚易渗,在汛期高水位时渗水比较严重,部分堤段会发生喷砂、管涌、涌水等现象,现经渗流计算,在堤后压渗范围内加一定的盖重厚度,可以解决堤围内坡脚的渗流稳定问题,确保堤围的安全运行。景丰联围双层堤基存在渗透稳定及喷砂管涌的堤段,经过抽沙压渗工程处理之后,基本解决了渗透问题,在汛期高水位时也不再发生喷砂、管涌、涌水等现象。所以,对于双层堤基的抽沙压渗处理,采用弱透水层等厚无限长双层地基和弱透水层等厚有限长双层地基两种渗流计算方法是合理可行的。

参考文献:

[1] 水利部珠江水利委员会勘测设计研究院.广东省景丰联围加固工程地质勘察报告[R].广州:水利部珠江水利委员会勘测设计研究院,2002.
[2] GB50286—98,堤防工程设计规范[S].
[3] 水利部珠江水利委员会勘测设计研究院,广东肇庆市水利水电勘测设计院.广东省景丰联围加固工程可行性研究报告[R].肇庆:广东肇庆市水利水电勘测设计院,2002.
[4] GB50201—94,防洪标准[S].

(收稿日期 2005-12-26 编辑 骆超)