

料,决定处理区域为东西向(水流向)从桩号 0-496.30~0-390.10 m,南北向包含整个进水渠南堤宽度并再往渠内延伸 15 m.总加固面积约 5 400 m².

2.2 排水和加压系统设计

塑料排水板尺寸为 100 mm×4 mm,在滑坡中心区桩号 0-478.30 m~0-408.10 m 之间 70.2 m 范围内,排水板间距 1.3 m,按三角形布置.在滑坡区两侧桩号 0-496.30 m~0-478.30 m 之间及 0-408.10 m~0-390.10 m 之间各 18 m 范围内,排水板间距以 1.5 m,2.0 m,2.5 m 间隔按三角形布置.本工程加固的主要对象是②₃层淤泥质粉质粘土,以渠堤稳定为控制条件的,所以排水板的长度根据最危险滑弧的深度来确定.根据土层地质资料分析和稳定计算结果,最危险滑弧底部高程与②₃层土底部相切,所以排水板应穿越②₃层土,最后确定排水板底高程-9.00 m.在排水板顶部铺设 0.50 m 厚的砂垫层,当中布置滤水管,砂垫层上铺设 2 层密封膜.采用射流真空泵抽真空,预压期间泵真空压力不小于 96 kPa,膜内真空度不小于 80 kPa.

2.3 地基固结度计算

固结度根据三向固结轴对称问题的解析解进行计算^[1],计算参数和结果如下:①水平固结系数 $C_r = 3.14 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$;②竖向固结系数 $C_v = 3.14 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$;③井径比 $n = 28$;④排水距离 11 m;⑤30 d 固结度:径向 $U_r = 61\%$,竖向 $U_v = 20\%$,全部 $U = 69\%$;⑥45 d 固结度:径向 $U_r = 76\%$,竖向 $U_v = 21\%$,全部 $U = 73\%$;⑦60 d 固结度:径向 $U_r = 85\%$,竖向 $U_v = 22\%$,全部 $U = 88\%$.由计算结果可以看出,径向固结度远大于竖向固结度,地基主要是通过径向排水固结的.由此可见,在地质情况确定时,固结度主要受排水板平面布置的影响,过大的排水板深度无利于固结度的提高.在满足处理深度要求的前提下,采用比较密集的布置有利于获得比较高的固结度.

2.4 抗剪强度增长值的推算

由十字板强度试验测定的加固前的抗剪强度 τ_0 与深度 Z 的关系为^[1]

$$\tau_0 = C_0 + \lambda Z \tag{1}$$

式中: C_0 为强度增长线在地面上的截距; λ 为强度增长线的斜率.

根据式(1),抗剪强度随固结度 U_i 与深度 Z 变化的预测值可以用式(2)计算

$$\tau_i = C_0 + \lambda Z + \sigma_z U_i \left(\frac{C_0}{\sigma_z U_i + \rho Z} + \frac{\lambda}{\rho} \right) \tag{2}$$

式中: σ_z 为地基中深度 Z 处的竖向附加应力; ρ 为土的密度,地下水位以下取浮密度.

由于滑坡后土体受到很大的扰动,在滑坡区域

进行的十字板试验抗剪强度随深度变化的规律比较紊乱,无法根据这些数据按上述方法推算强度增长值.所以设计根据滑坡体外试验点的试验数据进行线性拟合以后按 88% 固结度强度增长值推算,推算结果见图 2.经过 60 d 的预压达到 88% 固结度的时候,预测的平均不排水抗剪强度为 31 kPa.经稳定分析,该强度指标可以满足渠堤稳定的设计要求.

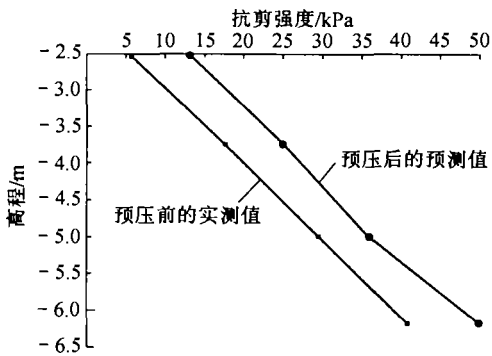


图 2 抗剪强度推算曲线

2.5 沉降计算

本工程沉降计算的目的是为了估算施工期间由于沉降而增加的土方量以及加固结束时尚未完成的沉降量,并提出堤顶预留超高.滑坡区域原来土层的分布和物理力学指标由于滑坡而受到了很大的扰动,原地质勘探资料已无法用于沉降计算.所以,设计根据滑坡后在滑坡区域进行的静力触探试验数据确定变形模量进行沉降计算.根据文献[1]提供的由静力触探比贯入阻力推算地基变形模量的经验公式,求得滑坡区域内从上至下 3 个分层的变形模量分别为 5 100 kPa,1 900 kPa 和 8 500 kPa,据此,计算滑坡区域在预压荷载作用下的最终沉降量为 270 mm,由此引起的土方增加量约为 850 m³.再考虑到土方回填堆载引起的沉降和排水板打插时对土体扰动引起的沉降,设计提出堤顶预留超高 1.0 m.

3 施工情况简介

3.1 施工工序

施工工序依次为:修整滑坡体→铺设砂垫层→打插塑料排水板→在砂垫层中埋设滤水管→在加固区边缘挖沟→铺密封膜→填沟→安装抽气管道和射流真空泵→检验密封情况并抽气

3.2 主要施工工艺及质量控制要点

- a. 砂垫层厚 500 mm,选用品级良好的中粗砂,要求含泥量小于 3%,渗透系数大于 $3 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$.
- b. 在打插排水板的过程中严格控制板的间距和深度,并注意保护板表面的滤水膜,防止其损坏而失去反滤的效果.
- c. 滤水管采用 $\varnothing 100$ 的 PVC 穿孔管外包无纺

布,安放在砂垫层中间,平行布置,间距 5 m,两端接集水管。

d. 在砂垫层上铺设两层聚氯乙烯塑料密封膜,需要连接的地方用热合粘接,搭接宽度大于 20 mm. 严格保证加固区域的气密性. 首先是加强对密封膜的保护,为了防止砂垫层刺破密封膜,在砂垫层和密封膜之间铺设了一层土工布. 加固区四周挖了深度 1 m 的梯形密封沟,将密封膜周边贴土铺设过沟后,在膜上填土压实. 在抽真空过程中,要注意检查漏气情况,及时修补。

e. 在加固区四周布置了 6 台射流真空泵,每台泵平均控制面积为 900 m^2 . 为避免停泵后膜内真空度急剧下降,在真空泵和出水管的连接处布置有逆止阀和截门。

3.3 施工过程中的主要问题及解决办法

a. 在抽真空前期,加固区周边密封沟外侧多次出现收缩裂缝,导致漏气,使附近膜内真空度急剧下降. 主要原因是前期真空压力上升太快且不均匀,使土体产生贯穿密封沟的裂缝. 施工中通过加强检查,及时发现裂缝,并回填粘土泥浆后压实。

b. 滑坡区整平以后,表层土为软弱的饱和淤泥质粉质粘土,且地下水位较高. 砂垫层采用的是中、粗砂,在插板机行走过程中,淤泥被挤出与砂搅拌在一起,影响砂垫层的排水效果. 根据施工单位的经验,采用砾石作为砂垫层材料可以解决上述问题. 最后设计同意在满足含泥量和渗透性要求的前提下采用砾石代替中、粗砂作为垫层。

c. 在打插排水板的过程中,发现土体产生明显的沉降,平均沉降量约 150 mm. 分析原因,主要是淤泥土处于欠固结状态,在打插排水板后,由于排水距离缩短,在自重应力作用下就会产生固结沉降,施工机具扰动也会使土体产生沉降。

4 过程监测

为了验证加固处理的效果,并保证施工期间渠堤的安全,在真空预压期间进行了持续的表面沉降、水平位移等监测。

a. 表面沉降. 预压 60 d 以后,最大沉降为 322 mm,最小沉降为 136 mm,平均沉降值为 224 mm. 沉降量最大、最小和平均值与时间关系如图 3 所示. 从实测结果可以看出,在开始抽真空的 30 d 以内,表面沉降量比较大,前 10 d、20 d 和 30 d 的沉降量分别占到总沉降量的 45%、70% 和 78%,以后曲线变化趋于平缓。

b. 水平位移. 由实测的土层随时间和空间的水平位移数据可以看出加固区土层的变形是指向渠内的. 水平变位主要发生在深度小于 8 m 的上部土层,

最大水平位移发生在深度小于 2 m 的土层内. 从时间上看,抽真空的初期侧向变形速率较大,30 d 以后变形趋缓. 3 根测斜管的最大水平位移分别为 66 mm、47 mm 和 53 mm. 3 根测斜管的最大水平位移与时间关系如图 4 所示。

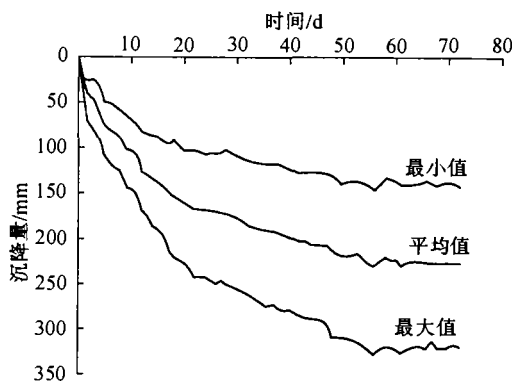


图3 表面沉降~时间关系曲线

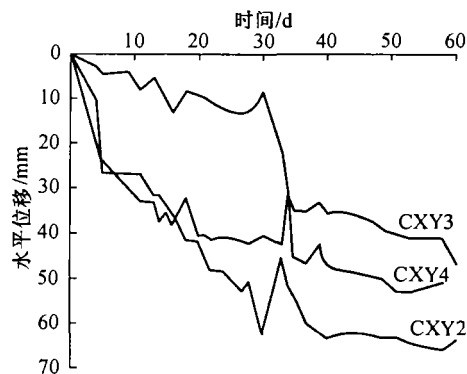


图4 最大水平位移~时间关系曲线

5 加固效果检测分析

5.1 固结度分析

利用实测的沉降量与时间关系曲线,根据式(3)可以推求地基的最终沉降量 s_{∞} [1]:

$$s_{\infty} = \frac{s_3(s_2 - s_1) - s_2(s_3 - s_2)}{(s_2 - s_1) - (s_3 - s_2)} \quad (3)$$

式中: s_1 , s_2 和 s_3 为在停止预压以后的沉降-时间关系曲线上任取的 3 个时间 t_1 , t_2 和 t_3 (令 $t_3 - t_2 = t_2 - t_1$) 对应的沉降量, mm。

据此求得地基最终沉降量 $s = 238 \text{ mm}$, 由 60 d 的平均沉降量 $s_{60} = 224 \text{ mm}$ 求得相应的固结度 $U_{60} = 94\%$, 满足设计提出的固结度要求。

5.2 力学强度指标分析

为了检验地基土物理力学指标在加固前后的变化,预压前在加固区内外进行了 7 孔十字板剪切和 9 孔静力触探试验,预压结束以后进行了其中 3 孔十字板剪切和 1 孔静力触探试验. 预压前后十字板剪切不排水强度 C_u 分别为 16.4 kPa 和 47.3 kPa,最大值为 74 kPa,最小值为 21.9 kPa,19 点平均值为 47.3 kPa,均

方差 17.5 kPa; 预压前后静力触探比贯入阻力 P_s 分别为 221 kPa 和 1409 kPa (- 0.6 ~ - 5.4 m 深度范围内的平均值). 十字板剪切试验和静力触探试验结果曲线见图 5 和图 6.

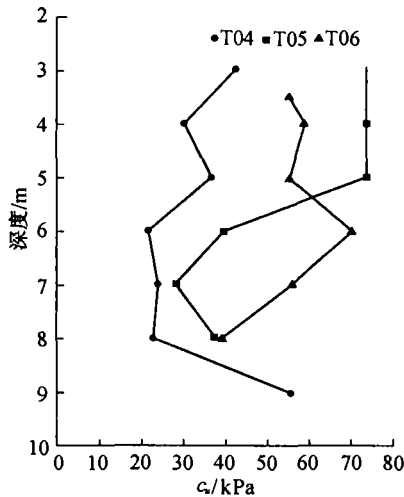


图 5 加固后十字板抗剪强度 ~ 深度关系曲线

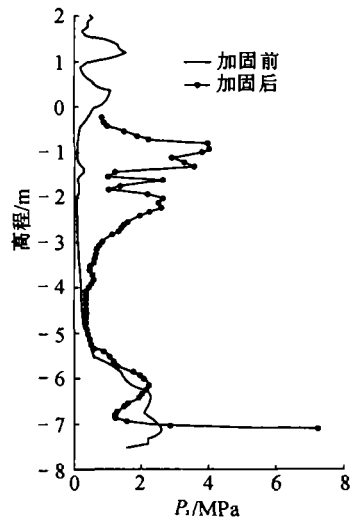


图 6 加固前后比贯入阻力 ~ 深度关系曲线

由试验结果可以看出, 经过真空预压加固处理以后, 淤泥质土层的抗剪强度得到了显著的提高, 达到了原来值的 2.88 倍, 并大于设计推算值, 可以满足渠堤稳定要求. 从试验结果曲线可以看出, 经过加固后上部 5 m 土层强度增长显著, 但下部强度迅速衰减, 增长不显著.

6 结 语

- a. 本工程的深厚淤泥质土层经过真空预压处理后, 抗剪强度指标得到显著提高, 满足了渠堤的稳定要求.
- b. 在塑料排水板真空预压加固处理中, 水平径向固结度远大于竖向固结度, 土体固结主要靠径向排水固结. 因此, 采用合理的密集布置可以获得比较

- 好的技术经济效果.
- c. 施工过程中注意加强气密性检查和修补是保证预压效果的重要环节.
- d. 在打插排水板的过程中, 欠固结土在自重作用下固结所引起的沉降以及施工机具对土体扰动导致的沉降比较大, 对这种沉降应该引起足够的重视.

参考文献:

[1] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 第二版. 北京: 中国水利电力出版社, 1996. 464 ~ 482.
(收稿日期: 2003-04-21 编辑: 傅伟群)

(上接第 40 页)

c. 水泥土的电阻率特性的应用. 水泥粉喷桩加固地基处理其实质就是利用水泥大量吸水与土颗粒发生水解、水化反应进行阳离子交换等, 使水泥土形成具有整体性、水稳性和一定强度的水泥土柱体(即粉喷桩), 同时水泥土的电阻率也发生相应的变化, 对同一根粉喷桩而言, 不同深度处的水泥含量不同其电阻率也就不同, 在粉喷桩加固区同一深度处不是同一根桩因施工差异导致水泥含量不一样, 其电阻率也不同. 我们可以根据水泥土电阻率的这一特性进行室内水泥土的电阻率测定或进行水泥粉喷桩芯样的电阻率的测定, 快速检测施工质量, 将电阻率法推广应用到土木工程的质量检测中.

3 结 论

- a. 电桥法具有测试精度高、测试简便的特点, 很容易推广到非金属材料的电阻率测试中.
- b. 水泥土的电阻率测试的工程实例表明, 电桥法完全能够适用于水泥土的电阻率特性的测试和其它土类电阻率的测试.
- c. 水泥土的电阻率和抗压强度与水泥掺合比都成正比, 随着龄期的增加而增加.
- d. 含水量对水泥土的电阻率有较大影响, 含水量越高电阻率越低.

参考文献:

[1] Komine H. Estimation of chemical grout void filling by electrical resistivity[A]. Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics Proceedings[C]. GT Division/ASCE, 1992. 372 ~ 383.
[2] Komine H. Estimation of chemical grouted soil by electrical resistivity[J]. Ground Improvement, 1997(1): 101 ~ 113.
[3] Olivar A L, De Lima, Mukul M. A grain conductivity approach to shaly sandstones[J]. Geophysics, 1990, 55(10): 1347 ~ 1356.
[4] 缪林昌, 刘松玉. 水泥土的电阻率特性研究[J]. 工程勘察, 2000(5): 21 ~ 26.

(收稿日期: 2003-05-01 编辑: 张志琴)