

塑料排水板在软土地基加固中的应用

丁军霞¹ 杨广庆^{1,2} 周乔勇¹

(1. 石家庄铁道学院土木分院, 河北 石家庄 050043; 2. 河北省交通安全与控制重点实验室, 河北 石家庄 050043)

摘要 基于塑料板排水法的基本原理, 从施工准备、打入深度及根数的控制、跟带现象的控制、垂直度的控制、带出淤泥的清理、塑料排水板插板机的选用、塑料排水板导管与桩尖需满足的施工要求以及塑料排水板的插入打设顺序等多方面对塑料板排水法施工质量控制要点进行了系统研究。结合河北省沧黄高速公路软土地基处理工程实际, 通过沉降变形观测, 分析了地表沉降、地基分层沉降、地表侧向位移以及地基侧向位移随路基填土高度的变化规律, 为全面分析塑料排水板加固地基的作用机理和工作性状提供参考。

关键词 地基加固 塑料排水板 软土地基 质量控制现场试验 沧黄高速公路地基

中图分类号: TU463 文献标识码: B 文章编号: 1006-7647(2009)S1-0205-04

1 工程概况

河北省沧(州)黄(骅港)高速公路地处滨海区, 沿线地势低洼, 水系发达, 地下水位高, 土的含水量大、压缩性高, 路基承载力低。在这样的地貌和地质条件下修筑高填方路堤, 地基沉降量较大, 稳定性差。对于高度大于 6.0 m 的软土地基一般路基要求其工后沉降不大于 30 cm, 设计采用了砂垫层 + 土工格栅 + 塑料排水板 + 堆载预压进行处理。

塑料排水板按照梅花形布置, 其规格为 4 mm × 100 mm, 中间为挤出成型的塑料芯板, 芯板外包化纤无纺布。土工格栅为双向拉伸聚丙烯 TGSG30-30, 每延米纵横向拉伸屈服力均为 30 kN/m, 纵向屈服伸长率为 13%, 横向屈服伸长率为 16%, 纵向伸长率 2% 时拉伸力为 11 kN/m, 纵向伸长率 5% 时拉伸力为 13 kN/m, 纵横向伸长率 5% 时拉伸力均为 15 kN/m。土工格栅幅宽不小于 4.0 m, 长度按实际需要定制。

地基土上部 3 层的物理力学性质指标如表 1 所示。

表 1 测试断面地基土物理力学性质

序号	土层名称	厚度/m	ω	$\rho/(g \cdot cm^{-3})$	e	ω_L	ω_p	I_p	a_{v1-2}
1	亚砂土	3.2	31.2	1.93	0.833	26.3	20.2	6.1	0.21
2	淤泥质黏土	13.0	58.0	1.70	1.558	52.5	31.3	21.2	0.70
3	亚黏土	3.8	23.8	2.04	0.664	37.3	21.1	16.2	

注: 为了研究塑料排水板加固软土地基处理效果, 选择 K35+900 断面进行现场试验, 路堤高度为 6.5 m。

2 塑料板排水法基本原理

塑料板排水法是加速软土地基排水固结的有效方法之一, 此法是将带状塑料排水板用插板机将其插入软土地基中, 作为竖直排水通道, 并将其与砂垫层连通, 构成排水系统, 利用上部荷载的作用(等载预压、超载预压、真空预压), 孔隙中的水被慢慢排出, 加速排水固结, 以提高地基强度, 保证路堤的稳定性。塑料板排水法适用于处理淤泥质土、淤泥和冲填土等饱和黏性土地基, 在处理深度上适用于各种不同的处理深度。

3 塑料板排水法施工工艺流程

塑料板排水法施工工艺流程如下: 场地平整 → 铺设下层砂垫层 → 塑料排水板桩位放样 → 插板机就位 → 塑料板通过导管穿出 → 安装管靴 → 沉设导管, 开机打设至设计标高 → 提升导管, 剪断塑料排水板 → 检查并记录板位打设情况 → 移动插板机到下板位 → 塑料排水板端头处理, 验收 → 铺设上层砂垫层。

4 塑料板排水法施工质量控制要点

4.1 施工准备

塑料排水板使用前必须进行检验,不合格的塑料排水板必须清退出场,进场堆放在现场的塑料排水板应加以覆盖,防止长时间暴露在空气中引起老化,尤其需要注意的是塑料排水板板芯外面包裹的透水滤套特别容易老化脆烂。

4.2 打入深度及根数的控制

塑料排水板施工深度一般要求穿透软弱层,否则排水板易回带,且软基处理效果也会不理想。所以,施工前应进行试打,摸清其下软弱层的深度分布状况。比如,可以间隔 10 m,分左、中、右 3 个试点试打,确定排水板实际打入深度,以作为计量依据。排水板插板机上一般没有刻度,为准确记录排水板每次打入的深度,必须在插板机上先进行刻度标示、校核,这样在打入过程中才能有明显的进尺标志,以便记录打入深度,或者采用自动记录仪进行排水板打入深度的采集。最后,根据排水板的实际打入深度,按照合同文件中的计量原则最终确定排水板的计量长度。

施工前还应按照设计要求进行塑料排水板的板位放样,确保排水板的处理宽度、间距满足设计及规范要求,一般要求间距误差不超过 ± 150 mm,从而保证应施工的排水板数量。板位放样后必须做好标记,所采用的标记应做到明显且不易被雨水破坏为宜。施工过程中应以工班为单位做好记录,记录每个工班施工的排水板桩根数。可采用排水板施工记录示意图法。按线路里程划分,路基横向标明列数,纵向标明行数,注明某月某日某时至某时完成第几行第几列至第几行第几列,共多少根排水板,并经当日施工员、质检员及旁站监理人员验收签字。

4.3 跟带现象的控制

塑料排水板施工在提升导管过程中,常出现排水板跟着导管一起被拔起的现象,即出现跟带现象。跟带现象的出现将使塑料排水板的处理深度减少,从而影响软基处理效果,施工过程中必须严加控制。对于跟带长度超出设计规定的,必须要求在紧靠近跟带的排水板旁边重新再打 1 根。要避免跟带现象,在插入塑料排水板时必须打够足够的深度,使其穿透软弱层,进入到其下的硬壳层一定深度,同时排水板与桩尖的连接必须合理,并且应避免淤泥、砂砾等进入导管中增大排水板与导管之间的摩阻力等。在施工过程中施工员应全过程监控,出现不合格的跟带现象时应立即进行补打。

4.4 垂直度的控制

规范要求塑料排水板施工时其垂直度不超过 1.5%。在实际施工控制过程中,因插板机本身没有垂直度的控制标尺而不易操作,通常的做法是在插板机的导管架上采用悬挂垂球的方法来进行控制。但实际施工过程中的垂直度主要取决于工作垫层、砂垫层的平整性,因此,施工过程中垂直度的控制主要是做好垫层的平整性,只要保证了垫层的平整性,插板机就不会出现大的倾斜,这样排水板的垂直度也不会超标。

4.5 带出淤泥的清理

塑料排水板施工时在拔起导管的过程中通常会在导管外侧带出许多淤泥,从而聚集在排水板的顶端周围,若不及时进行清理,这些淤泥将会与砂垫层混在一起,堵塞排水通道,所以施工中必须安排专人对导管带出的淤泥进行清除。

4.6 塑料排水板插板机的选用

塑料排水板插板机基本上可与袋装砂井打设机械共用,只是将圆形导管改为矩形导管。机械的垂直振动力的大小可根据每次打设根数、导管断面大小、入土长度及地基的均匀性而定。

4.7 施工对塑料排水板导管与桩尖的要求

塑料排水板通过导管,从导管靴中穿出并与桩尖相连,导管连同塑料板桩尖压入土中。塑料排水板与桩尖的连接方式以楔形固定桩尖固定塑料板比较简单,一般为塑料制品,也可采用薄金属板。若排水板与桩尖未能很好地连接,桩尖与导管不匹配则插入时淤泥将通过桩尖与导管的空隙进入到导管内部,增大导管与塑料排水板之间的摩阻力,使塑料排水板出现跟带现象;同时,在塑料排水板插入到位以后,塑料排水板未能与桩尖牢固连接则提升导管时将脱开,塑料排水板不能很好地固定在硬壳层中时也会出现跟带现象而将塑料板带出。因此,施工中应重点进行控制,施工前应进行试打,确保桩尖连接的可靠性。

4.8 按照打设顺序插入塑料排水板

施工时应按下述顺序打设插入塑料排水板:定位→将塑料板通过导管从管靴中穿出→将塑料板与桩尖连接,对准桩位插入塑料板→拔管剪断塑料板。

4.9 其他注意要点

a. 塑料排水板插入过程中应防止淤泥进入板心,以免堵塞排水通道,影响排水效果。

b. 严格控制塑料板接长质量。塑料板接长时应采用滤水膜内平搭接的连接方式,芯板对扣,凹凸对齐,搭接长度不少于 20 cm,滤套包裹,用可靠措施固定,以保证输水通道畅通并具有足够的搭接强度。

c. 塑料排水板在打设过程中必须有专人做好各项记录、施工日志等。

5 现场试验研究

5.1 现场观测仪器的布置

为了监测地基在填土荷重作用下的变形情况和固结过程,在测试断面上埋设了沉降板、深层土水平位移测量管和分层沉降管等,观测路基施工过程中的地基沉降变形规律。

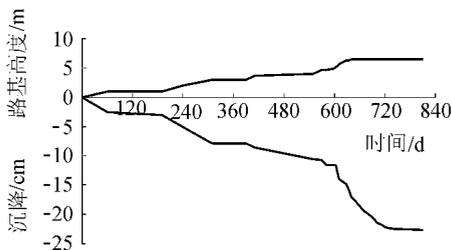
5.2 测试结果分析

断面测试工作时间从2004年10月路基施工开始,到路基施工结束后2个月(2006年10月)。试验段路堤填土高度为6.5 m,填土密度为 1.96 g/cm^3 。考虑施工过程中的路基沉降量(0.60 m),实际填土厚度应为7.1 m,相应的填土荷载为139.2 kPa。

5.2.1 地表沉降测试结果分析

由于该高速公路沿线土源和地方阻工等因素的影响,路堤施工进度缓慢。2004年10月路基开始施工,2006年6月才填到路基设计标高。缓慢的施工进度为地基的排水固结提供了时间保证。

图1为测试断面路基荷载与地表沉降过程曲线。从图中曲线可以看出:



(坐标原点对应的时间即2004年10月7日的开工时间)

图1 路堤高度与地表沉降关系曲线

a. 路堤填土高度低于3.5 m时,路堤的填筑速率比较缓慢,相应的沉降速率不高,产生的沉降量也不大。填土高度超过3.5 m后,在填土速率加快的同时沉降速率也随之加快,二者基本上呈线性关系。这相当于土的载荷试验中的直线阶段。可见,此时土体的天然承载力与天然抗剪强度完全可以安全地承受填土附加荷载的影响。也就是说此阶段在该填土速率的情况下,经袋装砂井处理过的软土地基完全处于安全状态。

b. 由于软土地基本身强度较低、含水量大、渗透性差,外荷载作用在软基上后,地基内孔隙水逐渐排出,超静孔隙水压力逐渐消散,此时土体内的有效应力逐渐提高,土体发生固结变形,地基土强度逐渐增长。在一定的加荷速率下,土体的这种变化是在地基土的允许强度范围内进行的,当加荷速率过大,

外荷载超过了土体的允许强度后,地基的沉降变形就增大,严重的会危及到整个地基的稳定与安全。所以控制恰当的加荷速率可以有效地减小地基沉降。由于本试验段加载速率较低,地基沉降速率很小。地基沉降总体体现出随着加载速率的增加而增长,同时也随着填土速率的减少而减小。沉降速率紧随填土速率的这种关系说明袋装砂井处理软土地基起到了明显的效果,加速了地基的排水固结。同时,硬壳层以及土工格栅的存在对沉降速率有明显的影响。在加载初期,确切地说是在临界高度以前,相同的加荷速率并不能够引起相同的沉降速率,原因是在加荷初期由于硬壳层作用以及土工格栅的存在,阻碍了填土初期沉降速率的发展。随着填土高度的增加,硬壳层以及土工格栅的作用逐渐减退,沉降速率逐渐增大。这一点对于指导施工有重要意义。如果填土高度小于土体的临界高度,由于土体天然硬壳层以及人为加入土工加筋格栅的应力分散作用,可以减少地基的总沉降量,也可以相应地减少填土期间的沉降速率,有利于路基的稳定。

施工结束时,地基总沉降量为22.46 cm。根据实测沉降曲线,利用双曲线法推算地基最终沉降量为29.63 cm,工后沉降量为7.17 cm,满足设计要求。

5.2.2 地基分层沉降测试结果分析

由图2中的分层沉降过程曲线可以看出,土体压缩层基本上到黏土层地面为止,约为14.0 m。其中75.0%的沉降量发生在淤泥质黏土层中,是地基沉降的关键土层,20%的沉降发生在硬壳层中,5%发生在其下的亚黏土中。

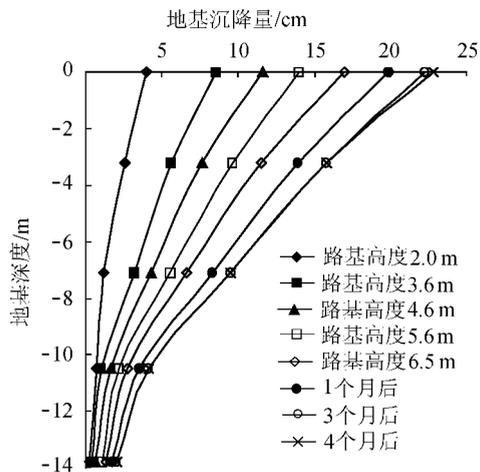


图2 测试断面分层沉降随路堤高度的变化曲线

5.2.3 地表侧向位移测试结果分析

在测试断面路基北侧于坡脚和坡脚以外10 m位置处埋设了地表侧向水平位移观测桩。图3为边桩位移时程曲线。

a. 填土初期边桩位移主要是水平位移,垂直位

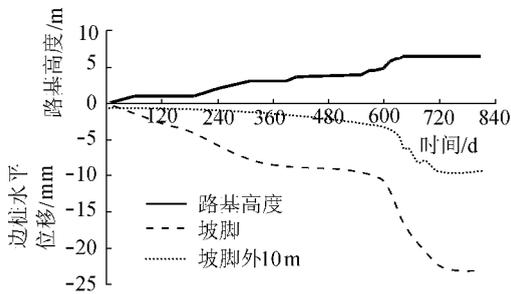


图3 测试断面边桩侧向位移时程曲线

移很小。填土高度达到 6.5 m 时初期路基坡脚有隆起现象。

b. 在施工过程中,边桩侧向位移随着填土高度的增加而增大。当施工中加载停止时,边桩也基本停止移动。

c. 距离坡脚 10 m 的边桩位移量远远小于坡脚处边桩的位移量,说明路堤坡脚附近的侧向位移最大。

5.2.4 地基侧向位移测试结果分析

地基侧向位移测试结果如图 4 所示。从图中可以看出:占地基沉降量 75.0% 的淤泥质黏土层产生的最大的侧向位移主要集中在该土层中。随着路堤填土的进行,该层软黏土的侧向位移也随之逐渐增大。至完成路堤土时为止,最大的侧向位移量为 12.4 mm。从图 4 还可以发现,在路堤的预压期间软土地基的侧向位移很小。这一方面是因为软土地基固结得比较快,相应的侧向位移很快趋于稳定的原因;另一方面也说明如果控制好填土速率,固结沉降在侧向产生的位移量就不大,这也是为什么太沙基一维固结理论在工程上一直沿用至今的原因之一。从侧向位移曲线上可以看出,在相应的软弱土层处存在着比亚砂土硬壳层和亚黏土较大的侧向位移。在停载预压期内随着时间的推移,竖向沉降的继续发展,侧向位移呈现停止状态。从而可以根据此现象进行有计划的施工。

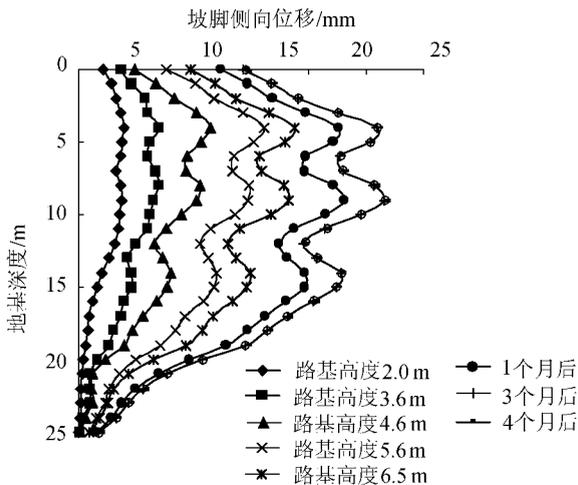


图4 测试断面地基侧向位移时程曲线

6 结 语

在施工工期许可的情况下,采用塑料排水板进行地基处理是一种有效的方法。该方法简单可行,易于操作,便于控制。在填土至临界高度以前,由于硬壳层及土工格栅的应力扩散作用,可以适当加快填筑速率。而当填土高度超过临界高度后,必须控制施工速率,以确保路堤的安全与稳定。经推算,本设计方案路中心地表最终沉降量为 29.63 cm,工后沉降量为 7.17 cm,满足设计要求。

参考文献:

- [1] JTGFS 80/1—2004 公路工程质量检验评定标准[S].
- [2] 王晓谋,袁怀玉.高等级公路软土地基路堤设计与施工技术[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [3] 文德云.公路工程施工监理质量控制技术手册[M].北京:人民交通出版社,2006.

(收稿日期 2009-08-22 编辑:高建群)

(上接第 204 页)

含砂量较低的土料(粉土、粉质黏土)淤堵后土工布的渗透性能可能与土料本身的渗透性能相当,需要采取一定措施(如振动)后使用。

本试验得出的无纺布对于不同填充料的渗透系数仅仅为实验室数据,与现场试验数据可能会存在一定的差距,这也是今后努力的方向。

为使加筋无纺土工布在吹填工程中能普遍采用,可以从以下几个方面努力:①对于具体工程,针对工程吹填土料,可通过试验选取合适的土工布,加快排水固结;②改进冲泥管袋形式,目前已有单位研究出管状土工织物袋,它是一种排水渗径短,透水性能好,袋体四面可排水,上下层管状袋互相嵌入稳定性好的新型充填软土袋结构;③增设水平及竖向排水通道;④研究改进传统充灌施工工艺;⑤研究促进冲泥管袋土料排水固结的其他工程措施。

参考文献:

- [1] 阮学成.大型土工织物冲灌袋在上海洋山深水海港海堤建设中的应用[J].水运工程,2006(11):31-33.
- [2] 陈学良,马兴华.非织造土工布在太仓中远国际城围堤吹填工程中的应用[J].产业用纺织品,1999(9):23-25.
- [3] 张全才.吹填砂筑堤中土工织物的选择[J].湖南水利水电,2003(5):28-29.

(收稿日期 2009-08-22 编辑:高建群)