

# PHC 管桩用于高速公路软基加固的效果分析

李志强

(广东省高速公路有限公司, 广东 广州 510623)

**摘要:** 依托广东某高速公路工程,对 3 条试验段路基进行现场原位观测,探究袋装砂井、素砂桩和预应力高强砼(PHC)管桩处理软土地基的效果。结果表明,PHC 管桩加固软土地基后的沉降量比素砂桩和袋装砂井处理后的小得多,满足快速施工要求,能控制软土地基沉降。

**关键词:** 公路;软土地基;预应力高强砼(PHC)管桩;加固效果

**中图分类号:** U418.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2018)05-0091-03

在软土地区修建高速公路通常需解决承载力不足、沉降或不均匀沉降过大、侧向变形过大及路堤稳定性等问题。目前主要从两方面解决这些问题:一是加速地基土固结沉降,如打设排水体(袋装砂井)、真空预压等;二是增强地基土,减小沉降,如超载预压、设置竖向增强体[素砂桩、水泥粉煤灰碎石(CFG)桩、预应力高强砼(PHC)管桩]等。各类方法有其优缺点及适宜条件,袋装砂井施工方便,施工质量易控制,经济且有效;桩承式加筋可大大缩短工期,显著减小沉降及不均匀沉降,适用性强;PHC 管桩承载力高,施工快,适应性强。但 PHC 管桩属于刚性桩,其刚度比土体大得多,与桩周土体一起组成复合地基可能引起路堤表面不均匀沉降。实际工程

中通常在桩顶配置桩帽,增大桩体与垫层的接触面积。该文依托广东某高速公路,通过对分别采用袋装砂井、素砂桩、PHC 管桩处理的试验段路基进行现场原位观测,比较 3 种处理方案的效果,分析 PHC 管桩加固软基的承载机理。

## 1 工程概况

### 1.1 地质条件

某高速公路位于广东省东部郊区,场地土层自上而下分别为:表面粗颗粒填土,厚 2~3 m;粉质黏土,厚 2~3 m;淤泥质粉质黏土,厚 9~11.5 m,该层属于主要软弱土层;强风化层,未打穿。各土层物理力学特性见表 1。

表 1 试验段断面填土及地基土的岩土力学参数

土层	厚度/m	密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	粘聚力/ kPa	内摩擦角/ ( $^{\circ}$ )	孔隙比	含水率/ %	液限/ %	塑性 指数
表层填土	2.5	1.82	26.30	15.6	0.78	22.4	28.6	14
粉质黏土	2.5	1.62	17.54	15.0	1.46	40.6	35.4	17
淤泥质粉质黏土	10.5	1.43	19.23	12.5	1.75	47.5	52.5	18
强风化层	—	—	30.50	24.2	0.69	—	—	—
路堤填土	4.8	1.90	16.00	25.0	—	—	—	—

### 1.2 试验段路堤设计

试验段路堤长 1 200 m,路堤顶宽 26 m,边坡坡比  $V:H$  为 1:1.5( $V$  为竖向向, $H$  为水平向),填土高 4.8 m。在该项目选取 3 条试验段,分别采用 3 种软基加固方法进行处理:试验段 I 采用袋装砂井等载预压处理,砂袋直径 7 cm,处理深度 17 m;试验段 II 采用素砂桩加固,使用 C30 砂,桩径 300 mm,施工桩长 15.5 m,桩帽尺寸(长 $\times$ 宽 $\times$ 高)为 1

m $\times$ 1 m $\times$ 0.3 m;试验段 III 采用 PHC 管桩加固,外径 0.4 m,内径 0.2 m,强度 80 MPa,桩间距 2.6 m,桩帽尺寸(长 $\times$ 宽 $\times$ 厚)为 1 m $\times$ 1 m $\times$ 0.35 m。试验段 II 和 III 桩体施工完成后、填土之前填筑 2 层碎石垫层,厚度分别为 0.35 和 0.3 m。土工格栅采用 GSZ80,幅宽不小于 2.5 m,每延米纵、横向极限抗拉强度不小于 80 kN/m,纵、横向标称抗拉强度下的伸长率不大于 13%,纵、横向 2%伸长率时的拉伸力

不小于 35 kN/m, 5% 伸长率时的拉伸力不小于 55 kN/m, 粘焊点极限剥离力不小于 200 N。

### 1.3 观测仪器布置

为分析试验段 3 种处理方案下路堤的工作性状及各方案的加固效果, 在现场布置以下观测仪器: 1) 沉降计。在试验段 I 路基中线的桩间土及左、右路肩的土体中埋设沉降计, 钻孔至强风化层, 深度 15 ~ 18 m; 试验段 II、III 除在左、右路肩和路基中线附近土体中埋设沉降计外, 还在路基中线附近的桩帽下埋设沉降计, 以此表征桩体沉降。2) 位移计。在左、右路肩投影下的基底平面各埋设 1 个位移计, 监测坡体的稳定状态和水平位移场分布。试验段 III 观测仪器埋设见图 1。

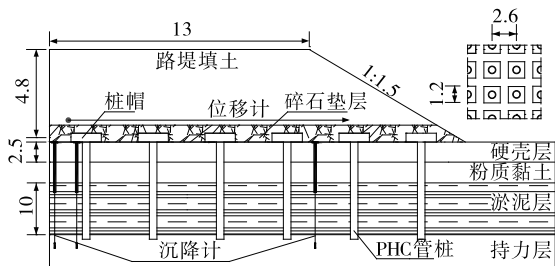


图 1 试验段 III 路堤断面及观测仪器布置示意图(单位: m)

## 2 现场监测数据对比分析

### 2.1 沉降分析

图 2 为 3 条试验段现场实测沉降。从图 2 可看出: 1) 试验段 I 的沉降值较大, 与填土高度正相关, 其中右路肩下土体最终沉降 19.6 cm, 左路肩下土体沉降 24.9 cm, 路基中线附近沉降 25.5 cm。试验段 II 左、右路肩下土体最终沉降 5 cm 左右, 路基中线附近土体沉降 4.1 cm; 中线附近桩沉降 1.8 cm, 桩土差异沉降 2.3 cm, 桩体承载发挥作用。试验段 III 整体沉降较小, 填土 1.2 m 高以前, 填土一施加, 沉降即略微增加; 经历 1 个月休眠期后, 沉降保持稳定; 之后填土施工至设计高度, 沉降再次略微增加。需要注意的是, 试验段 III 填土前, 由于初始埋设仪器人为原因, 路基中线附近的管桩发生较明显沉降, 施加填土, 沉降即发生。在填土超过 1.2 m 后路基中线附近桩体沉降几乎保持不变, 但同期桩间土沉降增加明显。2) 同一断面内的最大沉降并非位于填土最高的路基中心处, 从断面剖视角度并未呈理想的“平底锅”状, 这是由于现场地层有差异, 加上现场钻孔取芯较少, 地质情况不够精确。试验段 III 填土超

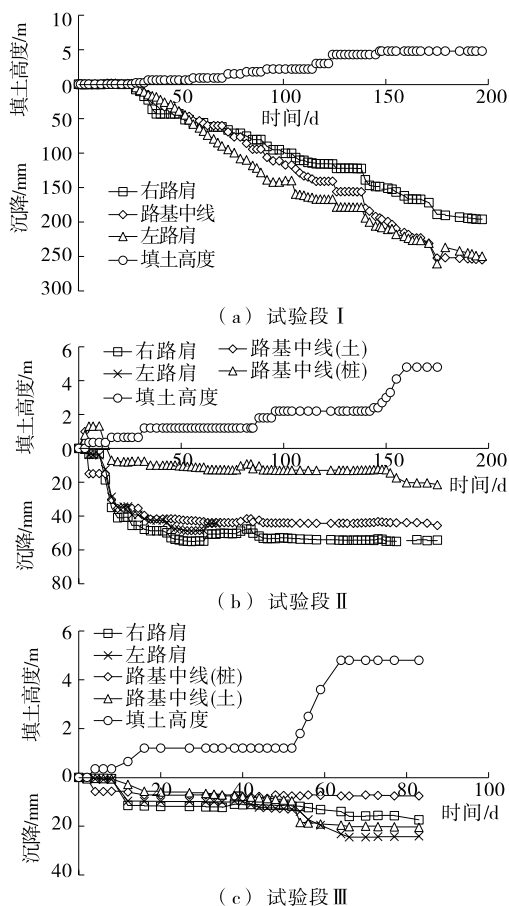


图 2 试验段沉降监测结果

过 1.2 m 后, 路基中线桩、土差异增大, 土工格栅碎石垫层的张拉作用导致荷载向桩体转移。

对于袋装砂井处理的试验段 I, 其地基处理的本质就是排水固结, 以地基土体中打设的袋装砂井作为排水通道使土体中孔隙水排出, 引起地基沉降, 土体有效强度增加。对于桩承的试验段 II、III, 地基上的附加荷载主要来自上部路堤自重, 分层填筑的路堤荷载直接作用于土工格栅碎石垫层, 在初始均布荷载作用下, 桩、土差异沉降不明显, 共同承担上部荷载; 在满足必要条件下路堤填土中出现拱效应, 桩间土沉降远大于桩体。土工格栅碎石垫层在填土荷载作用下随地基一起沉降, 通过“兜提”作用将土工格栅碎石垫层承担的那部分荷载转移到桩帽。随着路堤高度的增加, 由于桩、土之间的差异沉降, 在出现完整土拱后, 继续填土则通过土拱效应大部分荷载由桩体承担。

### 2.2 水平位移分析

图 3 为 3 条试验段的现场实测水平位移。由图 3 可知: 整体上看, 水平位移对填土施工的响应不敏

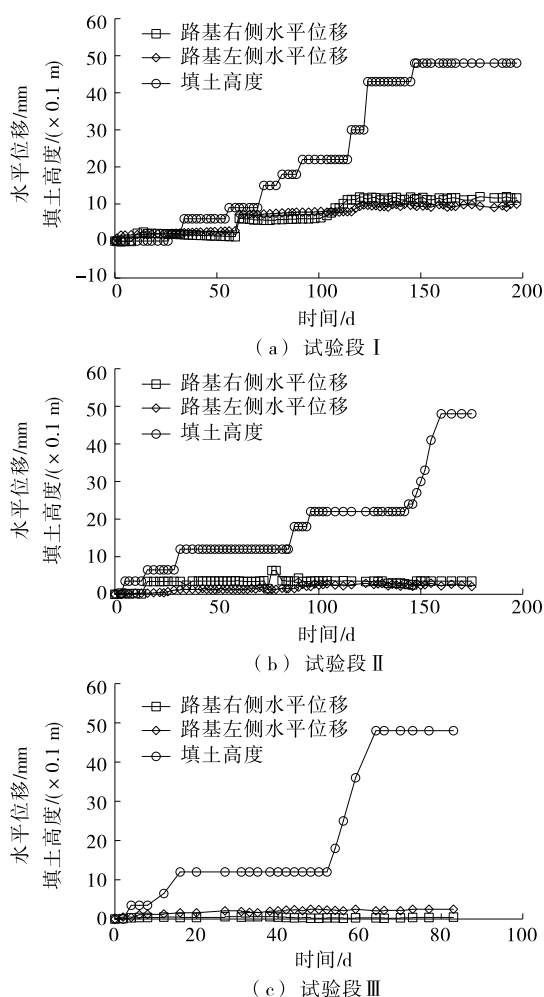


图3 试验段水平位移监测结果

感。试验段Ⅰ两侧边坡水平位移比试验段Ⅱ、Ⅲ略大,从初始观测时起累计水平位移约1 cm,而试验段Ⅱ、Ⅲ的水平位移仅约0.3 cm。试验段Ⅰ从初始观测起2个月后,其水平位移有一个较大突变,这可能是由施工机械对埋设仪器扰动所引起;之后水平位移并不明显,说明路基稳定性较好。在常规低填

方路堤修筑中,水平位移受填土高度的影响不大,路堤底部加筋垫层也影响不明显。

### 3 结论

(1) 袋装砂井处理的试验段Ⅰ沉降较大,最大沉降达25.5 cm,而PHC管桩加固的试验段Ⅲ的沉降仅为2 cm左右。

(2) 试验路堤边坡水平位移随填土变化甚微,对填土响应不明显;水平位移受加筋垫层影响也不明显。

(3) PHC管桩适合桥头段、深厚软土地基处理,满足快速施工要求且能有效控制沉降。

### 参考文献:

- [1] 刘汉龙,赵明华.地基处理研究进展[J].土木工程学报,2016,49(1).
- [2] 冯仲仁,朱瑞赓.我国高速公路软基处理研究的现状与展望[J].武汉理工大学学报,2002,24(1).
- [3] DGJ32/TJ 109—2010,预应力混凝土管桩基础技术规范[S].
- [4] JTJ 017—96,公路软土地基路堤设计与施工技术规范[S].
- [5] 王曦.预应力管桩复合地基设计与施工技术分析[J].中外建筑,2014(8).
- [6] 李国维,胡龙生,王虎子,等.软土地基大变形位移计研制与工程应用[J].公路交通科技,2013,30(5).
- [7] 郭院成,张浩华,周同和.高速公路高填方软基处理方法的对比分析[J].郑州大学学报:工学版,2002,23(2).
- [8] 施峰,郝世龙.PHC管桩水平承载力试验研究[J].岩土力学,2015,36(增刊2).
- [9] GB 50330—2013,建筑边坡工程技术规范[S].

收稿日期:2018-05-08

(上接第76页)

- [8] Polster D F. Soil bioengineering for steep/unstable slopes and riparian restoration[J]. Watershed Restoration Technical Bulletin,1999,4(4).
- [9] 吉田博宜.法面斜面的绿化与修景[J].基础工,1999,27(5).
- [10] 青木正雄,安部征雄.强酸性土における法面绿化[J].土と基礎,1996,44(6).
- [11] 立石義孝,鬼塚克忠,馬淵勝美,等.厚層基礎材吹付工法による硅藻土斜面的绿化[J].土と基礎,1996,44(6).
- [12] 方华,林建平.植被护坡现状与展望[J].水土保持研

究,2004(3).

- [13] 张玉珍.道路生态恢复中的生态学基础[J].交通世界:运输.车辆,2012(增刊).
- [14] 张泰丽.浙江省东部台风暴雨诱发滑坡变形特征和成因机制研究[D].北京:中国地质大学,2016.
- [15] 张俊云,周德培,李绍才.岩石边坡生态种植基试验研究[J].岩石力学与工程学报,2001,20(2).
- [16] 张华君,吴曙光.边坡生态防护方法和植物的选择[J].公路交通技术,2004(2).

收稿日期:2018-06-22