

乐温高速公路软土路基沉降与稳定性监测分析

任东红¹, 刘 峰²

(1. 江西省公路管理局, 江西 南昌 330002; 2. 江西省交通科研院, 江西 南昌 330038)

摘 要: 对乐温(乐化镇—温家镇)高速公路软土路基进行了路堤沉降和稳定性观测, 观测结果表明, 乐温高速公路软土地基采用粉喷桩进行加固处理的效果明显。

关键词: 公路; 软土地基; 高速公路; 沉降观测; 稳定性观测

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

文章编号: 1671-2668(2005)05-0051-04

由于软土地基的强度低、承载力小、压缩性高、渗透性低、固结变形时间长, 所以在软土地基上修建高等级公路, 容易发生路堤下沉或路面不均匀沉降等问题。而高速公路设计车速高, 对路面平整性要求也高, 因此, 软土地基路堤施工中应注意填筑过程, 并对路堤进行动态监测, 了解地基变形动态。

软土路堤施工监测的作用: ① 保证路堤施工的安全和稳定; ② 预测工后沉降, 将工后沉降控制在设计允许范围内; ③ 提供施工期间沉降土方量计算依据。

1 工程概况

乐温(乐化镇—温家镇)高速公路是南昌绕城公路的东外环线, 也是京福(北京—福州)国道主干线的共用线, 全长 71.645 km。区内不良地质主要为浅埋型软土和鱼塘、湖泊中的淤泥、淤泥质土等。软土分布于 K15+420~K19+810 和 K22+179~K24+007, 呈片状、块状和透镜状分布。厚度各处不一, 一般为 3~10 m。其表层被厚 1~4 m 的亚粘土、亚砂土覆盖, 下伏中、细砂层或呈硬可塑状的粘性土层。软土呈灰色, 湿至饱和, 软塑, 有异味。天然含水量为 32%~41%, 液限指数为 0.98~2.13, 饱和度在 90% 以上, 现场原位测试小于 3 击。该类软土的分布范围大, 厚度较大, 一般隐伏于表层硬壳层之下, 且其工程地质性质差, 对路基的危害性大。根据设计要求, 结合江西省软基处理施工经验, 采用粉喷桩进行加固处理。桩径 0.50 m, 桩距 1.50 m, 呈等边三角形布置, 处理深度为 3.0~10.0 m。

2 监测项目及监测数据分析

乐温高速公路软土地基观测项目为地表沉降、地基深层沉降、地基分层沉降、地基水平位移和孔隙

水压力。共设置了 5 个观测断面, 即 K16+300、K18+500、K18+600、K23+800、K23+900。每断面测点的埋设见图 1, 其中 K16+300 横断面没有进行地面水平位移观测。观测时间为 2004 年 4 月~2006 年 6 月。

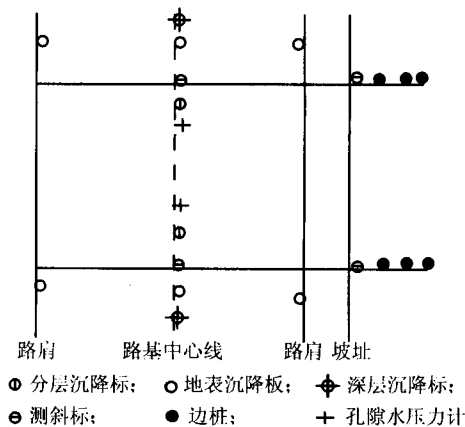


图 1 横断面观测点平面布置示意图

2.1 承载力观测

设计要求粉喷桩桩体 90 d 无侧限抗压强度为 1 100 kPa, 28 d 强度大于或等于 660 kPa, 一般路基复合地基承载力为 140~150 kPa, 构造物为 220~250 kPa。为了确定单桩和复合地基实际承载力, 在粉喷桩龄期达到或超过 28 d 时, 对单桩和复合地基进行静载试验。试验原理: 用接近于竖向抗压地基的实际工作条件的试验方法, 确定单桩和复合地基的承载力进行抽样检验和评价。共进行了 9 根单桩、6 处桩间土、27 处复合地基承载力试验, 单桩和桩间土承载力试验的承压板直径为 $\phi 50$ cm, 复合地基承载力试验的承压板边长为 2.42 m \times 2.42 m。同时, 按 5% 的比例对粉喷桩钻芯取样, 并对芯样进行无侧限抗压强度试验, 以检测桩体喷粉是否均匀、

桩体有无断粉现象、桩长和桩体实际无侧限抗压强度是否达到设计要求。

粉喷桩单桩及复合地基承载力特征值根据下列原则确定:①当压力-沉降曲线上极限荷载能确定,且其值不小于对应比例界限的2倍时,取比例界限;当其值小于对应比例界限的2倍时,取极限荷载的50%。②当压力-沉降曲线为平缓光滑曲线时,按相对变形值确定,对粉喷桩复合地基,取 s/b 或 $s/d=0.004\sim 0.010$ 所对应的荷载值(b 、 d 分别为压板的边长和直径)。按相对变形值确定的承载力特征值不应大于最大加载压力的50%。由于该工程粉喷桩持力层为砂层(埋深不一),取 s/b 或 $s/d=0.007$ 所对应的荷载值作为确定承载力特征值的标准之一。桩间土承载力静载试验结果见表1,代表性的单桩及复合地基静载承载力试验结果见表2、3。

表1 桩间土承载力试验结果

桩长/m	位置	承载力/kPa
9.0	CK0+200.8 右幅距中心线 1.2 m	49
	CK0+208.8 右幅距中心线 1.2 m	162
	CK0+211.8 右幅距中心线 1.2 m	98
9.5	K17+938.8 左幅距中心线 14 m	65
	K17+940.0 左幅距中心线 14 m	163
	K17+940.8 左幅距中心线 14 m	139

表2 部分单桩承载力试验结果

桩长/m	位置	承载力/kPa
3.0	K23+135 左幅距中心线 7 m	244
3.5	K17+953 右幅距中心线 25.3 m	342
9.0	CK0+208 右幅距中心线 2 m	434
9.5	K17+944.4 左幅距中心线 14 m	447

表3 部分复合地基承载力试验结果

桩长/m	位置	承载力/kPa
3.0	K23+200 右幅距中心线 9.0 m	152
3.5	K18+625 左幅距中心线 10 m	187
5.5	K17+225 右幅距中心线 5 m	227
6.0	K17+240 左幅距中心线 15 m	235
7.0	K23+020 左幅距中心线 6 m	256
9.5	K17+936.5 左幅距中心线 3 m	269
10.0	K23+909 左幅距中心线 11 m	287

从表1可以看出,粉喷桩桩间土6个静载点的承载力离散性较大,变异系数为0.438,有2个点的承载力较低,仅为49 kPa和65 kPa,其原因是这两

处粉喷桩未施工完毕,桩间土为原状土,这说明粉喷桩加固软土地基是必要的;其余4处的承载力偏高,说明粉喷桩加固软土地基是成功的。

从表2和表3可以看出,单桩承载力、复合地基承载力与粉喷桩长、持力层特性有关,粉喷桩越长、持力层越好,单桩承载力和复合地基承载力越高;桩长达10 m时的单桩承载力及复合地基承载力与桩长9.5 m时的相比增长不大,且桩越长施工难度越大,也不经济,故粉喷桩的最大长度以10 m为最佳。

根据钻取芯样及无侧限抗压强度抽查结果,粉喷桩长度达到了设计要求,喷粉的均匀性、桩体的完整性好,桩体的无侧限抗压强度达到了设计要求。

2.2 沉降观测

2.2.1 地表沉降观测

路基填土速率越大,沉降速率也越大;填土高度不变时,沉降较慢;填土高度增加时,沉降加快。根据监测方案,路堤每填筑一层观测一次,如果两层填筑时间间隔长,则每3 d观测一次,以及及时掌握软基沉降情况,确定路堤加载速度,及时调整软基处理加固方案。

在路堤荷载作用下,地基土中的应力状态发生变化,引起地基变形,出现路基沉降。现场沉降观测资料表明,软土路基沉降变化基本经历了发生—发展—稳定—极限的过程。

路堤填筑过程中,断面K16+300地面沉降量变化过程见图2(为路堤中心的沉降曲线)。从图2

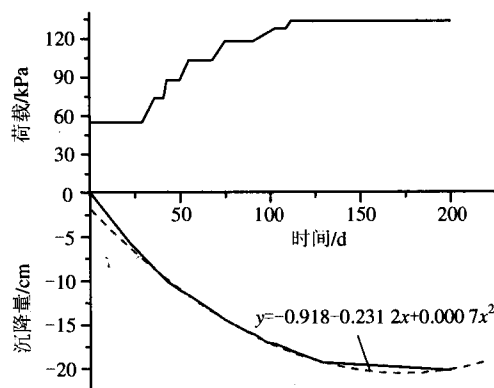


图2 K16+300横断面地面沉降量变化过程曲线

可以看出,在路堤填筑的过程中,地面沉降量变化较稳定,从开始观测到路堤填筑完毕,地面的沉降量为20.2 cm;填土高度达到理论计算极限填土高度4.45 m时,沉降量为15.8 cm,沉降速率达到最大,为4.80 mm/d,小于规范规定的地基中心沉降每昼夜不大于1.0 cm的要求。整个路堤的平均沉降速率

为 1.16 mm/d, 路堤中心沉降量比左路肩地表沉降量大 2.1 cm, 比右路肩地表沉降量大 3.0 cm。拟合分析发现, 地表沉降规律符合二次多项式曲线:

$$y = -0.9180 - 0.2312x + 0.0007x^2$$

$$R^2 = 0.9960$$

填土完成后, 继续产生工后沉降, 开始时沉降较大, 然后逐渐变小。采用双曲线法预测本路线软土地基沉降较为合理, 经过时间 t 的沉降量

$$S_t = S_0 + t/(\alpha + \beta t)$$

式中: S_0 为初期沉降量 ($t=0$); α 、 β 为从实测值求得的系数。

根据上述方法 ($S_0 = 6.9$ cm, $\alpha = 4.030$, $\beta = 0.052$) 预测路基中心最终沉降量为 26.1 cm, 推出工后沉降量为 5.90 cm, 满足设计要求 (要求工后沉降不大于 30 cm), 路基中心沉降量稍大于两侧路肩沉降量, 但三者差异较小, 符合正常的路基沉降盆特性, 说明粉喷桩的加固方法可行、有效。

2.2.2 分层沉降和深层沉降

在土体内埋设分层沉降标, 观测土体内部深层沉降, 了解地基某一层位的土体压缩情况。深层沉降标埋于 11.6 m 深的下伏中细砂层中。K16+300 断面分层沉降结果见图 3, 深层沉降结果见图 4。

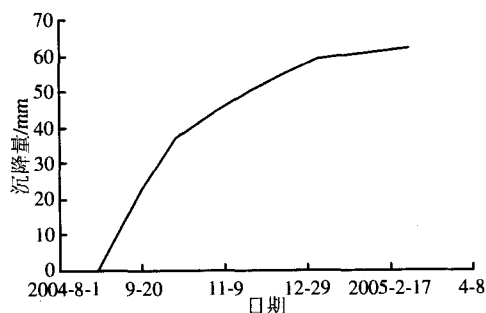


图 3 K16+300 横断面软土层分层沉降量变化过程曲线

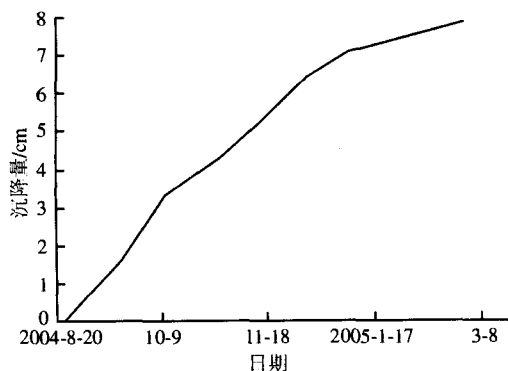


图 4 K16+300 横断面深层沉降量变化过程曲线

从图 3 可以看出, 软土层的沉降量占总沉降量的 30.7%, 软土的沉降量较大, 变形已基本完成, 不会发生过大的工后沉降。分层沉降结果变化稳定, 在路堤填土过程中与加载速率相关性好, 基本符合线性关系。从图 4 可以看出, 深层沉降量 (未加固区的沉降) 与软土层沉降相当, 占总沉降量的 39.1%, 在路堤填土过程中与加载速率相关性好, 基本符合线性关系。表明加固后软土层变形模量与下伏土层相当, 加固方法可行。

2.3 稳定性观测

2.3.1 地面水平位移监测

图 5 为 K23+800 断面地面水平位移监测结果。从图 5 可看出, 该断面地面水平位移变化缓慢, 总水平位移量 46.3 mm, 平均速率 0.26 mm/d, 最大水平位移速率 1.84 mm/d, 小于规范要求的坡脚水平位移速率 (每昼夜不大于 0.5 cm)。该观测断面的边桩水平位移量不大, 水平位移最大速率小于规范要求, 坡脚外地表未出现隆起现象, 说明施工期间路堤稳定, 未出现剪切破坏、整体侧向滑动等现象。

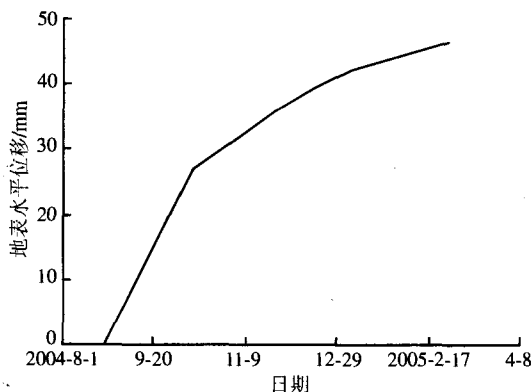


图 5 K23+800 横断面地面水平位移变化过程曲线

2.3.2 土体内部水平位移

图 6 为 K23+800 断面土体水平位移变化曲线

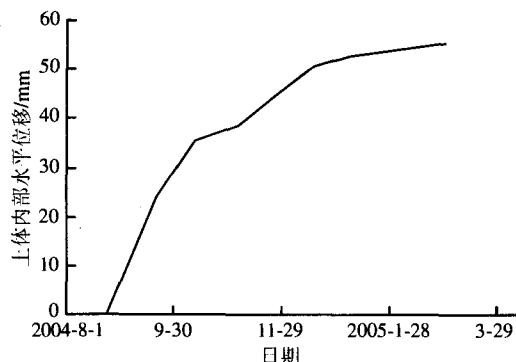


图 6 K23+800 横断面土体水平位移变化曲线

线。从图6可看出,该断面的最大土体水平位移量为55.52 mm,发生在距地表5.1 m处,处于软土层中部,软土层的水平位移变化稳定,在路堤填土过程中与加载速率相关性好,基本符合线性关系。

图7为K23+800断面土体水平位移不同深度变化过程曲线。从图7可以看出,该断面土体内部水平位移的最大影响深度为18 m,最大土体水平位移发生在地表以下0~8 m。土体水平位移量和变化速率与荷载的大小有明显的相关性,随着填土加载,位移量和位移速率增大;加载停止,位移速率显著减少,并趋于零。

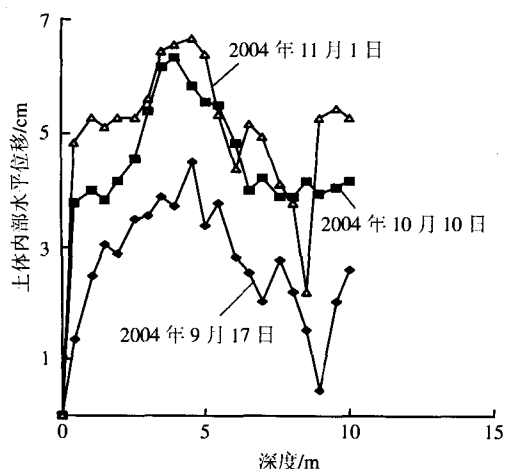


图7 K23+800 横断面土体水平位移
不同深度变化过程曲线

3 结 论

1) 静载试验是确定复合地基实际承载力的有效手段之一,根据静载试验的结果可知:原状土的地基承载力很低,加固后的桩间土承载力明显增强;单桩、复合地基承载力与桩长和持力层特性有关,随着

桩长的增加而增加。

2) 从到目前为止的观测结果来看,乐温高速公路软土地基的地表沉降量为16.4~28.2 cm,没有出现急剧下沉和不均匀沉降;软土层的沉降占总沉降的25%~35%;地表10~12 m以下的深层沉降占总沉降的36%~45%;土体水平位移量为55~70 mm,土体内部水平位移的最大影响深度为18 m,最大土体内部水平位移发生在地表以下0~8 m。

3) 现场沉降观测资料表明,软土路基沉降变化基本经历了发生—发展—稳定—极限的过程,从拟合结果来看,实测地面沉降与时间的关系符合二次多项式曲线;根据实测资料,利用双曲线法预测最终沉降量较合适。

4) 乐温高速公路采用粉喷桩加固处理软土地基,节约了施工时间,有效控制了地表沉降及水平位移,效果明显。

5) 软土地基加固处理的措施较多,检验处理措施的可行性及有效性的最佳手段是对其进行沉降和稳定性监测,建议在软土地基加固处理过程中进行这二项监测。

参考文献:

- [1] 夏才初,潘国荣,等. 土木工程监测技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [2] JTJ 017-96,公路软土地基设计与施工技术规范[S].
- [3] 张诚厚,袁文明,戴济群. 高速公路软基处理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [4] 江茂盛. 高速公路软土地基稳定性问题研究[D]. 成都:四川大学,2001.

收稿日期:2005-09-30

我国首条环氧树脂材料道路建成

2005年9月15日,我国首条用环氧树脂材料铺设的彩色道路在上海建成投用,表明我国新型道路材料试验初战告捷。

环氧树脂材料铺设道路,此前在国内仅有少数零星小幅地块应用,主要是在上海等地的公园中。正式铺设车道供发挥交通作用,这是首次。环氧树脂作为性能极为优异的材料,在我国曾较早用于室内地坪,但在环氧树脂材料室外道路的应用中,却落后于国外。目前国内环氧树脂仅在发达地区桥梁(如上海、南京、天津等地大桥)建设中有应用,但环氧树脂在其中只是对沥青起改性作用,不是主要材料。以环氧树脂作为交通道路材料,在技术上要求极高,主要是要高度耐磨、能经受重压,长年耐晒、能抗紫外线,这些绝非室内地坪应用所能比拟。

这条道路所铺设的环氧树脂材料为国内产品,这是我国环氧树脂技术进步的重要标志。该环氧树脂材料道路带有试验性质,有关部门将对材料和铺设工艺进行改进。如该技术在全国推广,则我国道路状况将大为改善,环氧树脂将迎来广阔的市场。