

# 预应力管桩联合砂桩处理 山间谷地软土实例分析

吴燕开, 孙宗军

(山东科技大学, 青岛 266510)

**摘要:** 山间谷地的软土由于其地处位置不同, 软土的厚度变化差异较大, 而且常年被水淹埋着。当高速公路在穿越山间谷地的软土地基时, 选择何种处理方法才能有效对其进行加固, 避免路基在填筑过程中发生滑塌、开裂是工程中必须面对的问题。本文通过对珠江三角洲地区某高速公路穿越一山间谷地软土地基的工程实例, 重点研究山间谷地软基处理技术, 对山间谷地软基的处理方法进行了对比分析, 同时就山间谷地的软基处理技术进行了探讨, 为今后的工程建设提供技术参考。

**关键词:** 山间谷地; 软基; 砂桩; 预应力管桩

**作者简介:** 吴燕开 (1976—), 男, 广西贵港人, 博士, 从事软土地基处理研究。

## 0 前言

软土是工程建设中较常见的不良地质体, 对于软土地基的处理, 从 20 世纪 20 年代至今, 已有 80 多年的发展历史。现在对于软土地基主要采用的处理方法有化学加固方法, 如粉喷桩、高压旋喷桩、排水固结法 (如塑料排水板法、袋装砂井、砂桩) 以及预应力管桩和 CFG 桩等。工程建设中可根据不同的地质条件、工期要求进而选择不同的处理方法。

高速公路建设对路基工后沉降的要求较高, 使得其对软土地基的处理有着特殊的要求。尤其是山间谷地的软土路基, 其除了具有一般软土路基的特点外, 其主要不同点是软土分布厚度不均、发育在具有一定的坡度且易发生滑移的边坡上。正是由于山间谷地软土具有这一特点, 因此在高速公路穿过这样的路段时, 如何保证高速公路在施工过程中不发生滑动、开裂以及在今后的运营中不出现过大沉降, 是高速公路在软基处理中的一个重点难题。若处理不当, 极易造成路基开裂、滑塌, 不但会造成经济损失, 还影响了工期, 同时运营后的沉降也难以得到控制。

山间谷地地形地貌多变, 且地势较低, 地基土体常年饱水, 形成土体强度较低、变形模量较小的软弱土层。在这种软弱土层上修筑路堤, 如果处

理不当, 极易产生变形破坏。一般情况下, 采取换填法可以达到所需的地基承载力, 但是, 如果软弱土层较厚, 工程费用会比较高, 且弃置的大量污泥会污染环境。固结排水法 (如砂桩、袋装沙井、塑料排水板) 加固山间谷地的软土地基工程造价相对较低, 但是所需的工期较长, 同时如软基的左右幅分布不均, 在预压过程中, 由于沉降差异过大会产生路基开裂、滑塌现象。采用半刚性桩或刚性桩如 CFG 桩、水泥搅拌桩或预应力管桩的复合地基方案时, 虽然加固处理费用相对较高, 但是该方案可以有效地对山间谷地的软土地基进行加固, 同时桩基还起到抗滑的作用, 可以防止山间谷地坡脚处的软基滑移。

本文主要通过某高速公路在穿越一山间谷地时, 对软土地基的加固方法的实例研究, 并通过现场实测资料, 对处理技术进行分析。

## 1 工程实例概况

某高速公路地处珠江三角洲的三水、南海、花都地区, 珠江三角洲属于亚热带气候, 湿润多雨, 年平均气温  $21.5^{\circ}\text{C} \sim 22.5^{\circ}\text{C}$ , 最高气温  $38^{\circ}\text{C}$ , 最低气温  $-2.4^{\circ}\text{C}$ , 其物源区化学风化作用较强, 促使搬运的颗粒偏细, 有大量的软土地基存在。该地区的软土具有含水量高 (一般 70% 以上)、抗剪强度低 (十字板抗剪强度  $8 \sim 12 \text{ kPa}$ )、压缩性高

(孔隙比一般超过 1.5,最大达 2.6 左右)、土体接近饱和、承载力低、垂直渗透性低等特点<sup>[1-3]</sup>。而三水、南海、花都等属于丘陵地带,软土呈现零星分布状态,相邻不远的地段,软土的性质相差很大,且山间洼地,尤其是鱼塘地段都有大量的软土分布,该类软土往往是孔隙比更大,一般为 2 左右,最大为 6 左右,透水性较三角洲软土更差。

图 1 为该高速公路在 K47~K48 处穿越的一个山间谷地的地形图,从图中可以清楚看到,路基前后均是山丘,中间为一谷地,在靠近坡脚处的地质剖面图如图 2 所示。

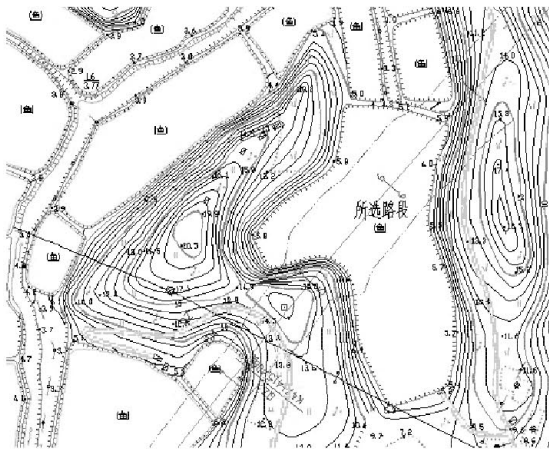


图 1 路基穿越谷地地形图

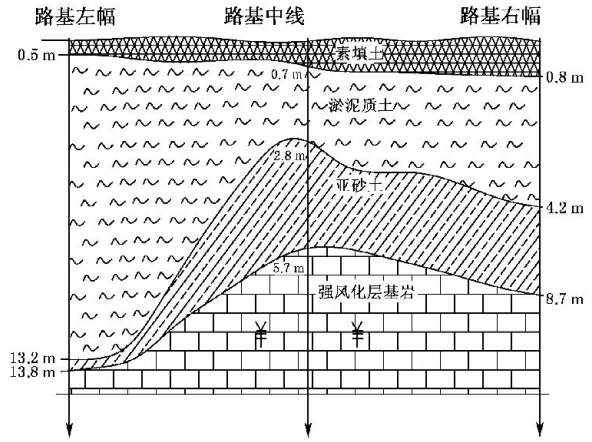


图 2 谷地坡脚处横断面图

谷地土层分布如图 3 所示,土层从上到下,可分为:

- (1) 素填土,为换填后残留土,主要成分为砂性土,夹杂部分弱膨胀土,厚为 0.5~0.8 m。
  - (2) 淤泥、淤泥质土,灰褐色,上部大部分为鱼塘沉积淤泥,呈流塑状;下部为淤泥质土,见朽木,部分长 1 m 左右,压缩性高,呈流塑-软塑状,厚度 2~15 m,分布与山坡趋势相同厚度,极不均匀。
  - (3) 亚砂土,软塑状,厚度 0.6~4.5 m,分布不均匀。
  - (4) 强风化基岩。
- 各土层物理力学性质如表 1 所示。

表 1 山间谷地各土层物理力学指标表

土 层	天然含水量 W(%)	孔隙比 e	液限 W <sub>L</sub>	塑限 W <sub>p</sub>	液性指数 I <sub>L</sub>	剪切强度		压缩模量 E <sub>s</sub> (MPa)	压缩系数 α(MPa <sup>-1</sup> )	单桥静力触探 P <sub>s</sub> (MPa)
						黏聚力 c(kPa)	内摩擦角 φ(°)			
(1)	35.2	0.74	35.5	23.5	0.47	31	17.2	7.8	0.29	2.57
(2)	89.8	2.45	68.7	36.1	2.42	9.1	3.5	1.6	2.54	0.31
(3)	30.6	0.712	24.4	18.6	0.61	12	38.7	8.7	0.21	4.74

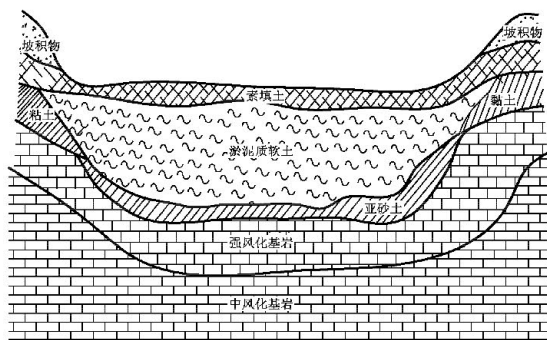


图 3 谷地中心软基分布纵断面图

由于路线与山体并不是正交,因此在接近坡脚之处,路基左右幅的软基厚度分布极不均匀,右

幅接近坡脚,软基厚度相对要小,而左幅同一位置远离坡脚,软基厚度则相对要大。因此在处理该路段的软基时,极易出现路基填土后开裂、滑塌状况。图 3 为谷地中心软土分布的断面图,图 4 为

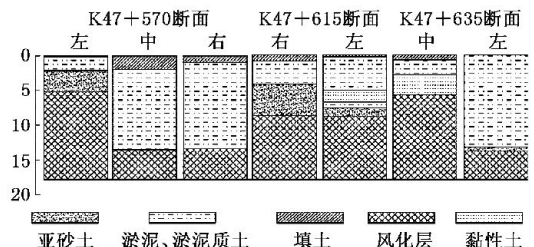


图 4 谷地软基不同位置处软基厚度分布图

不同桩位处软土厚度的分布图。

## 2 原设计处理方法

对于该路段的软基处理,由于开始认识不足,采用了砂桩+等载预压处治的方案,砂桩直径500 mm,间距1.5 m,同时上面铺设土工格栅+50 cm 砂垫层+土工格栅,如图5所示。

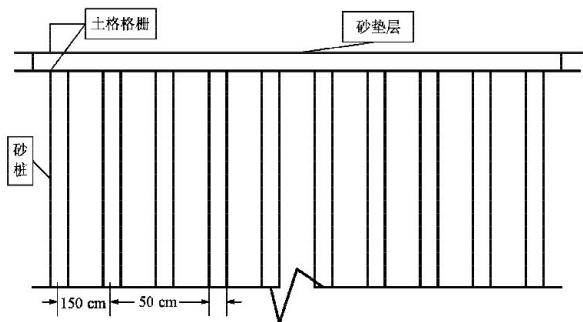


图5 原设计砂桩处理的布置图

砂桩处理结束后,开始按规范要求进行路基的填土,当路基填筑到93区、填筑高度达4.2 m时,路基的左右幅出现了非常大的沉降差异,左幅路基比右幅路基的沉降量大700 mm左右,如图6所示。

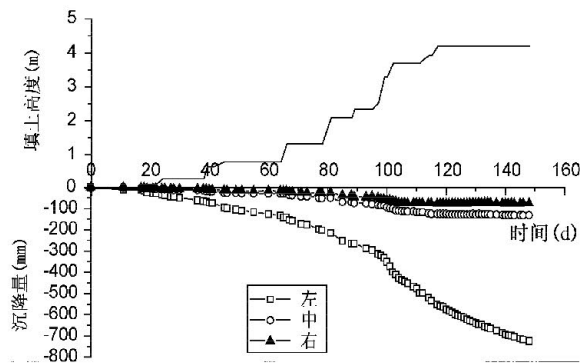


图6 原处理方法坡脚处填筑过程的沉降曲线

最终致使靠近坡脚处的路基开裂,纵向裂缝长达30多米,裂缝最大宽度达10 cm。同时侧向位移急剧增大。

分析开裂原因,主要是因为采用砂桩处理,而砂桩加固的机理主要是两方面:①侧向挤压;②固结排水。由于软基左右幅的厚度分布不均,在上覆荷载的作用下,左右幅路基的沉降极度不均匀,从而导致路基开裂。同时,左右幅沉降差异过大也致使50 cm的砂垫层在路基填筑过程出现开

裂、错断,这样砂桩的排水效果无法发挥出来,局部地基中的超静孔隙水压力未能得到消散,再有在软基段坡脚位置处,软基的发育具有一定的坡度,其与下卧层交界面是一个极不稳定的滑裂面,综合这些因素,最终造成路基在填筑过程中发生了开裂的状况。

## 3 改进处理方法

为防止地基失稳,首先将山间谷地长达160 m的路基填土全部卸除,卸载至裂缝消失层,然后采用直径300 mm管桩,以间距2.1 m在原处理软基位置进行加固,如图7所示。

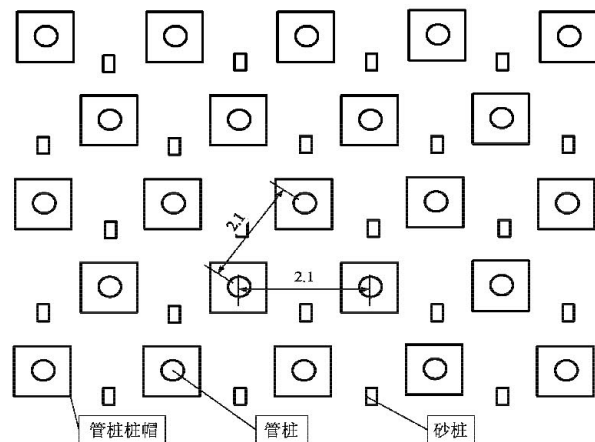


图7 管桩+排水板处理的平面布置

为使地基的整体受力均匀,在加设完管桩后,还在管桩的顶部加设了正方形边长为1.0 m的桩帽,在桩帽上铺设一层土工格栅然后再铺设厚50 cm的砂垫层,砂垫层上再铺设一层土工格栅,然后才进行填土,如图8所示。

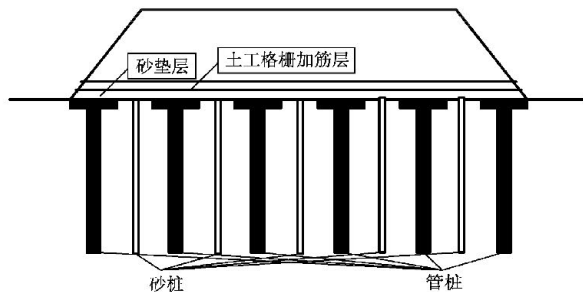


图8 管桩+砂桩复合地基体系

这是两种不同加固机理联合处理软基的方法,对于该工法的加固机理文献[4,5]有相关的研究,证明是一种有效可行的软基加固方法。

在改进处理方法后,同时在靠近坡脚的地方埋设了沉降板进行填筑过程的全程监控,再次加固后按路基开裂前的沉降继续观测。

### 4 改进处理方法结果分析

对原处理方法进行改进后,填筑过程的沉降时间曲线图如图 9 所示。

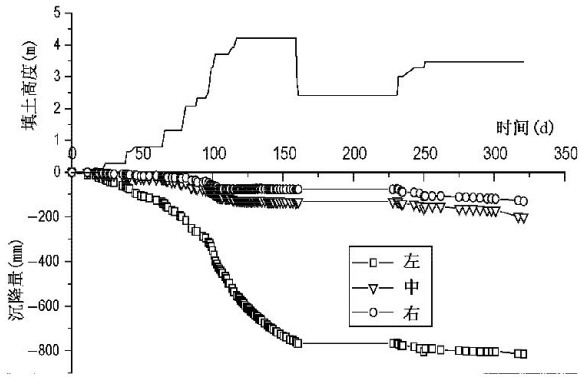


图 9 管桩+砂桩处理方法谷地 K47+635 的沉降曲线图

由图 9 可以看出,在谷地的坡脚处,经过卸载再采用管桩进行处理后,左右幅路基的沉降差异不再继续发生,而是保持原砂桩处理的沉降差异。管桩在处理后的路基没有再次发生沉降不均而导致的裂缝产生,路基填土的速度也可以在原基础上加快进行,对保证该工程按时完成起到了关键的作用。

为更好作比较,在该山间谷地中软基左右幅厚度相差不大的软基路段也埋设了一沉降板进行现场沉降观测,全过程的沉降时间曲线如图 10 所示。

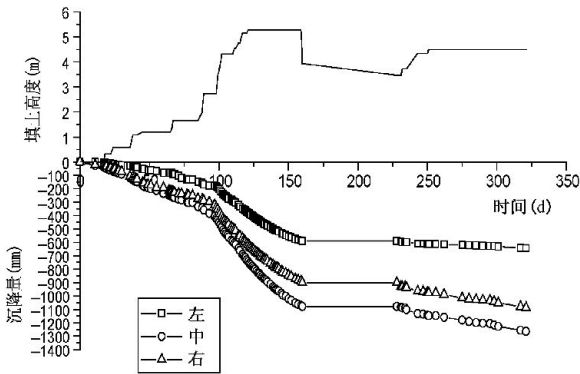


图 10 管桩+砂桩处理谷地中心段(K47+570)沉降曲线

由图 10 可见,在山间谷地的中部,由于软基

的左右幅分布较均匀,路基左中右的沉降在开裂前也是较均匀的,沉降差异不明显。因此对于山间谷地的软基处理,坡脚处是重点。

### 5 结论与建议

通过本工程案例分析可知,山间谷地软土地基的处理,应充分地考虑软基的分布情况,特别是山间坡脚处的软基分布、路线与坡脚的交叉方式。在处理过程中,要根据软基的具体厚度、埋深等来决定软的处理方法、处理深度。

一般的排水固结法在山间谷地中处理软土地基效果不好,因为软基的分布不均匀,很易造成路基的差异沉降过大,最终导致路基失稳。刚性或半刚性的预应力管桩、CFG 桩或水泥搅拌桩等处理方法,对于加固山间谷地的软基,具有较好的加固效果。对于山间谷地坡脚的软基处理应特别引起足够的重视,它是山间谷地软基处理的重点。由本文的工程实例可知,采用预应力管桩进行软基加固,不但可以加固软土地基,同时还可以起到抗滑桩的作用,防止路基在填筑过程中,路基沿坡脚处的软基滑动面开裂或滑塌,它是山间谷地软基加固较好的一种处理方法。

### 参考文献

- [1] 陈晓平,黄国怡,梁志松. 珠江三角洲软土特性研究[J]. 岩土力学与工程学报,2003,22(1):137~141.
- [2] 王盛源,关锦荷. 珠江三角洲高含水量软土的工程特性与加固方法[C]. 高速公路地基处理理论与实践——全国高速公路地基处理学术研讨会论文集. 广州,2005:20~25.
- [3] 孟庆山,王吉利,汪稔. 采用不同加固方案处理软土地基的对比研究[J]. 岩土力学,2002,23(3):375~377,381.
- [4] 吴燕开. 排水水粉喷桩(2D工法)加固软土地基原理与应用研究[D]. 南京:东南大学,2005.
- [5] 吴燕开,方磊,李新伟,等. 预应力管桩联合塑料排水板加固软土地基技术探讨[J]. 岩石力学与工程学报,2006,25(Supp. 2):3572~3576