

文章编号: 1671-6833(2002)02-0031-03

# 高速公路高填方软基处理方法的对比分析

郭院成<sup>1</sup>, 张浩华<sup>2</sup>, 周同和<sup>3</sup>

(1. 郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 郑州市市政工程管理处, 河南 郑州 450052; 3. 郑州大学综合设计研究院, 河南 郑州 450002)

**摘要:** 软弱地基上路基常采用碾压施工, 由此可能导致工后水平和竖向变形稳定性的滞后现象, 严重影响整个公路工程的施工进度. 针对京珠高速公路湖北省东西湖区段软弱路基的高填方处理工程, 通过无砂砼小桩后处理效果和轻质材料路基施工过程中的沉降变形曲线的对比试验, 分析了高速公路高填方软基不同处理方法的工程效果及其机理, 具有一定的工程参考意义.

**关键词:** 软基高填方; 变形稳定性; 无砂砼小桩后处理; 轻质路基

**中图分类号:** TU 472      **文献标识码:** A

高速公路路基特点是工程地质条件复杂, 常需进行边坡开挖或碾压填方. 在高填方路段, 路基逐层碾压过程中, 下层原状土受压, 发生沉降变形, 至设计路基标高下层地基土沉降变形基本稳定, 则可进行下一步工序. 实际工程中, 当高填方区存在软弱土层且其埋深较大时, 在上部路基碾压过程中, 下层土体中的水份不易排出, 在路基的逐层增高过程中, 下层软弱土产生超静水压力, 导致土颗粒间的有效应力与上部附加荷载集度的递增速率不成比例, 当路基高程达到设计标高时, 下层土体的主固结沉降远远没有完成, 路基变形也难以按设计工期达到稳定标准. 因此在软弱土层上筑路填方时, 施工过程中的竖向排水通道的设计是保证施工质量和工程进度的关键环节.

由于现场工程地质勘察或施工组织设计等原因, 造成路基变形不能按预定时间达到稳定标准时, 将可能导致整个标段工程的工期延误. 因此研究工前路基处理和工后处理具有重要的工程意义. 本文基于此种工程背景, 试验研究了无砂砼小桩压密注浆技术的后处理方法, 并与轻质路基处理方法进行了对比分析.

## 1 无砂砼小桩后处理机理分析

对于软弱粘性土地基, 当含水量逐渐增大渐

趋饱和时, 通常情况下其孔隙结构表现为气封闭形态. 当上部受到外力作用时, 不排水条件下, 孔隙中的自由水产生孔隙压力, 骨架土颗粒同时受压, 形成有效应力  $\sigma'$ , 存在  $\sigma = \sigma' + u_m$ . 在总应力保持不变条件下, 土体的压缩变形主要取决于超孔隙水压力的大小, 只在土体中孔隙水压力逐步消散, 土颗粒有效应力逐步增大时, 土体才发生固结, 土体抗剪强度得到提高, 相应发生压缩变形.

高速公路路基宽度通常达到 30~40 m, 采用大型机械化施工, 高填方区一般在自然地面上铺设一层 30~50 cm 厚碎石, 然后分层铺土碾压. 因此施工过程中下层软弱土层不具备良好排水条件, 随着路基的逐层加高, 下层软弱土层的顶部压力相应增大, 但由于土体含水量较大, 孔隙水压力提高的速度远大于土颗粒上有效应力增大的速度, 这就使得高填方路基施工过程中, 孔隙超静水压力随施工进度基本上呈线性增长趋势, 而土颗粒的有效应力仍保持在较低应力水平上, 软弱土层得不到压实, 形成工后填土路基自重主要由下层软弱土层中的孔隙水承担, 土体主固结速度缓慢, 路基变形不稳定的不利受力状态.

从机理方面看, 高填方软弱路基变形稳定性处理就是要迅速消散下部软弱土层中的超静水压力, 提高土颗粒间的有效应力, 完成土体主固结过

收稿日期: 2001-12-02; 修订日期: 2002-03-15

基金项目: 河南省科技成果推广应用资助项目(0134020200)

作者简介: 郭院成(1965-), 男, 河南省辉县人, 郑州大学教授, 博士, 主要从事复合地基和深基坑支护结构的研究.

程.无砂砼小桩施工工艺分为:成孔→插管投石→封孔注浆.在成孔过程中,下部软弱土层中的超静水压力得到彻底释放,使土颗粒的有效应力发生突增,主固结进程加速;插管投石并间隔压力注浆施工过程中,首先在压力作用下通过邻近桩孔将桩间土中的部分自由水置换排出;再次在邻近桩孔中压力注浆时,水泥浆继续置换桩周土体中的自由水,并使桩体密实,形成竖向无砂砼桩体以及桩周水泥复合土.无砂砼桩体与桩周水泥土共同构成复合地基,从而使高填方软基的竖向承载力和压缩模量均得到显著提高.

孔隙比 1.569~1.726,干密度 10.7~10.2kN/m<sup>3</sup>,湿密度为 16.9~16.4kN/m<sup>3</sup>.

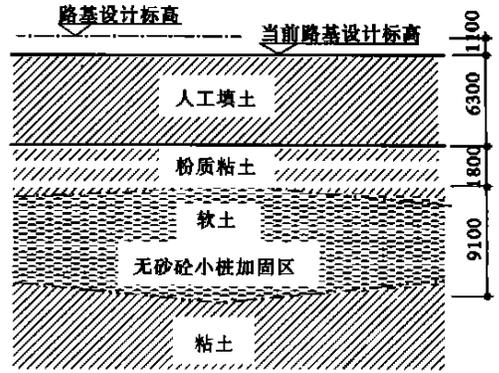


图1 软弱路基纵剖面图

Fig. 1 Longitudinal section for the soft foundation of high way

## 2 工程对比分析

湖北省京珠高速某合同段K 125+265~K 125+385 段路基平均填高 7 m,填至 6.3 m 时发现垂直及水平方向的异常位移.填方最大沉降量达 530 mm.后经补充勘察发现原自然地面下 1.8 m 下存在约 9.1 m 厚淤泥质土,如图 1 所示.

### 2.1 无砂砼小桩后处理方案

填方与原地基土间设置了 500 厚砂垫层.现场勘察显示该淤泥质土具有一定含砂量,采用无砂砼浆压小桩进行加固处理.平面及剖面设计布置见图 2.

该淤泥质土属软塑~流塑状态,承载力标准值为  $f_{s,k} = 70 \text{ kPa}$ ,天然含水量为 57.3%~61.4%,

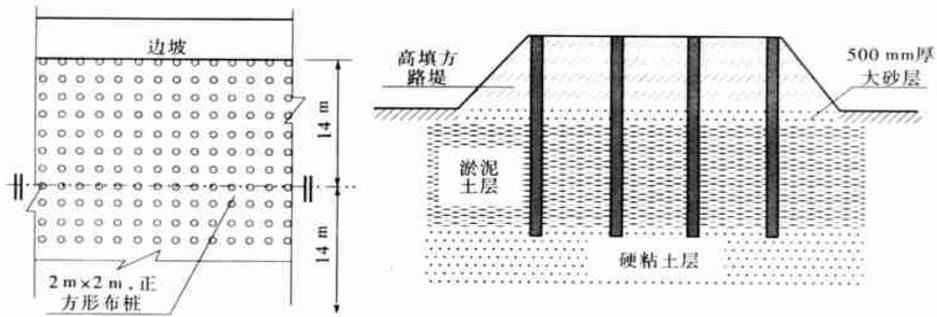


图2 小桩复合地基平面及剖面设计布置图

Fig. 2 Plane and cross-section views of the design arrangement for mini-pile composite foundation

设计桩长 18 m,有 6.3 m 在填土层内;10.9 m 在砂垫层内,10.9 m 在软基内,0.8 m 进入软土下较好持力层.桩平面布置采用 2 m × 2 m.正方形布置,桩径  $d = 400 \text{ mm}$ .主要设计参数为:每米水泥用量为 100 kg,软基层复合地基承载力标准值  $f_{sp,k}$  不小于 200 kPa.

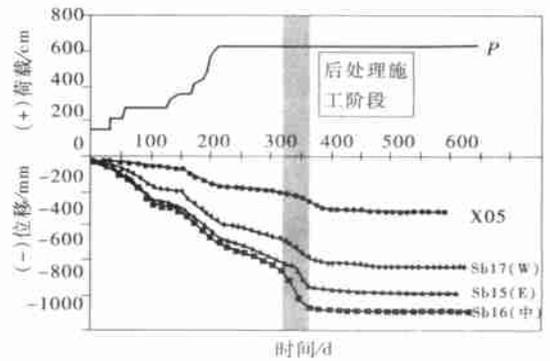


图3 无砂砼小桩后处理荷载一位移沉降变形过程曲线  
Fig. 3 The load-settlement developing curve of non-sand mini-pile post-processed foundation

小桩施工在路基开始施工 320 天后进行,工期为 35 天.采用先中间后两边的顺序,以保证孔隙水排出通畅和水泥浆压浆量满足设计要求,施工中还根据有关规范对路基的水平和竖向变形进行严密监控,以实现信息化施工.图 3 为长江科学

院土木工程研究所对本工程处理效果的检测结果。“荷载—沉降曲线”显示,在成孔过程中,由于软弱土层中超静水压力的释放,路基变形速度加快,加固施工期间最大附加沉降为 300 mm。而压浆过程对软弱地基中自由水的挤压、排出和置换,在处理土层内形成水泥土,孔内形成无砂砼桩体,检测显示工后 20~30 天后,路基变形速度即达到规范规定的稳定标准。

## 2.2 轻质材料处理方案

图 4 为长江科学院土木工程研究所对采用轻质路基处理方案的路基工程处理效果的检测结果。“荷载—沉降曲线”显示,采用轻质路基材料,路基荷载量值得到大幅降低,路基碾压施工过程中,地基的沉降变形基本上与路基工程进度保持同步,变形稳定的滞后时间较短,且最终沉降量约为 400 mm。

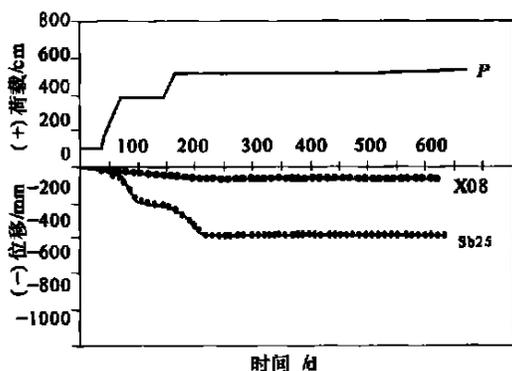


图 4 轻质材料路基处理荷载—位移沉降变形过程曲线

Fig. 4 The Load—settlement developing curve of light material processed highway foundation

## 3 结束语

高速公路高填方区软土路基变形不稳定是制约工程工期的主要因素,其主要原因为软弱地基土层中超静水压力过大,且消散速度过慢,导致软土层在高填方路基的附加压力作用下,土层颗粒间有效应力增长速度缓慢,固结速度慢,上层路基变形稳定速度慢。

软基处理分为工前地基处理和工后处理,工前处理可采用插竖向排水板、采用轻质路基材料或其它地基处理方法,本文采用工后处理方法,通过无砂砼小桩成孔过程迅速消散高填方区淤泥质软基中超静水压力,并通过压力注浆加固软弱土层,形成胶结水泥土层,提高下部软弱土层的承载力和压缩模量。通过与轻质材料路基的对比试验,验证了无砂砼小桩后处理技术的科学性和工程适用性。

实际工程中,受碾压施工机械的限制,桥头与路基结合处常难以压实,导致在后续使用过程中,逐渐形成“桥头跳车”现象。本文方法实际上是静力处理,施工不需要大型设备,这为解决“桥头跳车”的技术难题提供了新的处理思路。

## 参考文献:

- [1] 龚晓南. 高等土力学 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1996.
- [2] 杨位光主编. 地基与基础 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [3] 刘松玉主编. 公路地基处理 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2001.

## Comparison Analysis on Soft Foundation Processing Methods for Thick Highway Refilled Area

GUO Yuan-cheng<sup>1</sup>, ZHANG Hao-hua<sup>2</sup>, ZHOU Tong-he<sup>3</sup>

(1. College of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. Zhengzhou Civil Service Project Administration Bureau, Zhengzhou 450052, China; 3. Comprehensive Designing and Research Institute, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** The highway foundation on soft soil, which is usually processed by weight-grinding method, deforms in horizontal and vertical long after construction, resulting in delaying of the whole project. Based on the practical soft-soil processing project, which was accomplished in Dongxihu district of Hubei province on the Beijing—Zhuhai highway, through comparison experiment of deformation curve between past-treatment of small no-sand concrete pile and light material foundation construction, the mechanism of post-processing deformation is studied by different ways of processing methods. It can be used as a practical reference for the similar projects.

**Key words:** thick refilled soft foundation; stability of deformation; post-treatment of small no-sand concrete pile; light road foundation