

DOI: 10.11779/CJGE2015S1021

# 沪苏浙高速公路软基处理评价

吴昌胜<sup>1, 2</sup>, 朱志铎<sup>1, 2</sup>

(1. 江苏省城市地下工程与环境安全重点实验室(东南大学), 江苏南京 210096; 2. 东南大学岩土工程研究所, 江苏南京 210096)

**摘要:** 调查统计了不同处理方法在沪苏浙高速公路(江苏段)的应用情况、软基处理效果以及病害的工程措施。通过研究可以得出:等超载预压、湿喷桩和预应力管桩是沪苏浙高速公路(江苏段)的主要处理方法;软基处理方法总体上达到了预期目标,没有出现桥头跳车现象,裂缝为横向裂缝,车辙为压密型和流动型车辙;车辙和裂缝较明显路段大多发生在不同处理方法的结合处、软土厚度较大或工后沉降较大路段,分别采用微表处及热再生和开缝灌浆进行治理,车辙和裂缝情况能够得到有效控制。

**关键词:** 软基处理; 横向裂缝; 车辙

中图分类号: TU43 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2015)S1-0105-05

**作者简介:** 吴昌胜(1985-),男,博士研究生,主要从事地基处理、隧道与地下工程等方面的研究。E-mail: shengchangwu@126.com。

## Evaluation of soft ground treatment in Shanghai-Jiangsu-Zhejiang highway

WU Chang-sheng<sup>1, 2</sup>, ZHU Zhi-duo<sup>1, 2</sup>

(1. Jiangsu Key Laboratory of Urban Underground Engineering & Environmental Safety, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Institute of Geotechnical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** The application and effect of soft ground treatment in Shanghai-Jiangsu-Zhejiang highway (Jiangsu section) are investigated. Through the researches, it can be concluded that the surcharge preloading, wet grouting piles and prestressed pipe piles are the main treatment methods. The soft ground treatment generally achieves the anticipated goal with no phenomenon of vehicle dumping. Ruts and cracks occur mostly in the section of soft soil, large settlement and the junction of different soft ground treatments. The micro surfacing and thermal regeneration are adopted to repair the ruts while the grouting is adopted to repair the transverse cracks, respectively. The ruts and transverse cracks can be effectively controlled.

**Key words:** soft ground treatment; transverse crack; rut

## 0 引言

沪苏浙高速公路沿线地区软土沿深度的分布不均匀,软土埋深最大可达20 m,软土层的物理性质和力学性质相对稳定,含水率在50%左右,软土层的压缩性较大,强度和渗透性也较差。沿线软土层主要为V<sub>1+2</sub>(V<sub>1+2-1</sub>)淤泥和淤泥质土,在第4, 6, 7, 9标段还分布着V<sub>1</sub>层淤泥质土、在第4, 8标段分布着V<sub>3</sub>饱和软黏土。V<sub>1+2</sub>(V<sub>1+2-1</sub>)层软土全线均有分布,局部夹软—流塑亚黏土,埋深相对较为稳定。V<sub>1</sub>层淤泥质软土局部分布,厚度较为稳定,在0.0~5.2 m之间,埋深变化相对较大。V<sub>3</sub>层厚在0~13.20 m。软土表层主要为II<sub>1+2</sub>层硬塑—软塑状(亚)黏土,表土层厚度在0.5~4.8 m,下卧层主要为II<sub>1-1</sub>层软—硬塑状黏土,局部为II<sub>2-1</sub>层硬塑—软塑状亚黏土或II<sub>1</sub>、II<sub>2</sub>层硬塑—软塑状亚黏土或亚黏土。图1为沪苏浙高速公路(江

苏段)工程地质概要示意图,表1为各标段软土层典型物理力学参数统计表。

## 1 软基处理原则

沪苏浙高速公路(江苏段)沿线软土分布较为广泛,局部地段厚度较大。参考文献[1, 2]结合沪苏浙高速公路(江苏段)软土层特点以及不同路段的沉降要求,确定其软基处理原则为

(1)一般路段首先考虑采用等载或超载预压方法处理,沉降超标路段采用粉喷桩或浆喷桩处理。

(2)软土埋深18 m以内的桥头路段,首先采用粉喷桩或浆喷桩试算,如粉喷桩或浆喷桩计算中沉降不能达标或者计算桩长超过18 m的路段,原则采用

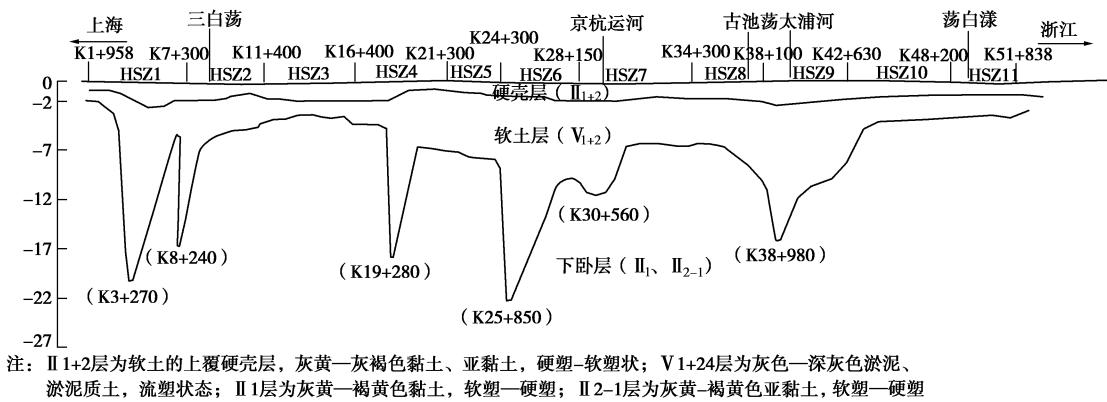


图 1 沪苏浙高速公路(江苏段)工程地质示意图

Fig. 1 Schematic of engineering geology

表 1 沪苏浙江段各标段软土层物理力学指标统计表(平均值)

Table 1 Statistics of indices of soft soil in Shanghai-Jiangsu-Zhejiang highway (Jiangsu section)

| 各工程标段   | w /% | e     | I <sub>p</sub> | I <sub>L</sub> | c/kPa | $\varphi$ /(°) | a <sub>1-2</sub> /MPa <sup>-1</sup> | E <sub>s</sub> /MPa | q <sub>c</sub> /MPa | f <sub>s</sub> /kPa |
|---------|------|-------|----------------|----------------|-------|----------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| HSZ1 标  | 45.3 | 1.265 | 16.9           | 1.39           | 6.4   | 5.5            | 1.01                                | 2.54                | 0.43                | 13.9                |
| HSZ2 标  | 45.6 | 1.292 | 16.0           | 1.55           | 8.1   | 4.8            | 0.98                                | 2.45                | 0.36                | 10.7                |
| HSZ3 标  | 43.6 | 1.253 | 17.0           | 1.36           | 8.1   | 3.9            | 0.83                                | 2.66                | 0.44                | 18.0                |
| HSZ4 标  | 46.8 | 1.327 | 16.7           | 1.52           | 8.0   | 4.7            | 1.13                                | 2.29                | 0.31                | 11.2                |
| HSZ5 标  | 49.4 | 1.396 | 17.2           | 1.58           | 7.8   | 3.6            | 1.25                                | 1.95                | 0.35                | 8.5                 |
| HSZ6 标  | 46.4 | 1.306 | 17.8           | 1.43           | 9.8   | 4.3            | 0.95                                | 2.48                | 0.42                | 9.6                 |
| HSZ7 标  | 47.8 | 1.367 | 17.9           | 1.47           | 8.6   | 4.1            | 1.16                                | 2.28                | 0.32                | 8.9                 |
| HSZ8 标  | 49.4 | 1.394 | 16.6           | 1.63           | 8.2   | 4.7            | 1.01                                | 2.54                | 0.36                | 12.9                |
| HSZ9 标  | 45.4 | 1.282 | 16.2           | 1.50           | 9.8   | 4.0            | 0.97                                | 2.51                | 0.38                | 9.3                 |
| HSZ10 标 | 45.3 | 1.278 | 16.2           | 1.45           | 13.0  | 5.1            | 0.89                                | 3.22                | 0.42                | 13.3                |
| HSZ11 标 | 46.4 | 1.320 | 18.9           | 1.21           | 14.5  | 7.7            | 0.85                                | 3.85                | 0.43                | 15.1                |

预应力管桩处理。

(3)涵洞及通道一般优先考虑采用粉喷桩或浆喷桩处理。

考虑工期紧的现状,路基填筑期一般按3~6个月考虑,等载预压和超载预压根据实际情况采用4~5个月(个别困难路段采用6个月),粉喷桩、浆喷桩和预应力管桩处理路段采用3个月。图2为沪苏浙高速公路软土地基工程量比例图。

由图2可见,软土处理方法主要有等超载预压、搅拌桩、PTC管桩等,其中湿喷桩处理约13.8 km软土,占全线软土处理长度的39%;等超载预压处理长度约为17.4 km,占软基处理总长度的48%。PTC管桩处理软土长度约为4.2 km,占软土处理总长度的12%;还有仅占全线处理长度1%的粉喷桩复合地基处理法。从以上数据知:等超载处理长度几乎占了全线软土处理长度的一半,主要是由于部分路段软土层的厚度不大;而局部软土地段厚度较大使得湿喷桩处理

占了一定比例。

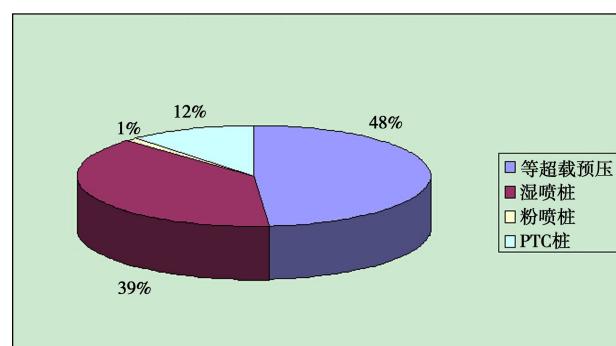


图 2 沪苏浙高速公路软土地基工程量比例图

Fig. 2 Scale drawing of soft ground treatment

## 2 软基处理效果评价

### 2.1 总体评价

沪苏浙高速于2008年1月通车,对沪苏浙高速公路双向最外侧车道车辙状况进行测试<sup>[3]</sup>, 测试范围为

K0+00—K51+000, 总里程为 51 km。上行为桩号递增方向, 即上海至浙江方向; 下行为桩号递减方向, 即浙江至上海方向。测试结果如图 3 所示。通过对沪苏浙高速公路进行现场调查, 路线全长 49.948 km, 调查里程约 16.6 km。沪苏浙高速公路江苏段路况调查统计情况如表 2 所示, 典型断面情况见表 3 所示。

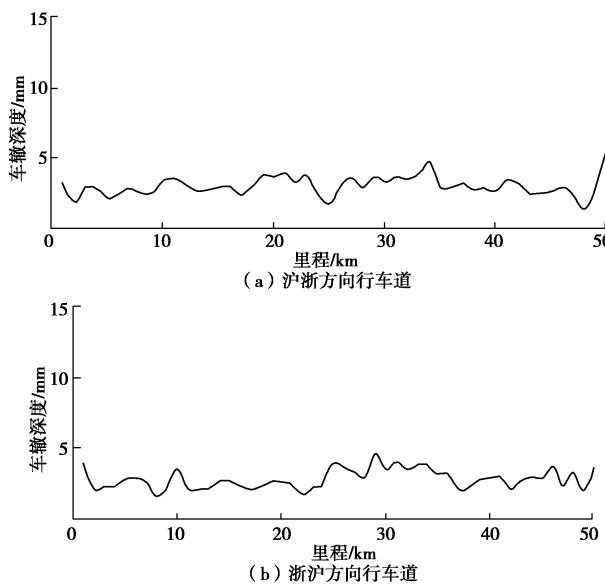


图 3 行车道每公里车辙平均值随里程的变化图

Fig. 3 Variation of ruts

从图 3 可以看出, 沪苏浙高速公路(江苏段)经检测表明路面未出现明显的坑塘、裂缝、拥包等现象, 大部分路段车辙深度基本在 2.5 mm 左右, 能够得到有效控制, 局部路段车辙, 深度达到 5 mm。

从表 2 可以得出, 苏浙高速公路(江苏段)路面裂缝都为横向裂缝, 没有跳车现象。裂缝大多发生在一般路段, 而在经常发生裂缝的桥头和桥头过渡段却很少出现, 分析认为造成该现象的原因<sup>[4]</sup>是对于桥头及过渡段软土地基利用预应力管桩进行了重点处理所致。

表 2 沪苏浙高速公路江苏段路况调查统计表

Table 2 Survey statistics of Jiangsu section of Shanghai-Jiangsu-Zhejiang highway

| 部位    | 调查总数 | 裂缝数量 | 备注        |
|-------|------|------|-----------|
| 桥头    | 42   | 3    | 本条线路有问题   |
| 桥头过渡段 | 42   | 1    | 段落基本上都是   |
| 小型结构物 | 29   | 1    | 横向裂缝, 没有发 |
| 一般路段  | 109  | 26   | 现跳车情况。    |

从表 3 可以得出, 利用预应力管桩处理的桥头及过渡段(K38+151、K43+684、K45+410)都没有出现裂缝, 而利用湿喷桩处理的桥头过渡段(K38+669)却出现了 3 cm 长的裂缝。其他利用湿喷桩处理的特殊路段和利用预压或土工格栅处理的一般路段也大都出现了裂缝。分析原因<sup>[5-6]</sup>认为出现裂缝的路段是因为软土厚度较大或者工后沉降较大所致。

通过对沪苏浙高速公路(江苏段)路面情况的调查可以得出结论: 沪苏浙高速公路(江苏段)软基处理方法总体上达到了预期目标, 没有出现桥头跳车现象, 总体上车辙和裂缝情况能够得到有效控制, 预应力管桩处理效果最优。

表 3 沪苏浙高速公路江苏段路况典型断面调查表

Table 3 Survey statistics of Jiangsu section of Shanghai-Jiangsu-Zhejiang highway

| 里程<br>桩号 | 部位    | 处理方式   | 土层厚度/m |      | 沉降量/mm |        | 路况情况      |
|----------|-------|--|--------|------|--------|--------|-----------|
|          |       |  | 表层土    | 软土   | 施工期    | 工后 5 a |           |
| K38+151  | 桥头过渡段 | 预应力管桩 ( $d=2.6 \text{ m}$ , $l=12 \text{ m}$ ) | 2.0    | 5.7  | 338    | 16     |           |
| K38+669  | 桥头过渡段 | 湿喷桩 ( $d=1.5 \text{ m}$ , $l=8.5 \text{ m}$ )  | 0.8    | 6.1  | 130    | 13     | (3 cm)    |
| K39+130  | 箱涵两侧  | 湿喷桩 ( $d=1.3 \text{ m}$ , $l=15 \text{ m}$ )   | 2.4    | 13.1 | 102    | 58     |           |
| K39+236  | 一般路段  | 碎石垫层预压+单向土工格栅                                  | 2.6    | 11.0 | 280    | 31     | (2 cm)    |
| K39+850  | 一般路段  | 堆载预压   | 2.7    | 2.0  | 100    | 0      | 右幅 (2 cm) |
| K40+058  | 圆管涵两侧 | 湿喷桩 ( $d=1.3 \text{ m}$ , $l=9 \text{ m}$ )    | 2.1    | 4.1  | 241    | 70     | (2 cm)    |
| K40+360  | 一般路段  | 湿喷桩 ( $d=1.5 \text{ m}$ , $l=9 \text{ m}$ )    | 1.5    | 3.5  | 180    | 31     | (1 cm)    |
| K41+330  | 桥头路段  | 湿喷桩 ( $d=1.3 \text{ m}$ , $l=12 \text{ m}$ )   | 1.2    | 8.4  | 207    | 5      |           |
| K41+466  | 一般路段  | 堆载预压   | 1.5    | 7.0  | 204    | 28     | (1 cm)    |
| K42+060  | 变宽路段  | 湿喷桩 ( $d=1.6 \text{ m}$ , $l=8 \text{ m}$ )    | 1.2    | 7.8  | 256    | 188    | (2 cm)    |
| K43+684  | 桥头过渡段 | 预应力管桩 ( $d=2.8 \text{ m}$ , $l=10 \text{ m}$ ) | 2.4    | 21.0 | 84     | 47     |           |
| K45+410  | 桥头路段  | 预应力管桩 ( $d=2.2 \text{ m}$ , $l=14 \text{ m}$ ) | 3.5    | 18.4 | 52     | 12     |           |
| K50+085  | 一般路段  | 土工格栅   | 1.0    | 4.8  | 102    | 36     | (1 cm)    |

## 2.2 典型断面分析

### (1) K39+980—K40+505

该段路软土层厚度在 3.50~7.50 m 之间, 表土层厚度在 2.0 m 左右, 其中桥头的软土厚度较大, 其他部分的软土厚度都在 4.50 m 左右。有小型构造物和桥梁。根据软土厚度和结构形式的不同, 在软土厚度较小的一般路段采用预压法进行软基处理; 在小型构造物和软土厚度较大的一般路段采用浆喷桩进行软基处理; 大桥桥头由于软土厚度较大, 路堤填土高度较高, 采用预应力管桩进行了软基处理。全路段的工后沉降都很小, 但在 K40+058, K40+080, 40+310 的小型构造物两侧, 都出现了路面裂缝, 这是由于构造物与一般路段采用不同的处理方式, 表明很小的差异沉降也会引起路面裂缝; 在预压法处理的一般路段, 最大的工后观测沉降为 21 mm, 路面状况良好, 表明一般路段对不均匀沉降不敏感, 较小的差异沉降不会产生路面问题。

### (2) K50+050—K50+860

该段路软土层厚度在 2.00~6.60 m 之间, 表土层厚度在 1.0 m 左右。有小型构造物和桥梁。全线营运期累计沉降量都较小, 总体上路面状况良好, 在 K50+085, K50+214 和 K50+639 三个桩号附近有路面裂缝, 这 3 个位置都是一般路段与结构物相连处, 分别采用了复合地基和预压法进行软基处理, 较小的差异沉降引起了路面裂缝。

## 3 工程措施

通过对沪苏浙高速公路进行现场路况调查, 存在的主要工程问题有路面裂缝和路面车辙。

### 3.1 路面裂缝<sup>[6]</sup>

目前在沪苏浙高速公路中, 中、大裂缝出现相对较少, 大部分为不需要进行处理的裂缝和微、小裂缝。沪苏浙高速公路采用了表层处理和开槽灌缝的修补工艺, 灌缝法是选择某种合适的材料, 采取各种有效方法, 使封缝材料进入裂缝内, 达到封闭的目的。

### 3.2 路面车辙<sup>[7-8]</sup>

沪苏浙高速公路(江苏段)基本采用半刚性基层, 强度及板体性良好, 基层及其以下的变形较小, 除了某些基层施工不良路段外, 结构型车辙很少, 路面永久变形主要发生在沥青面层, 车辙基本上属于沥青混合料的压密型和流动型车辙。最为常见的情况是压密型车辙与流动型车辙同时并存, 车辙修补主要采取微表处及热再生的方式。

## 4 结 论

本文通过对沪苏浙高速公路(江苏段)软基处理方法的调查研究, 主要结论如下:

(1) 沪苏浙高速公路(江苏段)软基处理方法为等超载预压(48%)、湿喷桩(39%)、预应力管桩(12%)、粉喷桩(1%)。

(2) 沪苏浙高速公路(江苏段)软基处理方法总体上达到了预期目标, 没有出现桥头跳车现象, 车辙和裂缝情况能够得到有效控制, 预应力管桩处理效果最优。

(3) 车辙和裂缝大多发生在不同处理方法的结合处、软土厚度较大或工后沉降较大路段。

(4) 沪苏浙高速公路(江苏段)采用开槽灌缝的修补工艺处理出现的微、小裂缝; 车辙基本上属于沥青混合料的压密型和流动型车辙, 最为常见的情况是压密型车辙与流动型车辙同时并存, 车辙修补主要采取微表处及热再生的处理方式。

## 参考文献:

- [1] 沈珠江. 软土工程特性和软土地基设计[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(1): 100 - 111. (SHEN Zhu-jiang. Engineering properties of soft soils and design of soft ground[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1998, 20(1): 100 - 111. (in Chinese))
- [2] 刘松玉. 公路地基处理[M]. 南京: 东南大学出版社, 2009. (LIU Song-yu. Ground improvement in highway engineering[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2009. (in Chinese))
- [3] 江苏省交通科学研究院. 江苏省高速公路车辙采集与分析[R]. 南京, 2009. (Jiangsu Transportation Institute. Ruts acquisition and analysis of highway in Jiangsu province[R]. Nanjing, 2009. (in Chinese))
- [4] 经绯, 刘松玉, 邵光辉. 软土地基上路堤沉降变形特性分析[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(6): 728 - 730. (JING Fei, LIU Song-yu, SHAO Guang-hui. The settlement of embankment on soft ground[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering 2001, 23(6): 728 - 730. (in Chinese))
- [5] 孙筠. 已建软基桥梁桥头跳车的处治方法机理分析及试验研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010. (SUN Jun. Mechanism analysis of the methods for treating vehicle bumping at bridge approach built on soft foundation and experimental

- study[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010. (in Chinese))
- [6] 何 波. 沥青路面裂缝和坑槽破损机理与修补技术研究 [D]. 西安: 长安大学, 2006. (HE Bo. The distress mechanisms and repair techniques of the asphalt cracks and potholes[D]. Xi'an: Changan University, 2006. (in Chinese))
- [7] 黄晓明, 张晓冰, 邓学钧. 沥青路面车辙形成规律环道试验研究[J]. 东南大学学报, 2000, 30(5): 96 - 101. (HUANG Xiao-ming, ZHANG Xiao-bing, DENG Xue-jun. Asphalt Pavement rutting prediction of high-grade highway[J]. Journal of Southeast University, 2000, 30(5): 96-101. (in Chinese))
- [8] 吴传海. 重载交通沥青路面车辙成因及混合料组成设计研究[D]. 西安: 长安大学, 2008. (WU Chuan-hai. Study on the formation of wheel ruts in heavy-traffic asphalt pavement and component design of mixture[D]. Xi'an: Changan University, 2008. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)