

文章编号: 1671-8496-(2005)02-0007-03

# 软基处理方法比较

田永玲<sup>1</sup>, 张惠明<sup>2</sup>, 赵有明<sup>3</sup>(1.广东省公路建设有限公司, 广东广州 510600; 2.珠海市铁科岩土工程技术开发有限公司, 广东珠海 519000;  
3.铁道科学研究院, 北京 100081)

**摘要:**文中通过工程实例, 分析比较了采用插板排水固结堆载预压法、水泥搅拌桩复合地基和桩基架空楼  
板法处理软土地基的技术、造价及工期, 阐述了插板排水固结堆载预压法处理软土地基是最经济有效的方法。

**关键词:**软土; 插板排水固结堆载预压法; 水泥搅拌桩复合地基; 桩基法; 工程造价

**中图分类号:** U416.1

**文献标识码:** A

## Comparison of Soft Ground Treatment Methods

TIAN Yong-ling<sup>1</sup>, ZHANG Hui-ming<sup>2</sup>, ZHAO You-ming<sup>3</sup>(1.Guangdong Province Highway Construction Co.Ltd.,Guangzhou 510600,China;2. Zhuhai Tieke  
Geotechnical Engineering Company,Zhuhai 519000,China;3. China Academy of Railway Science,  
Beijing 100081,China)

**Abstract:**Based on a practical case of soft ground treatment in Zhuhai city,several treatment methods,including  
preloading with vertical wick drains,deep mixing method, pile foundation method,are compared on the aspects of tech-  
nology, economy and construction term. It has found that the method of preloading with vertical wick drains is the most  
suitable treatment method in the case. In this method, the soft ground has been treated to desired state within only four  
months and in most economic price.

**Keywords:**soft clay;a method of preloading with vertical wick drains;deep mixing method;pile foundation method;en-  
gineering price

### 1 工程地质条件及主要工程问题

某物流中心储运库区位于珠海保税区内, 占地  
面积26 800 m<sup>2</sup>, 分仓库和露天堆场, 其中仓库  
建筑面积6 560 m<sup>2</sup>。堆放场和仓库要求的地面荷  
载分别为2.0、5.0 t/m<sup>2</sup>。

根据地质勘察结果可知, 拟建储运库区的原  
始地貌单元为第四纪全新世海积阶地, 原地面标  
高为0~0.5 m。后经人工填筑, 场地已比较平整,  
现地面标高约4 m。该场地典型地质剖面见图1。  
主要地层自上而下有: ①人工填土: 由冲填和机  
械堆填而成, 为新近填筑, 自重固结尚未完成。  
结构松散, 很不均匀, 层厚1~7 m; ②淤泥层:  
海陆交互沉积相成因, 场地内遍布。淤泥含水量  
高、孔隙比大, 属高压缩性、低强度和低渗透性

的超软弱粘土, 层厚15~20 m; ③亚粘土: 灰白  
或灰黄等色, 可塑状, 含较多粉粒成分。

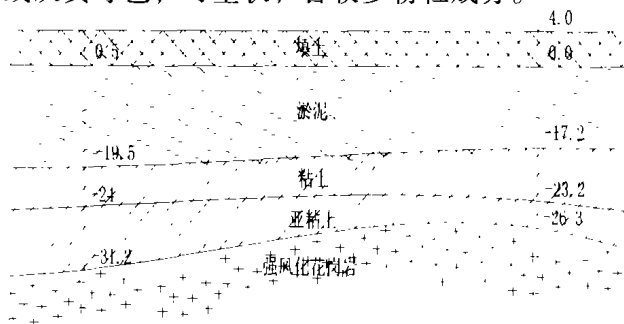


图1 场地典型地质剖面图(单位: m)

本场地的软弱土层是人工填土层和淤泥层。  
人工填土的问题主要是比较松散, 且很不均匀,  
在地面荷载作用下, 会产生较大的沉降和差异沉  
降, 采用振动碾压可解决。

淤泥土层厚15~20 m, 其特点是压缩性很大,

收稿日期: 2005-02-22

作者简介: 田永玲(1964-), 女, 路桥工程师

研究方向: 合同及造价管理

而渗透性很低。其沉降量很大,且需很长时间才能完成。淤泥和填土的物理力学性质见表1。

表1 软弱土层物理力学参数

土类	含水量 W/%	密度 $\gamma$ /g·cm <sup>-3</sup>	孔隙比 e	塑性指数 I <sub>p</sub>	压缩指数 C <sub>c</sub>	凝聚力 C/kPa	摩擦角 $\phi$ /°	固结系数 /10 <sup>-4</sup> cm·s <sup>-2</sup>
填土	18	16.7	0.878	13.1		15	20	
淤泥	70.1	15.4	2.05	22.9	0.60	7	12	4.8

该场地已大面积填土,在预期的地面荷载下,不会有稳定问题或承载力问题。

本场地的地基处理主要是要解决淤泥层的沉降问题,设法让其沉降大部分在施工期间完成,使场地的工后沉降满足设计要求。

## 2 软基处理方案比选

合理的软基处理方案应是技术上可靠、工期合理、造价经济、施工简便。能够满足本工程技术条件和要求的软基处理方法有多种,不同的方法对工期、造价和原材料的需求不同。根据本场地的底层及工况条件、工后沉降及工期的要求等多方面进行综合考虑,可考虑下面几种地基处理方法:插板排水固结堆载预压法、搅拌桩复合地基法和桩基架空楼板法。

### 2.1 插板排水固结法

插板排水固结法通过在软土中打设砂井或排水板和设置水平排水系统,加快淤泥层在荷载作用下的排水固结,并通过加载的方法在短时间内减少淤泥层的工后沉降。它是最常用的软基处理方法。该方法技术成熟,有丰富的工程经验,且在多种软基处理方法中,其造价是最低的。但由于软土的固结沉降需要一定时间去完成,故其工期一般较长。

根据《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》(JTJ017-96)和《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002),对本场地采用排水固结堆载预压法进行软基处理的工后沉降进行计算分析,其结果如下:计算的荷载条件是地基填土厚度6 m(包括下沉量2 m),有效荷载54.0 kPa;预压土厚度4.4 m,荷载79.2 kPa,施工期间总荷载133.2 kPa;使用期间地面荷载50 kPa,总荷载104 kPa。在施工荷载作用下,15、18和20 m厚的淤泥地基的固结沉降分别为208、229和241 cm,如果地基

的平均固结度为90%,则施工期间的固结沉降分别为187.2、206.1和216.9 cm。在使用荷载下,三种淤泥厚度软基的固结沉降分别为185、202和212 cm,均小于施工期间完成的固结沉降,即软基已处于超固结状态,工后沉降主要来自软土层的次固结沉降,7~10 cm之间(计算方法见文献<sup>[3]</sup>)。

### 2.2 水泥搅拌桩复合地基

通过打设穿过软弱土层进入下卧粉质粘土层或砾砂的水泥搅拌桩,使地基形成复合地基,让搅拌桩承担大部分荷载,从而提高地基的承载力,并减小工后沉降。

水泥搅拌桩作为一种柔性桩,可与桩间土较好地形成复合地基,该方法可解决软土的承载力和沉降问题,材料运输压力小,工期也较快。

但在技术方面,搅拌桩在本项目的软基处理中有如下问题:①为解决软基的工后沉降问题,搅拌桩必须打穿淤泥层进入下卧土层。而本场地的软土层较厚,搅拌桩桩长超过18 m,局部需23 m以上。就国内现有的施工工艺水平来说,搅拌桩的有效加固深度一般在16~18 m,难以达到本工程的要求。②搅拌桩水泥土的质量受土质条件和人为因素影响很大。

### 2.3 桩基架空楼板法

由预制桩、承台和钢筋混凝土楼板组成,将上面的荷载全部传递到预制桩上,再由预制桩传送到下卧持力层。在技术上这种方法处理软基的效果最好,工期也较快,造价则较高。

### 2.4 经济比较

根据本场地的工况条件,三种地基处理方法的设计参数如下:①插板排水固结堆载预压法。插板间距0.80 m,等边三角形布置,平均长度22 m,砂垫层厚0.5 m,地基土厚1.5 m,预压土厚4.4 m。②搅拌桩复合地基方法。搅拌桩直径50 cm,间距1.4 m,长度20 m,碎石垫层0.3 m。③桩基架空楼板法。桩径40 cm,桩间距6 m,桩长35 m,钢筋混凝土厚度12 cm。根据当地的市场价,以三种方法处理6 000 m<sup>2</sup>的仓库的工程造价估算结果见表2。

### 2.5 工期比较

插板法的总工期约4个月,搅拌桩法的工期约2~3个月,架空楼板法的工期在2个月内。

综合考虑技术因素、经济因素和工期因素,选择插板排水固结堆载预压法处理该场地软基。

表2 地基处理方案造价比较

方案	项目	单位	数量	单价/元	合价/元
插板排水固结堆载预压法	插板	m	232 788	1.8	419 018
	砂垫层	m <sup>3</sup>	3 000	38.0	114 000
	土方	m <sup>3</sup>	9 000	18.0	162 000
	预压土方	m <sup>3</sup>	26 400	8.0	211 200
	地面结构层	m <sup>2</sup>	6 000	30.2	181 200
	建安费合计				1 087 418
	单价	元/m <sup>2</sup>			181.24
搅拌桩复合地基	搅拌桩	m	61 224	38.0	2 326 531
	碎石土	m <sup>3</sup>	1 800	56.0	100 800
	地面结构层	m <sup>2</sup>	6 000	30.2	181 200
	建安费合计				2 608 531
	单价	元/m <sup>2</sup>			434.76
桩基架空楼板法	400预制桩	m	5 833	105.0	612 500
	钢筋混凝土板	m <sup>2</sup>	6 000	193.0	158 000
	建安费合计				1 770 500
	单价	元/m <sup>2</sup>			295.08

### 3 软基处理效果

本项目的软基处理于元月中下旬开始铺砂垫层和插板施工,2月上旬开始填土,3月9日填土高度达到设计要求,共填土厚6.4 m;至5月21日,软基在满载下已预压73 d。

图2为软基处理过程中的地面沉降曲线。填土过程中,地基沉降很快,在填土厚度较高,以及填土达到设计要求后的初期,沉降速率达到35~50 mm/d;随着时间的推移,沉降速率迅速衰减,满载一个月后,沉降速率下降至10~12 mm/d;两个月后,沉降速率下降至1~3 mm/d。本场地软基的压缩性很大,至5月21日,4块沉降板的沉降量已达到1 867~2 317 mm。

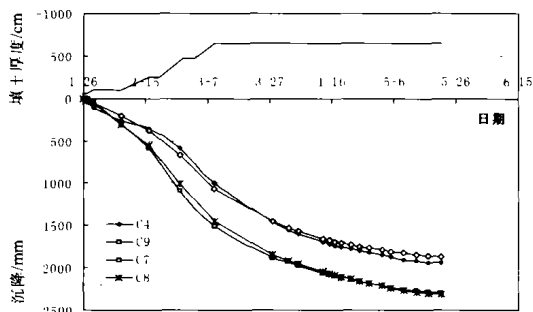


图2 软基处理过程沉降曲线

根据满载后的实测沉降曲线推算的软基最终沉降量列于表3。表中可见,推算的最终沉降量为1 997~2 524 mm,对应于5月21日的沉降量,

软基的平均固结度已达到91.8%~93.5%。

表3 实测推算的地基平均固结度

沉降板	实测沉降量/mm	推算最终沉降量/mm	固结度/%
C4	1 945	2 087	93.2
C7	1 867	1 997	93.5
C8	2 317	2 524	91.8
C9	2 296	2 502	91.8

综合上面结果可知,经过插板排水固结堆载预压处理,仅在满载预压70多天后,软基处理已达到设计要求。

### 4 结论

(1) 对于深厚软土地基的处理,插板排水固结堆载预压法是最经济有效的处理方法。即使本项目的地基处理工期较短、堆载高度和插板间距的要求均较高,该方法的单位面积地基处理造价仍然明显低于其他方法,仅为搅拌桩复合地基法的42%,为预制桩架空楼板法的63%。

(2) 一般认为,插板排水固结堆载预压法处理软基的工期很长。但对于本工程,软基处理总工期不到4个月,满载预压时间仅70多天,地基就已下沉超过200 cm,固结度超90%,已达到设计要求。因此,通过合理调整设计参数,该方法也可以在较短时间内处理软基至设计要求。

(3) 对于深厚软基的处理,搅拌桩复合地基法问题是较多且造价较高的处理方法。由于其有效处理深度不大,搅拌后水泥土的强度常达不到设计要求,该方法处理较厚软基的效果要明显不如预制桩架空楼板;而在经济方面,在某些情况下,该方法的工程造价也会比架空楼板法高。如本软基处理项目,架空楼板法的造价就比搅拌桩复合地基法的低47%。

#### 参考文献:

- [1] 公路软土地基路堤设计与施工技术规范(JTJ017-96), [S]. 北京:人民交通出版社,1997.
- [2] 建筑地基基础设计规范(GB5007-2002)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [3] 中华人民共和国行业标准,建筑地基处理技术规范(JGJ79-2002)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [4] 张惠明,徐玉胜,曾巧玲.深圳软土变形特性与工后沉降[J].岩土工程学报,2002,24(4).