

# 真空预压方法在沿海软基处理中的应用及效果分析

姜增国 姚志安

(武汉理工大学土木工程与建筑学院, 湖北武汉 430070)

**【摘要】** 为对软基施工实施有效控制, 结合我国南方某度假村场地处理工程实例, 对真空预压处理软基的效果进行了长达近两年的现场试验段实际测试, 通过对沉降数据以及测斜数据的分析, 得出了结论: 真空压力的实施和传递主要由两部分组成, 间距为 1.2 m 的竖向塑料排水板和水平向铺设的  $\Phi 100$  mm 的波纹管, 塑料排水板起到增加土体中竖向排水通道的作用, 而波纹管可同时起到传递真空压力和集水的作用, 运用真空预压法处理本地区软土地基是成功的。

**【关键词】** 软土地基; 真空预压; 变形分析

**【中图分类号】** TU 472; TU 472.33

## Deformation and Consolidation Effect of Softsoils Treated by Vacuum Preloading Method

Jiang Zengguo Yao Zhian

(Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei 430070 China)

**【Abstract】** Combined with an engineering case of foundation treatment, the consolidation effect of vacuum preloading method is studied. Through analyzing the data of settlement and inclination, it shows that vacuum preloading method is successful used to consolidate the softsoils in this area.

**【Key Words】** softsoil ground; vacuum preloading method; deformation analysis

### 0 引言

软土地基的特点是含水率很高, 孔隙比大, 压缩性高, 强度低, 透水性差。由于压缩性高, 透水性差, 在建筑物荷载的作用下会产生很大的沉降和沉降差, 而且沉降的过程会延续很长的时间, 有可能影响建筑物的正常使用, 因此需对其进行处理。真空预压法是近 20 年来发展起来的一种新型的地基处理方法, 由于真空预压在加固软基方面具有施工工期短、加固效果好、经济效益明显等特点, 目前已在珠江三角洲地区逐渐被采用。

本文结合我国南方某海洋温泉度假村场地处理工程实例, 对真空预压处理软基的效果进行了研究, 通过对沉降数据及测斜数据的分析, 得出了合理的结论。由于现场试验段选择在珠海一软基处理工程试验段, 该区域地表特征和土层分布等方面在珠江三角洲地区具有较强的代表性, 因此, 研究的结果具有一定的指导意义。

### 1 工程概况

由现场勘察试验可知, 所选取试验区软土层厚度为 19~20 m, 属淤泥和淤泥质粘土, 工程力学性质极差, 主要表现为抗剪强度低, 含水率高, 压缩性高等特性。土体分层以及各层土的主要物理力学性能指标见表 1。

### 2 设计及技术要求

根据该区软土地基的工程特点及荷载大小, 主要的技术要求是:

- 1) 真空预压荷载小于 80 kPa;
- 2) 预压加固平均固结度大于 85%, 连续 3 天沉降速率小于 3 mm/d, 可停止抽真空;
- 3) 预压加固后消除软基有害沉降, 工后沉降不大于 35 cm;
- 4) 排水砂垫层采用级配良好的中粗砂, 其含泥量不大于 5%, 且不含有机质、垃圾等。

表 1 各土层物理力学性能指标

土层名称	取土深度 / m	液限 $w_L / \%$	塑限 $w_p / \%$	塑性指数 $I_p$	液性指数 $I_L$	含水率 $w / \%$	密度 $\rho / (g \cdot cm^{-3})$	孔隙比 $e_0$	压缩系数 $a$	压缩模量 $E_s$
淤泥质粉土	0.00-9.50	29.7	19.7	9.2	2.82	43.6	1.75	1.296	0.838	2.86
淤泥	9.50-13.20	53.7	28.7	21.8	2.39	85.2	1.46	2.354	1.528	2.06
淤泥质粉土	13.20-15.10	44.1	23.9	20.2	1.54	55.0	1.66	1.474	1.305	1.90
粉质粘土	15.10-17.50	41.6	25.1	16.5	0.43	32.2	1.89	0.903	0.331	5.75
粘土	17.50-18.90	34.2	17.1	17.1	0.05	17.9	2.03	0.580	0.196	8.06
砾质粘土	18.90-20.10	32.3	10.5	10.5	-0.08	21.0	1.82	0.788	0.304	5.88

### 3 施工概况及现场监测

#### 3.1 施工操作要点

1) 铺设砂垫层: 清理干净地基表面的杂物, 填筑 70 cm 素土及 30 cm 排水砂垫层, 并碾压密实, 同时埋设好监测仪器。

2) 打设塑料排水板: 根据饱和软粘土特性, 设计排水板间距为 1.2 m, 采取正三角形排列, 平均打设深度为 20 m。

3) 真空预压: 塑料排水板全部打设完成并处理好板头后, 在砂垫层中铺设直径 100 mm 的波纹管, 这些波纹管将塑料排水板与真空加压设备相连。波纹管上设有小孔, 用土工织物缠绕形成过滤层, 然后场地整平。随后铺设 3 层塑料膜进行密封, 接着采用射流泵施加真空压力。由于施加真空压力时, 总应力大小不变, 减少的只是孔隙压力, 孔隙压力是球应力, 在土体中不产生剪应力, 因此土体不会产生剪切破坏。真空压力在两天后就能达到 80 kPa。在施工中, 真空压力将始终保持在 80 kPa 以上, 荷载施加时间设计为 100 d。

#### 3.2 现场施工监测

为了更好的指导施工, 验证软基加固效果, 试验区进行了 3 个关于软基变形的项目测试: 1) 测膜表面沉降, 以了解土体沉降和总体平均固结情况。2) 对土体分层沉降测试, 以了解分层土的固结与变形情况; 3) 测斜观测, 以了解土体水平位移情况, 仪器埋设情况见图 1。

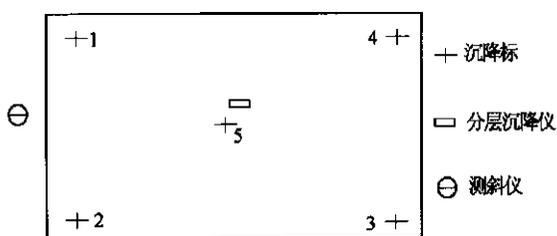


图 1 测试仪器埋设位置图

### 4 加固效果分析

某温泉度假村一期工程加固区顺海堤向约 1 450 m, 横向约 300 ~ 830 m, 总面积为 57.62 万  $m^2$ 。按照设计要求, 在要加固的软基上吹填泥砂 (含泥量  $< 5\%$ ) 约 2 m 高。其中试验区呈矩形, 长为 130 m, 宽为 80 m。在其上进行地基加固, 为了解真空预压加固的效果, 特此进行了变形分析。

#### 4.1 表面沉降(见表 2)

表 2 试验区表层沉降实测和推算结果统计

实测和推算类型	表层沉降标沉降值/mm						
	1#	2#	3#	4#	5#	平均值	
打插排水板前的沉降值	42	56	44	91	40	55	
打插排水板期间沉降值	452	453	393	509	449	451	
真空预压期间沉降值	1 442	1 438	1 675	1 578	1 541	1 535	
累计沉降值 mm/100d	1 936	1 947	2 112	2 178	2 030	2 041	
日沉降值 mm/100 天后	3	2	2	2	2	3	
双曲线法推算	$S_{\infty}$	2 166	2 175	2 437	2 538	2 317	2 327
	$S_s$	230	228	325	360	287	286
	$U_t$	89.4	89.5	89.7	89.8	89.6	89.8

注:  $s_{\infty}$  为最终沉降,  $s_s$  为工后沉降,  $U_t$  为固结度。

从沉降时程曲线图(见图 2)中可看出整个沉降过程的曲线上有两个拐点, 可分为三个阶段。1) 铺设砂垫层阶段: 由于土中孔隙水来不及排出, 孔隙体积没有变化即土体不产生体积变化, 但荷载使土体产生了剪切变形。5 个表层沉降标的平均沉降值为 55 mm。2) 打设塑料排水板阶段: 在打设排水板的施工过程中, 观测到的平均沉降值为 451 mm, 这主要是因为打设的塑料排水板为土体提供了竖向排水通道, 减少了排水路径。同时土体在砂垫层荷载作用下产生了排水固结, 由曲线斜率可以看出沉降速率明显变大。3) 真空预压阶段: 在加载的 100 天内, 真空压力始终保持在 80 kPa 以上。平均日沉降最大值 75 mm, 随着真空预压时间的增长, 沉降速率逐渐收敛。观测到此阶段地表最大沉降量值 1 675 mm,

最小为1 438 mm,平均沉降值为1 535 mm。停抽真空前5天,平均日沉降值已小于2 mm。停抽真空后,地表有所回弹,回弹值为8 mm。

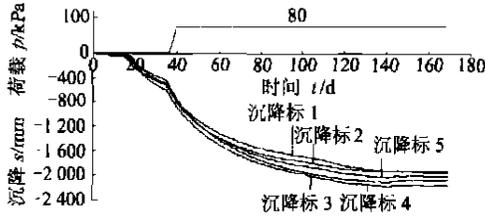


图2 试验区表层沉降与荷载的时程曲线图

#### 4.2 分层沉降

监测资料表明在抽真空期间内测点处的土体累积压缩量为1 618 mm,这和附近3<sup>#</sup>沉降标的表层沉降值1 675 mm非常接近。其中淤泥层压缩了1 574 mm,粘土层压缩了44 mm,说明真空预压对淤泥层的排水固结作用是显著的。从所监测到的数据中可以看出,在真空预压后期,上层淤泥质粉土(膜下2.8~9.2 m)的压缩量已经很小,而下层土(膜下9.2~16.1 m)还在进一步压缩,这说明上层土的排水固结已基本完成,土体固结的深度在不断延伸。

#### 4.3 水平位移

观测发现,在未抽真空前,土体由于表面开始堆载砂垫层,水平位移向外,为挤出变形。由于最大水平位移也不超过2 cm,因此对土体的稳定性还构不成危害。在真空压力的作用下,加固区地表以下16 m的土体都发生了向内侧的水平位移(见图3)。

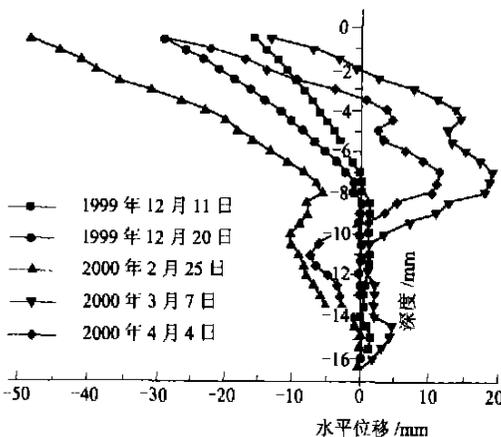


图3 试验区水平位移变化曲线图

由图3可见,当深度在7.5 m时,土体发生了明显的向外的侧向变形,由于挤出变形与收缩变形

相抵消,侧向位移随距离明显减少。地面最大水平位移达50 mm以上,距加固区数米外的土体在地表附近发生开裂,由于试验区附近没有邻近建筑物和其他设施,水平向的位移不会导致不良后果。但是水平向产生的位移,应该引起足够的重视,特别是当场地附近有建筑物时,这种位移是相当不利的。

#### 5 结论

1)通过对监测资料结果分析得出:对于软粘土地基,真空预压加固法是行之有效的地基处理方法,加固范围内各土层固结度均达到设计要求,加固效果非常明显。

2)真空压力的实施和传递主要由两部分组成,间距为1.2 m的竖向塑料排水板和水平向铺设的Φ100 mm的波纹管。塑料排水板起到增加土体中竖向排水通道的作用,而波纹管可同时起到传递真空压力和集水的作用。

3)利用真空预压作为超载荷载,可以一次性在最早期加载,预压时间长,而且荷载数值大大超过设计荷载,使得软土地基压缩层土层在预压期内完成85%的沉降,可以较好地解决工后沉降过大的问题。

4)在真空压力的作用下加固区土体发生向内侧(加固区)的水平向变形,最大水平位移可达850 mm以上,地面出现明显的裂缝。当采用真空预压法加固软土地基时,如在加固区附近有建筑物或道路,这种较大的侧向位移必须引起足够的重视。

5)真空预压法在类似工程中应用是可行的,在处理本地区软土地基是成功的。

#### 参 考 文 献

- 1 《地基处理手册》编写委员会. 地基处理手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988
- 2 钱家欢. 土工原则与计算. 北京: 水利电力出版社, 1979
- 3 朱平, 闫澍旺. 真空预压法加固路堤软基的工程实例分析. 岩土工程学报 2003, 25(2): 508~510
- 4 娄炎. 真空排水预压法加固软基技术. 北京: 人民交通出版社, 2001
- 5 Kjellman W. Consolidation of clay by means of Atmospheric Pressure Proc. Conference on soil stabilization MIT [C]. Boston, 1952
- 6 Hansbo S. Consolidation of fine grained soil by prefabricated drains. Proc of 10<sup>th</sup> ICSME Vol 3[C]. 1981. 677~682

收稿日期: 2004-12-03