

# 上海软土地区邻近建筑堆土地基处理实例研究

詹金林, 水伟厚, 陈国栋, 梁永辉, 洪昌地

(上海现代建筑设计集团申元岩土工程有限公司, 上海, 200040)

**摘要:** 对上海软土地区堆填土大型现场试验进行研究, 监测不同填土阶段地面的沉降、填土对临近 PHC 管桩的桩身水平位移和水平推力的影响, 研究了填土的高度同桩身位移、桩身水平土压力、地层等相互影响关系, 得出填土对桩基的负摩阻力、水平力的影响距离以及主要影响土层。得出填土高度和软弱土层厚度影响临近建筑桩基础的安全距离。针对填土对邻近建筑物基础影响的不同特点, 通过两个不同的地基处理工程实例监测, 妥善地解决了软土地区填土对临近建筑物基础的附加沉降及桩基水平推力的影响。

**关键词:** 邻近建筑; 软土; 填土; 地基处理; 实例分析

中图分类号: TU47 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2010)S2-0310-04

**作者简介:** 詹金林(1977-), 男, 陕西商洛人, 硕士, 工程师, 从事基础工程与软基处理研究、设计、检测工作。E-mail: jinlin\_zhan@xd-ad.com.cn。

## Foundation treatment case study of fill area nearby buildings in Shanghai soft soil

ZHAN Jin-lin, SHUI Wei-hou, CHEN Guo-dong, LIANG Yong-hui, HONG Chang-di

(Xiandai Architectural Design Group, Shen Yuan Geotechnical Co., Ltd., Shanghai 200040, China)

**Abstract:** Have a whole study about large-scale field tests of landfill near buildings in soft soil in Shanghai. Through the different stages of fill research and analysis, we study the additional settlement of building and the negative friction on the PHC pile. We study the interrelationship among height of the filling, the shaft displacement of pile, shaft horizontal earth pressure on the pile. The distance is obtained within which the filling can have some influence on the negative frictional force of the pile and the lateral soil pressure, and also the major stratum. A safety distance is obtained save impact on the nearby pile foundation from the influence of the height of fill and thickness of weak soft layer. Based on the different characteristic of influence on the nearby structure foundation, the additional settlement of the nearby structure foundation and the horizontal thrust of the pile foundation are treated properly by two different in-situ monitoring cases of foundation treatment.

**Key words:** adjacent building; soft soil; filling; ground treatment; case study

## 0 前言

随着城市的现代化发展, 对居住及景观要求也越来越高, 越来越多的建筑物为了景观要求需要在四周填土, 而且一般填土都紧邻建筑物, 上海地区填土厚度已达 13 m, 而且还有增大趋势。伴随着软土地区填土荷载的作用, 常常会引起建筑物的附加沉降和建筑基础的不利影响, 如填土所产生的水平荷载对建筑物桩基的影响、填土对桩基负摩阻力的影响<sup>[1-5]</sup>。多数项目是建筑先于填土施工, 常常限于时间、空间的限制, 和避免对已有建筑物的影响, 填土能够采用的地基处理方法也比较少, 常常成为一个棘手的问题。

上海地区建筑物一般都打桩, 常常采用 PHC 桩或预制方桩, 具有经济快捷的效果。PHC 桩具有抗压强度高特点, 缺点是承受水平力较差, 容易剪断。上海市的③, ④层淤泥质土压缩模量低、流塑, 在上部荷

载的作用下是主要压缩层, 水平位移大, 侧向挤压力往往对建筑桩基产生较大的影响, 如莲花河畔倒楼事故。

本文依托所参与上海松江某邻近建筑高填土(5~13 m)和上海三林某世博配套项目邻近建筑填土(2~5.5 m)的地基处理工程进行介绍, 根据填土试验监测结果和实际工程监测, 对地基处理加固效果对进行研究, 对填土对周围环境影响进行归纳总结, 得出影响范围及安全距离。

## 1 松江某邻近建筑高填土项目

### 1.1 项目简介

该建筑物三面均为填土包围, 邻近建筑物最大填

基金项目: 上海市科技委课题——高填土软基处理与填筑体加固技术研究(08QB14026)

收稿日期: 2010-04-28

土厚度 5~13 m, 从一侧填土上可直接行走到建筑物顶端, 再从另一侧行走下来。建筑物采用 PHC 桩, 桩径 600 mm, 紧邻建筑物周边为 5~13 m 高的填土。

### 1.2 地质概况

根据岩土工程详细勘察报告, 场地勘察深度范围内地层分布如下:

①<sub>1</sub>层: 杂填土层, 层厚 0~0.8 m, 含碎石、砖块等, 下部为少量素填土, 结构较疏松。

①<sub>2</sub>层: 素填土, 层厚 0.6~0.8 m, 含植物根茎等。

②层: 褐黄~灰黄色黏土, 层厚 0.8~1.5 m, 含氧化铁斑点及铁锰质结核等, 可塑, 中压缩性。

③<sub>1</sub>层: 灰色淤泥质粉质黏土, 层厚 4.3~6.6 m, 含有有机质及腐殖质等, 流塑状, 高压缩性。

③<sub>2</sub>层: 灰色黏土, 层厚, 3.0~5.0 m, 含有有机质及腐殖质等, 软塑状, 高压缩性。

④<sub>1</sub>层: 暗绿~草黄色粉质黏土, 层厚 2.5~3.7 m, 含氧化铁斑点、铁锰质结核及腐殖质, 硬塑, 中压缩性。

### 1.3 填土计算分析

根据计算分析, 如果不处理, 最大沉降可达 1.4 m, 而且还存在软弱地基土稳定问题。填土引起的附加沉降会对影响范围内桩基产生较大的负摩阻力和水平剪力, 根据三维有限元计算分析, 最大负摩擦力大约为 8~11 kPa, 严重影响建筑物工程桩的承载力, 位于填土附近建筑物桩基最大弯矩可达 250~300 kN·m, 单桩的最大剪力可达 300 kN, 最大纵向位移为 8 cm。

### 1.4 填土对桩基影响试验

为确保设计的安全性, 了解填土对桩基的影响, 选一试验段进行填土试验, 并在填土外侧打桩进行动态监测。试验区填土高度为 8.8 m, 填土下软土采用分级堆载预压法进行处理, 地基土中插打排水板和设置排水垫层, 填土采用土工格栅加筋, 试桩根据填土布置呈对称布置, 试验平面与剖面布置图如图 1 所示。

### 1.5 填土试验监测

试验区对填土的沉降、桩的水平位移、桩侧土压力、桩身位移等项目进行监测。土压力计埋设首先在埋设指定位移预埋一段直径位移 50 cm 的钢管, 钢管上预留孔洞, 用来走线, 孔洞采用泡沫填充, 防止混凝土堵塞孔洞。管桩中埋设测斜管, 在填土过程中对管桩变形进行监测。

#### (1) 桩顶水平位移

根据桩顶水平位移监测分析, 距填土坡脚 0.5 m 处桩顶最大水平位移为 300~800 mm, 距填土坡脚 6.5 m 处桩顶最大水平位移为 150~300 mm, 距填土坡脚 15.5 m 处桩顶最大水平位移为 25~35 mm。

#### (2) 桩身水平位移

根据测斜监测数据分析, 桩身水平位移反弯点位置基本都 9.5 m 左右, 9.5 m 以上位移背离填土方向, 9.5 m 以下位移向填土方向, 根据地勘报告, 9.5 m 左右为软弱土层的分界面, 由此可以判定填土对桩基的影响主要是流塑状软土层区。

#### (3) 桩侧水平土压力监测分析

在 CX14、CX15、CX16 桩顶下 1.5, 3.5, 6, 9, 11, 13 m 埋设土压力计, 根据土压力变化曲线分析可以得出, 9.5 m 以上土压力为正, 9.5 m 以下土压力为负, 负压表示土压力的减小, 同桩身水平位移监测结论相吻合。

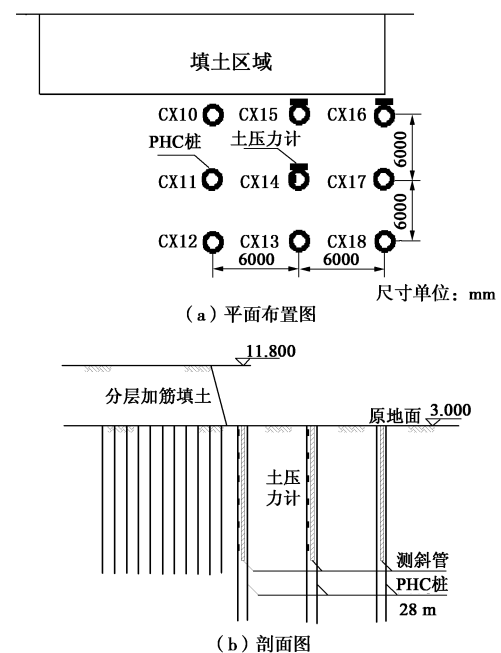


图 1 填土试验监测点布置示意图

Fig. 1 Schematic of monitoring points

### 1.6 邻近地基处理措施

根据试验结果, 对建筑物邻近填土采用扶壁挡墙和路堤桩复合地基进行处理, 桩间距为 2~2.4 m, 桩上布置钢筋混凝土板, 板间距为 80 mm。采用加筋土工格栅减小填土对挡墙的水平荷载。对于远离建筑物的填土采用排水板堆载预压法进行处理, 目前工程已经完工, 处理效果良好。

### 1.7 小结

(1) 根据邻近填土试验监测分析, 填土对桩的桩顶水平位移影响明显, 距离填土越近, 影响越大, 距离填土越远影响越小; 填土中间区域对桩基影响大, 填土边上影响小。高填土对距坡脚 1.5~2 倍填土高度范围以外桩顶位移影响显著减小, 安全距离建议取 2 倍填土高度或 2 倍的软弱土层厚度的大值。

(2) 填土对基桩的深层水平位移影响, 从管底到管顶水平位移基本呈线性变化, 说明桩身刚度很大,

在填土的水平推力的作用下第一节桩整体发生倾斜；管顶水平位移朝向填土外，管底水平位移朝向填土方向。

(3) 填土对基桩的水平推力，桩侧 9.5 m 以上位置的土压力随着填土的增高，土压力逐渐增大；9.5 m 以下随着填土的增高土压力减小，填土达到了设计标高填土施工结束后土压力逐渐的恢复。填土荷载作用下主要是流塑状的软弱土的水平位移对桩基产生较大的水平推力，土压力大致为填土高度荷载的 45%~55%。

(4) 对于远离建筑物区域地基土插打排水板、填土采用加筋土分级堆载预压的地基处理工艺是一种技术可行、经济合理的地基处理方法。

(5) 根据完工后资料分析，采用路堤桩复合地基处理邻近建筑的高填土效果显著。

## 2 三林某邻近建筑高填土项目

### 2.1 项目简介

该项目位于浦东新区三林楔形绿地南片结构规划区域，原为工业厂房用地。拟建场地沿黄浦江岸线呈带状展布（沿黄浦江岸线长约 1.8 km，平均进深 230 m），2 条内河道（三林塘港、三林北港）将用地南北分为 3 大地块，将建成 3 个功能区域，分别为文化及商业展示区域、酒店服务区域、商业会所区域。根据规划设计要求，部分建筑物外围地面将回填 2~5.5 m 高的填土。建筑多为 1~3 层，采用 PHC 桩，建筑物呈片状布置，建筑物之间距离较小。

根据施工进度及项目规划要求，景观填土施工在建筑物完成后再进行施工，填土工期较短，填土产生的荷载大于建筑物产生的荷载，如何减小填土对建筑桩基的水平力、负摩阻力影响是地基处理的关键。

### 2.2 场地地层描述

根据岩土工程详细勘察报告，场地地层描述如下：

①<sub>1</sub>层：杂填土，层厚 1.5~10.5 m，土质不均，主要由碎石、碎砖块及煤渣等组成，部分区域含大量生活垃圾。

①<sub>2</sub>层：素填土，层厚 1.3~4.5 m，以黏性土为主，土质不均，夹少量植物根茎及煤渣、碎石等，局部含有机质。

②<sub>0</sub>层：灰色黏质粉土，层厚 3.1~16.3 m，为江滩土，局部夹少量黏性土，干强度低、韧性低、摇震反应中等。

④<sub>1</sub>层：灰色淤泥质黏土，层厚 1.0~9.6 m，含有有机质，夹薄层粉砂较多，干强度高，韧性高，摇震反应无。

④<sub>2-1</sub>层：灰色砂质粉土夹黏性土，层厚 0.8~5.0 m，含云母，土质不均，干强度低、韧性低、摇震反应迅速。

### 2.3 填土计算分析

根据规范计算，最大堆土厚度 5.5 m 处产生原地表沉降值约为 48 cm，填土邻近建筑物边缘原地表沉降值约为 25 cm，最大沉降在基础底面附近，地基土能够满足稳定性要求。根据平面有限元分析，邻近堆土建筑边缘最大水平位移约 5 cm，深度在 8~10 m 左右。填土高度-地基沉降-地基土水平位移变形曲线如图 2 所示。填土作用下地基土水平变形较大，会对桩身产生较大的水平推力。

根据计算邻近建筑物的边缘地基沉降最大值为 25 cm，上海地区地基沉降对于多层框架结构，独立基础沉降允许值为 200~250 mm，而桩基础的沉降允许值为 150~200 mm。由于临近堆土的建筑为地上一层，地下一层结构，采用 32 m 长 PHC 管桩，且结构设计单位在桩基设计时已经考虑了负摩阻力影响，因此，填土地基竖向变形对于建筑物基础的竖向承载问题影响不大，主要考虑地基可能发生的水平变形对桩基结构的影响。

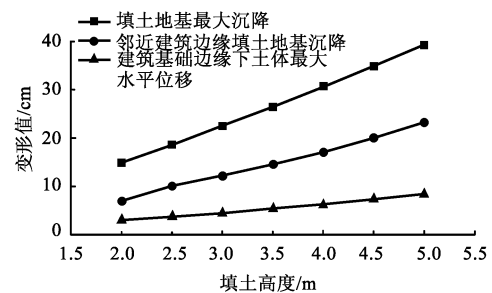


图 2 填土高度与地基变形关系图

Fig. 2 Relationship between filling height and ground deformation

由于桩顶承台或承台梁与基础底板固接，水平力作用下，桩顶为固定。PHC 管桩与土体之间的作用采用弹性地基梁的方法，将有限元计算出来的填土对建筑基础下土体产生的附加应力等效至作用在桩身的外力计算桩身弯矩安全系数如图 3 所示，根据管桩抗弯性能反算需要处理填土的临界高度为 3.2 m。

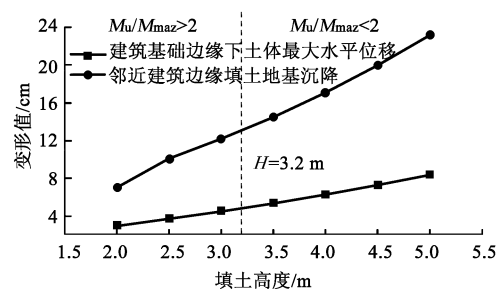


图 3 填土高度与邻近建筑物边缘填土地基变形关系图

Fig. 3 Relationship between filling height and ground deformation

## 2.4 地基处理

对填土高度 3.2 m 以上邻近建筑边缘采用“高压旋喷注浆+加筋土工格栅碎石垫层”方案,旋喷桩加固范围为建筑外侧 6 m 范围,桩长 10 m,主要加固①、②层软弱土。旋喷桩顶设置 60 cm 厚碎石垫层,垫层自建筑边缘向外 10 m 范围内,垫层底部和中间铺设两层双向拉伸塑料土工格栅,处理示意如图 4 所示。根据计算沿建筑外侧地基土深层水平位移值不超过 1 cm。对填土高度 3.2 m 以下邻近建筑边缘加筋土工格栅碎石垫层方案。目前填土地基处理已经完成,分层堆土正在施工过程中。

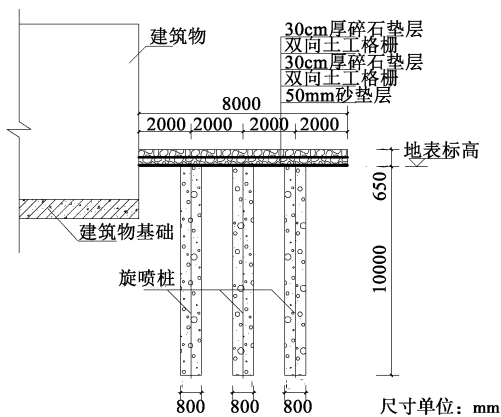


图 4 地基处理方案示意图

Fig. 4 Ground treatment diagram

## 2.5 地基处理检测及填土监测

施工后对旋喷桩处理效果进行检测,单桩承载力特征值不小于 190 kN,复合地基承载力不小于 140 kPa,桩身抽芯无侧限抗压强度不小于 1.5 MPa。地基处理后填土施工采用分层碾压堆填,在靠近建筑物侧布置测斜管,对填土沉降、地基土分层沉降进行监测。填土目前正在施工过程中,根据监测结果分析目前各项指标较为稳定,施工一切正常,满足建设方要求。

## 2.6 小 结

(1) 邻近建筑物采用“高压旋喷注浆+加筋土工格栅碎石垫层”适用于处理邻近建筑填土地基处理。

(2) 采用旋喷桩作为隔离桩能够有效减小填土对建筑桩基的水平力影响,减小填土对桩基的负摩阻力。

(3) 采用加筋土工格栅碎石垫层能够减小填土底层的水平位移,从而减小对邻近建筑的水平荷载。

(4) 高压旋喷注浆加固回填土、素填土和江滩土效果显著,对提高承载力和减小变形沉降效果显著。

## 3 结 论

通过以上 2 个工程实例的设计、施工、监测的分

析研究,可得到以下结论:

(1) 上海软土地区邻近建筑物的填土会对建筑物产生附加沉降,会对建筑物桩基产生较大的负摩阻力和水平荷载。

(2) 采用路堤桩复合桩基或高压旋喷注浆复合地基适合处理邻近建筑高填土地基处理。

(3) 堆填土作用下主要是流塑状的软弱土产生较大的水平位移,从而对建筑桩基产生较大的水平推力。

(4) 在已有建筑邻近填土工程选用地基处理工艺时,应尽量控制地基处理工艺的挤土效应,避免由于地基处理方法对建筑物基础的影响。

(5) 地基处理及填土施工过程中应加强监测,做到信息化施工,动态化设计,确保工程安全和质量。

## 参考文献

- [1] 黄绍铭, 高大钊. 软土地基与地下工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005. (HUANG Shao-ming, GAO Da-zhao. Foundation and underground engineering in soft ground[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005. (in Chinese))
- [2] 屠毓敏, 王建江. 邻近堆载作用下排桩负摩擦力特性研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(12): 2652 - 2656. (TU Yu-min, WANG Jian-jiang. Study on negative friction characteristic of row piles subjected to surcharge nearby[J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(12): 2652 - 2656. (in Chinese))
- [3] 程泽坤, 刘家才. 高回填软土地基中桩基负摩擦问题[J]. 中国港湾建设, 2008, 53(1): 1 - 4. (CHENG Ze-kun, LIU Jia-cai. Study on negative friction of foundation pile in high back fill soft soil foundation[J]. China Harbour Engineering, 2008, 53(1): 1 - 4. (in Chinese))
- [4] 魏焕卫, 杨 敏. 大面积堆载情况下邻桩的有限元分析[J]. 工业建筑, 2000, 30(8): 30 - 33. (WEI Huan-wei, YANG Min. Finite element analysis of adjacent pile under extensive accumulation[J]. Industrial Construction, 2000, 30(1): 30 - 33. (in Chinese))
- [5] 王恺敏, 王建华, 陈锦剑, 等. 大面积堆载作用下饱和土中的桩基工作性状[J]. 上海交通大学学报, 2006(12): 2130 - 2133, 2141. (WANG Kai-min, WANG Jian-hua, CHEN Jin-jian, et al. The behavior of piles in saturated soil under surcharge loads[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2006(12): 2130 - 2133, 2141. (in Chinese))