

天津港务局综合业务楼深基坑支护与监测

Design and monitoring of deep foundation pit in Tianjin port office multiple building

陆培毅 顾晓鲁

(天津大学建筑工程学院土木系,天津,300072)

钱征

(天津市九洲基础公司,天津,300081)

文 摘 介绍天津塘沽软土地区一个深 10.6 m 采用单道环梁支撑的基坑工程设计与监测实例。计算采用弹性抗力法,并对土压力、水压力、支护结构变形、支撑系统变形以及周围地表沉降等项目进行了观测。通过计算与实测,对土压力分布、水土分算、水土合算、土的蠕变对变形的影响等进行了分析,得出一些有价值的结论。

关键词 深基坑,弹性抗力法,实测结果,蠕变变形

中图法分类号 TU 43

作者简介 陆培毅,女,1962 年生。1984,1989 年分别于天津大学获学士、硕士学位。现为副教授,天津大学建筑工程学院土木系博士生,主要从事深基坑支护专家系统的研究。

Lu Peiyi Gu Xiaolu

(Department of Civil Engineering, School of Architectural Engineering, Tianjin University, Tianjin, 300072)

Qian Zheng

(Tianjin Jiuzhou Foundation Company, Tianjin, 300081)

Abstract A 10.6 m deep foundation pit in the soft clay area of Tianjin, using single strut system, was given as an example. The elastic reaction method was used in calculation. The paper also gives some measured results including: soil and water pressure, deformation of retaining structure and strut system, the settlement of surrounding ground, etc. Through comparing, some useful conclusions were obtained.

Key words deep foundation pit, elastic reaction method, measuring results, creep deformation

1 前 言 *

深基坑支护设计理论随深基坑工程的发展而发展。计算方法及计算参数的选取在不同地区不同单位各有所异,在某些问题上甚至还存在一些模糊不清的认识。因此,在实际工程中,加强监测是十分必要的。通过实测数据,可验证计算方法及计算参数选取的可靠性,为完善设计理论提供宝贵的资料。

2 设计计算

2.1 工程概况

天津新港为我国典型的淤泥和淤泥质土地区之一。拟建的天津港综合业务楼分主楼与裙房两部分。天然地坪标高相当于设计标高 - 1.00 m。主楼采用桩基础,地上 32 层,地下 2 层,垫层底标高为 - 11.60 m,基坑挖深达 10.6 m;裙房采用梁板式基础,地上为 3~4 层,地下为 1 层,基坑挖深为 5.0 m;主楼和群房之间基坑高差 5.6 m。基坑尺寸见图 1。

拟建建筑物除东侧局部有一幢已建好的 9 层办公楼,(为框架结构,桩基础,一层地下室)其它三侧在 10 m 范围内无建筑物及重要管线。

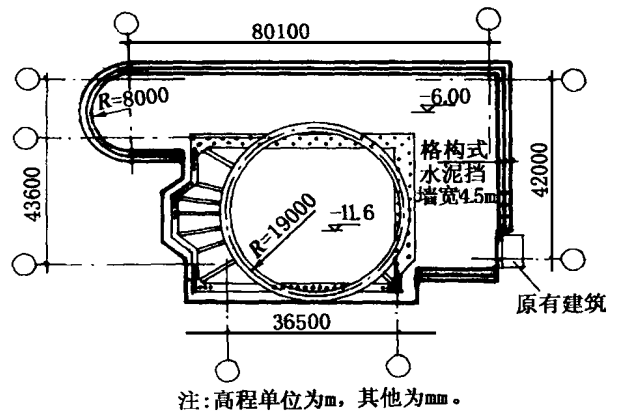


图 1 基坑支护平面图

Fig.1 Plane of foundation pit

2.2 工程地质及水文地质概况

从表 1 可看出: I, II, III₁ 土层土性较好,可看作表层硬壳层,厚达 6.5 m; III₂ ~ III₃ 土层较软,厚达 9.8 m; III₄ 土层稍好, IV 以下为好土层。浅坑正位于硬壳层内,而深坑坑底正好在软土层中部。

地下水位于地表下 1.5 m 处,地表下 18.0 m 处有一承压水,水头为 14.0 m^[1],对基坑稳定十分不利。

* 到稿日期:1998-06-05

表1 场地主要土层组成及指标
Table 1 The main soil composition and its index

土层	土名	厚/m	埋深/m	w/%	I_p	I_L	$\gamma/(kN \cdot m^{-3})$	c/kPa	$\phi(^{\circ})$
I	填土	2.5	2.5	35.1	21.1	0.55	18.6	31.8	12.2
II	粘土	1.5	4.0	36.7	18.7	0.80	18.6	27.2	7.1
III	III ₁ 粉粘	2.5	6.5	34.5	14.0	1.08	18.9	19.1	12.6
	III ₂ 淤粘	1.8	8.3	42.7	18.7	1.13	18.0	14.0	7.6
	III ₃ 粉土	0.9	9.2	29.3	9.0	1.38	19.3	9.5	25.0
	III ₄ 淤粘	4.1	13.3	47.6	22.5	1.02	17.5	20.8	7.0
	III ₅ 粘土	3.0	16.3	42.4	20.7	0.91	17.9	30.0	7.0
	III ₆ 粉粘	2.7	19.0	27.7	12.0	0.89	19.4	24.8	15.2
IV	粉粘	3.3	22.3	27.4	14.5	0.60	19.7	50.6	16.3
V ₁	粉粘	6.5	28.8	22.7	11.9	0.52	20.4	55.5	21.5
V ₂	粉粘	5.3	34.1	22.3	11.4	0.51	20.4	56.8	21.0

注:表中“粉粘”表示粉质粘土;“淤粘”表示淤泥质粘土。

2.3 支护方案的选取

根据土质及坑深等因素,经过几种方案对比,决定深坑采用钻孔灌注桩加一道环梁支撑体系,浅坑采用重力式水泥搅拌桩支挡,并根据经验初步选定支护系统的尺寸。见图2,3。

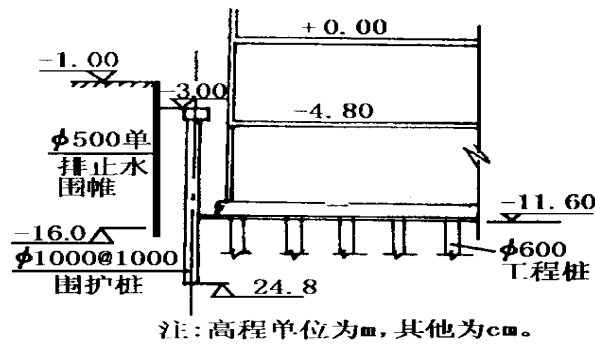


图2 深坑剖面图

Fig.2 Cross section of deep foundation pit

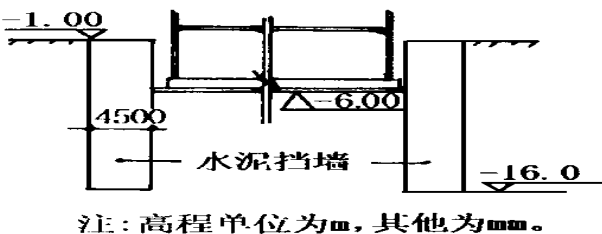


图3 浅坑剖面图

Fig.3 Cross section of shallow foundation pit

2.4 深坑支护结构计算

(1) 支护桩内力计算

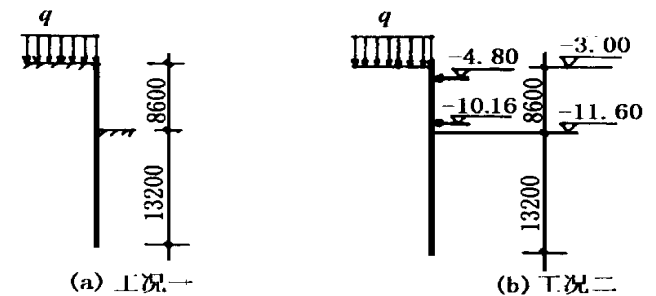
按弹性抗力法计算支护桩内力、位移和支撑力。地面2.0m土按超载加到桩顶上。本工程根据施工顺序,将计算分以下两个工况:

a) 挖土2.9m,打设环梁支撑,待达到设计强度,

挖至坑底-11.6m深处。计算简图见图4(a)。

b) 工况二为基础底板及-4.80m的楼板已打好,且墙外已填好土,此时再拆除环梁,支护成为悬臂3.80m的桩。在此工况的计算中,考虑了工况一中在-4.80m处的预位移的影响。计算简图见图4(b)。

两种工况计算结果汇总于表2。从表中可看出:在给定位移相同的前提下,水土分算最大弯矩平均值是水土合算的1.2倍,换句话说,水土合算内力计算结果只有分算的80%。按弹性抗力法计算,水土合算及水土分算对应的最大位移及支撑力也有类似的规律。



注:高程单位为m,其他为mm。

图4 两种工况的计算简图

Fig.4 Calculation diagram of two cases

(2) 支撑系统内力计算

将支撑反力按均布荷载施加到支撑系统上,利用Super sap-93有限元程序按平面框架求出内力及变形。经计算,支撑系统变形最大点处位移为0.54cm,弯矩选3000kN·m作为控制值较合适。支撑系统的轴力,腹杆大部分为N=2600kN;环梁由于受力不均匀,轴力在深坑部分为6100kN,轴力在浅坑部分为4000kN;帽梁轴力在深坑部分为1800kN,浅坑部分为1400kN。

表 2 支护桩内力、位移计算汇总表

Table 2 The summary of internal force and displacement of supporting pile

工况	挖深/m	支撑标高/m	支撑预位移/cm	$M_{max}/(kN \cdot m)$	M_{max} 对应的标高/m	Y_{max}/cm	Y_{max} 对应的标高/m	支撑力/kN	备注
一	- 11.6	- 3.0	0.5	1 473.7	- 9.5	3.05	- 10.5	- 334.4	水土分算
			1.0	1 433.0	- 9.5	3.22	- 9.5	- 328.2	
			2.0	1 354.5	- 9.5	3.61	- 9.5	- 316.1	
二	- 11.6	- 4.8, - 10.6	1.35, 3.10	1 326.8	- 10.62	3.09	- 9.6	- 412.0, 63.0	水土分算
			1.80, 3.18	1 237.7	- 9.62	3.24	- 9.6	- 396.0, 39.0	
			2.74, 3.50	1 128.7	- 9.62	3.68	- 8.6	- 374.0, 22.0	
一	- 11.6	- 3.0	0.5	1 206.2	- 10.5	2.54	- 10.5	- 271.9	水土合算
			1.0	1 161.8	- 9.5	2.72	- 9.5	- 265.8	
			2.0	1 087.9	- 9.5	3.12	- 8.5	- 253.6	
二	- 11.6	- 4.8, - 10.6	1.20, 2.51	1 028.8	- 9.62	2.52	- 9.6	- 324.0, 23.0	水土合算
			1.65, 2.70	1 008.5	- 9.62	2.74	- 9.6	- 320.0, 33.0	
			2.45, 3.00	946.0	- 9.62	3.17	- 8.6	- 308.0, 35.0	

注: ①天然地表标高为 - 1.00 m; ②计算指标: $m=3000 kN/m^4$; 施工超载 $Q=20 kPa$; ③工况二 - 4.80 m 标高处楼板刚度取为 $80000 kN/m$, 基础底板刚度取为 $400000 kN/m$ 。

2.5 深坑稳定计算

对单道支撑体系的基坑稳定计算主要包括两方面: 整体稳定验算和抗隆起稳定验算。本工程采用总应力圆弧滑动面法基坑稳定程序进行分析, 计算结果为: ①不计承压水时, 稳定安全系数 $K=1.64$; ②计承压水时, 稳定安全系数 $K=1.46$ 。经计算抗隆起安全系数也满足要求。

2.6 浅坑计算

浅坑水泥搅拌按重力式挡墙分别验算抗滑、抗倾、整体稳定及桩身强度。计算结果均满足要求^[2]。

3 基坑支护监测^[3]

为了掌握基坑在开挖过程中支护结构的内力及变形, 实行信息化施工, 为软土中基坑设计积累资料, 本工程进行了施工监测, 监测仪器平面布置见图 5。

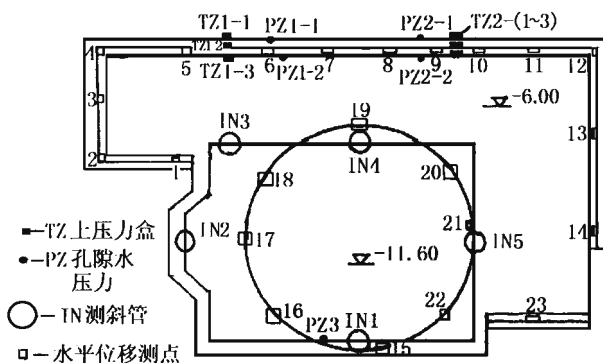


图 5 监测仪器平面图

Fig. 5 Plane of monitoring instrument

3.1 监测内容

监测内容包括: ①支护桩桩身水平变位; ②环梁水平变位; ③支护桩后土压力及孔隙水压力; ④重力式水泥挡墙土压力、孔隙水压力及墙顶水平变位; ⑤基坑周围地表沉降。

3.2 监测结果

(1) 深坑支护桩桩身变形

典型的桩水平位移曲线见图 6。5 根测斜管挖至坑底标高测得的桩身变形特性见表 3.4。

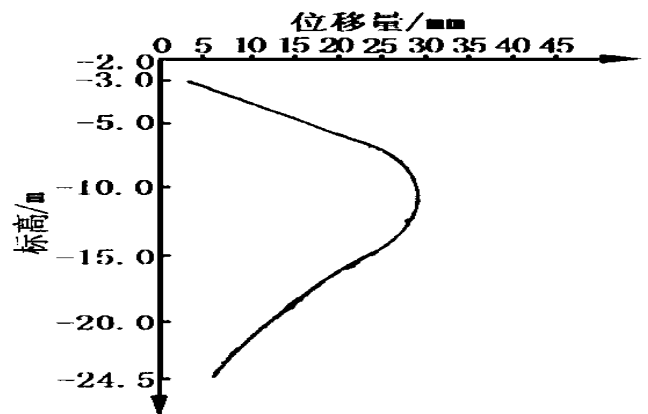


图 6 桩身位移曲线

Fig. 6 The curve of the pile displacement

从图 6 及表 4 可看出以下主要规律: 基坑开挖过程中, 支护桩桩身变形形状都是中间大两头小。当开挖至基坑底时, 桩顶实测平均位移为 6.3 mm, 桩身最大位移 27.0 mm, 与理论计算结果十分接近。

表3 各阶段支护桩位移增量

Table 3 The increase of pile displacement in different period

测点	挖至坑底日期	打混凝土垫层日期	基础底板完成日期	晾槽时间/d	挖至坑底桩身最大位移/mm	开挖基坑底至混凝土垫层完成,晾槽期间桩身最大位移增量/mm	混凝土垫层完成至基础底板完成桩身最大位移/mm
IN1	1995-09-27	1995-10-12	1995-10-25	14	23	20	2
IN2	1995-09-26	1995-09-29	1995-10-25	3	30	12	8
IN3	1995-09-28	1995-10-02	1995-10-25	4	21	8	2
IN4	1995-09-27	1995-10-04	1995-10-25	7	28	15	4
IN5	1995-09-30	1995-10-4	1995-10-25	4	14	4	6

表4 各阶段最大位移

Table 4 The maximum displacement in different period

测点	挖至坑底时桩顶最大位移/mm	挖至坑底时桩身最大变形/mm	设计标高/mm	切断环梁时桩顶最大位移/mm	切断环梁时桩身最大位移/mm
IN1	4.0	23.0	-11.0	24.0	49.0
IN2	7.0	30.0	-11.0	18.0	57.0
IN4	8.0	28.0	-10.5	21.0	50.0
IN5*	2.0	14.0	-10.5	12.0	24.0
IN3*	1.0	22.0	-12.0	2.0	32.0
各点平均	6.3(5.0)	27.0(30.5)	-	21.0(13.0)	52.0(31.0)

注:①带*号的IN5测点在实测中失效,IN3测点为角部,均不参加统计;②括号内数值为理论值(按水土分算,桩顶位移 $\Delta=5.0$ mm取值)。

(2) 环梁水平变位

基坑开挖前后环梁各测点水平位移变化见图7。靠近深坑的西南侧,环梁水平位移接近1.0cm;深浅坑交界处,环梁水平位移接近0.5cm。

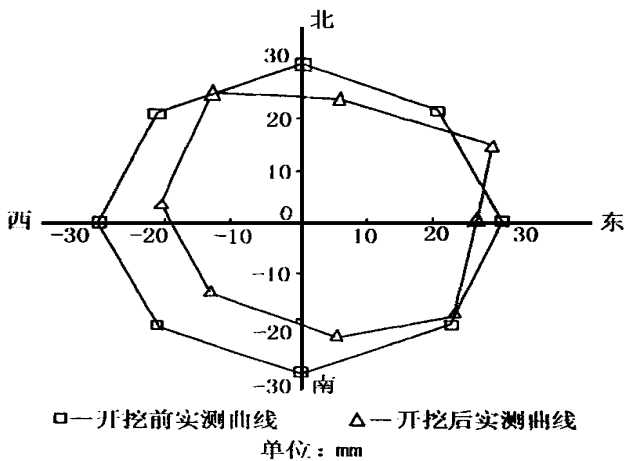


图7 基坑开挖前后环梁的变形

Fig.7 The deformation of the peripheral beam before and after excavation

(3) 支护桩后土压力及孔隙水压力

在支护桩后3.0m处为一道深15.0m的水泥搅拌桩止水围幕。基坑开挖前,坑内外降水,由孔隙水压力测头测得的水压表明:大部分土层内的孔隙水压力随着地下水位的下降,均有显著的降低。桩后水压力

降低的程度平均达70kPa,见图8。

支护桩后实测土压力值为中间大,两端小。土压力沿深度分布突然减小的拐点位于地面下10m处,正好是水平位移最大处,见图9。

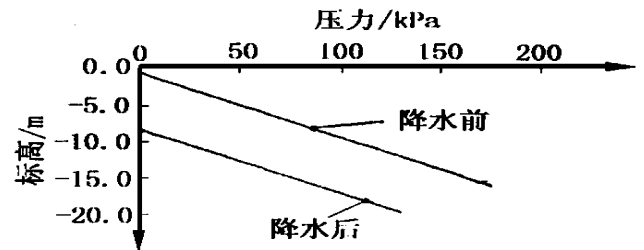


图8 (PZ3)支护桩后孔隙水应力分布曲线

Fig.8 The curve of pore water pressure behind the pile

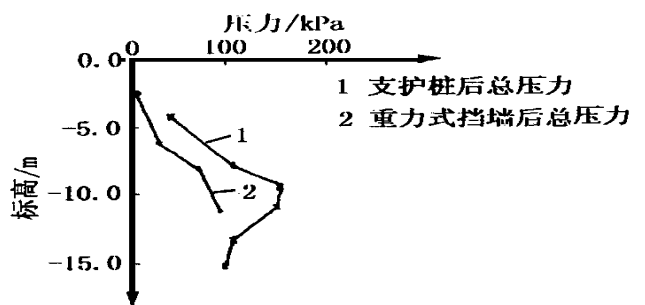


图9 土压力实测曲线

Fig.9 The curve of soil pressure

(4) 浅坑重力式挡墙后水、土压力分布及墙顶位移

浅坑重力式挡墙后土压力分布见图9,基本与理论主动土压力分布一致^[4]。实测的孔隙水压力基本按静水压力分布。

实测墙顶各点的水平位移平均为20.0mm。

(5) 基坑周围地面沉降

深坑周围共设置三个观测断面,实测地面沉降值如图10所示。各点的最终沉降量在30~50mm之间,地表沉降影响范围约为基坑深度的两倍。

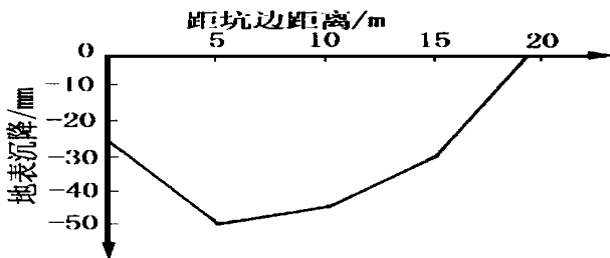


图10 深坑周围地表沉降变化曲线

Fig.10 The displacement curve of the ground surface around the deep pit

4 结 论

通过计算与实测结果对比,可得出以下主要结论:

(1) 基坑开挖过程中,支护桩桩身变形是中间大两头小。从开始到挖至基坑底(第一阶段),实测桩顶位移为6.3mm,计算值为5.0mm;实测桩身最大位移为

27.0mm,计算值为30.5mm,与实测值十分接近。

(2) 从垫层施工到拆除环梁时,由于土的流变作用,实测桩顶及桩身位移值是计算值的1.7倍。时间越长,流变变形越大。而理论计算中,并未考虑流变的影响。同时也说明,在软土地区,从开挖到做基础的各个施工环节应尽量缩短工期,减少支护结构的变形。

(3) 本工程实测角部桩桩顶位移为其他部位的0.1倍,桩身最大位移为其他部位的0.6倍。

(4) 垫层施工完成至浇注底板的20d期间,支护桩只产生6.0mm左右的变形。坑底混凝土垫层对抑制土的蠕变引起的变形作用明显,因此,基坑开挖至设计标高后,应尽早浇筑垫层。

(5) 单支撑体系周围地表沉降影响范围约为基坑深度的2倍。

参 考 文 献

- 1 申伯熙.塘沽和新港地区工程地质条件特征.见:候钊主编.天津软土地基.天津:天津科学技术出版社,1987.47~53
- 2 刘建航,侯学渊.基坑工程手册.北京:中国建筑工业出版社,1997
- 3 徐树华.天津港综合业务楼基坑工程支护结构监测报告.天津:天津港湾工程研究所,1996
- 4 顾晓鲁,虞建华.深基坑开挖与支护.见:顾晓鲁主编.天津软土地基深基坑设计与施工技术交流会论文集.天津:天津市城乡建设委员会,1992

Conference Announcement

3rd International Conference on

GROUND IMPROVEMENT TECHNIQUES

The 3rd International Conference on GROUND IMPROVEMENT TECHNIQUES will be organised on 20 - 21 September 2000.

The conference will discuss the following themes:

- Mechanical and chemical stabilisation of soils
- Accelerating the consolidation of clayey soils and electroosmosis
- Soil reinforcement & earth reinforcement (facing elements, backfill, reinforcements)
- Modification of marine soils and related topics
- Grouting techniques and thermal stabilisation of soils
- Evaluation of ground improvement and theoretical methods
- Densification of granular soils
- Dynamic compaction and micropiles
- Deep compaction, blasting heavy compaction, vibroflotaton
- Innovative techniques in ground improvement
- Soil improvement by precompression (preloading, goedrains,

stone columns, granular piles)

- Injection and grouting
- Environmental impact

Papers on any topics above will be welcome. Please mail your abstract of papers to the conference director and remember the deadlines. For more information please contact the secretariat.

The deadlines:

receipt of submissions	10 January 2000
notification of acceptance	15 February 2000
full text to be received	31 May 2000
final acceptance	15 July 2000

Secretariat and Conference Director Er John S Y Tan:

CI - Premier Pte Ltd, 150 Orchard Road # 07 - 14, Orchard Plaza, Singapore 238841 Tel (065)733 - 2922
Fax (065)235 - 3530 E-Mail cipremie@singnet.com.sg

(本刊讯)