

文章编号:1673-0836(2005)04-0634-04

基坑开挖中地下水抽取对周围环境的影响分析*

唐翠萍¹,许烨霜¹,沈水龙¹,王敏华²

(1. 上海交通大学土木工程系,上海 200030; 2. 上海市建筑科学研究院有限公司,上海 200030)

摘 要:深基坑工程中,地下水的渗流将会使基坑周围形成降水漏斗。随着开挖的进行,地下水自由面不断下降,从而使坑外土体的有效应力增加,墙后土体将发生不均匀沉降。为分析基坑开挖过程中,周围土体的沉降及地下水位的变化,对基坑建立三维有限元分析模型,这是一个地下水渗流与地面沉降计算的一体化模型。利用该模型分析了在软土地区深基坑开挖引起地下水渗流场的变化。结果表明,地下水头计算值与工程现场的实测值吻合,此方法可以较好的模拟实际工程。还用该模型分析了基坑开挖地下水抽取引起的地面沉降问题。

关键词:深基坑开挖;地下水抽取;三维有限元分析;地面沉降

中图分类号:TU473.2 TU46⁺2

文献标识码:A

Impact Analysis of Groundwater Withdrawal During Excavation of a Deep Foundation Pit

TANG Cui-ping¹, XU Ye-shuang¹, SHEN Shui-long¹, WANG Min-hua²

(1. Department of Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China;

2. Shanghai Research Institute of Building Science, Shanghai 200030, China)

Abstract: During the excavation of deep foundation pit, the seepage of groundwater forms a drawdown cone around the foundation pit. Drawdown of the groundwater level will cause the increase of effective stress of soil outside the pit. Thus, the soft clay will be consolidated and settlement will occur around the pit. In order to analyze the variations of groundwater level and ground surface settlement during excavation, a 3D finite element model was established. It is an integrative model by considering the groundwater seepage and calculation of ground settlement in one process. This model is used to analyze the changes of groundwater seepage zone due to the deep excavation in soft soil. The results indicate that the calculated value of groundwater head is consistent with the field measurement value. Therefore, this method can be used to simulate the practical engineering well work. Meanwhile, the model is also used to calculate the ground surface settlement induced by the withdrawal of groundwater.

Key words: excavation of deep foundation pit; groundwater withdrawal; 3D finite element analysis; ground settlement

1 前言

现代城市建设,除建筑高层商住楼等,还充分利用地下空间,如建造地下室、地下隧道、地下商城等各种地下市政设施,随之而来的深基坑工程也越来越多。在高水位或软弱土层含水丰富地区,基坑工程常在地下水位以下含水层中进行,这给工程建

设带来很大难度,必须对开挖基坑进行降水处理。在软土地区,深基坑开挖过程中,最为突出的问题之一是由于开挖伴随降水使处于平衡状态的地下水渗流场发生了变化,引起地面沉降。为确保基坑工程和周围环境的安全,有必要对基坑渗流场进行正确的分析。对于地下水开采引起的地面沉降的预测计算,一般采用有限元数值模拟。在既有的模

* 收稿日期:2005-04-24

作者简介:唐翠萍(1981-),女,湖北人,硕士研究生,主要从事地下水抽取引起地面沉降问题的研究。

型中,计算是分两步进行的,一般将地下水流计算与地面沉降计算分开,即先按地下水渗流方程计算出地下水位变化,再按 Terzaghi 的固结理论计算地面沉降^[1,2]。本文针对上海某商务大楼的基坑建立三维有限元模型,这是一个地下水渗流与地面沉降计算的一体化模型^[3~4]。利用该模型分析了深基坑工程开挖过程地下水渗流场的变化及降水所引起的沉降。

2 某商务大楼的基坑工程概况

该商务大楼位于上海,所造建筑主要用于商务及办公。该建筑分为 A、B 两幢,两幢的地下室相连。开挖总面积是 8 653 m²,开挖深度为 12.8m。基坑围护结构采用厚度为 800mm~1 000mm 的地下连续墙。平面图见图 1。开挖区土体是长江三角洲地区形成的沉积土。由吴淞标高系统,地表海拔为 3.0m~3.5m。地下水在地表以下 0.5m。地基土层的类型及各层土的厚度见表 1。

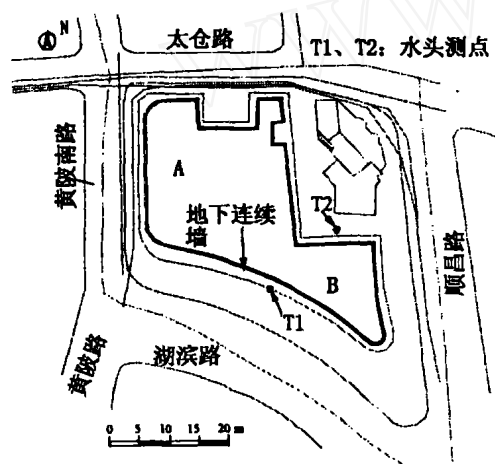


图 1 基坑平面布置图

Fig. 1 Plan view of the excavated area

基坑开挖分三个阶段,第一个阶段的开挖深度为 - 2.8m,使用现浇的钢筋混凝土支撑,在 14 天内结束。第二个阶段的开挖深度为 - 7.3m,此阶段的钢筋混凝土支撑也采用现浇。B 区的所有土挖到 - 7.3m 的深度,A 区的土在支撑硬化后仍然保留。此项工作在 21 天内结束。第三个阶段挖土深度达到 - 12.8m,A、B 两个区同时开挖。现浇的钢筋混凝土底板作为第三层支撑。这一步在 43 天内结束。底部的混凝土硬化以后,两个区的土均开挖到 - 12.8m 的深度。在开挖过程中,地下水通过 25 个井点降水排出。井点分布在基坑内,深度为 17m。在开挖期间,地下水位保持在开挖表面以下

1m 处。抽水工作一直持续到地下室施工完成后,共计 120 天。

3 分析方法

如果略去水的可压缩性,分析饱和介质中的三维地下水渗流的基本方程式如下:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) - q = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

式中, K_{ij} = 渗透系数; h = 全水头; q = 外部流量; S_s = 贮水率; t = 时间。

土层的释水,一般来自土体的压缩和水的膨胀。因此,贮水率(释水系数) S_s 由下式计算:

$$S_s = w(m_v + n) \quad (2)$$

式中, w = 水的容量; m_v = 土体的压缩系数; n = 孔隙率; α = 水的压缩系数。

对于地下水压力不是很高的条件下,水的可压缩量相对于土体的压缩量来说非常小,可以忽略不计(即 $\alpha = 0$)。则根据作者等人的推导,可由下式计算土层收缩量^[3]:

$$S_t = m_v \cdot zH = \frac{S_s}{w} \cdot zH \quad (3)$$

由上可知,根据贮水率 S_s 与有效应力的变化关系,可以计算出土层的收缩量,累积各土层的收缩量,从而得到地面沉降值。

4 本基坑工程的三维计算模型

4.1 计算范围及边界条件

对考虑连续墙和不考虑连续墙的影响分别建立模型计算分析。计算结果表明由于基坑开挖处于粘土层,透水系数小,故连续墙对结果并无太大影响。因此以下只列出有连续墙的计算模型。分析计算主要是整个基坑及其周围约 80m 范围,深度大约是 60m,土层划分为 7 层。地表为静水压力。图 2 是基坑平面的计算范围及井点的布置图。图 3 是基坑的三维有限元网格。

4.2 计算参数

表 1 中列出了土层和层底标高以及分析过程中所用到的参数。渗透系数是根据固结试验所得。根据经验,室内试验所得的渗透系数较现场试验值要小,用所建立的三维有限元模型进行模拟计算时,对于中国沿海粘土,现场渗透系数约为室内值的 6 倍^[5]。因此,实际计算中水平和竖向的渗透系数都扩大了 6 倍。通过固结试验得到土体的压缩系数 m ,贮水率 S_s 是通过 m 计算得到的。各土层

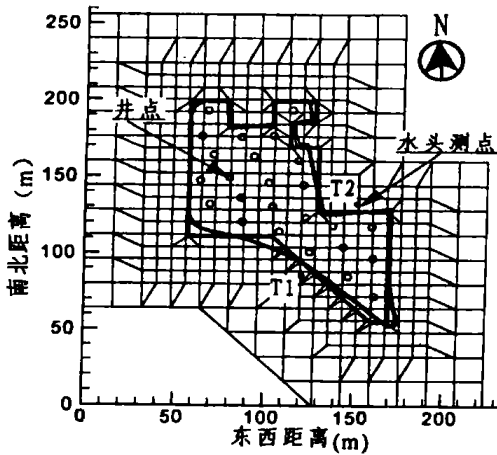
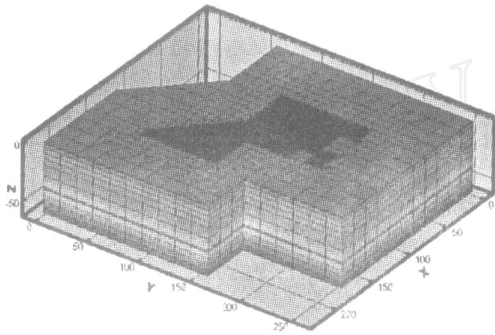


图2 有限元平面网格、降水点及水头测点布置

Fig.2 Analyzed range in the plain, well locations and test site of groundwater head



单位: X为东西方向(m)、Y为南北方向(m)、Z为标高(m)

图3 基坑的三维有限元网格

Fig.3 Three dimensional FEM mesh

的类型及厚度均是由实际工程勘查资料得到。

4.3 计算结果与分析

在基坑外取两点 T1、T2 (见图1) 用有限元模型计算出水头的变化值, 与工程实测值进行比较, 如图4。计算的结果水头变化比工程实测值稍大, 此模型可较好的模拟基坑外水头变化情况。

表1 土层和层底标高及应用到的有关参数

Table 1 Soil layers, layer bottom elevation, and the parameters used in field case

层号	土层	层底标高 (m)	k_v (10^{-6} m/d)	K_h (10^{-6} m/d)	e_0	S_s ($\times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$)
1	粉质粘土	-0.26	63	41.15	0.75	3.9
2	淤泥粉土	-3.8	86.5	79.5	1.02	5.5
3	淤泥粘土	-13.5	104.5	42.95	1.73	10.2
4	粘土	-19	58.5	37.0	1.30	5.6
5	粉质粘土	-38	86.5	56.5	0.93	5.1
6	砂质粘土	-40	2000	500	0.91	4.0
7	砂	-60	30000	5000	0.84	1.5

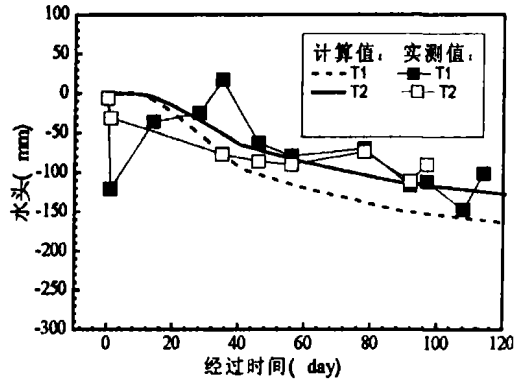


图4 水头计算值与实测值比较

Fig.4 Groundwater head versus time

图5给出了基坑在抽水120天时周围地层中地下水位等值线图。如图所示, 基坑开挖过程中, 水头降低范围主要是基坑外围60m范围内。计算得到的最大水头下降值是1.9m。

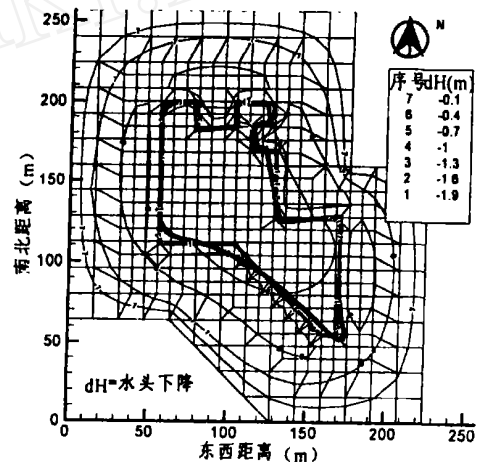


图5 抽水120天时地下水水头等值线

Fig.5 Contour of groundwater drawdown at 120 days

图6描述的是地下水流矢量图。由图可知, 在基坑开挖过程中, 水流总是从基坑外围流向基坑内的。

图7是基坑开挖中地下水抽取120d周围地面沉降计算值。从图中可看出, 在连续墙外约4m的范围内沉降值最大可达0.16m, 计算沉降较大。这是由于在实际工程中墙体与土体之间有摩擦作用, 而利用此三维模型计算沉降时没有考虑此摩擦力。在大于4m距离后, 沉降值不大, 这是由于在基坑开挖过程中, 在坑内布设排水井, 采用井点降水, 以及地下连续墙具有较好的隔水作用, 从而减少了坑外地下水位下降及对周围土体的影响, 而且这比水头下降范围要小的多。这是由于: 4m以外水头下降不大; 4m以外固结的延迟作用。

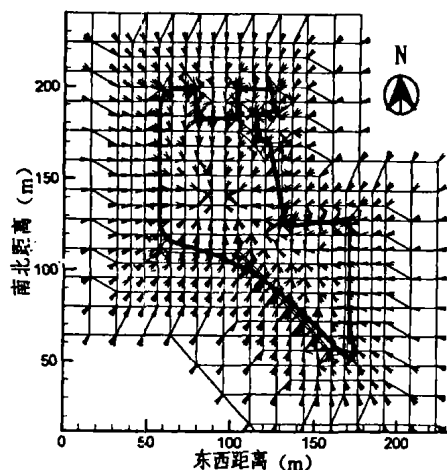


图 6 地下水流动方向矢量图

Fig. 6 Groundwater flow vector

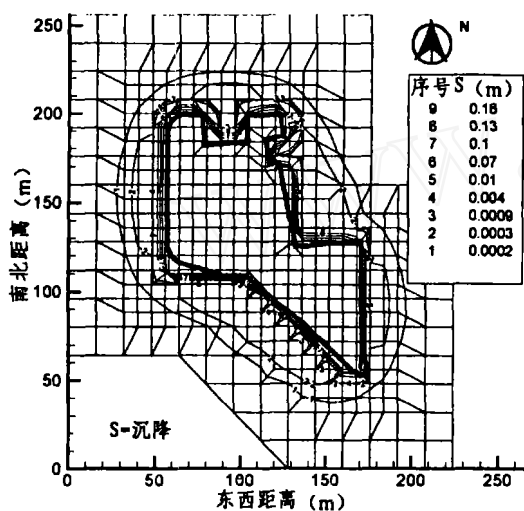


图 7 在 120d 的预测地表沉降轮廓图

Fig. 7 Predicted surface subsidence contour at 120 days

5 结论

(1) 为预测在软土地基基坑开挖降水引起的地面沉降,建立了三维有限元模型,模型为地下水渗流与地面沉降的一体化模型。

(2) 选取基坑及外围 80m 为研究对象。模拟结果显示水头降低发生在坑外 60m 范围内,最大水头下降值是 1.9m。地下水流的方向总是由基坑外围流向基坑内。

(3) 用本文方法计算基坑内水头的变化,结果表明计算的结果与现场实测数据基本吻合。

(4) 计算结果表明,虽然水头下降在 60m 范围内发生,但基坑周围土体的沉降主要发生在 4m 范围内,4m 以外的沉降较小。这是由于固结的延迟作用所致。

参考文献:

- [1] Bear, J. Hydraulics of Groundwater[M]. New York, McGraw - Hill, 1979
- [2] 薛禹群,张云,叶淑君,李勤奋等. 中国地面沉降及其需要解决的几个问题[J]. 第四纪研究,2003,23(6):585 - 592
- [3] 许烨霜,沈水龙,唐翠萍,姜弘. 基于地下水渗流方程的三维地面沉降模型[J]. 岩土力学,2005,26卷(增):109 - 112
- [4] Shen, S. - L., Tohno, I., Nishigaki, M., and Miura, N. Land subsidence due to withdrawal of Deep - groundwater[J]. Lowland Technology International, IAL T, 2004, 6(1):1 - 8
- [5] Chai, J. C., Shen, S. L., Miura, N., Bergado, D. T., A simple method of modeling PVD improved subsoil[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE 2001,127(11):965 - 972

(上接第 586 页)一些不确定性,岩土工程有必要依靠施工监测,以观察结构的受力性状和地基的稳定性,实现信息化施工,确保工程顺利进行。

本工程的监测成果由中船第九设计院检测中心提供。

参考文献:

- [1] 孙更生,郑大同. 软土地基与地下工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1987

- [2] 日本建设机械化协会编(夏明耀、高秀理等译). 地下连续墙设计与施工手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1983
- [3] 第九设计研究院. 船台滑道结构设计[M]. 北京:国防工业出版社,1988
- [4] 第九设计研究院. 地下连续墙结构静力计算[R],1978
- [5] 汪炳鉴. 地下连续墙的墙体内力及入土深度问题的研究[R]. 上海:同济大学
- [6] 侯学渊、周知行. 软土地基结构设计理论与实践[R],上海:同济大学