

# 结合降水流线方程估值沉降量的一种计算方法\*

曹所江

(扬州大学 水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225009)

**摘要:**基坑降水会引起土壤固结沉降,影响临近建筑的安全。沉降量的估算,与某一平面某一点处的地下水位降深位置(函数)有关。结合流线方程,通过沉降计算可以求得沉降估值,因而能够较为合理的估算距离基坑任一位置的沉降量,并为判断建筑物沉降与实际影响程度提供理论计算与参考。

**关键词:**流线方程;估值沉降量;计算方法

**中图分类号:**TU463

**文献标识码:**A

**文章编号:**1671-5322(2007)02-0070-03

## 1 工程实例与问题的提出

某专家楼工程的地下室降水施工,地处老城区,离周围建筑物较近,东西距老住宅仅有3~4 m(图1),东边为1952年建的砖木结构2层住宅,西侧为20世纪80年代末3层砖混结构的住宅,且基础有一半在回填的河塘里。地下室开挖深度为3.2 m,基坑为21 m×20 m的矩形基坑,局部地基处理3.8 m,地质勘探报告土壤渗透系数为 $5 \times 10^{-4}$  cm/s,土质1层为Q4近代人类活动杂土,2层为Q4长江冲积相粉土夹粉砂。工程施工方案建议采用回灌,但场地施工条件不能满足。为此,笔者通过降水设计理论计算与经验值计算对比,运用流线方程(函数)和沉降量计算,进行

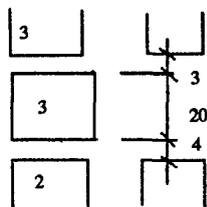


图1 总平面示意图

Fig.1 Chief Plan Sketch

沉降预控,并在现场实施检测和专人观测,在正常降水条件下,尽可能采取减少井管、加大间距等措施,成功地进行了地下室施工,并未出现因降水使建筑物产生裂缝、沉降等现象。工程虽不大,但可算作难得的一例试验。

## 2 实例试验与计算方法

### 2.1 涌水量计算经验值与理论值的降水设计比较及工程试验

对沉降量的估算,与某一平面某一点处的地下水位降深位置(函数)有关,而降水水位又与涌水量有关,涌水量计算与渗透系数 $K$ 、单管出水量 $q$ 的取值有关,一种是规范经验值,一种是理论设计值,下面作分析计算。

#### 2.1.1 $K$ 、 $q$ 值按规范经验取值的涌水量计算

$K$ 渗透系数经验值取2 m/d,单管流量规范经验值 $q$ 取经验3.5 m/d;

①井点系统的布置方式:采用环状井点;

②井管的埋设深度(不含滤管):

$$H \geq H_1 + h + iL = 2.2 + 0.5 + 0.1 \times 10 = 3.7$$

m,取4 m的支管能满足要求;

式中:

$H_1$ 为井管埋设面至基坑底面的距离;

$h$ 为降低后的地下水位至基坑底面的距离;

\* 收稿日期:2006-11-08

作者简介:曹所江(1966-),男,江苏南通市人,硕士研究生,助理研究员,主要研究方向为工程项目管理。

一般为 0.5 ~ 1.0 m;

$i$  为水力坡降, 环状为 1/10;

$L$  为井管到基坑中心的水平距离。

在工程中应做到, 为充分利用抽吸能力, 原则上总管的标准宜接近地下水位, 水泵轴心与总管齐平。本工程根据地下水位的高程把基坑地面挖至 -1.0 m (见图 2), 再实施布置总管, 充分利用一级井点进行降水。

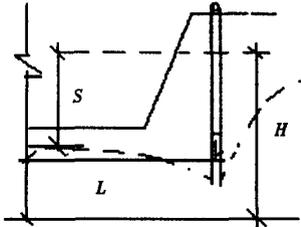


图2 井点降水剖面示意图

Fig.2 Generalized Section of Well-point Precipitation

③基坑图形面积计算: 即为降水总管包围的面积  $F = 21 \text{ m} \times 20 \text{ m} = 420 \text{ m}^2$ ;

④计算涌水量:

依据我国《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120-99) 计算。

$$Q = 1.366k \frac{(2H-S)S}{\lg(1+R/x_0)} = 207.56 \text{ m}^3/\text{d};$$

假想圆半径:  $x_0 0.29(a+b) = 11.89 \text{ m}$ ;

抽水影响半径  $R$ :

$$R = 1.95S \sqrt{HK} = 5.26 \times 3.85 = 20.25 \text{ m}$$

式中:  $S = 2.7 \text{ m}$  为水位降低值;

$H_0$  为抽水影响深度:  $H_0 = 1.85 \times 4 = 7.4 \text{ m}$ ,

⑤井点数量与间距:

考虑利用系数, 井点数量  $n = 1.1Q/q = 1.1 \times 207.56 \div 3.5 = 65.23$  根; 取 66 根。

井点管间距:  $D = L/n = 82 \div 66 = 1.24 \text{ m}$ ;  $L = 82 \text{ m}$  为总管长度。取间距 1.2 m, 经验值为 0.8 ~ 1.2 m。

2.1.2  $K, q$  按理论设计取值的涌水量计算

$$K = 0.43 \text{ m/d (地质报告)}; q = 65\pi d^3 \sqrt{K} = 65 \times 3.14 \times 0.038 \times 0.76 = 5.86 \text{ m}^3$$

$$R = 1.95S \sqrt{HK} = 5.26 \times 1.78 = 9.38 \text{ m}$$

$$Q = 1.366k \frac{(2H-S)S}{\lg(1+R/x_0)} = 207.56 \text{ m}^3/\text{d}$$

井点数量  $n = 1.1Q/q = 14.3$ , 取 15 根。

间距  $D = 82 \div 15 = 5.47 \text{ m}$ , 试验取 5 m。通

过以上计算比较发现, 理论计算与经验取值计算, 结果有较大不同, 对此利用基坑降水现场条件, 进行了实际试验, 间隔封堵井点, 逐步扩大间距, 从 1.2 m 扩至 2.4 m, 再到 4.8 m, 结果未出现基坑潮湿或明水, 与理论值较吻合, 基坑降水仍满足施工要求, 且为本文下面的涌水量以理论值计算提供了依据。

## 2.2 沉降量估值计算方法<sup>[1,2]</sup>

由于土体中土壤颗粒与空隙中的自由水是不可压缩的, 自由水的存在对土壤的骨架起支撑作用。井点降水使得自由水在空隙中自由流动与排出, 土壤颗粒则改变原来的排列, 间距减小, 相互填充空隙, 这个压缩排水过程即为土体固结过程。这个过程与时间  $t$  有关, 图 3 为  $s-t$  关系曲线。

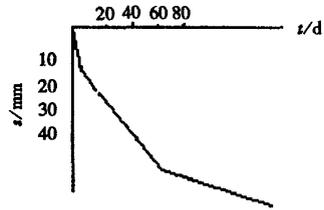


图3 s-t 关系曲线图

Fig.3 s-t Graph

根据太沙基固结理论, 在总应力  $\delta$  基本不变的条件下, 有效应力  $\delta'$  与孔隙水压力  $u$  的关系表达为:  $\delta' = \delta - u$ 。而孔隙水压力的降低值为有效应力的增加值, 有效应力的增加使得土体压密, 而达到土体新的平衡。下面具体阐述本文的计算方法:

①用土的附加应力计算法, 按下式计算土的沉降:

$$\omega = \frac{\Delta p \cdot a \cdot h}{1 + \varepsilon}$$

式中

$\Delta p$ : 土体骨架的附加应力  $\Delta p = \delta \delta (1 - n)$ ;

$a$ : 土的压缩系数;

$h$ : 土的压缩层厚度;

$\varepsilon$ : 孔隙比;

$s$ : 水位降深值。

②先求出水位降低值。为从理论上求得临近住宅处的沉降量, 笔者采用降水流线(函数)方程求出基坑与建筑物距离  $x$  取 4 m (见图 4) 处的水位下降值, 其余参数同前(2), 由流线方程:

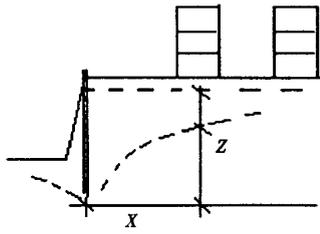


图 4 降水流线剖面图

Fig. 4 Generalized Section of Precipitation Streamline

$z^2 = H^2 - \frac{Q}{\pi k} \ln R/x$  求出  $z$ ,  $K$  渗透系数  $0.43$  m/d, 求得  $z = 2.55$  m, 则水位降低值为  $H_0 - Z = 7.4 - 2.55 = 4.85$  m。

③计算沉降(见图 5):依据有关资料,土的压缩系数取  $\alpha = 0.059^{[4]}$ , 孔隙比  $1.13$ , 孔隙率  $n = 0.53$ , 压缩层厚度  $h = 7.4$  m, 降水深度  $s = 4.85$  m,  $h_1 = 4.85$  m,  $h_2 = 2.55$  m, 水的比重为 1。附加应力的计算,可分为两种情况

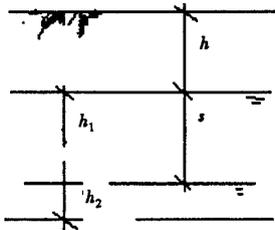


图 5 总平面示意图

Fig. 5 Sketch Map of Precipitation Concretion

(i)假设土中不含毛细管水,附加压力为:  
在  $h_2$  范围内:

$$\Delta p_2 = \delta s(1 - n) = 4.85(1 - 0.53) = 0.228 \text{ kg/cm}^2$$

在  $h_2$  土层的沉降量:

$$\omega_2 = 0.228 \times 0.059 \times 255 / (1 + 1.13) = 3.43 \text{ cm}$$

在  $h_1$  范围内:

$$\Delta p_1 = \delta s(1 - n) / 2 = 0.114 \text{ kg/cm}^2$$

在  $h_1$  土层的沉降量:

$$\omega_1 = 0.114 \times 0.059 \times 485 / (1 + 1.13) = 1.53 \text{ cm}$$

因而在  $H$  范围总的最终沉降量为  $3.43 + 1.53 = 4.96$  cm。

(ii)假设土体中充满毛细管水时

在  $h_2$  范围内,附加压力及沉降值:

$$\Delta p_2 = \delta s = 1 \times 0.485 = 0.485 \text{ kg/cm}^2$$

$$\omega_2 = 0.485 \times 0.059 \times 485 / (1 + 1.13) = 6.52 \text{ cm}$$

在  $h_1$  范围内,附加压力及沉降值:

$$\Delta p_1 = 0.243 \text{ kg/cm}^2$$

$$\omega_1 = 0.243 \times 0.059 \times 255 / 2.13 = 1.51 \text{ cm}$$

在土的压缩层厚度的范围内最终沉降量:

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 = 6.52 + 1.51 = 8.03 \text{ cm}$$

据此可判断最终沉降量在  $4.96 \sim 8.36$  cm 的范围内,而且离基坑愈远,影响愈小。由  $s-t$  关系曲线,依据前人试验成果<sup>[4]</sup>降水时间在 30 d 左右,沉降量占总量的 30% 左右,60 d 在 50% 左右。因此,在较短的施工工期内,作好地下室施工方案的充分准备,影响是很小的,实际也得到了验证。

### 3 结论与建议

井点降水的作用与影响体现为:一是疏干基坑土方,以利于基础工程施工;二是降水固结沉降加固地基土;三是降水形成漏斗曲线,在曲线范围内产生不均匀沉降,影响临近建筑物(构筑物)的安全。

笔者通过降水设计理论计算值与经验值计算涌水量对比,运用流线方程(函数)计算某平面的地下水水位值来计算沉降量的估值,进行沉降预控,并采取尽可能减少井管、加大间距等措施,成功地进行了地下室施工,并未出现降水使建筑物沉降等的不良影响。应用这些理论计算的手段和已有的成果,进行井点最优布置、估值可能的沉降量,对处理实际问题有很大的帮助,这个过程实质是进行降水最优化设计,选择合理的约束条件,使得出水量最小、井点间距最大、数量最少,在技术上可行、经济上节省,在保护地下水资源等方面也十分有益。值得提出的是目前降水定额以“根”为计算费用单位,通过本文的计算与比较,扩大间距具有较大的实际作用,可以把安装、拆除与使用的数量区别对待,实际使用的按使用套天计算,扩大间距后实际不需要使用或备用的井管,只记取安装、拆除费用,既合理也合法,其节约的效果是显而易见的。鉴于对目前有些降水招标让利达 40% 的思考,显然定额有待完善,笔者认为本文对降水定额的完善和全新解读具有一定意义,希望能与同行共同探讨。

(下转第 78 页)

## Study on the Theory and Method of D - M Processing for Expressway's Composite Foundation

ZHOU Rong - chao<sup>1</sup>, PAN Si - jian<sup>1</sup>, YE Guan - bao<sup>2</sup>

(1. Yancheng Expressway Engineering Construction Headquarters, Jiangsu Yancheng 224001, China; )  
(2. School of civil Engineering, Tongji University Shanghai City 200092, China )

**Abstract:** At present, the consolidation processing of the deep soft - soil foundation for expressway is one of the technical difficulties on the highway or expressway construction at the soft - soil area. The Article puts forward the method of joint processing the long plastic draining plate (or sand well) and the short mixed soil - cement pile (also called D - M Processing), which can control the after - work settlement. In addition, by adjusting the distance between the pile and the plate, the lengths and the pre - pressing mode, it would be possible to coordinate the settlement speed of different parts.

**Keywords:** expressway; D - M processing; composite foundation; theory and method; study

(上接第 72 页)

### 参考文献:

- [1] 陈幼雄. 井点降水设计与施工[M]. 上海:上海科学普及出版社,2004.
- [2] 姚天强. 基坑降水手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [3] 曹所江. 大型基坑流线方程的求解与降水设计[J]. 盐城工学院学报:自然科学版,2006,19(3):60 - 63.
- [4] 陈希哲. 土力学与地基基础[M]. 北京:清华大学出版社,1982.

## An Algorithm of the Estimate of the Sedimentation Capacity with Precipitation Streamline Equation

CAO Suo - Jiang

(Hydraulic Science and Engineering School of Yangzhou University, Jiangsu Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** Foundation ditch precipitation can cause concretion and sedimentation of soil and affect the security of the buildings nearby. The measurement of the sedimentation capacity is associated with the drawdown position of groundwater at certain plain and certain point. According to the sedimentation streamline equation, we can get the estimate of the sedimentation capacity so that we can estimate the sedimentation capacity at any position from the foundation pitch and provide theoretical calculation and reference for judging the sedimentation of buildings and actual influence.

**Keywords:** streamline equation, estimate of the sedimentation capacity, means of calculation