

# 指数曲线模型预测基坑周边地面沉降

熊春宝, 李法超

(天津大学建筑工程学院, 天津 300072)

摘要: 结合天津富裕广场三期工程基坑周围地面沉降观测的工作实践, 利用指数曲线法对该工程的地面沉降过程进行了预测, 得出实际观测值与预测值之间的拟合曲线, 并通过比较得出该预测方法的优劣。

关键词: 沉降预测; 指数曲线; 模型

中图分类号: TU196 文献标识码: B 文章编号: 1672 - 5867 (2011) 04 - 0004 - 03

## The Exponential Curve Method Model for Predicting Foundation Settlement in the Base Pit Vicinity

XIONG Chun - bao , LI Fa - chao

( School of Civil Engineering , Tianjin University , Tianjin 300072 , China)

Abstract: Based on the practice of observing surface subsidence around the foundation of the third period project of Tianjin Fuyu Square , this paper carried on a prediction of the surface subsidence process of the project applying exponential curve method and obtained a fitting curve between actual observation value and prediction value and the advantages and disadvantages of this method.

Key words: foundation settlement prediction; exponential curve method; model

### 1 沉降预测机理

众所周知, 建筑物的最终沉降量是经过 3 个过程完成的, 即瞬时沉降、固结沉降和次固结沉降三部分<sup>[1-3]</sup>。

瞬时沉降由于是在很短的时间内完成的, 所以可以假定瞬时沉降与时间无关。对于非饱和土体来讲, 由于土体中充满着空气和水, 有很大的变形空间, 在荷载施加后, 土体中的气体立即被压缩, 土体的骨架也随之发生变形。对于饱和土体来讲, 在荷载作用下立即发生瞬时沉降, 该变形主要是由于在体积不变的情况下荷载区域下方的土体变化引起的。在负荷区域的正下方同时发生的两个方向的变形, 即垂直压缩变形和侧向压缩变形, 所以说可以讲此过程看成是土体的侧向屈服。这一过程表现在全过程沉降的  $S$  与  $t$  的曲线图(如图 1 所示)上的  $O$  点到  $a$  点的过程, 此过程就是瞬时沉降。

我们可以将固结沉降与次固结沉降看作一个过程来进行分析, 如图 1 的  $a$  至  $e$  的过程所示。首先对于直线段  $a-b$  来说, 由于刚刚施加上的荷载不大, 且时间也不是很长, 在较短的时间和较小的荷载的情况下, 土体处于弹性或近似弹性的状态下, 所以时间  $t$  与沉降值  $S$  是直线的关系。对于  $b-c$  段来说,  $S$  与  $t$  是成曲线的关系, 这是由于

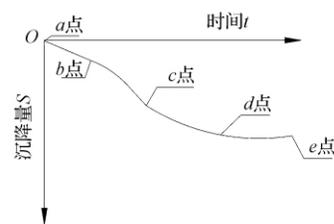


图 1 全过程沉降的  $S-t$  曲线

Fig. 1 The  $S-t$  curve of whole procedure settlement

随着荷载的不断增加, 土体逐渐进入了弹塑性阶段, 这就标志着  $S$  与  $t$  的关系由直线变为了曲线, 进入弹塑性阶段的土体在荷载的不断作用下逐渐扩大范围, 并且沉降速率  $ds/dt$  不断增大, 直到荷载不再增加。对于  $c-d$  段来讲, 到达  $c$  点时荷载已不再增加, 但是由于固结还没有完全完成以及土体流变的影响, 土体的沉降会继续进行, 只是沉降速率  $ds/dt$  会逐渐减小。对于  $d-e$  段来讲, 沉降量  $S$  与时间  $t$  又恢复成直线的关系, 这是由于随着时间的无限推移, 土体的固结逐渐的趋于稳定, 也就是说沉降已经达到极限状态, 此时沉降将不会随时间而发生变化。因此全过程沉降量  $S$  与时间  $t$  的关系就是如图 1 所示的不

收稿日期: 2010 - 06 - 21

作者简介: 熊春宝 (1964 - ) 男, 湖北人, 教授, 博士, 1998 年毕业于天津大学精密仪器与光电子工程专业, 主要从事防灾减灾与岩土工程监测等方面的研究与教学工作。

过原点的“S”型曲线。这种  $S-t$  曲线特征吻合指数曲线模型。

### 2 指数曲线预测模型的计算步骤<sup>[4-5]</sup>

指数曲线预测模型的基本方程为:

$$S_t = S_\infty - ae^{-bt} \quad (1)$$

式(1)中  $S_t$  为第  $t$  时刻的沉降预测值;  $t$  为沉降观测日期;  $a$   $b$  为待定系数。

选择 3 个时间点  $t_1$   $t_2$   $t_3$  使得  $t_2 - t_1 = t_3 - t_2 = \Delta t$  且使  $\Delta t$  尽可能的大  $S_1$   $S_2$   $S_3$  分别为对应时间的沉降值, 即:

$$S_1 = S_\infty - ae^{-b(t_1 - \Delta t)}$$

$$S_2 = S_\infty - aet^{-b\Delta t}$$

$$S_3 = S_\infty - ae^{-b(t_2 + \Delta t)}$$

联立以上 3 个式子可得:

$$S_\infty = \frac{S_3(S_2 - S_1) - S_2(S_3 - S_2)}{(S_2 - S_1) - (S_3 - S_2)}$$

$$b = \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{S_2 - S_1}{S_3 - S_2}$$

$$a = \frac{1}{3} [(S_\infty - S_1)e^{bt_1} + (S_\infty - S_2)e^{bt_2} + (S_\infty - S_3)e^{bt_3}] \quad (2)$$

求出以上的 3 个参数, 代入式(1), 就可以得到该模型的预测方程。

### 3 工程实例介绍

天津富裕广场三期工程位于天津市河西区解放南路旁, 该工程基坑由天津市建筑设计院设计, 天津富裕房地产开发有限公司开发。基坑地下 3 层, 有两道帽梁和支撑组成, 基坑深约 14 m。由于地质条件不明确, 前期的基坑开挖工作无法有条不紊地进行, 必须有专业的测绘团队在基坑开挖过程中时刻对基坑周围的土体进行监测, 以免在基坑开挖过程中出现基坑中某一土体大范围塌陷的工程事故, 以影响工程人员的人身安全和工程的顺利进行。所以天津富裕房地产开发有限公司委托天津市陆海测绘有限公司对该工程进行了严格的岩土工程勘察工作, 并且负责监测基坑开挖过程中基坑周围监测点的沉降情况。监测点的布置情况如图 2 所示。

从该工程的沉降观测数据中, 选取 15 组具有代表性的数据进行计算, 数据见表 1。

表 1 1 号点的沉降观测数据表(单位: 毫米)

Tab. 1 The settlement observations of point No. 1 (Unit: mm)

沉降观测日期	建筑物沉降差	建筑物沉降量
2008-8-1	0.99	0.99
2008-8-2	0.68	1.67
2008-8-3	0.54	2.21
2008-8-4	1.26	3.47
2008-8-5	0.40	3.87

续表 1

Tab. 1 (Continued)

沉降观测日期	建筑物沉降差	建筑物沉降量
2008-8-6	0.94	4.81
2008-8-7	0.86	5.67
2008-8-8	0.30	5.97
2008-8-9	0.38	6.35
2008-8-10	0.23	6.58
2008-8-11	0.30	6.88
2008-8-12	0.16	7.04
2008-8-13	0.32	7.36
2008-8-14	0.20	7.56
2008-8-15	0.14	7.70

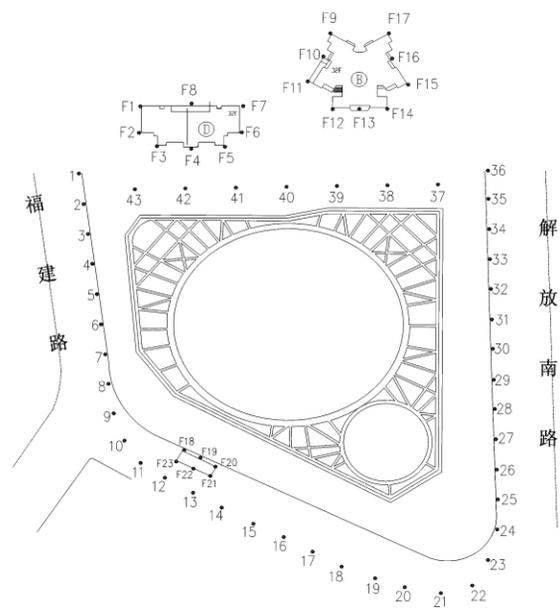


图 2 基坑周围建筑物及地下管线沉降监测点位置示意图

Fig. 2 The position map of settlement monitoring points for buildings in the base pit vicinity and underground pipeline

### 4 指数曲线模型的沉降计算与分析

从中选取 3 个时间点的观测数据, 分别为 2008-8-1, 2008-8-8 和 2008-8-15 作为基础的计算数据, 利用式(1)和式(2)计算得到该预测模型的方程为:

$$S_t = S_\infty - ae^{-bt} = 8.62 - 8.80e^{-0.15t}$$

利用该方程和 Excel 表可以得到表 2 的预测结果。

为了更清晰地看到预测模型的预测精度情况, 作出观测值与模型计算值的对比曲线, 如图 3 所示。

表 2 1 号点沉降观测值与模型计算值相对误差表(单位:mm)

Tab.2 The relative errors of settlement observations and calculation values by model of point No. 1 (Unit:mm)

沉降观测日期	模型计算值	观测值	相对误差/%
2008-8-1	1.04	0.99	5.05
2008-8-2	2.10	1.67	25.74
2008-8-3	3.00	2.21	35.74
2008-8-4	3.79	3.47	9.22
2008-8-5	4.46	3.87	15.24
2008-8-6	5.04	4.81	4.78
2008-8-7	5.54	5.67	2.29
2008-8-8	5.96	5.97	0.16
2008-8-9	6.34	6.35	0.15
2008-8-10	6.65	6.58	1.06
2008-8-11	6.92	6.88	0.58
2008-8-12	7.16	7.04	1.70
2008-8-13	7.36	7.36	0
2008-8-14	7.54	7.56	0.26
2008-8-15	7.69	7.70	0.13

## 5 结束语

通过图 2 的拟合曲线可以明显看出:

1) 指数预测模型的前期预测能力较差,中后期的预测能力较好。所以指数曲线预测模型比较适合于中长期的沉降预测。

2) 表 2 中的 8-2~8-5 几个点的相对误差较其他点出现了较大的波动,可以看出指数曲线预测模型样本点的波动性较大,整体预测能力较差。

3) 当预测模型样本点的波动性较大时,应该利用带

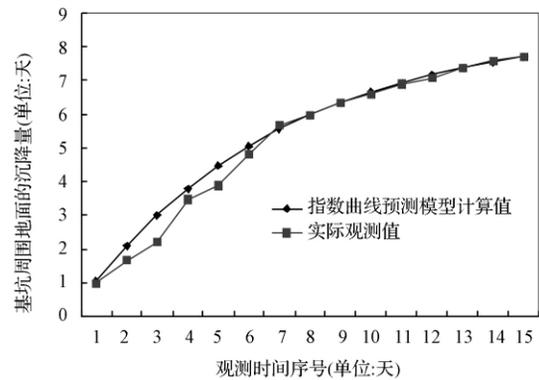


图 3 1 号点指数曲线预测模型计算值与观测值的对比曲线

Fig.3 The comparison curves between calculation values by exponential curve prediction model and observations of point No. 1

有残差的预测模型进行修正,减少外界不利因素对模型的影响。

## 参考文献:

- [1] 李广信. 高等土力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [2] 罗战友, 龚晓男, 杨晓军. 全过程沉降量的灰色 Verhulst 预测方法[J]. 水利学报, 2003(3): 29-32.
- [3] 宰金珉, 梅国维. 全过程的沉降量预测方法研究[J]. 岩土力学, 2000, 21(4): 322-325.
- [4] 马国亮, 方宝君. 基于沉降监测的预测模型的选取[J]. 矿山测量, 2009, 8(4): 38-40.
- [5] 王锦山, 孟德光. 基于实测数据软土地基沉降预测方法及工程实例分析[J]. 河南理工大学学报, 2006, 4(2): 151-155.

[责任编辑:王丽欣]

(上接第 3 页)

## 参考文献:

- [1] 李志林, 朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001.
- [2] Zhu Changqing et al. Estimation of average DEM accuracy under linear interpolation considering random error at the nodes of TIN model [J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(24): 5509-5523.
- [3] 胡鹏. 新数字高程模型理论、方法、标准和应用[M]. 北京: 测绘出版社, 2007.
- [4] 汤国安, 龚健雅, 成燕辉, 等. 数字高程模型地形描述精度量化模拟研究[J]. 测绘学报, 2001, 30(4): 361-365.
- [5] 王光霞, 朱长青, 史文中, 等. 数字高程模型地形描述精度的研究[J]. 测绘学报, 2004, 33(2): 168-173.
- [6] Mikhail E. M. 观测与最小二乘法[M]. 唐昌先, 邹笃醇译. 北京: 测绘出版社, 1984.

- [7] Kubik, K. and Botman, A. Interpolation accuracy for topographic and geological surfaces [J]. ITC Journal, 1976, 2: 236-274.
- [8] Frederoksen, P., Jacobi, O., Kubic, K. Optimum sampling spacing in digital elevation models [J]. International archives of photogrammetry and Remote Sensing, 1986, 26(3): 252-259.
- [9] 周世健, 曾绍炳. 测量误差的概括分布[J]. 计量技术, 2001(10): 48-49.
- [10] Weng Q. Quantifying uncertainty of digital elevation models derived from topographic maps [C]// Advances in Spatial Data Handling, edited by D. Richardson and P. van Oosterom, Springer-Verlag, New York, 2002: p. 403-418.
- [11] 王耀军, 王志伟, 朱长青. DEM 误差的空间自相关特征分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2008, 34(12): 1259-1262.

[责任编辑:王丽欣]