

温州永兴北园软土地基沉降预测研究

王璟¹, 刘天慷², 陈建华¹

(¹ 河海大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210098; ² 江苏省基础测绘设施技术保障中心, 江苏南京 210013)

摘要 温州永兴北园软土地基采用改性真空预压处理方法, 进行负压密封降水, 在出水量明显减少, 沉降量趋缓甚至无沉降的情况下, 达到降低土层含水量; 提高土体密实度、承载力; 减少地基工后和差异沉降量的目的。本文依据软土地基恒载期的沉降观测数据, 分别利用双曲线法和指数曲线法根据沉降观测数据进行沉降预测, 通过对两种方法预测结果的分析比较, 尽可能精确地推算地基最终沉降量。

关键词 软土地基 沉降预测 双曲线法 指数曲线法

中图分类号: TU196

文献标识码: B

文章编号: 1672-4097(2012)01-0030-03

1 工程概况

温州民营经济科技产业基地永兴北园土地整理一期工程位于瓯江以南龙湾境内。该工程结合温州民营经济科技产业基地临时航道疏浚工程, 将航道疏浚弃土吹填至本工程围区, 进行地基处理, 形成工业用地。工程区域吹填后面积约 543600 m², 地坪平均标高约 4.5 m, 围区的四周现已建有围堤。工程总平面图如图 1:

21区	22区	23区	24区
17区	18区	19区	20区
13区	14区	15区	16区
9区	10区	11区	12区
5区	6区	7区	8区
1区	2区	3区	4区

图 1 工程总平面图

图 1 中, 施工区长 900 m, 宽 600 m, 被划分为 24 个分区, 每分区长 225 m, 宽 100 m, 编号 B1~B24。

根据勘察资料分析, 该地区的软弱地层为: 细砂、粘土、含细砂淤泥、淤泥、粘土。其中:

1.1 细砂

灰黄色、灰色, 松散状, 砂含量小于 90%, 以细砂为主, 粘性土少量。砂的矿物成份以石英、长石为主。为人工回填的袋装砂包。

1.2 粘土

灰黄色, 软塑-可塑状, 中-高压缩性, 含铁锰质斑点、半炭化物。刀切面光滑,

无摇晃反应, 干强度高, 韧性高。

1.3 含细砂淤泥

灰色、青灰色, 流塑状, 局部软塑状, 中-高压缩性,

粉细砂含量一般为 5%—30%, 呈薄层状分布, 土质不均匀, 局部砂含量较富集, 含量可达 40% 以上, 夹贝壳碎片。刀切面较粗糙, 摇晃反应慢, 干强度中等。

1.4 淤泥

青灰色, 流塑状, 高压缩性。含少量贝壳碎屑、半炭化物和粉细砂。刀切面光滑, 无摇晃反应, 干强度高。

1.5 粘土

灰色, 软塑-可塑状, 中-高压缩性。含少量贝壳碎屑、半炭化物和粉细砂。刀切面光滑, 无摇晃反应, 干强度高。

根据永兴北园区的地质条件及新吹填泥的特点, 该工程软土地基处理方式为改性真空预压软基处理, 该方法解决了传统真空预压地基处理方法存在的无法实施的技术难题, 且工艺简单, 施工方便, 降低了造价, 而且吹填地基完成后, 可立即进行地基处理, 大大缩短了地基处理工期, 是一种非常经济实用的软基处理方法。

沉降板的布设参照图 1, 工程整个场地被划分为 B1~B24 二十四个分区, 设计每个区域布置 8 个沉降板观测地表沉降, 间距约 40 m, 计 192 个沉降点。仪器采用 DS2 型水准仪, 配用 3 m 长的红、黑面木质水准尺, 沉降观测按三等水准要求施测。观测的频率正常情况下一一般为 2~3 天观测一次。

2 沉降观测数据预测分析

目前, 在学术上有很多沉降预测方法, 如双曲线法、指数曲线法、灰色预测模型、神经网络 BP 模型等, 但在实践中, 较为规范且常用的方法为双曲线法和指数曲线法。本文以 B1 区的沉降监测数据为例, 利用双曲线法和指数曲线法分析地表沉降观测数据, 并进行沉降预测, 其他分区沉降分析方法

同 B1 区。B1 区共布置 8 个沉降板观测地表沉降,于 2010 年 5 月 22 日开始正式加载抽真空,2010 年 6 月 20 日真空度达到恒载,2010 年 9 月 4 日卸载,恒载时间达 106 天。B1 区沉降板的“平均沉降量~时间”曲线如图 2:

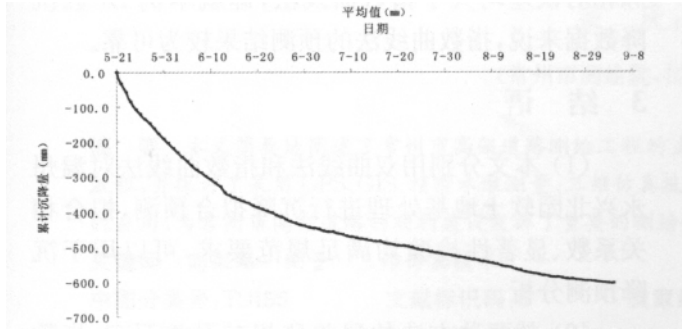


图 2 B1 区平均沉降量~时间曲线

2.1 双曲线法预测

双曲线法沉降分析认为沉降量与时间按双曲线递减^[1],其基本沉降量-时间关系式:

$$S_t = S_0 + \frac{t - t_0}{\alpha + \beta(t - t_0)} \quad (1)$$

- 式(1)中: S_0 —拟合起始点 t_0 时刻的沉降量;
- S_t —拟合曲线上时刻对应的沉降量;
- t —拟合曲线上任意时间;
- α, β —待定系数。

将式(1)改写为如下形式:

$$\frac{t - t_0}{S_t - S_0} = \alpha + \beta(t - t_0)$$

(2)由式(2)可以看出,和分别为 $\frac{t - t_0}{S_t - S_0} \sim (t - t_0)$ 关系图中的截距和斜率,据此可以通过线性回归方程求出。

最终沉降量可用下式求得:

$$S_\infty = S_0 + 1/\beta \quad (3)$$

2.2 指数曲线法预测

沉降分析采用指数曲线法时,认为沉降过程是按指数曲线规律变化,其基本沉降量-时间关系式:

$$S_t = S_0 + a(1 - e^{-\frac{t}{b}}) \quad (4)$$

- 式(4)中: S_0 —拟合起始点 t_0 时刻的沉降量;
- S_t —拟合曲线上时刻对应的沉降量;
- t —拟合曲线上任意时间;
- a, b —待定系数。

令 $t_m = t + \Delta t/2$,将式(4)对 t 求导后,写成增量的形式为:

$$\frac{\Delta S_t}{\Delta t} = \frac{a}{b} e^{-\frac{t}{b}} \quad (5)$$

对式(5)两边取自然对数,并令 $y = \ln(\frac{\Delta S_t}{\Delta t})$,

$$A = \ln \frac{a}{b} + \frac{t_0}{b}, B = -\frac{1}{b}, \text{ 可得:}$$

$$y = A + Bt_m \quad (6)$$

在实测沉降曲线上确定拐点值 (t_0, S_0) 和 (t_{mi}, y_i) 点,对这些点进行线性拟合,并利用最小二乘法求出参数 A, B ,进而求出 a, b 。且当 $t \rightarrow \infty$ 时,最终沉降量为 $S_\infty = S_0 + a$ 。

2.3 B1 区沉降预测分析

根据恒载期的沉降数据利用双曲线法预测:选择 2010 年 6 月 20 日恒载时刻(30d)的沉降量和时间作为双曲线法表达式中的 (t_0, S_0) ,从时刻 t_0 开始的实测沉降数据 (t, S_t) 共有 22 个,为了对双曲线预测效果进行检验,选取前 20 个沉降数据(33d~98d)参与建模,预留后 2 个实测数据(102d 和 106d)用于预测检验。

由双曲线法沉降量-时间关系式(1),根据 B1 区平均沉降数据,计算得双曲线拟合模型参数为: $\alpha = 0.1884, \beta = 0.0024$ 且相关系数 $R = 0.9879$,满足大于 0.9 的要求。

双曲线模型表达式为:

$$S_t = S_0 + \frac{t - t_0}{\alpha + \beta(t - t_0)} = 388 + \frac{t - 30}{0.1884 + 0.0024(t - 30)} \quad (7)$$

利用式(7)对 B1 区进行沉降预测,双曲线法拟

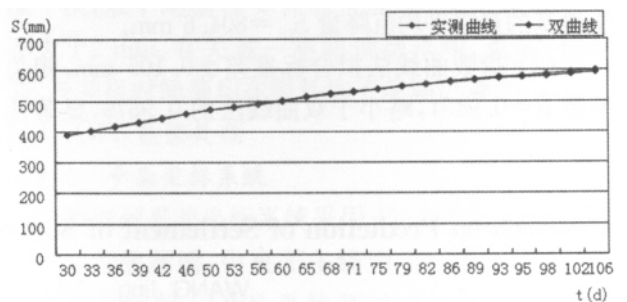


图 3 B1 区双曲线法拟合/预测曲线与实测曲线

合/预测曲线与实测曲线对比如图 3:同样选择 B1 区恒载期的平均沉降数据,利用指数曲线法进行沉降预测分析,选取前 20 个沉降数据(33d~98d)参与建模,预留后 2 个实测数据(102d 和 106d)用于预测检验。由以上公式可知,B1 区平均沉降数据拟合的线性回归方程参数为, $A = 1.9411, B = -0.0141$ 且相关系数 $R = 0.9451$,满足大于 0.9 的要求。由此计算出指数曲线模型的参数为 $a = 323.6558, b =$

70.9220。

指数曲线模型表达式为：

$$S_t = S_0 + a(1 - e^{-\frac{t}{T}}) = 388 + 323.6558(1 - e^{-\frac{t}{106}}) \quad (8)$$

利用式(8)对 B1 区进行沉降预测,指数曲线法拟合/预测曲线与实测曲线对比如图 4:

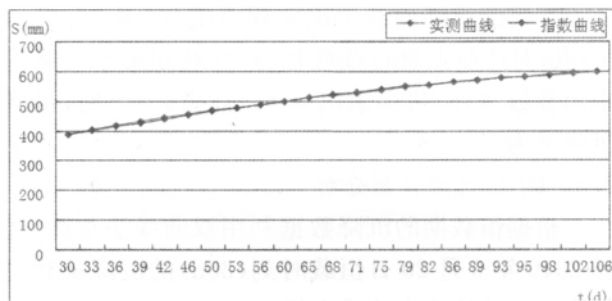


图 4 B1 区指数曲线法拟合/预测曲线与实测曲线

表 1 两种沉降预测分析结果对照表

沉降预测方法	拟合标准差(mm)	相关系数 R	显著性检验 F	期数	残差 (mm)	相对误差 (%)	最终沉降量 (mm)
双曲线	±0.008	0.9879	730.329	21 期	6.0	1.01	804.6
				22 期	6.3	1.06	
指数曲线	±0.105	0.9451	159.307	21 期	-1.1	-1.5	711.7
				22 期	0.18	0.25	

由表 1 可知:

(1) 双曲线法拟合标准差 ± 0.008 mm, 相关系数 $R=0.9879$, 显著性检验 $F=730.329$ 。根据自由度 $n_1=1, n_2=20-2$, 显著水平 0.01, 查 F 分布表得临界值 $F_{0.01}=7.64, F=730.329 > 7.64$, 说明拟合有效, 其结果可用于沉降预测分析。双曲线法推测 B1 区软土地基的最终平均沉降量 $S_{\infty}=804.6$ mm。

(2) 指数曲线法拟合标准差 ± 0.105 mm, 相关系数 $R=0.9451$, 略小于双曲线法的 0.9879, 显著性

检验 $F=159.307$ 。根据自由度 $n_1=1, n_2=20-2$, 显著水平 0.01, 查 F 分布表得临界值 $F_{0.01}=7.64, F=159.307 > 7.64$, 拟合有效。指数曲线法推测 B1 区软土地基的最终平均沉降量 $S_{\infty}=711.7$ mm。

(3) 从 21、22 期的校核情况看, 双曲线法的残差和相对误差均大于指数曲线法, 即就本例 B1 区沉降数据来说, 指数曲线法的预测结果较为可靠。

3 结 语

(1) 本文分别用双曲线法和指数曲线法对温州永兴北园软土地基处理进行沉降拟合预测, 拟合相关系数、显著性检验均满足规范要求, 可以用于沉降预测分析。

(2) 就两种方法的残差和相对误差而言, 指数曲线法较双曲线法略小。根据现场情况, 经综合分析, 本文倾向于指数曲线法的预测结果。即 B1 区软土地基的最终平均沉降量将为 $S_{\infty}=711.7$ mm。

(3) 计算过程中, 发现随着时间的推移, 两种方法的预测值与实测值之间的残差逐渐增大, 相对误差也趋于增大, 说明双曲线法和指数曲线法更适用于中短期预测, 用于长期沉降预测时, 会带来较大误差。

参考文献

- 1 付宏渊. 高速公路路基沉降预测及施工控制[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- 2 郭全元. 吹填土真空预压工程实例分析[J]. 铁道勘察, 2006(3): 51-53.
- 3 龚晓南. 地基处理手册(第三版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- 4 陈洁. 公路软土地基处理及沉降计算研究综述[J]. 四川建筑, 2004, 24(2): 70-72.

Research on Prediction of Settlement of Soft Soil Foundation in Wenzhou Yongxing North Park

WANG Jing¹, LIU Tian-kang², CHEN Jian-hua¹

¹ College of Earth Science and Engineering, Hohai University, Nanjing Jiangsu 210098, China;

² Basic Surveying and Mapping Facilities Technical Support Center, Nanjing Jiangsu 210013, China)

Abstract By using the method of modified vacuum preloading treatment to vacuum sealing of precipitation, the soft soil ground in Wenzhou Yongxing North Park had achieved the goal of reducing the moisture content, improving the soil construction as well as soil bearing capacity, and reducing foundation work of differential settlement under the condition of safe-durable significantly reduced, which under the case of water discharge reducing and slowly or even without. Based on the soft soil foundation settlement of constant loading period observation data, it analyzed the resources of two methods of hyperbolic long-base method and exponential curve method that using in subsidence forecast according to settlement observational data. The ground subsides finally the quantity has been calculation precisely.

Key words soft soil foundation; settlement prediction; the hyperbolic method; the exponential curve method