

# 双曲线配合法在软土路基沉降预测中的应用

杨绍清<sup>1</sup>, 谭雄卫<sup>1</sup>, 陈新国<sup>2</sup>

(1. 衡阳岩土工程勘察院, 湖南 衡阳 421000; 2. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**根据广东省某公路软土路基实测沉降资料,应用双曲线配合法推算了该段软土路基的最终沉降量,并与实测的最终沉降值相比较,结果表明,用双曲线配合法预测的路基工后沉降值虽然较实测值稍偏大,但该方法预测误差较小,精度是合理可取的。

**关键词:**双曲线配合法;软土路基;沉降预测

**中图分类号:**U416.1 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)06-0027-02

在实际的工程中,对软土地基的沉降,特别是对超载预压的土层的卸载标准中,要求用实际沉降观测曲线预测地基的最终沉降再决定其是否达到卸载标准。现有的根据沉降曲线预测最终沉降的方法很多。然而对不同的工程,不同工程地质情况下,计算的沉降过程与实际的沉降过程符合程度不同,也就是说,一种预测计算方法对某一工程来说可能是有效的,但对另一工程就不一定适用<sup>[1]</sup>。

很多学者对沉降-时间曲线作了深入的研究,多数认为沉降量随时间的变化呈双曲线关系或指数关系<sup>[2]</sup>,但也有人认为呈其他特性,如对数曲线、抛物线。同时,有的学者把整个沉降-时间曲线分段拟合,如洪友堂对某一工程施工前采用线性拟合,对其后的沉降进行指数拟合,所得结果比较满意<sup>[3]</sup>;许永明等通过对现场观测值的分析,认为固结曲线在完建后的沉降-时间对数坐标系( $S - \lg t$ )中由两部分组成,第一部分由抛物线拟合,第二部分也就是次固结部分由直线拟合,第一部分和第二部分发生的量级和时间取决于土层固结后达到的孔隙比所对应的当量固结应力<sup>[4]</sup>。施建勇、雷国辉等用全自动应力控制三轴压缩实验对真空联合堆载进行了线弹性条件下的理论分析,并对试验条件下的沉降监测与单向压缩量的计算结果进行了对比<sup>[5]</sup>。

笔者根据广东省某高速公路试验段软土路基的实测沉降资料,利用双曲线配合法推测软土路基的最终沉降量并与实测的最终沉降值加以比较。

## 1 双曲线配合法的计算原理

实测沉降曲线( $S-t$ )曲线如图 1 所示,假设自

拐点  $B$  开始变化规律符合双曲线。

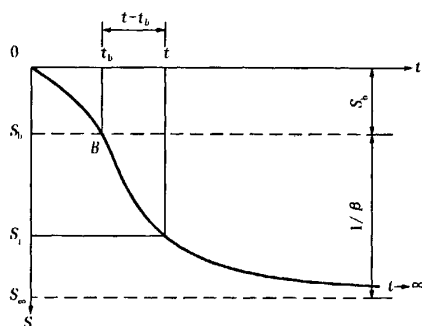


图 1 运用双曲线法推算最终沉降量

双曲线方程为:

$$x - \alpha y - \beta xy = 0 \quad (1)$$

$$x = t - t_b \quad (2)$$

$$y = S_t - S_b \quad (3)$$

式中:  $t$ ——原点开始计算的时间;  $S_t$ ——原点开始计算  $t$  时刻地基产生的沉降;  $t_b$ —— $B$  点时刻,即  $B$  点  $x$  坐标;  $S_b$ —— $B$  点沉降量,即  $B$  点  $y$  坐标。

将  $B(t_b, S_b)$  点和任意时刻  $C(t, S_t)$  点两点坐标代入式(1),可得:

$$S_t = S_b + (t - t_b) / [\alpha + \beta(t - t_b)] \quad (4)$$

为了求出系数  $\alpha, \beta$ ,将式(4)的非线性表达式变成一元线性形式,如式(5)。

$$1/(S_t - S_b) = \beta + \alpha/(t - t_b) \quad (5)$$

则式(5)可以看成是以  $y = 1/(S_t - S_b)$ ,  $x = 1/(t - t_b)$  的直线方程  $y = \alpha x + \beta$ ,利用测得的数据按最小二乘法可求出系数  $\alpha, \beta$ 。

可以看出,当时间  $t$  趋向无穷大时,其沉降量就是最终沉降量:

收稿日期:2007-04-18

作者简介:杨绍清(1970-),男(土家族),湖南沅陵人,衡阳岩土工程勘察院副院长、工程师,水文地质工程地质专业,从事软土地基处理方面的勘察及设计工作,湖南省衡阳市解放大道4号,13787340973。

$$S_{\infty} = S_b + 1/\beta \quad (6)$$

从而,加固完成后的剩余沉降量也就可以求出。

在图1中,点 $B(t_b, S_b)$ 是沉降曲线的拐点,或叫双曲线的起始点,在求系数 $\alpha, \beta$ 前,首先要确定 $(t_b, S_b)$ 值,在拟合过程中拐点常是不容易准确确定的,这可将实测资料作成 $\frac{1}{t} - \frac{1}{S_i}$ 图,从图中找出拐点,再将拐点后的实测资料按式(5)的形式整理出并绘在 $\frac{1}{t-t_b} - \frac{1}{S_i-S_b}$ 坐标系中,理论上二者是直线关系,直线的斜率就是 $\alpha$ ,截距是 $\beta$ 。因此确定不同的 $(t_b, S_b)$ ,就会得到不同的 $\alpha, \beta$ 值,得到不同的 $S_{\infty}$ 。最简单的办法就是取几组不同的 $(t_b, S_b)$ ,得到 $\alpha, \beta$ 和 $S_{\infty}$ ,并同时算出相应的相关系数 $R$ 和剩余标准偏差 $\sigma$ 。对那些明显不合逻辑的( $S_{\infty} < S_{\alpha}$ 或 $S_{\infty} <$ 最后观测值 $S_i$ 的、或 $S_{\infty}$ 大得很不合理的),先予以

删除,再将剩下的按相关系数 $R$ 和剩余标准偏差 $\sigma$ 的大小进行分析,一般取相关系数 $R$ 大的和标准偏差 $\sigma$ 小的作为最后确定 $\alpha, \beta, S_{\infty}$ 的标准。

## 2 工程概况

试验段位于某高速公路 K24+019~261 段,据勘察资料,该段路基的地层情况为:

- ①灰色耕植土,软塑,厚0.7~1.0 m;
- ②灰黑色淤泥,流塑,有腐臭味,厚3.0~5.0 m;
- ③粉细砂夹贝壳,厚1~2 m;
- ④灰色淤泥,流塑,厚12~16 m;
- ⑤淤泥质粘土,软塑。

各层土的物理力学性质见表1。该试验路段主要处理土层为②、④层淤泥。

表1 土层主要物理力学性质指标

| 层号 | 名称    | 厚度/m  | 含水量/% | 湿密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 干密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 孔隙比  | 饱和度/% | 液限/% | 塑限/% | 塑性指数 |
|----|-------|-------|-------|---------------------------|---------------------------|------|-------|------|------|------|
| ①  | 填土    | 0.7~1 | 33.8  | 1.89                      | 1.42                      | 0.96 | 96.1  | 44.3 | 27   | 17.3 |
| ②  | 淤泥    | 3~5   | 43.6  | 1.82                      | 1.27                      | 1.18 | 100   | 33.5 | 21.7 | 11.8 |
| ③  | 粉细砂   | 1~2   |       |                           |                           |      |       |      |      |      |
| ④  | 淤泥    | 12~16 | 71.5  | 1.62                      | 0.99                      | 1.95 | 100   | 54.7 | 31.8 | 22.9 |
| ⑤  | 淤泥质粘土 | >10   | 35.8  | 1.92                      | 1.41                      | 0.96 | 100   | 35.4 | 21.3 | 14.1 |

试验段自2003年4月11日开始堆载并抽真空,2003年12月11日(第244天)堆载结束,2004年3月6日(第330天)抽真空结束。至2004年11月7日,测得路基沉降量为3207 mm,至此路基沉降速率接近于零,可认为此时沉降为最终沉降。

## 3 最终沉降量的预测

首先根据实测沉降-时间数据作出2003年12月17日(第250天)后 $\frac{1}{t} - \frac{1}{S_i}$ 曲线如图2所示。

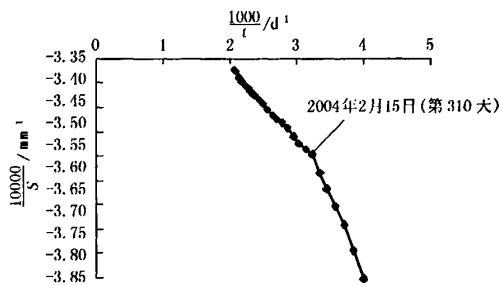


图2  $\frac{1}{t} - \frac{1}{S_i}$ 关系曲线图

由图2可以看出,曲线存在较明显的拐点,位于2004年2月15日,即自抽真空开始的第310天,则

可利用该天的数据作为双曲线的起点 $B$ ,该天的时间及沉降量分别为: $t_b = 310$ 天, $S_b = 2817$  mm,再依此作出自 $B$ 点后的 $\frac{1}{t-t_b} - \frac{1}{S_i-S_b}$ 关系曲线,如图3所示。

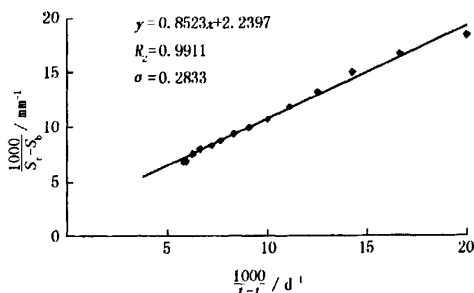


图3  $\frac{1}{t-t_b} - \frac{1}{S_i-S_b}$ 关系曲线图

采用最小二乘法拟合出的 $\frac{1}{t-t_b} - \frac{1}{S_i-S_b}$ 关系曲线为: $\frac{1}{S_i-S_b} = 0.8523 \frac{1}{t-t_b} + 2.2397 \times 10^{-3}$ ,该拟合曲线相关系数 $R^2 = 0.9911$ ,剩余标准偏差 $\sigma = 0.2883$ 。即 $\alpha = 0.8523, \beta = 2.2397 \times 10^{-3}$ ,代入式(6)中得最

(下转第32页)

表4 检查孔参数表

| 检查<br>孔编<br>号 | 压水<br>试验<br>段数 | 透 水 率 频 率 分 布 |        |      |     |                 |      |     |           |      |    |            |      |
|---------------|----------------|---------------|--------|------|-----|-----------------|------|-----|-----------|------|----|------------|------|
|               |                | <1            |        |      | 1~3 |                 |      | 3~5 |           |      | >5 |            |      |
|               |                | 段数            | 透水率/Lu | 分布/% | 段数  | 透水率/Lu          | 分布/% | 段数  | 透水率/Lu    | 分布/% | 段数 | 透水率/Lu     | 分布/% |
| J1            | 4              |               |        |      | 1   | 1.42            | 25   | 1   | 4.10      | 25   | 2  | 8.3, 42.76 | 50   |
| J2            | 4              | 1             | 0.52   | 25   | 1   | 2.90            | 25   | 1   | 3.74      | 25   | 1  | 43.3       | 25   |
| J3            | 5              |               |        |      | 3   | 1.58, 2.18, 2.8 | 60   | 2   | 3.66, 5.0 | 40   |    |            |      |

用较大的灌浆压力。

(3)坝基防渗主要是封堵岩体裂隙,灌浆孔的布置可采用双排孔,呈梅花形布置,孔距3.5 m,排距1.5 m。

(4)灌浆孔采用自上而下分段不待凝孔口封闭灌浆,压浆水灰比级别为5、3、2、1、0.8、0.6、0.5,开灌水灰比为5。灌浆段长宜选择在2.0~5.0 m的区间内。考虑到混凝土盖板与基岩面要进行接触注浆,而且还要保证达到防渗要求,因此第一段成孔后要进行压水试验,然后进行压浆,再作压水试验,验证透水率 $q$ 值是否小于3 Lu,若 $q < 3$  Lu,则进行下一段施工;否则重复“钻进-压水试验-压力灌浆”过程直到 $q < 3$  Lu,在压水试验和压力灌浆过程中注意观测抬动值均不超过0.2 mm。

(5)灌浆压力是控制灌浆质量的重要因素。压力过小,不能将水泥浆液很好的压入岩石裂隙中形成连续的帷幕;压力过大,会使岩石裂隙扩大或引起岩体抬动变形而形成新的裂隙,反而破坏岩石的完整性。较深层的岩石完整性好,灌浆压力能较好的控制,主要是表层段压力控制难度较高,因为地基开

挖后表层岩石多为强风化~弱风化,岩体破碎、裂隙发育,灌浆压力很难达到设计要求,一般仅能达到0.1 MPa左右。为此,首先应先压力灌浆后再开挖或设法增加混凝土盖板厚度;其次是适当增加帷幕排数或缩小灌浆孔间距以弥补灌浆压力过小而形成帷幕的缺陷;另外在每个灌浆孔的第一、二段应多次重复灌浆,直到灌浆压力提高,达到设计压力与防渗要求。

通过本次灌浆试验,确定的灌浆方案及施工技术参数完全满足施工要求,达到了预期的灌浆效果,也促进了施工进度,对于刘家沟水库工程工期紧、任务重的施工局面是一种比较理想的施工方法。

#### 参考文献:

- [1] DL/T 5148-2001, 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].
- [2] 许厚材,刘光华,乔润国. 乌江渡发电厂扩建工程防渗帷幕灌浆试验研究[J]. 贵州水力发电, 2004, 18(1): 78-81.
- [3] 王俊峰. 汾河二库大坝基础固结灌浆抬动试验、灌浆参数选择[J]. 山西水利, 2006, (4): 72-73.
- [4] 余火忠,陈文俊,姜清华. 基岩帷幕灌浆工艺研究[J]. 土工基础, 2005, 19(2): 17-19.

(上接第28页)

终沉降量为:

$$S_{\infty} = S_b + \frac{1}{\beta} = 2817 + \frac{1}{2.2397 \times 10^{-3}} = 3263.5 \text{ mm}$$

## 5 结论

(1)比较预测值与实测值,二者误差为1.76%,说明用双曲线配合方法预测沉降在本工程中是适用的,其预测的沉降值还是比较准确的。

(2)从工程角度来看,工程实际要求计算模型简洁实用,所以解析方法在工程中比数值方法适用,双曲线配合方法模型简单,适用性较强。

(3)从预测精度来看,在本试验段中用双曲线

配合法拟合的沉降值较实测值大,但误差较小,仅为1.76%,所以用双曲线配合方法预测路基的最终沉降量精度还是很高的。

#### 参考文献:

- [1] 夏彩虹,傅磊. 双曲线配合法在某路基沉降反分析中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2005, (1): 48-50.
- [2] 俞三薄. 软基处理中沉降经验公式的应用[J]. 大坝观测与土工测试, 1997, 21(1): 40-42.
- [3] 洪友堂. 沉降观测数据处理方法的改进[J]. 北京测绘, 1999, (2).
- [4] 许永明,徐泽中. 一种预测路基工后沉降量的方法[J]. 河海大学学报, 2000, 28(10): 111-113.
- [5] 施建勇,雷国辉,艾英钵,等. 关于真空预压沉降计算的研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(3): 365-368.