常用软土路堤沉降预测方法的评价与应用

张传峰[1]，陈礼仪[1]，周应华[2]，祝世强[3]

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室，四川 成都 610059；2. 中铁二院工程集团有限责任公司交通设计研究院，四川 成都 610031；3. 四川地勘局华地建设工程有限责任公司，四川 成都 610081)

摘　要：在软土地基上修筑路堤，最突出的问题是路堤的稳定与沉降。为掌握软土路堤在施工期中的变形动态，就必须进行动态观测和沉降预测，一方面保证路堤在施工中的安全与稳定，另一方面能正确预测工后沉降。而众多的预测方法给实际应用选择带来一定的困难，如何更科学合理地选择预测方法是工程技术人员面临的难题。就几种常用的曲线拟合预测方法的适用性进行分析，以期针对具体工程选取更为合适的预测方法，有效控制工后沉降并保证路堤施工和运营期的安全。

关键词：软土路基；沉降预测方法；适用性；曲线拟合

中图分类号：U416.1　　**文献标识码**：A　**·文章编号**：1672-7428(2008)12-0035-03

Assessment and Application of Common Prediction Methods for the Settlement of Embankment in Soft Soil

ZHANG Chuan-feng[1], *CHEN Li-yi*[1], *ZHOU Ying-hua*[2], *ZHU Shi-qiang*[3] (1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. Communication Design and Research Institute of the China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610031, China; 3. Huadi Construction Engineering Co., Ltd., Sichuan Bureau of Geotechnical Survey, Chengdu Sichuan 610081, China)

Abstract: The most prominent issue is stability and settlement in embankment construction in the soft soil, so dynamic observation and the settlement prediction is necessary. How to scientifically select the prediction method is a key point. The paper analyzes applicability of some common curve fitting prediction methods to show the more proper selection of prediction method in engineering, in order to effectively control post-construction settlement and guarantee the safety during the embankment construction and operation period.

Key words: soft soil subgrade; settlement prediction methods; applicability; curve fitting

0　引言

为了更好的了解不同类型或不同处理方法软基的固结与沉降情况，以及施工过程对软基沉降的影响情况，确定预压卸载时间和路面施工时间，提供施工期间沉降土方量的计量依据，研究高填方路堤下不同厚度软基的最合理处理方案，必须要对软土路基的沉降进行预测，从而保证路堤的安全和稳定。目前用于路基沉降预测的方法很多，常用的有双曲线法、沉降速率法、三点法以及日本常用的星野法、浅岗松尾法[1]。在实际应用中可根据不同的地基加固方法、计算时间的长短以及观测初始时间等条件来合理选择沉降预测方法。本文就沉降预测常用的双曲线法、沉降速率法、三点法以及日本常用的星野法进行评价，并结合具体工程实例来探讨各种方法的适用性。

1　常用沉降预测方法

1.1　双曲线法

双曲线法认为沉降量与时间按双曲线递减，其基本方程式如下[2]：

$$S_t = S_0 + (t - t_0)/[\alpha + \beta(t - t_0)] \quad (1)$$

式(1)可改写成如下形式：

$$(t - t_0)/(S_t - S_0) = \alpha + \beta(t - t_0) \quad (2)$$

于是通过对$(t - t_0)/(S_t - S_0)$和t进行线性回归(见图1)，得到α、β值，从而根据式(1)求出S_t，根据下式可求出S_∞：

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

工后沉降则为：

$$S_f = S_\infty - S_t \quad (4)$$

1.2　沉降速率法

沉降速率法是根据固结沉降公式建立的，假设$S_\infty = mS_c$，则有[2]：

收稿日期：2008-07-07

作者简介：张传峰(1981-)，男(汉族)，安徽六安人，成都理工大学硕士研究生，防灾减灾工程及防护工程专业，研究方向为地质灾害治理与施工技术，四川省成都市二仙桥东三路1号。

万方数据

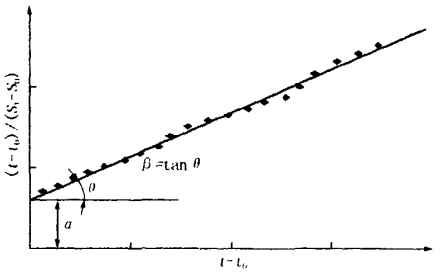

图 1 双曲线法的拟合曲线

$$S_t=[(m-1)(p_t/p_0)+(1-\alpha e^{-\beta t})]S_c \quad (5)$$

式中:p_t、p_0——分别是 t 时累计荷载和总的累计荷载;m——综合性修正系数;S_c——主固结沉降。

在恒载条件下,可导得沉降速率为:

$$S_t=AS_c e^{-\beta t} \quad (6)$$

$$A=[8/(p_0\pi^2)]\sum_1^n q_n(e^{-\beta t_n}-e^{-\beta t_{n-1}}) \quad (7)$$

利用实测沉降速率 S_t 与时间 t 绘制 $\ln S_t - t$ 关系曲线,其截距为 AS_c,斜率为 β,这样 A 可算出,然后即可求得 S_c 及 m 值和最终沉降 S_∞。

1.3 三点法

在实际的沉降 - 时间关系曲线上,取最大恒载时间段内的 3 点 S_1、S_2、S_3,且 $t_3-t_2=t_2-t_1$,根据固结计算的普遍式 $U_t=1-\alpha e^{-\beta t}$ 可得 $S_t=(1-\alpha e^{-\beta t})S_\infty$,通过推导可得到[1]:

$$S_\infty=\frac{S_3(S_2-S_1)-S_2(S_3-S_2)}{(S_2-S_1)-(S_3-S_2)} \quad (8)$$

$$\beta=(1/\Delta t)\ln[(S_2-S_1)/(S_3-S_2)] \quad (9)$$

1.4 星野法

星野根据现场实测值证明了固结沉降是时间平方根的函数,总沉降为[2]:

$$S=S_0+S_t=S_0+(AK\sqrt{t-t_0})/\sqrt{1+K^2(t-t_0)} \quad (10)$$

将上式改变为直线方程形式:

$$(t-t_0)/(S-S_0)^2=1/(A^2K^2)+(t-t_0)/A^2 \quad (11)$$

式中:$1/(A^2K^2)$——直线截距;$1/A^2$——直线斜率。

计算时根据假定的几组 S_0、t_0 和实测的 S、t 点按式(11)画成直线图,选择合适的(线性关系最好)假定线,确定参数 A、K 值。则当时间趋于无穷大时可得:

$$S_\infty=S_0+A \quad (12)$$

2 常用沉降预测方法评价

由于各种沉降预测方法都有其优缺点和适用条件,这就要求我们在实际应用中必须具体问题具体分析,灵活选用与实际情况较吻合或接近的某种方法,当然采用多种方法配合使用效果会更好,同时其他方法也可作为当前方法的印证。常用沉降预测方法的优缺点及适用要求见表 1。

表 1 常用沉降预测方法的优缺点及适用要求

预测方法	优 点	缺 点	适用要求	监测时段
双曲线法	(1)计算简便; (2)后期各个时间的沉降与实际沉降吻合较好,预测曲线与实测曲线在预压期内走向基本一致[3]; (3)形式简单,适用性强[4]	(1)t_0、S_0 的准确选择是个关键; (2)实测沉降曲线如果不按照双曲线进行递减时计算结果误差增大; (3)要求达到恒载状态的预压期时间长	(1)以荷载恒定时的开始时间为零。实测 3 组以上的有效沉降 - 时间数据,才能进行回归分析; (2)实测沉降时间至少在半年以上,且沉降速率按双曲线递减	恒载期
沉降速率法	(1)可求出固结系数; (2)不需要绝对沉降量[6]; (3)计算简便,易于掌握和应用[6]	(1)数据要求全; (2)时间为零时的沉降速率不容易测定或测准[5]; (3)未考虑次固结沉降的影响	(1)实测 3 组以上的有效沉降数据,才能进行回归分析; (2)恒载开始后实测沉降时间至少在半年以上; (3)从最开始加载计时,荷载和时间初值不应为零	加载全过程
三点法	(1)只需 3 点就能计算,简单快捷; (2)适合手算	(1)准确性不足,只能用于数据不足时的估算[3]; (2)要求实测沉降曲线基本处于收敛阶段; (3)不能进行回归分析,且没有考虑次固结沉降的影响; (4)S_1、S_2、S_3 点的选取受主观因素影响	(1)实测 3 组以上的有效沉降数据,且时间间隔相等; (2)实测沉降曲线基本处于收敛阶段; (3)不能进行回归分析	恒载期,等时距
星野法	(1)计算方法简单,曲线收敛明显[3]; (2)计算精度高; (3)形式简单,适用性强[4~6]	(1)需要反复假定和迭代,多次筛选 t_0、S_0 以确定最佳计算直线,计算量比较大; (2)适合于荷载瞬时施加,而实际中都是逐级施加	(1)实测 3 组以上的有效沉降数据,才能进行回归分析; (2)不适宜平缓的沉降曲线形式; (3)固结度 $U<50\%$	恒载期

万方数据

3 工程实例

3.1 概况

某城市快速路基段长 18.947 km,软基长度 15.84 km,占主线路基长度的 83.6%。本路段广泛分布有海冲积淤泥、淤泥质土和冲(洪)积淤泥质粘土、淤泥质砂,从总体上看,由北向南软土逐渐加厚,由淤泥质土渐变为淤泥。为预测沉降,在主要桥头和个别涵洞布置 44 处共 88 个监测段(每处左右幅各按一个监测段计),测点 880 个,自 2006 年 3 月开始,每月测量一次。

3.2 沉降分析

3.2.1 数据计算

由于本项目是在试通车 1 年多后才建立的观测数据,不能有效地获取分级加载、累计荷载、瞬时荷载的作用时间和大小等相关数据,致使沉降速率法、星野法的使用条件难以满足,因此本项目主要采用双曲线法进行预测,同时采用三点法进行印证。对本项目监测有代表性的 20 个测点按双曲线法和三点法对工后沉降进行了计算,计算结果见表 2。

表 2 软土路基工后沉降计算一览表

桩号	位置	监测点号	预测方法			预测总沉降/cm		目前相对沉降量/cm	沉降差(工后沉降)/cm	
			双曲线法		三点法					
			α	β	β	双曲线法	三点法		双曲线法	三点法
K14+000	左幅	1	6.98	1.712	-0.013	105.99	106.06	105.96	0.03	0.10
		2	16.05	1.400	-0.002	88.33	89.26	88.24	0.09	1.02
		3	45.64	0.582	0.063	72.88	72.29	72.21	0.67	0.08
		4	45.67	0.858	0.097	50.92	50.57	50.57	0.35	0.00
		5	35.10	0.764	0.002	26.98	27.01	26.67	0.31	0.34
		8	-6.84	1.459	0.063	79.09	79.18	79.07	0.02	0.11
		9	13.64	0.742	0.057	34.34	34.25	34.14	0.20	0.11
K14+710	左幅	2	84.08	0.300	0.005	62.61	61.49	60.40	2.21	1.09
K37+673	左幅	3	43.82	0.083	0.021	39.88	30.55	30.53	9.35	0.02
K43+926	左幅	6	41.26	0.050	0.012	115.23	98.94	98.49	16.74	0.45
		7	38.93	0.087	0.004	119.09	113.72	110.62	8.47	3.10
K46+038	左幅	9	41.04	0.158	0.010	47.50	43.81	43.42	4.08	0.39
K17+006	右幅	9	46.60	0.502	0.026	27.18	26.51	26.45	0.73	0.06
K33+047	右幅	1	73.21	1.078	0.013	113.85	113.85	113.61	0.24	0.24
		8	76.96	0.960	0.005	88.54	88.78	88.20	0.34	0.58
K33+645	右幅	1	63.47	0.399	0.006	112.19	112.25	110.97	1.22	1.28
K52+875	右幅	1	15.39	0.038	0.008	109.17	94.29	90.22	18.95	4.07
		8	16.04	0.049	0.001	78.55	97.24	64.46	14.09	32.78
K54+024	右幅	9	78.89	0.455	0.025	20.91	19.90	19.75	1.16	0.15
K55+888	右幅	9	61.34	1.564	-0.082	10.18	10.08	10.01	0.17	0.07

3.2.2 沉降分析

(1)从表 2 中可以看出,大部分监测点用双曲线法和三点法预测的结果相吻合,为使预测结果更准确在不同地段可以采用不同预测方法。

(2)由于常规的沉降预测方法主要用于较大变形的工后沉降预测,对于本工程小变形的预测,其结果的可靠性有待考证,常规方法也有其特有的局限性。

(3)从表 2 中数据可以看出,有 13 个测点(占 65%)的预测工后沉降 <2 cm,这与本项目的地基沉降不相符,说明目前采用纯数学手段预测沉降还是有缺陷的,应对沉降变形采取动态控制,采用累计沉降值、沉降速率比值、施工及运营情况等进行综合判断。

(4)合理选择沉降预测方法对正确把握实际沉降意义重大。

4 结语

(1)详细归纳了常用沉降预测方法的适用性,应根据工程特点有选择性的使用,同时在实际应用中还要凭借一定的经验和技巧。

(2)在采用双曲线进行预测时,为使预测结果更准确,应该利用后期实测值(曲线后段选择计算点)来推求最终沉降值。

(3)准确可靠的沉降观测数据是正确预测工后沉降量的前提,有条件的情况下应该从路堤开始填筑时就进行观测。

(下转第 41 页)

万方数据

4.6.1　施工工序

(1)将 Ø25 mm 套管对准设计井点,开泵送水,此时应扶正、压紧并不断左右旋转套管,在水流冲击下套管底部砂土被不断冲出,套管逐渐下沉,至接近设计孔深。

(2)连通集水总管,接通真空泵抽水。

4.6.2　注意事项

(1)滤网必须绑扎牢固,根据实际情况确保通水的情况下包 2 层,该工程依据地层特点,改滤网为布袋,以确保抽水时不出砂。

(2)抽水时如需要应及时摘除出砂井点。

(3)采取有效措施,确保地基土不被扰动。

4.6.3　工艺流程(见图 2)

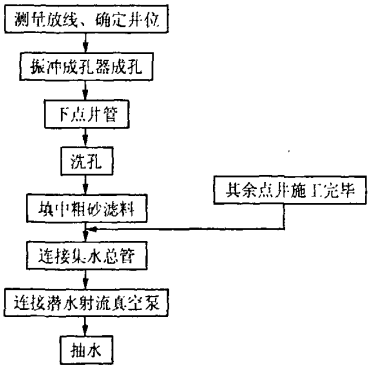

图 2　超轻型井点降水施工工艺流程

4.6.4　超轻型井点的后续处理

将超轻型井的集水管引至基坑肥槽内,并将其埋于基础垫层以下,以便于结构施工。在基础垫层、防水及底板施工中,通过在基础垫层以下并已引向基坑肥槽中的集水管抽水,以确保基底开挖时做到干槽作业。在基础底板施工完毕,则可停止抽水并封闭集水管。

降水效果如图 3 所示。

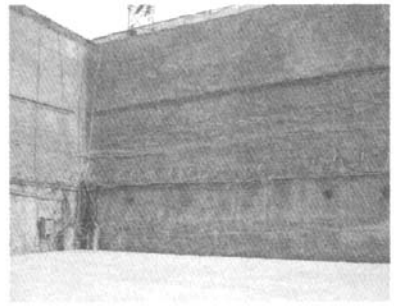

图 3　降水效果图

5　结语

超轻型井点降水具有较强的灵活性,施工过程中可根据实际变化的情况及时变更施工方案,以满足施工要求。

超轻型井点降水跟现有管井、轻型井点相比可节约成本 20% ~50%。

超轻型井点降水作为一种新的降水工艺技术,有其独特的优越性,尤其小巧、经济、降水速度快的特点倍受施工人员喜爱。

在实际施工中,超轻型井点降水有时集水管过长导致与导水管相连处出现漏水现象,可以通过人工封闭加以定期检查维护,可使漏水量减少,保证工程的顺利进行。

(上接第 37 页)

(4)常用曲线拟合方法都是基于恒载期测得的数据,对变荷载作用要考虑选用其他方法。

(5)条件允许的情况下尽可能采用多种方法配合使用,同时进行预测印证。

由于软土路基沉降预测方法众多,作者在此仅就自己常接触的一些曲线拟合预测方法的适用性进行应用分析,希望能为工程技术人员提供一定的帮助,不当之处敬请批评指正。

参考文献:

[1] JTJ 017 -96,软土地基路堤设计与施工技术规范[S].

[2] 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,2007.10 -22.

[3] 董英杰.软土地基沉降预测方法的比较研究[J].电大理工,2007,(2):29 -30.

[4] 李刚,王福胜,何晓霞.公路软基路堤实测沉降资料的分析方法[J].路基工程,2006,(2):71 -73.

[5] 孙建波.高速公路路基沉降预测方法[J].公路与汽运,2005,(5):60 -62.

[6] 刘吉福,莫海鸿.对沉降速率法确定卸载时机的认识[J].岩石力学与工程学报,2007,(S1):3065 -3072.

万方数据