

泊松曲线在软土路基沉降预测中的应用研究

宇云飞^{1,2}, 张文彤³, 张梅²

(1. 中国矿业大学, 北京 100083; 2. 河北农业大学 城乡建设学院, 河北 保定 071001;

3. 保定市申成路桥有限公司, 河北 保定 071001)

摘要: 泊松曲线是一种精度较高的沉降预测方法,但是它只能在等时空距数据条件下才能使用,在工程实际中观测的数据很难满足这一要求。本研究采用最小二乘法与 Lagrange 二次插值法将非等时空距数据转化成等时空距数据,并以某高速公路试验段沉降观测数据为例,建立了沉降量泊松曲线预测模型,并与灰色模型、三点法、双曲线法的预测结果及实测结果进行了对比,结果表明,泊松曲线模型的预测沉降量与实际沉降量更接近。

关键词: 泊松曲线; 软土路基; 沉降

中图分类号: TU 4

文献标识码: A

Study of Poisson curve in prediction of soft roadbed settlement

YU Yun-fei^{1,2}, ZHANG Wen-tong³, ZHANG Mei²

(1. China University of Mining Technique, Beijing 100083, China;

2. College of Urban and Rural Construction, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China;

3. Baoding Shencheng Road and Bridge Ltd. Co., Baoding 071001, China)

Abstract: Poisson curve is a accurate method of settlement prediction, but it is used in condition of equal interval data, which is hard to carry out in actual engineering. This paper adopt the least square theory and Lagrange inserting method to turn non-equal interval data to equal interval data. Taking the tested settlement data of an experimental section of one free way as an example, the Poisson curve prediction model of settlement is established and the result is compared with the results of gray prediction model, hyperbola method, three-point method. It shows that the prediction of Poisson curve model is very close to the practical settlement.

Key words: Poisson curve; soft roadbed; settlement

预估路基沉降的方法主要有两大类:一类是通过对路基的土样做试验来获取路基土的参数,同时选择合适的计算模型来计算路基的沉降量;另一类是通过对实测的沉降数据进行处理,以获得沉降规律,从而预测路基的沉降量。采用第一类方法,所需计算参数较多,常规土工试验往往无法提供足够的计算参数,故在工程设计中很难采用。因此,如何通过观测实际沉降量以推算后期沉降量和最终沉降量便成为工程技术人员关注的问题。本研究讨论了泊松曲线在软土路基沉降预测中的应用,以某高速公路试验段沉降观测数据为例,建立了沉降量泊松曲线预测模型,并与灰色模型、三点法、双曲线法的预测结果及实测结果进行了对比,结果表明,泊松曲线模型的预测沉降量与实际沉降量更接近,获得了较高的预测精度。

收稿日期: 2004-01-10

作者简介: 宇云飞(1972-),女,河北崇礼人,在读博士生,讲师,从事道路、桥梁工程的教学与科研工作。

1 泊松曲线预测模型

在时间序列预测中,泊松曲线的表达式为:

$$y_t = \frac{c}{1 + ae^{-bt}} \quad (1)$$

式中: y_t 为第 t 期的沉降预测值; t 为时间; a 、 b 和 c 为待定参数。利用一时间序列求出上述三个待定参数即可建立泊松曲线方程,从而可以对今后的 y_t 进行预测。

根据参考文献^[1],可利用三段计算法求泊松曲线方程中的各个参数。三段计算法求泊松曲线方程中的参数有以下两点要求:①时间序列中的数据项数或时间的期数 n 是 3 的倍数,并把总项数分为 3 段,每段含 $n/3 = r$ 项;②自变量 t 的时间间隔相等或时间长短相等,前后连续,期数 t 由 1 开始顺编,即取 $t = 1, 2, 3, \dots, n$ 。按此要求,则时间序列中各项数分别为 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ 。将其分为 3 段:

第 1 段为 $t = 1, 2, 3, \dots, r$,

第 2 段为 $t = r + 1, r + 2, r + 3, \dots, 2r$,

第 3 段为 $t = 2r + 1, 2r + 2, 2r + 3, \dots, 3r$ 。

设 S_1, S_2, S_3 分别为 3 个段内各项数值的倒数和,即

$$S_1 = \sum_{i=1}^r \frac{1}{y_i} \quad S_2 = \sum_{i=r+1}^{2r} \frac{1}{y_i} \quad S_3 = \sum_{i=2r+1}^{3r} \frac{1}{y_i}$$

则参数为:

$$b = \frac{\ln \frac{(S_1 - S_2)}{(S_2 - S_3)}}{r} \quad (2)$$

$$c = \frac{r}{S_1 - \frac{(S_1 - S_2)^2}{(S_1 - S_2) - (S_2 - S_3)}} \quad (3)$$

$$a = \frac{(S_1 - S_2)^2 (1 - e^{-b}) c}{[(S_1 - S_2) - (S_2 - S_3)] e^{-b} (1 - e^{-rb})} \quad (4)$$

2 等时空距数据序列的建立

设某非等时空距数据序列为 $X = \{x(t_k), k = 1, 2, \dots, n\}$, 并且 $t_{i+1} - t_i > 0$, 存在 $i \in [1, n)$ 和 $j \in [1, n)$, 满足 $t_{i+1} - t_i \neq t_{j+1} - t_j$ 。

2.1 利用最小二乘原理生成等时序

由于时序是非等时距的,当 $dt = t_{k+1} - t_k$ 相差不十分悬殊时,可利用最小二乘原理生成等时序 t'_k 。 t'_k 具有如下特点:① t'_k 为等时距序列, $t'_k = m_0 + m_1 k$, 其中 $k \in [1, n)$, m_0, m_1 为待定系数;② t'_k 与 t_k 满足 $\sum_{i=1}^n (t'_k - t_k)^2$ 为最小。

由方程 $t'_k = m_0 + m_1 k$ 组成方程组 $T' = AM$, 其中:

$$A^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & 2 & \cdots & n \end{bmatrix}, M = \begin{Bmatrix} m_0 \\ m_1 \end{Bmatrix}$$

根据最小二乘原理 $dt' dt = \min$ 使 $\frac{\partial dt' dt}{\partial M} = 0$, 得到 $A^T AM - A^T T = 0$

$$\text{即} \quad M = (A^T A)^{-1} A^T T \quad (5)$$

然后利用公式 $t'_k = m_0 + m_1 k$ 求出等时序 t'_k 。

2.2 利用 Lagrange 二次插值法生成等时距数据序列

设所生成的等时距数据序列为 $X' = \{x(t'_k), k = 1, 2, \dots, n\}$ Lagrange 二次插值多项式为

$$x(t'_k) = x(t_{k-1})l_{k-1} + x(t_k)l_k + x(t_{k+1})l_{k+1} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

其中,基函数

$$l_{k-1}(t'_k) = \frac{(t'_k - t_k)(t'_k - t_{k+1})}{(t_{k-1} - t_k)(t_{k-1} - t_{k+1})} \quad (7)$$

$$l_k(t'_k) = \frac{(t'_k - t_{k-1})(t'_k - t_{k+1})}{(t_k - t_{k-1})(t_k - t_{k+1})} \quad (8)$$

$$l_{k+1}(t'_k) = \frac{(t'_k - t_{k-1})(t'_k - t_k)}{(t_{k+1} - t_{k-1})(t_{k+1} - t_k)} \quad (9)$$

3 实例计算与结果分析

某高速公路试验段沉降观测数据见表 1。

表 1 沉降观测值

Table 1 Tested settlement data

距离恒载的时间/ t The final time reached from dead load t_0	沉降观测值/mm Tested settlement	距离恒载的时间/d The final time reached from dead load t_0	沉降观测值/mm Tested settlement
86	1 884	461	2 117
144	1 943	497	2 137
189	1 982	567	2 147
244	2 021	611	2 158
289	2 049	651	2 170
359	2 082	662	2 176
402	2 106	675	2 185

由于泊松曲线要求观测数据是等时空距的,所以先对原始数据进行处理,利用最小二乘法 and Lagrange 二次插值法生成一组等时距数据(见表 2)。

利用表 2 数据建立泊松曲线模型,灰色模型(要求观测数据为等时空距数据),利用原始数据建立双曲线和三点模型,对最终沉降量的预测及与实测值的比较见表 3。

采用泊松曲线模型对沉降的预测及与实测值的相对误差见表 4。

表 2 等时距沉降数据

Table 2 Equal interval settlement data

距离恒载的时间/d The final time reached from dead load t_0	沉降观测值/mm Tested settlement	距离恒载的时间/d The final time reached from dead load t_0	沉降观测值/mm Tested settlement
89	1 887	401	2 106
141	1 940	453	2 111
193	1 985	505	2 137
245	2 023	557	2 144
297	2 052	609	2 158
349	2 075	661	2 176

表 3 最终沉降量预测

Table 3 The predicted final settlement

模型 Model	拟合公式 Fitting formula	预测最终沉降量/mm Predicted final settlement	实测最终沉降量/mm Tested final settlement
泊松曲线	$y_t = \frac{2\ 221}{1 + 0.208e^{-0.183t}}$	2 221	
GM(1,1)模型	$y_t = -462.53e^{-0.0029t} + 2\ 244$	2 244	
双曲线法	$y_t = \frac{t}{28.85 + t} \cdot 2\ 275$	2 275	2 185
三点法	$y_t = 2\ 386 - 504.58e^{-0.00136t}$	2 386	

表4 沉降预测与检验

Table 4 The Poisson predicted data and inspection

时间/d Time	实测值/mm Tested data	预测值/mm Predicted data	相对误差/% Relative deviation	时间/d Time	实测值/mm Tested data	预测值/mm Predicted data	相对误差/% Relative deviation
86	1 884	1 890	0.32	461	2 117	2 122	0.24
144	1 943	1 942	-0.05	497	2 137	2 134	-0.14
189	1 982	1 980	-0.10	567	2 147	2 151	-0.19
244	2 021	2 018	-0.15	611	2 158	2 161	0.14
289	2 049	2 045	-0.20	651	2 170	2 169	-0.05
359	2 082	2 081	-0.05	662	2 176	2 170	-0.28
402	2 106	2 100	-0.28	675	2 185	2 179	-0.28

从以上计算结果可以看出,泊松曲线有较高的预测精度。

4 结论

1)泊松曲线是一种简便的软土路基沉降预测模型,与灰色模型、双曲线法、三点法相比具有更高的预测精度,不足的是,泊松曲线必须要求等时空距数据,如果实测数据为非等时空距数据,则需要事先运用数学方法将其转换成等时空距数据,再进行预测。

2)用最小二乘法与 Lagrange 二次插值法处理非等时空距数据,可获得较高的预测精度,从而扩大了泊松曲线法的应用范围。

参考文献:

- [1] 宰金珉,梅国雄. 成长曲线在地基沉降预测中的应用[J]. 南京建筑工程学院学报, 2000(2): 8-13.
- [2] 曾超,肖锋,唐仲华. 灰色模型 GM(1,1) 在软土路基沉降量预测中的应用研究[J]. 勘察科学技术, 2002(1): 16-19.
- [3] 朱华吉,马少娟. 非等时空距 GM(1,1) 模型在建筑物沉降预测中的应用[J]. 测绘工程, 2001(4): 39-41.

(编辑:张冬冬)

(上接第47页)

参考文献:

- [1] UEDA S. Hand Book of Analyses and Enzymes[M]. The Amylase Research Society of Japan, 1988. 116.
- [2] 张树政. 酶制剂工业[M]. 北京:北京科学出版社, 1989. 489-509.
- [3] KUMAR S, SATYANARAYANA T. Purification and kinetics of a raw starch-hydrolyzing, thermostable, and neutral glucoamylase of the thermophilic mold *Thermomucor indicae-seudaticae*[J]. Biotechnol Prog, 2003, 19(3): 936-44.
- [4] 谷海先,张定玲,曹钰. 高活力糖化酶菌种选育及发酵研究[J]. 食品与发酵工业, 1998, 24(5): 31-36.
- [5] ELLAIAH P, A DINARAYANA K, B HAVANI Y, et al. Optimization of process parameters for glucoamylase production under solid state fermentation by a newly isolated *Aspergillus* species[J]. Process Biochemistry, 2002, 38(4): 615-620.
- [6] 李俊刚,方善康. 生淀粉糖化菌 NL-3 的发酵条件[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 1998, 23(1): 92-96.
- [7] 罗进贤,叶若邻,张添元,等. 用基因重组技术构建可降解淀粉和产生酒精的酵母工程菌[J]. 食品与发酵工业, 2000, 26(5): 1-4.
- [8] LIU H L, WANG W C. Molecular Dynamics Simulations of the Unfolding of the Starch Binding Domain from *Aspergillus niger* Glucoamylase[J]. J Biomol Struct Dyn, 2003, 20(5): 615-22.
- [9] GB746-80, 轻工业部工业用液化型淀粉酶、糖化型淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶的质量标准及测定方法(试行草案)[S].
- [10] 北京大学生物系生化教研室. 生物化学实验指导[M]. 北京:北京大学出版社, 1984. 294.

(编辑:李川)