doi:10.16104/j.issn.1673-1891.2018.03.017

离散灰色DGM(1,1)模型在高层建筑物沉降预测中的应用

洪晓江,方志聪,庄锦亮
(西昌学院土木与水利工程学院,四川 西昌 615000)

摘要:针对高层建筑物沉降观测数据序列的特性,结合西昌市某工程沉降观测项目,重点阐述离散灰色DGM(1,1)模型原理及特性,以Matlab为仿真平台,将DGM(1,1)模型运用于高层建筑物沉降预测,并对其预测性能进行检验。结果表明,该方法能较好地模拟沉降发展趋势,且误差小,能达到精度要求,为后期工作提供数据支持。

关键词:高层建筑;沉降预测;DGM(1,1);MATLAB

中图分类号:TU973.2+5 **文献标志码**:A **文章编号**:1673-1891(2018)03-0076-03

Application of Discrete Grey DGM (1,1) Model in Prediction of High-rise Building Settlement

HONG Xiao-jiang, FANG Zhi-cong, ZHUANG Jin-liang
(School of Civil and Hydraulic Engineering, Xichang University, Xichang, Sichuan 615000, China)

Abstract: In view of the characteristics of the observation data sequence of the settlement of the high-rise building, this paper focuses on the principle and characteristics of the discrete grey DGM (1,1) model combined with the project of a project in Xichang, and uses the Matlab as the simulation platform to apply the DGM (1,1) model to the settlement prediction of the high-rise building, and to test its prediction performance. The results show that the method can better simulate the development trend of settlement, and the error is small, which can meet the accuracy requirements and provide data support for later work.

Keywords: high-rise building; settlement prediction; DGM (1,1); MATLAB

0 引言

沉降观测是高层建筑物施工和使用过程中一项重要工作,定期对高层建筑物监测点进行测量,能对建筑物变形的发展和稳定进行全面准确把握。《建筑变形测量规范》JGJ 8—2016第8.4.1条规定:“对于多期建筑变形测量成果,……,根据需要,应对变形的发展趋势进行预报。”[1]目前常见的预报方法主要有回归分析预测模型、自回归移动平均预测模型及神经网络预测模型以及灰色系统预测模型等[2-4]。前三种方法都是建立在大样本基础之上的预测建模方法,而灰色系统预测模型则是以“小样本、贫信息”作为研究对象。

邓聚龙教授于20世纪80年代初创立灰色理论,经过多年的发展已经广泛应用于诸多领域[5-6]。灰色预测方法通过对小样本(最少为4个)序列累加生成建立预测模型,并且能使具有随机特征的原始数据呈现单调递增的规律,是一种专门用于研究“部分信息已知、部分信息未知”的不确定性系统问题的新方法。其中,以GM(1,1)模型为基础的灰色预测建模方法是灰色理论中应用最为广泛的一种。

建筑的变形量受地质、水文、周围环境、施工层数以及临时荷载等多方面影响。在这样情况下,很难建立各个变量与沉降量之间的函数关系去分析和预测未来变形的趋势。但是,建筑物变形在诸多因素的影响下,其量值是确定的。从灰色理论角度考虑,建筑物的变形量可作为一个不确定性系统。而经典GM(1,1)模型[7]实质上指数增长函数,限制了其无法实现对非齐次指数序列的有效模拟,而且即使对于满足齐次指数增长规律的序列,该模型同样存在误差。为此,谢乃明等人提出了离散灰色预测模型DGM(1,1)[8],该模型弥补了传统的GM(1,1)模

收稿日期:2018-04-02
基金项目:桥梁无损检测与工程计算四川省高校重点实验室开放基金项目:基于虚拟仪器技术的索力监测系统关键技术的研究(2016QYY03);西昌学院“两高”人才科研支持计划项目(LGLZ201824);2018年国家级大学生创新创业训练计划项目(201810628102)。
作者简介:洪晓江(1986—),男,四川西昌人,讲师,硕士,研究方向:土木工程试验与检测。

型的缺陷，能实现齐次指数序列的无偏模拟。为了更加精确地预测建筑物不同时期的沉降量，本文结合西昌市某工程沉降观测项目，将离散灰色预测模型DGM(1,1)引入高层建筑物沉降预测，并进行误差分析。结果表明，效果较好，满足精度要求。

1 离散灰色预测模型DGM(1,1)模型

设定期对高层建筑物测点进行观测，所得累积沉降量序列$X^{(0)}=(x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),\cdots,x^{(0)}(n))$，其中$x^{(0)}(k)\geqslant 0$，$k=1,2,\cdots,n$，则称$X^{(1)}=(x^{(1)}(1),x^{(1)}(2),\cdots,x^{(1)}(n))$为原始数据$X^{(0)}$的一次累加生成序列（简称1-AGO），其中

$$x^{(1)}(k)=\sum_{i=1}^{k}x^{(0)}(k),\quad k=1,2,\cdots,n \tag{1}$$

设序列$X^{(0)}$，$X^{(1)}$如公式(2)所述，则称

$$x^{(0)}(k)+ax^{(1)}k=b \tag{2}$$

为GM(1,1)模型。

设序列$X^{(0)}$，$X^{(1)}$，如公式(2)所述，则称

$$x^{(1)}(k+1)=\beta_1x^{(1)}(k)+\beta_2 \tag{3}$$

为离散灰色预测模型*DGM*(1,1)模型，或称为*GM*(1,1)模型的离散形式。若$\hat{\beta}=[\beta_1,\beta_2]^T$为参数列，且

$$Y=\begin{bmatrix}x^{(1)}(2)\\x^{(1)}(3)\\\vdots\\x^{(1)}(n)\end{bmatrix},\ B=\begin{bmatrix}x^{(1)}(1)&1\\x^{(1)}(2)&1\\\vdots&\vdots\\x^{(1)}(n-1)&1\end{bmatrix}$$

则离散灰色预测模型$x^{(1)}(k+1)=\beta_1x^{(1)}(k)+\beta_2$的最小二乘估计参数列满足：

$$\hat{\beta}=[\beta_1,\beta_2]^T=(B^TB)^{-1}B^TY \tag{4}$$

则有：

(1)取$x^{(1)}(1)=x^{(0)}(1)$，则递推函数为

$$\hat{x}^{(1)}(k+1)=\beta_1^k(x^{(0)}(1)-\frac{\beta_2}{1-\beta_1})+\frac{\beta_2}{1-\beta_1},\ k=1,2,\cdots,n-1 \tag{5}$$

(2)还原值

$$\hat{x}^{(0)}(k+1)=\hat{x}^{(1)}(k+1)-\hat{x}^{(1)}(k)=(\beta_1-1)(x^{(0)}(1)-\frac{\beta_2}{1-\beta_1})\beta_1^k,k=1,2,\cdots,n-1 \tag{6}$$

2 预测模型的性能检验

灰色预测模型DGM(1,1)模型用于高层建筑物沉降预测的有效性需要通过性能检验进行验证。性能检验[9]常用的方法为残差检验法，该方法根据残差、相对误差和平均相对误差三个参数评定模型的优劣。而且，当建立预测模型的样本量较少时，只计算模拟误差，而不考虑预测误差。

(1)设原始数据$X^{(0)}=(x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),\cdots,x^{(0)}(n))$，相应的DGM(1,1)模型的模拟数据为$\hat{X}^{(0)}=(\hat{x}^{(0)}(1),\hat{x}^{(0)}(2),\cdots,\hat{x}^{(0)}(n))$，则对应的残差值为：

$$\varepsilon_X=(\varepsilon_X(1),\varepsilon_X(2),\cdots,\varepsilon_X(n)) \tag{7}$$

其中，$\varepsilon_X(\mu)=x^{(0)}(\mu)-\hat{x}^{(0)}(\mu),\mu=1,2,\cdots,n$ 。

(2)模拟序列$\hat{X}^{(0)}$的相对模拟百分误差序列记为$\triangle_X$，即

$$\triangle_X=(\triangle_X(1),\triangle_X(2),\cdots,\triangle_X(n),) \tag{8}$$

其中，$\Delta_X(\mu)=\left|\frac{\varepsilon_X(\mu)}{x^{(0)}(\mu)}\times 100\%\right|,\ \mu=1,2,\cdots,n$ 。

(3)$\bar{\triangle}_X$为模拟序列的平均相对模拟百分误差，即

$$\bar{\Delta}_X=\frac{1}{n}\sum_{u=1}^{n}\Delta_X(\mu) \tag{9}$$

通过相对模拟百分误差$\bar{\triangle}_X$值对模型精度等级进行划分，详见表1。

表1　灰色预测精度等级表

相对误差	精度等级	相对误差	精度等级
0.01	一级	0.10	三级
0.05	二级	0.20	四级

3 工程应用分析

3.1 工程概况

四川省西昌市区某项目拟建高层建筑物6栋，设计层数均为18层，采用钢筋混凝土剪力墙结构，基础均采用筏板形式。按照规范和设计要求需对高层建筑物进行沉降观测。本工程共布设3个基准点，每栋建筑物按规范要求均布设16个沉降观测点。沉降观测采用苏一光DS05精密水准仪，按照二等水准测量方式进行闭合观测[10]。

3.2 预测分析

为了验证DGM(1,1)模型进行高层建筑物沉降预测的有效性，以2017年10月5日至2018年2月8日1#楼C-01监测点的8期（每10 d为一期）累计沉降量为原始数据，用离散灰色DGM(1,1)模型进行后期累计沉降量预测，Matlab平台运行结果如下：

(1)DGM(1,1)模型沉降预测的响应方程为：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1)=\beta_1^k(x^{(0)}(1)-\frac{\beta_2}{1-\beta_1})+\frac{\beta_2}{1-\beta_1},\ k=1,2,\cdots,n-1\ ,$$

其中，$\beta_1=1.057413$，$\beta_2=2.144985$

(2)还原值为：

$$\hat{x}^{(0)}(k+1)=\hat{x}^{(1)}(k+1)-\hat{x}^{(1)}(k)=(2.03,2.26,2.39,2.53,2.67,2.83,2.99,3.16)$$

预测值为：$\hat{x}^{(0)}(9)=3.34,\hat{x}^{(0)}(10)=3.53$，则第九

表2 DGM(1,1)模型性能检验表

序号	原始数据/mm	DGM(1,1)模拟/mm	残差/mm	相对误差/%
1	2.03	2.03	0	0
2	2.19	2.26	-0.07	3.2
3	2.41	2.39	0.02	0.83
4	2.38	2.53	-0.01	0.4
5	2.78	2.67	0.11	3.96
6	2.82	2.83	-0.01	0.35
7	2.99	2.99	0	0
8	3.12	3.16	-0.04	1.28
平均相对模拟误差/%			1.43	

期沉降观测的累积沉降量预测值为3.34 mm,第十期为3.53 mm。

3.3 性能检验

还原值即为DGM(1,1)模型模拟各期沉降观测的累积沉降量,性能检验参数结果见表2。不难发现,各期沉降观测累积沉降量模拟值误差均较小,且越到后期精度越高。平均相对模拟误差满足精度等级二级要求。预测结果较好,有较强的适用性。

4 结语

变形预测建模方法种类较多,各有特点。针对高层建筑物沉降观测序列"小样本,信息量少"的特点,灰色理论能充分挖掘观测数据的信息,寻找其变化的客观规律,在此基础上实现对后期施工或使用过程中沉降变化的预测。另外,灰色理论具有建模简单、运算量小、操作简单等有点。从根本上讲,GM(1,1)模型是指数函数模型,要求模拟和预测的序列近似呈指数规律变化。但建筑物的沉降受地质、结构形式和外界环境等因素的影响致使GM(1,1)在实际预测时往往会产生一些偏差,缺乏稳定性。DGM(1,1)能实现对序列的无偏模拟。试验结果表明,DGM(1,1)模型用于建筑物沉降预测具有可行性,且效果较好。

参考文献:

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑变形测量规范(JGJ 8—2016)[M].北京:中国建筑工业出版社,2016.
[2] 于涛,赵仲荣.建筑物沉降规律的曲线拟合模型研究[J].测绘通报,2008(11):50-52.
[3] 陈伟清.回归分析在建筑沉降变形分析中的应用[J].测绘学院学报,2005,22(4):249-251.
[4] 张文博,郭云开.基于BP神经网络的建筑物沉降预测模型研究[J].测绘工程,2013,22(2):52-56.
[5] 吴秀明,迟道才,潘香岑,等.基于离散型灰色DGM(1,1)预测模型在涝灾预测中的应用[J].沈阳农业大学学报,2013,44(1):104-107.
[6] 张珊玉,徐辉.基于离散型灰色DGM(1,1)模型的房地产价格预测及其对策研究[J].科技广场,2013(1):228-234.
[7] 刘思峰,邓聚龙.GM(1,1)模型的适用范围[J].系统工程理论与实践,2000(5):121-124.
[8] 谢乃明,刘思峰.离散DGM(1,1)模型与灰色预测模型建模机理[J].系统工程理论与实践,2005(1):93-99.
[9] 曾波.实用灰色预测建模方法及其MATLAB程序实现[M].北京:科学出版社,2018.
[10] 杨晓平.工程监测技术及应用[M].北京:中国电力出版社,2007.

(责任编辑:曲继鹏)

(上接第56页)

[12] 熊金诚..点集拓扑学[M].3版.北京:高等教育出版社,2003:33,60,79-81,140.
[13] MAULDIN R D,WILLIAMS S C. On the Hausdorff Dimension of Some Graphs[J]. Transactions American Mathematical Society,1986,298:793-803.
[14] WINGREN P. Dimensions of Graphs of Functions and Lacunary Decompositions of Spline Approximarions[J]. Real Analysis Exchange,2000,27(4):913-916.
[15] LIU J, WU J.A remark on Decomposition of Graph of Comtinuous Functions[J]. Journal of Mathematical Analysis and Applications,2013,401:404-406.
[16] 刘佳,孙钰. 连续函数的图像的分解[J].应用数学,2014,27(4):913-916.

(责任编辑:曲继鹏)