

引淮入海大堤施工期垂直位移监控模型研究

田林亚,华锡生,梅 红

(河海大学土木工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 对引淮入海大堤施工期垂直位移监控模型进行研究.结果表明:由于垂直位移的影响源不完全清楚,用回归分析的方法研究垂直位移规律有一定的缺陷;将垂直位移仅看作随时间变化的动态过程,从灰色系统理论出发建立灰色 GM(1,1)模型,比统计模型有更好的精度和预报效果,因此具有更好的应用价值.由于灰色模型采用的原始序列相对较少,其短期的预测精度要高于长期的预测精度,在堤体不断加高的动态荷载作用下,要保证其预测的可靠性,必须适时地纳入新的沉降信息.

关键词 防洪堤;垂直位移;统计模型;灰色模型

中图分类号:TV64

文献标识码:A

文章编号:1000-1980(2003)03-0332-03

淮河入海水道工程是 2000 年国家重点工程项目,该工程的建成将提高所经地区防洪减灾的能力.位于江苏省阜宁县境内的防洪大堤,属地质条件很差的软土,且雨量充沛,因此需要在大堤整个施工阶段进行垂直位移监测,并通过变形分析和变形预报调节施工速率,以保证大堤的施工安全.

监测点的垂直位移采用 Ni 007 自动安平水准仪(标称精度 $\pm 0.7 \text{ mm}$)进行观测,观测频率为 3~6 次/月^[1],进行垂直位移观测的同时,测记堤面的实际填土高程,作为堤防施工速率试验和垂直位移分析的重要资料.按有关规范和施工单位的要求,引淮入海大堤可持续施工的条件是日均垂直位移小于 10 mm,因此通过一定的监测数据建立垂直位移的监控模型,对垂直位移的变化趋势进行分析和预报显得十分重要.

1 统计模型

大堤中心点填土速度最快,垂直位移最大.通过对该点垂直位移影响因素的分析,认为该点的垂直位移主要受不断增加的荷载影响.初步建立的方程为

$$h = a_0 + a_1 H + a_2 H^2 + a_3 H^3 + a_4 H^4 + b_1 H_1 + b_2 H_1^2 + c_1 T + c_2 \ln T$$

式中: H ——主堤填土高度; H_1 ——压载平台填土高度; T ——时间因子.

根据 67 期的统计数据,经过逐步回归计算,剔除粗差后得到的回归方程为

$$h = 1348.982 - 482.653H + 151.215H^2 - 18.110H^3 + 0.779H^4 - \\ 530.797H_1 + 76.689H_1^2 + 1.774T - 9.823\ln T$$

回归计算所得的中误差 $m = \pm 5.8 \text{ mm}$,复相关系数 $R = 0.92$.根据所选定的因子及计算结果,可以认为回归方程是比较有效的,回归效果是显著的^[2].但利用该回归方程预测后续几期的沉降量,其差值较大,这说明利用回归分析的方法研究大堤施工阶段的沉降规律存在一定的缺陷.

2 灰色 GM(1,1)模型

施工期大堤的垂直位移受多种因素的影响,有些因素是很难确切描述的,如果将该点的垂直位移视为一个灰色系统,即将沉降量视为已知信息,引起沉降的因素视为未知信息,可以构建该点的灰色 GM(1,1)模型进行研究.

GM(1,1)模型是由一个只包含单变量的一阶微分方程构成的模型.若设大堤中心点垂直位移的原始数据序列为

$$x^{(0)}(k) \qquad k = 1, 2, \dots, n$$

(1)

一次累加生成数据序列(1—AGO)为

$$x^{(1)}(k) \qquad k = 1, 2, \dots, n$$

(2)

则由一次灰色序列构成的一阶微分方程为

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b$$

(3)

根据导数的定义进行推导,并将方程写成矩阵的形式

$$Y = XB$$

(4)

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} -[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)]/2 & 1 \\ -[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)]/2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -[x^{(1)}(n) + x^{(1)}(n-1)]/2 & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$$

式中, Y 和 X 为已知量, B 为待定参数. 由于待定参数只有 a 和 b 两个, 而方程个数有 $n-1$ 个, 可用最小二乘法求解. 设 V 为误差项, 式(4)可改写为 $Y = XB + V$, 根据 $[VV^T] = \min$, 可求得

$$B = (X^T X)^{-1} (X^T Y) = \begin{bmatrix} a & b \end{bmatrix}^T$$

(5)

将求得的 a 和 b 代入式(3)可得微分方程, 进而推得离散形式的 GM(1, 1) 预测模型:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a}$$

(6)

其一次累减反生成得到的还原值为

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k)$$

(7)

预测模型的效果如何, 需要利用后验差比值 C 和小误差概率 P 作为标准进行检验, 并以 C 值和 P 值的大小进行预测精度等级的划分^[3], 后验差比值

$$C = S_e / S_x$$

(8)

$$P = P\{|x^{(0)}(k) - \bar{x}| < 0.6745 S_x\}$$

(9)

选取该点第 58 期(观测时间为第 443 天)及以后的 5 期沉降值为原始数据序列, 即

$$x^{(0)} = \{988.0, 1016.2, 1028.8, 1044.6, 1056.3, 1069.9\}$$

其中第 58、59、60 期为实测值, 为保证原始数据序列的等时距性(时距为 7 d), 第 61、62、63 期的值通过实测值内插而得, 写成 611、621、631.

生成一次累加数据序列(灰色模块)为

$$x^{(1)} = \{988.0, 2004.2, 3033.0, 4077.6, 5133.9, 6203.8\}$$

确定数据矩阵

$$X = \begin{bmatrix} -[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)]/2 & 1 \\ -[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)]/2 & 1 \\ -[x^{(1)}(3) + x^{(1)}(4)]/2 & 1 \\ -[x^{(1)}(4) + x^{(1)}(5)]/2 & 1 \\ -[x^{(1)}(5) + x^{(1)}(6)]/2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1501.1 & 1 \\ -2518.6 & 1 \\ -3555.3 & 1 \\ -4605.8 & 1 \\ -5668.9 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Y = [2004.2, 3033.0, 4077.6, 5133.9, 6203.8]^T$$

求得的待定参数

$$B = [a, b]^T = (X^T X)^{-1} (X^T Y) = (-1.292849272 \times 10^{-2}, 997.0192437)^T$$

建立微分方程

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} - 0.01292849x^{(1)}(t) = 997.01924374$$

根据 $t=0$ 时的初始条件 $x^{(1)}(0) = x^{(0)}(1)$, 得离散形式的灰色 GM(1, 1) 预测模型

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 78105.996e^{0.01292849k} - 77117.996$$

根据上式求得一次累加拟合值, 将其结果通过累减反生成, 得原始问题的拟合值及其误差如表 1 所示.

验后差检验: 求得残差数列的平均值 $\bar{\rho} = 0.017$, 原始数列的平均值 $\bar{x} = 1033.967$, 则残差数列的方差 $S_e^2 = 0.681609$, 原始数据方差 $S_x^2 = 726.38889$, 则 $C = S_e / S_x = 0.03$, $P\{|x^{(0)}(k) - \bar{x}| < 0.6745 S_x\} = 100\%$.

根据等级为一级(评价为好)的预测精度标准 $C \leq 0.35$ 和 $P \geq 0.95$,该模型的拟合程度好 ,外推性预测精度较高.通过预测方程预测随后几期的沉降值及其误差如表 2 所示 ,其预测精度比回归模型预测精度要高得多.

3 结 论

a. 回归模型主要分析变量与影响因子之间的关系 ,由于对施工期大堤垂直位移的机理不完全明了 ,因此所确定的备选因子可能存在一定的差异 ,用回归模型预测未来的垂直位移也将存在一定的差异.

b. 灰色模型只将垂直位移看作随时间变化的动态过程 ,无需考虑垂直位移由何原因引起 ,因此其预测精度比回归模型的预测精度高.由于灰色模型采用的原始序列相对较少 ,其短期的预测精度要高于长期的预测精度 ,在堤体不断加高的动态荷载作用下 ,要保证预测的可靠性 ,必须适时地纳入新的沉降信息.

c. 大堤在施工阶段 ,最重要的是保证大堤的稳定 ,因此特别关心沉降量的变化.基于灰色模型是不断前进的动态模型 ,且比回归模型预测精度高 ,因此更具有应用价值 ,但一旦出现沉降异常 ,需要依靠其它的方法和经验作物理解释.

d. 施工监测和变形分析的目的是指导施工 ,作者利用灰色模型对后续几期的垂直位移进行预测后 ,得到相邻两周期间的沉降量 ,进而得到两周期间的平均沉降速率 ,其值没有超过 10 mm/d ,因此施工继续进行.

参考文献 :

[1] SL60—94 土石坝安全监测技术规范 [S].
[2] 章书寿 ,华锡生.工程测量 [M].北京 :水利电力出版社 ,1994.333—345.
[3] 栾元重 ,曹丁涛 ,徐乐年 ,等.变形观测与动态预报 [M].北京 :气象出版社 ,2001.146—159.

Vertical displacement monitoring model for embankment of water diversion canal from Huaihe River to the sea

TIAN Lin-ya , HUA Xi-sheng , MEI Hong

(College of Civil Engineering , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract : A study is made on the vertical displacement monitoring model for the embankment for the construction period , and the results show that : 1. the regression analysis method has some defects for the analysis of regularity of displacement variation because the affecting factors of vertical displacement are not very clear ; 2. the GM(1 , 1) model developed based on the grey system theory , with the variation of vertical displacement taken as a dynamic process only related to time , is of high precision of prediction and good value of application as compared with the statistical model ; 3. owing to fewer original series adopted in the GM(1 , 1) model , the precision of short-term prediction is higher than that of long-term prediction ; 4. with the increase of dynamic loads , new settlement information should be introduced to ensure the reliability of prediction.

Key words : embankment for flood control ; vertical displacement ; statistical model ; grey model

表 1 原始序列拟合结果

Table 1 Fitted result of original alignment					
期数	天数/d	实测值 /mm	还原值 /mm	拟合误差 /mm	相对误差 $\times 10^{-5}$
58	443	988.0	988.0	0	0
59	450	1016.2	1016.3	-0.1	-1.0
60	457	1028.8	1029.6	-0.8	-7.8
611	464	1044.6	1043.0	1.6	9.6
621	471	1056.3	1056.5	-0.2	1.9
631	478	1069.9	1070.3	-0.4	3.7

表 2 模型预测值

Table 2 Model predicted value				
期数	天数/d	实测值 /mm	还原值 /mm	拟合误差 /mm
641	485	1074.5	1084.2	-9.7
651	492	1094.7	1098.3	-3.6
661	499	1120.6	1112.6	8.0
671	506	1125.0	1127.0	-2.0