

深基坑支护结构侧向位移时间序列分析

黄 昕

(武汉建工集团总承包公司, 武汉 430014)

黄 东 蔡小英

(武汉水利电力大学, 武汉 430072)

【摘要】 以武汉地区深基坑支护实例为采集数据样本,采用时间序列分析方法拟合模型,目的是寻求支护结构侧向位移的AR(n)数学模型,利用所建模型对支护结构侧向水平位移进行最佳预测,其预测值与实际值误差较小,预测精确度较高。

【关键词】 深基坑支护;时间序列分析;侧向位移;AR(n)模型;预测

【Abstract】 Based on the project samples of deep excavation in Wuhan region, the model is imitated by the time series analysis. The AR(n) model is set up for the lateral displacement of the retaining structure for the deep excavation, and the its displacement is predicted. The results are satisfactory.

【Key words】 protection of deep excavation; time series analysis; lateral displacement; AR(n) model; forecast

0 引 言

武汉地区高层、超高层建筑在近几年迅速发展。由于城市土地利用对提高容积率的需要,以及建筑结构和功能上的要求,地下工程由一层发展到三层,开挖深度也由4m左右发展到目前的十几米。深基坑开挖是一项复杂工程,在深基坑开挖过程中,变形问题是在大中城市进行支护结构设计和施工最为敏感的问题。即过大的位移会造成周围地面、建(构)筑物、道路、地下管线的变形或严重开裂而影响使用功能。本文通过采用时间序列分析方法对深基坑开挖的实例监测数据进行分析,目的是寻找支护结构侧向位移的数学关系。结果表明通过对支挡墙侧向位移进行时间序列分析,获得较好的预测精度,为基坑开挖提供了报警依据。

1 时间序列分析理论简介

1.1 概念

时间序列就是随时间而随机变动现象的

数值记录(如深基坑挡土墙侧向位移的连续监测数据)。时间序列分析主要是指采用参数模型(如AR(n)模型)对所观测到的有序的随机数据进行分析与处理的一种数据处理方法^[1]。

自回归模型AR(n):若时间序列值 y_t 可以表示为它的先前值 y_{t-1} 和一种冲击值的线性函数,则称此模型为自回归模型,相应的 y_t 序列称为自回归序列,称

$$x_t = \varphi_1 x_{t-1} + \varphi_2 x_{t-2} + \cdots + \varphi_n x_{t-n} + a_t \sim \text{NID}(0, \sigma_A^2) \quad (1)$$

为 n 阶自回归模型。其中 $\varphi_1, \varphi_2, \cdots, \varphi_n$,是自回归参数(或称权系数),它是待估参数;随机冲击 a_t 是白噪声序列。

1.2 AR(n)模型参数的估计^[2]

将时间序列 $\{x_t\}$ 代入式(1),得出以下线性方程组:

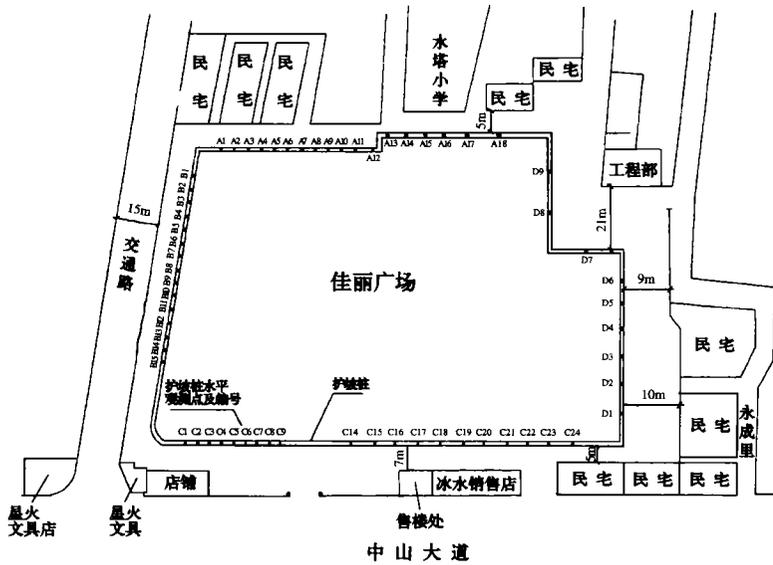


图 1 佳丽广场支护桩水平位移监测点布置图

$$y = [x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_N]^T = [x_{13}, x_{14}, \dots, x_{24}]^T = [19.5, 19.5, 21, 21, 21, 21, 22, 24, 24, 24, 24, 24]^T$$

$$\begin{bmatrix} 19.5 & 18.2 & \dots & 1 \\ 19.5 & 19.5 & \dots & 2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 24 & 24 & \dots & 19.5 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} x_n & x_{n-1} & \dots & x_1 \\ x_{n+1} & x_n & \dots & x_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N-1} & x_{N-2} & \dots & x_{N-n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{12} & x_{11} & \dots & x_1 \\ x_{13} & x_{12} & \dots & x_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{23} & x_{22} & \dots & x_{12} \end{bmatrix}$$

②最小二乘法估计参数

利用式(3)求得监测点 A₁ 墙体水平位移 AR(12)模型参数 φ₁。X 为 12×12 矩阵, 利用流行的 Matlab 4.2 软件可方便进行矩阵运算,求得模型参数 φ₁。结果见表 2。

③墙体水平位移的 AR 模型最佳预测

利用式(4)对 A₁ 观测点向前一步最佳预测 (l = 1)

表 2 模型参数 φ₁ 计算值表

观测点	φ ₁	φ ₂	φ ₃	φ ₄	φ ₅	φ ₆	φ ₇	φ ₈	φ ₉	φ ₁₀	φ ₁₁	φ ₁₂
A ₁	0.6020	0.4543	-0.1880	-0.1225	0.1568	-0.0708	0.0190	0.0780	0.1756	0.2337	0.1110	-0.4564
C ₁	3.4382	-13.245	-17.049	-0.4060	27.6947	-14.458	-1.6227	9.0141	17.8549	2.1639	-9.5448	7.2049

$$\hat{x}_i(l) = \sum_{i=1}^n \varphi_i x_{i+1-i} \quad (l = 1)$$

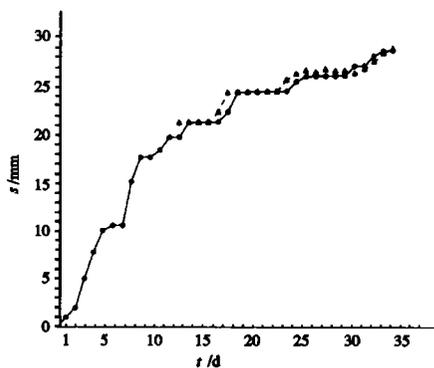
即 $\hat{x}_{13}(l) = \sum_{i=1}^{12} \varphi_i x_{14-i} = \varphi_1 x_{13} + \varphi_2 x_{12} + \dots + \varphi_{12} x_2 =$

$$0.6020 \times 19.5 + 0.4543 \times 19.5 + (-1.880) \times 18.2 + (-0.1225 \times 17.5) + 0.1568 \times 17.5 + (-0.0708 \times 15) + 0.0190 \times 10.5 + 0.0780 \times 10.5 + 0.1756 \times 10 + 0.2337 \times 8 + 0.1110 \times 5 + (-0.4564 \times 2) = 21$$

同理求得 $\hat{X}_{14}(l) = 21, \hat{X}_{15}(l) = 21, \hat{X}_{16}(l) = 21, \hat{X}_{17}(l) = 22, \hat{X}_{18}(l) = 24, \hat{X}_{19}(l) = 24, \hat{X}_{20}(l) = 24, \hat{X}_{21}(l) = 24, \hat{X}_{22}(l) = 24, \hat{X}_{23}(l) = 24, \hat{X}_{24}(l) = 24, \hat{X}_{25}(l) = 24, \hat{X}_{26}(l) = 25.2, \hat{X}_{27}(l) = 25.8, \hat{X}_{28}(l) = 26.1, \hat{X}_{29}(l) = 26, \hat{X}_{30}(l) = 26, \hat{X}_{31}(l) = 25.7, \hat{X}_{32}(l) = 26.2, \hat{X}_{33}(l) = 26.9, \hat{X}_{34}(l) = 27.8, \hat{X}_{35}(l) = 28.2$

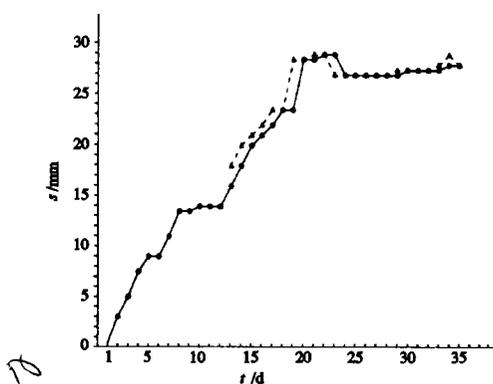
其平均误差为 1.8%，平均准确率为 98.2%，A₁ 点预测值与实际值的比较见图 2。

同样，根据上述计算步骤对 C₁ 观测点向前一步最佳预测。C₁ 点预测值与实际值的比较见图 3。



——实测值 - - - - - 预测值

图 2 A₁ 监测点墙体水平位移的变形值



——实测值 - - - - - 预测值

图 3 C₁ 监测点墙体水平位移的变形值

2.2 算例 2

2.2.1 工程概况

武汉中南商业广场工程由一栋 35~47 层 L 型塔楼(三层地下室)和一朵 7~9 层裙楼(二层地下室)组成。总高度 174m, 总建筑面积 12 万 m²。地下室总建筑面积 1.1 万 m², 第一层层高 4.2m, 第二层层高 3.6m。基坑围护结构方案: 支护桩采用人工挖孔桩, 灌注成型, 布置封

闭式桩顶锁口梁一道, 并在四角均设置对撑斜梁, 以增加锁口梁的刚度。另设置二道钢管内支撑。在支护桩外侧桩间采用静力压浆竖向封闭, 在支护桩内侧桩之间用砖镶砌, 水泥砂浆粉面, 切断地下水的通道。

2.2.2 实测数据时间序列分析

墙体水平位移(以观测点 A₁ 为例)随时间变化关系(1995 年 6 月开始监测)见表 3。

表 3 墙体水平位移实测值

时间 t	6月				7月				8月				9月				10月				11月				12月				1月			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
水平位移 x_t/mm	1.2	1.8	2.3	3.4	4.2	4.8	5.0	5.5	6.0	7.5	7.6	7.5	7.6	7.8	8.0	8.0	8.0	8.1	8.4	8.1	8.2	8.0	8.0	8.4	8.7	8.8	8.9	8.9	8.9	8.2	8.3	8.2

利用式(3)求得监测点 A_1 墙体水平位移 AR(12)模型参数 φ_1 见表 4。

表 4 模型参数 φ_1 计算值

φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8	φ_9	φ_{10}	φ_{11}	φ_{12}
-1.9319	0.6372	1.8366	-0.1535	0.5910	0.3728	-0.0848	-0.2270	0.3821	0.2118	-0.5252	-0.1689

利用式(3)对 9 月、10 月、11 月、12 月向前一步最佳预测 ($l=1$), 实测值与预测值比较见表 5。

表 5 实测值与预测值比较表

	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}
实测值	7.6	7.8	8.0	8.0	8.0	8.1	8.4	8.1	8.2	8.0	8.0	8.4	8.7	8.8
预测值	5.9	10.3	8.0	7.4	8.1	8.4	8.1	8.2	8.0	8.0	8.4	8.9	6.6	6.2

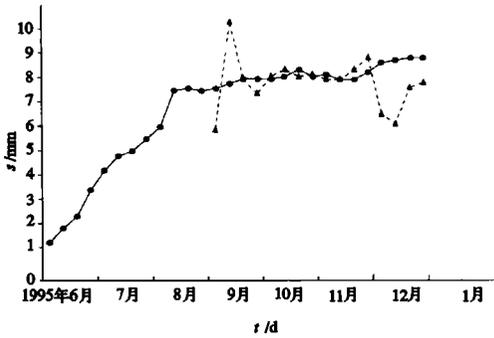
其平均误差为 10.2%, 平均准确率为 89.8%, 预测值与实际值的比较见图 4。

结构水平位移预测时, 应注意选取的实测数据尽可能采用每天连续观测数据。

4 结束语

用时间序列分析预测支挡墙的变形位移, 限制条件少, 计算操作简单, 且适合任何形式的支挡结构。

时间序列分析作为数据处理方法应用于深基坑支护结构变形量的预测是一次尝试。实践操作结果表明: 其预测结果精确度较高, 这为基坑监测工作确定报警标准, 提供了十分有意义的处理手段。



——实际值 - - - - - 预测值

图 4 A_1 监测点墙体水平位移的变形值

3 讨论

(1) 从算例 1 中图 2 和图 3 可以看出, 预测结果与实测值拟合情况较好, 而算例 2 图 4 中 9 月和 12 月的预测结果与实测值起伏较大。经过分析认为: 算例 2 中选取每个月的四个监测实测值来作为预测数据样本, 每个数据的间隔时间过大, 离散性较大, 可能造成预测结果偏离较大。

(2) 利用时间序列 AR(n) 模型进行支护

参 考 文 献

- 1 冯文权编著. 经济预测与决策技术(第三版). 武汉: 武汉大学出版社, 1994. 279~345
- 2 杨叔子, 吴雅等. 时间序列分析的工程应用(上、下册). 武汉: 华中理工大学出版社, 1991. 255~256
- 3 [日]北川源四郎著. 现代时间序列分析方法及其实用计算机程序. 姜兴起等译. 大连: 大连海事大学出版社, 1996. 1~7

收稿日期: 1998-11-08