

文章编号: 1000-7598-(2008)05-1415-04

建筑物地基沉降曲线的分形特征分析

管志勇¹, 路卫卫¹, 戚 蓝¹, 李绍峰²

(1. 天津大学 建筑工程学院, 天津 300072; 2. 天津市国达测控技术有限公司, 天津 300072)

摘 要: 将分形理论应用于建筑物地基沉降曲线分析, 计算两建筑物地基各测点累计沉降曲线的盒维数。分析了测点维数变化情况与最终沉降量变化情况之间的相互关系, 并得到建筑物地基的沉降曲线分形特性。测点维数的大小反映了建筑物地基沉降过程复杂度, 测点维数变化与沉降量变化为对应关系, 反映出地基沉降的不均匀性, 分形特性分析方法从一个新的角度分析建筑物地基沉降, 从曲线中也挖掘更多隐含信息。

关 键 词: 分形理论; 盒维数; 沉降曲线

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

Fractal characteristics of settlement curves of building basements

GUAN Zhi-yong¹, LU Wei-wei¹, QI Lan¹, LI Shao-feng²

(1. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Tianjin Guoda Survey Technology Co. Ltd., Tianjin 300072, China)

Abstract: The fractal theory is used to study characteristics of settlement curves of building basements. Box dimensions of accumulate settlement curves from various measured positions of two buildings are calculated; and relationships between changes of dimensions at the measured positions and changes of final settlements are analyzed. From the calculation and analysis, it is shown that the settlement curves of the building basements have fractal characteristics. The magnitude of the dimensions of the measured position reflects the complex degrees of the settlement processes of the building basements; the changes of the dimension of the measured position and the settlement have the corresponding relation. With this method, the settlements of the building basements are analyzed from a new viewpoint.

Key words: fractal theory; box dimensions; settlement curve

1 前 言

建筑物的沉降监测是测定建筑物在垂直方向的位移过程, 通过准确掌握由于地质条件荷载条件而引起建筑物的沉降, 可以了解其稳定性, 亦给施工提供依据, 因此沉降数据的分析对于工程具有十分重要的意义。沉降数据的分析方法有很多, 如时序分析、回归分析、灰色理论、小波分析等^[1-3], 一般沉降分析主要是通过监测数据资料, 建立回归方程, 预测沉降趋势。本文将分形理论运用于建筑物沉降分析中, 运用分形理论对沉降曲线进行分析, 充分挖掘沉降数据中所包含的信息, 分析沉降过程中的某些特征, 这一点是其他方法所不能做到的。

2 分形理论

分形(fractal)是曼德布罗特(Mandelbrot)1973年首先提出来的, 1975年他出版的专著《分形——机遇和维数》标志着分形理论的诞生。他对分形是这样定义的: 其组成部分与整体以某种方式相似的“形”叫做分形。大量事实表明, 分形在自然界广泛的存在着^[4]。分形理论已经广泛应用于数学、图像处理、物理、地质、材料科学等领域, 在工程领域, 分形理论也是应用较多^[5-7]。

维数是图形最基本的不变量, 也是刻画分形集的要害之一。维数跳出整数的圈子, 就产生了分形几何学。人们从不同的观点可以给出集合不同的维数。相似维数、豪斯道夫维数、盒维数等都能定量

地刻画分形集的复杂程度,且可以取分数。有时将分形集的各种维数统称为分形维或分维。分形用分形维 D 来表示。因为分形盒维数易于数学计算和试验测量,所以本文采用盒维数进行拟合计算。

设 F 是 R_n 中任一非空有界子集,记 $N(F, \delta)$ 表示最大直径为 δ 且能覆盖 F 的集合的最小数,则 F 的上、下盒维数定义为

$$\left. \begin{aligned} \overline{\dim}_B F &= \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\ln N(F, \delta)}{\ln(1/\delta)}; \\ \underline{\dim}_B F &= \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\ln N(F, \delta)}{\ln(1/\delta)} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

如果上下维相等,则 F 的盒维数定义为

$$\dim_B F = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\ln N(F, \delta)}{\ln(1/\delta)} \quad (2)$$

盒维数的计算非常有效、简单,如平面集中盒维数的计算,构造边长为 δ 的正方形,然后计算盒子与曲线的相交个数 $N(F, \delta)$,取 δ 趋向于 0 时, $\ln N(F, \delta)$ 相对于 $\ln(1/\delta)$ 的图在无标度区内直线的斜率值来估计。

本文采用 MATLAB 编程计算盒维数,方法如下:数据每一测点为 32 组,为计算方便,使数据落在网格点上,将正方形网格边长 δ 设为 2 的整数次幂。对于不同网格宽度即 δ 值,由每一个网格段的前后点 x 坐标确定前后点 y 值所在的网格号,根据网格号确定网格数,最后将所有网格段网格数相加即可得到 $N(F, \delta)$ 。计算 $\ln N(F, \delta)$ 和 $\ln(1/\delta)$ 的关系图,找出其中的直线部分并进行线性拟合,其斜率就是分形盒维数。

3 实 例

天津市某公寓住宅小区坐落在天津市红桥区。小区建筑为 4 栋 6 层住宅楼,1 栋 2 层物业楼,为砖混结构、天然基础。从每栋楼做首次基准观测开始,主体每升高 1 层,进行 1 次沉降观测,主体封顶后进行百日观测和后续观测。本文分析其中两栋公寓楼。测点布置如图 1 所示。以 1 号和 2 号楼各测点沉降曲线为研究对象,如图 2 所示。由地质勘察报告可知,在 1 号楼东南角附近有防空洞布置。基础评价为:本场地埋深约 1.00 m 以上为杂填土;埋深约 1~6 m 段为新近冲积层砂性大分为黏土、粉土,土质尚均匀;其下为埋深 1.6~5 m 段新近冲积层黏土,水平方向分却不稳定,土质均匀,压缩

性高,试验测得 1 号和 2 号公寓楼各测点累计沉降曲线如图 2 所示。两楼沉降曲线变化规律相同,但 2 号楼各测点沉降量不均匀性较 1 号楼大。

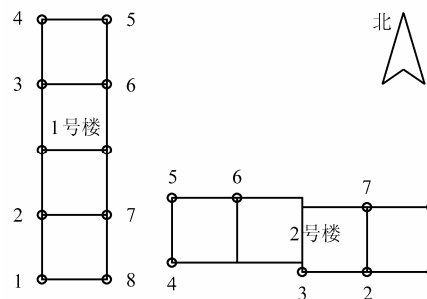
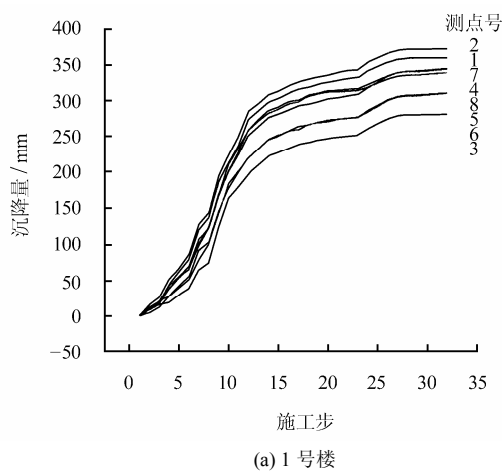
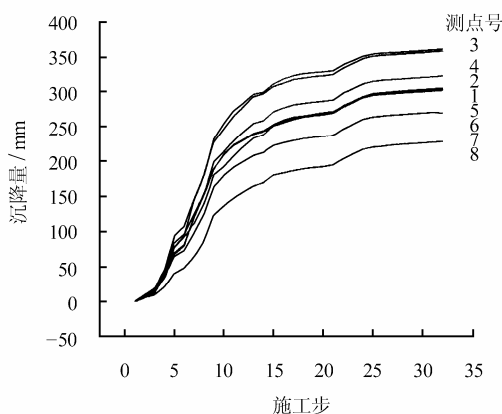


图 1 测点布置

Fig.1 Arrangements of measured positions



(a) 1 号楼



(b) 2 号楼

图 2 累计沉降曲线

Fig.2 Settlement curves

1 号和 2 号楼 $\ln N(F, \delta) - \ln(1/\delta)$ 关系曲线如图 3 所示,由图可见,各曲线都呈现线性关系,各直线斜率相差不大,且部分直线接近重合。

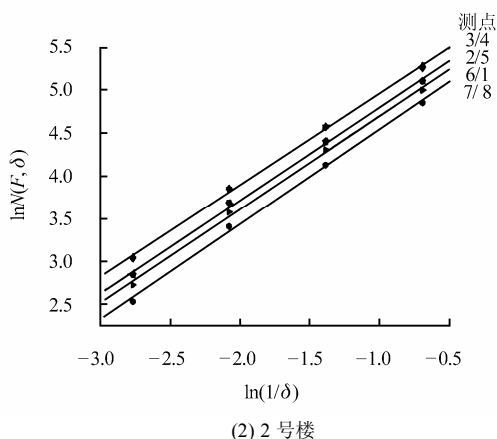
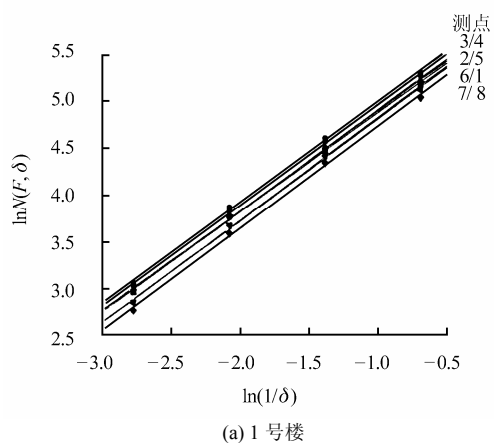


图 3 $\ln N(F, \delta)$ - $\ln(1/\delta)$ 曲线
Fig.3 $\ln N(F, \delta)$ - $\ln(1/\delta)$ curves

经计算得各测点盒维数见表 1。各测点维数分布见图 4。

表 1 各测点盒维数
Table 1 Box dimensions

测点号	盒维数		测点号	盒维数	
	1 号楼	2 号楼		1 号楼	2 号楼
1	1.076 0	1.072 7	5	1.090 5	1.075 2
2	1.075 6	1.064 4	6	1.089 2	1.078 4
3	1.083 2	1.063 6	7	1.063 8	1.081 6
4	1.092 7	1.061 0	8	1.058 2	1.102 6

4 计算结果分析

由表 1 可知，同一栋楼中所取 8 个测点盒维数大小很接近，但从盒维数随测点变化图来看（图 4），相邻测点盒维数大小与最终沉降量变化呈一定的对应关系。从图 4(a)可以看出，测点 4 维数较大，与周围测点如测点 3, 5 比较对应测点 4 最终沉降量变化较大，这是因为维数反映的是沉降曲线的复杂度，维数越大时地基沉降过程越复杂，表现出沉降的不均匀性。反之，如图 4(a)所示，测点 8 维数较小，

其最终沉降与周围测点相比变化较小，即沉降较均匀。同理，由 2 号楼（图 4(b)）可以看出同样地变化趋势。

以单个测点的维数来分析，维数大小与最终沉降量的大小从本文计算中未看出必然的联系。从图 4(a)可以看出，1 号公寓楼最终沉降量最小，但维数却相对来说并不是最小，反而偏大。另外，单个测点维数较大时，随施工步的本次沉降幅值变化较大（本文未列出单测点本次沉降曲线图），维数较小时，幅值变化较小，证明了维数反映沉降变化的复杂度。

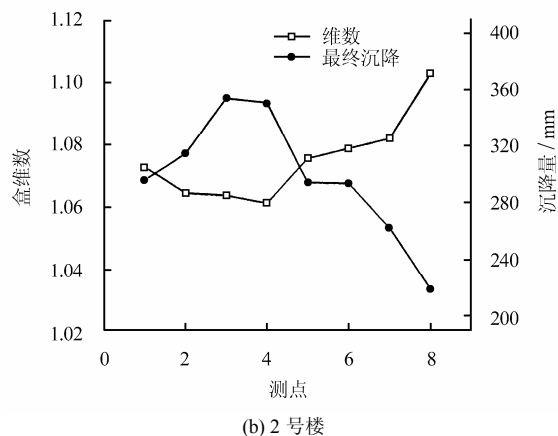
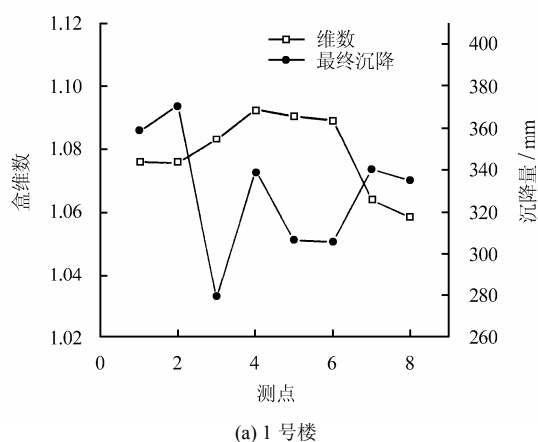


图 4 各测点盒维数与沉降比较
Fig.4 Comparison between box dimensions and settlements at various measured positions

从每栋楼房测点分布和盒维数变化分布上可以看出，1 号公寓楼测点维数变化为：从 1 号楼东南角到西北角维数逐渐变大；而 2 号公寓楼测点维数变化从 2 号楼西南角到东北角盒维数逐渐变大。这与地质勘查报告所指出的 1 号楼防空洞布置情况吻合。防空洞的存在使得此处基础条件较好，沉降较均匀和稳定。而天然地基由于地质条件比较复杂，

所以沉降比较不均匀和复杂。维数的大小和变化趋势恰好反映了这一事实。

5 结 语

通过本文的计算,可以从一个新的角度分析楼房沉降曲线。由分析可知,楼房单测点盒维数大小与此测点处最终沉降量无必然联系,但盒维数比较大的地方,最终沉降量相邻测点间表现出较大的变化。同时,单测点维数大小也可以反映本身沉降过程中各施工步本次沉降表现出的变化幅度。另外,由维数的大小变化方向趋势同防空洞的布置对应吻合,可知维数可以反映地基均匀程度、复杂程度。本工程实例规模较小,地质条件变化相对简单,如有更多数据与地质条件计算分析将更加准确。总之,从盒维数的大小可以反映出楼房地基沉降过程中的一些问题,可以反映工程地质情况,对实际工程具有一定的指导意义。

参 考 文 献

- [1] 崔晓东, 兰孝奇, 张兵良. 建筑物沉降规律的综合时序分析[J]. 现代测绘, 2004, 27(1): 36—38.
CUI Xiao-dong, LAN Xiao-qi, ZHANG Bing-liang. Comprehensive time series analyzing for building settlement rule[J]. **Modern Surveying and Mapping**, 2004, 27(1): 36—38.
- [2] 雷学文, 白世伟, 孟庆山. 灰色预测在软土地基沉降分析中的应用[J]. 岩土力学, 2000, 21(2): 145—147.
LEI Xue-wen, BAI Shi-wei, MENG Qing-shan. The application of gray forecasting to analyzing soft foundation settlements[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2000, 21(2): 145—147.
- [3] 王坚, 高井详, 郑南山. 基于小波理论的沉降监测数据序列分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2005, 25(4): 75—77.
WANG Jian, GAO Jing-xiang, ZHENG Nan-shan. Monitored subsidence time series analysis based on wavelet theory[J]. **Journal of Geodesy and Geodynamics**, 2005, 25(4): 75—77.
- [4] 辛厚文. 分形理论及其应用[M]. 北京: 中国科学技术大学出版社, 1993.
- [5] 周金枝, 徐小荷. 分形理论用于岩石损伤扩展过程的研究[J]. 岩土力学, 1997, 18(4): 36—40.
ZHOU Jin-zhi, XU Xiao-he. Fractal analysis of damage evolution process of rock[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 1997, 18(4): 36—40.
- [6] 赖道平, 吴中如, 周红. 分形学在大坝安全资料分析中的应用[J]. 水利学报, 2004, 1(1): 100—104.
LAI Dao-ping, WU Zhong-ru, ZHOU Hong. Application of fractal theory to analyze dam safety monitoring data[J]. **Journal of Hydraulic Engineering**, 2004, 1(1): 100—104.
- [7] 徐永福, 史春乐. 用土的结构确定土的水份特征曲线[J]. 岩土力学, 1997, 18(2): 40—43.
XU Yong-fu, SHI Chun-le. Calculation of soil-water characteristic curves by using fractal structure of soil[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 1997, 18(2): 40—43.
- [4] 铁二院. 铁路工程设计技术手册—隧道[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1995.
- [5] 张凤祥. 盾构隧道施工手册. [M]. 北京: 人民交通出版社, 2005
- [6] 朱维申, 李术才, 白世伟, 等. 岩体施工过程力学的进一步发展和时空效应的某些工程实例[J]. 岩石力学与工程学报. 2003, 22(10): 1 586—1 591.
ZHU Shen-wei, LI Shu-cai, Bai Shi-wei, et al. Some developments of principle for construction process mechanics and some case history studies[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2003, 22(10): 1 586—1 591.
- [7] 阳军生, 刘宝琛. 城市隧道施工引起的地表移动及变形[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.
- [8] LIU Bao-chen. Ground surface movement due to underground excavation in P.R. China[J]. **Comprehensive Rock Engineering**, 1993, (4): 780—816.
- [9] 中国铁建第四勘察设计研究院. 武汉地铁初步设计[R]. 武汉: 中国铁建第四勘察设计研究院, 2005.

上接第 1414 页