



岩体蠕变位移数据的 处理和预测

——滑坡蠕变吸引子分析

田野 徐平

(长江科学院 武汉 430010)

提 要

本文引用非线性动力学现代理论,从一种宏观观测的滑坡蠕变数据入手,探索一个蠕变吸引子的维数,确定建模时描述该吸引子动态行为所需最少变量,表明仅从一种状态变量蠕变数据测值,可推求出其它状态变量参与滑坡系统的内在规律性。

一、引 言

滑坡是人类面临的主要自然灾害之一。对滑坡蠕变观测数据的处理,一般是用数理统计进行线性或非线形回归和滤波分析,寻找变化规律,建立数学模型,以预测将来动态。本文则引用非线性动力学现代理论,探索滑坡蠕变数据的动力学分析方法。

描述滑坡复杂动力系统的状态,需要一组宏观状态变量。对于一个动力系统状态,当其经过长时间的演化而进入某种不随时间变化的状态不变集时,则该状态不变集称为状态吸引子。具有分数维的吸引子称为混沌吸引子。将滑坡的孕育和发生视为一个开放系统,它受到岩石性质、应力及水等环境因素的综合影响。本文用从时间序列数据重建动力学的方法(1,2),从一种宏观观测的滑坡蠕变数据入手,计算了一个蠕变吸引子的维数,确定了建模时描述该吸引子动态行为所需最少变量。本文的结果表明,仅从蠕变数据测值这一种状态变量,就可以推求出其它状态变量参与滑坡系统的内在规律性。

二、数据处理原理

首先从实测的滑坡位移与时间有关的蠕变数据集 $X(t)$ 中取 N 个等距离点 $X(t_1)$, $X(t_2)$, \dots , $X(t_N)$, 然后按固定的时间间隔 Δt 的整数倍逐次提高变位, 把 $X(t)$ 加以拓展, 得到下列不连续变量组:

$$\begin{aligned} X_1: & X(t_1), & X(t_2), & \dots, & X(t_N) \\ X_{1+}: & X(t_1 + \Delta t), & X(t_2 + \Delta t), & \dots, & X(t_N + \Delta t) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{n-1}: & X(t_1 + (n-1)\Delta t), & X(t_2 + (n-1)\Delta t), & \dots, & X(t_N + (n-1)\Delta t) \end{aligned} \quad (1)$$

以向量 $\vec{X}_i = \{X(t_1), \dots, X(t_1 + (n-1)\Delta t)\}$ 为坐标, 代表相空间中任一点, 计算相空间中离开点 \vec{X}_i 在给定距离 r 以内的数据点:

$$C(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^N \theta(r - |\vec{X}_i - \vec{X}_j|) \quad (2)$$

式中 θ 是以英国数学家海维赛德 (O. Heaviside) 名字命名的函数, 其定义为:

$$\theta(X) = \begin{cases} 0, & \text{当 } X \leq 0 \\ 1, & \text{当 } X > 0 \end{cases}$$

$|\vec{X}_i - \vec{X}_j|$ 表示选自蠕变数据的 N 个点中任意两点之距离, 非零的 $C(r)$ 表示数据向量点 \vec{X}_i 的存在影响其它点分布的程度。因此, $C(r)$ 可看作吸引子的积分关联函数。

可以证明, 对于较小的 r 值, $C(r) = r^{d_n}$ 。所以, 若在一定范围内取大小不同的 r 值, 则 $\log C(r)$ 与 $\log r$ 二者之间应呈直线关系; 由该直线的斜率即可得到吸引集的维数 d_n :

$$d_n = \frac{\log C(r)}{\log r} \quad (3)$$

取不同的 n 值进行计算, 所形成的 $\log C(r)$ 与 $\log r$ 关系图将具有不同的斜率, 由此可以考查 d_n 与 n 的关系, 当 n 超过某一比较小的值后, d_n 就达到极限值 d , 即为吸引子的维数, 它一般不是整数; 当 d 刚刚达到极限值时的 n 的临界值, 即为描述该吸引子所表示的动态特征的最少变量数。

三、计算实例及讨论

在新滩滑坡于1985年6月12日发生大滑动之后, 1987年1月在新滑坡体前沿112m高程处的12号钻孔(深度为48.34m)埋设了钻孔倾斜仪, 开始测量顺坡向位移; 在地表1m处测量的位移与时间系统曲线如图1⁽³⁾。江水水位65m高程, 8m左右的年水

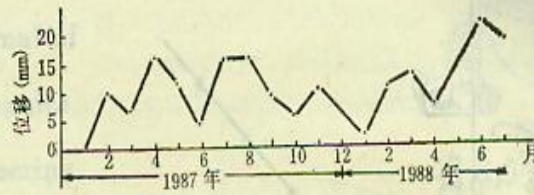
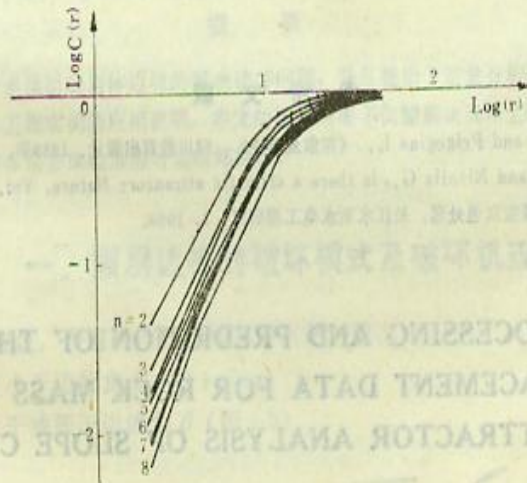


图1 在地表1m处测量的位移与时间系统曲线

Fig.1 Displacement vs. time curve measured at 1m depth below the surface

位涨落变化引起水压荷载变化。从观测的蠕变曲线可以看出, 由于环境因素对观测数据的综合影响, 观测得到的蠕变序列数据呈离乱的貌似无规的现象, 用一般的方法为这样的现象建立数学模型是困难的。但若用非线性动力学理论解释, 则滑坡蠕变的无规性来自系统内在的随机性, 是确定性作用的结果。

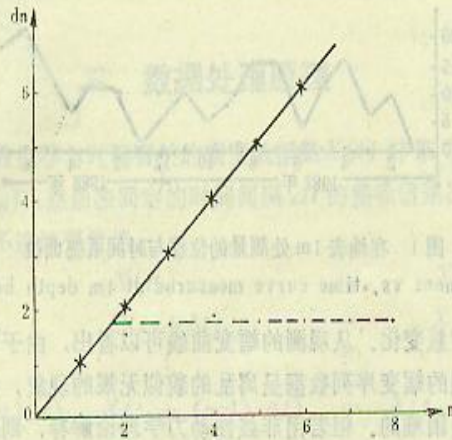
按前述数据处理方法, 我们特编制了计算关联函数 $C(r)$ 及绘制 $\log C(r) - \log r$ 关系曲线图的计算机程序。对图1的蠕变数据进行拓展处理, 计算关联函数 $C(r)$ 时选用的观测数据个数为 $N=170$, $\Delta t=3$ 天。当相空间维数从 $n=2$ 变化到8时, 吸引子关联函数 $C(r)$ 与 r 的对数关系如图2。图中存在一个广阔的线性区, 在该区内, $\log C(r)$

图2 吸引子关联函数 $C(r)$ 与 r 的对数关系图Fig.2 Logarithmic relationship between $C(r)$ and r

与 $\log r$ 的关系是线性的。根据线性段之斜率, 按(3)式即可推求吸引集的维数; 然后考察 d_n 随 n 的增加是否趋于极限, 即可确定吸引子及其维数, 如图3。

由 d_n 与 n 关系图可知, 当 $n=3$ 时斜率已达到极限值, 此时 $d=1.7$, 这说明滑坡的演化集已处于一个维数约为1.7的混沌吸引子上。作为对比, 如果把所讨论的信号视为理想白噪声, 则 d_n 与 n 的变化(在图3中以 \times 号表示) 不存在有限值的趋势, 在这种情况下 $d_n=n$, 它没有吸引子。

岩体蠕变位移数据处理的任务, 是寻找变化规律, 获得有关信息, 建立数学模型, 预测将来动态。怎样分析, 各有巧妙。用观测位移蠕变数据重建动力学的方法, 首先计

图3 d_n 与 n 的关系图Fig.3 d_n as a function of n

算吸引子维数, 然后确定建模时应该计入的状态变量(时间序列)的最少数 h , 最后用 h 个状态变量建立非线性数学模型, 其方法将在另文专门讨论. 经过新滩滑坡实例计算, 得到吸引子维数为 1.7, 表明蠕变呈现混沌状态, 建立数学模型时至少得用 2 个状态变量.

参 考 文 献

- (1) Nicolis G. and Prigogine I., 《探索复杂性》, 四川教育出版社, 1988年.
- (2) Nicolis C. and Nicolis G., Is there a climatic attractor? Nature, Vol. 311, No. 11, 1984.
- (3) 田野, 滑坡蠕变灰色处理, 长江水利水电工程研究, 2, 1989.

PROCESSING AND PREDICTION OF THE DISPLACEMENT DATA FOR ROCK MASS CREEP —ATTRACTOR ANALYSIS OF SLOPE CREEP

Tian Ye Xu Ping

(Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhon, 430010)

Abstract

In this paper, the dimension of attractor of slope creep is sought from the macroscopic surveying data of slope creep according to the modern theory of non-linear dynamics. The minimum number of state variables necessary for describing the attractor dynamic behavior in modeling is defined. The result indicates that the inherent regularity of other state variables influencing the slope system can be deduced from only one state variable of surveying data of creep.