

文章编号:1003-1995(2007)08-0077-03

本溪市某小区岩土参数随机场模型研究

魏小文^{1,2}, 纪洪广¹, 李文¹

(1. 北京科技大学 土木与环境工程学院 金属矿山高效开采与安全教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 河北工程大学, 河北 邯郸 056038)

摘要:通过钻孔取样和静力触探试验得到第一手资料,对土体性质的空间分布的平稳性和各态历经性进行检验,并用不同方法求得岩土参数的相关距离,从而可建立岩土参数随机场模型。模型的建立完成了岩土参数由“点特性”到“空间平均特性”的过渡,大大减少了工程地质勘探工作量,节约了成本,提高了效益。

关键词:平稳性 各态历经性 相关函数法 相关距离 临界距离

中图分类号:TU192 **文献标识码:**A

0 引言

由于在生成过程中,不同深度处土的矿物成份、环境条件及应力历史等方面的差异,所形成的土层的性质无疑会随着空间或时间产生波动,因此土的性质在点与点之间具有相当的变异性,即使对表面看来非常均匀的土层也是如此。由于不可能对土体中每一点的土体特性进行量测,除量测点和试验点外,其它地方的土体特性只能认为是不确定的,这样使确定整个土体的特性变得非常困难。但是土体既然是自然的产物,同一土体在形成过程中不可能毫无相关,只是这种关联即相关性随两点距离的增大而逐渐减弱。考虑这种相关性,利用相关理论可建立岩土参数随机场模型。

模型建立后,就可很方便地由岩土“点特性”得到岩土体的“空间平均特性”,从而对整体结构进行分析,因而可大大减少工程地质勘探工作量,提高了工作效率。

1 平稳性与各态历经性的检验

1.1 检验的必要性

首先,土性剖面随机场模型理论系统的基础,是用一维实的齐次正态随机场(即高斯平稳齐次随机过程)去模拟土性剖面,这就要求用该理论分析的数据在数学意义上符合平稳随机场的要求,即具有平稳性。其次,土体是无限个点的集合,而试验数据只是个别点的量测值,如果要用一个钻孔中试验点的分析结果来反映周围土体的性质,那么这组数据应具有普遍的代表性,能充分地代表整个土体的特性,这就要求该数据具有各态历经性。由此可见,土体性质的空间分布是否具有平稳性和各态历经性,是能否应用齐次正态随机场理论的关键所在。所以在使用随机场理论分析问题

收稿日期:2006-12-24;修回日期:2007-05-16

作者简介:魏小文(1963—),男,湖北天门人,博士研究生。

3)在降雨补给和库水位下降作用下,滑坡的稳定性一直减小。暴雨入渗将抬高地下水位,增大渗透压力,通过对某滑坡的渗流数值模拟,在降雨强度 100 mm/d 时,库水位下降的临界降速为 2 m/d。在工程中,应对此加以重视。

参 考 文 献

- [1] 崔政权, 李宁. 边坡工程——理论与实践最新发展[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [2] 郑颖人, 时卫民, 孔卫学. 库水位下降时渗透力及地下水浸润线的计算[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(18): 3 203-

3 210.

- [3] 陈崇希, 林敏. 地下水动力学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998.
- [4] 朱冬林, 任光明, 聂德新, 等. 库水位变化对水库滑坡稳定性影响的预测[J]. 水文地质工程地质, 2002, (3): 6-9.
- [5] 刘新喜, 夏元友, 张显书, 等. 库水位下降对滑坡稳定性的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(8): 1 440-1 444.
- [6] 卡明斯基(苏)著. 北京地质学院水文地质教研室译. 地下水动力学原理[M]. 北京: 地质出版社, 1955.

(责任编辑 白敏华)

之前,首先要检验数据的平稳性和各态历经性。

1.2 检验项目及方法

1.2.1 平稳性的检验

在任一深度 z_j 上随机变量 $Y(z)$ 的集平均为:

$$\mu_Y(z_j) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i(z_j) = E[Y(z_j)]$$

$$(j = 1, 2, \dots, M) \quad (1)$$

$Y(z_j)$ 与 $Y(z_j + \Delta z)$ 的相关函数为:

$$R_Y(z_j, z_j + \Delta z) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i(z_j) y_i(z_j + \Delta z) =$$

$$E[Y(z_j) Y(z_j + \Delta z)]$$

$$(j = 1, 2, \dots, M) \quad (2)$$

式中的 N 代表静力触探孔的个数, M 代表每个孔中测量值的个数。

根据平稳性的定义,要求对于一个固定的 Δz 值,均值 $\mu_Y(z_j)$ 和相关函数 $R_Y(z_j, z_j + \Delta z)$ 在概念意义上不随 z_j 的不同而变化。

1.2.2 各态历经性的检验

任一样本函数 $y_i(z)$ 的深度平均值为:

$$\langle y_i(z) \rangle = \lim_{M \rightarrow \infty} \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M y_i(z_j) = E[y_i(z)]$$

$$(i = 1, 2, \dots, N) \quad (3)$$

对于固定的 Δz , 样本函数 $y_i(z)$ 的深度相关函数为:

$$\langle y_i(z) y_i(z + \Delta z) \rangle = \lim_{M \rightarrow \infty} \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M y_i(z_j) y_i(z_j + \Delta z) =$$

$$E[y_i(z) y_i(z + \Delta z)]$$

$$(i = 1, 2, \dots, N) \quad (4)$$

在平稳性的检验,已经求出了该随机场的均值 $\mu_Y(z)$ 和相关函数 $R_Y(z, z + \Delta z)$, 根据各态历经性的定义,如果对所有样本函数的深度平均值 $\langle y(z) \rangle$ 和深度相关函数 $\langle y(z) y(z + \Delta z) \rangle$ 有:

$$\langle y(z) \rangle \stackrel{a.c}{=} \mu_Y(z) \text{ 和 } \langle y(z) y(z + \Delta z) \rangle \stackrel{a.c}{=} R_Y(z, z + \Delta z)$$

则该随机场是各态历经的。据此编制检验步骤如下:

①取 $i = 1$, 利用公式(3)和(4)分别求出第一个样本函数的深度平均值 $\langle y_1(z) \rangle$ 和深度相关函数 $\langle y_1(z) y_1(z + \Delta z) \rangle$; ②分别将 $\langle y_1(z) \rangle$ 和 $\mu_Y(z)$ 、 $\langle y_1(z) y_1(z + \Delta z) \rangle$ 和 $R_Y(z, z + \Delta z)$ 进行比较,看它们是否分别依概率 1 相等,是则说明该样本函数的数据具有各态历经性,反之则说明其不具有各态历经性; ③取 $i = 1, 2, 3, \dots, N$, 重复上述步骤即可检验整个随机场的各态历经性。

2 对本溪市某小区取样数据的检验结果

2.1 平稳性的检验结果

本文使用的是本溪市某小区中的土层静力触探试验中锥尖阻力和侧摩阻力的测量结果。为满足齐次随机场的要求,首先对原始数据进行处理,将处理好的数据按前述步骤作出 $\mu_Y(h) - h$ 和 $R_Y(h, h + \tau) - h$ 图,然后检验 $\mu_Y(h)$ 和 $R_Y(h, h + \tau)$ 图是否沿深度 h 变化。如果不沿深度变化,则表示平稳,否则表示不平稳。分析结果见图 1、图 2。

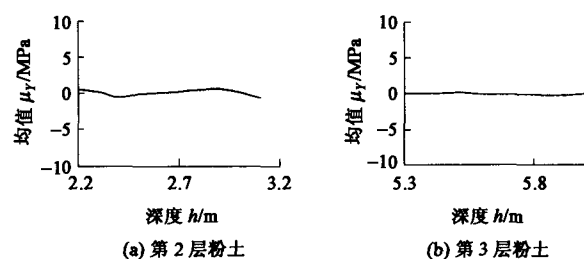


图 1 第 2 层、第 3 层粉土均值随深度的变化情况

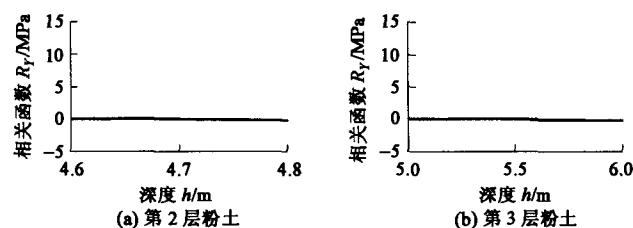


图 2 第 2 层、第 3 层粉土相关函数随深度的变化情况

图 1、图 2 中的纵坐标为被检验的土性参数数值,横坐标为取样深度。可以看出,被检验的土性指标 $\mu_Y(z_j)$ 和 $R_Y(z_j, z_j + \Delta z)$ 基本都在一条与 X 轴平行的直线上轻微摆动,说明它们在概率意义上不随深度 h 变化。所以可以认为被检验的各项土性指标构成的土性剖面随机场是平稳的。

2.2 各态历经性的检验结果

通过对各个钻孔的平均值和相关函数的计算,所得结果用图表示(因篇幅所限,部分用图表示)如图 3、图 4 所示。图中纵坐标 $\langle X_i(h) \rangle$ 为深度平均值, $\langle X_i(h_1) X_i(h_2) \rangle$ 为深度相关函数值,单位均为 MPa,横坐标为钻孔的相对位置坐标,单位为 m。

从图 1 ~ 图 4 可以看出,各土层的 $\mu_Y(h) - h$ 曲线、 $R_Y(h, h + \tau) - h$ 曲线以及均值和相关函数的各态历经性的检验曲线比较平稳,尤其是均值的各态历经性检验曲线,由于对原始数据进行了标准化处理,曲线

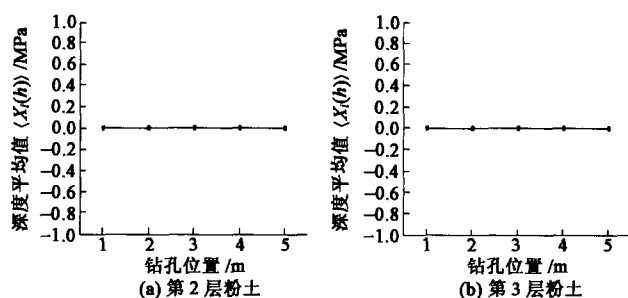


图3 第2层、第3层粉土均值各态历经性的检验

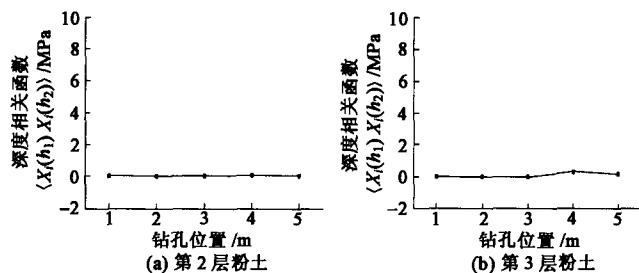


图4 第2层、第3层粉土相关函数各态历经性的检验

十分平稳。经比较证明,被检验随机场的各样本函数的深度平均值都依概率1等于随机场均值,各样本函数的深度相关函数都依概率1等于该随机场的相关函数,可以认为被检验的各项土性指标构成的土性剖面随机场都具有各态历经性。但是,有些曲线有一些波动,这是由于在本文所研究的小区中静力触探钻孔太少的缘故(共5个钻孔),这时曲线虽有一些波动,但基本上是在与坐标轴平行的一条直线上下做轻微的摆动。这说明,本文所研究的岩土参数随机场可看作是平稳的和各态历经的,即岩土参数随机场具有平稳性和各态历经性的特征。

3 相关距离(变程)的确定

岩土参数既具有随机性又具有结构性,结构性是指处于空间不同位置的点的岩土参数的相关性(或变异性)。对于空间中任意两点,它们之间的距离越近,其相关性越大,距离越远,其相关性越小。于是,存在一个临界距离,使处于这个距离内的两点的相关性不为零,而使处于这个距离上以及以外两点的相关性为零,即不相关,称这个临界距离为相关距离 δ (或变程 a)。因此可以说,相关距离(或变程)是对空间范围内相关程度的度量。相关距离(或变程)的确定,在对岩土参数随机场的研究中,是十分重要的一个环节。求解相关距离(或变程)的方法很多,主要有空间递推平均法、相关函数法、变异函数法、试算拟合法、曲线拟合法等。由于相关函数法具有很多优点,运用相关函数法对其原始数据进行了分析见表1。

表1 各物理指标(相关函数法)的相关距离的比较 m

采用参数类别	第2层	第3层	第4层	第5层	第6层
标准贯入击数	64.39		89.28	74.31	48.40
天然含水量	47.60	57.38	90.29	68.38	52.04
天然重度	44.05	40.85	80.52	40.44	51.83
相对密度	65.72	72.51	72.73	47.51	71.53
液限	65.56	67.20	74.51	47.67	75.03
塑限	79.69	65.03	55.56	80.78	69.58
压缩系数	67.76	69.98	87.58	80.95	81.24
压缩模量	57.34	52.40	84.14	81.68	59.09

为了验证某一特定土层的不同岩土参数是否具有相同的相关性(相关距离值),本文特地对平面上八种常见的岩土参数的同一土层的相关距离值进行了计算和比较(见表1)。通过对不同岩土参数的特定土层相关距离的比较发现,对于同一土层,不同参数求得的相关距离值基本相近,每个土层不同参数的相关距离大都控制在该层相关距离平均值的10%以内。这样就可认为,对某一特定土层,不同岩土参数具有相同的变异性,即具有相同的相关距离值,该结论与权威文献提出的论点一致。结论表明,在今后对岩土参数随机场的研究中,不必对所有参数都进行相关性的分析,可以用具有丰富采样点的参数作为研究代表对象,而采样点较少的岩土参数的相关距离可以直接引用具有丰富数据的参数的对应值即可。

4 结论

1)岩土参数可看作随机场,通过对本溪市某小区静力触探试验的比贯入阻力数据的分析,得出土体所构成的随机场具有平稳性和各态历经性的结论,即岩土参数随机场是齐次平稳随机场。

2)相关距离是对空间范围内岩土参数相关程度的度量,在相关距离之内土性相关,在相关距离之外土性可视为不相关。总之,相关距离的确定是研究岩土参数随机场理论的一个重要环节。

3)岩土参数随机场理论可应用于对空间一点未知参数的估计。

参考文献

- [1]程强,罗书学,高新强.相关函数法计算相关距离的分析探讨[J].岩土力学,2000,21(3):281-283.
- [2]阎润汪,贾小黎,郭怀志.土性剖面随机场模型的平稳性和各态历经性验证[J].岩土工程学报,1995,17(3):1-9.
- [3]傅旭东.静力触探参数相关范围的估算[J].岩土力学,1999,20(4):76-80.