

[文章编号] 1003-4684(2019)05-0092-04

三峡库区粉质黏土抗剪强度参数概率分析

邹先进, 夏承志, 刘珉玮, 朱 蕾

(湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068)

[摘 要] 岩土体材料形成条件特殊,与地域因素联系紧密,其力学性质一般具有很明显的地域性,而抗剪强度指标是岩土工程设计中的重要力学参数。通过概率统计的方法对三峡库区 58 组粉质黏土抗剪强度参数进行概率统计分析,利用 χ^2 检验法进行拟合检验,得到土体抗剪强度参数 c 、 φ 的概率分布形式,分析表明:抗剪强度参数 c 、 φ 值分别服从对数正态分布和正态分布特征,可为三峡库区滑坡的地质灾害治理防治工作提供参考。

[关键词] 粉质黏土; 抗剪强度参数; 概率统计; 对数正态分布; 正态分布

[中图分类号] TU452

[文献标识码] A

地质岩体材料作为研究对象,其形成条件和依存环境的差别,导致其力学性质复杂。而不同区域同类型的岩土体的力学性质也具有较大差别^[1],就抗剪强度指标而言,各区域常呈现出随机性和离散性。在现行滑坡稳定性分析或可靠性研究中,采取的计算思想是以确定的岩土力学参数对不确定的对象进行分析,显然其结果是存在一定误差的。岩土体力学参数的取值是否合理可以说是岩土工程设计的基石,因而对岩土工程设计参数进行概率分布类型分析以确保设计计算的精度具有极其重要的意义。

自岩土工程研究中引入概率统计与可靠度的概念以来,不少学者对土体抗剪强度参数 c 、 φ 值进行了大量的概率分布类型研究,陈立宏等^[2]对国内多个水利工程大坝坝体填筑料抗剪强度参数进行概率统计分析,发现土体粘聚力及内摩擦角可同时接受正态分布和对数正态分布。李红英等^[3]以雅砻江地区滑坡体岩土参数为研究对象,认为粘聚力、内摩擦角及重度服从正态分布。张红琼^[4]对重庆地区滑坡滑带土进行研究,认为 c 、 φ 值分别服从正态分布和对数正态分布。程圣国等^[5]通过对三峡库区滑带土进行研究,认为其抗剪强度具有区域特性,可以以不同分区进行不同统计。谭忠盛等^[6]对不同围压下的粘聚力 c 和内摩擦系数 $\tan \varphi$ 进行概率分析,认为其均可接受正态分布。杨少帅等^[7]认为乐山浅丘区的

粉质黏土的物理和力学参数的最优分布多为正态分布和对数正态分布。以上研究者分析表明,岩土力学指标具有一定的概率分布特征。鉴于以上研究,笔者对三峡库地区粉质黏土的抗剪强度参数进行概率分析,建立概率密度函数,能够对三峡库区的地质灾害的防治特别是滑坡稳定性预测预报提供一定的参考作用。

1 概率分布类型及拟合检验方法

1.1 概率分布类型

实际生活中随处可见服从正态分布或者对数正态分布的例子,如测量误差、人体身高、降雨期的温湿度、降雨量,城市雨水排放量等。在统计学应用中,正态分布与对数正态分布也是理论研究的重要组成部分。一个随机事件或称为随机变量,如果受到互相独立且为数众多的因素影响,又这些因素对其产生影响量值小且基本相同,就可以认为该随机变量服从正态分布或对数正态^[8-11]。

假设 X 为连续型随机变量且其概率密度函数可表示为:

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] - \infty < x < \infty (1)$$

其中: μ 为均值, σ 为标准差,则称随机变量 X 服从正态分布,记为 $N(\mu, \sigma)$ 。

假设 X 为连续型随机变量且其概率密度函数

[收稿日期] 2019-06-12

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目(41372363); 国家重点主任基金(41641027); 三峡后续工作地质灾害防治项目(0001212015CC60005)

[第一作者] 邹先进(1995-),男,湖北阳新人,湖北工业大学硕士研究生,研究方向为岩土力学

可表示为:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}(\zeta_x)} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \lambda}{\zeta}\right)^2\right] x \geqslant 0 \quad (2)$$

其中: $\lambda = E(\ln X)$ 和 $\zeta = \sqrt{Var(\ln X)}$ 为分布参数, 分别对应 $\ln X$ 的均值和标准差, 称随机变量 X 服从对数正态分布, 记为 $N(\lambda, \zeta)$ 。

1.2 拟合检验方法

多数情况下, 概率分布模型是以已有数据为基础, 通过经验方法确定。而描述某个随机现象的概率分布模型的选取是否合理通常是未知, 也即是说概率分布的函数形式是未知的。此时需采用一定的方法和步骤, 对某些未知的假设做出合理的判断, 即是拟合检验的思想。常用的拟合优度检验方法有: χ^2 检验、Kolmogorov-Smirnov(或 K-S)检验和 Anderson-Darling(或 A-D)检验, 本文采用适用于大样本数据的 χ^2 检验法进行检验。

对岩土工程数据进行分析时, 受现场条件和资金以及时间的制约, 想要取得整个数据总体几乎是不可能的, 因而只能通过假设随机变量总体服从某一分布规律 H_0 , 然后以总体子集的概率分布类型为基础来推测总体的分布类型, 即: 将样本总体划分成 K 个互相交集为空集的子集, 记为事件 A_i 其中: $i = 1, \cdots, k$, 然后由假设 H_0 可算得事件 A_i 的概率, 以所得概率为检验的统计值。

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{f_i^2}{np_i} - n$$

式中: f_i 为试验频率, p_i 为估计概率, n 为样本个数。若为大样本数据(即 n 大于 50)时, 统计值保持总是服从 $\chi^2(k - r - 1)$ 分布, r 表示被估计的参数个数。在假设 H_0 下, 给定一个显著水平 α , 若有 $\chi^2 < \chi^2(k - r - 1)$, 则认定在某一显著性水平 α 下接受假设 H_0 , 反之拒绝。

2 三峡库区粉质黏土抗剪强度参数概率统计分析

2.1 三峡库区粉质黏土抗剪强度参数统计

三峡水利工程自兴建以来, 对水利发电及长江流域的防洪治理做出了巨大贡献, 但不可避免地会带来一些地质环境问题, 其中以滑坡为主要表现形式。表 1 统计数据为三峡库区部分滑坡地质调研的各阶段成果。取 58 组粉质粘土实验数据, 对抗剪强度参数 c 、 φ 值进行概率统计分析。

表 1 三峡库区粉质粘土抗剪强度参数统计表

抗剪强度参数	统计范围	统计个数	分布区间个数
c /kPa	4~50	58	12
φ /(°)	5.3~26.9	58	11

2.2 抗剪强度参数 c 值的概率统计分析及拟合检验

1) 绘制频率直方图及概率密度曲线。将 58 个数据以区间长度为 4 分为 12 个子区间, 以区间值为横坐标和区间值对应的频数为纵坐标绘制出直方图(图 1)。

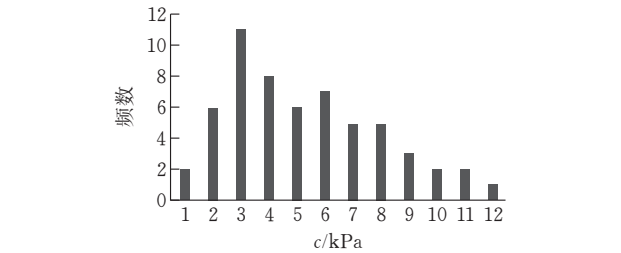


图 1 抗剪强度参数 c 的频率分布直方图

由频率分布直方图可以看出, c 值大致呈现对数正态分布趋势, 根据公式(2), 计算出对数正态分布密度函数为

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0.53x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - 3}{0.53}\right)^2\right] x \geqslant 0$$

绘制对数正态分布密度曲线(图 2)。

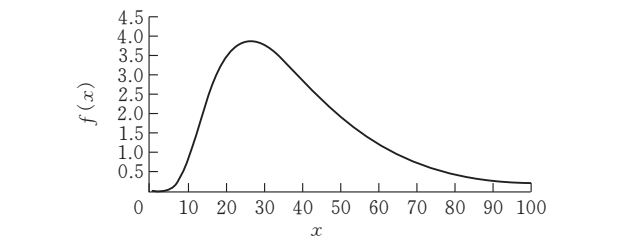


图 2 对数正态分布密度曲线

2) 假设检验: 概率统计分析中, 若样本容量足够大, 可用频率近似代替概率, 假设粉质粘土 c 值大致服从对数正态分布, 即 H_0 。大致服从对数正态分布, 对 c 值进行 χ^2 检验, 检验结果如表 2 所示。

表 2 三峡库区粉质粘土抗剪强度参数 c 概率分布 χ^2 检验数据表

区间号	抗剪强度参数 c	试验频数 f_i	试验频率 f_i/n	估计概率 p_i	np_i	$\frac{f_i^2}{np_i}$
1	4~8	0	0.000000	0.0004	0.0232	0.0000
2	8~12	1	0.017241	0.0018	0.1044	9.5785
3	12~16	0	0.000000	0.0068	0.3944	0.0000
4	16~20	1	0.017241	0.0203	1.1774	0.8493
5	20~24	3	0.051724	0.0484	2.8072	3.2060
6	24~28	5	0.086207	0.0958	5.5564	4.4993
7	28~32	9	0.155172	0.1456	8.4448	9.5917
8	32~36	9	0.155172	0.1808	10.4864	7.7243
9	36~40	8	0.137931	0.1808	10.4864	6.1031
10	40~44	11	0.189655	0.1456	8.4448	14.3283
11	44~48	8	0.137931	0.0958	5.5564	11.5182
12	48~52	3	0.051724	0.0484	2.8072	3.2060

于是有 $\chi^2 = 12.605$ 因为 $\chi^2_{0.1}(k - r - 1) =$

$\chi^2_{0.1}(9)=14.684>\chi^2=12.605$ 故可以表明在显著水平 0.1 下接受 H_0 , 即是参数 c 接受对数正态分布。

2.3 抗剪强度参数 φ 值的概率统计分析及拟合检验

1) 绘制频率直方图及概率密度曲线。将 58 个数据以区间长度为 2 分为 11 个子区间, 以区间值为横坐标和区间值对应的频数为纵坐标绘制出直方图如图 3 所示。

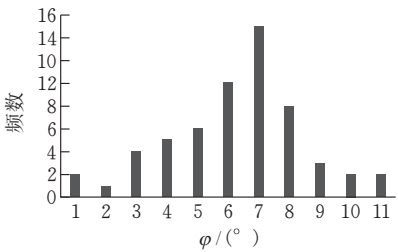


图 3 抗剪强度参数 φ 的频率分布直方图

由频率分布直方图可以看出, φ 值大致呈现正态分布趋势, 根据式(1), 计算出正态分布密度函数为

$$f_X(x) = \frac{1}{4.33 \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - 16.66}{4.33} \right)^2 \right] - \infty < x < \infty$$

绘制正态分布密度曲线如图 4 所示。

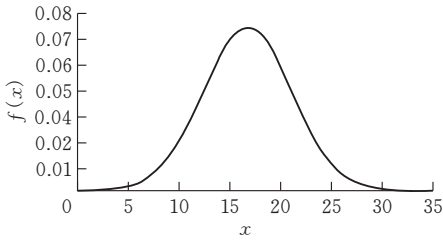


图 4 正态分布密度曲线

2) 假设检验: 假设粉质粘土 φ 值大致服从正态分布, 即 H_0 。大致服从正态分布, 对 c 值进行 χ^2 检验, 检验结果如表 3 所示。

表 3 三峡库区粉质粘土抗剪强度参数 φ 概率分布 χ^2 检验数据表

区间号	抗剪强度参数 φ	试验频数 f_i	试验频率 f_i/n	估计概率 p_i	np_i	$\frac{f_i^2}{np_i}$
1	5~7	2	0.034483	0.0093	0.5394	7.4156
2	7~9	1	0.017241	0.0255	1.4790	0.6761
3	9~11	4	0.068966	0.0567	3.2886	4.8653
4	11~13	5	0.086207	0.1026	5.9508	4.2011
5	13~15	6	0.103448	0.1543	8.9494	4.0226
6	15~17	10	0.172414	0.1799	10.4342	9.5839
7	17~19	15	0.258621	0.1735	10.0630	22.3591
8	19~21	8	0.137931	0.1359	7.8822	8.1196
9	21~23	3	0.051724	0.1865	10.8170	0.8320
10	23~25	2	0.034483	0.0454	2.6332	1.5191
11	25~27	2	0.034483	0.0184	1.0672	3.7481

于是有 $\chi^2=9.34$ 因为 $\chi^2_{0.1}(k-r-1)=\chi^2_{0.1}(8)$

$=13.362>\chi^2=9.342$, 故可以表明在显著水平 0.1 下接受 H_0 , 即是参数 φ 接受正态分布。

3 结论

1) 以概率统计分析为理论基础, 将三峡库区粉质粘土的抗剪强度参数作为概率统计的对象, 采用适用于大样本数据的 χ^2 检验法进行拟合优度检验, 表明三峡库区的抗剪强度参数 c 服从对数正态分布, 而 φ 服从正态分布。

2) 土体性质复杂, 但在相同地区的土体性质存在着类似之处, 因而在参数统计过程中应以区域性统计为前提, 否则参数统计将无实际意义。

3) 三峡库区滑坡稳定性研究中, 可以以所分析粉质黏土抗剪强度参数概率分布类型为参考, 选择合理的参数及稳定性计算方法, 提高计算精度, 从而达到优化设计的目的。

[参 考 文 献]

[1] 苏永华,何满潮,孙晓明.大子样岩土随机参数统计方法[J].岩土工程学报,2001(1):117-119.

[2] 陈立宏,陈祖煜,刘金梅.土体抗剪强度指标的概率分布类型研究[J].岩土力学,2005,26(1):38-40.

[3] 李红英,谭跃虎,赵辉.某滑坡体岩土参数概率分布统计分析方法研究[J].地下空间与工程学报,2012,8(3):659-665.

[4] 张红琼.重庆地区滑带土抗剪强度参数概率统计分析[J].灾害与防治工程,2007(1):62-67.

[5] 程圣国,方坤河,罗先启,等.三峡库区新生型滑坡滑带土抗剪强度确定概率方法[J].岩石力学与工程学报,2007(4):840-845.

[6] 谭忠盛,高波,关宝树.隧道围压抗剪强度指标 $c \tan \varphi$ 的概率特征[J].岩土工程学报,1999(6):760-762.

[7] 杨少帅,冯文凯,谢春庆,等.乐山浅切丘陵区粉质黏土物理力学参数概率分布特征[J].科学技术与工程,2016,16(32):1-7.

[8] 盛骤,谢式千.概率论与数理统计[M].北京:高等教育出版社,1989.

[9] 庄楚强,何春雄.应用数理统计基础[M].广州:华南理工大学出版社,2005.

[10] 吴亚凤.概率论与数理统计[M].上海:上海交通大学出版社,2016.

[11] 洪华生,邓汉忠.工程中的概率概念——在土木与环境工程中的应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2017.

Probability Analysis of Shear Strength Parameters of Silty Clay in Three Gorges Reservoir Area

ZOU Xianjin,XIA Chengzhi,LIU Minwei,ZHU Lei

(School of Civil Engin.,Architecture and Environment,Hubei Univ.of Tech.,Wuhan 430068,China)

Abstract: The formation of geotechnical materials requires special conditions and is closely related regional features. The mechanical properties of geotechnical materials are generally of obvious regional characteristics. The shear strength index is an important mechanical parameter in geotechnical engineering design. The probability statistical analysis of 58 groups of silty clay shear strength parameters in the Three Gorges Reservoir Area is carried out by using probability statistical method. The fitting test is carried out by using the χ^2 test method, and the shear strength c and φ of soil is obtained. The probability distribution form of degree parameter shows that the shear strength parameters c and φ values follow lognormal distribution and normal distribution respectively. It can provide reference for the prevention and control of landslides in the Three Gorges Reservoir area.

Keywords: silty clay; shear strength parameters; probability statistics; lognormal distribution; normal distribution

[责任编辑:裴 琴]

(上接第 91 页)

Study on Failure Mechanism of Landslide under Water Storage

XIA Chengzhi,LIU Minwei,ZOU Xianjin

(School of Civil Engin., Architecture and Environment,Hubei Univ. of Tech.,Wuhan 430068,China)

Abstract: When the three Gorges Reservoir is in the early stage of normal impoundment operation, the reservoir water level will fluctuate between 145 - 175 m. Under the drastic change caused by the rise and fall of the reservoir water level, it will exert a series of adverse effects and benefits on the landslide. It will further affect the stability of landslide in reservoir area and induce landslide deformation. In this paper, the infiltration line distribution of Kaziwan landslide is determined, and the stability coefficients under rainfall and different water level are calculated respectively. The results show that with the increase of reservoir water level, the distribution of infiltration line of landslide body also increases, and that the distribution of infiltration line at the back edge of landslide body under rainfall condition will be affected to a certain extent. The overall stability of landslide decreases with the increase of reservoir water level, and the stability coefficient of landslide decreases relatively under the condition of combined rainfall.

Keywords: landslide; reservoir water level rise and fall; rainfall; seepage; groundwater level; stability

[责任编辑:裴 琴]