

基土的冻深与冻胀预报

程地会

崔云安

孔繁亮

(哈尔滨大学 哈尔滨 150020) (哈尔滨理工大学 哈尔滨 150080)

摘要 根据基土的冻深与冻胀的原始统计资料,应用一元回归与逐步回归分别建立天然条件下基土冻深与冻胀的数学模型,对基土的冻深与冻胀作出预报。与现有计算公式相比,本文模型预测精度高,计算简单易懂。

关键词 基土 冻深 冻胀 数学模型 土力学

本世纪20年代起,有关土的冻胀问题便一直是各国冻土研究的前沿课题之一。土的冻胀,给季节冻土区的水利工程、桥梁、房屋、道路、管线、铁路、机场等各类工程建筑物造成不同程度的危害。为了消除冻害,需要了解工程地点的标准冻深(简称冻深)与基土冻胀量,而这些资料往往难以掌握。文献[1]中虽然有冻深与冻胀量的计算公式,但根据这些公式计算出的预测值误差较大,计算过程繁琐。本文根据黑龙江省天然条件下粘质土的冻深与冻胀量的实测数据,用一元回归分析的方法建立了标准冻深与冻结指数的关系式,并用逐步回归的方法筛选出主要因子,建立了冻胀量的数学模型。利用所建立的模型对几个地区的冻深与冻胀量作了预报,与实测值相比,预报值精度更高,证实了模型的实用价值。

1 数学模型

1.1 冻深的数学模型

由经验可知,季节冻土区的标准冻深与当地的冻结指数(日平均负气温连续累积值的最大绝对值,这里指多年平均冻结指数)密切相关,为了定量地表示它们之间的关系,根据黑龙江省冻深统计资料中的30组数据建立数学模型。

以冻结指数 F 与冻深 H_M 的实测数据作为平面上样本点 (F_i, H_{M_i}) , $i=1, 2, \dots, 30$, 利用最小二乘法原理,在平面上找出一条回归曲线,使该曲线对各样本点的拟合程度最好。为此,选用数种函数类型,对不同的函数类型选择不同的变量替换,使其化为线性模型

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon \quad (1)$$

式中 β_0, β_1 为回归系数; X 为预报因子; Y 为因变量; ϵ 为随机误差。利用计算机计算得到数种相应的回归曲线,比较残差平方和 Q , 均方差 S , 相关系数 R^2 三个量中任何一个,以 Q, S 小者和 R^2 大者为优的原则,选出其中最佳拟合曲线,即最优回归方程

$$1/\hat{H}_M = -0.0008 + 15.1085/F \quad (2)$$

它所用变量替换为: $Y = 1/\hat{H}_M$, $\hat{H}_M$ 为冻深预测值, cm; $\beta_0 = -0.0008$; $\beta_1 = 15.1085$; $X = 1/F$ 。而 $R^2 = 0.9862$, 查表得 $R_{0.01}(28) = 0.4487$, 故 $R > R_{0.01}(28)$, 所以 Y 与 X 的线性关系高度显著, 所得回归方程(2)可信。

1.2 冻胀的数学模型

根据经验及对基土冻胀规律的分析,将四个可能预报因子及冻胀量的数据列表后,建立如下状态的数学模型

$$y_i = b_0 + b_1 X_{i1} + b_2 X_{i2} + b_3 X_{i3} + b_4 X_{i4} + \epsilon_i \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, 30$$

式中 b_j ($j=0, 1, 2, 3, 4$) 为回归系数, 待估

计; ϵ_i 为随机误差; Y_i 为冻胀量, cm; X_{im} ($i = 1, 2, \dots, 30, m = 1, 2, 3, 4$) 为预报因子。 X_{i1} 表示颗粒直径在 0.005 ~ 0.05 mm 所占百分比; X_{i2} 表示冻结指数, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$; X_{i3} 表示地下水位, m; X_{i4} 表示距地表以下冻深, cm。

利用逐步回归原理, 在上述四个因子中筛选出主要因子, 以建立最优回归方程。它的基本思想是将因子一个一个地引入, 引入因子的条件是该因子的偏回归平方和经检验是显著的, 同时, 每引入一个新因子后, 要对老因子逐个检验, 将偏回归平方和变为不显著的因子剔除。

利用计算机, 取 $F_{\text{进}} = F_{\text{出}} = 3$, 将不显著因子 X_{i1} 剔除, 从而得到最优回归方程为

$$\hat{y} = -71.6960 + 0.0776X_2 - 13.1877X_3 - 0.2846X_4 \quad (4)$$

且得剩余标准差 $S_y = 4.3223$, 复相关系数 $R_y = 0.9253$, $F = 51.5744$, 方程是显著的。

2 预 测

2.1 冻深的预测

利用回归方程(2)对其它六个不同地区的冻深进行预报, 并与文献[1]中标准冻深计算公式

$$H_0 = \alpha \sqrt{I_0} \quad (5)$$

所得冻深预报值进行比较, 以检验预报效果。

如对海林海南红星桥试验地点, 当冻结指数为 $1720.0^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 时, 由回归方程(2)计算, 所得定点预测值为 $\hat{H}_M = 125.3$ cm, 与实测值 122.0 cm 相比, 误差仅为 2.7%, 精度较高。而由式(5)所得定点预测值为 $H_0 = 163.9$ cm, 误差达 34.3%。

同样, 对密山、黑河、大庆等地区的冻深及有关值进行计算, 结果见表 1。由表 1 可见, 按回归方程(2)预测的冻深误差绝大多数小于由式(5)计算的误差。

2.2 冻胀量的预测

利用回归方程(4)计算出其它 10 个地区的冻胀量预测值, 结果见表 2。从表 2 知, 由回归方程(4)所得冻胀量预测值的误差一般都在 15% 左右, 完全符合工程施工要求。

3 结 语

由表 1 及表 2 可知, 冻深与冻胀量的预测值都有误差, 原因在于: 一方面, 冻深还与其它因素, 如地下水位、土质结构有关, 而冻胀量的数学模型(式(3))还缺少足够的输入量, 地基土的冻胀量不仅与自身的颗粒组成、含水量、地下水位、土体密度等因素有关, 而

表 1 冻深预测对比表

试验地点、工程名称	冻结指数 $F/^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$	实测冻深 H_n/cm	式(2)计算值		式(5)计算值	
			预测值 $\hat{H}_M/\text{cm}$	误差(%)	预测值 H_0/cm	误差(%)
海林海南红星桥	1720.0	122.0	125.3	2.7	163.9	34.3
密山青年灌区永胜沟	1840.0	126.0	134.9	7.1	173.4	37.6
黑河镇试验站	2665.1	216.0	205.4	4.9	241.6	11.9
甘南县哈阳三连观测站	1825.0	147.6	133.7	9.4	172.2	16.7
哈尔滨闫家岗冻土场	1850.0	122.6	135.7	10.7	174.2	42.1
大庆龙凤冻土站	1890.0	188.4	139.0	26.2	177.5	5.8

表 2 冻胀量的预测

工程地点、名称	$X_n/^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$	X_{i1}/m	X_{i4}/cm	实测值 y/cm	预测值 $\hat{y}/\text{cm}$	误差(%)
哈尔滨市万家冻土场	1843.4	1.11	150.0	14.0	14.02	0.16
讷河全胜五发进水沟	1955.0	1.00	132.0	28.0	29.26	4.45
哈尔滨市万家冻土场	1843.4	1.11	143.8	20.2	15.79	21.84
哈尔滨市万家冻土场	1843.3	1.13	134.2	17.8	18.26	2.56
哈尔滨市万家冻土场	1843.4	1.18	136.1	15.4	17.06	10.76
海林海南灌区中央涵	1720.0	0.175	115.0	22.0	26.74	21.54
海林海南红星桥	1720.0	0.50	122.0	15.0	20.46	36.41
海林海南 7-1 跌水	1720.0	0.15	102.8	27.2	30.54	12.28
海林新安 6-22 跌水	1720.0	1.21	124.0	9.0	10.53	16.98
海林新安灌区	1883.0	0.10	114.8	40.2	40.43	0.58

且还与地温等其它环境因素有关,目前这些因素没有详细的统计资料;另一方面,所采用的实测值与真实值之间还存在一定差距,依靠这些数据参与运算难免会给预测造成一定误差。

尽管如此,按回归方程(2),(4)计算所得到的冻深、冻胀量的预测值与实测值的吻合程度,比目前国内所采用的各种经验公式的计算值要精确得多;方程(2),(4)中预报因子

的数值容易测得,且计算简单易懂,可给工程技术人员带来极大的方便;方程(2),(4)可应用于黑龙江省无实测资料的冻深、冻胀量的预报。

参考文献

- 1 中华人民共和国水利部科技教育司.渠系工程抗冻胀设计规范.北京:水利电力出版社,1991
(收稿日期:1995-12-30)

《大坝观测与土工测试》征订启事

《大坝观测与土工测试》是电力工业部的科技期刊,公开发刊。主要刊登混凝土坝及土石坝安全监测、岩土工程及地基基础室内及原位试验技术等方面的学术论文、研究报告、工程经验、专题综述,特别是各种测量、传感、记录、显示仪器仪表的设计研制文章;同时还向读者介绍有关的国家标准、国外科技成果,报道国内学术及行业动态。

《大坝观测与土工测试》读者对象为从事水电、水利、交通、铁道、建筑、冶金、煤矿、石化等部门及行业科技人员、大中专院校师生以及施工现场的工程技术人员。

1997年起,本刊将采用国际A4(大16开)版本。本刊配有计算机彩色、黑白广告创意系统,由美术专业人员精心设计。制作上乘,印刷精美。

《大坝观测与土工测试》为双月刊,双月15日出版,每期48版,定价3.00元。国内统一刊号:CN13-1190/TV,国内发行代号28-39。欢迎广大读者向当地邮局(所)办理订阅手续,若错过订阅时间,可直接汇款编辑部补订。本刊开展广告业务,欢迎惠顾。本刊地址:南京323信箱《土坝观测与土工测试》编辑部。邮编:210003。

《人民珠江》征订启事

《人民珠江》是水利部珠江水利委员会主办的综合性水利水电技术刊物,其内容包含治理开发珠江的学术论著、技术总结、调查报告、学术讨论与争鸣、流域介绍、勘测规划、工程设计与运行管理、三角洲整治与研究等方面。

《人民珠江》1991年荣获广东省首届优秀期刊称号,名列优秀科技期刊之首;1992年又获全国优秀科技期刊奖。

《人民珠江》以广大水利水电工作者和有关专业人员为主要读者对象,并供关心珠江开发建设和需要了解珠江情况的各界读者阅读。

《人民珠江》为双月刊,1997年改为大16开,每期48页,公开发刊,国内统一刊号为CN-1037/TV,国际标准刊号ISSN1001-9235,中国图书贸易总公司代办国外发行,国外代号为BM4243。

本刊1997年继续自办发行,改大开本后,每期定价仍为2.00元,全年定价12.00元。需要订阅的单位及个人可将订刊款直接邮汇至本刊编辑部,并写明收件人姓名、详细地址及邮政编码。邮汇地址:510611广东省广州市沙河珠委《人民珠江》编辑部。

《中国农村水利水电》征订启事

《中国农村水利水电》由水利部主管,是农村水利水电方面的综合性科技月刊。国内外公开发刊。该刊为全国中文核心期刊,CSTA数据库首批入选期刊,全国科技论文统计用刊,全国优秀期刊,湖北省优秀期刊。原名为《农田水利与小水电》,1996年由国家科委批准正式更名。刊物内容包括综述、农田水利、节水灌溉、乡镇供水、灌区建设与管理、中低产田改造、机电排灌、水电建设、农村电气化、资源利用等。刊物采用国际标准大16开本出版,内容丰富,印刷精美,信息量大。1997年订价为每本3.00元,全年36.00元。邮发代号:38-49,全国各地邮局均可订阅。

联系地址:430072湖北武汉市武汉水利电力大学;电话、传真:(027)7882212-2200。