

文章编号: 1000-5013(2007) 01-0068-03

BP 神经网络预测水泥搅拌桩单桩承载力

涂 帆¹, 常方强²

(1 华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021; 2. 中国海洋大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266100)

摘要: 利用某工程 38 根水泥搅拌桩的单桩静载试验资料, 采用 BP(Back Propagation) 神经网络的方法对建立的神经网络进行训练, 根据训练好的网络对两个工程的单桩竖向承载力特征值进行预测. 结果表明, 预测值与采用其他方法的拟合值及实测值相吻合. 最后, 通过工程实例进行验证.

关键词: 水泥搅拌桩; 竖向承载力特征值; BP 神经网络; 预测

中图分类号: TU 473.1+1; TP 183 **文献标识码:** A

误差逆传播神经网络(BP 神经网络)是一种多层前馈式神经网络, 其中间层的神经元个数是不确定的, 各神经元之间的变换传递函数一般使用 Sigmoid 函数. 网络学习的指导思想是通过网络权值和阈值的修正, 使误差函数沿负梯度方向下降^[1]. 水泥搅拌桩是软基中常用的地基处理方法, 设计水泥搅拌桩复合地基必须确定搅拌桩单桩竖向承载力. 由于工程地质条件、桩、桩与桩周土的相互作用、施工等因素的复杂性, 该问题一直没有很好解决. 确定单桩竖向承载力, 虽然理论上也有一些方法^[2-5], 但至今尚无公认的、普遍适用的理论公式. 神经网络法预测刚性桩的单桩竖向承载力已有研究^[6-9], 有用带有偏差单元的 IRN^[10]模型(内部回归神经网络模型)、RBF^[11]模型(径向基函数模型)和简化模型预测刚性桩单桩承载力, 但神经网络法在非刚性桩中的应用则相对较少. 本文根据福建泉州某工程水泥搅拌桩静载试验资料, 采用神经网络法中应用最广的 BP 模型, 预测水泥搅拌桩单桩竖向承载力特征值.

1 数据及参数的处理

在福建泉州大坪山隧道连接线道路工程的 44 根水泥搅拌桩的静载试验结果中, 任意选择 38 根的资料作为网络训练样本, 余下 6 根桩的资料用于检测网络学习的结果, 如表 1 所示. 该工程水泥搅拌桩

表 1 网络训练输入值

Tab. 1 Input values of network training

桩号	x_1/m	x_2/kPa	x_3/kPa	y_1/kN	桩号	x_1/m	x_2/kPa	x_3/kPa	y_1/kN	桩号	x_1/m	x_2/kPa	x_3/kPa	y_1/kN
1	16.7	7.9	100	119.1	16	9.0	7.7	120	99.7	31	9.5	10.7	120	120.5
2	16.0	7.7	100	109.3	17	9.0	8.9	120	86.3	33	7.5	7.2	100	120.5
3	16.0	7.7	100	103.9	18	15.5	8.9	100	122.0	34	9.5	9.5	100	116.6
4	5.5	8.8	120	81.5	19	15.0	8.9	100	115.5	35	8.5	13.1	120	116.0
6	5.5	8.8	120	73.6	20	15.0	10.5	100	125.0	36	13.5	7.1	100	119.4
7	9.0	9.3	120	86.2	22	15.0	9.0	100	117.2	37	13.5	9.5	100	125.2
8	9.0	9.3	120	82.5	23	15.0	9.0	100	123.4	38	13.5	7.2	100	117.4
9	10.0	8.7	120	90.2	24	14.5	7.0	120	99.5	39	13.5	7.2	100	118.2
10	13.0	9.9	120	98.8	25	15.0	7.7	120	113.6	40	15.0	8.9	100	110.7
11	12.0	8.5	120	107.5	27	12.0	8.5	100	133.4	41	15.0	8.8	100	115.3
12	13.0	7.2	120	108.1	28	12.0	8.5	100	114.2	42	15.0	8.7	100	116.4
13	6.5	8.4	120	73.5	29	12.0	8.6	100	121.9	44	15.0	7.3	100	119.3
14	9.0	9.7	120	86.5	30	9.5	9.1	100	106.8					

收稿日期: 2006-03-29

作者简介: 涂 帆(1950-), 女, 教授, 主要从事岩土工程研究. E-mail: ftu@hqu.edu.cn

桩径 500 mm, 掺灰量为 12% ~ 16%, 桩周土主要是淤泥、淤泥质土、粘土和粉质粘土, 其中淤泥层的厚度最大, 其物理力学性质指标, 如表 2 所示. 表中, w , γ , e , w_L , w_P , I_P , I_L , c , φ , a_{1-2} , E_s , k , c_k 分别为水的质量分数(即水和干土的质量比)、重度、孔隙比、液限、塑限、塑性指数、液性指数、内聚力、内摩擦角、压缩系数、压缩模量、渗透系数和有机质的质量分数. 进行网络训练时, 选用与水泥搅拌桩竖向承载力有关的 3 个参数, 即桩长 x_1 、桩侧加权摩阻力 x_2 、桩端土承载力特征值 x_3 作为训练参数, 即输入层有 3 个单元.

表 2 淤泥的物理力学性质指标

Tab. 2 Physical and mechanical properties of silt													
项目	$w/(%)$	$\gamma/\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	e	$w_L/(%)$	$w_P/(%)$	I_P	I_L	C/kPa	$\varphi/(\text{^\circ})$	a_{1-2}/MPa^{-1}	E_s/MPa	$k/\text{nm} \cdot \text{s}^{-1}$	$c_k/(%)$
平均值	62.1	15.9	1.69	48.2	30.3	18.2	1.76	13.4	1.9	1.71	1.62	33	3.2
范围值	37.7	14.6	1.08	31.1	23.5	11.0	1.21	8.0	0.9	0.54	0.23	12	2.1
	81.4	17.4	2.23	62.4	39.1	25.3	2.39	19.2	2.3	2.69	2.78	77	6.6

由于该工程的静载试验是在工程桩上进行的, 最大荷载加至设计荷载的 1.5~ 2.0 倍, 未达极限状态. 根据荷载与沉降曲线, 采用双曲线拟合法推算单桩竖向极限承载力, 然后除以安全系数 2, 得到单桩竖向承载力特征值 y_1 . 为有效利用 Sigmoid 函数的特性, 对于数值型的学习样本进行归一化处理, 用样本参数 x 除以该参数的最大值 x_{\max} , 所得的值介于 (0, 1] 之间. 然后, 对输出结果进行还原处理.

2 模型的建立及应用

2.1 模型的建立

本网络输入层的单元数为 3, 设中间层的单元数为 10. 采用正切激活函数, 输出结果为竖向承载力特征值的预测值, 用 Matlab 6.5 编写网络训练过程的程序. 设定该预测模型网络学习速率为 0.01, 训练次数为 1 000 次, 目标误差为 10^{-4} , 即要求网络输出值与真值(y_1)的误差平方和的期望值为 10^{-4} .

2.2 实际工程的应用

2.2.1 实例 1 根据训练好的 BP 神经网络, 对同一个工程的其余 6 根桩的单桩竖向承载力特征值进行预测, 并与双曲线法的拟合值 y_1 比较, 结果如表 3 所示. 表中, y_2 , ε 分别为神经网络预测值和预测误差. 可以看出, 除 21 号和 43 号桩的误差较大外, 其余的误差均较小, 可见预测效果良好.

表 3 单桩承载力的 BP 神经网络预测

Tab. 3 The prediction values of bearing capacity of single pile by BP neural network

编号	桩号	x_1/m	x_2/kPa	x_3/kPa	y_1/kN	y_2/kN	$\varepsilon/(%)$	桩号	x_1/m	x_2/kPa	x_3/kPa	y_1/kN	y_2/kN	$\varepsilon/(%)$
实例 1	5	5.50	8.8	120	69.4	71.2	2.6	15	9.00	8.3	120	85.2	83.1	2.5
	21	15.00	9.7	100	114.8	144.0	25.4	26	16.00	7.4	120	104.4	117.8	12.8
	32	9.50	10.7	120	113.9	111.2	2.4	43	15.00	8.5	100	119.1	144.4	21.2
	28 排左 4	7.60	10.4	100	(100)	116.4	16.4	17 排右 4	8.65	7.2	100	(97)	118.5	22.2

2.3.2 实例 2 为了进一步验证该 BP 神经网络的可行性, 对位于该地区地质条件相近的泉厦高速公路软基段桥头处粉喷桩的承载力进行预测, 并与实测值进行比较, 结果如表 3 所示. 表中带括号的数值为实测值. 表中 2 根桩的静载试验均做到破坏, 取其实测的极限承载力除以安全系数得到特征值. 由表 3 可以看出, 神经网络预测值与实测值较接近, 最大误差为 22.2%.

2.3 网络精度与训练次数及其他因素的关系

本网络经过 1 000 次的训练, 训练误差 E (BP 网络权值经过两次修正后的误差平方和) 为 0.046 309 6, 达到了较高的精度, 如图 1 所示. 水平线 10^{-4} 为设定的目标误差, 曲线为训练误差. 可以看出, E 随着 N 的增加而减小, 但当训练次数 N 接近 100 时, E 基本稳定. 因

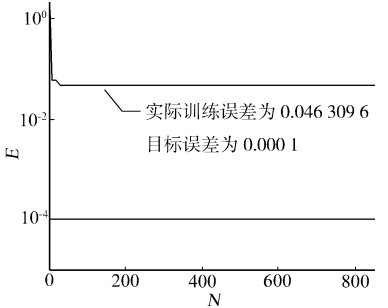


图 1 E 与 N 的关系图
Fig. 1 The relationship between E and N

此,对于某 BP 网络,试图通过增加 N 提高精度,只在一定范围内有效;超过这个范围,则作用很小.本网络目标误差设置为 10^{-4} ,根据图 1,目标误差设置小于 10^{-2} 也可以,但如果设定为 10^{-1} ,当训练误差达到此目标误差时,便停止训练.目标误差设置得小,也就是要求高,对计算结果没有影响;如果不够小,则有可能影响精度.提高 BP 神经网络预测精度的方法还有增加训练样本、中间层和输入单元数等.

3 结束语

(1) 利用影响水泥搅拌桩单桩竖向承载力的基本参数和静载试验资料作为训练样本,采用 BP 人工神经网络的方法预测其单桩竖向承载力特征值.根据 2 个实际工程的验证,预测误差的平均值为 13.2%,最大误差为 25.4%,预测效果较好.(2) 通过增加网络训练次数提高预测精度的效果很有限,增加训练样本应该是一种较有效的方法,因此应注重资料的搜集和整理工作.(3) 本文建立的 BP 网络模型,对预测条件相近的水泥搅拌桩单桩承载力特征值有参考价值.进一步完善该网络,可在实际工程中发挥作用.(4) 人工神经网络法是一种稳健的、非参数的方法,具有较强的非线性映射能力,适用性广.

本文的工程实例由泉州市城市建设国有资产投资有限公司、福建省交通规划设计院和华侨大学土木工程检测中心提供,在此表示感谢.

参考文献:

- [1] 窦远明. 柔性荷载作用下水泥土桩复合地基的承载力与沉降特性的研究[J]. 河北工业大学学报, 2001, 30(1): 80-83
- [2] 郑俊杰, 彭小荣. 桩土共同作用设计理论研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(2): 242-245
- [3] 张世民. 桩土共同作用桩基的计算及应用[J]. 建筑技术, 2005, 36(3): 175-177
- [4] 曾芳金, 沈 翀, 王 军. 水泥土搅拌桩复合地基有限元分析[J]. 河北理工学院学报: 自然科学版, 2004, 26(4): 92-95
- [5] 鲍 鹏, 张 惠, 姜忻良. 离散元法刚性桩复合地基承载机理研究[J]. 广东工业大学学报: 自然科学版, 2005, 22(1): 105-110
- [6] 王祥秋, 郑东明, 杨林德. 桩基极限承载力与沉降量的神经网络预测[J]. 建筑科学, 2003, 19(1): 58-60
- [7] 樊有维. 采用径向基函数(RBF)神经网络来预测嵌岩桩的极限承载力[J]. 江苏建筑, 2001, (2): 56-58
- [8] 刘勇健, 张伯友. 基于混沌优化-神经网络的单桩竖向极限承载力预测方法[J]. 工业建筑, 2005, 35(3): 38-41
- [9] 郝小员, 刘汉龙, 高玉峰. 带有偏差单元的 IRN 模型在深层搅拌桩承载力计算中的应用[J]. 建筑技术开发, 2002, 29(1): 17-20
- [10] 曹茂森, 任青文, 李 妮. 基于 Matlab 的 RBF 网络的深层搅拌桩承载力建模[J]. 山东建筑工程学院学报, 2003, 18(2): 15-20
- [11] 刘 迪. 神经网络技术预测 CFRP 加固混凝土方柱抗压性能[J]. 工业建筑, 2005, 35(1): 75-78

The Method of BP Neural Network Predicting the Bearing Capacity of Single Cement Mixing Pile

TU Fan¹, CHANG Fang-qiang²

(1. College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China;

2. College of Environmental Science and Technology, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The characteristic values of bearing capacity of single cement mixing pile are predicted by BP (Back Propagation) neural network. The BP neural network is trained by the static loading data of 38 cement mixing piles in a foundation. The characteristic values of pile bearing capacity in two foundations are predicted by the trained BP neural network and compared with the in situ values and values obtained by other method. The comparison shows the agreement among these values. Many factors of influence of event can be considered in artificial neural network, so the network has bright prospect of application in geotechnical engineering.

Keywords: cement mixing pile; characteristic values of bearing capacity; BP neural network; prediction

(责任编辑: 黄仲一)