

基于神经网络的高速公路软基沉降分析

张 兵^{1,2},徐武强³,胡伍生¹

(¹东南大学交通学院,江苏 南京 210096;²江苏沿江高速公路有限公司,江苏 常熟 215500;

³江苏省吴江经济开发区规划建设局,江苏 吴江 215200)

摘 要 简述了高速公路软基沉降观测的目的和意义。介绍了工后沉降的预测方法。其后,简述了 BP 神经网络的基本概念。论文提出了基于神经网络的高速公路工后沉降预报方法。结合江苏省某高速公路现场监测资料,进行了实例分析,说明此方法是可行的和有效的。它对提高高速公路建设质量具有十分重要的现实意义。

关键词 高速公路 软基 沉降 神经网络

1 引 言

在软土地基上修筑高速公路路堤,最突出的问题是稳定和沉降^[1]。通常,高等级公路路面的造价昂贵,技术标准高,对路基变形与稳定性的要求十分严格。软土在我国的沿海和内陆地区均有相当大的分布范围,由于软土地基的强度低、承载力小、压缩性高、渗透性低、固结变形持续时间长,所以,软土路基的沉降观测工作和工后沉降分析就成为提高高速公路建设质量的关键技术之一^{[2][3]}。

为掌握路堤在施工期中的变形动态,施工期间必须进行地表沉降量的动态观测。其主要目的有:(1)根据观测数据控制、调整填土速率;(2)预测沉降趋势,确定预压卸载时间和结构物及路面施工时间;(3)提供施工期间沉降土方量的计算依据;(4)预测工后沉降,使工后沉降控制在设计允许范围之内;(5)通过实测沉降量,预测沉降量并验证设计合理性;进行设计的再优化,控制和保证工程的建设质量。

本文主要讨论工后沉降预测方法。工后沉降如果较大,就会影响路面的纵横断面,破坏路面的平整度。这不仅会造成行车困难,而且将导致排水不畅、路面破坏。尤其是在与桥梁、涵洞等构筑物的连接处,过大的工后沉降将会形成桥头跳车,危害更大。因此,对工后沉降的控制技术是提高高速公路建设质量的关键技术之一。软基沉降预测一直是岩土工程界关注的热点问题。

按实测沉降曲线推算最终沉降量的方法很多,常用的有双曲线法、沉降速率法、三点法和日本常用的星也法与 Asaoka 法^[2]。本文尝试采用神经网络方法来预测工后沉降,并与三点法的计算结果进行对比分析,得到了一些有益的结论。采用神经网络方法来计算软土地基沉降具有广阔的应用前景。

2 指数型函数预测工后沉降(三点法)

从实测曲线上,取荷载恒定后的三点,使得三点的时间间隔相等,即 $t_3 - t_2 = t_2 - t_1$,三点对应的沉降量分别为 S_1 、 S_2 和 S_3 ,则由固结计算的通式可得到:

$$U_t = 1 - Ae^{-\beta t}$$

式中, U_t —— t 时刻地基平均固结度; A 、 β ——可由不同地基条件确定的参数。我们可以通过三点的固结度的具体表达式,联合求解出^[2]:

$$S_{\infty} = \frac{s_3(s_2 - s_1) - s_2(s_3 - s_2)}{(s_2 - s_1) - (s_3 - s_2)}$$

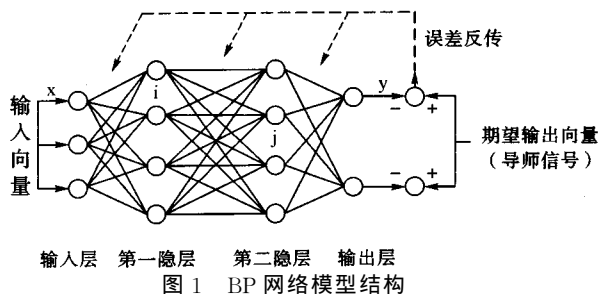
由于上述方法中采用了实测的三点时间和对应沉降值,该方法又可称为三点法。三点的选择以沉降曲线趋于稳定的阶段,且三点间隔尽可能大最为有利,也即此时所推算的沉降值最准确。

3 神经网络方法

3.1 神经网络简介

人工神经网络是一门新兴交叉科学,因其强大的处理非线性问题的能力,已经在众多领域(包括工程界)得到了广泛应用,并取得了不少突破性进展^[4]。人工神经网络非常适合解决岩土工程问题,在高速公路工后沉降预报方面比常规方法有明显优势^[5]。其中,BP 算法是目前工程应用最广泛的一个神经网络模型。

神经网络 BP 算法的模型结构见图 1。BP 网络不仅有输入层节点,输出层节点,而且有隐含层节点(隐层可以是一层或多层)。对于输入信号,要先向前传播到隐节点,经过激活函数后,再把隐节点的输出信息传播到输出节点,最后给出输出结果。节点的激活函数通常选取标准 Sigmoid 型函数^[4]:



$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

BP算法的主要思想是把学习过程分为两个阶段:第一阶段(正向传播过程):给出输入信息通过输入层经隐含层逐层处理并计算每个单元的实际输出值。第二阶段(反向传播过程):若在输出层未能得到期望的输出值,则逐层递归地计算实际输出与期望输出之差值(即误差),以便根据此差调节权值。这两个过程的反复运用,使得误差信号最小。实际上,当误差达到人们所希望的要求时,网络的学习过程就结束。BP算法是一个很有效的算法,许多问题都可由它来解决。BP模型已成为神经网络的重要模型之一。

3.2 神经网络模型的建立

3.2.1 影响软土路基沉降的因素

影响软土路基沉降的因素主要有:①软土的工程特性,如土的强度、压缩性、渗透性等;②加载方式和加载速度;③地基处理方法;④土体的应力历史的影响;⑤施工工期的影响,施工工期直接影响加载速率,因而影响地基的沉降;⑥路基沉降还与路堤的剖面形态相关,如路堤的高度、宽度等,直接影响地基中应力分布;⑦填料特性和路面结构特性等。

3.2.2 BP神经网络模型结构的确定

经过分析研究和大量试算,确定BP神经网络模型为3层结构:

①输入层元素取8,分别为:处理方式(M)、软土层厚度(H_1)、地表硬壳层厚度(H_2)、软土的压缩模量(E_{S1})、硬壳层的压缩模量(E_{S2})、路堤宽高比(λ)、施工期(T)和竣工时沉降量(S_A);

②隐含层节点数取22;其选取方法主要还是以经验为依据,并结合实例数据进行试算;

③输出层元素取1,为:地表最终沉降量 S 。工后沉降为($S - S_A$)。

3.2.3 网络的训练和检验

本文收集到5条高速公路的40个观测断面的软土路基实测资料^{[5][6]},选取其中30组数据作为神经网络的学习样本,采用BP算法进行学习,再利用

剩下的10组数据对训练好的BP网络进行检验,以便判断网络训练的效果。对定性变量,参照专家经验知识进行赋值,如软基处理方式(M)变量赋值如下:A(不处理)=1;B(砂垫层)=2;C(排水板)=3;D(喷粉桩)=4;E(袋装砂井)=5;F(土工布)=6。限于篇幅,这里只列出10个检验样本的结果。

表1 检验样本的输出结果

序号	处理方式	软土厚度 /m	软土压缩模量 /MPa	硬壳层厚度 /m	硬壳层压缩模量 /MPa	路堤宽高比	施工工期 /d	竣工时沉降量 /mm	实测最终沉降量 /mm	网络输出 /mm
1	D	13.0	2.84	1.95	8.85	4.72	211	256	402	417
2	A	8.0	1.6	2.0	4.1	5.6	72	57	482	468
3	E	42.5	2.04	2.10	4.55	8.61	63	220	682	688
4	B	3.2	1.43	1.96	4.81	7.88	180	103	590	579
5	B	5.0	1.1	1.96	4.81	7.65	159	100	490	503
6	C	7.5	3.08	1.9	9.95	4.26	123	640	954	951
7	F	50.9	2.04	2.65	4.55	7.65	93	135	380	397
8	C	13.0	3.09	1.9	8.85	4.33	129	650	807	796
9	A	20.0	1.80	1.50	4.0	7.31	420	500	1112	1091
10	F	4.5	2.32	2.00	8.35	7.22	162	130	426	429

从表1中可以看出,BP网络的训练效果比较理想。

4 工程实例分析

2004年1月,江苏省某高速公路路基施工已经全面进行预压后期,大部分路段沉降都已经进入稳定期。高速公路建设指挥部需要对后期沉降作出预测,以便指导后期的路基和路面的施工。我们用三点法和神经网络方法分别进行了预测,部分结果见表2和表3。该高速公路已经于2004年8月通车,目前仍然在进行沉降观测,我们将2005年1月的观测数据近似为最终沉降量。

表2 三点法的预测结果

桩号	开始观测时间	2004年	2005年	三点法	误差/mm
		实测累计沉降量/mm	实测累计沉降量/mm	预测最终沉降量/mm	
K71+560	2001年11月	493	561	573	-12
K73+685	2001年11月	200	223	249	-26
K74+840	2002年7月	82	117	262	-145*
K76+000	2002年7月	222	285	300	-15
K77+220	2001年11月	844	1079	1582	-503*
K78+270	2001年11月	189	246	257	-11
K79+340	2001年11月	783	792	809	-17
K81+786	2002年7月	592	632	655	-23
K86+845	2002年7月	297	356	388	-32

注:带*号的点,预测误差较大,其原因是实测数据不满足三点法的要求,如沉降曲线尚未处于趋于稳定的阶段。

表3 神经网络方法的预测结果

序号	处理 方式	软土 厚度 /m	软土 压缩 模量 /MPa	硬壳		路堤 宽高 比	施工 工期 /d	竣工 时沉 降量 /mm	实测 最终 沉降 /mm	网络 输出 /mm	误差 /mm
				硬壳 层厚 /m	层压 模量 /MPa						
K71+560 D		11.0	2.32	2.95	6.85	4.37	741	493	561	567	-6
K73+685 A		3.0	1.6	3.07	6.15	5.36	741	200	223	239	-16
K74+840 E		2.56	2.04	2.75	4.55	3.69	536	82	117	132	-15
K76+000 B		7.56	2.43	2.35	4.25	5.61	536	222	285	303	-18
K77+220 B		38.0	1.61	1.62	4.85	8.67	745	844	1079	1132	-53
K78+270 C		6.57	2.83	1.9	9.95	4.26	745	189	246	262	-16
K79+340 F		25.6	2.04	2.65	4.5	7.65	745	783	792	804	-12
K81+786 C		19.0	3.11	1.9	7.8	6.33	539	592	632	645	-13
K86+845 A		7.2	1.63	1.6	5.35	4.88	539	297	356	382	-26

经过对表2和表3的详细分析可知,利用本文建立的神经网络方法对高速公路工后沉降进行预报是完全可行的,且十分有效,而传统方法,对实测数据要求较高。如三点法:人为选取3点数据时,要求(1)荷载恒定;(2)三点的时间间隔相等;(3)沉降曲线趋于稳定的阶段;(4)三点间隔尽可能大等等。一旦不满足以上条件之一,则预测效果就很差,详见表2中带星号的点。

5 结束语

5.1 利用现有实测资料来训练 BP 神经网络,将训

练好的 BP 神经网络来预测高速公路工后沉降,预测值与实测值吻合较好。因此,本文提出的方法是可行的,且具有一定的预报精度,当然,本文结论还有待其他类似工程检验。

5.2 影响高速公路工后沉降的因素具有复杂性和多变性,采用人工神经网络以根据需要充分考虑各因素的影响,提高预测的准确度。

5.3 现场实时监测也是必要的,由表2可以看出,前期的实测资料是神经网络预测的必要数据。因此,必须坚持现场监测,并将最新监测信息及时反馈,让神经网络重新学习,这样可以提高预报精度。

参考文献

- 1 中华人民共和国行业标准.公路软土地基路堤设计与施工技术规范(JTJ 017-96).人民交通出版社,1997
- 2 折学森.软土地基沉降计算[M].北京:人民交通出版社,1998
- 3 陆培毅.土力学[M].北京:中国建材工业出版社,2000年3月
- 4 袁曾任.人工神经网络及其应用[M].北京:清华大学出版社,1999.1~273
- 5 刘勇健.用人工神经网络预测高速公路软土地基的最终沉降[J].公路交通科技,2000,17(6):15~18
- 6 李凡,周增来,吴敏.用小波神经网络预测高速公路软土地基最终沉降量[J].合肥工业大学学报,2001,24(6):1124~1127

the Settlement Analysis of Highway on Soft Ground Based on Neural Networks

Zhang Bing^{1,2}, Xu Wuqiang, Hu Wusheng¹

⁽¹⁾ Transportation College of Southeast University, Nanjing 210096;

⁽²⁾ Jiangsu Yanjiang Highway Ltd., Changshu 215500;

⁽³⁾ Planning and Construction Office of Wujiang Economy open district in Jiangsu Province, Suzhou 215200)

Abstract The purpose and significance of the settlement observation of highway on soft ground, the methods of predicting the final settlement of highway on soft ground, were introduced in this paper. Then, the basic concepts of BP neural networks were introduced briefly. The method for predicting the final settlement of highway on soft ground based on neural networks was put forward. It is approved that the new method is feasible and effectual after analyzing the example. Out of questions, it is provided with practice signification for predicting the final settlement of highway on soft ground in the construction of highway.

Key words Highway, Soft Ground, Settlement, Neural networks