

汕汾高速公路软基超载预压卸载控制

林代锐¹ 李国维² 黄少杰¹

(1. 广东省高速公路公司, 广东 广州 510100; 2. 河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 通过分析卸载控制方法, 提出软基路堤超载预压工况应使用工后沉降法控制卸载. 参照国外相关资料提出了考虑侧向变形影响的工后沉降估算方法. 根据实测资料建立了预测沉降的 BP 神经网络模型. 通过实例说明了提出的超载卸载控制方法的可靠性.

关键词 超载预压 卸载 工后沉降 侧向变形 神经网络

中图分类号 :TU447 ;TP183 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-198X(2002)04-0078-04

1 问题的提出

在软土地基上建设高速公路, 不论采用什么方法处理地基都要和堆载预压法联合使用. 堆载预压过程中如何确定卸载时间是个重要问题, 这决定于对工后沉降的正确估计. 对于超载情况, 超载越多总沉降量越大, 沉降稳定的时间越长, 一定时段内表现出来的沉降速率就越大. 由于沉降速率反映的是当前荷载作用下的沉降变形规律, 只可用于分析当前荷载作用下路基未来的变形发展情况. 如果“超载”随沉降发生不能全部转化为“等载”, 则说明路基最终处于超载状态, 用超载状态下的动态沉降信息预测卸载后的沉降发展状况, 是目前在软基上建设高速公路还没有很好地解决的问题.

汕汾高速公路软基路段的超载水平为“路面设计高程 + (1.6 ~ 2.3 m)”, 对于这种超载强度较大、沉降速率较大而又不能预压更多时间的情况, 工后沉降预测结果的可靠性对于确定卸载时间和选择路面结构形式有非常重要的意义.

2 超载、卸载控制方法比较

卸载控制可以采用沉降速率法、工后沉降法和有效应力面积比法. 沉降速率法实际上是以容许工后沉降为标准, 按设计使用期计算平均沉降速率, 一般以月沉降速率作为控制参数, 以实测月沉降速率小于计算值作为确定卸载的标准. 工后沉降法是通过预测最终沉降值, 将预测的结果与卸载时的实测沉降值比较, 以计算工后沉降小于容许值作为卸载标准. 有效应力面积比法是通过计算在路堤使用荷载作用下压缩土层中总应力分布面积 A 与超载作用下有效应力分布面积 B 之比, 根据比值判定卸载时机. B 为超载作用下压缩土层中的总应力分布面积减去实测的孔隙水压力分布的面积.

沉降速率法实际上是使用等载状态下的沉降速率控制卸载, 在超载状态下如果使用等载状态下的沉降速率指标控制卸载, 必然过于保守, 致使预压时间加长, 这就违背了用超载保证工期的初衷. 在超载状态下使用沉降速率法控制卸载, 显然应与等载情况下使用的指标不同, 但由于影响因素复杂, 很难确定一个合理的指标. 另外, 沉降速率不直接说明工后沉降问题, 因此不便应用. 有效应力面积比法目前还处于试验研究阶段, 只有个别工程试验资料, 不足以推广应用. 超载情况下使用工后沉降法控制卸载, 概念清楚, 目标明确, 便于操作.

3 超载预压工后沉降预测方法

对于图 1 所示的超载情况, 根据文献 [1] 中室内实验成果, 可以认为超载卸除后的沉降线在若干时间后和等载沉降线相交, 如图 1 中 T_5 时刻 N 点, 因此提出式 (1) 估算工后沉降的计算方法. 理想的加固效果是超载引起的沉降全部来自软土层的固结, 不产生侧向变形, 这时用式 (1) 计算出来的结果是准确的. 如果超载引

起的沉降一部分来自软土层的侧向变形,则结果偏于危险,应对超载作用下发生的沉降量加以分析后利用。

$$S_a = [S_f]_p - [S_t]_{p+\Delta P} \tag{1}$$

式中： S_a ——工后沉降； $[S_f]_p$ ——等载最终沉降； $[S_t]_{p+\Delta P}$ ——超载到 t 时刻完成的沉降。

图 1 中 S_{ae} 是等载预压的工后沉降量， S_{ac} 是超载预压的工后沉降量。 $[S_f]_p$ 是用 T_1T_2 时段的沉降观测资料推测的最终沉降量，该时段越长，推测的结果可靠度越高。由于实测沉降实际上是一个综合指标，它是由土层的固结、侧向变形、次固结共同作用的结果，可以认为利用沉降观测数据推算得到的结果包含了次固结和侧向变形的影响，较之其他方法更符合现场情况。

超载施加后所发生的沉降，有一部分来自超载产生的侧向变形，可根据侧向变形的增量计算侧向面积变化量，然后换算成以路基底宽为弦长的弧形面积，求出弧形的高即为侧向变形引起的沉降增量。将式（1）修正为

$$S_a = [S_f]_p - [S_t]_{p+\Delta P} + [S_{tl}]_{\Delta P} \tag{2}$$

式中 $[S_{tl}]_{\Delta P}$ 为超载产生的侧向变形引起的沉降。

4 BP 神经网络预测沉降

对于超载情况，用沉降速率作为卸载控制标准难以实施，速率过小则预压期势必太长，放宽指标又缺乏充分的依据。工后沉降预测法概念清楚，关键在于如何利用较短预压时间的沉降资料较准确地预测未来沉降。

BP 神经网络（误差反向传播多层前馈神经网络）是目前应用最广泛也是发展最成熟的一种神经网络模型，如图 2 所示，它由一个输入层、一个输出层和若干个隐层组成。网络的输入层用来接收外来信息，输出层对输入层信息进行判别和决策，中间的多个隐层用来表示或存储信息。网络中的信息是单向传播的，同一层神经元不存在相互联系，而层与层神经元之间采用全连接，连接程度用权值表示，并通过学习不断予以调整。

汕汾高速公路软基沉降预测采用人工神经网络法，根据观测数据建立了路基沉降预测的 BP 模型^[2]，用于分析超载预压路段不同荷载作用下的未来沉降。工作分为两部分：一是将现场沉降观测数据作为样本，让网络通过学习训练得到收敛的网络，即建立沉降与各影响因素之间复杂的非线性关系；二是将预测点的沉降影响因素输入到已训练好的网络中，即可得到预测的沉降。

5 K19 + 920 断面数据分析

汕汾高速公路 K19 + 500—K20 + 000 路段位于广东省潮汕地区的韩江三角洲冲积平原上，为海相沉积环境，软土地层发育，特征典型，是全线工程地质条件最差的路段。控制总体工程进度，地层基本情况见表 1、表 2。

表 1 K19 + 500—K20 + 000 地基土层基本参数

Table 1 Primary parameters of soft soil foundation from K19 + 500 to K20 + 000							
层号	土名	厚度/m	含水量/%	孔隙比	压缩系数 $a_{0.1-0.2}$	塑性指数	有机质含量/%
1	粉质粘土	1.8	28.0	0.7	0.3	18	
2	淤泥	19.0	42.9~87.8	1.57~2.44	1.46~2.67	20~26	2.8~4.8

表 2 K19 + 920 天然地基土层原位测试指标

Table 2 Original parameters obtained by in-site test for K19 + 920					
各土层天然状态静探比贯入阻力 P_s/MPa			软土天然状态十字板 C_u/kPa		
1-1 粉质粘土	2-1 淤泥质粉土层	2-2 淤泥层	2-3 淤泥层	2-2 淤泥层	2-3 淤泥层
1.22	0.43	0.28	0.49	15.6	32.6

本路段地基采用袋装砂井 + 土工格栅 + 堆载预压方法处理，填筑预压过程见图 3。填筑分 4 期完成，第 3

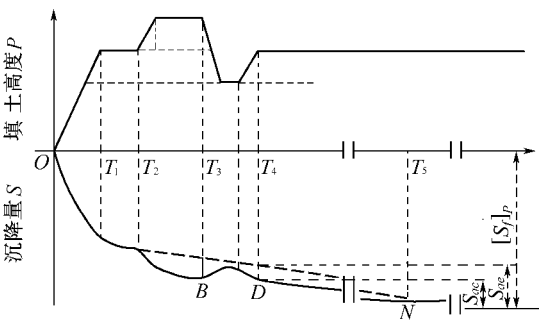


图 1 超载预压工后沉降预测原理

Fig.1 Principle of post-completion settlement estimation in overload pre-consolidation

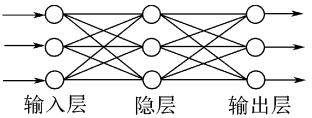


图 2 三层 BP 网络结构

Fig.2 Three-layer BP neural network structure

期达到等载填筑高度. 预压 5 个月后, 根据现场情况判断, 预定时间内不能达到卸载要求, 又进行第 4 次加载. 本次加载为超载, 超载后预压 9 个月, 截止 2001 年 9 月 15 日断面数据资料见表 3.

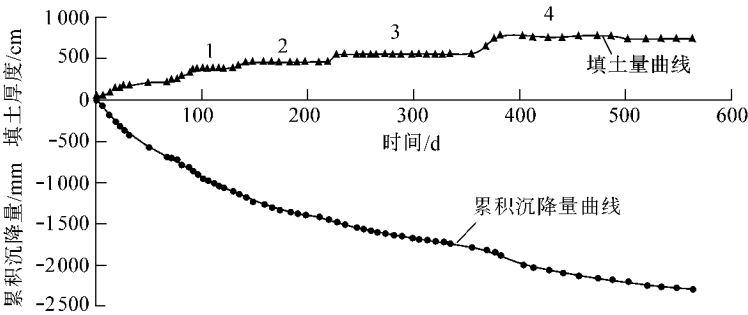


图 3 K19 + 920 荷载-沉降-时间曲线

Fig.3 Load and settlement versus time for K19 + 920

表 3 K19 + 920 断面超载预压数据

Table 3 Overload pre-consolidation data for K19 + 920

路基高程/m		沉降速率/(mm·d ⁻¹)		
设计值	2001-09-11	超填高度	2001-08-26	2001-09-15
5.93	7.93	2.0	0.82	0.76

表 3 数据显示, 路堤预压的超载强度大, 总沉降量大, 预压后期的沉降速率大. 按沉降速率衰减趋势进行预计, 短期内不会很快收敛, 用沉降速率不好判断卸载后的工后沉降情况.

按式(2)原理分析工后沉降, 用神经网络 BP 模型预测等载情况在使用期(15 年)内的沉降, 如图 4 所示, 预测数据与实测数据拟合良好, 说明通过学习训练得到的网络可以用来预测未来沉降.

根据超载后侧向变形增量, 如图 5 中 2000-12-12 线增加到 2001-09-25 线, 估算超载施加后由侧向变形增量引起的沉降.

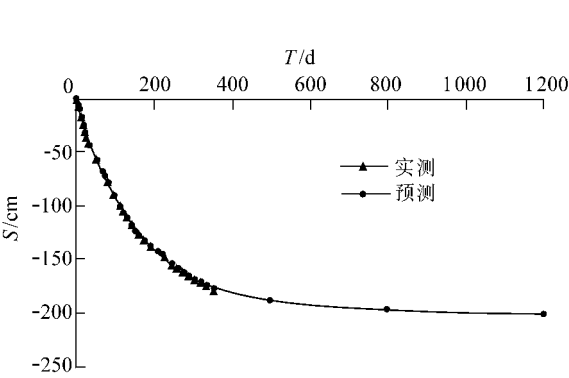


图 4 BP 模型预测沉降与实测沉降比较

Fig.4 Comparison of observed settlements and estimated results by BP model

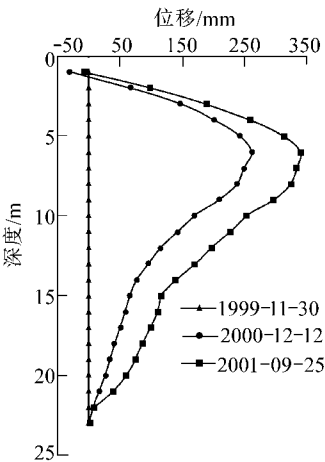


图 5 K19 + 920 侧向变形曲线

Fig.5 Lateral deformation at different depths at K19 + 920

根据实测沉降、预测的等载情况预定时间的沉降、对应的侧向变形增量沉降, 按式(2)计算得出卸载时刻的工后沉降. 表 4 为预测得到的 2000-09-26 卸载后的结果.

表 4 K19 + 920 断面工后沉降预测数据

Table 4 Post-completion settlement data forecast for K19 + 920

预测等载 15 年沉降/cm	超载到 2000-09-26 实测沉降/cm	估算侧向变形增量沉降/cm	预测工后沉降
215	238	10	已经完成等载沉降量

表 4 中数据显示, 超载作用的结果使得路面运行期的沉降提前完成, 即使考虑超载产生侧向变形的影响, 实际完成的沉降也超过了等载的使用期沉降. 从计算结果判断, 该断面不存在工后沉降. 实际上这种情况

是不可能发生的,至少说明可能的工后沉降很小,这对于判断可否卸载、开始路面施工有实际意义。

K19+920 断面 10 月 3 日卸载,11 月 3 日完成路面施工,11 月 23 日通车运行,表 5 为工后观测 3 个月的数据。表中数据表明,路面完成后的沉降速率较卸载前减小 67%,仍然存在工后沉降,但速率较小,通车后(16~61 d)由于行车动载作用使沉降速率稍有增加,后继沉降速率衰减较快,按观测数据预计,使用期沉降应在 20 cm 以内,可以判定工后沉降满足要求,说明该断面的卸载控制是成功的。

表 5 K19+920 工后观测数据

Table 5 Post-completion settlement data observed at K19+920

工后沉降速率/(mm·d ⁻¹)			89 d 路面工后沉降/mm
2001-11-22 0.26(0~19 d)	2002-01-03 0.38(19~61 d)	2002-01-31 0.25(61~89 d)	
			28

6 结 束 语

对于软基超载预压情况,卸载控制应透过现象看本质,工后沉降的大小主要取决于路基施工期间完成的沉降量占总沉降量的比例,路基施工期间完成的沉降量越大则工后沉降越小。地基土一般是正常固结土和超固结土,在自重应力作用下的变形已经完成,路堤施工后所产生的变形来自填筑荷载产生的附加应力,沉降与荷载是对应的。

超载产生的侧向变形对沉降的影响不可忽视,对于类似本文实例的情况,侧向变形引起的沉降和工后沉降限量在同一个数量级,对工后沉降有较大的影响。

由于实测资料是各种因素的综合反映,包含多种相关因素的影响,据实测资料推测的结果具有较高的可靠度。神经网络模型能够对信息进行大规模的并行处理,善于联想、概括、类比和推理,而且具有很强的自学能力,善于从实例样本中提取特征、获取知识,实现根据先验知识预测未来的要求。沉降变形的规律受多方面因素的影响,之间的相关关系很难用显式表达,或表达不完善,或还没有认识清楚,只有受控因素量的记录,缺乏质的联系,因此用神经网络方法解决不失为一种较好的途径。

参考文献：

[1] Yoshikuni H, Moriwaki T, Ikegami S, *et al.* Rebound due to partial unloading and subsequent recompression behaviour in 1-D consolidation[A]. In :Yoshikuni, Kusakabe eds. Compression and Consolidation of Clayey Soil[C]. Rotterdam :Balkema, 1995. 233 ~ 238.

[2] 杨涛,李国维.基于先验知识的岩爆预测研究[J].岩石力学与工程学报,2000(4):429~431.

Unloading control of overload pre-consolidation for soft soil foundation
of Shanfen Express Highway

LIN Dai-rui¹, LI Guo-wei², HUANG Shao-jie¹

(1. Guangdong Expressway Corporation, Guangzhou 510100, China ;
2. College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract : Based on the analysis of unloading control methods, it is suggested that the post-completion settlement method should be applied to unloading control in overload pre-consolidation of embankments with soft soil foundations. A method for estimating post-completion settlement, considering the impact of lateral deformation, is provided, with reference to foreign literature. A BP neural network model for settlement predication is established on the basis of observed data. The reliability of the unloading control method presented is verified by an engineering example.

Key words : overload pre-consolidation ; unloading ; post-completion settlement ; lateral deformation ; neural network