

有限元数值分析预测路基沉降及水平位移

孟云梅 郑伟 王蕊

(河海大学土木学院岩土工程研究所, 南京 210098)

摘要 考虑到在路基填筑过程中, 其自身固结引起地基沉降和位移, 如果不对其及时处理, 将会影响到施工结束后的沉降和位移, 而造成在运营期间不必要的返修。所以在有限元对路基填筑可能引起的沉降和位移进行预测后, 进行提前处理。首先通过实际的地质资料及进行相关的实验研究有限元数值分析所需要的参数, 再通过有限元分析法预测在填筑路基的过程中路基及地基可能产生的沉降及位移, 从而指导后续施工。

关键词 有限元 预测 路基 填筑

1 概述

在我国南方地区, 软弱粘土地区较多。因此在高速公路的建设中, 软基处理成为人们对工后整个工程质量的评估的重要指标之一。而且因为软基处理的不妥当会严重造成路基的不均匀沉降。为了减少或消除这种不良的现象, 我们采取先进行有限元计算预测路基沉降, 提前对路基进行软基处理。若软基处理的不当, 将影响路基的正常使用寿命, 造成在运营期间不必要的返工和维修。笔者以实际工程为研究背景, 通过有限元数值计算, 详细的分析了在软基处理前进行有限元预测, 并提出了一些具体的施工建议。

2 工程背景

所研究路段为某市公路的一级四车道公路, 路

基宽 25.5m。地质分层大体为:

(1) 耕植土层: 厚 0.6~3.0m, 灰褐或灰黄色, 可塑~硬塑;

(2) 细砂层: 厚 1.0~4.0m, 灰白, 灰黑色, 呈松散~中密状, 饱和;

(3) 淤泥层: 厚 9.0~16.0m, 灰黑色, 流塑状, 局部地方层底为淤泥质粉砂~中细砂。呈流塑~中密状;

(4) 亚粘土层: 土黄色, 灰白色, 可塑~硬塑状。

根据实际的地质资料, 对不同土层的固结试验和直剪试验的试验结果及地质资料进行整理, 并且根据平时的工程经验积累, 得出摩擦角、粘聚力、孔隙比、压缩系数、破坏比等相关参数如(表 1)。

表 1

材料名称	土层高程(m)	φ	C(kPa)	e_0	$a_v(\text{MPa}^{-1})$	R_f
亚粘土	-124.0~-64.22	27	10	0.912	0.25	0.8
细砂和亚粘土	-64.22~-43.0	28	10	0.689	0.15	0.8
亚粘土	-43.0~-26.7	29	10	1.159	0.67	0.8
亚粘土	-26.7~-22.4	28	10	1.546	0.87	0.8
亚粘土	-22.4~-10.6	27	10	0.715	0.245	0.8
淤泥	-10.6~-1.0	20	20	2.249	3.13	0.8
砂土	-1.0~0.12	30	0	0.7	0.2	0.75

3 计算模型

计算中, 所采用力学模型为工程上普遍应用土的邓肯-张 E-v 模型, 模型充分考虑了土体的非线性, 因其结构简单参数容易确定且其能够反映土体变形的规律。在路基填筑过程中, 土体的变形实际上是一个动态变化的过程, 因此, 在计算中也

把它作为动态的过程来处理, 相应地用增量法逐步分析路基沉降。增量法分析采用的模量为切线弹性模量, 表示为^[1]

$$E_t = \left[1 - \frac{R_f(1 - \sin\varphi)(\sigma_1 - \sigma_3)}{2c \cos\varphi + 2\sigma_3 \sin\varphi} \right]^2 E_i \quad (1)$$

$$E_i = K \cdot p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \quad (2)$$

式中:

c :土体粘聚力; φ :土体内摩擦角; p_a :大气压力;
 R_f 、 K 、 n 、 G 、 F 、 D 、 K_{ur} 为模型参数。

虽然有限元计算具有许多优点,但若对实际情况模拟不好、计算参数选择不恰当等都会严重地影响计算结果的准确性。为了使计算结果能较真实的反映实际情况,同时达到简化计算过程的目的,计算主要在①几何模型模拟;②荷载模拟;③边界条件模拟等方面采用了等效原理,并通过实测数据控制。

3.1 几何模型模拟

在重要的工程研究中,建立与实际工况相一致的有限元模型是至关重要的。根据实际工况的需要,可能有些地方需要特殊的处理。在此项目中,亚粘土和淤泥层较厚,特别是淤泥层,是影响沉降的主要原因之一,所以在计算中适当地加大了亚粘土和淤泥层的网格密度。

三维有限元模型需要兼顾土层材料和加载过程进行网格划分。网格划分的原则是既保证具有足够精度又不使单元太多。在充分考虑实际情况的基础上,对模型进行了合理的网格分布。不同的土层需要划分网格的间距不同。不论怎样划分,都必须满足土层交界处的协调条件。网格划分结束后,需进行试算,并且与适当的加密及某些土层网格的适当调整后试算的结果进行对比,在工程项目所允许的误差范围内,结束网格划分工作。

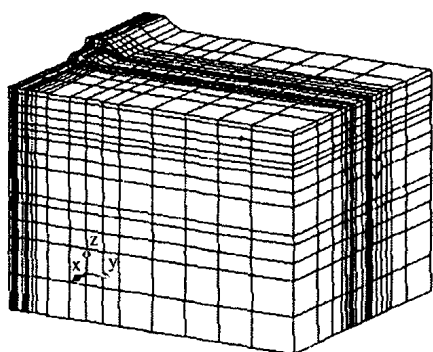


图1 计算所用的三维立体

根据有限元模拟计算方法确定该工程某桥头整个地基及基础有限元计算所取定地层的范围:水平断面方向从其高程-124.00m到路基顶部的设计高程;横断面方向从路基中心线起向外171.25m(考虑到桥头引桥段路基的对称性);纵断面方向从桩号K23+780。在其范围内有限元网格总共有9988个结点、8666个单元三维网格示于(图1)。计算参数的确定是计算的关键问题。对于一般情况,可以采

用常规三轴应力应变试验来确定,也可用单向固结试验和直剪试验的结果近似确定^[4]。

3.2 荷载模拟

计算荷载模拟包括加载过程的及荷载大小两方面的模拟。本项目现行设计方案路基填筑厚度为8m。由于在工况中,每一层路基填筑最大约为40cm左右,而在有限元模拟计算中,若每一层都按实际填筑来模拟会造成网格太密,增加计算时间,影响到计算结果,所以在计算中将5层路基填筑合为一计算层。

计算中,荷载模拟共分5级,具体第1级为基础处理施工,第2~5级路基分层填筑施工。计算中没有考虑除了路基填筑以外的影响,诸如桥面自重荷的影响载、路面活荷载的影响等。在下面的计算分析中,第5级荷载结束称为总路基填筑施工结束,并把路基填筑完毕作为计算完毕的标志。

3.3 约束模拟

根据有限元的基本原理,每一个结点的位移是由X、Y、Z三个方向的合成,并结合实际工况位移及变形,对其进行模拟。在X坐标为-60m(即桩号为K23+665)及80m(即桩号为K23+780)时,只有竖向(Z方向)的位移;在Y坐标为0m(即道路中心线)及171.25m(即所考虑范围的边界)时,有竖向(Z方向)及纵向(Y方向)的位移;在Z坐标为-124m,三个方向的位移均为零。

4 计算结果

路基填筑时,直接影响到整个地基的沉降的稳定性,而恰恰是地基土体的计算参数具有一定的人为因素,因此计算参数的选取成为关键性问题。参数的选取应平行采用多种方法进行可靠性论证。计算主要利用通过钻孔(钻孔(zk209)、钻孔(zk210)、钻孔(zk214)和钻孔(zk231))取样所做的试验及地质勘探资料进行综合整理,并且根据相关的工程经验积累,及专家们的建议,确定所需要的相关参数。所选的参数(表1)能够满足计算分析要求。然后依据文献^[4]的方法通过程序来确定了邓肯-张E-v模型所有8个参数见(表2)。

受实际情况的限制,不可能把路基的每一点都作为检测对象,所以为能检验所选参数的合理性,选择了检测桩号K23+700作为对比对象,且此桩号路基设置左、中、右三个检测点。以所选参数计算桩号K23+700在路基填筑2m时横断面X及Z方向的路基中间检测点位移分别为4.62cm、77.90cm。

表 2 邓肯-张模型相关 8 个参数

材料名称	土层高程(m)	R_f	K	n	G	F	D	Kur	φ°	$\Delta\varphi^\circ$	$\rho(g/cm^3)$
亚粘土	-124.0~-64.22	0.8	147.9	0.55	0.34	0.009	1.71	221.9	27	10	0.865
细砂和亚粘土	-64.22~-43.0	0.8	217.8	0.55	0.35	0.006	1.67	326.6	27	10	0.97
亚粘土	-43.0~-26.7	0.8	62.3	0.55	0.33	0.024	1.89	93.5	27	10	0.76
亚粘土	-26.7~-22.4	0.8	56.6	0.55	0.32	0.027	1.93	84.9	27	10	0.67
亚粘土	-22.4~-10.6	0.8	135.4	0.55	0.34	0.01	1.72	203.1	27	10	1.025
淤泥	-10.6~-1.0	0.8	11.9	0.59	0.28	0.105	2.64	17.8	20	20	0.5
砂土	-1.0~0.1	0.75	22.1	0.35	0.32	0.01	1.94	318.1	30	0	0.9
路基填砂	0.1~3.0	0.75	212.1	0.35	0.32	0.01	1.94	318.1	30	0	0.9
路基填土	3.0~8.0	0.8	164.4	0.55	0.34	0.008	1.69	246.6	27	10	1.8

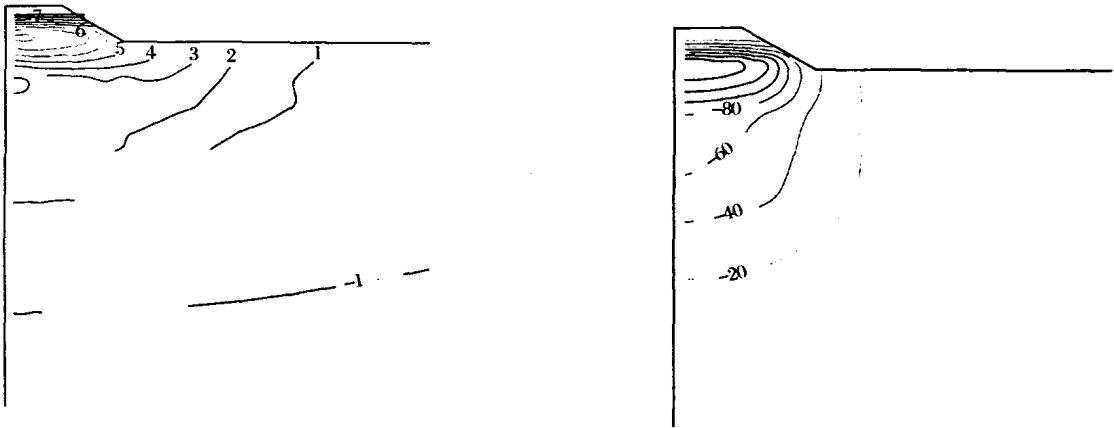


图 2 路基填筑 4m 时桩号为 K23+700 横截面 X 方向位移和沉降(cm)

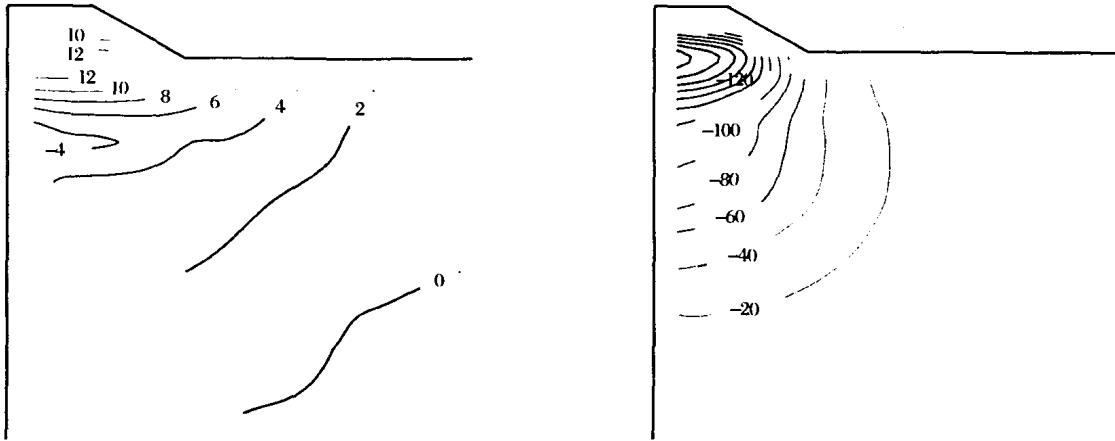


图 3 路基填筑 8m 时桩号为 K23+700 横截面 X 方向位移和沉降(cm)

桩号 K23+700 断面上,路基填筑完毕时,路基最终沉降(不考虑次固结沉降)的最大值为 250.12cm。根据计算结果整理了路基填筑到 4.0m 和 8.0m 时在 x 方向位移(沿路走向)和 z 方向的沉降曲线如(图 2)、(图 3)。图中可见,预测路基填筑到 4.0m 和 8.0m 时在 x 方向和 z 方向位移的最大值分别为 9.38cm、150.64cm 和 13.27cm、266.35cm。

5 结果分析和施工建议

从路基填筑 2m 时的计算结果与实际的检测资料基本符合出发,在路基填筑 2m 时路基中间点实际量测的地基沉降值为 74.40cm,其中计算值的结点坐标接近于检测点的坐标,并与其误差约为 4.

7%,在允许误差范围之内;计算出在路基填筑 2m 左右时的基础沉降与实际的检测沉降值十分接近。所以有限元所计算的结果,是可以接受的,同时进一步论证了所采用参数的可靠性。在计算范围内桩号 K23+700 曾采用的相同的材料参数分别用分层综合法和有限元计算无桩时的地基沉降。分层综合法计算的结果与有限元计算的结果相比,略偏小一些。因为在有限元计算中,考虑土体的侧向变形,所以认为这一点是合理的。但在此同时,更重要的是证明了有限元计算的结果较为符合实际。
从计算路基填筑 2m 时的计算结果上看及经过相关的一些论证,结果基本上能与实际工况相符,因

此可以把有限元计算路基填筑 4m 和 8m 时的结果作为实际的结果来对软基进行提前处理,笔者们向施工管理单位提出如下建议:

(1) 在路基的碾压过程中,以较慢、恒定的速度进行碾压,防止增大路基的横向位移。

(2) 在填筑完一层以后,应及时进行预压,提前让土体固结。

(3) 对可能同一层路基完毕后可能产生的沉降进行及时处理,使其标高与设计标高相符。

(4) 在填筑下一层前的整个施工过程中进行严格的现场监控,路基设置表面沉降观测点、测斜管等。观测数据及时整理,若出现异常情况,立即停止施工,采取补救措施。

以上建议均被施工管理单位采纳,目前,该段路基已顺利完成,处理过程中产生的不均匀沉降及位移,进行了及时处理,保证了与后续施工的顺利衔接。

6 结束语

通过对某路段的现场观测及计算结果的分析,计算结果基本上能够预测用此施工方法在路基填筑过程中的路基的表面沉降与位移,因此,建议在以后

的施工中,现场可以参考此结果进行合理施工。

(1) 参数是计算的关键问题。输入参数具有不确定性,所以需采用多种方法进行可靠性论证,使得所选的参数满足计算分析要求。路基填筑时,地基土体的应力状态直接影响路基的稳定,而路基的稳定性恰恰是我们所关心的,因此,必须经多种方法进行可靠性论证后采取合理的参数;

(2) 在此工况中,具有较厚的淤泥层和较大压缩系数的亚粘土层,是导致沉降较大的主要原因。所以在有限元计算中,为了提高计算精度,应适当加大其网格密度;

(3) 本课题对有限元计算预测路基填筑过程中及结束时的表面沉降,因此,建议在以后的研究中,现场进行安全度控制,现场施工可根据计算结果来指导施工。

参考文献

- 1 钱家欢,殷宗泽主编.土工原理与计算.水利电力出版社,1996
- 2 殷宗泽编著.土工数值计算.水利电力出版社,1994
- 3 殷宗泽,钱玉林,邓肯-张模型参数的近似确定.第一届华东岩土力学讨论会论文集,1994
- 4 陈思清,李玲玲,王立忠.深厚软基煤场预压加固的变形预测与稳定监控.工业建筑,2003,33(6):35~39

Prediction of Subgrade Settlement and Horizontal Displacement Through Finite Element Analysis

Abstract In the process of subgrade filling, its consolidation would cause the settlement and displacement of foundation. If not eliminated in time, the phenomena will lead the subgrade to settlement and displacement after completion of construction, having the unnecessary repair. Thus, predicting the settlement and displacement potential in subgrade filling by finite element method, the paper conducts treatment ahead of time. First, there is fixing the parameters required for finite value analysis by way of geology data and relative experiments, then predicting the settlement and the displacement of subgrade, potential in filling of subgrade, by finite element analysis, guiding like this the construction going.

Keywords Finite element Prediction Subgrade Filling