

锡澄与沪宁高速公路沉降隔离墙 工作状态的数值模拟

14
52-54

U412.366
U416-1

苏超 徐泽中 吴钰 陈小桐 郭永琛 何平

(河海大学 南京 210098)

(江苏省高速公路建设指挥部 南京 210001)

摘要 针对锡澄高速公路与沪宁高速公路拼接段采用的定喷隔离墙加固施工措施,应用土体固结非线性有限元法,就隔离墙在工程中所起的作用进行数值模拟。计算分析表明,隔离墙的存在可有效地减少锡澄高速公路拼接后对沪宁高速公路主线中心的附加沉降量。同时对隔离墙进行验算,给出了隔离墙两侧的受力分布及位移规律,计算结果满足墙体的设计强度。

关键词 高速公路 软土地基 固结 隔离墙 数值计算

锡澄高速公路和沪宁高速公路拼接段位于无锡市东北塘钱巷附近。为了避免新建路基沉陷对运行中的沪宁高速公路路基产生不良影响,在锡澄高速公路 N-15 标段的设计中采用了地下隔离墙加固技术。在方案设计过程中,我们利用拼接段附近的地基参数,就 12.5m+26.0m+12.5m, 8.5m+26.0m+8.5m, 8.5m+26.0m+3.75m 等不同拼接方式,不同路堤高度多种工况进行了理论分析比较,找出沪宁高速公路最不利的工作状态,分析结果为拼接段隔离墙的设计提供了依据。在施工过程中,又在现场钻孔取样,做室内试验,得到了拼接路段的详细地质参数。在此基础上对隔离墙的作用进行了验算,分析了分隔墙对沪宁高速公路沉陷的影响、隔离墙两侧的受力分布规律及位移情况,以验证定喷隔离墙对确保沪宁高速公路沉降隔离和安全性所起的作用。

1 分析方法和计算模型

计算分析采用平面比奥固结非线性有限

元法^[1,2]。平面应变问题的基本方程为

$$\begin{cases} -G \nabla^2 u - \frac{G}{1-2\mu} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \\ -G \nabla^2 w - \frac{G}{1-2\mu} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial p}{\partial y} = g\rho \\ \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) = \frac{k}{g\rho_w} \nabla^2 u \end{cases} \quad (1)$$

式中 u, w 分别为水平向和铅直向位移; p 为孔隙水压力; x, y 为单元节点坐标值;

$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ 为拉普拉斯算子; ρ, ρ_w 分别为土和水的密度; k 为渗透系数; G, μ 分别为土的剪切模量和泊松比; g 为重力加速度。

土体的切线模量采用邓肯模型,其应力应变关系的切线模量为

$$E = \left[1 - \frac{R_f(1 - \sin\varphi)(\sigma_1 - \sigma_3)}{2c \cos\varphi + 2\sigma_3 \sin\varphi} \right]^2 \cdot K p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \quad (2)$$

式中 c, φ 为有效应力强度指标; σ_1, σ_3 为最大、最小气应力; R_f 为破坏系数; K, n 为模

第一作者简介:苏超,男,副教授,从事水工结构工程的仿真分析和研究,曾发表《软基上船闸计算方法及地基模型参数反分析研究》等论文。

量参数, p_a 为大气压力。

卸载后的回弹模量用下式表示

$$E_w = K_w p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^{n_w} \quad (3)$$

式中 K_w 和 n_w 为回弹模量参数。

式(1)对二维空间和时间离散后, 可得在时间 t 以节点位移增量和孔隙水压力为未知量的有限元支配方程。

有限元计算模型如图 1 所示。其计算节点数为 542, 单元数为 476。

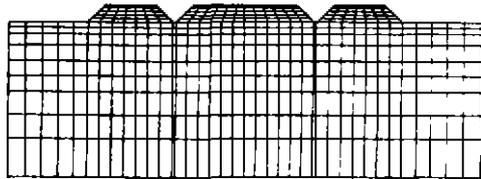


图 1 有限元计算网格剖分示意

地基参数由室内试验获得, 其值见表 1。

表 1 地基计算参数

土层	深度 h/m	K	n	C /kPa	φ ($^\circ$)	R_f	G	F	D
1	0.0~4.0	60	0.82	18.0	24.0	0.86	0.23	0.00	1.9
2	4.0~8.0	180	0.46	0.0	30.0	0.62	0.25	0.00	1.3
3	8.0~14.0	60	0.52	20.0	27.0	0.80	0.26	0.05	1.7
4	14.0~24.0	84	0.74	54.0	30.0	0.81	0.21	0.00	2.5
5	24.0~40.0	270	0.43	23.4	25.4	0.87	0.30	0.00	4.0

拼接段于 1997 年 10 月 1 日开工, 11 月 6 日 K 匝道路路基填土 0.745 m, 11 月 12 日 K 匝道路路基填土 1.19 m, 11 月 18 日 I 匝道路路基填土 1.513 m, 12 月 9 日 K 匝道路路基填土 1.207 m。为便于分析, 对施工加载次序进行概化处理, 具体过程如下: 拼接段路基分 4 层, 每层 0.93

m, 每层施工 15 d, 预压 15 d, 第 4 层结束后再预压 60 d; 拼接段路面分 3 层, 每层施工 20 d, 预压 20 d。

2 计算成果

2.1 隔离墙对路基沉陷的影响

我们就沪宁高速公路主线单独作用、拼接后不加固、定喷隔离墙加固处理三种情况进行了分析, 位移计算结果列于表 2。计算时隔离墙厚度取 80 cm, 分隔墙弹模取 90 MPa, 路堤高 4.5 m, 计算结果为通车 15 年后稳定结果。

表 2 拼接段对沪宁高速公路沉陷的影响

工 况	沪宁路中 点沉降 /cm	拼接后沪 宁路中点 沉降增量 /cm	拼接后路 肩处沉降 增量 /cm	拼接后产 生的沪宁 路模比降 增量(%)
原沪宁路 单独作用	37.94			
不设隔离 墙拼接	42.22	4.28	14.16	0.76
设隔离墙 拼接	39.77	1.83	5.34	0.27

2.2 隔离墙水平位移和两侧受力分布规律

图 2 和表 3 分别给出了隔离墙在拼接段通车 15 年后隔离墙的水平位移和两侧受力情况。

从表中可以看出, 隔离墙受锡澄路一侧的负摩擦力为 334.02 kN, 受沪宁路一侧的正摩擦力为 240.51 kN, 不平衡的铅直力由底层土体平衡, 隔离墙所受应力满足室内实验室所给出的 1.0 MPa 的允许压应力。

表 3 分隔墙两侧受力情况^①

影响宽 度/m	垂直深 度/m	隔离墙锡澄路一侧			隔离墙沪宁路一侧		
		水平受力 (压力为正) /kN	铅直受力 (向上为正) /kN	边缘应力 (压力为正) /MPa	水平受力 (压力为正) /kN	铅直受力 (向上为正) /kN	边缘应力 (压力为正) MPa
1.5	0.75	10.455	-37.485	0.053	9.001	4.892	0.058
1.5	2.25	26.225	-43.530	0.098	25.410	6.041	0.137
3.0	4.5	130.620	-83.460	0.248	148.280	33.880	0.171
4.0	8.0	221.760	-84.320	0.799	202.960	33.974	-0.174
4.0	12.0	264.040	-44.680	0.458	254.080	38.880	0.261
4.0	16.0	279.000	-41.200	-0.300	298.000	56.600	0.791
6.0	21.0	562.020	0.660	0.262	563.840	66.240	0.455

注: ①通车 15 年后, 墙体弹模 90.0 MPa。

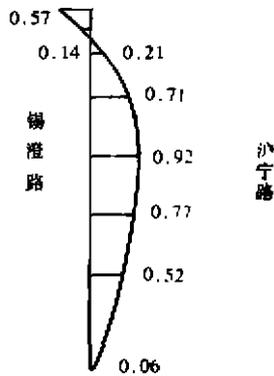


图2 隔离墙水平位移分布(单位:cm)

2.3 隔离墙底部土层模量参数 K 对墙体沉陷的影响

从式(2)可以看出,土体的切线模量与参数 K 成正比,而隔离墙本身的沉陷取决于墙体两侧土层的固结情况和底部土层的好坏。表4给出了底部土层模量参数 K 对应的隔离墙沉陷值。

表4 底部土层模量参数 K 对墙体沉陷的影响

模量参数 K	150	210	270	330
位移/cm	2.83	2.61	2.41	2.25

3 结论

a. 采用现场补充钻探取样的室内试验成果利用土体固结非线性有限元对分离式拼接段隔离墙施工技术进行了数值模拟。计算表明,隔离墙的存在可有效地减小锡澄高速公路拼接后对原沪宁高速公路主线中心的附加沉降量。

b. 对隔离墙进行了验算,给出了墙体两侧的受力分布及位移规律,通过计算验证了墙体在确保沪宁高速公路沉降隔离所起的作用,墙体满足设计强度要求。

参考文献

- 1 殷宗泽.土坝非线性有限元计算程序.见:姜弘道等,水工结构工程与岩土工程的现代计算方法及程序.南京:河海大学出版社,1992.266~275
- 2 钱家欢,殷宗泽.土工原理与计算,第二版.北京:中国水利电力出版社,1996.199~237

(收稿日期:1998-01-16 编辑:马敏峰)

(上接第45页)不考虑粘粒含量的影响所产生的误差在本关系的控制误差范围内。

3 结论

通过上述回归分析,得出沪宁高速公路地基土用100g圆锥测定的液限 w_{L100} 与用76g圆锥测定的液限 w_{L76} 有如下关系:

$$w_{L76} = 2.4817 + 0.793 w_{L100} \quad (1)$$

$$w_{L100} = -3.1295 + 1.261 w_{L76} \quad (2)$$

式(1)和式(2)表示的曲线见图1。此外在图中由置信区间的长度画出置信带,置信带的宽度反映该关系式预报数据的控制误差。在 \bar{x} 处误差最小,为3.91%,越远离 \bar{x} ,误差越大。粘粒含量对相关关系的影响在预报数据时可不考虑。

参考文献

- 1 钱家欢等,土工原理与计算.北京:中国水利电力出版社,1996
- 2 庄楚强,吴亚森.应用数理统计基础.广州:华南理工大学出版社,1992

(收稿日期:1997-12-11 编辑:许宇鹏)

(上接第48页)上对较简单的 $e \sim p'$ 曲线法和 $a_{v1-2}(E_{s1-2})$ 法进行了扩充,经沪宁高速公路全线约5000个断面的计算分析实践证明,基本能满足工程建设的需要。

b. 上述常规方法是假定以均质土一维单向固结理论为基础,无法考虑侧向变形的影响,也不能考虑成层地基水平砂层对土层固结的加速作用,故又编制了非线性及弹塑性比奥固结二维有限元程序,用邓肯-张双曲线模型考虑土体应力应变非线性特性,根据土的应力历史采用不同弹模,还可以准确模拟施工分级加荷条件,是一种先进的分析方法。不过该法确定计算参数较复杂,计算工作量大,要做三轴排水试验。目前主要用于重点地段校核和评估。

参考文献

- 1 钱家欢,殷宗泽等.土工原理与计算.北京:中国水利电力出版社,1996

(收稿日期:1997-12-15 编辑:许宇鹏)