

文章编号:1673-9469(2012)02-0016-04

## 软土地基处理中换填厚度的优化研究

李欢<sup>1</sup>, 陈磊<sup>2</sup>, 安海平<sup>2</sup>, 赵振杰<sup>2</sup>, 吕晓杰<sup>2</sup>

(1. 天津城市建设学院 土木工程系, 天津 300384; 2. 中铁六局集团天津铁路建设有限公司, 天津 300232)

**摘要:**高速铁路地基的沉降研究一直都是工程界最关心的问题之一。本文结合天津蓟港铁路的地基工程, 明确地提出了软土地基处理的一种新方法—换填泡沫轻质土法, 并运用大型有限元软件 ANSYS 对换填泡沫轻质土地基进行了精确的模拟计算, 从而得出在不同换填泡沫轻质土高度下的地基沉降位移曲线。并且通过比较, 在满足铁路规范的前提下, 总结得到最经济合理的换填泡沫轻质土高度, 对本工程具有实际的指导意义。

**关键词:**泡沫轻质土; 换填厚度; 沉降曲线

**中图分类号:** U213.1

**文献标识码:** A

### The research on the thickness of replacing in dealing with the soft foundation

LI Huan<sup>1</sup>, CHEN Lei<sup>2</sup>, AN Hai-ping<sup>2</sup>, ZHAO Zhen-jie<sup>2</sup>, LV Xiao-jie<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China;

2. China Railway Sixth Group Tianjin Railway Construction Co., Ltd, Tianjin 300232, China)

**Abstract:** The research on the sedimentation of the foundation in high-speed railway has been one of the concerned problems in civil engineering. Based on a railway foundation project in Tianjin; this paper puts forward a new method replacing the soft foundation with the lightweight foam soil to deal with the soft foundation. In this paper we also use ANSYS software to simulate and calculate the foundation which is replaced by the lightweight foam soil and get the sedimentation curves of the foundation under the different thickness of the lightweight foam soil. Through the comparison, we get the most economic and reasonable thickness which also meets the railway standards and it has practical guiding significance to this project.

**Key words:** the lightweight foam soil; the thickness of replacing; the sedimentation curves

为满足高速铁路的安全性、平稳性、舒适性的要求, 铺设轨道的地基应具有强度高、刚度大、稳定性和耐久性好等特点。高速铁路地基的设计比普通公路更严格, 主要体现在沉降控制上。高速铁路除满足强度要求外, 还要求严格控制地基的沉降, 对于软土地基而言, 这点显得尤为重要<sup>[1-7]</sup>。本文结合天津蓟港铁路北塘西至东大沽段工程, 提出了一种新方法来控制软地基的沉降, 即换填泡沫轻质土, 并运用大型有限元软件 ANSYS 对换填泡沫轻质土地基进行模拟计算。首先

建立了换填轻质泡沫土复合地基的沉降模型, 采用弹塑性土体本构模型, 使用有限单元法研究在列车荷载作用下换填泡沫混凝土复合地基的位移沉降量, 并用 ANSYS 模拟不同厚度泡沫轻质土换填下的位移沉降量, 通过比较, 在符合国家规范的前提下, 采用最经济合理的换填高度。

### 1 工程背景概况

天津蓟港铁路北塘西至东大沽扩能改造工程

位于渤海湾西岸天津港附近。路线所经地区为冲海积平原,即为软土地基,在与既有线并行增建二线地段,为减少既有线变形、确保运营安全,地基采用水泥搅拌桩。桩长 15 m,桩径 500 mm,桩间距 1.2 m。图 1 为桩的布置图。

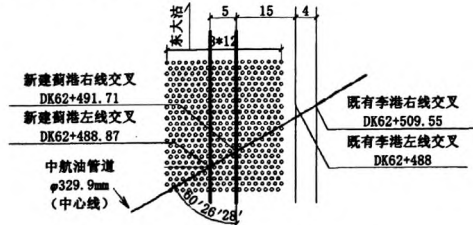


图1 水泥搅拌桩的布置图

Fig.1 The arrangement diagram of the cement stirring stake

在中心里程 DK62 + 488.87 处下穿一条中航油输油管道,管径  $\Phi 329.9$  mm,与新建线夹角  $60^\circ$ ,埋深约 13 m(见图 1)。此处路基填高仅有 1 m,原设计基底处理为采用 1 m - 4 m 钢筋混凝土盖板箱涵,基础为钻孔桩基础。为确保钻孔桩施工不影响管线安全,施工前需准确定位管线的位置。由于受周边高压线干扰,无法使用探测设备探测出管线准确位置,因此我们采用换填方式加固地基基础。本段路基地底淤泥质土深厚,采用传统换填方式后沉降很大,不能保证管线的安全,所以该工程决定采用新型材料泡沫轻质土换填,利用泡沫轻质土的轻质性、高强度性、高流动性等特点来增加路基稳定性,进而保证中航油管道的安全。

## 2 有限元模型的建立

### 2.1 有限元分析的简化处理

为了在有限元分析中使问题简化又能反映问题的主要特征,做以下几点假设:(1)假设泡沫轻质土是线弹性的,即符合广义胡克定律。(2)假设土是理想弹塑的,弹塑性模型能较好地反映土的非线性特征。(3)假设土和泡沫轻质土各项同性,都是均质的。(4)不考虑土体的初始应力状态和施工所引起的初始位移场和初始应力场<sup>[2]</sup>。

### 2.2 土体的本构模型

土属于颗粒状材料,受剪时颗粒会膨胀,而且土体的受拉屈服强度远小于受压屈服强度,所以,平时常用的 VonMises 屈服准则已经不适用了。土

力学中常用的屈服准则有 Mahr - ocoulomb 准则和 Durkcer - Prgaer 屈服准则。其中 Durkcer - Prgaer 屈服准则能更准确地描述土体,简称为 DP 材料。本文采用基于弹塑性增量理论的本构模型 - Drucker - Prager 模型来模拟土体。在土壤的有限元分析中,采用 DP 材料可得到较为精确的结果。

D - P 模型是在考虑静水压力的广义 Mises 屈服准则或 D - P 屈服准则的基础上建立起来的,因此也称广义 Mises 模型。它是对 Mahr - coulomb 准则的近似,用来修正 VonMises 屈服准则。它的屈服面并不随材料的屈服而改变,因而没有强化准则,但它的屈服强度却随着侧限压力(静水压力)的增加而相应增加,其塑性行为被假定为理想弹塑性。在 ANSYS 软件 DP 材料选项的数据表中,要输入 3 个值:粘聚力 C、内摩擦角  $\Phi$ 、膨胀角,其中膨胀角是用来控制体积膨胀大小的。如果膨胀角为 0,则不会发生体积膨胀;如果膨胀角等于内摩擦角,在材料中则会发生严重的体积膨胀<sup>[2]</sup>。土体的屈服准则采用 D - P 屈服准则,它的数学表达式为

$$\sigma_e = 3\beta\sigma_m + \left[ \frac{1}{2} \{S\}^T [M] \{S\} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\sigma_y = \frac{6C\cos\phi}{\sqrt{3}(3 - \sin\phi)} \quad (2)$$

式中  $\beta$  - 材料常数,  $\beta = \frac{2\sin\phi}{\sqrt{3}(3 - \sin\phi)}$ ;  $\sigma_m$  - 平均应力或静水压力,  $\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$ ;  $\{S\}$  - 偏应力;  $[M]$  - Mises 中的屈服准则。

最后屈服准则的表达式为

$$F = 3\beta\sigma_m + \left[ \frac{1}{2} \{S\}^T [M] \{S\} \right]^{\frac{1}{2}} - \sigma_y = 0 \quad (3)$$

对于 DP 材料,当材料参数  $\beta$  和  $\sigma_y$  给定后,屈服面为一圆锥面,次圆锥面是六角形的摩尔 - 库仑屈服面的外切锥面。

### 2.3 材料的选择及所用参数

第一层:粉质粘土,黄褐色,软塑;第二层:黏土,黄褐色,软塑;第三层:淤泥粉质粘土,褐灰色,流塑;第四层:粉土,灰色,潮湿,中密;第五层:淤泥粉质粘土,褐灰色,流塑;第六层:粉土,灰色,潮湿,中密。表 1 给出了不同土层的材料参数。

泡沫轻质土:根据实验的泡沫混凝土试件 ( $100 \times 100 \times 100$ ) 在标准条件下养护得到的抗压强度值是  $1.8 \text{ N/mm}^2$ ,根据相关公式可得泡沫混

凝土的弹性模量  $E = 4.45 \text{ GP}$ 。列车荷载:采用铁路中荷载,将荷载转化为面荷载加在模型上。

表 1 不同土层的材料参数

Tab.1 Table of material parameters of the different soil horizon

高度 h/m	重度 $\gamma/\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	粘聚力 c /KPa	内摩擦角 $\Phi/(\text{°})$	弹性模量 E/MPa	泊松比 $\nu$	
1层	0-3	19.8	30.2	13	4.5	0.35
2层	0-4.2	19.2	33.3	10.6	3.5	0.42
3层	2.5-7	18.4	13.8	5.9	3	0.35
4层	0.5-1	17.9	13.2	4	4	0.25
5层	1.5-10	18.7	20	7.1	3	0.35
6层		17.9	13.2	4	4	0.25

2.4 建立模型

土体和泡沫混凝土都用 SOLID45 实体单元模拟,此单元用于仿真 3D 实体结构,该单元由 8 个节点组合而成,具有塑性、膨胀、应力强化、大变形和大应变的特征,单元变形满足几何连续性。网格划分时在应力相对集中的地方相对划的较细,在靠近边界的地方网格划得相对较粗,形成单元

划分由细到粗过度的网格形状。除了上表面外,其它的几个边界面都要约束:下表面为固定约束,周围四个面要约束水平面上两个方向的位移,使其可以上下移动,即在周边取竖向滑动支座。模型及网格划分见图 2。

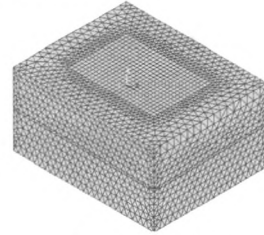


图2 模型及网格划分

Fig.2 Model and gridding

3 计算结果与分析

在列车荷载作用下,为了研究换填泡沫轻质土复合地基在不同的换填高度下位移沉降量的变化情况,对不同换填高度的计算模型进行了有限元计算。图 3 - 图 10 表示复合地基在 0.5 m、1 m、2 m、2.5 m、3 m、4 m、5 m、7 m 共 8 种不同换填高度下的位移沉降变化曲线。

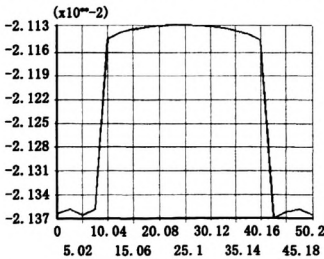


图3 换填厚度为0.5m时的地基沉降曲线

Fig.3 The sedimentation curves of the foundation with 0.5m replacing thickness

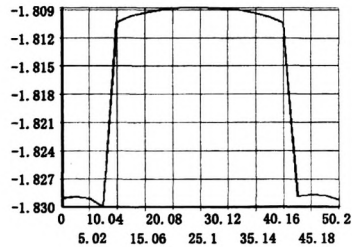


图4 换填厚度为1m时的地基沉降曲线

Fig.4 The sedimentation curves of the foundation with 1m replacing thickness

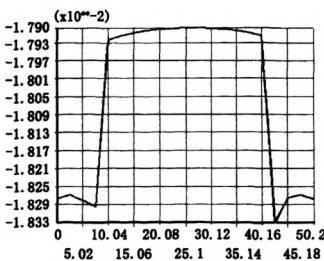


图5 换填厚度为2m时的地基沉降曲线

Fig.5 The sedimentation curves of the foundation with 2m replacing thickness

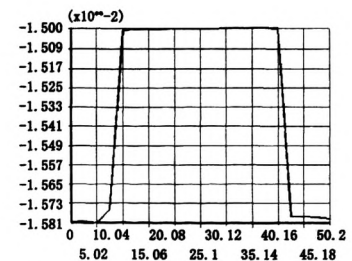


图6 换填厚度为2.5m时的地基沉降曲线

Fig.6 The sedimentation curves of the foundation with 2.5m replacing thickness

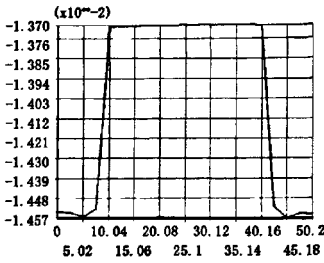


图7 换填厚度为3m时的地基沉降曲线  
Fig.7 The sedimentation curves of the foundation with 3m replacing thickness

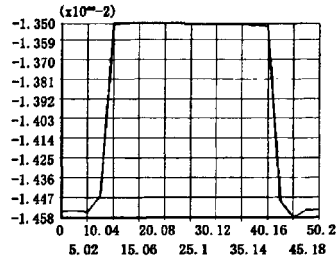


图8 换填厚度为4m时的地基沉降曲线  
Fig.8 The sedimentation curves of the foundation with 4m replacing thickness

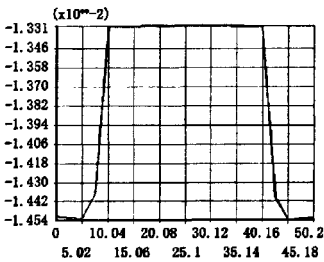


图9 换填厚度为5m时的地基沉降曲线  
Fig.9 The sedimentation curves of the foundation with 5m replacing thickness

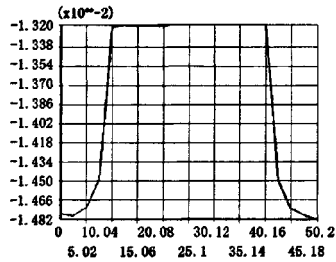


图10 换填厚度为7m时的沉降曲线  
Fig.10 The sedimentation curves of the foundation with 7m replacing thickness

从图 3 - 图 10 可以看出:当泡沫混凝土的换填高度为 0.5、1、2、3 时,位移沉降量从 2.113 cm 下降到 1.370 cm,沉降变化很大,而当换填高度大于 3 m 时(从 3m - 7m),位移沉降量几乎保持不变,都约为 1.3 cm,即泡沫混凝土的高度增加 4 m,位移沉降只减少了 0.05 cm。从经济角度考虑,泡沫混凝土的换填高度取 3 m 即可。

#### 4 结论

1) 天津蓟港铁路泡沫混凝土换填高度取 3m 的地基沉降是满足国家规范的,换填高度为 3m 时位移沉降已基本稳定,所以,从经济角度考虑,取 3m 也是最合适的。

2) 借助有限元理论,用 ANSYS 软件可以计算高速铁路地基的沉降量,并能得到比较精确的符合工程实际结果,这说明用 ANSYS 软件计算高速

铁路地基的沉降量完全可行。

#### 参考文献:

- [1] 卿三惠. 红层软岩地区高速铁路软基路堤沉降控制研究[D]. 成都:成都理工大学,2007.
- [2] 张 烨,尚瑞娟. 泡沫混凝土在我国的应用[J]. 河南建筑材料, 2011(3):140.
- [3] 王月梅. 桩基础承载力性状 ANSYS 分析[J]. 工程建设与设计, 2005(4):5-8.
- [4] 安少波. 高速铁路路基沉降测试与分析[D]. 长沙:中南大学,2009.
- [5] 刘金升. 高速铁路高路堤稳定性分析及工后沉降预测 [D]. 成都:西南交通大学,2005.
- [6] 肖桃李. 高速公路软土地基沉降分析及工后沉降预测 [D]. 武汉:武汉理工大学,2007.
- [7] 李军伟. 泡沫混凝土的研究和应用进展[J]. 上海建材, 2010(1):27-28.

(责任编辑 刘存英)