

文章编号:1673-9469(2014)02-0024-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2014.02.006

# 基于堆填厚度及填筑速率的拓宽路基变形研究

卢业旭,孙少锐

(河海大学 地球科学与工程学院,江苏 南京 210098)

**摘要:**在软土路堤结合工程中,软土的长期变形效应不仅影响道路的使用寿命,而且将使新老路堤间出现不均匀变形,因此对施工过程中路基变形及工后沉降控制是路基拓宽工程中急需解决的工程难题。本文将以南京滨江大道拓宽工程为研究对象,研究内容如下:针对南京浦口滨江大道K11+500断面,建立有限元模型,研究在不同堆填厚度与不同的填筑速率的条件下不对称拓宽路基的变形机制。结果表明:填筑速率越快,工后沉降越大,工后差异沉降也越大,孔隙水压力不易消散,影响土壤固结,要及时打设排水板,加快工程进度。随着填土层厚的增加,相同填筑速率下的填土差异沉降量也在变大。

**关键词:**堆填厚度;填筑速率;拓宽路基;变形机制

**中图分类号:**P642.3

**文献标识码:**A

## Research on widen subgrade in the condition of different dumping thickness and filling velocity

LU Ye-xu, SUN Shao-ru

(The College of Earth Science and Engineering, Hohai University, Jiangsu Nanjing 210098, China)

**Abstract:** The deformation of roadbed and control of post-construction settlement are great challenges in widen subgrade projects because of the long-term deformation effect of soft soil. The stability and deformation of the case in the condition of different dumping thickness and filling velocity was discussed, based on the FEM model for soft soil subgrade of new building Pukou highway. The result shows that the post-construction settlement and the differential subsidence of pavement increased with the increasing filling velocity. In this situation, pore water pressure is not easy to dissipate, so the soil consolidation rate decreases. To accelerate project schedule, drainage board should be built up in time. And the differential subsidence of pavement under the same filling velocity is increasing when the dumping thickness increases.

**Key words:** filling thickness; filling velocity; widen road foundation; deformation mechanism

在我国东南沿海地区,软土分布较广。在软土地基上修建高填方路基,路基的不均匀沉降是最常见的病害。一般认为,填筑速率与路基的工后沉降关系密切<sup>[1]</sup>,因此在工程实践中,对于路基的填筑速率有严格的规定,特别是对于高填方软土地基,对填筑速率的控制更为重要。国内对高填方路基和软土路基的填筑速率研究已初见成效<sup>[2-4]</sup>,但对于填筑厚度的相关研究并不多见。在路基加宽工程中,更应该注重工后沉降与不均

匀沉降的问题<sup>[5-7]</sup>。本文所选工程为临水高吹填路堤结合工程,在国内尚无很成熟的研究经验,具有较高的科研价值。

本论文以南京滨江大道高等级道路拓宽工程为依托,结合变形等监测资料,对处治效果进行评价验证,建立了新老路堤拼接结构的有限元模型,施工过程中采用分层填土,对层厚10、20、30 cm的填土层分别进行计算,同时将填筑速率控制在0.5、1、2、3 m/月,对比分析路基的总沉降量、工后

沉降和差异沉降,结合超静孔压的消散情况,提出一个合理的填筑速率以及填土层厚,对软基上的路基拓宽施工进行理论参考。

### 1 工程概况

南京市浦口滨江大道(浦口新城段)第二标段(标段桩号为 K10 +000 ~ K14 +759.761)位于浦口区东侧,紧邻长江。工程所在地区主要为长江中下游冲积平原,软土广泛分布。根据勘察报告,场地地表出露及野外勘探深度 90 m 以内揭露有第四系人工填土层( $Q^{me}$ )和第四系全新统冲积层( $Q4^{al}$ )以及白垩系下统浦口组上段( $K_{1p2}$ )泥质粉砂岩、泥岩。按照不同的堆积、沉积环境特点和形成次序,由上往下大致分为四层:第一层为鱼塘、沟渠表层淤泥土和杂填土,整个场地分布,厚度为 1.5 ~ 6.5 m;第二层为淤泥质粉质粘土 ~ 淤泥质粘土,层厚 5.4 ~ 16.6 m;第三层为粉质粘土与粉土互层,其中粉质粘土以软塑状为主,局部可塑,厚度 3.0 ~ 16.0 m;第四层为细砂加粉质粘土,层厚一般为 10.0 ~ 20.0 m。

### 2 数值模拟分析

#### 2.1 模型建立

本文运用有限元软件对南京浦口滨江大道试验段 K11 +500 断面进行建模,模型如图 1 所示。计算中考虑到填土影响范围,模型取宽度为

140.0 m,路堤下地基土取至深度 35.0 m,路堤高度约 5.0 m,路堤顶面宽度 42.0 m,路堤下主要为吹填砂回填层、淤泥质粉质粘土层、粉质粘土与粉土互层和细砂夹粉质粘土层。路堤主要为吹填砂和路基填土组成,两侧扩宽部分下部软基采用排水板处理,双侧拓宽路基模型中排水板处理淤泥质土的厚度右侧约为 7.0 m,左侧约为 6.0m。同时取老路基下部粉质粘土层中 A 点,路基右侧排水板下部粉质粘土层中 B 点作为孔压的观测点,用以观测超静孔压的消散状况。模拟过程中通过填土层的加载间隔来控制填筑速率,同时在考虑不同的填土层厚的条件下进行路基填土,分析路基沉降以及孔压情况。

#### 2.2 计算结果分析

##### 2.2.1 模型合理性验证

特征断面实际施工的填土层厚为 20 cm,由于位于滨江地区,受长江汛期与降水的影响,施工速率不能保持恒定;由于排水板的实际排水效果与模型中的排水效果有差异,导致在施工过程中的实测沉降数值与模型模拟所得数值不能很好地吻合。但在总的沉降量上二者基本保持一致,实测数据的竣工沉降量为 1 238 mm,模型计算得到的竣工沉降量为 1 245 mm,证明了数值模拟的合理性。表 1 列出了特征断面部分实测沉降数据。

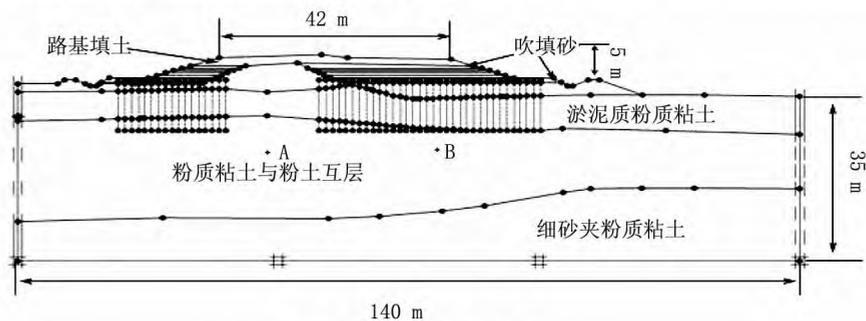


图1 双侧拓宽模型

Fig.1 The model of widen subgrade

表 1 特征断面实测沉降数据

Tab.1 The settlement data of characteristic section

施工天数/d	填土高度/cm	沉降量/mm	施工天数/d	填土高度/cm	沉降量/mm
1	50	-25	250	470	-931
50	260	-379	300	630	-984
100	260	-502	350	630	-1 056
150	320	-708	400	630	-1 182
200	320	-789	500	630	-1 238

表 2 不同填土层厚与填筑速率下路基沉降表

Tab. 2 The settlement table of different dumping thickness and filling velocity

填土层厚/cm	10				20				30			
填筑速率/ $\text{cm} \cdot \text{月}^{-1}$	50	100	200	300	50	100	200	300	50	100	200	300
竣工沉降量/cm	130	129	127	126	130	129	126	125	130	129	126	124
总沉降量/cm	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131	131

### 2.2.2 总沉降分析

针对特征断面,分别使用厚度 10、20、30 cm 的填土在 50、100、200、300 cm/月的填筑速率的条件下对路基进行施工。

由表 2 可知:当填筑速率较小时,路基的竣工沉降量较大,而随着填筑速率的增加,软土中的超孔隙水压力随之增大,路基的竣工沉降量在减小,但是变化并不明显。由于排水板的处理深度达到 15~16 m,而填土的影响范围主要位于这一层,因此超静孔压的消散较快,填筑速率的对竣工沉降量的影响相对小。

随着填土层厚的增加,在较低的填筑速率下竣工沉降量变化不大,但是随着填筑速率的增加,竣工沉降量差异开始凸显,同是在 300 cm/月的填筑速率下,10 cm 层厚填土的竣工沉降量为 126 cm,30 cm 层厚填土的竣工沉降量为 124 cm,对需要严格控制的工后沉降影响比较明显。而填筑速率只影响路基的沉降过程,路基的最终沉降量取决于填土高度,因此填筑速率对路基的最终沉降量没有影响。

### 2.2.3 工后沉降以及差异沉降分析

设置新填路基左路肩为零点,在填土施工结束后直至超静孔压力消散为 0 这段时间里,路基顶面的各点的工后沉降如图 2。

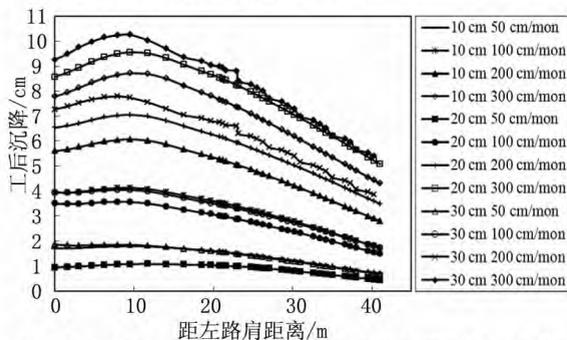


图2 不同层厚填土在不同填筑速率下的工后沉降对比  
Fig.2 The contract of post-construction settlement under different dumping thickness and filling velocity

从图 2 可以得出以下结论:在当填土层厚相同时,填筑速率越快,工后沉降越大;填筑速率越低,工后沉降越小。因为在发生固结沉降过程中,

孔隙水压的消散需要一定的时间,在竣工时孔压并没有完全消散,施工速率越快,由于固结时间不够,孔压的消散主要是在工后完成,因此最后的工后沉降就越大。

填筑速率相同时,当填土速率为 200 cm/月和 300 cm/月时,10 cm 层厚产生的工后沉降最小,30 cm 工后沉降最大;而当填土速率为 50 cm/月和 100 cm/月时,20 cm 层厚填土的工后沉降最小。

对比相同层厚填土在不同填筑速率下的沉降,10 cm 层厚填土 50 cm/月的填筑速率下工后沉降最大值为 1.80 cm,最小值为 0.66 cm,工后差异沉降为 1.14 cm。而在 300 cm/月的填筑速率下,工后差异沉降则为 4.54 cm。在 30 cm 层厚填土,300 cm/月的填筑速率下,工后差异沉降为 4.87 cm。可见,随着填筑速率的增加,工后差异沉降越明显。较大的工后差异沉降不利于之后的路面施工,易引起路面开裂等情况,影响车辆正常行驶。

对比计算结果中 12 种曲线,在 50、100 cm/月速率下各层厚的填筑方案最终产生的工后沉降都很小,其中 20 cm 层厚填土在 100 cm/月的速率下的最终工后沉降最小,而 30 cm 层厚在 300 cm/月速率下填筑后最终的工后沉降最大。

老路基经过多年运营,沉降已经比较稳定,而拓宽部位的新路基是在吹填砂的基础上进行施工,所以新路基的固结程度要低于老路基,所以新路基的沉降主要是在填土施工过程中完成。而在施工结束后,整个断面的沉降最大值出现在原老路范围内,最大工后沉降点近似出现在老路面的中线位置,路基右侧沉降差较小。主要是因为:在路基右侧下部排水条件较好,整个区域都有塑排水板,在施工期间,排水条件较好,在上部荷载作用下孔压能很快消散,沉降主要发生在施工过程中,最终这个区域工后沉降较小。在原老路区域,不设有排水板,下部土层为粉质粘土,透水性较差,从右边靠近老路位置虽然有排水板,但排水路径较长,孔压消散也很慢,在竣工后存在较大孔压,运营期由于孔压消散引起的工后沉降也较大。

### 2.2.4 超静孔隙水压力分析

孔隙水压力也是控制填筑速率的重要指标之

一,由于孔压的消散只与填土速率有关,所以取10 cm层厚的填土模型的孔压消散情况作为参考。通过模型分析得知,超静孔压与填筑速率呈正比关系,即随着填筑速率的增大,竣工时的超静孔压也随着增大,在50 cm/月的填筑速率条件下,竣工时的最大超静孔压仅为 $8.47 \text{ kN/m}^2$ ,而随着填筑速率增大到100 cm/月,最大超静孔压为 $17.33 \text{ kN/m}^2$ ,而在300 cm/月填筑速率条件下,最大超静孔压增大到 $30.68 \text{ kN/m}^2$ ,超静孔压承担了上部填土的荷载,延缓了路基的固结过程。

为了更详细研究各填筑速率条件下孔隙水压力的变化过程,在模型中选择A、B两个特征点,研究各特征点的孔隙水压力随时间的变化过程。图3为模型中A、B两点的超静孔隙水压力的消散情况。

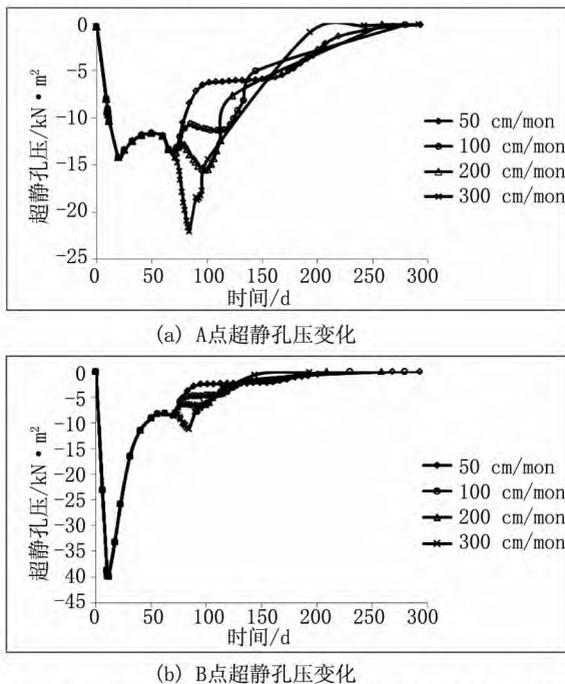


图3 10 cm层厚填土在不同填筑速率下孔压特征点超静孔压变化

Fig.3 The excess pore pressure change of 10 cm filling thickness under different filling velocity

从图3(a)中可以看出,当填筑速率为50 cm/月时,A点在填筑初期达到最大超静孔压,为 $-14.538 \text{ kN/m}^2$ ,在填筑过程中超静孔压持续消散,地基承载力在这一过程中不断加高。在100、200 cm/月的填筑速率下,超静孔压在填土初期消散良好,随着填土高度的增加,超静孔压开始缓慢增大,而在300 cm/月的填筑速率下,超静孔压持续增大,当填筑结束时,超静孔压达到最大值,为 $-22.551 \text{ kN/m}^2$ 。从图3(b)可以看出,B点在第一层的吹沙阶段孔压增长迅速,达到 $-39.953 \text{ kN/m}^2$ ,

而在其上层的排水板打设之后,超静孔压在短期内降到了 $-8.906 \text{ kN/m}^2$ ,在之后的填土施工过程中,除了在300 cm/月的填筑速率下超静孔压还在持续增长,其他填筑速率下的超静孔压都消散良好,在这一过程中,排水板起到的排水降压的作用十分明显,填筑速率对于铺设排水板区域软土的固结过程影响不显著。综上所述,结合现场施工情况,选择50、100 cm/月的施工速率较为合理。

### 3 结论

本文通过讨论不同填土层厚与不同填筑速率对拓宽路基的影响,得出以下结论:

(1)当最终填土高度保持固定时,填筑速率主要影响竣工时的沉降量,在排水条件良好的情况下,孔隙水压力消散及时,固结度随着填筑速率的增加变化不大,可以适当的加大填筑速率。

(2)由于老路基的固结程度要高于新填路基,在老路基下没有打设排水板,老路基上覆的填土在施工阶段沉降量小于两侧打设排水板的路段,因此存在较大的工后沉降,而新填路基的工后沉降小于老路基位置,这造成了较大的差异沉降。

(3)随着填土层厚的增加,相同填筑速率下的填土差异沉降量也在变大,所以10 cm和20 cm层厚的填土要明显优于30 cm层厚的填土,考虑到施工的频繁程度,20 cm填筑高度为宜。

(4)过快的填筑速率下,超静孔压不容易消散,影响路基稳定,50~100 cm/月的填筑速率下孔压消散良好,可作为施工参考。

### 参考文献:

- [1] 殷宗泽,朱泓,吴钰.沪宁高速公路地基沉降有限元计算分析[J].水利水电科技进展,1998(2):27-31.
- [2] 左威,涂文靖.填土速率对软土路基变形影响的数值分析[J].华东交通大学学报,2010,27(8):18-21.
- [3] 涂文靖.澎湖高速公路软土地基填土间隔时间对沉降的影响分析[J].岩土工程学报,2011,33(1):230-233.
- [4] 李洪峰.填筑速率对高等级公路加宽工程路基变形的数值分析[J].东北林业大学学报,2012,40(8):96-99.
- [5] 钟勇强,李浩,徐伟.软土地基上路基加宽工程沉降变形的数值分析[J].路基工程,2011(6):162-165.
- [6] 唐朝生,刘义怀,施斌,等.新老路基拼接中差异沉降的数值模拟[J].中国公路学报,2007,20(2):13-17.
- [7] 傅珍,王选仓,陈星光,等.新旧地基不同固结程度对拓宽路基差异沉降的影响[J].公路,2008(5):9-12.

(责任编辑 王利君)