

Experimental Research on PTC Control Technology of Widening Subgrade Differential Settlement

Pan TONG

¹Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

Abstract: This paper aims at improving after the new and old roadbed widening subgrade uneven settlement problem, using the geotechnical centrifuge experimental simulation control technology on the new and old embankment with pile composite foundation in different conditions of subgrade differential settlement influence. The test results show that the subgrade widening, pile treatment can not only greatly reduce the new and old subgrade uneven settlement and subgrade settlement can accelerate the stability of pile treatment technology can be used for settlement of high requirements and short construction period of the project, but pile treatment technology will also be penetrated into the phenomenon, can effectively alleviate the cap. In addition, through the geotechnical centrifuge experiments also showed that the treatment of subgrade widening for pile foundation soil settlement, settlement package reinforced area and the underlying stratum, the settlement of reinforced area accounted for 70%, accounting for 30% of settlement of substratum.

Keywords: Widening subgrade; Uneven settlement; Geotechnical centrifuge; Pipe pile

拓宽路基差异性沉降 PTC 控制技术试验研究

童攀

重庆交通大学, 重庆, 中国, 400074

摘要: 本文针对改善拓宽路基之后新老路基的不均匀沉降问题, 利用土工离心实验模拟不同工况中对新老路基利用管桩复合地基的控制技术对路基差异性沉降的影响。试验结果表明, 对于拓宽路基, 管桩处治不仅可以很大程度上减小新老路基的不均匀沉降而且能够加快路基沉降的稳定, 管桩处治技术可以用于对沉降要求较高而且工期短的工程, 但是管桩处治技术也会出现刺入现象, 管帽可以有效地缓解。此外, 通过土工离心实验还表明, 对于管桩处治拓宽路基土中, 地基土的沉降包加固区和下卧层的沉降, 其中加固区的沉降占 70%, 下卧层的沉降占 30%。

关键词: 拓宽路基; 不均匀沉降; 土工离心; 管桩

1 引言

近年来, 随着交通量的迅速增长, 越来越多的早期修建的道路需要拓宽扩建。而在拓宽工程完成之后, 由于新老路基的填筑材料、厚度、固结程度等方面差异[1], 引起路基路面的变形, 开裂特别是拓宽软土路基后路面经常出现横向、纵向裂缝的病害, 这是由于新老路基的不均匀沉降[2]。在道路的拓宽建设中, 如何控制新老路基的不均匀沉降尤其是拓宽软土路基的不均匀沉降成为主要技术难题之一。

随着拓宽道路的增多, 相应的研究成果也非常多, 研究者通过对公路的拓宽方式和宽度对路基沉降的影响, 证明了分层总和法的不足[3]~[4]; 用土工离心试验和有限元分析了拓宽路基沉降和应力集中的规律[5]; 并且对搅拌桩墙、粉喷桩对路基的稳定性和沉

降性控制设计分析[6]等。为了控制拓宽路基后新老路基差异性沉降, 在拓宽路基中埋设预应力管桩这是一种常用的方法[7]。本文想通过对比埋设管桩前后作对比试验, 验证 PTC 管桩对新老路基不均匀沉降的改善作用。对埋设 PTC 管桩的复合地基中各层土的沉降进行测量, 在拓宽路基的荷载下, 测量管桩周围土的沉降及管桩所在下卧层的沉降规律进行研究, 对桩与土的相对沉降、桩侧土在径向方向的沉降以及桩端刺入模式进行进一步探讨研究。

2 试验内容与试验材料

2.1 试验材料

本文利用土工离心试验模拟了某高速公路改扩建工程后, 研究 PTC 管桩控制差异性沉降的影响。本

文采用的试验材料均来自高速公路沿线的黏土，选用该填料作为离心实验模拟新老路基的填料。并对该填料做级配试验，试验结果表明该填料的有效粒径小于0.0015m，不均匀系数大于20，为良好的级配土。为更好地模拟了PTC管桩控制沉降技术对改扩建路段的影响，土工离心试验模型严格按照该路段黏土的最佳含水率，本文还针对此黏土做了不同围压下的三轴固结不排水试验和击实试验，可以得到该黏土的物理参数如表1所示。

表1. 黏土的物理参数

物理指标	粘聚力 /KPa	内摩擦角/°	最佳含水率/%	最大干密度/g.cm-3
黏土	21	18	13.4	1.84

离心试验选用的管桩选用弹性模量均匀，且易测量，强度较高的无缝钢管，该钢管的外径为12mm，壁厚2mm。在桩顶安装15x15x5mm的方形螺旋帽模拟管桩的桩帽。

2.2 土工离心模型制作

本文利用700x500x360mm规格尺寸的试件模制作土工模型试件用来模拟实际工程中不同的工况。试件模拟新老路堤的填筑高度为64mm，分为6层填筑，路堤下面的地基厚度取226mm，并且分为3层填筑，地基的填筑材料从下到上分别为砂性粉土、软土及粉质黏土。根据试验要求的需要，利用模具制作了4组模型，编号A、B、C、D，其中模型A在路基拓宽时，未对拓宽路基做处理；模型B在路基拓宽时，从老路坡脚到新路坡脚平均安插4排8m长的管桩；模型C在路基拓宽时，同B一样安插4排10m长的管桩；模型D在路基拓宽时，安插4排12m长的钢管。

2.3 土工离心模型的加载工序

根据试验工况试验模型与实际工况的几何相似比C取62.5。实际工况中分为6层填筑，故离心试件制作时加载也分为6级，由于路基对于压实度的要求，越靠近路面压实度要求越高，并根据固结的特点，土工离心模型的加载顺序从下到上，加载方式如表2所示。

表2 土工模型加载方式

填筑层	第一层	第二层	第三层	第四层	第五层	第六层
加载值	10	20	30	40	50	62.5

/g						
加载时间/min	8.5	10.8	8.5	4.8	2.9	1.5

表2所示的载方式相当于实际4m路堤填筑时，每层填筑间隔3天，模拟老路堤的施工沉降。土工离心模型填筑结束之后将试件放置离心机上22.4h，模拟老路堤运营10年的路基表面的沉降。观测4组模型的沉降之后，然后对模型进行台阶开挖，然后分别对每个模型添加上文描述A、B、C、D不同管桩长度分层拓宽填筑，填筑结束之后将试件放置土工离心机上直接将加载速率增加到62.5g。拓宽加载的时间与工况模拟如表3所示。

表3 加载时间与模拟工况的关系

加载时间 /min	11	66	132	396
模拟工况	1个月	6个月	1年	3年

2 PTC 管桩的作用

3.1 路基表面的沉降

利用土工离心试验模拟拓宽路基制作了A、B、C、D模型的处治情况如表4所示。

表4 A、B、C、D模型的区别

模型	拓宽处治理设管桩长度/m	拓宽之后加载大小/g
A	0	62.5
B	8	62.5
C	10	62.5
D	12	62.5

然后模拟在拓宽路基实际加载情况下，路基的沉降变化规律。

在土工离心试验中，利用直滑式导电塑料位移计对新老路基表面S1、S2、S3、S4处以及地基的竖向位移进行测量，通过对比测量可以得到路基表面的沉降值结果如图所示。

分析图1可知，管桩的处治很明显地减小了路基的沉降值，经过定量的分析，工后1个月在路基埋设12m管桩的路基表面的不均匀沉降值相对于无管桩的路基不均匀沉降值减小89.5%，8m管桩相对于无管桩处治的路基不均匀沉降值减小了54.8%。

分析图2可知，工后6个月后，用12m管桩处治的路基相对于无管桩处治的路基新老路基的不均匀沉降减小了90.2%，而8m长的管桩的路基处治，使得

新老路基的不均匀沉降相对于未处治的路基减小了62.2%，相比工后一个月对新老路基的不均匀沉降减小了更多。

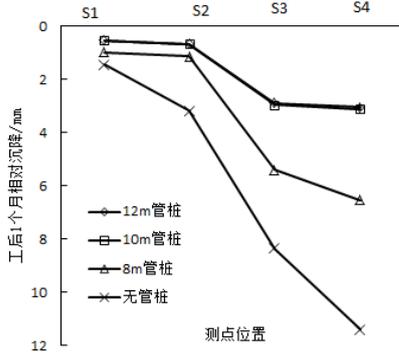


图 1. 工后 1 个月路基表面沉降曲线

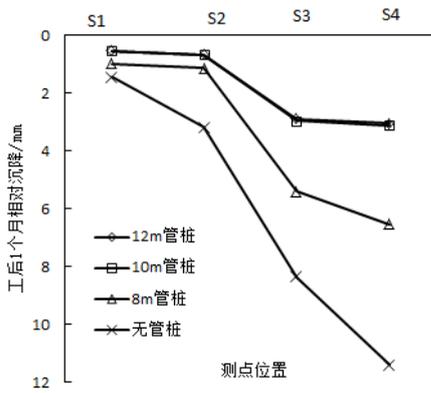


图 2. 工后 6 个月路基表面沉降曲线

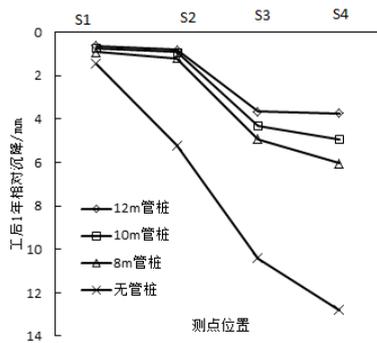


图 3. 工后 1 年路基表面沉降曲线

分析图 3 可知，工后 1 年之后，12m 管桩的路基处治对新老路基不均匀沉降减小了 91.5%，10m 长的管桩处治使得不均匀沉降减小了 81.4%，而 8m 长的管桩使得新老路基的不均匀沉降减小了 71.3%，管桩对新老路基不均匀沉降值的控制逐渐趋于稳定。

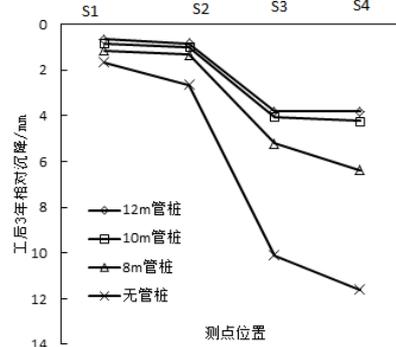


图 4. 工后 3 年路基表面沉降曲线

分析图 4 可知，工后 3 年之后，12m 管桩的路基处治使得新老路基的不均匀沉降减小了 91.8%，10m 长的管桩处治使新老路基的不均匀沉降减小了 82.2%，8m 长的管桩处治相对于无管桩处治的新老路基的不均匀沉降值减小了 72.5%。

综合分析图 1、图 2、图 3、图 4 可知，路基的沉降值随着工后年限逐渐增长而逐渐增大，埋设管桩的路基处治很明显的降低了路基的沉降，而且管桩的长度越长，对路基的沉降值得减小越明显。但是对于 10m 和 12m 的管桩对沉降值的影响随着固结时间边长逐渐有微小的区别。表明管桩的长度对拓宽之后新老路基的不均匀沉降的减小程度呈正相关，表明管桩也只有穿过软土层，荷载大部分由管桩和深层土承担时，管桩对新老路基的不均匀沉降的效果才比较明显。

路基埋设管桩的长度也对路基沉降达到稳定的时间也有一定的关系，本文针对地基表面 S3 位置处沉降过程进行了观察，分别对模拟 12m 的管桩和 8m 管桩时，路基表面 S3 处沉降达到稳定时模型运行时间做了记录，并得到如 9 所示的曲线图。

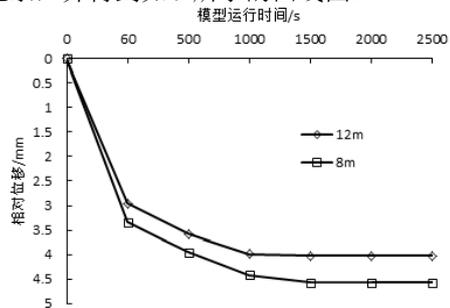


图 5. 不同桩长对 S3 处沉降时长影响

分析图 5，模拟穿过软土层的管桩（12m）与未穿过软土层的管桩（8m）对路基表面 S3 处沉降的影

响分析，穿过软土层的管桩相对于未穿过软土层的管桩，S3处的路基沉降先达到稳定值，这表明穿过软土层的管桩可以缩短路基固结的时间。对于改扩建道路，由于原先的旧路依然在运行，这时缩短改扩建工期显得非常重要，对于拓宽软土路基，对新老路基不均匀沉降要求较高的软土拓宽工程且时间较赶时，此时可以对路基采用管桩处治。

3.2 路基土以下地基沉降

由于地基内部的变形很难量测，因此对于地基沉降变形只能通过静态量测，测量地基表层的沉降值。测量时以新老路基交界处且与模型箱接触处为纵向坐标原点，向下为正；然后对应水平横向坐位平行于模型箱壁的水平线。首先用大头针插入待测沉降的位置，并记录好大头针的当前竖向位置，靠近新老路基的交界处和新路基的填筑处大头针可以插入的密一些，靠近模型箱壁的地方大头针可以适当疏一些，然后待模拟加载结束后在测量大头针的竖向位置，将加载前后的竖向位置相减。结果为正，表明地基沉降了，结果为负，表明地基隆起。模拟工况1个月、工况6个月、工况1年、工况3年加入不同长度管桩之后地基不同位置的沉降结果如图所示。

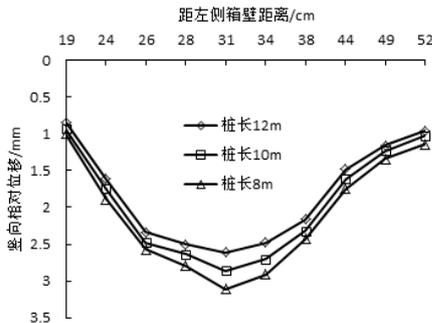


图 6. 工后 1 个月地基表层沉降曲线

分析图 6 可知，管桩复合地基的沉降会受到管桩长度的影响，管桩的长度越长，地基表面的沉降越小。工后 1 个月，12m 管桩长度对应地基的表面沉降值得峰值为 2.6mm；管桩长度 10m 对应的地基沉降峰值为 2.8mm，管桩长度 8m 的复合地基表面沉降峰值为 3.2mm，这也表明了管桩的长度越长对改善地基表面的沉降效果越明显。地基沉降峰值处是管桩插入的地方，表明管桩复合地基存在“刺入现象”，但由于管桩有平滑的桩帽，可以有效缓解刺入现象。

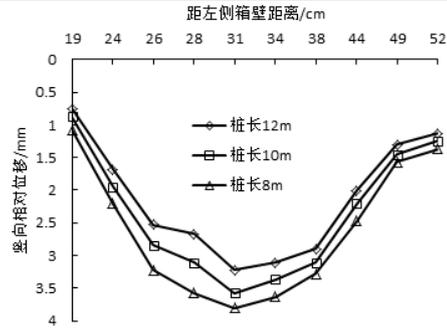


图 7. 工后 6 个月地基表层沉降曲线

分析图 7 可知，复合管桩地基的沉降规律类似于图 6，只是地基的沉降值有所增加地基表面的沉降在管桩插入的地方取得峰值，远离管桩时地基表面的沉降逐渐减小。工后 6 个月后，12m 管桩对应地基表面的沉降为 3.25mm，10m 管桩对应复合地基表面的沉降为 3.5mm，8m 管桩对应的复合地基沉降值为 3.75mm，再一次表明了管桩的长度越长，对改善地基的沉降效果越明显。

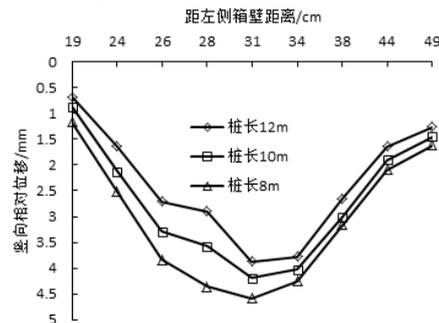


图 8. 工后 1 年地基表层沉降曲线

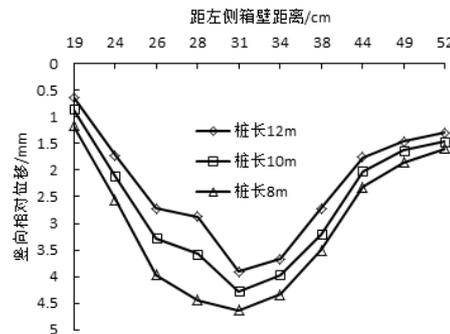


图 9. 工后 3 年地基表层沉降曲线

分析图 8、图 9 可以知道，工后 1 年后地基的沉降几乎已经稳定，12m 管桩对应的地基沉降峰值为 3.85mm，10m 管桩对应的地基沉降为 4.25mm，8m 管桩对应的复合地基沉降为 4.62mm；而工后 3 年之后，

12m 管桩对应地基沉降峰值为 3.87mm,10m 管桩对应复合地基的沉降峰值为 4.31mm,8m 管桩对应复合地基表面的沉降峰值为 4.72mm。表明管桩对地基表明沉降达到稳定的时间也有影响,管桩地基能够加快软土地基的沉降,且管桩长度越长效果越好。

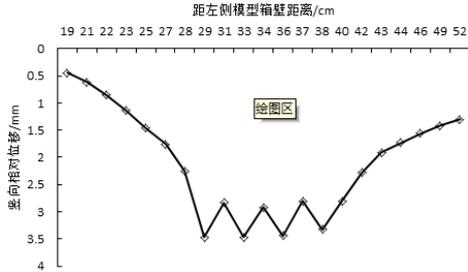


图 10. 地基下卧层沉降曲线

图 10 表示地基下卧层中某一个横断面沉降值,相对于加固区(图 6~图 9)的土体沉降值,下卧层中土体沉降值更小并且均匀一些。下卧层中土体沉降值得大小与中心桩的距离有关,靠近中心桩的土地沉降值最大;与中心桩的距离越远,土地的沉降逐渐减小。甚至到边桩的下卧层处,土地出现微微隆起现象,这是因为边桩处下卧层的附加应力已经非常微弱了,土体的沉降也非常小,而此时加固区的沉降较大,这会挤压周围的土体,导致桩外侧出现隆起现象;同时这也由于管桩与土体模量的差异,管桩的下刺入现象比上刺入现象更明显。

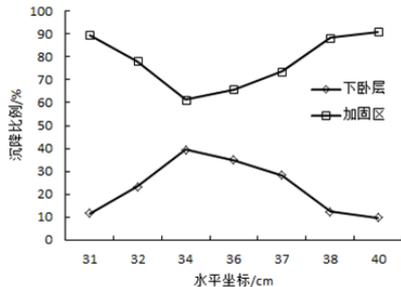


图 11. 加固区与下卧层沉降比例曲线

图 11 表示地基下卧层的沉降值与加固区的沉降值占地基土总沉降的比例。分析图 15 可知,加固区的沉降值远大于下卧层土地的沉降值,其中加固区的土地

沉降值占地基土总沉降值的 70%,下卧层土地沉降值占地基土总沉降的 30%。

4 结论

1) 拓宽路基采用管桩处治方法,由于管桩处治可以加快路基土的沉降,所以可以至少可以缩短期的 1/3。管桩处治方法可以用于对工期很赶而且对沉降控制要求较高的改扩建工程。

2) 管桩处治的方法可以大大减小老路基的不均匀沉降,同时管桩处治的过程会出现刺入现象,但是由于桩帽和软卧下垫层的存在,刺入现象得到很好地缓解。浅层桩的桩侧土会产生向下的位移,产生向下的刺入;而深层桩的桩侧土会因为挤压,产生向上的位移,从而形成向上的刺入。

3) 在管桩复合地基土中,地基土的沉降包括地基下卧层的沉降和加固区的沉降,其中下卧层的沉降占管桩复合地基沉降值的 30%,加固区的沉降占 70%,而且下卧层的沉降相对于加固区的沉降显得更加平缓均匀。

References (参考文献)

- [1] Fu Zhen, Wang Xuancang, Chen Xingguang, Li Hongzhi, Shi Jianping, Wang Lei. Influence of different consolidation degree of new and old foundation on widening of subgrade differential settlement [J]. highway, 2008,05:9-12
- [2] Ji dragon, Zhang Yonghong, song Jilu. Soft soil subgrade widening treatment technology research [J]. East China highway, 2002,05:25-29.
- [3] Pan Guoqiang. Road base widening method and its characteristics in Highway Widening Project [J]. highway engineering, 2007,05:34-38.
- [4] Qian Jinsong, Ling Jianming, Huang Qian. Study on design method of subgrade widening engineering [J]. highway traffic science and technology, 2007,05:43-47.
- [5] Weng x, Zhang Liujun, Li Lintao, et al. Widening subgrade differential settlement control technology of model test on [J]. of geotechnical engineering, 2011,01:159-164.
- [6] Liu Jinlong, Zhang Yong, Chen Lu Wang, Wang Geely. Analysis of the basic characteristics of subgrade widening engineering [J]. rock and soil mechanics, 2010,07:2159-2163.
- [7] Zhang Kewei. Road widening subgrade widening combination of treatment methods [J]. Shanxi traffic science and technology, 2010,02:3-4+7.