

文章编号: 0451-0712(2005)07-0127-04

中图分类号: U412.222

文献标识码: B

侧向限制法软土处理技术研究

柏松平^{1,2}, 陈兴培², 李勇林²

(1. 昆明理工大学 昆明市 650093; 2. 云南省公路规划勘察设计院 昆明市 650011)

摘 要: 结合工程实际, 经分析和探索, 采用了一种新的深层软土地基处理方法——侧向限制法软土处理技术, 取得了较好效果。本文主要介绍侧向限制法软土处理技术的应用、施工及施工工艺、施工注意事项、观测结果等实施情况, 以及其他类似工程的应用结果。

关键词: 公路工程; 软土地基; 侧向限制; 处治技术

随着高等级公路建设的飞速发展, 设计速度的提高, 对线形指标的选用也随之提高, 从而不可避免地带来公路路基穿过软土地区的情况。因此, 在软土地基上修筑路基已非常普遍。对公路软土地基的成功处理, 往往也成为提高建设速度、确保工程质量、降低工程造价的十分重要的措施之一。

目前, 公路软土地基的处理方法非常多。在公路软土路基处理规范中, 将软土路基的处理分为两

大类。

(1) 浅层处治。软土厚度 $H \leq 3$ m 的软土路基一般采用浅层处治。比如: 碎石垫层、换填土、抛石挤淤、反压护道等, 这种浅层处治方法最大处理厚度不得超过 5 m, 否则很不经济且效果不理想。

(2) 深层处治。软土厚度 $H > 3$ m 的软土地基往往采用深层处治。比如: 塑料排水板、碎石桩、粉喷桩等。

收稿日期: 2005-03-20

厚度为 32 cm, 采用级配碎石底基层, 厚度 40 cm, 土基的模量达到 35 MPa 以上。

参考文献:

- [1] Asphalt Pavement Alliance. Perpetual Pavements A Synthesis. Asphalt Pavement Alliance Order Number APA 101 1/02, 2002.

- [2] Transportation Research Circular. Perpetual Bituminous Pavements, Number 503, December 2001.

- [3] 李峰, 张宏超, 孙立军. 长寿命沥青路面结构力学响应的三维有限元分析[J]. 上海公路, 2004, (2).

- [4] 李峰. 长寿命沥青路面设计中的结构组合分析[D]. 同济大学硕士学位论文, 2005.

A Study on Perpetual Bituminous Pavement Design and Construction

LI Feng¹, SUN Li-jun², HU Xiao²

(1. Research Institute of Highways, Beijing 100088, China; 2. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Perpetual pavements are present newly in the international road-engineering field. The perpetual pavement concept and structural characters are discussed, structural design and material design based on mechanics expounded mainly, and some perpetual test pavements in the world introduced in the end.

Key words: perpetual bituminous pavements; structural design; material design; test pavements

但是,实际情况往往是软土的厚度较深,同时,软土的工程地质、水文地质以及地形情况各异,带来软土处理措施的千差万别。在很多情况下,采用单一的技术措施,往往收不到理想的效果。同时,软土处理的工艺较多,要求也比较严格。

软土路基处治方法的基本原理,就是采取一定的工程措施,让地基一定深度范围内的土体快速形成持力层。从理论上讲,现有的许多技术措施主要是考虑软土地基的竖向变形影响,对软土地基在荷载作用下的横向变形影响考虑较少。而在工程实际中,软土路基的横向位移(或叫侧向变形)是存在的,且必然影响到其竖向沉降和土体固结。特别在公路路基填筑的前期加载过程中(一般小于 15 d),土体的侧向位移有时会引起很大的瞬时沉降和前期的竖向位移,甚至导致路基的破坏,而后期侧向位移的影响变小,发展到土体竖向缓慢固结阶段。所以在软基处治过程中,软土地基的前期侧向位移对处治效果和确保路基稳定尤为重要。

1 软土地基处理的侧向限制技术及其基本原理

1.1 软土地基处理现状分析

在一些情况下,软土地基的厚度 $H > 3\text{ m}$,且地质很差(比如尚未完全腐烂的泥碳化土质,在地下水位较高的情况下),地基承载力很低。这时如对其采用单纯的浅层处治或深层处治,都显然难以找到合适的技术方案。在实际工程中,发现在这种情况下如采用抛石挤淤处理,在上面压实路基的振动荷载(或运输材料的车轮荷载)的反复作用下,处于软土中的片石会产生“游动”现象,有时片石会游动到路基范围外 20~30 m,不能在路基需要范围形成路基持力层而导致路基失稳。如此时采用深层处治,由于一般不能直接满足使用机械设备的条件、又不易达到排水固结、或挤密地基的作用而失去技术方案选择的意义。在软土深度 3~6 m 范围,选用换填、单一浅层处治或单一深层处治均不十分合理的情况往往较多。尤其是许多方案由于地质等原因不具备施工条件。

但是,我们在实际工程中采用抛石挤淤,取得了很多成功的工程实例说明:在这种情况下选用抛石挤淤方案是较合理的首选技术方案,问题的关键是:(1)如何保证片石不“游动”到路基以外;(2)在施工工艺和综合措施方面的技术要求;(3)技术保证措施等。经过认真分析,并结合工程实践中积累的经验,我们大胆提出了采用侧向限制的浅层处治技术——

侧向限制法软土地基处理技术。

1.2 软土地基处理的侧向限制技术方案

总体方案:侧向限制技术+抛石挤淤浅层处治技术+相关综合措施。

(1)打入侧向限制木桩。

先在路基填方的底部边缘,即两侧路基坡脚分别打入 2~3 排木桩(木桩应耐潮湿、不易腐烂)。要求木桩直径不小于 18 cm,长度不小于 4 m,木桩间距采用 50 cm。每根木桩均向路基中心倾斜 $10^\circ \sim 15^\circ$,木桩打入顺序为先施工靠路基中线较远的木桩,然后施工靠路基中线的木桩。

(2)抛石挤淤与路基填筑。

软土地基中打入木桩后,在两排纵向木桩之间抛填片(块)石。片石厚度根据具体情况确定。抛石挤淤除应严格按照相关施工工艺要求办理外,尚应按:将路基纵向 4~6 m 的横向路基范围分为几个单元,从路中线开始向路基两侧横向逐单元全部完成抛石挤淤、并完成横向抛石上面的覆(砂砾)土后,再纵向推进施工下一个路基纵向的 4~6 m 范围的抛石挤淤和覆土工作。未完成抛石和覆土的地方,严禁车辆通行。在完成覆土后,即可进行正常路基填筑。

(3)其他相关技术措施。

①理顺水系,尽可能降低路基范围内的水位。水源的补充和水的浸泡,会加剧土质的进一步软化,尤其是在整个施工过程中,在施工车辆和压实设备所产生的荷载反复作用下,在水作用和荷载作用下土体力学性能的降低,对形成地基持力层影响较大。

②清除路基边缘的杂填土和地表耕植土。路基边缘的杂填土和耕植土,将影响路基坡脚的填土质量,即使压实后,随着植物根系的腐烂,也会对路基的稳定产生较大影响。

③严格控制填土速度。软土地区路基的稳定成功的关键因素之一,就是路基的填筑速度问题。当路基的填筑速度较快时,地基的沉降和固结均未完成,尚未形成地基持力层,因此,很容易产生路基的失稳破坏。当然,当路基的填筑速度太慢,又会影响施工进度。总之,应严格执行《路基施工技术规范》对填土速度的要求。本方案中,要求对路基的变形观测必须采用直观的时间~变形曲线($t \sim \delta$ 曲线)进行观测。

④软土地基路段的路基施工,宜安排在旱季进行。

⑤施工时不得破坏软土地基表层的“硬壳层”。

1.3 基本原理

在正常情况下,鱼塘、湖泊、水田等软土区,要成

为具有一定承载能力的地基,是需要排除湖塘中的水体并填筑大量的土(石)才能达到目的。尤其是当软土厚度较大,容易产生在振动荷载作用下片石的“游动”时,一般是较难形成路基持力层的。

通过对软土地地区路基施工的大量观测发现,加载期间侧向位移和变形对软土沉降影响最大,即在加载过程中基底的土体还来不及固结,软土沉降主要由侧向变形引起。控制先期的侧向位移和变形对软土地基的固结有极大影响,不论采用何种软土处治措施,事先在路基地部软土地基的边缘修建支挡结构,可以减小路基竖向沉降。在土力学中,试验室常采用压缩仪试验来研究土的压缩性,要求在无侧限条件下对土样分级施加竖向压力。由此可见,限制土体沉降可提高土体的压缩性。

侧向限制法软土处理技术,就是采取一定技术措施,限制抛石在振动荷载作用下的“游动”范围,利用现代机械在软土的表层(硬壳层)之上快速形成一层可以承载的土基来承受荷载。根据上述的技术方案,通过在路基两侧打入的木桩,“限制”抛入路基范围的片石“游动”到路基范围以外;同时,路基范围的流塑状淤泥可部分通过木桩涌出路基范围以外,“挤密”路基周边土体并反过来对路基产生变形约束,使路基范围的土体处于“三向受力状态”。这样的相互制约,基本保证了片石能保留在路基有效范围内,达到抛石挤淤的作用。选择木桩向路基中线倾斜 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$,是假想当抛石过程中,路基内的片石会向路基范围以外产生一种水平向的横向分力,随着抛石量的增加和路基的填筑、压实,所产生的横向分力将逐步使木桩变为铅垂方向或部分木桩稍倾向路基外侧,它将比铅垂打入的木桩能更有效地约束片石“游动”。

在有效限制抛石“游动”范围的情况下,为防止抛石过程中和抛石后泥浆顺片石的间隙向上翻而影响抛石效果和路基质量,必须采取措施防止软土地基的泥土上翻。因此,在方案中,严格规定了抛石挤淤和路基填筑的工艺要求。

最后,通过木桩的侧向限制,同时在有效防止了泥浆上翻的条件下,使得路基范围的软土地基处于侧向受限的状态,通过路基的填筑加压,使得路基范围的软土与抛石挤淤和部分填土,加速沉降固结的速度,在软土表层形成“硬壳”受力层,形成复合地基而确保路基的安全。

当然,在软土地地区填筑路基较为重要的保障因

素是有效控制填土速度。经过大量工程实践的总结,在本方案中,推荐使用时间 \sim 变形曲线($t\sim\delta$ 曲线)的记录方法,收到了较为理想的效果。

2 工程实例

国道214线景洪 \sim 勐混二级公路(以下简称“景勐公路”),位于云南省西双版纳州境内,1999年12月动工修建,于2003年1月16日试通车。本段公路为山岭重丘区二级公路,设计速度为60 km/h,路基宽度12 m。路线在景洪市区、勐海县城、勐海乡地段,为平原微丘地形,路线所经区域全为农田或鱼塘,软土地基处治工程量较大。

2.1 地质概况

在景勐公路K68+200 \sim +610段,路线经过区域为深层软土地基。其中:

在K68+200 \sim +430段容许承载力为60 \sim 300 kPa;

在K68+430 \sim +610段容许承载力为180 \sim 300 kPa。

原设计处治方案为:K68+200 \sim +340鱼塘段,采用抛石挤淤80 cm+碎石垫层20 cm处治;K68+340 \sim +440段,采用抛石挤淤60 cm+碎石垫层20 cm处治;K68+440 \sim +520段,采用挖出淤泥50 cm后换填碎石土的方法。

2.2 设计方案论证与变更设计

施工单位进场后,按照业主要求在路基范围内K68+500处,挖掘探坑。根据1.5 m的探坑分析,其地质情况与勘探报告不相符,K68+200 \sim +430段是鱼塘段,常年有水,鱼塘底淤泥较厚,局部深达5 m;K68+430 \sim +610段是沼泽地,地下水非常丰富,除表层约50 cm“硬壳层”外(硬壳层主要由残坡积土堆积而成),50 \sim 600 cm处全是泥炭土。由于地质情况太差,我们认为原设计处理方案达不到处治效果,一是后期沉降量大;二是抛石数量多、且处治效果不一定理想,因为石头抛下去一旦碾压、振动,可能有许多石头会横向游动到路基范围以外而达不到理想的处治效果。

现场分析后,理顺了K68+430 \sim +610段的排水系统,以达到有效降低地下水位的目的。第一次方案论证认为,对K68+200 \sim +610段软土地基可以试打粉喷桩或架设桥梁通过。在两种方案比较后,认为粉喷桩方案更为经济、合理。于是按粉喷桩方案进行施工,但通过试桩检查,效果极不理想,主要原因

是水泥与泥炭土结合性较差,桩体强度不足,达不到满意效果,只好寻求其他的处理方法。

经建设、设计、施工、监理等单位的工程技术人员进一步分析,认为本段软土按换填、深层处治和桥梁方案处治,由于技术、经济等原因,皆不是最佳方案。因此,经研究最后确定采用“浅层处治深层软基的试验方法”,形成了侧向限制法软土地基处理技术。其方案如下。

在不破坏软土地基表层的“硬壳层”的前提下,先在路基两边坡脚边缘分别打入 2 排木桩(要求木桩耐腐蚀),木桩直径不小于 18 cm,长度不小于 4 m,桩距 50 cm,木桩内倾 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$,在 2 排木桩之间抛石挤淤 150 cm。采用的抛石挤淤方案,要求严格按上述抛石挤淤工艺施工,同时必须严格进行路基昼夜沉降量的观测并采取相应的措施。抛石顺序为:先路中线再横向至路基边缘缓慢、均匀抛填,并逐渐向路线纵向延伸。在抛石并填筑碎砾石嵌缝、挤密后,用压路机碾压。压实整平后,用透水性良好的材料填筑到水位以上 50 cm,防止水位上涨浸泡路基。施工过程中要对片块石层反复碾压直至片块石不下沉为止。要求加载过程中,控制填土速度,确保软土地基均匀沉降,尽量避免差异沉降。

待上述各项处治措施完毕后,填筑 30 cm 碎石土,并铺设一层土工格栅,再填土至路床标高。

2.3 沉降观测

刚进行路基填筑时,可以明显观察到路基地部的淤泥从木桩缝隙中被挤出。

在施工过程中,施工单位编写了详细的施工组织计划,认真组织施工。通过建立的沉降观测点对路基施工完毕后的沉降实测结果,得到了详实的数据,并绘制出时间~沉降曲线图,如图 1。

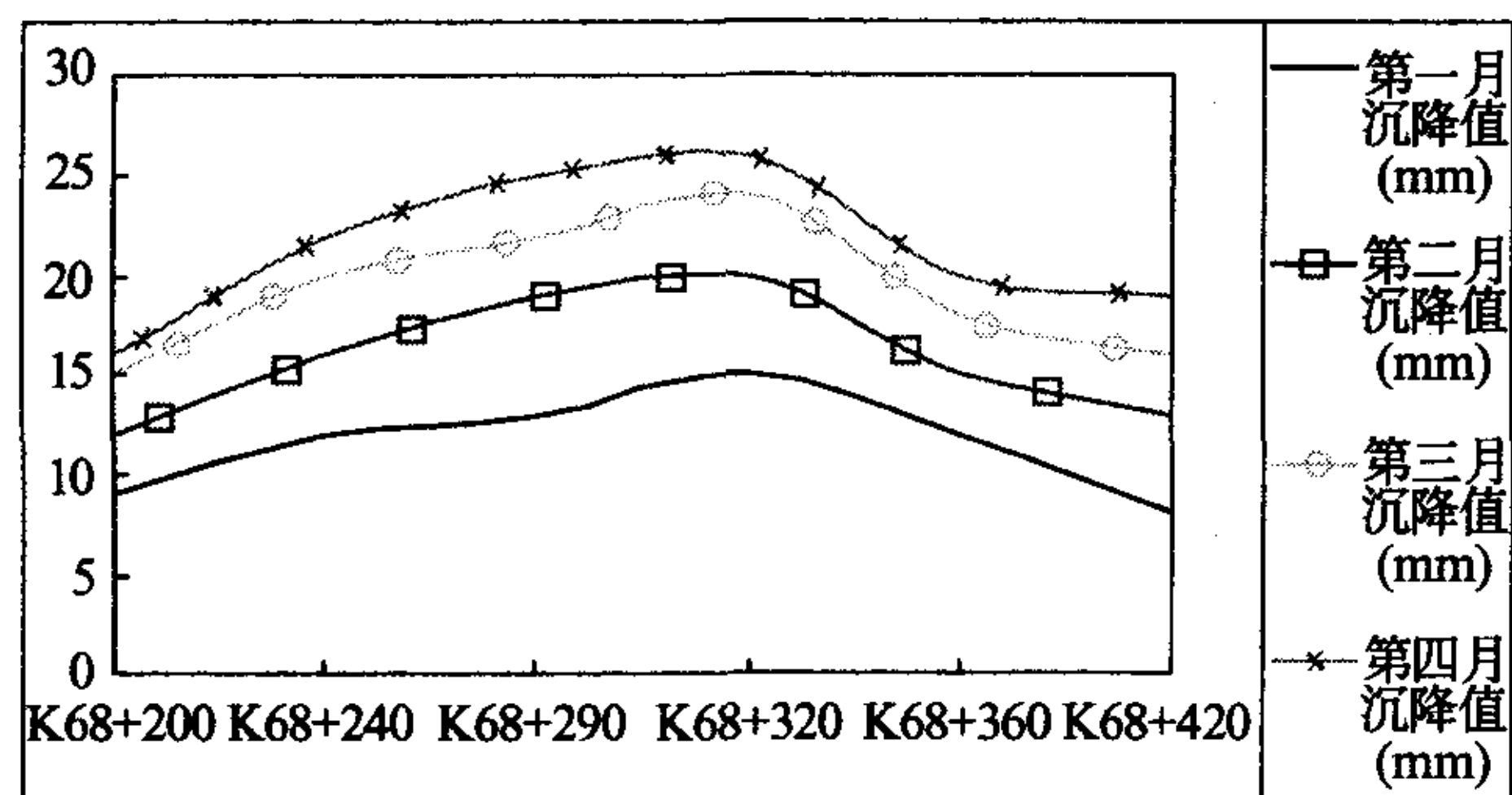


图 1

在施工前期抛石阶段,我们并未进行沉降观测,主要是因为前期的沉降量很大,且鱼塘内水位较高。

待抛石一出水面进行碾压时,淤泥大量向两边扩散,竖向、侧向位移很大,一些片石被挤入木桩缝中,根据监理工程师记录,刚开始碾压时最大沉降达 30 cm,尔后,沉降量才逐渐减小。

通过时间~沉降曲线图可以看出,前 2 个月路基沉降量大一些,软土的竖向沉降未全部完成,第 3、4 月沉降趋缓,软土地基排水沉降基本完成,进入土体固结阶段。从观测数据可以看出,路基施工完毕后,累计沉降量最大为 26 mm,效果较好。

经造价分析,与粉喷桩方案相比,节省造价 40 万元。

2.4 推广应用情况

在云南省通海~建水高速公路的建水联络线 K1+200~+500 之间,软土深度 5~7 m,为藕塘、黑色泥炭化土,其下为砂土,由于地势低洼,整个段落富水。因此,采用的技术方案为侧向限制法(防侧移浅层处治技术):

(1)尽可能理顺水系,降低水位;

(2)清除路基坡脚底部边缘的杂填土;

(3)在两侧路基边缘填方坡脚各打 2 排木桩进行侧向限制,木桩直径不小于 18 cm,长度不小于 4 m,桩距 50 cm,木桩内倾 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$,施工顺序先外后内;

(4)在 2 排木桩之间抛石挤淤 120 cm,并注意嵌缝和施工工艺;

(5)加强观测、控制填土速度等。

该段公路路面施工结束后,经通车前 5 个月的观测,路基沉降为 8 mm,未出现路基失稳和路面开裂情况。

3 结语

高等级公路软土地基的处理方法多种多样,同样的软土地基也可选择不同的处理方法。但具体哪一种方法更适合地形以及工程地质、水文地质的客观实际,更经济合理并易于实施,只有通过方案比较、经济分析才能最终确定科学合理的技术方案。本文介绍的侧向限制法软土处理技术,对处理侧向(路基横向)无任何支挡结构,在荷载作用下软土地基很容易侧向位移的地方是一种较好的软土处治技术方案。在工程实践中,经过对地质、填土厚度等进行综合分析,按照一定的施工工艺,在认真观测和精心施工下,侧向限制法是一种较为经济合理的软土处理技术。