

加筋材料提升公路软基长期稳定性的施工技术研究

白翎林

(广西新隆硕高速公路有限公司, 广西 南宁 530025)

摘 要 为提高软基道路加固施工水平, 控制其沉降, 本文基于加筋材料特性, 以某高速公路工程为案例, 系统研究软基长期稳定性提升的施工技术。根据工程地质条件, 对公路软基表层实施清淤作业; 选用土工织物加筋材料, 进行基于应变法的土工织物加筋材料抗拉强度设计; 通过土工格栅铺设与材料填筑夯实, 完成公路的软基施工。实践结果表明, 该方法实施后, 可将总沉降量控制在 50 mm 以内, 满足工程质量验收标准要求, 可有效维持公路软基长期稳定性, 确保工程质量符合技术规范要求。

关键词 公路软基; 加筋材料; 土工格栅铺设; 填料摊铺; 施工沉降监测

中图分类号: U416.1; TU472

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.23.021

0 引言

在公路工程中, 地基是与路面一起承担荷载的重要构件, 其强度、稳定性、耐久性以及经济上的合理性都至关重要。路基的质量对道路服务品质有较大影响, 而造成路面损伤的原因往往是路基强度不足、稳定性差和沉降过大, 维修难度大, 造价高。在公路路基施工中, 经常会遇到工程地质条件较差的软黏土段, 许多滨海高速公路路基存在压缩性高、沉降大、排水固结性差的粉土混合层^[1]。若软弱地基处理不当, 会导致路基沉陷, 引发失稳、路面开裂等严重病害, 不仅降低工程质量与使用寿命, 还会增加维修费用。目前, 我国软基处理形势严峻, 加强软基加固技术研究、提高其长期稳定性能, 已成为我国交通运输界亟待解决的问题。本文以某公路工程项目为例, 基于加筋材料应用, 研究提升软基长期稳定性的施工方法。

1 公路软基表面清淤处理

在加筋材料加固软土地基以保障长期稳定的建设过程中, 路基表面排泥清淤是保障后续工程施工效果的关键。

在开始施工之前, 需要做好现场清扫工作。安排专人定期清洗和保养作业设备, 确保设备正常运行, 并全面清理作业现场的杂质和障碍物, 为清淤工作创造安全有序的环境^[2]。正式开挖前, 需勘察道路场地地质情况, 依据勘察成果, 按扩深施工原理有序开展整个渠道施工。开展沟道泥沙情况调查时, 工作人员应分期

有序进行, 合理规划施工车辆行车路线和施工废水排放路线, 确保二者互不干扰。在此基础上, 持续开展水平面探测工作, 通过采样点连续检测获取精确地形参数, 为后续清淤量控制提供依据。清淤作业前, 需测量软基及淤泥深度, 获取高精度软土层厚度数据, 为不同类型填土机具的选择及挖掘机作业提供科学依据。

由于外界环境复杂多变, 可能对施工造成影响, 施工人员需结合淤泥性质及施工场地条件, 合理选用施工工具, 并严格遵守相关规程^[3]。施工启动后, 根据现场实测淤泥深度, 操作挖掘机精准清理淤泥。在排泥结束后, 还要对其进行载荷试验, 以保证其工作稳定性, 防止由于机械故障而影响到路基和路面的质量和工程的进展, 并为后面的加筋材料的施工打下良好的基础。

2 基于应变法的土工织物加筋材料抗拉强度设计

在上述内容的基础上, 为实现对软基稳定性的提升, 选用土工织物加筋材料, 进行施工的设计。在此过程中, 需要基于应变法的应用, 进行材料抗拉强度的设计。

在当前公路加筋工程设计领域, 对加筋材料的受力设计大多采用强度控制法, 即依据织物的极限抗拉强度、安全系数等, 综合确定允许抗拉强度, 而不考虑应变因素^[4]。通常情况下, 土工织物加筋材料的允许抗拉强度可以通过下述公式计算得到。

$$K = \frac{T}{f_1 f_2 f_3 f_4} \quad (1)$$

作者简介: 白翎林 (1997-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 道路工程。

式(1)中: K 表示允许抗拉强度; T 表示极限抗拉强度; f_1 表示铺设时机械破坏系数; f_2 表示材料蠕变系数; f_3 表示化学剂破坏系数; f_4 表示生物破坏系数。加筋体的应力和变形密切相关,采用变形控制方法对加筋体进行设计,即允许拉伸强度由对应于允许应变的织物张力确定的^[5]。可以根据上述公式计算出允许应变:

$$M = \frac{e}{f_1 f_2 f_3 f_4} \quad (2)$$

式(2)中: M 表示允许应变; e 表示铺装施工中的机械破坏系数。在铺设过程中, e 取 1.45, f_2 取 2.5, f_3 取 1.25, f_4 取 1.15。

同时,允许应变应满足以下三大约束条件:(1)筋土应变相容性。加筋材料的应变应与周围土体的应变保持协调。当筋材与土体的应变差超过一定阈值时,筋土界面将发生相对滑移,加筋效果显著削弱。因此,允许应变的确定应以筋土应变相容为前提。(2)长期蠕变稳定性。在高应力比条件下,加筋材料的蠕变可能进入非衰减模式,最终导致蠕变破坏^[6]。因此,允许应变的取值应确保筋材在服役期内处于低应力水平下的衰减蠕变模式,使变形渐趋稳定。(3)施工期变形储备。铺设过程中对筋材施加的张拉作用会消耗一部分应变能力。在确定允许应变时,需预留出施工张拉引起的初始应变份额。

通过上述方式,可实现基于应变法的土工织物加筋材料抗拉强度设计,准确反映路面结构中加劲材料的真实受力状态,有效解决单纯按强度控制设计带来的误差,提高路面结构的长期稳定性,为道路结构的安全运行提供可靠保障。

3 土工格栅铺设与填筑压实

3.1 土工格栅铺设

由于工作状态下土工织物的应变都很小,为进一步提高加筋效果,在铺设时对土工织物施加一定的初始应变,使其提前跨越小应变阶段的低刚度区间,直接进入高刚度工作段,从而在后续填筑荷载作用下产生更小的附加变形和更高的抗拉效率。

在铺设土工格栅时,应严格控制其方向和搭接的细节。该方向的加筋体材料具有良好的力学性能,能够抵抗软弱地基的侧向位移。采用绑扎方式,将网格与土层间距控制在 20 cm 以内,确保定位稳定无偏移。

在此基础上,进行填土压实作业。在进行砂料浇筑之前,必须保证土工格栅一次铺好、质量合格。

3.2 填料摊铺施工

3.2.1 填料要求

填料优先选用砂类土,与格栅接触层(厚度不小

于 15 cm)的填料最大粒径不宜超过 6 cm,含泥量小于 5%,严禁直接使用尖锐石块或大粒径填料,防止施工中损伤格栅。填料也可采用粉质黏土,松铺厚度控制在 20 cm 左右,不宜超过 25 cm,通过含水率实时监测系统(精度为 $\pm 0.5\%$)动态调整洒水或晾晒措施。

3.2.2 填筑施工步骤

填筑施工遵循薄填、慢压、多次原则:

第一步:分层摊铺。砂石入仓后,根据分层回填的原则,将其填土厚度控制在 20 cm 以内。土工格栅上选用中粗砂或细粒土,松铺厚度不小于 15 cm,以保护格栅免受损伤。

第二步:分层压实。选用适宜压实机械逐层压实砂料,共经历“静压→弱振→强振→静压”四阶段工艺:初压,静压 2 遍使土体初步密实,初压严禁振动;复压视填土厚度(≥ 50 cm)酌情开启弱振,填土厚度不足时严禁振动,且严禁在格栅铺设面直接实施强振碾压。终压,静压 1 遍消除表面轮迹。碾压应遵循“先两侧后中间”的原则,压实设备行驶方向应与加筋方向平行,避免压实轮直接碾压格栅边缘造成损伤。

第三步:压实度检测。每层压实完成后,须及时取样进行压实度检测^[7],采用灌砂法或环刀法进行检测,每 1 000 m²测 3 点,达标($\geq 90\%$)后方可进行下一层回填。如果压实度没有达到标准,就需要对此层进行补压,直到达到要求为止。

3.2.3 翻卷格栅与多层铺设

当填筑厚度达到设计高度后,应将反包部分的土工格栅向上翻卷包裹住填筑体端部,并用 U 型钉固定,形成封闭的加筋结构。随后按设计要求进行下一层土工格栅铺设,重复上述工序。加筋层数应根据填土高度、地基条件和荷载等级确定,一般加筋垫层厚度为 50 cm ~ 100 cm,分层铺设土工格栅 2 层 ~ 4 层。

3.3 施工沉降监测

在填筑施工过程中,需同步布设沉降观测点,开展沉降监测工作。通过精密水准仪按二等水准测量要求进行监测,并实施分级预警机制,单月沉降量超过 5 mm 时启动专项排查。监测内容包括地表沉降、分层沉降和侧向位移等指标。通过沉降磁环与分层沉降仪监测土体深层位移。根据定期监测的数据,及时掌握地基变形规律,判断加筋处理效果,并为后续施工工序的调整提供依据。

按照以上施工工艺,将加筋材料和软基牢固结合,确保路基施工后可以成为一个完整的受力结构。以此种方式,完成加筋材料提升公路软基长期稳定性的施工。

4 案例应用分析

4.1 工程概况

完成上述施工方案的设计后,为实现对该方法在应用中效果的检验,选择某公路工程作为本次实验的研究试点,对试点工程的基本情况进行分析,如表 1 所示。

表 1 公路工程概况

序号	项目	参数
1	淤泥质粉质黏土深度 (m)	10 ~ 18
2	塑性指数	17.2
3	含水量 (%)	45.3
4	地基承载力 (kPa)	100
5	压缩模量 (MPa)	10

开展路基长期稳定施工工艺研究前,需全面完善前期工作。原设计针对道路软弱地基,采用桩基础施工方案。综合各方面因素分析,原设计方案存在显著缺陷。一方面,工程建设要在汛期前完成,桩基础施工过程繁复,工期长,无法较好地满足工期要求;另一方面,由于桩基础设计的造价较高,会增加对工程建设经济负担。

经专家组论证,最终确定采用加筋方式替代桩基础的方案。在确定方案后,开始系列准备工作,包括购买合格的土工格栅材料,并对施工人员进行专门的技术培训,使其了解加筋的施工过程和操作要点,并对施工现场进行全方位调查,为后续顺利施工和进一步研究加筋材料对路基软弱地基的长期稳定作用提供依据。

4.2 公路软基长期稳定性检验

为检验加筋材料提升公路软基长期稳定性的施工效果,按照本文提出的方法进行施工后,对施工段进行长期稳定监测工作,以 6 个月时间为基础。通过此种方式,可以更全面、准确地掌握高速公路软基的变形规律,为评价其长期稳定性能奠定基础。

为确保施工效果实测数据的客观性,对软土地基进行连续 6 个月的监测,采集沉降数据,待地基稳定后统计其累积沉降量。规范对地基加固后累积沉降要求不超过 50 mm。该指标的设置,全面考量了道路工程的结构安全、使用功能及长期耐久性等多个方面,保证在长时间运行中,路基仍能维持良好的稳定状态,防止因地基沉降过大导致路面破损及结构失稳,从而保证道路的安全和畅通。具体实测数据如表 2 所示。

综合实验结果可以看出,施工 290 d 后,软基沉降趋近于稳定,累计沉降为 41 mm,且在后续监测中未发生其他沉降。总体沉降 ≤ 50 mm,符合工程质量验收技术规范要求,由此可以证明,设计方法应用后,可以有效控制公路软基长期稳定性,保证工程质量达到技术规范。

表 2 加筋材料施工效果实测数据

序号	监测时间 点 (d)	沉降速度 (mm/d)	累计沉降 (mm)	当次监测沉 降值 (mm)
1	5	0.07	2	2
2	10	0.10	5	3
3	15	0.17	10	5
4	30	0.20	16	6
5	60	0.23	23	7
6	100	0.17	28	5
7	120	0.13	32	4
8	150	0.10	35	3
9	180	0.07	37	2
10	200	0.03	38	1
11	240	0.03	39	1
12	280	0.03	40	1
13	290	0.02	41	1
14	300	0	41	0
15	360	0	41	0

5 结束语

现代运输主要包括铁路、水路、公路、航空和管道运输,其中公路运输对国民经济的支撑和促进作用持续提升。软基是影响公路工程质量的关键因素,为保障公路软基的稳定性,本文通过公路软基表面清淤处理、基于应变法的土工织物加筋材料抗拉强度设计、土木格栅铺设与材料填筑夯实,完成了此次设计。经实践检验,该方法可全面提升软基稳定性,从而为深化公路工程建设、保障道路服役寿命等提供全面技术支持。

参考文献:

- [1] 马书文,卢谅,王宗建,等.落石冲击下预应力加筋土路堤变形及荷载传递机制[J].岩土力学,2023,44(03):799-809.
- [2] 姚志雄,夏华灿,吴波,等.MJS 工法桩在滨海地区软基加固工程中的应用[J].人民长江,2023,54(10):141-149.
- [3] 吴钧,王晓,李亚峰,等.基于预测信息集对关系的公路软基沉降组合预测模型研究[J].公路工程,2024,49(01):67-73.
- [4] 袁坤.多次分段控制注浆钢管高速公路软基加固应用[J].防灾减灾工程学报,2024,44(06):1428-1438.
- [5] 刘红军,刘克伦,陈锋,等.逐级改变计算参数下道路软土地基变形与稳定性研究[J].公路,2023,68(04):10-15.
- [6] 陈娟.公路路基施工中土工合成材料的应用与效果分析[J].运输经理世界,2024(14):163-165.
- [7] 林立宏,秦小华,阮映辉,等.泡沫混凝土换填路基沉降控制效果现场试验研究[J].公路,2023,68(09):88-95.