

软土地基条件下河道堤防加高培厚施工关键技术

赵子俊¹ 吴 娟² 单雅婷²

1. 徐州市正源水利建筑工程检测有限公司 江苏 徐州 221116

2. 徐州鼎源水务工程有限公司 江苏 徐州 221111

摘 要：沿海沿河河道河湖沉积软土承载力弱、固结缓慢，堤防加高培厚施工易出现沉降、滑移、渗流病害，施工管控难度较大。本文分析了沿岸软土含水、高压缩、易蠕变理化特性，梳理堤防开裂、滑移、管涌四类病害成因，结合土层厚度选用碎石换填、水泥搅拌桩、排水板预压三类地基预处理工艺，优化新旧堤搭接填筑、防渗排水、边坡防护施工工序，配套布设沉降、位移、水压动态监测体系，划定分级施工预警标准，制定现场病害处置方案。实践表明，整套工艺适配软基堤防施工工况，可有效控制堤体形变，保障加高培厚堤防结构稳定性，可为同类河道改造工程提供施工参考。

关键词：软土地基；河道堤防；加高培厚；施工技术；风险防控

引言：近年区域河道行洪标准提升，老旧堤防高程、断面不满足防洪管控要求，多数堤防需开展加高培厚改造。河道沿线浅层分布淤泥质软土，土体力学性能差，常规填筑施工极易引发堤体失稳、衔接开裂等问题，加大施工管控难度。现阶段部分工地存在地基处理选型盲目、新旧堤施工管控粗放、监测防控不到位等问题，施工质量难以达标。基于此，本文结合现场地质勘察数据，梳理软基病害机理，整合分区地基加固、结合面填筑、防渗防护、动态监测全套施工技术，规范现场施工流程，解决软基堤防加高培厚施工实操难题。

1 软土地基理化特性及堤防加高培厚工程病害机理

河道沿岸浅层软土多为河湖沉积型淤泥质土，是堤防加高培厚施工的不良地基土层，天然工况下承载力低、稳定性差，叠加堤身新增填筑荷载后，极易诱发堤防结构性病害，结合现场地质检测与工程病害复盘，具体内容如下：（1）河道软土地基核心理化特性。本区软土天然含水率普遍大于45%，孔隙比大、固结速度缓慢，土体抗剪强度偏低；土层渗透性极差，受压后孔隙水消散周期长，具备明显蠕变特性，长期承压会发生持续性沉降；同时土体压缩性高，荷载小幅增加即可产生大幅度竖向变形，且沿河土层厚度分布不均，地基承载力存在区段差异性，无法直接承受加高培厚带来的附加荷载。（2）堤防加高培厚典型病害及形成机理。一是不均匀沉降病害，新旧堤身自重荷载不均，软土固结差异化下沉，造成堤面开裂、堤顶高程不达标，影响行洪安全；二是堤身侧向滑移病害，软土抗滑阻力不足，临水、背水侧水土压力失衡，堤体沿软弱土层发生整体

滑动；三是新旧堤结合面破损病害，旧堤风化表层与新填土咬合性差，叠加软基侧向形变，衔接位置易出现纵向裂缝、渗水通道；四是堤基渗透破坏，软土隔水能力弱，汛期水位差作用下，堤基出现管涌、流土，掏空堤基土体，引发堤防失稳^[1]。

2 软土地基堤防加高培厚前期勘察与优化设计方法

结合河道软基堤防施工规范及既有堤防改造标准，加高培厚施工前期需完成专项地质勘察，结合土层参数、旧堤结构数据开展针对性优化设计，规避后期填筑形变、衔接开裂问题，具体勘察及设计方法如下：（1）分段式专项地质勘察方法。沿堤防轴线每50m布设勘察点位，软弱土层富集区加密至20m一点，采用原位触探+室内土工试验结合方式作业。原位检测获取土层厚度、承载力、压缩模量、渗透系数四项核心参数；取样检测判定淤泥质软土固结系数、有效抗剪强度，同步摸排地下水位、承压水层分布。勘察完成后划分稳定区段、薄弱区段，分区建立地质台账，为地基处理、断面设计提供数据依据。（2）新旧堤身衔接断面优化设计方法。摒弃等宽加高模式，按旧堤坡比、风化程度定制衔接断面，旧堤背水侧开挖阶梯式搭接槽，台阶高度控制30-50cm，加宽衔接基底宽度；优化堤顶加高坡度，软基区段堤身坡比放缓1:0.25，降低填筑附加应力，控制堤身侧向推力。（3）软基加固方案选型设计。依据勘察土层厚度选型：软土厚度小于3m选用级配砂石换填设计；厚度3-8m采用双向水泥搅拌桩复合地基设计；厚度大于8m采用塑料排水板联合堆载预压设计，配套布设纵向排水廊道，统一排水固结标准。（4）填筑土体配比设计。

禁用原状淤泥土填筑,选用粉质黏土作为填筑主材,控制土体天然含水率 22%-26%,添加石灰改良土体压实性能,设定分层填筑压实度 ≥ 0.92 ,满足软基填筑荷载管控要求^[2]。

3 软土地基堤防加高培厚主体配套施工关键技术

3.1 适配加高培厚工程的软土地基预处理关键技术

结合现场软土厚度分段选用工艺:浅层软土厚度 $\leq 3\text{m}$ 采用碎石换填预处理,中层软土 3-8m 采用水泥搅拌桩预处理,深层软土 $\geq 8\text{m}$ 采用塑料排水板堆载预压预处理,施工前结合地质勘察报告复核土层分界标高,提前清理作业区域杂物,划定机械作业边界,规避地下管线、旧堤老旧基础施工干扰,同步做好场地临时排水,防止降雨积水浸泡原状软土,施工工艺如下:(1)碎石换填预处理施工要点。采用挖掘机挖除表层淤泥、腐殖土、杂物,清基深度 70-90cm,人工修整基底边角位置,彻底清除边角松散土体及浮土,基底坡度统一修整至 1:1.0,保障垫层受力均匀。选用硬质碎石料,粒径控制 3-6cm,剔除片状、风化软弱石料,进场石料提前抽检抗压强度,单层摊铺厚度 25cm,采用 14t 振动压路机碾压,静压 2 遍、振压 5 遍,压实度不低于 0.93。换填顶面铺设双向土工格栅,搭接宽度 20cm,采用钢筋钉锚固,锚固间距 1m,换填范围外延堤脚外侧 1m,提升垫层整体抗变形能力,弱化新旧地基沉降差。(2)水泥搅拌桩预处理施工要点。采用正方形布桩,桩径 500mm,桩距 1.1m,桩长穿透软土层至硬质持力层,施工精准放线定位,桩位放线偏差 $\leq 40\text{mm}$ 。选用 42.5 普通硅酸盐水泥,水灰比 0.52,无外加改性辅料,浆液机械搅拌时长不少于 3min,过滤剔除结块水泥后方可下入孔内。钻机下沉速度 0.7m/min,提升速度 0.5m/min,下沉喷浆占比 40%,提升喷浆占比 60%,全桩复搅一次,规避桩身夹泥断桩,桩顶超灌高度 50cm,后期统一凿除桩头浮浆,保证桩顶承载力达标。(3)塑料排水板堆载预压施工要点。选用 B 型塑料排水板,梅花形布设,板距 1m,插板直达不透水层,套管拔出后板体回带长度不大于 50mm,杜绝板体回缩失效。采用素土分级堆载,一级堆载厚度 70cm,静置 7d,二级堆载厚度 50cm,静置 10d,严格禁止一次性堆载,避免瞬时荷载挤压土体变形。以地基沉降数据为卸载标准,地基日均沉降量小于 1.5mm,土体孔隙水基本消散、地基固结稳定后,方可开展后续堤身填筑施工。

3.2 软基环境下堤防新旧堤身结合加高填筑施工技术

本工序核心把控旧堤界面处理、填筑速率、分层碾

压三大要点,重点规避新旧堤结合缝开裂、堤身侧向位移,适配软土地基承压特点,施工全程同步观测堤体形变数据,标准化施工工序如下:(1)旧堤结合面处理工艺。机械剔除旧堤表层风化土、松散填筑层,清理厚度 25cm,坡面全方位凿毛,凿毛深度 4cm,彻底破除旧堤光滑表层。沿旧堤背水侧坡面开挖内倾式台阶,台阶高度 40cm、宽度 55cm,台阶向内倾斜 3° ,自上而下逐层开槽施工,避免一次性开挖扰动旧堤本体。台阶坡面洒水充分湿润,均匀摊铺 2cm 厚素水泥浆,摊铺完成 2h 内完成上层土方填筑,防止界面风干结壳,影响新旧土体咬合粘结效果。(2)土方填筑管控工艺。填筑采用粉质黏土,土体粒径 $\leq 8\text{cm}$,有机质含量 $\leq 4\%$,填筑前集中翻晒调配含水率,最优含水率控制 22%-24%,含水率超标土体严禁填筑。土方虚铺厚度控制 28cm,压实后厚度 20cm,严控填筑层高。常规天气单日加高高度 $\leq 40\text{cm}$,阴雨天气土体含水率偏高,单日加高高度缩减至 $\leq 25\text{cm}$,监测堤身侧向位移单日超 3mm,立即停工静置排水。(3)堤身碾压施工工艺。遵循先外后中碾压顺序,先碾压堤身外侧、后碾压中部,靠近旧堤结合位置改用小型电动夯夯实,避免大型机械挤压扰动旧堤结构体。采用 18t 振动压路机作业,行驶速度 1.8km/h,静压 2 遍、振压 4 遍、收光静压 1 遍,匀速作业杜绝急停急转。堤身主体压实度 ≥ 0.92 ,新旧堤结合部位受力复杂,压实度提高至 ≥ 0.93 ^[3]。

3.3 加高培厚配套防渗、排水及边坡防护专项施工技术

结合软基易渗水、土体遇水软化特点,防渗、排水、边坡防护工序与堤身填筑穿插同步施工,减少二次开挖扰动堤体,各分项施工实操要点如下:(1)堤防分区防渗施工技术。沿新旧堤结合面通长铺设 1.2mm 厚 HDPE 土工膜,土工膜搭接宽度 12cm,采用双道热熔焊接,焊缝完成后 0.2MPa 气压保压 5min 检测,无漏气即为合格,破损膜体及时裁切更换。堤脚内侧开挖防渗齿槽,槽深 80cm、宽 60cm,回填防渗黏土分层夯实,黏土与搅拌桩桩顶无缝衔接,封堵基底侧向渗水通道。堤顶表层铺设防渗黏土封层,厚度 30cm,整体碾压密封,阻断雨水下渗通道。(2)堤身及堤基排水施工技术。每 15m 布设一道竖向排水盲管,下端对接地基塑料排水板,快速导出土体孔隙承压水,降低基底水压。背水侧坡面每隔 20m 开设横向排水沟,沟尺寸 30cm $\times$ 25cm,内部填充碎石滤料,拦截坡面雨水,防止雨水冲刷入渗堤体。背水堤脚开挖纵向排水沟,连通河道外排管网,常态化排走积水,避免地表水长期浸泡堤基软土。(3)

加高后边坡防护施工技术。堤防填筑完成后及时修坡整形,临水侧坡比修整 1:2.5,背水侧坡比修整 1:2.2,机械粗修后人工精修找平,坡面无凸起坑槽。水位变动区铺设预制连锁护坡块,块体坐浆安装,缝隙填塞碎石密封,抵御河道水流淘刷。背水侧坡面整平后铺设种植土植草防护,兼顾生态与固土效果,堤脚增设反压护道,护道宽度 3m,高度 1.2m,整体分层夯实,提升堤身整体抗滑稳定性^[4]。

4 软基堤防加高培厚全过程监测与施工风险防控技术

河道软基压缩固结周期长,加高培厚填筑荷载会诱发土体位移、水压突变,施工实行动态监测、分级预警、靶向防控模式,依托现场定点监测数据管控施工节奏,落实隐患处置及工况防控措施,贴合河道堤防施工现场管控要求,具体施工技术如下。(1)现场监测点布设及观测要求。①沉降监测:沿堤防轴线每 40m 布设沉降观测桩,软土夹层、旧堤破损段加密至 20m 布设,观测桩植入原状硬土层 60cm,填筑期每日定时观测采集数据;②水平位移监测:堤脚外侧 3m 埋设测斜管,管底穿透软弱土层,监测堤身横向滑移量;③孔隙水压力监测:堤基软土层、新旧堤结合面埋设渗压传感器,同步记录水压数值,所有监测数据逐日建档归档。(2)施工分级预警管控标准。参照河湖堤防施工规程划定阈值,不增设冗余安全系数:一级预警,单日竖向沉降 4mm、单日水平位移 3mm、孔隙水压增幅 25%,下调当日填筑高度;二级预警,单日竖向沉降 7mm、单日水平位移 5mm,即刻停止填筑作业,静置土体排水泄压,指标回落后方可复工。(3)现场典型风险处置工艺。①局部不均匀沉降:挖除超标填筑土体,铺设双向土工格栅加固基底,减小单次填筑厚度,延长填筑间歇时长;②堤身

侧向滑移:背水侧快速填筑素土反压护道,修整开裂结合面,涂刷水泥浆重新咬合填筑;③衔接位置渗漏水:开挖破损土工膜,热熔补焊搭接焊缝,回填防渗黏土分层夯实止水。(4)特殊工况施工防控要点。雨季填筑前开挖坡面临时排水沟,全域覆盖土工布,防止雨水入渗软化堤基软土;汛期水位上涨期间全面停工,加密监测频次,每日监测不少于 2 次;低温时段施工,缩短搅拌桩停浆间隔时间,规避桩体断桩、拌合不均问题,保障地基加固质量^[5]。

结束语: 本文依托河道软基堤防加高培厚工程,总结适配现场工况的成套施工技术,得出相关结论:施工需依托地质勘察结果,按软土厚度差异化选用地基加固工艺,严控旧堤凿毛搭接、分层填筑碾压施工参数,同步落实分区防渗、分级排水、分区边坡防护作业。同时依托全过程动态监测数据管控填筑速率,分级处置沉降、滑移、渗水施工隐患。本次所用施工工艺符合中小型河道施工条件,工序简易、管控便捷,能够有效降低软土形变带来的施工隐患。

参考文献

- [1] 仲恩燕. 软土地基条件下河道堤防加高培厚施工关键技术与实施效果 [J]. 工程技术研究, 2026, 11(4): 99-101.
- [2] 何军. 水利工程中河道堤防施工技术应用研究 [J]. 大众科学, 2025, 46(14): 175-177.
- [3] 白家转. 软土地基河道护岸施工技术优化研究 [J]. 中国科技期刊数据库工业 C, 2026(2): 049-052.
- [4] 刘梦科. 农田水利施工中软土地基处理与基础加固技术研究 [J]. 江西农业, 2026(5): 110-112.
- [5] 周楠, 严莹莹, 於维伟. 软土地区河道堤防加固与防洪墙选型设计 [J]. 工程技术研究, 2026, 11(1): 199-201.