

基于有限元模拟的抛石挤淤沉降控制对比研究

付秀艳¹, 薛皓辰²

(1.连云港市交通工程建设处, 江苏 连云港 222006; 2.东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要:以连云港地区纵七路抛石挤淤加固软基工程为例,采用有限元方法对比分析不处理直接填筑路基、抛石挤淤处理后填筑路基、抛石挤淤+反压护道处理后填筑路基 3 种工况下的沉降控制效果,结果显示抛石挤淤工法能显著降低工后沉降,反压护道的沉降控制效果不明显;分析抛石挤淤的加固机理主要为置换体的人工硬壳层效应及加速排水。

关键词:公路;抛石挤淤;软基;沉降

中图分类号:U416.1

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)02-0075-04

抛石挤淤工法是一种通过在软土中抛入较大块石或片石强行挤出软黏土并占据其位置的方法,能提升地基承载力、减小沉降量、提高土体的稳定性。抛石挤淤法作为排水固结法的一类,适用于厚为 3~4 m 的软土层或常年积水且不易抽干的湖塘、河流等积水地域或液性指数大、表层无硬壳的软土,具有操作工艺简单、施工便利、强化效果明显、经济效益明显等特点。连云港区域淤泥层普遍分布,层顶埋深浅,大部分硬壳层缺失,含水量大,压缩性高,具有较高的流变、触变性,土体强度低,工程性质差。另一方面,连云港山陵众多,绵延 300 多 km,有大小 200 多座山峰,石料来源丰富。从地质条件、工程需求及资源来源等方面来看,连云港地区低路堤的道路适宜采用抛石挤淤工法处理软基。目前关于抛石挤淤工法的研究着重于加固机理及施工经验。该文以连云港地区纵七路抛石挤淤加固软基工程为例,利用有限元分析法研究抛石挤淤处理对地基施工期间及工后沉降的影响。

1 工程概况

连云港市纵七路抛石挤淤加固工程位于连云港开发区南翼片区,属海积平原地貌单元。场地为水塘、盐田,地势平坦、开阔。主要不良地质层为 2-2 层淤泥质黏土,厚度一般为 13.0~16.2 m,层顶埋深为 0.8~3.8 m,主要物理性质指标(平均值)为含水量 56.5%、容重 16.3 kN/m³、孔隙比 1.541、液限 45.8%、塑限 25.6%、不排水抗剪强度 8 kPa、粘聚力 7 kPa、内摩擦角 4.5°。

根据连云港纵七路地质资料,取地质条件较差的 2-2 层淤泥质黏土作为均值淤泥层进行临界填

土高度计算,参数如下:十字板抗剪强度为 8 kPa,淤泥容重 16.3 kN/m³,挤淤体容重 21 kN/m³,路基宽度 24.5 m,淤泥厚度 15 m。计算不同挤淤体厚度对应的临界填土高度,结果见表 1。

表 1 挤淤体对应的临界填土高度

挤淤体 厚度/m	临界填土 高度/m	挤淤体 厚度/m	临界填土 高度/m
0.0	2.06	2.5	4.20
0.5	2.40	3.0	4.77
1.0	2.82	3.5	5.30
1.5	3.30	4.0	5.96
2.0	3.72		

从表 1 可看出:临界填土高度随挤淤体厚度的增大而增大。挤淤体厚度为零时,相当于在淤泥之上直接填筑路基,此时临界填筑高度为 2.06 m;挤淤体厚度为 1、2、3、4 m 时,临界填土高度分别为 2.82、3.72、4.77、5.96 m。表明挤淤体具有人工硬壳层效应。

抛石挤淤工法的加固机理主要为:1) 浅层置换作用。抛填的块石之间相互挤紧咬合,形成一个强度高的整体硬壳层,对软土地基起到部分置换作用,增大地基模量,提高承载力,挤淤体越厚,地基模量提高越大,地基承载力越高,软基处理效果越好。2) 应力扩散作用。挤淤体强度大、整体性强,能使外荷载传递到较大面积的下卧层中,使应力分布更均匀,充分利用更大范围下卧层的承载能力,达到提高地基承载力、减小沉降的目的。

因此,抛石挤淤施工时应采取压载、挖淤卸载等措施尽量提高抛石的挤淤沉底效果,增大挤淤体的

抛填厚度。连云港地区抛石挤淤体的厚度一般为1.5~2.0 m,临界填土高度为3.3~3.7 m,设安全稳定系数为1.5,则在控制填筑速率保持路基稳定的情况下,在该工程类似地质条件下路基的一般临界填筑高度为2.2~2.5 m。

2 有限元计算模型

通过连续介质有限元方法对抛石挤淤完成后的路基进行数值模拟,考察路基变形情况,总结道路工程抛石挤淤方法的地基变形规律,从数值分析角度对抛石挤淤工法加固效果及加固机理进行研究。采用岩土工程通用有限元软件 Plaxis 进行模拟分析,计算模型采用15节点三角形单元。

2.1 有限元计算模型的建立

选取3种典型工况进行有限元计算分析和对比:工况1为不处理直接填筑路基;工况2为抛石挤淤处理后填筑路基;工况3为抛石挤淤+反压护道处理后填筑路基。

模型暂不考虑土工格栅加筋效应。为消除边界效应的影响,将模型设置为长×宽=60 m×30 m。

为在保证计算结果正确的基础上减小计算工作量,加快数值计算速度,考虑到模型的对称性,取右半幅进行计算。模型尺寸为:路基半幅宽度12.25 m,坡比1:1.5;反压护道宽3 m,高1.5 m;挤淤体厚3 m,半幅宽度17.25 m;路面荷载简化为路基荷载,等效后路基填土高2 m,分4层逐级加载填筑,每月填筑1层,填土速率为0.5 m/月。图2为3种工况下的计算模型。

2.2 基本假定

(1) 抛石体自身已固结稳定,计算沉降均系填土荷载引起。

(2) 边界约束条件为左右两侧、底部水平方向及竖直方向的位移均约束。

(3) 材料本构模型选用 Mohr-Coulomb 理想弹

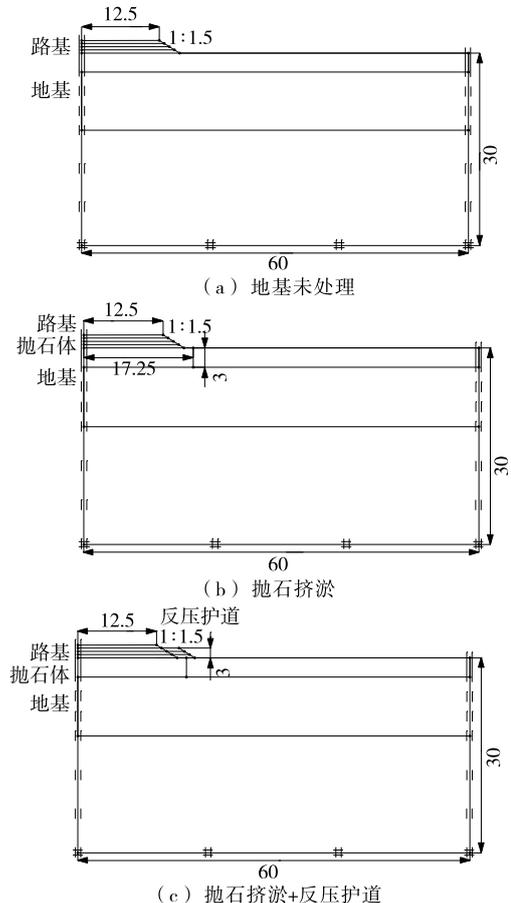


图1 数值计算模型示意图(单位:m)

塑性模型。

2.3 土工参数取值

根据连云港纵七路抛石挤淤处理路段工程勘察报告,地基主要土层为2-1层黏土、2-2层淤泥质黏土、3层粉质黏土夹粉土。各材料的计算参数见表2。

3 计算结果分析

在淤泥中抛填块石超过地基极限承载力时,两侧的淤泥出现隆起现象,产生整体剪切破坏,淤泥中产生连续滑动面,导致抛填体挤开淤泥,下沉到一定深度时达到极限平衡的新状态。

表2 有限元数值模拟材料参数

土层名	厚度/m	天然容重/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	饱和容重/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	压缩模量/ MPa	泊松比	粘聚力/ kPa	内摩擦 角/($^{\circ}$)	渗透系数/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
路基填土	2	18.1	19.1	20.00	0.300	17	30.0	8.06×10^{-3}
抛石挤淤体	3	20.0	21.0	50.00	0.300	30	34.0	5.00×10^{-1}
黏土	3	15.1	17.4	3.07	0.352	10	8.2	6.05×10^{-4}
黏土质淤泥	9	14.0	16.2	1.91	0.352	7	4.5	6.05×10^{-4}
粉质黏土夹粉土	12	17.1	19.1	5.02	0.352	26	14.7	6.05×10^{-4}

(1) 工况 1(不处理直接填筑路基)下有护坡路段路基沉降见图 3。该工况下,施工完成时路基中心沉降为 15.26 cm,路基总沉降为 23.72 cm,工后 5 年沉降为 8.46 cm,总沉降和工后沉降较大。

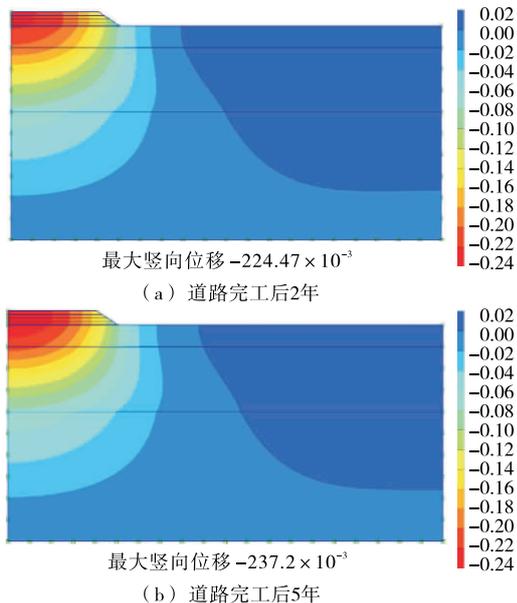


图 2 工况 1 下路基沉降分布云图(单位:m)

(2) 工况 2(抛石挤淤处理后填筑路基)下路基沉降见图 3。该工况下,路基总沉降小,为 21.14 cm,最大沉降发生在路基中心处,其中施工完成时路基中心沉降为 14.43 cm,工后 5 年路基中心沉降为 6.71 cm,总沉降和工后沉降都比工况 1 时的小。施工完成时路基中心沉降约占总沉降的 68.8%;而工后沉降小,占总沉降的 31.7%。抛石挤淤处理效果明显。

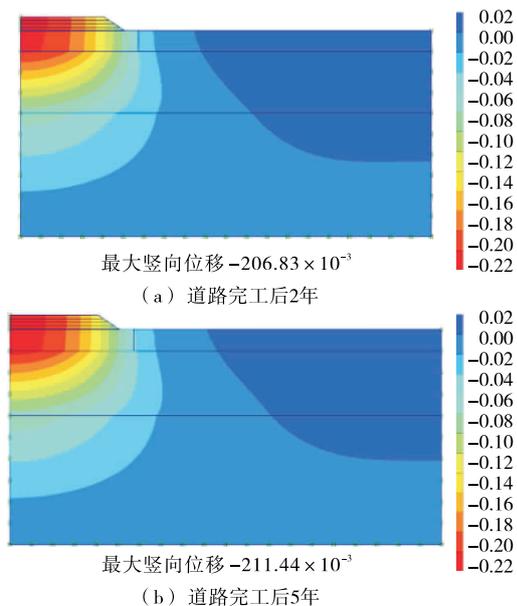


图 3 工况 2 下路基沉降分布云图(单位:m)

(3) 工况 3(抛石挤淤+反压护道处理后填筑路基)下有护坡路段路基沉降见图 4。该工况下,路基总沉降为 20.69 cm,比抛石挤淤处理的路基总沉降小 0.45 cm;施工完成时路基中心沉降为 13.82 cm,路基总沉降为 20.69 cm;工后 5 年沉降为 7.07 cm,比抛石挤淤处理后的沉降大 0.36 cm。总沉降和工后沉降均与抛石挤淤工况较接近。

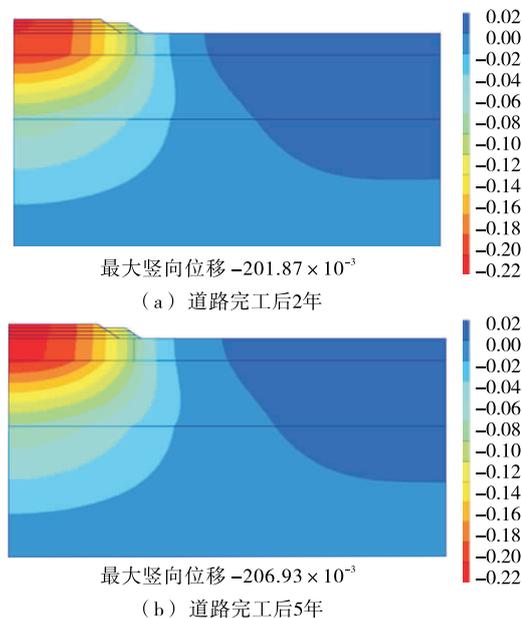


图 4 工况 3 下路基沉降分布云图(单位:m)

图 5 为抛石挤淤、反压护道及不处理地基地路基的沉降曲线。从图 5 可看出:1) 抛石挤淤沉降稳定快,沉降主要发生在路基填筑期。抛石挤淤处理的路基工后 2 年沉降基本稳定,总沉降为 20.62 cm,至工后 5 年总沉降为 21.14 cm,沉降在 3 年里仅增加 0.52 cm。说明抛石挤淤具有较明显的排水效应,能明显缩短路基沉降时间,使施工期沉降得到充分发展,有效控制工后沉降。这是因为挤淤体渗透性好,能顺畅地排出软土中的水,有利于孔隙水压力消散;挤淤体的置换作用缩短了下卧软土的排水距离,加快了软土排水固结。2) 抛石挤淤总沉降较小。抛石挤淤路基总沉降较小,工后 2 年抛石挤淤路基中心总沉降为 20.62 cm,不处理路基总沉降为 22.44 cm;工后 5 年抛石挤淤路基中心总沉降为 21.14 cm,不处理路基总沉降为 23.72 cm。抛石挤淤处理的路基比不处理路基的工后沉降小。这是由于抛石挤淤体有人工硬壳层效应,抛石挤淤置换浅层软土后,块石之间相互挤密咬合形成一个强度高、整体性稳定的硬土层,

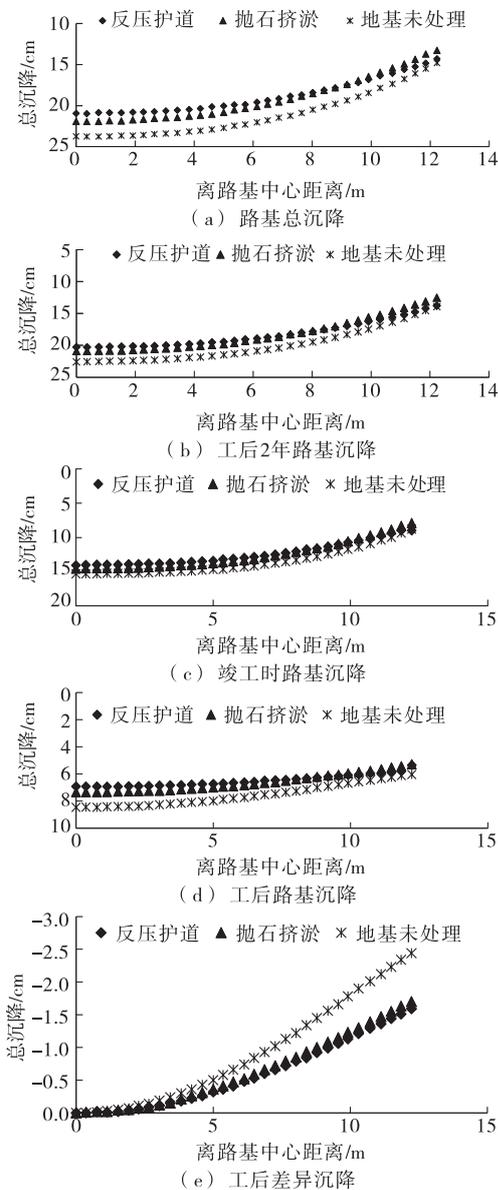


图5 3种工况下路基沉降对比

增大了地基模量,提高了地基承载能力;抛石挤淤体能有效利用下卧层的承载力,加上其整体性好、强度高,能将荷载传递到更大范围的下卧层中,使下卧层所受应力均化,充分利用软土的承载力,减小沉降。3) 反压护道对减小路基沉降效果不明显。反压护道能减小路基沉降和差异沉降,但对改善路基沉降的贡献非常有限。抛石挤淤路基工后5年总沉降和差异沉降分别为21.14和1.72 cm,反压护道处理后的沉降分别为20.69和1.59 cm,反压护道贡献较小,对路基沉降控制主要是由抛石挤淤体发挥作用。因此,路基施工中应采取有效措施改善抛石挤淤沉底效果。

4 结语

连云港地区地质条件复杂,软弱地基广泛分布。为保证工程质量,减少工程投资,从道路全寿命周期的角度,抛石挤淤工法在连云港软基处理中具有显著优势。该文基于抛石挤淤工法的加固机理,通过有限元数值模拟对抛石挤淤工法的沉降控制进行分析,结果显示:与不处理直接填筑路基相比,抛石挤淤处理后填筑路基施工完成时的路基中心沉降减小5.8%,路基总沉降减小12%,工后5年沉降减小26%,说明抛石挤淤处理的地基能有效控制工后沉降;抛石挤淤+反压护道处理后填筑路基的沉降与抛石挤淤处理后填筑路基的沉降接近,反压护道减小路基沉降的效果不明显。抛石挤淤加固机理主要体现在置换体的加速排水和人工硬壳层效应。

参考文献:

- [1] 杨光煦. 压载挤淤研究[J]. 岩土工程学报, 1992, 14(2).
- [2] 姜景山. 深厚软基抛石挤淤加固机理数值模拟研究[J]. 长江科学院院报, 2013, 30(2).
- [3] 王艳芳, 俞缙, 周治刚, 等. 深厚软基抛石挤淤技术应用研究[J]. 中国公路学报, 2011, 24(6).
- [4] 朱彦鹏, 陈琰娇. 抛石挤淤加固公路软基机理研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2016, 33(4).
- [5] 周治刚, 吴月龙, 徐波. 抛石挤淤法在公路软基处理中的应用研究[J]. 中国水运: 下半月, 2014, 14(2).
- [6] 黄瑞章, 潘瑞春, 周新年. 抛石挤淤结合强夯置换法在道路软基处理中的应用[J]. 路基工程, 2013(2).
- [7] 陈旭, 魏入波. 抛石挤淤工艺的应用[J]. 水运工程, 2009(8).
- [8] 闫澍旺, 陈静, 孙立强, 等. 抛石挤淤深度的计算方法和模型试验[J]. 岩土力学, 2015, 36(增刊1).
- [9] 张明鸣, 徐卫亚, 夏玉斌, 等. 抛石挤淤机理及其颗粒流数值模拟研究[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2010, 41(1).
- [10] 潘海立. 抛石挤淤法在铁路软土路基施工中的应用[J]. 科技资讯, 2009(10).
- [11] 蒋芳超, 凌四, 曾冬平. 爆炸抛石挤淤处理公路软基的施工与质量控制[J]. 公路与汽运, 2007(6).
- [12] 董琴亮. 防波堤抛石挤淤沉降数值计算方法研究[J]. 铁道建筑技术, 2014(7).
- [13] 刘海林, 曾春鸣. 抛石挤淤处理深度设计与施工控制[J]. 有色冶金设计与研究, 2014, 35(3).
- [14] 刘润, 朱逢春. 抛石挤淤综合法在加固浅层淤泥质地基中的应用[J]. 山东水利, 2001(9).