

· 地基与基础 ·



淤泥固化土技术在连云港徐圩港区 软土地基中的应用

王建平¹, 顾文萍¹, 王健祥¹, 刘玉华², 庄巍¹

(1.中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海200032; 2.江苏坤泽科技股份有限公司, 江苏南京 210012)

摘要: 沿海地区分布大量软土地基, 近年政府加大对山体及其植被保护的力度, 建筑市场碎石土供给量剧减, 价格飞涨。为缓解供需矛盾, 急需寻求一种软土地基处理的新材料。以连云港徐圩港区淤泥固化土的实际应用为例, 从技术、应用效果、经济性等方面进行分析, 认为淤泥固化可部分取代石料的使用, 是软土处理有效的方法之一, 有应用推广的价值, 为建设“环境友好、资源节约”型社会做出贡献。

关键词: 淤泥固化土; 软土地基; 承载力; 沉降

中图分类号: TU 472.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)10-0198-05

Application of stabilized soil from silt technology in soft soil foundation of Lianyungang Xuwei port

WANG Jian-ping¹, GU Wen-ping¹, WANG Jian-xiang¹, LIU Yu-hua², ZHUANG Wei¹

(1.CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China;

2. Jiangsu Kunze Science and Technology Co., Nanjing 210012, China)

Abstract: A lot of soft soil foundation distributes in coastal areas. In recent years, the government has paid more protection to the mountain and its vegetation, thus the supply of gravel soils has reduced greatly and the price has shot up. In order to ease the contradiction between supply and demand, we need to seek a way of soft soil foundation processing for new materials. Taking the practical application of the stabilized soil from silt Xuwei Lianyungang port as an example, we carry out an analysis from aspects of technology, application effect and economy, and draw the conclusion that the sludge solidification can be used partly replacing stone, which is one of the most effective methods for soft soil treatment. It is worthy of popularizing and contributes to the construction of environment friendly and resource saving type society.

Key words: stabilized soil from silt; soft soil foundation; bearing capacity; settlement

我国漫长的海岸线上广泛分布着海相软土沉积, 黄河夺淮700年, 大量泥沙入海, 形成了广阔的苏北黄河三角洲和滨海平原^[1], 连云港海岸快速淤积, 直至1855年黄河北归, 连云港地区地表下广泛分布10~30 m厚淤泥, 建筑前需进行适当的软土地基处理。连云港本地有较丰富的山石资源, 在软土地基建设中, 常采用山场碎石土换填浅层软土

地基(或直接抛填), 这种方法符合现阶段的经济条件, 但由于施工过程中碎石土的压实度难以控制好, 后期极易不均匀沉降, 严重影响使用; 同时, 山场碎石土属于不可再生资源, 开采石料破坏山体、造成环境污染, 随着政府加大对山体及其植被保护的力度, 山场碎石土供给量剧减, 供不应求, 价格上涨, 为缓解这种供需矛盾, 急

收稿日期: 2013-08-10

作者简介: 王建平(1970—), 男, 教授级高级工程师, 注册一级建造师, 从事港口及航道工程设计、施工和管理工作。

欲寻求一种软基处理的新材料。

近年来, 淤泥固化技术从日本等地引进, 在一些沿海地区得到了应用。其利用机械搅拌将淤泥和固化剂按照适当比例混合、拌制并经硬化, 形成适用于工程的材料——淤泥固化土。作为一种新型、实用、环保的地基材料, 淤泥固化土可用于道路、堆场、桩机垫层以及其他土体工程的地基建设。不同强度的固化土能满足不同工程、不同设计的需求。作为沿海软土地基工程建设的优质材料, 固化土拥有整体性好、地基承载力高、低渗透、沉降小等特点, 称为21世纪的新材料。

1 徐圩港区概况

徐圩港区位于连云港市城区东南部, 总体战略定位为: 立足深水港口, 重点发展石化、精

品钢、装备制造等。是连云港港口“一体两翼”发展战略和“一心三级”城市布局的重要组成部分。该地区规划面积467 km², 其中徐圩港区约74 km², 该地区地域广阔, 为滩涂、盐田, 淤泥型地质, 在工程建设过程中软土地基处理一直是该地区的难题。徐圩港区为海相软土, 具有高含水率、高液限、低密度、低强度、高压缩性及高灵敏度等特点。不宜作天然地基, 因为它会产生不均匀沉降, 使建筑物产生裂缝、倾斜、影响正常使用, 同时, 也易泥化, 承载力很低, 必须采取人工加固措施以保证建筑物的稳定安全。

2 淤泥固化土技术指标

传统的固化土有石灰淤泥固化土、二灰(石灰-粉煤灰)淤泥固化土、水泥淤泥固化土和粉煤灰淤泥固化土。特点见表1。

表1 固化土及其特点

固化土	特点
石灰淤泥固化土	土体强度增长缓慢, 影响工程进度; 干缩大、易开裂、易软化、水稳定性差
二灰(石灰-粉煤灰)淤泥固化土	早强性差, 直接影响施工进度和质量; 水稳性差; 成型性不好, 易形成弹簧土和开裂现象
水泥淤泥固化土	成本高; 暴露的水泥淤泥固化土易干缩和冷缩产生裂缝, 导致固化土的抗压强度、抗渗、抗冻性能降低; 水泥初、终凝时间无法调整, 影响工程质量
粉煤灰淤泥固化土	强度较小、水稳定性差、粘结力低; 结构容易破坏、整体性差, 极不耐冲刷, 用作路基时排水和维护要求高; 不能保证压实度, 易造成工后产生压缩变形

针对徐圩港区的淤泥指标状况, 在传统固化土基础上研发了以工业废弃材料粉煤灰、矿粉等作为主要原材料的新型固化剂, 利用材料自身创造的碱性环境, 使其发生更充分的水化、水解反应, 生成各种水化产物, 并产生较多的胶凝物质。这些胶凝物质会凝结、包裹淤泥中的细小颗粒, 使之团粒化, 形成一个由水化胶凝物为主的骨架结构, 从而具有一定的强度和稳定性, 使淤

泥转变成适用于软土地基建设工程的材料——淤泥固化土。这种海洋淤泥固化土是一种半刚性、半塑性材料, 具有板块性能好、强度高、不易开裂和剪切的特点, 有良好的抗拉、抗疲劳强度, 水稳性高, 能很好地保证基层质量。

在淤泥中加入一定掺量的固化剂进行技术处理后, 对淤泥固化前、后进行土工试验数据对比分析。各项物理力学性质指标见表2。

表2 淤泥固化前后物理指标对比

土质	含水率/%	孔隙比 e_0	液性指数 I_L	塑性指数 I_p	压缩系数/MPa ⁻¹	粘聚力 c /kPa	内摩擦角/(°)
淤泥	67.2	1.598	1.417	23.98	1.38	9.26	4.5
淤泥固化土	32.6	1.150	<0.250	18.20	<0.28	120.20	27.1

由表2可知, 淤泥经固化后, 土体性能和各项参数均发生明显变化: 含水率大幅降低, 孔隙比减小, 饱和度也相应降低; 液性指数和压缩系数显著降低, 使淤泥土由流塑变为可塑或坚硬状

态, 压缩性大大减小; 粘聚力增强、内摩擦角增大, 从而使其抗剪强度得以提高。固化材料的加入, 使土体颗粒间排列形式发生变化, 淤泥结构得以重组, 固化后的土体具有强度高、压缩性低

的特性，满足作为地基材料的功能要求。

3 淤泥固化土在徐圩港区的应用

淤泥固化土作为一种优质的新型地基材料，其适用性广、性能优越、应用方便，在国内外已得到大量的应用。在国外，如美国、日本、新加坡等地，固化土应用已较普遍；在国内，南通、无锡、上海、青岛、台州等地已逐步应用。

淤泥固化土目前主要应用领域为沿海软土地基中的道路路基、堆场地基、桩机垫层等土体工程。根据应用领域的不同、设计要求的不同，固

化土也展现出了不同的优良特性。以淤泥固化土在徐圩港区某公司道路路基建设中的应用为例，其路基设计结构断面见图1。

以上淤泥固化土路基结构设计方案经验算，按此坡率（1:1.5）放坡最不利滑动面的安全系数为2.236，大于 $[k]$ (=1.2~1.4)，故此路基边坡稳定性好^[2]；淤泥固化土轻质的特点可以减少路基的最终沉降，图1中淤泥固化土路基最终沉降量为228.3 mm，而图2中同等厚度、设计的抛石路基最终沉降量为335.4 mm，淤泥固化土路基的最终沉降量明显小于传统的抛石路基。

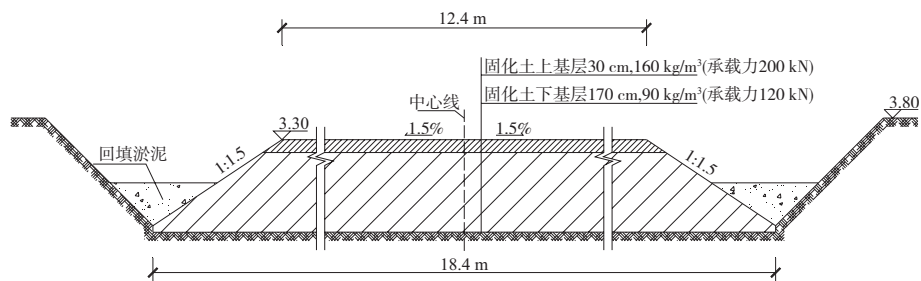


图1 固化土道路路基结构断面

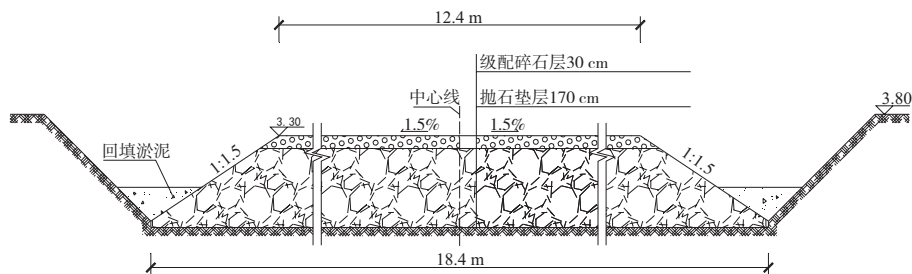


图2 传统抛石路基结构断面

3.1 淤泥固化土强度特性

在徐圩港区某公司道路施工中，对采用淤泥固化技术处理的11 km道路路基和20万m²的砂堆场采集了具有代表性的点位，进行了检测分析，检测数据见表3。

表3 固化土路基施工检测数据

路基位置	掺量/ (kg·m ⁻³)	含水率/ %	28 d无侧限 抗压强度/kPa	干密度/ (g·cm ⁻³)
固化土上层	160	29.5	420.2	1.41
固化土下层	90	34.6	285.3	1.31

从表3数据中可以看出淤泥固化土作为一种新型的地基材料，相比传统土工材料，其含水率相对较高，干密度相对较低，但无侧限抗压强度却没有受到影响。其主要原因是淤泥固化土强度来

源于两方面：一方面起主要作用的是淤泥与固化剂水化反应产生的硅酸盐搭建的类框架（或类蜂窝）骨架结构的强度，而水化反应需要土体中有一定的水分，故含水率相对较高；另一方面物理密实度（干密度）为淤泥固化土所提供的强度是次要的。

3.2 弯沉与地基承载力试验

徐圩港区淤泥固化土道路工程中先期竣工的部分路基，经业主委托第三方检测单位进行了道路路基的弯沉（表4）和浅层平板载荷试验（表5）。

表4得出本次道路路基弯沉代表值为181.8 mm，表4得出地基承载力为200 kN，完全满足设计要求。而连云港徐圩港区大量的实践表明，在此

表4 道路弯沉试验

桩号	弯沉实测值/mm	
	左轮	右轮
右幅车道K0+010	152	162
右幅车道K0+030	148	135
右幅车道K0+050	164	154
右幅车道K0+070	114	136
右幅车道K0+090	158	146
右幅车道K0+110	146	170
右幅车道K0+130	121	134
右幅车道K0+150	154	156
右幅车道K0+170	167	134
右幅车道K0+190	174	164
右幅车道K0+210	159	158
右幅车道K0+230	135	142
右幅车道K0+250	143	158
右幅车道K0+270	176	153
右幅车道K0+290	158	153
右幅车道K0+310	149	141
右幅车道K0+330	110	120
右幅车道K0+350	124	154
右幅车道K0+370	160	123
右幅车道K0+390	150	142
左幅车道K0+390	156	154
左幅车道K0+370	151	119
左幅车道K0+350	128	136
左幅车道K0+330	146	152
左幅车道K0+310	171	159
左幅车道K0+290	130	154
左幅车道K0+270	150	146
左幅车道K0+250	147	143
左幅车道K0+230	140	152
左幅车道K0+210	142	148
左幅车道K0+190	152	156
左幅车道K0+170	148	156
左幅车道K0+150	143	158
左幅车道K0+130	149	153
左幅车道K0+110	157	140
左幅车道K0+090	154	153
左幅车道K0+070	121	113
左幅车道K0+050	142	174
左幅车道K0+030	123	112
左幅车道K0+010	113	145

表5 浅层平板荷载试验

级数	荷载/kPa	累计沉降量/mm	
		01 [#]	02 [#]
1	80	0.35	0.41
2	120	0.85	0.93
3	160	1.65	1.72
4	200	2.58	3.02
5	240	3.92	4.33
6	280	5.34	5.87
7	320	6.54	7.02
8	360	7.88	8.41
9	400	9.05	9.73

注: 01[#]试验点经过1 530 min的试验观测, 最大加载量为400 kPa, 累计沉降量9.05 mm, 最大加载量达委托方要求后停止加载;02[#]试验点经过1 510 min的试验观测, 最大加载量为400 kPa, 累计沉降量9.73 mm, 最大加载量达委托方要求后停止加载。

种地质条件下, 采用同等厚度(2.0 m)的抛石进行浅层路基处理时, 最终路基的弯沉值通常在200~220 mm, 地基承载力仅为100~150 kN。从检测结果来看, 利用淤泥固化土作为道路路基材料是可行的, 相比传统的抛石填筑在性能上有着明显的优势。

3.3 造价对比分析

根据检测值分析可知, 在达到同样的路基弯沉值的情况下, 淤泥固化土的路基设计厚度可以适当减薄, 经验算这个结论是成立的。在弯沉值相同情况下的两种道路路基的造价对比分析见表6。

表6 达同等弯沉值造价对比

路基位置	设计厚度/cm	施工沉降/cm	单价/(元·m ⁻³)	价格/(元·m ⁻³)	总价/(元·m ⁻³)
抛石路基	抛石垫层	160	30	70	133
	级配碎石层	30		120	36
淤泥固化土路基	固化土下基层	140		75	105
	固化土上基层	30		115	34.5

注: 传统抛石路基设计: 抛石垫层1.6 m+20%施工沉降0.3 m+级配碎石层0.3 m; 淤泥固化土路基设计: 固化土下基层1.4 m+固化土上基层0.3 m。

从以上造价对比看出, 在达到相同弯沉值的情况下, 相比传统抛石填筑路基, 淤泥固化土路基道路可节约15%~20%的工程造价, 是一种经济实用的软土地基处理方式。

4 经济效益与社会效益分析

4.1 经济效益分析

江苏沿海开发已经上升为国家战略,大规模的港口码头、航道和海岸基础设施建设已沿海展开,环渤海地区、华东、华南沿海均为固化土的潜在市场。从造价成本上看,在基础设施建设中,需要大量的土方以及相对强度高基础材料,石料虽为适合进行大范围应用的高强度基础建设材料,但作为一项不可再生的自然资源,石料的开采受到了国家监控和限制,因此采料不便捷、价格昂贵。相反,利用淤泥固化技术处理后的海洋、湖泊淤泥,不仅性能能与石料媲美,而且造价低廉,经挖掘、开采、固化之后,便可直接投入使用。它采用工业废料粉煤灰、矿粉和废石膏等作为辅助固化材料,进一步降低工程造价。不仅如此,还可将固化处理后的淤泥代替土石方材料进行出售,经济效益可观。

4.2 社会效益分析

我国除了拥有漫长的海岸线,还有众多的内河入海口,海洋和滩涂提供了十分丰富和庞大的海洋淤泥软土资源。为保证海洋航道、港口的畅通,港务部门每年都会大规模进行海洋淤泥疏浚和清淤施工,疏浚出来的淤泥大部分海上抛弃,少部分用围海造地的方式处理,海上抛泥,淤泥中大多含有重金属和有机物,对周边环境和海洋造成二次污染,围海造地可增加土地供给,但需经过专门处理,淤泥固化是有效的方法之一。

淤泥固化土的应用不但改善了海洋环境,而且避免了清淤抛洒对海洋造成的负面影响,使传统的被动海洋清淤转变为主动的淤泥回收。此外,淤泥固化土可用于多类工程建设,能够替代抛石挤淤填筑的传统工艺,解决江苏沿海石料不足及破坏山体的问题,减少了大量的石料的运

输,用资源循环利用的方式达到了节能减排的效果。同时,使政府、企业等投资主体在沿海建设中的资金投入降低、工程进度和质量得到了保障,响应了国家科技创新、循环经济的号召,保护生态环境和自然资源,施工便捷、造价低廉和维护方便的优势对招商引资也起到了良好的促进作用,将为沿海开发做出巨大贡献。

5 结语

1) 相比淤泥,淤泥固化土各项物理指标有了极大的改善,能够满足沿海地基材料的使用要求;相比抛石,淤泥固化土作为地基材料无不均匀沉降。

2) 淤泥固化土的强度来源主要是自身的胶凝骨架结构,其次是物理压实度,故在作为地基材料时控制指标有别于传统土工材料。

3) 淤泥固化土作为路基材料在边坡稳定性、最终沉降值、使用性能等方面优于传统抛石填筑路基。

4) 在达到同样的弯沉值的情况下,淤泥固化土路基总体工程造价要低于抛石路基。

5) 淤泥固化土可以替代抛石进行软基处理,利用废弃资源再生利用、循环利用、环保经济,节能减排,为资源节约型、环境友好型社会建设做出积极贡献,在沿海开发中有着广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 王艳红. 徐圩港区附近海岸冲淤演变特征[M]/丁军华. 连云港淤泥质海岸深水航道建设理论与实践(前期基础篇). 北京:人民交通出版社,2012.
- [2] 陈洪凯,唐红梅,王建平. 青藏高原东部边缘地区滑坡发育的地貌学研究[J]. 重庆交通学院学报,1994,13(1): 86-93.

(本文编辑 武亚庆)