

# 软基原位浅层固化技术在公路工程中的应用

李壮

中铁上海工程局集团市政环保工程有限公司

DOI: 10.12238/ems.v6i2.7020

**[摘要]** 软基原位浅层固化是一种满足国家提倡绿色、环保、节能发展的背景下,将道路工程中的软弱开挖土方进行资源化、无害化利用的处理手段。近些年软基原位浅层固化开始在公路工程运用,本文通过上海某公路工程,对软基浅层原位固化成套技术的应用重点进行论述。

**[关键词]** 软基浅层原位固化;成套技术;公路应用

## Application of in-situ shallow solidification technology for soft foundation in highway engineering

Li Zhuang

China Railway Shanghai Engineering Bureau Group Municipal Environmental Protection Engineering Co., Ltd

**[Abstract]** In situ shallow solidification of soft foundation is a treatment method that meets the national promotion of green, environmental protection, and energy-saving development, and utilizes the weak excavated soil in road engineering for resource utilization and harmless utilization. In recent years, in-situ shallow solidification of soft foundations has been applied in highway engineering. This article focuses on the application of a complete set of in-situ solidification technology for soft foundations in a highway project in Shanghai.

**[Key words]** Soft foundation shallow in-situ solidification complete set technology, highway application

### 1. 研究背景

#### 1.1 国内外研究现状

在城市道路建设过程中,往往会遇到较多的软弱地基,一般都是力学性能较差的淤泥、黏土等,其工程性质差、颗粒细小、黏粒和有机质含量高,渗透系数低。相当一部分工程是将软弱土开挖废弃后进行换填,开挖土方被废弃于抛填区、低洼地区,不可避免地占用一定的土地资源甚至对抛泥区域产生污染。在我国近年来大力提倡绿色、环保、节能发展的背景下,将道路工程中的软弱开挖土方进行资源化、无害化利用,成为急需解决的工程和社会问题。

固化法是较合适的资源化处理方法。已有学者对固化法进行相关研究,并有不少应用,但目前国内外已有的淤泥固化处理案例主要集中在河道整治、堆场处理以及废弃土方二次利用等应用领域,在高等级道路工程中的应用尚不多见,原位固化方法是指无须开挖软土,直接对原位软土进行固化处理,从而达到固化、利用软土的方法。就地强力搅拌法使

用固化材料对软弱地基浅层进行固化处理,使其形成表面板体,亦可称作“人工硬壳层”,是满足使用要求的施工方法。该方法可直接对地基土进行固化处理,处理深度可达6 m左右,无须分层填筑。采用水泥、石灰等材料与土中的矿物成分和水发生化学反应,产生胶凝物质,导致形成的硬壳层具有一定的刚度,从而提高整体的地基承载力,该方法的固化剂主要是水泥+少量稳定剂,可根据实际地质情况增加粉煤灰、石灰或石膏等,该方法固化剂掺入比一般在5%~7%左右,加固后地基承载力可提高到200 kPa以上。

#### 1.2 研究必要性与紧迫性

上海某公路新建工程全长4.2 km,位于上海市奉贤区,全线明浜处理50处,处理面积52198 m<sup>2</sup>,明暗浜处理的效果直接影响公路的施工质量,上海对施工安全文明施工要求高,明暗浜处理软基处理的方式直接影响工程成本。本工程内明暗浜主要集中于水稻田、虾塘、鱼塘、藕塘、沟渠等。初步设想将明暗浜分为水稻田、沟渠、养殖塘、藕塘四大类进行

科研性研究。通过室内试验结合现场试验段检测，配置固化剂配比。使现场软基淤泥具备路基修筑的要求，从而节约材料、减少环境污染等问题。

2. 研究方法和研究内容

2.1 试验设计

固化方法是在土体中添加土壤固化剂，固化剂能够直接胶结土体颗粒或能够与黏土矿物反应生成胶凝物质，从而改善和提高土体力学性能。

本试验主要从淤泥固化后固结体的物理特性、力学特性等方面着手进行研究。对上海某公路这种城市道路路基软土而言，待处理土体的含水率介于 25%~60%之间，固化法是较合适的资源化处理方法。该方法的固化剂主要是水泥+少量稳定剂，可根据实际地质情况增加粉煤灰、石灰或石膏等，该方法固化剂掺入比一般在 5%~7%左右，加固后地基承载力可提高到 200KPa 以上。

表 1 淤泥固化物理特性试验方案

粉煤灰掺量	水泥掺量	龄期	测试指标
0%	7%	7d	含水率
	8%	14d	
	9%	28d	
2%	4%	7d	含水率
	5%	14d	
	6%	28d	
3%	4%	7d	含水率
	5%	14d	
	6%	28d	

本试验主要从淤泥固化后固结体的物理特性、力学特性等方面着手进行研究。首先以上海某公路主要范围内 4 种不同类型的淤泥为研究对象，考察固定粉煤灰掺量下，水泥的掺量和养护龄期对淤泥固结体物理特性的影响（本试验中的掺量指的是加入的干物质质量与淤泥干质量之比）。淤泥固化

表 3 普通硅酸盐水泥的化学成分

化学成分	SiO2	CaO	Al2O3	Fe2O3	MgO	Na2O	K2O	TiO2	SO3
含量 (%)	21.36	62.21	5.80	2.89	2.49	0.20	0.80	0.40	3.85

2. 粉煤灰

粉煤灰是一种火山灰质混合材料，可以在水泥的作用下发生火山灰反应。因此，本试验选用粉煤灰作为调质剂，不仅能够充分利用废弃物，还可以降低粉煤灰对环境的危害。

试验所用粉煤灰为 F 类 II 级，对其基本性质进行测定，其中粉煤灰的细度和需水量比按照规范《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》进行，烧矢量、游离氧化钙按照《水泥化学分析方法》进行测试结果细度为 10.2%，需水量比 101.5%，均

时粉煤灰掺量一般为 0%~4%左右，为了突出水泥的作用，试验中粉煤灰选择 0%、2%和 3%的掺量，水泥掺量由 4%变化到 9%，且以 1%为间隔，具体方案见表 1。

以上海某公路要范围内 4 种不同类型的淤泥为研究对象，研究淤泥固化的力学特性。无侧限抗压强度是力学特性中最常用的指标之一，也是淤泥固化后用于建筑土料时需要考虑的指标，因此本试验采用无侧限抗压强度 (UCS) 来衡量淤泥固化后的力学特性试验共分为三组，第一组考察不掺粉煤灰时，不同掺量水泥和养护龄期对固结体力学特性的影响。试验中水泥掺量从 7%变化到 9%，且以 1%为间隔；第二组考察掺入 2%粉煤灰替换 2%的水泥掺量，此时不同水泥掺量和养护龄期对固结体力学特性的影响，试验中水泥掺量从 4%变化到 6%，且以 1%为间隔；第三组考察掺入 3%粉煤灰替换 3%的水泥掺量，此时不同水泥掺量和养护龄期对固结体力学特性的影响，试验中水泥掺量从 4%变化到 6%，且以 1%为间隔，从三组试验方案中选出性能最佳的一种用于现场试验段，通过平板载荷试验、静力触探来验证此方案对淤泥固结体力学他姓的影响。

2.1.1 试验材料与设备

1. 水泥

试验用水泥为海螺牌 P.042.5 普通硅酸盐水泥，水泥的基本性质进行检测，其中比重采用李氏瓶法，标准稠度用水量采用维卡仪法，比表面积采用勃氏仪法，测定结果如表 2 所示，从表中可以看出比表面积为 327m<sup>2</sup>/kg，满足比表面积大于 300m<sup>2</sup>/kg 的要求。采用 X 射线荧光分析法测定水泥的化学成分并列于表 3，可以看出水泥的主要化学成分时氧化钙，还含有一定量的氧化硅和少量的氧化铝、氧化铁。

表 2 普通硅酸盐水泥的基本性质

比重	标准稠度用水量 (%)	比表面积 (m <sup>2</sup> /kg)	备注
3.12	28.0	327	/

满足 II 级粉煤灰的规范要求，烧矢量 1.4%、游离氧化钙含量 0.2%，也都满足 II 级粉煤灰的规范要求。

3. 淤泥

本试验以上海某公路主要范围内 4 种不同类型的淤泥为研究对象，分别为藕塘、稻田、养殖塘、沟渠。并对其含水率、有机质含量进行测定，含水率按照规范《公路土工试验规程》进行，有机质含量采用重铬酸钾氧化外加热法进行，测试结果：有机质含量均小于 5%，不属于有机质土，含水率

在 40%-60%之间。

### 2.1.2 试验方法

#### 1. 固结体试样制备

首先介绍淤泥固结体试样的制作方法, 将 4 中不同类别的淤泥取样密封好后, 运送到试验室, 在淤泥中按照设计比例加入固化材料后用机械搅拌机进行墙纸搅拌, 使用所采用的搅拌机为 HX-15 型三功能搅拌机, 转速 100rot/min, 强制搅拌 10min 后, 停止搅拌, 份三层装入直径和高度均为 50mm 的模具中, (为方便脱模, 模具内壁事先均匀涂有一层凡士林), 每层装入前振动 3min, 以排除气泡, 最后一层装样结束后, 用抹刀将试样表面抹平。然后用聚乙烯塑料袋密封并置于温度 20℃、湿度 >90% 的养护箱中养护 24 小时后进行脱模, 托幕后的试样用塑料袋密封好后放入养护箱中继续养护至设计龄期进行无侧限抗压强度试验。

#### 固结体力学特性试验方法

采用数显路面材料强度试验仪测定淤泥固结体的无侧限抗压强度。在试样的上下两面涂抹凡士林, 将其置于压板底座的中心, 调节压板高度, 使底座缓慢上升, 待试样与压板顶部刚好接触时, 将量力环与位移表读数置零, 加压控制速率约为 1mm/min, 并记录相应数据, 具体公式如下:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{h_0} \quad A_a = \frac{A_0}{1 - \varepsilon_1} \quad \delta = \frac{C-R}{A_a} \times 10$$

其中:  $\varepsilon_1$ -轴向应变;  $\Delta h$ -位移量表读数;  $h_0$ -试样测试前的高度;

$A_a$ -试样的校正面积;  $A_0$ -试样测试前的面积;  $C$ -量力环系数;  $R$ -量力环表读数;  $\delta$ -轴向应力。

### 3. 工程应用

#### 3.1 项目概况

某公路全长 4.2km, 其中涉及明暗浜淤泥原位浅层固化施工技术应用的全线明浜工程 50 处, 面积 51575 m<sup>2</sup>, 处理深度有三种, 分别为 1.8m、1.2m、1m, 暗浜 3 处, 面积 622.99 m<sup>2</sup>, 处理深度同为三种, 分别为 2.4m、1.0m、0.6m。在开挖深度小于或等于 5m (含淤泥厚) 的暗浜段, 采用直接就地固化。

#### 3.2 工艺要点

##### 3.2.1 设备安装调试

设备组装完毕后, 需对设备进行调试, 测试其是否正常工作, 是否在新的施工环境存在安全问题, 挖掘机的动力系统和 ALLU 搅拌头的组装下是否可以完成搅拌过程, 同时自动定量供料系统可完成不用固化剂的供料过程, 同时质量控制差在允许范围内。

##### 3.2.2 固化剂调配

施工前对每个处理段落的淤泥含水量进行测定, 并根据不同的含水率调配不同的浆剂。根据试验确定, 养殖塘、沟渠固化剂配合比为水泥:粉煤灰=4:3, 稻田和藕塘固化剂配合比为水泥:粉煤灰=6:2。将固化剂配比提前输入自动计量供料系统设置固化剂配比来进行调配制浆。

##### 3.2.3 含水率测定

采用淤泥水分测定仪测定淤泥含水量, 在 0.000g 的状态下, 取 3g 左右的淤泥置于样品盘内, 均匀平铺后盖上加热仓罩子, 选择启动后开始加热测试, 测试结束后, 仪器自动锁定显示样品的含水率。根据含水率的不同配置不同的固化剂。

##### 3.2.4 现场固化施工

(1) 使用专用挖机搅拌器对混合物反复搅拌, 使固化剂和淤泥充分接触, 以最大程度激发土体活性。

(2) 搅拌设备正向运行逐渐深入搅拌并喷射固化剂, 并在强力搅拌机机械臂上标注刻度线, 搅拌头下降深度不少于设计底部以下 20cm, 以控制搅拌头进入土层深度, 保证搅拌深度直至达到固化设计底部。

(3) 搅拌设备反向运行缓慢提升搅拌并喷固化剂, 为保证搅拌效率, 搅拌提升或下降的速率控制在 10-20s/m, 固化剂的喷料速率控制在 40-70kg/min。搅拌完成后, 无固化剂块状物质包裹, 色泽一致、均匀。潮湿地区或多雨季节工时, 应采取措施, 保护好已搅拌待摊铺的固化土, 防止渗水或雨淋。

原位固化处理采用便固化边推进的形式进行, 施工时按 5m\*5m 模块进行细部控制, 根据搅拌头的施工截面, 计算出区块所需用材料数量, 搅拌过程中应保证均匀喷搅。在每个区块搅拌完成后, 需再进行整体性翻搅, 从而避免喷搅过程中产生不均匀的可能, 相邻区块之间应有不小于 5cm 的搭接宽度, 避免漏搅, 最终固化形成整体均匀性硬壳层。

##### 3.2.5 碾压与养护

搅拌完毕后, 采用路压机进行碾压, 可铺设 50cm 填土等进行预压, 路基养护龄期宜大于 14d, 若固化土路基养护得当, 土体强度增长较快, 养护龄期可大于 7d。整个养护期, 淤泥固化土的强度处于不断地增长状态, 在其养护未达到要求养护龄期之前, 应禁止各类车辆通行, 尤其是重载车。养护过程中注意固化区域的排水, 严禁积水, 否则会减弱固化效果。

#### [参考文献]

- [1] 骆勇军, 周益安, 尹吉国. 疏浚淤泥处置利用技术研究综述[J]. 浙江水利科技, 2010, 169(3): 60-61, 66.
- [2] 袁媛, 张健. 淤泥质海岸疏浚土材料化处理应用技术研究[J]. 中国水运(下半月), 2015, 158): 291-292.