
DB

浙江省工程建设标准

DB33/Txxxx-2020

淤泥固化土地基技术规范

Technical specification for silt-solidified foundation

2020-XX-XX 发布 2020-XX-XX 施行

浙江省住房和城乡建设厅发布

前言

根据《关于印发〈2015 年浙江省建筑节能及相关工程建设标准制修订计划〉的通知》（建设发（2015）423 号）的要求，规程编制组通过广泛调查研究，参考国内外的相关标准，并结合我省淤泥固化技术应用实践，制定了本规程。

本规程的主要技术内容是：1.总则；2.术语和符号；3.淤泥固化土；4.设计；5.施工；6.质量检验。

本规程由浙江省住房和城乡建设厅负责管理，浙江大学滨海和城市岩土工程研究中心负责技术内容的解释。请各单位在执行过程中结合实际、总结经验，并将发现的问题、意见或建议函告浙江大学滨海和城市岩土工程研究中心（地址：浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号浙江大学紫金港校区安中大楼 A417 室；邮编：310058），以供修订时参考。

主编单位：浙江大学滨海和城市岩土工程研究中心

浙大宁波理工学院

浙江省围海建设集团股份有限公司

参编单位：浙江省水利水电勘测设计院

浙江省水利河口研究院

南京水利科学研究所

河海大学

东南大学

宁波水利水电规划设计研究院

宁波高新区围海工程技术有限公司

中国科学院广州化学研究所

华南理工大学

浙江荣盛建设发展有限公司

主要起草人：

龚晓南 谢新宇 俞元洪 戴济群
徐日庆 王文军 郑凌透 孙家瑛 吴良勇 陈富强
李水珑 袁文喜 王晓波 张 勇 孙伯永 张超杰
范明桥 徐 锴 陈永辉 童小东 金德钢 薛 炜
张纬欣

主要审查人：

刘兴旺 赵宇宏 郭 丽 沈跃军 杨俊杰 庄迎春
周朝阳

目次

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	3
3 淤泥固化土.....	6
4 设计.....	6
4.1 一般规定.....	6
4.2 承载力计算	7
4.3 变形计算.....	9
4.4 稳定性计算	10
5 施工.....	12
5.1 一般规定.....	12
5.2 竖向搅拌固化施工	12
5.3 分层拌和固化施工	12
6 质量检验.....	14
本规程用词说明.....	15
引用标准名录.....	16
附：条文说明.....	20

Contents

1 General Provisions	1
2 Terms and Symbols	2
2.1 Terms	2
2.2 Symbols	3
3 Solidified Silts	6
4 Design	6
4.1 General Requirements	6
4.2 Bearing Capacity Calculation	7
4.4 Deformation Calculation	9
4.4 Stability Calculation	10
5 Construction	12
5.1 General Requirements	12
5.2 Construction of Vertical Mixing Solidification	12
5.3 Construction of Layered Mixing Solidification	12
6 Quality Inspection	14
Explanation of Wording in This Technical Specification	15
List of Quoted Standards	16
Addition: Explanation of Provisions	20

1 总则

1.0.1 为在规范淤泥固化土地基的设计、施工和质量检验中贯彻国家技术经济政策，做到安全适用、保证质量、保护环境、技术先进和经济合理，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于浙江省淤泥固化土地基的设计、施工和质量检验。

1.0.3 淤泥固化土地基设计、施工和质量检验应遵循因地制宜、就地取材、保护和节约资源的原则，综合考虑场地工程地质与水文地质条件、固化材料、施工工艺、检测方法与环境条件等因素，优化设计、精心施工。

1.0.4 淤泥固化土地基的设计、施工和质量检验除应符合本规程外，尚应符合国家和浙江省现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 淤泥 silt

天然含水率大于液限、天然孔隙比大于或等于 1.5 的软弱黏性土。

2.1.2 固化材料 solidification materials

用于与淤泥拌合，以改善淤泥特性的加固材料，常由若干种无机材料或有机材料以一定的配合比组成。

2.1.3 固化土 solidified soil

将淤泥和固化材料强制拌合后形成的高强度、低压缩性和低渗透性的人工土体。

2.1.4 固化材料配合比 mixture proportion of solidification materials

固化材料各成分的质量之比。

2.1.5 固化土配合比 mixture proportion of solidified soil

固化土中固化材料和淤泥的质量之比，即固化材料掺入比。

2.1.6 固化处理 improvement by solidification

为提高地基承载力、改善其变形性能和渗透性能，采用固化材料对淤泥进行处理的工程措施。

2.1.7 固化复合土体 solidified composite soil

固化土体处理范围内固化土和未固化土的总称。

2.2 符号

2.2.1 几何参数

h ——固化土层的厚度；

A_p ——单桩截面积；

m ——固化面积置换率；

d ——芯样试件的平均直径；

d_e ——单根桩分担的地基处理面积的等效圆直径。

2.2.2 作用和作用效应

p_{cz} ——软弱下卧层顶面处土的自重压力值；

p_z ——相应于荷载效应标准组合时，固化土底面处的附加压力值；

p_{z1} ——固化土层顶面的平均附加压力值；

p_{z2} ——固化土层底面的平均附加压力值；

P ——芯样试件抗压试验测得的破坏荷载。

2.2.3 抗力和材料性能

f_a ——固化土地基承载力特征值；

f_{sk} ——桩间土地基承载力特征值；

R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值；

f_{az} ——软弱下卧层顶面处经深度修正后的地基承载力特征值；

f_{cu} ——固化土的抗压强度；

f_{cu28} ——固化土 28d 龄期的抗压强度；

f_{cu90} ——固化土 90d 龄期的抗压强度；

E_{sp} ——固化复合土层的压缩模量；

E_p ——固化土的压缩模量；
 E_s ——未固化土的压缩模量；
 τ_s ——未固化土的抗剪强度；
 τ_p ——固化土的抗剪强度；
 τ_c ——固化复合土体的抗剪强度；
 φ_{sp} ——固化复合土体的内摩擦角；
 c_{sp} ——固化复合土体的黏聚力；
 φ_p ——固化土的内摩擦角；
 c_p ——固化土的黏聚力；
 φ_s ——未固化土的内摩擦角；
 c_s ——未固化土的黏聚力。

2.2.4 计算系数

k_p ——复合地基中桩体实际竖向抗压承载力的修正系数，与施工工艺、复合地基置换率、桩间土的工程性质、桩体类型等因素有关，宜按地区经验取值；

k_s ——复合地基中桩间土地基实际承载力的修正系数，与桩间土的工程性质、施工工艺、桩体类型等因素有关，宜按地区经验取值；

λ_p ——桩体竖向抗压承载力发挥系数，反映复合地基破坏时桩体竖向抗压承载力发挥度，宜按地区经验取值；

λ_s ——桩间土地基承载力发挥系数，反映复合地基破坏时桩间地基承载力发挥度，宜按桩间土的工程性质、地区经验取值；

β_p ——桩体竖向抗压承载力修正系数，宜综合复合地基

中桩体实际竖向抗压承载力和复合地基破坏时桩体的竖向抗压承载力发挥度，结合工程经验取值；

β_s ——桩间土地基承载力修正系数，宜综合复合地基中桩间土地基实际承载力和复合地基破坏时桩间土地基承载力发挥度，结合工程经验取值；

η ——强度折减系数；

s ——固化土层的平均压缩变形；

ξ ——芯样试件抗压强度折算系数。

3 淤泥固化土

3.0.1 固化材料应根据工程要求、场地淤泥的工程性质和当地条件，选择满足环保要求的材料，并通过室内试验确定。

3.0.2 固化材料可选用无机固化材料和有机固化材料。无机固化材料宜选用水泥、粉煤灰、石灰、石膏和矿渣等；有机固化材料宜选用沥青、焦油、树脂、糖醛、苯胺、丙烯酸钙、聚丙烯酰胺和羧甲基纤维素等。

3.0.3 淤泥固化处理工程可根据需要选用一种或多种固化材料，固化材料的掺和比例宜通过室内固化土配合比试验确定。

3.0.4 固化土设计强度指标应选用 90d 龄期的固化土抗压强度。当有工程经验时，也可根据 7d 和 28d 龄期的固化土抗压强度，通过经验公式推算 90d 龄期的强度。

3.0.5 固化土强度指标宜采用立方体抗压强度试验测定。抗压强度试件采用室内制备的尺寸为 70.7mm×70.7mm ×70.7mm 的立方体试样。

3.0.6 固化土的压缩性、渗透性和抗剪强度指标宜分别采用压缩试验、渗透试验和剪切试验测定，试件龄期宜选用 90d。

3.0.7 固化土室内试验试件制备用水应与工程现场一致。

4 设计

4.1 一般规定

4.1.1 在淤泥固化土地基设计前，应具备下列资料：

- 1 收集岩土工程勘察资料和拟建工程设计资料；
- 2 结合工程情况，了解当地地基处理经验和施工条件；
- 3 了解施工场地以及周边环境情况。

4.1.2 淤泥固化土地基设计应根据工程要求、场地工程地质和水文地质条件，并结合工期、当地经验和环境保护要求，选用技术可行、经济合理的方案。

4.1.3 淤泥固化土地基设计宜按下列步骤进行：

1 根据拟建工程要求、场地条件初步选出几种可供考虑的淤泥固化土地基方案；

2 对初选淤泥固化方案进行技术经济比较分析，选择合理的淤泥固化土地基方案；

3 通过淤泥固化土配合比试验，获得固化土配合比以及工程设计参数和施工工艺参数；

4 根据拟建工程要求，完成淤泥固化土地基设计。

4.1.4 淤泥固化土地基设计应满足地基承载力、地基变形和地基稳定性要求。

4.1.5 淤泥固化土地基固化深度应超过抗滑稳定分析得到的滑动面以下2m。

4.1.6 淤泥固化处理区域的平面布置可采用满堂、柱状、壁状和格栅状等型式，固化土在不同深度范围内可采用不同布置型式。

4.2 承载力计算

4.2.1 固化土地基竖向承载力特征值应通过静载荷试验确定。初步设计时可按本规程公式（4.2.1-1、4.2.1-2）估算。

1 固化土地基为复合地基时，其竖向承载力特征值计算公式为：

$$f_a = k_p \lambda_p m R_a / A_p + k_s \lambda_s (1 - m) f_{sk} \quad (4.2.1-1)$$

$$f_a = \beta_p m R_a / A_p + \beta_s (1 - m) f_{sk} \quad (4.2.1-2)$$

$$\beta_p = k_p \lambda_p \quad (4.2.1-3)$$

$$\beta_s = k_s \lambda_s \quad (4.2.1-4)$$

$$m = d^2/d_e^2 \quad (4.2.1-5)$$

式中： f_a ——固化土竖向地基承载力特征值（kPa）；

A_p ——单桩截面积（ m^2 ）；

R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值（kN）；

f_{sk} ——桩间土地基承载力特征值（kPa）；

m ——复合地基置换率；

d ——桩体直径（m）；

d_e ——单根桩分担的地基处理面积的等效圆直径（m）；

k_p ——复合地基中桩体实际竖向抗压承载力的修正系数，与施工工艺、复合地基置换率、桩间土的工程性质、桩体类型等因素有关，宜按地区经验取值；

k_s ——复合地基中桩间土地基实际承载力的修正系数，与桩间土的工程性质、施工工艺、桩体类型等因素有关，宜按地区经验取值；

λ_p ——桩体竖向抗压承载力发挥系数，反映复合地基破坏时桩体竖向抗压承载力发挥度，宜按地区经验取值；

λ_s ——桩间土地基承载力发挥系数，反映复合地基破坏时桩间地基承载力发挥度，宜按桩间土的工程性质、地区经验取值；

β_p ——桩体竖向抗压承载力修正系数，宜综合复合地基中桩体实际竖向抗压承载力和复合地基破坏时桩体的竖向抗压承载力发挥度，结合工程经验取值；

β_s ——桩间土地基承载力修正系数，宜综合复合地基中桩间土地基实际承载力和复合地基破坏时桩间土地基承载力发挥度，结

合工程经验取值。

2 固化土地基为满堂布置时，其竖向承载力特征值计算公式为：

$$f_a = \eta f_{cu90} \quad (4.2.1-6)$$

式中： f_a ——固化土竖向地基承载力特征值（kPa）；

η ——强度折减系数，可取 0.12~0.2，干法施工时可取 0.12~0.16，湿法施工时可取 0.16~0.2；

f_{cu90} ——固化土 90d 龄期的抗压强度（kPa）。

4.2.2 对于存在软弱下卧层的固化土地基，应按式（4.2.2）验算下卧层地基承载力：

$$p_z + p_{cz} \leq f_{az} \quad (4.2.2)$$

式中： p_z ——相应于荷载效应标准组合时，软弱下卧层顶面处的附加压力值（kPa）；

p_{cz} ——软弱下卧层顶面处土的自重压力值（kPa）；

f_{az} ——软弱下卧层顶面处经深度修正后的地基承载力特征值（kPa）。

4.3 变形计算

4.3.1 固化土地基的最终变形量应包括固化土层的压缩变形与下卧土层的压缩变形。

4.3.2 固化土层的压缩变形可按公式（4.3.2-1）计算：

$$s = (p_{z1} + p_{z2})h/(2E_{sp}) \quad (4.3.2-1)$$

式中： s ——固化土层的压缩变形（mm）；

p_{z1} ——固化土层顶面的附加压力值（kPa）；

p_{z2} ——固化土层底面的附加压力值（kPa）；

h ——固化土层的厚度 (mm);

E_{sp} ——固化复合土体的压缩模量 (kPa), 可按公式 (4.3.2-2) 计算。

$$E_{sp} = mE_p + (1 - m)E_s \quad (4.3.2-2)$$

m ——固化面积置换率;

E_p ——固化土的压缩模量 (kPa);

E_s ——未固化土的压缩模量 (kPa)。

4.3.3 未固化的下卧土层压缩变形可按现行浙江省标准《建筑地基基础设计规范》(DB 33/T1136) 的有关规定进行计算。

4.4 稳定性计算

4.4.1 固化土地基的整体稳定分析可采用圆弧滑动法。

4.4.2 固化复合土体的抗剪强度指标, 可按式 (4.4.2-1) 估算:

1 固化复合土体的抗剪强度

$$\tau_c = (1 - m)\tau_s + m\tau_p \quad (4.4.2-1)$$

式中: τ_c ——固化复合土体的抗剪强度 (kPa);

τ_s ——未固化土的抗剪强度 (kPa);

τ_p ——固化土的抗剪强度 (kPa);

m ——固化面积置换率。

2 固化复合土体的内摩擦角和黏聚力, 可按式 (4.4.2-2) 估算:

$$\tan\varphi_{sp} = m\tan\varphi_p + (1 - m)\tan\varphi_s \quad (4.4.2-2)$$

$$c_{sp} = mc_p + (1 - m)c_s \quad (4.4.2-3)$$

式中: φ_{sp} ——固化复合土体的内摩擦角;

c_{sp} ——固化复合土体的黏聚力 (kPa);

φ_p ——固化土的内摩擦角；
 c_p ——固化土的黏聚力（kPa）；
 φ_s ——未固化土的内摩擦角；
 c_s ——未固化土的黏聚力（kPa）；
 m ——固化面积置换率。

5 施工

5.1 一般规定

5.1.1 淤泥固化土地基施工应具备下列资料：

- 1 岩土工程勘察报告；
- 2 淤泥固化工程设计施工图；
- 3 淤泥固化工程施工组织设计方案；
- 4 施工区域和邻近区域的环境条件等调查资料。

5.1.2 淤泥固化施工前应编制专项施工方案。

5.1.3 施工前应进行工艺性试验，试验数量不宜少于3组，工艺参数应通过试验确定。

5.1.4 当淤泥固化深度不小于3m时，宜采用竖向搅拌施工工艺；当淤泥固化深度小于3m时，可采用分层拌和施工工艺。

5.1.5 竖向搅拌宜采用湿法施工；分层拌和施工可采用湿法施工或干法施工；采用湿法施工时，固化浆液水灰比宜取 0.4~0.7。

5.1.6 施工设备和施工工艺应根据淤泥土天然地基承载力、土层分层情况和机械设备的适用性确定。当拟处理区域地基承载力特征值小于50kPa时，应选用能在淤泥上行走的设备。

5.1.7 施工中的固化材料用量、出料时间和加固区域范围等的的数据应及时记录。

5.2 竖向搅拌固化施工

5.2.1 竖向搅拌固化施工应包括下列主要步骤：

- 1 测量放样；
- 2 机械就位、调平；

-
- 3 边下钻、边喷浆、边搅拌至设计加固深度，然后定喷10~20s；
 - 4 边提升钻杆、边喷浆、边搅拌至预定的停浆面，然后停止喷浆；
 - 5 重复3和4步骤，直至达到设计要求。

5.2.2 搅拌叶片的数量、叶片高度应与搅拌头的回转速度、升降速度相匹配。

5.2.3 固化机械底盘应保持水平，导向支架应保持竖直，竖直度偏差不得超过1%；固化土体位置偏差不得大于100mm，尺寸不得小于设计值。

5.2.4 施工因故停浆时，应将搅拌头提升至地面以上，检查喷浆嘴与喷浆压力，确定喷浆正常后，重新将搅拌头下沉至停浆点前0.5m处，恢复供浆，再喷浆搅拌；若停机超过3小时，应先及时清洗供浆泵与供浆管路。

5.3 分层拌和固化施工

5.3.1 分层拌和固化土的每层厚度不应超过40cm。

5.3.2 固化材料应摊铺均匀，摊铺完后，表面不应有空白位置，也不应有固化材料过分集中的地点。

5.3.3 搅拌深度应达到层底，并侵入下层表面，以利于上下层粘接。

5.3.4 碾压方案应根据固化范围、压路机的轮宽和轮距等因素制订，保证各区域碾压到的次数相同。

5.3.5 固化土采用集中厂拌时，在运到现场后，应二次搅拌。

6 质量检验

6.0.1 施工后应进行现场取芯试验和原位测试。

6.0.2 检验时固化土的龄期、数量和试验内容应符合工程设计要求。
对重要的部位，应增加测试数量。

6.0.3 现场取芯试验宜包括固化土抗压强度试验、压缩试验、剪切试验和渗透试验等。压缩试验、渗透试验和剪切试验的现场取芯宜在淤泥固化施工后 3d ~7d 内进行；试件制备宜在取芯后 48h 内完成，然后养护至规定龄期。

6.0.4 固化施工的质量检验，应满足下列要求：

1 对于竖向搅拌固化施工，现场取芯检测数量应为施工总柱体数的0.5%，且应不少于6根。

2 对于分层拌和固化施工，除满足第1款要求外，检验数量应不少于1个/500m²，且每项单体工程不应少于3点。

6.0.5 原位测试应进行现场载荷试验，现场载荷试验应在固化土柱体强度满足试验荷载条件后进行。检验数量应不少于1个/5000m²，且每项单体工程不应少于3点。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 规程中指明应按其他有关标准执行时的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《土工试验方法标准》(GB/T50123)
- 2 《水泥土配合比设计规程》(JGJ/T 233)
- 3 《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79)
- 4 《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)
- 5 浙江省《建筑地基基础设计规范》(DB 33/T1136)
- 6 《岩土工程勘察规范》(GB 50021)
- 7 《复合地基技术规范》(GB/T 50783)
- 8 《工程岩体试验方法标准》(GB/T 50266)

浙江省工程建设标准

淤泥固化土地基技术规程

Technical specification for silt-solidified foundation

DB /T -2020

条文说明

目次

1 总则.....	19
2 术语和符号.....	20
2.1 术语.....	20
3 淤泥固化土.....	21
4 设计.....	25
4.1 一般规定.....	25
4.2 承载力计算.....	27
4.3 变形计算.....	28
4.4 稳定性计算.....	28
5 施工.....	30
5.1 一般规定.....	30
5.2 竖向搅拌固化施工.....	31
5.3 分层拌和固化施工.....	32
6 质量检验.....	33

1 总则

1.0.1 淤泥固化是将固化材料与淤泥充分搅拌形成固化土，以满足工程建设的需要。为使淤泥固化土地基的设计、施工和质量检验规范化，制定本规程。

1.0.2 本规程也适用于各类软土地基淤泥固化处理的设计和施工，但尚应符合国家和浙江省现行有关标准的规定。

1.0.3 淤泥固化处理应综合考虑场地工程地质与水文地质条件、固化材料、施工工艺、检测方法与环境条件等影响因素。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.7 淤泥地基处理过程中，部分土体被固化处理，固化复合土体是由固化土体（增强体）和未固化土体（淤泥）两部分组成共同承担荷载的人工地基。

3 淤泥固化土

3.0.1 淤泥中掺和固化材料后，经过系列物理化学作用形成淤泥固化土。

3.0.2 水泥、粉煤灰、石灰、石膏和矿渣等无机固化材料应进行细度模数检验，检验合格后方可使用。

当拟加固淤泥中有机质含量大于 5% 时，宜掺用有机固化材料，开展淤泥固化效果影响的试验。

3.0.3 固化土配合比设计前，应收集详细的岩土工程勘察资料，结合实际情况，了解当地已有相关工程的试验资料。

固化材料配合比和固化土配合比一般通过室内试验确定。当有工程设计要求或相关工程经验时，也可直接初定固化材料配合比和固化土配合比，再通过现场工艺性试验，根据取芯试样性能指标测试结果确定。

当拟加固的软弱地基为成层土时，应选择最弱的一层土进行固化土配合比试验。

因室内制备的固化土试件的拌和方式与现场施工工艺不同，导致现场固化土的性能与室内制备的固化土性能可能存在一定的差异。因此，应根据类似工程经验对室内制备的固化土试件性能指标作出具体要求，以保证现场固化土性能指标能满足设计要求。

固化土工艺性试验所用的固化材料、设备类型、工艺参数（包括搅拌次数、喷浆时间、喷浆压力）应与最终施工相同。

固化土配合比试验时，先根据工程经验确定固化材料最小掺入比，然后以 2%~3% 增加，测试固化土的性能指标。

固化土配合比试验，除应符合本规程外，尚应符合现行国家标

准《土工试验方法标准》(GB/T50123)和现行行业标准《水泥土配合比设计规程》(JGJ/T 233)及其他相关现行国家、行业标准和规程的规定。

3.0.4 固化土强度指标测定时,应至少进行 7d、28d 和 90d 三种龄期的试验。抗压强度试件采用室内制备的尺寸为 70.7mm×70.7mm × 70.7mm 的立方体试样。每组平行试件数量应为 6 个。固化土试块制备与强度试验参考《水泥土配合比设计规程》(JGJ/T 233)中的有关规定。

无特殊要求的工程,固化土性能指标以 90d 龄期为准;有特殊要求的工程,应按工程设计要求执行。

固化土的强度随龄期的增长而增长,当龄期超过 28d 后,强度仍有明显增长。根据本规程编制相关单位的工程实践和试验研究,其他条件相同时,不同龄期的固化土抗压强度间关系大致呈线性关系。固化土抗压强度增长规律以及不同龄期强度之间的相互关系如图 1、图 2 和图 3 所示。从图中可得到经验关系式如下:

$$f_{cu7}=(0.4\sim0.5)f_{cu28} \quad (1)$$

$$f_{cu90}=(1.4\sim1.6)f_{cu28} \quad (2)$$

上式 f_{cu7} 、 f_{cu28} 、 f_{cu90} 分别为 7d、28d、90d 龄期的固化土抗压强度。

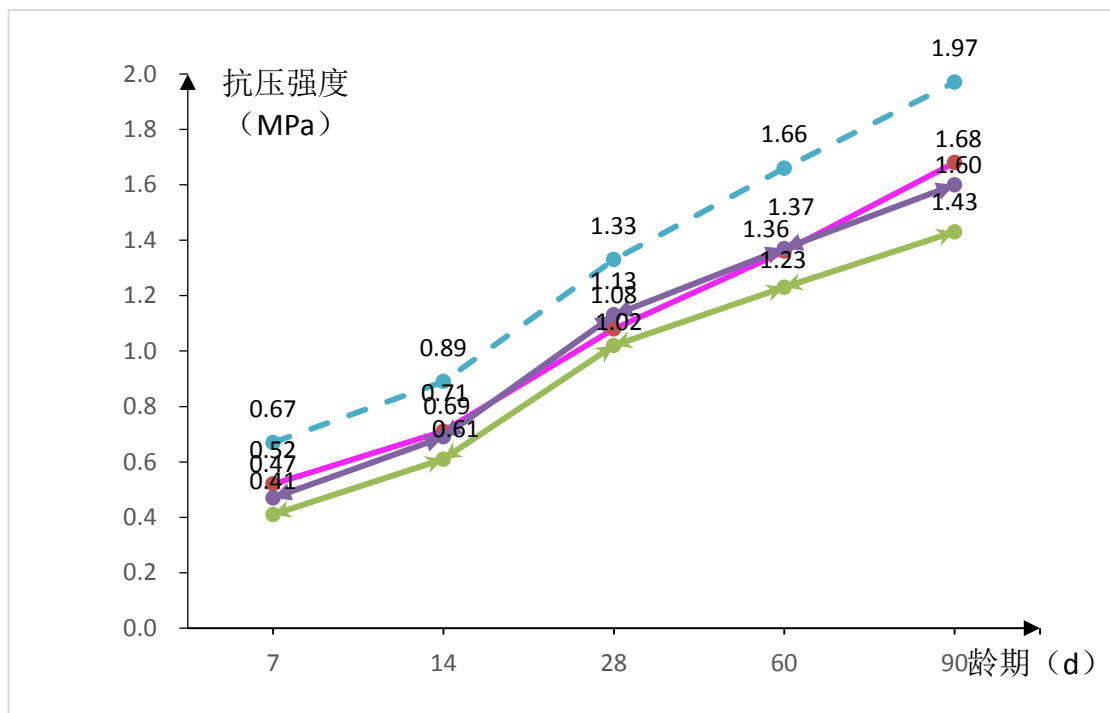


图 1 固化土抗压强度增长规律图

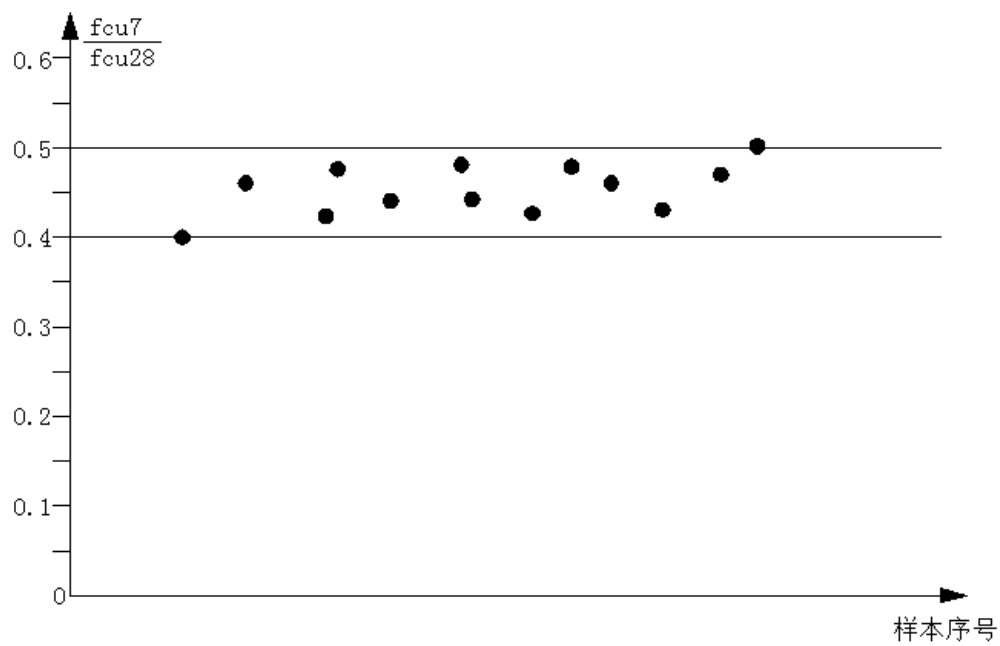


图 2 f_{cu7} 与 f_{cu28} 之间的关系

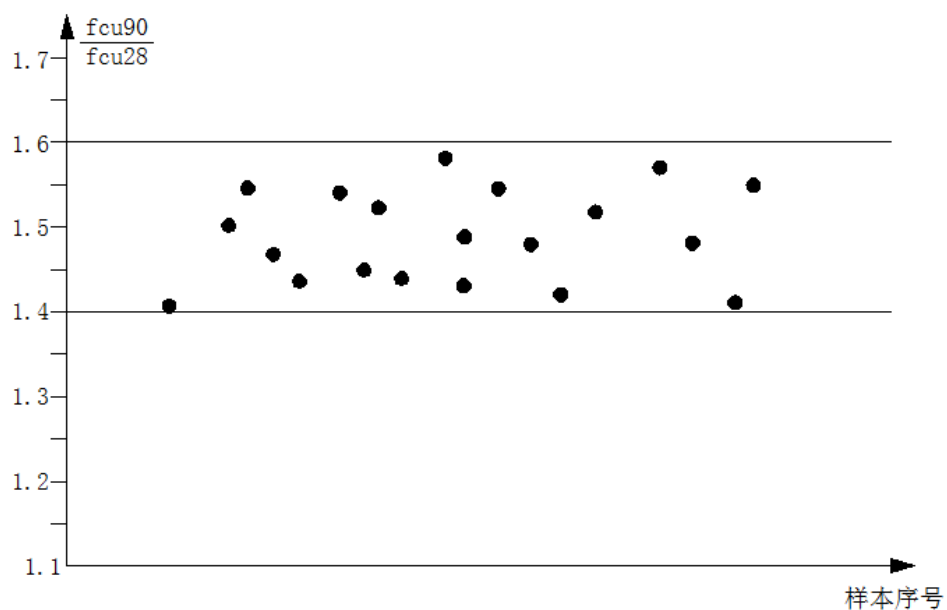


图3 f_{cu28} 与 f_{cu90} 之间的关系

3.0.5 有特殊要求的工程，可按现行行业标准《水泥土配合比设计规程》（JGJ/T 233）开展压缩试验和直剪试验等。

压缩试验和直剪试验采用环刀试件。试件直径为 61.8mm，高度 20mm；根据试验仪器规格，直剪试验试件高度也可选取 40mm。压缩试验每组平行试件数量为 3 个；直剪试验应制备 3 组共 12 个试件。

4 设计

4.1 一般规定

4.1.1 本条规定在进行淤泥固化土地基设计前,应收集拟处理区域内详尽的岩土工程勘察资料。应有以下资料:

- 1 土层的分布范围、分层情况;
- 2 工程场地的工程地质、水文地质资料,宜包括:土的密度、含水率、有机质含量、pH 值、液限、塑限、塑性指数、渗透系数、压缩性指标、固结快剪强度、无侧限抗压强度和地下水位等。

本条强调要进行现场调查研究,了解当地地基处理经验和施工条件,调查邻近建筑、地下工程、管线和环境情况等。

4.1.2 在淤泥固化土地基方案选择时,主要考虑固化土区域的布置形式,以及固化深度、固化土强度、固化土置换率等参数,做到技术可行、经济合理。

从室内试验以及工程实践来看,淤泥固化土性状类似于水泥土,具有较好的力学性质,表现为低压缩性、高抗剪强度等,能够满足地基的竖向承载要求,也能满足道路路基、基坑支护和堤岸边坡处理等工程的水平承载和稳定要求。

4.1.3 本条规定了确定淤泥固化和地基布置方案时宜遵循的步骤,着重指出宜根据各种因素进行综合分析,以确定最佳方案。淤泥固化方案选择时,应分析工程实际情况。根据室内试验研究成果和工程实践经验,给出如下结论或建议:

- 1 土的含水率:当固化土配合比相同时,其强度随土样的天然含水率的降低而增大;

2 有机质含量：有机质含量较高时，影响固化土的强度增长。故对有机质含量较高的淤泥，应掺用有机固化材料，同时提高固化面积置换率和增加固化材料掺入比；

3 淤泥层厚度：淤泥层厚度较大时，可采用不同加固深度处理方案，既能得到理想的加固效果，又更加经济；

4 应进行相应的试验或现场工艺性试验，进行必要的测试，以检验设计参数和处理效果。

4.1.4 本条对处理后的地基应进行的设计计算内容给出规定。

4.1.5 固化土地基是半刚性地基，增加固化土层厚度，有利于抗滑稳定。

4.1.6 固化土区域的布置形式对地基固化效果很有影响。应根据工程实际需要，采取合适的布置形式，比如图 4-1 所示（阴影部分为处理区）。

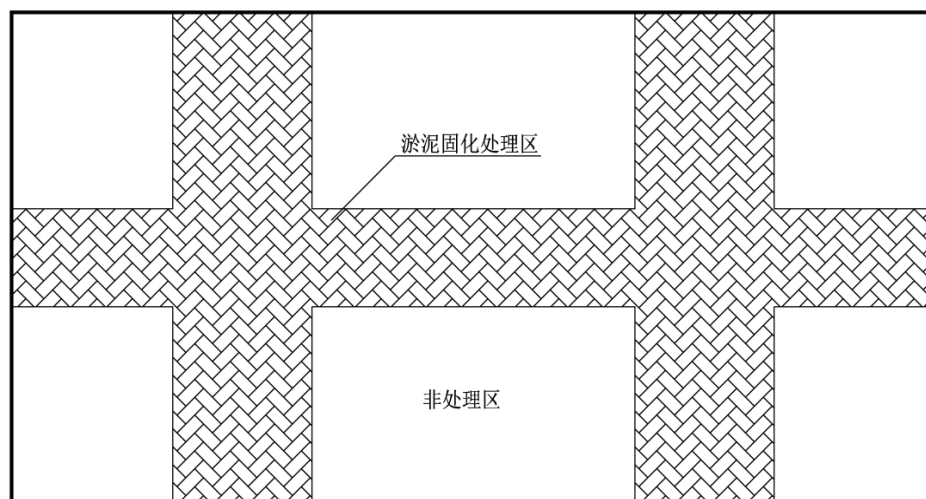


图 4-1 固化处理部分工程区域示意图

固化桩分布在加固区域并且相互不搭接，即为柱状加固(图 4-2)，将相邻两根固化桩相互搭接一部分，以连接成壁状加固体，即为壁状加固（图 4-3），将纵横两个方向的壁状加固体相互搭接为方格，

即为格栅状加固(图 4-4),使得固化桩在地基中联成一个封闭整体,增加抵抗不均匀沉降的能力。将纵横两个方向相邻的搅拌桩都搭接,形成大块整体,即为块状加固(图 4-5)。对于不均匀沉降控制严格的结构物地基,可采用块状加固。

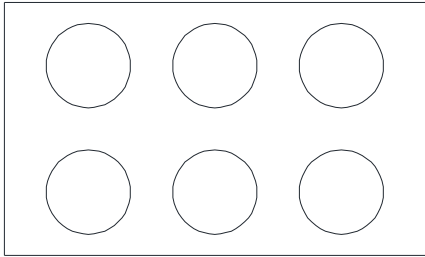


图 4-2 柱状加固

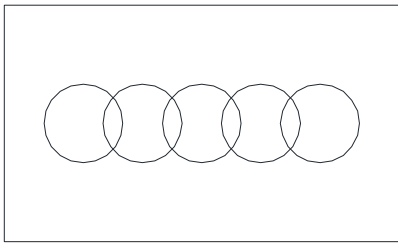


图 4-3 壁状加固

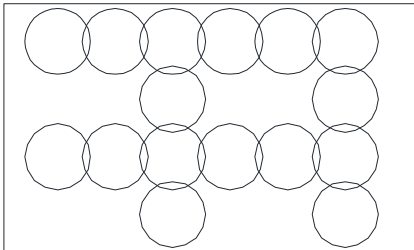


图 4-4 格栅状加固

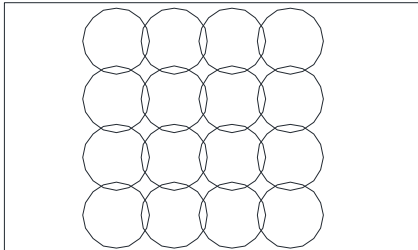


图 4-5 块状加固

当地质条件复杂时,可用短桩将柱状加固的相邻长桩连成壁状或格栅状,藉以调整和减小不均匀沉降量。

4.2 承载力计算

4.2.1 抗压承载力修正系数 β_p 、桩间土地基承载力修正系数 β_s 、固化土强度折减系数 η 是与工程经验、固化土配合比以及拟建工程的性质等密切相关的参数;其数值大小也与施工质量、固化土室内试验

与现场试验强度比值以及对实际工程固化效果有很大的关系。由于情况复杂,抗压承载力修正系数 β_p 、桩间土地基承载力修正系数 β_s 、强度折减系数 η 宜由各地方经验确定。

根据工程经验,抗压承载力修正系数 β_p 一般可取 0.7~0.9,桩间土地基承载力修正系数 β_s 一般可取 0.9~1。

4.3 变形计算

4.3.1 固化土复合地基的变形可参照现行国家标准《复合地基技术规范》(GB/T 50783)中的有关规定进行计算,也可以采用有限元计算软件进行地基变形计算。

4.3.2 固化土层的压缩变形与固化材料掺入比、搅拌程度、固化面积置换率等有关。

固化土的压缩模量 E_p 可根据试验确定,一般地可取(100~120) f_{cu90} (kPa),对固化厚度较小或强度较低者取低值,反之取高值。

4.4 稳定性计算

4.4.1 保证工程安全的最小稳定安全系数的取值与工程等级、地基处理方法以及稳定分析方法等因素有关,其安全系数应根据相应规范确定。

4.4.2 不同含水率的淤泥、不同固化材料的配合比、不同固化材料掺入比所得出的复合土体的抗剪强度指标差别较大。抗剪强度指标应由具体试验确定,但为了方便设计,在前期进行计算和方案拟定时,固化土的抗剪强度 τ_p 可取(0.1~0.12) f_{cu28} (kPa),固化土的内摩擦角 φ_p 可取 25°~30°,固化土的黏聚力 c_p 可取(0.09~0.1) f_{cu28} (kPa)。

5 施工

5.1 一般规定

5.1.1 施工区域和邻近区域内的环境条件调查资料，应包括：地下管线（管道、电缆）、地下构筑物、危房和精密仪器车间等的相关情况。

5.1.2 淤泥固化工程施工组织设计内容，应包括：工程概况、施工平面布置及临时设施布置、主要施工方法及施工工艺、施工进度计划及资源配置、施工质量保证措施和施工安全保证措施等。

淤泥固化施工现场的临时施工条件内容，应包括：水、电、进场道路和场内交通等的相关情况。

5.1.3 施工前在现场进行淤泥固化工艺性试验，主要是为获取固化机械施工技术参数，同时验证有关固化材料掺入比是否适宜。

5.1.4 淤泥固化深度不小于 3m 时，属于深层固化；淤泥固化深度小于 3m 时，属于浅层固化。分层拌和机械只适用于浅层固化，而竖向搅拌机械可适用于浅层或深层固化。

5.1.5 竖向搅拌可采用搅拌桩、强力搅拌头施工方法，分层拌和可采用宝马拌和机或挖机配搅拌头施工方法。

5.1.6 淤泥土天然地基承载力大于 50kPa 时，宜选用履带式行走机械。

宁波高新区围海工程技术有限公司研发的螺旋式淤泥固化机能在天然地基承载力小于 50kPa 的淤泥上行走。该设备包括：行走系统、搅拌系统、输浆系统和液压操控系统等。其中，行走系统由一对对称的螺旋滚筒推进器组成，螺旋滚筒推进器采用圆柱型滚筒结构，滚筒外围为旋转叶片，其旋转叶片采用反旋转阿基米德螺线布置。行走系统采用液压动力驱动滚筒推进器转动，从而带动旋

转叶片旋转。滚筒推进器以转动的方式提供横向动力，转动的滚筒带动旋转叶片旋转提供竖向推进动力，而滚筒结构能为设备提供浮力，降低与软基的接地比压，使设备浮于淤泥上。

5.1.7 为保证施工质量，固化施工设备宜含有固化材料用量计量和控制系统。控制系统应具有控制出料量与出料时间、实时显示并记录已固化施工区域的用料量等信息。

5.2 竖向搅拌固化施工

5.2.1 根据工程现场试验，第一次下钻和提升，边喷浆、边搅拌，第二次下钻和提升，边喷浆，边复搅，可提高搅拌均匀度。

5.2.2 应进行工艺性试验确定工艺参数，比如淤泥竖向固化机械喷浆口压力决定喷浆量大小，将影响施工质量。工艺参数一般包括：喷浆压力、搅拌杆升降次数、回转速度和上下行走速度等；其中，喷浆压力在 0.5~2MPa 内选择试验参数，搅拌杆升降次数选择 2 次或 4 次，回转速度在 30~60r/min 内选择试验参数，上下行走速度在 80~150mm/min 内选择试验参数。

加固深度范围内土体的任何一点搅拌次数计算公式为：

$$N = nhZN_1/v \quad (3)$$

式中： N ——加固深度范围内土体的任何一点搅拌次数；

N_1 ——搅拌杆升降次数；

n ——回转速度（r/min）；

h ——叶片高度（m）；

Z ——叶片数量；

v ——升降速度（m/min）。

宁波高新区围海工程技术开发有限公司与浙江大学合作，曾采

用液压式搅拌系统做过某工程的现场实验，发现搅拌次数与固化土强度之间具有一定的相关性：要使固化土的 90d 龄期抗压强度不低于 0.8MPa，则加固深度范围内土体的任何一点搅拌次数不宜小于 20 次，若要求不低于 1.0MPa，则搅拌次数不宜小于 24 次，以确保加固深度范围内土体均能搅拌均匀。

5.2.4 若停机时间过长，应及时清空供浆管路，防止堵管。

5.3 分层拌和固化施工

5.3.2 分层拌和施工时，固化区域边线应设指示桩或用石粉作标记。根据各区块拟固化土层的宽度、厚度和容重，计算各区块所需固化材料的用量，按设计的行数、间距进行摊铺。

5.3.4 每层搅拌完成时，应进行碾压。碾压应满足以下要求：

1 采用轻型压路机碾压时，重叠部分应为 1/2 轮宽，后轮应超过两段的接缝处，碾压遍数不得少于 2 遍；

2 第一遍碾压速度宜为 1.5~1.7km/h，此后碾压速度宜为 2.0~2.5km/h。

3 固化区域边沿应多压 1~2 遍。

5.3.5 固化土现场二次搅拌，切入下层，利于上下层粘接，保证固化土整体性。

6 质量检验

6.0.1 淤泥固化土施工强度检验的时间宜在施工后28d进行，但考虑到具体淤泥特性、固化材料选型和施工工艺的差异，实际检验时间和强度换算可根据经验确定。

质量检验内容还包括固化土层厚度（柱体长度）、均匀性、完整性和承载力等主要性能参数。

淤泥固化土地基原位测试的常用方法是现场载荷试验。在具体选择方法时，可根据检验目的、内容和要求，结合各方法的适用范围，并同时考虑设计要求、地基条件和施工因素等情况综合确定。

6.0.3 现场取芯试验资料包括工程概况、仪器设备、配合比参数、工程部位、取样深度、龄期、取芯率、芯样长度、芯样描述、固化土层厚度（柱体长度）、均匀性、完整性等。

取芯检测前应准备下列内容：

- 1 收集所选检测位置的有关资料；
- 2 确定检测的准确位置；
- 3 平整场地，以便钻机顺利就位。

钻探和取样应符合下列要求：

- 1 采用单管单动或双管单动取样器钻取芯样；
- 2 钻取芯样宜采用液压操纵的钻机，钻进宜采用直径 91mm 或 108mm 钻头；
- 3 保持芯样的连续完整性，完整率不应小于 80%；
- 4 选取代表性芯样进行相关试验；
- 5 固化土强度较低时，可采用取土器取样。

钻芯孔在某深度存在缺陷时，应在邻近其他孔的该深度处截取芯

样进行固化土室内试验。

芯样试件代表值指的是用于判断淤泥固化施工质量所采用的试件物理力学性能指标比如抗压强度、压缩模量和抗剪强度等的量值。

当固化土的室内和现场取样抗压强度结果出现差异时，以现场取样的强度测试结果为准。

当现场取芯试样拟进行压缩试验和剪切试验，而芯样强度较高，无法按照要求制备室内试验试件时，应按现行国家标准《工程岩体试验方法标准》（GB/T 50266）的规定执行。

6.0.4 对于竖向搅拌固化施工，当柱体长度大于10m时，每孔截取3组芯样；当柱体长度小于10m时，可取2组；上部芯样位置距柱体顶设计标高不宜大于1m，且不宜大于1倍柱体直径；下部芯样位置距柱体底不宜大于1m，且不宜大于1倍柱体直径；中间芯样宜等间距截取。

固化土芯样的试件轴心抗压强度应按下列公式计算：

$$f_{cu} = \xi \cdot \frac{P}{A} \quad (4)$$

式中： f_{cu} ——固化土的轴心抗压强度（MPa）；

P ——芯样试件抗压试验测得的破坏荷载（N）；

A ——芯样试件的截面面积（mm²）；

ξ ——芯样试件轴心抗压强度折算系数，应考虑芯样尺寸效应、钻芯机械对芯样扰动和成型条件的影响，通过试验统计确定；当无试验统计资料时，宜取为 1.0。

芯样试件轴心抗压强度、压缩模量和抗剪强度指标代表值应按一组试件试验值的平均值确定。同一受检柱体同一深度部位有两组或两组以上芯样试件代表值时，取其平均值为该深度处芯样试件代表值。

6.0.5 现场载荷试验用于测定承压板下应力主要影响范围内固化土地

基的承载力和变形参数。承压板可用圆形和方形，承压板尺寸按实际柱体所承担的处理面积确定，柱体中心应与承压板中心保持一致，并与载荷试验点重合。

对分层拌和淤泥固化施工，现场载荷试验宜采用 0.5m^2 以上的承压板。