



CECS xxx:2020

中国工程建设协会标准

地基加固构件应用技术规程
(征求意见稿)

Technical Code for
Foundation Reinforcement Unit

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2020 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2020]40 号）的要求，规程编制组在广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并广泛征求意见基础上，制定本规程。

本规程的主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、规格和材料、设计、施工、质量检验、监测。

本规程由中国工程建设标准化协会建筑与市政工程产品应用分会归口管理，由天津鼎元软地基科技发展股份有限公司负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请寄至解释单位（地址：天津市津南区小站开发区五号路 5 号，邮政编码：300353）。

主编单位：天津鼎元软地基科技发展股份有限公司

中建六局华南建设有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目录

1 总则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	3
3 基本规定.....	7
4 地固件的规格和材料.....	11
4.1 一般规定.....	11
4.2 地固件规格.....	11
4.3 地固件材料.....	12
5 设计.....	15
5.1 一般规定.....	15
5.2 地固件处理地基的承载力计算.....	18
5.3 地固件的强度.....	21
5.4 地固件处理地基的稳定性验算.....	25
5.5 地固件处理地基的变形计算.....	27
6 施工.....	30
6.1 一般规定.....	30
6.2 施工准备.....	35
6.3 施工流程.....	35
6.4 施工安全.....	48
7 质量检验.....	50
7.1 一般规定.....	50
7.2 检验内容及标准.....	51
8 监测.....	55
8.1 一般规定.....	55
8.2 监测项目.....	55
附录 A 施工所用设备、材料清单	59
附录 B 参考定额	61
附录 C 地固件施工质量检测标准	64
本规程用词说明	67
引用标准名录	68

Contents

1 General provisions.....	1
2 Terms and symbols	2
2.1 Terms	2
2.2 Symbols	3
3 Basic requirements.....	7
4 Specifications and materials of FRU.....	11
4.1 General requirements	11
4.2 Specifications of FRU.....	11
4.3 Materials of FRU	12
5 Design	15
5.1 General requirements	15
5.2 Calculation of bearing capacity of foundation treated by FRU	18
5.3 Strength of FRU.....	21
5.4 Checking calculation of stability of foundation by FRU	25
5.5 Deformation calculation of foundation treated by FRU	27
6 Construction	30
6.1 General requirements	30
6.2 Construction preparation	35
6.3 Construction process	35
6.4 Construction safety.....	47
7 Quality inspection	49
7.1 General requirements	49
7.2 Inspection contents and standards.....	51
8 Monitor.....	55
8.1 General requirements	55
8.2 Monitoring content	55
Appendix A List of construction equipment and materials.....	59
Appendix B Reference quota	61
Appendix C Construction quality inspection standard of FRU	64
Explanation of wording in this code.....	67
List of quoted standards	68

1 总则

1.0.1 为保证地基加固构件的设计、施工等符合安全适用、技术先进、经济合理、确保质量和环境保护的要求，制定本规程。

条文说明：随着我国科学技术的飞速发展，人们对于工程建设的速度、质量、环保等相关方面要求愈发严格，尤其是针对软弱地基处理方面，建设过程中将会面临软基加固、环境保护、施工规划部署等等一系列的问题及挑战。地固件是一项新型软基加固技术。它无需使用诸如水泥等任何固化材料，用于地基处理时，可把对环境的影响降到最低；同时由于地固件本身的透水性特点，避免了对地下水径流的不良影响；使用的填充材料是合规砂石料，也可就地取材(如：现场砂土等或当地可用的合规非金属填充材料)，减少了二氧化碳的排放，真正实现了零排放、无污染，是一项环境友好的绿色地基处理技术。此外，地固件还具有承载力高、施工便捷、工期短、工后沉降及差异沉降小、减振、抗液化、深厚软基处理经济优势明显、适用领域较广等特点。

本规程的制订从设计、制作、施工铺设、工程验收等方面，为地固件在绿色建筑领域的工程质量保证提供依据。

1.0.2 本规程适用于路基、堆场、低层建筑物和构筑物等软弱地基处理和固体废弃物填埋处理。

1.0.3 本规程主要包括地固件规格和材料、设计、施工、质量检验与监测。

1.0.4 地基加固构件技术的应用除应符合本规程外，尚应符合国家现行相关的国家、行业及地方标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 地基加固构件 Foundation Reinforcement Unit

地基加固构件是一种基于土工袋，经过结构和材质改良，在其内部设置类似桁架装置约束其整体形状并在铺装时底部自然形成锥形凹槽，应用于软弱地基处理、固体废弃物填埋兼造地等工程领域的构件。简称‘地固件’，按照形状和功能分为方形地固件和圆形地固件。

条文说明：地固件在构件内设计了约束装置，起吊时其下方形成圆锥形凹槽并能够保持地固件整体形状。地固件铺设完成，强制加压时，由于地固件的透水性使土体超静孔隙水压力得以消散，同时这种特殊的“凹槽”能约束原土的挤出，限制地基的剪切应变，从而提高地基强度（软粘土）；在液化地域，由于地固件阻断了径流通道，使地基液化得以控制（粉土、砂土）；同时还可利用填充材料之间的摩擦，吸收地基振动能量，起到减振等综合效果。

2.1.2 方形地固件 Polygonal Foundation Reinforcement Unit

方形地固件主要由、基布、吊带组成，内部配置类似桁架结构，形状示意参见图 2.1.2，应用于软弱地基处理工程以及固体废弃物填埋处理工程。

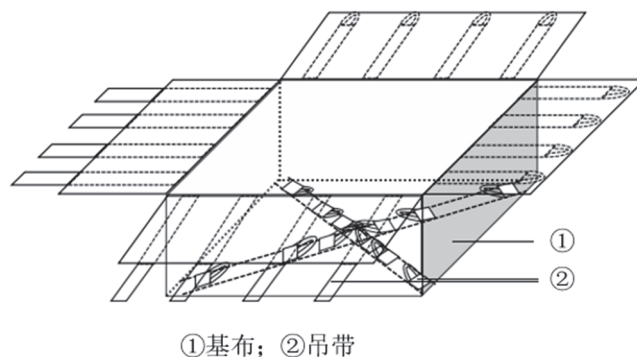
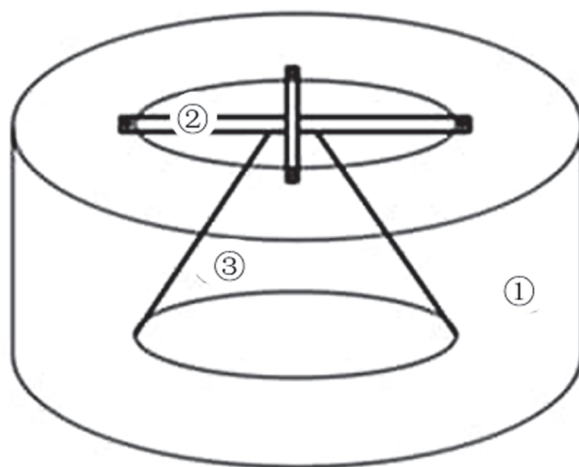


图 2.1.2 方形地固件构造

2.1.3 圆形地固件 Round Foundation Reinforcement Unit

圆形地固件主要由废旧轮胎、固定基带、透水基布组成，形状结构见图 2.1.3，侧壁材料为轮胎，应用于软弱地基处理工程。



①圆形地固件侧面；②固定基带；③内置凹槽

图 2.1.3 圆形地固件构造

2.1.4 强制加压 Forced pressurization

以不低于设计荷载 2 倍的载荷按压地固件，加快下部土体排水固结的措施。

条文说明：强制加压使地固件下沉，进而紧固土体，减小工后沉降，地固件瞬时沉降可达 10cm 以上。

2.2 符号

2.2.1 地固件型号

PD — 方形地固件；

RD — 圆形地固件。

2.2.2 地固件及型腔尺寸

B — 方形地固件边长；

B_1 — 圆形底部基带宽度，应取 5cm

B_2 — 方形地固件型腔制作尺寸；

- b_1 — 方形地固件型腔加固板厚度;
- D — 圆形地固件轮胎外直径;
- d — 圆形地固件轮胎内径;
- H_1 — 圆形地固件高度;
- H — 方形地固件的高度;
- H_2 — 方形地固件型腔高度;
- l — 固定位置距离轮胎内缘尺寸, 应为 5cm;
- L_1 — 基布两固定位置间隔, $L_1=d+2l$ 。

2.2.3 地固件计算抗压强度

- A' — 地固件简化整体基础过程中的每一层的有效底面积;
- K — 安全系数, 可取 2;
- L — 荷载作用范围部分覆盖的地固件, 超出荷载作用范围的长度;
- p — 单个地固件抗压强度设计值;
- T — 地固件的极限张力;
- T_k — 地固件基布抗拉强度特征值;
- ϕ'_k — 填料有效内摩擦角度的标准值;
- c' — 填料有效粘聚力的标准值;
- p_j — 扣除地固件自重及其上覆土重后相应于作用的基本组合时的地基土单位面积净反力;
- σ_h — 土体水平向土压力值;
- σ_v — 土体竖向极限抗压值

2.2.4 地固件处理地基承载力

- A — 根据地固件简化整体基础的底面积, 由基础底面两个方向计算出有效宽度 b 相乘得到;

- d — 地固件简化整体基础的深度；
- F_k — 相应于荷载效应标准组合时，上部结构传至基础底面的竖向力值；
- G_k — 地固件自重和其上覆的土重之和；
- f_a — 修正后的地基承载力特征值，按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 取值；
- h_w — 地下水位至地固件最下一层地面的距离；
- p_k — 相应于作用的标准组合时，地固件整体基础底面处的平均压力值；
- γ_d — 地固件和土体单位体积下的质量；
- γ_w — 地下水单位体积下的质量。

2.2.5 地固件抗滑增强

- f_{ak} — 地固件以下地基承载力特征值(kPa)；
- L_E — 起到抗滑作用的地固件在圆弧滑动面以外的长度；
- M_R' — 地固件对抗滑中心产生的抗滑力矩；
- M_R — 抗滑力矩；
- M_s — 滑动力矩；
- R_E — 地固件与圆弧滑动面相交处距滑动中心距离(m)；
- α — 地固件与圆弧滑动面相交处圆弧与竖直方向的夹角(°)。

2.2.6 地固件处理地基变形

- b — 地固件简化整体基础的有效宽度；
- s — 地固件处理地基瞬时沉降；
- G_u — 地基土不排水剪切模量，可取 100-200 倍的土体不排水抗剪强

度；

N_s — 变形系数；

N_c — 与土体不排水抗剪指标相关的承载力系数。

3 基本规定

3.0.1 地固件设计前，应具备岩土工程勘察、工程要求及基础设计和场地环境等有关资料。

3.0.2 地固件设计应根据上部结构对地基处理的要求、工程地质和水文地质、工期和环境保护要求等，经过成本、质量、工期的综合比较，提出设计方案。

条文说明：地固件设计除应掌握岩土勘察以及相关水文资料之外，与传统工法的利弊比较和分析也是重要的工作，其中，不仅仅是直接成本的比较与取舍，工期与效率也是潜在的成本数字，不容忽视；更重要的是环保理念及工程要素的趋向与重视。

深厚软弱粘土地基加固处理案例：

1.项目概况及岩土勘察资料

XX 国家湿地公园位于乐清湾东部，总面积 31.48 平方公里，是中国围垦工程中唯一的国家级水利风景区，2011 年获得 “中国生态保护最佳湿地” 称号。园内有多种国家级保护动物，是世界濒危物种黑嘴鸥和黑脸琵鹭在中国最主要的越冬区之一，所以对生态保护要求极高。水域需修建一座桥梁，连接两边的观景步道，由于两侧观景步道施工已先行完成，无法提供建桥通道，只得在现场开辟新的临时通道，并要求工程施工中不得对环境有破坏与污染，工程结束后必须恢复如初。根据对现场踏勘决定：利用年底的枯水期，在步道东侧裸露的荷塘底面修建地固件临时道路（位于如图 3.0.2-1 所示位置），满足桥梁施工要求。



图 3.0.2-1 临时通道所在场址

该场地在围垦前属滨海滩涂，围垦后成为公园内的河道，地形起伏不大，属滨海平原地貌单元，拟建场地地下水类型为浅部孔隙潜水，主要分布②-1 以上，场地地下水位常年接近地表，水位年变幅约 1.5m，根据附近地质勘探钻孔揭露地层状况如下表，本次地固件道路铺设于淤泥层①-2 顶面。

表 3.0.2-1 地层划分及描述

地层编号	层底标高 (m)	厚度 (m)	地层描述
①-1	-0.15~-0.13	0.5~0.6	杂填土：杂色、中密，主要以碎块石、砾砂土充填，占比 60~70%，粒径以 2~8cm，分布不均，局部缺失，层厚 0.5~0.6m，属人工活动的结果
①-2	-1.23~-0.44	0.7~1.2	粉质黏土：褐黄色，软型，饱和，干强度中等，韧性中等，具较高压缩性，无摇晃反应，土质一般，切口光滑。
②-1	-24.85~-23.93	23.1~24.1	淤泥：灰色，流塑，饱和，含有机质、贝壳的碎片，局部夹粉砂与粉团块。具高压缩性，土质均匀细腻，切面光滑，无异味。
②-2	-35.17~-34.34	9.5~10.9	淤泥质黏土：灰色、流塑，饱和，含有机质、贝壳碎片，局部粉砂、粉土团块，具有高压缩性，土质均匀，切口光滑。

2 工程要求：

道路宽度 6m，长度约 100m，暂定道路使用期限为 1 年；要求地固件处理后地基承载力特征值 80KPa，半年内总沉降量小于 20cm；地固件顶面

不允许铺设矿渣，但可铺设 10~20cm 砂、碎石或双层钢板，暂定最大满载 400KN 工程车可通行；提供相关检测与监测数据（包括承载力、沉降、水平位移、超静孔隙水压）；要求现场踏勘后 7 天内提交设计文件，暂定施工工期为 10 天。计划开工日期为 2017 年 11 月 10 日。

3 设计方案：

设计方案为：道路采用两层地固件铺设，下层地固件规格为 PD-150 型，厚度 50cm，地固件中心间距为 3.0m；上层地固件规格为 PD-150 型，厚度 45cm，地固件中心间距为 1.5m，每层铺设 4 排地固件（即道路宽度为 6.0m），在上层地固件夯实后铺填厚度为 10~20cm 碎石垫层，再铺设（长×宽×高）=6000×3000×20mm 钢板，具体设计图纸如下：

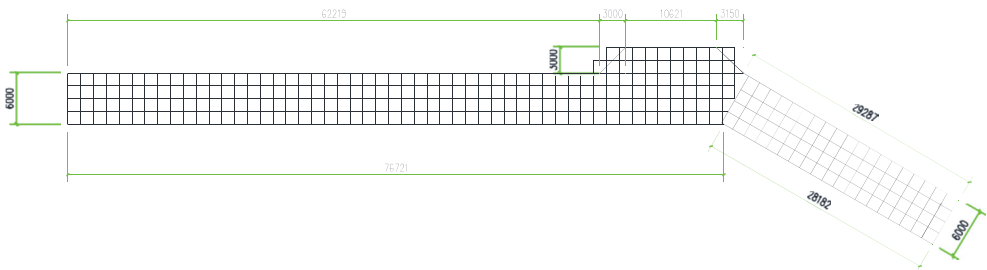


图 3.0.2-2 上层地固件平面布置图

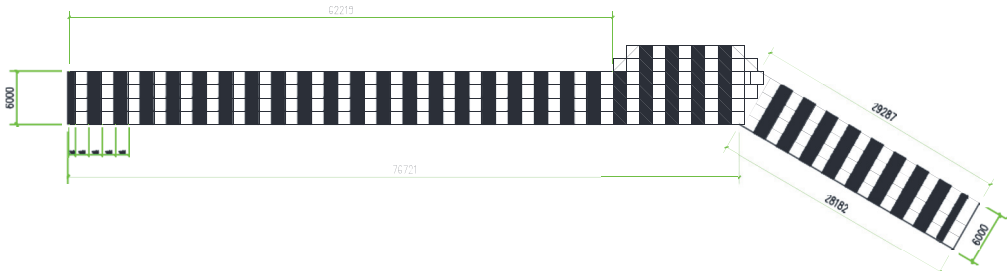


图 3.0.2-3 下层地固件平面布置图

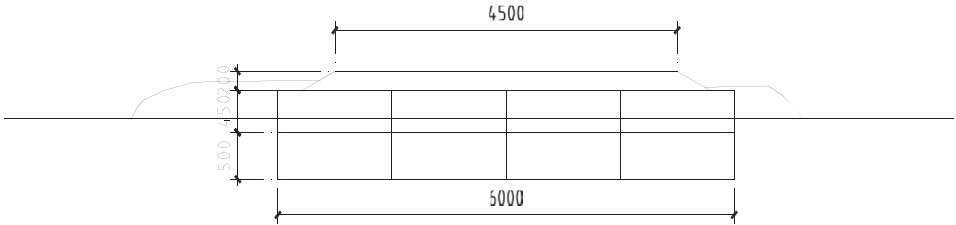


图 3.0.2-4 地固件纵剖面图

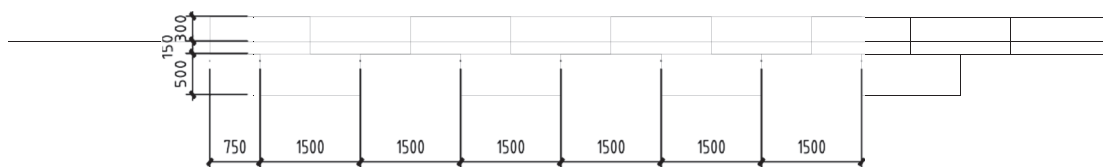


图 3.0.2-5 地固件横剖面图

3.0.3 地固件设计应计算承载力和沉降，保证地基处理施工后的承载力达到工程设计要求。用于路堤和堆场等工程的地基处理，除应计算承载力和沉降外，尚应分析稳定性。

3.0.4 地固件应用临时道路工程，地固件回收后应检测周围环境，并应符合现行行业标准《建筑施工现场环境与卫生标准》JGJ 146 中相关环境指标。

3.0.5 地固件的应用应符合下列规定：

1 软弱地基处理，应考虑上部结构形式、荷载大小、使用目的及要求，结合工程实际情况进行考量，高层建筑地基处理，不宜采用此工法施工；

2 应用于大型或重要工程，应在有代表性的场地上，对设计方案进行相应的现场施工试验，并应通过检验处理效果，优化设计方案；

3 在软弱地基处理施工时，应按照工法操作标准进行预试验施工，并应积累试验数据，供施工参考；

4 在固体废弃物处理工程设计施工时，应计算地固件堆积承载力，并应检测地固件的废弃物渗漏。

3.0.6 地固件处理软弱地基的施工完成后，应满足工后沉降要求，对于工后沉降控制较严的软弱地基处理，应按沉降控制的原则设计，并应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定。

3.0.7 地固件施工应保证安全，施工过程应重视环境影响，并应遵循本规程规定的施工规范。

4 地固件的规格和材料

4.1 一般规定

4.1.1 地固件规格的选取应根据工程场地及施工条件评定，自身材料的选取应满足工程使用要求。

4.1.2 地基处理时，地固件填充材料的选用应根据工程性质、工程地质、工程质量及工程预算等综合分析评定

4.2 地固件规格

4.2.1 方形地固件的规格应根据工程场地的条件选用，具体尺寸应符合表 4.1.1 的规定。

表 4.1.1 方形地固件规格

型号	尺寸（mm）			容量	挖掘机挖斗尺寸
	长	宽	高	（m ³ ）	（m ³ ）
PD-45	450	450	80	0.016	
PD-90	900	900	80	0.064	
PD-100	1000	1000	250	0.25	0.15-0.28
PD-150	1500	1500	450	1.013	0.28-0.5
PD-200	2000	2000	500	2.0	0.45-0.7

条文说明：方形规格地固件分为两个系列^[1]，人工铺设时，一般选用 PD-45（90）；机械铺设时，选用 PD-100（150/200）其中：

1 小型地固件：一般用于重型机械难以进入，需人工操作的施工场所，在构件内的底部设置导向支架, 通过连接件实现水平两方向构件之间的完全连接，可以获得高连续性、大面积分散效果。主要有 PD-45 和 PD-90 型。

2 大型地固件：施工需重型机械配合，通过构件内部设置的类似桁架的装置，对构件内的填充材料形成强制约束，并维持构件的外部形状。由于吊起后可以装配式铺设，故作业效率大幅提高。

[1] 松岡 元、山本春行、野本 太：《DBOX 工法の設計・施工の基礎》

4.2.2 圆形地固件的规格应符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 圆形地固件的规格

RD 型号 (轮胎型号)	尺寸 (mm)			容量 (m ³)
	高(H)	内径 φ1	外径 φ	
6.0J	215	381	785	0.0617
6.5J	205	406	970	0.0684
7.0J	215	432	1015	0.0856
7.5J	225	432	1080	0.0928
8.0J	235	500	1115	0.2293
8.5J	245	560	1160	0.2588
9.0J	255	600	1280	0.3280
9.5J	275	732	1350	0.3934
10.0J	305	750	1460	0.5103
10.5J	315	800	1615	0.6450

条文说明：圆形规格地固件依据回收废旧轮胎轮毂尺寸和型号不同，可划分为若干型号。一般选取胎面宽度在 215~315mm 之间、扁平比在 55~65%之间、轮毂外径为 15~17 英寸之间的废旧轮胎作为圆形地固件的砌块本体。圆形规格地固件将废旧轮胎改造后有效利用，节能环保，可用于软弱地基处理。

4.3 地固件材料

4.3.1 方形地固件的基布和吊带材质为超耐候性聚丙烯化合物，其应符合现行国家标准《集装袋》GB/T 10454 的规定。

4.3.2 圆形地固件的侧壁材质为橡胶，其应符合现行国家标准《载重汽车轮胎》GB 9744 的规定，底部凹槽材质为超耐候性聚丙烯化合物。

条文说明：超耐候性聚丙烯材料是基于普通聚丙烯研发的一种抗老化能力强、

耐候性、抗腐性、耐寒（热）性等物（化）性指标超过普通聚丙烯的高性能材料，满足岩土工程诸方面的相关使用要求。

4.3.3 地固件材料的化学性能应符合表 4.2.3 的规定，同时应符合现行国家标准《纺织品重金属的测定》GB/T 17593、《塑料耐液体化学试剂性能的测定》GB/T 11547 及《塑料实验室光源暴露方法》GB/T 16422 的相关规定。

表 4.3.2 地固件材料的化学性能

项目	指标标准
耐腐蚀性（酸、碱、盐）（浸泡）	外观无异常，残留抗拉强度 $\geq 80\%$
抗紫外线老化（紫外线照射 300h）	外观无异常，残留抗拉强度 $\geq 80\%$
重金属溶出（铅）	$< 1 \mu\text{g/ml}$

4.3.4 地固件材料的物理性能应符合表 4.3.4 的规定，同时满足现行国家标准《土工布透水性测定方法》GB/T 15789 的规定。

表 4.3.4 地固件材料的物理性能

项目	指标标准
抗拉强度（ $N/5\text{cm}$ ）	≥ 1850
延伸率（%）	≤ 18
撕裂强度（N）	≥ 450
耐热性（ $70 \pm 3^\circ\text{C}$ ，2h）	外观无异常，残留抗拉强度 $\geq 80\%$
耐寒性（ $-25 \pm 5^\circ\text{C}$ ，2h）	外观无异常，残留抗拉强度 $\geq 80\%$
耐水性（ $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ， $25 \pm 1\text{h}$ ）	外观无异常，残留抗拉强度 $\geq 85\%$
透水性	满足透水不透浆的工程施工要求

4.3.5 地基处理时地固件填充材料的物理性指标应符合表4.3.5的规定。

表4.3.5 地基处理时地固件填充材料的物理性指标规定

工程性质	填充料物理指标标准
永久性工程软弱地基处理	粒径 $\leq 40\text{mm}$ 的级配碎石、再生碎石、级配砂土等，渗透系数 $\geq 2.3 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 的符合要求的当地非金属矿物资源
临时道路、机械施工作业场地	粒径 $\leq 40\text{mm}$ 的级配碎石、再生碎石、级配砂土、煤矸石、废弃矿渣、砖渣、建筑垃圾等其他符合环保要求的工业废料及现场经处理后的固化土
地下水位较高的软弱地基、沼泽、淤泥质软土发育地基处理	单粒径S30、S40（mm）的碎石、再生碎石、煤矸石、废弃矿渣、砖渣等
预制混凝土及挡土墙等大型构造物施工（承载力要求高）	$50\text{mm} \geq \text{粒径} \geq 30\text{mm}$ 的碎石，渗透系数 $\geq 2.3 \times 10^{-5} \text{cm/s}$

4.3.6 地固件填充材料的整体性能应符合下列规定：

- 1 地固件填充材料的强度应满足一定要求，保证在设计荷载下不被压碎。
- 2 方形地固件填充材料中严禁含有钢筋头等金属尖锐物易划破袋体的固体垃圾。
- 3 在地下水位较高的施工场地，且填充材料为级配碎石或单粒径碎石时，严禁填充材料内混入粘土。
- 4 填充材料中严禁混入石灰等易吸水放热的固化材料及未凝固的混凝土等可能二次固化的建筑垃圾。

4.3.7 地固件处理地基时，下方铺设土工布应符合现行国家标准《土工布规范》GB/T 17639 的相关规定。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 地固件设计资料应包含下列内容：

- 1 工程资料及工程要求；
- 2 工程水文地质的勘察资料；
- 3 地固件产品材料参数。

条文说明：本条规定要求工程设计单位对地固件使用条件和功能提出主要指标要求及构造要求，使地固件能满足工程设计要求。

5.1.2 地固件设计应满足下列要求：

- 1 地固件自身强度应满足要求；
- 2 地固件处理的地基承载力应达到工程要求；
- 3 地固件处理的地基稳定应达到工程要求；
- 4 地固件处理地的基变形应满足工程要求。

条文说明：具体说明如下：

1 地固件的自身强度要求：这里地固件的强度是由地固件主体材料的抗拉强度控制的。地固件的强度验算，包括两个方面，整体强度验算和局部强度验算。

整体强度验算时，地固件整体均匀受压，主体材料不应被拉坏。地固件用于废弃物处理时，袋体的强度验算应采用整体强度。地固件用于地基处理时，在上部荷载全部覆盖时，应验算整体强度。详见条文 5.3.1 和条文 5.3.2 及其条文说明。

局部强度验算时，地固件部分受压，下底面受力面积大于上表面，此时地固件局部向上变形，主体材料不应被拉坏。地固件用于地基处理时，在上部荷载部分覆盖时，应验算局部强度。详见条文 5.3.3 及其条文说明。

2 地固件处理地基满足承载力要求：由于单个地固件强度很高，同时多个地固件可以通过直接连结、加土工布、交错布置等措施，保证其整体强度也很高。因此，地固件处理地基的承载力主要由地固件底面以下地基控制。在地固件作为上部基础满足强度要求的条件下，地固件处理地基的承载力可简化为地固件底面以下地基的承载力。这一处理方式，大大简化了计算，同时便于与现有规范体系对接。详见 5.2 节及其条文说明。

3 稳定性要求：当大面积堆载或路堤荷载等柔性荷载作用于地固件处理地基时，尤其是软弱地基时，地基尚需满足稳定性要求。此处，地固件增强稳定性的作用，主要体现在其增加了滑动面抗剪能力。详见条文 5.4 节及其条文说明。

4 地固件处理地基满足变形要求：相对于地固件下部的地基，地固件的自身的变形可以忽略不计，因此地固件处理地基的变形主要由地固件底面以下地基控制。地基变形包括瞬时（或短期不排水变形）和长期变形。详见 5.5 节及其条文说明。

5.1.3 地固件的设计计算内容包括下列内容：

- 1 地固件自身强度计算；
- 2 地固件处理地基时的地基承载力验算；
- 3 地固件处理地基时地基稳定验算；
- 4 地固件处理地基时的地基变形验算；

条文说明：地固件的设计计算对应于其 5.1.2 各项要求，包括自身强度、地基承载力、变形和稳定要求。多层地固件的布置应采用交错布置，即上层两个地固件的交接处为下层地固件的中心处。当地基承载力、变形和稳定要求不满足要求时，应通过增加层数，增大地固件有效作用宽度（面积），从而降低对地基作用荷载。故而，在地固件以及铺设标准化的情况下，地固件用于地基处理时的设计计算的主要目标是找到满足地基承载力、变形和稳定要

求的最优层数。

5.1.4 地固件处理地基时，基底压力应简化为均匀压力。

条文说明：现行《建筑地基基础设计规范》中，即使对钢筋混凝土等刚度很大的基础，在上部荷载偏心不大的情况下，仍然忽略了架越作用，采用了均匀基底反力的假设。而地固件本质上是具有形状保持的土工袋，因此相对钢筋混凝土等刚度很大的基础，在保持总体形状不变的情况下，具有很强自调节性，假设其地基反力为均布，更具合理性。

值得注意的是，地固件下部存在锥形槽，内部会充满土体，会增加地固件抗倾覆能力；对于软弱地基，通过强制加压，地固件底面加速排水，最终锥形槽内部土体和底面邻近土层会形成一层很薄的致密不透水层。这一致密土层，进一步起到缓冲和调节作用，最终使基底压力趋于均匀。

综上，本规范在计算地基承载力时，采用地固件基底均布压力假设。不但在非偏心荷载作用下，进而，如图 5.1.4-1 当上部荷载为偏心荷载时，仍认为地固件体系具有足够的协调变形能力，基底压力可简化为均布压力。因此，在计算地固件处理地基承载力时，仅仅要求基底平均压力小于地基承载力。这一方法中，地固件类似一种“特殊垫层”，地固件下部地基类似软弱下卧层，仅仅验算基底平均压力（注意，平均压力计算方式不同，不采用扩散公式，而采用本规范 5.2 节规定方法）。

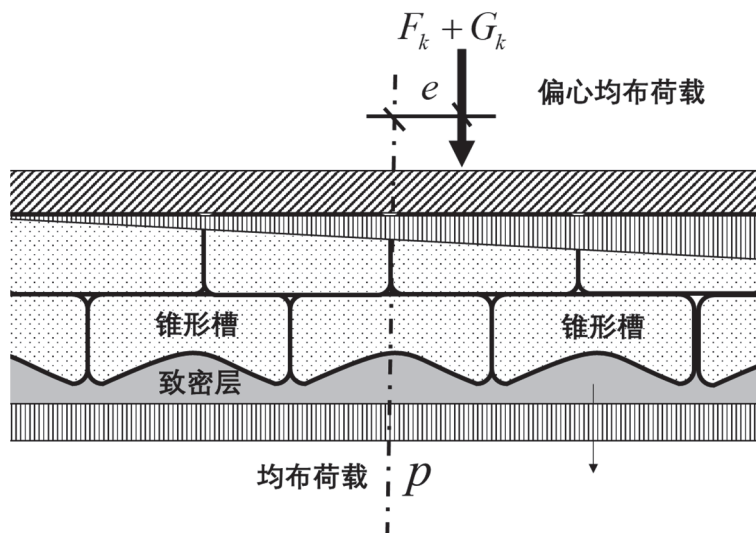


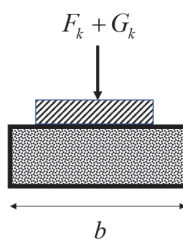
图 5.1.4-1 地固件基底均布压力示意图

5.2 地固件处理地基的承载力计算

5.2.1 地固件处理地基时，地固件体系应简化为整体基础。

5.2.2 地固件体系简化的整体基础的深度，应取最下层地固件底面深度。

5.2.3 地固件体系简化的整体基础的有效宽度，对于单个地固件，应取地固件宽度；对于单层多个地固件，应取荷载作用范围内及进入作用范围内不少于一半宽度的所有地固件的总宽度；对于多层多个地固件，应将上层基础有效宽度作为荷载作用范围，按上述单层多个地固件有效宽度计算原则，计算出下层有效基础宽度，由上向下直到计算至最下层的有效基础宽度。



(a) 单个地固件

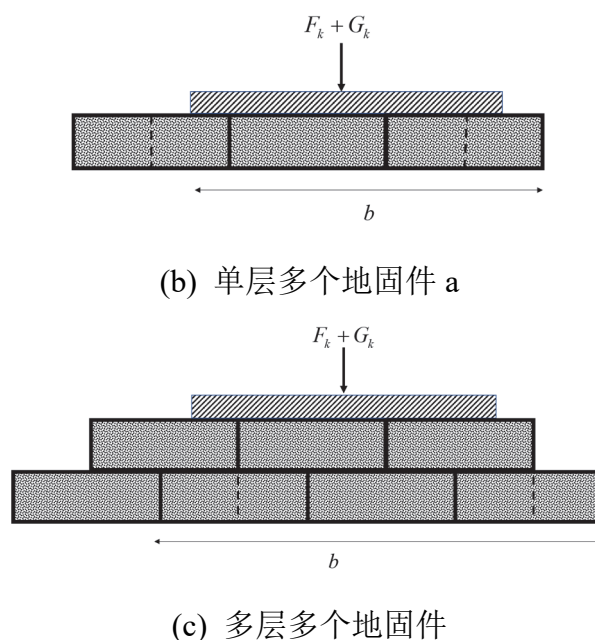


图 5.2.3 地固件简化整体基础的有效宽度 b 示意图

条文说明：地固件体系简化的整体基础的有效宽度，不是扩散角法计算。主要原因是，扩散法适用于散体垫层材料，地固件的强度显然远大于散体垫层，单纯采用地固件填料的扩散角计算显然会低估地固件的作用，而计入地固件基布和吊带显然又会极大地增加计算的复杂性和不确定性。此前日本地固件规范的承载力公式之所以不能被广泛接收的原因，正是因为其基于扩散角概念并加入了地固件基布和吊带作用，造成受力并不明晰。

事实上，只要上部荷载作用范围超过一半的地固件长度，该地固件作为一个整体即可发挥作用，将上部荷载传递到整个地固件底部面积，形成均布荷载。该简化模型不但受力明确，而且鲜明地体现了地固件的特性——柔性保形。即能够像柔性的土工袋，可以调节上部的集中荷载或偏心，将上部荷载均匀地传递到下部且不容易发生倾斜，同时像刚性地基一样，能够形状保持，在局部受力情况下，整体受力并传递到整个地固件底部面积。假设越简单，对基础的工作性能要求越高，因此这恰恰体现了地固件优越性。

5.2.4 地固件处理地基时，当荷载来源为刚性基础，其底面形状为矩形且偏心距 $e < b/6$ 时，荷载作用范围应取为刚性基础宽度。

5.2.5 地固件处理地基时，当荷载来源为刚性基础，其底面形状为矩形且偏心距 $e > b/6$ 时，荷载作用范围应取为合力作用点至刚性基础最大压力边缘的距离的 3 倍。

5.2.6 地固件体系简化的整体基础的基底平均压力，应按下式计算

$$p_k = (F_k + G_k) / A \quad (5.2.6-1)$$

式中， p_k ——相应于作用的标准组合时，地固件整体基础底面处的平均压力值(kPa)；

A ——根据地固件简化整体基础的底面积 (m^2)，由基础底面两个方向计算出有效宽度 b 相乘得到。

F_k ——相应于荷载效应标准组合时，上部结构传至地固件整体基础顶面的竖向值 (kN)；

G_k ——地固件自重和其上的土重 (kN)。可近似取 $G_k = \gamma_d A d$ (可取 $\gamma_d = 15 \text{ kN/m}^3$ ， d 为地固件简化整体基础的深度)，但在地下水位以下应扣去浮力，即 $G_k = \gamma_d A d - \gamma_w A h_w$ (h_w 为地下水位至地固件最下一层地面的距离)。

5.2.7 地固件体系简化的整体基础的基底平均压力，应符合下列规定：

$$p_k \leq f_a \quad (5.2.7-1)$$

式中， p_k ——相应于作用的标准组合时，基础底面处的平均压力值(kPa)；

f_a ——修正后的地基承载力特征值(kPa)，按《建筑地基基础设计规范》GB50007 取值。

5.2.8 地基承载力按《建筑地基基础设计规范》GB 50007 深宽修正时，基础的埋置深度和基础宽度分别应按整体基础深度和有效宽度取值。整体基础深度范围内土层重度，应取按厚度加权的平均值，不应考虑地固件填料容重增加作用。

5.2.9 当地固件下地基受力层范围内有软弱下卧层时，应按《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定验算软弱下卧层承载力。

5.3 地固件的强度

5.3.1 单个地固件抗压强度设计值，应按下式计算

$$p = [2T_k(1/B + 1/H) \tan^2(45^\circ + \varphi'_k) + 2c'_k \tan(45^\circ + \varphi'_k)] / K \quad (5.3.1-1)$$

式中， p ——地固件抗压强度设计值（kPa）；

T_k ——地固件基布抗拉强度特征值（kN/m）；

B ——地固件边长（m）；

H ——地固件高度（m）；

φ'_k ——填料有效内摩擦角度的标准值（°）；

c'_k ——填料有效粘聚力的标准值（kPa）；

K ——安全系数，可取 2。

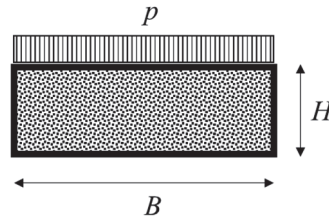


图 5.3.1 地固件抗压计算示意图

条文说明：该公式是计算单个地固件在整体受压时，整体的极限强度，图 5.3.1-1 为计算简图。地固件受压时，随着上部压力增大，首先土体达到极限状态，当上部压力继续增加，最终地固件基布达到抗拉极限值 T_k （如图 5.3.1-1（a）），据此可以计算出此时的土体水平向土压力值

$$\sigma_h = \frac{2T(B+H)}{BH} = 2T(1/H + 1/B) \quad (5.3.1-1)$$

如图 5.3.1-1（b）根据朗肯极限土压力公式，此时满足竖向极限抗压值

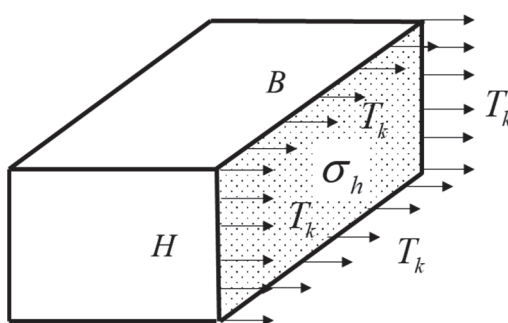
$$\sigma_v = \sigma_h K_p + 2c'_k \sqrt{K_p} \quad (5.3.1-2)$$

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \phi'_k) \quad (5.3.1-3)$$

将上述公式联立，则可得到竖向极限抗压值 σ_v

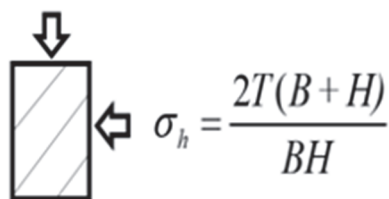
此处基布材料安全系数为 K ，则有地固件竖向压强度设计值

$$p = [2T_k(1/B + 1/H) \tan^2(45^\circ + \phi'_k) + 2c'_k \tan(45^\circ + \phi'_k)] / K \quad (5.3.1-4)$$



(a) 地固件抗压时剖面受力

$$\sigma_v = \sigma_h K_p + 2c'_k \sqrt{K_p}$$



(b) 地固件内部土体极限状态

图 5.3.1-1 地固件抗压极限状态计算简图

地固件的抗压强度可通过试验进行验证。天津大学、天津鼎元软地基科技发展有限公司与日本梅德利技术研究所合作，对地固件（1.0m×1.0m×0.25m）进行了单轴抗压试验在压力加载到 15000kN 的过程中，地固件反力逐渐增大，并且随着荷载的增大，地固件的刚度不断增大，如图 5.3.1-2 所示：

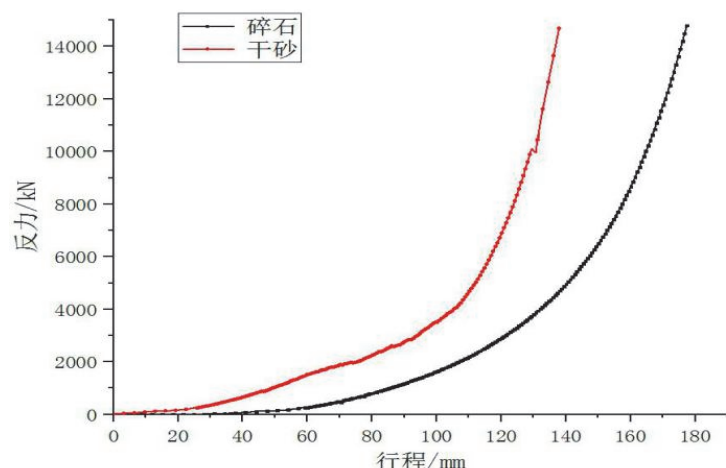


图 5.3.1-2 地固件行程反力曲线

因此，地固件的填料对其构件层面的强度发挥非常重要，试验中由于干砂的级配优于碎石的级配（干砂级配良好，碎石颗粒大小均一），因而致使干砂地固件反而优于碎石地固件的强度发挥。

5.3.2 地固件处理地基时，荷载作用范围全部覆盖的地固件，应按下式验算地固件强度

$$(F_k + G_k) / A' \leq p \quad (5.3.2-1)$$

式中， p ——单个地固件抗压强度设计值(kPa)；

F_k ——相应于荷载效应基本组合时，上部结构传至基础底面的竖向压力值（kN）；

G_k ——地固件自重和其上的土重（kN）。可近似取 $G_k = \gamma_d A d$ （可取 $\gamma_d = 15 \text{ kN/m}^3$ ， d 为地固件简化整体基础的深度），但再地下水位一下应扣去浮力，即 $G_k = \gamma_d A d - \gamma_w A h_w$ （ h_w 为地下水位至地固件最下一层地面的距离）。

A' ——地固件简化整体基础过程中的每一层的有效底面积（ m^2 ）。每一层的有效宽度 b 相乘得到。

条文说明：地固件处理地基时，荷载作用范围全部覆盖的地固件，应逐层进行计算。

5.3.3 地固件处理地基时，荷载作用范围部分覆盖的地固件，还应按下式验算地固件强度

$$p_j \leq 2T_k(H^2 + BH) / KBL^2 \quad (5.3.3-1)$$

式中， B ——地固件边长（m）；

H ——地固件高度（m）；

K ——安全系数，可取 2；

L ——荷载作用范围部分覆盖的地固件，超出荷载作用范围的长度（m）；

p_j ——扣除地固件自重及其上土重后相应于作用的基本组合时的地基土单位面积净反力（kPa）；

T_k ——地固件基布抗拉强度特征值（kN/m）。

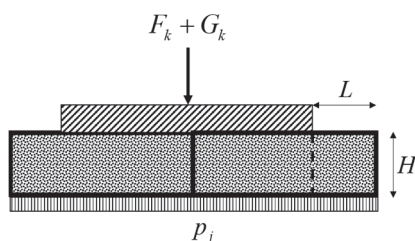


图 5.3.3 荷载作用范围部分覆盖的地固件强度验算

条文说明：地固件处理地基时，荷载作用范围部分覆盖的地固件，可能会产生局部受力破坏，尤其是基布拉坏，图 5.3.3-1 为计算简图。

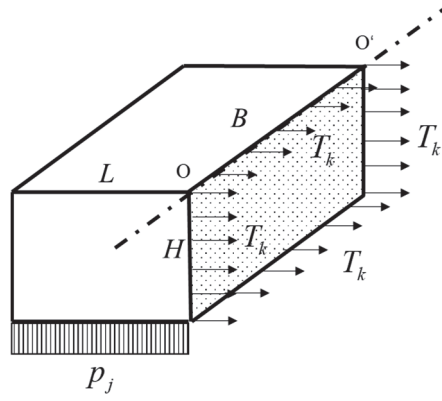


图 5.3.3-1 地固件抗压极限状态计算简图

对以图 5.3.3-1 中隔离体作为受力对象,对 oo' 轴取矩,存在以下几部分弯矩。
净反力产生力矩

$$M_{pj} = p_j BL \frac{L}{2} = p_j B \frac{L^2}{2} \quad (5.3.3-1)$$

作用在底面的基布拉力产生弯矩

$$M_{bottom} = T_k BH \quad (5.3.3-2)$$

作用在两个侧面的基布拉力产生弯矩

$$M_{side} = 2T_k H \frac{H}{2} = T_k H^2 \quad (5.3.3-3)$$

按保守原则,忽略填料粘聚力产生的弯矩;此处基布材料安全系数为 K ,则应满足

$$M_{pj} \leq (M_{bottom} + M_{side}) / K \quad (5.3.3-4)$$

带入式 (5.3.3-1) (5.3.3-2) (5.3.3-3), 整理可得

$$p_j \leq 2T_k (H^2 + BH) / KBL^2 \quad (5.3.3-5)$$

5.4 地固件处理地基的稳定性验算

5.4.1 地固件处理地基稳定性应按《建筑地基基础设计规范》GB 50007 规定计算。即可采用圆弧滑动面法进行验算。最危险的滑动面上诸力对滑动中心所产生的抗滑力矩与滑动力矩应符合下式要求

$$M_R / M_s \geq 1.2 \quad (5.4.1-1)$$

式中, M_R ——抗滑力矩(kN·m);

M_s ——滑动力矩(kN·m)。

条文说明: 当大面积堆载或路堤荷载等柔性荷载作用于地固件处理地基时, 尤其是软弱地基时, 地基尚需满足稳定性要求。

5.4.2 地固件处理地基稳定性时, 可先计算不考虑地固件时的圆弧滑动面。当该圆弧滑动面与地固件的交点距离地固件中心点大于四分之一地固件宽度时, 地固件不应计入该地固件的抗滑作用。

条文说明: 地固件提高稳定的作用, 主要是对滑动体起到了销栓作用。地固件本身尺寸较短, 过多和过少的进入滑动体, 都不会很好的起到销栓作用。因此, 规定只有滑动面交点在地固件中心点附近(距离小于四分之一地固件宽度时), 才计入地固件对地基稳定性的提高作用。

5.4.3 地固件抗滑的增强作用可按下式计算

$$M_R' = 2f_{ak}BL_E R_E \cos \alpha \quad (5.4.3-1)$$

式中, M_R' ——地固件对抗滑中心产生的抗滑力矩(kN·m);

f_{ak} ——地固件以下地基承载力特征值(kPa);

B ——起到抗滑作用的方形地固件边长 (m);

L_E ——起到抗滑作用的地固件在圆弧滑动面以外长度(m);

R_E ——地固件与圆弧滑动面相交处距滑动中心距离(m);

α ——地固件与圆弧滑动面相交处圆弧与竖直方向的夹角(°)。

条文说明: 由于地固件自身强度很高, 在计算地固件处理地基稳定性时, 滑动面很难剪坏地固件。因此, 极限状态是与单个地固件接触的土体发生了破坏, 此时土体局部受压破坏强度可取两倍的土体承载力特征值, 即 $2f_{ak}$ 。在圆弧滑动面以外, 起到抗滑作用的地固件长度值 L_E 如图 5.4.3-1 所示。注意,

L_E 应是满足 5.4.2 节规定的地固件在圆弧滑动面以外长度。

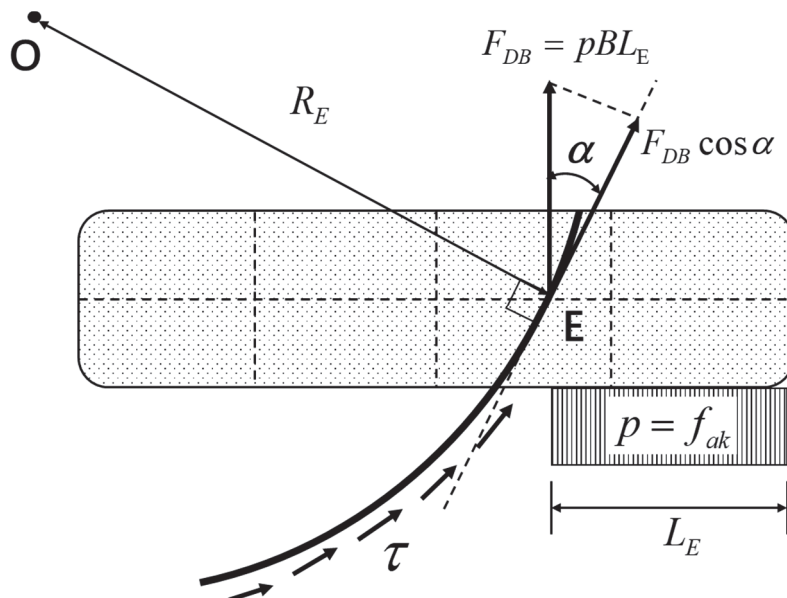


图 5.4.3-1 地固件增强抗滑作用的计算简图

5.5 地固件处理地基的变形计算

5.5.1 计算地固件处理地基长期整体最终变形时，可按《建筑地基基础设计规范》GB 50007 分层总和法计算。其中，附加压力为相应于作用的准永久组合时，地固件体系简化整体基础的基础底面处的附加压力。

条文说明：地固件在施工中会强制加压，使用地固件底部土层提前形成超孔压，而后迅速固结，形成硬壳层。这一硬壳层相对比较致密，可能会降低基础底部的排水性能。采用规范计算地固件长期沉降时，地固件是作为排水边界处理的。这一假设不会对最终沉降的预测产生影响，仅会高估地固件处理地基的沉降速度。

5.5.2 计算地固件处理地基瞬时沉降时，应按下式计算

$$s = bp_k / N_s N_c G_u \quad (5.5.2-1)$$

式中， p_k ——相应于作用的标准组合时，基础底面处的平均压力值(kPa)；

b ——地固件简化整体基础的有效宽度(m)；

G_u ——地基土不排水剪切模量，可取 100-200 倍的土体不排水抗剪强度(kPa)；

N_s ——变形系数，当取整体平均值为 1.35；

N_c ——与土体不排水抗剪指标相关的承载力系数，可取 5.14。

条文说明：本规范中地固件的瞬时沉降，既可是施工过程中强制加压产生的瞬时沉降，又可是施工完毕后，在地基土排水差、上部荷载加载速率高的情况下（如软弱地基上的临时道路），地固件处理地基时发生的瞬时沉降（或不排水条件下沉降）。

瞬时变形公式采用了 Mobilisable Strength Design (MSD)方法，该方法的包括三个核心关系。

圆形基础下变形区域（被动区、主动区和扇形区，见图 5.5.2-1）的平均动员应变 ε_{mob} （mobilized strain）和基础瞬时变形 s 的关系

$$\varepsilon_{mob} = N_s s / b \quad (5.5.2-1)$$

注意该式中基础为圆形基础，直径为 b 。考虑到地固件为柔性构件，形成的方形基础的边角位置，在瞬时较大作用下，可能会发生上翘现象。因此，取方形基础折减为圆形基础，直径为其内接圆直径 b ，即地固件简化整体基础的有效宽度(m)；

此外，由于采用不排水假设条件，而图 5.5.2-1 中被动区、主动区和扇形区的位移场和应变场具有严格数学关系，因此均应变 ε_{mob} 和 s / b 之间具有唯一的比例常数 $N_s = 1.35$ ，具体推导过程详见论文[2].

地基底面压力与动员不排水强度 c_{mob} （mobilized undrained shear strength）关系满足

$$p_k = N_c c_{mob} \quad (5.5.2-2)$$

其中圆形地基承载力公式中的 N_c ，该值不同的研究者提出过多种数值，比

如Osman (2005)建议5.86, Shield(1955) 和Houlsby& Wroth (1983)建议取 5.69, Kusakabe et al. (1986) Levin(1955)和Hill's (1950) 建议取 5.84。考虑到保守原则, 同时也为了避免因将方形基础转化为内切圆形基础后, 受力面积减小, 低估变形, 故降低 N_c , 即最不利工况条形基础经典解

$$N_c = 2 + \pi = 5.14。$$

平均动员应变 ε_{mob} 和动员不排水强度 c_{mob} 关系满足

$$c_{mob} = G_u \varepsilon_{mob} \quad (5.5.2-3)$$

其中 G_u 为地基土不排水剪切模量, 可取 100-200 倍的土体不排水抗剪强度 (kPa);

联立整理上述三个公式, 即可得到

$$s = bp_k / N_s N_c G_u \quad (5.5.2-4)$$

由图 5.5.2-1 可知, 基础埋深带来的超载作用会减小瞬时变形, 由于地固件通常埋深不大, 尤其是用于临时道路时, 因此本规范不考虑基础埋深对瞬时变形的影响。

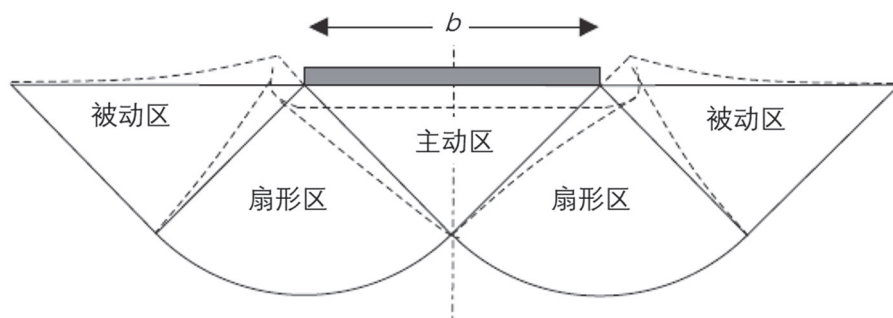


图 5.5.2-1 地固件瞬时变形计算简图

[2]A.S. Osman, D.JWhite, A.M.Britto, M.D.Bolton, Simple prediction of the undrained displacement of a circular surface foundation on non-linear soil[J]. Geotechnique, 2007, 57(9), 729-737.

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 施工前应进行第三方现场踏勘，了解施工条件和环境条件，并应编制专项施工方案。

条文说明：施工方案设计案例（粉土地基液化对策）：

1. 工程概况：

地质概况：根据地质勘察报告见表 3.0.1-1 和表 3.0.1-2，本工程地貌类型属于冲海积平原地貌，地势开阔较平坦，自然地面标高一般为 4.59~7.93m 左右，拟建场地地基土类型属软弱土。

浅层孔隙潜水赋存于场地浅部填土、黏质粉土和粉质黏土层中，其中杂填土富水性和透水性因黏性土含量不同而具明显各向异性，一般上部透水性较好，水量较大，往下透水性变差，水量较小；黏质粉土透水性较好，水量较大；而赋存于粉质黏土层的孔隙潜水因地层渗透性微弱，水量贫乏，现场状况如图 6.1.1-1 所示。

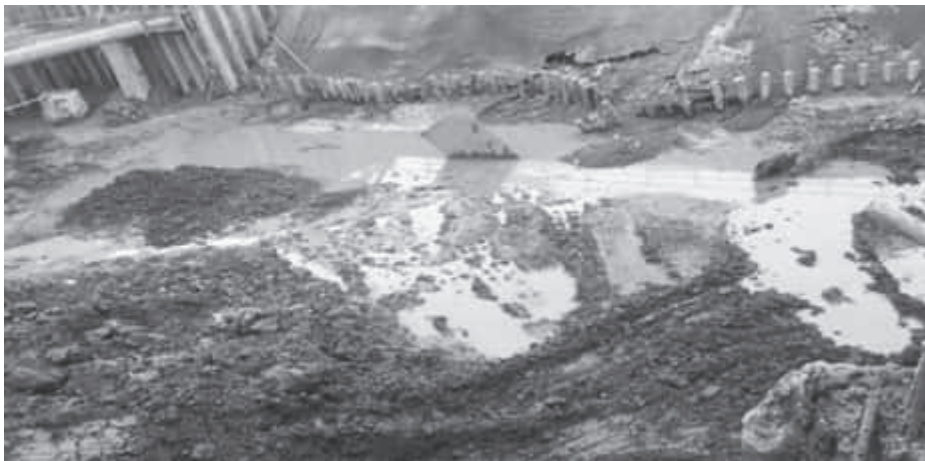


图 6.1.1-1 现场状况

表 6.1.1-1 地质参数

岩	岩	天	重	力	土粒	天然	液限	塑限	塑性指	液性指
---	---	---	---	---	----	----	----	----	-----	-----

土 编 号	土 名 称	然 含 水 量	密 度	比 重	孔 隙 比			数	数
		w	γ	G_s	e	w_L	w_p	I_p	I_L
		%	kN/m^3	/	/	%	%	/	/
② ₁	粉 质 黏土	30.9	18.8	2.72	0.894	35.8	22.3	13.5	0.64
② ₂	黏 质 粉土	31.2	18.8	2.71	0.892	29.8	20.8	9.0	1.16
② ₃	砂 质 粉土	28.7	19.2	2.70	0.812	26.0	17.9	8.1	1.34
③ ₁	淤 泥 质 黏 土	48.9	17.1	2.74	1.395	43.8	24.2	19.9	1.26
③ ₂	淤 泥 质 粉 质 黏 土	40.9	17.9	2.72	1.148	35.8	22.1	13.8	1.36
③ ₄	黏 质 粉土	31.6	18.8	2.71	0.899	29.9	20.7	9.2	1.18
③ ₅	粉 质 黏土	31.3	18.9	2.72	0.892	36.1	22.3	13.9	0.65
③ ₅	淤泥	58.1	16.2	2.75	1.685	49.4	26.9	22.4	1.39
④ ₁	黏土	33.4	18.8	2.74	0.946	43.9	24.3	19.6	0.47
④ ₂	粉 质 黏土	31.9	18.9	2.73	0.907	37.3	22.8	14.5	0.62
④ ₃	粉 质 黏土	35.4	18.3	2.73	1.025	37.7	22.7	15.2	0.86
④ ₄	黏土	39.4	18.0	2.74	1.127	43.0	24.1	18.9	0.81
⑥ ₁	黏 质 粉土	23.0	20.2	2.68	0.632	(30.4)	(21.1)	(9.3)	(1.08)
⑥ ₄	粉砂								

⑥ ₅	细砂								
⑥ ₆	圆砾								

表 6.1.1-2 地质参数

岩土 编号	岩土 名称	压缩系 数	压缩 模量	直剪 (快剪)		原位测试指标				先期 固结 压力	地基 承载力特 征值
				内 摩 擦 角	粘 聚 力	标贯试验		动力触探 试验			
						统 计 点 次	标贯 击数	统 计 点 次	动探 击数		
						$\alpha_{0.1-0.2}$	$E_{s0.1-0.2}$	ϕ_q	C_q		
		1/ MPa	MPa	度	kPa	点 次	击 /30cm	点 次	击 /30cm	kPa	kPa
② ₁	粉质 黏土	0.337	5.78	10.0	34.9	7	6.1				120
② ₂	黏质 粉土	0.247	7.96	21.2	9.8	179	5.6			301.0	100
② ₃	砂质 粉土	0.184	10.56	24.0	6.7	15	7.6				120
③ ₁	淤泥 质黏 土	1.097	2.22	5.0	10.3						60
③ ₂	淤泥 质粉 质黏 土	0.741	2.94	6.2	13.1					241.6	70
③ ₄	黏质 粉土	0.252	7.74	21.1	9.5	14	6.5			347.0	110
③ ₅	粉质 黏土	0.391	5.26	12.4	38.9	41	7.8			322.0	110
③ ₅	淤泥	1.53	1.71	2.9	7.5						50
④ ₁	黏土	0.363	5.52	13.2	50.4						170
④ ₂	粉质 黏土	0.338	5.62	14.3	55.1	160	11.5			296.5	170
④ ₃	粉质 黏土	0.531	3.75	10.7	24.5	81	8.7			285.5	120
④ ₄	黏土	0.576	3.71	9.9	28.6	50	10.1			286.0	120
⑥ ₁	黏质 粉土	0.110	14.84			4	10.5				140

⑥ ₄	粉砂	(0.19)	(9.7 9)			64	25.3				160
⑥ ₅	细砂	(0.15)	(11. 5)			224	41.1				180
⑥ ₆	圆砾							100	37.1		320

2. 施工方案设计

施工平面布置如图 6.1.1-2 所示，施工铺设断面如图 6.1.1-3 所示。

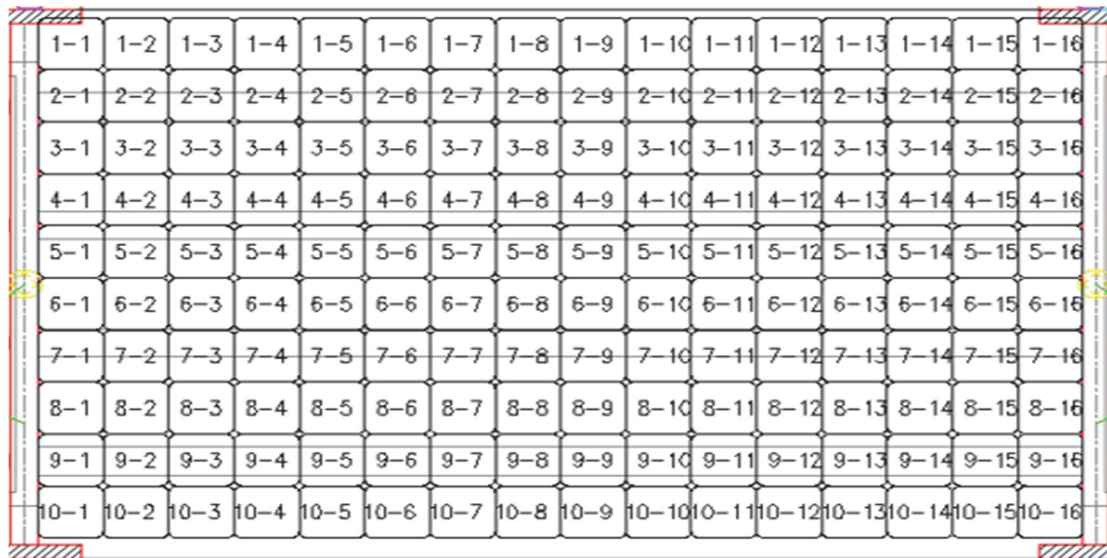


图 6.1.1-2 施工平面布置图示

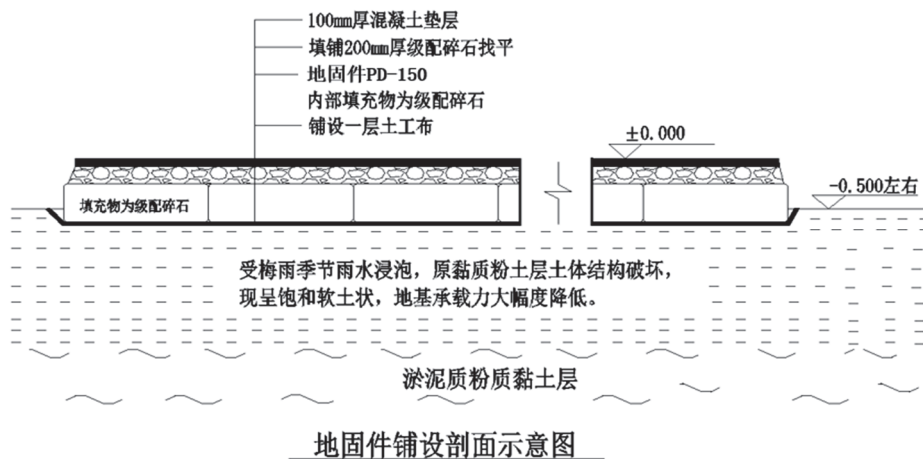


图 6.1.1-3 施工铺设断面图示

6.1.2 施工方案应包含以下内容：

1 编制依据和说明；

- 2 工程概况；
- 3 施工总体部署；
- 4 施工总平面布置；
- 5 施工进度计划；
- 6 施工方法、施工技术和质量保证措施；
- 7 质量验收标准及要求；
- 8 安全文明施工和环境保护措施；
- 9 主要设备、人员、材料；
- 10 特殊情况下施工保证措施。

6.1.3 地固件施工前期准备资料应包括以下内容：

- 1 场地布置图（材料、装填、码放等场地、迂回路、运输路线等）周围用于装填地固件场地的选取方案表；
- 2 施工过程监测点的位置图；
- 3 施工计划及进度安排表；
- 4 施工质量管理检查记录表。

6.1.4 地固件施工前，施工单位应以本规程的作业规范为教材，对操作人员进行操作培训，对其进行设计施工方案及相关技术文件交底，结合现场发生的实际问题进行技术交流。

6.1.5 地固件施工应按照设计方案进行，遇突发事件应及时上报施工及设计单位，采取应急措施并修改设计方案。

条文说明：地固件施工必须满足设计要求，并做好施工及质量管理工作。在施工的全过程中，兼顾与其他关联施工项目的整合性以及对施工现场环境的影响，制

定合理的施工计划，以确保施工中的安全、稳定性。

地固件是将碎石等材料填充到构件内、铺设、碾压的简单施工方法，但由于地固件的功能与各施工步骤相关，基础地基的土质性状不尽相同（粘土、砂土、含水率等），因此，要确保符合现场条件的施工方法及质量，严格按照设计图及施工工艺作业，保证施工质量。

6.1.6 地固件施工过程中，应根据施工条件和场地环境，对地固件、辅助器材、施工安全等采取必要的保护措施，施工的技术性操作应保证施工质量。

6.1.7 施工单位应遵循国家有关环境保护的法规和标准，采取有效措施，控制现场废弃物等对周围环境造成的污染。

6.2 施工准备

6.2.1 地固件施工前应做好下列准备工作：

- 1 地固件产品进场前的质量检测报告备案存储；
- 2 地固件填充材料的备放及复检；
- 3 工程施工前应复检施工机械是否处于安全操作状态；
- 4 施工场地的施工及码放区域的划分与平整；
- 5 依据设计方案选定的施工机械及辅助材料的复核；

6.2.2 正式施工前应选择有代表性区域进行预铺设试验，根据其结果及时完善、调整施工方案及施工工艺，根据设计标高，确定开挖工作面的标高参见条文 6.3.8。

6.3 施工流程

6.3.1 地固件施工应按以下流程进行：

- 1 进场准备；
- 2 工作面开挖；
- 3 地固件填充；
- 4 地固件铺设。

条文说明：地固件施工流程详细如下：

1 进场准备。包括：现场踏勘（确认与设计资料的差异）、测量（划线、确定施工位置等）、临时道路（材料运输、迂回路等），施工堆场（地固件及其辅材的临时堆放位置）；

2 工作面开挖。包括：设定工作面标高（考虑强制加压沉降量对标高的影响），水位高于设计标高时应挖蓄水坑排水、干燥时应洒水至湿润状态；

3 制作地固件。包括：制作型腔、填充料、填充量管理（型腔尺寸管理、填充重量管理）；

4 地固件铺设。包括：选用设备（挖机、吊车等）、铺设透水土工布（防止淤泥上翻、同时用于地基补强）、吊装、铺设地固件、强制加压（静态及动态加压：挖机加压、夯击、前后行进平板振动夯夯击、轮式压道机碾压等）、碎石找平（地固件顶面的高低差调整）和回填及确认承载力（平板载荷试验、简易承载力测试仪）；

5 深厚超软弱粘土地基加固处理的施工案例（地勘及水文资料参见 3.0.2 条文说明）

清表：

现场清表主要清理地表土中的碎石、块石等硬物，防止刺破地固件袋体，同时也需要清除地表土中的植物根系；根据设计要求与试验要求埋设监测设备；

埋设检测设备：

选择埋设的设备有：测斜管、超静孔隙水压力计、分层沉降标、土压力计等；

装填、制作地固件：

装填地固件一般在铺设之前先装填部分地固件，根据地固件的用途可选择不同填料，本次选用填料为粒径 5~40mm 连续级配的碎石，要求填实并通过自重拉张并维持形状，堆放在施工场址附近待铺设；

铺设与强制加压：

每个地固件的铺设与强制加压是连续完成的，本次使用 200 型挖机将装填好地固件按测量位置沉入地基土中，并用铲斗反复按压，直至地固件不再下沉且出现反弹现象为止，按压时间一般控制在 2~4 分钟，必要时可二次按压；

二次碾压：

振动密实在上层地固件强制加压完成后，采用 80 型振动夯从中间向四周依次反复振密，振动时间每个地固件约 5~8 分钟，直至地固件密实如人踩到石板上的感觉；

回填地固件之间的空隙：

夯实后的地固件之间的袋角仍存缝隙，需要用碎石或砂土回填并夯实，确保袋体之间紧密相连；

铺设钢板：

原设计在铺设钢板之前应先铺设 10~20cm 小碎石，保持地固件受力均匀，后与设计方沟通，通过加厚与加宽钢板方式，取消铺设碎石工序如图 6.3.1-1、6.3.1-2 所示。



图 6.3.1-1 地固件铺设完成状态图



6.3.1-2 地固件铺设钢板后状态

6.3.2 进场准备应符合表 6.3.2 规定：

表 6.3.2 地固件施工进场准备

项目	准备内容
地固件制作场地	施工现场内或外，依据现场条件综合考量
地固件	基于设计图纸确认规格及尺寸
填充料	基于设计方案确认材质和规格
选择挖掘机	根据装填量选择
型腔	木制或钢制均可（管理型腔尺寸）
钢管	PD型起吊定位用（尺寸为2m）
吊车	根据吊重需要选择
转运车	将地固件从装填场地转运至铺设现场使用

6.3.3 施工工作面开挖应符合下列规定：

- 1 工作面开挖应按照设计方案进行，施工场地地下水位高，水体掩盖施工作

业开挖面时，应先降低水位至作业面以下；

2 施工开挖的工作面应处于湿润状态；

3 开挖工作面处于干燥状态时，应在铺设工作的前一天向施工场地洒水，使地基保持湿润状态；

条文说明：地固件是，在地基上铺设地固件之后，使用挖机等建筑机械在地固件上面预先主动地、强制性地施加载荷，使地固件被压入土中且强制沉降，从而促使超静孔隙水压消散，在较短时间内使地基获得有效应力的施工方法。工作面开挖是非常重要的工序，要通过强制加压的压入量预测（预压）确定挖掘工作面的标高。

粘土、砂土及含水率不同，都会使基础表现出不同的形状。施工规模、范围较大时土质的区分和土层的厚度也不一定相同，因此，强制加压压入量的预测需要丰富的地质踏勘经验和施工经验。通过地固件上方的找平回填作业，弥补强制加压压入量预测及铺设的误差。

挖掘工作面之下的埋设物及地层的变化较大，通常可使用探钎来辅助把握工作面的地基性状。

6.3.4 地基处理时地固件填充作业应按以下流程进行：

1 型腔制作；

2 地固件放入外伸展平；

3 分层填充，填充 1/3 时振动夯实后，继续填充至完成；

4 封装闭合；

5 吊装码放。

条文说明：地固件的填充作业详细如下：

1 制作并使用木制或者钢制的型腔；

2 PD-100（PD-150、PD-200）型是把构件在型腔内展开，然后向型腔内投入填充材料；

3 PD-45（PD-90）型是在构件内安放导向架，然后放入型腔并向型腔内投入填充材料；

4 地固件放入型腔后展开，注意四角与型腔的贴合，先填四角以固定地固件整体形状；

5 投入填充材料后将构件封闭。

选择填充材料时，以加压后容易紧固并且排水性良好为标准。形状、粒径单一的填充材料很难压实，应选择粒径有适当偏差的级配碎石。在条件允许的情况下，可采用在碎石产地装填后向施工现场转运的方式，以降低材料损耗、装卸成本和运输成本。

6.3.5 地基处理时地固件填充作业应符合下列规定：

1 型腔应保证在填充过程的稳固性，型腔尺寸应符合图 6.3.5 的规定，当上部载荷为混凝土预制件、挡土墙等大型构造物需要承载力较高或填充物细颗粒较多时，型腔的高度尺寸应增加 10mm；

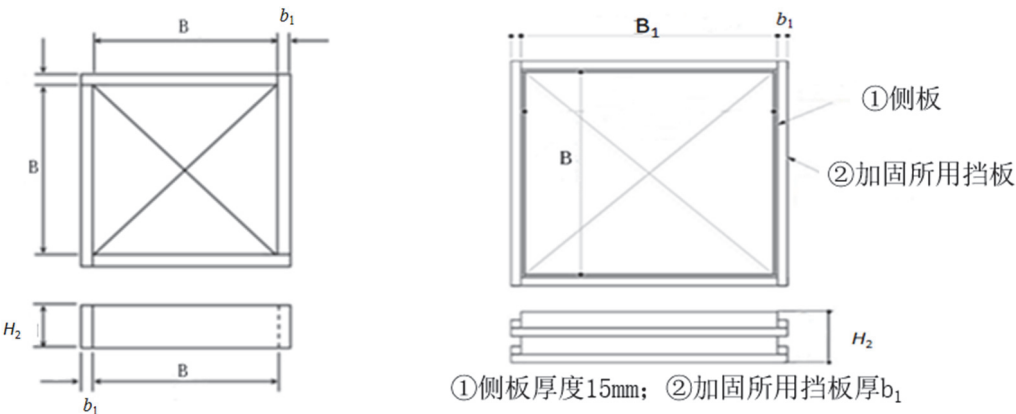
2 填充地固件时应分层填充并振动压实，保证地固件填充量满足填充率误差 $\leq \pm 2\%$ 的要求（以实操标准填充重量为依据）；

3 填充过程应保持填充场地的洁净，并保证中央吊带的居中；

4 封装闭合应尽量以正确的位置闭合，保持地固件的规范形状；

5 起吊地固件时应垂直起吊，保证地固件起吊过程不悬空失稳以及由此可能带来的地固件撕裂破损、型腔的拖拽移动以及其带来的安全隐患；

- 6 若地固件重量误差超过或低于标准 2%时，应打开减（续）填；
- 7 地固件码放场地应保持平整，码放高度不应超过 4 层。



(a) 小型地固件型腔（PD-45/90） (b) 大型地固件型腔(PD-100/150/200)

图 6.3.5 地固件制作型腔尺寸图

其中： B ——地固件边长（m）；

b_1 ——型腔侧板厚度；

B_1 ——大型地固件型腔侧板长度（m）；

H_2 ——型腔高度（m）。

6.3.6 地基处理时地固件铺设应按以下流程进行：

- 1 局部试挖；
- 2 试铺设；
- 3 正式基面开挖；
- 4 铺设及强制加压；
- 5 振夯碾压；
- 6 铺设结束确认；
- 7 回填找平。

条文说明：地固件铺设的准备工作见表 6.3.6-1，据此，在施工过程中可提高效率，

缩短工期；施工现场条件不允许使用挖机的场合，可以使用振动夯，通过击打使地固件基布产生张力，从而使地固件紧固，要注意保证地固件铺设面的平整度，铺设过程中使用的机械参考表 6.3.6-2。

表 6.3.6-1 地固件铺设工序的准备及确认事项^[1]

项目		准备及确认事项
工作面的再确认		施工现场保持不干燥、不排水的湿润状态
挖掘机		用于铺设及辅助强制加压，选用时应满足规格要求
二次加压用设备	根据需要进行选择	
	击打夯	根据设计指定的加压值，参照机械规格选定
	平板振动夯	用于 PD-45 或 90 型(60kg 左右)
	前后进平板振动夯	兼用促进超静孔隙水压排水
	轮式压路机	大面积铺设时使用
透水土工布	作用 1	铺设在地固件底面防止淤泥上翻
	作用 2	用于有铺设间隔的场合
填充碎石		用于填充各地固件铺设缝隙（与透水土工布共用）
确认承载力		地固件端面的平板载荷试验

表 6.3.6-2 地固件铺设施工过程使用的建筑机械参考^[1]

地固件规格	机械设备	设备规格	备注
PD-100	挖掘机	0.28-0.45m ³	用于强制加压，如果设计中指定了建筑机械设备规格则按照设计要求进行。
PD-150	挖掘机	0.45-0.80m ³	
PD-200	挖掘机	0.45-0.80m ³	
二次加压 施工设备	振动夯	60-100kg	
	震动轧道机	300kg 以上	
	轮胎式接地压辊	300-400kN/m ²	

	中转运轻型卡车	4t 以上	转运地固件
--	---------	-------	-------

实操案例：铺设过程中，机械平整工作面、边铺装、边行进的施工操作实操场景。

施工铺设完成状态如图 6.3.6-1 所示（工程资料参见 6.1.1 条文说明）：



(a) 平整过程平面



(b) 铺设完成状态



(c) 碾压过程



(d) 上部施工

图 6.3.6-1 地固件铺设过程

6.3.7 地固件铺设作业应按照下列规定执行：

1 铺设地固件前应先铺设透水土工布，土工布搭接部分应不小于 15cm；

条文说明：为了防止地固件底部的淤泥从铺设的空隙之间挤压上翻，要在软基上铺设透水土工布。其作业标准为：铺设 1 层时，土工布铺在地固件下方；铺设 2 层时，地固件的 1 层与 2 层之间也应铺设。使用的土工布规格标准为：抗

拉强度 1850N/5cm 以上。地固件铺设缝隙需使用填缝碎石和补强用透水土工布处理，其抗拉强度要求在 1850N/5cm 以上。

2 加压过程应确认施工挖机的作业半径，按照先四角后中央的顺序进行加压；

3 正式铺设应按照试铺设工艺标准进行；

4 地固件 2 层及以上铺设施工时，应采用交错铺设法,见图 6.3.7（a），上下层错缝间隔应为地固件边长 1/2，地固件之间缝隙应控制在 2cm 以内，当铺设 1.5 层时，上层铺设搭接地固件边长 1/2，下层间隔为单个地固件尺寸见图 6.3.7（b），地固件铺设方式根据现场情况综合考量；



（a）2 层及以上铺设断面



（b）1.5 层铺设断面

图 6.3.7 地固件多层铺设

5 强制加压荷载应不低于设计荷载的 2 倍；

6 强制加压应采用批量加压，在挖机作业半径范围内铺设完成统一加压；

7 在强制加压时，出现袋体回弹时应暂停加压，间隔 2h 后再次进行加压，直至最后两次加压沉降差 $\leq 5\text{mm}$ ，暂停时间间隔不超过 24h；

8 振夯碾压应按从中央向外侧，旋涡状对地固件加压；

条文说明：碾压作业的施工参考标准可见表 6.3.7-1

表 6.3.7-1 地固件碾压作业的施工参考标准^[1]

检查项目	规格值	规格范围	管理基准	备注
确认地固件强制加压检测	选用规定设备碾压，从中心向外侧一袋一袋碾压	每一袋碾压两次。	目视或有必要的情况下，检测地固件抗压强度。	地固件的抗压强度通过简易承载力检测仪或平板载荷试验等方式检测。

9 地固件间隙应使用碎石或砂土回填、压密后，上部回填找平，找平厚度应根据回填材料确认，找平碎石回填 5cm 以上或找平土、砂回填 10cm 以上；

条文说明：找平碎石的目的是弥补强制加压压入量的预测误差以及已铺设地固件之间的高低差，各处的找平厚度不一定一致。回填覆土要使用素填土，其作用是为了扩散载荷以及提高地固件主材的抗紫性能。

10 在钢板桩内部铺设时，四周应留 25cm 空隙并填充碎石后碾压密实；

11 地固件处理地基施工，严禁挖机履带与地固件直接接触，铺设完成初期，严禁铺设面长时间局部受载；临时道路施工宜铺设钢板于地固件上方。

条文说明：强制加压工艺是地固件铺设施工中非常重要的一个环节，必须严格遵守相关规定进行。在处理软弱地基时，需使用挖机的挖斗对地固件强制加压，使地固件与地基啮合成一体；铺设过程中的强制加压的补充说明如下：

1 松软粘土地基的强制加压

碾压铺设在软弱土地基上的地固件时，需要注意以下问题：基本方法是使用挖掘机的挖斗对地固件进行面载荷的按压后，使用击打夯和前后行振动夯对其做进一步的夯实。在含水率高的情况下，为了使地基坚固，应在有效应力的作用范围内加压。如果被压入地基内的地固件在挖斗离开后仍保持在压入状态，则说明

是在有效应力的范围内，进一步的加压对地基的固结是有效的；压入地基的地固件如向上回弹，则说明这时的地基有效应力超过容许范围，是孔隙水压的阻力形成的反弹，应停止碾压作业，等待孔隙水压的消散，直至出现有效应力为止（通常为 1 小时或 2 小时左右，不超过 24 小时），然后再继续加压。地固件加压施工可能需要分多次进行。应预先制定施工计划，以提高整体效率。

2 含水率高的砂质地基的强制加压

与松软的粘土地基相同，但孔隙水压的表现不同。粘土地基土颗粒间隙里的水受到挤压后水压上升。而砂质土透水系数较大，水受到挤压会立即逃逸，地固件难以获得底面锥形槽引发的孔隙水压，它的反力也很小。在处于液化状态的砂土地基上开始铺设地固件时，会比粘土地基还要软，往往地固件的压入量比较大，所以铺设后，要等来自地固件自重形成的沉降到位后（约 10 分钟左右），再使用挖机的挖斗对其强制加压。强制加压作业完成的次日后，使用前后行进平板振动夯促进排水并确认沉降状态，在此基础之上判断是否进入下一步的工序。因为砂的透水系数比粘土大、排水很快，可在短时间内获得有效应力。

3 强制加压与振动夯二次碾压

强制加压的目的是使软弱地基与地固件啮合成一体，振动夯二次碾压的目的是促进排水和提高地固件自身的刚度和抗压强度。

4 加压方法

利用挖机的强制加压，要对挖斗地固件端面充分按压；

利用振动夯（击打夯、前后行进平板振动夯）的强制碾压，PD-100/PD-150/PD-200 规格每一个构件需要辅助加压 40 秒以上；PD-45/PD-90 的规格则需要 30 秒以上；

利用轮式压路机强制加压时，要确认通过振动夯的强制加压后，地固件是否已经获得了一定的地基有效应力，然后才可在压路机轮毂的接地幅宽不低于 20cm 的条件下，在地固件上方低速往复行走碾压。

5 强制加压的判断依据

超软基施工或对承载力和沉降量有严格要求时，应通过强制加压使超静孔隙水压上升并通过排水使地基获得有效应力。不经过这个排水过程，地基会发生不均匀沉降。加压存在回弹现象时不得转入下序，一般的孔隙水压消散不超过 24H，但个别情况下，有时需要经过数日的等待或数次加压方可完成。

6.3.8 挖掘工作面的标高应根据工程标高要求与压入量之和进行设定 强制加压压入量应根据现场铺设预实验确定。

条文说明：开挖面标高的施工要参照预铺设结果并参考强制加压预压量经验值进行。预铺设的操作流程参见 6.3.6 及对应条文说明。强制加压值压入量可参考表 6.3.8。

表 6.3.8 强制加压压入量预测（经验值）^[1]

参数 地基	N 值 (标贯实测值)	含水率	预压量(cm)
超软弱地基	N<1	≥85%	20 以上
		75%~85%	10~20
软弱地基	1≤N≤2	70%~75%	10~15
		50%~70%	5~10
其他	N>2	—	5 以下

6.4 施工安全

6.4.1 地固件处理地基施工安全应符合现行国家标准《建筑施工安全技术统一规范》GB 50870 相关规定。

6.4.2 施工单位应对施工作业人员依据相关法规以及本规程规定的作业规范进行安全培训及交底，告知地固件从产品进场、制作、吊装、码放、到铺设、加压、回填及验收各环节的安全隐患，以及突发情况的应急措施。

6.4.3 应定时对施工器械及用电设备进行检查，应符合现行行业标准《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 33 的规定，当发现隐患时，应立即停止使用。

6.4.4 地固件吊装转移区域应设置标识、标志，严禁下方行人路过，码放区域严禁长时间停留。

6.4.5 应预估施工条件和季节的变化，及时调整工序计划，遇到雨、雪、大雾天气，或者风力大于 5 级时，不得进行施工作业。

6.4.6 除本规程规定外，地固件施工安全尚应符合《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 的规定。

条文说明：国家及地方的法律、法规要求保证从事作业的务工人员的安全和健康，施工方应该提供安全的作业环境。施工时要制定切实可行的规章制度。购置、安装需要的设备、确立安全施工体制，同时对员工进行安全卫生教育，定期检查现场并改善发现的问题，致力于防止发生施工中的安全事故，做好安全、卫生管理工作。

为确保施工安全性，在制定施工管理条例阶段，就要充分预测施工中有可能出现的危险，充分考虑安全卫生措施，使安全及卫生管理能够顺利实施。

主要的注意事项如下：

1 施工开始后，为保持安全的作业环境，要针对使用的机械设备制定必要的操作标准。劳动保护用品要使用有合格证的、符合劳动保护标准的、没有瑕疵的产品并要让作业人员了解并熟知使用方法。考虑公害、工程现场的形象等因素，应顾及对周边居民生活的影响。

2 在施工中，要防止高空坠落、基坑垮塌、车辆运输事故的发生。要充分考虑作业环境的整備、作业现场的整理、整顿、清扫，规定安全可行的作业方法。施工中还要对各种设备的设置环境、设备零件故障等制定必要的应对预案。作业人员应熟知并遵守现场设备设施的使用、检查、维护等规程。

3 制定紧急事态发生时的预案，建立各作业场所、相关管理部门的迅速的联络网络。发生山体异常变形、地基垮塌、异常排水、自然灾害等紧迫危险时，马上停止作业疏散作业人员。

7 质量检验

7.1 一般规定

7.1.1 地固件处理地基验收应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 及《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的规定。

7.1.2 现场检验记录、数据和图件应保持完整，并应按工程要求整理分析。

条文说明：现场记录包含图片、数据以及文件等，其中对于施工过程中图片的记录应整理保存，便于后续的查证。

7.1.3 现场检验资料应及时向有关方面报送，当检验项目接近危机工程临界值时，应增加检验数量并及时报告。

7.1.4 现场检验结束，应提交检验报告，报告中附有相关曲线和图纸，分析并提出建议。

条文说明：地固件施工的质量检验流程参见施工质量验收标准，除了满足地固件自身规定，尚应满足条文所示标准及规范要求。

7.2 检验内容及标准

7.2.1 地固件制作工序的检验项目与标准应符合表 7.2.1 的规定。

表 7.2.1 地固件制作工序的质量检验项目与标准

项次		检验项目	质量要求 (允许偏差)	检验方法	检验数量
主控项目	1	地固件袋体材料质量和规格	符合附录 C 规定 基布破损（孔洞、割伤） $\leq 2\text{cm}$	观察、量测和拉力试验	每种规格随机 1000 个取样 1 组 10 个 对于尺寸及完整性检查为全数
	2	地固件袋体缝制技术要求	符合附录 C 规定以及 GB/T 10454 规范要求	观察、量测和拉力试验	每种规格随机 1000 个取样 1 组 10 个
一般项目	1	填充料	符合设计要求	观察、量测	每一填料取样 3 个
	2	充填率	$\pm 2\%$	观察、量测	每 100 个检查 10 个，或每个施工场地铺设前、铺设中抽检 2 次，每次 10 个

7.2.2 应对地固件自身强度进行检测，且强度不应低于 5000kN，检测方法为单轴抗压试验。

条文说明：不同的地固件填充料，自身抗压强度有所区别，为保证施工过程的质量安全，应对填充后的地固件进行单轴抗压试验，检测地固件强度及填充料的变

化状态。

7.2.3 地固件铺设施工的检验项目与标准应符合表 7.2.3 的规定。

表 7.2.3 地固件铺设施工的检验项目与标准

项次		检验项目	质量要求 (允许偏差)	检验方法	检验数量
主控项目	1	地固件铺设状态	符合附录 C 规定	观察、量测	铺设的整个过程观察
	2	地基承载力	符合设计和工程要求	平板载荷试验	100 m ² 范围内不小于 2 处
一般项目	1	强制加压状态	符合附录 C 规定	观察、量测	施工过程全数
	2	标高基线	符合设计要求	观察、量测	施工前、施工中、施工后各一次
	3	地固件间隙回填	符合设计要求	观察、量测	施工整个区域
	4	密实度	符合附录 C 规定	观察、重锤试验	100 m ² 范围选取不少于 3 处

7.2.4 地固件施工,地基承载力检验应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的相关规定执行;对于地固件处理道路软弱地基施工检验,尚应符合现行国家标准《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1。

条文说明:地固件处理地基承载力的检验,按照条文所示标准规范进行,检测位置如下所示:承压板直径可取 30cm,位置取地固件四角搭接处,对缝搭接处,单个地固件中心,若地固件上有褥垫层,则在褥垫层上进行,平板载荷试验的

位置参见下图 7.2.4-1、7.2.4-2、7.2.4-3、7.2.4-4。

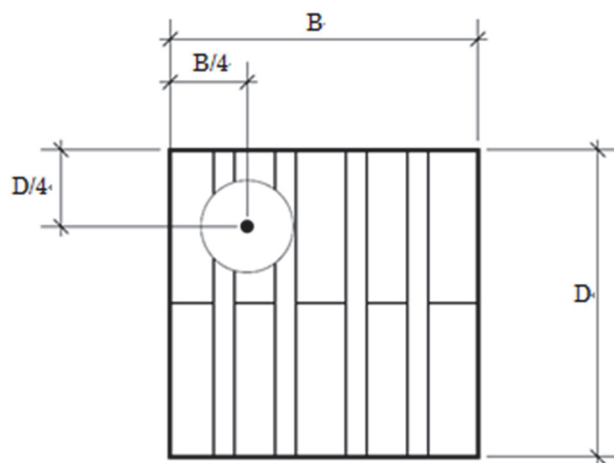


图 7.2.4-1 地固件平板载荷试验位置

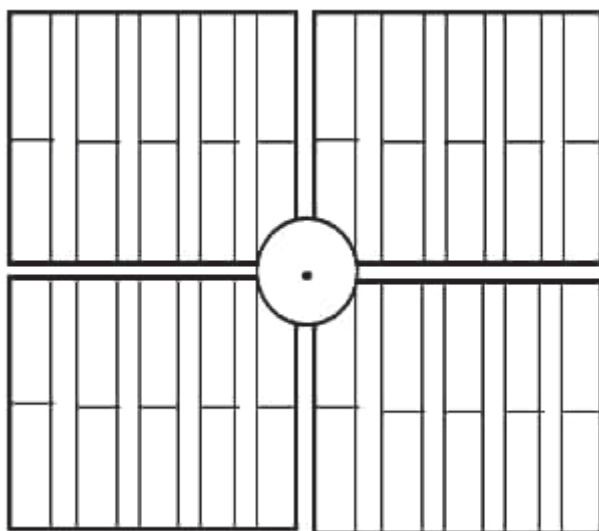


图 7.2.4-2 地固件平板载荷试验位置(地固件四角搭接处)

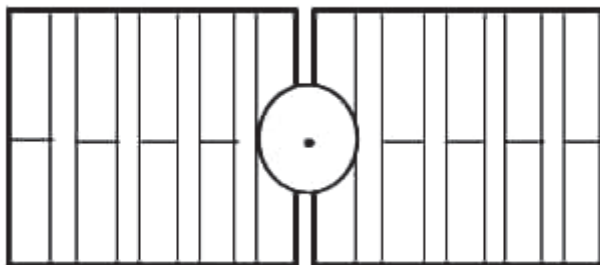


图 7.2.4-3 地固件平板载荷试验位置（地固件边长对缝处）

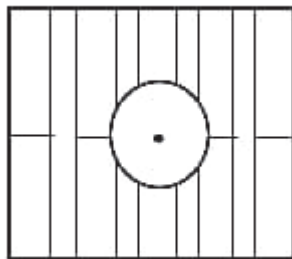


图 7.2.4-4 地固件平板载荷试验位置（单个地固件中心处）

7.2.5 固体废弃物装填后的相关检验内容及质量要求如下：

1 对于部分废弃填充物需要保持密闭不透水时，应对地固件的不透水性进行检测，采用随机抽样方式进行，尚应满足处理防渗工程要求；

2 检测填置 90 天后的地固件自身强度、污染废弃物的泄露情况，应按照当地及国家环境保护标准检测周围土体的环境安全指标。

7.2.6 检验施工场地的环境，应符合现行国家标准《建设工程施工现场环境与卫生标准》JGJ 146 的相关规定。

8 监测

8.1 一般规定

8.1.1 地固件处理软弱地基工程和固体废弃物工程时，应根据工程要求及设计方案按照相关国家及地方标准规范进行监测。

8.1.2 监测内容及周期应根据工程情况及业主综合考量，并保存监测记录。

8.2 监测项目

8.2.1 大面积填方、填海等地基处理工程，应对地面沉降进行长期监测，应符合现行行业规范《地面沉降水准测量规范》DZ/T 0154 规定。

条文说明：不少工程事故归因于监控流程不畅，故必须对监控流程合理设计并把控。地固件处理地基施工过程中，沉降变形监测应采用相应的精准仪器测量，根据现场要求选取测点。

8.2.2 地固件处理地基施工过程中，长期沉降监测可采用精密水准仪施测，分层沉降可选择分层沉降仪施测，测量误差不大于 0.1%FS，精度不低于 0.01mm。

8.2.3 路基施工过程中，应对地固件施工区域进行测斜监测，根据工程状况设置测斜深度，巡视观测地固件整体变化情况。

条文说明：应根据施工进度、判断周边环境监测指标是否合理。常有路基侧斜、下沉、地基破坏等工程事故发生，必须合理分析、监测数据，监测时应记录施工、周边环境变化等情况。

8.2.4 长期监测工程初期，沉降观测时间间隔为 1~2 天。

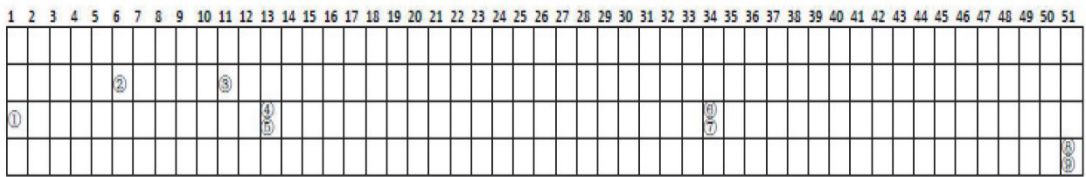
条文说明：沉降监测时间及结果处理如下案例所示：

案例资料参见条文 3.0.2 的条文说明，地固件铺设从 2017 年 11 月 11 日至 18 日，提前两天完成。11 月 19 日由日方完成地固件承载力 CBR 检测。沉降与孔隙水压力监测从 11 月 19 日开始，至 2018 年 4 月 24 日结束，共计完成监测次数为 11 次。

通过检测与监测数据，以及用户实际体验反映，本次地固件临时道路满足用户使用要求，即使在水位升高淹没地固件时也不影响其使用效果，本次最大重载为混凝土运输车，满载重量为 378KN，也满足设计要求。

1 CBR 检测地固件承载力：

现场对地固件承载力测试后，平均承载力为 242.32KPa，远高于工程要求的特征值 80KPa。



检测点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	平均值
承载力 (kPa)	225	252	253	227	233	292	281	211	219	216	251	241
备注	10、11 号检测点为 8、9 号检测点的复测值											

2 沉降观测：

本次最大累计沉降量为 80mm，最小沉降量基本为 0。钢板铺设工作是在地固件完成后第 75 天完成，重载使用是在第 104 天开始，直到第 160 天停止使用。下图为监测点布置图，编号规则为铺设地固件的“列号-行号”。沉降观测结果如图 D.0.1-4 所示。

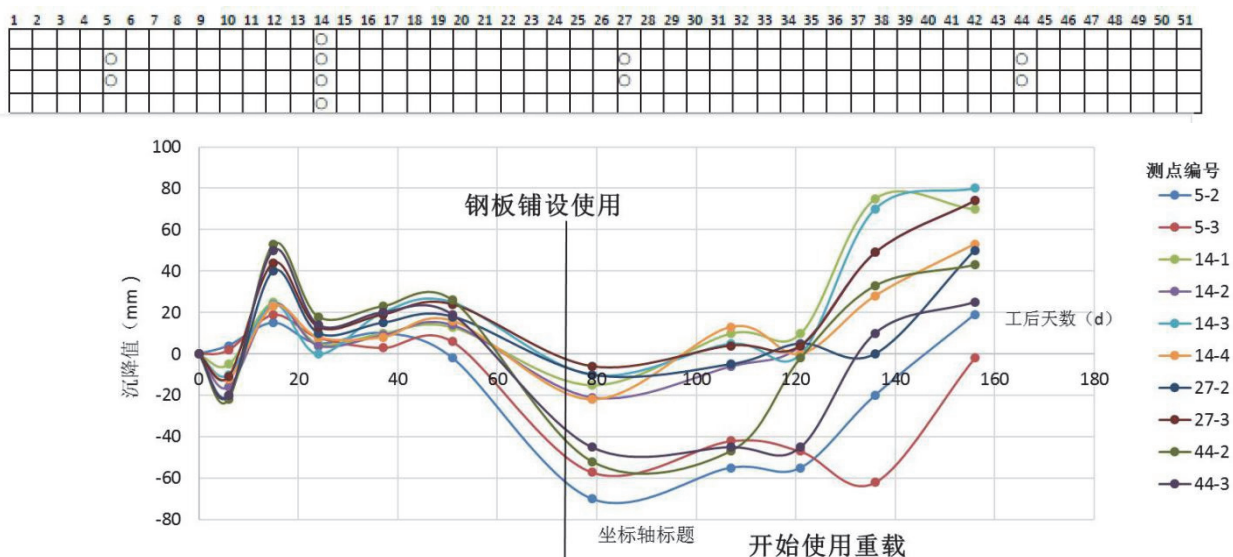


图 8.2.4-1 地固件沉降观测结果

8.2.5 长期监测工程后期观测，沉降观测时间间隔可分为 7 天、15 天、30 天、3 个月、一年，当连续观测沉降量很小，两次数值接近达到稳定标准时，可延长监测周期。

8.2.6 建筑地基沉降监测各观测点的标识、标志，应按《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定执行。

8.2.7 沉降速度出现异常或沉降量过大时，应缩短观测周期，并提前准备好加固方案。

8.2.8 地固件路基施工时，监控过程应按现行国家标准《软土地基路基监控标准》GB/T 51275 规定执行。

8.2.9 施工过程孔隙水压力的监测，应符合现行协会标准《孔隙水压力测试规程》CECS 55 的规定。

条文说明：孔压观测的数据处理如下案例所示，案例资料参见条文 3.0.2 的条文说明，本次共布设两组超静孔隙水压力监测点，总体上离地固件底面近的孔压消散快，外部载荷对地基土中孔压影响不大。下图为监测点布置图，编号规则为铺

设地固件的“列号-行号”。超孔压观测结果如图 8.2.9-1 所示。

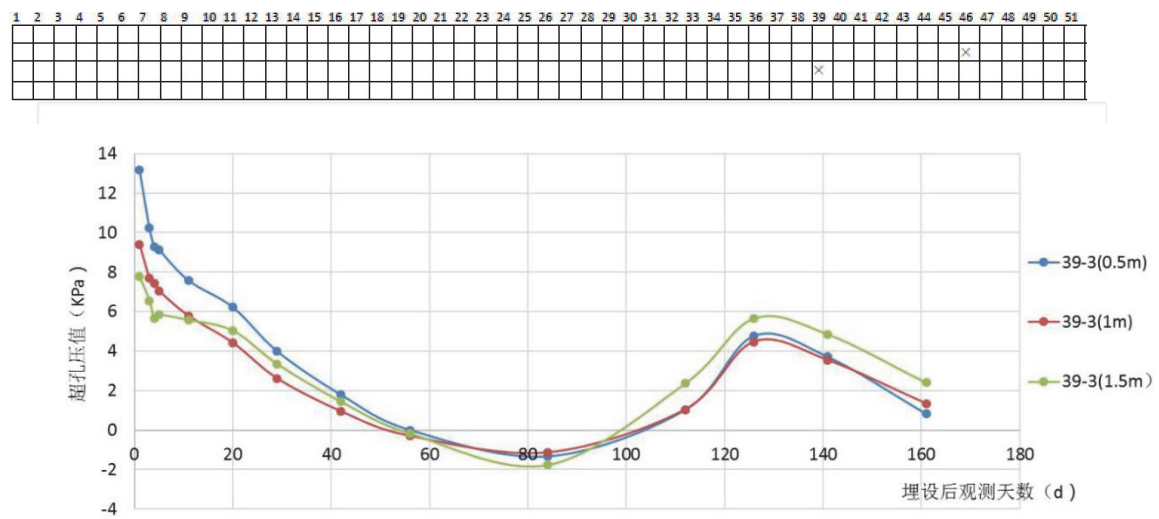


图 8.2.9-1 地固件 39-3 超孔压观测

8.2.10 地固件对固体废弃物的处理监测应包含以下内容：

- 1 地固件自身的完整性，破损的地固件应及时处理；
- 2 填置场地周围环境的安全指标，按照环境及土壤污染相关规范标准。

8.2.11 地固件处理固体废弃物时，采用动态周期性监测，监测周期应为 7 天、15 天、30 天、1 年、3 年，后续每 3 年观测一次，直至达到工程要求期限。

附录 A 施工所用设备、材料清单

A.0.1 地固件所需施工（台班）设备清单如下,具体数量要求根据施工范围确定。

（现场用）

表 A.0.1 台班施工所需设备、材料清单^[1]

名称	数量	单位	备注
挖掘机		台	装填、铺设地固件
轻卡		台	转运地固件
吊秤		台	检测地固件装填重量
钢丝绳		条	吊钢板；吊地固件
技术员、司机、操作工		人	参考施工定额安排
水准仪		台	测量放线
全站仪		台	测量放线
平板载荷试验设备或便携式地基承载力测量仪		台	承载力检测
挂钩		个	吊钢板；吊地固件
压路机		辆	碾压地固件
振动夯		台	碾压地固件
钢板		张	临时道路代替褥垫层
石子		吨	找平、填充缝隙
锄头、铁锹		把	装填地固件
钢板、角铁或木板、方木			加工装填型腔
钢管		根	装填地固件（ $\geq 2\text{m}$ ）
白灰、线绳			放线

附录 B 参考定额

B.0.1 地基处理时，施工定额参考详见文献[1]。

B.0.2 施工效率

施工条件	N 值	名称	施工数量		备注
标准施工	$N > 2$	PD100	$100 m^2$	100 袋	批量化施工尽量利用机械工具提高效率
		PD150	$150 m^2$	65 袋	
软基施工	$2 \geq N > 1$	PD100	$90 m^2$	90 袋	同上
		PD150	$112.5 m^2$	50 袋	
超软基施工	$0 \leq N \leq 1$	PD100	$90 m^2$	90 袋	同上 (含水率高，行走困难的地基)
		PD150	$90 m^2$	40 袋	
小规模施工	$N \geq 1$	PD100	80m ² 以下	80 袋以下	人工施工的效率 和成本会较低
		PD150	45m ² 以下	20 袋以下	

B.0.3 施工设备

设备名	规格	单位	数量
挖掘机 (履带式)	满斗 $0.28 m^3$ (平斗 $0.20 m^3$), 1.7t 吊起	台	1
	满斗 $0.45 m^3$ (平斗 $0.35 m^3$), 2.9t 吊起	台	1
	满斗 $0.50 m^3$ (平斗 $0.40 m^3$), 2.9t 吊起	台	1
	满斗 $0.80 m^3$ (平斗 $0.60 m^3$), 2.9t 吊起	台	1
轻卡	4t 装载	台	1

振动夯	重量 60~80kg （击打式）	台	1
※PD100 的体积为 0.28m^3 以下，制作、铺设均可使用 0.45m^3 以下的挖掘机。 ※PD150 的体积为 0.45m^3 以下，制作、铺设均可使用 0.45m^3 以上的挖掘机。			

B.0.4 标准施工定额

1 PD-100 制作（每 100m^2 ）

项目	规格	单位	数量	备注
地固件	PD-100	个	100	
填充材料	级配碎石或再生碎石 （粒径 $\leq 40\text{mm}$ ）	m^3	25	
现场项目经理		人	1	装填管理
技工		人	1	操作
普工		人	1	辅助
专用型腔	1.0m^2 / 个	m^2	3	3 个
作业挖机	满斗 0.28m^3 （平斗 0.20m^3 ）、 1.7t 吊重	日	1	装填

2 PD-100 铺设（每 100m^2 ）

项目	规格	单位	数量	备注
项目经理		人	0.5	监理、操作
技工		人	0.5	操作
普工		人	0.5	辅助作业
作业挖机	满斗 0.45m^3 （平斗 0.35m^3 ）、 2.9t 吊重	日	0.5	铺设、强制加压
轻卡	4t	日	0.25	运输短倒
振动夯	重量 60~80kg（击打式）	日	0.25	二次加压
填充碎石	级配碎石或再生碎石 （粒径 $\leq 40\text{mm}$ ）	m^3	若干	填充地固件之间的缝隙
透水辅助土工布	拉伸强度 $\geq 1850\text{N}/5\text{cm}$	m^2	100	防止淤泥上翻

透水加固土工布	拉伸强度 $\geq 1850\text{N}/5\text{cm}$	m^2	10	地固件縫隙补强
---------	-------------------------------------	-------	----	---------

3 PD-150 制作（每 $150m^2$ ）

项目	规格	单位	数量	备注
地固件	PD-150	个	65	
填充材料	级配碎石或再生碎石 (粒径 $\leq 40\text{mm}$)	m^3	65.81	
现场项目经理		人	1	填充管理
技工		人	1	操作
普工		人	1	辅助
专用型腔	$2.7m^2$ / 台	m^2	5.40	2 个
挖机作业	满斗 $0.45m^3$ （平斗 $0.35m^3$ ）、 2.9t 吊重	日	1	装填

4 PD150 铺设（每 $150m^2$ ）

项目	规格	单位	数量	备注
项目经理		人	0.50	监理、操作
技工		人	0.50	操作
普工		人	0.50	辅助
挖机作业	满斗 $0.45m^3$ （平斗 $0.35m^3$ ）、 2.9t 吊重	日	0.50	铺设、强制 加压
轻卡	4t	日	0.25	运输
振动夯	重量 60~80kg（击打式）	日	0.25	二次加压
填充碎石	级配碎石或再生碎石 (粒径 $\leq 40\text{mm}$)	m^3	若干	填充地固件 之间的縫隙
透水辅助土工布	拉伸强度 $\geq 1850\text{N}/5\text{cm}$	m^2	150	防止淤泥土 翻
透水加固土工布	拉伸强度 $\geq 1850\text{N}/5\text{cm}$	m^2	15	地固件縫隙 补强

附录 C 地固件施工质量检测标准

项目	序号	检查项目		允许值或允许偏差		检查方法	
				单位	数值		
主控项目	1	铺设位置	平面位置偏差（宽、长方向）		cm	≤2	全站仪、钢卷尺
			铺设高度偏差		-	以强制加压到位为优先标准	在强制加压到位的原则下，铺设高度误差通过找平碎石调整
	2	地固件基布	拉伸强度（小型）		N/5cm	≥800	拉伸试验
			拉伸强度（大型）		N/5cm	≥1850	拉伸试验
			延伸率		%	≤18	拉伸试验
			密度（小型）		根/5cm	10	目视
			密度（大型）		根/5cm	28~30	目视
			耐候性		%	≥80	300h 耐候性实验
	3	地固件吊带	拉伸强度（宽 7cm）		N	≥16000	拉伸试验
			拉伸强度(宽 10cm)		N	≥27000	拉伸试验
			延伸率		%	≤28	拉伸试验
			克重（宽 7cm）		g/m	50	称重
			克重（宽 10cm）		g/m	70	称重
			耐候性		%	≥80	300h 耐候性实验
	4	粘扣	扣合力		N/cm²	≥9.0	试验机
			撕揭力		N/cm	≥1.9	试验机
	5	地固件缝制技术要求	基布-基布接缝强度		N/5cm	≥基布强度 42%	试验机
			吊带-吊带接缝强度	宽 7cm	N	≥2800	试验机
				宽 10cm	N	≥4000	试验机
	6	地固件强度			kN	5000	单轴压力试验

	7	地固件处理地基承载力			不小于设计值		平板载荷试验
一般项目	1	地固件	填充材料有机质含量		%	≤4	灼烧减量
			密实度		%	≥94	重锤实验
			外观尺寸	PD-45, 90	cm	边长±1.5, 高度±1	钢尺
				PD-100, 150, 200	%	边长≤2, 高度≤3	
	2	工艺性铺设预压试验			cm	≤0.5	最终两次强制加压的沉降差
	3	地固件 单层铺设	缝隙间距		cm	≤2	钢尺
			缝隙处理		填充、密实		碎石、砂土回填
	4	强制加压			cm	最终相邻两次加压前后沉降差≤0.5	用钢尺量或检测仪
	5	错缝位置			L	1/2	直尺
	6	找平后表面平整度			cm	≤0.5	2m 靠尺
7	沉降变形监测设置			依据《地面沉降调查与监测规范》（DZ/T0283）设置			
检测频率	1	地固件制作			地固件产品检测为每种规格随机 1000 个取样 1 组 10 个，按照检测相关标准进行检测验收。		
	2	地固件填充			地固件填充密实度检测为随机抽样，每 100 个检查 10 个，或每个施工场地铺设前、铺设中抽检 2 次，每次 10 个。		
	3	地固件铺设			循环检测，根据铺设进度每隔 30min 进行检		

			测一次，观察铺设的状态及地固件自身的沉降变形状况。
	4	回填	过程回填检查巡视，填充时和碾压后各检测一次，铺设完毕，最终检测一次。

本规程用词说明

1 为了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，在条件许可时首先这样做的词：

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 规程中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为：“应按……执行”或“应符合……规定”。

引用标准名录

《集装袋》GB/T 10454

《塑料耐液体化学试剂性能的测定》GB/T 11547

《土工布透水性测定方法》GB/T 15789

《塑料实验室光源暴露方法》GB/T 16422

《纺织品重金属的测定》GB/T 17593

《建筑地基基础设计规范》GB 50007

《岩土工程勘察规范》GB 50021

《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202

《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300

《建筑施工安全技术统一规范》GB 50870

《软土地基路基监控标准》GB/T 51275

《载重汽车轮胎》GB 9744

《地面沉降水准测量规范》DZ/T 0154

《城镇道路工程施工与质量验收规范》CJJ 1

《建筑变形测量规范》JGJ 8

《建筑地基处理技术规范》JGJ 79

《建设工程施工现场环境与卫生标准》JGJ 146

《孔隙水压力测试规程》CECS 55