

前 言

本规范是根据住房和城乡建设部《关于印发〈2009 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标〔2009〕88 号)的要求,由浙江大学和浙江中南建设集团有限公司会同有关单位共同编制完成的。

本规范在编制过程中,编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国内外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,最后经审查定稿。

本规范共分 17 章和 1 个附录。主要技术内容是:总则、术语和符号、基本规定、复合地基勘察要点、复合地基计算、深层搅拌桩复合地基、高压旋喷桩复合地基、灰土挤密桩复合地基、夯实水泥土桩复合地基、石灰桩复合地基、挤密砂石桩复合地基、置换砂石桩复合地基、强夯置换墩复合地基、刚性桩复合地基、长-短桩复合地基、桩网复合地基、复合地基监测与检测要点等。

本规范由住房和城乡建设部负责管理,由浙江大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送浙江大学《复合地基技术规范》管理组(地址:杭州余杭塘路 388 号浙江大学紫金港校区安中大楼 B416 室,邮政编码:310058),以供今后修订时参考。

本规范主编单位:浙江大学

浙江中南建设集团有限公司

本规范参编单位:同济大学

天津大学

长安大学

太原理工大学

湖南大学
福建省建筑科学研究院
中国铁道科学研究院深圳研究设计院
浙江省建筑设计研究院
中国水电顾问集团华东勘察设计研究院
广厦建设集团有限责任公司
中国铁建港航局集团有限公司
甘肃土木工程科学研究院
吉林省建筑设计院有限责任公司
湖北省建筑科学研究设计院
中国兵器工业北方勘察设计研究院
武汉谦诚建设集团有限公司
浙江省东阳第三建筑工程有限公司
现代建筑设计集团上海申元岩土工程
有限公司
河北省建筑科学研究院

本规范主要起草人员: 龚晓南 水伟厚 王长科 王占雷
白纯真 叶观宝 刘国楠 刘吉福
刘世明 刘兴旺 刘志宏 陈昌富
陈振建 陈磊 李斌 张雪婵
林炎飞 郑刚 周建 郭泽猛
施祖元 袁内镇 章建松 葛忻声
童林明 谢永利 滕文川

本规范主要审查人员: 张苏民 张雁 钱力航 刘松玉
汪稔 张建民 陆新 陆耀忠
周质炎 高玉峰 倪士坎 徐一骐

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(4)
3	基本规定	(8)
4	复合地基勘察要点	(10)
5	复合地基计算	(12)
5.1	荷载计算	(12)
5.2	承载力计算	(13)
5.3	沉降计算	(16)
5.4	稳定分析	(19)
6	深层搅拌桩复合地基	(20)
6.1	一般规定	(20)
6.2	设计	(20)
6.3	施工	(22)
6.4	质量检验	(24)
7	高压旋喷桩复合地基	(25)
7.1	一般规定	(25)
7.2	设计	(25)
7.3	施工	(26)
7.4	质量检验	(26)
8	灰土挤密桩复合地基	(28)
8.1	一般规定	(28)
8.2	设计	(28)

8.3	施工	(30)
8.4	质量检验	(30)
9	夯实水泥土桩复合地基	(32)
9.1	一般规定	(32)
9.2	设计	(32)
9.3	施工	(33)
9.4	质量检验	(34)
10	石灰桩复合地基	(36)
10.1	一般规定	(36)
10.2	设计	(37)
10.3	施工	(38)
10.4	质量检验	(39)
11	挤密砂石桩复合地基	(40)
11.1	一般规定	(40)
11.2	设计	(40)
11.3	施工	(43)
11.4	质量检验	(44)
12	置换砂石桩复合地基	(45)
12.1	一般规定	(45)
12.2	设计	(45)
12.3	施工	(46)
12.4	质量检验	(47)
13	强夯置换墩复合地基	(48)
13.1	一般规定	(48)
13.2	设计	(48)
13.3	施工	(51)
13.4	质量检验	(52)
14	刚性桩复合地基	(54)
14.1	一般规定	(54)

14.2	设计	(54)
14.3	施工	(56)
14.4	质量检验	(57)
15	长-短桩复合地基	(58)
15.1	一般规定	(58)
15.2	设计	(58)
15.3	施工	(59)
15.4	质量检验	(59)
16	桩网复合地基	(61)
16.1	一般规定	(61)
16.2	设计	(61)
16.3	施工	(65)
16.4	质量检验	(66)
17	复合地基监测与检测要点	(68)
17.1	一般规定	(68)
17.2	监测	(68)
17.3	检测	(69)
附录 A	竖向抗压载荷试验要点	(71)
	本规范用词说明	(75)
	引用标准名录	(76)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(4)
3	Basic requirement	(8)
4	Geological exploration of composite foundation	(10)
5	Calculation of composite foundation	(12)
5.1	Load	(12)
5.2	Bearing capacity	(13)
5.3	Settlement	(16)
5.4	Stability analysis	(19)
6	Deep mixing column composite foundation	(20)
6.1	General requirement	(20)
6.2	Design	(20)
6.3	Construction	(22)
6.4	Inspection	(24)
7	Jet grouting column composite foundation	(25)
7.1	General requirement	(25)
7.2	Design	(25)
7.3	Construction	(26)
7.4	Inspection	(26)
8	Compacted lime-soil column composite foundation	(28)
8.1	General requirement	(28)

8.2	Design	(28)
8.3	Construction	(30)
8.4	Inspection	(30)
9	Compacted cement-soil column composite foundation	(32)
9.1	General requirement	(32)
9.2	Design	(32)
9.3	Construction	(33)
9.4	Inspection	(34)
10	Lime column composite foundation	(36)
10.1	General requirement	(36)
10.2	Design	(37)
10.3	Construction	(38)
10.4	Inspection	(39)
11	Compacted stone column composite foundation	(40)
11.1	General requirement	(40)
11.2	Design	(40)
11.3	Construction	(43)
11.4	Inspection	(44)
12	Replaced stone column composite foundation	(45)
12.1	General requirement	(45)
12.2	Design	(45)
12.3	Construction	(46)
12.4	Inspection	(47)
13	Dynamic-replaced stone column composite foundation	(48)
13.1	General requirement	(48)
13.2	Design	(48)
13.3	Construction	(51)

13.4	Inspection	(52)
14	Rigid pile composite foundation	(54)
14.1	General requirement	(54)
14.2	Design	(54)
14.3	Construction	(56)
14.4	Inspection	(57)
15	Long and short pile composite foundation	(58)
15.1	General requirement	(58)
15.2	Design	(58)
15.3	Construction	(59)
15.4	Inspection	(59)
16	Pile-reinforced earth composite foundation	(61)
16.1	General requirement	(61)
16.2	Design	(61)
16.3	Construction	(65)
16.4	Inspection	(66)
17	Key points of monitoring and testing	(68)
17.1	General requirement	(68)
17.2	Monitoring	(68)
17.3	Testing	(69)
Appendix A	Plate loading test of composite foundation	(71)
	Explanation of wording in this code	(75)
	List of quoted standard	(76)

1 总 则

1.0.1 为在复合地基设计、施工和质量检验中贯彻国家的技术经济政策,做到保证质量、保护环境、节约能源、安全适用、经济合理和技术先进,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于复合地基的设计、施工及质量检验。

1.0.3 复合地基的设计、施工及质量检验,应综合分析场地工程地质和水文地质条件、上部结构和基础形式、荷载特征、施工工艺、检验方法和环境条件等影响因素,注重概念设计,遵循因地制宜、就地取材、保护和节约资源的原则。

1.0.4 复合地基的设计、施工及质量检验,除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 复合地基 composite foundation

天然地基在地基处理过程中,部分土体得到增强,或被置换,或在天然地基中设置加筋体,由天然地基土体和增强体两部分组成共同承担荷载的人工地基。

2.1.2 桩体复合地基 pile composite foundation

以桩作为地基中的竖向增强体并与地基土共同承担荷载的人工地基,又称竖向增强体复合地基。根据桩体材料特性的不同,可分为散体材料桩复合地基、柔性桩复合地基和刚性桩复合地基。

2.1.3 散体材料桩复合地基 granular column composite foundation

以砂桩、砂石桩和碎石桩等散体材料桩作为竖向增强体的复合地基。

2.1.4 柔性桩复合地基 flexible pile composite foundation

以柔性桩作为竖向增强体的复合地基。如水泥土桩、灰土桩和石灰桩等。

2.1.5 刚性桩复合地基 rigid pile composite foundation

以摩擦型刚性桩作为竖向增强体的复合地基。如钢筋混凝土桩、素混凝土桩、预应力管桩、大直径薄壁筒桩、水泥粉煤灰碎石桩(CFG桩)、二灰混凝土桩和钢管桩等。

2.1.6 深层搅拌桩复合地基 deep mixing column composite foundation

以深层搅拌桩作为竖向增强体的复合地基。

2.1.7 高压旋喷桩复合地基 jet grouting column composite

foundation

以高压旋喷桩作为竖向增强体的复合地基。

2.1.8 夯实水泥土桩复合地基 compacted cement-soil column composite foundation

将水泥和素土按一定比例拌和均匀,夯填到桩孔内形成具有一定强度的夯实水泥土桩,由夯实水泥土桩和被挤密的桩间土形成的复合地基。

2.1.9 灰土挤密桩复合地基 compacted lime-soil column composite foundation

由填夯形成的灰土桩和被挤密的桩间土形成的复合地基。

2.1.10 石灰桩复合地基 lime column composite foundation

以生石灰为主要黏结材料形成的石灰桩作为竖向增强体的复合地基。

2.1.11 挤密砂石桩复合地基 compacted stone column composite foundation

采用振冲法或振动沉管法等工法在地基中设置砂石桩,在成桩过程中桩间土被挤密或振密。由砂石桩和被挤密的桩间土形成的复合地基。

2.1.12 置换砂石桩复合地基 replaced stone column composite foundation

采用振冲法或振动沉管法等工法在饱和黏性土地基中设置砂石桩,在成桩过程中只有置换作用,桩间土未被挤密或振密。由砂石桩和桩间土形成的复合地基。

2.1.13 强夯置换墩复合地基 dynamic-replaced stone column composite foundation

将重锤提到高处使其自由下落形成夯坑,并不断向夯坑回填碎石等坚硬粗粒料,在地基中形成密实置换墩体。由墩体和墩间土形成的复合地基。

2.1.14 混凝土桩复合地基 concrete pile composite foundation

以摩擦型混凝土桩作为竖向增强体的复合地基。

2.1.15 钢筋混凝土桩复合地基 reinforced-concrete pile composite foundation

以摩擦型钢筋混凝土桩作为竖向增强体的复合地基。

2.1.16 长-短桩复合地基 long and short pile composite foundation

以长桩和短桩共同作为竖向增强体的复合地基。

2.1.17 桩网复合地基 pile-reinforced earth composite foundation

在刚性桩复合地基上铺设加筋垫层形成的人工地基。

2.1.18 复合地基置换率 replacement ratio of composite foundation

复合地基中桩体的横截面积与该桩体所承担的复合地基面积的比值。

2.1.19 荷载分担比 load distribution ratio

复合地基中桩体承担的荷载与桩间土承担的荷载的比值。

2.1.20 桩土应力比 stress ratio of pile to soil

复合地基中桩体上的平均竖向应力和桩间土上的平均竖向应力的比值。

2.2 符 号

2.2.1 几何参数：

a ——桩帽边长；

A ——单桩承担的地基处理面积；

A_p ——单桩(墩)截面积；

D ——基础埋置深度；

d ——桩(墩)体直径；

d_e ——单根桩分担的地基处理面积的等效圆直径；

h ——复合地基加固区的深度；

h_1 ——垫层厚度；
 h_2 ——垫层之上最小设计填土厚度；
 l ——桩长；
 l_i ——第 i 层土的厚度；
 m ——复合地基置换率；
 S ——桩间距；
 u_p ——桩(墩)的截面周长。

2.2.2 作用和作用效应：

E ——强夯置换法的单击夯击能；
 p_{cz} ——软弱下卧层顶面处地基土的自重压力值；
 p_k ——相应于荷载效应标准组合时，作用在复合地基上的平均压力值；
 p_{kmax} ——相应于荷载效应标准组合时，作用在基础底面边缘处复合地基上的最大压力值；
 p_z ——荷载效应标准组合时，软弱下卧层顶面处的附加压力值；
 Δp_i ——第 i 层土的平均附加应力增量；
 Q ——刚性桩桩顶附加荷载；
 Q_n^s ——桩侧负摩阻力引起的下拉荷载标准值；
 s ——复合地基沉降量；
 s_1 ——复合地基加固区复合土层压缩变形量；
 s_2 ——加固区下卧土层压缩变形量；
 T_t ——荷载效应标准组合时最危险滑动面上的总剪切力；
 T_s ——最危险滑动面上的总抗剪切力。

2.2.3 抗力和材料性能：

c_u ——饱和黏性土不排水抗剪强度；
 D_{r1} ——地基挤密后要求砂土达到的相对密度；
 E_p ——桩体压缩模量；
 E_s ——桩间土压缩模量；

- \bar{E}_s ——地基变形计算深度范围内土的压缩模量当量值；
- E_{sp} ——复合地基压缩模量；
- e_0 ——地基处理前土体的孔隙比；
- e_1 ——地基挤密后要求达到的孔隙比；
- e_{max} ——砂土的最大孔隙比；
- e_{min} ——砂土的最小孔隙比；
- f_a ——复合地基经深度修正后的承载力特征值；
- 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} ——桩体抗压强度平均值；
- f_{sk} ——桩间土地基承载力特征值；
- f_{spk} ——复合地基承载力特征值；
- I_p ——塑性指数；
- q_p ——桩(墩)端土地基承载力特征值；
- q_{si} ——第 i 层土的桩(墩)侧摩阻力特征值；
- R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值；
- T ——加筋体抗拉强度设计值；
- σ_{ru} ——桩周土所能提供的最大侧限力；
- φ ——填土的摩擦角,黏性土取综合摩擦角；
- γ_{cm} ——桩帽之上填土的平均重度；
- γ_d ——土的干重度；
- γ_{dmax} ——击实试验确定的最大干重度；
- γ_m ——基础底面以上土的加权平均重度；
- γ_s ——桩间土体重度；
- γ_{sp} ——加固土层重度。

2.2.4 计算系数：

- A_i ——第 i 层土附加应力系数沿土层厚度的积分值；
- K ——安全系数；
- K_p ——被动土压力系数；

- k_p ——复合地基中桩体实际竖向抗压承载力的修正系数；
- k_s ——复合地基中桩间土地基实际承载力的修正系数；
- n ——桩土应力比；
- λ_p ——桩体竖向抗压承载力发挥系数；
- λ_s ——桩间土地基承载力发挥系数；
- α ——桩端土地基承载力折减系数；
- β_p ——桩体竖向抗压承载力修正系数；
- β_s ——桩间土地基承载力修正系数；
- ψ_p ——刚性桩桩体压缩经验系数；
- ψ_s ——沉降计算经验系数；
- ψ_{s1} ——复合地基加固区复合土层压缩变形量计算经验系数；
- ψ_{s2} ——复合地基加固区下卧土层压缩变形量计算经验系数；
- ξ ——挤密砂石桩桩间距修正系数；
- η ——桩体强度折减系数；
- λ_c ——挤密桩孔底填料压实系数。

3 基本规定

3.0.1 复合地基设计前,应具备岩土工程勘察、上部结构及基础设计和场地环境等有关资料。

3.0.2 复合地基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条件、工期、地区经验和环境保护要求等,提出技术上可行的方案,经过技术经济比较,选用合理的复合地基形式。

3.0.3 复合地基设计应进行承载力和沉降计算,其中用于填土路堤和柔性面层堆场等工程的复合地基除应进行承载力和沉降计算外,尚应进行稳定分析;对位于坡地、岸边的复合地基均应进行稳定分析。

3.0.4 在复合地基设计中,应根据各类复合地基的荷载传递特性,保证复合地基中桩体和桩间土在荷载作用下能够共同承担荷载。

3.0.5 复合地基中由桩周土和桩端土提供的单桩竖向承载力和桩身承载力,均应符合设计要求。

3.0.6 复合地基应按上部结构、基础和地基共同作用的原理进行设计。

3.0.7 复合地基设计应符合下列规定:

1 宜根据建筑物的结构类型、荷载大小及使用要求,结合工程地质和水文地质条件、基础形式、施工条件、工期要求及环境条件进行综合分析,并进行技术经济比较,选用一种或几种可行的复合地基方案。

2 对大型和重要工程,应对已选用的复合地基方案,在有代表性的场地上进行相应的现场试验或试验性施工,并应检验设计参数和处理效果,通过分析比较选择和优化设计方案。

3 在施工过程中应进行监测,当监测结果未达到设计要求

时,应及时查明原因,并应修改设计或采用其他必要措施。

3.0.8 对工后沉降控制较严的复合地基应按沉降控制的原则进行设计。

3.0.9 复合地基上宜设置垫层。垫层设置范围、厚度和垫层材料,应根据复合地基的形式、桩土相对刚度和工程地质条件等因素确定。

3.0.10 复合地基应保证安全施工,施工中应重视环境效应,并应遵循信息化施工原则。

3.0.11 复合地基勘察和设计中应评价及处理场地中水、土等对所用钢材、混凝土和土工合成材料等的腐蚀性。

住房城乡建设部信息中心
浏览专用

4 复合地基勘察要点

4.0.1 对根据初步勘察或附近场地地质资料和地基处理经验初步确定采用复合地基处理方案的场地,进一步勘察前应搜集附近场地的地质资料及地基处理经验,并结合工程特点和设计要求,明确勘察任务和重点。

4.0.2 控制性勘探孔的深度应满足复合地基沉降计算的要求;需验算地基稳定性时,勘探孔布置和勘察孔深度应满足稳定性验算的需要。

4.0.3 拟采用复合地基的场地,其岩土工程勘察应包括下列内容:

1 查明场地地形、地貌和周边环境,并评价地基处理对附近建(构)筑物、管线等的影响。

2 查明勘探深度内土的种类、成因类型、沉积时代及土层空间分布。

3 查明大粒径块石、地下洞穴、植物残体、管线、障碍物等可能影响复合地基中增强体施工的因素,对地基处理工程有影响的多层含水层应分层测定其水位,软弱黏性土层宜根据地区土质,查明其灵敏度。

4 应查明拟采用的复合地基中增强体的侧摩阻力、端阻力及土的压缩曲线和压缩模量,对柔性桩(墩)应查明未经修正的桩端土地基承载力。对软黏土地基应查明土体的固结系数。

5 对需要进行稳定分析的复合地基应查明黏性土层土体的抗剪强度指标以及土体不排水抗剪强度。

6 复合地基中增强体施工对加固区土体挤密或扰动程度较高时,宜测定增强体施工后加固区土体的压缩性指标和抗剪强度指标。

7 路堤、堤坝、堆场工程的复合地基应查明填料或堆料的种类、重度、直接快剪强度指标等。

8 应根据拟采用复合地基中增强体类型按表 4.0.3 的要求查明地质参数。

表 4.0.3 不同增强体类型需查明的参数

序号	增强体类型	需查明的参数
1	深层搅拌桩	含水量, pH 值, 有机质含量, 地下水和土的腐蚀性, 黏性土的塑性指数和超固结度
2	高压旋喷桩	pH 值, 有机质含量, 地下水和土的腐蚀性, 黏性土的超固结度
3	灰土挤密桩	地下水位, 含水量, 饱和度, 干密度, 最大干密度, 最优含水量, 湿陷性黄土的湿陷性类别、(自重)湿陷系数、湿陷起始压力及场地湿陷性评价, 其他湿陷性土的湿陷程度、地基的湿陷等级
4	夯实水泥土桩	地下水位, 含水量, pH 值, 有机质含量, 地下水和土的腐蚀性, 用于湿陷性地基时参考灰土挤密桩
5	石灰桩	地下水位, 含水量, 塑性指数
6	挤密砂石桩	砂土、粉土的黏粒含量, 液化评价, 天然孔隙比, 最大孔隙比, 最小孔隙比, 标准贯入击数
7	置换砂石桩	软黏土的含水量, 不排水抗剪强度, 灵敏度
8	强夯置换墩	软黏土的含水量, 不排水抗剪强度, 灵敏度, 标准贯入或动力触探击数, 液化评价
9	刚性桩	地下水和土的腐蚀性, 不排水抗剪强度, 软黏土的超固结度, 灌注桩尚应测定软黏土的含水量

5 复合地基计算

5.1 荷载计算

5.1.1 复合地基设计时,所采用的荷载效应最不利组合与相应的抗力限值应符合下列规定:

1 按复合地基承载力确定复合地基承受荷载作用面积及埋深,传至复合地基面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合,相应的抗力应采用复合地基承载力特征值。

2 计算复合地基变形时,传至复合地基面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的准永久组合,不应计入风荷载和地震作用,相应的限值应为复合地基变形允许值。

3 复合地基稳定分析中,传至复合地基面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合,相应的抗力应用复合地基中增强体和地基土体抗剪强度标准值进行计算。

5.1.2 正常使用极限状态下,荷载效应组合的设计值应按下列规定采用:

1 对于标准组合,荷载效应组合的设计值(S_{k1})应按下式计算:

$$S_{k1} = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qik} \quad (5.1.2-1)$$

式中: S_{Gk} ——按永久荷载标准值计算的荷载效应值;

S_{Q1k} ——按起控制性作用的可变荷载标准值计算的荷载效应值;

S_{Qik} ——按其他可变荷载标准值计算的荷载效应值;

ψ_{ci} ——其他可变荷载的标准组合值系数,按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定取值。

2 对于准永久组合,荷载效应组合的设计值(S_{k2})应按下式

计算：

$$S_{k2} = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Qik} \quad (5.1.2-2)$$

式中： S_{Qik} ——按可变荷载标准值计算的荷载效应值；

ψ_{qi} ——可变荷载的准永久组合值系数，按现行相关荷载规范取值。

5.1.3 作用在复合地基上的压力应符合下列规定：

1 轴心荷载作用时：

$$p_k \leq f_a \quad (5.1.3-1)$$

式中： p_k ——相应于荷载效应标准组合时，作用在复合地基上的平均压力值(kPa)；

f_a ——复合地基经深度修正后的承载力特征值(kPa)。

2 偏心荷载作用时，作用在复合地基上的压力除应符合公式 5.1.3-1 的要求外，尚应符合下式要求：

$$p_{kmax} \leq 1.2 f_a \quad (5.1.3-2)$$

式中： p_{kmax} ——相应于荷载效应标准组合时，作用在基础底面边缘处复合地基上的最大压力值(kPa)。

5.2 承载力计算

5.2.1 复合地基承载力特征值应通过复合地基竖向抗压载荷试验或综合桩体竖向抗压载荷试验和桩间土地基竖向抗压载荷试验，并结合工程实践经验综合确定。初步设计时，复合地基承载力特征值也可按下列公式估算：

$$f_{spk} = k_p \lambda_p m R_a / A_p + k_s \lambda_s (1-m) f_{sk} \quad (5.2.1-1)$$

$$f_{spk} = \beta_p m R_a / A_p + \beta_s (1-m) f_{sk} \quad (5.2.1-2)$$

$$\beta_p = k_p \lambda_p \quad (5.2.1-3)$$

$$\beta_s = k_s \lambda_s \quad (5.2.1-4)$$

$$m = d^2 / d_c^2 \quad (5.2.1-5)$$

式中： A_p ——单桩截面积(m²)；

- 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。

5.2.2 复合地基竖向增强体采用柔性桩和刚性桩时，柔性桩和刚性桩的竖向抗压承载力特征值应通过单桩竖向抗压荷载试验确定。初步设计时，由桩周土和桩端土的抗力可能提供的单桩竖向抗压承载力特征值应按公式(5.2.2-1)计算；由桩体材料强度可能提供的单桩竖向抗压承载力特征值应按公式(5.2.2-2)计算：

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + \alpha q_p A_p \quad (5.2.2-1)$$

$$R_a = \eta f_{cu} A_p \quad (5.2.2-2)$$

式中： R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值(kN)；

A_p ——单桩截面积(m^2)；

u_p ——桩的截面周长(m)；

n ——桩长范围内所划分的土层数；

q_{si} ——第 i 层土的桩侧摩阻力特征值(kPa)；

l_i ——桩长范围内第 i 层土的厚度(m)；

q_p ——桩端土地基承载力特征值(kPa)；

α ——桩端土地基承载力折减系数；

f_{cu} ——桩体抗压强度平均值(kPa)；

η ——桩体强度折减系数。

5.2.3 复合地基竖向增强体采用散体材料桩时，散体材料桩竖向抗压承载力特征值应通过单桩竖向抗压荷载试验确定。初步设计时，散体材料桩竖向抗压承载力特征值可按下式估算：

$$R_a = \sigma_{ru} K_p A_p \quad (5.2.3)$$

式中： R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值(kN)；

A_p ——单桩截面积(m^2)；

σ_{ru} ——桩周土所能提供的最大侧限力(kPa)；

K_p ——被动土压力系数。

5.2.4 复合地基处理范围以下存在软弱下卧层时，下卧层承载力应按下式验算：

$$p_z + p_{cz} \leq f_{az} \quad (5.2.4)$$

式中： p_z ——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} ——软弱下卧层顶面处地基土的自重压力值(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)。

5.2.5 当采用长-短桩复合地基时，复合地基承载力特征值可按下列下式计算：

$$f_{\text{spk}} = \beta_{\text{p1}} m_1 R_{\text{a1}} / A_{\text{p1}} + \beta_{\text{p2}} m_2 R_{\text{a2}} / A_{\text{p2}} + \beta_{\text{s}} (1 - m_1 - m_2) f_{\text{sk}} \quad (5.2.5)$$

式中： A_{p1} ——长桩的单桩截面积(m^2)；

A_{p2} ——短桩的单桩截面积(m^2)；

R_{a1} ——长桩单桩竖向抗压承载力特征值(kN)；

R_{a2} ——短桩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_1 ——长桩的面积置换率；

m_2 ——短桩的面积置换率；

β_{p1} ——长桩竖向抗压承载力修正系数，宜综合复合地基中长桩实际竖向抗压承载力和复合地基破坏时长桩竖向抗压承载力发挥度，结合工程经验取值；

β_{p2} ——短桩竖向抗压承载力修正系数，宜综合复合地基中短桩实际竖向抗压承载力和复合地基破坏时短桩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。

5.2.6 复合地基承载力的基础宽度承载力修正系数应取 0；基础埋深的承载力修正系数应取 1.0。修正后的复合地基承载力特征值(f_{a})应按下式计算：

$$f_{\text{a}} = f_{\text{spk}} + \gamma_{\text{m}} (D - 0.5) \quad (5.2.6)$$

式中： f_{spk} ——复合地基承载力特征值(kPa)；

γ_{m} ——基础底面以上土的加权平均重度(kN/m^3)，地下水位以下取浮重度；

D ——基础埋置深度(m)，在填方整平地区，可自填土地面标高算起，但填土在上部结构施工完成后进行时，应从天然地面标高算起。

5.3 沉降计算

5.3.1 复合地基的沉降由垫层压缩变形量、加固区复合土层压缩

变形量(s_1)和加固区下卧土层压缩变形量(s_2)组成。当垫层压缩变形量小,且在施工期已基本完成时,可忽略不计。复合地基沉降可按下式计算:

$$s = s_1 + s_2 \quad (5.3.1)$$

式中: s_1 ——复合地基加固区复合土层压缩变形量(mm);

s_2 ——加固区下卧土层压缩变形量(mm)。

5.3.2 复合地基加固区复合土层压缩变形量(s_1)宜根据复合地基类型分别按下列公式计算:

1 散体材料桩复合地基和柔性桩复合地基,可按下列公式计算:

$$s_1 = \psi_{s1} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_i l_i}{E_{spi}} \quad (5.3.2-1)$$

$$E_{spi} = mE_{pi} + (1-m)E_{si} \quad (5.3.2-2)$$

式中: Δp_i ——第*i*层土的平均附加应力增量(kPa);

l_i ——第*i*层土的厚度(mm);

m ——复合地基置换率;

ψ_{s1} ——复合地基加固区复合土层压缩变形量计算经验系数,根据复合地基类型、地区实测资料及经验确定;

E_{spi} ——第*i*层复合土体的压缩模量(kPa);

E_{pi} ——第*i*层桩体压缩模量(kPa);

E_{si} ——第*i*层桩间土压缩模量(kPa),宜按当地经验取值,如无经验,可取天然地基压缩模量。

2 刚性桩复合地基可按下列公式计算:

$$s_1 = \psi_p \frac{Ql}{E_p A_p} \quad (5.3.2-3)$$

式中: Q ——刚性桩桩顶附加荷载(kN);

l ——刚性桩桩长(mm);

E_p ——桩体压缩模量(kPa);

A_p ——单桩截面积(m^2);

ψ_p ——刚性桩桩体压缩经验系数,宜综合考虑刚性桩长细比、桩端刺入量,根据地区实测资料及经验确定。

5.3.3 复合地基加固区下卧土层压缩变形量(s_2),可按下式计算:

$$s_2 = \psi_{s2} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_i}{E_{si}} l_i \quad (5.3.3)$$

式中: Δp_i ——第 i 层土的平均附加应力增量(kPa);

l_i ——第 i 层土的厚度(mm);

E_{si} ——基础底面下第 i 层土的压缩模量(kPa);

ψ_{s2} ——复合地基加固区下卧土层压缩变形量计算经验系数,根据复合地基类型地区实测资料及经验确定。

5.3.4 作用在复合地基加固区下卧层顶部的附加压力宜根据复合地基类型采用不同方法。对散体材料桩复合地基宜采用压力扩散法计算,对刚性桩复合地基宜采用等效实体法计算,对柔性桩复合地基,可根据桩土模量比大小分别采用等效实体法或压力扩散法计算。

5.3.5 当采用长-短桩复合地基时,复合地基的沉降应由垫层压缩量、加固区复合土层压缩变形量(s_1)和加固区下卧土层压缩变形量(s_2)组成。加固区复合土层压缩变形量(s_1)应由短桩范围内复合土层压缩变形量(s_{11})和短桩以下只有长桩部分复合土层压缩变形量(s_{12})组成。垫层压缩量小,且在施工期已基本完成时,可忽略不计。长-短桩复合地基的沉降宜按下式计算:

$$s = s_{11} + s_{12} + s_2 \quad (5.3.5)$$

5.3.6 长-短复合地基中短桩范围内复合土层压缩变形量(s_{11})和短桩以下只有长桩部分复合土层压缩变形量(s_{12})可按本规范公式(5.3.2-1)计算,加固区下卧土层压缩变形量(s_2)可按本规范公式(5.3.3)计算。短桩范围内第 i 层复合土体的压缩模量(E_{spi}),可按下式计算:

$$E_{spi} = m_1 E_{p1i} + m_2 E_{p2i} + (1 - m_1 - m_2) E_{si} \quad (5.3.6)$$

式中: E_{p1i} ——第 i 层长桩桩体压缩模量(kPa);

- E_{p2i} ——第 i 层短桩桩体压缩模量(kPa)；
 m_1 ——长桩的面积置换率；
 m_2 ——短桩的面积置换率；
 E_{si} ——第 i 层桩间土压缩模量(kPa),宜按当地经验取值,
无经验时,可取天然地基压缩模量。

5.4 稳定分析

5.4.1 在复合地基稳定分析中,所采用的稳定分析方法、计算参数、计算参数的测定方法和稳定安全系数取值应相互匹配。

5.4.2 复合地基稳定分析可采用圆弧滑动总应力法进行分析。稳定安全系数应按下式计算：

$$K = \frac{T_s}{T} \quad (5.4.2)$$

式中： T_1 ——荷载效应标准组合时最危险滑动面上的总剪切力(kN)；

T_s ——最危险滑动面上的总抗剪切力(kN)；

K ——安全系数。

5.4.3 复合地基竖向增强体应深入设计要求安全度对应的危险滑动面下至少 2m。

5.4.4 复合地基稳定分析方法宜根据复合地基类型合理选用。

6 深层搅拌桩复合地基

6.1 一般规定

6.1.1 深层搅拌桩可采用喷浆搅拌法或喷粉搅拌法施工。深层搅拌桩复合地基可用于处理正常固结的淤泥与淤泥质土、素填土、软塑~可塑黏性土、松散~中密粉细砂、稍密~中密粉土、松散~稍密中粗砂及黄土等地基。当地基土的天然含水量小于30%或黄土含水量小于25%时,不宜采用喷粉搅拌法。

含大孤石或障碍物较多且不易清除的杂填土、硬塑及坚硬的黏性土、密实的砂土,以及地下水呈流动状态的土层,不宜采用深层搅拌桩复合地基。

6.1.2 深层搅拌桩复合地基用于处理泥炭土、有机质含量较高的土、塑性指数(I_p)大于25的黏土、地下水的pH值小于4和地下水具有腐蚀性,以及无工程经验的地区时,应通过现场试验确定其适用性。

6.1.3 深层搅拌桩可与堆载预压法及刚性桩联合应用。

6.1.4 确定处理方案前应搜集拟处理区域内详尽的岩土工程资料。

6.1.5 设计前应进行拟处理土的室内配比试验,应针对现场拟处理土层的性质,选择固化剂和外掺剂类型及其掺量。固化剂为水泥的水泥土强度宜取90d龄期试块的立方体抗压强度平均值。

6.2 设计

6.2.1 固化剂宜选用强度等级为42.5级及以上的水泥或其他类型的固化剂。固化剂掺入比应根据设计要求的固化土强度经室内配比试验确定。喷浆搅拌法的水泥浆水灰比应根据施工时的可喷

性和不同的施工机械合理选用。外掺剂可根据设计要求和土质条件选用具有早强、缓凝、减水以及节省水泥等作用的材料,且应避免污染环境。

6.2.2 深层搅拌桩的长度应根据上部结构对承载力和变形的要求确定,并宜穿透软弱土层到达承载力相对较高的土层。为提高抗滑稳定性而设置的搅拌桩,其桩长应深入加固后最危险滑弧以下至少 2m。

设计桩长应根据施工机械的能力确定,喷浆搅拌法的加固深度不宜大于 20m;喷粉搅拌法的加固深度不宜大于 15m。搅拌桩的桩径不应小于 500mm。

6.2.3 深层搅拌桩复合地基承载力特征值应通过复合地基竖向抗压载荷试验或根据综合桩体竖向抗压载荷试验和桩间土地基竖向抗压载荷试验测定。初步设计时也可按本规范公式 5.2.1-2 估算,其中 β_p 宜按当地经验取值,无经验时可取 0.85~1.00,设置垫层时应取低值; β_s 宜按当地经验取值,当桩端土未经修正的承载力特征值大于桩周土地基承载力特征值的平均值时,可取 0.10~0.40,差值大时应取低值;当桩端土未经修正的承载力特征值小于或等于桩周土地基承载力特征值的平均值时,可取 0.50~0.95,差值大时或填土路堤和柔性面层堆场及设置垫层时应取高值;处理后桩间土地基承载力特征值(f_{sk}),可取天然地基承载力特征值。

6.2.4 单桩竖向抗压承载力特征值应通过现场竖向抗压载荷试验确定。初步设计时也可按本规范公式(5.2.2-1)和公式(5.2.2-2)进行估算,并应取其中较小值,其中 f_{cu} 应为 90d 龄期的水泥石立方体试块抗压强度平均值;喷粉深层搅拌法 η 可取 0.20~0.30,喷浆深层搅拌法 η 可取 0.25~0.33。

6.2.5 采用深层搅拌桩复合地基宜在基础和复合地基之间设置垫层。垫层厚度可取 150mm~300mm。垫层材料可选用中砂、粗砂、级配砂石等,最大粒径不宜大于 20mm。填土路堤和柔性面层

堆场下垫层中宜设置一层或多层水平加筋体。

6.2.6 深层搅拌桩复合地基中的桩长超过 10m 时,可采用变掺量设计。

6.2.7 深层搅拌桩的平面布置可根据上部结构特点及对地基承载力和变形的要求,采用正方形、等边三角形等布桩形式。桩可只在基础平面范围内布置,独立基础下的桩数不宜少于 3 根。

6.2.8 当深层搅拌桩处理深度以下存在软弱下卧层时,应按本规范第 5.2.4 条的有关规定进行下卧层承载力验算。

6.2.9 深层搅拌桩复合地基沉降应按本规范第 5.3.1 条~第 5.3.4 条的有关规定进行计算。计算采用的附加应力应从基础底面起算。复合土层的压缩模量可按本规范公式(5.3.2-2)计算,其中 E_p 可取桩体水泥石强度的 100 倍~200 倍,桩较短或桩体强度较低者可取低值,桩较长或桩体强度较高者可取高值。

6.3 施 工

6.3.1 深层搅拌桩施工现场应预先平整,应清除地上和地下的障碍物。遇有明浜、池塘及洼地时,应抽水和清淤,应回填黏性土料并应压实,不得回填杂填土或生活垃圾。

6.3.2 深层搅拌桩施工前应根据设计进行工艺性试桩,数量不得少于 2 根。当桩周为成层土时,对于软弱土层宜增加搅拌次数或增加水泥掺量。

6.3.3 深层搅拌桩的喷浆(粉)量和搅拌深度应采用经国家计量部门认证的监测仪器进行自动记录。

6.3.4 搅拌头翼片的枚数、宽度与搅拌轴的垂直夹角,搅拌头的回转数,搅拌头的提升速度应相互匹配。加固深度范围内土体任何一点均应搅拌 20 次以上。搅拌头的直径应定期复核检查,其磨耗量不得大于 10mm。

6.3.5 成桩应采用重复搅拌工艺,全桩长上下应至少重复搅拌一次。

6.3.6 深层搅拌桩施工时,停浆(灰)面应高于桩顶设计标高

300mm~500mm。在开挖基础时,应将搅拌桩顶端施工质量较差的桩段用人工挖除。

6.3.7 施工中应保持搅拌桩机底盘水平和导向架竖直,搅拌桩垂直度的允许偏差为1%;桩位的允许偏差为50mm;成桩直径和桩长不得小于设计值。

6.3.8 深层搅拌桩施工应根据喷浆搅拌法和喷粉搅拌法施工设备的不同,按下列步骤进行:

- 1 深层搅拌机械就位、调平。
- 2 预搅下沉至设计加固深度。
- 3 边喷浆(粉)、边搅拌提升直至预定的停浆(灰)面。
- 4 重复搅拌下沉至设计加固深度。
- 5 根据设计要求,喷浆(粉)或仅搅拌提升直至预定的停浆(灰)面。
- 6 关闭搅拌机械。

I 喷浆搅拌法

6.3.9 施工前应确定灰浆泵输浆量、灰浆经输浆管到达搅拌机喷浆口的时间和起吊设备提升速度等施工参数,宜用流量泵控制输浆速度,注浆泵出口压力应保持在0.4MPa~0.6MPa,并使搅拌提升速度与输浆速度同步,同时应根据设计要求通过工艺性成桩试验确定施工工艺。

6.3.10 所使用的水泥应过筛,制备好的浆液不得离析,泵送应连续。拌制水泥浆液的罐数、水泥和外掺剂用量以及泵送浆液的时间等,应有专人记录。

6.3.11 搅拌机喷浆提升的速度和次数应符合施工工艺的要求,并应有专人记录。

6.3.12 当水泥浆液到达出浆口后,应喷浆搅拌30s,应在水泥浆与桩端土充分搅拌后,再开始提升搅拌头。

II 喷粉搅拌法

6.3.13 喷粉施工前应仔细检查搅拌机械、供粉泵、送气(粉)管

路、接头和阀门的密封性、可靠性。送气(粉)管路的长度不宜大于60m。

6.3.14 搅拌机每旋转一周,其提升高度不得超过16mm。

6.3.15 成桩过程中因故停止喷粉,应将搅拌机下沉至停灰面以下1m处,并应待恢复喷粉时再喷粉搅拌提升。

6.3.16 需在地基土天然含水量小于30%土层中喷粉成桩时,应采用地面注水搅拌工艺。

6.4 质量检验

6.4.1 深层搅拌桩施工过程中应随时检查施工记录和计量记录,并应对照规定的施工工艺对每根桩进行质量评定,应对固化剂用量、桩长、搅拌机转数、提升速度、复搅次数、复搅深度以及停浆处理方法等进行重点检查。

6.4.2 深层搅拌桩的施工质量检验数量应符合设计要求,并应符合下列规定:

1 成桩7d后,应采用浅部开挖桩头,深度宜超过停浆(灰)面下0.5m,应目测检查搅拌的均匀性,并应量测成桩直径。

2 成桩28d后,应用双管单动取样器钻取芯样做抗压强度检验和桩体标准贯入检验。

3 成桩28d后,可按本规范附录A的有关规定进行单桩竖向抗压载荷试验。

6.4.3 深层搅拌桩复合地基工程验收时,应按本规范附录A的有关规定进行复合地基竖向抗压载荷试验。载荷试验应在桩体强度满足试验荷载条件,并宜在成桩28d后进行。检验数量应符合设计要求。

6.4.4 基槽开挖后,应检验桩位、桩数与桩顶质量,不符合设计要求时,应采取有效补强措施。

7 高压旋喷桩复合地基

7.1 一般规定

7.1.1 高压旋喷桩复合地基适用于处理软塑~可塑的黏性土、粉土、砂土、黄土、素填土和碎石土等地基。当土中含有较多大直径块石、大量植物根茎或有机质含量较高时,不宜采用。

7.1.2 高压旋喷桩复合地基用于既有建筑地基加固时,应搜集既有建筑的历史和现状资料、邻近建筑物和地下埋设物等资料。设计时应采取避免桩体水泥土未固化时强度降低对既有建筑物的不良影响的措施。

7.1.3 高压旋喷桩可采用单管法、双管法和三管法施工。

7.1.4 高压旋喷桩复合地基方案确定后,应结合工程情况进行现场试验、试验性施工或根据工程经验确定施工参数及工艺。

7.2 设计

7.2.1 高压旋喷形成的加固体强度和范围,应通过现场试验确定。当无现场试验资料时,亦可按相似土质条件的工程经验确定。

7.2.2 旋喷桩主要用于承受竖向荷载时,其平面布置可根据上部结构和基础特点确定。独立基础下的桩数不宜少于3根。

7.2.3 高压旋喷桩复合地基承载力特征值应通过现场复合地基竖向抗压载荷试验确定。初步设计时也可按本规范公式(5.2.1-2)估算,其中 β_p 可取1.0, β_s 可根据试验或类似土质条件工程经验确定,当无试验资料或经验时, β_s 可取0.1~0.5,承载力较低时应取低值。

7.2.4 高压旋喷桩单桩竖向抗压承载力特征值应通过现场载荷试验确定。初步设计时也可按本规范公式(5.2.2-1)和公式(5.2.2-2)进行估算,并应取其中较小值,其中 f_{cu} 应为28d龄期的水泥土立方

体试块抗压强度平均值; η 可取 0.33。

7.2.5 采用高压旋喷桩复合地基宜在基础和复合地基之间设置垫层。垫层厚度可取 100mm~300mm,其材料可选用中砂、粗砂、级配砂石等,最大粒径不宜大于 20mm。填土路堤和柔性面层堆场下垫层中宜设置一层或多层水平加筋体。

7.2.6 当高压旋喷桩复合地基处理深度以下存在软弱下卧层时,应按本规范第 5.2.4 条的有关规定进行下卧层承载力验算。

7.2.7 高压旋喷桩复合地基沉降应按本规范第 5.3.1 条~第 5.3.4 条的有关规定进行计算。计算采用的附加应力应从基础底面起算。

7.3 施 工

7.3.1 施工前应根据现场环境和地下埋设物位置等情况,复核设计孔位。

7.3.2 高压旋喷桩复合地基的注浆材料应采用水泥,可根据需要加入适量的外加剂和掺和料。

7.3.3 高压旋喷水泥土桩施工应按下列步骤进行:

1 高压旋喷机械就位、调平。

2 贯入喷射管至设计加固深度。

3 喷射注浆,边喷射、边提升,根据设计要求,喷射提升直至预定的停喷面。

4 拔管及冲洗,移位或关闭施工机械。

7.3.4 对需要局部扩大加固范围或提高强度的部位,可采取复喷措施。处理既有建筑物地基时,应采取速凝浆液、跳孔喷射等措施。

7.4 质 量 检 验

7.4.1 高压旋喷桩施工过程中应随时检查施工记录和计量记录,并应对照规定的施工工艺对每根桩进行质量评定。

7.4.2 高压旋喷桩复合地基检测与检验可根据工程要求和当地

经验采用开挖检查、取芯、标准贯入、载荷试验等方法进行检验,并结合工程测试及观测资料综合评价加固效果。

7.4.3 检验点布置应符合下列规定:

- 1 有代表性的桩位。
- 2 施工过程中出现异常情况的部位。
- 3 地基情况复杂,可能对高压喷射注浆质量产生影响的部位。

7.4.4 高压旋喷桩复合地基工程验收时,应按本规范附录 A 的有关规定进行复合地基竖向抗压载荷试验。载荷试验应在桩体强度满足试验荷载条件,并宜在成桩 28d 后进行。检验数量应符合设计要求。

住房和城乡建设部
浏览专用

8 灰土挤密桩复合地基

8.1 一般规定

8.1.1 灰土挤密桩复合地基适用于填土、粉土、粉质黏土、湿陷性黄土和非湿陷性黄土、黏土以及其他可进行挤密处理的地基。

8.1.2 采用灰土挤密桩处理地基时,应使地基土的含水量达到或接近最优含水量。地基土的含水量小于 12% 时,应先对地基土进行增湿,再进行施工。当地基土的含水量大于 22% 或含有不可穿越的砂砾夹层时,不宜采用。

8.1.3 对于缺乏灰土挤密法地基处理经验的地区,应在地基处理前,选择有代表性的场地进行现场试验,并根据试验结果确定设计参数和施工工艺,再进行施工。

8.1.4 成孔挤密施工,可采用沉管、冲击、爆扩等方法。当采用预钻孔夯扩挤密时,应加强施工控制,并确保夯扩直径达到设计要求。

8.1.5 孔内填料宜采用素土或灰土,也可采用水泥土等强度较高的填料。对非湿陷性地基,也可采用建筑垃圾、砂砾等作为填料。

8.2 设计

8.2.1 挤密桩孔宜按正三角形布置,孔距可取桩径的 2.0 倍~2.5 倍,也可按下式计算:

$$S=0.95 \sqrt{\frac{\bar{D}_e \gamma_{d\max}}{\bar{D}_e \gamma_{d\max} - \gamma_{dm}}} d \quad (8.2.1)$$

式中: S ——灰土挤密桩桩间距(m);

d ——灰土挤密桩体直径(m),宜为 0.35m~0.45m;

γ_{dm} ——地基挤密前各层土的平均干重度(kN/m³);

γ_{dmax} ——击实试验确定的最大干重度(kN/m^3)；

\bar{D}_e ——成孔后,3个孔之间土的平均挤密系数。

8.2.2 灰土挤密桩桩间土最小挤密系数(D_{emin})应满足承载力及变形的要求,对湿陷性土还应满足消除湿陷性的要求。桩间土最小挤密系数(D_{emin})宜根据当地的建筑经验确定,无建筑经验时,可根据地基处理的设计技术要求,经试验确定,也可按下式计算:

$$D_{emin} = \frac{\gamma_{d0}}{\gamma_{dmax}} \quad (8.2.2)$$

式中: D_{emin} ——桩间土最小挤密系数;

γ_{d0} ——挤密填孔后,3个孔形心点部位的干重度(kN/m^3)。

8.2.3 桩孔间距较大且超过3倍的桩孔直径时,设计不宜计入桩间土的挤密影响,宜按置换率设计,或进行单桩复合地基试验确定。

8.2.4 挤密孔的深度应大于压缩层厚度,且不应小于4m。建筑工程基础外的处理宽度应大于或等于处理深度的1/2;填土路基和柔性面层堆场荷载作用面外的处理宽度应大于或等于处理深度的1/3。

8.2.5 当挤密处理深度不超过12m时,不宜采用预钻孔,挤密孔的直径宜为0.35m~0.45m。当挤密孔深度超过12m时,宜在下部采用预钻孔,成孔直径宜为0.30m以下;也可全部采用预钻孔,孔径不宜大于0.40m,应在填料回填过程中进行孔内强夯挤密,挤密后填料孔直径应达到0.60m以上。

8.2.6 灰土挤密桩复合地基承载力应通过复合地基竖向抗压荷载试验确定。初步设计时,复合地基承载力特征值也可按本规范公式(5.2.1-1)或公式(5.2.1-2)估算。

8.2.7 灰土挤密桩复合地基处理范围以下存在软弱下卧层时,应按本规范第5.2.4条的有关规定进行下卧层承载力验算。

8.2.8 灰土挤密桩复合地基沉降,应按本规范第5.3.1条~第5.3.4条的有关规定进行计算。

8.2.9 灰土的配合比宜采用 3:7 或 2:8(体积比),含水量应控制在最优含量 $\pm 2\%$ 以内,石灰应为熟石灰。

8.2.10 当地基承载力特征值以及变形不满足要求时,应在灰土桩中加入强度较高的材料,不宜用缩小桩孔间距的方法提高承载力。在非湿陷性地区当承载力要求较小,挤密桩孔间距较大时,则不宜计入桩间土的挤密作用。

8.3 施 工

8.3.1 灰土挤密桩施工应间隔分批进行,桩孔完成后应及时夯填。进行地基局部处理时,应由外向里施工。

8.3.2 挤密桩孔底在填料前应夯实,填料时宜分层回填夯实,其压实系数(λ_c)不应小于 0.97。

8.3.3 填料用素土时,宜采用纯净黄土,也可选用黏土、粉质黏土等,土中不得含有有机质,不宜采用塑性指数大于 17 的黏土,不得使用耕土或杂填土,冬季施工时严禁使用冻土。

8.3.4 灰土挤密桩施工应预留 0.5m~0.7m 的松动层,冬季在零度以下施工时,宜增大预留松动层厚度。

8.3.5 夯填施工前,应进行不少于 3 根桩的夯填试验,并应确定合理的填料数量及夯击能量。

8.3.6 灰土挤密桩复合地基施工完成后,应挖除上部扰动层,基底下应设置厚度不小于 0.5m 的灰土或土垫层,湿陷性土不宜采用透水材料作垫层。

8.3.7 桩孔中心点位置的允许偏差为桩距设计值的 5%,桩孔垂直度允许偏差为 1.5%。

8.4 质 量 检 验

8.4.1 灰土挤密桩施工过程中应随时检查施工记录和计量记录,并应对照规定的施工工艺对每根桩进行质量评定。

8.4.2 施工人员应及时抽样检查孔内填料的夯实质量,检查数量

应由设计单位根据工程情况提出具体要求。对重要工程尚应分层取样测定挤密土及孔内填料的湿陷性及压缩性。

8.4.3 灰土挤密桩复合地基工程验收时,应按本规范附录 A 的有关规定进行复合地基竖向抗压载荷试验。检验数量应符合设计要求。

8.4.4 在湿陷性土地区,对特别重要的项目尚应进行现场浸水载荷试验。

住房城乡建设部信息中心
浏览专用

9 夯实水泥土桩复合地基

9.1 一般规定

9.1.1 夯实水泥土桩复合地基适用于处理深度不超过10m,在地下水位以上为黏性土、粉土、粉细砂、素填土、杂填土等适合成桩并能挤密的地基。

9.1.2 夯实水泥土桩可采用沉管、冲击等挤土成孔法施工,也可采用洛阳铲、螺旋钻等非挤土成孔法施工。

9.1.3 夯实水泥土桩复合地基设计前,可根据工程经验,选择水泥品种、强度等级和水泥土配合比,并可初步确定夯实水泥土材料的抗压强度设计值。缺乏经验时,应预先进行配合比试验。

9.2 设计

9.2.1 夯实水泥土桩复合地基的处理深度应根据工程特点、设计要求和地质条件综合确定。初步设计时,处理深度应满足地基主要受力层天然地基承载力计算的需要。

9.2.2 确定夯实水泥土桩桩端持力层时,除应符合地基处理设计计算要求外,尚应符合下列规定:

- 1 桩端持力层厚度不宜小于1.0m。
- 2 应无明显软弱下卧层。
- 3 桩端全断面进入持力层的深度,对碎石土、砂土不宜小于桩径的0.5倍,对粉土、黏性土不宜小于桩径的2倍。
- 4 当进入持力层的深度无法满足要求时,桩端阻力特征值设计取值应折减。

9.2.3 夯实水泥土桩的平面布置,宜综合考虑基础形状、尺寸和上部结构荷载传递特点,并应均匀布置。

夯实水泥土桩可布置在基础底面范围内,当地层较软弱、均匀性较差或工程有特殊要求时,可在基础外设置护桩。

9.2.4 夯实水泥土桩桩径宜根据施工工具和施工方法确定,宜取300mm~600mm,桩中心距不宜大于桩径的5倍。

9.2.5 夯实水泥土桩的桩顶宜铺设厚度为100mm~300mm的垫层,垫层材料宜选用最大粒径不大于20mm的中砂、粗砂、石屑、级配砂石等。

9.2.6 夯实水泥土桩复合地基承载力特征值应通过复合地基竖向抗压载荷试验确定,初步设计时,也可按本规范公式(5.2.1-2)估算。其中 β_p 可取1.00, β_s 采用非挤土成孔时可取0.80~1.00, β_s 采用挤土成孔时可取0.95~1.10。

9.2.7 夯实水泥土桩单桩竖向抗压承载力特征值应通过单桩竖向抗压载荷试验确定,初步设计时也可按本规范公式(5.2.2-1)和公式(5.2.2-2)进行估算,并应取其中较小值。

9.2.8 夯实水泥土桩复合地基的沉降应按本规范第5.3.1条~第5.3.4条的有关规定进行计算。沉降计算经验系数应根据地区沉降观测资料及经验确定,无地区经验时可采用现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007规定的数值。其中 E_{spi} 宜按当地经验取值,也可按本规范公式(5.3.2-2)估算。

9.2.9 夯实水泥土材料的配合比应根据工程要求、土料性质、施工工艺及采用的水泥品种、强度等级,由配合比试验确定,水泥与土的体积比宜取1:5~1:8。

9.3 施 工

9.3.1 施工前应根据设计要求,进行工艺性试桩,数量不得少于2根。

9.3.2 水泥应符合设计要求的种类及规格。

9.3.3 土料宜采用黏性土、粉土、粉细砂或渣土,土料中的有机物质含量不得超过5%,不得含有冻土或膨胀土,使用前应过孔径为

10mm~20mm 的筛。

9.3.4 水泥石混合料配合比应符合设计要求,含水量与最优含水量的允许偏差为 $\pm 2\%$,并应采取搅拌均匀的措施。

当用机械搅拌时,搅拌时间不应少于 1min,当用人工搅拌时,拌和次数不应少于 3 遍。混合料拌和后应在 2h 内用于成桩。

9.3.5 成桩宜采用桩体夯实机,宜选用梨形或锤底为盘形的夯锤,锤体直径与桩孔直径之比宜取 0.7~0.8,锤体质量应大于 120kg,夯锤每次提升高度,不应低于 700mm。

9.3.6 夯实水泥石桩施工步骤应为成孔—分层夯实—封顶—夯实。成孔完成后,向孔内填料前孔底应夯实。填料频率与落锤频率应协调一致,并应均匀填料,严禁突击填料。每回填料厚度应根据夯锤质量经现场夯填试验确定,桩体的压实系数(λ_c)不应小于 0.93。

9.3.7 桩位允许偏差,对满堂布桩为桩径的 0.4 倍,条基布桩为桩径的 0.25 倍;桩孔垂直度允许偏差为 1.5%;桩径的允许偏差为 $\pm 20\text{mm}$;桩孔深度不应小于设计深度。

9.3.8 施工时桩顶应高出桩顶设计标高 100mm~200mm,垫层施工前应将高于设计标高的桩头凿除,桩顶面应水平、完整。

9.3.9 成孔及成桩质量监测应设专人负责,并应做好成孔、成桩记录,发现问题应及时进行处理。

9.3.10 桩顶垫层材料不得含有植物残体、垃圾等杂物,铺设厚度应均匀,铺平后应振实或夯实,夯填度不应大于 0.9。

9.4 质量检验

9.4.1 夯实水泥石桩施工过程中应随时检查施工记录和计量记录,并应对照规定的施工工艺对每根桩进行质量评定。

9.4.2 桩体夯实质量的检查,应在成桩过程中随时随机抽取,检验数量应由设计单位根据工程情况提出具体要求。

密实度的检测可在夯实水泥石桩桩体内取样测定干密度或以

轻型圆锥动力触探击数(N_{10})判断桩体夯实质量。

9.4.3 夯实水泥土桩复合地基工程验收时,复合地基承载力检验应采用单桩复合地基竖向抗压载荷试验。对重要或大型工程,尚应进行多桩复合地基竖向抗压载荷试验。

9.4.4 复合地基竖向抗压载荷试验应符合本规范附录 A 的有关规定。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

10 石灰桩复合地基

10.1 一般规定

10.1.1 石灰桩复合地基适用于处理饱和黏性土、淤泥、淤泥质土、素填土和杂填土等土层；用于地下水位以上的土层时，应根据土层天然含水量增加掺和料的含水量并减少生石灰用量，也可采取土层浸水等措施。

10.1.2 对重要工程或缺乏经验的地区，施工前应进行桩体材料配比、成桩工艺及复合地基竖向抗压载荷试验。桩体材料配合比试验应在现场地基土中进行。

10.1.3 竖向承载的石灰桩复合地基承载力特征值取值不宜大于160kPa，当土质较好并采取措施保证桩体强度时，经试验后可适当提高。

10.1.4 石灰桩复合地基与基础间可不设垫层，当地基需要排水通道时，基础下可设置厚度为200mm~300mm的垫层，填土路基及柔性面层堆场下垫层宜加厚。垫层宜采用中粗砂、级配砂石等。垫层内可设置土工格栅或土工布。

10.1.5 深厚软弱土中进行浅层处理的石灰桩复合地基沉降及下卧层承载力计算，可计入加固层的减载效应，当采用粉煤灰、炉渣掺和料时，石灰桩体的饱和重度可取 13kN/m^3 。加固土层重度可按下式计算：

$$\gamma_{\text{sp}} = 13m + (1 - m)\gamma_s \quad (10.1.5)$$

式中： γ_{sp} ——加固土层重度(kN/m^3)；

γ_s ——桩间土体重度(kN/m^3)；

m ——复合地基置换率。

10.2 设 计

10.2.1 石灰桩的固化剂应采用生石灰,掺和料宜采用粉煤灰、火山灰、炉渣等工业废料。生石灰与掺和料的配合比宜根据地质情况确定,生石灰与掺和料的体积比可选用 1 : 1 或 1 : 2,对于淤泥、淤泥质土等软土宜增加生石灰用量,桩顶附近生石灰用量不宜过大。当掺石膏和水泥时,掺和量应为生石灰用量的 3%~10%。

10.2.2 石灰桩成桩时,宜用土封口,封口高度不宜小于 500mm,封口材料应夯实,封口标高应略高于原地面。石灰桩桩顶施工标高应高出设计桩顶标高 100mm 以上。

10.2.3 石灰桩成孔直径应根据设计要求及所选用的成孔方法确定,宜为 300mm~400mm;可按等边三角形或矩形布桩;桩中心距可取成孔直径的 2 倍~3 倍。石灰桩可仅布置在基础底面下,当基底土的承载力特征值小于 70kPa 时,宜在基础以外布置 1 排~2 排围护桩。

10.2.4 采用人工洛阳铲成孔时,桩长不宜大于 6m;采用机械成孔管外投料时,桩长不宜大于 8m;螺旋钻、机动洛阳铲成孔及管内投料时,可适当增加桩长。

10.2.5 石灰桩桩端宜选在承载力较高的土层中。在深厚的软弱地基中,当石灰桩桩端未落在承载力较高的土层中时,应减少上部结构重心相对于基础形心的偏心,并应加强上部结构及基础的刚度。

10.2.6 石灰桩的深度应根据岩土工程勘察资料及上部结构设计要求确定。下卧层承载力及地基的变形,应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定验算。

10.2.7 石灰桩复合地基承载力特征值应通过复合地基竖向抗压载荷试验或综合桩体竖向抗压载荷试验和桩间土地基竖向抗压载荷试验,并结合工程实践经验综合确定,试验数量不应少于 3 点。初步设计时,复合地基承载力特征值也可按本规范公式(5.2.1-2)

估算,其中 β_p 和 β_s 均应取1.0;处理后桩间土地基承载力特征值可取天然地基承载力特征值的1.05倍~1.20倍,土体软弱时应取高值;计算桩截面面积时直径应乘以1.0~1.2的经验系数,土体软弱时应取高值;单桩竖向抗压承载力特征值取桩体抗压比例界限对应的荷载值,应由单桩竖向抗压载荷试验确定,初步设计时可取350kPa~500kPa,土体软弱时应取低值。

10.2.8 处理后地基沉降应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定进行计算。沉降计算经验系数(ψ_s)可按地区沉降观测资料及经验确定。

石灰桩复合土层的压缩模量宜通过桩体及桩间土压缩试验确定,初步设计时可按本规范公式(5.3.2-2)计算。桩间土压缩模量可取天然地基压缩模量的1.1倍~1.3倍,土软弱时应取高值。

10.3 施 工

10.3.1 石灰应选用新鲜生石灰块,有效氧化钙含量不宜低于70%,粒径不应大于70mm,消石灰含粉量不宜大于15%。

10.3.2 掺和料应保持适当的含水量,使用粉煤灰或炉渣时含水量宜控制在30%。无经验时宜进行成桩工艺试验,宜通过试验确定密实度的施工控制指标。

10.3.3 石灰桩施工可采用洛阳铲或机械成孔。机械成孔可分为沉管和螺旋钻成孔。成桩时可采用人工夯实、机械夯实、沉管反插、螺旋反压等工艺。填料时应分段压(夯)实,人工夯实时每段填料厚度不应大于400mm。管外投料或人工成孔填料时应采取降低地下水渗入孔内的速度的措施,成孔后填料前应排除孔底积水。

10.3.4 施工顺序宜由外围或两侧向中间进行。在软土中宜间隔成桩。

10.3.5 施工前应做好场地排水设施。

10.3.6 进入场地的生石灰应采取防水、防雨、防风、防火措施,宜随用随进。

10.3.7 施工应建立完善的施工质量和施工安全管理制度,并应根据不同的施工工艺制定相应的技术保证措施,应及时做好施工记录,并应监督成桩质量,同时应进行施工阶段的质量检验等。

10.3.8 石灰桩施工时应采取防止冲孔伤人的措施。

10.3.9 桩位允许偏差为桩径的 0.5 倍。

10.4 质量检验

10.4.1 石灰桩施工过程中应随时检查施工记录和计量记录,并应对照规定的施工工艺对每根桩进行质量评定。

10.4.2 石灰桩复合地基检测与检验可根据工程要求和当地经验采用开挖检查、静力触探或标准贯入、竖向抗压载荷试验等方法进行检验,并结合工程测试及观测资料综合评价加固效果。施工检测宜在施工后 7d~10d 进行。

10.4.3 采用静力触探或标准贯入试验检测时,检测部位应为桩中心及桩间土,应每两点为一组。检测组数应符合设计要求。

10.4.4 石灰桩复合地基工程验收时,应按本规范附录 A 的有关规定进行复合地基竖向抗压载荷试验。载荷试验应在桩体强度满足试验荷载条件,且在成桩 28d 后进行。检验数量应符合设计要求。

11 挤密砂石桩复合地基

11.1 一般规定

11.1.1 挤密砂石桩复合地基适用于处理松散的砂土、粉土、粉质黏土等土层,以及人工填土、粉煤灰等可挤密土层。

11.1.2 挤密砂石桩宜根据场地和工程条件选用沉管、振冲、锤击夯扩等方法施工。

11.1.3 挤密砂石桩复合地基勘察应提供场地土的天然孔隙比、最大孔隙比、最小孔隙比、标准贯入击数,以及砂石桩填料的来源和性质等资料,并应根据荷载要求和地区经验推荐地基土被挤密后要求达到的相对密实度。

11.2 设计

11.2.1 挤密砂石桩复合地基处理范围应根据建筑物的重要性和场地条件确定,应大于荷载作用面范围,扩大的范围宜为基础外缘 1 排~3 排桩距。对可液化地基,在基础外缘扩大的宽度不应小于可液化土层厚度的 1/2。

11.2.2 挤密砂石桩宜采用等边三角形或正方形布置。挤密砂石桩直径应根据地基土质情况、成桩方式和成桩设备等因素确定,宜采用 300mm~1200mm。

11.2.3 挤密砂石桩的间距应根据场地情况、上部结构荷载形式和大小通过现场试验确定,并应符合下列规定:

1 采用振冲法成孔的挤密砂石桩,桩间距宜结合所采用的振冲器功率大小确定,30kW 的振冲器布桩间距可采用 1.3m~2.0m;55kW 的振冲器布桩间距可采用 1.4m~2.5m;75kW 的振冲器布桩间距可采用 1.5m~3.0m。上部荷载大时,宜采用较小

的间距,上部荷载小时,宜采用较大的间距。

2 采用振动沉管法成桩时,对粉土和砂土地基,桩间距不宜大于砂石桩直径的 4.5 倍。初步设计时,挤密砂石桩的间距也可根据挤密后要求达到的孔隙比按下列公式估算:

等边三角形布置:

$$S = 0.95\xi d \sqrt{\frac{1+e_0}{e_0-e_1}} \quad (11.2.3-1)$$

正方形布置:

$$S = 0.89\xi d \sqrt{\frac{1+e_0}{e_0-e_1}} \quad (11.2.3-2)$$

$$e_1 = e_{\max} - D_{r1}(e_{\max} - e_{\min}) \quad (11.2.3-3)$$

式中: S ——桩间距(m);

d ——桩体直径(m);

ξ ——挤密砂石桩桩间距修正系数,当计入振动下沉密实作用时,可取 1.1~1.2,不计入振动下沉密实作用时,可取 1.0;

e_0 ——地基处理前土体的孔隙比,可按原状土样试验确定,也可根据动力或静力触探等试验确定;

e_1 ——地基挤密后要求达到的孔隙比;

D_{r1} ——地基挤密后要求砂土达到的相对密实度;

e_{\max} ——砂土的最大孔隙比;

e_{\min} ——砂土的最小孔隙比。

11.2.4 挤密砂石桩桩长可根据工程要求和场地地质条件通过计算确定,并应符合下列规定:

1 松散或软弱地基土层厚度不大时,砂石桩宜穿透该土层。

2 松散或软弱地基土层厚度较大时,对按稳定性控制的工程,挤密砂石桩长度应大于设计要求安全度相对应的最危险滑动面以下 2.0m;对按变形控制的工程,挤密砂石桩桩长应能满足处理后地基变形量不超过建(构)筑物的地基变形允许值,并应满足

软弱下卧层承载力的要求。

3 对可液化的地基,砂石桩桩长应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定执行。

4 桩长不宜小于 4m。

11.2.5 挤密砂石桩桩孔内的填料量应通过现场试验确定,估算时可按设计桩孔体积乘以 1.2~1.4 的增大系数。施工中地面有下沉或隆起现象时,填料量应根据现场具体情况进行增减。

11.2.6 挤密砂石桩复合地基承载力特征值,应通过现场复合地基竖向抗压载荷试验确定。初步设计时可按本规范公式(5.2.1-2)估算,其中 β_p 和 β_s 宜按当地经验取值。挤密砂石桩复合地基承载力特征值,也可根据单桩和处理后桩间土地基承载力特征值按下式估算:

$$f_{\text{spk}} = m f_{\text{pk}} + (1 - m) f_{\text{sk}} \quad (11.2.6)$$

式中: f_{spk} ——挤密砂石桩复合地基承载力特征值(kPa);

f_{pk} ——桩体竖向抗压承载力特征值(kPa),由单桩竖向抗压载荷试验确定;

f_{sk} ——桩间土地基承载力特征值(kPa),由桩间土地基竖向抗压载荷试验确定;

m ——复合地基置换率。

11.2.7 挤密砂石桩复合地基沉降可按本规范第 5.3.1 条~第 5.3.4 条的有关规定进行计算。建筑工程尚应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。其中复合地基压缩模量也可按下式计算:

$$E_{\text{spi}} = [1 + m(n - 1)] E_{\text{si}} \quad (11.2.7)$$

式中: E_{spi} ——第 i 层复合土体的压缩模量(MPa);

E_{si} ——第 i 层桩间土压缩模量(MPa),宜按当地经验取值,无经验时,可取天然地基压缩模量;

n ——桩土应力比,宜按现场实测资料确定,无实测资料时,可取 2~3,桩间土强度低取大值,桩间土强度高

取小值。

11.2.8 桩体材料宜选用碎石、卵石、角砾、圆砾、粗砂、中砂或石屑等硬质材料,不宜选用风化易碎的石料,含泥量不得大于5%。对振冲法成桩,填料粒径应按振冲器功率确定:30kW振冲器宜为20mm~80mm;55kW振冲器宜为30mm~100mm;75kW振冲器宜为40mm~150mm。当采用沉管法成桩时,最大粒径不宜大于50mm。

11.2.9 砂石桩顶部宜铺设一层厚度为300mm~500mm的碎石垫层。

11.3 施 工

11.3.1 挤密砂石桩施工机械和型号应根据所选用施工方法、地基土性质和处理深度等因素确定。

11.3.2 施工前应进行成桩工艺和成桩挤密试验。当成桩质量不能满足设计要求时,应调整设计与施工的有关参数,并应重新进行试验和设计。

11.3.3 振冲施工可根据设计荷载大小、原状土强度、设计桩长等条件选用不同功率的振冲器,升降振冲器的机械可用起重机、自行车架式施工平车或其他合适的设备,施工设备应配有电流、电压和留振时间自动信号仪表。

11.3.4 施工现场应设置泥水排放系统,或组织运浆车辆将泥浆运至预先安排的存放地点,并宜设置沉淀池重复使用上部清水;在施工期间可同时采取降水措施。

11.3.5 密实电流、填料量和留振时间施工参数应根据现场地质条件和施工要求确定,并应在施工时随时监测。

11.3.6 振动沉管成桩法施工应根据沉管和挤密情况控制填砂石量、提升幅度与速度、挤密次数与时间、电机的工作电流等。选用的桩尖结构应保证顺利出料和有效挤压桩孔内砂石料;当采用活瓣桩靴时,对砂石和粉土地基宜选用尖锥型;一次性桩尖可采用混

凝土锥型桩尖。

11.3.7 挤密砂石桩施工应控制成桩速度,必要时应采取防挤土措施。

11.3.8 挤密砂石桩施工后,应将基底标高下的松散层挖除或夯压密实,应随后铺设并压实碎石垫层。

11.4 质量检验

11.4.1 挤密砂石桩施工过程中应随时检查施工记录和计量记录,并应对照规定的施工工艺对每根桩进行质量评定。施工过程中应检查成孔深度、砂石用量、留振时间和密实电流强度等;对沉管法还应检查套管往复挤压振冲次数与时间、套管升降幅度与速度、每次填砂石量等项记录。

11.4.2 对桩体可采用动力触探试验检测,对桩间土可采用标准贯入、静力触探、动力触探或其他原位测试等方法进行检测。桩间土质量的检测位置应在等边三角形或正方形的中心。检验数量应由设计单位根据工程情况提出具体要求。

11.4.3 挤密砂石桩复合地基工程验收时,应按本规范附录 A 的有关规定进行复合地基竖向抗压载荷试验。检验数量应由设计单位根据工程情况提出具体要求。

11.4.4 挤密砂石桩复合地基工程验收时间,对砂土和杂填土地基,宜在施工 7d 后进行,对粉土地基,宜在施工 14d 后进行。

12 置换砂石桩复合地基

12.1 一般规定

12.1.1 置换砂石桩复合地基适用于处理饱和黏性土地基和饱和黄土地基,可按施工方法分为振动水冲(振冲)置换碎石桩复合地基和沉管置换砂石桩复合地基。

12.1.2 采用振动水冲法设置砂(碎)石桩时,土体不排水抗剪强度不宜小于 20kPa,且灵敏度不宜大于 4。施工前应通过现场试验确定其适宜性。

12.1.3 置换砂石桩复合地基上应铺设排水碎石垫层。

12.2 设计

12.2.1 设计前应掌握待加固土层的分布、抗剪强度、上部结构对地基变形的要求,以及当地填料性质和来源、施工机具性能等资料。

12.2.2 砂石桩的布置方式可采用等边三角形、正方形或矩形布置。

12.2.3 砂石桩的加固范围应通过稳定分析确定。对建筑基础宜在基底范围外加 1 排~3 排围扩桩。

12.2.4 砂石桩桩长宜穿透软弱土层,最小桩长不宜小于 4.0m。

12.2.5 振冲法施工的砂(碎)石桩设计直径宜根据振冲器的功率、土层性质通过成桩试验确定,也可根据经验选用。采用沉管法施工时,成桩直径应根据沉管直径确定。

砂石桩复合地基的面积置换率 m 可采用 0.15~0.30,布桩间距可根据桩的直径和面积置换率进行计算。

12.2.6 置换砂石桩复合地基承载力特征值应通过复合地基竖向抗压载荷试验确定。初步设计时,也可按本规范公式(5.2.1-2)估

算,其中 β_p 和 β_s 均应取1.0。

12.2.7 当桩体材料的内摩擦角在 38° 左右时,置换砂石桩单桩竖向抗压承载力特征值可按下式计算:

$$R_n/A_p = 20.8c_u/K \quad (12.2.7)$$

式中: R_n ——单桩竖向抗压承载力特征值;

A_p ——单桩截面积;

c_u ——饱和黏性土不排水抗剪强度;

K ——安全系数。

12.2.8 置换砂石桩复合地基沉降可按本规范第5.3.1条~第5.3.4条的规定进行计算,并应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的有关规定,其中复合地基压缩模量可按本规范公式(5.3.2-2)计算。

12.2.9 桩体材料可用碎石、卵石、砾石、中粗砂等硬质材料。

12.2.10 置换砂石桩复合地基上应设置厚度为300mm~500mm的排水砂石(碎石)垫层。

12.3 施 工

12.3.1 置换砂石桩可采用振冲、振动沉管、锤击沉管或静压沉管法施工。施工单位应采取避免施工过程中对周边环境的不利影响的措施。

12.3.2 施工前应进行成桩工艺试验。当成桩质量不能满足设计要求时,应调整施工参数,并应重新进行试验。

12.3.3 振冲施工可根据设计桩径大小、原状土强度、设计桩长等条件选用不同功率的振冲器。升降振冲器的机械可用起重机、自行井架式施工平车或其他合适的设备。施工过程应有电流、电压、填料量及留振时间的记录。

12.3.4 振冲施工现场应设置泥水排放系统,并组织运浆车辆将泥浆运至预先安排的存放地点,并宜设置沉淀池重复使用上部清水。

12.3.5 沉管法施工应根据设计桩径选择桩管直径,按沉管和形成密实桩体的需要控制填砂石量、提升速度、复打挤密次数和时间、电机的工作电流等,应选用出料顺利和有效挤压桩孔内砂石料的桩尖结构。当采用活瓣桩靴时,宜选用尖锥型,一次性桩尖可采用混凝土锥型桩尖。在饱和软土中沉管法施工宜采用跳打方式施工。

12.3.6 砂石桩施工后,应将场地表面约 1.0m 的松散桩体挖除或夯压密实,应随后铺设并压实碎石垫层。

12.4 质量检验

12.4.1 振冲法施工过程中应检查成孔深度、砂石用量、留振时间和密实电流强度等;对沉管法应检查套管往复挤压振冲次数与时间、套管升降幅度与速度、每次填砂石量等项记录。

12.4.2 置换砂石桩复合地基的桩体可采用动力触探试验进行施工质量检验;对桩间土可采用十字板剪切、静力触探或其他原位测试方法等进行施工质量检验。桩间土质量的检测位置应在桩位等边三角形或正方形的中心。检验数量应由设计单位根据工程情况提出具体要求。

12.4.3 置换砂石桩复合地基工程验收时,应按本规范附录 A 的有关规定进行复合地基竖向抗压载荷试验。载荷试验检验数量应符合设计要求。

12.4.4 复合地基竖向抗压载荷试验应待地基中超静孔隙水压力消散后进行。

13 强夯置换墩复合地基

13.1 一般规定

13.1.1 强夯置换墩复合地基适用于加固高饱和度粉土、软塑~流塑的黏性土、有软弱下卧层的填土等地基。

13.1.2 强夯置换应经现场试验确定其适用性和加固效果。

13.1.3 当强夯置换墩施工对周围环境的噪声、振动影响超过有关规定时,不宜选用强夯置换墩复合地基方案。需采用时应采取隔震、降噪措施。

13.2 设计

13.2.1 强夯置换墩试验方案应根据工程设计要求和地质条件,先初步确定强夯置换参数,进行现场试夯,然后根据试夯场地监测和检测结果及其与夯前测试数据对比,检验置换墩长度和加固效果,再确定方案可行性和工程施工采用的强夯置换工艺、参数。

13.2.2 强夯置换墩复合地基的设计应包括下列内容:

- 1 强夯置换深度。
- 2 强夯置换处理的范围。
- 3 墩体材料的选择与计量。
- 4 夯击能、夯锤参数、落距。
- 5 夯点的夯击击数、收锤标准、两遍夯击之间的时间间隔。
- 6 夯点平面布置形式。
- 7 强夯置换墩复合地基的变形和承载力要求。
- 8 周边环境保护措施。
- 9 现场监测和质量控制措施。

10 施工垫层。

11 检测方法、参数、数量等要求。

13.2.3 强夯置换处理范围应大于建筑物基础范围,每边超出基础外缘的宽度宜为基底下设计处理深度的 $1/3\sim 1/2$,且不宜小于 3m。当要求消除地基液化时,在基础外缘扩大宽度不应小于基底下可液化土层厚度的 $1/2$,且不宜小于 5m。对独立柱基,可采用柱下单点夯。

13.2.4 夯坑填料可采用块石、碎石、矿渣、工业废渣、建筑垃圾等坚硬粗颗粒材料,粒径大于 300mm 的颗粒含量不宜超过全重的 30%。

13.2.5 强夯置换有效加固深度为墩长和墩底压密土厚度之和,应根据现场试验或当地经验确定。在缺少试验资料或经验时,强夯置换深度应符合表 13.2.5 的规定。

表 13.2.5 强夯置换深度

夯击能(kN·m)	置换深度(m)	夯击能(kN·m)	置换深度(m)
3000	3~4	12000	8~9
6000	5~6	15000	9~10
8000	6~7	18000	10~11

13.2.6 夯点的夯击击数应通过现场试夯确定,试夯应符合下列要求:

- 1 墩长应达到设计墩长。
- 2 在起锤可行条件下,应多夯击少喂料,起锤困难时每次喂料宜为夯坑深度的 $1/3\sim 1/2$ 。
- 3 累计夯沉量不应小于设计墩长的 1.5 倍~2.0 倍。
- 4 强夯置换墩收锤条件应符合表 13.2.6 的规定。

表 13.2.6 强夯置换墩收锤条件

单击夯击能 E (kN·m)	最后两击平均夯沉量(mm)
$E < 4000$	50
$4000 \leq E < 6000$	100

续表 13.2.6

单击夯击能 $E(\text{kN} \cdot \text{m})$	最后两击平均夯沉量(mm)
$6000 \leq E < 8000$	150
$8000 \leq E < 12000$	200
$12000 \leq E < 15000$	250
$E \geq 15000$	300

13.2.7 夯击击数应根据地基土的性质确定,可采用点夯 1 遍~2 遍。对于渗透性较差的细颗粒土,夯击击数可适当增加,应最后再以低能量满夯 1 遍~2 遍,满夯可采用轻锤或低落距锤多次夯击,锤印应搭接 1/3。

13.2.8 两遍夯击之间应有一定的时间间隔,间隔时间应取决于土中超静孔隙水压力的消散时间及挤密效果。当缺少实测资料时,可根据地基土的渗透性确定,对于渗透性较差的黏性土地基,间隔时间不应少于 2 周~4 周,对于渗透性好的地基可连续夯击。

13.2.9 夯点间距应根据荷载特点、墩体长度、墩体直径及基础形式等选定。墩体的计算直径可取夯锤直径的 1.1 倍~1.4 倍。

13.2.10 起夯面标高、夯坑回填方式和夯后标高应根据基础埋深和试夯时所测得的夯沉量确定。

13.2.11 墩顶应铺设一层厚度不小于 300mm 的压实垫层,垫层材料的粒径不宜大于 100mm。

13.2.12 确定软黏性土和墩间土硬层厚度小于 2m 的饱和粉土地基中强夯置换墩复合地基承载力特征值时,其竖向抗压承载力应通过现场单墩竖向抗压载荷试验确定。饱和粉土地基经强夯置换后墩间土能形成 2m 以上厚度硬层时,其竖向抗压承载力应通过单墩复合地基竖向抗压载荷试验确定。

13.2.13 强夯置换墩复合地基沉降可按本规范第 5.3.1 条~第 5.3.4 条的有关规定进行计算,并应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。夯后有效加固深度范围内

土层的变形应采用单墩载荷试验或单墩复合地基载荷试验确定的变形模量计算。

13.2.14 强夯置换墩未穿透软弱土层时,应按本规范公式(5.2.4)验算软弱下卧层承载力。

13.3 施 工

13.3.1 夯锤应根据土质情况、置换深度、加固要求和施工设备确定。夯锤质量可取 $10\text{t}\sim 60\text{t}$ 。夯锤宜采用圆柱形,锤底面积宜按土层的性质确定,锤底静接地压力值可取 $80\text{kPa}\sim 300\text{kPa}$ 。锤底面宜对称设置若干个与其顶面贯通的排气孔或侧面设置排气凹槽,孔径或槽径可取 $250\text{mm}\sim 400\text{mm}$ 。

13.3.2 施工机械宜采用带有自动脱钩装置的履带式起重机或其他专用设备。采用履带式起重机时,可在臂杆端部设置辅助门架,或采取其他防止落锤时机械倾覆的安全措施。

13.3.3 夯坑内或场地积水宜及时排除。当场地地下水位较高,夯坑底积水影响施工时,应采取降低地下水位的措施。

13.3.4 强夯置换墩施工应按下列步骤进行:

1 应清理平整施工场地,当地表土松软机械无法行走时,宜铺设一定厚度的碎石或矿渣垫层。

2 应确定夯点位置,并应测量场地高程。

3 起重机应就位,夯锤应置于夯点位置。

4 应测量夯前锤顶高程或夯点周围地面高程。

5 应将夯锤起吊至预定高度,并应开启脱钩装置,应待夯锤脱钩自由下落后,放下吊钩,并应测量锤顶高程。在夯击过程中,当夯坑底面出现过大倾斜时,应向坑内较低处抛填填料,整平夯坑,当夯点周围软土挤出影响施工时,应随时清理并在夯点周围铺垫填料,继续施工。

6 应按“由内而外,先中间后四周”和“单向前进”的原则完成全部夯点的施工,当周边有需要保护的建构筑物时,应由邻近建筑

物开始夯击并逐渐向远处移动,当隆起过大时宜隔行跳打,收锤困难时宜分次夯击。

7 应推平场地,并应用低能量满夯,同时应将场地表层松土夯实,并应测量夯后场地高程。

8 应铺设垫层,并应分层碾压密实。

13.3.5 施工过程中应有专人负责下列监测工作:

1 夯前检查夯锤的重量和落距,确保单击夯击能符合设计要求。

2 夯前对夯点放线进行复核,夯完后检查夯坑位置,发现存在偏差或漏夯时,应及时纠正或补夯。

3 按设计要求检查每个夯点的夯击击数、每击的夯沉量和填料量。

4 施工前应查明周边地面及地下建(构)筑物的位置及标高等基本资料,当强夯置换施工所产生的振动对邻近建(构)筑物或设备会产生有害影响时,应进行振动监测,必要时应采取挖隔振沟等隔振或防振措施。

13.3.6 施工过程中的各项参数及相关情况应详细记录。

13.4 质量检验

13.4.1 强夯置换墩施工过程中应随时检查施工记录和填料计量记录,并应对照规定的施工工艺对每个墩进行质量评定。不符合设计要求时应补夯或采取其他有效措施。

13.4.2 强夯置换施工中和结束后宜采用开挖检查、钻探、动力触探等方法,检验墩体直径和墩长。

13.4.3 强夯置换墩复合地基工程验收时,承载力检验除应采用单墩或单墩复合地基竖向抗压载荷试验外,尚应采用动力触探、多道瞬态面波法等检测地层承载力与密度随深度的变化。单墩竖向抗压载荷试验和单墩复合地基竖向抗压载荷试验应符合本规范附录 A 的有关规定,对缓变型 $p-s$ 曲线承载力特征值应按相对变形

值 $s/b=0.010$ 确定。

13.4.4 强夯置换墩复合地基的承载力检验,应在施工结束并间隔一定时间后进行,对粉土不宜少于 21d,黏性土不宜少于 28d。检验数量应由设计单位根据场地复杂程度和建筑物的重要性提出具体要求,检测点应在墩间和墩体均有布置。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

14 刚性桩复合地基

14.1 一般规定

14.1.1 刚性桩复合地基适用于处理黏性土、粉土、砂土、素填土和黄土等土层。对淤泥、淤泥质土地基应按地区经验或现场试验确定其适用性。

14.1.2 刚性桩复合地基中的桩体可采用钢筋混凝土桩、素混凝土桩、预应力管桩、大直径薄壁筒桩、水泥粉煤灰碎石桩(CFG桩)、二灰混凝土桩和钢管桩等刚性桩。钢筋混凝土桩和素混凝土桩应包括现浇、预制,实体、空心,以及异形桩等。

14.1.3 刚性桩复合地基中的刚性桩应采用摩擦型桩。

14.2 设计

14.2.1 刚性桩可只在基础范围内布置。桩的中心与基础边缘的距离不宜小于桩径的1倍;桩的边缘与基础边缘的距离,条形基础不宜小于75mm;其他基础形式不宜小于150mm。用于填土路堤和柔性面层堆场中时,布桩范围尚应考虑稳定性要求。

14.2.2 选择桩长时宜使桩端穿过压缩性较高的土层,进入压缩性相对较低的土层。

14.2.3 桩距应根据基础形式、复合地基承载力、土性、施工工艺、周边环境条件等确定。

14.2.4 刚性桩复合地基与基础之间应设置垫层,厚度宜取100mm~300mm,桩竖向抗压承载力高、桩径或桩距大时应取高值。垫层材料宜用中砂、粗砂、级配良好的砂石或碎石、灰土等,最大砂石粒径不宜大于30mm。

14.2.5 复合地基承载力特征值应通过复合地基竖向抗压载荷试

验或综合单桩竖向抗压载荷试验和桩间土地基竖向抗压载荷试验确定。初步设计时也可按本规范公式(5.2.1-2)估算,其中 β_p 和 β_s ,宜结合具体工程按地区经验进行取值,无地区经验时, β_p 可取1.00, β_s 可取0.65~0.90。

14.2.6 单桩竖向抗压承载力特征值(R_a)应通过现场载荷试验确定。初步设计时,可按本规范公式(5.2.2-1)估算由桩周土和桩端土的抗力可能提供的单桩竖向抗压承载力特征值,并按本规范公式(5.2.2-2)验算桩身承载力。其中 α 可取1.00, f_{cu} 应为桩体材料试块抗压强度平均值, η 可取0.33~0.36,灌注桩或长桩时应用低值,预制桩应取高值。

14.2.7 基础埋深较大时,尚应计及复合地基承载力经深度修正后导致桩顶增加的荷载,可根据地区桩土分担比经验值,计算单桩实际分担的荷载,可按本规范第14.2.6条的规定验算桩体强度。

14.2.8 刚性桩复合地基沉降宜按本规范第5.3.1条~第5.3.4条的有关规定进行计算。

沉降计算经验系数应根据当地沉降观测资料及经验确定,无经验时,宜符合表14.2.8规定的数值。

表 14.2.8 沉降计算经验系数(ψ_s)

\bar{E}_s (MPa)	2.5	4.0	7.0	15.0	20.0
ψ_s	1.1	1.0	0.7	0.4	0.2

注: \bar{E}_s 为地基变形计算深度范围内土的压缩模量当量值。

14.2.9 地基变形计算深度范围内土的压缩模量当量值,应按下式计算:

$$\bar{E}_s = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{E_{si}}} \quad (14.2.9)$$

式中: A_i ——第*i*层土附加应力系数沿土层厚度的积分值;

\bar{E}_{si} ——基础底面下第 i 层土的计算压缩模量(MPa),桩长范围内的复合土层按复合土层的压缩模量取值。

14.3 施 工

14.3.1 刚性桩复合地基中刚性桩的施工,可根据现场条件及工程特点选用振动沉管灌注成桩、长螺旋钻与管内泵压混合料灌注成桩、泥浆护壁钻孔灌注成桩、锤击与静压预制成桩。当软土较厚且布桩较密,或周边环境有严格要求时,不宜选用振动沉管灌注成桩法。

14.3.2 各种成桩工艺除应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定外,尚应符合下列规定:

1 施工前应按设计要求在室内进行配合比试验,施工时应按配合比配置混合料。

2 沉管灌注成桩施工拔管速度应匀速,宜控制在 $1.5\text{m}/\text{min} \sim 2\text{m}/\text{min}$,遇淤泥或淤泥质土时,拔管速度应取低值。

3 桩顶超灌高度不应小于 0.5m 。

4 成桩过程中,应抽样做混合料试块,每台机械一天应做一组(3块)试块,进行标准养护,并应测定其立方体抗压强度。

14.3.3 挖土和截桩时应注意对桩体及桩间土的保护,不得造成桩体开裂、桩间土扰动等。

14.3.4 垫层铺设宜采用静力压实法,当基础底面下桩间土的含水量较小时,也可采用动力夯实法,夯实后的垫层厚度与虚铺厚度的比值不得大于 0.9 。

14.3.5 施工桩体垂直度允许偏差为 1% ;对满堂布桩基础,桩位允许偏差为桩径的 0.40 倍;对条形基础,桩位允许偏差为桩径的 0.25 倍;对单排布桩桩位允许偏差应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的有关规定。

14.3.6 当周边环境对变形有严格要求时,成桩过程应采取减少对周边环境的影响的措施。

14.4 质量检验

14.4.1 刚性桩施工过程中应随时检查施工记录,并应对照规定的施工工艺对每根桩进行质量评定。检查内容应为混合料坍落度、桩数、桩位偏差、垫层厚度、夯填度和桩体试块抗压强度。

14.4.2 桩体完整性应采用低应变动力测试检测,检验数量应由设计单位根据工程情况提出具体要求。

14.4.3 刚性桩复合地基工程验收时,承载力检验应符合下列规定:

1 应按本规范附录 A 的有关规定进行复合地基竖向抗压载荷试验。

2 有经验时,应分别进行单桩竖向抗压载荷试验和桩间土地基竖向抗压载荷试验,并可按本规范公式(5.2.1-2)计算复合地基承载力。

3 检验数量应符合设计要求。

14.4.4 素混凝土桩复合地基、水泥粉煤灰碎石桩复合地基、二灰混凝土桩复合地基竖向抗压载荷试验和单桩竖向抗压载荷试验,应在桩体强度满足加载要求,且施工结束 28d 后进行。

15 长-短桩复合地基

15.1 一般规定

15.1.1 长-短桩复合地基适用于深厚淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土、湿陷性黄土、可液化土等土层。

15.1.2 长-短桩复合地基的竖向增强体应由长桩和短桩组成,其中长桩宜采用刚性桩;短桩宜采用柔性桩或散体材料桩。

15.1.3 长-短桩复合地基中长桩宜支承在较好的土层上,短桩宜穿过浅层最软弱土层。

15.2 设计

15.2.1 长-短桩复合地基的单桩竖向抗压承载力特征值应按现场单桩竖向抗压载荷试验确定,初步设计时可根据采用桩型按本规范的有关规定计算。

15.2.2 长-短桩复合地基承载力特征值可按本规范第 5.2.5 条的有关规定确定。

15.2.3 当短桩桩端位于软弱土层时,应按本规范公式(5.2.4)验算短桩桩端的复合地基承载力。

15.2.4 短桩桩端的复合地基承载力特征值可按本规范公式(5.2.1-1)或公式(5.2.1-2)估算,其中 m 应为长桩的置换率。

15.2.5 长-短桩复合地基沉降可按本规范第 5.3.5 条的有关规定进行计算。

15.2.6 长-短桩复合地基与基础间应设置垫层。垫层厚度可根据桩底持力层、桩间土性质、场地荷载情况综合确定,宜为 100mm~300mm。垫层材料宜采用最大粒径不大于 20mm 的中砂、粗砂、级配良好的砂石等。

15.2.7 长-短桩复合地基中桩的中心距应根据土质条件、复合地基承载力及沉降要求,以及施工工艺等综合确定,宜取桩径的3倍~6倍;当长桩或短桩采用刚性桩,且采用挤土工艺成桩时,桩的最小中心距尚应符合本规范第14.2.3条的有关规定。短桩宜在各长桩中间及周边均匀布置。

15.3 施 工

15.3.1 长、短桩的施工顺序应根据所采用桩型的施工工艺、加固机理、挤土效应等确定。

15.3.2 长-短桩复合地基桩的施工应符合本规范有关同桩型桩施工的规定。

15.3.3 桩施工垂直度允许偏差为1%。桩位允许偏差应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202的有关规定。

15.3.4 垫层材料应通过级配试验进行试配。垫层厚度、铺设范围和夯填度应符合设计要求。

15.3.5 垫层施工不得在浸水条件下进行,当地下水位较高影响施工时,应采取降低地下水位的措施。

15.3.6 铺设垫层前应保证预留约200mm的土层,并应待铺设垫层时再人工开挖到设计标高。垫层底面应在同一标高上,深度不同时,应挖成阶梯或斜坡搭接,并按先深后浅的顺序施工,搭接处应夯实。垫层竣工验收合格后,应及时进行基础施工与回填。

15.4 质量检验

15.4.1 长-短桩复合地基中长桩和短桩施工过程中应随时检查施工记录,并也对照规定的施工工艺对每根桩进行质量评定。

15.4.2 长-短桩复合地基中单桩质量检验应按本规范同桩型单桩质量检验有关规定进行。

15.4.3 长-短桩复合地基工程验收时,承载力检验应符合下列规定:

1 应按本规范附录 A 的有关规定进行复合地基竖向抗压载荷试验。

2 有经验时,应分别进行长桩竖向抗压载荷试验、短桩竖向抗压载荷试验和桩间土地基竖向抗压载荷试验,并按本规范公式(5.2.5)计算复合地基承载力。

3 检验数量应符合设计要求。

住房城乡 建设部信息 浏览专用

16 桩网复合地基

16.1 一般规定

16.1.1 桩网复合地基适用于处理黏性土、粉土、砂土、淤泥、淤泥质土地基,也可用于处理新近填土、湿陷性土和欠固结淤泥等地基。

16.1.2 桩网复合地基应由刚性桩、桩帽、加筋层和垫层构成,可用于填土路堤、柔性面层堆场和机场跑道等构筑物的地基加固与处理。

16.1.3 设计前应通过勘察查明土层的分布和基本性质、各土层桩侧摩阻力和桩端阻力,以及判断土层的固结状态和湿陷性等特性。

16.1.4 桩的竖向抗压承载力应通过试桩绘制 $p-s$ 曲线确定,并应作为设计的依据。

16.1.5 桩型可采用预制桩、就地灌注素混凝土桩、套管灌注桩等,应根据施工可行性、经济性等因素综合比较确定桩型。

16.1.6 桩网复合地基的桩间距、桩帽尺寸、加筋层的性能、垫层及填土层厚度,应根据地质条件、设计荷载和试桩结果综合分析确定。

16.2 设计

16.2.1 桩径宜取 200mm~500mm,加固土层厚、软土性质差时宜取较大值。

16.2.2 桩网复合地基宜按正方形布桩,桩间距应根据设计荷载、单桩竖向抗压承载力计算确定,方案设计时可取桩径或边长的 5 倍~8 倍。

16.2.3 单桩竖向抗压承载力应通过试桩确定,在方案设计和初步设计阶段,单桩的竖向抗压承载力特征值应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定计算。

16.2.4 当桩需要穿过松散填土层、欠固结软土层、自重湿陷性土层时,设计计算应计及负摩阻力的影响;单桩竖向抗压承载力特征值、桩体强度验算应符合下列规定:

1 对于摩擦型桩,可取中性点以上侧阻力为零,可按下式验算桩的抗压承载力特征值:

$$R_a \geq A p_k \quad (16.2.4-1)$$

式中: R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值(kN),只记中性点以下部分侧阻值及端阻值;

p_k ——相应于荷载效应标准组合时,作用在地基上的平均压力值(kPa);

A ——单桩承担的地基处理面积(m^2)。

2 对于端承型桩,应计及负摩擦引起基桩的下拉荷载 Q_n^g ,并可按下式验算桩的竖向抗压承载力特征值:

$$R_a \geq A p_k + Q_n^g \quad (16.2.4-2)$$

式中: Q_n^g ——桩侧负摩阻力引起的下拉荷载标准值(kN),按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定计算。

3 桩身强度应符合本规范公式(5.2.2-2)的要求,其中 f_{cu} 应为桩体材料试块抗压强度平均值, η 可取 0.33~0.36,灌注桩或长桩时应用低值,预制桩应取高值。

16.2.5 桩网复合地基承载力特征值应通过复合地基竖向抗压载荷试验或综合桩体竖向抗压载荷试验和桩间土地基竖向抗压载荷试验,并结合工程实践经验综合确定。当处理松散填土层、欠固结软土层、自重湿陷性土等有明显工后沉降的地基时,应根据单桩竖向抗压载荷试验结果,计及负摩阻力影响,确定复合地基承载力特征值。

16.2.6 当采用本规范公式(5.2.1-2)确定复合地基承载力特征值时,其中 β_p 可取1.0;当加固桩属于端承型桩时, β_s 可取0.1~0.4,当加固桩属于摩擦型桩时, β_s 可取0.5~0.9,当处理对象为松散填土层、欠固结软土层、自重湿陷性土等有明显工后沉降的地基时, β_s 可取0。

16.2.7 正方形布桩时,可采用正方形桩帽,桩帽上边缘应设20mm宽的45°倒角。

16.2.8 采用钢筋混凝土桩帽时,其强度等级不应低于C25,桩帽的尺寸和强度应符合下列规定:

- 1 桩帽面积与单桩处理面积之比宜取15%~25%。
- 2 桩帽以上填土高度,应根据垫层厚度、土拱计算高度确定。
- 3 在荷载基本组合条件下,桩帽的截面承载力应满足抗弯和抗冲剪强度要求。
- 4 钢筋净保护层厚度宜取50mm。

16.2.9 采用正方形布桩和正方形桩帽时,桩帽之间的土拱高度可按下列式计算:

$$h = 0.707(S - a) / \tan\varphi \quad (16.2.9)$$

式中: h ——土拱高度(m);

S ——桩间距(m);

a ——桩帽边长(m);

φ ——填土的摩擦角,黏性土取综合摩擦角(°)。

16.2.10 桩帽以上的最小填土设计高度应按下列式计算:

$$h_2 = 1.2(h - h_1) \quad (16.2.10)$$

式中: h_2 ——垫层之上最小填土设计高度(m);

h_1 ——垫层厚度(m)。

16.2.11 加筋层设置在桩帽顶部,加筋的经纬方向宜分别平行于布桩的纵横方向,应选用双向抗拉同强、低蠕变性、耐老化型的土工格栅类材料。

16.2.12 当桩与地基土共同作用形成复合地基时,桩帽上部加筋

体性能应按边坡稳定需要确定。当处理松散填土层、欠固结软土层、自重湿陷性土等有明显工后沉降的地基时,加筋体的性能应符合下列规定:

1 加筋体的抗拉强度设计值(T)可按下列式计算:

$$T \geq \frac{1.35\gamma_{cm}h(S^2 - a^2) \sqrt{(S-a)^2 + 4\Delta^2}}{32\Delta a} \quad (16.2.12-1)$$

式中: T ——加筋体抗拉强度设计值(kN/m);

γ_{cm} ——桩帽之上填土的平均重度(kN/m³);

Δ ——加筋体的下垂高度(m),可取桩间距的 1/10,最大不宜超过 0.2m。

2 加筋体的强度和对应的应变率应与允许下垂高度值相匹配,宜选取加筋体设计抗拉强度对应应变率为 4%~6%,蠕变应变率应小于 2%。

3 当需要铺设双层加筋体时,两层加筋应选同种材料,铺设竖向间距宜取 0.1m~0.2m,两层加筋体之间应铺设垫层同种材料,两层加筋体的抗拉强度宜按下式计算:

$$T = T_1 + 0.6T_2 \quad (16.2.12-2)$$

式中: T ——加筋体抗拉强度设计值(kN/m);

T_1 ——桩帽之上第一层加筋体的抗拉强度设计值(kN/m);

T_2 ——第二层加筋体的抗拉强度设计值(kN/m)。

16.2.13 垫层应铺设在加筋体之上,应选用碎石、卵石、砾石,最小粒径应大于加筋体的孔径,最大粒径应小于 50mm;垫层厚度(h_1)宜取 200mm~300mm。

16.2.14 垫层之上的填土材料可选用碎石、无黏性土、砂质土等,不得采用塑性指数大于 17 的黏性土、垃圾土、混有有机质或淤泥的土类。

16.2.15 桩网复合地基沉降(s)应由加固区复合土层压缩变形量(s_1)、加固区下卧土层压缩变形量(s_2),以及桩帽以上垫层和土层

的压缩量变形量(s_3)组成,宜按下式计算:

$$s = s_1 + s_2 + s_3 \quad (16.2.15)$$

16.2.16 各沉降分量可按下列规定取值:

1 加固区复合土层压缩变形量(s_1),可按本规范公式(5.3.2-1)计算,当采用刚性桩时可忽略不计。

2 加固区下卧土层压缩变形量(s_2),可按本规范公式(5.3.3)计算,需计及桩侧负摩阻力时,桩底土层沉降计算荷载应计入下拉荷载 Q_n^g 。

3 桩土共同作用形成复合地基时,桩帽以上垫层和填土层的变形应在施工期完成,在计算工后沉降时可忽略不计。

4 处理松散填土层、欠固结软土层、自重湿陷性土等有明显工后沉降的地基时,桩帽以上的垫层和土层的压缩变形量(s_3),可按下式计算:

$$s_3 = \frac{\Delta(S-a)(S+2a)}{2S^2} \quad (16.2.16)$$

16.3 施 工

16.3.1 预制桩可选用打入法或静压法沉桩,灌注桩可选用沉管灌注、长螺旋钻孔灌注、长螺旋压浆灌注、钻孔灌注等施工方法。

16.3.2 持力层位置和设计桩长应根据地质资料和试桩结果确定,灌注桩施工应根据揭示的地层和工艺试桩结果综合判断控制施工桩长。饱和黏土地层预制桩沉桩施工时,应以设计桩长控制为主,工艺试桩确定的收锤标准或压桩力控制为辅的方法控制施工桩长。

16.3.3 饱和软土地层挤土桩施工应选择合适的施工顺序,并应减少挤土效应,应加强对相邻已施工桩及施工场地周围环境的监测。

16.3.4 加筋层的施工应符合下列要求:

1 材料的运输、储存和铺设应避免阳光曝晒。

2 应选用较大幅宽的加筋体,两幅拼接时接头强度不应小于原有强度的 70%;接头宜布置在桩帽上,重叠宽度不得小于 300mm。

3 铺设时地面应平整,不得有尖锐物体。

4 加筋体铺设应平整,应用编织袋装砂(土)压住。

5 加筋体的经纬方向与布桩的纵横方向应相同。

16.3.5 桩帽宜现浇,预制时,应采取对中措施。桩帽之间应采用砂土、石屑等回填。

16.3.6 加筋体之上铺设的垫层应选用强度较高的碎石、卵砾石填料,不得混有泥土和石屑,碎石最小粒径应大于加筋体孔径,应铺设平整。铺设厚度小于 300mm 时,可不作碾压,300mm 以上时应分层静压压实。

16.3.7 垫层以上的填土,应分层压实,压实度应达到设计要求。

16.4 质量检验

16.4.1 桩网复合地基中桩、桩帽和加筋网的施工过程中,应随时检查施工记录,并应对照规定的施工工艺逐项进行质量评定。

16.4.2 桩的质量检验,应符合下列规定:

1 就地灌注桩应在成桩 28d 后进行质量检验,预制桩宜在施工 7d 后检验。

2 应挖出所有桩头检验桩数,并应随机选取 5% 的桩检验桩位、桩距和桩径。

3 应随机选取总桩数的 10% 进行低应变试验,并应检验桩体完整性和桩长。

4 应随机选取总桩数的 0.2%,且每个单体工程不应少于 3 根桩进行静载试验。

5 对灌注桩的质量存疑时,应进行抽芯检验,并应检查完整性、桩长和混凝土的强度。

16.4.3 桩的质量标准应符合下列规定:

- 1 桩位和桩距的允许偏差为 50mm,桩径允许偏差为 $\pm 5\%$ 。
- 2 低应变检测 II 类或好于 II 类桩应超过被检验数的 70%。
- 3 桩长的允许偏差为 $\pm 200\text{mm}$ 。
- 4 静载试验单桩竖向抗压承载力极限值不应小于设计单桩竖向抗压承载力特征值的 2 倍。

5 抽芯试验的抗压强度不应小于设计混凝土强度的 70%。

16.4.4 加筋体的检测与检验应包括下列内容:

- 1 各向抗拉强度,以及与抗拉强度设计值对应的材料应变率。
- 2 材料的单位面积重量、幅宽、厚度、孔径尺寸等。
- 3 抗老化性能。
- 4 对于不了解性能的新材料,应测试在拉力等于 70%设计抗拉强度条件下的蠕变性能。

17 复合地基监测与检测要点

17.1 一般规定

17.1.1 复合地基设计内容应包括监测和检测要求。

17.1.2 施工单位应综合复合地基监测和检测情况评价地基处理效果,指导施工,调整设计。

17.2 监测

17.2.1 采用复合地基的工程应进行监测,并应监测至监测指标达到稳定标准。

17.2.2 监测设计人员应根据工程情况、监测目的、监测要求等制定监测实施方案,选择合理的监测仪器、仪器安装方法,采取妥当的仪器保护措施,遵循合理的监控流程。

17.2.3 监测设计人员应根据工程具体情况设计监测断面或监测点、监测项目、监测手段、监测数量、监测周期和监测频率等。

17.2.4 监测人员应根据施工进度采取合适的监测频率,并应根据施工、指标变化和环境变化等情况,动态调整监控频率。

17.2.5 复合地基应进行沉降监测,重要工程、试验工程、新型复合地基等宜监测桩土荷载分担情况。填土路堤和柔性面层堆场等工程的复合地基除应监测地表沉降,稳定性差的工程还应监测侧向位移,沉降缓慢时宜监测孔隙水压力,可监测分层沉降。

17.2.6 采用复合地基处理的坡地、岸边应监测侧向位移,宜监测地表沉降。

17.2.7 对周围环境可能产生挤压等不利影响的工程,应监测地表沉降、侧向位移,软黏土土层宜监测孔隙水压力。对周围环境振动显著时,应进行振动监测。

17.2.8 监测时应记录施工、周边环境变化等情况。监测结果应及时反馈给设计、施工。

17.3 检 测

17.3.1 复合地基检测内容应根据工程特点确定,宜包括复合地基承载力、变形参数、增强体质量、桩间土和下卧土层变化等。复合地基检测内容和要求应由设计单位根据工程具体情况确定,并应符合下列规定:

- 1 复合地基检测应注重竖向增强体质量检验。
- 2 具有挤密效果的复合地基,应检测桩间土挤密效果。

17.3.2 设计人员应调查和收集被检测工程的岩土工程勘察资料、地基基础设计及施工资料,了解施工工艺和施工中出现的异常情况。

17.3.3 施工人员应根据检测目的、工程特点和调查结果,选择检测方法,制订检测方案,宜采用不少于两种检测方法进行综合质量检验,并应符合先简后繁、先粗后细、先后面后点的原则。

17.3.4 抽检比例、质量评定等均应以检验批为基准,同一检验批的复合地基地质条件应相近,设计参数和施工工艺应相同,应根据工程特点确定抽检比例,但每个检验批的检验数量不得小于3个。

17.3.5 复合地基检测应在竖向增强体及其周围土体物理力学指标基本稳定后进行,地基处理施工完毕至检测的间隔时间可根据工程特点确定。

17.3.6 复合地基检测抽检位置的确定应符合下列规定:

- 1 施工出现异常情况的部位。
- 2 设计认为重要的部位。
- 3 局部岩土特性复杂可能影响施工质量部位。
- 4 当采用两种或两种以上检测方法时,应根据前一种方法的检测结果确定后一种方法的检测位置。

5 同一检验批的抽检位置宜均匀分布。

17.3.7 当检测结果不满足设计要求时,应查找原因,必要时应采用原检测方法或准确度更高的检测方法扩大抽检,扩大抽检的数量宜按不满足设计要求的检测点数加倍扩大抽检。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

附录 A 竖向抗压载荷试验要点

A.0.1 本试验要点适用于单桩(墩)竖向抗压载荷试验、单桩(墩)复合地基竖向抗压载荷试验和多桩(墩)复合地基竖向抗压载荷试验。

A.0.2 进行竖向抗压载荷试验前,应采用合适的检测方法对复合地基桩(墩)施工质量进行检验,必要时应对桩(墩)间土进行检验,应根据检验结果确定竖向抗压载荷试验点。

A.0.3 单桩(墩)竖向抗压载荷试验承压板面积应等于受检桩(墩)截面积,复合地基平板载荷试验的承压板面积应等于受检桩(墩)所承担的处理面积,桩(墩)的中心或多桩(墩)的形心应与承压板形心保持一致,且形状宜与受检桩(墩)布桩形式匹配。承压板可采用钢板或混凝土板,其结构和刚度应保证最大荷载下承压板不翘曲和不开裂。

A.0.4 试坑底宽不应小于承压板宽度或直径的 3 倍,基准梁及加荷平台支点(或锚桩)宜设在试坑以外,且与承压板边的净距不应小于承压板宽度或直径,并不应小于 2m。竖向桩(墩)顶面标高应与设计标高相适应,应采取避免地基土扰动和含水量变化的措施。在地下水位以下进行试验时,应事先将水位降至试验标高以下,安装设备,并应待水位恢复后再进行加荷试验。

A.0.5 找平桩(墩)的中粗砂厚度不宜大于 20mm。复合地基平板载荷试验应在承压板下设 50mm~150mm 的中粗砂垫层。有条件时,复合地基平板载荷试验垫层厚度、材料宜与设计相同,垫层应在整个试坑内铺设并夯压至设计夯实度。

A.0.6 当采用 1 台以上千斤顶加载时,千斤顶规格、型号应相同,合力应与承压板中心在同一铅垂线上,且应并联同步工作。加

载时最大工作压力不应大于油泵、压力表及油管额定工作压力的 80%。荷载量测宜采用荷载传感器直接测定,传感器的测量误差为±1%,应采用自动稳压装置,每级荷载在维持过程中变化幅度应小于该级荷载增量的 10%,应在承压板两个方向对称安装 4 个位移量测仪表。

A.0.7 最大试验荷载宜按预估的极限承载力且不小于设计承载力特征值的 2.67 倍确定。加载分级不应少于 8 级。正式试验前宜按最大试验荷载的 5%~10% 预压,垫层较厚时宜增大预压荷载,并应卸载调零后再正式试验。加载反力应为最大试验荷载的 1.20 倍,采用压重平台反力装置时应在试验前一次均匀堆载完毕。

A.0.8 每级加载后,应按间隔 10、10、10、15、15min,以后每级 30min 测读一次沉降,当连续 2h 的沉降速率不大于 0.1mm/h 时,可加下一级荷载。

处理软黏土地基的柔性桩多桩复合地基竖向抗压载荷试验、散体材料桩(墩)复合地基竖向抗压载荷试验时,可根据经验适当放大相对稳定标准。

A.0.9 单桩(墩)竖向抗压载荷试验出现下列情况之一时,可终止试验:

- 1 在某级荷载下, $s\text{-}lgt$ 曲线尾部明显向下曲折。
- 2 在某级荷载下的沉降量大于前级沉降量的 2 倍,并经 24h 沉降速率未能达到相对稳定标准。
- 3 在某级荷载下的沉降量大于前级沉降量的 5 倍,且总沉降量不小于 40mm。
- 4 相对沉降大于或等于 0.10,且不小于 100mm。
- 5 总加载量已经达到预定的最大试验荷载。
- 6 为设计提供依据的试验桩,应加载至破坏。

A.0.10 复合地基竖向抗压载荷试验出现以下情况之一时,可终止试验:

- 1 承压板周围隆起或产生破坏性裂缝。
- 2 在某级荷载下的沉降量大于前级沉降量的 2 倍,并经 24h 沉降速率未能达到相对稳定标准。
- 3 在某荷载下的沉降量大于前级沉降量的 5 倍, $p-s$ 曲线出现陡降段,且总沉降量不小于承压板边长(直径)的 4%。
- 4 相对沉降大于或等于 0.10。
- 5 总加载量已经达到预定的最大试验荷载。

A.0.11 卸载级数可为加载级数的 1/2,应等量进行,每卸一级,应间隔 30min,读记回弹量,待卸完全部荷载后应间隔 3h 读记总回弹量。

A.0.12 单桩(墩)竖向抗压极限承载力可按下列方法综合确定:

- 1 可取第 A.0.9 条第 1 款~第 3 款对应荷载前级荷载。
- 2 $p-s$ 曲线为缓变型时,可采用总沉降或相对沉降确定,总沉降或相对沉降应根据桩(墩)类型、地区或行业经验、工程特点等确定,总沉降可取 40mm~60mm,直径大于 800mm 时相对沉降可取 0.05~0.07,长细比大于 80 的柔性桩、散体材料桩宜取大值。

A.0.13 单桩(墩)竖向抗压承载力特征值,可按下列方法综合确定:

- 1 刚性桩单桩(墩) $p-s$ 曲线比例界限荷载不大于极限荷载的 1/2 时,刚性桩竖向抗压承载力特征值可取比例界限荷载。
- 2 刚性桩单桩(墩) $p-s$ 曲线比例界限荷载大于极限荷载的 1/2 时,刚性桩竖向抗压承载力特征值可取极限荷载除以安全系数 2。

A.0.14 复合地基极限荷载可取本规范第 A.0.10 条第 1 款~第 3 款对应荷载前级荷载。单点承载力特征值可按下列方法综合确定:

- 1 极限荷载应除以 2~3 的安全系数,安全系数取值应根据行业或地区经验、工程特点确定。

2 $p-s$ 曲线为缓变型时,可采用相对沉降确定,按照相对沉降确定的承载力特征值不应大于最大试验荷载的 $1/2$ 。相对沉降值应根据桩(墩)类型、地区或行业经验、工程特点等确定,并应符合下列规定:

- 1) 散体材料桩(墩)可取 $0.010\sim 0.020$,桩间土压缩性高时取大值;
- 2) 石灰桩可取 $0.010\sim 0.015$;
- 3) 灰土挤密桩可取 0.008 ;
- 4) 深层搅拌桩、旋喷桩可取 $0.005\sim 0.010$,桩间土为淤泥时取小值;
- 5) 夯实水泥土桩可取 $0.008\sim 0.01$;
- 6) 刚性桩可取 $0.008\sim 0.01$ 。

A.0.15 一个检验批参加统计的试验点不应少于 3 点,承载力极差不超过平均值的 30% 时,可取其平均值作为承载力特征值。

当极差超过平均值的 30% 时,应分析原因,并结合工程具体情况综合确定,必要时可增加试验点数量。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,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:

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:

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:

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 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
《建筑结构荷载规范》GB 50009
《建筑抗震设计规范》GB 50011
《建筑地基基础施工质量验收规范》GB 50202
《建筑桩基技术规范》JGJ 94