



管桩复合地基在航道驳岸软基处理中的应用

姜兴良¹, 袁淑文², 周广群²

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 中交第一航务工程局有限公司, 天津 300457)

摘要: 复合地基由基体和增强体共同承担上部荷载作用, 处理后的地基具有良好的工程特性和经济优势。在淤泥质土中常用水泥搅拌桩、碎石桩等柔性桩作复合地基, 采用预制管桩等刚性桩作复合地基的案例较少。以丹金船闸航道驳岸软基处理方案研究为例, 论述了驳岸软基处理及桩基选型的思路、复合地基设计参数, 并结合现场试验与观测情况对参数选择进行分析, 与深层搅拌桩复合地基处理方案进行对比, 对类似工程项目的建设标准和规范完善的完善均有积极借鉴意义。

关键词: 管桩; 复合地基; 航道驳岸; 软基处理

中图分类号: TU 473.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)02-0148-05

Application of pipe pile compound foundation in revetment soft foundation treatment

JIANG Xing-liang¹, YUAN Shu-wen², ZHOU Guang-qun²

(1. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

2. CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Tianjin 300457, China)

Abstract: The compound foundation, which supports the upper load by both the matrix and the reinforcement, has good engineering characters and great economic advantages. In silty soil, the flexible piles, such as cement mixed piles and crushed stone piles are used for the compound foundation, but the rigid piles, like precast pipe piles, are seldom adopted. Taking the Danjin shiplock as the research object, this paper discusses the idea for revetment soft foundation treatment and foundation selection, and design parameters of compound foundation. Combining with the field test and observation, we analyze the parameter selection and carries out a comparison between the pipe pile compound foundation and the deep mixed pile compound foundation, to serve as reference for the construction and perfection of standards for similar engineering projects.

Keywords: pipe pile; compound foundation; revetment; soft foundation treatment

1 工程概况

丹金船闸位于江苏省金坛市, 是丹金溧漕河航道唯一的通航建筑物, 船闸等级为Ⅲ级。平面布置采用平地开河的建设方案, 为控制征地拆迁数量, 需配套建设直立式驳岸约 3 795 m。

工程区沿线分布 3 层软土, 各层软土厚度起伏较大: ③黏土, 灰色, 流塑, 粉质含量高, 夹粉土薄层, 厚度 1.70 ~ 7.80 m; ⑤淤泥质粉质黏土, 灰色, 流塑, 粉质含量高, 厚度 2.80 ~

16.00 m; ⑨₁淤泥质粉质黏土, 灰色、顶部黄褐色, 流塑, 夹粉土薄层, 厚度平均 2.95 m^[1]。软土层具有高含水量、大孔隙比、低强度等特点, 主要物理力学指标见表 1; 特征地层分布见图 1。驳岸顶高程为 4.38 m, 底高程为 -3.36 m, 要求地基承载力为 150 kPa。经复核, 驳岸底板基本奠基于⑤淤泥质粉质黏土层上, 为满足驳岸基底承载力及地基稳定性要求, 应对软基进行处理。

收稿日期: 2015-05-28

作者简介: 姜兴良 (1983—), 男, 工程师, 从事港航咨询设计审查及项目管理工作。

表1 软土主要物理力学指标

| 层号 | 岩土名称 | 含水量 $\omega/\%$ | 孔隙比 e | 液性指数 I_L | 压缩模量 E_s/MPa | 固快试验 | | 容许承载力/ kPa |
|----------------|---------|--------------------|------------|---------------|--------------------------|-------------------|---------------------|---------------|
| | | | | | | 无侧限试验 抗压强度/kPa | 内聚力/kPa 内摩擦角/(°) | |
| ③ | 黏土 | 44.2 | 1.221 | 1.18 | 6.25 | | 60 11.3 | 90 |
| ⑤ | 淤泥质粉质黏土 | 44.3 | 1.268 | 1.62 | 2.51 | 34 | 23 10.7 | 70 |
| ⑨ ₁ | 淤泥质粉质黏土 | 44.9 | 1.237 | 1.39 | 4.29 | | 37 12.5 | 80 |

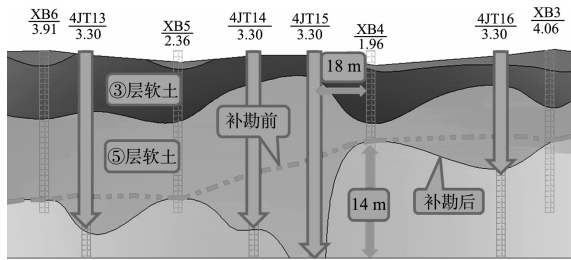


图1 特征地层分布

2 设计方案

复合地基由基体和增强体共同承担上部荷载作用,通过发挥基体的作用,可以有效缩短桩基长度,具有良好的工程特性和突出的经济优势^[2]。航道驳岸工程容许有一定的沉降量,可选用复合地基方案进行处理。

工程区软土厚度变化较为剧烈(图1),补勘前后两钻孔间距18 m,淤泥层底高程相差约14 m。该类地层分布,通过常规钻探,难以摸清淤泥层底高程;需采用桩基方案试出不同区域的淤泥土厚度,才能保证结构设计方案的安全可靠。适合此类软土的复合地基处理方法有深层搅拌桩法和预制桩穿越法。深层搅拌桩法可通过电流变化判断土层分布,桩长超过10 m时,可采用变掺量设计^[3]。预制桩穿越法可通过压桩力判断土层分布,确保桩基穿透淤泥层进入硬土层。

2.1 处理方案

2.1.1 桩基选型

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、二灰混凝土桩和钢管桩等刚性桩。

本工程受特殊地质条件限制,宜选用预制桩穿越法施工。为更好实现桩与土变形协调使桩与土共同承担荷载,刚性桩复合地基中的桩基为摩擦桩;为控制桩体质量、节约投资,宜选用空心桩。PC、PHC、PTC等预制管桩具有强度高、自重轻、生产及施工技术成熟、运输方便等优势,且比钢管桩价格低,宜作为本工程的优选桩型。本工程要求的承载力不高,设计测算桩长在8~12 m。PC、PHC、PTC管桩都能满足使用要求,PTC管桩具有更好的经济性。因直径为0.3 m的管桩断桩率高,而直径为0.6 m的管桩承载力得不到充分利用容易造成浪费;故选用直径为0.4 m的管桩,其单桩竖向承载力特征值在600~1 000 kN。

驳岸后侧需填筑堤防,两侧高差约7.8 m,地质条件差,容易造成地基失稳。本工程中的桩基除了提供竖向承载力的功能外,还应提供一定的抗剪能力,提高地基稳定安全系数。为了获得较大的抗剪能力,桩基需要较大的截面积和箍筋。根据测算,选择壁厚为70 mm的C70管桩。

2.1.2 方案设计

桩基与驳岸底板之间设置0.3 m厚级配碎石垫层;根据不同位置软土层厚度,桩长取8~12 m。单块底板(7.2 m×15 m)下共设60根桩,采用正方形布置;顺航道轴线方向桩间距为1.25 m,共12排;垂直航道轴线方向桩间距为1.4~1.8 m(前密后疏)。

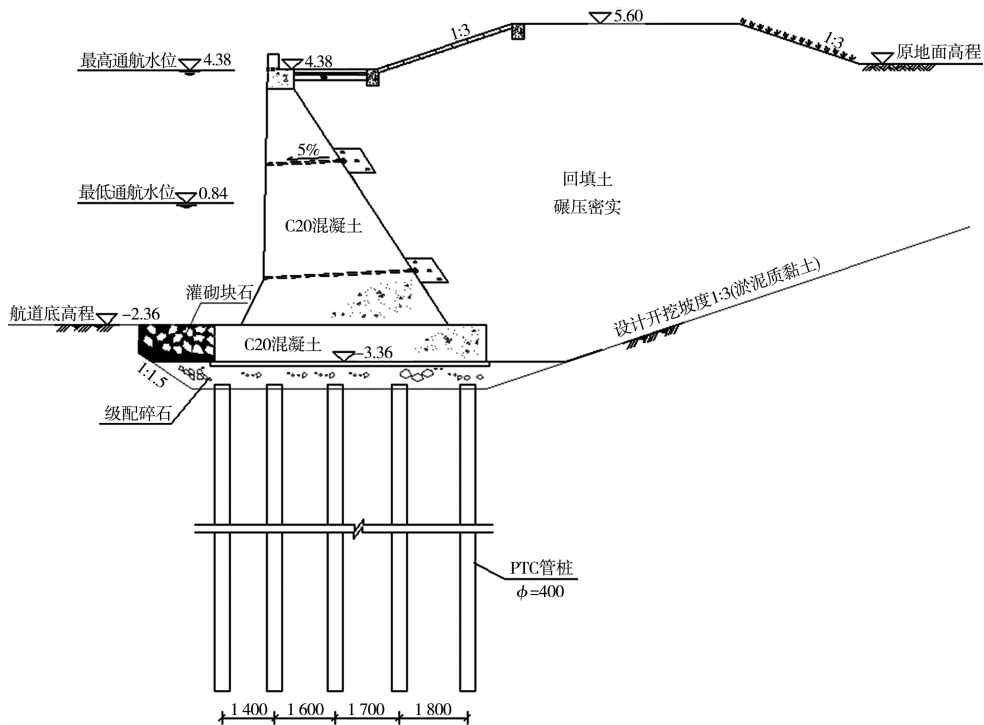


图2 PTC管桩复合地基方案断面(高程:m;尺寸:mm)

2.2 复核计算

2.2.1 复合地基承载力

根据 GB/T 50783—2012 《复合地基技术规范》14.2 节规定,复合地基的承载力标准值可按式计算:

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

式中: f_{spk} 为复合地基承载力特征值(kPa); m 为面积置换率,为 0.07; R_a 为单桩竖向承载力特征值(kN);可按下列两式计算,并取其中较小者:

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + \alpha q_p A_p \quad (2)$$

$$R_a = \eta f_{cu} A_p \quad (3)$$

PTC 管桩强度较高,单桩竖向承载力可由式(2)确定。式中: u_p 为桩的截面周长(m),为 1.26 m; q_{si} 为第 i 层土的桩侧摩阻力特征值(kPa),⑤层淤泥质土中取 10 kPa,⑥层黏性土中取 30 kPa; l_i 为桩长范围内第 i 层土的厚度(m); α 为桩端土地基承载力折减系数,取 0.45; q_p 为桩端土地基承载力特征值(kPa),⑥层黏性土中取 240 kPa; A_p 为单桩截面积(m^2)。对 CD12 孔处单桩竖向承载力特征值为 200 kN,复合地基标准值为 150 kPa。

2.2.2 地基稳定性

1) 参数取值。

驳岸地基为淤泥质土,该类土渗透性较差;在后侧土体填筑过程中,水体排出速度较慢,容易发生地基失稳。填筑过程为加荷过程,孔隙水压力随时间逐渐消散;放缓填筑速率,有利于土体固结,提高其抗剪强度。故在地基稳定计算时,分工况选用土体抗剪强度,即施工期选用十字板强度指标,运营期选用直剪固结快剪强度指标。淤泥质土十字板强度指标为 17 kPa,固结快剪强度为 $C = 23$ kPa, $\varphi = 10.7^\circ$ 。

不配置箍筋和弯起钢筋的一般板类受弯构件,其斜截面的受剪承载力可按式计算^[4]:

$$V_u = \frac{1}{\gamma_d} \cdot 0.7 \beta_{ft} b h_0 \quad (4)$$

参照(4)式,测算 C70 壁厚为 70 mm 的 PTC 管桩单桩抗剪力约为 120 kN,考虑桩基抗力发挥作用的不一致性等因素,验算时取为 90 kN。施工荷载取均载 5 kPa。

2) 验算结果。

采用 Slope 程序,按照简单条分法,对地基稳定抗力分项系数进行验算。填土至设计顶高程时,

验算抗力分项系数最小, 且滑弧从桩体划过, 验算结果见表 2。

表 2 地基稳定抗力分项系数验算

| 计算工况 | 最低通航水位 | 最高通航水位 | 校核洪水水位 | 完建工况 | 施工工况 | 排水管堵塞 |
|----------|--------|--------|--------|------|------|-------|
| 施工期(加固前) | | | | 0.96 | 0.95 | |
| 施工期(加固后) | | | | 1.12 | 1.10 | |
| 使用期(加固前) | 1.20 | 1.11 | 1.08 | | | 1.14 |
| 使用期(加固后) | 1.26 | 1.20 | 1.19 | | | 1.22 |

从表 2 可以看出: 施工期为危险工况; 采用多排 PTC 管桩进行地基处理, 可将地基稳定抗力分项系数提高 5% ~ 15%; 且在地质条件较差时, 效果更为明显。

2.2.3 沉降计算

根据 GB/T 50783—2012《复合地基技术规范》5.3 节规定, 刚性桩复合地基加固区复合土层压缩变形量, 按下式计算:

$$s_1 = \psi_p \cdot \frac{Ql}{E_p A_p} \quad (5)$$

复合地基加固区下卧土层压缩变形量, 按下式计算:

$$s_2 = \psi_{s2} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_i l_i}{E_{s_i}} \quad (6)$$

作用在复合地基加固区下卧层顶部的附加压力, 对刚性桩复合地基按等效实体法计算, 即按下式计算:

$$p_z = \frac{LBp_0 - (2a_0 + 2b_0)h_f}{LB} \quad (7)$$

计算得 $s_1 = 1 \text{ mm}$, $s_2 = 18 \text{ mm}$, 即复合地基沉降量为 19 mm。

采用双曲线法估算工后沉降:

$$\frac{t - t_a}{s_t - s_a} = (t - t_a)\beta + \alpha \quad (8)$$

推算初始时间取恒载期 2 个月, 计算工后沉降值为 4 mm。

2.3 方案比选

设计过程中, 与深层搅拌桩复合地基方案进行了比选。搅拌桩与底板之间设置 0.3 m 厚级配碎石垫层; 单块底板 (7.2 m × 15 m) 下共设 78 根桩, 单桩直径为 0.8 m, 采用梅花形布置; 顺航道轴线方向桩间距为 1.2 m, 共 12 排; 垂直航道轴线方向桩间距为 1.1 ~ 1.4 m (前密后疏)。桩长根据不同位置软土层厚度取 7 ~ 10 m, 见图 3。

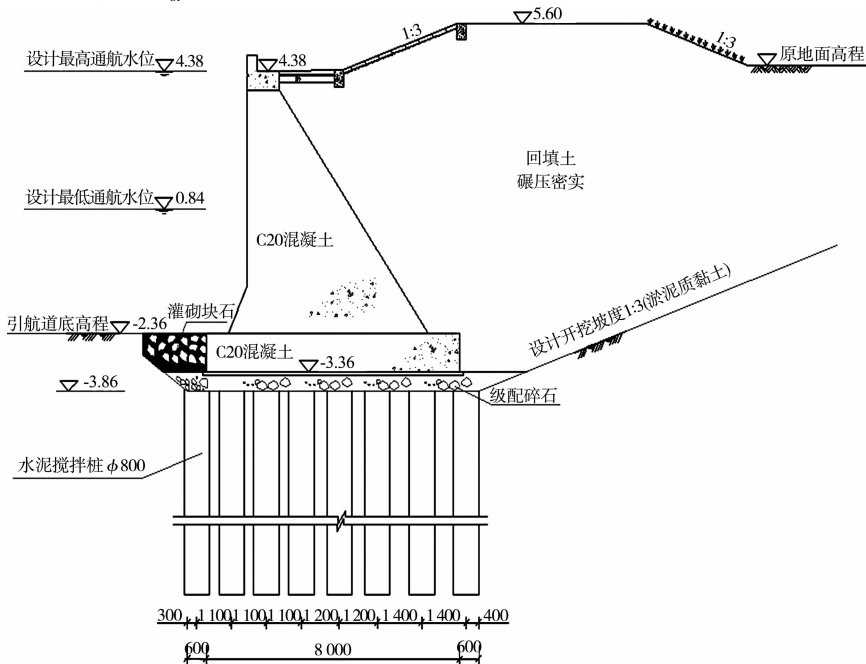


图 3 水泥搅拌桩复合地基方案断面 (高程: m; 尺寸: mm)

深层搅拌桩法常以水泥作为固化剂, 通过深层搅拌机械将固化剂与软土地基强制搅拌, 利用

水泥的水解水化反应、黏土颗粒与水泥水化物的作用、碳酸化作用等形成复合地基^[5]。经测算,

水泥搅拌桩处理方案经济优势不是特别明显；其处理效果与水泥掺量、土体性质、搅拌充分程度等有关；其中水泥掺量、搅拌次数等工序现场监管工作量大，且搅拌桩强度增长速度慢。相对而言，预制桩穿越法具有桩体质量有保障、施工速度快等优点。PTC管桩可采用静压桩机沉桩，大型桩机接地压强小，可有效地减少陷机；在施工时可通过油压值判断土层分布，其单桩竖向承载力可由静力压机处直接读出，直观且易掌握。根据地质条件，结合项目进度要求、施工监管难度等因素，推荐PTC管桩复合地基处理方案为实施方案。

3 试验与观测

刚性桩复合地基适用于处理黏性土、粉土、沙土、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。经现场调查，刚性桩复合地基在当地无成熟经验，鉴于地基处理工作的重要性，为确保结构安全开展了单桩和复合地基静载荷试验。

因地基处理段较长，考虑代表性和经济性，共选择4处位置进行单桩静载荷试验、1处位置进行复合地基静载荷试验。在CD12孔附近进行了单桩和复合地基静载荷试验，此处淤泥质土底高程为-11.10 m；设计桩底高程为-13.56 m，即桩基穿透淤泥层约2.46 m。试验桩长10 m，设计计算此处单桩竖向承载力设计值为200 kN（极限值为400 kN），复合地基承载力设计值为150 kPa（因场地原因，要求加载值至250 kPa）。试验成果显示单桩竖向承载力极限值为440 kN，沉降量小于20 mm；复合地基加载至250 kPa时未发生明显陡降，且小于比例界限的2倍，沉降量小于40 mm。试验结果满足设计要求^[6]。

为保证地基处理方案的安全可靠性，大范围施工前选取100 m长的典型部位开展了现场试验工作。试验段显示，加载至设计高程，驳岸地基较为稳定，其顶部沉降不大于20 mm。待试验段检验合格后，在标段内推广应用；截至2012年8月，已完成标段内驳岸及后侧堤防建设。施工过程中及后期进行了持续的沉降观测，观测数据显

示：处理后驳岸地基及沉降均较为稳定；其中，施工期驳岸结构顶部沉降约8~15 mm，总沉降量约12~20 mm。

施工期在加载时进行观测，初始加载时观测周期约每周1次，临近加载终值时观测周期加密至每周2~3次。典型结构段施工期沉降见图4。

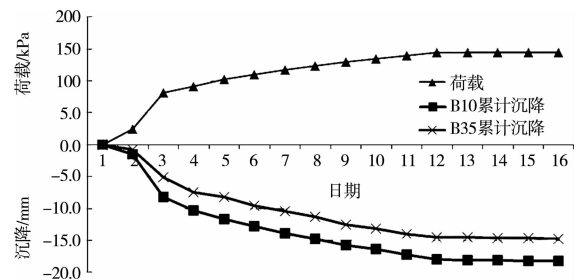


图4 施工期沉降时间曲线

4 结论

1) 刚性桩复合地基沉降量较小，可用于航道驳岸等对沉降要求不是特别严格的结构。刚性桩复合地基相比水泥搅拌桩复合地基具有施工速度快、施工质量易于控制等优点。

2) 试验与观测结果表明，液压沉桩工艺能够探明特殊地层分布情况，管桩在淤泥质土中做复合地基，处理效果较好。

3) 复合地基计算公式中，地区经验参数较多，宜通过现场试验验证。在江苏金坛地区，对预制混凝土桩，淤泥质土侧阻取10~12 kPa基本合适。

参考文献：

- [1] 江苏省水文地质工程地质勘察院. 丹金船闸工程岩土工程勘察报告[R]. 淮安: 江苏省水文地质工程地质勘察院, 2009.
- [2] GB/T 50783—2012 复合地基技术规范[S].
- [3] JGJ 79—2012 建筑地基处理技术规范[S].
- [4] JTS 151—2011 水运工程混凝土结构设计规范[S].
- [5] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008: 465-532.
- [6] 常州仁久工程检测咨询有限公司. 丹金船闸工程直立式驳岸复合地基静载荷试验报告[R]. 常州: 常州仁久工程检测咨询有限公司, 2011.