

碎石桩—强夯联合法加固湖区填土地基

高加成¹, 刘恒武²

(1. 湖南理工学院 土建系, 湖南 岳阳 414000; 2. 岳阳市水利水电基础公司, 湖南 岳阳 414000)

摘要:根据湖区填土的层次结构和工程特性,结合地基土中附加应力的分布规律,采用碎石桩—强夯联合法能起到较好的加固效果.该法先在填土层中设置好碎石桩体,利用挤密和排水固结的作用使其得到初步加固,然后对荷载影响深度范围内的复合土体进行低能强夯处理,迫使桩体碎石沿径向扩散,形成上部为密实的碎石二合土层、中部为扩径后高置换率复合地基、下部为整体夯密复合地基的三层结构.这种土层结构形式具有较高的强度和整体稳定性,能满足一般建筑物的浅埋扩展基础的要求.图 1,表 1,参 8.

关键词:湖区填土;碎石桩;复合地基;强夯处理;多层结构

中图分类号: TU472.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-9102(2005)01-0049-03

随着城市建设的发展,湖区填土地基的加固处理已成为岩土工程中经常遇到的问题.该类土常位于低洼的沟渠池塘或河流湖泊的岸边斜坡处,主要由素填土、杂填土和含生活垃圾的淤泥质土组成,强度和稳定性均较差^[1].由于其位于湖区厚大的淤泥质软土层之上,既不适应采用桩基,也不能用高能级强夯处理,若单用碎石桩加固又难以满足承载力的设计要求^[2,3].实践证明,利用碎石桩—强夯联合法能较好地解决上述问题.该法的原理是先在填土层中施工好碎石桩体,起到挤密、置换和排水固结的作用,然后布置强夯点,通过强大的冲击能将碎石桩体击散,并将碎石沿径向挤入围护土层中,使其在地基上部形成密实的碎石二合土硬壳层和扩径后高置换率的碎石桩复合地基,以满足建筑物对地基的强度和稳定性要求^[4,5].

1 加固处理的原理与计算

1.1 碎石桩复合地基的强夯加固

对碎石复合地基进行强夯处理的基本原理是利用强大的冲击能迫使碎石桩体分离,将碎石沿径向均匀地挤入围护土层中,以此来改变复合地基的土层结构,形成结构密实的碎石二合土硬壳层,使其具有较高的强度和稳定性,以便能直接满足一般建筑物的使用要求.

1.1.1 强夯处理深度的确定

竖向设置散体材料增强体后所形成的复合地基,其整体强度比外围未加固土层的强度要高得多,作用其上的荷载 P 将以压力扩散角 β 向下传递(见图 1)^[5,6],深度 z 处的断面所受到的平均荷载 \bar{P}_z 为

$$\bar{P}_z = \frac{b \cdot L \cdot P}{(B + 2z \tan \beta)(L + 2z \tan \beta)} \quad (1)$$

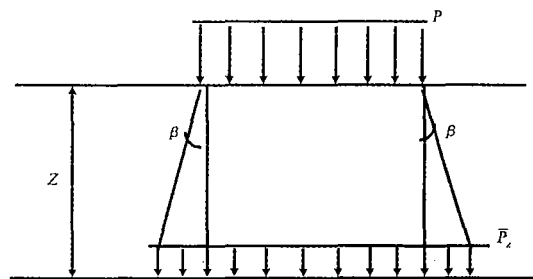


图 1 复合地基荷载扩散示意图

Fig.1 Stress spreading in composite foundation

式中, B 为复合地基上荷载作用宽度, m ; L 为复合地基上荷载作用长度, m .

同理,道路和条带形堆场等平面应变的情况为:

$$\bar{P}_z = B \cdot P / (B + 2z \tan \beta) \quad (2)$$

当某一深度 z 处平面上的平均荷载 \bar{P}_z 满足(3)式的条件时,可视为该深度以下的复合地基满足荷载要求,不必再加固;反之,对该深度范围以内的复合地基,

收稿日期: 2004-12-10

基金项目: 湖南省教育厅基金资助项目(编号: 04C262)

作者简介: 高加成(1963-),男,湖南安乡人,硕士,湖南理工学院副教授,主要从事软土地基处理及病危建筑加固的研究.

必须进行强夯加固处理。

$$\bar{P}_z \leq f_{ak} \quad (3)$$

式中, f_{ak} 为承载力标准值。

1.1.2 强夯技术参数的确定

强夯点夯能量可由梅拉公式反求得^[7]:

$$\sqrt{Q \cdot H} = z/K \quad (4)$$

式中, Q 为夯锤重量, t ; H 为落锤高度, m ; K 为强夯深度影响系数, 对碎石桩复合地基取 $K=0.65$ 。

1.2 挤密碎石桩的布置

由于填土结构松散, 无粗骨料构架, 故应先设置碎石桩体, 桩位的布置主要依据土层设计密实度(或孔隙比)和复合地基承载力理论来确定^[3,5,8]。

(1) 按土层设计孔隙比计算。假设在该土层中设置碎石桩时, 土体被均匀挤密, 且土粒体积和碎石颗粒体积不变, 则加固前后土体所减少的孔隙体积应等于灌入的碎石实料体积。当按正三角形布置桩位时, 其桩距 S 为:

$$S_1 = 0.95 \cdot D \cdot \sqrt{(1-n_G) \cdot (1+e_0)/(e_0-e_1)} \quad (5)$$

式中, n_G 为挤密碎石桩体的空隙度; D 为碎石桩体的直径, m ; e_0, e_1 为加固前后填土的孔隙比。

(2) 按复合地基承载力理论计算。按碎石桩复合地基承载力理论设计时, 相应的置换率 m 和桩距 S 应满足:

$$S_2 = 1.08 \cdot \sqrt{A_p/m} \quad (6)$$

式中, A_p 为碎石桩体横截面面积, m^2 。

(3) 复合地基承载力的计算。经碎石桩处理后的复合地基, 其承载力标准值 f_{ak} 可按下式计算:

$$f_{ak} = [1 + m(n-1)] \cdot f_{ks} \quad (7)$$

式中, n 为桩土应力比; f_{ks} 为桩间土承载力标准值, kPa 。

布置挤密碎石桩的关键在于确定合理的桩距。 S_1 是根据击实试验确定的最小孔隙比或最大干密度来计算的, 代表土体最紧密状态时的最小桩距。当施工桩距小于该值时, 则会造成施工困难或无法沉管; S_2 是根据复合地基置换率来计算的, 表示满足设计要求的最大桩

距。由于施工中一些不利因素的影响, 按此桩距布孔施工后的复合地基, 其实际承载力可能会不满足设计要求。故布孔设计时应增加 20%~30% 的富余, 并由(6)、(7)两式反复试算而定, 但其值应满足关系 $S_1 \leq S \leq S_2$ 。

2 施工质量控制与检测

由于场内土层结构松散, 且受潮水位的不利影响, 故碎石桩体的设置采用沉管干冲挤密的方法进行。施工时, 每次投料计量必须准确, 沉管的提升高度不得高于管内的碎石高度, 以免出现断桩或缩径桩; 碎石粒径宜符合 40~60 mm 的级配要求。当出现多灌或少灌现象时应查明原因, 对不符合设计要求的桩体应及时予以复灌或在旁侧沉管补灌。

强夯施工前, 应认真标记好夯锤落点位置, 落点位置应尽量靠近碎石桩体, 这样既可尽量将碎石桩压散挤开, 又可避免落锤时产生过大的倾斜, 而难以起锤。施工过程中, 应作好夯击次数记录, 仔细观察好地面隆起等现象, 特别是在填土边坡附近夯击时, 还应观察地面位移开裂等现象, 情况严重时应当减少夯击数或停夯。

桩体碎石的密实度可用重型动力触探来检测, 其锤击数 $N_{63.5}$ 应大于 8 击, 否则应重新击实, 确保桩体碎石均达到中等密实以上。经强夯处理后的复合地基, 应进行钻孔抽芯取样, 检查碎石的扩散情况和桩间土的密实度, 当其满足设计要求后, 尚需进行现场静载试验, 以确定地基允许承载力。

3 工程例证

某工程位于洞庭湖畔的湖汉回填区内, 面积为 40.0 m×120.0 m, 拟建建筑物为厂房和仓储堆场, 要求地基允许承载力特征值达到 180.0 kPa 以上。场内地层从上到下的层序和物理力学参数见表 1。

表 1 土层的物理力学参数表

Tab. 1 Physical and mechanical parameter of soil

土层名称	厚度/m	含水率/%	密度/(g/cm ³)	孔隙比	粘聚力/kPa	内摩擦角/°	承载力特征值/kPa
①杂填土	3.4		1.75				
②素填土	7.6	28.6	1.75	0.931	27.3	14.1	90.0
③淤泥质土	12.2	41.5	1.69	1.019	16.0	5.9	70.0

对素填土层的击实试验结果表明: 其最大干密度 $\rho_{dmax}=1.65 \text{ g/cm}^3$, 最优含水率 $w_{opt}=23.5\%$ 。参照文献^[7]的有关资料, 当压实度 $\lambda=0.96$ 时, 地基允许承载力标准值 $f_{ak}=190.0 \text{ kPa}$, 此时土层的干密度 ρ_d 应

达到 1.61 g/cm^3 , 孔隙比 $e_1=0.695$ 。中密状态下级配良好的碎石空隙度 $n_G=35.0\%$, 桩径 $D=0.5 \text{ m}$, 由(5)式可得 $S_1=1.10 \text{ m}$ 。取置换率 $m=13.0\%$, 桩体横截面面积 $A_p=0.2 \text{ m}^2$, 由(6)式可得桩距 $S_2=1.34 \text{ m}$,

综合上述两种方法的计算结果,并考虑一些不利因素,按桩距 $S=1.2\text{ m}$ 布置桩孔,则实际置换率 $m=16.2\%$ 。取 $n=3.5$, $f_{ks}=90.0\text{ kPa}$,由(7)式可求得 $f_{ak}=126.0\text{ kPa}$ 。显然,此时的复合地基承载力还不能满足建筑物的设计要求,必须对其进行再处理。

已知 $B=40.0\text{ m}$, $L=120.0\text{ m}$, $\beta=14.1^\circ$, $P=180.0\text{ kPa}$, $f_{ak}=120.0\text{ kPa}$, 联立(1)、(3)两式,可求得 $z=11.5\text{ m}$,故此,强夯处理深度不应小于 11.5 m 。代入(4)式可算出点夯能量 $Q \cdot H=313.0\text{ t} \cdot \text{m}$,取夯锤底面直径为 2.0 m ,夯锤重 20.0 t ,落锤高度 16.0 m ,便可满足点夯能量的要求。强夯施工采用三遍点夯,一遍满夯的施工方法。第一、二遍点夯夯点间距为 $6.0\text{ m} \times 3.0\text{ m}$,第三遍点夯夯点间距为 $3.0\text{ m} \times 3.0\text{ m}$,每个夯点的夯击数为 8 击,收锤标准是最后两击的平均夯沉量不大于 80.0 mm ,因填土内预先设置有碎石排水桩体,两遍点夯的间隔时间为 7 d。

强夯完工后,进行了钎探和钻探抽芯检测,结果表明:上部 6.0 m 以内的碎石桩体得到了较理想的扩散,桩径已扩展到 $0.8\sim 1.0\text{ m}$,置换率增大到 25% ;桩间土的密实度得到了较大的提高,干密度达到了 $1.64\sim 1.68\text{ g/cm}^3$,孔隙比为 $0.645\sim 0.682$ 。同时,进行了静载试验,地基承载力标准值为 230.0 kPa ,可直接作建筑物地基使用。

4 结论

碎石桩—强夯联合加固地基方法的创新之处:能根据实际工程的土层结构和地基中附加应力的分布规律,将地基处理成由强到弱的 3 个层次,即上部为较密

实的碎石二合土层,中部为扩径后大置换率的复合地基,下部为挤密后的复合地基。此法的主要特点有:(1) 经处理后的地基,其强度和稳定性提高较大,可直接作一般建筑物的浅埋扩展基础的地基使用,从而大大降低了基础工程造价;(2) 减少了沉管挤密碎石桩的设置难度,并为土体的排水固结和强夯孔隙水压力的消散提供了便利的条件;(3) 采用了强夯中的低能夯击施工,减少了对边坡稳定性和下卧软土的破坏,同时也减少了对周边环境的影响。

参考文献:

- [1] GAO Jia-cheng. Analysis on the current situation of foundation in Yueyang City[A]. ZHANG Xie-kui. Study on constructions of modern cities [C]. Wuhan: Wuhan Technology University press, 1998.
- [2] GONG Xiao-nan. New Technique to treat foundation [M]. Xi'an: Shanxi Science and Technology Press, 1997.
- [3] Ye Shu-ling, HAN Jie, YE Guan-bao. Foundation treatment and underpinning technology[M]. Beijing: Chinese Architectural Industry Press, 1994.
- [4] 高加成. 碎石桩群抗滑复合坝体治理软土滑坡[J]. 施工技术, 1999, 28(9): 17-18.
GAO Jia-cheng. Treating slide of soft soil by using gravel-pile compound dam[J]. Construction Technique, 1999, 28(9): 17-18.
- [5] GONG Xiao-nan. Compound Foundation [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 1992.
- [6] GB 5007-2002. Design standards of architectural foundation Basis [S]. Beijing: Chinese Architectural Industry Press, 2002.
- [7] WU Xiang-xing. Soil Mechanics and Foundation Basis [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 1995.
- [8] GJ 79-91. Technical standards of treating architectural foundation [S]. Beijing: Chinese Planning Press, 1992.

Reinforcing soil around lake with gravel pile and dynamic compaction

GAO Jia-cheng¹, LIU Heng-wu²

(1. Dept. of Construction, Hunan Institute of Science and Technology, Yueyang 414000, China; 2. Yueyang Water Conservancy & Hydropower Foundation Company, Yueyang 414000, China)

Abstract: Based on the structure and engineering properties, combined with the distribution rule of net foundation stress, it could better reinforce artificial soil with gravel pile and dynamic compaction. Firstly, gravel piles in soil were laid for compacting and consolidating soil, then gravel composite foundation was treated with dynamic compaction in order to form three-level soil that is gravel composite soil and high replacement ratio composite foundation and dense composite foundation. The soil structure has higher strength and better stability, which can meet the needs of general buildings. 1fig., 1tab., 8refs.

Key words: composite soil; gravel pile; composite foundation; dynamic compaction; levels structure

Biography: GAO Jia-cheng, male, born in 1963, master, associate professor, soft foundation treating, reinforcement of ill buildings.