

石灰桩与深层搅拌桩联合加固深厚软土

郑俊杰

(华中理工大学土木工程系,武汉 430074)

袁内镇

(湖北省建筑科学研究设计院,武汉 430071)

【摘要】 石灰桩与深层搅拌桩联合加固深厚软土工程具有较好的技术效果和经济效益。

【关键词】 石灰桩 深层搅拌桩 地基处理

【Abstract】 That thick soft soil is reinforced combined with lime pile and deep-mixing pile possesses the better technical result and economical benefit.

【Key words】 lime pile deep-mixing pile foundation treatment

0 前言

石灰桩法虽未列入《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-91),但石灰桩在设计计算理论及施工工艺方面也已日趋成熟。石灰桩法和水泥深层搅拌法是两种较常用的地基处理方法,它们对软土加固均能取得较好的效果。

本文所指深厚软土,其厚度至少大于10m,承载力标准值小于100kPa。虽然目前已有能施工20m桩长的深层搅拌桩机,但由于深层搅拌桩是摩擦桩,桩体强度又不很高,深层搅拌桩存在临界桩长问题,桩长太长显然不经济。由于石灰桩独特的作用机理,使得石灰桩亦可单独对深厚软土进行加固。但若软土强度较低,承载力标准值小于80kPa,则由于软弱下卧层变形很难稳定,应用石灰桩进行浅层处理须慎重。

石灰桩、深层搅拌桩与地基土形成的三元复合地基有其自身的特点,由于深层搅拌桩与石灰桩的桩体置换作用,石灰桩对桩间土的膨胀挤密作用、石灰桩的复合垫层作用以及石灰桩加固层的减载作用,使得其承载力较天然地基承载力有大幅度提高,沉降量也大为减少。

1 石灰桩深层搅拌桩复合地基设计

1.1 软土强度较低, $f_k < 80\text{kPa}$ 的情形

此种情形应以深层搅拌桩作为复合地基

承受荷载的主要部分进行设计,石灰桩只作浅层处理,提高桩间土承载力。

石灰桩深层搅拌桩三元复合地基承载力计算公式如下^[1]:

$$f_{sp,k} = m_1 \frac{R_k^d}{A_p} + \beta [m_2 f_{pk} + (1 - m_1 - m_2) f_{sk}] \quad (1)$$

式中: R_k^d —— 深层搅拌桩承载力标准值;

A_p —— 单根深层搅拌桩截面积;

f_{pk} —— 石灰桩的比例界限;

β —— 折减系数,桩端为软土时, β 取0.7~1.0,桩端为硬土时, β 取0.4~0.6;

m_1, m_2 —— 分别为深层搅拌桩和石灰桩的面积置换率。

经石灰桩挤密后,桩间土承载力由下式给出:

$$f_{sk} = \left(\frac{K_{ps} - 1}{A_s} A_g + 1 \right) \mu_s f_k \quad (2)$$

式中: K_{ps} —— 石灰桩桩边土的加强系数,

$$K_{ps} = 1.3 \sim 1.6,$$

$$A_g = \frac{\pi}{4} [(1.5d_1)^2 - d_1^2],$$

d_1 —— 石灰桩设计桩径;

A_s —— 桩边土的加强区面积;

A_s —— 加固单元中桩间土的面积;

μ_s —— 成桩中的挤压系数,排土成孔

时, $\mu_s = 1^*$;

f_k ——桩间天然地基土承载力标准值。

桩间土为一般粘性土或粉土时

$\mu_s = 1.05 \sim 1.10$,

杂性土或大孔隙土时

$M_s = 1.1 \sim 1.20$

设计中通常根据经验假定一个置换率,然后由公式(1)计算出另一个置换率。深层搅拌桩和石灰桩宜按正方形或矩形布置。

1.2 软土强度稍高, $f_k \geq 80\text{kPa}$ 的情形

此种情形,只须以石灰桩为复合地基承受荷载的主要部分进行设计,计算公式仍可采用(1)式。深层搅拌桩面积置换率可取5%~10%。也可按石灰桩复合地基直接进行设计,然后在建筑物角点轴线上和重要部位布置深层搅拌桩。由于石灰桩复合地基的垫层作用和石灰桩加固层的减载作用,软弱下卧层强度验算一般能满足要求,因此深层搅拌桩的作用主要是作为承载力的安全储备,同时可较大幅度地减少建筑物沉降量。

此种情形应用石灰桩与深层搅拌桩联合加固法比单纯采用石灰桩具有更好的技术安全性,比单纯采用深层搅拌桩方案具有更好的经济效益。

石灰桩复合地基承载力可按式(3)计算:

$$f_{ck} = mf_{pk} + (1-m)f_{sk} \quad (3)$$

桩间土承载力计算公式由式(2)可变为

$$f_{sk} = \left(\eta \frac{m}{1-m} + 1\right) \mu_s f_k \quad (4)$$

式中: $\eta = (K_{ps} - 1) / 0.7854$ ($\eta = 0.4 \sim 0.8$)

将式(4)代入式(3),可得

$$m = \frac{f_{ck} - \mu_s f_k}{f_{pk} - (1-\eta)\mu_s f_k} \quad (5)$$

由石灰桩面积置换率即可求出石灰桩的理论布桩数。石灰桩可按矩形成三角形方式均匀布置。

2 石灰桩深层搅拌桩的施工与检测

如果工期允许,宜先施工深层搅拌桩,待其到达龄期后,再施工石灰桩,这样石灰桩的膨胀作用使桩间土得到挤密,深层搅拌桩的

桩周摩擦力也得到提高。

如果工期较紧,宜先施工石灰桩,石灰桩施工完毕后再施工深层搅拌桩。

深层搅拌桩施工宜采用变掺量施工工艺,使得桩体强度从下到上依次增加,有利于荷载向深层地基土传递,同时减少建筑物沉降。

石灰桩桩体材料配比可采用生石灰:煤灰=1:2(体积比),若软土中含水量较大或为增强挤密效果,可适当增加生石灰用量,即采用体积比为1:1.5或1:1。

检测分为桩身质量检测 and 复合地基承载力检测。深层搅拌桩桩身质量检测可采用小应变动测法或轻便触探法。石灰桩桩身质量检测采用静力触探法。复合地基承载力检测采用平板静载荷试验,压板面积大小采用单根桩承担的处理面积或直接采用1m×1m方板。对于复合地基承载力,按沉降比取值比较适宜。对于上文设计中的第一种情形,沉降比 s/b 可取0.004~0.01;对于第二种情形,沉降比 s/b 可取0.01~0.015。

3 工程实例

武汉某小区拟建一幢八层商住楼,场区地表为3m厚填土,其下为13m厚淤泥质土,承载力标准值 $f_k = 70\text{kPa}$ 。

若采用桩基方案,造价很高。若采用复合地基方案,则设计要求复合地基承载力必须大于180kPa,若选择深层搅拌桩,则势必需要较大的面积置换率,且必须按实体基础验算下卧层强度。且由于桩较长,总造价也会较高。

采用石灰桩、深层搅拌桩三元复合地基,可使深层搅拌桩桩数大大减少,石灰桩只需对地基土进行浅层处理,而复合地基承载力可提高到原来的2~3倍以上。

本工程深层搅拌桩桩长12m,桩径500mm,深层搅拌桩面积置换率20%。石灰桩桩长4m,桩径300mm,石灰桩面积置换率8%。

(下转第47页)

5 基坑的降水计算

由于土层的渗透性较差,井深达到一定深度后再加大井深在一定时间内,并不能明显地增大降水影响范围,因此经综合考虑确定水井的深度为16m,井径250mm,滤水管放在5~15m深度范围内。

在基坑土方开挖前先进行降水,在挖至设计坑底位置前必须将坑内任一点的水位降至基坑底面之下。以此作为对降水的要求条件。用以上模型进行计算,确定出最小降水井数和井的平面布置,以及降水需要的时间。

由于土层的导水性较小,而抽水井水泵的抽水能力较大,因此实际抽水流量不是取决于水泵的抽水能力,而是取决于含水层的供水能力。降水过程中过水断面和水力梯度在不断的变化,因此含水层的供水量也在变化,从而实际抽水量也是变量。由计算出的每一时段各节点位置处的 Φ 和 $\frac{\partial \Phi}{\partial n}$,可以确定出井周各时段过水断面的大小和水力梯度值及其分布,由此进一步计算出该时段的供水量,再以此供水量作为抽水量进行下一时段的计算,这样就可算出每一时刻水位的降深情况和抽水量的大小。

由于降水区与含水层没有隔离,降水区域实际上是含水层的一小部分,因此降水过程不是疏干排水,而是通过补排达到动平衡

(上接第34页)

石灰桩与深层搅拌桩施工完毕后,桩身质量检测表明桩身完整性好,桩身强度较高,静载荷试验表明,复合地基承载力达到189kPa,满足设计要求。

竣工两年,最大沉降量62mm,最大不均匀沉降为1.3%,由此可见加固效果较好。

4 结语

(1)采用石灰桩和深层搅拌桩联合加固深厚软土能使复合地基承载力得到较大的提高,沉降量也相应减小。

来实现局部排水的目的。

经过正演试算,确定降水井以6眼为佳,井的布置见图2。以图2的降水井布置,用以上模型进行预测,计算了降水1~20d基坑内地下水位的分布情况,从计算结果看出,降水12d后基坑内的地下水位就可降到10m深度之下,满足基坑施工和安全的要求。

该工程的实际降水过程中单井最大流量达到10m³/h,维持降水井连续抽水的单井流量为4~6m³/h。实际降水10d开始基坑开挖,基坑施工过程中,降水效果达到要求。

6 结语

在基坑降水中降水井常常为非完整井,用经典理论求解较困难。三维边界单元法则比较容易处理这类问题。该方法还能随降水过程中水面的下降不断地修正滤水管的有效进水长度,使得对非完整井流的描述更加真实和准确。对三维问题,边界单元法能够将对立体单元的体积分转化为对边界面上单元的面积分,即将三维计算转变成二维计算,使计算工作量大为减小。所以三维边界单元处理此类问题非常有效。

参 考 文 献

- 1 JA Liggett and PL-Liu. The Boundary integral equation method for Porus media. London Allen and Unwin, 1983

收稿日期:1997-09-28

(2)复合地基设计应根据场地工程地质特点选择合理的地基处理方案。本文中石灰桩深层搅拌桩复合地基的设计方法可推广到其它三元及多元复合地基的设计中去。

参 考 文 献

- 1 Zheng Junjie. Study on Composite foundation formed by lime-flyash piles and deep mixing piles, Proceedings of second international conference on soft soil engineering. Hohai University Press, 1996

收稿日期:1997-07-20