

江苏里下河地区软土地基处理方法探讨

倪晓健

(扬州市工业设计院 江苏扬州 225002)

T6672.36

T6671.8

摘要 分析江苏里下河地区软弱土的成因及工程特性,介绍在里下河地区工程设计中采取的换土垫层法及深层搅拌法的软土地基处理方法,并用两个具体的工程实例,详细说明这两种地基处理的设计方法。指出应因地制宜选择切实有效、经济合理的地基处理方法;对于层数较少的建筑物,宜采用换土垫层法,对于层数较多的建筑物,以深层搅拌桩复合地基的加固方法较为经济合理,两种方法都应进行软弱下卧层的地基承载力验算。

关键词 软土地基;地基加固;深层搅拌桩;江苏省

建筑

近年来,我们在江苏兴化、高邮、宝应等里下河地区的集镇改造过程中,遇到许多软弱土地基的处理问题。这些集镇的沿街建筑大多为 2~5 层的连家店或商住楼,底层均为商店,两层以上为住宅,砖混结构,建筑高度较大的可能采用框架结构。里下河地区的地层主要是在较弱的海沿岸流及潮汐的水动力作用下,逐渐淤积而成的,这种软弱土的土层厚度较大,通常都在数米至数十米不等。有些地区表层长期受气候的影响,使含水量减少,在收缩固结作用下,表面形成了所谓的“硬壳”。这种软弱土地基往往不能直接作为基础的持力层,根据建筑物不同的结构特点,必须采取一些切实有效的地基处理方法,来提高持力层的地基承载力,同时还必须对软弱下卧层进行地基承载力验算。

1 里下河地区软弱土的成因及工程特性

兴化、高邮、宝应等地区的地质钻探资料表明,里下河地区的软弱土一般是第四纪后期在滨海、湖泊、河滩等地质沉积环境下沉积形成的,主要由粘土粒组和粉土粒组组成,并含有少量的有机质,多呈灰色或黑灰色,软塑或半流塑状态,物理特性大部分是饱和的,天然含水量一般都大于液限,淤泥的孔隙比大于 1.5,淤泥质土的孔隙比在 1~1.5 之间。软弱土的这种高含水量和大孔隙比的工程特性,不但反映了土中的矿物成分与介质相互作用的性质,同时也说明里下河地区软土的抗剪强度很低,压缩性很高,在考虑软土的变形特性时,必须考虑软土的天然固结状态,在荷载的作用下,如果地基能够排水固结,

软土的强度将产生显著的变化,而且,土层的固结速率愈快,软土的强度增加愈大。因此,降低含水量,加速软土层的固结速率,是改善软土地基的强度特性和变形特性的一项有效途径。

里下河地区的软土一般为絮凝结构,属结构性沉积物,具有触变性,当其结构未被破坏时,具有一定的结构强度,但一经扰动,土的结构强度便被破坏,甚至呈流动状态。因此,在里下河地区进行地基处理或基坑开挖时,必须注意避免扰动土的结构。里下河地区大部分的软土地基中存在着带状夹砂层,软土层的渗透性很小,而且有明显的各向异性,水平方向的渗透系数往往要比垂直方向的渗透系数大,这是改善软弱土层工程特性的一个有利因素。

2 软弱土地基的处理方法

根据上述软弱土地基的工程特性,在软弱土地基上修建建筑物时,必须对建筑物的建筑体型、荷载情况和地质条件进行综合分析,确定必要的建筑措施、结构措施和地基处理方法。在里下河地区的工程设计中,采取了以下一些措施:

a. 对于表层有一定厚度软土“硬壳”层的软弱土地基,由于“硬壳”层的地基承载力较下层软土为高,压缩性也较小,因而,当建筑物的层数在 3 层以下时,利用这层“硬壳”作为建筑物浅基础的持力层,尽量做到“轻基浅埋”,这样可以充分利用软弱土的结构强度,减少施工期间对下层软弱土的扰动。设计时必须注意,基础面积除了满足“硬壳”层的地基承载力要求外,还应当对软弱下卧层进行地基承载力

验算.当软弱下卧层不能满足承载力要求时,可以取较小的“硬壳”层承载力来计算基础面积.施工开挖基槽时,可以暂不挖到基底标高,保留约 20 cm 厚的原土,待基础施工前进行清除.

b. 在建筑物的布局及施工过程中,对于有高差的建筑物、在地基比较均匀的情况下,将重的、高的部分设在建筑物的两端,而不设在建筑物的中部,因为建筑物的沉降往往都是中部大、两端小.施工过程中,建议先建重的、高的建筑物,后建轻的、低的建筑物,这样可以尽量减少软土地基上建筑物的不均匀沉降.当建筑物对变形要求较高时,采用较小的地基承载力,或建筑物各部分采用不同的基底压力等手段来调整建筑物的不均匀沉降.

c. 当软弱土层的厚度较大、软土的强度又很低,以致天然地基不能承受三四层砖混结构房屋的荷载时,可采用换土垫层的方法来处理软弱土地基,也就是将基础底面下一定范围内的软弱土层挖除,换填其它无侵蚀性的、强度较大的低缩性散体材料,经过分层夯实,作为地基持力层.在里下河地区,选用的垫层材料通常是素土或灰土.素土垫层,设计要求土料中有机质含量不得超过 5%,且不得含有冻土或膨胀土.灰土垫层,设计要求选用粘性土及塑性指数大于 4 的粉土,不得含有松软杂质,并应过筛,其颗粒不大于 15 mm,灰选用新鲜的消石灰,其颗粒不得大于 5 mm,灰土的比例通常采用 3:7.

垫层的作用主要是提高持力层的承载力,并通过垫层的应力扩散作用,减少垫层下天然土层所承受的压力,这样可以减少基础的沉降量.另外,用透水性大的材料作垫层时,软土中的水分可以部分地通过它排出,从而加速软土的固结.垫层的厚度一般为 1~2 m,不宜太厚,也不能过薄.过薄的垫层作用不显著,垫层太厚则施工较困难,也不经济.垫层厚度通常是根据下卧层的承载力计算确定,详细的计算公式可见 JGJ 79—91《建筑地基处理技术规范》.

为了满足基础底面应力扩散的要求,防止垫层向两边挤动,采用扩散角法确定垫层的宽度;同时,根据施工的要求,垫层顶面每边应超出基础底边不小于 300 mm,或从垫层底面两侧向上按开挖基坑经验的要求放坡.

实际计算时,先按基础宽度 b 的 0.5~1 倍选定一个垫层的厚度 z 值,然后按扩散角法求出垫层底面宽度 b' ,从而验算软弱下卧层的地基承载力是否满足要求.具体步骤见实例 1.

d. 对于地基承载力要求较高的 5 层以上建筑物而言,采用深层搅拌法加固软土地基不失为一种较好的地基加固方法.利用水泥作固结剂,通过特制

的搅拌机械,在地基中将水泥和土体强制拌和,使软弱土硬结成整体,形成具有水稳定性和足够强度的水泥土桩或地下连续墙,这些加固体与天然地基组成复合地基,共同承担建筑物的荷载.深层搅拌法特别适合于加固含水量大于 30% 的各类软土地基,固化剂的掺入量采用被加固土重的 15%,外掺剂可根据工程需要选用具有早强、缓凝、减水、节省水泥等性能的材料.

加固设计时,首先选定搅拌桩的直径,根据地质条件,确定搅拌桩的桩长,从而求得单桩竖向承载力标准值 R_k ,然后,根据建筑物要求达到的复合地基承载力标准值 $f_{sp,k}$,求得面积置换率 m ,则深层搅拌桩的桩数 n 必须满足:

$$n \geq \frac{mA}{A_p}$$

式中: A 为基础底面积; A_p 为桩的截面积.

深层搅拌桩的平面布置通常是根据上部结构的特点以及上部建筑物对变形的要求,采用正方形或等边三角形的柱状、块状等加固形式,一般只需在上部结构物基础范围内布桩.深层搅拌桩的加固深度均在 10~15 m 之间,当搅拌桩处理范围以下存在软弱下卧层时,还必须按 GBJ 7—89《建筑地基基础设计规范》的有关规定进行下卧层强度验算.

3 工程实例

3.1 实例 1

宝应县曹甸镇某沿街连家店,局部 3 层砖混结构,平面尺寸为 14 m × 48 m,开间为 4 m,每两个开间为一个单元.底层临街部分为商店,后半部分为厨房、卫生间或贮藏室;第二、三层为套房,布置有客厅、卧室及卫生间;底层层高为 3.8 m,第二、三层层高均为 3.2 m.地基各土层的工程地质特性见表 1.

表 1 实例 1 工程地质特性

土层	土层厚度 / m	土层描述	地基承载力标准值 f_k / kPa	密度 ρ / (t·m ⁻³)
1	0.6	耕作土、粉质粘土,高压缩性,较湿,稍密	55	1.90
2	0.4	粉砂,中等压缩性,较湿,中密	80	1.96
3	0.9	淤泥质粘土,高压缩性,流塑饱和状	55	1.94
4	0.5	粉质粘土,中低压缩性,可塑饱和状	130	1.98
5	2.1	粘土,中低压缩性,硬塑饱和状	220	1.97

由于街道两侧农田的自然地面比街道路面低 1.2 m,即该建筑物的底层室内地坪比自然地面高出 1.5 m,这类层次少的建筑物,荷载较小,对地耐力的要求也较低.综合各方面的因素,我们采用换土垫层法加固地基,在第一层耕作土全部挖除后,选用符合

要求的三七灰土(灰土比为 3:7)分层压实回填,分层铺填厚度取 250mm,压实系数要求达到 $\lambda_c \geq 0.93$,地基承载力标准值 $f_k \geq 100 \text{ kPa}$,灰土垫层的厚度为 1.20m,基础底面标高 -0.80m,以其中一道承重墙的墙下条基为例,上部结构传至基础的总荷载设计值 $F = 176.3 \text{ kN/m}$,条基宽 $b = 2 \text{ m}$,基础的平均密度取 2.00 t/m^3 ,三七灰土的密度为 2.04 t/m^3 ,见图 1。对第三层土、淤泥质粘土进行软弱下卧层验算:

- ① $z/b = 1.6 \text{ m}/2 \text{ m} = 0.8 > 0.5$,取压力扩散角 $\theta = 30^\circ$;
- ② 软弱下卧层顶面的附加压力 $p_z = 46.2 \text{ kPa}$;
- ③ 软弱下卧层顶面土的自重压力 $p_{cz} = 47.5 \text{ kPa}$;
- ④ $p_z + p_{cz} = 93.7 \text{ kPa}$ 。而修正后第三层土的地基承载力 $f_z = 96.4 \text{ kPa}$,可见 $p_z + p_{cz} < f_z$,软弱下卧层能满足承载力要求。

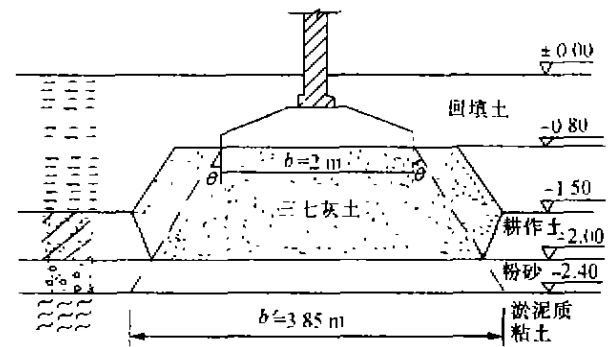


图 1 地基及基础剖面

3.2 实例 2

兴化市戴窑镇某 5 层综合楼,框架结构,柱网为 $7 \text{ m} \times 7 \text{ m}$,底层为餐厅,第二、三层为客房,第四、五层为办公室、会议室,底层层高 4.5m,其余各层均为 3.6m。地基各土层的工程地质特征见表 2。

表 2 实例 2 工程地质特征

土层 层号	土层 厚度 /m	土层描述	地基承载力 标准值 f_k/kPa	压缩 模量 E_s/MPa	摩擦 力 q_i/kPa
1	1.0	杂填土、松散碎砖等、杂色	80	2.8	8
2	0.8	粘土、黄褐色、可塑	95	3.6	10
3	2.1	淤泥质土、灰黑色、软塑	70	2.3	6
4	5.1	粘质粉砂、青灰色、稍密、饱和	90	4.5	8
5	3.0	粉砂、青灰色、稍密、饱和	100	6.2	12
6	3.0	粉细砂、青灰色、中密、饱和	135	13.5	16

该建筑物较高,上部结构荷载较大,如果利用天然地基作该建筑物的持力层,必然导致基础面积很大,造价很高,而且地基可能会产生较大的沉降或不均匀沉降,因而,我们结合建筑物的要求及具体的工程地质特征,选用深层搅拌桩复合地基的加固方法加固该建筑物的地基,深层搅拌桩的直径 $D = 600 \text{ mm}$,桩长 $l = 8.5 \text{ m}$,以进入第 5 层土为准,基础埋深 1.0m,加固后复合地基的承载力标准值 $f_k = 140 \text{ kPa}$,以轴

力最大的中柱为例,上部结构传至基础顶面的荷载设计值 $N = 2702 \text{ kN}$,求得复合地基上柱下独基的基底面积为 $4.6 \text{ m} \times 4.6 \text{ m} = 21.16 \text{ m}^2$,深层搅拌桩的布桩计算如下:

根据 JGJ 79—91《建筑地基处理技术规范》的有关公式,按下式计算单桩竖向承载力标准值:

$$R_k = q_s U_p l + \alpha A_p q_p$$

式中: q_s 为桩周土的平均摩擦力; U_p 为桩周长, $U_p = \pi D = 1.885 \text{ m}$; l 为桩长,按各层土的土层厚度计算; A_p 为桩的截面积, $A_p = \pi (D/2)^2 = 0.283 \text{ m}^2$; q_p 为桩端天然土的承载力标准值,这里 $q_p = 100 \text{ kPa}$; α 为桩端天然土的承载力折减系数,取 $\alpha = 0.5$,可求得 $R_k = 137.4 \text{ kN}$ 。

桩间土承载力折减系数 β 取 0.5,桩间土的承载力标准值 $f_{s,k}$ 平均取 85 kPa ,复合地基的承载力标准值 $f_{sp,k}$ 为 140 kPa ,则深层搅拌桩的面积置换率为

$$m = \frac{f_{sp,k} - \beta f_{s,k}}{R_k/A_p - \beta f_{s,k}} = 0.22$$

该独基下深层搅拌桩的计算总桩数为

$$n \geq \frac{mA}{A_p} = 16.5 \text{ 根}$$

实际布桩时,我们采用正方形的布桩形式,桩的中心间距为 1m,共布置深层搅拌桩 25 根,大于计算的总桩数,能满足要求。

4 结 语

江苏里下河地区在乡镇沿街改造的建设中,2~5 层的建筑物较为普遍,而里下河地区的这种滨海、泻湖相沉积而成的软弱地基,因其含水量高、压缩性大、抗剪强度低,对建筑物的基础设计影响很大。在这些乡镇老街改造、新区开发的建设中,针对不同层数的建筑物,根据其使用功能,因地制宜,采取切实有效的地基处理方法,选择经济合理的结构基础形式,取得了一定的效果。对于层数较少的建筑物,如果存在一定厚度的地基“硬壳”层,采用浅埋的条基或整板基础比较经济;如果没有“硬壳”层,而且软弱土层又较厚,可以采用换土垫层的方法,处理出有一定厚度的地基持力层,这种施工方法简便易行,能就地取材,因而在里下河地区使用十分普遍,必须注意以上两种方法都应该进行软弱下卧层的地基承载力验算,对于层数较多的建筑物,由于荷载大,变形要求高,如果存在较厚的软弱地基,采用深层搅拌桩复合地基的加固方法较为经济、合理,而且深层搅拌桩的置换率在 25% 左右,加固后的地基承载力标准值以 120~160 kPa 较为适宜。

(收稿日期:1998-05-11 编辑:熊水斌)