

复合基桩与刚性桩复合地基的对比

李连营 刘月辉 唐海明
(天津市勘察院, 天津 300191)

【摘要】 刚性桩复合地基在天津地区广泛应用,而复合基桩在天津地区应用较少。通过两个工程实例对复合基桩与刚性桩复合地基在设计及布桩上的差异进行了探讨。

【关键词】 刚性桩复合地基; 复合基桩; 桩数; 桩数比

【中图分类号】 TU473.1

the Comparison of Composite Foundation Piles and Rigid-pile Composite Foundation

【Abstract】 The rigid-pile composite foundation has been widely used in Tianjin area. But the composite foundation piles have little been used in Tianjin area. The difference of design between composite foundation piles and rigid-pile composite foundation is studied through two engineering cases.

【Key words】 rigid-pile composite foundation; composite foundation piles; the number of piles; the ratio of piles number

0 引言

天津市浅部土层(<5.0 m)一般变化较大,沟、坑、新近沉积土等分布较为广泛。该种土一般孔隙比较大(0.85~1.0),含水量较高(一般 $>35\%$)、高压缩性,强度低,在这种地质条件下,建造6~7层建筑物(基底压力一般为110~130 kPa),浅基础强度不能满足设计要求,且建筑物沉降量高达300~500 mm,故刚性桩复合地基显示出较大的优越性,该种复合地基具有浅层应力向桩体集中,并通过桩向深层扩散,从而降低了地基土中沿深度的应力不均匀程度,改善了地基土的分布特征,提高了复合地基承载力,并由于垫层与基底的摩擦作用而提高了基础抗水平荷载能力,从而节省基础工程的造价。

1 复合基桩设计简介

1.1 单桩竖向承载力设计值的确定

按《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)

5.2.2条规定,复合基桩即是考虑承台底地基土阻力的桩基,对于桩数超过3根的非端承桩基,宜考虑桩群、土、承台的相互作用效应,其复合基桩的竖向承载力设计值为:

$$R = \eta_s Q_{sk} / \gamma_s + \eta_p Q_{pk} / \gamma_p + \eta_c Q_{ck} / \gamma_c \quad (1)$$

$$Q_{ck} = q_{ck} \cdot A_0 / n \quad (2)$$

式中: Q_{sk} , Q_{pk} 分别为单桩总极限侧阻力和总极限端阻力标准值;

Q_{ck} 为相应于任一复合基桩的承台底地基土总极限阻力标准值;

q_{ck} 为承台底1/2承台宽度深度范围(≤ 5 m)内地基土极限阻力标准值;

A_0 为承台底地基土净面积;

η_s 、 η_p 、 η_c 分别为桩侧阻群桩效应系数、桩端阻群桩效应系数、承台底土阻力群桩效应系数,依据《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)表5.2.3-1确定;

γ_s 、 γ_p 、 γ_c 分别为桩侧阻力分项系数、桩端阻力分项系数、承台底土阻力合项系数,依据《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)表 5.2.3 确定。

1.2 承台底土阻力群桩效应系数 η_c 的确定

承台底土阻力发挥值与桩距、桩长、承台宽度、桩的排列、承台内外区面积比有关,承台底土阻力群桩效应系数 η_c 可按下式计算:

$$\eta_c = \eta_c^i \frac{A_c^i}{A_c} + \eta_c^e \frac{A_c^e}{A_c} \quad (3)$$

式中: A_c^i 、 A_c^e 为承台内区(外围桩边包络区)、外区的净面积, $A_c = A_c^i + A_c^e$;

η_c^i 、 η_c^e 为承台内外区土阻力群桩效应系数,依据《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)表 5.2.3—2 确定。

2 刚性桩复合地基设计简介

刚性桩复合地基是以刚性桩和桩间土组成共同工作的地基,是在相对刚性基础下两者共同分担上部荷载并协调变形的地基,通常是参照《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—91)及《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94)进行设计,以前者及上部荷载要求确定其桩的置换率,以后者确定其刚性桩单桩竖向极限承载力标准值 Q_{uk} 。

刚性桩复合地基承载力标准值及面积置换率的确定,依据《建筑地基处理技术规范》(JGJ79—91):

$$f_{sp,k} = m \frac{R_k^d}{A_p} + \beta(1-m)f_{s,k} \quad (4)$$

$$m = \frac{f_{sp,k} - \beta \cdot f_{s,k}}{R_k^d / A_p - \beta \cdot f_{s,k}} \quad (5)$$

式中: $f_{sp,k}$ 为复合地基承载力标准值; m 为面积置换率; $f_{s,k}$ 为桩间天然地基土承载力标准值; β 为桩间土承载力折减系数,一般采用 0.8~1.0; R_k^d 为单桩竖向承载力标准值。

3 复合基桩与刚性桩复合地基的差别

3.1 设计思路上的差别

复合基桩是依据传统的设计思路,相对弱

化了桩间土的承载效用。由上部结构荷载计算结果,即可提出针对复合基桩承载力的要求,从而综合选定桩型、桩径、桩数及布桩,其复合基桩承载力设计值主要依赖于计算和静载荷试桩结果综合确定。

复合地基是提高天然地基承载力,节省基础投资的一种新型地基处理方法,用桩来补偿天然地基,有效地控制建筑物沉降,同时又是充分发挥桩土承载力共同作用的设计思路。同样由上部结构荷载计算结果即可提出对复合地基承载力的要求,而后可按式(5)初步确定面积置换率 m ,再依据基础型式、施工设备情况,选定桩型、桩径、桩数并进行布桩。承载力标准值基本依据计算及静荷载试桩结果综合确定,合理构成复合地基设计方案。基础设计后,应以建筑物沉降为控制条件。从目前来说,这是多数设计人员的基本思路。

3.2 受力特性的差别

复合基桩:桩体和承台直接相连,共同受力,同时承台底土分担一部分荷载。

刚性桩复合地基:桩体与基础通过垫层来过渡上部荷载,故而桩间土、垫层及桩体共同受力。

3.3 适用性的差别

复合基桩:对于承台底面以下存在可液化土、欠固结土、新填土时,不考虑承台效应,即按桩基设计^[1]。

刚性桩复合地基:对于桩间土为新填土、欠固结土亦不适用,应按桩基设计。

4 工程实例

4.1 实例 1^①:天津市某 6 层砖混结构住宅楼

拟采用桩长 5.2 m、桩径 200 mm × 200 mm 的微型预制桩,采用筏片基础,基础面积为 485 m²,桩顶大沽标高 2.50 m,设计人员要求处理后地基承载力标准值为 130 kPa。场地土层性质及计算参数见表 1。

①天津市勘察院·某 6 层砖混结构住宅楼刚性桩复合地基设计

表1 土的物理力学性质及桩基参数表

土层名称	土层厚度/m	底层标高/m	含水量 $w/\%$	液限指数 I_L	塑性指数 I_p	孔隙比 e	压缩模量 $E_s(1-2)/\text{MPa}$	承载力标准值 f_k/kPa	预制桩	
									q_{sik}/kPa	q_{pk}/kPa
素填土	1.2	2.37	36.2	0.92	12.7	0.89	3.6	80	20	
粉质粘土	1.0	1.37	28.7	0.75	13.4	0.81	4.7	105	34	
粉质粘土	2.3	-0.93	26.5	0.56	13.0	0.73	4.6	120	40	
粉质粘土	1.5	-2.43	27.6	1.11	9.0	0.76	8.9	130	50	
粉土	2.93	-5.36	24.8	1.03	7.5	0.68	13.7	140	55	1 400

1) 实际按复合地基思路进行设计

依据《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)计算 $Q_{uk} = 230 \text{ kN}$, 单桩竖向承载力标准值 $R_k^d = Q_{uk}/2 = 115 \text{ kN}$ 。设计要求 $f_{sp,k} = 130 \text{ kPa}$, 取 $\beta \cdot f_{sp,k} = 80 \text{ kPa}$, 采用式(5)计算置换率 $m = 1.79\%$, 计算布桩数 217 根, 实际布桩数 234 根, 桩承担 35.6% 的荷载, 桩间土承担 64.4% 的荷载。

经竣工时的沉降观测, 沉降量平均值为 4.9 cm。

2) 按复合基桩思路进行设计

依据《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94) 进行计算:

① 已知, $A_c^e = 49 \text{ m}^2$, $A_c^i = 436 \text{ m}^2$, $A_o = 485 - n \times 0.04 \text{ m}^2$, n 为应布桩数。

② $r_s = r_p = 1.65$, $r_c = 1.70$

假定: $S_a/d = 5$ $B_c/l > 1$, 则有 $\eta_s = 0.86$, $\eta_p = 1.36$, $\eta_c^i = 0.40$, $\eta_c^e = 0.80$, $\eta_c = 0.44$

③ 复合基桩承载力设计值 R 按式(1)确定, 承台下地基土承载力标准值取 5 m 范围内各层土承载力标准值的厚度加权平均值, 为

表2 土的物理力学性质及桩基参数表

土层名称	土层厚度/m	底层标高/m	含水量 $w/\%$	液限指数 I_L	塑性指数 I_p	孔隙比 e	压缩模量 $E_s(1-2)/\text{MPa}$	承载力标准值 f_k/kPa	预制桩	
									q_{sik}/kPa	q_{pk}/kPa
杂填土	1.8	2.95								
素填土	4.29	-1.34	30.7	0.99	12.9	0.89	5.5	85	24	
粘土	0.71	-2.05	36.7	0.89	18.4	1.04	3.7	100	30	
粉质粘土	1.2	-3.25	28.0	0.59	15.4	0.8	5.6	120	48	
粉土	1.72	-4.97	27.0	0.93	9.8	0.77	13.8	140	55	1 500

119 kPa。

则 $Q_{sk} = n \times 175$, $Q_{pk} = n \times 56$, $Q_{ck} = (485 - n \times 0.04) \times 119 \times 2$

根据上部荷载与基础承载力相平衡的原则,

$$0.86 \times \frac{174n}{1.65} + 1.36 \times \frac{56n}{1.65} + 0.44 \frac{(485 - n \times 0.44) \times 119 \times 2}{1.7} = 1.2 \times 130 \times 485$$

经计算 $n = 340$ 根。布桩间距在 1.1 m 左右, 与假设基本相符。桩承担 51.7% 的荷载, 桩间土承担 48.3% 的荷载。

从以上计算可以看出, 按刚性桩复合地基实际布桩 234 根, 如按复合基桩布桩则需 340 根, 桩数比(复合基桩所布桩数与刚性桩复合地基所布桩数之比)为 1.45。

4.2 实例 2^①: 天津市某 6 层住宅楼工程

框轻结构、条形基础, 采用桩长为 7.0 m、桩径 350 mm × 350 mm 的预制空心桩, 桩顶标高 2.65 m, 条形基础面积为 672.69 m², 设计要求处理后的地基承载力设计值为 160 kPa。场地土层性质及计算参数详见表 2。

① 天津市勘察院某 6 层框轻结构住宅楼刚性桩复合地基设计

1) 实际按复合地基思路进行布桩

依据《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)和《建筑地基基础处理技术规范》(JGJ79-91)计算 $Q_{uk} = 512 \text{ kN}$, 单桩竖向承载力标准值 $R_k^d = Q_{uk}/2 = 256 \text{ kN}$, 取 $\beta \cdot f_{sp,k} = 80 \text{ kPa}$, 设计要求复合地基承载力设计值为 160 kPa 。

$$m = \frac{160/1.2 - 80}{256/0.1225 - 80} = 2.7\%$$

经计算应布桩 149 根, 实际布桩数 162 根, 桩承担 46.2% 的荷载, 桩间土承担 53.8% 的荷载。

经竣工时的沉降观测, 沉降量平均值为 3.2 cm 。

2) 按复合基桩思路进行布桩

依据《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94) 进行计算, 计算过程如下:

$$\textcircled{1} A_c = 672.69 \text{ m}^2, A_c^i = 531.8 \text{ m}^2, A_c^e = 140.9 \text{ m}^2$$

$$A_0 = 672.69 - n \times 0.35^2, \text{m}^2$$

$$\textcircled{2} r_s = r_p = 1.65, r_c = 1.70$$

假定: $S_a/d = 5, B_c/l > 1$, 则有 $\eta_s = 0.86, \eta_p = 1.36, \eta_k = 0.4, \eta_c = 0.80$

$$\eta_k = 0.40 \frac{531.8}{672.69} + 0.80 \frac{140.9}{672.69} = 0.484$$

③ 复合基桩承载力设计值 R 按式(1)计算, 承台下地基土承载力标准值取 85 kPa 。

$$Q_{sk} = n \times 321.47, Q_{pk} = n \times 183.8,$$

$$Q_{ck} = (672.69 - n \times 0.35^2) \times 89.2 \times 2$$

根据上部荷载与基础承载力相平衡的原

$$\text{则有: } 0.86 \frac{n \times 329}{1.65} + 1.36 \frac{n \times 183}{1.65} + \frac{0.484 \times (672.69 - n \times 0.35^2)}{1.7} \times 85 \times 2 = 160 \times 672.69$$

经计算 $n = 238$ 根, 桩承担 67.9% 的荷载, 桩间土承担 32.1% 的荷载。

从以上计算结果看出, 按刚性桩复合地基实际布桩 166 根, 按复合基桩布桩 234 根, 桩数比为 1.47。

5 结论

由两个工程实例可以得出如下结论:

1) 对于具有一定承载能力桩间土的地基处理, 按刚性桩复合地基设计可比按复合基桩设计节省 45%~47% 的桩, 处理后的地基强度和基础沉降亦能满足规范和设计的要求。

2) 刚性桩复合地基设计中桩间土承担 53.8%~64.4% 的荷载, 桩承担 35.6%~46.2% 的荷载; 而复合基桩设计中桩间土仅承担 32.1%~48.3% 的荷载, 桩则承担 51.7%~67.9% 的荷载。

3) 筏片基础桩间土承担的荷载要比条形基础桩间土承担的荷载大 10%~15% 左右。

4) 设计可依据沉降控制理论, 充分挖掘和发挥桩间土的作用, 减少桩数, 节省基础投资。

参 考 文 献

- 1 张聚山, 孙占芝. 刚性桩复合地基的工程实例. 见: 米祥友, 彭安宁主编. 基础工程 400 例(下册). 北京: 地震出版社, 1999. 450~452

收稿日期: 2002-04-27