

长短桩复合地基设计计算的探讨

孙艳林

(中兵勘察设计研究院,北京 100053)

【摘要】 通过对长短桩复合地基承载力计算的不同公式进行对比分析,提出比较适宜的设计方法,并提出其沉降计算公式和加固效果检测方式,并将长短桩复合地基理论灵活应用于补桩设计。

【关键词】 复合地基;长短桩;承载力

【中图分类号】 TU 472

Study on Design of Composite Foundation with Long-short Pile

Sun Yanlin

(China Ordnance Industry Institute of Geotechnical Survey & Design Beijing 100053 China)

【Abstract】 Through the contrast analysis of different calculation formulae of bearing capacity for composite foundation with long-short piles, the optimal design method is put forward, the calculation formula of settlement and the testing method of consolidation effect are both presented. At last, it is suggested that the theory of composite foundation with long-short piles can be flexibly used in piles compensation design.

【Key words】 composite foundation; long-short piles; bearing capacity

0 引言

复合地基作为一种经济适用的地基处理形式,在工程中得到越来越普遍的应用,主要是因为复合地基不但有效地利用了桩的承载力,同时充分发挥了天然土的承载作用,从而可降低工程造价。在复合地基的设计方面,虽然《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)确定了一些基本原则,但并不能涵盖全面,工程实践中需要设计人员根据具体工程的需要进行合理设计,而不是拘泥于规范要求。根据具体地层条件、设计要求的不同,可以采用超规范的设计,例如,长短桩复合地基,在规范中并未提及,但在众多工程中已经应用且效果很好。

不同的桩长、桩径、桩间距等设计参数的组合可以获得不同的复合地基承载力和变形,在满足设计要求的前提下,最经济的组合就是最佳设计方案,这是毫无疑问的。CFG长短桩复合地基就是基于这一设计思想而进行的,主要应用于以下方面:

1) 基底以下存在深浅不一两个较好的桩端持力层,如全部采用短桩,利用较浅持力层,则复合地基承载力或变形不能满足设计要求;全部采用长桩,则可能造成浪费。

2) 地下水位标高位于基底以下某深度,为节约造价,地下水位以上采用短桩,干孔施工;而长桩深入到下水位以下,机械施工。

3) 全部采用短桩设计可以满足复合地基承载力设计要求,但不能满足沉降要求,需要通过长桩将荷载向地层深处传递,减少压缩层变形,从而达到减少最终沉降的目的。

1 CFG长短桩复合地基承载力计算

对于长短桩复合地基的设计,目前规范中还没有具体规定,实际工程中主要采用以下两种思路进行计算:

1) 用长桩、短桩与地基土参数直接计算复合地基承载力

$$f_{spk} = m_1 \frac{R_{a1}}{A_{p1}} + m_2 \frac{R_{a2}}{A_{p2}} + \beta(1 - m_1 - m_2)f_{sk} \quad (1)$$

式中: f_{spk} 为复合地基承载力特征值, kPa;

m_1 、 m_2 分别为长、短桩的置换率;

f_{sk} 为桩间土承载力特征值, kPa;

R_{a1} 、 R_{a2} 分别为长、短桩单桩承载力特征值, kN;

A_{p1} 、 A_{p2} 分别为长、短桩的桩截面面积, m^2 ;

β 为桩间土发挥系数,一般取 $\beta=0.75\sim 1.0$

2)先计算短桩复合地基的承载力,然后视短桩复合地基为长短桩复合地基的“桩间土”,计算其复合地基的承载力

$$f_{\text{spk}2} = m_2 \frac{R_{a2}}{A_{P2}} + \beta(1-m_2)f_{\text{sk}}$$

$$f_{\text{spk}1} = m_1 \frac{R_{a1}}{A_{P1}} + \beta(1-m_1)f_{\text{spk}2}$$

$$\text{即 } f_{\text{spk}1} = m_1 \frac{R_{a1}}{A_{P1}} + \beta m_2 \frac{R_{a2}}{A_{P2}} + \beta^2(1-m_1-m_2)f_{\text{sk}} + \beta m_1 m_2 (\beta f_{\text{sk}} - \frac{R_{a2}}{A_{P2}}) \quad (2)$$

式中: $f_{\text{spk}1}$ 为长短桩复合地基承载力特征值,kPa;

$f_{\text{spk}2}$ 为短桩复合地基承载力特征值,kPa。

比较式(1)式(2),由于一般 $\beta \leq 1.0$,土中应力总小于桩顶应力($f_{\text{sk}} < \frac{R_{a2}}{A_{P2}}$),所以式(2)中 $\beta m_1 m_2 (\beta f_{\text{sk}} - \frac{R_{a2}}{A_{P2}}) < 0$,显然计算结果式(1) $>$ 式(2), $f_{\text{spk}} > f_{\text{spk}1}$ 。

那么,以上两式哪一个更正确呢?可以从力的平衡来分析。

在式(1)两侧同时乘以基础底面积 A ,以

$$m_1 = \frac{N_1 A_{P1}}{A}, \quad m_2 = \frac{N_2 A_{P2}}{A}$$

代入,得

$$A f_{\text{spk}} = N_1 R_{a1} + N_2 R_{a2} + (A - N_1 A_{P1} - N_2 A_{P2}) f_{\text{sk}}$$

式中: N_1 、 N_2 分别为长、短桩的桩数。

等式左边为复合地基总荷载,kN;等式右边第一、二、三项分别为长桩、短桩和桩间土荷载,kN。显然等式成立。

肯定式(1),则否定式(2)。所以本文建议长短桩复合地基的承载力计算采用式(1),即长、短桩直接复合计算,而式(2)偏于保守。

例1 某工程CFG桩直径400mm,采用长短桩1:1布置,桩间距为1.5m \times 1.5m, $R_{a1}=500$ kN, $R_{a2}=200$ kN, $\beta=0.9$, f_{sk} 为150kPa,用式(1)、式(2)进行计算,结果如下:

$$f_{\text{spk}} = 431 \text{ kPa}, f_{\text{spk}1} = 406 \text{ kPa}, \text{相差 } 5.8\%。$$

而且,长、短桩承载力相差越小,计算结果相差越大。假定 $R_{a1}=R_{a2}=500$ kN,即采用同一种桩型, $\beta=0.9$, $f_{\text{sk}}=150$ kPa,计算得 $f_{\text{spk}}=564$ kPa, $f_{\text{spk}1}=519$ kPa,相差8.0%。

2 CFG长短桩复合地基沉降计算

沉降计算采用复合模量法,根据规范(JGJ 79—2002)执行,只是复合土层在短桩的桩端位置分为两个加固区,采用不同的模量提高系数。以长短桩复

合部分作为加固区一,以短桩桩端以下的长桩复合部分作为加固区二(见图1),按下式计算:

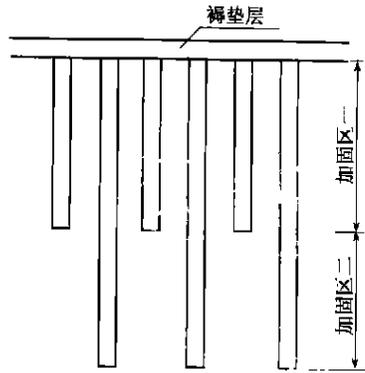


图1 长短桩复合地基示意图

$$s = \Psi \left[\sum_{i=1}^{n_1} \frac{P_0}{\xi_1 E_{si}} (Z_i \bar{a}_i - Z_{i-1} \bar{a}_{i-1}) + \sum_{i=n_1+1}^{n_2} \frac{P_0}{\xi_2 E_{si}} (Z_i \bar{a}_i - Z_{i-1} \bar{a}_{i-1}) + \sum_{i=n_2+1}^{n_3} \frac{P_0}{E_{si}} (Z_i \bar{a}_i - Z_{i-1} \bar{a}_{i-1}) \right] \quad (3)$$

式中: n_1 为加固区一范围土的分层数;

n_2 为加固区一、二范围土的分层数;

n_3 为沉降计算深度范围内土层总的分层数;

ξ_1 为加固区一土的模量提高系数,

$$\xi_1 = f_{\text{spk}} / f_{\text{sk}};$$

ξ_2 为加固区二土的模量提高系数,

$$\xi_2 = f_{\text{spk}} / f_{\text{spk}2}, f_{\text{spk}2} \text{为短桩复合地基承载力特征值。}$$

其余参数意义详见规范(GB 50007—2002)

3 CFG长短桩复合地基检测

规范(JGJ 79—2002)规定,CFG桩地基竣工验收采用复合地基载荷试验。但对于长短桩复合地基却很难做到,因为对于具体工程桩,在均匀规则布桩的前提下,尚需要足够大的承压板才能保证长短桩的设计置换率,压桩荷载大,造价高,实际并无人采用。现在检测单位一般采用两种检测方式:

1)先进行短桩或长桩单桩复合地基检测,然后进行长桩或短桩单桩承载力检测,最后计算复合地基承载力[见式(2)]。

2)先进行长、短桩单桩承载力检测,按式(1)计算复合地基承载力,必要时进行桩间土检测。

由以上论述可知,第一种检测方式得出结果较小,是偏于安全的。相对而言,先短桩、后长桩的复合计算较先长桩、后短桩的复合计算结果要大些,原因是先计算长桩复合地基的承载力,然后视长桩复

合地基为长短桩复合地基的“桩间土”，计算其复合地基的承载力，则式(2)变动如下：

$$f'_{\text{spk1}} = \beta_{m1} \frac{R_{a1}}{A_{p1}} + m_2 \frac{R_{a2}}{A_{p2}} + \beta^2 (1 - m_1 - m_2) f_{\text{sk}} + \beta_{m1} m_2 (\beta f_{\text{sk}} - \frac{R_{a1}}{A_{p1}}) \quad (4)$$

式(2)与式(4)比较，由于 $R_{a1} > R_{a2}$ ，显然结果式(2)大于式(4)。

不同的检测方式得到不同的检测结果，式(1) > 式(2) > 式(4)。由于式(1)与式(2)计算结果相差不大，从贴近规范角度考虑，采用式(2)即先短桩、后长桩的复合计算比较合理。

如上例，采用式(4)计算，则 $f'_{\text{spk1}} = 386 \text{ kPa}$ ，与 $f_{\text{spk}} = 431 \text{ kPa}$ 相比，相差 45 kPa，大于 10 %。

4 工程应用

长短桩复合地基的计算原理，不仅应用于不同

桩长的复合地基设计，对于不同桩径、不同桩型以及补桩设计同样适用。在实际工程中，由于地层条件变化，或设计及施工误差，可能造成复合地基检测结果不满足设计要求，需要进行补桩处理。由于补桩多在土方开挖已结束后进行，施工条件受限制，且不允许过多占用工期，所以设计时尽可能方便施工，在最短的时间内弥补失误。恰当采用长短桩复合地基的计算理论，可以达此目的。

例1 某工程 CFG 桩直径 400 mm，桩间距为 1.5 m × 1.5 m，桩长 22 m， $R_a = 800 \text{ kN}$ ， $\beta = 0.9$ ， $f_{\text{sk}} = 150 \text{ kPa}$ ，计算结果复合地基承载力特值为 $f_{\text{spk}} = 483 \text{ kPa}$ ，满足设计要求 $f_{\text{spk}} = 480 \text{ kPa}$ 。而静载荷试验结果表明， $f_{\text{spk}} = 430 \text{ kPa}$ ，小于 480 kPa，需要补桩处理，设计方案见表 1(补桩数与原桩数比均为 1:1)。

表1 补桩方案表

方 案 编 号	长桩承载力 /kN	短桩(补桩)承载力 /kN	桩间土承载力 /kPa	复合地基承载力 /kPa
方案 1		258	430	480
方案 2	681	136	150	480
方案 3	800	130	87.6	480

方案 1 取复合地基的载荷试验结果作为桩间土承载力，即 $f_{\text{sk}} = 430 \text{ kPa}$ ，应用规范中复合地基承载力特征值基本公式计算：

方案 2 假设复合地基承载力小于设计要求在于单桩承载力不够，以 $f_{\text{spk}} = 430 \text{ kPa}$ 反算单桩承载力特征值，按长短桩复合地基公式(1)计算：

方案 3 假设复合地基承载力小于设计要求在于天然地基承载力不够，以 $f_{\text{spk}} = 430 \text{ kPa}$ 反算天然地基承载力特征值，按长短桩复合地基公式(1)计算。

方案 2 和方案 3 计算结果基本相同，而与方案 1 设计结果差异较大，约 2 倍关系。其中原因在于，方案 1 实际是采用公式(4)计算的，结果自然保守。如采用方案 1，则补桩长度将达到 7 m，需要机械成孔，在槽底重新铺设地基土保护层以备机械行走，施工难度极大。

本工程复合地基承载力不足的实际原因在于单桩承载力不够，应采用方案 2 的设计结果进行施工。

补桩长度 3 m 多，可采用人工成孔，施工简便，工期大大提前。

5 结 论

长短桩复合地基的设计理论目前尚处于研究阶段，各单位计算方法可能不尽相同，但目标都是一致的，就是使设计更为经济合理，符合工程实际，针对不同的地质条件和设计要求，采用更优化的处理方案。总之，长短桩复合地基具有广阔的发展前景，其机理有待于在工程实践中进一步研究，文中不妥之处望批评指正。

参 考 文 献

- 1 JGJ 79—2002 建筑地基处理技术规范
- 2 GB 50007—2002 建筑地基基础设计规范
- 3 马 骥, 张东刚, 张 震, 等. 长短桩复合地基设计计算. 岩土工程技术, 2001(2): 86~91

收稿日期: 2004-07-28