超星·期刊

第25卷第6期 华东交通大学学报 Vol. 25 No. 6
2008年12月 Journal of East China Jiaotong University Dec. ,2008

文章编号:1005-0523(2008)06-0011-05

竖直荷载作用下桩与桩间土协同工作机理分析

宋功河

(华东交通大学 土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:对承台下群桩及桩间土的受力和变形机理进行了分析,应用桩与桩间土的变形协调条件,推算出桩间土分担上部荷载的定量计算式,其表达式物理力学概念简明清晰.通过工程算例,阐明了其计算过程和方法,计算结果表明,在桩与桩间土共同工作的适用条件下,桩间土分担上部荷载的效果明显.

关 键 词:群桩;桩与桩间土共同工作;变形协调;地基压缩变形;地基土附加应力;桩尖刺入量

中图分类号:TU473.1+2 文献标识码:A

承台下由多根桩组成的基础承受着上部结构传来的竖向荷载,常规的设计方法是,上部所有荷载均由群桩承担,而不考虑桩间土的作用,这对于打入式桩如:预制桩、沉管灌注桩、桩间土质较好的短桩,没有充分发挥桩间土参与受力的潜力.实际上打入式桩,在沉桩或沉管中,地基土体沿桩侧四周产生横向挤压,使承台下的地基土进一步压密,从而提高了地基土的强度和减少了地基的变形.根据其实际受力性状,可认为在竖向荷载作用下,桩间土能参与桩的共同工作而分担部分上部荷载.

本文通过对承台下群桩和桩间土的受力机理进行分析,利用桩与桩间土的变形协调条件,推算出桩间土分担上部荷载的计算式,并对其适用条件作了限定.

1 群桩与桩间土的受力机理分析

单桩桩顶荷载 Q_p 由桩侧摩阻力 R_u 和桩尖处土的端承力 R_t 来平衡,桩间土的受力则比较复杂,它主要承受承台底传来的附加压力 $\sigma_s-\gamma D$ 和 R_u、R_t 作用在桩间土中产生的应力.

桩、桩间土受力情况如图1,桩尖平面下的土层和桩间土中的应力与变形是由 R_u、R_t 及 $\sigma_s-\gamma D$ 三种荷载在地基土中引起的应力、变形的迭加值,如图2.

承台底对桩间土的附加压力 $\sigma_s-\gamma D$ 在地基中引起的应力和变形可由布辛奈斯克(Boussinesg)解[1]求解.桩侧摩阻力 R_u 和桩端端阻力 R_t 的作用则比较复杂,对于桩端土质好的短桩,一般桩侧摩阻力 R_u 小于或等于桩端端承力 R_t 时,R_u 和 R_t 在桩间土中引起的竖向变形小,假定忽略这部分的影响,桩间土的受力和变形,就可简化为弹性半无限体上浅基础荷载下地基中的应力、变形计算方法[1],即可按图1.C)所示在承台底的矩形均匀分布的附加压力 $\sigma_s-\gamma D$ 作用下,按布辛奈斯克解,计算承台下地基土中的应力和变形.

2 桩与桩间土变形协调机理分析

变形协调是指:在上部荷载作用下,桩与桩间土发生等量下沉,承台底与桩间土不发生脱空现象,且承台

收稿日期:2008-07-10

作者简介:宋功河(1951-),男,江西奉新人,副教授.

超星·期刊

下的地基土质好,地基有足够的承载力抵抗部分传来的荷载.

S_{ptop}—桩顶沉降量

ΔS_p—桩身压缩量

S_{ptor}—桩底沉降量

S_{stop}—桩顶处土的沉降量

ΔS_s—桩间土的压缩量

S_{stor}—桩底处土的沉降量

变形协调条件是: $S_{ptop} = S_{stop}$,从图 3 中可知

$S_{ptop} = S_{ptor} + \Delta S_p$; $S_{stop} = S_{stor} + \Delta S_s$

即: $S_{ptor} + \Delta S_p = S_{stor} + \Delta S_s$ 所以有

$$S_{ptor} - S_{stor} = \Delta S_s - \Delta S_p = S_0 \tag{1}$$

式中: S_0—桩尖刺入土中的刺入量,可由试桩资料($Q - S$) 曲线确定如图 4.

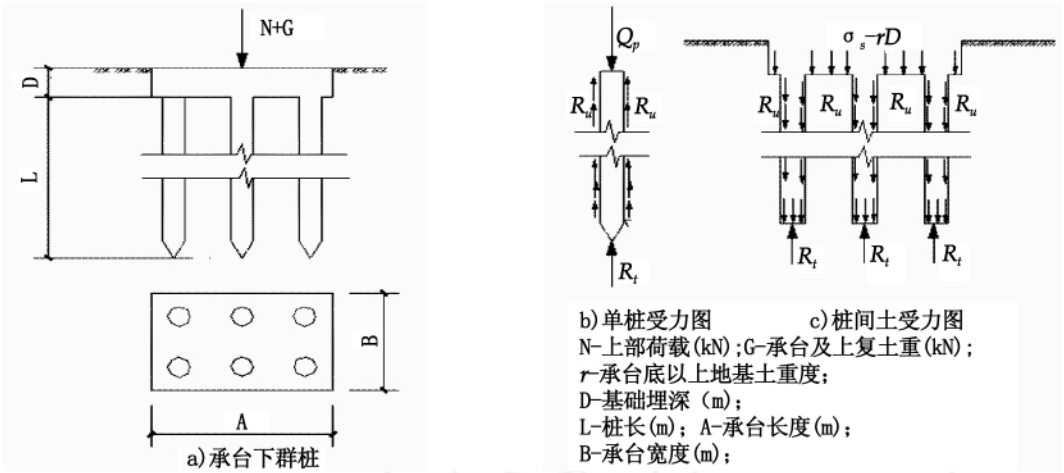

图 1 桩与桩间土受力图

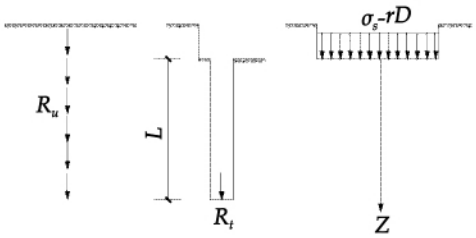

图 2 R_u,R_t 害 $\sigma s - \gamma D$ 三种荷载在地基中的作用

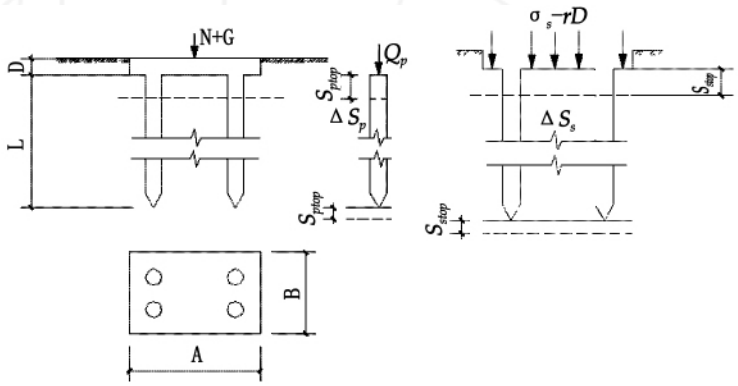

图 3 桩、桩间土荷载和变形图

2.1 桩间土的压缩量 ΔS_s 的计算

ΔS_s 的计算与承台下地基土中的附加应力分布有关,与有效压缩层厚度有关,写成计算式为

$$\Delta S_s = C \cdot \frac{\sigma_s - \gamma \cdot D}{E_s} \cdot z$$

z—压缩层厚度(m) ,当桩台的短边边长 B 大于桩长 L 时,取 $z = L$,当桩台的短边边长 B 小于桩长 L 时,取 $Z = B$;

E_s—承台底面地基土的压缩模量修正值,对它修正主要是考虑到桩在地基中起了加筋作用

超星·期刊

$$E_s = \left(1 + \frac{nA_p}{A \cdot B}\right) E_{S0}$$

n—桩数

A_p—单桩截面积(m^2)

E_{S0}—由实验室土工试验确定的土的压缩模量,取值时在压缩层影响深度内,假定为常量;

C—附加应力分布系数,准确的 C 值由试验资料确定. 理论计算值,按其在计算深度内,利用均布矩形荷载角点下的平均附加应力系数表,计算统计而得,C 的取值偏大,计算的 ΔS_s 偏大,则偏于安全,但取值太大则与实际情况不相吻合,综合各种因素,取 $C=0.6$. 这样,ΔS_s 的计算就可写成如下 2 式:

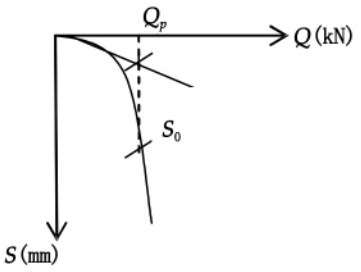

图 4　试桩 $Q-S$ 曲线

当桩台的短边边长 B 大于桩长 L 时

$$\Delta S_s = 0.6 \cdot \frac{\sigma_s - \gamma \cdot D}{E_s} \cdot L \tag{2}$$

当桩台的短边边长 B 小于桩长 L 时

$$\Delta S_s = 0.6 \cdot \frac{\sigma_s - \gamma \cdot D}{E_s} \cdot B \tag{3}$$

2.2　桩身压缩量 ΔS_p 的计算

$$\Delta_{sp} = \frac{\sigma_p + \sigma_r}{2E} \cdot L \tag{4}$$

式中　$\sigma_p = \dfrac{(N+G) - \sigma_s A'B'}{nA_p}$

$\sigma_r = \dfrac{(N+G) - \sigma_s A'B' - nf_s UL'}{nA_p}$

σ_p—桩顶应力(kPa)

σ_r—桩底应力(kPa)

E—桩身材料的弹性模量(kPa)

$A'B'$—承台底面下桩间土净面积,$A'B' = AB - nA_p$(m^2)

f_s—土的不排水剪抗剪强度(kPa)

U—桩截面周长(m)

2.3　承台底面下地基土的附加应力 σ_s 计算

由 $\Delta S_s - \Delta S_p = S_0$ 可推算得到前面二种情况下的 σ_s 计算式

$B > L$ 时

$$\sigma_s = \frac{\dfrac{S_0 E_s EnA_p}{L} + 0.6\gamma DEnA_p + (N+G)E_s - \dfrac{nf_s UE_s l}{2}}{0.6EnA_p + E_s A'B'} \tag{5}$$

$B < L$ 时

$$\sigma_s = \frac{\dfrac{S_0 E_s EnA_p}{L} + \dfrac{0.6\gamma DEnA_p B}{L} + (N+G)E_s - \dfrac{nf_s UE_s l}{2}}{0.6EnA_p \dfrac{B}{L} + E_s A'B'} \tag{6}$$

2.4　计算桩间土分担的荷载

计算出 σ_s 后,把 σ_s 当作地基土的承载力看待,可求得桩间土分担的荷载为: $\sigma_s(AB - nA_p)$,由基础的平衡条件可知

$$N + G \leqslant nR_a + \sigma_s(AB - nA_p)$$

由上式可重新计算桩的数量

超星·期刊

$$n \geqslant \frac{N + G - \sigma_s AB}{R_a - \sigma_s A_p}$$

R_a—由试桩资料($Q - S$ 曲线) 确定的单桩承载力(kN)

2.5 桩与桩间土共同工作的适用条件[2]

(1) 对沉降没有特殊要求和上部结构刚度较大的建筑物;

(2) 承台底下有较厚的含砂砾、或含砂量较多的土,或已完成自重固结的粘土,且地基土具有一定的承载力;

(3) 桩端未进入很坚硬的土层的短桩,以便保证桩尖有一定的刺入量;

(4) 桩的中心间距大于等于 3 倍桩径的打入式挤土桩.

3 工程算例

一柱下桩基,桩直径 $d = 400$ mm,桩长 $L = 5$ m,桩的混凝土强度等级为 $C30$,$E = 3 \times 10^4$ N/mm^2, 桩打入粘土中, 土的重度 $\gamma = 21$ kN/m^3,基础承台埋深 D = 1.0m,内摩擦角 $\varphi = 18^0$,粘聚力 $C = 0.03$ N/mm^2,平均不排水剪抗剪强度 $f_s = 0.04$ N/mm^2,承台及上复土平均重度 $\gamma_G = 22$ kN/m^3,土的压缩模量 $E_{s0} = 15$ N/mm^2,柱截面尺寸 500 mm × 600 mm,柱传来荷载 $N = 2\ 959.4$ kN. 试柱曲线如下图 5.

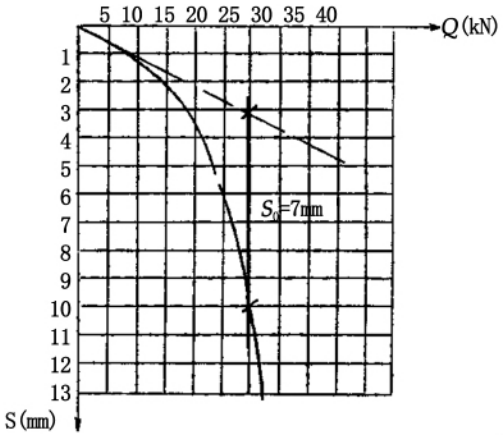

图 5 本算例试桩 Q - S 曲线

(1) 从试桩曲线上取单桩容许承载力 $R_a = 300$ kN,对应的桩顶沉降值为 10 mm,$S_0 = 7$ mm;

(2) 按 $n' = \frac{N}{R_a}$ 初步定桩数并布桩,布桩时桩距按 3 倍桩径,可定出承台的平面尺寸;

$n' = \frac{2\ 959.4}{300} = 10$ 根(布桩如图 6) 考虑到桩间土分担一部分荷载,取 $n = 8$ 根;

$A \times B = 4.4 \times 3.2 = 14.08$ m^2;

桩台边长 $B = 3.2$m < 桩长 $L = 5.0$ m

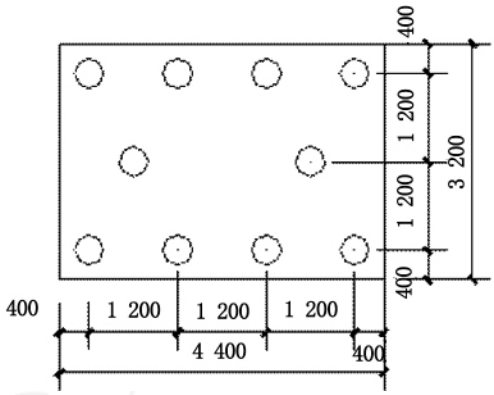

图 6 本算例布桩平面图

(3) 按式(6) 计算 σ_s 得

$A_p = \frac{1}{4} \times 0.4^2 = 0.125\ 6$ m^2 $= 125\ 600$ mm^2

$A'B' = AB - nA_p = 14.08 - 8 \times 0.125\ 6 = 13.075$ m^2

$\frac{nA_p}{AB} = \frac{8 \times 0.125\ 61}{4.08} = 0.0713$

$E_s = \left(1 + \frac{nA_p}{A \cdot B}\right) E_{S0} = (1 + 0.0713) \times 15 = 16.07$ N/mm^2

$G = 4.4 \times 3.2 \times 22 \times 1.0 = 309.76$ kN

$N + G = 2\ 959.4 + 309.76 = 3\ 269.16$ kN

$U = \pi d = 3.14 \times 0.4 = 1.256$ m $= 1\ 256$ mm

将以上数据代入式(6)

$$\sigma_s = \frac{\frac{S_0 E_s E n A_p}{L} + \frac{0.6\gamma D E n A_p B}{L} + (N + G) E_s - \frac{n f_s U E_s l}{2}}{0.6 E n A_p \frac{B}{L} + E_s A'B'} = 0.0812 \text{ MPa} = 81.2 \text{ kN/m}^2$$

(4) 计算所需桩数 n

超星·期刊

$n \geqslant \dfrac{(N+G) - \sigma_s AB}{R_a - \sigma_s A_p} = \dfrac{3269.16 - 81.2 \times 14.08}{300 - 81.2 \times 0.1256} = 7.33$ 根; 取 $n = 8$ 根可满足要求.

其它计算内容,如群桩下的地基沉降量,按普通桩基进行,不再叙述.

4　结论

本文假定桩侧摩阻力 R_u 小于或等于桩端端承力 R_t,R_u 和 R_t 在桩间土中引起的竖向变形小,假定不计其影响,对短桩和桩间土质较好的桩,桩间土一般可分担部分上部荷载. 但如果承台底与地基土脱空,桩尖不能刺入土中,或刺入量 S_0 不够,桩间土就不能参与桩的共同工作,S_0 是桩间土承载力 σ_s 的关键参数,但必须由试桩曲线确定. 由算例可看出,桩间土能参与分担部分上部荷载,但必须限定在一定的适用条件范围内,考虑桩间土共同工作时,群桩下的地基沉降量计算仍按普通桩基计算方法进行,并应满足现行规范的要求. 如果按桩间土脱空后再接触而使桩、土共同工作进行推算,桩间土分担的荷载可能还要大些,限于篇幅本文不再叙述.

参考文献:

[1] 华南工学院. 地基与基础 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社,1985.
[2] 沈　杰. 地基基础设计手册 [M]. 上海: 上海科学技术出版社,1988.

An Analysis on Corporate Working Mechanism of Piles and Soils between Piles under Vertical Loads

SONG Gong_he

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The paper analyzes the mechanism of action and deformation for piles and soils among piles. On the basis of compatible deformation condition between piles and soils among piles, the quantitative formula is acquired about soils among piles how to distribute upper loads, the formula mechanics concept is simple. Finally, the paper expounds calculation process and method through a engineering example. Calculation shows the effect that soils among piles bear upper loads is obvious under adaptable conditions.

Key words: piles; corporate working between piles and soils; compatible deformation; pressure deformation of soil; additional stress of soil; settlement of pile

(责任编辑: 王建华)