

文章编号: 1005—0523(2009)02—0042—05

承台底地基土脱空后桩与桩间土的共同工作

宋功河, 王永祥

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要:建立了脱空量变形计算模型,进行了桩基承台下桩间土脱空量的计算,在脱空发生时,对桩承台与承台底地基土再接触后的受力机理和变形特点进行了分析,建立了桩与桩间土共同工作的必要条件。通过理论分析,推导出桩间土参与共同工作分担上部荷载的定量表达式。结果表明,按此理论设计和布桩可取得较好的经济效果。

关 键 词:脱空量;桩尖刺入量;桩与桩间土共同工作;压缩变形

中图分类号: TU473.1

文献标识码: A

在文献 [1] 理论上、承台底与桩间土脱空后再接触工况下,对桩间土参与共同工作分担上部荷载而建立的理论计算模式。在承台底与承台下桩间土脱空时,上部荷载 $N+G$ 全部由桩承受,但当承台底与桩间土脱开后再接触时,上部荷载的分担立即发生变化,一部分荷载仍由桩承受,另一部分荷载则由桩间土承受,从而桩间土参与了分担部分上部荷载,且比承台底与承台下地基土始终保持接触时分担的荷载大。但此时必须严格限制地基的总变形量,且须满足现行规范的要求。

1 承台下桩间土脱空量的计算

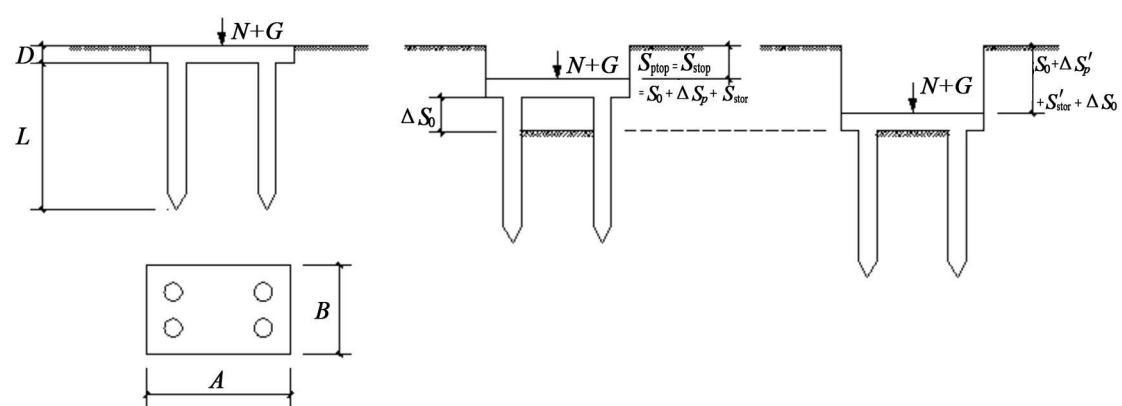
在上部荷载 $N+G$ (N —上部荷载, G —承台及其上覆土重)作用下,如果承台底始终保持与桩间土相接触,则桩分担荷载为 Q_p ,而承台下的桩间土分担的荷载为承台底传来的附加应力 $\sigma_s - \gamma D$ (σ_s —上部荷载作用于地基土上的附加应力, γ —承台底以上地基土重度, D —基础埋深), Q_p 会使桩产生下沉, $\sigma_s - \gamma D$ 使桩间土发生压缩变形,当桩间土的压缩变形量 $\Delta S_s > \Delta S_p + S_0$ (ΔS_p —桩身压缩量, S_0 —桩尖刺入量)时,承台下的地基土体与承台底发生脱空。

承台底与桩间土脱开后,在上部荷载 $N+G$ 作用下,很快又相互接触,桩与桩间土经历了图 1 所示的工况。脱空量 ΔS_0 是相对于桩身下滑而产生的变形,在下滑过程中受到桩侧摩阻力的限制。对桩而言,类似于土体对桩产生了一个负摩阻力。此力对桩身变形 ΔS_p 影响不大,而对桩尖刺入量 S_0 有加大的效应。不考虑负摩阻力对桩下沉量的影响,则脱空量 ΔS_0 可按如下方法推算。

在脱空量未形成之前,桩承台的沉降量 $= S_0 + \Delta S_p + S_{s0}$, 其中 $S_0 + \Delta S_p$ 是桩间土体的压缩量,而使土体产生 $S_0 + \Delta S_p$ 压缩量的应力为 $\sigma_{s1} = \frac{2(S_0 + \Delta S_p)}{L(\text{或 } B)} E_s$, 使桩间土产生脱空量的应力为 $(\sigma_s - \gamma D) - \sigma_{s1}$, 桩间土受力图如图 2。

收稿日期: 2009—01—04

作者简介: 宋功河 (1951—), 男, 江西奉新人, 副教授。



(a) 承台底与地基土脱空前 (b) 承台底与地基土脱空时 (c) 承台底与地基土脱空后再接触
L—桩长 (m); A—承台长 (m); B—承台宽 (m); ΔS_0 —承台底脱空量 (mm); $S_{p\text{top}}$ —桩顶沉降量 (mm)
 $S_{s\text{top}}$, $S_{s\text{stor}}$ —分别为桩顶和桩底处土的沉降量 (mm); $\Delta S'_p$, $S'_{s\text{stor}}$ —分别为脱空后桩身压缩量和桩底处土的沉降量 (mm)

图 1 承台底与桩间土在荷载作用下变形图

在图 2 中、由平衡条件可知

$$[(\sigma_s - \gamma D) - \sigma_{sl}] A'B' - n f U L_l = 0$$

$$L_l = \frac{[(\sigma_s - \gamma D) - \sigma_{sl}] A'B'}{n f U}$$

当 $L_l \leq L$ 时:

$$\Delta S_0 = \frac{[(\sigma_s - \gamma D) - \sigma_{sl}]}{2 E_s} L_l$$

当 $L_l > L$ 时:

$$\Delta S_0 = \frac{[(\sigma_s - \gamma D) - \sigma_{sl}] (1 + \frac{L}{L_l})}{2 E_s} L$$

式中 $A'B'$ —桩间土的面积; $A'B' = AB - nA_p$;

n —桩数 (根)

f —土的不排水抗剪强度 (kPa)

U —桩截面周长 (m)

E_s —承台底面地基土的压缩模量修正值 (kPa): $E_s = \left(1 + nA_p / AB \right) E_{s0}$

E_{s0} —由实验室土工试验确定的土的压缩模量 (kPa)

A_p —单桩截面积 (m^2)

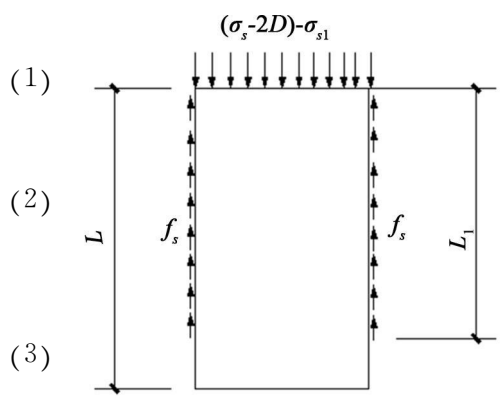


图 2 桩间土受力图

2 脱空发生后再接触、桩与桩间土共同工作条件

在脱空量发生的瞬间,桩间土分担的荷载立即转移给桩,桩顶荷载由 Q_p 迅速增大到 $(N+G)/n$ 桩在 $(N+G)/n$ 荷载作用下,桩的刺入量由 S_0 增大到 S_{01} , S_{01} 仍在试桩资料上查取如图 3。

如果 S_{01} 能满足下式 (4) 的要求,则桩承台底面又与桩间土保持接触,共同工作又开始了。在 Q_p 荷载作用下桩顶的沉降为:

$$S_{p\text{top}} = S_{p\text{top}} + \Delta S_p = S_0 + S_{\text{stor}} + \Delta S_p$$

式中 $S_{p\text{top}}$ —桩尖沉降量 (mm)

在 $(N+G)/n$ 荷载作用下桩顶的沉降 $S'_{p\text{top}}$ 为

$$S'_{p\text{top}} = S_{01} + S'_{\text{stor}} + \Delta S'_p$$

另一方面, 在 $N+G$ 荷载作用下, 承台底与地基土接触时的总沉降量 $= S_{p\text{top}} + \Delta S_0$

当 $S'_{p\text{top}} \geq S_{p\text{top}} + \Delta S_0$ 时, 可得

$$S_0 + \Delta S_0 + S_{\text{stor}} + \Delta S_p - S'_{\text{stor}} - \Delta S'_p \leq S_{01} \quad (4)$$

式 (4) 是共同工作的必要条件, 只有达到此条件时, 桩与桩间土才能开始共同工作, 否则承台底与桩间土永远脱开, 桩身压缩量 ΔS_p 、 $\Delta S'_p$ 可由下式计算

$$\Delta S_p = (\sigma_p + \sigma_r) 2E / L \quad (5)$$

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

$$\sigma_r = \frac{(N+G) - \sigma_s A' B' - n f_s U L}{nA_p}$$

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)

$\Delta S'_p$ —脱空发生后桩身的压缩量, 仍由上式计算, 只需将式中的 σ_s 由 $(\sigma_s - \sigma_{s1})$ 替代

而 S_{stor} 、 S'_{stor} 是按假想实体基础用分层总和法计算的沉降量^[2]

桩基总沉降量 S 由式 (6) 计算

$$S = S'_{\text{stor}} + S_0 + \Delta S_0 + \Delta S'_p \quad (6)$$

脱空发生后, $(N+G)/n$ 值有时比单桩允许承载力 R_a 大许多, 此时桩会快速下沉, 当承台底与桩间土接触后, 桩上的一部分荷载就转移给桩间土, 桩顶卸载后, 桩下沉就停止了。若桩间土的脱空量 ΔS_0 值是有限的, 桩承受 $(N+G)/n$ 的短暂时间内不至于造成桩的破坏。

3 工程算例

以下通过工程算例说明计算步骤和方法, 为了对比, 仍取文献 [1] 工程算例中的有关数据。

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, 地基土承载力 $R_s=250$ kN·m⁻², 土的重度 $\gamma=21$ kN·m⁻³, 基础承台埋深 $D=1.0$ m, 土的内摩擦角 $\varphi=18^\circ$, 粘聚力 $C=0.03$ N·mm⁻², 平均不排水抗剪强度 $f_s=0.04$ N·mm⁻², 承台及上覆土平均重度 $\gamma_g=22$ kN·m⁻³, 土的压缩模量 $E_d=15$ N·mm⁻², 柱截面尺寸 500 mm×600 mm, 柱传来荷载 $N=2\,959.4$ kN。试桩曲线如图 4。

(1) 初按桩间土承受上部荷载的 40%, 桩承受上部荷载的 60%, (单桩允许承载力 $R_a=300$ kN);

则桩数 $n = \frac{2\,959.4 \times 0.6}{300} = 5.91$ 根; 取 $n=6$ 根

(2) 布桩, 桩距取 $3d$ $A \times B = 3.2$ m×2.0 m 见图 5。

承台及上覆土重: $G = A \times B \times D \times \gamma_g = 140.8$ kN

$N+G=2959.4+140.8=3\,100$ kN

桩实际承受上部总荷载 $(N+G)$ 的比例为

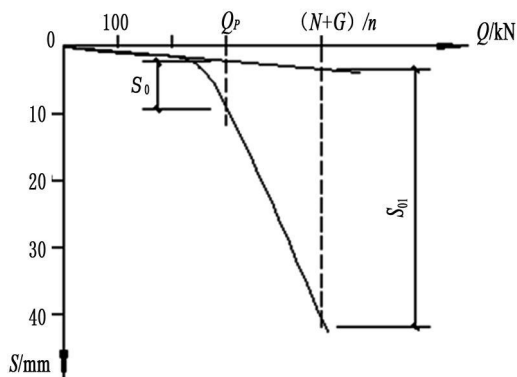


图 3 试桩 Q-S 曲线

$$R_a n / (N + G) = \frac{300 \times 6}{3\ 100} \times 100\% = 58.1\%$$

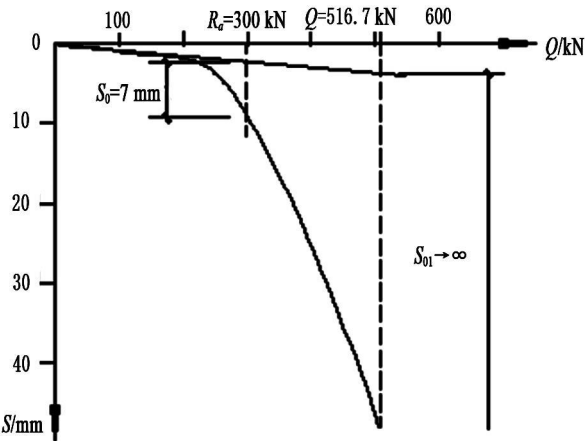


图 4 本算例试桩 Q-S 曲线

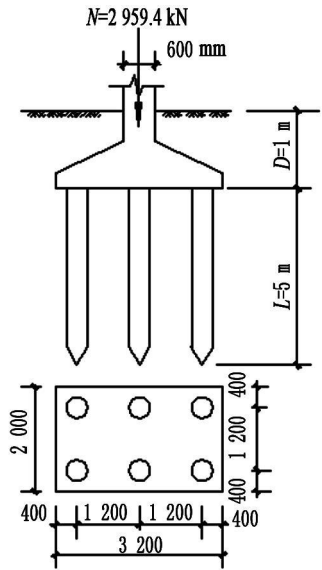


图 5 本算例布桩平剖图 (平面图单位:mm)

(3) 按式 (1) 计算 L_d , 按式 (2) 计算 ΔS_0

$$\sigma_s = \frac{(N + G) - nR_a}{AB - nA_p} = \frac{3\ 100 - 1\ 800}{3.2 \times 2 - 6 \times \frac{\pi \times 0.4^2}{4}} = 230.2\text{ kN} \cdot \text{m}^{-2} < R_s = 250\text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$E_s = (1 + nA_p / AB) E_d = 16\ 770\text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\sigma_{sl} = 2(S_0 + \Delta S_p) E_s / L$$
 其中 ΔS_p 可按式 (5) 计算: $\Delta S_p = 0.000\ 23\text{ m} = 0.23\text{ mm}$
将有关数据代入: $\sigma_{sl} = 2(S_0 + \Delta S_p) E_s / L = \frac{2(0.007 + 0.000\ 23)}{5} \times 16\ 770 = 48.5\text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$
$$L_d = \frac{[\sigma_s - \gamma D - \sigma_{sl}] A' B'}{n f U} = \frac{(230.2 - 21 \times 1 - 48.5) \times (3.2 \times 2 - 6 \times \frac{\pi \times 0.4^2}{4})}{6 \times 40 \times \pi \times 0.4} = 3.01\text{ m}$$

按式 (2) 计算脱空量

$$\Delta S_0 = \frac{[\sigma_s - \gamma D - \sigma_{sl}]}{2E_s} L_d = \frac{(230.2 - 21 \times 1.0 - 48.5) \times 3.01}{2 \times 16\ 770} = 0.014\ 4\text{ m} = 14.4\text{ mm}$$

(4) 在试桩曲线上查取单桩允许承载力 $R_a = 300\text{ kN}$, 对应桩顶沉降值为 10 mm , 桩尖刺入量 $S_0 = 7\text{ mm}$:

$$\frac{N + G}{n} = \frac{3\ 100}{6} = 516.7\text{ kN}$$
 此时由试桩曲线可知: $S_{01} \rightarrow \infty$

符合式 (4) 要求, 共同工作条件成立。

(5) 计算桩基总沉降量 S

$$S = S'_{\text{stor}} + S_0 + \Delta S_0 + \Delta S'_p$$

$$\Delta S'_p$$
—按式 (5) 计算的桩身压缩变形: $\Delta S'_p = 0.3\text{ mm}$
 S_{stor} —按假想实体基础用分层总和法计算的桩尖处土的沉降量 (过程从略): $S_{\text{stor}} = 26.7\text{ mm}$
$$S = 26.7 + 7 + 14.4 + 0.3 = 48.4\text{ mm}$$

(6) 假想实体基础地基强度验算^[2], 计算过程从略, 经计算能满足要求

4 结 论

本文建立在承台底与地基土脱开后再接触、而使桩土产生共同工作的条件下, 估算桩间土分担部分上部荷载。这与承台底与承台下土体始终保持接触时的共同工作条件是不同的, 前者除了与桩尖的刺入量 S_0 及产生脱空后的刺入量 S_{d1} 有关外, 还与桩间土的承载力 R_s 有关 (S_0 、 S_{d1} 可由试桩曲线获得, R_s 可由地质勘探报告获取), 如果刺入量不够, 承台底与地基土永远脱开, 所有上部荷载均由桩承受, 也就不能有效地形成桩土共同工作的条件。通过对工程实例的计算可知, 按此理论设计和布桩, 经济效益很可观, 但必须满足一定的限定条件, 这些限定条件与文献 [1] 中所列限定条件相同。同时, 桩基总沉降量 S 必须满足规范要求。

参考文献:

[1] 宋功河. 竖直荷载作用下桩与桩间土协同工作机理分析 [J]. 华东交通大学学报, 2008, 25(6): 11—15.
[2] GB50007—2002. 建筑地基基础设计规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社.

Cooperation between Piles and Soils after the Low Side of
the Pile Cap Separating from the Earth

SONG Gong-he WANG Yong-xiang

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

Abstract: The paper presents a formula of separate deformation quantity between the low side of pile cap and earth, and calculates the separate deformation quantity between piles-group and earth, and analyzes the mechanic principle and characteristics of deformation when pile cap gets in touch with earth once again. Finally, the paper represents some necessary conditions of cooperative working between pile-group and earth, and infers theoretically quantitative formula of bearing upper loads in cooperation. Better economic results can be acquired if piles are designed and planned according to the theory in the paper.

Key words: separate quantity; penetrating quantity of pile foot; cooperative working between pile and soil deformation

(责任编辑: 王建华 李 萍)