

# 桩基负摩阻力在纠倾工程中的应用

崔江余

(北方交通大学 土建学院 北京 100044)

**摘 要** 分析探讨了桩基负摩阻力的特性,提出了桩基下拉荷载的经验公式,并通过某深桩基础的纠倾工程验证了所建议公式的可行性,为桩基负摩阻力在建筑物纠倾工程中的应用提供了理论依据,为深桩基础建筑物的纠倾扶正技术提供了一种行之有效的方法。

**关键词** 负摩阻力;深桩基础;下拉荷载;群桩效应;基桩

**中图分类号** :TU473.1+1;TU746.3 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-3746(2000)03-0015-03

**Application of Negative Frictional Resistance of Pile Foundation on Deviation Correction/** CUI Jiang-yu (Northern JiaoTong University, Beijing 100044, China)

**Abstract** : Empirical formula of downward load of pile foundation is presented based on analyzing characteristic of negative frictional resistance of pile foundation. Feasibility of the proposed formula is verified by a deviation correction engineering of deep pile foundation, which supplies theoretical foundation for application of negative frictional resistance of pile foundation on building inclination correcting engineering and supplies an effective method for building inclination correcting technology of deep pile foundation.

**Key words** : negative frictional resistance; deep pile foundation; downward load; action of group piles; foundation pile

由于各种复杂的原因,造成很多建筑物发生严重的倾斜、裂损,有的甚至完全丧失使用条件,给国家财产和人民生活带来严重的损失和困难。据不完全统计我国每年约有 3000 万  $m^2$  的建筑物发生开裂、倾斜及破损等病害,对这些建筑物进行纠倾扶正、加固等措施加以挽救,这是利国利民的工程,但难度较大,具有很大风险。近些年,我国各地完成了大量的建筑物纠倾扶正工程,挽救了一大批危险建筑物。在广泛的工程实践中涌现出了许多纠倾扶正的新工艺、新方法,使我国的建筑物纠倾扶正技术取得了很大的进展。

根据建筑物纠倾扶正的特点,可将其归纳为迫降法、抬升法、预留法、横向加载法以及综合法等五大类几十种方法<sup>[1]</sup>。其中利用桩基负摩阻力的特性,调整桩基下拉荷载,迫使建筑物回倾,以达到纠倾扶正的目的,是笔者近年来结合工程实践探索出的一种新方法。如何很好地调整桩基负摩阻力,定量地控制建筑物的回倾量,使风险降低到最低限度,是工程中必须首先解决的问题之一。因此,有必要更深入地探索研究桩基负摩阻力的作用机理,以使调整桩基负摩阻力的纠倾法建立在更加完善的理论基础之上,使这一纠倾法能更好地为工程实践服务。

## 1 负摩阻力的发生机理和特性

在正常情况下,桩顶受竖向荷载下沉,桩侧土体对桩产生与桩位移方向相反的摩阻力,即正摩阻力,当桩侧土体由于某种原因而下沉,并且其沉降量大于桩的沉降量时,桩侧土体将对桩产生与桩位移方向一致的摩阻力,即负摩阻力。负摩阻力对桩产生下拉荷载,相当于除桩顶荷载以外又附加了一个分布于桩侧表面上的分布荷载。桩基在施工和正常使用过程中,应尽量避免出现负摩阻力。当建筑物的部分基础或同一基础中的部分桩产生负摩阻力时,建筑物将出现不均匀沉降,导致上部结构损坏或倾斜,图 1(a)为某综合楼由于周围基坑开挖降水引起建筑物倾斜的情况,图 1(b)为局部填土下沉引起建筑物过大的差异沉降。

在同一根桩上由负摩阻力过渡到正摩阻力存在一摩阻力为零的断面,该断面称之为中性点<sup>[2]</sup>。中性点是摩阻力、桩、土相对位移和轴向压力沿桩身变化的特征点,是桩土位移相等的断面。中性点位置一般可根据桩的沉降与桩侧土沉降相等的条件确定。负摩阻力是由桩侧土层的固结沉降所引起,因此负摩阻力的产生和发展要经历一时间过程,这一过程的长短取决于桩侧土固结完成的时间和桩身沉

降完成的时间,固结土层越厚,渗透性越低,负摩阻力达到峰值所需时间越长。

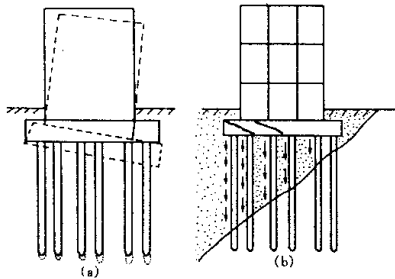


图 1 负摩阻力引起的工程事故

2 下拉荷载的计算

下拉荷载主要由桩侧负摩阻力确定,即桩侧负摩阻力的总和。影响负摩阻力的因素很多<sup>[2]</sup>,但在计算负摩阻力时,要考虑各种因素几乎是不可能的,只能进行简化。目前通常限于计算负摩阻力和下拉荷载的最大值。

2.1 单位负摩阻力

根据实践经验,取下式计算单位负摩阻力:

$$q_n = K \operatorname{tg} \varphi' \cdot \sigma_z'$$
 (1)

式中: $\sigma_z'$ ——桩侧土深度 $z$ 处的竖向有效应力, $\sigma_z' = p_0 + \bar{\gamma}'z - U_z$ ;  $p_0$ ——桩顶平面以上的土重或堆载,kPa; $z$ ——桩顶至计算点的距离,m; $\bar{\gamma}'$ ——深度 $z$ 以上土的平均有效重度,kN/m<sup>3</sup>;  $U_z$ ——深度 $z$ 处的超孔隙水压力,kPa,工程中不易测定时,可取 $U_z = 0$ ,即为有效应力最大值; $K$ ——水平有效应力与竖向有效应力之比,可近似取静止侧压力系数 $K_0$ ;  $K \operatorname{tg} \varphi'$ ——与土质、桩型、成桩工艺等有关的系数,由实验和实测确定,毕杰隆(Bjerrum)给出的经验值如表 1<sup>[2]</sup>。

表 1  $K \operatorname{tg} \varphi'$  的值

土 类	$\varphi' / (^\circ)$	$K$	$K \operatorname{tg} \varphi'$
粉质粘土	30	0.45	0.25
低塑性粘土	20	0.50	0.20
塑性粘土	15	0.55	0.15
高塑性粘土	10	0.60	0.10

2.2 下拉荷载

根据前面分析的单位负摩阻力,可通过下式计算下拉荷载:

$$Q_n = \alpha \sum_{i=1}^n U_i \Delta l_{ni} q_{ni}$$
 (2)

式中: $Q_n$ ——单桩总下拉荷载,kN; $\alpha$ ——由实验或工程经验确定的系数; $\Delta l_{ni}$ ——第 $i$ 层土的厚度,

$m$ ;  $U_i$ ——第 $i$ 段桩的周长, $m$ ;  $q_{ni}$ ——第 $i$ 层桩周土的负摩阻力,由(1)式确定。

负摩阻力的计算深度 $l_n$ (即中性点深度),原则上应按桩沉降与桩侧土沉降相等的条件确定。根据现有经验,中性点深度主要随桩侧总阻力与桩极限承载力之比 $Q_{su}/Q_u$ 而变, $l_n$ 可按下式确定:

$$l_n = \zeta l_s$$
 (3)

式中 $l_s$ ——桩顶至固结土层底部的深度,m; $\zeta$ ——中性点深度系数,可按表 2 取值。

表 2 中性点深度系数  $\zeta$

$0 \leq \frac{Q_{su}}{Q_u} < 0.05$	$0.05 \leq \frac{Q_{su}}{Q_u} < 0.5$	$0.5 \leq \frac{Q_{su}}{Q_u} < 0.9$	$\frac{Q_{su}}{Q_u} \geq 0.9$
1.0	0.9	0.8	0.7

3 工程实例

3.1 工程概况

海口市某综合大楼建于 1991 年 6 月,7 层框架结构,总高度 23.6 m,建筑面积 3000 m<sup>2</sup>,采用  $\varnothing 480$  mm 沉管灌注桩基础,桩长 19 m,承台埋深 -1.0 m,桩顶标高 -20.0 m,共布桩 116 根,桩尖置于含砾的中粗砂层之中,单桩承载力 700 kN。由于相邻的深基坑工程开挖施工,导致该综合大楼于 1994 年 11 月向北倾斜 283 mm。

3.2 纠倾方案

应有关单位邀请,笔者承担了该综合大楼的纠倾扶正技术指导工作。根据建筑物的倾斜原因和使用现状,并综合考虑基础和地基情况,经专家论证最后选定了控制桩基负摩阻力(主要是控制降水深度和持续时间)的纠倾方案。根据本文分析的桩基负摩阻力的计算方法,确定每天的降水量、持续时间和降水深度。为保证安全(整个施工过程中首层均在正常使用),要求回倾量每天控制在 10 mm 左右,根据换算,即要求建筑物向倾斜的反方向每天下沉 5 mm 左右。

根据估算,要求桩基产生的下拉荷载为(取极限承载力的 90%) $Q_u = 1400 \times 0.9 = 1260$  kN(桩的极限承载力为 1400 kN),根据建筑物自重估算,单位面积堆载 $p_0 = 3868.4$  kPa,在桩长土层范围内平均重度为 $\bar{\gamma}' = 18$  kN/m<sup>3</sup>,由公式(2)取经验系数 $\alpha = 0.07$ ,则可反算出中性点深度 $l_n \approx 15$  m,由公式(3)算得固结土层底部的深度 $l_s = 19$  m(取 $\zeta = 0.8$ ),由估算的中性点深度每天严格控制降水深度和时间,使桩在给定时间内产生下拉荷载,达到回倾目的。每天测量承台沉降和建筑物回倾量,以便达到信息

施工的目的。

### 3.3 纠倾效果

经过3个多月的纠倾施工,综合大楼南墙残留倾斜量减小到63 mm,低于规范标准,综合大楼结构完好无损。监测结果表明,由于保护措施得力,相邻建筑物未受任何影响,桩基承台沉降监测和综合楼周围地面沉降监测结果见图2。

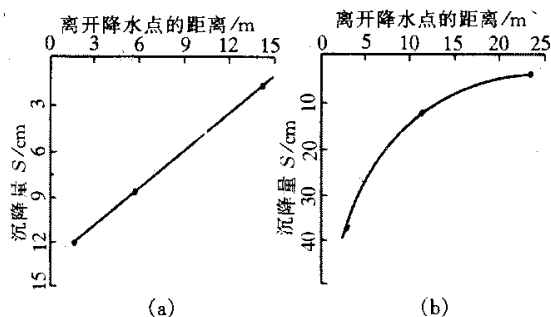


图2 沉降监测曲线  
(a)桩基承台 (b)地面

## 4 结语

理论计算及工程实例证明,调整桩基负摩阻力

可达到建筑物纠倾扶正的目的。纠倾扶正工程是一项技术复杂又有很大风险的工程,过去曾采用其它方法进行几幢深桩基础建筑物纠倾,如断桩顶升法,其对结构整体性破坏较大,抵抗地震力的能力也随之降低。而采用调整桩基负摩阻力纠倾,使建筑物平稳回倾,安全可靠,结构完好无损,施工在建筑物周围进行,甚至首层在施工过程中也可正常使用。此外,该纠倾方法降水使桩周土下沉,从而使桩周土固结,桩周土承载力也得以提高。取得了一举双得的效果,因此桩基负摩阻力纠倾扶正方法是一种比较理想和完善的方法。但是如何更精确合理地在工程中推广应用,还需要更深入的研究和积累大量实践经验。本文在这一方面做了一点尝试,可供从事纠倾扶正的科研人员、工程技术人员参考。

致谢:参加本工程的技术人员还有唐业清教授、李启民工程师,他们在施工过程中给予了大力支持和帮助,在此表示衷心感谢!

## 参考文献:

- [1] 唐业清. 倾斜建筑物的扶正与加固[J]. 施工技术, 1999, 8(2).
- [2] 刘金励. 桩基础设计与计算[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.