

# 人工挖孔灌注桩的可靠性设计

孙作功

(淮阴工学院土木工程系, 江苏淮安 223001)

**【摘要】** 人工挖孔灌注桩是一种就地挖掘成孔成型的一种桩基础形式。可靠性的人工挖孔灌注桩设计, 是基于单桩竖向承载力影响因素的数理统计, 建立其功能函数的概率模型, 进而求可靠指标的一种结构设计方法, 它较真实地反映了单桩竖向承载力的不利因素, 从而比按常规设计更趋客观和科学。

**【关键词】** 人工挖孔灌注桩; 单桩竖向承载力; 可靠度设计; 一次二阶矩法

**【中图分类号】** TB 114.3; TU 473.12

## The Reliability Design for Manual Holing Pouring Piles

**【Abstract】** Manual holing pouring piles is a kind of foundation form by digging holing. Design of manual holing pouring piles according to reliability is to set up the function by probability statistics, to calculate the dependable index and to carry out structural design. It is tried to reflect the disadvantageous factor for bearing capacity of single pile in vertical, and to make the design have more objective with science.

**【Key words】** manual holing pouring piles; bearing capacity of single pile in vertical; reliability design; first-order second-moment method

## 0 引言

人工挖孔桩具有施工时无噪音、无振动、速度快、成本低、质量易保和单桩承载力大等特点, 广泛应用于建(构)筑物工程中。但长期以来, 由于设计理论的滞后和工程的试实验数据达不到概率设计要求, 从而导致设计的单桩承载力与工程实际情况相差较大。本文旨在从可靠性设计的角度并结合工程实例, 探索人工挖孔灌注桩可靠性设计的方法。

## 1 可靠性分析及设计

### 1.1 单桩竖向承载力影响因素分析

影响单桩竖向承载力的主要因素可归结为以下三方面:

1) 土质与桩材性能的不定性: 桩侧土质与桩底土质的变异性、勘察试验的误差、成桩过程桩侧土的扰动和密实度的变化及孔底可能出现

的沉渣和虚土等, 构成了土质条件的不定性, 这是制约单桩承载力变异性的主要因素。通常来说, 对于非端承桩而言, 桩身材料的不定性对单桩承载力不起控制作用, 变异性较小。

2) 单桩几何参数的不定性: 几何参数不定性, 主要是指成桩截面和长度尺寸偏差、倾斜等引起的几何参数的变异性, 从而导致单桩设计承载力与实际承载力的差异。但只要强化标准化水平和提高工人的操作技能, 可使单桩几何参数的变异性大大减小。

3) 单桩承载力计算模式的不定性: 计算模式的不定性, 主要是指承载力计算所采用的基本假设和计算公式不精确等引起的承载力设计值的变异性。

基于上述因素, 本文的单桩竖向承载力可靠度分析, 主要考虑土质的变异性对单桩竖向

承载力的影响。

1.2 可靠性设计步骤

首先建立单桩竖向承载力功能函数的极限状态方程,根据文献[1]采用如下二次二阶矩法进行设计。

1)选择设计验算点  $x_i (i=1, 2, \dots, n)$  作为线性化点  $x_{oi} (i=1, 2, \dots, n)$  时,则线性化极限状态方程为:

$$Z = g(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) + \sum_{i=1}^n (X_i - X_i^*) \times \frac{\partial g}{\partial X_i} | X^* = 0 \quad (1)$$

2) Z 的均值为:

$$m_z = g(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) + \sum_{i=1}^n (m_{X_i} - X_i^*) \times \frac{\partial g}{\partial X_i} | X^* \quad (2)$$

3) Z 的标准差:

$$\sigma_z = \sum_{i=1}^n \alpha_i \sigma_{X_i} \frac{\partial g}{\partial X_i} | X^* \quad (3)$$

$$4) \alpha_i = \frac{\sigma_{X_i} \frac{\partial g}{\partial X_i} | X^*}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (\sigma_{X_j} \frac{\partial g}{\partial X_j} | X^*)^2}} \quad (4)$$

5)解出的设计验算点为:

$$X_i^* = m_{X_i} - \alpha_i \beta \sigma_{X_i} \quad (5)$$

6)可靠度指标:

$$\beta = \frac{m_z}{\sigma_z} \quad (6)$$

式(5)、(6)共有  $n+1$  个方程,采用拉克维茨迭代法求解。

1.3 实例分析

江苏淮安某框架办公楼,采用人工挖孔扩底桩,C20 砼,7 度地震设防,桩身直径 1 m,护壁厚 0.15 m,扩底直径 1.6 m,  $h_0=0.6$  m,桩长 9.5 m,桩端入持力层 1.5 m。根据区域统计资料,  $l$  的变异系数 5%~10%,  $f_i$  的变异系数 10%~20%,  $R_i$  的变异系数 5%~15%,均呈正态分布。本文统一采用 10%作为各变量的变异系数。有关  $l_i, f_i, R_j$  的均值与均方差见表 1,单桩竖向设计承载力为 2 250 kN,求可靠指标  $\beta$  值。工程地质及土质统计参数见表 1。

表 1 工程地质及土质统计参数

土层名称	土层状态	层厚 $l_i/m$		土层侧阻力 $f_i/kPa$		土层端承力 $R_j/kPa$	
		$\mu_l$	$\sigma_l$	$\mu_f$	$\sigma_f$	$\mu_R$	$\sigma_R$
素填土		3.0	0.3	16	1.6		
粉 沙		5.0	0.5	55	5.5		
粉质粘土	硬塑~坚硬	6.0	0.6	73	7.3	770	77

设计

若不考虑桩几何尺寸变异性影响(实际工程中,若选经验丰富的施工队,并强化管理,桩尺寸变异性可控制),根据文献[2],单桩竖向承载力计算如下(参数取值换算略):

$$P_a = \pi d \sum l f_i + 1/4 \pi D^2 \eta R_j = 4.084 \sum l f_i + 1.568 R_j \quad (7)$$

则功能函数:

$$g(l_i, f_i, R_j) = 4.084(l_1 f_1 + l_1 f_2) - 3.676 f_3 + 1.568 R_j - 2\ 250 \quad (8)$$

取  $\beta=2$ ,利用式(1)~(6)进行第一大轮迭代。

从上表看出,两次迭代后,数据已接近,将表中  $x_i^*$  代入式(8)得  $g(l_i, f_i, R_j) \neq 0$ ,再取  $\beta=2.8$ 进行第二大轮迭代,迭代见表 2(迭代过程略),将计算结果代入得  $g(l_i, f_i, R_j) = 2.65 \approx 0$ ;若再迭代,取  $\beta_{n+1} = \beta_n - g_n \Delta \beta / \Delta g = 2.79$ ,进行第三大轮迭代,  $g(l_i, f_i, R_j) = 0.79 \approx 0$ ,计算过程略,最终取  $\beta=2.79$ 。

表2 第二大轮迭代

迭代次数	变 量	$\partial g/\partial X_i X^*$	均方差 $\sigma_i$	$\alpha_i$	$x_i^*$
1	$x_1(=l_1)$				3.0
	$x_2(=f_1)$				16
	$x_3(=l_2)$				5.0
	$x_4(=f_2)$				55
	$x_5(=f_3)$				73
	$x_6(=R_j)$				770
	$x_1$	65.344	0.3	0.096 47	2.942
	$x_2$	12.252	1.6	0.096 47	15.69
	$x_3$	224.62	0.5	0.552 69	4.447
	$x_4$	20.42	5.5	0.552 69	48.92
	$x_5$	3.676	7.3	0.132 06	71.07
	$x_6$	1.568	77	0.594 15	678.50
2	$x_1$	64.078	0.3	0.101 33	2.939
	$x_2$	12.015	1.6	0.101 33	15.676
	$x_3$	199.789	0.5	0.526 53	4.473
	$x_4$	18.162	5.5	0.526 53	49.218
	$x_5$	3.676	7.3	0.141 44	70.93
	$x_6$	1.568	77	0.636 39	672.00

## 2 结 论

通过本文的研究与分析,得出以下几点结论:

1)基于可靠度的人工挖孔灌注桩设计,关键问题是建立影响单桩竖向承载力的含各随机变量的功能函数,用一次二阶矩法求出单桩竖向承载力的可靠指标  $\beta$ 。本文中,求出的  $\beta$  为 2.79,根据文献[2],单桩竖向承载力的  $\beta$  以 2.0 左右为宜,以 2.3 为佳,由此可见,本文的工程取值是安全可行的;

2)影响单桩竖向承载力的因素很多,它的计算应根据成桩后土质的实际物理力学性能、桩身材料强度以及实际成桩几何尺寸变化因

素来综合考虑。本文从土质的变异性角度确定单桩竖向承载力,工程及理论实践表明,已能满足工程需要;

3)随着岩土参数研究的深入,基于可靠性的人工挖孔灌注桩设计,必将取代传统的设计方法和设计理念,而广泛应用于岩土工程各领域。

## 参 考 文 献

- 1 吴世伟. 结构可靠度分析. 北京:人民交通出版社, 1990.102~104
- 2 刘正峰. 地基与基础工程新技术实用手册(第二卷). 北京:海潮出版社, 2000.1111~1123

收稿日期:2003-01-20