

岩土工程

试桩极限承载力标准值取值方法探讨

张尚根¹, 孟少平¹, 常素萍²

(1. 东南大学土木工程学院, 南京 210096; 2. 盐城市建筑设计院, 盐城 224001)

[摘 要] 对桩基极限承载力标准值的取值方法及折减系数的多解性进行了讨论与计算, 给出了确定极限承载力标准值折减系数的选取方法, 可供设计参考。

[关键词] 桩 极限承载力 标准值

[中图分类号] TU471 [文献标识码] A [文章编号] 0495 - 5331(2002)05 - 0078 - 03

0 引言

单桩竖向极限承载力标准值是桩基工程中一个最基本的参数, 是桩基工程设计的基础。在桩基现场静荷载试验时, 试桩的数量不可能很多, 一般不超过桩数的 1%。如何用这么少量的实测值来确定桩基的标准值, 值得研究。过去只能根据现场条件及设计要求和经验来确定。《建筑地基基础设计规范》(GBJ7 - 89)^[1]对单桩竖向静荷载试验的取值规定为: 当实测值的极差不超过平均值的 30%, 取平均值作为承载力标准值。《建筑桩基技术规范》(JGJ 94 - 94)^[2]对少量单桩静荷载试验的实测值采用可靠度近似分析法来确定标准值, 列出了一个计算较为繁复的四次方程式, 给应用带来了一定难度和问题。本文欲对此进行探讨。

1 静荷载试桩确定单桩极限承载力标准值的方法

《建筑桩基技术规范》(JGJ 94 - 94) 对现场静荷载试桩确定单桩极限承载力标准值 (P_{ui}) 按下列步骤和方法进行:

1) 确定正常条件下 n 根试桩的极限承载力实测值 P_{ui} ;

2) 计算平均值 $P_{um} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{ui}$ (1)

3) 计算每根桩的极限承载力实测值 P_{ui} 与平均值之比

$\alpha_i = \frac{P_{ui}}{P_{um}}$ (2)

下标 i 根据 P_{ui} 值由小到大的顺序排列;

4) 计算 α_i 的标准差

$S_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\alpha_i - 1)^2}$ (3)

5) 确定单桩竖向极限承载力标准值 P_{uk}

$P_{uk} = \begin{cases} P_{um} & S_n \leq 0.15 \\ \lambda P_{um} & S_n > 0.15 \end{cases}$ (4)

6) 折减系数 λ 按下列方法确定

当 $n = 2$ 及 $n = 3$ 时, 查规范附录 C 中表 C - 5 及 C - 6 确定

当 $n \geq 4$ 时, 按下式计算

$A_0 + A_1 \lambda + A_2 \lambda^2 + A_3 \lambda^3 + A_4 \lambda^4 = 0$ (5)

式中: $A_0 = \sum_{i=1}^{n-m} \alpha_i^2 + \frac{1}{m} (\sum_{i=1}^{n-m} \alpha_i)^2$

$A_1 = -\frac{2n}{m} \sum_{i=1}^{n-m} \alpha_i$

$A_2 = 0.1267 - 1.1267n + n^2/m$

$A_3 = 0.1467(n-1)$

$A_4 = 0.0424(n-1)$

取 $m = 1, 2, \dots$ 满足 (5) 式的 λ 即为所求。

在上面确定 P_{uk} 的过程中, 当 $S_n > 0.15$, $n \geq 4$ 时, 转化为对 (5) 式进行求解。

2 讨论

1) (5) 式的基础是全国 45 个工程近 200 根预制

[收稿日期] 2001 - 11 - 05; [修订日期] 2002 - 01 - 30; [责任编辑] 李石梦。

[第一作者简介] 张尚根 (1965 年 -), 男, 1987 年毕业于工程兵工程学院, 主要从事地下工程及岩土工程方面的教学、科研和设计工作。

桩实测资料,在可靠性分析中采用类似“校正法”而确定的,即确定了 $S_n \leq 0.15$ 时, $\lambda = 1.00$ ^[3]。因此其适用范围应限于静载桩的取值,不宜推广到其他岩土参数的取值,否则,风险率较大;

2) 当 n 相同时, λ 与 S_n 的关系也不是固定的,它还与 α_i 的分布有关,相等的 S_n 值, λ 可能相差达 0.03。例如 $n = 4$, $S_n = 0.267$ 时, α_i 分别为 0.6898, 0.9687, 1.000, 1.3415 时, $\lambda = 0.9234$; 而另一组合 α_i 分别等于 0.6898, 0.8646, 1.2200, 1.2256 时, $\lambda = 0.9894$ 。两者 S_n 相等,但 λ 相差 0.0294,而且误差值随 n 的减小和 S_n 的增大而加大,因此当 $n \geq 4$ 时,可按(5)式求解 λ ;

3) 标准差 S_n 与一组测试值的极差率 J (最大和最小测试值之差与平均值之比) 的关系如下:

$$J = \frac{P_{u\max} - P_{u\min}}{P_{um}} = \alpha_n - \alpha_1$$

当某组测试值成等差分布时:

$$S_n = \frac{\sqrt{n(n+1)}}{\sqrt{12(n-1)^2}} J$$

当 n 一定时,两者成正比例关系。

《建筑地基基础设计规范》(GBJ7 - 89) 中“当实测的极差不超过平均值的 30 % (即 $J \leq 0.30$) 时,取平均值”的规定,与《建筑地基基础设计规范》(GBJ7 - 89) 中“当 $S_n \leq 0.15$ 时取 $\lambda = 1.00$ ”的规定在 $n = 3$ 时是完全符合的,因为此时 $S_n = 0.15$, $J = 0.30$ 。但随着 n 的减小或加大, J 也减小或加大,如 $S_n = 0.15$, 当 $n = 2$ 时, $J = 0.212$, 而当 $n = 5$ 时, $J = 0.379$, 当 $n = 10$ 时, $J = 0.446$, 可以看出,当测试值多时,可适当放宽对极差率的限制。

测试值不呈等差分布时, S_n 与 J 的关系要复杂一些,但也基本遵循上述规律。

由上可知,当极差很大时,本法不宜无限制延展使用,建议限制在表 1 所示的范围内。

表 1 与 J 的关系范围表

n	S_n	J
2	≤ 0.36	≤ 0.51
3	≤ 0.30	≤ 0.60
4	≤ 0.27	≤ 0.63
5 - 10	≤ 0.25	$\leq 0.63 - 0.74$

如发现某个测值过大或过小,应分析其原因,如地质条件有无变化,成桩时有无异常,试桩过程有无问题等,对此值必要时可以删除,有时也需要加试桩数量。

4) 如采用低应变动测桩时,实际工程中测试值

较多,一般 $n \geq 10$ 。由于其测试值的可靠性不如静载试桩,因此不宜采用本方法来计算桩的极限承载力标准值,而应采用《岩土工程勘察规范》(GB50021 - 94)^[4] 中岩土参数取值的一般公式来计算。

$$\gamma_s = 1 - \left[\frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right] \delta$$

式中, γ_s —统计修正系数, (相当于本法中的折减系数 λ);

δ —变异系数。

5) 对于一桩一柱的大直径桩,由于对单桩承载力的可靠性要求较严,因此,采用该方法时其保证率较低,建议使用时要慎重为宜。

6) 满足(5)式的 λ 不只一个,这样将出现 P_{uk} 的多解性。一般 λ 的上限为 1, 即 $\lambda \leq 1$, 下限取多少适合呢?《建筑桩基技术规范》(JGJ94 - 94) 没有明确的规定,参考《建筑地基基础设计规范》(GBJ7 - 89) 附录五中规定地基承载力标准值 (f_k) 的方法,即当根据室内物理、力学指标平均值确定地基承载力标准值时,应将查表所得的承载力基本值 (f_0) 乘以回归修正系数 (ψ_f), f_k 即 $\psi_f f_0$ 。当计算求得的回归修正系数 $\psi_f < 0.75$ 时,规范中认为其值不合理,不能采用,此时应分析原因并应同时增加试样数量。所以,根据《建筑地基基础设计规范》确定地基承载力标准值的方法,可以认为 λ 值的下限为 0.75, 即 $\lambda \geq 0.75$, 于是有:

$$0.75 \leq \lambda \leq 1 \tag{6}$$

λ 值有了范围后,就可以分别确定 $m = 1, 2, \dots$ 时满足(6)式的 λ 值,此时,仍然存在多个满足(5)式的 λ 值,不妨记为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$ 。为了合理确定 λ 值,满足下式的 $\lambda_i (i = 1, \dots, k)$ 值作为最终所求的 λ 值。

$$\lambda_i - \lambda_j = \min(\lambda_i - \lambda_j) \quad (i = 1, 2, \dots, k) \tag{7}$$

式中 $\lambda_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \lambda_i$ 。

式(5)为一元四次方程,虽有通解,但计算较繁,可借助于计算机求解,如用 QR 分解法^[5,6] 进行求解。

3 工程实例分析

某工程^[3] 试桩数量 $n = 4$, 各试桩极限承载力分别为 $P_{u1} = 735\text{kN}$, $P_{u2} = 912\text{kN}$, $P_{u3} = 1088\text{kN}$, $P_{u4} = 1265\text{kN}$, 试求极限承载力标准值 P_{uk} 。

由(1)式可求得极限承载力平均值 $P_{um} = 1000\text{kN}$;

由(2)式可求得 $\alpha_1 = 0.735$ 、 $\alpha_2 = 0.912$ 、 $\alpha_3 = 1.088$ 、 $\alpha_4 = 1.265$;在由(3)式可求得 $S_n = 0.228 > 0.15$ 。

由于 $S_n > 0.15$,应按(5)式计算 λ 值,用QR分解方法^[5,6]可求出满足(5)式的 λ 值如表2所示。

表2 λ 值计算结果汇总表

λ	$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$
λ_1	- 8.97041	- 4.86255	- 2.05975
λ_2	10.6086	6.67072	4.56120
λ_3	0.885927	0.825915 - 0.55497i	0.754273 - 0.435548i
λ_4	0.936516	0.825915 + 0.55497i	0.754273 + 0.435548i

从表2可以看出, $m = 1$ 时,有两个值满足(6)式; $m = 2$ 和 $m = 3$ 时,没有能满足(6)式的 λ 值。取满足(6)式的 λ 值,分别为:0.885927、0.936516。由(7)式计算并参考文献^[3],0.936516就是最终所求的 λ 值。所以,本工程单桩竖向极限承载力标准值为 $P_{uk} = 0.936516 \times 1000 \approx 936 \text{ kN}$ 。

4 结 语

1)《建筑桩基技术规范》(J GJ94 - 94)根据静载

荷试验确定单桩极限承载力标准值的方法符合国内实际情况,比《建筑地基基础设计规范》(GBJ7 - 89)的应用范围要宽得多,解决了实际工程中常出现的情况,但使用时应注意其使用条件。

2)当 $S_n > 0.15$ 且试桩数量 $n \geq 4$ 时,折减系数 λ 可能出现多个值,给桩基的设计计算带来了困难,参考《建筑桩基技术规范》和《建筑地基基础设计规范》中的有关规定,建议 λ 的取值范围为 $0.75 \leq \lambda \leq 1$ 。

[参考文献]

[1] 建筑地基基础设计规范(GBJ7 - 89)[M].北京:中国建筑工业出版社,1989.
[2] 建筑桩基技术规范(J GJ94 - 94)[M].北京:中国建筑工业出版社,1995.
[3] 黄 强.桩基工程若干热点问题[M].北京:中国建材工业出版社,1996.
[4] 岩土工程勘察规范(GB50021 - 94)[M].北京:中国建筑工业出版社,1995.
[5] 邓建中.计算方法[M].西安:西安交通大学出版社,1990.
[6] 徐士良.FORTRAN 常用算法程序集[M].北京:清华大学出版社,1993.

STUDY ON STANDARD VALUE OF ULTIMATE BEARING CAPACITY OF PILE

ZHANG shang - gen ,MENG Shao - ping ,CHANG Su - ping

(1. College of Civil Engineering , Southeast University , Nanjing ,210096 China;
2. Yancheng Institute of Architectural Design and Research , Yancheng 224001)

Abstract :Some efforts are devoted to the way in which the standard value of bearing capacity of pile is chosen. The multi - solution of standard values is discussed in computations. An approach which can be used in engineering is recommended for selecting the standard value of bearing capacity of pile.

Key words :pile ,ultimate bearing capacity ,standard value

欢迎订阅 2003 年《地质找矿论丛》

《地质找矿论丛》经国家科技部和国家新闻出版总署批准,由天津地质研究院主办的全国性地学科技期刊,1986年创刊,国内外公开发行,现为季刊,每期72页,A4国际开本。中国标准刊号:ISSN 1001 - 1412;CN 12 - 1131/P。

《地质找矿论丛》是国际著名检索刊物美国《化学文摘》(CA)收录期刊,同时作为中国科技论文统计源期刊、《中国科学引文数据库》和《中国地质文摘》来源期刊,期刊全文入编《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》、《万方数据系统科技期刊群》和《中文技术期刊数据库》,以多种形式为读者服务。

《地质找矿论丛》主要报道矿产成矿理论与成矿预测、物质成分及综合利用、水文地质和工程地质、环境地质调查与治理、资源勘查工程、矿产品深加工技术、地质矿产

技术经济等方面的科研成果、进展评介、研究简报,并不断开拓报道领域与深度。

《地质找矿论丛》面向地质科研、矿产勘查、矿山企业、矿产品开发工作的科技人员和地学院校的师生。热忱欢迎地矿行业、地学院校、文献信息部门的单位与个人踊跃订阅《地质找矿论丛》,并为《地质找矿论丛》撰写稿件。

《地质找矿论丛》每季末月出版,每期订价5.00元,全年订价20.00元,订户可向本刊编辑部函索订单订阅,订购款一律通过邮局汇寄。也可通过“全国非邮发报刊联合征订服务部”订阅。

《地质找矿论丛》编辑部地址:天津市河西区友谊路42号《地质找矿论丛》编辑部;邮编:300061;联系电话:022 - 28367243;联系人:王书辉;E - mail :luncong @yeah. net。