维普资讯 http://www.cqvip.com

第三系泥岩桩端承载力计算机模拟研究

范秋雁[1]，吴起星[2]，周国贵[3]
（1.广西大学资源与环境学院，南宁 530004；2.暨南大学土木工程系，广州 510632；
3.广西建筑综合设计研究院，南宁 530001）

[摘 要]用三维有限元法对第三系泥岩桩端承载力进行模拟计算，并采用多元线性回归的方法求得桩端承载力与桩长、桩径、地基强度指标及变形模量之间的关系式，然后用工程实例验证了分析模型的可靠性。

[关键词]第三系泥岩 桩端承载力 计算机模拟
[中图分类号]TU473.1 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2003)05-0088-03

0 前 言

在广西等一些地区，常常将第三系泥岩作为桩端持力层。由于泥岩所具有的一些特殊的物理力学性质，使得其承载力的确定有别于土和硬岩。过去，确定泥岩桩端承载力主要是依据《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89)[1]及《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)[2]，规范GB7-89根据风化程度的不同给出了软质岩石承载力标准值的经验值，从广西地区的使用情况看，所取经验值与实测值相差较大，有时可差一倍多，而新规范(GB50007-2002)已取消了土(岩)承载力标准值的经验表格，规范JGJ94-94未给出泥岩等软质岩承载力的经验值，所以第三系泥岩桩端承载力的确定问题一直是桩基设计中的一个难题。过去，国内外对泥岩等软岩的地下洞室稳定性做过较多的研究，而对泥岩的承载力问题研究甚少，文献[3,4]对广西的第三系泥岩物理力学特性和浅基承载力做过一些研究，而对泥岩桩端承载力的较系统研究未见报导。

本文通过建立桩—土(岩)三维力学模型，采用大型有限元软件ANSYS对该模型进行了大量的模拟计算，分析了泥岩桩端承载力与桩长、桩径、泥岩强度指标及变形模量之间的相互关系。

1 计算模型

1.1 假设条件

依据深层平板载荷试验模型，将桩—泥岩(土)力学模型作如下的假设：

1)岩土材料均匀，各向同性且选用Drucker-Prager弹塑性本构模型，即岩土材料视为理想弹塑性材料(DP材料)。

2)荷载为静力竖向荷载，受力轴对称。

3)研究桩端阻力，未考虑桩侧阻力，竖向荷载直接作用于孔底平面。

4)桩侧上覆土层简化为一层，性质指标由上覆各土层性质指标按层厚加权平均求得。

5)假定桩体刚度远大于泥岩，故桩端竖向位移相同。

根据以上假设条件，建立的模型如图1所示。

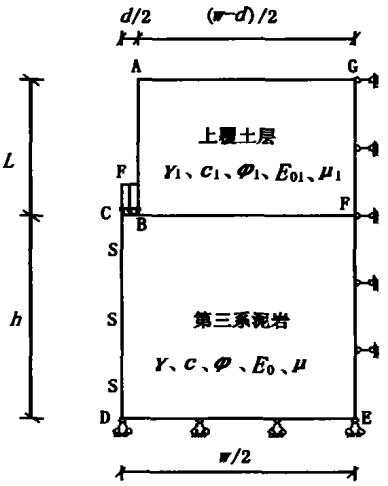

图1 模拟计算模型图

[收稿日期]2003-05-10；[修订日期]2003-06-15；[责任编辑]苗国航。
[基金项目]广西科学研究与技术开发计划项目(编号：桂科攻0231004)资助。
[第一作者简介]范秋雁(1961年-)，男，1997年毕业于中科院武汉岩土所，获博士学位，教授，主要从事岩土力学与工程的教学与科研工作。

维普资讯 http://www.cqvip.com

1.2 计算参数确定

1.2.1 上覆土层参数

以广西南宁盆地第三系泥岩为例,其上覆土层一般为第四系松散沉积物,即杂填土→粘土→粉质粘土→粉土→粉细砂→砾砂(圆砾),通过大量收集资料,采用统计方法求出每层土的物理力学性质指标平均值,然后按每层厚进行加权平均,统计出第四系沉积物物理力学性质指标的平均值见表1。

表1 南宁盆地上覆土层计算参数

天然容重 γ_1 / kN·m^{-3}	粘聚力 c_1 / kPa	内摩擦角 φ_1/(°)	变形模量 E_{01}/MPa	泊松比 μ_1
20.37	38.98	20.34	27.47	0.28

1.2.2 第三系泥岩参数

以广西南宁盆地第三系泥岩为例,通过大量收集资料,绘制参数频率直方图,确定其主要变化范围,最后确定的计算参数取值见表2。

表2 南宁盆地第三系泥岩计算参数

埋置深度 L/m	天然容重 γ/ kN·m^{-3}	粘聚力 c/ kPa	内摩擦角 φ/(°)	变形模量 E_0/MPa	泊松比 μ
6.0~26.0	21.32	40~200	16.0~36.0	20~340	0.25

1.2.3 桩体尺寸参数

本次模拟计算中取桩长 L =6.0~26.0 m,桩径 d =0.6~2.0 m。

2.3 桩端极限承载力判定方法

根据泥岩的承载性状,本次模拟计算中,极限状态下的端阻力由桩端沉降量来控制,《高层建筑岩土工程勘察规范》(JGJ72-90)规定[5]:沉降值 s=(0.005~0.01)d 所对应的荷载值 P 作为墩端土承载力标准;《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)规定[2],一般可取 s=40~60mm,对于大直径桩可取 s=(0.01~0.06)d 所对应的荷载值为极限承载力;De Beer[6]提出取桩端沉降 s=0.025d 所对应的荷载作为极限承载力,综合以上研究成果,本次计算取桩端沉降 s=0.025d 所对应的荷载作为桩端极限承载力。

2 计算及结果分析

2.1 模拟计算安排

模拟计算中输入的参数可分为固定参数和变化参数两大类,固定参数为上覆土层参数,泥岩的天然容重与泊松比;变化参数为桩体尺寸、强度指标及变形模量,为了更好地反映多因素及多水平的变化规律,本次模拟计算按正交设计方法进行安排,取5因素9水平进行正交试验(计算),各因素水平取值见表3,按正交表安排的81次试验(计算)见表4。

表3 因素水平表

因素	1	2	3	4	5	6	7	8	9
L/m	6.0	8.5	11.0	13.5	16.0	18.5	21.0	23.5	26.0
d/m	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2
c/kPa	40	60	80	100	120	140	160	180	200
φ/(°)	16.0	18.5	21.0	23.5	26.0	28.5	31.0	33.5	36.0
E_0/MPa	20	60	100	140	180	220	260	300	340

表4 正交试验结果表

序号	埋置深度 L/m	桩径 d/m	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 φ/(°)	变形模量 E_0/MPa	桩端极限承载力 P_u/kPa
1	6	0.6	40	16	20	765
2	6	0.8	60	18.5	60	1460
3	6	1	80	21	100	1960
4	6	1.2	100	23.5	140	2700
5	6	1.4	120	26	180	3525
6	6	1.6	140	28.5	220	4380
7	6	1.8	160	31	260	5440
8	6	2	180	33.5	300	6560
9	6	2.2	200	36	340	7872
10	8.5	0.6	60	21	140	2464
11	8.5	0.8	80	16	180	2490
12	8.5	1	40	18.5	220	2430
13	8.5	1.2	120	28.5	260	4960
14	8.5	1.4	140	23.5	300	4800
15	8.5	1.6	100	26	340	4950
16	8.5	1.8	180	36	20	1110
17	8.5	2	200	31	60	2370
18	8.5	2.2	160	33.5	100	3270
19	11	0.6	80	18.5	260	3328
20	11	0.8	40	21	300	3296
21	11	1	60	16	340	3050
22	11	1.2	140	26	20	1075
23	11	1.4	100	28.5	60	2075
24	11	1.6	120	23.5	100	2575
25	11	1.8	200	33.5	140	4288
26	11	2	160	36	180	5216
27	11	2.2	180	31	220	5280
28	13.5	0.6	100	31	100	3040
29	13.5	0.8	120	33.5	20	1170
30	13.5	1	140	36	60	2490
31	13.5	1.2	160	16	220	3480
32	13.5	1.4	180	18.5	140	3210
33	13.5	1.6	200	21	180	3870
34	13.5	1.8	40	23.5	340	3942

维普资讯 http://www.cqvip.com

3 计算结果分析

81 组数据的计算结果见表 4，并采用统计软件对正交试验（计算）结果分析进行方差分析，结果表明，各因素（桩长 L，桩径 d，粘聚力 c，内摩擦角 φ，变形模量 E_0）对目标变量 P_U（桩端极限承载力）的影响显著。

再对 81 组数据运用多元线性回归方法进行分析，提出了 P_U 与 L,d,c,φ,E_0 之间的关系式：

$$P_U = 3.780L^{1.5} - 609.992d + 3.629c + 65.337\varphi + 12.80E_0$$

式中：P_U —桩端极限承载力，kPa；

L —桩长（埋置深度），m；

d —桩径，m；

c —地基的粘聚力，kPa；

f —地基的内摩擦角；

E_0 —地基的变形模量，MPa。

上式也通过了回归模型的显著性检验。

4 计算模型的验证

本文收集了广西四种工程的泥岩深层平板承载力试验结果，并用这四个工程的有关参数进行有限元分析求出桩端极限承载力，计算值与实测值对比见表 5。

表 5 有限元法与现场载荷试验确定的桩端承载力值比较

序号	工程名称	承压板直径 b/m	埋深 L/m	桩径 d/m	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 φ/(°)	变形模量 E_0/MPa	桩端极限承载力 P_U/kPa	有限元法确定的桩端承载力 P_U/kPa	基岩类型	误差	相对误差%
1	广西水电厅防汛中心	0.300	6.50	2.00	55.00	28.00	186.23	2833	2600	泥岩	233	8.22
2	广西电力工业局试验调度楼	0.300	6.30	1.30	49.40	34.00	272.20	4500	4100	泥岩	400	8.89
3	斯壮公司官塘大厦	0.300	19.40	1.60	121.00	26.50	110.14	3600	3520	泥岩	80	2.22
4	南宁广电中心技术大楼	0.360	13.50	1.80	84.00	24.00	158.84	1600	1680	泥岩	-80	5.00

从表 5 可以看出，相对误差均小于 9%，有限元法确定的与现场载荷试验确定的相接近，误差均在工程允许范围之内，这说明采用有限元弹塑性模型进行模拟计算是合理的。

5 结 论

本文运用弹塑性有限元法对第三系泥岩桩端承载力分析模型进行了大量的模拟计算，并通过正交试验方法和多元线性回归方法，获得了桩端极限承载力 P_U 与桩长 L，桩径 d，粘聚力 c，内摩擦角 φ，变形模量 E_0 之间的相互关系式：

$$P_U = 3.780L^{1.5} - 609.992d + 3.629c + 65.337\varphi + 12.803E_0$$

这一关系式为第三系泥岩桩端承载力的确定提供了一种简便且较为科学的方法，通过四个工程实例验证了分析模型的合理性。

[参考文献]

[1] 中华人民共和国建设部. 建筑地基基础设计规范（GBJ7 - 89）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2001.

[2] 中国建筑科学研究院. 建筑桩基技术规范（JGJ94 - 94）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，1998.

[3] 范秋雁，凌国志，等. 广西第三系泥岩的物理力学特性研究[J]. 广西大学学报，1997（增刊）.

[4] 张信贵. 南宁盆地泥岩承载力性状研究[J]. 岩石力学与工程学报，2000，(3).

[5] 中华人民共和国建设部. 高层建筑岩土工程勘察规程（JGJ72 - 90）[S]. 北京：中国建筑工业出版社，1991.

[6] E De Beer. Different Behaviour of Bored and Driven Piles, Deep Foundation on Bored and Auger Piles, Van Impe (ed) [J]. Balkema, Rotterdam, 1988, 47 ~ 82.

COMPUTER SIMULATION OF LOAD - BEARING CAPACITY OF TERTIARY MUDSTONE PILE - TIP

FAN Qiu - yan[1], WU Qi - xing[2], ZHOU Guo - gui[3]

(1. *Natural Resources and Environment College, Guangxi University, Nanning* 530004; 2. *Civil Engineering Department, Jinan University, Guangzhou* 510632; 3. *Guangxi Academy of Architecture General Design, Nanning* 530001)

Abstract: By 3 - D finite element method, computer simulation of load - bearing capacity of Tertiary mudstone pile - tip has been taken. The relations of pile - tip load - bearing capacity to pile length, pile diameter, soil intensity target and deformation modulus are attained by means of more - element linear regression. Reliability of the model is been testified by engineering examples.

Key words: Tertiary mudstone, load - bearing capacity of pile - tip, computer simulation