

桩基嵌岩段合理深度的探讨

宋 功 河

(土木工程系)

摘 要 高层建筑及路桥工程桩基安全和造价问题是近年来比较突出的工程问题,本文按新颁布的《建筑桩基技术规范》,探讨了嵌岩桩在不同嵌岩深径比情况下对单桩承载力的影响.通过南昌地区大量实际工程的数据统计、分析和对比,总结出较合理和经济的桩基嵌岩深度.

关键词 规范;深径比;单桩承载力;合理嵌岩深度

分类号 TU473.11

0 引 言

随着城市高层建筑和交通路桥工程的不断发展,嵌岩桩的应用也越来越广泛.嵌岩桩与桩端埋置于中风化或强风化岩层顶部的非嵌岩桩相比,不仅沉降小,承载力大,而且在合理的嵌岩深度范围内,技术经济效果比较明显.

在《建筑桩基技术规范》发布施行前,近年来,对桩基的勘察设计工作一般均按《建筑地基基础设计规范》的相应规定执行.该规范对嵌岩桩的承载力一般以端承力为主,它采用了相应的折减系数对岩石饱和单轴抗压强度标准值进行折减后,作为基岩的承载力设计值.目前有的工程勘察设计人员,借助已建工程经验,曾用最大剪应力理论,或以“考虑到嵌岩作用”为理由,加大折减系数以提高嵌岩桩的单桩承载力,欲达到满意的技术经济效果.但这些毕竟还是经验总结,并无充分的依据,有些工程技术人员在重大的工程中讨论到这些问题时,总觉心中无数,希望能从理解和执行现行规范的同时找到更有把握的根据.本文结合近几年来桩基设计及施工的工程实践,以新近颁发的《建筑桩基技术规范》为依据,对嵌岩桩的单桩承载力及其带来的技术经济效果,通过大量的数据统计、分析、计算和对比,总结出较合理和经济的桩基嵌岩深度.

1 《建筑桩基技术规范》对嵌岩桩的规定

1995年发布施行的《建筑桩基技术规范》第5.2.11条对嵌岩桩嵌岩段的承载力有了更明确的规定,其有关内容摘录如下:

5.2.11 嵌岩桩单桩竖向极限承载力标准值,由桩周土总侧阻、嵌岩段总侧阻和总端阻三部分组成。当根据室内试验结果确定单桩竖向极限承载力标准值时,可按下式计算:

$$Q_{sk} = Q_{sk} + Q_{rk} + Q_{pk} \quad (5.2.11-1)$$

$$Q_{sk} = u \sum_{i=1}^n \zeta_{si} q_{sik} l_i, \quad (5.2.11-2)$$

$$Q_{rk} = u \zeta_r f_{rk} h_r, \quad (5.2.11-3)$$

$$Q_{pk} = \zeta_p f_{pk} A_p, \quad (5.2.11-4)$$

式中 Q_{sk} 、 Q_{rk} 、 Q_{pk} ——分别为土的总极限侧阻力、嵌岩段总极限侧阻力、总极限端阻力标准值;

f_{rk} ——岩石饱和单轴抗压强度标准值;

h_r ——桩身嵌岩深度(强风化不计),当 $h_r > 5d$ 时,取 $h_r = 5d$

ζ_r 、 ζ_p ——嵌岩段侧阻力和端阻力修正系数,与嵌岩深径比 h_r/d 有关,按表 5.2.11 采用。

u 、 A_p ——分别为桩身周长和桩端面积。

表 5.2.11 嵌岩段侧阻和端阻修正系数

嵌岩深径比 h_r/d	0.0	0.5	1	2	3	4	5
侧阻修正系数 ζ_r	0.000	0.025	0.055	0.070	0.065	0.062	0.050
端阻修正系数 ζ_p	0.500	0.500	0.400	0.300	0.200	0.100	0.000

注 ① 当嵌岩段为中等风化时,表中数值乘以 0.9 折减;

② 岩石单轴抗压强度的标准值可按附录 C 中 C.0.11 条规定取值。

表 5.2.11 注 ② 所提到的附录 C

中 C.0.11 条内容为试桩数据的处理方法,在实际工程中每个工程均试桩很难做到。对这一点,本文提出用《建筑地基基础设计规范》中岩石饱和单轴抗压强度标准值 f_{rk} 直接代入 f_{rk} ,因为 f_{rk} 在工程勘察时即可行到。当然,特别重要的工程最好在现场试桩,本文以下内容均是以 $f_{rk} = f_{rk}$ 为基础进行分析计算。

为便于对比,可将表 5.2.11 列成直观图(详见图 1)。

将《规范》中计算式 5.2.11-3 和 5.2.11-4 分别变换一下,并把两式相加,可得如下三式:

$$Q_{rk} = u \zeta_r f_{rk} h_r = 4 \zeta_r h_r/d (f_{rk} A_p) \quad (1)$$

$$Q_{pk} = \zeta_p f_{pk} A_p = \zeta_p (f_{rk} A_p) \quad (2)$$

$$Q_{rk} + Q_{pk} = (4 \zeta_r h_r/d + \zeta_p) (f_{rk} A_p) \quad (3)$$

$$\text{设 } \zeta'_p = 4 \zeta_r h_r/d \quad (4)$$

$$\zeta'_p = \zeta_p \quad (5)$$

$$\text{中国知网 } \zeta'_p + \zeta_p \quad (6)$$

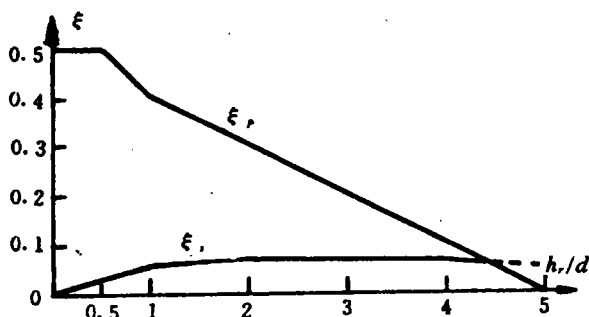


图 1 表 5.2.11 修正系数直观图

则式(1)、(2)、(3)三式变成如下三式

$$Q_{rk} = \zeta'_r (f_{rc} A_p) \quad (7)$$

$$Q_{pk} = \zeta'_p (f_{rc} A_p) \quad (8)$$

$$Q_{rk} + Q_{pk} = \zeta (f_{rc} A_p) \quad (9)$$

表 1 嵌岩段侧阻和端阻计算系数比较表

嵌岩深径比 hr/d	0.000	0.500	1	2	3	4	5
侧阻计算系数 ζ'_r	0.000	0.050	0.220	0.560	0.780	0.992	1.000
端阻计算系数 ζ'_p	0.500	0.500	0.400	0.300	0.200	0.100	0.000
嵌岩段总阻计算系数 ζ	0.500	0.550	0.620	0.860	0.980	1.092	1.000
ζ'_r/ζ 百分比值	100.0	90.9	64.5	34.9	20.4	9.2	0.000

将表 5.2.11 中有关数据代入式(4)、(5)、(6),并计算出 ζ'_r/ζ 的百分比值,可得下列表 1 和图 2 及图 3.

从表 1 和图 2、图 3 可看出如下几点:

(1) 当 hr/d 在 0.000 ~ 0.500 时, ζ'_p/ζ 占 90% ~ 100%, $hr/d > 0.500$ 时, ζ'_p/ζ 明显下降;

(2) 当 $hr/d = 1.443$ 时, $\zeta'_r = \zeta'_p$, 即 $Q_{rk} = Q_{pk}$, $hr/d > 1.443$ 时, $Q_{rk} > Q_{pk}$, 但 $Q_{rk} + Q_{pk}$ 仍然呈上升趋势;

(3) 当 $hr/d \geq 5$ 时, $\zeta'_p = 0$, Q_{pk} 下降为零; $Q_{rk} + Q_{pk} = Q_{rk}$; 并降为一个常数值,嵌岩桩已成为纯摩阻桩.

2 嵌岩桩不同深径比对单桩承载力的影响

如上述所述,本文将 f_{rc} 替代《建筑地基基础设计规范》中的 f_{rk} ,并按该规范中有关 f_{rk} 的统计方法,对岩石饱和单轴抗压强度值进行统计.经查核大量有关工程的岩石试验数据,在正常情况下,中风化粉砂岩的饱和单轴抗压强度值大部分分布在 6 ~ 11MPa 范围区内,其标准值 $f_{rc} = 5.5\text{MPa}$.微风化粉砂岩的饱和单轴抗压强度值大部分分布于 8 ~ 13MPa 范围区内,其标准值 $f_{rc} = 8\text{MPa}$.

考虑到《建筑桩基技术规范》表 5.2.11 注 ① 要求嵌岩段为中风化岩时,需将表中数值乘以 0.9 折减.为计算方便,可将中风化岩的饱和单轴抗压强度标准值乘以 0.9 折减,其效果是相同的,即按表 5.2.11 数值进行计算时,可取中风化岩的饱和单轴抗压强度标准值 $f_{rc} = 5.5$

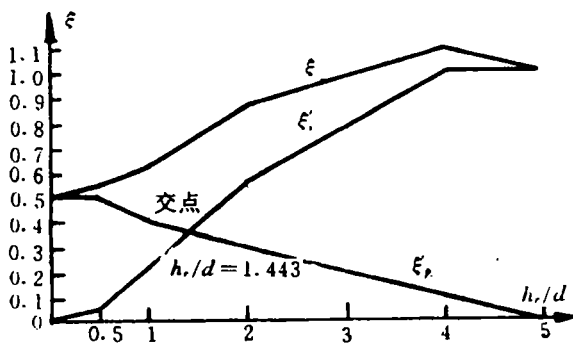


图 2 嵌岩段侧阻、端阻、总阻计算系数比较图

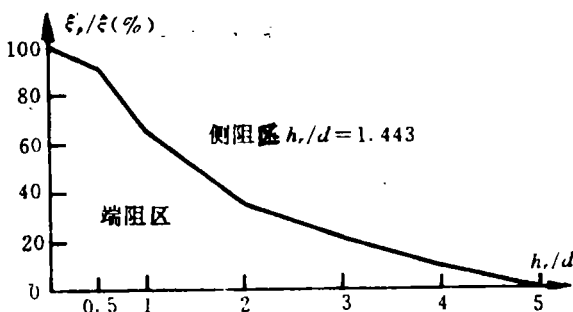


图 3 嵌岩段端阻 / 总阻百分比及分区图

$\times 0.9 \doteq 5\text{MPa}$.

现分别用 5MPa 作为中风化和微风化粉砂岩的饱和单轴抗压强度标准值代入式(1)、(2)和(3)进行计算,可得下列表2、表3、表4和表5,按表中数据又可得到图4、图5、图6和图7.

表2 嵌岩段全为中风化岩层时的单桩承载力 $Q_{rk} + Q_{pk}(kN)$

嵌岩深度(m)	桩径(m)				
	$d = 1.0$	$d = 1.5$	$d = 2.0$	$d = 2.5$	$d = 3.0$
$h_r = 0.0$	1960	4420	7850	12270	17670
$h_r = 0.5$	2160	4710	8380	12760	18260
$h_r = 1.0$	2440	5070	8640	13250	18850
$h_r = 1.5$	2910	5480	9190	13840	19440
$h_r = 2.0$	3380	6180	9740	14530	20260
$h_r = 3.0$	3850	7600	11620	16400	21910
$h_r = 4.0$	4290	8310	13510	18750	24740
$h_r = 5.0$	3930	8990	14450	21110	27570
$h_r = 6.0$	3930	9650	15400	22290	30400

注:中风化岩饱和单轴抗压强度为 $5.5\text{MPa} \times 0.9 \doteq 5\text{MPa}$.

表3 入岩 4.0^m 后为微风化岩层的单桩承载力 $Q_{rk} + Q_{pk}(kN)$

嵌岩深度(m)	桩径(m)				
	$d = 1.0$	$d = 1.5$	$d = 2.0$	$d = 2.5$	$d = 3.0$
$h_r = 4.0$	4520	9540	16340	23760	32520
$h_r = 5.0$	6280	14380	23120	33770	44110
$h_r = 6.0$	6280	15440	24630	35660	48630

注:微风化饱和单轴抗压强度为 $f_{rk} = 8\text{MPa}$.

表4 入岩 3.0^m 后为微风化岩层的单桩承载力 $Q_{rk} + Q_{pk}(kN)$

嵌岩深度(m)	桩径(m)				
	$d = 1.0$	$d = 1.5$	$d = 2.0$	$d = 2.5$	$d = 3.0$
$h_r = 3.0$	4320	9190	14920	22000	30400
$h_r = 4.0$	6860	13290	21610	30000	39580
$h_r = 5.0$	6280	14380	23120	33770	44110
$h_r = 6.0$	6280	15440	24630	35660	48630

注:微风化岩层的 $f_{rk} = 8\text{MPa}$

表5 入岩 2.0^m 为微风化岩层时单桩承载力 $Q_{rk} + Q_{pk}(kN)$

嵌岩深度(m)	桩径(m)				
	$d = 1.0$	$d = 1.5$	$d = 2.0$	$d = 2.5$	$d = 3.0$
$h_r = 2.0$	4080	8130	13510	21010	30160
$h_r = 3.0$	6160	12160	18600	26230	35060
$h_r = 4.0$	6860	13290	21610	30000	39580
$h_r = 5.0$	6280	14380	23120	33770	44110
$h_r = 6.0$	6280	15440	24630	35660	48630

注:微风化岩层的 $f_{rk} = 8\text{MPa}$

设 $Q = Q_{rk} + Q_{pk}$, 并以 Q 为平面坐标纵轴, 以 h_r 为平面坐标横轴, 则上列4个表可绘成下面相应的4个直观图.

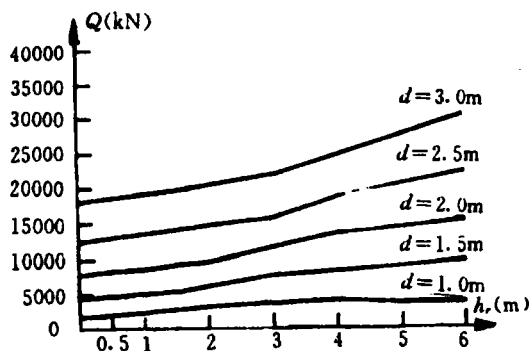


图 4 嵌岩 5.0^m 内,岩层均为中风化时的单桩承载力图

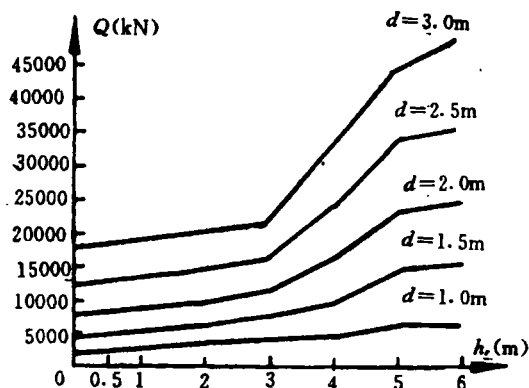


图 5 嵌岩 4.0^m 以上为中风化,4.0^m 以下为微风化岩层时的单桩承载力图

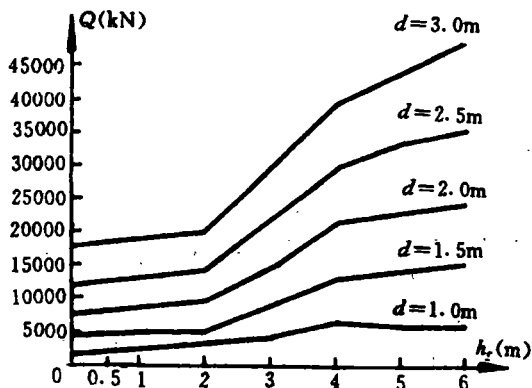


图 6 嵌岩 3.0^m 以上为中风化,3.0^m 以下为微风化岩层时的单桩承载力图

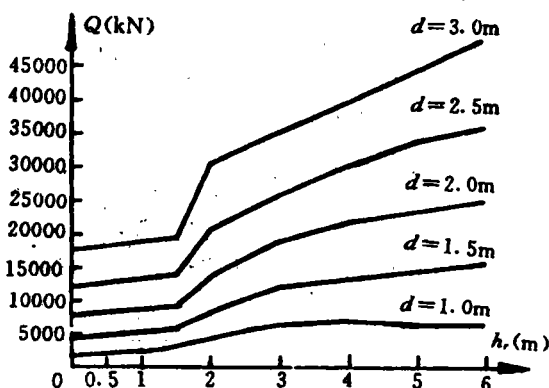


图 7 嵌岩 2.0^m 以上为中风化,2.0^m 以下为微风化岩层时的单桩承载力图

3 嵌岩桩的技术经济分析与合理嵌岩深度

由上述分析计算,并从图 2 中 ζ 与 hr/d 关系曲线中可知,当 $hr/d = 1 \sim 4$ 时,单桩承载力总阻系数 ζ 随 hr/d 增长而上升较快;在 $hr/d > 4$ 后呈下降趋势,据此可根据在径深比为 $hr/d = 1 \sim 4$ 时,来确定嵌岩桩的合理嵌岩深度。但工程建设总是和经济投入密切相关的,由于成桩工艺不同,施工单位所投入的设备和劳力,即施工成本会有较大差别。若仅考虑从减少沉降并增加单桩承载力的目的出发,则可采用扩大桩身直径并将桩端埋置于中风化层顶面等措施来解决,即用非嵌岩桩来解决。目前,在国内,非嵌岩桩一般采用冲抓机、乌卡斯、机械沉管、人工挖孔等施工工艺成孔,其单位成孔土方量成本费用要比大孔径钻孔成桩工艺低。所以,在确定嵌岩桩的嵌岩深度时除应考虑径深比 hr/d 对单桩承载力的影响外,还应考虑其成本费用的

表6 单一岩性嵌岩段承载力(Q)与成本(W)增加率(%)比较表

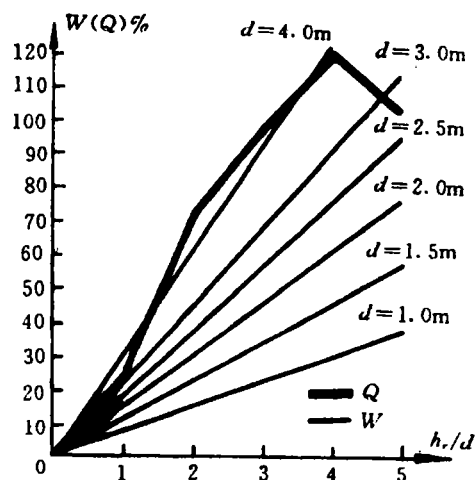
分 项	hr/d									
	1	2	3	4	5					
	分区	累计	分区	累计	分区	累计	分区	累计	分区	累计
Q 值	24	48	72	24	96	22.4	118.4	-18.4	100	
$d = 1.0\text{m}$ 时 W 值	7.5	7.5	15	7.5	22.5	7.5	30	7.5	37.5	
$d = 1.5\text{m}$ 时 W 值	11.25	11.25	22.5	11.25	33.75	11.25	45	11.25	56.25	
$d = 2.0\text{m}$ 时 W 值	15	15	30	15	45	15	60	15	75	
$d = 2.5\text{m}$ 时 W 值	18.75	18.75	37.5	18.75	56.25	18.75	75	18.75	93.75	
$d = 3.0\text{m}$ 时 W 值	22.5	22.5	45	22.5	67.5	22.5	90	22.5	112.5	
$d = 4.0\text{m}$ 时 W 值	30	30	60	30	90	30	120	30	150	

增长比率等综合因素,以便确定合理的嵌岩深度。这里仅以南昌地区嵌岩桩在工程上的应用情况为例来说明这个问题。

根据查阅南昌地区大量的工程实例和数据,可得到嵌岩桩嵌岩段成孔成本(W)费用增加率与单桩承载力(Q)之间的关系表如下。

由表6中 $W(Q)$ 作纵座标, hr/d 作横座标,可得到图8如下:

对表6和图8进行分析和对比可知,当 $d = 4.0\text{m}$, $hr/d = 2$ 时, $Q/W = 72/60 = 1.2$,若取 $hr/d = 4$ 时,则 $Q/W = \frac{118.4}{120} = 0.99$,显然取 $hr/d = 2$ 为最佳。当 $d = 1.0\text{m}$, $hr/d = 2$ 时, $Q/W = 72/15 = 4.8$,若取 $hr/d = 4$,则 $Q/W = 118.4/30 = 4.0$,仍然是 $hr/d = 2$ 为最佳。但是,考虑到南昌地区基岩特征,一般中风化岩层厚为 $3 \sim 6\text{m}$,穿过中风化岩后,进入微风化岩层 $1 \sim 2\text{m}$ 厚即可发挥单桩承载力的最佳效果;同时还考虑到目前南昌地区施工设备的现状,以及同一工程中桩端嵌入岩层的绝对深度应比较接近,因而,当桩径较大时采用 hr/d 较小值,而当桩径较小时采用 hr/d 较大值来确定该工程在同一场地中桩的嵌岩深度范围值比较合理。由此可以推断,若在同一工程中桩身直径为 $1 \sim 4\text{m}$ 时,嵌岩深度选用 $4 \sim 8\text{m}$ 比较合理,若桩身直径为 $1 \sim 3\text{m}$ 时,则嵌岩深度选用 $4 \sim 6\text{m}$ 比较合理,以此类推,可确定其它情况下的桩基合理嵌岩深度。

图8 单一岩性嵌岩段承载力(Q)与成本(W)增加率比较图

4 结束语

综上所述,嵌岩桩的嵌岩深度的选定除了与工程地质情况、施工机械状况、上部结构荷载情况,建筑物(构筑物)等级类别及上部覆盖土层的厚度等因素有关外,还与桩身直径及合理经济的深径比(hr/d)有关。在确定嵌岩桩的合理嵌岩深度时,应综合考虑以上诸因素,并非越

深越好.由此推断,嵌岩桩合理嵌岩深度:在同一工程中桩径为 $1 \sim 4\text{ m}$ 时,可选用 $4 \sim 8\text{ m}$;桩径为 $1 \sim 3\text{ m}$ 时可选用 $4 \sim 6\text{ m}$ 的嵌岩深度为宜.

参 考 文 献

- 1 城乡建设环境保护部. GBJ 7-89 建筑地基基础设计规范. 北京:中国建筑工业出版社,1989
- 2 中国建筑科学研究院. JGJ 94-94 建筑桩基技术规范. 北京:中国建筑工业出版社,1995
- 3 陈仲颐,叶乃麟主编. 基础工程学. 北京:中国建筑工业出版社,1991
- 4 温特科恩 HF,方晓阳主编. 基础工程手册. 北京:中国建筑工业出版社,1986

Research on the Reasonable Depth of Pile Segment Inlaid in Rock

Song Gonghe

(Civil Engineering Department)

Abstract The safety and cost of a pile foundation are rather critical in high rise buildings and highway bridge engineering in recent years. Following "Technical Code Requirements for Building Pile Foundation", issued for enforcement in 1995, this paper analyses the effect on the loading capacity of a single pile at different ratios of depth to diameter of a pile segment inlaid in rock. On the basis of statistics analysis and comparison of a large number of practical constructions in Nanchang district, a summarization of the reasonable and economical depth of a pile segment inlaid in rock is presented.

Key words technical code requirements; ratio of depth to diameter; loading capacity of a single pile; reasonable depth inlaid in rock.

(上接第 25 页)

Spectrophotometric Determination of Chlorine Dioxide with DPD

Yang Wei-quan Hu Feng-ping

(Civil Engineering Department)

Abstract In this paper pure iodine solutions used to measure concentrations of chlorine dioxide solutions are presented. The results of the experiment indicate that a linear relation is obtained between the absorbance and the amount of chlorine dioxide in the range of 0.035 to 1.0 mg/L by using 5 cm cell. The analytical approaches are simple and suitable for measuring low chlorine dioxide concentrations. Moreover, the method can be used to measure chlorine concentrations.

Key words Chlorine dioxide; disinfection; DPD; Spectrophotometry; determination.