

大直径扩底桩墩的工作机理和承载力设计

Working mechanism and bearing capacity design of the pedestal pier with large diameter

王凤池, 王明恕

(东北大学 土木工程系, 辽宁 沈阳 110004)

中图分类号: TU 437.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2002)02-0251-03

作者简介: 王凤池(1970-), 男, 辽宁黑山人, 博士研究生, 讲师, 主要从事地基基础方面的研究。

1 前言*

一个结构或构件的名称标志着该结构或构件的工作特性。目前有的书籍、刊物、图纸以及一些工程技术人员却将大直径扩底桩墩称为大直径扩底桩, 这不仅混淆了大直径扩底桩墩与中型桩极限荷载破坏的不同特点, 也模糊了端承力为什么随端径增加要进行折减的原因, 造成了有的认为是变形折减, 有的认为是承载力折减。不同的观点反映在某些地基基础设计规范中^[1]。实际上, 大直径扩底桩墩是桩和墩之间过渡型基础, 端径小时其工作特性近似桩, 端径大时其工作特性类似墩。一些权威著作也将其分类为墩^[2~4], 国外文献称其为 Pier, 而不是 Pile。本文从大直径扩底桩墩的工作机理出发, 对端承力的折减等问题进行了详细讨论。

2 大直径扩底桩墩的工作特点

中小型桩桩径较小, 持力层的压缩层较薄, 荷载达到一定值时, 摩阻力和端阻力皆达到极限值, 呈刺入破坏。大直径扩底桩墩桩端周围受土柱重量和传下来的摩阻压力的约束作用, 持力层的稳定性得到提高, 其承载力比相同尺寸敞挖的深埋基础经持力层深度修正后的承载力高 2.0~2.5 倍。

大直径扩底桩墩承载力高, 压缩层厚度大, 下沉量大, 然而其摩阻剪移极限变形较小 ($S_f = 6 \sim 12 \text{ mm}$), 与持力层压缩下沉变形不协调, 因此端点周围产生如图 1 的八字形裂缝^[2] (或伞形裂缝^[3])。下沉变形越大, 裂缝越大, 最后形成了自由面, 持力层脱离了上部土柱重量和传下来的摩阻压力的约束作用, 承载力降低。端直径越大, 压缩层越厚, 下沉量越大, 裂缝越长, 持力层承载力降低越多。

中型桩极限荷载破坏失稳一般假定滑面以对数螺线表示 (见图 2):

$$r = r_0 \exp(\theta \tan \varphi) \quad (1)$$

式中 r_0 为初始向径; r 为与 r_0 成夹角 θ 时的向径; φ 为土的内摩擦角; α 为土压密核之夹角, 一般取 45° 。由图 2 可得: $r_0 = D \sin \alpha = 0.707D$, 其中 D 为中型桩直径。

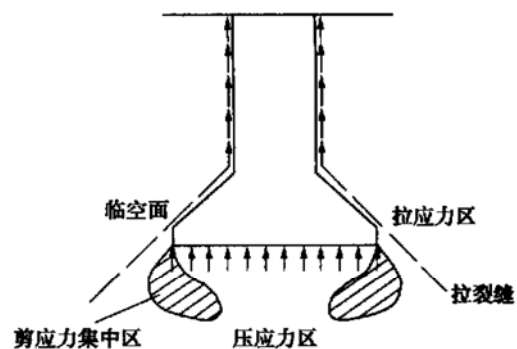


图 1 八字形裂缝

Fig. 1 Splayed crack

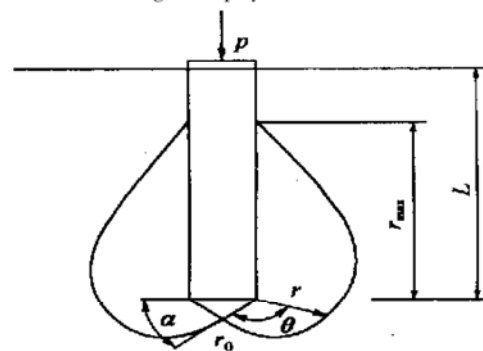


图 2 桩极限失稳示意图

Fig. 2 Failure mechanism of pile

当土的内摩擦角 φ 等于 30° 时, 由图 2 中可得,

$$r_{\max} = 0.707D \exp\left(\frac{5}{4}\pi \tan 30^\circ\right) = 6.86D$$

当 $L \geq r_{\max}$ 时, 地面没有显著变形, 为桩; $L \leq r_{\max}$ 时, 周围地面隆起, 产生了径向和环向裂缝, 为墩, 这时长径比 L/D 为 6.86。所以判定桩和墩以长径比为依

据,这是判定的必要条件。中型桩达到极限荷载时呈刺入破坏,大型桩墩达到极限荷载时呈渐进破坏,这是区分桩和墩的充分条件。文献[4,5]曾给出端径 $D = 3.0 \sim 4.0$ m, 长度 $L = 70 \sim 80$ m 的桩墩基础,故仅从外观的短粗胖来认识,表征不了其工作实质。

3 大直径桩墩的渐进破坏机理

土体不能承受拉力或抗拉承载力很小。按弹性理论,表面作用压应力后,应力场见图3,持力层呈八字形裂缝。由于土的离散性较大,不可能形成理想形状,但裂缝总是斜向扩展延伸,持力层承载力降低。对于浅基础,地基基础规范所给设计指标尚允许塑性区发展深度 $Z_n = B/4$ (B 基础宽度),桩基础持力层承载力指标总比浅基础的高,所以随着荷载的增加,塑性区不断扩展并产生塑性流动,向周围挤压。当将裂缝挤压闭合后,持力层又受到约束作用,承载力又提高。再继续压缩下沉又引起裂缝。如此循环,形成渐进破坏。这是桩墩不同于中型桩刺入破坏的最大特点,也是区分桩和墩的充分条件。

根据文献[3]建议,大直径桩墩的下沉量可按分层总和法计算,即

$$S = m_s \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{si}} (Z_i C_i - Z_{i-1} C_{i-1}) \quad (2)$$

式中 m_s 为系数; p_0 为墩底面附加压力; E_{si} 为第 i 层土的压缩模量; Z_i 和 Z_{i-1} 分别为墩底面至第 i 层土和第 $i-1$ 层土的距离; C_i 和 C_{i-1} 分别为墩底面计算至第 i 层和第 $i-1$ 层土的平均附加应力系数。

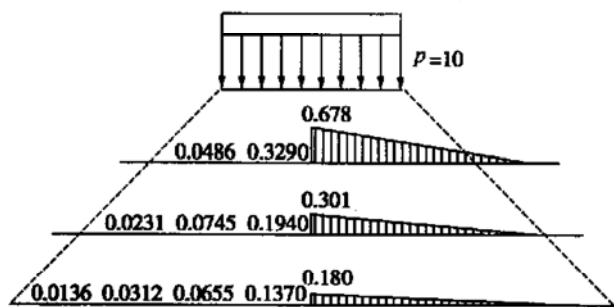


图3 圆底面地基应力场

Fig. 3 Stress field of round underside ground

裂缝宽度可以用 $S - S_f$ 差值乘以倾角的正弦计算得到,裂缝长度 L_f 终点可由式(2)计算各点沉降值,试算求得。

由式(2)可知,下沉量与压应力 p_0 成正比,与压缩模量 E_s 成反比,但是土的承载力 p 并不与压缩模量 E_s 同比例增加。以砂土为例,密实砂与松散砂比较,密实砂的承载力增长比压缩模量 E_s 快,所以密实砂的压缩

量反而比松散砂的压缩量大。

4 持力层的尺寸效应

在浅基础设计中,基础底面积越大,持力层宽度修正承载力越高。而在大直径扩底桩墩中恰好相反,底径越大,下沉量越大,裂缝越大,持力层失掉约束作用越大,故承载力降低也越多。如图4,地表下任一点处的大小主应力可表示为

$$\sigma_1 \bigg|_{\sigma_3} = \frac{p}{\pi} (2\alpha \pm \sin 2\alpha) \quad (3)$$

式中符号如图4所示。

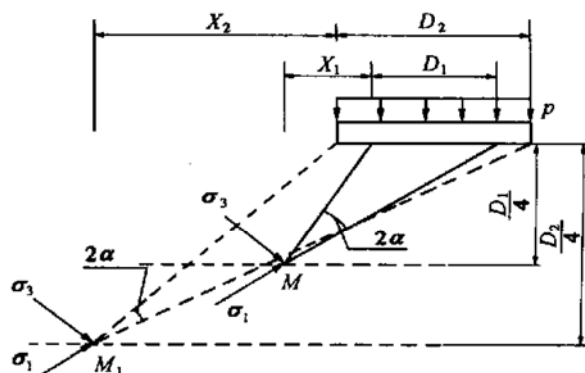


图4 塑性区发展

Fig. 4 Development of plastic zone

由式(3)可得塑性区边界方程为^[6]

$$z_{\max} = \frac{p - \gamma d}{\pi \gamma} \left| \cot \varphi - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) \right| - \frac{c}{\gamma \tan \varphi} - d \quad (4)$$

在深度为端径的 $1/4$ 处,对于 D_1 ,塑性区边界点为 M ;对于 D_2 ,由方程(3)可知二者的夹角均为 2α ,所以塑性区边界点为 M_1 。很显然塑性区边缘 M_1 点伸出基础端点以外的水平距离 $X_2 > X_1$ 。底径 D 相差越大,伸出的差值 ΔX ($\Delta X = X_2 - X_1$) 越大,塑性土体受压越容易侧向挤压,这种情况已不是浅基础尺寸效应的概念。由此说明,“端阻力折减是为了调整不均匀沉降,控制变形”的观点是不成立的。

5 端阻力的折减系数

由以上讨论可以知道,大直径扩底桩墩的端阻力随端径增加,承载力降低。但是在在大直径扩底桩墩的承载力计算时,端阻力采用的是中型桩的持力层承载力指标,所以要对承载力指标进行折减。折减的依据应该是裂缝大小,下沉变形引起裂缝,而下沉变形与直径大小成正比,所以折减系数是桩墩端径的函数,但是土性也有一定的影响。为了辨析清楚,下面以具体数据进行分析。

大直径扩底桩墩与中型桩的分界为 $D = 0.8 \text{ m}$, 所以取 $D = 0.8, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 \text{ m}$ 七种尺寸的端径, 持力层指标按 6 种不同密实度 $N_{63.5} = 6, 8, 10, 12, 14, 16$ 。土层参数见表 1。

表 1 土层参数

Table 1 Parametes of soil layer

类别	$N_{63.5}$	E_0 / MPa	Q_p / kPa	$\varphi_0 / (^\circ)$
砾 砂	6	16.8	2100	33.4
	8	21.2	2400	34.4
	10	25.8	2700	35.4
	12	29.1	3000	36.4
	14	32.7	3350	37.4
	16	36.6	3700	38.3
中粗砂	6	15.0	1400	30.4
	8	19.0	1800	31.4
	10	23.0	2200	32.4
	12	27.0	2700	33.4

有关数据取自文献[1]的表 H-1、表 J 和表 M-5。

根据式(2)按表中数据和 7 种不同端径可算得若干个不同的下沉量, 根据式(5)算出相应的折减系数绘成图 5:

$$\eta = kf\left(\frac{1}{s}\right) \quad (5)$$

式中 η 为折减系数。

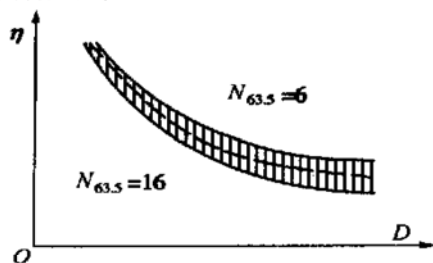


图 5 折减系数和端径关系

Fig. 5 Relationship between the reduction factor and the end diameter

由图 5 可见, 折减系数 η 随着端径的增加呈双曲线规律下降, 且土越密实, 折减系数越小, 这与 Meyerhof 在 1988 年国际地球技术讨论会上提出的“砂土按密实、中密、稍密、松散分四区取用不同折减系数”的观

点是一致的^[7]。据此统计, 砂土持力层的折减系数按 $\eta = \left| \frac{0.8}{D} \right|^{1/3}$ 计算目前是较合适的。以上统计数字及引用土性指标尚少, 有待继续研究充实。

6 结 语

详细分析了大直径扩底桩墩的工作机理和受力特点, 指出了它与中型桩区别的的必要条件和充分条件。设计时, 应按承载力确定折减系数, 并使折减系数满足承载力和变形的双控要求。如果按照变形确定折减系数, 规范允许下沉量 $[S]$ 小于折减后算得的下沉量 S , 即 $S > [S]$, 则允许下沉量 $[S]$ 产生的裂缝比折减后算得的下沉量 S 所产生的裂缝要小, 相应的持力层承载力比相应 S 时的有所提高, 此时端承力仍满足设计要求。但是, 当规范允许下沉量 $[S]$ 大于折减后算得的下沉量 S , 即 $S < [S]$ 时, 持力层承载力满足不了规定要求。

参考文献:

- [1] 建筑地基基础技术规范(沈阳城区部分)[S]. 北京: 中国计划出版社, 1996.
- [2] 陈仲颐, 叶书麟. 基础工程学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [3] 何颐华, 王铁宏. 高层建筑大直径扩底桩的设计与计算[C]. 刘金砺. 地基基础论文集[R]. 北京: 中科院地基研究所, 1995. 499-507.
- [4] 温特科恩 H P, 方晓阳. 基础工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1983.
- [5] 林宗元. 岩土工程勘察设计手册[M]. 辽宁: 辽宁科学技术出版社, 1996.
- [6] 华南工学院, 等. 地基与基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987.
- [7] Mayerhof G G. Some problems in predicting behavior of bored pile foundation[A]. Proc 1st International Geotechnical Seminar on Deep Foundation on Bored and Auger Piles[C]. 1988. 133-144.