



打桩施工对岸坡稳定性的影响

缪 丹, 林军华

(中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 桩基施工过程中产生的超孔隙水压力是影响岸坡稳定的重要因素, 结合越南某岸坡工程, 运用数值方法, 分析岸坡打桩施工产生的孔隙水压力的分布规律及影响范围。通过对打桩前后岸坡稳定性的计算, 分析比较打桩对码头工程岸坡稳定的影响程度。

关键词: 打桩; 岸坡稳定性; 超孔隙水压力; 孔穴扩张

中图分类号: TU 473

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)03-0028-04

Influence of pile driving construction on slope stability

MIAO Dan, LIN Jun-hua

(CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: The excess pore pressure produced in the process of pile foundation construction is an important factor affecting the slope stability. Combining a Vietnamese slope and using the numerical method, we analyze the the distribution law of pore water pressure in the slope analysis of piling and resulting impacts range. According to the calculation result of pile before and after the bank slope stability, we analyze and compare of the influence of piling construction on the solpe stability.

Keywords: piling; slope stability; excess pore pressure; cavity expansion

大量的工程实践发现, 高桩码头的打桩施工常常对其岸坡的稳定性造成极大的不利影响。当桩打入土中时, 桩周土体会发生一定程度的扰动和重塑。如果在饱和软土中施打桩基, 饱和土体中的水无法短时间内排出, 这将导致土体内的孔隙水压力快速增加。根据太沙基有效应力原理和摩尔-库伦破坏准则, 在总应力不变时, 孔隙水应力的增加会导致土体有效应力的降低, 进而导致土坡的抗滑力(矩)减小。因此, 在施打桩基过程中, 由于孔隙水压力的增加, 极易诱发岸坡失稳。

1 打桩对岸坡稳定性影响

1.1 打桩影响区域

在打桩过程中桩周围土体会形成破坏区、塑

性区、弹性区和非扰动区共 4 个典型区域。对于各区的大致范围, 迄今为止的研究没能取得一致的结论。但较为统一的结果是: 破坏区约为 $0.125D \sim 0.2D$, 塑性区和弹性区分别约为 $3D$ 和 $10D$, D 为桩的直径^[1]。

打桩后桩周围土体中超孔隙水压力分布规律, 国内外多采用无限土体中的小孔扩张理论^[2]来研究打桩后桩周围的应力分布。无限土体中的小孔扩张理论的基本假定为: 土体为均匀、各向同性的理想弹-塑性材料; 小孔在无限大的土体中扩张, 小孔扩张前, 土体具有各向相同的有效应力; 土体屈服不受静水压力的影响。利用圆柱型扩张问题的基本方程, 求出塑性区边界上的位移, 假定塑性区土为不可压缩, 由体积守恒可求得塑性

收稿日期: 2014-12-18

作者简介: 缪丹 (1982—), 男, 工程师, 硕士, 从事岩土工程设计及监测工作。

区半径:

$$R=r\sqrt{\frac{E}{2(1+\mu)c_u}}$$

(1)

式中: R 为塑性区半径; r 为桩的半径; E 为土的模量; μ 为土的泊松比; C_u 为土的不排水强度。

1.2 打桩作用下的超孔隙水压力

由孔穴扩张理论结合 Henkel 孔隙水压力公式^[3]推导出的孔穴扩张产生的初始超孔隙压力如下:

塑性区超孔隙水压力沿桩径向的分布:

$$\Delta u=\left[2\ln\left(\frac{R}{\rho}\right)+1.73A_f-0.58\right]C_u$$

(2)

弹性区超孔隙水压力沿桩径向的分布:

$$\Delta u=0.587c_u(3A_f-1)\left(\frac{R}{\rho}\right)^2$$

(3)

式中: R 为塑性区半径; ρ 为计算点到桩中心的水平距离; A_f 为土的孔压系数。由于弹性区的超孔隙水压力增量很小, 本文在计算打桩引起超孔隙水压力时, 只考虑打桩所产生塑性区的超孔隙水压力。值得注意的是打桩时桩周围存在较高的土压力, 导致超孔隙水压力的急剧升高, 但超孔隙水压力的升高并不是无限度的, 当有效应力减小到超过土的抗拉强度时, 桩周土中便会出现裂缝, 这时超孔隙水压力达到最大值, 土体中的超孔隙水压力将不再升高。这种由高孔隙水应力使土中有效应力降低而导致出现裂缝的现象, 常被称为“水裂”作用。

假定土体的抗拉强度等于 $C_u/2$, 由打桩前后土体的应力和孔隙水压力的作用建立各方向的平衡关系, 竖向开裂和水平向开裂的初始超孔隙水压力应分别满足下列条件:

竖向开裂条件:

$$\Delta u_s=c_u\left[2\ln\left(\frac{R}{\rho}\right)+\frac{K_0\rho'gH}{c_u}-\frac{1}{2}\right]$$

(4)

水平向开裂条件:

$$\Delta u_v=c_u\left[2\ln\left(\frac{R}{\rho}\right)+\frac{\rho'gH}{c_u}+\frac{1}{2}\right]$$

(5)

式中: K_0 为土的静止侧压力系数; ρ' 为土的有效密度。

竖向裂缝和水平向裂缝不可能同时出现, 也

就是说在水平方向上距桩 ρ 处, 实际孔隙水压力应用中取两者的较小值作为沉桩后桩周产生“水裂”作用的控制条件。

$$\Delta u'=\text{Min}(\Delta u_s,\Delta u_v)$$

(6)

2 岸坡稳定验算

越南某岸坡开挖放坡坡度为 1:7, 坡度较缓, 开挖后进行桩基施工。桩基位于岸坡放坡段区域, 在这样的区域打桩对岸坡稳定十分不利, 码头桩基布置较密、直径较粗、且岸坡广泛分布有饱和软弱土层, 在打桩时产生的较大且分布较广的超孔隙水压力极易引起岸坡失稳。本文分别对无打桩作用时和打桩作用时码头岸坡的稳定性进行验算, 其中打桩作用下稳定性计算模型为: 分别对同一断面打入 1 排、2 排、3 排桩这 3 种不同情况下产生的超孔隙水压力对计算岸坡断面的稳定性影响进行分析。

本工程区域最高水位为 4.43 m, 最低水位为 -0.47 m, 由于低潮时对岸坡稳定性最不利, 所以分析岸坡稳定性时, 采用最低水位计算。岸坡土层从上往下依次分布为淤泥、淤泥质土、淤泥混砂及黏土, 由于土的灵敏度和孔隙比均较大, 在打桩施工中容易发生滑移。稳定验算所用到的土质参数见表 1。

表 1 岩土物理力学参数

土层	密度 $\rho/$ ($\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$)	密度 $\rho'/$ ($\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$)	直接快剪	
			粘聚力/kPa	内摩擦角/($^\circ$)
抛石	2.00	1.00	0	35.0
淤泥	1.60	0.60	8.0	3.0
淤泥质土	1.60	0.60	10.4	4.2
淤泥混砂	1.60	0.60	12.8	4.7
黏土	1.64	0.64	11.4	7.2

2.1 无打桩情况下稳定性

无打桩作用时码头岸坡稳定性计算采用极限平衡方法^[4]进行计算:

$$f_s=\frac{\sum[C_l l_i+\sum W_i\cos\alpha_i\tan\phi_i]}{\sum W_i\sin\alpha}$$

(7)

式中: C 为粘聚力; ϕ 为内摩擦角; l 为土条底面弧度; W 为土条重力; α 为土条中心线和圆弧交

点切线与水平线的夹角。

2.2 打桩情况下稳定性

通过计算土体未开裂前塑性区产生的最大超孔隙水压力，得出打桩后桩周超孔隙水压力沿桩径向和竖向的分布。打桩产生的超孔隙水压力 Δu 垂直于滑动面，它的方向与重力的法向分力方向相反，因此它的作用将减小垂直于滑动面的应力，使滑动面法线方向的力变为 $W\cos\theta-\Delta u l$ ，这样就使切向的抗剪力减小，因而减小了土条对圆心的抗滑力矩。因此，稳定性计算公式为：

$$f_s = \frac{\sum [C_i l_i + \sum (W_i \cos \alpha_i - \Delta u_i l_i) \tan \phi_i]}{\sum W_i \sin \alpha} \tag{8}$$

式中： Δu 为打桩引起土条底面孔隙水压力。

打桩作用下的岸坡稳定的计算采用总应力法，计算水位以上采用天然密度，计算水位以下土层密度采用浮密度。位于打桩扰动塑性区内的超孔隙水压力通过式(2)与式(6)计算得出，通过这样的简化可以得出打桩作用产生的超孔隙水压力对岸坡稳定的影响。本文采用加拿大边坡稳定分析软件 GEO-SLOPE 分别计算分析岸坡在打桩前后的稳定性。

2.3 稳定性计算结果

采用极限平衡法对此边坡进行稳定性分析，得到放坡后岸坡稳定系数（图 1）及施打直径为 0.9 m 桩基工况下的岸坡稳定性系数，图 2~4 为打 1~3 排桩后超孔隙水压力分布云图及岸坡稳定性系数。

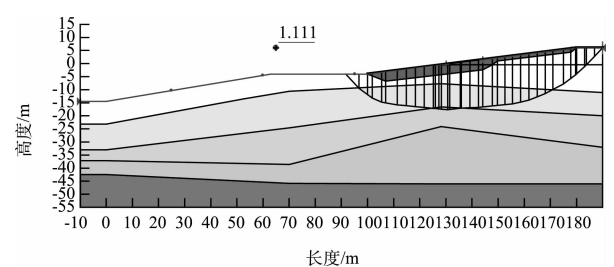


图 1 放坡后岸坡稳定性系数

岸坡抛石后桩基施打前，计算断面的稳定系数为 1.111。软土区桩基施工，桩周超孔隙水压力的消散时间较长。超孔隙水压力对岸坡稳定的不

利作用是岸坡上所有打桩引起的超孔隙水压力共同产生的，因此验算施打多排桩时的岸坡稳定性，应考虑已施打和正在施打桩周产生的超孔隙水压力。分别分析了施打 2 排、3 排桩基时，岸坡超孔隙水压力（kPa）的分布及岸坡稳定情况。

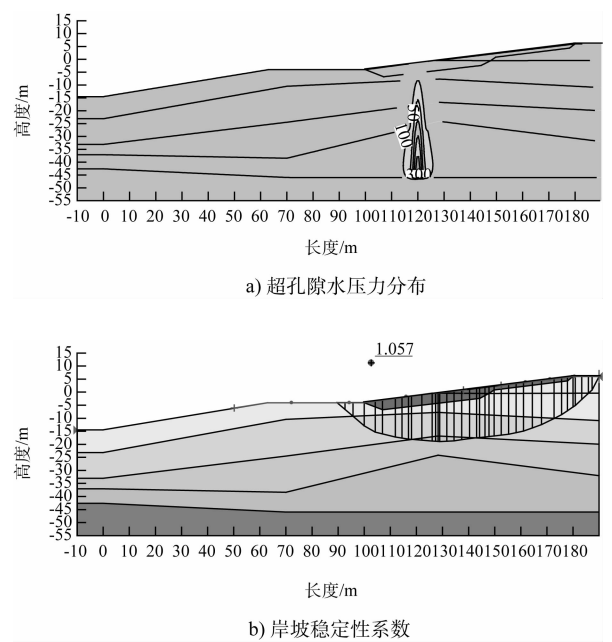


图 2 施打 1 排桩后参数

从图 2 可以看出：第 1 排桩施工后，不考虑已打桩在短时间内超孔隙水压力的消散，岸坡最小安全系数为 1.057，较桩基施工前约降低 4.8%。

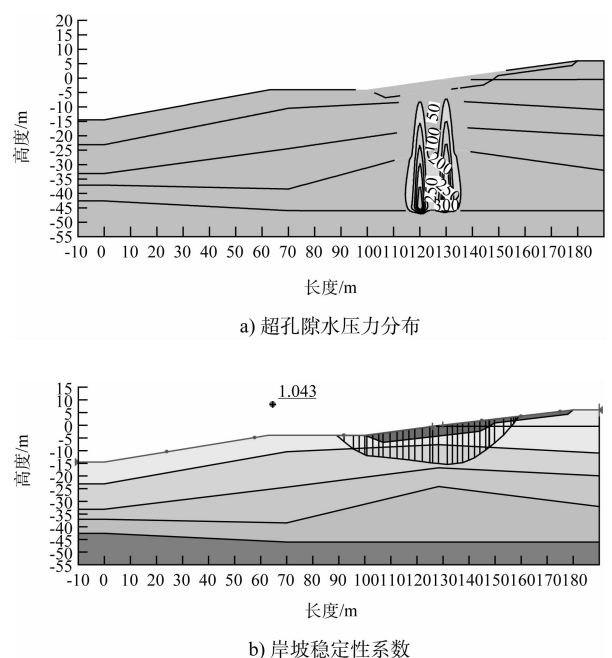


图 3 施打 2 排桩后参数

从图 3 可以看出: 第 2 排桩施工后, 不考虑已打桩在短时间内超孔隙水压力的消散, 岸坡最小安全系数为 1.043, 较桩基施工前约降低 6.1%。

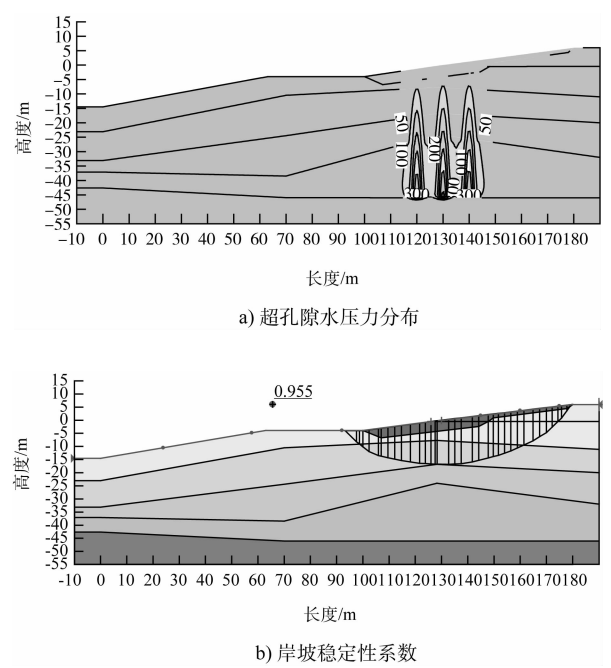


图 4 施打 3 排桩后参数

从图 4 可以看出: 第 3 排桩施工后, 不考虑已打桩在短时间内超孔隙水压力的消散, 岸坡最小安全系数为 0.955, 较桩基施工前约降低 14.0%。

3 结语

1) 通过对桩基施打后超孔隙水压力分布的计算可以看出, 随着打桩的排数增加, 其引起超孔隙水压力区域也在快速增加, 分布区域中最大孔压达 300 kPa; 从打桩施工后的稳定性验算来看, 随着打桩的排数增加, 边坡安全系数快速降低, 3 排桩施打后边坡安全系数降幅达 14%。

2) 桩基施工引起的超孔隙水压力是影响岸坡稳定性的主要因素, 特别是在软土中打桩引起的超孔隙水压力很难在短时间内消散且多排桩基施工时超孔隙水压力分布范围大。通过调整打桩顺序, 施工时避免短时间内密集施打, 可控制超孔隙水压力大范围的急剧增高, 可有效减小打桩对岸坡稳定性的影响。

参考文献:

[1] 王育兴, 孙钧. 打桩施工对周围土性及孔隙水压力的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2004(1): 153-158.

[2] 徐永福, 傅德明. 结构性软黏土中打桩引起的超孔隙水压力[J]. 岩土力学, 2000(3): 53-55.

[3] 杨德生, 吴一伟, 费涵昌. 打桩对土中孔压及应力的影响[J]. 工程勘察, 1996(6): 1-5.

[4] 陈祖煜. 土质边坡稳定分析-原理方法程序[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.

(本文编辑 武亚庆)

· 消 息 ·

马六甲打造国际水平港口 配合海上丝绸之路

据马来西亚南洋网近日报道, 马来西亚交通部长廖中莱近日指出, 马来西亚将在马六甲州打造一座国际水平的港口, 加强马中两国经济合作并配合中国海上丝绸之路建设。

廖部长表示, 在马六甲州打造一座国际港口, 能够在海上丝绸之路建设以及发展区域经济中扮演重要角色。历史已经证明, 马六甲州的国际港口建设能够促进两国经济发展, 马来西亚必须再次在这方面作出努力。廖部长还表示, 马来西亚将就此与中国进行进一步讨论。

(摘编自《新华网》)