

桩前预留土体对抗滑桩影响的分析与计算研究

孙 勇

(贵州大学喀斯特环境与地质灾害防治教育部重点实验室, 贵阳 550003)

摘要: 本文在前人研究的基础上对桩前土体需要开挖的抗滑桩提出了一种新的计算方法, 即似 m 法。文中将单排抗滑桩分为三类: 第一类为桩前土体不开挖, 但与抗滑桩分离形成桩后缝隙; 第二类为桩前土体不开挖, 但与抗滑桩相贴且有抵挡抗滑桩的作用; 第三类为桩前土体需要开挖, 并对各类抗滑桩给出了相应的设计计算方法。对于第一类抗滑桩可用本文改进的 m 法和有限单元法计算; 对于第二类抗滑桩考虑桩前抗力值大小后也可用本文改进的 m 法和有限单元法计算; 对于第三类抗滑桩可用本文提出的似 m 法和改进的有限单元法计算。通过与实际工程测量值对比分析, 得出结论: 在抗滑桩工程中对桩的钢筋受力进行实测以推断桩的受力性能, 弥补滑坡推力及桩前抗力勘测、分析、计算值可靠性差的弱点。该方法与二维、三维有限元法相比, 具有计算方法简单、可靠的特点, 值得广泛应用和发展。

关键词: 滑坡; 抗滑桩; 数值分析; 似 m 法; 预留土体

中图分类号: U417.2; TU457

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2008)01-0058-06

1 引言

抗滑桩在滑坡治理中的应用有 40 余年的历史, 已得到广泛应用并取得了良好的结果。

早期抗滑桩的设计主要参照水平受力桩基的设计推导演变而来^[1]。70 年代末以来国内外许多研究者对抗滑桩的设计理论、方法和参数进行了广泛研究。已有的方法主要有地基系数法、有限单元法、有限元法等。除了这些分析法外, 目前对于滑坡抗滑桩设计的方法还有极限平衡法、等值梁法, 这类方法有很大的局限性, 不能得到桩的变位^[2]。考虑问题比较全面的是二维、三维的有限元法, 但由于岩土性质的复杂性、不均性和离散性等, 使得预先给定的岩土本构模型难以切合实际地描述岩土的这些性质和变化, 这为抗滑桩结构及滑坡体的受力和变形计算带来困难。目前在工程中应用和研究较为广泛的是地基系数法和有限单元法。

地基系数法根据土抗力 p 与桩的挠度是否成线性关系而将地基系数法分为线性和非线性地基系数法。我们通常所见的 m 法、 K 法、 c 值法、 C 法(又称张有龄法)应归于线性地基系数法。非线性地基系数法中较有代表性的是日本港湾研究所于 1971 年提出

港研法^[3], 土抗力 $p = K(x) b_1 y^{0.5}$, 由于该式是非线性常微分方程, 难以获得解析解, 因而港研法有一套特殊的计算方法。总的来说, 这类方法求解比较困难, 其优点不明显。马特洛克在 1970 年对粘土沿桩身各深度土抗力 p 与挠度 y 的非线性问题(即 $p - y$ 曲线法)进行过研究。里斯等人于 1974 年对砂土的 $p - y$ 曲线法进行过研究。 $p - y$ 曲线法在 1975 年被美国石油协会制定的“固定式海上采油平台设计施工技术规范”(API RP2A)采用。 $p - y$ 曲线法是当前国际上流行的关于水平受力桩非线性计算的著名方法, 仍在继续研究之中, 以便进一步改进和完善^[3]。我国学者吴恒立^[3]提出了一种可考虑桩周土 $p - y$ 非线性地基系数法, 即综合刚度原理与双参数法。目前, 地基系数法在桩前滑坡体存在开挖情况下的研究, 所见资料很少。文献[4]中的弹性支点法, 只针对基坑顶面为水平的情况, 并且坑底以上土产生于支护桩中的土压力为朗肯(W. J. M. Rankine)主动土压力。这与实际情况差别较大, 偏于不安全, 因为主动土压力为土压力中的最小值, 需要较大的位移才会出现。肖世国等^[5]在说明岩石高边坡开挖工程中最下一级坡通常采用悬臂式抗滑桩结构的一些弊端的基础上, 提出在桩前仍适当保留部分岩土体而形成埋入式抗滑桩结构, 以改变桩身受力情况, 并用主、被动土压力的极限平衡法对比分析了埋入式与悬臂式抗滑桩的优缺点, 阐述了埋入式抗滑桩应用的经济合理性。

本文将抗滑桩按桩前滑体情况分为三种: 桩前土体不开挖, 但与支护桩分离形成桩后缝隙; 桩前土

收稿日期: 2006-07-30; 修订日期: 2007-03-07

基金项目: 贵州大学博士基金项目(校科合博基字 2004015)

作者简介: 孙勇(1963-), 男, 博士, 教授, 主要从事岩土工程和建筑结构工程的设计与研究工作。

E-mail: sunyong00188@163.com

体不开挖,但与支护桩相贴且有抵挡抗滑桩的作用;抗滑桩桩前土体需要开挖的情况。

本文给出了桩后滑体顶面为斜面的滑体自重产生于滑动面以下桩后的土压力的计算方法,并在情况中加以应用。有限线单元法在上述三种情况均可应用,但对情况三需考虑上述桩后滑体自重产生于滑动面以下桩后产生的土压力。本文对情况一和情况二提出了改进后的 m 法,并给出了相应的解析计算式^[7~10]。对情况三,即抗滑桩前土体需开挖情形,本文给出了似 m 法及相应的解析计算式。改进后的 m 法和似 m 法与有限线单元法相比具有计算简单、适于手算的特点。本文还对桩前预留土体问题给出了计算实例并与现场测试结果进行了对比分析,这些工作对目前抗滑桩的设计计算、分析是一种强有力的补充。

文献[9]在编制过程中收集了大量试验和工程实践实例,验证表明较符合实际的土的 C 值随深度线性增加,即 $C = mx$ 。其它行业的规范中也有相同的共识^[2,4,5,8]。本文在 m 法、有限线单元法和似 m 法中均采用这一形式的 C 值,按文献[8]取值,与其它规范相比偏于安全。

2 抗滑桩有限线单元法的基本理论

将抗滑桩划分为有限个线单元,相邻两单元的长度比宜小于3,结构上各结点满足变形协调条件,并取结点处的位移为基本未知量。按照数值分析原理,作用在桩结构上的外荷载与单元内力平衡。抗滑桩上全部结点外力向量 P 与位移向量 Y 成如下关系:

$$P = (ASA^T) Y \quad (1)$$

抗滑桩上各结点内力向量 F 与位移向量 Y 成如下关系式:

$$F = (SA^T) Y \quad (2a)$$

上两式中, A 、 A^T 、 S 为结构内外力的联系矩阵和联系矩阵的逆矩阵以及结构刚度矩阵,它们分别由结构各单元联系矩阵和刚度矩阵按一定的规律组装完成^[6]。各节点的位移向量为:

$$Y = (ASA^T)^{-1} P \quad (2b)$$

3 抗滑桩似 m 法的基本理论

对情况三,支护桩前土体需要开挖的情况。座标原点取在滑动面处,此处的水平力 Q_0 为滑坡设计推力的水平分力,弯矩 $M_0 = Q_0 \cdot h_0$, h_0 为 Q_0 至滑动面的距离。则桩身挠度微分方程为:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + b_1 mxy = \frac{C_0 b_0 P_0 K_0 + C_0 b_0 P_0 K_0}{C_a + C_0} \quad (3)$$

此法与 m 法相比,多了方程式右边项。 $b_0 P_0 K_0$ 项为桩后侧滑体在滑面下产生的主动土压力,可按库伦(C. A. Coulomb)主动土压力公式计算,这一点与文献[4]等规范是一致的。 $b_0 P_0 K_0$ 为桩后侧滑体在滑面下产生的静止土压力。《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021-89)中列有静止土压力系数表,但新版《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2004)给出的静止土压力系数用 $(1 - \sin \Phi)$ 计算,式中 Φ 为土的内摩擦角。文献[2]对于静止土压力系数由试验确定,当无试验条件时,对砂土可取 0.34 ~ 0.45,对粘性土可取 0.5 ~ 0.7。

显然,(3)式中:若 $C_0 = 0$,则滑体在桩后产生的土压力为主动土压力,这种作法偏于不安全,因为主动土压力为土压力中的最小值,要形成主动土压力需要较大的桩位移,一般情况沿桩身不能达到这一位移值。

若 $C_0 = 0$,则滑体在桩后产生的土压力为静止土压力,这种作法偏于安全,因为桩必定会产生一定的位移。

通过大量的工程实践,我们认为取 $C_0 = C_a$ 比较符合实际,则(3)式为:

$$\frac{EI d^4 y}{dx^4} + b_1 mxy = \frac{b_0 P_0 (K_0 + K_0)}{2} = b_0 P_0 K_0 \quad (4a)$$

我们对一些重要工程土的主动土压力和静止土压力作了离心机模型实验,根据模型实验结果,主动土压力和静止土压力按如下方法计算较为符合实际。

(1)主动土压力系数 K_0 的计算采用 Coulomb 主动土压力公式且不考虑桩背与土岩的摩擦力,此与文献[8]和其它部门规范的规定是一样的。

$$K_0 = \left[\frac{\cos^2 \phi_b}{1 + \frac{\sin \phi_b \times \sin(\phi_b - \beta)}{\cos \beta}} \right]^2$$

式中: β 为桩后土面与水平面的夹角。由于稳定体为多层土,先将多层土的 ϕ 、 C 值按文献[7]多层土的 m 值的计算方法得到,再换算为单层土的 ϕ 、 C 值,显然这种计算方法比取多层土 ϕ 、 C 平均值合理。然后根据文献[11]土压力相等的原则,按下面公式计算内摩擦角:

$$\phi_b = 2 \left\{ 45^\circ - \arctan \left[\tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - \frac{2C}{\gamma H} \right] \right\}$$

(2)静止土压力系数用 $K_0 = (1 - \sin \phi) \times S$ 计算,式中 S 为由于桩后滑体顶面与水平面存在夹角而引起

入的增大系数。可按 Ka 计算公式中 β 取值等于零和实际工况下的 β 值的比值得到:

$$S = \left[\frac{(1 + \sin \phi_p)^2}{1 + \frac{\sin \phi_p \times \sin(\phi_p - \beta)}{\cos \beta}} \right]^2 \quad (4b)$$

(3) 初始条件

$$y|_{x=0} = y_0, \frac{dy}{dx}|_{x=0} = \Phi_0, \frac{d^2y}{dx^2}|_{x=0} = \frac{M_0}{EI},$$

$$\frac{d^3y}{dx^3}|_{x=0} = \frac{Q_0}{EI}$$

用幂级数解得:

$$y_0 = Q_0 \delta_{QQ} + M_0 \delta_{QM} + b_0 P_0 K_5 \delta_{PP} \quad (5a)$$

$$\Phi_0 = - (Q_0 \delta_{MQ} + M_0 \delta_{MM} + b_0 P_0 K_5 \delta_{\Phi P}) \quad (5b)$$

式中:

$$\delta_{QQ} = \frac{1}{\alpha^3 EI} \cdot \frac{(B_3 D_4 - B_4 D_3) + K_h (B_2 D_4 - B_4 D_2)}{(A_3 D_4 - A_4 B_3) + K_h (A_2 D_4 - A_4 B_2)}$$

$$\delta_{MQ} = \frac{1}{\alpha^2 EI} \cdot \frac{(A_3 D_4 - A_4 D_3) + K_h (A_2 D_4 - A_4 D_2)}{(A_3 B_4 - A_4 B_3) + K_h (A_2 B_4 - A_4 B_2)}$$

$$\delta_{QM} = \frac{1}{\alpha^2 EI} \cdot \frac{(B_3 C_4 - B_4 C_3) + K_h (B_2 C_4 - B_4 C_2)}{(A_3 B_4 - A_4 B_3) + K_h (A_2 B_4 - A_4 B_2)}$$

$$\delta_{MM} = \frac{1}{\alpha EI} \cdot \frac{(A_3 C_4 - A_4 C_3) + K_h (A_2 C_4 - A_4 C_2)}{(A_3 B_4 - A_4 B_3) + K_h (A_2 B_4 - A_4 B_2)}$$

以上 $A_1, A_2, A_3, A_4, B_1, B_2, B_3, B_4, C_1, C_2, C_3, C_4, D_1, D_2, D_3, D_4$ 详见《铁路桥涵地基与基础设计规范》TB10002.5 - 2005、文献[7]或《建筑桩基技术规范》JG 94 - 94。

另经推导有:

$$\delta_{PP} = \frac{1}{\alpha^4 EI} \cdot \frac{(B_3 E_4 - B_4 E_3) + K_h (B_2 E_4 - B_4 E_2)}{(A_3 B_4 - A_4 B_3) + K_h (A_2 B_4 - A_4 B_2)}$$

$$\delta_{\Phi P} = \frac{1}{\alpha^3 EI} \cdot \frac{(A_3 E_4 - A_4 E_3) + K_h (A_2 E_4 - A_4 E_2)}{(A_3 B_4 - A_4 B_3) + K_h (A_2 B_4 - A_4 B_2)}$$

式中: E_1, E_2, E_3, E_4 按 $h = \alpha \cdot x$ 查表或按下式计算^[12]:

$$E_1 = \frac{(\alpha x)^4}{4} - \frac{5(\alpha x)^9}{9} + \frac{5 \cdot 10(\alpha x)^{14}}{14} \dots$$

$$E_2 = \frac{(\alpha x)^3}{3} - \frac{5(\alpha x)^8}{8} + \frac{5 \cdot 10(\alpha x)^{13}}{13} \dots$$

$$E_3 = \frac{(\alpha x)^2}{2} - \frac{5(\alpha x)^7}{7} + \frac{5 \cdot 10(\alpha x)^{12}}{12} \dots$$

$$E_4 = \alpha x - \frac{5(\alpha x)^6}{6} + \frac{5 \cdot 10(\alpha x)^{11}}{11} \dots$$

当桩底的 $K_h = \frac{C_0 I_0}{\alpha EI}$ (C_0 为桩底土的竖向地基系数)很小时,上式可写为:

$$\delta_{PP} = \frac{1}{\alpha^4 EI} \cdot \frac{B_3 E_4 - B_4 E_3}{A_3 B_4 - A_4 B_3}$$

$$\delta_{\Phi P} = \frac{1}{\alpha^3 EI} \cdot \frac{A_3 E_4 - A_4 E_3}{A_3 B_4 - A_4 B_3}$$

则有如下计算公式:

$$y = y_0 A_1 + \frac{\Phi_0 B_1}{\alpha} + \frac{M_0 C_1}{\alpha^2 EI} + \frac{Q_0 D_1}{\alpha^3 EI} + \frac{b_0 P_0 K_5 E_1}{\alpha^4 EI} \quad (5c)$$

$$\Phi = \alpha y_0 A_2 + \Phi_0 B_2 + \frac{M_0 C_2}{\alpha EI} + \frac{Q_0 D_2}{\alpha^2 EI} + \frac{b_0 P_0 K_5 E_2}{\alpha^3 EI} \quad (5d)$$

$$M = \alpha EI (\alpha y_0 A_3 + \Phi_0 B_3) + M_0 C_3 + \frac{Q_0 D_3}{\alpha} + \frac{b_0 P_0 K_5 E_3}{\alpha^2} \quad (5e)$$

$$Q = \alpha^2 EI (\alpha y_0 A_4 + \Phi_0 B_4) + \alpha M_0 C_4 + Q_0 D_4 + \frac{b_0 P_0 K_5 E_4}{\alpha} \quad (5f)$$

以上 (5a) ~ (5f) 等式右边最后一项为土压力 $b_0 P_0 K_5$ 产生的效果,其它各项与公路桥梁、铁路桥梁、建筑中的水平受力桩相同,详见上述各规范。我们将此法称为似 m 法,经在工程中的广泛应用,与实际情况符合很好。

4 抗滑桩 m 法的基本理论

对情况一,桩前土体不开挖,但与抗滑桩分离形成缝隙的情况。座标原点取在滑动面处,此处的水平力 Q_0 为滑坡设计推力的水平分力,弯矩 $M_0 = Q_0 \cdot h_0$, h_0 为 Q_0 至滑动面的距离。则桩身挠度微分方程为:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + b_1 (mx + m_0) y = 0 \quad (6)$$

此法与一般的 m 法相比,多了方程式左边项的 $b_1 m_0$, 式中 $m_0 = m \cdot h_1$, h_1 为滑动面至滑体顶面的距离。

(6) 式用级数法求解。设 $y = \sum a_i x^i$, 式中: $a_0 = y_0$, $a_1 = \Phi_0$, $a_2 = \frac{M_0}{2EI}$, $a_3 = \frac{Q_0}{6EI}$ 。将 $y = \sum a_i x^i$ 代入微分方程 (6) 式得到: $a_4 = - \frac{b_1 m_0 a_0}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 EI}$,

$$a_i = - \frac{b_1 (m_0 a_{i-4} + m a_{i-5})}{(i-3)(i-2)(i-1)iEI}, \text{ 式中 } i \geq 5$$

由关系式 $\Phi_x = \frac{dy}{dx}$, $M_x = EI \frac{d^2 y}{dx^2}$, $Q_x = EI \frac{d^3 y}{dx^3}$ 和桩

底的边界条件(嵌固和非嵌固),解出 $a_0 = y_0$ 和 $a_1 = \Phi_0$,从而完成求解。通过简单的计算机编程,可非常容易地进行计算。本实例的计算表明,当计算 a_i 至 $i = 18$ 项后,误差很小,小于 0.5%。

5 滑坡抗滑桩支护工程计算实例

5.1 工程实例概况

本滑坡地处贵州省某市郊,滑坡体位于建筑场地边侧,由于场地狭窄,为总平面布置所需,对其进行滑坡体前缘的切割,并在建筑场地平面上形成 6m 高的直壁陡坎。各层土的工程性质指标见图 1。

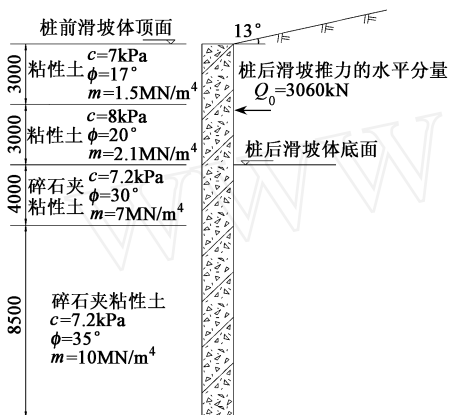


图 1 某滑坡抗滑桩支护剖面图

Fig.1 Profile of supporting system of anti-slide pile

抗滑桩处滑坡推力的水平分力值为 510kN/m,力的作用点位于滑坡体厚度的 1/2 处。

抗滑桩采用人工挖孔桩,桩断面尺寸为 2m × 3m,桩采用单排形式,桩间距 6m,桩混凝土强度等级取为 C20^[8],桩长为 18.5m。该滑坡抗滑桩支护工程于 2003 年 4 月开始施工,2004 年 3 月底完成支护桩的施工。在抗滑桩的纵向受力钢筋上安装钢筋测力计以推断桩身弯矩,并在此抗滑桩顶安装位移观测点,用经纬仪进行位移观测。桩前土体于同年 5 月初开挖。

5.2 工程实例计算

情况一的计算:(1)有限线单元法:由于桩前侧滑体与桩分离,则滑动面以上部分(6米厚)不考虑滑体对桩的抵挡作用。滑动面以下部分的土体对桩的抗力: $\sigma = C \cdot y = mxy$ 中的 x 应从滑坡体表面算起;(2)按本文的抗滑桩 m 法计算:座标原点取在滑面处, $m_0 = 6 \times m$, $m = 8.67\text{MN/m}^4$ 。

情况三的计算:(1)有限线单元法:滑动面以上考虑滑坡设计推力的水平分力 $Q_0 = 510 \times 6 = 3060\text{kN}$ (6m为桩间距),其它力不考虑。滑动面以下

考虑滑动面以上土体在桩后侧产生的土压力 $\frac{b_0 P_0 (K_a + K_0)}{2} = b_0 P_0 K_s$, K_a 与 K_0 的计算可按分层土分别计算(由于滑面倾斜而增加的土压力值按 4b 式计算),也可按似 m 法的土压力计算方法计算,本文实例计算表明两种方法得到的结果差别小;(2)按似 m 法计算:按似 m 法的土压力计算方法计算的滑面下由于滑体自重产生土压力见图 2。座标原点取在滑面处, $b_1 = 3\text{m}$, $b_0 = 6\text{m}$, $P_0 = 6 \times 19 = 114\text{kN/m}^2$ 。

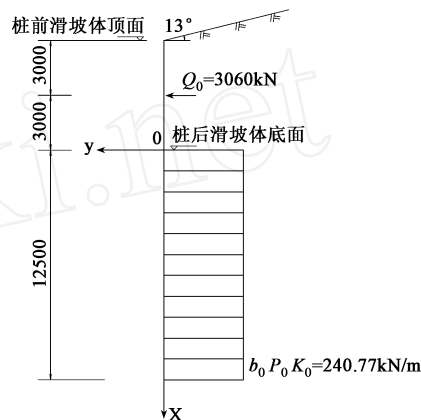


图 2 桩前开挖后桩后滑体在桩滑动面以下产生的土压力

Fig.2 Earth pressure distribution under the slope surface when the slope body before pile excavation

情况二的计算:这种情况只需将滑面以上桩受到的桩前抵挡力作用于桩上,其它与情况一完全相同。

5.3 计算结果

(1)情况一:用本文的似 m 法计算得到的桩在滑面处的水平变位及转角 $y_0 = 7.72\text{mm}$, $\Phi_0 = -1.609 \times 10^{-3}\text{rad}$,桩顶位移为 18.28mm,此时桩中计算最大弯矩在离滑动面 2.95m 处, $M_{\max} = 13354\text{kN} \cdot \text{m}$ 。用有限线单元法得到的桩顶位移为 17.49mm,桩中计算最大弯矩在离滑动面 2.79m 处, $M_{\max} = 13121\text{kN} \cdot \text{m}$ 。两种方法得到的结果相差小,是因为两者的力学概念一样。

(2)情况三:滑面下桩后由滑体自重产生的土压力见图 2。采用似 m 法,计算宽度 $b_1 = 3\text{m}$, $b_0 = 6\text{m}$,滑动面处的 $M_0 = 9180\text{kN} \cdot \text{m}$, $Q_0 = 3060\text{kN}$ 。当桩前滑坡体开挖深为 6m(即桩前滑坡体全部开挖),则支护桩为 6m 长的悬臂梁。 $P_0 = 19 \times 6 = 114\text{kN/m}^2$ 。本例按前述方法得到的 $\phi = 32.8^\circ$, $C = 7.2\text{kPa}$, $\phi_0 = 44.4^\circ$, $K_a = 0.196$, $K_0 = 0.507$,则 $K_s = 0.352$ 。计算得到抗滑桩在滑动面处的水平变位及转角: $y_0 = 20.7\text{mm}$, $\Phi_0 = -3.696 \times 10^{-3}\text{rad}$,桩顶位移为 43.8mm。此时桩中计

算最大弯矩在离滑动面 5.29m 处, $M_{\max} = 19\,425\text{ kN}\cdot\text{m}$, 由此弯矩计算桩的配筋率为 0.36%。采用有限单元法, 当 K_0 与 K_0 的计算按 m 法计算时, 得到的抗滑桩在滑动面处的水平变位及转角: $y_0 = 19.9\text{ mm}$, $\Phi_0 = -3.544 \times 10^{-3}\text{ rad}$, 桩顶位移为 42.9mm。此时桩中计算最大弯矩在离滑动面 5.18m 处, $M_{\max} = 19\,221\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

5.4 实测值与计算值的比较

通过设计计算分析, 桩前滑体开挖后的桩中最大弯矩出现在离滑动面 5.29m 处 (即桩顶面以下 11.29m 处)。桩前土体不开挖的情况, 最大弯矩在离滑动面 2.95m 处。施工时在主滑线上的抗滑桩上 (离滑动面 5.29m 处、离滑动面 2.95m、离滑动面 6m 和离滑动面 8m 处) 安装测力计, 以推算桩在此处的弯矩值。另外在桩顶还安装位移测量表, 用经纬仪测量桩顶位移。实测结果如下:

情况一: 离滑动面 2.95m 处的桩身弯矩为 $9\,128\text{ kN}\cdot\text{m}$, 离滑面 6m 处桩身弯矩为 $6\,288\text{ kN}\cdot\text{m}$, 离滑面 8m 处桩身弯矩为 $4\,698\text{ kN}\cdot\text{m}$, 桩顶位移为 12.1mm, 计算值与实测值如图 3。

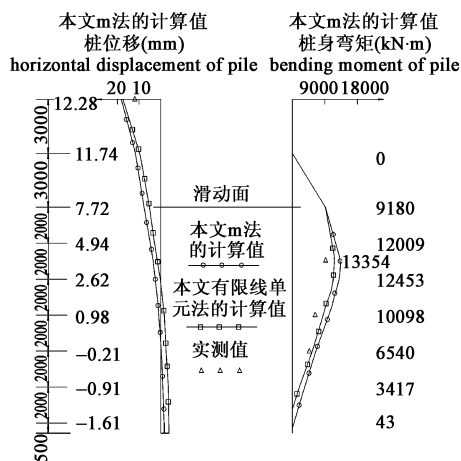


图 3 桩前土体不开挖但与桩形成缝隙的桩位移及弯矩图

Fig. 3 Displacement and bending moment diagrams when the slope body before pile not excavated but divorced from pile

情况三: 离滑动面 5.29m 处的桩身弯矩为 $17\,556\text{ kN}\cdot\text{m}$, 离滑面 6m 处桩身弯矩为 $16\,398\text{ kN}\cdot\text{m}$, 离滑面 8m 处桩身弯矩为 $13\,098\text{ kN}\cdot\text{m}$, 桩顶位移为 39.6mm, 计算值与实测值见图 4。

以上各种情况均按文献[8]的要求对滑动面下 $h_2/3$ 、 h_2 (h_2 为滑动面以下桩长) 等处的桩侧地基土横向容许承载力进行验算, 均满足要求。

6 结论

本文在前人研究的基础上完善了单排抗滑桩的两种计算方法, 即 m 法和有限单元法。并对桩前滑体需要开挖的抗滑桩提出了一种新的计算方法, 即似 m 法。这些方法能计算抗滑桩的变位量。本文将单排抗滑桩支护设计计算问题归结为三种情况, 给出了相应的计算方法。

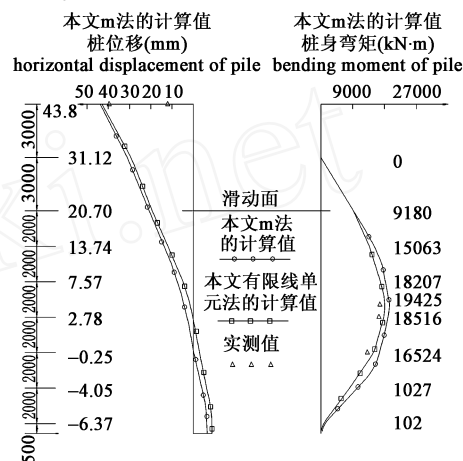


图 4 桩前土体开挖的桩位移及弯矩图

Fig. 4 Displacement and bending moment diagrams when the slope body before pile excavated

(2) 实测值与计算值比较表明, 本文给出的三种计算方法符合实际。与二维及三维有限元法相比具有计算简单、结果可靠等特点, 在工程中得到广泛应用和发展。

(3) 本文实例中, 在抗滑桩的受力钢筋上安装测力计以推断桩的受力情况, 此种方法对于抗滑桩支护结构的安全性和工程造价的合理性均具有重要意义, 值得推广应用, 以弥补滑坡推力和滑体抗力勘测、分析、计算不准确之不足。根据其实测值可调整后续桩的设计或进行补桩。

(4) 本文通过计算和实测表明, 桩前土体开挖对抗滑桩的受力变形和造价影响很大, 在工程中若需对桩前土体进行开挖, 应慎重决定。

(5) 本文按文献[8]中的表 B.2 确定 m 值, 此表附注中的桩位移为 6~10mm。本文实例计算的桩前土体开挖时桩在滑面处的水平位移为 20.7mm, 大于此值很多, 而计算的桩位移与桩中弯矩还大于实测值, 究其原因文献[8]中的表 B.2 给出的 m 值偏小。当桩前土体不开挖按桩前滑体对抗滑桩无抵挡力计算的桩顶位移与最大弯矩比实测值小较多, 究其原因除 m 值偏小

外,应是滑体对抗滑桩存在抵挡力。

参考文献:

- [1] 铁道部第二勘察设计院. 抗滑桩设计与计算[M]. 北京:中国铁道出版社,1983:1-21.
- [2] 中华人民共和国建设部. GB50330-2002 建筑边坡工程技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [3] 吴恒立. 计算推力桩的综合刚度原理和双参数法[M]. 北京:人民交通出版社,2000:7-17.
- [4] 中华人民共和国建设部. JG120-99 建筑基坑支护技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [5] 肖世国,周德培,宋从军. 岩石高边坡工程中埋入式抗滑桩的应用[J]. 岩土工程学报,2003,25(5):638-641.
- [6] 金亚兵. 有限单元法用于锚杆桩基坑支护的计算分析[J]. 工程勘察,1997(3):1-5.
- [7] 中华人民共和国交通部. JTJ024-85 公路桥涵地基基础设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,1985.
- [8] 中华人民共和国铁道部. TB10025-2001 铁路路基支挡结构设计规范[S]. 北京:中国铁道出版社,2000.
- [9] 中华人民共和国建设部. GB50007-2002 建筑地基基础设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [10] 刘新荣,梁宁慧,黄金国,等. 抗滑桩在边坡工程中的研究进展及应用[J]. 中国地质灾害与防治学报,2006,17(1):56-62.
- [11] 高大钊,袁聚云. 土质学与土力学[M]. 北京:人民交通出版社,2002.
- [12] 孙勇. 边坡(滑坡)支护结构体系的理论与数值分析研究[D]. 贵阳:贵州大学土木建筑工程学院,2005.

Researches on the anti-slide pile with remaining soils in front of pile

SUN Yong

(Key Laboratory of Karst Environment and Geohazard Prevention of Ministry of Education, Guizhou University, Guiyang 550003, China)

Abstract: In this paper, the two calculation methods including M method and finite linear element method (FLEM) of anti-slide pile are improved based on the researches of the predecessors. The similar M method which is a new one to counter the excavation before the anti-slide pile is proposed. The problem of single row anti-slide pile is divided as three types: the first type is that the slope body before pile is not excavated but divorced from pile; the second type is that the slope body before pile is not excavated and is capable of resisting the anti-slide pile; the third type is that the slope body before pile is excavated. The calculation methods are established to every type of the anti-slide pile: the first type of anti-slide pile can be calculated and designed with M method and the FLEM improved in this paper; the second type of anti-slide pile can also be calculated and designed with the same methods but need count the resistant force of slope body before pile to pile; the another type of anti-slide pile can be calculated and designed with the similar M method proposed in this paper and the FLEM. A series of significant results are obtained comparing with practical engineering. For the safe and economy of engineering, the surveys of reinforcing bar stress in the anti-slide pile are praised highly to remedy the inaccurate of the determining of the landslide force and resistant force before pile. These methods proposed in this paper nearly suit every types of slope and it takes advantages of simply and reliably calculating compared with two-dimension and three-dimension finite element method. It is suggested to extensively use and develop these methods.

Key words: slope; anti-slide pile; numerical analysis; similar M method; remaining soils

责任编辑:王宏