

基于等效法的微型钢管组合抗滑桩设计方法

张录斌, 王仁鹏, 刘 剑

(甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司, 甘肃 兰州 730010)

摘 要: 微型钢管桩工程应用中尚未形成合理的设计理论和实用设计计算方法, 多依赖工程类比进行设计。基于等效法将微型钢管组合抗滑桩群与岩土体作为一个柔性抗滑挡墙, 介绍了微型钢管组合抗滑桩的一般设计步骤, 并结合某工程对微型钢管组合抗滑桩的设计计算方法进行了研究, 对解决类似工程问题提供参考。

关键词: 微型钢管桩; 等效法; 计算方法

中图分类号: U445

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)12-0177-03

0 引言

微型钢管桩一般指桩体主要由压力灌注的水泥(砂)浆或混凝土与钢管组成的外径小于300 mm, 长细比 >30 的灌入式或插入式钢管桩^[1]。由于其施工快捷、安全、经济性好, 在边(滑)坡抢险、应急工程工具有广泛应用, 并逐步在边(滑)坡加固中作为永久支护结构而得到应用。目前, 国内外在微型桩组合结构的室内试验、现场监测、内力及变形计算取得了较多研究成果, 并形成了一定的计算方法。但是作为边坡支护结构, 一直未形成共识, 分歧主要表现在如何考虑桩-土相互作用下的复合承载理论^[2]。鉴于微型钢管抗滑桩支挡作用机理不明确, 工程实践中的设计方法和理论多依赖于经验, 或按现有桩基设计方法进行设计计算, 阻碍了微型钢管桩的推广应用。

1 等效法基本原理

等效法将微型钢管组合抗滑桩群与岩土体视作一个柔性抗滑挡墙^[3], 考虑整个结构的协同作用。意大利一般把微型群桩按加强土体的抗剪性来考虑, 而日本则将微型群桩视布置方式按受压和受拉两类加固方式考虑。首先初拟微型桩的布置, 然后按布置方式按受拉加固或受压加固进行验算^[4]。计算基准面处的微型桩加固体的等效换算截面积及等效换算截面惯性矩, 按照材料力学方法计算基准面处微型桩加固体上作用的最大应力。外部稳定性(滑动、倾

覆和失稳)可按常规的方法计算。其计算方法有两种: 其一是假定滑动面不通过微型桩加固体; 其二是按微型桩的抗剪力进行计算, 其内部稳定可通过一个假定面进行计算^[5]。

2 微型钢管组合桩加固边(滑)坡设计步骤

多排微型钢管组合抗滑桩的设计计算是一个十分复杂的问题, 目前尚未形成综合考虑各种影响因素的统一设计方法。本文总结了基于等效法多排微型钢管组合抗滑桩的设计计算步骤^[6]:

(1)查明滑坡体形成的原因、性质、范围、厚度、分析其稳定状态、发展趋势;

(2)结合现场地形、地质及施工条件等综合确定微型钢管桩的布置范围和位置;

(3)根据地勘报告, 合理确定滑坡地质剖面、滑动带岩土体的抗剪强度、基岩情况等相关计算参数;

(4)根据滑坡地质剖面及滑动面岩土体的抗剪强度指标, 按传递系数法计算滑坡推力, 根据桩前边坡的稳定性等最不利情况, 确定是否考虑桩前边坡支撑抗力;

(5)确定桩身材料及排数, 初步选定桩径、壁厚和桩间距, 然后按照微型钢管组合结构进行极限承载力计算, 若滑坡推力大于结构极限抗力, 则应调整桩的截面尺寸或桩的间距, 重新计算, 直到计算的结构极限抗力大于滑坡推力为止;

(6)按滑面抗剪计算微型钢管桩的总数;

(7)按钢筋混凝土梁或板设计桩顶连系梁;

(8)计算桩身内力, 若作用于地基的弹性应力超过地层容许值或作用于微型钢管桩材料上的应力值

收稿日期: 2021-01-20

作者简介: 张录斌(1990—), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事桥隧设计工作。

超过其材料设计值时,则应调整桩的截面尺寸或桩的间距,重新返回(5)计算,直到符合要求为止;

(9)计算微型钢管桩锚固长度,确定微型钢管桩设计桩长;

(10)有需要时应与有限元计算结果进行对比分析;

(11)根据结构设计计算成果,绘制设计图纸。

为节约篇幅,微型钢管组合抗滑桩设计计算公

式结合算例给出。

3 微型钢管组合桩设计计算算例

某边坡根据开挖后揭露出的工程地质条件,拟采用微型钢管桩组合结构对边坡滑体进行加固。滑面以上主要为第四系全新统崩坡洪积层,地层主要为含角砾低液限黏土,角砾含量为30%~35%。岩土体力学参数见表1。

表1 岩土体力学参数表

地层	岩土名称	状态	天然容重 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	黏聚力 / kPa	内摩擦角 / ($^{\circ}$)	允许承载力 / MPa	桩周土极限摩 阻力 /MPa	基底摩擦 系数
Q_4^{al+pl}	含角砾低液限黏土	软~硬塑状	2.05	15	10	0.2	0.05	0.3

滑体稳定安全系数取 $K_s=1.25$,按传递系数法计算滑坡推力为 $P=516 \text{ kN/m}$,与水平方向的夹角为 35° ,则剩余滑坡推力的水平方向的分力为 $T_x=516 \times \cos 35^{\circ}=423 \text{ kN/m}$,竖向分力为 $T_y=516 \times \sin 35^{\circ}=296 \text{ kN/m}$ 。

针对该边坡施工平台受限和滑动面的实际情况,采用在第一级平台上设置四排微型钢管抗滑桩进行加固。如图1和图2所示,钻孔直径 $D=200 \text{ mm}$,钢管外径 $d=127 \text{ mm}$,壁厚 $t=8 \text{ mm}$,桩中心间距 $D_1=1.0 \text{ m}$,相邻微型桩的距离 $D_2=0.8 \text{ m}$,排间距按 0.75 m 布设,计算基准面至滑面以上距离 $L=14 \text{ m}$,土体弹性模量 $E_s=5000000 \text{ kPa}$,浆体材料弹性模量 $E_c=25000000 \text{ kPa}$,钢管弹性模量 $E_g=206000000 \text{ kPa}$ 。计算基准面取 $b=1 \text{ m}$ 为计算单元,布置长度 $h=2.3 \text{ m}$,每延米微型钢管桩根数 $n=4$ 根。

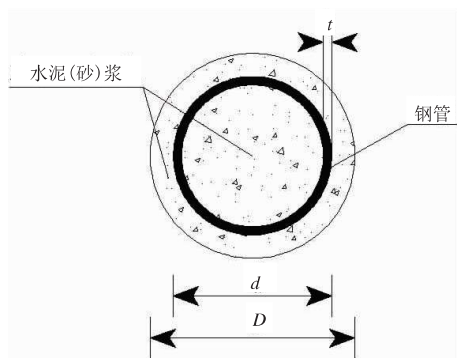


图1 微型钢管桩截面

(1)微型钢管桩计算简图如图2所示。

(2)结构抗力计算按下列各式进行。

$$K_p = \tan^2 \left(45^{\circ} + \frac{\varphi}{2} \right) = \tan^2 \left(45^{\circ} + \frac{10^{\circ}}{2} \right) = 1.4203 \quad (1)$$

$$g_1 = 2 \tan \varphi + 2K_p^{1/2} + K_p^{-1/2} = 3.5753 \quad (2)$$

$$g_2 = 2 \tan \varphi + 2K_p^{1/2} + K - 1 = 0.6304 \quad (3)$$

$$B = \exp \left[\frac{D_1 - D_2}{D_2} K_p \tan \varphi \tan \left(\frac{\pi}{8} + \frac{\varphi}{4} \right) \right] = 1.0296 \quad (5)$$

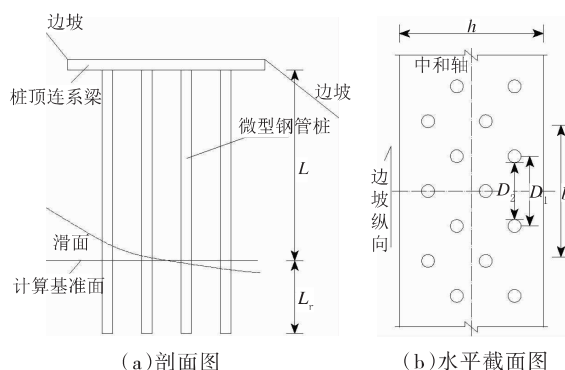


图2 微型钢管组合抗滑桩等效法计算简图

$$A = D_1 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{(K_p^{1/2} \tan \varphi + K_p - 1)} = 1.1510 \quad (5)$$

$$P_r = cA \left[\frac{1}{K_p \tan \varphi} (B - 2K_p^{1/2} \tan \varphi - 1) + g_1/g_2 \right] - \quad (6)$$

$$c(D_1 g_1/g_2 - 2D_2 K_p^{-1/2}) + \frac{\gamma \times L}{K_p} (A \times B - D_2) = 83.8832 \text{ kN}$$

$$R_r = \frac{P_r \cdot L}{2D_1} = 587.1826 \text{ kN} \quad (7)$$

$P=516 \text{ kN} < R_r=587.1826 \text{ kN}$,满足要求。

式中: R_r 为结构极限抗力,kN; D_1 为桩中心间距,m; D_2 为相邻微型钢管桩的距离,m; L 为计算基准面至桩顶的距离,m,计算基准面宜取通过抗滑挡墙中和轴与滑面交点的水平面; γ 为滑体重度, kN/m^3 ; K_p 为被动土压力系数; c 为滑体沿滑面上的黏聚力,kPa; φ 为滑体沿滑面上的内摩擦角, $^{\circ}$; P 为滑坡推力,kN。

(3)沿滑面的抗剪计算

$$\beta_a = \sqrt[4]{E/E_r} = 0.5866 \quad (8)$$

$$\tau_{fa} = \beta_a [\tau_g] A_g = 219.296 \text{ kN} \quad (9)$$

$$R_{fa} = n \tau_{fa} = 877.1845 \text{ kN} \quad (10)$$

$P=516 \text{ kN} < R_{fa}=877.1845 \text{ kN}$,满足要求。

式中: P 为滑坡推力,kN; R_{fa} 为微型钢管组合抗滑群桩抗滑力,kN; n 为每米微型钢管桩数量,根; τ_{fa} 为单桩容许抗剪强度,kN; β_a 为考虑钢管弯曲影响的折减

系数; E_s 、 E_t 分别为土体及微型钢管桩的弹性模量, kPa; $[\tau_g]$ 为钢管抗剪强度, kPa; A_g 为钢管横截面积, m^2 。

(4)微型钢管桩内力计算

$$A_p=(m_2-1)A_s n+A_c=0.118\ 0\ m^2 \quad (11)$$

$$A_R=m_1 A_p n+bh=7.037\ 6\ m^2 \quad (12)$$

$$I_R=m_1 A_p \sum x^2+\frac{bh^3}{2}=5.168\ 2\ m^4 \quad (13)$$

假定滑坡推力在受荷段按矩形分布,则:

$$M_R=T_x \cdot L_r/2=2\ 958.777\ 2\ kN \cdot m \quad (14)$$

$$N_R=T_y+b \cdot h \cdot L_r=1\ 171.315\ 4\ kN \quad (15)$$

$$\sigma_R=\frac{N_R}{A_R}+\frac{M_R}{I_R} \cdot y=1\ 039.497\ 2\ kPa < f_a \quad (16)$$

$$\sigma_R'=m_1 \cdot \sigma_R=8\ 779.843\ 1\ kPa < \sigma_{ca} \quad (17)$$

$$\sigma_{sc}=m_2 \cdot \sigma_R'=72\ 345.906\ 7\ kPa < f_s \quad (18)$$

式中: σ_R 为计算基准面处微型钢管桩加固体上作用的最大压应力, kPa; f_a 为计算基准面处经修正后地基承载力特征值, kPa; A_R 为计算基准面处微型钢管组合抗滑桩加固体的等效换算截面积, m^2 ; I_R 为计算基准面处微型钢管桩加固体的等效截面惯性矩, m^4 ; A_p 为微型钢管桩的等效换算截面积, m^2 ; A_c 为微型钢管桩截面积, m^2 ; n 为计算基准面内包含的微型钢管桩桩数, 根; m_1 为桩与其周围土的弹性模量比; m_2 为钢管与砂浆的弹性模量比; b , h 分别为微型钢管桩布置的单位宽度及长度, m; N_R 为计算基准面上作用的垂直力, kN; M_R 为计算基准面上作用的弯矩, $kN \cdot m$; x 为计算基准面中和轴至各个微型钢管桩的距离, m; y 为计算基准面中和轴至基准面边缘的距离, m; σ_R 为作用于砂浆上的压应力, kPa; σ_{ca} 为砂浆压应力设计值, kPa; σ_{sc} 为作用于钢管上的压应力, kPa; f_s 为钢

管抗压设计值, kPa。

(5)微型钢管桩嵌固段长度计算

$$L_r=\frac{F_b \cdot A_c \cdot \sigma_R}{\pi D \tau_r}=2.598\ 7\ m \quad (19)$$

式中: L_r 为微型钢管桩嵌固段长度, m; F_b 为微型钢管桩抗拔安全系数, 取 2.5; D 为微型钢管桩直径, m; τ_r 为桩与岩土体的粘结强度设计值, kPa。

(6)微型钢管桩设计桩长

微型钢管桩桩长 $L_a=L+L_r=16.598\ 7\ m$, 设计时可按 17m 桩长设计。

4 结 语

本文在分析了微型钢管组合抗滑桩作为柔性抗滑挡墙的作用机理, 基于等效法的基本原理, 总结了微型钢管组合抗滑桩的设计计算步骤。结合某工程实例, 给出了微型钢管组合抗滑桩具体设计计算公式和计算内容, 可为类似工程的设计计算提供参考, 有利于该支护结构的推广应用。

参考文献:

- [1] 胡国平, 郑明新, 范亚坤, 徐朋威. 考虑桩土效应的微型桩组合抗滑结构计算方法[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(4): 67-72.
- [2] 向波. 小直径钢管排桩抗滑机理及计算方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
- [3] GB/T 38509—2020, 滑坡防治设计规范[S].
- [4] 丁光文. 微型桩处理滑坡的设计方法[J]. 西部探矿工程, 2001(4): 11-17.
- [5] 王庭勇. 微型抗滑桩组合结构模型试验及设计方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [6] 刘静. 基于桩土共同作用下的抗滑桩的计算与应用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2007.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com