

文章编号:1671-6833(2007)04-0008-04

单排小桩复合桩墙支护结构设计计算方法

郭院成¹, 王 坤², 周同和³

(1. 郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 河南省建筑工程学校, 河南 郑州 450007; 3. 郑州大学 综合设计研究院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 复合桩墙支护结构是一种由水泥土桩墙和竖向小桩通过钢筋砼压顶板联合构成的新型复合型支护结构体系. 本文在全面总结复合桩墙支护体系结构类型及其计算模型基础上, 结合现场试验研究和数值模拟, 提出了单排小桩复合水泥土桩墙支护体系基于整体计算模式的设计计算方法, 为同类型基坑工程的设计和施工提供了一定的技术参考.

关键词: 岩土工程; 基坑支护体系; 复合桩墙; 设计计算方法

中图分类号: TU227 **文献标识码:** A

0 引言

复合桩墙支护结构是一种新型的复合支护结构, 它是由水泥土桩墙止水帷幕与墙后 n 排竖向小桩、砼压顶板组成的, 或联合水平锚、斜锚, 具有止水和支护双重技术效果的挡墙支护技术. 主要技术概括为: “水泥土桩墙 + 注浆加固土 + 小桩 n 排 + 压顶砼板”. 常见型式如图 1, 2 所示.

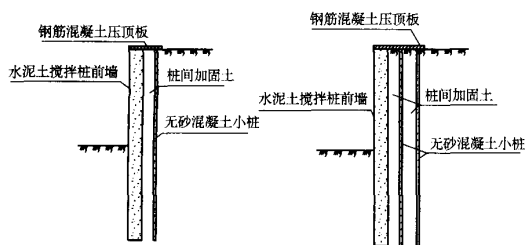


图 1 复合桩墙支护型式一

Fig. 1 The first style of the compound pile wall retaining structure

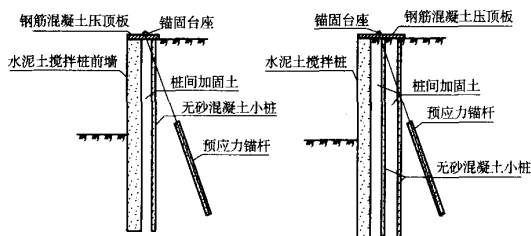


图 2 复合桩墙支护型式二

Fig. 2 The second style of the compound pile wall retaining structure

2 复合桩墙的理论计算模型

文献[1]将复合桩墙的设计计算理论分为两大类: ①考虑墙后侧阻和小桩的减重作用, 如图 3, 采用桩墙分算模式, 该模式同时考虑支护桩的竖向减重和水平向抗滑动作用; ②将复合桩墙作为一个整体, 如图 4 所示, 按连续挡墙计算.

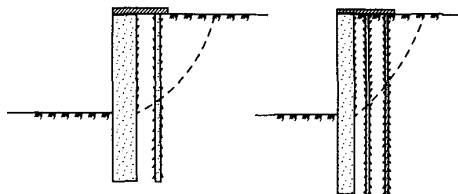


图 3 复合桩墙计算模式之“桩墙分算”模式
Fig. 3 The separate calculation mode of the compound pile wall

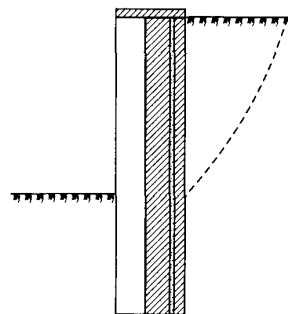


图 4 复合桩墙计算模式之“整体”模式
Fig. 4 The ensemble calculation mode of the compound pile wall

收稿日期: 2007-07-20; 修订日期: 2007-08-29

作者简介: 郭院成(1965-)男, 河南辉县人, 郑州大学教授, 博士研究生导师, 主要从事岩土力学与工程方面的研究.

3 复合桩墙支护结构设计方法

通过试验研究和数值分析^[1],认为当基坑深度与复合桩墙的整体宽度相比较小时,复合桩墙的水泥土搅拌桩前墙和墙后无砂砾小桩在压顶板的作用下,能够共同工作,抵抗墙后土体产生的土压力,此时可将复合桩墙当成一个整体来看待。

单排小桩的复合桩墙支护结构一般适用于基坑深度不大的情形(5~8 m),同时考虑到小桩的注浆加固作用,本文建议按“整体式”进行单排小桩的复合桩墙支护结构的设计计算。

3.1 土压力的计算

墙后的主动土压力可参照文献[2]中提到的“粘性土的库仑土压力理论”进行计算,忽略墙背与土体间的粘结力,根据图5所示滑块体的静力平衡条件,可得:

$$E_a = \frac{[W + qhc \cot \alpha] \sin(\alpha - \varphi) - \frac{ch \cos \varphi}{\sin \alpha}}{\cos(\alpha - \delta - \varphi)} \quad (1)$$

$$\text{其中,} \quad W = \frac{1}{2} \gamma h^2 \cot \alpha \quad (2)$$

式中: W 为主动区滑块体的重量; q 为基坑非开挖侧地表超载; γ 为基坑开挖面以上土体的重度,非匀质土时,为其加权平均重度; h 为滑块体的竖向高度; α 为墙后假定滑裂面与水平线的夹角; φ 为墙后土体的内摩擦角,非匀质土时,取各土层内摩擦角按层厚的加权平均值; c 为墙后土体的内摩擦角,非匀质土时,取各土层粘聚力按层厚的加权平均值; δ 为墙后土与复合桩墙间的外摩擦角。

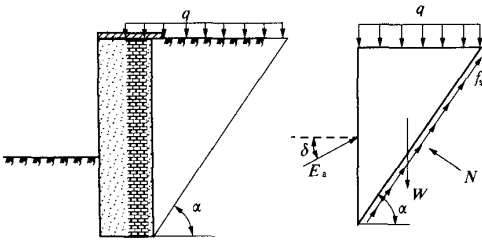


图5 复合桩墙墙后主动土压力的计算图示

Fig.5 The calculation graphic of the active earth pressure to the compound pile wall

可以编制计算机程序,改变 α 的大小求得不同的 E_a 值,取最大的做为主动土压力合力值。墙底处的主动土压力强度值可按线性分布假设推导出,即

$$e_a = 2E_a/h \quad (3)$$

同理,可求得被动土压力:

$$E_p = \frac{\frac{c_p h_d}{\sin \theta} \cos \varphi_p + W_p \sin(\theta + \varphi_p)}{\cos(\theta + \varphi_p + \delta_p)} \quad (4)$$

式中: W_p 为被动区滑块体的重量; h_d 为复合桩墙的嵌固深度; θ 为墙前土体的假定滑裂面与水平线的夹角; φ_p 为墙前土体的内摩擦角,非匀质土时,取各土层内摩擦角按层厚的加权平均值; c_p 为墙前土体的内摩擦角,非匀质土时,取各土层粘聚力按层厚的加权平均值; δ_p 为墙前土与复合桩墙的外摩擦角。

3.2 抗滑移稳定性验算

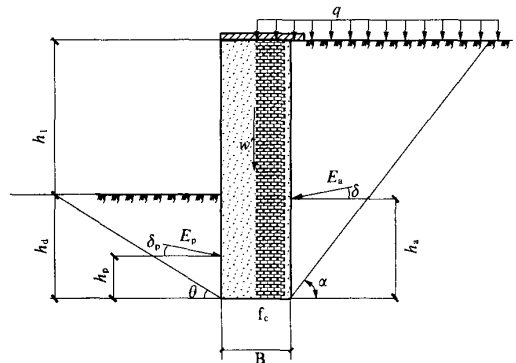


图6 复合桩墙抗滑移、抗倾覆稳定性计算图示

Fig.6 The calculation graphic of the anti-slipping stability and the anti-overturning stability to the compound pile wall

为防止复合桩墙沿墙底滑移破坏,要进行抗滑移稳定性验算:

$$K_s = \frac{E_p \cos \delta + f_c}{\gamma_0 E_a \cos \delta_p} \geq 1.3 \quad (5)$$

式中: γ_0 为基坑侧壁重要性系数; f_c 为水泥土桩墙底部的摩阻力。

$$f_c = c_i B + W' \tan \varphi_i \quad (6)$$

式中: c_i , φ_i 为复合桩墙墙底土层的粘聚力和内摩擦角; B 为复合桩墙的整体宽度; W' 为复合桩墙的重力。

3.3 抗倾覆稳定性验算

为保证复合桩墙在土压力的作用下不发生绕前墙墙趾的倾覆,要求抗倾覆安全系数大于1.2,即

$$K_i = \frac{E_p \cos \delta h_p + W' B/2 + E_a \sin \delta B}{\gamma_0 E_a \cos \delta h_a} \geq 1.2 \quad (7)$$

式中: h_a 为主动土压力作用点到水泥土搅拌桩底部的距离; h_p 为被动土压力作用点到水泥土搅拌桩底部的距离; K_i 为抗倾覆稳定系数。

3.4 整体稳定性验算

当土质较软弱时,有可能发生圆弧滑动破坏,为保证整体稳定性,可采用《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-99,附录C中的“圆弧滑动简单条分法”来验算:

$$\gamma_k = \frac{\sum c_{ik} l_i + \sum (qb_i + w_i) \cos \theta_i \tan \varphi_{ik}}{\sum (qb_i + w_i) \sin \theta_i} \quad (8)$$

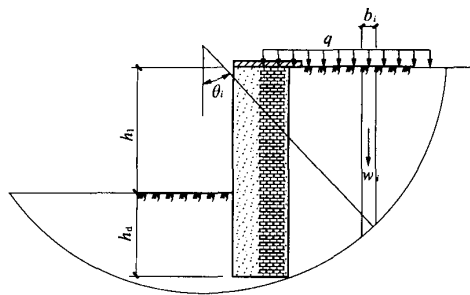


图7 复合桩墙整体稳定性计算图示

Fig.7 The whole stability calculation graphic of the compound pile wall

式中: c_{ik} , φ_{ik} 为最危险滑动面上第 i 土条滑动面上土的固结不排水(快)剪粘聚力、内摩擦角标准值; l_i 为第 i 土条的弧长; b_i 为第 i 土条的宽度; w_i 为作用于滑裂面上第 i 土条的重量,按上覆土层的天然土重计算; θ_i 为第 i 土条弧线中点切线与水平线夹角; γ_k 为整体稳定分项系数,应根据经验确定,当无经验时可取 1.3.

3.5 局部稳定性验算

3.5.1 桩身抗压和小桩抗拉承载力验算

在整体模式中,考虑到支护体系侧移较小,各材料处于线弹性阶段,前墙和土体,小桩和土体间基本无相对错动,可以把复合桩墙当成一个不同材料的组合梁,采用材料力学公式 $\sigma = \frac{My}{I}$ 来进行计算.

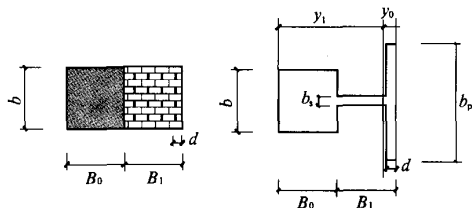


图8 复合桩墙正截面和相当截面示意图

Fig.8 The right section and the representative section of the compound pile wall

计算截面如图8示, $b_s = b \times E_s / E_{cs}$, $b_p = \frac{\pi d}{4}$

$\times E_p / E_{cs}$ (E_s, E_{cs}, E_p 分别为土、水泥土和小桩的弹性模量),按等效化原则将土体和小桩的宽度进行等效处理,把原截面转换为等效截面,然后计算等效截面形心轴位置以及惯性矩 I_R ,从而可求出前墙在弯矩作用下产生的最大压应力: $\sigma_{cs} = \frac{My_1}{I_R}$.

小桩在弯矩作用下产生的拉应力:

$$\sigma_p = \frac{My_0}{I_R} \times \frac{E_p}{E_{cs}}$$

则桩身强度应满足式(9):

$$1.25 \gamma_0 \gamma_z + \frac{My_1}{I_R} \leq f_{cs} \quad (9)$$

式中: γ 为复合桩墙的平均重度,可取为 20 kN/m^3 ; z 为验算截面的深度; y_1 为水泥土搅拌桩临空面到等效截面形心轴的距离; f_{cs} 为水泥土的抗压强度设计值.

小桩的锚固长度应满足式(10):

$$\frac{My_0}{I_R} \times \frac{E_p}{E_{cs}} A_p \leq \pi d q_{sik} l_d \quad (10)$$

式中: y_0 为砂桩小桩到相当截面形心轴的距离; A_p 为无砂桩小桩横截面面积; d 为无砂桩小桩的直径; q_{sik} 为小桩与土体间的摩阻力; l_d 为小桩的总长度.

3.5.2 抗剪强度验算

小桩的抗剪能力较弱,在复合桩墙抗剪强度验算中不予考虑,其承受的最大剪力应满足:

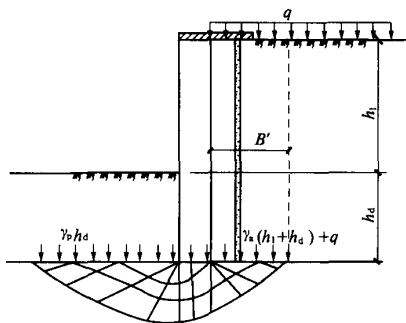


图9 复合桩墙抗隆起稳定性计算图示

Fig.9 The anti-heave stability calculation graphic of the compound pile wall

$$1.3 \gamma_0 Q_{\max} \leq \tau_{cs} A_{cs} + \tau_s A_s \quad (11)$$

式中: τ_{cs} 为水泥土的抗剪强度设计值; A_{cs} 为水泥土前墙的正截面面积; τ_s 为桩间土的抗剪强度; A_s 为桩间土的正截面面积.

3.6 抗隆起稳定性验算^[3]

抗隆起稳定性安全系数按下式计算:

$$K_L = \frac{\gamma_p h_d N_q + c N_c}{\gamma_a (h_1 + h_d) + q} \quad (12)$$

式中: h_d 为水泥土桩的嵌固深度; h_1 为基坑的开挖深度; γ_a 为坑外地表至墙底, 取各土层天然重度的加权平均值; γ_p 为坑内开挖面以下至墙底, 取各土层天然重度的加权平均值; N_q 、 N_c 为地基极限承载力的计算系数; 用普朗特公式, N_q 、 N_c 分别为

$$N_{qp} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \tan \varphi}$$

$$N_{cp} = (N_{qp} - 1) \frac{1}{\tan \varphi}$$

如用太沙基公式则为

$$N_{qT} = \frac{1}{2} \left[\frac{e^{\left(\frac{3}{4}\pi - \frac{\varphi}{2} \right) \tan \varphi}}{\cos \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)} \right]^2$$

$$N_{cT} = (N_{qT} - 1) \frac{1}{\tan \varphi}$$

式中: K_L 为抗隆起安全系数, 取 1.2 ~ 1.3.

4 结论

本文介绍了一种新型的复合支护结构即复合

桩墙支护结构, 并给出了主要适用于较浅基坑的单排小桩复合水泥土桩墙构成的支护体系, 基于“整体计算模式”的设计计算方法, 可作为类似支护工程的技术参考.

参考文献:

- [1] 王 坤. 水泥土桩复合桩墙支护结构的的设计计算模式研究[D]. 郑州: 郑州大学硕士学位论文, 2007.
- [2] 黄 强. 深基坑支护工程设计技术[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 1995.
- [3] 陈忠汉, 程丽萍. 深基坑工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [4] JGJ120—99. 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.
- [5] 赵明华, 王贻荪. 土力学与基础工程[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 2007.
- [6] YB9258—97. 建筑基坑工程技术规范[S]. 北京: 冶金工业出版社, 1998.
- [7] GB50007—2002. 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.

The Design Calculation Method of Single - row Little Pile Compound Pile Wall

GUO Yuan - cheng¹, WANG Kun², ZHOU Tong - he³

(1. School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Constructure Engineering School of Henan Province, Zhengzhou 450007, China; 3. Design and Research Academy, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Composite pile wall retaining structure is a pile of cement from the walls and vertical small pile pressure through the reinforced concrete roof, and it constitutes a new type of composite - supporting structure. In this paper, after a comprehensive summary of composite pile retaining wall supporting structure type and model calculations, with the pilot studies and numerical simulation, we proposed the single row of small pile composite cement pile wall bracing system based on the overall design of the model calculation method with the right type of foundation engineering design and construction to provide some of technical reference.

Key words: geotechnical engineering; foundation bracing system; compound pile wall; design calculation method