

文章编号: 1007-2993(2003)02-0073-04

SMW 围护桩的研究和应用

校月钊

(上海隧道工程股份有限公司施工技术研究所, 上海 200040)

【摘要】 SMW 围护桩是一种有广泛应用前景的新颖围护结构。从该工法的原理、起源和优点谈起, 系统阐述了其在水泥土配合比、强度设计计算、起拔装置及其专用搅拌机的研究情况, 并给出了工程应用实例。

【关键词】 SMW 工法; 水泥土; H 型钢; 减摩剂

【中图分类号】 TU 472

Study and Appliace of SMW Round Protective Pile

【Abstract】 SMW method is a new round protective structure with broad applying foreground. It is related from its principle, origin and virtues to the cement soil mix rate, intention design and count, raise device and the special stirrer of the SMW method in the numbers. Examples of its appliace are given as well.

【Key words】 SMW method; cement soil; H profiled bar; rub reducer

0 引言

SMW(Soil Mixing Wall)围护桩,即型钢水泥土复合桩,就是通过特制的多轴深层搅拌机将土体切散,同时从其钻头前端将水泥浆注入土体,通过搅拌头将水泥浆与原位土反复混合搅拌,采取重叠搭接的方式,在水泥土混合体硬结前,按设计间距插入 H 型钢作为应力加强材料,直至水泥土硬结后形成型钢水泥土复合桩。当围护结构的挡土功能完成后,回收型钢并重复利用^①。

SMW 围护桩作为基坑围护结构,是日本竹中土木株式会社与成幸工业株式会社在 1976 年开发并应用于工程。二十多年来,SMW 工法的成桩设备、工艺得到了完善和提高,被广泛应用。

与地下连续墙和钻孔灌注桩相比,SMW 围护桩具有对周围地基影响小、高止水性、地层适应性强、造价低等优点。

1 SMW 围护桩的相关研究

早在 20 世纪 80 年代,SMW 工法就引起

了我国工程技术人员的注意,但由于当时国内对其作用机理、设计计算的研究还不成熟,缺乏可以依据的 SMW 工法的设计规范,从而限制了该工法在我国的推广应用。

1994 年,上海隧道工程股份有限公司对 SMW 工法展开系统的研究,尤其对型钢起拔技术作了重点攻关。1996 年工程试验取得成功,1997 年 8 月“型钢水泥土复合搅拌桩支护结构研究”通过上海市科委鉴定,并获上海市科技进步二等奖。具体研究如下:

1.1 水泥土质量配合比

水泥土质量配合比的技术要求如下:

①在确保水泥土强度的同时,使型钢插入时尽量靠自重或略加外力能顺利到位;

②水泥土无侧限抗压强度 $q_u \geq 1$ MPa;

③视地质条件确定土体置换率,减轻施工对环境的扰动影响;

④水泥土与型钢上涂有的隔离剂有很好的握裹力,共同起到止水挡土作用,在型钢起

作者简介:校月钊,男,汉族,1973 年生,江苏大丰人,硕士,工程师,现主要从事地下工程和隧道施工技术研究。

①张冠军. 型钢水泥土复合挡土墙支护结构研究. 地下工程技术, 2002(3): 22~28

拔时,隔离剂涂层与型钢产生间隙,便于型钢回收;

⑤型钢起拔后水泥土能自立不塌,便于填充间隙。

由于不同水泥、不同土质、不同质量配合比的水泥土力学指标差异很大,因而水泥和外渗剂的掺入量必须以现场土作试验,再确定其合理的质量配合比及水泥土的无侧限抗压强度 q_{u28} 、弹性模量等参数指标。水泥土的设计抗压强度 $f_c = q_{u28}/2$; 水泥土的设计抗剪强度 $\tau_s = q_{u28}/6$ 。

1.2 型钢水泥土复合桩的形式和设计强度计算

型钢水泥土复合桩的断面布置形式有以下5种,见图1。

工程上按型钢在搅拌桩截面中的位置分

成两种形式:半位和全位。半位形式即型钢只布置在搅拌桩受拉区,以提高桩的弯曲抗拉性能,而主要压力由水泥土承担,如图1d、1e;全位形式即型钢在搅拌桩中全截面布置,既承担拉力又承担压力,见图1a、1b、1c。半位形式可节省钢材,充分利用材料特性;全位形式则全面承担载荷,提高截面刚度。按受力单元承载大小,布置型钢有3种形式:“满堂”、“1隔1”、“1隔2”。“满堂”即每个搅拌桩单元内都有型钢;“1隔1”即间隔一个搅拌桩单元布置型钢;“1隔2”即间隔两个搅拌桩单元布置型钢。“满堂”形式用于作用载荷较大的情形,所需的型钢量很大;“1隔1”和“1隔2”形式用于作用载荷相对较小情形,所需的型钢量较少。

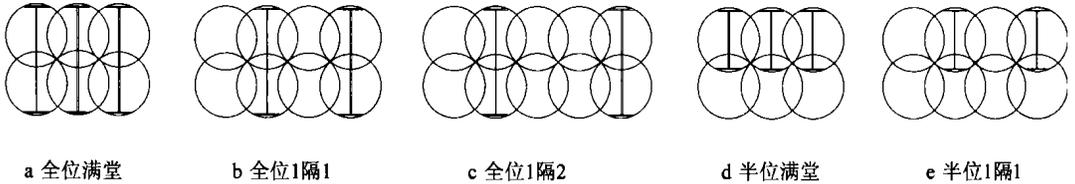


图1 SMW 围护桩截面图

1.2.1 入土深度的确定

①H型钢入土深度 D_h

H型钢的入土深度 D_h 主要由基坑的抗隆起稳定、挡土墙内力和允许变形值决定,其埋入水泥土中的实际深度(见图2)为:

$$L = H + D_h \quad (1)$$

其中, D_h 由下式确定:

$$K_s = \frac{\gamma D_h N_q + c N_c}{\gamma(H + D_h) + q_0} \geq 1.10 \sim 1.20 \quad (2)$$

式中: K_s —— 抗隆起安全系数;

H —— 基坑开挖深度, m;

γ —— 坑底及墙外侧土体重度, kN/m^3 ;

c —— 坑底土体的粘聚力, kPa;

q_0 —— 地面超载, kPa;

N_q, N_c —— 地面承载力系数, 由 Prandtl 公式求得:

$$N_q = \tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2}) e^{\pi \tan \phi} \quad (3)$$

$$N_c (N_q - 1) \frac{1}{\tan \phi} \quad (4)$$

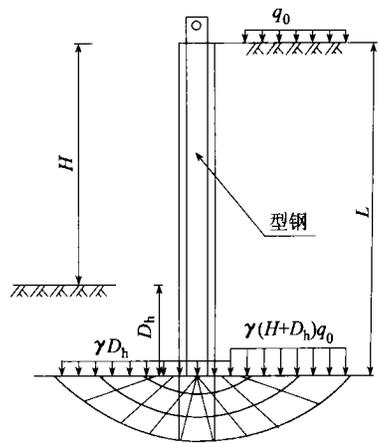


图2 型钢埋入深度示意图

②水泥土桩的入土深度 D_c

水泥土桩的入土深度由确保坑内降水不影响到基坑外环境、防止管涌发生、防止底鼓

发生三水力条件中入土深度最大值确定。当基坑面以下的土为松散的砂土层,而且又存在着向上的渗透水压时,可把入土深度延长至不透水层中。

1.2.2 水泥土墙体厚度 B_c 计算

水泥土墙体厚度 B_c 首先要满足抗渗要求,建议按下式计算:

$$B_c \geq 2k \cdot t \quad (5)$$

式中: k ——水泥土渗透系数, cm/s ;

t ——从开挖至地下室顶板筑好所需的工期, s 。

1.2.3 水平方向水泥土的强度校核

①型钢净距离 L_H 的确定

以保证型钢间的水泥土在侧向水土压力作用下不发生弯曲应力为条件,按下式确定型钢的净间距 L_H :

$$L_H \leq B_c + h + 2e \quad (6)$$

式中: B_c ——水泥土墙体厚度, m ;

h ——H 型钢高度, m ;

e ——H 型钢形心轴与截面对称轴的距离(规定 H 型钢形心轴近基坑内侧为正), m 。

②水泥土强度校核

型钢连续布置时,仅需验算型钢翼缘边的水泥土抗剪强度;型钢间隔布置时,还要进行水泥土搭接处的抗剪强度校核。

1.2.4 型钢抗拔验算

要拔出型钢,必须使起拔力 P_0 克服作用在型钢上的各种阻力;同时,考虑型钢回收重复利用,应使拔出的 H 型钢保持完好,建议 H 型钢最大拔出应力不超过其屈服强度的 70%,以使型钢保持在弹性状态,即:

$$0.7 \sigma_s \cdot A_H \geq P_0 \geq P_f + P_D \quad (7)$$

式中: σ_s ——型钢的屈服强度, N/mm^2 ;

A_H ——H 型钢的截面积, mm^2 ;

P_f ——摩阻力, N ;

P_D ——因型钢变形产生的附加阻力, N 。

1.2.5 组合截面刚度 K_e 计算

“全位”形式中,由于型钢刚度远大于水泥土部分的刚度,因而仅取型钢的刚度作为受力单元组合刚度 K_e ,不考虑水泥土部分的作用。

型钢“半位”布置时,水泥土部分对整体刚度的贡献不能忽视,尤其在小变形条件 $f/l \leq 0.5$ (f 为中挠度, l 为跨长)下,组合梁整体刚度要比单独型钢大一倍左右(对“半位 1 隔 1”截面形式)。

受力单元组合刚度 K_e 的大小与两种材料的粘接程度、水泥土的弹性模量、受力状态等因素有关。一般来说,水泥土的弹性模量越高, K_e 越大,水泥土对组合刚度的贡献越大。

1.2.6 H 型钢底端水泥土截面强度校核

墙体计算只考虑 H 型钢埋入深度,在型钢底端截面为一刚度截面,需校核水泥土的剪切强度:

$$\tau = Q_e / A \leq \tau_s \quad (8)$$

式中: Q_e ——根据 K_e 结构解析所得的型钢底端截面计算单元的剪力, kN ;

A ——水泥土墙计算单元面积, m^2 ;

τ_s ——水泥土抗剪强度, kPa 。

1.3 型钢起拔技术研究

SMW 工法最大特点之一就是能够对复合桩中的型钢实施起拔回收,并重复利用,降低工程造价。

1.3.1 减摩隔离材料的选用

复合桩中的型钢是起加强围护、提高挡土能力的作用,它要求与水泥土能很好地密贴、握裹,以达到良好的复合效果,但这对起拔型钢却是不利的。型钢和水泥土粘接力过高,将使型钢的完整起拔难以实现。为此,必须在型钢表面粘贴或涂刷与水泥土的减摩隔离材料,该材料在早期与水泥土有较好的粘接握裹力,提高复合作用;在后期会降低粘接握裹力,或起拔时隔离材料剪切破坏,降低起拔阻力,使起拔力小于型钢的破坏张力,从而实现型钢的完整起拔。

通过起拔试验,对表面涂有隔离材料与不涂隔离材料的型钢起拔力作了比较,并计算出各种隔离材料的阻力系数,以确定隔离材料厚度^①。

1.3.2 起拔装置的研制

JH₁型拔桩机由一对能承载4 000 kN的千斤顶、高压动力头、起拔架、若干垫块和特制吊梁组成,其千斤顶最大行程20 cm,型钢的一次起拔高度约2 m。

1.4 SMW专用深层搅拌机的研制^②

国内现有的双轴深层搅拌机的最大搅拌深度为20 m,单轴工作转矩最大不超过9 kN·m。因而其成桩深度、施工效率和施工质量与国外相比存在较大的差距,为进一步推广应用SMW工法,上海隧道工程股份公司研制成功了四轴深层搅拌机,其四根轴呈正方形分布,成桩面积1.2 m×1.2 m,成桩深度达28 m。该搅拌机的单轴工作转矩高速为10.2 kN·m,低速为1.46 kN·m。

2 工程应用实例

①上海静安寺下沉式广场围护工程(1998年5月)

位于地铁2号线静安寺车站南出口处的下沉式广场,占地面积约6 400 m²,其基坑围护采用SMW双排围护桩,“半位1隔1”插入50[#]H型钢,桩深18~20 m,基坑开挖深度

8~10.2 m。SMW桩施工工期2个月,工程完成后H型钢全部回收。

②上海轻轨宝兴路站承台围护工程(1999年6月)

上海市轨道交通明珠线宝兴路车站下设地下车库,车站结构有4座承台建在地下车库下,需要4个基坑围护,20-1[#]坑平面尺寸10.8 m×11.4 m,20-2[#]坑8.5 m×7.9 m,21[#]坑8.5 m×9.1 m,21-1[#]坑8.5 m×8.4 m。墙厚1.2 m,深25.2 m。H型钢选用50[#]和60[#],“半位1隔1”排列,间距1 m。搅拌桩采用上海隧道股份公司的四轴深层搅拌机施工,每天成墙6延米,施工工期50天,型钢全部回收^③。

3 结 语

SMW围护桩是一种有广泛应用前景的新颖围护结构,经多年来的研究和开发,已经形成较为成熟的工艺;尤其对H型钢起拔技术的掌握,显著降低了成本。SMW围护桩的计算理论也日臻完善,为规范设计和施工提供了可靠的依据。

参 考 文 献

- 1 高大钊主编.土力学与基础工程.北京:中国建筑工业出版社,1998.126~144

收稿日期:2002-12-15

①谢彬.SMW工法减摩隔离剂的研究和探讨.见:上海隧道工程股份有限公司第三届地下工程学术交流年会论文集.1997.249~256

②黄均龙等.我国SMW工法多轴深层搅拌桩机的现状与发展.见:上海市土木工程学会地下工程专业委员会2001年学术年会论文集.2001.218~221

③傅德明.SMW围护桩在上海地区的发展和应用.见:软土隧道及地下工程技术文集.1999~2000.224~233