

岩土工程

关于深层搅拌桩止水帷幕几个问题的探讨

贺为民^{1,2}, 固龚培¹, 魏风华¹, 刘 飞¹, 尚 红²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国地震局地球物理勘探中心, 郑州 450002)

[摘 要] 推导了深层搅拌桩止水帷幕水泥掺入比计算公式。简要地对比分析了相邻桩之间不同视搭接宽度的两种方案。提出了仅考虑主动土压力作用下止水帷幕厚度计算方法。给出了止水帷幕与支护桩之间的距离及桩间土保护措施的建议。
[关键词] 深层搅拌桩 止水帷幕 水泥掺入比 视搭接宽度 止水帷幕厚度
[中图分类号] TU473.1 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2002)06-0091-04

0 前 言

在深层搅拌桩止水帷幕设计与施工中, 当采用单桩水泥掺入比计算方法计算深层搅拌桩每米桩长水泥掺入量时, 由于没有考虑相邻桩搭接对水泥掺入比的影响, 常常使得水泥掺入量偏大, 造成一定浪费。为此, 推导了深层搅拌桩止水帷幕水泥掺入比计算公式。一些基坑工程为了降低造价, 止水帷幕允许少量渗流^[1]。然而, 由于止水帷幕漏水, 常常造成基坑边坡失稳和周边建筑物变形裂缝甚至成为危房, 因此, 笔者对深层搅拌桩的搭接宽度和止水帷幕的厚度及其有关问题也作了一些探讨。

1 深层搅拌桩止水帷幕水泥掺入比计算公式

深层搅拌桩水泥掺入比 a_w 计算公式^[2] 为:

$$a_w = \frac{\text{掺加水泥质量}}{\text{被加固软土质量}} \times 100 \% \tag{1}$$

对于单桩, (1) 式用代数式可表达为:

$$a_w = \frac{4M \times 10^{-2}}{\pi \gamma_0 D^2} \times 100 \% \tag{2}$$

其中 a_w — 深层搅拌桩水泥掺入比, M — 每米桩长水泥掺入量 (kg/m), D — 深层搅拌桩直径 (m), γ_0 — 土的天然容重 (kN/m³)。

然而, 在深层搅拌桩止水帷幕中若采用 (2) 式计算水泥掺入比, 则其结果偏小。这是因为, (2) 式中计算被加固软土质量时采用的体积是单桩的体积, 而在深层搅拌桩止水帷幕中由于相邻桩之间有

一定的搭接宽度, 使组成止水帷幕的深层搅拌桩单桩体积之和实际上大于组成止水帷幕的深层搅拌桩总体积, 因而 (2) 式中计算出的被加固软土质量大于实际的被加固软土质量, 从而使计算出的水泥掺入比小于实际水泥掺入比。

假设单排深层搅拌桩止水帷幕总桩数为 N , 单桩长度为 l , 当其相邻桩之间中心距 d (单位: m) 不小于桩的半径即满足 $D > d \geq \frac{D}{2}$ 时, 其桩位图如图 1 - (a) 所示。

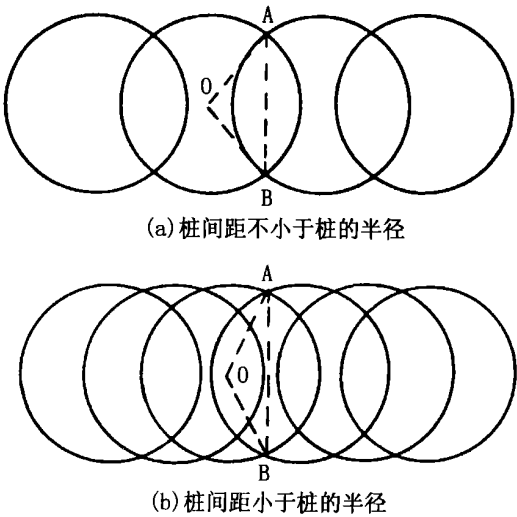


图 1 止水帷幕桩位平面示意图

则单桩水平截面面积 S_0 为:

[收稿日期] 2001 - 09 - 19; [修订日期] 2001 - 12 - 23; [责任编辑] 李石梦。
[第一作者简介] 贺为民 (1965 年 -), 男, 1987 年毕业于成都地质学院, 1997 年毕业于中国地质大学 (北京), 获硕士学位。现任中国地震局地球物理勘探中心六室副总工程师, 主要从事岩土工程和地质灾害防治设计与施工。

$$S_o = \frac{\pi}{4} D^2 \tag{3}$$

OAB 面积 S 为:

$$S = 2 \times \frac{1}{2} \left(\frac{D}{2} - \frac{D-d}{2} \right) \sqrt{\left(\frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{D-d}{2} \right)^2}$$
$$= \frac{d}{4} \sqrt{D^2 - d^2} \tag{4}$$

扇形 OAB 面积 $S_{扇}$ 为:

$$S_{扇} = \frac{1}{2} \times 2 \times \left(\arccos \frac{\frac{D}{2} - \frac{D-d}{2}}{\frac{D}{2}} \right) \left(\frac{D}{2} \right)^2$$
$$= \frac{D^2}{4} \arccos \frac{d}{D} \tag{5}$$

相邻两桩搭接面积 S_c 为:

$$S_c = 2(S_{扇} - S)$$
$$= \frac{1}{2} \left(D^2 \arccos \frac{d}{D} - d \sqrt{D^2 - d^2} \right) \tag{6}$$

将(3)、(6)代入(1)式,可得单排深层搅拌桩止水帷幕水泥掺入比 $\alpha_{w止}$ 计算公式为:

$$\alpha_{w止} = \frac{MIN \times 10^{-2}}{(S_o - S_c) \gamma_0 N} \times 100 \%$$
$$= \frac{2M \times 10^{-2} \times 100 \%}{\left(\frac{\pi}{2} D^2 - D^2 \arccos \frac{d}{D} + d \sqrt{D^2 - d^2} \right) \gamma_0} \tag{7}$$

有趣的是,当相邻桩中心距 d 小于桩的半径即 $0 < d < \frac{D}{2}$ 时,止水帷幕桩位图如图 1-b 所示,通过类似上述推导过程,获得的单排深层搅拌桩止水帷幕水泥掺入比计算公式与(7)式相同。双排或多排深层搅拌桩止水帷幕水泥掺入比计算公式可参照上述方法不难推导出来,篇幅所限,不再赘述。

某工程采用深层搅拌桩止水帷幕,桩径 $D = 0.5\text{m}$,相邻桩中心距 $d = 0.3\text{m}$,土的天然容重 $\gamma_0 = 19\text{ kN/m}^3$,对于不同的每米桩长水泥掺入量 M ,分别采用(2)式和(7)式求得的水泥掺入比结果列于表 1。

表 1 (2) 式、(7) 式求得的水泥掺入比结果对比表

M (kg/m)	α_w (%)	$\alpha_{w止}$ (%)	$\alpha_{w止} - \alpha_w$ (%)
55	14.7	20.7	6
60	16.1	22.5	6.4
65	17.4	24.4	7
70	18.8	26.3	7.5
75	20.1	28.2	8.1
80	21.5	30.1	8.6

显然,两者计算结果相差不小。当然,在深层搅拌桩成桩过程中,一部分水泥浆会沿着搅拌轴携带被置换下来的地基土上返到地表,使桩体的实际水泥掺入比低于(7)式计算值。有条件时,可在有代表性试桩的基础上、通过细致的土工试验,确定出合适的掺入比^[3];条件不成熟时,可对(7)式计算结果,结合工程经验进行适当折减(2%~4%),力求使水泥掺入量既能保证工程安全,又不造成浪费。

该工程实际水泥掺入比设计值取 19%,将水泥掺入比计算值折减 2.5%~3.5%作为设计值。按(2)式计算结果,每米桩长水泥掺入量为 80 kg/m;按(7)式计算结果,每米桩长水泥掺入量为 60 kg/m。该工程采用(7)式计算结果,即每米桩长水泥掺入量设计值取 60 kg/m,每米桩长就可以节约水泥用量 20 kg/m,该止水帷幕中深层搅拌桩总桩长 11000 m,共节约水泥 220 t,实际止水效果良好。

2 搭接宽度

有关规范要求^[4,5],考虑截水作用时,水泥土桩的有效搭接宽度不宜小于 150 mm,桩位偏差不得大于 20 mm,垂直度偏差不宜大于 0.5%。笔者将施工中在工程场地地表放桩位线时相邻桩之间的搭接宽度即桩位平面图(地表)中的搭接宽度称为视搭接宽度。郑州东部地区深层搅拌桩止水帷幕常采用视搭接宽度为 200 mm 的布桩方案。这一视搭接宽度对于设计入土深度较小的止水帷幕是安全可行的,对于设计入土深度较大的止水帷幕则存在开叉漏水的严重隐患。必须加大视搭接宽度,来确保止水帷幕中相邻桩之间的有效搭接宽度满足规范和设计要求。

某基坑工程,止水帷幕总长度 150 m,采用双排深层搅拌桩,桩顶深度 1.5 m,桩底深度 14.5 m。方案 取视搭接宽度 200 mm(图 1-a),有效桩长内全长复搅。方案 取视搭接宽度 330 mm[图 1-(b)],无需复搅。两者简要比列于表 2。

由表 2 可知,第一,方案 中桩底最小搭接宽度仅 15 mm,存在开叉漏水的严重隐患。方案 中桩底最小搭接宽度为 145 mm,基本满足桩的有效搭接宽度不宜小于 150 mm 这一要求。第二,方案 比方案 减少钻孔长度 1893 m,减少搅拌长度 3042 m,因而可节约一定造价和缩短一定工期。

该工程采用方案 ,在基坑开挖、降水和基础施工过程中,止水帷幕没有漏水,基坑外地下水位没有下降,确保了基坑及其周边建筑物的安全。

表 2 深层搅拌桩止水帷幕不同视搭接宽度的两种方案对比

方案号	桩间距 (mm)	视搭接宽度 (mm)	总桩数 (根)	钻孔长度 (m)	搅拌长度 (m)	复钻长度 (m)	复搅长度 (m)	桩底最小搭接宽度 * (mm)
方案	300	200	1000	14500	13000	13000	13000	15
方案	170	330	1766	25607	22958	0	0	145

* 桩底最小搭接宽度指桩位偏差 ≤20 mm、垂直度偏差 ≤0.5 %时按最不利组合计算值。

3 止水帷幕厚度

当采用水泥土墙作为基坑支护截水结构时,其厚度应按有关规范^[3,4]要求进行设计。当采用排桩支护结构时,止水帷幕厚度可参照主动土压力的大小而定。

设基坑工程场地地下水水位为 H (单位 m), 基坑内外水位差为 H (单位 m), 基坑开挖深度为 h (单位 m), 主动土压力依规程^[4]规定方法计算, 采用水土分算(图 2)。则止水帷幕受到的最大静水压力 P (单位 kPa) 为:

$$P = H \times \gamma_w$$

(8)

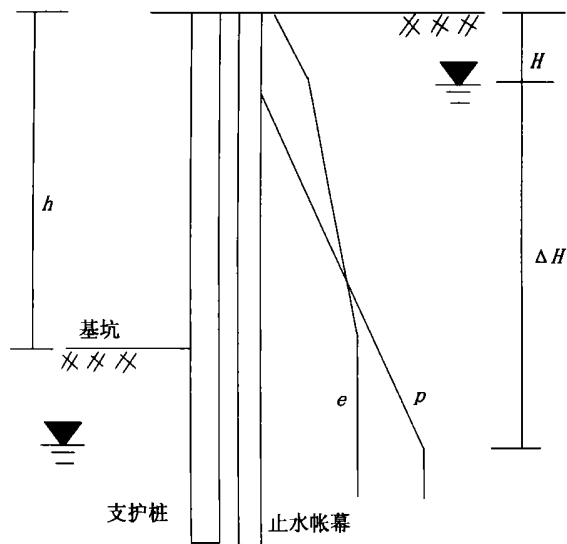


图 2 均质土层主动土压力计算简图

对于均质地层,止水帷幕在 $(H + H)$ 深度处受到的主动土压力除去水压力的其余部分 e (单位 kPa) 为:

$$e = (\sigma_0 + H\gamma_0 + (h - H)\gamma'_0) K_a - 2c_0 \sqrt{K_a}$$

(9)

将 $(H + H)$ 处单位深度止水帷幕体视为简支梁,将相邻桩中心距为 L (单位 m) 的支护排桩视为支座,则在主动土压力作用下止水帷幕体受到的最大剪力^[6] Q (单位 kPa/m) 为:

$$Q = \frac{1}{2} (e + P) L$$

(10)

止水帷幕体抗剪强度 τ (单位 kPa) 为:

$$\tau = c + (H + H) \times \gamma_p \times \tan \varphi$$

(11)

单位深度止水帷幕体极限抗剪力 f (单位 kPa/m) 为:

$$f = \tau \times b$$

(12)

定义安全系数为:

$$k = \frac{f}{Q}$$

(13)

将(8)、(9)、(10)、(11)、(12) 代入(13) 可得止水帷幕厚度 b (单位 m) 的表达式(14):

其中 σ_0 —地表均布荷载 (kPa), c_0 —土的粘聚力 (kPa), $K_a = \tan^2(45^\circ - \varphi_0/2)$, φ_0 —土的内摩擦角($^\circ$), γ_0 —土的天然容重(kN/m^3), γ'_0 —土的浮容重(kN/m^3), γ_p —止水帷幕体容重(kN/m^3), γ_w —水的容重(kN/m^3), c —止水帷幕体粘聚力 (kPa), φ —止水帷幕体内摩擦角($^\circ$)。

$$b = \frac{((H) \times \gamma_w + (\sigma_0 + H\gamma_0 + (h - H)\gamma'_0) K_a - 2c_0 \sqrt{K_a}) \times L \times k}{2(c + (H + H) \times \gamma_p \times \tan \varphi)}$$

(14)

$$b = \frac{((H) \times \gamma_w + (\sigma_0 + h\gamma_{mh}) K_{ai} - 2c_i \sqrt{K_{ai}} - (h - H) K_{ai}\gamma_w) \times L \times k}{2(c + (H + H) \times \gamma_p \times \tan \varphi)}$$

(15)

类似地,对于层状地层,有(15):

其中, γ_{mh} —开挖面以上土的加权平均天然容重(kN/m^3), c_i —在 $(H + H)$ 深度土的粘聚力 (kPa), $K_{ai} = \tan^2(45^\circ - \varphi_i/2)$, φ_i —在 $(H + H)$

深度土的内摩擦角($^\circ$),其他符号意义同上。

某基坑工程, $h = 7 \text{ m}$, $H = 1.5 \text{ m}$, $H = 7.5 \text{ m}$, $\sigma_0 = 20 \text{ kPa}$, $c_0 = 10 \text{ kPa}$, $\sigma_0 = 12^\circ$, $\gamma_0 = 19 \text{ kN}/\text{m}^3$, $\gamma'_0 = 9 \text{ kN}/\text{m}^3$, $\gamma_p = 19 \text{ kN}/\text{m}^3$, $\gamma_w = 10$

kN/m^3 , $c = 200 \text{ kPa}$, $\varphi = 20^\circ$, $L = 2 \text{ m}$, $k \geq 1.3$ 。将其代入(14)式,可得 $b \geq 0.612 \text{ m}$ 。显然,单排深层搅拌桩(桩径 500 mm)止水帷幕的抗剪能力不足以抵抗主动土压力,止水帷幕需要布设双排深层搅拌桩。当然,对于土压力较大的基坑工程,为节约工程造价,可仅在止水帷幕体承受土压力较大的部位增加厚度(搅拌桩排数)。

4 止水帷幕与支护桩的距离

止水帷幕与支护桩的距离首先应满足施工的需要,不宜太近。否则,易造成后成桩施工钻进困难和对已成桩的挠动。有人研究认为^[7],对于护坡桩受力而言,止水帷幕距板桩远一些有利。

当工程场地非常狭窄时,也可考虑选用在深层搅拌桩止水帷幕中套打技术^[8]。

5 支护桩桩间土的保护

止水帷幕通过土体将水、土压力传递给支护桩,因此,必须采取有效措施,防止桩间土在基坑开挖后因裸露而被风化变松,甚至被雨水冲刷造成崩塌。具体措施依工程情况可选用抹水泥砂浆、喷射混凝土或挂网喷射混凝土等等方案。

6 结语

1)采用深层搅拌桩止水帷幕水泥掺入比计算公式(7)式计算水泥掺入比后,结合工程实际情况可将其折减 2%~4%作为设计值。这样可以节约一定水泥用量,提高经济效益。

2)对于较深的止水帷幕,采用视搭接宽度 200 mm 的布桩方案存在开叉漏水的严重隐患,必须加大视搭接宽度,确保有效搭接宽度满足设计要求。可选用视搭接宽度大于桩的半径(如方案)的布桩方案,不但可以消除工程隐患,而且还能减少一定机械工作量。

3)止水帷幕应有一定厚度和抗剪强度,用来抵抗土压力。式(14)、(15)是在仅考虑主动土压力作用条件下提出的。确定止水帷幕厚度时,一定要结合工程经验,考虑止水帷幕体与支护桩的变形协调等等各种因素。

4)应重视护坡桩和止水帷幕桩的施工协调,重视桩间土的保护工作。

[参考文献]

- [1] 龚晓南. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京:中国建筑业出版社,1998,39.
- [2] 陈仲颐,叶书麟. 基础工程学[M]. 北京:中国建筑业出版社,1990,568.
- [3] 裴向军,等. 高饱和度软土深层搅拌桩桩体实际水泥掺入量的确定[J]. 地质与勘探,36(5):88~90.
- [4] 《建筑基坑支护技术规程》JGJ120-99[M]. 北京:中国建筑业出版社,1999,16~30.
- [5] 《建筑基坑工程技术规范》YB9258-97[S]. 北京:冶金工业出版社,1998,36.
- [6] 翟振东. 材料力学[M]. 北京:中国建筑业出版社,1997,93~104.
- [7] 石秉元. 水泥土深层搅拌桩隔水帷幕设计与施工的几个问题[A]. 深基坑工程论文集,1996,135~138.
- [8] 潘民源. 基坑围护桩套打施工技术[J]. 建筑施工,1998,20(3):19~21.

DISCUSSION ON SEVERAL PROBLEMS OF CURTAINS FOR CUTTING OFF WATER IN DEEP - CEMENT - MIXING PILES

HE Wei - min^{1,2}, GU Gong - pei¹, WEI Feng - hua¹, LU Fei¹, SHANG Hong²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. Research Center of Exploration Geophysics, CSB, Zhengzhou 450002)

Abstract: Calculation formula of cement - mixed proportion of curtains for cutting off water in deep - cement - mixing piles is deduced. Two different plans of apparent connection length between near pile are briefly contrasted and analyzed. Calculation methods of thickness of curtain for cutting off water are proposed when only active earth pressure is considered. Suggestions about distance between curtains for cutting off water and protecting piles and about protective measure of soil between piles are given.

Key words: curtains for cutting off water in deep - cement - mixing piles, cement - mixed proportion, apparent connection length, thickness of curtain for cutting off water