

水泥搅拌桩止水帷幕掺入比的确定

许 杰

(贵州省地矿局 113 地质大队, 贵州 六盘水 553000)

摘 要:水泥搅拌桩止水帷幕由于存在桩与桩搭接和返浆现象, 水泥实际掺入比不等于设计掺入比。通过理论分析并结合工程实例, 得出水泥搅拌桩止水帷幕实际掺入比的确定方法。

关键词:水泥搅拌桩; 止水帷幕; 掺入比;

中图分类号: TU472.3+6 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2007)S1-0228-03

随着我国国民经济的不断发展, 人民群众生活水平的不断提高, 城市现代化进程的不断加快, 高层、超高层、地下建筑及基坑开挖等建设项目越来越多。在基坑开挖过程中, 由于地下水位较高, 土层含水量丰富, 时常发生因漏水引起的坑壁变形、地面下陷等事故。水泥搅拌桩具有施工时振动小、无污染、防渗性好、造价低等一系列优点, 常以单排、双排、多排桩相互搭接的方式, 形成止水帷幕墙。经大量工程实践证明, 在基坑开挖时防止漏水、流砂、突涌和蠕变崩塌等方面均能取得令人满意的效果。但水泥搅拌桩止水帷幕由于存在相互搭接和返浆现象, 受其影响, 水泥实际掺入比与设计掺入比存在一定误差, 而水泥掺入比的合理确定, 占水泥搅拌桩施工成本的 50% 以上, 因此, 确定合适的水泥掺入比, 既能保证安全, 又能保证该项工艺的经济效益。

1 相互搭接对水泥掺入比的影响

在水泥搅拌桩止水帷幕设计和施工中, 当采用单根水泥搅拌桩设计每米水泥掺入量时, 由于没有考虑相邻桩的搭接对水泥掺入比的影响, 使得设计的水泥掺入比偏大, 造成浪费。

1.1 水泥搅拌桩设计掺入比的确定

水泥搅拌桩设计掺入比 a_w 是指掺入的水泥质量与被加固的软土质量之比, 是根据设计要求的水泥土强度, 针对现场拟处理的最弱层软土的性质, 由室内配比试验确定^[1], 即:

$$a_w = (\text{掺入的水泥质量} / \text{被加固的软土质量}) \times 100\% \quad (1)$$

对单根水泥搅拌桩, (1) 式用代数式表示为:

$$a_w = [M \times 10^{-2} / (\pi \gamma_0 r^2)] \times 100\% \quad (2)$$

式中: a_w ——水泥搅拌桩水泥掺入比; M ——每米桩长水泥掺入量, kg/m ; r ——水泥搅拌桩设计半径, m ; γ_0 ——土的天然容重, kN/m^3 。

1.2 水泥搅拌桩止水帷幕实际掺入比的确定

在深层搅拌桩止水帷幕设计中, 要求桩与桩之间相互搭接(见图 1、2), 搭接宽度根据止水要求确定, 桩的有效搭接宽度 $< 150 \text{ mm}$ ^[2]。若采用(2)式设计水泥掺入比, 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, 没有考虑相邻桩的搭接, 也就是组成止水帷幕的水泥搅拌桩单桩体积之和大于组成止水帷幕的水泥搅拌桩总体积, 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, 从而使设计出的水泥掺入比小于实际水泥掺入比。

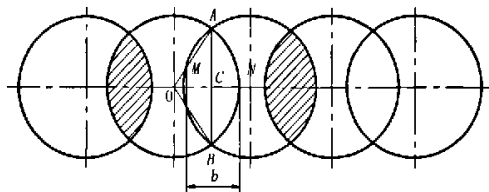


图 1 单排水泥搅拌桩止水帷幕示意图

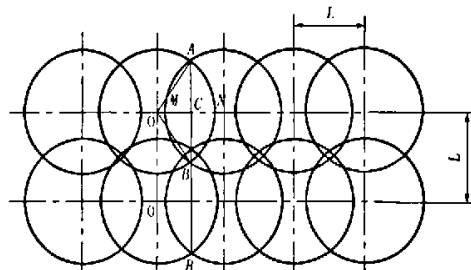


图 2 双排水泥搅拌桩止水帷幕示意图

收稿日期: 2007-05-30

作者简介: 许杰(1965-), 男(汉族), 云南陆良人, 贵州省地矿局 113 地质大队副总工程师、高级工程师, 探矿工程专业, 硕士, 从事岩土工程施工和设计工作, 贵州省六盘水市钟山区花渔洞, xushu@163.com。

假设单排水泥搅拌桩止水帷幕总桩数为 n , 桩直径为 d , 半径为 r , 桩长度为 h , 相邻两桩搭接宽度为 b , 其桩位布置如图 1 所示。

则单桩水平截面面积 S_0 为:

$$S_0 = \pi r^2 \quad (3)$$

$\triangle OAB$ 面积 S_{Δ} 为:

$$S_{\Delta} = 2 \times \frac{1}{2} \times \frac{2r-b}{2} \times \sqrt{r^2 - \left(\frac{2r-b}{2}\right)^2} \quad (4)$$

扇形 OAB 面积 $S_{\text{扇}}$ 为:

$$S_{\text{扇}} = 2 \times \frac{1}{2} \times r^2 \theta = r^2 \arccos \frac{2r-b}{2r} \quad (5)$$

相邻两桩搭接面积 S_c 为:

$$S_c = 2(S_{\text{扇}} - S_{\Delta}) \\ = 2r^2 \arccos \frac{2r-b}{2r} - \frac{2r-b}{2} \times \sqrt{4rb - b^2} \quad (6)$$

将(3)、(6)代入(2)式, 可得水泥搅拌桩止水帷幕水泥实际掺入比 $a_{\text{水止}}$ 计算公式为:

$$a_{\text{水止}} = \{ M \times 10^{-2} / [\pi r^2 - 2r^2 \arccos \frac{2r-b}{2r} \\ + (\frac{2r-b}{2}) \times \sqrt{4rb - b^2}] \gamma_0 \} \times 100\% \quad (7)$$

对于双排水泥搅拌桩止水帷幕(见图 2), 水泥实际掺入比计算公式可参照上述方法, 推导结果如下:

搭接面积 $S_{\text{双}} = 2S_c$

$$a_{\text{水止}} = \{ M \times 10^{-2} / [\pi r^2 - 4r^2 \arccos \frac{2r-b}{2r} \\ + (2r-b) \times \sqrt{4rb - b^2}] \gamma_0 \} \times 100\% \quad (8)$$

例如:某工程地下室土石方开挖采用单排水泥搅拌桩止水帷幕, 设计桩径 $d = 0.5 \text{ m}$, 相邻桩搭接宽度 $b = 0.15 \text{ m}$, 土的天然容重 $\gamma_0 = 18 \text{ kg/m}^3$, 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见表 1。

表 1 用(2)式、(7)式求得的水泥掺入比结果对比表

每米水泥质量 M /kg	设计掺入比 $a_{\text{水}}/\%$	实际掺入比 $a_{\text{水止}}/\%$	$a_{\text{水止}} - a_{\text{水}}$ /%
45	12.7	15.7	3.0
50	14.2	17.4	3.2
55	15.6	19.2	3.6
60	17.0	20.9	3.9
65	18.4	22.7	4.3
70	19.8	24.4	4.6

从以上水泥搅拌桩设计掺入比和止水帷幕实际掺入比计算结果对比可知, 两计算结果有明显的差别, 随着每米水泥掺入量从 45 kg 增加到 70 kg, 止水帷幕实际掺入比比设计掺入比降低 3.0% ~

4.6%。如该工程水泥设计掺入比为 15%, 按(2)式计算结果, 每米桩长水泥掺入量为 53 kg; 按(7)式计算结果, 每米桩长水泥掺入量为 43 kg。该工程采用(7)式计算结果, 即每米桩长水泥掺入量取 43 kg, 每米桩长就可以节约水泥用量 10 kg, 该止水帷幕水泥搅拌桩总桩长 11000 m, 共节约水泥 110 t, 实际止水效果良好。

2 返浆对水泥掺入比的影响

水泥搅拌桩用作止水帷幕时, 一般地层都是饱和度高、压缩变量小的软粘土, 在有侧限不排水条件下的压缩变形量很小, 当采用喷浆水泥搅拌桩加固时, 形成的水泥土体积近似等于浆与土两体积之和。

在侧向挤压位移和向上抬动不存在或很小时, 注入地层中的水泥浆, 一部分会占据土体中的气相体积, 另一部分会置换地基土留在桩体中, 还有一部分则会沿着搅拌轴携带被置换下来的地基土上返到地表。从大量的水泥搅拌桩止水帷幕工程实践中可以看到, 因桩与桩相互塔接, 桩位比较密集, 上返量是很大的, 有的将地面平均抬高 1.0 m 以上, 有的上返浆液流到场地低凹处。而在上返的水泥土混合物中, 水泥浆占的份量较多。因为:

(1) 水泥浆的流动性好(其水灰比 $\lambda = 0.45 \sim 0.6$), 较之土颗粒更容易沿着搅拌轴外壁上返到地表;

(2) 《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)要求在施工中采用“四搅二喷”工艺, 并且只有提升时才喷浆^[1], 而实际施工中为避免注浆孔堵塞常使用的是“四搅四喷”, 即预搅下沉时就喷浆, 这势必导致水泥浆在无覆盖压力的情况下返出地表;

(3) 注浆管的出口一般位于叶片的中间, 而注浆压力一般在 0.6 ~ 1.0 MPa 之间, 由于管路等方面的沿程损失, 浆液的出口速度很小, 那么桩体中水泥浆与地基土的搅和基本上是由叶片来完成的, 在拌和过程中, 水泥浆势必会流向阻力弱的方向, 即搅拌轴方向, 从而使桩体外环方向上的水泥量少。

因此, 上返的水泥土中的水泥掺入比大于桩体水泥土的掺入比, 即桩体的水泥掺入比低于原设计值。

例如:某综合楼地基为淤泥质粘土, 土的天然容重 $\gamma_0 = 17.5 \text{ kN/m}^3$, 饱和度 $S_r = 93\%$ 。基坑开挖采用双排水泥搅拌桩帷幕止水, 设计桩直径 $D = 500 \text{ mm}$, 桩长 12.0 m, 掺入比 15%, 水灰比 0.45 ~ 0.60。施工时冒浆严重, 使地面抬高 0.8 m, 实测单根桩冒

浆量 0.3 m^3 。经土工试验和水泥土矿物成分分析,得知上返的水泥土重度 $G = 19 \text{ kN/m}^3$,土重占 70%,水泥重占 30%。则桩体实际水泥掺入比为:

$$a_w = \frac{\text{掺加水泥质量} - \text{返浆水泥土中水泥质量}}{\text{加固土质量} - \text{返浆水泥土中土质量}} \times 100\%$$

$$a_w = (0.19625 \times 1750 \times 0.15 - 0.3 \times 1900 \times 0.3) / (0.19625 \times 12 \times 1750 - 0.3 \times 1900 \times 0.7) \times 100\% = 12\%$$

如考虑桩与桩搭接影响,则:

$$a_w = \frac{0.19625 \times 1750 \times 0.15}{(0.19625 - 0.19885 + 0.12495) \times 1750} \times 100\% = 24\%$$

如不仅考虑桩与桩搭接,且考虑返浆影响,则:

$$a_w = \{ (0.19625 \times 1750 \times 0.15 - 0.3 \times 1900 \times 0.3/12) / [(0.19625 - 0.19885 + 0.12495) \times 1750 - 0.3 \times 1900 \times 0.7/12] \} \times 100\% = 20.6\%$$

由此可见,设计水泥掺入比并不能代表实际的水泥掺入比,尽管设计的水泥掺入比为 15%,而桩体的实际水泥掺入比如考虑返浆影响,则降低为 12%,如考虑桩与桩搭接影响则为 24%,如两者均考虑则为 20.6%。说明在实验室内的试块强度与实际施工中的试块强度相比,虽然有折减,但幅度还

(上接第 231 页)

或用洛阳铲掏孔,因此桩长不受条件限制,考虑到 4.0 m 以内一般采用较为简便的换填法等处理,故一般桩长 > 4.0 m 均可采用 DDC 技术进行处理,处理深度一般为 4~30 m。

当以消除地基湿陷性为主要目的时,对非自重湿陷性黄土地基,一般处理至地基压缩层下限,或处理至附加应力与自重应力之和大于湿陷起始压力的全部土层止。

当以提高地基承载力为主要目的时,应对基底持力层范围内的高压缩性 ($a_{1-2} \geq 0.5 \text{ MPa}^{-1}$) 土层进行处理,下卧层顶面的承载力应满足设计要求。

当以减少沉降量为主要目的时,可用沉降量控制。沉降的计算按《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002) 执行。

本工程以处理湿陷性和提高地基承载力为主要目的,桩长穿透湿陷性黄土层,至⑦层砾砂顶面,桩长按 20 m 考虑。

3.5 桩孔填料的选用

DDC 技术的最大特点之一就是对填料要求不

够。要想确定合适的设计掺入比,还应考虑桩与桩的搭接及上返的水泥浆量对掺入比的影响,这样才能得出比较符合实际的水泥掺入比,从而为准确地确定桩体强度提供依据。

3 结语

水泥搅拌桩止水帷幕规范要求桩与桩搭接宽度 $\leq 15 \text{ cm}$,所遇地层一般都是含水量丰富、饱和度高的软粘土,存在搭接和返浆现象,因此,在确定水泥掺入比时,要考虑因搭接使实际水泥掺入比偏大、因返浆使实际水泥掺入比偏小的问题。在设计时要紧密结合现场土层性质,在有代表性试桩的基础上,通过细致的土工试验,同时考虑二者的影响,确定出合适的水泥掺入比,不要过分依赖与现场有出入的室内试验。

参考文献:

- [1] JGJ 79-2002,建筑地基处理技术规范[S].
- [2] JGJ 120-99,建筑基坑支护技术规程[S].
- [3] 龚晓南.深基坑工程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.
- [4] 牛志荣,等.地基处理技术及工程应用[M].北京:中国建材工业出版社,2004.

严,可就地取材,凡是无机固体材料均可,如土、砂、碎石、建筑垃圾、碎砖块、混凝土块、粉煤灰等工业废料均可加以利用,且不需要严格加工。

DDC 桩体材料标准:粉料的含水量一般宜接近天然地基的最优含水量,允许偏差 $\pm 3\%$,如果天然地基的含水量较高,可适当降低填料的含水量。填料配比可根据地质情况或试验确定,一般对含水量偏高或软地基可适当加大硬骨料的比例,骨料粒径 $\geq 120 \text{ mm}$,填料有机物含量 $> 5\%$ 。

本工程填料采用建筑垃圾、碎石及少量生石灰,以附近旧房拆除的废料为主。

本工程共布置 DDC 渣土桩 1132 根,实际有效施工期 62 天。

4 质量检测

本工程通过采取挤密后地层土样进行压实系数试验,结果表明 $\bar{\eta}_c \geq 0.93$;通过现场静载试验,结果表明复合地基承载力特征值均大于 350 kPa。既消除了湿陷性,又满足了地基承载力特征值的要求。