

高饱和度软土深搅拌桩桩体实际水泥掺入量的确定

裴向军, 杨国春, 阮文军

(长春工程学院, 长春 130021)

[摘要] 根据高饱和度软土深搅拌桩施工中水泥的上返量、土的上返量及地基土的孔隙比、饱和度, 附以必要的土工测试手段, 从设计角度分析了桩体实际水泥掺入比的确定方法。

[关键词] 软土深搅拌桩 上返水泥土 孔隙体积 实际掺入量

[中图分类号] TU472.3⁺6 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2000)05-0088-03

1 前言

我国《建筑地基处理技术规范》(JG 79-91)中规定, 现场水泥土桩的桩体强度是由室内水泥土试块的无侧限抗压强度平均值乘以折减系数 $\eta = 0.35 \sim 0.5$, 其结果作为桩体强度。折减系数 η 是考虑到室内试验试块和现场工程桩之间的差异而设的, 它们之间的差异来自于室内的试验条件与现场施工技术条件, 但更重要的一些非人为因素制约着水泥土搅拌桩强度的提高。饱和度高的软粘土, 在有侧限不排水条件下的压缩变形量是很小的, 这样的软土当加入水泥浆搅拌后, 形成的水泥土体积近似等于浆与土两体积之和。因此, 在搅拌高饱和度软土并注浆时, 就该软土层而言, 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、一部分会置换地基土留在桩体中、一部分会沿着搅拌轴携带被置换下来的地基土上返到地表。从大量的工程实践中可以看到, 对于饱和度高、渗透系数小的软土层, 上返量是很大的。而在上返的水泥土混合物中, 水泥浆占的份数较多。原因在于: 其一水泥浆的流动性好(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; 其二《规范》中要求在施工中采用“四搅一喷”, 而实际施工中为避免注浆孔堵塞常使用的是“四搅两喷”或“四搅三喷”, 即预搅拌下沉时就喷浆, 这势必导致水泥浆在无覆盖压力的情况下, 返出地表; 其三是注浆管的出口一般位于叶片的中间, 而注浆压力一般在 $0.6 \text{ MPa} \sim 1 \text{ MPa}$ 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。在《软土地基深层搅拌加固法技术规程》的条文说明第4.0.4中“现场水泥土搅拌桩的配方, 特别是水泥掺入比要以室内试验为依据”。但从客观条件看, 许多软土层设计的水泥掺入比要大于实际的桩体掺入比, 若忽略这一不可避免的因素, 势必会过高地估计搅拌桩的强度, 对安全度的考虑不够, 为工程质量留下隐患。

2 实际水泥掺入比的确定

2.1 求上返水泥土中水泥浆的体积和地基土的体积

在上返的水泥土中取具有代表性的水泥土样烘干并出秤 15 g , 用比重瓶测其比重 $G_{s \text{ 上返水泥土}}$ (也可以取3处, 求其平均值)。

则有以下两式:

$$\frac{m_{s \text{ 上返土}}}{G_{s \text{ 土}}} \frac{m_{s \text{ 上返水泥土}}}{G_{s \text{ 灰}}} = V_{s \text{ 上返水泥土}} \rho_w \quad (1)$$

$$\frac{m_{s \text{ 上返水泥土}}}{V_{s \text{ 上返水泥土}}} = G_{s \text{ 上返水泥土}} \rho_w \quad (2)$$

式中: $m_{s \text{ 上返土}}$ —上返水泥土中土的干重;
 $m_{s \text{ 上返水泥土}}$ —上返水泥土中水泥干重; $G_{s \text{ 土}}$ —所加固地基土的平均比重(可用比重瓶测得); $G_{s \text{ 灰}}$ —水泥比重, 一般情况下为3; $G_{s \text{ 上返水泥土}}$ —上返水泥土的比重; $V_{s \text{ 上返水泥土}}$ —上返水泥土烘干后的体积;
 $m_{s \text{ 上返水泥土}}$ —测量比重时所取的质量, 通常为 15 g 。

整理(1)、(2)两式可得:

$$\frac{m_{s \text{ 灰}}}{15} = \frac{G_{s \text{ 灰}} (G_{s \text{ 土}} - G_{s \text{ 上返水泥土}})}{G_{s \text{ 上返水泥土}} (G_{s \text{ 土}} - G_{s \text{ 灰}})} \quad (3)$$

[收稿日期] 2000-01-14; [修定日期] 2000-02-10; [责任编辑] 王梅

假设上返水泥土的含水量为 $\omega_{\text{上返水泥土}}$ 则有:

$$\omega_{\text{上返水泥土}} = \frac{M_{\text{w上返水泥土}}}{M_{\text{s上返水泥土}}} \tag{4}$$

$$M_{\text{s水泥土}} = \frac{M_{\text{水泥土}}}{1 + \omega_{\text{上返水泥土}}} \tag{5}$$

$$M_{\text{s上返水泥土}} = \frac{G_{\text{s灰}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s上返水泥土}})}{G_{\text{s上返水泥土}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s灰}})} \times M_{\text{s水泥土}} = \frac{G_{\text{s灰}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s上返水泥土}})}{G_{\text{s上返水泥土}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s灰}})} \frac{M_{\text{上返水泥土}}}{(1 + \omega_{\text{上返水泥土}})} \tag{6}$$

由(6)式可求出上返水泥土中水泥的总体积 $V_{\text{s上返水泥}}$ 和水灰比为 λ 时,所掺入的水量 $V_{\text{s上返水泥}}$ 。式中其它符号同前; ρ_w 为水在 4 °时的密度。

$$V_{\text{s上返水泥}} = \frac{G_{\text{s灰}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s上返水泥土}})}{3 G_{\text{s上返水泥土}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s灰}})} \frac{M_{\text{上返水泥土}}}{(1 + \omega_{\text{上返水泥土}}) \rho_w} \tag{7}$$

$$V_{\text{s上返水泥}}' = \frac{\lambda G_{\text{s灰}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s上返水泥土}})}{3 G_{\text{s上返水泥土}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s灰}})} \frac{M_{\text{上返水泥土}}}{(1 + \omega_{\text{上返水泥土}}) \rho_w} \tag{8}$$

由(5)、(6)、(7)、(8)式可求出被置换的地基土体积 $V_{\text{置换土}}$:

$$V_{\text{置换土}} = V_{\text{上返水泥土}} - V_{\text{s上返水泥}} - V_{\text{s上返水泥}}' = \frac{M_{\text{上返水泥土}}}{\rho_{\text{上返水泥土}}} - \frac{G_{\text{s灰}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s上返水泥土}})}{3 G_{\text{s上返水泥土}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s灰}})} \frac{M_{\text{上返水泥土}}}{(1 + \omega_{\text{上返水泥土}}) \rho_w} (1 + \lambda) \tag{9}$$

2.2 求所加固地基土的气相体积($V_{\text{气}}$)

$$e = \frac{V_{\text{孔隙}}}{V_{\text{固相}}} \\ \text{则 } V_{\text{孔隙}} = \frac{ev_{\text{总}}}{1 + e}$$

$$S_r = \frac{V_{\text{水}}}{V_{\text{孔隙}}} = \frac{V_{\text{孔隙}} - V_{\text{气}}}{V_{\text{孔隙}}} \\ \text{则 } V_{\text{气}} = \frac{(1 - S_r) ev}{1 + e} = \frac{(1 - S_r) e \pi D^2}{4(1 + e)} \tag{10}$$

式中: e —所加固地基土的加权孔隙; S_r —所加

式中的 $M_{\text{w上返水泥土}}$ —上返水泥土中水的总质量; $M_{\text{s上返水泥土}}$ —上返水泥土总干重; $M_{\text{水泥土}}$ —上返水泥土的总质量。

由(3)式和(5)式联立可得出上返水泥土中水泥的总质量($M_{\text{s上返水泥土}}$)

$$M_{\text{s上返水泥土}} = \frac{G_{\text{s灰}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s上返水泥土}})}{G_{\text{s上返水泥土}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s灰}})} \frac{M_{\text{上返水泥土}}}{(1 + \omega_{\text{上返水泥土}})} \tag{6}$$

由(6)式可求出上返水泥土中水泥的总体积 $V_{\text{s上返水泥}}$ 和水灰比为 λ 时,所掺入的水量 $V_{\text{s上返水泥}}$ 。式中其它符号同前; ρ_w 为水在 4 °时的密度。

$$V_{\text{s上返水泥}} = \frac{G_{\text{s灰}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s上返水泥土}})}{3 G_{\text{s上返水泥土}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s灰}})} \frac{M_{\text{上返水泥土}}}{(1 + \omega_{\text{上返水泥土}}) \rho_w} \tag{7}$$

$$V_{\text{s上返水泥}}' = \frac{\lambda G_{\text{s灰}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s上返水泥土}})}{3 G_{\text{s上返水泥土}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s灰}})} \frac{M_{\text{上返水泥土}}}{(1 + \omega_{\text{上返水泥土}}) \rho_w} \tag{8}$$

由(5)、(6)、(7)、(8)式可求出被置换的地基土体积 $V_{\text{置换土}}$:

$$V_{\text{置换土}} = V_{\text{上返水泥土}} - V_{\text{s上返水泥}} - V_{\text{s上返水泥}}' = \frac{M_{\text{上返水泥土}}}{\rho_{\text{上返水泥土}}} - \frac{G_{\text{s灰}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s上返水泥土}})}{3 G_{\text{s上返水泥土}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s灰}})} \frac{M_{\text{上返水泥土}}}{(1 + \omega_{\text{上返水泥土}}) \rho_w} (1 + \lambda) \tag{9}$$

固地基土的加权饱和度; D —深搅拌桩直径;

2.3 桩体的实际水泥掺入比 a_w'

实际掺入桩体的水泥浆体积 $V_{\text{浆入}}$ 为:

$$V_{\text{浆入}} = V_{\text{气}} + V_{\text{置换土}}$$

$$\text{又} \because V_{\text{浆入}} = \frac{M_{\text{水泥入}} \lambda (1 + \lambda \rho_{\text{水泥}})}{\lambda \rho_{\text{水泥}}} \\ \therefore M_{\text{灰入}} = \frac{V_{\text{浆入}} \lambda \rho_{\text{水泥}}}{1 + \lambda \rho_{\text{水泥}}} \tag{11}$$

联立(9)、(10)、(11)3式可得实际掺入桩体的水泥质量 $M_{\text{灰入}}$:

$$M_{\text{灰入}} = \left[\frac{M_{\text{上返水泥土}}}{\rho_{\text{上返水泥土}}} - \frac{G_{\text{s灰}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s上返水泥土}})}{3 G_{\text{s上返水泥土}} (G_{\text{s土}} - G_{\text{s灰}})} \frac{M_{\text{上返水泥土}}}{(1 + \omega_{\text{上返水泥土}}) \rho_w} (1 + \lambda) + \frac{(1 - S_r) e \pi D^2 L}{4(1 + e)} \right] \frac{\rho_{\text{水泥}}}{1 + \lambda \rho_{\text{水泥}}}$$

则水泥的实际掺入比 a_w' 为:

$$a_w' = \frac{M_{\text{灰入}}}{M_{\text{地基土}} - [M_{\text{上返水泥土}} - M_{\text{s上返水泥}} (1 + \lambda)]} \tag{12}$$

式中: $M_{\text{地基土}} = \rho_{\text{地基土}} V_{\text{地基土}}$ 为所加固地基土质量。

3 应用举例

天津市大无缝某住宅楼地基加固工程为淤泥质粘土,该地层无填土,土质较均一。采用单轴搅拌,桩径为 $D = 0.5\text{m}$,桩长 $L = 10\text{m}$,水灰比 $\lambda = 0.5$,片

$$V_{\text{置换土}} = \frac{127.7}{1770} - \frac{127.7 \times 3 \times (2.72 - 2.79)}{3000 (1 + 0.6) \times 2.79 (2.72 - 3)} (1 + 0.5) = 0.072 - 0.0107 = 0.0613\text{m}^3$$

$$V_{\text{气}} = \frac{(1 - 0.8) \times 1.2 \times 1.9625}{1 + 1.2} = 0.214\text{m}^3$$

则注入桩体的实际水泥浆体积:

筏基础,满堂布桩。加固后水泥土的上返量很大,使地面升高 0.5 m,一根桩的上返水泥土总质量 $M_{\text{上返水泥土}} = 127.7\text{kg}$ 。地基土的密度 $\rho_{\text{地基土}} = 1.76\text{g/cm}^3$,则所加固地基土的总质量为:

$$M_{\text{地基土}} = \rho_{\text{地基土}} \pi D^2 L / 4 = 1.9625 \times 1760 = 3454\text{kg}$$

通过土工实验可测得: $G_{\text{s土}} = 2.72\text{kg}$ 、 $G_{\text{s上返水泥土}} = 2.79\text{kg}$ 、 $\omega_{\text{上返水泥土}} = 60\%$ 、 $\rho_{\text{上返水泥土}} = 1.77\text{g/cm}^3$ 。据式(9)可求得被置换上来地基土的体积 $V_{\text{置换土}}$ 。

据工程地质勘察报告可知 $S_r = 0.8$ 、 $e = 1.3$ 由(10)式可求得气相体积 $V_{\text{气}}$ 。

$$V_{\text{浆入}} = V_{\text{置换土}} + V_{\text{气}} = 0.274\text{m}^3$$

由(11)式求得拌入桩体实际水泥质量 $M_{\text{灰入}}$:

$$M_{\text{灰入}} = \frac{\rho_w V_{\text{浆入}}}{1/3 + \lambda} = \frac{1000 \times 0.274}{0.83333} = 328.8 \text{ kg}$$

$$M_{\text{上返水泥}} = \frac{G_{\text{灰}}(G_{\text{土}} - G_{\text{上返泥土}})}{G_{\text{上返泥土}}(G_{\text{土}} - G_{\text{灰}})} M_{\text{上返地基土}} = \frac{3 \times 0.07}{2.79 \times 0.28} \times 127.7 = 34.32 \text{ kg}$$

深搅拌桩的实际水泥掺入比 a'_w 为:

$$a'_w = \frac{M_{\text{灰入}}}{M_{\text{地基土}} - [M_{\text{上返泥土}} - M_{\text{上返水泥}}(1 + \lambda)]} = \frac{328.8}{3454 - [127.7 - 34.32 \times (1 + 0.5)]} = 9.75 \%$$

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12%,而桩体的实际水泥掺入比受到地层条件等客观因素和施工技术等方面的制约仅为近10%。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,但幅度还不够。要想达到设计的水泥掺入比,除控制水泥掺入总量的同时,还应计算上返的水泥量,这样才能得出真正掺入桩体的水泥量,从而为准确的确定桩体强度提供依据。

3 结语

1) 针对高饱和度软土的深层搅拌处理,在设计时要紧密结合现场,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,不要过分依赖与现场有出入的室内试验。室内无侧限排水条件下的水泥土试块所能入的水泥量与地层中不排水有侧限情况下是不同的。

2) 针对不同地层情况,应具体分析。

3) 为进一步提供可靠的力学指标可采用深层平板载荷试验装置对不同深度的水泥土进行检测,取得实际的资料。

[参考文献]

- [1] 中国建设科学研究院.《建筑地基处理技术规范》JG79-91[S]. 北京:中国计划出版社,1992.
- [2] 冶金部建筑研究总院.《软土地基深层搅拌加固法技术规程》YBJ225-91[S]. 北京:铁道部出版社,1992.

DETERMINATION TO ACTUAL CEMENT MIXED WEIGHT OF DEEP - CEMENT - MIXING PILES IN HIGH SATURATED SOFT SOIL

PEI Xiang - jun, YANG Guo - chun, RUAN Wen - jun

Abstract :According to the reversed weight of cement and soil of the DCM pile in high saturability soft soil attached the porosity and degree of saturation of the soft soil measured by some soil tests ,the design methods to determine the actual cement weight have been worked out .

Key words :deep - cement - mixing reserved cement and soil ,volume of air voids ,actual cement mixed weight



第一作者简介:

裴向军(1970年-),男。1991年毕业于长春冶金地质专科学校,留校任教。1998年在长春科技大学工程技术学院获工学硕士学位,现在吉林大学地质工程专业攻读博士学位。现任长春工程学院讲师,主要从事岩土工程、勘察工程科研和教学工作。

通讯地址:长春市同志街80号 长春工程学院土木工程二系 邮政编码:130021

欢迎订阅《工业安全与防尘》

《工业安全与防尘》由原冶金、有色、地矿、轻工、电力、电子、煤炭、核工业、化工、石油天然气、建材、机械、船舶、劳动及中华全国总工会联合创办。本刊设置以下栏目:安全系统工程、安全运用技术、工业结构安全、粉尘防治、工厂通风与除尘、矿山通风与除尘、工业环境保护、防火防爆、机电安全、起重运输安全、安全管理、事故分析、班组安全、专题讲座等。特点:突出技术的先进性和适用性、内容丰富、信息量大、读者面广。

该刊现为中国科技论文统计源期刊,中国学术期刊综合评价数据库来源期刊,中国科学引文数据库来源期刊,中国学术期刊(光盘版)期刊,中国期刊网(CNKI)和万方数据资源系统(ChinaInfo)数字化期刊群全文收录期刊。

本刊为月刊,大16开,每期定价4元,全年48元,由邮局发行,全国各地邮局均可订阅,邮发代号38-4,也可直接向本编辑部订阅(注明订《工业安全与防尘》杂志)。

地址:武汉市青山区冶金部安全环保研究院 邮编:430081

电话:(027)86547020 E-mail:gyaf@chinajournal.net.cn

开户银行:武汉市工商银行红卫路办 行号:827518 帐号:249-0750004835