

管桩注浆增强承载力的试验研究

A test on improving bearing capacity of pile with grouting

王士恩 刘超常

(广东省水利水电科学研究所, 广州, 510610)

刘祖德

(武汉水利电力大学水利学院, 430072)

中图法分类号 TU 413

作者简介 王士恩,男,工程师,从事工程勘察技术及岩土工程研究。

1 前言

近年来,各种形式的原位灌注桩在工程实践中得到推广运用。此类桩型克服了阻力不足的缺点,有的还可随意扩大桩头或桩径的大小,改变桩的受力条件,使桩土共同承担荷载的愿望得以实现^[1]。但需指出,原位灌注桩施工质量很难得到保证,因为清除桩底余泥有很大难度,而且在灌注过程中,缩径问题也不太容易控制。再者,施工中产生的噪声、污泥等环境问题也无法克服。所以,在城市中心居民密集区,一般不允许采用这种施工方法。相比之下,预制静压桩可克服上述缺点,施工进度快、质量高、噪音小,不污染环境。

预制静压桩单桩承载力一般用下式计算:

$$P_{pf} = \sum f S_a L_i + A_p R_s \quad (1)$$

式中 P_{pf} 为单桩极限承载力; f 为桩周土摩擦力极限值; S_a 为桩身周边长度; L_i 为按土层划分的段长; R_s 为桩端土的极限承载力,对淤泥和淤泥质土可取值为零; A_p 为桩身横截面面积。

由式(1)可见,预制桩的承载力是由桩侧摩阻力和桩尖端阻力构成的。在无下卧持力层存在时,这两部分的承载力都是比较低的。目前主要通过加大桩径及增加桩长的方法来满足设计荷载的要求,但工程费用较高。当桩径及桩长一定时,若在沉桩完成后用一定的施工工艺来增加桩周摩阻力和桩端直径,这不仅能满足承载力的要求,还能明显降低工程成本。

2 基本构思及理论依据

众所周知,许多预制桩为中空管状或方形,若把垂直桩轴线的水平孔分布在桩身上并与桩的中心管孔相连,通过管孔对已就位桩实施压力注浆,浆液便有可能沿水平孔被压入到桩周土层及桩壁与土之间的孔隙中去,使桩壁粗糙度增加。当浆液凝固后,可与桩体形成一个整体,带动其周围土体共同承担荷载,从而大大增加其承载能力。这样一来,灌注桩的优点便可在预制

静压桩基中得到充分发挥,而预制静压桩的优点仍可保留。由于两种桩的优点集于一体,其工程及经济效益是相当可观的。

2.1 注浆压力的控制

桩作为承受上部荷载的基础,其自身强度必须具有一定的安全储备。因此对桩管孔注浆不能破坏原桩体的强度和完整性,这就需要控制注浆压力,使桩在内外各种应力作用下保持在弹性状态。现用弹性理论^[2]来分析桩受浆压应力的控制条件。

压入地基土中的中空预制管桩可视为一个厚壁圆筒,它受到内部注浆压力 P_1 、外部土压力 P_2 的作用。设桩外径为 $2b$,内孔径为 $2a$,任一垂直桩轴的截面受力情况如图1所示。由于桩径相对桩长小得多,故可按平面问题研究其应力及位移。从图1中可知,厚壁筒受力具有对称性,这与桩实际受力情况相一致,故可按应力轴对称问题来分析。

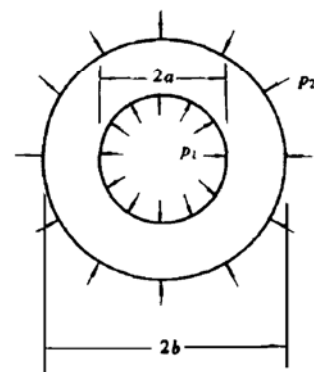


图1 厚壁筒受内外压力

Fig. 1 The acting force on thick tube

由弹性力学知,应力轴对称问题的应力解为

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{1-b^2/r^2}{b^2/a^2-1} p_1 - \frac{1-a^2/r^2}{1-a^2/b^2} p_2 \\ \sigma_\theta &= \frac{1+b^2/r^2}{b^2/a^2-1} p_1 - \frac{1+a^2/r^2}{1-a^2/b^2} p_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

考查式(2)可知 p_2 的存在使应力的绝对值减小。从安全方面考虑,忽略 p_2 的影响,则式(2)为

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{p_1 a^2}{b^2 - a^2} \left(1 - \frac{b^2}{r^2} \right) \\ \sigma_\theta &= \frac{p_1 a^2}{b^2 - a^2} \left(1 + \frac{b^2}{r^2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

比较式(3)中的两个等式可知: $\sigma_\theta > \sigma_r$ 。由于加载过程中,主应力方向不变,因此,根据 Tresca 屈服条件

$$\begin{aligned} \sigma_\theta - \sigma_r &= \sigma_s \\ \text{得到} \quad \frac{2p_1 a^2 b^2}{(b^2 - a^2)r^2} &= \sigma_s \end{aligned} \quad (4)$$

因为在筒内壁 $r = a$ 处最先屈服,故其所对应的压力就是最大弹性荷载,所以,弹性极限荷载 p_e 为

$$\begin{aligned} p_e &= \frac{b^2 - a^2}{2b^2} \sigma_s \\ &= \frac{\sigma_s}{2} \left(1 - \frac{a^2}{b^2} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

式中 σ_s 为桩体材料的屈服强度值,只要桩管注浆压力 $p_1 \leq p_e$ 就不会因注浆压力而产生桩体强度的降低或破裂。

由式(5)可见,当弹性无限空间的圆柱形孔洞受到内压力作用,且有 $b \rightarrow \infty$ 时,则内表面开始屈服时的压力值与孔管的半径无关,恒为 $\sigma_s/2$ 。在我们研究的课题中,当浆液在注浆压力作用下,克服土体阻力通过桩体孔而进入桩周土体,并迫使土体开始产生屈服变形时,其注浆压力值必须满足

$$p_e \geq \frac{\sigma_s}{2} \quad (6)$$

所以,注浆控制压力应满足下列不等式:

$$\frac{\sigma_{s\text{桩}}}{2} \geq p_e \geq \frac{\sigma_{s\pm}}{2} \quad (7)$$

因此,注浆压力的取值范围是比较大的。实践表明,对于软土地基,注浆压力 p_e 应小于 400kPa。

2.2 注浆管桩承载力计算

管桩经注浆,桩周孔隙及土体多被排挤而由浆液取代,特别是出浆孔附近,聚浆形成大小不等的浆泡,浆液凝结体牢牢地固结在桩壁上,使实际工作桩径得到扩大。设注浆后有效桩半径为 R ,注浆后桩的极限承载力计算式为

$$P_{pf} = \sum f(2\pi R)L_i + \pi R^2 R_s \quad (8)$$

式中 P_{pf} 为注浆桩极限承载力; R 为等效桩半径,实际工作中可通过载荷试验对比确定,其它符号意义同前。由于上部加载部位桩截面积并没有发生变化,而注浆后桩的受力等效面积则得以扩大,故极限承载力得到提高。

3 管桩注浆试验及成果分析

试验是在长宽高分别为 55cm, 15cm, 28cm 的试验箱中进行的。试样用土为大秦水库堆坝土,土样经风干、研磨、过筛、分层装箱压实后加水饱和。实测制备试样的含水量 20.78%,天然容重 19.1kN/m³。选用外径为 2.15cm、长 40.5cm 的钢管模拟管桩,管桩下端用木塞封口,并从下至上每隔 2cm 垂直管桩轴线钻孔两排,在 12cm 区段内共钻孔 24 个,孔径 4mm。将两个长度相同直径相等,但一个钻孔(注浆桩),一个不钻孔(对比桩)的管桩同时压入试验箱土中,深为 16.0cm。因桩底土与桩周土相同,故可按摩擦桩考虑。管桩就位完毕。经静置一昼夜后分别做压桩试验,注浆前,注浆桩与对比桩的载荷曲线见图 2 中 a 曲线、 b 曲线。压桩完毕即对注浆桩注浆。浆液配比为水泥:土:水 = 1:2:3。注浆压力水头为 22.5cm,注浆量 180ml。注浆一周后再进行压桩试验,注浆后一周注浆桩的载荷曲线及静置一周后对比桩的荷载曲线分别见图 2 中 c 曲线、 d 曲线。

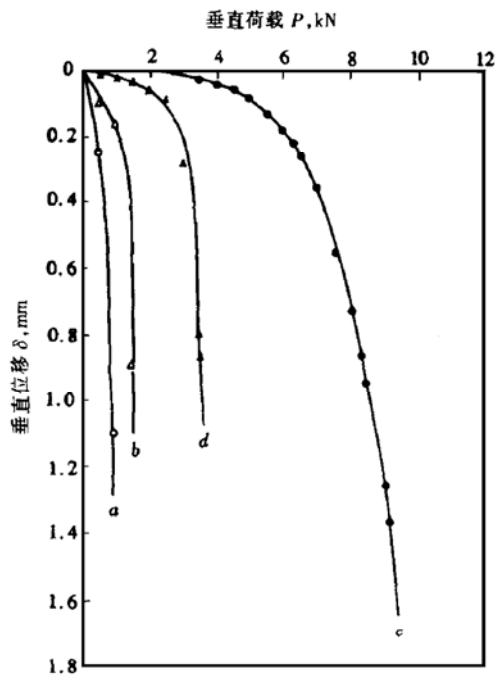


图 2 载荷试验

Fig. 2 The comparison curves of load test

从图 2 中的 4 条曲线不难看出,沉桩后不久,桩的承载能力并不高,但过一段时间后,其承载能力有明显增长。这说明,沉桩对土的扰动是明显的,土的结构强度需要一定时间才能恢复。管桩注浆对桩周土体也可能产生扰动,但浆液可通过劈裂裂缝渗入到土层的孔隙及裂纹中。一旦浆液凝结,这部分土的强度也会有所提高。由于浆液与管桩壁之间的凝结力远大于土与

管桩壁间的凝结力,故可将注浆管桩及浆土凝结体视为一个整体,共同承担上部荷载,从而其承载能力可大幅度提高。随着浆液凝结龄期的增长,其承载力也会明显增加。

压桩试验完毕,拔出桩管对比可见,注浆管桩与不注浆管桩周围土体凝结情况完全不同。注浆管桩上的浆液凝结后紧紧贴附在桩壁周围,并不因为桩体的上拔而脱离,可见这部分浆土凝结体与桩体同步工作,共同承担荷载。相反,没有注浆的对比桩、其桩周土体与桩壁间的凝结力较小,在桩体上拔力的作用下,凝结力很快遭到破坏。

通过对比试验充分说明,管桩注浆能提高桩的承载能力。

4 工程应用

武汉市建筑设计院将上述基本思想运用于已就位桩体的增强,取得了一定成功。他们通过预埋管在桩端和桩侧,按一定的浆量对已打好的钢筋混凝土桩体进行压力灌浆。由于浆液的胶结作用和浆脉劈裂土体,固结浆脉体象树根一样插入周围岩土介质中,促使桩侧摩阻力和桩体承载力大大增强。现场检测报告

表明,汉正街工程采用这一技术后,提高了单桩承载力一倍以上,减少桩基沉降量 50%,各项质量技术指标均达到了设计要求^[3]。同时还使该工程减少桩数 200 余根,降低桩长 8m,缩短工期几个月,节省投资数百万元。

5 结 论

通过试验研究及工程应用证明,用管桩注浆的方法来提高桩基的承载力是完全可以的,而且效果明显。同理,对端承桩进行桩底注浆可有效扩大桩底面积,从而使桩端的总承载能力得到提高。将这种方法应用到抗滑桩上,则可通过注浆,向滑裂破碎带提供胶结剂,改善滑坡体自身的稳定性,提高桩土之间共同承担外荷的能力。可见,管桩注浆具有广泛的应用前景。

参 考 文 献

- 1 龚晓南编著.复合地基.杭州:浙江大学出版社,1992.
- 2 姚希梦,邱棣华,陈安编著.弹塑性力学.北京:机械工业出版社,1987.
- 3 闻 峰.桩基增强新技术在汉正街成功应用.实用技术研究周刊,1995-11-8.

第三届全国青年岩土力学与工程会议即将在南京召开

由中国力学学会岩土力学专业委员会,中国水利学会岩土力学专业委员会,中国土木工程学会土力学及基础工程学会,中国建筑学会地基基础学术委员会主办,河海大学岩土工程研究所及南京水利科学研究院土工研究所承办,第三届全国青年岩土力学与工程会议将于 1998 年 4 月 10 日至 12 日在南京河海大学召开。

会议将邀请著名的岩土力学与工程专家就岩土力学学科的发展作特邀报告,并就以下 6 个专题进行交流和研讨:①岩土体的基本特性与测试;②岩土力学新分析方法;③基坑开挖

与支护,桩基础;④地基处理;⑤岩石力学;⑥岩土动力学。

这是本世纪最后一次,也是香港回归后第一次全国青年岩土工作者的盛会,目的在于给全国从事岩土力学和岩土工程的青年科技工作者提供一个相聚的机会,讨论岩土力学与工程学科的新进展,交流新成果和新经验,春光明媚的古都南京和组委会的全体委员热切期待各位会议代表的到来。

联系地址:210098 南京西康路 1 号 河海大学岩土工程研究所
联系人:刘汉龙 电话:(025)3713777-50918(O)51884(H)
传真:(025)6632595 电子信箱:hliu@pubjlonline.com

(刘汉龙 供稿)