

饱和粉砂土中压力分散型锚杆摩阻力试验

顾培英^{1,2}, 邹 庆³, 邓 昌^{1,2}, 汤 雷^{1,2}

(1. 南京水利科学研究院, 江苏南京 210029; 2. 水利部水科学与水工程重点实验室, 江苏南京 210029;
3. 南通广厦工程技术咨询服务有限公司, 江苏南通 226009)

摘要:针对苏南运河镇江某段饱和粉砂土中压力分散型预应力锚杆设计参数选取困难的问题,利用破坏性试验,通过锚固体中埋设的应变计得到锚杆应力分布,进一步推算锚固体侧土体摩阻力分布规律。试验结果表明,各锚固体单元最大应力出现在承载板附近,短索锚固体应力分布与中索相似,并超过长索锚固体应力 29%。因此,增加长索的补偿荷载可保证各单元锚索预应力的均匀性。该地区土体极限摩阻力值在 48.84~56.77 kPa 之间,平均为 53.09 kPa。设计张拉力作用下,摩阻力值在 19.98~29.14 kPa 之间,平均为 24.86 kPa。

关键词:饱和粉砂土; 应力分布; 摩阻力; 压力分散型锚杆

中图分类号: U417.1+16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-640X(2009)02-0078-04

锚杆种类很多,20世纪80年代,英国、日本等国研究开发了单孔复合锚固技术^[1],即荷载分散型锚固体系,并已广泛应用于日本边坡工程。1997年,中国试验研究的压力分散型锚固工法在北京中国银行大厦首次应用成功。目前,压力分散型锚固方法在我国深基坑支挡、边坡加固、地下室抗浮及运河船闸抗倾结构中得到广泛应用^[2]。与传统拉力型锚杆体系相比,压力分散型锚杆体系的拉力由多个承载体承担,锚固段应力峰值大大降低,充分利用了锚固段砂浆体与孔壁间的粘结强度,避免应力集中产生的渐进性破坏,从而提高锚固的可靠性。

此外,饱和粉质砂土锚杆施工存在诸多技术难题。锚杆孔在钻进过程中易出现涌砂、涌水,成孔困难,下锚注浆难以实施^[3],施工时往往采取套管跟进措施。所以,饱和粉砂土锚杆抗拔力影响因素较多。目前,粉质砂土锚杆加固技术国内应用很少,仅在杭州^[4]、镇江(笔者完成了试验研究工作)^[5]有应用先例,未见其它报道。

虽然我国已颁布了有关锚杆技术、预应力锚固设计、施工等规范^[6-7],但现行规范中均未对饱和粉质砂土中的预应力锚固进行说明。《水电水利工程预应力锚索施工规范》、《水电工程预应力锚固设计规范》主要针对岩性地质条件。《岩土锚杆(索)技术规程》虽然适用范围较广,但其所推荐的砂性土与水泥砂浆体粘结强度标准值的变化范围较大,相差约1.8倍,且仅与砂性土的密实程度有关,并未涉及饱和度。因此,饱和粉质砂土中的锚杆设计参数难以选取。为此,开展了饱和粉质砂土压力分散型预应力锚杆摩阻力分布规律研究,为锚杆设计提供依据。

苏南运河镇江某段航道整治工程位于地下水位高的粉砂土中,一级护岸采用地下连续墙+压力分散型预应力锚杆结构型式,为验证设计和指导锚杆施工,浇注长18 m的地下连续墙试验段,实施土锚6组,均进行了极限抗拔力破坏试验,其中3组锚杆中埋设了振弦式应变传感器,开展了饱和粉砂土中压力分散型预应力锚杆摩阻力试验研究。极限抗拔力试验研究见文献[5]。

收稿日期: 2008-08-10

作者简介: 顾培英(1968-),女,江苏如东人,高级工程师,博士,主要从事水利、水运结构工程研究。

E-mail: pygu@nhri.cn

1 传感器布置及试验方法

1.1 传感器布置及总体方案

锚杆的锚板采用 OVM13-7 型, 锚杆钻孔直径为 200 mm, 钻孔时套管跟进, 并辅以二次高压劈裂灌浆。锚杆间距 3 m, 钢绞线采用无粘结型, 每组锚杆由 6 束 1×7 标准型-12.7-1860-II 钢绞线组成。锚杆总长 18 m, 每组锚杆配置 3 个承载板, 2 束为一对, 每对锚索锚固段长度为 4 m, 最短锚索自由段为 6 m, 3 对锚索长度分别为 10, 14 和 18 m。锚杆设计张拉力为 187.3 kN。3 组锚杆中埋设振弦式应变计, 每对锚索锚固体内按 4 个断面布置, 间隔 0.8 m, 即每组锚杆埋设 12 只应变计。

安装时, 首先在应变计两端缠上自粘性橡胶带, 然后用铁丝对称绑扎到锚索上, 并平行于锚索。传感器电缆尽量沿隔离架内侧引向锚杆外部, 以免锚索施工时受损。应变计安装照片见图 1。



图 1 传感器安装照片

Fig. 1 Picture of sensor installation

该研究总体方案是首先通过破坏性试验, 得到锚杆应力分布, 进一步推算锚杆锚固体侧土体摩阻力分布规律。对于压力分散型锚杆, 极限抗拔力破坏试验采用等荷载法。由于单元锚杆自由段长度不等, 在相同荷载作用下, 其位移也互不相等, 显然不适宜采用常规试验方法。此类锚杆试验一般有两种方法: 单元锚杆单独张拉试验、整体循环张拉试验^[5]。为此, 前 2 组采用单元锚杆单独张拉试验, 按最大荷载 200 kN 分级, 采用 6 次分级循环加载; 第 3 组采用整体循环张拉试验, 按 400 kN 进行弹性伸长差补偿。观测时间、破坏标准符合《岩土锚杆(索)技术规程》要求。

在每级加荷等级观测时间内, 测读位移不少于 3 次, 应变计测读不少于 2 次。锚头位移增量小于 0.1 mm 时, 可施加下一级荷载, 否则延长观测时间, 直至锚头位移增量在 2 h 内小于 2.0 mm 时, 方可施加下一级荷载。锚杆极限抗拔力试验出现下列情况之一时, 可判定锚杆破坏: ①后一级荷载产生的锚头位移增量达到或超过前一级位移增量的 2 倍; ②锚头位移持续增长; ③锚杆杆体破坏。

1.2 计算公式

在进行预应力锚杆极限抗拔力试验的同时, 通过砂浆锚固体中所埋设应变计的频率响应, 得到锚杆应变分布, 利用锚固体的弹性模量进一步换算得到锚杆应力分布规律。

根据锚杆内埋设应变计的实测频率, 按(1)式计算埋设断面处砂浆锚固体的压应变。

$$\varepsilon = K(f_0^2 - f_i^2) \quad (1)$$

式中: ε 为砂浆锚固体压应变; K 为应变计标定系数; f_0 为加载前应变计初始频率读数; f_i 为加第 i 级荷载后应变计频率读数。

再计算埋设断面处锚固体压应力 σ , $\sigma = E_m \varepsilon$, 其中: σ 为砂浆锚固体压应力; E_m 为砂浆锚固体弹性模量。根据锚固段锚杆应力分布, 结合砂浆锚固体的截面积计算得到各断面的轴力值, 即 $N = \sigma A$, 其中: N 为砂浆锚固体轴力; A 为砂浆锚固体截面积。两相邻断面的轴力差即为该部分的总摩阻力, 从而得到锚杆摩阻力分布规律。

某相邻测点间锚固体侧土体摩阻力 $p_i = \Delta N_i / (\pi d \Delta H_i)$ (2)
式中: ΔN_i 为相邻测点间锚固体截面轴力差; d 为相邻测点间的平均锚固体直径; ΔH_i 为相邻测点间的距离。

2 试验结果分析

2.1 锚杆应力分布

根据极限抗拔力试验结果可知, 该类型的预应力锚杆极限抗拔力值为 400 kN^[5]。综合各断面应变试验结果, 分析得到锚杆应力分布曲线(见图 2)。图 2 中假设每对锚索施加的预应力均相等, 总预应力为 400 kN, 并假设各锚固体断面大小不变。由图 2 可知, 各锚固体单元的最大应力出现在各自的承载板附近, 短索、中索锚固体单元应力分布相似, 短索比长索锚固体单元应力大 29%。这主要是由于长索锚固体单元所承受的预应力有小部分传递给中索锚固体前端, 中索锚固体单元也将小部分力传递给短索锚固体前端, 从而使短索、中索锚固体单元的应力大于长索锚固体的应力。

根据上述分析, 当各单元锚索锚固体长度相等、锚杆周围地质条件变化不大, 且施工较为一致时, 在工程锚杆实际张拉过程中, 《岩土锚杆(索)技术规程》中规定的补偿值偏小, 需进一步增加最长锚索的补偿荷载, 以保证各单元锚索预应力的均匀性。

2.2 锚杆摩阻力分布

以某一长索锚固体侧土体摩阻力为例, 锚固体侧土体平均摩阻力分布曲线如图 3 所示。由图 3 可见, 当荷载小于 175 kN 时, 锚固体侧土体平均摩阻力随着荷载的增加呈线性增加; 当荷载大于 175 kN 时, 平均土层摩阻力值仍然增加, 但增加幅度有所减缓。若该索锚固体极限抗拔力值取 175 kN, 则土体平均摩阻力值为 69.63 kPa。

结合其他锚杆摩阻力试验结果, 并根据文献[5]极限抗拔力值的分析, 苏南运河镇江某段的锚杆极限抗拔力值为 400 kN, 相当于每个锚固体单元极限抗拔力为 133 kN, 相应的摩阻力为 48.84 ~ 56.77 kPa, 平均为 53.09 kPa。在设计张拉力 187.3 kN 作用下, 相当于每个锚固体单元张拉力为 62.4 kN, 相应的摩阻力为 19.98 ~ 29.14 kPa, 平均为 24.86 kPa。

3 结语

针对苏南运河镇江某段饱和粉砂土中锚杆设计参数选取困难的问题, 利用破坏性试验, 通过锚固体中埋设的应变计得到锚杆应力分布, 进一步推算锚固体侧土体摩阻力分布规律。得到以下几点结论:

(1) 各锚固体单元最大应力出现在承载板附近, 短索、中索锚固体单元应力分布相似, 比长索锚固体单元应力大 29%。在工程锚杆实际张拉过程中, 《岩土锚杆(索)技术规程》中规定的补偿值偏小, 需进一步增

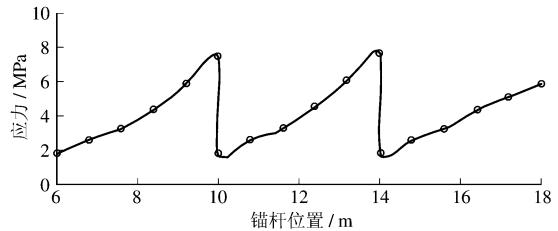


图 2 锚杆应力分布曲线
Fig. 2 Stress distribution of the anchor

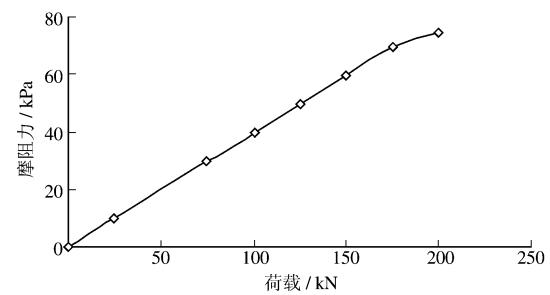


图 3 锚固体侧土体摩阻力分布曲线
Fig. 3 Frictional resistance distribution of soil around anchor fixed length

加最长锚索的补偿荷载,以保证各单元锚索预应力的均匀性;

(2)某锚固体单元荷载小于175 kN时,平均摩阻力随荷载的增加呈线性增加;当荷载大于175 kN时,增加幅度有所减缓,土体平均摩阻力值为69.63 kPa;

(3)综合分析试验结果,该地区土体极限摩阻力为48.84~56.77 kPa,平均为53.09 kPa.在设计张拉力作用下,相应摩阻力值为19.98~29.14 kPa,平均为24.86 kPa.

参 考 文 献:

- [1] 程良奎. 岩土锚固的现状与发展[J]. 土木工程学报, 2001, 34(3): 7-12, 34. (CHENG Liang-kui. Present status and development of ground anchorages[J]. China Civil Engineering Journal, 2001, 34(3): 7-12, 34. (in Chinese))
- [2] 程良奎. 岩土锚固研究与新进展[J]. 岩石力学与工程学, 2005, 24(21): 3803-3811. (CHENG Liang-kui. Research and new progress in ground anchorage[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(21): 3803-3811. (in Chinese))
- [3] 康永胜. 预应力锚索在饱和粉土及粉细砂地层中的应用[J]. 铁道勘察, 2004, (4): 61-63, 67. (KANG Yong-sheng. Application of the prestressing anchorage cable in the saturated silt and silty & fine sand stratum[J]. Railway Investigation and Surveying, 2004, (4): 61-63, 67. (in Chinese))
- [4] 牟 松. 含水砂土基坑预应力锚索施工技术[J]. 隧道建设, 2005, 25(1): 54-56, 38. (MOU Song. The techniques of prestressed anchor in foundation ditch with sand strata of aquifer[J]. Tunnel Construction, 2005, 25(1): 54-56, 38. (in Chinese))
- [5] 顾培英, 朱建荣, 邓 昌, 等. 饱和粉砂土中压力分散型预应力锚杆极限抗拔力试验研究[J]. 水运工程, 2009, (2): 36-39. (GU Pei-ying, ZHU Jian-rong, DENG Chang, et al. Test study on ultimate pullout force of compression dispersive prestressed anchor in saturated mealy sand[J]. Port & Waterway Engineering, 2009, (2): 36-39. (in Chinese))
- [6] CECS 22: 2005, 岩土锚杆(索)技术规程[S]. (CECS 22: 2005, Technical Specification for Ground Anchors[S]. (in Chinese))
- [7] DL/T 5083-2004, 水电水利工程预应力锚索施工规范[S]. (DL/T 5083-2004, Specification of Prestressing Tendon Construction for Hydropower and Water Conservancy Project[S]. (in Chinese))
- [8] DL/T 5176-2003, 水电工程预应力锚固设计规范[S]. (DL/T 5176-2003, Design Specification of Prestressed Anchorage for Hydropower Project[S]. (in Chinese))

Test study on frictional resistance of compression dispersive prestressed anchor in saturated mealy sand

GU Pei-ying^{1,2}, ZOU Qing³, DENG Chang^{1,2}, TANG Lei^{1,2}

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Key Laboratory of Water Science and Engineering, Ministry of Water Resources, Nanjing 210029, China; 3. Nantong Spacious Mansion Engineering Consulting Services Co., Ltd, Nantong 226009, China)

Abstract: It is difficult to choose design parameters of anchors in saturated mealy sand. According to the destructive test described in the paper, the stress distribution of anchor is provided by embedded sensors in anchor fixed length. Then, the frictional resistance of soil around anchor fixed length is calculated. The maximum stress is located near the loading plate. The stress distribution of short cables is similar to that of medium length cables in anchor fixed length. It is greater than 29% of long cables. Therefore, in order to ensure the uniformity of stress, the load of long cables should be compensated more. Furthermore, the ultimate frictional resistance varies from 48.84 kPa to 56.77 kPa in saturated mealy sand, namely the average value being 53.09 kPa. If design load is given to the anchor, the frictional resistance varies from 19.98 kPa to 29.14 kPa, namely the average value being 24.86 kPa.

Key words: saturated mealy sand; stress distribution; frictional resistance; compression dispersive type anchor