



玻璃钢螺旋锚的现场拉拔试验

王 钊¹, 王金忠², 曾繁平¹, 陈春红¹

(1. 武汉大学土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 坦萨土工合成材料(武汉)有限公司, 湖北 武汉 430056)

摘 要: 回顾了FRP螺旋锚的基本结构型式, 介绍现场拉拔试验的设计, 完成了无灌浆和灌浆FRP螺旋锚的现场拉拔试验。无灌浆锚杆的最大拉拔力约在10 kN左右, 而灌浆锚杆的拉拔力提高到15~20 kN, 且拉拔位移较小。拉拔试验结果与现有拉拔力公式的计算值进行比较, 并对螺旋锚的结构和施工提出一些改进意见。

关键词: 玻璃钢; 螺旋锚; 锚杆; 灌浆; 拉拔力

中图分类号: TU472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2007)10-1439-04

作者简介: 王 钊(1945-), 男, 江苏人, 工学博士, 教授, 博士生导师, 从事土工合成材料应用、非饱和土特性、地基处理和有限元分析方面的教学和研究。E-mail: wazh136@163.com。

Field pull out tests of FRP screw anchors

WANG Zhao¹, WANG Jin-zhong², ZENG Fan-ping¹, CHEN Chun-hong¹

(1. School of Civil and Architectural Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Tensar Geosynthetics (Wuhan) Co., Ltd, Wuhan 430056, China)

Abstract: As a new-type of soil anchor, the fiber reinforced plastics (FRP) screw anchor has a lot of attractive properties, such as high strength, light weight, convenient installation, light pollution, high corrosion-resistance and low cost. The basic structure of FRP screw anchor and their field pull-out tests were introduced, and the test results of un-grouted and grouted anchors were presented. The maximum pull out force of the grouted anchors was about 15~20 kN with less pull out displacement compared with that of un-grouted anchors, whose pull out force was about 10 kN. The pull out forces of both grouted and un-grouted anchors were compared with those obtained from design formulas. Finally, some ideas were put forward to improve the design and construction of FRP screw anchors.

Key words: FRP; screw anchor; anchor rod; grouting; pull out force

0 前 言

玻璃钢(fiber reinforced plastics, 简称FRP)在土木工程中的应用是目前土木工程领域研究开发的一个热点。FRP螺旋锚作为一种新型支护锚杆, 具有易施工、污染小、高强、轻质、抗腐蚀和成本低等优点。本文在简介FRP螺旋锚结构和下锚方法的基础上, 给出现场拉拔试验的方法和结果, 包括灌水泥浆加固和不灌浆两种工况, 并且分别与拉拔力经验公式的计算结果做了比较。最后得到一些改进意见。

1 FRP螺旋锚的结构和特性^[1]

FRP螺旋锚由锚头、锚杆和锚尾3部分组成。锚杆横截面为空心圆环, 由6股等弧瓣状组成(见图1), 锚杆截面尺寸由锚杆的设计抗拔力确定。

锚杆插入内径渐变的锚头根部圆筒内, 然后用圆台形楔块锁紧。锚杆的另一端(锚尾)与护坡框架锁

固。锁固件由中空螺杆和螺母组成。螺杆锁固时, 中空螺杆靠坡外的一侧内径也是渐变的, 以便用相同的圆台形楔块将六瓣杆件锁紧在护坡框架上, 见图2。



图1 螺旋锚结构和锚杆截面

Fig. 1 Structure of screw anchors and section of anchor rods
下锚时, 锚杆穿在外径为42 mm的下锚钢管中,

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50279036)

收稿日期: 2006-07-06

下锚钢管的端部有个连接件,其啮合口与锚头根部啮合口配合以传递扭矩(图3),将锚头和锚杆组件拧到设计深度后,反旋松开啮合口,并借助连接件上的副螺旋锚片退出下锚钢管。该装置还可在退出过程中借助下锚钢管内的塑料管实施灌浆。

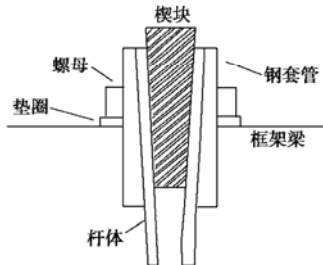


图2 锚尾部分结构示意图

Fig. 2 Tail structure of anchor



图3 准备安装螺旋锚

Fig. 3 Installation of screw anchor

本次拉拔试验的螺旋锚为SAF-20型,锚片直径为200 mm,锚杆截面空心圆环的内径8 mm,外径12 mm,实测杆件材料的总抗拉力为32 kN(六瓣)^[1]。

2 拉拔试验准备

拉拔试验分两批进行,第一批不灌浆的试验于2004年10月14日开始,下锚后静置最长时间达一个月后拉拔;第二批试验于2005年12月24日下锚并灌水泥浆,终凝一个月后拉拔。试验地点在武汉大学校园内的一个素填土土坡上,坡度35°,坡高4.2 m。

2.1 试验现场土层特性

实测土层的物理力学性质如下:密度1.84 g/cm³,相对密度2.73,含水率26.3%,液限51.0%,塑限20.6%,黏聚力 $c=43.7$ kPa,内摩擦角 $\varphi=6^\circ$,颗粒分布,<0.002 mm为29%,0.002~0.05 mm为71%。

2.2 锚杆拉拔试验的规定^[3-5]

(1) 拉拔试验锚杆数量不得少于3根。

(2) 采用分级循环加载和位移控制法,每级位移的增量为5 mm以下^[6],读数应在张拉设备稳定的情况下进行;控制位移时,保持缓慢等速。每级荷载施加完毕后,立即测读拉力;对于注浆锚杆,锚固体灌浆强度达到设计强度的90%方可进行拉拔试验。

(3) 锚杆拉拔破坏标准:①后一级荷载作用下的锚头位移增量达到或超过前一级荷载作用下锚头位移增量的2倍;②锚头位移不收敛;③锚头总位移超过设计允许值;④锚杆杆体拉断。

2.3 锚杆拉拔试验装置

图4为试验装置俯视图,正在测锚杆的抗拔力。图4中左右两个千斤顶(5 t)为反力装置,另外,在试验快结束时,通过千斤顶施加大的拉拔位移。将锚杆穿进200 mm长的中空螺杆,螺杆的内径渐变并用圆台形楔块锁紧,然后,用测力矩扳手拧紧螺杆上的螺母施加拉拔力,记录螺母转动的圈数和扭力矩。扭力矩 T 可用式(1)转化为拉拔力 P ^[1],转动圈数乘螺距即得到拉拔位移,从而得到拉拔力和位移的关系曲线。

$$p = 5T/d, \quad (1)$$

式中, d 为中空螺杆螺纹的公称直径(m)。

在应用该式前,通过室内试验率定了扭力扳手的力矩和拉力关系,其中拉力是用悬挂砝码施加的。率定结果表明:考虑到扭力扳手的最小刻度为10 N·m,估读误差取5 N·m,发现试验率定的结果与式(1)计算的结果几乎吻合。整理拉拔试验成果时,采用率定结果和线性外推值计算出不同扭矩下的拉拔力。



图4 拉拔试验布置

Fig. 4 Arrangement of pull out test

2.4 灌浆试验

灌浆设备包括空压机、水泥浆压力储罐和灌浆管三部分。空压机的额定压力为0.8 MPa,自制压力储罐的容积约为40 L(直径30 cm,高50 cm的圆筒),内装水泥浆,罐上部阀门与空压机相连,下部阀门连接灌浆管。灌浆管用供煤气的透明塑料管制作。

3 无灌浆锚杆抗拔试验^[2]

采用管钳人工下锚,最大下锚扭矩大约400 N·m。共下锚杆13组,其中9组成功下锚,其余4组钻进过程遇块石未达设计深度而报废。9组锚在坡面处上覆土层的厚度、锚杆轴线与水平线夹角(埋设角度)、钻进长度、最大拉拔力,以及达最大拉拔力时的拔出位移见表1。表中编号1~6锚杆的拉拔试验安排在下锚30 d

后, 7, 8 号锚静置时间为 2 d, 9 号为 1 d, 目的是比较扰动土触变性的影响。表 1 还列出下文经验公式计算的极限拉拔力以资比较。

表 1 无灌浆锚杆抗拔试验
Table 1 The pull out tests of un-grouted anchors

编号	上覆土厚/m	埋设角度/(°)	钻进长度/m	拔出位移/mm	最大拉拔力/kN	极限拉拔力/kN
1	3.8	18	2.9	—	8.1	—
2	2.5	8	2.5	—	6.7	—
3	2.6	14	5.0	55	9.2	13.7
4	1.9	8	2.8	62	8.4	13.7
5	3.2	10	2.7	60	9.2	13.7
6	3.2	13	2.5	52	13.5	13.7
7	3.6	26	5.4	35	6.7	—
8	4.0	28	5.4	72	10.4	—
9	4.1	26	2.3	—	6.7	—

拉拔过程随着位移逐渐增大, 除 3 根锚杆 (1、2 和 9) 拉拔力骤降表现为筋材拉断外, 其他为锚头处土体产生大的剪切位移而破坏。锚杆的拉拔力 - 位移关系曲线见图 5。从表 1 和图 5 可见, 不计筋材拉断和静置时间短的锚杆, 无灌浆锚杆抗拔 8.4~13.5 kN (4 组的平均值为 10.1 kN), 位移在 52~62 mm, 且拉拔位移在很大范围内拉拔力接近最大抗拔力, 这与下锚过程形成的圆柱形扰动土有关。为提高抗拔力和减小达最大抗拔力时的位移, 接着完成了灌浆玻璃钢螺旋锚的下锚、灌浆和拉拔试验。

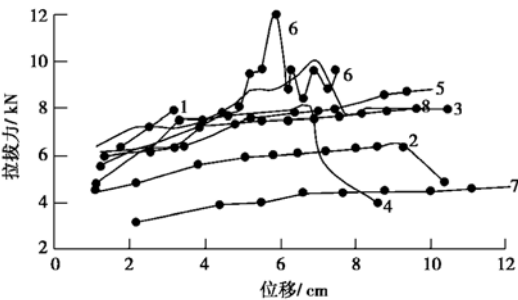


图 5 无灌浆螺旋锚拉拔力与位移关系曲线
Fig. 5 Relationship between pull out force and displacement of un-grouted anchors

4 灌浆锚杆抗拔试验

灌浆螺旋锚的下锚试验依然采用管钳人工下锚, 下锚至预定深度, 然后, 边退出下锚钢管边灌浆, 灌浆压力保持在 0.5 MPa, 水灰比为 0.8, 从锚头起灌浆直至坡面, 灌浆后 30 d 进行拉拔试验。3 根成功完成灌浆试验的锚杆, 其下锚参数、拉拔试验结果列于表 2。表 2 中也给出下文经验公式计算的极限拉拔力以资比较。

3 根锚杆的拉拔力 - 位移关系曲线见图 6。

表 2 灌浆锚杆抗拔试验
Table 2 The pull out tests of grouted anchors

编号	上覆土厚/m	埋设角度/(°)	钻进长度/m	拔出位移/mm	最大拉拔力/kN	极限拉拔力/kN
10	3.2	13	2.7	18	6.6	—
11	3.2	26	2.8	50	15.2	30.7
12	3.2	10	2.5	44	19.4	28.2

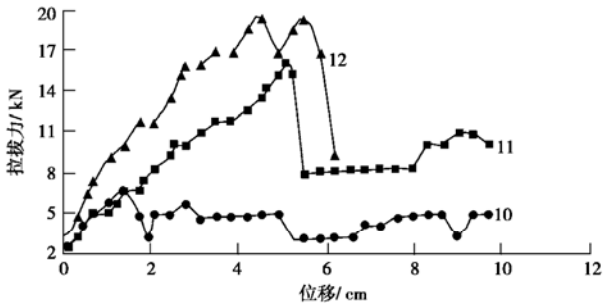


图 6 灌浆螺旋锚的拉拔力与位移关系曲线
Fig. 6 Relationship between pull out force and displacement of grouted anchors

其中 10 号锚杆, 最大拉拔力仅 6.6 kN, 究其原因, 可能是下锚时灌浆管与杆体缠绕导致杆体损伤。11 号锚杆的最大拉拔力为 15.2 kN, 并在拉拔锚具附近发生筋材劈裂, 参见图 7。



图 7 锚杆杆体劈裂
Fig. 7 Cleavage fracture of anchor rods

12 号锚杆的最大拉拔力为 19.4 kN, 也在锚具附近发生筋材劈裂, 最后锚具处的筋材拉断。

分析锚杆发生劈裂破坏的原因在于: 虽然锁紧圆台形楔块和中空螺杆的锥面是完全配合的, 但两者之间与待锁固的空心圆环锚杆并没有完全紧密接触, 当拉拔力增大, 也就是锁紧压力较大时, 空心圆环瓣状锚杆被压裂劈成纤维。

原计划下锚至预定深度, 然后, 边退锚边灌浆, 再通过反复拧入和退出下锚钢管来改善灌浆质量, 但实施时, 为了防止灌浆塑料管与六瓣玻璃钢锚杆缠绕, 没有用下锚钢管前端的副锚片反复搅拌圆柱形水泥土。从开挖检查灌浆效果看, 包裹六瓣锚杆的水泥土直径仅为下锚钢管的外径, 大约 42 mm。

从两种拉拔试验的结果比较可以看出, 无灌浆锚杆的平均拉拔力为 10.1 kN, 而灌浆的拉拔力提高到

17.3 kN, 拉拔力提高了大约0.7倍, 且产生最大拉拔力时所需要的位移要小一些 (44~50 mm)。

5 极限拉拔力的估算

关于锚板拉拔破坏机理的分析和极限拉拔力的估算公式较多, 较准确的主要有下列两种^[7]。

5.1 近似公式

1980年, Selvadourai等将土视为理想的线弹性-塑性体, 考虑到螺旋锚旋入时土的扰动和板土接触面特性, 用有限元法求得排水抗剪强度 c_u 和极限拉拔力 P_u 间存在下列近似关系:

$$P_u = 10\pi R^2 c_u, \quad (2)$$

式中, R 为螺旋板的半径。

5.2 荷载板公式

螺旋锚板承受拉拔荷载时, 其受力和变形的机理与受压时基本相同, 忽略锚板的螺旋形状, 视为一刚性圆板。极限拉拔力由锚板承载力和锚杆表面与周围土的摩擦特性确定:

$$P_u = A(cN_c + qN_q) + A_s f_s, \quad (3)$$

式中, A, A_s 分别为锚板的净面积和锚杆的侧壁面积, c 为黏聚力, N_c, N_q 为承载力因数, q 为锚板上覆土的自重应力, f_s 为锚杆单位面积上的平均摩阻力。

用式(2)的计算结果与无灌浆锚杆的最大拉拔力比较于表1, 因土的内摩擦角很小, 取 $c_u = c$; 用式(3)的计算结果与灌浆锚杆的最大拉拔力比较于表2, 计算时 A_s 取直径42 mm水泥土锚杆的侧面积, 并取 $f_s = c$ 。

从表1, 2的比较可见, 式(2)的计算结果比无灌浆锚杆的平均最大拉拔力大0.3倍; 式(3)的计算结果比灌浆锚杆的平均最大拉拔力大0.7倍, 这主要因为在较大拉拔力时, 空心圆环的锚杆被压裂, 没有发挥出最大拉拔力。

6 结 论

对不同的入土深度和静置时间以及是否灌浆的12组锚杆进行下锚和现场拉拔试验, 并将实测最大拉拔力与公式计算值比较后, 就玻璃钢螺旋锚的构造、施工工艺和极限抗拔力等归纳出以下结论和建议。

(1) 因试验场地为黏性填土坡, 排水条件差, 抗剪强度低, 加之螺旋锚片入土对土体的扰动。因此, 螺旋锚的抗拔力较低, 同时, 锚头位移较大。

(2) 在9组无灌浆试验中, 其中4组静置30 d锚杆的最大抗拔力为8.4~13.5 kN, 与近似公式(2)的估算结果13.7 kN较接近; 灌浆的2组试验中, 最大抗拔力为15.2和19.4 kN, 拉拔力提高了约0.7倍, 且达最大抗拔力时的位移减小。

(3) 2组灌浆锚杆的破坏是由于锚具附近的FRP

筋材压裂引起的。锚杆锁紧装配不紧密成为薄弱环节, 这说明灌浆锚杆还未发挥最大拉拔力, 也是实测拉拔力比式(3)计算值小0.7倍的主要原因。

(4) 灌浆塑料管在下锚的过程中缠绕杆体, 致使杆体损伤, 应将灌浆管固定在下锚钢管内壁, 并使灌浆管与下锚钢管长度相同, 下锚至设计深度灌浆时, 再用快速接头连接至灌浆压力容器上的塑料管。

(5) 锚杆横截面为六股等弧瓣状组成的空心圆环, 其优点是: 单瓣容易制造、便于成卷运输、可以根据设计长度下料、根据设计拉力选择4或6瓣等, 但(3)和(4)是这种杆型的缺点。

(6) 16根试锚中有4根因块石阻挡导致失败, 说明玻璃钢材质和锚型需进一步改进, 例如, 将锚头尖部的锚片改为钢制并增大螺旋距等。

参考文献:

- [1] 王 钊, 周红安, 李丽华, 等. 玻璃钢螺旋锚的设计和试制[J]. 岩土力学, 2007, 128(11). (WANG Zhao, ZHOU Hong-an, LI Li-hua, et al. Design and trial production of FRP screw anchor[J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 128(11). (in Chinese))
- [2] 曾繁平. 新型FRP螺旋锚杆的试验研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2005. (ZENG Fan-ping. Researches on new FRP screw anchors[D]. Wuhan: Wuhan University, 2005. (in Chinese))
- [3] GB 50086—2001 锚杆喷射混凝土支护技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2001. (GB 50086—2001 Technical code of anchor propping with shotcrete[S]. Beijing: China Planning Press, 2001. (in Chinese))
- [4] GB 50330—2002 建筑边坡工程技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. (GB 50330—2002 Technical code of slope engineering of structure[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2002. (in Chinese))
- [5] 王祖和, 王明远, 吴剑平, 等. 锚喷支护工程质量检测[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996. (WANG Zu-he, WANG Ming-yuan, WU Jian-ping, et al. Quality monitoring of propping engineering with bolting and shotcrete[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1996. (in Chinese))
- [6] 闫莫明, 徐祯祥, 苏自约. 岩土锚固技术手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004. (YAN Mo-ming, XU Zeng-xiang, SU Zi-yue. Handbook of geotechnical anchor technology[M]. Beijing: China Communications Press, 2004. (in Chinese))
- [7] 林宗元. 岩土工程治理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005. (LIN Zong-yuan. Geotechnical processing manual[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2005. (in Chinese))