

滨海大型地下工程抗浮锚杆的设计与试验研究

The design and test on anti-floating anchorage of large substructure in coastal region

贾金青^{1,2}, 宋二祥¹

(1. 清华大学 土木系, 北京 100084; 2. 大连理工大学 土木系, 辽宁 大连 116024)

摘要: 抗浮锚杆是一项竖向锚固技术, 可用于解决地下工程的抗浮问题, 但抗浮锚杆的设计和施工还没有现行的规范可循。针对大连-滨海大型地下工程的实际, 对工程抗浮锚杆进行了试验研究, 通过锚杆的破坏性试验, 测试了锚杆在岩土中剪应力的分布规律, 得出了抗浮锚杆的抗拔力, 为抗浮工程的设计提供了依据。研究表明, 注浆体与岩土体间的剪应力沿锚杆长度不是均匀分布的, 在孔口附近最大, 从孔口沿锚杆长度逐渐衰减。工程实践证明, 抗浮锚杆用于解决大型地下工程抗浮问题是比较经济、合理的方法。

关键词: 抗浮锚杆; 地下工程; 破坏性试验; 抗拔力

中图分类号: TU 47

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2002)06-0769-03

作者简介: 贾金青(1962-), 男, 河北沧州人, 博士, 副教授, 清华大学在站博士后, 主要从事边坡稳定分析、深基坑支护、滑坡治理和基础处理方面的研究、设计工作。

JIA Jin-qing^{1,2}, SONG Er-xiang¹

(1. Department of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Department of Civil Eng., Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Anti-floating anchors can be used to solve the anti-floating problem of large substructure, but there is no available code to be abided by in design and construction of anti-floating anchors. The test and research on anti-floating anchors is carried out based on the large substructure in coastal region. The distribution of shear stress between soft rock and mortar are obtained through the test. The test shows that the shear stress distribution is not uniform and the shear stress attenuates along the length of anchors. From the orifice to hole-bottom, the pullout resistances of anti-floating anchors are also obtained according to the destructive test, which provide the basis for the design of anti-floating engineering. The practical project shows that it is very economical and reasonable that anchors are used to solve the anti-floating problem of large substructure.

Key words: anti-floating anchor; substructure; destructive test; pullout resistance

1 概 述^{*}

在滨海地区由于地下水位高, 结构荷载不能抵抗地下水的浮力时, 地下建筑的抗浮问题也随之而来。由地下水浮力造成的地下室破坏大致有 2 类: 一类是地下室底板隆起, 导致底板破坏, 这种破坏多发生在高层建筑的地下室中; 一类是地下建筑整体浮起, 导致梁柱结点处开裂, 同时底板也破坏, 这种破坏多发生在整个建筑均在地下情况。大连在过去这两类破坏都发生过。

地下工程的抗浮问题可用压重法、抗浮桩或抗浮锚杆来解决。压重法是通过加大混凝土底板厚度以平衡水的浮力, 但经济上不太合理。抗浮桩大多采用人工挖孔灌注桩或机械钻孔灌注桩。灌注桩缺点是造价高。因灌注桩与柱子连接, 使抗浮桩的间距太大, 需很厚的底板才能抵抗浮力产生的弯矩和剪力, 因而底板较厚。而抗浮锚杆的间距小, 地下室底板可做得较薄, 锚杆的造价也较低, 使整个抗浮结构可大大地节省工程造价。

20 世纪 90 年代, 随着锚固技术的发展, 抗浮锚杆在地下工程中得到了应用^[1-3], 例如地下停车场、污水处理池、地下商场等。在国外, 抗浮锚杆除用于地下室的抗浮外, 还用在海洋工程中^[4,5], 如海洋平台的抗浮等。抗浮锚杆在工程造价、施工工期上都显示出其优越性。

采用抗浮锚杆来解决地下建筑的抗浮问题从经济上讲是合理的, 但由于该地下工程规模很大, 地下水位高, 使用抗浮锚杆能否保证工程的安全以及抗浮锚杆的受力状态如何, 这是大家所关心的。因此, 应对抗浮锚杆的力学性能进行试验, 为设计提供依据。

2 工程概况

大连某地下工程, 占地约 2.8 万 m², 地下 2 层, 东西长 310 m, 南北宽 90 m, 开挖深度为 13.8 m, 地下建筑做商场, 地面上做休闲广场。考虑到这一地区在历史最高水位时建筑物自重及地面回填土重不能平衡地下水浮力这一因素, 需要设抗浮结构。

本场区的地质情况是: 上层为第四系, 自上而下依次为回填土、粉质黏土和碎石层, 各层厚度分布不均; 下层为强风化板岩、中风化板岩。工程地下室坐落在中风化板岩上, 抗浮锚杆锚固在中风化板岩中。中风化板岩(Zze): 灰褐色, 局部呈黄褐色, 岩芯呈碎片状、饼状。根据地质勘察报告, 场区内地下水水位在自然地面下 4.0 m 左右, 主要的含水层为碎石、强风化板岩及中风化板岩。地下水的成因类型为孔隙水和基岩裂

* 收稿日期: 2002-03-06

隙潜水,局部具有微承压性质。地下水受大气降水的补给影响,水位受补给的强度和季节性的影响比较明显。

经过分析比较,工程采用抗浮锚杆作为永久性抗浮结构。由于施工工期紧,抗浮锚杆采用非预应力锚杆,杆体采用螺纹钢,用一定构造措施,将锚杆顶端预留部分直接浇入混凝土底板。避免预应力锚杆复杂的锚下构造、预应力张拉及封锚等程序,施工简单,工期短。

3 锚杆的抗拔试验

锚杆的破坏形态有:①注浆体与岩土体间剪切破坏;②锚杆杆体抗拉强度破坏;③锚杆杆体与注浆体界面破坏;④锚杆埋入稳定地层能够使地层呈锥体拔出。

一般情况下第四种破坏不会发生,锚杆杆体的强度也很容易计算和控制,而对软岩和土层情况,锚杆的承载力通常不由杆体与注浆体间裹力控制,由注浆体与岩土体间极限剪切强度确定。

根据《土层锚杆设计与施工规范》^[6],需对抗浮锚杆进行抗拔试验,可确定由注浆体与岩土体间控制的抗拔力。根据场区的岩土情况,进行了3组9根破坏性试验,分布在场区不同位置,抗浮锚杆锚固在中风化板岩中,锚孔直径采用 $\phi 130$,孔深5.5m,注浆采用水泥砂浆。试验进行了两项内容:一是在3根试验锚杆中沿长度方向黏贴电阻应变片,用以测试砂浆体和岩土体间剪应力的分布规律;二是测试锚杆的有效抗拔力。加载采用单调加载,每级读数3次,每级读数稳定后方可进行下一级加载。电阻应变片布置情况见图1。



图1 电阻应变片布置图

Fig. 1 The layout of strain gauges

3.1 剪应力的计算与分布规律

锚杆在外荷载作用下,任一截面上的内力等于钢筋内力与注浆体内力之和,而两截面内力之差即为该

区间注浆体与岩土间的剪切力,剪切力除以该区间注浆体表面积即为该区间的平均剪应力。

锚杆任一截面的内力为

$$N_i = E_g \varepsilon A_g + E_c \varepsilon A_c = (E_g A_g + E_c A_c) \varepsilon \quad (1)$$

$$\text{区间平均剪应力: } \tau = (N_i - N_{i-1}) / \pi D \Delta l \quad (2)$$

将式(1)代入式(2)式得

$$\tau = (E_g A_g + E_c A_c) (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}) / \pi D \Delta l \quad (3)$$

式中 E_g, E_c 分别为钢筋和注浆体的弹模; A_g, A_c 分别为钢筋和砂浆体的截面积; ε_i 为任一截面 i 的应变值; Δl 为两测点之间的距离; D 为锚孔直径。

根据式(3)计算出每级荷载下各区间的剪应力,绘于图2中,从图中可以看出如下规律:

(1) 在任一级荷载作用下,注浆体与岩土体间的剪应力沿锚杆长度分布是不均匀的,在孔口附近最大,从孔口沿锚杆长度逐渐衰减。

(2) 当外荷载达到极限状态,极限剪应力值趋于稳定并向深度方向发展。此时剪应力沿锚杆长度变化的梯度比极限荷载前各级荷载下的变化梯度要缓,主要由于极限状态时剪切变形不断增大并向深度传递。尽管如此,在锚杆孔底附近的剪应力值约是孔口剪应力值的62%~70%左右,剪应力分布不均匀性在极限状态时依然存在。因此,对拉力型锚杆而言,一味增加锚杆长度对锚杆承载力的提高是有限的。

3.2 荷载-位移(Q-S)曲线

根据现场进行的破坏性试验,将所得的荷载位移曲线绘于图3。根据Q-S曲线找出位移变化较大的拐点,以此对应的荷载为每根抗浮锚杆的抗拔力,汇于表1。从表1中可知锚杆在中风化板岩中的平均抗拔力为91.8 kN/m,将此锚杆的抗拔力做为设计依据。

4 抗浮锚杆的设计

4.1 抗浮锚杆的设计

根据地质勘察报告,地下室底板的水头为9.25m。水的浮力为92.5kPa;地下室自重及地面回填土重为

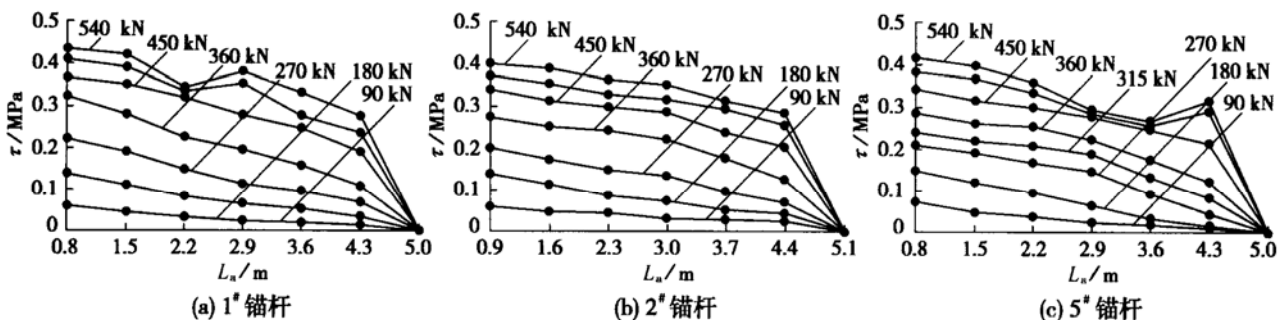


图2 锚杆剪应力分布图

Fig. 2 The distribution of shear stress between soft rock and mortar

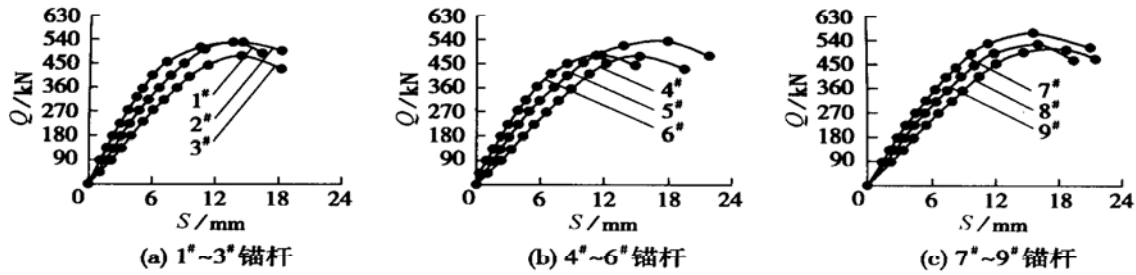


图 3 抗浮锚杆 Q-S 曲线

Fig. 3 Q-S curves of anti-floating anchors

表 1 抗浮锚杆抗拔试验结果

Table 1 The test results of pulling resistance on anti-floating anchors

组别	L_a/m	Q/kN	$Q_s/(kN \cdot m^{-1})$	$Q_p/(kN \cdot m^{-1})$
第一组	1	5.0	460	92.0
	5.1	480	94.1	91.4
	5.0	440	88.0	
第二组	5.2	470	90.4	
	5.5	510	92.7	90.4
	5.1	450	88.2	
第三组	5.4	500	92.6	
	5.1	480	94.1	93.6
	5.2	490	94.2	

54.1 kPa; 需由抗浮锚杆承担的荷载为 38.4 kPa。

在本设计中确定抗浮锚杆截面采用的抗力分项系数 K_1 为 1.5, 而确定抗浮锚杆锚固长度采用的抗力分项系数 K_2 为 2.0, 这主要考虑岩体锚固力随岩体不同的分布情况变化, 离散性大, 因而取较大抗力系数, 而钢筋强度则离散性较小, 因而抗力系数取小值^[7,8]。

抗浮锚杆截面和长度分别由式(4)确定:

$$K_1 N_t = A_s f_{yk}; K_2 N_t = L_a Q_s; N_t = abq_t \quad (4)$$

式中 K_1, K_2 为抗力系数; N_t 为抗浮锚杆轴向拉力值; a, b 为抗浮锚杆在横向和纵向间距; f_{yk} 为强度标准值; L_a, Q_s 为抗浮锚杆锚固段长度和单位长度抗拔力。

抗浮锚杆拟采用 2Φ25 mm 螺纹钢, $f_{yk} = 335$ MPa, 根据前面得出的作用在锚杆上的荷载 $q_t = 38.4$ kN/m², $Q_s = 91.8$ kN/m, 代入式(1)、(2)得出: 锚杆间距为 2.4 m × 2.4 m 时锚固段长度 $L_a = 4.8$ m, 考虑到孔口处岩体的扰动等因素, 孔深取 5.2 m。

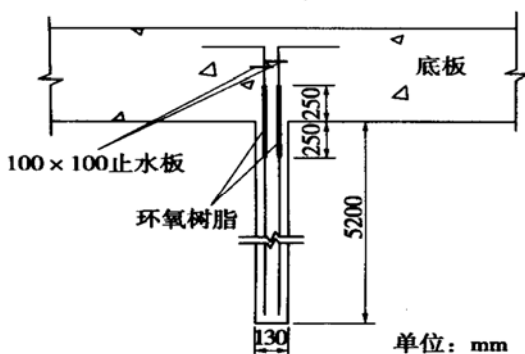


图 4 抗浮锚杆作法

Fig. 4 The construction method of anti-floating anchors

4.2 抗浮锚杆的构造

锚杆设 4 道定位支架, 以使其居于孔中。在锚杆距孔口 400 mm 处设置两块各为 100 mm × 100 mm 的止水板, 在浮力作用下, 底板与基础岩层界面处将形成微小的缝隙, 此处的锚杆由于长期受到地下水的侵蚀而容易产生锈蚀。本工程对抗浮锚杆在底板与岩层界面上下各 250 mm 范围内涂环氧树脂来解决锚杆的锈蚀问题。抗浮锚杆的止水板及环氧树脂作法如图 4 所示。

5 结 论

(1) 注浆体与岩体间剪应力沿锚杆长度的分布是不均匀的, 在孔口附近最大, 沿锚杆长度衰减。

(2) 当外荷载达到极限状态时, 极限剪应力趋于稳定并向深度方向发展, 此时剪应力沿锚杆长度的变化梯度变缓, 但剪应力分布的不均匀性仍然存在, 因此, 增加锚杆长度对其承载力的提高是有限的。

(3) 工程实践证明, 抗浮锚杆是解决地下工程的有效方法, 具有施工方便、造价低廉及施工速度快的特点。工程投入使用 2 a 多, 工作状态良好。

参考文献:

- [1] 王 胜. 预应力钢绞线锚杆在地下停车场工程抗浮中的应用与研究[J]. 建筑结构, 2001, (8): 60-62.
- [2] 彭 涛, 武 威. 复杂地质条件下预应力抗浮锚杆的应用[J]. 工程勘察, 2000, (2): 31-33.
- [3] 崔京浩, 崔 岩. 锚固抗浮问题的几个关键问题[J]. 特种结构, 2000, 17(1): 9-17.
- [4] Foxton, Peter. Vertically loaded anchors for deep water[J]. Journal of Offshore Technology, 1977, 5(3): 40-43.
- [5] Singh, Baleshwar. Pullout behavior superpile anchors in soft clay under static loading[J]. Marine Georesources and Geotechnology, 1996, 14(3): 217-236.
- [6] CECS 22:90 土层锚杆设计与施工规范[S]. 中国工程建设标准化协会, 1991.
- [7] 贾金青. 复杂地层深基坑支护的方法与实践[J]. 岩土锚固工程, 2000, (2): 48-52.
- [8] 贾金青. 软岩抗浮锚杆的试验、设计及施工[M]. 北京: 北京人民交通出版社, 2000. 72-75.