

土层锚杆抗拔力的影响因素 及其计算公式的修正

潘殿琦 吴银柱 吴丽萍

(长春工业高等专科学校, 长春, 130021)

摘要 通过对土层锚杆抗拔力影响因素的探讨, 得出土层锚杆抗拔力设计值的较为准确的计算公式, 进而可以节省锚杆材料或使锚杆工程更安全。

关键词 土层锚杆, 抗拔力, 公式修正

土层锚杆在高层建筑深基坑中应用得很广泛, 在建筑工程中起着重要作用, 但锚杆设计中关键的抗拔力设计值计算公式却不能较准确地计算出抗拔力设计值。它的计算值有时大于实际值很多, 造成锚杆材料的极大浪费, 增加了工程成本; 有时小于实际值, 出现工程事故, 造成重大的经济损失。究其原因在于现土层锚杆抗拔力的计算公式没能全部地将抗拔力影响因素考虑进去, 造成计算结果与实际值相差很多。因此, 本文试图通过对土层锚杆抗拔力影响因素的分析与探讨, 对土层锚杆抗拔力计算公式进行修正。

1 土层锚杆抗拔力的影响因素

土层锚杆分为非锚固段和锚固段两部分。锚杆的抗拔力主要决定于锚固段的锚固体与土体间的总侧摩阻力和锚固体上端部土体的总压力, 下面, 通过土层锚杆抗拔力计算公式作为具体说明。

锚杆的抗拔力计算公式为:

$$T_u = F + R_t = \pi D \int_{y_1}^{y_2} \tau_y dy + qA$$

式中: T_u —土层锚杆的极限抗拔力(kN)

y_1 ——非锚固段长度(m)

y_2 ——锚杆长度(m)

F ——锚固体周围的总侧摩阻力(kN)

R_t ——锚固体上端部土体总受压力(kN)

收稿日期 1999-01-25 改回日期 1999-05-07

第一作者简介: 潘殿琦, 男, 1964年生。硕士, 基础工程、地基处理学科教学和研究。

q ——锚固体上端部土体的抗压强度

D ——锚固体直径(m)

A ——锚固体上端部承压面积(m^2)

τ_y ——深度 y 处土体抗剪强度(kPa)

$$\tau_y = c + k_0 \gamma H_g \tan \varphi$$

其中: C ——土体的内聚力(kPa)

φ ——土体的内摩擦角($^\circ$)

γ ——土体的重度(kN/m^3)

H_g ——锚杆的埋置深度(m)

k_0 ——土体的静止侧压系数(砂土层 $k_0 = 1.0$, 粘土层 $k_0 = 0.5$)

由锚杆抗拔力计算公式明显可以看出: 锚杆抗拔力的影响因素为锚固体的直径(D)、锚固体上端部受压总面积(A)、锚固体段长度($y_2 - y_1$)、土体抗剪强度(τ)以及锚固体上端部土体抗压强度(q)。

锚杆抗拔力影响因素中的 τ 、 q 是土体的力学性能参数, 它们是相对不变的, 只要勘察资料准确, 就不会影响抗拔力计算的准确性; 影响因素中的锚固段长度($y_2 - y_1$) 根据锚固体直径(D) 的大小进行试算确定, 只要 D 准确, 锚固段长度($y_2 - y_1$) 就会准确, 它是通过 D 的大小来影响抗拔力设计值的; 影响因素中的锚固体上端部受压总面积(A) 是与 D 有关的参数, 有一定的 D 就有一定的 A , 它也是通过 D 来影响抗拔力设计值的。由此, 我们可以说, 土层锚杆抗拔力设计值是否准确主要决定于锚固体直径(D) 是否准确。

锚固体直径(D) 与锚杆所处的地层、注浆压力以及锚杆成孔方法有关。地层渗透性好, 注浆压力大, 则锚固体直径大; 反之, 则小。成孔方法对地层的渗透性破坏得越严重, 锚固体的直径越小。

因此, 促使锚杆抗拔力设计值计算不准确的主要因素为锚固体直径(D), 具体因素为:

- (1) 地层的渗透性和注浆压力;
- (2) 成孔方法。

由于上述两种具体因素的存在, 使得抗拔力计算公式中的锚固体直径(D) 很难确定。因而, 人们在计算抗拔力时, 选取的锚固体直径均为经验数据或估算, 甚至有些设计者直接用锚杆钻孔直径代替锚固体直径进行计算, 造成材料巨大的浪费。

2 影响锚固体直径因素及抗拔力计算公式的修正

通过对土层锚杆抗拔力影响因素分析, 我们知道, 锚固体直径是影响抗拔力设计值计算准确与否的决定因素。而锚固体直径大小受地层的渗透性、注浆压力和成孔方法制约。

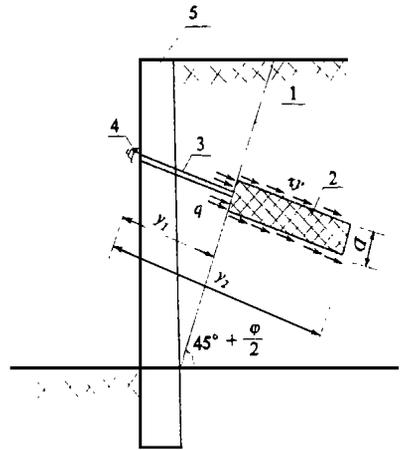


图1 土层锚杆抗拔力计算图

Fig. 1 The graph of force calculation of repel of ground hog bolting

1. 主动滑动面 2. 锚固体 3. 拉杆
4. 锚头 5. 护桩

2.1 地层的渗透性、注浆压力的影响

在锚杆注浆中,不同的地层、不同的注浆压力,形成的锚固体直径不一样。地层的孔隙率大、孔隙大,则渗透性好,浆液易渗透,注浆扩散半径大,形成的锚固体直径也就越大,相反,同样的锚孔直径、同样的锚杆规格、同样的注浆压力、吃浆量大的地层,则地层的孔隙率大、渗透性好,形成的锚固体直径大。也就是说锚固体直径与吃浆量、孔隙率有关。同样的锚孔直径、同样的锚杆规格,用不同的注浆压力进行注浆,则注浆压力大时,地层吃浆量大;反之,则小。即锚固体直径与不同注浆压力下的吃浆量有关。通过上述分析,可以得出考虑到地层渗透性、注浆压力两种因素的锚固体直径(D)计算公式:

$$D = \frac{Q}{\pi(y_2 - y_1)nk}$$

式中: Q ——某规格锚杆试验注浆用量(m^3)

n ——孔隙率

k ——经验系数

软土、粘性土、细沙子	$k = 0.3 \sim 0.5$
中沙、粗沙子	$k = 0.5 \sim 0.7$
砾砂	$k = 0.7 \sim 1.0$
湿陷性黄土地	$k = 0.5 \sim 0.8$
一般情况下,粘性土中注浆	$k = 0.15 \sim 0.20$

2.2 成孔方法的影响

2.2.1 成孔方法的影响机理 土层锚杆的常用成孔方法有长螺旋干钻成孔法、长螺旋水钻成孔法、光钻杆干钻一次成锚法、光钻杆水钻成孔法、潜孔锤挤密成孔法等。尽管上述各成孔方法对土层锚杆施工均适用,但不同成孔方法在同一地层施工的同一倾角、同一规格的锚杆,其抗拔力不等。通过作者在长春市光大银行深基坑锚杆工程施工的实践得出以下结论:锚杆的抗拔力以光钻杆干钻一次成锚法最大,长螺旋干钻成孔法次之,潜孔锤挤密成孔法居中,光钻杆水钻成孔法为最小。

上述结论的机理为:光钻杆干钻一次成锚法是将钻杆作为钻具和拉杆的一种钻进和成锚方法,该方法施工时,不排土,且对钻孔范围内的土体进行搅拌,对孔壁周围土体破坏力最小,该方法形成的锚固体直径最大,抗拔力也就最大;长螺旋干钻成孔法是用长螺旋钻具进行排土钻进成孔,该方法施工时,由于排土和螺旋钻的挤密作用,使钻孔周围土体受到挤密和扰动,影响了地层的渗透性,但影响较后几种成孔方法小,因此,形成的锚固体直径及锚杆抗拔力仅次于第一种成孔方法;潜孔锤挤密成孔法是靠潜孔锤下面的锥形钻头进行不排土挤密成孔的,钻孔范围内土体均被挤入孔壁中,影响了地层的渗透性,影响程度大于第二种方法,但小于后一种具有造浆能力的成孔方法,因此,形成的锚固体直径和锚杆抗拔力居中;光钻杆水钻成孔法是边钻进边泵入水进行的正循环钻进,钻进中,大量造浆,在孔壁周围形成泥皮,大大地影响了水泥浆液向地层中的渗透,对地层渗透性影响得最严重,因此,形成的锚固体直径和锚杆抗拔力最小。

根据上面的论述,我们知道,在计算锚固体直径时,不仅应考虑到地层、注浆压力的影响,

也应考虑到成孔方法的影响。因此,得出考虑到三个影响因素的锚固体直径计算公式为

$$D = \frac{Q}{\pi n(y_2 - y_1)k} k'$$

式中: k' —— 成孔方法影响系数

注:在进行吃浆量试验时,若采用的钻孔方法为光钻杆一次成锚法,而设计时仍采用该方法施工,则 $k' = 1$ 。否则, $k' < 1$ 。若采用光钻杆水钻方法为成孔方法,而设计时仍采用该方法施工,则 $k' = 1$ 。否则, $k' > 1$ 。

2.2.2 成孔方法影响系数 k' 的确定 成孔方法影响系数 k' 的确定,需要在同一地区相同土层条件用不同成孔方法对同种倾角和规格的锚杆进行试验才能确定出来。本文确定的 k' 是根据作者在长春光大银行深基坑锚杆工程施工中得到的原始数据进行计算确定的。由于长春市大部分浅部地层为粉质粘土和粘土,因此,本文所得到的 k' 值在长春很多地方的锚杆施工设计时可以应用,其它地区仅供参考。

下面根据笔者的工程实践,得来的原始数据进行 k' 的确定。

光大银行长春分行营业大厦基坑宽 58 m、长 59 m、深 12.6 m,布置两层锚杆,两层锚杆倾角均为 $13^\circ \sim 15^\circ$;锚杆钻孔直径为 $\Phi 150$ mm,拉杆采用 $\Phi 32$ mm 精轧螺纹钢制作,腰梁用 50# 钢轨,止浆器采用优质海带。

第一层锚杆长 18 m,非锚固段长 5 m,锚固段长 13 m,抗拔力设计值为 330 kN;第二层锚杆长 20 m,非锚固段长 5 m,锚固段长 15 m,抗拔力设计值为 350 kN。锚杆结构尺寸见图 2。

场地工程地质条件如下:

- 第一层 杂填土,由建筑垃圾回填,厚 1.2 ~ 2.7 m,结构松散;
- 第二层 粉质粘土,褐黄色,中密 ~ 密实,稍湿,可塑 ~ 硬塑,层厚 5.2 ~ 13.7 m;
- 第三层 粘土,褐黄色,密实,稍湿,坚硬,层厚 6.2 ~ 12.3 m;
- 第四层 强风化页岩,红棕色,密实,稍湿,坚硬。

地下水埋藏在第二层粉质粘土中,由大气降水补给,随季节的变化而变化,其变化幅度为 1.15 m,平均幅度为 1.2 m,地下水静止水位 2.1 ~ 3.1 m,由南向北渗流。

第一层锚杆施工时,采用三种成孔方法。一是光钻杆一次成锚法,二是长螺旋干钻成孔法,三是光钻杆水钻成孔方法。

采用长螺旋干钻成孔法形成的锚杆的抗拔力实测平均值为 400 kN,相应的平均注浆量为 3.67 m^3 ;采用光钻杆一次成锚法形成的锚杆的抗拔力实测值的平均值为 500 kN,相应的平均

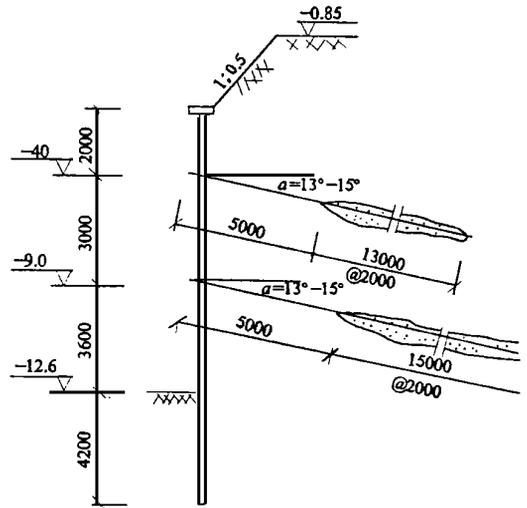


图 2 光大银行基坑锚杆结构尺寸图

Fig 2 The graph of structure size of Guangda Bank foundation bolting

注浆量为 4.59 m^3 , 采用光钻杆水钻成孔法形成的锚杆的抗拔力实测平均值为 200 kN , 相应的平均注浆量为 1.84 m^3 。

若以采用螺旋干钻成孔法为试验成孔法, 实际施工的成孔方法亦为该方法时, $k'_0 = 1$; 实际施工中采用光钻杆水钻成孔法时, 成孔方法影响系数为 k'_1 ; 实际施工时采用光钻杆一次成锚法时, 成孔方法影响系数为 k'_2 。

$$\text{由公式} \quad D = \frac{Q}{\pi n(y_2 - y_1)k}$$

得出:

$$\frac{k'_0}{k'_1} = \frac{Q_0}{Q_1} = \frac{3.67}{1.84} \quad k'_1 = 0.5014$$

$$\frac{k'_0}{k'_2} = \frac{Q_0}{Q_1} = \frac{3.67}{4.59} \quad k'_2 = 1.2507$$

由此, 可得到长春地区(粉质粘土、粘土地层)的锚杆固结体直径计算公式:

$$D = \frac{k'Q}{\pi n(y_2 - y_1)k}$$

式中, 成孔方法影响系数 k' , 以长螺旋干钻孔法为试验成孔法, $k' = 1$; 对光钻杆水钻成孔法, $k' = 0.5014$; 对光钻杆一次成锚法, $k' = 1.2507$ 。

2.3 抗拔力计算公式的修正

充分考虑到地层、注浆压力, 以及成孔方法对土层锚杆抗拔力的影响, 得到下面的土层锚杆抗拔力修正公式:

$$T_u = \frac{k'Q}{n(y_2 - y_1)k} \int_{y_1}^{y_2} \tau_y d_y + \frac{\pi}{4} q \left[\left(\frac{Q}{\pi n(y_2 - y_1)k} \right)^2 - d^2 \right]$$

式中: d ——拉杆直径(m)

其它符号意义同前

3 结论

- (1) 土层锚杆抗拔力设计值计算准确性差的原因在于锚固体的直径(D)无法准确确定。
- (2) 锚固体的直径确定, 必须考虑锚固体所处地层的渗透性、注浆压力和锚杆钻孔成孔方法三要素。
- (3) 修正公式能够较为准确地计算出土层锚杆抗拔力设计值, 推荐使用。

参考文献

1. 叶书麟. 地基处理与托换技术. 中国建筑工业出版社, 1994
2. 陈希哲. 土力学地基基础. 清华大学出版社, 1989
3. 赵志缙. 高层建筑基础工程施工. 中国建筑工业出版社, 1998

4. 黄强 . 深基坑支护工程设计技术 . 中国建材工业出版社, 1995
5. 刘建航 . 基坑工程手册 . 中国建筑工业出版社, 1997

THE INFLUENCING FACTORS OF WITHDRAWAL RESISTANCE OF SOIL ANCHOR AND REVISION TO THE FORMULA OF IT

Pan Dianqi Wu Yinzhu Wu Liping

(Changchun college of technology, Changchun, 130021)

Abstract

A relatively accurate formula of withdrawal resistance design value of soil anchor is obtained through analysis of the influencing factors of it so as to save anchorage materials and assure the safety of anchorage.

Key words soil anchor, withdrawal resistance, revision to the formula