

土层锚杆和土钉受力分析及土钉加固土体作用

孙凯¹ 孙学毅²

(1 海南海凯岩土工程公司 海口 571100 2 柳州OVM工程公司 柳州 545005)

摘要:目前采用的土钉支护设计软件,为设计者节省很多时间。但对于淤泥土层和二种土层C、 ϕ 值相差较大时软件计算结果失真度较大。本文对土锚、土钉的力学模型在前人基础上进行分析,从另一个角度考虑问题,即采用锚管加固土体,提高土体的C、 ϕ 值使土体稳定。同时对土钉加固土体作用也进行了探讨。

关键词:土锚 土钉 加固

前言

近10年来关于土钉、土锚争论很多,这两年似乎争论平息了,人们已习惯于土钉这个名词了。

随着工程建设的推动出现一些采用土钉支护设计软件,为设计者节省很多时间。但对于淤泥土层和二种土层C、 ϕ 值相差较大时软件计算结果失真度较大。分析原因,认为主要是土钉、土锚的力学模型建立方面值得进一步研究。本文对土锚、土钉的力学模型在前人基础上提出初浅分析,同时对土钉加固土体作用也进行了探讨。

1 名称定义

1.1 土锚

在土层中钻孔、注水泥浆,插入钢筋。由于水泥结石体和钢筋的弹性模量都大于土体弹性模量,当土体发生变形时,水泥结石体和钢筋共同约束土体变形成为锚固杆件。

1.2 土钉

将一根钢筋或钢管击入土体中。由于钢材的弹性模量大于土体的弹性模量,当土体发生变形时约束土体变形,钢筋或钢管成为锚固杆件。

2 土层锚杆力学模型

如图1所示,在基坑壁上设置一根土层锚杆ac,目的是当土体OHD沿HD面滑动时锚杆ac拉住不稳定土体OHD。

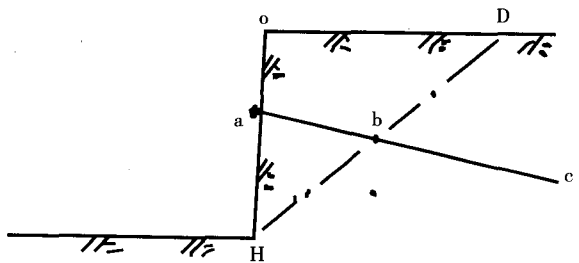


图1 土层锚杆加固土坡原理图

设计时从结构上先要解决ab段抗拉力大于bc段抗拉力。也就是说工程中只考虑bc段能否满足不被拨出的要求。

基于上述前提,我们把土层锚杆归纳为一根受拉的钢筋水泥杆。现分析如下:在滑动面处锚杆承受拉力 F , a)假定理想粘结, b)水泥体已被拉断不再承载。已知钢筋弹性模量 $E_{\text{钢}}$,水泥体弹性模量 $E_{\text{水泥}}$, $E_{\text{钢}}/E_{\text{水泥}}=6$,钢筋截面积 $A_{\text{钢}}$,水泥体截面积 $A_{\text{水泥}}$, $A_{\text{钢}}/A_{\text{水泥}}=1/9$ 。

此时钢筋和水泥体的应力可通过下述思路求解:

将锚杆看成由两根不同材料(水泥和钢筋)的杆组成的系统,在力 F 作用下产生同样的伸长 ΔL ,其基本方程为:

$$N_{\text{钢}} + N_{\text{水泥}} = F$$

$$N_{\text{钢}} = F \frac{1}{1 + \frac{E_{\text{水泥}} \cdot A_{\text{水泥}}}{E_{\text{钢}} \cdot A_{\text{钢}}}} = \frac{2}{5} F$$

$$N_{\text{水泥}} = F \frac{\frac{E_{\text{水泥}} \cdot A_{\text{水泥}}}{E_{\text{钢}} \cdot A_{\text{钢}}} + 1}{1 + \frac{E_{\text{水泥}} \cdot A_{\text{水泥}}}{E_{\text{钢}} \cdot A_{\text{钢}}}} = \frac{3}{5} F$$

利用 $A = A_{\text{水泥}} + A_{\text{钢}}$ 和 $A_{\text{钢}} = A/10$, $A_{\text{水泥}} = 9A/10$

求得应力:

$$\sigma_{\text{钢}} = \frac{N_{\text{钢}}}{A_{\text{钢}}} = 4 \frac{F}{A}, \quad \sigma_{\text{水泥}} = \frac{N_{\text{水泥}}}{A_{\text{水泥}}} = \frac{2}{3} \frac{F}{A}$$

上述分析尽管是近似的,但却揭示了一个事实:由钢筋和水泥体组合而成的锚杆其锚固力由钢筋和水泥体共同承担。两者各自承担锚固力大小由钢筋和水泥体刚度比和面积比决定。因此锚杆设计不单根据钢筋,同时要考虑中间介质水泥的作用。

3 土钉力学模型

3.1 土钉作用

目前国内建筑基坑多采用 $\phi 48 \times 3.5$ 钢管作为土钉材料,用击入法将其置入土体中。常规设计只考虑土钉介面与土体间的摩阻力发挥锚固作用。事实上安置土钉过程中将使土体挤密,同时会产生超孔压。超孔压会消散,而挤密效应提高土体 C 、 ϕ 值却是长期的。针对软粘土而言土钉挤密效应提高土体 C 、 ϕ 值加固土体的作用比考虑土钉介面摩阻力作用更有价值。

3.2 土钉力学模型

采用击入法在饱和粘土中安置土钉效应可近似归结为半无限土体中小孔扩张课题。

假定土体均质,各向同性,并符合摩尔—库仑强度准则,如图2所示,土体微单元的平衡方程为^[1]

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad (1)$$

土体屈服条件为

$$\sigma_r - \sigma_\theta = 2C_u \quad (2)$$

式中: σ_r —径向应力;

σ_θ —切向应力;

r —离园柱形扩张孔(锚管)中心距离;

C_u —土体不排水抗剪强度。

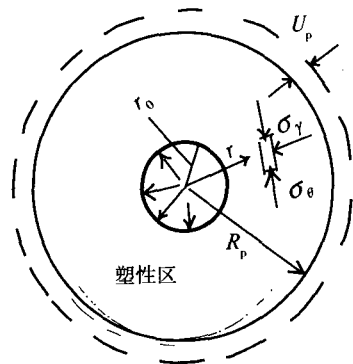


图2 小孔扩张课题

根据相应的边界条件和协调方程可求得塑性区半径及塑性区外边界径向位移为^[2]

$$R_p = r_0 \sqrt{\frac{E}{2(1+\mu)C_u}} \quad (3)$$

$$U_p = \frac{1+\mu}{E} \cdot C_u \cdot R_p \quad (4)$$

式中: R_p —塑性区半径;

U_p —塑性区外边界径向位移;

E —土体弹性模量;

μ —土体泊松比;

r_0 —土钉(锚管)半径。

分析(3)、(4)式可以看出:

采用击入法安置土钉(锚管)时在土钉周围产生一个塑性区。塑性区半径 R_p 的大小取决于土体弹性模量 E , 土体不排水抗剪强度 C_u 和泊松比 μ 。

4 土锚、土钉工程中应用

几年之前关于土锚、土钉争论相当热烈,有的学者说土锚就是土钉,称土锚为注浆土钉;另外一些学者说土钉与土锚有本质区别。本文不想重提这些争论,只想把近年土锚与土钉在工程中应用状态加以归纳、比较。

(1)近年来对土锚、土钉适应的条件认识越来越清楚。公路边坡、建筑边坡基本上都用土锚,硬粘土建筑基坑也用土锚。只有沿海地区一般粘土、砂性粘土和软粘土的建筑基坑才使用土钉支护。较深的软土基坑上部采用土钉支护,下部采用预应力锚索支护。概括地说,土钉、土钉

墙“万能”时代已经过去了。

(2) 土钉采用的材料基本上用 $\phi 48 \times 3.5$ 钢管, 工程界称为锚管。锚管支护设计通常采用同济大学的启明星软件或北京理正软件。

5 锚管加固土体作用探讨

5.1 问题的提出

近年来笔者参与一些采用锚管支护软粘土建筑基坑的设计。有些基坑下部土层是淤泥土, ϕ 角 5° 左右, C_u 值不超过15KPa。采用理正软件设计锚管长15m, 间距0.8m, 其结果安全度还是不能满足规范要求, 其原因是锚管提供的锚固力不够。如锚固段长13m的锚管 $C_u=10$ KPa, 锚固力只有20kN。

5.2 锚管支护理念探讨

通常锚管支护的理念是依靠锚管与土层界面的粘结力。置于土体中的锚管当滑动面以上土体滑时滑动面以下锚管的锚固力提供一个约束力使欲滑土体稳定。

本文从另外一个角度考虑问题, 即采用锚管加固土体, 提高土体的 C 、 ϕ 值使土体稳定。

本文应用复合地基的研究成果, 即考虑锚管和土体共同承担抗剪。由于土体中安置锚管后复合体的抗剪能力变成复合的 C 值。由于锚管是挤入土体内的, 在塑性区外边界有一个径向位移自然有挤密土体的作用, 使复合体的 ϕ 角提高。

5.3 应用举例

5.3.1 基坑基本参数

基坑深6m, 直壁开挖。一层素填土, 厚1.5m, $\gamma=18$ kN/m³, $C=10$ KPa, $\phi=10^\circ$; 二层土粉细砂, 厚2.1m, $\gamma=20$ kN/m³, $C=10$ KPa, $\phi=18^\circ$; 三层土淤泥, 厚8m, $\gamma=17$ kN/m³, $C=12$ KPa, $\phi=5^\circ$; 地面下1.4m为地下水位, 地面无附加荷载。

5.3.2 基坑支护体系设计

(1) 采用深层搅拌桩封水兼超前支护。搅拌桩厚2.4m, 深11m。搅拌桩7天后 C 值为50KPa。

(2) 采用钢管砼树根桩支护。钢管 $\phi 135$

$\times 4$, 长11m, 间距0.8m。

(3) 采用锚管支护。上部土体安置2道锚管长6m, 下部淤泥土安置4道锚管长10m。锚管间距0.8m, 排距0.8m, 安置角 15° 。

(4) 锚管击入安装后洗孔、注浆, 挂钢筋网, 喷射砼。

5.3.4 计算分析

(1) 按常规计算, 三层土 $C=12$ KPa, $\phi=5^\circ$, 采用理正基坑设计软件, 支护系统不稳定。其内容包括锚管提供的锚固力不够, 搅拌桩长度不够。

(2) 按锚管与淤泥土组合的 C 、 ϕ 值采用理正基坑设计软件, 支护系统稳定, 达到规范要求。

(3) 计算分析

计算分析的基础是安置锚管后, 淤泥土与锚管共同承担抗剪。

$$C_{\text{复合}} = (C_{\text{土}} \cdot A_{\text{土}} + C_{\text{锚管}} \cdot A_{\text{锚管}}) / (A_{\text{土}} + A_{\text{锚管}}) = 20\text{KPa}.$$

略去置入锚管后 ϕ 角的提高度, 只考虑 C 值提高则三层淤泥土的稳定角由 19° 提高到 28° 。由此求得淤泥土加固后基坑滑动线如图3中II所示。与图2中淤泥土加固前滑动线I相比可知滑动力之后小很多。

该基坑2009年3月6日开挖, 4月28日回填, 历时53天服务期安全稳定。

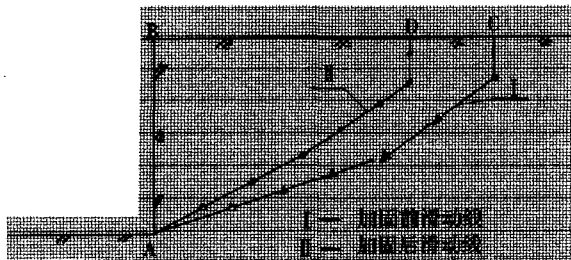


图3 基坑底淤泥土加固前、后滑动线比较图

参考文献

- [1] 吴家龙. 弹性力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [2] 徐志英. 岩石力学第三版[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.