

# 利用抗剪强度计算地基承载力特征值方法探讨

潘广灿, 张金来, 郜松杰

(河南省有色金属地质矿产局第四地质大队, 河南 郑州 450016)

**摘要:**利用不同地层情况的计算实例,分别采用抗剪强度指标厚度加权平均法和附加应力面积法对地基承载力特征值进行计算,对计算结果进行分析,对不同的计算方法的理论原理进行了剖析,提出利用附加应力系数法计算抗剪强度指标标准值的结论。同时提出抗剪强度指标应采用不固结不排水剪指标,当持力层为粉土时应对其抗剪强度指标进行75%的折减的方法和建。为合理利用抗剪强度指标计算地基承载力特征值提供了有益的参考。

**关键词:**抗剪强度指标标准值;地基承载力特征值;厚度加权平均法;附加应力面积法

**中图分类号:**TU471.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)11-0068-03

**Discussion on Calculation Method of Characteristic Value of Foundation Bearing Capacity by Shear Strength/PAN Guang-can, ZHANG Jin-lai, GAO Song-jie (No. 4 Geological Brigade of Henan Provincial Non-ferrous Metals Geological and Mineral Resources Bureau, Zhengzhou Henan 450016, China)**

**Abstract:** Based on the calculation cases for different formation situations, characteristic value of foundation bearing capacity was calculated by shear strength index thickness weighted average method and additional stress area method. Analysis was made on calculation results, conclusion was drawn that shear strength index should be calculated by additional stress coefficient method. Shear strength index should use non consolidated and non drainage shear ones, when the bearing stratum is of silt, shear strength index should be reduced to 75%.

**Key words:** standard value of shear strength index; characteristic value of foundation bearing capacity; thickness-weighted average method; additional stress area method

## 1 问题的提出

地基承载力特征值 $f_a$ 是岩土工程勘察中最重要参数之一,它的大小直接影响工程造价和建筑物的可靠性。《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2002)第5.2.5条规定:当基础偏心距 $e$ 小于或等于0.033倍基础底面宽度时,根据土的抗剪强度指标,按下式确定地基承载力特征值:

$$f_a = M_b \gamma b + M_d \gamma_m d + M_c C_k$$

式中: $M_b$ 、 $M_d$ 、 $M_c$ ——承载力系数,取基底以下1倍短边宽深度内土的内摩擦角标准值 $\varphi_k$ ;  $b$ ——基础底面宽度,大于6m时按6m取值,对于砂土小于3m时按3m取值; $\gamma$ ——基底底面以下土的重度,地下水位以下取浮重度; $\gamma_m$ ——基底底面以上土的加权平均重度,地下水位以下取浮重度; $C_k$ ——基底以下1倍短边宽深度内土的粘聚力标准值<sup>[1]</sup>。

但是在公式使用过程中发现当基底以下1倍短边宽深度内的土层为多层土时,规范中未对 $C_k$ 、 $\varphi_k$ 取值进行说明,目前在实际应用时常采用厚度加权平均法、附加应力面积法进行取值。现通过实例计

算进行探讨,从而找出合适的取值方法。

## 2 计算实例情况

计算实例分2种情况。

第一种情况(上软下硬):基础短边宽度 $b=5$  m,基础埋深 $d=2$  m,在基底下面1倍短边宽深度内为3层粉质粘土,基础持力层为第①层,基础底面下第①层厚度为1.0 m,第②层厚度为2.0 m,第③层厚度为2.0 m,各层物理力学性质参数见表1。

表1 第一种情况基础底面下土的物理力学性质指标

基础底土层	土重度 /(kN·m <sup>-3</sup> )	孔隙比 $e/\%$	液性指数 $I_L$	粘聚力 标准值 $C_k/\text{kPa}$	内摩擦角 标准值 $\varphi_k/(\circ)$	承载力 特征值 $f_{ak}/\text{kPa}$
①	19.30	0.806	0.68	18.0	13.0	160
②	19.00	0.846	0.80	15.0	11.0	120
③	19.70	0.743	0.52	35.0	16.0	230

第二种情况(上硬下软):仅将基础下第②层与第③层位置进行互换,其余均与第一种情况相同。

收稿日期:2011-05-17; 修回日期:2011-09-05

作者简介:潘广灿(1968-),男(汉族),河南临颖人,河南省有色金属地质矿产局第四地质大队高级工程师,水文地质与工程地质专业,硕士,从事地质岩心钻探、水文地质、工程地质、地质灾害防治工程等技术与管理工,河南省郑州市郑东新区金水东路16号鑫地大厦1506室, pangc11111@126.com。

### 3 厚度加权平均法

所谓厚度加权平均法就是承载力计算的抗剪强度指标以基底下 1 倍短边宽度  $b = 5\text{ m}$  深范围内各土层的抗剪强度标准值的厚度加权平均值进行计算,计算公式如下:

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ik} h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (1)$$

$$\varphi_k = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{ik} h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (2)$$

式中: $C_k$ 、 $\varphi_k$ ——基底下 1 倍短边宽度  $b$  深范围内各土层的抗剪强度标准值; $C_{ik}$ ——第  $i$  层的抗剪强度粘聚力标准值; $\varphi_{ik}$ ——第  $i$  层的抗剪强度内摩擦角

标准值。

第一种情况:计算地基承载力特征值采用的抗剪强度标准值的  $C_k = 18 \times 1 \div 5 + 15 \times 2 \div 5 + 35 \times 2 \div 5 = 23.6\text{ kPa}$ ,  $\varphi_k = 13 \times 1 \div 5 + 11 \times 2 \div 5 + 16 \times 2 \div 5 = 13.4^\circ$ 。

第二种情况:计算地基承载力特征值采用的抗剪强度标准值  $C_k = 18 \times 1 \div 5 + 35 \times 2 \div 5 + 15 \times 2 \div 5 = 23.6\text{ kPa}$ ,  $\varphi_k = 13 \times 1 \div 5 + 16 \times 2 \div 5 + 11 \times 2 \div 5 = 13.4^\circ$ 。

计算参数及承载力特征值计算结果见表 2。

表 2 地基承载力特征计算成果表

地层情况	基础宽度 $b/\text{m}$	基础深埋 $d/\text{m}$	基底以上平均重度 $\gamma_m/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	基底以下平均重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	内摩擦角 $\varphi_k/(\text{°})$	粘聚力 $C_k/\text{kPa}$	$M_b$	$M_d$	$M_c$	地基土承载力特征值 $f_a/\text{kPa}$
第一种	5	2	19.30	19.34	13.4	23.6	0.2882	2.1631	4.6819	221.85
第二种	5	2	19.30	19.34	13.4	23.6	0.2882	2.1631	4.6819	221.85

从表 2 可看出,按厚度加权平均法计算的地基承载力特征值  $f_a$  在持力层第①层不变情况下,第②层及第③层互换后,  $C_k$ 、 $\varphi_k$  及地基承载力特征值没有发生任何变化。

### 4 附加应力面积法

附加应力面积法主要是依据各向同性均质线性变形体理论进行计算,即计算过程中引入平均附加应力系数,计算基础下 1 倍短边宽度深度范围内的抗剪强度指标标准值  $C_k$  及  $\varphi_k$  公式如下:

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1})}{\sum_{i=1}^n [(Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1})/C_{ik}]} \quad (3)$$

$$\varphi_k = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1})}{\sum_{i=1}^n [(Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1})/\varphi_{ik}]} \quad (4)$$

式中: $C_k$ 、 $\varphi_k$ ——基底下 1 倍短边宽度  $b$  范围内各土层的抗剪强度标准值; $C_{ik}$ ——第  $i$  层的抗剪强度粘聚力标准值; $\varphi_{ik}$ ——第  $i$  层的抗剪强度内摩擦角标准值; $\bar{\alpha}_i$ 、 $\bar{\alpha}_{i-1}$ ——第  $i$  层及第  $i-1$  层土的基础底面范围内平均附加应力系数; $Z_i$ 、 $Z_{i-1}$ ——基础底面至第  $i$  层、第  $i-1$  层土底面的距离,可按《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)附录 K 采用。

$C_k$ 、 $\varphi_k$  计算见表 3,其它计算参数及承载力特征值计算结果见表 4。

表 3  $C_k$ 、 $\varphi_k$  计算表

地层情况	$\alpha_i$	$Z_i \bar{\alpha}_i$	$Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}$	$C_{ik}/\text{kPa}$	$\varphi_{ik}/(\text{°})$	$(Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1})/C_{ik}$	$(Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1})/\varphi_{ik}$	$C_k/\text{kPa}$	$\varphi_k/(\text{°})$
第一种		0.0000	0.0000						
	0.2440	0.2440	0.2440	18.000	13.000	0.014	0.019		
	0.1890	0.5670	0.3230	15.000	11.000	0.022	0.029	17.811	12.341
第二种		0.0000	0.0000						
	0.2440	0.2440	0.2440	18.000	13.000	0.014	0.019		
	0.1890	0.5670	0.3230	35.000	16.000	0.009	0.020	19.801	12.927
	0.1370	0.6850	0.3620	15.000	11.000	0.024	0.033		

表 4 地基承载力特征计算成果表

地层情况	基础宽度 $b/\text{m}$	基础深埋 $d/\text{m}$	基底以上平均重度 $\gamma_m/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	基底以下平均重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	内摩擦角 $\varphi_k/(\text{°})$	粘聚力 $C_k/\text{kPa}$	$M_b$	$M_d$	$M_c$	地基土承载力特征值 $f_a/\text{kPa}$
第一种	5	2	19.30	19.34	12.341	17.811	0.2402	1.9791	4.466	214.36
第二种	5	2	19.30	19.34	12.927	19.801	0.2578	2.0466	4.545	220.71

从表3、表4的结果可看出,按附加应力面积法计算的地基承载力特征值 $f_a$ 在第一种情况下和第二种情况下分别为214.36和220.71 kPa,两者相差6.36 kPa。

## 5 对比及分析

按厚度加权平均法计算的2种情况下 $f_a$ 完全一致,用附加应力面积法计算的 $f_a$ 两种情况下相差6.36 kPa,为检验其合理性,采用《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2002)(5.2.4)式的深宽修正公式计算持力层的地基承载力特征值 $f_a$ 进行对比分析。

$$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma (b - 3) + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) \quad (5)$$

式中: $f_a$ ——修正后的地基承载力特征值; $f_{ak}$ ——地基承载力特征值; $\eta_b$ 、 $\eta_d$ ——基础宽度和埋深的地基承载力修正系数,查表5.2.4。

计算结果见表5。

表5 地基承载力特征值计算成果表

地层情况	基础宽度	基础深度	基底以上平均重度 $\gamma_m$	基底以下平均重度 $\gamma$	$\eta_b$	$\eta_d$	地基土承载力特征值 $f_{ak}/\text{kPa}$
	$b/\text{m}$	$d/\text{m}$	$/(kN \cdot m^{-3})$	$/(kN \cdot m^{-3})$			
第一种	5	2	19.30	19.34	0.3	1.6	217.92
第二种	5	2	19.30	19.34	0.3	1.6	217.92

从上面计算结果看出:在第一种情况下以深宽修正公式计算的 $f_a$ 值比用抗剪强度指标加权平均法计算的 $f_a$ 值小3.93 kPa,比用抗剪强度指标附加应力面积法计算的 $f_a$ 值大3.56 kPa;在第二种情况下以深宽修正公式计算的 $f_a$ 值比用抗剪强度指标加权平均法计算的 $f_a$ 值小3.93 kPa,比用抗剪强度指标附加应力面积法计算的 $f_a$ 值小2.79 kPa。

分析造成不同方法计算的地基承载力特征值 $f_a$ 不同的原因,主要是:

(1)土是一种非连续、各向异性明显的介质,即使是同一土层,其性质仍有一定的差异;

(2)基础应力的影响与地层距基础底面的距离成反比,即土层距离基础底面越近,基础应力对该土层的影响越大,也就是说基础下不同地层的分布排列情况变化肯定会对地基承载力特征值 $f_a$ 产生影响。深度修正公式只考虑地基地力层的性质,而没有考虑基础下影响深度 $b$ 范围内其它地层的影响;厚度加权平均法虽然同时考虑了持力层及基础下影响深度 $b$ 范围内的其它地层的影响,但却没有考虑到地层距基础底面距离的影响;附加应力面积法不但考虑了持力层及其基础下影响深度 $b$ 范围内的其

它地层的影响,同时考虑了地层距基础底面距离的影响。正常情况下,在基础持力层不变时,第一种情况(即上软下硬)持力层 $f_a$ 值应该比第二种情况(即上硬下软)小,因为软地层距基础底面近、基础产生的附加应力大,其对基础承载力特征值的影响也大,反之亦反。

由以上分析综合判定:以抗剪强度指标计算 $f_a$ 值时采用附加应力面积法合理。梁俊勋、覃再肯认为采用抗剪强度指标计算地基 $f_a$ 值时可直接采用基础持力层的抗剪强度值进行计算<sup>[2]</sup>,虽然是一种处理方法,但笔者认为这种方法有明显的局限性,因为没有充分考虑地基下多层土对 $f_a$ 值的影响。当然,以抗剪强度指标计算的 $f_a$ 值与以深宽修正公式计算的 $f_a$ 值均是规范中提供的方法,但二者计算的方法是不同的,深宽修正公式是以由荷载试验或其它原位测试并结合工程实践经验等方法确定的 $f_{ak}$ 为基础,而利用抗剪强度指标计算的 $f_a$ 是以抗剪强度指标为基础,哪个公式更加合理无法定论,在实际应用中可利用这2个公式并结合其它经验综合评价地基的 $f_a$ 值。

在计算地基承载力时抗剪强度指标应该采用不固结不排水剪指标,当有地区经验时可结合直剪试验结果综合确定抗剪强度指标<sup>[3]</sup>。当持力层为粉土时,由于粉土易失水使其指标失真,抗剪强度指标应采用不固结不排水剪指标打75%折扣<sup>[4]</sup>。

利用抗剪强度指标计算地基 $f_a$ 值仅是确定地基承载力的一种方法,在实际应用上应尽可能采取多种勘察手段(如多功能静力触探、标准贯入试验、静载荷试验等),通过其所获得的数据和资料,经过分析、对比,并通过工程施工检测、监测所获取的实测资料反算得到的参数作为对比依据,确保所提供的地基 $f_a$ 值的可靠性<sup>[5]</sup>。值得注意的是,一般情况下虽然可以采用附加应力面积法计算 $f_a$ 值,但其也有一定的适用范围,例如当基础下1倍短边宽度的深度范围内有一层工程地质性质明显很差的土层(例如2 m淤泥),由于其承载力及压缩模量相当低,这种情况下就不能用这些方法了,可以采用该最软弱地层的抗剪强度指标进行计算。

## 6 结语

土是一种各项异性十分明显的介质,当基底1倍短边宽深度内为多层土组合时,用抗剪强度指标计算地基承载力特征值,其指标的取值方法对计

(下转第82页)

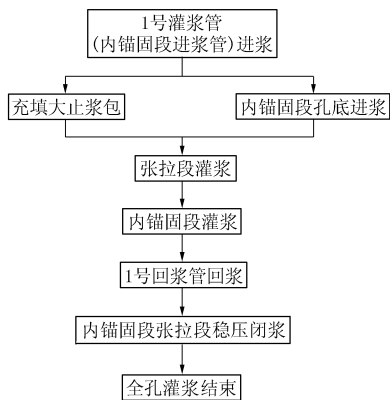


图2 灌浆工艺流程图

### 3.2.6 锚墩

锚墩采用 C30 混凝土,在混凝土浇注前安装好孔口钢套管和钢垫板及 2 根 1 in ( $\varnothing 25.4$  mm) 的钢管,以便对锚墩钢套管范围进行二次补浆,使土工布包裹体至孔口段的锚索体被浆液充填密实,对锚索体起到防腐保护作用,如图 3 所示。

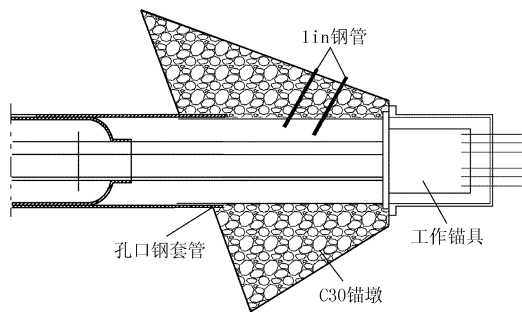


图3 锚墩结构示意图

### 3.2.7 锚索张拉及封锚

锚索水泥净浆和锚墩混凝土达到设计强度后,

对锚索每一根都按 200 kN 的荷载进行预拉,使单根钢绞线完全顺直,各部位接触紧密。后按张拉荷载分级张拉,分别为 250、500、750、1000、1100 kN,前面 3 级加荷速率  $\geq 100$  kN/min,后 2 级加荷速率  $\geq 50$  kN/min。每级稳定时间保持 10 min,再按 1000 kN 进行锁定。对锚墩钢套管范围进行二次补浆,经质检部门验收合格后采用细石 C20 混凝土封锚。

## 4 结语

无粘结锚索在堆积体中张拉段注浆因空洞多的原因造成注浆量过大,甚至灌不满,通过采用土工布包裹锚索张拉段,在不改变锚索体隔离支架直径的前提下,土工布将锚索体与堆积体空洞隔开,锚索体张拉段灌浆时,浆液在钢绞线与土工布之间形成有效的填充,形成有效的浆体保护层,达到了锚索体保护防腐的目的,避免了浆液向堆积体空洞的大量流失,有效地减少了张拉段的灌浆量,大幅度的控制了施工成本和加快施工进度,同时,保证了锚索质量。

## 参考文献:

- [1] 林宗元. 岩土工程治理手册[M]. 辽宁沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1993.
- [2] 程良奎, 等. 岩土锚固[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [3] GB 50086-2001, 锚杆喷射混凝土支护技术规范[S].
- [4] CECS22:90, 土层锚杆设计与施工规范[S].
- [5] 樊跃先. 700 米级高陡边坡及堆积体开挖与锚固施工技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [6] 王泰恒, 等. 预应力锚固技术基本理论与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [7] 徐建军, 王建光. 边坡支护施工过程中锚固失效事故分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(1): 63-66.

(上接第 70 页)

算结果的可靠性影响甚大。若抗剪强度指标按厚度加权平均法进行计算,会因计算条件与实际条件的偏差,使计算结果产生较大的误差。采用附加应力面积法进行计算的方法在理论上更为合理,为此,笔者提出该观点以便与同行探讨;另外抗剪强度指标应采用不固结不排水剪指标,当持力层为粉土时应对其抗剪强度指标进行 75% 的折减;同时采用附加应力面积法计算也有一定的适用范围,当基础下 1 倍短边宽度的深度范围内有工程地质性质明显很差的地层(如淤泥)时,应采用该最软弱地层的抗剪强

度指标进行计算。

## 参考文献:

- [1] GB 50007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [2] 梁俊勋, 覃再肯. 对计算地基承载力特征值中抗剪强度指标取值方法的探讨[J]. 土工基础, 2006, (1): 66-68.
- [3] GB 50021-2001, 岩土工程勘察规范(2009 年版)[S].
- [4] 潘广灿, 张金来. 对岩土工程勘察与地基设计若干问题的认识[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(9): 20-22.
- [5] 陈春华, 杨全忠. 工程建设中的工程勘察问题讨论[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(2): 16-18.