

13

工程与实践

104-100

# 岩石地基承载力的确定

胡岱文

黄求顺

TU471.6

(建筑工程学院)

摘要 通过分析和总结目前常用的几种确定岩石地基承载力的方法与计算公式,提出采用以天然湿度条件下岩石的单轴抗压强度,作为岩石地基极限承载力的标准值,并考虑裂隙与基岩表面坡度的影响,使扩展基础的岩石地基承载力与嵌岩桩桩基的端阻力得到合理的协调。

关键词 岩石地基, 极限承载力, 单轴抗压强度

中图法分类号 TU471.6

岩石地基是山区常见的地基之一,它具有承载力高、压缩性低的特点,作为二、三级建筑物的地基,其地基承载力与变形比较容易得到满足,在许多情况下其承载力没有得到充分发挥,是较好的一种地基。但是由于现代建筑的规模及荷载量都在不断增长,对岩石地基承载力提出了新的要求,特别对于软质岩与极软岩,如果按国家标准《建筑地基基础设计规范》的有关规定进行设计,在某些情况下,地基承载力有时显示不足,是不好理解的。

为了充分发挥岩石地基的承载力,我们结合山区的工程建设,进行了认真的试验研究,揭示了岩石地基的破坏机制,提出了岩石地基承载力计算方法。新提出的岩石地基承载力计算方法与嵌岩桩桩基承载力的计算,得到了良好的协调。为验证提出的岩石地基承载力计算式的可靠度,除在现场进行了必要的原位验证试验外,还在一些工程中进行了试点应用,取得了良好的技术和经济效果,使岩石地基承载力得到大幅度的提高。该算法已得到工程界的公认和肯定,在四川省地方标准《重庆市建筑地基基础设计规范》DBJ 51/5003-93中,已将本文的结论订入规范,以替代过去的算法。

## 1 岩石质量指标的确定

岩层作为自然产物是比较复杂的物体,特别在川东地区广泛分布的侏罗系岩层,属于内陆海沉积物,成份比较复杂,时有钙质胶结的透镜体存在,岩质很不均匀。为了评价岩石的强度和变形性质,必须寻找出一种能代表岩石质量的指标。目前衡量岩石质量的指标大致有以下几种:

• 收稿日期:1995-03-09

胡岱文,女,1957年生,讲师,重庆建筑大学岩土研究所(630045)。

### 1.1 RQD法

该法是以钻孔岩芯采取率为基础,即在54 mm(NX)钻孔中所获得的大于100 mm的岩芯长度与钻探进尺总长度之比。RQD在一定程度上反映了岩石的固有强度和岩体中结构面的性质,但RQD值的大小与钻探操作人员的技术素质和钻机的设备条件有很密切的关系,在同一岩层中,不同的操作人员或不同的设备条件,所得出的RQD将有较大的出入,推广这一方法目前还有困难。

### 1.2 单轴受压强度

岩石单轴受压的破坏机制,虽然与地基的破坏机制有所不同,但岩石的单轴受压强度基本上能反映岩石的力学性质,同时岩石单轴受压试验的设备条件和试验方法比较简单,在国内外采用都很普遍,已被国内外公认为衡量岩石的质量指标。我国对岩石试件尺寸也有明确规定,即试件的直径为50 mm,长度为100 mm的标准试件,使试验结果有更好的可比性。我国对按照岩石的单轴受压强度确定岩质地基的承载力方面,已积累了相当丰富的经验,采用岩石单轴受压强度作为岩石质量指标有成熟的条件。

我国从五十年代起学习前苏联,过去苏联采用岩石饱和单轴受压强度作质量指标,至今在我国仍然被广泛使用。经过几十年实践,发现采用饱和单轴受压强度有些不当之处:首先饱和的定义在试验中比较模糊,大量的试验室采用投入静水中浸泡饱和的方法,其饱和程度不能很好地检验;其次在浸水饱和中,一些软质岩及极软岩试件可能出现崩解现象,其强度为零,是否参加岩石强度的统计,成为提交成果时的悬而不决的问题。在国际上许多国家和地区,大多采用自然湿度条件下的单轴受压强度作岩石的质量指标,为便于国际交流,以采用天然湿度条件下的单轴受压强度为宜,同时可避免某些试件浸水后产生的崩解现象。

岩石单轴受压强度还可反映出岩石的风化程度,强风化的岩石强度必然低于中等风化岩石的强度。目前确定岩石风化程度还停留在定性评价的基础上,主要凭人的感觉与经验来划分岩石的风化程度,人为的因素占主导地位,在现场经常引起不必要的争论。直接在持力层中采集岩样进行岩石的单轴受压强度试验,且直接采用单轴受压强度作指标值,便可避免这一弊病。

### 1.3 模量比

该法是由美国迪尔(Deere)和奥地利米勒(Miller)提出。岩石的单轴受压强度采用试样的长度与直径之比至少为2的条件下试验得出。模量比是岩石的弹性模量与其单轴受压强度之比。而弹性模量是当压应力为极限强度的50%时的切线模量。这种岩石质量指标考虑了岩石的强度与变形两方面,但不能圆满地说明岩石的质量,如砂岩的单轴受压强度为100 MPa,砂岩的弹性模量为 $20 \times 10^3$  MPa,则模量比为200;泥岩的单轴受压强度为5 MPa,其弹性模量为 $1 \times 10^3$  MPa,其模量比也为200,但砂岩与泥岩的质量相去甚远,这种指标不便于运用。

有关岩石质量指标的确定方法还可列出许多,根据我国的国情,还是以在自然湿度条件下的单轴受压强度运用较普遍,也相对地合理。岩石单轴受压强度基本上能反映岩石的质量,而且在一定程度上反映了岩石的成因和成岩作用,也反映了岩石的风化程度,岩石单轴受压强度试验在我国已能普遍进行。在四川省地方标准《重庆市建筑地基基础设计规范》DB 51/5003-93中,岩石按天然湿度条件下的单轴受压强度( $f_c$ )划分为:硬质岩( $f_c \geq 30$  MPa)、软质岩( $f_c = 5 \sim 30$  MPa)、极软岩( $f_c \leq 5$  MPa)三类,这种分类法更有利于发挥软质岩与极软岩的承载力。

## 2 岩质地基的极限承载力

目前对岩质地基极限承载力的研究还不够,但有一个普遍的认识,岩体在自然条件下总是存在着节理裂隙,不是一种纯弹性体,但可考虑将岩体假定为弹性塑性体来进行理论分析,在国际上应用得比较多的计算式有:

### 2.1 普郎德尔(Prandtl)计算式

$$P_u = q\alpha + c(\alpha - 1)\cot\varphi$$

而

$$\alpha = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right)\exp(\pi \tan\varphi)$$

式中  $q$ ——基础的旁侧荷载,一般情况下为基础埋置深度与岩土重度的乘积;  
 $c, \varphi$ ——岩石的粘聚力与内摩擦角。

### 2.2 太沙基(Terzaghi)计算式

$$P_u = 0.5\gamma b(k^6 - 1) + 5ck^4 + qk^4$$

而

$$k = \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)$$

式中  $\gamma$ ——岩土的重度;  
 $b$ ——基础的底面宽度。

### 2.3 加拿大科茨(Coates)计算式

$$P_u = 0.5\gamma bk^6 + c(k^4 - 1)\cot\varphi + qk^4$$

为检验以上计算式是否符合实际,现以重庆地区常见的泥岩进行检验。重庆地区的泥岩,在天然湿度下的单轴受压强度约为5~15 MPa;粘聚力为1~3 MPa(这里取2 MPa);内摩擦角为20°~40°;岩石的重度取20 kN/m<sup>3</sup>。设基础的埋置深度  $d$  和宽度  $b$  均为1 m,则基础的旁侧荷载  $q = \gamma d = 20 \times 1 = 20$  kPa,计算结果如下表所示。

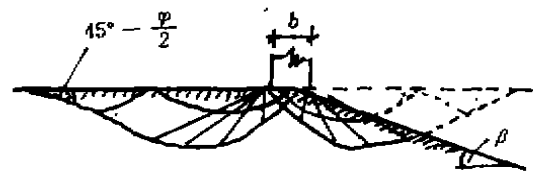
附表 岩质地基极限承载力(kPa)计算成果表

$\varphi$	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
普氏式	29.80	33.92	38.84	44.74	51.90	60.65	71.44	84.92	101.92	123.68	151.91
太氏式	41.84	48.62	56.62	66.08	77.35	90.80	106.95	126.43	150.07	178.93	214.41
科氏式	17.51	19.13	20.96	23.03	25.37	28.05	31.10	34.62	38.68	43.39	48.90

根据格里菲斯(A. A. Griffith)的理论解,在完整的岩质地基上,地基的极限承载力为单轴受压强度的三倍,与上述科茨计算式的计算结果相近似。

以上的讨论是基于完整、均质的岩质地基,自然界中不存在理想完整的岩体,总是存在着节理、层理等等结构面和一定的风化程度,破坏了岩体的整体性,当采取地基的极限承载力时,应作适当折减。特别应提到岩体的不均匀性对地基承载力的影响,岩体属自然产物,形成时受地理、气候、环境、物质条件等等的的影响很大,尤其像川东地区的侏罗系岩层,属内陆沉积物,其岩性很不均匀,同时限于我国目前的钻探设备和技术水平,岩芯提取率较低,送往试验室进行试验的岩样多为岩质较好的一部分,即试验强度平均值一般大于岩体强度平均值,易使人们产生错觉。此外岩质地基因其承载力较高、现场载荷试验不容易达到极限破坏、因此试验资料较少,为使地基的承载力有一定的安全度,根据以上分析,建议采用在天然湿度条件下的单轴受压强度,作为岩质地基的极限承载力标准值。

岩质地基多在山区及丘陵地带出现,在这些地区几乎找不到水平的岩层表面,也就是说所有的基础都是放置在倾斜的岩石上的,当岩石表面坡度小于 $10^\circ$ 时,对基础承载基本上没有影响。但是在岩石表面坡度进一步增大时,地基达到极限承载力时出现的



附图 极限承载力计算图式

破裂面,就不可能产生如上述理论计算式所设想的那种完整破裂面,由于破裂面面积的减少,必然降低岩质地基的承载力,因而应乘以岩坡修正系数。岩体中的裂隙对岩质地基承载力的影响也很大,裂隙发育时,岩体呈碎块状,这时的承载力较低;岩体裂隙不发育时,其承载力必然高,因此也应乘以一个裂隙修正系数。经过试验研究,我们认为岩质地基的极限承载力标准值 $f_1$ ,可采用下列计算式进行计算:

$$f_1 = f \cdot \psi_1 \cdot \psi_2$$

式中  $f$ ——岩石在天然湿度条件下的单轴受压强度标准值;

$\psi_1$ ——岩坡修正系数,当坡度 $\beta \leq 10^\circ$ 时取 1.0;当坡度 $\beta = 45^\circ$ 时取 0.67;当坡度 $\beta \geq 80^\circ$ 时取 0.33;

$\psi_2$ ——岩体裂隙影响系数,当裂隙不发育时,取 1.0;当裂隙较发育时,取 0.67;当裂隙发育时,取 0.33。

从上式可见,岩体的表面坡度与裂隙的发育情况,对地基承载力的影响较大。当地基岩体的表面坡度小于 $10^\circ$ 且裂隙不发育时,地基极限承载力标准值就等于岩石在天然湿度条件下的单轴受压强度标准值。而当岩体表面坡度大于 $80^\circ$ 且裂隙发育时,岩质地基的极限承载力标准值只有岩石单轴受压强度的0.11倍了。一般建筑场地的岩石表面坡度大多小于 $30^\circ$ ,其裂隙多为较发育,这时的岩坡修正系数与岩体裂隙修正系数之乘积约为0.5,与嵌岩桩当嵌岩深度为零时的桩端阻力分布系数基本相当,使普通基础的地基承载力与桩基础的端阻力得到合理的协调。

过去由于规范的规定比较模糊,对于某些介于普通基础与桩基础间的一些基础形式,例如放置在微风化软质岩上的挖孔桩,这种基础型式为山区所常见,若判断为普通基础,则其承载力标准值只有1500~2000 kPa,假如判断为桩基础,则其桩端承载力标准值已变为5000~7500 kPa,即其承载力相差3~4倍,出现很不合理的现象。再则岩石的分类比较粗糙,按照规范给出的定义,岩石单轴受压强度小于30 MPa的岩石统称为软质岩,即岩石强度的跨度约为30倍,而承载力的跨度最大只有1.5倍,造成承载力下限不安全,而上限又过于保守的局面。按照本文所述方法来确定岩质地基的承载力,可完全免除该弊端。

### 3 结 论

通过试验研究,对岩质地基的承载力的确定,可归纳成下列几方面:

1) 岩石的质量指标以采用天然湿度状态下的单轴受压强度为宜,岩石单轴受压强度在较大的程度上能反映出岩石的力学性质和风化程度,且可在一定程度上反映出岩石的成因和埋藏条件,免去了判断岩石类别上的人为误差。同时我国的岩石单轴受压试验早已普遍进行,在利用岩石单轴受压强度来确定岩质地基的承载力方面,已积累了较丰富的实践经验。

2) 通过理论分析,找到了岩石单轴受压强度与岩质地基承载力间的可靠关系,做到了普通基础与桩基础承载力间的合理协调,使岩质地基承载力得到了充分的发挥。

### 参 考 文 献

- 1 黄求顺. 岩石地基承载力. 工程地质科学新进展. 成都科技大学出版社, 1989
- 2 四川省地方标准. 重庆市建筑地基基础设计规范 (DB 51/5003-93)
- 3 重庆建筑工程学院, 同济大学合编. 岩体力学. 北京: 中国建筑工业出版社, 1981
- 4 国家标准. 建筑地基基础设计规范. (GEJ 7-89). 北京: 中国建筑工业出版社, 1989

(编辑: 刘家凯)