

# 岩石地基上扩展基础的受力特性分析

阴可, 殷杰

(重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

**摘要:**扩展基础施工简易、造价经济,在工程中应用广泛。但由于岩石地基刚度比基础刚度大、岩石地基变形量小等特点,岩石地基上扩展基础的基底反力和受力特性与土质地基应有所不同。就岩石地基上扩展基础受力特点展开了现场试验和数值计算在内的分析,总结了扩展基础在荷载作用下塑性发展特点及基础高度和配筋率对其影响规律,对比分析了现场试验数据与有限元数值计算结果,指出岩石地基上扩展基础在受力过程具有劈裂破坏特点。结论对岩石地基上扩展基础的设计和具有参考意义。

**关键词:**岩石地基上扩展基础;受力特性;破坏模式

中图分类号:TU470+.3

文献标志码:A

文章编号:1006-7329(2008)02-0027-05

## Mechanical Behavior of Spread Foundations on Rock

YIN Ke, YIN Jie

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

**Abstract:** Spread foundations are applied widely in foundation engineering due to their easy, simple construction and low costs. Because the stiffness of the surrounding rock is higher than that of the foundation, the upward pressure and stress response of a foundation in rock are quite different from those of a foundation in soil. Based on site testing and numerical simulation, the mechanical behaviors of spread foundations in rock are discussed in this paper. The influencing factors for foundations in rock are analyzed, including plasticity characteristics, foundation heights and reinforcement rates. The brittle failure mode of spread foundations in rock is also summarized by contrasting in-situ test data and the numerical calculation results. The conclusions could serve as an important guide for designing and studying spread foundations in rock.

**Key words:** spread foundations in rock; mechanical property; failure mode

在如重庆市等山地城市,随着城市建设的发展,大荷载作用下的岩石地基上扩展基础采用越来越多,但由于岩石地基的刚度比基础的刚度大,岩石地基变形小等特点<sup>[1]</sup>,使得基础的基底反力和受力特性与土质地基有所不同<sup>[2]</sup>,现行混凝土结构设计规范中关于扩展基础的计算公式直接应用于岩石地基上的扩展基础的计算和设计有待研究<sup>[3][4]</sup>。文章就此问题进行了包括现场试验和数值计算在内的研究分析,提出了关于岩石地基上扩展基础的受力特性和破坏模式以及影响因素等对实际工程有指导意义的结论。

### 1 扩展基础荷载试验

为了分析岩石地基上基础在加载过程中的应变发展情况,特做了现场荷载试验。试验是通过对岩石地

基上混凝土试件的加载来模拟柱下独立基础(配筋),用刚性压板来模拟柱截面,通过试件表面贴设的应变片在加载中测得的值画出了曲线图,用以观察分析基础受力特性。其实际布置图与应变片示意图如图1和2。试验的主要设备与仪器:钢筋混凝土现浇了一个桩-柱-厚板构成的反力架体系,2台YJ-300型千斤顶,1台DYB10A型油泵,1台ZB10/630型油泵, DH3816静态应变测量仪和60mm胶基混凝土应变片组成应变测量系统;

试验试件:试件3个,高度分别为400mm、350mm、300mm。加载板250mm×250mm×30mm正方形1块。

通过试验结果,可以得出各个测点应变-荷载曲线,如图3和图4所示:

\* 收稿日期:2007-10-21

基金项目:重庆市建委科技计划项目(城科字2006第46号)

作者简介:阴可(1968-),男,教授,博士生导师,主要从事岩土工程理论与应用、固体力学等方面研究,(E-mail)yinke@cqu.edu.cn.



图 1 试件应变片实际布置图

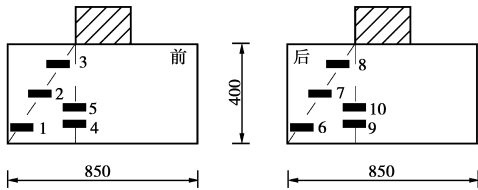


图 2 试件应变片布置示意图

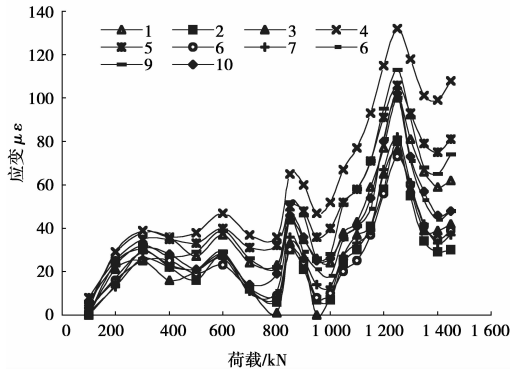


图 3 400 mm 高试件测点应变曲线图

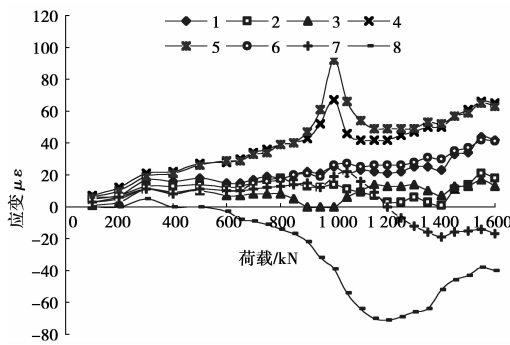


图 4 350 mm 高试件测点应变曲线图

其中 350 mm 高的试件 9 测点和 10 测点的数据测的数据溢出,可能是裂缝恰好通过应变片的位子,而使应变片的数据过大而失效。

从试验应变曲线图可以看出,随着荷载的增大,测点的应变值总体呈增大趋势,但有曲折变化。侧面出现裂缝后,测点的应变先有所下降,而后仍然随之增大,这是因为混凝土开裂后的卸载,使混凝土的应变有所下降,但随着卸载的荷载由钢筋承担后,钢筋可以将此处的应力由它与混凝土之间的粘结应力传递到其他的混凝土处,从而控制裂缝的开展使混凝土一起共同工作。

## 2 有限元数值计算模型

运用 ANSYS 有限元法针对岩石地基上扩展基础的受力性状进行分析研究,本模型尺寸采用三种模型尺寸:850 mm×850 mm×400 mm、850 mm×850 mm×350 mm、850 mm×850 mm×300 mm(与试验相同)。每种模型中又分别配置 φ8、φ12、φ16、φ20 四种钢筋,模型加载时严格控制加载子步,即按每级 50 kN 加载,直到 ANSYS 计算分析中止为止(即计算最终显示模型中单元严重破坏)<sup>[5]</sup>。

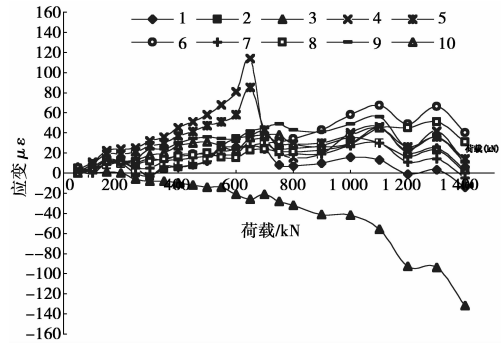


图 5 300 mm 高试件测点应变曲线图

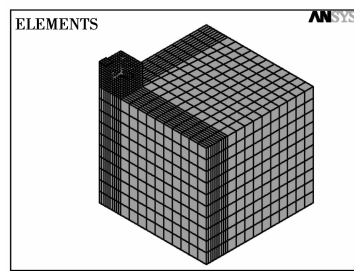
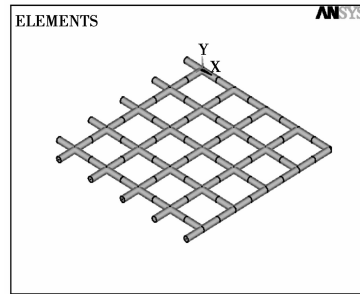


图 6 模型单元划分及钢筋布置图(1/4 模型)

其中岩石地基,混凝土的材料参数都与试验相同,岩石地基为泥岩,采用得岩石力学参数分别为:弹性模量 2 240 MPa、泊松比 0.27、重度为 25.4 kN/m<sup>3</sup>、内聚力为 600 kPa、摩擦角为 31°、膨胀角取为 0°,用 SOLID45 单元建立三维实体结构模型。混凝土为 C20 混凝土,其参数分别为:初始弹性模量 25 500 MPa、泊松比 0.2、重度为 24.0 kN/m<sup>3</sup>、抗拉强度为 1.1 MPa,其本构关系采用美国 E. Hognestad 模型<sup>[4]</sup>,用 SOLID65 单元来模拟三维有钢筋或无筋混

土模型。钢筋为 HRB335 热轧钢筋,其参数分别为:弹性模量 200 000 MPa、泊松比 0.25、抗拉强度  $f_y = 300$  MPa,用 PIPE20 单元模拟。模型采用映射网格划分为六面体单元,划分后单元如图 6 所示。

### 3 有限元计算结果与试验结果对比分析

通过有限元可以得出试件侧表面混凝土的应变值,现将有限元计算结果与试验结果进行对比分析。有限元试件的测点布置如图 7 所示,试件侧表面应变-荷载对比曲线如图 8~10 所示:

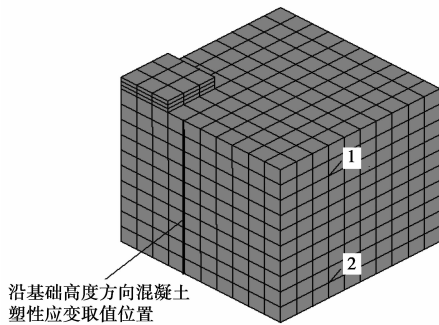


图 7 表面应变测点布置及塑性应变取值位置

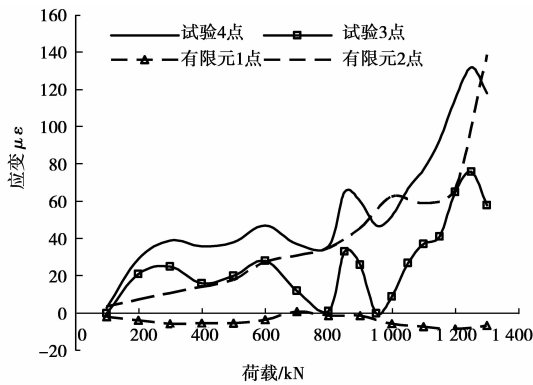


图 8 400 mm 高度试件应变-荷载对比曲线

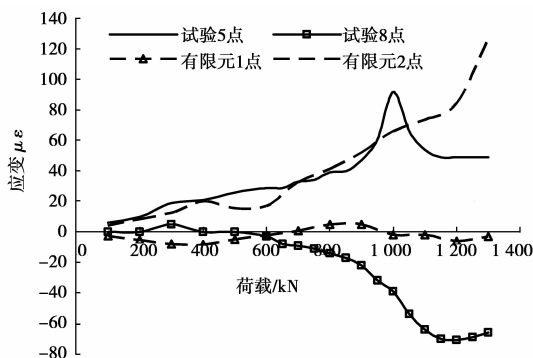


图 9 350 mm 高度试件应变-荷载对比曲线

从对比曲线可以看出,有限元分析曲线相对较平滑,曲折性不大,增长速率快,除了 300 mm 试件外,基础底部的应变值与试验值比较吻合;靠近基础顶部的应变值比试验值要小,基本处于无应变状态,并随荷载

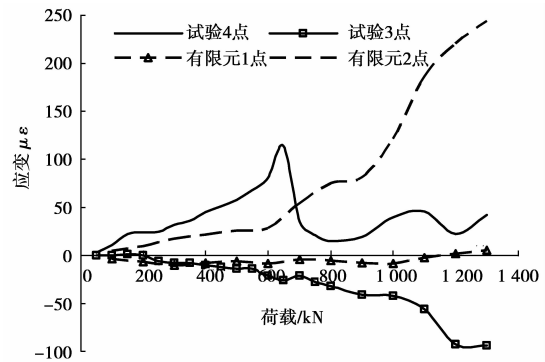


图 10 300 mm 高度试件应变-荷载对比曲线

增大有逐渐减小的趋势,这与试验试件侧表面裂缝发展并上顶的现象一致。

### 4 扩展基础受力特性分析

#### 4.1 基础混凝土塑性发展特点及影响因素

通过有限元分析之后,发现混凝土在一定荷载压力作用下,出现塑性区且随着荷载不断增大而不断发展,塑性区主要集中在基础的周边和荷载板的下面区域,配有  $\phi 12$  钢筋的 400 mm 高的试件的第一塑性应变等值云图如图 11~12 所示。

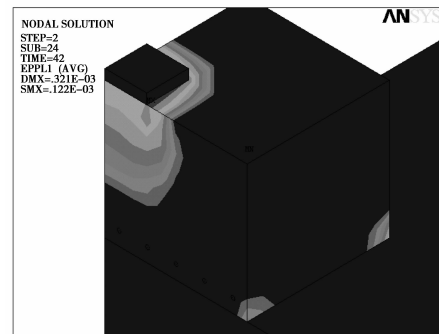


图 11 600 kN 作用下的基础塑性

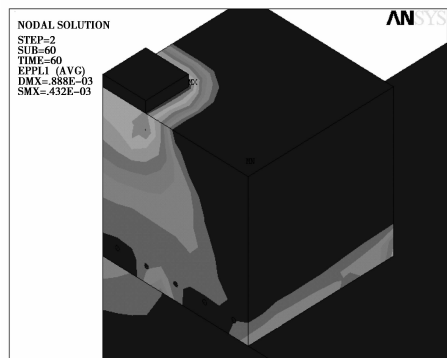


图 12 1 500 kN 作用下的基础塑性

从塑性应变等值云图可以看出,随着荷载的不断加大,荷载板下基础混凝土塑性区不断向下发展,基础周边混凝土的塑性也逐步贯通发展,而且岩石地基也有塑性发展。

将沿基础高度的塑性应变(有限元模型中取 x 方向的塑性应变值)提取出来,提取位置如图 7 所示,绘制成塑性应变曲线,并发现基础高度和配筋率对扩展基础的塑性发展都有影响,对比分析如下:

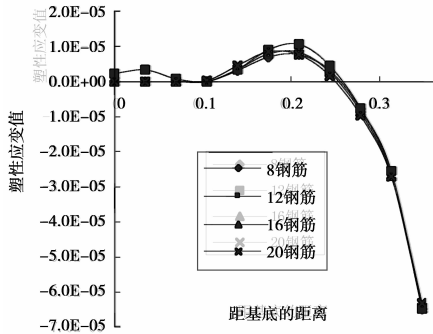


图 13 600 kN 作用下试件塑性应变分布对比曲线

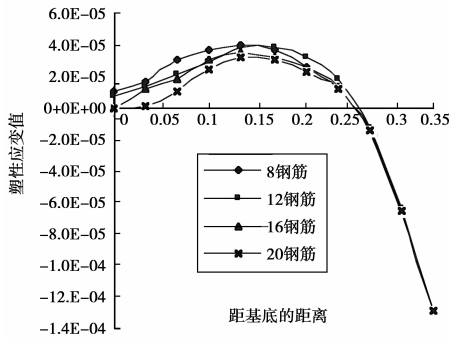


图 14 1100 kN 作用下试件塑性应变分布对比曲线

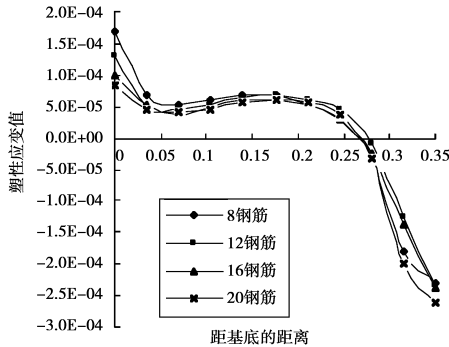


图 15 2000 kN 作用下试件塑性应变分布对比曲线

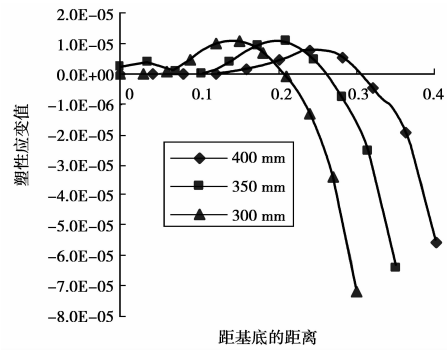


图 16 600 kN 作用下试件塑性应变分布对比曲线

1) 基础高度相同,配筋不同的试件塑性应变对比分析以高度为 350 mm 基础试件在不同压力作用下的混凝土塑性应变发展曲线为例,来观察配筋率对基础混凝土塑性发展的影响。

2) 基础高度不同,配筋相同的试件塑性应变对比分析以配有  $\phi 12$  钢筋的基础试件在不同压力作用下的混凝土塑性应变发展曲线为例,来观察基础高度对基础混凝土塑性发展的影响。

从上述对比曲线可以看出,配筋率对受拉区塑性应变有影响,对受压区影响不大,在 1100 kN 作用下,受拉区最大塑性应变从  $\phi 8$  的  $3.93E-05$  减小到  $\phi 20$  的  $3.21E-05$ ,顶部受压塑性应变在  $1.30E-04$  左右保持不变;基础高度对受拉区和受压区混凝土都有影响,在 2000 kN 作用下,受拉区最大塑性应变从 400 mm 高度的  $1.57E-04$  增大到 300 mm 高度的  $2.05E-04$ ,受压区塑性应变值从  $1.89E-04$  增大到  $4.72E-04$ 。

#### 4.2 岩石地基上扩展基础破坏模式

将试件在不同压力作用下,荷载板下的中性轴位置和受压区大小列于表 1、2 中,从表中可以看出,本模型计算结果是无论荷载大小情况,扩展基础的受压区高度小而受拉区很大,配筋率和基础高度对受压区高度的影响都很小,虽然受压区高度随着荷载的增大而有所减小,但变化幅度不大。另外从试验的荷载—应变图 3~5 可以看出试件上的测点大部分都是处于受拉状态,说明岩石地基上扩展基础的受拉区很大,受压区比较小。

表 1 350 mm 高度试件在不同压力作用下基础中性轴位置和受压区大小

钢筋直径/mm	600 kN				1100 kN				2000 kN			
	8	12	16	20	8	12	16	20	8	12	16	20
中性轴的位置/mm	257	260	255	252	263	269	263	262	266	272	266	268
受压区高度的大小/mm	93	90	95	98	87	81	87	88	84	78	84	82

表 2 配有  $\phi 12$  试件在不同压力作用下基础中性轴位置和受压区大小

基础高度/mm	600 kN		1100 kN		2000 kN	
	400	350	300	400	350	300
中性轴的位置/mm	304	260	206	269	269	210
受压区高度的大小/mm	96	90	94	80	81	90

岩石地基上扩展基础的这种受力特性与土质地

基上扩展基础或一般受弯梁不同,这是由于基底的混凝土与岩石之间的摩擦力和岩石的变形模量都很大,阻碍了基底混凝土横向自由变形和扰度的发展,在压力作用下使整个上部基础产生横向膨胀的劈裂破坏,混凝土受拉区加大,试件侧表面裂缝不断的向上发展并上顶。一般的受弯梁的受拉裂缝是不会全截面开

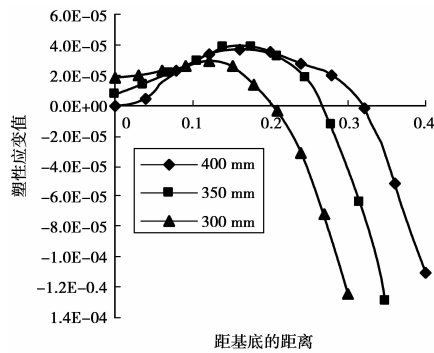


图 17 100 kN 作用下试件塑性应变分布对比曲线

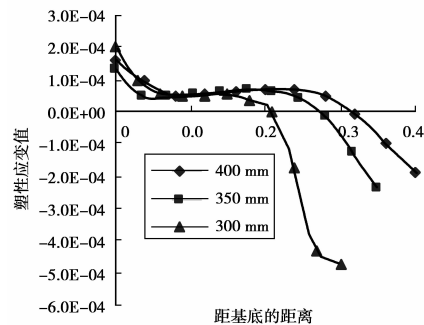


图 18 2000 kN 作用下试件塑性应变分布对比曲线

展<sup>[6]</sup>,所以岩石地基上扩展基础的破坏过程中有混凝土的受压劈裂破坏成分,同时受压区受到基底反力产生相当大的弯矩作用,使其塑性应变值比受拉区塑性应变值大得多。

可以得出结论,岩石地基上的扩展基础的破坏模式是介于一般受弯梁破坏模式和混凝土受压劈裂破坏模式之间的一种破坏模式:在荷载不大的时候,岩石和基础之间摩擦力使基础中部发生劈裂破坏,随着荷载的加大,裂缝不断开展,混凝土逐渐退出工作而由钢筋承担受拉作用时,基础又呈现受弯破坏模式。但如果基础宽高比较小,岩石地基上的基础可能只产生劈裂脆性破坏。

## 5 主要结论

1) 岩石地基上扩展基础在受力过程中存在混凝土劈裂破坏,使其受拉区较大,受压区相对较小,其承载力和延性都不如相同条件下的梁或土质地基上基础,这种受力特性与土质地基上基础和一般受弯梁不同。

2) 基础高度对扩展基础混凝土塑性发展影响规律:随着基础高度的减小,在相同的压力作用下,混凝土基础的塑性应变越大,塑性发展越充分。无论荷载的大小情况,基础顶部受压塑性应变值都是随着基础高度的减少而增大的,而且在荷载压力越大情况下,引起的应变值变化也越大。对于受拉区的塑性应变值总体上也是随着高度的减少呈现增大趋势。

3) 配筋率对扩展基础混凝土塑性发展影响规律:在荷载不大的情况下,配筋率对塑性发展影响不是很大,分布曲线基本重合;随着荷载逐渐增大,配筋率的增加有效控制了受拉区的塑性变形,基底混凝土塑性应变变小,有利的限制了基底裂缝的开展,配筋率对受压区混凝土的塑性应变影响不大。

## 参考文献:

- [1] 张永兴. 岩石力学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [2] 朱爱军, 邓安福, 黄志红, 等. 岩石地基上扩展基础基底反力分布的分析[J]. 工业建筑, 2002, 32(8): 32-35.  
ZHU Ai-jun, DENG An-fu, HUANG Zhi-hong, et al. Analysis of spreading foundation's base reaction on rock foundation[J]. Industrial Construction, 2002, 32(8): 32-35.
- [3] 阴可, 程毅. 岩石地基上扩展基础的抗剪性能研究[J]. 重庆建筑大学学报, 2006, 28(6): 72-75.  
YIN Ke, CHENG Yi, ZHOU Xiao-xue, et al. Experimental study on sub-grade reaction of spreading foundation on rock sub-grade[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2006, 28(6): 72-75
- [4] 程毅. 岩石地基上扩展基础的抗剪性能研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
- [5] 赫文化. ANSYS 土木工程应用实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [6] 东南大学, 同济大学, 等. 混凝土结构[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [7] 中华人民共和国建设部. GB50007-2002 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [8] 中华人民共和国交通部. JTG D30-2004 公路路基设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

(编辑 王秀玲)