

考虑蠕变效应锚固界面的力学特性研究

袁超, 向德强, 渠红霞

(湖南科技大学 岩土工程研究所, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 通过室内剪切流变试验, 研究在考虑蠕变效应下锚杆-灌浆体界面的力学特性以及锚杆的预应力损失随时间的变化情况。结果表明: 锚杆的预应力损失在考虑蠕变效应条件下随荷载的增大而随之增大; 锚杆-灌浆体界面的剪力分布随杆长迅速增大到峰值, 然后在逐渐减小, 并随时间的增长, 峰值逐渐后移, 直到破坏。

关键词: 锚固界面; 室内试验; 蠕变效应; 力学特性

中图分类号: TU45

文献标识码: A

Considering creep effect of mechanical properties of anchorage interface

YUAN Chao, XIANG De-qiang, QU Hong-xia

(Institute of Geotechnical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Hunan Xiangtan 411201, China)

Abstract: Through interior shear rheological tests, this paper study the anchor creep effect - the mechanical properties of bolt - grouting body interface and anchor pre - stressing loss changes over time. The results show that anchor pre - stressing loss increases along with the increase of the load increases under conditions of considering creep effect; bolt - grouting distribution of interfacial shear rapidly increases with the length of the rod to the peak, then gradually reduced small, and with the growth of time, the peak gradually shifted and then disappear finally.

Key words: anchoring interface; laboratory tests; creep effect; mechanical properties

众所周知, 无论是哪一种锚固系统, 力的传递方式均是由锚杆体传递到粘结材料, 再由粘结材料传递到岩土体^[1]。因此, 锚杆杆体和粘结材料之间的粘结作用、粘结材料与岩土体间的粘结作用就是决定锚固系统极限承载力的主要因素, 一旦粘结作用失效, 整个锚固系统就会失效, 最终导致整个结构的破坏。整个锚固系统涉及到两个锚固界面: 锚杆杆体-粘结材料界面, 粘结材料-岩土体界面。针对这个问题国内外学者做了相关研究: 伍国军^[2]通过室内剪切流变试验, 研究了混凝土与花岗岩界面的剪切应力随时间的变化关系; 朱珍德^[3]通过进行含软弱夹层的岩石的剪切流变试验, 得出了岩石夹层的剪应力 τ -剪切位移 μ 随时间的关系曲线; 伍国军^[4]通过室内蠕变试验分析了锚杆应力随时间变化的杆长分布及其变化特征。总的来说, 有关锚固系统界面的力学特性研

究还缺乏共同的认识, 以及一个系统性的理论, 因此还有待更进一步的研究。本文通过室内剪切流变试验研究锚固系统最薄弱部分——锚杆杆体-粘结材料界面的力学特性^[5-6]。

1 试件制备和室内剪切流变试验过程

室内试验是在长春朝阳试验仪器有限公司研制的三轴岩石剪切流变试验机基础上通过改进以后的流变试验机上进行的, 改进后的设备能提供 600 kN 的垂直(法向)拉力, 精度 $\leq \pm 3\%$, 完全能满足试验精度的要求。

锚固系统的基体部分采用混凝土材料制备, 在实验室内配制成 C30 的混凝土作为锚固基体。根据《普通混凝土配合比设计规程》JGJ55-2000 的相关规定, C30 强度锚固基体设计的配合比为: 水泥: 砂: 碎石: 水 = 449: 615: 1 116: 220。选用

Φ 12 mm的螺纹钢作为锚杆的杆体材料,锚杆总长度设计为 550 mm,螺纹钢外露端长度为 100 mm。灌注体砂浆选用水泥:砂:水 = 1:3:0.6。基体模型成型 24 h 后拆模,在标准养护条件下养护 7 d 放入事前处理过的钢筋并灌注砂浆,在标准养护条件下养护 28 d 后进行试验。试件分批制作,以满足试验所需试件的要求。另外每批试件还浇筑 3 个 150 mm × 150 mm × 150 mm 和 6 个 150 mm × 150 mm × 300 mm 同基体一批次的混凝土试块、3 个 70.7 mm × 70.7 mm × 70.7 mm 和 6 个 40 mm × 40 mm × 160 mm 同砂浆一批次的砂浆试块,以及一个不经任何处理的标准试件,以此来确定试件材料的常规力学参数和极限抗拔力。

本次试验为锚杆—灌浆体界面的剪切蠕变试验。试验采用分级加载的方式,从某一应力开始逐级增加荷载,直至锚固界面破坏。试验过程中,室内温度恒定,可以忽略温度变化的影响。锚固体蠕变拉拔试验的第一级荷载设计为相应常规拉拔试验极限抗拔力的 10%,即取 10 kN,第二级为 20 kN,第三级为 30 kN,第四级为 40 kN,第五级为 45 kN,以后每级荷载增量为 5 kN 直至试件破坏试验完成,每一级荷载维持 24 h,以满足试件蠕变变形的稳定。

表 1 材料常规力学参数

编号	基体	锚杆
弹性模量 E/GPa	29.9	200
泊松比 ν	0.21	0.3
极限抗拔力/kN	71.3	

2 力学模型的建立

试验过程中,将试件与剪切流变仪器连接,在锚杆外露端头施加一拉力 F ,在 F 的作用下锚杆体(HRB400 螺纹钢)将产生一定的拉伸力学效应。同时,锚固系统通过锚杆与灌浆体之间的界面,将力由锚杆体传到灌浆体,此处产生一定的剪切力学效应,其力学模型如图 1 所示。

通过锚杆体上应变片测定的应变值可以计算出该处所受的轴力,即获得锚杆体上不同位置的轴力分布情况,由公式(1)可知:

$$N_i = E\varepsilon_i A \quad (1)$$

式中: N_i - 第 i 点应变片处的轴力; E - 钢筋的弹性模量; ε_i - 第 i 点测得的应变值; A - 杆体钢筋的截面积。

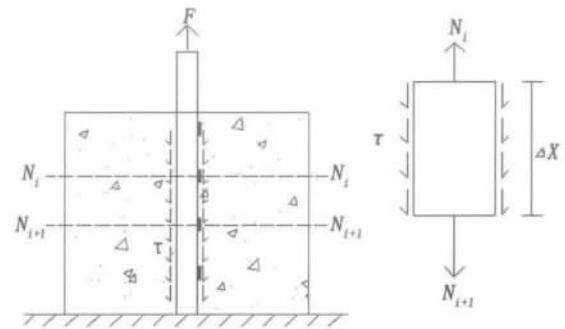


图 1 锚杆与粘结剂界面力学模型
Fig. 1 Mechanical model of interface between bolt and binder

由锚固体的平衡条件可知:在锚杆体不与灌浆体发生脱粘的情况下,任何一段锚杆体两端的轴力差都与其表面所受到的平均剪应力相平衡,因此可以通过锚杆体沿轴向的轴力推出锚杆—灌浆体界面剪应力的分布规律。

由平衡关系可得:

$$N_i - N_{i+1} = \tau_{i,j+1} \pi d \Delta x \quad (2)$$

$$\tau_{i,j+1} = \frac{N_i - N_{i+1}}{\pi d \Delta x}$$

式中: $\tau_{i,j+1}$ - 锚杆界面第 i 和第 $i+1$ 点之间的平均剪应力; d - 锚杆体计算直径; Δx - 两个应变片之间的间距。

3 实验结果及数据分析

实验过程共制作了 4 个试件,由于试件制作过程以及实验加载过程的操作问题,现选取 1-1、1-2 两个试件数据进行分析,每个试件沿轴向平均粘贴 7 个应变片,即 1-1-1~1-1-7 和 1-2-1~1-2-7,每个应变片的轴向间距为 65 mm,每个应变片均能采集有效数据。

通过公式(1)计算,得到锚杆体轴力测试结果的分布情况如图 2、图 3 所示,锚杆体在外力的作用下主要承受拉力,最大轴力值出现在 1-1-1 和 1-2-1 位置,即距离孔口最近的位置,然后沿锚杆体轴向向锚杆体尾端逐渐减小,即 1-1-7 和 1-2-7 位置为最小值;随着外荷载的增大,锚杆体的轴力也随之增大,且轴力分布基本呈幂函数规律,这是由于锚杆体的轴力从上端传递到尾端时,锚杆体与灌浆体本是粘结在一起的,阻碍了轴力的向下传递过程,所以表现为上端轴力大,下端轴力小的沿轴向的呈幂函数规律;另一方面可以看出,随着外荷载的增大,锚杆体轴力也随之增大的同时,由于考虑时间效应,即蠕变效应,锚杆

体的预应力损失越来越大, 表现为最大轴力值与实际荷载值差值不断增大。

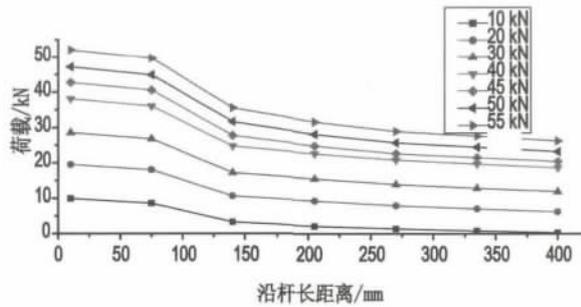


图2 试件1-1锚杆轴力分布

Fig. 2 The bolt axial force distribution of specimen 1-1

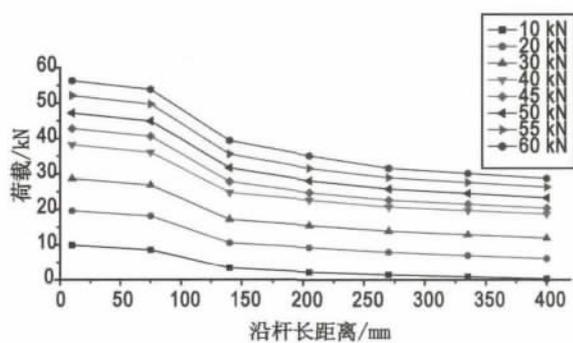


图3 试件1-2锚杆轴力分布

Fig. 3 The bolt axial force distribution of specimen 1-2

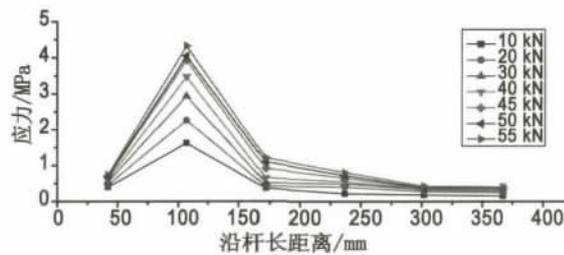


图4 试件1-1锚杆—灌浆体界面剪应力分布

Fig. 4 Shear stress's test results of bolt-grouting body interface of specimen 1-1

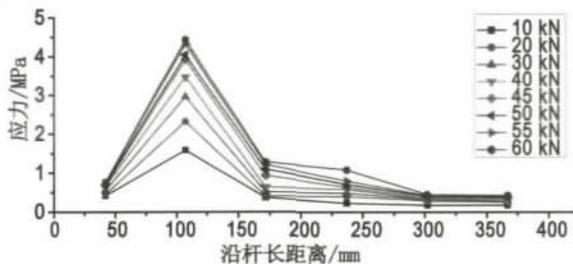


图5 试件1-2锚杆—灌浆体界面剪应力分布

Fig. 5 Shear stress's test results of bolt-grouting body interface of specimen 1-2

通过公式(2) 计算, 得到锚杆体—灌浆体界面剪应力测试结果的分布情况如图4、图5所示, 剪应力的峰值主要集中在距离锚固端部的42~172 mm的范围内, 即在锚固端口剪应力较低, 向里迅速增

长到一个峰值区, 然后再逐渐减低, 在锚固段的后半段界面剪力衰减较快, 一直到锚固端尾处于一个很低的剪力水平; 同时, 随着外荷载的增加, 锚杆—灌浆体界面剪应力也呈正相关性出现; 当考虑时间效应, 即蠕变效应时, 界面剪力的峰值增量逐渐减小, 而且峰值区随外荷载增大有向下发展的趋势, 即锚杆体172~302 mm范围内的界面剪力增量随荷载增大而不断增大。

试件1-1、1-2均达到其极限承载能力, 表现为沿锚杆—灌浆体界面的蠕变拉拔破坏。

4 结论

1) 当外荷载处于较低水平时, 锚固系统处于粘弹阶段, 锚杆轴力在端口处于最大值, 剪应力在锚固端口一定范围内处于较高的值域, 同时界面剪应力产生蠕变的区域也靠近端口, 其表现为锚杆最大轴力值的衰减, 且持续整个阶段。

2) 当外荷载处于中等水平时, 锚固系统由粘弹阶段变为粘塑阶段, 随着外荷载的增加, 锚杆轴力随之增大, 并向上传递, 界面剪应力的峰值区域也逐渐向下发展, 其峰值的增量逐渐减小, 界面上的蠕变区域也随之向下发生转移, 在这个过程中锚杆最大轴力值衰减不断增大。

3) 当外荷载增加到接近极限情况时, 锚固系统处于脱粘阶段, 由于蠕变区域的不断向下转移, 使整个界面都产生较大的蠕变变形, 并且该阶段的蠕变速率较大, 最终导致整个锚杆—灌浆体界面的剪切拉拔破坏。

参考文献:

[1] 孙 钧. 岩石流变力学及其工程应用研究的若干进展[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(6): 1018-1106.
 [2] 伍国军, 陈卫忠, 王永刚. 地下工程锚固界面力学模型及其时效性研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(1): 237-243.
 [3] 朱珍德, 李志敬, 朱明礼. 岩体结构面剪切流变试验及模型参数反演分析[J]. 岩土力学, 2009, 30(1): 99-104.
 [4] 伍国军, 陈卫忠, 王永刚. 基于岩体蠕变效应的锚杆应力分布及其变化规律研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(8): 150-155.
 [5] 赵同彬. 深部岩石蠕变特性试验及锚固围岩变形机理研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2009.
 [6] 尤春安. 锚固系统应力传递机理理论及应用研究[D]. 泰安: 山东科技大学, 2004.

(责任编辑 王利君)