

文章编号: 1001-4888(2011)06-0721-09

层状岩体力学特性模拟实验研究^{*}

邓荣贵¹, 付小敏²

(1. 西南交通大学 土木工程学院, 四川成都 610031; 2. 成都理工大学 地质灾害防治国家重点实验室, 四川成都 610059)

摘要: 对层状岩体变形特性和强度特性的正确认识, 合理选取其变形和强度参数, 是水电站等大型岩体工程论证与设计需要解决的关键问题。为此, 利用模拟实验对层状岩体的变形特性和强度特性进行了研究, 得到了模拟试样的变形模量和强度随试样所含节理数、轴向应力与节理面间的夹角和围压之间的变化关系。结果表明: 当最大主应力与节理面间的夹角由 0° 增加至 90° 时, 试样的应力—应变全过程曲线形状存在显著差异。其变形模量整体上遵循由大变小, 再由小变大的变化趋势, 强度遵循三角函数变化规律。当夹角为 0° 、 75° 和 90° 时, 试样的破裂特性基本不受节理面的影响。其它夹角或含多条节理的试样其破裂面受节理面的影响较大, 破裂面大部分沿节理面发育, 形成与节理面同倾向的宏观破裂面。当破裂面穿过节理间的基质层时会形成剪张性破裂带, 该带的宽度受夹角大小和试样所含节理数的影响。

关键词: 岩石力学; 节理岩体; 各向异性; 模拟实验; 层状岩体

中图分类号: TU45

文献标识码: A

0 引言

岩石的工程力学特性主要由其岩性决定, 而岩体的工程力学特性除了其岩性外, 很大程度上受岩体中的结构弱面及其特性所控制。层状或似层状岩体是岩体工程中常见的结构类型, 如岩性较为均匀的沉积岩、变质岩或有一组绝对优势节理面发育的火成岩具有类似结构特征。大型岩体工程特别是双曲混凝土高拱坝工程, 除了对拱肩岩体整体抗滑稳定性有较高要求外, 对拱肩岩体的变形和抗压强度及其各向特性也有特别的要求。层状岩体物理力学特性具有明显的各向异性, 其综合抗压强度参数和变形参数的合理选取, 是大型岩体工程论证及设计工作必需解决的技术难题, 层状岩体的变形特性、强度特性、破坏特征各向异性一直是岩石力学界和工程技术界关注的问题。但是, 因为现场制样难度等因素的限制, 难以对层状岩体力学特性的各向异性做系统研究。为此, 许多学者利用多种方法对层状岩体开展了较为广泛的室内试验研究。例如, 李泽、王均星^[1]等利用弹塑性有限元方法对成组节理岩体力学行为的方向性与强度参数进行了研究, 引入节理岩体各向异性屈服条件, 建立了节理岩质边坡有限元塑性极限分析的上、下限法数学模型; 胡波、张南^[2]等利用模型试验就节理对岩体变形及强度特性的影响进行了研究, 确定了节理岩体强度范围; 徐卫亚、张贵科^[3]等利用理论分析研究了节理岩体的等效抗剪强度参数计算方法, 将岩体抗剪强度参数等效为正交各向异性变化的抗剪强度参数, 并建立了理论计算式。其他学者^[3-6]就节理岩体的力学特性也做了许多研究, 获得了相应的研究成果。但这些研究没有对似层状岩体的变形及强度特性的各向异性做系统的研究, 本文利用模拟试验对层状岩体变形和强度随最大主应力方向与节理的夹角、节理条数和围压之间的变化特征, 进行了系统全面的试验研究, 其成

^{*} 收稿日期: 2011-04-07; 修回日期: 2011-08-23

通讯作者: 邓荣贵(1960—), 男, 博士, 教授, 主要从事岩土体力学与岩土工程、地质工程与地质灾害方面的教学科研工作。

E-mail: drg60@163.com

果对于层状岩体力学特性的各向异性的深入认识,重大工程论证中层状岩体力学参数的确定,提高其可靠性等具有重要的理论意义和实际工程参考作用。

1 试验方法

本项研究是针对含一组平行节理的层状岩体的变形特性与模量、强度特性与强度参数和破坏特征,随最大主应力方向、所含节理数和围压之间的变化情况,做一般性的模拟研究,以系统了解层状岩体力学特性的各向异性。

模拟试验材料为石膏,节理面采用间隔浇注,并在前后浇注界面上撒上一定的石膏干粉及软纸以模拟节理面。按水灰比 2:1 调制石膏浆体浇注入木质模具内,其中含 2~4 条节理的模型其节理间距设计为 10mm~15mm,分层浇注形成长、宽、高均为 500mm 的毛样,凝固干燥后利用钻、切、磨加工成 $\phi 50\text{mm}$,高 100mm 的圆柱形试件。为了解试样相应基质(石膏)的力学特性,也对无节理的纯石膏样的变形和强度做了试验。制作成的典型试样如图 1 所示。

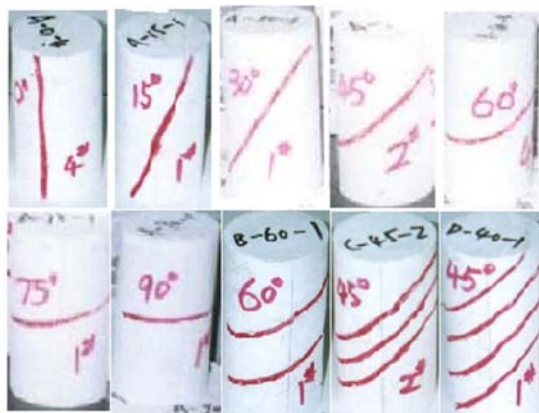


图 1 试件特征

Fig. 1 Feature of samples



图 2 岩土力学试验机系统

Fig. 2 System for rock and soil mechanical test

试验设备为美国 MTS 公司制造的数字程控岩土力学试验系统,该系统可施加最大围压 2500kPa,传感器有两个量程,分别为 500kPa 和 2500kPa;轴向荷载最大可施加 25kN,若为 $\phi 50\text{mm}$ 圆柱形试样,轴向应力最大可施加 12.5MPa,试验设备特征见图 2。含 1 条节理试样的节理面与轴向最大主应力间的夹角(以下文字及图表中简称“夹角”,与轴向最大主应力方向与节理面法向间的夹角互余),分别设计为 15°、30°、45°、60°、75°和 90°,围压分别设计为 0kPa、50kPa、100kPa 和 150kPa。含 2~4 条节理试样之节理与轴向最大主应力间的夹角,分别设计为 30°、45°和 60°,围压分别设计为 0kPa、50kPa 和 100kPa。根据试件特征和设备性能,加载速率设置为 20kPa/s,实验设备伺服回环控制时间设置为 5ms,数据采集记录间隔时间 0.5s。

2 试样变形特征与分析

2.1 单节理试样变形特征

图 3 是含单节理试样在上述围压下的应力—应变全过程曲线。因篇幅所限仅示出了典型夹角情况下的应力—应变全过程曲线。由应力—应变曲线可知,含单节理试样的应力—应变曲线可分为 4 种类型(见图 3),即峰值强度前、后缓变型,峰值强度前、后突变型,峰值强度后陡降型和峰值强度后缓降型。

(1) 峰值强度前、后缓变型: σ_1 较小时应力—应变曲线较为平缓, σ_1 较大时应力—应变曲线变陡,其斜率随围压增加而变化但差别较小,屈服后有明显的破裂变形阶段,峰值强度后应力降低较快,残余强度较大。整个变形过程有明显的“裂隙闭合”变形、“线弹性”变形、“塑性强化”变形和“塑性软化”变形阶段,残余强度相对较小。夹角为 0°情况下的应力—应变曲线具有该变形类型(见图 3(a))。该特征与均

质混凝土类材料的变形类似,说明试样的变形主要是试样石膏基质层的变形,节理的存在对其变形和强度影响甚微。

(2) 峰值强度前、后突变型: σ_1 从零增大时,应力—应变曲线斜率随围压增加而变化,其差异较大,

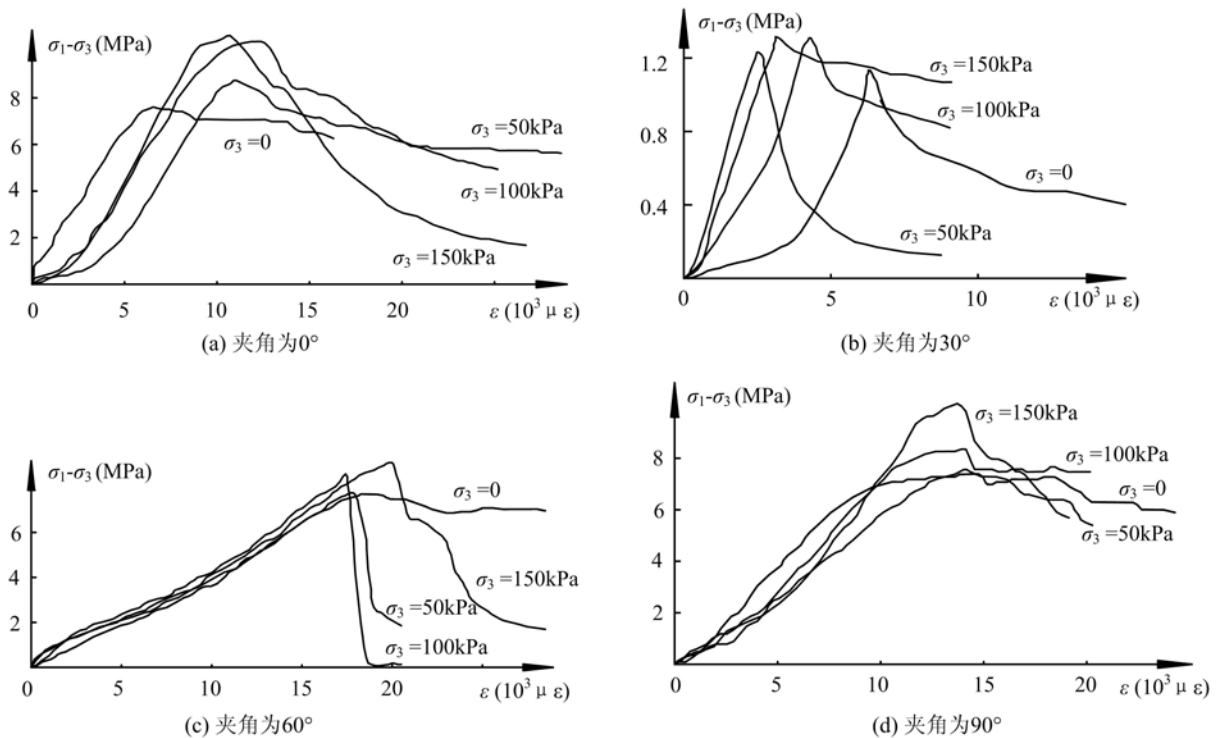


图3 试样典型应力—应变曲线

Fig. 3 Typical stress-strain curve of samples

屈服后的破裂变形过程不明显,峰值强度后的应力迅速降低,且降低值较大,残余强度相对较小,似乎只有“线弹性”变形和“塑性软化”变形阶段,夹角为 30° 的应力—应变曲线具有该变形特征(见图3(b))。该应力—应变特征与实际岩体节理面的剪切应力—剪切应变曲线特征类似,说明试样的变形主要是试样节理面的变形,节理的存在对其变形和强度有显著影响。

(3) 峰值强度后陡降型。 σ_1 从零增大时,应力—应变曲线斜率随围压增加而变化,但差别很小;几乎没有屈服后的破裂变形过程,峰值强度后的应力急剧降低,并且降低值较大,残余强度相对很小,似乎只有“线弹性”变形阶段,夹角为 60° 的应力—应变曲线具有该变形类型(见图3(c))。该应力—应变特征与实际岩体节理面的剪应力—剪应变曲线类似,表明试样的变形主要是试样节理面的变形,节理的存在对其变形和强度有明显的影。

(4) 峰值强度后缓降型。 σ_1 从零增大时,应力—应变曲线斜率随围压增加而变化,但差别较小,屈服后有较明显的破裂变形阶段,峰值强度后的应力降低较小,整个变形过程中“裂隙”闭合变形不明显,“线弹性”变形、“塑性强化”和“塑性软化”变形阶段较为显著,残余强度相对较大。夹角为 75° 和 90° 的应力—应变曲线具有该变形类型(见图3(d)),节理的存在对其变形和强度的影响较小。

图4是试样在围压为150kPa下的应力—应变曲线,显然夹角为 15° 、 30° 和 45° 时应力—应变曲线相对平缓,主要为节理的剪切变形所致。其余夹角下的试样变形曲线上升及下降值都较大,反映以试样基质层(石膏)变形为主。

含单节理试样的上述变形特征反映了节理面与 σ_1 作用方向间的夹角对试样变形特性的影响即试样变形的各向异性特征。

2.2 多节理试样变形特征

围压分别为0kPa、50kPa和100kPa,夹角分别为 30° 、 45° 和 60° 时,含2~4条节理试样之间的应力—应变全过程曲线特征非常接近,似乎所含节理条数对试样的变形特征影响不大,并且具有三种变形类

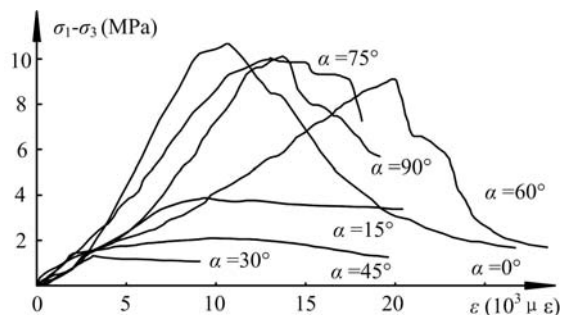


图 4 围压为 150kPa 下的应力—应变曲线

Fig. 4 Stress-strain curve under 150kPa side pressure

型(见图 5);当节理面与 σ_1 方向间的夹角为 30° 时,其应力—应变全过程曲线具有如图 5(a)所示的特性,该特性类似于含 1 条节理试样图 3(c)所示的变形特征;当节理面与 σ_1 方向间的夹角为 45° 时,其应力—应变全过程曲线具有如图 5(b)所示的特性,该特性类似于含单节理试样图 3(d)所示的变形特征;当节理面与 σ_1 方向间的夹角为 60° 时,其应力—应变全过程曲线具有如图 5(c)所示的特性,该特性类似于含单节理试样图 3(c)所示的变形特征。

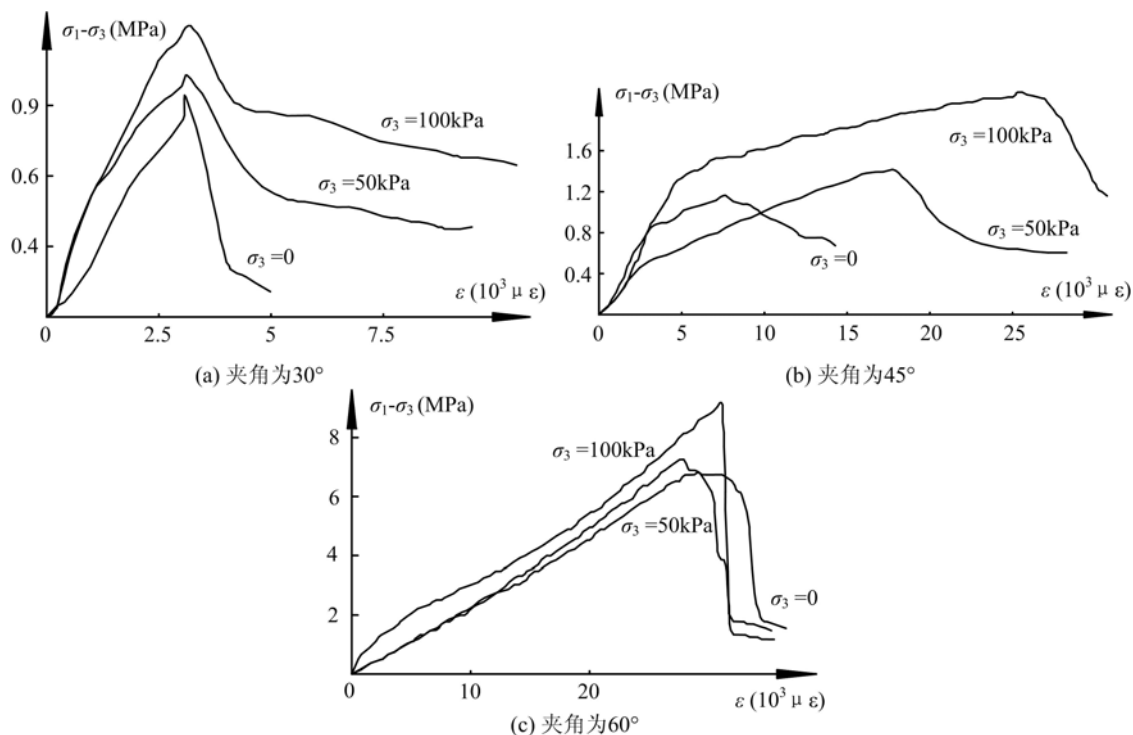


图 5 多节理试样应力—应变曲线

Fig. 5 Stress-strain curve of samples containing many joints

上述含 1 组平行节理面试样的结构与均质层状岩体结构类似,其变形特性反映了均质层状岩体的变形特性即变形各向异性。

2.3 试样变形模量

利用模拟试验数据和变形全过程曲线,确定的割线模量见表 1。由表 1 可知,含 1 组平行节理试样的割线模量具有如下特征:(1)含 1 条节理的试样,除 50kPa 外其余围压下的割线模量整体上随夹角呈规律性变化,即夹角为 0° 时割线模量最大,其平均值为 0.96GPa;夹角为 30° 时割线模量最小,其平均值为 0.3GPa;夹角为 75° 和 90° 时割线模量较大,其平均值为 0.66GPa;夹角为 15° 和 45° 时割线模量中等大小,其平均值为 0.52GPa;夹角为 60° 时割线模量较小,其平均值为 0.4GPa。(2)在相同夹角下试样

的割线模量整体上随围压增加而变大。(3)随试样所含节理数 N 增加,其割线模量平均值 $\bar{E}_{50}$ 有降低的趋势,存在 $\bar{E}_{50}=0.51-0.07N(R=0.95)$ 的相关关系。

表 1 试样割线模量(GPa)

Tab.1 Secant module of samples (GPa)

节理数	夹角	围压(kPa)				平均模量
		0	50	100	150	
单节理	0°	1.33	0.64	0.92	0.93	0.96
	15°	0.36	0.78	0.40	0.47	0.50
	30°	0.11	0.47	0.23	0.37	0.30
	45°	0.38	0.30	0.75	0.67	0.53
	60°	0.37	0.39	0.42	0.41	0.40
	75°	0.62	0.68	0.54	0.80	0.66
	90°	0.75	0.55	0.62	0.64	0.64
	平均模量	0.56	0.54	0.55	0.61	0.57
双节理	30°	0.73	0.17	0.42	/	0.44
	45°	0.29	0.13	0.27	/	0.23
	60°	0.27	1.04	0.35	/	0.55
	平均模量	0.43	0.45	0.35	/	0.41
三节理	30°	0.23	0.24	0.27	/	0.25
	45°	0.28	0.25	0.20	/	0.24
	60°	0.29	0.52	0.48	/	0.43
	平均模量	0.27	0.34	0.32	/	0.31
四节理	30°	0.14	0.18	0.21	/	0.18
	45°	0.16	0.34	0.20	/	0.23
	60°	0.21	0.30	0.23	/	0.25
	平均模量	0.17	0.27	0.21	/	0.22

表 2 试样峰值强度(MPa)

Tab.2 Peak strength of samples (MPa)

节理数	夹角	围压(kPa)				平均强度
		0	50	100	150	
单节理	0°	7.61	8.71	10.42	10.67	9.35
	15°	2.38	2.62	3.01	3.87	2.97
	30°	1.13	1.23	1.31	1.32	1.25
	45°	1.36	1.76	2.01	2.10	1.81
	60°	7.71	7.72	8.60	9.11	8.29
	75°	8.75	9.51	9.74	10.04	9.51
	90°	7.40	7.56	8.35	10.12	8.36
	平均强度	5.19	5.59	6.21	6.75	5.93
双节理	30°	1.26	1.49	1.56	/	1.44
	45°	1.16	1.42	2.17	/	1.58
	60°	6.61	7.88	8.5	/	7.66
	平均强度	3.01	3.60	4.08	/	3.56
三节理	30°	0.94	1.03	1.24	/	1.07
	45°	0.61	1.44	1.62	/	1.22
	60°	6.81	7.26	9.18	/	7.75
	平均强度	2.79	3.24	4.01	/	3.35
四节理	30°	0.78	0.91	1.29	/	0.99
	45°	1.38	1.72	1.73	/	1.61
	60°	6.68	7.8	8.2	/	7.56
	平均强度	2.95	3.48	3.74	/	3.39

3 试样强度特征与分析

3.1 单节理试样峰值强度特征

根据试验数据,确定试样的峰值强度 $(\sigma_c-\sigma_3)$ 见表 2, σ_c 为相应围压下试样破坏时的轴向主应力 σ_1 。由表可知,试样的峰值强度特征如下:(1)相同围压及节理数时,试样峰值强度随围压增加而增大;(2)总的变化趋势上讲,相同围压和相同节理数时试样峰值强度随夹角由 30°增大到 60°而增大;(3)总的变化趋势上看,相同夹角和相同围压下试样的峰值强度随节理数增加而减小,随试样所含节理数 N 的增加,抗压强度平均值与节理数 N 有 $(\sigma_c-\sigma_3)=3.87-0.14N(R=0.91)$ 的相关关系。

在不同围压下试样的峰值强度与夹角的变化特征见图 6。显然,试样的峰值强度随夹角增加呈周期性变化。

如果构造一个函数进行描述,其函数形式如式(1)。

$$(\sigma_c-\sigma_3)_\alpha=\frac{1}{2}[(\sigma_c-\sigma_3)_{\max}-(\sigma_c-\sigma_3)_{\min}]\times[1-\sin(4\alpha-30^\circ)]+(\sigma_c-\sigma_3)_{\min} \quad (1)$$

式中, α 为轴向应力与节理面间的夹角(°); $(\sigma_c-\sigma_3)_\alpha$ 为试样三轴抗压强度(MPa),是 α 的函数; $(\sigma_c-$

$\sigma_3)_{\max}$ 及 $(\sigma_c - \sigma_3)_{\min}$ 分别为试验值中的最大值和最小值(MPa)。

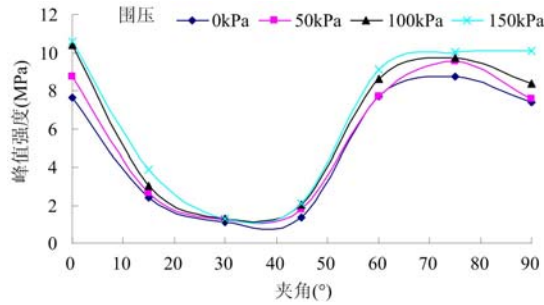


图 6 不同围压下试样强度随夹角变化曲线
Fig. 6 The angle-strength curve of samples containing one joint under different side pressure

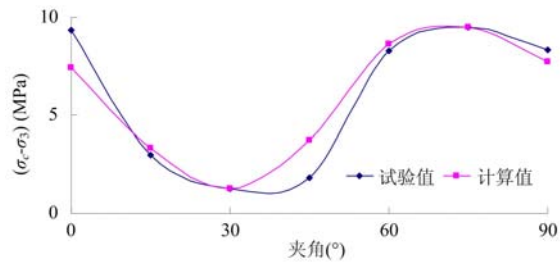


图 7 平均强度试验值与计算值的比较
Fig. 7 Average strength comparison between test results and calculation value

将含单节理试样在不同围压下的平均峰值强度代入公式(1)进行计算,试验得到的峰值强度与计算得到的峰值强度随夹角的变化情况见图 7。

表 3 试样抗剪强度指标

Tab. 3 Shear strength index of samples

节理数	夹角	抗剪强度指标	
		C(MPa)	$\varphi(^{\circ})$
单节理	0°	1.53	53.3
	15°	0.63	41.5
	30°	0.40	37.5
	45°	0.32	41.6
	60°	1.50	48.4
	75°	1.67	49.4
	90°	1.43	51.4
	平均值	1.08	45.7
双节理	30°	0.37	30.0
	45°	0.28	46.4
	60°	1.44	48.9
	平均值	0.70	41.8
三节理	30°	0.27	29.2
	45°	0.21	46.0
	60°	1.49	48.8
	平均值	0.66	41.3
四节理	30°	0.30	26.0
	45°	0.38	33.7
	60°	1.61	44.2
	平均值	0.76	34.6

将 7 个试验值对应的夹角代入式(1)进行计算,试验得到的峰值强度平均值与计算得到的峰值

强度平均值间的相对差值小于 0.34%。根据试验得到的 7 个峰值强度值和计算得到的 7 个峰值强度值,绘制成两条光滑曲线,再计算两条曲线与横坐标围成的面积,即夹角从 0°增加至 90°时的连续值,两者平均值的相对差值小于 5%。

3.2 试样三轴抗剪强度特征

根据三轴压缩试验数据整理,计算出试样在不同夹角下的抗剪强度指标,其值见表 3。无节理试样的粘聚力平均值为 1.64MPa,内摩擦角平均值为 43.5°,因此表中数据显示,试样抗剪强度参数的特征如下:(1)含节理试样的平均内聚力约为无节理试样的 40%~66%,平均内摩擦角约为无节理试样的 80%~96%;总体上看有节理试样的平均内摩擦角降低值较小,除夹角为 30°外,其余夹角的内摩擦角比无节理试样大,可能有两个方面的原因:一是节理面影响所反映的表观现象,二是与轴向抗压强度相比,围压及其级差都较小,造成数据离散性引起的差值;(2)夹角从 0°增加至 90°,含单节理试样的内聚力 C 的变化特征为由大变小,然后由小变大,再由大变小,其中夹角为 45°时最小,夹角为 0°时最大,0°、75°和 90°时其值接近;内摩擦角 φ 的变化特征为由大变小,再由小变大,其中夹角为 30°时最小,夹角为 0°时最大。(3)夹角从 30°增加至 60°时,含 2 条节理和 3 条节理试样的内聚力 C 由大变小,再由小变大,其中夹角为 45°时最小,夹角为 60°时最大;内摩擦角 φ 由小变大,其中夹角为 30°时最小,夹角为 60°时最大。(4)夹角从 30°增加至 60°时,含 4 条节理试样的内聚力 C 由小变大,其中夹角为 45°时最小,夹角为

60°时最大;内摩擦角 φ 由大变小,再由小变大。(5)不同夹角下试样所含节理条数增加,其粘聚力 C 平均值由大变小,再由小变大,内摩擦角 φ 则由小变大再由大变小。试样抗剪强度指标随夹角不论如何变化,但当夹角在 15°至 45°之间时 C 值和 φ 值都较小。随试样所含节理数 N 的增加,抗剪强度指标平均 C 值变化不大, φ 与含节理数间有 $\bar{\varphi}=46.1-2.42N$ ($R=0.85$) 的相关关系。

4 试样破坏特征

根据试样破裂现象记录,归纳出不同夹角下试样典型破坏特征,见图 8。由图可知:(1)当夹角为 0°、75°和 90°时含单节理试样破裂受节理的影响很小,其宏观破坏面呈共轭的“X”型,但夹角为 75°时宏观破坏面对称性明显变差;当夹角为 15°时宏观破坏面特征受到节理面的影响,其中段追踪了节理面,因端部压板约束,大部分破裂面沿试样节理面顺时针一侧基质层发展;当夹角为 30°时宏观破坏面基本沿节理面形成,两端局部沿试样基质层破裂;当夹角为 45°时宏观破坏面中段大部分沿节理面发展,两端少部分沿试样基质层破裂;当夹角为 60°时宏观破坏面中段少部分沿节理面发展,大部分沿试样节理面反时针一侧基质层发育;在夹角为 15°、30°、45°和 60°时仅形成一个与节理面同倾向的宏观破裂面。(2)当夹角为 30°、45°和 60°时,含 2 条平行节理试样仅形成一个与节理面同倾向的宏观破裂面,破裂面中段沿两条节理面发育,贯穿两条节理间的试样基质层形成破裂带,宏观破裂面的两端沿试样基质层发育,因夹角不同及试样两端压板影响其形态有所差异。(3)当夹角为 30°时,含 3 条节理面的试样,因两端压板约束其宏观破裂面的大部分沿中间的节理面发育,形成较窄而规则的宏观破裂面;当夹角为 45°和 60°时,破裂面特征与含 2 条节理的试样破裂面特征相似,但穿过节理间基质层破裂时其形态及宽度有所差异。(4)当夹角为 30°时,含 4 条节理试样的破裂面与含 2 条节理试样的破裂面近似,只是破裂面沿中间 2 条节理和其间的基质层发育,出现此种情况可能是试样端部压板的约束影响;当夹角为 45°时试样沿节理之间的基质层形成“阶梯”状破裂面,穿过基质层段为剪张性破裂带;当夹角为 60°时试样破裂面形态与夹角为 45°时试样类似,但破裂面两端沿节理面反时针侧基质层发育,破裂面沿节理面发育的长度较短,穿过节理之间基质层的破裂带变窄。

当其它因素相同,试样在不同围压下的破裂特征基本相似,只是当破裂面穿过节理之间基质层时,形成的剪张性破裂带宽度有所差异,围压越大剪张性破裂带宽度相对较小。

5 总结与结论

层状岩体的模拟试验研究能够全面系统地了解其力学特性的各向异性,力学响应行为和破裂特征。通过试验研究可获得如下结论:

(1) 当最大主应力 σ_1 方向与节理面间的夹角由 0°至 90°变化时,含 1 组节理的试样应力—应变全过程曲线有四种类型,即峰值强度前、后缓变型、峰值强度前、后突变型、峰值强度后陡降型和峰值强度

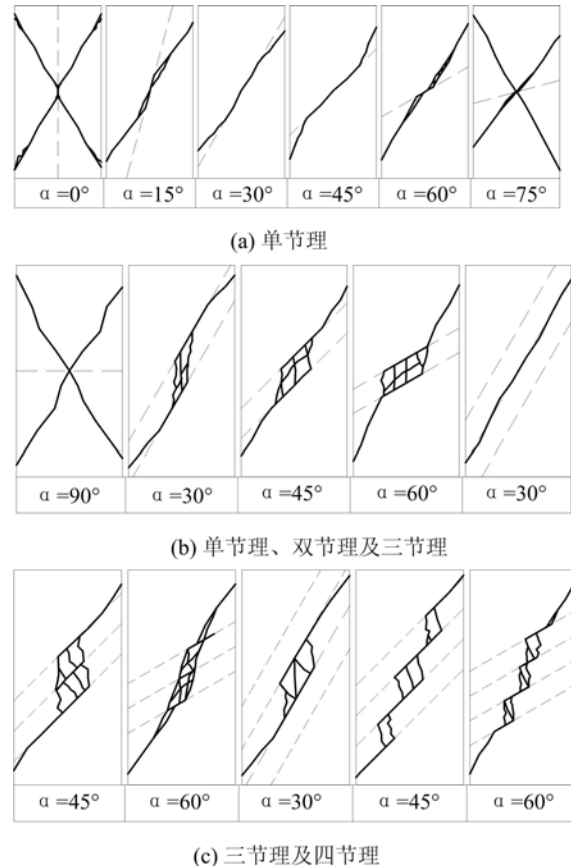


图 8 试样破裂面典型特征

Fig. 8 Typical feature of failure plane in samples containing one to four joints

后缓降型;含多条平行节理试样的应力—应变全过程曲线与含单节理试样的应力—应变全过程曲线形态特征类似。

(2) 随着夹角由 0° 至 90° 变化,含单节理试样割线模量整体上遵循由大变小,再由小变大的趋势;相同夹角情况下,随着所含节理数增加平均割线模量减小。

(3) 当由 0° 至 90° 变化时,试样峰值抗压强度呈公式(1)所示的三角函数变化;平均峰值强度和平均内摩擦角,有随所含节理数增加而降低的趋势,粘聚力 C 变化不大。

(4) 当夹角为 0° 、 75° 和 90° 时,含单节理试样的破裂面形态受节理的影响很小,其它夹角下含单条节理的试样和夹角为 30° 、 45° 和 60° 时含多节理的试样,其破裂面受节理影响较大,有沿节理发育的趋势,并且仅形成与节理面同倾向的单个破裂面而非两个共轭破裂面;当破裂面穿过多条节理之间的基岩层时,破裂面为剪张性破裂带,该剪张性破裂带的宽度受夹角大小和试样所含节理数影响。

参考文献:

- [1] 李泽,王均星,王汉辉. 成组节理岩体的有限元塑性极限分析研究[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(10):1517—1521 (LI Ze, WANG Junxing, WANG Hanhui. Plastic limit analysis on stability of joint rock slopes using finite elements[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(10): 1517—1521 (in Chinese))
- [2] 胡波,张楠,刘顺桂等. 节理对岩体强度变形特性影响的模型实验[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2009, 40(4):1133—1138 (HU Bo, ZHANG Nan, LIU Shungui, et al. Contrastive model test for joint influence on strength and deformation of rock masses[J]. Journal of Central South University(Science and Technology), 2009, 40(4): 1133—1138(in Chinese))
- [3] 徐卫亚,张贵科. 节理岩体正交各向异性等效强度参数研究[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(6):806—810 (XU Wei-ya, ZHANG Gui-ke. Study on orthotropic equivalent strength parameters of jointed rock mass [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(6): 806—810(in Chinese))
- [4] 卢拔,陈剑平,葛修润等. 节理岩体结构的分形几何研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(3):461—467 (Lu Bo, Chen Jianping, Ge Xiurun, et al. Fractal geometry study on structure of jointed rock mass[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 24(3): 461—467(in Chinese))
- [5] 王谦源,栗东平,魏晋龙. 岩体轴向抗压强度与变形尺寸效应的节理分布影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(9):1852—1857 (WANG Qianyuan, LI Dongping, WEI Jinlong. Joint distribution effect on axial compressive strength and deformation scale effects of rock masses[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(9): 1852—1857(in Chinese))
- [6] 徐卫亚,谈小龙,蒋中明. 节理岩体边坡模糊稳定性分析方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(6):1232—1236 (XU Weiya, TAN Xiaolong, JIANG Zhongming. Research on fuzzy analytic approach for stability analysis of jointed rock slope[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(6): 1232—1236 (in Chinese))
- [7] 张红亮,王水林,李春光. 基于数值试验的节理岩体变形特性 REV 研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(Supp. 2):3643—3648 (ZHANG Hongliang, WANG Shuilin, LI Chunguang. Research on representative elemental volume(REV) of deformation character of jointed rock mass based on numerical experiment[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(Supp. 2): 3643—3648(in Chinese))
- [8] 王谦元,李晔. 分形节理岩体强度与变形尺度效应的试验研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(5):1325—1328 (WANG Qianyuan, LI Ye. Experimental study of scale effects in strength and deformation of fractal-joint rock masses [J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(5): 1325—1328(in Chinese))

On the Simulative Experimental Study of Mechanical Properties of Stratified Rock Mass

DENG Rong-gui¹, FU Xiao-min²

(1. Civil engineering college, Southwest Jiaotong university, Chengdu 610031, China; 2. State Key Laboratory of Geo-hazard Prevention and Geo-environment Protection, Chengdu University of technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: It is a key problem to be solved for large-scale rock engineering demonstration and design such as hydropower to understand the deformation and strength characteristics of stratified rock-mass, and to select its deformation and strength parameters. So, the deformation and strength characteristics of stratified rock-mass were studied based on simulative experimental data, and relations among the deformation modulus and the strength of simulative sample and joint number contained in the sample, inclination angle between axial stress and joint plane and confining pressure were obtained. Results show that when the inclination angle between the maximum principal stress and the joint plane σ_1 increases from 0° to 90° , obvious difference in sample's stress-strain curve exists; its deformation modulus follows the tendency as a whole from bigger to smaller at first, then from smaller to bigger later; its strength changes as circular function. When the inclination angle equals to 0° , 75° and 90° respectively, the sample's break property is basically not affected by joint plane. When the inclination angle does not equal to 0° , 75° and 90° respectively, or the sample contains more than 1 joint, the break characteristics are affected seriously by the joint plane. Most parts of break plane grow along the joint and form break plane in same inclination direction. When break plane crosses through the layer between joint planes, a shear-expanding break belt forms, and its width is affected by the angle σ_1 and joint number contained in the sample.

Keywords: rock Mechanics; joint rock mass; anisotropy; simulative experiment; stratified rock mass