

文章编号: 1000-7598-(2004) 11-1805-04

相似材料试验研究

左保成, 陈从新*, 刘才华, 沈强, 肖国峰, 刘小巍

(中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

摘要: 结合反倾岩层边坡失稳破坏机理的相似模型研究, 对灰岩的相似材料进行了试验, 研究了相似材料中骨料与胶结物的配比、胶结物中胶结材料的配比及不同的养护方式对试块强度的影响规律。实验结果表明, 用石英砂、石膏和水泥来模拟岩体介质是可行的。无论采用何种养护方式, 石膏样的强度与砂胶比呈双曲线关系, 而混合样的强度变化规律则呈抛物线变化。石膏样或混合样烘干后的强度均比烘干后放置一段时间的强度高。对于石膏样, 其风干的强度随着时间的增加而逐渐增大, 而对于混合样, 其风干的强度随着时间呈现无规律的变化。这些研究成果为岩石力学相似模型试验提供了依据。

关键词: 物理模型试验; 砂胶比; 骨料; 胶结物; 混合样; 养护方式

中图分类号: TU 457

文献标识码: A

Research on similar material of slope simulation experiment

ZUO Bao-cheng, CHEN Cong-xin*, LIU Cai-hua, SHEN Qiang, XIAO Guo-feng, LIU Xiao-wei

(Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: Combining with the research on losing mechanics of inversely oblique terrane slope, tests of similar materials of limestone are performed. The influences of sand-binder ratio, different binders proportion, and different maintain measures on sample strength are studied. The test results indicate that it is feasible to use sand, plaster and cement to simulate rock body. It is shown that the curves between the strength of plaster sample and the sand-binder ratio are hyperbolic, but that the curves between the strength of mixed sample and the sand-binder ratio are parabola. For both plaster and mixed samples, the bake-dry strengths will decrease with increasing time. The air-dry strength of plaster sample increases with time increasing. But the strength of mixed sample changes irregularly with time increasing. These results provide useful references for rock mechanics simulation experiments.

Key words: physical simulation experiment; sand-binder ratio; aggregate; binder; mixed samples; maintain methods

1 前言

物理模型试验是一种发展较早、应用广泛、形象直观的岩体介质物理力学特性研究方法。长期以来, 模型试验一直是解决复杂工程课题的重要手段, 在边坡及其它岩土工程研究中已得到广泛应用^[1]。在边坡失稳机理研究中, 模型试验能够形象地模拟边坡岩土体中的应力大小及其分布、边坡岩土体的变形破坏机制及其发展过程、加固措施的加固效果等^[2]。

模型试验的基础是相似理论, 即要求模型和原型相似, 模型能够反映原型的情况。根据相似理论, 在模型试验中应采用相似材料来制作模型^[3]。相似材料的选择、配比以及试验模型的制作方法对材料

的物理力学性质具有很大的影响, 对模型试验的成功与否起着决定性作用。在模型试验研究中, 选择合理的模型材料及配比具有重要意义^[4]。

为了选择合适的材料及配比进行模型试验, 同时研究相似材料中骨料与胶结物的配比(砂胶比)、胶结物中胶结材料的配比和不同的养护方式对模块强度的影响, 本文依托于反倾边坡破坏机理模型试验研究的课题, 从骨料与胶结物的配比(砂胶比)、胶结物中胶结材料的配比和不同的养护方式对模块强度的影响3个方面进行了研究。

2 相似材料试验过程

2.1 相似材料的选择

依据前人大量的实践经验, 岩性相似材料的选

择应满足如下几条原则：(1) 材料的某些性质与岩石相似；(2) 模拟过程中材料的力学性能比较稳定；(3) 改变材料配比可使材料的力学性质变动范围较大；(4) 原料来源广泛，成本低廉，凝固时间短，便于制作模型^[2,4]。

本次试验所模拟的材料为灰岩，按上述原则，相似材料应由散粒物质组成。因此选用了不同粒径的纯净石英砂，按照如下比例配制而成：20~40 目 31.7%，40~70 目 42.8%，70~140 目 25.5%。以这种粗、细颗粒的石英砂配制成的材料具有比较致密的结构和较小的孔隙率，能够很好的满足试验的要求。

在目前的岩性模型试验中，以石膏为胶结物的相似材料由于其脆性与岩石比较接近，弹性模量和抗压强度的调节范围比较大，且制作工艺简单，材料来源方便，是国内外应用最为广泛的一种岩性相似材料^[5]。因而本试验选用石膏为胶结材料（使用此胶结材料的试样称为石膏样），同时，为了研究胶结材料对相似材料性质的影响，试验中还使用石膏与水泥的混合物作为胶结材料进行了试验。石膏为过 120 目筛筛余 $\leq 0.2\%$ ，初凝时间为 8~16 min，剪切粘结强度 ≥ 200 kPa，拉伸粘结强度 ≥ 50 kPa 的半水石膏。水泥为 C32.5 硅酸盐水泥。

选用的模拟材料必须在胶结材料初凝前成型，成型后应迅速脱模，较理想的成型条件是初凝时间 20~25 min。当石膏与水泥混合使用时，如石膏含量 $> 11\%$ ，则其凝结时间完全取决于石膏，此时必须加入缓凝剂对凝结时间加以控制^[3]。经试验证明，当选用动物胶作为缓凝剂，浓度为 2%~3% 时，初凝时间可控制在 25~30 min。因此，本试验中采用了浓度为 2% 的动物胶溶液作为缓凝剂。

2.2 相似材料标准试件制作与试验

根据《水利水电工程岩石试验标准》的规定，本试验所用的试件高度为 100 mm，直径为 50 mm 的标准试件，为此专门设计加工了制作标准试件的模具，如图 1 所示。

标准试件的制作步骤：将按要求配好的粗、细骨料与胶结材料拌匀后，再加入规定用量的水搅拌均匀，然后在试件模具中加入适量的混合材料，振动密实，拆模即可成型。单块试件重量为 325 ± 10 g (含水状态下)，单位体积的重量在 1.5 g 左右。

为了选择合适的配比与养护方式进行模型试验，同时研究砂胶比、胶结物中胶结材料的成份和不同的养护方式对相似材料强度的影响，本次试验将不同砂胶比的试块分别进行以下 5 组单轴抗压强

度试验：(1) 35℃ 下烘 1 d 后，进行单轴抗压强度试验；(2) 35℃ 下烘 1 d 再自然风干 7 d 后，进行单轴抗压强度试验；(3) 自然风干 7 d 后进行单轴抗压强度试验；(4) 自然风干 14 d 后进行单轴抗压强度试验；(5) 自然风干 21 d 后进行单轴抗压强度试验。

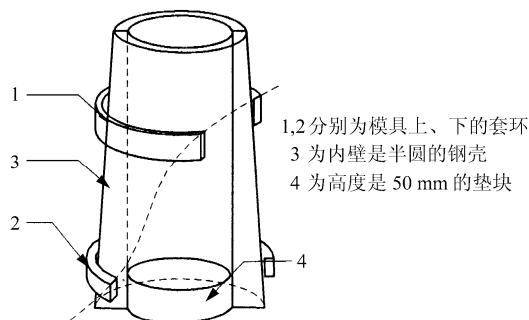


图 1 标准试件制作模具
Fig.1 Model of normal sample

2.3 试验过程

本试验对每个试件进行单轴抗压强度试验。试验在中国科学院武汉岩土力学研究所自行研制的单轴压缩仪（图 2）上进行。试验时将按要求制备好的标准试件放置于压缩仪的托盘上，转动手柄，使托盘缓慢上升。当试件顶部与压缩仪的压盘接触时，继续转动手柄会使压缩仪的钢环产生变形。从百分表上读取试件破坏时钢环的变形量，根据事先给定的标定系数，就可以算出施加在标准试件上的压力，算出试件的强度。

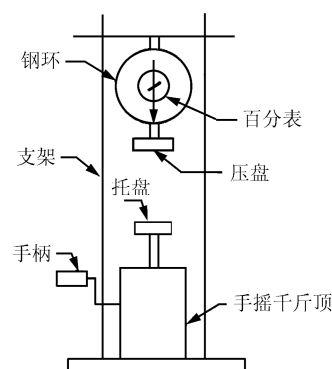


图 2 单轴压缩仪
Fig. 2 Uniaxial compression apparatus

3 相似模块试验结果及分析

3.1 试样的材料性质与破坏特征

试验为破坏试验，因而要求模型材料具有与灰岩相似的结构与破坏特性。灰岩从结构上来说主要是由骨料与胶结物组成。本试验所用的相似材料是

用石英砂为骨料，以石膏或石膏与水泥的混合物为胶结材料组成的，与灰岩具有相似的结构性质，能够满足要求。为了研究相似材料的破坏特性，通过室内试验研究了相似材料的破坏特征，最后发现相似材料的破坏也经过了弹性阶段、弹塑性阶段并最终达到脆性破坏阶段，与灰岩的破坏特征相似。因而可以确定，以石英砂、石膏、水泥为材料来模拟灰岩是合适的。

3.2 养护方式、砂胶比以及胶结材料的配比对试样强度的影响

本试验所用的标准试件采用了两种不同的养护方式：烘干和风干。烘干为在 35℃ 下烘 24 h；风干为脱模后不经烘干直接在自然状态下风干至强度稳定。试验表明，在 35℃ 下经过 24 h 烘干后试件已完全干燥，且强度已趋于稳定，因而以此时试件的强度作为其烘干状况下的强度。胶结物中不含水泥的试样（称其为石膏样）和含水泥的试样（称其为混合样）的强度试验结果如下表 1 和表 2，各试样强度随砂胶比的变化规律如图 3 和图 4。

经过对图表分析得出如下几点规律：

(1) 具有相同砂胶比的石膏样，其烘干后的强度要比风干后的稳定强度高，而混合样烘干后的强度要比风干后的稳定强度高；

(2) 随着砂胶比的增大，石膏样的强度逐渐降低，并在降低到一定程度后，其强度值趋近于一稳定值；而混合样的强度在砂胶比小于 17(28) 时，呈下降趋势，在砂胶比为 17(28) 处时，达到最小值，超过此砂胶比后，其强度又会上升；

(3) 在烘干或晾干的情况下，石膏样的强度变化规律均呈双曲线变化，而混合样的强度变化规律则呈抛物线变化。

以上规律说明，即使是以相同的砂胶比，使用同一种胶结材料，在不同养护方式下最终所得到的材料性质也不尽相同。同时也可以看出，胶结材料对试件的性质也起着决定性作用。因此在进行模型试验时，可以根据不同的胶结材料下试件所呈现的规律，迅速地选择自己所需要的砂胶比和养护方式，从而减少配比试验所花的时间，缩短模型试验的周期。

3.3 时间对强度的影响

对不同砂胶比的试块分别做以下 5 组试验：35℃ 下烘 1 d 后进行单轴抗压强度试验；35℃ 下烘 1 d 再自然风干 7 d 后进行单轴抗压强度试验；自然风干 7 d 后进行单轴抗压强度试验；自然风干 14 d 后进行单轴抗压强度试验；自然风干 21 d 后进行单

表 1 石膏样在不同砂胶比和养护条件下的强度 (MPa)

Table 1 Strengths of plaster samples with different proportions of aggregate and adhesive materials and conserving methods

砂胶比	烘干	风干	砂胶比	烘干	风干
10:1	0.62	0.52	16:1	0.35	0.24
11:1	0.55	0.45	17:1	0.35	0.22
12:1	0.49	0.36	18:1	0.36	0.24
13:1	0.45	0.31	19:1	0.35	0.22
14:1	0.42	0.33	20:1	0.36	0.19
15:1	0.38	0.3	21:1	0.34	0.2

注：砂胶比为 10:1 时，胶结物中不含水泥，完全为石膏。

表 2 混合样在不同砂胶比和养护条件下的强度 (MPa)

Table 2 Strengths of mixed samples with different proportions of aggregate and adhesive materials and conserving methods

砂胶比	烘干	风干	砂胶比	烘干	风干
10(28)	0.45	0.62	16(28)	0.26	0.28
11(28)	0.43	0.52	17(28)	0.25	0.26
12(28)	0.4	0.47	18(28)	0.26	0.28
13(28)	0.36	0.42	19(28)	0.3	0.36
14(28)	0.34	0.35	20(28)	0.36	0.38
15(28)	0.29	0.31	21(28)	0.39	0.42

注：砂胶比括号外的数值表示砂胶比，括号内的数值表示胶结物中水泥石膏的比值。如 10(28) 表示砂胶比为 10:1，其中，胶结物中水泥石膏的比值为 2:8 (图 4，图 6 同)。

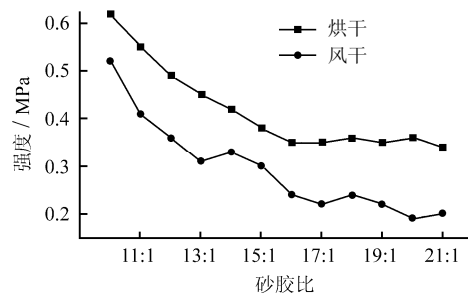


图 3 石膏样强度随砂胶比变化曲线

Fig. 3 Curves of strength and proportion of aggregate and adhesive materials of plaster samples

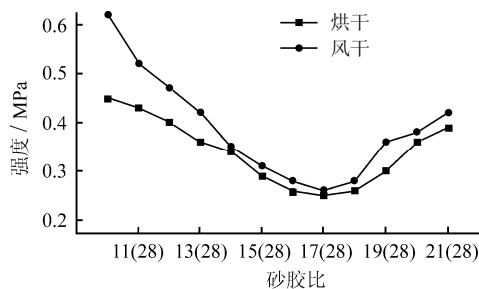


图 4 混合样强度随砂胶比变化曲线

Fig. 4 Curves of strength and proportion of aggregate and adhesive materials of mixed samples

轴抗压强度试验。

根据试验结果绘制的石膏样与混合样在不同养护方式下强度随时间的变化曲线见图 5 和图 6。

由试验结果可得到以下认识:

(1) 无论是石膏样还是混合样, 其烘干后的强度均比烘干后放置一段时间的强度高。经过研究发现, 试样在烘干后的质量要比烘干后放置一段时间的质量轻, 同时发现增加的成份为水。这表明, 试样在含水状态下的强度比无水状态下的强度低, 与灰岩具有相同的性质, 用来模拟灰岩是合适的。(2) 对于石膏样, 其风干的强度随着时间的增加而逐渐增大; 而对于混合样, 其风干的强度随着时间呈现无规律的变化。因此, 在选择养护方式时, 对混合样应当尽量避免使用自然风干的养护方式。

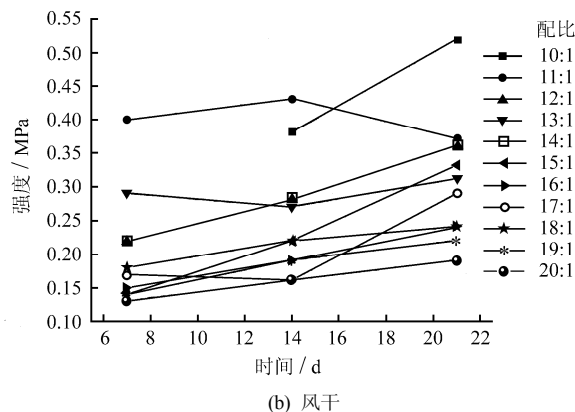
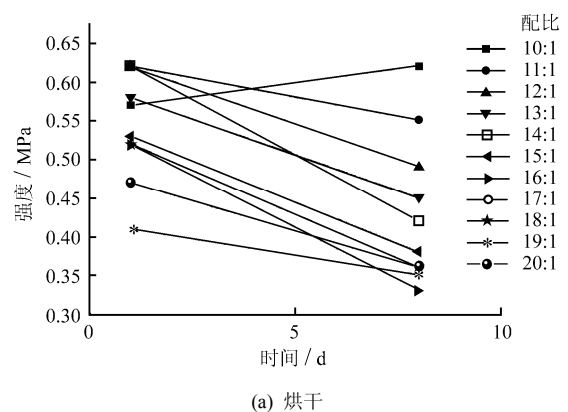


图 5 石膏样的强度与时间关系曲线

Fig. 5 Curves of strength and time of plaster samples

4 结论

(1) 石英砂、石膏、水泥所制成的相似材料试样具有与灰岩相似的结构特征与破坏特征, 用来模拟灰岩是合适的;

(2) 在选择配比时, 可以根据配比试验所得到的规律选择合适的配比范围, 然后在小范围内调节进行试验。这样可以节省配比试验时间;

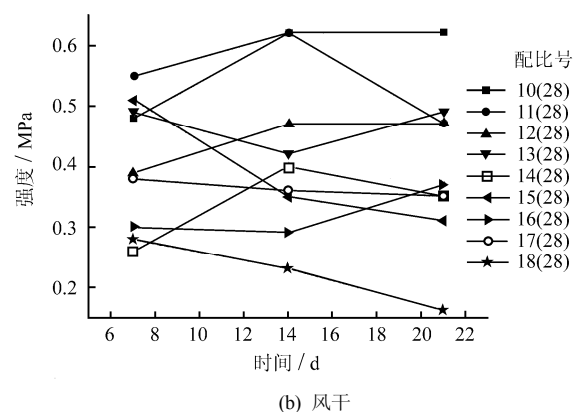
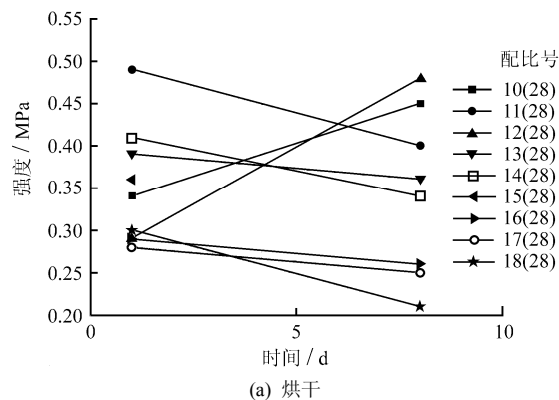


图 6 混合样的强度与时间关系曲线

Fig. 6 Curves of strength and time of mixed samples

(3) 选择不同的养护方式会对相似材料的性质产生很大的影响, 在试验时应根据实际情况的需要, 选择合适的养护方式。

参考文献

- [1] 林韵梅. 实验岩石力学——模拟研究[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1984. 46—49.
- [2] 赵文, 谢强, 詹志锋. 北盘江大桥岸坡位移特征模型试验研究[J]. 四川大学学报, 2002, 34(4): 60—63.
- [3] 彭海明, 彭振斌, 韩金田, 等. 岩性相似材料研究[J]. 广东土木与建筑, 2002, 12(12): 13—17.
Pen Haiming, Pen Zhengbin, Han Jintian, et al. Research on similar material of lithology[J]. *Guangdong Architecture Civil Engineering*, 2002, 12(12): 13—17.
- [4] 白占平, 曹兰柱, 白润才. 相似材料配比的正交试验研究[J]. 露天采煤技术, 1996, (3): 22—23.
- [5] 韩伯鲤, 陈霞龄, 宋一乐, 等. 岩体相似材料的研究[J]. 武汉水利电力大学学报, 1997, 30(2): 6—9.
Han boli, Chen Xialing, Song Yile, et al. Research on Similar Material of Rockmass[J]. *Journal of Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering*, 1997, 30(2): 6—9.