

公路隧道衬砌模型材料的研究

皮映星, 祝方才, 左明汉, 杨越

(湖南工业大学岩土工程研究所, 湖南株洲 412007)

摘要: 模型材料的研究主要是根据相似理论, 寻找一种力学参数与实际工程材料相似的模型材料。通过改变模型材料各组成成分的配比, 分析各种配比对模型材料各力学参数的影响, 同时分析单种材料对模型试件物理性质的影响, 根据试验所得变化规律, 确定一组较佳配比的模型材料用于模拟公路隧道衬砌。

关键词: 模型材料; 相似理论; 成分配比

中图分类号: TU502+.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2011)02-0039-03

Study on the Lining Model Material of Highway Tunnel

Pi Yingxing, Zhu Fangcai, Zuo Minghan, Yang Yue

(Institute of Geotechnical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Based on similarity theory, the study is to investigate a certain model material which has physical and mechanical parameters similar to engineering cases. Through changing the proportion of each component of model material, analyzes the effect on the mechanical parameters, meanwhile explores effect of a single kind of material on the physical property of model specimen. On the basis of the variation of experiments, determinates a practical ratio of components for the simulation of highway tunnel lining.

Keywords: model material; similarity theory; proportion of components

0 前言

由于隧道处于地下复杂的地质环境中, 为了具体了解开挖过程中原始应力场的应力重分布特征及围岩上部结构或围岩本身对隧道的影响, 国内自20世纪60年代就开始了隧道工程方面的研究, 经过几十年的研究, 在地下结构物开挖、边坡稳定、围岩加固及地铁施工中已形成了一些成熟的技术体系。

目前对隧道塌方问题的研究主要集中在事后的治理措施及事故原因分析方面, 对隧道塌方破坏机理尚未有系统的研究^[1-3]。对于隧道塌方破坏机理的研究主要以理论与实验相结合来反映实际问题, 而实验的成败在很大程度上取决于模型材料的选取。

对地下结构物的研究主要有现场试验或室内模型试验2种方式。现场试验虽比室内模型试验更能反映实际情况, 但因其试验周期长、耗费大, 不仅对施工有一定阻碍, 而且在一定程度上存在危险性。室内模型试验虽不能完全模拟现场地质条件, 但可根据相似理论, 对模型材料的成分进行调配, 使模型条件尽可能与工程现场的物理力学条件相似, 以获得较接近的实验结果。目前, 国内各高校及各研究单位还是以室内模型试验为主要研究手段, 恰当地选择一种模型材料是模型试验成败的关键, 有利于较好地模拟工程实际情况, 能真实地反应地质构造与工程施工之间的关系。本文主要研究各组成材料对模型的物理力学参数的影响, 根据模型试验找

收稿日期: 2010-12-31

基金项目: 湖南省教育厅优秀青年科研基金资助项目(10B025)

作者简介: 皮映星(1985-), 男, 湖北咸宁人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为边坡及地下洞室稳定,

E-mail: piyingxing1985@163.com

出一种适合公路隧道施工的衬砌材料。

1 模型材料设计、制作与测试

1.1 实验设计

大量实验表明,用单一的天然材料作为相似材料的应用面有限。通常是用若干天然材料(铁精粉,重晶石粉、石膏粉、石灰粉、石英砂、河砂、粘土、木屑等)和人工材料(水泥、氧化锌、石蜡、松香、酒精、白乳胶、树脂等)按照一定的比例配制而成。因此,相似材料一般是多种材料的混合物,混合物的成分和配比要经过大量的配比试验才能确定^[4]。正确地选择模型材料是能否准确模拟原型的关键,有利于地质力学模型较好地反映工程实际,真实地反映地质构造与工程建筑之间的关系,模拟工程建筑对岩体所产生的影响^[5]。

根据相似理论,衬砌模型与工程原型的力学参数应满足几何相似性。主要需考虑的力学参数有:容重、弹性模量、抗压强度和泊松比。本文研究模型所采用的材料为:水、石膏、水泥和重晶石粉,通过改变各组成材料的配比,研究其与力学参数之间的关系。

如果使模型材料的容重与实际岩体材料的容重相同,即容重相似比 $C_\gamma=1$ 时,则弹性模量和应力相似比将与几何相似比相同,从而大大简化模型材料与实际工程材料的物理参数之间的换算。因此,在进行模型试验时,一般均倾向于选择较重的模型材料,从而使容重相似比能够等于或近似等于1.0^[6]。同时,根据相似理论,与模型材料相关的系数有:几何相似比 $C_L=50$;容重相似比 $C_\gamma=1$;泊松比和摩擦角相似比 $C_\mu=C_\phi=1$;抗压强度、应力、黏聚力和弹性模量相似比 $C_{R_c}=C_\sigma=C_c=C_E=50$ 。在满足容重相似比的情况下,也同时满足各相关系数才能更有效地与实际工程背景相符合。本实验主要考虑的相关系数有容重、弹性模量、抗压强度、泊松比,同时模型材料的成分配比设计如表1。

表1 衬砌材料配比组合

Table 1 The ratio combination of lining materials

材料成分配比(水:石膏:水泥:重晶石粉)			
1:1:0.15:0.2	1:1:0.12:0.3	1:0.9:0.15:0.3	0.9:1:0.15:0.3
1:1:0.15:0.3	1:1:0.15:0.3	1:1.0:0.15:0.3	1.0:1:0.15:0.3
1:1:0.15:0.4	1:1:0.18:0.3	1:1.1:0.15:0.3	1.1:1:0.15:0.3

1.2 模型材料的制作与性能测试

模型材料的制作和性能测试过程是在湖南工业大学力学实验室进行的,试件的模具采用 $70.7\text{ mm} \times 70.7\text{ mm} \times 70.7\text{ mm}$ 的水泥砂浆试模,通过改变各组成材料的配比,制作出不同的试验模块,每种配比制

作3个试件。考虑到石膏在天然环境中容易吸收空气中的水分,一旦吸湿受损,就会降低材料强度,因此在过了终凝时间后将其拆模放置于干燥箱内通过室温养护15 d,然后将试块前后两面分别贴上横向和纵向电阻应变片进行测试。本实验的主要测试仪器有:静态应变测量系统DH3815,江苏东华测试技术有限公司生产,主要测量模型材料的应变;加载设备为微机控制电液伺服压力机YAW-300B,济南华馨亿检测仪器有限公司生产。测试结果见表2~5。

2 模型材料试验数据及分析

通过改变模型材料中某一成分的含量,其力学参数将发生改变,且改变幅度也将会不同。表2~5分别给出了重晶石粉、水泥、石膏、水的含量变化对模型材料力学参数的影响。

表2 重晶石粉含量与力学参数之间的关系

Table 2 The relationship between the content of barite powder and the mechanical parameters

成分配比	容重 / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量 / GPa	抗压强度 / MPa	泊松比
1:1:0.15:0.2	12.45	6.55	0.71	0.37
1:1:0.15:0.3	12.73	3.86	0.77	0.36
1:1:0.15:0.4	13.58	2.24	0.81	0.37

由表2可知,在增加重晶石粉的情况下,模型材料的容重和抗压强度有所提高,但弹性模量有所减小,泊松比无太大变化。

表3 水泥含量与力学参数之间的关系

Table 3 The relationship between the content of cement and the mechanical parameters

成分配比	容重 / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量 / GPa	抗压强度 / MPa	泊松比
1:1:0.12:0.3	13.61	5.90	0.64	0.31
1:1:0.15:0.3	13.65	7.86	0.78	0.29
1:1:0.18:0.3	13.68	8.78	1.02	0.31

由表3可知,水泥含量的增加直接提高了模型材料的抗压强度和弹性模量,其对容重和泊松比的影响不是很明显。

表4 石膏含量与力学参数之间的关系

Table 4 The relationship between the content of plaster and the mechanical parameters

成分配比	容重 / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量 / GPa	抗压强度 / MPa	泊松比
1:0.9:0.15:0.3	14.11	4.23	0.93	0.37
1:1.0:0.15:0.3	12.75	3.86	0.78	0.24
1:1.1:0.15:0.3	12.54	1.84	0.66	0.22

由表4可知,在增大石膏含量的情况下,模型材料的抗压强度、弹性模量、容重、泊松比都有所减小。

表5 水的含量与力学参数之间的关系

Table 5 The relationship between the content of water and the mechanical parameters

成分配比	容重 / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量 / GPa	抗压强度 / MPa	泊松比
0.9:1:0.15:0.3	12.71	2.07	0.63	0.24
1.0:1:0.15:0.3	12.68	3.86	0.78	0.24
1.1:1:0.15:0.3	12.66	4.87	0.66	0.22

由表5可知,在增加水含量的情况下,模型材料的弹性模量有所增大,其它力学参数无明显变化。

3 结论

根据本次试验的结果分析,在选择一种模型材料的时候,必须要考虑模型材料所涉及的力学参数及材料成分对相似材料力学性能的影响。本次试验通过调整衬砌模型材料各组成成分的含量,得出如下结论:

1) 石膏作为一种胶结料,在增大其含量的情况下,模型材料的抗压强度、弹性模量、容重、泊松比都有所减小,同时,其初凝时间也有所缩短;

2) 在增加重晶石粉的情况下,模型材料的容重和抗压强度有所提高,但弹性模量有所减小,泊松比无太大变化;

3) 水泥含量的增加直接提高了模型材料的抗压强度和弹性模量,由于本次试验中水泥含量的变化范围较小,其对容重和泊松比的影响不是很明显;

4) 水作为一种溶解液体,其含量在小范围内增加对容重和抗压强度的影响不是很大,但增加其含量能提高模型材料的弹性模量;

5) 由于本次试验对各组成材料含量的调节范围较小,泊松比的变化不是很明显。

参考文献:

[1] 陈进,陈祥福.岩石工程渐进破坏分析的边界元法[J].

工程力学,1991,8(4):128-137.

Chen Jin, Chen Xiangfu. Boundary Element Method for Non-Linear Analysis on the Progressive Failure of Rock Engineering[J]. Engineering Mechanics, 1991, 8(4): 128-137.

[2] 陈进,袁文伯.巷道围岩渐进破坏的黏弹塑性软化分析[J].中国矿业学院学报,1988(3):38-45.

Chen Jin, Yuan Wenbo. Analysis on Visco-Plastic Softening of Roadway Progressive Failure[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1988(3): 38-45.

[3] 陈进.岩体结构渐进破坏的理论与实践[D].徐州:中国矿业大学,1988.

Chen Jin. The Theory and Practice of Progressive Failure of Rock Structure[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 1988.

[4] 汪成兵.软弱破碎隧道围岩渐进性破坏机理研究[D].上海:同济大学土木工程学院,2009.

Wang Chengbing. Study on Progressive Failure Mechanism of Weak Broken Tunnel Rock[D]. Shanghai: Civil Engineering of Tongji University, 2009.

[5] 罗晶,郑占强,肖毅,等.地质力学模型试验中不同类型岩体的相似模拟研究[J].水电站设计,2007,23(4):1-5.

Luo Jing, Zheng Zhanqiang, Xiao Yi, et al. The Similar Simulation of Different Types of Rock in Geomechanical Model Test[J]. Design of Hydroelectric Power Station, 2007, 23(4): 1-5.

[6] 马芳平,李仲奎,罗光福.NIOS模型材料及其在地质力学相似模型试验中的应用[J].水力发电学报,2004,23(1):48-51.

Ma Fangping, Li Zhongkui, Luo Guangfu. NIOS Model Material and Its Use in Geo-Mechanical Similarity Model Test[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2004, 23(1): 48-51.

(责任编辑:李玉珍)