

泡沫轻质土的微观结构及其强度特性研究

袁友强^{1,2}, 李永良³, 刘耀富³, 张留俊^{1,2}

(1.中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710075; 2.长安大学 公路学院; 3.中铁上海工程局第三工程有限公司)

摘要: 为了探究泡沫轻质土的微观结构及其强度特性,分别选取4种不同配合比的泡沫轻质土样品,采用扫描电镜试验(SEM)分析各配合比下泡沫轻质土的微观结构特性,并从微观结构的角度进一步分析泡沫轻质土无侧限抗压强度的变化规律。结果表明:不同的水固比对泡沫轻质土微观结构形式和强度特性产生了显著的影响,随着水固比的减小,泡沫轻质土气孔的数量会显著减少,气孔的贯通程度会变浅,逐渐形成较密实和较完整的内部整体结构;微观结构越密实,气孔一孔壁结构越坚实且完整,则泡沫轻质土会表现出越高的强度特性;此外,泡沫轻质土内部存在少量带针状的水泥水化产物钙矾石晶体,其数量随着水固比的减小而减少。

关键词: 泡沫轻质土; 微观结构; 强度特性; 水固比; 气孔; 钙矾石

材料的微观结构特征主要反映两个问题:①能够反映出材料内部固-液-气三相物质的大小、多少、形态以及相互之间的联结关系、排列方式等;②材料在宏观上表现出的工程特性很大程度上也是由其微观结构所决定,即材料的性能是其微观结构特性的集中体现。泡沫轻质土是一种采用物理方法将发泡剂水溶液制备成泡沫,再将泡沫与水泥浆按照一定的比例混合搅拌,并经物理化学作用硬化而成的微孔轻质材料。作为一种新型的人造轻质材料,在整个固-液-气三相体系中,泡沫轻质土的气态孔隙的大小和形状是最重要的参数,它既决定了土中其他两相(固相、液相)物质的分布特征,也决定着土中固-液-气三相体系之间的联结关系和排列方式等微结构特征。而且,泡沫轻质土特殊的物理力学性能及耐久性能也是由其微观结构特性决定的。目前,中国关于泡沫轻质土的微观

结构研究较少。

通过对泡沫轻质土微观结构特性的研究,可以认识到这种材料的许多工程特性的本质,并且可以对其宏观力学强度表现与规律给予更科学的解释。该文选取部分不同配合比的泡沫轻质土样品,采用扫描电镜试验(SEM)对其微观结构特性进行研究,并从微观结构的角度分析泡沫轻质土无侧限抗压强度的变化规律。

1 试验方案

1.1 配合比选取

为了对比分析不同配合比对泡沫轻质土微观结构特性的影响,参考有关试验研究资料,该文选取4种不同的配合比进行泡沫轻质土的扫描电镜试验,其原材料用量和基本物理力学性能指标测定值如表1所示。

表1 泡沫轻质土配合比及基本性能参数

配合比 编号	水固比	组成/(kg·m ⁻³)				流值/ mm	湿重度/ (kN·m ⁻³)	28 d 无侧限抗 压强度/MPa
		水泥	粉煤灰	水	泡沫			
A1	1:1.7	253	108	212	26	209	5.29	0.512
A2	1:1.8	258	111	205	27	189	5.56	0.621
A3	1:1.9	263	113	198	27	172	6.11	0.874
A4	1:2.0	267	115	191	27	158	6.31	0.956

收稿日期:2018-04-02

基金项目:国家重点研发计划项目(编号:2016YFC0802203)

作者简介:袁友强,男,硕士研究生,E-mail:1450312182@qq.com

1.2 试样制备

试样按照表 1 中的配合比成型,先将其成型为 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 的立方体试件,室内标准养生 28 d 后,再截取出长度不超过 1 cm、高度不超过 6 mm 的样品作为微观结构扫描试样。

样品底部应尽量切平,并采用吸耳球轻轻地吹去样品表层扰动的颗粒,然后剪取双面胶黏到样品台的正面,将裁好的样品一个接一个黏紧在双面胶上,记录样品的样号与样品台对应的关系。为了得到清晰的图像,需要将截取好的样品放入离子溅射仪中进行抽真空和镀金处理,持续 40 min 左右。

1.3 试验方法及试验仪器

扫描电镜试验(SEM)是指通过极细的电子束在样品表面进行扫描,然后收集激发出的二级电子束,形成信号反馈到显像管中,经过调节观测倍数、对比度、聚焦等处理可以显示出样品清晰的影像。

该文扫描电镜试验设备型号为日立 S-570 型扫描电子显微镜。选用 70、140、600 倍 3 种放大倍数分别对泡沫轻质土试样整体性、局部性、代表性微观结构进行观测。

2 微观结构分析

2.1 70 倍放大倍数整体性微观结构分析

选用 70 倍的放大倍数观测试样的整体微观结构,测得水固比分别为 1:1.7、1:1.8、1:1.9、1:2.0 时的泡沫轻质土微观结构图,如图 1 所示。

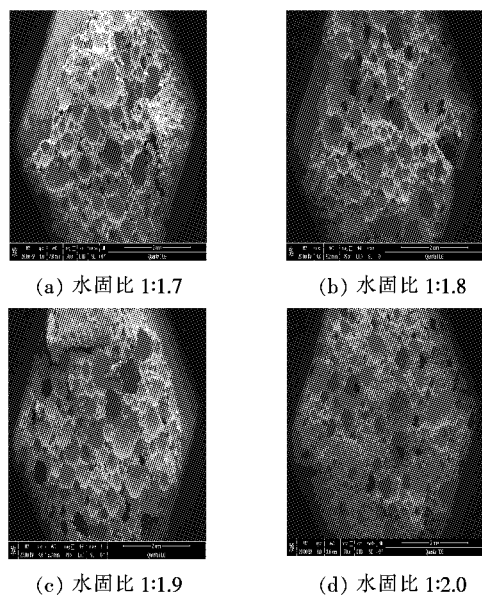


图 1 70 倍观测倍数下的微观结构图

从图 1 可以清晰地看出:① 泡沫轻质土的土体内部分布着大量独立闭合的气孔,其气孔的形状多为圆形,这些大小不同的气孔共同构成了泡沫轻质土的主体结构;② 不同的水固比对其气孔的大小、多少、分布等有较大的影响。随着水固比的减小,泡沫轻质土气孔的数量会明显减少,孔径越细小,气孔贯通的程度越浅,孔壁越完整且坚实,内部结构整体也越密实。即当水固比为 1:1.7 时,泡沫轻质土的气孔数量最多最集中,内部结构整体最松散,且存在较多的贯通气孔和架空孔隙,而固相颗粒较少;而当水固比为 1:2.0 时,泡沫轻质土的气孔数量最少最分散,内部结构整体最密实,孔壁完整且坚实,存在较少的架空孔隙,固相颗粒最多。

由表 1 可知:泡沫轻质土的无侧限抗压强度随着水固比的减小而逐渐增大。从微观结构的角度分析,泡沫轻质土内部的气孔—孔壁结构是决定其无侧限抗压强度的关键,其中包裹着气孔的孔壁(即固相颗粒)是泡沫轻质土无侧限抗压强度的主要提供者。随着水固比的减少,泡沫轻质土土体内部结构越密实,孔壁越完整且坚实,气孔数目和孔径也越来越小。因此,泡沫轻质土的空隙率显著降低,密实度增大,其无侧限抗压强度也会随之提高。

2.2 140 倍放大倍数局部性微观结构分析

选用 140 倍的放大倍数观测试样的局部微观结构,测得水固比分别为 1:1.7、1:1.8、1:1.9、1:2.0 时的泡沫轻质土微观结构图,如图 2 所示。

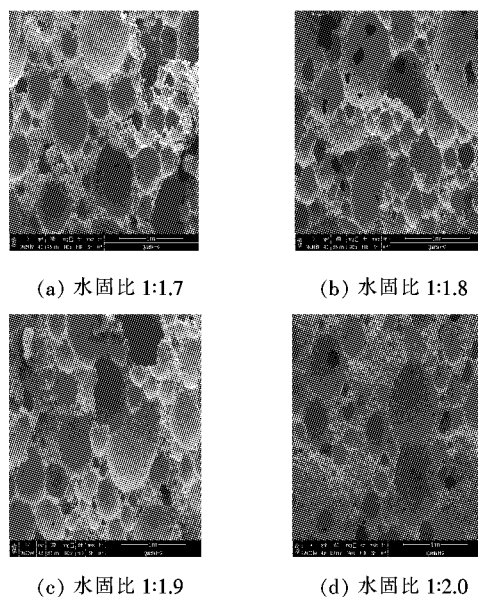


图 2 140 倍观测倍数下的微观结构图

由图 2 可以清晰地看出:当水固比较大时,泡沫轻

质土内部存在较多已破损、架空的气体孔隙,孔壁结构极为不完整,气孔之间的固相联结体厚度较薄,固相物质所占的比例很少,故泡沫轻质土在宏观上所表现出的无侧限抗压强度显然较低;而当水固比较小时,泡沫轻质土内部具有良好且较完整的孔壁结构,几乎不存在架空孔隙,气孔之间的固相联结体厚度较大,固相物质所占的面积比例也相对较大,故泡沫轻质土在宏观上所表现的无侧限抗压强度较高。

2.3 600倍放大倍数代表性微观结构分析

选用600倍的高倍数观测试样的某些具有代表性部位微观结构,测得水固比分别为1:1.7、1:1.8、1:1.9、1:2.0时的泡沫轻质土微观结构如图3所示。

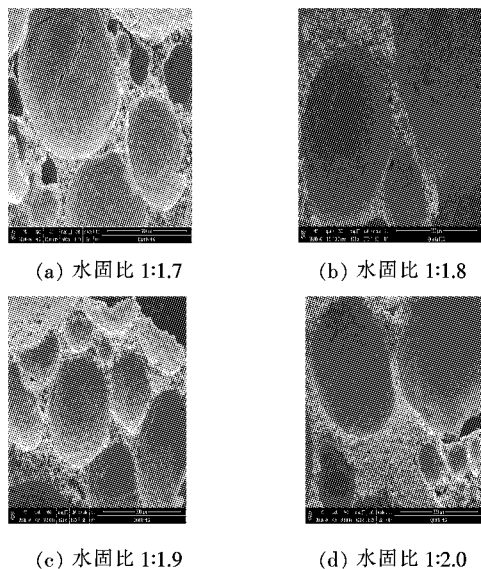


图3 600倍观测倍数下的微观结构图

由图3很明显地可以看出:①泡沫轻质土内部存在极少量带针状的固体物质钙矾石,钙矾石是水泥水化反应的产物;②当水固比越大时,水泥物质结构越疏松,则有较大的空间生成钙矾石;而当水固比越小时,水泥物质结构越密实,气孔孔隙相对较少,则生成的钙矾石数量越少。因此,当水固比为1:1.7时,泡沫轻质土内部生成了相对较多的钙矾石;而当水固比为1:2.0时,泡沫轻质土内部几乎没有生成钙矾石。

3 结论

采用扫描电镜试验对泡沫轻质土的微观结构及其强度特性进行了分析,得出以下结论:

(1) 水固比的变化,使得泡沫轻质土的整体性微观结构发生了很大的变化。随着水固比的减小,泡沫轻质土气孔的数量会显著减少,且气孔的贯通程度会变浅,逐渐形成较密实和较完整的内部整体结构。

(2) 水固比的变化对泡沫轻质土的气孔—孔壁结构形式也产生了一定的影响。当水固比较大时,泡沫轻质土内部易形成破损、架空以及不完整的气孔—孔壁结构;而当水固比较小时,泡沫轻质土会形成坚实、密实和较完整的气孔—孔壁结构。

(3) 泡沫轻质土内部存在少量带针状的水泥水化产物钙矾石晶体,其相对数量的多少也取决于水固比的变化。水固比越小时,泡沫轻质土内部的水泥物质结构越密实,相应的气孔孔隙越少,则存在较少的空间生成钙矾石,自然生成钙矾石的数量也越少。

(4) 从微观结构的角度分析,包裹着气孔的孔壁是泡沫轻质土无侧限抗压强度的主要提供者。水固比越小时,泡沫轻质土内部结构越密实,气孔—孔壁结构越坚实且完整,则其无侧限抗压强度值越大。

参考文献:

- [1] 康慧珍.建筑材料物相研究基础[M].北京:清华大学出版社,1996.
- [2] TJG F10 01—2011 现浇泡沫轻质土路基设计施工技术规程[S].
- [3] 王丽娟,陈缘,杜高翔.泡沫混凝土微观结构对宏观性能的影响机理[J].中国粉末技术,2015(5).
- [4] 贾艳涛,杨永敢.泡沫混凝土性能试验研究[J].硅酸盐通报,2016(9).
- [5] 方永浩,王锐,庞二波.水泥—粉煤灰泡沫混凝土抗压强度与气孔结构的关系[J].硅酸盐学报,2000(1).
- [6] 肖力光,张士停,刘刚.泡沫混凝土泡孔微观结构的研究[J].吉林建筑工程学院学报,2013(3).
- [7] 张磊蕾.泡沫混凝土的组成与性能、微结构的研究[D].中国建筑材料科学研究总院硕士学位论文,2011.
- [8] 陈忠平.气泡混合轻质填土新技术[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [9] DB33/T 996—2015 公路工程泡沫混凝土应用技术规范[S].
- [10] 蔡力,陈忠平,吴立坚.气泡混合轻质土的主要力学特性及应用综述[J].公路交通科技,2005(12).
- [11] 张小平,包承纲.泡沫轻质材料在岩土工程中的运用[J].岩土工程技术,2000(1).