



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110482928 A

(43)申请公布日 2019.11.22

(21)申请号 201910693055.8

(22)申请日 2019.07.30

(71)申请人 西安建筑科技大学

地址 710055 陕西省西安市雁塔路13号

(72)发明人 刘超 胡天峰 吕振源 刘化威

(74)专利代理机构 西安恒泰知识产权代理事务

所 61216

代理人 孙雅静

(51)Int.Cl.

C04B 28/02(2006.01)

C04B 20/10(2006.01)

C04B 18/16(2006.01)

权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种以再生细骨料为载体的自修复混凝土及其制备方法

(57)摘要

本发明公开了一种以再生细骨料为载体的自修复混凝土及其制备方法,所述的自修复混凝土包括混凝土配料和自修复再生细骨料,按体积百分比计,自修复再生细骨料占自修复混凝土的5%~25%;所述的自修复再生细骨料由再生细骨料浸渍巴氏芽孢杆菌菌液制成;巴氏芽孢杆菌菌液的OD值1.2~1.8,以混凝土中的水泥为计算基准,巴氏芽孢杆菌菌液的体积掺量为25%。本发明采用再生细骨料载体,解决了以往采用其他载体时,载体力学强度低、微生物活性保持度差、操作不便的问题,同样起到建筑垃圾资源化、微生物自修复的混凝土结构性能好的效果。

1. 一种以再生细骨料为载体的自修复混凝土,其特征在于,所述的自修复混凝土包括混凝土配料和自修复再生细骨料,按体积百分比计,自修复再生细骨料占自修复混凝土的5%~25%;

所述的自修复再生细骨料由再生细骨料浸渍巴氏芽孢杆菌菌液制成;

巴氏芽孢杆菌菌液的OD值1.2~1.8,以混凝土中的水泥为计算基准,巴氏芽孢杆菌菌液的体积掺量为25%。

2. 根据权利要求1所述的以再生细骨料为载体的自修复混凝土,其特征在于,按体积百分比计,自修复再生细骨料占自修复混凝土的15%。

3. 根据权利要求1或2所述的以再生细骨料为载体的自修复混凝土,其特征在于,所述的再生细骨料浸渍巴氏芽孢杆菌菌液的过程为:真空负压0.5Mpa条件下浸渍吸附20min。

4. 根据权利要求1或2所述的以再生细骨料为载体的自修复混凝土,其特征在于,所述的再生细骨料是混凝土建筑垃圾经破碎后形成的碎石料;

所述的再生细骨料为粒径为0~5mm,表观密度2518kg/m<sup>3</sup>,堆积密度1255kg/m<sup>3</sup>,孔隙率56%,压碎指标为14.5%,坚固性7.8%,含水率为1.08%,24小时吸水率为8.91%。

5. 根据权利要求1或2所述的以再生细骨料为载体的自修复混凝土,其特征在于,按质量比计,所述的混凝土配料为水:砂:石:水泥=0.3~0.6:3.10~3.5:1.60~2.00:1.00~1.50。

6. 根据权利要求5所述的以再生细骨料为载体的自修复混凝土,其特征在于,所述的水泥为P042.5级,密度为3100kg/m<sup>3</sup>;所述砂的表观密度为2724.8kg/m<sup>3</sup>,吸水率为1.02%,细度模数为2.18;所述天然碎石的表观密度为2801.8kg/m<sup>3</sup>,吸水率为0.47%,压碎指标为5.99。

7. 一种以再生细骨料为载体的自修复混凝土的制备方法,其特征在于,所述的自修复混凝土包括混凝土和自修复再生细骨料,按体积百分比计,自修复再生细骨料占自修复混凝土的5%~25%;巴氏芽孢杆菌菌液的OD值1.2~1.8,以混凝土中的水泥为计算基准,巴氏芽孢杆菌菌液的体积掺量为25%;

所述的自修复再生细骨料由再生细骨料浸渍巴氏芽孢杆菌菌液制成,再生细骨料浸渍巴氏芽孢杆菌菌液的过程为:真空负压0.5Mpa条件下浸渍吸附20min;

将混凝土配料与自修复再生细骨料混合拌和即得自修复混凝土。

8. 根据权利要求7所述的以再生细骨料为载体的自修复混凝土的制备方法,其特征在于,按体积百分比计,自修复再生细骨料占自修复混凝土的15%。

9. 根据权利要求7或8所述的以再生细骨料为载体的自修复混凝土的制备方法,其特征在于,按质量比计,所述的混凝土配料为水:砂:石:水泥=0.3~0.6:3.10~3.5:1.60~2.00:1.00~1.50;

所述的水泥为P042.5级,密度为3100kg/m<sup>3</sup>;所述砂的表观密度为2724.8kg/m<sup>3</sup>,吸水率为1.02%,细度模数为2.18;所述天然碎石的表观密度为2801.8kg/m<sup>3</sup>,吸水率为0.47%,压碎指标为5.99。

10. 根据权利要求7或8所述的以再生细骨料为载体的自修复混凝土的制备方法,其特征在于,所述的再生细骨料是混凝土建筑垃圾经破碎后形成的碎石料;

所述的再生细骨料的粒径为0~5mm,表观密度2518kg/m<sup>3</sup>,堆积密度1255kg/m<sup>3</sup>,孔隙率56%,压碎指标为14.5%,坚固性7.8%,含水率为1.08%,24小时吸水率为8.91%。

## 一种以再生细骨料为载体的自修复混凝土及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于特种建筑材料技术领域,特别是一种以再生细骨料为载体的自修复混凝土及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 随着我国城市化规模的不断加快以及社会主义新农村建设的快速推进,大量旧建筑物的拆除将会产生众多的混凝土、砖、瓦等废弃物。据住建部统计,到2020年我国将新建住宅300亿平方米,由此产生的建筑废弃物将达到50亿吨。同时我国混凝土产业年消耗砂石约150亿吨/年,消耗水泥约20亿吨/年,长此以往我国生态环境将不堪重负。目前传统采用掩埋的方式处理废弃建筑物要占用大量的掩埋垃圾用地,还会带来一系列关于自然环境、能源、资源、可持续发展等问题。届时将建筑垃圾变废为宝,将会是垃圾再利用的重点研发项目。将废弃混凝土建筑物加工成再生细骨料用于再生混凝土的制备不仅解决了环境污染问题,也实现了资源再利用,减少了资源和能源的浪费。

[0003] 再生细骨料是由废弃混凝土块经过破碎、清洗、筛分等处理工艺后,得到的粒径为0~5mm的骨料,是天然骨料与水泥基水化凝结后形成的产物。其中,再生细骨料在破碎过程中受到较大的外力作用,在集料内部容易出现大量微细裂痕,内部现出疏松多孔的状态。所以再生细骨料具有的细微空隙结构使其有作为增强水泥基微生物自修复混凝土载体具有一定的可行性,同时相比同等粒径下再生砖骨料及膨胀珍珠岩为载体其较高的基体强度能使自修复混凝土的力学性能和防水抗渗性能得到大幅度改善。

[0004] 自然界中芽孢杆菌微生物能通过某些钙矿化反应机制在细胞芽孢处生成一些化合物,从而填堵或黏结接触水氧的有孔介质界面。后来这些物质被证实是一些不同形态的碳酸钙及类碳酸钙无机化合物,这些过程不依赖于环境,完全由菌体控制沉积过程。当有适合的环境时进行钙矿化作用,而在不满足反应条件时进行休眠。绝大多数微生物主要以不同形式沉积碳酸钙,该沉积过程受环境因素影响较大且不涉及特殊的结构形态。由于混凝土的主要成分本质上就是钙盐,因此利用芽孢杆菌微生物这种碳酸钙诱导沉积的能力对混凝土裂缝进行自修复具备可行性,并且芽孢杆菌在碱性环境有着更高效的修复效能使再生细骨料有着特定的载体优势。

[0005] 芽孢杆菌微生物主要通过有氧环境下芽孢处形成碳酸钙沉淀实现修复。伴随着碳酸盐平衡的转变( $\text{CO}_2$ 到 $\text{HCO}_3^-$ 和 $\text{CO}_3^{2-}$ ),混凝土介质中的钙离子与碳酸根离子发生反应,从而向微生物芽孢处聚集形成不溶性的碳酸钙 $\text{CaCO}_3$ 沉积物,使裂缝愈合而达到修复的目的。其矿化过程是有氧呼吸代谢底物产生 $\text{CO}_2$ ,与溶液中的 $\text{OH}^-$ 反应生成 $\text{HCO}_3^-$ ,然后在碱性条件下与水泥浆中的 $\text{Ca}^{2+}$ 继续反应生成 $\text{CaCO}_3$ 晶体。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种以再生细骨料为载体的自修复混凝土,生物活性高、结构耐久性好、经济效益好。

[0007] 本发明的另一目的在于提供一种以再生细骨料为载体的自修复混凝土的制备方法,以获得生物活性高、结构耐久性好、经济效益好、操作简单的微生物自修复混凝土。

[0008] 实现本发明目的的技术解决方案为:

[0009] 一种以再生细骨料为载体的自修复混凝土,所述的自修复混凝土包括混凝土配料和自修复再生细骨料,按体积百分比计,自修复再生细骨料占自修复混凝土的5%~25%;所述的自修复再生细骨料由再生细骨料浸渍巴氏芽孢杆菌菌液制成;巴氏芽孢杆菌菌液的OD值1.2~1.8,以混凝土中的水泥为计算基准,巴氏芽孢杆菌菌液的体积掺量为25%。

[0010] 可选的,按体积百分比计,自修复再生细骨料占自修复混凝土的15%。

[0011] 可选的,所述的再生细骨料浸渍巴氏芽孢杆菌菌液的过程为:真空负压0.5Mpa条件下浸渍吸附20min。

[0012] 可选的,所述的再生细骨料是混凝土建筑垃圾经破碎后形成的碎石料;所述的再生细骨料为粒径为0~5mm,表观密度2518kg/m<sup>3</sup>,堆积密度1255kg/m<sup>3</sup>,孔隙率56%,压碎指标为14.5%,坚固性7.8%,含水率为1.08%,24小时吸水率为8.91%。

[0013] 可选的,按质量比计,所述的混凝土配料为水:砂:石:水泥=0.3~0.6:3.10~3.5:1.60~2.00:1.00~1.50。

[0014] 可选的,所述的水泥为P0 42.5级,密度为3100kg/m<sup>3</sup>;所述砂的表观密度为2724.8kg/m<sup>3</sup>,吸水率为1.02%,细度模数为2.18;所述天然碎石的表观密度为2801.8kg/m<sup>3</sup>,吸水率为0.47%,压碎指标为5.99。

[0015] 一种以再生细骨料为载体的自修复混凝土的制备方法,所述的自修复混凝土包括混凝土和自修复再生细骨料,按体积百分比计,自修复再生细骨料占自修复混凝土的5%~25%;所述的自修复再生细骨料由再生细骨料浸渍巴氏芽孢杆菌菌液制成,再生细骨料浸渍巴氏芽孢杆菌菌液的过程为:真空负压0.5Mpa条件下浸渍吸附20min;巴氏芽孢杆菌菌液的OD值1.2~1.8;以混凝土中的水泥为计算基准,巴氏芽孢杆菌菌液的体积掺量为25%;将混凝土配料与自修复再生细骨料混合拌和即得自修复混凝土。

[0016] 可选的,按体积百分比计,自修复再生细骨料占自修复混凝土的15%。

[0017] 可选的,按质量比计,所述的混凝土配料为水:砂:石:水泥=0.3~0.6:3.10~3.5:1.60~2.00:1.00~1.50;

[0018] 所述的水泥为P0 42.5级,密度为3100kg/m<sup>3</sup>;所述砂的表观密度为2724.8kg/m<sup>3</sup>,吸水率为1.02%,细度模数为2.18;所述天然碎石的表观密度为2801.8kg/m<sup>3</sup>,吸水率为0.47%,压碎指标为5.99。

[0019] 可选的,所述的再生细骨料是混凝土建筑垃圾经破碎后形成的碎石料;

[0020] 所述的再生细骨料的粒径为0~5mm,表观密度2518kg/m<sup>3</sup>,堆积密度1255kg/m<sup>3</sup>,孔隙率56%,压碎指标为14.5%,坚固性7.8%,含水率为1.08%,24小时吸水率为8.91%。

[0021] 本发明的优点为:

[0022] 本发明采用再生细骨料作为载体,相比其他载体,该载体制备简单、强度高、微生物活性保持较好、容易操作,同时实现了建筑垃圾变废为宝,也提高了混凝土结构的力学性能以及抗渗性,增强水泥基自修复效能的作用。并且也赋予了混凝土损伤自修复的能力,在混凝土裂缝的初期出现就自行进行有效的修复,大大降低了裂缝开展后期修复所产生的大量费用,大大地提高了混凝土结构的安全性、经济性和耐久性。

[0023] 下面结合具体实施方式对本发明作进一步的详细描述。

### 附图说明

[0024] 附图是用来提供对本发明的进一步理解,并且构成说明书的一部分,与下面的具体实施方式一起用于解释本发明,但并不构成对本发明的限制。在附图中:

[0025] 图1为实施例一、二和三的以再生细骨料为载体的自修复混凝土28d平均裂缝修复宽度对比图;

[0026] 图2为实施例一以再生细骨料为载体的自修复混凝土0d(左)和28d(右)裂缝修复效果对比图;

[0027] 图3为实施例二以再生细骨料为载体的自修复混凝土0d(左)和28d(右)裂缝修复效果对比图;

[0028] 图4为实施例三以再生细骨料为载体的自修复混凝土0d(左)和28d(右)裂缝修复效果对比图;

[0029] 图5为实施例一、二和三以再生细骨料为载体的自修复混凝土裂缝开裂形式表现图;

[0030] 图6为实施例一的修复产物10000倍电子显微镜图。

### 具体实施方式

[0031] 再生细骨料是由建筑废弃物中的混凝土垃圾加工而成,用于配制混凝土的粒径不大于5mm的颗粒。主要包括废弃混凝土破碎后形成的表面附着水泥浆的混凝土颗粒,水泥石颗粒及少量破碎石块。再生细骨料的生产工序为:对原材料进行初选,分类堆放、去除钢筋等;通过多次分选,去除土、轻物质、钢筋、有机质等;初次破碎、筛分,二次破碎、筛分,分离、冲洗等得到再生细骨料。

[0032] 本发明采用的再生细骨料,取自混凝土建筑垃圾,是天然骨料与水泥基水化凝结后形成的产物经破碎后形成的石料。再生细骨料其表面有少许部分水泥包裹、表面粗糙,内部存在细微空隙,使其在强度、吸水率等性能上低于天然细骨料,其指标为如下:再生细骨料为粒径为0~5mm,表观密度 $2518\text{kg}/\text{m}^3$ ,堆积密度 $1255\text{kg}/\text{m}^3$ ,孔隙率56%,压碎指标为14.5%,坚固性7.8%,含水率为1.08%,24小时吸水率为8.91%。因为再生细骨料在破碎过程中受到较大的外力作用,在集料内部容易出现大量微细裂痕,内部现出细微空隙的状态。因此再生细骨料内部的细微空隙结构使其有作为增强水泥基微生物自修复混凝土载体具有可行性,同时相比以膨胀珍珠岩或再生砖骨料为载体其较高的基体强度能使自修复混凝土的各项性能得到大幅度改善。

[0033] 为使本领域技术人员更好地理解本发明的产品及方法,下面以实施例说明制备过程。同时与对比例比较,以说明本发明的优点。

[0034] 本发明将传统或行业中常见的混凝土配料与自修复再生细骨料混合进行自修复混凝土的制备,传统或行业中常见的混凝土配料一般为水,水泥,砂,石子,该混凝土的配料比为0.40:3.15:1.69:1.00。

[0035] 本发明中提到的以混凝土中的水泥为计算基准,巴氏芽孢杆菌菌液的体积掺量为25%。主要因为水灰比为影响混凝土性能的主要因素,以水泥用量为准能够准确的较好的

减小混凝土性能的制备误差;菌液体积掺量为25%基于大量实验数据分析得出其为兼顾经济性和修复效能的最佳体积比。

[0036] 如未特别说明,本发明采用的设备均为本领域常规设备。

[0037] 如未特别说明,本发明采用的材料均为市售。

[0038] 实施例一:

[0039] 一种以再生细骨料为载体的自修复混凝土的制作方法,包括步骤:

[0040] 步骤1:再生细骨料取自常规建造民用及商用建筑拆除混凝土垃圾,先人为去除其中的玻璃、木材、纤维、塑料、钢筋等杂质,然后通过颚式破碎机破碎、筛分处理,最后将其人工筛选出粒径范围为0~5mm的再生骨料作为再生细骨料,用于微生物的浸渍;

[0041] 步骤2:将上述再生细骨料载体采用抽真空浸泡方式浸渍微生物菌液得到自修复再生细骨料;购自陕西省微生物研究所的巴氏芽孢杆菌菌液,巴氏芽孢杆菌菌液的OD值为1.6,低温0~-4℃放置12小时后,先取菌液置于负压真空泵,再加入再生细骨料载体振捣摇匀使之较均匀分布在再生骨料表面,在真空负压为0.5Mpa条件下吸附20min,转移再生细骨料于烘箱内恒温40℃烘干12~16h,烘干至恒重,即烘干前后两次称量的重量差不超过2mg即可。微生物菌液的液体培养基由有机蛋白质,与碳酸钠溶液及碳酸氢钠溶液混合而成,其中碳酸钠溶液及碳酸氢钠溶液与有机蛋白质的质量比为10%~18%,碳酸钠溶液的波美度为25到40°Bé。

[0042] 步骤3:设计混凝土配合比为0.40:3.15:1.69:1.00的水、砂、石和水泥。按体积百分比计,自修复再生细骨料体积掺量为总自修复混凝土体积的15%,以混凝土中的水泥为计算基准,巴氏芽孢杆菌菌液的体积掺量为25%。再生细骨料颗粒的添加方法是在混凝土搅拌时加入,混凝土构件采用自密实混凝土。

[0043] 步骤4:按设计好的配合比浇筑至混凝土构件上的混凝土,并养护成型,然后制造裂缝,观察修复效果。其中,制备方法为机器搅拌制备自修复混凝土,且在试件成型后静置48h脱模后85±5%RH和22±2℃条件下养护7d后预置裂缝;试件经电液伺服压力试验机采用三点法加载预置裂缝,具体方法为调试压力机以0.05mm/min的速率加载,当试件的受拉侧面最下端出现0.1~0.3mm裂缝即停止加载并于持荷90s后卸载;试件洒水养护并通过150X裂缝观测仪及电子扫描显微镜测定修复性能。

[0044] 水泥为P0 42.5级,密度为3100kg/m<sup>3</sup>;再生细骨料为粒径为0~5mm,表观密度2518kg/m<sup>3</sup>,堆积密度1255kg/m<sup>3</sup>,孔隙率56%,压碎指标为14.5%,坚固性7.8%,含水率为1.08%,24小时吸水率为8.91%。砂的表观密度为2724.8kg/m<sup>3</sup>,吸水率为1.02%,细度模数为2.18;天然碎石的表观密度为2801.8kg/m<sup>3</sup>,吸水率为0.47%,压碎指标为5.99。

[0045] 如图2所示,结果发现该实施例裂缝修复效果较好,28d几乎达到全修复状态。

[0046] 如图6所示,修复物质CaCO<sub>3</sub>呈现较均匀的规则多边形晶体,以平铺或堆叠形式粘结在细骨料及砂浆孔隙处,这能有效地提高裂缝开裂面的抗侵蚀能力及在修复后提升裂缝处的均质性。

[0047] 实施例二:

[0048] 本实施列的再生细骨料为载体的自修复混凝土,其质量配合比为0.40:3.15:1.69:1.00的水、砂、石和水泥。

[0049] 该实施例中再生细骨料为载体的自修复混凝土的制备方法与实施例一相同,不同

之处是取再生细骨料体积掺量占自修复总混凝土体积的5%为载体。

[0050] 如图3所示,对比实施例一,发现该实施例裂缝修复效果不明显,28d修复效果一般。

[0051] 实施例三:

[0052] 本实施列的再生细骨料为载体的自修复混凝土,其质量配合比为0.40:3.15:1.69:1.00的水、砂、石和水泥。

[0053] 该实施例中再生细骨料为载体的自修复混凝土的制备方法与实施例一相同,不同之处是取再生细骨料体积掺量占自修复总混凝土体积的25%为载体。

[0054] 如图4所示,对比实施例一、二发现该实施例裂缝修复效果良好,28d修复效果略低于实施例一,但优于实施例二。

[0055] 如图1所示,对比5%、15%及25%体积掺量再生细骨料修复情况,由此发现体积掺量为15%的自修复混凝土修复效果最为出色。

[0056] 如图5所示,对比5%、15%及25%体积掺量的试件的裂缝开裂形式不同。

[0057] 表1以再生细骨料为载体的自修复混凝土裂缝宽度对比图

[0058]

实施例	平均裂缝修复宽度 (mm)				
	0d	7d	14d	21d	28d
实施例一	0.25	0.04	0.09	0.17	0.24
实施例二	0.27	0.03	0.05	0.11	0.18

[0059]

实施例三	0.24	0.03	0.07	0.13	0.20
------	------	------	------	------	------

[0060] 如表1所示,上述实施例一中的自修复混凝土在同一时间内裂缝修复程度要略好于实施例三中的混凝土,并且均优于实施例二,体积掺量为15%的自修复再生细骨料具有最好的自修复效能表现,其平均裂缝修复宽度总量分别为体积掺量5%、25%的1.43倍、1.16倍,且最终测定实施例一的力学性能和防水抗渗性能结果也是高于实施例二和实施例三。可见实施例一中的自修复混凝土能通过再生细骨料增强水泥基自修复效能,并通过自身较高的力学性能,达到更好的修复效果,具有较好的实用性和经济性。

[0061] 对比例一:

[0062] 为了对比膨胀珍珠岩载体(膨胀珍珠岩的制备及指标参数引用专利号:CN 109320144A)与再生细骨料载体于不同时间段对裂缝修复进程的影响,相同条件下,通过150x裂缝观测仪采集观测取点处裂缝修复宽度表征修复效果,其掺加比例和制备过程及浸渍方式与实施例一相同。

[0063] 表2不同时间下裂缝修复效果

[0064]

载体种类	不同天数裂缝修复宽度 (mm)				
	0d	7d	14d	21d	28d
再生细骨料 1	0.23	0.02	0.07	0.14	0.22
再生细骨料 2	0.25	0.04	0.09	0.17	0.23
再生细骨料 3	0.27	0.05	0.11	0.19	0.26
膨胀珍珠岩 1	0.24	0.03	0.08	0.15	0.20
膨胀珍珠岩 2	0.27	0.02	0.06	0.14	0.23
膨胀珍珠岩 3	0.26	0.02	0.09	0.17	0.21

[0065] 如表2所示,其中在7天两种载体都出现不同程度的修复现象,对比发现,再生细骨料载体表现出微生物修复时间更早、裂缝修复总量更高的特点,试件在28天时修复效果最明显,出现标记点几乎完全愈合的良好表现。膨胀珍珠岩载体虽然在7天时也有一定修复效果,但裂缝修复效果不明显,个别试件在14天时出现修复效果好于再生细骨料载体现象,28天时裂缝修复得到较大改善,但其修复总量略低于再生细骨料载体的修复总量。膨胀珍珠岩载体组28d的修复总量约占再生细骨料修复总量的87%。

[0066] 对比例二:

[0067] 为了更加突显再生细骨料载体的修复效果,在同等条件及浸渍方式下,采用相同粒径范围下的再生砖骨料(再生砖骨料的制备方法及其指标引用专利号:CN102218435A)为载体作为对比,探究在不同天数对裂缝修复进程的影响大小,通过150x裂缝观测仪采集观测取点处裂缝修复宽度表征修复效果;

[0068] 表3不同时间下裂缝修复效果

[0069]

载体种类	不同天数裂缝修复宽度 (mm)				
	0d	7d	14d	21d	28d
再生细骨料 1	0.23	0.02	0.07	0.14	0.22
再生细骨料 2	0.25	0.04	0.09	0.17	0.23
再生细骨料 3	0.27	0.05	0.11	0.19	0.26
再生砖骨料 1	0.28	0.01	0.03	0.08	0.17
再生砖骨料 2	0.30	0.02	0.05	0.10	0.21
再生砖骨料 3	0.35	0.01	0.04	0.13	0.18

[0070] 如表3所示,相比再生砖骨料组,使用再生细骨料载体微生物的激发时间更早,整体修复效果明显好于再生砖骨料组。其中再生细骨料载体组在7d的裂缝修复效果明显优于再生砖骨料载体的修复效果,再生砖骨料载体组在7d几乎未出现修复效果,并且随着时间的延长一直保持低效的修复效果。在14d两种载体的修复效果比较接近,较7d裂缝有较大修



复;再生砖骨料为载体在28d也出现一定的修复效果,其整体修复效果略低于膨胀珍珠岩载体组,再生砖骨料载体组28d的修复总量约占再生细骨料修复总量的63%。

[0071] 在本实施例中,上列实施例,对本发明的目的、技术方案和有点进行了进一步地详细说明,所应说明的是,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范。

[0072] 以上结合附图详细描述了本公开的优选实施方式,但是,本公开并不限于上述实施方式中的具体细节,在本公开的技术构思范围内,可以对本公开的技术方案进行多种简单变型,这些简单变型均属于本公开的保护范围。

[0073] 另外需要说明的是,在上述具体实施方式中所描述的各个具体技术特征,在不矛盾的情况下,可以通过任何合适的方式进行组合,为了避免不必要的重复,本公开对各种可能的组合方式不再另行说明。

[0074] 此外,本发公开的各种不同的实施方式之间也可以进行任意组合,只要其不违背本公开的思想,其同样应当视为本公开所发明的内容。

平均裂缝修复宽度 (mm)

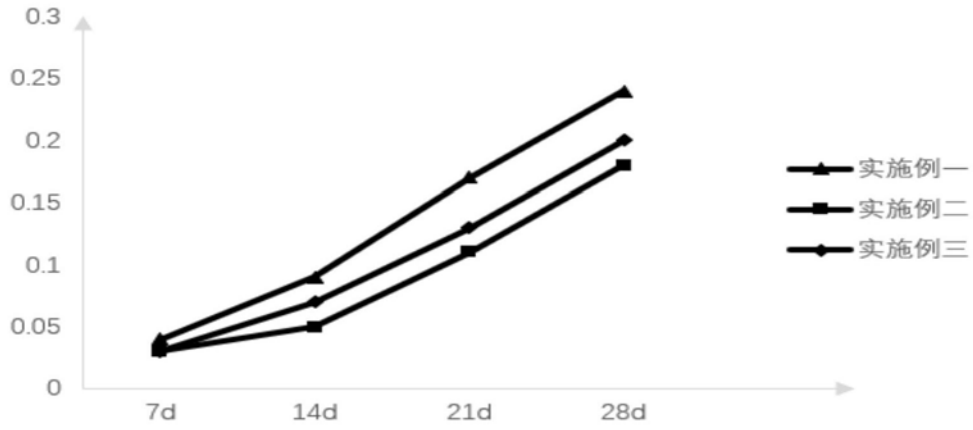


图1

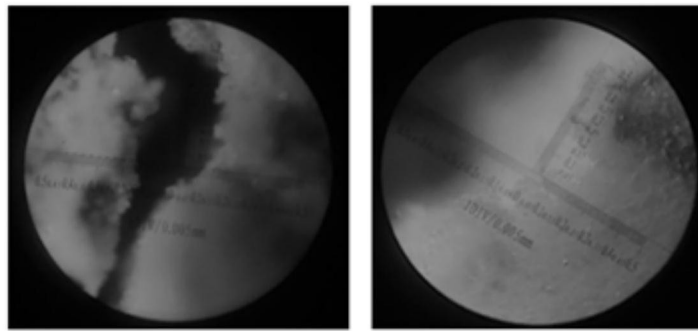


图2

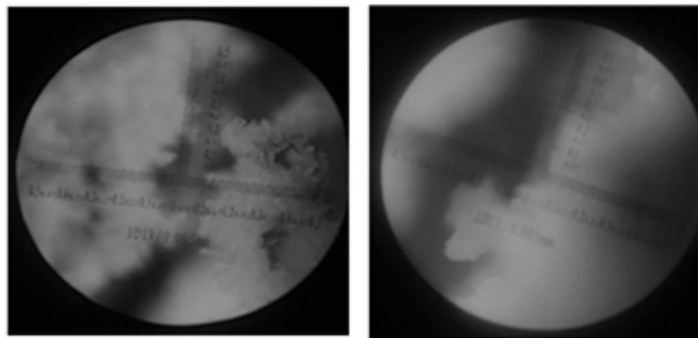


图3

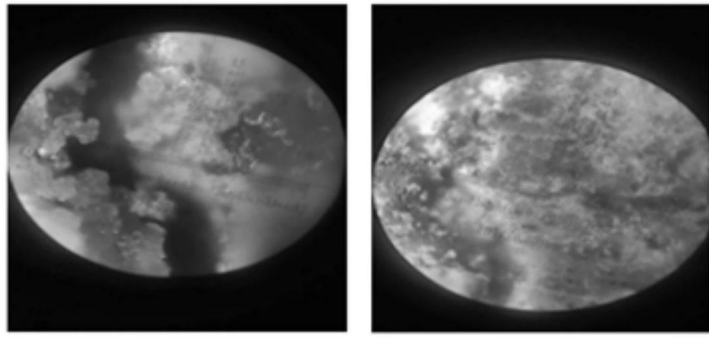


图4

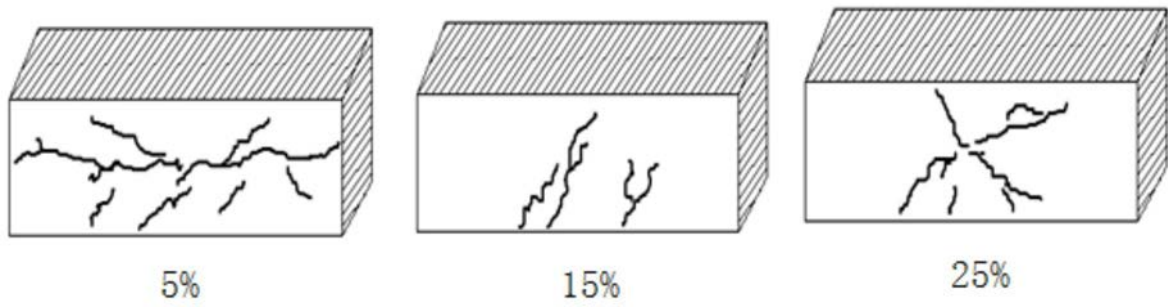


图5

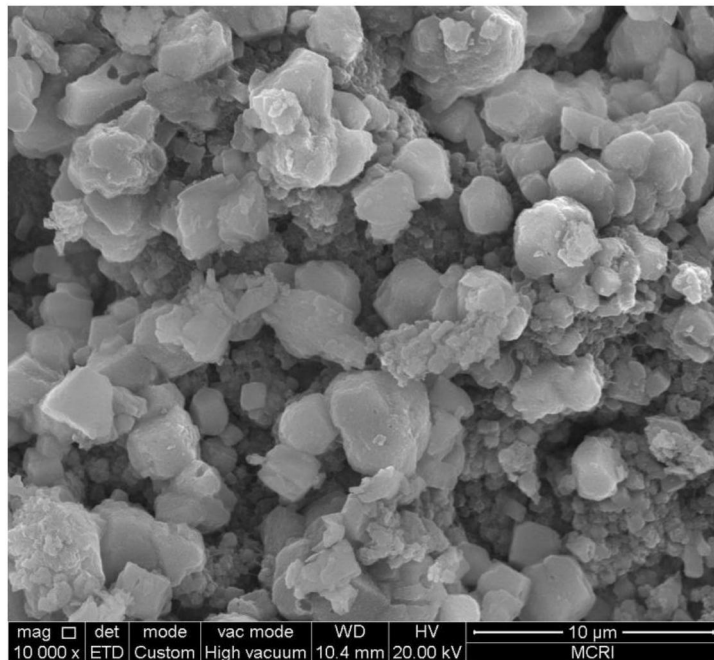


图6