

无砂混凝土在铁路工程中的应用研究

蔡 珠, 舒乐倩, 李铁锋

(中交四航工程研究院有限公司 交通运输部水工构造物耐久性技术交通行业重点实验室, 广东 广州 510230)

摘要:无砂混凝土作为一种新型的功能型建筑材料,宏观大孔对其力学性能影响显著,与传统混凝土相比无砂混凝土在强度增长、复合纤维增强及经历荷载后的破坏形式等方面体现出更多的不确定性,其配合比设计、结构特点及力学特性更接近水泥稳定碎石基层及沥青混凝土。通过现场大量试拌,当水灰比0.30、浆体体积占总体积的30%左右时28 d抗压强度可满足C20等级的设计要求。

关键词:无砂混凝土;配合比设计;破坏形式

中图分类号:TU528 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-0373(2011)04-0098-04

0 引言

云桂铁路云南段三标段(DK407+070~DK473+300)全长64.571 km,位于云南省广南县境内,线路经过莲城、旧莫、珠琳三个乡镇。铁路设计等级为双线I级,路段旅客列车最高行车速度200 km/h,标段内共有50个区间路基段,全长15.228 km。路基边沟上方采用C20强度等级的无砂混凝土,设计文件中明确提出如下四项技术指标:①抗压强度(28 d)不小于20 MPa;②孔隙率11%~17%;③每 m^3 混凝土中材料的推荐用量为胶凝材料(增强料与水泥)300~450 kg,碎石料1300~1500 kg,水胶比0.28~0.32;④施工过程中不宜采用机械振捣。

依据现有研究并结合设计文件要求分析,无砂混凝土存在较多的宏观连通空隙,具有良好的透水透气特性,因此可用于透水路面材料以及公路、铁路的植被护坡、护堤等,是一种新型的功能型建筑材料^[1]。与传统混凝土相比,无砂混凝土性能的提高不可能依靠提高混凝土内部密实性或引入封闭气泡等手段,由于结构上各胶结点受力面积较小,通过改善界面来提高无砂混凝土的性能效果不是很理想^[2]。相比之下,作为类似沙琪玛的骨架结构,无砂混凝土与水泥稳定碎石基层及沥青混凝土具有更接近的结构形式,甚至可以直接将无砂混凝土当成上述两种材料在不同领域应用的一种延伸。无砂混凝土的配合比设计到目前为止仍无成熟的计算方法,因为不需要将粗骨料之间的孔隙填充密实,故根据其孔隙率和结构特征,可以近似认为无砂混凝土的表观体积由粗骨料堆积而成。目前配合比设计的依据大多基于“粗骨料颗粒表面被一层薄水泥浆包裹后通过点接触的形式互相粘结起来^[3],形成一个整体骨架并具有一定的强度”这样的常识。每 m^3 无砂混凝土的质量应为粗骨料的紧密堆积密度和单方水泥用量及水用量之和,一般在2 t左右。对于现场而言,粗骨料碎石的来源是固定的,表面的粗糙程度既难于表征也很难改进,但可以方便的通过两级配碎石比例的调整来改变孔隙率^[4]。一旦碎石的堆积密度(孔隙率)确定后,包裹于粗骨料表面的水泥浆体的体积就决定了无砂混凝土的孔隙率。如果配合比大体圈定了水泥用量及水灰比的范围,浆体自身的密度就直接决定了无砂混凝土的孔隙率。当引入减水剂后确有因水灰比降低而产生的增强效果,但同时也有因降低浆体稠度而加剧水平上下两层混凝土不均匀性的趋势。

1 试验材料及试验方法

1.1 原材料

收稿日期:2011-09-30

作者简介:蔡珠 女 1991年出生 助理工程师

试验用原材料水泥为云南兴建水泥公司生产的兴建牌 P. O 42.5 水泥,其物理性能如下:比表面积 $340 \text{ m}^2/\text{kg}$;初凝 148 min;终凝 215 min;3 d 抗折强度 5.5 MPa;28 d 抗折强度 8.1 MPa;3 d 抗压强度 25.4 MPa;28 d 抗压强度 46.9 MPa。考虑到设计文件对孔隙率的要求在 15% 左右,故采用 5~31.5 mm 碎石,两级配,通过改变大小石比例孔隙率可调范围为 38%~49%;减水剂采用山西凯迪生产的聚羧酸高效减水剂,固含量 18.0%,减水率 25.0%;纤维采用江苏射阳强力纤维制造有限公司聚丙烯纤维,丝长 20 mm,弹性模量 4.3 GPa。

1.2 试验方法

首先根据设计文件要求,通过两级配碎石比例调整,将每立方米混合级配碎石紧堆密度控制在 $1450 \text{ kg}/\text{m}^3$ 左右,孔隙率 45% 左右。然后通过若干次试拌,待无砂混凝土固化后观察混凝土浆体由于重力原因分布不均与浆体稠度之间的关系,这一点与泡沫混凝土的稠化-发气类似。考虑到路基施工点多线长,无砂混凝土的工作性能必须保持在 2 h 以上,在此期间浆体稠度对于无砂混凝土上下层之间的均匀性起到决定性作用。采用外加剂匀质性试验中的玻璃板扩展试验,初步锁定合理的浆体稠度的扩展半径在 200 mm 左右。通过加入减水剂降低水灰比,加入纤维增强等方法,在保持净浆稠度基本不变的前提下,成型 150 mm 的标准轴心抗压强度试件^[5],并测试其各项指标是否满足设计要求。

2 试验结果及分析

2.1 级配碎石的比例及浆体合理的稠度确定

试验中采用两级碎石,分别为 5~16 mm 及 16~31.5 mm,当大小石比例为 7:3 时,紧密堆积密度为 $1450 \text{ kg}/\text{m}^3$ 左右,孔隙率 45% 左右,浆体的合理稠度通过试拌观察确定为扩展半径在 200 mm 左右。浆体测试如图 1 所示,堆积密度及合理稠度试拌如图 2 所示。



图 1 扩展度测试



图 2 通过试拌确定合理的稠度

2.2 试验用浆体的稠度及密度的实测情况

设计文件中关于水胶比 0.28~0.32 的要求过于集中,为方便观察不同的水胶比对无砂混凝土性能的影响趋势,故本试验将水灰比变动范围加大。忽略碎石的吸水率带来的影响,直接通过水灰比和减水剂的改变,尽可能将浆体的稠度保持在 200 mm 左右,并考虑现场施工的经时损失,不同配比的浆体稠度及比重见表 1。

表 1 浆体稠度及比重

水灰比	减水剂掺量/%	比重	扩展度/mm
1.0	—	1.49	—
0.50	—	1.78	—
0.40	0.5	1.88	195
0.35	0.8	1.95	230
0.30	1.0	2.02	234
0.25	1.2	2.06	199

2.3 无砂混凝土力学性能测试

普通混凝土受压的应力-应变曲线主要由三个特征阶段,如图 3;无砂混凝土抗压强度测试时所得到的应力-应变曲线在应力达到峰值之前,应变和应力与普通混凝土一样近似曲线递增,但是有出现多个峰值相互跳跃波动现象,有时应变增大而应力不增大,出现明显的平台区,类似屈服^[16]。当应力达到最大值之后,应力随变形的增大而降低,典型破坏形式如图 4。这可能是因为刚开始加载时,应力较小,随着应力的增加,粗骨料间水泥石粘结处的微裂纹开始产生,裂纹逐渐扩大延伸,但是此时相邻粗骨料间的粘结处还没有完全遭到破坏,随着微裂纹的继续发展,粗骨料之间产生了细微的位置调整^[7]。当加入 1.0 ~ 1.8 kg/m³ 聚丙烯纤维增强后,应力-应变曲线没有明显变化,推测是因为复合纤维弹性模量较低,在无砂混凝土超过极限应变后的破坏过程当中尚无法发挥作用。

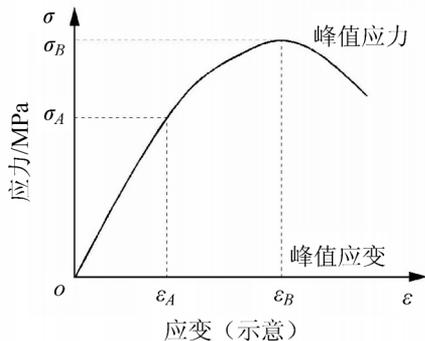


图 3 普通混凝土受压的应力-应变曲线

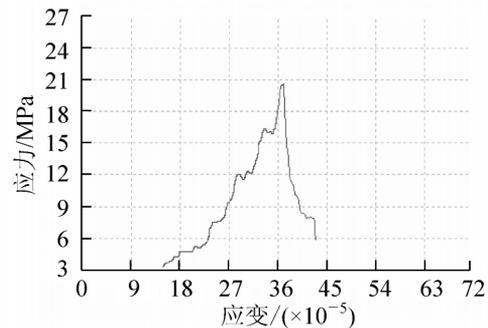


图 4 无砂混凝土受压的应力-应变曲线

3 工程应用效果与问题分析

对于硬化后无砂混凝土孔隙率的测试,假定连通孔隙体积在宏观大孔中占绝对优势,采用常州万泰天平仪器有限公司生产的 WT50001SF 型电子静水天平,孔隙率 P 计算如下

$$P = (1 - (W_2 - W_1) / \rho_w V_0) \times 100\% \quad (1)$$

式中, W_1 为试件在水中的质量; W_2 为将试件从水中取出沥干内部灌入的水并擦干表面多余的水分,待质量恒定后称取试件在空气中的质量; ρ_w 为水的密度(取 1 g/cm³); V_0 为试件的外观体积。具体测试结果见表 2。

表 2 无砂混凝土现场性能测试结果

水泥/kg	水/kg	减水剂/kg	碎石/kg	纤维/kg	7 d 强度/MPa	28 d 强度/MPa	计算孔隙率/%	实测孔隙率/%
270	110	1.4	1 450	0	6.0	6.8	25	15
400	160	2.0	1 450	1.0	12.8	16.2	15	12
290	100	2.3	1 450	0	4.7	—	25	19
430	150	3.4	1 450	1.8	19.9	24.2	15	10
310	90	3.1	1 450	0	10.7	—	25	18
465	140	4.6	1 450	1.5	16.4	28.1	15	12
330	80	4.0	1 450	0	12.3	17.3	25	16
490	125	5.9	1 450	1.2	25.7	32.8	15	13

采用静水天平测试的孔隙率均明显低于计算值,破型后观察内部宏观孔结构,除连通孔外,仍能发现少部分墨水瓶型甚至封闭孔^[8]。无砂混凝土在静停 24 h 后需要及时拆模养护,以防止内部水分过分散失所导致的强度增长受限甚至粉化。因其早期强度较低,拆模后极易破损,加入聚丙烯复合纤维增强后能够有效的遏制破损的扩大,并且明显降低无砂混凝土固化前由于重力原因造成的混凝土浆体分布不均。经比选后确定本工程使用的配合比,水泥用量为 465 kg/m³,略高于设计推荐;水灰比 0.30,与设计要求一致。配比选定后经多次试拌,实测孔隙率在 12% ~ 14%,复合纤维掺量调整后对混凝土 28 d 强度无显著影响。

(下转第 104 页)

Abstract: In this paper , the performance of grouting materials is improved by fly ash and polycarboxylate superplasticizer according to the new bridge specification and in the light of common faults which appear frequently in prestressed concrete with post-tensioning method. The fluidity , stability , durability and strength of grout are studied.

Key words: prestressed concrete; duct grouting; fluidity; stability; durability; strength

(责任编辑 车轩玉)

(上接第 100 页)

4 结论

无砂混凝土与传统混凝土相比,受宏观大孔影响强度较低,其 28 d 强度达到设计要求的 C20 等级比较困难,当水灰比 0.30 时浆体体积需要占总体积的 30% 左右。经过充分讨论后,考虑到无法机械振捣等现场实际情况,纤维虽然对抗压强度的提高没有明显效果,但仍能有效减少拆模后工程实体的缺棱掉角等质量通病,加入 1.5 kg/m^3 的聚丙烯复合纤维是必要的施工措施。单纯通过浆体的稠度及密度来确定无砂混凝土的配合比并通过观察描述其工作性能的方法还存在很多困难,对于无砂混凝土工作性能的定量表征仍需进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Koenders E A B. Simulation of volume changes in hardening cement-based materials [D]. Delft: Delft University Press, 1997: 97-99.
- [2] 李荣炜. 植被型生态混凝土的制备及性能研究 [D]. 广州: 华南理工大学材料科学与工程学院, 2009.
- [3] 龙广成, 谢友均, 王新友. 矿物掺合料对新拌水泥浆体密实性能的影响 [J]. 建筑材料学报, 2002, 5(1): 21-25.
- [4] Fan L T, YASHIMA M. Analysis of aggregate shape by means of video imaging technology and fractal analysis [C]. Kansas: [S. N.], 1993.
- [5] 戎君明, 陆建雯, 姚燕, 等. GB/T 50081—2002 普通混凝土力学性能试验方法标准 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [6] 吴国雄, 王瑞燕, 郑建明. 大孔隙透水砼结构特点及其力学性能研究 [J]. 重庆交通学院学报, 2006, 25(3): 81-90.
- [7] 冯乃谦. 新实用混凝土大全 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 487-488.
- [8] 孙道胜, 胡普华, 段加超, 等. 无砂大孔绿化混凝土制备的初步研究 [J]. 安徽建筑工业学院学报: 自然科学版, 2004, 12(1): 35-39.

Application and Research of No-fines Concrete in Railway Project

Cai Zhu , Shu Leqian , Li Tiefeng

(CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd.,

Key Laboratory of Harbor & Marine Structure Durability Technology of Ministry of Communications, Guangzhou 510230, China)

Abstract: Non-fines concrete is a new functional material, and its mechanical properties are significantly affected by macro-large hole. Compared with traditional concrete, no-fines concrete shows more uncertainty in strength developing, fiber-reinforced composite and the damage form after loading. The mix design, structural features and mechanical properties of no-fines concrete are more similar to cement stabilized crushed stone base and the asphalt concrete. As demonstrated through mixing experiments on the site, when water/ cement ratio is 0.30 and grout is about 30% the total volume, the 28 d compressive strength of the no-fines concrete can meet the design requirement of C20.

Key words: no-fines concrete; mix design; failure modes

(责任编辑 车轩玉)