

文章编号: 0451-0712(2006)11-0139-05

中图分类号: U414.180.03

文献标识码: B

高流动性超早强路面修补混凝土的试验研究

陈德鹏¹, 刘纯林², 赵方冉³

(1. 东南大学材料科学与工程学院 南京市 210096; 2. 南京工业大学材料科学与工程学院 南京市 210009;

3. 中国民用航空学院交通工程学院 天津市 300300)

摘 要: 利用快硬硫铝酸盐水泥、氨基苯磺酸系高效减水剂和自配的 RF 早强掺合料配制出了高流动性、5 h 抗折强度大于 3.5 MPa、抗压强度大于 20 MPa 的路面快速修补混凝土。对外加剂与胶凝材料的相容性、混凝土的早期抗压强度、抗折强度、新老混凝土界面粘结性能及抗冻性能进行了试验研究,并在实际破损混凝土路面修补中进行了应用。结果表明,所配制的高流动性超早强修补混凝土便于施工操作、力学性能及耐久性能良好,可以应用于各种混凝土路面的修补并能在 5 h 内恢复交通。

关键词: 快速修补; 高效减水剂; 相容性; 早强掺合料

从水泥混凝土路面的建设、技术性能及使用情况看,水泥混凝土路面除了具有良好的施工性能和优良的耐久性外,还具有路面结构坚固、扩散荷载能力强、摩擦阻力大、抗滑性能好、耐磨性好、温度与水稳定性好、使用寿命长、维护费用低等优点。因此,水泥混凝土路面在各类路面工程中发挥着十分重要的作用,其广阔的发展前景也倍受全社会的重视,已成为我国高等级公路和城市道路工程中的一种重要路面结构形式。

随着路面服务期的延长、车速的不断提高,特别

是道路交通量及轴载的不断增加,鉴于路面设计、材料、施工技术、施工管理和质量控制方面存在的不足以及自然灾害等原因,致使以往的许多混凝土路面出现了不同程度或不同形式的破坏,特别是 20 世纪 80 年代和 90 年代初修筑的水泥混凝土路面,都在薄弱环节、地段形成了不同程度的局部破坏^[1]。尤其是北方寒冷地区冰冻、除冰盐的不利影响致使路面的破坏相当严重。破损一旦出现,若得不到及时修复将会迅速发展而波及周围,从而形成更大面积的破坏。当这些局部破损达到较严重的程度后,不仅影响路

收稿日期: 2006-05-16

Analysis of Time and Temperature Influence on Epoxy Asphalt Mixture

ZONG Hai¹, WANG Jian-wei², LV Bin³(1. Preliminary Construction Department of Nanjing 4th Yangtze River Bridge, Nanjing 210008, China;2. Transportation College, Southeast University, Nanjing 210096, China; 3. 4th Sub-Company of Shandong Luqiao Group Co. Ltd, Ji'nan 250000, China)

Abstract: Epoxy asphalt mixtures own high strength, superior performance of high and low temperature and excellent fatigue peculiarity. However, because of the complicated chemical reaction of epoxy asphalt, the course will be affected by lots of factors. On the basis of these factors, the influence of time and temperature and so on are analyzed to provide a technical support for the construction.

Key words: epoxy asphalt concrete; deck surfacing; influence analysis

面行车舒适度,而且会毁坏车辆甚至引发交通事故^[2]。鉴于水泥混凝土路面可能出现的种种早期局部破损可能导致更为严重的后果,为此,研究切实可行的水泥混凝土快速修补材料与方法,对于水泥混凝土路面发展和使用具有重要的意义。

路面修补混凝土除要满足路用混凝土的基本要求外,还要具有以下性能:非常高的早期强度以便及早恢复交通;较小的收缩和良好的新老界面粘结性能以便保证修补的长期效果;高流动性以便于施工操作,保证修补施工质量。考虑到水泥混凝土路面的受力特点及现行水泥混凝土路面设计规范,试验中应以抗折强度为控制指标,以抗压强度为参考指标。

混凝土的高流动性和超早强在某种意义上来讲是一对矛盾,本文探索同时具有高流动性及超早期

强度的修补用混凝土的实现途径,对高流动性超早强修补混凝土进行试验研究。通过大量试验比较分析,最终利用快硬硫铝酸盐水泥、氨基苯磺酸系高效减水剂和研制的 RF 早强掺合料,并选择合适粒径的粗集料,配制出了高流动性的、5 h 抗折强度 3.5 MPa 以上、抗压强度达到 20 MPa 的修补混凝土,达到恢复交通的要求^[3~4]。在实际修补工程应用中,取得了良好的修补效果。

1 原材料选择及其性能

1.1 水泥

为满足超早强的要求,应该首选快硬早强型水泥,常见的早强型水泥有快硬硅酸盐水泥、高铝水泥、磷酸盐水泥、快硬硫铝酸盐水泥等^[5~6],其性能特点见表 1。

表 1 常见早强水泥比较

类型	主要组成、成分	水化产物	性能特点
快硬硅酸盐水泥	$C_3S、C_3A$	$C-S-H$ 、氢氧化钙	泌水少、混凝土坍落度损失较快;强度发展对温度较为敏感;某些条件下干缩小、新老混凝土粘结差;初期水化速度快可能导致温度应力裂缝。
高铝水泥	$CA、CA_2$	$CAH_{10}、C_2AH_8、CaO \cdot 3H_2O$	强度发展非常迅速、早强;抗硫酸盐及抗海水腐蚀;水化产物为亚稳晶结构,结晶转变减小密实度,后期强度下降很大。
磷酸盐水泥	$MgO、NH_4H_2PO_4$	$MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ $MgNH_4PO_4 \cdot H_2O$	早期强度发展非常迅速,强度极高,放出大量热;抗冻性不理想,修补效果对施工操作、天气、拌和水量较敏感。
快硬硫铝酸盐水泥	$C_4A_3S、C_2S$	钙矾石、氢氧化钙	快凝、早强、后期强度不下降;与外加剂的相容性好;微膨胀、抗硫酸盐腐蚀性能好等。

根据不同快硬型早强水泥的分析,以及以往试验的结果比较,可以看出,适用于混凝土路面修补的早强水泥品种是快硬硫铝酸盐水泥或快硬硅酸盐水泥。但初步试验的结果表明,快硬硫铝酸盐水泥的早强效果更好。已有试验研究和工程试应用的结果证明,快硬硫铝酸盐早强水泥是国内较先进的路面修补用材料,更适合于在高等级公路水泥混凝土路面快速修补和抢修工程中应用。

通过比较分析,选定快硬硫铝酸盐水泥作为配制高流动性超早强修补混凝土的胶凝材料,在此基础上,进一步开展试验,以获取与该水泥相容性好的高效减水剂与早强掺合料,并配制出性能优良的修补混凝土。因此在研究中,选用唐山北极熊牌快硬硫铝酸盐水泥 42.5(R)及天津骆驼牌普通硅酸盐水泥 42.5(PO42.5 水泥用以配制试验中的参比混凝土),其性能检测结果见表 2。

表 2 水泥性能指标

水泥品种	细度/% (80 μm 筛余)	体积 安定性	凝结时间/min		强度/MPa							
			初凝	终凝	12 h		1 d		3 d		28 d	
					抗折	抗压	抗折	抗压	抗折	抗压	抗折	抗压
硫铝酸盐	1.5	合格	40	100	6.4	39.7	7.2	49.8	8.6	62.4	—	—
PO42.5	1	合格	220	380	—	—	—	—	5.1	36.6	9.4	54.8

1.2 外加剂

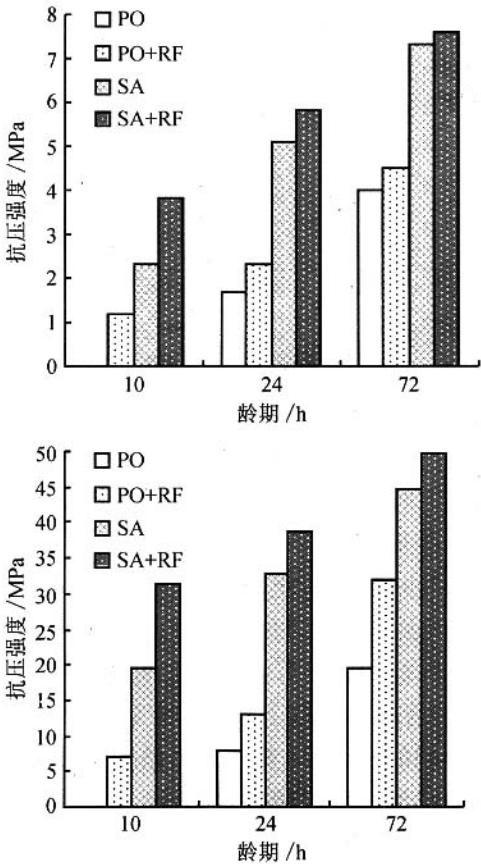
减水剂是混凝土工程中最受欢迎的外加剂品种之一,甚至已经成为现代混凝土中必不可少的原材

料之一。目前,聚羧酸系的高效减水剂和具有单环芳烃型结构特征且被称为氨基磺酸系的高效减水剂代表了高性能混凝土减水剂的发展方向。由于这些新

型减水剂的保持流动性能力更好,减水率也更高,可高达 30%,在满足混凝土生产工艺方面具有简单经济的特点,而成为近几年来世界各国研究和应用的热点。本文中,初步选定氨基苯磺酸系减水剂,并进行其与胶凝材料的相容性试验。

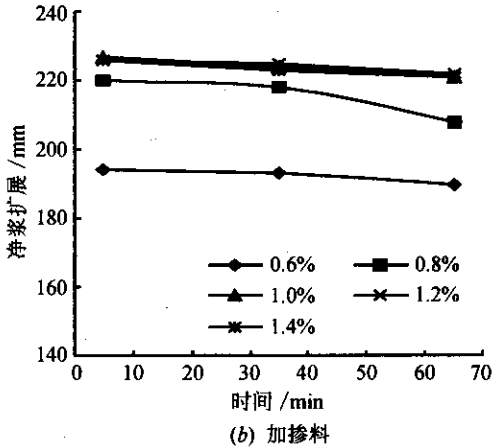
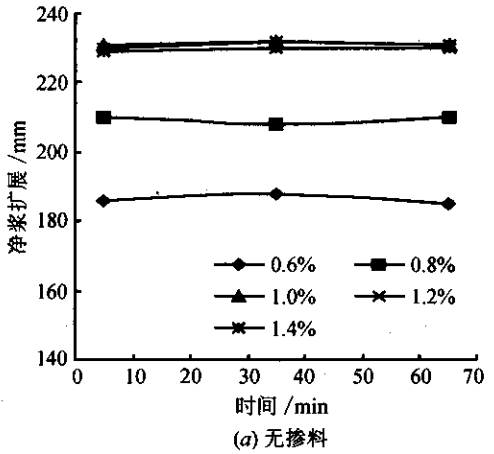
能够提高混凝土超早期强度的掺合料,是配制高流动性超早强修补混凝土材料的关键,因此对多种早强剂开展了试验。鉴于对混凝土流动性和早强性能的要求,经过多次改进重复试验,发现仅依靠某一种早强外加剂来达到混凝土超早强的目的是不可行的。经过多次试验配制的 RF 掺合料,是硫酸亚盐、亚硝酸盐等成分组成的三元复合早强材料,其多种早强成分之间的相互作用,在满足新拌混凝土高流动性的同时,对混凝土的早期强度有明显改善。

通过对水泥砂浆的早期强度试验来研究 RF 掺合料对水泥砂浆的改善效果,其结果见图 1。通过开展水泥净浆扩展度试验,对两种水泥以“减水剂+水泥”和“减水+水泥+RF 掺合料”组合等 4 组试件进行了研究。试验方法参见文献[7],相容性试验结果见图 2。



注: PO 为普通硅酸盐水泥, SA 为快硬硫铝酸盐水泥, RF 为 RF 早强掺合料, 各配比中减水剂用量 1.0%。

图 1 RF 掺合料对水泥砂浆早期强度的改善



注: 图中 0.6%、0.8% 等表示减水剂用量占水泥的质量百分数。

图 2 减水剂与胶凝材料的相容性

从图 1 和图 2 可以看出, 快硬硫铝酸盐水泥和 RF 掺合料可以明显使水泥砂浆早期抗折强度提高 2~3 倍, 抗压强度提高 3~5 倍; 所选用的高效减水剂、胶凝材料 RF 掺合料具有良好的相容性; 减水剂对流动性的改善比较明显, 最佳用量为 1.0%。

1.3 混凝土配合比

试验中粗细集料和混凝土拌和用水就近选用。粗集料选用石灰岩质碎石, 5~15 mm 连续级配, 压碎指标为 7.5%, 表观密度为 2 740 kg/m³。细集料采用河砂, 细度模数 2.8, 级配 II 区, 表观密度为 2 620 kg/m³。拌和水为可饮用自来水。

在对原材料进行优化试验和分析的基础上, 开展了不同配比混凝土的强度试验研究 28 组, 进一步研究 RF 掺合料的合理用量及新拌混凝土的和易性、强度等性能, 最终确定的基本配合比见表 3。可根据实际破损情况及路面恢复交通的时间要求, 对混凝土粗集料尺寸、减水剂及 RF 掺合料的用量等进行适当调整。

表3 混凝土基本配合比 kg/m^3

水泥	RF 掺合料	水	砂子	石子	减水剂
335	45	190	656	1 090	42

注:掺加早强掺合料时,等质量替代部分水泥。

2 修补混凝土性能试验及分析

根据表3中的混凝土基本配合比,对影响混凝土快速修补的混凝土相关性能进行了试验研究与分析。主要是混凝土早期抗折强度及抗压强度、新老混凝土界面粘结性能以及混凝土抗冻性能等。

2.1 早期强度试验

碎石最大粒径为15 mm,对4种不同的配比组合进行了早期强度对比试验,新拌混凝土的具有较好的工作性,坍落度均达到200 mm以上。混凝土的物理性能试验按《普通混凝土拌和物性能试验方法标准》(GB—T 50080—2002)进行;力学性能试验按照《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB—T 50081—2002)进行,混凝土强度试验结果见图3。

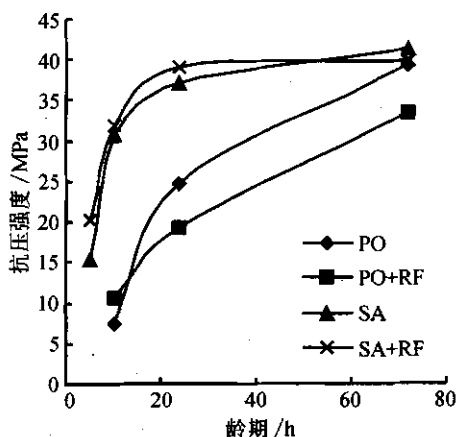
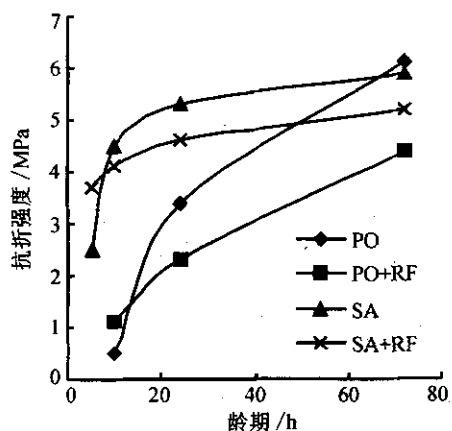


图3 高流动性超早强修补混凝土的强度

从图3中可以看出,采用普硅水泥难以获得较高的超早期强度(10 h以内的强度),即使掺加RF

掺合材料,其10 h强度仍不能满足道路开放交通的要求;采用快硬水泥,混凝土的10 h强度可以满足道路开放交通的要求,但5 h强度难以满足;若采用快硬水泥并加入RF掺合料,混凝土的5 h抗折强度可达3.7 MPa,足以满足道路开放交通的要求。不同配比的混凝土强度发展情况有所差异,可以根据实际工程需要,将修补要求与经济效益结合起来进行合理选择。

2.2 界面粘结性能试验

新旧混凝土界面粘结性能的好坏,是决定修补成功与否的关键。因此,对采用不同原材料的混凝土进行了界面粘结强度试验研究。试验以混凝土界面劈裂强度值为指标,比较了两种配合比界面劈裂强度发展情况,具体试验方法及试验装置参见文献[8]。试验中所用碎石最大粒径为10 mm,试验结果见图4。

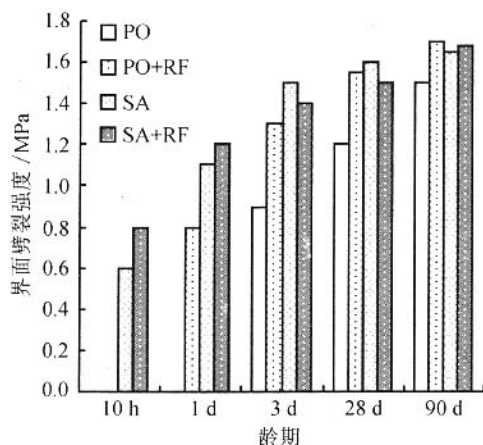


图4 混凝土界面粘结性能

由界面劈裂强度试验试件开裂界面可以看出,开裂面多产生于新老混凝土的界面,且多发生在石子表面处。对于普通硅酸盐水泥配制混凝土,RF掺合材料显著提高混凝土的界面粘结性能;但对于快硬硫铝酸盐水泥混凝土,仅在成型硬化初期对混凝土的粘结强度有所提高,3 d之后反而比不用RF掺合料稍有降低。原因可能在于在混凝土成型硬化早期,活性掺合料对混凝土强度具有显著的促进作用,但随着龄期的发展,毕竟掺合料是替代硬化后有胶结功能的水泥,难以提高水泥浆本身后期的粘结能力,从而导致后期强度的发展减缓。

2.3 抗冻性能试验

在有冻融交替作用存在的地区,抗冻性对于水泥石混凝土路面的性能尤为重要。特别是冬季在有

结冰和积雪存在的高速公路和城市道路上,为防止打滑造成交通事故,通常采用撒除冰盐的方法降低冰或积雪的冰点来融化去除冰雪。这在解决了道路打滑问题的同时,也极大地加重了冻融交替的破坏作用。因此对于我国北方地区的混凝土路面来讲,抗冻性对道路的正常使用寿命具有极其重要的意义。

为确保修补混凝土的耐久性,我们分别对所配制的快硬超早强混凝土进行了抗冻性试验研究。考虑混凝土路面的快速修补很少在严寒季节施工,仅对其28 d的抗冻性能进行了研究。试验按照《普通混凝土长期性能和耐久性试验方法》(GBJ 82—85)进行,150次冻融试验后,质量损失均小于5%,混凝土冻融试验不同次数时的强度损失见图5。

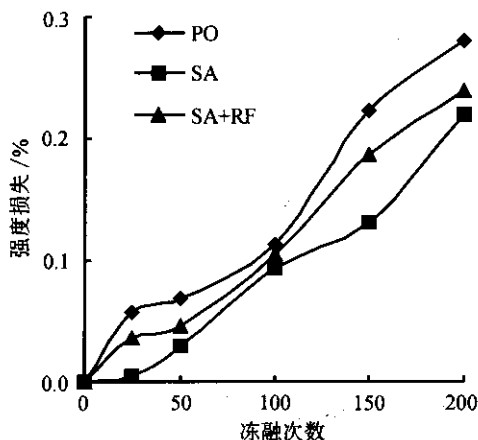


图5 混凝土抗冻融试验结果

从试验结果中不难看出,除参比组(强度损失为28%)外,经过200次冻融循环的混凝土强度损失都小于25%;使用硫铝酸盐水泥抗冻融能力最强,如再用RF掺合料等质量替代12%的水泥,则混凝土的抗冻性能稍有降低,但与参比组混凝土相比,抗冻性能依然有所提高。可以认为,掺合料中某些成分造成了混凝土抗冻融能力的下降,这可能与掺合料中部分可溶性盐的副作用有关,有待于进行进一步研究。

3 路面修补试应用

本研究研制的高流动性超早强修补混凝土,在天津市九园公路北辰朗园地道桥下西半幅破损的水泥混凝土路面进行了修补工程试应用,并对应用效果进行了跟踪检测和分析。由于目前我国的地道桥下路面多为水泥混凝土路面,而且该部位的各种使

用条件与环境比较恶劣,导致路面也极易损坏,并且这种路段往往也是交通要塞而不适合于长时间中断交通。因此,选择该段路进行试验对以后具有工程示范的实际意义。

修补前应先将旧面清理干净,修补过程中,针对水泥混凝土路面破损的类型不同,采用了不同粒径的粗集料,修补后喷洒养护液。修补时,采用同时成型同条件养护的混凝土试件进行混凝土抗折和抗压试验,界面粘结性能试件则通过钻芯取样获得。

路面修补试验的结果表明,利用本课题成果进行水泥混凝土路面快速修补,不仅施工操作方便,而且早期强度发展很快。5 h的混凝土抗折强度达到3.7 MPa,抗压强度达到23 MPa左右;10 h的混凝土抗折强度超过了4 MPa,抗压强度超过了30 MPa。利用该材料和工艺修补后的混凝土路面可以在修补完成5 h后很快开放了交通,减小了修补工作对道路正常使用的影响。该路段经过近一年的正常使用,其修补面基本完好,大大改善了该路段的行车条件。

4 结论

(1)通过比较分析和相关实验,选择了硫铝酸盐水泥和氨基苯磺酸系高效减水剂,并配制出了能够显著提高混凝土早期强度的RF三元复合早强掺合料。

(2)混凝土性能试验结果表明,本文方法配制的混凝土在保证高流动性的同时,实现了超早期强度,5 h抗折强度>3.5 MPa,5 h抗压强度>20 MPa。

(3)实际修补工程应用表明,使用配制的高流动性超早强混凝土,施工方便,修补质量好,能够在修补后5 h恢复交通,并具有良好的界面粘结性能和耐久性能。

(4)该修补材料原料易得、施工方便、能保证及早开放交通和修补质量,RF掺合料及高流动性超早强修补值得推广应用。

参考文献:

- [1] 李华, 缪昌文, 金志强. 水泥混凝土路面修补技术[M]. 人民交通出版社, 1998.
- [2] 谢永成. 水泥混凝土路面超薄层快速修补技术[J]. 公路, 2000, (7).
- [3] Federal Highway Administration (FHWA). Manual of Practice: Materials and Procedures for Rapid Repair of Partial — Depth Spalls in Concrete Pavements[R]. 1999, 135.

文章编号: 0451-0712(2006)11-0144-04

中图分类号: U414.101

文献标识码: A

粉煤灰水泥稳定碎石 基层材料的力学和收缩特性

黄煜镔¹, 吕伟民²

(1. 重庆大学土木工程学院 重庆市 400045; 2. 同济大学交通运输工程学院 上海市 200092)

摘 要: 通过对在水泥稳定碎石基层中以粉煤灰等量取代部分水泥的试验研究,考察了粉煤灰水泥稳定碎石的力学性能和收缩性能.结果表明以粉煤灰取代水泥切实可行,不仅具有经济效应,更重要的是具有技术效应,尽管抗压强度、抗拉强度、弹性模量随粉煤灰掺量增加而降低,但在一定范围内,粉煤灰对抗压强度影响很小,而收缩量却显著减少.

关键词: 水泥稳定碎石基层; 粉煤灰; 力学性能; 收缩

目前我国90%以上的高等级公路沥青路面基层及底基层都采用半刚性材料,半刚性基层材料的最

大缺点是抗变形能力低、脆性大,在温度或湿度变化时易产生开裂,形成反射裂缝,进而严重影响路面的

收稿日期: 2006-04-18

[4] Wang Shuxin, Victor C Li. High - early - strength engineered cementitious composites [J]. ACI journal, 2006.

[6] 陈德鹏. 高流动性超早强修补混凝土的研究[D]. 河北工业大学, 2003.

[5] REMR Technical Note CS - MR - 7.3: Rapid - Hardening Cements and Patching Material [A]. The REMR Notebook [M]. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 1992.

[7] 覃维祖. 结构工程材料[M]. 清华大学出版社, 2000.

[8] 赵志方, 赵国藩, 黄承逵. 新老混凝土粘结的劈拉性能研究[J]. 工业建筑, 1999, (11).

A Study on Preparing High-Fluidity and Super High-Early Strength Repairing Concrete

CHEN De-peng¹, LIU Chun-lin², ZHAO Fang-ran³

(1. College of Materials Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;
2. College of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China;
3. College of Transportation Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: High fluidity and super high-early strength repairing concrete are prepared with sulphate aluminium cement, aminobenzene sulfonamide-type superplasticizer and RF admixture. The compatibility of cement and additives, compressive strength, flexural strength, interfacial bond and freeze-thaw durability of the concrete are studied and used in concrete pavement mending. The results reveal that the concrete have high fluidity and good mechanics performance and durability, which can be used in rapid repair of concrete pavement and traffic can return to open in 5 hours.

Key words: rapid repair; superplasticizer; compatibility; early-strength admixtures