

文章编号:1673-9469(2009)02-0026-06

新型弹性混凝土试验研究及应用前景

赵晓辉

(天津城市建设学院 土木工程系,天津 300384)

摘要:为了解弹性混凝土强度下降的难题,应用偶联剂及乳化橡胶乳液进行改性处理,对其物理力学性能进行试验研究,结果表明:随着胶粒量增加,力学性能下降明显,但变形量增大。偶联剂和乳化橡胶的掺入对力学性能、抗冲击性能及耐磨性都有较大提高,28d抗压强度提高17.3%、抗冲击强度提高12.7%,且失粘时间缩短,较好地解决了弹性混凝土力学性能下降及施工难题。

关键词:弹性混凝土;偶联剂;乳化橡胶;桥梁伸缩缝

中图分类号: TU502

文献标识码: A

Experimental study on new elastic concrete and application in bridge expansion joint engineering

ZHAO Xiao-hui

(Department of Civil Engineering, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China)

Abstract: In order to solve the problem in the strength decline of elastic concrete, its modification treatment was carried out by using coupling agent and emulsion rubber. Meanwhile we studied its physical and mechanical properties. The results were as follows: With the increase of colloidal particle's content, the physical properties of elastic concrete decreased significantly, but deformation increased. While the mechanical properties, impact resistance and wear resistance all greatly increased with the addition of coupling agent and emulsion rubber, and the compressive strength, wear resistance enhanced by 17.3%, 12.7% respectively within 28 days and tack free time shortened, which effectively dealt with the difficult problem of the decline in the strength of elastic concrete and construction. Meanwhile, we put forward the construction technology and application prospect of bridge expansion joint engineering. The conclusions above have very important reference value for the further study and application of this new elastic concrete in expansion joint engineering.

Key words: elastic concrete; coupling agent; emulsion rubber; bridge expansion joint

弹性混凝土(Elastic Concrete)是一种把橡胶微粒作为水泥混凝土的组成材料配制而成的新型混凝土^[1]。弹性混凝土的研究始于20世纪80年代末期,其工程性能介于普通混凝土(刚性)和沥青混凝土(柔性)之间,集合了橡胶和普通混凝土的特点。比起普通混凝土,弹性混凝土抗裂性能好、能量吸收多(比普通混凝土高25%或更多)、韧性强、变形能力大大提高;弹性混凝土具有重量轻、干收缩小(0.02%)、热膨胀系数低(为普通混凝土

的50%或更低)和良好的隔热、隔音、减震性能;弹性混凝土不仅有弹性,而且具有较高的强度、非常好的耐磨性能,以及很高的软化温度,即使在最炎热的天气里也不会软化,良好的弹性使它在与不同材料粘接后,不会发生收缩开裂^[2]。但掺入胶粒的混凝土强度会有明显的降低。由于胶粒是有机材料,而混凝土属于无机材料,二者的弹性模量有较大的差异,粘结性能较差。因此如何提高弹性混凝土力学性能和各组分的粘结性,成为其研

究的难点和热点^[1]。

桥梁伸缩缝^[3]它不但要保证桥梁能够自由变形,而且要使车辆在设缝处能平顺通过。桥梁伸缩缝的橡胶板及两边混凝土受冲击时易产生应力集中而造成破坏。因此,如何提高伸缩缝两边混凝土的抗冲击性能及早强性能是摆在我们桥梁及混凝土科学研究工作者面前的一项重大课题。而弹性混凝土强度高、变形大以及快速固化、快速开放交通的特性非常适合城市高架桥道路、高速公路立交桥破损伸缩缝的更换工程,具有很好的应用前景。

1 试验材料及试验过程

1.1 试验材料

水泥:采用天津振兴水泥厂生产的 P. S42.5 矿渣硅酸盐水泥。

橡胶颗粒:采用天津国明橡胶厂生产的橡胶颗粒(粒径 1mm),堆积密度 640kg/m³。

偶联剂:异丙基三(二辛基磷酸酰氧基)钛酸酯偶联剂、二硬脂酰氧异丙氧基铝酸酯偶联剂、乙烯基三乙氧基硅烷偶联剂(市售)。

乳化橡胶:采用天津防水材料厂生产的乳化橡胶乳液,固含量为 27%。

集料:细集料,中砂;粗集料,二级配碎石。

填充料:粉煤灰,磨细矿渣。

1.2 试验方法

按照 DL/T5150-2001《水工混凝土试验规程》

的试验方法进行抗压强度试验、劈裂抗拉试验及静力抗压弹性模量试验。

采用 MTS815 试验机进行压缩变形观测试验,试块尺寸:100mm×100mm×100mm。

按照 DL/T5150-2001《水工混凝土试验规程》的试验方法进行混凝土抗冲耐磨试验(水下钢球法)。

1.3 混凝土的制备

为研究弹性混凝土的各种物理力学性能,选取的配合比见表 1。水灰比、沙、石用量保持不变,分别按照水泥用量的 3%、6%、9%、12%、15% 掺入胶粒制备弹性混凝土。在掺加 6% 胶粒的弹性混凝土中分别加入酞酸酯、铝酸酯、硅烷偶联剂以及乳化橡胶乳液制备新型弹性混凝土,搅拌均匀后倒在各种试模中固化,以便测定其各种物理力学性能。按表 1 水灰比、沙、石用量另外制备一组普通混凝土,以此作为比。

2 试验结果与分析

2.1 胶粒掺量对物理力学性能的影响

在混凝土中分别按照水泥用量的 3%、6%、9%、12%、15% 掺入橡胶颗粒,测得其抗压强度、抗拉强度及弹性模量,如表 2 所示。

表 1 弹性混凝土配合比

Tab.1 Mix proportion of elastic concrete

水灰比	水泥用量 (kg/m ³)	沙(kg/m ³)	石(kg/m ³)	胶粒掺量(kg/m ³)					外加剂(%)
				3%	6%	9%	12%	15%	
0.55	264	562	1171	7.9	15.8	23.7	31.6	39.6	1

表 2 掺加不同胶粒量的弹性混凝土力学性能试验结果

Tab.2 Physical properties test results of elastic concrete with different colloidal particle's content

胶粒掺量 (%)	抗压强度(MPa)		抗拉强度(MPa)	抗压比(%)		弹性模量(GPa)
	7d	28d	28d	7d	28d	28d
0(基准)	25.3	40.5	2.76	6.8		35.6
3	22.7	33.4	2.41	7.2		34.9
6	21.9	31.7	2.32	7.3		28.5
9	20.1	30.2	2.34	7.7		29.7
12	18.5	28.4	2.29	8.1		28.8
15	17.7	28.1	2.15	7.6		28.2

表3 掺加不同偶联剂的弹性混凝土力学性能试验结果

Tab.3 Physical properties test results of elastic concrete with different coupling agent

试块种类	抗压强度(MPa)		抗拉强度(MPa)	弹性模量(GPa)	
	7d	28d	28d	28d	
不掺加偶联剂	24.1	31.8	2.34	28.5	
掺加酞酸酯偶联剂	24.8	34.9	2.45	28.1	
掺加铝酸酯偶联剂	25.3	35.1	2.40	27.5	
掺加硅烷偶联剂	25.7	35.7	2.57	27.8	

从表2可以得出,掺胶粒的弹性混凝土强度发展规律与普通混凝土强度发展规律大体一致。基准混凝土7d的强度与28d强度之比为62.5%,即7d的强度增长率62.5%,胶粒掺量为3%、6%、9%、12%、15%的弹性混凝土7d强度平均增长率分别为67.9%、69.1%、66.5%、65.1%、62.9%。掺入胶粒使混凝土的抗压强度降低,随着掺量的增加,混凝土强度下降明显。但弹性混凝土的抗拉强度与抗压强度之比,即拉压比比基准混凝土略大。基准混凝土拉压比为6.8%,胶粒掺量为3%、6%、9%、12%、15%的弹性混凝土的抗压比分别为7.2%、7.3%、7.7%、8.1%、7.6%。弹性混凝土的弹性模量均低于基准混凝土弹性模量,胶粒掺量为3%、6%、9%、12%、15%的弹性混凝土弹性模量比基准分别降低2.0%、20.0%、16.6%、23.6%、20.7%。

2.2 不同偶联剂对物理力学性能的影响

在胶粒掺量为6%的弹性混凝土中分别掺入0.5%酞酸酯、铝酸酯、乙烯基三乙氧基硅烷偶联剂制得一系列样品,在标准养护室进行养护。测其7d、28d龄期抗压强度,并测得28d抗拉强度及28d龄期弹性模量。实验结果如表3所示。

普通混凝土的强度主要取决于浆体的强度及其与骨料表面的黏结强度。胶粒作为高弹性的有机物质,不参与浆体强度形成的化学反应,其分散于浆体和骨料结合的黏结面上,削弱混凝土的强度及弹性模量。但加入偶联剂试块的力学性能明显得到改善,特别是加入乙烯基三乙氧基硅烷偶联剂效果最好。这是因为偶联剂分子中含有两种不同化学性质的基团,我们用通式XY表示。X、Y为两类反应特征不同的活性基团,其中X易与无机物或矿物质进行结合,它可进行水解反应并生成能够与无机材料发生化学反应的基团,并且吸附在材料的表面,从而提高与无机材料的亲和性。

而Y则易与有机物进行结合。正是由于偶联剂分子存在着亲有机和亲无机两种功能团,可以把两种不同化学结构类型和亲和力相差很大的材料在界面连接起来,从而增强有机材料与无机材料之间的结合,表现为提高了弹性混凝土的力学性能。

2.3 乳化橡胶对物理力学性能的影响

在掺加0.5%乙烯基三乙氧基硅烷偶联剂的弹性混凝土中同时加入液态乳化橡胶,搅拌均匀后制成弹性混凝土试块。测定乳化橡胶掺入对失粘时间、力学强度、抗冲耐磨性能的影响。试验结果如表4所示,对试验数据的分析如图1-图4。

表4 乳化橡胶对弹性混凝土的影响试验结果

Tab.4 Test results of effect of emulsion rubber on elastic concrete

乳化橡胶掺量(%)	0	0.25	0.5	0.75	1.0
失粘时间(min)	62.0	48.0	41.0	38.0	37.0
7d抗压强度(MPa)	25.8	26.9	27.3	27.5	27.5
28d抗压强度(MPa)	35.8	36.4	36.8	37.2	37.3
28d抗拉强度(MPa)	2.56	2.58	2.63	2.71	2.73
抗冲磨强度/h/(kg/m ²)	21.2	22.6	23.1	23.9	24.1
磨损率(%)	1.43	1.41	1.39	1.36	1.35

从图1-图4可以看出,随着乳化橡胶的掺入,弹性混凝土的各种物理力学性能都有较大的提高。图1表明失粘时间随乳化橡胶掺量逐渐减小,图2-图4表明乳化橡胶的掺入对弹性混凝土的抗压、抗拉以及抗冲磨强度都有较大提高,掺加0.75%乳化橡胶的新型弹性混凝土28d抗压强度提高17.3%、抗冲耐磨强度提高12.7%。这是由于乳化橡胶作为一种柔性材料,能使弹性混凝土中的胶结材料的交联反应加速及交联密度增大,从而使混凝土失粘时间缩短,力学性能和耐磨性能得到提高。

表 5 各种混凝土性能比较试验结果
Tab.5 Test results of various concrete properties

试块种类	抗压强度(MPa)	抗压强度(MPa)	抗拉强度(MPa)	抗冲磨强度
	7d	28d	28d	$h/(kg/m^2)$
弹性混凝土	22.0	31.7	2.32	21.2
新型弹性混凝土	27.5	37.2	2.71	23.9
普通混凝土	25.4	40.6	2.76	19.7

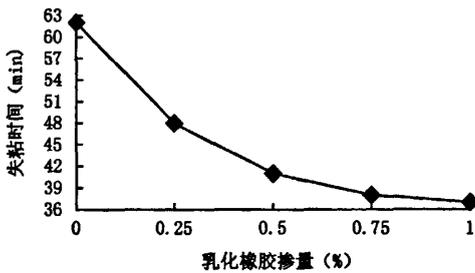


图 1 乳化橡胶掺量对失粘时间的影响

Fig.1 Effect of emulsion rubber on tack free time

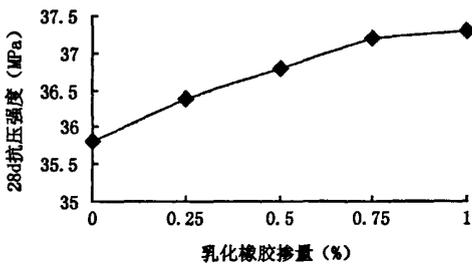


图 2 乳化橡胶掺量对抗压强度的影响

Fig.2 Effect of emulsion rubber on compressive strength

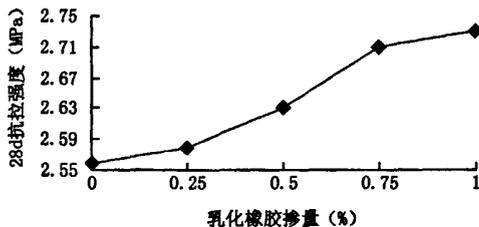


图 3 乳化橡胶掺量对抗拉强度的影响

Fig.3 Effect of emulsion rubber on tensile strength

从以上试验结果可以看出,掺加乳化橡胶和偶联剂的新型弹性混凝土很好地解决了由于掺加胶粒而使混凝土强度降低的难题,并且缩短了混凝土的失粘时间。这些提高对弹性混凝土的应用

起到了很好的推动作用,很适宜应用于桥梁伸缩缝的更换及其它类似工程。

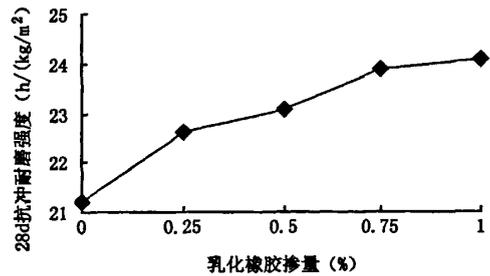


图 4 乳化橡胶掺量对抗冲耐磨强度的影响

Fig.4 Effect of emulsion rubber on wear resistance

2.4 性能比较

按表 1 制备胶粒掺加为 6% 的弹性混凝土,并制备掺加硅烷偶联剂和乳化橡胶的新型弹性混凝土,此外按表 1 水灰比、沙、石用量制备一组普通混凝土,搅拌均匀后倒在各种试模中固化,测定混凝土各种性能,进行对比试验分析。结果如表 5 所示。

从表 5 可以看出,新型弹性混凝土 28d 抗压强度比改性前提高 17.4%,相同配合比配制的普通混凝土 28d 抗压强度为 40.6MPa(相当于 C40 混凝土),掺加 6% 胶粒的弹性混凝土只相当于 C30 普通混凝土,但通过偶联剂及乳化橡胶改性后制备的新型弹性混凝土,其 28d 强度可以达到 37.2 MPa(相当于 C35 普通混凝土),从而较好地弥补了胶粒的掺入降低混凝土强度的缺陷。并且新型弹性混凝土 7d 抗压强度和抗冲磨强度都优于普通混凝土,体现出弹性混凝土的优越性。

为得到各种混凝土试块的变形量,制备尺寸为 100mm × 100mm × 100mm 试件进行轴向加载,加载速率为 0.002m/s,在试件中部选择一个代表点绘制出轴向荷载与轴向位移的关系曲线,如图 5 - 图 6 所示。

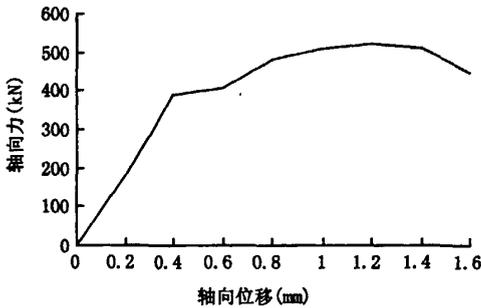


图5 普通砼试件压缩的荷载位移曲线

Fig. 5 Load displacement curves of concrete sample compression

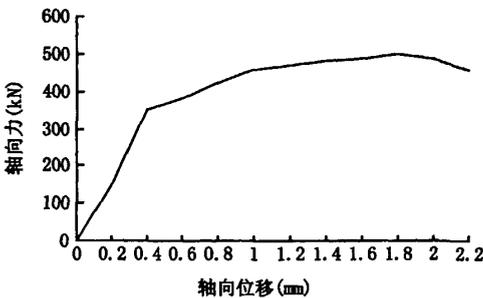


图6 新型弹性砼试件压缩的荷载位移曲线

Fig. 6 Load displacement curves of new elastic concrete sample compression

图5-图6表明,在峰值附近,普通混凝土的位移量为1.3mm,而新型弹性混凝土的位移量为1.8mm,提高了38.5%,这充分表明弹性混凝土的变形性能是优于普通水泥混凝土的。

3 弹性混凝土在工程中的应用

弹性混凝土应用于桥梁伸缩缝工程中的优势。伸缩缝在桥梁结构中承担着较大的冲击荷载,其在桥梁结构中所处的位置是结构中极易损坏的部位。长期的实践经验和使用结果表明:桥梁伸缩缝的橡胶板及两边混凝土受冲击时易产生应力集中而造成破坏^[4]。而本文所研究的新弹性混凝土很好地解决了桥梁伸缩缝的难题,由于掺入了偶联剂和乳化橡胶,混凝土强度得到了提高,同时缩短了交通开放时间。

弹性混凝土应用于型钢伸缩缝施工工艺。由于弹性混凝土具有优良的防裂性、韧性和耐磨性,对许多化学物质具有防腐蚀性,浇注后仅2h即能开放交通和安装便利等特点。它非常适合应用于

型钢伸缩缝安装工程中。其主要施工工艺有^[5]:

- (1) 按照设计图纸提供的尺寸,在梁端(或板端)与梁端,梁端与桥台处预留安装伸缩装置的预留槽。按图纸要求预埋好锚固钢筋或膨胀锚定螺栓,并安装好型钢伸缩缝。
- (2) 对整个粘结面进行喷砂处理,随后用压缩空气进行全面清理。
- (3) 在安装前浇注区必须进行干燥处理,以保持整个浇注区干燥无水分。
- (4) 浇注弹性混凝土前,要在整个浇注区(包括钢件)涂沫表面粘结剂。
- (5) 弹性混凝土的各原材料应在不同容器中称量,并按照配合比进行混合。
- (6) 混合均匀的弹性混凝土即浇注到位,并及时抹平。
- (7) 养护2h开放交通。

弹性混凝土作为弹性体应用于桥梁伸缩缝施工工艺^[6]。对于伸缩量较小的小型桥梁伸缩缝可以用弹性混凝土代替传统伸缩缝装置,而不用再单独设置伸缩缝,具体施工工艺如下:

- (1) 预留浇注弹性混凝土预留槽的深度不小于50mm、宽度应不小于250mm、长度应满足设计图要求。
- (2) 在整个作业面进行打毛处理,随后用压缩空气清理各种杂物。
- (3) 用泡沫塑料嵌在梁端与梁端之间的间隙,防止弹性混凝土流失。
- (4) 在浇注弹性混凝土前对作业面进行干燥处理。
- (5) 在浇注弹性混凝土前,要对整个浇注区表面涂沫表面粘结剂。
- (6) 弹性混凝土各原材料应干燥和在不同容器内称重并严格按照配合比进行拌和。
- (7) 搅拌均匀的弹性混凝土应立刻浇注到位,并及时抹平。
- (8) 养护2h可开放交通。

弹性混凝土应用于道路和桥梁路面。普通水泥混凝土路面刚性高而噪声大,收缩缝宽且震动强。这成了水泥混凝土路面的最薄弱环节。为了达到行车的舒适性,当今世界道路建造的主流是用沥青混合料作为路面材料。但随着沥青作为自然资源不断减少,价格不断上涨。沥青混凝土道路建造和维护费用将越来越昂贵,其整体使用寿命性价比超过水泥混凝土道路,并不断地继续扩大。弹性混凝土能够减少、减窄或消除伸缩缝,同时增加路面柔度,可以从根本上改善水泥混凝土路面高噪声、高震动的缺点,同时保持其它方面的优点,从而给混凝土道路带来新的生命力。我国水泥资源丰富,而石油贫乏,弹性混凝土可用于各种等级路面。如果我国道路中相当一部分铺上弹性混凝土,这将为国民经济的发展做出巨大贡献。

弹性混凝土应用于楼板和墙板。比起普通水泥混凝土,弹性混凝土具有重量轻、韧性强、能量

吸收多、抗裂性优越、隔音、隔热、减震能力强的工程性能。这些性能决定了弹性混凝土在建筑上的应用也很有前途。弹性混凝土的一个基本特征就是它具有很好的柔性。弹性混凝土楼板、墙板同时具有重量轻的优点,这会降低一部分造价。可以预见,市场对弹性混凝土楼板、墙板的需求将会是巨大的。

其它方面。弹性混凝土其它可能应用范围包括:飞机跑道、地下壳体、房顶、水坝(引水面)、运动场、网球场、畜牧场等等。它也可以作为轻骨料混凝土应用于各项工程中。

4 结论

1)掺入胶粒的弹性混凝土抗压强度和弹性模量比基准混凝土低,但拉压比比基准混凝土略大。

2)在弹性混凝土中加入偶联剂和乳化橡胶,可使材料的力学性能得到较大提高,28d抗压强度提高17.3%、抗冲耐磨强度提高12.7%,且失粘时间缩短,较好地解决了弹性混凝土强度下降的难题。

3)相同配合比配制的C40混凝土,加入6%胶粒的弹性混凝土仅能达到C30强度,但经改性后

的新型混凝土强度可达到C35(28d强度为37.2MPa),并且新型弹性混凝土变形量比普通混凝土提高38.5%。

4)新型弹性混凝土强度高、变形大以及快速固化、快速开放交通的特性。

参考文献:

- [1] 朱涵. 新型弹性混凝土研究综述[J]. 天津建设科技, 2004, (2): 35 - 37.
- [2] 李光宇. 废橡胶粉混凝土力学及抗冲耐磨性能试验研究[J]. 混凝土, 2008, (2): 87 - 89.
- [3] 赵明方, 张军成. Delcrete™ 弹性混凝土在桥梁伸缩缝改造工程中的应用[J]. 江苏交通科技, 2008, (2): 22 - 23.
- [4] KHATIB, ZAHER K, BAYOMY, *et al.* Rubberized portland cement concrete[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 1999, (8): 206 - 213.
- [5] 李自林. 桥梁工程[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2007.
- [6] HEMADEZ OLIVARES, BARLUENGA. Static and dynamic behavior of recycled tyre rubber - filled concrete[J]. Cement and Concrete Research, 2002, 32(10): 1587 - 1596.
- [7] 陈爱华. BEJ 弹性混凝土伸缩缝在工程中的应用[J]. 广东建材, 2007, (2): 56 - 58.

(责任编辑 刘存英)