

聚丙烯纤维混凝土研究及其在桥面连续及伸缩缝处的应用

王黎明

(东北林业大学土木工程学院)

摘要:本文探讨聚丙烯短纤维掺加于普通混凝土中改善混凝土抗冲击、抗冻等性能的作用机理,结合实例介绍了聚丙烯纤维混凝土在桥面连续及伸缩缝处的应用及其配合比设计与施工总结。

关键词:聚丙烯纤维混凝土;抗冲击性;抗冻性;桥面连续;伸缩缝

中图分类号:U445.4 **文献标识码:**C **文章编号:**1008-3383(2004)02-0046-03

1 引言

纤维作为混凝土次要加强筋,掺加于以水泥加颗粒集料为基体的混合料中,可以用来增强或改善普通混凝土的一些特性。20世纪80年代以来随着化学工业的发展,大批的合成纤维纷纷出现,它们即能起到传统金属纤维增强混凝土韧性和抗疲劳性的作用,同时又有着经济、施工简单、耐腐蚀的特点,使得它们特别适合应用于既暴露在外又受到反复荷载冲击作用的路面、桥面等处。探讨其中十分典型的

聚丙烯纤维混凝土(Polypropylene Fiber Reinforced Concrete;以下简称PFRC)的研究,同时介绍了其在桥梁伸缩缝及桥面连续处的应用实例。

2 PFRC的特性

2.1 聚丙烯纤维的主要性能和作用机理

聚丙烯纤维是一种典型的聚烯烃类结晶聚合物,分为单丝和网状,其物理、化学性能基本相同,其物化特征见表1。

表1 纤维的主要物化特征

比重	抗拉强度/MPa	弹性模量/GPa	燃点/℃	熔点/℃	吸水性	热传导	抗腐蚀
0.91	560~770	3.5	590	160~170	无	低	高

注:数据取自美国GoodRoad牌网状聚丙烯纤维说明书

与传统的钢纤维相比较,它耐腐蚀、无磁性,施工简便易行且价格便宜。

与碳纤维、石棉纤维、玻璃相比,后者属于高弹纤维($F_t/E_c > 1$),其中碳纤维性能全面胜过钢材,但是价格昂贵,而石棉和玻璃纤维对环境有一定污染。

低弹纤维($F_t/E_c \leq 1$),如聚丙烯、尼龙,其价格低、强度大,无污染,近年来发展较快,其中聚丙烯的性价比、加工工艺等相对又较尼龙等纤维有一定的优势。

与混凝土比较,其容重约为混凝土的0.004倍,弹性模量约为0.05~0.15倍。抗拉强度约为100倍。可以看出聚丙烯纤维是一种高强度低弹的材料,若混凝土发生变形,则在纤维发生较大的约束应力前,混凝土即已破裂。即掺入聚丙烯不会显著提高混凝土的抗拉强度和抗压强度。

试验表明聚丙烯纤维与混凝土之间有足够的握裹,这样,纤维虽不能阻止裂缝的产生,却可以抑制裂缝的进一步发展。试验和经验已证明掺入适量聚丙烯的混凝土的一些方面的性能得到明显改善。

2.2 聚丙烯纤维对于混凝土性能的影响

(1)聚丙烯纤维抑制混凝土塑性收缩龟裂。

从微观的角度来看,任何密实的混凝土都存在微裂缝。混凝土的硬化收缩率在 8×10^{-4} 左右,而微裂缝的出现一般被认为是由于混凝土的硬化收缩

而引起的。

部分肉眼不可见的裂缝在外荷及形变应力的影响下会从无到有,从小到大,逐渐形成可见的细裂缝(宽度达到0.05 mm)。这一收缩龟裂的过程,约在3~7 d龄期内完成。日本土木学会的研究表明通常随初裂荷载而产生的内部应力因配合比不同,约为几个兆帕,则理论上在混凝土尚未完全固结的3~7 d内产生裂缝的内部应力应该小于产生初裂荷载时的内部应力。而对于抗拉强度600 MPa左右的聚丙烯纤维来说是完全可以抵抗这一应力的。网状聚丙烯纤维若以 0.9 kg/m^3 掺入混凝土后,经搅拌会有700万根/ m^3 (7根/ cm^3)的网线乱向分布于各相(砂、石、水泥胶体)中,从而达到足够的分布程度。

综合起来,足够的强度和分布程度使得掺入聚丙烯纤维可以抑制裂缝发展。

由于减少裂缝和空洞结构,使得混凝土获得了以下性能的改善。

①裂缝的减少和聚丙烯纤维相对较低的弹性模量使混凝土可以从脆性变成具有一定的韧性的材料,从而具有更强的抗冲击能力。数据表明(见表2),掺有聚丙烯纤维的混凝土试件的抗冲击次数较不掺纤维的成倍提高,并随着纤维掺量的增加而增加,这一性能对于受反复冲击作用的路面,桥面是十分有利的。

表2 抗冲击落重试验

试件组	素混凝土	掺聚丙烯纤维混凝土 ($V_f=0.05\%$)	掺聚丙烯纤维混凝土 ($V_f=0.1\%$)
初裂冲击次数	30	89	103
破坏冲击次数	37	98	114

②提高了混凝土的抗渗性。长安大学公路工程检测中心得到的试验结果,纤维混凝土比普通混凝土提高2个抗渗标号。

东北林业大学土木工程学院得到的试验结果,干混凝土吸水率比普通混凝土减少23.95%。

③提高了混凝土的抗冻性。一方面是由于混凝土渗透水降低而减少了混凝土内部水分,另一方面,由于加入纤维后,可以缓解温度变化引起的混凝土内部应力的作用,从而提高了混凝土的抗冻性。

东北林业大学与黑龙江省水科的合作,按混凝土抗冻试验法,经25次冻融循环,PFRC无龟裂现象产生,经100次循环后强度符合要求。

④防止钢筋腐蚀。混凝土塑性产生的裂缝使钢筋直接接触潮湿的氯化物、空气而生锈,纤维的掺入减少了这一病害。

(2)聚丙烯纤维改善混凝土的抗疲劳特性。

混凝土掺入聚丙烯纤维后,其静力弹性模量低于普通混凝土,聚丙烯纤维网掺量 0.9 kg/m^3 时,试验得到了混凝土理论抗疲劳寿命结果(见表3)。这说明纤维网混凝土在动力荷载作用下具有优良的抗弯曲疲劳性能。

表3 混凝土理论抗折疲劳寿命比较

应力比 σ/S	理论抗折疲劳次数		疲劳寿命 增长率/%
	普通混凝土	纤维网混凝土	
0.85	194	821	323.2
0.80	965	316	227.7
0.75	4 797	12 175	157.8
0.70	23 847	46 817	96.6
0.65	118 556	180 485	52.2

注: σ 为疲劳强度 MPa;

S为静载一次作用下的极限弯拉应力 MPa

(3)聚丙烯掺量影响 PFRC 的强度。

广东工业大学朱江对纤维体积掺率 $V_f=0\% \sim 1.2\%$ 的40个立方体抗压强度试验数据分析后得到,当纤维的体积掺率在 $0.5\% \sim 1.0\%$ 范围内时,PFRC抗压强度只平均增大5.3%,当 $V_f > 1\%$ 时,则力学性能普遍低于普通混凝土。这与钢纤维混凝土(SFRC)的随纤维掺量增大而强度增大的性能是不同的。

而我们在对比试验中发现,掺量在 $V_f=1\%$ 的试件的强度普遍比素混凝土试件降低,但是如果延长振捣时间,则强度有所提高,对比试验结果见表4。

表4 振捣时间对强度的影响

		振捣时间	28 d 抗弯拉强度	28 d 抗压强度
		/s	/MPa	/MPa
素混凝土	C ₄₀	30	6.88	40.1
		60	7.02	37.9
	C ₅₀	30	7.42	49.5
		60	7.60	51.1
聚丙烯纤维 混凝土	C ₄₀	30	6.9	36.5
		60	7.63	40.0
	C ₅₀	30	7.0	43.4
		60	8.8	50.9

水泥混凝土聚丙烯纤维的掺入不能提高混凝土的强度可归结为以下三个方面的原因。

(1)纤维使混凝土增稠,流动度降低。在与普通混凝土同样的振捣条件下,影响混凝土的密实度。

(2)聚丙烯纤维的不亲水性,使其在掺入混凝土后引入了叠加的纤维—基材界面。对强度产生不利影响,且骨料粒径愈接近纤维长度,纤维与基材间界面作用越明显。

(3)聚丙烯纤维较低的弹性模量。

当然,聚丙烯纤维在混凝土中也有一定的阻裂和传递荷载的能力,对混凝土的强度也有有利的一面。我们能够看到纤维混凝土的抗折强度比素混凝土提高10%~16%。

3 PFRC 的应用

3.1 桥面连续及伸缩缝处的问题

先简支后连续施工的梁桥,梁端在连续处受到弯矩作用,即使配筋足够,裂缝也是不可避免的,裂缝意味着可能要受到水浸,冻融及车辆冲击的影响。

伸缩缝是桥面系设置的重要结构物。此处锚定伸缩缝的混凝土受到复杂应力的作用,常常发生锚固混凝土啃边、掉角、凹坑、碎裂、锚固松动等病害,并先于其他桥面结构破坏。

桥面连续及伸缩缝处面临的问题使得该处的混凝土在有足够的强度之外,还要具有坚韧而抗冲击、抗渗、耐冻融、抗疲劳等特性才能使伸缩缝牢固锚定,消除或减少桥面连续处的裂缝。

黑龙江省地处高寒地区,近年已在多座桥梁上发现上述动力结合冰冻引起的病害。

3.2 工程实例

由于PFRC在解决问题上有着应用推广价值,2001年在黑龙江省交通厅组织下,东北林业大学土木工程学院在佳木斯思邈立交桥上开展了“钢纤维混凝土与聚丙烯纤维混凝土应用于桥面连续与伸缩缝”的应用研究。

思邈立交桥为鹤大公路佳木斯到七台河段跨线立交桥,全桥采用先简支后连续施工工艺,桥面连续沿桥长方向配单层直径32mm加强筋,浇筑混凝土厚度15cm,带结构筋。伸缩缝采用毛勒C-80型钢伸缩缝,沿桥宽方向由钢筋锚固于桥面混凝土,锚

固长度达到每边 50 cm。我们在其中的两道连续及四道伸缩缝采用了 PFRC,在三道连续与三道伸缩缝处采用了 SFRC。

工后观察效果良好,有待于进一步的交通与冻融考验。

4 设计与施工要点

(1)PFRC 配合比设计。

配合比的确定是依据设计的要求的强度和耐久性,以及施工的要求的工作性。通过配合比试验优选经济指标而得到。本试验要求配制 C₄₀及 C₅₀混凝土各一种,施工坍落度大于 3 cm。经过 20 余组试件的试验,确定了如表 5 的施工配合比。

表 5 对比试验配合比 单位:kg

标号	水泥	水	碎石	砂	纤维	FDN
C ₄₀	435	180	1 000	930	0.9	4.35
C ₅₀	520	195	945	845	1	5.2

注:水泥为牡丹江 42.5;

碎石为粒径 5~20 mm;

砂为细度模数 2.83 的河砂;

纤维为北京保耐威公司生产 GoodRoad 牌网状聚丙烯短纤维

其砂率控制在 45%~47%,水灰比以混凝土坍落度控制,FDN 掺量为水泥量的 1%;纤维掺定除 5 号为 $V_f=1.1\%$ 外,其余为 1%。

(2)PFRC 比 SFRC 施工更简便。

表 6 PFRC 强度试验结果 单位:MPa

号码	水泥/kg	28 d(抗折强度)	28 d(抗压强度)
1	355	5.9	30.7
2	375	6.3	32.1
3	400	6.4	33.9
4	435	7.6	40.0
5	520	8.8	50.9

(上接第 45 页)

石料为玄武岩,色泽较深,加之 T 梁钢筋骨架的保护层薄,间距小,碎石卡在梁底部的钢筋骨架上面,梁底绝大部分是由灰浆填充密实。所以梁底钢筋骨架上面的碎石表面灰浆甚少,石料色泽在混凝土外观上体现出来了,与混凝土的色泽存在色差,另外振捣过程中模板油下流,淤积在某一部位,拆模后在梁体表面呈现若断若续的假分层。

针对该问题,我们请专家现场分析解决,经研究决定采取以下措施:

(1)改变最下一根水平筋的位置,将其提高 7 cm,并移入上一根水平筋的内侧绑扎,这样骨架外保护层净距为 2.5 cm,按规范规定用钢筋间距和保护层厚度反算碎石粒径为 1.9 cm。

(2)预制梁浇筑顺序一般从模板一端开始水平分层浇筑,浇筑梁底时采用 2 cm 粒径以下的碎石配制的 C₃₀混凝土,其它的混凝土采用 3 cm 粒径以下的碎石配制的 C₃₀混凝土,且混凝土的坍落度均为

从拌制过程来看,聚丙烯纤维直接投入搅拌釜内,不须像钢纤维一样采用人工或机械先进行分散。而本次所用网状聚丙烯纤维,原始状态为短束,干料拌制 1~2 min 后即可投入水泥。正常湿拌 3 min 或延长时间都不会出现结团现象,这说明网状纤维的纤度较单丝纤维小,更易分散。

施工过程中 PFRC 比普通混凝土和易性更好,聚丙烯的掺入对混凝土的其他工作特性影响不大,其流动性稍有降低,但依然能正常振捣,整平与压光的过程与普通混凝土完全相同。

(3)振捣时间的延长对提高 PFRC 的性能有利。

(4)振捣棒与平板振捣器结合使用效果好。

振捣棒适于桥面连续及伸缩缝处密布钢筋的情况。而平板振捣器对于掺加高效减水剂的混凝土的提浆有利。

5 结 语

(1)PFRC 有着优越的技术、经济性能,是解决桥面连续与伸缩缝处病害的有效方法。值得推广应用。

(2)对于聚丙烯纤维的掺入使混凝土抗压强度及抗折强度降低的问题,我们主要从两方面入手,其一是论证聚丙烯纤维掺率与骨料粒径、砂率、水灰比、搅拌时间、振捣时间的关系,其二是采用高弹-低弹混合纤维来达到目的。以上两方面的研究已有人开展,但是并未形成如钢纤维混凝土一样的完备的理论体系。因此伴随 PFRC 在国内日益广泛的应用,有待于进一步的理论研究。

(3)SFRC 的冻融试验并未取得十分满意的结果,应考虑添加引气剂等调整配合比的措施。进一步提高抗冻性来适应北方高寒区的气候。

收稿日期:2003-12-27

15~16 cm,使混凝土在保证和易性良好的同时,有一定的流动性。这样采用小粒径混凝土先浇筑厚 50 cm 一层约 4~6 m 长的一段梁底,振捣完毕后一个振捣工继续向前浇筑梁底,另一个振捣工浇筑腹板和翼板随后推进,要求梯形平行作业,应保持浇筑斜面不断推进。

(3)附着式振捣器位置下移,且配备长钎子。浇筑梁底部分时采用附着式振捣器配合插入式振捣器振捣,其他部位用插入式振捣器振捣。应注意振捣时不要急躁冒进,必须保证梁底先振捣好之后,方可继续来料浇筑腹板和翼板,保证浇筑斜面,振捣时注意混凝土振实的 5 点表现,振捣棒插入下层 5~10 cm,避免混凝土离析。夜间浇筑时,必须用灯光勤观察灰浆是否上返等现象,保证振捣密实合格。

(4)模板涂机油时以模板现油光为准,采用质量品质较好的机油涂刷均匀。

经过施工实践,上述办法行之有效,使混凝土外观质量有很大改观,取得了满意的效果。

收稿日期:2003-12-28