



文章编号:1006-7329(2002)03-0086-05

混合砂混凝土性能研究

张剑波¹, 杨长辉², 胡善铨³
郭宝强³, 孟昭富⁴, 邱春福⁵

(1.湖南省岳阳路桥总公司,414000;2.重庆大学 建筑材料科学与工程系,重庆 400045;3.重庆华
葛桥梁有限公司,重庆 400000;4.重庆市建筑科学研究院,重庆 400000;5.重庆渝江混凝土工程
有限公司,重庆 400000)

摘要:对比研究了天然中砂混凝土和混合砂混凝土的工作性、强度、收缩和徐变性能。研
究表明,配合比相同时,混合砂混凝土的性能与细度相当天然中砂混凝土的性能相当,
采用石灰石质机制砂与天然特细砂组成的混合砂可以配制性能良好的大流动性混凝土。

关键词:混合砂;工作性;耐久性

中图分类号:TU502+.4

文献标识码:A

混凝土是现代建筑技术的重要物质基础,在相当长的时期内仍将是主要的建筑结构材料。细集料是混凝土的重要组成部分,其性能对混凝土拌合物的工作性和硬化混凝土的物理力学性能和耐久性均具有重要影响。一般,工程建设中主要选择性能良好的天然中、粗砂作细集料配制混凝土,但在我国许多地区缺少天然中、粗砂资源,而天然特细砂资源丰富。由于天然特细砂具有颗粒级配差、泥粉含量较大、比表面积大等特点,主要适用配制低砂率、低塑性和中、低强度等级的混凝土^[1]。采用人工生产方式可以生产细度模数达到中、粗水平的细集料,但由于人工砂棱角多、表面粗糙、级配不好,特别是粒径小于0.315的颗粒含量低,不适合配制流动性混凝土^[2]。然而,现代施工技术的发展要求混凝土具有良好的工作性、优良的物理力学性能、耐久性和体积稳定性。由此形成了资源与工程应用之间的矛盾。为解决这一问题,将天然特细砂与人工机制砂按一定比例混合组成混合,可以较好地解决上述矛盾。

本文结合重庆渝奥大桥工程建设,研究混合砂混凝土的性能。

1 主要原材料及试验方法

1.1 主要原材料

水泥:重庆地维水泥有限公司生产的42.5R级普通硅酸盐水泥,该水泥的化学成分和主要性能见表1和表2。

表1 42.5R级普通水泥的化学成分(%)

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	MnO ₂	烧失量
21.50	3.85	6.33	0.47	58.89	3.01	1.98	3.70	1.27

* 收稿日期:2002-04-25

作者简介:张剑波(1966-),男,岳阳人,工程师,主要从事道路、桥梁工程施工。

表2 水泥的主要性能指标

细度 筛余(%)	凝结时间		安定性 (饼法)	抗压强度(MPa)		抗折强度(MPa)	
	初凝	终凝		3 d	28 d	3 d	28 d
2.6	2 h15 min	3 h25 min	合格	29.8	50.7	5.6	9.0

集料:碎石为重庆小泉产5~25 mm石灰石碎石,采用了两种细集料,一是重庆嘉陵江特细砂,细度模数为1.09,另一种细集料为重庆长渝机制砂厂生产的石灰石质机制砂,细度模数为3.27,其主要性能指标见表3和表4。简阳中砂的细度模数为2.4,含泥量为0.3%。

表3 砂的性能

性能	表观密度 (g/cm ³)	松散堆密度 (kg/m ³)	紧密堆密度 (kg/m ³)	紧密空隙率 (%)	含泥量 (%)	细度模数
机制砂	2.66	1 456	1 560	41	0.8	3.27
渠河砂	2.65	1 460	1 572	41	1.5	1.09

表4 碎石的性能

表观密度 (g/cm ³)	松散堆密度 (kg/m ³)	紧密堆密度 (kg/m ³)	紧密空隙率 (%)	含泥量 (%)	压碎指标 (%)
2.65	1 565	1 670	37	0.8	8.2

矿渣粉:重庆江北特种建材厂生产的HM高性能矿物掺合料,主要性能见表5。

表5 矿物掺合料的主要技术性能

比表面积	比重	SO ₃ 含量	活性指数
532 m ² /kg	2.88 g/cm ³	3.47%	S95

外加剂:重庆江韵外加剂厂FDNT40-50高效泵送剂。

1.2 混凝土性能测试方法

混凝土力学性能及拌和物性能检测均按GB81-85《普通混凝土力学性能试验方法》和GB80-85《普通混凝土拌合物性能测试方法》进行;混凝土长期性能和耐久性能检测按GB82-85《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》进行,但混凝土徐变试验中的加载量均为24 kN;耐急冷急热试验在混凝土标养28 d龄期后进行,先将试样置于65±5℃烘箱中烘12 h,再将混凝土放入20±2℃水中浸泡12 h为一个循环,经120个循环后考察其质量和强度的变化。为对比说明,研究中检测了同条件相同配合比中砂混凝土的技术性能。

2 结果与讨论

2.1 机制砂混凝土的力学性能研究

混合砂和天然中砂所得拌合物初始坍落度分别为238 mm和240 mm,两者均能满足泵送施工要求(配合比见表6);用天然中砂所配混凝土拌合物的初始扩展度达620 mm,而混合砂混凝土拌合物的初始扩展度为570 mm。产生这一差别的主要原因在于天然中砂的表面光滑,对拌合物粘流体

表6 单方混凝土原材料用量(kg/m³)

砂类	水泥	砂	碎石	水	泵送剂	矿渣粉	初始坍落度(mm)
混合砂,L	470	183(渠河) +347(机制)	1 205	183	5.83	60	238
中砂,Z	470	530	1 205	183	5.83	60	240

相对运动的阻力较小,而机制砂采用机械方式破碎,表面较粗糙,相对运动时阻力较大,这也是机制砂不宜单独用于配制泵送施工混凝土的重要原因。虽然如此,混合砂所配混凝土拌合物的流动性

已达到自动流平密实混凝土的坍落度要求,适用于配制高性能混凝土。表7列出了混凝土各龄期主要力学性能测试结果。

表7 混合砂混凝土与中砂混凝土主要力学性能

算术平均值(MPa)		龄 期(d)				
		3	7	28	60	90
抗压强度(MPa)	混合砂混凝土	35.7	56.4	71.0	72.9	73.0
	中砂混凝土	39.4	60.1	72.2	73.7	76.5
劈裂抗拉强度(MPa)	混合砂混凝土	2.80	3.75	4.55	5.62	5.33
	中砂混凝土	3.56	3.79	6.12	6.04	5.23
轴心抗压强度(MPa)	混合砂混凝土	34.8	50.4	69.0	72.3	72.6
	中砂混凝土	36.1	56.5	60.8	79.2	76.0
弹性模量($\times 10^4$)(MPa)	混合砂混凝土	2.87	3.34	3.75	3.99	4.11
	中砂混凝土	2.90	3.39	4.13	4.55	4.26

试验结果表明,混合砂混凝土的抗压强度随养护龄期增长而提高,3 d、7 d、28 d和90 d抗压强度算术平均值为35.7 MPa、56.4 MPa、71.0 MPa和73.0 MPa,这一发展规律与天然中砂混凝土抗压强度发展一致。相同条件下,简阳中砂混凝土3 d、7 d、28 d和90 d龄期的抗压强度分别为39.4 MPa、60.1 MPa、72.2 MPa和76.5 MPa。相比较,混合砂混凝土28 d抗压强度比中砂混凝土28 d抗压强度仅低1.2 MPa,这一差别基本在检测的误差范围内。配合比及其它条件一致时,混合砂混凝土和天然砂混凝土各龄期抗压强度值基本相同。

随着龄期的延长,混合砂混凝土劈裂抗拉强度呈增长趋势,并与天然中砂混凝土的该项技术性能相当。

在标准养护条件下,混合砂混凝土3 d、28 d和90 d龄期的轴心抗压强度算术平均值依次为34.8 MPa、69.0 MPa和72.6 MPa,略低于龄期中砂混凝土的相应指标。混合砂混凝土3 d、28 d和90 d龄期的弹性模量算术平均值依次为 2.87×10^4 MPa、 3.75×10^4 MPa和 4.11×10^4 MPa,与同条件下中砂混凝土相应龄期的弹性模量相比,混合砂混凝土28 d弹性模量低约10%,但随着养护龄期的增长,两种混凝土弹性模量之间的差别缩小,至90 d龄期时,混合砂混凝土的弹性模量只比中砂混凝土的低约3%。

2.2 混合砂混凝土长期性能和主要耐久性

2.2.1 混凝土的收缩及抗渗性

混凝土的收缩值的测试均在温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $60 \pm 5\%$ 的养护条件下进行,其测试结果见表8。

表8 机制砂、中砂混凝土的收缩

混凝土类型	龄 期(d)								
	3	7	14	28	60	90	120	150	180
收缩($\times 10^{-6}$) 混合砂混凝土,L	12.9	84.1	236.3	313.9	333.3	359.2	401.2	519.4	577.7
收缩($\times 10^{-6}$) 中砂混凝土,Z	42.1	155.3	304.2	388.4	420.7	427.2	495.2	631.1	692.5

收缩是混凝土的重要技术性能,混凝土收缩越大,混凝土结构出现开裂的可能性愈高,结构抵抗侵蚀介质渗入混凝土机体的能力也越弱,最终使混凝土工程的耐久性变差。收缩是混凝土材料固有的特性之一,如同混凝土结构的裂纹一样,它也是人们可以接受的一种材料性质,关键问题是将其控制在适当的水平,以便将其对混凝土结构可能产生的负面影响降低至最低的程度。

混合砂混凝土28 d的收缩值为 313.9×10^{-6} ,在该龄期之前,试样收缩值随着养护龄期的增加呈现较快的增长速度;28 d龄期之后,虽然混凝土收缩也随龄期增加,但增长速率明显降低,从28 d到90 d龄期,收缩值仅增加了12.6%。至180 d龄期,混合砂混凝土的收缩与同配比中砂混凝土发展趋势相同。通常条件下,特细砂混凝土的收缩高于同配比天然中砂混凝土,但本研究结果表明,

只要混合砂与特细砂按适当的比例混合使用,且控制混合砂与天然中砂的细度模数相当,混合砂混凝土的收缩可以降低至天然中砂混凝土的水平,甚至略低于天然中砂混凝土相应龄期的收缩。

表9是混合砂混凝土和天然中砂混凝土试件28d龄期后的渗水高度对比试验结果。由于受设备能力的影响,试验中将试样抗渗压力加至1.2MPa并恒压8h,然后沿渗水方向剖开试样,检测试样渗水高度。

表9 混凝土渗水高度

品 种	混合砂混凝土,L	中砂混凝土,Z
渗水高度(cm)	3.5	3.0

从试验结果可以看出,混合砂混凝土和天然中砂混凝土的抗渗性能均较好,设计强度等级为C50的混凝土,抗渗等级均超过P12,但同一试验条件下,混合砂混凝土的渗水高度略大于天然中砂混凝土的渗水高度,说明混合砂混凝土的抗渗性低于天然中砂混凝土,这可能与天然中砂混凝土在同一成型条件下更易于密实,孔结构更好有关。

2.2.2 混合砂、天然中砂混凝土的徐变性能

徐变反映了混凝土在荷载作用下的变形行为。徐变除影响混凝土结构的挠度外,对预应力损失有重要影响,是预应力混凝土工程需要特别控制的重要技术指标。为系统了解混合砂混凝土的徐变特性,本研究分别测试了不同龄期加载后混凝土的徐变量。测试结果如表10、表11、表12。

表10 3d龄期加载时混凝土的徐变

混凝土类型	加载后龄期(d)										
	1	3	7	14	28	45	60	90	120	150	180
徐变值($\times 10^{-4}$) 混合砂混凝土,L1	3.15	4.40	5.60	6.90	7.60	8.50	8.90	9.15	9.40	9.48	9.80
徐变值($\times 10^{-4}$) 中砂混凝土,Z1	3.35	5.00	6.40	8.00	9.20	9.85	10.30	10.80	10.90	11.16	11.85

表11 7d龄期加载时混凝土的徐变性能

混凝土类型	加载后龄期(d)										
	1	3	7	14	28	45	60	90	120	150	180
徐变值($\times 10^{-4}$) 混合砂混凝土,L2	1.95	3.25	4.80	6.55	7.80	8.45	9.05	9.65	10.15	10.92	11.66
徐变值($\times 10^{-4}$) 中砂混凝土,Z2	2.90	4.45	6.70	8.35	10.05	11.35	11.76	12.60	12.30	13.67	14.60

表12 混合砂混凝土不同龄期加载徐变性能

混凝土类型	加载后龄期(d)										
	1	3	7	14	28	45	60	90	120	150	180
徐变值($\times 10^{-4}$) J ₁ :加载龄期(5d)	3.30	4.70	6.25	8.40	10.25	10.95	10.45	10.95	11.35	11.56	12.06
徐变值($\times 10^{-4}$) J ₂ :加载龄期(28d)	2.45	3.75	4.85	6.70	7.70	9.10	8.70	9.55	10.45	12.36	13.47
徐变值($\times 10^{-4}$) J ₃ :加载龄期(90d)	1.10	1.85	2.32	3.35	4.05	5.60	6.61	8.35	9.26	9.62	10.05

与相同配比的天然中砂混凝土相比,混合砂混凝土的徐变随龄期的变化具有相似的规律,随龄期延长,徐变逐渐增长,增长速率则逐渐降低,在本研究试验条件下,实测混合砂混凝土各龄期徐变略低于天然中砂混凝土,但两者接近并均处于同一数量级。3d龄期加载时,混合砂混凝土90d、180d龄期的徐变分别为 9.15×10^{-6} 和 9.80×10^{-6} ,相应条件下,天然中砂混凝土的徐变分别为 10.81×10^{-6} 和 11.85×10^{-6} ;7d龄期加载时,两种混凝土的徐变有类似发展规律。根据测试结果可以认为,采用一定比例石灰石机质砂与特细砂组成的混合砂适用于配制强度等级为C50的预应力混凝土,混凝土各龄期的徐变与同配比天然中砂混凝土的相当。

对相同原材料和配合比的混合砂混凝土而言,加载龄期不同,同一龄期徐变也不同,基本变化趋势为加载龄期越晚,混凝土的徐变越小。产生这一特征的主要原因在于混凝土中胶结材的水化

以及水化产物随龄期的结构变化。从所周知。混凝土发生徐变的主要原因是胶凝材料水化产物 CSH 凝胶的粘性流动,而水化硅酸钙凝胶的粘性流动性与其结晶程度有关,随龄期延长,胶结材的水化产物不断增多,这是对粘性流动有利的方面,但是,龄期延长的同时,水化硅酸钙凝胶的结晶程度也不断提高,粘性流动性将因此而有所降低。混凝土的宏观徐变是上述两方面综合作用的结果,当水泥中硅酸三钙含量较高、水泥比表面积较大的条件下,水泥的水化速度加快,至 28 d 龄期标准养护后,水泥已具有较高的水化程度,这种条件下,混凝土在随后龄期时,硅酸钙凝胶数量增长对徐变的影响程度可能弱于早期水化硅酸钙凝胶结晶对徐变的影响,最终导致随加载龄期延长,混合砂混凝土徐变降低的结果。关于这方面的微观机理仍有待进一步研究。

2.2.3 混凝土耐急冷急热性能

混凝土工程无不处于一定自然环境条件下,而环境的温湿度变化、干湿交替过程均对混凝土的性能有一定影响。由于混凝土该项技术性能没有统一标准试验方法,本研究温度变化主要根据重庆市自然环境变化确定,以便对混合砂混凝土抵抗自然环境变化的能力有一个基本评价。表 13 是混合砂混凝土和天然中砂混凝土经 120 循环试验后的强度和重量损失测试结果。

表 13 混凝土耐热试验结果

品 种	混合砂混凝土, L	中砂混凝土, Z
混凝土抗压强度损失率(%)	16.2	16.0
混凝土的质量损失率(%)	0.18	0.08

混合砂混凝土经 120 个耐热循环后的抗压强度损失率为 16.2%, 质量损失率为 0.18%, 其中抗压强度损失率与中砂混凝土相当, 混凝土的质量损失率比中砂混凝土增加了 0.1%。由于目前没有该技术参数的评定标准, 无法对两种混凝土的耐冷热性能作出准确评定, 但参照混凝土抗冻性能评定标准(抗压强度损失率不大于 25%, 质量损失率不大于 5%), 混合砂混凝土和天然中砂混凝土经 120 个耐热循环后, 抗压强度损失率和质量损失率均在规定的范围内, 质量损失率在很低的水平。根据研究结果可以认为, 混合砂混凝土耐冷热性能较好, 并且与天然中砂混凝土的相应性能相当。

3 结论

石灰石机制砂表面粗糙、棱角多, 用其配制的混凝土工作性明显低于同一条件下用天然中、粗砂配制的混凝土之工作性, 且由于这类砂中粒径小于 0.315 mm 以下颗粒含量低于 15%, 不适合于单独用于配制流动性混凝土。

采用石灰石质机制砂与天然特细砂复合的人工砂可以配制工作性、物理力学性能和耐久性良好的高强、高性能混凝土, 所得混凝土的强度、弹性模量、收缩与徐变、耐急冷急热等技术性能与采用天然中砂配制的混凝土的相应技术性能相当。

参考文献:

- [1] 孟昭富. 特细砂混凝土及配合比[Z]. 重庆市建设工程服务站, 1992.
- [2] 重庆市建筑科学研究院. 机制砂混凝土性能研究[Z]. 鉴定资料, 1999.

(下转第 111 页)