



人工砂用于北方水运工程混凝土的试验与应用

李 莉, 李宏达, 张军宏

(中交第一航务工程局第三工程有限公司, 辽宁 大连 116083)

摘要: 人工砂是由制砂设备筛分制成的粒径小于 5 mm 的岩石颗粒 (但不包括软质岩、风化岩的颗粒), 具有质量可控、稳定、颗粒坚硬等特点, 经试验能满足北方水运工程混凝土的物理力学性能指标和抗冻融、抗氯离子渗透等耐久性指标的要求, 在实际主体工程中应用效果较好。在天然砂日益缺乏及质量严重下滑的状况下, 用人工砂取代或部分取代天然砂, 可以缓解砂资源缺乏对工程进度、成本及质量的影响。

关键词: 人工砂; 水运工程; 耐久性; 混凝土; 应用

中图分类号: U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)07-0051-05

Experimental study on and application of artificial sand used for marine engineering concrete in Northern China

LI Li, LI Hong-da, ZHANG Jun-hong

(No. 3 Engineering Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Dalian116083, China)

Abstract: The artificial sand is rock particles which are less than 5 mm (excluding soft rock and mantle rock particles) manufactured by sand-making equipments. It is characterized by controllable quality, good stability and hardness, and can meet the requirements of physical performance index and durability index such as freeze-thaw resistance and chloride ion permeability for port & waterway engineering concrete adopted in Northern China. In the actual engineering, it shows a satisfactory application effect. Since natural sand is in growing shortage and quality decline, to replace or partly replace the natural sand by the artificial sand can alleviate the adverse impact duo to the lack of sand resource on the engineering schedule, cost, and quality.

Keywords: artificial sand; marine engineering; durability; concrete; application

美、英、日等工业发达国家用人工砂作为混凝土细骨料已有 30 多年历史, 在各种建筑工程中应用比较普遍, 关于人工砂的材料与试验、使用标准已相当完善。而我国尽管在建筑方面采用人工砂从 20 世纪 60 年代起步, 但河砂、江砂等天然砂的使用还比较普遍。1973 年国家制定《人工砂混凝土技术规程》, 自此, 人工砂的应用范围扩大到公路、铁路、水电、冶金等系统, 由挡护工程扩大到桥梁、隧道及水工工程, 从砌筑砂浆发

展到普通混凝土、钢筋混凝土、预应力混凝土、泵送混凝土、气密性混凝土及喷锚支护等工程^[1]。但是由于试验标准与技术规范的不完善及试验材料的滞后, 我国建筑业对天然砂还存在较强的依赖性, 在许多重要结构中对人工砂的使用还存在限制条件, 尤其在有耐久性要求的北方水运工程主体结构混凝土中的应用, 还没有先例。但随着天然砂资源的日益缺乏, 质量可控性越来越差, 人工砂取代或部分取代天然砂已势在必行。

收稿日期: 2015-11-16

作者简介: 李莉 (1972—), 女, 高级工程师, 从事工程混凝土研究与质量控制。

1 人工砂的特点

- 1) 人工砂质量可控。人工砂选择性大, 适合大规模工厂化生产, 通过改进生产设备、改善生产工艺、调整工艺参数生产出符合要求的砂。人工砂的级配、细度模数、石粉含量等指标在一定范围内均可控。
- 2) 人工砂化学成份与母岩一致, 具有粗糙干净的界面, 对混凝土的力学性能和耐久性能有利。
- 3) 人工砂有一定的石粉含量, 在混凝土中可发挥微集料效应和填充效应, 增加混凝土的密实

程度, 可改善混凝土工作性能、力学性能和耐久性能, 不同于天然砂的泥。

4) 对于河砂缺乏的山区, 采用人工砂具有显著的经济性^[2]。

2 人工砂、混合砂和天然砂混凝土的性能试验

分别采用天然砂、粗颗粒人工砂与偏细天然砂混合、连续级配人工砂按 0.45、0.50、0.55 水胶比进行大流动性混凝土与流动性混凝土配合比设计并进行各项性能试验 (表 1)。

表 1 大流动性混凝土配合比和流动性混凝土配合比

类别	水泥/ (kg·m ⁻³)	砂种类	砂率/%	占比/%	水胶比/ (kg·m ⁻³)	TH-2/ (kg·m ⁻³)	PC-2/ (kg·m ⁻³)	坍落度/mm	含气量/%
大流动性混凝土	400	天然砂	37	100	0.45	3.60	1.250	195	6.8
	400	混合砂	40	40:60(人工砂:天然砂)	0.45	2.80	1.375	195	6.0
	400	人工砂	39	100	0.45	2.80	1.500	205	5.0
	360	天然砂	37	100	0.50	3.24	0.900	195	7.0
	360	混合砂	40	40:60(人工砂:天然砂)	0.50	2.52	1.010	195	6.0
	360	人工砂	39	100	0.50	2.52	1.238	205	7.2
	327	天然砂	38	100	0.55	2.94	1.022	200	5.8
	327	混合砂	41	40:60(人工砂:天然砂)	0.55	2.29	1.124	195	6.2
	327	人工砂	40	100	0.55	1.96	1.226	200	5.4
	400	天然砂	35	100	0.45	2.80	1.375	115	4.8
流动性混凝土	400	混合砂	37	40:60 人工砂:天然砂	0.45	2.00	1.375	110	4.4
	400	人工砂	36	100	0.45	1.60	1.500	115	5.1
	360	天然砂	35	100	0.50	2.52	1.125	110	4.4
	360	混合砂	37	40:60(人工砂:天然砂)	0.50	1.44	1.125	110	4.4
	360	人工砂	36	100	0.50	1.08	1.125	115	5.0
	327	天然砂	36	100	0.55	2.29	1.124	105	4.4
	327	混合砂	38	40:60(人工砂:天然砂)	0.55	1.31	1.124	105	4.5
	327	人工砂	37	100	0.55	0.33	1.124	125	5.5

2.1 混凝土强度试验

分别以 3 种砂作为细骨料按表 1 配合比进行混凝土立方体抗压强度试验 (图 1)。

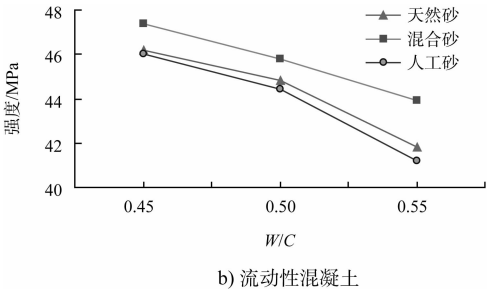
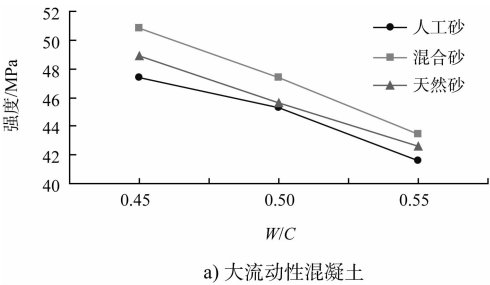


图 1 混凝土 28 d 抗压强度

从图 1 可以看出：混合砂混凝土强度略高于其它 2 种砂混凝土，根据材料情况分析可知：可

能是人工砂和天然砂混合, 相互补充, 级配良好; 由于本次试验用的人工砂细度模数为 3.3, 偏大, 其中石粉含量为 3.0%, 偏小, 单纯用其作为细骨料的混凝土和易性较差, 出现泌水, 所以试验结果强度偏低与其它 2 种砂混凝土。有研究显示级配良好的人工砂在石粉含量达到一定量的时候, 人工砂混凝土强度会高于天然砂混凝土^[3]。

从图 2 可以看出: 人工砂或混合砂混凝土在水胶比 0.45、0.50 时的劈裂抗拉强度大于天然砂混凝土的劈裂抗拉强度, 水胶比 0.55 时(混凝土拌合物的和易性较差)略低于混合砂混凝土而高于天然砂混凝土。

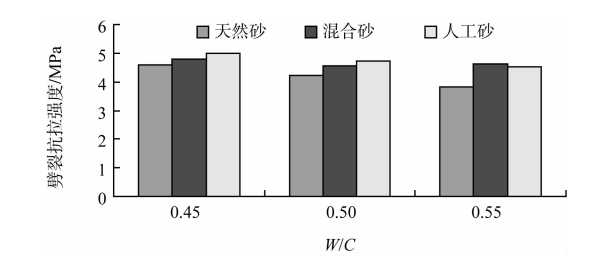


图 2 大流动性混凝土 28 d 劈裂抗拉强度

2.2 混凝土抗冻融性能试验

采用 0.50 水胶比的混凝土相对动弹性模量试验结果见图 3, 质量损失率试验结果见图 4。

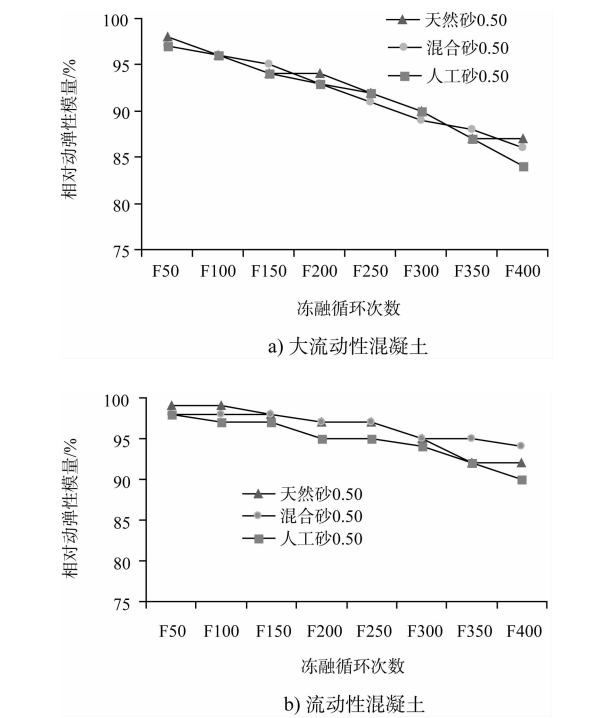


图 3 混凝土动弹性模量试验结果

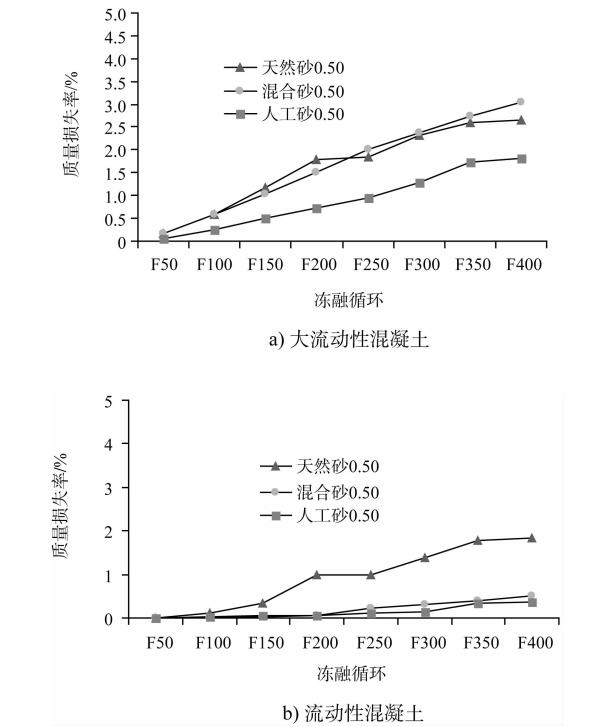


图 4 混凝土质量损失率试验结果

水运工程混凝土试验规程规定: 相对动弹性模量下降至 75% 或质量损失率达 5%, 即可认为试件已经破坏, 并以相应的冻融循环次数作为该混凝土的抗冻融等级。而北方严重受冻地区的抗冻融循环设计为 F350, 从图 1~3 可以看出, 采用人工砂或混合砂的大流动性混凝土以及流动性混凝土的抗冻融循环都能满足北方港口工程混凝土的抗冻融要求。从图 4 可以看出: 人工砂混凝土的冻融质量损失率是最低的, 这可能是人工砂中石粉的填充作用、晶核效应、活性效应综合作用的结果^[4]。

2.3 混凝土的抗氯离子渗透性能试验

《水运工程混凝土施工规范》规定海港工程浪溅区采用普通混凝土的抗氯离子渗透性不应大于 2 000C。从图 5 可以看出采用人工砂或混合砂的混凝土抗氯离子渗透性都小于 2 000C, 能够满足北方海港工程混凝土的要求。且采用混合砂或人工砂的塑性混凝土抗氯离子渗透性要优于天然砂的混凝土, 这可能是人工砂中石粉的微集料填充作用使混凝土更加致密^[4]。

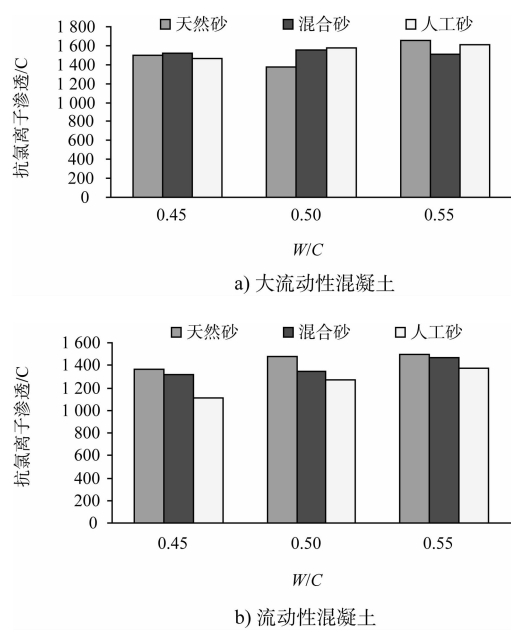


图 5 混凝土抗氯离子渗透性

2.4 混凝土的氯离子扩散系数试验

从图 6 可以看出, 采用人工砂或混合砂的混凝土 56 d 氯离子扩散系数在水胶比 ≤ 0.50 时小于 $4.0 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

2.5 混凝土的坍落度损失试验

在相同水胶比和外加剂的情况下, 采用人工砂或混合砂的混凝土坍落度损失与天然砂混凝土坍落度损失相差不大, 能够满足工程施工要求。

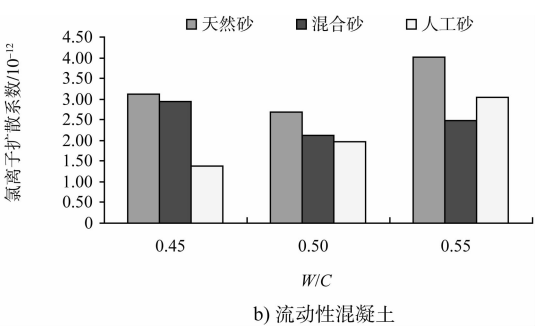
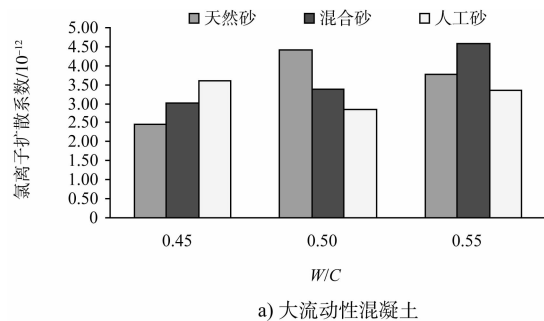


图 6 混凝土 56 d 氯离子扩散系数

3 工程应用

2011 年 5 月和 2011 年 11 月, 在实际工程中分别以人工砂和混合砂作为细骨料应用在预制栅栏板及现浇胸墙混凝土中。

1) 应用于护面块体栅栏板中。用人工砂作为混凝土细骨料, 通过现场施工观察, 混凝土和易性较好, 浇筑的栅栏板表面平整光滑, 有光泽, 混凝土气泡少; 经检测强度、耐久性满足设计要求。

2) 在大连湾装备制造业技术研发基地工程的胸墙混凝土中以混合砂作为细骨料。混凝土和易性较好, 施工较为顺利; 经检验强度、抗冻性指标以及抗氯离子渗透性都满足设计要求。

4 成本分析

将上述 2 个采用人工砂、混合砂作为细骨料的工程与同时施工的天然砂混凝土在成本上做了对比分析。在混凝土设计强度等级相同、水胶比相同、坍落度相同的情况下, 成本对比见表 2。

表 2 单方混凝土成本对比分析

材料	规格	单价	天然砂		混合砂		人工砂	
			用量/kg	价格/元	用量/kg	价格/元	用量/kg	价格/元
水泥	P. O 42.5	470 元/t	413	194.1	413	194.1	404	190.0
天然砂	中砂 $u_f = 2.7$	85 元/m ³	648	36.7	0	0	0	0
天然砂	细砂 $u_f = 2.2$	85 元/m ³	0	0	399	22.6	0	0
人工砂	$u_f = 3.8$	85 元/m ³	0	0	287	16.3	716	40.7
碎石	5 ~ 31.5 mm	75 元/m ³	1 093	54.6	1 076	53.8	1 078	53.9
减水剂	RW-1	2 400 元/t	8.26	19.8	3.3	7.9	3.3	7.9
引气剂	PC-2	28 000 元/t	0.05	1.4	0.05	1.4	0.05	1.4
水	饮用水	4 元/t	186	0.7	186	0.7	182	0.7
单方混凝土材料价格/元			307.3		296.8		294.6	

从表 2 可以看出: 采用混合砂的混凝土比天然砂混凝土每立方米节省 10.5 元; 采用人工砂的混凝土比天然砂混凝土每立方米节省 12.7 元。因此, 采用混合砂或人工砂的混凝土可以降低工程成本。

5 结语

对于用人工砂全部或部分替代天然河砂进行系统试验, 得知人工砂或混合砂混凝土的工作性、力学性能以及抗冻、抗氯离子渗透、氯离子扩散系等耐久性指标能够满足北方水运工程混凝土的要求。人工砂或混合砂混凝土在水运工程主体结构中取得了良好的应用效果, 同时兼具很好的经济性。

(上接第 40 页)

4 结论

本文将大气模式 WRF 模拟的海面 10 m 风速作为波浪模式 MIKE-SW 的驱动风场, 模拟了 0713 号台风过境期间海浪生长与消失过程。计算结果表明:

1) WRF 模式能够较好地模拟韦帕台风过程, 可以为 MIKE-SW 模型提供高精度的台风风场过程。

2) 在 WRF 风场驱动下, MIKE-SW 台风浪模型能够较好反映台风过境期间海浪成长过程; 波浪计算结果与 -3、-5 m 水深测站波浪数据吻合良好。可以进一步为泥沙数学模型提供合理的波浪动力场。

3) 台风期间, 连云港海域 -5 m 等深线以内水域波高等值线分布更为密集, 与水下地形等深线分布基本一致, 破波带以内水域波浪衰减速度加快, $H_{1/3}$ 平均衰减速率为 0.1 m/km, 这与该海域属于淤泥质海岸类型的性质相吻合。

参考文献:

[1] 苏斌. 浅谈机制砂的研究与应用[J]. 山西建筑, 2007(4): 186.

[2] 李志军, 崔云财. 机制砂的应用前景[J]. 黑龙江交通科技, 2012(12): 56.

[3] 段瑞斌, 石从黎. 全机制砂预拌混凝土的研究[J]. 商品混凝土, 2010(4): 42 .

[4] 洪锦祥, 蒋林华. 人工砂中石粉对混凝土性能影响及其作用机理研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(11): 85-87.

[5] DBJ 52-55—2008 贵州省高速公路机制砂高强混凝土技术规程[S].

(本文编辑 郭雪珍)

参考文献:

[1] Phadke A C, Martino C D, Cheung K F, et al. Modeling of tropical cyclone winds and waves for emergency management[J]. Ocean Engineering, 2003, 30: 553-578.

[2] Sheng Y Peter, Paramygin Vladimir A, Alymov Vadim, et al. A Real-Time Forecasting System for Hurricane Induced Storm Surge and Coastal Flooding[C]// 9th International Conference on Estuarine and Coastal Modeling. USA: Estuarine and Coastal Modeling , 2005: 585-602.

[3] 尹宝树, 徐艳青, 任鲁川, 等. 黄河三角洲沿岸海浪风暴潮耦合作用漫堤风险评估研究[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(5): 457-463.

[4] 朱志夏, 韩其为, 丁平兴. 应用多重尺度法推导浅水波方程和悬沙扩散方程[J]. 水动力学研究与进展: A 辑, 2001, 16(3): 279-294.

[5] 赵洪波, 王广聚. 连云港海域波浪场数学模型研究[J]. 水道港口, 2007, 28(5): 322-324.

[6] 赵群. 基于 SWAN 和 ECOMSED 模式的大风作用下黄骅港波浪、潮流、泥沙的三维数值模拟[J]. 泥沙研究, 2007, 104(4): 17-26.

(本文编辑 武亚庆)