

# 用钢渣砂替代细集料配制混凝土的试验与应用

陈晓友

(北京建工一建混凝土分公司,北京100071)

**[摘要]** 试验利用首钢废弃钢渣砂等体积部分替代砂子配制普通混凝土,并与同强度等级的普通混凝土的多项力学性能和耐久性进行对比。试验结果表明,掺钢渣砂混凝土的抗压强度、抗弯强度、劈拉强度都优于普通混凝土性能,其抗冻性与普通混凝土近似相同,由于钢渣砂混凝土的吸水率小于普通混凝土,则其抗渗性略好于普通混凝土,耐久性能满足要求,即钢渣砂混凝土的强度和耐久性总体来说要优于普通混凝土。用于实际工程,效果和试验基本相同,力学性能和耐久性达到设计要求。

**[关键词]** 钢渣砂;混凝土;力学性能;耐久性能

**[中图分类号]** TU528.041

**[文献标志码]** B

**[文章编号]** 1001-523X(2010)09-0030-03

钢渣是炼钢过程中,伴随产出的一定数量的工业副产品,被称为冶金工业的头号废渣,世界各国每生产1t粗钢要产生约160kg的钢渣。长期以来,钢渣作为废物抛弃,占用良田,污染环境。鉴于附近有堆积如山的首钢钢渣废料,用钢渣替代细集料配置钢渣砂混凝土应用到结构混凝土中有很多重要的经济和社会效益,本文拟用钢渣等体积全部或部分替代普通混凝土中的粗集料进行钢渣砂混凝土配制,并对其多项力学性能和耐久性进行试验研究,最后付之应用。

## 1 试验原材料

试验采用的水泥是新港水泥厂生产的P·O 42.5水泥。其物理性能指标见表1。

表1 水泥物理性能指标

标准稠度 用水量/%	凝结时间 (h:min)		抗折强度/MPa		抗压强度/MPa	
	初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d
27.5	2:30	3:5	4.0	7.1	21.5	44.2

砂采用的是河北涿州的二区中砂,石采用的是河北涿州的5~25mm连续粒径的碎石,均满足《普通混凝土用砂、石质量检验方法标准》(JCJ 52—2006)。

本试验所采用的钢渣砂是首钢的转炉钢渣,存放期在一年以上。该钢渣是高温熔融状态下淬急冷而形成的颗粒状钢渣,呈灰土色,粒度在10mm以下。其化学成分详见表2。

表2 钢渣砂的化学成分

氧化物	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Σ	其他成分
质量比例/%	20.23	11.57	1.24	24.25	22.14	3.86	15.21	98.5	1.50

所采用的钢渣根据其化学成分计算得出碱度为1.28,即为低碱度渣。

钢渣砂的物理力学性能为:堆积密度为1.70 g/cm<sup>3</sup>,表观密度为3.2 g/cm<sup>3</sup>,含水率0.2%。

钢渣砂的筛余分析见表3。

表3 钢渣砂的筛余分析

筛孔尺寸/mm	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	筛底
累计筛余	8	20	46	75	82	93	100

测一下钢渣砂的吸水率,见表4

表4 钢渣砂的吸水率

时间/h	0	0.5	1	2	3	4	8	12	24	48
质量/g	1 125	1 135	1 142	1 150	1 155	1 163	1 165	1 165	1 165	1 165
吸水率	0	0.89	1.51	2.22	2.67	3.38	3.56	3.56	3.56	3.56

由表4可以看出,在刚开始,钢渣的吸水性表现得很明显,尤其在前4h中,钢渣的吸水量达到38g。慢慢地,钢渣的吸水能力逐渐减弱,在水中浸泡4h之后,钢渣的吸水性就不是很显著,在8h之后,钢渣的吸水率就基本没有变化。本试验所采用的水是符合国家标准的生活饮用水。

掺合料采用德州华能1级粉煤灰。

泵送剂采用北京混凝土之宝有限公司生产的TYB-3,其性能指标满足一等品质量要求。

## 2 试验配比

为了较好地对比出钢渣砂混凝土与普通混凝土在力学性质和耐久性上的差别,采用钢渣砂等体积部分和全部替代

收稿日期:2010-06-15

作者简介:陈晓友(1974-),男,安徽省潜山县人,毕业于北京建工学院,本科,工程师,现从事商品混凝土技术工作。

普通混凝土中的细集料进行对比性试验。由于钢渣砂混凝土的配制还没有一个成熟的配制方法,试验参照普通混凝土配合比进行。

试验的水灰比主要是依据所需混凝土的配制强度和水泥的实际强度确定的。采用C30普通混凝土作为参照,其中C30普通混凝土的配合比是:水胶比为0.44,砂率为42%,用水量175 kg,水泥324 kg,砂770 kg,石1 063 kg,粉煤灰74 kg,外加剂8 kg。

在配制钢渣砂混凝土中,由于钢渣砂表面非常粗糙,且有一些细孔,故钢渣砂作细集料时混凝土拌合物的需水量比普通混凝土要大。为了确定出该混凝土的合理钢渣砂的取代量,试验配制按照单方水泥不变,同样大小的坍落度下不同水灰比,钢渣砂按体积分别替代0%、25%、50%、75%,100%砂的五组混凝土,分别测定了其对应坍落度、流动度和28 d抗压强度。

试配配比数据见表5

表5 不同钢渣砂取代率配合比的试验数据

试验组数	水胶比	砂率/%	钢渣砂取代率/%	钢渣砂:普通砂	坍落度/mm	流动度/mm
1	0.44	42	0	0:770	185	415
2	0.44	42	25	237:578	190	410
3	0.44	42	50	474:385	185	390
4	0.49	42	75	711:192	180	350
5	0.52	42	100	948:0	175	300

从试验数据可以看出:钢渣砂取代25%、50%时,混凝土用水量相差不大,坍落度和流动度也能满足施工要求,当取代75%、100%时,要满足同样的工作性,用水量增加不少。

### 3 钢渣混凝土的力学性质试验结果及分析

本试验参照国家标准测得的对比混凝土的各项力学性质见表6。

表6 混凝土力学性能试验

强度等级	抗压强度/MPa			抗弯强度/MPa	劈拉强度/MPa
	7d	28d	60d		
C30普通混凝土	28.2	41.2	46.4	4.8	2.12
取代25%	29.8	41.8	47.2	5.5	2.73
取代50%	28.0	41.5	45.8	5.4	2.64
取代75%	22.7	35.4	40.2	4.5	1.96
取代100%	19.6	32.6	36.1	4.2	1.85

从试验数据可以看出,和强度等级为C30的普通混凝土相比,取代25%、50%的钢渣砂混凝土7 d、28 d、60 d抗压强度都相差不大,甚至有的还略高于普通混凝土,可见,钢渣的掺入不仅没有降低混凝土的抗压强度,而且还略有提高。当取代75%和100%时,7 d、28 d、60 d抗压强度有所降

低,不能达到设计强度要求。

和强度等级为C30的普通混凝土相比,取代25%、50%的钢渣砂混凝土的抗弯强度和劈拉强度均明显高于普通混凝土。这说明,钢渣砂的掺入,大大改变了混凝土的内部结构,强化了混凝土中集料与水泥浆的界面过渡区,显著改善了混凝土的力学性能。与砂相比,钢渣砂颗粒的表面很粗糙,孔隙较多,粘结力较大,与水泥等拌和凝结硬化后,钢渣集料与水泥石粘结很好,界面粘结强度很高,大于砂与水泥石的界面粘结强度,充分发挥了集料的骨架作用。

而取代75%、100%钢渣砂混凝土,为了满足工作性的要求,增加了单位用水量,各项力学性能均有所降低,也说明了水灰比直接影响混凝土的强度,达不到设计的要求。所以在耐久性试验里,就只进行25%和50%取代量的试验,而不再进行75%和100%取代量的试验。

### 4 钢渣砂混凝土耐久性试验及结果分析

#### 4.1 抗冻性测试

试验对强度等级为C30的普通混凝土和25%和50%的钢渣混凝土进行了抗冻性试验,参照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GBJ 82—1985)中抗冻性能试验的慢冻法进行。混凝土的抗冻等级以同时满足强度损失率不超过25%、质量损失率不超过5%时的最大循环次数来表示。本试验冻融循环进行了50次。试验结果列于表7。

表7 钢渣砂混凝土与普通混凝土抗冻性能比较

不同类型	冻融次数	初始抗压强度	强度损失率	质量损失率	表观变化
普通混凝土	0	41.2	0	0	没有变化
	50	38.6	6.31	0.18	没有变化
25%混凝土	0	41.8	0	0	没有变化
	50	39.5	5.50	0.15	没有变化
50%混凝土	0	41.5	0	0	没有变化
	50	39.2	5.54	0.16	没有变化

由表7可以看出,钢渣混凝土的抗冻性能与普通混凝土几乎相同,说明满足混凝土抗冻性要求。

#### 4.2 抗渗性测试

通过普通抗渗仪进行试验,普通C30混凝土能达到S16要求,而钢渣砂混凝土甚至能达到S20要求。

同时委托检测所进行抗氯离子渗透性能试验,试验采用清华大学研制的NEL型渗透性快速检测系统测定强度等级为C30的普通混凝土和钢渣混凝土的氯离子抗渗透性。分别测试计算的数据为:普通混凝土的氯离子扩散系数为 $5.35 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$  25%钢渣混凝土的氯离子扩散系数为 $4.38 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$  而50%钢渣混凝土的氯离子扩散系数为 $4.26 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ 。

从而得出钢渣混凝土的抗氯离子渗透性要好于普通混

凝土。

## 5 结 论

1)与普通混凝土相比,掺50%以下钢渣砂混凝土的各项力学性能均比较好。其中,在掺入钢渣后,混凝土的抗弯强度和劈拉强度有明显改善。

2)钢渣砂混凝土与普通混凝土的抗冻性近似相同,并且抗渗透性好于普通混凝土。

3)最重要的是,改善了环境,变废为宝,降低了混凝土的单方成本,有很好的社会效益和经济效益。

经过多次试验后,考虑混凝土各项性能和经济效益,我们采用50%的钢渣砂取代率,之后用于多项结构工程,混凝

(上接第27页)

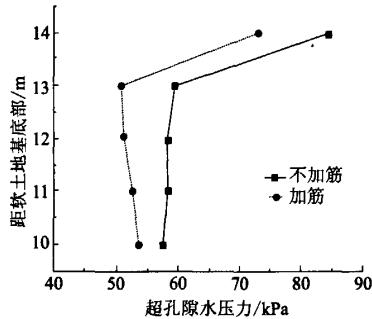


图5 软土地基中超孔隙水压力随深度的变化

## 2.3 土工格栅拉应力

图6给出了路堤填筑完毕后,土工格栅拉力沿路堤横断面的变化规律。从图中可以看出,路基中心处土工格栅拉应力最大,达到18.7 MPa。随着距路堤中心距离的不断增加,格栅拉力逐渐减小,逐渐形成线路“中间大,两头小”的分布形状。在距路堤中心10 m处,土工格栅拉应力只有4 MPa,仅为中心处的21%。一方面,这是由于距路堤中心越近,上部荷载值越大;另一方面,由图3也可看到,在距路堤中心10 m处左右,软土地基顶面产生了土体隆起现象。

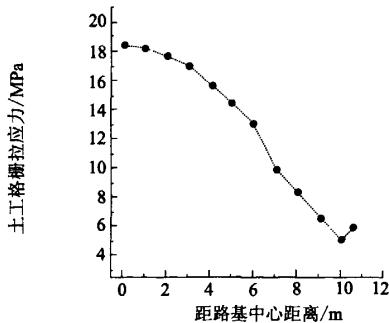


图6 土工格栅拉力沿横断面的分布

另外,从图中还可以看到,在距路堤中心10 m以后,土工格栅拉力又出现了增大趋势。这是由于在数值模拟过程中,人为地将土工格栅结构单元最右边的所有节点( $x=10.5$  m)

土的工作性和力学性能,以及耐久性能都和试验相差无几,取得了很好的效果,是一项绿色环保产业。

## 参 考 文 献

- [1]许远辉,陆文雄,王秀娟.钢渣活性激发的研究现状与发展[J].上海大学学报(自然科学),2004,10(1)
- [2]黄晓明,潘钢华,赵永利.土木工程材料[M].南京:东南大学出版社,2001
- [3]杨华明,张广业.钢渣资源化的现状与前景[J].矿产综合利用,1999,(3)
- [4]李建平,倪文,陈德平.影响大掺量钢渣水泥强度的主要因素探讨[J].矿物岩石,2003,23(4)

处)与土体实体单元进行刚接,以便模拟实际工程中的包边处理方式。

## 3 结 语

1)加筋路堤既可以大大减小路面总沉降值,同时又可以很好的控制路面不均匀沉降的发生。

2)加筋路堤在减小软土地基顶面总沉降和差异沉降方面具有非常显著的效果。

3)由于格栅和土体之间的摩擦作用约束了土体水平位移的发展,加筋路堤很好的限制整个路堤的横向变形,提高了路堤的整体稳定性。

4)加筋路堤增强了路堤的整体强度,提高了路堤层扩散荷载的能力,从而有效的减小了传至地基中的上部荷载值。

5)随着距路堤中心距离的不断增加,加筋路堤中格栅拉力逐渐减小,逐渐形成“中间大,两头小”的分布形态。

## 参 考 文 献

- [1]邓卫东,陈环,郑玉琨.土工织物加筋软基路堤的试验与计算分析.天津:天津大学,1989
- [2]俞仲泉,李少青.土工织物加固堤基的离心模型试验.岩土工程学报,1989,11(1)
- [3]李艳春,蒋志仁.弹簧单元模型用于分析土工格栅受力特性.中国公路学报,1996,9(4):38~42
- [4]朱湘,黄晓明.有限元方法分析影响加筋路堤效果的几个因素.土木工程学报,2002,35(6):86~92
- [5]徐少曼,林瑞良,康进王.提高路堤下软基土织物加筋效果的综合措施.中国公路学报,2003,16(2):42~45
- [6]Huang J., Han J., Oztoprak S. Coupled Mechanical and Hydraulic Modeling of Geosynthetic - Reinforced Column - Supported Embankments. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2009, 135(8): 1011~1021
- [7]Saad B., Mitri H., Poorooshash H. 3D FE analysis of flexible pavement with geosynthetic reinforcement. Journal of transportation engineering, 2006, 132 (5):402~415
- [8]Bergadoa D. T., Teerawattanasuk C. 2D and 3D numerical simulations of reinforced embankments on soft ground. Geotextiles and Geomembranes 2008, 26 (1):39~55