

用回弹法测试自密实堆石混凝土强度

石建军

周绍青

金 峰, 张楚汉

(中南大学, 长沙 410083)

(南华大学, 湖南衡阳 421001)

(清华大学, 北京 100084)

摘 要:自密实堆石混凝土由于块石粒径较大,而无法预留试块来测定其抗压强度。回弹法作为测试混凝土抗压强度的无损检验方法,既方便又可靠。用回弹法对两个自密实堆石混凝土试件进行了抗压强度测试,试验结果表明,① 自密实混凝土在 1.5 m 范围内的堆石体中流动可形成匀质性较好的自密实堆石混凝土体。② 用回弹法检测自密实堆石混凝土的抗压强度,其结果准确性高、安全可靠。③ 自密实堆石混凝土 28 d(天)的抗压强度可用预留自密实混凝土立方体试块的方法来控制。

关键词:回弹法;自密实混凝土;堆石;抗压强度

中图分类号:TG115.28

文献标识码:A

文章编号:1000-6656(2006)06-0285-03

Testing the Self-compacting Rock-fill Concrete Strength by the Rebound Method

SHI Jian-jun

ZHOU Shao-qing

(Central South University, Changsha 410083, China)

(Nanhua University, Hengyang Hunan 421001, China)

JIN Feng, ZHANG Chu-han

(Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The self-compacting rock-fill concrete (RFC) compressive strength can't be tested by the preformed test cubes because the size of the block stone is relatively large. The rebound method is a nondestructive testing method which can test the concrete compressive strength, and it is very convenient and dependable. The rebound method is used to test the compressive strength of two RFC specimens. Experimental results show that, ① the homogeneous RFC can be formed by the self-compacting concrete flowing in the prepacked rock about 1.5m distance. ② the RFC compressive strength measured by the rebound method is accurate and reliable. ③ the cubic compressive strength of the self-compacting concrete can evaluate the 28 days compressive strength of RFC.

Keywords: Rebound method; Self-compacting concrete; Rock-fill; Compressive strength

自密实混凝土具有高流动、抗分离以及自流动等特点,现已在国内外许多工程中成功使用。而自密实混凝土在堆石体中的应用是随金峰教授等提出的新型堆石混凝土坝而开展研究和应用的。自密实堆石混凝土是利用自密实混凝土的优良施工性能,在粒径较大的块石(粒径一般 $>150\text{ mm}$)内随机充填自密实混凝土而形成的自密实混凝土堆石

体^[1~3];它充分吸取了自密实混凝土的优点,具有使用水泥少、绝热温升小、单价低及施工速度快等优点。但由于自密实堆石混凝土中的块石粒径较大,无法采用常规预留试块的试验方法来测定其抗压强度。混凝土回弹仪作为检测一般建筑结构或构件混凝土抗压强度的一种非破损检测仪器,具有构造简单、性能可靠、容易校正、方便维修和检测、对结构和构件无任何损坏、检测区域广、代表性强及误差小等特点。我国应用混凝土回弹仪检测混凝土抗压强度已有四十多年的历史,已制定了 JGJ/T 23—2001《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》。若能采用混凝土回弹仪准确测定自密实堆石混凝土的抗压强

收稿日期:2005-10-19

作者简介:石建军(1966~),男,湖南湘潭人,南华大学建筑工程资源环境学院副院长,教授,硕士研究生导师,设计研究院院长,一级注册结构工程师,中南大学工程力学专业在读博士。

度,则能解决其由于块石粒径较大而难以预留试块的难题,为其广泛应用奠定基础。

1 自密实堆石混凝土体的形成

1.1 试验原材料

- (1) 水泥 42.5 号硅酸盐水泥。
- (2) 集料 粗集料采用 5~10 mm 卵石,砂采用级配良好的中粗砂。
- (3) 粉煤灰 II 级粉煤灰。
- (4) 堆石 15 cm~20 cm 的片石。
- (5) 外加剂 聚羧酸盐高效减水剂。
- (6) 水 自来水。

1.2 自密实堆石混凝土体的形成过程

堆石体尺寸为 500 mm×500 mm×1 500 mm。配合比为水泥:粉煤灰:水:沙:卵石:外加剂=1:0.694:0.456:2:2.25:0.015 3。试验时,事先在试验箱中随机填满块石(粒径为 150~200 mm),然后将配制好的自密实混凝土从堆石体上部进料口 500 mm 的长度内倒入,利用自密实混凝土的自重作用,让其自动充填到堆石体的空隙中,形成自密实堆石混凝土块体。共充填了两个自密实堆石混凝土块体;同时,预留了三组 150 mm×150 mm×150 mm 自密实混凝土立方体试块。

2 回弹法无损检测自密实堆石混凝土强度

2.1 检测步骤

(1) 划分测区 沿自密实堆石混凝土体长度方向将 500 mm×1 500 mm 表面划为 10 个测区,图 1 显示了 8,9 和 10 三个测区。

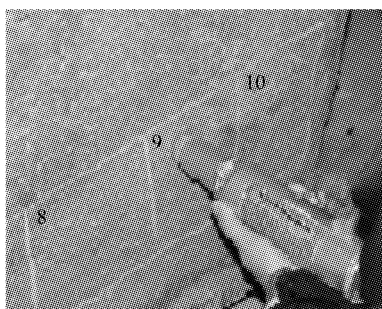


图 1 自密实堆石混凝土块体的强度回弹

(2) 每个测区面积为 150 mm×200 mm。在选择好的测区内清除疏松及杂物,然后用毛刷刷净。

(3) 回弹时,回弹的轴线应始终垂直于混凝土检测面,缓慢施压,准确读数,快速复位。

(4) 注意测点宜在测区范围内均匀分布,同一

测点只允许弹击一次。每一测区应记录 16 个回弹值,每一测点的回弹值读数精确至 1。

(5) 回弹值测量完毕后,应选择三分之一测区测量碳化深度值。测量碳化深度值时,用钻子在测区表面形成直径约 15 mm 的孔洞;然后除净孔洞中的粉末和碎屑,并立即用浓度为 1% 酚酞酒精溶液滴在孔洞内壁的边缘处,再用混凝土碳化深度测量仪多次测量已碳化与未碳化混凝土交界面到混凝土表面的距离,取其平均值,该距离即为混凝土的碳化深度值。每次读数精确至 0.5 mm。

2.2 自密实混凝土预留试块检测步骤

在试块两个光滑的对称侧面进行测试。先在 NYL—2000D 型压力试验机上对试块施加 100 kN 的力,其余步骤同自密实堆石混凝土体的检测。

2.3 回弹数据处理

(1) 计算各测区平均值。先从该测区的 16 个回弹值中去掉三个最大值和三个最小值,然后取其它 10 个回弹值计算平均值,计算精确至 0.1 MPa。

(2) 根据 JGJ/T 23—2001 测强曲线表查到回弹值和碳化深度相对应的测区混凝土强度值。

(3) 确定构件混凝土强度推定值。因为自密实堆石混凝土体有 10 个测区,其强度推定值由本身的强度平均值和标准差来计算。计算公式为

$$f_{cu,e} = m f_{cu}^c = 1.645 S f_{cu}^c \quad (1)$$

式中 $f_{cu,e}$ ——自密实堆石混凝土强度推定值

$m f_{cu}^c$ ——自密实堆石混凝土强度平均

$S f_{cu}^c$ ——自密实堆石混凝土强度标准差

2.4 试验结果分析

2.4.1 自密实堆石混凝土块体和预留自密实混凝土试块回弹强度的比较

图 2 所示为自密实堆石混凝土块体和预留自密实混凝土试块的 7,14,21 和 28 d(天)的回弹抗压强度推定值与时间的关系曲线。从图中可见:

(1) 自密实混凝土的初期强度增长较快,7 d 强

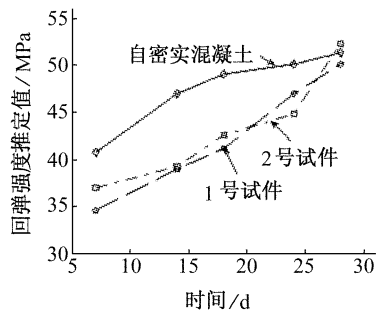


图 2 混凝土回弹强度与时间关系

度达到了 28 d 的 80% 左右, 21 d 的强度已接近 28 d; 自密实堆石混凝土的强度增长较自密实混凝土慢, 且基本呈直线变化, 7 d 强度仅达到 28 d 的 70% 左右。自密实混凝土强度增长较快这一特点, 说明掺加高效减水剂有利于水泥水化作用, 使混凝土具有早强性能; 而自密实堆石混凝土中的堆石对混凝土强度的增长具有一定的减缓作用。

(2) 自密实堆石混凝土的 28 d 抗压强度推定值和预留自密实混凝土试块的 28 d 抗压强度推定值基本相近。说明用常规施工方法预留自密实混凝土试块来控制自密实堆石混凝土的强度可能是一种既方便又可行的办法。

2.4.2 不同测区自密实堆石混凝土回弹强度比较

图 3 所示为不同测区自密实堆石混凝土回弹测量强度值和时间的关系曲线。从图中可见, 从 1 测区到 10 测区的混凝土回弹抗压强度值在基本相同的区间范围内波动, 其回弹测量强度值随时间的变化而呈线性增长。这说明自密实混凝土在 1.5 m 范围内流动而形成的自密实堆石混凝土体的匀质性

较好, 同时也验证了用回弹法测自密实堆石混凝土的抗压强度具有一定的稳定性和准确性。

2.4.3 自密实堆石混凝土回弹抗压强度值和切割取样试块强度值的比较

为了检验回弹数据的可靠性, 直接从自密实堆石混凝土体中切割取样进行混凝土立方体抗压强度测试。1 号试件的第 1, 3, 4 和 6 测区被切割下来, 并将每个测区切割成九个 150 mm × 150 mm × 150 mm 的立方体试块; 2 号试件的第 1 和 8 测区被切割下来, 并将每个测区切割成三个 150 mm × 150 mm × 150 mm 的立方体试块。具体测试值见表 1。

表 1 混凝土回弹测量强度和立方体抗压强度比较

试件号	测区号	回弹测量强度/MPa	切割试块平均强度/MPa	相对误差/%
1	1	57.0	55.5	2.6
	3	53.4	59.3	-11
	4	54.5	51.5	5.5
	6	55.5	53.6	3.4
2	1	58.1	55.0	5.3
	8	52.1	55.6	6.7

从表中可见, 自密实堆石混凝土回弹测量强度值和切割试块立方体抗压强度测试值相差不大, 其相对误差在 15% 之内。这证明用回弹法检测自密实堆石混凝土的抗压强度既简便又准确。

3 结语

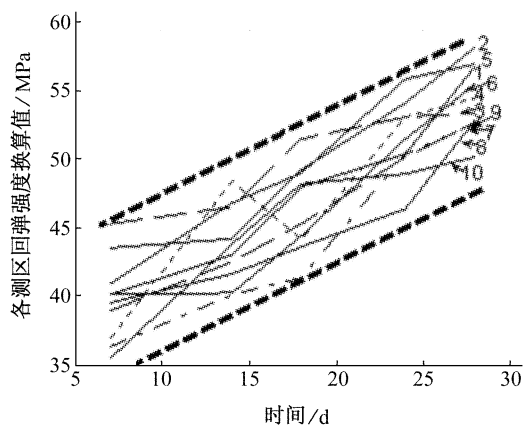
(1) 自密实混凝土在 1.5 m 范围内的堆石体中流动可形成匀质性较好的自密实堆石混凝土体。

(2) 由于混凝土中的块石粒径较大, 而无法预留试块测定自密实堆石混凝土抗压强度的难题, 可用回弹法来解决。试验表明用回弹法检测自密实堆石混凝土的抗压强度, 安全可靠、准确性高。

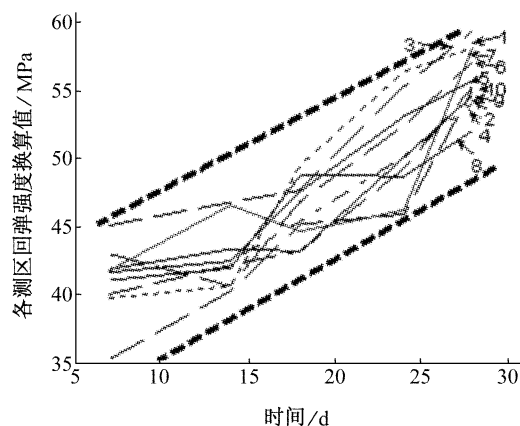
(3) 自密实堆石混凝土 28 d 的回弹测量强度推定值与预留自密实混凝土试块 28 d 抗压强度推定值基本相近, 表明自密实堆石混凝土 28 d 的抗压强度也可用预留自密实混凝土立方体试块的方法来控制。

参考文献:

- [1] 金 峰, 安雪晖. 堆石混凝土大坝施工方法[P]. 中国: 03102674. 5, 2003. (下转第 295 页)



(a) 1 号试件



(b) 2 号试件

图 3 不同测区混凝土回弹测量强度

时试件没有出现肉眼可见的形变。当温度 $>500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时磁场峰峰值发生突变,550 $^{\circ}\text{C}$ 时磁场峰峰值达到了 $18\times 10^{-5}\text{ T}$ 左右,此时试件圆孔缺陷拉长成椭圆形,且在圆孔边缘附近应力集中区出现裂纹。以温度 T 为横坐标,典型磁场测量线的峰峰值 Y 为纵坐标,得图6所示不同温度测量线上的磁场值最大梯度变化曲线。图7为材料12Cr1MoV在不同温度时 δ_s 变化率曲线,计算公式为

$$Y = \frac{\Delta\delta_s}{T_{n+1} - T_n}$$

式中 T ——试验温度

n ——试验序数

$n=1,2,3,\dots$

$\Delta\delta_s$ ——前后两温度对应 δ_s 差的绝对值

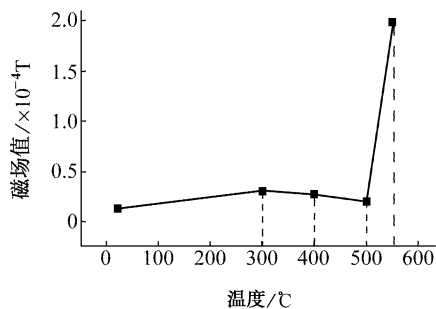


图6 不同温度磁场最大值梯度变化曲线

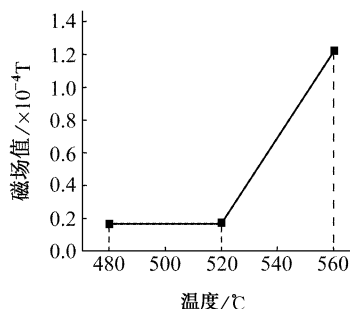


图7 不同温度时 δ_s 变化率曲线

观察图7可知,温度 $\geq 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时材料的力学性能变化很大,屈服点迅速降低,致使同一载荷产生的局部应力大小不同,从而使相应的磁场值不同。同时由于铁磁体的居里点均在 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,而最高试验温度为 $550\text{ }^{\circ}\text{C}$,试验在相对较低的温度范围内进行,此时温度升高引起应力松弛,因而利于磁化^[3]。这两个因素引起了温度越高试件表面磁场峰峰值越大,且在 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上骤增的现象。

4 结论

通过试验数据整理分析总结出如下规律:

(1) 在高温情况下对带典型缺陷的圆管试件施加载荷后,在缺陷附近出现应力集中区,通过对缺陷附近磁场值进行精确测量发现,在应力集中区磁场值存在相对较大的梯度变化。

(2) 同温度不同载荷的情况下,应力集中区及应力梯度大的区域相应的表面磁场值梯度值也较大。试件加载后,在应力集中区附近出现磁场值的最大值和最小值,两者的差值即峰峰值。当局部应力为 $0\sim 0.8\delta_s$ 时,由金属力学性能可知,试件处于弹性阶段,相应磁场值曲线峰峰值在 $2\times 10^{-5}\text{ T}$ 左右,试件没有出现肉眼可见的形变。当局部应力在 $0.8\delta_s\sim 2\delta_s$ 阶段时,试件处于塑性变形阶段,相应的磁场值曲线峰峰值迅速增大至 $18\times 10^{-5}\text{ T}$ 左右,试件圆孔缺陷拉长成椭圆形,随着局部应力的增大圆孔边缘附近应力集中区附近出现裂纹,且局部应力越大,裂纹扩展越大。局部应力越大的测量点,相邻两点的磁场值的变化梯度越大。

(3) 同载荷不同温度的情况下,随着温度的增加,在应力集中区及应力梯度大的区域相应的表面磁场值出现磁场值曲线的最大值和最小值。当试验温度在 $0\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,磁场峰峰值较小,且集中在 $2\times 10^{-5}\sim 4\times 10^{-5}\text{ T}$,试件没有出现肉眼可见的形变。当温度在 $500\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,磁场峰峰值突然增大,在 $18\times 10^{-5}\text{ T}$ 左右,试件圆孔缺陷拉长成椭圆形,并且在圆孔边缘应力集中区附近出现裂纹。

参考文献:

- [1] 朱日彰,卢亚轩.耐热钢和高温合金[M].北京:化学工业出版社,1996.
- [2] GB 5310,高压锅炉管[S].
- [3] 任吉林,林俊明.金属磁记忆检测技术[M].北京:中国电力出版社,2000.
- [4] 束德林.工程材料力学性能[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [5] 刘鸿文.简明材料力学[M].北京:高等教育出版社,1997.
- [6] 钟文定.铁磁学(中册)[M].北京:科学出版社,2000.

~~~~~

(上接第287页)

- [2] 安雪晖,金峰,石建军.自密实堆石混凝土充填堆石体的试验研究[J].混凝土,2005,(1):3-6.
- [3] 石建军,张志恒,金峰,等.自密实堆石混凝土充填堆石体的试验[J].南华大学学报,2005,19(1):38-41.