

堆石混凝土抗冻抗渗性能的试验研究

张志恒,石建军

(南华大学 城市建设学院,湖南 衡阳 421001)

摘要:堆石混凝土抗冻、抗渗性能的好坏直接影响结构的安全性和可靠性。对堆石混凝土切割试样的抗冻性能和抗渗透性能的试验研究表明:堆石混凝土的渗水主要发生在施工冷缝处的粘结面上,该粘结面是渗水的主要通道,其渗透性大于施工热缝处的渗透性;冻融循环作用下,冷缝粘结面的劈裂抗拉强度和抗压强度均低于热缝粘结面处的相应强度,且强度损失率也较热缝处大。

关键词:堆石混凝土;冷缝粘结面;热缝粘结面;抗冻性能;抗渗性能

中图分类号:TU502;TU528

文献标识码:A

Experimental Research on Freeze – thaw Resistance Property and Impermeability for Rock – filled Concrete

ZHANG Zhi-heng, SHI Jian-jun

(School of Urban Construction, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: The freeze – thaw resistance property and impermeability of RFC affect directly the safety and reliability of its structure. The author had conducted experimental research to the samples after testing the mechanical properties of the RFC exposed to freeze – and – thaw cycles and the impermeability under water pressure. The test results indicated that the bonding interface of the construction “cold” joints was the main path of seepage, and the permeability of the “cold” joints was greater than that of the “hot” joints; the splitting tensile strength and the compressive strength of the “cold” joints were less than the splitting tensile strength of the “hot” joints, and the loss rate of strength was greater.

Key words: the rock – filled concrete; cold joints adhesion; hot joints adhesion; the freeze – thaw resistance property; impermeability

堆石混凝土^[1-3]是由清华大学提出的一种新型混凝土,它是利用自密实混凝土的高流动、抗分离性能好以及自流动的特点,在粒径较大的块石(在实际工程中可采用块石粒径在500 mm以上)

形成的有一定空隙的堆石体内充填自密实混凝土,而形成的完整、密实、有较高强度的新型混凝土,简称堆石混凝土 Rock – fill Concrete (RFC)。堆石混凝土具有水泥用量少、绝热温升小、单价较

收稿日期:2009-02-17

作者简介:张志恒(1975-),男,湖南衡阳人,南华大学城市建设学院工程师,硕士。主要研究方向:高性能混凝土材料及力学性能。

低、施工速度快等特点,可以被广泛应用于堆石混凝土拱坝、重力坝、围堰、港口、护坡等结构形式中,而且已在筑坝工程中取得了初步成功的经验^[4].近年来,人们在对混凝土大坝耐久性的研究中发现:施工缝粘结面渗漏是影响坝体抗渗性的关键因素,成为渗水的主要通道;在碾压混凝土坝中,通过量测碾压混凝土层面的渗水量,计算出了层面的渗透系数,并以此来评价碾压混凝土层面的渗透性^[5];在混凝土坝体加高工程中,老混凝土的硬化、粘结表面的各种缺陷以及新混凝土硬化过程中的体积收缩,使得粘结面成为抗裂、抗滑和抗渗的薄弱环节.同时在寒冷地区,坝体施工缝粘结面往往出现冻融剥蚀破坏,使粘结面的强度低于材料本体的相应强度,有的甚至在修补后的新老混凝土粘结面上再次发生冻融破坏,严重影响坝体的使用和安全.由于堆石混凝土采用块石分层堆放、自密实混凝土分层充填的施工方式,因此存在水平施工缝,这些施工缝粘结面将是结构长期安全运行过程中的薄弱环节.因此,堆石混凝土施工缝粘结面的抗冻、抗渗性能的好坏直接影响此类结构的安全性和可靠性,对整个结构的稳定,抗裂等至关重要.对堆石混凝土施工缝粘结面在冻融循环作用下的力学性能及渗透性能进行试验研究,以期对此类结构的安全性和耐久性做出合理的评价.

1 试验试样的制作

设计试模尺寸为 $1\ 000\text{ mm} \times 2\ 000\text{ mm} \times 1\ 800\text{ mm}$,为了模拟泵送施工,设计了由钢漏斗和塑料圆管组成的浇注装置.试验时,人为的将浇注过程分为三层,每层高度为 600 mm ,采用块石分层堆放,自密实混凝土分层浇注的方式,浇注完第一层后,马上随机堆放第二层块石进行浇注,第三层自密实混凝土在第二层浇注后隔两天进行,这样使形成的堆石混凝土块体在竖直方向分别为 600 mm 和 $1\ 200\text{ mm}$ 的位置形成热缝和冷缝粘结面.

对成型的堆石混凝土块体首先切割成 8 个 $500\text{ mm} \times 500\text{ mm} \times 1\ 800\text{ mm}$ 的试件(如图 1),然后选取后④号试件首先切割成 $150\text{ mm} \times 500\text{ mm} \times 500\text{ mm}$,使冷、热缝粘结面位于截面中部(如图 2),然后再将每个沿竖向切割成 $150\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 150\text{ mm}$ 作为抗冻试验试样(共 18 个).选取后②号试件首先切割成 $500\text{ mm} \times 500\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ 的试件(如图 3),使冷、热缝粘结面位于

截面中部,然后再将每个切成 $200\text{ mm} \times 200\text{ mm} \times 150\text{ mm}$,最后打磨成上底为 175 mm ,下底为 185 mm 的圆台体作为抗渗试验试样(共 12 个).

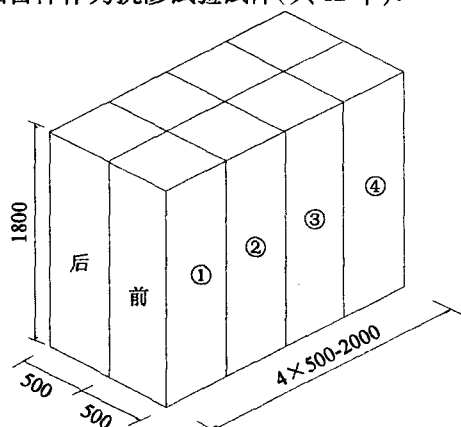


图 1 试件编号

Fig. 1 Numbering of specimen

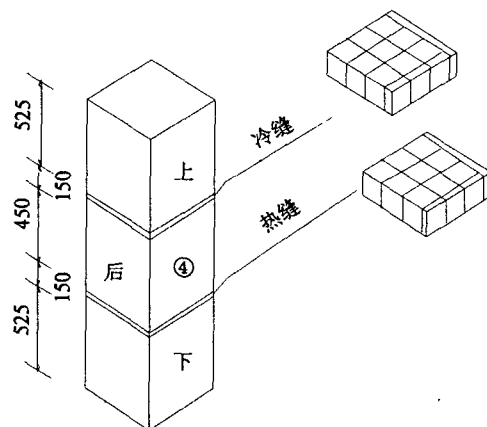


图 2 后 4 试件切割示意图

Fig. 2 Diagrammatic sketch of cutting - specimen

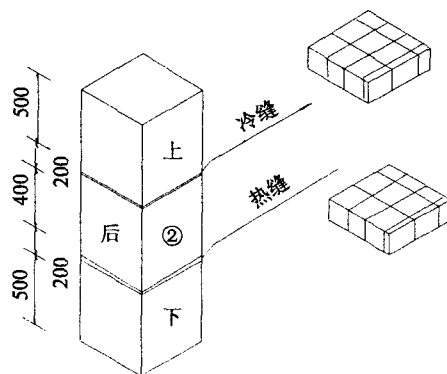


图 3 后 2 试件切割示意图

Fig. 3 Diagrammatic sketch of cutting - specimen

2 冻融循环试验

选取部分立方体试样,按照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》^[6](GBJ82-85)进行冻融循环试验.采用慢冻法,一次冻融循环时间

间隔为4 h,连续循环100次后取出试样进行抗劈裂强度和抗压强度试验,试验时使施工缝粘结面方向始终平行于受力方向,以质量损失率和强度

损失率来衡量堆石混凝土材料的抗冻性能.试验结果如表1、表2所示,

表1 冻融后劈裂抗拉强度试验

Table 1 The splitting tensile strength test after freezing - and - thawing cycle

试样 编号	冻前重 量/kg	冻后重 量/kg	$\Delta G/\%$	冻后劈裂抗拉 强度/MPa	冻后劈裂抗拉 强度平均值 /MPa	对比试样劈 裂抗拉强度 平均值/MPa	强度损失率 $\Delta f/\%$
后④上4	7.95	7.85	1.26	1.73			
后④上5	8.00	8.00	0	1.62	1.61	2.76	41.67
后④上6	8.25	8.22	0.36	1.48			
后④下4	8.32	8.30	0.24	2.50			
后④下5	8.20	8.13	0.85	2.84	2.43	2.92	16.78
后④下6	7.98	7.90	1.00	1.95			

表2 冻融后抗压强度试验

Table 2 The compressive strength test after freezing - and - thawing cycle

试样 编号	冻前重 量/kg	冻后重 量/kg	$\Delta G/\%$	冻后抗压强度 平均值/MPa	冻后抗压强 度平均值 /MPa	对比试样 抗压强度 平均值/MPa	强度损失率 $\Delta f_{cu}/\%$
后④上1	8.00	8.00	0.00	36.09			
后④上2	8.32	8.25	0.80	36.23	35.96	38.67	7.00
后④上3	8.54	8.50	0.47	35.56			
后④下1	8.42	8.38	0.48	36.67			
后④下2	8.31	8.22	1.08	36.12	36.2	38.78	6.65
后④下3	7.95	7.82	1.64	35.81			

由表可知:冻融循环作用下,冷缝粘结面的劈裂抗拉强度低于热缝粘结面处的相应强度,且强度损失率也较热缝处大,而抗压强度两者相差较少.表明冷缝粘结面的抗冻性能总体弱于热缝粘结面的抗冻性能.而对比试样的强度值在冷、热缝处两者相差不大;同时从试样破坏形态发现:试验中的冷缝试样多在缝处裂开,裂开面上含块石较少,而且也多沿着块石与自密实混凝土的粘结面上断开,断开面较平整光滑.这可能是由于温度的正负交替变化,使冷缝粘结面周边产生交替的拉应力大于热缝粘结面处,该处最先超过界面粘结强度产生微裂缝而损伤,导致其上胶结力和机械咬合力等不断下降.同时由于冷缝位置后浇自密实混凝土硬化过程中,体积收缩产生收缩应力,该收缩应力与冻融循环过程中交替的拉应力叠加,当超过粘结面的粘结应力则开裂,粘结强度下降;在融化过程中水分又进入这些开裂的缝隙,再次冻结时,冰结体积进一步膨胀,导致开裂面产生新的更大的拉应力,粘结面进一步受到损伤……,

而热缝粘结面处由于采用连续浇注的方式,不存在后浇自密实混凝土的收缩应力,该处初始拉应力小于相应的冷缝粘结面处,故损伤程度也小.基于此,在施工过程中,可以在冷缝处人为的让更多的块石外露以形成啮合面,增加机械咬合力和粘结力,对降低堆石混凝土在冻融循环过程中的损伤应该是有利的.

3 抗渗试验

选取后②试件冷、热缝位置打磨的圆台体试样(共两组),每组分别取三个冷缝和三个热缝试样,按照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》^[6](GBJ82-85)进行抗渗试验,试样养护至试验前一天取出,晾至表面干,然后在其侧面涂一层熔化的白蜡作为密封材料,随即在压力机上将试样压入经烘箱预热过的钢套模中,稍冷却后解除压力,连同试样套装在抗渗仪上进行试验.试验从水压为0.1 MPa开始,稳定8 h后每隔8 h增加水压0.1 MPa,并且随时注意观察试件端面的渗

水情况。

3.1 渗透现象及分析

试验中发现第一组试样加压到0.6 MPa时,冷缝位置的三个试样端面先后出现渗水现象。为了测定热缝位置的渗透能力,继续加压,当加压到1.0 MPa时,热缝位置的一个试样端面渗水;第二组试样加压到0.8 MPa时,同样是冷缝位置的三个试样端面先后出现渗水现象。继续加压到0.9 MPa时,热缝位置才有一个试样渗水。同时在垂直于粘结面方向将所有试件从中间劈开,也可观察到冷缝粘结面处的渗水较热缝粘结面处严重。由此表明堆石混凝土的渗水主要还是发生在施工冷缝处的粘结面上,该粘结面是其渗水的主要通道,其渗透性大于施工热缝处的渗透性。这主要是由于冷缝粘结面处后浇自密实混凝土硬化过程中体积收缩产生初始裂隙面和施工孔隙等,使之成为最初渗流的主要通道,同时由前面抗冻性研究可知,该处粘结面粘结应力小于热缝粘结面处,则渗透系数大,渗透水流在沿缝渗流时所受的沿程水力阻力小,或在不变的外加应力作用下,流动或渗透加速度会增大,渗透速度会明显加快。故在实际施工中,结合对冷缝表面的一些处理(如让更多的块石外露以形成啮合面和刻槽等),加强与下层混凝土的粘结,应该可以提高层间抗渗性能。

3.2 堆石混凝土粘结面渗透系数

由于块石的形状、大小、分布等的随机性,致使施工过程中粘结面的特性不均匀,从而粘结面的渗流问题也变得复杂,在现有的理论上,通常假定粘结面为层流,其渗流水头损失与渗流量成正比,符合立方定律^[7],则等效水力隙宽 e 和平均渗透系数 k 可表示为^[8];

$$e = D \sqrt{\frac{6n \cdot \rho}{P \cdot T}} \quad (1)$$

$$k = \frac{v}{J} = \frac{g \cdot e^2}{12\mu} \quad (2)$$

式中: n —粘结面空隙率,无试验条件时,可取 $n = 0.03$ ^[9]; D —粘结面渗水平均高度,本次试验取150 mm; μ —水流运动粘滞系数,在水温10℃时,取 $\mu = 0.0131 \text{ cm/s}$; P —渗水时水压力; g —重力加速度; ρ —水质量密度; T —试验压水时间。

取六个冷缝试样渗水时的平均水压力为0.7 MPa,达到该水压力的试验压水时间取48 h,两个热缝试样渗水时的平均水压力为0.95 MPa,相应的试验压水时间取72 h,粘结面渗水平均高

度取150 mm,代入上式,求得冷缝粘结面的平均渗透系数和热缝粘结面分别为 $2.087 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ 和 $1.025 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$,该渗透系数基本在层流渗流范围内,与假定基本相符合;而且由渗透系数也可知冷缝粘结面的渗透性大于热缝粘结面的渗透性。应当指出,堆石混凝土粘结面处块石的大小、形状、分布等都具有随机性,假定粘结面的渗流为层流有一定的近似性,上述平均渗透系数值仅作为参考。关于堆石混凝土粘结面的抗渗特性,还有待更深入的研究。

4 结论

1) 冻融循环作用下,冷缝粘结面的劈裂抗拉强度低于热缝粘结面处的相应强度,且强度损失率也较热缝处大,表明冷缝粘结面的抗冻性能总体弱于热缝粘结面的抗冻性能。

2) 堆石混凝土的渗水主要发生在施工冷缝处的粘结面上,该粘结面是其渗水的主要通道,其渗透性大于施工热缝处的渗透性。

3) 假定堆石混凝土粘结面渗流为层流,计算出了堆石混凝土粘结面的平均渗透系数。

该渗透系数基本在层流渗流范围内,与假定基本相符合;而且由渗透系数也可知冷缝粘结面的渗透性大于热缝粘结面的渗透性。

参考文献:

- [1] 金峰,安雪晖.堆石混凝土大坝施工方法:中国, ZL03102674.5[P]. 2004-08-18.
- [2] 安雪晖,金峰,石建军.自密实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.自密实混凝土充填堆石体的试验[J].南华大学学报(自然科学版),2005,19(1):38-41.
- [4] 金峰,安雪晖,张楚汉.北京军区联勤部堆石混凝土蓄水库初步设计报告[R].北京:清华大学河川枢纽研究所,2005.
- [5] 任旭华,李浩钧,夏颂佑,等.碾压混凝土坝的渗流特性和渗流控制[J].水利发电,2000(3):22-25.
- [6] 中国建筑科学研究院. GBJ82-85普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [7] 速宝玉,詹美礼,赵坚.光滑裂隙水流模型实验及其机理初探[J].水利学报,1994(5):19-24.
- [8] 李平先.新老混凝土粘结面抗冻和抗渗性能试验研究[D].大连:大连理工大学,2004.
- [9] DL/T 5150-2001水工混凝土试验规程[S].北京:中国电力出版社,2002.