

混凝土试件楔入劈拉试验及损伤参数研究

高立广

(徐州市交通局公路管理处,江苏 徐州 221000)

摘 要:通过3组不同初始裂缝长度的混凝土双支承楔入劈拉试验,运用断裂力学和损伤力学的理论研究了初始裂缝长度对断裂破坏及损伤参数的影响。根据试验测试过程及计算结果分析,证明非均匀应力场下测试损伤参数是可行的,而初始裂缝长度对材料损伤参数有一定影响,表现为初始裂缝越长损伤参数也越大。测试结果同时说明,对混凝土构件中已开展裂缝的观测,其观测仪器宜布置在裂缝尖端并重视其应变突变值的捕获和分析。

关键词:楔入劈拉;混凝土;损伤参数;裂缝长度

Title:Research on damage parameters of concrete by wedge splitting tensile test//by GAO Li-guang// Xuzhou Highway Administration Office

Abstract: By wedge splitting tensile tests of pairs supporting for three group concrete specimens with different initial crack lengths, combined with fracture mechanics and damage mechanics theory, the influence of initial concrete crack lengths on concrete fracture and damage parameters was studied. According to test and calculation results, the damage parameters obtained in non-uniform stress field test were feasible, and the initial crack lengths had some influence on damage parameters, that was longer crack meant greater damage parameter. To crack observation, it was suggested that the monitoring instruments should be set at the crack ends, and strain mutations should be stressed and analysed.

Key words: wedge splitting tensile; concrete; damage parameters; crack length

中图分类号: TV315;O346.5

文献标识码:A

文章编号:1671-1092(2010)02-0051-02

混凝土是交通、土木、水工等建筑物的主要材料之一,它是一种多相颗粒复合材料,在浇筑成型过程中将不可避免存在各种缺陷,而混凝土中的相界面是较薄弱处,易发生界面裂纹。虽然这些缺陷和微细裂纹是不连续且随机的,但当混凝土在荷载、温变、化学等各种外界因素作用下,不仅原有的这些裂纹和缺陷会发展,而且还将出现一些新的微裂纹,再经微裂纹的汇集、连通过程而导致出现宏观裂缝。在外界因素作用下,上述过程持续发生并有可能引起宏观裂缝的失稳扩展,从而危及混凝土结构的安全运行^[1]。另一方面,虽然混凝土结构体形特征和受力情况比较复杂,其破坏原因也是多元的,但破坏总是经历裂缝萌生和裂缝扩展的过程。在混凝土研究中,应用损伤的概念和理论是一种有力的手段和一条新途径^[2]。

用损伤理论分析材料受力后的力学状态时,首先要选择恰当的损伤变量以描述材料损伤状态。由于材料损伤引起材料微观结构和某些宏观物理性能的变化,因此可以从微观和宏观两方面选择度量损伤的基准。微观方面,可以选用空隙的数目、长度、面积和体积;宏观方面,可以选用弹性系数、屈

服应力、拉伸强度、伸长率、密度、电阻、超声波速等。在对混凝土的研究中,很多专家基于应变等价原理、用弹性模量的变化来度量,而通过试验测定混凝土试件弹性模量的改变进而计算确定试件的损伤度是试验测试混凝土材料损伤参数的有效手段之一^[2,3]。考虑到混凝土构件的主要服务形式和受力特征,采用有支承体系的劈裂拉伸试验最能贴切地重现混凝土受拉破坏过程。

1 混凝土试件楔入劈拉试验

所有试件采用同一配合比,即水泥:砂:碎石=1:1.5:2.5,水灰比为0.4。水泥为425号普通硅酸盐水泥;碎石为一级配石灰岩碎石,最大骨料粒径为20mm;砂为普通建筑中砂。试模采用钢模,试模净尺寸为200mm×200mm×200mm。初始裂缝用厚度为2mm的薄钢板(其前端磨出不大于15°的尖角)预制,薄钢板平面尺寸有3种,分别为80mm×200mm、100mm×200mm和120mm×200mm。相应试件分3组浇筑,分别采用上述3种尺寸薄钢板预制初始裂缝,每组有效试件3个。试件浇筑后,待混凝土初凝

后约 3 h 取出预制裂缝的钢板, 24 h 后拆模并送入标准养护室, 28 d 后取出直接送至实验室进行试验。

试验在 200 kN 电子万能试验机上进行, 如图 1 所示。试验选择单支座还是双支座更为有利, 国内外说法不一, 目前, 我国进行混凝土楔入劈拉试验时多采用双支承形式, 而国外大多采用单支承形式。根据文献[4]、[5]的成果, 楔入劈拉试验采用双支承形式较好, 因此本次试验选择双支承形式。力的加载由计算机控制, 采用位移控制进行分级加载, 荷载和位移分别由直接与计算机相连的力传感器和位移传感器量测。为了测试受损区材料弹性模量的改变, 进而计算试件损伤参数, 在试件韧带区预制贯穿裂缝两侧距离预制裂缝尖端 1 cm、3 cm、5 cm 处对称贴有 3 个与电阻应变仪(DH3817)连接的 5 cm 长电阻应变片。左右两面各贴 3 个, 垂直于预制裂缝的延长线方向布置, 同组试件的试验连续完成。

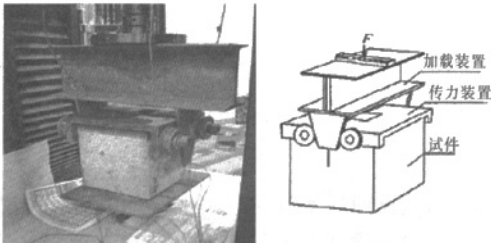


图 1 混凝土试件楔入劈拉试验装置图

Fig. 1 Equipment of the concrete wedge splitting tensile test

2 试验测试结果及计算

试验施加的力竖直向下, 因此根据加载楔形体受力分析(见图 2)和力学平衡条件, 得到:

$$p = 2 \times p_v \times \sin 15^\circ \quad (1)$$

$$p_h = p_v \times \cos 15^\circ \quad (2)$$

即 $p_h = p / 2 \tan 15^\circ \quad (3)$

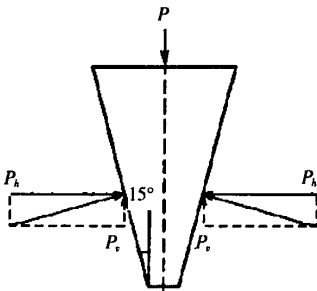


图 2 加载楔形体的受力分析

Fig. 2 Force analysis of the wedge

根据材料力学拉弯组合变形应力公式得:

$$\sigma = \frac{P_h}{A} + \frac{12M_H y}{bh^3} \quad (4)$$

式中: b 为试件厚度(m); h 为试件高度与预制裂缝长度之差(m); y 为应变片到中性轴的距离(m); A 为韧带区域面积(m^2); M_H 是 P_h 产生的弯矩($kN \cdot m$)。

根据测试及计算结果, 绘出应力-应变曲线, 由应力-应变曲线的线性阶段计算弹性模量 E , 由曲线峰值点计算峰值应力对应的受损弹性模量 \bar{E} , 而曲线峰值点对应的损伤度即为峰值应力对应的损伤值 D_f 。 D_f 由下式确定:

$$D_f = 1 - \bar{E}/E \quad (5)$$

3 试验测试结果分析

按前述测试流程和计算方法, 本文进行了不同初始缝长的混凝土试件在失稳断裂前断裂过程区损伤发展情况的观测, 获得如下结论。

(1) 混凝土在裂缝近端受到拉力产生破坏时, 裂缝的远端不会产生破坏。

表 1 为预制裂缝长度为 10 cm 试件的各应变片测试结果。从表 1 可以看出, 当加载到 3.0 kN 时, 距离预制裂缝尖端 1 cm 和 3 cm 处都已产生了较大应变, 而 5 cm 处几乎没有明显的拉应变产生。这表明 5 cm 处应变片在加载过程中并没有受到明显的拉伸变形, 直至试件加载至接近荷载峰值时, 它的拉应变才开始较明显增大, 表明混凝土在裂缝上端受到拉力甚至产生很大应变的时候, 对裂缝稍远的地方产生的应力影响较小。

表 1 预制缝长 10 cm 试件应变测试结果(拉为正)

Table 1: Strain of the concrete specimens with initial cracks of 10 cm long

荷载/kN	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
1 cm 处应变/ $\mu\epsilon$	10	23	34	51	79	191
3 cm 处应变/ $\mu\epsilon$	2	9	11	16	24	63
5 cm 处应变/ $\mu\epsilon$	-5	-1	-3	-1	3	26

(2) 3 组试件测试及计算结果如表 2 所示。

根据测试及计算结果(表 2)可以看出, 距离预制裂缝尖端越近, 峰值应力对应的损伤值也越大, 这表明距离预制裂缝越近的区域, 试件破坏过程中损伤程度越明显。

(下转第 56 页)

或锥探灌浆法。虽然水库大坝的危害蚁路分布广，但蚁洞孔小，帷幕式或锥探式灌浆法很难充填蚁巢，且工程投资成本高，防治白蚁效率低。蚁巢定位灌浆法是一项新科学预防大坝白蚁的措施，预防期长，投入成本低，能减小劳动强度，降低蚁患风险。

(3)“化学土壤屏障法”预防白蚁实例比较。1999年7月，随州市水利局水利工程白蚁防治站在马鞍山(中型)水库桩号0+210~0+310 m白蚁危害严重的部位试验，采用48%“乐斯本”灭蚁乳油，在坝坡浅土层喷洒和蚁洞灌浆，通过施药后9年的白蚁普查，该断面未发现有白蚁活动。同时在主坝左侧，大坝桩号0+110~0+170 m用其他方式施药的断面，多次发现有土栖白蚁活动。据多年跟踪观察，该库“化学土壤屏障法”既能毒杀白蚁，又能预

防白蚁，且时间长，还有驱赶作用，邻近的白蚁总是避而远之，至今未发现有白蚁向施药区蔓延。 ■

参考文献:

[1]王甫钊,敖仕州.试论堤坝白蚁点巢定位灌浆止漏[J].中国减灾,1999(1).
 [2]严国璋,李俊辉.堤坝白蚁及其防治[M].湖北科学技术出版社,2001.
 [3]李耀华,王甫钊.土坝白蚁漏洞抢护及灌浆止漏[J].中国水利,2003,5(B).

收稿日期:2009-12-16

作者简介:王甫钊(1955-),男,汉族,湖北省随州市人,大学本科,现任随州市水利局水利科学技术推广中心高级工程师,长期从事水库堤坝白蚁防治技术研究。



(上接第52页)

表2 各混凝土试件的 \bar{E} 、 E 以及 D_f
 Table 2: \bar{E} , E and D_f of the concrete specimens

试件		受损弹性模量 E /GPA	弹性模量 \bar{E} /GPA	损伤值 D_f
缝长 8 cm 试件	1 cm	21.12	33.12	0.36
	3 cm	25.02		0.24
缝长 10 cm 试件	1 cm	21.45	36.18	0.41
	3 cm	28.88		0.20
缝长 12 cm 试件	1 cm	21.60	39.39	0.45
	3 cm	30.83		0.20

(3)根据表2中3组不同预制缝长试件距裂缝尖端较近的(1 cm处)应变测试及损伤值 D_f 计算结果可看出,随着预制裂缝长度增加,峰值应力对应的损伤值 D_f 也有较为明显的增大,但距离预制裂缝尖端较远的应变测试及损伤值 D_f 计算结果则没有这个趋势。这说明在非均匀应力场中,峰值应力对应的损伤值 D_f 与应力场的应力梯度有关,初始(预制)裂缝较小的构件,在出现裂缝延展破坏的过程中,沿裂缝开裂方向应力的分布存在明显的不均。

4 结 语

混凝土损伤试验是混凝土损伤研究的基础,也是损伤测试的重要手段。本文通过3组不同初始裂缝长度的混凝土试件楔入劈拉试验,测定了非均匀

应力场下混凝土材料峰值应力对应的损伤值 D_f 。根据试验测试及计算结果,得出非均匀应力场下测试损伤参数是可行的,距离预制裂缝越近的区域,试件破坏过程中损伤程度越明显。另外,从测试结果看,初始裂缝长度对损伤参数有一定影响,但较集中地反映在离裂缝尖端较近位置处,因此,在实际工程构件已开展裂缝位置的观测仪器布设时,将裂缝计安置在靠近裂缝尖端位置较为适宜,而裂缝观测时,靠近受拉致裂区的仪器所捕获的应变突变数据需特别重视。 ■

参考文献:

[1]徐道远,符晓陵,计家荣,等.拱坝破坏机理及损伤-断裂分析方法[C].高拱坝学术讨论会论文集.北京:国家自然科学基金委员会工程与材料科学部,1996:208-217.
 [2]余天庆,钱济成.损伤理论及其应用[M].北京:国防工业出版社,1998.
 [3]邱玲,徐道远,朱为玄.混凝土压缩时初始损伤及损伤演变的试验研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2001(6):1061-1065.
 [4]徐世焯,赵燕华,吴智敏,等.楔入劈拉法研究混凝土断裂能[J].水力发电学报,2003(4):15-22.
 [5]黄闽莉,王向东,曹亮.支承形式对楔入劈拉试件断裂韧度 K_{Ic} 的影响[J].河海大学学报,2006(4):435-439.

收稿日期:2010-01-21

作者简介:高立广(1972-),男,江苏徐州人,工程师,从事工程设计和工程管理工作。