

数字图像处理技术在混凝土研究中的应用^{*}

王宝庭 徐道远

宋玉普

(河海大学土木工程学院 南京 210098) (大连理工大学土木系 大连 116024)

摘 要 利用数字图像处理技术,对破坏后的混凝土截面进行了统计研究,得到了断裂面的统计特征,分析了强度与骨料断裂比例的相关关系,有助于对断裂机理的进一步了解.从三维级配分布得出二维级配分布,为二维数值分析混凝土的性能提供前提.

关键词 数字图像处理 破坏截面 级配曲线

中图号 TP399 ;TU502

随着功能强大的微型计算机的普及和数字视频技术的提高,数字图像处理技术(DIP)得到迅速发展,并不断开拓新的应用领域.该技术在混凝土研究中的应用也逐渐出现.

数字图像处理技术就是把获取的图片、景象等数字化成像素图像,然后进行处理,以期得到有用的信息.近年来,该技术被应用到医学、生物学、地理学、制造业、材料科学等各个领域.在土木工程中被用来研究混凝土的微观结构,检测道路铺装裂纹,测量结构变形等.它将大幅度提高人们处理问题的能力.

本文利用计算机图像识别和图像处理技术,对大连理工大学土木系结构室进行的全级配混凝土本构行为研究中的试件破坏截面进行了处理,得到了试件破坏截面的各种统计参数,为进一步分析研究混凝土的断裂机理打下基础.

1 计算机图像识别与图像处理方法

为进行计算机图像处理,本研究采用了以下设备:一架普通的照相机、三角架、高分辨率摄像镜头、计算机图像处理卡及其软件.首先用照相机拍摄破坏后的试件截面的黑白照片,然后将照片作为一幅图像,通过高分辨率摄像镜头,摄入计算机内,以图片形式保存起来(图 1).

对摄取到计算机内的图片,计算机可将其根据灰暗程度分成 256 个级别加以区分,即将灰度级别分成 256 个“阈值”.本研究中,只需将骨料与硬化水泥浆基体区分开,因此只需分成两个灰度级别,将骨料与硬化水泥浆基体区分开来即可.但破坏后的某些骨料与硬化水泥浆基体颜色灰暗程度相近,在选择临界阈值上是困难的,特别是阈值的选取是对整幅图像进行的.为此,本研究中将骨料全部用黑色墨汁涂黑,这样骨料与硬化水泥浆体灰暗度相差悬殊,只需大致选择一个阈值,即可将二者区分开来.图 2a 为一混凝土截面照片,图 2b 为经计算机区分(“二值化”处理)后的图像.

为了得出截面上骨料断裂的比率及其它统计性能,对同一破坏截面作两次处理.第一次先将拉断的骨料表面涂黑(对于大多数碳酸钙骨料拉断表面,由于颜色较黑,不处理也可),摄入计算机内.然后,将所有骨料表面涂黑(包括沿界面脱离部分),再一次摄入计算机内.这样,就能反映出骨料分布及骨料断裂情况.图 3 即为图 2 所示截面的拉断骨料分布.

计算机图像处理是将一幅图像分成 512×512 个像素点进行的,将同一灰度级的像素点数相加即得面

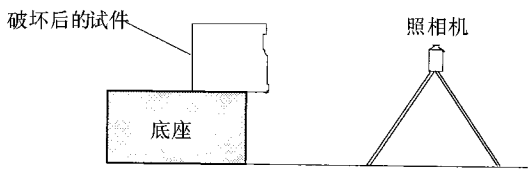


图 1 图像的摄取方法

Fig.1 Image taking-in method

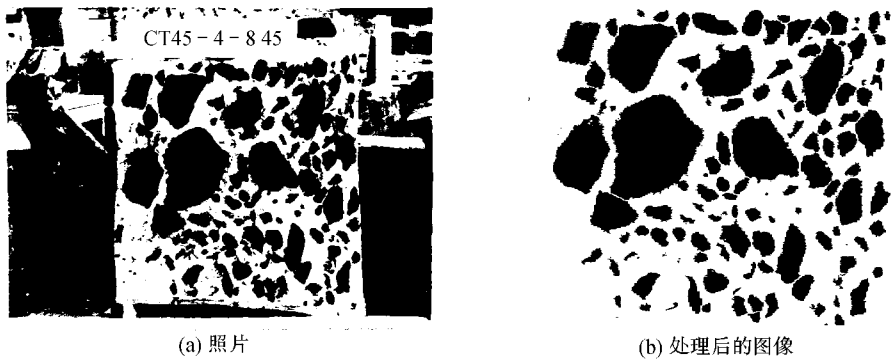


图 2 某混凝土截面

Fig.2 The section of concrete specimen

积,也可根据周围情况将骨料区分开来,算出每个骨料的面积及几何形状.

2 骨料拉断比率的统计研究

本文对单轴拉及双轴拉压状态下的混凝土试件破坏后的状态进行了处理研究,由图像处理技术得到的骨料断裂比率(骨料断裂面积与试件横截面积之比)及强度的实验结果如表 1、表 2 所示.

从表 1 可以看出,混凝土的抗拉强度随骨料拉断比率的升高而增大.对表中数据进行线性回归,得到图 4 所示的相关关系.回归直线为

$$y = 0.061 + 0.120x \tag{1}$$

相关系数为 0.95.可见,该混凝土试件的抗拉强度与骨料拉断比率的线性相关性很好.



图 3 拉断骨料分布

Fig.3 Distribution of fractured aggregate

表 1 混凝土的单轴抗拉强度

Table 1 Uniaxial tensile strength of concrete			
级配与 试件大小	试件编号	破坏强度 /MPa	骨料拉断比率 /%
全级配 大试件	T4-45-120-1	0.99	6.13
	T4-45-120-2	1.42	12.08
	T4-45-120-3	1.46	15.65
	T4-45-120-4	0.72	5.45
湿筛二级配 大试件	T2-45-120-1	1.40	12.59
	T2-45-120-2	1.21	10.68
	T2-45-120-3	1.12	10.59
	T2-45-120-4	1.51	15.11
湿筛二级配 小试件	T2-15-30-1	2.31	18.84
	T2-15-30-2	1.75	15.78
	T2-15-30-3	1.48	13.68
	T2-15-30-4	1.22	12.10
	T2-15-30-5	2.40	19.67
	T2-15-30-6	1.89	16.34

表 2 混凝土大试件双轴拉压试验结果及断裂比率

Table 2 Biaxial tensile compression test results and fracture ratio					
试件编号	设计双轴应力比		实测最大应力/MPa		骨料断裂比率 /%
	R_1	R_2	σ_{1p}	σ_{2p}	
CT4-45-11	0.05	-1	0.37	-7.42	10.75
CT4-45-12	0.05	-1	0.29	-6.06	8.46
CT4-45-13	0.05	-1	0.25	-5.56	6.45
CT4-45-15	0.05	-1	0.44	-9.09	13.16
CT4-45-1	0.10	-1	0.62	-6.54	9.01
CT4-45-2	0.10	-1	0.52	-5.56	7.56
CT4-45-3	0.10	-1	0.54	-5.81	10.14
CT4-45-4	0.15	-1	0.68	-5.55	8.10
CT4-45-5	0.20	-1	0.78	-3.99	6.94
CT4-45-6	0.20	-1	0.74	-3.79	5.65
CT4-45-9	0.20	-1	0.79	-5.04	8.53
CT4-45-7	0.35	-1	0.84	-2.47	6.31
CT4-45-8	0.35	-1	0.69	-2.02	6.41
CT4-45-10	0.35	-1	0.73	-2.20	5.61
CT4-45-14	0.35	-1	0.54	-1.54	5.25

为了找出双轴拉压强度与骨料断裂比率的相关关系,本文采用这样一种等效强度表达: $\sigma_e = \sqrt{\sigma_{1p}^2 + \sigma_{2p}^2}$, 将表 2 的双轴拉压强度转化为等效强度. 图 5 为线性回归关系图,回归直线为

$$y = 1.55 + 0.81x \tag{2}$$

相关系数为 0.878.

以上结果显示,无论是抗拉强度还是双轴等效强度,都随骨料断裂比率的升高而增强,即骨料与硬化水

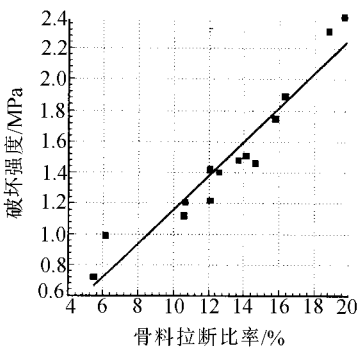


图4 混凝土试件的抗拉强度与骨料拉断比率的关系及回归直线

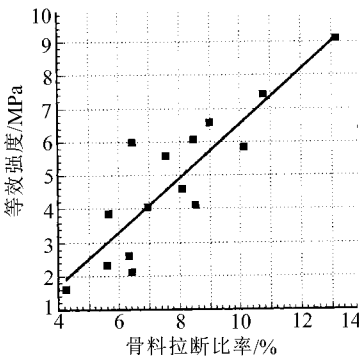


图5 等效强度与骨料拉断比率的关系及回归直线

Fig.4 Relation between strength and fractured aggregate ratio as well as regressive line

Fig.5 Relation between equivalent strength and fractured aggregate ratio as well as regressive line

泥砂浆的粘结面是混凝土的薄弱环节,该结果与通常人们对混凝土断裂机理的理解是一致的。

3 粒径分布的研究

对混凝土用骨料的定义为:全部通过 10 mm 筛、85% 以上的量通过 5 mm 筛的骨料称为细骨料,85% 以上的量遗留在 5 mm 筛上的骨料称为粗骨料。

粗骨料按种类分为卵石、碎石、破碎卵石、卵石与碎石的混合石。按粒径分为小石(5 ~ 20 mm)、中石(20 ~ 40 mm)、大石(40 ~ 80 mm)、特大石(80 ~ 150 mm)。它们依次称为一、二、三、四级配。当在混凝土配比中包含这四种级配时,称为全级配混凝土。按照常规,把只包含一、二级配的混凝土称为小骨料混凝土,把只包含三、四级配的混凝土称为大骨料混凝土。本文实验所用的混凝土配合比如表 3 所示。

表3 实验所用全级配混凝土配合比

Table 3 Mixture ratio of fully-graded concrete

配合比 (水泥:砂:石:水)	每立方米材料用量/kg				减水剂 /%	水灰比	坍落度 /cm
	水泥	砂	石	水			
1:3.68:9.17:0.70	167	614	1532	117	0.5	0.70	3

对于卵石和砾石等球状或浑圆状的骨料,为简化起见,假定骨料颗粒为球状,其横截面颗粒直径可借助于富勒(Fuller)抛物线确定,这个曲线代表了骨料颗粒的级配。由该级配浇筑的混凝土可产生优化的结构密度和强度^[1]。

富勒(Fuller)抛物线为

$$Y = 100(D/D_{\max})^{1/2}$$

(3)

式中:Y——通过直径为 D 筛孔的骨料的质量分数;D_{max}——最大的骨料颗粒直径。

对于富勒抛物线,直径为 D 的骨料数量的累积频率分布为

$$F(D) = \frac{1/D_0^2 D_0^{1/2} - 1/D^2 D^{1/2}}{1/D_0^2 D_0^{1/2} - 1/D_{\max}^2 D_{\max}^{1/2}}$$

(4)

这里 D₀ 为最小的骨料直径。

上述富勒曲线是骨料在混凝土体中的空间级配曲线,而目前的数值分析主要是在二维平面,因此需要从三级级配曲线(混凝土体积中的球)中确定二维级配曲线(混凝土试件截面上的圆),文献[2]给出了富勒曲线的转换公式为

$$P_2[d > D] = 100 \times (1 + \frac{1}{2}\epsilon^2)(1 - \epsilon^2)^{1/2} - \int_{\epsilon}^1 f(\epsilon_*) W(\epsilon, \epsilon_*) d\epsilon_*$$

(5)

其中

$$\epsilon = D/D_{\max} \qquad W(\epsilon, \epsilon_*) = \frac{3}{2} \left(\frac{\epsilon^4}{\epsilon_*^4} \right) \frac{1}{(\epsilon_*^2 - \epsilon^2)^{1/2}}$$

式中:P₂[d > D]——二维级配曲线;ε——无量纲化粒径,本文分别取:ε₀ = 0,ε₁ = 2/15,ε₂ = 4/15,ε₃ = 8/15,ε₄ = 1,ε* = D*/D_{max},ε*为无量纲积分变量;f(ε*)——三级级配曲线,亦即通过直径为 D 的筛孔的骨料的质量分数。

本文用图像处理技术对截面上的级配进行了研究,由于骨料颗粒并非都是圆形,因此,采用一种‘等效粒径’加以表示,即

$$D_{\text{等效粒径}} = 2 \sqrt{S_{\text{骨料面积}}/\pi}$$

(6)

骨料颗粒的面积可以通过像素的累加得到,再利用式(6)就可以求得骨料颗粒的等效粒径.对 20 个试件截面进行了统计,其平均的级配曲线如图 6 所示.从图 6 可以看出,本研究的级配也可以用式(5)转换.

4 小 结

本文以数字图像处理技术作为新的工具,对破坏后的混凝土截面进行了统计研究,这对于进一步的混凝土特性研究具有一定的意义.相信随着数字图像处理技术的发展,缺陷的分布、扩展等都可以得到定量的跟踪与处理,为把握混凝土的性能提供新的手段.

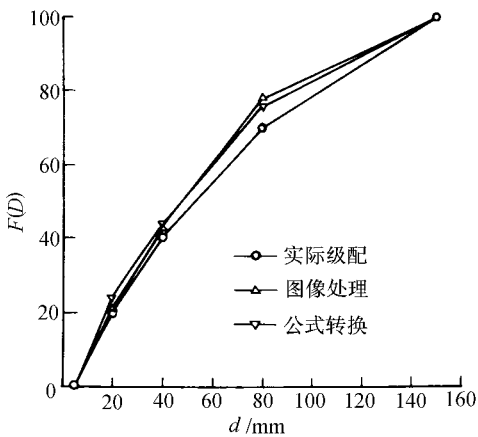


图 6 二维级配曲线与三维级配曲线
Fig.6 2-dimensional grading curve
and 3-dimensional grading curve

参 考 文 献

1 Walraven J C, Reinhardt H W. Theory and experiments on the mechanical behaviour of cracks in plain and reinforced concrete subjected to shear loading. HERON, 1981, 26(1A) :1 ~ 80

2 Schutter G DE, Taerwe L. Random particle model for concrete based on Delaunay triangulation. Materials and Structures, 1993, 26 :67 ~ 73

3 Li L, Chan P, Zollinger D G, Lytton R L. Quantitative analysis of aggregate shape based on fractals. A C I Materials Journal, 1993, 90 (4) 357 ~ 365

4 Yue Z Q, Morin I. Digital image processing for aggregate orientation in asphalt concrete mixtures. Can J Civ Eng, 1996, 23 :480 ~ 489

5 Barrioulet M, Saada R, Ringot E. A quantitative structural study of fresh cement paste by image analysis—part 1 : image processing. Cement and Concrete Research, 1991,21 835 ~ 843

Application of Digital Image Processing Technique to Concrete Research

Wang Baoting Xu Daoyuan

(College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098)

Song Yupu

(Department of Civil Engineering, Dalian Univ. of Technology, Dalian 116024)

Abstract The digital image processing technique is used in this paper to process the specimen cross section, to obtain the statistical characters of the damaged section and to analyse the dependency relation between strength and the aggregate fracture ratio. This approach is helpfull to obtain further comprehension of damage mechanisms. 2-dimensional grading curves are derived from 3-dimensional grading curves. This makes it possible to numerically calculate the performance of concrete in two dimensions.

Key words digital image processing ; fracture section ; grading curve