

文章编号:1671-6833(2003)03-0033-04

# 粗骨料粒径对新老混凝土粘结断裂韧度的影响

韩菊红<sup>1</sup>, 温新丽<sup>2</sup>

(1. 郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002; 2. 华北水利水电学院水利系, 河南 郑州 450045)

**摘要:** 根据新老混凝土粘结断裂试验结果, 分析了粗骨料粒径对新老混凝土粘结断裂韧度的影响机理, 并用分形理论对影响机理进行了验证. 结果表明: 新混凝土粗骨料最大粒径对粘结断裂韧度的影响不是独立的, 而与老混凝土粘结面粗糙度处理程度有密切关系. 在相同粗糙度下, 粗骨料最大粒径对粘结断裂韧度的影响无显性表现.

**关键词:** 新老混凝土; 粗骨料粒径; 粘结断裂韧度; 分形理论

**中图分类号:** TU 371 **文献标识码:** A

## 0 引言

自1961年Kaplan首次把断裂力学理论应用于混凝土材料以来, 混凝土断裂力学已成为一个新的力学分支. 关于粗骨料粒径对混凝土断裂韧度的影响已有一定的研究: 文献[1, 2]的试验结果表明, 当粗骨料最大粒径 $D_{\max} \leq 40$  mm时, 断裂韧度 $K_{\text{Ic}}$ , 断裂能 $G_F$ 随骨料粒径的增大而增大, 当粗骨料最大粒径 $D_{\max} > 40$  mm时,  $K_{\text{Ic}}$ ,  $G_F$ 随骨料粒径的增大而减小; 文献[3]的试验结果表明, 当粗骨料最大粒径 $D_{\max} \leq 40$  mm时, 断裂韧度 $K_{\text{Ic}}$ 随骨料粒径的增大而增大, 但趋于稳定.

在新老混凝土粘结补强加固工程中, 新老混凝土粘结面作为结构的最薄弱面, 其上的微裂缝发展及失稳已成为结构安全性和耐久性的控制参数. 用混凝土断裂力学理论和试验方法来研究新老混凝土粘结面的粘结机理和稳定判据, 已成为土木工程界的迫切需要.

在进行新老混凝土粘结面的粘结机理和稳定判据研究时, 粗骨料粒径对新老混凝土粘结断裂韧度的影响规律是人们关注的重点之一.

本文根据新老混凝土粘结断裂试验结果, 分析了粗骨料粒径对新老混凝土粘结断裂韧度的影响机理, 并用分形理论对影响机理进行了验证.

## 1 试验结果简介

在混凝土强度等级为C30(老混凝土)/C35

(新混凝土)、水泥净浆界面剂、灌砂平均深度 $\Delta = 11 \sim 13$  mm粗糙度、粗骨料均为石英岩碎石、同一试件中新老混凝土的粗骨料最大粒径相等等试验条件下, 粗骨料最大粒径分别取 $D_{\max} = 10, 20, 30$  mm三种, 用带切口的三点弯曲梁进行新老混凝土粘结面断裂性能试验<sup>[4, 5]</sup>.

试验结果表明, 粗骨料粒径对新老混凝土粘结断裂韧度的影响规律如图1所示.

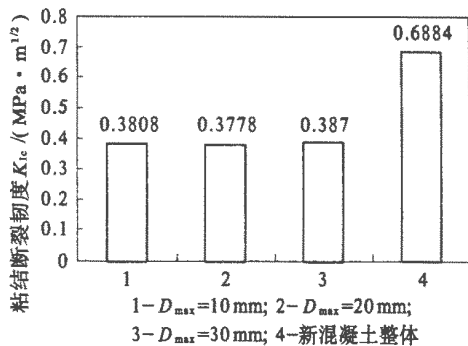


图1 粗骨料粒径对新老混凝土粘结断裂韧度的影响

Fig. 1 Influence of aggregate size on adhesive fracture toughness of new and old concrete

粘结断裂韧度随粗骨料最大粒径的不同而有所变化, 但变化的幅度较小, 只有2.4%左右. 由此可认为, 本试验条件下粗骨料最大粒径对新老混凝土粘结断裂韧度无显性影响.

## 2 粗骨料粒径对新老混凝土粘结断裂韧度的影响机理

粗骨料粒径对新老混凝土的粘结断裂韧度影

收稿日期: 2003-05-10; 修订日期: 2003-06-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(59778045); 郑州大学青年骨干教师基金资助项目

作者简介: 韩菊红(1964-), 女, 河南省温县人, 郑州大学副教授, 博士, 主要从事混凝土基本理论及耐久性研究.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

响规律应与对整体混凝土断裂韧度的影响一致:当粗骨料最大粒径较小时,混凝土粘结断裂韧度随粗骨料粒径的增大而提高;当粗骨料最大粒径较大时,混凝土粘结断裂韧度随粗骨料粒径的增大而降低;某些临界状态下,表现为混凝土粘结断裂韧度与粗骨料粒径的变化无明显关系.

本文试验中,粗骨料最大粒径范围是 10~30 mm,属于粗骨料粒径较小情况,混凝土粘结断裂韧度应随粗骨料粒径的增大而提高,但是试验结果却显示为混凝土粘结断裂韧度与粗骨料粒径的变化无明显关系.粗骨料最大粒径是否真的对混凝土粘结断裂韧度无影响,可从混凝土粘结破坏机理中分析得到.

如果把老混凝土看作特大粗骨料,新老混凝土的粘结过程也是一种由老混凝土和新的水泥、骨料等在水化反应下形成一种特定复合材料的物理化学过程.这种特殊的复合材料与一般混凝土材料一样,是一种含有大量微孔和微裂缝的复合材料.与一般混凝土材料不同的是,在特大粗骨料(老混凝土)与水泥浆的界面上微裂缝更加发育.因此无论老混凝土本身的粗骨料最大粒径如何,均对新老混凝土粘结断裂韧度无影响,只有老混凝土粘结面的整体尺寸对粘结性能有影响,且老混凝土粘结面的整体尺寸愈大,对粘结断裂韧度的降低程度也愈大.新混凝土粗骨料最大粒径的减小能减缓粘结面附近的不均匀收缩,对提高粘结断裂韧度有帮助.

同时,新混凝土粗骨料最大粒径对粘结断裂韧度的影响不是独立的,而与老混凝土粘结面粗糙度处理程度有密切关系.随着老混凝土粘结面凹凸程度的增大,新混凝土粗骨料向老混凝土内嵌入的越多,其粘结面的实际尺寸越大于粘结面的投影尺寸,裂缝沿粘结面破坏时的路径越长,从而可提高粘结断裂韧度.本试验条件下,对粗骨料最大粒径不同的混凝土,均采用同一的粗糙度,因而粗骨料最大粒径对粘结断裂韧度的影响表现出无明显不同.

### 3 粗骨料粒径对新老混凝土粘结断裂韧度影响的分形分析

#### 3.1 对整体混凝土断裂韧度影响的分形分析

在细观尺度上,可将混凝土看作是骨料和水

泥砂浆所组成的二相复合材料.研究结果表明<sup>[6,7]</sup>,混凝土的断裂面是极端不规则的,其断裂表面存在一定的分形特征.粗骨料粒径对混凝土主裂缝分形维数的影响如下<sup>[8]</sup>:

如图 2 所示, $b$  为贯穿主裂缝长度,令  $D_0$  为最小粗骨料粒径; $D_m$  为最大粗骨料粒径.按裂缝距边界的距离,将混凝土中的主裂缝分成三个区:

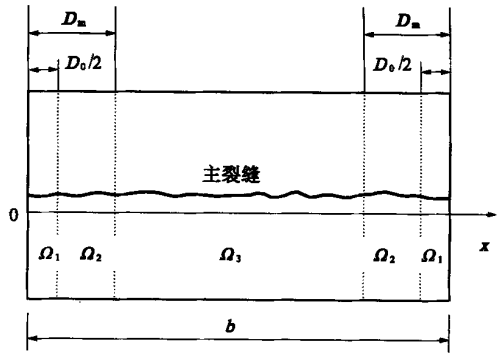


图 2 混凝土主裂缝分形区域图

Fig. 2 The fractal areas of main crack of concrete

(1) 均匀无骨料区  $\Omega_1$

$$\Omega[0 \leq x < D_0/2 \text{ 和 } (b - D_0/2) \leq x < b]$$

(2) 过渡区  $\Omega_2$

$$\Omega[D_0/2 \leq x < D_m \text{ 和 } (b - D_m) \leq x < (b - D_0/2)]$$

(3) 骨料均匀分布区  $\Omega_3$

$$\Omega[D_m \leq x < (b - D_m)]$$

则该主裂缝的分形维数为

$$D_f = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < D_0/2 \\ 1 + \alpha(x - D_0/2), & D_0/2 \leq x < D_m \\ D_c, & D_m \leq x < (b - D_m) \\ 1 - \alpha(x - b + D_0/2), & (b - D_m) \leq x < (b - D_0/2) \\ 1, & (b - D_0/2) \leq x < b \end{cases} \quad (1)$$

式中: $D_f$  为主裂缝的分形维数; $\alpha = (D_c - 1) / (D_m - D_0/2)$ ;  $D_c$  为骨料均匀分布区  $\Omega_3$  上的分形维数,由粗骨料最大粒径确定.

从上式可知,试件的主裂缝迹线分维值随粗骨料最大粒径的变化而变化,也即试件的断裂面积随粗骨料最大粒径的变化而变化.

对于常规意义上的混凝土名义断裂韧度,由于断裂面的面积只计入试件韧带部分的投影面积,而忽略了主裂缝迹线曲折扩展的分维值有利影响,因而得出了混凝土名义断裂韧度随粗骨料最大粒径变化而变化的结论.若在混凝土断裂切

度计算中,断裂面的面积采用试件韧带部分主裂缝迹线曲折扩展经过的实际面积,即采用主裂缝的分维值,则得出的混凝土真实断裂韧度将不随粗骨料最大粒径的变化而变化,而为混凝土材料的特性常数.

文献[7]的试验结果也表明,混凝土材料的真实断裂能几乎不随粗骨料粒径的变化而变化.

3.2 对新老混凝土粘结断裂韧度影响的分形分析

对于新老混凝土粘结试件,断裂破坏主裂缝不是沿水泥石与粗骨料的界面发生和扩展,而是沿新老混凝土粘结界面发生和扩展,如图3所示.

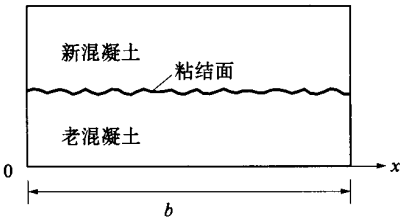


图3 新老混凝土粘结面主裂缝图

Fig.3 Main crack on the interface of adherence of new and old concrete

相应地,新老混凝土粘结面上的断裂主裂缝的分维值由粘结界面的粗糙度决定.当新老混凝土粘结面上的粗糙度均匀时,断裂主裂缝的分维值表达式(1)可简化为

$$D_f = D_c = D_r \tag{2}$$

式中: $D_f$ 为主裂缝的分形维数; $D_r$ 为粘结界面粗糙度的分形维数.

从上式可知,新老混凝土粘结试件的主裂缝迹线分维值等于粘结界面粗糙度的分形维数,也即试件的断裂面面积随粘结界面粗糙度的分形维数的变化而变化,而和粗骨料最大粒径几乎无关.

这样可得,新老混凝土名义粘结断裂韧度不随粗骨料最大粒径的变化而变化;新老混凝土真实粘结断裂韧度也不随粗骨料最大粒径的变化而变化.

研究结果已表明[9],新老混凝土粘结面粗糙度的分维值 $D_r$ 与粗糙度 $\Delta$ 的灌砂平均深度呈正相关关系,如图4所示.

由此可知,在本文试验条件下,对粗骨料最大粒径不同的混凝土,均采用同一的粗糙度,致使新老混凝土粘结面粗糙度的分维值 $D_r$ 相同,因而粗骨料最大粒径对粘结断裂韧度的影响无显性表现,这与试验结果相符.

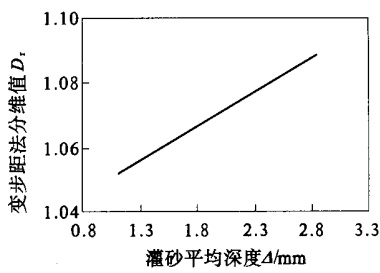


图4 粗糙度变步距法分维值与灌砂平均深度的关系

Fig.4 The relationship of sand-pouring average depth to the fractal dimension of interface roughness

4 结论

(1) 分析了粗骨料粒径对新老混凝土粘结断裂韧度的影响机理.分析表明,新混凝土粗骨料最大粒径对粘结断裂韧度的影响不是独立的,而与老混凝土粘结面粗糙度处理程度有密切关系.在相同粗糙度下,粗骨料最大粒径对粘结断裂韧度的影响无显性表现.

(2) 进行了粗骨料粒径对粘结断裂韧度影响的分形分析.分析表明,当粗糙度不变时,新老混凝土粘结断裂韧度不随粗骨料最大粒径的变化而变化.此分析结果与试验结果一致.

参考文献:

[1] 涂传林,陆忠明,牛焱州,等.大骨料全级配水工混凝土的断裂韧度[J].水利学报,1991,(2):55~59.

[2] 吴智敏.混凝土Ⅰ型裂缝静、动态断裂特性的试验研究[D].大连:大连理工大学,1993.86~99.

[3] KHRAPKOV A A.应用断裂力学研究水坝大体积混凝土建筑物的裂缝[J].岩石、混凝土断裂与强度,1983,(1):35~41.

[4] 韩菊红,赵国藩,张雷顺.新老混凝土粘结面断裂性能试验研究[J].土木工程学报,2003,(6):77~81.

[5] 韩菊红,牛苏萍,张启明.粗糙度对新老混凝土粘结性能的影响[J].郑州工业大学学报,2001,22(3):22~24.

[6] CARPINTERI A, CHIAI B, INVERNIZZI S. Three-dimensional fractal analysis of concrete fracture at the micro-level[J]. Theoretical and Analytical Fracture Mechanics, 1999, 31: 163~172.

[7] 严安,吴科如,姚武,等.混凝土材料的真实断裂能研究[J].建筑材料学报,2001,4(4):346~350.

[8] 郑建军,周欣竹.混凝土断裂能尺寸效应的细观方法[J].水利学报,2001,(10):54~57.

[9] 袁群,韩菊红,于跃海.混凝土粘结面粗糙度评价的功率谱法分维[J].工业建筑,2001,31(2):4~5.

**Influence of Aggregate Size on Adhesive Fracture Toughness  
of New and Old Concrete**

HAN Ju - hong <sup>1</sup>, WUN Xin - li <sup>2</sup>

( 1.College of Environmental & Hydraulic Engineering , Zhengzhou University , Zhengzhou 450002, China ; 2.Department of Hydraulic Engineering , North China Institute of Water Conservancy and Hydropower , Zhengzhou 450045, China)

**Abstract** : Based on the fracture test results of adherence of new and old concrete with the three point bending test method , the influence mechanism of aggregate size on adhesive fracture toughness of new and old concrete is discussed and analyzed , and it is validated by means of the fractal theory . The result shows that the influence of aggregate size on adhesive fracture toughness of new and old concrete is related to the interface roughness , and the aggregate size has little influence on the adhesive fracture toughness of new and old concrete when the interface roughness is constant .

**Key words** : new and old concrete ; the size of the aggregate ; adhesive fracture toughness ; interface roughness ; fractal theory

( 上接第 23 页)

**Monitoring and Analysis of Power Plant's Bus Voltages**

ZHOU Yong <sup>1</sup>, LEI Tian - you <sup>2</sup>, XIE Zhi - tang <sup>3</sup>

( 1.College of Electrical Engineering , Zhengzhou University , Zhengzhou 450002, China ; 2.Scientific Research Office , Zhengzhou University , Zhengzhou 450002, China ; 3.Department of Electrical Engineering , Hong Kong Polytechnic University , Hong Kong , China)

**Abstract** : In this paper the basic functions of the voltage monitoring device are introduced , and the system structure and software flows are illustrated . The device has been put into operation in Anyang Power Plant . According to the active power , reactive power and 220kV bus voltages collected from the device the main factors that influenced the voltage yield have been found out . And the obvious contribution has been made to the management of the power plant and the improvement of the voltage yield .

**Key words** : power plant ; voltage monitoring ; voltage yield