

# 老混凝土表面粗糙度的一种简单测定法

程红强，高丹盈，张启明

( 郑州大学环境与水利学院 ,河南 郑州 450002 )

摘 要 粗糙处理后的老混凝土表面具有分形特征 ,通过自制粗糙度测定仪 ,用简单分形方法评价老混凝土表面粗糙度 ,并与常规测试方法进行对比 .数据表明 ,分形维数  $D$  和平均灌砂深度  $\bar{h}$  二者回归线性良好 ,可以做为混凝土的粗糙度评价指标 .该测量仪操作简单、使用方便 ,适合实际加固工程中老混凝土表面粗糙度的测量 .

关键词 混凝土 ;粗糙度 ;分形

中图分类号 :TU 455 文献标识码 :A

## 0 引言

老混凝土表面处理方式及其程度是影响新老混凝土粘结性能的重要因素之一 ,直接关系到混凝土结构粘结补强加固效果<sup>[1,2]</sup>.对于各种不同的表面处理方式 ,一般用粗糙度来衡量处理后的混凝土表面状况 .老混凝土表面粗糙度包含了粘结面微观机理和基本信息 ,是混凝土微观结构以及其它复杂因素的一个综合反映 ,适当的粗糙度能够有效地提高混凝土的粘结质量 ,粗糙度过小作用不大 ,粗糙度过大反而达不到预期的粘结效果 .因此不论在试验研究还是实际工程中 ,粗糙度的定量描述对混凝土粘结问题都具有非常重要的意义<sup>[3]</sup>.

在新老混凝土粘结补强加固实践中常用的一些粗糙度评定方法均有各自的局限性 .混凝土是以水泥砂浆为基体、以骨料为加劲材料的复合材料 ,其表面经人为处理后部分砂浆脱落、骨料外露 ,加之混凝土在水化过程中出现大量微孔隙及微裂纹 ,表面形貌十分复杂 ,用传统的几何方法难以对其进行精确地描述 .研究表明 ,粗糙的混凝土表面具有几何统计自相似的特点 ,因此可以运用分形理论研究其表面状况<sup>[4,5]</sup>.本文结合新老混凝土粘结面试验研究 ,采用自制粗糙度测定装置 ,用简单分形方法来描述老混凝土表面粗糙度 ,该方法操作简单 ,测量快速 ,宜于实际工程中推广应用 .

## 1 常用混凝土粗糙度评定方法

目前国内外还没有相应的规范或规程来评价老混凝土表面粗糙度 .

### 1.1 灌砂法

用灌砂平均深度表示粘结面的粗糙度 .

$$\bar{h} = \frac{\text{标准砂体积 } V}{\text{老混凝土表面面积 } S}$$

该法简单易行 ,但无法精确描述粘结面的局部凹凸不均匀性 ,也无法用于非水平面构件的粗糙度测试 .测试后混凝土表面不易彻底清除残留砂子 ,还需水冲或其他方式清洁表面 ,且不适于大面积测量 ,因此该法不宜在工程应用中 .

### 1.2 触针法

把处理好的老混凝土表面沿任一边长方向分为  $n$  个纵截面 ,各纵截面的间距为  $a_i$  ;用测定仪的触针沿粘结面的一个纵截面前行 ,画出一条凹凸曲线 ,并通过该截面最高点画一条平行横截面的直线 ,此直线与曲线所围面积为  $A_i$  , $n$  个纵截面所围体积 , $V = \sum_{i=1}^n A_i a_i$  ,从而可得到用平均深度表示的粘结面的粗糙度 .该法不适用于大面积的粘结面测量 ,因为其触针在沿老混凝土表面画线时 ,要有一个相对基准点 ,实际工程中基准点不易准确 ,再者该法也不适用于非水平面测试 .

### 1.3 其它方法

欧洲标准建议用硅粉堆落法把粘结面粗糙度

收稿日期 2005 - 11 - 08 ;修订日期 2005 - 12 - 14

基金项目 河南省科技攻关资助项目( 0124150 )

作者简介 程红强 ( 1975 - ) ,男 ,湖北孝感人 ,郑州大学在读博士研究生 ,主要从事混凝土结构加固理论及应用研究 .

分为粗糙、轻度粗糙和光滑 3 种 ;另外 ,还有根据粘结界面上粗骨料外露的百分比 ,凭经验来观察评定粘结面粗糙程度的方法等 .这些方法给出的仅是粗糙度的一种定性评价 ,无法定量的描述混凝土粘结面的粗糙度 .

2 自制粗糙度量测仪简单分形法

2.1 自制粗糙度量测仪构造及组成

自制粗糙度量测仪由电子百分表、基座和固定件组成 ,它可以在待测的粘结面上滑动量测 ,百分表读数表示测点相对于基座的凹陷值 ,也可以相对于某一基准面测取各测点的凹陷值 .自制粗糙度量测仪联机测试如图 1 所示 .

此量测仪具有以下优点 :①它测的是待测点相对于周围一定范围的凹陷值 ,故能代表粘结面的真实粗糙度 ;②可人工读数也可实现电测 ,把测试信号联接计算机 ,实现数据自动采集与处理 ;③适合于非水平粘结面的测试且操作方便 ;④体积小 ,重量轻 ,造价低 ,操作方便 ,特别适合实际工程中应用 .

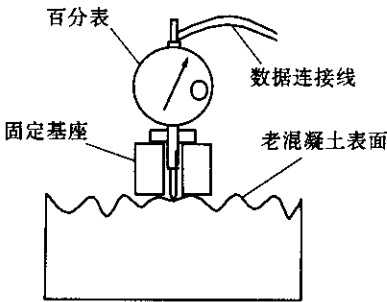


图 1 自制粗糙度测定仪示意图

Fig.1 Sketch of roughness measuring instrument

2.2 测量方法及分形表示

分形理论( fractal)由 Mandelbrot 于 1975 年提出 ,并于 1986 年给出自相似分形的定义 :局部与整体以某种方式相似的形为分形 .根据 Mandelbrot 所定义的分形 ,分形体或结构具有自相似的无穷嵌套结构 ,但在自然界的分形结构中 ,数学上的无穷嵌套结构是不存在的 ,仅存在有限层次上嵌套结构 ,因而 ,若某形体、结构或行为在所研究的有限层次上具有一种与标度无关的自相似或统计自相似特征 ,那么该形体、结构或行为可视为分形 ,即可采用分形的方法描述其数学物理特征<sup>[6]</sup> .

沿老混凝土某一断面  $n$  等分点 ,用自制粗糙度量测定仪测量各点相对周围基点凹陷值 ,如图 2 所示 .1 2 3 4 5 为相邻两测点间连线称为迹线 ,等分距离称为测量步长  $s$  .断面等分数  $n$  越大 ,也

即步长  $s$  越小 ,迹线愈趋近于老混凝土表面线 .当步长  $s$  无限小时 ,迹线与老混凝土表面线重合 ,可以反映老混凝土表面真实粗糙状况 .

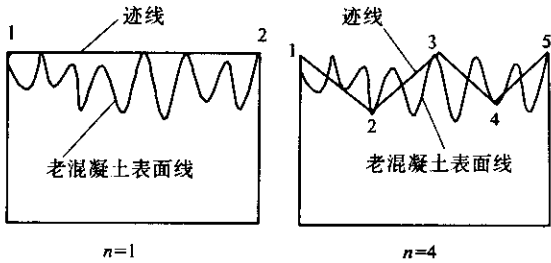


图 2 粗糙度测量示意图

Fig.2 Sketch of roughness measuring

选用不同的测量步长  $s$  ,测试出的迹线长度  $L(s)$  也不同 ,在双对数坐标下绘制曲线的斜率与分形维数有着密切关系 ,这样就可以由分形曲线的量测方法来测定其分形维数 .通常分形曲线的长度公式为<sup>[7]</sup>

$$L(s) = (\sum_{i=1}^n L_{i,i-1}) \propto (s)^{1-D}$$

式中 : $s$  为测量步长 ; $L_{i,i-1} = \sqrt{s^2 + (h_i - h_{i-1})^2}$  为测点  $i, i-1$  间迹线长 ; $h_i$  为测点  $i$  的观测值 ; $L(s)$  为总迹线长 ; $D$  为分形维数 .如图 2 中 ,当等分数  $n=1$  时 ,测量步长  $s=b$  , $L(s)=b$  , $b$  为老混凝土断面边长 ;当  $n=4$  时 , $s = \frac{b}{4}$  ,

$$L(s) = \sum_{i=1}^4 \sqrt{s^2 + (h_i - h_{i-1})^2}$$

3 测量结果及比较

在新老混凝土粘结性能试验研究中 ,对老混凝土表面采用人工刷毛、人工轻凿、人工深凿 3 种表面处理方式 ,试件表面尺寸 150 mm × 150 mm .对不同的表面先用自制粗糙度测定仪量测 ,每个试块取 5 个断面 ,每个断面等分数分别为  $n=1, 2, 4, 8, 16, 32$  ,根据断面各测点测量值回归该断面分形维数  $D$  ,取不同断面的分形维数  $D$  的平均值  $\bar{D}$  作为该试块表面的粗糙度特征值 .为对比 ,用灌砂法测量老混凝土表面平均灌砂深度 .

表 1 某断面粗糙度测定仪测量结果  
Tab.1 Result of roughness measuring by special instrument

$n$	$\ln(s)$	$\ln(L(s))$	$n$	$\ln(s)$	$\ln(L(s))$
1	5.011	5.011	8	2.931	5.043
2	4.317	5.011	16	2.238	5.087
4	3.624	5.015	32	1.545	5.112

图 3 为某断面分形维数  $D$  回归关系图,可以看出线性关系良好,满足分形特征,因此可以用分形维数  $D$  表征老混凝土表面粗糙状况.断面等分维数  $n$  较小( $n = 1, 2$ )时,由于测量步长  $s$  较大,导致误差较大,回归分形维数  $D$  时去掉测量步长较大的点,则可获得满意精度.图4为评价老混凝土

表面粗糙度的分形维数  $\bar{D}$  与平均灌砂深度  $\bar{h}$  相互关系图,二者回归线性关系良好,说明在一定范围类,分形维数  $\bar{D}$  与平均灌砂深度  $\bar{h}$  均可作为混凝土粗糙度评价指标.

4 结束语

老混凝土表面粗糙状况具有分形特征,用自制测量仪器,采用分形维数  $\bar{D}$  评价其粗糙度,具有操作简单,使用方便的优点,与灌砂平均深度相比,二者具有一定线性相关性,但此法评价结果更符合老混凝土表面实际粗糙状况,克服了灌砂法要求被测老混凝土表面均匀粗糙且不宜于大面积测量的局限,可作为实际混凝土修补加固工程中大面积混凝土表面粗糙度的测量.

参考文献:

[1] 赵国藩,赵志方,袁群,等.新老混凝土的粘结机理和测试方法研究[R].大连:大连理工大学,1997~1998.

[2] 赵志方,于跃海,赵国藩.测量新老混凝土粘结面粗糙度的方法[J].建筑结构,2000,30(1):26~29.

[3] 郭建军,张雷顺,蔺新艳.混凝土表面粗糙度评测新方法[J].工业建筑,2003,33(6):52~54.

[4] 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.

[5] 韩菊红,温新丽.粗骨料粒径对新老混凝土粘结断裂韧度的影响[J].郑州大学学报(工学版),2003,24(3):33~37.

[6] 董宇光,李慧剑,郝圣旺.混凝土剪切断裂能与分形维数关系的研究[J].试验力学,2003,18(4):466~472.

[7] 唐明,李晓.混凝土材料宏观结构形貌的分形解析[J].沈阳建筑工程学院学报(自然科学版),2004,20(1):46~49.

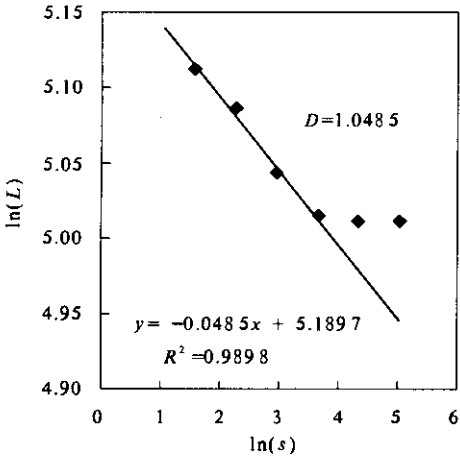


图 3 分形维数  $D$  回归关系图  
Fig. 3 Regression curve of  $D$

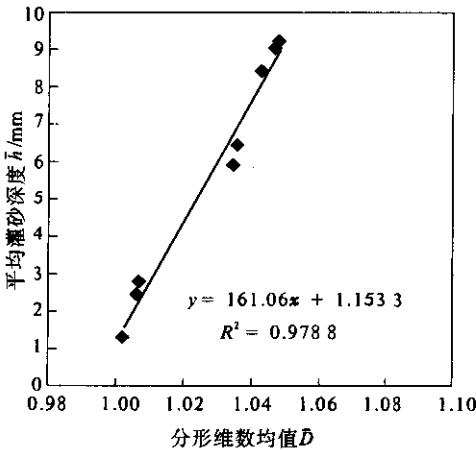


图 4  $\bar{D}$  与  $\bar{h}$  相互关系  
Fig.4 Relation between  $\bar{D}$  and  $\bar{h}$

An Easy Method to Measure the Roughness of Old Concrete Surface

CHENG Hong - qiang ,GAO Dan - ying ,ZHANG Qi - ming

( School of Environmental & Hydraulic Engineering ,Zhengzhou University ,Zhengzhou 450002 ,China )

**Abstract :** After some treatment ,the old concrete surface is rough and has some fractal characteristics. Using a special instrument ,the old concrete surface roughness is measured and the result is compared with other measuring method. The practice proves that the method is simple and effective in concrete roughness meausement and suitable for application in practical concrete strengthening projects.

**Key words** 混凝土 ; roughness ; fractal