



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106770360 A

(43)申请公布日 2017.05.31

(21)申请号 201611196870.6

(22)申请日 2016.12.22

(71)申请人 重庆交通大学

地址 400074 重庆市南岸区学府大道66号

(72)发明人 郑丹 邓世琴 李鑫鑫

(74)专利代理机构 重庆博凯知识产权代理有限公司 50212

代理人 孔玲珑

(51)Int.Cl.

G01N 21/95(2006.01)

G01L 5/00(2006.01)

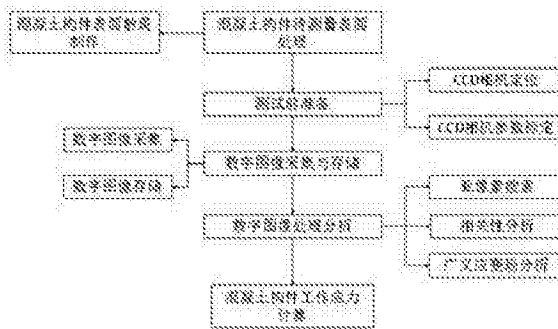
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种混凝土工作应力测量方法

(57)摘要

本发明公开了一种混凝土工作应力测量方法,该方法先在混凝土结构表面制造人工散斑场,然后切环形孔,再获取切孔前后的混凝土表面数字图像,匹配对应图像子区获得表面的面内位移,然后进行最小二乘拟合,得到局部区域位移分布场函数,最后通过对位移求偏导数可得应变场分布。再求切孔中心一定直径范围内的平均应变,再求得混凝土的工作应力。本发明在测量混凝土表面应变时采用非接触式的全场应变方法数字图像测量技术,最大程度地减小了混凝土切割与应变测量的干扰,减小了操作难度和测量误差。通过全场应变测量,减少了由于混凝土表面非均匀性带来的测量误差。同时,也减小传统的应力释放的切割大小和深度,对混凝土的损坏性小,操作简单。



1. 一种混凝土工作应力测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 在混凝土结构表面划定一长方形检测区并制造人工散斑场,架设一部图像获取设备,使之与混凝土结构表面之间位置相对固定;利用该图像获取设备获取混凝土表面的数字图像;

2) 在混凝土结构表面的检测区切环形孔,以释放混凝土的应力;利用所述的图像获取设备获取切环形孔后的混凝土表面的数字图像;

3) 将步骤2)和步骤1)的混凝土表面的数字图像分别划分为若干个子区,然后匹配相应的子区的图像,得到各子区的面内位移;再通过局部区域的位移场进行最小二乘拟合,得到局部区域位移分布场函数;然后通过求偏导数求得应变场分布;

4) 根据应变场分布来计算环形孔中心设定范围内的平均应变;再利用平均应变计算混凝土的工作应力,用以评估混凝土构件的处于工作状态下的安全性。

2. 根据权利要求1所述的混凝土工作应力测量方法,其特征在于,步骤1)中人工散斑场的制造方法为:在检测区表面均匀涂上一层白色油漆涂层,然后在涂层上利用其他颜色的油漆制作散斑并使散斑的外形和尺寸呈随机分布,用以区分各散斑;其中,任一散斑的距离最大的两点之间的距离与混凝土结构表面的检测区的长边的比例为 $1/1000\sim 1/10$ 。

3. 根据权利要求1所述的混凝土工作应力测量方法,其特征在于,步骤2)中环形孔的深度为 $18\sim 50\text{mm}$,深度与内环直径之比为 $0.35:1$ 。

4. 根据权利要求3所述的混凝土工作应力测量方法,其特征在于,步骤2)中环形孔的深度为 35mm ,内环直径为 100mm 。

5. 根据权利要求1所述的混凝土工作应力测量方法,其特征在于,步骤3)中检测区的位移场分布的获取方法包括以下步骤:

(1) 以步骤1)获取的混凝土表面的数字图像为基准参考图,在其中建立平面直角坐标系,在以坐标点 (x, y) 为中心选取边长为 $(2M+1)$ 个像素点的矩形区域为基准参考图子区;其中 M 为区域边长特征值;

(2) 以步骤2)获取的切环形孔后的混凝土表面的数字图像为目标图,在其中建立与步骤(1)中位置相同的平面直角坐标系,通过亚像素搜索,以基准参考图上的坐标点 (x, y) 相应的区域选择坐标点 (x', y') ,并以该坐标点为中心选取边长为 $(2M+1)$ 个像素点的矩形区域为目标图子区;

(3) 采用与图像灰度有关的相关系数分析基准参考图子区与目标图子区的相关性;当相关系数 \geq 设定的阈值时,则认定混凝土结构两子区具有相关性,即认为目标图子区中坐标点 (x', y') 对应于基准参考图子区中的坐标点 (x, y) ;

当相关系数 $<$ 设定的阈值时,则认定混凝土结构两子区不具有相关性,并进行以下操作:通过亚像素搜索,以基准参考图上的坐标点 (x, y) 相应的区域重新选择坐标点 (x', y') ,并以该坐标点为中心选取边长为 $(2M+1)$ 个像素点的矩形区域为目标图子区;再计算相关系数,直到相关系数 \geq 设定的阈值;

(4) 计算基准参考图中坐标点 (x, y) 的位移分量 (u, v) ,得到基准参考图子区的面内位移,并以该面内位移表征相应的基准参考图子区的位移;其中: x 方向的位移分量 $u = x' - x$; y 方向的位移分量 $v = y' - y$;

(5) 重复步骤(1)至(4),建立若干个基准参考图子区,并求取各基准参考图子区的面内

位移,即得到了相应基准参考图子区在切环形孔前、后的空间几何位置变化,这些面内位移值的集合即为检测区的位移场分布。

6. 根据权利要求5所述的混凝土工作应力测量方法,其特征在于,所述的应变场分布的获取方法为:采用局部最小二乘法对位移场分布求偏导数,即获得应变场分布。

7. 根据权利要求5所述的混凝土工作应力测量方法,其特征在于,所述相关系数C按下式计算:

$$C = \frac{\sum \sum [f(x, y) - \bar{f}] \cdot [g(x', y') - \bar{g}]}{\sqrt{\sum \sum [f(x, y) - \bar{f}]^2 \cdot \sum \sum [g(x', y') - \bar{g}]^2}}$$

式中:C为相关系数; $f(x, y)$ 为基准参考图子区上的坐标点 (x, y) 的灰度; \bar{f} 为基准参考图子区的平均灰度; $g(x', y')$ 为目标图子区上的坐标点 (x', y') 的灰度; \bar{g} 为目标图子区的平均灰度。

8. 根据权利要求5所述的混凝土工作应力测量方法,其特征在于,相关系数的阈值为0.9~1.0。

9. 根据权利要求5所述的混凝土工作应力测量方法,其特征在于,步骤4)中混凝土的工作应力按下式计算:

$$\sigma = E\varepsilon$$

式中: ε 为环形孔中心设定范围内的平均应变,即设定范围内的应变场分布的平均值;E为混凝土的弹性模量。

10. 根据权利要求1或9所述的混凝土工作应力测量方法,其特征在于,所述的环形孔中心设定范围是以环形孔的圆心为圆心、1~2cm为直径的圆。

一种混凝土工作应力测量方法

技术领域

[0001] 本发明属于工作应力检测技术领域,具体涉及一种混凝土工作应力测量方法。

背景技术

[0002] 混凝土材料是现代建筑工程中最常用的建筑材料之一,混凝土结构建筑物在使用过程中其安全检测与评估非常重要。混凝土构件的实际应力是反映其工作状态、安全性的重要指标之一,也是建筑物改造加固的重要参数之一。因此,混凝土结构中实际应力的量测就显得尤为必要。工程中常以应力释放法测量混凝土构件的实际应力,环孔法即是应力释放法的一种。环孔法可在无损(或微破损)条件下,客观反映构件应力分布状况,为结构改造加固提供科学数据,确保结构的使用安全与工程稳定。具有实用性意义和显著的社会经济效益。

[0003] 环孔法的基本原理是采用局部破坏使环孔内混凝土应力释放,通过测定环孔内混凝土的应力释放值来估计和推断结构的实际应力。应力释放值的读取以电测法为主,即采用应变片(应变计)测量环孔内应力释放值。此种技术主要有三个方面的限制。第一应变片(应变计)测量应变时,所测应变值是其敏感栅覆盖面积内构件表面的平均应变,并非理论分析中应力完全释放时中心点的应变。第二是适应性不强,由于电测需要引线和静态应变仪连接,因此引线和切孔相互干扰,容易造成应变片损坏,难以获得测量结果。第三,由于混凝土材料具有非均质性,因此测量误差较大。

[0004] 由于采用环孔法与应变片(应变计)结合测试混凝土内工作应力存在各种缺陷,难以高效、客观、准确地识别混凝土的实际工作压力。具体表现为现有的开环孔发后往往需通过人工的数据修正来推定构件实际应力状态。

发明内容

[0005] 针对现有技术存在的上述不足,本发明的目的在于提供一种非接触式、能实现全场测量且易于操作的混凝土工作应力测量方法,该方法不仅具有非接触、全场测量等电测法无法比拟的优势,而且相对于其他光测方法具有实验设备和过程简单、对光源及测量环境要求较低、易于实现测量过程的自动化、使用范围广泛等优势。

[0006] 为了实现上述目的,本发明采用的技术方案如下:

[0007] 一种混凝土工作应力测量方法,包括以下步骤:

[0008] 1) 在混凝土结构表面划定一长方形检测区并制造人工散斑场,架设一部图像获取设备,使之与混凝土结构表面之间位置相对固定;利用该图像获取设备获取混凝土表面的数字图像。

[0009] 2) 在混凝土结构表面的检测区切环形孔,以释放混凝土的应力;利用所述的图像获取设备获取切环形孔后的混凝土表面的数字图像。

[0010] 3) 将步骤2)和步骤1)的混凝土表面的数字图像分别划分为若干个子区,然后匹配相应的子区的图像,得到各子区的面内位移;再通过局部区域的位移场进行最小二乘拟合,

得到局部区域位移分布场函数;然后通过位移求偏导数求得应变场分布。

[0011] 4) 根据应变场分布来计算环形孔中心设定范围内的平均应变;再利用平均应变计算混凝土的工作应力,用以评估混凝土构件的处于工作状态下的安全性。

[0012] 进一步,步骤1)中人工散斑场的制造方法为:在检测区表面均匀涂上一层白色油漆涂层,然后在涂层上利用其他颜色的油漆制作散斑并使散斑的外形和尺寸呈随机分布,用以区分各散斑;其中,任一散斑的距离最大的两点之间的距离与混凝土结构表面的检测区的长边的比例为1/1000~1/10。

[0013] 进一步,步骤2)中环形孔的深度为18~50mm,深度与内环直径之比为0.35:1。

[0014] 进一步,步骤2)中环形孔的深度为35mm,内环直径为100mm。

[0015] 进一步,步骤3)中检测区的位移场分布的获取方法包括以下步骤:

[0016] (1) 以步骤1)获取的混凝土表面的数字图像为基准参考图,在其中建立平面直角坐标系,在以坐标点 (x, y) 为中心选取边长为 $(2M+1)$ 个像素点的矩形区域为基准参考图子区;其中 M 为区域边长特征值;

[0017] (2) 以步骤2)获取的切环形孔后的混凝土表面的数字图像为目标图,在其中建立与步骤(1)中位置相同的平面直角坐标系,通过亚像素搜索,以基准参考图上的坐标点 (x, y) 相应的区域选择坐标点 (x', y') ,并以该坐标点为中心选取边长为 $(2M+1)$ 个像素点的矩形区域为目标图子区;

[0018] (3) 采用与图像灰度有关的相关系数分析基准参考图子区与目标图子区的相关性;当相关系数 \geq 设定的阈值时,则认定混凝土结构两子区具有相关性,即认为目标图子区中坐标点 (x', y') 对应于基准参考图子区中的坐标点 (x, y) ;

[0019] 当相关系数 $<$ 设定的阈值时,则认定混凝土结构两子区不具有相关性,并进行以下操作:通过亚像素搜索,以基准参考图上的坐标点 (x, y) 相应的区域重新选择坐标点 (x', y') ,并以该坐标点为中心选取边长为 $(2M+1)$ 个像素点的矩形区域为目标图子区;再计算相关系数,直到相关系数 \geq 设定的阈值;

[0020] (4) 计算基准参考图中坐标点 (x, y) 的位移分量 (u, v) ,得到基准参考图子区的面内位移,并以该面内位移表征相应的基准参考图子区的位移;其中: x 方向的位移分量 $u = x' - x$; y 方向的位移分量 $v = y' - y$;

[0021] (5) 重复步骤(1)至(4),建立若干个基准参考图子区,并求取各基准参考图子区的面内位移,即得到了相应基准参考图子区在切环形孔前、后的空间几何位置变化,这些面内位移值的集合即为检测区的位移场分布。

[0022] 更进一步,所述的应变场分布的获取方法为:采用局部最小二乘法对位移场分布求偏导数,即获得应变场分布。

[0023] 更进一步,所述相关系数 C 按下式计算:

$$[0024] \quad C = \frac{\sum \sum [f(x, y) - \bar{f}] \cdot [g(x', y') - \bar{g}]}{\sqrt{\sum \sum [f(x, y) - \bar{f}]^2 \cdot \sum \sum [g(x', y') - \bar{g}]^2}}$$

[0025] 式中: C 为相关系数; $f(x, y)$ 为基准参考图子区上的坐标点 (x, y) 的灰度; \bar{f} 为基准参考图子区的平均灰度; $g(x', y')$ 为目标图子区上的坐标点 (x', y') 的灰度; \bar{g} 为目标图子区

的平均灰度。

[0026] 更进一步,相关系数的阈值为0.9~1.0。

[0027] 更进一步,步骤4)中混凝土的工作应力按下式计算:

[0028] $\sigma = E\varepsilon$

[0029] 式中: ε 为环形孔中心设定范围内的平均应变,即设定范围内的应变场分布的平均值; E 为混凝土的弹性模量。

[0030] 进一步,所述的环形孔中心设定范围是以环形孔的圆心为圆心、1~2cm为直径的圆。

[0031] 针对上述环孔法测量混凝土实际工作应力中存在的缺陷,提供一种基于数字图像相关技术的混凝土工作应力信息测量方法。采用数字图像相关技术测量钻孔过程中混凝土结构的应力释放过程,以确定混凝土的工作应力。该方法不仅具有非接触、全场测量等电测法无法比拟的优势,而且相对于其他光测方法具有实验设备和过程简单、对光源及测量环境要求较低、易于实现测量过程的自动化、使用范围广泛等优势。

[0032] 与现有的技术相比,本发明具有如下有益效果:

[0033] 1、本发明在测量混凝土表面应变时采用非接触式的全场应变方法数字图像测量技术,无需在检测面上预埋应变片,最大程度地减小了混凝土切割与应变测量的干扰,减小了操作难度和测量误差。

[0034] 2、本发明通过全场应变测量,可以计算环孔中心一定范围内的平均应变,减少了由于混凝土表面非均匀性带来的测量误差。

[0035] 3、在满足测量精度的情况下,可以减小传统的应力释放的切割大小和深度,对混凝土的损坏性小,属于微损性检测,操作简单,可以方便地应用于现场,快速测量混凝土的工作应力。

附图说明

[0036] 图1为本发明实施例的流程图;

[0037] 图2为实施例中混凝土试样开环形孔后的正视结构示意图;

[0038] 图3为实施例中混凝土试样开环形孔后的俯视结构示意图;

[0039] 图4为实施例中混凝土试样表面制造的人工散斑场;

[0040] 图5为实施例中混凝土试样与采集系统的位置关系图。

[0041] 附图中:1—混凝土;2—环形孔。

具体实施方式

[0042] 下面结合具体实施例对本发明作进一步详细说明。

[0043] 一、一种混凝土工作应力测量方法,包括以下步骤:

[0044] 1) 在混凝土结构表面划定一长方形检测区并制造人工散斑场,架设一部图像获取设备,使之与混凝土结构表面之间位置相对固定;利用该图像获取设备获取混凝土表面的数字图像。

[0045] 2) 在混凝土结构表面的检测区的中间区域切环形孔,以释放混凝土的应力;利用所述的图像获取设备获取切环形孔后的混凝土表面的数字图像。

[0046] 3) 将步骤2)和步骤1)的混凝土表面的数字图像分别划分为若干个子区,然后匹配相应的子区的图像,得到各子区的面内位移;再通过局部区域的位移场进行最小二乘拟合,得到局部区域位移分布场函数;然后通过对位移求偏导数求得应变场分布。在1)和2)中,需采用固定的高精度相机获取切孔前后的混凝土表面数字图像,数字图像的范围应包括完整的环形孔,并通过相应的计算程序得到混凝土表面的应变场。

[0047] 4) 根据应变场分布来计算环形孔中心设定范围内的平均应变;再利用平均应变计算混凝土的工作应力,用以评估混凝土构件的处于工作状态下的安全性。

[0048] 作为优化,步骤1)中人工散斑场的制造方法为:在检测区表面均匀涂上一层白色油漆涂层,然后在涂层上利用其他颜色的油漆制作散斑并使散斑的外形和尺寸呈随机分布,用以区分各散斑;其中,任一散斑的距离最大的两点之间的距离与混凝土结构表面的检测区的长边的比例为 $1/1000\sim 1/10$ 。

[0049] 作为优化,步骤2)中环形孔的深度为 $18\sim 50\text{mm}$,内环直径为 $50\sim 150\text{mm}$,内环直径与深度之比为 $0.35:1$ 。因为切孔深度一般不会超过结构、试件的深度,因此中间部分的混凝土是没有被取出来的,加上切孔所用钻头是有厚度的,切割完后形成的孔就是环形。这个环孔主要是针对切孔后把钻芯取出的方法而言的。一般没有外径要求,通常钻具厚度为 $3\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 。最优选择是深度为 35mm ,内环直径为 100mm 。

[0050] 作为优化,步骤3)中各子区的面内位移的获取方法包括以下步骤:

[0051] (1) 以步骤1)获取的混凝土表面的数字图像为基准参考图,在其中建立平面直角坐标系,在检测区的中间区域(即环形孔周围区域)以坐标点 (x, y) 为中心选取边长为 $(2M+1)$ 个像素点的矩形区域为基准参考图子区;其中 M 为区域边长特征值, M 的取值实际上是由计算精度和分辨率确定的。坐标点 (x, y) 应位于环形孔周围,这样才能方便地检测位移量。

[0052] (2) 以步骤2)获取的切环形孔后的混凝土表面的数字图像为目标图,在其中建立与步骤(1)中位置相同的平面直角坐标系,通过亚像素搜索,以基准参考图上的坐标点 (x, y) 相应的区域选择坐标点 (x', y') ,并以该坐标点为中心选取边长为 $(2M+1)$ 个像素点的矩形区域为目标图子区。

[0053] (3) 采用与图像灰度有关的相关系数分析基准参考图子区与目标图子区的相关性;当相关系数 \geq 设定的阈值时,则认定混凝土结构两子区具有相关性,即认为目标图子区中坐标点 (x', y') 对应于基准参考图子区中的坐标点 (x, y) ;

[0054] 当相关系数 $<$ 设定的阈值时,则认定混凝土结构两子区不具有相关性,并进行以下操作:通过亚像素搜索,以基准参考图上的坐标点 (x, y) 相应的区域重新选择坐标点 (x', y') ,并以该坐标点为中心选取边长为 $(2M+1)$ 个像素点的矩形区域为目标图子区;再计算相关系数,直到相关系数 \geq 设定的阈值。

[0055] (4) 计算基准参考图中坐标点 (x, y) 的位移分量 (u, v) ,得到基准参考图子区的面内位移,并以该面内位移表征相应的基准参考图子区的位移;其中: x 方向的位移分量 $u = x' - x$; y 方向的位移分量 $v = y' - y$ 。

[0056] (5) 重复步骤(1)至(4),每次均取不同的点作为 (x, y) ,以在环形孔周围区域建立若干个基准参考图子区(由于坐标点 (x, y) 不同,即使子区的部分面积重叠也不会影响结果)并求取各基准参考图子区的面内位移,即得到了相应基准参考图子区在切环形孔前、后的空间几何位置变化,这些面内位移值的集合即为检测区的位移场分布。为了保证数据的

准确,那采集时,应多取一些点,以保证有足够的样本量。具体采用时,坐标点(x,y)可以沿圆周采集,直到最后一个点和第一个点重合。

[0057] 进一步优化,所述的应变场分布的获取方法为:采用局部最小二乘法对位移场分布求偏导数,即获得应变场分布。

[0058] 其中,相关系数按下式计算:

$$[0059] \quad C = \frac{\sum \sum [f(x,y) - \bar{f}] \cdot [g(x',y') - \bar{g}]}{\sqrt{\sum \sum [f(x,y) - \bar{f}]^2 \cdot \sum \sum [g(x',y') - \bar{g}]^2}}$$

[0060] 式中:C为相关系数;f(x,y)为基准参考图子区上的坐标点(x,y)的灰度; \bar{f} 为基准参考图子区的平均灰度;g(x',y')为目标图子区上的坐标点(x',y')的灰度; \bar{g} 为目标图子区的平均灰度。

[0061] 而相关系数的阈值宜设置为0.9~1.0。

[0062] 作为优化,步骤4)中混凝土的工作应力按下式计算:

$$[0063] \quad \sigma = E\varepsilon$$

[0064] 式中: ε 为环形孔中心设定范围内的平均应变,即设定范围内的应变场分布的平均值;E为混凝土的弹性模量。

[0065] 作为优化,所述的环形孔中心设定范围是以环形孔的圆心为圆心、1~2cm为直径的圆。

[0066] 二、实施例

[0067] 首先确定做好散斑处理的混凝土构件应力测量区域,一般选择构件的中部,采用回弹仪或超声测量仪测量区域表面混凝土弹性性能,以确定混凝土的弹性模量E;在测量区域进行开环孔作业,利用高精度相机记录下混凝土表面开环前后图像(环孔深度为33mm,环孔直径为100mm),通过数字图像处理分析系统得到开孔过程混凝土表面的应变场,计算切孔中心直径1~2cm圆内的平均应变 ε ,用公式 $\sigma = E\varepsilon$ 计算混凝土的工作应力,其中E为混凝土的弹性模量。

[0068] 本发明可对应提供一种基于数字图像技术的环孔法测量混凝土工作应力的信息采集系统,包括数字图像收集系统、存储系统与处理分析系统。数字图像收集系统包括CCD镜头和高精度相机;存储系统主要包括数据连接线、带存储硬盘的计算机;数字图像处理分析系统主要为基于数字图像相关技术的数字图像处理分析软件。本系统的数字图像处理分析系统的工作流程主要包括通过数字图像匹配方法对采集及存储的数字图像进行处理分析,通过对比分析混凝土变形前后图像的灰度,计算数字图像的相关系数。通过相关系数,判断混凝土的变形与位移,从而获得混凝土的应变值。并通过回弹仪或超声测量仪实测的混凝土的弹性模量,计算得到混凝土的实际工作应力。

[0069] 按以下方法测量测量混凝土的工作应力,其具体工作流程如图1所示,包括以下步骤:

[0070] A、对混凝土试件待测表面处理进行处理:

[0071] 为了提高混凝土表面应变识别的精确度,对混凝土表面制造随机散斑以提高混凝土表面应变的辨识度。混凝土试件表面的随机散斑通过人工方法制作。首先,在混凝土表面

均匀地涂上一层白色油漆涂层。然后在混凝土表面涂层上利用黑色油漆喷制散斑。散斑的颜色应该与涂层的颜色具有显著区别,散斑的外形与尺寸大小具有随机性以应该保证每个散斑都可以进行区分。每个散斑的直径大小与测量区域边长的比例关系在1/1000~1/10之间。

[0072] B、图像采集设备调试

[0073] 较准:通过CCD镜头和相机进行对待测混凝土试件表面进行拍摄;在拍摄之前使用圆点标靶对CCD镜头和高精度相机的内外参数(光心、焦距、两相机的相对位置)进行标定;标靶采用与背景颜色不同的圆点作为特征标记,通过重心提取来获得标记圆点的精确位置,实现标记点位置的自动提取。

[0074] 定位:根据测试精度的要求设定CCD镜头和相机的拍照频率;拍摄的照片通过数据连接线传输至计算机并存储至存储硬盘;在数字图像采集过程中,CCD镜头和相机与混凝土试件均不能移动。

[0075] C、获取切孔前图像:用上述图像获取设备获取混凝土表面的数字图像。

[0076] D、切孔:在混凝土结构表面切环形孔,以释放混凝土的应力。如图2、3所示。

[0077] E、获取切孔后图像:用上述图像获取设备获取切环形孔后的混凝土表面的数字图像。

[0078] B-E为图像采集流程,在采集过程中,混凝土试样与采集系统的位置关系如图5所示。

[0079] F、数字图像处理分析:以混凝土试件变形前的图片为基准参考图片,在数值图像中首先以坐标为(x,y)的参考点为中心选取边长为(2M+1)个像素点的矩形区域为参考图子区,M为区域边长特征值;将混凝土材料待测试件变形后的图片为目标图片,通过亚像素搜索的方法,以坐标为(x',y')的参考点为中心选取边长为(2M+1)个像素点的矩形区域为目标图子区;采用与图像灰度有关的相关系数C分析此参考图子区域目标图子区的相关性;当相关系数C高于一个阈值时,认为混凝土试件变形前后的区域具有相关性,即认为变形后目标图中坐标点(x',y')对应于为变形时参考图中坐标点(x,y);所述相关系数C的阈值的取值范围为0.9~1.0;相关系数为:

$$[0080] \quad C = \frac{\sum \sum [f(x,y) - \bar{f}] \cdot [g(x',y') - \bar{g}]}{\sqrt{\sum \sum [f(x,y) - \bar{f}]^2 \cdot \sum \sum [g(x',y') - \bar{g}]^2}}$$

[0081] 式中:C为相关系数;f(x,y)为参考图上坐标(x,y)点的灰度; \bar{f} 为参考图子区域的平均灰度;g(x',y')为目标图上坐标为(x',y')点的灰度; \bar{g} 为目标图子区域的平均灰度;确定变形前后坐标点后,计算参考图中参考点坐标的位移分量(u,v);其中x方向的位移分量u=x'-x;y方向的位移分量v=y'-y;对变形前后两幅图像计算区域内的所有点进行相关匹配后,就能获得这些点在变形前后空间几何位置的变化,即获得测量区域的位移场分布,并采用局部最小二乘法对亚像素区域位移场求导获得广义主应变场;

[0082] G:混凝土工作应力的计算:由数字图像技术分析系统可得到混凝土结构表面的开环孔的全场应变 ϵ ,用公式 $\sigma = E\epsilon$ 计算混凝土的工作应力,其中, σ 为混凝土的工作应力,E为混凝土的弹性模量。混凝土试件采用表1中的配合比。

[0083] 表1混凝土配合比(kg/m³)

[0084]

强度等级	水灰比	砂率	水	水泥	砂	石子
C30	0.41	31%	205	500	517	1151

[0085] 水泥为重庆金井源建材厂生产的32.5级的普通硅酸盐水泥;细骨料为河砂,级配为II区中砂;粗骨料为碎石,5-20mm连续级配;水为自来水。混凝土28d抗压强度为46.3MPa.,试件尺寸为200mm×200mm×100mm。

[0086] 试样表面的散斑图像通过人工方法制作,由于混凝土的不均匀材质会影响表面的灰度,因此试验中,先在混凝土表面喷上一层薄白漆(0.5mm),在白色油漆完全干燥后用黑色油漆随机喷上黑点作为散斑,处理后的混凝土试件如图4所示。

[0087] 本发明方法将为环孔应力测试技术在加固改造工程、边坡工程、大坝、桥梁工程等施工过程的应力监测、稳定性评价及加固设计等方面的应用提供了可参考的理论依据。

[0088] 本发明的上述实施例仅仅是为说明本发明所作的举例,而并非是对本发明的实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其他不同形式的变化和变动。这里无法对所有的实施方式予以穷举。凡是属于本发明的技术方案所引申出的显而易见的变化或变动仍处于本发明的保护范围之列。

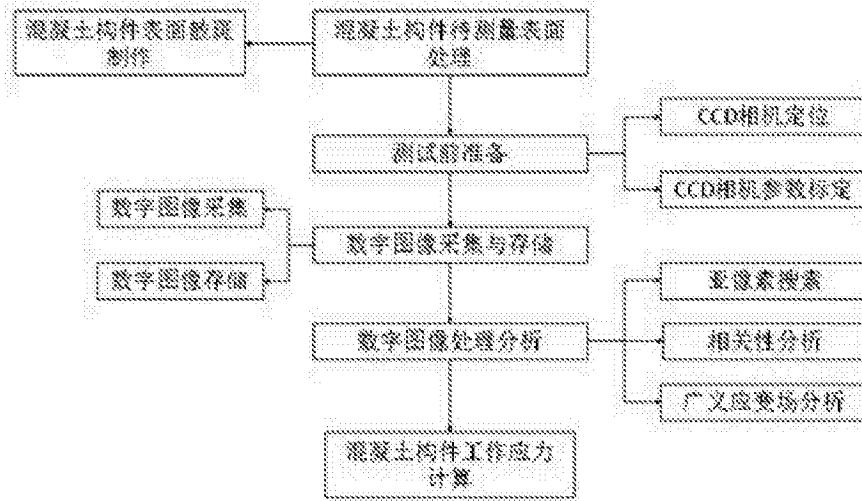


图1

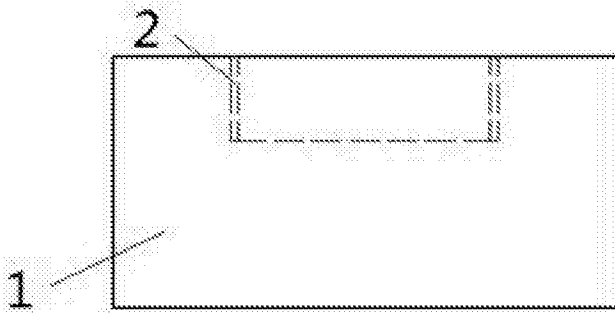


图2

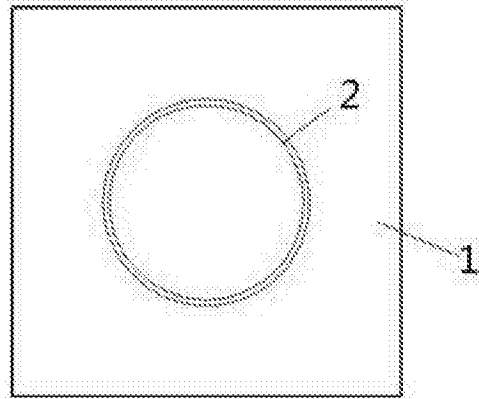


图3

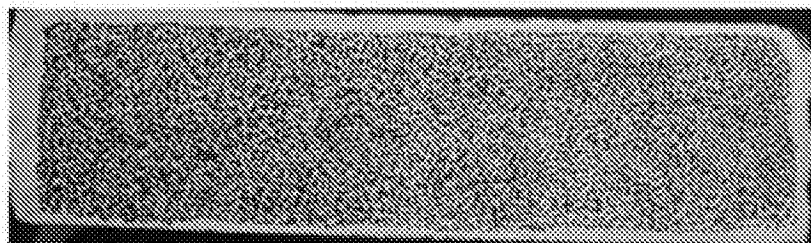


图4

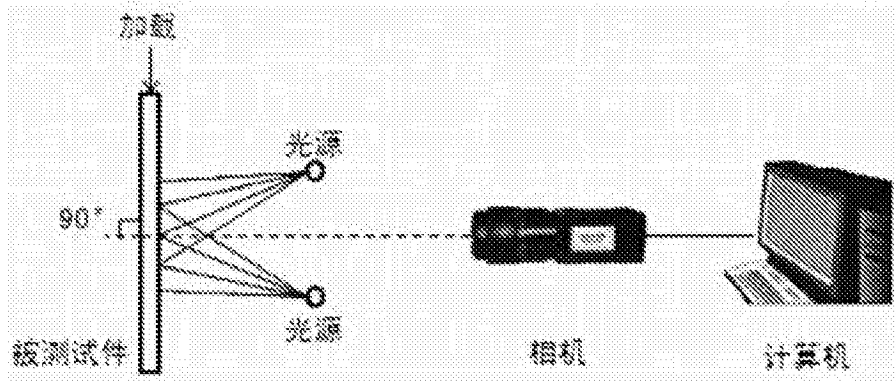


图5