



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113092592 B

(45) 授权公告日 2024. 04. 16

(21) 申请号 202110503511.5

(22) 申请日 2017.03.06

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113092592 A

(43) 申请公布日 2021.07.09

(30) 优先权数据  
2016-098951 2016.05.17 JP

(62) 分案原申请数据  
201780000111.4 2017.03.06

(73) 专利权人 株式会社东芝  
地址 日本东京都  
专利权人 国立大学法人京都大学

(72) 发明人 渡部一雄 高峯英文 盐谷智基

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司  
72002  
专利代理师 徐殿军

(51) Int.Cl.  
G01N 29/14 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 101133320 A, 2008.02.27  
CN 103221814 A, 2013.07.24  
CN 103221815 A, 2013.07.24  
CN 105445756 A, 2016.03.30  
JP 2004283518 A, 2004.10.14  
JP 2006058278 A, 2006.03.02  
JP 2011102700 A, 2011.05.26  
JP 2014095555 A, 2014.05.22  
JP 2014174040 A, 2014.09.22  
JP 3274341 B2, 2002.04.15  
JP 3621503 B2, 2005.02.16  
JP H09218182 A, 1997.08.19  
朱宏平 等. 利用声发射信号与速率过程理论对混凝土损伤进行定量评估.《工程力学》.2008, (第1期), 全文.

审查员 毛秋丽

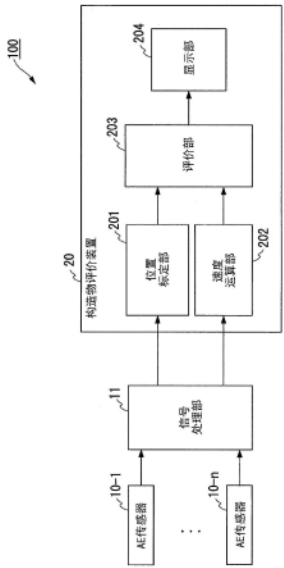
权利要求书2页 说明书10页 附图11页

(54) 发明名称

构造物评价系统、构造物评价装置以及构造物评价方法

(57) 摘要

本发明涉及构造物评价系统、构造物评价装置以及构造物评价方法。实施方式的构造物评价系统具有多个传感器、位置标定部、以及评价部。多个传感器检测从构造物产生的弹性波；位置标定部基于上述弹性波来导出上述弹性波的发信源；评价部基于上述发信源来评价上述构造物的健全性。评价部针对上述构造物的建设后或者修补后的规定期间的期间,对上述规定期间以外的期间中上述健全性的评价划分进一步设置用于评价为初始健全状态的评价划分来对上述构造物的健全性进行评价。



CN 113092592 B

1. 一种构造物评价系统,其中,具备:

多个传感器,检测从构造物产生的弹性波;

位置标定部,基于上述弹性波来导出上述弹性波的发信源分布;

速度运算部,基于上述弹性波来导出上述弹性波的传播速度;以及

评价部,基于上述发信源分布和上述弹性波的传播速度来评价上述构造物的健全性,

上述评价部通过上述发信源分布和上述弹性波的传播速度的组合,基于上述发信源分布和上述传播速度的各自的基准值划分多个区域作为上述健全性的评价划分,作为上述构造物的建设后或者修补后的规定期间的期间、上述规定期间以外的期间中的上述健全性的评价划分,将发信源的密度比关于上述弹性波的发信源的密度的基准值高、并且弹性波的传播速度比超过上述弹性波的传播速度的基准值的阈值高的区域,设置用于评价为初始健全状态的区域,对上述构造物的健全性进行评价。

2. 根据权利要求1所述的构造物评价系统,其中,

上述位置标定部基于通过上述多个传感器分别检测出的弹性波,导出上述弹性波的发信源分布,

上述评价部基于与上述弹性波的发信源的密度有关的基准值将上述发信源分布划分为上述发信源稀疏的区域和上述发信源密集的区域这两个区域,并且将上述发信源密集的区域中的、上述弹性波的传播速度比超过与上述弹性波的传播速度有关的基准值的阈值高的区域评价为上述初始健全状态的区域。

3. 根据权利要求2所述的构造物评价系统,其中,

上述评价部将上述发信源稀疏的区域中的、上述弹性波的传播速度比与上述弹性波的传播速度有关的基准值低的区域评价为构造物的劣化最发展的区域。

4. 根据权利要求2所述的构造物评价系统,其中,

上述速度运算部通过基于上述弹性波进行层析成像解析,来导出传播速度分布,该传播速度分布表示上述弹性波的传播速度的分布,

上述评价部基于与上述弹性波的传播速度有关的基准值,将上述传播速度分布划分为上述传播速度高的区域和上述传播速度低的区域这两个区域,将上述发信源稀疏的区域中的上述传播速度低的区域评价为构造物的劣化最发展的区域。

5. 根据权利要求3所述的构造物评价系统,其中,

上述速度运算部通过基于上述弹性波进行层析成像解析,来导出传播速度分布,该传播速度分布表示上述弹性波的传播速度的分布,

上述评价部基于与上述弹性波的传播速度有关的基准值,将上述传播速度分布划分为上述传播速度高的区域和上述传播速度低的区域这两个区域。

6. 根据权利要求2所述的构造物评价系统,其中,

上述评价部将上述发信源稀疏的区域中的、上述弹性波的传播速度比与上述弹性波的传播速度有关的基准值高的区域评价为构造物的劣化最没有发展的健全的区域。

7. 根据权利要求3所述的构造物评价系统,其中,

上述评价部在上述构造物的各区域中,搜索满足评价为上述构造物的劣化最发展的区域的条件的区域,导出示出了满足上述条件的区域的评价结果分布,并将导出的上述评价结果分布输出。

8. 根据权利要求2所述的构造物评价系统, 其中,

上述位置标定部基于由上述传感器检测出的上述弹性波的振幅信息, 将示出了既定的振幅以上的发信源的分布的上述发信源分布导出。

9. 一种构造物评价装置, 其中, 具备:

位置标定部, 基于从构造物产生的弹性波来导出上述弹性波的发信源分布;

速度运算部, 基于上述弹性波来导出上述弹性波的传播速度; 以及

评价部, 基于上述发信源分布和上述弹性波的传播速度来评价上述构造物的健全性,

上述评价部通过上述发信源分布和上述弹性波的传播速度的组合, 基于上述发信源分布和上述传播速度的各自的基准值划分多个区域作为上述健全性的评价划分, 作为上述构造物的建设后或者修补后的规定期间的期间、上述规定期间以外的期间中的上述健全性的评价划分, 将发信源的密度比关于上述弹性波的发信源的密度的基准值高、并且弹性波的传播速度比超过上述弹性波的传播速度的基准值的阈值高的区域, 设置用于评价为初始健全状态的区域, 对上述构造物的健全性进行评价。

10. 一种构造物评价方法, 其中, 具有:

位置标定步骤, 基于从构造物产生的弹性波来导出上述弹性波的发信源分布;

速度运算步骤, 基于上述弹性波来导出上述弹性波的传播速度; 以及

评价步骤, 基于上述发信源分布和上述弹性波的传播速度来评价上述构造物的健全性,

上述评价步骤中, 通过上述发信源分布和上述弹性波的传播速度的组合, 基于上述发信源分布和上述传播速度的各自的基准值划分多个区域作为上述健全性的评价划分, 作为上述构造物的建设后或者修补后的规定期间的期间、上述规定期间以外的期间中的上述健全性的评价划分, 将发信源的密度比关于上述弹性波的发信源的密度的基准值高、并且弹性波的传播速度比超过上述弹性波的传播速度的基准值的阈值高的区域, 设置用于评价为初始健全状态的区域, 对上述构造物的健全性进行评价。

## 构造物评价系统、构造物评价装置以及构造物评价方法

[0001] 本申请是申请日为2017年3月6日、申请号为201780000111.4、名称为“构造物评价系统、构造物评价装置以及构造物评价方法”的中国专利申请的分案申请。

### 技术领域

[0002] 本发明的实施方式涉及构造物评价系统、构造物评价装置以及构造物评价方法。

### 背景技术

[0003] 近年来,与在高度经济成长期建设的桥梁等构造物的老化相伴的问题不断表露出来。由于构造物万一发生事故的情况的损害不可估量,所以以往提出了一种用于监视构造物的状态的技术。例如,提出了一种利用高灵敏度传感器检测内部龟裂的产生、或者伴随着内部龟裂的发展而产生的弹性波的AE (Acoustic Emission: 声发射) 方式,来检测构造物的损伤的技术。AE是伴随着材料的疲劳龟裂的发展而产生的弹性波。在AE方式中,通过利用了压电元件的AE传感器检测出弹性波作为AE信号(电压信号)。

[0004] AE信号被检测作为材料产生断裂之前的征兆。因此,AE信号的产生频度以及信号强度作为表示材料的健全性的指标是有用的。因此,正在研究通过AE方式来检测构造物的劣化的预兆的技术。

[0005] 在因交通等引起的负载作用于桥梁的混凝土水泥板时,因水泥板内的龟裂的发展、摩擦等而产生AE。通过在水泥板表面设置AE传感器,能够检测从水泥板产生的AE。另外,通过设置多个AE传感器,能够根据AE传感器间的AE信号的到达时刻之差来标定AE产生源的位置。根据该AE产生源的位置标定结果,来推断对象水泥板的损伤程度。然而,在标定结果与损伤程度的对应不充分的情况下,有时无法进行稳定的健全性的评价。此外,这样的问题并不局限于桥梁的混凝土水泥板,是伴随着龟裂的产生或者发展而产生弹性波的所有构造物共同的问题。

[0006] 现有技术文献

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献1: 日本特开2004—125721号公报

### 发明内容

[0009] 发明要解决的课题

[0010] 本发明想要解决的课题在于,提供能够对产生弹性波的构造物的健全性进行评价的构造物评价系统、构造物评价装置以及构造物评价方法。

[0011] 用于解决课题的方法

[0012] 实施方式的构造物评价系统具有多个传感器、位置标定部、以及评价部。多个传感器检测从构造物产生的弹性波;位置标定部基于上述弹性波来导出上述弹性波的发信源;评价部基于上述发信源来评价上述构造物的健全性。评价部针对上述构造物的建设后或者修补后的规定期间的期间,对上述规定期间以外的期间中上述健全性的评价划分进一步设

置用于评价为初始健全状态的评价划分来对上述构造物的健全性进行评价。

## 附图说明

- [0013] 图1是表示实施方式的构造物评价系统100的系统构成的图。
- [0014] 图2A是表示AE震源密度分布的具体例的图。
- [0015] 图2B是表示弹性波传播速度分布的具体例的图。
- [0016] 图3A是表示AE震源密度分布的区域的划分结果的图。
- [0017] 图3B是表示弹性波传播速度分布的区域的划分结果的图。
- [0018] 图4是表示评价结果分布的一个例子的图。
- [0019] 图5是表示评价结果的妥当性的验证结果的图。
- [0020] 图6是表示构造物评价系统100的处理的流程的序列图。
- [0021] 图7是表示通过本实施方式中的构造物评价装置20进行的健全性的评价的基本概念的图。
- [0022] 图8A是表示仅通过AE震源位置标定进行的以往的构造物的健全性的评价的一个例子的图。
- [0023] 图8B是表示仅通过传播速度进行的以往的构造物的健全性的评价的一个例子的图。
- [0024] 图9是表示假定为将图8A以及图8B所示的以往的2个评价方法组合的情况下的评价结果的一个例子的图。
- [0025] 图10A是表示使用从AE的第一到达波的振幅为53dB以上的发信源产生的AE的信息而导出的AE震源密度分布的比较结果的图。
- [0026] 图10B是表示使用从AE的第一到达波的振幅为60dB以上的发信源产生的AE的信息而导出的AE震源密度分布的比较结果的图。
- [0027] 图11是表示图7所示的基本概念的其他例的图。
- [0028] 图12是表示使用了包含基准值的具有规定的范围的宽度的区域作为阈值的情况下的由构造物评价装置20进行的健全性的评价的基本概念的图。
- [0029] 图13A是用于对规定的条件是弹性波的产生频度(弹性波的检测数)超过预先设定的第一阈值的条件的情况下的评价方法进行说明的图。
- [0030] 图13B是用于对规定的条件是传播速度急剧降低的条件的情况下的评价方法进行说明的图。

## 具体实施方式

[0031] 以下,参照附图对实施方式的构造物评价系统、构造物评价装置以及构造物评价方法进行说明。

[0032] 图1是表示实施方式的构造物评价系统100的系统构成的图。构造物评价系统100被用于构造物的健全性的评价。在本实施方式中,评价是指基于某一基准,来决定构造物的健全性的程度、即构造物的劣化状态。此外,在本实施方式中,作为构造物的一个例子,以桥梁为例来进行说明,但构造物并不需要限定于桥梁。例如,构造物只要是伴随着龟裂的产生或发展、或者外部的冲击(例如雨、人工雨等)而产生弹性波的构造物即可,可以是任意的构

造物。其中,桥梁并不限定于建设在河川、溪谷等上的构造物,也包括与地面相比设于上方的各种构造物(例如高速道路的高架桥)等。

[0033] 构造物评价系统100具备多个AE传感器10—1~10—n(n为2以上的整数)、信号处理部11以及构造物评价装置20。信号处理部11以及构造物评价装置20通过有线或者无线而连接为能够通信。其中,在以下的说明中,在不对AE传感器10—1~10—n进行区别的情况下,记作AE传感器10。

[0034] AE传感器10被设置于构造物。例如,AE传感器10被设置于桥梁的混凝土水泥板。AE传感器10具有压电元件,对构造物产生的弹性波(AE波)进行检测,并将检测出的弹性波变换为电压信号(AE源信号)。AE传感器10针对AE源信号实施放大、频率限制等处理并输出至信号处理部11。此外,也可以取代AE传感器10而使用加速度传感器。该情况下,加速度传感器通过进行与AE传感器10同样的处理,来将经信号处理后的信号输出至信号处理部11。混凝土水泥板的厚度例如为15cm以上。

[0035] 信号处理部11将被AE传感器10实施了处理后的AE源信号作为输入。信号处理部11通过针对输入的AE源信号进行必要的噪声除去、参数提取等信号处理来提取包括与弹性波有关的信息的AE特征量。与弹性波有关的信息例如是AE源信号的振幅、能量、上升时间、持续时间、频率、零交叉计数(zero cross count)等信息。信号处理部11将基于提取出的AE特征量的信息作为AE信号输出至构造物评价装置20。信号处理部11输出的AE信号中包括传感器ID、AE检测时刻、AE源信号振幅、能量、上升时间以及频率等信息。

[0036] 这里,AE源信号的振幅例如是弹性波中最大振幅的值。能量例如是对将各时刻的振幅平方后的值进行时间积分而得到的值。此外,能量的定义并不限定于上述例子,例如也可以是使用波形的包络线来进行近似而得到的值。上升时间例如是弹性波从零值开始上升到超过预先设定的规定值为止的时间T1。持续时间例如是从弹性波的上升开始到振幅变得比预先设定的值小为止的时间。频率是弹性波的频率。零交叉计数数例如是弹性波横穿经过零值的基准线的次数。

[0037] 构造物评价装置20具备通过总线连接的CPU(Central Processing Unit)、存储器、辅助存储装置等,执行评价程序。通过评价程序的执行,构造物评价装置20作为具备位置标定部201、速度运算部202、评价部203、显示部204的装置发挥功能。此外,构造物评价装置20的各功能的全部或者一部分也可以使用ASIC(Application Specific Integrated Circuit:特定用途集成电路)、PLD(Programmable Logic Device:可编程逻辑电路)或FPGA(Field Programmable Gate Array:现场可编程门阵列)等硬件来实现。另外,评价程序也可以被记录于计算机能够读取的记录介质。计算机能够读取的记录介质例如是软盘、光磁盘、ROM、CD—ROM等便携介质、内置于计算机系统的硬盘等存储装置。另外,评价程序也可以经由电气通信线路来进行收发。

[0038] 位置标定部201将从信号处理部11输出的AE信号作为输入。另外,位置标定部201将构造物中的与AE传感器10的设置位置有关的信息(以下称为“传感器位置信息”)与传感器ID建立对应而预先保持。与设置位置有关的信息例如是纬度以及经度、或者从构造物的特定位置起的水平方向以及垂直方向的距离等。位置标定部201基于被输入的AE信号所包含的传感器ID、AE检测时刻等信息、以及预先保持的传感器位置信息来进行AE产生源的位置标定。位置标定部201使用某一期间量的位置标定结果,来导出AE震源密度分布(发信源

分布)。AE震源密度分布示出了在构造物中产生的弹性波的发信源所示出的分布。位置标定部201将导出的AE震源密度分布输出至评价部203。

[0039] 速度运算部202将从信号处理部11输出的AE信号作为输入。另外,速度运算部202将传感器位置信息与传感器ID建立对应而预先保持。速度运算部202基于被输入的AE信号所包含的传感器ID、AE检测时刻等信息、以及预先保持的传感器位置信息,来导出构造物的弹性波传播速度分布。弹性波传播速度分布示出了在构造物中产生的弹性波的传播速度所示出的分布。例如,速度运算部202使用AE层析成像(tomography)解析法来导出构造物的弹性波传播速度分布。速度运算部202将导出的弹性波传播速度分布输出至评价部203。AE层析成像解析法是指利用多个AE传感器检测从构造物产生的弹性波,进行AE产生源的位置标定,并以从该产生源到各传感器为止的理论扫描时间与计测出的扫描时间的误差收敛在允许值以内的方式,修正构造物的解析模型的传播速度,获得构造物中的弹性波传播速度的分布的方法。由于越是劣化了的构造物则在内部行进的AE的速度越降低,所以通过使用AE层析成像解析法能够根据AE的速度分布来评价构造物内部的劣化程度。

[0040] 评价部203将从位置标定部201输出的AE震源密度分布、和从速度运算部202输出的弹性波传播速度分布作为输入。评价部203基于被输入的AE震源密度分布、和弹性波传播速度分布来评价构造物的健全性。评价部203使评价结果显示于显示部204。

[0041] 显示部204是液晶显示器、有机EL(Electro Luminescence)显示器等图像显示装置。显示部204按照评价部203的控制来显示评价结果。显示部204也可以是用于将图像显示装置与构造物评价装置20连接的接口。该情况下,显示部204生成用于显示评价结果的影像信号,并将影像信号向与自身连接的图像显示装置输出。

[0042] 图2A表示AE震源密度分布,图2B表示弹性波传播速度分布。其中,AE震源密度分布以及弹性波传播速度分布是基于相同的构造物的相同的区域而获得的分布。在图2A以及图2B中,表示了在某一道路的构造物的水泥板使用了15个AE传感器10的结果。在图2A中,横轴和纵轴表示从作为评价对象的构造物的特定位置起的水平方向的长度(mm)和垂直方向的长度(mm)。另外,在图2B中,横轴和纵轴表示从作为评价对象的构造物的特定位置起的水平方向的长度(m)和垂直方向的长度(m)。

[0043] 在图2A中,发信源越多(发信源越密集)则被表示得越浓,发信源越少(发信源越稀疏)则被表示得越淡。例如,图2A中的区域30表示发信源比其他区域多的区域。另外,在图2B中,传播速度越快则被表示得越浓,传播速度越慢则被表示得越淡。图2A以及图2B所示的AE震源密度分布以及弹性波传播速度分布被输入至评价部203。

[0044] 以下,使用图3A、图3B以及图4对评价部203的具体处理进行说明。

[0045] 评价部203基于与发信源的密度有关的基准值(以下称为“密度基准值”),将被输入的AE震源密度分布划分成发信源稀疏的区域、和发信源密集的区域这两个区域。具体而言,评价部203通过基于密度基准值对AE震源密度分布进行二值化来划分区域。在本实施方式中,将密度基准值设为0.5。评价部203通过在AE震源密度分布中,将密度基准值以上的区域作为发信源密集的区域,将密度比密度基准值少的区域作为发信源稀疏的区域,并进行二值化来划分区域。此外,密度基准值并不需要限定为上述的值,也可以适当地变更。

[0046] 另外,评价部203基于与弹性波的传播速度有关的基准值(以下称为“传播速度基准值”),将被输入的弹性波传播速度分布划分为传播速度高的区域、和传播速度低的区域

这两个区域。具体而言,评价部203通过基于传播速度基准值对弹性波传播速度分布进行二值化来划分区域。在本实施方式中,将传播速度基准值设为3800m/s。评价部203通过在弹性波传播速度分布中,将传播速度基准值以上的区域作为传播速度高的区域、将传播速度比传播速度基准值慢的区域作为传播速度低的区域,并进行二值化来划分区域。此外,传播速度基准值并不需要限定为上述的值,也可以适当地变更。

[0047] 图3A表示AE震源密度分布的区域的划分结果,图3B表示弹性波传播速度分布的区域的划分结果。以下,将图3A所示的图记载为二值化AE震源密度分布,将图3B所示的图记载为二值化弹性波传播速度分布。

[0048] 然后,评价部203使用二值化AE震源密度分布、二值化弹性波传播速度分布来评价构造物的健全性。具体而言,评价部203通过使二值化AE震源密度分布与二值化弹性波传播速度分布重叠,来根据重叠的区域的划分结果以4个阶段对构造物的健全性进行评价。这里,作为4个阶段的评价的具体例,可举出健全、中间劣化I、中间劣化II以及极限劣化。按照健全、中间劣化I、中间劣化II以及极限劣化的顺序,表示构造物的劣化发展。即,健全表示构造物的劣化最没有发展的情况,随着接近极限劣化而表示构造物的劣化越发展的情况。评价部203基于以下的评价条件,来评价构造物的各区域(重叠的各区域)分别相当于健全、中间劣化I、中间劣化II以及极限劣化的哪一个。

[0049] (评价条件)

[0050] • 健全:在二值化AE震源密度分布中为“稀疏”的区域、并且在二值化弹性波传播速度分布中为“高”的区域

[0051] • 中间劣化I:在二值化AE震源密度分布为“密集”的区域、并且在二值化弹性波传播速度分布中为“高”的区域

[0052] • 中间劣化II:在二值化AE震源密度分布中为“密集”的区域、并且在二值化弹性波传播速度分布中为“低”的区域

[0053] • 极限劣化:在二值化AE震源密度分布中为“稀疏”的区域、并且在二值化弹性波传播速度分布中为“低”的区域

[0054] 如上述那样,评价部203在重叠的区域是发信源稀疏的区域、并且传播速度高的区域的情况下,将该区域评价为健全的区域。另外,评价部203在重叠的区域是发信源密集的区域、并且传播速度高的区域的情况下,将该区域评价为中间劣化I的区域。另外,评价部203在重叠的区域是发信源密集的区域、并且传播速度低的区域的情况下,将该区域评价为中间劣化II的区域。另外,评价部203在重叠的区域是发信源稀疏的区域、并且传播速度低的区域的情况下,将该区域评价为极限劣化的区域。

[0055] 评价部203通过如上述那样,评价重叠的各区域分别相当于健全、中间劣化I、中间劣化II以及极限劣化的哪一个,来导出示出了各区域的评价结果的评价结果分布。例如,评价部203可以在评价结果分布中,将健全的区域用“1”表示,将中间劣化I的区域用“2”表示,将中间劣化II的区域用“3”表示,将极限劣化的区域用“4”表示。评价部203使导出的评价结果分布显示于显示部204。

[0056] 图4是表示评价结果分布的一个例子的图。如图4所示,通过显示评价结果分布,作业者、管理者能够容易地掌握构造物的哪个区域的劣化正在发展。

[0057] 图5是表示评价结果的妥当性的验证结果的图。图5中表示了采取图4所示的构造



物的水泥板的内部而确认了的结果。在图4中,从表示是极限劣化的“4”的区域内的圆圈31的部分采取的矿样是图5。如图5所示,矿样内部可看到因水平裂纹而核心分离的程度的劣化发展。与此相对,在图4中,从表示是健全的“1”的区域内的圆圈32的部分采取的矿样是图5。图5所示,矿样内部通过目视观察不能确认裂纹。这样,确认了通过构造物评价装置20进行的评价手法的有效性。图5所示的矿样的长度约为23.5cm,在本实施方式的构造物评价装置20中,至少到15cm以上的深度为止能够评价构造物的劣化状态。

[0058] 图6是表示构造物评价系统100的处理的流程的序列图。其中,在图6中,将各AE传感器10和信号处理部11设为传感器单元。

[0059] 各AE传感器10检测构造物产生的弹性波(AE波)(步骤S101)。AE传感器10将检测出的弹性波变换为电压信号(AE源信号),对AE源信号实施放大、频率限制等处理并输出至信号处理部11。信号处理部11针对输入的AE源信号进行必要的噪声除去、参数提取等信号处理(步骤S102)。信号处理部11将基于通过进行信号处理而提取出的AE特征量的信息作为AE信号输出至构造物评价装置20(步骤S103)。步骤S101~步骤S103的处理在规定的期间被执行。

[0060] 位置标定部201基于从信号处理部11输出的AE信号、和预先保持的传感器位置信息来进行AE产生源的位置标定(步骤S104)。位置标定部201将步骤S104的处理执行规定的期间量。然后,位置标定部201使用规定的期间量的位置标定结果,来导出AE震源密度分布(步骤S105)。位置标定部201将导出的AE震源密度分布输出至评价部203。

[0061] 速度运算部202基于从信号处理部11输出的AE信号,来导出构造物的弹性波传播速度分布(步骤S106)。例如,速度运算部202可以使用规定的期间量的AE信号来导出弹性波传播速度分布,也可以使用比规定的期间短的期间量的AE信号来导出弹性波传播速度分布。速度运算部202将导出的弹性波传播速度分布输出至评价部203。其中,步骤S105与步骤S106顺序不同。

[0062] 评价部203通过使用从位置标定部201输出的AE震源密度分布、和从速度运算部202输出的弹性波传播速度分布来分别进行二值化,由此导出二值化AE震源密度分布和二值化弹性波传播速度分布(步骤S107)。评价部203使用导出的二值化AE震源密度分布、和二值化弹性波传播速度分布,基于评价条件对构造物的各区域进行评价,由此导出评价结果分布(步骤S108)。评价部203使导出的评价结果分布显示于显示部204。显示部204按照评价部203的控制来显示评价结果分布(步骤S109)。

[0063] 图7是表示通过本实施方式中的构造物评价装置20进行的健全性的评价的基本概念的图。如图7所示,在本实施方式的构造物评价装置20中,将弹性波传播速度的高低、AE震源密度的疏密分别作为二维的评价轴而划分为4个象限。而且,构造物评价装置20在基于评价条件而划分成的4个象限中,分别划分为健全、中间劣化I、中间劣化II以及极限劣化。这里,将以往的评价方法与本实施方式中的评价方法进行比较。

[0064] 图8A表示仅通过AE震源位置标定进行的评价,图8B表示仅通过传播速度进行的评价。如图8A所示,在仅通过AE震源位置标定进行的评价中,表示为AE震源越从疏变为密则构造物越劣化的可能性高。另外,如图8B所示,在仅通过传播速度进行的评价中,表示为传播速度越低则构造物越劣化的可能性高。

[0065] 图9是表示假定为将图8A以及图8B所示的以往的2个评价方法组合的情况下的评

价结果的一个例子的图。若如图9所示,简单地将以往的2个评价方法组合,则可设想为:弹性波传播速度高于某一基准、并且AE震源密度分布稀疏的区域(发信源稀疏的区域)变为健全,弹性波传播速度低于某一基准、并且AE震源密度分布越密集(发信源越密集)则构造物的劣化越发展,成为达到极限劣化的直线性变化。这是因为在极限劣化状态的构造物中,即便是AE震源密度分布变疏、劣化发展到某一程度的构造物,也通过实验确认为弹性波传播速度高到与健全状态大致同等,所以未必一定成为准确的评价指标。与此相对,在图7所示的通过本实施方式中的构造物评价装置20进行的健全性的评价的基本概念中,如观察图5所示的评价结果的妥当性的验证结果也可知那样,可以说成为准确的评价指标。

[0066] 根据如以上那样构成的构造物评价系统100,能够进行产生弹性波的构造物的健全性的评价。以下,对该效果详细进行说明。

[0067] 构造物评价装置20使用根据由多个AE传感器10分别检测出的弹性波而得到的AE震源密度分布、和弹性波传播速度分布,基于评价条件来评价构造物的健全性。这样,本实施方式中的构造物评价装置20能够通过将AE震源密度分布与弹性波传播速度分布组合来对构造物按每个区域评价劣化等级。因此,能够进行产生弹性波的构造物的健全性的评价。另外,构造物评价装置20能够通过使用从弹性波获得的多个信息而不是一个信息来进行精度更高的评价。

[0068] 以下,对构造物评价装置20的变形例进行说明。

[0069] 构造物评价装置20所具备的各功能部也可以一部分或者全部设置于其他框体。例如,构造物评价装置20可以仅具备评价部203,而位置标定部201、速度运算部202以及显示部204设置于其他框体。在这样构成的情况下,评价部203从其他框体取得AE震源密度分布和弹性波传播速度分布,使用所取得的AE震源密度分布和弹性波传播速度分布来评价构造物的健全性。而且,评价部203将评价结果输出至其他框体所具备的显示部204。

[0070] 通过这样构成,能够通过AE震源密度分布以及弹性波传播速度分布的导出中使用已有的装置来抑制构造物评价装置20的制造成本。

[0071] 信号处理部11也可以设置于构造物评价装置20。在这样构成的情况下,信号处理部11从AE传感器10直接、或者经由未图示的中继装置取得通过AE传感器10被实施了处理的AE源信号。

[0072] 在图1中,1台信号处理部11与多个AE传感器10—1~10—n连接,但也可以构成为构造物评价系统100具备多台信号处理部11,在各AE传感器10分别连接信号处理部11而具备多台传感器单元。

[0073] 在本实施方式中,表示了速度运算部202导出弹性波传播速度分布的构成,但并不需要限定于此。例如,速度运算部202也可以构成为导出在图2A所示的AE震源密度分布中为规定的阈值以上的密度的区域中的速度、或者小于规定的阈值的密度的区域中的速度。在这样构成的情况下,评价部203使用由位置标定部201导出的AE震源密度分布、和由速度运算部202导出的速度来评价构造物的健全性。

[0074] 另外,评价部203也可以作为输出控制部进行动作。输出控制部控制输出部来输出评价结果。这里,输出部包括显示部204、通信部以及打印部。在输出部是通信部的情况下,输出控制部控制通信部来将评价结果发送至其他装置。另外,在输出部是打印部的情况下,输出控制部控制打印部来打印评价结果。此外,构造物评价装置20也可以具备显示部204、

通信部以及打印部的一部分或者全部作为输出部来执行上述的动作。

[0075] 位置标定部201也可以仅使用从AE的第一到达波的振幅为规定的阈值以上的发信源产生的AE的信息来导出AE震源密度分布。例如,位置标定部201可以仅使用从AE的第一到达波的振幅为60dB以上的发信源产生的AE的信息来导出AE震源密度分布。使用图10A以及图10B来具体进行说明。图10A是使用从AE的第一到达波的振幅为53dB以上的发信源产生的AE的信息而导出的AE震源密度分布,图10B是使用从AE的第一到达波的振幅为60dB以上的发信源产生的AE的信息而导出的AE震源密度分布。如果鉴于图5的妥当性的验证结果,则通过如图10B那样仅使用从某一恒定振幅以上的发信源产生的AE的信息,能够进行更高精度的评价。因此,通过这样构成,能够有助于有效结果的劣化诊断。此外,第一到达波是指在由多个AE传感器检测到构造物中发生的某一弹性波产生现象(称为事件)的情况下,最初到达AE传感器的弹性波。

[0076] 图11是表示图7所示的基本概念的其他例的图。在图11所示的例子中,除了图7的划分之外,还追加了与构造物刚刚建造、修补之后的初始阶段对应的“初始”阶段(phase)。这表示了构造物的建设、制造后的初始状态下最初被施加负载时,大量观测到发信源的状况。这不直接表示构造物的劣化发展,而表示构造物针对自身经历的最初的负载的响应,之后,针对以往的负载,AE的产生逐渐变少。因此,表示了被定位为图7的健全阶段的前阶段,并在初始阶段之后,与发信源的减少一同不断移至健全阶段。例如,图11所示的例子是在构造物刚刚建造、修补之后进行健全性的评价的情况下应该考虑的阶段。

[0077] 评价部203也可以构成为导出仅表示了极限劣化的区域的评价结果分布,并使导出的评价结果分布显示于显示部204。具体而言,首先评价部203如上述那样,使二值化AE震源密度分布与二值化弹性波传播速度分布重叠。接下来,评价部203在重叠的区域中以上述的评价条件探索极限劣化的区域和满足评价条件的区域。然后,评价部203通过对极限劣化的区域的满足评价条件的区域分配规定的图案(例如,如图4那样分配“4”的数字和颜色的涂覆),对极限劣化的区域的不满足评价条件的区域不分配规定的图案,来导出仅表示了极限劣化的区域的评价结果分布。然后,评价部203使导出的评价结果分布显示于显示部204。

[0078] 在本实施方式中,表示了评价部203使用二维数据的二值化AE震源密度分布和二维数据的二值化弹性波传播速度分布来导出二维数据的评价结果分布,并使导出的评价结果分布进行显示的构成,但评价部203也可以构成为显示三维的评价结果分布。三维的AE震源密度分布与弹性波传播速度分布能够通过由位置标定部201以及速度运算部202进行导出的过程中将二维空间扩展为三维空间并进行导出而求出。

[0079] 在本实施方式中,表示了评价部203基于密度基准值,将AE震源密度分布内的区域划分成发信源稀疏的区域、和发信源密集的区域这两个区域,基于传播速度基准值将弹性波传播速度分布内的区域划分成传播速度高的(快的)区域、和传播速度低的(慢的)区域这两个区域的构成。与此相对,也可以构成为通过使用包括密度基准值的具有规定的范围的宽度的第1区域、和包括传播速度基准值的具有规定的范围的宽度的第2区域作为阈值,评价部203将AE震源密度分布内的区域划分成发信源稀疏的区域、发信源密集的区域、和不属于疏密任意一个区域的区域这三个区域,将弹性波传播速度分布内的区域划分成传播速度高的(快的)区域、传播速度低的(慢的)区域、和不属于高低任意一个区域的区域这三个区域。例如,第1区域的宽度是0.4~0.6的范围,第2区域的宽度是3600m/s~4000m/s的范

围。其中,第1区域以及第2区域可以预先设定,也可以由用户设定。

[0080] 在这样构成的情况下,评价部203在AE震源密度分布内的区域中将第1区域的最大值以上的密度的区域设为发信源密集的区域,将小于第1区域的最小值的密度的区域设为发信源稀疏的区域,将第1区域的最小值以上小于最大值的密度的区域作为其他区域来对区域进行划分。另外,评价部203在弹性波传播速度分布内的区域中将第2区域的最大值以上的传播速度的区域设为传播速度高的区域,将小于第2区域的最小值的传播速度的区域设为传播速度低的区域,将第2区域的最小值以上小于最大值的传播速度的区域设为其他区域来对区域进行划分。这样构成的情况下的评价的基本概念图如图12那样。

[0081] 图12是使用了包括基准值的具有规定的范围的宽度的区域作为阈值的情况下的由构造物评价装置20进行的健全性的评价的基本概念的图。如图12所示,通过使用包括基准值的具有规定的范围的宽度的第1区域41、和第2区域42作为阈值,存在被评价为不属于4个评价的任意一个的情况。然而,在不使用具有规定的范围的宽度的区域作为阈值的情况下,如图7所示,也存在因很少的值的偏移而导致健全的区域被评价为极限劣化的可能性。与此相对,通过如上述那样,使用包括基准值的具有规定的范围的宽度的区域作为阈值,能够降低健全的区域被评价为极限劣化的可能性。

[0082] 评价部203也可以使用第1区域41或者第2区域42的任意一个作为阈值来评价劣化状态。

[0083] 在上述的实施方式中,表示了评价部203通过图7所示的评价方法来进行评价的构成,但并不需要限定于此,评价部203也可以构成为通过以下所示的评价方法来进行评价。具体而言,评价部203在到满足规定的条件为止的期间通过图9所示的评价方法进行评价,在满足了规定的条件之后通过图7所示的评价方法进行评价。这里,规定的条件是指弹性波的产生频度(弹性波的检测数)超过预先设定的第一阈值、或者传播速度急剧降低。传播速度急剧降低的情况例如是速度运算部202在时刻 $t-1$ 计算出的传播速度与在时刻 $t$ 计算出的传播速度之差降低了第二阈值以上的情况。使用图13A以及图13B对基于规定的条件的评价进行说明。

[0084] 图13A是用于对规定的条件是弹性波的产生频度(弹性波的检测数)超过预先设定的第一阈值的条件的情况下的评价方法进行说明的图。在图13A中,横轴表示时间 $T$ ,纵轴表示弹性波的产生频度。其中,在图13A中,时刻 $t_1$ 表示超过预先设定的第一阈值的时刻。如图13A所示,一般随着构造物的劣化状态恶化,弹性波的产生频度变高,在弹性波的产生频度超过了第一阈值之后,弹性波的产生频度经过峰值后逐渐降低。由于构造物具有这样的特性,所以评价部203在弹性波的产生频度超过第一阈值为止的期间,通过图9所示的评价方法进行评价,在弹性波的产生频度超过了第一阈值之后,通过图7所示的评价方法进行评价。具体而言,在图13A中,评价部203在到时刻 $t_1$ 为止的期间,通过图9所示的评价方法进行评价,在时刻 $t_1$ 以后,通过图7所示的评价方法进行评价。

[0085] 图13B是用于对规定的条件是传播速度急剧降低的条件的情况下的评价方法进行说明的图。在图13B中,横轴表示时间 $T$ ,左纵轴表示弹性波的传播速度。如图13B所示,一般随着构造物的劣化状态恶化,弹性波的传播速度降低。由于构造物具有这样的特性,所以评价部203在到弹性波的传播速度降低第二阈值以上为止的期间,通过图9所示的评价方法进行评价,在弹性波的传播速度降低了第二阈值以上之后,通过图7所示的评价方法进行评

价。具体而言,在图13B中,评价部203在到时刻 $t_1$ 为止的期间,通过图9所示的评价方法进行评价,在时刻 $t_1$ 以后,通过图7所示的评价方法进行评价。

[0086] 在图7所示的评价方法中,使用上述的评价条件。在图9所示的评价方法中,例如弹性波传播速度低于某一基准、并且AE震源密度分布越密集(发信源越密集)则评价部203越评价为极限劣化,弹性波传播速度高于某一基准、并且越是AE震源密度分布稀疏的区域(发信源稀疏的区域)则评价部203越评价为健全。其中,图9和图7中所示的极限劣化表示在各自的图中劣化的程度相对最大的状态,在将图9与图7的极限劣化相互比较的情况下,图7的极限劣化其劣化的程度较大。通过如以上那样以规定的条件切换评价方法,能够灵敏度良好地评价劣化没有大幅发展的构造物的劣化状态的变化。

[0087] 根据以上说明的至少一个实施方式,通过具有:检测从构造物产生的弹性波的多个AE传感器10、基于弹性波导出发信源分布的位置标定部201、基于弹性波导出传播速度的速度运算部202、以及基于发信源分布和传播速度来评价构造物的健全性的评价部203,能够对产生弹性波的构造物的健全性进行评价。

[0088] 对本发明的几个实施方式进行了说明,但这些实施方式只是例示,并不意图限定发明的范围。这些实施方式能够以其他的各种方式加以实施,在不脱离发明主旨的范围能够进行各种省略、置换、变更。这些实施方式以及其变形包含在发明的范围、主旨中,并且,包含在技术方案所记载的发明和其等同的范围。

[0089] 附图标记说明

[0090] 10(10-1~10-n)···AE传感器,11···信号处理部,20···构造物评价装置,201···位置标定部,202···速度运算部,203···评价部,204···显示部。

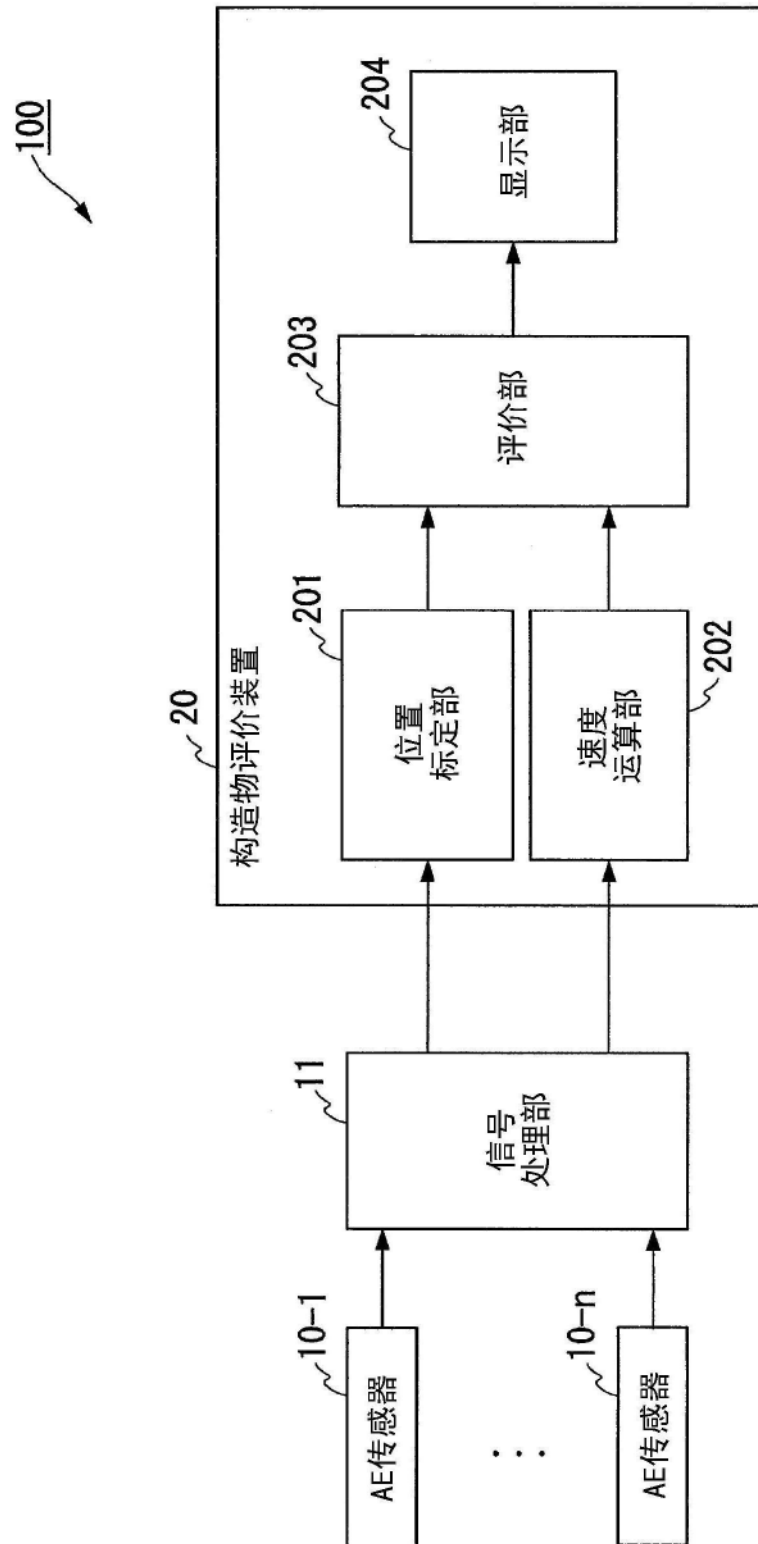


图1

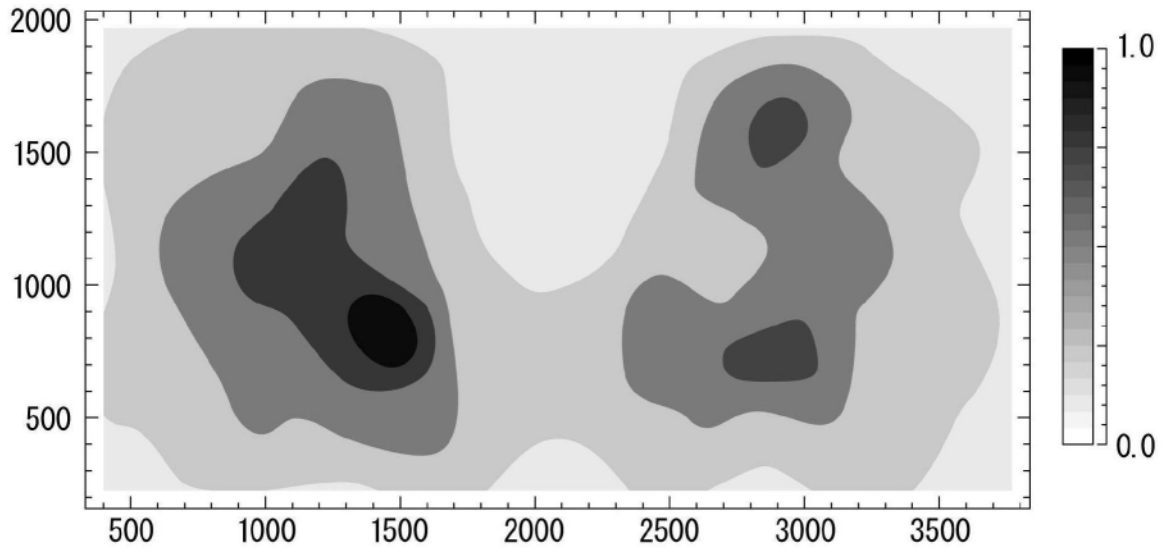


图2A

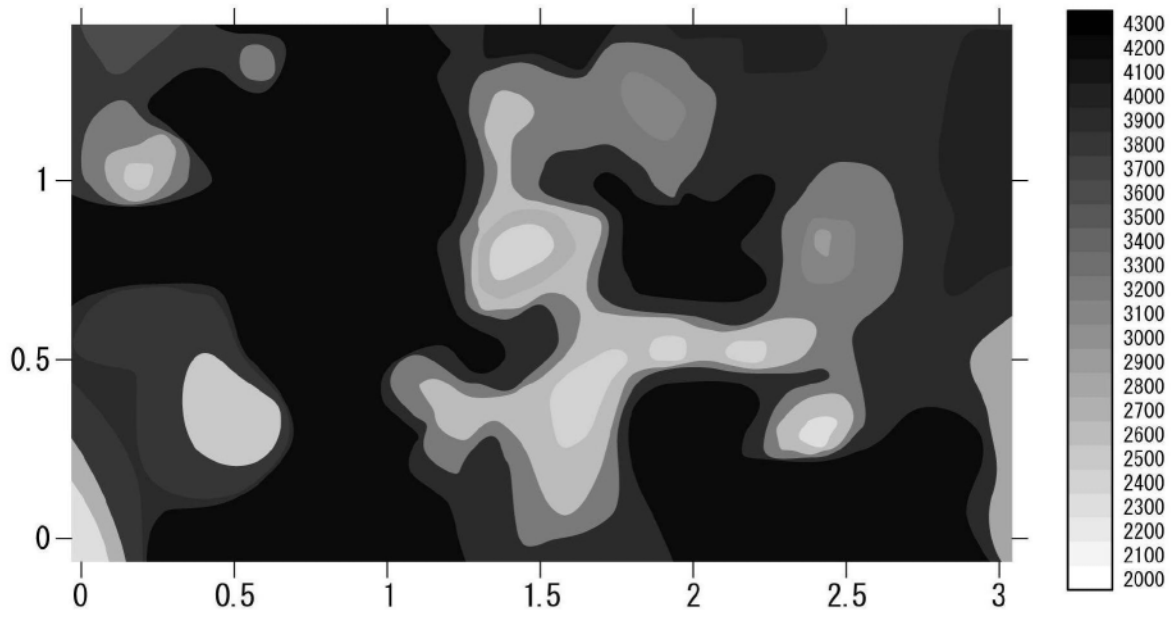


图2B

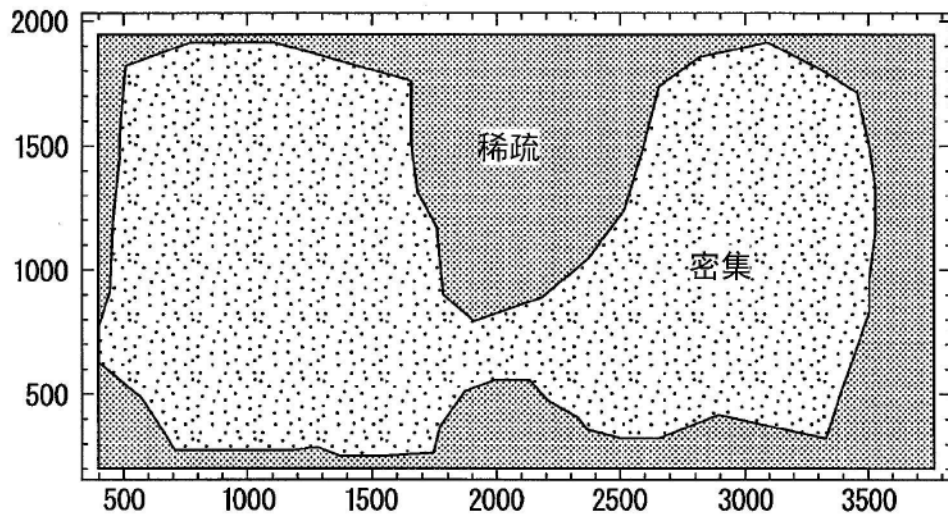


图3A

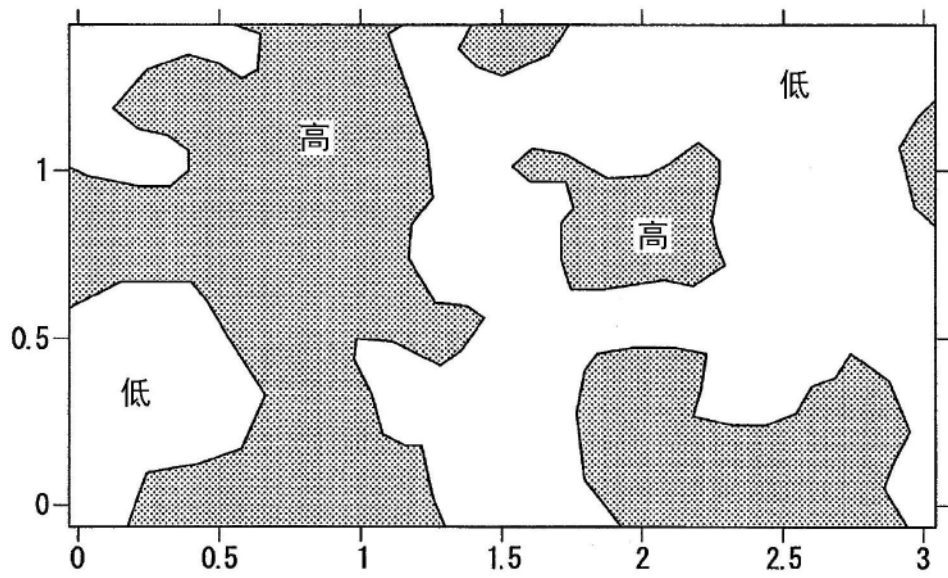


图3B



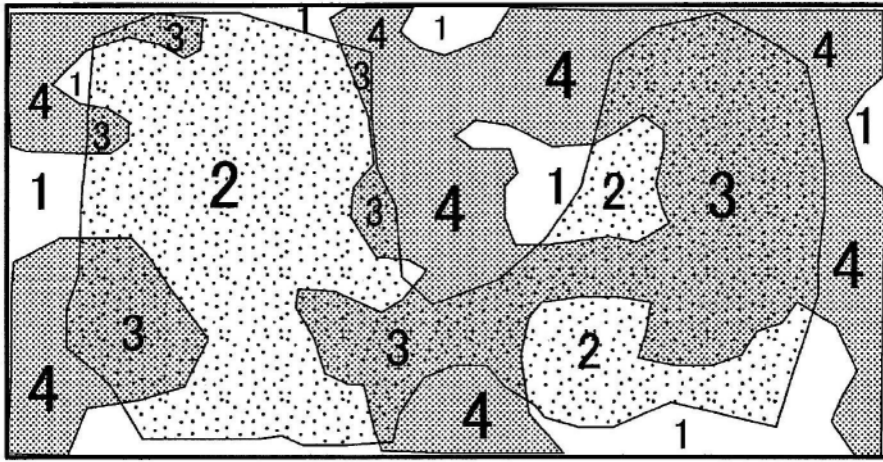


图4

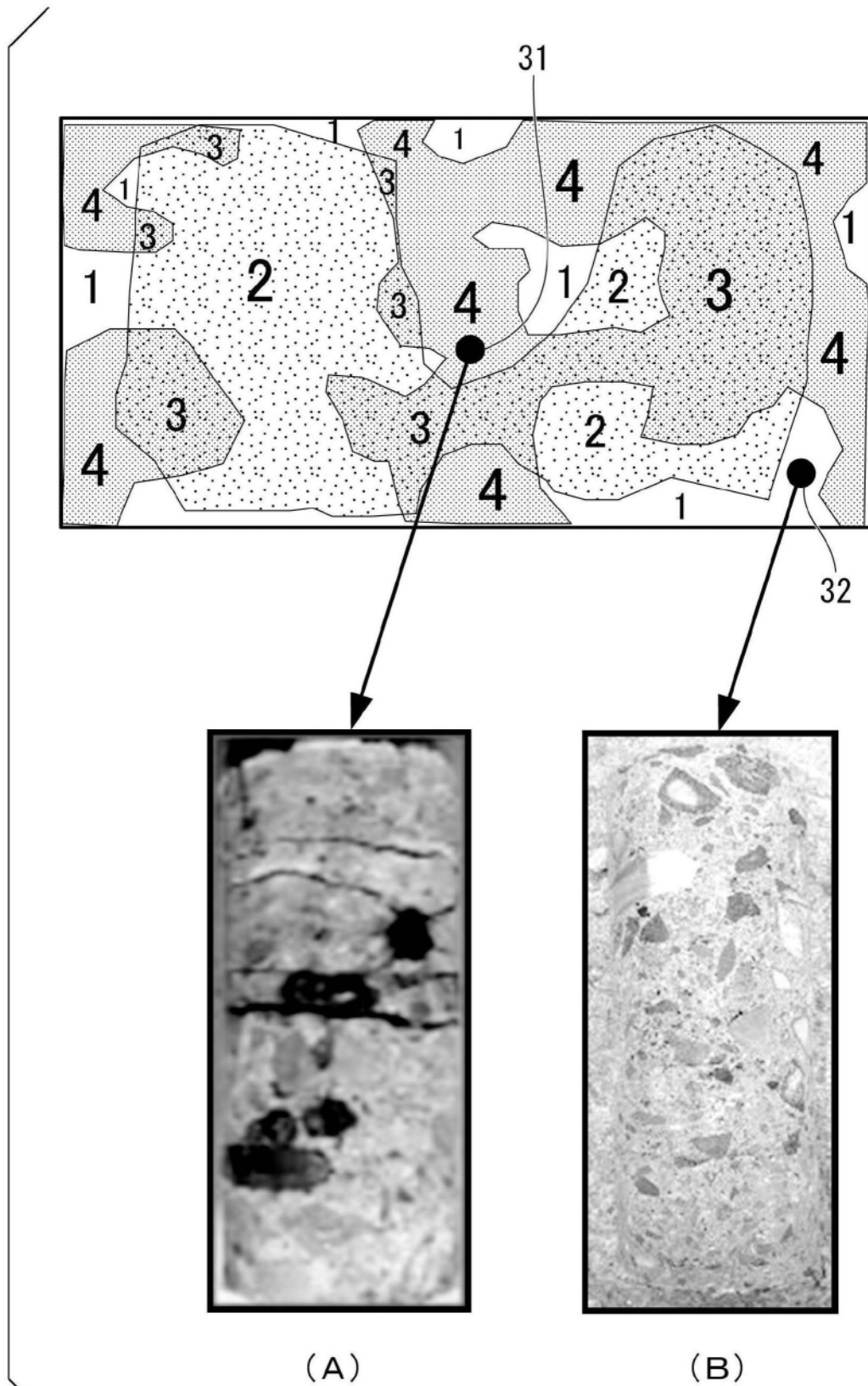


图5

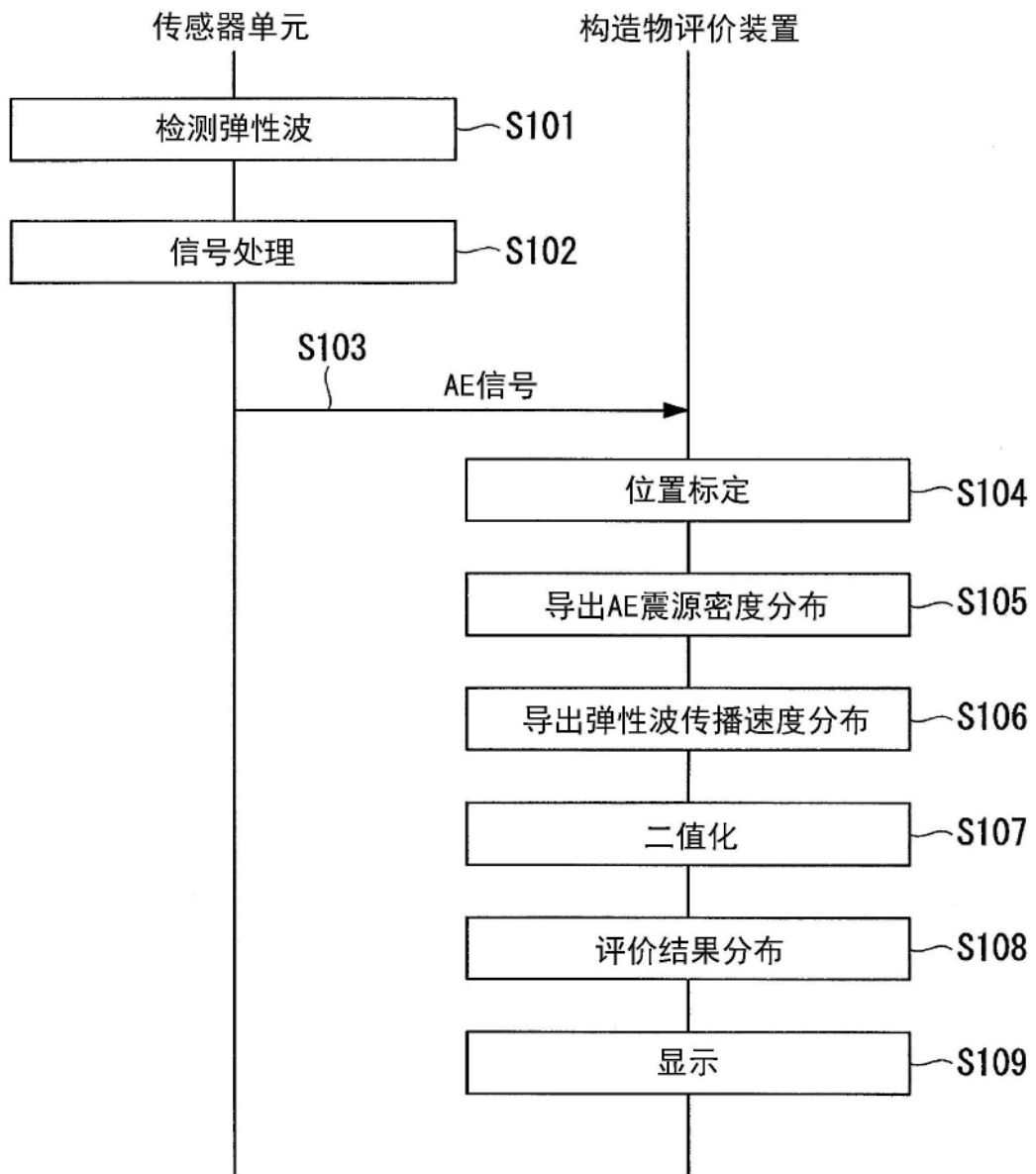


图6

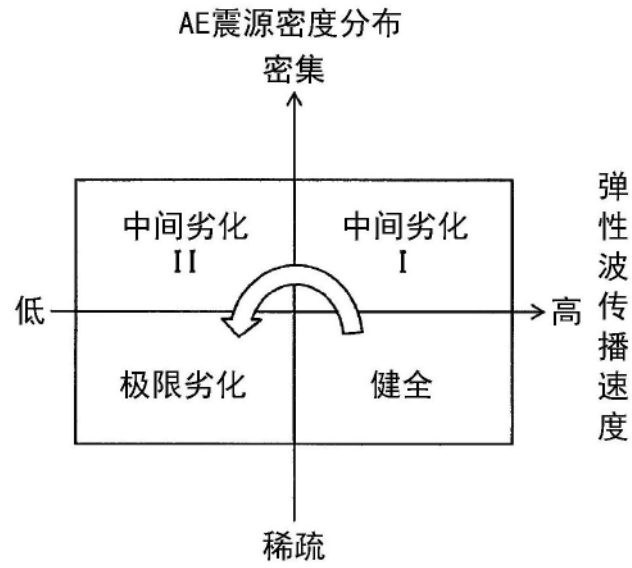


图7

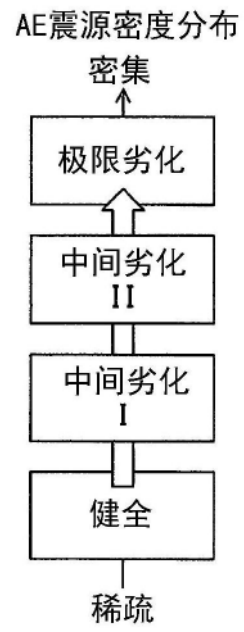


图8A

弹性波传播速度

高

健全

中间劣化  
I中间劣化  
II

极限劣化

低

图8B

AE震源密度分布

密集

极限劣化

中间劣化  
II

低

中间劣化  
I

健全

弹性波传播速度

高

稀疏

图9

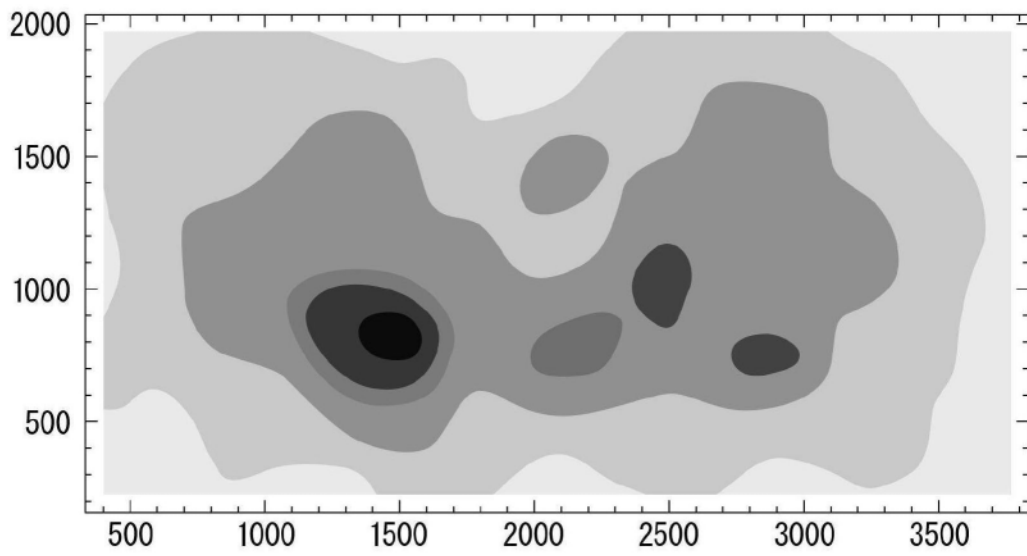


图10A

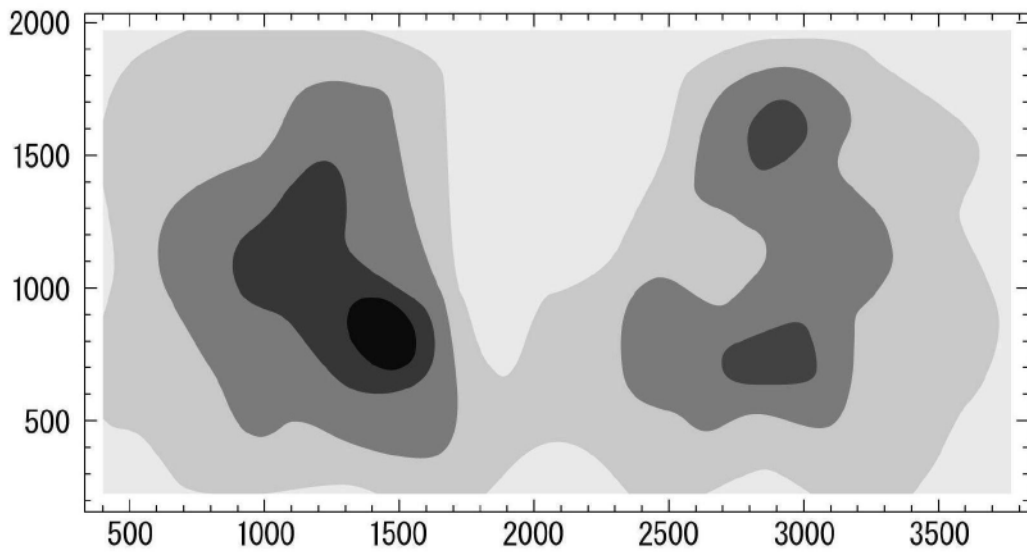


图10B

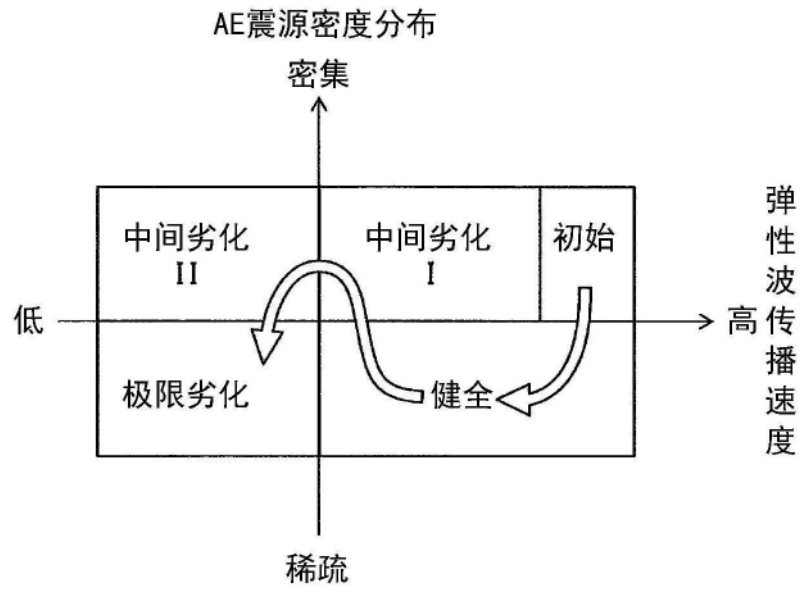


图11

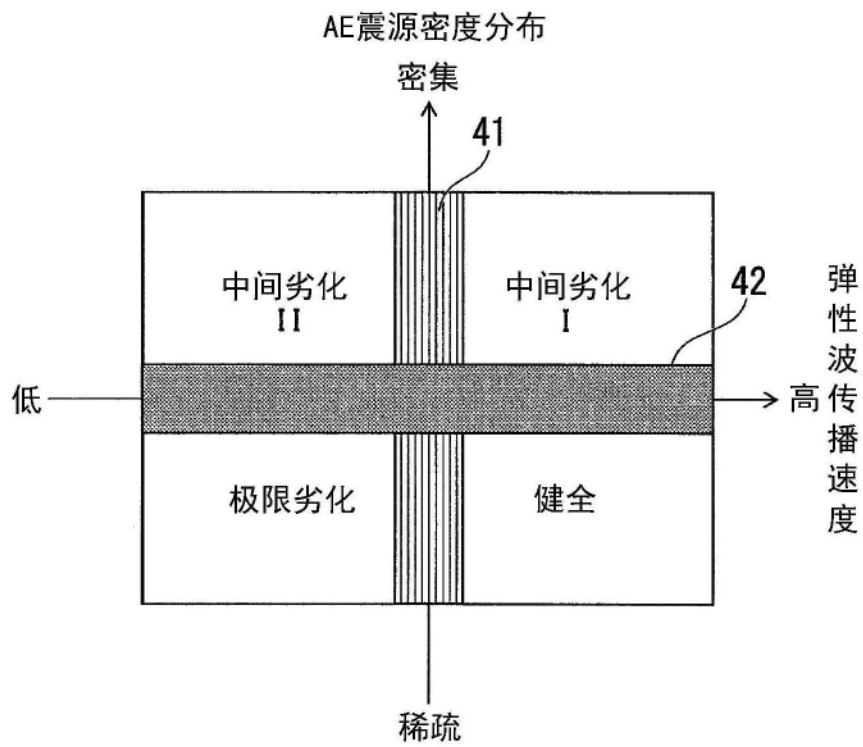


图12

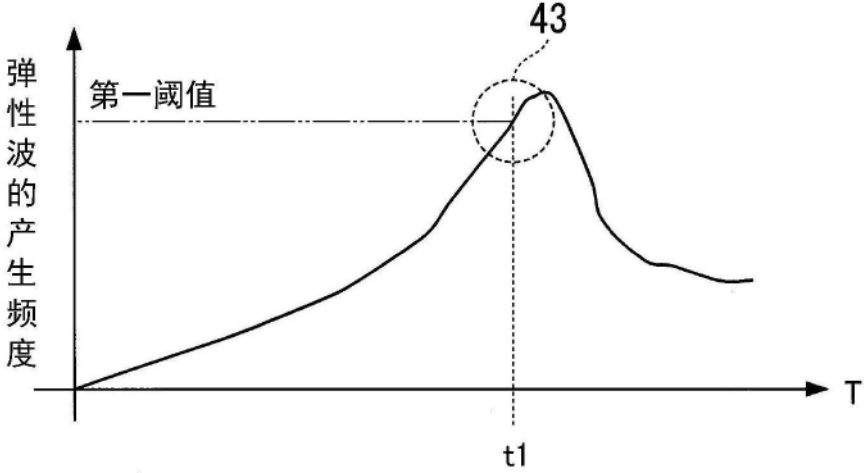


图13A

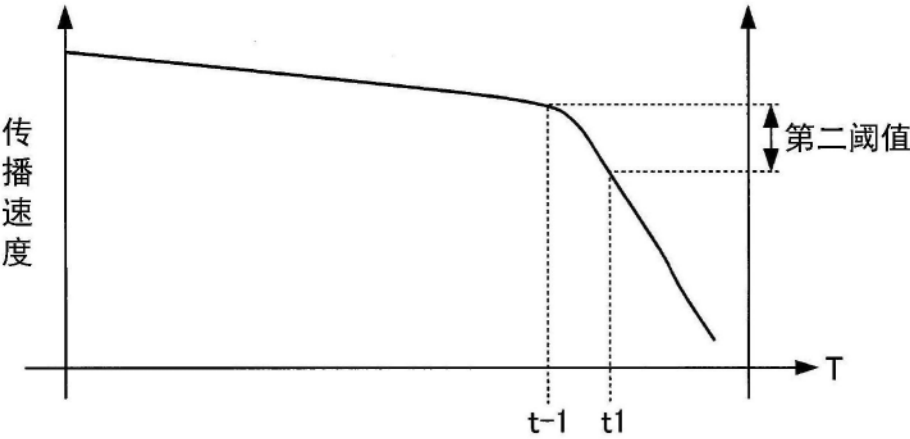


图13B