



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110506144 A

(43)申请公布日 2019.11.26

(21)申请号 201780076290.X

理查德·克拉斯特

(22)申请日 2017.10.20

尤尼斯·阿乔伊 斯蒂芬·伊诺克

(30)优先权数据

塞巴斯蒂安·圭诺

1617808.9 2016.10.21 GB

斯特凡·布鲁尔

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

(74)专利代理机构 广州三环专利商标代理有限公司 44202

2019.06.11

代理人 郝传鑫 熊永强

(86)PCT国际申请的申请数据

(51)Int.Cl.

PCT/EP2017/076844 2017.10.20

E02D 27/34(2006.01)

(87)PCT国际申请的公布数据

E04H 9/02(2006.01)

W02018/073412 EN 2018.04.26

G01V 1/00(2006.01)

(71)申请人 帝国学院创新有限公司

E02D 27/12(2006.01)

地址 英国大伦敦地区伦敦市展览路

申请人 马赛大学 马赛中央学校

国家科学研究中心

(72)发明人 特里丰·安托纳卡基斯

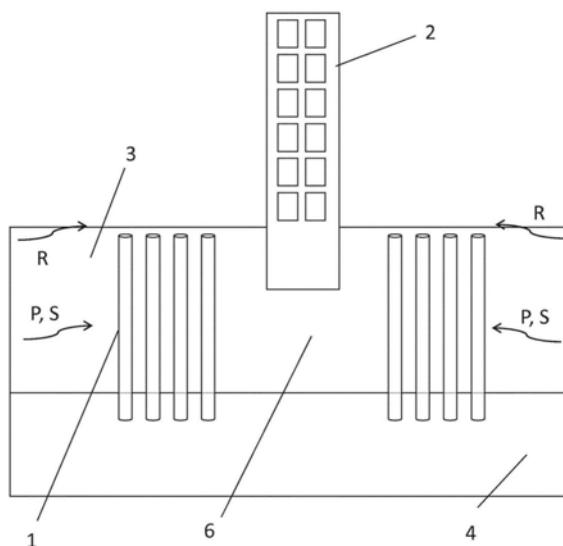
权利要求书1页 说明书10页 附图4页

(54)发明名称

地震防护结构

(57)摘要

一种保护区域免于地震震动和地震波屏蔽装置和一种通过安装地震波屏蔽装置而保卫区域免于地震波的方法。地震波屏蔽装置包括一组立柱(1)，该立柱(1)被嵌入风化层(3)中，与基岩(4)接触。形成立柱(1)的材料和风化层(3)之间存在材料反差。



1. 一种地震波屏蔽装置,包括一组立柱,该立柱被嵌入风化层中,与基岩接触,其中,形成立柱的材料和风化层之间存在材料反差。
2. 根据权利要求1所述的地震波屏蔽装置,其中,形成所述立柱的所述材料具有比所述风化层更高的密度。
3. 根据权利要求1或2所述的地震波屏蔽装置,其中,各个所述立柱的底部被嵌入所述基岩中。
4. 根据上述权利要求中的任一项所述的地震波屏蔽装置,其中,所述地震波屏蔽装置位于建筑物的横向周边之外。
5. 根据上述权利要求中的任一项所述的地震波屏蔽装置,其中,形成所述立柱的所述材料的密度至少是所述风化层的1.1倍。
6. 根据上述权利要求中的任一项所述的地震波屏蔽装置,其中,形成所述立柱的所述材料的杨氏模量至少是所述风化层的杨氏模量的10倍。
7. 根据上述权利要求中的任一项所述的地震波屏蔽装置,其中,所述立柱周期性地或准周期性地位于所述屏蔽装置中。
8. 根据权利要求3所述的地震波屏蔽装置,其中,所述底部具有大于30cm的高度。
9. 根据上述权利要求中的任一项所述的地震波屏蔽装置,其中,所述立柱的合计体积至少是所述屏蔽装置的体积的15%。
10. 根据权利要求6所述的地震波屏蔽装置,其中,所述立柱位于六边形格子或其他布拉菲格子的格点。
11. 根据上述权利要求中的任一项所述的地震波屏蔽装置,其中,所述屏蔽装置的沿着欲阻挡的地震波的方向的宽度大于两列立柱。
12. 根据上述权利要求中的任一项所述的地震波屏蔽装置,还包括平板,所述平板在所述平板的第一端附接至所述屏蔽装置的第一立柱,所述平板在所述平板的第二端还附接至所述屏蔽装置的第二立柱。
13. 根据上述权利要求中的任一项所述的地震波屏蔽装置,其中,至少一个所述立柱包括混凝土。
14. 根据上述权利要求中的任一项所述的地震波屏蔽装置,其中,至少一个所述立柱包括钢和混凝土。
15. 一种方法,通过将根据权利要求1至13中的任一项所述的地震波屏蔽装置安装在区域的周边的至少一部分,从而保卫所述区域免于地震波。
16. 一种被保卫免于地震的建筑物,包括根据上述权利要求中的任一项所述的地震波屏蔽装置,该地震波屏蔽装置定位成邻近建筑物的周边的一部分,并位于所述周边之外。
17. 一种大致如前文参照图1至3所述的地震波屏蔽装置。
18. 一种大致如前文参照图1和2所述的、保卫区域免于地震波的方法。
19. 一种大致如前文参照图1和2所述的、被保卫免于地震的建筑物。

地震防护结构

技术领域

[0001] 本发明涉及地震防护结构,具体地,涉及为建筑物或建筑群提供地震防护的结构。

背景技术

[0002] 根据美国地质调查局,每年在全世界发生超过300万起的地震,绝大多数为里氏3.9级以下,但是,超过900起为里氏5.0以上。甚至微小的地震引起的震动对建筑物的结构完整性产生影响。类似地,来自城市列车系统、地铁、诸如打桩机的机器以及道路的烦扰的地面震动经常影响房产价值或土地用途。地震波由通过地面传播的表面波(瑞利波)、压力波以及剪切波构成。表面波导致任何损害的大部分并传播最快,但是,体波(压力波和剪切波)也导致损害,尤其是在沉积盆地中的陷波的情况下。

[0003] 期望提供一种防护结构以防止地震波到达建筑物。尤其是频率为大约1至10Hz的波能够导致大量的损害,因为这种低频长距离传播,并且,它们经常与建筑物的共振的基本频率一致。由机器或附近轨道引起的甚至小震级的地震波能够导致建筑物的显著损害,尤其是随着时间流逝的情况下。在诸如核电站和炼油厂的建筑物中,对建筑物的甚至小等级的损害能够具有灾难性后果。

[0004] 在《地震超材料:如何摇晃伙伴并对波产生影响?》(S.Brûlé等)中,在由大约深度为5m、直径为320mm、间隔为1.73m的空心圆柱形钻孔组成的规则的正方形网格上,进行了地震测试。该测试表明网格的周期性沿传播方向对地震波产生破坏性干扰,因而,减小了约50Hz的地震波通过地面的传播。(这是所谓的部分阻带,即,某些偏振的弹性波无法沿着阵列内的某些晶向传播的一系列频率)。

[0005] 在《由声波超材料构成的人工地震阴影区》(Sang-Hoon Kim和Mukunda P.Das)和《超材料的地震波导》(Sang-Hoon Kim和Mukunda P.Das)中,提出了一种由巨大的空盒子(超级盒子)构成的防护,该空盒子带有对应于地震波的共振频率的侧孔。由许多超级盒子构成的超级屏障减弱了地震波,这通过使地震能量消散,从而指数地减小了波的振幅。这些超级屏障围绕欲保护的建筑物而置于地面中。

[0006] 《适用于城市公用系统的接管的可能措施/地震活动的动态控制。使用超材料的地震波偏转/衰减》(Ungureanu等)描述了地震波的反射以及上述的方法(将波减弱的周期性图案中的空钻孔和超级盒子)作为用于建筑物的地震防护。

发明内容

[0007] 在一个方面中,本发明提供了一种地震波屏蔽装置,该地震波屏蔽装置包括一组立柱,该立柱嵌入风化层中,与基岩接触,其中,立柱由与风化层具有材料反差的材料形成。这种屏蔽装置通过产生阻带而反射地震波,该阻带覆盖更大范围的频率,并具有比现有技术的空心钻孔阵列中的阻带的频率下限更低的频率下限。屏蔽装置具有较宽的零频率带隙。具有阻带内的频率的地震波不能穿过屏蔽装置。本发明的阻带的比现有技术更大的带宽,源于立柱和基岩之间的接触以及风化层(通常为软土壤)和立柱中的材料之间的材料参

数(例如,密度、杨氏模量、体模量及/或剪切模量)不一致。此外,阻带的下限接近0Hz,以创造零频率带隙,这是因为立柱和基岩之间的接触。该接触有效地将立柱固定至基岩。

[0008] 阻带的增大的带宽、近零频率带隙以及增大的上限频率允许本发明反射大范围的低频地震波。因此,阻带覆盖传播得更远且对建筑物导致最大损害的频率。阻带还覆盖建筑物的最容易共振的频率。该效果由波动物理学导致,所以,能够根据波动物理学选择立柱的成分、排列以及形状,以产生期望的阻带。

[0009] 为了使用空心钻孔的方法创造覆盖约为1至10Hz的频率的阻带,孔将需要几米至几十米的直径。很清楚的是,在地面中具有较大的孔是不可行的,尤其是在附近的其他建筑物位于的区域。因此,本发明以可行的方式实现有用的阻带,该阻带无法利用现有技术的方法实现。

[0010] 当立柱的材料的性质不同于风化层的性质时,立柱和风化层之间发生材料反差。例如,立柱可以具有与风化层不同的密度、杨氏模量、剪切模量或体模量。多于一种的性质可以在立柱的材料和风化层之间不同。例如,形成立柱的材料可以具有与风化层材料不同的密度和不同的杨氏模量。立柱的材料可以为固体、液体、泡沫或胶体。

[0011] 可以通过立柱具有比风化层更高的密度,从而实现材料反差,或者,可以通过立柱具有比风化层更高的杨氏模量,从而实现材料反差,或者,可以通过立柱具有比风化层更高的体模量,从而实现材料反差,或者,可以通过立柱具有比风化层更高的剪切模量,从而实现材料反差。材料反差可以通过两种以上的这些情况的组合而实现。

[0012] 可以通过立柱的密度至少是风化层的密度的1.1倍,从而实现材料反差,或者,可以通过立柱的杨氏模量至少是风化层的杨氏模量的10倍,从而实现材料反差,或者,可以通过立柱的体模量至少是风化层的体模量的10倍,从而实现材料反差,或者,可以通过立柱的剪切模量至少是风化层的剪切模量的10倍,从而实现材料反差。材料反差可以通过两种以上的这些情况的组合而实现。土壤的杨氏模量可能为153MPa,基岩的杨氏模量可能为30GPa。

[0013] 立柱可以具有比风化层更大的密度。立柱的密度可以至少是风化层的1.1倍。

[0014] 风化层的密度范围可能是1600至2300kg/m³,并且,可能是1800kg/m³(或者,在风化层是泥炭的情况下,密度可能是1200至1300kg/m³)。基岩的密度可能是2500kg/m³。由混凝土形成的立柱的密度可以为2300至2500kg/m³。其他实施方式可以使用可能更致密的特殊混凝土(重混凝土)。立柱的密度可以至少是风化层的1.1倍。优选地,立柱的密度可以至少是风化层的1.4倍。立柱的密度可以至少是风化层的4倍,例如,在立柱由钢桩形成时(密度为约7000kg/m³)。

[0015] 立柱可以具有比风化层更高的杨氏模量。立柱的杨氏模量可以至少是风化层的杨氏模量的10倍。

[0016] 各个立柱的底部可以被嵌入基岩中。这提供更有效地将立柱固定至基岩,并减小阻带的频率下限,创造了完美或接近完美的零频率带隙。这是有利的,因为减小阻带的下限以创造这种零频率带隙意味着能够阻挡更低的频率的地震波。

[0017] 底部的高度可以大于30cm。这意味着立柱更牢固地附接至基岩,因而,阻带的频率下限被减小,使得接近于零。

[0018] 立柱的直径(\varnothing)可以由在竖直负载下设计的最小承载力的目标指引,并且,钻孔

中的通常实践具有25至50cm的直径,但是,能够在10至150cm的范围内实现。能够根据其环境选择立柱的直径,使得立柱在被放置于其顶部的任何东西向立柱施加竖直负载的情况下不会失效。形成立柱的材料的强度和将向其施加的竖直负载均将影响所选的直径。例如,竖直负载下的混凝土的最大强度通常为12MPa(刚性立柱)至25MPa(钢桩)。这些是与混凝土的失效相应的应力的数值,并且,由混凝土形成的立柱的直径将根据所施加的竖直负载(kN)而适应。更高的负载将要求更大的立柱直径。

[0019] 各个立柱的嵌入于岩土基岩中的底部的长度可以至少是立柱的直径的3至5倍(3至 $5\varnothing$)。

[0020] 立柱的合计体积可以至少是屏蔽装置的体积的15%。优选地,立柱的合计体积可以至少是19%。更优选地,立柱的合计体积可以是屏蔽装置的体积的50%。可以使用用于部分阻带的出现的稀释复合极限(dilute composite limit),从而计算期望的体积(数值计算支持从麦克斯韦-加尼特(Maxwell-Garnett)理论得出的结论)。

[0021] 屏蔽装置的深度是从基岩至地平面的风化层的高度。屏蔽装置的周边由屏蔽装置的最外的立柱和最内的立柱限定,并且,屏蔽装置的面积是周边内的面积。体积是深度乘以屏蔽装置的面积。优化该比率,以阻挡地震波。

[0022] 立柱可以周期性地位于例如布拉菲(Bravais)格子的格点上,或者,准周期性地位于屏蔽装置中。这通过以超材料的方式对某些频率产生破坏性干扰,从而增加了被屏蔽装置反射的频率。立柱可以位于六边形格子、正方形格子、三角形格子、其他布拉菲格子或准周期性格子的格点上,或者,位于准随机格子的格点上。立柱和周围材料之间的参数的高对比(即材料反差)意味着立柱用作亥姆霍兹(Helmholtz)共振器,并且,最终的局部共振产生阻带。因此,能够破坏立柱的周期性,并且,立柱可以被放置成准周期性的排列或随机排列,并且,屏蔽装置仍将产生阻带。

[0023] 屏蔽装置的沿着欲阻挡的地震波的方向的宽度可以为至少2列立柱。更优选地,屏蔽装置的沿着欲阻挡的地震波的方向的宽度可以为至少3列立柱。屏蔽装置越宽,就越有效地阻挡地震波。可以沿着从欲保护的区域起的、从最接近欲保护的区域的立柱径向地向外至最远离区域的立柱的方向测量宽度。备选地,如果地震波源的位置是已知的,那么,可以沿着欲保护的区域和地震波源之间的、从最接近地震波源的立柱至最接近欲保护的区域的立柱的方向测量宽度。

[0024] 屏蔽装置可以还具有平板,该平板在平板的第一端附接至屏蔽装置的第一立柱,还在平板的第二端附接至屏蔽装置的第二立柱。平板可以附接至第一立柱和第二立柱的侧部。平板可以在地表面之下的5m的深度附接至立柱。屏蔽装置中的全部立柱或一个子组的立柱可以由平板连接。这些平板可以由混凝土、钢、混凝土和钢的组合或其他固体材料制成。平板改善了立柱的稳定性,并插入额外的阻带。

[0025] 立柱可以由混凝土、钢、木头或两者以上的这些材料的组合形成,例如钢和混凝土。这些材料具有较高的密度和杨氏模量,所以,立柱和风化层之间的不一致较高,导致阻带的带宽较大。形成立柱的材料可以在整个屏蔽装置中从屏蔽装置的一端至另一端逐渐变化。

[0026] 本发明的风化层可以为软土壤(例如包含黏土的沉积土壤)、冲积盆地、砾石、冲积土、泥炭或沙子。地面之下基岩之上的任何材料可以被认为是风化层的一部分。通常,风化

层的密度或杨氏模量越低，本发明越有效，因为这增大了与增大了阻带的带宽的立柱的不一致。

[0027] 本发明的第二方面提供了一种方法，该方法通过将地震波屏蔽装置安装在区域的周边的至少一部分，从而保卫该区域免于地震波。如上所述，地震波屏蔽装置防止具有地震波屏蔽装置的阻带内的频率的地震波通过。围绕该区域的周边安装这种屏蔽装置将防止阻带频率的地震波进入该区域，因而保卫该区域并防止地震波在该区域内导致损害。

[0028] 地震波屏蔽装置可以位于建筑物的横向周边的内侧。这防止地震波到达建筑物下的地面，因而防止对建筑物的损害。备选地，地震屏蔽装置可以部分地或全部地位于建筑物的横向周边的内侧。这防止地震波到达建筑物。

[0029] 在一些实施方式中，立柱可以位于建筑物之下，建筑物的横向周边的内侧，但是，立柱不是建筑物的地基。在一些实施方式中，立柱不直接附接至建筑物。在这些实施方式中，立柱可以设于建筑物的地基之间，但是，屏蔽装置的立柱不附接至建筑物。在一些实施方式中，立柱不直接接触建筑物，例如，风化层可以存在于立柱和建筑物之间。

[0030] 另外，防止地震波到达结构将导致更小的弹性应变、更低的孔隙压力变化，因而将限制发生土壤液化的风险。

[0031] 本发明的第三方面提供了一种被保卫免于地震的建筑物，该建筑物包括地震波屏蔽装置，该地震波屏蔽装置定位成邻近建筑物的周边的一部分。沿着屏蔽装置的方向，保护建筑物免于具有屏蔽装置的阻带内的频率的地震波，减小对建筑物造成损害的几率。

附图说明

[0032] 图1示出了本发明的一个实施方式的、围绕建筑物的屏蔽装置的土壤的水平截面图。

[0033] 图2示出了本发明的一个实施方式的、围绕建筑物的屏蔽装置的竖直截面图。

[0034] 图3a示出了根据本发明的屏蔽装置的带有附接的平板的立柱的透视图。

[0035] 图3b示出了根据本发明的屏蔽装置的带有附接的平板的立柱的俯视图。

[0036] 图3c示出了根据本发明的屏蔽装置的带有附接的平板的立柱的侧视图。

[0037] 图4示出了由图3所示的立柱形成的屏蔽装置的阻带图。

具体实施方式

[0038] 地震波可以长距离传播，并如上所述地对建筑物导致损害。能够围绕欲保护的区域或建筑物安装根据本发明的地震波屏蔽装置，并且，屏蔽装置接着将反射这些波，从而防止这些波到达该区域或建筑物。

[0039] 根据本发明的地震波屏蔽装置的一个示例包括嵌入于浅层土壤中的一组立柱（例如，冲积土或泥炭），该立柱被固定至岩土基岩。本示例中的杨氏模量E的对比如下所述：

[0040] • $E_{\text{立柱}} > 100 \cdot E_{\text{浅层土壤}}$ 以及

[0041] • $E_{\text{岩土基岩}} > 5 \cdot E_{\text{浅层土壤}}$ 。

[0042] • $1 \text{ MPa} < E_{\text{浅层土壤}} < 10 \text{ MPa}$

[0043] • $5000 < E_{\text{立柱}} < 30000 \text{ MPa}$.

[0044] 混凝土可以用作立柱的材料，其杨氏模量为15000至30000MPa。砂浆或者土壤和水

泥浆的混合物的杨氏模量为约5000MPa。该立柱由与风化层形成强烈的材料反差的材料形成。

[0045] 本发明的一个实施方式具有一组圆柱形的立柱,其位于风化层中,并与基岩接触,该基岩在地面之下的10至200米。立柱的直径为25cm至1.5m的范围。在该示例中,它们由混凝土制成,并且,立柱的50cm的底部被嵌入基岩中。立柱位于正方形的阵列中,并且,与其最近的立柱隔开0.5m至5m(最小间隔为2至3个直径)。

[0046] 在组装屏蔽装置时,最小间隔可以由钻孔工作的期间的、立柱对其最近的立柱的影响确定。如果立柱太近,那么,创造立柱时产生的钻孔效应能够减小邻近的立柱的直径,由此减小屏蔽装置的效率。钻孔者的经验已经表明0.5m至5m之间的最小间隔能够限制该效应的发生。

[0047] 该示例中的风化层是软土壤,但是,通常,风化层是位于基岩上并向上到达地平面的材料。它能够由许多不同的材料制成,例如,土壤、疏松岩石、生物材料、沙子、冲积土、泥炭及/或其他。基岩是硬岩石,该硬岩石就位于地面之下,风化层的下方。

[0048] 该屏蔽装置具有针对0Hz至20Hz的地震波的阻带,这意味着该范围内的波被屏蔽装置反射且部分地吸收。能量的一部分作为热能被消散。如上所述,损害最大的地震波为低频,并位于该范围内,因此,该屏蔽装置非常有效地防止地震波对建筑物的损害。这些立柱能够产生阻带,同时具有比现有技术中使用的钻孔小得多的直径,因为它们与基岩接触且混凝土的密度和模量比空气大得多。立柱和风化层的性质之间的不一致导致地震波的反射。立柱和基岩之间的接触增加了阻带的带宽,并将阻带的频率下限降至0Hz。

[0049] 本发明的许多实施方式创造了针对瑞利波、压力波、剪切波(针对全部晶向)的全阻带以及额外的部分阻带。

[0050] 根据本发明的屏蔽装置的阻带的下限非常低且接近0Hz。在0Hz附近产生阻带,因为屏蔽装置中的格点被固定,这在数学上导致屏蔽装置中的波分散,该波分散在零频率不通过,由此产生零频率阻带。屏蔽装置中的固定的格点由屏蔽装置中的立柱提供,这些立柱通过与基岩接触而被固定。

[0051] 在该实施方式中,立柱的50cm的底部被嵌入基岩中,从而将立柱更牢固地固定至基岩。将立柱更牢固地附接至基岩,增加了立柱与上述的基岩接触的效果。被嵌入基岩中的立柱被固定至基岩。通过将立柱固定至基岩,从而减小了阻带的频率下限,并增加了阻带的带宽。

[0052] 其他实施方式中的立柱可以与基岩的表面接触,或者,它们可以被嵌入基岩中。优选地,立柱被嵌入基岩中超过0.3m。

[0053] 通常,立柱被嵌入基岩中越多,立柱将被固定得越牢固,阻带的频率下限将越接近0Hz。

[0054] 用于立柱的材料可以具有比风化层更大或更小的密度、更高或更低的杨氏模量、更高或更低的体模量及/或更高或更低的剪切模量。立柱和风化层的性质之间的不一致加宽了阻带,所以,风化层和立柱的这些性质之间的差异越大,屏蔽装置产生的阻带的带宽越大。因此,当立柱具有比风化层更大的密度时,用于形成立柱的材料的密度越高,所产生的阻带的频率越低。

[0055] 如果材料参数(例如,密度、杨氏模量、体模量及/或剪切模量)的对比过大,那么,

阻带的带宽减小,所以,该对比应当适度地高,不应非常高,这要求进行优化,从而利用可实现的材料参数,基于频率带宽和频谱中的位置而实现最佳的低频阻带。立柱的密度可以小于风化层的2倍。立柱的杨氏模量可以小于风化层的杨氏模量的200倍。立柱的剪切模量可以小于风化层的剪切模量的300倍。

[0056] 该实施方式中的立柱由混凝土制成。混凝土具有比风化层(该实施方式中的软土壤)大得多的密度和杨氏模量,该风化层通常由土壤或疏松岩石构成。因此,风化层的混凝土之间的不一致较高,这导致被阻带覆盖的频率的范围增加,加宽了阻带,所以阻止更多的地震波通过屏蔽装置传播。在其他实施方式中,立柱可以由钢制成,该钢也具有比风化层更高的密度和杨氏模量。橡胶也可以用于形成立柱。混凝土的参数的典型数值如表1所示,若干类型的沉积土壤的参数的典型数值如表2所示。

[0057] 备选地,能够设想两种以上的介质的复合立柱。立柱的一部分可以由诸如钢的较硬的材料形成,并且,立柱的一部分可以由诸如混凝土或橡胶的较软的材料形成。例如,立柱可以由多层混凝土和多层钢构成,多层混凝土和多层钢沿着立柱竖直地交替。或者,立柱可以具有同心的圆形横截面,混凝土和钢的圆形截面交替,以改善立柱和屏蔽装置的反射性质。这在制造和改善带隙宽度的方面均具有吸引力。另一个备选是立柱由围绕混凝土立柱的钢套筒形成。

[0058] 立柱可以备选地由混凝土和橡胶的组合形成。同心的多层混凝土和橡胶可以用于形成立柱。也能够设想放射状的多层(沿着方位角的多层交替,而不是沿着径向的多层交替)。

[0059] 立柱的优选的直径和间隔由纳维(Navier) 方程的基于弗洛奎-布洛赫(Floquet-Bloch) 理论的数值解确定,并涉及阻带图的计算。当立柱之间的间隔为波长的1/10至1/100时,阻带能够出现。值得注意的是,立柱更多将更好,因为随着立柱的数量增加,地震波的衰减将指数增加。

[0060] 在一些实施方式中,屏蔽装置的不同部分中的填充率(全部立柱的合计体积作为屏蔽装置的体积的一部分)可以不同。例如,屏蔽装置的最暴露于地震波的部分(例如,面对地震波源的部分)可以具有更高的填充率,屏蔽装置的更远离地震波源的部分可以具有更低的填充率。这减小了制造立柱所需的材料的量,减小了建造屏蔽装置所需的成本和精力,同时在最重要的区域保持高等级的保护。

[0061] 通过将屏蔽装置的全部立柱的体积相加,并除以屏蔽装置的合计体积(包括立柱和阵列内的风化层),从而计算填充率。

[0062] 填充率优选超过15%。更优选地,填充率超过19%。更优选地,填充率超过50%。如果半径为正方形单元格的0.25倍,那么,能够看到部分阻带的出现,因而,面积填充率为 $0.25*0.25*3.14=0.19$ (19%)。值得注意的是,如果半径大于正方形单元格的0.4倍,那么,能够观察到大阻带(以及全阻带,即,针对全部的偏振和晶向),因而,面积填充率为50%。填充率可以低于10–20%,以使得屏蔽装置的安装更可行。

[0063] 通过经由立柱将屏蔽装置的格点固定至基岩,使得屏蔽装置的性质被立柱改变,由此改变通过屏蔽装置的地震波的分散。这产生阻带,尤其是0Hz附近的阻带,该阻带由源自立柱和基岩之间的接触的钉扎效应(pinning effect) 导致。效力受屏蔽装置中的立柱的填充率影响。如上所述,通过将立柱固定在基岩中,从而增加钉扎效应。

[0064] 在该实施方式中,立柱以周期性的正方形阵列被放置在地面中。也能够使用其他阵列,例如三角形阵列或六边形阵列。优选地,屏蔽装置的宽度(如上所述地沿着欲阻止的地震波的传播方向)为立柱之间的间隔的至少两倍,以允许3列以上的立柱位于屏蔽装置中。

[0065] 阵列的周期性是产生阻带和反射地震波的次要因素,因为与立柱的间隔相比,波长更大,因而,立柱不必以周期性图案被放置。立柱可以以准随机图案或准周期性图案(例如,彭罗斯(Penrose))被放置。立柱可以备选地被随机地放置在将由屏蔽装置覆盖的区域中。可以选择立柱的位置,以避开该区域中的障碍(例如建筑物或道路),或者,在基岩更接近地表的情况下,可以选择立柱的位置,以减小所要求的立柱的高度。立柱的排列(间隔及/或格子形状)可以在整个屏蔽装置中从屏蔽装置的一端至另一端逐渐变化。

[0066] 该实施方式中的立柱的形状为圆柱形。其他实施方式可以使用不同形状(三角形、正方形、五边形、六边形、圆形、长方形、椭圆形、星形)和不同横截面的立柱。一个屏蔽装置内的立柱也可以为不同的形状,并且,立柱的横截面的形状可以在整个屏蔽装置中从屏蔽装置的一端至另一端逐渐变化。立柱的横截面不必沿着立柱的长度(高度)而恒定(例如,横截面能够沿着长度而周期性地变化,以沿竖直方向创造额外的阻带,反射从基岩向上倾斜地传播的体地震波)。

[0067] 立柱从基岩向着地表面延伸,但是,可以具有低于地面(例如,低1至5m)的上表面,被土壤或城市覆盖。立柱的高度取决于屏蔽装置的区域中的基岩的表面的深度。在该示例中,立柱的高度是10米。在其他实施方式中,可以使用约50米的立柱。如果根据地面之下的基岩的深度而变得必要,那么,可以使用高度为10米至200米之间的立柱。如果基岩比这更深,那么,可以使用更高的立柱,以到达基岩的深度。基岩之上的土壤的深度可能为约15m,基岩的深度可能为约5m。

[0068] 立柱或一个子组的立柱可以由平板连接。这些平板可以由混凝土、钢、混凝土和钢的组合或其他固体材料制成。平板改善了立柱的稳定性,并插入额外的阻带。平板可以位于地表面之下的约5米处。平板可以在相邻的立柱之间延伸。平板可以水平地延伸。平板可以还与基岩接触,或者被嵌入基岩中。平板可以具有平面的形状,该平板大致竖直。立柱的增加的稳定性增加了固定的效果,由此减小了阻带的频率下限,因为立柱由于其相互连接而被更牢固地固定。增加平板,创造了额外的阻带,因为屏蔽装置能够近似成由连接块体的梁构成的格子。这创造了与梁的震动相关的额外的阻带。

[0069] 立柱可以通过由平板构成的格子而全部彼此附接,该平板将邻近的立柱连接。例如,如果立柱排列成正方形网格或长方形网格,那么,平板可以将各个立柱附接至它的四个最近的立柱(如果是三角形网格,则为三个,以此类推)。

[0070] 通过在地面钻具有立柱的形状和尺寸的孔,并穿过风化层向下到达基岩的表面,从而制造屏蔽装置的立柱。如果立柱将被嵌入基岩中,那么,通过钻挖,将孔延伸的距离至基岩中。孔接着被期望的材料填充,该材料可以为混凝土。如果立柱包含混凝土,那么,通过将未凝固的混凝土倾倒至孔中,使得混凝土接着凝固而形成立柱,从而可以在屏蔽装置内形成立柱。

[0071] 可以实施本发明,以通过围绕城市的边界布置屏蔽装置,从而保护整个城市。可以实施本发明,以通过围绕设施的边界布置屏蔽装置,从而保护诸如核电站或炼油厂的重要

设施。屏蔽装置可以位于从欲保护的建筑物或结构的边界起的小于5米的范围内。本发明可以通过围绕建筑物的边界布置屏蔽装置,从而保护单独的建筑物。屏蔽装置可以从建筑物横向地隔开,使得建筑物不重叠于屏蔽装置。屏蔽装置可以位于从建筑物的周边起的2至10米之间。屏蔽装置可以位于任何建筑物的横向周边之外,使得无建筑物重叠于屏蔽装置。屏蔽装置也能够保护桥梁、水坝、机场、核电站甚至城市。屏蔽装置的立柱能够分离,且不连接至欲保护的建筑物或结构。屏蔽装置能够定位成不直接连接至结构或建筑物。

[0072] 也可以保护区域免于当地产生的地震波,例如,通过围绕源头安置屏蔽装置,从而免于列车或震动设备,以防止地震波离开产生它们的区域。这可能在建筑工作中特别有用,因为它更可行且具有成本效率,其中,该建筑工作发生于欲保护多个建筑物免于在一个位置中使用的设备产生的地震波的建筑区域。

[0073] 如果屏蔽装置主要保护区域免于当地的地震波源,那么,屏蔽装置可以仅被放置在区域的面对该地震波源的侧。如果事先未知地震波源(例如,位于地震带中),那么,可以围绕欲保护的区域的整个边界放置屏蔽装置。

[0074] 本发明的一个实施方式如图1所示,围绕欲保护的建筑物安置地震波屏蔽装置。具有两列圆柱形立柱1,并且,立柱被布置在正方形格子的格点。立柱从建筑物2隔开,使得建筑物不重叠于立柱。弯曲的箭头表示接近建筑物且被屏蔽装置阻止的地震波。地震波由表面瑞利波R、体压力波P以及剪切波S构成。在该实施方式中,风化层是土壤3。立柱被固定至基岩,因为立柱的底部被嵌入至基岩中。

[0075] 图2示出了本发明的另一实施方式,类似于图1的实施方式,但是,具有构成屏蔽装置的四列立柱。该图示出了通过土壤3向着建筑物2传播的体压力波P、剪切波S以及瑞利(表面)波R均被屏蔽装置阻止。可以看出,立柱的底部被嵌入至基岩4中。立柱保护区域6免于瑞利表面波R、体压力波P以及剪切波S。

[0076] 具有附接的平板5的立柱1如图3所示。该图示出了屏蔽装置的单元格,在该单元格中,风化层成为透明,以允许看到立柱和平板。单元格包含一个立柱。立柱为圆柱形,并具有30cm的直径。立柱的位于基岩之上的高度为15m,立柱的被嵌入基岩中的底部的高度为80cm,因而,立柱的总高度为15.8m。The立柱附接至四个平板,该平板在邻近的立柱之间延伸。平板5为10cm厚,1.7m宽(单元格中仅示出了各平板的一半)。平板的高度与立柱相同(15.8m)。通过将许多图3的单元格彼此邻近地放置成正方形阵列,从而形成屏蔽装置。平板在两个邻近的立柱的表面之间延伸。

[0077] 由图3所示的立柱构成的屏蔽装置的阻带图如图4所示。这示出了针对低于20Hz的频率的阻带。这意味着由图3的单元格组成的正方形阵列构成的屏蔽装置将阻止频率低于20Hz的地震波。

[0078] 混凝土的参数的典型数值如表1所示,该混凝土是形成立柱的材料的一个示例。若干种类的沉积土壤的参数的典型数值如表2所示,该沉积土壤是形成风化层的材料的示例。

[0079] 表1.混凝土的典型参数(来源:StéphaneBrûlé)

[0080]

	符号	单位	数值	数值
			最小	最大
密度C12	ρ	kg/m^3	2200	2200

压缩波速	V_p	m/s	4100	3500
泊松比 ($\nu=0.2$:高质量, $\nu=0.3$:低质量)	ν	无	0.2	0.2
压缩波速与剪切波速的比率	V_p/V_s	无	1.63	1.63
针对小形变的剪切波速	V_s	m/s	2511	2143
针对小形变 ($<10^{-5}$) 的杨氏模量	E	MPa	33284	24255
针对小形变 ($<10^{-5}$) 的剪切模量	G	MPa	13868	10106

[0081] 表2. 沉积土壤的典型参数(来源: Stéphane Brûlé)

[0082]

	符号	单位	等级C的土壤			
欧洲规范8中的岩土的描述			沉积土壤具有平均密度的沙子、平均硬度的黏土、十分之几米至几百米的厚度			
密度	ρ	kg/m ³	1600	1600	1900	1900
根据欧洲规范8的剪切波速	V_s	m/s	180	360	180	360
泊松比	ν	sans	0.3	0.3	0.3	0.3
针对小形变 ($<10^{-5}$)	E	MPa	135	539	160	640

[0083]

的杨氏模量						
针对小形变 ($<10^{-5}$) 的剪切模量	G	MPa	52	207	62	246
混凝土和土壤之间的杨氏模量的比率(即, 对比)	$E_{\text{混凝土}}/E_{\text{土壤}}$	无	180	45	152	38
$E_{\text{混凝土最小}}/E_{\text{土壤}}$						

[0084] 在地震屏蔽装置的一个示例中, 大量的钢(密度为 7850 kg/m^3)的圆柱形立柱均具有 1.2 m 的直径, 该立柱用于土壤风化层中, 该土壤风化层为基岩之上的 15 m 深, 该基岩为 5 m 深。各立柱的底部被嵌入基岩中, 底部具有 80 cm 的高度。立柱被排列成正方形阵列, 使得最相邻的立柱的中心之间的距离为 2 m 。立柱为 15.8 m 高, 使得立柱到达风化层的表面。高达约 4.5 Hz 的零频率带隙由这种屏蔽装置导致。

[0085] 大量的立柱可以为三十个立柱, 排列成三列, 每列十个立柱。

[0086] 在地震屏蔽装置的另一示例中, 大量的钢(密度为 7850 kg/m^3)的圆柱形立柱均具有 0.2 m 的直径, 该立柱用于土壤风化层中, 该土壤风化层为基岩之上的 15 m 深, 该基岩为 5 m 深。

深。立柱被排列成正方形阵列,使得最相邻的立柱的中心之间的距离为2m。另外,立柱均通过厚度为0.2m的钢平板而连接至各个最近的立柱。因此,立柱和平板共同具有交叉状的横截面。立柱和平板的80cm的底部被嵌入基岩中。立柱为15.8m高,使得立柱到达风化层的表面。可以通过去除立柱的底部,使得立柱不被嵌入基岩中,从而修改屏蔽装置,并且,屏蔽装置为15m高。可以通过去除立柱的底部,使得立柱不被嵌入基岩中,从而修改该屏蔽装置,并且,屏蔽装置为15m高。高达约26Hz的零频率带隙由这种屏蔽装置导致。可以通过制造直径为0.3m的立柱,从而修改该示例的屏蔽装置。

[0087] 在地震屏蔽装置的另一示例中,大量的钢(密度为 7850kg/m^3)的圆柱形立柱均具有0.3m的直径,该立柱用于土壤风化层中,该土壤风化层为基岩之上的15m深,该基岩为5m深。立柱被排列成蜂巢形阵列,使得最相邻的立柱的中心之间的距离为2m。另外,立柱均通过厚度为0.3m的钢平板而连接至各个最近的立柱。立柱和平板的80cm的底部被嵌入基岩中。立柱为15.8m高,使得立柱到达风化层的表面。高达约20Hz的零频率带隙由这种屏蔽装置导致。

[0088] 使用六边形格子的类似阵列能够产生高达约18Hz的零频率带隙。

[0089] 在地震屏蔽装置的另一示例中,大量的钢(密度为 7850kg/m^3)的圆柱形立柱具有0.3m的直径,该立柱用于土壤风化层中,该土壤风化层为基岩之上的15m深,该基岩为5m深。立柱被排列成正方形阵列,使得最相邻的立柱的中心之间的距离为2m。立柱刺穿厚度为0.2m的水平的钢平板,该钢平板位于距离基岩的7.5m的高度。可以将该屏蔽装置修改成具有三个或七个均等隔开的水平的平板。立柱为15.8m高,使得立柱到达风化层的表面。

[0090] 在地震屏蔽装置的又一示例中,大量的钢(密度为 7850kg/m^3)的圆柱形立柱均具有0.6m的半径,该立柱用于土壤风化层中,该土壤风化层为基岩之上的15m深,该基岩为5m深。各立柱的底部被嵌入基岩中,底部具有80cm的高度。立柱被排列成正方形阵列,使得最相邻的立柱的中心之间的距离为2m。立柱为15.8m高,使得立柱到达风化层的表面。可以通过去除立柱的底部,使得立柱不被嵌入基岩中,从而修改该屏蔽装置,并且,屏蔽装置为15m高。

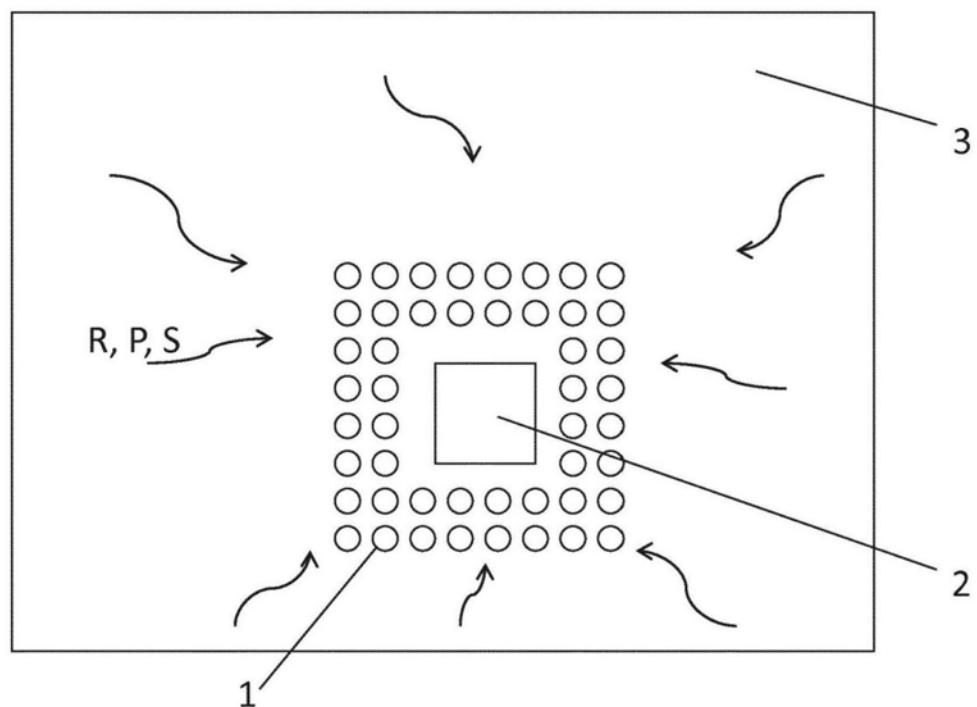


图1

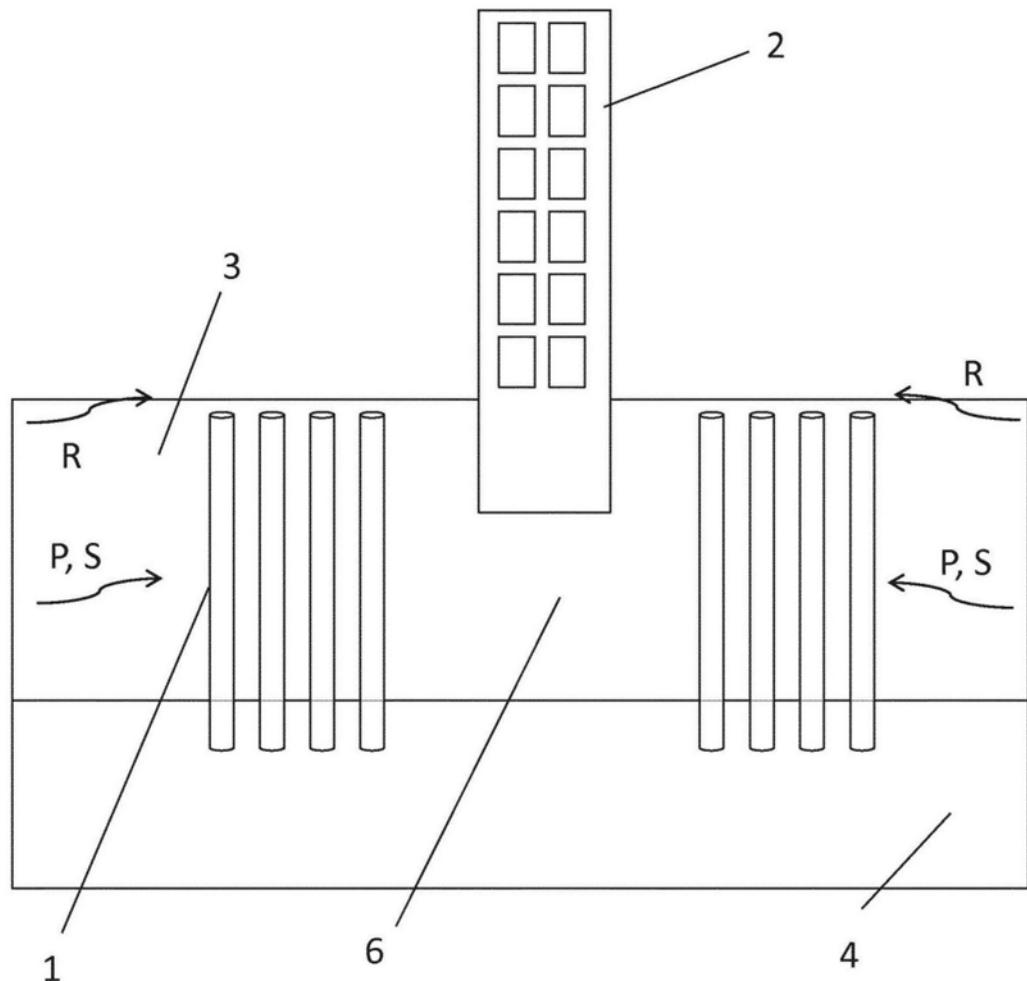


图2

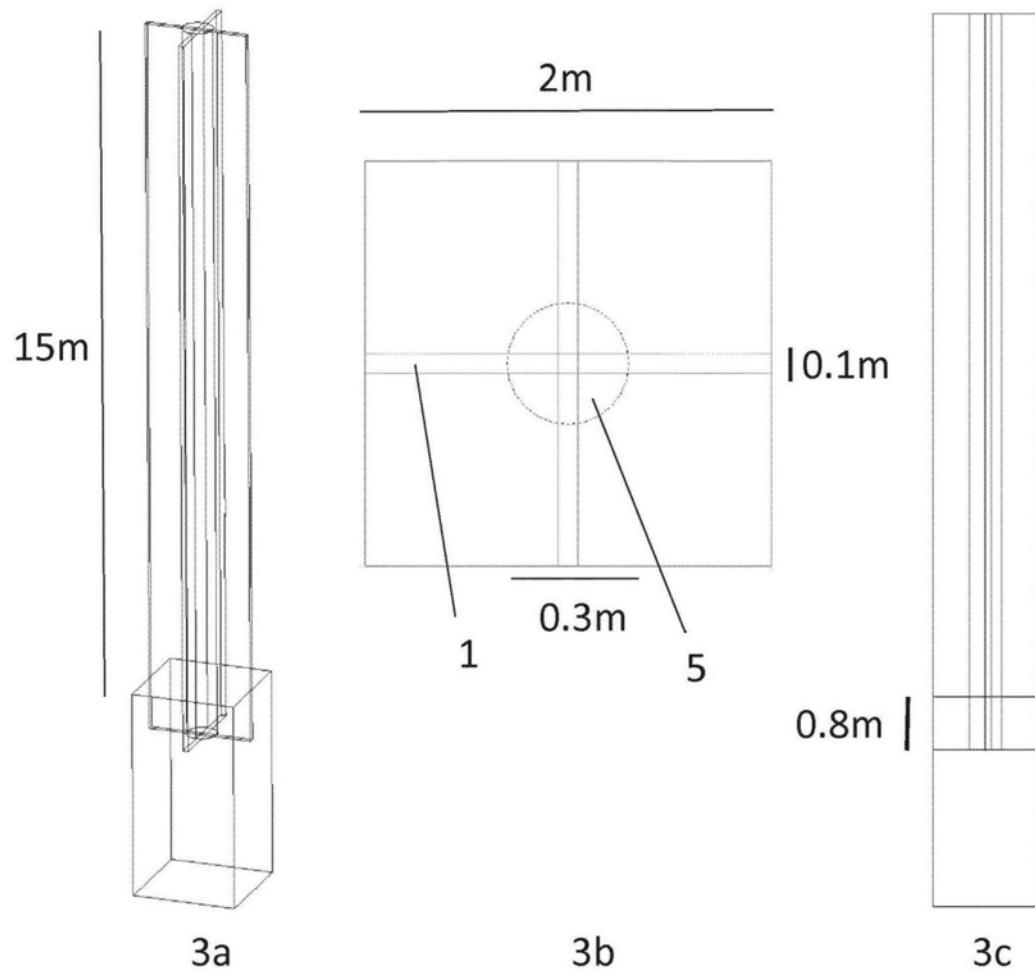


图3

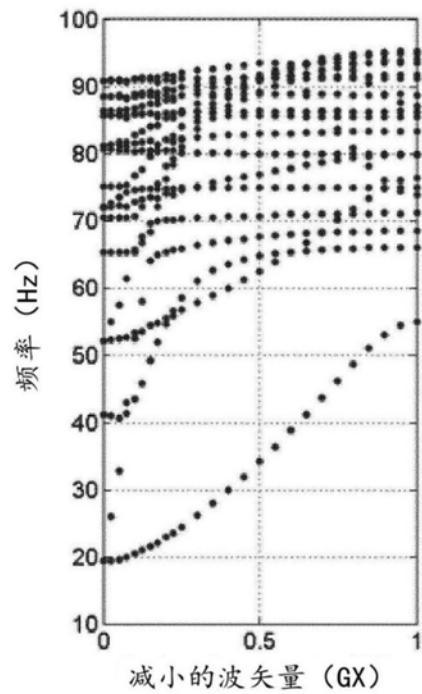


图4