(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104950093 B
(45)授权公告日 2017.10.24

(21)申请号 201410255735.9
(22)申请日 2014.06.10
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104950093 A
(43)申请公布日 2015.09.30
(30)优先权数据
10-2014-0037093 2014.03.28 KR
(73)专利权人 韩国地质资源研究院
地址 韩国大田广域市
(72)发明人 宋泳锡 金曝秀
(74)专利代理机构 北京英赛嘉华知识产权代理有限责任公司 11204
代理人 余朦 刘铮
(51)Int.Cl.
G01N 33/24(2006.01)
审查员 吴菲

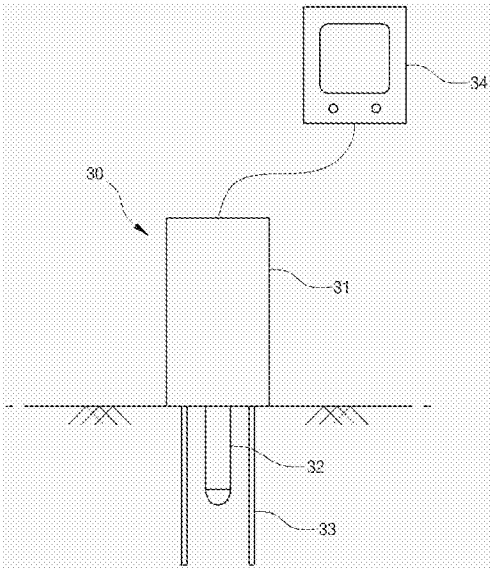
权利要求书3页 说明书10页 附图5页

(54)发明名称

非饱和土壤的吸应力测量装置

(57)摘要

本发明涉及一种测量吸应力特征(suction stress characteristic)的非饱和土壤的吸应力测量装置,该吸应力特征用来评估非饱和土壤的应力状态并针对基于含水量的地基强度进行预测及评估,本发明所提供的非饱和土壤的吸应力测量装置解决了现有的吸应力测量方法的问题,现有的吸应力测量方法为了求得非饱和土壤的吸应力特征曲线(Suction Stress Characteristic Curve;SCC)而利用不同的个别测量装置与方法求得非饱和土壤的基质吸力与体积含水量并且利用各测量值进行演算后求得吸应力而使得其测量过程非常繁杂不便,本发明则以单一装置同时测量基质吸力与体积含水量并且根据所测量出来的值自动算出土壤的吸应力,从而能够轻易地求得土壤的吸应力特征曲线(SS CC)。



CN 104950093 B

1.一种非饱和土壤的吸应力测量装置，以单一装置测量基质吸力与体积含水量以求得非饱和土壤的吸应力并且从测量出来的值自动算出吸应力特征曲线，其特征在于，

包括：

基质吸力测量单元，用来测量土壤的基质吸力；

体积含水量测量单元，测量所述土壤的体积含水量；

数据处理单元，根据所述基质吸力测量单元与所述体积含水量测量单元所测量出来的值算出所述土壤的吸应力并且根据所算出来的所述吸应力进行吸应力特征曲线的制作处理；

位置确认单元，针对测量地点的位置收集信息；

通信单元，把所述基质吸力测量单元、所述体积含水量测量单元、所述数据处理单元及所述位置确认单元各自求得的数据发送给外部终端装置并且接收来自所述外部终端装置的信号；及

控制单元，控制所述非饱和土壤的吸应力测量装置的整体动作，

其中，所述基质吸力测量单元、所述体积含水量测量单元、所述数据处理单元、所述位置确认单元、所述通信单元及所述控制单元被安装在形成为圆筒形态而构成所述非饱和土壤的吸应力测量装置本体的外壳内，

所述基质吸力测量单元及所述体积含水量测量单元的探针部分平时位于所述外壳内部，只在测量时由各自的所述探针在所述外壳内部以滑动方式移动而暴露于所述外壳外部，

所述外壳还包括导引部，所述导引部形成为中空圆筒形态并且在所述外壳的末端按照所述探针暴露部分的长度延伸，

从而防止所述探针在所述非饱和土壤的吸应力测量装置的保管或移动及测量中受损，

其中，所述体积含水量测量单元对所述土壤的体积含水量的测量同所述基质吸力测量单元的测量一起进行。

2.根据权利要求1所述的非饱和土壤的吸应力测量装置，其特征在于，

利用张力计构成所述基质吸力测量单元，利用TDR传感器构成所述体积含水量测量单元。

3.根据权利要求1所述的非饱和土壤的吸应力测量装置，其特征在于，

所述位置确认单元包括GPS模块。

4.根据权利要求1所述的非饱和土壤的吸应力测量装置，其特征在于，

所述通信单元利用包含移动通信网的无线通信和远端位置的电脑或专用终端进行通信。

5.根据权利要求1所述的非饱和土壤的吸应力测量装置，其特征在于，

所述控制单元以下列方式构成，亦即，通过所述通信单元将所述基质吸力测量单元与所述体积含水量测量单元所测量出来的测量值、所述数据处理单元所算出来的数据及通过所述位置确认单元所求得的测量地点的位置与时间信息一起传输。

6.根据权利要求1所述的非饱和土壤的吸应力测量装置，其特征在于，

所述非饱和土壤的吸应力测量装置还包括显示部，所述显示部显示所述基质吸力测量单元与所述体积含水量测量单元所测量出来的测量值、所述数据处理单元所算出来的吸应

力及吸应力特征曲线、通过所述位置确认单元所求得的测量位置与时间信息及所述测量装置的整体动作状态。

7.根据权利要求1所述的非饱和土壤的吸应力测量装置，其特征在于，

所述非饱和土壤的吸应力测量装置还包括具备降雨传感器并安装在所述非饱和土壤的吸应力测量装置的外部的降雨测量工具，按照各时段针对降雨量收集数据并测量吸应力后进行比较，从而得以测量出基于降雨量的吸应力的变化。

8.根据权利要求1所述的非饱和土壤的吸应力测量装置，其特征在于，

所述非饱和土壤的吸应力测量装置在所述吸应力测量完毕后按照预设的一定间距加深测量深度后反复测量而得以针对一个测量地点按照各深度测量出所述吸应力。

9.一种非饱和土壤的吸应力测量方法，所述方法利用权利要求1到权利要求8之任何一项所述的非饱和土壤的吸应力测量装置，其特征在于，

包括下列步骤：

在需要测量的位置沿着垂直方向挖掘后形成观测孔；

把所述非饱和土壤的吸应力测量装置置于所述观测孔后把探针插入土壤内部并分别测量基质吸力与体积含水量；

根据所述测量步骤中得到的测量值算出吸应力，通过无线通信传输所述测量值及算出来的数据。

10.一种非饱和土壤的吸应力测量装置，以单一装置测量基质吸力与体积含水量以求得非饱和土壤的吸应力并且从测量出来的值自动算出吸应力特征曲线，其特征在于，

包括：

基质吸力测量单元，用来测量土壤的基质吸力；

体积含水量测量单元，测量所述土壤的体积含水量；

数据处理单元，根据所述基质吸力测量单元与所述体积含水量测量单元所测量出来的值算出所述土壤的吸应力并且根据所算出来的所述吸应力进行吸应力特征曲线的制作处理；

位置确认单元，针对测量地点的位置收集信息；

通信单元，把所述基质吸力测量单元、所述体积含水量测量单元、所述数据处理单元及所述位置确认单元各自求得的数据发送给外部终端装置并且接收来自所述外部终端装置的信号；及

控制单元，控制所述非饱和土壤的吸应力测量装置的整体动作，

其中，所述基质吸力测量单元、所述体积含水量测量单元、所述数据处理单元及所述控制单元被安装在形成为圆筒形态而构成所述非饱和土壤的吸应力测量装置本体的外壳内，

所述位置确认单元及所述通信单元中的至少一个安装在所述外壳的外部，

所述基质吸力测量单元及所述体积含水量测量单元的探针部分平时位于所述外壳内部，只在测量时由各自的所述探针在所述外壳内部以滑动方式移动而暴露于所述外壳外部，

所述外壳还包括导引部，所述导引部形成为中空圆筒形态并且在所述外壳的末端按照所述探针暴露部分的长度延伸，

从而防止所述探针在所述非饱和土壤的吸应力测量装置的保管或移动及测量中受损，

其中，所述体积含水量测量单元对所述土壤的体积含水量的测量同所述基质吸力测量单元的测量一起进行。

非饱和土壤的吸应力测量装置

【技术领域】

[0001] 本发明涉及一种测量土壤的吸应力(suction stress)的装置，更具体地说，本发明涉及一种测量吸应力特征(suction stress characteristic)的非饱和土壤的吸应力测量装置，该吸应力特征用来评估土壤的应力状态并针对基于含水量的地基强度进行预测及评估。

[0002] 而且，现有地基结构物设计仅以饱和土及干燥土为对象进行设计并且以支撑力小于非饱和状态时的状态设计而导致过度设计并浪费成本的问题，本发明为了解决现有技术的上述问题而提供非饱和土壤的吸应力测量装置，该装置能够准确轻易地测量非饱和土壤的吸应力以求得非饱和土壤的吸应力特征曲线(Suction Stress Characteristic Curve；SSCC)。

[0003] 并且，现有的吸应力测量方法为了求得非饱和土壤的吸应力特征曲线(SSCC)而利用不同的个别测量装置与方法求得土壤的基质吸力(matric suction)与体积含水量(volumetric water content)并且利用各测量值进行演算后求得吸应力而使得其测量过程非常繁杂不便，本发明为了解决现有技术的上述问题而提供非饱和土壤的吸应力测量装置，该装置以能够利用单一装置同时测量非饱和土壤的基质吸力与体积含水量地构成而得以轻易地求得非饱和土壤的吸应力特征曲线(SSCC)。

【背景技术】

[0004] 泥土通常可以根据地下水位位置、降雨渗透等因素而区分为饱和土、非饱和土及干燥土，从过去到现在为止，设计地基结构物时主要以饱和土及干燥土为对象进行了地基结构物的设计。

[0005] 这是因为，把自然地基视为饱和状态时，不仅能够比较简单地进行稳定解析，而且饱和状态的地基由于应力比非饱和状态小而以支撑力较小的状态地进行安全设计，但是在这种情形下会导致过度设计而浪费成本。

[0006] 更进一步，由于实际地基不是饱和土的情形较多，因此很难使用古典的饱和土概念与原理合理地解释及预测实际地基上发生的现象与举动，从而导致很多问题。

[0007] 更具体地说，非饱和土是干燥土(dry soil)与饱和土(saturated soil)的中间领域，也称为局部饱和土(partially saturated soil)，该非饱和土所呈现出的举动特性无法由古典饱和土理论说明。

[0008] 因此，为了理解非饱和地基的举动(behavior)，最重要的是准确地算出土水特征曲线(Soil Water Characteristic Curve,SWCC)、非饱和渗透系数、非饱和剪切强度之类的非饱和地基参数(Soil Parameter)。

[0009] 在此，理解非饱和土的举动时最重要的因素是土水特征曲线(SWCC)，该土水特征曲线(SWCC)的定义可以由含水比或饱和度与基质吸力的关系或应力状态变量规定。

[0010] 而且在土水特征曲线(SWCC)中，吸应力可定义为基质吸力与体积含水量的乘积，吸应力特征曲线(Suction Stress Characteristic Curve;SSCC)则表示该吸应力与基质

吸力或体积含水量的相关关系，是一种评估非饱和土的应力状态的重要指标。

[0011] 因此，为了求得该土壤的吸应力而需要知道基质吸力与体积含水量，为了求得体积含水量而测量土壤的水分含量，即测量土壤的含水率的方法主要分为直接法与间接法。

[0012] 更具体地说，直接法是从土壤试剂干燥前后的重量差求得水分含量的方法，间接法是另行利用中子应用法、TDR(Time Domain Reflectometry)法、干湿球(Psychrometry)法等测量装置的方法。

[0013] 在此，从中子水分测量仪的中子放射源(放射能源)出来的中子由于和土壤内各种原子碰撞散射而成为慢中子(Slow Neutron)时不会继续损失能量而会在土壤内扩散，其中，能让快速中子变成慢速中子的最有效元素是其原子核的尺寸与质量相似于中子的氢原子，中子法(Neutron Scattering)利用土壤内的土壤水分减少时氢原子的减少量最多的原理而以放射能探测器(Detector)检测慢速中子并加以数字化后测量体积水分含量。

[0014] 前述中子法虽然能够简便迅速地以非破坏方式随时测量同一地点的各深度的水分含量，但中子水分测量仪(Neutron Moisture Meter)的价格高昂并且存在着放射线的危险。

[0015] 与此相比，TDR法的原理如下，检测器(TDR Trace)生成高频时高频沿着由一双平衡棒构成的传感器棒流动后在棒的末端重新回归，此时，利用传播速度随着传感器棒周围的土壤水分含量而不同的原理通过传播速度测量土壤水分含量，由于其测量误差非常小而在近来成为求取土壤体积含水量的代表性设备并得到了广泛应用。

[0016] 而且，求取土壤基质吸力的方法也有很多，例如，利用张力计(Tensiometer)的方法就是其中之一。

[0017] 更具体地说，张力计包括多孔性陶瓷杯、与其连接而充水的管及压力计，使用其直径等于张力计的金属管或螺旋钻(auger)钻到所需要的深度后倒入若干水(约50mL)及同量土壤制成泥浆，然后把张力计置于孔内并且稍微扭曲地予以固定，此时如果土壤与张力计之间有间隙则重新用泥土填充管周围以避免水沿着管流动，如前所述地完成了埋设作业后使用经过脱气的蒸馏水(或者煮沸后过滤的水)填充张力计管(tube)，等到土壤与张力计形成均衡时(约3～6小时)读取初始值而得以测量土壤的基质吸力。

[0018] 并且，如前所述的用来求取土壤的基质吸力或体积含水量的现有测量装置技术可以举例如下，韩国公开实用新型公报第20-2013-0006510号所揭示的土壤水分测量仪以能够拆卸更换的方式构成本体下部而得以在测量仪本体被置入土壤时发生破损的情况作出因应措施，韩国注册实用新型公报第20-0433817号所揭示的盆花栽培用小型张力计能够顺利地管理小型花盆内的床土的水分状态而得以提高作物生产性。

[0019] 更进一步，韩国注册专利公报第10-0860010号揭示了制作小尺寸气孔的多孔杯而得以测量100KPa以上的水分张力的多孔杯及其多孔质陶瓷烧结方法，国际公开专利公报WO2001/46681号所揭示的土壤灌水控制方法及装置事先针对测量对象的土壤求得pF值与体积含水率的相关关系并且在测量土壤的体积含水率后把测量出来的土壤的体积含水率换算成土壤的pF值，然后根据pF值控制土壤的灌水。

[0020] 前文的技术内容说明了测量土壤的含水率的各种装置或张力计，但现有技术的内容大部分仅涉及土壤的含水率测量装置或张力计中的一个而存在着一定的局限性。

[0021] 亦即，如前所述地为了求得作为评估非饱和土应力状态的重要指标使用的吸应力

特征曲线(SSCC)而需要测量土壤的吸应力,为此则需要求得基质吸力与体积含水量,现有方法先分别测量该基质吸力与体积含水量并且利用各测量值进行演算后求得吸应力,不仅需要承受另行利用装置分别测量各值而导致的繁杂度与成本上升,还会因为反复测量而导致误差发生。

[0022] 因此,优选地,为了解决前述现有技术的问题而需要提供一种利用单一装置同时测量非饱和土壤的基质吸力与体积含水量并且从测量出来的值自动算出吸应力特征曲线(SSCC)的新结构型非饱和土壤的吸应力测量装置,但目前为止还没有提供能够符合这些条件的装置或方法。

[0023] 【先前技术文献】

[0024] (专利文献1)

[0025] 1.韩国实用新型公开公报第20-2013-0006510号(2013.11.13.)

[0026] 2.韩国实用新型注册公报第20-0433817号(2006.12.07.)

[0027] 3.韩国专利注册公报第10-0860010号(2008.09.18.)

[0028] 4.国际公开专利公报WO2001/46681号(2001.06.28.)

[0029] 【解决的技术课题】

[0030] 为了解决如前所述的现有技术的问题,本发明的目的是提供一种非饱和土壤的吸应力测量装置,现有的地基结构物设计仅以饱和土及干燥土为对象进行设计并且以支撑力小于非饱和状态时的状态设计而导致过度设计并浪费成本,本发明为了解决现有技术的上述问题而提供的非饱和土壤的吸应力测量装置利用单一装置准确轻易地测量土壤的吸应力以求得非饱和土壤的吸应力特征曲线(Suction Stress Characteristic Curve;SSCC)。

[0031] 而且,本发明的另一个目的是提供一种非饱和土壤的吸应力测量装置,现有的吸应力测量方法为了求得非饱和土壤的基质吸力与体积含水量而利用不同的个别测量装置与方法测量并且利用各测量值进行演算后求得吸应力而使得其测量过程非常繁杂不便,本发明所提供的非饱和土壤的吸应力测量装置以单一装置同时测量基质吸力与体积含水量以求得土壤的吸应力特征曲线(SSCC)并且利用所测量出来的值自动算出吸应力特征曲线(SSCC),从而能够轻易地求得非饱和土壤的吸应力特征曲线(SSCC)。

[0032] 并且,本发明的再一个目的是提供一种非饱和土壤的吸应力测量装置,不仅如前所述地利用单一装置同时测量非饱和土壤的基质吸力与体积含水量并且从测量出来的值自动算出吸应力特征曲线(SSCC),还能通过无线通信等实时传输测量位置及测量数据。

[0033] 【解决课题的技术方案】

[0034] 为了达到前述目的,本发明非饱和土壤的吸应力测量装置以单一装置一起测量基质吸力(matric suction)与体积含水量(volumetric water content)以求得非饱和土壤(unsaturat ed soil)的吸应力(Suction Stress)并且从测量出来的值自动算出吸应力特征曲线(Suction Stress Characteristic Curve;SSCC),其特征在于,包括:基质吸力测量单元,用来测量土壤的基质吸力;体积含水量测量单元,测量上述土壤的体积含水量;数据处理单元,根据上述基质吸力测量单元与上述体积含水量测量单元所测量出来的值算出上述土壤的吸应力并且根据所算出来的上述吸应力进行吸应力特征曲线的制作处理;位置确认单元,针对测量地点的位置收集信息;通信单元,把上述基质吸力测量单元、上述体积含水量测量单元、上述数据处理单元及上述位置确认单元各自求得的数据发送给外部的终端

装置并且接收来自上述外部终端装置的信号;及控制单元,控制上述测量装置的整体动作。

[0035] 在此,利用张力计(Tensiometer)构成上述基质吸力测量单元,利用TDR(Time Domain Reflectometry)传感器构成上述体积含水量测量单元。

[0036] 而且,上述位置确认单元包括GPS模块地构成。

[0037] 并且,上述通信单元利用包含移动通信网的无线通信和远端位置的电脑或专用终端进行通信。

[0038] 更进一步,上述控制单元以下列方式构成,亦即,通过上述通信单元将上述基质吸力测量单元与上述体积含水量测量单元所测量出来的测量值、上述数据处理单元所算出来的数据及通过上述位置确认单元所求得的测量地点的位置与时间信息一起传输。

[0039] 而且,上述测量装置还包括显示部地构成,该显示部显示上述基质吸力测量单元与上述体积含水量测量单元所测量出来的测量值、上述数据处理单元所算出来的吸应力及吸应力特征曲线、通过上述位置确认单元所求得的测量位置与时间信息及上述测量装置的整体动作状态。

[0040] 并且,上述基质吸力测量单元、上述体积含水量测量单元、上述数据处理单元、上述位置确认单元、上述通信单元及上述控制单元被安装在形成为圆筒形态而构成上述测量装置本体的外壳内,上述基质吸力测量工具及上述体积含水量测量工具的探针(probe)部分平时位于上述外壳内部,只在测量时由各自的上述探针在上述外壳内部以滑动方式移动而暴露于上述外壳外部,上述外壳还包括导引部,该导引部形成为中空圆筒形态并且在上述外壳的末端按照上述探针暴露部分的长度延伸,从而防止上述探针在上述测量装置的保管或移动及测量中受损。

[0041] 更进一步,上述测量装置的上述位置确认单元及上述通信单元安装在上述外壳的外部,或者上述位置确认单元及上述通信单元中的一个安装在上述外壳的内部而另一个则安装在上述外壳的外部。

[0042] 而且,上述测量装置还包括具备降雨传感器(rain gauge)并安装在上述测量装置的外部的降雨测量工具,按照各时段针对降雨量收集数据并测量吸应力后比较而得以测量出基于降雨量的吸应力的变化。

[0043] 并且,上述测量装置把多个上述测量装置安装在各自的测量位置后进行测量而得以在广泛的区域持续进行测量。

[0044] 更进一步,上述测量装置在上述吸应力测量完毕后按照预设的一定间距加深测量深度后反复测量而得以针对一个测量地点按照各深度测量出上述吸应力。

[0045] 而且,本发明提供一种利用前文所记载的非饱和土壤的吸应力测量装置的非饱和土壤的吸应力测量方法,其特征在于,包括下列步骤:在需要测量的位置沿着垂直方向挖掘后形成观测孔;把上述吸应力测量装置置于上述观测孔后把探针插入土壤内部并分别测量基质吸力与体积含水量;根据上述测量步骤中得到的测量值算出吸应力,通过无线通信传输上述测量值及算出来的数据。

[0046] 【有益效果】

[0047] 如前所述,本发明提供的非饱和土壤的吸应力测量装置利用单一装置准确地轻易测量土壤的吸应力而求得非饱和土壤的吸应力特征曲线(Suction Stress Characteristic Curve;SSCC),从而解决了现有的地基结构物设计仅以饱和土及干燥土为

对象进行设计而以支撑力小于非饱和状态时的状态设计而使得过度设计并浪费成本的问题。

[0048] 而且，本发明提供一种非饱和土壤的吸应力测量装置，该装置以单一装置同时测量基质吸力与体积含水量以求得土壤的吸应力特征曲线(SSCC)并且从测量出来的值自动算出吸应力特征曲线(SSCC)而能够轻易地求得非饱和土壤的吸应力特征曲线(SSCC)，从而解决了现有的吸应力测量方法的问题，现有的吸应力测量方法为了求得非饱和土壤的吸应力特征曲线(SSCC)而利用不同的个别测量装置与方法求得土壤的基质吸力与体积含水量并且利用各测量值进行演算后求得吸应力而使得其测量过程非常繁杂不便。

[0049] 并且，本发明提供非饱和土壤的吸应力测量装置，其除了如前所述地以单一装置同时测量基质吸力与体积含水量以求得土壤的吸应力特征曲线(SSCC)并且从测量出来的值自动算出吸应力特征曲线(SSCC)以外，还能通过无线通信等实时传输测量位置及测量数据地构成，从而在不是测量现场的实验室等远端位置也能不受时间与地点限制地轻易得到测量结果。

【附图说明】

[0050] 图1是同时示出土水特征曲线(SWCC)与吸应力特征曲线(SSCC)的图形。

[0051] 图2是概略地示出了本发明实施例的非饱和土壤的吸应力测量装置的整体配置的方块图。

[0052] 图3概略地示出了本发明实施例的非饱和土壤的吸应力测量装置的整体配置。

[0053] 图4概略地示出了图3所示本发明实施例的非饱和土壤的吸应力测量装置的基质吸力测量工具与体积含水量测量工具的具体配置。

[0054] 图5概略地示出了具备降雨测量工具并且针对基于降雨的吸应力变化进行测量的配置。

【具体实施方式】

[0055] 下面结合附图说明本发明非饱和土壤的吸应力测量装置的具体实施例。

[0056] 在此先予声明，下面说明的内容只是实施本发明的一个实施例，不得将本发明限定于下面说明的实施例的内容。

[0057] 而且，为了在说明下列本发明实施例时追求说明的简单化，与现有技术的内容相同或相似或者以本领域的技术人员水平能够轻易地理解并实现的部分将省略其详细说明。

[0058] 亦即，本发明如后所述地涉及一种非饱和土壤的吸应力测量装置，鉴于现有的地基结构物设计仅以饱和土及干燥土为对象进行设计而以支撑力小于非饱和状态时的状态设计而使得过度设计并浪费成本，本发明为了解决现有技术的上述问题而利用单一装置准确地轻易测量非饱和土壤的吸应力而得以算出非饱和土壤的吸应力特征曲线(Sucti on Stress Characteristic Curve;SSCC)。

[0059] 而且如同后述，本发明涉及一种非饱和土壤的吸应力测量装置，现有的吸应力测量方法为了求得非饱和土壤的吸应力特征曲线(SSCC)而利用不同的个别测量装置与方法获得非饱和土壤的基质吸力与体积含水量并且利用各测量值进行演算后求得吸应力而使得其测量过程非常繁杂不便，本发明为了解决现有技术的上述问题而利用单一装置同时测

量非饱和土壤的基质吸力与体积含水量并且从测量出来的值自动算出吸应力，从而能够轻易地求得非饱和土壤的吸应力特征曲线(SSCC)。

[0060] 而且如同后述，本发明涉及一种非饱和土壤的吸应力测量装置，该装置除了利用单一装置同时测量非饱和土壤的基质吸力与体积含水量并且从测量出来的值自动算出吸应力特征曲线(SSCC)以外，还能通过无线通信等实时传输测量位置及测量数据。

[0061] 接着，说明本发明非饱和土壤的吸应力测量装置的具体实施例，

[0062] 在此，在说明本发明非饱和土壤的吸应力测量装置的具体实施例之前，先说明求得吸应力特征曲线(SSCC)的过程。

[0063] 亦即，针对非饱和土的研究始自1900年初基质吸力(matric suction)概念的导入，水在地基内凭借物理-化学作用而被保持在泥土的间隙里。

[0064] 如前所述地水被泥土保持的原因在于间隙内空气与水的接触面上发生的毛细管力与吸附水分子的泥土粒子的范德华引力、双电层斥力、黏固作用(cementation)之类的表面力(Lu and Likos,2006)，研究非饱和土的土质力学则将该毛细管力称为“基质吸力”。

[0065] 而且，在阐释非饱和土举动时最重要的因素是土水特征曲线(Soil Water Characteristic Curve,SWCC)，土水特征曲线(SWCC)的定义可以用含水比或饱和度与基质吸力的关系或者应力状态变量规定(Fredlund and Rahardjo,1993)。

[0066] 并且，Bishop(1954,1959)如下列[数学式1]所示地提出了非饱和土的有效应力(σ')。

[0067] [数学式1]

[0068] $\sigma' = (\sigma - u_a) + x(u_a - u_w)$

[0069] 在此，x是有效应力系数，u_a是间隙空气压，u_w是间隙水压，$(u_a - u_w)$是基质吸力。

[0070] 而且，Lu and Likos(2006)适用吸应力项(σs)后如下列[数学式2]所示地以相似于Terzaghi(1943)的有效应力的形态提出了非饱和土的有效应力。

[0071] [数学式2]

[0072] $\sigma' = (\sigma - u_a) - \sigma^s$

[0073] 在此，σ^s是吸应力，此时$\sigma_s = -(-u_a - u_w)x$。

[0074] 但，Lu and Likos(2006)提出了如下列[数学式3]所示的非饱和土的吸应力。

[0075] [数学式3]

[0076] $\sigma^s = -(u_a - u_w)S_e$

[0077] $$S_e = \frac{S - S_r}{1 - S_r} = \Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

[0078] 在此，S_e是有效饱和度，S_r是残留饱和度，Θ是有效体积含水量，θ_r是残留体积含水量，θ_s是饱和体积含水量。

[0079] 而且，把[数学式3]代入[数学式2]扩展Bishop(1959)与Terzaghi(1943)的有效应力公式就会如下列[数学式4]所示。

[0080] [数学式4]

[0081]
$$\sigma' = (\sigma - u_a) - [-S_e(u_a - u_w)]$$
$$= (\sigma - u_a) - [-\frac{S - S_r}{1 - S_r}(u_a - u_w)]$$
$$= (\sigma - u_a) - \sigma^s$$

[0082] 由此可知，[数学式4]所示非饱和土的有效应力公式与Bishop(1959)的非饱和土的有效应力公式相异。

[0083] 并且，该式可以显示出饱和度对有效应力的影响，可以提示基于所有饱和条件的有效应力，如果是饱和土则和Terzaghi(1943)的有效应力公式相同。

[0084] 更进一步，Lu and Likos(2006)认为可以将吸应力如下所示地予以概念化，亦即，其为由基于黏固作用(cementation)、范德华引力、双电层斥力的粒子间物理化学应力与由表面张力及负间隙水压发生的基质吸力相互作用的结果，构成吸应力的该粒子间应力可以由含水比、饱和度或基质吸力的函数表示。

[0085] 因此吸应力可以由土-水系统的特征函数表示，亦即，吸应力与基质吸力或体积含水量具有特定的相关关系并且将其称为吸应力特征曲线(SSCC)。

[0086] 更具体地说，请参阅图1，图1同时示出了土水特征曲线(SWCC)与吸应力特征曲线(SSCC)。

[0087] 如图1所示，由于吸应力可以如上述[数学式4]所示地定义为基质吸力与体积含水量的乘积，因此表示土水特征曲线(SWCC)的面积(灰色阴影部分)。

[0088] 因此吸应力特征曲线(SSCC)可以作为评估非饱和土的应力状态的重要指标使用，能够针对基于含水量的地基强度进行预测及评估。

[0089] 为此，本发明人如后所述地提出了利用单一装置同时测量基质吸力与体积含水量的吸应力测量装置。

[0090] 亦即，本发明人开发了下列吸应力测量装置，该吸应力测量装置可以携带，可以在现场直接同时测量基质吸力与体积含水量并利用一台测量装置算出多个位置及深度的吸应力，具备无线通信系统并且和现有传感器相同地安装后利用无线通信实时传输测量位置与测量资料并且储存数据。

[0091] 而且前述吸应力测量装置以下列方式构成，安装多个测量装置并且可持续地实时算出吸应力，在数据收集装置同时测量降雨而得以算出基于降雨的吸应力变化。

[0092] 接着，说明本发明非饱和土壤的吸应力测量装置的具体内容。

[0093] 首先，请参阅图2，图2是概略地示出了本发明实施例的非饱和土壤的吸应力测量装置的整体配置的方块图。

[0094] 如图2所示，本发明实施例的非饱和土壤的吸应力测量装置(20)主要包括：基质吸力测量单元(21)，测量土壤的基质吸力；体积含水量测量单元(22)，测量土壤的体积含水量；数据处理单元(23)，利用基质吸力测量单元(21)与体积含水量测量单元(22)所测量出来的值算出该土壤的吸应力并算出吸应力特征曲线(SSCC)；位置确认单元(24)，确认测量地点的正确位置；通信单元(25)，把前述基质吸力测量单元(21)、体积含水量测量单元(22)、数据处理单元(23)及位置确认单元(14)各自求得的数据发送到外部的终端装置并接

收来自上述外部终端装置的信号;及控制单元(26),控制前述各单元的动作而控制测量装置(10)的整体动作。

[0095] 在此,前述基质吸力测量单元(21)可以利用诸如张力计(Tensiometer)等构成,体积含水量测量单元(22)可以利用诸如TDR(Time Domain Reflectometry)传感器等构成。

[0096] 而且前述数据处理单元(23)可以如下构成,利用各个张力计(Tensiometer)与TDR传感器所测量的基质吸力与体积含水量的测量值算出吸应力,根据所算出的吸应力进行吸应力特征曲线(SSCC)的制作处理。

[0097] 并且,位置确认单元(24)在测量吸应力时利用诸如GPS模块等把测量地点的正确位置与时间之类的信息和测量值一起记录,从而不必另行管理测量位置或时间等而得以提高使用上的便利性。

[0098] 更进一步,通信单元(25)可以下列方式构成,亦即,利用诸如移动通信网之类的无线通信把测量位置与时间及测量值之类的数据发送给实验室等远端位置的电脑或专用终端,从而不必另行携带设备也能在测量现场轻易地立刻保存并处理数据。

[0099] 在此,虽然没有图示,但前述测量装置(20)还包括具备显示器的显示部,该显示器显示基质吸力测量单元(21)与体积含水量测量单元(22)所测量出来的测量值、数据处理单元(23)所算出来的吸应力及吸应力特征曲线、位置确认单元(24)所测量出来的测量位置及时间之类的测量结果、装置整体的动作状态。

[0100] 更具体地说,请参阅图3,图3概略地示出了图2所示本发明的实施例的非饱和土壤的吸应力测量装置的整体配置。

[0101] 如图3所示,本发明实施例的非饱和土壤的吸应力测量装置(30)主要包括:构成测量装置(30)的本体的外壳(31)、用来测量吸应力的基质吸力测量工具(32)及体积含水量测量工具(33)、确认测量位置并且收发数据的位置确认及通信装置(34)。

[0102] 在此,前述外壳(31)如图2所示地形成为圆筒形态并且在其内部一体地安装基质吸力测量工具(32)与体积含水量测量工具(33)、以及没有图示的数据处理工具与控制工具等,而且位置确认及通信装置(34)可以视需要而适当地安装在上述外壳(31)的内部或外部。

[0103] 并且,前述位置确认及通信装置(34)可以让用来确认位置的GPS模块及用来收发数据的无线通信模块一体地形成并安装,也可以个别地另行安装GPS模块与无线通信模块,也可以让GPS模块与无线通信模块中的一方内置于外壳(31)而另一方则安装在外壳(31)的外部,两者可以诸如上述记载地采取各种配置方式。

[0104] 更进一步,基质吸力测量工具(32)及体积含水量测量工具(33)可以如前所述地各自由张力计与TDR传感器构成,此时为了在测量时只让张力计与TDR传感器的探针(probe)部分暴露于外壳(31)外部而以张力计与TDR传感器的探针能够各自从外壳(31)内部滑动到外部的方式安装。

[0105] 亦即,请参阅图4,图4概略地示出了图3所示本发明实施例的非饱和土壤的吸应力测量装置(30)的基质吸力测量工具(32)与体积含水量测量工具(33)的具体配置。

[0106] 更具体地说,本发明实施例的非饱和土壤的吸应力测量装置(30)如图4所示地在外壳(31)的内部形成允许探针滑行移动的结构,在外壳(31)的末端按照探针暴露部分的长度延伸地安装中空圆筒形态的导引部(41),从而得以尽量减少探针损伤。

[0107] 因此，如前所述地让各自安装在基质吸力测量工具(32)及体积含水量测量工具(33)的张力计与TDR传感器的探针能够在外壳(31)的内部各自往外部滑动，从而让探针只在测量时露出而在平时则让探针位于外壳内部，因此能够有效地防止探针在保管或移动过程中损伤。

[0108] 在此，气候变化会导致土壤的水分含量等改变，亦即，鉴于诸如下雨或下雪等气候下吸应力随着降水量而变化，因此反映该变化地进行测量较佳。

[0109] 为此，本发明实施例的非饱和土壤的吸应力测量装置(30)可以另行配备降雨测量工具以反映基于降雨的吸应力变化。

[0110] 亦即，请参阅图5，图5概略地示出了具备降雨测量工具并且针对基于降雨的吸应力变化进行测量的配置。

[0111] 如图5所示，本发明实施例的非饱和土壤的吸应力测量装置(50)还可以包括具备降雨传感器(rain gauge)地构成的降雨测量工具(51)而收集降雨量数据并且按照各时间测量吸应力后进行比较，从而得以测量基于降雨量的吸应力变化。

[0112] 如前文所述，可以如前所述地实现本发明实施例的非饱和土壤的吸应力测量装置，而且利用如前所述地构成的本发明实施例的非饱和土壤的吸应力测量装置的吸应力测量方法则如下实行，首先，在需要测量的位置沿着垂直方向挖掘后形成观测孔，把吸应力测量装置置于观测孔后把张力计与TDR传感器的探针插入土壤内部并各自进行测量，根据测量值自动算出吸应力，通过无线通信传输所测量出来的测量值及算出来的数据。

[0113] 接着，按照一定间距加深观测孔的深度并反复测量，从而得以针对特定地点求得各深度的吸应力。

[0114] 此时，可以把多个吸应力测量装置安装在各自的测量位置后在广泛的区域持续进行测量，而且下雨或下雪时可以通过降雨测量工具测量基于降雨量的吸应力变化。

[0115] 因此能够如前所述地实现本发明非饱和土壤的吸应力测量装置。

[0116] 而且，由于如前所述地实现本发明非饱和土壤的吸应力测量装置，因此本发明提供一种利用单一装置准确地轻易测量非饱和土壤的吸应力并且能够算出非饱和土壤的吸应力特征曲线(SSCC)的非饱和土壤的吸应力测量装置，从而解决了现有的地基结构物设计仅以饱和土及干燥土为对象进行设计而以支撑力小于非饱和状态时的状态设计而使得过度设计并浪费成本的问题。

[0117] 并且，本发明所提供的非饱和土壤的吸应力测量装置利用单一装置同时测量非饱和土壤的基质吸力与体积含水量并且从测量出来的值自动算出吸应力特征曲线(SSCC)而能够轻易地求得非饱和土壤的吸应力特征曲线(SSCC)，从而解决了现有的吸应力测量方法为了求得土壤的基质吸力与体积含水量非饱和土壤的吸应力特征曲线(SSCC)而利用不同的个别测量装置与方法求得并且利用各测量值进行演算后求得吸应力而使得其测量过程非常繁杂不便的问题。

[0118] 更进一步，本发明提供的非饱和土壤的吸应力测量装置除了如前所述地以单一装置同时测量基质吸力与体积含水量以求得非饱和土壤的吸应力特征曲线(SSCC)并且从测量出来的值自动算出吸应力特征曲线(SSCC)以外，还能通过无线通信等实时传输测量位置及测量数据，从而在不是测量现场的实验室等远端位置也能不受时间与地点限制地轻易得到测量结果。

[0119] 前文结合上述本发明的实施例说明了本发明非饱和土壤的吸应力测量装置的详细内容，但不得因此将本发明限定在前述实施例所记载的内容，在本领域中具有通常知识者可以根据设计上的需要及其他各种原因而对本发明进行各种修改、变更、结合及替代。

[0120] <主要图形标记的说明>

[0121] 20:吸应力测量装置 21:基质吸力测量单元

[0122] 22:体积含水量测量单元 23:数据处理单元

[0123] 24:位置确认单元 25:通信单元

[0124] 26:控制单元 30:吸应力测量装置

[0125] 31:外壳(housing) 32:基质吸力测量工具

[0126] 33:体积含水量测量工具 34:位置确认及通信装置

[0127] 41:导引部 51:降雨测量工具

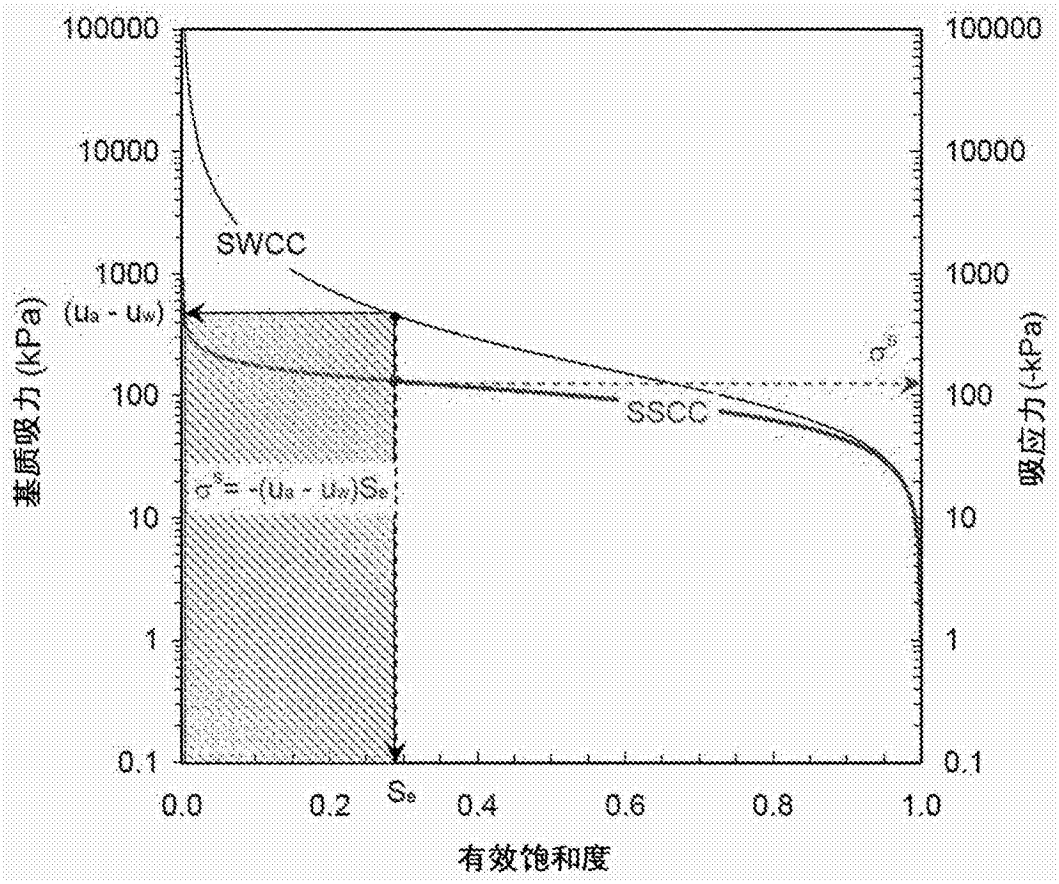

100000
10000
1000
100
10
1
0.1
基质吸力 (kPa)
(ua - uw)
SWCC
SSCC
σ°= -(ua - uw)Se
σ°
吸应力 (-kPa)
0.0
0.2
Se
0.4
0.6
0.8
1.0
有效饱和度

图1

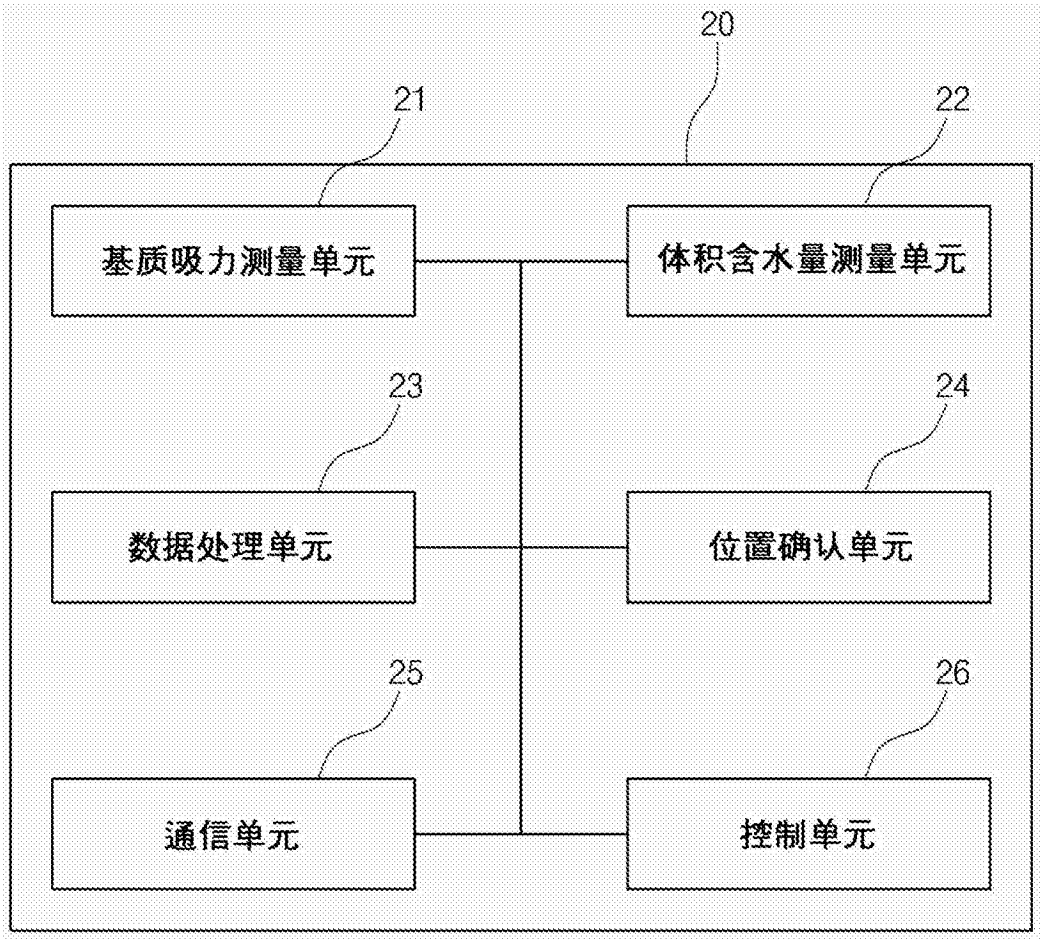

20
21
22
基质吸力测量单元
体积含水量测量单元
23
24
数据处理单元
位置确认单元
25
26
通信单元
控制单元

图2

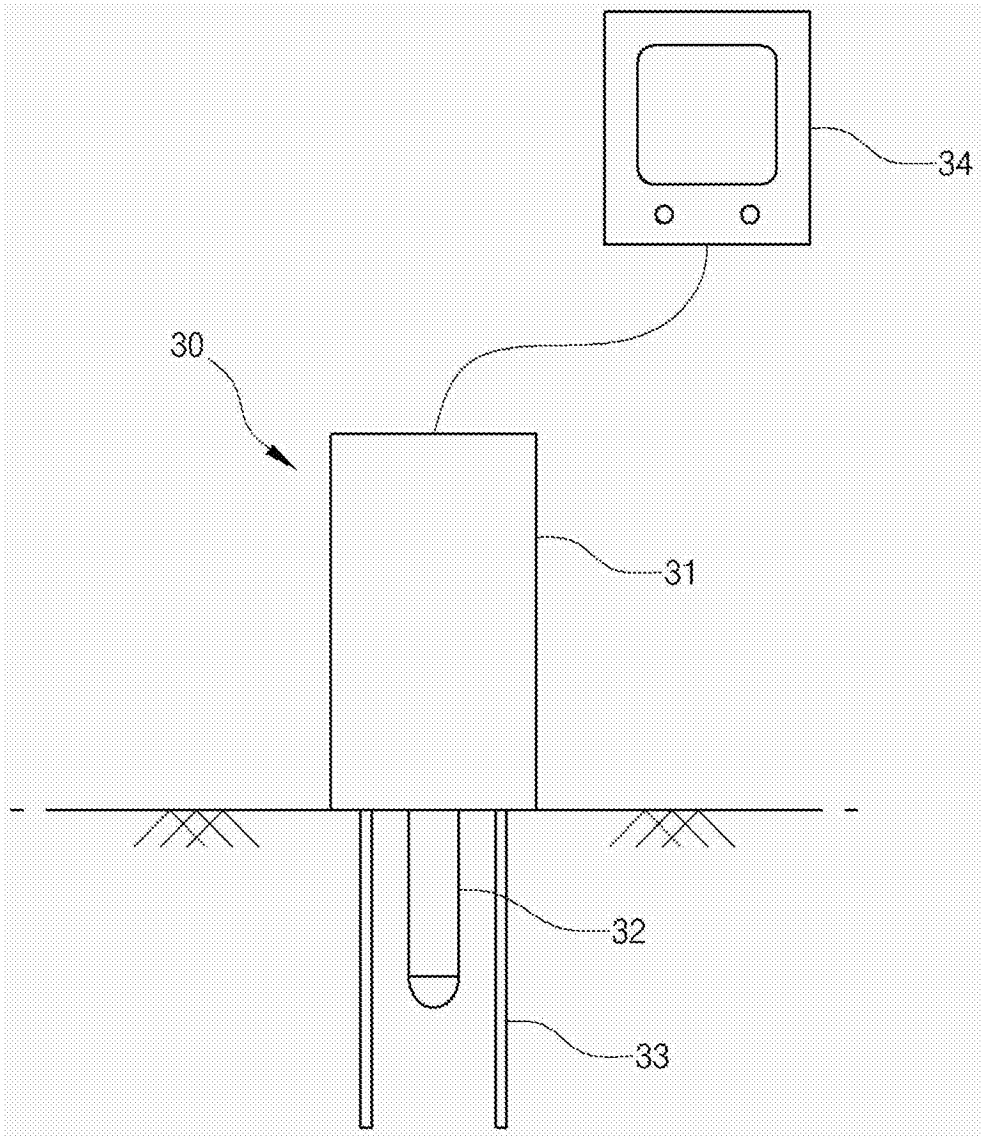


图3

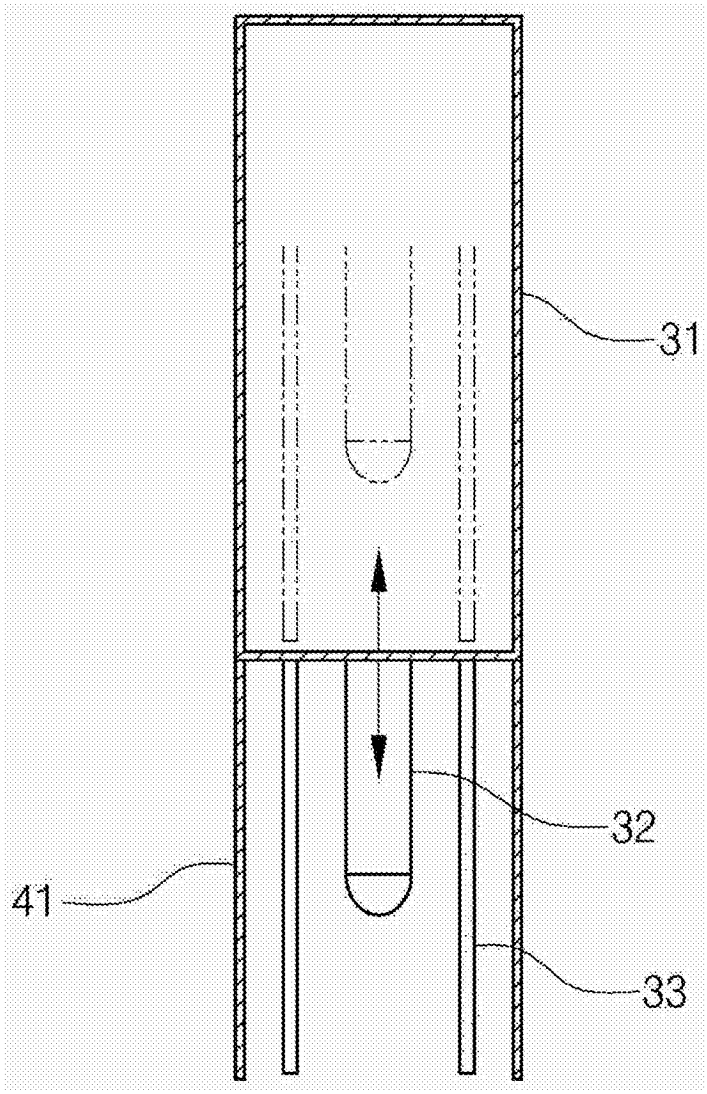


图4

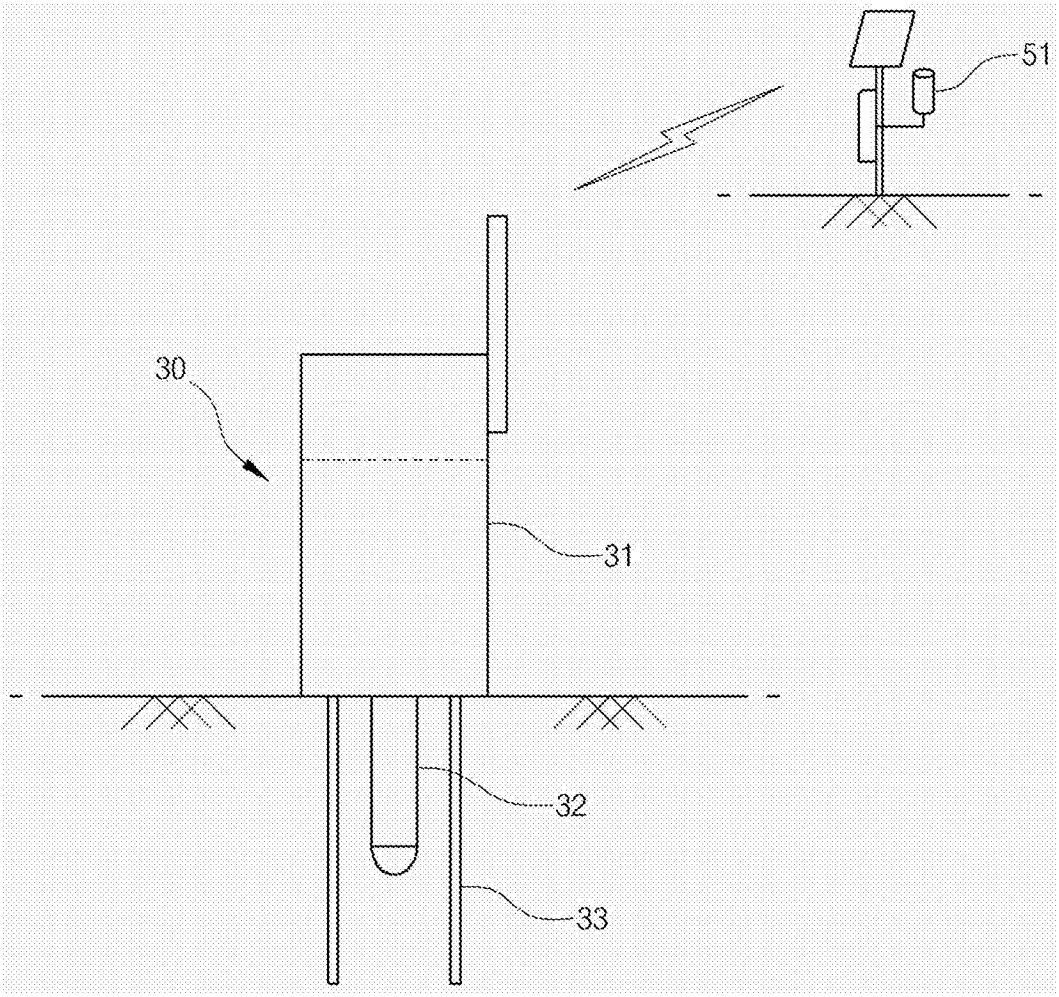


图5