



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103776984 A

(43) 申请公布日 2014. 05. 07

(21) 申请号 201410062316. 3

(22) 申请日 2014. 02. 24

(71) 申请人 黑龙江省水利科学研究院

地址 150080 黑龙江省哈尔滨市南岗区延兴  
路 78 号

(72) 发明人 徐丽丽 张滨 刘丽佳 李兆宇  
孙景路 曲祥民 陶琦

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事  
务所 23109

代理人 侯静

(51) Int. Cl.

G01N 33/24 (2006. 01)

G01N 25/16 (2006. 01)

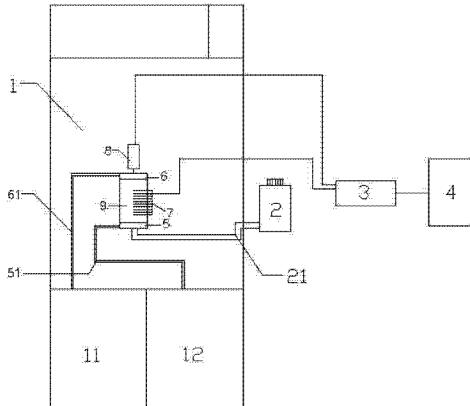
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

土体膨胀冻胀联合测试装置及测试方法

(57) 摘要

土体膨胀冻胀联合测试装置及测试方法，本发明涉及土体性质测试领域，具体是涉及一种用于膨胀土的膨胀率和冻胀率联合测试的装置及测试方法，它要解决现有针对膨胀土膨胀特性测试不准确的问题。测试装置中的试样盒置于恒温箱的底板上，试样盒上、下表面上的顶板和底板分别连接低温循环浴，顶板上方安装有位移传感器，底板还与供水装置相连，各传感器与数据采集系统相连。本发明测试方法首先通过位移传感器读数的变化，计算土体试样的无荷载膨胀率，然后降低顶板温度，冻结土体试样，再通过位移传感器读数计算土体冻胀率。本发明测试得到的冻胀率数据更接近工程实际，对膨胀土的冻胀特性认识更加准确。



1. 土体膨胀冻胀联合测试装置,其特征在于该土体膨胀冻胀联合测试装置包括恒温箱(1)、顶板低温循环浴(11)、底板低温循环浴(12)、试样盒(9)、顶板(6)、多个热敏电阻温度计(7)、位移传感器(8)、供水装置(2)、数据采集系统(3)和主控计算机(4),其中试样盒(9)为有机玻璃圆筒,在恒温箱(1)的下部设置有顶板低温循环浴(11)和底板低温循环浴(12),试样盒(9)置于恒温箱(1)内的底板(5)上,顶板(6)安放到试样盒(9)顶部并通过导管(61)与顶板低温循环浴(11)的出口相连接,试样盒底部的底板(5)通过导管(51)与底板低温循环浴(12)的出口相连接,在试样盒(9)的侧壁、顶板(6)和底板(5)上均插有热敏电阻温度计(7),顶板(6)的上方安装有位移传感器(8),底板(5)的下表面通过水管(21)连接供水装置(2),热敏电阻温度计(7)与位移传感器(8)的信号输出端分别连接到数据采集系统(3)的信号输入端,数据采集系统(3)的信号输出端连接主控计算机(4)。

2. 根据权利要求1所述的土体膨胀冻胀联合测试装置,其特征在于热敏电阻温度计(7)沿试样盒(9)的径向方向插入试样盒(9)。

3. 根据权利要求1所述的土体膨胀冻胀联合测试装置,其特征在于在试样盒(9)的侧壁上插有多个热敏电阻温度计(7),相邻两个热敏电阻温度计沿试样盒(9)的轴向方向的间隔为1cm。

4. 土体膨胀冻胀联合测试方法,其特征在于土体膨胀冻胀联合测试方法按下列步骤实现:

一、将试验土料装入试验盒中,使用压力机将土体压制成型,得到土体试样;

二、在底板上铺设透水石和滤纸,放入步骤一得到的土体试样,然后在土体试样的上表面再放上滤纸和透水石,加盖顶板,完成土体试样的装样;

三、在试样盒的侧壁、顶板和底板上插入热敏电阻温度计,在顶板的上方安装位移传感器,连接顶板低温循环管路和底板低温循环管路,再连接上底板的供水装置,供水排除底板内气泡,最后连接电路完成联合测试装置的组装;

四、开启恒温箱,设定恒温箱内的温度为20℃,调节顶板低温循环浴和底板低温循环浴的温度为20℃,完成初始温度调节;

五、通过供水装置自下而上向试样盒内注水,使水面高出土体试样5mm,当位移传感器读数稳定时,记录位移传感器的初始读数 $z_0$ (mm);

六、记录24~48h期间内某一时间的位移传感器读数 $z_t$ (mm),按如下的公式(I)计算无荷载膨胀率;

$$\delta_e = \frac{z_t - z_0}{h_0} \times 100 \quad (I)$$

其中 $\delta_e$ —时间为t时的无荷载膨胀率(%);

$h_0$ —土体试样的高度(mm);

七、调节恒温箱内的温度为1℃,调节顶板低温循环浴和底板低温循环浴的温度为1℃,恒温至土体试样达到1℃,完成冻胀初始温度调节;

八、将顶板温度调节到-15℃,保持0.5h,然后再将顶板温度调节到-2℃,使土体试样的温度以0.3℃/h的速度下降,持续72h后记录位移传感器读数 $z'_t$ (mm);

九、将土体试样从试样盒中取出,测量土体试样的冻结深度 $H_f$ (mm),计算总冻胀量

$\Delta h = z' - z_t$ , 再按如下的公式(II)计算冻胀率, 完成土体膨胀冻胀联合测试;

$$\eta = \frac{\Delta h}{H_f} \times 100 \quad (\text{II})$$

其中  $\eta$ —冻胀率(%);

$\Delta h$ —总冻胀量(mm)。

5. 根据权利要求 1 所述的土体膨胀冻胀联合测试方法, 其特征在于步骤一土体试样的密度为  $1.5 \text{g/cm}^3 \sim 1.7 \text{g/cm}^3$ 。

## 土体膨胀冻胀联合测试装置及测试方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及土体性质测试领域,具体是涉及一种用于膨胀土的膨胀率和冻胀率联合测试的装置及测试方法。

### 背景技术

[0002] 膨胀土是一种具有膨胀结构以及多裂隙性、强胀缩性和强度衰减性的高塑性粘性土,也是典型的非饱和土。膨胀土分布范围较广,对工程建设的危害较大,防治较为困难。目前,对膨胀土的研究已成为当前岩土工程的重要研究方向之一,近年来国内外学者对膨胀土的研究比较多,而且研究多集中在土体的膨胀特性方面。

[0003] 目前,国内外针对膨胀土开展的冻胀特性试验,采用的仍然是适用于普通土的冻胀试验方法,而未考虑土体的膨胀量,这就导致试验结果的不准确。发明人曾多次开展试验,尝试采用两种方法进行对比,试验结果证明,当前的膨胀土冻胀性试验并不完善,计算结果存在较大偏差,导致对膨胀土的工程性质掌握不准确、不全面,从而对工程设计产生不利影响。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是为了解决现有针对膨胀土膨胀特性测试不准确的问题,而提供土体膨胀冻胀联合测试装置及测试方法。

[0005] 本发明土体膨胀冻胀联合测试装置包括恒温箱、顶板低温循环浴、底板低温循环浴、试样盒、顶板、多个热敏电阻温度计、位移传感器、供水装置、数据采集系统和主控计算机,其中试样盒为有机玻璃圆筒,在恒温箱的下部设置有顶板低温循环浴和底板低温循环浴,试样盒置于恒温箱内的底板上,顶板安放到试样盒顶部并通过导管与顶板低温循环浴的出口相连接,试样盒底部的底板通过导管与底板低温循环浴的出口相连接,在试样盒的侧壁、顶板和底板上均插有热敏电阻温度计,顶板的上方安装有位移传感器,底板的下表面通过水管连接供水装置,热敏电阻温度计与位移传感器的信号输出端分别连接到数据采集系统的信号输入端,数据采集系统的信号输出端连接主控计算机。

[0006] 本发明土体膨胀冻胀联合测试方法按下列步骤实现:

[0007] 一、将试验土料装入试验盒中,使用压力机将土体压制成型,得到土体试样;

[0008] 二、在底板上铺设透水石和滤纸,放入步骤一得到的土体试样,然后在土体试样的上表面再放上滤纸和透水石,加盖顶板,完成土体试样的装样;

[0009] 三、在试样盒的侧壁、顶板和底板上插入热敏电阻温度计,在顶板的上方安装位移传感器,连接顶板低温循环管路和底板低温循环管路,再连接上底板的供水装置,供水排除底板内气泡,最后连接电路完成联合测试装置的组装;

[0010] 四、开启恒温箱,设定恒温箱内的温度为 20℃,调节顶板低温循环浴和底板低温循环浴的温度为 20℃,完成初始温度调节;

[0011] 五、通过供水装置自下而上向试样盒内注水,使水面高出土体试样 5mm,当位移传

感器读数稳定时,记录位移传感器的初始读数  $z_0$  (mm) ;

[0012] 六、记录 24 ~ 48h 内某任一时间的位移传感器读数  $z_t$  (mm),按如下的公式 ( I ) 计算无荷载膨胀率 ;

$$[0013] \quad \delta_e = \frac{z_t - z_0}{h_0} \times 100 \quad (I)$$

[0014] 其中  $\delta_e$  —时间为 t 时的无荷载膨胀率 (%) ;

[0015]  $h_0$ —土体试样的高度 (mm) ;

[0016] 七、调节恒温箱内的温度为 1℃,调节顶板低温循环浴和底板低温循环浴的温度为 1℃,恒温至土体试样达到 1℃,完成冻胀初始温度调节 ;

[0017] 八、将顶板温度调节到 -15℃,保持 0.5h,然后再将顶板温度调节到 -2℃,使土体试样的温度以 0.3℃ /h 的速度下降,持续 72h 后记录位移传感器读数  $z'_{-t}$  (mm) ;

[0018] 九、将土体试样从试样盒中取出,测量土体试样的冻结深度  $H_f$  (mm),计算总冻胀量  $\Delta h = z'_{-t} - z_t$ ,再按如下的公式(II)计算冻胀率,完成土体膨胀冻胀联合测试 ;

$$[0019] \quad \eta = \frac{\Delta h}{H_f} \times 100 \quad (II)$$

[0020] 其中  $\eta$ —冻胀率 (%) ;

[0021]  $\Delta h$ —总冻胀量 (mm)。

[0022] 本发明土体膨胀冻胀联合测试装置包括温度控制系统、补水系统、数据采集系统和主控计算机。其中所述的温度控制系统由低温循环浴、恒温箱和温度控制仪组成,提供测试试验所需的箱内环境及顶、底板温度,对于温度监测采用针式热敏电阻温度计、数据采集仪监测试验过程中土体试样和顶、底板温度以及箱温变化。而变形监测系统采用位移传感器、数据采集仪监测试验过程中土样的变形量。

[0023] 利用本发明土体膨胀冻胀联合测试装置及测试方法能同时考虑膨胀土的膨胀性和冻胀性,对膨胀土的测试全面,同时在膨胀土达到最大膨胀量后再进行冻胀试验,可以更准确的得到膨胀土的冻胀特性,提高了测试的准确率。

## 附图说明

[0024] 图 1 为本发明土体膨胀冻胀联合测试装置的结构示意图。

## 具体实施方式

[0025] 具体实施方式一 :本实施方式土体膨胀冻胀联合测试装置包括恒温箱 1、顶板低温循环浴 11、底板低温循环浴 12、试样盒 9、顶板 6、多个热敏电阻温度计 7、位移传感器 8、供水装置 2、数据采集系统 3 和主控计算机 4,其中试样盒 9 为有机玻璃圆筒,在恒温箱 1 的下部设置有顶板低温循环浴 11 和底板低温循环浴 12,试样盒 9 置于恒温箱内的底板 5 上,顶板 6 安放到试样盒 9 顶部并通过导管 61 与顶板低温循环浴的出口相连接,试样盒底部的底板 5 通过导管 51 与底板低温循环浴 12 的出口相连接,在试样盒 9 的侧壁、顶板 6 和底板 5 上均插有热敏电阻温度计 7,顶板 6 的上方安装有位移传感器 8,底板 5 的下表面通过水管 21 连接供水装置 2,热敏电阻温度计 7 与位移传感器 8 的信号输出端分别连接到数据采集

系统 3 的信号输入端,数据采集系统 3 的信号输出端连接主控计算机 4。

[0026] 本实施方式土体膨胀冻胀联合测试装置中的恒温箱与热敏电阻温度计相连,通过温度控制仪调控箱内环境温度,恒温箱内的底板为透水板,用以将供水装置中的水补入试样盒中。

[0027] 本实施方式土体膨胀冻胀联合测试装置中的补水系统由恒定水位的供水装置通过塑料管与底板相连,供水装置中的水位应低于顶板与土样接触面 1cm,试验过程中应注意水位的变化以便及时对供水装置进行补水。

[0028] 具体实施方式二:本实施方式与具体实施方式一不同的是热敏电阻温度计 7 沿试样盒 9 的径向方向插入试样盒 9。其它装置与具体实施方式一相同。

[0029] 具体实施方式三:本实施方式与具体实施方式一或二不同的是在试样盒 9 的侧壁上插有多个热敏电阻温度计 7,相邻两个热敏电阻温度计沿试样盒 9 的轴向方向的间隔为 1cm。其它装置与具体实施方式一或二相同。

[0030] 具体实施方式四:本实施方式土体膨胀冻胀联合测试方法按下列步骤实现:

[0031] 一、将试验土料装入试验盒中,使用压力机将土体压制成型,得到土体试样;

[0032] 二、在底板上铺设透水石和滤纸,放入步骤一得到的土体试样,然后在土体试样的上表面再放上滤纸和透水石,加盖顶板,完成土体试样的装样;

[0033] 三、在试样盒的侧壁、顶板和底板上插入热敏电阻温度计,在顶板的上表面安装位移传感器,连接顶板低温循环管路和底板低温循环管路,再连接上底板的供水装置,供水排除底板内气泡,最后连接电路完成联合测试装置的组装;

[0034] 四、开启恒温箱,设定恒温箱内的温度为 20℃,调节顶板低温循环浴和底板低温循环浴的温度为 20℃,完成初始温度调节;

[0035] 五、通过供水装置自下而上向试样盒内注水,使水面高出土体试样 5mm,当位移传感器读数稳定时,记录位移传感器的初始读数  $z_0$  (mm);

[0036] 六、记录 24 ~ 48h 期间任一时间的位移传感器读数  $z_t$  (mm),按如下的公式(I)计算无荷载膨胀率;

$$[0037] \delta_e = \frac{z_t - z_0}{h_0} \times 100 \quad (I)$$

[0038] 其中  $\delta_e$ —时间为  $t$  时的无荷载膨胀率(%);

[0039]  $h_0$ —土体试样的高度(mm);

[0040] 七、调节恒温箱内的温度为 1℃,调节顶板低温循环浴和底板低温循环浴的温度为 1℃,恒温至土体试样达到 1℃,完成冻胀初始温度调节;

[0041] 八、将顶板温度调节到 -15℃,保持 0.5h,然后再将顶板温度调节到 -2℃,使土体试样的温度以 0.3℃ / h 的速度下降,持续 72h 后记录位移传感器读数  $z'_t$  (mm);

[0042] 九、将土体试样从试样盒中取出,测量土体试样的冻结深度  $H_f$  (mm),计算总冻胀量  $\Delta h = z'_t - z_t$ ,再按如下的公式(II)计算冻胀率,完成土体膨胀冻胀联合测试;

$$[0043] \eta = \frac{\Delta h}{H_f} \times 100 \quad (II)$$

[0044] 其中  $\eta$ —冻胀率(%);

[0045]  $\Delta h$ —总冻胀量(mm)。

[0046] 本实施方式步骤五所述的位移传感器读数稳定是指注水后每隔 2h 测位移传感器读数一次,直至两次读数差值不超过 0.01mm 时,表示膨胀稳定。

[0047] 具体实施方式五:本实施方式与具体实施方式四不同的是步骤一土体试样的密度为  $1.5\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.7\text{g}/\text{cm}^3$ 。其它步骤及参数与具体实施方式四相同。

[0048] 实施例一:本实施例采用具体实施方式一所述的土体膨胀冻胀联合测试装置进行联合测试的方法按下列步骤实现:

[0049] 一、将 1256g 试验土料装入试验盒中,使用压力机将土体压制成高为 10cm,直径为 10cm 的圆柱形,得到土体试样;

[0050] 二、在底板上铺设透水石和滤纸,放入步骤一得到的土体试样,然后在土体试样的上表面再放上滤纸和透水石,加盖顶板,完成土体试样的装样;

[0051] 三、在试样盒的侧壁、顶板和底板上插入热敏电阻温度计,在顶板的上表面安装位移传感器,连接顶板低温循环管路和底板低温循环管路,再连接上底板的供水装置,供水排除底板内气泡,最后连接电路完成联合测试装置的组装;

[0052] 四、开启恒温箱,设定恒温箱内的温度为 20°C,调节顶板低温循环浴和底板低温循环浴的温度为 20°C,完成初始温度调节;

[0053] 五、通过供水装置自下而上向试样盒内注水,使水面高出土体试样 5mm,当位移传感器读数稳定时,记录此时位移传感器的初始读数  $z_0=40.04\text{mm}$ ;

[0054] 六、记录 43.8h 时的位移计读数  $z_t=45.38\text{mm}$ ,按如下的公式(I)计算无荷载膨胀率;

$$[0055] \delta_e = \frac{z_t - z_0}{h_0} \times 100 \quad (\text{I})$$

[0056] 其中  $\delta_e$ —时间为 t 时的无荷载膨胀率(%);

[0057]  $h_0$ —土体试样的高度(mm);

[0058] 七、调节恒温箱内的温度为 1°C,调节顶板低温循环浴和底板低温循环浴的温度为 1°C,恒温至土体试样达到 1°C,完成冻胀初始温度调节;

[0059] 八、将顶板温度调节到 -15°C,保持 0.5h,然后再将顶板温度调节到 -2°C,使土体试样的温度以 0.3°C/h 的速度下降,持续 72h 后记录位移计读数  $z'_t=52.02\text{mm}$ ;

[0060] 九、将土体试样从试样盒中取出,测量土体试样的冻结深度  $H_f=100\text{mm}$ ,计算总冻胀量  $\Delta h=z'_t-z_t$ ,再按如下的公式(II)计算冻胀率,完成土体膨胀冻胀联合测试;

$$[0061] \eta = \frac{\Delta h}{H_f} \times 100 \quad (\text{II})$$

[0062] 其中  $\eta$ —冻胀率(%);

[0063]  $\Delta h$ —总冻胀量(mm)。

[0064] 本实施例所述的试样盒为外径 12cm、高度 15cm、壁厚 1cm 的有机玻璃筒。有机玻璃筒周侧每隔 1cm 设有供针式热敏电阻温度计插入的插入孔。顶底板的结构能提供恒温液循环和外界水源补给通道并使板面温度均匀。所述的数据采集系统为智能可编程数据采集器,可以与主控计算机、温度传感器和位移传感器相连,实现实时数据采集。步骤七所述的

土体试样的温度以  $0.3^{\circ}\text{C}/\text{h}$  的速度下降, 该降温速率按照主控计算机的程序控制。本实施例步骤八当土体试样的温度以  $0.3^{\circ}\text{C}/\text{h}$  的速度下降时, 箱温和底板温度均为  $1^{\circ}\text{C}$ 。

[0065] 本实施例所用土样采自黑龙江省富裕县北部引嫩干渠 38 公里处, 根据本发明得到的试验数据冻胀率  $\eta=6.64\%$ , 可以根据 JGJ118-2011 判断, 采用本发明试验方法得到土样为强冻胀土。如按普通土的测试标准 GBT50123-1999, 在其他控制条件相同的情况下, 最终得到土体冻胀量为  $4.56\text{mm}$ , 冻胀率  $\eta=4.56\%$ , 判断土样为冻胀土。

[0066] 但根据现场野外观测, 本段渠道冬季最大冻胀率为  $6.5\%$ 。根据实测数据与试验数据进行比较, 可以得出, 本发明试验方法的准确性更高。

[0067] 本发明试验方法充分考虑到膨胀土的特殊性质, 在土样进行充分饱水膨胀之后再进行冻胀试验, 所得数据更接近工程实际, 对膨胀土的冻胀特性认识更加准确。

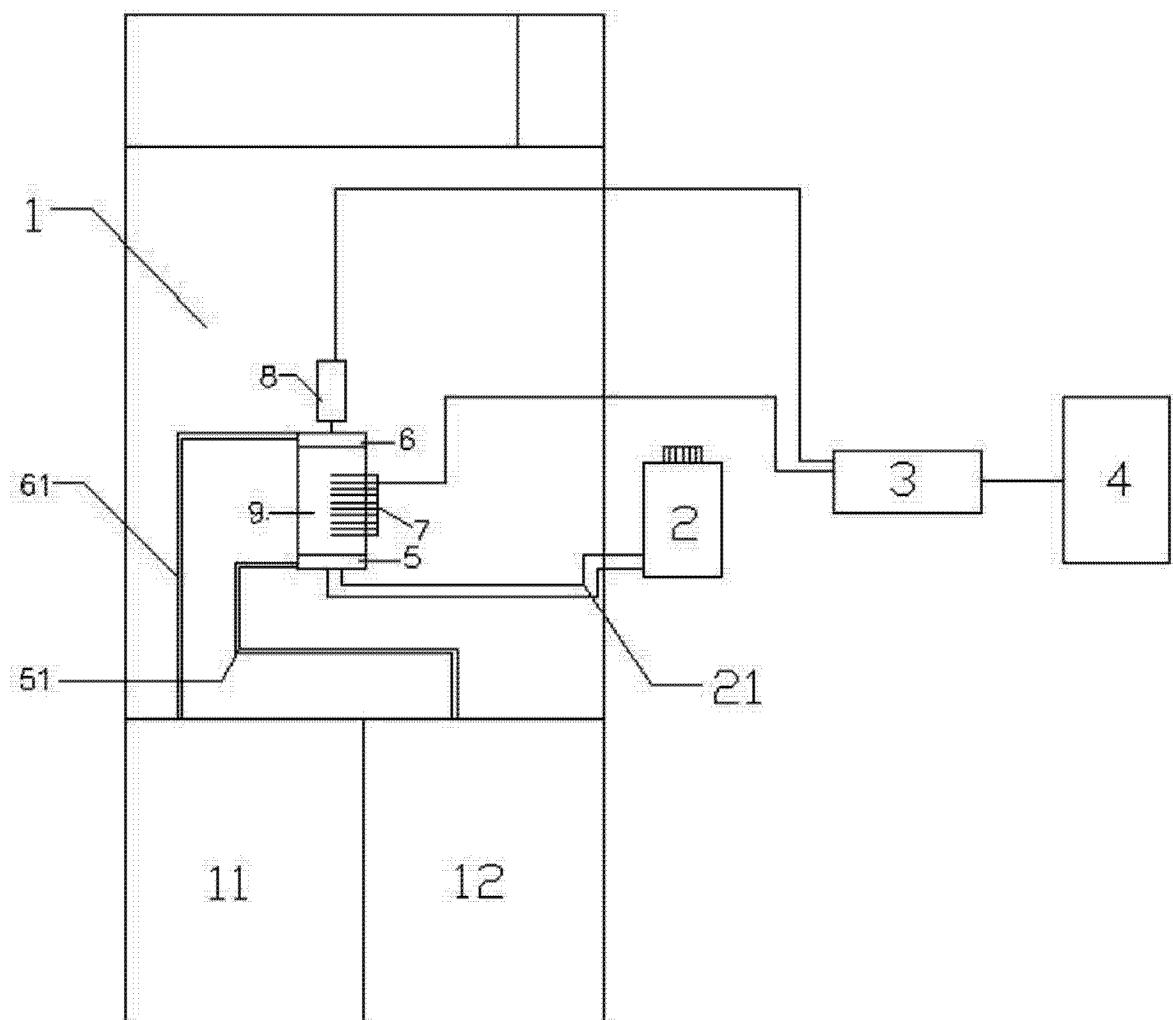


图 1