



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103954740 B

(45) 授权公告日 2016. 01. 20

(21) 申请号 201410145024. 6

(22) 申请日 2014. 04. 11

(73) 专利权人 中国科学院武汉岩土力学研究所  
地址 430071 湖北省武汉市武昌区水果湖街小洪山 2 号

(72) 发明人 戴张俊 陈善雄 姜领发

(74) 专利代理机构 武汉宇晨专利事务所 42001  
代理人 王敏锋

(51) Int. Cl.  
G01N 33/24(2006. 01)

(56) 对比文件

- CN 203798805 U, 2014. 08. 27,
- CN 103616493 A, 2014. 03. 05,
- CN 102590475 A, 2012. 07. 18,
- CN 102507413 A, 2012. 06. 20,
- CN 102331489 A, 2012. 01. 25,
- An-Bin Huang, et al.. Stability monitoring of rainfall-induced deep

landslides through pore pressure pro&#64257  
le measurements. 《Soils and Foundations》. 2012, 第 52 卷 (第 4 期),  
Ga Zhang, et al.. Effect study of cracks on behavior of soil slope under rainfall conditions. 《Soils and Foundations》. 2012, 第 52 卷 (第 4 期),  
王星运 等. 膨胀土边坡稳定性参数影响分析. 《工程勘察》. 2010, (第 1 期),  
陈善雄 等. 考虑降雨的非饱和土边坡稳定性分析方法. 《岩土力学》. 2001, 第 22 卷 (第 4 期),

审查员 陈永婧

权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 4 页

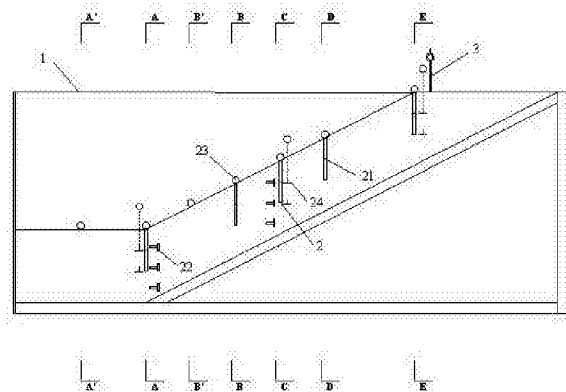
(54) 发明名称

一种膨胀土边坡吸湿变形模型试验方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种膨胀土边坡吸湿变形模型试验方法及系统,步骤:A、翻晒土样,控制含水量、填土厚度;B、分层填土再统一削坡,埋设部分监测元器件;C、静置边坡待裂隙开展,布设位移传感器;D、记录物理量初始值;E、用模拟降雨器在坡肩进行滴淋式集中降雨,控制降雨量;F、按降雨阶段监测物理量与降雨量;G、降雨-蒸发反复进行,模拟干湿循环;H、记录边坡形态变化,分析结果。该系统包括:模型箱、监测元器件、模拟降雨器,监测元器件装在模型箱中,模拟降雨器放置在模型箱上部坡肩处。本发明适用于各类膨胀土边坡吸湿变形模型试验,对膨胀土边坡稳定性与灾变机理的研究具有重要意义。

CN 103954740 B



1. 一种膨胀土边坡吸湿变形模型试验的方法,其步骤是:

A、对现场采集土样进行翻晒,测定土样含水率达到原状样的 50 ~ 60% 时进行填土,填筑土体与实际工程边坡土体保持一致,保持土体的渗透性、膨胀性、力学性质与原状土高度相似性,土体填筑尺寸控制厚度 0.6 ~ 0.8m;

B、在模型箱内部侧壁均匀涂抹凡士林,将土样在模型箱中进行阶梯状水平分层填筑,填筑分 4 层进行,每层土体填筑工序为:松铺—人工压实—表面刮毛,第一层填筑土体松铺 98 ~ 102cm,压实至 68 ~ 72cm;第二层填筑土体松铺 68 ~ 72cm,压实至 48 ~ 52cm;第三层填筑土体松铺 58 ~ 62cm,压实至 38 ~ 42cm;第四层填筑土体松铺 58 ~ 62cm,压实至 38 ~ 42cm;每一层填筑后,进行含水率取样测定与环刀法密度测定,每层检测 2 ~ 3 个点,达到含水率 15 ~ 20% 和干密度 1.5 ~ 1.7g/cm<sup>3</sup>,土体填筑时,在设计位置埋设水分传感器、静土压力盒、沉降板,边坡填筑完成后,按坡比 1:1.5 ~ 1:3 进行统一削坡;

C、对填筑完成后的边坡进行静置处理,坡体逐渐产生裂隙,待裂隙开展至与实际工况相似时,在边坡表面设计位置布设位移传感器;

D、在降雨进行之前,记录各监测物理量的初始值,得到边坡初始含水率状态与应力应变状态分布;

E、将模拟降雨器放置在坡肩位置上方,在边坡表面进行滴淋式集中降雨,水分自然下流入渗,试验采用控制降雨量的连续降雨,每日降雨 4 ~ 8h,日降雨量控制为 8 ~ 12mm,人工模拟自然小雨,日降雨过程中,进行降雨间隔,控制坡面不产生明显的径流,在最大程度上保证水分的渗入,降雨分阶段进行,每阶段降雨量控制为 100 ~ 120mm;

F、在降雨进行的前 2 ~ 3 天,对各物理量进行密集监测,每天各物理量监测记录为 5 ~ 6 次,每次测定时间选在降雨间隔时,并记录即时降雨总量,在降雨 2 ~ 3 天后,每天各物理量监测记录为 2 ~ 3 次,同时记录即时降雨总量,土体含水率变化特征的监测采用水分传感器测定与取样测定相结合的方式,深部土体含水率由水分传感器直接测得,每天降雨结束后,采用表层取样的方式测定表层土体含水率;

G、集中降雨结束后,选择进行边坡静置,待水分蒸发、裂隙开展,同时进行各物理量的监测与坡体形态观测,10 ~ 30 天后,再进行模拟降雨,重复步骤 E、F 2 ~ 5 次,降雨 - 蒸发过程往复 2 ~ 5 次,模拟自然状态下边坡干湿循环效应;

H、对边坡裂隙形态、变形特征进行记录与描述,发生滑坡,详细记录滑坡发生次数、位置、规模与形式,总结并分析物理量监测结果,以及坡体形态观测结果,对边坡在吸湿条件下的变形特征与演化规律以及稳定性进行分析。

2. 实现权利要求 1 所述方法的一种膨胀土边坡吸湿变形模型试验的系统,它包括:模型箱 (1), 监测元器件 (2), 模拟降雨器 (3), 其特征在于:监测元器件 (2) 装在模型箱 (1) 中的土体内部与表面,模拟降雨器 (3) 放置在模型箱 (1) 上部坡肩断面处,所述的模型箱 (1) 由竖支梁 (11)、横支梁 (12)、斜支梁 (13)、肋式横梁 (14)、次横梁 (19) 构成整体框架,加上斜面底板 (15)、底面板 (16)、侧面板 (17)、正面板 (18) 构成箱体,模型箱 (1) 两侧面各有四根横支梁 (12) 焊接于竖支梁 (11) 上,次横梁 (19) 焊接于横支梁 (12) 末端的两根竖支梁 (11) 底部之间,正面板 (18) 焊接于八根横支梁 (12) 顶端,斜支梁 (13) 对称焊接于横支梁 (12) 内侧,斜支梁 (13) 一端位于底部横支梁 (12) 距顶端 1250 ~ 1350mm 处,另一端位于顶部横支梁 (12) 末端,两根斜支梁 (13) 之间等距离焊接十根肋式横梁 (14),斜面底板 (15)

焊接于斜支梁 (13) 与肋式横梁 (14) 上,底面板 (16) 焊接于底部横支梁 (12) 上,并与斜面底板 (15)、正面板 (18) 焊接,侧面板 (17) 焊接于斜支梁 (13) 与横支梁 (12) 上,并与斜面底板 (15)、底面板 (16)、正面板 (18) 焊接。

3. 根据权利要求 2 所述的一种膨胀土边坡吸湿变形模型试验的系统,其特征在于:所述的监测元器件 (2) 包括:水分传感器 (21),静土压力盒 (22),位移传感器 (23),沉降板 (24),水分传感器 (21) 埋入填筑土体中坡脚、1/3 坡高、1/2 坡高、2/3 坡高、坡肩处,监测深度 40 ~ 60cm;静土压力盒 (22) 在填筑土体中坡脚、1/2 坡高 0.2 ~ 0.6m 深度处,进行 3 ~ 4 层埋设,各部位水平与垂直方向分别埋设;沉降板 (24) 在填筑土体中坡脚、1/2 坡高、坡肩 0.2 ~ 0.4m 深度处,进行 2 ~ 3 层埋设;位移传感器 (23) 在填筑土体坡底中心、坡脚、1/6 坡高、1/3 坡高、1/2 坡高、2/3 坡高、坡肩表层布设,各处水平与垂直方向分别布设,并垂直架设在沉降板 (24) 顶端。

4. 根据权利要求 2 所述的一种膨胀土边坡吸湿变形模型试验的系统,其特征在于:所述的模型箱 (1) 为底面呈斜面的楔形箱体,外部尺寸为 5.5m×2.0m×1.5m,内部坡面处为斜面设计,斜面底板 (15) 坡比按实际边坡坡比为 1:1.5 ~ 1:3。

## 一种膨胀土边坡吸湿变形模型试验方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及岩土工程测试领域,更具体涉及一种膨胀土边坡吸湿变形模型试验方法,同时还涉及一种膨胀土边坡吸湿变形模型试验的系统,它适用于测试不同类型膨胀土边坡在吸湿条件下、边坡表面与内部不同部位的变形特征与演化规律。

### 背景技术

[0002] 在实际工程中,膨胀土边坡失稳滑坡多表现为季节性,大气环境因素是其主要控制条件之一,由于气候变化而引发的边坡失稳、路堤滑塌、渠道滑坡广泛存在。

[0003] 一般来说,持续降雨或反复降雨均是诱发滑坡的主要原因。在降雨条件下,膨胀土边坡随着水分的入渗,富含亲水性矿物蒙脱石、伊利石的膨胀土大量吸水,一方面发生较大的膨胀变形,另一方面,膨胀土的抗剪强度随着饱和度的增长持续降低,最终累积过大的变形而发生滑坡。因此,开展膨胀土边坡吸湿变形的特征与发展规律方面的研究,对于滑坡的预报、防范与处治,都有着一定的指导意义。

[0004] 为了更好的将膨胀土膨胀变形机理与试验结果应用于实际工程,往往需要依托实际工程,以渠道或边坡典型断面作为参考,按比例建立膨胀土边坡模型,开展膨胀土边坡吸湿膨胀变形室内物理模型试验。通过现场描述、监测数据与试验结果,研究模拟降雨条件或其它供水条件下,膨胀土吸水膨胀变化的变化特征与发展规律,探讨边坡破坏模式与失稳机理,为工程设计、建设提供一定的理论依据。

[0005] 现有的膨胀土边坡变形试验模型,往往是在黏性土边坡试验模型的基础上加以改造,试验方法也基本采用一般黏性土边坡变形试验的方法,在边坡变形发展到一定程度,达到极限状态时,预期滑动面也常按照圆弧形进行考虑,这难以反映出膨胀土渗透性低,边坡变形浅层性,变形量大,以及边坡变形与破坏受裂隙控制作用明显等诸多特点。

[0006] 因此,为解决以上缺陷问题,急需对现有的试验装置与方法进行改造,提出一种适用于膨胀土边坡吸湿变形的模型试验系统及其试验方法,确保试验成果真实可靠。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的是在于提供了一种膨胀土边坡吸湿变形模型试验的方法,方法易行,能有效的研究不同类型膨胀土边坡在吸湿条件下,边坡表面与内部不同部位的变形特征与演化规律,以及边坡渗流场、应力应变特征与变化规律,其测试精度高,操作简便,用料节约,适用范围广。

[0008] 本发明的另一个目的是在于提供了一种膨胀土边坡吸湿变形模型试验系统,结构简单,使用方便,针对不同类型、膨胀等级的膨胀土进行不同供水条件下的吸湿变形试验,系统设计考虑了膨胀土渗透性差,裂隙发育,湿胀干缩,变形量大等特点,还考虑了不同边坡特征,主要是不同坡比与坡高等工况,可以较好的体现低渗透性膨胀土边坡吸湿变形的特征与演化规律。

[0009] 为了实现上述的目的,本发明采用以下技术措施:

[0010] 一种膨胀土边坡吸湿变形模型试验的方法,其步骤是:

[0011] 步骤一:对现场采集土样进行翻晒,测定土样含水率达到原状样的 50~60% 时进行填土。填筑土体与实际工程边坡土体保持一致或相似,保持土体的渗透性、膨胀性、力学性质与原状土最大程度上的相似性。土体填筑尺寸应结合模型箱的尺寸,并考虑膨胀土导水率小,一般小于  $10^{-6}$  m/s,坡表水分较难入渗,填筑尺寸控制为厚度约 0.6~0.8m。

[0012] 步骤二:在模型箱内部侧壁均匀涂抹凡士林,将土样在模型箱中进行阶梯状水平分层填筑,填筑分 4 层进行,每层土体填筑工序为:松铺—人工压实—表面刮毛,第一层填筑土体松铺约 98~102cm,压实至约 68~72cm;第二层填筑土体松铺约 68~72cm,压实至约 48~52cm;第三层填筑土体松铺约 58~62cm,压实至约 38~42cm;第四层填筑土体松铺约 58~62cm,压实至约 38~42cm。每一层填筑后,进行含水率取样测定与环刀法密度测定,每层检测 2~3 个点,达到含水率(15~20%)和干密度( $1.5\sim 1.7\text{g}/\text{cm}^3$ )的要求。土体填筑时,在设计位置埋设土压力盒、沉降板、水分传感器。边坡填筑完成后,按设计坡比约 1:1.5~1:3 进行统一削坡。

[0013] 步骤三:对填筑完成后的边坡进行静置处理,坡体逐渐产生裂隙,待裂隙开展至与实际工况相似时,在边坡表面设计位置布设位移传感器。

[0014] 步骤四:在降雨进行之前,记录各监测物理量的初始值,得到边坡初始含水率状态与应力应变状态分布。

[0015] 步骤五:将模拟降雨器放置在坡肩位置上方,在边坡表面小范围进行滴淋式集中降雨,水分自然下流入渗。试验采用控制降雨量的低强度连续降雨,每日降雨 4~8h,日降雨量控制为 8~12mm 左右,人工模拟自然小雨状态。日降雨过程中,视坡面水分入渗与径流情况,进行降雨间隔,控制坡面不产生明显的径流,在最大程度上保证水分的渗入。降雨分阶段进行,每阶段降雨量控制为 100~120mm 左右。

[0016] 步骤六:在降雨进行的前 2~3 天,对各物理量进行密集监测,每天各物理量监测记录为 5~6 次,每次测定时间选在降雨间隔时,并记录即时降雨总量。在降雨 2~3 天后,每天各物理量监测记录为 2~3 次,同时记录即时降雨总量。土体含水率变化特征的监测采用水分传感器测定与取样测定相结合的方式。深部土体含水率由水分传感器直接测得,对于表层土体含水量的测定,于每天降雨结束后,采用表层取样的方式进行测定。

[0017] 步骤七:集中降雨结束后,可选择性的进行边坡静置,待水分蒸发、裂隙开展,同时进行各物理量的监测与坡体形态观测,10~30 天后,再进行模拟降雨,重复步骤五、六 2~5 次,降雨—蒸发过程往复 2~5 次,模拟自然状态下边坡干湿循环效应。

[0018] 步骤八:对边坡裂隙形态、变形特征进行记录与描述,若发生滑坡,详细记录滑坡发生次数、位置、规模与形式。总结并分析物理量监测结果,以及坡体形态观测结果,对边坡在吸湿条件下的变形特征与演化规律以及稳定性进行分析。

[0019] 一种膨胀土边坡吸湿变形模型试验系统,其组成包括:模型箱,监测元器件,模拟降雨器。监测元器件装在模型箱中的土体内部与表面,模拟降雨器放置在模型箱上部坡肩断面处。

[0020] 所述的模型箱由竖支梁、横支梁、斜支梁、肋式横梁、次横梁构成整体框架,加上斜面底板、底面板、侧面板、正面板构成箱体。模型箱为底面呈斜面的楔形箱体,外部尺寸约为  $5.5\text{m}\times 2.0\text{m}\times 1.5\text{m}$ ,内部坡面处为斜面设计,斜面底板坡比与实际边坡坡比一致,约为

1:1.5~1:3。其连接关系是：模型箱两侧面各有四根横支梁焊接于竖支梁上，次横梁焊接于横支梁末端的两根竖支梁底部之间，正面板焊接于八根横支梁顶端，斜支梁对称焊接于横支梁内侧，斜支梁一端位于底部横支梁距顶端约 1250~1350mm 处，另一端位于顶部横支梁末端，二根斜支梁之间等距离焊接约十根肋式横梁，斜面底板焊接于斜支梁与肋式横梁上，斜支梁对斜面底板起到定位作用，肋式横梁对斜面底板起到支撑作用。底面板焊接于底部横支梁上，并与斜面底板、正面板焊接，侧面板焊接于斜支梁与横支梁上，并与斜面底板、底面板、正面板焊接。

[0021] 所述的监测元器件包括：水分传感器，静土压力盒，位移传感器，沉降板。其中，水分传感器用于监测边坡不同部位含水率的变化规律，可选择 PR2/4 型或 PR2/6 型土壤剖面水分检测仪等，内置 4~6 组测试传感器。静土压力盒用于监测边坡内部不同部位水平方向与竖直方向的应力特征，采用量程 50~200kPa、直径约 15~30mm 的小型土压力盒。位移传感器用于监测边坡表面与内部不同深度处水平方向、竖直方向的胀缩变形，采用弹簧回弹式位移计，仪器量程约 50~60mm，精度大于 5/1000。沉降板用于测定边坡深部土体位移，采用直径约为 7~9cm，高度约为 60~70cm 的小型沉降板。

[0022] 所述的监测元器件装在模型箱中的土体内部与表面。选取坡底中心、坡脚、1/6 坡高、1/3 坡高、1/2 坡高、2/3 坡高、坡肩作为边坡七处典型断面。其中，坡脚、1/2 坡高、坡肩为重点观测断面，1/3 坡高、2/3 坡高为对比监测断面，坡底中心、1/6 坡高为辅助观测断面。其连接关系是：水分传感器直接埋入填筑土体中（坡脚、1/3 坡高、1/2 坡高、2/3 坡高、坡肩），监测深度 0.4~0.6m；静土压力盒于填筑土体中（坡脚、1/2 坡高）约 0.2~0.6m 深度处进行 3~4 层埋设，各部位水平方向与竖直方向分别埋设；沉降板在填筑土体中（坡脚、1/2 坡高、坡肩）约 0.2~0.4m 深度处进行 2~3 层埋设；位移传感器于填筑土体（坡底中心、坡脚、1/6 坡高、1/3 坡高、1/2 坡高、2/3 坡高、坡肩）表层布设，各处水平与竖直方向分别布设，并竖直架设在沉降板顶端，与沉降板结合观测。各种监测元器件布设数量按各试验特点与要求进行设计。

[0023] 所述的模拟降雨器具有低通量供水、可持续供水、供水范围可控的特点，以滴淋方式沿模拟降雨器轴向进行一维供水，水滴直径小于 1mm，水滴轴向分布密度小于 6 滴/10cm，出水速率小于 6 滴/（秒·处）。

[0024] 本发明与现有技术相比，具有以下优点和效果：

[0025] 1) 边坡填筑采用低厚度膨胀土（0.6~0.8m），很好的结合了膨胀土渗透性低，入渗深度有限的特点，一方面可以模拟膨胀土实际入渗特点，达到试验效果，另一方面可以大大节省填筑用料，节约填筑时间，提高工效。

[0026] 2) 通过控制初始填土低含水率、高干密度，使得吸湿效果达到最佳，并避免松散土体中湿陷效应带来的误差，更好的实现膨胀土吸湿膨胀变形效应。

[0027] 3) 通过静置待边坡裂隙自然开展，更好的模拟真实工况下边坡裂隙分布情况，并保证坡体初始渗流场的均匀性。

[0028] 4) 利用模拟降雨器进行低通量、低流量降雨控制，避免了坡体上产生较大径流，保证水分最大程度上的入渗，减小试验误差。

[0029] 5) 全面合理的根据关键物理量选取监测元器件，充分考虑了监测元器件的尺寸效应，选取小尺寸元器件多层埋设，避免相互之间的干扰，全面、真实的体现试验结果。

[0030] 6) 合理选取监测断面,考虑监测的时空变化特征,以突出重点、有效对比并辅助分析的方式对物理量进行监测,有效的反映出膨胀土边坡吸湿条件下的渗流、应力、变形特征。

[0031] 申请者利用本膨胀土边坡吸湿变形模型试验系统与方法开展了试验,发现边坡土体渗流场特征与应力、变形特征均与工程实际保持了较高的吻合度,较好的反映出膨胀土边坡浅层变形状态的特点与演化规律,满足了膨胀土边坡吸湿变形模型试验的需求,对于推动膨胀土边坡工程特性与稳定性研究具有积极意义。

#### 附图说明

[0032] 图 1 为一种模型箱结构主视图;

[0033] 图 2 为一种模型箱结构左视图;

[0034] 图 3 为一种模型箱立体结构示意图;

[0035] 图 4 为一种模型箱内监测元器件与模拟降雨器结构示意图;

[0036] 图 5 为一种模型箱内监测元器件与模拟降雨器结构俯视图;

[0037] 图 6 为一种试验结果中表面变形演化特征图,结果与实际监测结果相符;

[0038] 图 7 为一种试验结果中渗流场分布特征图,结果与实际监测结果相符;

[0039] 图 8 为一种试验结果中应力演化特征图,结果与实际工况和数值计算结果相符。

[0040] 图中:

[0041] 1—模型箱,11—竖支梁,12—横支梁,13—斜支梁,14—肋式横梁,15—斜面底板,16—底面板,17—侧面板,18—正面板,19—次横梁;

[0042] 2—监测元器件,21—水分传感器(如 PR2/4 型、PR2/6 型等),22—静土压力盒(符合量程 50~200kPa、直径 15~30mm 的各种静土压力盒),23—位移传感器(符合量程 50~60mm,精度大于 5/1000 的各种弹簧回弹式位移计),24—沉降板;

[0043] 3—模拟降雨器(如专利 ZL 2013 2 0447780.5)。

#### 具体实施方式

[0044] 实施例 1:

[0045] 下面根据附图对本发明作进一步详细描述:

[0046] 根据图 1、2、3、4、5、6、7、8 可知,一种膨胀土边坡吸湿变形模型试验的方法,其步骤是:

[0047] 步骤一:对现场采集土样进行翻晒,测定土样含水率达到原状样的 50~60% 时进行填土。填筑土体与实际工程边坡土体保持一致或相似,保持土体的渗透性、膨胀性、力学性质与原状土最大程度上的相似性。土体填筑尺寸应结合模型箱 1 的尺寸,并考虑膨胀土导水率小,一般小于  $10^{-6}$  m/s,坡表水分较难入渗,填筑尺寸控制为厚度约 0.6~0.8m。

[0048] 步骤二:在模型箱 1 内部侧壁均匀涂抹凡士林,将土样在模型箱 1 中进行阶梯状水平分层填筑,填筑分 4 层进行,每层土体填筑工序为:松铺—人工压实—表面刮毛,第一层填筑土体松铺约 98~102cm,压实至约 68~72cm;第二层填筑土体松铺约 68~72cm,压实至约 48~52cm;第三层填筑土体松铺约 58~62cm,压实至约 38~42cm;第四层填筑土体松铺约 58~62cm,压实至约 38~42cm。每一层填筑后,进行含水率取样测定与环刀法密度测定,每

层检测 2~3 个点,达到含水率(15~20%)和干密度(1.5~1.7g/cm<sup>3</sup>)的要求。土体填筑时,在设计位置埋设水分传感器 21、静土压力盒 22、沉降板 24。边坡填筑完成后,按设计坡比约 1:1.5~1:3 进行统一削坡。

[0049] 步骤三:对填筑完成后的边坡进行静置处理,坡体逐渐产生裂隙,待裂隙开展至与实际工况相似时,在边坡表面设计位置布设位移传感器 23。

[0050] 步骤四:在降雨进行之前,记录各监测物理量的初始值,得到边坡初始含水率状态与应力应变状态分布。

[0051] 步骤五:将模拟降雨器 3 放置在坡肩位置上方,在边坡表面小范围进行滴淋式集中降雨,水分自然下流入渗。试验采用控制降雨量的低强度连续降雨,每日降雨 4~8h,日降雨量控制为 8~12mm 左右,人工模拟自然小雨状态。日降雨过程中,视坡面水分入渗与径流情况,进行降雨间隔,控制坡面不产生明显的径流,在最大程度上保证水分的渗入。降雨分阶段进行,每阶段降雨量控制为 100~120mm 左右。

[0052] 步骤六:在降雨进行的前 2~3 天,对各物理量进行密集监测,每天各物理量监测记录为 5~6 次,每次测定时间选在降雨间隔时,并记录即时降雨总量。在降雨 2~3 天后,每天各物理量监测记录为 2~3 次,同时记录即时降雨总量。土体含水率变化特征的监测采用水分传感器 21 测定与取样测定相结合的方式。深部土体含水率由水分传感器 21 直接测得,对于表层土体含水量的测定,于每天降雨结束后,采用表层取样的方式进行测定。

[0053] 步骤七:集中降雨结束后,可选择性的进行边坡静置,待水分蒸发、裂隙开展,同时进行各物理量的监测与坡体形态观测,10~30 天后,再进行模拟降雨,重复步骤五、六 2~5 次,降雨-蒸发过程往复 2~5 次,模拟自然状态下边坡干湿循环效应。

[0054] 步骤八:对边坡裂隙形态、变形特征进行记录与描述,若发生滑坡,详细记录滑坡发生次数、位置、规模与形式。总结并分析物理量监测结果,以及坡体形态观测结果,对边坡在吸湿条件下的变形特征与演化规律以及稳定性进行分析。

[0055] 实施例 2:

[0056] 一种膨胀土边坡吸湿变形模型试验系统,其组成包括:模型箱 1,监测元器件 2,模拟降雨器 3。监测元器件 2 装在模型箱 1 中的土体内部与表面,模拟降雨器 3 放置在模型箱 1 上部坡肩断面处。

[0057] 所述的模型箱 1 由竖支梁 11、横支梁 12、斜支梁 13、肋式横梁 14、次横梁 19 构成整体框架,加上斜面底板 15、底面板 16、侧面板 17、正面板 18 构成箱体。模型箱 1 为底面呈斜面的楔形箱体,外部尺寸约为 5.5m×2.0m×1.5m,内部坡面处为斜面设计,斜面底板 15 坡比与实际边坡坡比一致,约为 1:1.5~1:3。其连接关系是:模型箱 1 两侧面各有四根横支梁 12 焊接于竖支梁 11 上,次横梁 19 焊接于横支梁 12 末端的两根竖支梁 11 底部之间,正面板 18 焊接于八根横支梁 12 顶端,斜支梁 13 对称焊接于横支梁 12 内侧,斜支梁 13 一端位于底部横支梁 12 距顶端约 1250~1350mm 处,另一端位于顶部横支梁 12 末端,两根斜支梁 13 之间等距离焊接约十根肋式横梁 14,斜面底板 15 焊接于斜支梁 13 与肋式横梁 14 上,斜支梁 13 对斜面底板 15 起到定位作用,肋式横梁 14 对斜面底板 15 起到支撑作用。底面板 16 焊接于底部横支梁 12 上,并与斜面底板 15、正面板 18 焊接,侧面板 17 焊接于斜支梁 13 与横支梁 12 上,并与斜面底板 15、底面板 16、正面板 18 焊接。

[0058] 所述的监测元器件 2 包括:水分传感器 21,静土压力盒 22,位移传感器 23,沉降



板 24。其中,水分传感器 21 用于监测边坡不同部位含水率的变化规律,可选择 PR2/4 型或 PR2/6 型土壤剖面水分检测仪等,内置 4~6 组测试传感器。静土压力盒 22 用于监测边坡内部不同部位水平方向与竖直方向的应力特征,采用量程 50~200kPa、直径约 15~30mm 的小型土压力盒。位移传感器 23 用于监测边坡表面与内部不同深度处水平方向、竖直方向的胀缩变形,采用弹簧回弹式位移计,仪器量程 50mm 左右,精度大于 5/1000。沉降板 24 用于测定边坡深部土体位移,采用直径约为 7~9cm,高度约为 60~70cm 的小型沉降板。

[0059] 所述的监测元器件 2 装在模型箱 1 中土体内部与表面。选取坡底中心、坡脚、1/6 坡高、1/3 坡高、1/2 坡高、2/3 坡高、坡肩作为边坡七处典型断面,分别以 A'、A、B'、B、C、D、E 表示。其中,A、C、E 为边坡重点监测断面,监测内容包括表面及深部土体位移,土体应力、含水率变化情况。B、D 为对比监测断面,主要监测土体含水率变化情况与土体表面位移。A'、B' 为辅助监测断面,主要监测边坡位移发生较大部位的表面位移。

[0060] 监测元器件 2 的连接关系是:水分传感器 21 直接埋入填筑土体中(坡脚、1/3 坡高、1/2 坡高、2/3 坡高、坡肩),监测深度 40~60cm;静土压力盒 22 于填筑土体中(坡脚、1/2 坡高)约 0.2~0.6m 深度处进行 3~4 层埋设,各部位水平方向与竖直方向分别埋设;沉降板 24 在填筑土体中(坡脚、1/2 坡高、坡肩)约 0.2~0.4m 深度处进行 2~3 层埋设;位移传感器 23 于填筑土体(坡底中心、坡脚、1/6 坡高、1/3 坡高、1/2 坡高、2/3 坡高、坡肩)表层布设,各处水平与竖直方向分别布设,并竖直架设在沉降板 24 顶端,与沉降板 24 结合观测。各种监测元器件 2 布设数量根据表 1 中建议值,结合各试验特点与要求进行设计。

[0061] 表 1 各断面监测元器件建议数量

[0062]

元器件类型	数量/组						
	A'	A	B'	B	C	D	E
水分传感器		1		1	1	1	1
静土压力盒		6			6		
沉降板		2			2		2
位移传感器	2	4	2	2	4	2	4

[0063] 所述的模拟降雨器 3 具有低通量供水、可持续供水、供水范围可控的特点,以滴淋方式沿模拟降雨器轴向进行一维供水,水滴直径小于 1mm,水滴轴向分布密度小于 6 滴/10cm,出水速率小于 6 滴/(秒·处)。

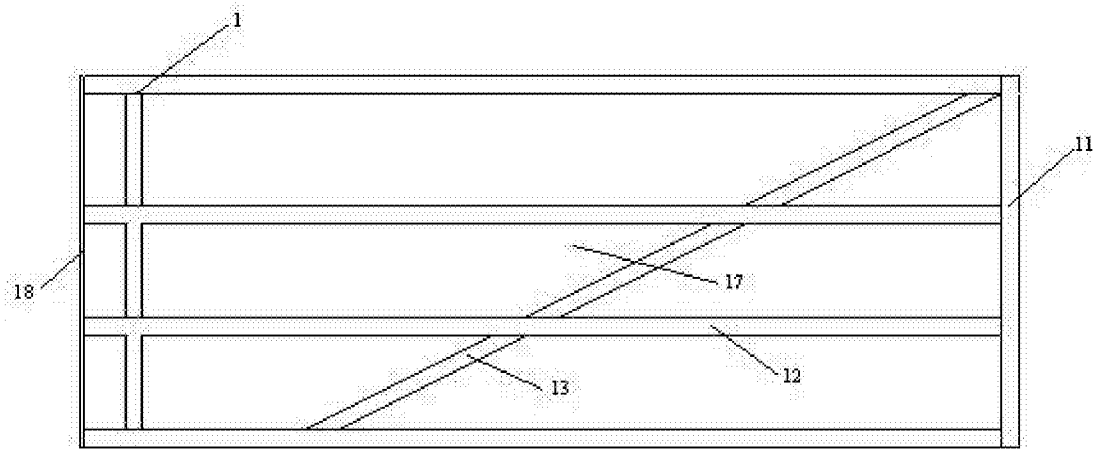


图 1

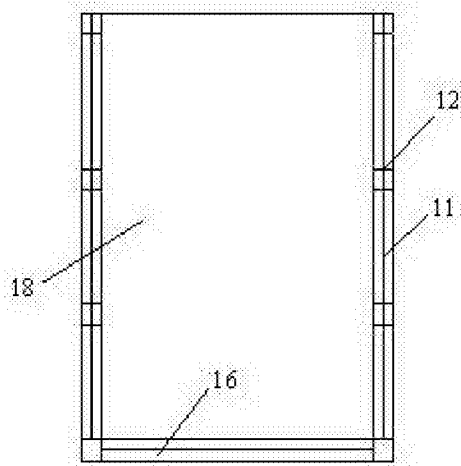


图 2

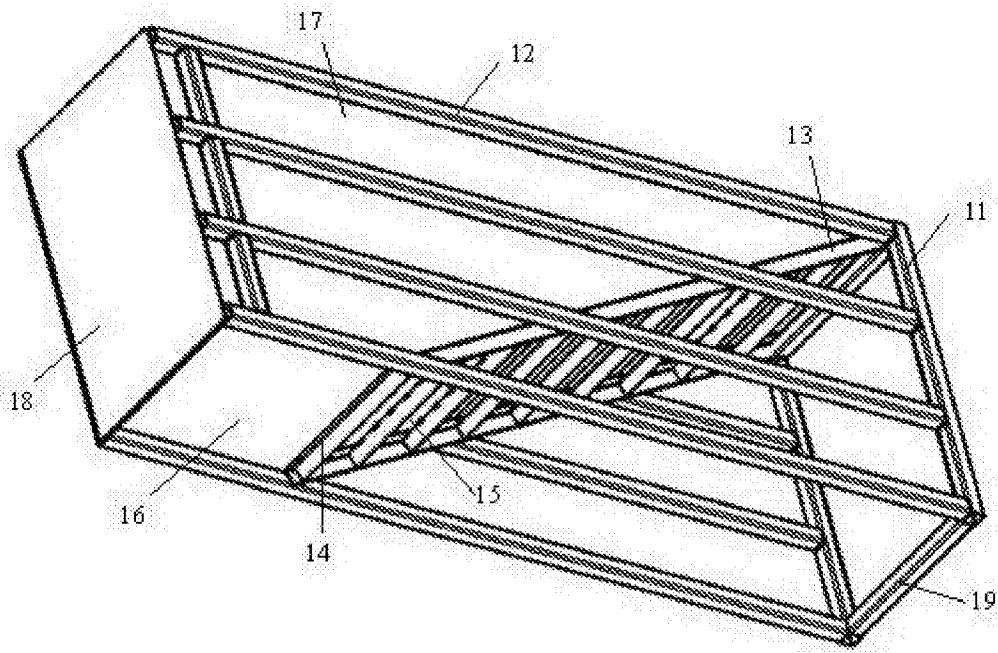


图 3

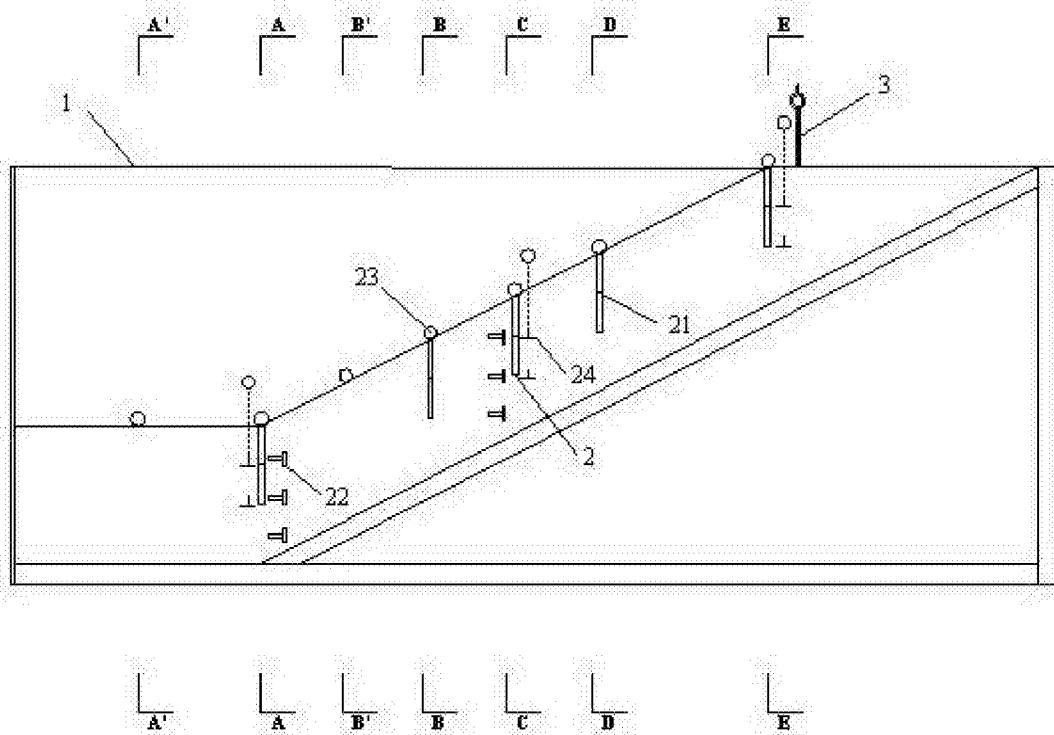


图 4

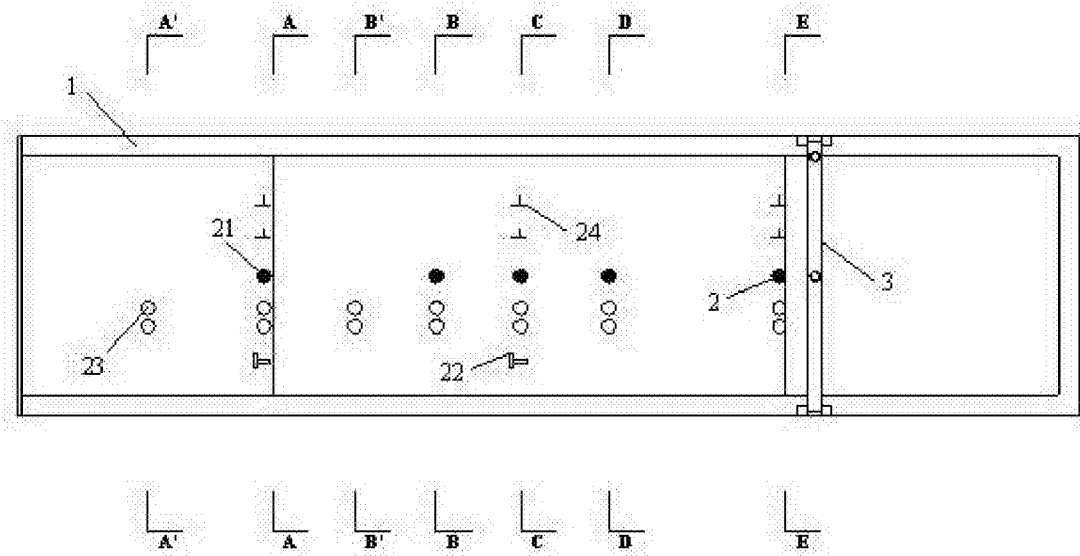


图 5

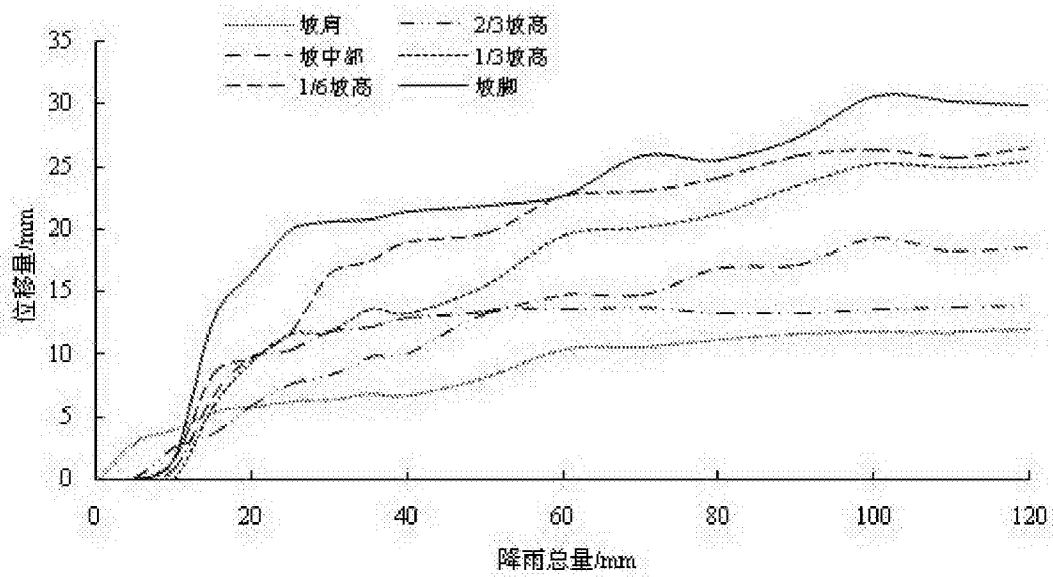


图 6

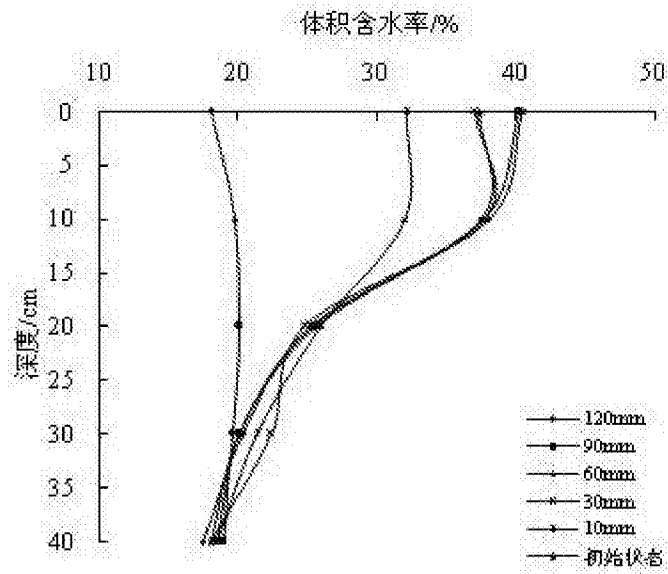


图 7

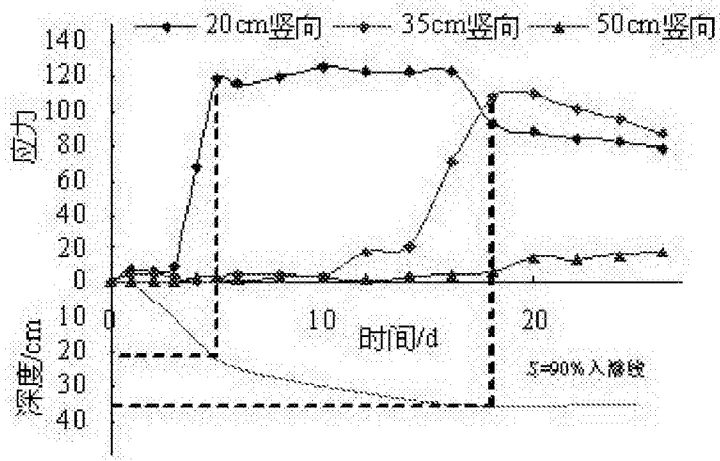


图 8