



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108195684 B

(45)授权公告日 2020.07.28

(21)申请号 201711269332.X

审查员 林艳

(22)申请日 2017.12.05

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108195684 A

(43)申请公布日 2018.06.22

(73)专利权人 同济大学

地址 200092 上海市杨浦区四平路1239号

(72)发明人 钱建固 戴浴晨 王其伟 黄茂松

(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 赵继明

(51)Int.Cl.

G01N 3/12(2006.01)

G01N 3/36(2006.01)

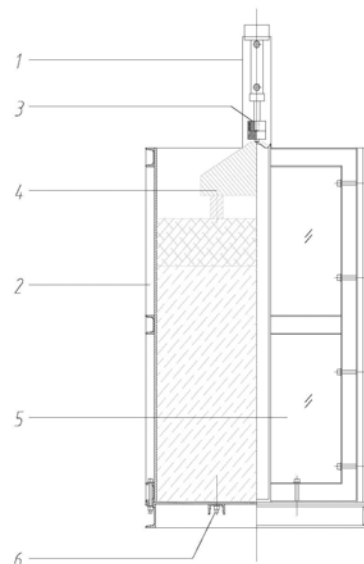
权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

可用于研究循环移动荷载作用下地基力学行为的试验系统

(57)摘要

本发明涉及一种可用于研究循环移动荷载作用下地基力学行为的试验系统,包括:刚性模型箱、反力架、基础模拟子系统、静-动耦合荷载加载子系统、图像采集子系统和数据控制与采集子系统,与现有技术相比,本发明系统可以在试验前先借助辅助钢板施加前期固结压力,土体沉降稳定后对土体施加一个较小竖向荷载(或相同大小竖向荷载),待土体变形稳定,此过程可以得到不同深度具有不同OCR的地基土体,设置三个独立控制的电液伺服作动器存在一定的相位差,以模拟荷载的移动性,可以实现地基土体单元主应力轴旋转这一要求。并通过改变循环荷载的频率,实现模拟不同速度移动荷载的施加。



1. 一种可用于研究循环移动荷载作用下地基力学行为的试验系统,其特征在于,包括:
 - 刚性模型箱,用于装载土体并设有透明观察部位;
 - 反力架,与刚性模型箱连接并固定在地面上,用于提供水平承载力和竖向承载力;
 - 基础模拟子系统,铺设在土体上部;
 - 静-动耦合荷载加载子系统,通过基础模拟子系统依次向土体施加前期固结压力、竖向荷载和循环移动荷载,分别用于超固结土的制备、土体深度的模拟以及竖向静-动耦合荷载的模拟,所述的静-动耦合荷载加载子系统包括多个独立控制的竖向电液伺服作动器,所述的电液伺服作动器安装固定在反力架上,下部与基础模拟子系统连接,各电液伺服作动器以不同的相位施加竖向循环动载,以模拟具有不同速度的移动荷载;
 - 图像采集子系统,用于采集土体位移和变形图像;
 - 数据控制与采集子系统,用于试验系统的驱动控制、试验数据的采集与传输。
2. 根据权利要求1所述的一种可用于研究循环移动荷载作用下地基力学行为的试验系统,其特征在於,所述的刚性模型箱为钢结构箱体,所述的透明观察部位为设置于侧壁的钢化玻璃。
3. 根据权利要求1所述的一种可用于研究循环移动荷载作用下地基力学行为的试验系统,其特征在於,所述的刚性模型箱底部设有可双面排水或单面排水的阀门。
4. 根据权利要求1所述的一种可用于研究循环移动荷载作用下地基力学行为的试验系统,其特征在於,所述的反力架为钢结构框架,包括垂向承载立柱和水平承载框架。
5. 根据权利要求1所述的一种可用于研究循环移动荷载作用下地基力学行为的试验系统,其特征在於,所述的静-动耦合荷载加载子系统还包括油泵站,用于向电液伺服作动器提供一定的压力。
6. 根据权利要求5所述的一种可用于研究循环移动荷载作用下地基力学行为的试验系统,其特征在於,所述的油泵站包括储油箱、提供动力的高压油泵、控制与测量组件,所述的储油箱与高压油泵连接,所述的高压油泵通过管路与电液伺服作动器连接,所述的控制与测量组件与高压油泵连接,所述的高压油泵提供的压力通过电液伺服作动器作用于基础模拟子系统上。
7. 根据权利要求1所述的一种可用于研究循环移动荷载作用下地基力学行为的试验系统,其特征在於,所述的图像采集子系统包括PIV照相机。
8. 根据权利要求1所述的一种可用于研究循环移动荷载作用下地基力学行为的试验系统,其特征在於,所述的数据控制与采集子系统包括:
 - 电子计算机,用于试验系统的驱动控制、试验数据的记录和处理;
 - 多通道控制器,与电子计算机和静-动耦合荷载加载子系统连接,用于控制加载的波形、幅值、次数和频率;
 - 土应力盒和孔压传感器,置入土体内部,与电子计算机连接;
 - 位移传感器,与电子计算机连接,用于测量基础模拟子系统的沉降变形。
9. 一种采用如权利要求1~8任一所述的可用于研究循环移动荷载作用下地基力学行为的试验系统进行力学行为试验的方法,其特征在於,包括:
 - 固结阶段,静-动耦合荷载加载子系统先通过辅助的加载钢板对土体施加前期固结压力;

土体深度模拟阶段,土体沉降稳定后对土体施加一个竖向荷载,待土体变形稳定,模拟得到一定深度的地基土体;

试验阶段,静-动耦合荷载加载子系统在土体上施加竖向循环动载,通过变化循环荷载的频率,模拟具有不同速度的移动荷载。

可用于研究循环移动荷载作用下地基力学行为的试验系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种研究地基力学行为的试验系统,尤其是涉及一种可用于研究循环移动荷载作用下地基力学行为的试验系统。

背景技术

[0002] 随着社会经济的发展和城市化进程的加快,各种基础设施得以广泛建设,同时也带来了目前理论无法解决的岩土工程问题。其中地基土体、路基土体在循环移动荷载作用下的变形问题一直受到工程和研究人员的重视,包括波浪荷载、交通荷载作用下基础的长期变形稳定问题,地震及振动荷载引起的土体液化问题等。对于这些复杂岩土工程问题,目前主要通过试验进行研究,以指导工程建设。

[0003] 地基土是典型的各向异性天然材料,其变形特性除了取决于应力主值大小,还很大程度上依赖于现场的应力主方向,而不同的岩土工程背景由于作用于地基基础的外荷载性质(加载方向及频率)不同,地基土将经历不同的偏应力路径。图1为两种典型的动载作用方式,其中图1(a)表示车辆荷载,即车辆由位置a移动到b在移动到c过程中,地基中土单元主应力方向分别将由a方向转为b方向再转为c方向。因此。对于土单元来说,a、b、c位置作用动载实际上存在特定的时间差,时间差与移动速度有关,试验模拟需借助存在相位差的三个等周期动载;相比较图1(b)可表示固定振动荷载。在振动过程中,a、b、c位置三个动载分别独立作用于土单元,且无相位差,即无移动效应。试验模拟,a、b、c位置分别施加相位相同的等周期动载即可,此时土单元应力主轴方向始终不变,此时与传统模型试验加载模式一致。

[0004] 此外,由于人类活动、地基加固或地层剥蚀等因素,地基浅层土通常静力过加卸载的应力历史,这类土与正常沉积固结土力学性质有着显著不同,力学性能得到改善。室内试验模拟采用传统的自重固结土体模拟这类土体将大大低估地基的动力强度,与此同时,不同深度地基土应力历史水平(OCR)不同。因此,室内试验模拟必须考虑现场土体这种超固结力学效应。

[0005] 与室内模型试验相比,现场试验耗费巨大,操作复杂,尤其是具有工程差异性,在试验过程中很难得到不同埋深与不同应力历史的土体作为研究对象,其试验结果不能科学地指导其他工程应用,因此,利用物理模型试验对循环交通荷载下超固结地基安定状态及长期变形特性的研究具有重要的工程应用价值。长期往复交通动载下,超固结地基应力主轴方向与大小发生耦合变化,这一复杂动载下地基的变形规律及其所依赖的力学机理在理论上存在诸多难题,导致运营期的沉降预测理论尚不完善,计算精度低,而传统的模型试验只能实现荷载的循环加载,无法模拟荷载的移动性,不能满足工程需要。

发明内容

[0006] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种可用于研究循环移动荷载作用下地基力学行为的试验系统,综合考虑地基土埋深、应力历史以及循环荷

载幅值、速度数目对地基土变形的影响,从而更有效地指导软土地基的工程设计。

[0007] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0008] 一种可用于研究循环移动荷载作用下地基力学行为的试验系统,包括:

[0009] 刚性模型箱,用于装载土体并设有透明观察部位;

[0010] 反力架,与刚性模型箱连接并固定在地面上,用于提供水平承载力和竖向承载力;

[0011] 基础模拟子系统,铺设在土体上部;

[0012] 静-动耦合荷载加载子系统,通过基础模拟子系统依次向土体施加前期固结压力、竖向荷载和循环移动荷载,分别用于超固结土的制备、土体深度的模拟以及竖向静-动耦合荷载的模拟;

[0013] 图像采集子系统,用于采集土体位移和变形图像;

[0014] 数据控制与采集子系统,用于试验系统的驱动控制、试验数据的采集与传输。

[0015] 所述的刚性模型箱为钢结构箱体,所述的透明观察部位为设置于侧壁的钢化玻璃。

[0016] 所述的刚性模型箱底部设有可双面排水或单面排水的阀门。

[0017] 所述的反力架为钢结构框架,包括垂向承载立柱和水平承载框架。

[0018] 所述的静-动耦合荷载加载子系统包括多个独立控制的竖向电液伺服作动器,所述的电液伺服作动器安装固定在反力架上,下部与基础模拟子系统连接,各电液伺服作动器以不同的相位施加竖向循环动载,以模拟具有不同速度的移动荷载。

[0019] 所述的静-动耦合荷载加载子系统还包括油泵站,用于向电液伺服作动器提供一定的压力。

[0020] 所述的油泵站包括储油箱、提供动力的高压油泵、控制与测量组件,所述的储油箱与高压油泵连接,所述的高压油泵通过管路与电液伺服作动器连接,所述的控制及测量组件与高压油泵连接,所述的高压油泵提供的压力通过电液伺服作动器作用于基础模拟子系统上。

[0021] 所述的图像采集子系统包括PIV (particle image velocimetry, 粒子图像测速) 照相机。

[0022] 所述的数据采集子系统包括:

[0023] 电子计算机,用于试验系统的驱动控制、试验数据的记录和处理;

[0024] 多通道控制器,与电子计算机和静-动耦合荷载加载子系统连接,用于控制加载的波形、幅值、次数和频率;

[0025] 土应力盒和孔压传感器,置入土体内部,与电子计算机连接;

[0026] 位移传感器,与电子计算机连接,用于测量基础模拟子系统的沉降变形。

[0027] 一种采用所述的可用于研究循环移动荷载作用下地基力学行为的试验系统进行力学行为试验的方法,包括:

[0028] 固结阶段,静-动耦合荷载加载子系统先通过辅助的加载钢板对土体施加前期固结压力;

[0029] 土体深度模拟阶段,土体沉降稳定后对土体施加一个竖向荷载,待土体变形稳定,模拟得到一定深度的地基土体;

[0030] 试验阶段,静-动耦合荷载加载子系统在土体上施加竖向循环动载,通过变化循环

荷载的频率,模拟具有不同速度的移动荷载。

[0031] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0032] (1) 本发明系统下部设有阀门,在固结阶段可以开启以加快排水过程,在试验过程中可以按工况要求为双面排水或单面排水而设置为开启或关闭,而传统的试验仪均不考虑试验过程中的排水边界设置。

[0033] (2) 本发明系统可以在试验前先借助辅助钢板施加前期固结压力,土体沉降稳定后对土体施加一个较小竖向荷载(或相同大小竖向荷载),待土体变形稳定,此过程可以得到不同深度具有不同OCR的地基土体,而当前的试验仪一方面不能模拟试验过程中土体的深度,另一方面不能控制试验土体的超固结程度。

[0034] (3) 既有研究循环荷载的模型试验只能在地基土体上模拟荷载的循环特性,不能施加高频移动荷载。相比较,本发明可以设置三个独立控制的电液伺服作动器存在一定的相位差,以模拟荷载的移动性,可以实现地基土体单元主应力轴旋转这一要求。并通过改变循环荷载的频率,实现模拟不同速度移动荷载的施加。

[0035] (4) 本发明模型箱尺寸为1000mm(长)×800mm(宽)×1500mm(高),可模拟黏土、砂土和碎石土等不同材料地基土体,使试验具有代表性。

[0036] (5) 本发明系统一侧设有可透视钢化玻璃,与PIV技术结合,可以观察捕捉试验过程中不同时刻的土体变形图像,应用目前PIV技术对图像进行处理,得到加载全过程中路基土体的变形规律,而传统的试验仪不具备这项技术。

[0037] (6) 本发明试验系统结构简单、组装及拆卸容易,实验过程操作简便。

附图说明

[0038] 图1(a)为土体受到移动车辆动载的主应力方向示意图;

[0039] 图1(b)为土体受到固定振动荷载的主应力方向示意图;

[0040] 图2为本实施例试验系统的主要部件主视示意图,其中左部分带有剖视;

[0041] 图3为本实施例试验系统的主要部件侧视示意图,其中左部分带有剖视;

[0042] 图4为本实施例作动器加载波形示意图;

[0043] 图5(a)~(c)为本实施例地基中部土体单元主应力方向旋转示意图,其中,图5(a)左侧作动器施加荷载达到峰值时的土体受力示意图,图5(b)为中间作动器施加荷载达到峰值时的土体受力示意图,图5(c)为右侧作动器施加荷载达到峰值时的土体受力示意图;

[0044] 附图标记:

[0045] 1为反力架;2为刚性模型箱;3为电液伺服作动器;4为基础模拟子系统;5为钢化玻璃透明观察板;6为阀门。

具体实施方式

[0046] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。本实施例以本发明技术方案为前提进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0047] 实施例

[0048] 如图2、3所示,一种能研究循环移动荷载作用下超固结地基力学行为的试验系统,

包括刚性模型箱2及反力架1、基础模拟子系统4、静-动耦合荷载加载子系统、PIV照相机子系统及数字控制与数据采集子系统。刚性模型箱2设在刚性反力架1内部,模型箱内装有土体,基础模拟子系统4铺设于刚性模型箱2中土体的上部,刚性反力架1与刚性模型箱2连接并固定在地面上,静-动耦合荷载加载子系统包括三个独立控制的竖向电液伺服作动器3和一个油泵站,三个独立控制的电液伺服作动器3安装固定在反力架1上,下部对基础模拟子系统4施加竖向静-动耦合作用力,PIV照相机子系统包括在模型箱装有钢化玻璃透明观察板5一侧设置的高清晰摄像机,可以捕捉不同时刻的地基土体变形图像,数字控制与数据采集子系统包括电子计算机、土体内部埋设的动态土压力传感器和孔压传感器、基础模拟子系统4处的位移计和压力传感器以及与传感器相连接的数据传输线与采集器。

[0049] 刚性反力架1尺寸包括垂向承载立柱和水平承载框架两部分,水平承载架直接承受液压作动器的反力,通过垂向承载立柱将荷载传送到地面上的模型箱底座上。外形尺寸:1200mm(长)×100mm(宽)×2100mm(高)。

[0050] 刚性模型箱2设在刚性反力架1内部,尺寸1000mm(长)×800mm(宽)×1500mm(高),其底板固定于垂向外围框架的底座上。模型箱顶部为敞开式结构,用来装填地基土体,土体上部铺设基础模拟子系统4,以施加荷载。箱体下部设置阀门6,在固结过程中可以打开以加快排水;在试验过程中可以依据工况为双面排水或单面排水设为开启或关闭状态。

[0051] 基础模拟子系统4的主要结构包括路基面板和钢轨两部分,路基面板使用聚丙烯板模拟,尺寸为800mm(长)×400mm(宽)×100mm(厚),钢轨使用9Kg/m的标准铁轨模拟,在试验中将荷载传递给黏土地基。

[0052] 静-动耦合荷载加载子系统包括三个独立控制的竖向电液伺服作动器3和一个油泵站,三个独立控制的电液伺服作动器3安装固定在反力架1上,下部对基础模拟子系统4施加竖向静-动耦合作用力,其主要功能包括超固结土的制备、土体深度的模拟以及循环移动荷载的施加。作动器可施加竖向荷载范围0-30kN,最大加载频率8Hz。

[0053] 试验加载前,加载子系统可先通过辅助的加载钢板对土体施加前期固结压力,土体沉降稳定后对土体施加一个较小竖向荷载(或相同大小竖向荷载),待土体变形稳定,此过程可以得到不同深度具有不同OCR的地基土体。试验过程中,在先前施加静力荷载的基础上同时施加竖向循环动载。三个独立控制的电液伺服作动器3之间可以设定不同的初相位,以模拟荷载的移动性。由于三个独立控制的电液伺服作动器3之间的距离固定,通过变化循环荷载的频率,可模拟具有不同速度的移动荷载。

[0054] 数字控制与数据采集子系统包括多通道控制器、电子计算机、土应力盒、孔压传感器、位移传感器及数据传输线;电子计算机采用嵌入式Windows智能操作子系统,用于试验系统的驱动控制及试验数据的记录和处理;试验加载通过多通道试验软件POPWARE-M实现,可以控制加载的波形、幅值、次数和频率,同时实时显示试验曲线,试验数据储存于内置固态硬盘或外置U盘,并可通过无线网络WLAN或有线网络LAN控制及发布;土压力盒、孔压传感器和位移传感器依据试验需求配置安装,试验时土压力盒和孔压传感器置入土体内部量测土体内部土压力与孔压值,位移传感器置于基础上量测基础沉降变形。

[0055] 试验准备阶段,先在模型箱底部铺设50mm厚排水砂层,使砂层高度超过模型箱排水孔高度,砂层表面铺设土工布,加水使砂层充分饱和、土工布湿润。取上海松江地区第3层粉质黏土,充分晒干,用粉碎机粉碎研磨成粉末状,按照1.5倍液限含水量配水,在真空搅拌

机中充分搅拌制成饱和土泥浆后置于模型箱内部。泥浆表面铺设湿润的土工布和辅助钢板,钢板尺寸为 $995\text{mm}\times 795\text{mm}$ 。采用静-动耦合荷载施加系统在钢板上施加静载 $2.4P$ (即固结压力 $p=3P$ kPa),开启模型箱下部排水阀门,在钢板上安放百分表读取土体沉降,直至土体沉降速度小于 $0.1\text{mm}/\text{天}$,认为固结完成。固结完成后关闭排水阀门并卸载,拆除百分表、辅助钢板和土工布,埋设土压力传感器和孔压传感器,在土体表面铺设基础模拟系统,使用静-动耦合荷载施加系统在钢板上施加静载 $0.8P$ (模拟自重 P 深度土体),安装百分表至土体回弹稳定,此时得到自重 P 深度土体,且表层土体超固结比 $\text{OCR}=3$ 。

[0056] 试验动载施加过程中,模型箱下部排水阀门6始终关闭,以模拟单层排水边界条件。三个独立控制的竖向电液伺服作动器3在保持施加静载不变的基础上,再施加频率设为 5Hz ,幅值均为 $0.4Q$ kN半正弦波,且三组半正弦波相位相差 $\pi/2$,见图2。则当某时刻,中间作动器达到幅值 $0.4Q$ kN时,其余两个作动器荷载值均为 $0.2Q$ kN,施加于土体表面的平均动载为 Q kPa,表层土体受到的平均动应力比为 Q/P 。在试验过程中,三个作动器轮流达到幅值,以模拟荷载的移动,从而使土体单元主应力方向产生旋转(见图5(a)~5(c)),此时荷载移动的速度为作动器的间距/相位差对应的时间($0.2\text{m}/0.05\text{s}$)为 $4\text{m}/\text{s}$ 。荷载循环 $50w$ 次,试验全过程中读取记录土压力盒,孔隙水压力传感器、百分表读数。此试验即可研究自重 P 深度、表层超固结比 $\text{OCR}=3$ 土体,在表层平均动应力比 Q/P 作用 $50w$ 次,单面排水条件下的土压、孔压和地基沉降变形规律。图中 σ_1 、 σ_3 分别表示第一主应力和第三主应力。

[0057] 试验结束后,关闭油源之后再关闭控制柜电源和电脑控制程序,拆除百分表及传感器,拆除基础模拟系统,挖出土体后清理仪器。

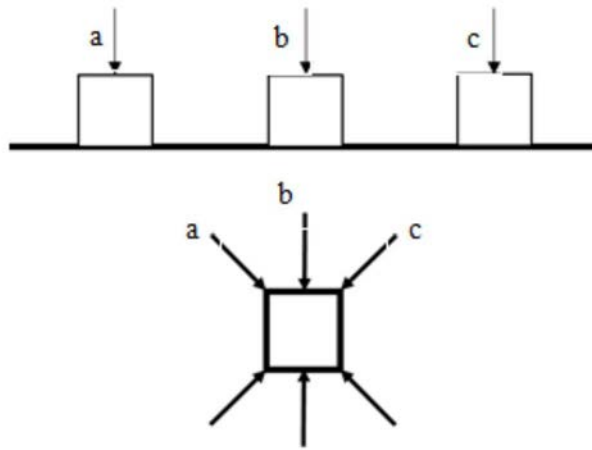


图1 (a)

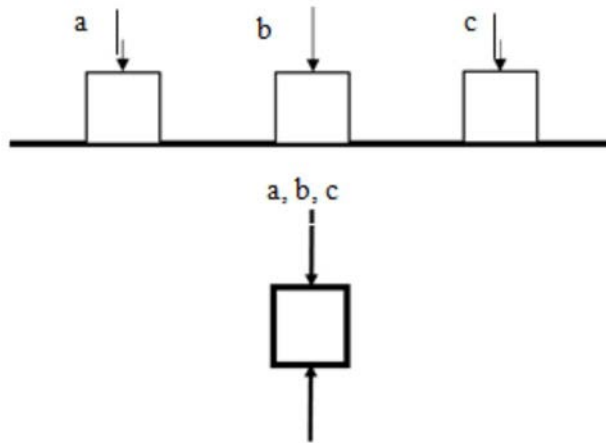


图1 (b)

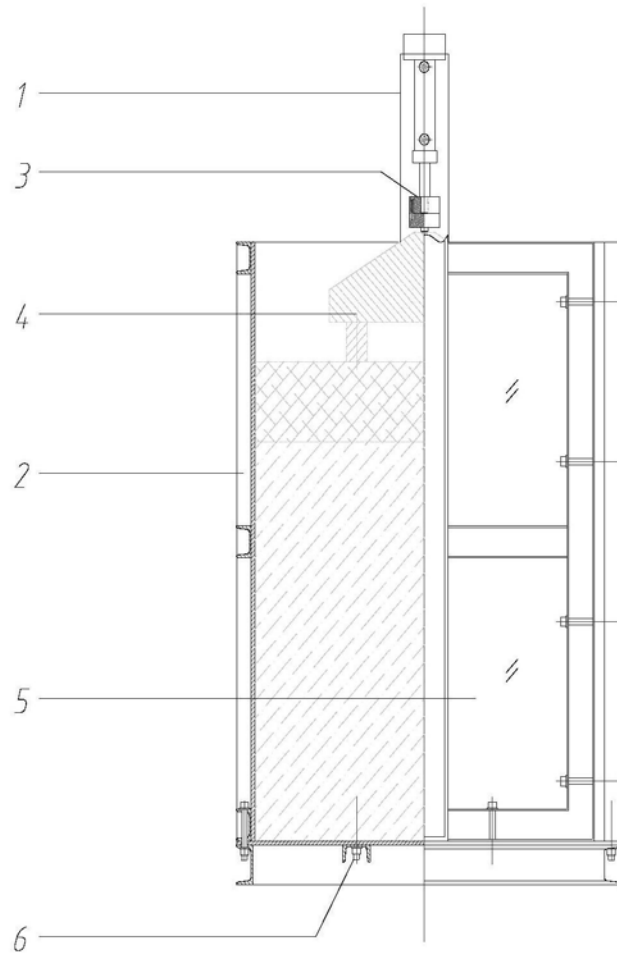


图2

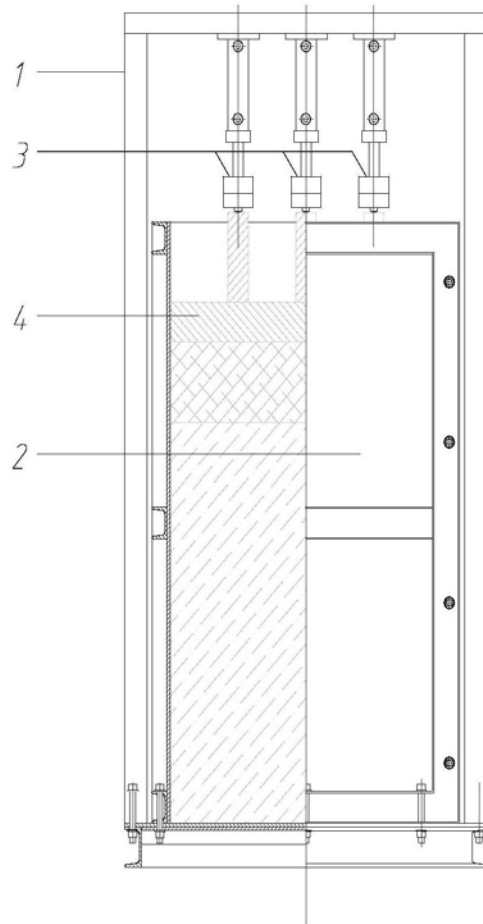


图3

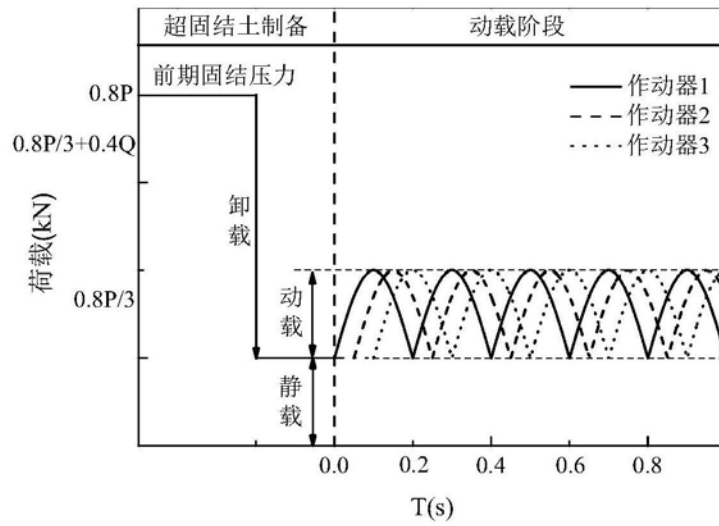


图4

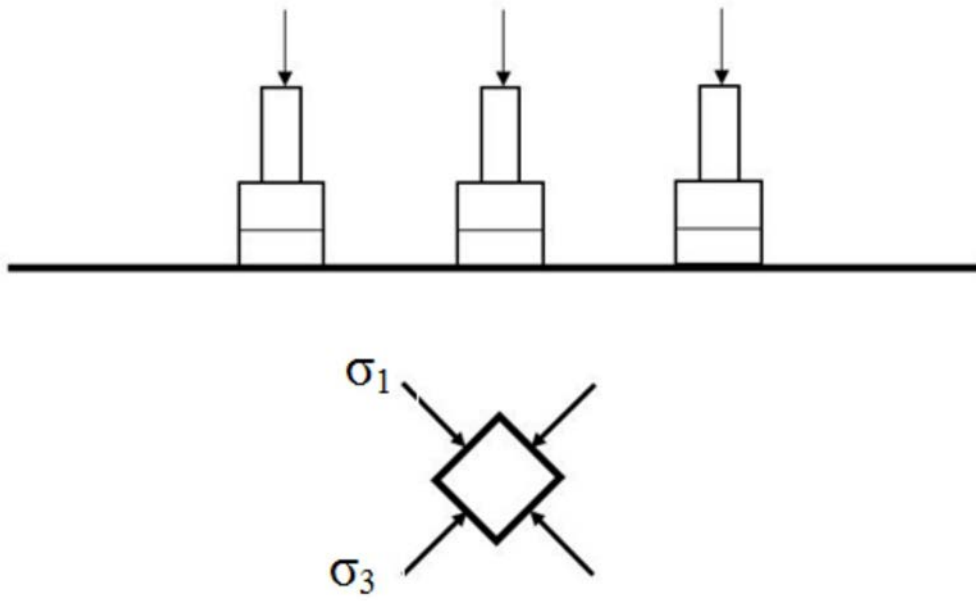


图5 (a)

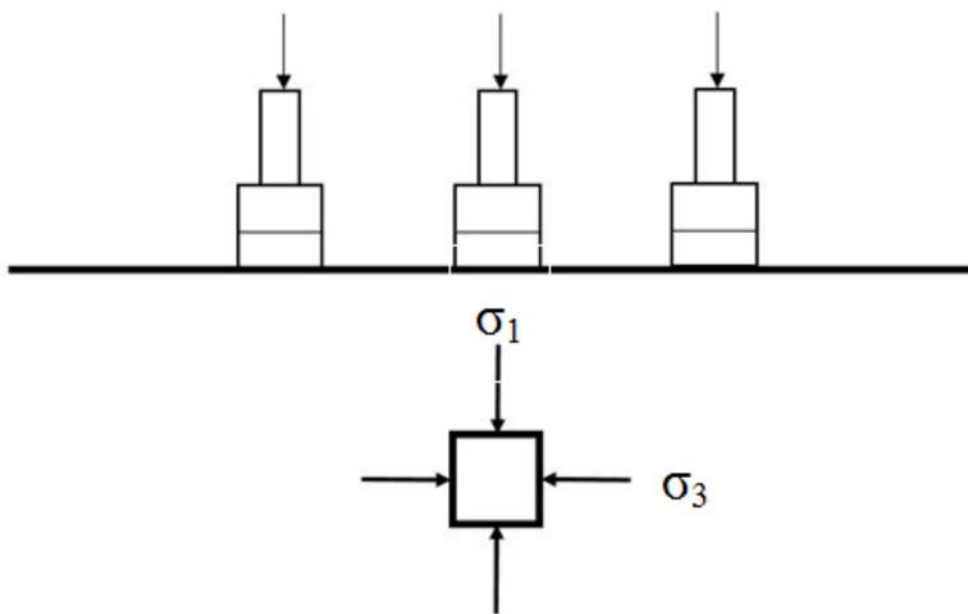


图5 (b)

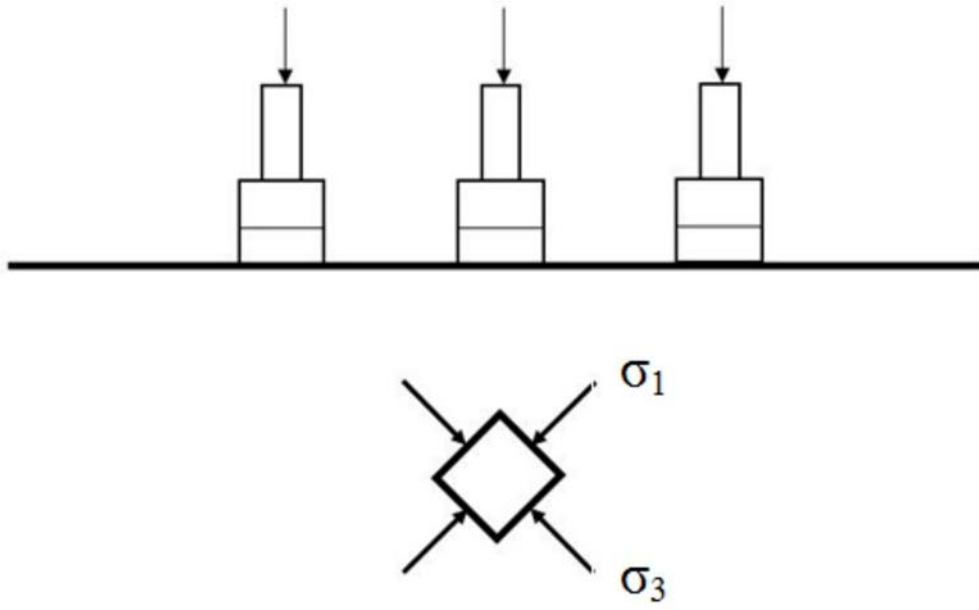


图5(c)