



您现在的位置: 首页 >> 四川建筑杂志 - 精选文章

砂土液化现象研究现状及存在的问题

(所属杂志: 此文章来自原稿) 发布时间: 2008-03-06 已阅读: 4044

四川建筑杂志

四川建筑杂志

精选文章

杂志简介

广告刊例

编委会名单

投稿须知



站内搜索

请输入关键字

搜索

郭桃明, 李德武, 董 博

(兰州交通大学土木工程学院, 甘肃兰州730070)

摘要: 砂土液化是一个世界性的问题, 本文就目前的国内外的研究成果和实验方法作了一个总体的概括, 指出现阶段对砂土液化研究中存在的一些问题。并对砂土液化问题研究的趋势提出了一些观点。

关键词: 土力学; 砂土; 液化; 地基处理; 地震作用

中图分类号: TU441+.4

文献标识码: A

饱和的松散砂土在动荷载作用下丧失其原有强度而急剧转变为液体状态, 即所谓振动液化现象。这种振动液化现象是一种特殊的强度问题, 它以强度的大幅度骤然丧失为特征。例如, 1964年美国阿拉斯加地震造成10000多平方公里的砂土地层液化。1976年中国唐山大地震造成24000多平方公里的砂土地层液化。砂土地层液化, 使河道和水渠淤塞, 道路破坏, 地面下沉, 房屋开裂, 坝体失稳等严重灾害。因此预测地震砂土液化造成的危害以及治理可能液化的地基土, 是当今国内外土动力学研究的一个重要方向。

1 振动液化的机理和影响因素

1.1 饱和砂土的液化机理

饱和砂土是砂和水组成的两相复合体系——砂粒堆积成土的骨架, 而砂粒孔隙间充满了水。饱和砂土的液化机理有三种:

(1) 砂沸是指当一个饱和砂沉积体中的孔隙水压力由于地下水头变化而上升到等于或超过它的上覆有效压力时, 该饱和砂沉积体就会发生上浮或“沸腾”现象, 并且全部丧失承载力。

(2) 流滑是饱和松砂的颗粒骨架在单程或剪切作用下, 呈现出不可逆的体积压

缩，在不排水的条件下，引起孔隙水压力增大和有效应力减小，最后导致“无限度”的流动变形。

(3) 循环活动性主要曾被发现于相对密度较大的（中密以上到紧密）饱和和无粘性土的固结不排水循环三轴或循环单剪和循环扭剪和循环试验中^[1]。

为了浅显地说明问题，假定振前砂土骨架是一些均匀圆颗粒砂堆积成的松散结构，如图1-a所示，当其受到水平方向的动剪应力作用后，显然，土骨架由不稳定的堆积状态趋向稳定的堆积状态，颗粒靠紧，体积缩小，如图1-c。在由松变密过程中，孔隙间充满的水在振动中受颗粒挤压，短时间内无法排出，故瞬间孔隙水压力上升，颗粒间有效压力减小，砂粒间相互脱离接触，处于悬浮状态，原来的砂水复合体系变为砂水的悬液体系。通常地基内部的砂层首先发生液化，随之在砂层内产生很高超静水压力，为了消散水压力，在一定条件下就会引起地下水自下向上的渗流。当水在上覆土层的渗流水力梯度超过流线上的临界水力梯度时，原来在振动中没有液化的上覆土层，在渗透水流作用下发生浮扬现象，也产生了“液化”，上涌的水带着砂粒冒出地面，即“喷水冒砂”现象。孔隙水压力的升高取决于在往返荷载作用下孔隙水压力增长和消散两种相反的作用。只有当增长大于消散时，孔隙水压力才能逐渐升高。

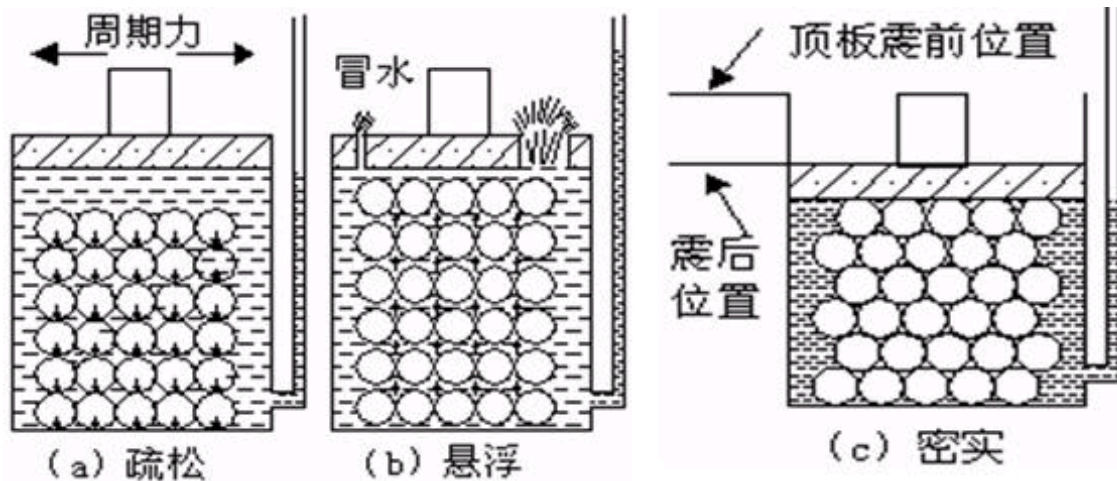


图1 砂土振动液化模型

1.2 饱和砂土液化的因素

根据国内震害现场调查和室内实验研究，影响饱和砂土液化的因素可以概括为以下4点。

(1) 地震动的强度以及等效循环次数。动荷载是引起饱和土体空隙水压力形成的外因。显然，动应力的幅值愈大，循环次数愈多，积累的孔隙水压力也愈高，越有可能使饱和砂土液化。根据我国地震文献记录，砂土液化只发生在地震烈度为6度及6度以上地区。有资料显示5级地震的液化区最大范围只能在震中附近，其距离不超过1km。根据Palmgren-Miner假定：在每一应力循环中所具有的能量对材料都有一种积累的破坏作用，这种破坏作用与该循环中能量的大小成正比，而与实际施加的应力波顺序无关。Seed利用DeAlba, Seed和Chan的大型动单剪液化试验结果通过对一系列强震记录的分析 and 计算，得出了当 $\tau_{av} = 0.65\tau_{max}$ 时的等效循环次数与地震震级的关系（见图2）^[1]。

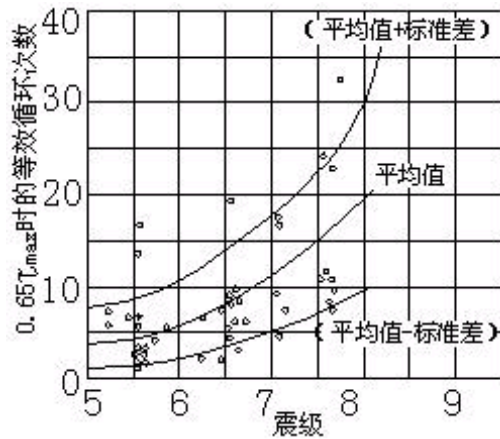


图2 等效循环次数与震级的关系

(2) 土的类型和状态。中、细、粉砂较易液化，粉土和砂粒含量较高的砂砾也可能液化。砂土的抗液化性能与平均粒径 d_{50} 的关系密切。易液化砂土的平均粒径在0.02~1.00mm之间， d_{50} 在0.07mm附近时最易液化。砂土中黏粒（ $d<0.005\text{mm}$ ）含量超过16%时很难液化。粒径较粗的土，如砾砂等因渗透性高，孔隙水压力消散快，难以积累到较高的孔隙水压力，在实际中很少有液化。黏粒土由于有黏聚力，振动时体积变化很小，不容易积累较高的孔隙水压力，所以是非液化土。土的状态，即密度或相对密度 Dr 是影响砂土液化的主要因素之一，所以也是衡量砂土能否液化的重要指标。砂越松散越容易液化。由于很难取得原状砂样，砂土的 Dr 不易测定，工程中更多地用标准贯入度试验来测定砂土的密实度。调查资料表明：砂层中当标贯锤击数 $N<20$ ，尤其是 $N<10$ 时，地震时易发生液化。而级配的好坏影响不大。地质形成年代对饱和砂层的抗液化能力有很大影响，年代老的砂层不易液化，新近沉积的则容易液化。

(3) 初始应力状态。许多调查资料表明，饱和砂层上的有效覆盖压力 σ_0 具有很好的抗液化作用。一般加压土层的厚度在3m以上时，下面的砂层比较难以液化。此外在实际上，应该充分利用液化土层上的覆盖土层，我国官厅水库坝基9.2m范围内厚0.45~5.64m的细砂和中砂层（细砂的 $d_{50}=0.192\text{mm}$, $Cu=2.56$, $Dr=0.65$, 中砂的 $d_{50}=0.315\text{mm}$, $Cu=2.58$, $Dr=0.53$ ）属于可液化土层，曾采用了在坝下游加盖重和盖重末端截断可液化土层的加固处理措施^[2]。

(4) 土层的刚度。土层的刚度将决定场地的卓越周期，当建筑物的自振周期与场地卓越周期接近时，就会由于共振而导致产生震害。日本关东等地震的震害调查结

果显示周期约为0.5秒的木房屋，当建造在深厚（30米）的软土层上时，破坏率高达30%；当它们建造在硬土和岩石上时，破坏率降低为1%。1988年的墨西哥发生了强地震，首都墨西哥城距震中约400公里，虽然远离震中，但市区高层建筑破坏严重，全部倒塌的房屋达400多栋。在8级左右的强地震下，远离震中400公里的，一般情况下不致引起破坏，例如，1976年唐山地震时石家庄市的房屋没有破坏。墨西哥地震是远震时深厚软土层上高层建筑严重破坏的典型实例。类似的震害受土质条件影响的例子还很多。

2 国内外研究的现状

2.1 实验器材的研究现状

（1）动三轴实验的缺点是动三轴实验的土样的剪切应力为 45° 面上，无法完全模拟地震方向的水平剪切力，原状试样是无法进行模拟制备的。而且经常由于试样的偏歪、曲颈等而使实验失真；试样底座的试样帽与试样之间的摩擦阻力，会导致局部应力集中而影响实验成果；最主要是高应力（ $\sigma_d/\sigma_0 > 0.6$ ）作用是难以实现的，而实际土层受震经常是在高应力比下发生的^[1]。

（2）单剪实验的优点是由原来内外等高的实心圆柱变改为不等高空心圆柱试样，并使试样的外高 h_1 和内高 h_2 之比等于外径 r_1 和内径 r_2 之比。这样理论上可使试样内外各点的剪应变相等,得到均匀剪应力。但是所不足的是试样制备较困难。

（3）振动台试验是20世纪70年代发展起来专用于土的液化性状研究的室内大型动力试验。它具有下述一下优点：①可以制备模拟现场 K_0 状态饱和砂的大型均匀试样；②在低频和平面应变的条件下，整个土样中将产生均匀的加速度，相当于现场剪切波的传播；③可以量出液化时大体积饱和土中实际空隙水压力的分布；④在振动时能用肉眼观察试样。但振动台实验制备大型试样时费用很高，而且不同的制备方法所造成的差异反映在应力比上可差200%^[1]。

（4）共振柱试验室根据共振原理在一个圆柱形试样上进行振动，改变振动频率使其产生共振，并借以测求试样的动弹性模量及阻尼比等参数的试验。日本阪田首先

进行此方法的研究。20世纪60年代以来，使用日益广泛。共振柱法是一种无损试验技术，它的优越性表现在试验的可逆性和重复性上，从而可以求得十分稳定可靠的结果[1]。

(5) 离心模型试验一种研究土体动力特性的重要方法，它是将原型土体的尺寸按一定几何比例缩小为模型后，对其按要求的相似条件选定材料，施加静动荷载，测定出应力、应变，最后反算到原型[1]。

2.2 国外研究现状

Tokimatsu把薄壁取土器取得饱和砂土试样的初始剪切模量恢复到用冻结法取得的饱和土样具有的初始剪切模量，然后通过试验比较两者的抗液化强度，发现如果它们的初始剪切模量一致，其抗液化强度也近似。因此他认为，借助饱和砂土最大剪切模量的(剪切波速)一致性，可以得到饱和砂土的原位抗液化强度。由于他通过在振动三轴压力室内测定试验土样的微小应变来确定土样的初始剪切模量，测量方法本身就由于存在系统误差而很难准确测定土样的初始剪切模量。Fernandez等的研究结果表明，小应变下($<10^{-6}$)土颗粒之间的胶结强度对土的剪切波速有显著影响[3]。DeAlba用不同的制样方法模拟土颗粒的不同排列方式，发现对于密实砂土用不同的制样方法制成的试样其弹性剪切模量相差不大[4]。

2.3 国内研究现状

黄博借助动三轴压力室内的弯曲单元测试装置研究饱和重塑砂土剪切波速与其抗液化强度之间的关系[5]。由于弯曲元需要插入试样中一定深度(3 mm)，从而造成对试样的扰动，同时也造成剪切波传播长度的不确定性，已有研究表明，仅此一项造成的测量误差可以达到16%。王建华、程国勇等人采用扭转振动圆环制做剪切波速传感器证明饱和砂土剪切波速与其抗液化强度之间有唯一对应关系[6~7]。中国科学院力学研究所的鲁晓兵、谈庆明、俞善炳、郑哲敏等人建立对一维垂直应变情况，建立了竖向荷载作用时饱和砂土的一维应变动力学模型，然后进行了分析得到了在竖向荷载作用下，饱和砂土液化发展过程的特性。结果表明，渗透系数越小，骨架强度越

低，扰动强度越大，液化发展越快。王星华，周海林研究的固结比对砂土液化的影响，在不同固结比情况下，砂土的应变、液化强度和孔隙水压力发展出现明显不同。由于固结比大的砂土在动荷载作用下易于达到剪胀，从而应力—应变曲线迅速向稳定形状过渡；随着固结比的增加，导致影响反向剪应力出现所需要的动应力也愈大，从而砂土液化强度会有所提高。但是，因固结比增加引起砂土强度的增加的趋势会受到动摩擦强度的限制；大固结比情况下的砂土进入剪胀较早，因而抑制了砂土残余孔隙压力的积累，影响了极限孔隙水压力的发展。研究表明，固结比愈大，砂土的极限孔隙水压力呈线性下降趋势。

基于以上分析可以看出，尽管对于饱和砂土与其抗液化强度之间的关系有过一些研究，并且取得了相当多的成果，但是仍缺乏原状与重塑土样的对比实验研究，以至于目前仍然无法对这一重要问题做出明确的阐述。

3 砂土液化研究方面的一些不足及解决思路

(1) 可以降低地震的水平力对基底的砂土作用，利用减震装置，降低土体的可传度，减小地震作用在地基饱和砂土中的作用力，降低作用荷载的幅值。这是解决砂土液化问题的一种新的思路^[1]。

(2) 改善砂土的颗粒结构，提高土体的密实度和颗粒骨架的稳定性，防止流滑破坏现象发生；利用振动荷载提前处理砂土，改变砂土的结构使之在使用前达到密实状态，从实践上来看，利用爆破振密、强夯、振冲挤密碎石桩法处理可液化砂土均取得了成功。但是在施工的过程中对周围环境的影响很大。如何降低振动荷载对周围环境的影响将是新的课题^[8]。

(3) 孔隙水压力升高到侧向固结压力是发生液化的必要条件。降低饱和砂土在周期力作用下的孔隙水压力是解决砂土液化的另一种途径。而降低孔隙水压力的最主要的方面是如何使产生的孔隙水排出，所以加入饱和砂土中的材料首先要满足改良土体的渗透性的要求，从而达到降低孔隙水压力。控制砂土中的水分及其渗透性，其目的在于降低超静孔隙水压力，控制超静孔隙水压力的升高，从产生液化的源头及逸出

部位同时进行防治 [8]。

(4) 饱和砂土的初始应力对饱和砂土的抗液化能力也有着重大的影响, 唐山地震的震后就说明了这一点。增加初始应力也是解决砂土液化的比较实用的方法。增大砂土地层的初始围压及约束条件其方法通常为增加周围侧向约束, 如反压护道等方法。这种方法运用在路基上比较方便, 但是在很多民用建筑的地基是水平的, 如何增加周围的侧向约束也是一个新的课题。而且可以对比增加竖向约束和增加侧向约束哪一种方法对处理饱和砂土液化问题更为有利。

(5) 土层的刚度对饱和砂土的抗液化能力的相当大影响, 所以增加土层的刚度也是提高饱和砂土的抗液化能力的一种方法。在土体中注入浆液、打入桩体以增加土体的刚度, 从而达到处理饱和砂土的目的。

总之, 处理砂土液化的措施有很多, 但是其目的无非就是降低饱和砂土中的超静孔隙水压力。所以任何一种或几种处理方法只要能合理地降低超静孔隙水压力的处理措施, 并满足经济合理要求, 都可以用来处理饱和砂土。

参考文献

- [1] 吴世明.土动力学[M].北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [2] 谢定义.土动力学[M].西安: 西安交通大学出版社, 1987.
- [3] 王建华, 程国勇.饱和砂土的剪切波速与抗液化强度相关性研究[J].岩土工程学报, 2005, 27(4): 269-273.
- [4] DeAlba Baldwin K, Janoo V, et al. Elastic wave velocity and liquefaction potential[J]. Geotechnical Testing Journal, 1984, 7(2): 77—88.
- [5] 黄博, 殷建华, 陈云敏, 等. 压电陶瓷弯曲元法测试土样弹性剪切模量[J]. 振动工程学报, 2001, 14(2): 155—160.
- [6] 王建华. 一种在三轴压力室内测试土样剪切波速的新装置[J]. 天津大学学报, 37(2): 152—156.
- [7] 鲁晓兵, 谈庆明, 俞善炳, 等.垂向动载下饱和砂土液化发展的数值模拟[J].力学学报, 2001, 33(5): 612-620.
- [8] 地基处理手册编写委员会.地基处理手册(第二版)[M].北京, 中国建筑工业出版社, 1999.

作者简介:

郭桃明(1983—), 在读硕士研究生, 研究方向: 地下结构动力方面的研究; 李德武(1965—), 学科责任教授, 博士。

◇最新评论

目前共有 0 条评论

◇发表评论

 匿名发表

主 题：

作 者：

内 容：

四川省土木建筑学会
www.sctmjz.com

验证码：

评论须知：

- 一、所发文章必须遵守《互联网电子公告服务管理规定》；
- 二、严禁发布供求代理信息、公司介绍、产品信息等广告宣传信息；
- 三、严禁恶意重复发帖；
- 四、严禁对个人、实体、民族、国家等进行漫骂、污蔑、诽谤。

Copyright © 2006-2008 sctmjz.com.cn Network. All rights reserved.

备案序号：蜀ICP备08001515号 四川省土木建筑学会 版权所有 技术支持：[搜材网](#)

主办单位：四川省土木建筑学会 四川省建筑师学会

编辑部电话：028-83336908 Email:scjzjb@163.com 广告部电话：028-83373081 Email: scjzgg@163.com