文章编号：1000-4882(2008)S2-359-04

动荷载作用下大圆筒基础离心模型试验

张建红[1]，张幸幸[1]，林小静[1]，鲁晓兵[2]
（1. 清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室，北京 100084；
2. 中国科学院力学研究所，北京 100080）

摘　要

介绍了大圆筒基础在循环动荷载作用下的离心模型试验结果。研究在动荷载作用下大圆筒基础的动力响应，并比较了荷载强度和基础刚度对基础动力响应的影响。综合孔压变化和基础沉降规律分析基础有两种可能的破坏模式：最初一两小时内振动的液化破坏和长时间激振后沉降过大引发的问题。将单筒连接成多筒基础，以增大基础刚度，则在相同动载强度下，周围孔压增长和激振沉降均小于承受相同荷载条件的单筒基础。

关　键　词：大圆筒基础；离心机；孔隙水压力

1　引言

清华大学和中国科学院力学研究所，结合近海海洋油气平台的重大关键技术问题研究，开展了一系列大圆筒基础在水平和竖向静载和循环动荷载作用下的离心模型试验。这里仅选择三组动载试验介绍不同荷载强度下大圆筒基础的动力响应[1~8]。

2　试验模型

图 1 为离心模型试验系统示意图。模型箱净空间 35cm×60cm×35cm。试验中采用的模型筒直径 6cm，高 7.2cm（原型筒径 4.8m，高 5.76m）。圆筒为钢制薄壁中空圆筒，筒顶有可以闭合的小孔。外径为 8mm 的钢管焊接在筒顶，用于模拟钢制导管或者张力腿等结构。离心加速度采用 80g。为了解决动态离心模型试验中的渗流与动力问题时间比尺的矛盾，采用一种渗透性约为原型 1/40 的粉质砂土，表 1 列出了土物理力学特性。动态试验中孔压消散的速度是孔压增长速度的 80 倍，因此本试验所测得的累积孔隙水压力偏低。

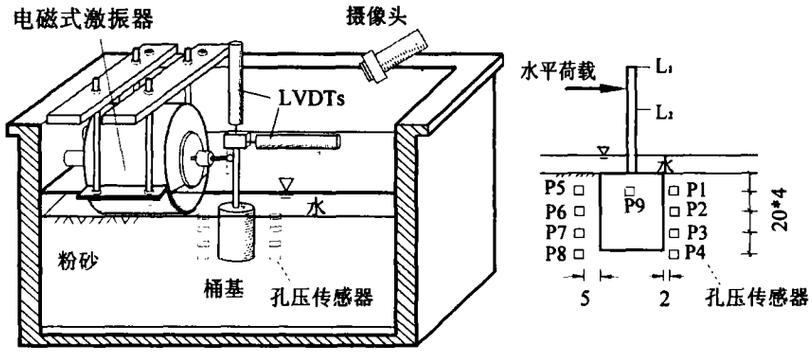


图1　离心模型孔隙水压力传感器布置示意图

基金项目：国家重点基础研究发展计划资助项目（2007CB714102）和国家自然科学基金资助项目（50679035）。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 地基土性参数

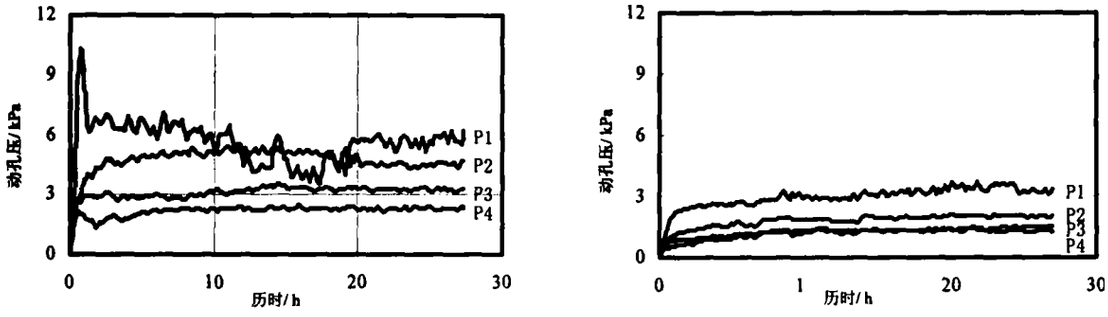
分类	d_{60}/mm	d_{10}/mm	比重	塑性指数 I_p	干密度 /g·cm^{-3}	渗透系数/cm·s^{-1}	c'/kPa	φ'
粉砂	0.15	0.035	2.69	8.7	1.60	2×10^{-4}	0	35°

在模型箱中，按照干密度 1.52 g/cm^3 将粉砂击实，将筒压入土中至筒顶与土面相平。将模型箱用厚有机玻璃板密封，保持 740mm～760mm 汞柱的真空度对模型箱抽真空，并从模型箱底部缓慢通无气水直至水面高于土层表面 1cm。经测试土样饱和度可达 97%以上。地基在离心加速度 80g 下固结 6 个月，原型固结沉降约 80cm。固结后粉砂的干密度为 1.6g/cm^3，属于中密状态。固结完成后封闭筒顶小孔，实施加载。采用电磁式激振器施加动载。动载频率为 64Hz，历时 20min（原型频率 0.8Hz，历时 26.7h）。在距离筒壁 5mm 和 3mm 处（原型 40cm、24cm）沿深度埋设两列孔压传感器以监测土层中的孔压变化。筒顶的位移传感器用于记录激振沉降。文中采用原型数据。

3 试验结果

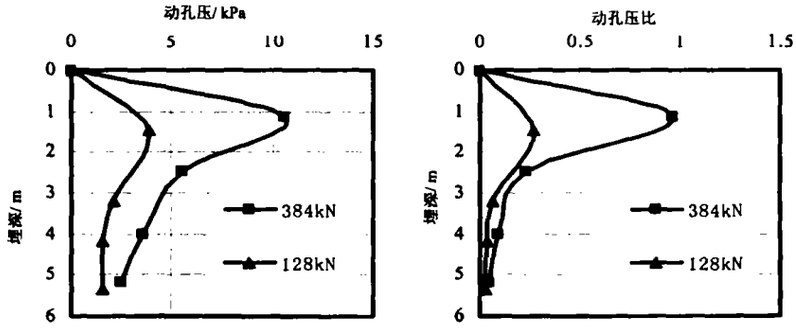
为考察冰荷载强度对基础的承载特性的影响，对基础施加频率为 0.8 Hz，强度为 384 kN（大于临界静承载力）和 128 kN 的动荷载，历时 26.7h。这里荷载强度指的是半波峰值。

图 2 为距筒壁 24 cm 的孔压传感器 P1～P4 测出的孔压时程曲线，将各曲线上孔压最大值与传感器埋深的关系显示在图 3a 中，并将动孔压比(孔压与初始竖向有效应力之比)与传感器埋深的关系显示在图 3b 中。图 3c 是激振过程中筒基的沉降曲线。从图中可以看出，激振的第一个小时内，孔压迅速上升。当动荷载强度超过临界承载力时，浅层土体中的孔压先随时间增加达到一个峰值，然后随时间减小；相应的动孔压比接近 1，如图 3b 所示，液化的可能性非常大。深层土体或荷载强度比较低时，孔压基本上随时间增加。说明高荷载强度时浅层土体容易发生剪胀，而深层土体或荷载强度较低时，土体主要发生剪缩。



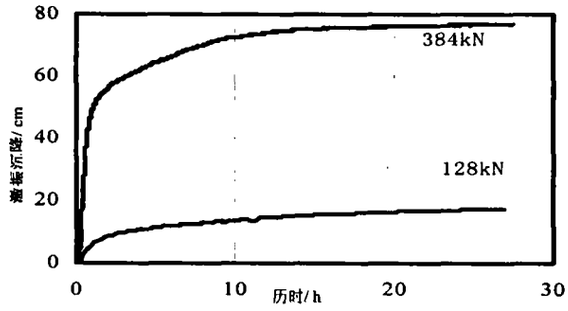
(a) 384 kN (b) 128kN

图 2 动荷载强度为 384kN 和 128kN 下土体中孔隙水压力时程曲线



(a) 动孔压～埋深 (b) 动孔压比～埋深

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(c) 筒基沉降曲线

图 3 两种荷载强度

由图 3a 可见，孔压最大值出现在土面以下 1m～2m 之间，浅层土体容易发生液化，而后孔压随埋深降低，在 2m～4m 之间，曲线有一拐点或极值点，说明基础在振动过程中，以土面以下 2m～4m 之间某一点为转动中心，该点的振动幅度相对较小，所以周围土体的孔压增长较小。动载时基础转动中心比受同等大小静载时略为靠下，说明了基础的动载效应。

与孔压规律相似，沉降主要发生在加载初期，而后随时间增长曲线趋于平缓，如图 3c 所示。经过 26.7h 的激振后，基础周围土体被振密，并产生沉陷，沉陷区域沿激振方向成椭圆状。基础内保持了完整的土塞，由于筒内土体孔压累积，靠近筒顶的土塞松软且含水量较大，而靠近筒底处则较密实。综合孔压变化和基础沉降规律，分析基础有两种可能的破坏模式：振动最初一两小时内的液化破坏和长时间激振后沉降引发的问题。

4 结论

本文介绍了大圆筒基础在循环动荷载作用下的离心模型试验结果。研究在动荷载作用下大圆筒基础的动力响应，并比较了荷载强度和基础刚度对基础动力响应的影响。综合孔压变化和基础沉降规律分析基础有两种可能的破坏模式：振动最初一两小时内的液化破坏和长时间激振后沉降过大引发的问题。将单筒连接成多筒基础，增大基础刚度，在相同动载强度下，周围孔压增长和激振沉降均小于承受相同荷载条件的单筒基础。

参考文献：

[1] 鲁晓兵，张建红，王淑云，孙国亮，时忠民. 水平动载下筒型基础周围土体软化的离心机模拟 [J]。中国海洋平台，2004，19(6): 7-11.

[2] LU X B. WANG S Y. ZHANG J H. SUN G L. SHI Z M. Experimental study of pore pressure and deformation of suction bucket foundations under horizontal dynamic loading[J]. China Ocean Engineering, 2005,19 (4): 671-680.

[3] 鲁晓兵，王义华，张建红，孙国亮，时忠民. 水平动载下筒型基础变形的离心机试验研究 [J] . 岩土工程学报，2005，27(7): 789-791.

[4] LU, X B,. ZHAN , J H. SUN G L. and Chen Z.Y. Simulation of dynamic loading in centrifuge for suction bucket foundations [C] . The 15th International Offshore and Polar Engineering Conference & Exhibition, Seoul, Korea, June 19-24, 2005, 423-430.

[5] 张建红，孙国亮，严 冬，鲁晓兵. 海洋平台大圆筒基础的土工离心模拟研究与分析 [J] . 海洋工程, 2004, 22 (2) : 90–97.

[6] 张建红，孙国亮，鲁晓兵. 离心机中动冰荷载的模拟 [J] . 岩土工程学报，2005，27(4): 474-477.

[7] 张建红，林小静，鲁晓兵. 水平荷载作用下张力腿平台大圆筒基础的物理模拟 [J] . 岩土工程学报，2007，29(1): 77-81.

[8] ZHABNG , J H, ZHANG, LM , and LU, X B. Centrifuge modeling of suction bucket foundations under ice-sheet induced cyclic lateral loadings [J] . Ocean Engineering, 2007, 34(8-9): 1069–1079.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Centrifuge Modeling of Large Diameter Cylinders under Cyclic Loading

ZHANG Jian-hong[1], ZHANG Xing-xing [1], LIN Xiao-jing[1], LU Xiao-bing[2]
(1. State Key Laboratory of Hydroscience and Engineering,Tsinghua University,Beijing 100084,China;
2. Institute of Mechanics, China Academy of Science, Beijing 100080, China)

Abstract

This paper presents the results of centrifuge model tests performed to study the behavior of large diameter cylinders under cyclic lateral loads. Two failure modes may be happened, that is liquefaction in the early excitation and settlement induced problem after long term excitation. However, with increased stiffness of the large diameter cylinders, the pore pressures and the induced settlement could be decreased.

Key words: large diameter cylinders; centrifuge; pore water pressure.

作者简介

张建红 女，副教授。主要从事海洋土力学与近海工程研究。

张幸幸 女，硕士研究生。

林小静 女，硕士。

鲁晓兵 男，副研究员。主要从事近海工程和边坡工程研究。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net