

砂土中吸力式沉箱基础抗拔承载特性试验研究

黎 冰^{1,2}, 郑 翔³, 高玉峰³, 邱 月³, 沙成明³

(1. 东南大学土木工程学院, 江苏 南京 210096; 2. 河海大学海岸灾害及防护教育部重点实验室, 江苏 南京 210098;

3. 河海大学岩土工程科学研究所, 江苏 南京 210098)

摘 要: 通过一系列的室内模型试验研究了砂土中吸力式沉箱基础的抗拔承载特性, 着重分析了沉箱的长径比、荷载作用角度和荷载作用点位置的影响。试验中考虑了 3 个长径比, 5 个荷载作用角度和 5 个荷载作用点位置。试验结果表明, 不同工况条件下吸力式沉箱基础在被拔出前所表现出来的荷载-位移特性各不相同。增大沉箱的长径比, 可以显著提高吸力式沉箱基础的抗拔能力, 但长径比的改变不影响吸力式沉箱基础的位移特征。荷载作用方向越接近于水平方向, 吸力式沉箱基础的抗拔能力越强。当吸力式沉箱基础承受竖直向上拔荷载作用时, 荷载作用点位置的变化对其承载力的影响可以忽略; 除荷载作用角度为 90° 外, 荷载作用于沉箱高度的 $2/3$ 和 $3/4$ 处时, 基础的抗拔能力最强。

关键词: 吸力式沉箱基础; 抗拔; 砂土; 承载力; 模型试验

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2013)05-0902-06

作者简介: 黎 冰(1981-), 男, 安徽芜湖人, 博士, 讲师, 主要从事土力学与岩土工程方面的教学与科研工作。E-mail: lbershui@seu.edu.cn。

Model tests on pull-out capacity of suction caisson foundation in sand

LI Bing^{1,2}, ZHENG Xiang³, GAO Yu-feng³, QIU Yue³, SHA Cheng-ming³

(1. College of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. Key Laboratory of Coastal Disasters and Defence of

Ministry of Education, Nanjing 210098, China; 3. Research Institute of Geotechnical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098,

China)

Abstract: A series of model tests are carried out to investigate the pull-out behavior of a suction caisson foundation in sand, and the effort is focused on the effect of aspect ratio, loading inclination angle and load attachment point. Three different aspect ratios, five different loading inclination angles and five different load attachment points are considered in the model tests. The test results show that the characteristics of load-displacement of the suction caisson foundation before pull-out are different in each case. The pull-out capacity can be improved significantly by increasing the aspect ratio. However, changing the aspect ratio does not affect the deformation characteristics of the suction caisson. The more nearly horizontal the loading direction, the greater the pull-out capacity of the suction caisson foundation. The influence of the loading position on the pull-out capacity of the suction caisson foundation can be ignored while the loading inclination angle equals 90° , otherwise the load should be attached on the suction caisson height of $2/3$ and $3/4$ to obtain greater pull-out capacity.

Key words: suction caisson foundation; anti-uplift; sand; bearing capacity; model test

0 引 言

吸力式沉箱基础是深海海洋平台结构的一种新型基础型式, 它利用负压进行沉贯施工, 具有施工简便, 可重复使用及造价低等优点, 在海洋工程中应用越来越多。基础的稳定与否是决定海洋平台能否正常使用的重要因素, 深水海洋平台中的吸力式沉箱基础主要承受风浪作用于上部结构而传递下来的拉拔荷载, 所以研究吸力式沉箱基础的抗拔承载特性具有重要的理论意义与工程应用价值。

目前已有不少关于吸力式沉箱基础抗拔承载特性

方面的研究成果。Luke 等^[1]、Rao 等^[2]和 Byrne 等^[3]通过模型试验研究了竖直向上拔荷载作用下吸力式沉箱基础的承载性状。El-Sherbiny^[4]通过模型试验研究了倾斜荷载作用下吸力式沉箱基础的抗拔承载特性。Clukey 等^[5]、Byrne 等^[6]通过模型试验研究了组合荷载作用下吸力式沉箱基础的承载特性。施晓春等^[7]、刘振纹等^[8]、徐冰^[9]也通过模型试验研究了吸力式沉箱

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50909020, 51078082); 海岸灾害及防护教育部重点实验室开放研究基金资助项目

收稿日期: 2012-07-10

基础的承载性状,但荷载作用点都位于沉箱的顶部。上述研究针对的都是黏土地基中的吸力式沉箱基础,而关于砂土地基中吸力式沉箱基础抗拔承载性状的研究相对较少。

Iskander 等^[10]和 Bang 等^[11]通过模型试验研究了竖向上拔荷载作用下砂土中吸力式沉箱基础的抗拔承载特性。Bang 等^[12]通过离心机试验研究了不同荷载作用点和作用角度下砂土中吸力式沉箱基础的抗拔承载力,得到了吸力式沉箱基础的最佳荷载作用点位置。但 Bang 等^[12]只针对长径比为 2 的吸力式沉箱基础进行了研究,并且只给出了各工况下的抗拔承载力,而没有给出各工况的试验曲线,更没有说明其采用的吸力式沉箱基础破坏标准。目前还没有一个得到广泛认同的吸力式沉箱基础破坏标准,采用不同的标准可能会得到不同的结论。鲁晓兵等^[13]和张金来等^[14]也通过模型试验研究了砂土中吸力式沉箱基础的承载性状,但荷载均作用于沉箱顶部。还有学者通过有限元法和极限平衡法研究了吸力式沉箱基础的抗拔承载力^[15-16]。

综上所述可以发现,目前关于砂土中吸力式沉箱基础抗拔承载特性的研究很少,特别是试验研究,而且已有试验研究考虑的因素还不全面。本文选择 3 种长径比的吸力式沉箱,考虑不同的荷载作用点位置和作用角度,通过模型试验研究砂土中吸力式沉箱基础的抗拔承载特性。

1 试验内容与试验方法

为了全面研究砂土地基中吸力式沉箱基础的抗拔承载特性,试验中考虑 3 个不同长径比的吸力式沉箱,5 个荷载作用点和 5 个荷载作用角度,共 75 组工况,具体试验工况见表 1。

表 1 试验工况汇总表

Table 1 Test programs

沉箱长径比	荷载作用点位置	荷载作用角度 $\omega/(^\circ)$
2, 4, 6	顶点	0 15 30 60 90
2, 4, 6	$L/2$	0 15 30 60 90
2, 4, 6	$2L/3$	0 15 30 60 90
2, 4, 6	$3L/4$	0 15 30 60 90
2, 4, 6	底部	0 15 30 60 90

试验所用模型槽尺寸为 $6\text{ m}\times 1\text{ m}\times 1.3\text{ m}$ (长 \times 宽 \times 高)。模型槽底部设置 15 cm 高的进水空间(通过进水阀与外界水源相连),具体做法是用砖块做垫层(砖块间间隔一定的距离),在垫层上依次铺设竹排和土工布。试验用土为砂土,粒径集中于 $0.075\sim 1\text{ mm}$, $\rho_{\text{dmin}}=1.29\text{ g/cm}^3$, $\rho_{\text{dmax}}=1.64\text{ g/cm}^3$,土样的颗分曲线如图 1 所示。试验中制备的砂土干密度为 1.44 g/cm^3 ,相对密度为 0.49,由固结排水试验测得砂土的有效内摩擦角为 36.8° 。地基土总厚度为 1.0 m,分 10 层

填筑,每层约 0.1 m,将干砂称重后倒入模型槽内,压实至预设高度,抹平。填土完成后,将进水阀与外界水源相连,使水在地基土中自由向上渗透,土体饱和完成后保持水面在泥面以上约 0.02 m。

试验中所用吸力式沉箱模型采用不锈钢制作,外径为 101 mm,壁厚为 2 mm。吊耳分布于沉箱顶部中心和侧壁,在沉箱顶面对称预留两个螺纹孔作为排气孔,以便沉箱贯入,当沉箱贯入至指定位置后,用螺丝封堵,吸力式沉箱模型如图 2 所示。已有研究表明,对于吸力式沉箱基础的长期承载力而言,下沉方法的影响很小^[17-18],所以在地基土饱和 24 h 后,本次试验利用垂直贯入装置^[19]将联接有钢丝绳的沉箱模型压入地基土中,沉箱顶面与泥面持平。沉箱贯入地基 24 h 后分级加载,每级荷载为基础模型预估承载力的 1/10。如图 2 所示,拉拔荷载通过重物、加载架和滑轮对沉箱模型施加。试验过程中,测量记录每级荷载下沉箱模型的水平位移、竖向位移和转角。

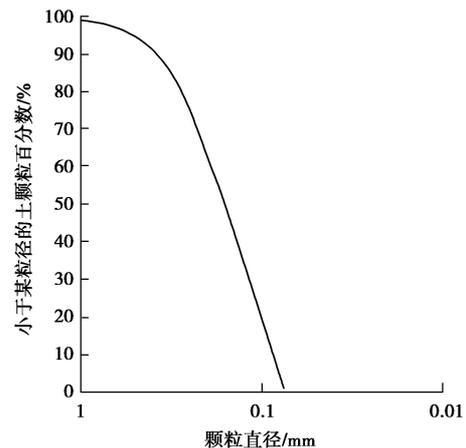


图 1 颗粒分析曲线

Fig. 1 Grain size distribution curve

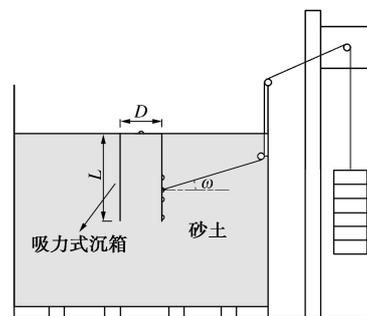


图 2 沉箱模型试验示意图

Fig. 2 Schematic of suction caisson foundation

2 试验结果与分析

由于目前还没有一个得到广泛认同的吸力式沉箱基础破坏标准,所以本文从吸力式沉箱基础的荷载 -

作用点位移曲线特征的角度分析其抗拔承载性状, 而不牵涉吸力式沉箱基础的极限承载力。

图 3~5 是部分试验工况的吸力式沉箱基础的荷载-作用点位移曲线。从图 3~5 中可以看出, 各工况下吸力式沉箱基础所表现出来的承载性状差异很大。有的在加载前期, 沉箱的位移很小, 但再继续加载时沉箱就突然被拔出, 沉箱被拔出前基本没有预兆, 如图 3 (c)、(d) 所示; 有的工况是随着荷载的增大, 沉箱的位移越来越大, 有被拔出的趋势, 但在被拔出前经历了较大的位移发展过程, 如图 5 (b)、(d) 所示。这与沉箱的长径比、荷载作用角度及荷载作用点位置都有关系。总体来说, 吸力式沉箱基础的抗拔承载特性较为复杂, 受到多种因素的影响。下面结合具体因素分析吸力式沉箱基础的抗拔承载性状。

2.1 长径比的影响

选取了 4 个不同荷载作用点位置和 3 个不同荷载作用角度下的工况来分析沉箱长径比对吸力式沉箱基础抗拔承载性状的影响, 具体如图 3 所示。从图 3 中可以看出, 长径比对吸力式沉箱基础抗拔承载能力影响很大, 相同直径条件下, 长径比越大, 吸力式沉箱基础的抗拔能力越强, 而且是荷载作用角度越小, 长径比的这一影响特点越显著。从图 3 (c)、(d) 中还可以发现, 当吸力式沉箱基础承受竖向上拔荷载作用时, 破坏特征都是被拔出, 该特征在荷载-位移曲线中表现为某一荷载增量作用下, 沉箱的位移无限增大, 曲线接近于水平线。沉箱被拔出之前所产生的竖向位移并没有因为长径比的不同而产生明显的变化, 这说明当吸力式沉箱基础承受竖向上拔荷载作用的时候, 沉箱的长径比对其荷载-作用点位移曲线的特征没有明显的影响, 这一特性在制定吸力式沉箱基础破坏标准时可供参考。另外, 竖向荷载作用下沉箱被拔出前在试验现象和荷载-作用点位移曲线上均无明显征兆, 这是因为在竖向上拔荷载作用下, 吸力式沉箱基础的承载力主要来源于沉箱侧壁与地基土之间的摩擦阻力, 随着荷载的增大, 沉箱侧壁与地基土之间的摩擦力逐渐发挥, 当全部发挥后沉箱就会突然被拔出。

2.2 荷载作用角度的影响

荷载作用角度对吸力式沉箱基础抗拔承载性状的影响如图 4 所示, 从图 4 中可以看出, 荷载作用角度对吸力式沉箱基础抗拔承载特性的影响程度与荷载作用点位置有关。如图 4 (a)~(c) 所示, 当荷载作用在沉箱高度的 1/2 处、3/4 处和底部时, 荷载作用角度对吸力式沉箱基础的抗拔承载力影响很大, 规律是荷载作用角度越小, 基础抗拔能力越强。这是因为在荷载作用角度较大时, 比如 90° , 即竖向上拔荷载作用, 此时吸力式沉箱基础的抗拔承载力主要来源于沉

箱侧壁与地基土之间的摩擦阻力, 这个阻力是比较小的; 而当荷载作用角度较小时, 比如 0° , 即水平荷载作用, 此时沉箱的移动趋势是转动加平动, 或平动, 这种运动状态下吸力式沉箱基础的抗拔承载力主要来源于因沉箱转动与(或)平动挤压土体而产生的被动土压力, 以及因沉箱可能发生的转动而产生的沉箱外壁摩擦力, 这些阻力要比纯粹的沉箱侧壁与地基土之间的摩擦阻力大的多。

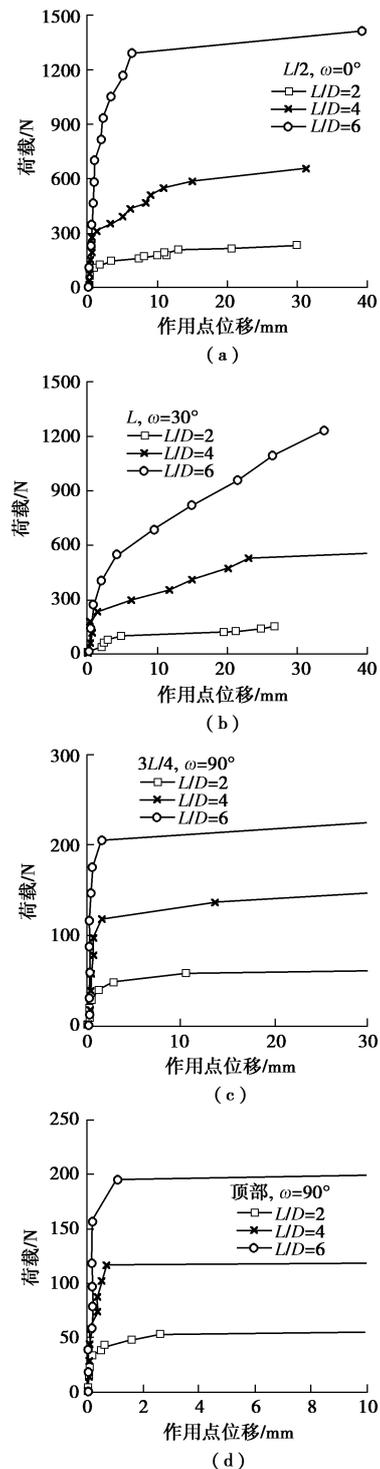


图 3 不同长径比下吸力式沉箱基础的荷载-位移曲线
Fig. 3 Load-displacement curves of suction caisson under various aspect ratios

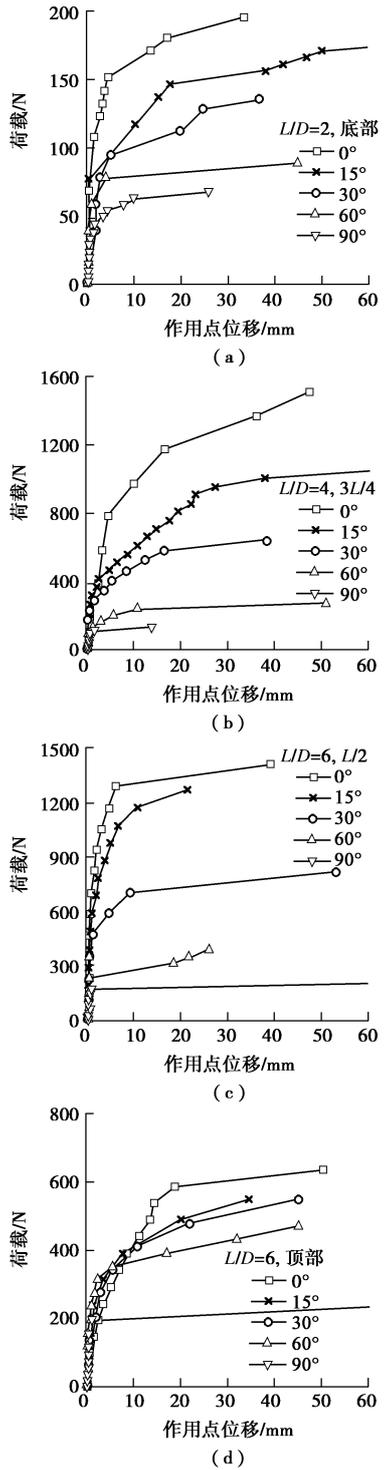


图 4 不同荷载作用角度下吸力式沉箱基础的荷载 - 位移曲线
 Fig. 4 Load-displacement curves of suction caisson under various loading angles

如图 4 (d) 所示, 当荷载作用在沉箱顶部时, 除荷载作用角度 90° 外, 其它 4 个作用角度下吸力式沉箱基础的荷载 - 作用点位移曲线比较接近, 即基础的抗拔承载力差别不大。如前所述, 当吸力式沉箱基础受到竖向上拔荷载作用时其抗拔承载力是比较小的。当受到角度为 0° , 15° , 30° 和 60° 的荷载作用时, 由于作用点位于沉箱顶部, 所以沉箱都以转动为主,

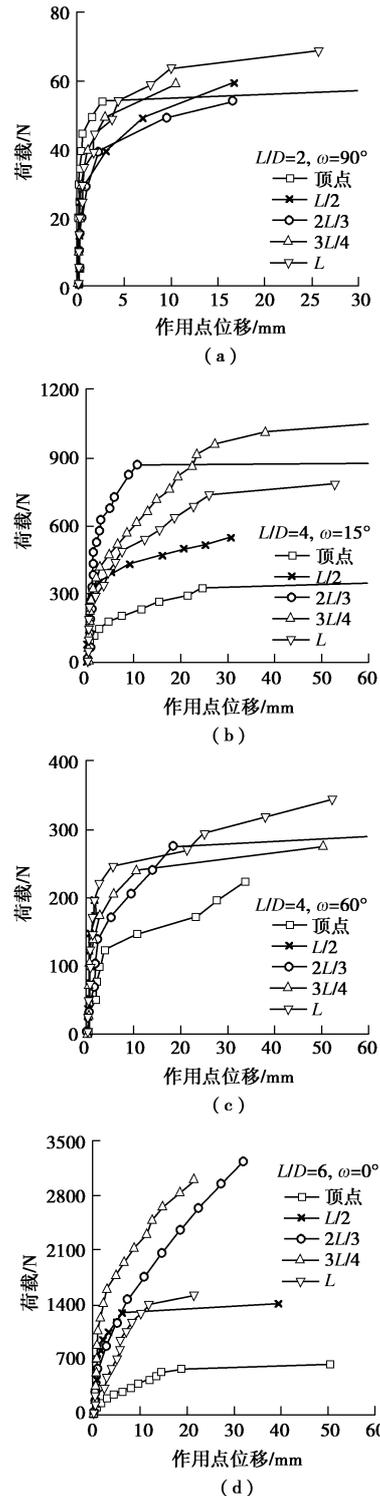


图 5 不同荷载作用点位置下吸力式沉箱基础的荷载 - 位移曲线
 Fig. 5 Load-displacement curves of suction caisson under various load attachment points

此时吸力式沉箱基础的承载力主要来源于因沉箱转动而产生的被动土压力和沉箱外壁摩擦力。土压力的充分发挥需要土体产生一定的位移, 而沉箱发生转动时, 土压力的大小取决于该点与转动中心的距离大小; 平动时, 沉箱从上到下产生相同的水平位移, 所以沉箱平动与否对吸力式沉箱基础的承载力影响较大。正因为沉箱不发生平动或者平动的位移量很小, 所以当荷

载作用在沉箱顶部且作用角度较小时,吸力式沉箱基础的抗拔承载力相差不大。

2.3 荷载作用点位置的影响

图5描述的是荷载作用点位置对吸力式沉箱基础抗拔承载性状的影响。从图5中可以看出,当荷载作用在沉箱顶部时,吸力式沉箱基础的抗拔承载力是最小的。除顶点外,其它荷载作用点位置对吸力式沉箱基础抗拔承载性状的影响与荷载作用角度有关,当荷载作用角度较大的时候,荷载作用点位置的影响相对较小,如图5(a)、(c)所示。这是因为荷载作用角度越大,则竖向荷载分量越大,水平向荷载分量越小。如前所述,此时吸力式沉箱基础的抗拔承载力主要来源于沉箱侧壁与地基土之间的摩擦力,所以不论荷载作用在沉箱哪个位置,基础的抗拔承载力差别都不会太大。

当荷载作用角度较小时,荷载作用点位置对吸力式沉箱基础的抗拔承载力影响显著,如图5(b)、(d)所示。这是因为荷载作用角度越小,水平向荷载分量越大,吸力式沉箱基础发生平动的可能性越高,至于沉箱是以平动为主还是转动为主,这取决于荷载作用点上下作用在沉箱侧壁上土压力的大小,所以此时改变荷载作用点的位置,将直接改变沉箱的运动状态,从而导致承载力的差异。

从图5(b)、(d)中还可以发现,当荷载作用角度较小时,并不是荷载作用点位置越低,吸力式沉箱基础的抗拔承载力越高,而是当荷载作用在沉箱高度的2/3或3/4处时,吸力式沉箱基础的抗拔承载力最大。这可能是由于荷载作用在沉箱高度的2/3或3/4处时,沉箱的运动状态更接近于平动。

3 结 论

通过模型试验研究了砂土中吸力式沉箱基础的抗拔承载性状。在本文试验条件下,得到如下4点结论。

(1) 竖向上拔荷载作用下,吸力式沉箱基础在位移较小时就被拔出;荷载作用角度较小的情况下,吸力式沉箱基础在被拔出前会经历几倍于沉箱直径的位移。这些特征可为吸力式沉箱基础破坏标准的制定所参考。

(2) 相同直径条件下,沉箱的长径比越大,吸力式沉箱基础的抗拔能力越强,特别是在荷载作用角度小的情况下,长径比的这一影响特点更为显著。

(3) 同一作用点位置条件下,荷载作用角度越小,吸力式沉箱基础的抗拔承载力越高。当荷载作用点位于沉箱顶部时,荷载作用角度对吸力式沉箱基础抗拔承载力的影响相对较小。

(4) 荷载作用点位置对吸力式沉箱基础抗拔承载力的影响显著。同一荷载作用角度条件下,荷载作用

于沉箱顶部时吸力式沉箱基础的抗拔承载力最小;除荷载作用角度为 90° 外,荷载作用于沉箱高度的2/3和3/4处时,基础的抗拔承载力最大。

参考文献:

- [1] LUKE A M, RAUCH A F, OLSON R E, et al. Components of suction caisson capacity measured in axial pullout tests[J]. *Ocean Engineering*, 2005, **32**: 878 - 891.
- [2] RAO S N, LATHA K H, PALLAVI B, et al. Studies on pullout capacity of anchors in marine clays for mooring systems [J]. *Applied Ocean Research*, 2006, **28**: 103 - 111.
- [3] BYRNE B W, HOULSBY G T. Experimental investigations of the response of suction caissons to transient vertical loading[J]. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 2002, **128**(11): 926 - 939.
- [4] EI-SHERBINY R M. Performance of suction caisson anchors in normally consolidated clay[D]. Austin: The University of Texas at Austin, 2005.
- [5] CLUKEY E C, AUBENY C P, MURFF J D. Comparison of analytical and centrifuge model tests for suction caissons subjected to combined loads[J]. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 2004, **126**(4): 364 - 367.
- [6] BYRNE B W, HOULSBY G T. Experimental investigations of the response of suction caissons to transient combined loading[J]. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 2004, **130**(3): 240 - 253.
- [7] 施晓春, 徐日庆, 龚晓南, 等. 桶形基础单桶水平承载力的试验研究[J]. *岩土工程学报*, 1999, **21**(6): 723 - 726. (SHI Xiao-chun, XU Ri-qing, GONG Xiao-nan, et al. Experimental study on horizontal bearing capacity of single bucket foundation[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 1999, **21**(6): 723 - 726. (in Chinese))
- [8] 刘振纹, 王建华, 秦崇仁, 等. 负压桶形基础地基水平承载力研究[J]. *岩土工程学报*, 2000, **22**(6): 691 - 695. (LIU Zhen-wen, WANG Jian-hua, QIN Chong-ren, et al. Research on the horizontal bearing capacity of bucket foundations [J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2000, **22**(6): 691 - 695. (in Chinese))
- [9] 徐冰. 倾斜荷载作用下吸力式沉箱抗拔性能试验研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2008. (XU Bing. The small scale model test study on inclined load capacity of suction caisson [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2008. (in Chinese))
- [10] ISKANDER M, EI-GHARBAWY S, OLSON R. Performance of suction caissons in sand and clay [J]. *Canadian Geotechnical Journal*, 2002, **39**: 576 - 584.

- [11] BANG S, JONES K, KIM Y S, et al. Vertical pullout capacity of embedded suction anchors in sand [C]// Proceedings of the Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference, San Francisco. 2006: 469 - 474.
- [12] BANG S, JONES K D, KIM K O, et al. Inclined loading capacity of suction piles in sand [J]. Ocean Engineering, 2011, 38 (7): 915 - 924.
- [13] 鲁晓兵, 王义华, 张建红, 等. 水平动载下桶形基础变形的离心机实验研究[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(7): 789 - 791. (LU Xiao-bing, WANG Yi-hua, ZHANG Jian-hong, et al. Centrifuge test on the deformation of bucket foundation under horizontal vibration load[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(7): 789 - 791. (in Chinese))
- [14] 张金来, 鲁晓兵, 王淑云, 等. 桶形基础极限承载力特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(7): 1169 - 1172. (ZHANG Jin-lai, LU Xiao-bing, WANG Shu-yun, et al. The characteristics of the bearing capacity of bucket foundation[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(7): 1167 - 1172. (in Chinese))
- [15] DENG W, CARTER J P. Inclined uplift capacity of suction caissons in sand[C]// Offshore Technology Conference, Houston. 2000: 500 - 506.
- [16] JONES K D, BANG S, CHO Y. Pullout capacity of embedded suction anchors in sand[J]. Ocean Engineering, 2007, 34: 2107 - 2114.
- [17] HOUSE A R. Suction caisson foundations for buoyant offshore facilities[D]. Perth: University of Western Australia, 2002.
- [18] CHEN W, RANDOLPH M F. Radial stress changes around caissons installed in clay by jacking and by suction[C]// Proceedings of 14th International Offshore and Polar Engineering Conference, Toulon. 2004: 493 - 499.
- [19] 黎冰, 高玉峰, 邱月, 等. 一种用于模型试验中吸力式沉箱沉贯垂直度的控制装置: 中国, 201210106455.2[P]. 2012-08-15. (LI Bing, GAO Yu-feng, QIU Yue, et al. A device for controlling the vertical penetration of suction caisson in model test: China, 201210106455.2[P]. 2012-08-15. (in Chinese))

第七届全国岩土工程物理模拟学术研讨会 (第一号征文通知)

主办单位: 中国水利学会岩土力学专业委员会; 物理模拟技术委员会。

承办单位: 浙江大学; 软弱土与环境土工教育部重点实验室。

协办单位: 长江水利委员会长江科学院; 中国水利水电科学研究院; 南京水利水电科学研究院; 同济大学; 中国工程物理研究院总体工程研究所; 浙江科技学院。

会议简介: 为促进我国岩土工程物理模拟学术交流, 由中国水利学会岩土力学专业委员会物理模拟技术委员会主办、浙江大学承办, 将于 2013 年 11 月 1~3 日在浙江省杭州市举办第七届全国岩土工程物理模拟学术研讨会。本届会议是继武汉(2011 年)会议后全国岩土工程物理模拟领域的又一次学术盛会。届时将邀请国内外岩土力学与物理模拟领域的著名专家和学者进行学术和技术交流, 共同探讨岩土工程物理模拟技术发展趋势, 展现最新模拟技术和研究成果, 交流物理模拟在解决实际工程问题中作用, 以促进物理模拟技术在我国的蓬勃发展。为进一步促进我国岩土工程物理模拟技术标准化, 提高物理模拟技术在岩土工程界的影响力, 在本届会议召开前将组织国内各土工离心机实验室开展离心模拟平行试验, 并在本届会议上介绍和交流平行试验成果。本次会议热诚欢迎本领域及相关领域的专家、学者及工程技术人员参加, 特别欢迎相关的博

士和硕士研究生参加。

会议专题: 土工离心模拟新设备与新技术; 1g 物理模拟新设备与新技术; 岩土工程物理模拟基本理论; 岩土工程物理模拟与数值模拟; 基础工程与地下工程; 土工抗震; 堤坝与边坡工程; 近海工程; 环境土工; 离心模拟平行试验。

论文要求: 论文篇幅一般在 6 页以内, 格式参考《岩土工程学报》。会前将印刷非正式出版论文集, 会议期间将遴选 20 篇优秀论文推荐到《岩土工程学报》发表。投稿邮箱: cmx@zju.edu.cn。2013 年 7 月 31 日 论文投稿截止; 2013 年 8 月 31 日 返回评审结果和修改意见; 2013 年 9 月 30 日 论文修改稿截止。

会议事项: 会议地点浙江省杭州市西湖区浙江大学紫金港校区启真酒店, 11 月 1 日全天注册报到, 11 月 2, 3 日全天会议。①注册费: 正式代表 1500 元/人; 学生代表 500 元/人。②住宿: 大会期间统一安排, 费用自理。

联系方式: 地址为浙江大学建筑工程学院岩土工程研究所; 浙江省杭州市余杭塘路 866 号; 邮政编码: 310058; 传真: 0571-88208793; 联系人: 孔令刚, 0571-88208772, 13606531696, E-mail: klg@zju.edu.cn; 程美霞, 0571-88208769, 13705818212, E-mail: cmx@zju.edu.cn。