

低频循环荷载对桩基础承载力的影响

张宁宁¹, 王 猛², 李 浩²

(1. 华电电力科学研究院, 浙江 杭州 310030;
2. 山东省淄博市公路管理局青兰高速公路路政大队, 山东 淄博 256100)

摘要:深水环境下的桩基础长期承受潮位的涨跌产生的低频循环荷载,从而增大了桩基础的工后沉降。室内模型试验结果表明,在低频循环荷载作用下,地基土逐渐被压密,从而产生硬化,但硬化的程度无法通过试验进行定量评价。利用 ABAQUS 有限元软件开展数值模拟,定量评价地基土硬化对桩基础承载性能的影响。

关键词:低频循环荷载;地基土硬化;桩基础承载性能;有限元模拟

中图分类号:TU 473.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2014)02-0007-04

对于处在深水环境中的桩基工程而言,潮位的涨跌使桩基础长期承受巨大的低频循环荷载,从而增大了桩基础的工后沉降。在进行桩基础原型试验难度大,费用高的情况下,采用室内模型试验可以很好的模拟出在低频循环荷载作用下,地基土逐渐被压密,从而产生硬化的结果,但却无法量化低频循环荷载对地基土的硬化程度,而利用有限元分析软件则可以做到^[1]。

与其它通用程序相比,ABAQUS 软件在岩土工程数值计算中有不可比拟的优势。它有丰富的适用于岩土材料的本构模型,如扩展的 Drucker-Prager 模型(线性、非线性以及可以考虑和徐变相结合)、Capped Drucker-Prager, Cam-Clay 模型、Mohr-Coulomb 模型、混凝土材料模型、渗透性材料模型(提供了依赖于孔隙比率、饱和度和流速的各向同性和各向异性材料的渗透性模型)、节理模型。ABAQUS 还为用户提供了广泛的功能,使用起来十分简明,最复杂的问题也可以很容易地建立模型^[2-3]。本文利用 ABAQUS 有限元开展数值模拟试验,定量评价地基土硬化对桩基础承载性能的影响。

1 三维有限元试验模型的建立

1.1 计算域范围及单元选择

利用已建试验模型的设计参数进行有限元建

模^[1],模型桩桩径为 10 cm。采用 ABAQUS/standard 进行静力分析,计算域为全部试验土体,试验土体尺寸为 2.67 m(长)×1.63 m(宽)×1.0 m(深),土体单元采用六面体八节点实体单元,基桩与桩上的受力平板单元型式也为六面体八节点实体单元。

1.2 接触条件

基桩与承台之间变形协调,且在荷载作用下不会相互脱离,故基桩与平板之间可用绑定约束连接^[4]。同时,基桩与土体之间变形不协调,存在相互错动滑移,故在桩土之间设置了接触面单元,其模型为库仑摩擦模型。

1.3 初始条件

应力初始条件:认为土体初始应力为自重应力。可以应用弹性半空间重力作用下求解应力分量的原理来形成地应力场。

位移初始条件:在成桩后未加荷前,各点位移取零。因此,以后计算所得的位移为相对于成桩后所发生的位移。

孔压初始条件:在加荷前,土体均为饱和,地基土中的孔隙水压力为静水压力,此时土体中的超静孔隙水压力为零。

1.4 边界条件

结点位移边界:与通常的三维有限元计算的处理方法相同。

收稿日期:2013-05-08

作者简介:张宁宁(1980-),女,山东淄博人,博士,主要研究方向为地基基础稳定性。

孔隙水压力边界:由于水槽侧壁与底面为不透水边界,故仅取土体表层为排水边界^[5]。

根据上述原则建立的有限元模型如图 1 所示。有限元模型共有单元 15 130 个,节点 17 972 个。

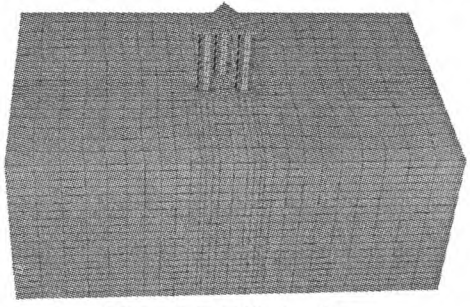


图 1 有限元模型示意图
Fig. 1 Schematic diagram of finite element model

2 三维有限元试验参数的反演

桩身混凝土弹性模量为 30 GPa,泊松比都为 0.167;桩顶平板的弹性模量为 210 GPa,泊松比为 0.3,桩身混凝土浮重度为 14 kN/m³。待反演参数的多少取决于计算域内材料种类和计算模型,本次计算所采用的模型为 Mohr - Coulomb 模型,涉及的参数包括重度 γ 、内摩擦角 φ 、粘聚力 C 、土体弹性模量 E 和土体泊松比 μ 、土体的渗透系数 k 。

为了定量评价试验中低频循环荷载对地基土的硬化效应,可以根据试验中桩顶有效荷载与桩顶沉降的关系来反演循环荷载前后地基土弹性模量 E 的变化^[6-7]。具体操作为:先给定土体弹性模量 E_0 ,使得在平衡地应力之后,水槽中地表水深为 40 cm,之后模拟放水的过程,以 0.14 m³/h 的速率放水,随着水位的降低,浮力逐渐减小,桩顶沉降不断增大,在地表水位降为 0 cm 时,桩顶沉降为 S 。不断调整土体弹模,最终使得桩顶沉降 S 与试验中单次降水 40 cm 后桩顶沉降增加量相同,此时地基土的弹性模量即为所求。用此方法分别反演试验中在第 1 次放水过程中土体弹模与第 10 次放水过程中土体弹模。

试验土体参数见表 1。

表 1 土体 Mohr - Coulomb 计算参数

Table 1 Soil Mohr - Coulomb calculation parameters

土层名称	$\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	E_0/MPa	μ	$\varphi/(\text{°})$	C/kPa	$k/(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$
细砂	11	6	0.35	34.0	10.0	0.209

图 2 为试验中平衡地应力后的土体与桩体的竖向位移云图。可以看出,在地应力平衡后,桩体与土体的竖向位移单位的量级远小于 μm 级,可忽略不计。图 3 为试验中平衡地应力后土体中的孔隙水压力云图。可以看出,此时地表水深为 40 cm。

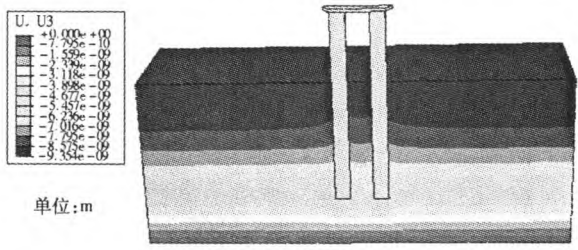


图 2 平衡地应力后土体与桩体的竖向位移云图
Fig. 2 Vertical displacement cloud picture of soil - pile body after balancing ground stress

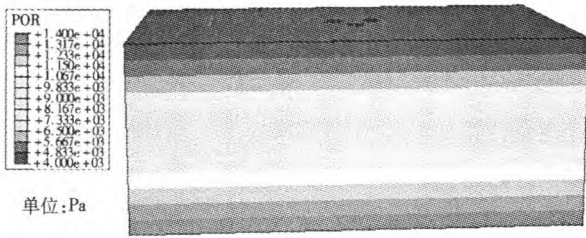


图 3 平衡地应力后土体中孔隙水压力云图
Fig. 3 Pore water pressure cloud picture of soil body after balancing ground stress

图 4 为有限元模拟得到的第 1 次排水后土体与桩体的竖向位移云图。可以看出,桩顶沉降最大,为 14 μm 。与第 1 组试验中第 1 次放水后实测桩顶沉降变化量相同,由此反演出土体弹性模量为 8.2 MPa。图 5 为有限元模拟得到的第 1 次放水后土体中孔隙水压力云图,此时地表水深为 0 cm,土体处于饱和状态。

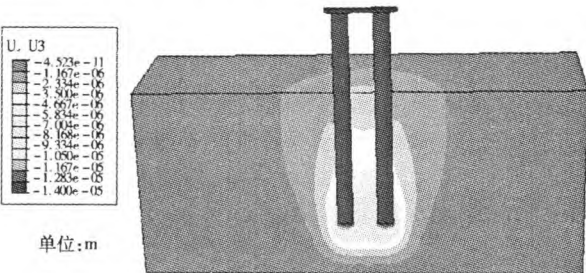


图 4 第 1 次排水后土体与桩体的竖向位移云图
Fig. 4 Vertical displacement cloud picture of soil - pile body after the first time drainage

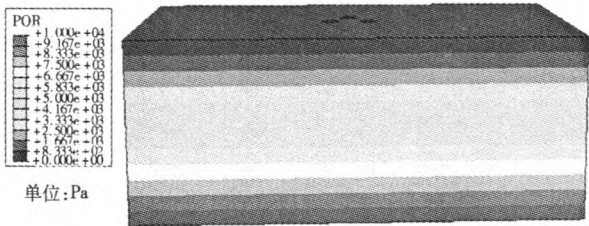


图5 第1次排水后土体中孔隙水压力云图
Fig.5 Pore water pressure cloud picture of soil body after the first time drainage

图6为有限元模拟得到的试验中第10次排水后土体与桩体的竖向位移云图。可以看出,桩顶沉降最大,为10 μm 。与试验中第10次排水后实测桩顶沉降变化量相同,由此反演出土体弹性模量为8.9 MPa。图7为在试验中第10次排水后土体中孔隙水压力云图,此时地表水深为0cm,土体处于饱和状态。

3 循环荷载对桩基承载力的影响分析

利用有限元模拟得出试验中第1次排水后与第10次排水后桩顶荷载 P 与桩顶沉降 S 关系分别见图8与图9。取桩顶沉降 $S=0.06D$ (D 为桩端直径)对应的桩顶荷载为桩基极限荷载,试验中桩基桩端直径 D 为10 cm,所以取桩顶沉降 S 等于6 mm所对应的桩顶荷载为桩基极限荷载。

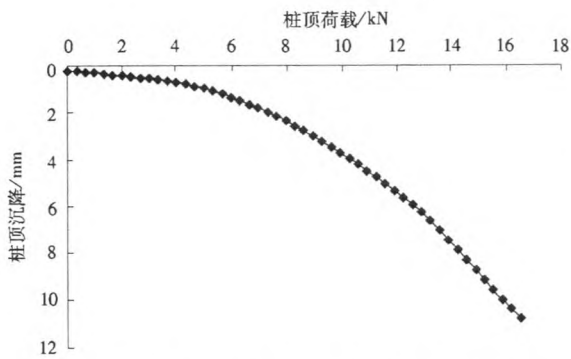


图8 第1次排水后桩顶荷载与沉降关系曲线
Fig.8 Load-settlement curve of pile top after the first time drainage

4 结论

本文采用 ABAQUS 软件反演了土体力学参数,并进一步定量分析了循环荷载对桩基承载力的影响,通过有限元模拟得出的结论为:

从图中可以看出,第1次排水后,桩基极限承载力为12.8 kN;第10次排水后,桩基极限承载力为13.1 kN。经过10次循环荷载后,桩基极限承载力提高了2.3%。

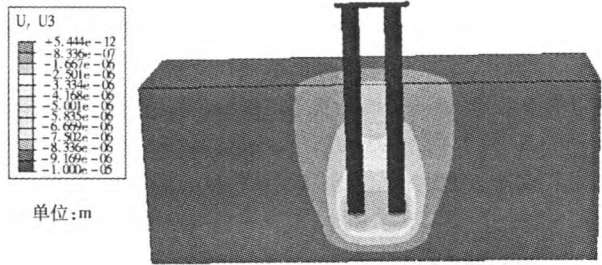


图6 第10次排水后土体与桩体的竖向位移云图
Fig.6 Vertical displacement cloud picture of soil-pile body after the 10th cycles drainage

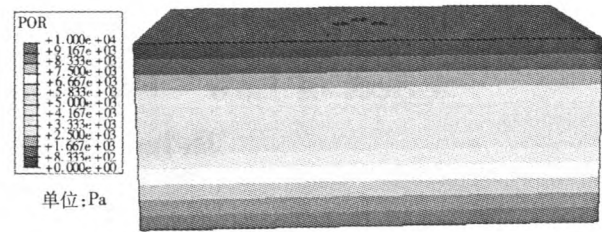


图7 第10次排水后土体中孔隙水压力云图
Fig.7 Pore water pressure cloud picture of soil body after the 10th cycles drainage

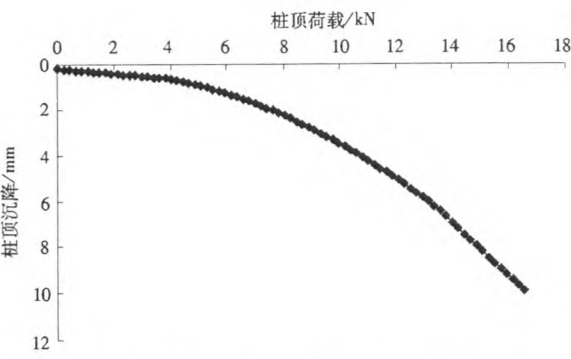


图9 第10次排水后桩顶荷载与桩顶沉降关系曲线
Fig.9 Load-settlement curve of pile top after the 10th cycles drainage

(1)利用 ABAQUS 大型通用有限元软件,根据试验中桩顶荷载与桩顶沉降的关系,反演出循环荷载前后土体弹模的变化,得出在试验中经过10次循环荷载后土体弹模由8.2 MPa增大为8.9 MPa,增大了8.5%。

(2)利用 ABAQUS 软件,根据反演的土体弹模,量化了循环荷载对桩基承载力的影响,得出试验中经过 10 次循环荷载后,桩基极限承载力由 12.8 kN 提高到 13.1 kN,提高了 2.3%。

参考文献:

- [1] 刘军,张宁宁,陈元俊. 潮位对桩基础承载性能影响的模型试验[J]. 盐城工学院学报:自然科学版,2012,25(3):16-20.
- [2] 朱以文. ABAQUS 与岩土工程分析[M]. 香港:中国图书出版社,2005,10.
- [3] 石亦平. ABAQUS 有限元分析实例详解[M]. 北京:机械工业出版社,2006,7.
- [4] 郑军杰,彭小荣. 桩土共同作用设计理论研究[J]. 岩土力学,2003,24(2):242-245.
- [5] 李志明,汪宏,俞铭华. 水平承载大直径管桩工作性状的有限元研究[J]. 江苏科技大学学报:自然科学版,2007,21(1):22-25.
- [6] 段文峰,金菊顺,佟德生. 在竖向荷载作用下桩-土数值模拟与试验验证[J]. 吉林建筑工程学院学报,2002,19(1):37-42.
- [7] 柳和气,鄂德军,何富强. 考虑桩土接触特性的群桩 P-S 曲线的数值分析[J]. 华中科技大学学报:城市科学版,2004,21(4):57-60.

Effect of Low - Frequency Cyclic Loading on Bearing Behavior of Pile Foundation

ZHANG Ningning¹, WANG Meng², LI Hao²

(1. China Huadian Electric Research Institute, Hangzhou Zhejiang 310030, China;
2. Shandong Qing Lan Freeway Road Management, Zibo City Highway Department of Shangdong Province,
Zibo Shandong 256100, China)

Abstract: Pile foundation longly bears low - frequency cyclic caused by loading tidal level in deep - water environment, thus causing the post - construction settlement increasing of pile foundation. The research result of indoor model tests indicates that foundation soil is pressed consolidation gradually, and leads to be hardened. However, hardeneing degree can't be evaluated quantitatively by tests. The paper develop numerical simulation using ABAQUS finite element software to quantitatively evaluate the effect of foundation soil hardening on bearing behavior of pile foundation.

Keywords: Low - frequency cyclic loading; foundation soil hardening; bearing behavior of pile foundation; finite element simulation

(责任编辑:张英健)