

文章编号:1671-6833(2012)05-0022-03

大直径扩底桩竖向承载力影响因素分析

张琦¹, 李坤轩², 王俊林²

(1. 河南省水利科学研究院, 河南 郑州, 450003; 2. 郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州, 450001)

摘要: 运用国际上通用的大型有限元软件 ANSYS 建立了桩-土作用的有限元模型, 结合某工程实例, 分析了大直径扩底桩竖向承载力的影响因素. 通过把模拟结果与桩基静载荷试验对比, 得出有限元结果与实测值接近; 然后采用有限元方法模拟分析了不同扩底直径、扩底高度和桩长对大直径扩底桩竖向承载力的影响. 结果显示, 大直径扩底桩的竖向承载力随着扩底直径的增加而提高, 当 D/d 大于 2 时, 承载力的增长幅度开始变缓; 承载力随着扩底高度的增加而提高, 但是增长幅度比较缓和; 承载力随着桩长的增加而提高, 但桩长增大到一定程度时, 承载力的增长幅度变得缓慢起来.

关键词: 桩-土作用模型; 竖向承载力; 影响因素; 有限元方法

中图分类号: TU473.1

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2012.05.005

0 引言

大直径扩底桩具有承载力高、质量易控制、变形小、经济节省等优点, 在高层建筑、公路和铁道桥梁以及城市高架路等荷载较大工程中常作为基础工程方案的首选^[1]. 对于同一试桩结果, 以不同的极限承载力判断标准可能会出现较大的差别^[2]; 参数和条件相同的大直径桩, 按各国规范的建议方法计算出的承载力值也可能相差很多^[3]. 目前, 承载力只有通过现场载荷试验才能确定, 但是试桩不仅耗时费力, 费用较高, 而且要考虑土质变化和试桩尺寸等因素, 桩群的试验更为困难, 仅仅靠试验来确定其承载力, 既达不到目的, 经济效果又不理想. 因此, 有必要建立合理的力学和计算模型, 综合考虑桩土作用的复杂因素, 采用数值模拟手段对单桩承载力进行研究, 从而确定桩的承载力, 以满足工程实际的需要. 同时, 采用有限元方法可以很容易的研究不同条件下大直径扩底桩的工作机理. 李美生等^[4]运用 ANSYS 软件研究分析了大直径扩底桩承载力影响因素, 探讨了不同变化因素对竖向承载力的影响. 李海林等^[5]建立桩土共同作用模型, 研究了桩土作用体系中力学传递机理. 王先军等^[6]建立了桩土接触面体系的有限元模型, 结合大型工程实例, 分析了桩土模型的荷载-沉降曲线以及荷载的传递规律, 揭示了桩土作用的实质, 并提出了能够解决

ANSYS 模拟桩土问题的合理思路. 王月梅等^[7]运用 ANSYS 分析不同参数对桩基础承载变形特性的影响, 通过深入分析, 发现了一些对工程实践有用的结论.

1 桩-土体系模型

1.1 现场静载荷试验

选取鹤壁市体育馆工程试验桩为研究对象, 试桩采用人工挖孔大直径灌注扩底桩, 桩长为 9 m, 桩径为 1 200 mm. 各层土参数如表 1 所示, 桩尺寸及土层分布情况如图 1 所示.

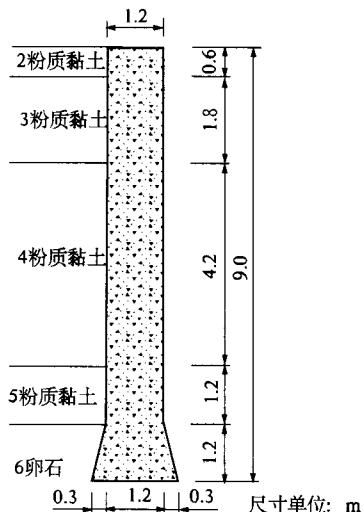


图1 土层分布情况

Fig. 1 Distribution of soil strata

收稿日期:2012-04-29;修订日期:2012-05-17

作者简介:王俊林(1963-),男,河南周口人,郑州大学教授,硕士生导师,从事基础工程相关的研究. E-mail: junlinwang@zzu.edu.cn.

表 1 土层参数表

Tab.1 Property of clay in model

层号	土层名称	孔隙比 e	含水量 $w/\%$	重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	压缩模量/ MPa	抗剪强度指标	
						c/kPa	$\varphi/(\circ)$
2	粉质黏土	0.660	19.4	19.4	10.70	24.0	25.0
3	粉质黏土	0.726	21.4	19.0	10.50	20.2	19.8
4	粉质黏土	0.852	26.2	18.4	8.20	9.6	17.6
5	粉质黏土	0.786	24.5	18.7	7.50	16.6	18.8
6	卵石	—	—	20.0	50.0	0.0	42.0

现场试验照片如图 2 所示。

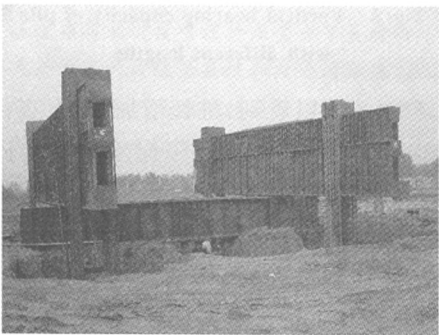


图 2 现场试验照片

Fig.2 Picture of field test

1.2 模型的建立过程和验证

作者运用有限元分析软件 ANSYS,考虑对称性,取 1/4 桩模型进行数值模拟。取桩周横向 8 倍桩径,纵向 3 倍桩长作为计算区域(见图 3),在该区域的底部和外侧的结点位移为零。桩身弹性模量是 $2.5 \times 10^4 \text{ MPa}$, $\mu = 0.2$ 。

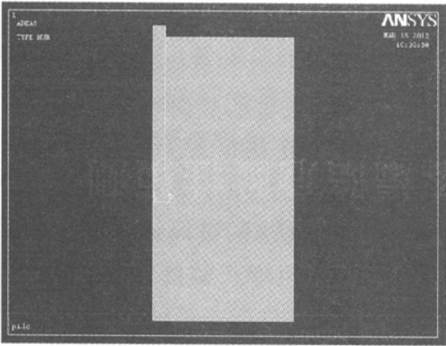


图 3 ANSYS 模型

Fig.3 ANSYS model

桩身和土体都采用六面体 8 节点单元 SOLID45 号实体单元,每个节点具有 X、Y、Z 三个方向的自由度。具有塑形、膨胀、潜变、应力强化、大变形和大应变的能力,桩的本构模型为线弹性,土体的本构模型为 D—P 材料。在进行面面接触分析时,桩上的面为刚性目标面,采用 Target170 单元,目标面对应的土体表面为接触面,采用 CON-

TA173 单元。

将计算结果与试验结果对比分析^[8],绘成 $Q-s$ 曲线见图 4。由对比可以得到,在达到临界荷载之前,有限元计算值与实测值的吻合情况较好,误差能够满足工程要求,所以计算模型是可行的。

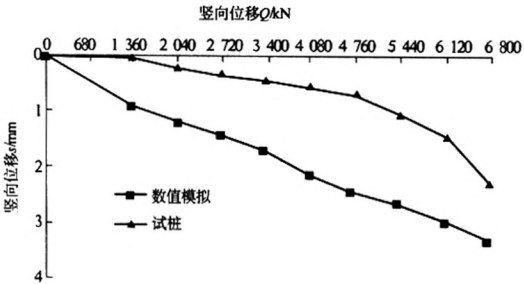


图 4 模拟结果与试验结果对比

Fig.4 Comparison between simulated and test results

2 影响因素分析

2.1 扩底直径对承载力的影响

分别取扩底直径 $D = 1.2, 1.5, 1.8, 2.1, 2.4, 3.0$ 和 3.6 m 进行模拟,即 $D/d = 1.0, 1.25, 1.5, 1.75, 2.0, 2.5, 3.0$,桩的基本参数取 1.1 现场试验中桩的参数,假定桩周土与桩端土为相同土体, $c = 10 \text{ kPa}$, $\varphi = 35^\circ$,弹性模量 $E = 50 \text{ MPa}$,膨胀角 $\varphi_f = 20^\circ$, $\mu = 0.3$ 。计算结果见图 5。

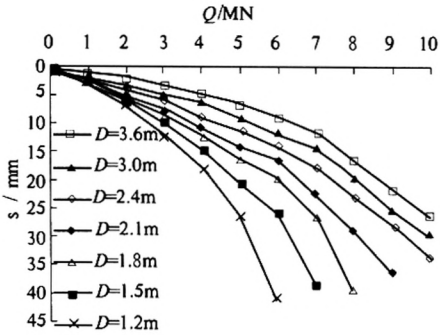


图 5 不同扩底直径桩的 $Q-s$ 曲线

Fig.5 The $Q-s$ curves of different diameter of belled piles

取桩顶沉降为 20 mm 时对应的荷载 Q 为桩

的竖向承载力,见图 6.

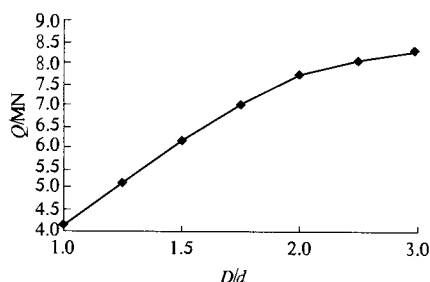


图 6 不同扩底直径桩的竖向承载力

Fig. 6 Vertical bearing capacity of pile with different belled diameters

从图 6 中可以看到,大直径扩底桩的竖向承载力随着扩底直径 D 的增大明显提高,当 D/d 大于 2 时,承载力的增长幅度开始变缓.从施工效率角度来说, D/d 应该存在一个合适的范围.当 $D/d = 1.0$ 时,为一般大直径桩,其竖向承载力明显小于大直径扩底桩的竖向承载力.

2.2 扩底高度对承载力的影响

取扩底高度分别为 $h = 0.6, 1.2, 1.8, 2.4, 3.0$ 和 3.6 m 进行模拟,即 $h/d = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0$. 桩的基本参数取 1.1 现场试验中桩的参数,假定桩周土与桩端土为相同土体, $c = 10$ kPa, $\varphi = 35^\circ$, 弹性模量 $E = 50$ MPa, 膨胀角 $\varphi_f = 20^\circ$, $\mu = 0.3$. 取 $Q-s$ 曲线上沉降 $s = 20$ mm 时对应的 Q 绘于图 7.

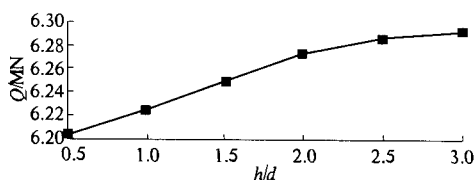


图 7 不同扩底高度桩的竖向承载力

Fig. 7 Vertical bearing capacity of pile with different belled heights

从图 7 中可以看到,随着扩底高度的增大,大直径扩底桩的竖向承载力提高,但是增长幅度比较缓和.

从图 6 和图 7 中能够得出,增大扩底直径和扩底高度都能够提高大直径扩底桩的竖向承载力;但从施工方法以及经济节约的角度来考虑,应优先选取增大扩底直径的方法,以提高大直径扩底桩的竖向承载力.综上所述,扩底部分扩底高度与扩底直径的比值适宜在 0.5 ~ 0.7 之间选取.

2.3 桩长对承载力的影响

取桩长 $H = 9, 15, 21, 27$ 和 36 m 进行模拟,即 $H/d = 7.5, 12.5, 17.5, 22.5, 27.5$. 桩的基本参数

取 1.1 现场试验中桩的参数,假定桩周土与桩端土为相同土体, $c = 10$ kPa, $\varphi = 35^\circ$, 弹性模量 $E = 50$ MPa, 膨胀角 $\varphi_f = 20^\circ$, $\mu = 0.3$. 取 $Q-s$ 曲线上沉降 $s = 20$ mm 时对应的 Q 绘于图 8.

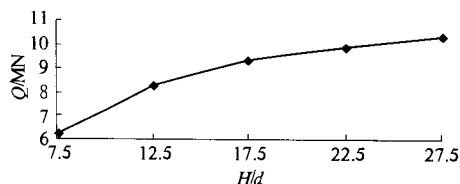


图 8 不同桩长桩的竖向承载力

Fig. 8 Vertical bearing capacity of pile with different lengths

从图 8 中可以看到,桩长增加时,大直径扩底桩的竖向承载力明显提高.竖向承载力的提高主要来自于桩侧摩阻力的增加.桩长较小时,桩侧摩阻力达到极限状态,荷载主要由桩端承担;而当桩长增加到一定程度时,桩周面积远远大于桩端面积,大部分荷载由桩身承担,到达桩端的荷载很小很小,此时桩的扩底作用就显得不那么明显,竖向承载力的增长幅度就变得缓慢起来.

3 结论

作者运用有限元分析软件 ANSYS 对大直径人工挖孔扩底桩竖向承载力影响因素进行了模拟计算分析,得出结论如下:

(1) 运用大型有限元软件 ANSYS 对鹤壁市体育馆工程试验桩的桩-土作用进行了数值模拟分析,将分析结果与试验结果进行了对比,证明了此桩-土模型的可行性和准确性.

(2) 大直径扩底桩的竖向承载力随着扩底直径的增加而提高,当 D/d 大于 2 时,承载力的增长幅度开始变缓.

(3) 大直径扩底桩的竖向承载力随着扩底高度的增加而提高,但增长幅度比较缓和.综合考虑,扩底部分扩底高度与扩底直径的比值适宜在 0.5 ~ 0.7 之间选取.

(4) 大直径扩底桩的竖向承载力随着桩长的增加而明显提高,当桩长增大到一定程度时,到达桩端的荷载很小,扩底作用显得不那么明显,竖向承载力的增长幅度就变得缓慢起来.

参考文献:

- [1] 杨鸿贵,白德容. 黄土地区大直径灌注桩的受力性能分析[J]. 岩土工程师, 1992, 4(4): 16-25.

(下转第 29 页)

[9] 单汨源,龙颖.一种关键链缓冲机制改进方法及其

应用研究[J].项目管理技术,2006(9):32-35.

The Research on Metro Station Scheduling Optimization Based on Improved Critical Chain Technology

CHEN Gui-xiang^{1,2}, SONG Jiu-le², ZHANG Zhao³

(1. School of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. School of Civil Engineering and Architecture, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China; 3. School of Civil Engineering and Architecture, Henan University of Technology, Zhengzhou 200092, China)

Abstract: Based on the analysis of theory of constraint and critical chain, this paper firstly illustrates the advantages of critical chain method for dealing with the project overrun and project scheduling management. Secondly, this paper presents the principles and methods about constraint classification, safety size and buffer size based on the Metro scheduling characters. Finally, a computational example is given and the results show that the approach is effective.

Key words: Metro; critical chain; application

(上接第24页)

[2] 欧文 D R J, 辛顿 E. 塑性力学有限元—理论与应用[M]. 曾国平,译. 北京:兵器工业出版社,1989.

[3] JGJ 94—1994. 建筑桩基技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1995.

[4] 李美生. 大直径扩底桩承载力影响因素研究[J]. 铁道勘察,2008,34(3):41-43.

[5] 李海林. 桩-土相互作用的数值模拟分析[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学航天与建筑工程学院,2006.

[6] 王先军,周文字,蒋鑫. ANSYS 在模拟桩土接触中的应用[J]. 森林工程,2006,22(3):49-51.

[7] 王月梅. 桩基础承载性状 ANSYS 分析[J]. 工程建设与设计,2005(4):48-50.

[8] 王俊林,王复明,任连伟,等. 大直径扩底桩单桩水平静载试验与数值模拟[J]. 岩土工程学报,2010,32(9):1406-1411.

Factors for Vertical Bearing Capacity of Large-diameter Belled Piles

ZHANG Qi¹, LI Kun-xuan², WANG Jun-lin²

(1. Water Resources Research Institute of Henan Province, Zhengzhou 450003, China; 2. School of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: This paper applies international general large-scale finite element software ANSYS to establish the finite element model of pile-soil interaction, with a project example, the influence factors for vertical bearing capacity of large-diameter belled concrete piles are analyzed. Through comparing the simulated results with field test results, it gets the results of finite is close to the measured value; and then different pile length, belled diameter and belled height influence on the vertical bearing capacity are simulated and analyzed by the finite element method. The results show that the belled diameter is larger, the vertical bearing capacity is higher, the growth is slower when D/d is greater than 2; the belled height is larger, the vertical bearing capacity is higher, but the growth is slow; the length of pile is longer, the vertical bearing capacity is higher, but the growth is slower when the length increase to a certain degree.

Key words: pipe-soil interaction model; vertical bearing capacity; influence factor; finite element method