

岩基载荷试验影响因素分析

李书春

(江苏南京地质工程勘察院, 江苏 南京 210041)

摘要:在大型工程的岩土工程勘察中,如何确定岩石地基的承载力,直接影响到建筑的质量、造价和进度。载荷试验作为模拟建筑物基础受力条件的试验,科学、直观地提供了地基的承载力和变形模量,给设计部门提供了不可或缺的设计依据。然而,岩基载荷试验结果受基岩埋深及孔径的影响尚不清楚。利用 ABAQUS 有限元分析软件,对深层岩基载荷试验影响因素进行数值模拟分析,得出的结论可为今后岩土工程勘察提供借鉴。

关键词:岩基载荷试验;地基承载力;影响因素;数值模拟;ABAQUS;江苏南京

中图分类号:P642

文献标识码:A

文章编号:1674-3636(2012)02-0198-05

0 引 言

岩土工程是一门实践性很强的学科,岩土材料的时空变异性及地域性使得对地基承载力的评价尚停留在经验阶段。因此,如何评价地基承载力是当前急需解决的问题(邓楚键等,2007;孔思丽,1996;周海明,1997)。

目前,用静载荷试验确定或检验地基持力层承载力和变形模量仍是世界各国采用的主要方法之一。我国国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)中规定:“地基承载力特征值可由载荷试验或其他原位测试、公式计算、并结合工程实践经验等方法综合确定”。国家行业标准《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ 72—2004)中规定:“对一级高层建筑,为确定持力层或主要受力层的承载力和变形模量可进行平板载荷试验;当以强、中风化基岩为持力层,不能取样进行饱和单轴抗压强度试验,可进行岩体载荷试验,直接确定岩体承载力等”。

然而,岩基载荷试验,特别是深层岩基载荷试验,其基岩埋深及孔径对试验结果具体有何影响尚难以确定。基于此,笔者利用 ABAQUS 有限元分析法,对深层岩基载荷试验影响因素进行数值模拟分析。

1 工程概况

某超高层建筑由 2 幢塔楼(主楼和副楼)及 7 层裙房组成,总建筑面积约 260 000 m²。主楼地上 89 层,地上建筑有效高度 389 m;副楼地上 24 层,地上建筑有效高度 100 m;裙楼地上为 7 层,地上有效高度 36 m。地下 4 层,埋深约 22 m。主楼、副楼与裙房之间 ± 0.000 m 以上均考虑采用抗震缝划为相对独立的抗震单元,而 ± 0.000 m 以下则连在一起不设沉降缝。基础形式采用灌注桩加筏板基础,核心筒区域总压力约为 2 000 kN/m²,按照主楼外轮廓线计算,其平均压力为 1 000 kN/m²。

2 场区工程地质概况

根据勘察报告(江苏南京地质工程勘察院,2005),拟建场区浅部为第四系粉质黏土,其下为侏罗系上统龙王山组(J₃l)安山岩、凝灰岩,白垩系上统浦口组(K₂p)和下统葛村组(K₁g)砂岩、砾岩以及燕山早期岩体(辉长岩 ν_5^2 、闪长岩 δ_5^2)。根据钻探揭示,岩体呈岩枝或岩脉侵入于龙王山组和浦口组地层中。

3 载荷试验

为确定基岩持力层的承载力,对不同岩层开展深层平板载荷试验。各试验点均采用人工挖孔的方式,挖至所要求的基岩层,修整基底平面,并进行混凝土护壁,孔径为 1 200 mm。针对 45 号孔 30.9 m 处⑤ 2d 风化凝灰岩静载试验进行分析。

3.1 试验原理

采用接近于竖向抗压桩实际工作条件的试验方法,确定试验桩孔基岩的竖向抗压承载力特征值。试验时,利用反力装置,采用千斤顶加载,根据率定的值,由油压表读得的数值换算承载。

3.2 试验规程

试验根据《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002)和《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ 72—2004)进行。

3.3 试验过程

试验加载方式:慢速维持荷载法,即逐级加载。加载分级为预估极限承载力的 1/10,第一级可按 2 倍的分级荷载加载,卸载分级可按加载值的 2 倍进行(表 1)。

表 1 45 号孔载荷试验分级加荷表

基岩层号	孔深 /m	预估承载力特征值 /kPa	承压板尺寸 /mm	预估最大加载值 /kN	分级荷载 /kN
⑤ 2d	30.9	1 500	φ800	2 270	227

3.4 试验结果

试验从 2005 年 3 月 30 日 16:30 开始至 23:10 结束,历时 6h 40min。当加载到加载值 1 362 kN(加载第 6 级)时,历时 20min,此时本级沉降量为 13.92 mm,累计沉降量为 18.73 mm,根据终止加荷条件,终止加荷。卸载至零待稳定后,残余沉降量为 17.75 mm。

3.5 成果分析

由现场实测数据绘制 P - S 曲线(图 1),根据《建筑地基基础设计规范》分析基岩承载力特征值。

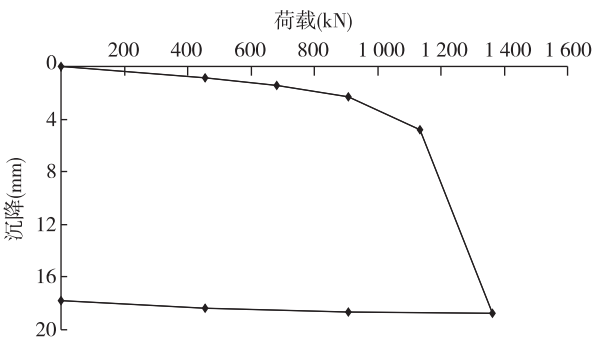


图 1 45 号孔孔深 30.9 m 处荷载试验 P - S 曲线

P - S 曲线属于陡降型此桩孔基岩载荷试验符合终止加荷条件,取最终加荷值的前一级荷载为极限荷载,即取 1 135 kN。

综上所述,试验结论如表 2 所示。

表 2 试验结论汇总

基岩层号	孔深 /m	承压板尺寸 /mm	预估承载力特征值 /kPa	最终加荷值 /kPa	最终累计沉降量 /mm	最终残余沉降量 /mm	基岩承载力特征值取值 /kPa
⑤ 2d	30.9	φ800	1 500	1 362	8.73	17.75	750

4 静载荷试验的有限元反馈分析

4.1 分析软件介绍

ABAQUS 是一套功能强大的基于有限元法的工程模拟软件,其解决问题的范围从相对简单的线性分析到复杂的非线性模拟问题。ABAQUS 具备十分丰富的、可模拟任意实际形状的单元库。并与之对应拥有各种类型的材料模型库,可以模拟岩石和土

这样的地质材料(朱以文,2005)。

ABAQUS 的特点是可以计算各种不同材料、复杂荷载过程以及变化接触条件的非线性组合问题。而岩土介质恰恰是具有非均质、非线性的性状以及几何形状的任意性、不连续性等因素的特殊介质。这就使 ABAQUS 成为国外岩土工程界使用得最普遍的有限元分析和计算软件。在静载荷试验中,土体采用非线性模型,并且需要用增量加载的方式进行加载(邓楚键等,2007)。

ABAQUS 由 2 个主分析模块 ABAQUS/Standard、ABAQUS/Explicit 和前后处理模块 ABAQUS/CAE 组成。ABAQUS/Standard 是一个通用分析模块,在数值方法上采用有限元方法常用的隐式积分,它能够求解广泛的线性和非线性问题。ABAQUS/Explicit 是一个在数值方法上采用有限元显式积分的特殊模块,它利用对时间的显示积分求解动态有限元方程。ABAQUS/CAE 是一个完整的 ABAQUS 运行环境,能够对 ABAQUS 分析任务进行建模、管理、监控,同时又可以对 ABAQUS 分析结果进行可视化后处理。ABAQUS/CAE 可以进一步将生成的模型(以输入文件的形式存在)提交给 ABAQUS/Standard 或者 ABAQUS/Explicit 分析模块,然后进行高效率的后台运行,并对运行情况进行监测,对计算结果(即输出数据库)进行后处理(石亦平等,2006)。

4.2 材料本构模型

岩土体种类繁多,且其性状都十分复杂。大量的三轴试验说明岩土体材料的总应变是由不同性质的应变组成的,即把总应变分解成几个部分,有如下的增量形式成立:

$$d\epsilon_{ij} = d\epsilon_{ij}^e + d\epsilon_{ij}^p + d\epsilon_{ij}^c \tag{1}$$

式中, $d\epsilon_{ij}$ 为总应变增量; $d\epsilon_{ij}^e$ 为弹性应变增量; $d\epsilon_{ij}^p$ 为塑性应变增量; $d\epsilon_{ij}^c$ 为蠕变应变增量。各部分的应变增量根据其不同的性质用相应的理论进行计算。

描述岩土类材料的应力-应变性质最简单、最古老的方法是各向同性线弹性理论和广义虎克定

律。采用弹性本构模型,其基本特点是应力与应变的可逆性,或者在增量意义上可逆。通常弹性本构模型用于单独加载且应力水平较低时,即偏离实验条件较近的情况下,会取得较好、较精确的结果。但对于复杂的加载条件,如周期循环加荷的情况,往往会导致能量不守恒,计算结果的误差较大。

采用塑性理论的概念来解决土工计算问题是岩土工程研究的一大进步,其历史可以追溯到 1774 年 Coulomb 提出 Coulomb 屈服准则。建立在弹性理论和塑性理论基础上的各种弹性非线性和弹塑性本构模型构成了岩土类材料本构模型的主体,并在许多岩土工程中得到了普遍应用及不断发展。ABAQUS 中莫尔-库仑模型(庄茁等,2005),认为材料屈服服从莫尔-库仑屈服准则。正是由于莫尔-库仑模型能较好地描述岩土类材料特性,且使用方便,在岩土工程界获得了广泛的应用。因此,选用该模型模拟岩体,在此正应力以压为负,拉为正。

4.3 静载荷试验结果的影响因素分析

静载荷试验的结果会受很多因素的影响,如人工挖孔的孔径大小,基岩的埋深等,运用有限元进行模拟,并带入反演得到的参数(由于岩体破坏状态下的沉降值在模型中无法模拟,故最后一次加载不算在内),分析了孔径及基岩埋深对静载荷试验结果的影响。

4.3.1 孔径的影响 通过计算得到了不同孔径下的荷载沉降曲线(图 2),孔径依次是承压板直径的 1、1.25、1.5、2、2.5、3、3.5、4、4.5、5 倍。

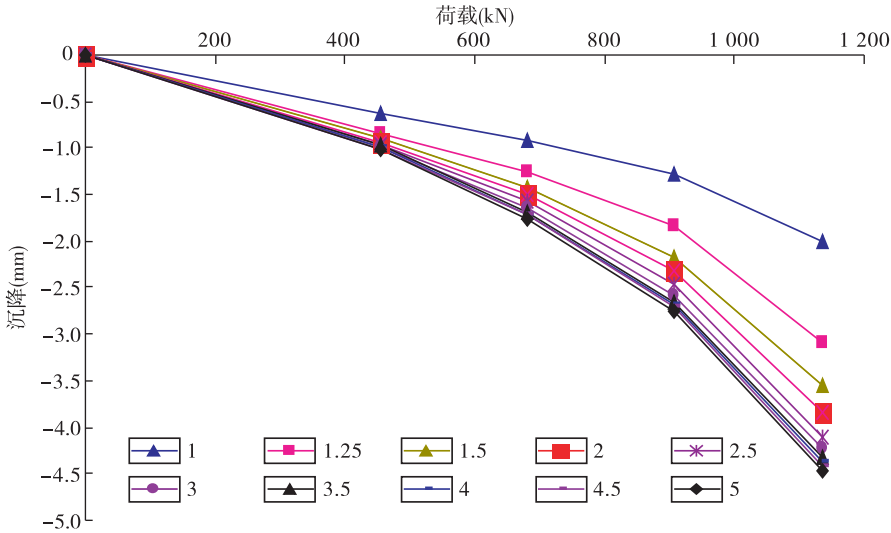


图 2 不同孔径下荷载沉降曲线对比图

通过图 2 可知,沉降值随孔径的增大而增加,并且增加的幅度逐渐减小。当孔径达到一定程度,本例得出为 3.5 倍承压板直径时,沉降的增加变得很不明显。解释如下:当孔径很小时,沉降值较小,这是由于孔侧岩体的高自重应力对承压板处岩体产生的侧向压力较大,提高了承压板处岩体的围压,从而导致沉降较小。随着孔径的增大,这种侧向作用越来越小,岩体围压越来越小,所以沉降逐渐增大(或者可以认为卸荷范围越来越大)。当达到 3.5 倍承

压板直径时,由孔侧岩体产生的侧向压力对承压板附近的岩体几乎不产生影响,故再增加孔径,沉降变化不大。因此可以得出:当孔径达到 3.5 倍承压板直径时,孔径的增加几乎不会对静载荷试验的结果产生影响。

4.3.2 基岩埋深的影响 通过计算得到了不同基岩埋深下的荷载沉降曲线(图 3),基岩埋深依次是 0、5、10、15、20、25、30、35、40 m。

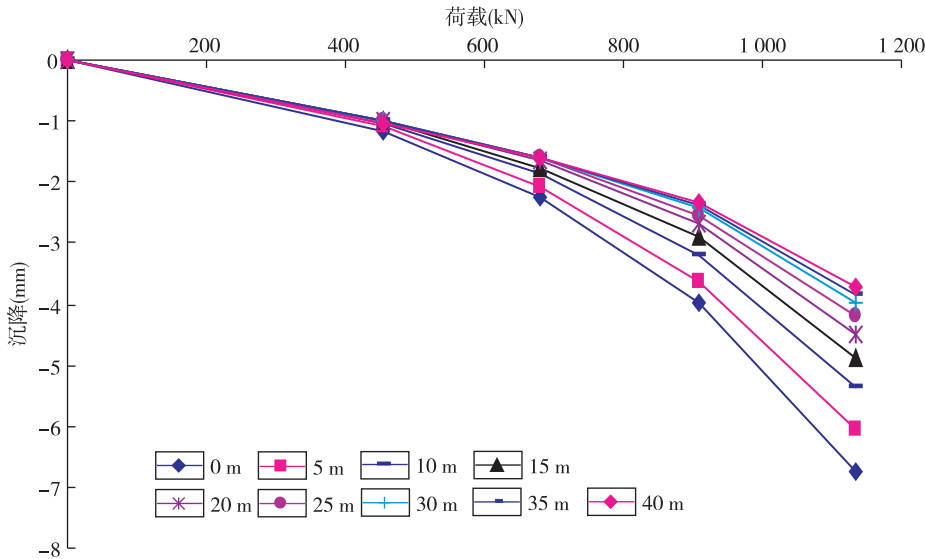


图 3 不同基岩埋深下荷载沉降曲线对比图

通过图 3 可知,沉降值随基岩埋深的增加而减小,并且减小的幅度逐渐变小。理由同孔径对荷载沉降曲线的影响,即基岩的埋深越大,孔侧围压所能提供的围压越大,故沉降也就越小。结果表明:当围压较小时,沉降值对围压较敏感,即埋深很浅时沉降值随埋深的变化较大,而当围压较大时沉降随埋深的变化较慢。本例中,当基岩埋深达到 30 m 以上时,基岩埋深对沉降值的影响不再明显,这种埋深与岩石性质有关,不同岩石有所不同。

5 结 论

(1) 针对大型工程的岩土勘察,提出了地基承载力试验研究的观点,对于地基承载力要求较高的岩土工程勘察,将试验研究工作放在勘察工作的第一位,既可以取得合理的地基承载力值,选择可靠的基础持力层,又可以取得良好的经济、社会效益。

(2) 载荷试验是目前世界各国用以确定地基承载力的最主要方法,在岩土工程勘察中被广泛采用,然而,载荷试验在实际操作过程中存在着不少问题,而新兴的有限元等数值方法已逐渐成为岩土工程领域有效的实用计算方法。鉴于上述原因,笔者尝试用增量加载有限元法对载荷试验进行数值模拟。算例结果表明,只要强度参数与实际情况相符,载荷试验的结果可以通过有限元模拟获取。

(3) 借助 ABAQUS 大型通用有限元分析软件对岩基静载试验进行数值模拟,计算分析了孔径和基岩埋深对试验结果的影响,结果表明,沉降值随孔径的增大而增加,并且增加的幅度逐渐减小,当达到 3.5 倍承压板直径时,孔径的增加几乎不会对静载荷试验的结果产生影响;沉降值随基岩埋深的增加而减小,并且减小的幅度逐渐变小。对本例基岩而言,当埋深达到 30 m 以上时,基岩对沉降值的影响不再明显,这种埋深与岩石性质有关,不同岩石有所

不同。

(4) 借助静载试验和数值模拟方法综合确定地基土各项参数,为地基承载力的确定提供了可靠的依据,同时也为积累地区岩土工程勘察资料提供有益的经验。

参考文献:

邓楚键,唐晓松,郑颖人,等. 2007. 载荷试验有限元数值模拟 [J]. 岩石力学, (增刊 1):249 - 253.
GB 50007—2002, 建筑地基基础设计规范[S].
JGJ 72—2004, 高层建筑岩土工程勘察规程[S].
江苏南京地质工程勘察院. 2005. 绿地广场·紫峰大厦岩土

工程详细勘察报告[R].
孔思丽. 1996. 岩基载荷试验的研究[J]. 贵州工学院学报, 25 (3):25 - 29.
石亦平,周玉蓉. 2006. ABAQUS 有限元分析实例详解[M]. 北京:机械工业出版社.
周海明. 1997. 高层建筑深层载荷试验初探[J]. 岩土钻掘矿业工程, 9(5):31 - 32.
朱以文. 2005. ABAQUS 与岩土工程分析[M]. 香港:中国图书出版社.
庄茁,张帆,岑松,等. 2005. ABAQUS 非线性有限元分析与实例[M]. 北京:科学出版社.

Analysis on influence factors of batholith load test

LI Shu-chun

(Jiangsu Nanjing Institute of Geological Engineering Investigation, Nanjing 210041, China)

Abstract: In geotechnical engineering investigation of large-scaled projects, the determination of bearing capacity for rock foundations directly affected the construction quality, cost and schedule. Load test as a test simulate loading conditions of building foundations proved that the foundation bearing capacity and deformation modulus scientifically and intuitively, which was the indispensably design basis for design department. However, buried depth of bedrock and bore hole affected the results of the batholith load test was not clear yet. The software of ABAQUS finite element analysis was used to numerical simulation analysis of the influence factors about batholith load test. The conclusions can be provided reference for future geotechnical engineering investigation.

Keywords: Batholith load test; Foundation bearing capacity; Influence factors; Numerical simulation; ABAQUS; Nanjing, Jiangsu