

原位测试技术在勘察工作中的应用总结及分析

尤胜明

(安徽省城建设计研究院股份有限公司, 安徽 合肥 230001)

摘要: 原位测试技术是岩土工程勘察的重要手段之一, 种类也很多, 目前在安徽省内的勘察工作中应用较广。原位测试技术的优点是在不扰动岩土体的前提下, 根据试验数据结合经验对岩土体进行评估, 提出合理的参数, 具有成本低、较快捷的特点, 其缺点是所得出的数据和结论大多是间接的、经验性的。本文对安徽省内勘察工作中最常用的几种原位测试技术进行了总结、分析与探讨, 希望原位测试技术能在勘察工作中得到更广泛、更合理的应用。

关键词: 勘察; 原位测试; 地基承载力; 压缩模量
中图分类号: TU195 **文献标识码:** A

1 概述

岩土工程勘察工作中最常用的技术手段是原位测试技术和室内试验技术。原位测试指的是在极少程度的扰动现有岩土体的工况下对拟建工程主要岩土层进行现场测试, 从而获得所测岩土体的工程物理及力学数据的一种技术手段。

2 原位测试技术与室内试验的优缺点

跟室内试验相比, 原位测试的优点主要有:

①在勘察工作现场开展测试工作, 可有效避免由于取样、运输过程中产生的扰动; ②有些原位测试技术可在勘察深度范围内连续实施, 这样就可以得到完整的钻孔竖向土层分布信息。原位测试技术的缺点主要体现在以下两个方面: ①无法准确掌握试验现场的边界条件, 比如应力、应变条件和排水固结条件等; ②缺乏理论性解释。到目前为止, 通过原位测试所得参数和岩土体的自身性质的关系, 大多数是归纳统计得来的, 且行业、地域差异较大。

跟原位测试相比室内试验的优点主要有:

①实验室内的排水、应力等边界条件相对易于掌握; ②在小应变的工况下, 可认为岩土体是各向同性的均一介质; ③可进行物质成分分析。室内试验的缺点主要是受条件限制, 试样的尺寸一般较小, 尤其是无法取得原状样品的岩土体, 难以客观地描述其工程力学特性。

3 4种原位测试技术分析

原位测试的主要种类有静力载荷试验、静力触探试验、圆锥动力触探试验、标准贯入试验、波速测试、十字板剪切试验、旁压试验、扁铲侧胀试验、现场直剪试验、岩体应力试验等。目前在安徽省内的勘察工作中应用较为广泛、积累经验较多的

是前5种, 下面主要分析其中的4种技术。

3.1 静力载荷试验

静力载荷试验是指在试验现场对持力层、桩基、复合地基施加垂直压力, 同时测量沉降量, 从而得出持力层的变形模量、地基承载力特征值等参数, 并可以了解变形随时间变化的规律等信息。静力载荷试验是确定地基或基础承载力的最直接、可靠的方法, 试验种类有浅层平板载荷试验(适用于浅层地基土)、深层平板载荷试验(适用于深层地基土和桩端土)、螺旋板载荷试验(深层地基土和地下水位以下的地基土)。目前在安徽省内的勘察工作中较为常用的是浅层平板载荷试验。

目前, 静力载荷试验的成果整理经验较为丰富, 一般是根据 $p-s$ 曲线进行分析。 p 指压力, s 是沉降量。 $p-s$ 曲线一般根据变形性质分为3个阶段, 分别为压密阶段、局部剪切阶段和破坏阶段。在试验的前期, 地基基础的沉降量一般和荷载大小成正比例关系, $p-s$ 曲线表现为直线。在该阶段, 土体所发生的沉降主要是由土体中的气体和液体消散造成的, 即土体结构没有发生破坏, 只是颗粒发生了相对位移, 孔隙率变小。在试验的中期, 承压板边缘的土体由于应力集中现象而产生了一定程度的剪切破坏, 可称为局部剪切破坏阶段。这一阶段的土体特征是弹性压缩和一定程度的塑性变形先后发生, 变形比第一阶段大, $p-s$ 曲线不再是直线, 且斜率增大。在试验的后期, 承压板的四周土体明显发生较大的变形(一般表现为隆起、产生放射状裂缝)。在该阶段, 土体中已经产生连续的剪切滑动面, 滑动面上的剪切力超过土体的抗剪强度, 土体连续产生较大的变形, 且主要以剪切变形为主。在试验后

期 $p-s$ 曲线的表现是在压力不增加的情况下沉降仍在变大,说明土体已剪切破坏,沉降不能达到稳定。

当地基基础所受承载力在压密阶段时,地基持力层发生的是弹性变化,一般变形量较小,建筑物是安全的。当地基基础所受承载力在局部剪切阶段时,发生了一定程度的塑性变形和剪切破坏,沉降量较大,但地基土体未发生整体破坏。当地基基础所受承载力在破坏阶段时,地基土已产生了完整的剪切破坏面,地基沉降已无法稳定,应严格避免这种情况出现。

从根本上来说,静力载荷试验的试验条件与地基基础基本相同,是直接对地基基础施加荷载的现场模拟试验。因此采用该方法确定地基承载力比别的方法更可信。浅层静力载荷试验的成果应用还可以确定变形模量 E_0 、基床系数、饱和黏性地基土的不排水抗剪强度。

3.2 静力触探试验

静力触探的工作原理是用探杆将一个探头压入土中,由于探头的内部装有传感器,在下压的过程中遇到不同性质的岩土体,因此所受的阻力也不一样。不同的阻力将产生不同的电信号,传感器将电信号传输到仪器中转化为数据,数据再以图表的形式表现出来。

静力触探试验的类型主要有单桥静力触探、双桥静力触探以及孔压型静力触探。单桥静力触探只可测端阻力,在安徽省内的勘察工作中应用广泛;双桥静力触探既可测量端阻力,还可以同时测量侧壁摩阻力,在我国东南沿海地区及国外应用较广;孔压型静力触探可测量的数据较多,可同时测量端阻力、侧壁摩阻力和孔隙水压力,甚至可以测量由于探头贯入而产生的超孔隙水压力及其消散过程,在国外的应用较为普遍。

静力触探试验在安徽长江以北区域的勘察工作中应用得较为广泛,主要适用于黏性土层及粉土层。静力触探试验的成果主要用于以下几方面:①土层划分(包括划分土层状态和岩土类别);②根据经验确定承载力特征值及压缩模量;③预估桩基设计参数;④检测地基土的回填质量或处理效果。

在使用静力触探试验成果判断地基承载力特征值和压缩模量时应注意以下两点:①该方法是建立在大量的试验数据基础上归纳统计形成的,计算式均为经验关系式。尤其是静力触探试验过程和地基基础加载方式有本质上的区别。地基基础加载方式是使荷载缓慢增加,地基土的变形破

坏机理先是产生接近弹性变形,然后发生塑性剪切变形,随之剪切变形增大,最后产生完整的塑性剪切破坏面。整个加荷过程时间比较长,一般土体的黏聚力和内摩擦角都能充分发挥作用。静力触探的试验过程是比较快的,一般土体直接发生塑性剪切破坏,产生的超孔隙水压力在短期内也是很大的,因此对黏聚力的影响较大,尤其对黏性土而言,黏聚力应该降低很多。因此可以得出这样的结论。对静力触探试验数据影响较大的应该是土体的内摩擦角,贯入阻力 P_s 值随着内摩擦角的增大而增大。砂性土的黏聚力较小,内摩擦角较大,故其 P_s 值一般(相对黏性土)较大,黏性土反之。因此,使用静力触探试验成果判别土体强度时要充分考虑不同土性之间的差别,特别是砂性土和黏性土的区别。②同一土性,但地基土不同的成因、形成时代、液限(黏粒含量)也对应不同的经验公式,如老黏土($Q1\sim Q3$)和新黏土($Q4$),素填土和一般冲、洪积土,高液限黏土和一般黏性土,不同情况下采用经验公式时应加以具体分析。

静力触探的试验过程和预制桩施工的过程类似,只是预制桩桩身直径较大且表面较为粗糙。目前《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)中已有用静力触探的测试成果计算单桩极限承载力的计算公式。但静力触探试验对沉桩的模拟结果毕竟是一种间接手段,桩基承载力应采用载荷试验验证,两种数据可相互印证、对比。

静力触探试验的优点是速度快且成本低,可自上而下连续实施,对地基土的扰动小,因此受到广大勘察技术人员的欢迎。但静力触探试验也有一定的缺点,在卵石和钙质结核含量较多的土层中较难实施且无法取样,不够直观,数据分析理论性不强,主要是靠经验。所以在勘察工作中一般要与其他室内试验等手段相互验证。在勘察过程中要重视地区经验,当数据与异常时要及时查明原因(如黏性土层下分布有基岩、卵砾石、粉细砂、铁锰结核富集、地下构筑物等),对试验数据的分析和应用也要高度重视地区经验。

3.3 圆锥动力触探试验

圆锥动力触探试验和标准贯入试验都属于动力触探,我们平时工作中所说的动力触探一般是指圆锥动力触探。动力触探(Dynamic Penetration Test, DPT)是利用固定的锤质量(kg)和落锤高度,将某一形状和大小的金属探头击入待测试的岩土层中,根据贯入的难易程度来评价地基土强度的一种原位测试方法。

圆锥动力触探的种类和适用情况见表1:

表1 圆锥动力触探的种类和适用情况

类型	锤质量/kg	落距/cm	触探指标	适用土层	适用深度
轻型	10	50	贯入30cm 锤击数 N10	黏性土或黏性土组成的素填土,大多用于验槽、素填土和加固后的地基土检测工作	不大于4m,确有需要时可在贯入4m后,用钻具将孔掏清,再继续贯入2m。
重型	63.5	76	贯入10cm 锤击数 N63.5	砂土、中密以下的碎石土和极软岩	不大于15m,否则要考虑探杆侧壁摩擦影响
超重型	120	100	贯入10cm 锤击数 N120	较密实的碎石土、极软岩和软岩	不大于20m,否则要考虑探杆侧壁摩擦影响

圆锥动力触探成果应用在如下方面:①根据动力触探击数结合钻探记录进行地层划分;②根据修正后的N63.5和N120判定碎石土的密实度;③用轻型动力触探N10确定地基土承载力;④用修正后的重型动力触探N63.5确定地基承载力;⑤经过修正的N120确定卵石极限承载力标准值;⑥经过修正的N63.5确定15m深度范围内土体的内摩擦角标准值;⑦估算单桩承载力;⑧用圆锥动力触探进行地基检验。

动力触探技术具有的独特优点可简述如下:

①全国各地各行业均积累了丰富经验,设备及操作方法均简单、经济;②适用的范围较广,在一般的岩土层中都可以开展;③可连续测试。

3.4 标准贯入试验

标准贯入试验属于动力触探试验的一种,标准贯入试验和圆锥动力触探试验的不同之处主要体现在如下几方面:①标准贯入试验所使用的标准贯入器是空心的金属圆柱体,两者的贯入器形状不同;②标准贯入试验的贯入过程每次进尺为45cm,只计后30cm的锤击数,称之为标贯击数N。圆锥贯入锤击数是带下标的,且圆锥动力触探可以连续实施并记录锤击数,划分完整的土层厚度。③由于标准贯入器是空心的,在卵石、钙质结核以及岩石中实施容易损坏,故只能在黏性土和粉土、砂土的勘察工作中使用。

标准贯入试验成果主要应用在如下几方面:

①国内多采用标准贯入试验判断粉土和砂土的密实度,并结合地下水情况等综合确定地基土的液化等级;②用标贯击数结合地区或行业规范确定地基土的承载力特征值;③用标贯击数确定变形模量或压缩模量;④确定黏性土稠度及无侧限抗压强度;⑤求单桩容许承载力。⑥标准贯入器可同时取扰动土样,可用于土层定名。

由于无论是圆锥动力触探试验还是标准贯入试验,均无理论和实践经验来判定地基土对钻杆侧壁的摩阻力影响,故目前利用动力触探数据仅能对桩长较短的端承桩进行单桩承载力评价。单桩竖向承载力标准值多采用动力触探与桩基静载

荷试验对比验证,利用数理统计所得的相关经验公式进行估算,其应用范围多具地区性。

4 结束语

原位测试技术种类很多,针对不同的岩土类别、具体工况可采用不同的测试手段,因为其针对性强、快捷、经济等优点,在勘察工作中已经得到广泛的应用。但是由于受现场外界条件、设备、操作方法的影响,测试结果可能不够客观、合理,一般应结合室内试验数据和工程经验对岩土体进行综合分析。原位测试技术的广泛应用提高了安徽省的勘察技术水平,保证了地基基础设计的安全性和经济性。但是由于企业内外部原因,安徽省内勘察单位的原位测试技术水平和种类还有一定的提升空间,如双桥静力触探试验、孔压型静力触探试验、跨孔法波速测试十字板剪切、旁压试验、静载试验、扁板侧胀试验、应力铲试验、现场直剪试验、岩体应力试验等原位测试在安徽省内应用较少,随着工程复杂程度的增加和设计部门对勘察工作精细化要求的提升,以后应增加设备的种类,提高设备的数字化和自动化程度。

参考文献

- [1] 中华人民共和国建设部.岩土工程勘察规范:GB 50021—2001[S].2009年版.北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [2] 中华人民共和国建设部.建筑地基基础设计规范:GB 50007—2011[S].北京:中国计划出版社,2012.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.建筑抗震设计规范:GB 50011—2010[S].2016年版.北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [4] 中华人民共和国交通运输部.公路工程地质原位测试规程:JTG 3223—2021[S].北京:人民交通出版社,2021.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部.室内试验方法标准:GB/T 50123—2019[S].北京:中国计划出版社,2019.
- [6] 国家铁路局.铁路工程地质原位测试规程:TB 10018—2018[S].北京:中国铁道出版社,2018.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部.岩土工程勘察安全标准:GB/T 50585—2019[S].北京:中国计划出版社,2019.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.冶金工业岩土勘察原位测试规范:GB/T 50480—2008[S].北京:中国计划出版社,2009.
- [9] 国家能源局.水电工程钻孔土工原位测试规程:NB/T 35102—2017[S].北京:中国电力出版社,2018.
- [10] 《工程地质手册》编委会.工程地质手册[M].5版.北京:中国建筑工业出版社,2018.