

关于“动力测定桩承载力的方法”一文的讨论

赵学勤

(西安公路研究所, 西安, 710054)

笔者学习了《岩土工程学报》1992年第1期徐攸在先生的“动力测定桩承载力的方法”一文(以下简称“徐文”)和1992年第4期唐念慈先生的讨论文章(以下简称“唐文”), 深受启发。这个讨论有现实意义, 有学术意义, 关系到“百年大计, 质量第一”建设方针的贯彻, 不可等闲视之。碰巧, 第四届“应力波理论在桩基工程中的应用”国际学术会议(以下简称“四届会议”)于1992年9月21~24日在荷兰海牙举行。笔者愿结合这个讨论, 介绍一点会议情况, 期望有助于讨论的进行。

一、关于桩承载力确定方法的分类问题

对“唐文”中提出的“以反映本质因素的关键作为分类的准则”的观点, 笔者是十分赞同的。但具体划分起来, 见仁见智, 不尽相同。笔者考虑, 直接与间接本是相对而言的概念, 高应变与低应变之分, 仅仅是量的变化。现分述如下。

(一)直接法与间接法

如果和那些以理论公式、经验公式、按规范取值及以土的原位测试结果来换算桩的承载力相比, “徐文”中将所提到的各种动测方法都列为直接法, 未尝不可; 但如果和桩的静载荷试验相比, 则国内现有的各种动测方法都应归入间接法之列。理由是动力试桩不是静力试桩的模拟。二者虽都属于桩土系统的原位测试, 但受力状态不同。描述动力试桩的基本方程式如式(1)所示

$$EA \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \rho A \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - k_1^* u - k_2^* \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

描述静力试桩的方程式如式(2)所示

$$EA \frac{d^2 u}{dx^2} - k_1^* u = 0 \quad (2)$$

以上式中, U 为桩的纵向位移; X 为纵向座标; t 为时间; E , ρ , A 分别为桩身材料的弹性模量、密度及横截面积; K_1^* 为作用在单位深度土上的等效抗剪刚度系数; K_2^* 为作用在单位深土上的等效阻尼系数。

很明显, 式(1)中的项目较式(2)多了惯性力和阻尼力项。根据相似理论, 凡彼此相似的现象, 必定具有相同的相似准则。动力试桩和静力试桩不具有相同的运动相似准则和动力相

似准则, 动力试桩就不可能模拟静力试桩。

从图1可知, 桩的动力测试归于振动的系统参数识别是比较合适的。

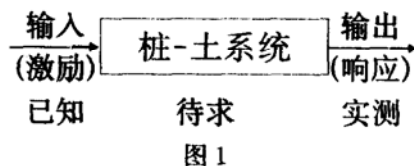
高应变法实测的是力波和速度波, “通过调整土阻力大小与分布及各个参数值来与实测力波与速度波拟合以提供承载力”其他各法“实测的是桩土系统的某些动力参数(如自振频率等频响特性)然后再在假定的模型下, 间接换算得出它的相当的静力学参数(如刚度), 有的进一步由经验的动静对比系数加以换算修正, 或以经验的容许变形值由推广延伸的刚度来确定承载力”。据此, “唐文”中肯定低应变法不是实测承载力, 笔者认为这一观点是正确的。但是高应变法是个什么情况呢? 由于实测的是力波和速度波, 不是 $P-S$ 曲线(报告中打印的类似曲线是计算出来的); 加之, 通过波形拟合所得土阻力大小、分布及参数值不是唯一解, 还需要地质资料来校核, 经验成分不可避免, 因此很难说高应变法是实测承载力。当然高应变法和低应变法各种方法之间, 处理技巧有优劣之分, 推理的严谨程度、分析计算的现代化程度也都差别较大。这些方面的长处不能视而不见, 但不能由此改变高应变法的承载力非直接实测的性质, 关键的一点就是不能和静载荷试验一样直接测出 $P-S$ 曲线。

(三) 高应变法与低应变法

“唐文”中说: “依照采用的激发能量大小所能相应产生的桩土相对位移或土中产生的应变高低而作的概括分类”就是高应变法与低应变法。据第四届应力波会议第二专题特约报告人A. E. Holyman 介绍, 高应变法的应变为 $500 \sim 1000 \mu\epsilon$, 低应变法的应变为 $2 \sim 10 \mu\epsilon$ 。笔者有点不理解的是为何不以应变大小作为分类指标, 而是讲单击贯入度须大于等于 2.5 mm , 或者说应在 $2.5 \sim 12 \text{ mm}$ 以内。这个称呼问题是次要的, 主要的是贯入度 2.5 mm 反映的是一个什么样的物理状态。如果说, 激发出桩周土的阻力是高应变法的目标, 那末达到 2.5 mm 的贯入度时, 桩周土阻力应该发挥出来。但是A. E. Holyman 提供的发挥土阻力所需的位移远大于 2.5 mm (见表1)^[1]

表1 土阻力动员的条件

静力试验		高应变法试验	注
桩身	桩底		
$0.02D$	$0.10D$	$0.025D$	D 为直径
8 mm	40 mm	10 mm	D 为 0.4 m



从表1可知, 在静力试验中, 为充分发挥桩底土阻力所需的位移远大于桩侧土阻力所需的位移; 在动力情况下, 由于辐射阻尼的影响, 这种差别扩大了。如果达不到所需的位移, 则土的阻力的发挥就无从说起。

尽管说动力试验和静载试验不相似, 无法相比拟, 但总有人喜欢以静载试验来套动力试验, 越比越乱。如有的提出, 使桩底土破坏以“模拟静载荷试验的第三阶段”; 有的认为测定“桩的承载力取决于……桩土系统进入非弹性工作机理”, 这相当于 $P-S$ 曲线比例极限以后的情况; 也有的要求每一锤击作用下“桩必有 $1.5 \sim 2 \text{ mm}$ 的贯入度”, 这和表1中的数值, 相去甚远。

二、关于动测方法的介绍和比较

对各种方法的介绍应力求公正、全面。“唐文”指出“徐文”中这方面的不足, 是十分中肯

的。笔者感到近几年来,国内对动力法的评价有的过奇,有的有片面性。

所谓过奇,表现在说有的方法“一锤定音”,测承载力的精度达到1%。这是不可能有的事。

所谓片面性反映在脱离工程实际,不顾现场条件,不论技术经济指标以扩大其适用范围。

1960年美国的E. A. L. Smith 在他的著作中提到:“波动方程的数值计算能提供打桩时的确切情况但不能予测一周或一年后的情况。如要这方面的资料则必须借助于土力学。”^[3]这是比较实际的说法。不可否认,打桩分析仪从当初被人戏称为测定桩承载力的“魔法箱”,发展到现在的水平,的确取得了很大的成绩。将其应用于打入桩工程,达到所要求的贯入度是轻而易举的,如要勉为其难地应用于大直径钻孔桩检验,势必要加大锤重到100~200kN以上,还得对桩头进行特别加固。如仍打不出要求的贯入度,只得提供“保证承载力”,虽说它是“确实发挥出来”的一部分土阻力,可无法让设计人员去使用它。该给它取多大的安全系数呢?不得而知。“唐文”中提到:“高承载力的大直径扩底桩之类更是只有高应变法才能激发出与其预期承载力相当的土阻力”。估且不论激发阻力的程度如何,仅就可行性而言,肯定会遇到许许多多困难。个别工程桩,可以为之;为设计服务的几根试桩,也许有可能;但用于普查或者抽检20%的工程桩,需要多少时间,多化费多少资金,工程单位不能不算这笔账。

国内高应变法的使用者中,已有人意识到这一问题:“对于灌注桩,桩身断面不规则,沉渣岩性及厚度不确定,在预测承载力时要慎重。”^[2]西方人也是如此。第四届应力波会议论文集中共发表了97篇论文,涉及大直径灌注桩的仅7篇,全是东方人的作品(中国5篇,日本2篇)。可以说,此届会议上讨论的、现场表演的全是打入桩方面的论文,不是没有道理。

高应变法分析中,由于以下的一些原因,难以将动阻力转化为静阻力:

惯性阻尼和辐射阻尼的影响(这些与频率有关);动载和静载作用下,桩侧土和桩底土变形图式有区别;孔隙压力产生和消散的影响;土的模量、剪切强度都与速度有关。

此外,冲击荷载的对中、桩头加固、资料解释中如何选用经验系数(土阻力分布形式、桩侧摩阻力和桩底阻力的分配比例、Quake 值和桩侧土及桩底土的阻尼系数)以及拟合解的多解性,都给高应变的应用以困扰,不得不另辟新径。

小应变法完整性检验的主要困难表现在:试验的重复性问题(通过信号平均已有一定的改进);干扰振动的消除(锤和瑞利波的影响);土阻力和桩身阻抗影响的分辨;识别桩身截面逐渐变化的困难性;鼓肚以下缩颈缺陷的被掩蔽;工程团体以往对结果的不信任;简单的、定量的和合理的解释方法的缺乏。

面对以上所述的困境,研究和改进工作一直未停。有的困难已得到了克服,如水电效应法已不存在瑞利波的影响;新的技术途径已不再是构思,已从试用进入了市场,如在法国称之为 Dynatest (1984),在加拿大称之为 Statnamic (1989),在本届会议分类表^[1]中,又称之为 Kinetic Testing 方法,其主要特点是冲击荷载缓慢地、逐渐地施加到桩头上,力的时间历程是100ms,桩的最大位移可达50mm,加速度在1g以内,远远低于高应变法的500g,低应变法的50g,比较接近于静载的情况。

到现在为止,所试验过的桩的荷载为0.1—8MN,仅1992年5月即完成了100多项试验。由于桩和周围土上的惯性影响极小,可以认为这类缓慢冲击的动态试验和静载试验有较大幅度的相似性,得到的结果以P-S曲线图表示,将其视为直接实测承载力,问题是不大的。

这类动态法同样有它的困难和局限性^[1]。

介于动态和静态之间的桩身和桩底变形的差异;孔隙压力的产生和消散;土的阻力和速度有关;深度的影响分辨不出来,只能得出总的承载力结果。

据此,报告人 A. E. Holyman 对各种方法做出了如下的评价:

高应变法, 主要用于承载力测试, 为1992年实用水平(State-of-the-Practice)。

低应变法, 主要用于完整性检验, 其中的手锤敲击、爆炸(从文字和框图来看, 指的是水电效应法——笔者注), 压电晶体检波器等为1992年实用水平(State-of-the-Practice); 振动法(指机械阻抗法)用于1965~1985年(注: 这和“唐文”中提到的“一些方法如稳态机械阻抗法已淘汰”是一致的)。

高应变动态试验法(Kinetic Testing)用于测承载力, 为现代化水平(State-of-the-Art)。相对而言, 对这个方法的评价最高。

三、关于发展我国桩的动力测试技术的看法

桩的动力测试工作现在受到许多人的关注, 但从事桩测试方法的机理研究的人不多。面对现状, 笔者冒昧地谈几点意见, 仅供参考。

1. 开展学术讨论, 活跃学术空气。不宜用行政干预, 只让一花独放。大直径桩究竟用什么动力测试方法最适宜, 有待实践检验。

2. 不能只满足于引进消化, 而要着眼于开发创新。近几年, 国内在高应变法、低应变法上争论不休, 而西欧、北美却将真正接近静载试验的新方法推向技术市场, 这个经验值得借鉴。

3. 开展测试方法的机理研究。例如有的方法以动静刚度之比, 作为基本依据, 而目前已知这个比值在1—2之间变动。用其间的任意一个数值都嫌粗略, 须研究其变化规律, 而后才能应用。又如共振法中, 若按变形状态设计, 仍求出静刚度再乘以容许变形值, 得到桩的容许承载力是能够接受的。若按强度极限状态设计, 仍以静刚度乘以经验的容许形值去得到桩的容许承载力, 不符合设计原则。这个问题值得进一步研究。

无论高应变法, 还是低应变法, 仅仅用动静对比资料来证明其正确性, 是不够的。第四届应力波会议的报告人对我国一篇高应变法的文章的评语是这样的: “大直径桩的几何尺寸和土的性质当然是未知的, 这使高应变试验确定承载力变得困难起来。建议在此情况下, 试一不同的模型, 并调查一下预估的承载力和数据采集及由此而变化的灵敏程度。”评语用词委婉, 寓意深刻。

4. 对测试单位的资质进行审查, 对测试人员进行培训; 对测试报告应有明确规定, 必须提供实测信号数据, 不能只给一个承载力数值或只有几个字的完整性的结论。

5. 辅以必要的经济手段。对完整性检测与钻芯结果完全不符, 承载力测试和静荷试验结果相差太大者, 应赔偿经济损失。

6. 尊重知识产权。政府技术监督部门和质检部门依法行事, 对应用他人发明专利而未提交转让协议者, 不发给许可证。

7. 设立奖励基金。调动机理研究方面的积极性, 促进桩动力测试事业的繁荣发展。

参 考 文 献

- [1] Holeman A E. Keynote Lecture, Technology of Pile Dynamic Testing. Proceedings of the Fourth International Conference on The Application of Stress-Wave Theory to Piles, The Hague, The Netherlands, 1992-9, 196~216.
- [2] 刘兴录, 李大展, 陈 凡. PDA检测技术的开发应用, PDA开发应用研讨会论文集, 南京, 1992-3.