

对“动力测定桩承载力的方法”讨论的答复

徐攸在

(冶金部建筑研究总院, 北京, 100088)

《岩土工程学报》1992年第4期刊载了唐念慈先生和陈如连先生对笔者在同年第1期上发表的“动力测定桩承载力的方法”一文(以下简称“综述”)的两篇讨论文章(以下简称“唐文”和“陈文”), 提出了许多宝贵意见, 笔者读后得益匪浅, 现就两文中涉及的主要问题答复如下, 不妥之处, 尚乞赐教。

一、桩的容许承载力宜以变形控制为主

“陈文”对“综述”所提出的不同意见, 主要是因为对桩容许承载力的概念不同而产生的。

(一) 桩容许承载力的基本概念

除了桩材料本身强度问题外, 与地基的容许承载力一样, 桩的容许承载力的确定, 应同时考虑强度稳定和变形两个方面, 既保证不出现强度稳定问题, 又要满足上部结构对桩基沉降的要求。工程实践证明, 桩基沉降过大的情况不少, 所以国外许多桩基规范(如美国许多州、原苏联建筑法规、日本建筑基础设计规范等等)都已以变形控制为主。我国规范(GBJ7-89)虽因种种原因未采用以变形控制为主的原则, 但在规范条文说明中也明确要求“必须考虑相应的变形量可能对结构造成的影响”。特别需要指出, 静荷载试验通常在单桩上进行, 而将来的桩基一般为多桩基础, 在相同的单桩荷载条件下, 多桩基础的沉降要比单桩大好几倍, 而其强度稳定安全系数(或极限承载力 P_u)则提高很多, 因此, 在单桩 $P-S$ 曲线上确定 R_k 时, 更应以 $[S]$ 而不是 P_u 来确定。“综述”中图2所示的 $[S]$ 若为上部结构所容许的单桩沉降量, 则1*和2*桩都应由此同一 $[S]$ 控制, 不问 $K = P_u/R_k$ 是多少(理论上讲, $K > 1$ 即可), 超过 $[S]$ 的沉降是不容许的。“陈文”认为图中 R_{k1} “不安全”, R_{k2} “太小”, 这还是因为单纯从强度稳定概念而来的。

(二) 究竟按 $[S]$ 还是按 P_u 来确定容许承载力

很明显, P_u 的定义本身都确定不了, 确定 P_u 的方法至少有廿余种, 而且在许多情况下得不出 P_u 值, 最终仍以容许沉降 $[S]$ 来定 P_u (如GBJ7-89)。更重要的是, 以 P_u 确定 R_k 时, 很难考虑变形条件, 常出现沉降过小(未充份发挥桩承载力)或过大(超过容许沉降 $[S]$)。相反,

[S]的确定较明确,国外均有规定。我国有关规范对桩的水平容许承载力以及地基的容许承载力也均可用变形控制,桩的垂直容许承载力也可按同样方法处理,“综述”的作者在其参考文献[2]、[22]中已有论述。至于强度稳定条件,则可以通过限制[S]的办法很容易得到满足(如对未进入较好持力层的摩擦桩)。当然,在确定[S]时应当考虑试验中沉降稳定标准与实际建筑物沉降的差别。但如照“陈文”所说,静载试验所测的沉降与桩的最终沉降量可以“相差几十倍甚至上百倍”,那么不仅桩的垂直承载力、水平承载力和地基的承载力均不能用静荷载试验中的容许变形来控制,而且也不能用 P_u 来确定承载力,因为在这样得出的容许承载力作用下,其最终沉降也必定要超过容许值。顺便提一下,我国至少已有上千个桩基工程是采用按变形确定桩的容许承载力的。

(三)关于按概率统计方法确定桩的容许承载力

“陈文”正确地指出影响承载力的因素很多,“同一场地同一类型的桩,其它条件不同,其承载力当然不会相同”,正因如此,不能把桩的承载力视为定值,而应作为随机变量按概率统计方法确定容许承载力或设计值。我国规范(GBJ7-89)和建筑设计统一标准(草案)都已体现了这一精神,不知“陈文”怎么会得出相反的结论,认为“对 P_u 进行概率统计,这种处理方法也是不可取的”。

二、大应变动测法是间接测定桩承载力的近似方法

方法的分类是可以从不同角度进行的。“综述”以是否在实际的桩上进行现场试验而分类,似无不妥。若以所测的静承载力值与静载试验的结果相比,则所有的动测方法,包括大应变动测法在内,都是“间接又间接”的近似方法。

(一)大应变动测中桩顶作用的荷载与静载试验完全不同

在桩的静载试验中,桩顶逐级施加不变荷载,延续时间以小时计(图1(b)),这比实际建筑物下桩的受荷时间已经要短得多(图1(a)),而大应变动测法中在桩顶施加的一个脉冲力,作用时间以毫秒计(图1(d))。众所周知,土的变形和强度性质在这两种情况下根本不同,仅此一点,就没有根据可以把大应变动测法视为“直接法”。正因如此,国内外已开始用“静动法”测定桩承载力,将其动荷载的幅值降低,作用的时间增长至以秒计(图1(c)),以期得到与静载试验更为接近的桩承载力。

(二)大应变法实测的不是桩的静承载力而是桩顶的 $F(t)$ 和 $V(t)$

“唐文”正确指出,小应变法是通过实测桩土体系的动力参数,然后换算出桩的静承载力。同样,大应变(波动方程)法在现场实测到的也不是桩的静承载力,而是桩顶处

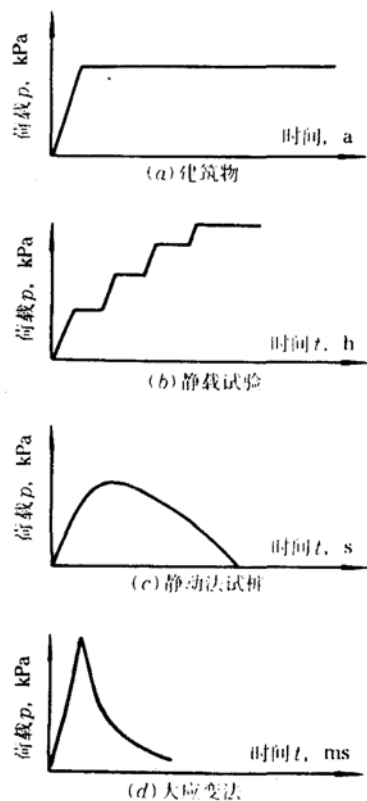


图1 荷载随时间的变化

动力 F 和速度 V 随时间的变化曲线,然后通过假定的计算模型及所选定的参数换算出桩的静承载力。所以,按“唐文”对小应变法的同样标准来看,除了静载荷试验外,各种动测法都不能直接实测到桩的静承载力。

(三)大应变法中所激发的是土的动阻力而不是静载作用下的静阻力

“唐文”谈到试桩时土阻力的激发问题,但不提大应变动测法激发的是动阻力还是静阻力。实际上,在脉冲荷载作用下所激发出的动阻力与静荷载作用下土的静阻力,在机理上、组成上以及影响的因素上都完全不同,而不是“不完全相同”。因此,任何动测法求桩的静承载力的关键在于将动阻力换算成静阻力,如果换算出来的静阻力与实际的不符,那么即使你把土的动阻力“实实在在”地发挥出来,也是徒劳的。

三、关于波动方程法

对大应变动测法中的波动方程法,笔者与“唐文”中的一些提法仍有不同观点,写出来供进一步讨论。

(一)凯斯法也可归入波动方程法

“唐文”认为“综述”错将凯斯法“误为波动方程法”,其实不然。我们认为,凡是根据一维波动方程为基础导出的方法,都可归入波动方程法一类,不同的解法可以再分为不同的方法,如凯斯法、史密斯法、CAPWAP法、CAPWAP/C法等。尽管凯斯法的计算公式在推导过程中作了不少简化,但人们还是可以把它看作是一维波动方程的准封闭解,国外也有将用行波概念分析桩的方法(如丹麦的B-Hansen等)称为桩的波动方程分析。另外应当看到,CAPWAP法是在凯斯法的基础上改进和发展的,它的全名是凯斯桩波动分析程序(CASE PILE WAVE ANALYSIS PROGRAM),它的测试方法、设备和结果(V 和 F)均与凯斯法同,仅在分析方法上有所改进,如通过拟合实测曲线方法确定土参数等,所以在国外的文献中往往把凯斯法和CAPWAP分析两部份内容统称为凯斯法。基于上述考虑,我们在“桩的动测新技术”一书和“综述”中,均将凯斯法归入波动方程法。“综述”限于篇幅和便于比较故仅列出凯斯法,但文中对波动方程法共同的问题(包括CAPWAP法)也都简要提及。

(二)大应变动测法确定承载力还取决于个人经验

大应变动测法在确定桩极限承载力时的人为主观因素是不可否认的。在国外也有不少专家提出这一问题,如日本的K·藤田教授就提到波动方程法在分析桩承载力时,其结果取决于取哪一击的试验曲线,以及试验时初打与复打的间隔时间等等(见“综述”参考文献[26])。另外,拟合曲线的结果也常因人而异,对此,G·高勃尔教授在第四届国际桩基与深基础会议(1991年)上也作了肯定的答复。他认为,必须有经验的、合格的测试者才能分析得到合理的桩极限承载力。唐念慈教授在“桩基动力学技术进展点滴介绍”一文中也认为波动方程法的“模型参数没有与土性参数结合,特别是同一组实测波形可以有不同组合的参数满足匹配拟合要求,因此,这些参数仍带有经验性,缺乏理论的或物理的基础,在没有经验的新区条件下使用这些参数有可能出现问题。”每个测试者都相信自己的经验,所以其主观性是很难与“知识指导下的经验”客观地区分开,何况知识尚有水平高低和全面与否的问题,这已被国内外工程应用的实践所证实。

(三) “保证承载力”或“发挥承载力”的问题

当锤击下桩未产生贯入度或贯入度不足时,大应变动测法无法得出桩的极限承载力,有人则提出所谓“保证承载力”或“发挥承载力”的概念。“唐文”不同意“综述”的观点,认为“这不是什么不明确的概念”,但仍未明确这种承载力与欲求的极限承载力相比,安全系数是多少?1.5;15还是150?因为只要低于极限承载力,都是“保证”的,“发挥”多少就算多少,设计时如何取用此“发挥承载力”呢?还是依靠“知识指导下的经验”来确定?

大应变法的目标从一开始就是要测定桩的极限承载力,所以必须采用能使土产生很大变形的激振手段。目前,大应变法难以在灌注桩上应用,其主要原因之一就是很难使桩产生较大的贯入度而又不破坏桩顶,G·高勃尔教授等也曾多次表示同样观点。正如“唐文”所认为的那样,使土产生足够大的塑性变形是用大应变(原文是“任何”——笔者注)方法直接测定桩承载力的必要条件。既然如此,怎么又容许在不大的(或没有)塑性变形条件下,用大应变法去测定桩承载力呢?实在令人费解。笔者在“综述”中所说的“张冠李戴”正是指“使土产生足够大的塑性变形”本应为大应变法测桩承载力的条件,反说成是对小应变法而言的。

(四) 关于改进的动力打桩公式

顺便指出,“综述”中明明写的是“改进的动力打桩公式,虽然省略了许多人为确定的参数,提高了精度,但原始假定为两物体碰撞的前提与打桩实际情况不符,故求得的极限承载力仍不够理想,大致与波动方程法所得结果相近”。不知“唐文”如何会得出“该文献恰好论证了与作者相反的观点”和“即使应用动力打桩公式也可获得较准确的桩承载力”的结论。

四、关于“小应变”动测法

“综述”只能扼要地介绍常用的几种动力测定桩承载力的方法,除了“波动方程法”和“改进的打桩公式”外,都是经过部(省)级的技术鉴定并在桩基工程中得到相当广泛应用的,至于其中存在的问题,笔者缺少对所有这些方法的实践经验,只能提点个人的看法,供读者参考和补充。但据笔者所知,目前各种小应变动测法在试验中所产生的土的动应变基本上都在弹性阶段(动应变小于 10^{-5}),所以可以模拟静载试验曲线的第一阶段,求出一定变形条件下的容许承载力,故不必对各种小应变法一一评说,而“水电效应法”则不同,“还须进一步探讨”。至于“动力参数法”中关于参振桩土的假定模型,虽有不同看法,但因该法又改进为“频率-初速法”(如“综述”式4所示),所以“综述”认为已毋需再去讨论式(6)至式(8)的正确与否了。

(一) 对“共振法”的补充说明

“陈文”正确地承认 K_s 不是定值,与诸多因素(包括“唐文”中的土层、土质和桩长不一等等)有关,这正说明 K_s 反映了在给定 $[S]$ 条件下桩容许承载力的不等。 K_s 大,容许承载力就大,但 P_u 不一定大(理由如前述)。所以 K_s 不代表、也毋需代表 P_u ,以为共振法是求极限承载力,那就错了。

共振法是在小应变推动条件下测得动刚度 K_d (即动应力与动应变的线性关系),根据关系式 $K_s = \beta K_d$,求出相应的 K_s (即静载试验曲线第一阶段荷载与沉降的线性关系)。这里的动

位移当然比静载试验中的静位移要小很多倍,否则就不称之为“模拟”了。模拟只是利用两者的拟线性关系,而两者的变形性质和量级都是不同的。就如大应变法模拟静载试验曲线第三阶段(破坏状态),其动阻力与静阻力的性质和数量也不同是一样的。

关于共振法中的容许沉降量(S)的确定方法及如何考虑强度稳定条件的问题,均已在拙著“桩的动测新技术”一书的第二章和第五章中阐明,不予重复。

顺便说明,“综述”图2中的S是桩顶位移,为了使图面简洁,一般没有必要把桩身压缩变形再画出(如“综述”参考文献[22]中图1所示),S中包括桩身变形是不言而喻的,它不会改变Q-S曲线的特性,也不影响“综述”的分析结论。

(二)小应变动测法的工程应用情况

小应变动测法在我国桩基工程中得到广泛的应用,如以共振法为例,已在全国廿多个省市、自治区的2000多个桩基工程中应用,检查出不合格桩300根以上。从近180多根桩的动静载荷试验对比结果来看,大部份桩的承载力误差在 $\pm 15\%$ 以内,承载力小的桩相对误差较大,有时可达 $\pm 20\% \sim 30\%$ (如某工程桩共振法测得容许承载力为140kN,而静载试验为190kN),其中由于种种原因造成失误的有4例。总的说来,效果较好,已被有些检测单位采用作为检测手段,以弥补静载试验的不足。1990年国家科委主持会议并发文予以推广应用,1991年国家专利局授中国专利优秀奖。

我国的小应变动测法也开始在国外得到应用。如共振法被批准为出口技术项目后,曾多次在国外展出或应用,就以日本千叶县浦安市港某工程的高强度PC桩为例,我国专家组用共振法测得容许承载力为217kN,日方静压结果为206kN(相同(S)条件下),若按日本规范规定则为250kN,相对误差分别为5%或130%(详见参考文献[1],[2],[3],[4])。

因此,那种认为小应变法不能测桩承载力或“仍处于摸索~研究阶段”的说法是片面的,笔者难以苟同。

(三)小应变动测法需要不断改进提高

各种小应变动测方法,尽管在不同程度上满足了我国桩基工程测试的需要,但还存在着各种问题,并需要在工程应用中发现和解决新问题,不断改进提高。为此,应大力开展研究工作,例如共振法为了提高其承载力测试的精度,减少因测试人员水平不高造成的失误,目前正在研究小应变条件下土的动弹性模量与土静模量之间的关系,以及研制共振法测定桩承载力的专家系统等,这无疑是正确的。

五、关于动测桩市场的管理

由于在测定桩承载力的工程应用中,出现过这样的和那样的问题,“唐文”对测桩市场的混乱表示忧虑是有道理的,笔者亦有同感,这就需要客观分析产生问题的具体原因并采取相应的有效措施。

(一)测桩队伍良莠不齐是当前急需解决的问题

动测桩出现的原因较多,通过初步调查发现,其主要原因还是测桩队伍的水平不高造成的。小应变法出现的问题较多,这与小应变动测队伍特别庞大有关。反过来说,在各地通过考核取得检测资格的也是小应变法居多。我们还多次发现,不同测试单位虽采用同一种动测

方法,但结果好坏大不一样。所以不能因某单位用某种动测法出现过问题就株连采用同一方法的其他单位,更不能株连其他种动测方法了。

我们说动测法可以在工程中应用,并不等于说这些方法不存在问题,或者说有的方法已成熟到可以取代其他方法、乃至静载荷试验的地步。事实上,目前各种动测方法都有其优缺点和一定的适用条件,且都带有相当程度的经验色彩,还都在迅速地改进和发展中。因此,靠行政手段来肯定某种动测方法,排斥别的动测方法,来达到垄断市场的目的,显然是违背自然科学发展的规律,不利于繁荣和发展我国的动测技术,也不利于某种动测法本身的改进和提高。

(二)加强对动测队伍的考核和培训

为了减少动测技术在应用中出现的問題,加强测桩市场的管理,必须对动测队伍进行严格考核。本着公平的原则,对用任何一种大小应变动测法的队伍都进行考核,不合格者,不发工程检测的许可证。如在检测中发现严重问题,还可吊销其许可证。对于不合格的测试人员,必须经培训并通过考试后,方可准予上岗。几年来,有些省市已进行这方面工作,有一定成效。

过去,对于大小应变动测法检验桩身质量的问题也有过不同的看法,这是正常的。随着时间的推移,人们认识到不必用很大的激振能量也可检验桩的缺陷,美国用大应变检验桩质量的PDI公司,也开始转用小应变动测法(PIT)来检验桩的完整性。笔者殷切地希望目前的讨论将会推动我国动测技术的发展。至于“唐文”中提到的如何才不“愧对后人”,什么叫“苛求”,是否“苛求才能进步”等,已超过学术讨论的范畴,恕笔者不在此答复。

参 考 文 献

- [1] 株式会社武智工务所. Resonant Pile Test (Final Report). 1988-9.
- [2] 徐攸在. 共振法试桩技术及其在日本桩工程中的应用. 冶金部建筑研究总院院刊, 1990(2).
- [3] 史桃开, 小椋仁志, 上绀屋好行. 共振法(RPT)による杭の支持力と健全性の測定. 日本第27回土質工学研究発表会論文, 1992-6.
- [4] 史桃开, 小椋仁志, 小绀屋好行. 杭の動的測定法の現状とRPTの日本での適用. 1992-1.

《灌浆的理论与实践》出版

本书从理论和实践上对灌浆作了全面系统的总结和分析。详细叙述了灌浆的发展史、灌浆的概念、灌浆对象的性质和各种评价方法。并对钻孔主要设备、浆液制备、灌浆步骤以及灌浆帷幕的设计、施工作了详细叙述。

本书对灌浆领域从事理论研究和实际工作的同志都有参考价值。

本书作者: [南斯拉夫] E. 农维勒。由辽宁省水电厅顾柏林翻译。每册: 13.50元。

书款请从邮局汇入下列地址。

收款单位: 辽宁省水利水电科学研究所, 联系人, 赵颖。

地 址: 沈阳市和平区十四纬路一号

邮政编码: 110003