

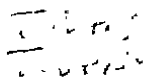
桩基及复合地基静荷载试验曲线的计算机拟合



史佩鑫

(南京铁道医学院 南京 210009)

鞠子健



(河海大学南海桩基检测研究所 南京 210098)

摘要 分析了桩基及复合地基静荷载试验曲线的特点,根据其特点,试验曲线采取计算机分段拟合的方法;重点阐述了用非线性最小二乘法进行曲线拟合的方法及软件特点。曲线的计算机拟合提高了资料整理精度和工作效率,可解释不同类型的 $Q \sim S$ 曲线,确定桩和地基承载力值更加合理和准确。

关键词 桩基 复合地基 静荷载试验曲线 计算机曲线拟合 计算机应用

目前,获得桩基承载力的最普遍的方法是桩基的静荷载试验方法。但在静荷载试验曲线的绘制解释方面,还沿袭着眼脑尺连的手工操作方法,不仅效率低,资料数据管理不便,更重要的是在观测数据点分散时,因曲线连结不合理会造成在确定承载力时产生较大误差。为此,我们研究了静荷载试验曲线的计算机拟合方法,以克服手工解释的缺陷。

1 $Q \sim S$ 曲线的分析及拟合方法

理论及大量的试验资料表明,典型的 $Q \sim S$ (静荷载 沉降) 曲线反映了随着加载量的不断增加,桩或复合地基的沉降变形分为弹性、塑性和破坏三个阶段。弹性阶段的 $Q \sim S$ 曲线是过坐标原点的不同斜率的直线段;塑性阶段的 $Q \sim S$ 曲线是曲线段;破坏阶段的 $Q \sim S$ 曲线也是一近似的直线段。实际的 $Q \sim S$ 曲线有时第三阶段不出现而第一、第二阶段经常一起出现,只出现第一阶段的也是少数。要建立一个包括三个阶段的数学物理模型是比较困难的,但是,根据曲线特点,采用分两段或三段的计算机拟合方法是可行的。 $Q \sim S$ 曲线的弹性形变阶段用直线拟合;塑性形变阶段用多项式最小二乘法拟合,多项式形式为

$$S = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2 + \cdots + a_M Q^M$$

系数 $a_0, a_1, \cdots, a_M$ 根据原始数据,由多项式最小二乘法回归程序得出。多项式的回归次数 M 可自行选定,但 M 必须小于加载次数,而最大不超过 6;对三段拟合,破坏阶段采用直线拟合或三次样条插值拟合,并满足分段节点上的一阶导数连续。

对卸载的 $Q \sim S$ 曲线,根据大量试验曲线分析,采用 e 指数拟合为好。 e 指数函数为

$$S = Ae^{BQ}$$

首先把函数进行对数变换,变成线性函数,坐标也作相应的变换,然后用线性最小二乘法($M=1$)回归后,再变换为 e 指数形式。 e 指数的系数 B 由线性最小二乘法回归程序得出。回归系数 A 可自行选定,范围在 1000 以内,对于特殊的卸载曲线,一次拟合效果差时,可分两段拟合,在开始卸载阶段用直线拟合,以后阶段用 e 指数拟合。

利用计算机对 $Q \sim S$ 曲线逐点求导,可绘制出 $Q \sim dS/dQ$ 导数曲线,并且可以找出 dS/dQ 等于规范值的 Q 与 S 值,为确定承载力提供依据。

2 程序框图

曲线计算机拟合系统的程序框图见图 1。

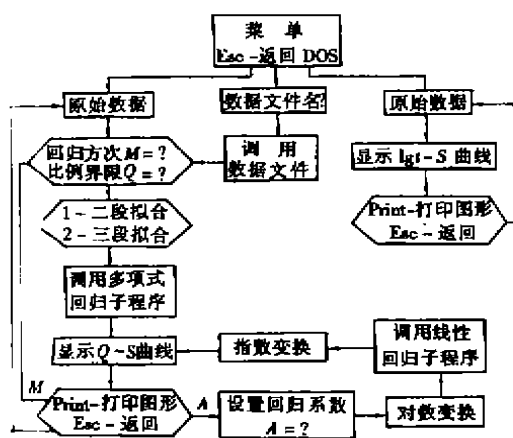


图1 程序框图

3 硬件环境及软件特点

本系统适用于 IBM-PC(80286 及以上) 兼容机,使用 MS-DOS 3.3 以上版本和 VGA 显示器,用 C 语言编程,超分辨率绘图,在 UCDS 中文系统中,可直接运行。运行过程中,采用“菜单”技术和人机对话方式,用户根据中文提示进行操作。图形打印使用 PZP 屏幕打印驱动程序,可根据需要设置参数。

原始数据输入微机后,以数据文件方式存在磁盘上,可随时调出画图,还可随时调出进行修改和补充。对画出的图不满意可重新选择多项式回归方次 M 和 e 指数回归系数 A ,当回归系数确定后,可进一步对各种绘图方式(如加载分两段拟合或三段拟合)进行选择。计算机运算和图形显示的快速,使得对图形的筛选可在极短时间内完成;而计算和绘图的准确性也使曲线连接更加合理。

系统软件具有绘制 $Q \sim S$ 曲线及绘制 $\lg t \sim S$ 曲线的功能。能较好地完成对静荷载试验数据资料的分析与解释。系统在今后工程实践中将进一步得到完善。

4 系统应用结果分析

两年来,应用该系统解释了大量的静荷载资料。与手工解释的传统方法相比,其优点表现在以下几个方面。

a. 可解释不同类型的静荷载 $Q \sim S$ 曲线。图 2 为只有弹性形变阶段的一段式(直线型)的计算机拟合曲线实例。图 3 是既有弹性形变阶段又有破坏阶段的两段式(二段直线型)静荷载曲线的计算机拟合实例。图 4 则是包括了弹性形变、塑性形变和破坏阶段的三段式静荷载曲线的计算机拟合实例。

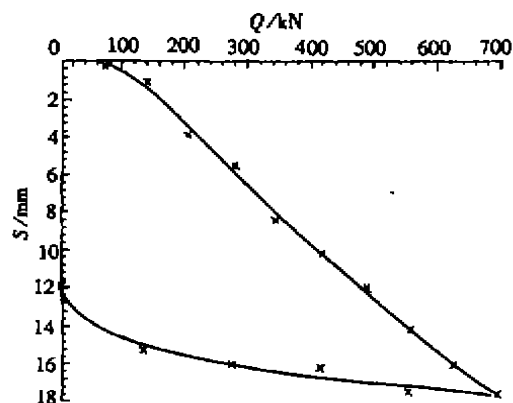


图2 $Q \sim S$ 曲线(一段拟合)

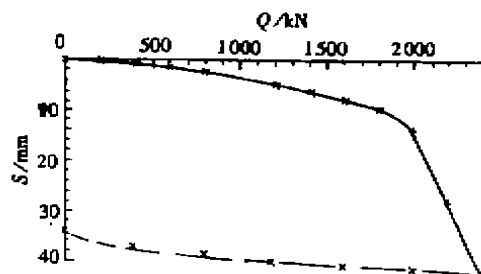


图3 $Q \sim S$ 曲线(二段拟合)

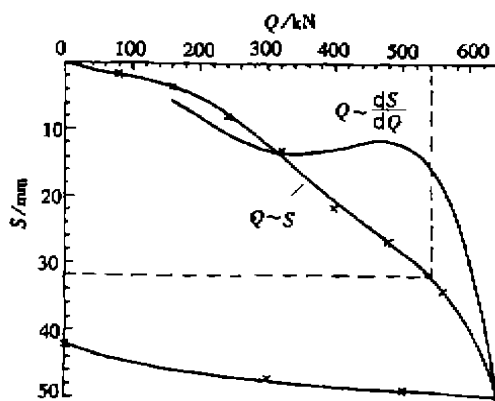


图4 $Q \sim S$ 曲线和 $Q \sim \frac{dS}{dQ}$ 曲线(三段拟合)

b. 改变了传统的静荷载曲线的连接方法。不再用眼瞄尺连主观判断,而是通过计

计算机用最小二乘法对试验观测数据进行科学处理,并用高精度绘图程序绘出曲线。在试验观测误差较大、观测数据点较分散的情况下,系统的作用更为明显。拟合曲线的拟合值与试验值的平均相对误差在 0.01 ~ 0.04 之间。图 4 中实例的比较如附表。

附表 拟合值与试验值比较

序号	Q / kN	S / mm	
		试验值	拟合值
1	80	1.54	1.49
2	160	3.50	3.20
3	240	7.99	7.55
4	320	13.03	14.14
5	400	21.37	20.69
6	480	26.49	26.33
7	560	33.96	34.44
8	640	50.00	49.90

曲线采用多项式形式 ($M = 5$), 用计算机拟合的结果如下

$$S = -7.928 \times 10^{-2} + 6.405 \times 10^2 Q - 8.328 \times 10^{-4} Q^2 + 4.971 \times 10^{-6} Q^3 - 1.035 \times 10^{-8} Q^4 + 7.356 \times 10^{-12} Q^5$$

平均相对误差为

$$\eta = \sum_{i=1}^8 \frac{|(S_i - S)/S_i|}{8} = 0.0299$$

c. 确定桩和地基承载力值更加合理和准确。从图 4 实例中看出,若按照确定承载力的一般原则,手工解释该桩极限承载力为 560 kN。而应用计算机拟合的 $Q \sim S$ 曲线及导数曲线解释该桩的极限承载力为 542 kN。两者差别一般为加载级差的 1/4 ~ 1/3。后者在判断拐点和利用 $\Delta S / \Delta Q$ 的增量比(导数曲线)方面优于前者。

d. 资料管理有序,调用便捷。在新老资料、同区域同类型曲线对比方面优于传统方法。

e. 大大提高了静载资料解释的工作效率。应用本系统比手工解释提高工效 8 倍。

参考文献

- 1 Atkinson K E. An introduction to numerical analysis. New York: Wiley, 1978
- 2 Stoer J, Bulirsch R. Introduction to numerical analysis. New York: Springer Verlag, 1980
- 3 李庆扬等著. 数值分析. 武汉: 华中工学院出版社, 1982
- 4 袁慰平等著. 计算方法与实习. 南京: 东南大学出版社, 1991

(收稿日期: 1995-05-09)

简讯

应用水文学计划(WMO)

1995 年 6 月,世界气象组织(WMO)在每四年一届的大会上,通过了 1996 ~ 2005 年水文与水资源计划及其预算。该规划由三部分组成:①应用水文学——基础系统;②应用水文学——应用与环境;③有关水问题的计划。

在基础系统部分中,涉及的项目有:①水文服务,通过诸如提供商业实践与公共信息指南等方式,支持水文服务的开发与实施;②水资源评估,通过诸如开发有效网络设计技术、对水文仪器进行相互比较、制定地下水监测网络的准则等方式,促进水量与水值的系统评估;③应用水文学技术,通过实施世界气象组织技术转让系统 HOMES 等方式,促进水文学技术的测试与交流;④能力培养,通过支持国际培训班,举办短期讲习班,巡回研讨会以及发行指导材料,以促进应用水文学教育培训及技术援助。

在应用与环境部分中,涉及的项目有:①水文的自然灾害问题,通过提供有关洪水预报综合系统的指导材料,对现有的洪水预报模型/系统进行互相比较等方式来促进减灾;②全球环境水文学,通过收集与分析地区和全球规模的水文数据库,协调与气候变化对水文影响相关的全球气候计划——水工程,激励水文工作者参与 GELS 的研究与释疑;③水文学与持续性开发,包括通过诸如提供有关有害物质在水生态环境中传播的指导材料及综合了解水文干旱的评估与预报等各种活动,促进持续性开发水文学的应用。

有关水问题的计划,其跟踪的主要对象是联合国经济发展委员会(UNCDE)、国际减灾十年(IDUDR)和持续性开发委员会。涉及的主要项目是国际规模的合作,尤其是通过联合国系统、国际河流流域各委员会和各非政府组织的合作。

除上述三个方面外,更为重要的是教育与培训及促进技术合作,这对发展中国家尤为迫切。

(元国江 供稿)