

您现在的位置: 首页 >> 四川建筑杂志 - 精选文章

## 基于载荷试验计算土体变形模量的新方法

(所属杂志: 此文章来自原稿) 发布时间: 2012-01-18 已阅读: 1110

王正泓<sup>1</sup>, 王彪<sup>2</sup>

(西南石油大学基建处, 四川成都610500)

**摘要:** 目前地基沉降计算选取的参数大都依据室内试验确定的压缩模量, 并采用经验系数对计算结果进行修正, 该方法简单, 但计算结果与实际沉降大小相差甚远。究其原因主要是由于压缩模量是在侧向无变形的假定下而得, 且室内试验取土无法避免土体的扰动。模量的选取是影响沉降计算准确性的一个重要因素, 欲改进计算沉降的传统方法, 量化土体的实际变形, 优化土体的模量则变得十分必要。土的原位试验中, 载荷试验既能克服土体的扰动, 又无侧限变形的假定, 可测得不同含水量、孔隙比、密度及应力状态下土体的变形特性, 故依据载荷试验寻求新的方法确定土体的变形模量。

**关键词:** 载荷试验; 地基三层法; 变形模量

中图分类号: TU431

文献标识码: A

### 1 地基沉降的计算方法简述

地基沉降计算是整个地基基础工程中的三大难题之一, 至今仍没有完全解决<sup>[1]</sup>。以单向压缩为例(成层地基沉降则可以视为几个单向压缩叠加), 其沉降通常依据以下公式进行计算:



四川建筑杂志

四川建筑杂志

精选文章

杂志简介

广告刊例

编委会名单

投稿须知



站内搜索

请输入关键字

搜索

$$S = \frac{\alpha_1 p_1 H}{1 + \alpha_1} \quad (1)$$

$$S = \frac{pH}{E_s} \quad (2)$$

该方法简单,应用较广,但存在以下三点弊端:(1)公式(1.1)中的 $\alpha_{p_1}$ 是将土在压力 $p_1$ - $p_2$ 区间的压缩曲线直线化,而求得的斜率,存在较大误差;(2)公式(1.2)中依据压缩模量指标计算,这与土有实际有侧向变形不相符;计算结果往往和实际沉降差别较大<sup>[2]</sup>。(3)1974年颁布的《工业与民用建筑地基基础设计规范》<sup>[3-4]</sup>(TJ-74)根据我国多年建筑经验在分层总和法的计算结果基础上,利用沉降经验系数加以修正,该系数范围在0.3-1.2,范围太广,其科学合理性和正确性有待考证。

综上,本文认为要改进地基沉降计算方法,必须合理选取土体变形参数。沈珠江<sup>[6-7]</sup>指出,要取得可靠的土质参数,只有通过原位测试。而载荷试验是在保持土体天然物理力学性质条件下,在外荷载作用下测土体的变形的古老的原位试验。早在前苏联,规定利用载荷试验确定土体变形模量计算地基的变形量;日本用p-S曲线先计算出基底系数,然后计算沉降量;我国也依据变形模量进行沉降计算的方法列入规范<sup>[8]</sup>。大量载荷成果计算土体变形的结果表明该结果比依据室内试验计算结果更接近实际土体的变形。

## 1 弦线模量的确定方法及应用情况

### 1.1 关于弦线模量法的简单阐述

焦五一依据大量的原位载荷试验资料,以实测的p-S曲线,考虑土体的非线性特性,以某一级压力点与前一级压力点的荷载增量 $\Delta p$ 和对应的 $\Delta S$ ,按弹性理论公式<sup>[9]</sup>,反算地基在该点的变形模量:

$$E_s = I_0(1 - \mu^2) \frac{\Delta p \cdot F}{\Delta S \cdot d} \quad (3)$$

焦五一将分析研究搜集的各载荷试验资料,发现各分层土在一定液限值条件下,不同孔隙比、各含水量时,分层土的弦线模量和分层土附加压力的关系,并加以不同液限的修正,将反算出来的模量以数理统计的方法对其分类整理,形成了“陕西关中平原地区一般黄土地基弦线模量表”<sup>[10]</sup>;并由此提出计算地基沉降时,不需直接做载荷试验,可依据场地的含水量、孔隙比,在不同分层内依据地基的附加应力在表中查取模量值计算各层的沉降量,将其累积为总的沉降<sup>[11-12]</sup>。

弦线模量法从原位载荷试验中取得地基模量,反映了不同附加应力水平与模量间的关系,并将其应用于地基沉降计算中,改进了历来的地基沉降计算方法,并且处理黄土自重湿陷量、黄土地基载荷湿陷量的计算、多种粘土地基的沉降量、灰土垫层处理地基的沉降量计算、桩基沉降量的计算、地基承载力的计算、基础的倾斜计算、建筑物纠偏荷载的计算等200余项工程实践,如比萨斜塔的沉降和倾斜计算,结果表明地基实测的沉降相近。

### 2.2 焦五一弦线模量法的不足之处

但是此方法得到的模量仍然有许多不完善之处:①在反算过程中,所依据的公式是弹性解答,当且仅当计算的压缩层为无限厚时,以上公式才适用;而实际土体的变形仅仅在初始阶段是弹性变形。所以弦线模量是一个整个地基持力层的模量,并不是地基中土的模量。再者,载荷试验所能影响到的土层深度仅仅是载荷板宽的1.5倍,并不是整个地基;②地基的沉降是由地基中附加应力引起,而弦线模量法中反算模量时,采用的是荷载板上的基底压力,不是土体变形的直接原因;但是在将模量整理归类及该表使用时,又引入地基中各层土的附加应力,两者前后矛盾。

为了寻求能反映土体真实变形的特性,李仁平及杨光华<sup>[13-17]</sup>也各自依据载荷试验,对载荷试验曲线进行拟合,建立割线和切线模量法。并将其运用到实

际工程中，且验证该方法的实用性和有效性。足以表明，依据土体的原位载荷试验求取土体的变形参数是沉降计算的一个重大进展。

为了进一步完善弦线模量法，将整个地基持力层的模量转化到载荷板中能影响到土层深度范围内的土的模量，本文将采用地基三层法反算地基土体的模量。

### 3 弦线模量的确定方法及应用情况

本文基于所搜集的60条原位载荷试验资料，分段考虑土体的变形情况，确定土体的模量。分段化即考虑载荷板上的压力由 $p(j-1)$ 增加到 $p(j)$ 时，相应的沉降量由 $S(j-1)$ 增加到 $S(j)$ 时这个过程中土体的模量的变化。

#### 3.1 最大深度的确定

在 $p(j)$ 压力增量变化过程中，选择压板的中心线为计算点；依据分层原则对计算深度内的土体进行分层（不同土层的分界面；地下水位线作为分界面；每层内，使附加应力的分布线段接近与直线；每一分层厚度不超过 $0.4b$ ( $b$ 为基础宽)；当确定分层厚度后，压板下的每一个层面的标高 $z(i)$ 已知，文中的载荷板都为圆形板，在各分层面上的附加应力系数则按公式：

$$k_0(z(i)) = \{1 - [1 + (\frac{r}{z(i)})^2]^{-3/2}\} \quad (4)$$

确定各分层界面上土体的自重应力及依据  $p(j)$  确定在各分层面处的附加应力；在同一分层面，对于一般土若满足：

$$\sigma_r(j,i) < 0.2\sigma_r(i) \quad (5) ;$$

次土若满足：

$$\sigma_r(j,i) < 0.1\sigma_r(i) \quad (6) ;$$

则表明在分层面 $z(i)$ 下的附加应力已很小，对地基的沉降压缩作用不大，不需要再往 $z(i)$ 以下深处计算，此时的深度即为计算深度 $z(max)$ ；

#### 3.2 地基三层法的假定

地基三层法中假定：载荷板下所影响到的地基是均质的，土体的模量在附加应力每一分级范围内是一个确定的值：

表 1 关于模量的假定

$\sigma_{zi}$	0~25	25~50	50~75	75~100	100~125
$E_i$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_6$

##### 3.2.1 模量的选取

将 $p(j)$ 压力下的确定出计算深度 $z(max)$ ，从压板底面开始到 $z(max)$ 平均分为三层，每层厚度 $h = z(max)/3$ ，形成四个分层面，依据圆形板下附加应力系数确定出各分层面处的附加压力，取上下分层面的附加应力的平均值作为该层土的平均附加应力，然后以该平均附加应力按上述假定查取模量，例如第一级压力 $p(1)=25kPa$ 时，由附加应力的分布随着载荷板下深度的增大反而减小的规

律可知，三层内的附加应力都小于25kPa，此时各层模量取为 $E_1$ ； $p(2)=50\text{kPa}$ 时若各层的平均附加应力都处于25~50kPa，则三层的模量相同都为 $E_2$ ；若靠近荷载板的上层平均附加应力处于25~50kPa时，则该层的模量则应取为 $E_2$ ，中层及下层平均附加应力如仍处于25~50kPa时，则仍取为 $E_2$ （暂时未知），如处于0~25kPa时，则取为 $E_1$ ，此时的 $E_1$ 是在 $p(1)=25\text{kPa}$ 压力下已确定。

### 3.2.2 模量的求解

本文的模量反算是基于分段线性化，即相邻荷载由 $p(j-1)$ 增加到 $p(j)$ 下各层发生变形，沉降由 $S(j-1)$ 变化到 $S(j)$ ，依据上个步骤选取各层土体所选取的模量，当做未知量，建立关于模量的方程。

如在0-25kPa压力作用下，沉降由0增长到 $S(1)$ ，按地基三层法的准备工作确定25kPa压力下计算深度 $z(max)$ ，将其平均分三层，按模量的选取知，各层的平均附加应力都小于25kPa，则模量取为 $E_1$ ：

$$s_1 = \left( \frac{\bar{\sigma}}{E_1} + \frac{\bar{\sigma}}{E_1} + \frac{\bar{\sigma}}{E_1} \right) \cdot h \quad (7)$$

以上公式中仅有 $E_1$ 一个未知数，则可以反求出来，假定中表里的 $E_1$ 则确定出来。

如在25-50kPa压力段，沉降由 $S(1)$ 增长到 $S(2)$ ，按地基三层法的准备工作确定50kPa压力下计算深度 $z(max)$ ，将其平均分三层，从荷载板下向下，依次将其称为上层、中层及下层。同时需要确定25kPa作用下从荷载板底面到 $z(max)$ 的附加应力，确定两个压力下同一层的附加应力变化量。依次判定三层的平均附加应力在何种范围，按假定中的表取值：若三层土的平均附加应力都处于25-50kPa间，则全取为 $E_2$ ，建立仅含 $E_2$ 的方程。

公式推导：

两级压力下的平均附加压力差：

$$\Delta\sigma_1 = \bar{\sigma}_1(50) - \bar{\sigma}_1(25) \quad (8)$$

$$\Delta\sigma_2 = \bar{\sigma}_2(50) - \bar{\sigma}_2(25) \quad (9)$$

$$\Delta\sigma_3 = \bar{\sigma}_3(50) - \bar{\sigma}_3(25) \quad (10)$$

在分层厚度内：

$$S(2) - S(1) = \left( \frac{\Delta\bar{\sigma}_1}{E_1} + \frac{\Delta\bar{\sigma}_2}{E_1} + \frac{\Delta\bar{\sigma}_3}{E_1} \right) \cdot h \quad (11)$$

将公式变形：

$$S(2) - S(1) = \frac{\Delta A_1}{E_1} + \frac{\Delta A_2}{E_1} + \frac{\Delta A_3}{E_1} \quad (12)$$

即确定在同一分层内土体的，两级压力下附件应力围成的面积的变化（如图），其中 $E_1$ 是第一级压力下已经确定的，此时建立关于 $E_2$ 的方程，可将其求解出来。所搜集的资料全按以上思路反算出模量。较之于弦线模量法，在地基三层法的思路，采取土体的附加应力反算土体的模量，不再是整个地基的模量。

### 3.3 模量表的整合

焦五一的弦线模量表中，模量按孔隙比及含水量整合，并用液限修正模量，从表中可以看出模量随孔隙比的增大而减小；随含水量的增大而减小；本

文也将计算出来的模量按土的物理性质指标整合，为了反映土体的三度（重度、湿度和粒度），在此选取孔隙比、含水量及液限做为分类指标<sup>[18]</sup>。

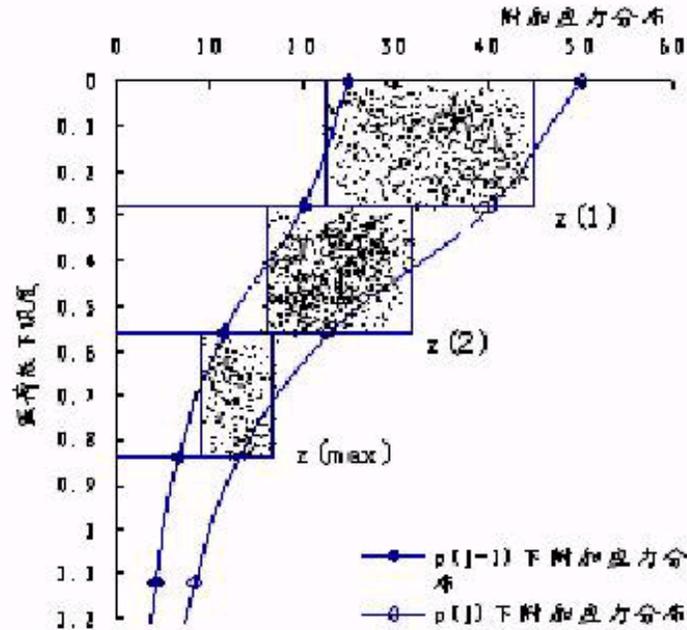


图 1 地基三层法示意

将整合的模量表与焦五一的弦线模量表进行对比，发现在本文依据的地基三层法计算出的模量按以上三度所整理，模量的变化随孔隙比、含水量及液限的变化，呈现出不规律，这意味着仅仅依靠土体的三度分类是不足够的，忽略了黄土原状土具有天然结构性的典型特性，且土体的天然结构性在相当大程度上可以涵盖其他反映土体的物理力学性质的指标<sup>[19-23]</sup>。如能将土体天然结构性量化，且将其加入到该模量的分类中，这将对认识黄土的变形特性将是极大的推动。

#### 4 总结

本文取土体的模量为土体变形特性的反映量；从地基的原位载荷试验成果研究黄土地基的变形特性，避免了室内试验的扰动性和侧向限制变形的确定；提出地基三层法思路反算模量，将弦线模量从地基的模量转化到土体的模量，对研究土体实际的变形特性更接近本质；在土体的模量分类时考虑黄土地基的天然结构性，这对进一步认识黄土的力学特性做了良好的推动作用。

#### 参考文献

- [1] 陈仲颐, 周景星, 王洪瑾. 土力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007
- [2] 李广信. 高等土力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003
- [3] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 中国水利水电出版社, 1996
- [4] 任建喜. 岩土工程测试技术[M]. 武汉理工大学出版社, 2009
- [5] 谢定义. 试论黄土力学研究中的若干新趋向[J]. 岩土工程学报, 2001, 23 (1)
- [6] 谢定义, 齐吉林. 土的结构性及其量化参数研究的新途径[J]. 岩土工程学报, 1999, 21 (6) : 66-69

- [7] 邵生俊, 周飞飞, 龙吉勇.原状黄土结构性及其量化参数研究[J].岩土工程学报, 2004, 26 (4) : 531-536
- [8] 骆亚生, 谢定义, 邵生俊, 等.复杂应力条件下的土结构性参数[J].岩石力学与工程学报, 2004, 23 (24) : 4248-4251
- [9] 焦五一.对地基基础弦线模量设计法若干问题的讨论[J].西北建筑工程学报, 1995 (3)
- [10] 焦五一.地基变形计算的新参数—弦线模量的原理和应用[J].水文地质工程地质, 1982 (1)
- [11] 焦五一.软基下沉量计算的新参数—介绍“弦线模量”计算地基下沉的几个实例[J].福建地质, 1998 (2)
- [12] 杨光华, 王鹏华, 乔有梁.地基非线性沉降计算的原状土割线模量法[J].土木工程学报, 2007 (5)
- [13] 杨光华.地基沉降计算的新方法[J].岩石力学与工程学报, 2008 (4)
- [14] 李仁平, 陈福全.对沉降计算中变形参数的几点思考[J].岩土力学, 2007