

软土地基沉降分析与数值计算方法探讨

王 勇

(中铁十二局建安公司,南京 210013)

摘 要:软土地基沉降的分析和计算是公路工程设计的一个重要课题,本文首先分析了软土地基沉降量的组成部分,在此基础上探讨了软土地基沉降量的数值计算方法。提出目前用于软土地基沉降量计算的数值方法主要是差分法、有限元法和边界元法,其发展趋势是有限元法与差分法或与边界元法相结合解决课题。最后得出了一些有益的结论。

关键词:软土地基; 沉降分析; 数值计算; 有限元

0 引 言

软土一般是含水量、孔隙比大,抗剪强度、渗透性低且压缩性、灵敏度高的黏性土的统称。这些土广泛分布在我国东南沿海及某些内陆地区。软土地区筑路问题,由于软土的高压缩性和低强度特性,在技术上必须解决稳定和过量沉降两方面的问题。解放初期修筑肖穿铁路,开始遇到软土地区填筑高路堤的难题。1957年在国内最早成功地用排水砂井处理软土,解决了填筑高路堤的问题。但在当时运量低、行车速度慢的条件下,主要着重解决软土路堤的稳定问题,而未注意软土的大沉降量问题。改革开放以来,随着沿海软土地区经济建设的飞速发展,高速公路、铁路和机场的建造,都对运营期间地基的沉降量有严格的要求,如机场跑道要求运营期间沉降不大于5 cm,差异沉降5 cm;高速铁路则分别为15 cm和10 cm。因此,软土地基沉降的分析和处理引起大家的注意。本文仅就路基工程中天然软土沉降预测中的某些问题进行探讨。

1 软土沉降分析

在饱和软土上修建工程建筑物,将导致地基的下沉。实用中,随着外荷作用在地基上的延续过程,一般认为软土地基的沉降由瞬息变形、固结变形和次固结变形3部分组成。

1.1 瞬息变形

外荷加上的瞬间,饱和软土中的孔隙水尚来不及排出时所发生的沉降。此时土体只发生形变而没有体变。许多文献报道中,把这种变形称之为剪切变形,按弹性变形计算。

1.2 固结变形

荷载置于地基上后,随着时间的延续,外荷不变而地基土中的孔隙水逐渐排出过程中所发生的沉降,或称主固结沉降。

1.3 次固结变形(或称蠕变)

当地基土中的超静孔隙水压力,在不变的外荷作用下已完全消散,主固结变形已完成,土体仍会继续出现变形。这部分变形或沉降称之为次固结沉降。有的学者称之为蠕变。

2 软土地基沉降量的数值计算方法

随着科学技术水平的不断提高和工程建设规模的不断扩大,在土木工程、水利工程和路桥工程中桩基承载力、沉降量大小和堤坝稳定性等力学问题变得十分复杂,这些问题已很少能用数学方法求得精确解或通过模拟试验得到定量解,原因是边界条件非常复杂和非均质,非线性导致了偏微分方程的变系数,单一的数学方法难以求解。而大多数课题需要借助于计算机和计算数学用数值分析的方法求出近似解。这些方法可归纳成如下5种形式,即差分法、有限元法、边界元法、变分法和加权余量法。

目前用于软土地基沉降量分析的数值方法主

要是差分法、有限元法和边界元法,其发展趋势是有限元法与差分法或与边界元法相结合解决课题,以期发挥各种方法的优越性。

2.1 软土地基沉降的差分法

差分法解土工问题就是将研究区域用差分网格离散,对每一个解点通过差商代替导数把问题的微分方程转化为差分方程,然后结合初始条件和边界条件,求解线性方程组得到课题的数值解。使用这种方法必须注意边界条件的变化(渗水或不渗水边界),同时注意固结系数的选取,应用到平面或轴对称问题时需要加以校正。

差分法解土工问题就是将研究区域用差分网格离散,对每一个解点通过差商代替导数把问题的微分方程转化为差分方程,然后结合初始条件和边界条件,求解线性方程组得到课题的数值解。使用这种方法必须注意边界条件的变化(渗水或不渗水边界),同时注意固结系数的选取,应用到平面或轴对称问题时需要加以校正。

2.2 软土地基沉降的有限元解法

用有限元法解土工问题就是将研究区域离散成有限数目的区域单元,对每个单元通过变分等方法把微分方程转化成有限元方程,然后结合初始和边界条件求解线性方程组得到问题的数值解。它的突出优点在于可以用于解非线性问题;易于处理非均质材料和适用各种复杂的边界条件。

由于土的性质极为复杂,要想找到一种土的理想应力-应变模型至少目前难以办到。十几年来学者们建议采用的应力-应变数学模型不下上百种,归纳起来可分为两大类:一类是弹性模型,另一类是弹塑性模型。

(1) 弹性有限元法

土的弹性应力-应变数学模型包括线性和非线性弹性模型两种。线性弹性模型是假设土的应力-应变成正比,强度是无限的。因此用该模型计算软土地基的位移和沉降,只适用于不排水加荷情况,并且对破坏要有较大的安全系数,一般不发生屈服的情况。

实际上土体中的应力状态都可能发生屈服,其应力-应变的关系是非线性的。典型的非线性弹性模型是 Duncan Chang 的双曲线模型。

(2) 弹塑性有限元法

土的弹塑性模型是土力学中正在发展的一个

研究领域。土的弹塑性模型是建立在增量塑性理论的基础上,它将土的应变 ϵ_{ij} 分为可以恢复的弹性应变 ϵ_{ij}^e 和不可恢复的塑性应变 ϵ_{ij}^p 两部分即

$$\epsilon_{ij} = \epsilon_{ij}^e + \epsilon_{ij}^p \quad \text{或} \quad d\epsilon_{ij} = d\epsilon_{ij}^e + d\epsilon_{ij}^p \quad (1)$$

弹性应变增量 $d\epsilon_{ij}^e$ 可用弹性理论计算,塑性应变增量 $d\epsilon_{ij}^p$ 可用增量塑性理论求解。土的弹塑性计算模型一般分为理想塑性和硬(软)化塑性模型两种。

除线弹性模型外,其他模型均需要土的抗剪强度指标,同时也要知道地基中初始应力。因此须预先估计原位的侧压力系数值。为了得到初始的沉降量,在进行有限元分析时应假定完全不排水,并采用土的不排水应力-应变性质。最终沉降量采用排水变形特性参数和有效应力分析求得。

3 软土地基沉降量的概率统计分析法

即使采用最先进的计算方法,准确预估地基的沉降量也会失败。其原因是:土工参数的可变性,外加荷载的大小、分布情况和描述应力分布和变形数学模型假设的不准确性。在绝大多数概率统计分析中,均把表示压缩性和外荷载的量看成是随机变量或变量函数。这些变量都具有确定的从合适数据中导出的概率分布。然后将这些随机变量代入沉降量的计算公式中,就可获得沉降量的分布。

4 结 语

(1) 由于计算机的迅速发展和广泛应用,软土地基沉降机理与计算分析方法已得到了大大的加强。同时大量的研究成果已被用于发展和改善分析的方法。因此用于分析地基沉降等土工问题的方法数量大大地增加了。

(2) 对软土地基沉降机理和计算方法分析的目的,选择适当的分析计算方法以求解软黏土的一些实际工程问题。

(3) 任何一种计算方法都有其成功有效的方面,其计算精度最终取决于适当的土工参数的合理选择。

(4) 数值分析方法解决软土地基沉降问题有其不可比拟的优越性。它应向同时包括瞬时沉

降,主固结沉降和次固结沉降的方向发展。

参 考 文 献

- [1] 东南大学等四校合编. 地基及基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [2] 叶书麟, 韩杰, 叶观宝, 等编著. 地基处理与托换技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.
- [3] 刘松玉主编. 公路地基处理[M]. 南京: 东南大学出版社, 2001.
- [4] 沈珠江. 软土工程特性和软土地基设计[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(1): 100~111.
- [5] 魏汝龙. 软黏土的强度及变形[M]. 北京: 人民交通出版社, 1987.
- [6] 孙更生. 软土地基与地下工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1984.
- [7] 殷宗泽. 土体侧向变形. 岩土力学理论与实践[M]. 南京: 河海大学出版社, 1998.
- [8] 赵维炳. 黏弹塑性本构模型及其参数测定[C]. 中国青年学者岩土工程力学与应用讨论会论文集. 北京: 科学出版社, 1994.
- [9] 沈珠江. 结构性黏土的弹塑性损伤模型[J]. 岩土工程学报, 1993, 15(3): 21~28.
- [10] 施建勇. 考虑损伤的软土地基变形分析[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(2): 2~5.
- [11] 潘秋元. 排水固结法地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.
- [12] 王引生. 高速公路软土地基的沉降问题[M]. 中国公路学报, 1993, 6(1): 61~66.