

高速公路软土路基稳定性研究现状

文 / 刘孔杰 刘宝许 李 远

我国地域辽阔,从沿海到内陆、山区到平原,分布着各种各样的地基土。这些地基土中,不少为软弱土和不良土。其中,软粘土地基是在工程实践中遇到最多而需要进行人工处理的不良地基。软土广泛分布在我国东南沿海、环渤海和部分内陆地区,这些地区的许多工业与民用建筑、公路、铁路、港口码头和水利等工程常常不得不兴建在软粘土地基上。因此,对软粘土的深入研究具有重要的现实意义。

软土地区修建高速公路存在的问题

软粘土是第四纪后期形成的海相、泻湖相、三角洲相、溺谷相和湖沼相的粘性土沉积物或河流冲积物,属于近代沉积物,其中最为软弱的是淤泥和淤泥质土。软土的特点是含水量高、抗剪强度低、压缩性大、灵敏度高。在荷载的作用下,地基承载力低,容易发生失稳事故。地基沉降变形大,不均匀沉降也大,而且沉降稳定历时较长。

对于软土地区的高速公路修建,稳定和沉降是技术上的两大难题,其中稳定性问题又是最基本的问题,关系着工程的安全、施工进度、工程质量等。随着高速公路在软土地区的大规模兴建,要求在深厚软基上填筑高填方路堤。又由于工程对工后沉降的严格要求,要求增加预压时间而使得填筑时间相对缩短,直接造成工期紧迫,从而对路堤的稳定性问题提出更高要求。如广东西部沿海高速公路台山段32公里的软基路段,自1998年开工至今已有3处路堤出现开裂、跨塌等失稳事故;广东新台高速公路在施工过程中也有4处失稳事故。京张高速

公路K9+583.5~K9+618段路基整体沉陷,路面出现4条横向裂隙以及一条长约3米的纵向裂隙,裂隙宽约1毫米,最外侧两条横向裂隙之间的间距实测为6.9米,两侧裂隙宽度自南向北由2毫米逐步变为5毫米,严重影响了工程的进度和质量。以上工程实例一方面说明我们对软土的认识仍然不够,在加固方法及施工工艺方面需要改进;另一方面也说明应用在软土地基上的稳定性计算方法从理论方面亟待进一步深入研究。

高速公路软基稳定性特点

高速公路软基路堤的稳定性由于高速公路自身的建设特点及软土的特殊性质,有别于其他工程。高等级公路路面造价昂贵,技术标准高,因此对路基变形与稳定性的要求十分严格。而软土的天然含水量高、孔隙比大、强度低、透水性弱、压缩性高、结构性强且易受扰动影响,在其上修建公路时,容易产生路堤失稳或沉降过大等问题。另外公路路线很长,沿线的工程地质条件变化很大,因此也不能像工业与民用建筑物地基那样对软土地基进行十分详细的勘察和精心地施工处理。公路沿线的地形条件复杂,施工车辆及机械通行频繁,且施工加载方式及顺序变化较大,这些都使地基的基本特性以及先期受压和被扰动状态不易准确掌握。

软土路基稳定性问题研究现状 计算理论研究

由于软土的强度低,在工程史上有过很多软土地基上堤坝或路堤失稳的事例。根据许多实测证明,在较均匀的软土地基中,失稳的堤坝多是沿圆弧形滑面移动,因此目前多采用圆弧滑动法为代

表的极限平衡法验算稳定性。

圆弧法早在1916年由瑞典人Pertson首先提出,由Fellenius和Taylor等人不断改进,逐渐完善成为现在通称的所谓简单条分法或瑞典圆弧法。它是基于平面应变假定,视滑面为一个圆筒面,分析时通常将滑体分成许多竖条,以条为基础进行力的分析,土条之间的力大小相等,其方向平行于滑面,以整个滑面的稳定力矩与滑动力矩之比作为安全系数。20世纪40年代以后,许多学者继续从事这方面的研究,使圆弧法进一步得到发展,取得了很多研究成果。在这些成果中,应当首推Bishop的研究成果,Bishop法不仅考虑了土条间的不平衡力,而且重新定义了土坡稳定安全系数 F_S 。根据Bishop的建议:

$$F_S = \frac{\tau_c}{\tau}$$

式中: τ_c 、 τ 分别为画面上的抗剪强度和实际的剪应力。

此式给安全系数赋予明确的物理意义,给稳定分析(包括圆弧形滑动和非圆弧形滑动)奠定了理论基础。

随着土力学学科的不断发展和国外不少学者对其进行了广泛的研究,提出了很多修正方法,成果大致有两个方面:一是着重探索最危险滑弧位置的规律,制作数表、曲线,以减少计算工作量;二是对基本假定作些修改和补充,提出新的计算方法,使之更符合实际情况。张天宝推导的极限稳定边坡理论,提出了“等K边坡”概念。孙君实等根据潘家铮极小与极大值原理建立了边坡稳定分析“极大中极小”模糊极值理论等。各种方法都是为了减少分析误差,提高计算精度,但这些方法仍然是一种近似解法。实践证明,毕肖甫的极限平衡

简化法完全具有实用的精度,与瑞典圆弧法分析的稳定安全系数,在很大的范围内是一致的。

随着近代计算技术的发展,用有限元法来分析土坡的应力和应变,以及用有限元法结合圆弧法进行稳定验算也日益增多。O.C.Zienkiewizo和Humpheson分别采用相适应的流动法则和不相适应的流动法则进行土堤稳定性有限元分析,并且考虑了时间效应。他们假定土的内摩擦角为常值,然后逐步减小粘聚力C值,以求各结点的应力和位移,这样可以得到一个土堤破坏时所需的最低凝聚力。还有学者通过有限元法分析路堤砂井地基的稳定和变形,得出各单元的有效应力、孔隙水压力以及应力水平,从而判断地基是否出现塑性区及其范围,同时还根据得出的竖向总应力,按传统的分层总和法计算固结沉降,计算结果与实测资料比较接近。

软粘土强度增长规律的分析

软土土体的固结效应会对工程产生重要影响。在软基深层加固时,软土结构受到扰动并产生超静孔隙水压力,使软土抗剪强度下降。若将按天然地基强度设计的荷载立即施加于地基上,很可能失稳。深层加固施工结束后,软土的强度将随间歇时间的增长而提高,这是因为施工引起的超静孔隙水压力逐渐消散而有效应力逐步恢复。又如堆载预压加固时,应严格控制加载速率。只有当固结引起的基础承载力增长与堆载压力变化相适应时,才能保证地基稳定性。地基承载力增长是以土的强度随固结增长为前提的。

我国对软粘土强度增长规律的研究始于60年代初,以曾国熙和沈珠江等为代表的研究团体先后提出了有效应力法和有效固结应力法。有效应力法以三轴固结排水试验为基础,结合应力圆理论推导出,具体公式为:

$$\Delta \tau_f = \frac{\sin \phi' \cos \phi'}{1 + \sin \phi'} \Delta \sigma'_y$$

$\Delta \sigma'_y$ 不同于 $\Delta \sigma'_i$, 它是受剪切引

起的孔隙水压力的影响而孔压又难以恰当估计,因此限制了该法的实际应用。而且它所反映的是室内小试样等向固结强度增长规律,与现场不等向固结强度增长规律又有一定差别。

有效固结应力法的基本思想是考虑压缩引起的强度增长,而忽略剪缩引起的强度增长。相应于强度增长公式中考虑压缩过程中的孔隙水压力而不计剪切引起的孔压。这一问题在我国规范中有多种表达方式。在《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》中建议的强度增长公式如下:

$$\Delta \tau_f = \Delta \sigma'_i U_i \tan \phi_{cn}$$

$$\tau_f = \eta (\tau_{fo} + \Delta \tau_f)$$

对于这一问题,国外几乎与我国同时给出类似的研究成果。他们的研究主要是围绕着施工期边坡稳定展开的,因而研究思路及其表达形式更具有多样性。Terzaghi和Peck 1967年提出了如下不排水强度增长公式:

$$\frac{q_f}{\sigma'_c} = \sin \phi_{cn} (1 - \sin \phi_{cn})$$

软土地基的变形及稳定性和施工时的加荷速率有密切的关系。加荷过程中,一方面地基土的强度因固结而提高,另一方面剪应力也在增大。为保证地基的稳定性,必须做好稳定控制。稳定控制一方面是合理确定加载计划,保证加载计划与地基土的强度增长相匹配。但由于计算理论存在诸多假设,且计算参数存在精度问题,理论计算的结果与工程实际情况并不符合,所以另一方面要做好观测工作,通过观测数据来估算工程的稳定性,指导施工,这是稳定控制最主要的工作。

稳定观测的项目包括:孔隙水压力观测,沉降观测和侧向位移观测。孔隙水压力是了解地基土体固结状态最直接、最有效的手段,也是地基施工期稳定评价的有效方法之一。超静孔隙水压力的消散程度是决定加载速率的主要依据。曾国熙1975年提出用孔隙水压力观测资料反算固结系数的指数函数配合法,有较强的实用意义,被公路规范采纳。

高速公路软土路基的处理措施

目前,工程中解决软土路基变形与稳定性问题的主要措施有如下几个方面:

● 增长施工预压期。使软土地基的强度随着施工加载有所提高,地基的沉降尽可能多地在施工期间产生,稳定性逐步提高。现在发展的薄层轮加法就是密切配合强度的增加,逐层填土,缩短填土时间,增长施工预压期。

● 增大地基土的排水固结速率。采用在地基中打设砂井、排水板、抽真空等处理措施,使得软土地基在给定的施工期内产生的排水固结沉降大,土体的强度增长快,使稳定性逐步提高。

● 减小地基总沉降。采用桩体复合地基等措施使得地基在给定的外荷载下所产生的总沉降减小,并提高地基的承载力,减小工后沉降。

● 采用临时过渡路面。待路基变形稳定后,再修筑正式路面。

● 采用提高路基设计标高的方法预留沉降量。

结论与展望

最近国家高速公路网规划已经出台,我国将采用放射线与纵横网格相结合的布局方案,形成由中心城市向外放射以及横连东西、纵贯南北的大通道,共由7条首都放射线、9条南北纵向线和18条东西横向线组成,简称为“7918网”,总规模约8.5万公里。规划方案加强了长三角、珠三角、环渤海等经济发达地区之间的联系,使大区域间有3条以上高速通道相连。随着我国高速公路事业的蓬勃发展,在滨海地区以及其它软土地区修建高等级公路的数量和规模将会越来越大。●