

从学生到优秀的岩土工程师

张在明

(北京工业大学 北京市勘察设计研究院)

【摘要】 从学生到一个优秀的工程师,需要走一段很长的路,岩土工程专业的同学尤其如此。本文首先讨论终生学习的必要性。这种必要性来自于工程设计要求的不断提高,同时,每个人的知识结构也需要不断更新。只有正确把握不同工程的特点和要求、深入认识材料性质和工程分析方法的优势和局限性,积累系统的、特别是理性的工程经验,才能形成正确的工程判断能力。

【关键词】 岩土工程 岩土特性 数值分析 工程经验 工程判断

1 前言——为什么提出这样一个题目

任何专业的学士、硕士和博士都会面临两个问题:第一,如何尽快地转变角色,担当起工作重任;第二,从参加工作开始就要有终生学习的准备。

岩土工程专业的毕业生遇到的情况有一定的特殊性,工作性质和特点要求我们的同行成为学习型、甚至学者型的工程师。

(1)工作对象方面,泥巴、石头与理想化的单元体之间的差别比起其他学科的设计图纸与材料、产品之间的差别要大许多,走上工作岗位的学生需要对工程对象和工程材料几乎是从头的认知。

(2)工作方法方面,“土力学是一门很土的力学”,或者说,是一门实验学科,没有一种理论和模型能够十分完美地描述岩石的方方面面的性状。岩土工程的工作方法强调在理论和经验基础上形成的工程判断(engineering judgment)。这一工作要求与学校学到的理论和知识之间存在一段需要用工作积累填补的空白。

(3)工作特点方面,其他专业强调对工作对象共性规律的理解和掌握,比如 IT 行业的标准和机械专业的互换性。而岩土工程的每项工程、每个任务都有各自的个性。即便是修建与图纸完全相同的结构物,由于地点、地形地貌和工程环境的不同,工程面临的主要挑战可能完全不同。岩土工程师的一生几乎不会处理两项完全相同的任务,需要对工程特点、要害和关键技术进行具有预见性的把握。

(4) 岩土工程性质方面,工程往往是建于地下,具有目标产品的不可见性、产品疵病的难以修复性和一旦失效、后果的极其严重性。岩土工程师的工作压力比一般行业要大。不幸的是,走上工作岗位,经过实习之后,大家面临的任務,不是生产线上的某个环节,而是承担整项任务,新参加工作的学生,常常思想准备不足。

(5) 我国现行技术规范的体制,包括它的结构、导向和严格的强制性质,固然有其产生背景和现时存在的合理性,但可能使我们的工程师变成“查表工程师”,妨碍了他们的创造性的发挥和工程处理能力的不断提高。

(6) 由于近年来计算机技术、数值分析技术的发展,使我们的工作方式出现了新的转机。同时,建设工程专业学科的分工,像其他领域一样,正在经历着一个深化、扩展和融合的过程。不仅在特定的领域形成新的分支学科,在专业边界扩展的过程中,也必然与相邻专业领域在研究和实践空间相互融合。环境岩土工程、岩土地震工程得到公认和发展,便是很好的例证(张在明,2003年)。这更要求我们的岩土工程师,特别是技术负责人终生不断学习,成为学者型的工程师。

对这些问题,我们在下面还要作进一步的讨论,重要的是使我们的同学在毕业前有一个初步的认识和准备。

2 我国现行岩土工程工作模式的特点—存在的合理性和消极作用

这是毕业生首先遇到的问题,所以要先作交代。

首先,我们的行业的发端,也就是工作的定位和西方不一样。

西方是以咨询为核心发端的。从20世纪20年代开始,在土木工程中从事土工咨询的人首先跨入并创造了这个领域。当时,无论是Terzaghi还是Casagrande以及其他人士之所以创造了这个新专业,是由于他们认识到,土木工程当中有关土和基础工程的问题,需要用不同于一般土木工程的理论和方法专门研究,从而形成了一个学科,以咨询为核心发端,形成工作体系(张在明,2005)。我们国家在20世纪50年代学习当时的苏联,是以一种“线性”的形式发端的。二战以后,前苏联进入了大规模的恢复建设时期,形成了“勘察—设计—施工”的工作体系或者叫工作链,勘察是为设计服务,设计是为施工服务,勘察更多的是提供基础资料。发端的不同,形成了我们在专业定位、工作方法和理念上都不一样。我们行业的基因和西方不一样,造成了现在的局面,自然会影晌人才的知识结构和工程处理能力。

与此有关的,是规范体系不同。一本岩土工程规范大体有三方面的元素构成,即基本原理(fundamental principles)、应用规则(application rules)和工程数据(engineering parameters)。先进国家或者经济联合体的规范,基本上都是强调对基本原理的规定和把握;应用规则是对基本原则的实施说明,至多是推荐一些公认公式,与一般教科书没有大的出入;很少向规范使用者提供具体的工程参数取值(张在明,2003年)。我们国家从20世纪50年代起,开始大规模的基本建设,要建设146个大项目。那时候的勘察工程师们都是从其他行业转过来的,或者是刚刚毕业的大学生、中专生们,理论准备和经验准备都不足。为了在全国不同的地区用同一方式处理工程问题,不出大的差错,需要有统一的、具体的规范,也就是要用规格统一的、有具体的参数规定的“拐棍”。这样做的优点是在这样大的国土上,勘察工程师们都是按着这样严格统一的标准工作,不至于因为个人判断的错误和处理失当,造成大的问题。我们应该充分肯定

这种做法在当时、甚至目前的积极作用;但这种做法是有短处的,它的根本缺点就是这种类型的规范本身就不符合岩土工程规律。在这种规范体制下,不论水平高低,大家都在统一的、具体的规定之下运转和工作,长期形成了一种惯性,这种惯性使我们在向新的领域迈进时就没有了创新动力。加上我国现行的岩土工程规程、规范明显受到行政体系变化的影响,又囿于过去技术队伍构成的客观要求,所带来得某些特征可能并不反映岩土工程本身所固有的特点,体系也过于庞杂,因而不利于技术的进一步发展和人员素质的提高,难以满足长远发展的需要。

新毕业的同学如果缺乏对这种工作模式和规范体系的比较全面的认识,只见今日,不想明天,就会落入得过且过,不进则退的境地。

3 工程对技术需求的不断提高与继续学习基本理论的必要性

Morgenstern(2000)对 20 世纪 100 年间岩土工程逐步形成的基本业务范围、知识领域和工作方法进行了归纳。他认为,过去若干年中,岩土工程涉及的业务主要包括:(1)地面结构支承体系;(2)流体控制;(3)地下结构;(4)地面土工结构;(5)地基处理五个方面。欧洲科学研究和发展理事会一个分支机构 2002 年出版的《高等数值分析指南》中,将在传统工程分析和设计中需要满足的条件归纳为:(1)平衡条件(equilibrium);(2)相容条件(compatibility);(3)材料的本构性状(material constitutive behavior);(4)边界条件——力与变形条件(boundary conditions-force and displacement)。此后,这篇《指南》用很大的篇幅强调了当前工程的某些新的特点和需求,指出,“由于城市建设变得越来越复杂,与城市规划和土建相关的各学科都面临巨大的挑战。表现在技术层面、经济层面和环境层面”。该文举例说,城市的地下空间正在大规模地开发利用,主要是隧道类工程和地下室。遇到与已有建筑和设施的相互影响问题,把相互作用分析提到相当的高度。文中举了几个例子,如图 1 至图 3 所示。

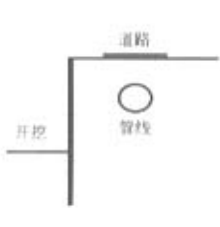


图 1 地下室施工

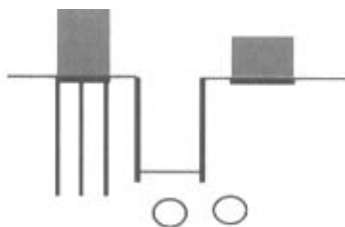


图 2 在城市环境中的地下室施工

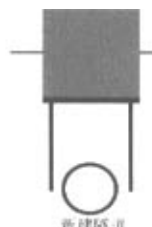


图 3 新建隧道施工

图 1 表示一种常见的情况,拟建建筑的地下室与道路毗邻,道路下还有管线。设计中必须考虑地下室的开挖对相邻管线或隧道的影。图 2 所示的情况就更加复杂一些。地下室的开挖可能造成对临近建筑基础和其下的隧道的影响。施工可能造成土体位移,过大的变形可能影响建筑物安全,使建筑结构开裂,也可能使地下铁的列车与侧壁摩擦。更严重的情况是使隧道的衬砌过载(overstressed),或者使建筑基础的承载力降低。图 3 中不管是建筑物或者隧道已经存在,后来的建设都会对已有的建构筑物产生影响。对于这些问题,常规方法只能得到非常粗略(crude)的估计,因而必须进行非常有效(extremely powerful)的土与结构的相互作用分析。

我国城市化的进程正在加速,城市地下工程建设中已经遇到了类似的问题,甚至出现了事故。上海地铁联络线和北京地铁京广中心附近的事故便是其中的例子。

当然岩土工程包含的范围要广得多,各类工程对技术能力新的需求远远不仅于此,仅就工程分析而言,还有高层和超高层建筑高低层之间的沉降协调分析,疏桩沉降控制分析等等。

尽管该《指南》没有强调地下水和孔隙水压力分布对工程设计的需求,我们同样不能忽视。而文中提到的,“对地下水的变化也应进行调查,在世界上很多大城市,地下水位正在上升”。这方面的影响也应该引起我们的高度重视。

提到基本理论,同样包含方方面面的内容。这里主要说对自己掌握的和需要继续学习的工程分析方法的认知。

土力学本身的特点,可能使其系统性不如其他力学学科。比如在本科、甚至部分研究生教材中,承载力问题、沉降问题、土压力问题和稳定问题似乎各是各的事。近年来很多文献,试图从更广泛一点的角度,对分析方法进行分类。图4仅仅是其中一个例子,也许会有不同的看法,但无论如何,我们看到,对于毕业生来说,对一些基本方法还有不断学习的必要。图中用较粗的线条框出的方法,也许是在学校学习过的,对于一般的同学来说,也许所谓的“简单方法”也有再学习的必要,否则便难以完成上面列举的工程分析。

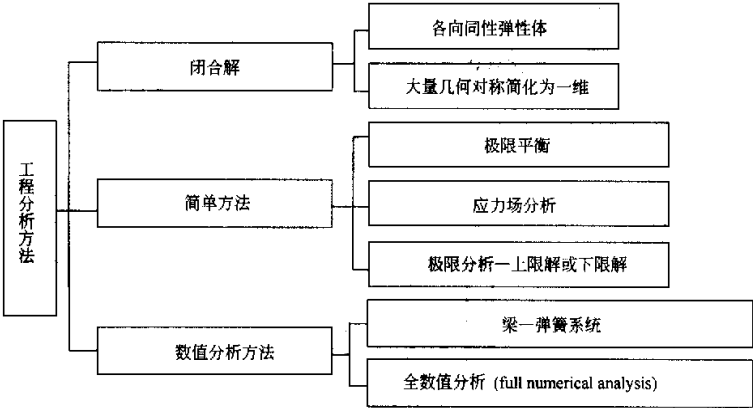


图4 岩土工程的分析方法

1 努力学习和正确把握数值分析方法

4.1 为什么要作数值分析

在激烈的市场竞争环境中,一个岩土工程企业,要强调自主创新,建立技术比较优势,需要有自己的D & R体系,制定并实行技术发展规划;每个人也会有自我设计,需要不断进行自己的知识扩展与更新。与上面对知识结构认知有关的一个重要的方面,就是在积累实践能力和经验的基础上,不断增强分析能力。这个趋势,在国内外,越来越得到认同。于是,数值分析和并行的本构模型的应用也越来越受到重视。

在国内,目前主要应用在以下几个方面:(1)重大和复杂工程的分析;(2)工程事故的分析;(3)参数反分析;(4)课题研究和规范制定中对某些问题的探讨;(5)工程创优。其中,在一些单位,利用简单模型进行工程分析,如地基与基础的协同作用分析、疏桩沉降控制分析及基坑支护分析中,数值分析已经成为常规的工程分析手段。

在学校中,在当今的硕士和博士学位论文中,几乎没有不涉及数值分析的。

由于各种商业化分析软件的极大推广,不管做工程分析还是做论文,似乎拿起来就可以用。殊不知用得不对,常常是垃圾进垃圾出,反而起到误导的作用。因此,在工程师们长期的进修的学习中,有必要重视这方面的问题,有一个正确的认识。

对于数值分析在专业中的作用,不妨借用一句话,“数值分析不是万能的,没有数值分析也是不行的”。

对数值分析的必要性,专家们也有一个认识过程。Casagrande在整理 Terzaghi 最后 5 年的著作时,认为他最后几年中,最重要的观点之一便是这样的信念,即“土力学或岩体力学中未解决的大部分问题,与其依靠理论研究或室内试验来解决,还不如在野外现场通过精细的观察和调查,获得解决”。对此,Peck 在写《工程实践中的土力学(Soil Mechanics in Engineering Practice)》第三版的绪言的时候,用较大的篇幅对 Terzaghi 上面的理念提出了自己的看法。Peck 认为,一方面,半个世纪以来,人们坚持不懈地进行了关于取土和试验技术的研究,对于土的基本性质和对土性的概化方法取得了很大的进展;另一方面,由于计算机技术的应用,使得解决包括复杂边界条件和地层条件的问题成为可能。

为什么要采用数值分析及与之平行发展的本构模型,其实道理也很简单:一方面确实有必要;另一方面,已经有了实用的可能性。

从最一般的力学的眼光看,平衡方程式和相容方程联立,可以给出 3 个平衡方程和 6 个相容条件,而未知量却有 15 个之多(6 个应力量、6 个应变量和 3 个变形量),如果不用本构关系得到其余的约束,除了简单问题,只能通过大量的假定来解决。闭合解和前面所谓的“简单方法”都是如此。没有任何的“简单方法”可以满足所有的求解要求,所以它们得不到精确的理论解,都属于近似方法。这样,也许对于同一问题得到很多不同的解答。尽管“简单方法”仍然是工程师手中得力的工具,如果应用得当,可以解决很多岩土工程设计问题,但是对于像土与结构相互作用这样更加复杂的问题,简单方法就难以进行可靠的分析了。

4.2 采用的数值分析的复杂程度要与工程需要相对应

这一段要说的意思是,数值分析和本构模型,要从“时髦”到实用。

欧洲科学技术与发展理事会在上述的文章中,将到目前为止的本构模型分为三代(图 5),比较中肯地分析了这些模型的优点和局限性,应该有参考价值。

第一代本构模型的时间从 1773 年的 Coulomb 模型直到计算机和有限元已经得到应用的 20 世纪 60~70 年代。早期解决的问题主要有两方面,一是在设计荷载作用下的地面变形(主要是竖向沉降);二是导致失效的荷载。值得注意的是,该文对非线性弹性模型给了比较好的评价。这种模型一般采用描述剪切性状的双曲线模型与压缩模型相结合,常常是将非线性弹性剪切模型与线弹性的压缩模型相耦合,后者由不变的体积模量来控制。其缺点主要有:(1)不可在试验范围之外随便进行外延;(2)主要用来描述土的单一特性——应力—应变关系,未

考虑其他方面的因素,如不同应力路径的影响、剪切过程中的体积变化等等;(3)具有线弹性模量的一些同样的缺陷,如在周期荷载作用下不考虑滞回影响;(4)比起线弹性、非线性弹性模型缺乏坚实的理论背景。

理想塑性模型是传统土力学中应用很广的概念和模型,基于这种模型的边坡稳定分析理论、承载力理论和土压力理论一直沿用至今。尽管存在若干缺陷,如:不能考虑变形历史;不能辨识在破坏面内的初始加载、卸载或者再加载;可能导致计算得到的深基开挖和隧道开挖造成的底面隆起过大;在弹性阶段仅能考虑压缩等等,弹性-理想塑性本构模型仍然得到广泛的应用,特别是如果非线性弹性来改进,在模拟单调应力-应变路径达到极限应力状态的问题中,结果可以令人满意。

作为欧洲研究机构编写的指南,对第二代模型,主要是对修正的剑桥模型作了充分的肯定,比如,数学结构比较简单;可以找到理论支撑;材料参数比较少。甚至认为它是本构模型中划时代的进展等等。但是对于某些趋于复杂化的改进,如为克服 K_0 各向异性而引入的非关联流动规则,并没有给予方程积极的评价,认为可适用的土类非常有限。

《指南》认为第三代模型距实际应用还有相当的距离,先进的模型从理论上说,可以描述土的若干复杂的现象,如周期荷载下的反应、各向异性等等,但是在对工程性状的预测上,常常是顾此失彼。土的模型越复杂,其实际应用就越受到限制。

4.3 选用的模型要与土工试验的能力相匹配

表 1 是 Kullhawy(1990)在《基础设计中土性确定手册》中提出的各种模型对土工试验的要求。虽然在模型的分类上与我们在上面引述的分类不尽一致,但不同模型对试验的要求是明确的。

模型与土工参数的匹配(Kullhawy,1990)		表 1
	模 型	对土工参数
1	非常先进 非线性,弹塑性,考虑时间效应,考虑各向异性等	非常复杂 各种应力路径的考虑+土的性状的详细模拟
2	先进 非线性、弹塑性	较高水平的 CIUC + 极限条件描述
3	简单 弹性	常规 CIUC

也许 Pack 的有关论述作为本段的小结非常合适。他说,在分析过程中,正确地选择土的特性参数十分重要,而这种选择必须建立在对土的性状正确理解的基础上。在通用程序的选

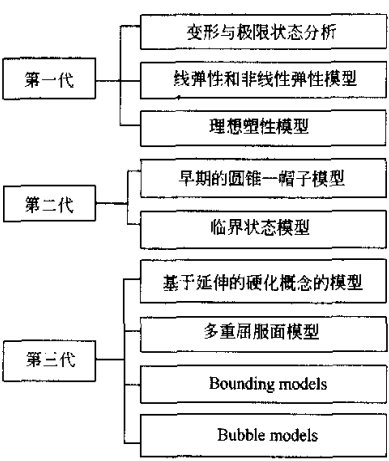


图 5 本构模型的发展(据 Guidelines for the use of advanced numerical analysis 整理)

择范围很广的今天,如果使用的本构关系没有代表性,或者对参数没有足够的研究和确定的依据,甚至选用的模型在限定条件上根本不适用,这样的结果如果用于工程设计或评价,可能贻害不浅;此外,Pack认为,利用弹塑性分析对经典课题的闭合解与简单、快捷的近似解,二者之间并不矛盾。我们在工程中应该先进行后一种分析,估计解的包络范围,并以此来判断进行更复杂的分析的必要性。

5 对岩土工程材料复杂性的认识——以土为例

5.1 毕业生参加工作后的第一课是认识土

在学校的实验室内对土的感性认识毕竟是有限的,因此,毕业生参加工作后的第一课是更深入地认识土。

什么是土的性质,或者更广泛一点,什么是一件事物的性质,Kullhawy(1990)做过一个很有意思的定义。他说,所谓性质,第一,是事物的主要品质和特点;第二,把握一种事物的性质就要把有关的事物放到一起分类比较;第三,要在试验中得到这些品质和特点的定量指标。这三点,也许是加深对土的认识的有效途径。

土的性质取决于土的成分、形成和存在环境、历史和工程作用。这三方面因素对特定土施加的影响,可以看成土的基因加上后天的影响。有些有经验的工程师甚至用感观就能估计,有些则需通过试验来揭露。很多毕业生不大愿意在试验室工作。其实,只要是有心人,在试验室工作一段裨益终生。图6是一般试验室中对土的试验过程示意。图的右边是可能取得的经验。土的成因类型、Atterberg界线,对于特定地区而言,有经验的人可以很准确估计出来;某些特殊土,可以通过土的断面形态、色泽,结合液限含水量大体进行估计;一般土的比重与塑性指数有很好的关系;其他一些性质则可以通过触摸进行粗估。这些估计,对现场工作非常重要。

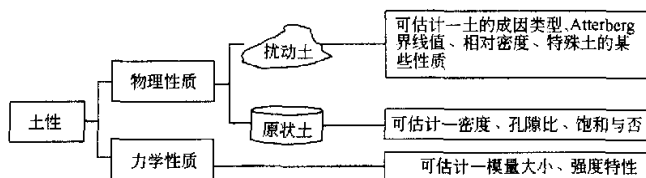


图6 在一般土工试验室中对土性分析的示意图

土的基本物理指标也有很强的规律性,图7是北京地区较密实的土基本指标可以达到的数值,对这些规律的掌握,显然有利于对工程条件的把握。

5.2 认识土性的复杂性

5.2.1 土力学性质的分类

土性的复杂性主要是体现在力学性质方面。从这方面看,可以分为4类:

第一类——土的刚度和强度参数。刚度参数包括压缩模量、变形模量及固结试验中用半

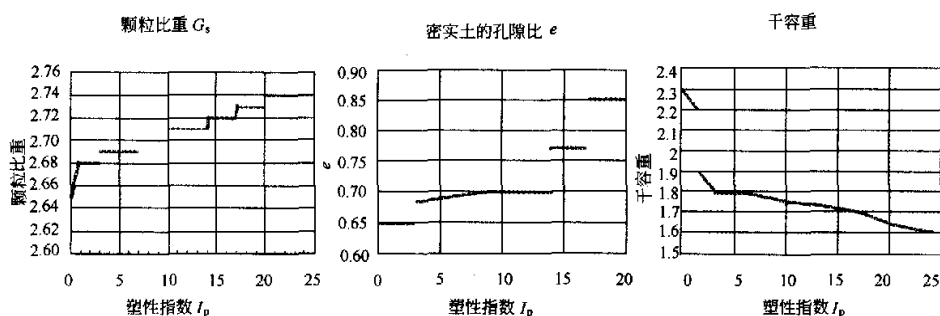


图7 密实土的基本物理性质之间的关系

对数表示得到的 C_c 、 C_u 等。当然,在不同的本构模型中,对土的刚度还要求不同的表示方法,如 Duncan-Chang 模型中的 K 、 K_{ur} 、 K_b 、 m 、 n ;修正剑桥模型中的 κ 、 λ 等。强度参数一般都是 c' 、 φ' 。在不同的模型中还有区别。

第二类——状态变量(state variable),包括应力、孔隙比、颗粒接触方向、饱和度、温度、变形速率等等,可以在任何时刻进行量测,至少在理论上是如此。

第三类——隐藏的(或内部的—internal)参数,取决于应力状态且不可量测,如加工硬化条件下确定屈服面变化的量,只能通过参数优化方法得到;

第四类——经验参数,如 SPT 击数与刚度或强度指标之间的关系等。

还是引用 Kullhawy(1990)的 4 句话来说明确定土性的复杂性,“不是一件小事(not a trivial task);有很多不同的方法;有很多不确定性;还要将试验参数与欲得的土性匹配好”。

刚才说,土性中,力学性质较为复杂。在力学性质中,也许强度参数比较复杂。年轻工程师往往不问来由,看见参数就敢用,往往差之毫厘,失之千里。即便在国际上也有许多参数应用不当导致工程失效的例子。如用 Skempton 十字板公式计算 S_u 便是著名的例子,刚参加工作的同学,一定要有这样的概念。

5.2.2 认识土工参数的复杂性——举例

前面的估计,即与物理性质相比较,力学性质的测试和应用可能比较复杂。不仅如此,在工程分析中直接用到的毕竟是力学参数;在力学性质中,也许剪切强度参数会更加复杂一些。所以,我们在下面的分析中,仅以剪切强度参数举例说明。之所以仅仅可以说是举例,因为要全面阐述这方面的问题,实在超出了笔者的能力。这里仅仅是试图举一些例子,以期引起刚参加工作的同学和青年工程师们的注意。

(1)砂土

①抗剪强度参数可以用不同的试验方法得到

对于无粘性土来说,有效内摩擦角是强度评价的基础。但是有效内摩擦角可以用室内试验求得,也可以用原位测试的方法来估计。即便是室内试验,不同方法得到的结果也不一样。表 2 中自上至下列举了很多文献中比较公认的三轴压缩、三轴拉伸、平面应变压缩、平面应变拉伸和直剪试验得到的结果。用什么样的结果,当然要考虑工程条件。

无粘性土不同试验中有效内摩擦角之间的关系 (Kulhawy, 1990)

表 2

试验类型	有效内摩擦角
TC	φ_{TC}
TE	$1.12\varphi_{TC}$
PSC	$1.12\varphi_{TC}$
PSE	$1.12(\text{for PSC/TC}) \times 1.12(\text{for TE/TC}) = 1.25\varphi_{TC}$
DS	$\tan^{-1}[\tan\varphi_{PSC} \cos\varphi_{CV}] = \tan^{-1}[\tan(1.12\varphi_{TC}) \cos\varphi_{CV}]$

②在同一种试验中,有效内摩擦角也可能有不同的定义

图 8 中显示了不同固结性质和密度的砂土可以用曲线峰值、常体积变形段和残余变形段来定义有效内摩擦角。

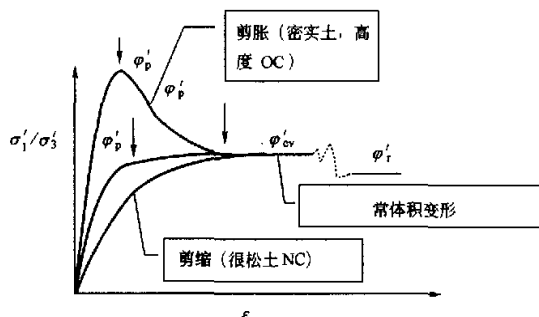


图 8 用曲线峰值、常体积段和残余变形段定义内摩擦角

很多教科书暗示强度包络线是线性的。但实际数据表明包络线常常是非线性的,有些文献将这种现象归因于土的剪胀性。这种剪胀性随土的相对密度的增加而增加,随应力水平的提高而降低。

考虑包络线非线性的比较方便的方法是采用随应力水平变化的割线峰值摩擦角。图 9 中的规律不受试验类型的影响。近年来在涉及摩擦角时,都采用了峰值的割线值,角标表示试验的类型,比如 $\varphi'_{c,}$ 表示三轴压缩试验;临界孔隙比摩擦角 $\varphi'_{c,}$ 无需标注试验类型,因为这个值是一致的,与试验类型无关;残余摩擦角 φ'_r 也是如此。很多学者,如 Bolton(1986)利用临界状态理论和纯净砂的试验数据,将大量的研究归纳为方便使用的表达式。

③中主应力的影响

如果用图 10 中的横坐标定义的 b 值来显示中主应力对砂土试验结果的影响,显而易见,不同的试验方法,由于中主应力不同,得到的有效内摩擦角也就不一样。这与表 2 也可对应起来。

(2)粘土

除了很多影响因素与砂土类似之外,粘土的影响因素可能更加复杂一些。也只能是举一些例子。

①近年来一个明显的趋势是不排水抗剪强度(S_u)被广泛地用于描述粘性土的“坚实性”(consistency)。

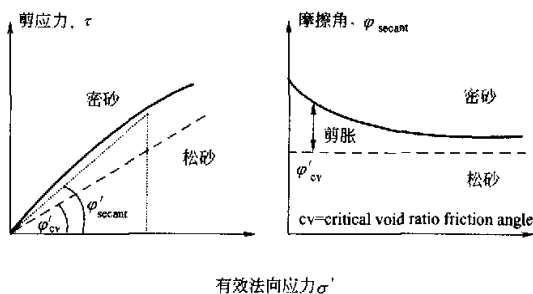


图9 弯曲的包络线的取值方法及影响

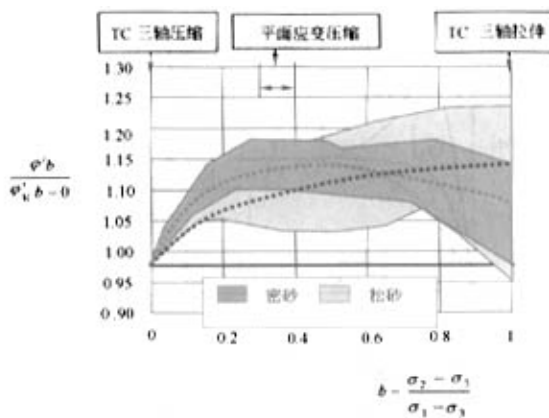


图10 砂土中主应力对试验结果的影响

但需注意的是 S_u 不是材料的一种基本性质,仅仅是在体积变化为 0 的条件下土对不排水加荷效应的一种量度。因此, S_u 的值取决于试验方法、边界条件、加荷速率、约束应力水平、初始应力状态和其他因素。鉴于此,对于不同的试验类型来说, S_u 也是不同的。这样,需要有一种“试验标准”来进行各类试验的比较和评价——这就是等向固结不排水三轴压缩试验(CIUC)。有了这种试验,其他试验结果可以进行简单而方便的对比。

很多研究表明(Ladd et al, 1977; Tavenas et al, 1987)CIUC 试验在质量上是最起码的试验。其他一些试验,如袖珍触探试验、UU 和 U 试验一样等,由于试样扰动和忽略了再固结过程,都具有潜在的误差,只能作为一般的评估,不可在设计中直接使用。对照我们的规范,这些结论值得我们进一步研究。

②抗剪强度参数与土工模型之间的关系

尽管很多人认为土和岩石的参数 c' 和 φ' 是所谓的标准参数(standard parameters),必须认识到这两个参数是与摩尔—库仑破坏准则相联系的。而摩尔—库仑准则仅仅是许多破坏(屈服)准则中的一个。

利用摩尔—库仑的破坏准则,对于等向固结($K_0=1$)的情况,可以得到:

$$\left(\frac{S_u}{\sigma'_{v0}}\right)_{\text{CIUC}} = \frac{\sin\phi'_{\text{tc}}}{1 + (2A_f - 1)\sin\phi'_{\text{tc}}} \quad (1)$$

在剑桥模型中,对于等向固结,式子是:

$$\left(\frac{S_u}{\sigma'_{v0}}\right)_{\text{CIUC}} = 0.5M(0.5)^A$$

$$M = \frac{6\sin\phi'_{\text{tc}}}{3 - \sin\phi'_{\text{tc}}}$$

$$A = 0.72 \quad \text{for compression} \quad (2)$$

图 11 说明不同模型和试验方法对粘土 S_u 值归一化特性确有重大影响。

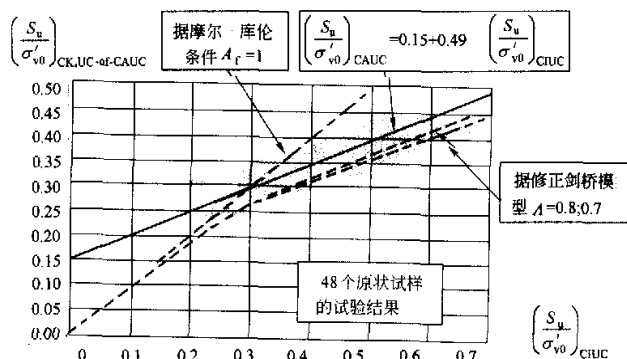


图 11 说明不同模型和试验方法对粘土 S_u 值归一化特性的影响

与此有关的,粘土的归一化是研究和性质表达的重要方面,如剑桥模型中 Roscoe 面和 Hvorslev 面的获得。关于归一化的重要性,龚晓南(1999)和李广信(2004)都作了详细的论述。

③关于试验方法,试验速率和超固结比的影响,很多学者进行过详细的研究,这里,只能用一个概念上的表达式,说明在 S_u 值对“标准的”CIUC 试验结果归一化的折算中这些影响的作用:

$$\frac{S_u}{\sigma'_{v0}} = [\text{TEST}][\text{RATE}][\text{OCR}] \left(\frac{S_u}{\sigma'_{v0}}\right)_{\text{CIUC}} \quad (3)$$

5.3 重视原位测试

对于原位测试,只想对青年工程师说三句话:

一是借用 Poulos and Brown 在 1986 年的一段话说明原位测试的重要性。他们也是借用当时非常流行的小说《达·芬奇密码》的说法,“与神话中寻找圣杯(The Holy Grail)相比,在岩土工程中寻找确定材料性质的最好的方法就是从相对简单的原位测试中找到最直接和快速的结果。”

第二是大多数原位测试的结果并不复杂,如 SPT、CPT,但测试的影响因素可能很多。如何揭露测试结果包含的信息,可能随着资料的积累而不断深化,因此为我们留下了广阔的研究空间。

任何测试结果都可能有其地区性背景和适用范围,只有经过工程检验的结果才可以放心使用。

6 任何分析结果并不等于设计——工程判断的重要性

作为设计工作的一部分,工程师们需要进行计算,为有关的问题提供答案。分析为这类计算提供了数学框架。一个好的分析,可以描述真正的性状,帮助工程师们更好地理解问题的实质。然而,作为设计过程的一个部分,分析仅仅是在荷载条件和材料性质已经确定的条件下,了解各种因素量化影响的工具。设计过程所包含的因素,大大超过分析本身。

6.1 工程判断的基础——工程经验的获得

进行工程判断需要经验。在理论的引导下,根据分析结果,利用经验进行工程判断是岩土工程的基本工作方法,或者可以称为半经验的方法。

不妨将工程经验分为感性的经验和理性的经验两类,后者的层次显然要高一些。

所谓感性的经验,是指工程师们在一段工作中积累起来的对材料的认知,对工程特点和要求的理解和对工程设计、施工要害的把握。一方面,感性的经验是重要的,没有感性经验的工程师可能不知道他掌握的理论如何与实践结合,甚至可能犯起码和低级的错误;另一方面,仅仅有感性经验还不足以将此工程得到的经验创造性地用于彼工程。

所谓理性的经验,主要是指对工程性状的预测(包括试验、分析、建模、计算)和实际检验差异的分析,以及对这种分析成果的积累。对工程表现的反分析显然是积累理性经验的一个重要途径。通过这种分析,我们可以理性地认识到,工程的实际性状为什么和事前的预测相比发生了差异,这种差异的发生是对材料的认识产生了偏差,或者在我们的“理论之树”上,某一个分枝出现了问题。所以,理性的经验是需要理论引导的,或者说,经验之果是开在“理论之树”上的,惟其如此,我们的经验才可能是系统性的,有生命力的(张在明,2006)。

6.2 关于工程判断

Terzaghi 关于土力学实际上并不是一种精确的科学,而是一种“艺术(art)”的阐述无疑是合理的,因此也十分流行。Terzaghi 在 60 年前曾说过,“无论天然的土层结构怎样复杂,也无论我们的知识与土的实际条件之间存在多么大的差距,我们必须利用处理问题的艺术,在合理造价的前提下,为土工结构和地基基础问题寻求满意的答案。”这可能是 Terzaghi“艺术”说的背景。直至今日,虽然我们在理论和方法上取得了长足的进展,这个说法依然是有效的。

但对这句话的理解,存在误区。

这种说法,不仅不是对土力学理论的轻视,而是要求更高。二十多年前 H. B. Seed 教授在课堂上说,学好土力学,不仅要学到教授们懂得的知识,更重要的,是要知道他们不知道什么。将掌握的知识与未知领域的判断结合起来,才能进行正确的工程判断与处理。

“工程判断”的形成及其在处理岩土工程问题中的重要性,刘建航院士的一段话应该是最好的诠释:“理论导向,实测定量,工程判断,检测验证。”我们对这段话的理解是,理论的推断,是工程判断的依据。尽管在很多情况下,理论分析的结果,只能定性理解,但它在工程决策中起着导向的作用,是不可替代的。所谓“实测定量”,是尽量将这种理论的推断赋予量化的特征,而“检测验证”除了对工程信息化作业方面的意义之外,更是工程经验积累的资源。

7 结语

从新毕业的学生到成为一个优秀的岩土工程师,需要走一段很长的路,岩土工程专业的同学尤其如此。本文讨论了一个毕业生终生学习的必要性。这种必要性首先来自于客观上工程设计要求的不断提高,在主观方面则需要主动了解自己的知识结构在哪些方面还存在局限性。只有正确把握工程特性、深入认识材料性质和工程分析计算方法的优势和局限性,积累系统的特别是理性的工程经验,才能形成正确的工程判断能力。任何工程方法的创新都需在扎实的专业知识和理性经验的基础上,温故而创新。从这些意义上说,只要工程实践活动不停止,一个工程师的学习便不能中断。

本文的写作得到北京市教育委员会科学技术与研究生教育建设项目资助(编号:4700001401506),在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] 张在明. 岩土工程现状与发展的初步探讨//全国岩土工程与工程学术大会论文集. 北京:人民交通出版社,2003
- [2] 张在明. 土力学学习和研究的好教材. 岩土工程界,2005年2期
- [3] 张在明. 对我国岩土工程规范现状的几点看法//土建结构工程的安全性及耐久性. 北京:中国建筑出版社,2003
- [4] Morgenstern N. R., Common Ground, GeoEng2000, November 2000, Melbourne, Australia
- [5] European Commission of Directorate General XII for Science, Research and Development, Co-operation in Science and Technology (COST) Action C7, Soil-Structure in Urban Civil Engineering, Working Group A, Advanced Numerical Analysis, Guidelines for the use of advanced numerical analysis, Thomas Telford, 2002
- [6] Kulhawy F. H. and Mayne P. W., Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design, EL-6800 Research Project 1493-6, Final Report, August 1990
- [7] Bolton, M. D., The strength and dilatancy of sands, Geotechnique, Vol. 36, No. 1, Mar. 1986
- [8] Ladd C. C., Foote, R., Ishihara, K., Schlosser, F., and Poulos, H. G., Stress-Deformation and Strength characteristics, Proc. 9th Int. Conf. on SMFE, Vol. 2, Tokyo, 1977
- [9] Tavenas. F., and Larouseil. S.. State-of-the-Art on Laboratory and In Situ Stress-strain-time behavior of soft clays, Proc. Int. Symposium on Geot. Engrg of Soft Soils, Mexico City, 1987
- [10] 龚晓南. 土塑性力学(2版). 杭州:浙江大学出版社,1999
- [11] 李广信. 高等土力学. 北京:清华大学出版社,2004
- [12] 张在明. 岩土工程的工作方法,待发表