

编者按:我国岩土工程规范标准种类繁多,具体条文规定过细,在一些规范中存在着理论、概念模糊和计算方法的不全面和不准确的问题;在设计理论方法方面则是各行其是,使各规范标准之间既无法衔接,计算的结果也无法比较;基于可靠度理论基础上的分项系数设计方法在岩土工程领域全面应用是比较困难的,作为一个发展方向还需要长期艰苦的工作积累。李广信先生就《建筑边坡工程技术规范》中关于边坡稳定计算问题和《建筑地基基础设计规范》(GB50007 - 2002)中的设计理论方法进行了探讨,随后还将对其他规范标准进行系列讨论,欢迎广大同行来稿参加讨论。

“说三道四”议规范(一)

李广信

一、《建筑边坡工程技术规范》

在边坡稳定分析中,对于在地下水位(浸润线)以下的土体,一般用土体(土颗粒+土中水)为隔离体,将水压力 u 作用在土体单元表面上进行计算分析。这在概念上是清楚的,计算分析是方便和准确的。土中水的压力有3种情况:静止水压力,稳定渗流情况下的水压力和超静孔隙水压力。后者也常引起土中水的渗流,但一般是不稳定的渗流,即渗流固结。3种情况下在边坡稳定分析中使用水压力 u 计算分析没有本质区别。静止水位以下土的自重用浮容重计算与上述计算是等效的。但是有人偏要舍简就繁,将研究的对象改为“土骨架”,引进“渗透力 j ”,令其作用在土骨架上进行稳定分析。所谓渗透力是一个与渗流方向水压力的合力相平衡的等效的力,它是一个体积力,其大小和方向在各点是不同的,每一点的渗透力与渗流方向和水力坡度有关。在确定了渗流场中的压力分布之后,必须经过对水力坡降的体积积分才得到单元体上总渗透力 J 。亦即,本来水压力分布就是已知的,先根据水压力求渗透力 j ,然后又积分确定作用于单元土骨架上的总渗透力 J 。因而这一积分过程就是一个劳而无功的工作。一般为了避免积分的繁琐,采用了一些简化的方法,这样得到的总渗透力 J 的方向和大小很难准确。关于这个问题在《岩土工程学报》中已经进行了多次讨论。

《建筑边坡工程技术规范》(GB50330 - 2002,以下简称《边坡规范》)中就规定用渗透力进行边坡稳定计算,一方面在这个规范的条文中存在自相矛盾

的现象;另一方面,对于某些情况,无法使用或者很难使用它解决具体工程问题。

动水压力

在地下水渗流作用下的边坡稳定分析中,《边坡规范》引入“动水压力 P_w ”,其表达式为原规范中的式(5.2.1):

$$P_{wi} = \gamma_w V_i \sin \frac{1}{2}(\alpha_i + \beta_i) \tag{1}$$

由于上式中 $\sin \frac{1}{2}(\alpha_i + \beta_i)$ 实际上是渗流的水力坡降,所以 $\gamma_w \sin \frac{1}{2}(\alpha_i + \beta_i)$ 实际上是在土力学中概念很清楚的渗透力(seepage force),它是一个体积力,方向为渗流方向;大小等于:

$$j = \gamma_w i \tag{2}$$

j 乘上土体的体积 V_i 成为总渗透力。而所谓压力(pressure)是一个面积力,单位为 kPa 或者 kN/m^2 。“动水压力”一词是从前苏联文献中翻译过来的,用“动水压力”表述渗透力,在概念上是很不准确的,在国家规范中使用尤其不合适。

“动水压力”的方向与大小

关于“动水压力”的大小与方向确定的自我矛盾可见于《边坡规范》中的5.2.3条中式(5.2.3),关于圆弧法计算中引进了“动水压力” P_{wi} 这一项:

$$N_i = (G_i + G_{bi}) \cos \alpha_i + P_{wi} \sin(\alpha_i - \beta_i) \tag{3}$$

$$T_i = (G_i + G_{bi}) \sin \alpha_i + P_{wi} \cos(\alpha_i - \beta_i) \tag{4}$$

N_i —第 i 计算条块滑体在滑动面法线上的反力(kN/m);

T_i —第 i 计算条块滑体在滑动面切线上的反力(kN/m);

G_i —第 i 计算条块单位宽度岩体自重 (kN/m) ;

G_{bi} —第 i 计算条块地表建筑物的单位宽度自重 (kN/m) ;

i, i —第 i 计算条块底面倾角和地下水位倾角。

从图 1 可以清楚地看到, 规范式 (5. 2. 3) (本文式 (3)、(4)) 将动水压力 P_{wi} (实际上是渗透力的合力) 的方向规定为与浸润线一致的方向。而同样还是这本规范的下一页, 在 5. 2. 6 条款中给出动水压力的计算公式 (5. 2. 6) (见本文式 (1)), 在第三条规定“3. 动水压力作用的角度为计算条块底面和地下水位面倾角的平均值, 指向低水头方向”。在图 1 中, P_w 按式 (3) 和式 (4) 规定的方向; P_w 是按式 (1) 规定的方向。这样, 同一规范的下一页否定上一页。规范的严肃性到哪里去了?

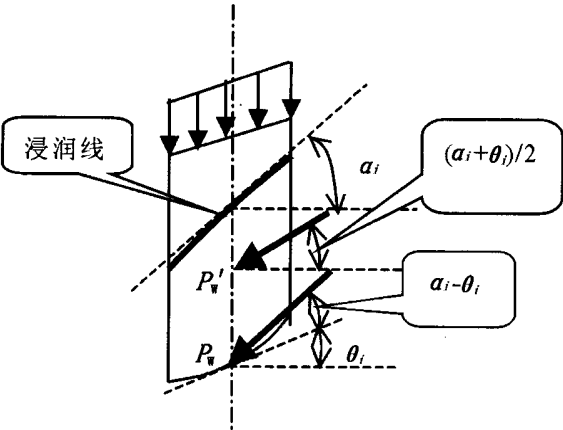


图 1 动水压力 P 的两种方向

用“动水压力”计算的不便与困难

如上所述, 必须经过对水压力的积分才得到单元体上总渗透力 P (或 J)。《边坡规范》由于想避开积分的繁琐与辛劳, 于是用一个近似的方法, 即式 (1), 求水在单元上的总力: (土取浮容重) 这一计算十分粗糙, 有时是无法进行具体计算的。

由于水压力 u 永远正交于其作用的表面, 因而一个单元上的水的总作用力的方向是十分容易准确确定的。而渗透力 (或动水压力) 在各点方向都可能不同, 其合力的方向极难确定。这也就造成了上述的规定合力作用方向的矛盾。按照《边坡规范》中的式 (5. 2. 6) (见本文 (1) 式), 在图 2 中对一些代表性条块计算 P_{wi} , 要么根本无法计算, 要么是错误的。

在图 2 中的心墙坝中, a 、 b 、 c 、 d 等条块, 利用条块边界上的水压力本来都可以准确地计算出水的

作用力。可是如果根据《边坡规范》的规定, 确定这些条的“动水压力”难度就极大。比如 a 条在上游水位之下, 肯定有“动水压力”, 可是从本文公式 (1) (原规范公式 5. 2. 6) 到哪里去找地下水位的倾角? 对于条 b , 由于在心墙中, 其浸润线发生剧变, 其方向难以准确确定。类似的情况还有在斜墙坝, 混凝土面板坝的防渗体部位, 其水面线极其复杂。 c 条的底部切割下层承压水, 用排水棱体内的地下水水位计算动水压力肯定不对。对于条 d , 由于排水棱体渗透系数极大, 水头损失可忽略, 其实其地下水已经是静水位了, 但根据公式 (3) 仍可算出一个“动水压力” (因为 $i = 0$)。亦即, 在式 (3) 中, 即使在静水中 ($i = 0$), 亦存在“动水压力”, 这岂不十分荒谬。

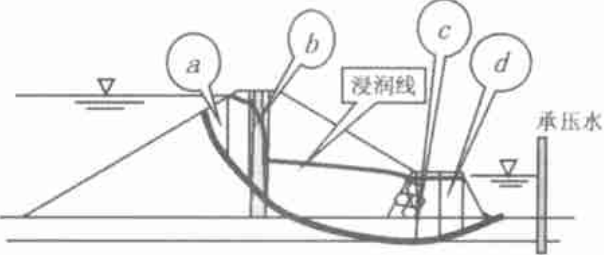


图 2 几个条块的动水压力问题

结 语

- (1) 在《边坡规范》使用“动水压力”这样不规范的名词是不合适的;
- (2) 《边坡规范》关于“动水压力”方向与大小的规定是自相矛盾的;
- (3) 使用“动水压力”或者渗透力计算边坡稳定问题经常是不方便的, 按简单的假设进行计算, 有时无法计算, 有时得到错误的结果。

二、《建筑地基基础设计规范》

在包括地基基础工程在内的岩土工程设计中, 对于与强度问题有关的承载力和稳定问题, 主要存在 3 种设计理论或方法: 容许承载力设计、极限状态的单一安全系数设计和极限状态的基于可靠度 (或概率理论) 的分项系数法设计。

在地基承载力问题中, 所谓容许承载力在载荷试验中可以由其比例界限确定, 也可以按一定沉降比人为规定。在理论计算中可以由塑性区发展理论中的临塑荷载 p_{cr} 或者 $p_{1/4}$ 确定。对于一般工程, 按容许承载力理论确定的承载力, 其沉降一般也会满足要求, 常常不需进行沉降验算。在这种设计中, 工程的安全性和可靠性是无定量的概念的。因而是一种经验的设计方法。其设计荷载可取为标准值或

标准组合。

在极限状态设计理论中有两种极限状态,即承载能力极限状态和正常使用极限状态。在按承载能力极限状态验算地基承载力和岩土体稳定时,又有单一安全系数法和分项系数法。

对于地基承载力问题,单一安全系数法的一般表达式为:

$$p \leq p_u / K \tag{5}$$

p —基底压力(kPa);
 p_u —地基的极限承载力(kPa);
 K —安全系数。

在这一理论方法中,其安全程度用单一的安全系数 K 表示,但这一安全系数反映多大的失事概率是不得而知的。

基于可靠度理论的分项系数设计方法也是一种极限状态设计方法。由于工程中的荷载和抗力都是随机变量,有多少可能使荷载大于抗力而失事是一个随机事件,决定于两个随机变量的均值(或众值、中位值)及其分布。图3中 $f(R)$ 与 $f(S)$ 分别为正态分布的抗力和荷载的概率密度函数,对于所示的两种不同分布,由于它们的承载力均值相同,抗力的均值也相同,所以二者之安全系数是相同的,但第二种情况失事的概率高,如图中阴影部分所表示。

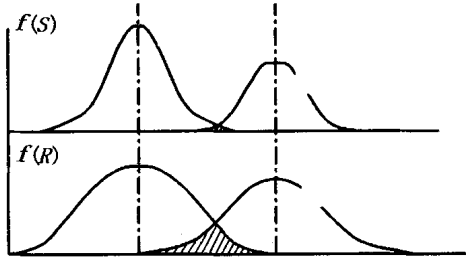


图3 两种荷载效应 S 与抗力 R 的概率分布情况

其失事概率可用可靠度指标 β 表示。例如, $\beta = 3.0$ 则表示失效概率为万分之9.4。相应的设计公式可简单表示为:

$$R_k / R = S_k \tag{2}$$

R_k —抗力的标准值;
 S_k —荷载效应的标准值;
 R —抗力的分项系数;
 S —荷载效应的分项系数。

S_k 表示其使用的是荷载效应的基本组合。这种设计理论能够明确地给出安全与失效的概率,然后通过经济、社会、技术的风险分析,给出最合理的设计值。所以是一种最科学合理的设计理论与方法,为国内外工程设计所广泛采用。我国颁布的《建

筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068 - 2001)规定,对于各种结构设计应遵循该理论方法。

在岩土工程中,天然形成和分布的岩土材料的性质是十分复杂和不易确定的,而且工程问题的时空条件变异极大,加之目前积累的统计资料不充分,在岩土工程中推行可靠度设计将很困难。如果将3种设计理论方法比为吃饭,则容许承载力法类似于中国人吃饭,感觉“吃饱了”就可以。而单一安全系数法则类似于在美国常常举行的“吃汉堡包大赛”之类的活动,吃到极限,平时吃饭则除一个安全系数。而可靠度设计则类似于德国和北欧一些国家的吃饭,在厨房中除了锅碗瓢盆外,还必备一台天平,具体分析每种食物材料的卡路里和维生素等,科学配料用餐。

《建筑地基基础设计规范》的设计理论方法

我国颁布的《建筑地基基础设计规范》(GB50007 - 2002)(以下简称《地基规范》),针对不同问题将3种设计方法混合使用。

(1)其荷载与荷载效应是按《建筑结构荷载规范》(GB50009 - 2001)确定的,因而是更接近于可靠度设计原则。但其地基承载力确定基本上是容许承载力方法和安全系数法(指荷载试验中,用极限承载力除以安全系数)。但在用公式计算容许承载力时,对于强度指标 c_k 和 γ_k 的确定又采用了概率论和数理统计的概念和方法。

(2)在地基及其他有关稳定问题的验算中采用的是单一安全系数法。由于它无法与分项系数联系起来,所以尽管采用了承载能力极限状态的荷载效应的基本组合,但各种分项系数均采用1.0,从而与单一安全系数理论方法一致。

(3)由于基础的结构设计与建筑物上部结构设计是一体的,所以采用基于可靠度理论基础上的分项系数法进行诸如抗弯、抗剪、抗冲切等验算。

不同规范标准间设计理论方法的不一致性

由于《地基规范》中涵盖了天然地基、桩基础、山区地基、基坑和软弱地基等内容,这样就出现了与其他相关的国标和行标在设计理论方法方面不一致的尴尬局面。比如《建筑桩基技术规范》(JGJ94 - 94)(以下简称《桩基规范》)是完全采用可靠度的分项系数方法设计计算的,使两个规范中无论是荷载,还是抗力都出现不一致。而在具体设计计算中《地基规范》的内容又不能够指导进行完整的桩基础设计,这就使设计人员无所适从。例如,按《桩基规范》对桩基础的承台承载力计算及对软弱下卧层的验算时,

需要确定承台底部的地基土和软弱下卧层地基土的极限承载力,而《地基规范》只能给出这些地基土承载力的“特征值”。怎么确定它们的极限承载力标准值(尤其是深层土情况)是没有办法的。

又如《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120 - 99)中有关挡土结构物的稳定验算也基本上采用分项系数法。而《地基规范》中附录 T、U、V、W 分别对基坑的抗倾覆稳定、抗坑底隆起稳定、抗渗流稳定等进行了用单一安全系数法的计算规定,这也是无法协调的问题。《边坡规范》中在锚喷支护稳定计算中采用分项系数法,重力式挡土墙支护稳定计算中采用分项系数法,重力式挡土墙及边坡稳定采用单一安全系数法;同样是基坑规范的《建筑基坑工程技术规范》(YB9258 - 97),则对于上述稳定问题均采用分项系数法。这种在不同规范中设计理论方法的不一

致性比比皆是。不同计算方法采用的荷载和抗力不同,计算得到的安全度也无法比较。这也是当前困扰我国岩土工程技术人员的一个重大的问题。

结语

(1)在承载力等问题的设计方法中,存在容许承载力方法、单一安全系数法和分项系数法,其中基于可靠度理论的分析系数法是最合理和概念最明确的,但由于岩土工程的特殊性,这一方法目前尚无法在岩土工程规范中得到全面的应用。

(2)在《地基规范》中,3种设计理论方法在不同的问题中都被使用。这就使在不同问题中,荷载计算不一致;与其他规范标准不一致。

(3)各种规范标准的设计理论方法极不统一,不利于它们的衔接,使人们无法比较它们的计算分析结果。

编者:《岩土工程丛书》已出版,我们将总序转载于此,以便读者对此书有一个初步的了解。

《岩土工程丛书》总序

2002年3月23日,对于《岩土工程丛书》而言,将永远是一个值得纪念的日子,因为那一天,我们孕育了组织出版这部《丛书》的构想。

经过两岸三地部分专家学者数度聚首商讨,又以函电广泛征求各方意见,反响热烈而令人鼓舞。大家的观点几近一致,都认为面对我国岩土工程的空前大发展,认真总结半个多世纪,特别是近20余年以来弥足珍贵的工程经验、科研成果和事故教训,实属当务之急。这不仅对于指导当前持续高速发展的工程建设,以确保设计施工质量和工程安全大有裨益,而且对于培养专业人材、提升行业素质、促进学科进步,乃至加强对外交流,都极具重大意义。这应是出版此《丛书》的宗旨和指导思想。

根据各方推举,本《丛书》的编委会承蒙深孚众望的国内20余所高等院校、科研院所和10余家有关企事业单位(含出版社)的41位专家组成,其中含内地36位,香港3位,台湾2位。其名单列于卷首。在各位编委和同行专家的热情关怀和出版社领导的大力支持下,《丛书》即将陆续问世,我们的内心能不激动?

由于岩土工程源远流长,而又与时俱进,日新月异,本《丛书》的素材将取之不尽,因此它将是开放性系列性的,成熟一本,出版一本。其稿源将包括编委本人报送的,编委推荐的,以及编委会特约或组织撰写的各类作品;同时,我们热诚欢迎海内外各地同仁多赐佳作,共襄此举。

本《丛书》将分为专题著述、工程案例和手册指南三大类,其选题将围绕岩土工程发展中的热点、难点、技术问题、理论问题和各项重大工程,研究确定。著述内容力求精炼浓缩、深入浅出,实用性与学术性相结合,文字可读性强;工程案例将侧重于有影响和代表性的项目,可一例一书,也可同类工程数例并写于一书;要使之从实践中来,提到理性高度,并能为后来的工程所用;手册指南将不重复已有的出版物而推陈出新。

本《丛书》稿件的审查,一般可由作者在征求编委会的意见后,自行约请专家审查并提出评语;必要时也可商请编委会指定专家负责。书稿经审定后,将由作者与出版社直接签订合同,履行各自的权利与义务。文责由作者自负。

本《丛书》的读者对象主要是从事岩土工程勘察、设计、施工、检测、监理等方面实务的专业人士,也可供高等院校、科研院所相关专业的教师、研究人员、研究生和大学高年级学生等参考。

衷心希望本《丛书》能成为岩土工程界广大同仁的良师益友!