

软基边坡稳定分析讨论

宓荣三

(石家庄铁路职业技术学院 河北石家庄 050041)

摘要: 依据三本典型的规范, 对边坡稳定分析中容易混淆的几个问题进行讨论, 为规范在工程设计中的应用提供了一定的参考价值。

关键词: 边坡 极限平衡法 总应力法 有效应力法 抗剪强度

中图分类号: TU973⁺.25

文献标识码: B

文章编号: 1671-8607(2004)02-0021-05

1 前言

边坡就是具有斜坡面的土体, 在软土地基中进行开挖(如: 基坑开挖, 渠道及新开河形成的边坡)或在软基上堆筑土坡(如: 堆筑土堤、路堤、修建码头或防洪墙), 以及天然形成的边坡等, 在土体自重及外荷载的作用下, 地基中土体的应力状态会发生变化, 边坡可能丧失其原有稳定性。在一定范围内一部分土体整体沿着某一个面(在软基中一般为曲面或平面)产生向下或向外移动, 这种现象称为滑坡。滑坡是最常见的工程问题之一。

引起滑坡的根本原因在于土体内部某个面上的剪应力达到或超过了它的抗剪强度, 稳定平衡遭到破坏, 为了确定边坡是否安全, 需对其整体稳定性进行计算分析, 一般评价软土地基上边坡稳定性的方法有许多种类, 如: 有限元数值解法、滑移场法、塑性极限分析法、分解法和静力极限平衡法等, 其中在工程设计实践中最广泛应用的是静力极限平衡法, 即将边坡稳定性分析简化为平面应变问题, 而忽略滑动土体两端阻力的影响, 并假定土体中潜在一个滑动面以及符合 Mohr-Coulomb 破坏准则, 将滑动面上平均抗剪强度与平均剪应力之比定义为该滑动面的安全系数。在实际设计计算中, 软土地基边坡的稳定性通常采用圆弧滑动法进行分析, 如: 瑞典条分法, 毕肖普法, 有效固结应力法等, 由于各种边坡形成的原因不同, 因此, 各类边坡型式的土体应力应变形态是不同的, 在计算分析中, 也应根据不同的情况选取合理的土性参数, 使计算结果尽可能的符合实际受力情况。

2 问题的讨论

对于具体的边坡工程计算分析时, 许多设计人员往往对边坡型式不加区分, 如: 堆载与卸载不分, 总应力法与有效应力法不分, 以不变应万变, 加上地质资料, 往往不能满足进行各种情况分析的需要。这样, 由于没有正确的选取边坡计算参数, 不同的设计人员计算出来的安全系数值千差万别, 要么会造成工程费用的增加, 要么会使边坡工程处于不稳定的状态。因此, 针对各规范仍有必要对其中的概念作进一步的明确和讨论。

《堤防工程设计规范》(GB5028—98, 注: 以下简称堤防规范)中提出, 土堤边坡的抗滑稳定分

收稿日期: 2003-10-19

作者简介: 宓荣三(1964-), 男, 汉, 山东省东平县人, 硕士研究生, 副教授, 研究方向土木工程。

析可分为正常情况和非正常情况。堤坡及防洪墙的整体抗滑稳定计算可采用瑞典圆弧滑动法(总应力法和有效应力法)。堤基或防洪墙下土基存在较薄软弱土层时,宜采用改良圆弧法。并提出,稳定计算采用的土体抗剪强度指标和计算方法可根据各种运用情况选用,见表 1。

表 1 各种计算情况采用的抗剪强度及计算方法(堤防规范)

工作状态	计算方法	使用仪器	试验方法	强度指标
施工期	总应力法	直剪仪 三轴仪	快剪 不排水剪	C_{μ}, φ_{μ}
稳定渗流期	有效应力法	直剪仪 三轴仪	慢剪 固结排水剪	C', φ'
水位降落期	总应力法	直剪仪 三轴仪	固结快剪 固结不排水剪	$C_{c\mu}, \varphi_{c\mu}$

堤防规范中提出,稳定渗流期采用瑞典圆弧滑动法(有效应力法)进行计算,也即考虑了地下水渗流作用对边坡稳定性的影响。在稳定渗流情况下,一般边坡土体均已固结,由附加应力引起的超静孔隙应力均已消散,土条底部的孔隙应力也就是渗透压力。但如果边坡中存在比较高的孔隙应力时,采用规范推荐的计算方法会产生一定的误差。建议采用简化毕肖普法(有效应力法)或其他方法复算,确定最后的安全系数。

《港口工程地基规范》(JTJ250—98,注:以下简称港口规范)中提出,土坡的稳定计算,可按平面问题考虑,宜采用圆弧滑动面计算,有软土夹层等情况时,尚宜采用非圆弧滑动面计算,计算方法可采用总应力法或有效应力法。各设计状况,稳定计算采用的强度指标、计算方法及各种计算情况按表 2 选用。

表 2 各种计算情况采用的抗剪强度及计算方法(港口规范)

设计状况	强度指标及用条件强度指标	适用条件	计算方法	说 明
持久状况	固结快剪(直剪)	宜采用	简化毕肖普法	超载引起的抗滑力矩(抗力)可全部或部分采用,视土体在超载作用下的固结程度而定;超载引起的滑动力矩应全部计入
	十字板剪或无侧限抗压强度指标		瑞典法	
	有效剪	有条件	$\varphi_{\mu} = 0$	需考虑因土体固结引起的强度增长
	三轴不排水剪	可采用	有效应力法	
短暂状况	十字板剪或无侧限抗压强度指标	宜采用	$\varphi_{\mu} = 0$	孔隙水压力采用与计算情况相应数值 需考虑因土体固结引起的强度增长
			$\varphi_{\mu} = 0$	
	有效剪	有条件采用	有效应力法	
	三轴不排水剪		$\varphi_{\mu} = 0$	
	快剪(直剪)	有经验时采用	瑞典法	孔隙水压力采用与计算情况相应数值

从表 2 中可看出,对于持久状况,规范推荐应用固结快剪指标,并考虑土条间作用力,计算边坡的稳定性,也即采用总应力法。土体的抗剪强度指标采用总应力指标,同时又考虑土条间的作用力和孔隙水压力的作用,这在理论上有一定的矛盾,但从大量的工程计算经验,以及可靠度的计算分析,该计算方法具有较好的应用价值。

港口规范中还指出,不推荐采用直剪快剪指标计算边坡稳定,这主要考虑到直剪快剪试验不能控制排水条件,土性强度指标试验结果离散性较大,这一点在工程界已达成共识,设计人员在计算边坡稳定时需引起高度的重视,只有在足够的经验积累条件下方可采用。

《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》(JTJ017—96)中提出地基、路堤整体抗剪稳定验算应采用圆弧条分法,宜用总应力法或有效固结应力法,有条件时可用有效应力法计算稳定安全系数,稳定计算采用的强度指标、计算方法及各种计算情况可按表 3 选用。

表 3 各种计算情况采用的抗剪强度及计算方法(公路规范)

时间	荷载组合	施工速度与固结状况	计算方法	采用抗剪强度指标
近期施工期	静载与活载	快速施工,不考虑固结作用	瑞典法	不排水剪或快剪修正后的十字板剪或无侧限抗压强度的一半
			$\varphi_{\mu} = 0$	快剪或固结快剪
		考虑施工期的固结作用	有效固结应力法	有效剪切指标
			准毕肖普法	修正后的十字板剪或无侧限抗压强度的一半,并且使用强度增长系数
远期运营期	静载与水平地震力	考虑施工的固结作用	改进 $\varphi_{\mu} = 0$ 法	修正后的十字板剪或无侧限抗压强度的一半,并且使用强度增长系数
			有效固结应力法	快剪或固结快剪
			准毕肖普法	有效剪切指标

公路规范中在考虑地基土体施工期的固结作用时,推荐了交通部重庆公路科研所提出的“准毕肖普法”,该法根据地下水位及在路堤、堤坝自重作用下地基固结过程中的固结度求算孔隙压力,避免了毕肖普法的迭代试算。

以上三种规范中所提到的正常情况与非正常情况(堤防规范)、持久状况和短暂状况(港口规范)以及近期施工期和远期运营期(公路规范),三者的基本含义是一致,只是不同行业对同一概念的不同描述。三本规范对于稳定计算最大的差别在于以下几点:

(1) 对于施工期(短暂状况),堤防规范与公路规范建议采用总应力法,强度指标采用直剪快剪指标,而港口规范明确指出不宜采用直剪快剪指标,只建议在有经验时应用。从理论角度分析,直剪快剪指标的确是一种比较落后的试验方法,指标具有很大的不确定性和离散性,但从我国国情出发,经过许多年的总结,各地对直剪快剪指标的试验都掌握了一套成熟的经验,以及采用直剪快剪指标计算边坡稳定性的工程计算经验,因此,大多数规范仍推荐此方法,计算分析结构具有一定的可靠度。

(2) 对于正常情况(持久状况),堤防规范推荐了有效应力法,土体抗剪强度采用有效应力指标;港口规范考虑到测定土体孔隙水压力有一定的难度,根据应用经验和可靠度分析,推荐采用固结快剪指标,并考虑土条间作用力的简化毕肖普法;公路规范则根据自身行业的特点,加上路堤多为堆载模式,推荐采用有效固结应力法,土体抗剪强度指标采用快剪与固结快剪。

(3) 三本规范相比,港口规范采用了概率极限状态设计原则,实现了向可靠度理论设计方法的转轨以及与国际标准的接轨。

3 计算工况及土体强度指标选用的分析

边坡的计算模式以及选用的土体抗剪强度指标,对边坡稳定计算分析是至关重要的,无论何种

情况,对于圆弧滑动条分法而言,采用有效应力抗剪强度指标以及考虑土条间的作用力,同时能准确获得土体静孔隙水压力计算边坡的稳定安全性是较为合理的。

根据对几种规范有关边坡稳定计算的分析理解可知,各种边坡型式的计算工况条件以及各种工况下的应力路径是不尽相同的,计算中所选用的土性指标也是不同的,而应依据具体情况,具体分析。下面就各种边坡型式作一分析讨论。

(1) 堆载(如:填筑路堤、堤坝等,见图 1(a))在软土地基上堆载,由于粘性土的渗透性较低,可以认为在施工过程中是不排水的,由上部荷载引起的超静孔隙水压力无法消散,在工程完建前,静孔隙水压力将随填筑高度的增加而增大,工程完建时,地基土的抗剪强度一直保持与施工初期时不排水强度相同,此工况下,计算可采用总应力法(水土合算),土性指标可采用无侧限抗压强度指标或快剪指标(三轴可采用不固结不排水剪)。

完建以后,总应力保持不变,而超静孔隙水压力随着地基土的固结而逐渐消散,直至为零。土体的固结不仅使孔隙比变小,也使有效压力与抗剪强度增大,因此,该工况下,作为长期稳定性,计算宜采用有效应力法(水土分算)和有效强度指标。

从以上分析可知,堆载情况下,土坡稳定性安全系数在刚完建时是最小的,以后随着时间的增加而增大。根据堤防规范和港口规范,对于堤坝、防洪墙以及码头、岸坡,还需校核稳定渗流和水位骤降对边坡稳定的影响。

(2) 卸载(如:防洪墙、码头和基坑等,见图 1(b))在软土地基上开挖基坑,由于开挖使边坡滑移线以上的平均上覆荷重减小,引起静孔隙水压力的下降,出现负的孔隙水压力。在开挖过程中小主应力 σ_3 要比大主应力 σ_1 下降得更快,即 $(\Delta\sigma - \Delta\sigma_3)$ 为负值,所以在大多数情况下 Δu 为负。

边坡开挖完成后,负孔隙水压力逐渐消散,伴随而来的是粘性土的膨胀和抗剪强度值的下降,直至超静孔隙水压力等于零。边坡开挖完成时和长期稳定性的分析仍可分别采用不排水抗剪强度和排水抗剪强度来计算,但与堆载不同,最不利工况是边坡的长期稳定性,而不是刚完建时。如果开挖边坡稳定渗流情况要求的安全系数与水位骤降的安全系数相同,则仅需考虑水位骤降的工况,因为它比稳定渗流更危险。

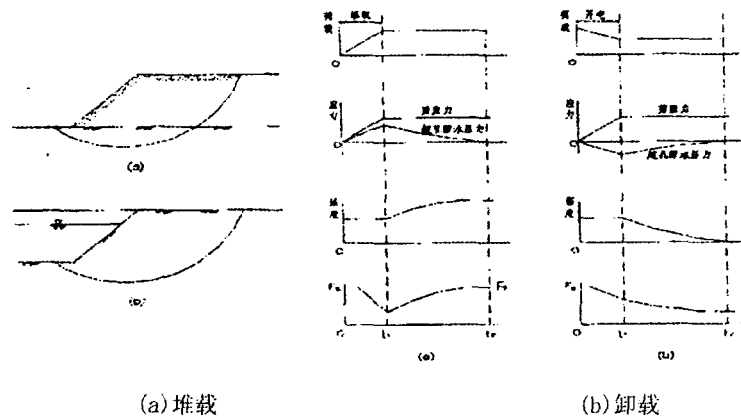


图 1 堆载与卸载边坡的稳定性分析

边坡稳定分析成果的可靠性,很大程度上取决于填土和地基上抗剪强度的正确确定。在测定土的强度时,应使试验的模拟条件尽量符合土体在现场的实际受力和排水条件,使试验指标具有一定的代表性。对于在软基上修筑的堤坝、路堤、软基强度通常以十字板剪切试验求出的原位不排水强度最为适宜;室内试验则以三轴不固结不排水试验作出的结果较为正确;直剪快剪试验结果因不能很好的控制排水条件,不甚可靠。对于堤坝或路堤填土的指标,可参照《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》(JTJ017—96)建议的,对细粒土取填料土样做击实试验,击实后的土料饱水三天后,

再进行直接快剪试验,从而分别建立压密度与 C 、 φ 、 γ 的相关曲线。

4 结语

通过以上分析讨论可知,在计算边坡稳定性时,由于土体强度指标与土体性质,土的历史、成因类型、地质条件、前期固结压力、固结条件、填挖方量大小、施工速率等多种因素有关,因而确定土体在计算情况下的实际强度值是一个复杂的问题,但为了工程需要,选取指标时,应从尽可能接近工程的实际情况受力要求出发,采用一些简单和近似的方法。

现有的总应力和有效应力强度理论都无法考虑应力历史的影响,因而土体的抗剪强度指标是不唯一的,开挖卸荷和堆载加荷土层处于不同的应力历史状态。如:用软基原状粘性土上进行固结不排水的压缩试验和卸荷试验,试验结果表明,两种试验方法所得的应力应变关系曲线不同,测得的抗剪强度指标也不同,因此对于较为重要的工程应模拟边坡堆载和卸载应力状态的试验方法,以研究不同的应力状态对边坡稳定性的影响。

另一个需值得总结的问题是渗液对边坡稳定性的影响,当边坡内部有地下水渗流作用时,滑动土体中存在着渗透压力,必须考虑它对边坡稳定性的影响。在考虑渗流作用时,通常都认为土体本身已在自重作用下完全固结稳定,滑动面上的超静孔隙水应力全部是由渗流引起的,因此由稳定渗流引起的土坡稳定问题应属于有效应力分析范畴,而不要与总应力分析混淆起来。

虽然极限平衡法(圆弧滑动法)计算边坡的稳定安全性不一定是最合理和最优的方法,但由于其概念简单明确,具有较好的工程实用价值,所以仍是迄今为止应用最多的计算方法,也是国家规范、行业规范、地方规范最常推荐的计算方法,但随着我国工程技术的发展,理论与实际将更加密切地联系在一起,理论计算趋于更精确化,更趋于对实际情况的真实模拟。

目前,采用的十字板剪、直剪固结快剪都不能模拟实际荷载作用下边坡和地基千变万化的固结条件,理论上讲只有用有效强度指标,并能获得较准确的孔隙水压力分布和规律才能解决。这也就需要采用先进的勘察手段、试验技术和设计方法,在广度和深度上都有比较大的发展,形成一套完善的体系。

参考文献:

- [1]冯国冻等.土力学及岩石力学[M].北京:水利出版社,1982
- [2]华东水利学院土力学教研室主编.土工原理与计算.水利水电出版社,1982
- [3]华东水利学院土力学教研室主编.土工原理与计算.水利水电出版社,1984
- [4]高大钊.岩土工程的回顾与前瞻.北京:人民交通出版社,2001
- [5]中华人民共和国国家标准.堤防工程设计规范(GB5028 —98).1998
- [6]中华人民共和国行业标准.港口工程地基规范(JTJ250— 98).1998
- [7]中华人民共和国行业标准.公路软土地基路堤设计与施工技术规范(JTJ017—96)

(责任编辑 田明山)

Analysis on Stability of Slope in Soft Soil

Mi Rongsan

(Shijiazhuang Institute of Railway Technology Hebei Shijiazhuang 050041 China)

Abstract: The paper discusses and analyzes some confused problems about stability of slope according to three typical codes, and it provides reference of the code appliance in the project designing.

Key words: slope method of ultimate equilibrium method of gross stress method of effectiveness stress shear rigidity