



郑颖人,浙江镇海人,岩土工程专家,中国工程院院士。现为中国人民解放军后勤工程学院军事建筑工程系技术教授,重庆市地质灾害防治工程技术研究中心名誉主任,中国岩石力学与工程学会、中国土木工程学会隧道与地下工程分会及防护工程分会等顾问,中国力学学会岩土力学专业委员会副主任等。长期从事军事地下工程、边坡工程、地下工程围岩力学、岩土塑性力学、岩土极限分析方法、区域性土等理论研究与应用研究。获国家科技进步奖二等奖、三等奖各1项,全国科学大会奖、国土资源部全国地质灾害防治科技进步特别贡献奖各1项。

卷首语

Foreword

科技导报 2011,29(34)

岩土材料的屈服条件与破坏条件

1 屈服与破坏的区别

固体材料受力以后,从弹性到塑性直至发生破坏,在这个过程中材料从弹性进入塑性称为屈服,屈服是一个过程,初始屈服材料还处于弹性状态,是弹性极限点;经过塑性发展达到破坏,破坏是塑性极限点。破坏也是一个渐进过程,首先在材料内一些点达到破坏,然后破坏点逐渐增多直至贯通,发展成破坏面形成整体破坏。塑性力学中规定材料进入无限塑性状态,应力不变,应变无限增大时称为破坏,因此理想塑性用应力表述的屈服条件就是破坏条件,它们都与历史参量无关。但是初始屈服与破坏时的应变状态是不同的,前者表示材料从弹性刚进入屈服,后者表示材料从塑性进入破坏,表明屈服条件不等同破坏条件。

2 岩土材料的屈服条件

材料的屈服条件已经十分成熟,对金属材料有 Tresca 条件与 Mises 条件,岩土是摩擦类材料,有 Mohr-Coulomb 条件。由于 Mohr-Coulomb 条件没有考虑中间主应力影响,从而出现了由真三轴试验获得的三剪应力屈服条件,如 Matsuoka 的 SMP 条件、Lade 条件等。近年高红、郑颖人考虑了摩擦能,并依据岩土能量理论和三个剪应力的矢量和,两种方法推导结果相同,导出了岩土三剪能量条件,得到的屈服面与真三轴试验的屈服面一致。在子午平面上为直线,偏平面上为曲边三角形。平面状态下它比 Mohr-Coulomb 条件大 1.157 倍。这是岩土与金属材料的统一屈服条件,当不考虑内摩擦角时即为 Mises 条件,又不考虑中主应力即为 Tresca 条件;当不考虑中主应力时,即为 Mohr-Coulomb 条件,又假设 Lode 角为常数时,即为 Drucker-Prager 条件。

3 岩土的点破坏条件

近年来人们重视材料破坏条件的研究,但公认的成果很少。作者认为材料破坏可分为点破坏与整体破坏,点破坏是材料中局部破坏,材料中出现裂隙;整体破坏是材料发生解体分离。然而至今还没有成熟的岩土点破坏条件,作者曾提出岩土中某点的最大主剪应变达到了极限剪应变容许值作为岩土点破坏条件。按照英国著名土力学家 Roscoe 的观点,临界状态就是破坏状态,而且与路径无关,因而可把临界状态的起始点的应变值作为极限剪应变容许值,可由试验求得。同时导出了 Mohr-Coulomb 下最大主剪应变公式。但目前只做了理论推导工作,还需进一步研究和验证。

4 岩土的整体破坏条件

材料的整体破坏是岩土工程设计的主要依据,岩土的点破坏条件不能用应力来表述,但如果考虑岩土的整体破坏,那么还是可以采用应力表述整体破坏条件,因为极限分析力学方法实质上就是整体破坏条件。传统的极限分析方法,需要事先知道破坏面,即诸多屈服面中点破坏最先贯通整体的滑动面,然后应用极限分析就可获得极限荷载或稳定安全系数。这种方法只需平衡方程与屈服方程,而与本构方程无关,尽管力学上不够严格,但它有百年的工程应用实践,室内试验的验证,尤其是近年有限元强度折减法的出现,它与传统方法可以获得同样的计算结果,进一步表明极限分析方法的可行性,为此提出将传统极限分析理论提升为整体破坏条件。岩土的整体破坏条件可描述为,在达到极限状态的情况下滑面(破坏面)上的力满足下述条件:当 F (外荷产生的滑面上的滑动力)等于 Q (强度产生的和外荷产生的滑面上的抗滑力)或 W (外力在岩土体内所做的功率)等于 D (沿间断面的内部能量耗散率)时岩土整体破坏。极限分析法虽然简单,但要先确定破坏面,求解不易,适用范围十分有限。20 世纪中期,随着数值方法兴起,Zienkiewicz 提出了有限元强度折减法与超载法等,解决了求解岩土极限荷载或稳定安全系数等问题,作者将其统称为数值(可以是有限元法、有限差分法、离散元法等)极限分析法,其本质是用数值解方法进行极限分析。这种方法通过不断降低岩土强度,或者增大荷载,达到破坏时自动形成滑面,由此获得极限荷载或稳定安全系数。因而不必事先知道滑面,也不需要滑面上的滑动力与抗滑力,可通过计算机直接获得计算结果,还可确定破坏面的位置与形状,只是目前通用软件上还没有这一功能。数值极限分析方法极大地扩大了极限分析的功能与适用范围。它给予了岩土极限分析第 2 个春天。然而数值极限分析法需要找出计算中岩土体发生破坏的有效判据,目前的判据虽然源于力学分析,但没有严格证明,许多复杂情况也不能有效应用,因而有待深入研究和发。可以预见,它将为岩土工程的发展作出巨大贡献,也可为其他材料工程作为借鉴。

郑颖人

(中国人民解放军后勤工程学院,重庆 400016)