边坡稳定及加固分析的 FLAC 强度折减法

程海英　周　敏　王忠福　张旭柱

(安徽省水利科学研究院　蚌埠　233000)

【摘　要】在简要介绍显示拉格朗日差分法的基础上,通过逐渐折减土体的抗剪强度,模拟土质边坡达到屈服极限后的变形破坏行为。与简化 Bishop 法及 Morgenstern-Price 法相比较,表明此方法应用于边坡稳定分析问题是可行的。同时对影响安全系数的岩土参数进行了敏感性分析。

【关键词】折减系数　边坡稳定性　FLAC

1　引言

对边坡稳定性的研究是土力学重要的组成部分。边坡稳定性分析的计算方法是边坡工程设计以及治理的主要内容,也是边坡应用的理论基础。现有的分析方法归纳起来主要有极限平衡法、有限元法和极限分析法等。在这些方法中极限平衡法已经发展得相对成熟,目前大多数规范均规定采用极限平衡法进行边坡稳定分析。随着计算机技术的发展和数值计算技术的提高,强度折减分析方法正成为

表 1　内力法求得较大拉应力位置处的内力值

点的部位	截面高度(m)	内力和应力分量	完建工况	正常运行工况	最高扬程工况	设计洪水工况	校核洪水工况	底板检修工况	事故停机工况	备　注
1号点	0.2	N(kN)	66.1	67.8	67.9	68.7	67.9	56.5	67.7	面的指向为 x 向
		M(kN·m)	11.4	17.2	17.2	13.7	17.2	13.7	17.2	
		σ(kPa)	1378.0	1757.0	1758.0	1462.0	1758.0	1412.0	1756.0	
2号点	0.3	N(kN)	-255.7	-256.0	-256.0	-256.3	-256.2	-256.4	-255.7	面的指向为 y 向
		M(kN·m)	-28.3	-28.4	-28.4	-30.8	-31.7	-28.5	-29.3	
		σ(kPa)	1092.0	1084.0	1084.0	1070.0	1067.0	1083.0	1089.0	
3号点	1.22	N(kN)	-765.1	-961.5	-959.0	-1210.2	-1247.2	-1039.2	-964.3	面的指向为 x 向
		M(kN·m)	231.3	258.3	257.2	305.5	313.0	272.2	259.3	
		σ(kPa)	1081.0	1324.0	1270.0	2031.0	2091.0	1665.0	1275.0	
4号点	1.5	N(kN)	-444.5	-393.7	405.5	-725.0	-817.0	-489.9	-348.4	面的指向为 x 向
		M(kN·m)	303.5	359.2	360.2	316.5	327.7	305.3	440.8	
		σ(kPa)	810.1	1004.0	1005.0	931.6	963.4	844.1	1297.0	
5号点	0.892	N(kN)	74.7	59.4	56.4	38.2	36.1	53.7	27.9	面的指向为 y 向
		M(kN·m)	26.9	84.7	89.0	151.8	159.7	103.4	149.5	
		σ(kPa)	208.9	754.3	781.6	1232.0	1290.0	889.5	1186.0	
		N(kN)	-472.4	-626.1	-625.1	-804.6	-833.5	-672.9	-637.3	面的指向为 x 向
		M(kN·m)	27.3	125.5	131.8	234.3	247.1	159.3	228.3	
		σ(kPa)	-188.2	644.6	693.1	1374.0	1456.0	873.3	1419.0	

说明:1、上述内力值为单位宽度上的内力值。

2、轴力值正号表示受拉,负号受压,弯距值正号表示相对较小坐标处受拉,负号受压。

3、当点的某一方向上没有或拉应力值较小时,则该方向上内力值在表中没有列出。

校核洪水工况时空腔上部的顶部墙面受到较大的水压力及闸门重,所以在墙面的中心部分会产生较大的弯矩,从而产生较大的拉应力。

4　结论

台儿庄泵站的内力分析采用有限元内力法,提出了根据单元信息由计算机生成有限元内力法所需截面信息的方法,使得用有限元内力法求解复杂结构的内力更加方便快捷。台儿庄泵站有限元结果分析表明:7 种工况的静力荷载作用下,大部分区域处于受压状态,只有少数局部区域处有较高水平的拉应力,对局部应力集中部位适当加强配筋,可以满足工程设计对强度的要求,台儿庄泵站结构设计总体上是合理的■

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

边坡稳定分析研究的新趋势。对于复杂边坡的稳定分析利用强度折减有限差分法,能考虑岩土体的非线性应力和应变关系,求得边坡内部每一计算点的应力应变以及变形,同时可以对连续介质进行大变形分析,这样能比较真实地反映应力应变情况。

对岩土体材料的抗剪强度折减直至边坡达到临界破坏状态,得到安全系数。这样的做法与实际的边坡失稳过程较吻合。这样不仅可以了解土工结构物随抗剪强度恶化而呈现出的渐进失稳过程,还可以得到极限状态下边坡的失效形式。

2 计算原理

2.1 显式拉格朗日有限差分法(FLAC)

连续介质快速拉各朗日法是一种利用拖带坐标系分析大变形问题的数值方法,并运用差分格式按时步积分求解。随着结构形状的不断变化,不断更新坐标,允许介质有较大的变形。模型经过网格划分,物理网格映射成数学网格,数学网格上的某个结点就与物理网格上相应的结点坐标相对应。对于某一个结点而言,在每一时刻它受到来自其周围区域的合力的影响。如果合力不等于零,结点就具有了失稳力,就要产生运动。假定结点上集中有临近该结点的单元质量,于是,在失稳力的作用下,根据牛顿定律结点就要产生加速度,进而可以在一个时步中求得速度和位移的增量。对于每一个区域而言,可以根据其周围结点的运动速度求得它的应变率,然后根据材料的本构关系求得应力的增量。由应力增量求出 t和 t+△t时刻各个结点的不平衡力和各个结点在 t+△t时刻的加速度。对加速度进行积分,即可得结点的新的位移值,由此可以求得个结点新的坐标值。同时,由于物体的变形,单元要发生局部的平均整旋,只要计算相应的应力改正值,最后通过应力叠加就可得到新的应力值。计算到此为一个循环,然后按时步进行下一轮的计算,如此一直进行直到问题收敛。其求解过程如图 1所示。

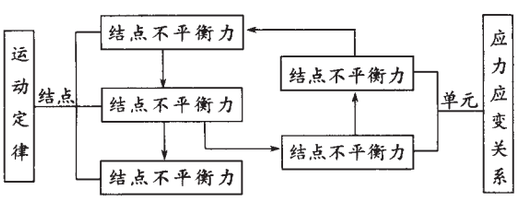

图 1 求解过程示意图

2.2 抗剪强度折减

抗剪强度折减就是将土体的抗剪强度指标 c和 φ 去除一个折减系数 FS的形式进行折减,用折减后的虚拟抗剪强度指标来代替原来的抗剪强度指标。随着抗剪强度折减系数的增大,土坡达到破坏的临界状态,这时的折减系数被定义为土坡稳定的安全系数。它是土坡的实际抗剪强度与临界破坏时折减后抗剪强度的比值,具有强度储备系数的物理意义。

2.3 模型中的屈服函数及塑性势函数

莫尔-库仑屈服准则:

$\tau = \sigma_n \tan\varphi + c$

式中的 c、φ、σ_n 分别为粘聚力、摩擦角、剪切面上的法向应力。转换成单元形式为:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = c\cos\varphi + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}\sin\varphi$$

$$F = \sigma_1 - \sigma_3 N_\varphi + 2c\sqrt{N_\varphi}$$

式中 $N_\varphi = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}$

塑性势函数取为:

$$Q = \sigma_1 - \sigma_3 N_\Psi$$

式中 $N_\Psi = \frac{1+\sin\Psi}{1-\sin\Psi}$,Ψ 为剪胀角。

当 φ=Ψ 时为关联流动法则,当 φ≠Ψ 时为非关联流动法则。

3 边坡失稳破坏判断的定义

用 FLAC 强度折减分析边坡的稳定性,有人认为边坡破坏的特征是某一幅值的广义剪应变从坡角到坡顶上下贯通,此前的折减系数即为边坡的安全系数。虽然这种定义物理意义明确,但是广义剪应变不仅含有塑性分量,而且也包括弹性分量,虽然广义剪应变大小能构在一定程度上反映土体的剪切破坏状态,但是并不能准确地描述土体塑性区的发生与发展过程。

土体的塑性破坏主要与塑性区出现及分布密切相关,而总等效塑性应变能够描述塑性区发展与破坏演化的过程。为了确定描述边坡破坏状态的客观标准,本文以某一幅值的总等效塑性应变区从坡脚到坡顶贯通为边坡整体失稳破坏的判据。

4 参数敏感性分析

在极限平衡法中,影响边坡安全系数的土体参数为重度、内摩擦角、粘聚力。在采用强度折减法分析边坡稳定性时,模型还需要 3个参数:弹性模量、泊松比、剪胀角。

其中重度、内摩擦角、粘聚力是用 FLAC 折减法分析边坡的重要参数,对安全系数影响很大,但是弹性模量、泊松比、剪胀角对安全系数的影响有多大还是未知的,有必要进行参数敏感分析。

正交试验是敏感性分析常用的方法,本文采用的是正交试验方法,首先根据问题挑选因素,对结果影响最为显著的参数作为分析对象。同时依据实际问题确定因素水平,完成参数敏感性分析位级表。然后根据确定的因素和水平选择合适的正交表安排不同因素的组合。有了正交表就可以进行计算试验分析,得到各次计算试验的结果,然后对结果进行极差分析。

5 工程实例

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

自密实混凝土应用发展与研究

解光胜

(安徽省水利水电职业技术学院　合肥　230601)

【摘　要】文章从自密实混凝土的特点、配合比、性能评定、应用领域及改良技术等方面,介绍了自密实混凝土应用的发展及研究情况。

【关键词】自密实混凝土　配合比　性能　应用　改良技术

1　自密实混凝土的特点

自密实混凝土与常规浇注、振捣的混凝土最大的区别在于,它的匀质性、填密性完全靠在自身的重量作用下,能够自流平填密。与常规振捣成型的混凝土相比,自密实混凝土主要有以下优点:使用自密实混凝土可以缩短施工工期,保证结构中混凝土的密实性,尤其在浇注振捣困难的狭

某基坑土质边坡,基底采用刚性边界,两侧为水平滑动支承,只允许竖向沉降,上部边界为自由边界,边坡模型见图2。各层土工参数见表1。

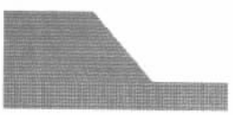

图2　边坡模型图

FLAC折减法采用世界著名的岩土工程软件FLAC3D,屈服准则采用莫尔库仑准则,流动法则采用关联流动法则极限平衡法计算采用GEO-SLOPE软件,计算结果见表2。

从表2可以看出FLAC折减法计算的安全系数比Morgenstern-price法高2.3%,比简化Bishop法高3.9%。由于简化Bishop计算的安全系数是偏于安全的,所以FLAC折减法计算的结果是合理的。

敏感性分析采用采用正交试验计算分析方法,选择弹性模量、泊松比、减胀角作为3个因素,各因素选择3个水平。构造正交试验表如表3所示。正交试验极差分析结果如表4所示。

极差分析结果显示在弹性模量、泊松比、和剪胀角三个参数中剪胀角极差最大,弹性模量和泊松比相对较小,说明在这三个参数中剪胀角对计算结果更为敏感。

6　结论

FLAC抗剪强度折减法在求解过程中采用动态松弛技术,不需要求解大型联立方程组,计算简单、方便,节省了大量的内存和计算时间;同极限平衡法相比不仅能满足力的平衡方程而且也满足土体的应力和应变的关系,计算所得的安全系数同简化Bishop法、Morgenstern-price法相差不大,可以应用于土坡的稳定性分析;采用关联法则计算所得的安全系数要比采用非关联法则计算所的安全系数要高,在实际工程中会高估土的承载能力;对弹性模量、泊松比、剪胀角三个参数进行了敏感性分析,分析结果表明剪胀角相对于其它个参数对安全系数的影响更为显著■

表1　土工参数表

C(kPa)	E(MPa)	φ(°)	γ	μ
40	20	20	20	0.3

表2　安全系数表

方法	安全系数
FLAC折减法	1.32
简化Bishop	1.27
Morgenstern-price	1.29

表3　正交实验表

实验号	剪胀角	弹性模量	泊松比
1	5	10	0.25
2	5	15	0.30
3	5	20	0.35
4	10	10	0.30
5	10	15	0.35
6	10	20	0.25
7	15	10	0.35
8	15	15	0.30
9	15	20	0.25

表4　极差结果分析表

	剪胀角	弹性模量	泊松比
Ⅰ	1.307	1.353	1.340
Ⅱ	1.348	1.319	1.342
Ⅲ	1.341	1.325	1.315
极差	0.041	0.034	0.027
次序	1	2	3

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net