

按直线滑动计算边坡稳定系数的合理粘聚力范围

朱维伟¹, 李嘉文²

(1. 昆明学院 城乡建设与工程管理学院, 云南 昆明 650214; 2. 云南省红河州地方公路管理处, 云南 蒙自 661100)

摘要: 为分析按直线滑动法计算边坡稳定系数的合理粘聚力范围, 对不同内摩擦角 ($20^{\circ} \sim 40^{\circ}$) 和粘聚力 (≤ 10 kPa) 的 60 个边坡算例, 按直线滑动法、简化 Bishop 法和强度折减有限元法计算其稳定系数。结果表明: 简化 Bishop 法与强度折减有限元法的计算值接近; 不考虑粘聚力的直线滑动法偏保守, 考虑粘聚力的直线滑动法偏危险; 以简化 Bishop 法为参照标准, 偏差不超过 20% 为可接受范围, 则只有在粘聚力不超过 1.0 ~ 1.5 kPa 时, 才能按直线滑动法计算边坡稳定系数。

关键词: 边坡稳定系数; 直线滑动法; 简化 Bishop 法; 粘聚力

中图分类号: U416.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5639(2014)06-0069-03

Reasonable Cohesion Range of Slope Stability Factor Calculating Using Linear Sliding Method

ZHU Wei-wei¹, LI Jia-wen²

(1. College of Urban and Rural Construction & Engineering Management, Kunming University, Yunnan Kunming 650214, China;

2. Yunnan Honghe Local Highway Administration, Yunnan Mengzi 661100, China)

Abstract: In order to analyze the reasonable cohesion range of slope stability factor calculated using linear sliding method, different internal friction angles ($20^{\circ} \sim 40^{\circ}$) and cohesion (≤ 10 kPa) of 60 slopes are calculated using linear sliding method, simplified Bishop method and strength reduction finite element method. The results show that, simplified Bishop method and the strength reduction finite element method are close to the stability factors; linear sliding method is conservative as cohesion is not considered, while linear sliding method is partial to risk as cohesion is considered. Only when the cohesion is not more than 1.0—1.5 kPa can use linear sliding method to calculate the stability factor if taking simplified Bishop method as the reference standard and no more than 20% deviation is acceptable.

Key words: slope stability factor; linear sliding method; simplified Bishop method; cohesion

计算边坡稳定系数的刚体极限平衡法由于原理简单, 计算公式容易为一线工程技术人员所掌握, 因而具有很大的实用价值。如果边坡的潜在滑动面为平面, 则按直线形滑动计算边坡稳定系数, 又将使计算公式进一步简化。由路基工程知识可知, 若边坡岩土体是无粘聚力的砂土或碎石, 则其潜在滑动面为平面。王肇慧等^[1]分析了几种常用的刚体极限平衡法计算边坡稳定系数的适用范围, 认为直线滑动法只适用于砂、砾石、片石、碎石等材料组成的边坡。然而, 当前在一些路基工程方面的教科书和专业书籍中, 出现了将按直线形滑动计算边坡稳定系数的方法进行泛化推广, 以及将其应用到所有砂类土边坡的趋势, 甚至有的书籍中出现了粘聚力为 12 kPa 的土质边坡也用直线滑动法计算稳定系数的例子。因此, 本文用直线滑动法、简化 Bishop 法和强度折减有限元法分析多个具有砂类土抗剪强度指标的算例边坡, 讨论直线滑动法适用的合理粘聚力范围, 旨在为广大工程技术人员提供科学参考。

1 砂类土的划分

根据《土的工程分类标准》^[2] 和《公路土工试验规程》^[3], 则砂类土的分类依据如表 1。由表 1 可见, 砂类土的细粒含量 (粒径 ≤ 0.075 mm 的土的质量与砂类土总质量之比, 含量指质量分数, 以下同) 变化范围较大, 因而砂类土粘聚力的范围变化也可能较大。

表 1 砂类土的分类

土类	粒组含量	土类名称
砂	细粒含量 $< 5\%$	砂 (分级配良好与不良两种情况)
含细粒土砂	$5\% \leq$ 细粒含量 $< 15\%$	含细粒土砂
细粒土质砂	细粒组中粉粒含量不大于 50%	粘土质砂
细粒土质砂	细粒组中粉粒含量大于 50%	粉土质砂

收稿日期: 2014-05-25

基金项目: 昆明学院科学研究资助项目 (XJL-13001); 昆明学院引进人才科学研究资助项目 (YJL-14001)。

作者简介: 朱维伟 (1981—), 男, 云南个旧人, 讲师, 博士, 主要从事边坡工程研究。

2 按直线滑动计算边坡稳定系数的解析法

如果考虑粘聚力,按直线滑动法计算边坡最小稳定系数 φ 的公式^[4]为:

$$F_{\min} = (2a + f) \times \cot \alpha + 2\sqrt{a(f + a)} \times \csc \alpha, \quad (1)$$

(1) 式中, $a = 2c/\gamma H$, $f = \tan \varphi$. 其中 c 为土体粘聚力, γ 为土体容重, H 为边坡高度, φ 为土体内摩擦角, α 为坡角.

如果将粘聚力忽略不计,则(1)式可简化为:

$$F_{\min} = \frac{\tan \varphi}{\tan \alpha}. \quad (2)$$

3 边坡算例分析

3.1 算例边坡几何模型及相关参数

本文以路堤边坡为例进行分析,几何模型如图1,不计行车荷载,路基宽度相当于设计速度为 80 km/h 的 6 车道高速公路或一级公路的一般值.

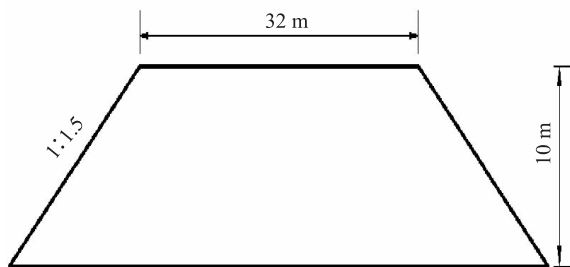


图1 边坡几何模型

考虑到砂类土具有较大的内摩擦角 φ ,将算例分为 5 组,各组边坡土体 φ 值依次取 20° , 25° , 30° , 35° 和 40° ;考虑到砂类土具有较小的粘聚力 c ,每组取 5 个边坡,各边坡土体 c 值依次取 2, 4, 6, 8, 10 kPa;所有边坡土体容重 γ 均取 18 kN/m^3 . 简化 Bishop 法采用同济 GeoSLP1 软件计算,强度折减有限元法采用 ABAQUS 6.10 软件计算. 在强度折减有限元法中,土体弹性模量取 200 MPa,泊松比取 0.3,选用 CPE4 平面应变单元建立有限元模型. 需要指出的是,在强度折减有限元法中,弹性模量和泊松比两个弹性系数对边坡稳定分析结果的影响十分有限^[5],因此其取值大致符合工程实际情况即可,不需要十分精确.

3.2 计算结果与分析

按(2)式和(1)式,简化 Bishop 法和强度折减有限元法计算得到的最小边坡稳定系数分别记为 $F1$, $F2$, $F3$ 和 $F4$. 对 5 组边坡稳定系数计算结果进行分析,边坡稳定系数与土体粘聚力的关系、不同计算方法得到的稳定系数之间的关系均十分相似,因此,

此处仅给出第 1 组(图2)和第 5 组(图3)边坡的计算结果.

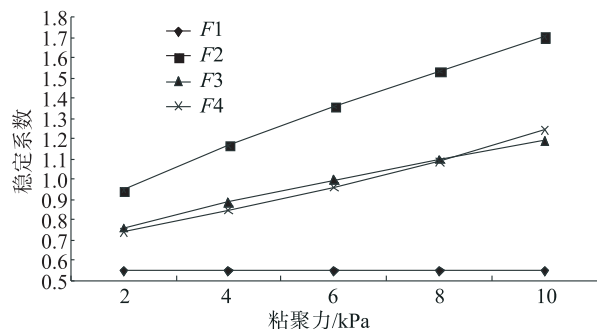


图2 F 与 c 的关系($\varphi=20^\circ$)

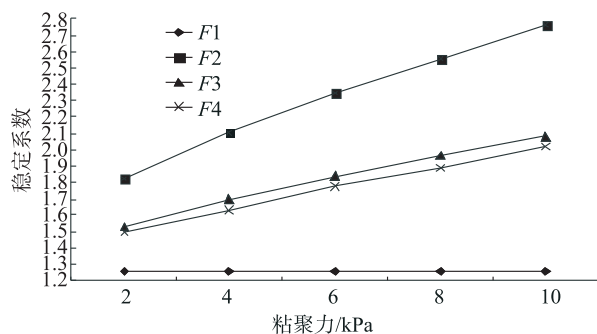


图3 F 与 c 的关系($\varphi=40^\circ$)

从图2和图3可以看出,在 φ 值恒定时, F 随 c 值的增加而增大. 对同一边坡,按不同 c 值的直线滑动法得到的稳定系数($F1$)最小,考虑 c 值的直线滑动法得到的稳定系数($F2$)最大,同一边坡 $F1$ 与 $F2$ 之间的偏差随 c 值的增大而增大. 简化 Bishop 法、强度折减有限元法得到的稳定系数($F3$, $F4$)比较接近,数值介于 $F1$ 和 $F2$ 之间.

在本文算例范围内,同一边坡 $F1$ 与 $F2$ 的偏差最小为 31% ($\varphi = 40^\circ$, $c = 2 \text{ kPa}$ 的边坡),最大为 68% ($\varphi = 20^\circ$, $c = 10 \text{ kPa}$ 的边坡),这种偏差随 φ 值的增大而减小(c 值不变时),随 c 值的增大而增大(φ 值不变时). 而同一边坡 $F3$ 与 $F4$ 的偏差仅在 0.9% ~ 5.3% 之间. 公路路基设计规范^[6]推荐采用简化 Bishop 法验算路堤稳定性,而强度折减有限元法计算边坡稳定系数的正确性也得到了大量研究的证实,因此这两种方法相互校核,可以保证得到的结

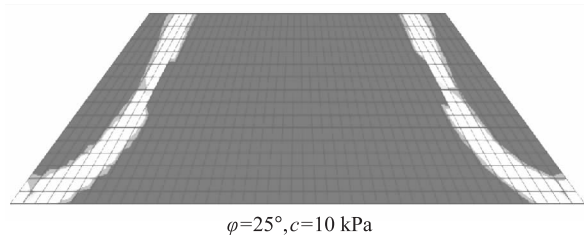


图4 强度折减有限元法得到的塑性区

果与工程实际比较相符.图4、图5为采用这两种方法得到的本文算例中某边坡潜在滑动面,两种算法得到的潜在滑动面相似(考虑到对称性,图5中GeoSLP1软件仅绘出右侧滑动面).

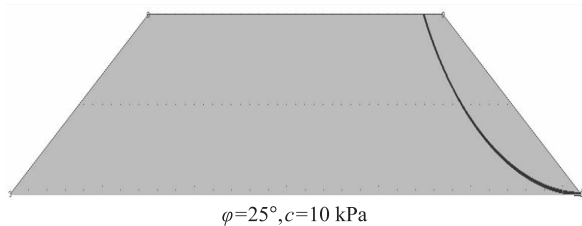


图5 简化Bishop法得到的滑动面

在以上算例中,两种直线滑动法得到的边坡稳定系数相差较大,两种直线滑动法与简化 Bishop 法或强度折减有限元法得到的稳定系数相差也较大.因此,有必要分析更小粘聚力时各种方法计算得到的稳定系数偏差.下图6、图7分别给出了高10 m,边坡坡度1:1.5,土体 $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, c 分别为0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1.0,1.5 kPa,土体 $\varphi = 20^\circ, 40^\circ$ 时,4种方法得到的边坡稳定系数($\varphi = 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$ 时, F 与 c 的关系与图6、图7相似,此处未给出).考虑到人类对边坡稳定性认识的局限性,以及各种稳定性评价方法的局限性和规范要求,如果以简化 Bishop 法为标准,偏离不超过20%为可接受范围,则对于由有粘聚力的土体形成的边坡,只有在 $c \leq (1.0 \sim 1.5) \text{ kPa}$ 时,才能按直线滑动法计算其稳定系数.若以偏离不超过10%为可接受范围,则应满足 $c \leq (0.3 \sim 0.5) \text{ kPa}$.从这个角度讲,在实际工程中,对于由有粘性土形成的边坡,即便是砂类土,按直线滑动法计算稳定系数的适用范围也十分有限,实用价值将大大降低,若将其适用范围随意扩大,将导致计算结果与实际情况出入过大,得到的潜在滑动面也将与工程实际不吻合.

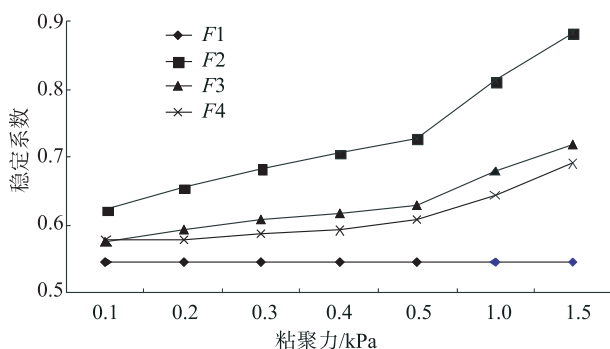


图6 F 与 c 的关系($\varphi=20^\circ, c \leq 1.5 \text{ kPa}$)

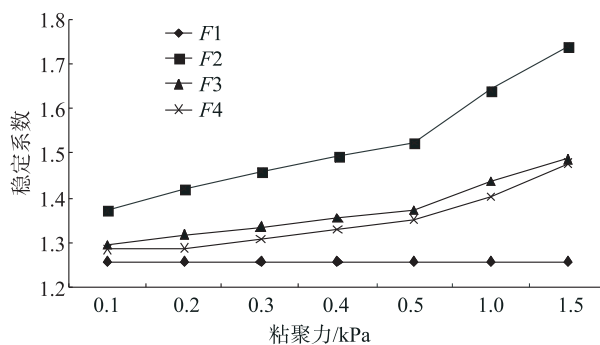


图7 F 与 c 的关系($\varphi=40^\circ, c \leq 1.5 \text{ kPa}$)

4 结论

1) 用不考虑土体粘性的直线滑动法、考虑粘性的直线滑动法、简化 Bishop 法和强度折减有限元法计算由有粘性土(c 较小,不超过10 kPa)形成的边坡的稳定系数时,以简化 Bishop 法为参照标准,考虑粘性的直线滑动法得到的系数较大,是一种偏危险的计算方法;不考虑粘性的直线滑动法得到的系数较小,是一种偏保守的计算方法.

2) 简化 Bishop 法与强度折减有限元法得到的稳定系数比较接近,两种方法可以相互校核.前者原理直观明确,容易为一线技术人员掌握,后者计算过程较复杂,但可得到坡体的应力、应变、位移等数据.

3) 两种直线滑动法所得稳定系数的偏差较大(本文算例中偏差为31%~68%), c 值不变时,这种偏差随 φ 值的增大而减小; φ 值不变时,偏差随 c 值的增大而增大.

4) 在本文算例范围中,以简化 Bishop 法为参照标准,偏离不超过20%为可接受范围,则只有在 c 值不超过1.0~1.5 kPa时,才能按直线滑动法计算其稳定系数.因此,考虑到砂类土中细粒含量可能有较大的变化范围,粘聚力的范围变化也会较大,直线滑动法并不适用于所有砂类土边坡.

[参考文献]

- [1] 王肇慧,肖盛燮,刘文方.边坡稳定性计算方法的对比分析[J].重庆交通学院学报,2005,24(6):99-103.
- [2] 中华人民共和国水利部. GB/T 50145—2007 土的工程分类标准[S].北京:中国计划出版社,2007.
- [3] 中华人民共和国交通部. JTG E40—2007 公路土工试验规程[S].北京:人民交通出版社,2007.
- [4] 邓学钧.路基路面工程[M].北京:人民交通出版社,2013.
- [5] 朱维伟,黄新.公路边坡稳定性影响因素的敏感性分析[J].甘肃科学学报,2012,24(3):40-44.
- [6] 中华人民共和国交通部. JTG D 30—2004 公路路基设计规范[S].北京:人民交通出版社,2004.