

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2021.04.036

讲授 Bishop 条分法时引入新研究成果的探索

雷胜友

(长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 土的强度由黏聚力和摩阻力两部分组成,通常黏聚力为常量,摩阻力部分因法向应力的变化而变化,因而在强度折减时只需对摩阻力部分进行折减。为此作者经过多年土力学教学研究思考,构造出满足以上特点的土的强度折减式,然后将其代入 Bishop 法土坡安全系数表达式,得到了改进的 Bishop 法土坡安全系数表达式,用改进的土坡稳定系数表达式计算出的土坡稳定系数较通常的 Bishop 法小,对于工程,偏于安全。将这一研究结果尝试着在土坡稳定分析教学中进行讲授,从教学效果看,拓展了课本原有内容,激发了学生发散思维、探索新知识的兴趣。

关键词: 强度折减;改进的土坡稳定系数;土力学教学;拓展作用;发散思维

中图分类号: TU4

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2021)04—0219—04

How to Introduce New Research Results in Teaching Bishop's Simplified Method

LEI Shengyou

(Highway School, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710064, China)

Abstract: The strength of soil consists of two parts: cohesion and friction. Usually the cohesion is constant, and the friction part changes due to changes in normal stress. Therefore, only the friction part needs to be reduced when the strength is reduced. After many years of soil mechanics teaching research and thinking, the author constructed a soil strength reduction formula that satisfies the above characteristics, and then substituted it into the expression of the factor of safety of Bishop's Simplified Method of soil slope, and obtained an improved expression of the factor of safety of soil slope. The factor of safety of soil slope calculated by the improved expression is smaller than Bishop's method, which is safe for engineering. Introducing the results above in the teaching of soil slope stability analysis expanded the original content in the textbook, and stimulated students' interest in divergent thinking and exploring new knowledge.

Keywords: strength reduction; improved factor of safety of soil slope; soil mechanics teaching; expansion effect; divergent thinking

土力学是土木工程专业大学生的专业基础课,如何结合课堂讲授,启发大学生的创新思维,为达此目的,笔者尝试着将自己的一些研究成果揉进课程的讲授中,以推动大学生的创新思维。在目前我国流行的土力学教材上,Bishop 法土坡稳定分析是其重要的一节,属必讲内容,笔者在讲授这部分内容时,经过反复思考^[1-11],结合土的强度表达式中各参数的特点,觉得库仑强度折减式可以做一改进,将

其运用到土坡稳定分析中,进一步可以改进 Bishop 法土坡稳定安全系数表达式,如果把这些研究成果引入课堂教学,可以大大地激发学生的好奇心,启发他们深入思考,触动他们发散思维,培养他们对科学研究的兴趣。

1 新强度折减式的构思

通常情况下,黏性土的剪切强度符合库仑准则,

如图 1 所示,设在强度线上有一点 a ,则 a 点的剪切强度可表示成: $\tau_f = \sigma \tan \varphi + c$,其中常数 c 为纵轴截距,即黏聚力, φ 为内摩擦角,则 a 点坐标为 (σ, τ_f) 。

设 b 点的剪切强度是 a 点剪切强度的 $\frac{1}{K}$ 倍, $K > 1$, b 点正应力为 a 点正应力 σ 的 $\frac{1}{F_s}$ 倍, $F_s > 1$,那么 b 点的坐标为 $(\frac{1}{F_s}\sigma, \frac{\tau_f}{K})$,由于 b 点也在剪切强度线上,

则剪切强度可表示为: $\frac{\tau_f}{K} = \frac{1}{F_s}\sigma \tan \varphi + c$ 。

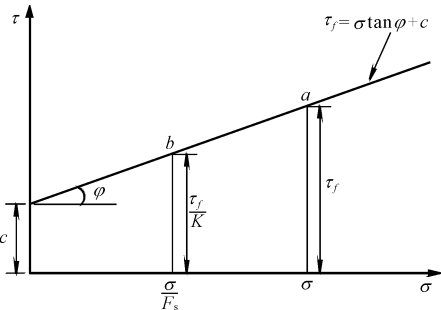


图 1 a 点、 b 点剪切强度

2 改进后的 Bishop 土坡稳定安全系数表达式

笔者认为边坡上的剪切强度只发挥了一部分,而一般土的剪切强度表示成 $\tau_f = \sigma \tan \varphi + c$ 形式,根据上述分析, $\frac{\tau_f}{K}$ 还是相当于某个法向应力下的剪切

强度,所以有 $\tau = \frac{\tau_f}{K} = \frac{\sigma \tan \varphi}{F_s} + c$,对于其中的每一个 K ,都有对应的 F_s ,由于 K 是变化的,对应着的 F_s 也是变化的,因此有 $\tau = \frac{\sigma \tan \varphi}{F_s} + c$ 。在以往土坡安全

系数迭代计算过程中,名义上的表达式为: $\tau = \frac{\tau_f}{K} =$

$\frac{1}{K}(\sigma \tan \varphi + c)$,实质上为: $\tau = \frac{1}{F_s}\sigma \tan \varphi + c$,将其用于 Bishop 法土坡稳定安全系数的迭代计算,经推导、简化,其安全系数表达式如下:

$$F_s = \frac{M_r}{M_s} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{W_i \tan \varphi_i - c_i l_i \sin \alpha_i \tan \varphi_i}{\cos \alpha_i + \frac{1}{F_s} \tan \varphi_i \sin \alpha_i} + c_i l_i \right)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i} \quad (1)$$

简写为:

$$F_s = \frac{M_r}{M_s} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{W_i \tan \varphi_i - c_i l_i \sin \alpha_i \tan \varphi_i}{m_{\alpha_i}} + c_i l_i \right)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i} \quad (2)$$

式中, $m_{\alpha_i} = \cos \alpha_i + \frac{1}{F_s} \tan \varphi_i \sin \alpha_i$ 。

3 用改进的 Bishop 法进行土坡稳定分析

为了进一步验证改进的 Bishop 法土坡安全系数表达式的合理性,笔者在讲授本科生土力学时,从我校图书馆搜寻目前流行的土力学教材,经过梳理、分类,共有 17 道土坡稳定分析的例题^[12-28],每道例题都用改进的土坡安全系数表达式进行计算,同时又对现有的 17 道例题的计算结果进行检查、复核,发现个别例题结果有误,并进行纠正。现将两种方法所得土坡安全系数放在一起,以作比较,结果如图 2 所示。

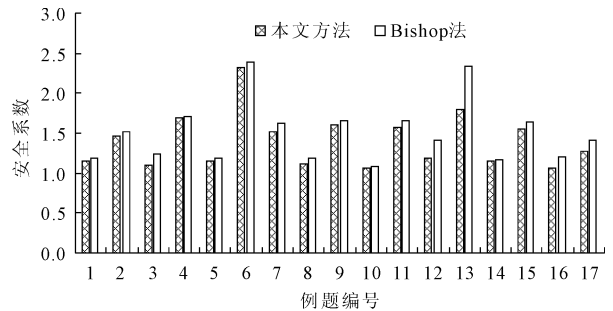


图 2 本文结果与 Bishop 法比较

从图 2 可知,使用式(1)计算的土坡稳定安全系数均比简化 Bishop 法小,其小的百分比为 0.23%~23.35%,其中,百分比在 5% 以内的有 8 例,大于 5% 的有 9 例,大于 10% 的有 5 例,大于 15% 的有 2 例,大于 23% 的有 1 例。由此可见,对于工程而言,用式(1)计算的安全系数偏于安全。

4 授课环节的实施

在讲课之前,笔者先将改进后的土坡安全系数表达式的相关内容通过互联网,发到授课班级群,让学生们下载、阅读,并线上指导学生理解强度折减表达式的构思过程,同时让学生进一步熟悉 Bishop 条分法的基本思想,为随后的课堂听讲做知识铺垫和准备。在课堂授课中,笔者对比分析改进的强度折减式与通常的强度折减式不同之处,说明改进的强度折减式的合理之处,然后将改进的强度折减式

代入 Bishop 法土坡稳定系数表达式内,通过化简得到改进的 Bishop 法土坡稳定安全系数表达式,随后检查改进后的 Bishop 法土坡安全系数表达式中的各项,说明如何实施编程、迭代计算。在授课结束后,给学生布置一道作业题,让学生试着用改进的 Bishop 法土坡稳定系数表达式计算粘性土坡的安全系数。

5 课后回访与思考

本次授课对象为我校桥梁与渡河工程专业的本科生,授课班上共有学生 35 人,桥梁与渡河工程专业为我校重点学科,该班学生基础较好,后来又转入新工科试验班学生 3 人。通过课后与学生的交谈,发现学生对于土的强度认识又进了一步,对于土的强度参数的意义理解得比较清楚了,好多学生对于书本内容不再盲从了,纷纷提出了自己的看法,有些想法尽管不成熟,但毕竟启发了学生的独立思考。另外,通过本次讲授,也启发了笔者,可否将强度折减的概念先放在本课程的土的强度一节进行介绍,以引起学生们的兴趣,让学生先有个知识铺垫,然后再在土坡稳定部分展开详细推导,进而发动学生用两种土坡安全系数表达式进行土坡稳定分析,想必这样的教学效果会更好些,笔者打算在下个学期的土力学讲授中做一尝试。

反观本文强度折减式的构思以及土坡稳定安全系数的推导,实际上暗含了这样的假定:即滑动面上的黏聚力首先得到发挥,然后不足部分由摩阻力来补充,这一研究思路与土坡稳定分析中的摩擦圆法的思路正好相反,相比较而言,本文的思路更合理些。

实质上,本文所得土坡稳定安全系数是对摩阻力而言的,对黏聚力的安全系数为 1。

根据有关资料的介绍^[13], Bishop 法所得土坡稳定安全系数大于瑞典条分法,那么改进的 Bishop 法所得土坡安全系数是否也大于瑞典条法?为此,笔者将瑞典条分法所得安全系数与式(1)结果做一比较,如图 3 所示,从图中可知,有 6 道例题用式(2)所得安全系数均比瑞典条分法小,其小的百分比为 0.74% ~ 16.26%,其中只有 1 例的百分比大于 10%;其余 11 道例题用式(2)计算所得安全系数均大于瑞典条分法,大的百分比为 0.83% ~ 34.79%,进一步分析可知,百分比在 5% 以内的有 4 例,大于 5% 的有 7 例,大于 10% 的有 3 例,大于 20% 的有 2 例,大于 30% 的有 1 例。综合以上结果可知,两者

安全系数相差百分比在 10% 以内的共有 13 例,而大于 10% 的有 4 例,仅占总数的 23.5%。

综合分析,改进的 Bishop 法土坡安全系数表达式可用于实际的土坡稳定分析。

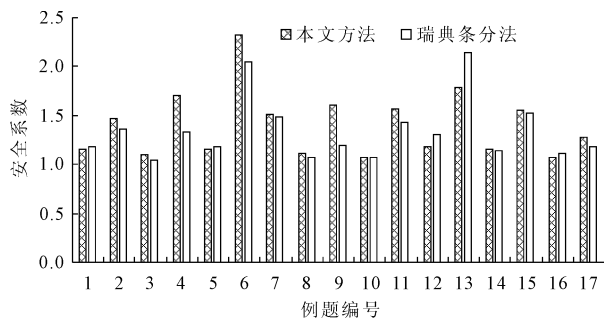


图 3 本文结果与瑞典条分法的比较

追根溯源,由表达式 $\tau_f = \sigma \tan \varphi + c$ 可知,土的强度由黏聚力和摩阻力两部分组成,当法向应力 $\sigma = 0$ 或者 $\varphi = 0$ 时, $\tau_f = c$; 当 $\sigma \neq 0$ 或者 $\varphi \neq 0$ 时,才有 $\tau_f = \sigma \tan \varphi + c$ 的形式。在极限平衡状态时,当剪切力大于粘聚力,即 $\tau_f > c$ 时,也是黏聚力首先得到充分发挥,然后剩余部分的剪应力则由摩阻力来平衡,即总的可写成 $\tau_f = \sigma \tan \varphi + c$; $\tau_f < c$ 时,剪切力完全由黏聚力来平衡。

当土为饱和状态时, $\varphi = 0$, 则土坡的安全系数为:

$$F_s = \frac{M_r}{M_s} = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i l_i)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i} \quad (3)$$

当 $c = 0$ 时,即为砂性土,土坡的安全系数可否按下式进行迭代计算:

$$F_s = \frac{M_r}{M_s} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{W_i \tan \varphi_i}{\cos \alpha_i + \frac{1}{F_s} \tan \varphi_i \sin \alpha_i} \right)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i} \quad (4)$$

当 $\alpha_i = \alpha, \varphi_i = \varphi$ 时,上式可简化为

$$F_s = \frac{M_r}{M_s} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{W_i \tan \varphi}{\cos \alpha + \frac{1}{F_s} \tan \varphi \sin \alpha} \right)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha} = \frac{\frac{\tan \varphi}{\cos \alpha + \frac{1}{F_s} \tan \varphi \sin \alpha}}{\sin \alpha} = \frac{\frac{\tan \varphi}{\sin \alpha}}{1 + \frac{1}{F_s} \tan \varphi \tan \alpha} \frac{1}{\cos^2 \alpha} \quad (5)$$

6 结 语

将最新的研究成果引入到本科生的教学中来,可以有效地传播新知识,进一步拓展课本内容,引起学生的发散思维,激发他们对科学研究的兴趣,达到教书育人的目的。

参考文献:

- [1] 邱永平,刘婉茹,张东卿,等.边坡稳定性分析中传递系数法显式解和隐式解安全系数的[J].高速铁路技术,2019,10(5):5-8.
- [2] 赵卫冬,张兴波,史 艳.库区公路高边坡滑坡治理技术[J].公路,2020,65(3):64-67.
- [3] 张 研,吴康丽,王 伟,等.月牙山坠落式危岩稳定性离散元数值分析[J].水利与建筑工程学报,2019,17(4):26-31.
- [4] 苏德斌,王 浩.不同锚杆类型加固二元结构边坡的地震响应规律对比研究[J].水利与建筑工程学报,2018,16(1):40-47.
- [5] 杨建民,张丹蕾,秦 军.考虑渗流作用的土坡稳定分析 Fellenius 法和简化 Bishop 法[J].工业建筑,2017,47(12):111-120.
- [6] 孟凡宪.土坡稳定分析 Spencer 方法的一种有效应力形式[D].天津:天津大学,2015.
- [7] 孙 萍,王 刚,李荣建,等.降雨条件下黄土边坡现场试验研究[J].工程地质学报,2019,27(2):466-476.
- [8] 张子东,裴向军,张晓超,等.黄土边坡开挖卸荷力学响应与破坏机理研究[J].工程地质学报,2018,26(3):684-693.
- [9] 王 杰.黄土边坡潜在破裂面确定级工程治理措施[D].西安:西北工业大学,2018.
- [10] 江强强,刘路路,焦玉勇,等.干湿循环下滑带土强度特性与微观结构[J].岩土力学,2019,40(3):1005-1012,1022.
- [11] 刘孟兴.考虑干湿循环作用时边坡黄土性质的试验

研究[D].西安:西安建筑科技大学,2018.

- [12] 钱建固,袁聚云,赵春风,等.土质学与土力学[M].5版.北京:人民交通出版社,2018:182-183.
- [13] 陈仲颐,周景星,王洪瑾.土力学[M].北京:清华大学出版社,1997:254-255.
- [14] 刘松玉.土力学[M].4版.北京:中国建筑工业出版社,2016:268-269.
- [15] 侍 倩.土力学[M].3版.武汉:武汉大学出版社,2017:256-257.
- [16] 高向阳.土力学[M].3版.北京:北京大学出版社,2018:237-238.
- [17] 张孟喜.土力学[M].3版.武汉:华中科技大学出版社,2007:275-276.
- [18] 刘福臣,成自勇,崔自治.土力学[M].北京:中国水利水电出版社,2005:236-239.
- [19] 白顺果,崔自治,党进谦.土力学[M].北京:中国水利水电出版社,2005:217-218.
- [20] 卢廷浩.土力学[M].北京:高等教育出版社,2005:242-243.
- [21] 何昌荣,陈 群.土力学[M].中国水利水电出版社,2015:210-212.
- [22] 徐长节,郑明新,杨仲轩.土力学[M].长沙:中南大学出版社,2015:251-252.
- [23] 王常明.土力学[M].2版.北京:地质出版社,2015:158-160.
- [24] 党进谦,李法虎.土力学[M].北京:中国水利水电出版社,2013:175-178.
- [25] 高 林.土力学[M].北京:清华大学出版社,2013:137-138.
- [26] 刘增荣.土力学[M].3版.上海:同济大学出版社,2005:277-278.
- [27] 肖昭然.土力学[M].郑州:郑州大学出版社,2007:284-286.
- [28] 陈国兴,樊良本,陈 甦.土质学与土力学[M].北京:中国水利水电出版社,2006:234-236.

(上接第 214 页)

- [4] 蓝 斌.浅析高校软件工程专业教改模式[J].计算机光盘软件与应用,2014,17(17):313,315.
- [5] 李明珍,唐凤仙,罗富贵.面向职业化的高校软件工程专业教改模式探讨[J].电脑知识与技术,2017,13(34):130-131.
- [6] 董贺轩,亢 颖,胡亚男.城市空间与建筑整合设计的教学实验与思考——基于华中科技大学城乡规划专业建筑设计课程教改[J].中国建筑教育,2017(1):45-55.
- [7] 冯 锐,陈孝明,李旭峰.互联网金融课程与教学资源建设改革与创新[J].高等财经教育研究,2019,22

(4):29-33.

- [8] 王忠福.高等学校地质工程数值法课程教学改革的研究[J].科教研究,2010(16):67.
- [9] 袁 维,王 伟,刘伟超,等.岩土工程数值模拟方法的教学改革研究——以 UDEC 教学为例[J].中国职工教育,2014(24):214-215.
- [10] 刘志强,冯佰研,刘华伟,等.数值方法在岩土工程中的应用与发展[J].江西建材,2015(20):234,236.
- [11] 许有俊,刘忻梅.数值计算方法在土木工程专业学生教学中的探讨[J].科技信息,2011(12):523-524.