

M-P 法的优缺点比较

考虑力矩平衡的二维剩余推力法因条间力假定引入了需借助力矩平衡方程求出的待定常数 λ 而不再具有剩余推力法所具有的计算过程相对简单的优点(或者说,已具有 M-P 法所具有的计算过程相对复杂很多的缺点);另一方面,因该法的条间力假定只是使 $\tan \alpha_i$ (α_i 为第 i 条块底面倾角)多了一个常系数(即待定常数 λ),所以剩余推力法所具有的条间力假定合理性较差的前述三个具体表现在该法中并没有消失,故该法保留了剩余推力法所具有的计算精度得不到保障的缺点(或者说,已不具有 M-P 法所具有的计算精度较高的优点)。总之,考虑力矩平衡的二维剩余推力法兼有剩余推力法和 M-P 法的缺点,一种被称为“改进”的方法不但没有达到改进的目的反而“改退”了。

参考文献:

- [1] 郑颖人, 时卫民. 三峡库区滑坡稳定分析中几个问题的研究[J]. 重庆建筑, 2005, 3(6): 1 - 7. (ZHENG Ying-ren, SHI Wei-min. On several questions of landslide stability analysis In the area of the Changjiang Gorges reservoir[J]. Chongqing Building, 2005, 3(6): 1 - 7. (in Chinese))
- [2] 方玉树. 边坡稳定性分析条分法条间力合理性研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(2): 80 - 86. (FANG Yu-shu. Rationality of inter-slice forces of slices method for slope stability analysis[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2008, 19(2): 80 - 86. (in Chinese))
- [3] 李广信. 高等土力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004. (LI Guang-xin. Advanced soil mechanics[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004. (in Chinese))

对“考虑力矩平衡的三维剩余推力法”讨论的答复 ——议剩余推力法与 M-P 法的优缺点

张奇华

(长江科学院水利部岩土力学与工程重点实验室, 湖北 武汉 430010)

中图分类号: TU43

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 4548(2009)03 - 0489 - 02

作者简介: 张奇华(1973 -), 男, 博士, 高级工程师, 1994 年毕业于中国地质大学地质系, 主要从事工程岩体稳定性分析与加固技术研究。E-mail: zqh7692@163.com。

Reply to the discussion on “Three-dimensional residual thrust method considering moment equilibrium”— advantage and disadvantages of residual thrust method and Morgenstern-Price method

ZHANG Qi-hua

(Key Laboratory of Geotechnical Mechanics and Engineering of Ministry of Water Resources, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

感谢方玉树先生对笔者拙文“考虑力矩平衡的三维剩余推力法”(以下称原文)的兴趣和讨论。方先生对刚体极限平衡法研究颇有心得,在此表示钦佩。事实上,方先生与笔者讨论的是剩余推力法和 M-P 法的优缺点问题,至于原文对“考虑力矩平衡的剩余推力法”采用了“条间力的方向具有较为明确合理的物理意义,又能满足力矩平衡,因而兼有剩余推力法与 M-P 法的优点”的评价是否恰当,或者原文是否如方先生所言“兼有剩余推力法和 M-P 法的缺点”等,不必辩论而自明。

(1) 剩余推力法的优缺点

剩余推力法在国内得到广泛应用,如在《水电水利工程边坡设计规范》(DL/T5353—2006)和《水利水电工程边坡设计规范》(SL386—2007)都作为推荐方法。该法假定条块间作用力方向与上一条块的底滑面平行,当底滑面越陡,条间力方向角(与水平面夹角)越陡,反之就越缓。许多算例表明,该法

计算结果相当精确,笔者用考虑力矩平衡的剩余推力法对其进行修正,发现一般工况下剩余推力法的力矩已经“相当平衡”了(不平衡力矩很小),力矩平衡修正后,稳定系数变化往往不大(起作用的修正更多的是在如考虑水的作用、地震作用等工况)。因此,总体上剩余推力法具有相当精度,原因就在于其条间力方向能够适应底滑面倾角变化而“自动调整”,这是该法的一大特点和优点。

剩余推力法精度得不到保证,主要出现在以下特殊情况:

a) 滑体后缘底滑面倾角很陡时,条间作用力方向角过大,相应的条间力剪切分量与法向分量的关系不服从莫尔-库仑准则,许多学者对该问题进行了讨论,文献[1]提出了改进方法克服该问题。笔者认为,可以通过在滑坡后缘设一拉裂缝将滑坡分割后进行计算,原因有 3: ①从计算角度而言,滑体后缘条块因其厚度小,黏聚力(存在且不太小时)的作用效果增大,

后缘条块比主滑体的稳定系数高,条间力会出现负值,此时作为一个整体计算并不合适;②从工程意义而言,后缘更稳的条块不作为滑体的一部分参与计算,对工程稳定有利;③从实际滑坡现象分析,后缘往往出现直立的拉裂面,即滑体会拉裂。经过这样处理后,可以大大克服条间力方向角过大引起的问题,并且这样的合理化处理对于其它条分法也经常有必要。

b)底滑面不够“光滑”即存在尖角时,条间力方向与上一条块底滑面平行的假设可能引起问题,文献[2]提出控制相邻条块底滑面倾角变化在 10° 以内。事实上,只要注意到这个问题,很容易在条分建模时通过对滑面形态稍许修正(对于工程问题完全可以接受)予以解决。

(2) 考虑力矩平衡可以保证计算精度、M-P法优缺点

如方先生所言,条分法计算精度取决于条间力假设的合理性,这也是大家的共识。条间力假设主要体现在对条间力方向上。如简化 Bishop 法假定条间力方向为水平;Sarma 法假设条间与底滑面同时达到剪切破坏,事实上就是条间力在一定稳定系数下能够达到的最大方向角,严格 Janbu 法是个例外。另外,后部条块对前部条块的推力方向角越大,稳定系数往往越大。原因在于条间力方向下倾时,相当于后部条块的重量转移到前部条块上,而前部条块的底滑面倾角往往更缓,更能发挥重力引起的阻滑作用,并且极限平衡法假定所有条块同时达到失稳,这种力的转移是必要的。反之,当前部条块底滑面倾角更陡、或者抗剪参数更低时,条间力方向角越大,得到稳定系数可能更小,然而此时结果已经不合理了,条间力方向力出现负值,从计算意义而言滑坡将发生解体。

然而,当采用力矩平衡对条间力方向进行修正后,计算往往具有相当高的精度。如 Morgenstern-Price 法,假设条间力方向满足函数关系 $f(x)$,再通过 $\lambda \cdot f(x)$ 进行修正(采用统一的 λ 进行“一致”修正),通过力矩平衡确定 λ 。笔者认为,给定函数 $f(x)$ 如正弦函数、或恒等于 1 等,物理意义不明确,也不一定合理,且缺乏论证。有文献认为 $f(x)$ 不同形式对结果影响不大,目前似乎没有多少人讨论不同 $f(x)$ 对计算结果的影响,应用 M-P 法时也不需交待 $f(x)$ 形式。因此在力矩平衡下,条间力方向朝上或朝下,大一些或小一些,对稳定性结果的影响很小。

由此可知,尽管当滑体前缘条块底滑面存在反翘(滑面下凹),剩余推力法假定的条间力作用方向朝上是不合理,但是通过原文提出的力矩平衡修正后,对计算结果影响就很小了。

(3) 端部外侧的水压力及条间水压力处理

方先生利用 Spencer 法(M-P 法在条间力一致时的特例)

计算某坝基稳定出现“错误”,以说明“同时满足力和力矩平衡并不是计算精度的保证”,然而用 M-P 法计算却得到合理结果。事实上,该算例没有合理认识和处理端部条块外侧水压力,并不是 M-P 法与 Spencer 法有那么大差别,更不能得出“同时满足力和力矩平衡并不是计算精度的保证”的结论。

以剩余推力法为例。条间力关系应该是 $T_{i-1} = (E_{i-1} - P_{w,i-1}) \tan \alpha_{i-1}$,其中 E_{i-1} 为后部条块 $i-1$ 对前部条块 i 的条间力水平分量,是包括了水压力的总压力; T_{i-1} 为条间力剪切分量; $P_{w,i-1}$ 为条块后方侧面受到的水压力;因此 $E_{i-1} - P_{w,i-1}$ 为有效压力。处理端部问题时,端部存在水压力时有 $E_{i-1} = P_{w,i-1}$,因此有效压力为 0,剪切力 T_{i-1} 为 0,这样端部只有一个水压力 $P_{w,i-1}$ 出现,其方向自然与端部侧面垂直。通过这样的合理分析,就不会出现方先生所说的“端部条间力方向与库水压力方向不协调”的问题。笔者编写的各种条分法程序中,当滑体完全埋于水下时,埋入不同深度时计算结果都一致,这是合理处理了端部水压力问题的结果。另外,Spencer 法关于条间力方向的假设,只需针对条间而无需如算例那样扩展到端部,端部的作用力纯属已知外力而不是条间力,何需对其进行“假设”而引起问题,再去讨论问题?

最后需要说明一下,一种方法只要总体上合理,不必要因其在特殊情况下存在问题就予以否认,何况该方法还是广泛接受的。另外,采用刚体极限平衡法分析工程问题时,确实需要使用者对原理及可能存在的问题有一定认识;并且,各种条分法都存在假设,因此采用多种方法进行综合分析是很有必要的。

参考文献:

- [1] 徐青,陈士军,陈胜宏. 滑坡稳定分析剩余推力法的改进研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(3): 465 - 470. (XU Qing, CHEN Shi-jun, CHEN Sheng-hong. Study on the improved residual thrust method for landslide stability analysis[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(3): 465 - 470. (in Chinese))
- [2] 郑颖人,时卫民,杨明成. 不平衡推力法与 Sarma 法的讨论[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(17): 3030 - 3033. (ZHENG Ying-ren, SHI Wei-min, YANG Ming-cheng. Discussion on imbalance thrust force method and SARMA's method[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(17): 3030 - 3033. (in Chinese))