

对“斜坡演化的燕尾突变模型研究”讨论的答复

孙 强

(中国科学院地质与地球物理研究所工程地质力学重点实验室, 北京 100029)

中图分类号: TD824.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2009)03-0486-02

作者简介: 孙 强(1981-), 男, 博士研究生, 研究员, 从事工程地质学和岩土工程方面的研究。E-mail: sunqiang04@126.com。

Reply to the discussion on “Coattail catastrophe model of sliding instability”

SUN Oiang

(Key Laboratory of Engineering Geomechanics, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

笔者发表于《岩土工程学报》2008年第7期的“斜坡演化的燕尾突变模型研究”一文涉及的某些问题引起潘老师等的深入讨论, 笔者在进一步查阅了相关文献^[1-16]的基础上就相关问题进行说明, 以试图回答潘老师“讨论文”提出的若干问题。

(1) 关于问题 1: 介质 1 的本构模型问题

“讨论文”针对介质 1 的弹脆性行为提出的问题, 原文中本构模型在 $u_b \leq u \leq u_2$ 时确实误, 疏漏了常数项 $\tau_b - G_{h2}u_b/h$ 。具有弹脆性属性介质的本构模型采用如下的表达式:

$$\tau_h = \begin{cases} G_{h1} \frac{u}{h}, & (u \leq u_b), \\ \tau_b + G_{h2} \frac{u - u_b}{h}, & (u_b \leq u \leq u_2). \end{cases} \quad (1)$$

(2) 关于问题 2, 3, 4, 5, 7: 总势能函数、展开与求导
诚如“讨论文”所指出, 对原文图 1 所示系统的表达式有误, 总势能为滑面介质的应变能和滑动势能之和应为

$$V = \begin{cases} \left\{ \int_0^u \frac{G_{s1}}{h} g_s u \exp \left[-\left(\frac{u}{u_0} \right) \right] du + \right. \\ \left. \frac{1}{2} \frac{G_{h1}}{h} g_h u^2 + \int_0^u l'_1(G, u, a) dh - f_2(W, u, a) \right\}, & (u < u_b), \\ \left\{ \int_0^u \frac{G_{s1}}{h} g_s u \exp \left[-\left(\frac{u}{u_0} \right) \right] du + \frac{1}{2} \frac{G_{h1}}{h} u^2 + \right. \\ \left. \left(\tau_b - \frac{G_{h2}u_b}{h} \right) l_h u + \int_0^u l'_1(G, u, a) dh - f_2(W, u, a) \right\}, & (u_b \leq u \leq u_2), \end{cases} \quad (2)$$

式中, l_b 和 l_h 分别是弹脆性介质和应变软化介质的滑动面长度; 上式右侧中的 $\int_0^u l'_1(G, u, a) dh$ 为上部坡体的变形能, 其与软弱夹层上部位移和坡体表部位移相关; $f_2(W, u, a)$ 为坡体重力势能改变量。

基于以上对模型总势能函数的改进, 原文所讨论的斜坡演化问题的深入探讨前, 需要对表达式 $\int_0^u l'_1(G, u, a) dh$ 以及 $f_2(W, u, a)$ 进行概化分析。对势函数 Tayler 展开点的选择及“确

“确定性法则”的截取问题笔者仍需进一步深入研究。

(3) 关于问题 6: 只有力上升参数没有残余强度参数坡体不会下滑

对介质 1 而言, 岩桥破坏后, 其抗滑力虽随变形增长, 但增长的幅度较小, 介质 2 在过峰值强度后, 抗滑力下降的幅度如果很大, 其总抗滑力将呈大幅下降状态, 低于下滑力时, 斜坡失稳开始。对可能失稳的斜坡, 介质 1 的滑动面长度 l_b 要远小于介质 2 的滑动面长度 l_s , 否则斜坡将处于远离平衡的稳定状态。

(4) 关于问题 8: 燕尾突变的基本特征于斜坡失稳原型特性的比较

笔者原文的初衷意在对斜坡失稳的尖点突变模型的改进。实际问题中, 对斜坡变形与位移的监测中, 坡表位移与坡体深部位移并不相同, 原有的突变模型未能考虑坡体本身的变形能, 其至多反映了斜坡演化失稳问题的某一个侧面。因此, 原文试图应用燕尾突变模型对斜坡演化问题进行探索, 借以揭示斜坡系统更为丰富和复杂的演化行为以及从量变到质变过程。对于“讨论文”提到的回跳性, 原文“复活”一词原意仅在表达“历史上发生过失稳破坏斜坡的再次失稳”, 笔者认为由于关注对象的演化是不可逆的, 即其仅为沿某一方向上的非线性演化。基于此, 原文并未讨论反向回跳问题, 并且在进一步查阅了相关文献^[1-6, 10-16], 原文在推导和分析中, 由于笔者自身知识结构的不足, 确实导致了纰漏。

在此, 感谢潘老师等提出的讨论和建议, 同时通过研读学习潘老师等和其他专家关于非线性岩土工程问题的研究成果, 使得笔者再次深刻地认识到工程地质和岩土工程问题的博大与复杂, 并深感自己理论功底的不足。笔者原文的初衷在于进一步探讨边坡演化的复杂的非线性行为, 并试图对原有的上部滑体的假设加以改善, 在此, 笔者对原文章中出现的表示歉意。作为年轻人, 切实地感到自己对问题把握能力的欠缺, 热切希望以后潘老师和其他从事岩土非线性的专家不吝赐教,

以期成长于学习交流中。凡为之道，深则专，浅则散。路漫漫兮，惟孜孜以求之。

参考文献:

- [1] 谢应齐, 曹杰. 非线性动力学数学方法[M]. 北京: 气象出版社, 2001. (XIE Ying-qi, CAO Jie. Non-linear dynamics mathematics method[M]. Beijing: Meteorological Press, 2001. (in Chinese))
- [2] 楼森岳, 唐晓艳. 非线性数学物理方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006. (LOU Sen-yue, TANG Xiao-yan. Non-linear mathematical physics method[M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese))
- [3] 陈同兴. 非线性物理概论[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2002. (CHEN Tong-xing. Introduction of non-linear physics[M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2001. (in Chinese))
- [4] 刘秉正, 彭建华. 非线性动力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005. (LIU Bing-zheng, PENG Jian-hua. Non-linear dynamics[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004. (in Chinese))
- [5] SAUNDER PT. 灾变理论入门[M]. 凌复华, 译. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1987. (SAUNDER PT. An introduction to catastrophe theory[M]. LING Fu-hua, trans. Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Literature Publishing House, 1983. (in Chinese))
- [6] 潘岳, 王志强, 张勇. 突变理论在岩体系统动力失稳中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008. (PAN Yue, WANG Zhi-qiang, ZHANG Yong. Application of catastrophe theory for dynamic failure of rock[M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese))
- [7] 张明, 李仲奎. 准脆性材料破裂过程失稳的尖点突变模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, **25**(6): 1233 - 1239. (ZHANG Ming, LI Zhong-kui. A cusp catastrophe model of unstable failure process of quasi-brittle materials[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, **25**(6): 1233 - 1239. (in Chinese))
- [8] 潘岳, 吴敏应, 王志强. 对‘准脆性材料破裂过程失稳的尖点突变模型’的探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, **27**(3): 643 - 645. (PAN Yue, WU Min-ying, WANG Zhi-qiang. Discussion on “A cusp catastrophe model of unstable failure process of quasi-brittle materials”[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, **27**(3): 643 - 645. (in Chinese))
- [9] 张明, 李仲奎. 关于“对‘准脆性材料破裂过程失稳的尖点突变模型’的探讨”的回复[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, **27**(3): 646 - 648. (ZHANG Ming, LI Zhong-kui. Reply to discussion on “A cusp catastrophe model of unstable failure process of quasi-brittle materials”[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, **27**(3): 646 - 648. (in Chinese))
- [10] 潘岳, 纪彩虹, 李爱武. 岩体系统动力失稳的总势能函数诠释[J]. 岩土工程学报, 2007, **29**(6): 831 - 836. (PAN Yue, JI Cai-hong, LI Ai-wu. Annotation of total potential energy function for dynamic failure of rock[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, **29**(6): 831 - 836. (in Chinese))
- [11] 潘岳, 吴敏应, 王志强. 岩体动力失稳终止点、能量释放量解析解与图解[J]. 岩石力学, 2006, **27**(11): 1915 - 1921. (PAN Yue, WU Min-ying, WANG Zhi-qiang. Analytic solution and illustration on destabilization end and energy releasing amount of rock dynamic destabilization[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, **27**(11): 1915 - 1921. (in Chinese))
- [12] 徐曾和, 徐小荷. 考虑围岩流变特性的地震尖点型突变模型[J]. 岩土力学, 2000, **21**(1): 24 - 27. (XU Zeng-he, XU Xiao-he. Instability of fault earthquake in rheological media and cusp catastrophe[J]. Rock and Soil Mechanics, 2000, **21**(1): 24 - 27. (in Chinese))
- [13] 殷有泉, 杜静. 地震过程的燕尾突变模型[J]. 地震学报, 1994, **16**(4): 416 - 422. (YIN You-quan, DU Jing. Coattail catastrophe of earthquake process[J]. Acta Seismologica Sinica, 1994, **16**(4): 416 - 422. (in Chinese))
- [14] 施泽进, 罗蛰潭, 彭大军, 等. 突变理论在断层活动机理分析中的应用[J]. 西安地质学院学报, 1996, **18**(1): 50 - 55. (SHI Ze-jin, LUO Zhe-tan, PENG Da-jun, et al. Application of catastrophe theory to the analyses of mechanism of faulting movement[J]. Journal of Xi'an College of Geology, 1996, **18**(1): 50 - 55. (in Chinese))
- [15] 秦四清. 斜坡失稳的突变模型与混沌机制[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, **19**(4): 486 - 492. (QIN Si-qing. Nonlinear catastrophe model of slope instability and chaotic dynamics mechanism of slope evolution process[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2000, **19**(4): 486 - 492. (in Chinese))
- [16] 陈忠辉, 徐小荷, 唐春安. 单轴压缩下岩石失稳破裂的突跳[J]. 东北大学学报, 1994, **15**(5): 476 - 480. (CHEN Zhong-hui, XU Xiao-he, TANG Chun-an. Catastrophe of rock's unstable failure under uniaxial compression loading[J]. Journal of Northeastern University, 1994, **15**(5): 476 - 480. (in Chinese))