

流滑型窝崩特征及概化模拟试验

张幸农, 陈长英, 假冬冬, 应 强, 张思和

(南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 流滑型窝崩是长江中下游一种典型的岸滩崩塌形式, 土体崩塌破坏发展速度快、体量大, 危害很大. 根据典型实例, 分析了此类崩岸的特征和发生规律, 并通过初步的概化模拟试验, 探讨了其形成过程和成因机理. 研究表明, 流滑型窝崩是水流冲刷过程中引起的土体滑动破坏, 岸坡土质抗冲差、近岸水流急是窝崩形成的基础条件, 而伴随窝塘扩大出现高强度的回流是土体连续崩塌破坏的重要动力因素.

关 键 词: 流滑型窝崩; 成因机理; 模拟试验

中图分类号: TV861

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2011)04-0013-05

长江中下游河段属典型的大型冲积平原河流, 沿程常常出现岸滩崩塌现象, 其中较大的一种是流滑型窝崩. 崩塌后的岸滩外表基本上呈窝塘状, 土体破坏形式主要表现为向下的滑落, 因而也俗称塌江. 此类窝崩形成的土体崩塌规模一般都很大, 最终滑落的土体体积可达数十万甚至上百万立方米, 在岸线形成长、宽均在百米以上的窝塘, 往往造成河道洪漫滩地的塌陷或流失, 不仅直接威胁堤防安全, 形成防洪险情, 而且往往引起河床横向变形, 造成河势动荡, 对沿江航运、桥梁、供水等方面产生重大的不利影响.

流滑型窝崩的形成影响因素很多, 成因和机理十分复杂, 虽然类似问题的研究成果^[1-8]已有不少, 其中相当一部分是关于窝崩成因的解释, 但总体而言, 至今人们对其认识仍不完全清楚. 因此, 针对流滑型窝崩的形成过程与发展规律进行模拟研究, 为探索科学合理的预测预防和灾后治理提供理论指导, 对于我国防洪减灾事业的发展 and 河道治理工程技术水平的提高, 具有重大的实际意义.

1 流滑型窝崩的特征与发生规律

1.1 典型窝崩实例

2008年11月18日下午16:40, 长江南京河段栖霞区龙潭三官村友庄圩发生窝崩. 窝崩发生后, 原平顺的岸滩上形成了长约340 m, 凹进230 m的窝塘, 导致约200 m长的主江堤遭受水毁, 龙潭街道花园水厂取水口塌入江中, 幸好当时长江高潮水位仍低于圩内地面高程, 且崩岸处无民房, 未造成人员伤亡, 财产损失有限.

窝崩发生地在长江南京河段龙潭水道下端, 位于S型弯曲段中间的过渡段高滩, 其外侧深泓贴岸, 坡陡流急, 高滩的土体组成为二元结构, 上层是厚度1~2 m的壤土或粉质黏土, 下部为厚达数十米的粉细沙或细沙. 土体崩塌过程在1 d时间内, 先是大块土体连续性崩塌滑落, 之后逐渐减弱, 直至仅出现零星的崩塌. 图1为窝崩发生后1 d后与发生前的河道地形, 两者对比表明, 大江深槽紧靠窝塘, 窝崩发生后, 窝塘内水深在15~25 m之间, 口门外河床普遍增高, 深槽水深减小10余米, 口门下游侧河床上出现数个-35~-30 m的堆积体. 1个月后的地形测量表明, 窝塘内地形变化不大, 口门外河床则又有所冲深. 最终窝塘外表形态如图2, 崩塌土体面积约 $5.3 \times 10^4 \text{ m}^2$, 土方量约 $110 \times 10^4 \text{ m}^3$.

类似的窝崩还可列举许多, 例如, 1976年11月10日马鞍山河段、1996年1月3日镇江河段人民滩、

收稿日期: 2011-08-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50779038)

作者简介: 张幸农(1960-), 男, 上海人, 教授级高级工程师, 主要从事河流泥沙研究. E-mail: xnzhang@nhri.cn

2004 年 11 月 9 日南京河段龙潭仁本圩均出现过此类大窝崩。

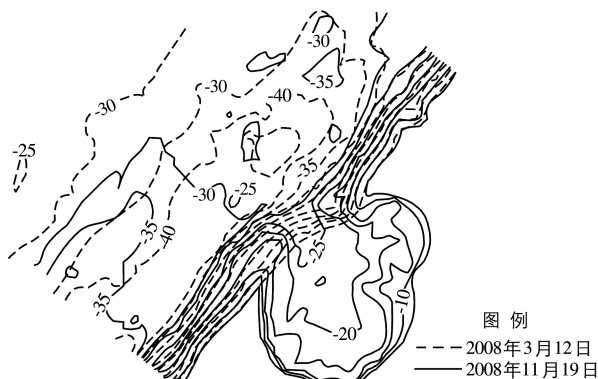


图 1 三江口窝崩发生 1 d 后与窝崩发生前的河道地形
Fig. 1 River morphology one day before and after bank failure along Sanjiangkou reach



图 2 三江口窝崩最终窝塘外表形态
Fig. 2 Bank failure along Sanjiangkou reach

1.2 流滑型窝崩特征

依据三江口窝崩和其他类似窝崩现象,可分析得出以下几个主要特征:(1)河岸土体在一段时间内伴随着水流冲刷而连续多次滑落,具有突发性和随机性,程度逐渐增大,呈现渐进式的崩塌破坏;(2)土体破坏以侧向滑落为主,也即破坏土体的水平推移大于垂直位移;(3)滑落的土体被水流迅速分散搬运,随着土体滑落破坏向河岸内侧发展,直到水流动力不足以搬运滑落的土体为止,逐渐形成下部稳定坡度上部假性稳定状态的坡面形态;(4)河岸整体破坏的规模较大,一般情况下最终滑落的土体体积可达数十万甚至上百万立方米,岸线形成长、宽均在百米以上的窝塘。

1.3 流滑型窝崩发生规律

流滑型崩岸在长江中下游河段出现的概率较高,一般发生在主流顶冲或贴岸的河段,河岸土质多为粉质黏土或上覆黏土下卧细沙的二元结构,近岸水流流速一般在 $1.5 \sim 2.5 \text{ m/s}$ 之间,甚至更高。相对地,河岸上层黏土或粉质黏土抗冲性较强,不易冲失,但河岸底部细沙抗冲很差, 1.5 m/s 以上的大流速远大于细沙颗粒起动流速。因而,此类岸段底部坡面或坡脚土体极易被水流冲刷而流失,并且冲刷程度不断扩大,最终导致岸坡的整体破坏。相对地,在长江中游河段,洪漫滩地与深槽的高差较大,流滑型崩岸多出现在流速较大的洪水期,例如,安庆河段六合圩和连成圩均在洪水期出现过大面积的流滑崩塌现象;而在长江下游河段,洪漫滩地与深槽的高差不大,洪水期和枯水期主流流速则相差不大,因而,流滑型崩岸在洪水期和枯水期均有可能出现,例如,南京燕子矶河段、扬州六圩河段、江都嘶马河段都曾在洪水期发生过流滑型崩岸,而镇江河段人民滩大窝崩,以及南京龙潭河段仁本圩和三江口大窝崩,则都发生在枯水期。

2 流滑型窝崩概化模拟试验

2.1 试验概况

依据长江中下游流滑型崩岸的特征,概化模拟试验在长 50 m,宽 12 m 的循环水槽中进行,水槽中部设置成弯曲明渠水道,水道左岸侧布置长 20 m,高 1.2 m,坡比 1:2 的试验坡体,坡体材料采用长江下游马鞍山崩岸河段原体沙,平面布置及试验概况见图 3。试验时模型进口施放水流,出口采用尾门控制水面比降,弯道顶冲处为试验段,水流流速大于坡体颗粒的起动流速,约为 $50 \sim 70 \text{ cm/s}$,试验段上、下段进行防护处理。试验过程中,测量水流流速分布以及坡体的地形。



图 3 概化模拟试验概况
Fig. 3 Model tests

2.2 流滑型窝崩形成过程

试验观察表明,试验坡体的破坏与天然窝崩极为相似,坡面土体被水流淘刷而滑落,刷落的土体被水流迅速搬移至下游,破坏后的坡体呈上层土体半圆形凹进、水下坡体仍保持一定坡度的窝形状.整个过程历时约2 h,具体可分为以下几个阶段:

(1)破坏起始阶段:0~30 min,在坡前弯道水流的作用下,水流流速在70 cm/s左右,大于土体抗冲流速,坡面土体被水流淘刷而滑落或塌落,滑落的土块被水流迅速搬移至下游.

(2)破坏发展阶段:30~60 min,坡体上层开始向内侧凹进,下层变化不大,坡前出现多个不同方向的且瞬时变化的回流或环流(见图4(a)),其范围逐渐扩大、强度不断增加,最大时回流流速达30~40 cm/s.在主流和回流(环流)双重作用下,坡面土体淘刷破坏现象加剧,坡体上层向内凹进范围继续增大,平面上呈现半圆形形态.

(3)破坏趋缓阶段:60~120 min,随着坡体上层凹进范围增大,坡前回流或环流范围也随之扩大,但强度逐渐减弱(见图4(b)),坡面土体被水流淘刷破坏现象逐渐趋缓,直至仅产生零星的破坏.

(4)破坏终止阶段:大于120 min,随着时间加长,坡面土体破坏凹进的现象基本结束,外侧水流动力也不足以短时间内搬运滑落堆积的土体.最终坡体形成两个部分,一部分是上层土体呈半圆形凹进的破坏形式,另一部分是下层坡体基本未受破坏,仍保持一定坡度的原状(见图4(c)).

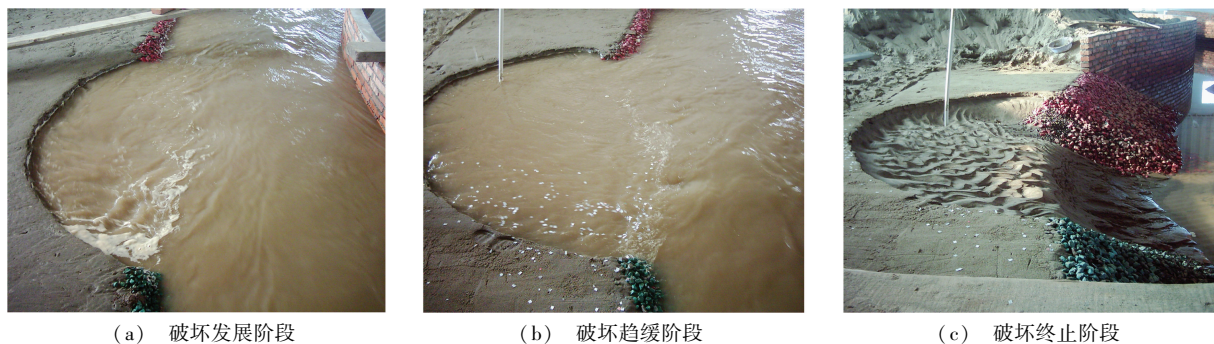


图4 试验坡体各破坏阶段

Fig.4 Various bank failure periods

2.3 流滑型窝崩成因机理

结合天然实际窝崩现象,进一步深入分析试验结果,可揭示流滑型窝崩形成的原因与机理.从土体力学平衡的角度出发,当坡面土体被水流冲失后,其后部土体失去支撑作用,平衡条件被破坏而随之产生滑落,滑落的土体又被水流迅速分散搬运.如此循环反复,前级土体滑落必然影响后级土体稳定,引起相同层厚土体失稳的连锁反映,从而形成逐级向后溯源破坏,欧美有关学者称类似的岸坡失稳破坏为“flow slide”或“retrogression liquefaction”^[9-12].从土体破坏与搬运的动力条件看,有人认为是崩塌下落土体产生激浪或波动流,冲击周边土体而又使其崩塌,周边土体的崩塌又会激起更强烈的冲击水流和更大的震动,从而引起更大范围的崩塌^[3,5];但多数人还是认为主要是紊动水流,特别是伴随窝塘出现的涡旋等次生流^[7].本项试验结果证明,当坡面土体冲失开始形成向内凹进的窝塘时,随即在窝塘内出现高强度的回流或环流,位置、范围及水流流速值和方向瞬时变化,不仅会冲刷窝塘内的岸坡,继续引起土体滑落失稳,而且不断将滑落的土体分散并输送至窝塘口门,再由纵向水流迅速输送至下游.初期窝塘不断扩大,回流或环流强度持续加大,土体滑落破坏的程度也不断增大,随着窝塘不断扩大,回流或环流强度逐渐减小,土体滑落破坏的程度也相应减小,破坏底面也基本保持同角度向上发展,直至不再继续发生.随着时间的延长,最终岸坡上形成大面积破坏,窝塘内岸坡断面形成下缓上陡的折线形态.

3 结 语

通过上述分析,认识到流滑型窝崩是水流冲刷过程中引起的土体滑动破坏,其形成的条件可总结为:岸坡土质抗冲性能差、近岸水流急是窝崩形成的基础条件,而伴随窝塘扩大出现高强度的回流是土体连续崩塌破坏的重要动力因素.然而,流滑型窝崩属于水土交互作用的现象,涉及到复杂结构沉积土的崩塌破坏,许多问题依赖传统的力学理论不能予以解释,常规的模拟试验显得无能为力,无法对其发展过程与趋势进行精确的模拟,也难以对实际窝崩的方式做出预测.因此,有必要展开更多的研究工作,尤其是需深入探索其力学机理,发现其形成的临界条件.

参 考 文 献:

- [1] 陈引川, 彭海鹰. 长江下游大窝崩的发生及防护[C]//长江中下游护岸论文集(第三集). 武汉: 长江水利水电科学研究院, 1985: 112-116. (CHEN Yin-chuan, PEN Hai-ying. Occurrence of big slope slide with nest shape in the lower reach of the Yangtze River and bank protection [C]//The Third Proceedings on Bank Protection in the Middle-Lower Reach of the Yangtze River. Wuhan: Changjiang Water Conservancy and Hydropower Scientific Research Institute, 1985: 112-116. (in Chinese))
- [2] 孙梅秀, 吴道文, 李昌华. 长江八卦洲洲头控制工程及江岸崩窝的试验研究[R]. 南京: 南京水利科学研究所, 1989. (SUN Mei-xiu, WU Dao-wen, LI Chang-hua. Test study on control project of Baguazhou and slope slide with nest shape in the Yangtze River[R]. Nanjing Hydraulic Research Institute, 1989. (in Chinese))
- [3] 张岱峰. 从人民滩窝崩事件看长江窝崩的演变特性[J]. 镇江水利, 1996: 39-54. (ZHANG Dai-feng. Analysis on evolution feature of slope slide with nest shape in the Yangtze River yielded from the slope slide incident in Renmintan[J]. Zhenjiang Water Conservancy, 1996: 39-54. (in Chinese))
- [4] 冷魁. 长江下游窝崩形成条件及防护措施初步研究[J]. 水科学进展, 1993, 4(4): 281-287. (LENG Kui. Forming conditions and protective measures of Ω -collapse in the lower Yangtze River[J]. Advanced in Water Science, 1993, 4(4): 281-287. (in Chinese))
- [5] 金腊华, 刘雷. 长江大堤窝崩机理研究[J]. 环境与开发, 2000, 15(4): 12-13. (JIN La-hua, LIU Lei. Research on mechanism of dike pit-type slide in the Yangtze River[J]. Environment and Development, 2000, 15(4): 12-13. (in Chinese))
- [6] 张幸农, 应强, 陈长英. 长江中下游崩岸险情类型及预测预防[J]. 水利学报, 2007(增1): 246-250. (ZHANG Xing-nong, YING Qiang, CHEN Chang-ying. Forecast and prevention measurement on some kinds of bank collapses in the middle-lower reach of the Yangtze River[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007(Suppl1): 246-250. (in Chinese))
- [7] 张幸农, 蒋传丰, 陈长英, 等. 江河崩岸的类型与特征[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(5): 66-70. (ZHANG Xing-nong, JIANG Chuan-feng, CHEN Chang-ying, et al. Types and features of riverbank collapse[J]. Advanced in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28(5): 66-70. (in Chinese))
- [8] 余文畴, 卢金友. 长江河道崩岸与护岸[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008. (YU Wen-chou, LU Jin-you. Bank collapse and protection[M]. Beijing: China Water Power Press, 2008. (in Chinese))
- [9] PILARCZYK K W. Dikes and revetments[M]. Rotterdam: A. A. Balkema, 1998.
- [10] TORREY III V H, DUNBAR J B, PETERSON R W. Retrogressive failure in sand deposits of the Mississippi River, Report 1: Field investigations, laboratory studies and analysis of the hypothesized failure mechanism[R]. USA: Department of the ARMY Waterway Experiment Station, Corps of Engineers, 1988.
- [11] TORREY III V H, DUNBAR J B, PETERSON R W. Retrogressive failures in sand deposits of the Mississippi River, Report 2: Empirical evidence in support of the hypothesized failure mechanism and development of the levee safety flow slide monitoring system[R]. USA: Department of the ARMY Waterway Experiment Station, Corps of Engineers, 1988.
- [12] THORNE C R, HEY R D, NEWSON M D. Applied fluvial geomorphology for river engineering and management[M]. New York: John Wiley & Sons, 1997.

Lab test study on mechanism of bank flow-induced slide with nest shape in the middle and lower reaches of the Yangtze River

ZHANG Xing-nong, CHEN Chang-ying, JIA Dong-dong, YING Qiang, ZHANG Si-he

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: The flow-induced slide with nest shape is one of typical bank collapses in the middle and lower reaches of the Yangtze River. It is considerably harmful to many aspects in river engineering with fast speed and large quantity of soil failure. By some case studies, its characteristics and occurrence rule are analyzed in this paper. A lab test of flow-induced slide with nest shape is performed to research bank failure formation process and its mechanism. The model test results show that flow-induced slide is a soil block failure occurring in the scouring process; the basic condition of its formation includes poor soil property and rapid flow along the bank; and the high-strength vortex following the occurrence of the failure nest is the significant dynamical factor to trigger continuous slide of soil blocks from the riverbank.

Key words: riverbank flow slide; formation cause and mechanism; lab test

“175 m 试验性蓄水期间中华鲟自然繁殖监测及卵、苗采集技术研究”成果通过三峡公司验收

2011年8月16日,中国三峡集团在宜昌主持召开了由中华鲟研究所和我院共同承担的“三峡水库175 m 试验性蓄水期间中华鲟自然繁殖监测及卵苗采集技术研究”项目成果验收会。来自枢纽管理局、科技与环境保护部、三峡大学、三峡水文局、宜昌市渔政处等专家组成的验收组专家听取了项目承担单位中华鲟研究所、南京水利科学研究院等单位的成果汇报,经质询讨论,认为项目完成了合同规定的内容,同意通过验收。

该项目由三峡集团公司于2009年批准立项,中华鲟研究所为项目总牵头单位,我院承担了专题“卵苗采集技术及繁殖行为声学监测技术开发”的研究内容。项目主要研究目标为通过对三峡水库175 m 试验性蓄水期间葛洲坝坝下中华鲟自然繁殖场进行监测,研究试验性蓄水后自然繁殖场水文条件改变对中华鲟自然繁殖的影响。经过两年的项目监测,项目完成了葛洲坝坝下江段水文水质监测、渔获物调查、中华鲟繁殖群体及繁殖规模监测等研究任务,建立了中华鲟卵苗采集和声学监测技术方法体系,获得翔实的2009年至2010年葛洲坝坝下中华鲟自然繁殖监测数据,为下一步中华鲟自然繁殖监测和研究奠定了基础。

基于中华鲟自然繁殖和三峡水库蓄水后葛洲坝下游水域生态环境现状,会议建议充分利用水下摄影等新技术方法,进一步优化监测技术和分析方法,完善监测体系,持续开展中华鲟自然繁殖监测及相关研究的工作。

摘自南京水利科学研究院网站