

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.01.008

江河崩岸的影响因素分析

张幸农^{1 2} 蒋传丰^{1 3} 陈长英² 应 强²

(1.河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098 ;

2.南京水利科学研究院河流海岸研究所,江苏 南京 210024 3.江苏省水利厅,江苏 南京 210029)

摘要 :为了研究江河崩岸的发生机理,以长江中下游及其他河流典型崩岸实例为依据,分析了江河崩岸的影响因素及其对崩岸的作用,并针对崩岸类型分析了崩岸的关键性影响因素.结果表明:岸坡土体物质组成及分布和岸坡局部地形是崩岸形成的主要内在因素,水流冲刷和地下水渗流是崩岸形成的主要外部动力因素,各因素对崩岸的作用主要表现为侵蚀破坏、渗流破坏、重力破坏及突加荷载或边界条件破坏等.

关键词 :江河崩岸;内外因素;破坏作用

中图分类号 :TV147 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2009)01-0036-05

天然江河岸坡或洪漫滩地的崩塌破坏(简称崩岸)是一种危害性较大的自然灾害现象,几乎全世界各大江河均存在这种现象,我国长江中下游崩岸现象尤为严重.

崩岸属水土结合的土坡失稳破坏,也是河床演变的一种表现形式,类型多样,影响因素众多,成因机理十分复杂^[1].影响崩岸的主要因素是自然因素和人为因素,包括岸坡地质、河道地形、水文气象、人类活动等方面的因素.但是,各因素对崩岸形成的作用极为复杂,往往某些因素对某类崩岸影响巨大,而对其他类型的崩岸影响较小.正确认识这些影响因素及其对崩岸的作用,对研究崩岸发生机理以及制定有效的预测预防措施,具有重要意义.关于崩岸的影响因素,以往虽有研究^[2-4],但针对崩岸类型进行的研究则较为少见.为了研究江河崩岸的发生机理,本文以长江中下游及其他河流典型崩岸实例为依据,分析了崩岸的影响因素及其对崩岸的作用,并针对崩岸类型分析了崩岸的关键性影响因素.

1 崩岸影响因素及其作用

1.1 河岸地质

1.1.1 土体组成及分布

冲积河流岸坡及河漫滩一般由疏松沉积土组成,大多为黏土或粉质壤土和砂土,通常厚度较大、垂向分布不均.土体物质组成及分布对岸坡的稳定性影响很大,是崩岸形成的主要内在因素.中国科学院地理研究所^[5]将长江中下游沿岸土质按黏土与砂土的比例划分成 4 类,其中黏土含量最高的Ⅰ类岸坡的稳定性最好,而砂土含量最高的Ⅳ类岸坡发生崩岸的几率最大.张幸农等^[6]对发生过崩岸的长江同马大堤广济圩丁马段进行了岸坡稳定性数值模拟计算,得出了岸坡稳定安全系数 F_s 与土体黏聚力 c 和内摩擦角 φ 的关系,如图 1 所示.从图 1 可以看出,当 $F_s < 3.3$ 时, F_s 随着 c 增大而增大的速率很大,两者呈良好的线性关系,说明土体黏粒含量越高,岸坡稳定性越好.

事实上,因地质构造或沉积年代存在差别,许多冲积河流岸坡具有明显的上覆亚黏土或粉质壤土、下卧中细砂的二元或多元结构特征.如长江中下游多处崩岸段,岸坡上层为以粒径 0.05 ~ 0.005 mm 的粉粒居多,属河漫滩相,厚度不大;下层为细砂和中砂,粒径 0.1 ~ 0.5 mm 的砂粒占 80% 左右,颗粒级配较为均匀,孔隙比为 0.8 ~ 1.0,中等密实度,属河床相,厚度可达 50 ~ 60 m.美国密西西比河下游与长江中下游极为相似,岸坡土体也具有二元或多元结构特征.具有这种土体结构的岸坡,由于上层黏土和粉质壤土厚度较小,且粉质

壤土透水性强、抗冲性差,下层细砂厚度大,但颗粒较为均匀,最易起动和分散搬运,抗冲性能很差,因而坡体特别是坡脚极易被水流侵蚀冲刷,很容易形成稳定性差的陡岸高坡。丁普育等^[7]认为粉质壤土和细砂还具有可液化的内在条件。Torrey^[8]研究了密西西比河下游岸坡稳定性与土体二元结构的关系,结果如图 2 所示。从图 2 可以看出,下卧砂土层厚度 H_s 与上覆黏土层厚度 H_c 之比小于 0.7 时,岸坡处于稳定状态,说明上覆黏土层必须提供足够的压力才能保证坡体的稳定。实测地质资料表明,长江下游彭泽马湖堤崩岸段和九江市城区防洪堤溃口处的 H_s 与 H_c 比值分别为 1.49 ~ 1.0 和 1.67 ~ 0.77,说明这 2 段岸坡处于非稳定状态。这与 Torrey^[8]的结论相吻合。

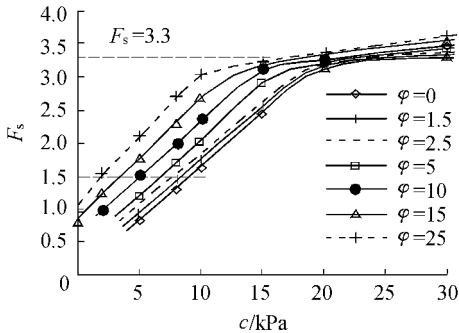


图 1 岸坡稳定安全系数与土体黏聚力关系
Fig. 1 Relationship between stability factor of bank slopes and cohesion of soil

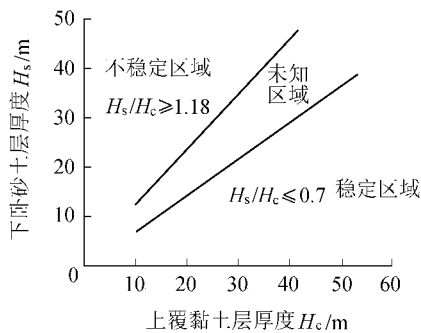


图 2 岸坡稳定性与土体二元结构的关系
Fig. 2 Relationship between stability factor of bank slopes and binary structure

1.1.2 地下水渗流

岸坡土体下层细砂密实度不高、透水性强,易形成入河方向的连续大比降渗流。大比降渗流会冲刷坡面和淘刷坡脚,地下水连续渗透也会使岸坡土体出现弥漫现象,甚至产生管涌,导致岸坡失稳崩塌。如岸坡土体中存在薄弱层,渗流会促使土体沿薄弱层产生深层滑动,引起大规模崩塌破坏。因此,地下水渗流是崩岸形成的外界动力因素。Hagerty^[9-10]结合渗流形成的管涌与水流冲刷,分析了岸坡破坏的过程与发生机理,并区分了与其他纯水流冲刷崩塌破坏的差别。我国长江中下游因地下水渗流形成的管涌而导致的崩岸事件很多。“98大洪水”期间,九江城市堤防溃决与崩岸现象类似,其主要影响因素是堤身和堤基缺陷所形成的渗流管涌。

1.2 河道地形

- a. 河势形态。河势决定了岸坡冲淤的性质。弯道凹岸、汉道分流和汇流处,一般主流贴岸形成强烈冲刷,易出现崩岸现象。长江中下游大多数崩岸均发生在此类岸段上。
- b. 岸坡局部地形。岸坡土体是否会产生重力破坏取决于岸坡局部地形。崩岸段一般为高大陡坡。例如:长江中游荆江段黄水套、石首段碾子弯,下游安庆段六合圩、彭泽段马湖堤等处,岸坡坡比在 1:1.5 ~ 1:2 之间,岸坡高度在 10 ~ 20 m 之间;美国密西西比河下游 Greenwille 弯道崩岸段坡比也在 1:2 左右。依据土坡稳定理论,由粒径 0.2 mm 左右细砂组成的岸坡,无任何干扰情况下的水下稳定坡比仅为 1:1.8 左右,因而上述岸坡均处于极限稳定状态或假性稳定状态,发生崩岸现象是必然的。

1.3 水文气象

- a. 河道水流动力。河道纵向水流形成的贴岸冲刷和顶冲,横向环流、竖向回流或平面回流等副流形成的岸边淘刷,是崩岸形成的最主要外界动力因素。长江中下游绝大多数崩岸段,如宿松河段王家洲和江湾圩、望江河段六合圩、官洲河段广成圩、芜当河段东梁山下端以及南京河段燕子矶、江都河段嘶马弯道^[11]等岸段,均处于水流贴岸和顶冲,或存在明显环流和回流作用之处。纵向水流流速一般在 1.5 m/s 以上,甚至高达 2.5 ~ 3.0 m/s,回流流速也在 1.0 m/s 左右。按照泥沙理论,坡脚处砂土抗冲临界流速仅在 0.5 ~ 0.75 m/s 之间。由此可见,上述崩岸段水流流速已远大于坡脚砂土的抗冲临界流速,因而会出现严重侵蚀,将导致崩岸事件的发生。
- b. 河道水位。岸坡土体性质和地下水渗流与河道水位变化关系密切。洪水期岸坡土体因长期浸泡水中而达到饱和状态,其中孔隙水压力很高,抗剪强度下降。汛后河道水位快速下降,土压力增大,并形成非恒定大比降渗流,对岸坡稳定性的不利影响持续加重^[12]。长江中下游崩岸实例资料表明,90% 以上的崩岸发生在

枯水期或汛后,尤其是大水年之后表现尤为明显.美国密西西比河下游大多数崩岸也发生在枯水期,同样证明了河道水位变化对岸坡稳定的影响.

c. 风浪.江河、湖库水面宽阔,易产生风浪.风成波浪在岸坡附近破碎,会对岸坡形成冲击而造成崩塌.即使波浪不在岸坡附近破碎,也会顺岸坡向上爬升,对坡面产生冲刷.

d. 降雨.强降雨使岸坡内地下水位增高,入河渗流比降增大,从而使渗流破坏作用加强.另一方面,当降水量超过岸坡土壤入渗能力时,会形成地表径流,地表径流会对坡面产生侵蚀,即所谓面蚀,情况严重时,面蚀逐步发展成沟蚀,甚至重力侵蚀,最终导致岸坡失稳.

e. 冻融和干燥.冻胀会使岸坡土体内部孔隙和裂缝中存在的冻结水成为冰晶体,土体结构变松,黏性土小团粒分开,土壤颗粒或团粒结构的黏聚力和内摩擦力降低,岸坡表面冲蚀和失稳的可能性增大.融冰后同样会使土体结构变松,抗剪强度降低,河岸稳定性降低.干湿循环可使黏土含量较高的土壤发生收缩与膨胀,能促进土块形成,土块之间会产生干燥裂缝,会对岸坡稳定产生不利影响.

1.4 人类活动

a. 船舶航行.船舶航行引起的船行波会对岸坡产生强烈拍击和冲刷,显著增加岸坡表面冲刷和大体积塌陷的可能性,螺旋桨激荡会增大局部流速,对底部岸坡产生严重冲刷.英国有关河流的观测资料表明^[2],船舶航行引起的岸坡侧蚀率可达0.35 m/a.我国也有多条河流出现过严重的船舶航行冲刷塌岸事件.

b. 人为工程.在冲积河流上,清水通过拦河建筑物下泄后会对坝下河床产生冲刷,使岸坡坡脚淘刷更严重、高度增加更明显,从而导致崩岸事件的发生.这种情况在国内外许多河流上都发生过.岸坡上丁坝、桥梁墩台等工程布置不当,也可能引起局部岸坡强烈冲刷,导致崩岸事件的发生.因而,人为工程被视为河道崩岸形成的重要影响因素.

c. 人工挖沙及人为荷载.近岸附近的人工挖沙会产生与水流冲刷岸坡同样的效果,使坡度变陡,增加岸坡失稳破坏的可能性.即使局部人工挖沙,若挖除坡脚,也可能会导致重大崩岸事件的发生,而且挖沙机械振动还可能成为砂土流滑(或液化)的诱因^[13].岸坡上的填土、重物和机械振动等形成的荷载,会增加二元结构土层上部土体自重的斜向分力,若下部砂土层存在薄弱面层,则易出现滑坡或崩塌现象.

d. 植被.良好的岸坡植被可提高土壤的抗剪强度,并使土壤产生一定的抗拉强度.人类活动往往会破坏植被,植被破坏易导致岸坡冲刷和崩塌加剧.岸坡上的树木虽会对岸坡的稳定起促进作用,但也易被洪水冲倒或狂风拔起,冲倒或拔起时会松动土壤结构,对岸坡稳定产生不利影响.

1.5 各因素间的相互关系

上述分析表明,崩岸的影响因素是多方面的,并且某些因素错综复杂地交织在一起,形成了既相互制约又相互影响的关系.例如,最早的河势形态由地质构造产生,形成的边界条件决定了岸坡的冲淤性质,水流动力则塑造了岸坡局部地形,导致河道崩岸、展宽,冲淤不仅改变了河势形态,而且也使得岸坡土体的组成与分布发生改变,反过来新的河床边界条件又影响水流动力的变化,如此循环反复,相互制约又相互影响.又如,河道水文与气象因素、人为工程与水流动力因素等,也相互影响.表1给出了崩岸各影响因素的性质、作用和相互之间的关系.

表1 崩岸各影响因素的性质、作用和相互之间的关系

Table 1 Character, function of influencing factors for bank collapse and their correlation

因素类别	因素名称	性质	作用	相互关系
地质因素	土体组成及分布	内因	崩岸形成的基本条件	与河势、局部地形、水流动力相互制约、相互影响
	地下水渗流	外因	渗透侵蚀与助滑	受河道水位、降雨影响
河道地形因素	河势形态	内因	决定岸坡冲淤性质	与土体、局部地形、水流动力相互制约、相互影响
	岸坡局部地形	内因	决定土体是否产生重力破坏	与土体、河势、水流动力相互制约、相互影响
水文气象因素	河道水流动力	外因	侵蚀	与土体、河势、局部地形相互制约、相互影响
	河道水位	外因	抑制与促进	影响土体性质及其中渗流
	风浪	外因	侵蚀	影响局部地形
	降雨	外因	促进	影响土体性质及其中渗流
	冻融和干燥	外因	促进	影响土体性质
人类活动因素	船舶航行	外因	侵蚀	影响局部地形
	人为工程	外因	抑制与促进	影响河势及局部地形
	人工挖沙及人为荷载	外因	诱导促进	影响局部地形
	植被	外因	抑制与促进	影响土体性质及局部地形

2 崩岸类型及关键性影响因素

依据长江中下游崩岸实例,可将崩岸类型划分为侵蚀型、坍塌型、滑移型和流滑型 4 种^[1]。以下分别论述各类型崩岸特征及关键性影响因素。

2.1 侵蚀型崩岸

岸坡未形成大规模崩塌,仅表层土受到侵蚀并出现剥落。这种崩塌俗称洗崩。在长期侵蚀积累下,岸坡形态虽有一定改变,但稳定性尚好,岸线缓慢后退。

在天然江河中普遍存在,成因简单,由河道水流、风浪或船行波、地表径流直接侵蚀引起,当侵蚀外力大于岸坡土体抗冲临界力时即会出现。因而,其关键性影响因素是岸坡土体组成和侵蚀外力。

2.2 坍塌型崩岸

岸坡大块土体分多次倾倒、塌落或崩解,塌落土块垂直位移远大于水平推移,岸坡呈现渐进式破坏,形成与岸线平行的长距离条带状崩塌(俗称条崩),或形成向岸坡内侧楔入的半圆型或马蹄型崩塌(俗称窝崩)。条崩长度在数十米至数千米之间,深度也达几十米;窝崩长度和深度相当,少则数十米,多则几百米,最终塌落土体体积可达数十万立方米,甚至上百万立方米。

崩岸规模较大,发生频率高,大多出现在退水期或枯水期,冲刷强度大、抗冲性差、洪枯水位落差大的岸坡较容易发生,长江以中游居多。

成因主要是岸坡受严重侵蚀后变成高陡坡,或坡脚被淘空,在土体自身重力、裂缝及渗流多种因素作用下发生倒塌。因而,其关键性影响因素是岸坡土体组成、河道水流动力、岸坡局部地形以及地下水渗流。

2.3 滑移型崩岸

岸坡大面积土体整体滑动后形成崩塌,破坏土体水平位移大于垂直位移。崩塌虽然可能会间歇地多次出现,但均具有突然性。土体破坏形式既有线状也有窝状,以窝状居多。

崩岸虽然发生频率低,但规模巨大且突发性强,会出现数十万立方米甚至上百万立方米的土体整体崩塌破坏,大多出现在退水期或枯水期,长江中下游均有实例。

成因复杂,主要原因是岸坡土体中有潜在的连续软弱面(或层),地表存在明显的拉裂缝,并且渗流和雨水侵蚀裂缝明显。因而,其关键性影响因素是岸坡土体组成,地下水渗流和降雨是重要的诱导因素。

2.4 流滑型崩岸

岸坡土体在水流剧烈冲刷下断断续续地发生崩落,土体破坏形式一般为窝状。某种程度上与坍塌型崩岸相似。主要区别是坍塌型崩岸是在冲刷过程中出现的崩塌破坏,而流滑型崩岸是冲刷形成高陡坡后出现的崩塌破坏。事实上,许多坡比大于 1:2.5 的缓坡同样会出现流滑型崩岸。

崩岸规模较大,发生频率高,大多出现在高水期,在长江以下游水深流急的岸段居多。

成因主要是近岸流速较大,坡脚受到严重侵蚀,崩落土体被水流迅速分散搬运并破坏了其后部土体的平衡条件,如此连锁反应,导致土体崩落不断出现,且破坏程度逐渐增大,往往自坡脚处逐级向后溯源破坏,形成所谓的流滑(flow slide),最终导致岸坡大面积崩塌。因而,其关键性影响因素是河道水流动力和岸坡土体组成,而人工挖沙等人类活动可能是重要的诱导因素。

3 结 论

岸坡土体物质组成和分布以及局部地形是崩岸形成的主要内在因素,河道水流、地下水渗流、人为工程和其他自然因素是崩岸形成的外在动力因素,其中河道水流和地下水渗流是崩岸形成的主要外在动力因素,人为工程和其他自然因素是崩岸形成的重要诱导因素。各因素既相互制约又相互影响,对崩岸形成的作用主要表现为侵蚀破坏、渗流破坏、重力破坏和突加荷载或边界条件破坏等。

参考文献:

[1] 张幸农,蒋传丰,应强,等. 江河崩岸问题研究综述[J]. 水利水电科技进展,2008,28(3):80-83.
[2] HEMPHILL R W, BRAMLEY M E. Protection of river and canal banks[M]. London: Butterworth, 1989:10-30.
[3] 岳红艳,余文畴. 层次分析法在崩岸影响研究中的应用[G]//长江重要堤防隐蔽工程建设管理局,长江科学院. 长江护岸

- 及堤防防渗工程论文选集.北京:中国水利水电出版社,2003:63-68.
- [4] 王小波,刘红星.影响长江中下游干流河段岸坡稳定的因素分析[G]//长江重要堤防隐蔽工程建设管理局,长江科学院.长江护岸及堤防防渗工程论文选集.北京:中国水利水电出版社,2003:95-99.
- [5] 中国科学院地理研究所.长江九江至河口段河床边界条件及其与崩岸的关系[G]//长江流域规划办公室.长江中下游护岸工程经验选编.北京:科学出版社,1978:8-18.
- [6] 张幸农,应强,陈长英,等.江河崩岸现象形成原因和机理的研究[R].南京:南京水利科学研究院,2003.
- [7] 丁普育,张敬玉.江岸土体液化与崩塌关系的探讨[G]//长江流域规划办公室,长江水利水电科学研究院.长江中下游护岸工程论文集:第3集.武汉[出版者不详],1985:104-109.
- [8] TORREY V H. 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]. Vicksburg, Mississippi, USA: Department of The Army Waterway Experiment Station, Corps of Engineers, 1988.
- [9] HAGERTY D J. Piping/Sapping erosion I: basic considerations[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1991, 117(8):991-1008.
- [10] HAGERTY D J. Piping/Sapping erosion II: identification-diagnosis[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1991, 117(8):1009-1025.
- [11] 魏延文,李百连.长江江苏河段嘶马弯道崩岸与护岸研究[J].河海大学学报:自然科学版,2002,30(1):93-97.
- [12] 黄本胜,李思平,邱静,等.冲积河流岸坡的稳定性计算模型初步研究[M]//李义天.河流模拟理论与实践.武汉:武汉水利电力大学出版社,1998:50-55.
- [13] 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(2):39-54.
- [14] 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(增刊):246-250.

Influencing factors for bank collapse in fluvial rivers

ZHANG Xing-nong^{1,2}, JIANG Chuan-feng^{1,3}, CHEN Chang-ying², YING Qiang²

- (1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. River and Harbour Engineering Department of Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China;
3. Water Resources Department of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China)

Abstract: In order to study the mechanism of bank collapse, the influencing factors as well as their effect on the bank collapse were analyzed based on some collapse cases in the middle and lower reaches of Yangtze River and other rivers. The key influencing factors for the bank collapse were discussed with regard to its collapse types. The results show that the composition and distribution of soil and the local topography of bank slopes are the main internal factors, and the erosion flows and groundwater seepage are the main external factors. The functions of the above various factors are characterized by scour damage, seepage damage, gravitational damage, sudden load or boundary condition damage, etc.

Key words: bank collapse; internal and external factors; damaging effect