文章编号: 1672-3031 (2003) 02-0090-08

洪水期岸滩崩塌有关问题的研究

王延贵[1], 匡尚富[2], 黄永健[3]
(1 中国水利水电科学研究院 泥沙研究所, 北京　100044;
2 中国水利水电科学研究院, 北京　100044; 3 中国水利水电科学研究院 防洪减灾研究所, 北京　100038)

摘要: 结合洪水期堤岸渗透与崩塌的特点, 以岸滩稳定分析为基础, 本文重点研究了崩滩与渗透险情的关系、洪水浸泡河岸及水位升降等对崩岸的影响。研究结果表明, 岸滩崩塌对河岸堤基的渗透和渗透破坏 (管涌、流土) 有重要的促进作用, 作者推导了堤后 (或堤脚) 发生流土破坏的临界内滩宽度公式; 洪水长期浸泡后, 河岸土壤的内摩擦角和内聚力有较大幅度的减小, 河岸稳定系数减小; 对于黏土岸滩, 洪水迅速上涨期间, 水压力对河岸的稳定是有利的, 而洪水骤降时, 河岸崩塌的几率增大; 对于非黏土岸滩, 洪水缓慢上涨期间, 河岸稳定性变化不大, 而洪水缓慢下降后, 岸滩稳定系数减小。

关键词: 崩岸; 渗透破坏; 水位升降; 稳定系数
中图分类号: TV122　　文献标识码: A

在平原冲积河流中, 崩岸是一种很重要的侧向演变过程, 而且占有很大的比重。在长江中下游, 江岸崩塌十分严重, 崩岸长度占长江中下游全部江岸的 35 7%[1]; 黄河下游河道, 滩岸崩塌也占有重要的位置[2,3], 1949~ 1958 年期间, 铁桥至孙口段平均每年坍塌面积为 53 2km^2, 1960~ 1964 年期间, 铁谢至孙口段平均每年坍塌面积为 395 8km^2; 西非 Niger 河[4] 和美国密西西比河支流 Ohio 河[5] 的崩岸也是非常普遍的。崩岸是一种典型的灾害形式, 直接威胁江河两岸周边的生命财产。1998 年长江、松花江和嫩江都发生了大洪水[6~9], 堤防险情百出, 造成了 2400 亿元的经济损失, 有 1120 万 hm^2 良田被淹, 约有 2300 人在洪水中失去了宝贵的生命, 上千万人无家可归。江河险情主要是由渗漏、管涌和崩岸等引起的, 其中崩岸是江河洪水的主要险情之一, 崩岸不仅直接造成江河堤岸的崩塌决口及岸边建筑物的安全问题, 而且还会促进堤岸渗漏流土、管涌等险情的发生。河岸崩塌机理十分复杂, 影响因素是多方面的, 其中河岸边界特性及土壤地质结构、水流条件和河床冲淤演变特性等在河岸崩塌发生过程中起到了重要的作用, 而且这些影响因素在不同时期所发挥的作用也是不同的。在枯水期, 河岸侧向冲刷及岸脚淘刷是崩岸发生的主要原因; 在洪水期, 河岸土质条件、洪水位变化等对河岸崩塌起到了重要的作用, 且洪水期崩岸产生的危害远大于枯水季节。本文重点研究洪水期崩岸发生的成因。

1　岸滩崩塌与渗透险情的关系

1 1　河岸渗透力与渗透破坏

1 1 1　渗透力及临界水力坡降　洪水期, 岸滩土壤所受的单位渗透力或动水力 D_p 可用下式表示[9]:

$$D_p = \gamma_w J \tag{1}$$

式中: γ_w 为水的容重; J 为渗流的水力坡降。

当岸滩土体中向上的渗透力克服了向下的重力时, 土体就要发生浮起或受到破坏, 俗称流土, 土体处于流土临界状态的水力坡降即为临界水力坡降 i_{cr}。临界水力坡降可用下式表示[9]:

收稿日期: 2003-07-25
作者简介: 王延贵 (1963-), 男, 山东郓城人, 教授级高级工程师, 主要从事河流及水库湖泊方面的泥沙研究。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$i_{cr} = \frac{}{_w} \tag{2}$$

若已知土的浮容重　为

$$= \frac{(G_s - 1)\ _w}{1 + e} \tag{3}$$

将其代入式 (2) 后可得

$$i_{cr} = \frac{G_s - 1}{1 + e} = (G_s - 1)(1 - n) \tag{4}$$

式中：G_s、　分别为土的比重和浮容重；e、n 分别为土的孔隙比和孔隙率。

显然，流土的临界水力坡降取决于土的物理性质。

1 1 2　渗透破坏　土的渗透破坏形式主要有管涌、流土、接触流土和接触冲刷 4 种[9]。但就均质一元岸滩来说，渗透破坏主要是流土和管涌两种基本形式。任何类型的黏性土，只要水力坡降超过临界水力坡降 i_{cr}，都会发生流土破坏。即：$J < i_{cr}$，土体处于稳定状态；$J > i_{cr}$，土体发生流土破坏；$J = i_{cr}$，土体处于临界状态。若岸滩为比较均匀的沙层（不均匀系数 $Cu < 10$），当水位差较大，渗透路径不够长时，岸堤后渗流逸出处也会出现 $J > i_{cr}$ 的情况，这时地表将普遍出现小泉眼，冒气泡，继而土颗粒群向上鼓起，发生浮动、跳跃，称为沙浮。此时土体全部丧失承载能力，是一种典型的液化现象[10]。

1 2　岸滩崩塌与岸滩渗透的关系　众所周知，水在堤基或岸滩下渗流，通过的距离越长，水头损失越大，对堤基的破坏力越小，堤后汛期险情就越轻，甚至无险情。反之，堤后剩余水头大，渗透险情将增加。长江下游安庆地区，堤基历年出现的险情大部分位于江岸崩塌堤段[11]，如同马大堤宿松县的汇口，王家洲，望江县的关帝庄，广济圩的丁家村到马家窝，枞阳县的殷家沟以及南岸东至县的广丰圩和杨家套等等，都是严重崩岸的地段。随着岸滩崩塌的不断发生，至 20 世纪 80 年代中期外滩仅有几百米、几十米，甚至几米，汛期堤后冒水翻沙，险情非常严重。表明江滩的崩塌，使外滩变窄，无疑也是堤基产生严重渗透出险的一个主要因素。对于有渗漏的双层地基（表层透水性较弱，称为弱透水层；下层透水层较强，称为强透水层）而言（图 1），根据 1998 年堤防工程设计规范（GB50286-98）[12] 可知，弱透水层的承压水头可用如下的公式计算。

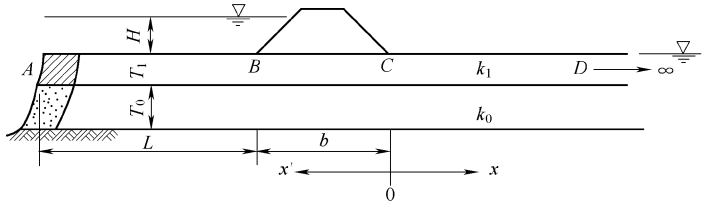

图 1　无限长等厚双层堤基计算

CD 段：

$$h_d = \frac{H}{1 + Ab + \tanh AL} e^{-Ax} \tag{5}$$

BC 段：

$$h_d = \frac{H}{1 + Ab + \tanh AL}(1 + Ax) \tag{6}$$

式中：h_d 为弱透水层承压水头；A 为越流系数，$A = \sqrt{\frac{k_1}{k_0 T_1 T_0}}$。其它符号的意义参见图 1。堤后渗流的水力坡降为

$$J = \frac{h_d}{T_1} = \frac{H}{(1 + Ab + \tanh AL) T_1} e^{-Ax} \tag{7}$$

若令 $J = i_{cr}$，并把式 (4) 和 (7) 代入后，求解得发生流土现象的临界内滩宽度 L_{cr}

$$L_{cr} = \frac{1}{2A} \ln\left(\frac{-Ab(G_s - 1)(1 - n) T_1 + He^{-Ax}}{(2 + Ab)(G_s - 1)(1 - n) T_1 - He^{-Ax}}\right) \tag{8}$$

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

利用岸滩崩塌后的实际剩余内滩宽度 L 与上述临界内滩宽度 L_{cr} 比较，就可以判断堤后是否会出现渗透险情。若 $L > L_{cr}$，堤后不会发生流土破坏；若 $L \quad L_{cr}$，堤后可能会发生流土破坏的险情。一般情况，堤后最先发生流土破坏的位置是堤脚附近，即 $x = 0$ 或者 $x = 0$。对应堤脚处的剩余水头为

$$h_d = \frac{H}{1 + Ab + \tanh AL} \tag{9}$$

堤脚发生流土现象的临界内滩宽度

$$L_{cr} = \frac{1}{2A}\ln\left(\frac{-Ab(G_s - 1)(1 - n)T_1 + H}{(2 + Ab)(G_s - 1)(1 - n)T_1 - H}\right) \tag{10}$$

作为一个例子（取 $G_s = 2\ 7$，$n = 0\ 44$，$b = 20\text{m}$），按照图 1 所示的结构，就堤脚渗透破坏的条件进行了计算，计算结果参见图 2。从图 2 和式（8）、式（10）可知：岸滩崩塌使滩堤宽度减小，渗径缩短，对堤岸渗透破坏产生一定的影响。岸滩崩塌剩余宽度对渗透破坏的影响程度还与堤基结构、土壤性质和水流条件等有关。滩面水深增加、堤基越流系数越小，堤脚后发生流土破坏所需的滩面宽度越大。

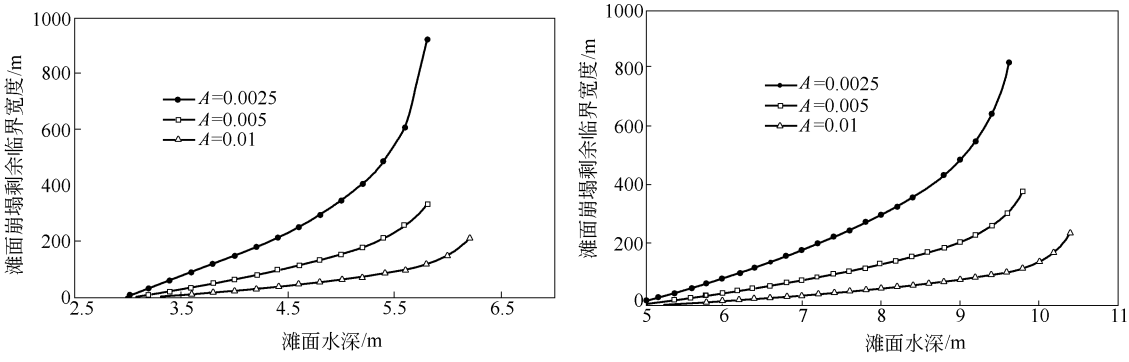

图 2　岸滩崩塌剩余宽度与渗透破坏的关系

2　洪水浸泡后的崩岸问题

在非汛期或者枯水期，河流水位较低，滩岸中上部没有遭受水流的长期浸泡，通过岸滩稳定性分析可知，陡岸单位长度崩体的稳定系数

$$K = \frac{A\cos\ \tan\ + cl}{A\sin} \tag{11}$$

式中：A、　分别为崩体的断面积和容重；l、　为崩滑体破坏面的长度和坡角；　、c 分别为岸滩土壤的摩擦角和内聚力。

在洪水涨升末期，岸滩经历长时期的浸泡，岸滩渗透水流梯度已经很小，崩体内外水位相等，渗透力对崩岸的影响逐渐减弱。在此状态下，假定岸滩渗透水压力处于基本平衡状态，即岸滩内已没有渗流存在，崩体内的动水力为零。但岸滩经过长时间的浸泡，土壤的内摩擦角（　）和内聚力（c）将有很大程度的减小[9]。崩体浸泡后的稳定系数为

$$K = \frac{[\ + f(\ _{sat} - \ _w - \ )]A\cos\ \tan\ + cl}{[\ + f(\ _{sat} - \ _w - \ )]A\sin} \tag{12}$$

式中：$f = \frac{A_d}{A}$，A_d 为崩体断面浸没面积；　$_{sat}$ 为崩体的饱和容重。对比式（11）与式（12）得

$$\frac{K}{K} = \frac{1}{K_w}\frac{K[\ + f(\ _{sat} - \ _w - \ )]A\tan\ + K_c cl\cos\ (1 + \tan^2\ )}{A\tan\ + cl\cos\ (1 + \tan^2\ )}$$

$$= K\frac{P}{P} + \frac{K_c}{K_w}\frac{P_c}{P} \tag{13}$$

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

式中：$K = \frac{\tan}{\tan}$；$K_c = \frac{c}{c}$；$K_w = \frac{W}{W} = \frac{+f(\ _{sat} - \ _w - \ )}{}$；$P = A\tan$；$P_c = cl\cos\ (1+\tan^2)$；$P = P + P_c$。洪水浸泡后，一般情况 $K_w > 1\ 0$，$K < 1\ 0$，$K_c < 1\ 0$，因此

$$\frac{K}{K} = K\frac{P}{P} + \frac{K_c}{K_w}\frac{P_c}{P} < \frac{P + P_c}{P} = 1\ 0 \tag{14}$$

说明岸滩浸泡后的稳定性小于浸泡前的稳定性，表明汛期岸滩容易崩塌。图 3 为洪水浸泡对河岸稳定性的影响的一个计算例子[13]，可以看出河岸土壤浸泡后，土壤的凝聚力和内摩擦角分别减小 30% 和 20%，河岸稳定系数则从 1 21 减小到 0 81，减小 30% 以上。

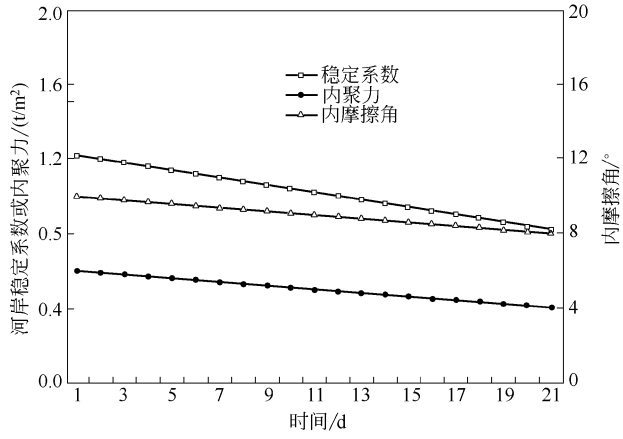

图 3　洪水浸泡对河岸稳定性的影响

上述分析可知，崩岸，特别是大型的滑崩和窝崩，常常发生在洪水期，洪水浸泡对加速崩岸起到了重要的作用。比如汉江入长江口门段的罗家埠至艾家嘴河段[14]，长 2100m，两岸堤距 260～300m，枯水位的水面宽仅为 150m 左右。建国以来，这一河段曾先后几次发生岸顶崩塌或较严重的裂缝。四六三厂堤段处于这一老险工的中段，1963 年汛后曾发生过一次严重的崩岸滑坡。1983 年 10 月洪水后，右岸发生了较严重的崩岸、滑坡、裂陷等险情，长度共达 1341m，占岸线总长度的 64%，其中四六三厂 520m，艾家嘴 420m，罗家埠 401m，而以四六三厂的险情最为严重。其原因是多方面的，主要包括地质土壤因素、水流因素及水位速降等。其中该河段高水位的长期浸泡促使险情发展，该河段历年来汛期经受着汉江、长江洪水的浸泡和汉江水流的冲刷，其中 1954 年、1964 年和 1983 年，高水位洪水浸泡历时长达 67d 以上，最长可达 4 个月。

3　洪水上涨期岸滩稳定性

对黏性土岸滩，当洪水上涨缓慢时，一方面洪水浸泡对岸滩土壤的特性（内聚力和摩擦角）产生影响，导致岸坡的稳定性减弱；另一方面，岸滩在水压力的作用下，产生一定的渗透力，在分析岸滩的稳定性时需要考虑。文献［15］针对陡岸崩塌进行了相应的分析，稳定系数为

$$K = \frac{\{[\ + f(\ _{sat} - \ _w - \ )]\cos\ + \ _w fJ\sin(\ - \ )\}A\tan\ + c\ l}{[\ + f(\ _{sat} - \ _w - \ )]A\sin\ + \ _w fJA\cos(\ - \ )} \tag{15}$$

通过比较可得

$$\frac{K}{K} = \frac{K\{[\ + f(\ _{sat} - \ _w - \ )]\cos\ + \ _w fJ\sin(\ - \ )\}A\tan\ + K_c cl}{A\tan\ + cl\cos\ (1+\tan^2)}$$

$$\frac{A\tan}{[\ + f(\ _{sat} - \ _w - \ )]A\sin\ + \ _w fJA\cos(\ - \ )}$$

$$= \left[K\frac{P}{P} + \frac{K_c}{K_w}\frac{P_c}{P} + K\frac{P_d}{P}(\sin\ - \cos\ \tan\ )\right]\frac{P}{P - \frac{P_d}{K_w}(\sin\ \tan\ + \cos\ )} \tag{16}$$

式中：　为渗流的平均方向角。

从上式可以看出，影响岸滩稳定系数的因素主要包括岸滩浸泡后内聚力、摩擦角的减小幅度和渗透力的大小。洪水上涨时，土壤渗透力的方向角　> 90，说明渗透作用对岸滩的稳定有利；土壤浸泡造成内摩擦角和内聚力的大幅度减小，从而减弱岸滩的稳定性。因此，岸滩的稳定性主要决定于河

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

岸土壤浸泡和渗透力相互作用的对比关系，一般情况

$$\frac{P}{P - \frac{P_d}{K_w}(\sin \tan + \cos)} < 1\ 0 \tag{17}$$

而$\left[K \frac{P}{P} + \frac{K_c}{K_w}\frac{P_c}{P} + K \frac{P_d}{P}(\sin - \cos \tan)\right]$既可能大于 1 0，又可能小于 1 0。导致 K 和 K 的大小关系难以确定。但是由于洪水上涨缓慢，渗流梯度较小，产生的渗透力较小；而洪水上涨缓慢引起洪水浸泡岸滩的时间增长，使得岸滩内聚力和内摩擦角减小，致使岸滩稳定性减小。因此，一般情况，洪水缓慢上升的粘性岸滩的稳定性仍是以减小为主。

文献 [13] 还进一步研究了洪水上涨时河岸的稳定性，在分析岸滩稳定性时，主要考虑侧向水压力的作用，而不考虑岸滩内渗透力及长期浸泡的影响。研究成果表明，对黏土岸滩，洪水迅速上涨，在水压力的作用下，岸滩稳定系数大于洪水前的稳定系数，稳定性增强。

4　洪水降落期的崩岸特点

4 1　洪水骤降过程下的黏土岸滩　岸滩在汛期经长时间的浸泡，土壤处于饱和状态，土壤内聚力和内摩擦角都有很大幅度的减小；另外，由于黏土岸滩具有较好的保水性，洪水骤降时，侧向水压力突然消失，而岸滩又来不及排水，停留在土体内部的水流增大了岸滩的重量。洪水水位骤降后岸滩的稳定系数为

$$K = \frac{[\ + f(\ _{sat} - \ )]\cos A \tan \ + c\ l}{[\ + f(\ _{sat} - \ )]\sin A} \tag{18}$$

对比式 (18) 与式 (11) 可得

$$\frac{K}{K} = K \frac{P}{P} + \frac{K_c}{K_w}\frac{P_c}{P} \tag{19}$$

其中，$K_w = \frac{\ + f\ (\ _{sat} - \ )}{}$。岸滩土壤经过长时间的浸泡后，$K < 1\ 0$，$K_c < 1\ 0$，$K_w > 1\ 0$。所以，$\frac{K}{K} = K \frac{P}{P} + \frac{K_c}{K_w}\frac{P_c}{P} < 1\ 0$，即 $K < K$。

经过长时间浸泡过的粘土岸滩，当洪水骤降后，岸滩的稳定系数总是减小，崩岸的机会增加；与洪水浸泡相比，稳定系数还要减小，洪水骤降后，崩岸的机会大幅度增加，险情进一步加重。

4 2　洪水缓缓降落状态下的黏性岸滩　同样，岸滩长期浸泡后，土壤的内聚力和内摩擦角都有一定程度的减小；另外，由于黏性岸滩具有一定的渗透性，当洪水缓慢降落时，岸滩土体逐渐向河内排水，岸滩在排水过程中，渗透力作用在土体上，其方向指向河流一侧。此时岸滩稳定系数为

$$\begin{aligned} K &= \frac{[W\cos \ + P_d \sin(\ - \ )]\tan \ + c\ l}{W\sin \ - P_d\cos(\ - \ )} \\ &= \frac{\{[\ + f(\ _{sat} - \ _w - \ )]\cos \ + \ _w f J \sin(\ - \ )\}A\tan \ + c\ l}{[\ + f(\ _{sat} - \ _w - \ )]A\sin \ + \ _w f J A\cos(\ - \ )} \end{aligned} \tag{20}$$

通过比较可得

$$\frac{K}{K} = \left[K \frac{P}{P} + \frac{K_c}{K_w}\frac{P_c}{P} + K \frac{P_d}{P}(\sin - \cos \tan)\right]\frac{P}{P + \frac{P_d}{K_w}(\sin \tan + \cos)} \tag{21}$$

因为洪水降落时，一般情况 $< \ < 90$ 。因此

$$\frac{P}{P + \frac{P_d}{K_w}(\sin \tan + \cos)} \quad 1 - \ P < 1\ 0$$

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$\frac{K}{K}\quad\left[K\frac{P}{P}+\frac{K_c}{K_w}\frac{P_c}{P}+K\frac{P_d}{P}(\sin\ -\cos\ \tan\ )\right](1-\ P)<1-\ P \tag{22}$$

式中: $P=\frac{P_d}{K_wP}(\sin\ \tan\ +\cos\ )$; $P=K\frac{P_d}{P}(\cos\ \tan\ -\sin\ )+\left[K\frac{P}{P}+\frac{K_c}{K_w}\frac{P_c}{P}+K\frac{P_d}{P}(\sin\ -\cos\ \tan\ )\right]P$

从式(22)可知，影响岸滩稳定系数的因素主要包括岸滩浸泡后内聚力、摩擦角的减小幅度和渗透力的大小。经过长时间浸泡过的非黏土岸滩，一方面长期浸泡使土壤的内聚力和摩擦角减小，岸滩阻滑力减小；另一方面土壤内产生流向河流的渗透力(< 90)，岸滩下滑力增大。综合考虑，洪水下降过程中的非黏土岸滩，稳定系数将大幅度减小($K<K$)，崩岸的机会大大增加，险情加重。

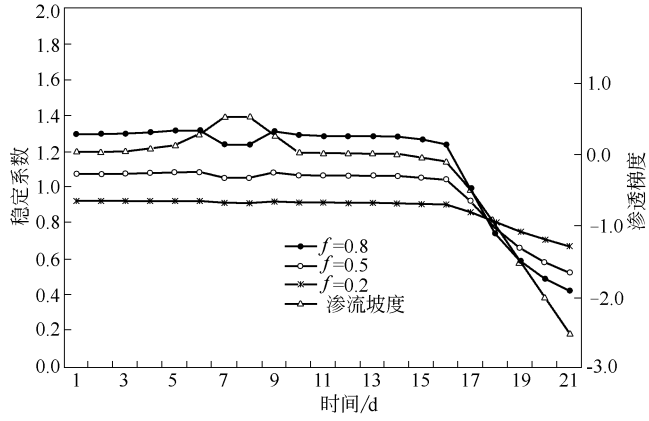

图4　洪水升降对河岸稳定系数的影响

图4为洪水升降对河岸稳定影响的计算例子[13]。计算结果表明，在洪水上涨过程中，一方面渗流梯度为正，渗透力对河岸稳定虽有一定的作用，但作用不大；另一方面，湿润面积增大，河岸所受的压力有所增大，导致河岸的稳定系数增大。在洪水降落过程中，洪水影响主要包括湿润面积减小和渗流梯度变为负值，湿润线降低使崩体所受升力减小，河岸稳定性减弱；渗流梯度为负，渗透力变为河岸崩塌的动力，河岸稳定系数随着渗流梯度的增大而大幅度减小，特别是在洪水骤降状态时，渗流水力梯度较大，河岸所受渗透力较大，其稳定性大幅度减弱。

长江马湖堤1996年1月份的崩岸以及武汉市汉江汉阳沿河堤罗家埠至艾家嘴堤岸滑坡等与洪水降落有重要关系[14,15]。表1为洪水期末水位降落引起的崩岸变化，由于水位降落，该河段的崩岸长度和河岸沉降明显增加。经计算，因动水压力造成岸坡不稳的可能性要增加10%左右。

表1　四六三厂崩岸长度、沉降量与武汉关水位变化关系

日期	1983年				1984年
	12月5日	12月15日	12月17日	12月23日	1月15日
武汉关水位 m	16 87	15 41	15 20	14 73	14 18
崩岸长度 m	20 00	300 00	380 00	500 00	520 00
沉降量 m	0	0 20	0 30	0 80	0 92

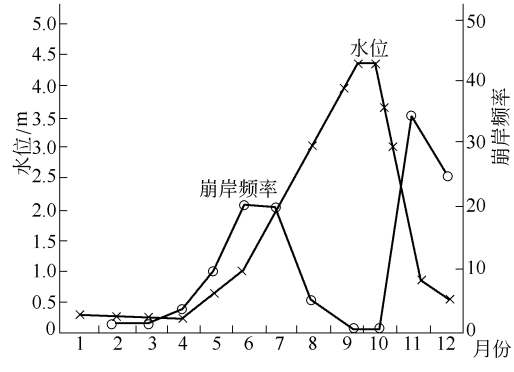

图5　Niger河三角洲崩岸频率与水位的关系

另外，Abam针对西非Niger河不同时期的河岸崩塌频率进行了研究[4]，研究成果也说明上述结论是正确的。从图5可看出，随着降雨量的增加，逐渐进入汛期，河道内水位上升，促使枯水期淘刷严重的河段崩塌，崩岸次数增加(2~5月)；随着降雨量的继续增大，洪水位快速升高，河岸反而稳定，崩塌次数减少(6~9月)；以后，随着降雨量的减少，河水位急剧降落，河岸崩塌次数猛增(10~12月)。

5　结语

结合洪水期堤岸渗透与崩塌的特点，以岸滩稳定分析为基础，本文重点研究了崩滩与渗透险情的关系、洪水浸泡河岸及水位升降等对崩岸的影响。研究结果表明：(1)岸滩崩塌对河岸堤基的渗透和

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

渗透破坏（管涌、流土）有重要的促进作用，作者推导了堤后（或堤脚）发生流土破坏的临界内滩宽度公式。(2) 洪水长期浸泡后，河岸土壤的内摩擦角和内聚力有较大幅度的减小，河岸稳定系数减小。(3) 对于黏土岸滩，洪水迅速上涨期间，水压力对河岸的稳定是有利的，而洪水骤降时，河岸崩塌的几率增大，对于非黏土岸滩，洪水缓慢上涨期间，河岸稳定性变化不大，而洪水缓慢下降后，岸滩稳定系数减小。

此外，本文作者还利用模型试验手段就河流崩岸的机理进行了研究[15]，其中包括洪水浸泡及水位变化对河岸崩塌的影响，试验成果与上述分析结果相符合。但是，由于河岸崩塌机理十分复杂，特别是洪水期的崩岸问题，其影响因素包括边界地质条件、水流条件、河势变化等，本文研究成果仍然是起步性的，尚未能完全证实相关成果在定量上的可靠性，为此，作者将进一步关注对现场资料的搜集，并提高模型试验的水平，使成果更臻完善、实用。

参　考　文　献:

[1] 长江水利委员会. 长江中下游护岸工程40年 [A]. 长江中下游护岸工程论文集 (4) [C]. 武汉: 水利部长江水利委员会, 1990.

[2] 尹学良. 黄河下游的河性 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1995.

[3] 赵业安, 等. 黄河下游河道演变基本规律 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998.

[4] Abam TKS. Factors affecting distribution of instability of river banks in the Niger delta [J]. Engineering Geology, 1993, 35: 123-133.

[5] Hagerty D J, Spoor M F, Ullrich C R. Bank failure and erosion on the Ohio River [J]. Engrg. Geology, 1981, (17): 141-158.

[6] 王威, 黄为, 冯忠民. 堤防抢险及对今后建设的建议 [J]. 人民长江, 1999, 30 (2).

[7] 吕宪国, 张为中. 98松嫩洪水与流域综合管理 [J]. 水电站设计, 1999, 15 (3): 21-25.

[8] 邹响林, 胡维忠, 等. 98洪水对长江防洪建设的启示 [J]. 长江职工大学学报, 1999, 16 (1): 11-15.

[9] 陈仲颐, 等. 土力学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.

[10] 汪闻韶. 土的动力强度和液化特性 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.

[11] 许润生. 堤基渗漏与长江崩岸关系的探讨 [A]. 长江中下游护岸工程论文集 (3) [C]. 长江水利水电科学研究院, 1985, 110.

[12] 水利部国际合作与科技司. 水利技术标准汇编防洪抗旱卷 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002. 3.

[13] 王延贵. 冲击河流岸滩崩塌机理的理论分析及试验研究 [R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2003.

[14] 侯润北. 武汉市汉江汉阳沿河堤罗家埠至艾家嘴堤岸滑坡分析和整治 [A]. 长江中下游护岸工程论文集 (3) [C]. 武汉: 长江水利水电科学研究院, 1985.

[15] 吴玉华, 苏爱军, 等. 江西省彭泽县马湖堤崩岸原因分析 [J]. 人民长江, 1997, 28 (4).

Study on bank collapse during flooding periods

WANG Yan-gui[1], KUANG Shang-fu[2], HUANG Yong-jian[3]

(1 *Dept. of Sedimentation, IWHR, Beijing* 100044, *China*;
2 *China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing* 100044, *China*;
3 *Dept. of Water Hazard Research, IWHR, Beijing* 100038, *China*)

Abstract: The authors studied the relationship between bank collapse and seepage failure of embankment foundation and the impact of flood soaking and water level variation on bank stability during flooding periods. Some results were obtained. Bank collapse had an important impact on seepage failure (such as piping and soil flow) of the embankment foundation. A formula was derived to calculate the critical width

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

of the beach area when soil flows occurred behind the embankment or at the embankment toe. The internal friction angle and the cohesion of the bank soil would greatly decrease after a long period of soaking, this would result in a decrease of the stability coefficient. For cohesive banks, water pressure was favorable for the bank stability in a water level rising process, but the possibility of bank collapse would increase in a water level falling process. For non-cohesive soil, the bank stability would not change very much when the water level rises slowly, but the bank stability coefficient would reduce when the water level slowly falls.

Key words: bank collapse; seepage failure; water level variation; bank stability coefficient

(责任编辑：王宝琴)

2002年度中国水利水电科学研究院科技进步奖获奖项目

序号	成果名称	完成单位	获奖等级	主要完成人
1	江西省防汛指挥决策支持系统（第一阶段）设计与开发	院各单位	应用一等	闫继军 李纪人 陆吉康 蒋云钟 徐泽平
2	黄淮海流域水资源合理配置研究	水资源所	应用一等	王浩 秦大庸 裴源生 罗琳 王建华
3	全国灌溉发展　十五　计划及2001年规划	水资源所	应用一等	裴源生 于福亮 罗琳 汪林 秦大庸
4	低压管道输水灌溉技术配套的田间闸管技术	水利所	应用一等	高占义 张万祥 孙文海 姜谋余 刘群昌
5	高效、持续性污水灌溉新技术研究	水利所	应用一等	高占义 程先军 王桂芬
6	火、核电厂循环水供水管道系统水力摩擦阻力研究	水力学所	应用一等	贺益英 赵懿　孙淑卿 彭文启 陈惠泉
7	大型逆流式冷却塔优化研究	水力学所	应用一等	赵振国 石金玲 周常虹 滕新军
8	黄河万家寨水利枢纽工程竣工环境保护验收环境调查报告	水环境所	应用一等	陈凯麒 李贵宝 王东胜 刘兰芬 姜爱春
9	珠江三角洲网河及口门地区水沙动力特性分析及遥感技术应用研究	院各单位	应用一等	彭静 张世奇 李纪人 廖文根 禹雪中
10	引黄取水新模式与水沙综合利用研究	泥沙所	应用一等	胡春宏 戴清 张燕菁 吉祖稳 李慧梅
11	甘肃省昌马水库坝址右岸山体稳定分析及加固方案研究	岩土所等	应用一等	陈祖煜 韩连兵 贾志欣 何传永 袁培进
12	峡谷地区高混凝土面板堆石坝关键技术研究	岩土所、结构材料所	应用一等	汪小刚 徐泽平 郝巨涛 杨健 黄淑萍
13	利用软岩筑面板堆石坝的应用研究	岩土所	应用一等	周晓光 崔亦昊 徐泽平 付海峰 晁华怡
14	龙羊峡拱坝抗震安全运行研究	抗震中心	应用一等	陈厚群 李德玉 侯顺载 邢国良 付朝阳
15	隧洞衬砌外水压力研究及其在万家寨引黄工程中的应用	结构材料所（非）	应用一等	张有天 陈重华 李雪春 陈平 徐昕
16	大漏量、高流速溶洞地层堵漏和防渗技术	中水科	应用一等	郑亚平 杨晓东 符平 张金接 赵宇
17	田湾核电站软土深基坑支护及软基处理	中水科	应用一等	程家文 高霈生
18	城市引水工程泵站综合自动化系统技术研究	自动化所	应用一等	梁力 袁宏 李鹏 董宇波 王德宽
19	湖南省东江水电厂计算机监控系统改造工程	自动化所	应用一等	李建辉 张毅 李玉钦 段振国 王蓓
20	水轮机转轮内部三维粘性流动计算与性能预测	机电所	论文一等	高忠信 周先进 张世雄 唐澍
21	应用遥感、地理信息系统技术建立嘉陵江流域重点产沙区泥沙输移动态监测系统与水保减沙遥感（卫片）分析评判的研究	遥感中心	应用二等	钟劭南 严慕绥 李琳 陈子丹 黄诗峰
22	鲤鱼江电厂扩建工程（2　300MW）取水工程泥沙物理模型试验研究	泥沙所	应用二等	戴清 陈建国 史红玲 袁玉萍 李慧梅
23	甘肃龙首二级（西流水）水电站混凝土面板堆石坝试验及计算分析研究	岩土所	应用二等	赵剑明 陈宁 邵宇 梁建辉 徐泽平
24	根据混凝土坝动态特性的变化评价坝的老化	抗震中心	应用二等	胡晓 邢国良 张艳红 张翠然 王济

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net