

## 前 言

本书是美国建筑工业研究与信息协会(CIRIA)的研究成果,该研究项目在重点引用英国的经验情况下,提供了有关河流、渠道、航道和排水渠护岸的形式选择及设计方法的导则。

CIRIA 进行该项目时,在浏览了已出版的文献后,汇总了有关信息;向从事护岸工程设计与维修的工程师和机构发了调查表;向水利局、政府机构、公共机构、私人业主、顾问、承包商、制造厂商和研究机构进行了讨论;并作了现场调查;总结了作者们和领导小组的经验。重点参考了英国水利研究站管理的河流和渠道护岸的早期报告和 C.H. 多比帕特纳斯在 1980 年写的这方面的报告。

在完成 CIRIA 的研究项目时,本行业内其他机构编辑了两本出版物,即:

《内陆水道柔性铺砌(包括土工织物)护岸的设计与施工指南》,由国际航运协会常设委员会(PIANC)于 1987 年出版。CIRIA 与 PIANC 协作完成了对英国实践与经验的调查。并且,双方进行了信息交流,以保持协调一致。

《水利实践手册》第 8 册:河流工程——第二部分 结构及海岸防护工程,由英国水利和环境管理学会于 1989 年出版。CIRIA 项目的完成得到了水利工程师和科学家协会(现在合并为 IWEM)的河流工程分会的支持,尤其是对英区的实践和经验的调查方面。这本 CIRIA 著作的内容汇总在 IWEM 手册的第五章。

该研究项目的目标重点放在论述与英国水道和航道有关的护岸范围和规模。具体目标是:

- (1)判明不同冲蚀过程及影响岸坡完整性的其他因素。
- (2)评价与英国不同的防护方法有关的现有设计实践和使用经验。
- (3)鉴定在不同的地点影响方案选择的工程的(耐久性和结构上的),经济的、环境的参数。

本书由长江水利委员会蔡雯、江焱、杨曦绯、欧阳常恒、刘永贵、朗昌清翻译,全书由周端庄校译,杨光熙、朱振宏、饶和平审定。

## 术 语 表

护面层	护岸的外层;保护垫层材料免遭水流、波浪和其他外部因素的冲蚀。
机构	拥有法定的权力对渠道进行施工、以确保满足排水、航运或自然保护目的的岸线业主以外的组织。
沙洲沉积	沉积于河弯内侧的推移质泥沙。
块石	称为采石场原石,具有粗糙的矩形表面,最大边长不超过最小边长的2倍。
渠化河道	用堰控制、靠船闸通航的河流。
航道管理局	负责航道的维修与保护的机构。
河床冲刷(下切)	河道河床高程的区域性下降,与堆积的概念相反。
排水渠	人工开凿水道,用于聚集和输送排出的水流。
堤	为了防洪而对天然河岸进行人工加高后的河岸,一般由土建造。
柴捆	捆扎的砍伐树枝。
主航道	渠道或河道中可通航的中心部分。
吹程	风浪传播的直接水平距离(在风向1)。
建造基面	建筑物建于其上的经过修整的基础面。
石笼	由钢丝或聚合物网构成的长方形或筒形笼,常用石料填充。
土工织物	与土接合的透水的合成织物,具有过滤、分隔、排水、加固土体或防止冲蚀等功能。
刚性护岸	以钢、混凝土等材料构成的护岸工程的总称,与天然柔性材料如草皮护岸有区别。
水力荷载	由于水的作用产生的力,可以是动水荷载或是静水荷载。
叠置结构	良好级配的冲积砂砾沉积;由于以缓慢的方式沉积而形成的有序结构使临界剪切应力增强。
使用期费用	一个项目的总费用,包括规划设计、施工、管理(即:监测、调查、维修)及可能的更换或修复的费用。
席垫	由纤维土工织物任意排列而成,呈多孔、三维状,一般厚度大于10mm。
地貌学	形态和构造的科学。例如,一条河流的形态和构造。
非织土工结构	由非编织的方式形成的土工纤维品,通常是由纤维随机排列形成的复杂纤维结构。
天然土块	粘性土岸坡崩解时形成的糙粗矩形块状土料。
河段	一段河道。
稳定河槽	由易受冲蚀的材料形成的河槽,但未发生过长期的下切和堆积。河道断面可能发生短期变动,由于持续的冲蚀和淤积,河槽可能有侧向

回流	移动。
浅滩	在束窄航道中由行船引起的水流,水流流向与行船方向相反
纵冲沟	局部河床坡降很陡的河段。水流通常很浅,并处于超临界状态
岸线业主	由于地表水沿岸坡流下而引起小的表面冲沟所产生的河岸冲蚀
抛石	靠河道两侧土地的业主。在英国,业主的权籍延伸到河道中心线
爬高	随机放置的疏松的抛石护面层。
冲刷	波浪沿倾斜建筑物或岸坡上爬的静水位以上的垂直高度。
旋转急流	由于水流、螺旋桨或波浪产生的剪切力使土壤颗粒移动。冲刷弯指的是河床材料的局部冲蚀。例如,在未保护河岸的局部
渗流	主船的螺旋桨产生的高速水流,常能引起严重的冲刷。
有效波浪	水进出河岸的运动。
柔性护岸	统计术语,与所记录波浪中的 1/3 最大的波浪平均值有关。因此,包括有效波高和有效波动周期。
基土	与刚性护岸相对应——一般由天然材料形成。
草皮	河岸内或护岸后面的土。
紊流	在池表上的草。
底层	流体流速在极短时间内任意变动。紊动程度由距平均值脉动量的均方根度量。
上爬	位于面层和底土之间的铺砌层。可止土工织物或是颗粒状材料组成,或二者兼而有之。
横撑	当波浪到达岸边时,水流沿倾斜建筑物或岸坡向上运动。接着是向下运动——下跌。
水道	支撑钢板桩挡土墙的水平横梁。
水位消落	天然或人工的输水道。
航道	渠道中水位较快的下落,常引起河岸的超孔隙水压力。尤其与行船引起的回流有关。
	用于航运的河渠。

## 注 释

$A$	过水面积	$s$	土壤剪切强度, 颗粒比重
$B$	水面处的河道宽度	$T$	波浪周期
$b$	河床宽度: 板宽或土条宽	$t$	层厚
$c$	土的粘结力	$U$	风速; 土壤均匀系数
$C_u$	土壤非排水剪切强度	$u$	孔隙水压
$D$	特性粒径尺寸	$V$	平均流速
$d$	水深	$v$	局部流速
$F$	吹程	$v_*$	剪切流速
$F_s$	安全系数	$W$	颗粒重量
$g$	重力加速度	$y$	垂直距离
$H$	波高	$z_0$	土壤张力区的深度
$H_e$	有效波高	$\alpha$	河岸与水平面的夹角
$I_r$	伊里瓦伦数	$\gamma$	水的比重
$k$	渗透率	$\gamma_s$	固体比重
$L$	波长	$\nu$	运动粘度
$n$	曼宁公式中的糙率系数	$\rho$	密度
$n_p$	堆石孔隙度	$\sigma$	土壤的正应力
$O$	土工织物孔口尺寸	$\tau$	剪力
$Q$	流量	$\tau_c$	临界边界剪切应力
$q$	流量强度(体积/秒/单位宽度)	$\phi$	土壤内摩擦角(大约等于休止角)
$R$	水力半径	$\Omega$	边坡修正余数
$r$	曲率半径	$\Psi_s$	谢尔德参数
$S$	能量坡降	$\Psi$	绝对透水性(Permittivity)

# 目 录

前言

术语表

注释

<b>第一章 绪论</b>	<b>1</b>
1.1 背景	1
1.2 本书范围	1
1.3 护岸类型	2
1.4 本书用途	3
<b>第二章 岸坡崩塌过程</b>	<b>5</b>
2.1 导言	5
2.2 河渠形态学	6
2.3 影响河岸坡冲刷的过程	7
2.4 影响河岸发生大体积崩塌的过程	20
<b>第三章 规划和初步设计</b>	<b>32</b>
3.1 导言	32
3.2 现场调查及背景分析	33
3.3 初设方案的选择	47
3.4 确定最优方法	50
3.5 优选方案	55
<b>第四章 对细部设计的引述</b>	<b>57</b>
4.1 导言	57
4.2 各类护岸细部设计共同的问题	58
<b>第五章 天然材料护岸</b>	<b>64</b>
5.1 导言	64
5.2 设计方法	65
5.3 活的大然材料的应用	67
5.4 草的应用	76
5.5 木材和木质材料的应用	88
<b>第六章 垂直护岸</b>	<b>92</b>
6.1 导言	92
6.2 重力墙的设计	92
6.3 重力墙的材料	99
6.4 板桩	100

6.5 其他挡土墙 .....	103
<b>第七章 铺砌护岸 .....</b>	<b>106</b>
7.1 概述 .....	106
7.2 组成组分 .....	106
7.3 设计方法 .....	109
7.4 护面层的设计 .....	109
7.5 垫层设计 .....	112
7.6 抛石护岸 .....	118
7.7 采用其它石块的铺砌护岸 .....	125
7.8 预制混凝土块护岸 .....	131
7.9 其它混凝土铺砌护岸 .....	137
7.10 土工合成材料 .....	140
7.11 沥青材料的使用 .....	144

# 第一章 绪 论

## 1.1 背 景

人类需要保护河道和其他水道的岸坡,这可以追溯到早期的人类文明。为适应这种需求,经过多年已发展了许多保护的方式,并使用现在仍然存在的天然材料以及现代化的材料和工程系统。

传统保护方法的发展与其说是科学,不如说是一种艺术。在使用天然材料的方式上有很大的地区差异,传统的方法能很好地与当地环境结合起来。随着组织结构的变化以及近年许多负责护岸工程的单位不断提高了对费用效益的要求,传统方法在某种程度上受到了威胁。

新材料和新系统在不断发展。有些是明确为护岸设计的,另外一些材料是已脱离原定目的而用于护岸的。这些材料在不同的环境和不同的设计条件下,作为护岸的有效性已作了充分的评估。

作为本书依据的 CIRIA 研究,回顾了英国现在所有护岸方式,并在规划和设计的一般框架内对其作了介绍。对传统方法——就实际可行而言——也以适当方式作了介绍,以便工程师把它作为比较常规工程系统的替代方法评估其有效性。本书力求为规划设计提供合法的依据和分析的基本原理,并是为具有土木工程、水力学和地基工程基本知识的有经验的工程师编写的。目的是使读者理解其基本原理和所涉及的方法。它强调了护岸设计经常要作出的工程判断;本书并不能将非专家和无经验的工程师变为专家,但它能帮助工程师了解什么情况下需要征求专家意见。

在护岸中有两个因素极为重要。第一,不论材料和结构的形式,护岸构成了自然环境的一部分,必须按环境和工程观点就设计的有效性作出判断。第二,适当的设计方法的研究与改进,需要清楚地理解影响现有岸坡稳定性的因素,或者可能影响护岸稳定性的因素。

本书不包含未获得使用性能资料的新材料或系统。其他的方法,例如地基固结和强压混凝土,在英国不常用。CIRIA 认识到需要继续研究以充实现有的知识,并进一步改进护岸方法——尤其是天然材料护岸方法。

## 1.2 本书范围

本书涉及航道和开敞水道(见术语表)的护岸,航道与开敞水道可细分为:

### 1. 开敞水道

#### (a) 天然的

- (I) 河流
- (II) 溪流
- (b) 人工的
  - (I) 渠道(具有相当大的流量)
  - (II) 明沟
  - (III) 排水道
- 2. 航道
  - (a) 运河
  - (b) 可通航排水渠道
  - (c) 可通航河流

超出河口段某点外(即在潮处区内),河流的护岸不曾考虑。在此区内,风产生的波浪作用转变为设计应考虑的主要问题。

排水渠通常是人工的,并且一般与基础设施的开发,例如高速公路或是农业低洼地的排水系统有关。由于行船会产生相当大的冲蚀,因而在本书中将航道单独分类。

在英国,法律上将河流和溪流再分为干流和非干流。

### 1.3 护岸类型

在英国,常用的护岸材料分为以下三种,即天然材料护岸,垂直护岸和铺砌护岸。这三种护岸将先后出现在本书各章节中。当然,不同护岸材料的使用方式可以人为调整。本书所叙述的护岸材料在英国的实践中被认为是十分满意的。

- 1. 天然材料护岸(第五章)
  - (a) 草,包括草皮
  - (b) 合成材料加固的草
  - (c) 芦苇
  - (d) 柳树和其他的树
  - (e) 木结构
  - (f) 灌木
  - (g) 临时保护
- 2. 垂直护岸(第六章)
  - (a) 钢板桩
  - (b) 钢和石棉水泥沟槽板
  - (c) 石笼结构
  - (d) 混凝土、砖和圬工重力挡水墙
  - (e) 预浇混凝土块
  - (f) 加筋土结构
  - (g) 其他低造价结构



### 3. 抛石护岸

#### (a) 石头

- (I) 抛石
- (II) 砌石
- (III) 圪工
- (IV) 石笼沉排
- (V) 灌浆结构

#### (b) 混凝土

- (I) 混凝土块
- (II) 现浇混凝土板
- (III) 土工织物沉排

#### (c) 土工织物和土工膜

- (I) 有草的复合结构
- (II) 面层和栅格
- (III) 三维结构(织物)

#### (d) 多孔或密实的碎石沥青

CIRIA 在 1985 年进行了调查,了解到英国现在的实际情况,并与先前 1978 年的调查情况进行了比较。调查结果概括了有关资料:①护岸类型和长度;②护岸的原因;③各种设计方法;④护岸的破坏。

草是最常用的材料,或是以其为主体,兼用土工织物加固,或是铺草皮。虽然草实际上只用在正常水位以上,但其作为工程材料的用途(尤其是作为具有柔性材料的复合物)在明显地增加,也许是反映出更强调考虑环境因素。

除了草,用抛石块护岸的长度最长。再其次最常用的是木材,通常做成桩或横撑的形式。用梢桩加固和保护的堤岸也有相当大的长度。

对于人造材料,最常用的是钢板桩和钢护板,虽然各种型式的石笼也用得较多。土工织物和土工织物加强的植被,其使用也增多了。

在运河、港口和港湾管理机构中,刚性保护用得较多,尤其是钢板桩和钢护板。它反映了垂直保护的要求和行船引起的冲刷问题。

## 1.4 本书用途

本书的目的,是提供给有经验的工程师一个选择和设计护岸方案的框架。它不是一本设计手册——手册的内容太广而不严格。在许多地方,好的设计实践必须包括鉴别和经验。本书只要求注意到必须考虑到护岸设计和施工的各个方面,这些方面也是需请专家咨询的问题。

本书的意图是既可用作对一个问题的综述,也可作为参考资料的来源。对后者而言,可以预计,读者们将只参考自己感兴趣的章节。然而,必须强调的是,有效的设计要求准确地

判明破坏的原因(或潜在原因)。

第二章分析了影响岸坡整体性及决定设计条件的各种因素。第三章提出了现场调查及选择更合理护岸类型初步设计的基本程序。尤其注意要合理考虑基建费用和未来的维修及更换费用。

第四章作为后面“护岸细部设计”各章的引述,并且包括了各类护岸的共性问题。第五章、第六章、第七章论述护岸的细部设计,提供了技术规范 and 参考资料、护岸型式,包括天然材料(即植物和有机物)护岸、垂直墙护岸和抛石护岸。

## 第二章 岸坡崩坍过程

### 2.1 导 言

本章概述影响无防护土质岸坡整体性的各种因素,并提供了一套基本的理论依据,以便工程师在护岸系统的选择与设计中能正确评价这些因素的意义。在大多数情况下,这些因素中只有有限的因素可决定设计条件。对于工程设计人员来说,常常必须在设计护岸工程之前就能正确估价岸坡崩坍的原因,或潜在的原因。

#### 2.1.1 地貌演变过程

岸坡冲刷既可发生在表面上处于河势稳定(即处于控制性物理演变过程的平衡状态)的河渠中,也可发生在那些不稳定的河渠中。稳定河渠虽然在长期的演变过程中,基本形态和平均尺寸没有什么变化,但也会经历某种局部的冲刷和淤积,尤其是蜿蜒河曲。就大的区域而言,不稳定河渠在其力图达到稳定条件的过程中,将会经历系统的地貌演变。若只想防护一段岸坡而不采取措施处理好区域性问题,就很可能遭到失败。设计工作者还必须考虑到护岸工程方案对河渠整体稳定可能产生的影响。

在美国,不稳定河川大都见于邻近山区的冲积河段。由于早期的冰川活动,减小了这些河段的比降,从而促进了来自山区泥沙的沉积,并由此而加速河渠的侧向运动。在无冰川活动地区,下游河段横向冲刷一般较明显。在不稳定河段,业已观测到平均年水平冲刷率超过  $2.0\text{m/a}$ (纽森,1986),最大冲刷发生在冬季洪水期。从局部来看,冲刷程度也不尽相同,尤其是在蜿蜒河曲段,最大冲刷率发生在河曲顶点,或紧靠该点的下游部位。

#### 2.1.2 人为冲刷

河流工程诸如减洪、土地排水、基础设施建设以及通航等都会对天然岸坡的冲刷率产生不利影响。河道的裁弯取直若不辅以防护工程,则有可能导致河床冲深,河岸冲刷,而且有可能重新形成蜿蜒河况。在波脚进行疏浚工程有可能引发岸坡的坍塌,而疏浚河段引起的岸坡变化会加速淘刷、淤积及河曲的演变。为了增大河渠的泄洪能力,须清除河岸的树木。但因此会破坏树木的根系而降低了河岸的抗冲能力,也可能造成河宽的扩大(海伊,1986)。

船舶通航可能因船行激浪的拍击和螺旋桨的冲刷作用,加速运河和河道岸坡的冲刷。英国的泰晤士河、约克郡马斯河及布罗德兰河等河流,可观测到其冲刷率达  $0.33\text{m/a}$ ,而且无任何可平衡河岸的冲积物。

水资源开发的河道整治及土地利用的变化,诸如都市化和绿化等,会影响河道的水沙状

况,并引起区域性的河渠失稳。

### 2.1.3 局部冲刷

在河渠中,任何造成局部强流流态的工程建筑物,如建设桥梁和坝闸,以及天然地形都会因为复杂的二维流态而引起岸坡冲刷。对于河流来说,都有必要估价岸坡崩坍是由局部流态还是由影响河段的区域性失稳所造成的。

## 2.2 河渠形态学

### 2.2.1 堤岸土质及成因

从岩土技术和地质的观点出发,河岸简单地分类如下:

- (1)粘性堤岸。其中粘性土成份相当大。此外还可能含有一些泥炭土。
- (2)非粘性堤岸。堤岸土料没有多少或无粘性,即土中粘性土成份很少,基本上为砂或砾石。
- (3)土壤结构分层的复合堤岸。即在非粘性土上覆一层粘性土层。

复合式堤岸(图 2.1)在输移河床质的河流中最常见。这种河岸其下部为泥沙沉积物,所沉积的泥沙即为河床质,并呈早期的沙洲沉积形态。河岸的上部也是泥沙沉积构成,但在河床上根本没有这种泥沙淤积。河岸上部的这种沙土是在洪水消退时细沙在沙洲表面淤积而成。植物生长有助于稳定这种泥沙沉积物,并由于增大了局部的水力糙度而促使其进一步的淤积。

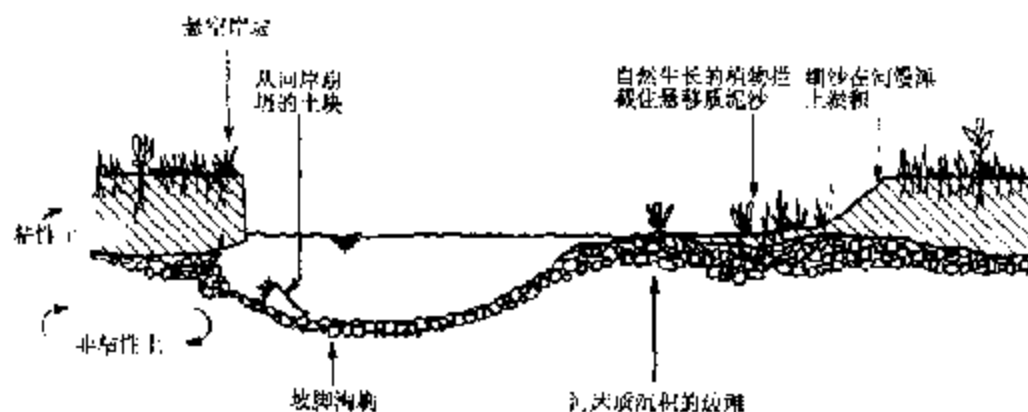


图 2.1 复合式河岸河流蜿蜒段横剖面

在英国的游荡性砾石河床河流中,河岸大都是复合式的,主要是砾石和细砾石叠置而成,或其中充填有粗砂——古沙洲——上覆粘性的细粉沙质粘土——古时的河漫滩淤积。河岸的一些地段可能全部为粘性土,主要是古蜿蜒河段裁弯取直后淤填而成。

沙质或淤泥质河床的河流,其河岸通常为粘性土(其中含有泥炭)。尤其是当这些河流流经古冰川湖或海相沉积地带时,其河岸还可能有夹层。

## 2.2.2 制约河槽形态的演变过程

### 2.2.2.1 稳定河槽

流经冲积地带的无防护河槽,通过自身的冲淤平衡来调整其总体形状及剖面尺寸。最终河槽达到准稳态或冲淤平衡条件,在这种状态下的多年演变期内,河槽的平均尺寸无显著变化。一般习惯上采用冲淤平衡理论以确定河槽宽、深及坡度。

在稳定河槽发育过程中,河岸冲刷起着重要作用。河岸冲刷不仅直接制约河槽宽度的调整及沙洲的淤积,而且对蜿蜒河势的发育有相当大的影响。

河槽宽度的变化影响河道流量、推移质输移过程,并因此对河床的冲淤有所影响。IWEM 的《水利实用手册 No. 7》(霍金等,1987)概述了控制冲淤平衡河槽尺寸的机理,并给出了相应的冲淤平衡方程式。

### 2.2.2.2 不稳定河槽

河流在其冲淤平衡的自然调整过程中处于不稳定状态。改变河道水沙量或河槽形态的人为影响可能是控制河道冲淤的一项重要因素。河流对这些人为的改变作出多快的反应取决于河流所发生的改变的程度,以及河流的自然稳定性(海伊,1986)。根据连续性、水流阻力及泥沙输移方程式,已编制出了数学模拟方程,用以预测宽度不变的河槽中的冲淤过程,从而可预报河槽对整治工程的反应情况(关陆军工程兵团,1977)。在预测河道宽度及平面河势调整方面,目前尚无根据河道演变过程推导出来的公式可资利用。

不稳定的冲积河槽其河岸的冲刷可能特别迅速。河道的不均匀冲淤会导致河流平面几何形状的迅速改变,并促使河槽坡降发生变化。蜿蜒河势的发育会减小河槽坡降,而通过裁弯取直则可使局部河槽坡度增大。由河道冲淤引起的河床高程的任何如此有规律的变化都可能促使河岸快速冲刷。深切作用使河岸失稳,而淤积常发育成江心洲和小岛,加剧河道的迅速展宽并形成分汊河道。

## 2.3 影响河岸坡冲刷的过程

河岸坡面泥土的侵蚀取决于冲刷力超过抗冲力。岸坡冲刷又常使边坡失稳,并促发大体积崩坍。河岸坡面冲刷过程如图 2.2 所示。

### 2.3.1 流水引起的冲刷

#### 2.3.1.1 顺直河槽

在二维均匀单向水流无限宽的顺直河槽中,与迎面阻力相关的边界剪应力由下式计算:

$$\tau = \gamma dS \quad (2.1)$$

式中, $\gamma$  为水的比重; $d$  是水流深度; $S$  为水面坡降(等于河床比降)。水面坡降通常由地形控制确定,故不受流量影响而变化。因此,边界剪应力随水流深度而变,洪峰流量时达到最

大。

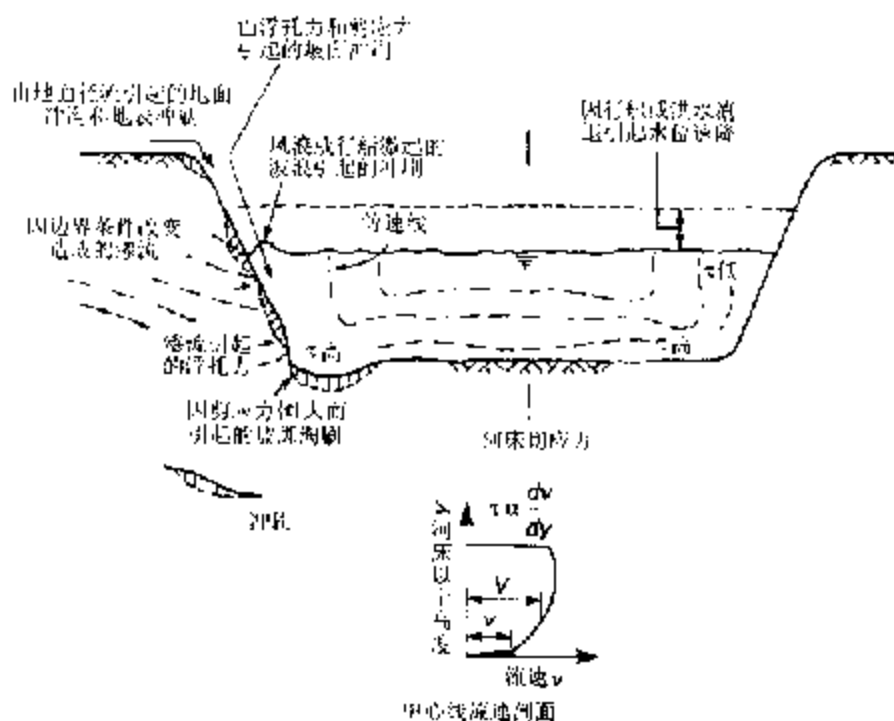


图 2.2 河渠横断面表面冲刷过程的示意图

在有限宽度的顺直河槽中,平均边界剪应力等于  $\gamma R S$ ,其中  $R$  为水力半径。河道中的流速分布受两侧河岸的影响,从而造成三维流态。典型的流速分布参见图 2.2。二次流态及横截面形状的影响会使边界剪应力产生复杂变化。图 2.3 所示为一梯形河槽中实测的流速与剪应力分布。边界剪应力的最大值在邻近两岸的三维水流带测得,该处流速梯度局部地较高。

在河床,峰值剪应力值随着河床宽度增大而趋向于宽河槽的该剪应力值[式(2.1)],凡是河床宽度为水深 7 倍以上的河段,其峰值剪应力的变幅一般都在宽河槽峰值剪应力值的 10% 以内。在两岸,一般认为该峰值剪应力比较小。图 2.4 所示的数据是通过边坡为 1:1 的河槽的试验取得的(Yuen, 1988)。按图 2.4 所示,宽河槽的峰值剪应力为  $0.82\gamma R S$ ,而河床宽度为水深 5 倍以上的河槽,其峰值剪应力的变幅在宽河槽峰值剪应力的 5% 以内。乔(Chow, 1959)给出该常用峰值剪应力为  $0.76\gamma R S$ 。尽管如此,必须指出,该数值不是直接观测得出的。

河床与河岸水力糙率不同,将进一步对边界剪应力产生二次影响。河岸是比河床粗糙还是平滑,剪力对河岸的影响则分别相应增大或减小。迄今还不能从理论上预测剪应力的分布情况,而工程师通常根据现有资料假定峰值剪应力。

### 2.3.1.2 不规则河槽

在河渠中,由于河道横断面的局部变化(诸如由水塘和浅滩所致)及平面形状变化,水流

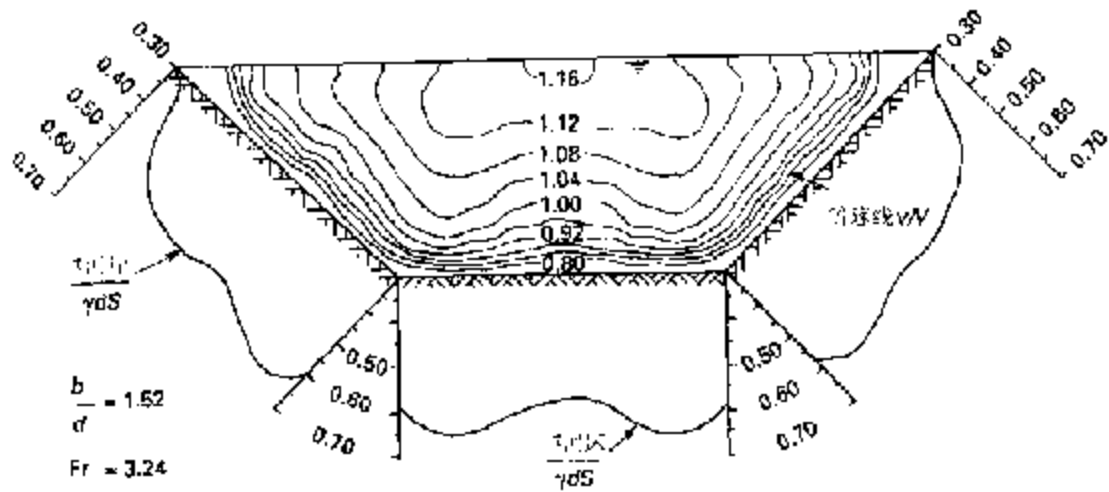


图 2.3 梯形河槽中的流速分布及边界剪应力(根据 Yuen, 1988)

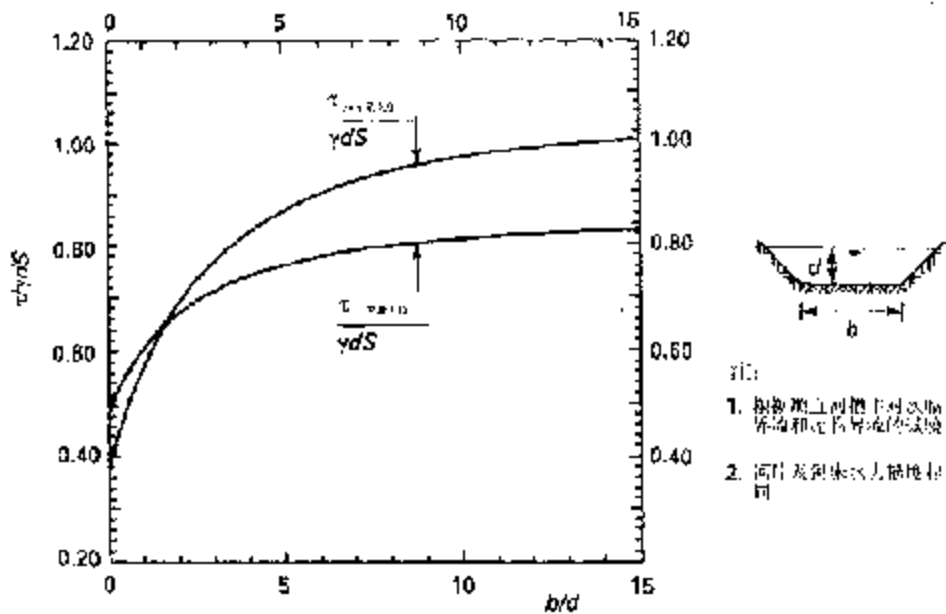


图 2.4 峰值剪应力随梯形河槽的宽度而变化(根据 Yuen, 1988)

是三维的。河槽内存在次生流会改变主流速和边界剪应力的分布。在这些情况下,式(2.1)只给出近似的平均剪应力,而实际剪应力依边界附近的局部流速梯度而改变。

在存在三维水流的河段,理论上剪应力的变化,可通过野外实测最低水流深度的 10% ~ 15% 范围内的流速分布(即点流速深度值)取得。假定该流速剖面为对数流速分布,并利用卡曼-普朗达流速方程,则:

$$v = 5.75 \left( \frac{\tau}{\rho} \right)^{1/2} \log y + \text{常数} \quad (2.2)$$

式中,  $u$  为距河床  $y$  处的流速;  $\rho$  为水的密度, 单位为米制。

河流中, 剪应力和泥沙输移在水槽、浅滩、顺直和蜿蜒河段之间随流速分布和次生流形态(图 2.5)的变化而显著不同。

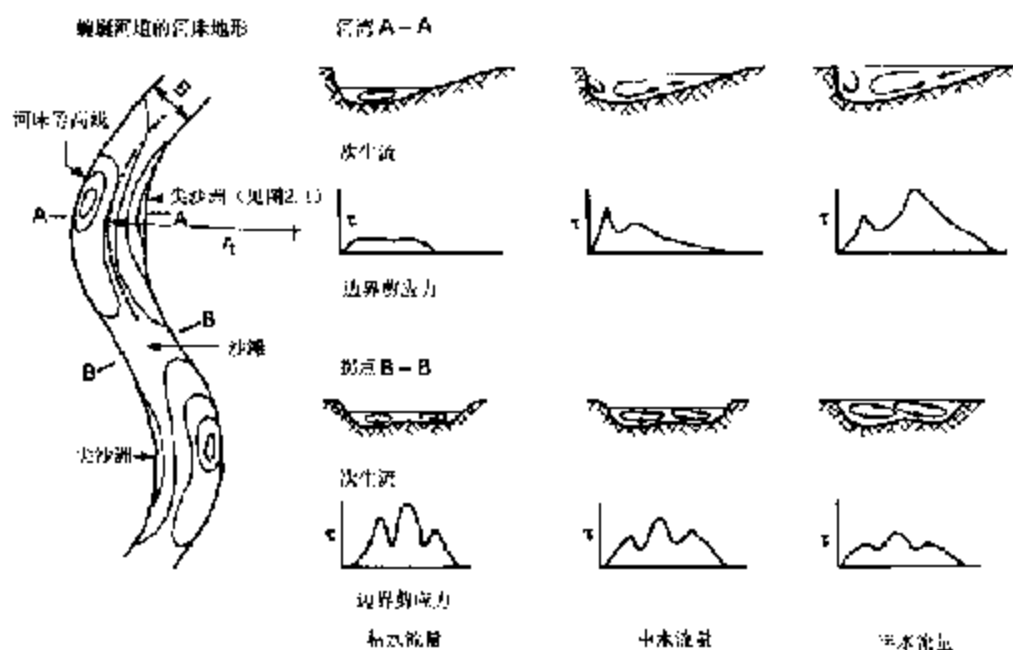


图 2.5 蜿蜒河道中的次生流和边界剪应力(根据海伊, 1986)

在蜿蜒河道, 伴随次生环流的沉降流(即水流向河床下沉)将引起边界剪应力分布的峰值。反之, 在边界剪应力分布呈局部低值处, 次生环流将会产生上升流(巴瑟斯特等, 1979)。结果是, 在洪水期由于毗邻河岸的剪应力在水流方向增大, 因而在曲流段的外岸发生冲刷, 但在尖沙洲则发生淤积, 因为尽管该处剪应力和泥沙输移量比较大, 但剪应力在下游减小。

就河岸的剪应力而言, 根据观测, 其最大值发生在曲流段外岸的底部(莱恩, 1955)。在枯水期, 剪应力的最大值发生在河曲的顶点, 但当流量增大时, 该最大值发生的位置则顺拐点向下游移动。峰值剪应力发生的位置及河岸的冲刷率取决于流量频率及其相应的剪应力, 以及输送岸坡土料的临界剪应力。

曲流段中剪应力分布的大小告诉我们, 河曲中最大应力与平均应力之比是下述三个因素的函数: 河槽宽度与河道中心线曲率半径之比, 岸坡糙度, 以及上游是否存在曲流段(图 2.6)。最大剪应力的变幅可达到引航道中平均剪应力的 3 倍。由美国阿戈斯蒂尼等(1955)提供的, 关于河弯外岸最大剪应力的数据资料参见图 2.6。

对于设计来说, 满槽流量长期担负输送大量泥沙, 因此常被视为控制流量或造床流量。在蜿蜒河曲, 峰值剪应力发生在满槽流量情况下。在发生漫滩流期间, 由于在主河槽与漫滩流之间水流分开, 剪应力不大可能显著增大。

人们曾作过多次尝试, 试图预测洪水流量期间蜿蜒河段发生的最大冲刷深度。阿普曼(Appman, 1972)曾研究了最大冲刷深度与平均冲刷深度之比、河槽宽度及曲率半径之间的关



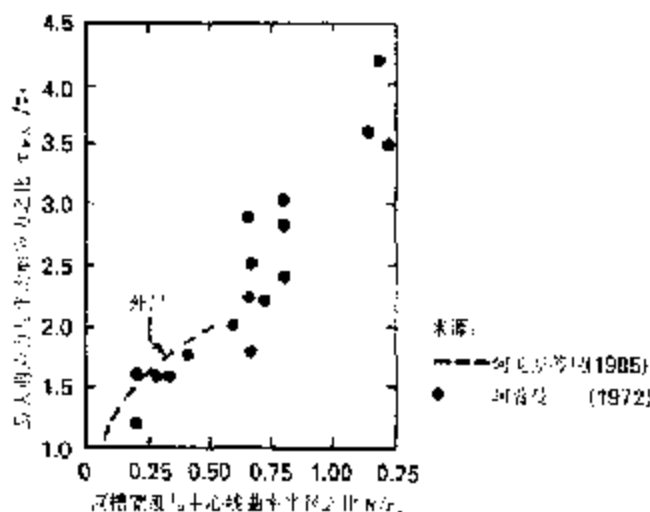


图 2.6 最大剪应力随河道宽率向变化的情况

系,并给出:

$$\frac{d_{\text{最大}}}{d_0} = \frac{(n' + 1)(B/r)}{1 - (1 - (B/r))^{n'+1}} \quad (2.3)$$

式中,  $d_0$  为平均深度;  $r$  为外岸曲率半径;  $B$  为河槽宽度;  $n'$  是常数。从有限的野外资料中取得  $n'$  值为 2.5。在试图预测洪水流量期间发生的最大冲刷深度前,最好是先根据枯水流量条件,确定局部冲刷深度值。

### 2.3.1.3 局部地形地物的影响

河槽中任何与水流紧密接触的局部地形地物都会对局部流态发生影响,如:

- (1) 改变主流方向的流速分布,例如被涵洞束窄。
- (2) 产生三维强流场,如水流流过桥墩时发生偏转。
- (3) 提高水流的紊动度,如在堰下游水流水位下降。
- (4) 局部改变流速梯度,如水流沿一段比较平滑的衬砌岸坡流动。

在局部地形地物的下游,通过紊流混合,水流将重新调整成为与河道几何形状相应的比较普遍的流态。在受局部地形影响的范围内,将由于水流流态受扰动而引起冲刷。

目前尚没有综合性分析方法可用来确定因局部地形地物而造成的水流流态。因此,通常都需要进行物理模型试验研究,以确定重要的局部地形地物的影响。迄今,在土木工程水力学研究中还没有利用数学模型来模拟强三维水流,但却可用于研究束窄工程下游,或边界糙度变化处的紊流混合过程。

现有各种经验方法,可用于确定由局部地形地物引起的冲刷深度。工程设计方法一般是通过谨慎的水力学设计,尽量减小冲刷的影响。

### 2.3.2 波浪引起的冲刷

#### 2.3.2.1 风成浪

风在水面上吹过生成表面波浪,其特征值为:

- (1)波高  $H$ ——波谷与连续波峰之间的垂直距离。
- (2)波浪周期  $T$ ——连续波上越平均水面之间的时间。
- (3)波长  $L$ ——相邻波上越平均水面之间的水平距离。

按上述  $H, L, T$  值,且不随时间而变化的波浪称之为规则波浪。当水深充分时,波长仅取决于波浪的周期,按下式计算:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2.4)$$

水深  $d$  与深水波长  $L_0$  的比率可用以对波浪进行分类:

$$\begin{aligned} d/L_0 &> 0.25 && \text{深水} \\ 0.05 &> d/L_0 \geq 0.25 && \text{中水} \\ d/L_0 &< 0.05 && \text{浅水} \end{aligned}$$

对于中水型的波浪,波长为:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \ln H (2\pi d/L) \quad (2.5)$$

对于浅水型的波浪,其波长为:

$$L_s = T(gd)^{1/2} \quad (2.6)$$

对于诸如英国的中等大小的内陆水道,风成浪的周期一般为  $T = 1.5s \sim 2.5s$  之间。因此,当水深  $d$  大于  $2.5m$  时,这些风成浪通常为深水型。进入浅水区的波浪,浪高将增大,而且当  $d < 1.28H$  左右时,在其达到岸边前就将破碎;与破碎前到达岸脚的较小波浪比较起来,这种波浪的破坏性一般比较小。

自然中的风成浪通常是不规则的,可以视作是具有不同  $H, T$  及  $L$  的许多独立的随机成因的总和。浪高随波浪周期的变化可用波浪的能谱来描述;能谱越窄,波浪则越密集在主波周期的周围。衡量随机波的实用办法是测定有效波高  $H_s$ ,该波高相当于  $1/3$  长期记录系列中最高波高的平均值。随机波的典型波浪周期为零超越周期  $T_s$ ,它等于长记录的持续期除以超过平均水面点的数目。

风成浪的  $H_s$  和  $T_s$  值依风速  $U$  及其历时,以及风在开敞水面上的吹程  $F$  而定。根据  $U$  和  $F$  值及历时预测波浪特征的大多数方法都是按开敞海域条件而设计的。因此,必须采用外推法,使之推广到适用于内河及水道吹程比较短的情况。对于内陆场所来说,波高一般受风区长度而不是受风吹历时的限制,因而风吹历时一般不作为计算因素。对于这样的情况,估算  $H_s$  及  $T_s$  的比较合适的计算式是简化的斯—孟—布 (SMB, Sverdrup - Munk - Bretschneider) 方程式 (布雷特施奈德, 1952; 敬文, 1987):

$$H_s = 0.00354 (U_{10}/g)^{0.48} F^{0.42} \quad (2.7)$$

$$T_s = 0.581 (FU_{10}^2/g^3)^{0.25} \quad (2.8)$$

式中,  $U_{10}$ 是在平均水位以上 10m 高处的风速。方程式可采用任何一套相互一致的单位(例如, m/s)。 $U_{10}$ 的数值在有可能的地方都应取自当地的观测或记录。英国内陆场所风区长度达 3km 左右的典型设计风速为:

有屏护 19m/s

平均 23m/s

无屏护 26m/s

这些风速持续刮 15min 的风, 估计平均大约每 10~20 年发生一次; 相应的风速, 持续刮 1h 的风, 其概率大约减少 5%。

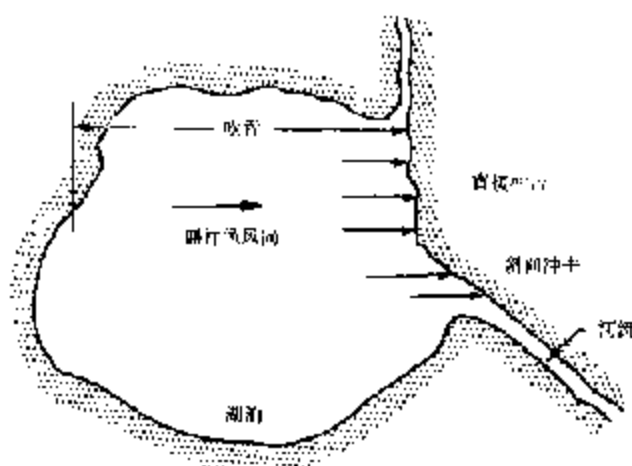


图 2.7 风成浪的冲击区及偏斜度

在内陆某一场所, 式(2.7)和式(2.8)所用的  $F$  值必须考虑水域的平面形状(图 2.7)。假如风沿着两个长度相同, 但宽度不等的水体吹刮, 则与窄的水体相比, 宽水域将倾向于产生大浪。萨维尔等(1962)提出了一种用于式(2.7)和式(2.8)中计算有效吹程长度的方法。利用这种方法计算所得结果相当于长度为  $L_w$ 、宽度为  $B$  的河流或运河顺直段的情况。若风与河段交叉直吹, 则达到对岸的有效吹程即为  $F_e = B$ ; 但若风向角度为  $45^\circ$ , 则用萨维尔法计算, 得出结果大致为  $F_e = 2.5B$  (条件是  $L_w > 20B$ ); 若风沿河段吹, 则朝向河段下游作用在一岸上的有效吹程大致为  $F_e = (3L_w + 67B)/40$ 。

关于堤岸受斜向风浪冲击面坍塌的资料很有限, 但可以想像, 在入射角  $\beta$  (风浪推进方向与堤岸法向线之间的夹角) 超过  $45^\circ$  之前, 风浪并无多少减弱。因此, 应在确定  $\beta = \pm 45^\circ$  的范围内产生的有效吹程的最大值后, 确定设计波浪。如有必要, 可考虑较多的斜向波浪, 但应减小计算波高。例如, 采用维格尔(1964)提出的、关于斜向波浪反射系数的资料进行计算。在确定设计条件时, 应对水深进行校核, 以保证足以使预测的波浪在其破碎前能到达岸坡脚。

波浪的潜在破坏性视其是顺岸坡向上爬升而不破碎, 或是在其冲击岸坡时以振波、卷波或崩波的形式破碎而不同。据认为, 波浪的这种形态特征取决于伊里巴伦(Iribarren)数  $I_r$ ,

对于随机波,可按式计算:

$$L_s = \frac{\tan \alpha}{(H_s/I_{0z})^{1/2}} \quad (2.9)$$

式中,  $\alpha$  是河岸与水平面的夹角;  $I_{0z}$  是应用零超越周期  $T$ , 根据式(2.4)计算的深水波长。按给定波高, 当发生振荡时, 其破坏性最大; 这种情况相当于  $L_s > 3.3$  (岸坡光滑) 和  $L_s = 2 \sim 3$  (岸坡粗糙, 如抛石护岸)。

在闭合式排水系统中, 沿排水渠吹的风可能引起水位普遍上升, 此外, 其上还叠加上风浪。这一组合型式  $\Delta S$  可按式计算:

$$\Delta S = \frac{KU^2 L_w \cos \theta}{gd} \quad (2.10)$$

式中,  $\theta$  是风向与渠道中线之间的夹角; 经验系数  $K$  值通常取:

$$K = 2 \times 10^{-6}$$

### 2.3.2.2 船成浪

由船舶通航引起的水的流动取决于水道的尺寸及几何形状, 以及船舶的形状、尺寸、航速及航线。图 2.8 显示船舶通航引起水流流动的各组成部分, 可分为初生波和次生波。

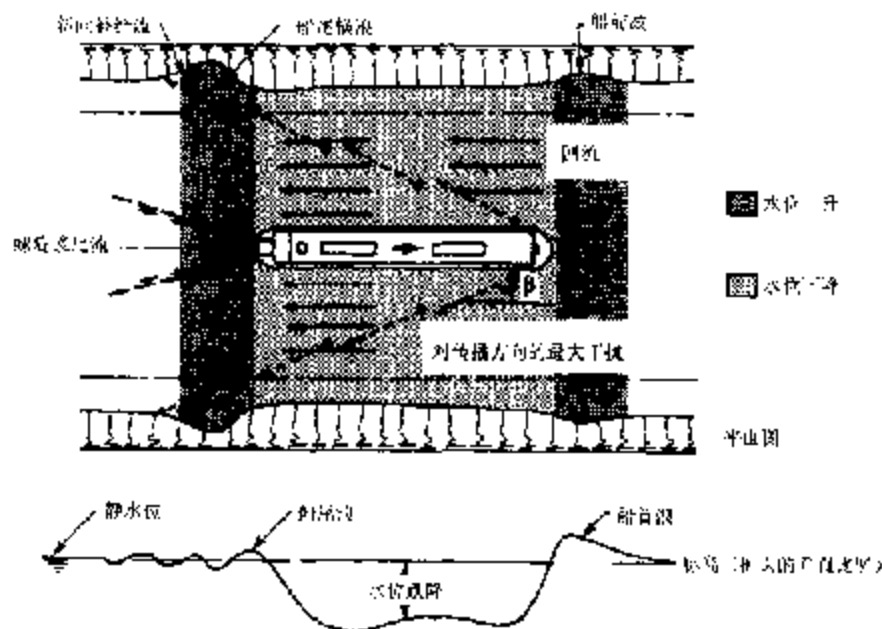


图 2.8 在航道中航行的船舶引起的水体的流动(根据 PIANC, 1987a)

初生波是随船舶周围的水体流动而伴生的, 船舶周围水体流动会引起河槽束窄断面的水位变化。船舶航行时, 船头的水位上升, 船通过后急剧下降至低水位。船尾水面相应地急剧上升后随之降回到原来水位。在船前浪与船尾浪之间, 水位的还原是由与船舶行驶方向相反的逆向流动的回流所引起的。船尾横浪是凭借船舶行驶时引起了沿河岸向前, 向上流的斜面补给水流实现的。船舶通航引起的这些横浪和水流能引起河道严重冲刷。在船首产

生的水位突然下降,会在河岸引起剩余孔隙水压力,并从而增加岸坡表面冲刷和大体积坍塌的可能性。当船舶航速比较高时,船尾横浪可能破碎,所产生的紊流将增大斜面补给流的潜在冲刷能力。

次生波是水面的扰动,主要在船的首部和尾部产生,并斜向外朝两岸传播。次生波的特性类似风成浪,但不是随机波,次生波由大约 10~15 个大波浪组成相干群波推进,这些波浪减小比较缓慢。波浪形成的 V 形形态主要决定于船舶航速及水深。若航速为:

$$V_b \leq 0.7(gd)^{1/2} \quad (2.11)$$

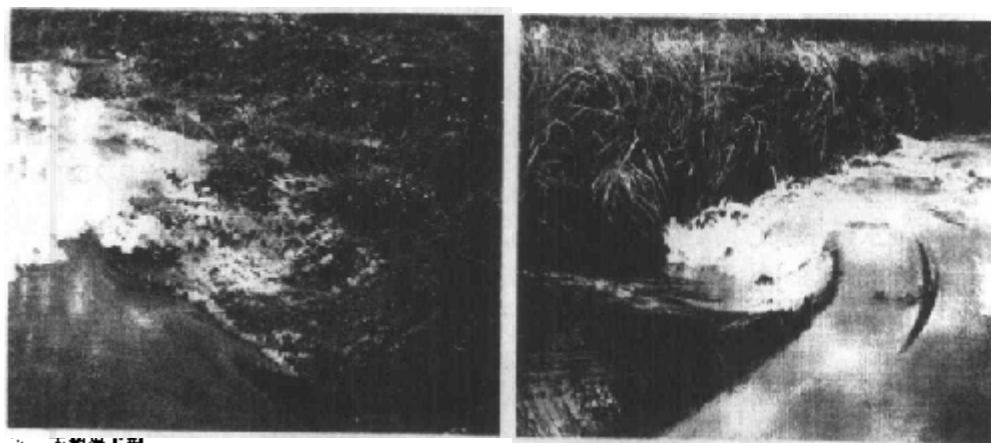
次生波将以同航线成  $35^\circ$  角的方向向外推进(即朝平行岸作用的波浪的人射角大约为  $\beta = 55^\circ$ )。斜波的相应波长为:

$$L_b = \frac{4\pi}{3} (V_b^2/g) \quad (2.12)$$

若船舶航速超过式(2.11)的限度,则朝平行河岸作用的波浪的人射角将超过  $55^\circ$ 。尽管由不同的船舶引起的次生波其形态可能颇相类同,但浪高主要取决于船舶航速、船舶尺寸、船首及船尾浪的形状,以及航道水深。

螺旋桨的激荡可能会增大局部流速。就小型船舶通航来说,与由上述的初生波及次生波所引起的影响相比,其影响一般比较小,但当船舶操舵航行或由停航状态启航时,可能会产生严重的冲刷。由螺旋桨运行所引起的底部流速取决于推进系统、发动机功率及输入功率历时(普罗瑟,1986;PIANC,1987a)。

在英国的通航水道,小型船舶通航可能是引起河岸冲刷的最常见的原因。水上运输种类繁多,在内河水道上通航的商船可达 61m 长,6.1m 宽,吃水深达 2.5m。在通海运河上航行的船舶可能比这种商船大得多。然而,许多内陆运河及通航河流目前仅通航长 6~12m、宽 2~3m、吃水深 1m 以下的游船。虽然这些游船比较小,但其引起冲刷的潜在可能性仍十分大(参见图 2.9 和图 2.10)。

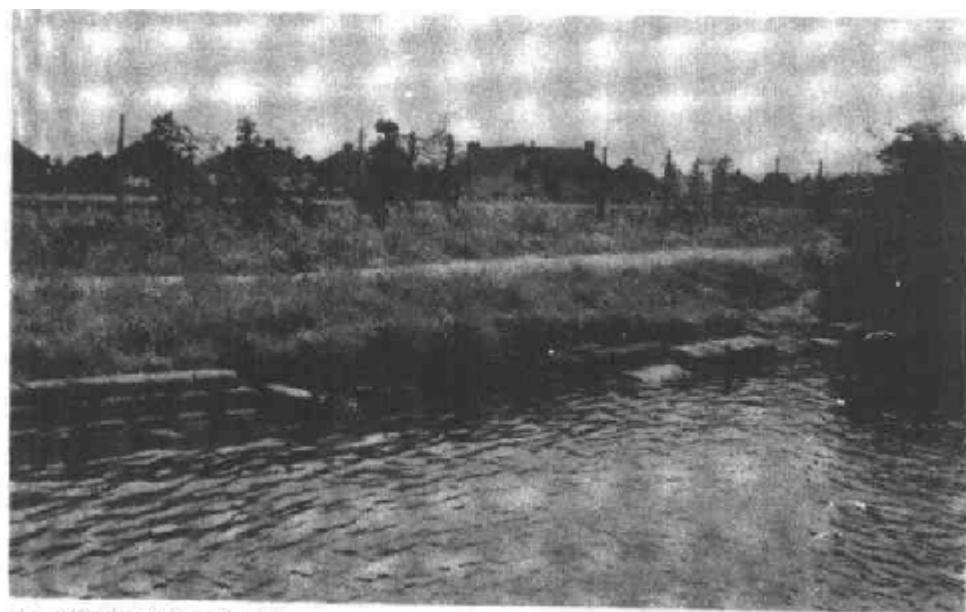


(a) 大护岸工程

(b) 英国 Lesser Pond Sedge 的芦苇护岸

图 2.9 船尾浪对运河岸的冲击

现场实测由通航船舶引起的波浪和水流是确定护岸工程设计标准的最佳办法。但在缺



注：抛填混凝土块临时修复岸线

图 2.10 因船舶振荡而引起的河岸冲刷

少此类数据资料的情况下,亦可采用 PIANC(1987a)所介绍的方法估算这些数值。请注意:某些计算式含有一些经验因素,对于小型船舶及在英国的水道上,这些数值并不具代表性。

影响船成浪大小的一个重要参数是相对断面系数:

$$k = \frac{\text{船舶吃水线以下的横截面积}}{\text{水流未受扰动的横截面积}}$$

大体上,当  $k > 0.1$  时,船舶航行引起的初生波很可能大于次生波;若  $0.05 < k < 0.1$ ,这两种波浪大小差不多;而当  $k < 0.05$  时,次生波很可能占优势。

在断面系数比较高的窄浅航道,对任何特种船舶都应限制其航速(Schijf 和 Jansen, 1953)。限制航速是因有回流而束窄了水流面积,而与船舶的功率大小无关。当船舶航速接近限制航速时,大大增强了航行阻力和产生船首浪的能力,而且从经济角度考虑,比较合适的航速应是限制航速的 30% ~ 80%。实际上,要求商船总按限制航速行驶是不可能的;但是,对于在窄浅水道中航行的游船,限制其航速是可行的。

对于典型的英国水道,应用索伦森(1969)、菲雷尔等(1981),以及 PIANC(1987a)等推荐的计算方法,可计算出以下浪高与水流流速的数值:

航道类型	船舶大小 (t)	波高 (m)	流速 (m/s)
大型运河	< 400	< 0.5	< 1.5
小运河	< 80	< 0.3	< 1.0
通航河道	< 40	< 0.4	2~3(河流)

下列数据仅表示可以期待的情况,在实用中应通过现场观测或更精确的计算予以校核。对于通航运河来说,最大波高和流速通常是由船成的初生波造成的。在许多通航河流,断面系数 $n$ 比较小,而且最高的次生波是由相对较短、长宽比较小的船舶引起的。在船舶功率比较大的情况下,所产生的次生波便倾向于流向船的尾部,然后潜没水下,产生大波幅的波浪。在通海运河及潮汐河流,大型船舶一般都会引起波高达0.6m左右的次生波;但在通海运河及潮汐河流,如果有效的吹程超过0.5km,则风成浪可能更危险。尽管风成浪也许不会在运河及通航河道中引起极恶劣的情况,但与过往船舶相比,风成浪确能引起大量中等波幅的波浪。

通航河道的许多天然河岸,其土质或者是非粘性的砂和砾石,或者是在水位线上含有砂砾石的混合土质,其抗冲刷能力都很低。这些河岸的冲刷通常遗留下由被冲刷的砂砾石形成的、独特的S形滩地,而且常可看到河岸的泥沙呈悬移状被船成浪挟带。

人工运河的堤岸通常是用不透水土料填筑的。在英国,大多数运河都是在普遍利用马拉纤(horse towing)年代修建的,当时航速较低,船舶通航而引起的水体流动不可能造成冲刷。为了减少工程费用,堤岸一般比较陡,现在许多这样的运河都通航机动船舶,堤岸极易受冲刷。

### 2.3.3 机械作用引起冲刷

#### 2.3.3.1 冻融作用

土壤中的孔隙、裂缝或裂隙中存在冻结水,将会形成小的土壤团粒,并使岸坡表面上壤松散。由于冻结水的存在,减少了土壤颗粒或团粒结构的聚结能力,从而降低了内摩阻力,破坏土壤的粘聚性,常常在重力作用下,产生表面冲刷。

#### 2.3.3.2 干燥作用

干、湿循环可使含粘土上的土壤发生收缩与膨胀,从而促进形成土块,并在土块之间产生竖向裂隙和干燥裂缝。干燥作用还会引起土壤蠕变。天然土块有其自身特征,即边长大约在0.5~1.0m之间。

#### 2.3.3.3 船舶的影响

在通航水道中,船舶(特别是下锚时)会对河岸造成直接破坏。此外,在河岸打人和拔除系船桩也会造成破坏。

#### 2.3.3.4 动物和人类活动的影响

动物和人类活动都可能对河岸表土及内部造成破坏。穴居动物可能在河岸上掏挖大量土壤,并从而减小河岸的总体强度特征值。生活在淡水和海水中的少量无脊椎动物也会造成类似影响。河岸坡面主要因放牧和践踏而遭破坏。破坏植被会破坏岸坡表面保护层,引起地表水入渗的不利影响,使岸坡表面更易受冲刷。

用于畜牧给水的通达河岸的道路可使河岸遭致严重的践踏和冲刷,而频繁通行的人行道,特别是辟作钓鱼的河段或道路亦会对河岸造成同样的不利影响。渔民常会砍除河岸上的树木,以利于其撒网。凡是植被遭破坏之处,就会首先发生表面冲刷,以致形成冲沟(图

2.11)。



图 2.11 河岸受人类践踏及冲刷情况

#### 2.3.4 渗透引起的冲刷

渗透影响可以是恒定的,也可以是不恒定的(参见图 2.2)。恒定性影响与通过河岸排出和补给的区域性地下水状况有关。渗透速度取决于当地的水力梯度及河岸土壤的渗透性。排出口水力梯度高的地方,渗进河道的水流会局部地增大对岸坡表面土壤,特别是无粘性的粉砂和砂土的上浮力,并使其更容易被水流冲走。当局部水力梯度在渗透性土壤范围内造成零的净有效应力条件时,就会发生管涌,并使岸坡表面土壤逐渐流失。对于上升流,临界水力梯度约为 1.0,而对于水平流,该值可能比较小(斯蒂芬森,1979)。特别在土层或透镜体为渗透性大的砂,或粉砂被渗透性较小的土壤包围时,更易发生管涌。在土壤结构没有充满细颗粒泥沙的地方,也可能发生细颗粒泥沙从粗砂骨架内排出,即所谓弥漫作用,因为小的水力梯度可促使细颗粒泥沙排出。

不恒定渗透影响与因河道水位波动造成河岸孔隙水压变化相关,而与进、出河岸的恒定渗透无关。不恒定渗透影响是由于诸如洪水淹没和潮汐涨落的长期变化,或是由于船舶通航和表面波引起的水位下降的短期变化而造成的。土中的孔隙水流将取决于河道水位的变率、渗透性及水位下降或波高。在基土中这种反应变得迟缓。邻近岸坡面,随着河道水位下降,孔隙水压下降可能十分显著,从而引起比较高的压力梯度。随着水位的均衡,该压力梯度亦逐渐减少。例如在由粗砂砾石形成的、渗透性极大的河岸,地下水位紧跟河道水位变化而变化,因此,不会出现大的压力梯度,河岸亦不会发生与渗透有关的冲刷问题。另一极端情况即相对不透水的粘土质河岸亦不可能存在渗透问题,因为渗流流速将极低。粉砂和砂



质基土危险性最大,因为这种土质的地基不能迅速作出反应,以避免发生比较高的压力梯度,而且渗沉速度也相当高。

### 2.3.5 地表径流引起的冲刷

若降水量局部地超过河岸土壤的入渗能力,或河岸局部饱和,即发生地表径流。在岸坡被清除及地表因践踏和交通而被压实的地方,极可能发生地表径流。地表水在比较干燥的河岸上流过的地方,亦可能发生地表径流。地表径流会引起薄层冲刷。如果水流集中而又无合适的地面防冲设施,则会形成冲沟。对于进一步的资料,可参阅诸如何克比和摩根(1980)编著的关于土壤冲刷的教科书。

### 2.3.6 挟带泥沙

#### 2.3.6.1 沙质(非粘性)河床和河岸

希尔兹早在1936年就根据经验推导出一般均质的沙质河床底沙起动的计算公式:

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma)D} = f\left(\frac{(\tau/\rho)^{1/2}D}{\nu}\right) \quad (2.13)$$

式中,  $\tau_c$  是质点运动的临界剪应力;  $\gamma_s$  为泥沙的比重;  $D$  为泥沙粒径;  $\nu$  为水的运动粘滞系数。对于大约5mm以上的泥沙,上述函数值从在泥沙开始起动之初的大约为0.04到完全推移时的0.06。临界剪应力与泥沙粒径的关系(按泥沙比重为2.65)如图2.12所示。

沙质(非粘性)河床河道的常用设计方法是考虑将作用到河道的河床及两岸的剪应力限制到根据经验推算得出的容许曳引力。引力值可参见图2.12。该剪应力可以大于由希尔兹所标示的数值,因为存在的胶质和有机质物质具有微弱的粘性,在不危及河道稳定的条件下容许泥沙有一定的运移。

若考虑到作用在河道两岸坡上的临界曳引力,则必须对粒径超过5mm左右的泥沙向下作用于岸坡的重力分力规定容许值。在这种情况下,抗冲计算类似7.6节所述的抛石护岸的计算。1955年莱恩就提出了在计算角度为 $\alpha$ 的岸坡上起动泥沙的临界剪应力公式:

$$\frac{\tau_0}{\tau_c} = \left(1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \phi}\right)^{1/2} = \Omega_1 \quad (2.14)$$

式中,  $\phi$  是岸坡土壤的休止角;  $\tau_c$  为作用在河床上的临界剪应力。曳引力的设计方法将在7.6.3小节进一步讨论。

#### 2.3.6.2 粘性河岸

由于粘性土的相邻颗粒具有物理的粘聚力及电化学的结合力,这种作用将阻止单个土粒从粘性河岸脱开。图2.12表明了移动这些颗粒需要较大的应力。冲刷范围则取决于土壤的松散度(或密实度)及有机质成份。因而,不同的土壤冲刷范围变化很大。粘性河岸的表面冲刷常常亦包括从土中冲走粒径1~10mm的干缩团粒或碎粒。如果这些团粒粘聚力很小,则其粒径相当于砂/砾石的粒径范围,所起的作用也一样(索恩,1982)。

#### 2.3.6.3 复合式河岸

复合式河岸组成部分的表面冲刷亦由上述过程所形成。由于邻近岸坡底部存在比较软

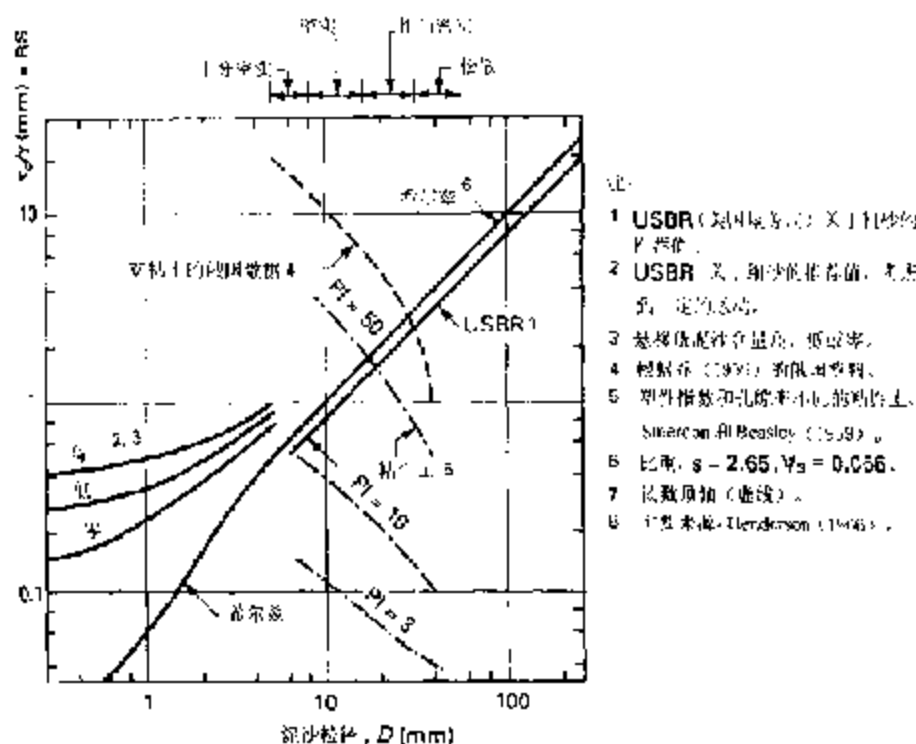


图 2.12 粘性和无粘性河床质的容许剪应力

弱的非粘性土壤,因此,河岸剪应力比较大,在冲刷水流的冲刷下,大量的粘性土可能被冲刷。

#### 2.3.6.4 植被

河岸植被对于无植物保护的土壤影响相当大。河岸生长植被可影响河岸邻近的流速梯度,从而减小局部剪应力,并将表土保护、滞留,甚至将其锚固在基土层,使表土的抗冲刷力大大增加。凡是毁坏了植被的地方,河岸都比较容易受地表径流冲刷。非干旱地区的河流,河岸上部大都生长着大量植物(参见图 2.9)。“柔软”植物诸如芦苇和青草在流速高时,会贴靠在岸坡上,从而起若保护作用,第 5 章将进一步讨论。

植被被冲刷是因为植物根部的土壤被冲走,以及水流对植物的曳引力所造成的。强劲的植物尤其是树木也能够影响局部流态,扩大水流的紊动,因而加速冲刷。这种情况也会导致树木的潜淘。

## 2.4 影响河岸发生大体积崩塌的过程

### 2.4.1 概述

河岸可能发生多种不同类型的大体积崩塌事故,包括沿深破裂面的滑坡、浅层滑动,以及大块坍塌(索恩,1982)。图 2.13 以图示法展示出大多数河岸的崩塌型式。影响河岸发生大体积崩塌的各种不同因素分述于下。

### 2.4.1.1 岸坡几何形状

可影响岸坡几何形状的两种不同过程是表面冲刷和坡脚淘刷。

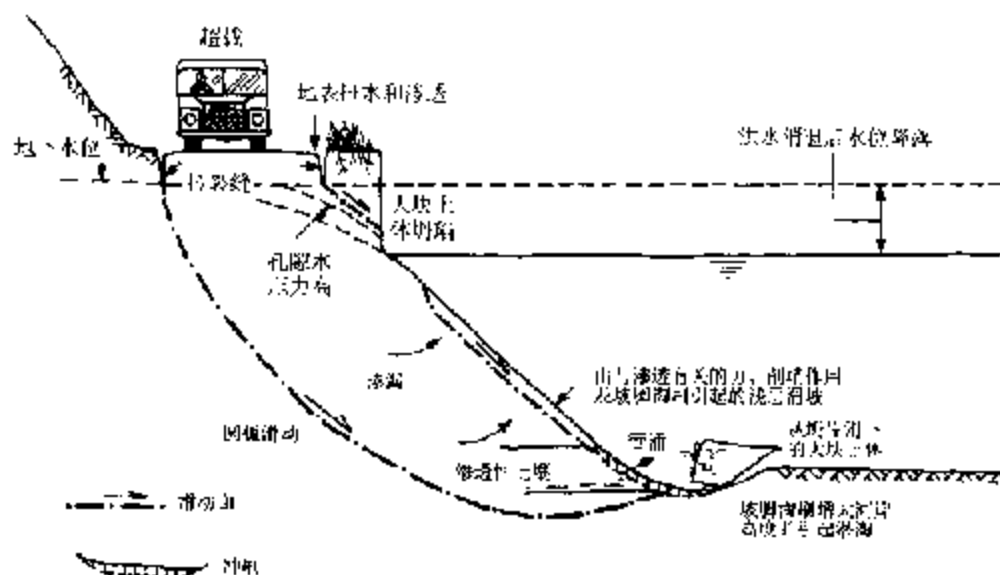


图 2.13 解释引起大体积坍塌过程的河道横剖面

### 2.4.1.2 地表水及地下水流状况

与地表及地下水流状况相关的两种重要过程如下。

#### 2.4.1.2.1 渗透

在河岸土中孔隙水压力高的情况下,尤其是在河槽水位急降后,将减小河岸土壤中的有效应力,从而可能促发深层的圆桶滑动。同样的,这样的超压力或因连续渗透所形成的压力亦可促发地面冲刷或坡脚淘刷。

非粘性粉砂或砂质粉砂河岸容易发生管涌,或因连续渗透而发生弥漫。土质为砾石或粗中砂的河岸则很少发生这一类破坏,因为扬压力极少超过这种土料的浮容重。与粘性值较小的土壤相比,粘性土一般能承受较高的水力梯度,而且因渗透引起的破坏也不可能一再发生。

必须指出,在发生弥漫而使土中细颗粒移动的地方,留下的粗粒土的孔隙较大,更容易发生地面冲刷。

#### 2.4.1.2.2 入渗

雨水或地表水渗入河岸,特别是通过裂缝和裂隙向下入渗,会引起土壤容重及孔隙水压力增大,结果是岸坡土壤强度下降,但重量增加,将使岸坡坍塌的危险性增大。

### 2.4.1.3 超载

任何作用在河岸顶部的永久性或临时性载荷,都将增加河岸发生大体积坍塌的可能性。

#### 2.4.1.4 拉裂缝

粘性土中的拉裂缝或干缩裂缝会降低河岸的稳定性,尤其是这些裂缝充水后更是如此。

#### 2.4.1.5 植被

河岸上植物的根茎可改善土壤的土力学特性,尤其是可提高土壤的抗剪强度,并使土壤具有一定的抗拉强度。因此,植被有助于防止形成拉裂缝,因而是保持复合式河岸稳定的关键因素。破坏植被可使河岸更易发生大体积崩坍。河岸上的树木能起稳定河道的作用,但易被洪水和大风拔掉,因而河岸可能因此发生严重冲刷。

河岸坍塌的形式与规模因土壤类型而异。由于土壤类型、水土状况,以及许多河岸土壤的可变性等都有差异,对于特定的河岸而言,并不是上述的各种因素都会发生。2.4.2 小节将举例扼要介绍河岸崩坍的情况。

### 2.4.2 河岸大体积崩坍事例

几乎任何时候河岸都可能发生崩坍,特别是当河岸发生强烈的地表冲刷或坡脚淘刷,或在河岸上突然加载。绝大多数河岸的崩坍发生在大雨或高河水位期间及其后不久。图 2.14 是各种不同坍陷型式的例子,将每一种坍陷可能发生的条件都汇集在图上。关于土工方面的标准教科书有助于了解坍陷的基本机理,但是不可能包括与河岸相关的所有这些情况。与河岸相比,在一般情况下,拉裂缝深度通常只占岸坡总深度的较小部分,而且没有什么资料述及在复合式河岸引起破坏的情况。

河岸的各种崩坍型式分述如下。

#### 2.4.2.1 浅层崩坍

浅层崩坍[图 2.14(a)]发生在河岸角度比较平缓的地方。在河岸基本上为非粘性土质的地方最常见。崩坍面一般大致与坡角平行。

#### 2.4.2.2 平面崩坍

河岸有可能沿平面或平缓的曲线面发生崩坍[图 2.14(b)]。河岸土质为非粘性土或河岸业已产生比较深的拉裂缝[图 2.14(c)]时,一般可能发生平面崩坍。在后一种情况下,常会发生板状滑坡,土体大块滑坍并(或)向前滚动。发生这种滑坡时,滑坍的土体方量从大小约 1m 长(沿河方向)、0.3m 宽、1m 厚的板块(河岸比较低)到大得多的板块(河岸较高)。

#### 2.4.2.3 地表冲刷引起崩坍

在较陡的粘性土河岸,除了 2.3.3 小节所讨论的个别颗粒或团粒被水流挟带冲走外,在持续干旱天气期间,表土层被晒干、开裂,成为 20mm 以下的棱形小土块。在冻融交替作用下亦可能产生同样的效应。这些小土块在其最终掉进河里之前,与河岸的粘连是极脆弱的。任何粘结很脆弱的小土块,在其下一次被浸水之前,一般都脱落了。岸坡每一次发生这种类型的崩坍,其方量是很少的,但从长期累积效果来看,这种崩坍也不可小看。

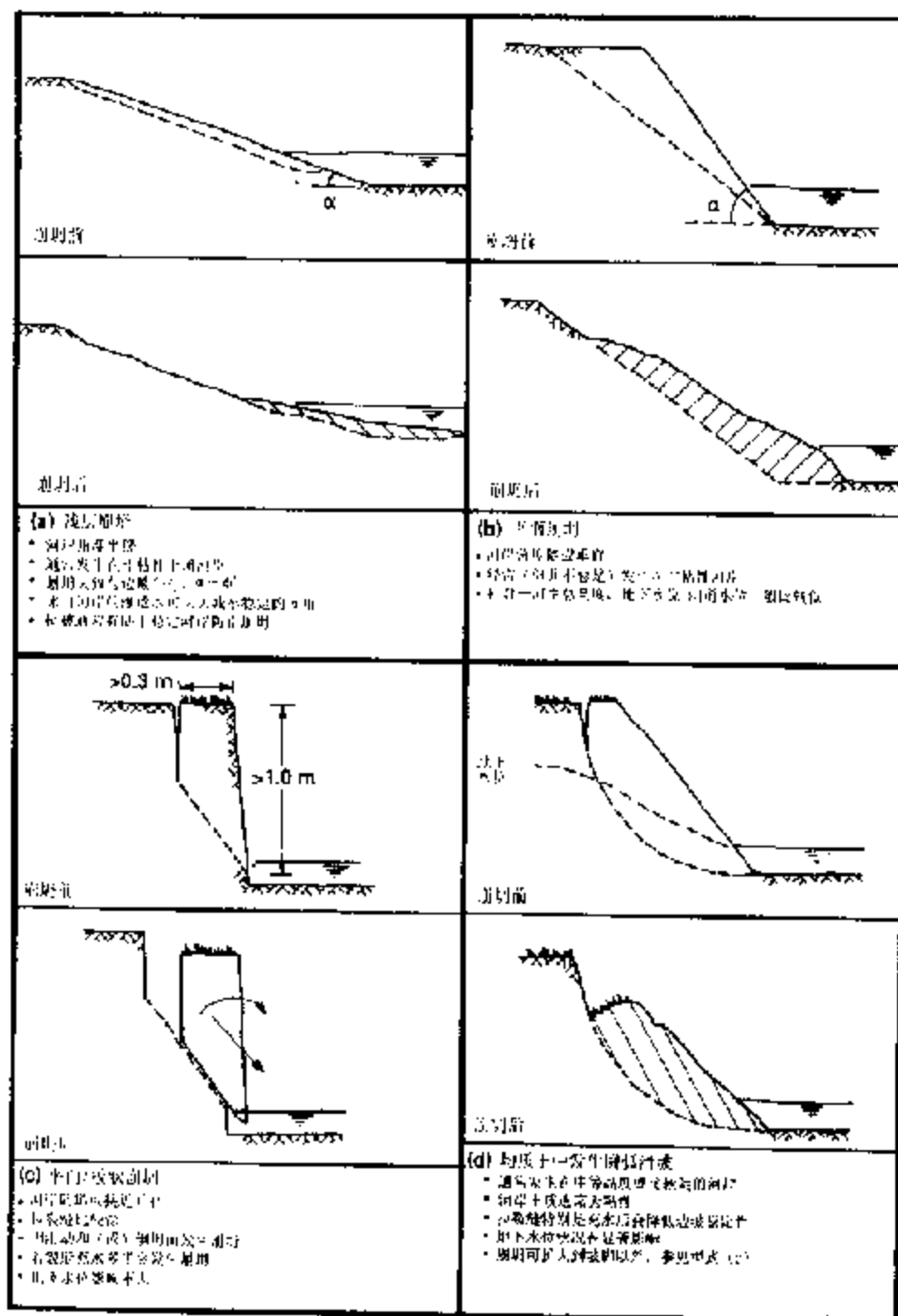


图 2.14 河岸大体积崩坍型式

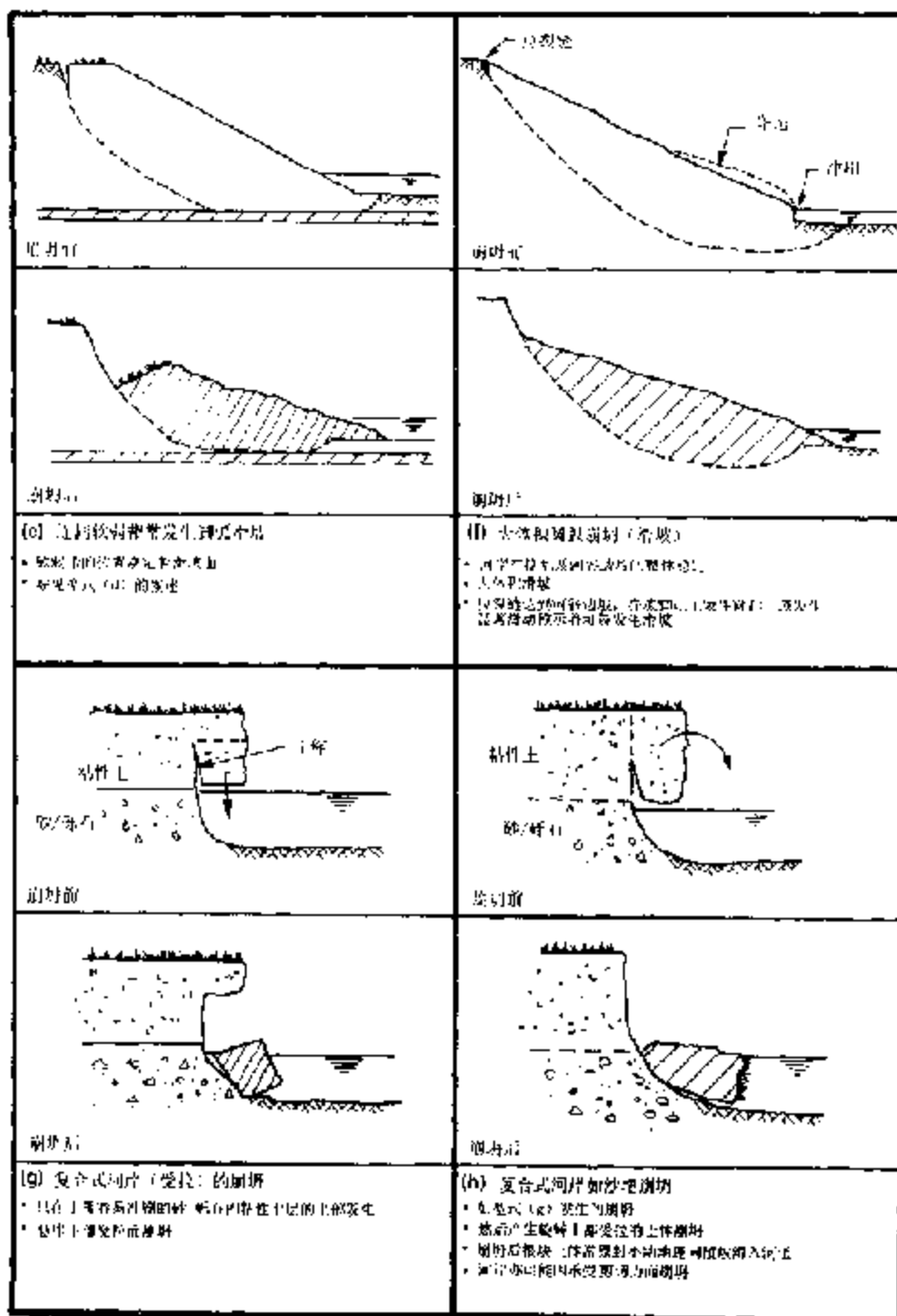


图 2.14 河岸大体积崩塌型式(续)

岸坡表上的这种型式的连续冲刷能够引起岸坡表面发生瞬时作用,从而可促成更大规模的崩坍。

#### 2.4.2.4 深基圆弧滑坡

在河岸较陡、高度为中等,以及河岸为粘性土质的地方,可见到这种类型的滑坡。在某些情况下(尤其是河岸土质比较均匀的地方),滑坡沿圆弧面发生[图 2.14(d)]。而在另一些情况下,滑坡面的形状也许包含有对数螺旋线形,或甚至是平截面[图 2.14(e)]。后一种类型比较常见,发生这种滑坡的地方,软弱土层决定着滑坡面的实际形状。

此类滑坡力量比较大。虽然滑坡面常通过岸坡脚,但滑坡并不总是按此情况发生,而且不可忽视滑坡面伸展到坡脚以外的可能性。

在发生此种滑坡之前,常可在岸坡表面看到平行于河岸的拉裂缝。可能的滑坡面通常会沿拉裂缝发生,而且其位置可预示着潜在滑坡的大致范围。若拉裂缝充水,则所形成的侧向水压力将进一步增大滑坡的可能性。在与岸坡总深度相比潜在拉裂缝深度比较大(大于 30%)的情况下,把滑坡解析为平面型滑坡较为合适,参见图 2.14(b)。

凡是受冲刷的曲流河段的外岸位于河谷边缘的河段,就有可能因进一步冲刷而促成延伸到谷坡的大规模滑坡[图 2.14(f)]。这类滑坡在英国比较少见,但近几年在斯堪的纳维亚这类滑坡已发生了几起。如果认为很有可能发生此滑坡,则应直接征求经验丰富的土木工程师的意见。

在天然河岸及部分由防洪堤构成的河岸有可能发生圆弧滑坡。

#### 2.4.2.5 复合式河岸的崩坍

正如 2.3.3 小节所述,比较低的河岸更加频繁地遭受水流的冲刷,因为这种河岸土质比较容易冲刷,结果是河岸上部发生下切,从而形成伸出河岸的悬臂。随后可能发生三种不同的崩坍:

- (1)受拉而崩坍[图 2.14(g)];
- (2)受剪切而崩坍。
- (3)堰式崩坍[图 2.14(h)]。

### 2.4.3 土力学参数

在 2.4.2 小节所述的大多数岸坡崩坍的型式,岸坡土壤的抗剪切性能是决定崩坍是否实际发生的因素。对于复合式河岸,土中的受拉效应可决定岸坡崩坍的型式。

在决定土壤的强度方面,孔隙水压力起着重要作用。只要增加土壤孔隙中的孔隙水压力,就会减少土壤颗粒与颗粒之间的接触应力(有效应力),从而降低土壤的抗变形能力。反之,因土壤部分干燥而降低孔隙水压力,则将增大土壤颗粒间的接触应力,并从而增大其抗剪强度。

在某些情况下,土壤吸水完全饱和,在不断的或瞬时渗透条件下,孔隙水压增大,结果使有效应力减小到零,完全失去其抗剪强度。在诸如由船舶通航或地震引起波浪和水位波动而承受瞬时冲击荷载情况下发生了上述情况的地方,土壤即发生液化作用。

## 2.4.3.1 安全系数

每当海岸承受的作用力(或因河岸以上土壤的重量,或因渗流力而引起的剪应力)超过岸坡土壤的最大抗剪强度时,河岸就将发生崩塌。因此,有必要考虑安全系数( $F_s$ )这一因素。其定义为:

$$F_s = \frac{\text{土壤抗剪强度}}{\text{土壤承受的剪应力}} = \frac{s}{\tau} \quad (2.15)$$

当  $F_s = 1.0$  时,崩塌即将发生;若增大  $F_s$  值,稳定性将随之逐渐增大。

理论上, $F_s < 1.0$  是不可能的,因为在此情况下,河岸早已崩塌了。然而,各种材料特性的不同,加上某些分析方法保守的假设条件,有时候当  $F_s$  小于 1 时,表面上看来,边坡也是稳定的。此外由于土体中存在未被发现的软弱带,即使  $F_s$  的计算值大于 1,这些地方也会发生崩塌。同样的,在土壤含水量极大的情况下,孔隙水压力可能增大而超过稳定性分析中所采用的数值。

为了保证即使在极端条件下也不会发生坍塌,分析中需假定安全系数大大超过 1。然而,这样一种安全限度只有花费相当的代价才能达到,而且从可能发生坍塌的潜在后果,以及从费用上考虑,一般会影响  $F_s$  值的实际选择。因此,在一旦发生岸坡崩塌而可能造成的损失比较少或生命财产损失极微少的地方, $F_s$  值可取略大于 1(如 1.05~1.10),而在可能造成财产损失极大损失(如对人,畜危害极大)的某些地方,则  $F_s$  值需高达 1.4,或更高。

## 2.4.3.2 抗剪强度

土壤的抗剪强度  $s$  由下面等式规定:

$$s = c + \sigma \tan \phi \quad (2.16)$$

式中, $c$  为土壤的粘聚力; $\sigma$  为总的法向应力; $\phi$  为内摩擦角。

当粘聚性的粘土因应力快速变化而发生剪切破坏时,剪切过程随即发生,但总的体积并无变化,因为没有足够时间供土壤排水。在此情况下,粘土的特性就好像其抗剪角度为零(即  $\sigma \tan \phi$  为零),其抗剪强度由下式给定:

$$s = C_u \text{ (或 } S_u \text{——软粘土)} \quad (2.17)$$

式中, $C_u$  或  $S_u$  均为未排水粘土的强度。

若剪切过程发展缓慢,足以供土壤排水(从而体积发生变化),或已知孔隙水压力,则抗剪强度可按有效应力关系给出如下:

$$s = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (2.18)$$

式中,"'"表示有效应力参数,而  $\sigma' = \sigma - u$ ,其中  $u$  为这种土的单元孔隙水压力。

在对荷载变化缓慢的天然岸坡进行稳定性分析的同时,需进行有效应力的分析研究,当然亦需考虑渗透性和地下水位等因素。

对于非粘聚性的土壤(如净砂和砾石),由于  $c'$  为零,抗剪强度按下式计算:

$$s = \sigma' \tan \phi' \quad (2.19)$$

未排水强度  $C_u$  (或  $S_u$ ) 可由以下几种方法估算:

(1) 根据其稠度(手感硬度)。



- (2) 十字板剪力试验。
- (3) 楔状粘土触深试验。
- (4) 实验室未排水粘土的三轴抗压试验。

有效应力强度参数( $c'$ 和 $\phi'$ )一般通过实验室三轴抗压试验,或通过剪切盒试验来测定。试验方法将在 3.2.3 小节作进一步讨论。图 2.15 表示抗剪强度—应力的关系[式(2.17)和(2.18)]。

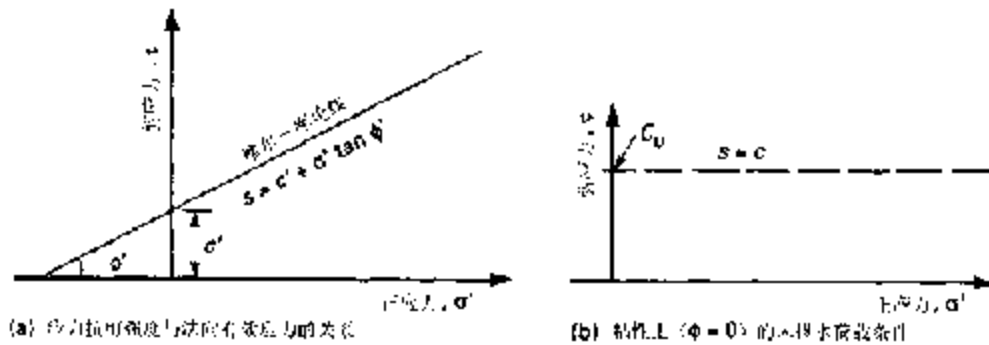


图 2.15 土壤抗剪强度—应力的关系

#### 2.4.4 稳定分析

有许多方法可用以进行边坡稳定性分析。而在诸如乔札里(1978)有权威的土力学参考书中对许多边坡稳定分析方法作了全面的综合介绍。虽然对于某些崩塌型式来说,有大量的不同分析方法可供选择,但应大致地按观察到的(或可能发生的)崩塌型式选用分析方法。本书列举出分析不同崩塌型式的常用方法,以使读者对一些基本原则作出判断。关于这些分析方法的全面描述,应参考有关的土工技术文献,同时,任何详细的稳定性分析通常应由土工工程师进行。

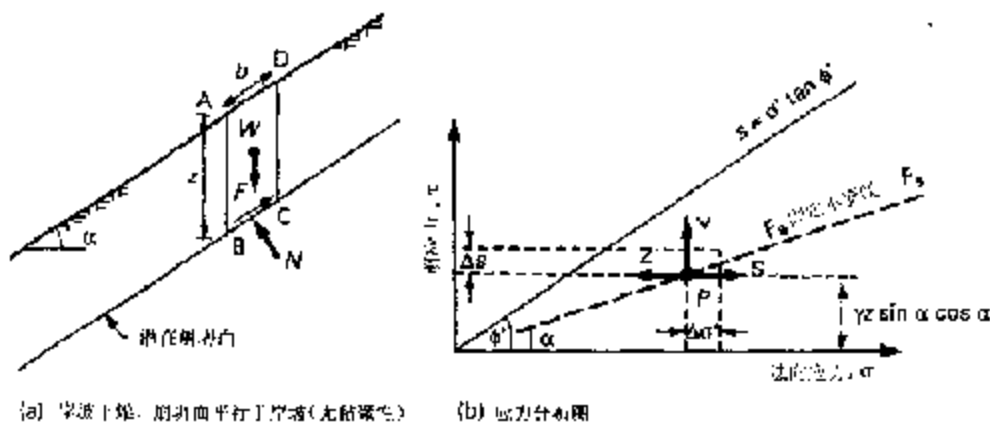


图 2.16 按岸坡无限人的浅层崩塌分析

## 2.4.4.1 浅层滑动

浅层滑动可通过把河岸视作范围无限大的边坡进行分析,并可利用由泰勒(1937)提出的分析这种边坡的传统方法。这种分析方法将在下面介绍,并标示于图 2.16(a)。按图所示,水线以上岸坡是干的。

各诸如 ABCD 的土块的稳定性都将一样,分析地表下深度为  $z$  处的滑动面的每一土块上的作用力,可评价其稳定性。由于所有土块都是相同的,作用在诸如 AB 和 CD 面上块体之间的力都相等,方向相反,因此可以忽略。需考虑的主要力是块体重量产生的力  $W$ ,以及保持各块体平衡的摩擦力  $F$ 。作用在 BC 面上的法向应力按下式计算:

$$\sigma = \gamma z \cos^2 \alpha \quad (2.20)$$

同样的,作用在 BC 面上的剪应力可由下式计算:

$$\tau = \gamma z \cos \alpha \sin \alpha \quad (2.21)$$

图 2.16(b)的 P 点标绘出了 BC 面上的应力状态,通过 P 点还标绘出了非粘性土的摩尔—库仑线。当 P 点位于崩塌线以下时,岸坡是稳定的,其安全系数按下式计算:

$$F_s = \frac{\tan \phi'}{\tan \alpha} \quad (2.22)$$

显然,岸坡稳定的最大角度是在  $F_s = 1.0$  和  $\phi' = \alpha$  时。在许多非粘性土中, $\phi'$  大约为  $30^\circ \sim 35^\circ$ ,该角度范围很可能就是上述土壤在干燥状态下的最大稳定角度。

从图 2.16(b)可以看出,如果出现下列两种条件,在该河岸上,处于 P 点应力状态的 ABCD 土块将崩塌:

- (1)如 PZ 线所示法向有效应力减小。
- (2)如 PY 线所示剪应力增大。

在河岸,有效应力主要取决于土壤中的孔隙水压力。当土壤排水变成只是部分地饱和时,孔隙水压力相应减小,使 P 点向 S 方向移动,从而稳定性增大。

显然,当应力状态发生变化时(参见 7.2.1 小节的有关论述),稳定性是增大还是降低取决于是否符合如下条件:

$$\Delta s < \text{或} > \Delta \sigma' \tan \alpha \quad (2.23)$$

## 2.4.4.2 平面滑动

平面滑动分析是研究单个板状或楔形土体的稳定性问题。如上所述,当岸坡无限大时,需考虑的主要作用力是楔体或板块的重力,从而还有作用在潜在崩塌面上的法向力,以及作用在该抗滑面上的剪切力(图 2.17)。在本分析中,首先必须假定潜在的崩塌面,并估算出安全系数。然后,分析研究其他可能的崩塌面,以找出安全系数最小的崩塌面。

根据图 2.17,抗滑动崩塌的安全系数的一般表达式为:

$$F_s = \frac{2c \sin \alpha}{\gamma H \sin(\alpha - \beta) \sin \beta} + \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \quad (2.24)$$

式中,  $H$  为坡高;  $\beta$  为潜在崩塌面的角度。

对于  $c$  为零的非粘性土,左边项被消去,而当  $\beta$  等于  $\alpha$  时,即得出式(2.22)的浅层稳定

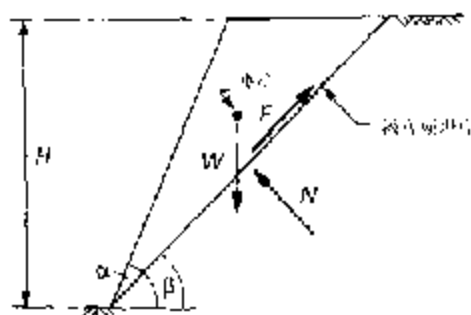


图 2.17 平面型边坡崩塌, 无拉裂缝

性的临界安全系数。

实际上, 大多数粒状土壤, 特别是粉砂和细砂的天然沉积物, 都存在少量的天然粘结力或粘聚力, 这使这种土壤能够在比其抗剪强度角度更陡的边坡上保持相当长时间的稳定。

对于  $\phi$  为零的粘聚性土壤, 而且没有任何拉裂缝(图 2.17), 抗滑安全系数按式计算:

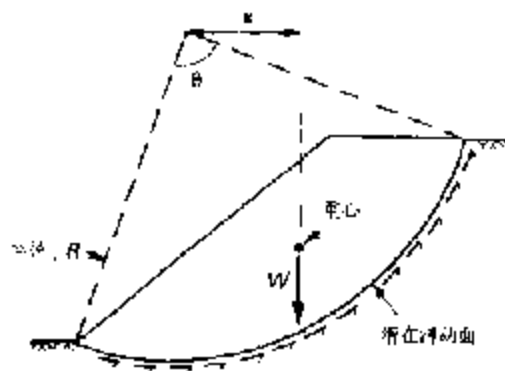
$$F_s = \frac{2C_u \sin \alpha}{\gamma_s H \sin(\alpha - \beta) \sin \beta} \quad (2.25)$$

对理论进行适当修改, 即可在分析中分析拉裂缝的效应。这样就能够分析研究板状崩塌[图 2.14(c)]的稳定性, 包括河岸的临界高度。

#### 2.4.4.3 圆弧滑坡

如同上述的平面崩塌分析一样, 必须分析一系列潜在崩塌面, 以确定安全系数最小的崩塌面。通过这项分析, 即可找出将发生崩塌的潜在崩塌面。

分析圆弧滑坡的最简单方法是设定一个圆弧滑动面, 并假定土壤是纯粘性、均质的(图 2.18)。分析过程首先是建立土条重量相对于圆心的抗动力矩和沿滑动面作用的切向抗力所引起的阻抗力矩的方程式。



当  $Wx > cR^2 \theta$  ( $\phi = 0$ ) 时, 即发生滑坡

图 2.18 均质粘性土中发生圆弧滑坡

一些比较通用的方法是将扇形土体分成一系列土条, 然后估算作用在土条上的力(图

2.19) 为简便起见,保守地假定土条之间的力抵消了,并且在各土条内,只有重力和沿滑动面的剪切力保持均衡。这种方法应用起来十分便利,而且可包容土壤参数中的各种变量及各条之间的孔隙水压力。此外,拉裂缝(干的和充水的裂缝)存在的影响亦可包容在分析之中。对所有土条,按每一土条的作用力求和,给出安全系数表达式如下:

$$F_s = \frac{\sum (c' L + \sum (W \cos \alpha - u L) \tan \phi')}{\sum W \sin \alpha} \quad (2.26)$$

式中,  $W$  为土条重量;  $L$  为其沿滑动面量测的长度。这项分析研究通常用计算机进行,目前有许多商用程序可资利用。最通用的计算机程序中,有一套程序是以简布(Janbu, 1973)的分析方法为依据的。简布的分析法去掉了关于土条之间作用力的限制,并可用以分析非圆形(考虑到软弱层)的滑动面。一种比较完善的分析方法是摩根斯坦和普赖斯于 1965 年提出来的。

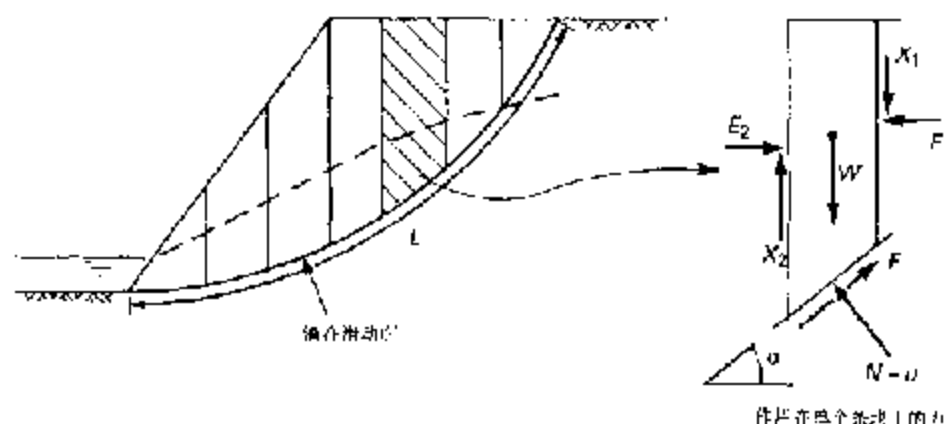


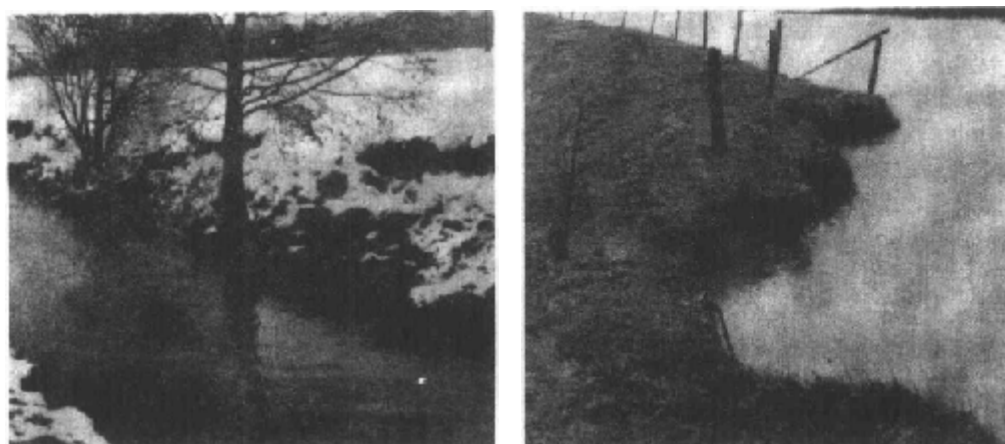
图 2.19 圆弧滑坡的条分法

#### 2.4.4.4 复合式河岸的崩塌

复合式河岸的崩塌取决于各土层的特性及厚度,以及其相对位置。一般来说,在岸坡下面的砂/砾石层会受到更快速的表面冲刷,造成上部粘性河岸的潜淘(图 2.20)。若复合河岸比较高,上部粘性河岸相当厚,且其上还覆盖有一层软弱层,则可因在两土层之间的接触面发生运动而引起圆弧滑坡。这种滑坡的分析研究可按上面所述的方法进行。有时候个别土层的厚度足以引起部分河岸发生板状崩塌,在此情况下,可应用常用的平面崩塌分析方法(参见上文)。

对低矮的复合河岸(小于 2m 高),不宜采用常用的分析方法。潜淘可形成很大的(达 0.3m)悬岸。这种悬空土体可能有 3 种崩塌型式(参见 2.4.2 小节)。其中剪切型崩塌并不常见,但其他两种(即受拉崩塌和堰式崩塌)型式在这种河岸则比较常见。必须注意,干缩裂缝自悬崖底部沿天然土块内的裂隙向上延伸,而可能发生的崩塌型式(受拉或堰式)则只取决于悬崖的几何形状,与土壤参数无关。

乔杜里(1978)设计了多种研究考虑土中受拉效应的方法,可用以估算低矮复合式河岸



(a) 中树根稳定的河岸地带其天然土块的坍塌

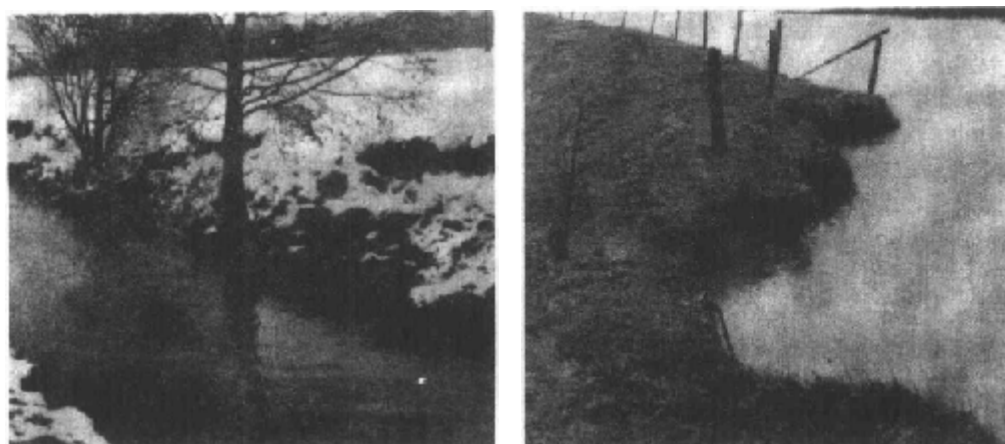
(b) 接近崩塌的阻止土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

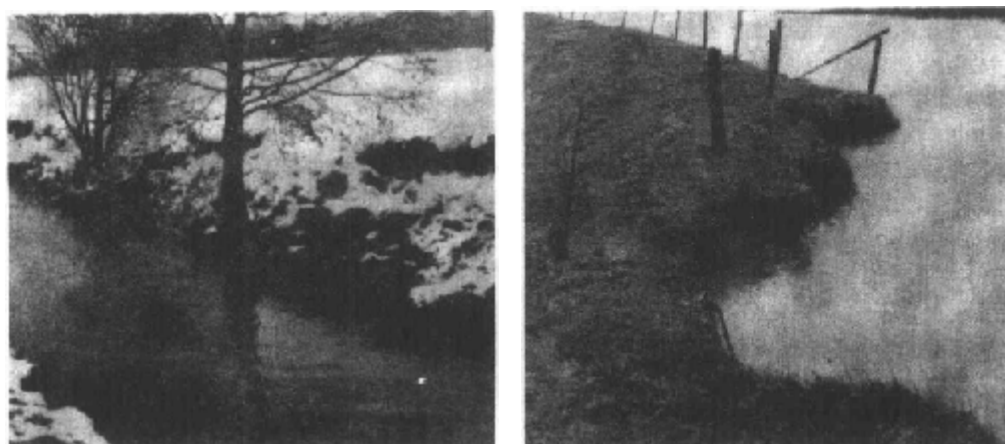
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

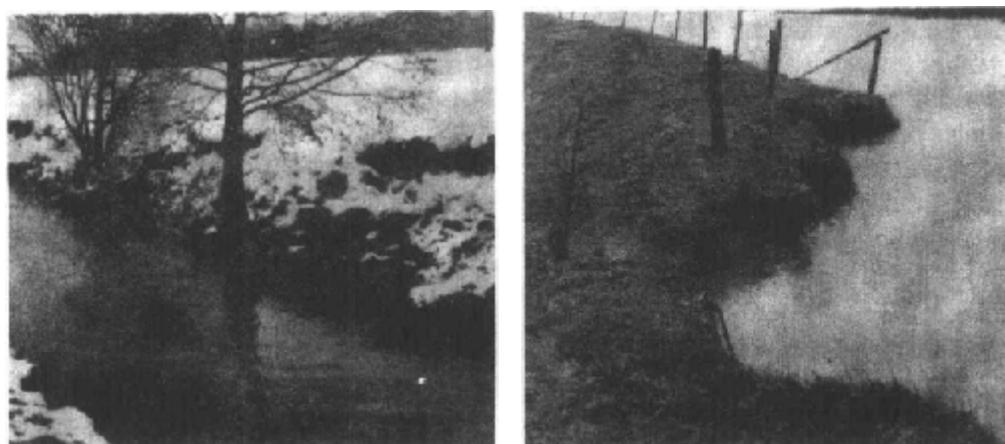
(b) 接近崩塌的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

(b) 接近崩塌的锚固土块

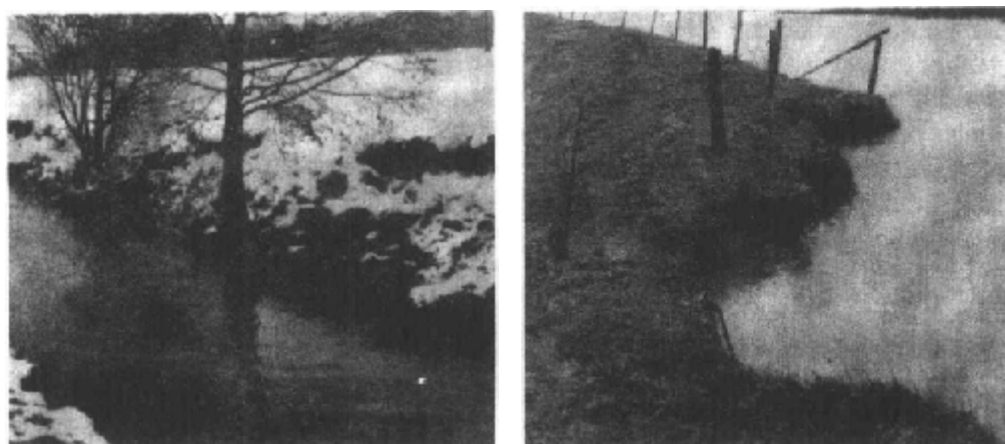
图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。





(a) 中树较稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

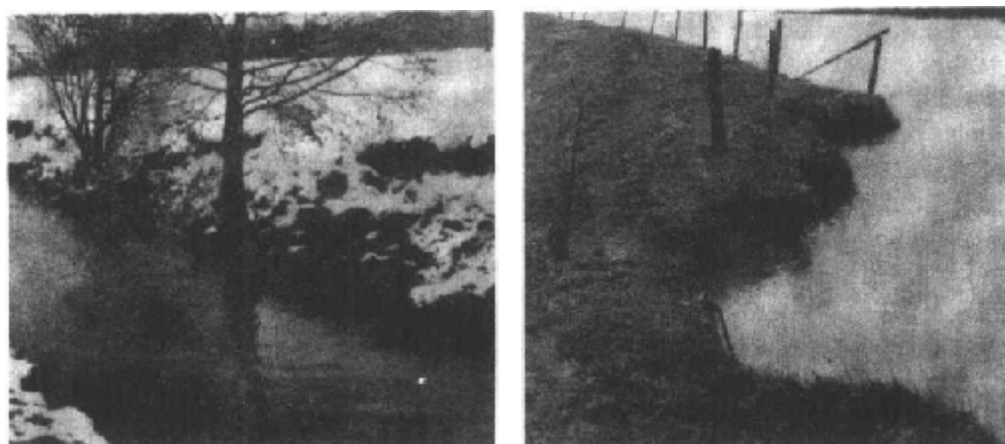
(b) 接近崩塌的阻止土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

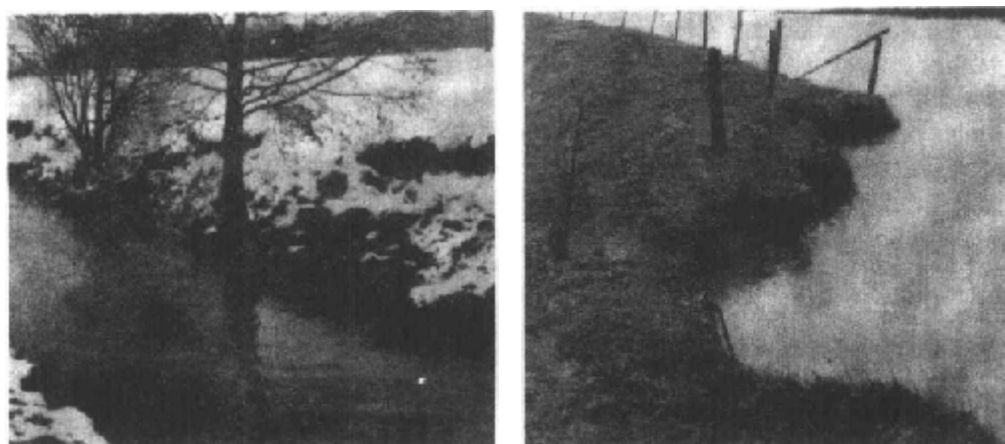
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其天然土块的坍塌

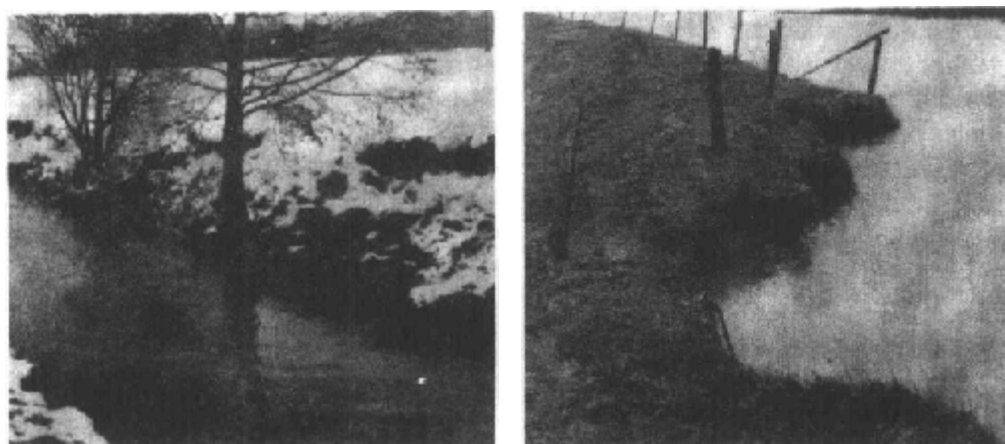
(b) 接近崩塌的阻止土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其天然土块的坍塌

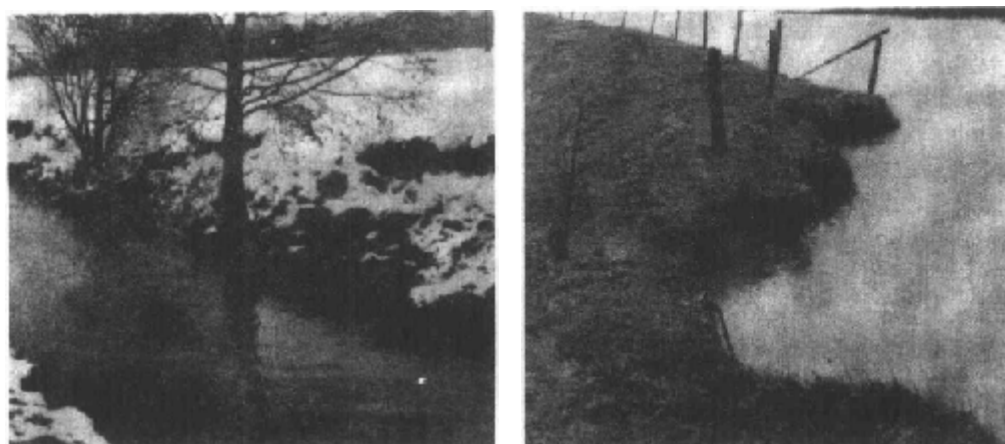
(b) 接近崩塌的阻止土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

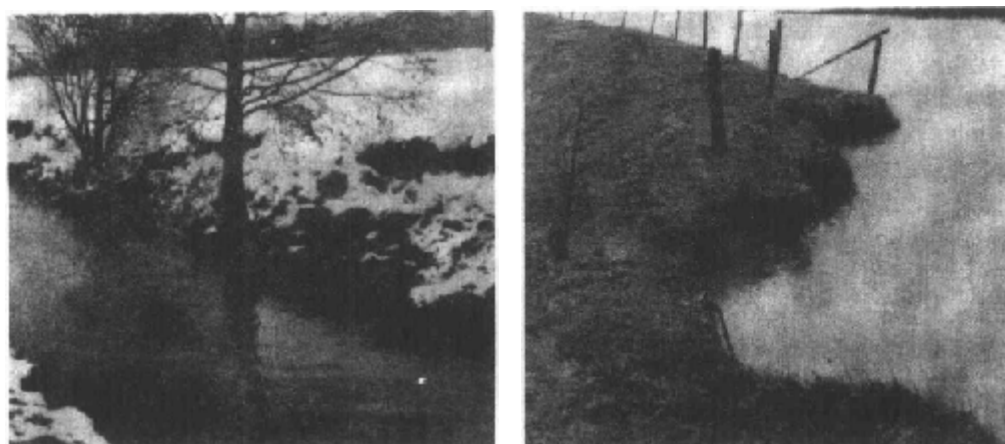
(b) 接近坍塌的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

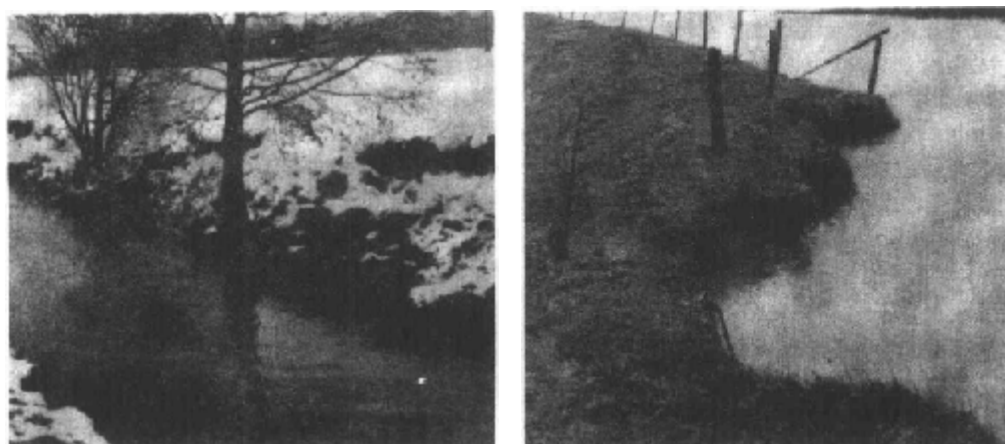
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

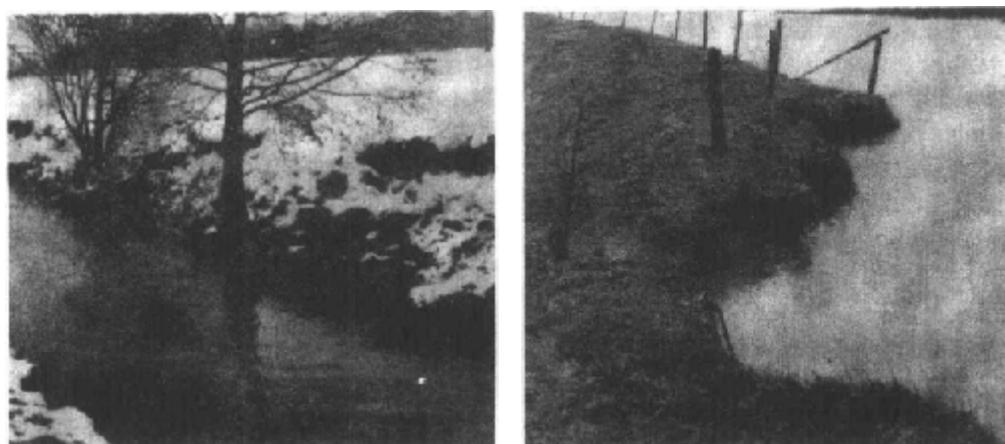
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

(b) 接近崩塌的垂直土块

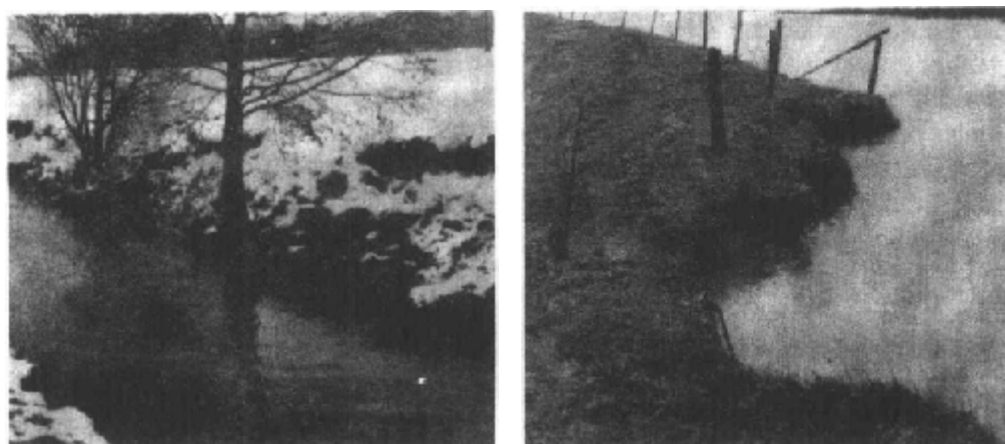
图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。





(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

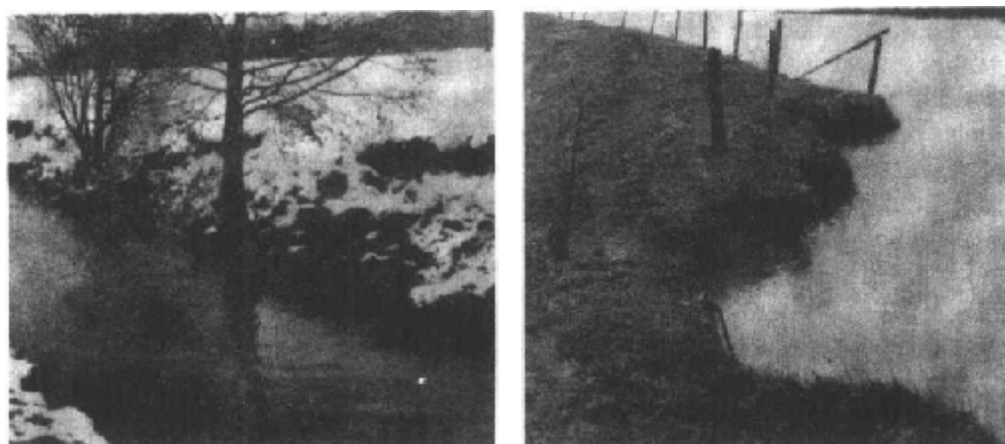
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

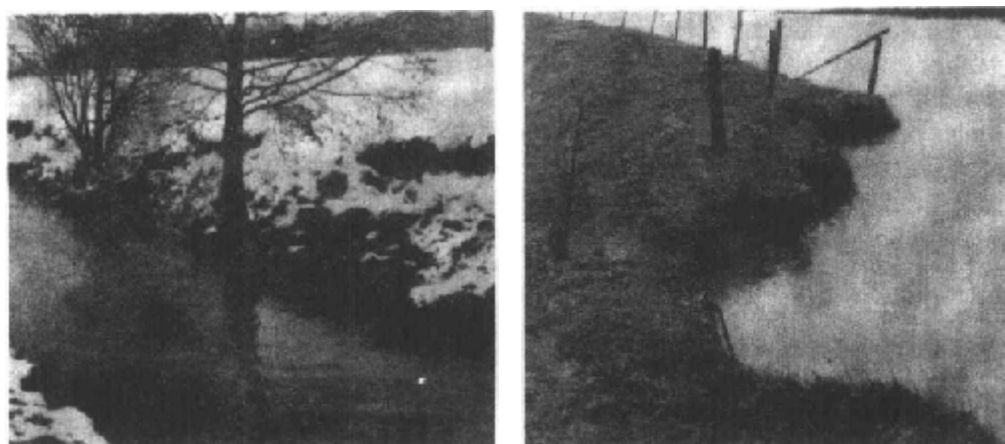
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

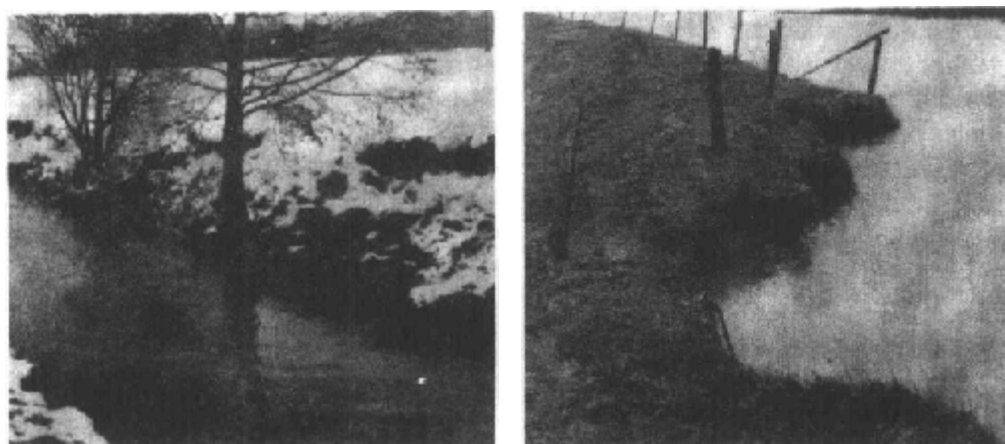
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

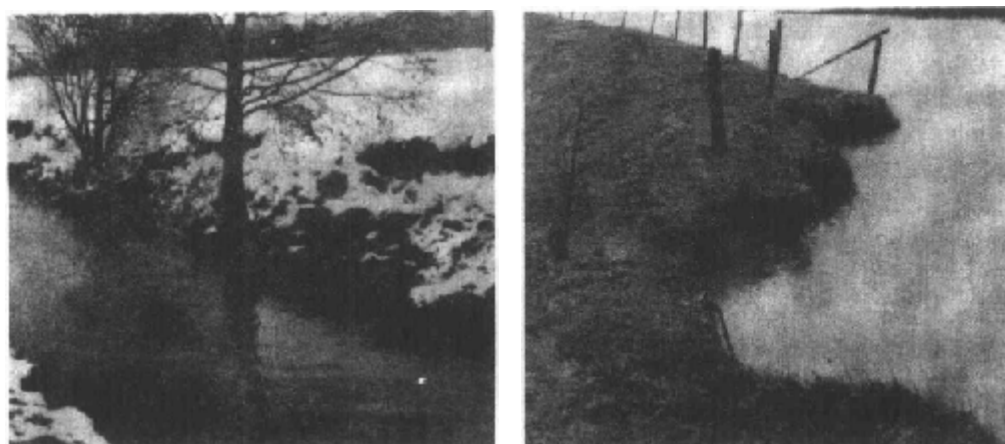
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

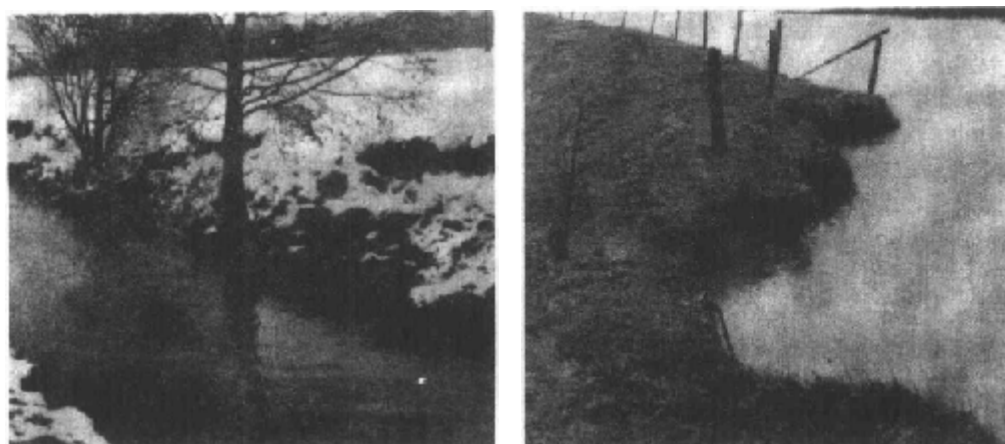
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

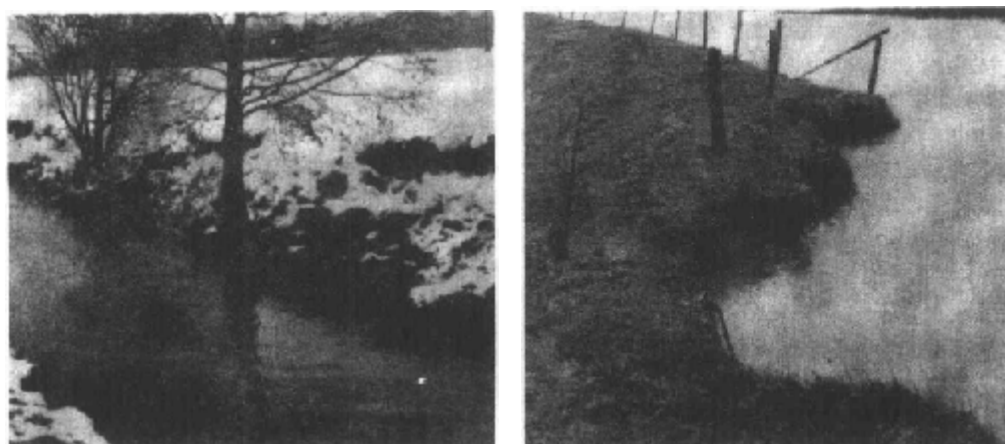
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

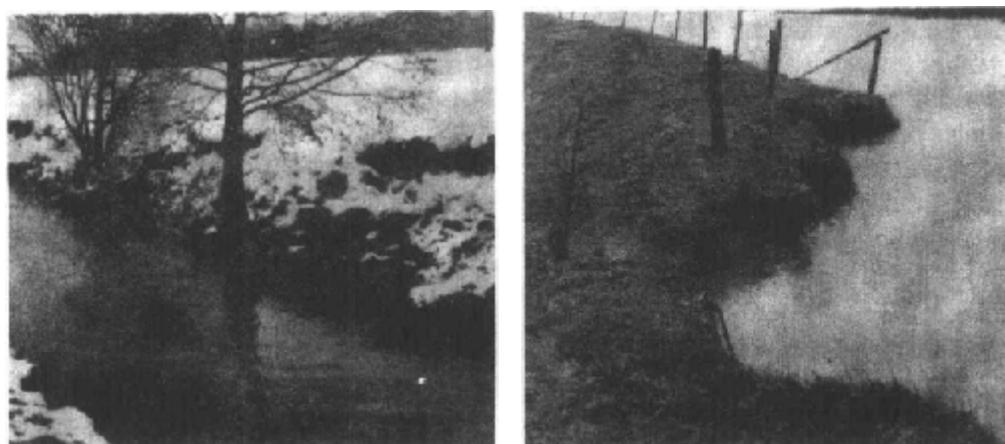
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

(b) 接近崩塌的垂直土块

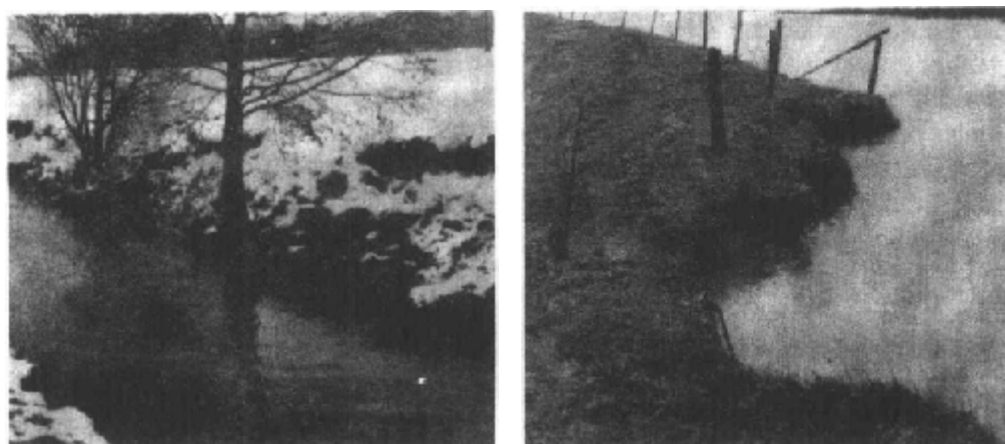
图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根茎拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。





(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

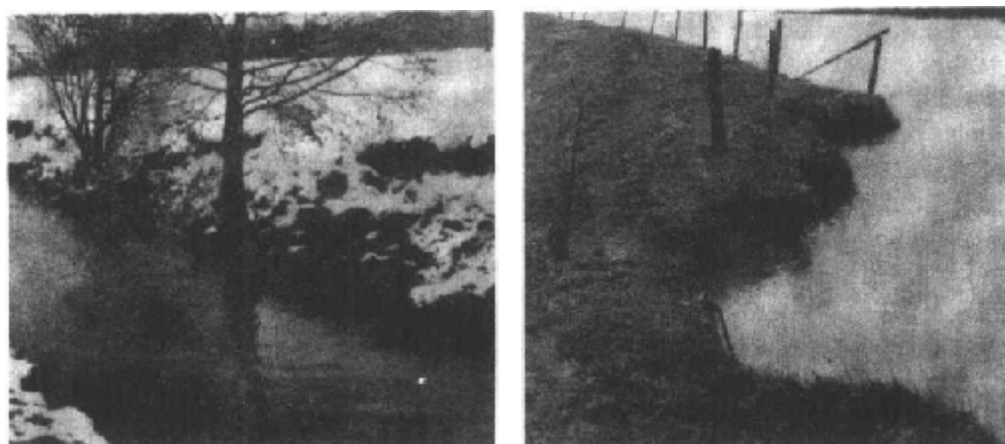
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

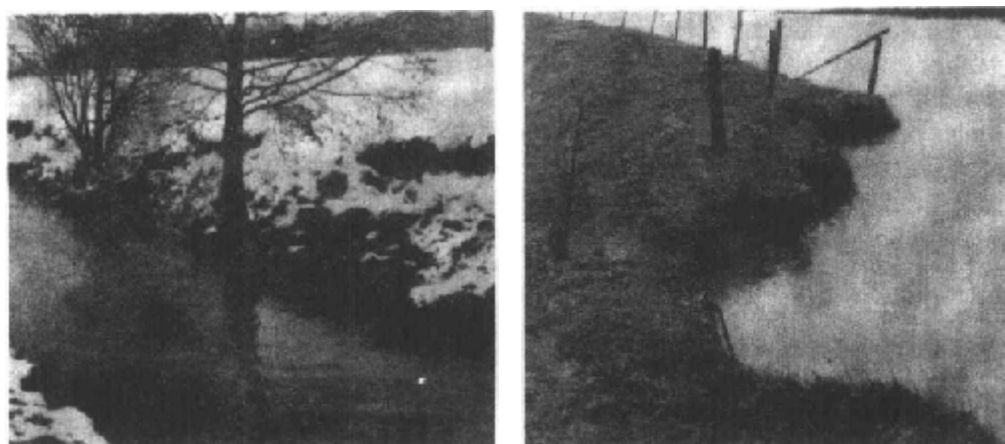
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

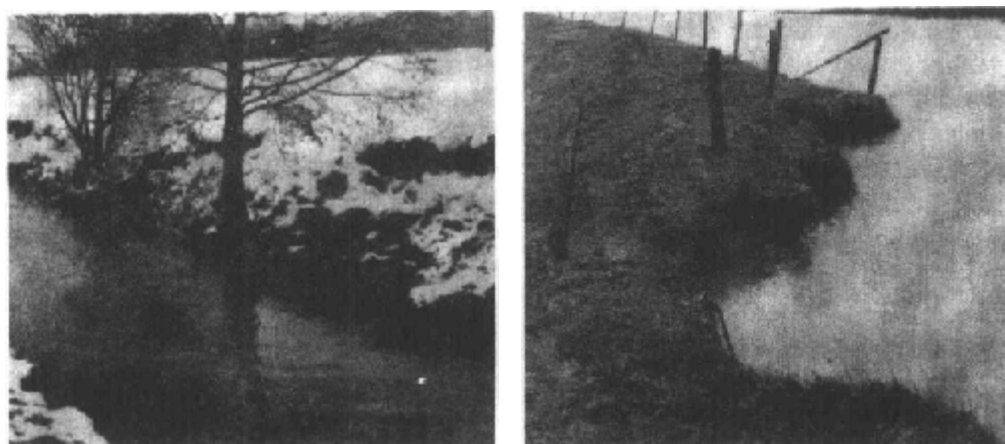
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树较稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

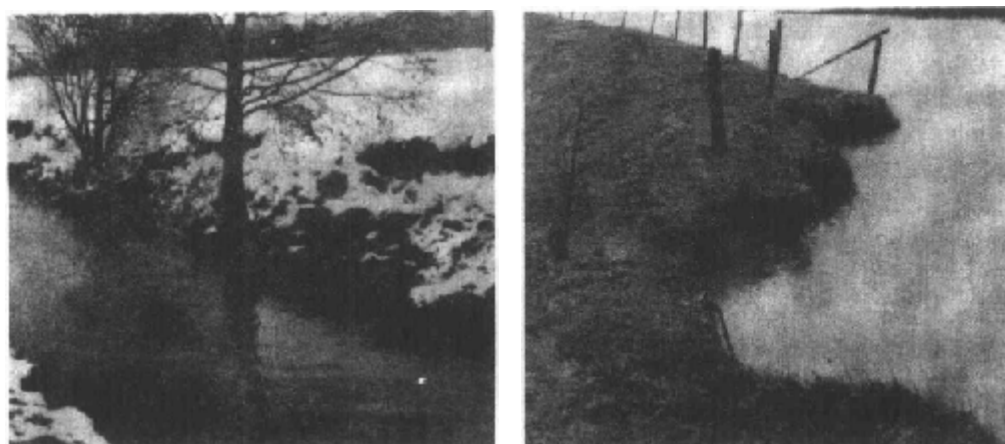
(b) 接近崩坍的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

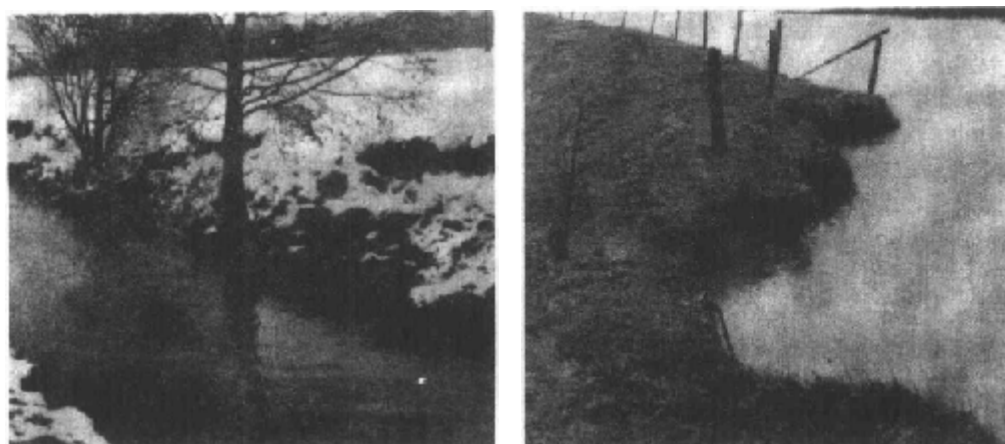
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

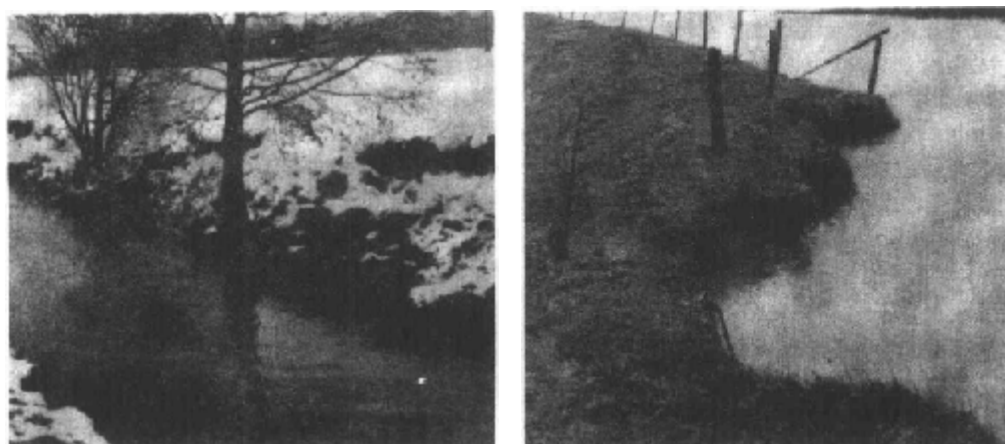
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

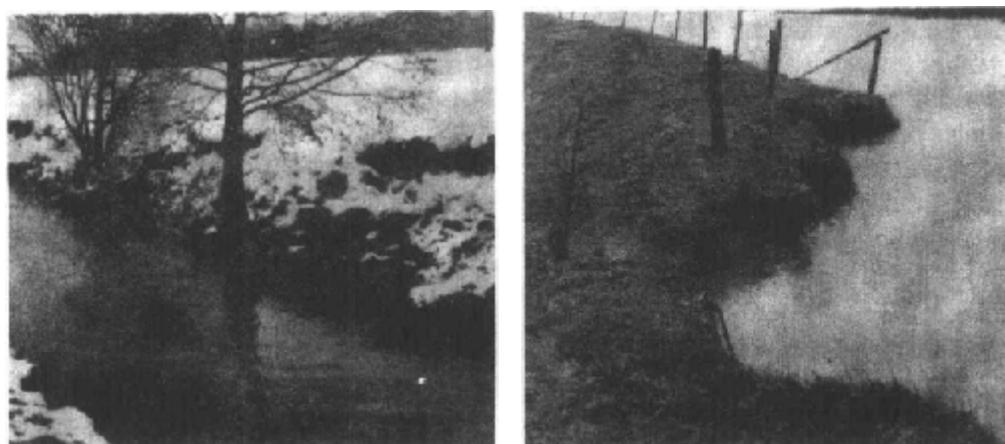
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

(b) 接近崩塌的垂直土块

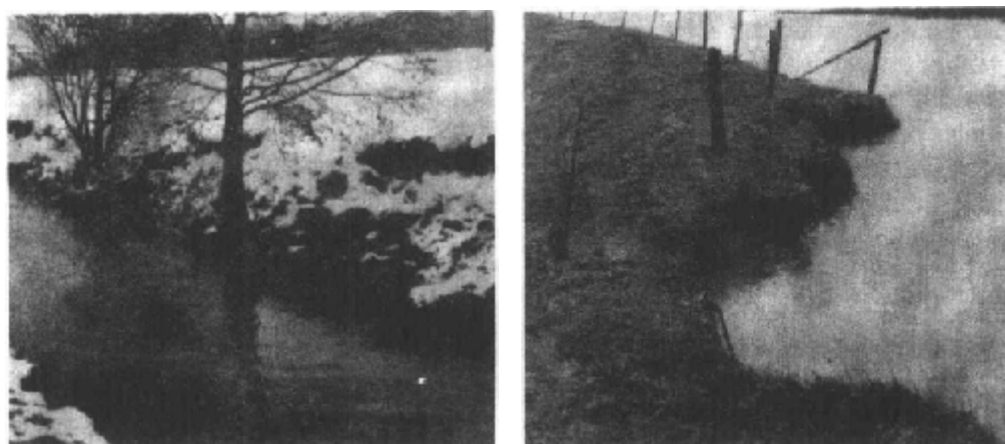
图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。





(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

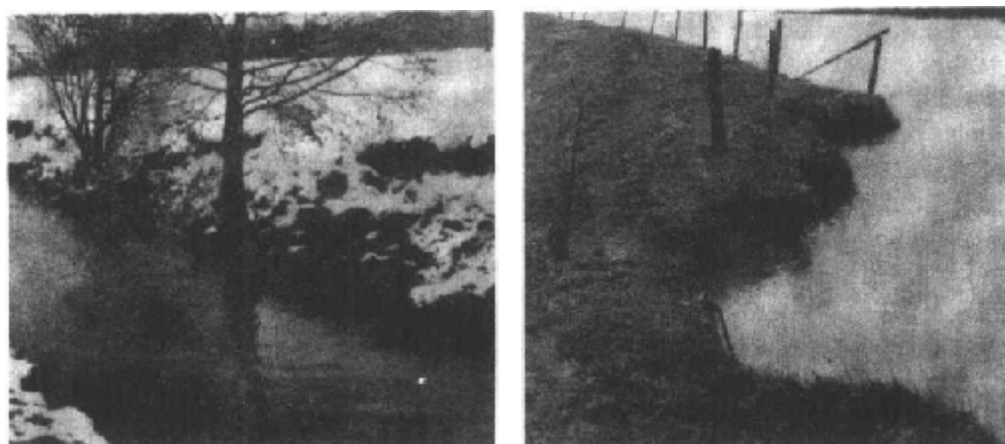
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

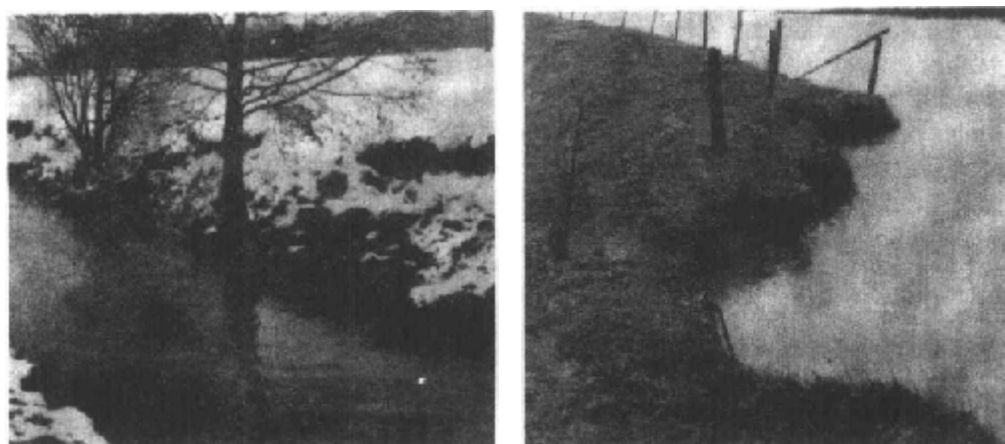
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

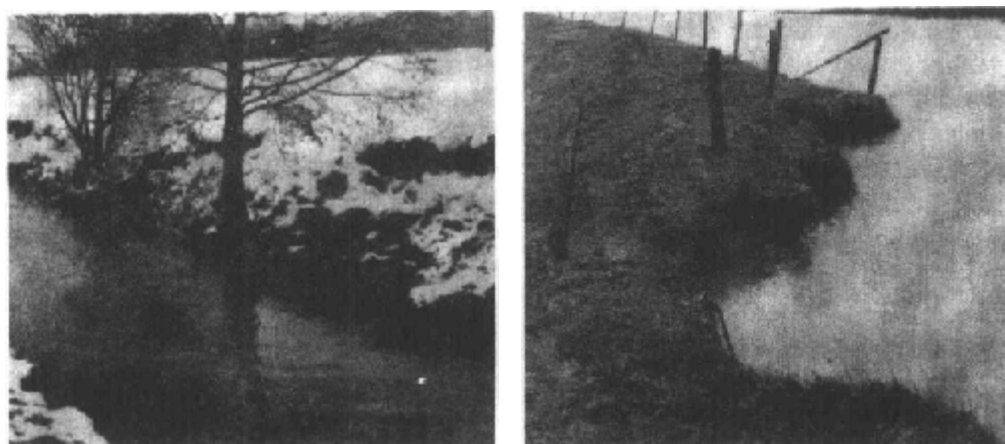
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

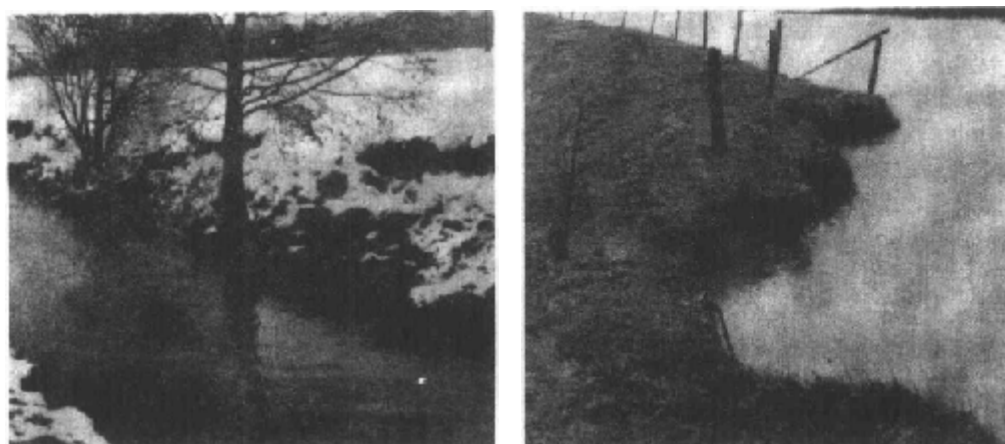
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

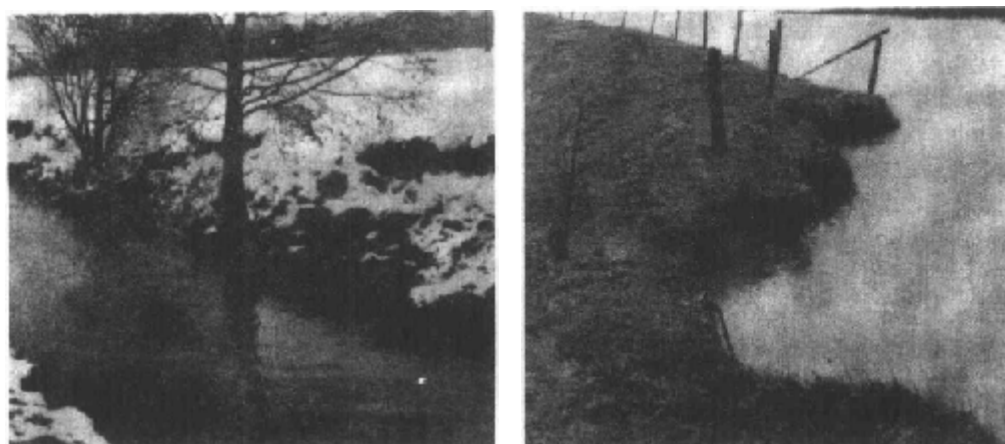
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根茎拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

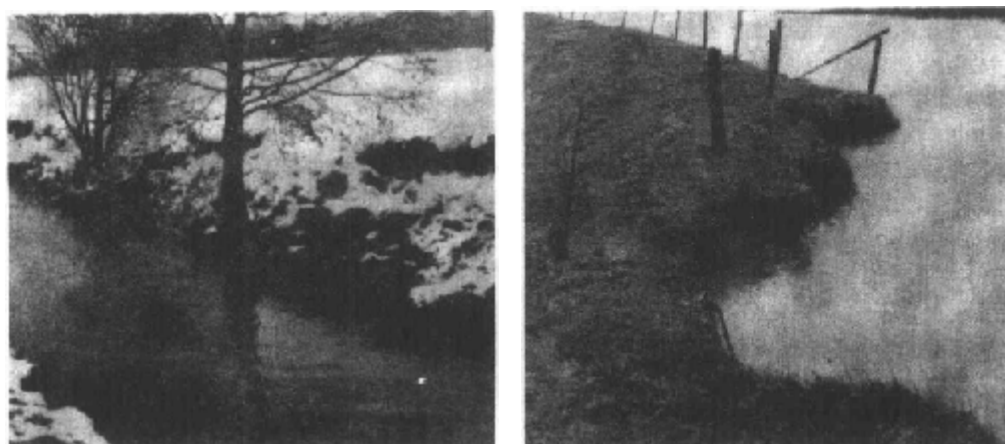
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

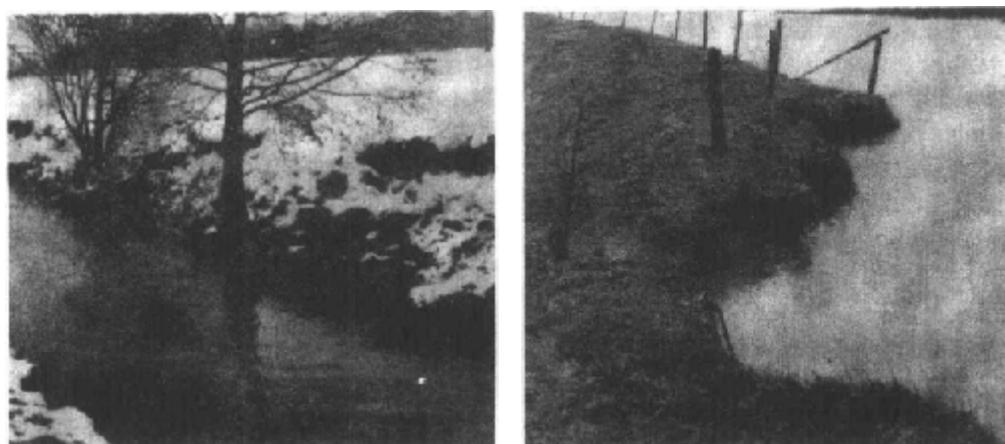
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

(b) 接近崩塌的垂直土块

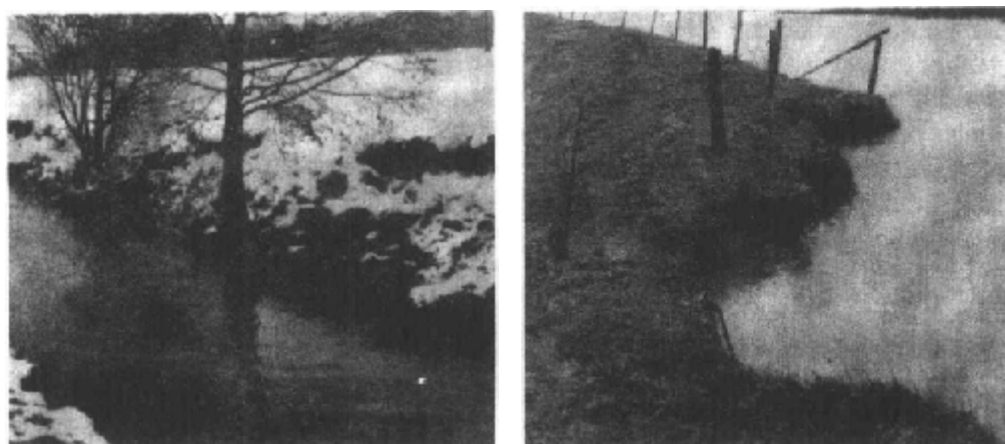
图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。





(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

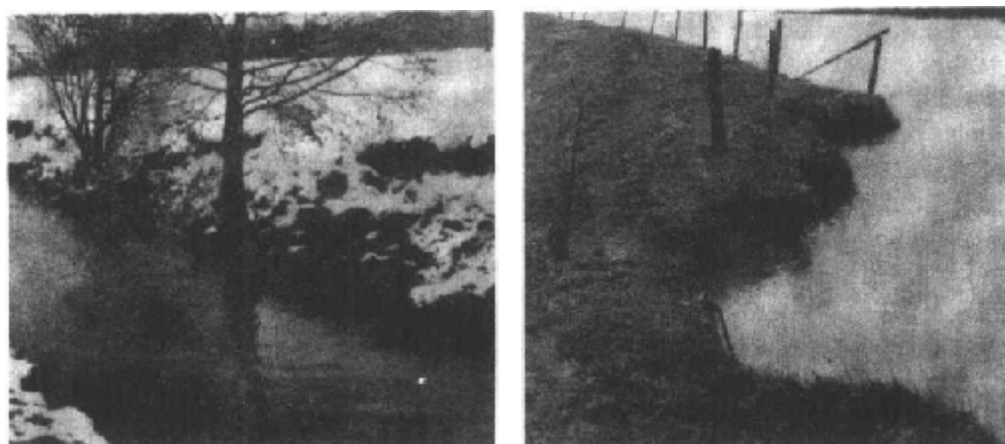
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

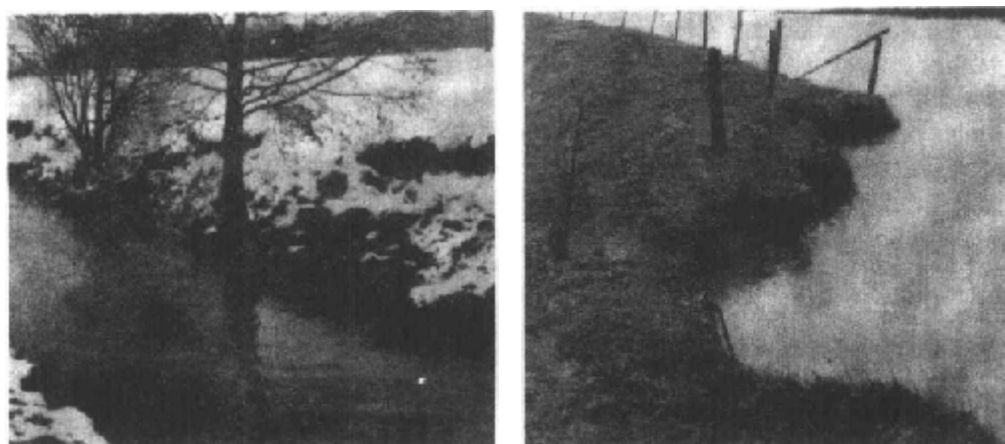
(b) 接近崩塌的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

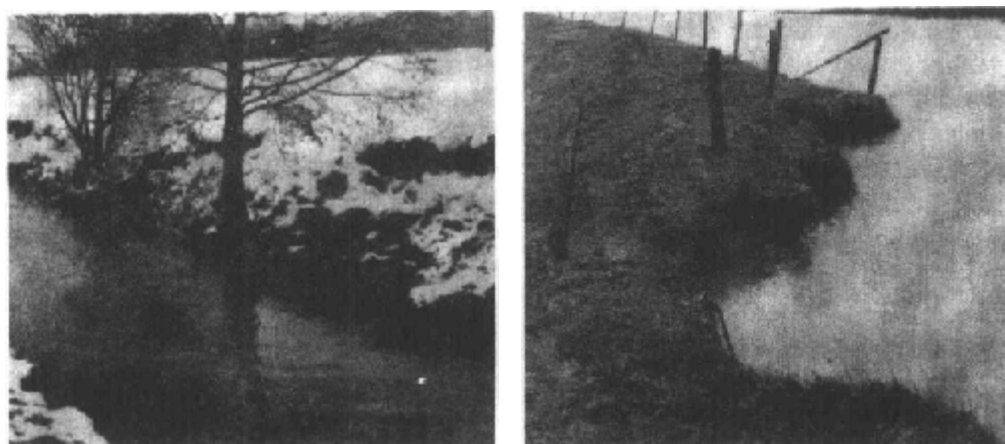
(b) 接近崩塌的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

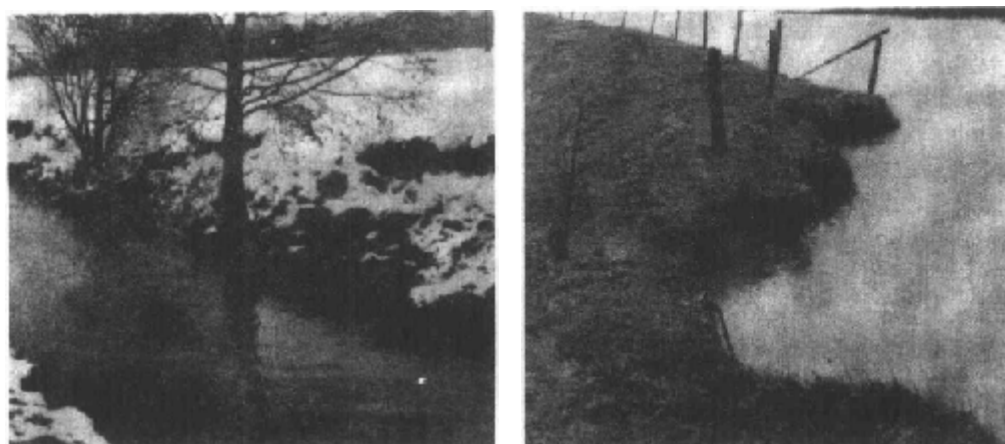
(b) 接近崩塌的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

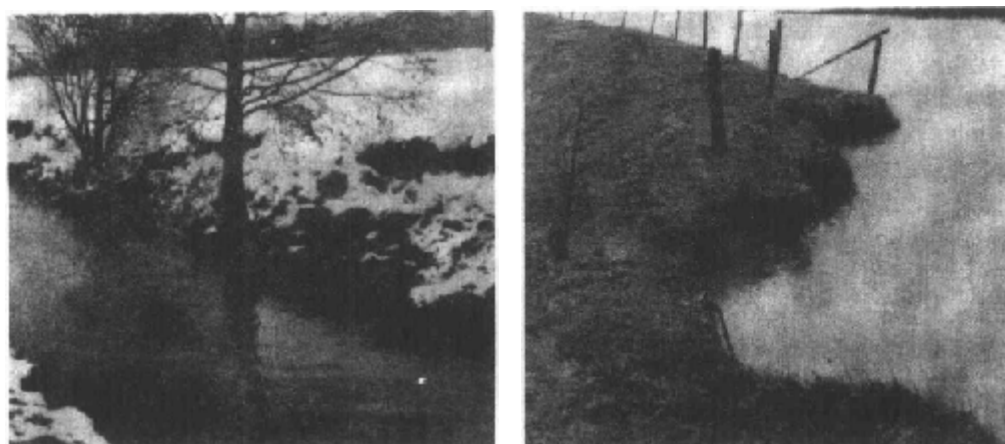
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

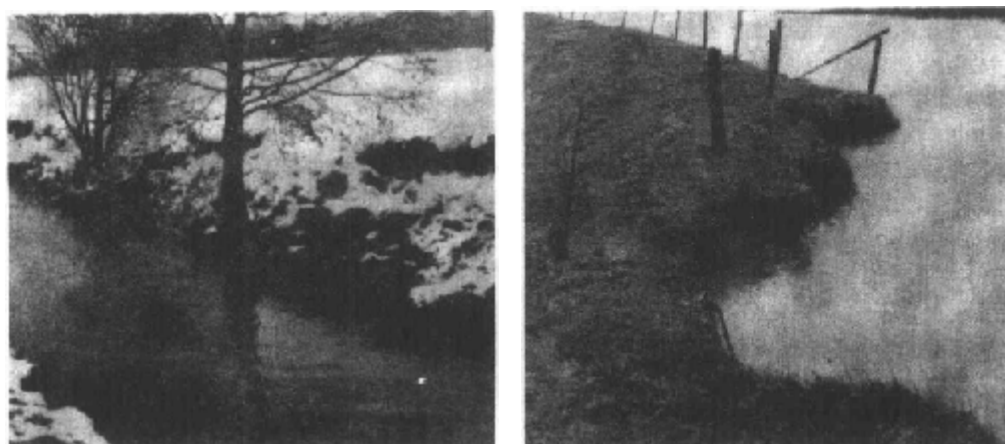
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

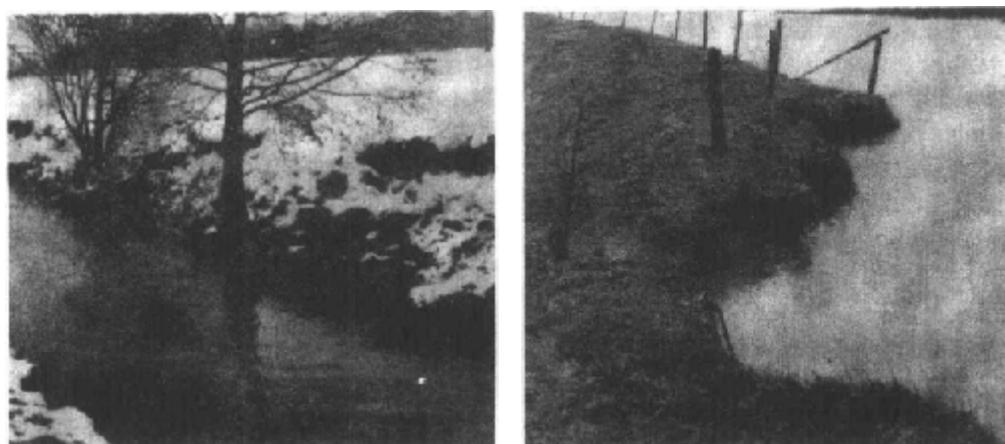
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

(b) 接近崩塌的垂直土块

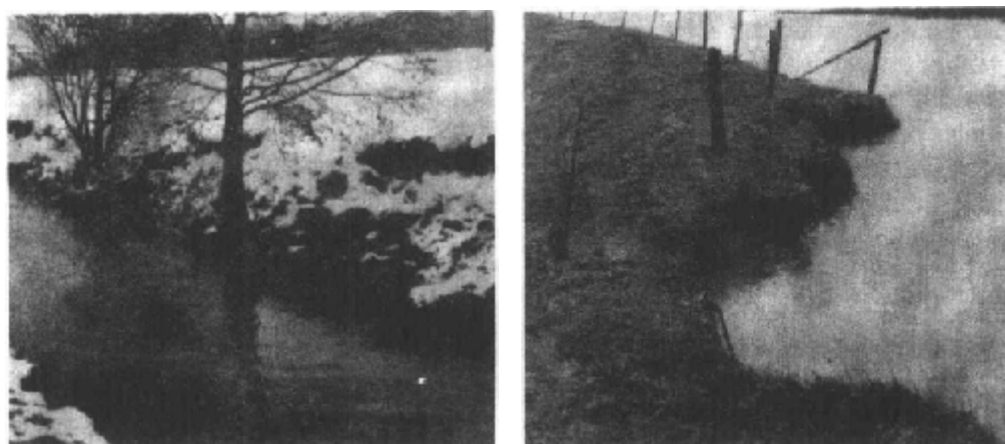
图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。





(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

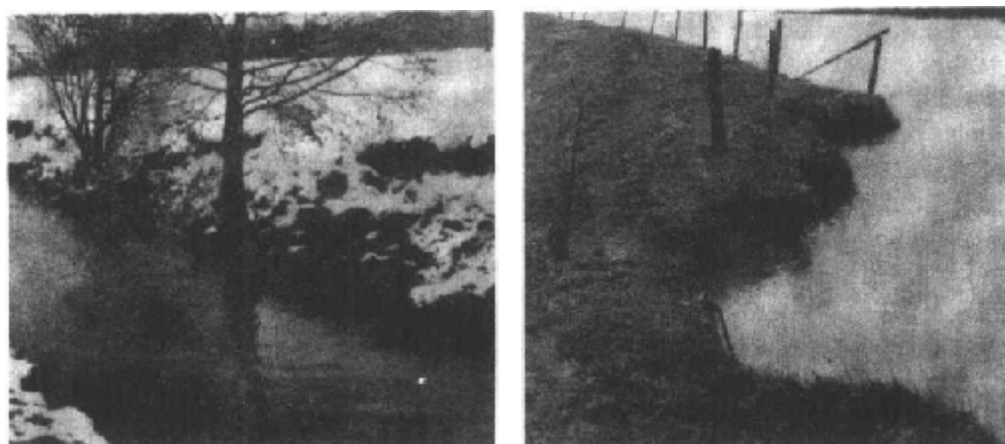
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

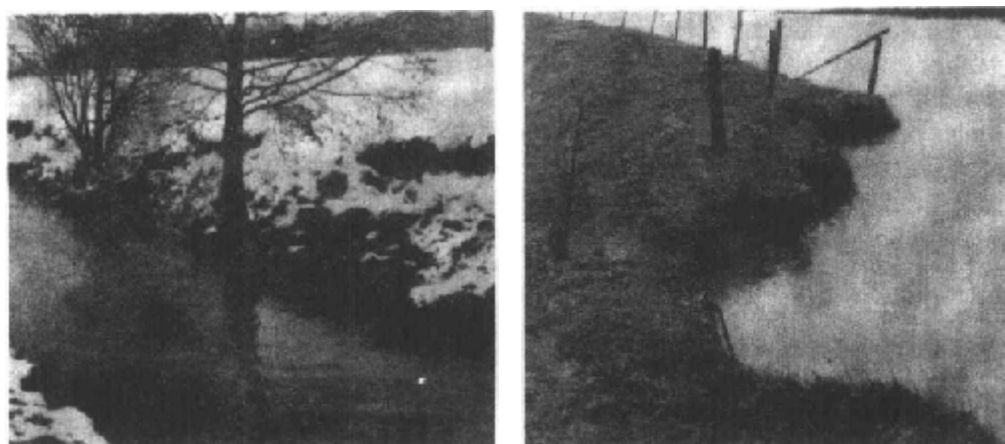
(b) 接近崩坍的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

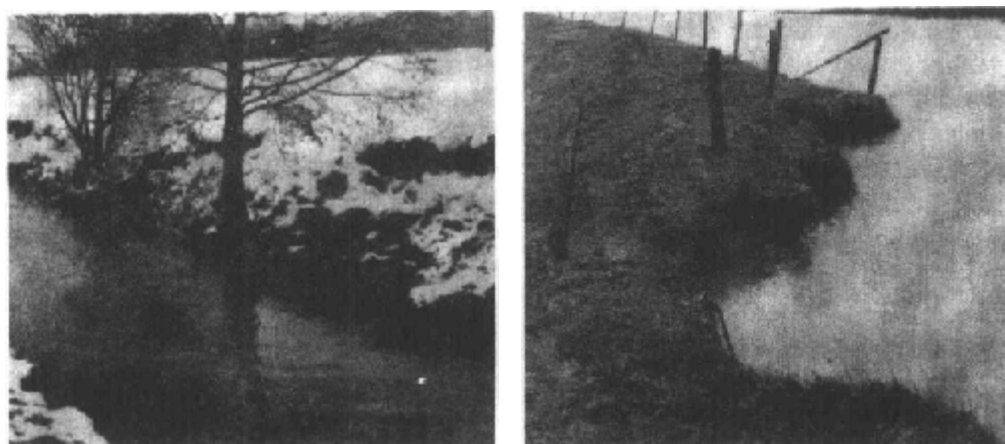
(b) 接近崩塌的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

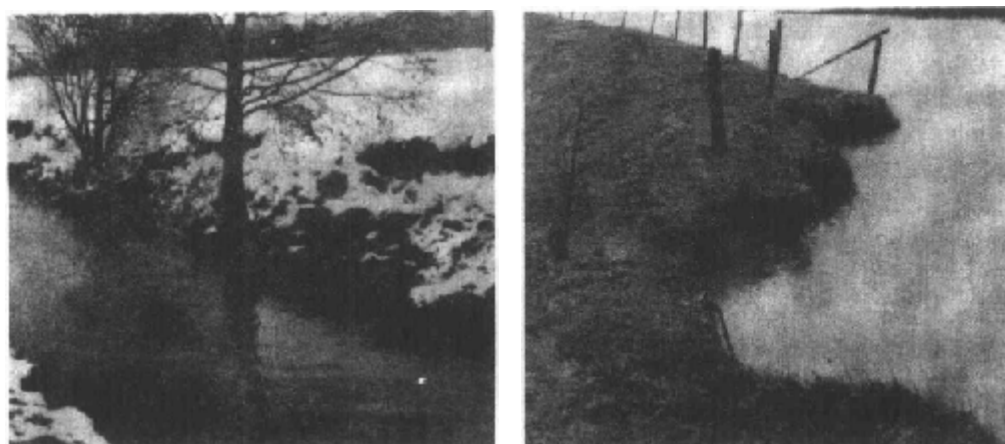
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

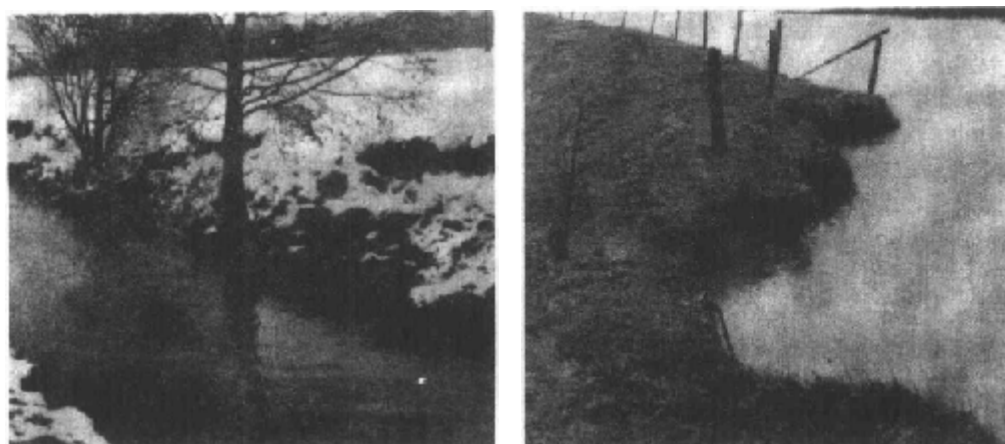
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

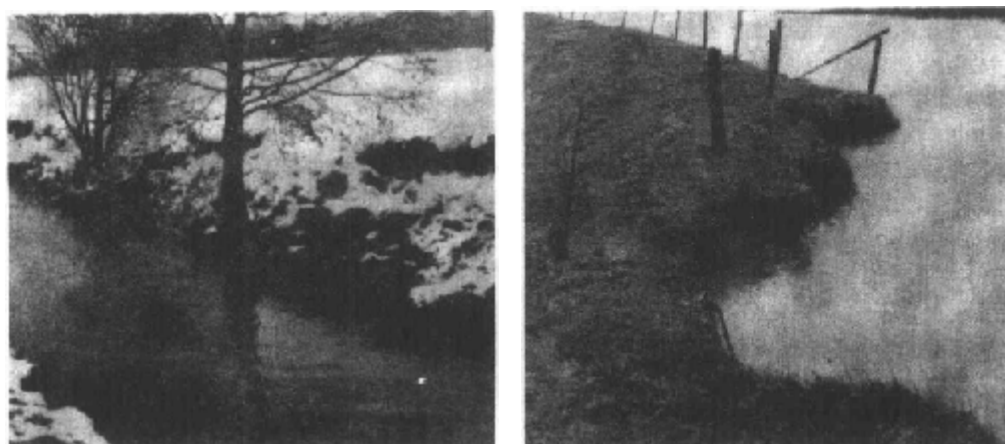
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

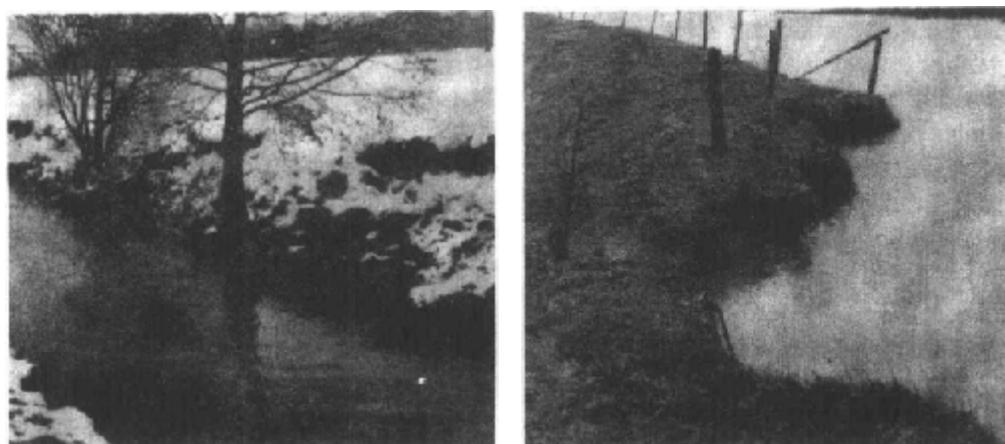
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

(b) 接近崩塌的垂直土块

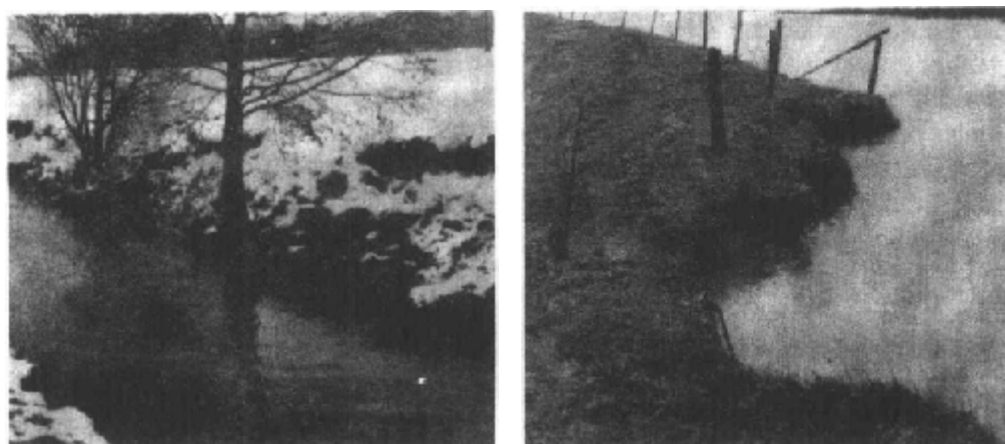
图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。





(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

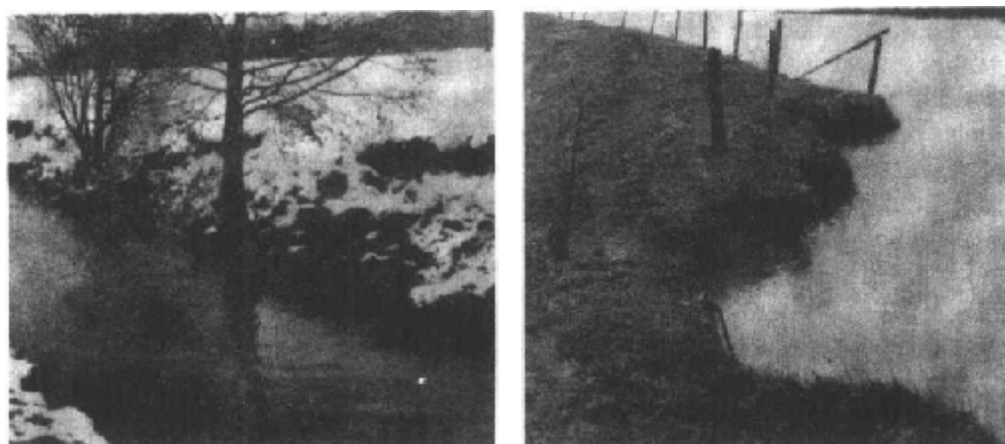
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

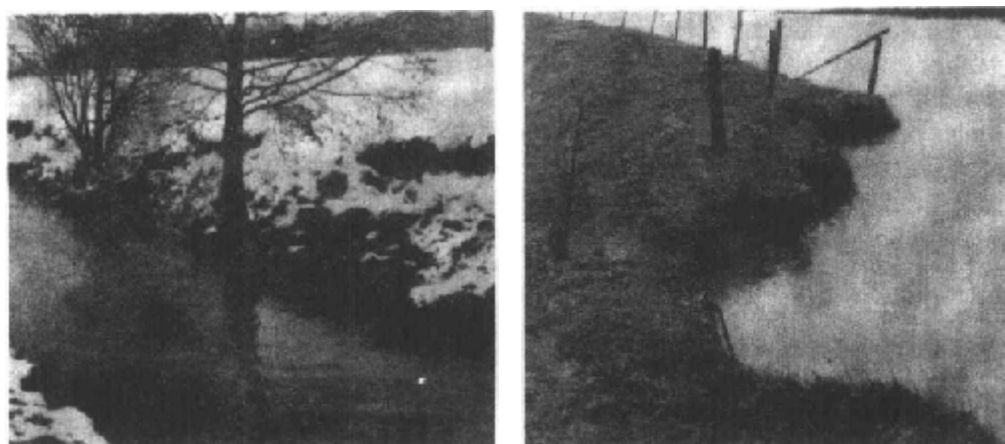
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

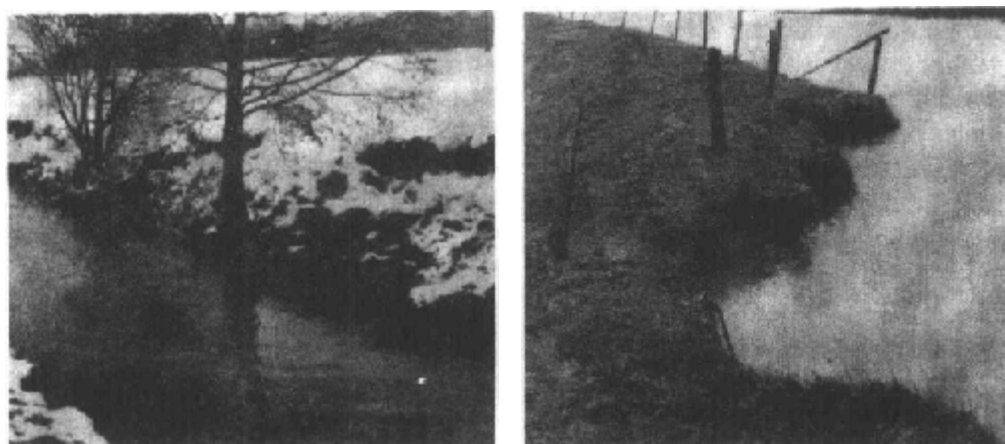
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

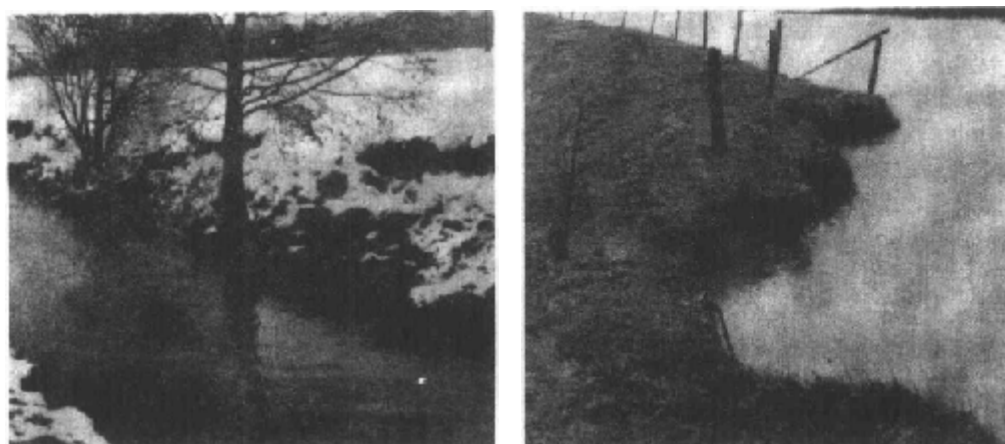
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树较稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

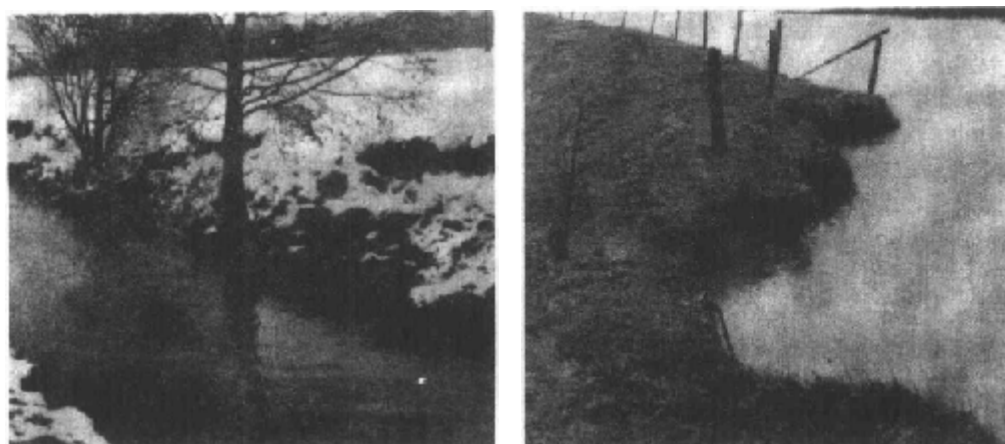
(b) 接近崩坍的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

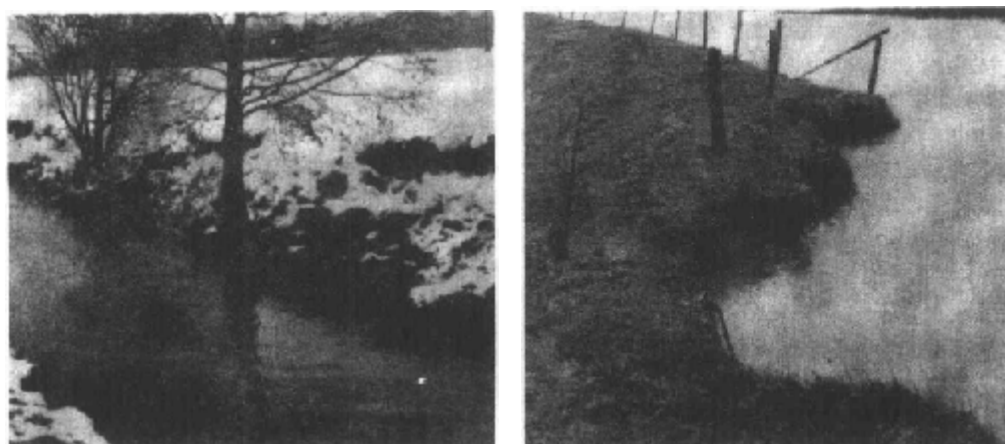
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

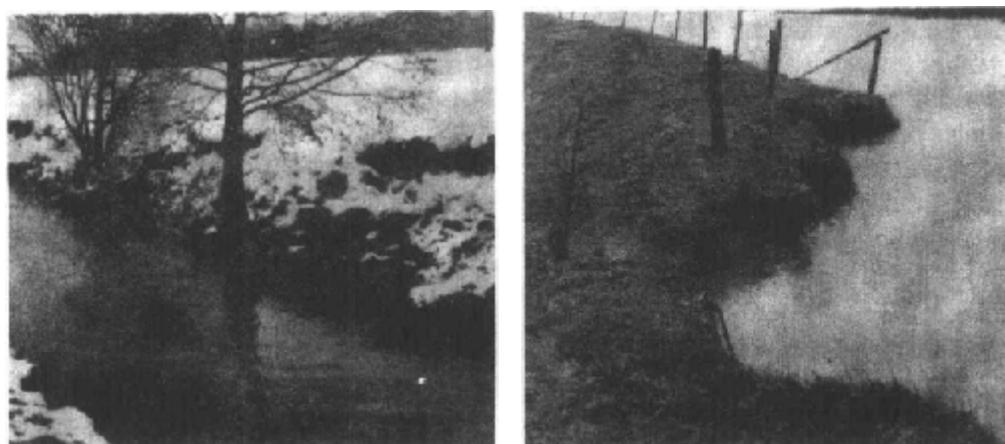
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

(b) 接近崩塌的垂直土块

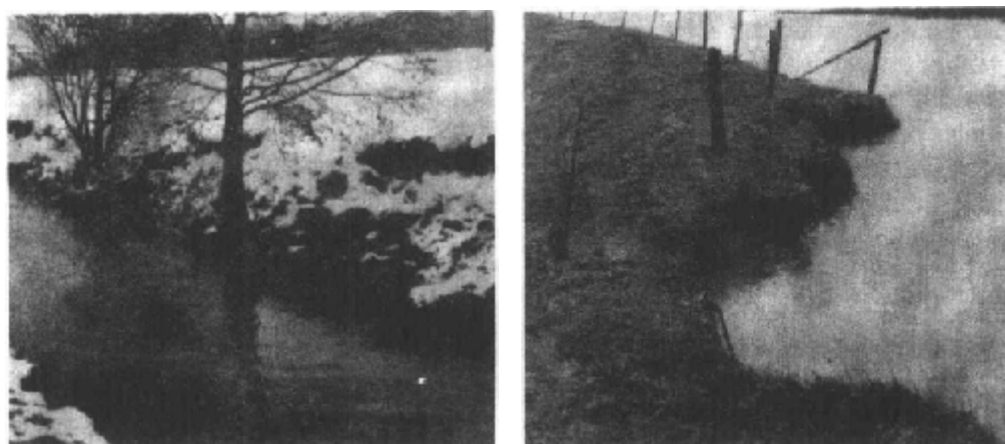
图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。





(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

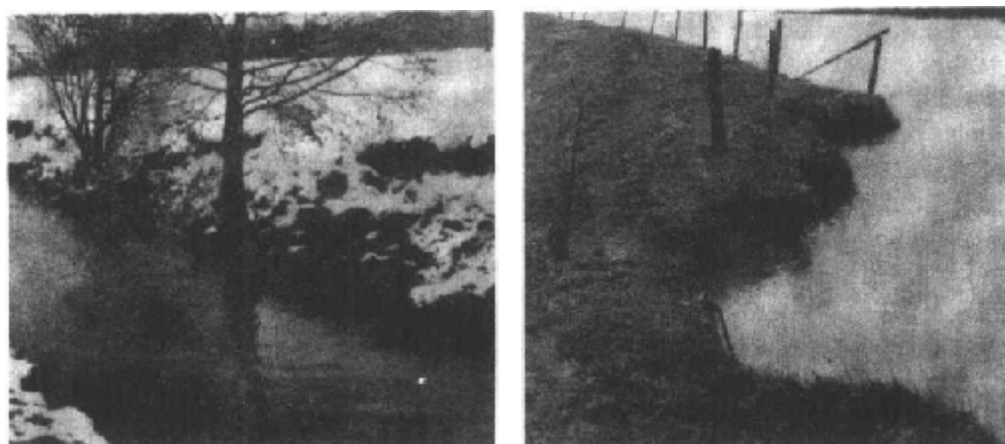
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其天然土块的坍塌

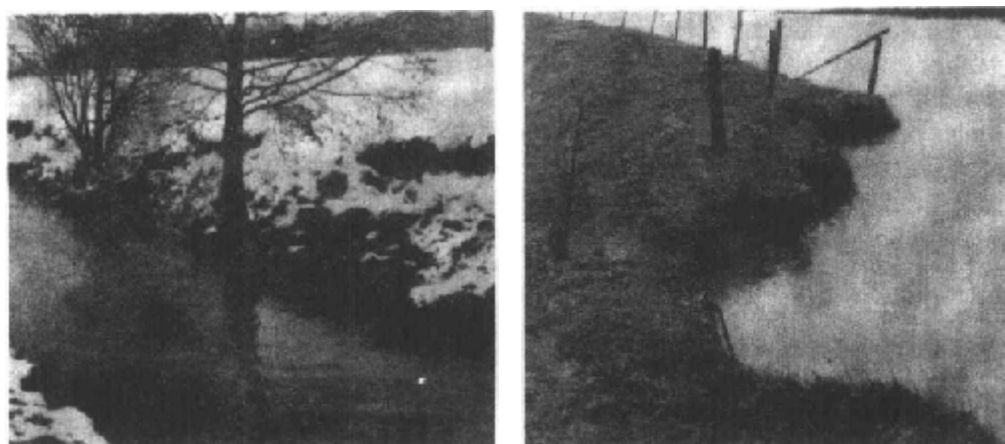
(b) 接近崩塌的阻止土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

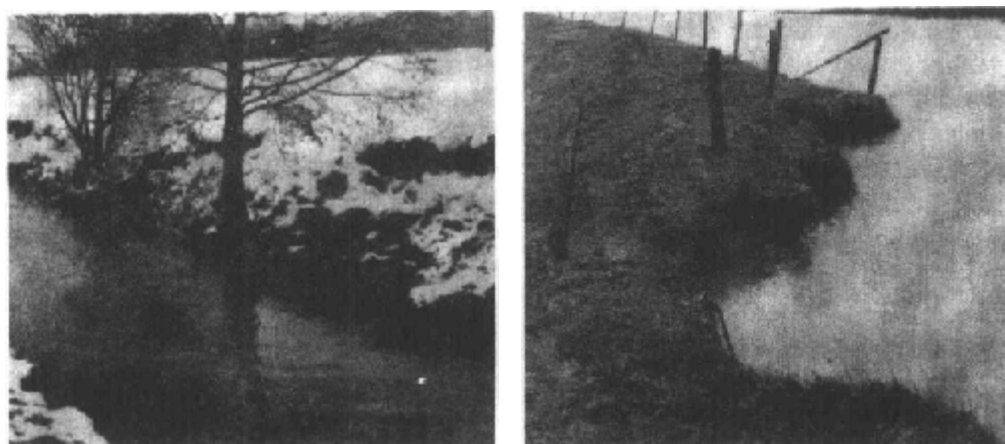
(b) 接近崩塌的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

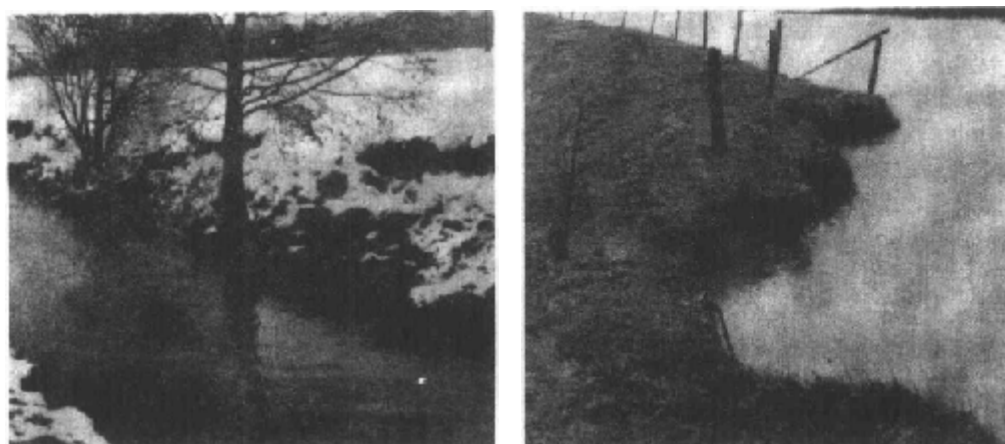
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根茎拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

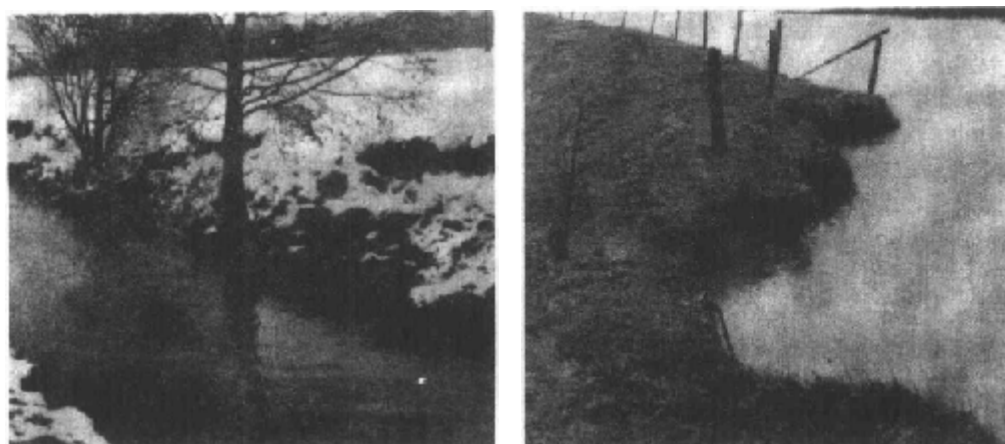
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根茎拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

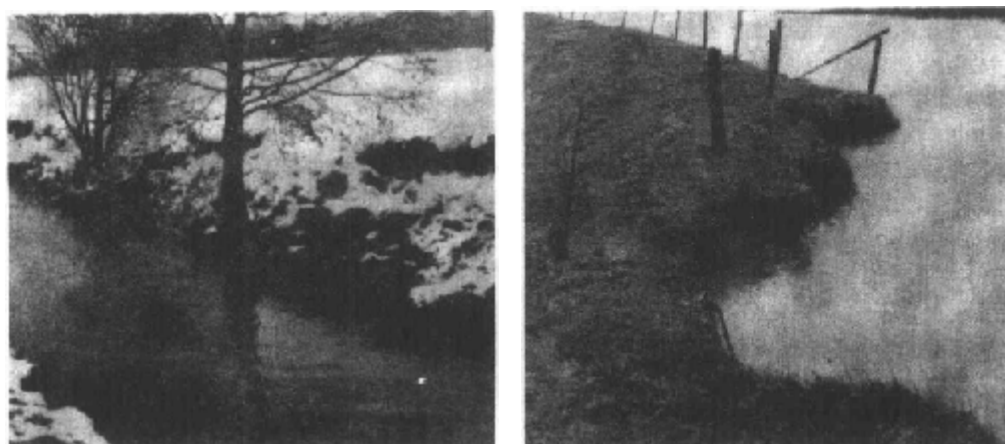
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

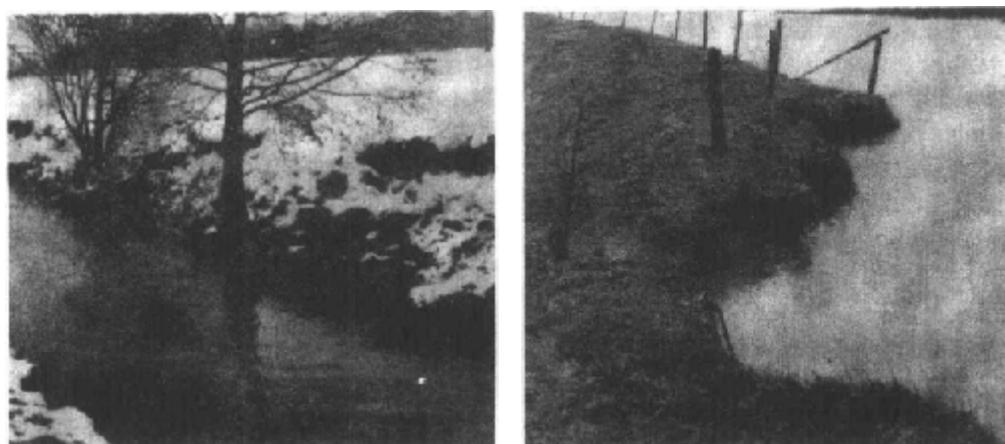
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

(b) 接近崩塌的垂直土块

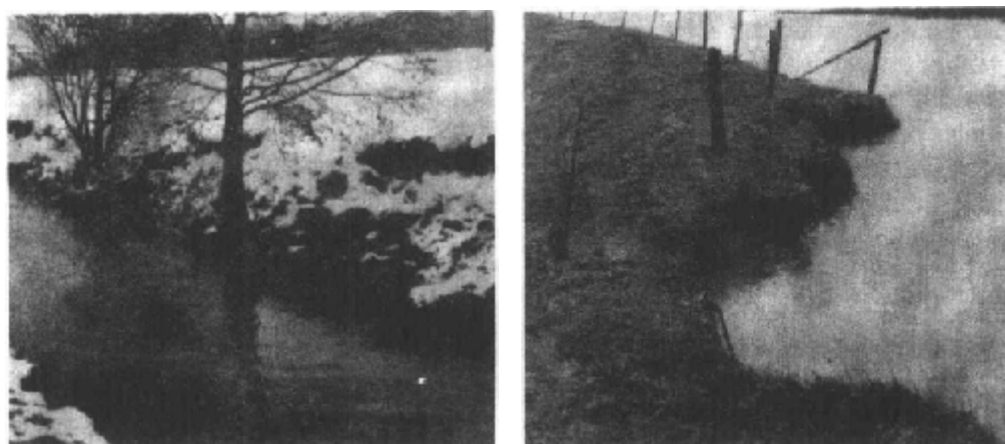
图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。





(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

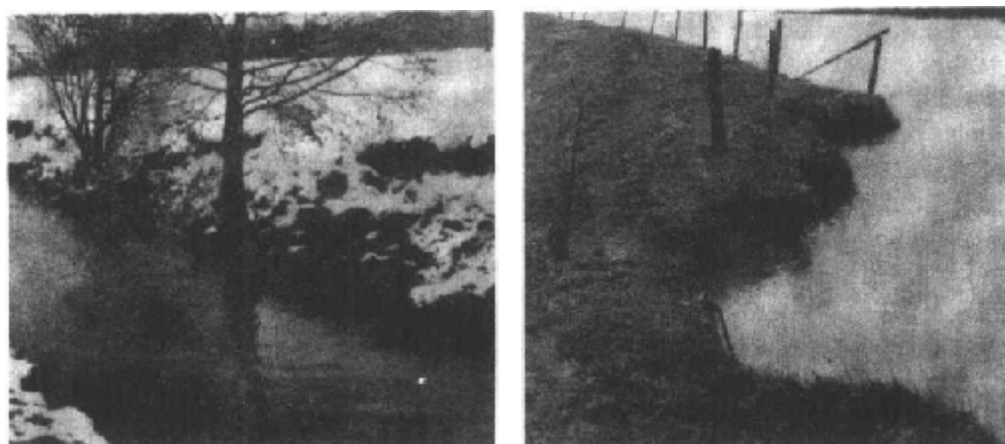
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

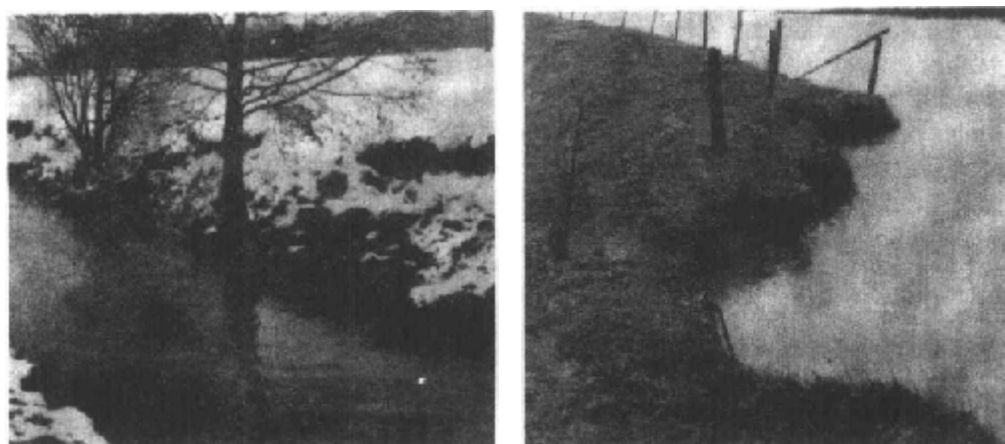
(b) 接近崩塌的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

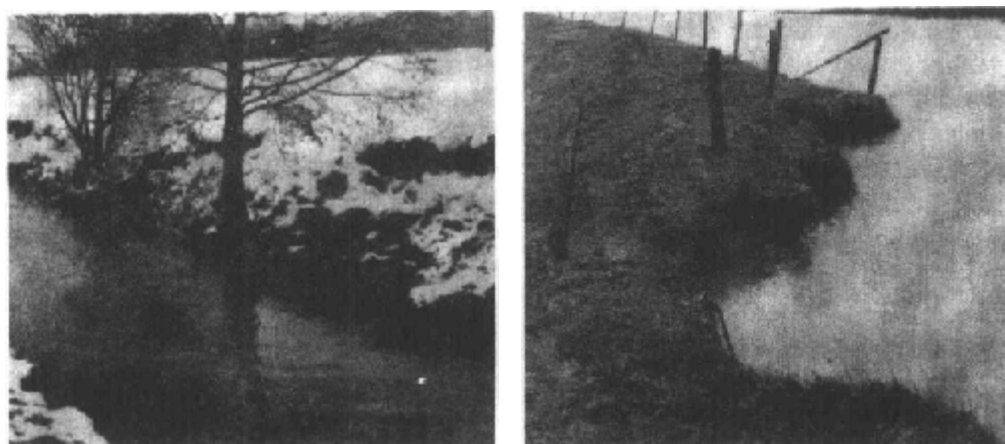
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其天然土块的坍塌

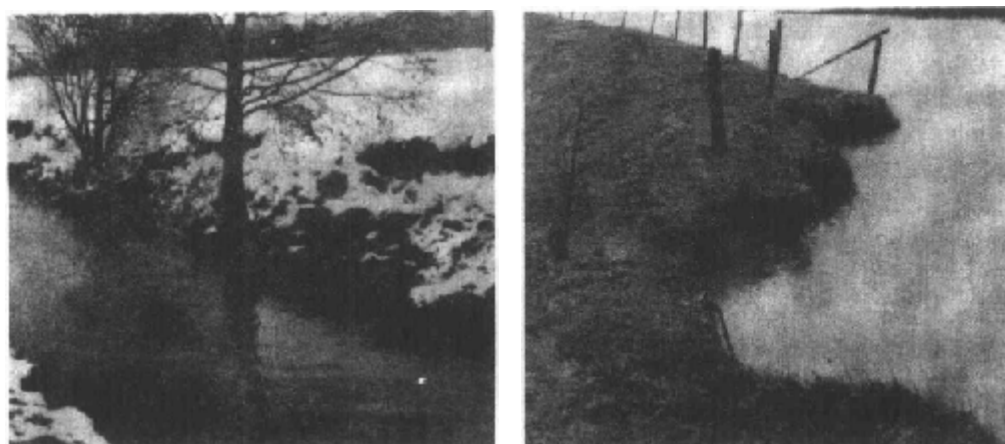
(b) 接近崩塌的阻止土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

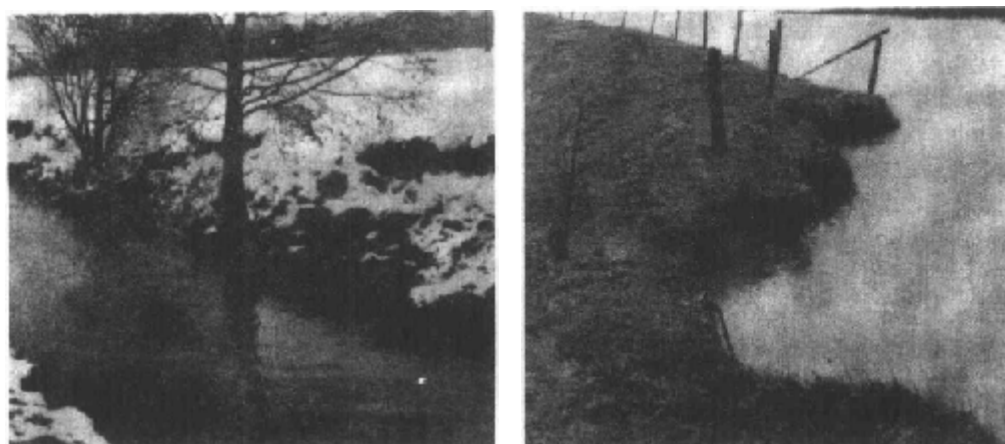
(b) 接近崩塌的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树较稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

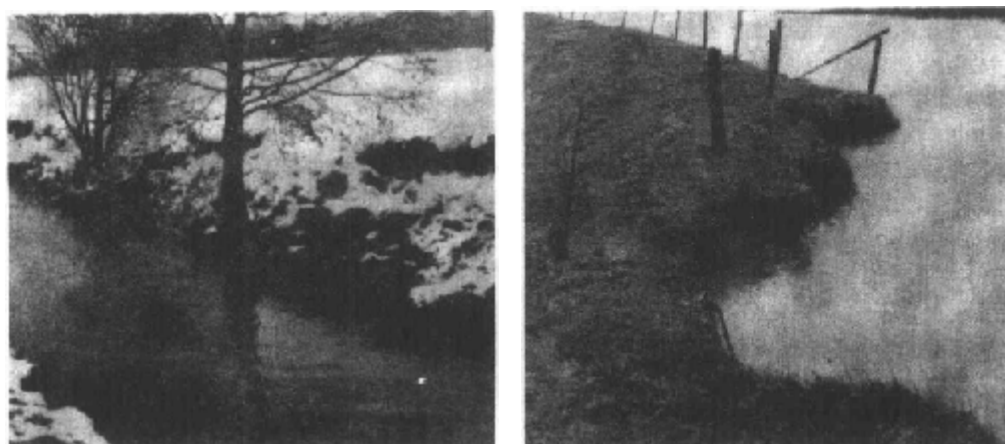
(b) 接近崩坍的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树较稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

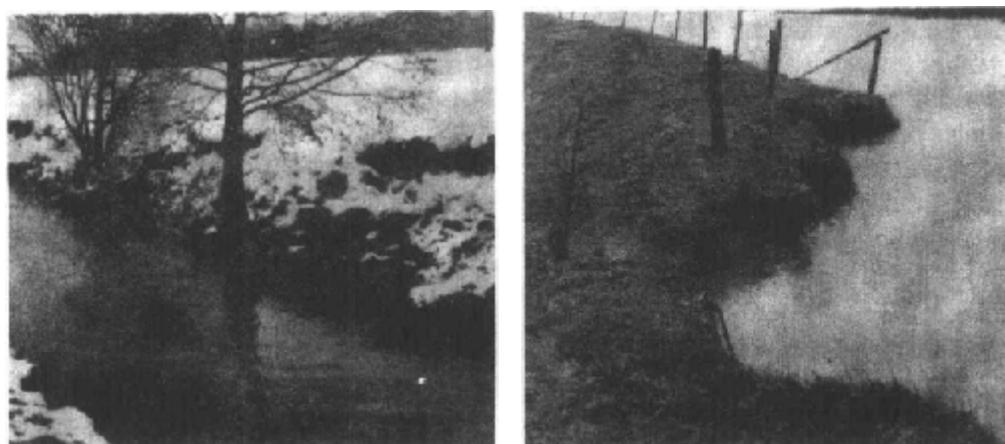
(b) 接近崩坍的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

(b) 接近崩塌的垂直土块

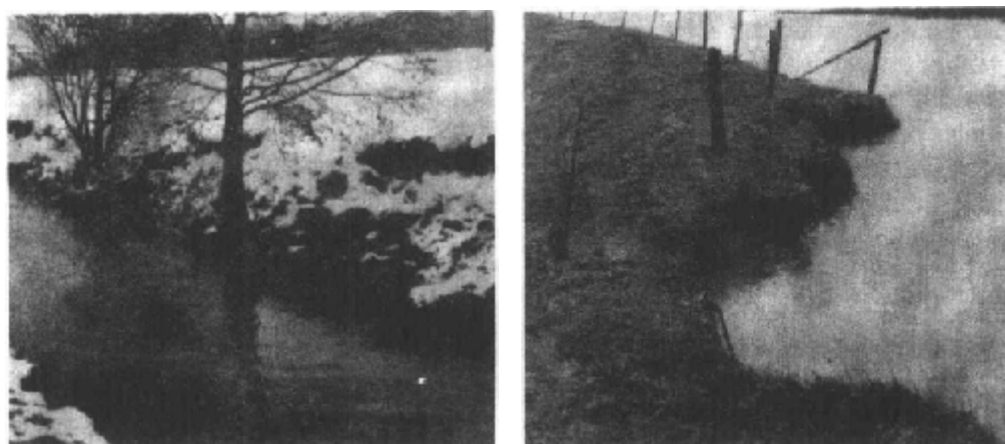
图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。





(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

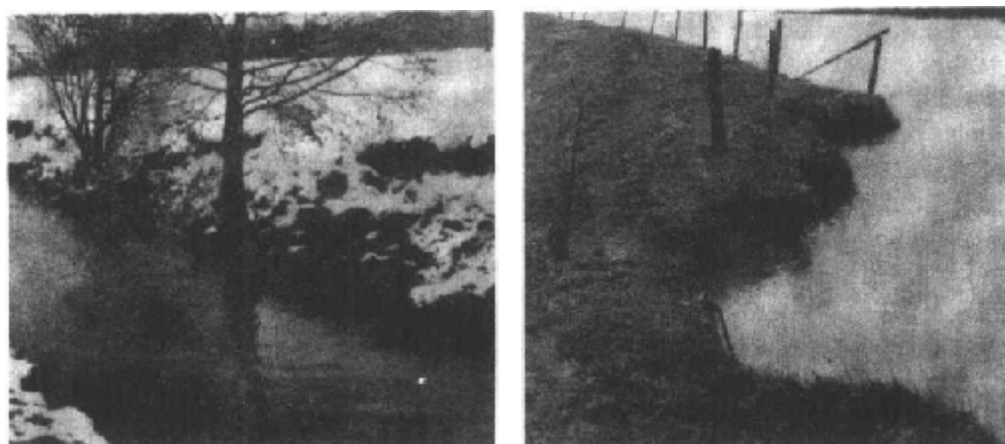
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

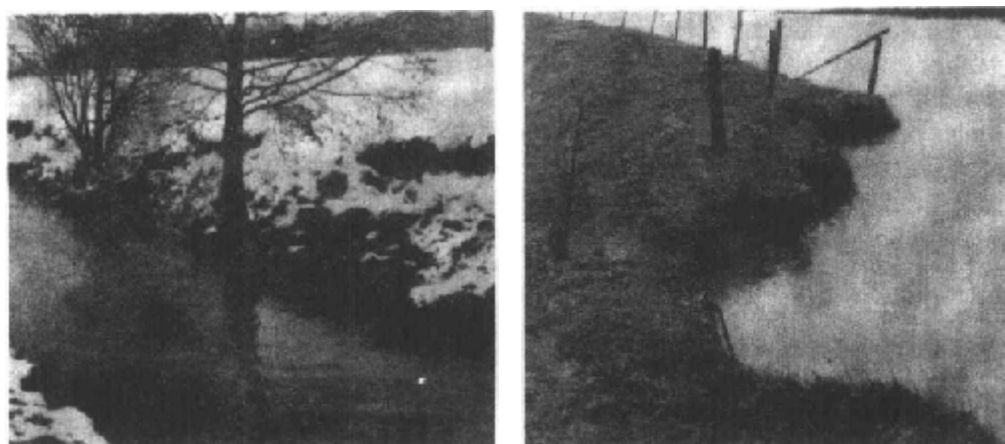
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

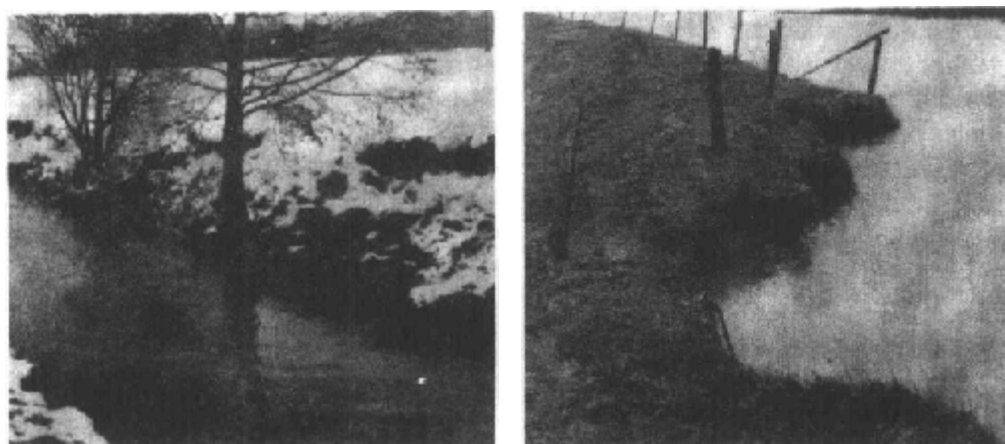
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

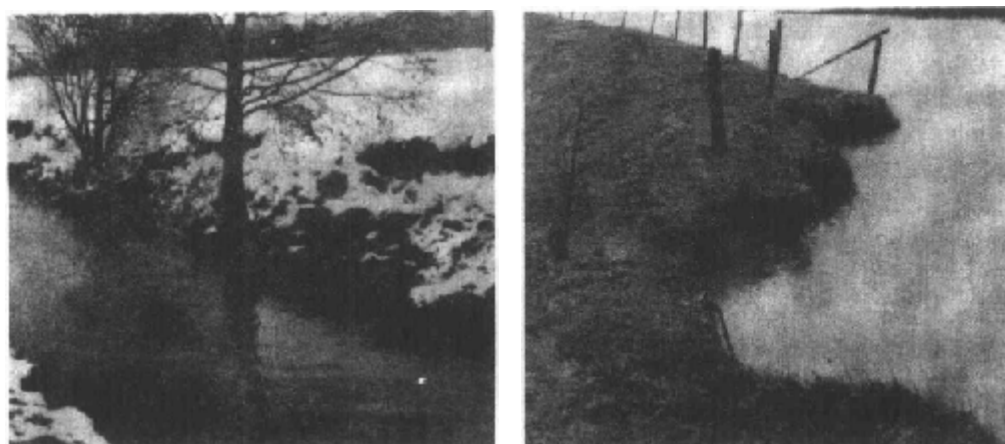
(b) 接近崩塌的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

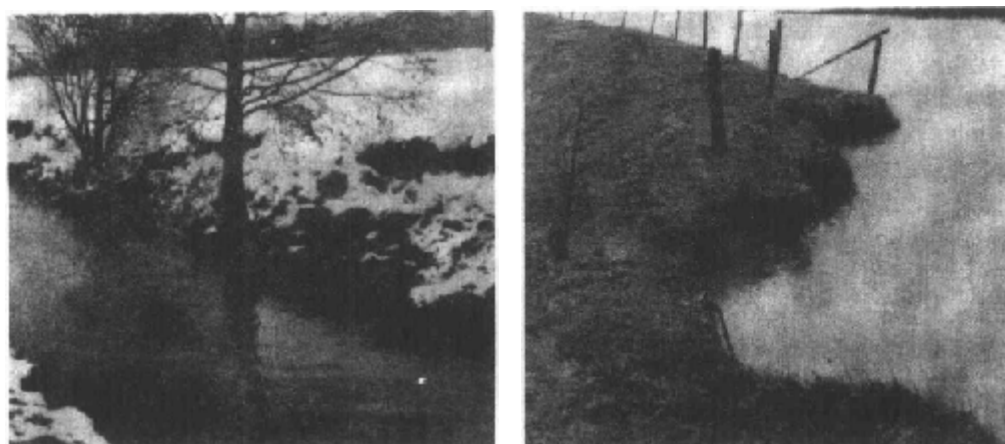
(b) 接近崩塌的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树较稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

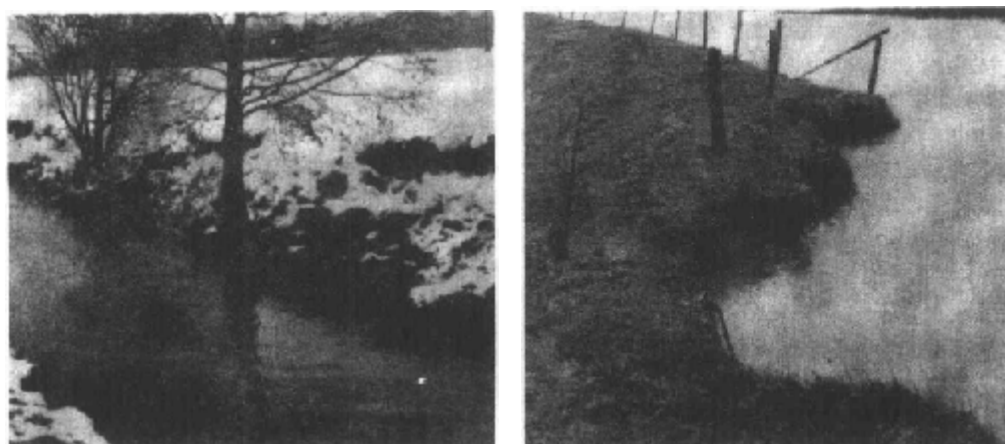
(b) 接近崩坍的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

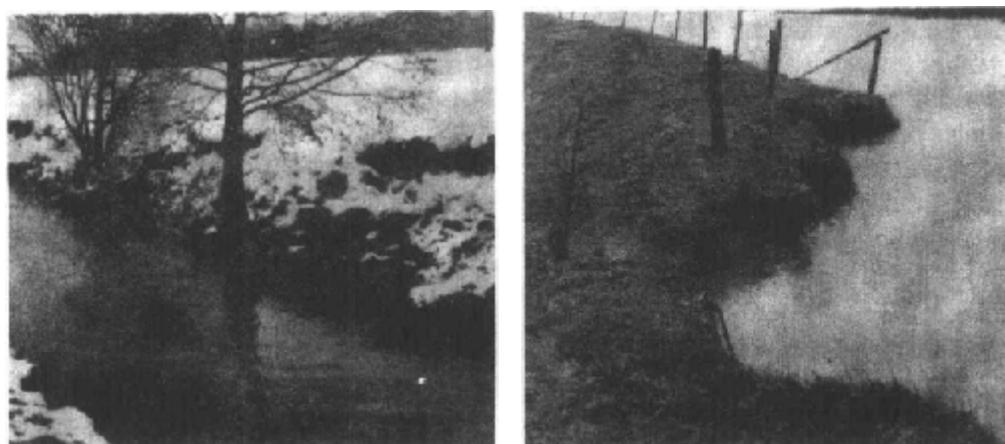
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

(b) 接近崩塌的垂直土块

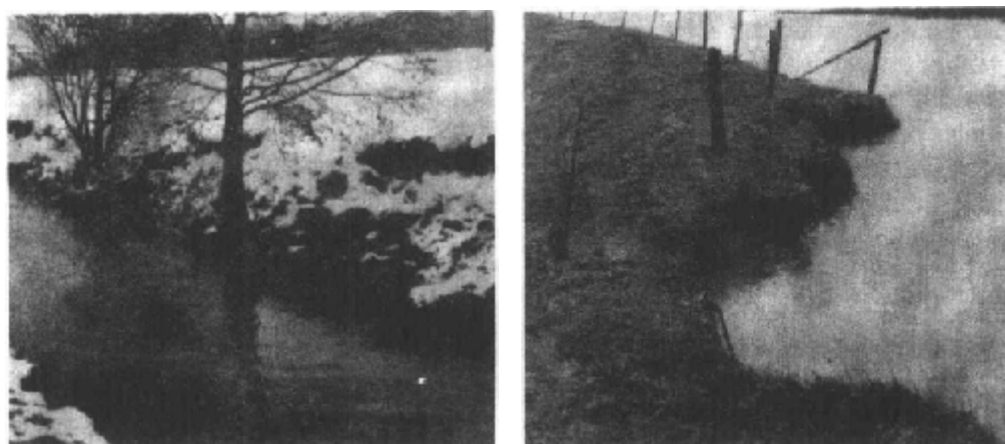
图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。





(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

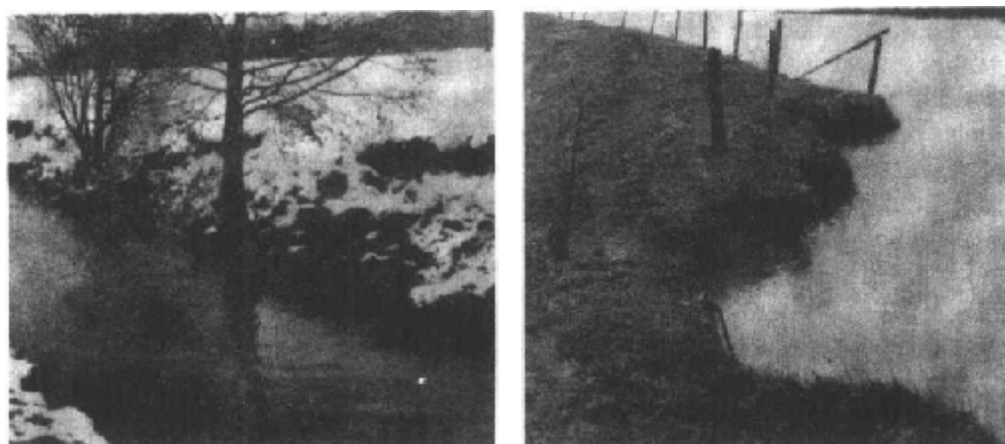
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

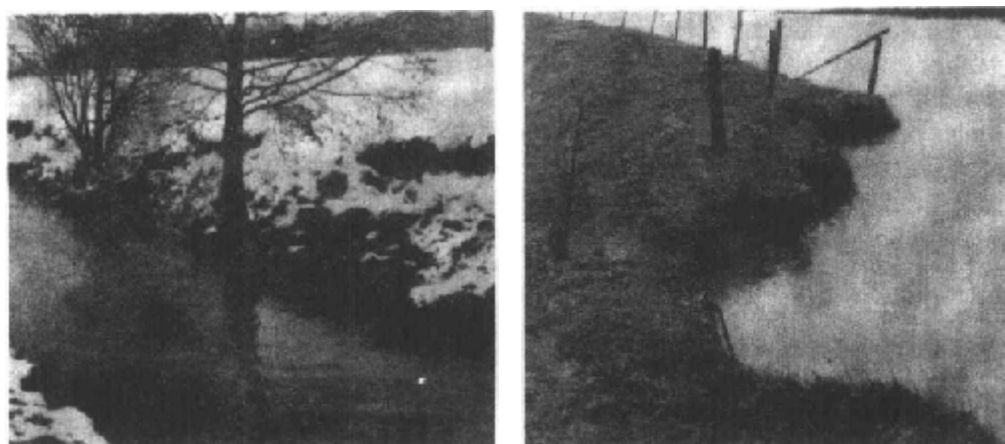
(b) 接近崩塌的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树较稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

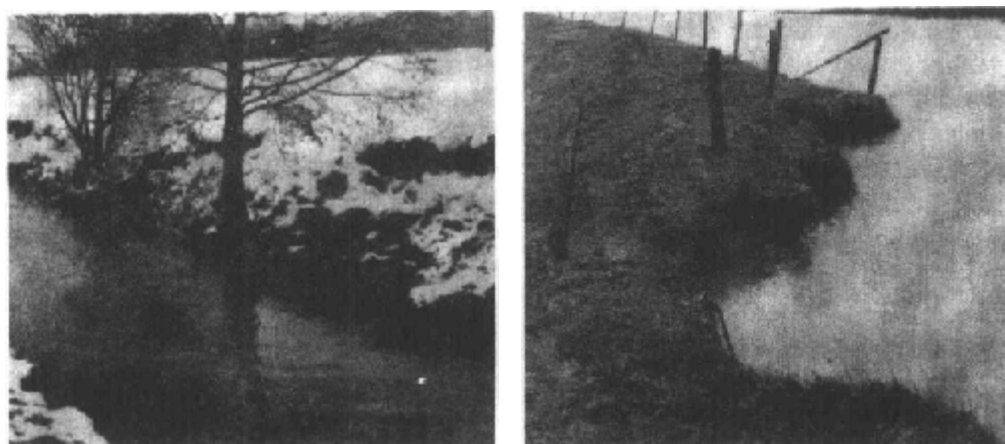
(b) 接近崩坍的阻止土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

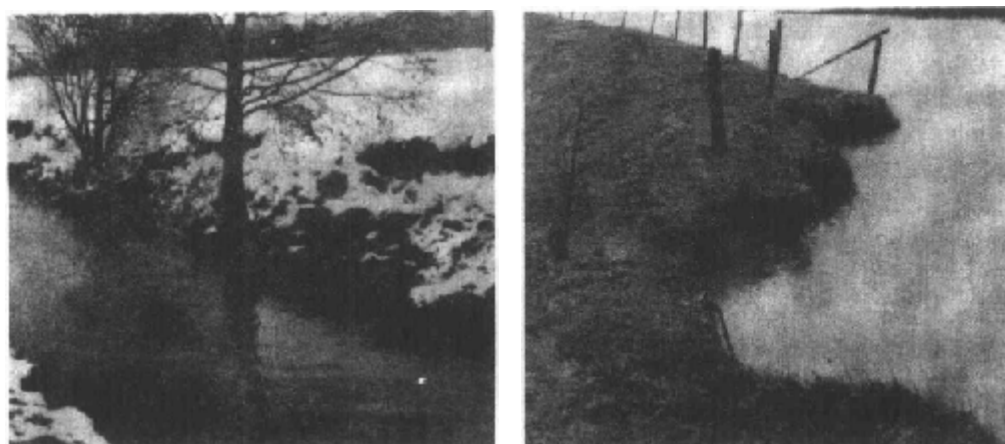
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

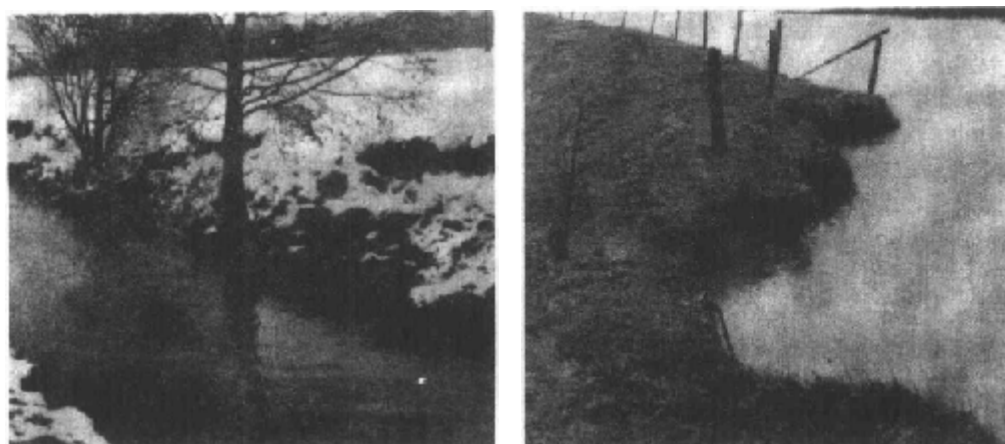
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

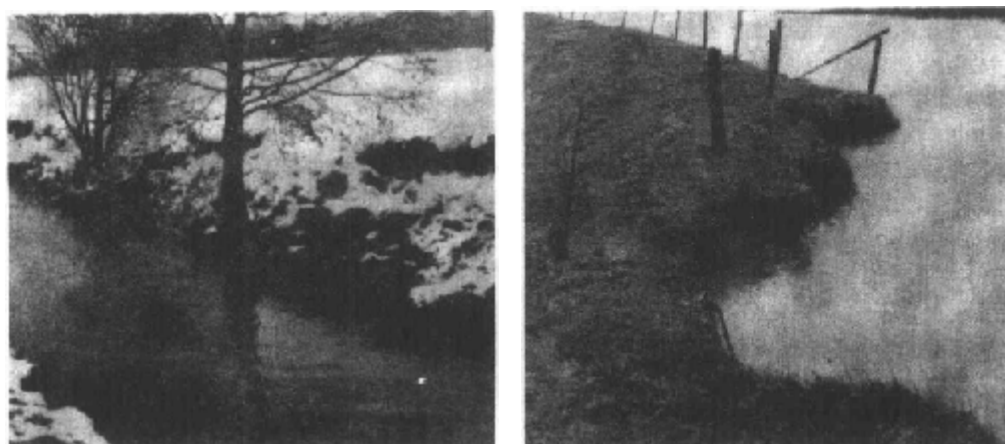
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树较稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

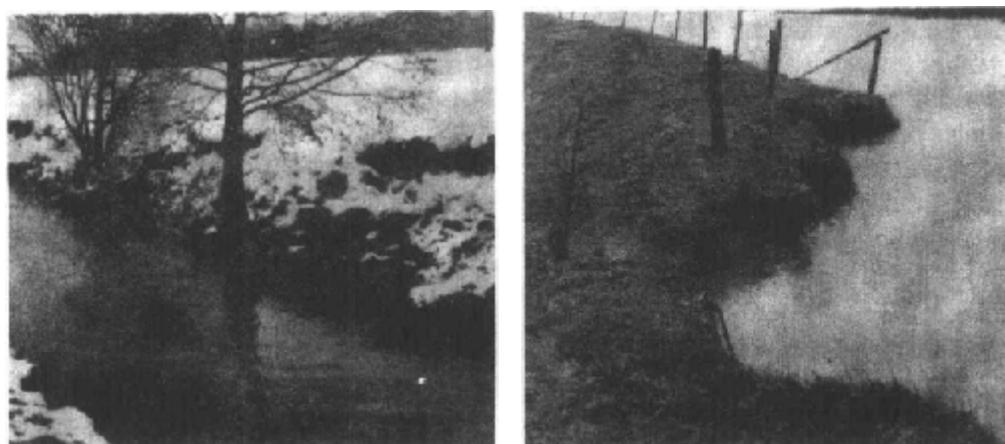
(b) 接近崩坍的阻止土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

(b) 接近崩塌的垂直土块

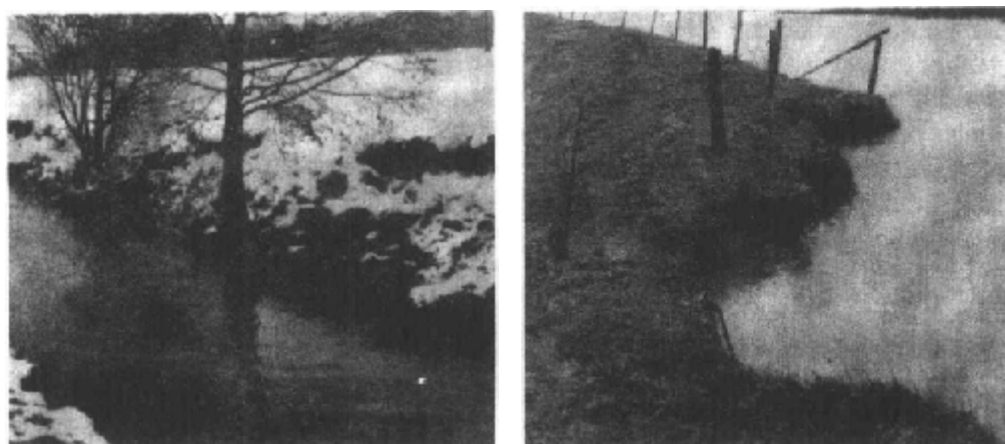
图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。





(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

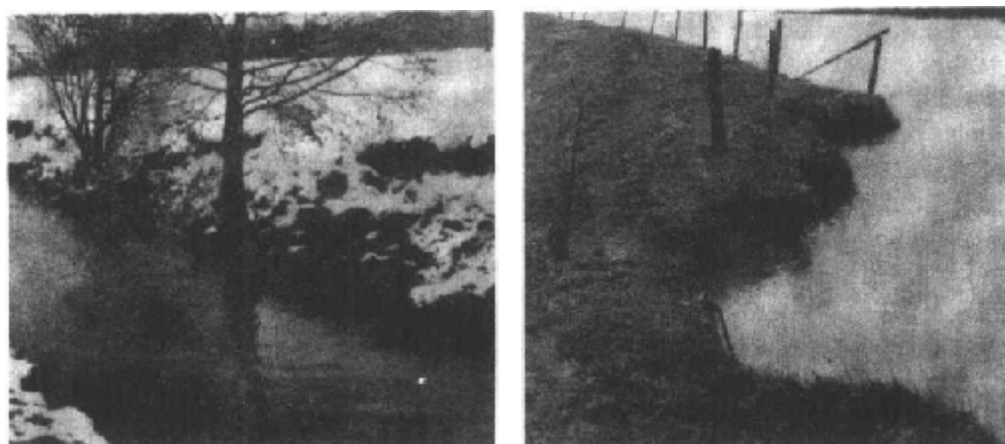
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

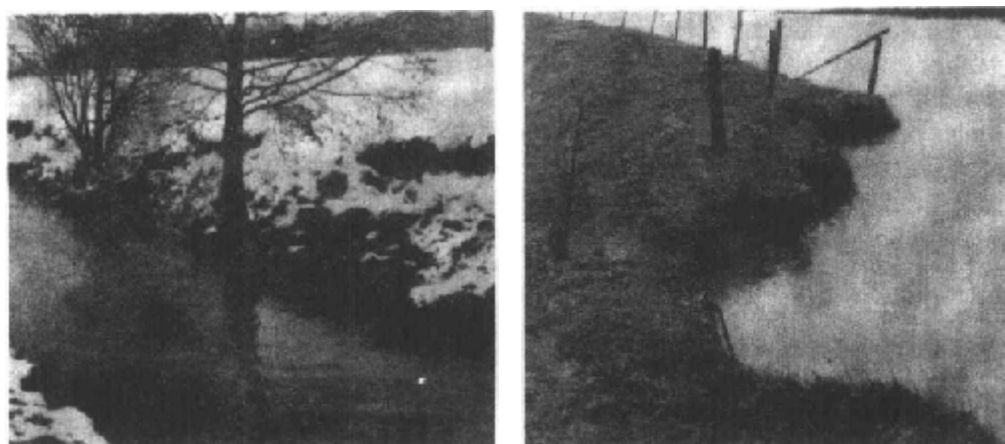
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

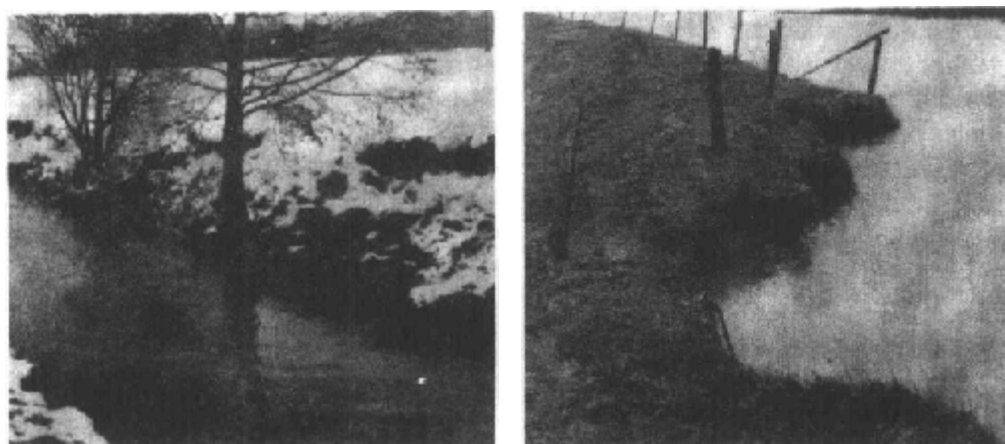
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

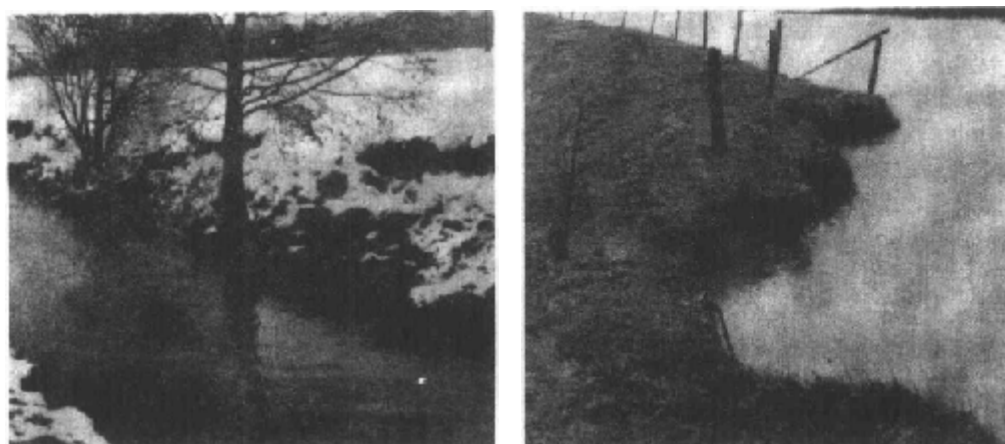
(b) 接近崩塌的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

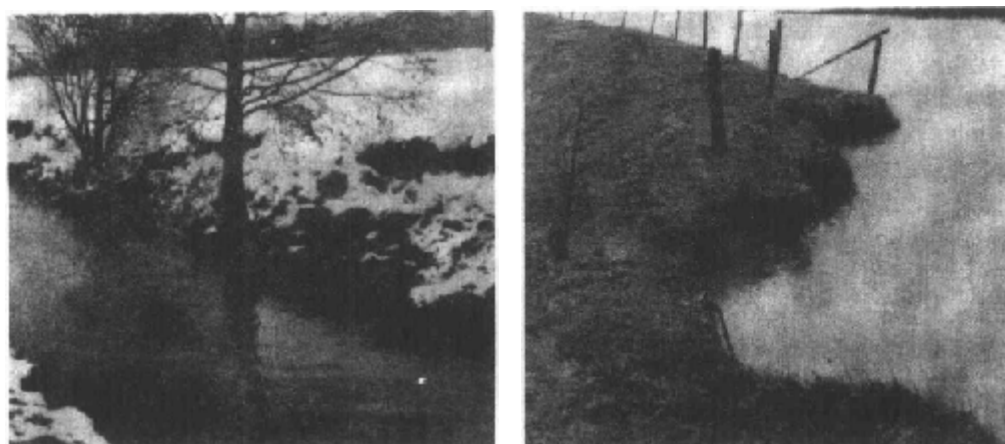
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根茎拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

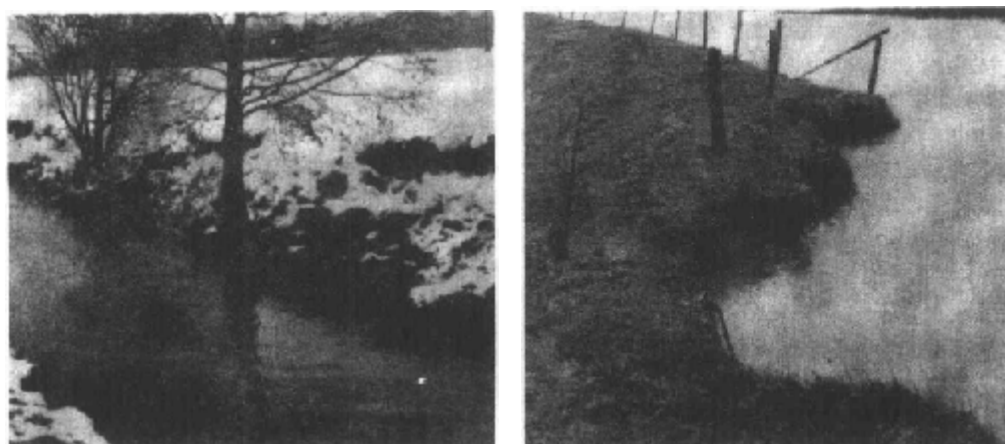
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

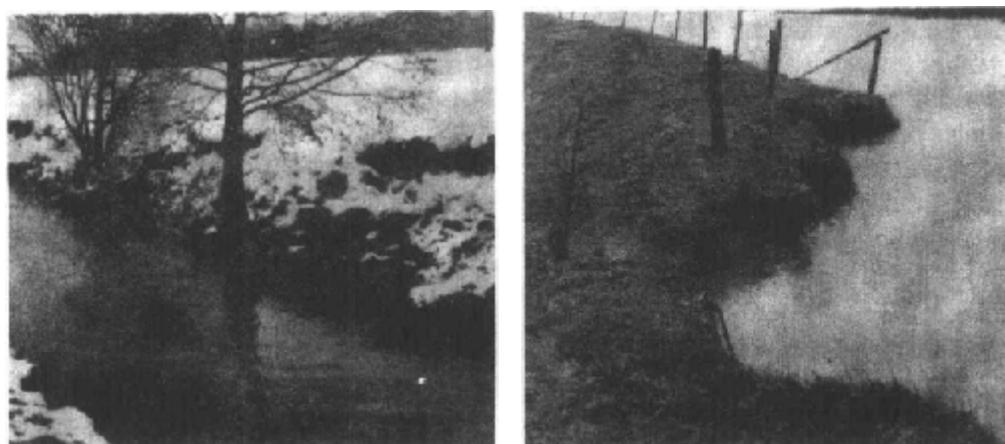
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

(b) 接近崩塌的垂直土块

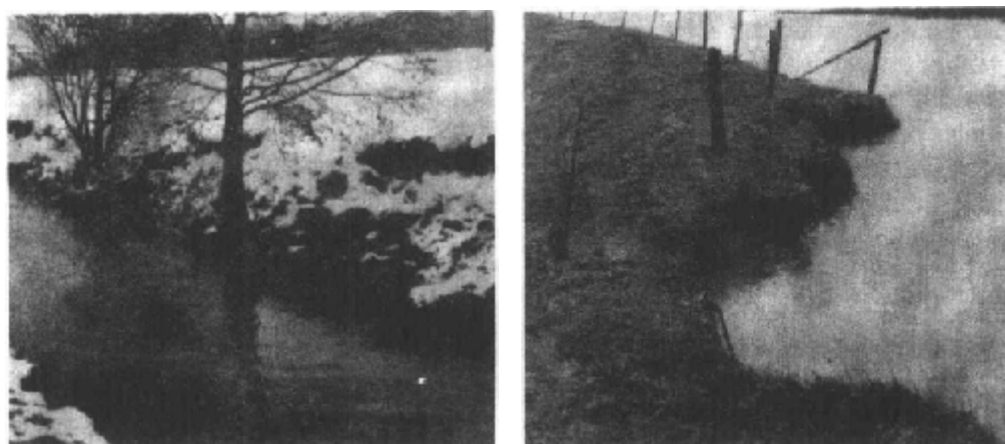
图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。





(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

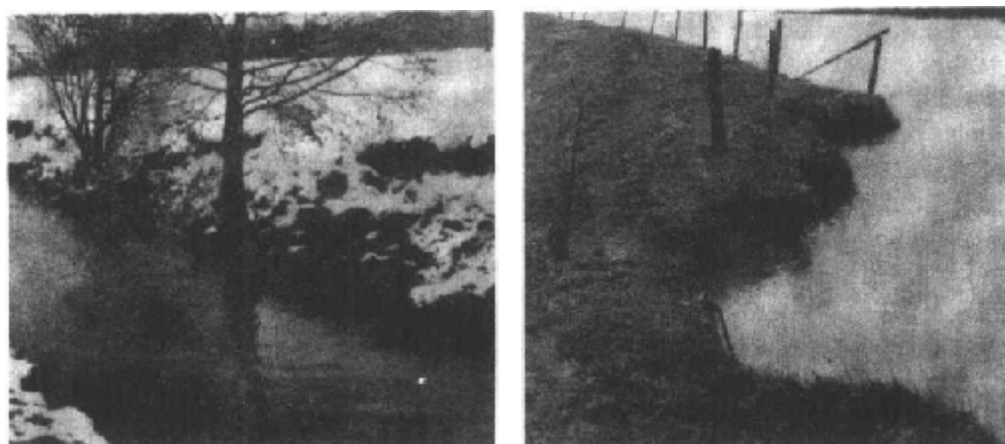
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树较稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

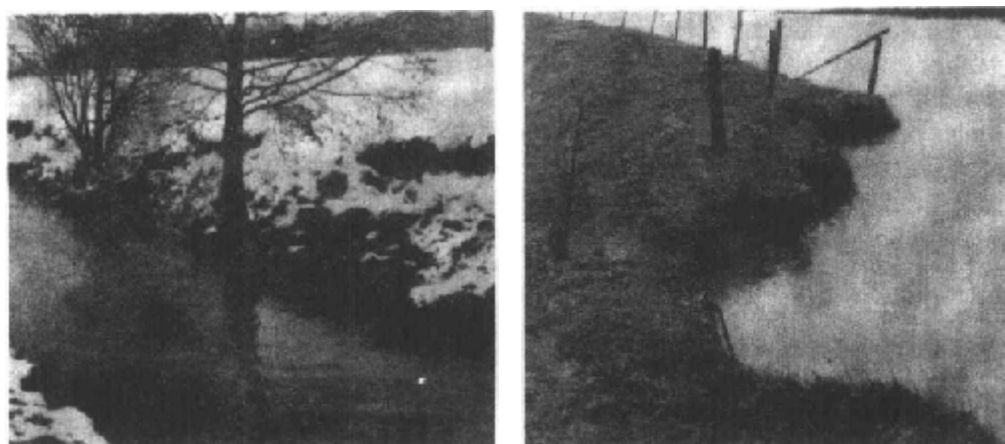
(b) 接近崩坍的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树较稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

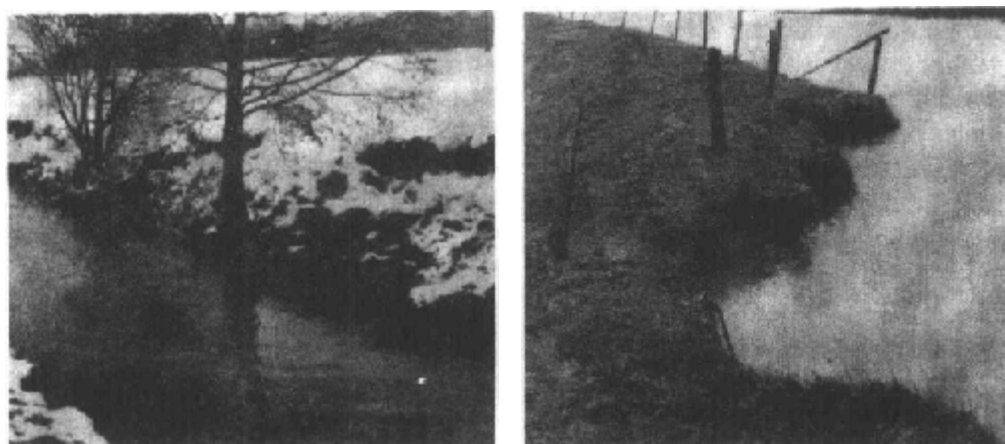
(b) 接近崩坍的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树较稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

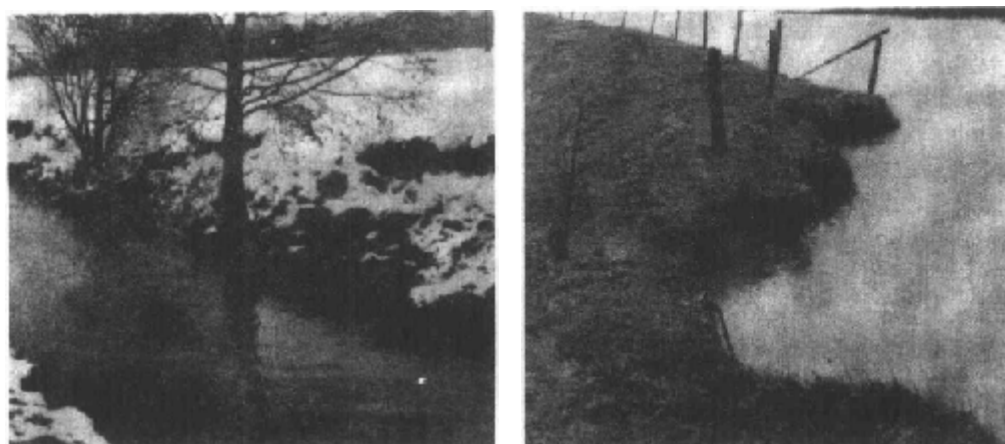
(b) 接近崩坍的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树较稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

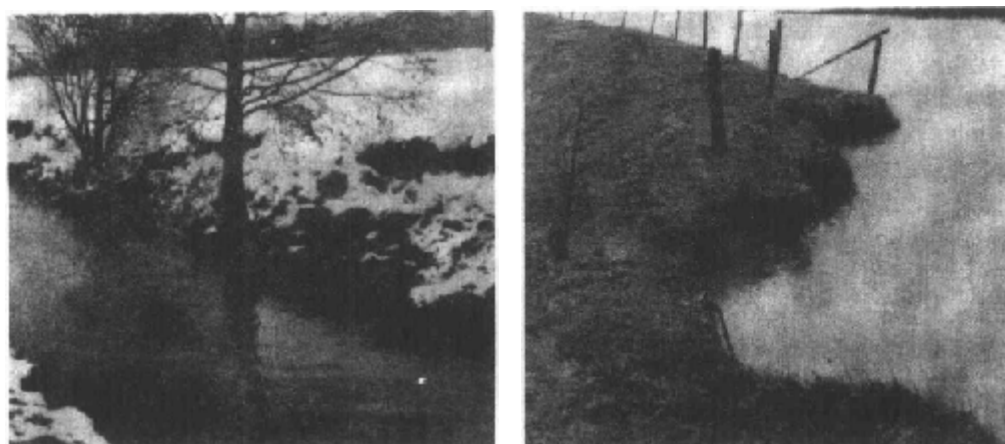
(b) 接近崩坍的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

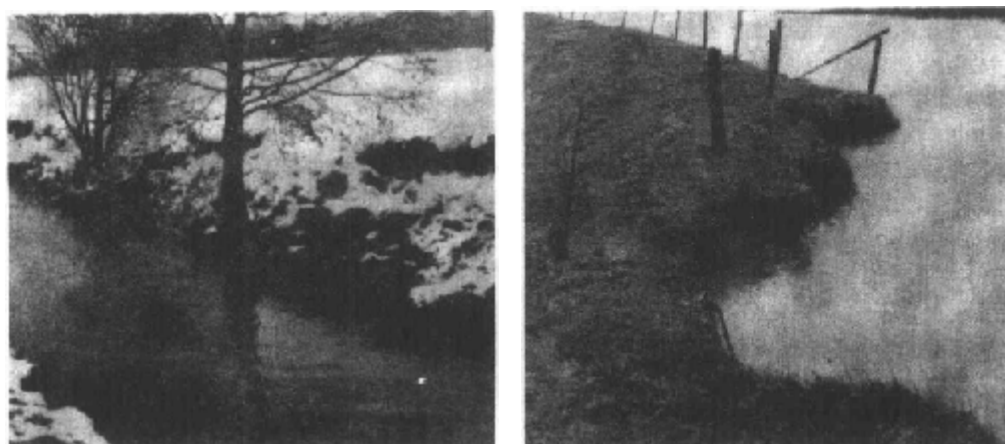
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树根稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

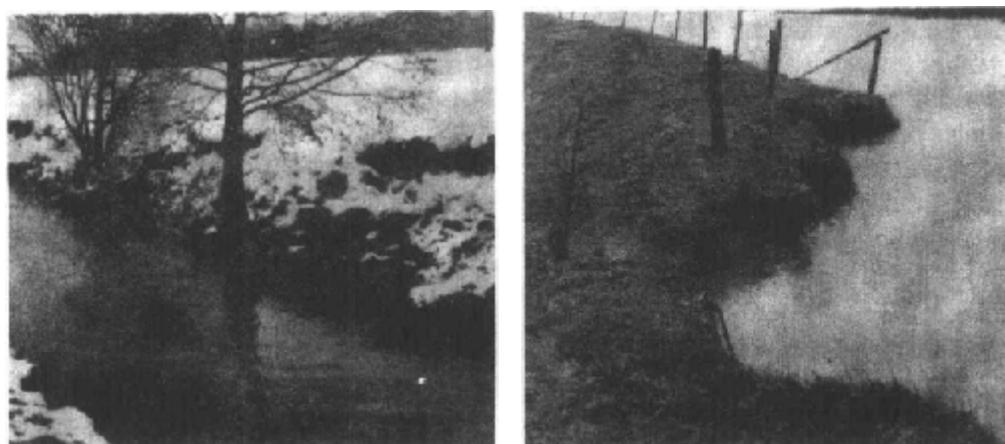
(b) 接近崩塌的垂直土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩塌近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树较稳定的河岸地带其天然土块的坍塌

(b) 接近崩坍的静止土块

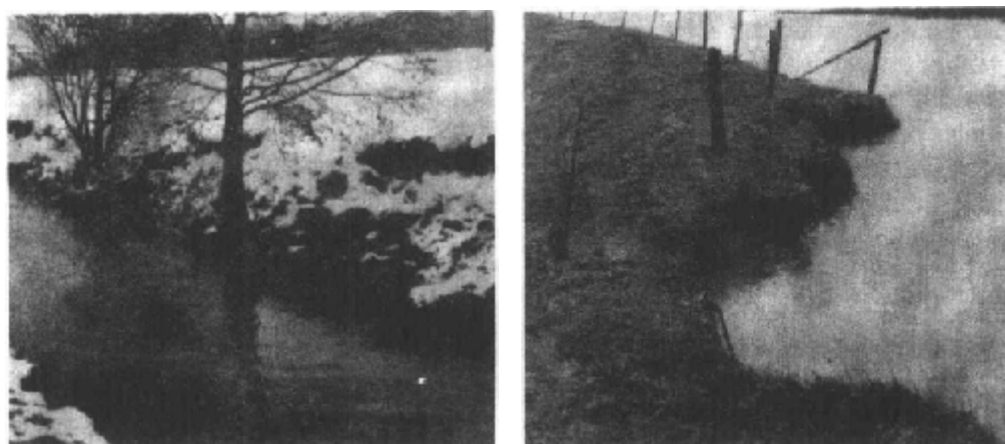
图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。





(a) 中树较稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

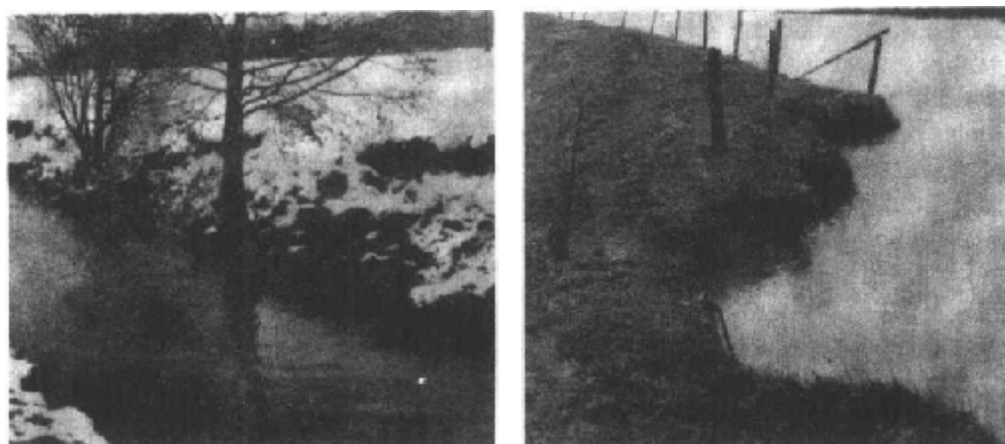
(b) 接近崩坍的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树较稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

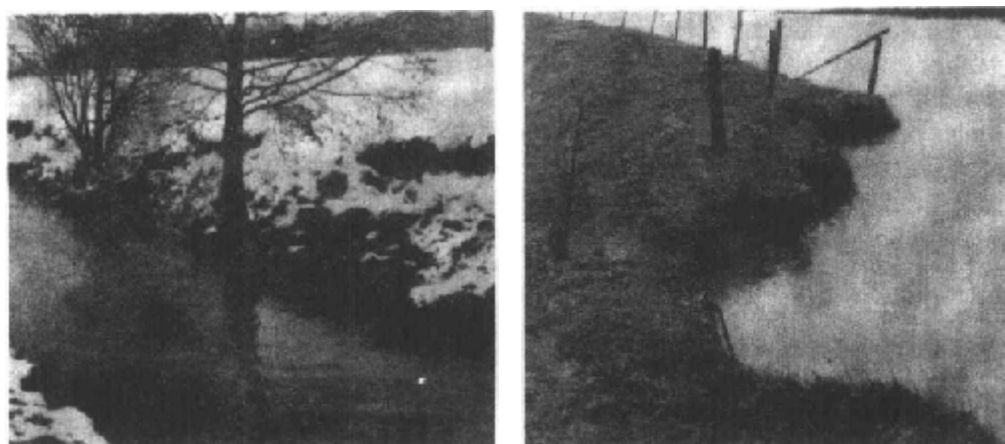
(b) 接近崩坍的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树较稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

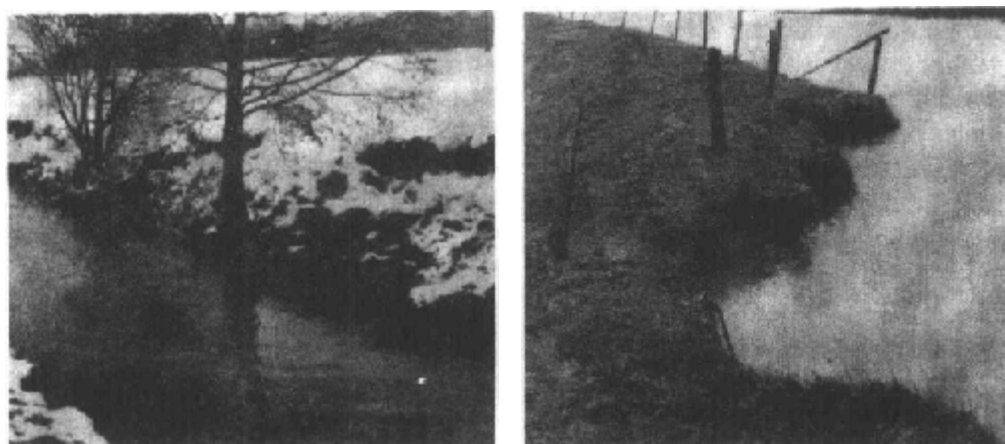
(b) 接近崩坍的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。



(a) 中树较稳定的河岸地带其 侧天然土块的坍塌

(b) 接近崩坍的锚固土块

图 2.20 复合式河岸因天然土块潜淘引起的冲刷

抗不同型式的崩坍近似的安全系数。与工程设计相比,这些方法多半与地貌研究更加贴近,因为任何过陡、潜淘的河岸实际上就是不稳定的,从长期来看,土壤的抗拉效应是靠不住的。

#### 2.4.5 清除大体积崩塌堆积物

发生了大体积崩塌后,将有大量废土堆积在河岸下部。如果崩塌后土块或土体已经破碎,则河水可将离散的土粒挟带运走,粘性土壤,特别是被植物的根须拉住时,则仍将保持原封不动。经过一定时间,这些土块本身将因风化及河水的冲刷而破碎。当废土仍堆积在滑坡的坡脚时,就应采取护岸措施,以防止进一步坍塌。此后,这些废土可能被河水冲走,然后重新发生滑坡循环过程。另一方面,滑坡废土也可能堆积起来,形成粘性土层,并在其上生长植物。当发生了后一种情况时,将影响河流的流态,促成另一处河岸发生冲刷,遗留下相对稳定的早先的滑坡区。