

国家自然科学基金项目

公路与桥梁抗洪分析

肖盛燮 凌天清
陈世民 彭 凯

著



人民交通出版社

U416.02 743

X47

国家自然科学基金项目

Gonglu yu Qiaoliang Kanghong Fenxi

公路与桥梁抗洪分析

肖盛燮 凌天清 著
陈世民 彭 凯



A0928693

人民交通出版社

内 容 提 要

本书遵循结构抗力与山洪破坏力之间力的平衡与稳定原理,分析了山洪对公路与桥梁的破坏机理,导出一系列抗洪计算与验算模式;简介了用模糊分析评定方法处理山洪不确定性因素影响的示例;建立了桥梁结构抗洪预测与判别仿真系统;提出了公路与桥梁防洪维护对策。本书可供公路建设者、管理人员、科研工作者及有关专业大中专院校师生参考之用。

图书在版编目 (C I P) 数据

公路与桥梁抗洪分析/肖盛燮等著.-北京:人民交通出版社, 1999
ISBN 7-114-03297-8

I.公… II.肖… III.①公路路基-抗洪-分析(力学)②桥-抗洪-分析(力学) IV.U418.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 08523 号

国家自然科学基金项目
公路与桥梁抗洪分析

肖盛燮 凌天清 著
陈世民 彭 凯

插图设计:高静芳 版式设计:刘晓方 责任校对:杨 杰

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:6.5 字数:170 千

1999 年 6 月 第 1 版

1999 年 6 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—3000 册 定价:15.00 元

ISBN 7-114-03297-8

U · 02355

前 言

洪灾属季节性的强烈灾害,伴之山洪的连锁作用加剧了滑坡、泥石流、冲淤及漂浮物的形成。相关灾害构成群发性、叠加性的错综反应,对途经变化万千地理环境、跨越山川江河的公路与桥梁,带来了极大的危害并造成了巨大损失。为将灾害及其隐患的损失减至最低限度,以丰富“国际减灾”的科学内涵,除竭力改变致灾环境因子影响外,提高建筑物结构自身的抗灾能力是有效的途径。

本专著基于这一构思,遵循结构抗力与山洪破坏力之间力的平衡与稳定原理,在剖析公路与桥梁的破坏机理中导出相关的量化分析模式;着眼于对灾害隐患的预警,并提出相应的防灾维护技术及示例,旨在为公路防洪提供借鉴。本专著赖以国家自然科学基金资助项目——“山洪对公路桥梁的破坏机理及计算模式研究”的支持,并获得重庆市科委、重庆市交通局“重庆地区公路水毁机理及防御系统研究”项目的配套资助;研究成果荣获交通部及重庆市科技进步奖,并列为 1998 年度部级推广应用项目。

项目构思、立项、组织实施、撰写第一、第八章及全书统编、审定工作由肖盛燮同志承担;凌天清同志担任了第二、第三章及附录的研究和撰写工作;彭凯同志承担了第四至第七章计算模式的推导和改写工作;陈世民同志担任了第九章桥梁抗洪系统仿真及撰写工作;郑银功、杨斌等同志承担了桥梁对山洪作用力的水工模型试验,提供了试验报告;胡文学同志参加的项目研究及硕士论文撰写为本项目做了铺垫工作。

本项研究及专著的形成,充分展示了集体智慧和力量的结晶。项目自始至终得到了程永富、陈普星、曾维栋等同志的支持与关心;项目主要研究与合作者张启佑、蒙云、乔瑞华、曾德荣、杨秀龙、

丁良开等同志在研究中做出了贡献,值此,深表谢意!

最后,特地说明:本专著在观点和内容上可能还有尚未避免的错误,恳请广大阅者及专家批评指正!

肖盛燮

1998年10月

第一章 概 论

1.1 公路桥梁抗洪研究的目的和意义

洪灾属季发性灾害,伴之山洪的连锁作用,加剧了滑坡、泥石流、落石、淤积及漂浮物的形成。相关灾害构成了群发性、叠加性的错综反应,这些灾害共同对公路桥梁产生破坏作用。山洪的制约因素——暴雨强度、岩土种类及成分、植被状况等具有强烈的随机性和模糊性,探索这些因素与破坏力形成的关系,进而掌握公路桥梁超越抵抗力的破坏性能,综合考虑安全及效能等因素,建立公路与桥梁结构可靠度计算模式,通过量化分析,寻求并实施加强对策,以减轻灾害损失,具有极其重要的意义。

在国外,洪灾对公路桥梁的破坏事例不少,英国 D. W. Smih 对 1847 年~1975 年发生的 143 例桥梁垮塌事件作了分类,洪水及基础移动引起垮塌的有 70 座,占 49%;法国曼萨尔特桥因桥孔不畅通于 1710 年 11 月 8 日被洪水冲垮。

日本东海道干线富士川桥梁下行线 4 号桥墩于 1982 年 8 月 2 日被洪水冲毁,使运输蒙受极大损失。

沙特阿拉伯的 Addillah 和 Ilwad 两条干河地区发生暴雨使 Taif 到 Jizan 的新建公路及其几座桥梁遭受严重破坏。

我国历来公路桥梁遭受洪水破坏的情况亦是十分严重的。历代曾在黄河修建过 10 多座大桥,一座都未保留下来。黄河上第一座永久性钢桥——102 孔、长 3000 多米的广武山黄河大桥,1911 年 33 号桥墩被洪水冲动,向东移位 50cm,后被另一次洪水冲毁。青海省 1960 年~1964 年 5 年内,水毁桥梁 172 座,总长 1782m,涵

洞 165 道,总长 1513m,损失资金达 234.2 万元。

江西省 1953 年~1960 年全毁桥梁 598 座,总长 11 122m。

宁夏回族自治区 1964 年在全区出现了近 10 年未遇的洪水,17 座桥梁遭受了不同程度的破坏。

辽宁省 1960 年洪水对公路破坏特别严重,冲毁大桥 16 座,总长 2382.8m;冲毁中小桥 220 座,总长 51995m。

据交通部公路司不完全统计,1977 年 9 个省(区)水毁桥梁 975 座,总长 5150m;局部水毁桥梁 134 座,总长 3481m;水毁涵洞 2756 道,水毁损失约 5400 万元。

四川省于 1981 年发生了历史上罕见的洪水灾害,全省公路和桥梁遭到了巨大的损失和破坏,共有 593 条省县公路断道阻车;冲毁和局部毁坏桥梁 457 座,计 1298m,冲毁涵洞 4647 道,经济损失达 6200 多万元。

据 1989 年以来 4 年不完全统计,我国灾害直接经济损失达 525 亿元。其中仅洪灾损失就达 100 亿元。

由上述国内外洪灾破坏公路桥梁的历史事实说明,洪灾是导致公路桥梁破坏的主要原因之一。自然灾害的危害引起了各国政府和科技界的广泛关注和重视。

1987 年第 42 届联大通过的 169 号决议,将 1990 年~2000 年定为“国际减轻自然灾害 10 年”。我国也成立了“中国国际减轻自然灾害 10 年委员会”,支持和响应联合国的倡议。因此,开展本课题的研究,弄清水毁成因、分布规律、演变趋势、信息预报、灾情评估,开展跨学科的理论、方法和技术的研究,提高抗洪能力,把损失减到最低限度,造福人民,有着重大而深远的意义。

1.2 国内外抗洪研究现状

山洪对公路桥梁的破坏是世界上许多国家共同存在的一个问题,被人们认为是一种公害,已引起许多国家的关注。美国联邦公路局于 1975 年制定了第 5 号联邦协调计划,在全美和相关的加拿大

部分地区开展了山洪对公路桥梁破坏问题的调查研究;70年代末,80年代初,法国、英国等国开展了非洲国家的公路小型排水建筑物设计洪峰流量的研究;澳大利亚、西班牙进行了提高小桥涵过水能力的研究;前苏联、美国进行了公路排水系统的研究等等。

我国桥涵水文水力科技工作者,在党和政府的重视下,于50年代末开始了研究。20年来,经过全国桥涵水文水力科技工作者的共同努力,取得了桥墩冲刷计算、工程河段粗率、公路漫水桥、大中桥桥孔设计方法、桥渡调治建筑物合理布设、桥前壅水、大中桥设计流量计算、水流域设计洪水计算等多项科研成果,为编制我国自己的桥位勘测设计规程(大中桥),为公路桥梁设计提供了科学依据,在公路桥梁建设中发挥了巨大作用。但是对于面广、量大的中小桥特别是山区公路桥涵遭受山洪破坏缺乏研究。近10年来,对这方面的研究虽开始起步,但由于高等级公路的兴起,吸引了人们的注意力;而对水毁课题的研究甚少,经费投入亦不足,加之水毁问题影响因素复杂多变、地域性强的特点,开展系列配套研究难度大,因此,除少量进行水文研究外,几乎没有涉及水力与公路桥梁结构破坏因果关系的研究。因此,开辟本课题的研究实属于填空补缺。

1.3 我国公路水毁及其治理概况

我国地域广阔,山川纵横,气候、地质、地貌巨变,每当雨季到来,山洪暴发,伴之地质环境灾害,共同对公路与桥梁造成威胁,水毁损失严重,四处断道,危及交通运输生命线。

公路水毁主要表现为对道路路面的毁坏,路基崩裂、沉陷,边坡滑坡、垮塌,以致造成大规模的塌方、山体滑坡、泥石流等,使局部路段毁于一旦;桥梁涵洞水毁主要有基础滑坡、沉陷,墩台及基础冲刷,洪峰急流产生强大的水力作用破坏上部结构,船只及漂浮物撞击等,致使桥梁结构失稳而垮塌。

我国在治理公路水毁方面创造和积累了很多行之有效的新方法、新技术和新经验,如用于边坡稳定方面的支挡技术有抗滑挡

墙、锚钉墙、抗滑锚索桩及织物加筋技术等;沿河路堤防治水毁有丁坝防护、驳岸、护坡、透水坝等;旧危桥加固改造方面应用了喷锚技术、复合材料增强技术、体外预应力技术等等,这些技术的应用增强了加固维护效果,从而提高了旧危桥的承载能力和使用寿命。在公路水毁的防治中开创了不少成功的新经验,但是也因水毁抢修工程的急迫,或未能把握住致灾因子影响的复杂繁难程度,往往一些水毁恢复工程出现修了又坏、坏了又修的反复维修的不良循环状况。因此,为彻底根治公路水毁,必须深入到地域地质、地貌、气象、水文等领域中剖析灾害的成灾规律,以加强防灾减灾研究工作的针对性和有效性。为减少灾害隐患和灾害损失,需充分利用现代科学技术,实现对易发灾害的典型路段或重点工程的灾害预警;全面总结成功的治灾经验,推广防灾新技术,形成规范化、程序化、科学化的防灾减灾学科体系。

1.4 防御山洪破坏公路桥梁的基本构思

山洪是发生在山区溪沟中的快速、强大的地表径流现象,历时较短,流速很大,含沙量大,搬运力强,季发性强。山洪的连锁作用,伴随形成滑坡、泥石流、淤积、漂浮物等构成了错综的灾害叠加反应,实测极为困难,资料难以获取,加之幅员广阔、变化万千的地理地貌、气象等条件,为本课题研究增加了难度。

为突破难关,我们避开形成山洪的复杂原因,着重考虑了山洪在桥前表现出的水力物理力学特性,把这些对桥梁结构产生破坏作用的力量称为破坏力,把桥梁结构依靠自身维持平衡稳定抵御破坏的能力称为结构抗力。总体构思原则是:结构抗力大于或等于破坏力,则结构安全可靠;结构抗力小于破坏力,则将导致结构破坏。这个关系构成了结构抗力和山洪破坏力之间作用力与反作用力的关系。于是将公路桥梁抗洪问题归结为探索结构空间力的平衡与稳定问题。

破坏力通过模拟洪水对桥梁作用的模型试验及大量调研资料

分析研究解决。这些破坏力包括水平冲击力、向上浮托力以及碰撞力等。

结构抗力通过对桥梁结构本身的机理分析解决,它与结构自重、构件联结力、摩阻力、材料粘结力以及结构的空间受力、变形与稳定等因素有密切关系。

至于结构抗力与破坏力在各种可能状况下的组合效应及其规律性变化趋势,则由山洪作用下桥梁结构力学性能动态仿真分析探寻。

至于山洪对桥梁破坏的其它不确定性因素,则通过模糊分析求得解决。

基于以上构想,将总课题按水工模型试验研究、山洪破坏桥梁的机理分析、山洪作用下桥梁结构力学性能动态仿真分析、桥梁对山洪抵抗力的模糊可靠度分析、公路水毁机理及防御对策研究等几个分课题进行分析研究。

1.5 防洪研究实质性进展及主要结论

1.5.1 公路水毁机理及防御对策研究

由于道路呈线状分布,尤其是在山区,公路穿越地形、地质、地貌、气候等条件复杂多变的的不同地域,受到洪水的威胁更大,常造成惨重损失,所以研究公路路基路面水毁具有重要的现实意义和应用价值。本章将山洪对道路的主要破坏形式、破坏原因、水毁机理分析,以及道路水毁的防治措施系统地加以分析、总结和引用,以供公路养护管理部门防治山洪破坏道路时借鉴。

1.5.2 山洪对桥梁作用力模型试验研究

试验按梁板桥和拱桥两种模型进行,模型按标准设计各取一单跨,按 1:10 的比例制作,模型材料为聚氯乙烯塑料板。试验水槽长 30m,宽 2m,水槽底板为混凝土光滑抹面,槽身为钢框架嵌厚

度为 10mm 的平板玻璃。流速测定采用 HD-4 型八线智能流速仪。数据处理软件可自动对力的时均情况、力的分布以及力的脉动标准差进行处理。

在试验中分别取得了流速分布、水面线影响、水压力时均值及脉动概率分布的试验成果,对桥梁在洪水作用下的水平作用力、竖向作用力进行了试验分析与理论推导。

通过试验与分析研究,得到如下主要结论:

1. 随着水流强度的增加,桥梁对洪流速分布及水边线的影响逐渐增加;由于拱桥阻水面积大于板梁桥,故拱桥对洪水的影响亦大于板梁桥。

2. 桥梁表面各测点的时均压力相对值同各点相对淹没深度呈线性关系,斜率接近 1。

3. 桥梁表面各测点水压力脉动、脉动标准差相对值与相对淹没深度均呈线性关系。

4. 桥梁结构由洪水所产生的竖向力等于其所排开水的重力。

5. 板梁桥水流阻力及竖向力均服从正态分布,水阻力瞬时最大值约为水流阻力时均值的 1.4 倍。

通过水工模型试验获得有关规律性的结论及山洪作用力公式的参数,为进一步分析桥梁在山洪作用下的破坏机理奠定了良好基础。

1.5.3 山洪对桥梁结构破坏机理研究

通过水工模型试验及调研工作,对山洪作用于桥梁结构的破坏力有了定量的分析计算方法。为解决桥梁对山洪抗力的量化分析模式,还必须从山洪对桥梁的破坏机理入手,即要寻求桥梁结构自身的薄弱环节,从桥梁在洪水作用下可能遭受破坏的部位去分析破坏机理,确立桥梁抗洪的安全验算模式。

为此,我们分别对梁式桥及拱桥在山洪作用下的破坏形式进行了较多的研究。归结起来,梁式桥的破坏形式有:支座水平位移破坏、支座被剪断破坏、由支座失效导致的主梁破坏、主梁材料恶化对主梁的削弱等等。

拱桥的破坏形式有:拱圈上部结构剪切破坏、纵向失稳破坏、横向倾覆破坏、材料变异破坏等,并建立了相关的空间受力分析模型及分析算例,从而获得了结构抗力定量分析的途径。

1.5.4 桥梁对山洪抵抗力的模糊分析与评定

桥梁结构在山洪复杂多变因素的制约下,完全用分析计算模型将结构抗御各指标精确而全面地反映出来是有困难的,因为很多因素相互制约,相互影响,互为因果关系,因素的不确定性反映了客观实际的模糊性和随机性。因此,有必要在实际测算和理论分析的基础上,用模糊数学的分析方法对结构抗御破坏的可靠度进行分析,并综合考虑众多不确定因素进行模糊综合评定,从而解决难以定量描述的不确定性问题,使研究成果更符合实际、更趋于精确可靠。为此,本课题应用模糊分析方法研究了桥梁对山洪抵抗力的模糊可靠度分析和模糊综合评定,同时给出了分析计算模型和实际算例。

1.5.5 山洪作用下桥梁结构力学性能仿真分析

为了给山洪对桥梁破坏机理分析及防御山洪破坏提供对策性的量化依据,并具有普适价值,本专题特从桥梁结构力学性能入手,进行了计算机动态仿真分析。编制了常用不同跨径、不同断面及轴线形式、不同材料的桥梁(梁桥与拱桥)对遭受不同水深、流速、流向、流量以及冲刷、漂浮物碰撞等各种洪峰状态下结构力学性能的动态仿真分析程序,提供用户根据实际桥梁结构几何参数及可能出现的各种山洪状况进行各种不利组合。利用该程序系统,可获得桥梁在山洪破坏力作用下的空间受力与变形等量化指标;再通过规范容许极限的不同设防标准的检验,即可判断与预测桥梁抗御山洪的安全程度或标定需待加强的薄弱部位及程度。

为此,本专题重点介绍了桥梁力学性能计算模型、结构有限元分析方法、程序功能分区、洪水荷载组合以及结构性态变异与山洪影响因素相互关系的规律性变化结论。

1.6 桥梁结构抗洪层次系统框图

根据桥梁形成洪灾的主、客观影响因素,以及依据结构自身抗洪计算与验算模式,并借助技术评价的方法手段,构成了桥梁抗洪系统框架结构,如图 1-1 所示。

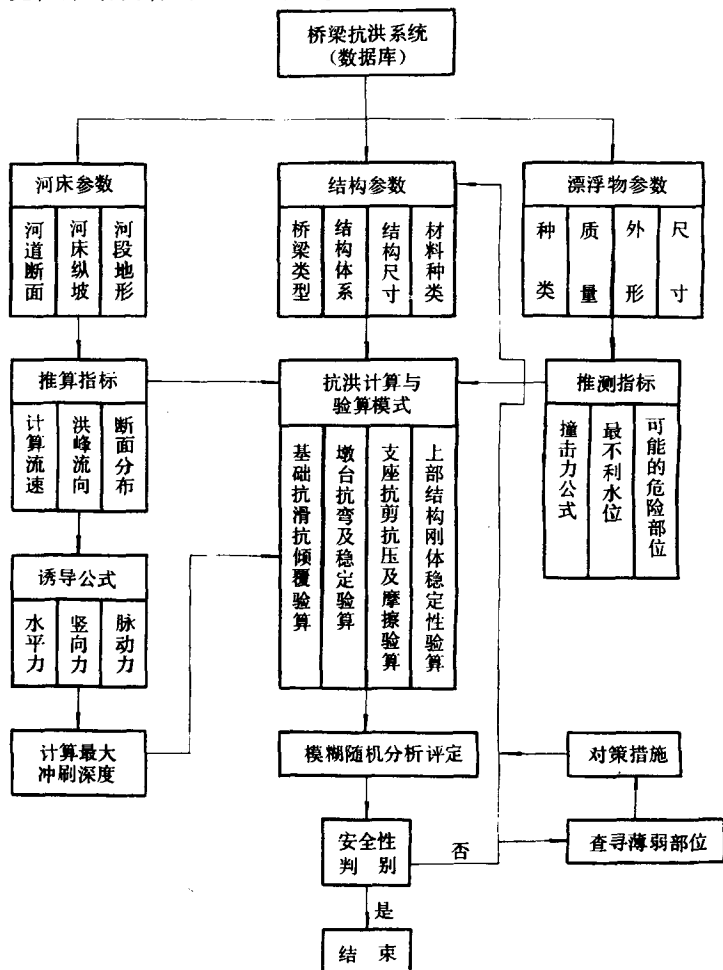


图 1-1 桥梁抗洪系统框架结构

第二章 公路水毁典型性态与机理

2.1 山洪特点及公路水毁现状

我国是一个多山的国家,山区面积约占全国总面积的 $2/3$,全国半数以上的县都有山区。由于山区条件与平原条件不同,山区本身的条件多种多样,地形条件复杂多变,且山区洪水(即山洪)历时短暂,破坏力大,因而经常对道路交通造成灾难性的破坏。这就使得人们不得不重视对山洪的形成特点、对道路造成的灾难性破坏的特征,以及防御对策等方面的研究。

山洪是山区河流的洪水,特别是指山区小河(或溪沟)和周期性水流上的洪水。对道路造成灾难性破坏的山洪尚包括面积较大的坡面洪水径流和山谷流水。

山洪的特点是:流速大、冲刷力大、破坏力大,河流(或溪沟)水位暴涨暴落、历时短暂。

发生在山区的洪水,由于其流速大、冲刷力和破坏力大等特点,因而在山洪中还常伴随着另一种特殊的山洪,即泥石流。泥石流是一种含有大量泥沙、石块等固体物质,突然爆发、历时短暂、来势凶猛、具有强大破坏力的特殊山洪。它经常造成道路主要排水结构物——涵洞淤塞,致使水流漫过路基,或造成高沟断道谷地两侧支流短小,纵坡陡急,很容易发展成泥石流。山坡岩石的风化产物又为泥石流提供了原材料。

总之,山洪具有以下一些特点:①山洪作用时间短,通常不超过几十分钟到几小时,且常在夜间发生。②山洪的流速通常很大,一般都在 $2.5\text{m/s} \sim 3.5\text{m/s}$ 以上,甚至达到 27m/s 。③山洪含沙

量大,这种含泥沙极多的山洪浑水(泥浆)所搬运的石块也大,粒径在1m~2m及以上的石块被冲走是常有的事。国内目前有记载的折合最大粒径高达5m,而山洪实际挟带石的能力却永远是大于或等于此。④山洪具有壅塞性。这是由于山洪挟带着大的泥石在其途中遇到各种障碍物,而发生壅塞现象。

山洪的破坏作用巨大,往往是灾害性的。如1983年12月美国洛杉矶爆发了因暴雨引起的山洪,即所谓“新年水灾”,这次山洪冲毁400幢房屋,淹死40人,冲毁许多农作物,引起道路断道等,经济损失达5000万美元。1988年3月洛杉矶市又遭受山洪袭击,淹没了通向该市的若干道路,冲毁桥梁,使市区与周围地区分隔开来,死亡人数达200人,经济损失达5000万美元之巨。我国四川西昌地区有泥石流沟数十条,每年爆发泥石流。该地区的热河上游支流河沟1957年6月爆发一次紊流型泥石流,冲进沟口的红妈街道,将全部住宅冲毁,现存一片“石海”。又如1995年7月康定城西发生一泥石流灾害,冲毁道路及附近农房10余座,灾害后一片淤泥碎石,公路断道10天之久。重庆市公路养护总段,1996年水毁损失276万元,其损害类型及损失金额详见表2-1。

重庆市公路养护总段 1996 年公路水毁数量累计汇总表 表 2-1

水 毁 项 目		单 位	水毁数量	损失金额 (万元)	阻车时间 (h/次)	实际支出 (万元)
水毁路基		m ³ /km	4760/7.2	23.8	14/5	23.8
冲 毁 路 面	砂石路面	m ² /km	96800/26.5	81.44	10/1	81.44
	沥青路面	m ² /km	35150/12.65	69.1	57/4	68.1
桥 梁	全毁	m/座				
	局毁	m/座	150/3	1.5	6/3	1.5
涵 洞	全毁	道	1	3.0	3/1	3.0
	局毁	道	28	22.4		22.4
防 护 工 程	护坡	m ² /处				
	驳岸	m ³ /处				
	挡墙	m ² /处	4230/14	44.16		44.16

续上表

水 毁 项 目	单 位	水毁数量	损失金额 (万元)	阻车时间 (h/次)	实际支出 (万元)
坍(塌)方	m ³	36133	30.75	87.5/13	30.75
水毁房屋	m ² /幢	50/4	1.2		1.2
水毁损失金额 合 计			276.35		276.35

2.2 山洪对道路的主要破坏形式

我们通过大量的实地调查和专家咨询,对山洪破坏道路路基路面的主要形式,总结出如下一些有价值的规律:

1. 横跨沟、渠的道路,其涵洞被泥石流或山洪中的漂流物淤塞,致使涵洞失去排水能力。山洪翻越道路,在山洪强大的破坏力作用下,涵洞下游边坡、护坡被冲毁,路基坍塌,甚至出现整个路基连同涵洞一起被冲走,道路断道(图 2-1)。

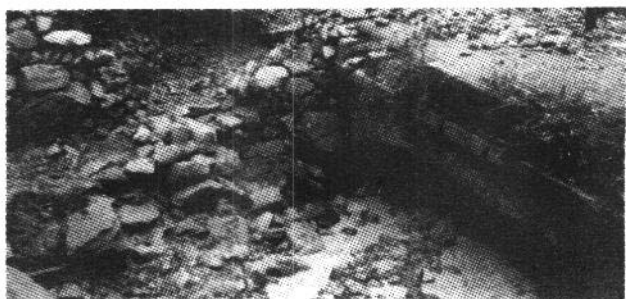


a)山洪对小桥涵及路面的毁坏

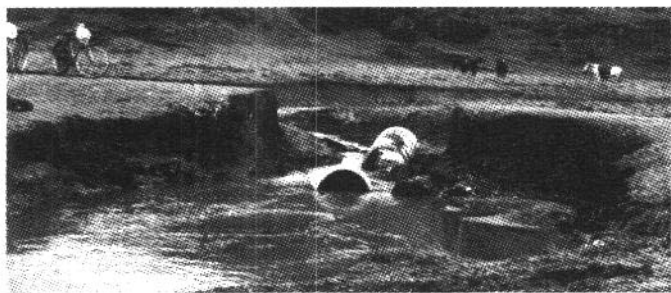


b)涵洞出口及护坡水毁

图 2-1



c) 泥石流淤塞涵洞破坏涵洞



d) 涵洞被洪水冲毁

图 2-1 山洪对涵洞的毁坏

2. 泥石流冲沟直接毁坏路面, 淤塞道路或冲毁附近的房屋结构(图 2-2)。



图 2-2 泥石流对道路的毁坏