

戴惠民 编著

公路桥涵

冻害防治



ONGLU QIAOHAN
DONGHAI FANGZHI

黑龙江人民出版社

公路桥涵冻害防治

戴惠民 编著

黑龙江人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

公路桥涵冻害防治/戴惠民编著. —哈尔滨:黑龙江人民出版社, 2007

ISBN 978 - 7 - 207 - 07267 - 2

I. 公... II. 戴... III. ①公路桥—冷害—基本知识
②公路桥—防冻—基本知识 IV. U445.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 009024 号

责任编辑:陈 愚 常 松

装帧设计:王焱洁

公路桥涵冻害防治

Gonglu Qiaohan Donghai Fangzhi

戴惠民 编著

出 版 者 黑龙江人民出版社

通讯地址 哈尔滨市南岗区宣庆小区 1 号楼(150008)

网 址 www.longpress.com E-mail hljrmcbs@yeah.net

印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

开 本 850 × 1168 毫米 1/32

印 张 7.125

字 数 175 000

版 次 2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 207 - 07267 - 2/U · 21

定价:14.00 元

(如发现本书有印制质量问题,印刷厂负责调换)

前 言

我国季节性冻土分布广泛,遍及北方十余省市,面积达 513.7 万 km^2 , 占全国总面积的 53.5%。地基土冻胀,尤其是深季冻区的高强度冻胀给公路桥涵造成很大破坏。主要表现为:桩基冻拔、基础冻土、墩台横向裂缝、翼墙断裂或倾斜,涵洞端墙及八字翼墙断裂或倾斜,涵管管节脱节与错位等,导致桥涵拱起、倾斜、断裂,甚至失稳等,常见的“罗锅桥”、“耍龙桥”便是其冻害的典型特征。

为解决公路桥涵的冻害问题,黑龙江省交通科学研究所和本书作者用三十余年时间,对这方面进行了系统研究。承担了交通部重点科研项目“公路桥梁钢筋混凝土桩切向冻胀力的研究”、“季冻区公路桥涵基础埋深与计算的研究”;承担了交通厅重点科研项目“季冻区公路桥涵地基土冻胀性的研究”、“防治公路桥涵基础冻害措施的研究”等多项课题。通过大量调查研究、国内外技术交流与协作、室内外试验与观测、资料整理与科学分析、实体工程验证与推广应用等,揭示了公路桥涵地基土的冻胀特点与冻胀规律,分析了地基土冻胀的主要影响因素,提出了公路桥涵地基土季节性冻胀六级分类及其分类依据,提出了不同冻胀类别土的桩基、条基切向冻胀力值,提出了桩基抗冻拔稳定计算方法与参数,提出了基础最小埋置深度计算方法与参数,总结了防治桥涵基冻害措施等多项成果。经专家鉴定,多数成果居国

2 公路桥涵冻害防治

内领先,部分成果达国际先进水平。其研究,全部荣获部省级科技进步奖。其论文分别发表在由美国主编、荷兰出版的《寒区科学与技术》,以及《冰川冻土》、《中国公路学报》和《公路》等学术刊物上。多篇论文获省自然科学论文一等奖。

本书是根据以上研究编著的,是集体智慧的结晶。

黑龙江省交通科学研究所田德廷高工、王兴隆研究员级高工、张玉富高工、滕俊常高工、慕万奎高工,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所陈肖柏研究员、王雅卿研究员,黑龙江省低温建筑科学研究院刘鸿绪研究员级高工,黑龙江省水利科学研究院隋咸志研究员级高工,交通部公路规划设计院雍致盛高工,绥化市交通局陈长俊高工,庆安县公路管理站王利民、周永贵等,在各自参加的课题研究中,付出艰辛劳动。黑龙江省交通科学研究所领导,尤其是所长曹贵允研究员级高工,对本书撰写与出版工作高度重视,予以很大的关心和支持。研究所情报资料室主任王银涛高工对本书的出版给予很大帮助。在此一并表示由衷的感谢。

由于作者水平有限,书中谬误与不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2006 年 11 月

目 录

第一章 桥涵基础冻害	1
一、桩（柱）基础冻拔	1
二、墩（台）基础的冻害	4
三、涵管的冻害	6
四、挡土墙的冻害	8
第二章 桥涵地基土冻胀	10
一、冻土的概念	10
二、地基土冻结与冻胀	13
三、地基土冻胀的影响因素	20
四、地基土冻胀试验与观测	43
五、地基土季节性冻胀分类	50
六、小结	73
第三章 地基土冻胀力	74
一、冻胀力的概念	74
二、切向冻胀力	75
三、影响切向冻胀力的主要因素	81
四、切向冻胀力试验与观测	85
五、切向冻胀力取值	92
六、桩基冻胀反力	106
七、法向冻胀力	117

2 公路桥涵冻害防治

八、水平冻胀力·····	132
第四章 钢筋混凝土桩基抗冻拔稳定 ·····	141
一、季冻区桩基受力分析·····	141
二、桩基抗冻拔稳定计算·····	147
三、小结·····	152
第五章 桥涵基础埋置深度 ·····	153
一、形法计算桥涵基础最小埋深·····	154
二、力法计算桥涵基础最小埋深·····	166
三、小结·····	187
第六章 桥涵基础冻害防治措施 ·····	189
一、换填法·····	189
二、保温法·····	192
三、物理化学法·····	193
四、减小或消除冻结力法·····	194
五、结构法·····	198
六、小结·····	208
结语 ·····	209
参考文献 ·····	218

第一章 桥涵基础冻害

随着交通运输事业的迅速发展,在我国北方寒冷季节性冻土地区修建了大量的桥涵工程。由于工程技术人员在当时没有认识和掌握季节性冻土的自然规律,以及未能采取相应的防治冻胀措施,致使许多桥涵基础冻害。表现为基础上抬、倾斜,造成桥梁起拱、涵洞断裂,甚至失稳破坏。常见的“罗锅”、“耍龙”便是桥涵冻害的典型特征。

它严重地影响了正常交通,危害了人民生命和财产的安全,给国家造成很大的经济损失。

一、桩(柱)基础冻拔

1. 绥庆线格木克桥

格木克桥,7孔跨径6m,全长45.18m,上部为钢筋混凝土矩形宽板(预制装配),下部为四柱式钢筋混凝土排架桩(断面30cm×40cm,射水沉桩)。入土深度:1#墩9.2m,2#墩8.8m,3#墩8.8m,4#墩10.4m,5#墩10.4m。地基土质:0~3.5m黏土,3.5~4.5m砂卵石,4.5~5.5m黏土,5.5~5.8m砂卵石,5.8~6.3m黏土,6.3~11.1m砂卵石。该桥冻胀严重:1#墩冻拔82.5cm,2#墩冻拔58.5cm,3#墩冻拔84.2cm,4#墩冻拔94.1cm,5#墩冻拔65cm,如图1-1所示。

2 公路桥涵冻害防治

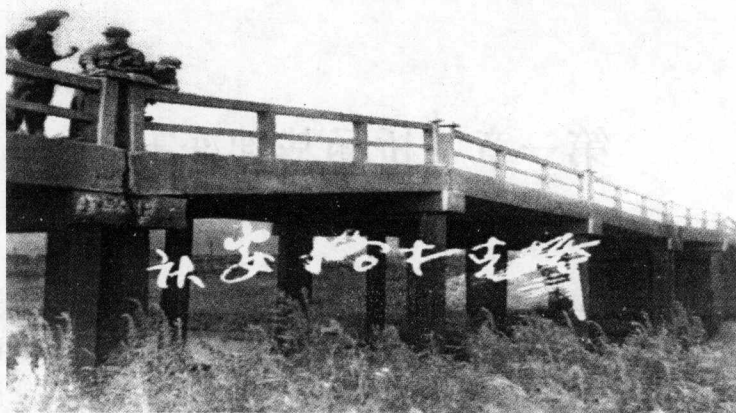


图 1-1 格木克桥

2. 绥兰线红星桥

红星桥,2孔跨径6m,上部为钢筋混凝土矩形宽板,下部为三柱式钢筋混凝土钻孔灌注桩($d=70\text{cm}$),入土深度6m。地基土质:0~7m 粉砂,7~9m 中砂,9~16m 干硬黏土。中墩冻拔130cm,台桩冻拔分别为25cm和30cm,如图1-2所示。

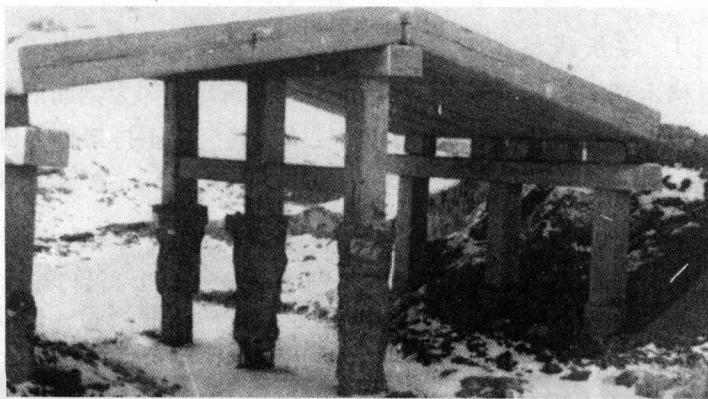


图 1-2 红 星 桥

3. 青岗线吉星沟桥

吉星沟桥,6孔跨径6m半永久式桥,上部为木简支梁,下部为双柱式钢筋混凝土钻孔灌注桩($d=100\text{cm}$),入土深度8.5m。地基土质:0~7.5m粉砂,7.5~8.5m砾砂。1#、2#、3#、4#和5#墩的冻拔量分别为10cm、10cm、194cm、147cm和10cm,冻胀十分严重,已断绝交通,如图1-3所示。



图1-3 吉星沟桥

4. 绥绥线胜利桥

胜利桥,3孔跨径6m,上部为预制装配钢筋混凝土宽板梁,下部为四柱式钢筋混凝土排架桩($d=40\text{cm}$),入土深度6m。地基土质:0~6m黏土,6~8.4m粗砂,8.4~8.7m砾砂,8.7m以下黏土。两排中墩冻胀分别为70cm、80cm,如图1-4所示。



图1-4 胜利桥

综上四例,钢筋混凝土桩的断面形式有圆形、方形;桩径 50 ~ 100cm;入土深度 6 ~ 13m;工艺有预制和现浇等。最大冻胀量 194cm,最大年平均冻胀量 22.5cm。

二、墩(台)基础的冻害

墩(台)基础,特别是浅埋基础的冻害在北方寒冷地区时有发生,在黑龙江省以及内蒙古东部地区较为多见。主要表现有:

1. 墩(台)基础整体上抬

对于埋置深度较浅,自重较小,而且强度和刚度较大的墩(台)基础,在法向冻胀力和切向冻胀力共同作用下,本身不会出现裂缝破坏现象,但有可能造成墩(台)基础整体上抬。又因同一地基土内的土、水和温度条件不同,其表现冻胀性也随之不同,由于基土的不均匀冻胀,会导致墩(台)基础倾斜上抬。多年的冻胀变形积累,可使整个结构物破坏。

2. 墩(台)横向裂缝

墩(台)在较大切向冻胀力或水平冻胀力作用下,由于其强度不足,可能会出现被拔断或剪断现象,产生横向裂缝,使上部结构遭到破坏。例如,哈尔滨铁路局管区内某桥为两孔跨径 10m 上承钢板梁桥,中墩因冻胀而被拔断,断缝达 2cm 之多,如图 1-5 所示:

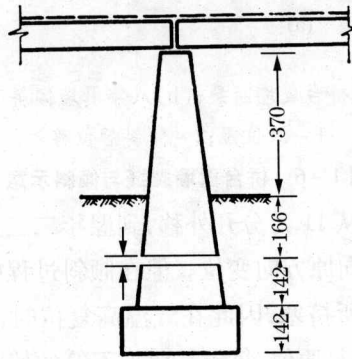
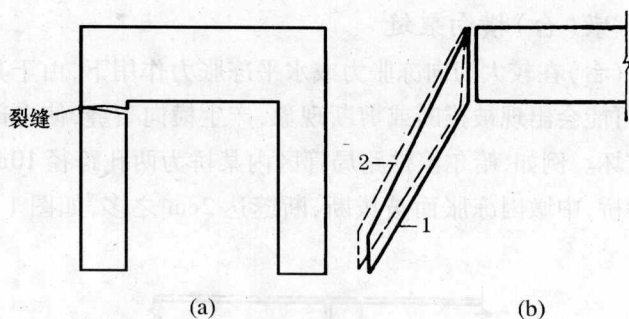


图 1-5 桥墩拔断示意

3. 桥台翼墙倾斜与断裂

由于台背填土冻胀力的作用,使很多整体式 U 型桥台的翼墙与前墙连接处开裂。裂后的桥台,一方面由于缝中积水结冰冻胀,另一方面由于台背填土的冻胀,加速裂缝的发展并逐年扩大,最后导致前墙与翼墙断裂,使桥台破坏。

同样由于台背填土冻胀力作用,造成许多分离式八字翼墙倾斜变位,甚至整体失稳,如图 1-6 所示。



(a) 型桥台翼墙断裂;(b) 八字翼墙倾斜变位

1 - 原位置;2 - 倾斜后位移

图 1-6 桥台翼墙裂缝与倾斜示意

八字翼墙每年从 11 月分开外移,到翌年二三月达最大值,然后随着气温回升日渐向原方向变位。但在倾斜过程中,由于不断被墙后填土的横向扩张所挤塞,因此在气温高复位时,受到墙后填土的阻抗,而使其不能恢复原位,每年都留下不等的残余变形,经数年变位累计,会使八字翼墙倾倒。这种冻害现象在公路桥涵中常见。

三、涵管的冻害

在我国东北、西北和华北广大季节性冻土区涵管的冻害现象是较为常见的,有的也较为严重。由于涵管冻害面广、修复困难、需要大量资金等,故是主要冻害之一。

涵管冻害的主要现象有:

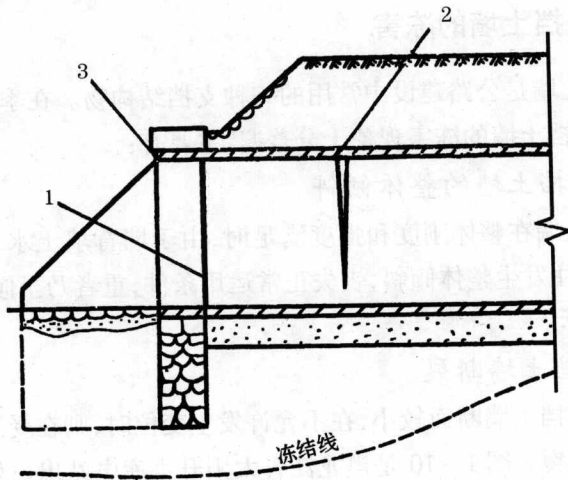
1. 洞口端墙及八字翼墙圯工开裂;端墙开裂与管节脱离;端墙及八字翼墙向流水面倾斜。
2. 管节错动。管身中间下沉,造成管中积水或淤积。管节接缝拉大,沥青麻絮止水脱落。
3. 由于涵管冻胀变形不均匀以及混凝土收缩,混凝土与沥青

麻絮不能在负温下共同工作,使管接缝拉大而渗水。并将接缝处路基填土冲出,普遍引起不均匀沉陷,造成跳车。

为查明公路涵管冻害破坏的原因,选择一部分典型涵管进行竖向变位观测。观测结果表明,完好的涵管,在土壤冻结融化过程中竖向变位小;损坏的涵管,竖向变位大。有的测点竖向变位高达20cm以上,管节接缝宽达8cm之多,圯工裂缝十分严重。以上观测充分说明,基土的冻胀性是涵管竖向变位的主要因素,而基土冻胀性强又是涵管破坏的主要原因。

从哈尔滨建筑工程学院对黑龙江省绥化地区和内蒙古呼盟等地涵洞冻害的调查得知,涵管冻害较普遍。圆管涵破坏主要有两种情况:

1. 管涵的端墙与涵身的连接处多产生裂缝,有的管节错牙,如图1-7所示。



1 - 裂缝; 2 - 第一管节脱离裂开; 3 - 端墙外倾

图1-7 涵管洞口破坏示意

2. 端墙上端产生较大的纵向裂缝,如图 1-8 所示。

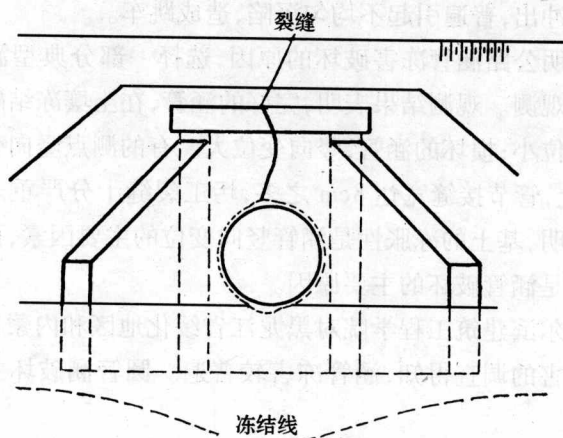


图 1-8 端墙冻胀破坏示意

四、挡土墙的冻害

挡土墙是公路建设中常用的一种支挡结构物。在季节性冻土地区中,挡土墙的冻害现象十分普遍,主要有:

1. 挡土墙的整体倾斜

挡土墙在整体刚度和强度满足时,由于墙背填土水平冻力的作用,往往发生整体倾斜,丧失正常运用条件,重者乃至倾倒,如图 1-9 所示。

2. 挡土墙断裂

由于挡土墙断面较小,在不允许发生变位时,则在受约束的部位产生断裂。图 1-10 是黑龙江省太阳升水库电站出口处挡土墙断裂情况。

3. 挡土墙不规则裂缝

浆砌片石(块石)的挡土墙,在冻胀力作用下常发生沿灰浆缝

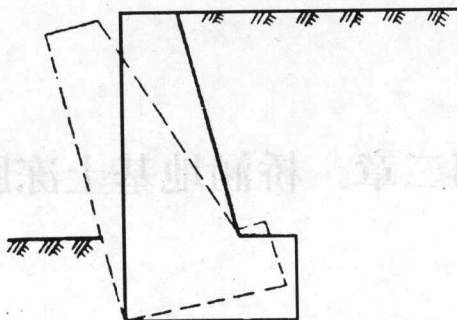


图 1-9 挡土墙整体倾斜

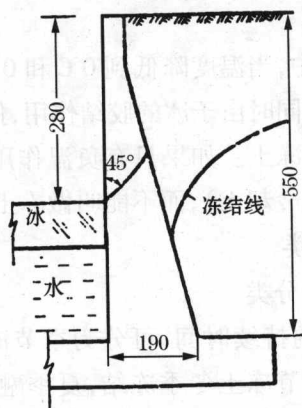


图 1-10 太阳升水库挡土墙断裂示意

方向不规则的裂缝,这是季节冻土区经常见到的挡土墙冻害现象。

4. 挡土墙正体上抬

当挡土墙有足够的刚度和强度时,在冻胀力作用下会产生整体上抬。

由于墙体每年的上抬量大于恢复量,多年的往复作用积累,有可能使挡土墙失稳。

第二章 桥涵地基土冻胀

一、冻土的概念

1. 冻土

在含水的土壤中,当温度降低到 0°C 和 0°C 以下时,土壤冻结并伴随着冰体产生,同时由于冰的胶结作用,使土壤抗外力的强度提高,这种土壤称为冻土。如果只有负温作用,而无冰体形成,这种土壤称为寒土(或冷却土),而不能叫做冻土。

2. 冻土的分类

(1)按冻结时间分类

根据冻结状态的持续时间,可分为季节冻土和永冻土(或多年冻土)两大类。季节冻土冬季冻结,夏季融化;永冻土(或多年冻土)的冻结持续时间相当长,从若干年到上千年,因此,可以看成是一种地质现象。例如,前苏联西伯利亚北部某些地区的冻土层年龄估计有一两万年到28万年。其表层的冻融循环现象较有规律地年年重复出现。在季节冻土中,有的只冻结几个小时或几天,称为临时冻土;有的在—两个夏季内不融化的叫做隔年冻土;在一定条件下,如人们的生产活动等,隔年冻土可能发展而变成新生的多年冻土。

季节冻土是从地表开始冻结,而多年冻土则一般从地表以下若干深度开始冻结。