

专著

ZHUANZHU

多孔水泥混凝土微观机理与仿真

李晓军 著

ZHUANZHU

西北工业大学出版社

多孔水泥混凝土微观机理与仿真

李晓军 著

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书介绍了多孔水泥混凝土的强度特性及应力控制下的疲劳特性的试验研究成果,给出了沥青路面多孔水泥混凝土基层层底弯拉应力验算的抗拉强度结构系数;研究了多孔水泥混凝土沥青路面典型结构设计,并给出了典型路面结构推荐表;利用均匀设计安排参数组合对高模量基层路面结构应力分布进行了有限元计算,创新应用了莫尔圆法分析,对比了不同位置、不同深度剪应力的主应力组成方式对路面结构疲劳寿命的重大影响,为解释 Top-Down 裂纹与车辙共同出现提供新的观点,为开发沥青新材料和提高路面抗裂性能提供了理论基础;同时研制一台小型加速加载设备,为进一步发展多孔水泥混凝土疲劳测试奠定了基础。

本书可供高速公路设计与施工的技术人员使用,同时也可供高等院校相关专业师生教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

多孔水泥混凝土微观机理与仿真/李晓军著. —西安:西北工业大学出版社,2013.7

ISBN 978-7-5612-3709-0

I. ①多… II. ①李… III. ①多孔性材料—水泥混凝土路面—研究
IV. ①U416.216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 145132 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:兴平市博闻印务有限公司

开 本:727 mm×960 mm 1/16

印 张:12.25

字 数:262 千字

版 次:2013 年 7 月第 1 版

2013 年 7 月第 1 次印刷

定 价:30.00 元

前 言

近年来,我国高速公路建设得到了飞速发展,高速公路在国民经济建设与社会发展中的作用愈来愈显著。随着高速公路交通流迅速增长,通行车辆中重型车辆与日俱增,按传统的路面设计体系和设计标准设计的路面通常不到设计使用年限就出现了损坏,水损害与重轴载联合作用被认为是带来这种损坏的主要原因之一。

多孔水泥混凝土排水基层路面结构为减少路面结构水损害与重轴载带来的破坏起到了很有效的作用,提高了路面使用性能,延长了道路的使用寿命,为高速公路的发展带来巨大的经济效益。多孔水泥混凝土不同于普通混凝土,需要具备一定的空隙率。空隙率的大小、特定骨料的用量和包裹骨料浆体的用量决定了多孔水泥混凝土独特的内部结构。空隙、骨料、浆体三者的质量关系和空间分布关系对多孔水泥混凝土物理、力学性能具有重要影响。多孔水泥混凝土内部结构与力学特性之间的关系并不明晰。

鉴于此,笔者整合了近年来主持的科研成果,总结了在多孔水泥混凝土微观机理与仿真应用的相关研究并撰写了本书。

全书共分6章。第1章为绪论。在回顾了国内外研究现状的基础上,以美国460公路阿波马托克斯段为对象,重点分析了美国排水基层失败的教训。第2章为多孔水泥混凝土组成特性与制备。在分析了目前对多孔水泥混凝土结构与力学特性关系的认识的基础上,阐述了等粒径多孔水泥混凝土与传统多孔水泥混凝土组成和内部结构的区别,验证、明晰了等粒径多孔水泥混凝土强度机理,提出了等粒径多孔水泥混凝土配合比设计思路,列出了等粒径多孔水泥混凝土的经验配比。第3章为多孔水泥混凝土路用性能指标测定。着重介绍了多孔水泥混凝土的强度特性及在应力控制下的疲劳特性的试验研究成果,给出了抗压强度、抗拉强度与抗剪强度之间的相关经验公式和沥青路面多孔水泥混凝土基层层底弯拉应力验算的抗拉强度结构系数。第4章为多孔水泥混凝土基层应力分析与设计。分析计算了不同影响因素下多孔水泥混凝土基层荷载应力和温度应力的分布,得出了标准轴载下的荷载应力和温度应力计算公式,开展了多孔水泥混凝土沥青路面典型结构设计,给出了典型路面结构推荐表。第5章为高模量基层沥青路面结构应力状态分析。利用均匀设计

安排参数组合对高模量基层路面结构应力分布进行了有限元计算,创新应用了莫尔圆法分析,对比了不同位置、不同深度剪应力的主应力组成方式对路面结构疲劳寿命的重大影响,为解释 Top - Down 裂纹与车辙共同出现提供了新的观点,为开发沥青新材料和提高路面抗裂性能提供了理论基础。第 6 章多孔水泥混凝土加速加载试验仪的研制。探讨了一种小型加速加载设备的设计与开发。第 7 章为结论。

本书所涉及的试验是在西安科技大学张天军教授、朱向会老师等人协助下完成的。西安科技大学硕士生刘应然、高磊、谢诚伟、梁路路、杜冬冬、白宇参与了书中大量的计算工作。在此,向他们表示诚挚的谢意!

在本书的写作过程中,邢台路桥建设总公司李来宾董事长与霍玉娴教授级高工与作者进行了多次有益的讨论,并提供了重要的建议和修改意见。在此,向他们一并致以诚挚的谢意!

最后感谢教育部科学技术重点项目(210221)和陕西省教育厅产业化培育项目(09JC11)在本书出版时提供的经费支持。

书中所提出的一些新观点、新看法还有待于今后进行更深入、细致的研究。由于水平有限,书中疏漏和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

著 者

2013 年 2 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 沥青路面早期破坏与水损害	1
1.2 多孔水泥混凝土研究现状	1
第 2 章 多孔水泥混凝土组成特性与制备	13
2.1 多孔水泥混凝土内部结构分析	13
2.2 多孔水泥混凝土内部结构与力学性能影响分析	20
2.3 等粒径多孔水泥混凝土配合比设计	47
2.4 小结	53
第 3 章 多孔水泥混凝土路用性能指标测定	54
3.1 强度性质研究	54
3.2 弯拉弹性模量	80
3.3 应力控制疲劳	82
3.4 小结	90
第 4 章 多孔水泥混凝土基层应力分析与设计	91
4.1 荷载应力分析	91
4.2 温度应力分析	98
4.3 多孔水泥混凝土基层沥青路面典型结构设计	101
4.4 小结	112
第 5 章 高模量基层沥青路面结构应力状态分析	113
5.1 计算方案设计与计算结果分析的理论基础	113
5.2 计算结果分析	117
5.3 小结	155

第 6 章 多孔水泥混凝土加速加载试验仪的研制	157
6.1 研究背景、意义及国内外研究现状.....	157
6.2 试验系统的设计过程	159
6.3 室内小型加速加载试验装置	169
6.4 试验系统的初步测试	180
6.5 小结	183
第 7 章 结论	184
参考文献	186

第 1 章 绪 论

近年来,水损害和重轴载联合作用已经造成大量沥青路面出现早期损害现象。本章在回顾国内外研究现状的基础上,以美国 460 公路阿波马托克斯段为对象,重点分析美国排水基层失败的教训,阐述相关研究内容。

1.1 沥青路面早期破坏与水损害

调查表明,造成沥青路面早期水损害破坏的原因可以归结为:沥青混合料空隙率过大、排水设施不完善、厚度偏薄、半刚性基层开裂等。其主要表现形式包括坑槽、唧浆、松散、沉陷等等。近些年的经验表明,采用封堵的办法不能完全解决水损害带来的早期路面损害的问题。设置路面内部排水系统,将进入路面结构内的水迅速排除是防治路面水损坏的根本途径。

排水沥青路面和排水基层是路面内部排水系统中的两个重要组成部分。国内以往主要采用的是排水沥青路面+封层+不排水基层的路面结构。这样的路面结构可以将侵入沥青混凝土内部的自由水充分排出,但是无法完全避免基层表面滞水的存在。在动水压力作用下,半刚性基层沥青路面结构依然存在局部早期破损的风险。随着多孔水泥混凝土排水基层研究的开展,基层材料性质和基层整体质量对路面的使用性质和整体质量的影响已经日益被工程技术人员接受,以多孔水泥混凝土基层沥青排水路面为代表的典型排水路面结构已成为减少经济损失、延长路面使用寿命的有效手段。

1.2 多孔水泥混凝土研究现状

1.2.1 国内研究现状

多孔水泥混凝土以骨架空隙结构为特征,在满足一定承载能力的同时还具有较好的排水性,能及时、有效地缓解降雨带来的水损害和路面积水、漫流、水漂、眩光等现象。多孔水泥混凝土用作路面时具有良好的降噪功能,能明显降低路面噪声,减轻交通运输对周围环境造成的噪声污染;用作基层时能迅速排除进入路面结构的水,减小路面早期的水损害,是一种具有良好发展潜力和广阔应用前景的路面材料,在近年来迅速发展的公路建设中呈现出越来越明

显的强劲趋势。因此,国内针对多孔混凝土的路用性能展开了大量的研究,并取得了一定的成果。

中南大学陈瑜^[1-5]依托湖南省交通科技项目“高速公路隧道路面结构与材料应用技术研究”,对多孔水泥混凝土材料在抗滑、吸声以及排水等方面的性能进行了研究。他提出多孔水泥混凝土的理想结构模型为:特定粒级粗骨料颗粒被胶结浆体薄层包裹并在胶结点处联结,硬化后形成骨架-孔隙结构,孔隙相互连通。他认为粗骨料粒径组成合理、水泥浆用量和稠度适中以及混凝土成型和施工方法,且保证目标孔隙率是形成多孔混凝土的条件,粗骨料的品种选择、粒径组成与颗粒表面形态等是影响多孔混凝土路用性能的关键因素。他提出用于面层的多孔混凝土粗骨料必须选用压碎指标低、冲击值低、坚固性好、磨耗损失小而磨光值高的碎石,如花岗岩和玄武岩碎石,且粒形接近立方体者为佳,严格控制针状、片状颗粒含量;宜采用粒径较小和粒径组成范围较窄的粗骨料,推荐粗骨料粒径组成为5~10 mm。同时,他指出目前路面工程存在的关键问题是空隙率过大,孔隙粗大、孔径尺寸及其分布不均匀,水泥石基体对粗骨料颗粒的包裹能力不足,界面过渡区薄弱,并由此带来大孔粗糙结构工作性不良、强度低、耐久性差、表面构造抗滑性和内部孔隙吸声功能不能充分发挥、重交通路段刚性多孔材料难以抵抗车轮的往复冲击破坏等一系列问题。

对于多孔水泥混凝土的路用性能,陈瑜等人围绕多孔混凝土路面抗滑、降噪功能的保持与恢复问题,初步认为多孔混凝土路面可以抵抗与多孔材料相匹配的交通等级路面车辆冲击而不被破坏。同时,他基于大量室内试验,系统分析了多孔混凝土抗压强度随龄期变化的规律,抗压强度与抗折强度、抗折弹性模量的相关性及其疲劳性能,建立了相关数学模型;基于多孔混凝土组成材料和内部结构的特点,研究了其尺寸效应并给出抗压强度试验时不同尺寸试件的换算系数;探讨了多孔混凝土与普通混凝土的层间黏结性能及面层多孔混凝土的浇注时机与层间处理方式。他的研究结果表明:双参数威布尔分布可描述多孔混凝土弯拉疲劳寿命;多孔混凝土尺寸效应显著,经有效面积修正后有所下降。建议施工时底层混凝土浇注完后表面无须收光抹平,初凝完成时浇注面层多孔混凝土。

长安大学郑木莲^[6-14]从路面的水损坏及其防治入手,叙述了路面内部排水系统和排水基层的研究现状,着重研究了多孔混凝土的排水性能。她采用类比管道流和多孔介质中流动的方法,提出 Darcy 定律对于多孔混凝土的适用范围,并通过大量试验结果回归出多孔混凝土渗透系数与空隙率之间的幂指数关系。她对多孔水泥混凝土力学性能的研究,采用应力控制模式和三分点加载方式,进行多孔混凝土的疲劳试验;同时利用双参数威布尔分布模型建

立了不同失效概率下多孔混凝土两种形式的双对数疲劳方程;并利用得出的疲劳方程,将多孔混凝土疲劳性能与常用半刚性基层材料 and 水泥混凝土进行比较,得出其疲劳性能优于常用的半刚性基层材料。此外,她还通过疲劳方程建立了多孔混凝土作为水泥混凝土路面下面层时荷载应力计算的疲劳应力系数,以及作为沥青路面基层时,进行层底弯拉应力验算的抗拉强度结构系数;同时依据疲劳损耗等效原则,结合多孔混凝土的疲劳方程,得出多孔混凝土基层不同轴-轮型荷载换算为标准轴载的换算公式。在此基础上,她综合路面排水分析和应力分析与结构计算两部分内容,提出多孔混凝土基层水泥混凝土路面的结构设计方法。

郑木莲等人认为多孔混凝土的强度,无论是抗压强度、弯拉强度或是劈裂强度,主要取决于水泥的活性、水泥用量和水灰比等因素。一定条件下,弯拉强度、劈裂强度与抗压强度有密切的关系。抗压强度大时,弯拉强度和劈裂强度也大,反之亦然,但弯拉强度和劈裂强度较抗压强度低得多。同时,多孔混凝土是骨架空隙结构,其强度靠水泥胶浆的黏结力和粗集料间的摩阻力形成,集料与集料之间近于点接触。空隙率越大,其接触点越少,相应地强度越低,即空隙率和强度是此消彼长的关系。

华南理工大学李荣炜等人^[15-16]认为在一定体积下,当粗骨料组成和用量恒定时,包裹粗骨料浆体的用量是影响孔隙率大小的主要因素,而浆体用量又决定了粗骨料的浆体包裹层厚度。粗骨料浆体包裹层厚度越大,黏结点越多,黏结就越牢固,强度就越高,但孔隙率相应降低;当粗骨料浆体包裹层厚度减小时,虽然可以增大多孔混凝土孔隙率,但是由于粗骨料与浆体包裹层之间存在一个界面过渡区,其典型厚度一般在 $20 \sim 40 \mu\text{m}$ 之间,是其强度的最薄弱地带。如果包裹层的厚度变小,其界面过渡区厚度的比例就相应增大,同时再加上浆体黏结点减少,则多孔混凝土的强度降低。对粗骨料浆体包裹层厚度与其孔隙率之间的关系的研究通过将多孔混凝土中包裹水泥浆体的粗骨料堆积形态视为球形颗粒堆积,借鉴 Koenders 提出的带状模型,建立多孔混凝土孔隙率与粗骨料浆体包裹层厚度之间的关系式,通过试验确定公式中的参数并验证其模型和计算的合理性。研究认为,当粗骨料浆体包裹层厚度在 $439 \sim 973 \mu\text{m}$ 之间变化时,多孔混凝土的孔隙率为 $21.8\% \sim 33.8\%$ 。当多孔混凝土的孔隙率处于此范围时,粗骨料浆体包裹层厚度虽然大多只有几百微米,但多孔混凝土抗压强度可达 10 MPa 。

长安大学潘熙洋、沙爱民^[17]对多孔水泥混凝土的配合比设计进行了研究,认为多孔水泥混凝土是由特殊的配合比设计和制备工艺制成的具有大量连通孔隙的混凝土,既有一定的强度,又有一定的透水、透气性,其特殊性就在于不用或少用细集料(砂),粗集料紧密嵌挤的同时,水泥浆胶结固化在粗集料

彼此之间的接触点处周围而形成较薄的一层水泥浆壳的骨架孔隙结构。他们研究分析了多孔水泥混凝土的结构特点,借鉴填充包裹理论,提出了完整、可靠的配合比设计方法;同时提出了多孔水泥混凝土的强度形成理论,并针对水灰比、孔隙率与强度的关系进行了研究。多孔水泥混凝土的强度随孔隙率的增大而下降,两者之间线性关系明显,推荐 5~10 mm 的单粒径级配集料对应的水灰比最佳取值范围为 0.22~0.26,目标孔隙率范围为 15%~20%。

四川大学谢新生等人^[18]为探索适合多孔生态混凝土的配合比设计方法,采用正交试验法对多孔生态混凝土的抗压强度和孔隙率及主要影响因素进行了试验研究。他们设定多孔生态混凝土的目标强度为 15 MPa,目标孔隙率为 20%~30%,强度设计时仍采用传统混凝土的配合比设计理论进行试验。试验结果显示:试样的实测孔隙率为 13.8%~31.5%,平均值为 25.24%,与目标值相近;实测抗压强度为 3.49~18.2 MPa,平均值为 9.75 MPa,仅为理论值的 9.21%~48.02%。当孔隙率超过 20%时,强度随着孔隙率的增加而快速下降。当孔隙率为 31.5%时,强度仅为 3.49 MPa,与目标强度相差较大。试验结果也表明,多孔生态混凝土的强度和孔隙率除受水灰比的影响外,灰集比是主要影响因素。灰集比越大,抗压强度越高,但孔隙率随之减小,说明现有混凝土的强度理论不适合多孔生态混凝土的配合比设计。

王智^[19]从材料的力学性能角度根据多孔混凝土的结构特征和功能要求,依据配合比设计的原则,将骨料颗粒表面用胶结材料包裹,并将骨料颗粒互相黏结起来,形成一个整体,具有一定的强度,确定了以孔隙率为主设计参数、通过改变胶结材料和骨料粒径来满足强度的配合比的设计思路。设计方法为:首先根据设计要求确定选用的材料,再确定单位体积混凝土中骨料的用量,然后根据骨料的表观密度和设计要求的孔隙率确定胶结材料用量,最后根据成型工艺的要求确定水灰比,从而确定单位体积水泥用量和拌和水用量。试配结果表明,该多孔混凝土配合比设计方法具有可靠性和可行性。

杨志锋等人^[20]研究了粒径为 0~4.75 mm 颗粒的比例,粗集料最大粒径以及粒径为 4.75~9.5 mm 颗粒在粗集料中的比例对多孔混凝土透水基层抗压强度的影响。研究表明:即使多孔混凝土透水基层的水泥用量仅为 150 kg/m³,在粒径为 4.75 mm,通过率控制为 10%~15%的条件下,所配制的多孔混凝土透水基层不仅具有较高的强度,还具备良好的透水性能;最大粒径增加,强度降低,透水性增加;9.5 mm 的粗集料,通过率控制在 20%左右时,颗粒粒子之间基本没有干涉,配制的多孔混凝土透水基层强度最大。

国内对多孔混凝土力学性能的研究认为:多孔混凝土的强度主要受骨料颗粒形状、大小和孔隙率控制。压碎指标低、冲击值低、坚固性好、磨耗损失小而磨光值高且粒径较小和粒径组成范围较窄的碎石做骨料的多孔混凝土强度

较高;多孔混凝土空隙率越大,则集料与集料之间接触点越少,相应地多孔混凝土强度越低。同时,研究认为多孔水泥混凝土的疲劳失效概率符合双参数的威布尔分布,建立了多孔水泥混凝土双对数疲劳方程,并提出了多孔水泥混凝土作为基层的路面结构设计以及相应的抗拉强度结构系数,使多孔水泥混凝土用作公路基层材料具有一定的理论基础。

1.2.2 美国混凝土路面排水基层现状与分析

1. 背景(Background)

2008年美国混凝土路面协会(ACPA)发布报告(见图1-1)。该报告指出:“室内实验中渗透系数大于107 m/d的开级配、稳定与未稳定、透水(底)基层不再推荐为混凝土路面结构设计单元。”并指出该结论是基于“现场实际经验与全美范围路用性能评估的结果”。报告同时给出了不推荐使用的6个原因。

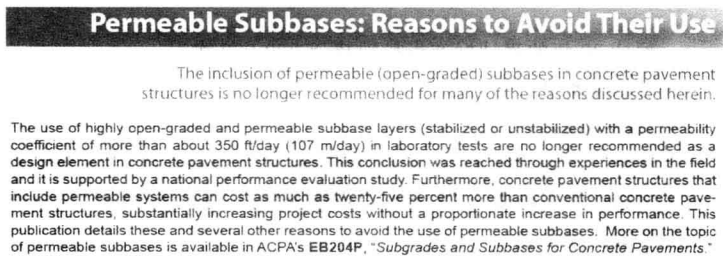


图1-1 ACPA报告截图

为了得到一手的详细资料和感性认识,更好地理解报告中“不推荐使用的6个原因”,笔者于2011年10月9日对报告中所提到的美国460公路阿波马托克斯段(见图1-2)进行了调研。调研包括对美国排水基层相关评估报告、论文的阅读,阿波马托克斯段现场感性认识,资料整理等,充分对比、分析了“不推荐使用的6个原因”这一结论的来龙去脉,为后续的研究工作奠定了基础。



图1-2 阿波马托克斯段的地理位置

2. 美国 460 公路阿波马托克斯段简介

阿波马托克斯镇隶属弗吉尼亚州(Viginia),美国南北战争结束地,历史名城。美国 460 公路阿波马托克斯段位于小镇的北部,长 4.48 km,双向四车道,修建于 1993—1994 年。

路面结构从上至下依次为 9 in(22.86 cm)设接缝传立杆普通混凝土路面(JPCP)、4 in(10.16 cm)水泥稳定开级配排水层(OGDL)和 6 in(15.24 cm)10%水泥稳定细粒土,路肩为不设接缝传立杆普通混凝土路面(JPCP),厚度为 4~9 in;路肩下为 4 in(10.16 cm)碎石垫层。设计使用年限为 30 年,累计标准当量轴载(ESAL)为 8 000 000 次。混凝土 28 天劈裂模量为 650 psi,约为 4.48 MPa,弹性模量为 3 705 psi,约为 25.55 MPa。土基 K 值为 193 psi/in²(约 1.33 MPa)。

阿波马托克斯段的主要设计参数和典型路面结构如图 1-3 和图 1-4 所示。

- 预计 30 年的累计标准当量轴载:8 000 000 次
- 可靠度水平(%):95
- 总标准偏差:0.35
- 波特兰水泥混凝土 28 天平均劈裂模量:650 psi(约 4.48 MPa)
- 波特兰水泥混凝土 28 天平均弹性模量:3 705 psi(约 25.55 MPa)
- 荷载传递系数 J :3.20
- 路基系数(K)值:193 psi/in²(约 0.52 MPa)
- 整体排水系数(C_d):1.20
- 初始可服务性:4.5
- 极限效用:2.5

图 1-3 主要设计参数

1. 9.0 in(约 22.86 cm)设接缝传立杆普通混凝土路面,15 ft(约 457.20 cm)的间隔
2. 4.0 in(约 10.16 cm)水泥稳定开级配排水层
3. 6.0 in(约 15.24 cm)含 10%水泥的水泥稳定细粒土
4. 6.0~9.0 in 处,路肩为可变深度不设接缝的水泥混凝土路面
5. 4.0 in 骨料基层材料,型号为 I,大小为 21A(路肩)
6. 路面边缘排水可按照 VDOT 标准(VDOT,1991)中的 UD—4 条款进行

图 1-4 典型路面结构

从 1998 年起至 2004 年期间,东部车道和西部车道均出现了路面开裂、沉降。2003 年日均车流量(ADT)为 11 000 次,重车为 14%。2004 年日均车流量(ADT)为 15 000 次,重车为 6%。2004 年弗吉尼亚州交通部替换了其中破损严重的 137 块混凝土板。该路段的情况如图 1-5 至图 1-12 所示。

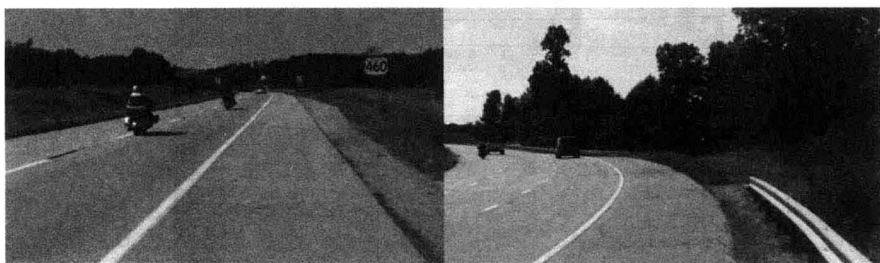


图 1-5 西侧起点与匝道



图 1-6 路面不均匀沉降错台



图 1-7 混凝土路面与排水层芯样



图 1-8 维修中展现出的路面结构

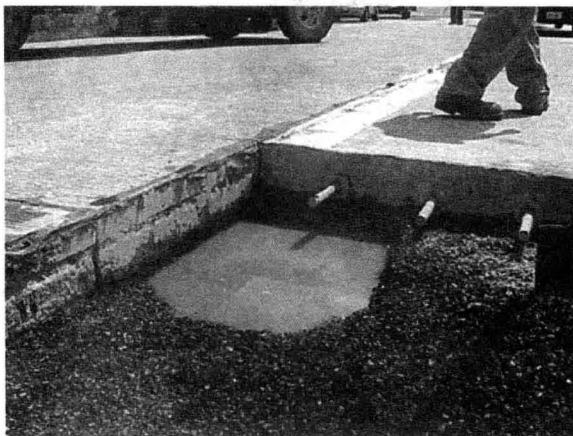


图 1-9 维修过程中降雨带来的积水



图 1-10 路肩的使用导致排水通道不畅

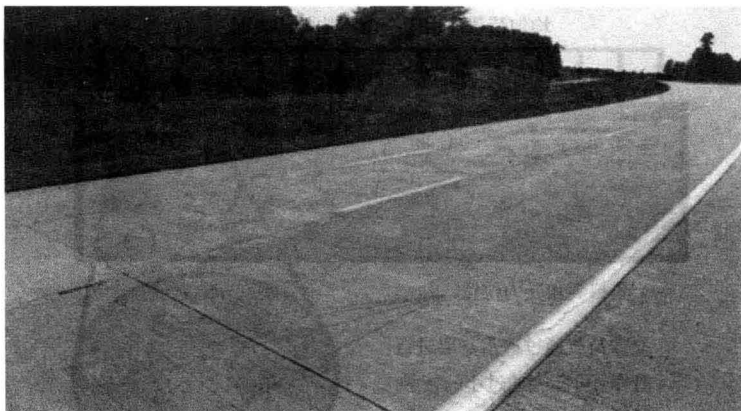


图 1-11 修复后的路面(一)

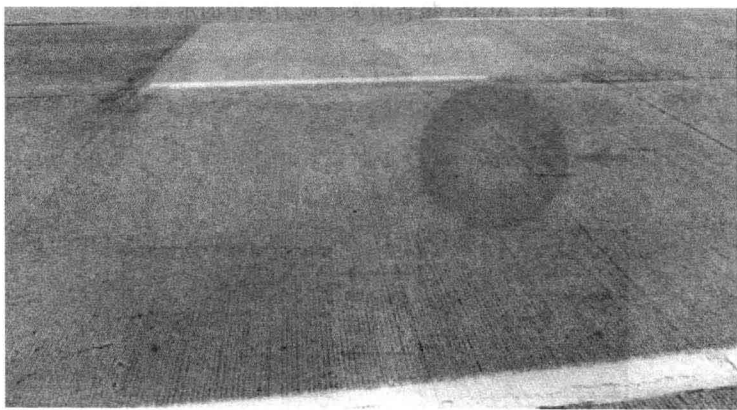


图 1-12 修复后的路面(二)

3. ACPA 不推荐使用排水基层的 6 个原因

(1)集料断裂使混凝土板失去支撑(Loss of support due to breakdown of aggregates)。ACPA 报告认为:“均匀荷载作用与排水基层非均匀表面会造成集料尖角处出现较高的应力集中现象”,从而造成混凝土板下产生较大不均匀沉降,进而混凝土板在交通荷载作用下产生裂纹。ACPA 报告中关于应力集中的示意图如图 1-13 所示。

(2)加固土遇水后侵入排水基层使混凝土板失去支撑(Loss of support due to infiltration of the subgrade into subbase)。ACPA 报告中关于加固土侵入排水基层的示意图如图 1-14 所示。

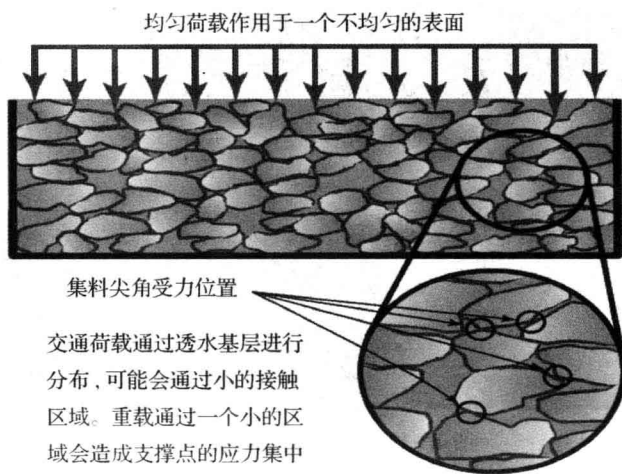


图 1-13 ACPA 报告中关于应力集中的示意图

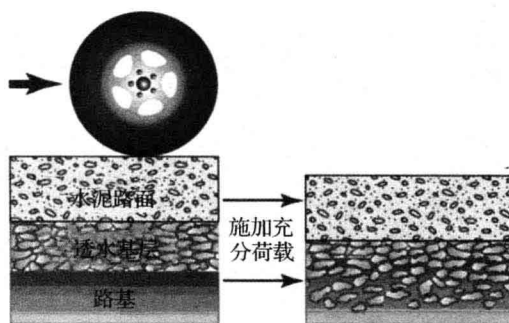


图 1-14 ACPA 报告中关于加固土侵入排水基层的示意图

(3) 灌缝料渗入基层导致早期裂纹 (Early age cracking due to penetration of mortar from the concrete pavement into the subbase)。其原因在于受路面荷载作用, 灌缝料软化点低, 会脱落或渗入排水基层中, 造成混凝土板早期开裂。

(4) 不能作为稳定的施工平台 (Instability as a construction platform)。水泥或沥青稳定的排水基层, 以及密级配但水可自由流动的碎石排水基层可以作为稳定的施工平台, 但未经过加固的开级配排水基层不利于滑模摊铺机开展水泥路面施工。

(5) 整体路用性能 (Overall field performance)。ACPA 报告认为: “对于设计了接缝、传力杆、拉杆的且设计合理的水泥混凝土路面, 排水基层对于减