

沙庆林

院士

论文选集



人民交通出版社
China Communications Press

沙庆林院士论文选集

人民交通出版社

内 容 提 要

沙庆林同志长期从事公路工程科研、设计与施工。本书收集了沙庆林同志从1957年~2009年的绝大部分科研学术论文,时间跨度大,内容广泛,基本反映了他进行理论创新的研究思想、研究方法 & 工程实践中取得的重要成果,既具有先进性、完整性和创造性,又适时指导和引导我国公路路基路面建设走向科学化和现代化,同时,本文集也反映了当前道路工程学的最新研究成果。

本书可作为道路工程领域的在校大学生、教学和科研人员、工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

沙庆林院士论文选集/沙庆林著. —北京:人民
交通出版社,2010.5

ISBN 978-7-114-08382-2

I. ①沙… II. ①沙… III. ①道路工程—文集 IV.
①U41-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 078727 号

Shaqinglin Yuanshi Lunwen Xuanji

书 名: 沙庆林院士论文选集

责任编辑: 刘永超 黎小东

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店、交通书店

印 刷: 北京盛通印刷股份有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 52.5

字 数: 1337 千

插 页: 4

版 次: 2010年5月 第1版

印 次: 2010年5月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08382-2

定 价: 150.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

沙庆林院士简介

沙庆林,公路工程专家。1930年生于江苏宜兴,1952年毕业于上海交通大学,1957年获苏联莫斯科公路学院副博士学位。同年任职于交通部公路科学研究所(现已更名为交通运输部公路科学研究院)至今。1995年当选为中国工程院院士。

长期从事公路路面学研究及公路工程的设计与施工。创建了半刚性基层沥青路面。在路面设计理论、重型压实标准,材料技术指标、半刚性材料性能、混合料组成设计及半刚性基层沥青路面的可靠性研究和典型结构等重要成果理论上有许多创新。对半刚性路面的承载能力和沥青面层的功能作用有创见,研究证明裂缝主要是沥青面层温度收缩形成,影响裂缝多少的关键因素是沥青质量。突破了数十年来国内外用加厚沥青面层减少裂缝的框框。证明半刚性路面的承载能力完全可由半刚性材料层满足,沥青面层只起功能作用。1968~1979年援外期间,解决了苏丹膨胀土地地区路基路面设计问题、索马里沥青路面出现早期辙槽损坏问题、马达加斯加特多雨地区沥青路面结构设计问题,在赞比亚完成了重型压实标准和水泥稳定土的研究。编写4个援外路面应用文件,对提高援建公路路基路面质量起了重要作用。80年代初,研制成功可做室内外10多种试验的多功能路面强度测试仪和相应的试验方法,首次为公路部门的科研单位、高校和工地试验室提供了试验手段和方法。优选出两类适用于高速公路等的基层材料。论证了材料组成设计的必要性,提出的材料组成设计方法,填补了国内空白。论证了压实对路基路面强度、变形、渗水、稳定性等的重大影响。在国内开创用重型压实标准设计与施工。率先将数理统计理论用于观测试验资料的整理和分析。

历时22年,研究成功粗集料断级配多碎石沥青混凝土SAC系列,它具有科学的级配设计理论和检验方法,既能达到功能要求又能解决沥青面层早期损坏。创造性提出沥青混凝土的分解和分析计算方法;创新提出沥青黏温曲线的计算方程和确定不同工序的施工温度;水泥碎石基层中断级配设计方法和密实性检验方法,提高了水泥碎石的抗弯拉强度和回弹模量,干缩性仅为以往级配的1/3。提出的以提高水泥碎石基层和沥青混凝土面层有良好均匀性及符合级配设计要求为核心的新施工工艺,加强了层间结合,增强了基层、底基层与土基的整体性使其形成一个相互紧密嵌入的特殊整体,为建设可持续发展的高等级公路奠定了理论基础。出版专著20部,发表论文100多篇。科研成果曾获国家科技进步2等奖1项,交通部科技进步一、二等奖5项,获发明专利3项。

序

沙庆林同志五十多年来,一直致力于我国公路工程科研、设计与施工工作,在路面设计理论、路面材料性能、混合料组成设计、半刚性基层沥青路面及其可靠性和典型结构等方面,建树颇丰,是我国公路工程领域的开拓者之一,1995年当选为中国工程院院士,在国内外公路工程学界享有盛誉。欣逢沙庆林同志荣获“中国工程院资深院士”荣誉称号之际,《沙庆林院士论文选集》结集出版,我很乐于为本文集作序,并顺致良好祝愿。

沙庆林同志1952年毕业于上海交通大学,1957年获苏联莫斯科公路学院副博士学位,归国后,任职于交通运输部公路科学研究院至今。

20世纪60年代,沙庆林同志作了大量道路工程领域的基础性研究工作,并重点开展柔性路面设计理论和方法的研究,其成果汇集成了我国第一版路面设计规范——《公路柔性路面设计规范》。

1968~1979年,沙庆林同志到巴基斯坦、苏丹、赞比亚等六个国家参与援外公路建设。期间,沙庆林同志在路基路面设计、路面早期破坏、路面压实标准等方面进行了创新研究,并取得了大量研究成果,这些成果的成功运用,对提高援建地区公路建设质量起到了重要作用,也为我国的对外科技交流作了贡献。

进入80年代后,沙庆林同志致力于高速公路路面修建技术、高等级公路半刚性基层沥青路面结构设计等方面的研究,研制成功了多功能路面强度测试仪及相应的试验方法,提出了材料组成设计方法,所取得成果被成功运用于多条高速公路的建设中。在国内公路学界率先将数理统计理论用于观测试验资料的整理和解释,他所提出的“京津塘高速公路沥青路面结构方案”,是国内首次根据大量试验结果进行路面设计的范例。

1990年后,沙庆林同志主持了“八五”国家科技攻关项目“高等级公路半刚性基层沥青路面典型结构”的研究,推荐了12种半刚性路面典型结构,为我国的高速公路路面设计与施工提供了有力的技术支持。

进入新世纪以来,已年逾古稀的沙庆林同志,依然奋战在科研一线,主持了“重载交通长寿命沥青路面关键技术研究”,研究成功粗集料断级配多碎石沥青混凝土SAC系列,对我国长寿命沥青路面的设计与施工的理论与实践,进行了卓有成效的探索。

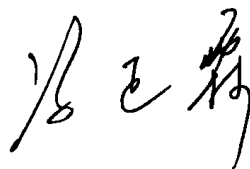
改革开放的30余年,是我国公路交通发展的最好、最快、最具活力的时期,公路建设取得了巨大成就,这些成就的取得与我国公路建设及科研工作者的辛勤劳动密不可分,而沙庆林同志即是其中的杰出专家之一。沙庆林同志为我国的公路事业奉献了毕生精力,

由他参加或主持的科研项目达 15 项,多次获得国家、省、部级科技进步奖,出版专著 20 部。

此次结集出版的《沙庆林院士论文选集》,汇集了沙庆林同志自 1957 年以来公开发表的、有代表性的科研学术论文 100 余篇,体现了他求真务实、开拓创新的科研精神。文集以时间为序,内容涉及道路的设计、施工、试验检测,以及新材料在道路工程中的应用等,凝结了沙庆林同志从事道路工程技术研究 50 余年的重要科研成果,读者也可从中对我国公路建设 50 多年的发展脉络有一个较为清晰的了解。文集的出版,不仅为读者提供了一本富有参考价值的科技文献,同时相信也可让广大道路科研与实践工作者,尤其是年轻一代获得教育与启迪。

科学技术是交通运输发展的第一生产力,希望在我国的道路交通工程领域涌现出更多的像沙庆林同志这样敬业奉献、勇攀高峰的专家学者,为我国交通事业又好又快发展做出新的更大的贡献。

交通运输部副部长



2010 年 5 月

目 录

一、1957~1985 年

用快速法定土的形变模量·····	沙庆林(3)
谈现行柔性路面设计方法中的几个问题 ·····	沙庆林(10)
谈现行柔性路面设计方法中的几个问题(续) ·····	沙庆林(16)
面层几何粗糙度的测定方法——砂补试验 ·····	沙庆林(21)
集料压碎值标准及其试验方法的建议 ·····	沙庆林(26)
沥青乳液及新型双层沥青表面处治 ·····	沙庆林(33)
如何确定试验的最小数量 ·····	沙庆林(36)
路面弯沉值的统计评定方法 ·····	沙庆林(42)
论两种试验方法比较中的若干问题 ·····	沙庆林(46)
当前一、二级公路建设中的主要技术问题·····	沙庆林(52)
水泥稳定土基层和底基层 ·····	沙庆林(56)
有关单圆板综合当量模量和轮测弯沉关系的探讨·····	沙庆林 赵凤娟(62)
高速公路——交通运输发展的必然产物 ·····	沙庆林(67)
公路路基路面的工程质量管理 ·····	沙庆林(73)
路基路面压实度的统计评定方法 ·····	沙庆林(91)
路面设计和施工的重要环节——材料组成设计·····	沙庆林(103)
论半刚性路面的容许弯沉值·····	沙庆林(114)
论路面综合修正系数 F ·····	沙庆林(121)

二、1986~1996 年

京塘高速公路沥青路面结构和设计(一)·····	沙庆林(127)
京塘高速公路沥青路面结构和设计(二)·····	沙庆林(138)
京塘高速公路沥青路面结构和设计(三)·····	沙庆林(146)
国外半刚性基层沥青路面的现状(一)·····	沙庆林(152)
国外半刚性基层沥青路面的现状(二)·····	沙庆林(161)
《公路路面基层施工技术规范》简介(一)·····	沙庆林(169)
《公路路面基层施工技术规范》简介(二)·····	沙庆林(174)
论半刚性基层沥青路面的裂缝·····	沙庆林(180)

论半刚性基层沥青路面的裂缝(续).....	沙庆林(187)
The Cracking of Bituminous Surfacing on Semi-Rigid Road bases in China	Sha Qinglin(196)
京塘高速公路沥青路面结构和设计.....	沙庆林(213)
碾压混凝土(RCC)路面的设计和施工.....	沙庆林(223)
论高等级公路路面基层材料的技术要求.....	沙庆林(231)
论高等级公路路面基层材料的技术要求(续).....	沙庆林(241)
论高等级公路路面基层材料的技术要求(续).....	沙庆林(253)
提高路面质量若干主要技术问题的研究.....	沙庆林(262)
高等级公路路面结构设计.....	沙庆林(270)
质量检验统计评定适应方案的选择.....	沙庆林(281)
高等级公路的半刚性路面和半刚性材料的回弹模量.....	沙庆林(292)
国外高等级公路路面的现状与发展.....	沙庆林(300)
论半刚性路面的结构设计.....	沙庆林(309)
半刚性路面的主要特点.....	沙庆林(319)
高等级公路半刚性路面沥青面层的合适厚度及设计特点.....	沙庆林(329)
橡胶沥青及其应用.....	沙庆林(339)
两种机理的“反射”裂缝.....	沙庆林(347)
Two Kinds of Mechanism of Reflective Cracking	Sha Qinglin(355)
《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034—93)的修订要点	沙庆林(362)
《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034—93)的修订要点(续)	沙庆林(371)
进一步提高高等级公路沥青路面的使用性能和耐久性.....	沙庆林(380)
重轴载及其破坏作用.....	沙庆林(388)
沥青路面结构的可靠度设计.....	沙庆林 王旭东(394)
沥青路面使用性能的影响因素分析.....	郭进英 沙庆林(400)
New Ideas of Semi-Rigid Pavement Design	Sha Qinglin(404)
高等级公路半刚性路面典型结构.....	沙庆林(411)

三、1997~2004 年

新型多碎石沥青混凝土.....	沙庆林(425)
多碎石沥青混凝土.....	沙庆林(435)
正定试验路路面 9 年的使用状况总结.....	沙庆林(444)
西安试验路的 8 年使用经验.....	沙庆林 范建华(457)
中国路面技术的发展和现状.....	沙庆林(465)
The development and the state of the art of pavement technology in China	Sha Qinglin(474)

沥青和沥青混凝土现状(上)·····	沙庆林(487)
沥青和沥青混凝土现状(下)·····	沙庆林(494)
多碎石沥青混凝土 SAC ·····	沙庆林(503)
西部公路建设中值得思考的几个问题·····	沙庆林(512)
高速公路沥青路面的水破坏及其防治措施(上)·····	沙庆林(517)
高速公路沥青路面的水破坏及其防治措施(下)·····	沙庆林(521)
我国高速公路路面修筑技术现状以及 21 世纪的展望 ·····	沙庆林(527)
空隙率对沥青混凝土的重大影响·····	沙庆林(536)
我在科技创新中的体会·····	沙庆林(543)
沥青和沥青混凝土现状·····	沙庆林(549)
提高路面施工质量的四大环节·····	沙庆林(558)
公路科技创新中的体会·····	沙庆林(566)
公路·····	沙庆林(569)
水泥混凝土路面加铺沥青混凝土面层的技术研究·····	沙庆林 王旭东(574)
公路路面施工中的四大环节(上)·····	沙庆林(582)
公路路面施工中的四大环节(下)·····	沙庆林(589)
沥青、改性沥青和沥青混凝土 ·····	沙庆林(594)
某高速公路全线通车 8 年后的路面状况变化及原因分析(上)·····	沙庆林(603)
某高速公路全线通车 8 年后的路面状况变化及原因分析(下)·····	沙庆林(608)
用更严密的方法确定沥青混凝土试件的体积指标·····	沙庆林(616)
沥青面层的技术状况和发展方向·····	沙庆林(626)
SBS 改性沥青粘结防水层及其应用·····	沙庆林 刘朝晖(632)
高速公路沥青混凝土路面的早期破坏·····	沙庆林(639)
高速公路建设项目的管理·····	沙庆林 庞俊达(650)

四、2005~2009 年

SAC 和其他粗集料断级配的矿料级配设计方法 ·····	沙庆林(659)
提高沥青路面使用性能和耐久性的最关键因素·····	沙庆林(672)
提高沥青路面使用性能和耐久性的最关键因素(续)·····	沙庆林(679)
矿料级配检验方法之一 VCA_{DRF} 方法 ·····	沙庆林(683)
矿料级配检验方法之二 VCA_{AC} 方法 ·····	沙庆林(699)
矿料级配检验方法之二 VCA_{AC} 方法(续) ·····	沙庆林(718)
沥青混凝土面层的不均匀性及对策·····	沙庆林(735)
高速公路沥青路面早期损坏与对策·····	沙庆林(749)
沥青混凝土矿料级配的发展方向·····	沙庆林(757)
改革开放 30 年公路及路面技术的快速发展 ·····	沙庆林(769)

重载交通长寿命沥青路面关键技术(综述).....	沙庆林(777)
重载交通长寿命沥青路面关键技术(之一).....	沙庆林(782)
重载交通长寿命沥青路面关键技术(之二).....	沙庆林(789)
重载交通长寿命沥青路面关键技术(之三).....	沙庆林(795)
重载交通长寿命沥青路面关键技术(之四).....	沙庆林(798)
重载交通长寿命沥青路面关键技术(之五).....	沙庆林(805)
为高速公路披上战甲.....	沙庆林(813)
新水泥碎石基层.....	沙庆林(819)

一、1957~1985 年

用快速法定土的形变模量

沙庆林

路面设计得是否正确,路面的持久性(特别对柔性路面来讲)在极大的程度上,决定于能否正确地定出土的强度。目前我国和苏联所广泛采用的柔性路面设计方法中,土的形变模量是表示路基土的强度的唯一指标。形变模量值是根据一段试验所得的“荷重—形变”曲线的弦,利用公式(1)计算而得。

$$E = \frac{P}{\lambda} \quad (1)$$

式中: E ——形变模量(kg/cm^2);

P ——圆模板上的单位荷重(kg/cm^2);

λ ——圆模板的相对沉陷量, $\lambda = \frac{L}{D}$;

L ——圆模板的沉陷量(mm);

D ——圆模板的直径(mm)。

目前使用的柔性路面设计法,没有考虑到土的真实性质,如弹性、塑性及粘滞性。此法把土看作是弹性材料,并认为土在外力作用下,压力与形变间具有直线关系。但实验证明,土在外力作用下,压力与形变间并不存在直线关系,而是曲线关系。从而形变模量值随着荷重或形变的增加而减少。

在定土的形变模量时,一般是将圆模板逐渐压入土中。圆模板上的荷重,借杠杆压力机或油压机(俗名千斤顶)之助,等级式地增加。每一级荷重,在圆模板上作用很久,直至圆模板的沉陷量(或形变)在此级荷重作用下不再增加为止。如形变的增加在 5min 内(例如)不超过 0.02~0.03mm,一般就认为形变已终止,这种试验法可称为荷重持久作用法或稳定法。

用稳定法定土的形变模量时,一次试验要用 3~4h。因而在一个工作日中,最多只能做两次试验。这种方法,虽然不适用于大规模地测定路基土的形变模量。形变模量值往往直接根据个别的试验点来计算。但由于试验中不可避免的误差,这一点的位置(在“荷重—形变”图上)可能具有偶然性。这样,计算出的形变模量值也就会不正确。

要大规模地测定路基土的形变模量值,就需要有一种快速方法;要消除偶然性的误差,也需要有一种有理论根据的整理试验资料的方法。为了解决这些问题,作者进行了 700 多次试验。大部分试验是在莫斯科公路学院及莫斯科大学土工试验室完成的,另外一部分试验是在野外

——莫斯科列宁格勒公路上完成的。

在试验室中所用圆模板的直径为 2.5cm 及 5cm, 在野外所用圆模板的直径为 20, 50 及 75cm。

1 快速法的实质

快速法的实质是: 圆模板上的荷重以等速度增加。例如, $V_p = 0.1, 0.5 \text{ kg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$ 。如所用速度为每分钟 $0.1 \text{ kg}/\text{cm}^2$, 则每过一分钟增加荷重 $0.1 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 。

用快速法试验时, 圆模板上的荷重可以等级式地增加, 也可以不间断地均匀地增加。

作者在用快速法及稳定法进行试验时, 主要采用了简单的杠杆压力机。进行试验时, 每过一分钟增加一次荷重, 每次增加的荷重都相等。在增加荷重时, 记录千分仪(测微仪)上的读数。

在整理试验所得的资料时, 利用理论公式(2)。此公式考虑到土的真实性质: 弹性、塑性及粘滞性。

$$TE_y\lambda = PT + \frac{P^2}{2V_p} \quad (2)$$

式中: V_p ——荷重增加的速度($\text{kg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$);

T ——松弛时间(min);

E_y ——弹性模量(kg/cm^2);

P 及 λ ——同前。

求得 E_y 和 T 值后, 利用公式(2)可绘出荷重—形变的关系曲线。根据所绘得的曲线, 利用公式(1)可计算形变模量值。因为在荷重—形变图上的每一点的坐标为 (P, λ) 。把 P 与 λ 之值代入公式(2)后, 还余下两个未知数 E_y 及 T 。所以 E_y 和 T 的数值, 可根据两个试验点, 利用公式(2)求得。图上的每一个试验点, 由于试验时不可避免的误差, 不会恰好都符合理论曲线, 因而根据所求得的 E_y 和 T 值所绘出的曲线, 也可能不符合试验点。此时, 需用其他两点重新计算 E_y 和 T 的数值。

全部试验结果证明, 在理论试验所得资料时, 可以利用理论公式(2)。在图 1 上绘着个加试验点及根据公式(2)所计算出的曲线, 试验所用的土为粉砂质粘土垆垆, 每一个试验的土的相对含水量 W_0 也表示在图上。此图表明, 计算出的曲线与所有的试验点, 在计算形变模量所必需的范围内完全符合。试验同时表明, 土愈潮湿, 计算出的曲线愈符合于试验所得的点。

用快速法定土的形变模量的试验, 除在普通的杠杆压力机上进行外, 还在电气杠杆压力机上进行过。两者之间的区别是: 在普通杠杆压力机上试验时, 圆模板上的荷重是等级式地增加; 而在电气杠杆压力机上试验时, 圆模板上的荷重是不间断地均匀地增加。

试验证明, 在两种不同杠杆压力机上进行试验, 所得结果的性质完全相同。

2 荷重增加速度对土的形变模量值的影响

为了阐明加荷速度对土的形变模量值的影响, 在实验室中用两种土进行了试验, 一种是粉砂质粘土垆垆, 另一种是粘土, 两种土的特性整理在表 1 中。

试验时改变土的相对含水量(按流限为 1 计算), 对于粉砂质粘土垆垆, 土的相对含水量变

化于 0.5~0.91 之间;土的干容重变化于 1.80~1.26g/cm³ 之间。对于粘土,土的相对含水量变化于 0.54~0.90 之间;土的干容重变化于 1.70~1.26g/cm³ 之间,见图 1 和图 2。

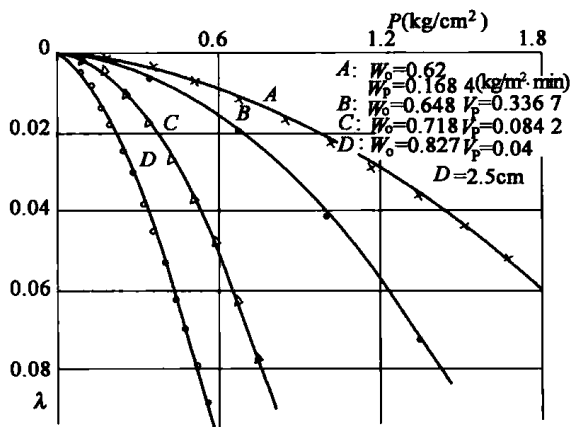


图 1

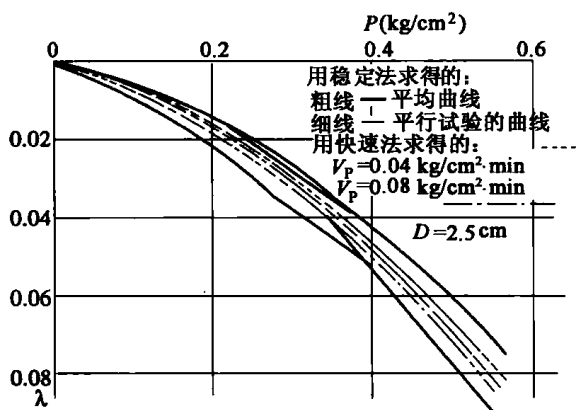


图 2

试验所用土的特性

表 1

土 的 名 称		粉砂质粘土垆姆	粘 土
流限(%)		36.5	44.0
塑限(%)		21.0	23.0
塑性指数		15.5	21.0
最佳含水量(%)		18.5	23.6
最大干容重(g/cm³)		1.80	1.70
粒径级配(%)	2.0~1.0	0.90	0.00
	1.0~0.5	6.85	0.40
	0.5~0.25	1.73	0.64
	0.25~0.05	9.82	1.24
	0.05~0.01	52.67	38.50
	0.01~0.005	12.06	32.70
	0.005~0.002	9.82	16.60
	小于 0.002	5.43	9.92

试验中采用了几种加荷速度,最大加荷速度为最小加荷速度的 4~5 倍。用最大加荷速度进行试验时,达到圆模板的相对沉陷量 $\lambda=0.08$,每一次试验花去 5~8min;用最小加荷速度进行试验时,达到 $\lambda=0.08$,每一次试验花去 20~40min。

全部试验表明,加荷速度增加时,土的形变模量值几乎不增加。只有把用加速法所得的数值与稳定法所得的数值相比时,才发现不大的增加。图 3 为部分的试验结果。在此图上,对用稳定法所得的结果,放着几根平行试验所获得的曲线①;对用快速法所得的结果,只放上一根平均试验曲线(这些曲线是连接各试验点得的,并非计算所得)。

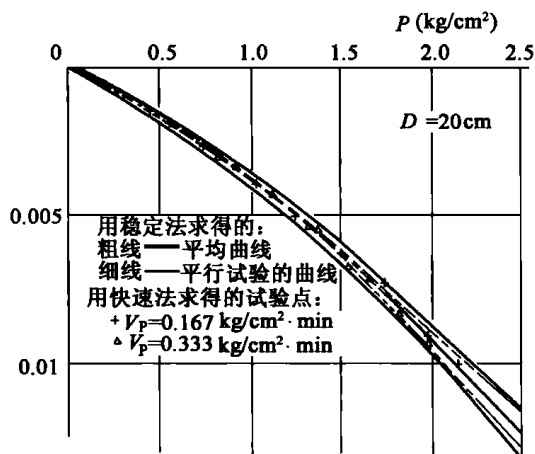


图 3

这些曲线表明,加荷速度的改变,并不影响曲线本身的性质。尽管加荷速度之间的差达到 4~5 倍,所得形变模量的数值,实际上并无显著差别。从图 3 可以看到:一方面常出现与理论相违背的结果,而另一方面,由各种不同试验法所得曲线间的差别,还小于平行试验曲线间的误差。这种现象可解释如下:在制备试样时,虽然土中所加水份相同,并按同一方法进行压实,但实际上不会得到完全相同的试样。试样的含水量与容重常有些差别。此外,试验本身也带有不可避免的误差。这些差别对土强度的影响,大于加荷速度的变化对土强度的影响。试验表明,在试验室中用小圆模板(直径为 2.5cm)进行试验时,平行试验间的误差达到 20%。

为了阐明用快速法所得结果与用稳定法所得结果间的关系,计算了对不同相对沉陷量入的形变模量值。计算所得的数值整理在表 2 中。

用不同方法求得的粘土的形变模量值

表 2

λ	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
$W_0=0.54 \quad \sigma_c=1.70\text{g/cm}^3$						
$E_R(\text{kg/cm}^2)$	288	250	225	190	163	143
$E_v=0.4\text{kg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$	336	280	229	190	164	144
$E_v=0.8$	288	255	222	188	164	147
$E_v=1.6$	312	268	225	188	164	145
$E_g/E_v=0.4$	86%	89%	98%	100%	99%	99%
$E_g/E_v=0.8$	100%	99%	101%	100%	99%	97%
$E_g/E_v=1.6$	92%	93%	100%	100%	99%	99%
$W_0=0.73 \quad \sigma_c=1.54\text{g/cm}^2$						
E_g	35	27.6	22	18.8	16.8	15.3
$E_v=0.04$	36	29	23	19.8	17.8	16.2
$E_v=0.08$	37.6	30.2	22.6	19	17	15.5
$E_v=0.16$	39	29.2	23.6	19.7	17.4	15.8
$E_g/E_v=0.04$	97%	95%	96%	95%	95%	94%
$E_g/E_v=0.08$	93%	92%	97%	99%	99%	99%
$E_g/E_v=0.16$	90%	94%	93%	95%	97%	97%
$W_0=0.90 \quad \sigma=1.16\text{g/cm}^3$						
E_g	10.5	8	6.1	5.2	4.6	4.2
$E_v=0.05$	13.8	10	7.1	5.8	5	4.5
$E_g/E_v=0.05$	76%	80%	86%	90%	92%	93%

试验表明,对各种状态(相对含水量及干容重)下的粉砂质粘土垆垆及相对含水量小于 0.73 的粘土,在 $\lambda=0.01$ 时, E_g/E_v ②的比值变化于 90~100 之间。换句话说,用快速法试验所得的 E_v 值,有时比用稳定法试验所得的 E_g 值大 10%,有时 E_v 与 E_g 的值完全相同。当 λ 值大于 0.01 时,由两法所得 E 值间的差别更加减少。这种现象,可用土的爬动特性来解释。土

在等荷重作用下,随着时间发生爬动。如令土在等荷重作用下,在一小时产生的形变为 1,则土的爬动曲线指出下列关系:土在加荷后一分钟内所产生的形变为 0.6~0.90,土的相对含水量接近 1.0 时靠近 0.6,如土的相对含水量小于 0.75 时,则靠近 0.90;土在加荷后的前 5 分钟内所产生的形变为 0.80~0.96。土的相对含水量愈小,愈接近大的数值。而在用快速法定土的形变模量时,实际上仅第一级荷重作用的时间为一分钟,在第二级荷重时总荷重作用的时间已为一分半钟,在第三级荷重时总荷重作用的时间为二分钟,在第四、第五……级荷重时总荷重作用的时间更长。

当粘土的相对含水量为 0.90 时,用两法求得的 E 值间的差别较大,达到 20% (当 $\lambda = 0.01$ 时)。当 $\lambda > 0.01$ 时,两法所求得的 E 值间的差别也减少。

除在试验室进行试验外,在野外也用此二法进行了试验。在试验期间土的含水量的变动未超过 1%,而土的干容重的变动未超过 $0.05\text{g}/\text{cm}^3$ 。野外试验所得的结果表示在图 3 与图 4 上。图 3 为用 20cm 直径的圆模板试验所得,图 4 为用 50cm 直径的圆模板试验所得。尽管用稳定法一次试验花了 3h,而用快速法一次试验只花了 6min,得到的结果实际上几乎相同。用稳定法所作的平行试验间的误差小于 10%。而所有用快速法求得的试验点都位于平行试验曲线之间。

当 $\lambda = 0.01$ 时,用两法求得的 E 值几乎相等,当 $\lambda = 0.005$ 时,得出了相反的结果。用快速法求得的 E_v 值,小于用稳定法所求得的 E_g 值,这是由于圆模板与土的接触不紧密,当 λ 值很小时,形变的数值较不稳定。从而在野外用两法试验所得结果间的差别小于在试验室中所得的差别。这是由于在试验室中用小圆模板进行试验时,所得的误差较大。

在试验室中还对沥青稳定土进行过试验,用两种方法试验所得的结果与对普通土所得的结果相同。

3 结语

根据试验室中及野外所进行的试验,可得出下列几个结论:

(1) 当用快速法定土的形变模量时,理论公式(2)与所得试验点相符合。因而,公式(2)反映出荷重与形变间的真实关系。所以在整理用快速法所得的资料时,应该利用公式(2)。

(2) 用快速法定土的形变模量时,加荷速度(差别不大于五倍)实际上不影响土的强度。换句话说,用不同加荷速度所得的土的形变模量值实际上相等。

(3) 用快速法进行试验当 $\lambda = 0.01$ 时,所得的 E_v 值有时比用稳定法所得的 E_g 值大 10%,

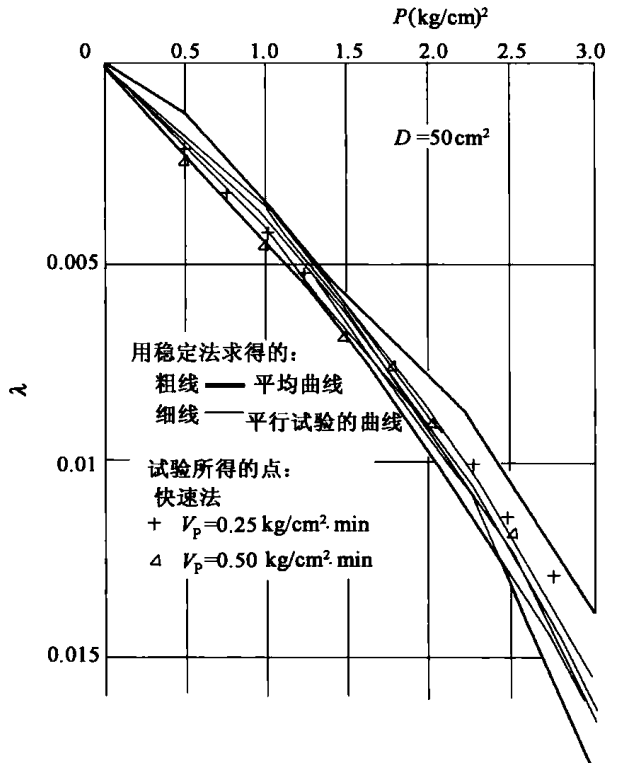


图 4