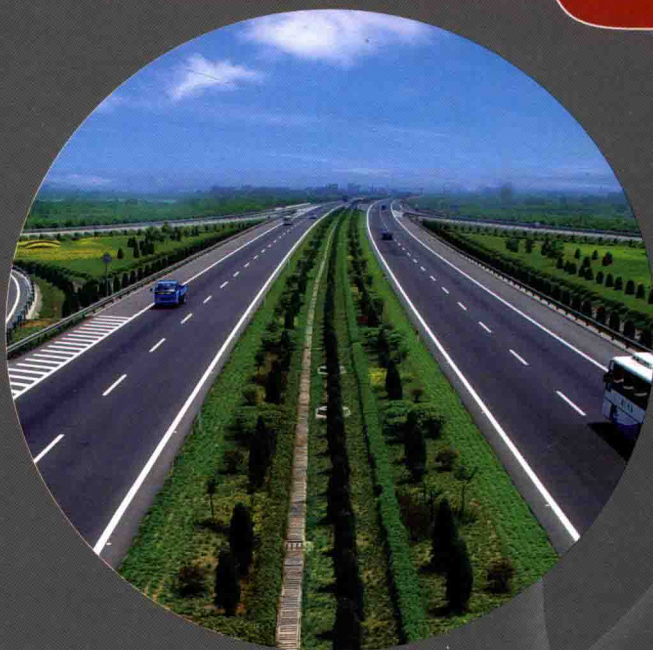




21世纪技术与工程著作系列·土木工程

平原区高速公路路基 稳定性与变形控制

杨广庆 高民欢 著



科学出版社

平原区高速公路路基 稳定性与变形控制

杨广庆 高民欢 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书较为全面、系统地分析了平原区高速公路路基稳定性、变形机制和控制技术方法,集中体现了作者近年来关于高速公路路基工程研究的理论、技术与方法。全书共分6章,首先分析高速公路路基填料强度指标——承载比机理及应用技术,阐述高速公路路基沉降变形机制,然后分析平原区典型路基填料——低液限粉土的工程特性、应用技术与质量控制技术,系统阐述土工格室柔性结构体系处置高速公路桥头跳车新技术,探讨沿海地区高速公路路基排水技术,最后对高速公路路基边坡防护与优化技术进行了系统研究。

本书适用于公路路基、铁路路基、岩土工程、水利水电工程以及港口工程等专业的科技人员以及高等院校相关专业的师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

平原区高速公路路基稳定性与变形控制/杨广庆,高民欢著. —北京:科学出版社, 2015

ISBN 978-7-03-043339-8

I. ①平… II. ①杨… ②高… III. ①平原-高速公路-公路路基-结构稳定性-研究 ②平原-高速公路-地基变形-控制-研究 IV. ①U418.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第029353号

责任编辑:童安齐 / 责任校对:刘玉靖

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年2月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2015年2月第一次印刷 印张:26 1/4

字数:510 000

定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈骏杰〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137026 (BZ08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303



杨广庆（1971—），石家庄铁道大学教授，工学博士，博士生导师。主要从事路基工程、土工加筋技术等方面的研究工作。主持国家自然科学基金、铁道部、河北省、河北省交通运输厅科技计划项目及横向课题70余项，获省部级科技进步奖一等奖2项，二等奖2项，三等奖8项。发表学术论文150篇，SCI、EI检索收录40篇。

先后荣获国家百千万人才工程人选、国家有突出贡献的中青年专家、享受国务院政府特殊津贴、第十届茅以升土力学与岩土工程青年奖、第九届詹天佑铁道科学技术青年奖、河北省有突出贡献的中青年专家、河北省高等学校创新团队领军人才等荣誉。现担任国际土工合成材料工程学会中国委员会副秘书长，中国土工合成材料工程协会常务理事、加筋专业委员会主任委员，中国土木工程学会土力学与岩土工程分会理事，中国岩石力学与工程学会环境岩土工程分会理事等学术职务。



高民欢（1964—），河北省高速公路管理局工程管理部主任，教授级高级工程师。主要从事路基路面工程研究、高速公路建设与管理等方面的工作。主持交通运输部、河北省交通运输厅科技计划项目20多项，荣获省部级科技进步奖一等奖2项，三等奖5项，发表学术论文近20篇，出版专著4部。授权国家专利5项、计算机软件著作权4项。

前 言

随着我国社会经济的快速发展和交通建设进程的逐步深入,平原区高速公路的通车里程已超过整个高速公路网的 $3/4$ 。由于平原区高速公路路基填料复杂多变、细粒土路基结构行为对含水率变化敏感度高、交通荷载与环境因素对路基结构影响显著,导致高填方路基沉降、桥头跳车、路基边坡冲刷侵蚀等成为平原区高速公路路基的主要质量通病。这些质量通病严重影响着道路通行的安全性和舒适性,如导致运营期间发生行车事故,造成人员伤亡等。因此,路基结构的稳定性与变形控制是平原区高速公路必须应对的巨大挑战和急需解决的关键技术难题。

针对平原区高速公路路基修筑关键技术问题,以实现平原区高速公路路基安全耐久为目标,采用新理论、新技术、新方法、新工艺,紧紧围绕平原区耐久型高速公路路基基础理论、设计计算方法和工程特性等关键技术问题进行系统研究,构建了较为完善的耐久型高速公路路基保障体系,大大降低了高速公路路基质量通病的发生,为工程应用提供了理论基础,为结构的安全性和可靠性提供了技术保障。

本书共6章。第1章详细分析了高速公路路基填料承载比机理及应用技术,第2章阐述了高速公路路基沉降变形机制,第3章系统研究了平原区典型路基填料——低液限粉土的工程特性、应用技术与质量控制技术方法,第4章阐述土工格室柔性结构体系处置高速公路桥头跳车新技术,第5章探讨了平原沿海地区高速公路路基排水技术与方法,第6章对高速公路路基边坡防护与优化技术进行了系统研究。

本书由杨广庆、高民欢撰写。本书的部分研究成果得到了河北省交通运输厅的资助,在此表示衷心的感谢。感谢河北省青银高速公路管理处、河北省衡大高速公路管理处、沧州市高速公路建设管理局等单位的支持。同时感谢熊保林副教授和周亦涛、袁金秀、罗会、闫

茜、张艳杰、王贺、胡晨霞等在本书的编排、整理和校阅过程中付出的辛勤劳动。

限于时间和作者水平，书中遗漏、不足之处在所难免，敬请广大读者批评、指正。最后，我们对所有为本书的完成和出版给予支持者表示最衷心的感谢。

目 录

第 1 章 高速公路路基填料承载比试验研究与应用技术	1
1.1 研究目的、用途和意义	1
1.2 高速公路路基填料承载比试验机理分析	1
1.2.1 土基的承载比现实意义	1
1.2.2 承载比试验的内在机理	2
1.2.3 世界各国室内承载比试验比较与分析	3
1.3 高速公路路基填料承载比试验及影响因素分析	6
1.3.1 高速公路路基填料承载比试验	6
1.3.2 高速公路路基填料 CBR 值影响因素分析	7
1.4 高速公路路基填料承载比、回弹模量及压实度相关性试验研究	14
1.4.1 试验目的、方法	14
1.4.2 CBR 值、 E_0 与压实度 K 的相关关系	16
1.5 含水率对路基填料承载比影响的试验研究	23
1.5.1 试验概况	23
1.5.2 试验结果	24
1.5.3 数据分析	25
1.6 提高高速公路路堤填料承载比措施及试验研究	26
1.6.1 提高路堤填料 CBR 值的必要性	26
1.6.2 提高路堤填料 CBR 值措施之一——提高压实度	26
1.6.3 提高路堤填料 CBR 值措施之二——改良	27
1.7 本章小结	29
主要参考文献	29
第 2 章 高速公路路堤沉降变形研究	31
2.1 研究目的、用途和意义	31
2.2 路基填料强度与变形规律试验研究	32
2.2.1 土体的压实机理分析	32
2.2.2 路基填料的物理性质指标试验	33
2.2.3 路基填料的直剪试验	34
2.2.4 路基填料的不固结不排水三轴试验	36

2.2.5	路基填料的压缩试验	38
2.2.6	路基填料的室内回弹模量试验	39
2.3	高速公路路堤堤身沉降变形研究	40
2.3.1	高速公路路堤沉降机理及成因分析	40
2.3.2	基于时间增量理论的路堤堤身沉降分析	43
2.3.3	高速公路路堤堤身沉降三维有限元数值分析	52
2.3.4	高速公路路堤沉降现场试验研究	60
2.4	行车荷载作用下路基累积塑性变形研究	67
2.4.1	概述	67
2.4.2	破坏偏应力试验	69
2.4.3	累积塑性变形试验	69
2.5	本章小结	72
	主要参考文献	72
第3章	高速公路低液限粉土路基稳定性与压实质量控制技术	74
3.1	研究目的、用途和意义	74
3.1.1	粉土的定义、分类	74
3.1.2	研究目的、用途和意义	75
3.1.3	依托工程概况	76
3.1.4	主要研究内容	76
3.2	低液限粉土的工程特性试验研究	77
3.2.1	沿线路基填料调查与分析	77
3.2.2	低液限粉土物理特性研究	78
3.2.3	低液限粉土力学特性研究	100
3.2.4	低液限粉土水理性质研究	113
3.2.5	低液限粉土动力特性研究	120
3.2.6	含水率及压实度对低液限粉土工程特性的影响	125
3.3	低液限粉土路基填料改良措施研究	127
3.3.1	低液限粉土改良目的	127
3.3.2	土体改良机理研究	128
3.3.3	改良土组成设计试验研究	131
3.3.4	石灰改良土和水泥改良土干湿循环试验研究	139
3.4	低液限粉土路基施工工艺研究	144
3.4.1	试验段工程概况	144
3.4.2	低液限粉土路基施工工艺	145
3.4.3	提高低液限粉土路基压实质量技术措施研究	151
3.4.4	低液限粉土路基压实面技术处理措施研究	152

3.5 水泥稳定低液限粉土路基施工技术研究	154
3.5.1 影响水泥稳定土强度的主要因素	154
3.5.2 水泥稳定土施工工艺研究	155
3.5.3 提高水泥稳定土压实质量技术措施研究	160
3.6 低液限粉土路基施工质量检测新技术研究	160
3.6.1 轻型动力触探 N_{10} 用于路基施工质量检测的可行性分析	160
3.6.2 轻型动力触探试验机理	161
3.6.3 N_{10} 与压实度和空隙率相关性分析	165
3.6.4 基于 N_{10} 检测技术的低液限粉土路基压实效果分析	165
3.7 空隙率控制低液限粉土路基压实效果试验研究	167
3.7.1 我国现行压实控制标准	167
3.7.2 压实度控制法的局限性	168
3.7.3 空隙率控制路基压实的科学性	169
3.7.4 空隙率与压实度的内在联系	169
3.8 本章小结	172
3.8.1 低液限粉土的工程特性试验研究	172
3.8.2 低液限粉土路基填料改良技术研究	174
3.8.3 低液限粉土路基施工工艺研究	175
3.8.4 水泥稳定低液限粉土路基施工技术研究	175
3.8.5 低液限粉土路基施工质量检测新技术研究	176
3.8.6 空隙率控制低液限粉土路基压实效果试验研究	176
主要参考文献	176
第4章 土工格室加筋路堤处置高速公路桥头跳车应用技术	179
4.1 研究目的、用途和意义	179
4.1.1 高速公路桥头跳车危害性及机理分析	179
4.1.2 高速公路桥头跳车处置技术国内外研究现状	183
4.1.3 研究的目的、用途和意义	188
4.2 土工格室的加筋机理及工程应用	190
4.2.1 土工格室材料特性	190
4.2.2 加筋土结构作用机理	191
4.2.3 土工格室加筋机理	196
4.2.4 土工格室加筋结构的工程应用	202
4.3 土工格室加筋高速公路路堤有限元分析	204
4.3.1 ADINA 有限元分析软件介绍	204
4.3.2 计算模型的建立	205
4.3.3 土工格室加筋路堤计算实例	209

4.4	土工格室加筋高速公路路堤效果影响因素分析	216
4.4.1	格室高度	216
4.4.2	地基土性质	218
4.4.3	填料性质	219
4.4.4	底部土工格室效应	220
4.5	土工格室加筋高速公路路堤现场试验	222
4.5.1	工程概况	222
4.5.2	试验方案	222
4.5.3	试验内容及测试仪器	225
4.5.4	测试数据分析	229
4.6	本章小结	243
	主要参考文献	244
第5章	滨海水网区高速公路路基排水技术	247
5.1	研究目的、用途和意义	247
5.2	滨海水网区盐渍土路基水破坏类型和机理研究	248
5.2.1	路基水分主要来源分析	248
5.2.2	高水位盐渍土路基路面的主要病害特征	249
5.2.3	高水位盐渍土路基土水分迁移机理	251
5.2.4	高水位盐渍土土水特征曲线研究及湿化变形机理	257
5.2.5	地下水渗流引发毛细水上升对盐渍土路基稳定性影响分析	266
5.3	滨海水网区高速公路路基地表排水系统研究	269
5.3.1	路界地表排水系统的布设技术	269
5.3.2	沿海地区高速公路地表排水设施优化设计技术研究——水文计算	275
5.3.3	沿海地区高速公路地表排水设施优化设计技术研究——水力计算	281
5.3.4	沧津沿海高速公路沧州段路基边沟优化设计	285
5.3.5	沧津沿海高速公路沧州段路基地表排水方案设计	287
5.4	滨海水网区高速公路路基地下防排水系统研究	289
5.4.1	沿海高速公路路基地下防排水设施	289
5.4.2	沿海高速公路路基地下防排水设施设计计算	291
5.4.3	沧津沿海高速公路沧州段地下防排水设施设计	296
5.4.4	沿海水网区低路基高速公路地下防排水设施施工	302
5.5	滨海水网区高速公路特殊地段构造物防排水技术研究	309
5.5.1	直线段、超高段中央分隔带防排水措施及排水设施尺寸研究	309
5.5.2	通道防排水研究	315
5.6	本章小结	318
5.6.1	滨海水网区盐渍土路基水破坏类型与机理研究	318

5.6.2 滨海水网区高速公路路基地表排水系统研究	318
5.6.3 滨海水网区高速公路路基地下防排水系统技术研究	319
5.6.4 滨海水网区高速公路特殊地段构造物防排水技术研究	319
主要参考文献	319
第6章 高速公路路基边坡防护与优化技术	322
6.1 高速公路路基边坡稳定性分析	322
6.1.1 路基边坡常见病害分析	322
6.1.2 路基边坡侵蚀机理分析	323
6.1.3 高速公路路基边坡浅层稳定性分析	327
6.1.4 高速公路路基边坡深层稳定性分析	328
6.2 降雨入渗对路基边坡渗流特性及稳定性影响研究	335
6.2.1 降雨对边坡的破坏作用方式	335
6.2.2 降雨入渗对路基边坡稳定性影响试验研究	338
6.3 植物防护中根系对边坡稳定性的影响研究	342
6.3.1 植物防护的力学效应分析	342
6.3.2 植物根系与土的相互作用机制研究	344
6.3.3 草本植物根系对土体的加筋效应试验验证	356
6.3.4 基于断裂力学与土力学理论的植物根系阻裂及抗滑稳定分析	358
6.3.5 植物根系对深层滑坡影响的分析	360
6.4 高速公路路基边坡防护类型及特点	366
6.4.1 路基边坡典型防护形式的分类	366
6.4.2 路基边坡典型防护类型特性研究	366
6.4.3 防护类型的选择原则	380
6.5 高速公路路基边坡防护优化技术研究	383
6.5.1 路面排水方式对边坡防护形式的影响研究	383
6.5.2 截水骨架防护合理设计参数的确定	389
6.6 河北省公路路基边坡综合防护技术的研究	394
6.6.1 自然地理概况	394
6.6.2 地形地貌	396
6.6.3 边坡防护类型区划	398
6.6.4 河北省公路边坡综合防护设计原则	400
6.6.5 河北省高速公路边坡综合防护推荐方案	402
6.7 本章小结	406
主要参考文献	407

第 1 章 高速公路路基填料承载比试验研究与应用技术

1.1 研究目的、用途和意义

美国加州承载比(California bearing ratio, CBR)试验是 1928 年美国加利福尼亚州公路局在进行沥青路面破坏调查时,为比较材料的强度而提出的。此后,它作为评价路基土和路面材料强度及稳定性的重要技术指标而列入美国相关的公路建设规范,成为柔性路面设计的主要依据。具有一定强度和稳定性的路基对保证路面结构的整体强度及其使用寿命具有重要的意义。我国交通运输部现行的《公路路基设计规范》(JTG D30—2004)和《公路路基施工技术规范》(JTG F10—2006)对高速公路、一级公路路基填料最小强度(CBR 值)要求如下:上路床不应小于 8%,下路床不应小于 5%;上路堤不应小于 4%,下路堤不应小于 3%。

我国现行《路面设计规范》采用回弹模量 E_0 作为路基强度指标。由于实测回弹模量 E_0 较为困难,实际工作中常根据土的类型、含水率及所处自然区划,采用经验法或查表确定,其结果有一定的误差。施工过程中采用压实度 K 作为土路基压实质量的控制参数,施工压实度 K 的多少并不对设计构成影响,而设计回弹模量 E_0 的取值也不对施工产生约束,这就将设计与施工割裂开了。对于不同区域,不同性质的路基填料而言,其回弹模量 E_0 与压实度 K 之间存在不唯一的关系。对于一定性质的土路基达到压实度 K 要求时,其回弹模量 E_0 是否符合设计要求,无从知晓。国外常用路基和路面材料的 CBR 值直接指导设计,目前我国有关部门及人员对此还缺乏必要的了解和认识,在许多关键技术问题上没有获得普遍的共识。因此,通过研究承载比试验的内在机理及分析其影响因素,正确认识承载比试验,并应用承载比对高速公路路基填料质量进行定量评价。通过对河北省青银高速公路沿线具有代表性的填料进行试验研究,建立该区域路基填料回弹模量 E_0 、承载比(CBR 值)和压实度 K 的相关关系,为高速公路路基的设计和施工提供参考,对提高高速公路路基质量提供技术支持。

1.2 高速公路路基填料承载比试验机理分析

1.2.1 土基的承载比现实意义

经路面面层传递到基层的交通荷载,经路面基层、底基层进一步扩散而传入

路基中。交通荷载必须在面层就降低到路面基层、底基层的容许承载力以下,然后在路面底基层一定要降低到路基容许承载力以下。因此,路基承载力即为其上的路面底基层、基层和面层的基本设计条件。

1928~1929年,美国加利福尼亚州 O. J. Porter 在调查柔性路面的破坏状况时,发现道路破坏的主要类型包括:①路面吸水后,土基材料发生侧向移动;②路面下材料产生不均匀沉陷;③路面下材料在多次重复荷载作用下,产生过大的弯沉。其中第①、②两种破坏是因土基压实不够,而第③种破坏是因面层厚度不足或基层抗剪强度不够所致。为简单对比该地区材料的承载力特性,设计了 CBR 基准。该比较基准是用代表性的未筛碎石进行多次重复试验而得,将其平均值确定为 $CBR=100\%$ 。承载比试验是指在将标准尺寸(直径 50mm)的贯入探头贯入土中的过程中,测定其必要的荷载强度,再由土的强度判定其承载力大小。因涉及土体强度因素的复杂性,承载比试验可认为间接地测定了土体的剪切强度。因此,将承载比作为评价路基土和路面材料强度及稳定性的重要技术指标而列入美国相关的公路建设规范,成为路基承载能力的评价方法之一和柔性路面设计的主要依据。

承载比试验自从 1930 年被美国加州公路局提出后,1940 年美国陆军工兵团于第二次世界大战中推广使用,并于 1961 年正式审定。到目前,该试验适用于黏土到砾石土几乎所有的土。承载比试验应用的广泛性得到公认,世界大多数国家都采用承载比试验或类似试验用于道路设计及机场道面设计。我国 1995 年发布的交通行业建设标准《公路路基施工技术规范》(JTJ 033—95)中修订了 1986 年版本的规定,明确将承载比试验作为技术要求列入规范。在此之前,《公路土工试验规程》(JTJ 051—93)中规定了进行承载比试验的程序。目前的相关规范(或规程)均在延续使用该方法。我国公路行业对路基材料承载比的具体规定见表 1-2-1。

表 1-2-1 路基填料最小强度和最大粒径要求

项目分类		路面以下深度/cm	填料最小强度(CBR)/%		填料最大粒径/cm
			高速、一级公路	其他等级公路	
填 方 路 基	上路床	0~30	8	6	10
	下路床	30~80	5	4	10
	上路堤	80~150	4	3	15
	下路堤	150 以下	3	2	15
零填 及路堑路床		0~30	8	6	10
		30~80	5	4	10

1.2.2 承载比试验的内在机理

根据土力学原理,由土壤形成的“土体”在贯入试验中所反映的强度实质上

是它的局部抗剪切强度,并以此来间接评价其抗局部剪切强度。土层的贯入度是表征土层强度的指标,工程勘察中常用的原位测试方法如标准贯入试验、动力触探试验均出自此原理。承载比是反映在贯入试验之后,试件中部分土体与整体之间产生相对位移(即剪切)时,在滑动面(即剪切面)上所产生的抗剪切力特性的表征,是其“潜在强度”的反映。所谓“潜在强度”是指土体的抗局部剪切力强度,反映到公路路基上则是指路基的抗局部剪切力的能力。车辆轮载通过柔性路面时经过路面局部施加到路基上(通过刚性路面是通过整个水泥混凝土块整体施加到路基上),因此,承载比试验被国外列入柔性路面设计的组成部分。

抗剪强度用库仑公式表示为

$$\tau = \sigma \tan \varphi + c \quad (1-2-1)$$

由式(1-2-1)可知,土的抗剪切力由两个部分组成:黏聚力 c 和内摩擦力 $\sigma \tan \varphi$ 。黏聚力阻止土体颗粒位移,是土体联结力的反映;当剪应力克服了黏聚力以后阻止土体颗粒移动的就是内摩擦力;当剪应力最终达到黏聚力和内摩擦力的总和时,土体被破坏。

承载比试验就是模拟公路路基填料在满足压实度的情况下,当处于最不利环境(被水浸泡,土颗粒间孔隙被水充填,填料联结强度降低)时的强度特征。在公路路基设计中,不同路基填料也具有不同的贯入量,其强度也不同,一般采用贯入量为 2.5mm 时压力与标准压力之比作为材料的 CBR 值。

1.2.3 世界各国室内承载比试验比较与分析

依据《室内击实土 CBR 值标准试验方法》(ASTM D1883—2007e2),试验的目的是用于评价公路路基、基层及底基层材料的潜在强度。

1. 试样的准备

击实筒内径为 150mm 时,试样中填料的容许最大颗粒粒径究竟达到何种程度,以及其对击实后试样的密度、强度有何不利影响,目前尚无统一的认识。一般而言,以击实筒内径的 $1/4 \sim 1/3$ 作为粒径的最大尺寸界限,即 150mm 内径的击实筒其容许最大粒径为 38.1mm。

为了提高试样承载比试验的准确性,ASTM 规定:承载比试验主要用于评价最大粒径小于 19.1mm 的黏性填料的强度,但并不仅限于此。当试样中的最大粒径大于 19.1mm 时,必须对材料的级配进行修正,除去 19.1mm 标准筛余的粗粒部分,补充与上述 19.1mm 筛筛余部分同等质量的、粒径介于 4.76~19.1mm 的填料。该方法避免了因承载比试验仪器中大颗粒存在而导致的误差。虽然修正后填料的强度特征与原材料有所不同,但实践表明,该方法可以满足设计要求。英国标准规定粒径大于 20mm 的筛余部分不超过 20% 时才能进行试验。

日本标准将最大粒径分两种情况考虑：当最大粒径大于 19.1mm、小于 38.1mm 时，处理方法同美国标准，而当最大粒径大于 38.1mm 时，略去粒径大于 38.1mm 部分后，进行试样制作。为保证试验材料 CBR 值的准确，试验时应尽量避免 CBR 试筒中的大颗粒，毕竟修正的材料强度特性会明显不同于原始材料，另外含有大颗粒材料的试验结果比细颗粒的材料试验结果稳定性差。我国现行的《公路土工试验规程》规定室内承载比试验中试样的最大粒径宜控制在 25mm，最大不得超过 38mm。试验时将粒径大于 38mm 的颗粒筛除。

2. 试样制备

首先对试料进行重型击实试验，确定其最大干密度和最佳含水率。表 1-2-2 是几个国家的承载比试验试样制备仪器规格。

表 1-2-2 不同国家的承载比试验试样制备仪器规格

仪器规格		美国 ASTM D1883—2007e2	英国 BS 1377—4	日本 JIS A 1211—2009	日本《沥青路面 设计纲要》	中国 JTG E40—2007
击锤	质量/kg	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
	落高/mm	45.7	45.0	45.0	45.0	45.0
击实筒	内径/mm	152.4	152.0	150	150	152
	容积/mm ³	2144	2305	2209	2209	2177
击实层数		5	5	5	3	3
每层击实次数		56	62	55	92	98
平均单位击实功 /[$(N \cdot cm)/cm^3$]		2725	2672	2521	2530	2735
贯入杆直径/mm		49.6	49.6	50.0	50.0	50.0
容许最大粒径/mm		19.1	19.1	19.1	38.1	38.0

3. 浸水 4 昼夜(96h)膨胀量测试

为了模拟土基和材料处于最不利状态时的强度状态，预测填料在使用期间经历气象变化和长期使用过程中的含水率变化及在最恶劣情况下来推算 CBR 值，在一般情况下的承载比试验，可按饱水 4 昼夜(96h)作为设计状态。96h 的浸泡试样饱和度一般可达 75%~95%。

承载比试验中规定浸水 96h，主要是按最不利的条件进行测定，以便对各种土基和材料作相对强度的比较，但不能正确反映实际的环境因素。有的国家认为不一定浸水 96h，而是按路段可能的不利状态进行测定。因此按照不同的浸水时间会得出不同的 CBR 值，世界各国的柔性路面设计方法中承载比设计曲线多达

数十种,且差别较大。

4. 贯入试验

承载比试验中加荷使贯入杆以一定的速率压入试件,记录不同的贯入量及其相应荷载。

各国对贯入杆的贯入速率有不同的规定标准:美国 ASTM 规定贯入速率为 1.27mm/min。英国 BS 1377 规定贯入速率为 1.2mm/min。日本 JIS A 1211 规定为 1.0mm/min,我国 JTG E 40—2007 采用 1.0~1.25mm/min 的标准。

浸水和贯入试验中在试样顶部进行荷载板加重的目的是使施加于试样表面的压力等于该材料层路面的压力,从而使试样在受到一定约束力的条件下进行试验。各国均统一采用施加 5kg 荷载的标准方法。

由于土样的结构、湿度和密度对其 CBR 值有较大影响,试验方法与被试验的材料类型有关,颗粒状土在浸水时不会产生很大的膨胀,因而试验时压重大小影响不大,而对黏性土,如果浸水期间采用不同的压重,将对 CBR 值有很大影响。

5. CBR 值计算

绘制单位压力 p 与贯入量 L 关系曲线,读取贯入量 2.5mm 和 5.0mm 所对应的单位压力 $p_{2.5}$ (kPa) 和 $p_{5.0}$ (kPa),按下式计算 CBR 值为

$$\left. \begin{aligned} \text{CBR}_{2.5} &= \frac{p_{2.5}}{7000} \times 100\% \\ \text{CBR}_{5.0} &= \frac{p_{5.0}}{10\,500} \times 100\% \end{aligned} \right\} \quad (1-2-2)$$

美国、日本及我国标准要求材料的承载比(CBR 值)一般采用 $\text{CBR}_{2.5}$,若 $\text{CBR}_{2.5} > \text{CBR}_{5.0}$,试验重做。若试验结果仍然如此,则采用 $\text{CBR}_{5.0}$ 。英国标准以 $\text{CBR}_{2.5}$ 和 $\text{CBR}_{5.0}$ 较大值作为其最终结果。

6. 承载比试验结果的随机误差校正

在试样制作过程中,由于试样表面不十分平滑,最初在对试件贯入时,贯入阻力并没有相应成比例增加,从而使曲线向上凹。为了得到应力-应变关系的真实曲线,对接近原点的这一段上凹曲线应进行修正。方法是将曲线的直线段向下延长并与横坐标相交,将交点作为修正后的曲线原点,如图 1-2-1 所示。修正后的曲线以修正贯入量进行 CBR 值计算。

7. 适用界限

对于 CBR 值小于 2% 的软土,在承载比试验中常常产生机械误差和人为误