

GEOTECHNICAL ENGINEERING RESEARCH

岩土工程研究

(2)

主 编 杜时贵

副主编 罗战友 许四法 刘俊龙

地震出版社

图书在版编目(CIP)数据

岩土工程研究. 2/杜时贵主编. —北京:地震出版社, 2007. 05

ISBN 978 - 7 - 5028 - 3075 - 5

I. 岩… II. 杜… III. 岩土工程—研究 IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 027400 号

地震版 XT 200700057

内 容 提 要

本书是浙江建设职业技术学院岩土工程研究所连续性出版物《岩土工程研究》的第二本, 它汇集了该所同仁 2006 年度的最新研究成果。内容涉及轻量土新技术、边坡处理技术、垃圾填埋技术、混凝土技术、结构面粗糙度系数研究、工程测量技术、基坑处理、工程结构等。本书适合于从事土木工程勘察、设计施工、监理和管理等相关人员参考, 也可作为相关专业的大中专院校的师生学习参考用书。

岩土工程研究 (2)

杜时贵 主编

责任编辑: 陈晏群

责任校对: 郭京平

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印厂

版(印)次: 2007 年 4 月第一版 2007 年 4 月第一次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

字数: 448 千字

印张: 17.5

印数: 001 ~ 700

书号: ISBN 978 - 7 - 5028 - 3075 - 5/TU · 235 (3714)

定价: 42.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

编 委 会

名誉主任：徐公芳 丁夏君

主 编：杜时贵

副 主 编：罗战友 许四法 刘俊龙

委 员：张 敏 沙 玲 姜 健 刘世美 来丽芳

王晓翠 胡晓飞 楼建东 李 强

前 言

浙江建设职业技术学院作为浙江省唯一的一所公办建设类高职院校，办学历史已近 50 年。经过近半个世纪的发展，学院已成为浙江省建设行业人才培养的基地和摇篮，很好地发挥了服务社会、服务经济、服务行业的作用。他们为浙江省建设系统和地方经济建设输送了各类人才逾万名，已经成为浙江省建设事业中一支不可缺少的中坚力量。为了进一步加强内涵建设，开展以应用研究为特色的科学研究活动，学院于 2005 年 5 月 3 日创建了岩土工程研究所。该研究所由著名工程地质学专家王思敬院士任名誉所长，结构面粗糙度系数研究专家、浙江省高校名师杜时贵教授任所长。

岩土工程研究所自成立以来，学术氛围浓郁，研究思路活跃，研究所成员科研热情高、凝聚力强。研究所现有成员 38 名，其中博士 6 名，硕士 17 名。他们分别来自浙江建设职业技术学院、浙江工业大学、浙江科技学院、浙江省交通规划设计研究院、温州工程勘察院、金华职业技术学院等单位。研究所还吸收了 25 名在校学生参加科学研究工作，并为每一名学生配备 1 名指导教师。研究所坚持每周一次学术活动。活动内容涉及外请专家报告、研究所成员学术报告、课题研究进展专题、学位论文开题与答辩预演等。

岩土工程研究所创办至今已取得一批科研项目与成果。其中：获得国家自然科学基金 1 项；浙江省重大科技专项项目、浙江省重点科研项目、省自然科学基金、建设部科技项目、省教育厅、省建设厅等 26 项省厅级课题、18 项院级项目和 20 项岩土工程研究所项目；浙江省科学技术二等奖 1 项、金华市科学技术一等奖 1 项、浙江省高校科研成果三等奖 1 项；有 12 项发明专利申请被受理、3 项发明专利和 3 项实用新型专利被授权；发表学术论文 42 篇、出版专著 2 部、标准 1 册。其中，“大尺度结构面力学性质稳定阈值评价方法”是浙江省高职院校历史上第一项国家自然科学基金；“工程岩体结构面抗剪强度可靠度关键技术开发”是浙江省高职院校历史上第一项浙江省重大科技专项项目；“岩体结构面抗剪强度经验估算方法的应用研究”是浙江省高职院校历史

上第一项浙江省自然科学二等奖的成果;“大尺度结构面粗糙度系数稳定阈值评价方法研究”是学院历史上第一项省自然科学基金,使学院成为浙江省内高职院校中第二家获得省自然科学基金的单位。

王思敬院士高度关注岩土工程研究所的成长,亲自参加了岩土工程研究所成立一周年的庆祝活动,并主持召开浙江省 2006 年环境与地质灾害国际论坛。2006 年 11 月,王院士再次来到岩土工程研究所,当他看到研究所科研活动如此活跃,感到十分高兴与欣慰,他认为高职院校的研究机构能长期坚持学术活动,难能而可贵。王院士勉励研究人员,要将自己的兴趣与国家需要相结合,将个人志愿、抱负与国家发展相迎合,为了祖国的召唤而努力奋进。我们对王思敬院士具体指导岩土工程研究所的科研工作表示崇高的敬意和衷心的感谢!

本书是我所连续性出版物的第二本,它汇集了岩土工程研究所同仁 2006 年度的最新研究成果。与第一本相比,所选论文无论在数量上还是在质量上都有进步和提高。总的来说,本书具有以下特点:①作者面广,尽量收集了浙江省几大院校及设计院从事岩土工程技术的人员的最新研究成果。此外我们还登载了岩土工程研究所以外研究人员的成果;②涉及的内容非常丰富,其中包括了轻量土新技术、边坡处理技术、垃圾填埋技术、混凝土施工技术、结构面粗糙度系数研究、工程测量技术、基坑处理、工程结构等;③大部分论文的成果属于原创性成果,其中不乏高水平的优秀论文。这次文集还收录了 2 篇浙江建设职业技术学院在校学生的科研论文,真是难能可贵。

浙江省建设厅张苗根厅长,赵如龙、贾宝林、张文平副厅长以及各职能处室的领导对岩土工程研究所的发展也给予了积极支持,在本书出版之际一并表示感谢!浙江建设职业技术学院领导特别是徐公芳书记和丁夏君院长对岩土工程研究所给予极大的关注和全力的支持,这是本书得以顺利出版的重要保证,在此表示特别的感谢!

本书编辑出版历时半年,数易其稿,但限于水平有限,仍不免有许多错误,敬希读者指正。

作 者

2007 年 2 月 15 日

目 录

桥台背轻量土对路桥过渡段沉降影响的数值模拟及参数研究

.....杜时贵 罗战友 林伟军 张 敏 (1)

金丽温高速公路石帆边坡稳定性研究.....杜时贵 蒋 学 王晓翠 马小杰 (12)

干燥环境条件下大掺量矿物掺和料高强混凝土的抗冻性

.....刘俊龙 余红发 李美丹 王甲春 (18)

短肢剪力墙中相关参数对其弹塑性性能的影响

.....刘世美 李启华 向 芳 毛玉红 (26)

隧道压力拱与围岩变形关系的分析梁晓丹 宋宏伟 赵 坚 (31)

锤击数对轻量土性能的影响分析

.....李永涛 陈中龙 赵 伟 楼华峰 杜时贵 罗战友 (37)

试件尺寸对轻量土性能的影响分析

.....陈晓东 楼永波 蔡晓杰 杜时贵 罗战友 (43)

结构面粗糙度系数 Barton 直边法的简明公式.....胡晓飞 杜时贵 (49)

轻量土弹性波速的超声试验研究

.....沙 玲 杜时贵 罗战友 林伟军 张 敏 (56)

GPS 技术在杭州湾大桥控制测量中的应用

.....来丽芳 杜时贵 陈桂珍 陈 江 杜向科 (61)

杭嘉湖地区淤泥物理力学指标相互关系研究

.....翁新海 邢恩达 王晓翠 (69)

声波波速划分岩体卸荷带的试验研究.....翁新海 王晓翠 (73)

全站仪常数的简易测定.....米延华 刘立新 (79)

桩端压浆对单桩承载力的影响研究虞焕新 林滨滨 陈杭旭 蔡祖炼 (83)

粮库大跨度预应力拱板“空中制作滑移法”施工	张小建 林滨滨 (88)
商住楼框架结构梁板裂缝成因分析	张小建 林滨滨 (96)
减小混凝土连续梁负弯矩处裂缝宽度的方法	陈杭旭 虞焕新 蔡祖炼 程志高 杨文领 (101)
垃圾衍生燃料热重-红外联用法的热解特性	陈 江 许四法 来丽芳 (106)
混凝土浇筑路径与模板支撑架内力响应	陈园卿 赵智权 章雪峰 (112)
MATLAB 与 VB 结合在 GPS 周跳探测中的应用	杜向科 (118)
镁合金表面处理研究进展	干学宏 王 伟 梁师俊 (123)
项目工期估算的风险分析方法	高 颖 杜时贵 (130)
型钢混凝土梁柱刚性节点构造	胡轶敏 毛玉红 徐少华 袁 震 (138)
轻量土的无侧限抗压强度及湿密度的影响因素分析	姜 健 罗战友 汤 捷 陈中龙 (145)
斜梁式浅埋箱型卸煤沟模型试验研究	李 强 王伟东 (152)
青藏铁路道碴层热动态监测分析	马小杰 张建明 张明义 张小建 (168)
土钉支护技术在软土基坑中的应用	沈 毅 余伯增 徐汉勇 林滨滨 (175)
碳纤维布加固混凝土圆截面短柱抗震性能试验研究	王 伟 张小建 (180)
煤矸石喷射水泥的工程应用	王晓翠 陆生发 杨先忠 潘丽君 (187)
上下角钢半刚性节点的初始转动刚度研究	向 芳 余伯增 陈园卿 杨文领 (193)
圆中空夹层钢管混凝土柱的受箍机理理论分析	徐汉勇 夏玲涛 王 伟 林滨滨 (199)
垃圾填埋场防渗系统构造及其界面摩擦特性	毛玉红 沙 玲 向 芳 胡轶敏 徐汉勇 (206)
垃圾填埋场渗滤系统渗透性能经时变化的研究	施 炯 陈 江 刘世美 汤 捷 许四法 (213)

垃圾填埋场土工膜破坏原因分析

.....阮国海 毛玉红 胡轶敏 陈 江 许四法 (221)

浅论典型沙漠公路施工单银丽 杨文领 陈园卿 向 芳 (227)

静压预应力管桩沉桩阻力的分析和估算

.....余伯增 沈 毅 向 芳 徐汉勇 (233)

城市预应力管桩施工措施的工程实例分析

.....张 敏 林滨滨 宋慧章 石立安 (238)

GPS 天线相位中心偏差的数据处理方法研究

.....陈桂珍 来丽芳 杜向科 高 颖 陈 江 (241)

建筑绿色度的综合评价研究...侯 玲 李 颖 (248)

智能 JRC 测量仪的结构设计.....蒋 学 杜时贵 (254)

浅谈对健康住宅的理解刘继状 (260)

附录：2006 年度浙江建设职业技术学院岩土工程

研究所学术活动汇总表..... (265)

Contents

Numerical Simulation and Factor Studies of Settlement at the Transition Section Between Bridge Abutment and Embankment of Light-weight Soil	Du Shigui Luo Zhanyou Lin Weijun Zhang Min (1)
Study on the Stability of Shifan Side Slope of The Jin-li-wen Highway	Du Shigui Jiang Xue Wang Xiaocui Ma Xiaojie (12)
Freeze-thaw Durability of High Strength Concrete with High Volume Mineral Admixtures at Dry Environment	Liu Junlong Yu Hongfa Li Meidan Wang Jiachun (18)
The Influence of Relevant Parameters on The Elasticity and Plasticity in the Shear Wall Structure with Short Leg	Liu Shimei Li Qihua Xiang Fang Mao Yuhong (26)
Analysis on the Relationship of Arching Action and Displacement of Rock Mass Around Underground Openings	Liang Xiaodan Song Hongwei Zhao Jian (31)
Effect Analysis of Hammer Number on the Properties of Light-weight Soil	Li Yongtao Chen Zhonglong Zhao Wei Lou Huafeng Du Shigui Luo Zhanyou (37)
Effect Analysis of Specimen Size on The Properties of Light-weight Soil	Chen Xiaodong Lou Yongbo Cai Xiaojie Du Shigui Luo Zhanyou (43)
Concise Formula of Joint Roughness Coefficient Straight Edge	Hu Xiaofei Du Shigui (49)
The Ultrasonic Experimental Study on Elastic Velocity of Light Soil	Sha Ling Du Shigui Luo Zhanyou Lin Weijun Zhang Min (56)
The Application of the GPS Technology in the Hangzhou Bay Bridge Building Control Survey Project	Lai Lifang Du Shigui Chen Guizhen Chen Jiang Du Xiangke (61)
Studies of Physics Mechanics Index Sign Correlation of sign correlation Sludge in Hangjiahu Area.....	Weng Xinhai Xing Enda Wang Xiaocui (69)
Test and Study of the sonic velocity partition rock stress-release strap	Weng Xinhai Wang Xiaocui (73)

Simple Determination of Constant of the Total Station·····	Mi Yanhua Liu Lixin (79)
Study of Influence of Slurry Grouting of Pile Bottom on Bearing Capacity of Pile ·····	Yu Huanxin Lin Binbin Chen Hangxu Cai Zhulian (83)
“Manufacturing and Sliding in-air Method” Installation of Large Span Prestressed Arch Bar of a Grain Depot ·····	Zhang Xiaojian Lin Binbin (88)
Crack Analysis of Building Frame Structure of a Commercial and Residential Building ·····	Zhang Xiaojian Lin Binbin (96)
The Method Decrease of Crack Width of Concrete in the Place Having Negative Bending Moment in Continuous Beams ·····	Chen Hangxu Yu Huanxin Cai Zulian Chen Zhigao Yang Wenling (101)
Analysis of Pyrolysis of Rdf by Tg-Ftir Techniques ·····	Chen Jiang Xu Sifa Lai Lifang (106)
Different Selection of The Placing Route of Concrete and Responsdence in Formwork Supporting System ·····	Chen Yuanqing Zhao Zhiquan Zhang Xuefeng (112)
Combination of Matlab and Vb Applied in GPS Cycle Slips Detecting ·····	Du Xiangke (118)
Developments about Technology of Magnesium Alloy in Surface Treatment ·····	Gan Xuehong Wang Wei Liang Shijun (123)
The Risk-analysis Method on the Estimate of Project Duration ·····	Gao Ying Du Shigui (130)
Construction for Rigid Joints of Beam-to-column with SRC ·····	Hu Yimin Mao Yuhong Xu Shaohua Yuan Zhen (138)
Analysis on Factors of Unconfined Compression Strength and Density of Light-weight Soil ·····	Jiang Jian Luo Zhanyou Tang Jie Chen Zhonglong (145)
Model Experimental Study on Coal Unloading Chute with Skew Beam ·····	Li Qiang Wang Weidong (152)
In-Situ Investigation on Thermal Variation of Ballast Layer for Qinghai-Tibetan Railway ·····	Ma Xiaojie Zhang Jianming Zhang Mingyi Zhang Xiaojian (168)
The Application of Soil-nailing Technique for Foundation Pit of Soft Soil ·····	Shen Yi Yu Bozeng Xu Hanyong Lin Binbin (175)

Experimental investigation on Seismic Performance of CFRP Retrofited RC Short Columns with Circular Section	Wangwei Zhang xiaojian (180)
Application of Gangue Jet Cement in Engineering	Wang Xiaocui Lu Shengfa Yang Xianzhong Pan Lijun (187)
Research of Initial Stiffness of Top and Seat Angle Connections	Xiang Fang Yu Bozeng Chen Yuanqing Yang Wenling (193)
The Theoretical Analysis of The Hoop Mechanism of Concrete-Filled Double Skin Steel Tubular Columns with Circular Sections in Theory	Xu Hanyong Xia Lingtao Wang Wei Lin Binbin (199)
Study on Structure of Liner System of Landfill and Interface Friction Characteristics	Mao Yuhong Sha Ling Xiang Fang Hu Yimin Xu Hanyong (206)
The Study on The Change of Permeability of Leachate Collection System with Lapse of Time	Shi Jun Chen Jiang Liu Shimei Tang Jie Xu Sifa (213)
Analysis of Damaging Causes of Geomembrane Used in Landfill	Ruan Guohai Mao Yuhong Hu Yimin Chen Jiang Xu Sifa (221)
Research on Characteristic of Desert Highway Construction	Shan Yinli Yang Wenling Chen Yuanqing Xiang Fang (227)
Estimation and Analysis of Sinking Pile Resistance of Jacked Prestressed-Concrete Drille Dpile	Yu Bozeng Shen Yi Xiang Fang Xu Hanyong (233)
Analysis of Some Construction Methods about Prestressed-concrete Pipe Piles on the City Project	Zhang Min Lin Binbin Song Huizhang Shi Li'an (238)
Studies on Data Post-processing Method for GPS Receiver Antenna Phase Center Calibration	Chen Guizhen Lai Lifang Du Xiangke Gao Ying Chen Jiang (241)
Research of Synthetial Assessment in the Green Degree of Buildings	Hou Ling Lin Ying (248)
Structure Design of intelligent JRC Measuring Instrument.....	Jiang Xue Du Shigui (254)
The Comprehension of Healthy Housing.....	Liu Jizhuang (260)
Appendix: Collections of Academic Activities of Institute of Geotechnical Engineering, Zhejiang College of Construction in 2006	(265)

桥台背轻量土对路桥过渡段沉降影响的 数值模拟及参数研究

杜时贵¹ 罗战友^{1, 2} 林伟军¹ 张 敏¹

(1 浙江建设职业技术学院岩土工程研究所 浙江 杭州 322113;

2 浙江科技学院岩土工程研究所 浙江 杭州 310012)

摘 要 采用轻量土路堤是解决路桥过渡段差异沉降的一种有效手段。针对路桥过渡段的实际情况,建立了能够模拟桥台背轻量土对路桥过渡段沉降影响的数值模型。运用得到的有限元模型对路桥过渡段的沉降进行了分析,分别给出了轻量土的密度、模量、泊松比及下卧层地基土的模量对路桥过渡段沉降的影响规律。分析结果表明,在其他因素相同情况下,轻量土的密度及下卧层的模量是路桥过渡段沉降的主要影响因素,轻量土的模量及泊松比对路桥过渡段沉降的影响较小。

关键词 轻量土; 路桥过渡段; 沉降; 数值模拟

1 引言

在软土地基中修筑道路和桥梁,通常会在桥台构筑物与台后填土衔接处存在差异沉降,使得路面形成台阶或显著纵坡变化,从而导致“桥头跳车”的现象(冯忠居、方贻立,1999;秦禄生,1999;俞永,2005)。

软基桥台病害处治方法通常归纳起来主要有五大类(龚晓南,2005):①加桩法;②复合地基法;③结构维护加固法;④分离桥台法;⑤减轻荷载法。以上①~④方法为传统方法,在桥台病害处治中,应用比较常见,其作用机理也很成熟,但具有成本高,周期长等缺点。而⑤方法,则是通过减小填土重量,即通过减小载荷的方法来达到治理病害,这是当今处理桥头跳车中非常引人注目的方法。

常用减轻荷载的填土材料有:土工泡沫塑料(张小平、包承纲,2000)、轻量土(陈忠平、王树林、邓江,2004;肖礼经,2003;长坂勇二、山田纯男,1994)、粉煤灰(刘松,2000)等。其中轻量土具有质轻、高强、性价比高等特点而得到了较为广泛的工程应用。但是由于路桥过渡段不同于一般路堤,其由地基、路基、路面及桥台等组成,很难用简单的理论去计

算,而工程设计中工程技术人员通常根据自己的经验去设计,很难考虑各种复杂因素的相互影响。基于此,本文首先建立相应的有限元数值模型,然后分析了路桥过渡段的沉降影响因素并采取措施。

2 有限元分析在路桥过渡段沉降分析中的几个问题

2.1 有限变形问题(钱家欢、殷宗泽,1996)

由于软基中的沉降量一般较大,地基及路基会产生较大变形,部分土体已进入塑性破坏状态。土体中会产生大位移、大转动、大应变,土体中的应变与位移梯度不成线性关系,小变形假设对这个问题是不适合的,因此应该采用有限变形论描述和分析路基变形问题。

2.2 接触问题(殷宗泽、朱从等,1994)

要得到符合路桥过渡段实际过程的数值模拟就需要考虑一般填土与轻量土填土、轻量土填土与桥台背的界面接触,接触问题是一种高度非线性行为,需要较大的计算资源,为了进行较为有效的计算,理解问题的特性和建立合理的模型是很重要的。为了有效地模拟界面接触问题,本文采用了面面接触模型。面面接触问题通常需要考虑如下因素:

(1) 接触面算法,通常有扩展的拉格朗日算法和罚函数方法。与罚函数的方法相比,拉格朗日方法不易引起病态条件,对接触刚度的灵敏度较小,因此应采用扩展的拉格朗日算法。

(2) 桩土界面的接触刚度。所有的接触问题都需要定义接触刚度,两个表面之间渗透量取决于接触刚度,过大的接触刚度可能会引起总刚矩阵的病态,而造成收敛困难。一般来讲,应该选取足够大的接触刚度以保证接触渗透小到可以接受,但同时又应该让接触刚度足够小以致于不会引起总刚矩阵的病态问题而且能够保证收敛性。通常情况下采用试算来确定接触刚度,即比较相邻两次的计算结果,当差值不大时,说明接触刚度选取的合适。

(3) 摩擦类型。在基本的库仑摩擦模型中,两个接触面在开始相互滑动之前,在它们的界面上会有某一大小的剪应力产生,这种状态则作黏合状态。库仑摩擦模型定义了一个等效剪应力,一旦剪应力超过此值后(一般为桩土界面的极限动摩阻力),两个表面之间将开始相互滑动,这种状态,叫做滑动状态。粘合\滑动计算决定什么时候一个点从粘合状态到滑动状态。

2.3 本构关系问题(郑颖人、沈珠江、龚晓南,2002)

在以前的文献中有采用 Mohr-Coulomb 屈服准则的,有采用修正剑桥模型的,也有采用边界面模型的。现有的大多数本构模型在小应变($<20\%$)的情况下能较好地反映应力应变之间的关系,在大应力大应变的情况下有些本构模型的使用并不理想。因此,选择怎样的本构模型来描述土体的应力应变关系是一个不能轻视的问题。从文献上看,现在广泛使用的模型有修正的剑桥模型和 Mohr-Coulomb 模型。

本文采用 Mohr-Coulomb 模型的近似修正的 Drucker-Prager 屈服准则,其流动准则既可以使用相关流动准则,也可以使用不相关流动准则。

3 有限元模型基本假定与计算简图

3.1 有限元模型基本假定

(1) 路堤和地基土体为连续的弹塑性体，符合 Drucker-Prager 模型，考虑几何非线性和材料非线性；

(2) 采用总应力法进行分析；

(3) 由于桥台沉降相对路基的沉降较小，因此，桥台桩基的沉降忽略不计；

(4) 根据桥台背的实际情况，为了简化计算，采用采用八结点二维平面应变单元来模型路与桥的纵断面；

(5) 轻量土与填土界面采用面一面的摩擦接触单元；接触面的摩擦类型为库仑摩擦；界面接触处于接触且滑动状态。

3.2 计算简图

图 1 显示的是有限元模型简图。沿纵断面从桥头到路取长度为 50m，地基土的原深度为 20m，其下假定为较好的土层，不会产生大的沉降。桥台处的换填深度为 4m。桥台背后的轻量土路堤呈倒梯形状，下底边为 10m，上底边为 16m，轻量土与一般填土路堤之间的坡度为 1:1.5。计算模型的位移边界条件为：左、右竖直边界的水平方向位移被约束，底部边界的水平和竖向位移均被约束，上表面为自由表面。

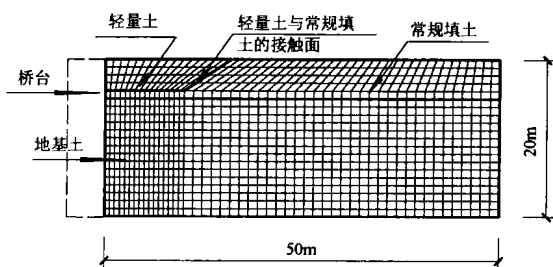


图 1 有限元模型简图

3.3 计算参数的设计

参考算例的材料参数见表 1。

表 1 参考算例的材料参数

	地基土	轻量土	常规填土
E / MPa	2	50	20
μ	0.4	0.3	0.3
$\rho / (\text{kg/m}^3)$	1850	1000	2000
$C / (\text{kPa})$	15	30	25
$\phi / ^\circ$	15	20	0
单元类型	八结点协调单元	八结点协调单元	八结点协调单元

注：路面基层及面层及荷载假定为 30kPa。

4 桥台背轻量土的密度对路桥过渡段沉降的影响分析

4.1 计算参数设定

不同轻量土密度下的算例参数设计见表 2。

表 2 不同轻量土密度下的算例参数设计

	轻量土密度/ (kg/m^3)	其他参数描述		轻量土密度/ (kg/m^3)	其他参数描述
算例 1	400	同参考算例	算例 6	1400	同参考算例
算例 2	600	同参考算例	算例 7	1600	同参考算例
算例 3	800	同参考算例	算例 8	1800	同参考算例
算例 4	1000	同参考算例	算例 9	2000	同参考算例
算例 5	1200	同参考算例			

4.2 轻量土不同密度下的沉降对比分析

图 2 是桥台填轻量土时不同密度下的沉降对比图，图中水平线代表天然土在自重作用下的沉降。由图可知，轻量土的密度越小，其产生的沉降量就越小，沉降量随着轻量土的密度减少近似呈线性增加的规律，因此轻量土的密度对于桥台背填土的沉降量有较大影响。当轻量土的密度 $< 1600 \text{ kg/m}^3$ ，近桥台背填土（轻量土）的绝对沉降比天然土的沉降小，远离桥台背填土（常规填土：砂及碎石）的绝对沉降比天然土的大。这是因为轻量土的重度（ 1600 kg/m^3 ）相对天然土体的重度（ 1850 kg/m^3 ）较小，常规填土的重度（ 2000 kg/m^3 ）比天然土体的重度大而造成的。当轻量土的密度超过 1600 时，而不是超过天然土体的密度，轻量土的沉降会比土体的沉降大，这主要是由路面基层、面层及动荷载产生的。

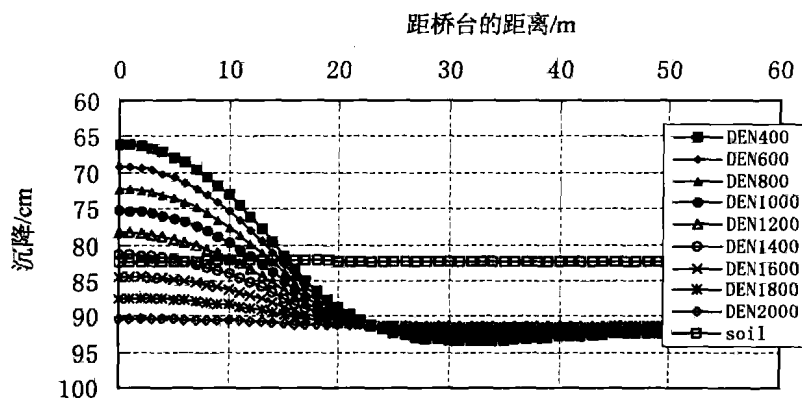


图 2 轻量土密度不同时的绝对沉降对比

图 3 是沉降归一化（沉降的归一化是指填土的沉降与天然土沉降之差与天然土的沉降之间的比值）结果。从归一化的结果可知，当填土深度为 4m 时，只有轻量土的密度 $< 1600\text{kg/m}^3$ ，在桥台背处就不会产生沉降差，也就不会有跳车现象发生。因此，对于工程而言，并不是轻量土的密度越低就越好，而是根据所需的填土深度来决定轻量土的密度才能达到工程性价比高的目的，这是因为密度越低，需要的 EPS 及水泥的用量就较多，因此工程费用就增加较多，但处理效果并没有明显提高。

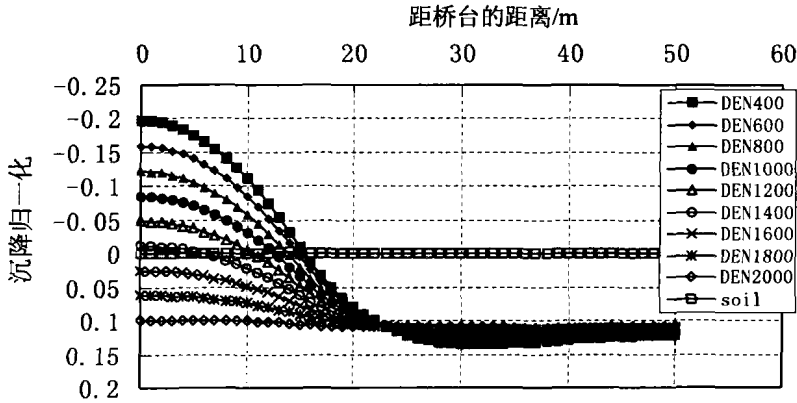


图 3 轻量土密度不同时的沉降归一化对比

图 4 是不同密度情况下的相对沉降对比图。从图中可以看出，轻量土填土与常规填土之间的最大沉降差随着轻量土的密度降低而增大。若轻量土的密度过低就会使轻量土与常规填土之间的最大沉降较大，易形成较大的纵坡率，不利用行车的安全，因此对于桥台背的轻量土应当寻找合适的密度。

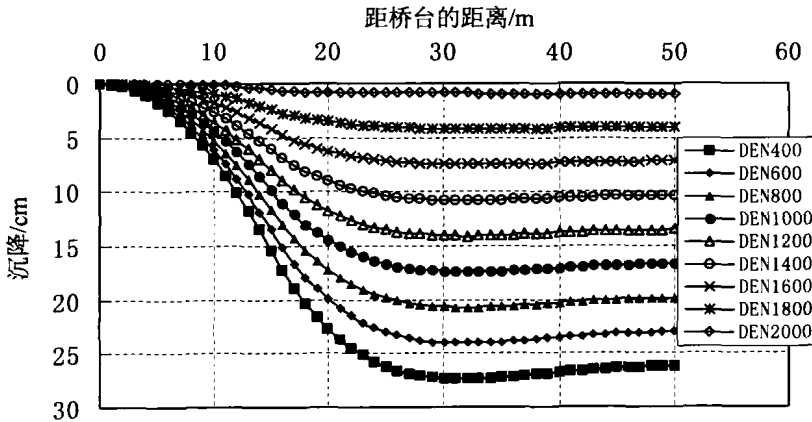


图 4 轻量土密度不同时的相对沉降对比

5 桥台背轻量土的模量对路桥过渡段沉降的影响分析

5.1 计算参数设定

计算参数的设定见表 3。

表 3 不同轻量土模量下的算例参数设计

	轻量土模量/ MPa	其他参数描述		轻量土模量/ MPa	其他参数描述
算例 1	2	同参考算例	算例 6	50	同参考算例
算例 2	5	同参考算例	算例 7	75	同参考算例
算例 3	10	同参考算例	算例 8	100	同参考算例
算例 4	15	同参考算例	算例 9	125	同参考算例
算例 5	25	同参考算例	算例 10	150	同参考算例

5.2 轻量土不同模量下的沉降对比分析

图 5 是桥台填轻量土时不同模量下的沉降对比图，图中水平线代表是天然土在自重作用下的沉降。总体来看，轻量土的模量越大，其产生的沉降量就越小。但是若轻量土的模量 $>10\text{MPa}$ 时，则模量对沉降的影响并不大。根据试验研究，轻量土的模量较大，约为 50MPa ，因这模量对其的沉降的影响可以忽略。

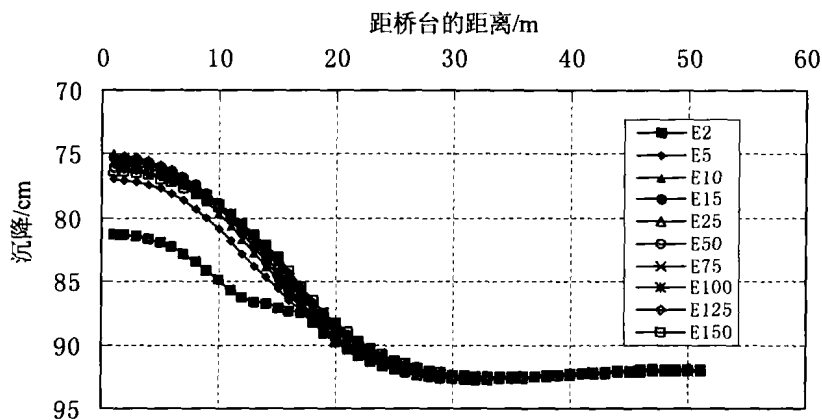


图 5 轻量土模量不同时的绝对沉降对比

图 6 是沉降归一化(沉降的归一化是指填土的沉降与天然土沉降之差与天然土的沉降之间的比值)结果。从归一化的结果可知，当填土深度为 4m 时，只要轻量土的密度 $<1000\text{kg/m}^3$ ，不论模型如何变化，在桥台背处就不会产生沉降差，也就不会有跳车现象发生。