

学校代号 10532

学 号 B220100016

分 类 号 TU473

密 级 普通



湖南大学  
HUNAN UNIVERSITY

## 博士学位论文

# 路面重载下深厚软土地基邻近桥梁

# 桩基累积侧向变形研究

学位申请人姓名 岳成

培 养 单 位 土木工程学院

导师姓名及职称 刘齐建教授

学 科 专 业 土木工程

研 究 方 向 桩基工程与地基处理

论文提交日期 2024年5月31日

学校代号： 10532  
学 号： B220100016  
密 级： 普通

湖南大学博士学位论文

路面重载下深厚软土地基近邻桥梁  
桩基累积侧向变形研究

学位申请人姓名： 岳成  
培 养 单 位： 土木工程学院  
导师姓名及职称： 刘齐建教授  
专 业 名 称： 土木工程  
论文提交日期： 2024年5月31日  
论文答辩日期： 2024年5月31日  
答辩委员会主席： 刘齐建教授

**Lateral cumulative response of adjacent bridge pile in soft clay  
subjected to repeated moving vehicle load**

By

YUE Cheng

B. E. (Central South University of Forestry and Technology) 2019

M. E. (Hunan University) 2022

A thesis submitted in partial satisfaction of the

requirements for the degree of

Doctor of Engineering

in

Civil Engineering

in the

Graduate School

of

Hunan University

Supervisor

Professor LIU Qijian

May, 2024



## 摘 要

中文摘要。

关键词：关键字 1；关键字 2；关键字 n

## Abstract

英文摘要。

**Key Words:** Keyword1; Keyword2; Keywordn

# 目 录

学位论文原创性声明和学位论文授权使用授权书	I
摘要	II
Abstract	III
插图索引	VI
附表索引	VII
<b>第 1 章 绪论</b>	<b>1</b>
1.1 研究背景及意义	1
1.2 国内外研究现状	1
1.3 现有研究存在的不足	1
1.4 主要研究内容及技术路线	1
<b>第 2 章 基本理论</b>	<b>2</b>
2.1 前言	2
2.2 弹塑性动力学基本理论	2
2.2.1 基本假设	2
2.2.2 应力及应变状态	2
2.2.3 弹塑性平衡微分方程	2
2.2.4 屈服与加载函数	2
2.3 Bessel 函数	2
2.4 Bodner-Partom 理论	2
2.5 Tajimi 理论	2
2.6 本章小结	2
<b>第 3 章 往复移动荷载下深厚软土地基桥梁桩基础累积变形试验研究</b>	<b>3</b>
3.1 前言	3
3.2 循环动三轴试验	3
3.3 单桩模型试验	3
3.3.1 试验概况	3
3.3.2 相似关系	3
3.3.3 桩基模型及土物性指标	3
3.3.4 试验工况	3
3.4 双桩模型试验	3
3.4.1 试验概况	3

3.4.2	相似关系	3
3.4.3	桩基模型及土物性指标	3
3.4.4	试验工况	3
3.5	模型试验结果及分析	3
3.6	本章小结	3
第 4 章	交通荷载作用下软土地基长期累积侧向变形研究	4
4.1	前言	4
4.2	本章小结	4
第 5 章	深厚软土区交通荷载下邻近桩基长期累积变形与内力响应理论研究	5
5.1	前言	5
5.2	本章小结	5
第 6 章	交通荷载下软土累积变形及其对近邻桩基影响的数值模拟研究	6
6.1	前言	6
6.2	本章小结	6
结论与展望		7
参考文献		8
附录 A (发表论文和参加科研项目)		9
致谢		10

## 插图索引

## 附表索引

表 1.1 不同计算方法计算软硬界面处桩身弯矩·····	1
------------------------------	---



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 研究背景及意义

为了最小成本和合理有效地利用土地资源，软土区高架桥梁下空间被不断开发为并行道路。此时并行道路交通荷载将引起软土出现累积沉降和侧向塑流，并导致近邻桥梁桩基产生附加应力和变形，从而影响上部结构安全性和高架运营。已有的海口市南海大道高架（如图 1.1），因软土累积侧向变形导致桥梁桩基础出现病害。目前，对该类工程问题的研究相对缺乏，其对上部结构的影响、软土区土的塑流及桩土相互作用机理等科学问题尚未得到有效解决，亟需开展研究。<sup>[1~5]</sup>

软土地区城市桥梁桩基和道路交通设施的相互影响不可忽略。我国经济活跃区集中的长三角和珠三角软土地区，城市圈扩张对岩土工程带来了不小挑战。如正建造的粤港澳大湾区南中特大桥工程，全长 32.248km 范围内除几座悬索桥外，其余均采用高架梁桥方式，其下设计为并行城市道路，如图 2 所示。如采用地基处理等方式对并行道路路基进行整治，以减小交通荷载对近邻桥梁桩基影响，其经济和建设成本将十分巨大。

道路交通荷载运行时将在地基中产生外行波，将导致软土出现附加应力和变形，进而迫使近邻桩基出现水平偏移，如图 3 所示。因此，准确评估并行道路交通荷载对高架桥桩基影响，设置桥墩桩基最小安全距离，对工程安全和经济效益至关重要。

表 1.1 不同计算方法计算软硬交界面处桩身弯矩

作者	方法	公式
1	1	1

## 1.2 国内外研究现状

## 1.3 现有研究存在的不足

## 1.4 主要研究内容及技术路线

## 第 2 章 基本理论

### 2.1 前言

### 2.2 弹塑性动力学基本理论

#### 2.2.1 基本假设

#### 2.2.2 应力及应变状态

#### 2.2.3 弹塑性平衡微分方程

#### 2.2.4 屈服与加载函数

### 2.3 Bessel 函数

### 2.4 Bodner-Partom 理论

### 2.5 Tajimi 理论

### 2.6 本章小结

## 第3章 往复移动荷载下深厚软土地基桥梁桩基础累积变形试验研究

### 3.1 前言

### 3.2 循环动三轴试验

### 3.3 单桩模型试验

#### 3.3.1 试验概况

#### 3.3.2 相似关系

#### 3.3.3 桩基模型及土物性指标

#### 3.3.4 试验工况

### 3.4 双桩模型试验

#### 3.4.1 试验概况

#### 3.4.2 相似关系

#### 3.4.3 桩基模型及土物性指标

#### 3.4.4 试验工况

### 3.5 模型试验结果及分析

### 3.6 本章小结

## 第 4 章 交通荷载作用下软土地基长期累积侧向变形研究

### 4.1 前言

### 4.2 本章小结

## 第 5 章 深厚软土区交通荷载下邻近桩基长期累积变形与 内力响应理论研究

### 5.1 前言

### 5.2 本章小结

## 第 6 章 交通荷载下软土累积变形及其对近邻桩基影响的 数值模拟研究

### 6.1 前言

### 6.2 本章小结

## 结论与展望

总结。

## 参考文献

- [1] Dai D H, El Naggar M H, Zhang N, et al. Kinematic response of an end-bearing pile subjected to vertical P-wave considering the three-dimensional wave scattering. *Computers and Geotechnics*, 2020, 120: 103368
- [2] Dai D H, El Naggar M H, Zhang N, et al. Rigorous solution for kinematic response of floating piles subjected to vertical P-wave. *Applied Mathematical Modelling*, 2022, 106: 114–125
- [3] Anoyatis G, Lemnitzer A. Dynamic pile impedances for laterally-loaded piles using improved Tajimi and Winkler formulations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2017, 92: 279–297
- [4] Council A T, of California S E A. Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings, volume-3. US Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1978
- [5] 陈文龙, 马建林, 王吉等. 地震作用下饱和砂土中斜桩基础动力特性振动台试验研究. *铁道科学与工程学报*, 2021, 18(5): 1131

## 附录 A (发表论文和参加科研项目)

- [1] **Yue C**, Liu Q\*. Complex function method for the scattering of harmonic plane waves by an arbitrary-shaped cavity in an unsaturated medium. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2023, 173: 108139
- [2] **Yue C**, Liu Q\*. Dynamic response of a shallow lined circular tunnel by incident P1 and SV waves in an unsaturated half-plane. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2023, 141: 105363
- [3] **Yue C**, Liu Q\*. Diffraction of P1, SV, or Rayleigh waves by an arbitrary-shaped canyon in an unsaturated half-plane. *Computers and Geotechnics*, 2024, 141: 105363
- [4] **Yue C**, Liu Q\*. Analytical solution for kinematic response of end-bearing group piles subjected to vertically incident P wave. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 2024, 141: 105363
- [5] **Yue C**, Yue S, Yang Y, Lin C, Liu Q\*. Experimental investigation on cumulative behavior of adjacent pile in soft clay under repeated moving vehicle load. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2024, 141: 105363
- [6] **Yue C**, Yue S, Yang Y, Lin C, Liu Q\*. Experimental investigation on cumulative behavior of adjacent pile in soft clay under repeated moving vehicle load. *Acta Geotechnica*, 2024, 141: 105363
- [7] **Yue C**, Liu Q\*. Dynamic response of twin lined circular tunnels by incident P1 and SV waves in the unsaturated medium. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2023, 141: 105363

## 致 谢

山中不知岁月改，春洲六度听绵蛮。行文至此，硕士论文已接近尾声。三年时间如白驹过隙，悄然回首，硕士阶段的学习生涯是我人生中进步最大、成长最快的阶段。在逸夫小楼中，曾与许多勇敢赤诚的人邂逅相逢，恣意挥洒过太多的青春与汗水，这三年是美好难忘的三年。

桃李不言，下自成蹊。感谢恩师刘齐建教授。刘老师渊博的专业知识、严谨的治学态度，精益求精的工作作风，诲人不倦的高尚师德，严于律己、宽以待人的崇高风范，朴实无华、平易近人的人格魅力对我影响深远。这三年来，在刘老师的谆谆教诲下，我对自己的未来道路更加坚定，也将继续求学，勇往直前。感谢岩土与地下工程系各位老师，在硕士期间的学习科研方面提供了许多帮助，从各位老师身上，我掌握了许多岩土工程领域的相关专业知识，拓宽了视野，学会了博学睿思、勤勉致知的精神。

感谢师兄刘欢、王剑波、林聪煜、王敏，同门曾玮毅，师弟梁超、胡承龙、陆宸宇、方鑫、苏耀辉、杨益、姚府安、文港。难忘的时光离不开同学们的陪伴，和众位师兄的相处使我的学习生涯更为丰富多彩。

漫漫求学路，悠悠父母心。最后，感谢我的家人，感谢徐婉婷小姐，感谢你们的呵护包容和无私奉献。充满希望与挑战的登高路上离不开你们的陪伴与支持，美好的时光总有你们的欢声笑语，希望你们身体健康，平安喜乐。乘风破浪会有时，直挂云帆济沧海。

岳成

二〇二六年五月

于岳麓山下