

桩基承载性能时空效应新理论

李素华¹ 周 健² 殷建华³

(1. 广东省建设工程质量安全监督检测总站, 广州 510500;
2. 同济大学, 上海 230092; 3. 香港理工大学土木工程系, 香港)

摘要: 本文充分考虑复杂地质条件下桩-土和土-土相互作用的时间效应和空间效应对桩基承载性能的影响, 将土的流变学理论与桩基承载性能综合弹性理论法相结合, 建立一套完善、实用的桩土体系力学模型, 创建了桩土承载性能时空效应分析新理论, 提出了计算桩基承载性能时间和空间效应计算分析方法。结合试验研究和应用实例进行验证。该理论可用于指导桩基础设计时计算单桩的承载性能, 预测单桩承载力和沉降随时间的变化趋势, 达到有效地控制基础沉降的目的; 用于桩基础施工质量的验收, 计算基础的荷载-沉降关系, 弥补目前桩基础检测技术的不足。

关键词: 桩基; 流变学; 承载性能; 时空效应; 线性粘弹性变形层模型; 极限流变剪切元

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1674-2133(2008)01-28-07

New Theory on The Spatiotemporal Effect of Pile's Bearing Performance

LI Su-hua¹ ZHOU Jian² YIN Jian-hua³

(1. GuangDong Provincial General Station For Supervision And Examination of Quality And Safety of Construction, Guangzhou 510075, China; 2. Tong University, Shanghai 230092, China 3. The HongKong polytechnic University, Hongkong, China)

Abstract: Some research work on the spatiotemporal effect of pile-soil system was done in this part, and subsequently, a relative perfect pile-soil system analytical model was established to research the mechanism of spatiotemporal effect. Correspondingly, the analytical and half-analytical solution of the spatiotemporal effect of single pile's bearing performance was presented, with a computer procedure being developed. This new theory could be used to calculate pile's bearing performance, predict the variational tend of the foundation's bearing force and displacement, to control the settlement, and to check and accept the construction quality, which would make up for the deficiency of the foundation test technique at present.

Keywords: Pile foundation; rheology; Bearing Performanc; spatiotemporal effect; linear vis-elastic deformation layer model; extreme shear rheology unit model

1 引言

1.1 问题提出

土木工程是城市化建设和发展的命脉。土木工程中市政、道路、桥梁和房屋建筑的工程质量又是确保创建和谐社会、防止公共灾害的重中之重。地基基础是确保建(构)筑物工程质量和使用寿命的关键。地基基础灾害归纳起来, 有设计不当(灾害)、施工质量隐患(灾害)、也有地质条件等因素引起的工后沉降和坍塌等灾害。目前桩基础是房屋建筑工程和市政设施工程最为重要

和广泛的基础形式, 城市建筑防灾、抗灾, 关键在于桩基础的合理设计和施工, 以及设计和施工时能够预测工后沉降随时间的变化, 做到预先控制, 合理设计, 减少或消除建(构)筑物的安全隐患, 提高建筑物使用寿命, 确保工程质量, 保障社会的和谐发展。由于地质条件的复杂性和建筑物形式的多变性, 各种桩型、桩径、桩长的桩得以广泛应用, 我省广泛应用的桩基础的类型有预制桩(高强预应力管桩、方桩)、沉管灌注桩、挖孔桩、钻(冲)孔灌注桩等, 桩的直径由300mm至3m, 入土深度(桩长)短的5~10m、长的达60多m, 为桩基础的承载性能的设计计算带来较大的难度。

收稿日期: 2007-12-20

注: 2004年广东省重点科技计划项目; 该成果获2007年度广东省科学技术成果一等奖候选, 2007年度广东省科学技术成果二等奖。

作者简介: 李素华, 博士, 教授级高级工程师。1986年毕业于中国科学技术大学近代力学系。主要从事地基基础科研和建设工程质量检测鉴定技术管理等工作。曾获广东省科学技术成果奖二、三等奖2项, 厅局级科学技术成果奖一、二、三等奖共5项, 国内外公开刊物发表论文30篇, EI收录5篇。

由于岩土介质承载性能具有时间相关性,即流变特性,软土的流变性质可能会对土工建筑物的安全产生重要影响。荷兰的佛拉格门(Vlaggerman)大桥、齐特兹(Zuiderze)海堤及铁路的软土路基均因土体流变而发生破坏。苏联某电站岸坡有厚达60m的滑动土体,底面斜坡倾角为 $8^{\circ}30'$,而常规试验测定的短期最小内摩擦角达 14° ,蠕变位移速度每年不超过2cm,但长期的蠕变变形导致电站建筑面临危险。苏联还有一码头,由于剪应力长期作用,每年以约1cm的速度缓慢移动,在70~100年时间内最大位移高达50~80cm,对码头结构产生严重的影响,意大利比萨斜塔就是因土的流变特性而产生严重倾斜的典型实例。

基桩的承载性能随着时间发生变化,即具有时间相关性。大量试验表明,在建筑物建成很久以后,基础仍然存在着较明显的沉降变化。桩基础在施工完成后,土的蠕变和松弛使桩间土应力逐渐减小,位移逐渐增大。桩体内力逐渐增大,可能会影响上部结构的安全,基础的位移逐渐增大,可能会产生不均匀沉降,使建筑物发生变形、开裂甚至倾斜、倒塌。新建建筑物,基础沉降会维持相当长时间(几年至十几年甚至更久),即为沉降的时间效应。

目前能够采取的措施通常是在建筑物竣工后,继续对其进行沉降观测以确定其是否发生不均匀沉降或了解其稳定性,大量的观测结果表明,建筑物的沉降在竣工2~3年后依然没有停止,有的持续到十年、二十年,甚至更久都无法稳定,严重的引致建筑物的破坏。目前桩基设计计算理论无法做到设计时对建筑物沉降的有效控制,为设计时的沉降控制带来较大的盲目性。所以基桩沉降的时间效应问题,即建筑物稳定性控制问题是目前土木工程界关键技术难题。

1.2 国内外技术现状

桩土承载性能的研究计算方面,国内外的学者做了一定的工作^[1-5]。但在涉及考虑桩土相互作用的时效性及空间作用方面的工作报导仍较少。在计算桩基承载性能时间效应的研究仍处于摸索阶段,所用的理论模型较为简化,如均质各向同性弹性体,桩土无相对滑移,不考虑桩土的相互作用,不考虑土的多层性及土的非线性性质等,与真实的情况相差较远,无法真实反映桩土体系的作用机理;二是理论分析方法也较为简单,如仅仅以简单的平衡方程或传递函数法作为理论推导的依据;三是所得理论结果缺少试验验证依据。

传统的设计无法考虑复杂地质条件下桩-桩、桩-土、土-土之间相互作用的空间效应问题^[6],未能恰当地考虑深度效应的影响,更无法考虑承载性能及沉降的时间效应。对于不同桩型的受力特点,尤其端承型桩,存在着桩底较硬持力层对桩身穿越层土位移和应力产生较大影响的事实,目前的设计计算无法考虑。这种依靠传统经验公式和经验参数计算单桩承载力的设计方法带有较大的盲目性,同时也带来了较大的误差,造成施工中的困惑和造价上的较大浪费;或设计时单桩承载力预估过高,造成施工时实际承载力不足给工程留下了质量隐患。

地基基础设计规范中规定检验和确定桩基础承载能力的静荷载试验方法^[7],由于抽样率低(1%不低于3根),作为评价整体工程的依据,难免会出现以偏概全的局限,而且对于工程桩,静载试验难以做到极限,尤其是对于大直径灌注桩,静载荷试验难以实施,为工程桩的验收带来较大的难度。

所以,探索一种新的可靠、完善的计算基桩承载力和桩基础沉降时空效应的理论方法,用于指导设计和施工,有效控制基础的稳定性,减少或消除建筑物的安全隐患,合理设计,提高建筑物的实际使用寿命,是岩土工程界急待解决的问题。

1.3 本成果主要关键技术、创新点和意义

本成果从理论研究、试验研究和计算分析三大方面对复杂地质条件下桩基承载性能的时间效应和空间效应进行了探讨,建立了一套适用于复杂地质条件下桩土相互作用的空间效应和时间效应的力学模型,创建了桩土承载性能空间效应的综合弹性理论法和桩土承载性能时空效应的剪切流变新理论,提出了适用于复杂地质条件下桩基承载性能时间效应和空间效应的计算分析方法。本成果的关键技术、主要创新点和意义如下:

(1) 对传统的计算桩土承载性能的弹性理论法进行改进,提出了桩土承载性能空间效应的综合弹性理论法^[8-12]。

(2) 首次提出了“线性变形层模型”,用于计算分层地基中桩侧阻力及桩端支承力引起某点的土位移,克服了以往假设地基为均质弹性半空间带来的误差。

(3) 首次提出了桩底“缝隙模型”,解决了预制桩在施打时由于挤土现象和振动效应对周围已经打入的桩引起的桩身上移,使桩底产生的“悬空现象”,解决了预制桩施工质量验收中的困惑。

(4) 考虑了桩土滑移,将桩侧摩阻力(τ)

与桩 - 土相对滑移 (δ) 的关系, 设置为非线性传递函数; 并在桩端附加一非线性弹簧。

(5) 充分考虑桩土的空间效应, 针对不同的桩型及桩的受力特点 (摩擦型桩和端承型桩) 采用不同的分析方法。对于摩擦型桩, 利用桩侧、桩端的非线性弹簧模型和线性变形层模型予以计算;

(6) 针对端承型桩桩土相互作用的特点, 建立了一套适用的多层地基 - 基础体系模型, 鉴于用 (由持力层和穿越层组成的) 双层弹性体系分析的困难, 引用“镜像法”并进行了改进, 考虑了坚硬持力层的存在对穿越层中的应力和变形状态的影响。既考虑了分层介质中桩土体系的复杂性, 又充分兼顾了桩端持力层的存在使桩身穿越层土位移减少的事实, 克服了传统方法中不考虑桩端持力层存在对桩周土位移影响的局限性。对嵌岩桩利用不同的模型和分析方法进行计算。

(7) 首次提出了桩土接触面的“极限剪切流变元”模型, 将桩土相互作用的粘弹性本构关系中剪应力与剪应变 (率) 的关系简化为剪应力与桩土相对滑移的粘弹性本构关系, 澄清了传统上将桩位移与桩土接触面土位移混为一谈; 将桩身位移与剪应变混为一谈的模糊概念。解决了桩土接触单元相互作用的时间效应问题。

(8) 首次提出了“线性粘弹性变形层模型”, 解决了复杂地质条件下土时空效应的问题, 使该种计算分析方法更能接近实际, 使解答更具代表性。

(9) 根据桩土作用机理的时间相关性, 创立了一套集创新性、实 (适) 用性、完善性和系统性于一体的桩土体时空效应模型。将岩土流变理论与本成果提出的综合弹性理论法相结合, 提出了桩土剪切流变分析的新理论, 得到了桩土承载性能时空效应分析计算方法。推导出一套桩的承载机理时间效应的理论解析解。

(10) 本成果适用于市政工程、道路、桥梁和房屋建筑工程建、构筑物桩基础设计、施工、检测及质量验收, 计算分析复杂介质中各种桩型单桩承载性能的时空效应问题, 解决了桩土接触单元的时间效应问题。对不同时期桩土作用机理进行计算研究, 估算单桩荷载沉降曲线随时间的变化规律, 用于指导设计和施工。

(11) 进行了大量的桩土承载性能时空效应的现场原位模型试验及工程现场试验研究, 获得了桩土体系承载性能及其桩土力学参数随时间的变化规律, 验证理论计算结果, 证明了成果的成熟

性, 成果可为设计施工提供依据。

(12) 首次将本成果的“桩基承载性能时空效应设计理论”应用于上海某路桥设计工程中, 并进行了运行期的预测和监测, 达到了预期效果。缩短了工期, 为建设方节省了投资。取得了显著的经济效益和社会效益

(13) 将该成果应用于工程实践, 与现场试验研究和计算结果相互验证。利用该理论, 对桩基础工程质量验收阶段单桩承载力和沉降关系曲线进行分析拟合, 与静载试验进行正反分析验证, 弥补了静载试验抽样率低、工程桩不能做到极限承载力的缺陷。取得了较好的社会效益和经济效益。同时通过多次的理论计算与试验测试结果的比对验证, 得到了令人满意的结果。

在工程桩基础设计阶段, 可以为设计确定承载力设计值提供参考, 同时为沉降设计控制提供理论依据。综合分析施工工期、工后沉降等因素, 为预测建筑物的工后沉降随时间的变化规律、控制基础的稳定性提供可靠的理论依据; 在桩基础验收阶段, 用于模拟计算桩基的荷载沉降关系, 与静载试验结果进行正、反分析验证, 弥补静载试验的不足。指导设计和施工, 有效控制基础的稳定性, 减少或消除建筑物的安全隐患, 合理设计, 提高建筑物的实际使用寿命, 并作为基础工程验收的依据, 必将具有十分重要的意义。

本文对成果中部分时空效应理论模型和主要公式及试验研究等进行简单介绍, 并给出了某房屋工程沉降监测的计算验证结果。

2 理论模型及主要公式简介

2.1 基本假设

(1) 地基为 N 层的分层介质, 其流变性质满足广义粘弹性模型;

(2) 桩为一维线弹性直杆, 桩侧阻力沿桩轴线成线性分布, 桩土之间存在相对滑移;

(3) 在桩土接触面建立“极限剪切流变元”模型, 在该极限单元内, 桩土作用的本构关系设置为剪应力与剪应变的关系;

(4) 桩土相互作用关系 (剪应力 (摩阻力) 与桩土相对滑移) 满足广义粘弹性模型, 桩端土的流变特征设置为粘弹性模型;

(5) 沿桩轴根据土的分层厚度划分桩单元, 结点位移沿轴向线性变化;

(6) 桩侧各土层满足线性粘弹性变形层模型。

2.2 桩模型及桩身位移方程

桩身为一维线弹性模型，如图 1 所示，沿桩身根据土的线性变形层分层厚度划分桩单元。设结点 j 处的桩身质点位移为 δ_{pj} ，结点 j 处的桩侧土的位移为 δ_{sj} ，则结点处桩土相对滑移为：

$$\delta_j = \delta_{pj} - \delta_{sj} \tag{1}$$

桩侧及桩端桩土相对滑移为：

$$\bar{\delta} = \bar{\delta}_p - \bar{\delta}_s \tag{2}$$

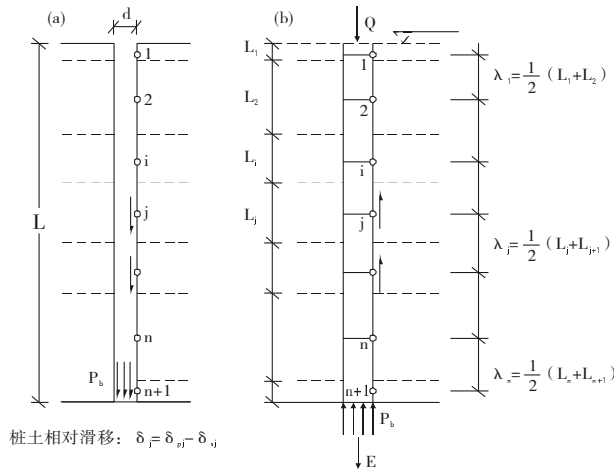


图 1 桩模型和桩身单元划分

由单元刚度方程，等效结点荷载，可得整根单桩的拉氏变换后的刚度方程：

$$K_p \bar{\delta}_p = \frac{1}{s} Q + \bar{Q}_{eq} \tag{3}$$

式中：

$$K_p = \sum_{j=1}^{n+1} K_{pj} \quad \bar{\delta}_p = \sum_{j=1}^{n+1} \delta_{pj} \quad \bar{Q}_{eq} = \sum_{j=1}^{n+1} \bar{q}_{eqj} \quad \bar{P}_b = \bar{\tau}_{n+1}$$

单桩拉氏变换后的位移方程最后可改写如下：

$$2 \frac{E_p R_A}{L/d} K \bar{\delta}_p = T \bar{\tau}(s) - \frac{1}{s} Q_0 \tag{4}$$

式中 K, T 分别为刚度矩阵和几何矩阵 $\bar{\delta}_p$ 为桩身位移列阵 $\bar{\tau}$ 为桩土剪应力列阵 Q_0 为桩顶荷载 L, d, E_p 分别为桩长 桩径和弹性模量。 R_A —单桩截面比，指等截面桩的横截面净面积 (A_p) 与桩周外包面积 (即桩端底面面积) 之比 对实心桩， $R_A=1$ ；

$\bar{\tau}(s) = \{\bar{\tau}_1(s), \bar{\tau}_2(s), \bar{\tau}_3(s), \dots, \bar{\tau}_n(s), \bar{\sigma}_b(s)\}^T$ 为桩侧摩擦阻力和桩端阻力列阵；

$\bar{\delta}(s) = \{\bar{\delta}_{p1}(s), \bar{\delta}_{p2}(s), \bar{\delta}_{p3}(s), \dots, \bar{\delta}_{pn}(s), \bar{\delta}_{pb}(s)\}^T$ 为桩身桩端位移列阵。

2.3 线性粘弹性变形层模型

利用对应原理，拉氏变换后的粘弹性方程与弹性静力学方程形式上完全相同。这里计算桩周

和桩端土层的位移仍利用静弹性力学的形式，根据如图 2 所示的线性变形层地基模型进行模拟。

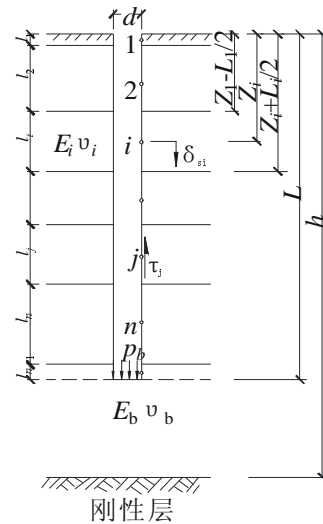


图 2 线性变形层模型

假设某分层 i 的土经 Laplace 变换后的变形模量为 \bar{E}_i ，波松比为 \bar{v}_i ，桩端 ($i=n+1$) 以下至刚性层顶的参数为 $\bar{E}_b \bar{v}_b$ ，显然，结点土位移 ($\bar{\delta}_{si}$) 应为其下各土层的压缩量 ($\Delta \bar{S}_j$) 之和：

$$\bar{\delta}_{si} = \frac{\Delta \bar{S}_i}{2} + \sum_{j=i+1}^{n+1} \Delta \bar{S}_j \tag{5}$$

式中 $\Delta \bar{S}_{n+1} = \Delta \bar{S}_b$ 为桩端至其下刚性层顶面、厚度为 $(h-L)$ 的持力层的压缩量。某土层 i 的压缩量 $\Delta \bar{S}_i$ 为该层顶面位移与底面位移 \bar{S}_i^b 之差：

$$\Delta \bar{S}_i = \bar{S}_i^T - \bar{S}_i^b \tag{6}$$

式中

$$\bar{S}_i^T(S) = \frac{d}{E_i} \sum_{j=1}^{n+1} \bar{I}_{ij}^T \bar{\tau}_j(s), \quad \bar{S}_i^b(S) = \frac{d}{E_i} \sum_{j=1}^{n+1} \bar{I}_{ij}^B \bar{\tau}_j(s)$$

根据式 (5) 和 (6)，可写出沿桩身 (包括桩端) 所有个结点的土位移方程如下：

$$\bar{\delta}_s(S) = \frac{1}{2} D \bar{I}_s \bar{\tau}(s) \tag{7}$$

$\bar{I}_{ij}^T, \bar{I}_{ij}^B$ 分别为土层顶面和底面的拉氏变换后位移影响因数。它们是由分层 j 中桩侧环形面积 ($UL_j, j=n+1$ 时为桩端圆形面积 A_b) 上的均布侧阻单位值 ($\bar{\tau}_j=1, j=n+1$ 为桩阻单位值 $\bar{P}_b=1$)，分别为 i 层顶面 ($Z_i^T = Z_i - L_i/2$) 和底面 ($Z_i^b = Z_i + L_i/2$) 处 ($i=n+1$ 时为桩端和刚性层面处) 引起的竖向位移

值的 $\frac{E_i}{d}$ 倍。以作用于均质弹性半空间 (具有与第 i 层相同的 \bar{E}_i 和 \bar{v}_i) 内竖向位移的 Mindlin 方程的积分求得。

2.4 桩 - 土体系方程

联立桩位移方程 (4)、土位移方程 (7)、桩土相对位移关系 (2) 和桩土广义粘弹性本构关系 (广义粘弹性介质模型得到),

$$\begin{cases} 2\frac{E_p R_A}{L/d} K \bar{\delta}_p(s) = T \bar{\tau}(s) - \frac{1}{s} Q_l \\ \bar{\delta}_s = \frac{1}{2} D \bar{I}_s \bar{\tau}(s) \\ \bar{\delta} = \bar{\delta}_p - \bar{\delta}_s \\ \bar{\tau}(s) = L(s) \cdot \bar{\delta}(s) \end{cases} \quad (8)$$

可得复杂地质条件下桩土体系的时间效应和空间效应的本构方程:

$$\bar{\delta}(s) = \frac{2}{s} \cdot \frac{Q_0}{2K + K' \bar{I}_s L(s) - 2TL(s)}$$

定义: $M = 2K + K' \bar{I}_s L(s) - 2TL(s)$ (9)

则式 (9) 变为

$$\bar{\delta}(s) = \frac{2}{s} \cdot \frac{Q_l}{M} = \frac{2}{s} M^{-1} Q_l \quad (10)$$

式 (10) 即为多层广义粘弹性地基中桩土相对位移的拉普拉斯变换广义解。

对式 (10) 进行 Laplace 变换, 即可得到位移函数, 和桩土相互作用各力学量的函数。

式中 $K \approx 2\frac{E_p R_A}{L/d} K$, 这里 $K, T, L(s), \bar{I}_s$ 分别为刚度矩阵、几何矩阵、拉氏变换的微分算子商矩阵和位移影响因数矩阵。

$\bar{\tau}(s) = \{\bar{\tau}_1(s), \bar{\tau}_2(s), \bar{\tau}_3(s), \dots, \bar{\tau}_n(s), \bar{\sigma}_b(s)\}^T$ 为桩侧摩擦力和桩端阻力列阵;

$\bar{\delta}(s) = \{\bar{\delta}_1(s), \bar{\delta}_2(s), \bar{\delta}_3(s), \dots, \bar{\delta}_n(s), \bar{\delta}_{pb}(s)\}^T$ 为桩侧桩土相对位移量和桩端位移列阵。

假设地基土为广义粘弹性介质体, 拉氏变换的微分算子商矩阵:

$$L(s) = \begin{bmatrix} \frac{Q_1(s)}{P_1(s)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{Q_2(s)}{P_2(s)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{Q(s)}{P(s)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{Q_n(s)}{P_n(s)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{Q_b(s)}{P_b(s)} \end{bmatrix}$$

其中: $Q_i(s)$ 和 $P_i(s)$ 为拉氏变换的微分算子。假设桩土作用模型为弹性粘弹性模型 (Merchant 粘弹性模型), 对式 (10) 进行拉普拉斯变换, 即可得到该情况下的桩土时间和空间效应下的单桩竖向位移的广义解析解。

$$\delta(t) = L^{-1}(\bar{\delta}(s)) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\beta-i\infty}^{\beta+i\infty} \bar{\delta}(s) e^{st} ds \quad (13)$$

公式 (14) 给出了桩土作用模型为弹性粘弹性模型 (Merchant 粘弹性模型) 情况下的单桩竖向位移的特解。

$$\delta(t) = \delta_{i0} + B_i (e^{-\frac{c}{b}t} - 1) = \delta_{0i} + (\delta_{\infty} - \delta_{0i}) (1 - e^{-\frac{c}{b}t}) \quad (i=1,2) \quad (14)$$

假设在初始时刻桩土存在相对位移为 δ_0 , 即: $t=0, \delta(t)=\delta_0$, 在无限长时间后, 桩土位移趋于某一稳定值, 即 $t \rightarrow +\infty, \delta(t) \rightarrow \delta_{\infty}$, 其趋势变化示意图如图 3, 解收敛。

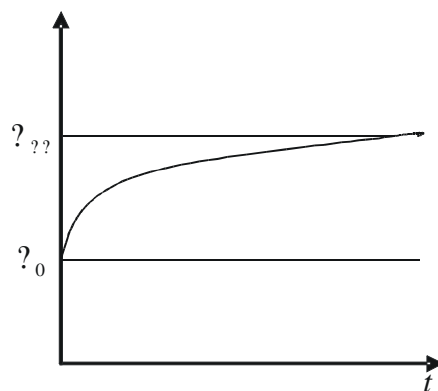


图 3 桩土相对位移变化趋势图

3 试验研究

试验研究分两大部分: 基桩承载性能及其空间效应的机理试验研究和时间效应试验研究。

3.1 基桩承载性能及其空间效应的机理试验研究

(1) 试验目的: 进一步探讨建筑基桩承载性能及其空间效应的机理。

(2) 试验手段: 现场模型桩原位试验, 在现场利用模型试验桩对桩土相互作用的机理进行了试验研究, 得到了桩顶静荷载作用下, 桩身及桩周土各点的位移变化曲线等大量宝贵的第一手资料, 试验结果进一步揭示了桩土相互作用的规律, 为基础设计和施工质量验收提供依据。

如图 4 为 1# 试验桩桩顶荷载作用下, 地表土位移曲线, 图 5 为 1# 试验桩桩顶荷载作用下, 桩周地表下 14m 处土位移曲线

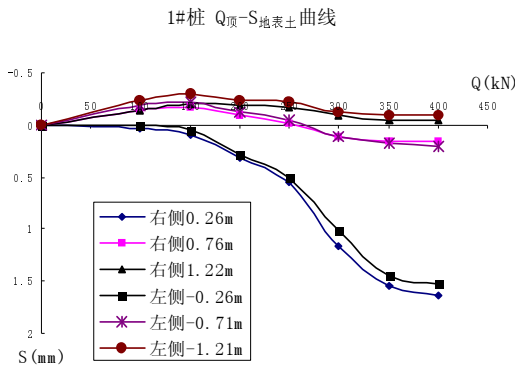


图 4 1# 试验桩桩顶荷载作用下地表土位移曲线

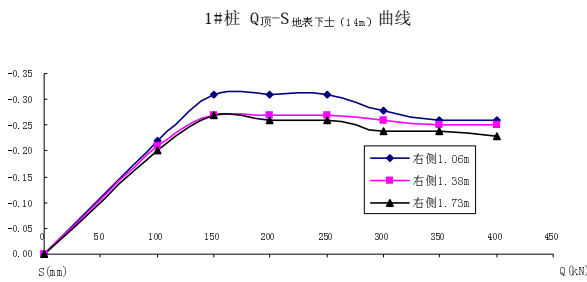


图 5 1# 试验桩桩顶荷载作用下桩周地表下 14m 处土位移曲线

3.2 基桩承载性能及其时间效应的试验研究

(1) 试验目的：探讨基桩承载性能随时间的变化规律；

(2) 试验手段：利用先进的监测技术，通过对两个不同桩长的单桩进行了长达 3 个月的静载荷试验，获得单桩承载力的设计参数以及单桩沉降随时间的发展变化规律，为路桥工程和房屋建筑工程桩基设计、尤其是预测工后基础稳定性提供参考。

如图 6 为某试验桩沉降随时间变化曲线理论与试验结果曲线。

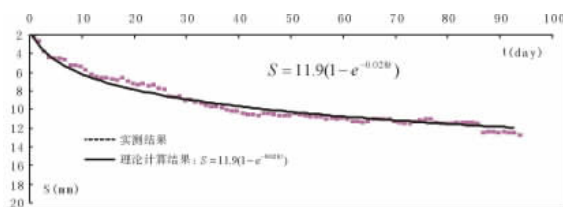


图 6 沉降随时间变化曲线理论与试验结果比较

4 工程应用研究

工程应用研究主要有以下几大方面：

(1) 是对房屋建筑和桥梁基础进行设计，预测基础施工后沉降随时间的变化趋势，控制建、构筑物的稳定性；

(2) 用于桩基础工程进行验收时，补充目前检测技术的不足；

(3) 对建筑物的工后沉降进行长期监测，利用承载性能时空效应理论与现场实测结果进行计算对比验证，预测建筑物长期沉降变化。

本文以广州市某房屋工程竣工后沉降观测的试验研究与计算验证为例，介绍该成果在房屋建筑工后沉降监测中的应用。

4.1 工程概况

广州市某大厦地上十层，地下室三层。根据地质钻探资料，场地自上而下依次为人工填土层，厚度约 2.3~6.0m；淤泥质粘土层，厚 0.3~3.0m；砂土层，4.0~11.0m；粉质粘土层，厚度 0.4~4.3m；强风化、中风化或微风化岩带，岩带顶板埋深 11.5~26.8m。根据设计，基础采用Φ2000 钻孔灌注桩，桩底入中风化岩层 1m，单桩竖向承载力标准值 9470kN，设计桩长 20m。

为进一步了解该工程的沉降变化情况，在施

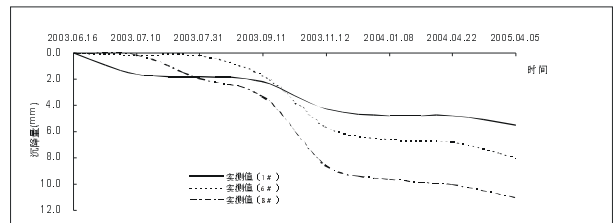


图 7 广州市某大厦沉降观测和计算曲线图

工结束后，及对该工程的基础沉降进行了为期 2 年的观测。图 7 为第 1#、6# 和 8# 观测点实测的沉降变化曲线。

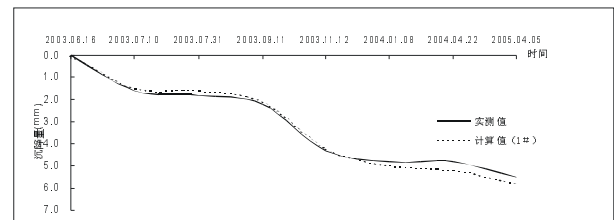


图 8 广州市某大厦沉降观测图和计算曲线图 (1# 测点)

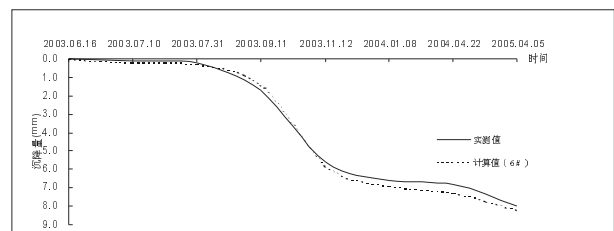


图 9 广州市某大厦沉降观测图和计算曲线图 (6# 测点)

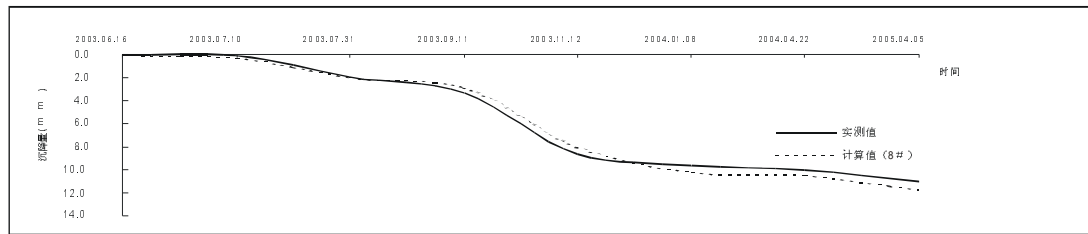


图 10 广州市某大厦沉降观测图和计算曲线图 (8# 测点)

4.2 计算分析

对三个观测点的沉降随时间的变化趋势进行了计算分析。计算结果如图 8、图 9 和图 10。

本例首先利用实测的沉降值进行优化反分析,得到一组桩周土阻力参数和荷载参考值。在计算桩顶沉降时,适当考虑了利用实测值所进行反分析的相关参考值,所以所得计算曲线与实测曲线趋势较为接近。

从三个点的计算分析可以初步说明,本文所介绍的计算理论具有较强的适用性,所得解析解具有较好的收敛性。

4 结论

本成果从理论研究、试验研究和计算分析三大方面对复杂地质条件下桩基承载性能的时间效应和空间效应进行了探讨,建立了一套适用于复杂地质条件下桩土相互作用的空间效应和时间效应的力学模型,创立了桩土承载性能时空效应的剪切流变新理论,提出了一套适用于复杂地质条件下桩基承载性能时间效应和空间效应的计算分析方法,编制了一套正反分析计算程序,可计算桩土承载性能的空间和时间效应,反分析桩土体系的时间和空间效应力学参数。实施了工程现场试验研究,获得了桩土承载性能及其相关桩土力学参数随时间的变化规律。成果创建了一套集创新性、实(适)用性、完善性和系统性于一体的新的思想理论体系,用于指导设计和施工质量验收,克服了传统中设计和施工质量验收中的不足,解决了目前基础设计和施工中无法考虑地质条件的复杂性(空间效应)和无法预测因岩土流变

作用等引起的基础工后沉降的时间效应关键技术难题,减少或消除建筑物的安全隐患,提高建筑物的使用寿命,保障工程质量。

参考文献

- [1] Poulos, H.D. AND Davis, E.H. Pile foundation analysis and design [M]. New York, John Wiley, 1980.
- [2] 曹汉志. 桩的轴向传递及荷载-沉降曲线的数值计算方法 [J], 岩土工程学报, 1986 第 6 期
- [3] Coyle, H. M., Rees, L.C. Load transfer for Axially Loaded Pile in Clay. ASCE .1996, 92 SM 2 pp1-26
- [4] 金波, 唐锦春, 孙炳楠. 层状地基轴对称问题的 Mindlin 解 [J]. 计算结构力学及其应用, 1996, 13 (4): 187~192.
- [5] 艾志勇, 杨敏. 广义 Mindlin 解在多层地基单桩分析中的应用 [J]. 土木工程学报, 2001, 34 (2): 89~95
- [6] 李素华. 建筑基础设计施工及验收现状之我见 [J]. 广东工程监督与检测. 2004 2 (1).
- [7] 李素华. 桩基础检测技术与数值分析理论新进展 [J]. 广东工程监督与检测. 2003 1 (1).
- [8] 李素华, 杨位洸. 预制桩竖向承载性能设计理论研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20 (2): 256~261.
- [9] 李素华, 周健, 杨位洸, 黄茂松. 复杂地基桩承载性能计算研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22 (9).
- [10] 李素华, 杨位洸, 周健, 殷建华. 端承型单桩承载性能设计理论研究. 土木工程学报. 2003 36 (6).
- [11] 李素华, 周健, 殷建华, 杨位洸. 摩擦型单桩承载性能设计理论研究. 岩石力学与工程学报, 2004, 23 (15).
- [12] 李素华, 殷建华, 周健, 杨位洸. 端承型建筑基桩的桩-土作用机理研究探讨. 岩石力学与工程学报, 2004, 23 (6).

广州：明确“十一五”建筑节能目标

最近,广州市建委公布了《广州市建筑节能“十一五”发展规划》。规划明确了广州市到 2010 年要实现全部新建建筑节能 50% 的标准。规划还提出了“十一五”期间主要任务,一要推进建筑节能技术进步;二要开拓引导建筑节

能产品市场;三要推进建筑节能标准实施;四要开展建筑节能科学研究;五要建设建筑节能示范项目;六要推进太阳能技术在建筑中的作用;七要强化建筑物用能管理。

(摘自《中国建设报》2008.01.11)