

文章编号: 1000-7598-(2008)02-449-06

开口桩中土芯形成、影响因素及判别方法研究

李剑强^{1,2}, 周 建¹

(1. 浙江大学 岩土工程研究所 杭州 310027; 2. 浙江省水利水电勘测设计院, 杭州 310027)

摘 要: 开口桩打桩过程中桩端土体进入桩管内形成土芯, 土芯在大直径钢管桩、新研发的大直径现浇混凝土薄壁筒桩的作用不容忽视, 通过闭塞效应土芯会提高开口桩的承载力, 减小桩的沉降量。比较分析了目前国际上两种土芯闭塞效应定义方法, 研究认为, 从土芯破坏机制出发定义土芯是否产生闭塞效应更为合理; 并从土芯的形成出发, 探讨了影响土芯形成及闭塞效应的各种因素, 如桩径、桩端土的承载力、土芯与桩内壁的摩阻力等, 此外还应考虑桩端土体侧向水平应力的影响。最后讨论了 ICP 方法中砂土及黏土中开口桩土芯闭塞效应的判别方式, 认为该判别方式过于粗略, 不能很好地反映土芯闭塞情况。

关 键 词: 土芯; 闭塞效应; 土芯破坏机制
中图分类号: TU473. **文献标识码:** A

Effects on soil plugging and plugged mode in open-ended pile

LI Jian-qiang^{1,2}, 1

(1. Institute of Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China 2. Zhejiang Design Institute of Water Conservancy & Hydroelectric Power, Hangzhou, 310012, China; Institute of Geotechnical Engineering Institute,)

Abstract: During pile driving soil adjacent to pile tip comes into the tubular pile thus formed soil plug. The effect of soil plug on the bearing capacity of large-diameter steel pipe pile and new developed large-diameter cast-in-situ tubular pile can not be neglected. Through soil plugging the bearing capacity of open-ended pile will be increased and its settlement decreased. Two different definition of soil plugging were compared, and through which the definition based on the failure mechanism was verified to be more reasonable. Different effects, such as pile diameter, inner friction, vertical bearing capacity of the underlain soils and the lateral stress level, were studied. ICP discriminant of plugging mode for both clay and sand was discussed. This method was proved to be a simple one and cannot embody the real plugging in practice.

Key words: soil plug; plugging; failure mechanism of soil plug

1 前 言

开口桩是常用的桩型之一, 钢管桩、预应力管桩、新研发的大直径现浇混凝土薄壁筒桩等均为此类桩。预应力管桩是挤土桩, 打入过程中大部分土体排出桩管外, 桩管内土体不多, 加之桩身强度比较高, 因此, 桩内土体对其承载力和位移的贡献可忽略不计。钢管桩直径较大, 壁厚较薄, 内部土体作用不能忽视。国外对钢管桩中土体的性状进行了较多研究, 尤其对打入砂土的桩做了很多模型试验和数值分析, 如 Paikowsky 等^[1] (1990 年)、Randolph 等^[2,3] (1991 年, 1992 年)、Raines 等^[4]

(1992 年), O'Neil 等^[5] (1991 年), Hight 等^[6] (1996 年), Jardine & Chow^[7] (1996 年), Nicola 等^[8] (1997 年), Lehane 等^[9, 10] (2001 年, 2002 年) 及 Paik 等^[11, 12] (2003 年) 等, 但对黏土中开口桩及土芯研究开展得很少。国内在开口桩承载力设计计算中也涉及或粗略考虑了内部土芯的作用, 如赵抚民等^[13] (1990 年)、朱海堂等^[14] (1996 年)、穆保岗等^[15] (2000 年)、曹称宇^[16] (2001 年)、郝小员^[17] (2001 年) 等, 但未进行深入探讨。

目前新研发的大直径现浇混凝土薄壁筒桩 (以下简称筒桩, 由国家海洋局第二海洋研究所谢庆道发明为中空薄壁现浇素混凝土或钢筋混凝土桩, 外

收稿日期: 2006-06-19

作者简介: 李剑强, 男, 1969 年生, 在职研究生, 高级工程师, 主要从事岩土工程勘察、地基处理研究。Email: ljqs7101392@hotmail.com

论文联系人: 周建, 女, 1970 年生, 博士, 副教授, 主要从事地基处理, 土动力学, 非饱和土本构及理论研究 E-mail: dzhoujian@yahoo.com

径较大,一般为1 000~2 000 mm(目前正向更大直径发展),壁厚为120~200 mm,该类桩与预应力管桩的不同主要表现在两个方面:(1)薄壁的强度小于预应力管桩;(2)直径较大,内部土体的作用不可忽视。与钢管桩相比,桩壁强度也没有钢管桩高,因此内部土体对整个桩竖向承载力的贡献与钢管桩相比要大一些。由此可见,对钢管桩、筒桩这类大直径薄壁开口桩桩内部土体(称为土芯, soil plug)的作用非常重要。

杭—宁高速公路二期长兴段^[19],为了研究土芯对筒桩承载力及沉降的影响,在路基中分别打设桩长16 m和18 m的筒桩,挖除部分或全部土芯,进行载荷试验,并与满芯桩的结果对比,如图1所示。图1(a)以粉质黏土为桩端持力层,其中A-19、C-19和C-19f均为满芯桩,A2-16为空心筒桩(桩内土芯全部挖除)。图1(b)为桩端土层为淤泥质黏土,Q-2,S-2和U-2分别为满芯桩,R-12是土芯高度为9 m的筒桩(土芯挖除7 m)。由图可知,满芯桩的承载力明显高于空心桩或部分土芯桩,而且持力层较好时,土芯对提高桩竖向承载力和减小沉降量都有较大贡献,对打设在软土中的筒桩,土芯的存在对竖向承载力的提高不是特别大,但对减少桩的沉降有明显的作用,如图1(b)中R-12曲线。

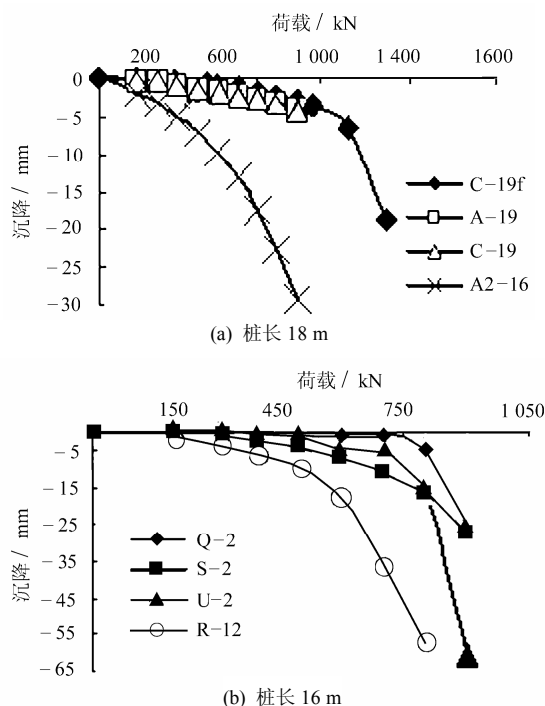


图1 静载荷试验Q-S曲线图^[19]

Fig.1 Q-S result of load testing

土芯存在引起的闭塞效应是开口桩的一个重

要特征,因闭塞程度不同对桩的承载力和沉降的影响也各异,开展这方面的研究很有必要,这是合理进行开口桩设计计算的一个重要组成部分。目前国际上较混乱的土芯闭塞效应定义很不利于研究的开展,基于此现状,笔者认为应从土芯破坏机制认识闭塞效应,以及土芯的形成着手,分析、影响土芯形成及闭塞效应的主要因素,再对现有闭塞效应的判断进行质疑并提出合理的判别方法。

2 闭塞效应定义探讨

土体进入开口桩内形成土芯,在荷载作用下土芯会在桩管内移动,或在桩端附近产生土拱作用,使土体堵塞,部分或完全阻止外部土体进入桩内,此现象称为开口桩的闭塞效应。如何定量描述闭塞效应,目前国际上主要有两种表述方法:一种是用土芯填充增量比 IFR (incremental filling ratio) 表达 (Paikowsky 等^[20], 1989 年; Paik & Lee^[21], 1993 年),另一种是用土芯的抗剪强度 (Randolph, 等^[2], 1991 年) 描述。这些定义主要针对钢桩和混凝土预制管桩,而现浇混凝土薄壁筒桩的施工工艺与这些桩不同,情况会有差异,但它们的荷载传递机制类似,因此对比分析这两种定义有助于研究筒桩土芯的闭塞效应。

2.1 填充增量比描述法

开口桩内土芯的长度常用土芯长度比描述,它定义为土芯长度 L 与桩的贯入深度 D 的比值,即

$$PLR=L/D \quad (1)$$

开口桩打入过程中,随着贯入深度的增加,土芯长度也不断变化。Paikowsky 等^[20]认为,将土芯长度与贯入深度变化的比值定义为土芯填充增量比,并用此描述开口桩的闭塞程度:

$$IFR=\frac{dL}{dD}\times 100\% \quad (2)$$

式中: dL/dD 为随桩贯入深度增加而增加的土芯长度,如图2所示。由式(2)可知,当 $IFR=0$ 时,桩处于完全闭塞状况 (fully plugged mode); 当 $IFR=100\%$ 时,为完全不闭塞的内核状况 (coring mode)。Paik 等^[12] (2003 年) 对砂土中的模型桩及其他研究结果表明, PLR 与 $IFR(\%)$ 之间有如下关系:

$$IFR=109PLR-22 \quad (3)$$

用式(3)评估土芯闭塞程度时发现,当 $PLR>0.8$ 时,该其计算结果会稍微低估土芯的闭塞程度,当 $PLR<0.7$ 时,会稍高估 IFR 值,但他们认

为用 IFR 描述土芯的闭塞程度比 PLR 好, 由现场测得 PLR 后, 再由式 (3) 便可知道土芯的闭塞程度。

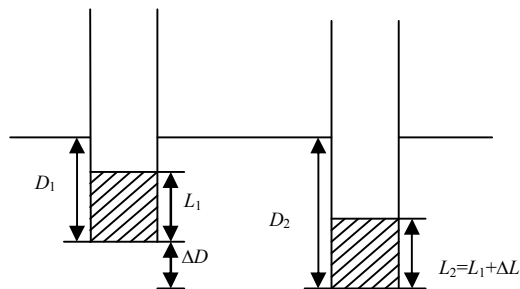


图2 填充增量比定义示意图

Fig.2 The illustration of increment filling ratio IFR

以上定义是基于砂土中的开口桩提出的, 仔细研究可以发现这样的定义存在很多问题, 比如现场试验时很难测得土芯的 IFR , 若用经验公式由 PLR 换算, 很难找到适用于各类土体的公式。而且, 由式 (3) 可知 IFR 会出现负值, 也会出现完全闭塞情况下对应的 IFR 值却不等于 0 的情况, 这与最初的定义矛盾。此外, $PLR = 1$, 但土体完全不闭塞的情况实际工程中会发生, 根据定义此时 IFR 不可能达到 100 %, 这也与实际矛盾。

对松散~中密的砂土或黏土, 上述定义更不适用, 因为淤泥质土中的土体会从桩管内涌出, 即 $PLR > 1$, 由式 (3) 可知, 只有当 $PLR > 1.12$ 时, IFR 才可能大于 100 % (即土芯处于完全不闭塞状态), 这显然不合理, 与事实不符。此外, 当土芯高度等于桩长时 (满芯) $PLR = 1$, 由式 (3) 可知, $IFR = 87 %$, 根据上述定义方法, 此时土芯几乎没有闭塞效应, 相应地, 考虑桩的竖向承载力时可不考虑土芯闭塞效应的贡献, 换句话说, 土芯对桩承载力的贡献很小, 但在实际工程中, 即使在满芯的情况下桩内土体仍会有一定的闭塞作用, 尤其对软黏土而言, 这样的现象非常普遍。

图 1(a) 中 3 根 18 m 长的满芯桩, 其设计单桩极限承载力为 1 000 kN, 实测结果表明单桩极限承载力达到 1 440 kN, 提高了 44 %。图 1 (b) 中的 3 根 16 m 长的满芯桩, 设计单桩极限承载力为 720 kN, 实测值均大于 800 kN。这些桩若按 Paikowsky 等^[20] IFR 的定义几乎都可以不考虑闭塞效应, 但实测结果却表明有明显的闭塞效应, 且对桩的竖向承载力有较大贡献。

更确切地说, 开口桩内土芯大多都有闭塞作用, 只是程度不同而已, 现实中普遍存在的是部分闭塞现象。因此, 基于打桩初始阶段土芯运动状况定义土芯的闭塞效应不合适。事实上, 许多开口桩

打入过程中是满芯状况, 但静载下却呈现闭口桩的破坏现象, 这与定义的闭塞情况矛盾。

2.2 土芯的抗剪强度描述法

Randolph 等^[2] (1991 年) 认为, 闭塞现象指开口桩桩端类似于闭口桩承担荷载; 不闭塞现象指土芯与桩内侧发生剪切破坏, 因此闭塞效应只发生在土芯整体抗剪承载力大于端部承载力情况下。Randolph^[22] (2003 年) 对闭塞效应做了进一步明确的定义, 指出闭塞效应是指土芯顶部不相对桩滑动, 但土芯底部可以因加载压缩相对桩内壁滑动。

比较以上两种闭塞效应定义方法发现, Randolph 从开口桩桩端破坏机制出发, 指出桩内土体的两种破坏型式: 土芯剪切破坏和类似闭口桩破坏, 反映了荷载传递的实质, 更为合理。《建筑桩基技术规范》^[23] 条文说明中认为敞口钢管桩端阻的破坏以下列两种形式之一出现: (1) 土塞沿管内向上挤出, 或由于大量土塞的压缩量大, 且高度大, 虽未全长向上挤出, 但桩端土已大量涌入; (2) 桩端地基土如同闭口桩一样破坏。规范认为, 对第一种情况, 桩端土处于未完全闭塞状态, 其闭塞程度主要随桩进入持力层深度增大而增大, 随桩管内径增大而降低。对第二种情况, 桩端土处于完全闭塞状态, 其端阻力发挥值与闭口桩相同。

由此可见, 我国桩基规范中认定桩内土芯闭塞与否, 其出发点与 Randolph^[22] 基本一致。事实上, 第一种情况经常发生, 关键是如何考虑和评价闭塞程度, 通过桩端进入持力层的深度及其他因素确定闭塞程度是可行的, 但不全面。下面从土芯的形成入手, 阐明土芯形成的影响因素及是否容易产生闭塞效。

3 土芯的形成及影响因素分析

开口桩打入土体过程中, 桩端一部分土体排出桩外挤向四周, 一部分进入桩内, 形成土芯。一般认为, 土芯形成及高度与土体性质、桩径、壁厚、桩入土深度等诸多因素有关。土体越软、模量越低、壁厚越薄, 桩周土体越容易进入桩管内形成土芯。下面以图 3 为例, 具体说明土芯的形成及各影响因素。

设筒桩内径为 r_{inner} , 筒桩内径周长为 U_i , 土芯截面面积 $A_t = \pi r_{\text{inner}}^2$, 土芯重度为 γ_t , 土芯长度为 l , 桩内侧极限摩阻力为 τ_{ui} , 桩端土地基极限承载力为 P_{B} 。土芯自重 $G = A_t l \gamma_t$, 桩端土对土芯向上的作用力 $P_{\text{B}} = P_{\text{B}} A_t$, 作用于土芯向上的桩内侧摩

阻力 $Q_u = \int_0^l \tau_{tu} U_t dl$ 。

若不考虑桩端附近土体的侧向应力作用, 沉桩过程中如果内部土芯的重量 G 与桩内侧摩阻力之和小于桩端土 (不含环形截面上的作用力) 反力, 即 $(G+Q_u) < P_B$ 时, 桩端外侧土体向管内涌入; 当 $G+Q_u = P_B$ 时, 桩内一定高度的土芯形成, 此时桩端外土体不会再进入桩内, 因此可将 $G+Q_u = P_B$ 对应的高度定义为土芯高度。

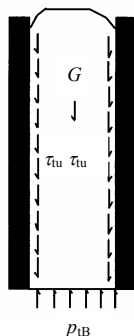


图3 土芯模型简单示意图
Fig.3 The sketch of soil plug

现有研究表明, 筒桩内摩阻力的分布主要有两种形式: (1) 内摩阻力与外摩阻力成一定的比例关系; (2) 依据有限元计算结果认为, 土芯上段部分内摩阻力接近为 0, 接近桩端时 (距桩端约 1/3 处) 内摩阻增长很快, 当筒桩达到极限承载力时, 端部的内摩阻力约为外摩阻力的一半, 可近似用指数函数模拟内摩阻力的分布形式。本文这里不仔细探讨其分布形式, 而是笼统地用 τ_{tu} 表示。因此,

$$G+Q_u=P_B \quad (4)$$

可得
$$A_l \gamma_t + U_l \tau_{tu} = P_{tB} A_l \quad (5)$$

将桩的面积及周长代入得到

$$\pi r_{inner}^2 l \gamma_t + 2\pi r_{inner} l \tau_{tu} = P_{tB} \pi r_{inner}^2 \quad (6)$$

即
$$r_{inner} \gamma_t + 2\tau_{tu} = P_{tB} (r_{inner} / l) \quad (7)$$

整理得到

$$l = P_{tB} \left/ \left(\gamma_t + \frac{2\tau_{tu}}{r_{inner}} \right) \right. \quad (8)$$

当土芯长度满足式 (8) 时, 桩端土不再进入桩内, 由式 (8) 可知:

(1) γ_t 越小, 土芯长度越大。同样地 τ_{tu} 越小, 土芯长度 l 越大。这说明软土容易进入桩管内; 另一方面要产生闭塞效应需要的土芯高度也大, 换句

话说, 土越软, 越不容易产生闭塞效应。

(2) 土较硬时, γ_t 、 τ_{tu} 较大, 产生闭塞效应需要的高度就小, 则土芯高度不大即可产生闭塞效应, 也就是说较好土层中容易产生闭塞效应; 当桩进入持力层深度较大时, 桩内侧摩阻力增大, 闭塞效应需要的土芯高度也不大, 因此该情况下也容易产生闭塞效应。

(3) 桩外径 d 越大, r_{inner} 也大, 产生闭塞效应所需的土芯越高, 同样土质情况下桩径越大越不容易形成闭塞效应。同时, 桩径越大土芯压缩产生的侧向变形越小, 引起侧向有效应力变化较小, 侧向摩阻力提高不大, 较难产生闭塞效应。

(4) 如果端部持力层土质较好, 提供的 P_{tB} 较大, 此时土芯高度及是否容易产生闭塞效应, 还与桩的打入方式有关。Nicola & Randolph^[8] (1997 年) 对砂土中打入桩和静压桩中土芯的研究结果表明, 如果桩采取打入模式, 则在打桩过程中因施加了动荷载, 桩端土越密实, 提供的桩端阻力越高, 土体越容易进入桩管内, 土芯高度越高而对于静压桩, 没有了动力作用, 桩端土越密实, 土芯中的竖向应力越高, 阻止土体进入桩内, 此时土芯高度反而降低, 土芯闭塞现象严重。

大直径现浇混凝土薄壁筒桩施工时, 利用高频振动锤将成孔器压入土中, 再灌注混凝土, 此打设模式与打入桩类似。因此, 这种情况下土体容易进入桩内, 但 P_{tB} 作用下土芯会产生较大的压缩量, 土芯侧向有效应力提高, 若土芯长度不高时就可产生闭塞效应。此时土芯部分的桩端阻力主要由桩端好土提供, 可按闭口桩估算端阻, 但需折减。

(5) 筒桩打设过程中土体扰动, τ_{tu} 值降低, 此时桩端较多土体进入管内, 形成较长土芯; 一段时间后土体强度逐渐恢复, τ_{tu} 值提高, 桩内侧摩阻力逐渐增大, 此时较长的土芯在桩端部会产生闭塞效应, 桩端土无法再进入筒内, 这种情况在灵敏度较高的软土中会出现。这也就是为什么软土中按以上 Paikowsky 等^[20] 的定义 IFR 值较高, 但土芯仍有较强的闭塞效应的原因。

从以上分析可见, 对桩端软土地基而言, 土芯高度较大, 不容易产生闭塞效应, 端阻的破坏主要为桩端土的涌入, 但对桩端土体较好的情况, 容易产生闭塞效应, 端阻破坏与闭口桩相似。

4 闭塞作用的判别

开口桩中土芯绝大多数情况下会产生不同的程度闭塞作用, 如何进行判断, 目前研究还很少。

英国伦敦帝国理工学院 (Imperial College, London, 简称 IC) Jardine 和 Chow 在多年研究砂土和黏土中桩的竖向承载力基础上, 提出全世界同行广泛认可的 MTD^[7]法, 后来他们又进行了拓展性研究, 于 2005 年出版了《ICP Design Methods for Driven Piles in Sands and Clays》^[24], 正式将此方法命名为 ICP 法 (imperial college pile)。该法, 作者在考虑开口桩竖向承载力时, 简单地针对完全闭塞现象和完全不闭塞现象给出竖向承载力计算公式, 并提出判别开口桩产生闭塞效应的公式。

他们认为, 砂土中的桩, 当内径满足下面两式中的任意一式时, 土芯为完全闭塞模式:

$$\left. \begin{aligned} D_{\text{inner}} &< 0.02(D_r - 30); \\ (D_{\text{inner}}/D_{\text{CPT}}) &< 0.083q_c/P_a \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

黏土中的桩, 静载结果满足下式, 则土芯为完全闭塞模式:

$$[D_{\text{inner}}/D_{\text{CPT}} + 0.45q_c/P_a] < 36 \quad (11)$$

式中: D_{inner} 为开口桩内径; D_r 为砂土的相对密实度; D_{CPT} 为静力触探试验侧壁筒直径 (一般为 0.036m); q_c 为锥尖阻力; P_a 为标准大气压, (100 kPa)。

对打入黏性土中的筒桩, 由式 (11) 可知, 若 CPT (静力触探) 试验得到桩端土锥尖阻力 $q_c < (3\ 600 \sim 4\ 500)$ kPa, 土芯为完全闭塞模式, 根据 Jardine & Chow^[24]的建议, 此时桩端承载力为闭口桩桩端承载力的一半, 如果不满足式 (11), 则桩端承载力仅考虑作用在环形截面上的阻力。

由式 (11) 可见, 如果黏土强度高一些, 土质好一些, 反而不会产生闭塞现象, 这明显不符合实际情况。而且不能仅简单地对完全闭塞和完全不闭塞做出估算, 理想的完全闭塞和完全不闭塞极少发生。确切地说, 即便是在很软的土中, 由于桩的侧限作用, 即便土芯较长范围内相对桩壁滑动, 对承载力也会有贡献, 闭塞效应普遍存在, 只是程度不同而已。

从第 1 节土芯闭塞效应的定义看, 应该从土芯受剪破坏的机制出发, 建立土芯剪应力与土芯高度、桩径、土芯内摩擦角、加荷速率及土体排水特性等关系, 不是单一地判断是否会闭塞, 而是根据不同情况给出不同闭塞程度的土芯承载力估算公式, 这样才更与实际相符。如果单从填充增量比 IFR 的定义出发, 考虑闭塞作用, 会忽略很多影响土芯承载力发挥的因素, 很不全面。

5 结 论

开口桩中土芯对桩的承载力和沉降性状有很大影响, 本文讨论了土芯闭塞效应的定义, 通过土芯形成讨论了影响土芯及闭塞效应的因素, 研究表明:

(1) 单纯从土芯填充增量比定义闭塞效应有很大的缺陷, 应该从土芯破坏机理出发进行研究;

(2) 土芯的形成与诸多因素有关, 如桩径、桩端土的承载力、土芯与桩内壁的摩阻力等, 此外还应考虑桩端土体侧向水平应力的影响, 本文研究中没有涉及。

(3) 从 Jardine & Chow^[24]提出的闭塞效应判别公式看, 简单地、不考虑众多影响因素的判别公式有很多严重的缺陷, 实际应用中有许多困难, 不应简单地将闭塞效应分为完全闭塞和完全不闭塞, 从这个角度出发, 给出不同程度的闭塞效应公式更为可行和实用。

参 考 文 献

- [1] PAIKOWSKY S G, WHITMAN R V. The effects of plugging on pile performance and design[J]. **Canadian Geotechnical Journal**, 1990, 27: 429—440.
- [2] RANDOLPH M F, LEONG E C; Houlsby G T. One-dimensional analysis of soil plugs in pipe piles[J]. **Geotechnique**, 1991, 41(4): 587—598.
- [3] RANDOLPH M F, LEONG E C, HYDEN A M, MURFF J D. Soil plug response in open-ended pipe piles[J]. **Journal of Geotechnical Engineering**, 1992, 118(5): 743—759.
- [4] RAINES R D, UGAZ O G, O'NEIL M W. Driving characteristics of open-toe piles in dense sand[J]. **Journal Geotechnical Engineering**, 1992, 118(1): 72—88.
- [5] O'NEIL M W, RAINES R D. Load transfer for pipe piles in highly pressured dense sand[J]. **Journal Geotechnical Engineering**, 1991, 117(8): 1 208—1 226.
- [6] HIGHT D W, LAWRENCE D M, FARQUHAR G B, MILLIGAN G W, GUE S S, POTTS D M. Evidence for scale effects in the bearing capacity of open-ended piles in sand[C]// Proceedings of 28th Annual Offshore Technology Conferencn. Houston: [s.n.]. 1996: 181—192.
- [7] JARDINE R J, CHOW F C. New Design Methods for offshore Piles [M]. MTD Publication 96/103. London: Marine Technology Directorate, 1996.
- [8] NICOLA A DE, RANDOLPH M F. The plugging behaviour of driven and jacked piles in sand[J].

- Geotechnique**, 1997, 47(4): 841—856.
- [9] LEHANE B M, GAVIN K G. Base resistance of jacked pipe piles in sand[J]. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, 2001, 127(6): 473—480.
- [10] LEHANE B M, RANDOLPH M F. Evaluation of a minimum base resistance for driven pipe piles in siliceous sand[J]. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, 2002, 128(3): 198—205.
- [11] KYUHO Paik, RODRIGO Salgado, Determination of bearing capacity of open-ended piles in sand[J]. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, 2003, 129(1): 46—57.
- [12] KYUHO Paik, RODRIGO Salgado, JUNHWAN Lee, BUMJOO Kim. Behavior of open- and closed-ended piles driven into sands[J]. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, 2003, 129(4): 296—306.
- [13] 赵抚民. 沉桩能力预测分析研究[学位论文 D]. 南京: 南京工学院, 1990.
- [14] 朱海堂, 祝彦知. 管桩-桩芯混凝土组合构件受弯承载力的近似计算[J]. 郑州工业大学学报, 1996, 17(4): 75—79.
- ZHU Hai-tang, ZHU Yan-zhi. Approximate calculation on flexural capacity of composite member with pipe pile and pile core concrete[J]. **Journal of Zhengzhou University of Technology**, 1996, 17(4): 75—79.
- [15] 穆保岗, 邱洪兴, 龚维明, 等. 开口钢管桩沉桩影响半径的推导[J]. 工业建筑, 2000, 30(7): 20—22.
- MU Bao-gang, QIU Hong-xing, GONG Wei-ming, et al. The deduction of effect radius of driving open-end steel pipe-pile[J]. **Industrial Construction**, 2000, 30(7): 20—22.
- [16] 曹称宇. 大管桩轴向极限承载力计算[J]. 港工技术与
- 管理, 2001, (5): 36—37.
- CAO Cheng-yu. Ultimate capacity calculation of large pipe pile[J]. **Port Engineering technology And Administration**, 2001, (5): 36—37.
- [17] 郝小员, 庞有师, 杨生萍. 开口管桩单桩竖向承载力计算方法的分析[J]. 河海大学学报, 2001, 29 (增刊): 124—127, 138.
- HAO Xiao-yuan, Pang You-shi, Yang Sheng-ping, Calculation method of vertical bearing capacity of single open-ended pipe pile[J]. **Journal of Hohai University**, 2001, 29 (Supp.): 124—127, 138.
- [18] 谢庆道. 联体筒桩成孔器[P]. 中国专利: ZL01244439.1, 2002.10.
- [19] 朱向荣, 叶俊能, 姜贤放, 等. 沉管灌注筒桩的承载特性浅析[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(5): 538—542.
- ZHU Xiang-rong, YE Jun-neng, JIANG Xian-fang, et al., Preliminary analysis of load-bearing characteristics of driven-tube cast-in-place [J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2003, 25(5): 538—542.
- [20] PAIKOWSKY S G, WHITMAN R V, BALIGH M M. A new look at the phenomenon of offshore pile plugging[J]. **Marine Georesources Geotechnical**, 1989, (8): 213—230.
- [21] PAIK K H, LEE SR. Behaviour of soil plugs in open-ended model piles driven into sands[J]. **Marine Georesources Geotechnique**, 1993, 11: 356—373.
- [22] RANDOLPH M F. Science and empiricism in pile foundation design[J]. **Geotechnique**, 2003, 53(10): 847—875.
- [23] 中国建筑科学院. JGJ 94—94 建筑桩基技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [24] JARDINE R J, CHOW F C, OVERY R, STANDING J. ICP Design Methods for Driven Piles in Sands and Clays[M]. London: Thomas Telford Publishing, 2005.

地基基础设计简明手册

著 作 者: 郭继武 书 号: 9787111225980

出 版 社: 机械工业出版社 出版日期: 2008-1-1 开 本: 16 开 页 码: 415 页

为了简化计算, 提高设计质量, 本手册对建筑地基基础设计经常需要试算的内容, 大部分都给出了直接计算法, 并附有计算图表, 还列举了一些有代表性的例题供读者学习参考。

前言 第 1 章 建设结构和地基基础概率 第 2 章 地基土的物理性质岩土的分类 第 3 章 地基中的应力 第 4 章 地基变形的计算 第 5 章 土的抗剪强度与地基承载力 第 6 章 挡土墙的土压与边坡稳定

本手册可供工程设计、施工技术人员学习参考, 也可作为高校土木工程专业毕业设计参考用书。

(信息来源: 希望书店, 编辑部编辑)