



O-cell 试桩承载力转换公式改进及平衡点确定

雷珊珊¹, 马海龙¹, 张立新², 马宇飞³, 姚文宏³

(1. 浙江理工大学建筑工程学院, 杭州 310018; 2. 镇江市建设工程施工图审查中心, 江苏镇江 212001;
3. 杭州西南检测技术股份有限公司, 杭州 310015)

摘 要: O-cell 试桩转换公式由于忽略了 O-cell 试桩上段桩的负摩阻力, 从而导致 O-cell 试桩桩端承载力比顶压桩低且影响平衡点位置的确定。为了解决该问题, 采用 Mindlin 应力解对 Meyerhof 桩端阻力计算公式进行了改进, 并提出了 O-cell 试桩承载力转换公式及平衡点确定方法。首先, 计算由桩侧摩阻力产生的桩端平面附加应力, 然后将该附加应力作为外荷载代入 Meyerhof 桩端阻力计算公式, 分别求得 O-cell 试桩及顶压桩的桩端阻力, 最后以两者的比值作为端阻力修正系数来改进现有 O-cell 试桩转换公式。在确定平衡点时, 先按经验公式法预估平衡点, 再根据修正后的 O-cell 试桩端阻力确定新的平衡点。数值模拟结果表明: 按照改进公式确定的平衡点能使上下段桩同时破坏, 同时改进公式计算的 O-cell 试桩承载力更接近顶压桩承载力。得出改进公式较现有公式计算的 O-cell 试桩承载力及平衡点更准确的结论。

关键词: 极限承载力; 附加应力; 卸载效应; 承载力转换公式; 平衡点

中图分类号: TU47

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851 (2019) 05-0393-07

Improvement of bearing capacity conversion formula for O-cell test pile and determination of equilibrium point

LEI Shanshan¹, MA Hailong¹, ZHANG Lixin², MA Yufei³, YAO Wenhong³

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;
2. Zhenjiang Center of Construction Drawing Examination for Construction Projects, Zhejiang 212001, China;
3. Hangzhou Southwest Testing Technology Corp, Hangzhou 310015, China)

Abstract: The O-cell test pile conversion formula neglects the negative frictional resistance of the upper pile of O-cell test pile. As a result, the bearing capacity of O-cell test pile end is lower than that of the top pile, and the determination of equilibrium point is affected. In order to solve the problems, the Mindlin stress solution was used to improve the Meyerhof pile end resistance calculation formula. Besides, the bearing capacity conversion formula of O-cell test pile and the method of determining equilibrium point were proposed. Firstly, the additional stress of pile end plane caused by the pile side friction resistance was calculated. Then, the additional stress was substituted into the Meyerhof pile end resistance calculation formula as the external load to figure out the pile end resistance of O-cell test pile and the top-loaded pile respectively. Finally, the ratio of the two was used as the end resistance correction coefficient to improve the existing O-cell test pile conversion formula. During determining the equilibrium point, the equilibrium point was first estimated according to the empirical formula method, and then, a new equilibrium point was determined according to the corrected O-cell test pile end

收稿日期: 2019-01-14 网络出版日期: 2019-03-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(51878618)

作者简介: 雷珊珊(1993-), 女, 浙江温州人, 硕士研究生, 主要从事桩基工程方面的研究。

通信作者: 马海龙, E-mail: ma-hailong@163.com

resistance. The numerical simulation results showed that the equilibrium point determined by the improved formula could destroy the upper and lower piles at the same time, and the bearing capacity of O-cell test pile calculated by the improved formula was closer to that of the top-loaded pile. It is concluded that the improved formula is more accurate than the existing formula in calculating the bearing capacity and equilibrium point of the O-cell test pile.

Key words: ultimate bearing capacity; additional stress; unloading effect; bearing capacity conversion formula; equilibrium point

0 引言

O-cell 试桩是一种区别于传统静载荷试桩的试桩方法,适用于荷载大、场地试桩条件苛刻、难以采用传统静载荷试桩(简称顶压桩)等环境。当前主要有两个问题影响 O-cell 试桩承载力的计算精度,一是目前的 O-cell 试桩承载力转换公式未考虑上段桩对下段桩桩端平面的卸载问题,二是平衡点位置确定不够准确。现有承载力转换公式仅考虑桩体受力,忽略了土体的连续性及土体应力对桩体承载力的影响,而平衡点的确定方法依托于承载力转换公式,承载力转换公式的缺陷同样影响平衡点的确定。

工程实践表明^[1-2],O-cell 试桩达到极限承载力时,上段桩桩侧的负摩阻力值经过修正,与顶压桩的正摩阻力大小相近,而下段桩的桩端阻力却往往低于相同截面、相同长度、同一场地中的顶压桩,按照转换公式获得的竖向抗压承载力必然小于顶压桩。赵学勤^[3]提出:因 O-cell 试桩与顶压桩侧摩阻力会影响桩周土,对试桩产生吸附力,该吸附力不仅影响桩侧摩阻力也会影响桩端阻力。该吸附力使底托桩(O-cell 试桩上段桩桩底向上顶离,为底托桩)的桩侧负摩阻力^[4]对下段桩桩端平面产生卸载效应,从而导致下段桩承载力降低。

为了提高 O-cell 试桩承载力转换的准确度,马远刚等^[5]提出:将下段桩视为“虚拟桩端”,假定 O-cell 试桩下段桩荷载-沉降曲线($Q-s$ 曲线)等同于顶压桩 $Q-s$ 曲线,将上段桩看作独立单桩,根据位移相等原则(以荷载箱向下的位移为基准),提出了考虑上段桩弹性压缩量的等效转换方法。谭现江等^[6]考虑土体连续性,以及由侧摩阻力引起附加应力对土体参数的影响,采用改进的剪切位移法确定桩基沉降值,从而建立新的 $Q-s$ 转换曲线。以上方法均对 $Q-s$ 曲线中的沉降量进行改进,从而使 O-cell 试桩的 $Q-s$ 曲线更接近顶压桩,但这些方法过程复杂,工程应用困难,且未解决 O-cell 试桩侧摩阻力对桩

端土产生的加卸载效应问题。

除了 O-cell 试桩承载力转换公式有待改进,现有的 O-cell 试桩平衡点位置的确定方法也同样存在问题。平衡点^[7]的定义为:O-cell 试桩中上段桩的侧摩阻力与上段桩重量之和,与下段桩侧摩阻力及端阻力之和相等的位置。平衡点位置确定的准确度决定了 O-cell 试桩的承载力曲线的完整性。目前确定平衡点位置的方法主要有规范经验公式法、数值模拟法、相似模拟试验法,上述方法均未考虑 O-cell 试桩侧摩阻力对下段桩桩端承载力的影响,平衡点位置时常出错,张先林^[8]、黄显彬等^[9]指出,平衡点位置确定问题没有从理论上和实践上得到完善。

本文从力学概念出发,认为桩侧摩阻力在土中产生的附加应力使桩端平面出现加卸载效应,并将该附加应力作为外荷载计入 O-cell 试桩及顶压桩的桩端阻力,从而改进了 O-cell 试桩转换公式。在确定平衡点时,先按经验公式法预估平衡点,再根据引入附加应力的 O-cell 试桩端阻力确定新的平衡点,从而提高平衡点的准确度。

1 O-cell 试桩加卸载机理及承载力

1.1 桩端处土加卸载效应

O-cell 试桩上段桩的负摩阻力与顶压桩的正摩阻力会在桩端平面产生方向相反的附加应力^[10],相较于顶压桩,O-cell 试桩桩端平面土处于卸载状态。

为了计算加卸载效应的影响,采用弹性理论获得加卸载效应产生的桩端附加应力,并建立考虑该附加应力影响的桩端承载力计算公式。

1.2 考虑加卸载效应的桩端附加应力

假设土体是连续、均匀、各向同性的半无限空间弹性体,竖向集中力作用在弹性半无限体内所引起的应力如图 1 所示。当集中力 F 作用在土体深度 h 处时,采用 Mindlin 公式^[11-12]求解土体内任一点坐标为 (x, y, z) ,与集中力 F 的水平距离为 r_k 的点 M 处的附加应力 σ_i 。

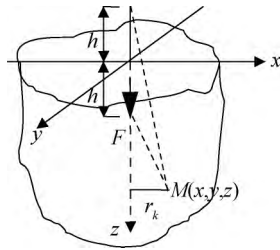


图1 竖向集中力作用在弹性半无限体内所引起的应力

将桩身分为 n 个微单元, 设第 i 个桩单元侧摩阻力对土体的合力为 F , 则合力 F 在土中产生的附加应力 σ_i [13] 为:

$$\sigma_i = \frac{F}{h_i^2} I_{b,ij} \quad (1)$$

其中: h_i 表示桩土 i 单元到桩顶平面距离, m; $I_{b,ij}$ 为竖向应力系数。

$$I_{b,ij} = \frac{1}{8\pi(1-\mu)} \left[-\frac{(1-2\mu)(m-1)}{A^3} + \frac{(1-2\mu)(m-1)}{B^3} - \frac{3(m-1)^3}{A^5} - \frac{3(3-4\mu)m(m+1)^2 - 3(m+1)(5m-1)}{B^5} - \frac{30m(m+1)^3}{B^7} \right] \quad (2)$$

其中: $A^2 = s^2 + (m-1)^2$; $B^2 = s^2 + (m+1)^2$; $s = r_k/h_i$; $m = z/h_i$; μ 为土体泊松比。

附加应力的大小与距离有关, 随着 r_k 的增大, σ_i 逐渐变小, 当超过临界距离后, 可不再考虑附加应力的影响, 临界距离可定为桩端平面与滑移线的交点到桩侧面的距离 L 。则在桩端平面处, 桩侧摩阻力产生的附加应力为:

$$\sigma_z = \sum_{i=1}^n \frac{\int_0^L \frac{F}{h_i^2} I_{b,ij} dr}{L} \quad (3)$$

附加应力方向朝下时为正值, 方向朝上时为负值。

1.3 考虑加卸载效应的极限端阻力

桩侧摩阻力在土中产生的附加应力可视为外荷载, 桩端极限承载力计算公式应考虑附加应力因素。深度很大的基础, 基底土体滑裂面无法到达地面, 而是向上卷曲, 与基础侧壁相交, 形状呈梨形 [14], 相应的滑动体分区如图2所示。

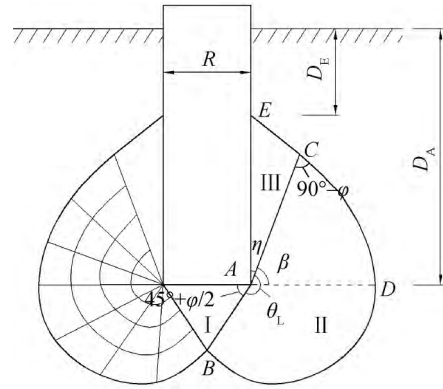


图2 深基础基底附近土体滑动体分区

深基础极限承载力根据 Meyerhof 极限承载力计算公式求得 [15]:

$$f_u = \xi_c c N_c + \xi_q K_0 \gamma \frac{D_A + D_E}{2} N_q + \xi_\gamma 0.5 \gamma b N_\gamma \quad (4)$$

考虑桩侧摩阻力对桩端平面产生的加卸载效应, 导致 O-cell 试桩桩端极限承载力与顶压桩存在差异, 将采用 Mindlin 应力解计算的桩端平面附加应力 σ_z 作为外荷载加入 Meyerhof 端阻力计算公式进行修正, 得到改进的桩端极限承载力计算公式为:

$$f_u = \xi_c c N_c + \xi_q K_0 \left(\gamma \frac{D_A + D_E}{2} + \sigma_z \right) N_q + \xi_\gamma 0.5 \gamma b N_\gamma \quad (5)$$

其中: K_0 为土的侧压力系数, 正常固结土 $K_0 = (1 - \sin \varphi')$, 超固结土 $K_0 = (1 - \sin \varphi') OCR^{\sin \varphi'}$, OCR 为土的超固结比; b 为基础宽度, m; c 为土体黏聚力, kPa; γ 为土体重度, kN/m³; φ 为土体内摩擦角, ($^\circ$); σ_z 为桩侧摩阻力对桩端平面产生的附加应力, kPa; N_c 、 N_q 、 N_γ 为承载力系数; ξ_c 、 ξ_q 、 ξ_γ 为桩端为方形或圆形时的形状系数。 N_c 、 N_q 、 N_γ 的计算公式分别为:

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi \quad (6)$$

$$N_q = \frac{(1 + \sin \varphi) e^{2\theta_L \tan \varphi}}{1 - \sin \varphi \sin(2\eta + \varphi)} \quad (7)$$

$$N_\gamma = \frac{4P_{py} \sin\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)}{\gamma b^2} - \frac{1}{2} \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (8)$$

其中: P_{py} 为与土体重力相对应的被动土压力, 可由 II 区土体平衡分析求得; η 可由式(9)试算求得:

$$\left\{ c + \frac{\frac{1}{2} K_0 \gamma (D_A + D_E) + \frac{c}{\cos \varphi} [\sin(2\eta + \varphi) - \sin \varphi]}{1 - \frac{\sin \varphi}{\cos^2 \varphi} [\sin(2\eta + \varphi) - \sin \varphi]} \tan \varphi \right\} \times \cos(2\eta + \varphi) = \frac{1}{2} K_0 \gamma (D_A + D_E) \tan \delta \cos \varphi \quad (9)$$

其中 δ 为土体外摩擦角, ($^{\circ}$)。

因 N_q 与 N_γ 的数值相近, 且桩基础中的桩径远小于桩长, 因此可将式(5)中第三项省略或不进行修正。深基础形状系数见表1。

表1 深基础形状系数

$\varphi/(^{\circ})$	ξ_c	ξ_q	ξ_γ
<22	1.20	0.80	1.00
25	1.21	0.79	1.00
30	1.24	0.76	1.00
35	1.32	0.68	1.00
40	1.68	0.52	1.00

1.4 O-cell 试桩承载力转换公式改进

为推广 O-cell 试桩, 东南大学土木系与江苏省建委合作编制了江苏省地方标准《桩承载力自平衡测试技术规程》(DB/T 291—1999), 规程给出了 O-cell 试桩承载力转换公式:

$$P = (Q_u - W) / \xi + Q_1 \quad (10)$$

其中: Q_u 为实测的试桩上段桩加载极限值; Q_1 为实测的试桩下段桩加载极限值; W 为试桩荷载箱上部桩自重, 若荷载箱处于透水层, 取浮自重; ξ 为上段桩侧摩阻力修正系数, 根据荷载箱上部土的类型确定, 粘性土、粉土为 0.8, 砂土为 0.7, 岩石为 1.0, 若有不同土层, 取加权平均值。

对下段桩而言, 转换公式(10)中的下段桩极限承载力 Q_1 为被折减后的承载力, 这种折减是 O-cell 试桩施工工艺引起的, 而顶压桩在受荷时端阻力不仅不会折减, 反而会增加, 因此在转换公式中, Q_1 应乘以端阻力修正系数 ψ , 从而变为真实端阻力。

ψ 可用式(11)求得:

$$\psi = \frac{f_{u1}}{f_{u2}} \quad (11)$$

其中: f_{u1} 为顶压桩极限端阻; f_{u2} 为 O-cell 试桩极限端阻。 f_{u1} 、 f_{u2} 采用改进的极限端阻公式(5)计算。

考虑桩端阻力的折减, 引入端阻力修正系数 ψ , 可得改进的 O-cell 试桩承载力转换公式为。当荷载箱位于桩端时:

$$P = (Q_u - W) / \xi + \psi Q_1 \quad (12)$$

当荷载箱位于桩身时:

$$P = (Q_u - W) / \xi + \psi(Q_1 - Q_s) + Q_s \quad (13)$$

其中: Q_s 为下段桩侧摩阻力总和。

2 平衡点位置修正

根据平衡点选择位置的高低, O-cell 试桩加载后可能出现以下三种情况:

a) 平衡点准确, 上、下段桩同时达到破坏状态, 如图 3(a) 所示, 图中数据来源于实测工程案例^[8,16]。

b) 平衡点偏上, 上段桩先破坏, 无足够反力维持下段桩加载, 下段桩荷载-沉降曲线($Q-s$ 曲线)呈缓变型且承载力无法达到极限, 如图 3(b) 所示。

c) 平衡点偏下, 下段桩先破坏, 当下方土体为软弱土层时, 上段桩 $Q-s$ 曲线呈缓变型, 难以出现陡降, 荷载被下段桩的位移消耗, 无法令上段桩充分发挥承载力, 如图 3(c) 所示; 当下方土体为非软弱土层, 土体竖向及侧向位移受限, 即使下段桩位移陡降, 仍能提供一定的反力使上段桩加载至极限, 如图 3(d) 所示。

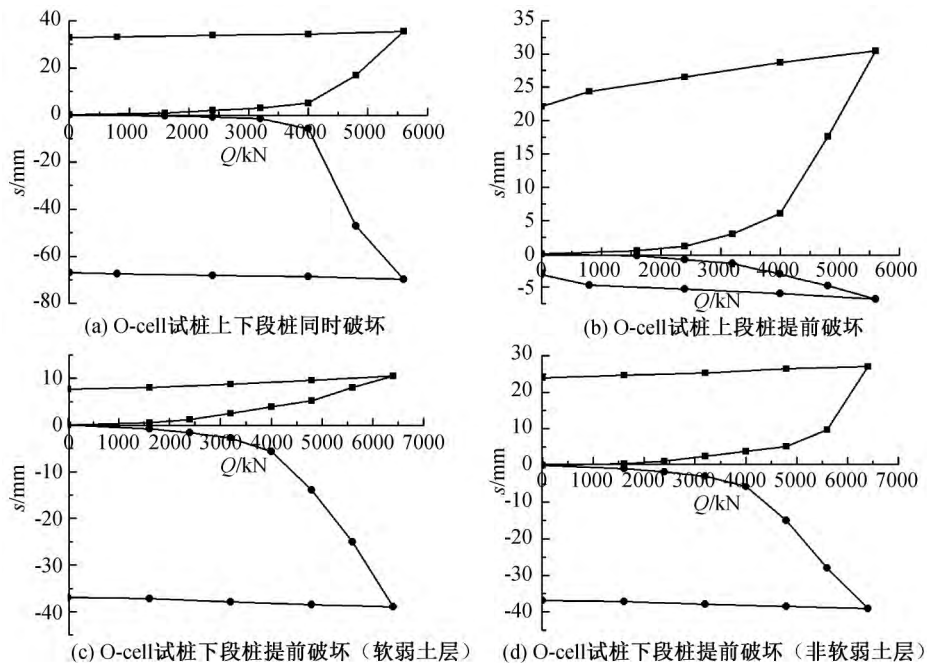


图3 不同平衡点位置的试桩 $Q-s$ 曲线

经验公式法是常见的确定平衡点的方法。根据平衡点位置的不同, O-cell 试桩的侧摩阻力在桩端产生的附加应力可能是加载或者是卸载。荷载箱位于桩端时, 桩端土为卸载, 当荷载箱位置较高时, 下段桩对桩端产生的加载效应大于上段桩产生的卸载效应时, 桩端是加载的。而采用经验公式法试算平衡点时, 下段桩采用的是不考虑加卸载效应影响的桩端阻力(即岩土工程勘察报告给出的端阻值), 导致确定的平衡点位置不准确, 时常出现上段桩或下段桩其中一方提前破坏的情况。

因此, 可用引入附加应力的改进公式(14)确定平衡点。

$$Q_u + W = \lambda(Q_1 - Q_s) + Q_s \quad (14)$$

$$\lambda = \frac{f_{u2}}{f_{u3}} \quad (15)$$

其中: λ 为承载力修正系数; f_{u3} 为不考虑桩端加卸载效应的端阻力, 由岩土工程勘察报告给出。

3 数值分析

3.1 模型参数

采用 FLAC3D 有限差分软件, 分析不同受力状态的桩对周围土体产生的应力, 以及正、负侧摩阻力的变化。

对桩端承载力的影响, 模型计算原型如图 4 所示。为减小边界约束对桩体变形的影响, 桩径与土体长宽的比值达 1:20, 桩长与土高的比值达 1:2, 同时因计算原型为轴对称模型, 仅取一半进行计算。

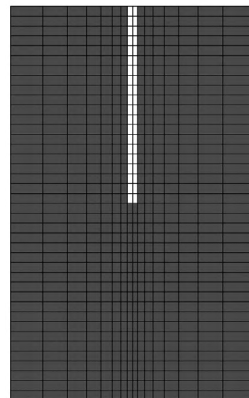


图 4 单桩加载模型

土体为粉质黏土, 桩体为强度等级 C30 的混凝土, 具体参数如表 2 所示。

分 4 种情况进行数值模拟, 分别为单压桩端、顶压桩、底托桩、O-cell 试桩, 其中顶压桩、单压桩端、O-cell 试桩用于分析正、负侧摩阻力作用下桩端阻力的变化, 底托桩用来比较与顶压桩之间的摩阻力大小问题。

表 2 模型参数

类别	模型	尺寸	参数
土体	摩尔库伦模型	长 5 m, 宽 5 m, 高 10 m	$c=7.79 \text{ kPa}$, $\varphi=25^\circ$, $\gamma=18.75 \text{ kN/m}^3$, $E=8.5 \text{ MPa}$
桩体	弹性模型	桩长 $l=5.0 \text{ m}$, 桩径 $d=0.25 \text{ m}$	$\mu=0.38$, 体积模量 $K=19.2 \times 10^9 \text{ Pa}$, 剪切模量 $G=14.4 \times 10^9 \text{ Pa}$

3.2 单压桩端、顶压桩及底托桩的 $Q-s$ 曲线

单压桩端即仅对桩端加载, 此时无桩侧摩阻力产生, 可得原始土层的极限桩端承载力。建模时, 桩体仍然保留, 因荷载不可直接施加于土体, 在桩端处取小段桩体与原桩分离, 作为压板, 荷载施加在压板处。单压桩端的 $Q-s$ 曲线如图 5 所示, 顶压桩及底托桩的 $Q-s$ 曲线如图 6 所示。

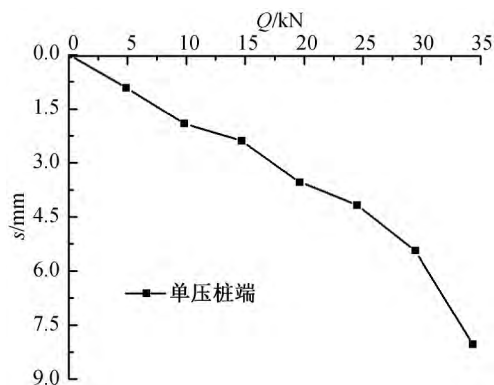


图 5 单压桩端的 $Q-s$ 曲线

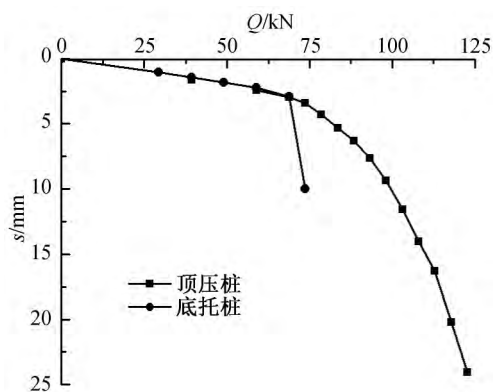


图 6 顶压桩、底托桩的 $Q-s$ 曲线

图 5 中的 $Q-s$ 曲线基本上呈缓变型, 单压桩端的极限桩端承载力为 29.45 kN。

由图 6 可得底托桩的极限荷载为 68.72 kN。因顶压桩曲线转折点不明显, 难以确定破坏点, 现根据曲线斜率法判断极限值。《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011) 规定当 $Q-s$ 曲线某点与上级及下级沉降量的增量较荷载增量的比值大于 0.1 mm/kN

时,且荷载增量为设计荷载的 $1/8 \sim 1/5$, 取该级荷载的前一级为极限荷载。经过计算,顶压桩极限荷载为 112.9 kN, 且顶压桩桩端承载力为 39.3 kN。

3.3 未修正平衡点及修正平衡点的 $Q-s$ 曲线

进行 O-cell 试桩加载时,关键点在于平衡点的选择。O-cell 上段桩为底托桩,下段桩为顶压桩,计算得上段桩侧摩阻力修正系数 $\xi = 0.93$, 当采用未经修正的经验公式,根据 O-cell 上段桩的反力与下段桩的反力相等的原则,可得平衡点位于桩顶以下 3.62 m。O-cell 试桩计算 $Q-s$ 曲线如图 7 所示。

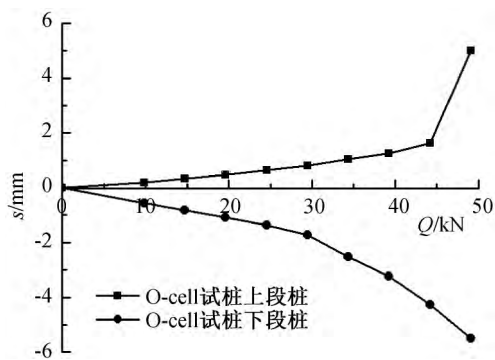


图 7 未修正的 O-cell 试桩的 $Q-s$ 曲线

上段桩极限荷载为 44.18 kN, 下段桩的 $Q-s$ 曲线呈现较平缓的变形递增趋势, 未达到破坏, 可以判断平衡点的选择偏上。

将 O-cell 试桩侧摩阻力作为外荷载, 按照式 (1)~(3) 计算得, $\sigma_z = 5.06$ kPa, 根据式 (15) 计算得, $\lambda = 1.25$, 新平衡点位于桩顶以下 3.88 m, 新的 O-cell 试桩的 $Q-s$ 曲线如图 8 所示。可见平衡点经过修正后, O-cell 试桩在荷载为 49.09 kN 时, 上下段桩达到同时破坏。

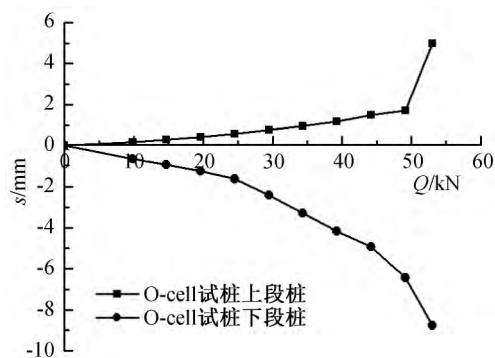


图 8 平衡点修正后 O-cell 试桩的 $Q-s$ 曲线

3.4 修正的 O-cell 试桩承载力

顶压桩、底托桩、O-cell 桩三种加载方法会对桩端平面处土的应力产生影响, 计算桩端平面处土应力分布如图 9 所示。从图 9 中可以看出, 底托桩因桩侧为负摩阻力, 对桩侧土有明显的卸载作用, 其桩端平面应力小于土层自重应力。

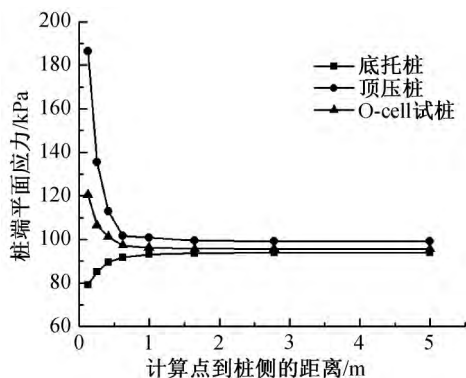


图 9 土应力分布

顶压桩与 O-cell 试桩桩端平面应力均大于土体自重应力, 但 O-cell 试桩应力小于顶压桩, 证明受上段桩负摩阻力的影响, O-cell 试桩相较于顶压桩有卸载效应。顶压桩、单压桩端、O-cell 桩的端阻力如表 3 所示。

表 3 顶压桩、单压桩端、O-cell 桩的端承载力

桩型	极限荷载/kN	极限桩端承载力/kN
顶压桩	112.90	39.30
单压桩端	29.45	29.45
O-cell 桩	96.74	32.60

可见即使平衡点准确, 按照现有的转换公式 (10) 计算的 O-cell 试桩极限承载力为 96.74 kN, 仍然与顶压桩有一定差距, 这是因为受加卸载效应影响, 桩侧土体卸载的 O-cell 桩端阻力小于顶压桩。若采用改进公式 (13), 则由式 (3) 计算得顶压桩桩端平面附加应力 $\sigma_z = 10.41$ kPa, O-cell 试桩桩端平面附加应力 $\sigma_z = 5.61$ kPa, 代入式 (5) 计算各自端阻力后, 由式 (11) 得端阻力增大系数 $\psi = 1.47$, 则采用式 (13) 计算的改进 O-cell 试桩承载力为

$$P = (Q_u - W) / \xi + \psi(Q_1 - Q_s) + Q_s = \frac{49.09 - 4.77}{0.93} + 1.47 \times (49.09 - 15.43) + 15.43 = 112.56 \text{ kN}.$$

修正后的 O-cell 试桩转换承载力 112.56 kN 较原转换公式承载力 96.74 kN 提高 14.1%, 更接近顶压桩的 112.90 kN。

4 结 论

对于 O-cell 试桩极限承载力的确定, 现有的转换公式忽略了 O-cell 试桩上段桩的负摩阻力对桩端平面产生的卸载效应, 以及顶压桩的正摩阻力对桩端的加载效应, 导致 O-cell 试桩承载力向顶压桩转换时, 桩端承载力被低估, 进而影响计算的平衡点

位置的准确性。本文从 O-cell 试桩及顶压桩侧摩阻力对桩端平面产生的加卸载效应入手,采用 Mindlin 应力解计算侧摩阻力在桩端产生的附加应力,并用附加应力改进 Meyerhof 桩端阻力计算公式,改善了现有的 O-cell 试桩承载力偏低及平衡点不准的问题。主要结论如下:

a) O-cell 试桩根据荷载箱位置的不同,桩端平面处可能出现向下的附加应力,也可能出现向上的附加应力,表现为对桩端平面处土加载或卸载的力学现象,即使附加应力方向向下,但其附加应力的值大小必然低于顶压桩, O-cell 试桩端阻力也必然低于顶压桩。

b) 将附加应力作为外荷载代入 Meyerhof 桩端阻力计算公式,以改进的顶压桩与 O-cell 试桩的端阻力比值作为端阻力修正系数,改进了 O-cell 试桩承载力转换公式,数值模拟结果表明,改进公式计算的 O-cell 试桩承载力较原经验公式更接近顶压桩。

c) 受加卸载效应的影响,采用原经验公式法确定的平衡点位置较真实平衡点有偏差,以改进的 O-cell 试桩端阻力及地勘报告的端阻力比值作为承载力修正系数,确定新的平衡点,数值模拟结果表明,新的平衡点计算公式能更好的确定平衡点位置,使上下桩段同时达到破坏。

参考文献:

- [1] 徐长节,李碧青,蔡袁强.自平衡法试桩的承载特性试验研究[J].浙江大学学报(工学版),2012,46(7):1262-1268.
- [2] Pelecanos L, Soga K, Chung M P M, et al. Distributed fibre-optic monitoring of an Osterberg-cell pile test in London[J]. Geotechnique Letters, 2017, 7(2):152-160.
- [3] 赵学勤.有关钻孔桩承载力自平衡法的几个问题[J].公路,2007(12):60-62.
- [4] 刘源,蒋玉川.自平衡试桩法上段桩有限元研究[J].土工基础,2018,32(1):55-58.
- [5] 马远刚,陈开利,杨春和.自平衡试验等效转换的附加压缩量修正[J].交通科技,2009(5):13-16.
- [6] 谭现江,杨高尚,雷明锋,等.自平衡试桩法桩基承载力等效转换新方法[J].铁道科学与工程学报,2016,13(12):2388-2395.
- [7] 罗伟斌,陈美村,钟雪琳.自平衡法平衡点位置对基桩承载力影响的试验研究[J].桥隧工程,2015(4):46-48.
- [8] 张先林.自平衡试桩法与传统锚桩试桩法工程实例对比[J].岩土工程技术,2017,31(60):283-288.
- [9] 黄显彬,侯松,蒲鸿,等.自平衡试验测试桩基竖向承载力现状分析[J].建筑结构,2015,45(21):79-84.
- [10] 胡永强,汤连生,李兆源.静压桩桩-土界面滑动摩擦机制研究[J].岩土力学,2015,36(5):1288-1294.
- [11] Mindlin R D. Force at a point in the interior of a semi infinite solid[J]. Physics, 1936, 7(5):195-202.
- [12] 刘金砺,邱明兵,秋仁东,等. Mindlin 解均化应力分层总和法计算群桩基础沉降[J].土木工程学报,2014,47(5):118-127.
- [13] Geddes J D. Stresses in foundation soils due to vertical subsurface loadin [J]. Geotechnique, 1966, 16(3):231-255.
- [14] 肖金品,彭文韬,胡春林,等.基于桩身位移测量的自平衡试桩极限承载力确定方法[J].武汉理工大学报,2013,35(8):103-107.
- [15] Meyerhof G G. The ultimate bearing capacity of foundations[J]. Geotechnique, 1951, 2(4):301-331.
- [16] 马晔,王陶.超长钻孔灌注桩自平衡法荷载试验研究[J].岩土工程学报,2005,27(3):275-278.

(责任编辑:康 锋)