

干振挤密碎石桩桩间土挤密效果实测分析

蔡江东, 余跃心, 陈亚东, 岳晨曦

(淮阴工学院建筑工程系, 淮安 223001)

摘要: 干振沉管挤密碎石桩是一种有效的地基处理方法, 基于圆柱孔扩张理论, 根据成桩前后地基土的静力触探比贯入阻力值的对比, 分析挤密、振密作用沿桩长分布情况, 结果发现, 振密效果在浅部较明显, 而挤密效应也有沿深度减弱的趋势。

关键词: 挤密碎石桩; 桩间土; 挤密效应

作者简介: 蔡江东(1967—), 男, 副教授, 从事地基岩土及环境岩土研究和教学工作。

0 引言

干振挤密碎石桩是利用振动荷载在地层中预沉桩管, 然后在桩管中灌入一定量的碎石(一般充盈系数大于 1.1), 边振动边提升, 这样在振动、挤密共同作用下形成密实度较大的碎石体。成桩后桩周土体可借助碎石桩体排水, 如此在这些综合作用下不但可以有效地提高地基强度, 还可以提高抗液化、抗变形能力。干振挤密碎石桩对地基处理的作用效果来自多方面, 其中沉管时的挤土效应是其中之一。

挤土效应在空间上表现为桩周一定范围内土体的水平位移和竖向位移——前者以挤密作用为主, 后者则以地表土的隆起为代表。研究表明, 挤土使得桩周一定范围内的土体在沉桩后的物理力学指标有明显的改变。由于钻探取样的不连贯性, 人们难以从样本有限的土样物理指标中发现其变化规律, 而静力触探由于有连续采点的特性, 因而可以较好的发现桩周土挤密效应。

1 圆柱扩张理论

振动沉管在克服沉桩土阻(包括端部阻力和桩侧摩擦力)过程中将产生很高的附加应力, 这会对桩周土产生扰动、挤密、振密作用并使桩周一定范围内的土体结构发生改变。

忽略竖向变形(包括隆起和振陷), 沉管过程可以用圆柱孔扩张理论近似描述, 该理论基本假

定: ①沉桩过程是一个侧向挤土过程; ②土体为各向同性、均匀理想弹塑性材料; ③沉桩瞬间桩周土不可压缩; ④土体符合莫尔-库仑强度准则; ⑤柱孔扩张前土体各向有效应力均等。

假设有一个初始半径为 R_i 的圆柱形小孔, 孔内压力 P 均匀分布, 如内压力不断增加, 则该圆柱形小孔扩张, 小孔周围的圆柱形区域将进入塑性平衡状态。

塑性区不断扩大, 当小孔半径达 R_u 时(桩的半径), 小孔内的压力也达到极限值 P_u , 此时塑性区半径达 R_p , 在 $r > R_p$ 的圆柱形区域, 土体处于弹性平衡状态。

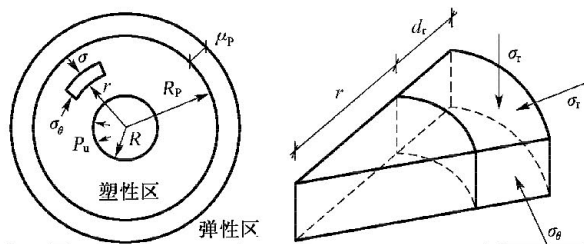


图1 沉桩桩周应力、应变状态

对半无限体按平面对称问题考虑, 如某一土体单元, 在径向应力, 环向应力作用下, 处于平衡状态: 若①塑性区内土体可压缩, 且已知强度参数 c 、 ϕ 和平均体应变 Δ ; ②在塑性区外土体是线弹性、各向同性物质, 材料参数包括弹性模量 E 、泊松比 ν 等; ③土体初始应力为各向同性有效应力 q , 弹、塑性区体积力不计。

对圆柱形轴对称问题有平衡方程:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad (1)$$

根据 Mohr 准则:

$$(\sigma_r - \sigma_\theta) = (\sigma_r + \sigma_\theta) \sin \phi + 2c \cdot \cos \phi \quad (2)$$

在极限状态下:

$$\sigma_r = (P_u + c \cdot \cot \phi) \left(\frac{R_u}{r} \right)^{\frac{2 \sin \phi}{1 + \sin \phi}} - c \cdot \cot \phi \quad (3)$$

根据孔的体积变化等于弹性区的体积变化加上塑性区体积变化,则有

$$\pi R_u^2 - \pi R_i^2 = \pi R_p^2 - \pi (R_u - u_p)^2 + \pi (R_p^2 - R_u^2) \Delta \quad (4)$$

式中, Δ 为塑性区平均体积应变。

在 $r = R_p$ 处的径向位移 U_p 与正应力 σ_p 分别为

$$U_p = \frac{1 + \nu}{E} R_p (\sigma_p - q) \quad (5)$$

式中, q 为初始应力。

$$\sigma_p = (P_u + c \cdot \cot \phi) \left(\frac{R_u}{R_p} \right)^{\frac{2 \sin \phi}{1 + \sin \phi}} - c \cdot \cot \phi \quad (6)$$

在圆柱孔理论给定题设条件下可知, 桩周土的挤密效果与土的强度、变形性质以及初始应力条件等诸因素有关。

2 挤土效用

圆柱孔扩张理论是基于半无限土体平面应变的假定, 通过内压作用下的圆柱孔扩张来描述小孔周围圆柱形区域的变化情况, 与挤土沉桩模式有相同之处; 该理论在小孔半径扩张至桩径时, 将柱形区划分为塑性区和弹性区, 但未考虑土的材料特性、忽略沉桩阻力及体积力等, 因而又与挤土沉桩模式有显著不同。

根据式(5)可以计算出弹-塑性分界面上各点位移, 由于土的粘、弹、塑性材料实质, 沉桩过程中桩周土的塑性区范围很小(一般为 $0.125 \sim 0.2D$, D 为桩径)。工程经验表明, 挤土作用对桩周土的影响范围远大于一倍桩径。视桩身和桩周塑性区为整体, 结合能量守恒定律, 对挤土桩桩周弹性区土体位移可作以下分析:

(1) 由于塑性区内应力等向传递特性, 考虑土

体在半无限空间上的应力特点, 在匀速沉桩前提下, 均质土中沉桩应力所导致的塑性变形区应随深度增加而减小(即均质土中桩周塑性土呈锥状展布), 因而沉桩对弹性区的挤密效用也会沿深度增大而降低。

(2) 沉桩挤土过程实际上也是被动土压力产生的过程, 因此弹性区内某点的径向位移应是与被被动土压力系数 k_p 有关的量。基于这一认识, 可以推知沉桩应力对强度高的土的挤密效果和作用范围要大于强度低的土, 即强度越大, 被挤密的范围就越大。同样, 对表层土而言, 强度越高, 破坏的效果就越显著。

(3) 沉桩会引起土的体积改变, 土体积变化的实质是一个消能的过程, 变形越大的土体, 其消除应力的效果越好。有计算表明, 对硬黏土或密实砂而言, 1% 的体积改变可以将刚度指数减少 4 倍、极限压力减少 2 倍, 因而沉桩中产生的附加应力对易变形土的挤密作用应显著低于对硬土的挤密作用。

(4) 挤密效果还受土的排水性质的影响。沉桩应力产生的超孔隙水压可引起土体的劈裂破坏, 排水后土体结构的变化有时会使土的强度更高, 因此充分排水的土层挤密效果会较好。

3 振动效应分析

与一般的挤土桩不同, 振动沉管桩的振动能量可以对粉土或砂土的结构产生破坏、重组影响。特别是对饱和粉土或粉细砂, 沉管挤土会使周边土体产生高孔隙水压, 振动能量有助于孔压对原土体结构的劈裂破坏, 这样会使挤密效果更加显著。挤土桩对浅表土的结构破坏表现在桩周土的裂隙和隆起, 而振动对土的结构重组则体现为土的下沉。如废黄河冲积成因粉土区的实践中, 锤击或静压工程桩近地表周围的土体会产生显著的隆起, 而振沉桩周围则多发生明显振陷, 有时沉陷的范围会使桩架倾斜。

振陷量与振动能量影响的深度有关, 有经验表明场地振沉量可用下式近似计算:

$$\Delta H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H \quad (7)$$

式中, H 为振动影响深度; e_0 为初始孔隙比; Δe 为沉桩前后孔隙比变化值。

振动影响深度是一个与能量、土的性质有关的量;可借助孔压及覆土强度近似求得,振动能量越高,振沉量越大。此外,沉陷量与施工前后孔隙变化有关,当孔隙体积中自由水无法排除时,振沉作用就不明显。

4 工程实证

4.1 工程概况

某地基处理工程,采用沉管挤密碎石桩,设计成桩桩径 500 mm,桩长 13~15 m,桩间距 1 500 mm,为了解沉桩后桩间土挤密情况,在勘察孔位附近选取两根桩,于沉桩 4 天后距桩 2D 处进行静力触探测试,并将结果与场地勘察孔资料对比。如表 1、表 2 所示。

表 1 K_1 孔与勘察孔 P_s 值比较

土层岩性	厚度(m)	状态	P_{s2}/P_{s1}
①粉土	1.5	松散	0.8~1.0
②粉土	1.7	中密	2.2
③粉土	4.7	中密	1.7
④粉土	4.2	中密	2.3
⑤粉土	1.5	密实	2.5

表 2 K_2 孔与勘察孔 P_s 值比较

土层岩性	厚度(m)	状态	P_{s2}/P_{s1}
①-1 粉土	1.5	中密	0.6~0.8
②粉土	2.5	中密	2.2
③粉土	5.0	中密	1.8
④粉土	3.0	中密	2.4
⑤-1 粉土	3.0	中密	1.7

4.2 测试结果分析

(1) 因上覆土层厚度较薄,表土层在振沉施工中产生轻微隆起,振动作用虽使隆起量减少,由于地下水位较低缘故,孔压劈裂作用不强,表层土结构重组效果不好,因而最终密实效果很差;相比

较而言,沉桩应力对中等密实粉土的破坏作用较松散粉土大,这种现象在地势较高处或河岸边尤为常见。

(2) 第②层粉土处理效果较好,其原因在于该土层受挤密、振密共同作用,同时因埋藏较浅,孔压也易于消散。

(3) 总体上沉桩应力对密实粉土的挤密作用较中等密实粉土强,这与圆柱孔扩张理论相吻合。

(4) 从深度上看,挤、振密效应因覆土厚度增大而存在减弱趋势,④层粉土比③层粉土挤密效果好,是因为④层粉土粘粒含量低,土层排水比较充分的缘故。

5 结 语

干振沉管挤密碎石桩可以较好的消除地基土的液化效应并增强地基强度和抗变形能力,是一种综合性地基处理方法。本次测试发现,干振沉管挤密碎石桩施工后地基土的强度就有显著提高,不过由于测试时间间隔较短、土中粘粒含量较高的原因,处理后的地基强度增幅还不够理想,随着垫层铺筑及上部路堤填筑完毕,有效而充分的排水还会使地基强度有一个缓慢增加过程。

参 考 文 献

- [1] 刘松玉,朱志铎,方磊,等. 高速公路液化地基处理原则与方法. 岩土工程学报[J],2001,(23)2:135~139.
- [2] 蔡江东,张颖. 干振挤密碎石桩处理液化地基的实践和分析. 公路交通科技[J],2003,(43)5:15~19.
- [3] 徐建平,周健,许潮阳,等. 沉桩挤土效应的模型试验研究. 岩土力学[J],2000,(21)3:235~138.
- [4] 王育兴,孙钧. 打桩施工对周围土性及孔隙水压力的影响. 岩石力学与工程学报[J],2004,(23)1:153~158.