

文章编号: 1000-5013(2011)05-0569-10

反复堆卸载下被动桩土相互作用有限元分析

郭力群¹, 梁墨², 陈福全²

(1. 华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021;
2. 福州大学 土木工程学院, 福建 福州 350108)

摘要: 利用有限元方法, 探求长期反复堆卸载过程中桩土相互作用的应力应变情况. 研究堆卸载过程中被动桩与土体不同时刻的水平位移、变形、沉降、孔隙水压力变化, 以及桩身弯矩等对反复荷载下桩土相互作用的规律, 通过改变不同的条件来判断影响桩土相互作用的因素. 结果表明: 土体在反复堆卸载下不同于静力荷载的应力应变表现, 在每个堆卸载过程后, 都有不可恢复的残余应变, 中间还伴随着超孔隙水压力的累积与消散, 桩对土体侧移有很好的遮拦效果.

关键词: 被动桩; 反复堆卸载; 有限元法; 超孔隙水压力; 残余应变

中图分类号: TU 431; TU 473.1⁺6 **文献标志码:** A

目前, 被动桩的相关理论、机理和计算方法还不成熟, 特别是涉及反复堆卸载作用的情况. 对被动条件下桩土的相互作用进行有限元或有限差分法的分析^[1-7]较多, 但涉及到反复堆卸载的有限元分析还比较少. CRISP2D(教育版)软件具有 Carter 本构模型, 对固结排水条件下的有限元模拟比较方便, 能直观地模拟出大面积反复堆卸载对邻近桩基的影响. CRISP2D 软件对模型中节点数和单元数有限制, 因此有限元网格划分的比较粗糙; 而且, 其土的参数选取是参考相关文献, 而非现场试验所得, 从而决定了有限元分析是对工程实际问题的定性分析, 而不是精确的工程实际模拟. 本文采用 CRISP2D 软件, 利用 Carter 模型对长期反复堆卸载作用下的土体与邻近桩基相互作用的情况进行研究.

1 有限元分析过程

1.1 有限元相关问题的一些说明

文中的有限元模型忽略纵向边界条件的影响, 采用平面应变有限元分析, 将桩基等效为板桩. 板桩弹性模量计算式为

$$E = \frac{E_p d + E_s(u - d)}{u} \tag{1}$$

式(1)中: 模量下标 p 表示桩; s 表示土; d 为桩径; u 为桩中心距.

式(1)忽略了桩间土体的绕流, 将桩体等效为板桩, 使得受堆载作用下的土层水平位移产生的作用力, 全部施加在桩身上, 这样可能使土层水平位移比实测略小, 而桩身水平位移比实测值略大. 陈福全^[8]在被动桩桩间土拱效应数值分析中的结果表明: 无论是砂质土还是粘性土, 当桩距 u 小于 3 d 时, 被动桩承担了由地面堆载导致的土层侧向位移产生的 90% 以上侧压力, 即可以将排桩等效为板桩. 因此, 作为机理研究和性态分析评估完全可以用二维分析.

在堆载区边缘净距 2 m 处, 模拟设置一排直径为 0.7 m, 间距为 2 m 的桩, 桩身弹性模量为 20 GPa, 泊松比为 0.167, 桩长为 21 m, 桩头自由. 根据式(1), 板桩等效模量为 10 GPa. 忽略桩身尺寸效应, 桩体采用梁单元离散, 土体考虑固结的四边形 8 节点单元进行离散. Bransby 等^[9]研究表明: 对于被

动桩来说,桩与临近土体不发生滑移时为最危险状况,桩与桩周土同步侧向位移是偏于安全的. Naylor 分析表明,对于柔性桩或软土层很深的情况,并不需要设置界面单元. 模型中软土层厚度达 13 m,故不设置界面单元.

堆载大小取 20 kPa,宽度为 9 m,加载方式如图 1 所示,即瞬时加载并持续 1 d,然后瞬时卸载再持续 1 d,依次循环,以考虑固结过程中的时间效应. 加载过程要用到 Each Halves 的加载方式,即将 20 kPa 的荷载分成相应的由大到小的 10 部分依次加载,模拟应力路径以接近屈服面的过程. 相应的,卸载过程中用到 Each Doubles 的加载方式,模拟应力路径从屈服面移动到弹性区域的过程. 加卸载的时间设定为 0.1 s,模拟瞬间加卸载. 土体的初始应力采用土体自重应力计算方法.

1.2 建模过程

Bransby 等^[9]对堆载-土体-桩基相互作用进行分析时,将土层简化成两层,上层为软土,下层为较硬软土层或中密砂质土层. 文中的土层:表层为厚度 13 m 的软粘土层,底层为厚度 28 m 硬粘土层,如图 2 所示. 桩长 21 m,桩头自由,堆载区距离桩头 2 m,左右计算范围至少各取 60 m 宽. 由于 CRISP2D(教育版)的限制网格划分得比较稀疏,边界约束条件为左右边界水平约束,底边边界为固定约束. 固结边界条件:左右边界和底部边界封闭,上边界打开,即为排水面. 软件默认的边界是封闭的,设置的上边界总孔隙压力维持为零即可.

Carter 本构模型主要参数为 λ, κ, M , 以及屈服面衰减系数为 θ ,基本方案分析时 θ 取 0.01,土层的 λ, κ, M 等值参考周洪波^[10]的取值. 表 1 为各土层的土体参数. 表 1 中: ν_s 为泊松比; k_h 为水平渗透系数; k_v 为竖直渗透系数; γ 为容重; γ_w 为水的容重; e_0 为软土层初始孔隙比.

1.3 结果分析

标准算例中的土体属于正常固结土. 在 CRISP2D 使用手册中,修正剑桥模型土体的初始不排水抗剪强度为

C_u = \frac{M}{4} p'_c (\frac{2p'_y}{p'_c})^{\kappa/\lambda}, \tag{2}

式中:硬化参数 $p'_c = \left(\frac{(p'_{\max}/M)^2}{p'_{\max}} \right) p'_{\max}$, $\sigma'_{x, \max} = K_0 \sigma'_{y, \max}$, $p'_{\max} = (2\sigma'_{x, \max} + \sigma'_{y, \max})/3$, $q_{\max} = \sigma'_{y, \max} - \sigma'_{x, \max}$.

从式(2)可看出,正常固结土的初始不排水抗剪强度随着土体埋藏深度的增加而增大,深度较浅的土体不排水抗剪强度较小. 标准算例中反复堆载为 20 kPa,在堆载作用下一定深度土体的循环压强比 σ_{ac}/σ_{af} 很大,这部分土体在很少的反复荷载次数下就会破坏. 所以,标准算例中取较少的循环次数 $N=40$,即 40 个完整的堆卸载过程,整个加载历时 80 d. 基本模型最终沉降(放大 10 倍),如图 3 所示.

从图 3 可看出,地面沉降最大点在堆载右边缘下的地面. 第 40 次加载时沉降达到 286 mm,第 40 次卸载后沉降为 202 mm,而堆载左边缘下地面相应的沉降分别为 200,130 mm.

桩的遮挡作用对堆载边缘土体水平位移的影响也是显而

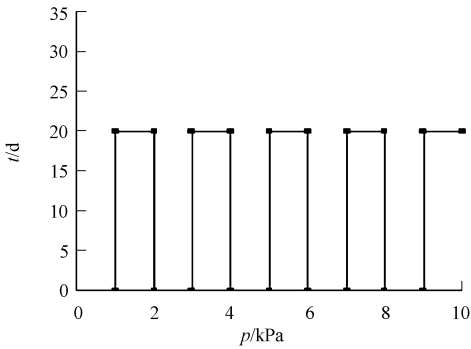


图 1 反复堆卸载的加载方式
Fig.1 History of repeated surcharge load

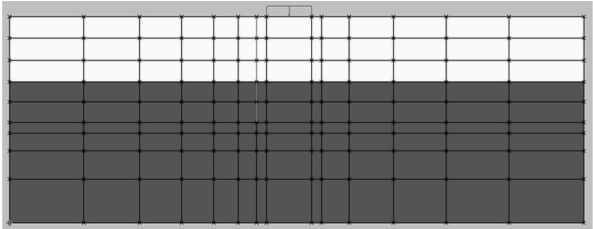


图 2 有限元模型与网格
Fig.2 Finite element model and mesh

表 1 各土层参数

Tab.1 Parameters of soil strata			
参数	表层软粘土层	底层硬粘土层	
λ	0.161	0.086	
κ	0.062	0.025	
e_0	1.789	0.803	
M	0.888	1.20	
ν_s	0.35	0.25	
$\gamma_w/\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	10.0	10.0	
$k_h/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	1.0	1.0	
$k_v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	1.0	1.0	
$\gamma/\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	18.0	18.0	
θ	0.01	0.01	

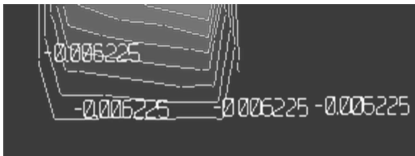


图 3 最终沉降图
Fig.3 Final settlement

易见的. 在靠近桩基一侧堆载下土体最大水平位移为 62 mm, 而远离桩基一侧为 76 mm. 堆载右边缘下的沉降随时间变化, 如图 4 所示.

受反复堆卸载作用下的土体表现出不同于受静力荷载的特性. 从图 4 可知, 在每个堆卸载过程后都有不可恢复的残余应变, 而且随着反复堆卸载次数的增加, 残余应变的增量减少. 残余应变累积包括两个部分: 累积固结和累积压实等体积塑形应变与剪切塑形应变. 随着堆卸载次数的增加, 地基逐渐被压密, 故体积塑形应变的增量逐渐减小, 从而显示出后期残余应变的增量减少. 在反复堆卸载的过程中, 伴随着孔隙水压力的积累和消散的过程.

堆卸载完成后软土中部超孔隙水压力随 X 坐标变化, 如图 5 所示. 从图 5 可知, 堆载完成后, 最大的正孔压出现在软土层的中部, 当 40 个堆卸载循环完成后, 土体中仍有相当一部分超孔压未来得及消散. 土体中由堆卸载引起的、超孔压的影响深度, 达到软硬土层交界处附近, 而影响宽度主要集中在堆卸载宽度的范围内.

选定堆载左边缘下软土层中的一点, 研究堆卸载过程中超孔隙水压力随时间的变化情况, 如图 6 所示. 从图 6 中可看出, 每个堆卸载过程中超孔压的积累、累积塑性的变形随着残余孔压的增长而增长. 堆卸载完成后的一段时间内, 累积超孔压的消散又会新增一定的固结沉降.

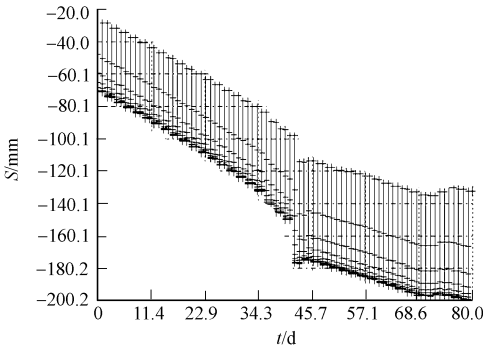


图 4 堆载右边缘沉降随时间变化图
Fig. 4 Settlement of the right load side-time

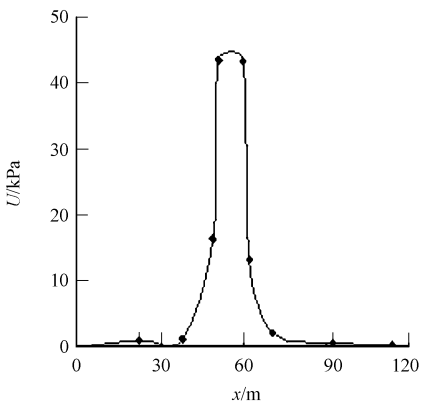


图 5 超孔隙水压力随 X 坐标变化
Fig. 5 Excess pore water pressure- X coordinate

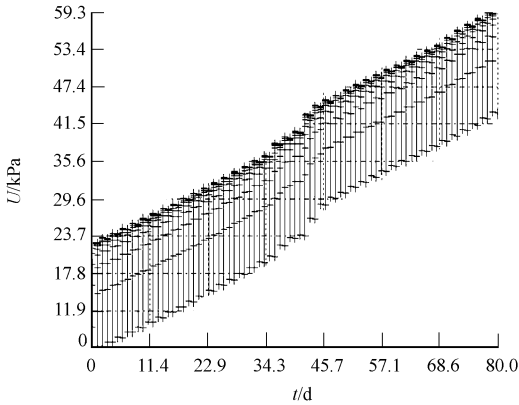


图 6 堆载左边缘下一点超孔隙水压力随时间变化
Fig. 6 Excess pore water pressure of the left load side-time

第 1, 3, 10, 20, 30 和第 40 个堆卸载过程中堆载完成后的桩身位移(Δ)与弯矩(M), 分别如图 7, 8 所

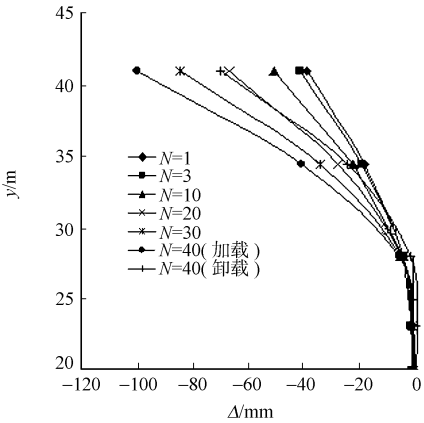


图 7 桩身水平位移图
Fig. 7 Displacement of pile

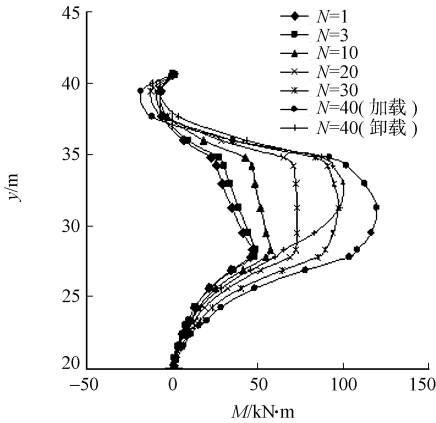


图 8 桩身弯矩图
Fig. 8 Bending moment diagram of pile

示. 从图 7 可看出: 在 28 m 处软土层与硬土层交界处有明显的拐点, 桩身的侧移主要发生在上部软土层中, 而且软土层中的桩身位移随着堆卸载次数 N 的增加而增大; 最后一个堆卸载的卸载结束后, 桩顶已经累积了 70 mm 的水平位移. 从图 8 可看出: 桩身最大正弯矩发生在软土层与硬土层的交界处; 随着 N 的增加, 最大正弯矩的位置由软硬土层的交界处逐渐上移, 最大正弯矩也增至 118.9 kN·m; 当 $N=40$, 卸载后桩身最大弯矩仍达 99.3 kN·m, 同时, 最大负弯矩也在堆卸载过程中不断增大.

2 桩土相互作用的影响因素分析

影响桩土相互作用的因素有很多, 主要有堆载情况、土层参数和桩身条件等几个方面. 利用有限元, 分析不同因素对桩土相互作用(桩身位移、弯矩、土中最大超孔压和土体最大沉降)的影响情况.

2.1 堆载情况对桩土相互作用影响

2.1.1 堆载次数 选定堆卸载大小为 10 kPa, 循环次数(N)分别为 1, 2, 5, 10, 20, 40 和 80, 其他条件不变, 考察堆卸载次数对桩土间相互作用的影响, 如图 9 所示. 从图 9 中可明显看出, 桩身位移、桩身弯矩、堆载下超孔隙水压力和沉降都随着堆卸载次数的增加而增大, 且增加幅度逐渐增大.

周洪波^[10]认为, 随着反复加卸载次数的增加, 堆载中心沉降和堆载边缘侧移不断增加, 并且呈现出加速增加的规律. 算例结果与周洪波^[10]的结论是一致的. 当作用较大的堆载, 在很小的荷载循环次数下, 土体就会破坏, 将无法很好的观察循环次数对桩土相互作用的影响. 桩身侧移和超孔隙水压力的分布形式在堆卸载过程并没有改变, 只是数值上的增加. 桩身侧移、最大孔压、最大弯矩等的分布位置及分布规律与基本算例相同.

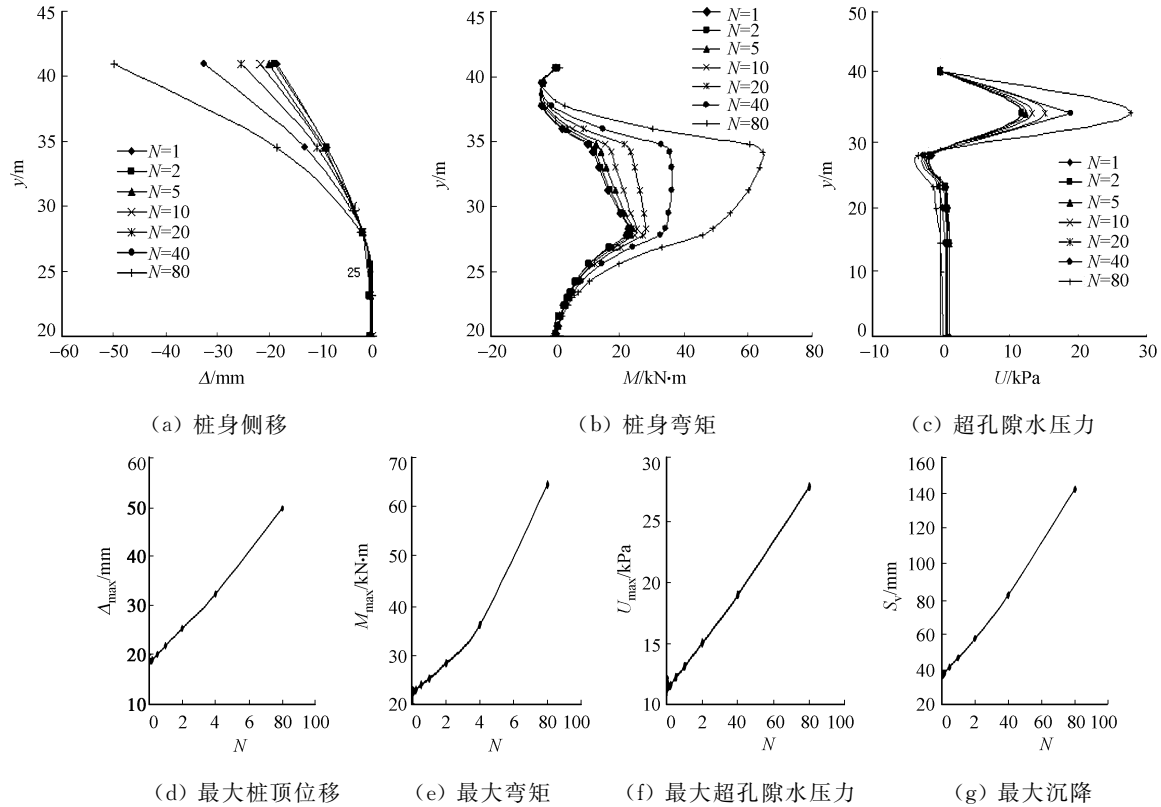


图 9 堆卸载次数对桩土相互作用的影响

Fig. 9 Influence of the number of surcharge load on soil-pile interaction

2.1.2 堆载大小 分别取堆载(p)为 10, 20, 30, 40 kPa, 其他条件不变, 考察堆载大小对桩土相互作用的影响, 如图 10 所示. 从图 10 可知: 当反复堆载增大到 40 kPa 时, 堆载下更大范围的土体循环压强比较大, 使得这部分土体可循环次数很少; 当土体的循环压强比很大时, 土体在很少的堆卸载次数作用下迅速被破坏. 10 kPa 的堆载仍大于土的临界重复应力, 堆载下土体在一定循环次数下变形也会不断累积, 最后被破坏.

然而, Carter 模型不能考虑临界重复应力, 周洪波^[10]针对这个问题对 Carter 模型进行了改进. 从图 10 还可知: 随着堆载的增大, 土体的沉降迅速增加, 同时桩的位移与桩身弯矩相应的增大, 且增加的幅度也增大; 土体下的最大正超孔隙水压力也近似线性增加, 超孔隙水压力的分布范围与标准算例类似, 最大正超孔压始终处于软土层中部, 最大负超孔压处于软硬土层交界处; 土体中超孔压随着堆载的增大、荷载循环次数的增加而急剧增大; 当堆载为 40 kPa 时, 土体在反复堆卸载过程中很快被破坏, 随着堆卸载次数的增多, 更大的堆载对桩土相互作用的影响更加明显.

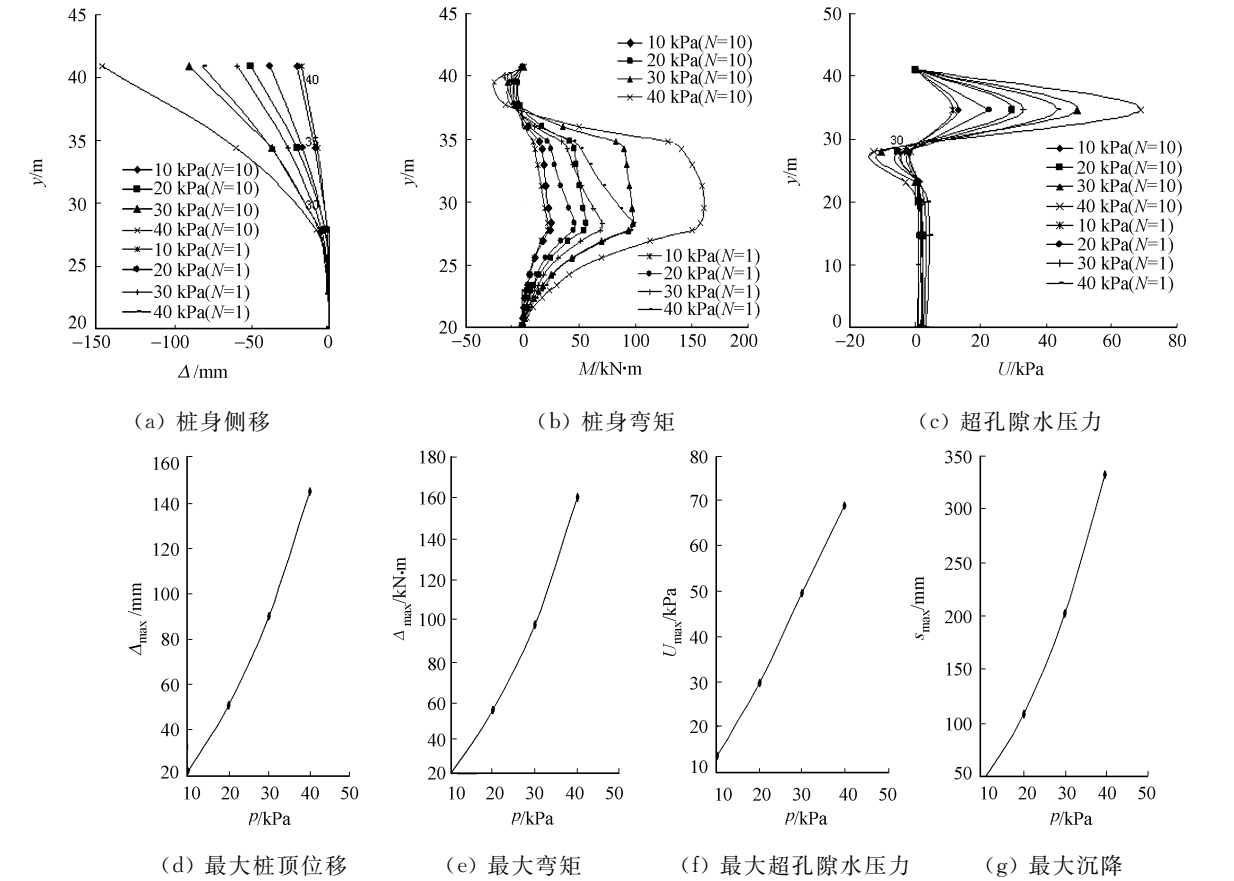
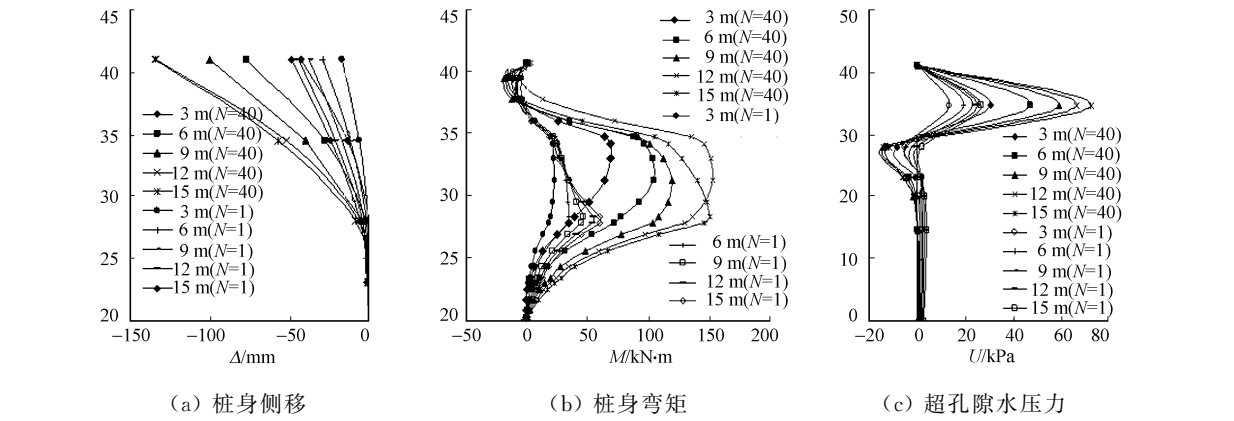
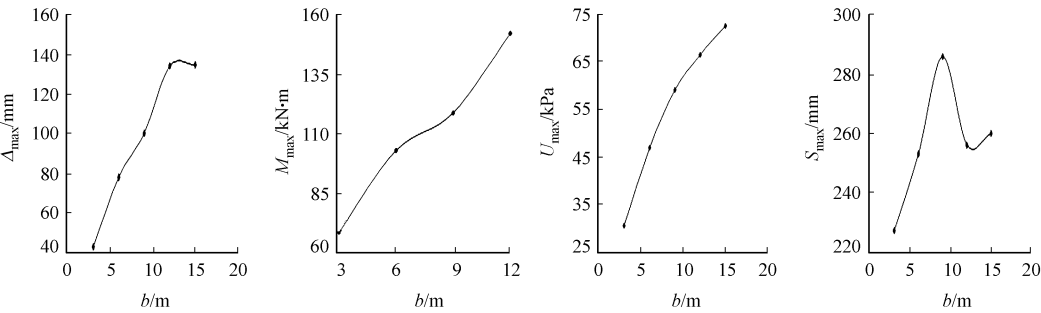


图 10 堆载大小对桩土相互作用的影响

Fig. 10 Influence of the value of surcharge load on soil-pile interaction

2.1.3 堆载宽度 分别取堆载宽度为 3, 6, 9, 12, 15 m, 其他条件与基本算例相同, 考察堆载宽度(b)对桩土相互作用的影响, 如图 11 所示. 从图 11 可知: 随着堆载宽度的增大, 桩身位移, 弯矩和土中超孔隙水压力都相应增大; 随着堆载宽度的增加, 堆载影响的范围扩大; 土体中的超孔隙水压力, 随着堆载宽度的增大而影响范围增大, 但分布形式与基本算例相同; 当堆载宽度比较大时, 继续增加堆载宽度, 其对桩顶位移, 弯矩和沉降的最大值影响都不大.





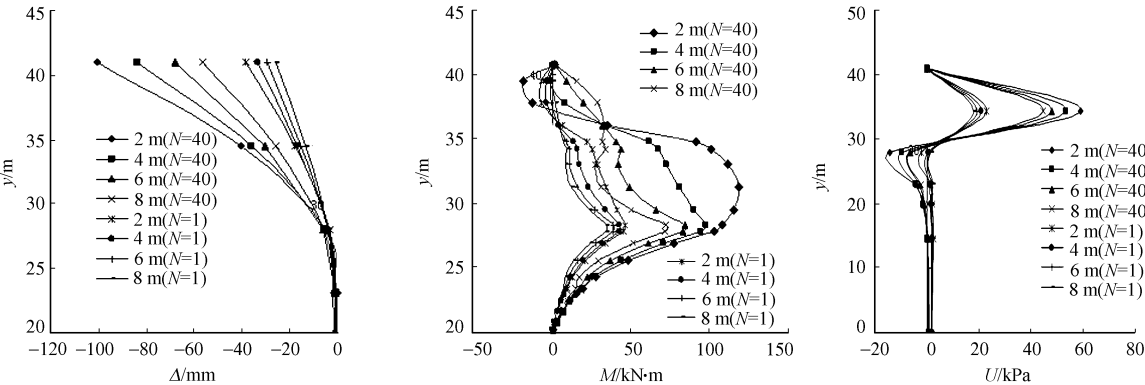
(d) 最大桩顶位移 (e) 最大弯矩 (f) 最大超孔隙水压力 (g) 最大沉降

图 11 堆载宽度对桩土相互作用的影响

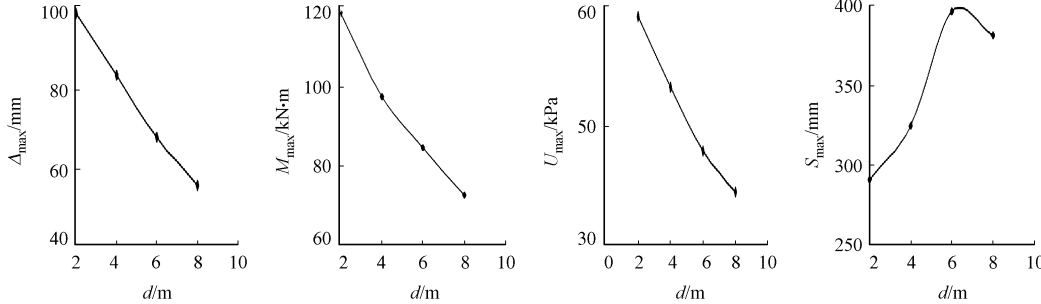
Fig. 11 Influence of the width of surcharge load on soil-pile interaction

此外,最大正弯矩从软土层的中部附近重新移动到了软硬土层的交界处,对桩的影响不大. 研究结果与黄伟达^[11]在静力作用下得到的结论类似.

2.1.4 堆载离桩距离 取堆载距离为 2,4,6,8 m,其他条件与基本算例相同,考察堆载离桩距离(d)对桩土相互作用的影响,如图 12 所示. 从图 12 可知:随着堆载离桩距离的增加,桩身位移、弯矩及超孔压都相应减少,且其变化幅度也在减小,而沉降略有增加,同样增加的幅度也在减小;桩对土体变形也有一定的遮挡能力,并且遮挡作用随着距离的增大而减小,这与周洪波^[10]研究得到的结论一致. 此外,堆卸载完成后,土体中的超孔压随着堆载逐渐远离桩基,影响的范围也不断右移,但分布形式不变.



(a) 桩身侧移 (b) 桩身弯矩 (c) 超孔隙水压力



(d) 最大桩顶位移 (e) 最大弯矩 (f) 最大超孔隙水压力 (g) 最大沉降

图 12 堆载离桩距离对桩土相互作用的影响

Fig. 12 Influence of the distance from the pile to surcharge load on soil-pile interaction

2.2 土层参数对桩土相互作用影响

桩身的被动压力主要由软土在反复堆卸载过程中移动挤压桩引起,不同的软土层参数对桩土相互作用的影响是不同的. 以下分别考虑软土层中的土体参数对桩土相互作用的影响.

2.2.1 土的泊松比 土的泊松比为土的横向应变与纵向应变之比值,该值越大,就说明土的侧向变形能力越强,从而土对桩产生作用力更大. 分析表明:随着软土层泊松比的增大,桩身位移、弯矩、土中最大超孔压和土体最大沉降都有明显增加,且增加呈现加速状态,软土层的泊松比对桩土相互作用的影响比

较明显. 黄伟达^[11]和张云^[12]均在静力作用下得到了相同的结论. 土体中的超孔压主要分布在堆载下软土中和软硬土层交界处的硬土中, 但泊松比越小, 正超孔压的分布范围越大, 相应的负超孔压的分布范围越小.

2.2.2 软土层的初始孔隙比 分别取软土层的初始孔隙比 e_0 为 0.9, 1.2, 1.5, 1.789 和 1.8, 保持其他条件不变, 考察软土层的初始孔隙比对桩土相互作用的影响, 如图 13 所示. 从图 13 可知: 随着软土层的初始孔隙比 e_0 的增大, 桩身的位移、弯矩、土的最大沉降都减小, 土中超孔隙水压力的变化不大, 且主要分布范围不变, 集中在堆载下软土层中和软硬土层交界处附近硬土层侧.

张云^[12]在静力作用下得到的 e_0 对桩土相互作用的影响的结论与本算例基本相同的. 但他认为 e_0 对结果的影响不大, 而在本算例反复堆卸载的过程中, e_0 对结果的影响显然是比较大的. 从图 13 中还可以看出, 参数 e_0 受加载次数的影响不大.

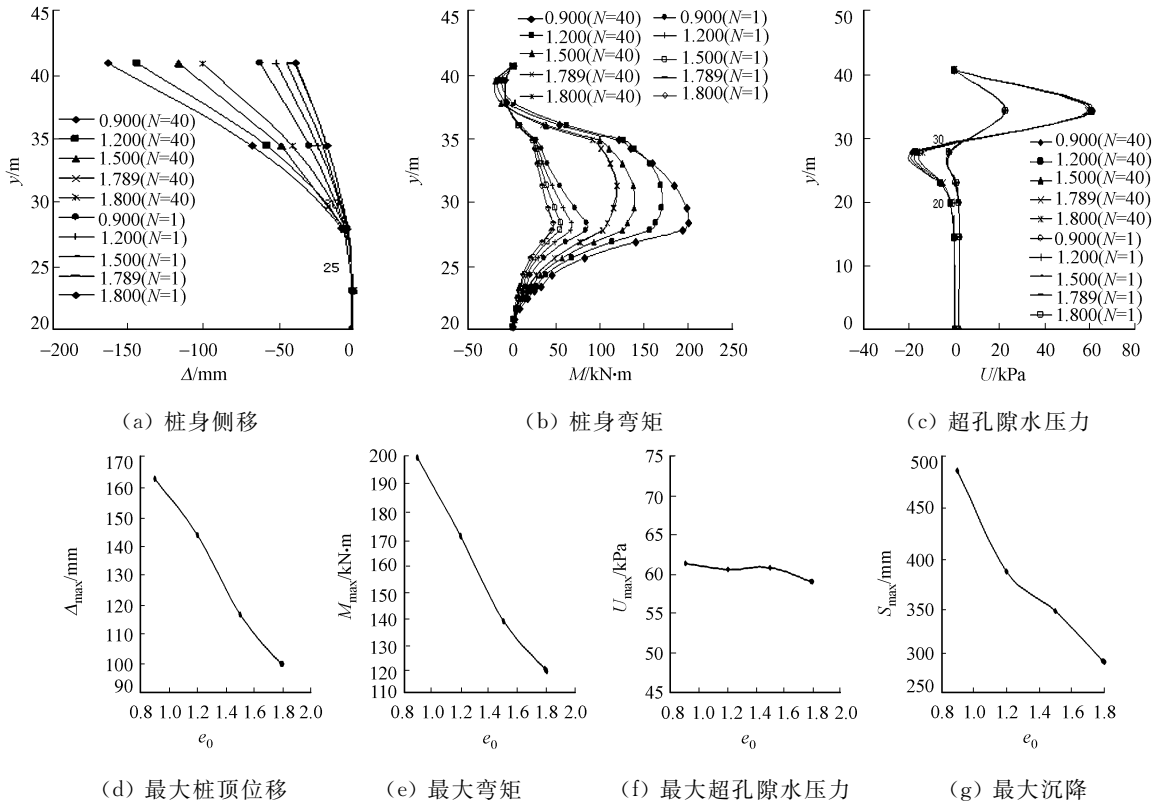
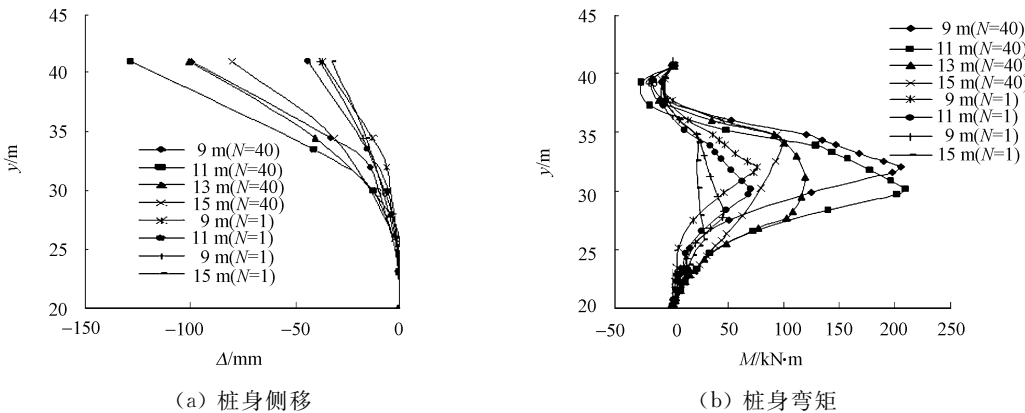


图 13 软土层初始孔隙比对桩土相互作用的影响

Fig. 13 Influence of Initial void ratio of soft soil on soil-pile interaction

2.2.3 软土层厚度 分别取软土层的厚度为: 9, 11, 13 和 15 m, 其他条件保持不变, 考察软土层厚度 (h) 的初始孔隙比对桩土相互作用的影响, 如图 14 所示.

从图 14 可知: 桩身的最大位移、最大正弯矩、最大超孔压及土体的最大沉降都在软土层厚为 11 m



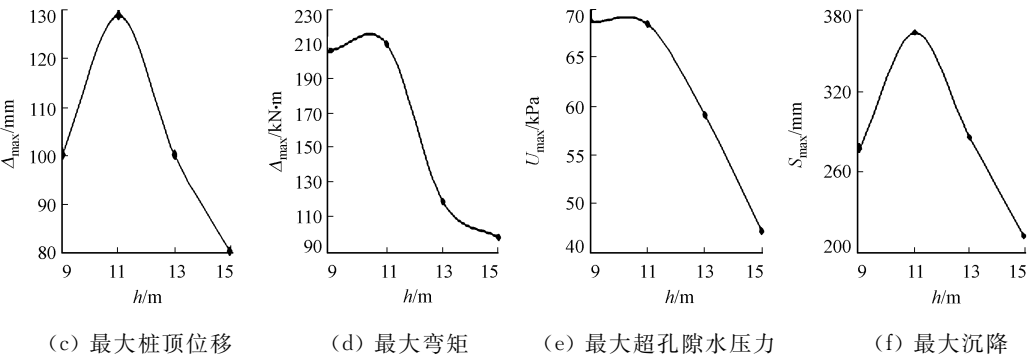


图 14 软土层厚度对桩土相互作用的影响

Fig. 14 Influence of thickness of soft soil on soil-pile interaction

时发生转折;桩身的位移均主要发生在软土层中,最大位移在桩顶处,堆卸载完成后最大正弯矩的位置在软土层中部附近,堆载下的超孔隙水压力主要集中在软土层和软硬土层交界处,分布范围基本不变.

此外,反复堆卸载主要在软土层中产生较大的应力应变,而对硬土层的影响较小;桩处于硬土层的长度越长,嵌固效果越好;当软土层越厚时,软土中应力应变相对较小,但产生水平位移的桩身长度就越大,承受被动土压力的长度也越大,且嵌固长度较小.

2.3 桩身条件对桩土相互作用影响

2.3.1 桩土相对刚度 一般来说,桩的刚度越大,对土的遮挡作用越好.分别取桩土相对刚度为 1.0, 5.0,10.0,15.0 GPa,其他条件保持不变,考察桩土相对刚度(D_{sp})对桩土相互作用的影响,如图 15 所示.从图 15 可知:随着桩土相对刚度的增大,桩身位移略有减小,但桩身刚度的增大使桩身弯矩产生较大的增长,且堆卸载完成后,最大正弯矩逐渐从软土层中部附近移回到软硬土层的交界处;桩土相对刚度的增大对土中超孔压和沉降的影响都不大.由此可见,增大桩刚度对土的遮拦作用有一定的提升,但提升的效果不明显,且桩本身的弯矩会有较大增长.

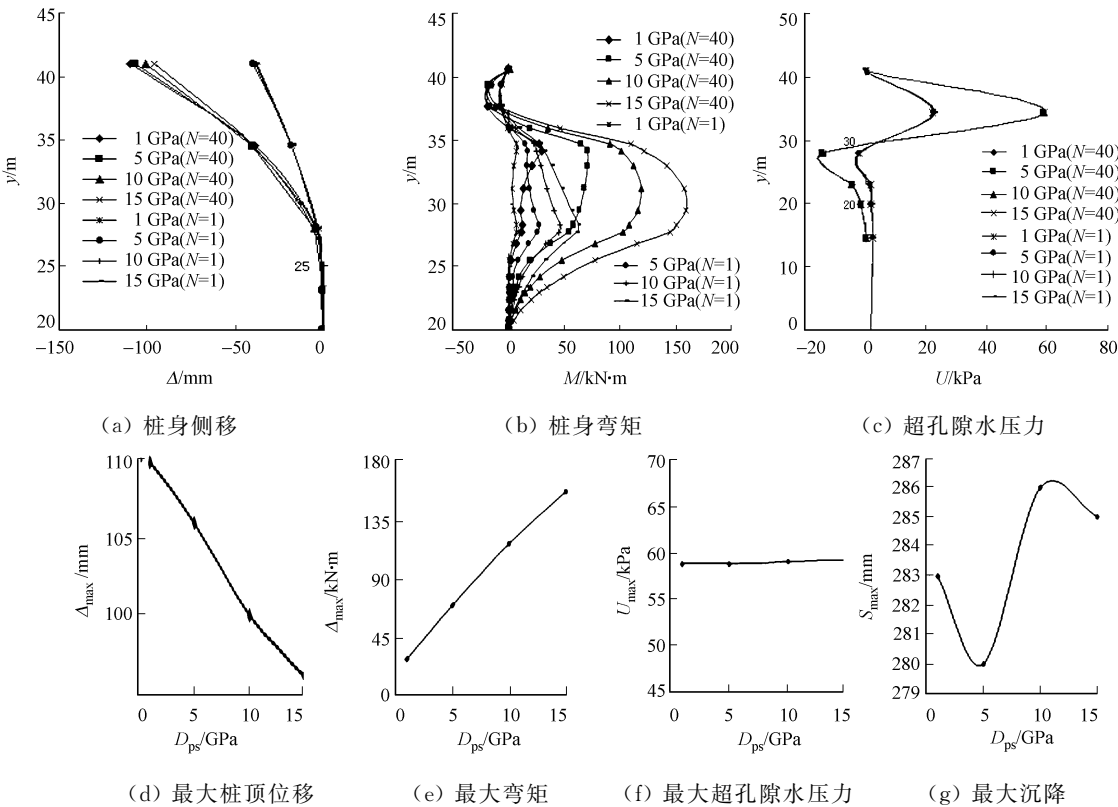


图 15 桩土相对刚度对桩土相互作用的影响

Fig. 15 Influence of relative rigidity of pile on soil-pile interaction

2.3.2 桩长 不同的桩长也会对桩土相互作用的结果产生影响.取桩长为 9,13,17,21 m,其他条件保

持不变,考察桩长(L)对桩土相互作用的影响,如图 16 所示. 图 16(a),(b)中: $I(L)$ 为归一化桩长.

从图 16 可知:当桩长小于 13 m,即小于软土层厚度时,整个桩身都在软土层中. 桩表现出短桩的特性,整个桩身都随土体移动发生平移,最大位移仍然在桩顶处,桩身的弯矩比较小,最大正弯矩发生在软土层的中部;当桩长大于软土层的厚度时,桩部分嵌固在底层硬土中,桩身的位移主要发生在软土层中,最大正弯矩的位置也逐渐由软土层和硬土层的交界处向软土层的中部移动,桩身位移和弯矩的形式都没发生变化. 当桩长超过软土层的厚度时,随着桩的嵌固长度的增加,桩身位移,弯矩的变化并不明显. 同时,桩长的增加对超孔隙水压力和沉降的影响都不明显.

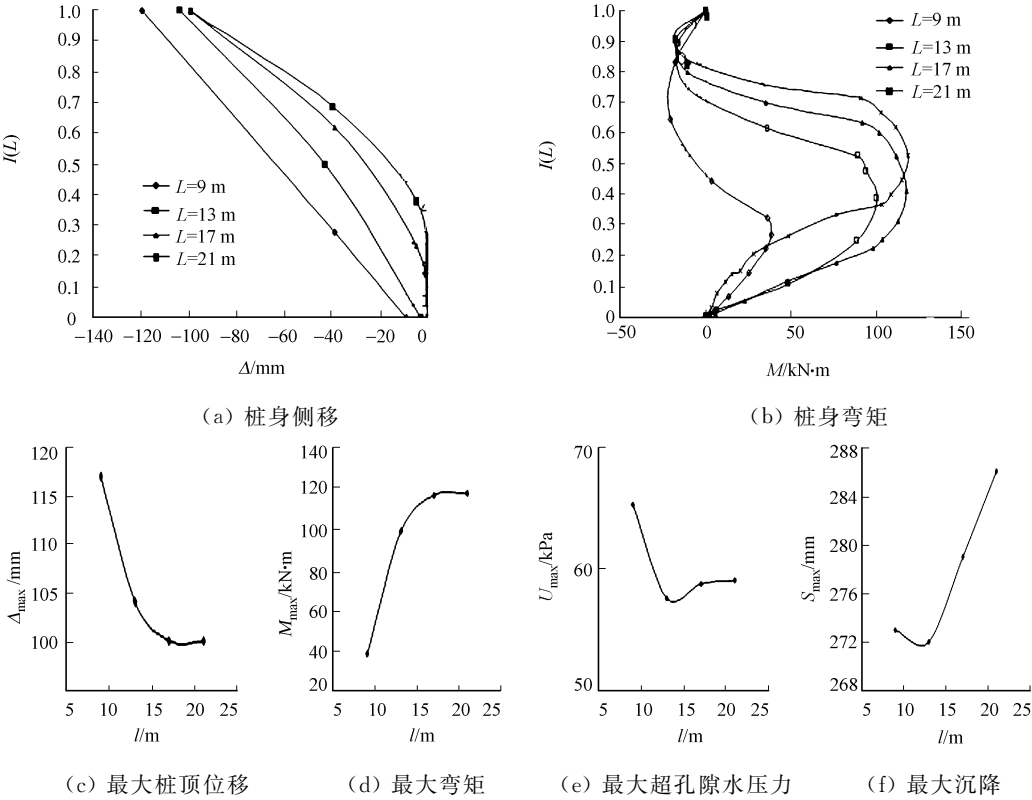


图 16 桩长对桩土相互作用影响

Fig. 16 Influence of pile length on soil-pile interaction

3 结论

(1) 通过有限元的模拟,显示了土体在反复堆卸载作用和不同于静力荷载作用下的应力应变表现. 在反复堆卸载过程中,每个堆卸载过程后都产生不可恢复的残余应变,而且随着反复堆卸载次数的增加,残余应变的增量减少.

(2) 在反复堆卸载过程中,同样伴随着孔隙水压力的积累和消散. 随着残余孔压的增长,累积的塑形变形也不断增长. 土体中超孔隙水压力主要集中在堆载下的软土层和软硬土层交界处附近的硬土层. 其中,最大正超孔压发生在软土层中部,最大负孔压发生在软硬土层交界处.

(3) 土体在反复堆卸载的过程中产生水平位移和沉降,从而对左侧的桩产生推力. 桩同时对土体有遮挡作用,桩所在堆载左边的水平位移和沉降比堆载右边的对称位置要小.

(4) 桩身的水平位移和弯矩也随着反复堆卸载的过程不断增加,桩身的侧移主要发生在上部的软土层. 桩身的最大正弯矩由堆卸载开始时的软土层与硬土层交界处,逐渐移动到堆卸载结束后的软土层中部附近. 卸载后,桩身依然有残余的侧移和弯矩. 反复堆卸载过程中,堆载主要在软土层中产生较大的应力和变形,而对硬土层的影响不大.

(5) 不同堆载情况的影响中,堆载次数和堆载大小对最后结果的影响非常大,堆载宽度和堆载离桩距离的影响次之. 随着堆载宽度增加,桩身位移,弯矩等值都相应增大;当堆载宽度达到一定值后,宽度

继续增加对结果影响不大。堆载离桩距离越大,对桩土相互作用的影响就越小。

(6) 软土层参数的影响中,泊松比的改变对桩土相互作用的影响比较明显;初始孔隙比的改变对桩土相互作用的影响次之;软土层厚度对桩土相互作用影响比较复杂,需要综合几个方面考虑。

(7) 不同桩身条件的影响中,桩土相对刚度的改变除对桩身弯矩有较大影响外,对其他结果影响不大;而当桩长小于软土层厚度时,桩表现出短桩特性;当桩长大于软土层厚度时,嵌固长度的改变对结果的影响也不大。

参考文献:

[1] 韩丽娟. 被动条件下桩-土相互作用机理及被动桩工作性能分析[D]. 大连:大连理工大学,2004.
[2] 王勇智. 被动桩与土相互作用及抗滑桩加固设计研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2005.
[3] 魏焕卫,杨敏. 大面积堆载情况下邻桩的有限元分析[J]. 工业建筑,2000,30(8):32-35.
[4] 刘乔雄. 地面堆载下水平桩作用机理研究[D]. 上海:同济大学,2008.
[5] 吴文锋. 堆载-被动桩-上部结构共同作用[D]. 上海:同济大学,2007.
[6] 杨敏,朱碧堂. 堆载下土体侧移及对邻桩作用的有限元分析[J]. 同济大学学报:自然科学版,2003,31(7):19-24.
[7] 张建勋,陈福全,简洪钰. 被动桩中土拱效应问题的数值分析[J]. 岩土力学,2004,25(2):7-11.
[8] 陈福全. 地面堆载作用下邻近桩基性态数值分析[D]. 上海:同济大学,2003.
[9] BRANSBY M F, SPRINGMAN S M. 3-D finite element modeling of pile groups adjacent to surcharge loads[J]. Computers and Geotechnics,1996,19(4):301-324.
[10] 周洪波. 长期反复荷载作用下土体与邻近桩基相互作用研究[D]. 上海:同济大学,2005.
[11] 黄伟达. 堆载作用下被动桩与土体相互作用研究[D]. 福州:福州大学,2006.
[12] 张云. 修正剑桥模型参数对计算结果的影响[J]. 岩土力学,2006,27(3):103-106.

Finite Element Analysis on Soil-Pile Interaction Behavior Subjected to Repeated Surcharge Load

GUO Li-qun¹, LIANG Mo², CHEN Fu-quan²

(1. College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China;
2. School of Civil Engineering, Fuzhou university, Fuzhou 350108, China)

Abstract: The soil-pile interaction behavior subjected to long-term repeated surcharge load is analyzed by the finite element method. The various indexes-time during the load were presented, such as horizontal displacement, deformation, settlement, pore water pressure and pile bending moments. The effect factors under different conditions were studied. It is concluded that the soil behavior of stress and strain performance under repeated surcharge load is different from that under the static load. There is an unrecoverable residual strain after each process of surcharge load, accompanied by the accumulation of excess pore water pressure and dissipation. The settlements and displacements decrease because of the pile resistance.

Keywords: passive pile; repeated surcharge load; finite element method ; excess pore water pressure; residual strain

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 方德平)