

文章编号: 1000-7598-(2006) 08-1357-04

不同厚度褥垫层刚性桩复合地基工作特性研究

郑 刚, 刘双菊, 伍止超

(天津大学 土木工程系, 天津 300072)

摘 要: 对刚性桩复合地基褥垫层的工作机理进行了分析。并据此设计了桩竖向刚度很大的刚性桩复合地基模型试验。进行了桩顶进入不同厚度褥垫层的复合地基试验, 研究了刚性桩复合地基褥垫层在竖向荷载作用下的工作性状。结果表明: 竖向刚度很大的桩即使在 100 mm 厚褥垫层情况下也很难充分发挥其承载力, 桩顶下设置一定厚度的褥垫层有助于提高桩的荷载分担比, 减小刺入量。

关 键 词: 刚性桩复合地基; 褥垫层; 工作机理; 模型试验

中图分类号: TU 473

文献标识码: A

Study on behavior of rigid pile composite ground with different cushion thicknesses

ZHENG Gang, LIU Shuang-ju, WU Zhi-chao

(Department of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The working mechanism of cushion in rigid pile composite ground is analyzed conceptually. Based on that, loading tests were performed on rigid-pile composite ground where pile has very large vertical stiffness to investigate the behavior of cushion of rigid-pile composite ground under vertical load. Gravel cushion with different thicknesses is laid beneath loading plate, while pile head is thus separated from loading plate by the gravel cushion. Pile head was embedded in the cushion for a certain length in one of the tests. Test results show that the bearing capacity of pile even with 100mm thick cushion can hardly be mobilized. The embedment of pile head into cushion can increase the load carried by the pile head; in the meantime reduce the penetration of pile head up into the cushion.

Key words: rigid pile composite foundation; cushion; working mechanism; model tests

1 褥垫层设置目的分析

近年来, 城市民用建筑中越来越多地采用刚性桩复合地基。刚性桩复合地基通过褥垫层能在较大程度上利用土的承载力 (包括承受水平荷载和竖向荷载的能力)。同桩基相比, 桩数可以有所减少, 桩体一般不进行配筋。故其用料省, 施工简便, 而且由于桩体具有很大的刚度, 可将荷载向更深的土层传递, 较大幅度地提高了地基承载力。众多学者和工程技术人员已经对复合地基和刚性桩复合地基进行了详细的研究, 其理论已趋于完善。但是对褥垫层的研究却较少, 这是由于褥垫层的破坏机理很复杂, 很难模拟其工作状态。

褥垫层是复合地基的核心技术, 复合地基许多

特性都与褥垫层有关。褥垫层在复合地基中起到了保证桩土共同承担荷载的作用; 褥垫层厚度适当, 可使桩、桩间土荷载分担比合理, 减少基础底面应力集中。复合地基设计思想是充分发挥桩间土的承载力, 不足的承载力由桩来承担。

基于对褥垫层作用的理解, 对褥垫层进行分析, 当其处于两种极端情况时, 对桩-土协同分担外载不利。一是若褥垫层为绝对刚性, 垫层就成为基础的一部分; 二是若褥垫层为绝对柔性, 则褥垫层又成为桩间土的一部分, 则桩难以有效发挥承载力。这两种情况都有违设置褥垫层的目的, 而在这两者之间, 必然存在适当“刚度”的褥垫层, 能使桩间土充分发挥作用。所谓适当“刚度”, 关键是要达到两个目的: (1) 保证在桩顶应力 σ_p 作用下桩能“适度”

收稿日期: 2004-10-21

修改稿收到日期: 2005-01-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 50208012)。

作者简介: 郑刚, 博士, 教授, 博士生导师, 系主任, 主要从事土力学及岩土工程教学与科研工作。E-mail: zhengzige2004@yahoo.com.cn

分别为 155.3 kN 和 121.9 kN, 而垫层厚 240 mm 的 P_p 却增加到了 143.27 kN。

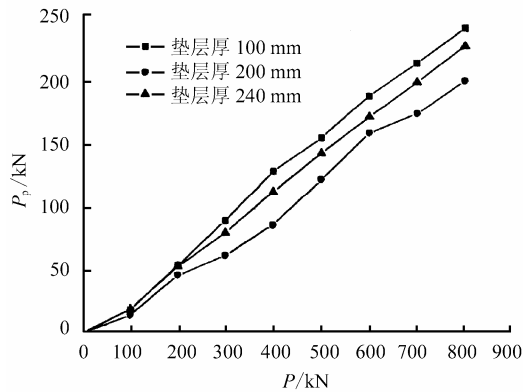


图 3 总荷载 P 和桩顶反力 P_p 关系曲线

Fig.3 P - P_p curves of tests with different cushion thicknesses

3.2 桩顶刺入量、总沉降量及垫层压缩量

图 4 示出了 3 种垫层厚度情况下总荷载 P 和桩顶刺入量 s_c 关系的比较曲线, 可以看出: 在同一荷载下, 垫层越厚, 刺入量 s_c 不一定越大。垫层厚 200 mm 时的 s_c 大于垫层为 100 mm 的 s_c 。但垫层为 240 mm 厚时, s_c 反而降低了。当总荷载 P 为 382.17 kPa 时, 垫层厚 100, 200, 240 mm 时桩顶刺入量 s_c 分别为 17.87 mm, 19.17 mm 和 16.06 mm。

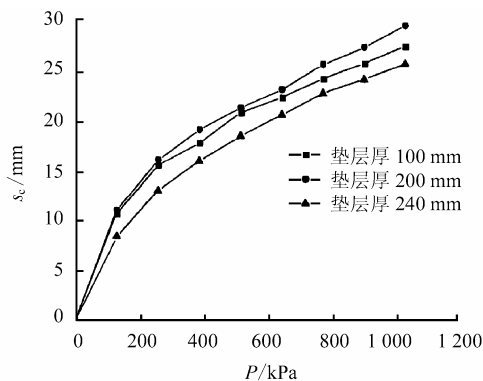


图 4 总荷载 P 和刺入量 s_c 之间的关系

Fig.4 P - s_c curves of different cushion thicknesses

同样地, 总沉降量 P 与 s_c 也有着类似的变化规律, 如图 5 所示。同一荷载下, 垫层厚 200 mm 比垫层厚 100 mm 的沉降量大, 但到垫层厚度为 240 mm 时, 沉降量反而变小了, 甚至比垫层厚为 100 mm 时还要小。例如: 当总荷载 P 为 382.17 kPa 时, 垫层厚 100, 200, 240 mm 时, s 分别为 23.76 mm, 26.17 mm 和 22.43 mm。

由于桩身和桩端几乎没有沉降量, 通过试验测得的 s_c 和 s , 可以得到垫层压缩量 δ 。从不同厚度垫层的 P - δ 的比较曲线 (图 6) 中发现, 垫层厚 200

mm 情况下的垫层压缩量大于垫层厚 100 mm 情况。当总荷载小于 800 kPa 时, 垫层为 240 mm 时与垫层厚 200 mm 时的垫层压缩量几乎一致, 甚至当荷载超过 382.17 kPa 前, 前者的压缩量要比后者还小。

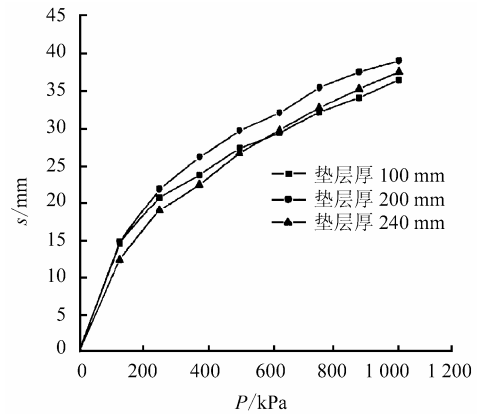


图 5 总荷载 P 和总沉降量 s 之间的关系

Fig.5 P - s curves of different cushion thicknesses

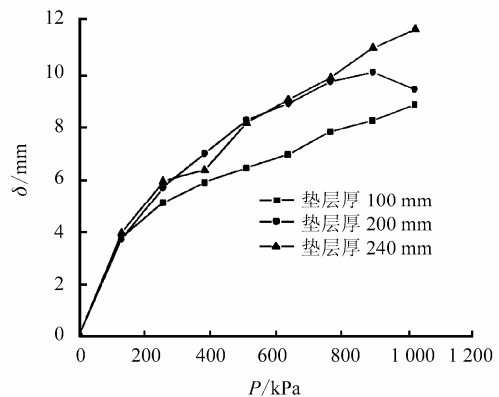


图 6 总荷载 P 和压缩量 δ 之间的关系

Fig.6 P - δ curves of different cushion thicknesses

从图 7 可看出, 在桩顶应力 σ_p 很小的情况下, s_c 快速增加。随着荷载的增大, s_c 虽然随桩顶应力的增大而增大, 但增加的幅度却变缓。这说明垫层的刺入与土的压缩有很大的关系。在加载的初期, 土承受了大部分的荷载。垫层在外力作用下, 通过内部的颗粒结构重组, 颗粒间空隙减小而产生压密。土与褥垫层均产生一定的压缩, 因而刺入量增加的幅度较大。而加载的后期, 垫层和土都已压实, 压缩量也趋于稳定, 所以, 桩顶的刺入量随着荷载的增大, 增加的幅度反而减小。

3.3 讨论

由图 7 可以看出, 与前面讨论的总荷载 P 、桩顶的反力 P_p 、桩顶刺入量 s_c 和总沉降量 s 在不同垫层厚度情况下的变化规律相似。在同一桩顶应力下, 随着垫层厚度从 100 mm 增大到 200 mm, 刺入量也随之增大, 但是当垫层厚度增大到 240 mm 时, 刺入量反而减小了。

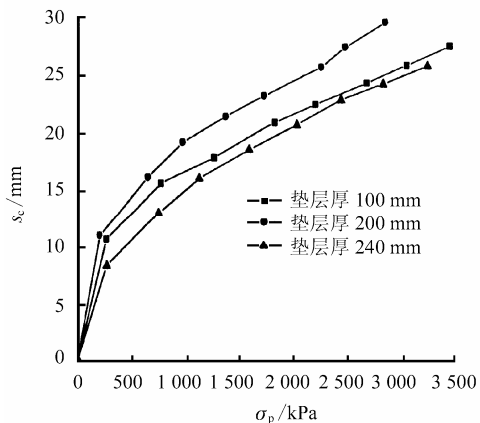


图 7 桩顶应力 σ_p 和刺入量之间的关系
Fig.7 σ_p - s_c curves of different cushion thicknesses

不论是 P 与 s 、 s_c 和 P_p 的关系在不同垫层厚度下的比较, 还是 σ_p 和 s_c 在不同垫层厚度情况下的关系比较, 垫层厚度从 200 mm 增大到 240 mm 时, 都有与厚度从 100 mm 增大到 200 mm 时相反的变化规律。

由图 3、图 7 可以看出, 垫层厚度从 100 mm 变为 200 mm 再变为 240 mm, P_p 先减小, 再增大, 而 s_c 却先增大再减小。这说明, 在同一荷载条件下, 垫层越厚, 桩顶反力越小, 桩间土承担的荷载增大, 垫层更多地向桩间土流动, 桩间土压缩变形增大, 因而相对的桩顶刺入量增大, 而在桩顶平面标高以下, 铺设一定厚度的褥垫层能改变这种状况。

有研究者^[1~4]采用 Terzaghi 地基极限承载力理论来分析褥垫层提供给桩顶的极限承载力 (见图 8 (a)), 各参数意义详见文献[4])。如果桩顶以下有垫层, 如图 8 (b) 所示。不难看出, 由于 a-a 面以下存在强度较高的褥垫层, 相当于在 a-a 面上能提供较好的限制作用。即在本试验中, 垫层为 240 mm 时桩顶平面标高以下, 土是由 60 mm 厚的砂石垫层所替代, 这层“土”比垫层为 100, 200 mm 的垫层下土强度高, 并且压缩性小, 使得在同一荷载下 s 和 s_c 比垫层厚度为 200 mm 时要小, 桩顶的反力 P_p 却比垫层厚度为 200 mm 时要大, 虽然桩顶以上垫层的厚度增大了, 但桩的荷载分担比却提高了。因此, 根据本试验似乎可认为, 桩顶平面标高以下有一定厚度的褥垫层, 有助于提高桩的荷载分担比, 减小桩顶的刺入量。

4 结 论

众所周知, 垫层的作用就是要桩顶有一定的刺入量, 这样才能发挥褥垫层的流动补偿作用, 使土承担一定的荷载, 从而提高整个复合地基的承载力, 这正是复合地基的关键所在。而反过来说, 当褥垫

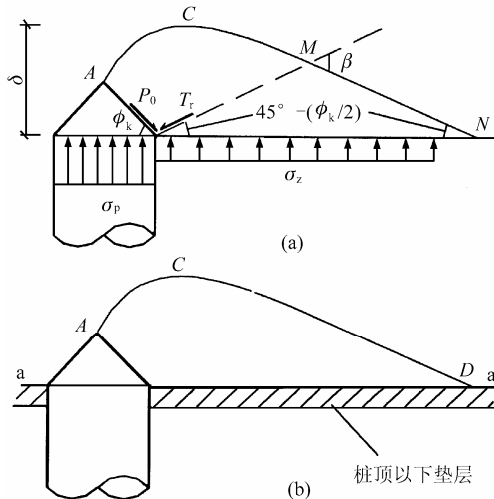


图 8 Terzaghi 破坏模式
Fig.8 Failure pattern suggested by Terzaghi

层厚度大、密实度低、单桩承载力高时, 将可能出现桩顶向褥垫层中的刺入破坏, 导致沉降量突然增大, 这种情况是不允许的。本文通过模拟长桩的刚性桩复合地基模型承受竖向荷载, 以及桩顶平面标高以下有无褥垫层的对比试验, 得到了以下结论:

- (1) 对竖向刚度很大的桩, 即使 100 mm 的薄褥垫层也不会显著提高桩的荷载分担比, 桩不能充分发挥其承载力。
- (2) 桩顶以下设置一定厚度的褥垫层可有效提高桩的分担比, 有利于桩发挥其承载力。
- (3) 考虑到为降低桩顶分担的水平荷载, 褥垫层厚度通常需大于 100 mm。因此, 可通过在桩顶以下设置一定厚度褥垫层 (或桩顶进入褥垫层) 来提高桩分担比, 弥补桩顶平面标高以上褥垫层对桩发挥承载力的限制作用。

参 考 文 献

- [1] 王年云. 复合地基上褥垫层设计的理论分析[J]. 建筑结构, 1999, 12: 24-26.
- [2] 池跃君, 沈伟, 宋二祥. 垫层破坏模式的探讨及其与桩土应力比的关系[J]. 工业建筑, 2001, 31(11): 9-11.
CHI Yue-jun, SHEN Wei, SONG Er-xiang. Discussion on pile soil relationship between failure model of cushion and stress ratio[J]. *Industrial Construction*, 2001, 3 (11): 9-11.
- [3] 毛前, 龚晓南. 桩体复合地基柔性垫层的效用研究[J]. 岩土力学, 1998, 19(2): 67-73.
MAO Qian, GONG Xiao-nan. Research on the properties of cushion of the composite ground[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 1998, 19(2): 67-73.
- [4] 王年云. 刚性桩复合地基设计的探讨[J]. 武汉城市建设学院学报, 1999, 16(2): 44-47.