

不同堆载荷载作用的桩基力学特征研究

刘彦* 潘元 谢方臣

贵州交通投资集团有限公司 贵阳 550000

摘要: 贵州的桥梁桩基所处地质情况复杂, 桥梁高度大, 桩基周边堆载严重。为了研究堆载对桩基受力及水平变形的影响, 建立 FLAC3D 数值模型, 分析堆载影响的桩基力学特征。研究结果表明: 受堆载的影响, 桩顶荷载 2000kN 时, 桩身轴力随深度增加出现先增大后减小的变化规律, 在小于埋深 15.33m 时, 桩侧摩阻力为先减小后增大的变化规律, 且出现负值的桩侧摩阻力。在桩顶荷载 12000kN 时, 堆载对桩身轴力的影响较小, 且桩侧摩阻力沿深度方向均为正值。堆载等级越大, 桩身轴力和桩侧摩阻力的力学特征变化越大; 桩顶荷载 2000kN 时, 桩顶最大水平位移为 1.18mm, 桩顶荷载 12000kN 时, 桩顶最大水平位移为 1.43mm, 桩身深度 12m 出达到最大值, 在超过该深度后, 桩身水平位移逐渐减小, 但仍为正值, 桩基受堆载荷载越大, 产生的水平位移也越大。

关键词: 桩基承载力; 堆载; 桩身轴力; 桩侧摩阻力

引言

随着我国道路交通的蓬勃发展, 难以避免的遇到江河、山谷等不同的地形地貌, 因此, 桥梁在跨越此类天然障碍时起到了不可或缺的重要性, 而桩基作为桥梁工程中的一个重要部分, 其安全性和稳定性不言而喻, 直接关系到桥梁服役期间的运营和安全。特别是贵州等地形地貌复杂地区, 桥梁的跨度和高度都较大, 高度大的桥梁桩基两侧具有可堆载空间, 基于各种复杂条件的影响, 对桩基的各个方面要求都有所提高。因此, 分析桥梁桩基的承载力特性, 研究不同堆载等级影响下的桩基力学特性, 对保障桥梁工程的顺利开展及运营有着重要的作用。

大量研究表明, 桩基的力学特征受桩侧堆载的影响, 特别是堆载作用下的桩侧摩阻力。杨庆等通过单桩静载模型试验, 分析了在桩周土堆载条件下, 端承桩、摩擦端承桩在桩周土含水率变化时, 桩侧摩阻力、桩端阻力的变化规律; 韩东亚等采用拉格朗日差分法分析堆载和桩顶荷载组合作用下桩侧摩阻力分布、中性点位置变化规律以及桩体轴力分布; 王军等以实际工程中一特大桥桩侧堆载为背景, 建立了桩-土相互作用的 ABAQUS 有限元模型, 研究不同堆载等级和堆载距离下的桩侧摩阻力和桩身轴力分布规律; 马学宁等通过室内模型试验, 研究堆载和桩载施加顺序对单桩负摩阻力的影响, 发现荷载施加顺序对基桩的负摩阻力分布有很大的影响; 叶观宝等结合某现场试验, 建立单桩有限元

分析模型, 研究了大面积填土地地工程中, 填土天然重度及厚度、桩顶和地表荷载及场地形成时间对摩擦型桩下拉荷载和中性点的影响; 李志伟等以某邻近高填方堆载的山区公路桥梁为背景, 采用有限元法和现场检测相结合的方式, 分析桥面及桥墩横桥向偏位、填方坡体位移、桩基变形及内力, 并进行桩基抗弯及抗剪承载力验算及现场复核; 张先伟等结合实际工程, 选择典型地层开展了堆载作用下桩与桩间土的沉降监测, 根据桩与土的相对沉降变化规律研究负摩阻力中性点的时间效应; 徐昆杰等以西南地区土石混合体为研究对象, 通过单桩室内模型试验, 研究了素填土和土石混合料地基中桩周土体沉降、桩土位移、桩身轴力、桩侧负摩阻力、中性点位置等。

1 桩基模型建立

桩基模型基于贵州省六盘水境内的雨海大桥, 贵州省六盘水地区的地势复杂, 高速公路的桥梁高度较高, 桩基设计时考虑的因素较多, 为保证工程的安全性, 需要结合试验工况和设计资料, 开展堆载作用下的桩基数值模拟试验。

采用 FLAC3D 建立桩基的三维模型, 桩长 20 米, 桩径 1.5m, 建立的 FLAC3D 模型如图 1 所示。结合现场地质工况以及自平衡测试结果, 对数值模型参数进行赋值并进行模型调试, 使模拟结果的荷载-位移曲线与自平衡测试结果基本一致, 最终得到的参数见表 1, 数值模拟与自平衡试验荷载-位移曲线的结果见图 2。由图 2 可知, 桩基的模拟结

果与现场自平衡测试结果基本一致，模拟结果在荷载-位移曲线加载前中段表现的更为弹性。模拟时，在桩顶施加 2000kN 的竖向荷载，堆载的荷载分别选取 40kPa, 80kPa, 120kPa, 160kPa 和 200kPa，堆载在桩的一侧，堆载位置与桩基边缘距离为 3m。

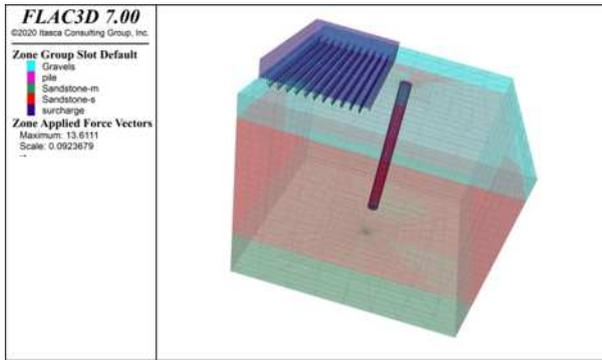


图 1 桩基 FLAC3D 堆载模型示意图

表 1 桩基 FLAC3D 模型参数表

工况 \ 土层	碎石土	强风化泥质砂岩	中风化泥质砂岩
厚度 / m	2.7	15.8	6.5
密度 / (kg · m ³)	2090	2220	2480
泊松比	0.16	0.28	0.34
粘聚力 / kPa	48.5	195.8	389.7
弹性模量 / MPa	35.7	147.2	592.8
内摩擦角 / (°)	19.8	29.7	38.4

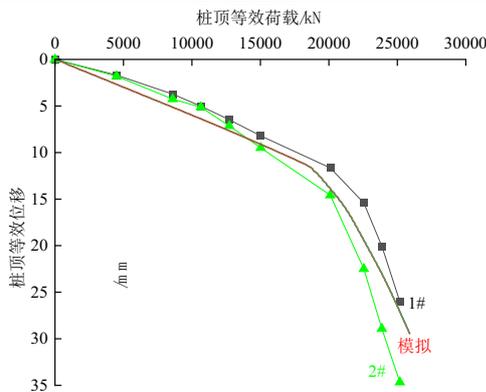


图 2 数值模拟与自平衡测试荷载-位移曲线对比图

2 桩基受力特征分析

2.1 堆载荷载对桩身轴力的影响

不同堆载作用下桩身轴力沿深度分布曲线见图 3 (a)。由图可知，桩身轴力曲线呈现“外凸”状，堆载作用下随深度增加，桩身轴力先增大后减小，且堆载等级越大，桩身轴力变化越大，“外凸”状态越明显。桩身轴力在深度 14m 左右达到最大，此位置为 0.7 倍桩长左右，在该深度的上方，

桩身轴力呈增加趋势，下方为递减趋势。从土层情况来看，在不同土层中桩身轴力变化值排序为中风化泥质砂岩>强风化泥质砂岩>碎石土，堆载的影响在土质好的土层中影响更明显。

本项目桥墩一般采用柱式墩和方柱墩，上部构造为混凝土 T 形连续梁，桩顶的反力较大。为了进一步分析项目工况下桥梁桥梁桩基受堆载影响的力学特征，根据设计资料的桩顶反力大小，在桩顶施加 12000kN 的竖向荷载，堆载情况不变，模拟的桩身轴力沿深度分布曲线见图 3 (b)。桩基在设计荷载和堆载影响下，随深度增加，桩身轴力而逐渐减小，且曲线呈稍微外凸的趋势，桩身轴力减小的幅度先慢后快，且堆载等级越高，该特征越明显。对比 2000kN 桩顶荷载的桩身轴力变化来说，桩顶设计荷载越大，堆载对桩身轴力的影响越小。

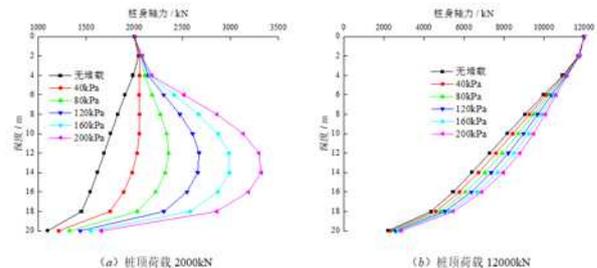


图 3 不同堆载等级下桩身轴力变化曲线图

2.2 堆载荷载对桩侧摩阻力的影响

堆载对桩基受力的影响主要在桩侧摩阻力，因此，绘制不同堆载等级下桩侧摩阻力沿深度方向的变化曲线，见图 4。图 4 (a) 为桩顶荷载为 2000kN 的桩侧摩阻力曲线图。在堆载的作用下，桩周土体沉降，桩土之间产生向下的摩阻力。因此，桩侧摩阻力出现先减小后增加的规律，且在深度 8m 左右桩侧摩阻力最小，说明此时堆载产生的负摩阻力最大。由此可见，在深度小于 8m 时，深度越深堆载产生负摩阻力越大；深度大于 8m 后，堆载的影响逐渐减弱，负摩阻力也越来越小。且桩侧摩阻力曲线在深度 15.33m 时发生了交汇，说明在该深度时，负摩阻力消失，此时的桩侧摩阻力为 4.62kPa。在该深度以上，堆载产生了负摩阻力使桩侧摩阻力有不同程度的减小（相较于无堆载）；在该深度以下，桩侧摩阻力反而出现了增加，在强度较高土层中增加更快，且该现象在堆载等级越高时表现越明显。

图 4 (b) 则为设计荷载 12000kN 时的桩侧摩阻力变化曲线图。桩侧摩阻力全深度范围内均为正，曲线交汇点在深

度为 14.62m 处, 此时桩身侧摩阻力为 54.14kPa。小于交汇点深度的范围内, 受堆载影响, 桩身轴力与无堆载相比低, 且堆载等级越高, 现象越明显; 而在大于交汇点深度的土层中, 堆载作用下的桩侧摩阻力更大, 且增大的速度在中风化泥质砂岩中更明显。由此可见, 堆载等级和桩顶荷载大小两者对桩侧摩阻力的变化均有不同程度的影响。

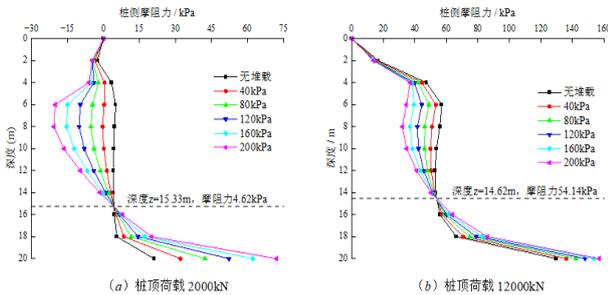


图 4 不同堆载等级下桩侧摩阻力变化曲线图

2.3 堆载荷载影响的桩基水平位移特征

绘制不同堆载荷载影响的桩基沿深度上水平位移曲线, (b) 为桩顶作用 2000kN 荷载下桩基水平位移沿深度变化曲线。在堆载的作用下, 桩身产生了不同程度的水平位移, 桩顶附近 (大致埋深 4m 以内) 产生的位移为负, 即桩顶水平位移方向往堆载方向, 且最大值出现在桩顶, 为 1.18mm, 堆载荷载越大, 产生的桩顶水平位移量越大。随着深度的增加, 产生的水平位移由负变正, 且在桩身深度 12m 出达到最大值, 在超过该深度后, 桩身水平位移逐渐减小, 但仍为正值, 桩基受堆载荷载越大, 产生的水平位移也越大。

桩顶施加工程桩设计荷载 12000kN 作用下不同堆载荷载影响的桩基水平位移曲线见图 5 (b)。其变化规律与桩顶竖向荷载 2000kN 时接近, 区别的是桩顶竖向荷载 12000kN 时, 桩顶水平位移最大值为 1.43mm, 略大与 2000kN 时的 1.18mm, 堆载荷载等级越大, 桩基水平位移越大。由此可见, 在同样的堆载荷载下, 桩顶在工程桩设计荷载下的水平位移量更大。

3 结论

(1) 桩顶荷载 2000kN 时, 堆载影响的桩身轴力随深度增加出现先增大后减小的变化规律, 而桩顶荷载在设计值 12000kN 时, 随埋深增加呈递减趋势, 两种荷载下桩身轴力均随堆载等级增大而增大。

(2) 桩基在小于一定埋深范围内 (2000kN 为 15.33m, 12000kN 为 14.62m), 受堆载的影响, 桩基侧摩阻力有所减小, 在大于该埋深下桩侧摩阻力有所增加, 且堆载等级越大, 变化值越大。但低桩顶荷载下桩侧摩阻力出现先负后正的现象, 而高桩顶荷载下桩侧摩阻力均为正。

(3) 桩顶荷载 2000kN 时, 桩顶最大水平位移为 1.18mm, 桩顶荷载 12000kN 时, 桩顶最大水平位移为 1.43mm。随着深度的增加, 产生的水平位移由负变正, 且在桩身深度 12m 出达到最大值, 在超过该深度后, 桩身水平位移逐渐减小, 但仍为正值, 桩基受堆载荷载越大, 产生的水平位移也越大。

参考文献:

- [1] 陈福全, 杨敏. 地面堆载作用下邻近桩基性状的数值分析 [J]. 岩土工程学报, 2005,(11):51-55.
- [2] 冯忠居, 张永清, 李晋. 堆载引起桥梁墩台与基础的偏移及防治技术研究 [J]. 中国公路学报, 2004,(03):77-80.
- [3] 袁灯平, 黄宏伟, 程泽坤. 软土地基桩侧负摩阻力研究进展初探 [J]. 土木工程学报, 2006,(02):53-60+84.
- [4] 李志伟. 软土地基邻近堆载对桥梁桩基偏位的影响研究 [J]. 岩土力学, 2013,34(12):3594-3600.
- [5] 唐钱龙, 李双龙, 魏丽敏, 等. 软土区堆载对桥梁桩基偏位影响及纠偏措施 [J]. 土木与环境工程学报 (中英文), 2024,46(06):126-134.

作者简介: 刘彦 (1983.12—), 男, 分公司副总经理, 高级工程师, 工程硕士, 贵州交通投资集团有限公司, 高速公路建设与运营管理。

基金项目: 贵州省交通运输厅 2023 年度科技项目 (2023-122-009); 贵州省交通运输厅 2024 年度科技项目 (2024-122-009)。