

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.07.069

冻土层上限下移对桥梁桩基轴向承载性能的影响分析

刘 凯
(创辉达设计股份有限公司, 湖南 长沙 410000)

摘 要:在气候变暖和人类活动的共同作用下,多年冻土层上限逐渐下移。现依托青海某高速公路上的一座中桥,在不同冻土层上限位置方案下对其桩基轴向承载性能进行数值模拟,通过将模拟计算出的桩基轴向承载性能指标进行对比分析,得到多年冻土区桥梁桩基轴向承载性能指标随冻土层上限下移的变化规律。其成果可为多年冻土区桥梁桩基的设计、施工与加固处理提供一定参考。

关键词:冻土层上限下移;桥梁桩基;轴向承载性能

中图分类号: U443.15, U441+.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-7716(2021)07-0262-03

0 引 言

在多年冻土区新建对沉降敏感度较高的桥梁时,桩基是首选的基础类型。为减少桥梁桩基受季节性冻融土的不利影响,常将桩基埋入多年冻土层中。此时,桩基的轴向承载力与桩的入土深度有关。当多年冻土区的桩基承受轴向荷载时,设计一般忽略桩端反力的作用,仅由桩侧正摩擦力来抵抗轴向荷载。

随着全球气候变暖,在人类活动的作用下,多年冻土出现退化现象,使得冻土层上限有下移的趋势^[1]。现针对多年冻土区的桥梁工程,对不同冻土层上限位置下的桩基轴向承载性能进行分析,探讨多年冻土区的桥梁工程随着冻土层上限下移,其桩基轴向承载性能的变化规律。

1 工程概况

青海某高速公路的一座双幅中桥,全长 66 m,桥宽(2×13)m,国道从桥下正交穿过,上部结构为(3×20)m 预应力混凝土小箱梁,下部结构桥台为肋板台,承台接 4 根桩径 1 m 的桩基础,桩长 16 m,桥墩为柱式墩,墩径 1.2 m,桩径 1.4 m,桩长 23 m,入土深度 22 m,桩身采用 C30 混凝土,按摩擦桩设计,桥墩单桩桩顶设计荷载 3 550kN,修正后的桩端土承载力特征值为 345 kPa。表 1 为各土层地质情况一览表。

收稿日期: 2020-12-09
作者简介: 刘凯(1988—),男,硕士,工程师,从事桥梁工程设计工作。

表 1 各土层地质情况一览表					
土层	冻土类别	q_{ik}/kPa	融化状态 $[f_{a0}]/\text{kPa}$	冻结状态 $[f_{a0}]/\text{kPa}$	层厚 /m
粉土	含冰和少冰	25	100	120	1.5
粉土	富冰	45	70	180	5.5
强风化泥岩	少冰	103	200	200	—

2 分析方案

分析项目所在地多年冻土层厚度变化规律可知,在冻土层上限下方 1.5 m 范围内,多年冻土易受气候变暖和人类活动的影响融化成软弱层。在外荷载作用下,常出现较大的压缩变形,对附近桥梁桩基的轴向承载性能有一定的不利影响。据调查,项目沿线多年冻土层上限分布在 1.5~4 m 之间,此桥位处的多年冻土层上限为 1.5 m,在其它条件不变的前提下,按照上限下移 0.5 m,1.5 m 和 2.5 m,即冻土上限位置下降到 2 m,3 m 和 4 m 的方案进行分析。

3 分析模型

采用 ANSYS 建立单桩桩土实体模型,桩身、土体均采用 SOLID45 单元,桩本构模型为线弹性,土体本构模型为 D—P 材料,面—面接触分析中的刚性目标面为 TARGE170 单元,柔性接触面为 CONTA173 单元。因结构具有对称性,建立 1/4 桩土模型进行分析,模型中桩径 1.4 m,桩长 23 m,土体半径 3.5 m,土体厚度 66 m,指定桩身表面为刚性目标面,对应的土体

表面为柔性接触面,将桥墩单桩桩顶设计荷载等效成均布荷载后与边界条件一起施加在模型上。表 2 为混凝土桩的力学参数表,表 3 为桩周土体的力学参数表,图 1 为其分析模型。

表 2 混凝土桩的力学参数表			
材料	弹性模量 $E_p/10^{10}$ Pa	密度 $\rho/(kg \cdot m^{-3})$	泊松比 μ
C30 钢筋混凝土	3.0	2 500	0.2

表 3 桩周土体的力学参数表					
土层类型	压缩模量 $E_s/10^6$ Pa	密度 $\rho/(kg \cdot m^{-3})$	泊松比 μ	粘聚力 $C/10^3$ Pa	有效内摩擦角 $\phi/(^\circ)$
未冻层	6	1 850	0.32	25	21
冻融层	2.5	1 550	0.45	13.5	38
冻土层	420	2 000	0.23	113	34

注:假定冻土层温度为 -5°C ,在长期荷载作用下,冻土的力学参数恒定。

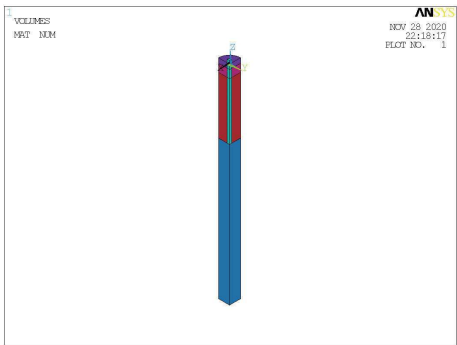


图 1 分析模型

4 计算结果及分析

4.1 桩—土沉降量

根据冻土层上限下移方案,分别建立冻土层上限为 1.5 m,2 m,3 m 和 4 m 的桩土模型,施加边界条件和均布荷载后,运行模型得到不同冻土层上限位置下桩—土沉降量沿入土深度的变化图(见图 2)。

从图 2 可知,随着冻土层上限的下移,桩身顶部的沉降量逐渐增大,相应顶部桩周土体的沉降量也逐渐增大。当冻土层上限从 1.5 m 下移至 4 m 时,桩身顶部的沉降量从 3.42 mm 增大到 4.1 mm,相应顶部桩周土体的沉降量从 4.02 mm 增大到 11.58 mm,桩身顶部的沉降增量远小于相应顶部桩周土体的沉降增量,此时将在中性点以上位置的桩侧产生负摩擦力。根据中性点计算经验公式^[2],理论中性点位置

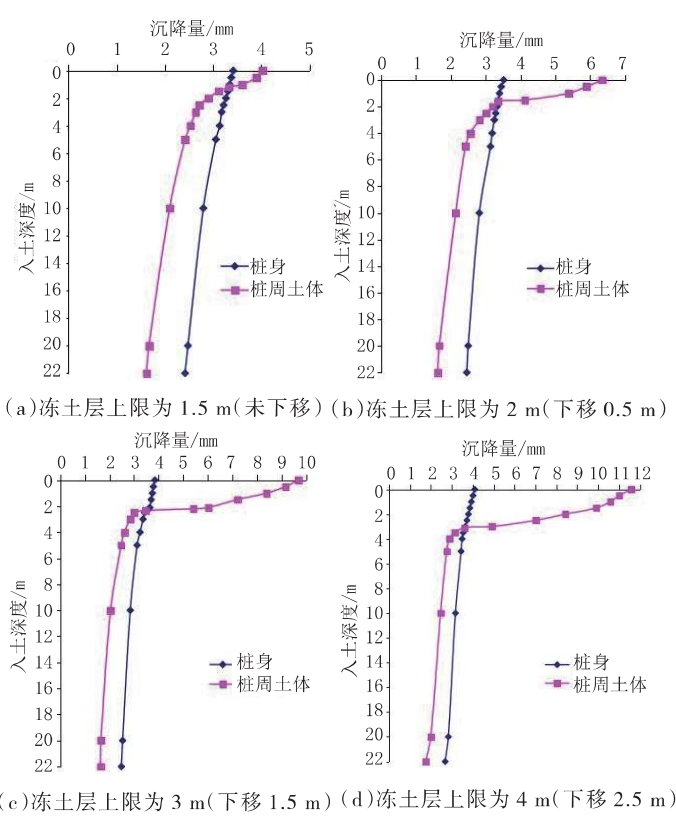


图 2 不同冻土层上限位置下桩—土沉降量沿入土深度的变化曲线图

与地面的距离等于 0.8 倍冻土层上限深度(反复冻融取大值),当冻土层上限从 1.5 m 下移至 4 m 时,中性点位置理论解从 1.2 m 增加到 3.2 m,增大了 167%,数值解从 1.2 m 增加到 3.1 m,增大了 158%,中性点计算经验公式得到的理论解偏大,在冻土层上限深度较大的地区使用经验公式计算中性点位置偏安全。

当冻土层上限位置不变时,桩自身沉降量沿入土深度的变化较小,相应的桩周土体沉降量沿入土深度变化较大,在多年冻土地区桥梁桩基施工前,建议其设计在墩位附近填筑一定厚度的粗粒土,用机械碾压密实,以减少顶部桩周土体的沉降量。

4.2 轴向应力

运行模型得到不同冻土层上限位置下桩身轴向应力沿入土深度的变化图(见图 3)。

从图 3 可知,不同冻土层上限位置下的桩基轴向应力均沿入土深度先增大再减小,且轴向应力最大值恒定在各冻土层上限位置下桩基的中性点位置处,当冻土层上限从 1.5 m 下移至 4 m 时,桩基的最大轴向应力从 2.42 MPa 增加到 2.56 MPa,增大了 5.78%,这是因为冻融土的沉降量远大于桩基的沉降量,在桩基中性点以上位置产生了向下的负摩擦力,负摩擦力直

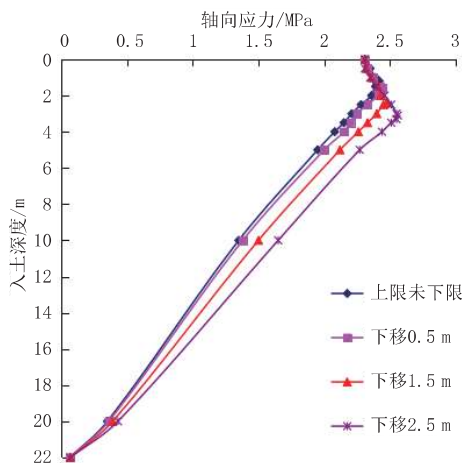


图3 不同冻土层上限位置下轴向应力沿入土深度的变化曲线图
接作用在桩基上,使桩基的轴向应力有所增大。桩基如果按端承桩设计且桩长较短时,应富裕考虑冻土地区冻土层上限下移产生的负摩擦力作用,避免冻土层融化后的轴向应力过大,压溃桩基混凝土。

同时,随着冻土层上限位置的下移,桩基基底反力稍有增加,当冻土层上限从1.5 m下移至4 m时,桩基的基底反力从65 kPa增加到68 kPa,增加量较小,远小于修正后的桩端土承载力特征值,桩底土被刺入破坏的可能性较小,无需对桩底地基土进行处理。

4.3 单桩轴向受压承载力

通过图3计算出单桩承受的最大轴向压力,并与现行公路桥涵地基与基础设计规范计算值进行对比,得到不同冻土层上限位置下单桩轴向受压承载力的变化图(见图4)。

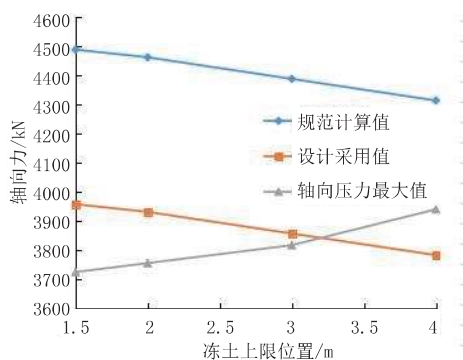


图4 不同冻土层上限位置下单桩轴向受压承载力的变化曲线图

从图4可知,随着冻土层上限的下移,桩身最大轴向压力逐渐变大,单桩轴向容许承载力的规范计算值和设计采用值均逐渐减小,当冻土层上限从1.5 m下移至4 m时,桩身最大轴向压力从3 725.2 kN增加到3 940.7 kN,增大了5.8%,而单桩轴向容许承载力的规范计算值从4 489.4 kN减小到4 314.5 kN,降低了3.9%,设计采用值从3 958.3 kN减小到3 783.5 kN,降低了4.4%。这是因为冻土层上限下移

导致桩侧原本提供正摩擦力的土层转为提供负摩擦力,增大了桩身轴向压力,降低了单桩轴向容许承载力。

当冻土层上限下移至3.2 m时,桩身最大轴向压力已达到单桩轴向容许承载力的设计采用值,此时应对冻土层上限位置变化进行分析评估监测,判断其是否还会继续下移。如果冻土层上限位置已基本稳定,可不采取相应工程加固措施;如果冻土层上限位置仍存在下移的趋势,应对桥梁进行限载或在改善桩侧中性点位置以上部位的光滑度后置换粗颗粒土,减小负摩擦力作用。

因冻土动力学参数的测定数据与温度、含水量、围压和应变幅等因素有关,且测定数据离散性较大^[3],设计时偏保守地选择忽略桩端反力的作用,仅由桩侧正摩擦力来抵抗轴向荷载,从桥梁建设的全生命周期管理来看,适当的桩基承载能力富裕量在经济上是可行的且性价比极高。

5 结论

本文依托青海某高速公路上的一座中桥,在不同冻土层上限位置方案下对其桩基轴向承载性能进行数值模拟。通过将模拟计算出的桩基轴向承载性能指标进行对比分析,得到了以下几点结论:

(1)采用桩土实体有限元分析模型,以面接触来模拟桩土间作用的方法是可行的。

(2)随着冻土层上限的下移,中性点位置也逐渐下移,而桩身顶部与相应顶部桩周土体的沉降量将逐渐增大,且相应顶部桩周土体的沉降速率远大于桩身顶部的沉降速率。

(3)随着冻土层上限的下移,桩身最大轴向压力和桩侧总负摩擦力逐渐增大,且桩身轴向压力最大值恒定在中性点位置处。

(4)随着冻土层上限的下移,桩基的轴向承载能力安全储备逐渐降低,当冻土层上限下移至一定位置后,桩基的轴向承载能力将不再满足设计要求,需对冻土层上限位置变化进行分析评估监测,确定是否需要采取相应的工程加固措施。

参考文献:

- [1] 宁霞霞,马丁红,章余超,李敏峰.多年冻土区冻土层上限下移对桥梁桩基中基桩受力效果分析[J].兰州交通大学学报,2012,31(3):21-26.
- [2] 王慧东.桥梁墩台与基础工程[M].北京:中国铁道出版社,2014.
- [3] 徐学燕,仲丛利,陈亚明,张家懿.冻土的动力特性研究及其参数确定[J].岩土工程学报,1998,20(5):77-81.