

桥台桩基负摩擦力的形成分析与消减措施

刘明欣(广东汕头公路桥梁第一工程公司,汕头市 515021)

摘 要: 结合公路桥梁工程实际,讨论桩基负摩擦力的发生条件,分析桥台软土地基桩基负摩擦力的发生和发生深度,提出降低桩基负摩擦力的方法。实例证明桥台软土地基在成桩前预先处理,消减桩基负摩擦力,可以避免桩基沉降。

关键词: 桥台桩基 负摩擦力 软土地基 形成分析 消减方法

Causes for Formation of Negative Friction on Abutment Pile Foundation and Measures for Reduction

Liu Mingxin

Abstract: In connection with the highway bridge engineering, discussions are held on reasons for the negative friction on the pile foundation, with analysis of the degree and depth of such friction and measures for its reduction. It is proved that pretreatment of the soft ground at abutment can effectively reduce the said friction and avoid settlement of pile foundation.

Key Words: abutment pile foundation; negative friction; soft ground; formation analysis;

在公路桥梁工程建设中,桥台钻孔灌注桩处于深层软土地基与台背路堤高填土荷载的作用,结果桩侧软弱土层受到桥台台背填土荷载的作用,使软弱土层压缩和桩底下沉及位移,桩产生向下的摩擦力。也就是说,如果不存在桩基负摩擦阻力,桩基承载力就满足要求,桩基就不会发生持续不均匀沉降。因此,研究桥台桩基负摩擦阻力是否存在,采取什么措施达到消减桥台桩基负摩擦力就成为很有必要。

1 桩基负摩擦力发生的条件

桩基负摩擦力能否产生,关键取决于桩和桩侧土的相对位移发展情况。因此桩基负摩擦力发生的条件有下述几个方面:

- 1) 桩基穿过欠固结的软土或新填土,而支承于较坚实的上层土时,由于土的自重作用,使土产生固结。
- 2) 在桩周的地表面有大面积堆载时,引起地面沉降,使桩侧土压密固结,对桩产生负摩擦力。
- 3) 由于地下水位降低,例如在土层中抽取地下水,或采用排水固结法处理软土,此时土层孔隙水压力减小,有效应力增加,引发地基土新的固结下沉。
- 4) 自重湿陷性黄土下沉和冻土融化下沉。

5) 在饱和粘土地基中,群桩施工完成后,孔隙水压力消散,隆起的土体逐渐固结下沉,若桩端持力层较硬,则会引起负摩擦力。

6) 地基中液化土层发生变化时,引起地基土层大面积下沉,产生桩基负摩擦力。

由此可见,对于桥台桩基工程,当桩穿过可压缩性土层而支承在坚硬的持力层上时,一般都有可能发生负摩擦力。

2 桥台软土地基桩基负摩擦力的大小和深度

2.1 桩基负摩擦力的发生深度

一般说来,负摩擦力并不发生于整个软弱土层中。当水泥混凝土桩基成桩后,随着桥台地面以上路堤填筑荷载的不断增大,桩侧软弱土层逐渐压缩,桩身表面从上而下的正摩擦力慢慢减少,随即产生负摩擦力,变成桩基上部为负摩擦力,桩基下部为正摩擦力。摩擦力为零的位置为中性点,此点为桩基在该处的位移量与其周围土的下沉量相等之点,它是土与桩之间不产生相对位移之点,如图 1 的 O_1 点所示。图 1(b) A 是土层轴向位移曲线, B 为桩的截面位移曲线,图 1(c) 为桩周摩擦力分布曲线,图 1(d) 为桩身轴向分布曲线。中性点以上土的下沉量

大于桩的下沉量,桩承受负摩擦力;中性点以下桩的下沉量大于土的下沉量,桩承受正摩擦力作用。从图 1 所知,在中性点处,桩身轴向力达到最大值($P + q_{in}$),而在桩端总阻力为 $q_p = P + (q_{in} - q_s)$ 。

根据有关文献介绍,经验估计桩基产生负摩擦力的深度 h_1 为:

$$h_1 = (0.77 \sim 0.8) h_2 \tag{1}$$

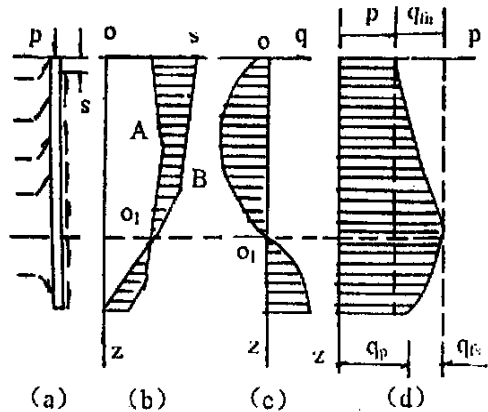


图 1 单桩在产生负摩擦力时的荷载传递

式中 h_1 为负摩擦力发生深度; h_2 为软弱土层厚度。

通过实测结果表明,当桩周为一般粘性土时,中性点至桩顶的距离约为桩长的 70%~75%;桩尖打入砂土或砂砾层中,中性点至桩顶的距离约为 90%;支承在岩层上的桩,中性点则接近岩层面。

2.2 桩基负摩擦力的大小

确定桩基负摩擦力的方法较多,可归纳为三类:根据室内外土工试验资料的计算方法,按理论公式的计算方法,经验公式和经验数值等确定的方法。

2.2.1 经验估算桩基负摩擦力

1) 有关文献介绍,经验估计软弱土层桩基最大负摩擦力为:

$$q_s = 0.5 q_u \tag{2}$$

式中 q_s 为桩基负摩擦力强度, kPa ; q_u 为软弱土层无侧限抗压强度。

2) 美国嘉兰格 (Carlanger) 等人的公式;

$$q_s = \nu \tag{3}$$

式中 ν 为负摩擦力系数,粘土为 0.20~0.25,粉土为 0.25~0.35,砂土为 0.35~0.5; ν 为地基中的有效垂直应力。

3) 对于粘性土,用静力触探求得探头比贯入阻力 P_s 时,可按下式估算:

$$q_s = 0.1 P_s \tag{4}$$

4) 对于沙土,用标准贯入试验求出击数 N 时,

按下式估算:

$$q_s = 2N + 30 \tag{5}$$

按式 (3) 至式 (5) 计算得到的 q_s 值都是指桩基与桩侧土产生足够相对位移,桩基负摩擦力可以得到充分发挥的最大值,均以 kPa 为单位。

2.2.2 波兰桩基规范负摩擦力数值

波兰 PN-83/B-2382 的桩基规范提供的桩基负摩擦力值,如表 1 所示。

表 1 桩基负摩擦力值

土的种类	负摩擦力 (kPa)	备 注
新填土和砂 ($Dr \leq 0.2$)	5~10	Dr 为土的相对密度
粉质砂 ($Dr \leq 0.2$)	10	I_c 为土的液性指数
砂质粉土 ($I_c \leq 0.75$)		
粘土质砂,砂质粘土 ($I_c \leq 0.75$)	5~10	
泥炭,淤泥	5~10	

2.2.3 下拉荷载的计算

对于单桩基础,中性点以上负摩擦力的累计值为下拉荷载,实际上就是作用在桩上的外力。下拉荷载的计算是以负摩擦力和中性点位置均达到理论最大值基础上的假定,其计算公式为:

$$q_s = q_{in} \times L \times h_1 \tag{6}$$

式中 q_{in} 为桩基负摩擦力最大值, kPa ; L 为基桩周长, m ; h_1 为地面至中性点距离, m 。

按式 (5) 和 (6) 计算的下拉荷载不应大于单桩所分配承受的桩周下沉土重。计算时,可按相邻桩距之半计算,其深度中性点深度。

在同一土体中,打入桩或沉管灌注桩 (即挤土桩),其桩基负摩擦力大于钻 (冲)、挖孔灌注桩 (即非挤土桩)。对于摩擦桩,可近似视中性点以上桩侧阻力为零计算桩基承载力。对于端承桩,计算中性点以上负摩擦力形成的荷载,并以下拉荷载作为外荷载的一部分验算桩基承载力。

在粘土地基中要考虑群桩作用的影响,桩数越多,桩距越小,则群桩效应越强。当桩距与桩径比值小于 2.5 时,桩基负摩擦力会显著降低。对于砂土地基不考虑群桩效应问题。

3 降低桩基负摩擦力的方法

目前,减少桩基负摩擦力的措施一般有以下几个方面:

3.1 支承桩柱法。该法通过增大桩柱断面来承受负摩擦力。

3.2 群桩法。该法通过增加桩数来体现群桩效应,以减少负摩擦力。

3.3 涂层法。若是预制打入桩,打桩前在中性点以上桩身涂 1mm 厚的沥青,涂层产生剪应变,降低桩表面的负摩擦力。

3.4 地基浸水法。该法使地基先浸水,增加孔隙压力,降低桩侧摩擦力。

3.5 分段施工法。该法是将桩基施工 0.5 ~ 1a 后,再继续其上部结构施工,可以缓解负摩擦力的作用。

3.6 软土地基处治。为了避免桩基沉降,消减桩基负摩擦力,在钻孔灌注桩施工之前,先在桥台软土地基地段实施处治,以减少由于软基沉降对桥台桩基产生的负摩擦力,达到消减负摩擦力的目的。

3.7 套管保护桩法。在中性点以上桩段罩上一段直径大于桩径钢管,使该桩身不致受到土的负摩擦力作用。该法会较大增加工程投资。

3.8 允许桩基增加少许沉降量而重新选择持力层。对于桩基工程,利用负摩擦力处理建筑物病害也是最有效的方法之一。尤其是桩的负摩擦力对于倾斜的建筑物纠倾起到了重要作用,例如用注水法使软土产生负摩擦力,或降低水位使土体团结,促使桩基下沉,从而使建筑物得到纠倾。

4 汕头海湾大桥北引道工程实例

4.1 工程概况

广东汕头海湾大桥于 1991 年 12 月开始建设,1995 年底建成通车。该大桥是我国第一座大跨度悬索桥,全长 2500m,南北两岸配套有引道通过互通立交与地方道路相接。包括北引道工程全长 11km,其中互通式立交桥 2 座,分离式立交桥 8 座,中桥 1 座,涵洞 20 多座,路堤填土高度最小为 2.1m,最高为 8m,大部分路段路堤填筑高度 4m 以上。

大桥北引道工程地处冲积平原,根据地质钻探资料表明,地表以下 2 ~ 18.5m 基本为流塑淤泥或厚淤泥层夹层,含有较多的有机物质,比重 2.69 ~ 2.72,天然含水量 66.1 % ~ 86.6 %,天然孔隙比为 2.25,快剪粘聚力为 5.8 ~ 12.7kPa,固结系数为 9.39×10^{-4} ~ 2.27×10^{-3} ,压缩固结模量为 1.7 ~ 2.9MPa,承载力为 40 ~ 50kPa。在这样不良工程地质上填筑引道和桥台桩基施工,有很大困难。如何消减桥台桩基负摩擦力也给工程提出了研究课题。

4.2 消减桥台桩基负摩擦力的措施

大桥北引道桥梁下部结构均采用钻孔灌注桩。

根据地质资料可知,桥台地基属于可压缩性地基,桩基负摩擦力较大。因此,为了使引道路基工后容许沉降量达到规范要求,同时减少由于软土地基沉降对桥台桩基产生的负摩擦力,达到消减负摩擦力的目的,在桥台钻孔灌注桩施工之前,先在桥台范围内的地基布设砂桩,再进行填土预压。在预压过程中进行沉降观测,待沉降趋向稳定后,进行卸载及钻孔浇筑桩基。

1) 桥台软土地基,采用砂桩和堆载预压法加固,桩长贯穿第四层软弱土层,直达相对硬层亚粘土层,三角形布置,排距 1.3m,桩距 1.5m,填充料采用中粗砂,成桩后密度达到标贯 22 击。砂桩施打次序从外向内进行,使砂垫层形成两面坡,有利于形成竖向和横向排水系统。砂桩施工完成后,进行填土预压,预压填土高度超过路面标高约 1m,堆载预压期一般控制在 2 个月。

2) 桥台软土地基采取砂桩和堆载预压措施,具有三个方面的作用:砂桩是粘性土地基中一个良好的排水通道,它能起到排水砂井的效果,且大大缩短了孔隙水的水平渗透途径,加快软土的排水固结,使沉降稳定加快。由于砂桩的刚度比桩周围粘性土的刚度大,而地基中应力按材料变形模量进行重新分配。此时砂桩体在荷载作用下主要起应力集中作用,从而使桩间土复合地基的承载力有所提高,而压缩性也相应有所减少。减少由于软基沉降对桥台桩基产生的负摩擦力。

4.3 桥台地基沉降观测

通过对北引道 k3 + 390.011 桥 6[#] 台的软基路堤填筑观测,从软基沉降过程曲线、预压填土高度及预压历时关系曲线可知,桥台软土地基沉降一般在预压填土高度超出设计标高大 1m 后再预压 50 ~ 60d 基本稳定,引道路基工后沉降量小于 10cm,连续观测沉降量每月不超过 6mm,达到预期处治加固效果。多年来的跟踪观测结果表明,广东汕头海湾大桥北引道桥台与软基路堤一直处于良好的工作状态,桩基负摩擦和软基路堤沉降的问题得到了妥善解决,减少或避免桥头跳车现象,有利于车辆行驶。

(收到修改稿日期:2002 - 05 - 29)