

桩承式加筋路堤格栅分析

贾 宁 高文龙

(北京国电华北电力工程有限公司, 北京 100011)

【摘 要】 将单桩等效处理范围简化为圆柱体, 假定桩间土上部的格栅受上覆土压力作用后变形为二次抛物面, 考虑路堤中的土拱效应, 得到了格栅受力分析的解析方法。当路堤中的土拱处于弹性状态时, 格栅对提高桩体荷载分担比的作用不大; 当路堤中的土拱处于塑性状态时, 格栅对提高桩体荷载分担比有明显的作用; 当格栅与地基的相对刚度较小时, 格栅对减小桩间土沉降的作用很小。最后对一个模型试验结果和一个工程实例进行了分析。

【关键词】 桩体荷载分担比; 格栅受力分析; 路堤; 桩帽桩

【中图分类号】 U 416. 1

Behavior of Geosynthetics in Pile-supported and Geosynthetic-reinforced Embankments

Jia Ning Gao Wenlong

(North China Power Engineering (Beijing) Co., Ltd, Beijing 100011, China)

【Abstract】 The subsoil and the embankment treated by a single pile are simplified as a circular column. Considering the soil arching effect, an analytical study is conducted to investigate pile-soil-geosynthetics interactions. Theoretical solution suggests that the inclusion of geosynthetics in the fill enhances the pile efficacy and reduces the differential settlement when the soil arch is in plastic state; when the soil arch is in elastic state, there is no much difference between the cases with or without the geosynthetics. When the ratio of the geosynthetics stiffness to the soft ground stiffness is small, the geosynthetics has little effect in reducing the maximum settlement midway between the pile caps. Finally, these formulas are employed to analyze a set of full-scale model tests and a practical case.

【Key Words】 pile efficacy; geogrid machnical analysis; embankments; capped pile

0 引言

桩承式加筋路堤采用桩帽桩和土工格栅联合处理软土地基, 以减小地基沉降(见图 1)。与常规的桩基础相比, 取消了桩顶承台或筏板而以桩帽代替。桩帽顶面与桩间土顶面的沉降差, 促使路堤填料中形成土拱效应, 加上格栅变形的提拉作用, 将路堤荷重的大部分转移到桩帽上, 从而减小了桩间土上部的压力。同其它软土地基处理方式相比, 桩承式加筋路堤具有施工方便、工期短、侧向变形和工后沉降小等优点^[1-4]。

桩承式路堤受力较为复杂, 桩间土和桩体的差异沉降会使路堤填料产生应力重分布, 大主应力方向从竖直方向偏转至大致平行于相邻两桩帽之间的圆拱形连线, 土拱上部路堤填料的一部分荷载通过土拱传递于桩帽之上(见图 1)。本文将荷载转移的程度用桩体荷载分担比 E 来表示

$$E = \frac{P_u}{s^2 H \gamma} \quad (1)$$

式中: P_u 为桩帽顶面所承担的荷载, kN; s 为桩间距, m; H 为路堤高度, m; γ 为路堤填料容重, kN/m^3 。桩体荷载分担比越大, 桩所承担的荷载比例越大。

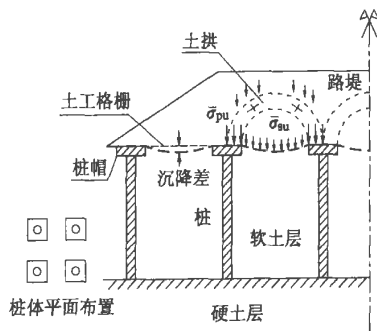


图 1 桩承式加筋路堤土拱及格栅受力示意图

LOW^[3]采用模型试验的方法分析了桩顶用横梁相连情况下土工格栅的受力和变形。饶为国等^[4]以薄板模拟土工格栅及垫层,基于薄板变形理论和WINKLER弹性地基模型,分析了桩间土的沉降。沈伟等^[5]考虑桩-土-垫层协同作用,给出了桩和桩间土沉降的解析解,但计算较为复杂。陈云敏等^[6]改进了HEWLETT桩顶土拱的分析方法,得到了桩顶和桩间土所受平均应力 $\bar{\sigma}_{pu}$ 和 $\bar{\sigma}_{su}$ (见图1)。

本文考虑桩顶土拱效应,提出格栅受力分析的解析方法。研究了铺设土工格栅前后桩体荷载分担比的变化,分析了土工格栅对减小桩间土沉降的作用。最后对一组模型试验结果和一个工程实例进行了分析。

1 计算模型

1.1 格栅

格栅受上覆土压力 σ_{su} 作用下下沉,桩帽角点上格栅变形最大,桩帽四边中点上的格栅变形相对较小,受力十分复杂。为了便于计算,本文把单桩处理有效区域和桩帽等效为圆柱体进行分析。桩帽等效半径 r_p 和单桩等效处理半径 r_e 分别按以下两式计算。

$$r_p = \frac{1}{\sqrt{\pi}} b \tag{2}$$

$$r_e = \frac{1}{\sqrt{\pi}} s \tag{3}$$

式中: b 为桩帽边长, m; s 为桩间距, m。

把文献[6]中分析得到的桩间土平均应力 $\bar{\sigma}_{su}$ 和桩帽上方平均应力 $\bar{\sigma}_{pu}$ 作为作用在格栅上表面的应力,对单桩等效处理区域的受力分析见图2(a)。 $\bar{\sigma}_{pd}$ 和 $\bar{\sigma}_{sd}$ 分别为桩顶格栅下表面平均压力和桩间土格栅下表面压力。根据JONES的研究^[1],格栅在上部压力 $\bar{\sigma}_{su}$ 的作用下,下沉曲线为悬链线,当下沉量较小时,格栅的下沉形态可以用二次抛物线来模拟。在以桩帽中心为原点的坐标系下,设格栅下沉曲线方程 $f(r)$ 为:

$$f(r) = ar^2 + br + c \quad (r_p \leq r \leq r_e) \tag{4}$$

式中: a , b 和 c 为待定系数; r 为计算点距桩帽中心的距离, m。当 $r=r_p$ 时, $f(r)=0$; $r=r_e$ 时, $f(r)=S_{max}$, S_{max} 为格栅最大沉降;沉降对 r 的一阶导数在 $r=r_e$ 时为零,即 $f'(r)|_{r=r_e}=0$ 。由此求得系数 a , b 和 c 的表达式为:

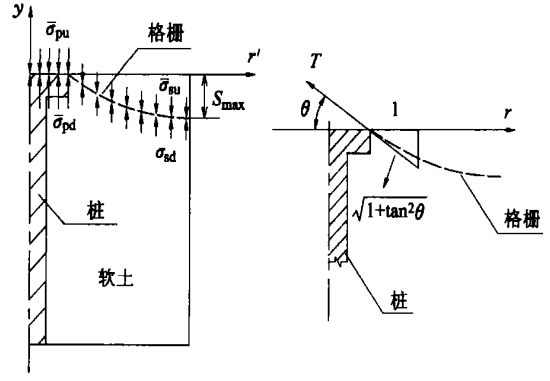
$$a = \frac{-S_{max}}{(r_e - r_p)^2} \tag{5}$$

$$b = -2ar_e \tag{6}$$

$$c = -ar_p^2 - br_p \tag{7}$$

式中:格栅最大沉降 S_{max} 为待求量, m。

若忽略格栅下沉时的水平向位移,则桩帽边缘单位长度的格栅,下沉后长度为 $\sqrt{1+\tan^2\theta}$ (见图2b),格栅在桩帽边缘的应变 ϵ_g 为:



(a) 格栅上下表面所受压力 (b) 桩周格栅变形及受力

图2 格栅受力分析

$$\epsilon_g = \frac{\sqrt{1+\tan^2\theta}-1}{1} \tag{8}$$

$$\tan \theta = f'(r)|_{r=r_p} = 2ar_p + b \tag{9}$$

格栅在桩帽边缘的拉应力 T (见图2b)为:

$$T = \epsilon_g E_g \tag{10}$$

式中: E_g 为格栅刚度, kN/m。

1.2 格栅下表面应力

设桩间土格栅下表面压力 $\sigma_{sd}(r)$ 的大小与格栅的下沉量成正比:

$$\sigma_{sd}(r) = -f(r)k \tag{11}$$

式中: k 为地基基床系数, kN/m³。由于沉降向下为负,所以等式右侧加负号,以保证压应力为正。

由此得到桩间土格栅下表面平均压力 $\bar{\sigma}_{sd}$ 为

$$\bar{\sigma}_{sd} = \frac{-\int_{r_p}^{r_e} 2\pi r f(r) k dr}{\pi(r_e^2 - r_p^2)} \tag{12}$$

1.3 求格栅最大沉降

取桩顶以外环状格栅($r_p \leq r \leq r_e$)为分析对象,进行受力分析(见图2)。竖向平衡方程为

$$\pi(r_e^2 - r_p^2)\bar{\sigma}_{sd} + 2\pi r_p T \sin \theta = \bar{\sigma}_{su}\pi(r_e^2 - r_p^2) \tag{13}$$

由式(13)求得待求量 S_{max} 后,由式(4)~式(10)和式(12)即可求得格栅在桩帽边缘的拉力 T 和格栅下表面桩间土平均压力 $\bar{\sigma}_{sd}$ 。进一步可求得桩顶格栅下表面平均应力 $\bar{\sigma}_{pd}$ 、桩体荷载分担比 E 和桩间土平均沉降 S_{bar} 。

2 算例分析

路堤填料内摩擦角 φ 取 30° , 粘聚力 c 取 0, 重度 γ 取 18.6 kN/m^3 , 路堤高度 H 取 4 m。路堤外荷载 q_0 取 10 kPa 。地基基床系数 k 取 830 kN/m^3 , 格栅刚度 E_g 取 860 kN/m 。

铺设土工格栅与未铺土工格栅对桩体荷载分担比的影响见图 3。桩间距与路堤高度之比趋于零时, 铺设土工格栅后桩体荷载分担比趋于 1, 而不铺土工格栅的情况下则趋于一个定值。

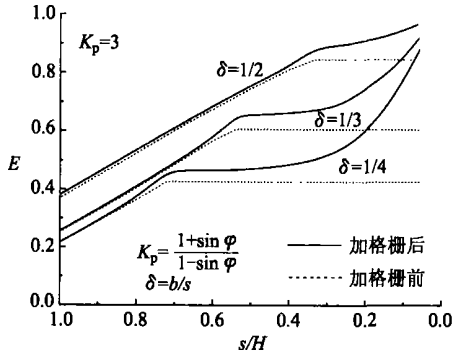


图 3 加铺土工格栅前后桩体荷载分担比对比图

根据文献[6], 图 3 中曲线的转折点对应于土拱从弹性状态向塑性状态转化的临界点。当土拱处于弹性状态时, 桩体荷载分担比 E 随 s/H 直线上升, 格栅的作用不明显; 当土拱处于塑性状态时, 格栅对提高桩体荷载分担比有明显的作用。土拱处于弹性状态还是塑性状态取决于桩帽大小、桩间距、路堤高度和路堤填料内摩擦角的大小。不同内摩擦角大小, 土拱弹性状态与塑性状态的分界线见图 4。

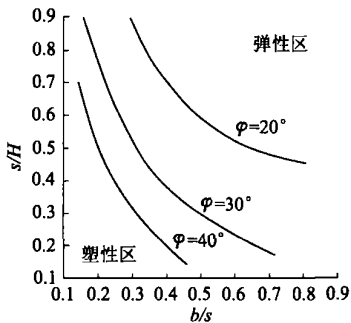


图 4 土拱弹性状态与塑性状态分界线

格栅与地基土相对刚度 η ($\eta = E_g / [(s-b)^2 k]$) 对桩间土最大沉降 s_{max} 的影响见图 5。 S_{0g} 为未铺土工格栅情况下, 桩间土最大沉降。从图 5 中看出, 格栅与地基土相对刚度 η 越大, 格栅对减小桩间土最大沉降的作用越大。当 η 小于 0.2 时, 格栅对减小桩间土最大沉降的作用不大。当 η 大

于 1 时, 格栅对减小桩间土沉降的作用较为明显。

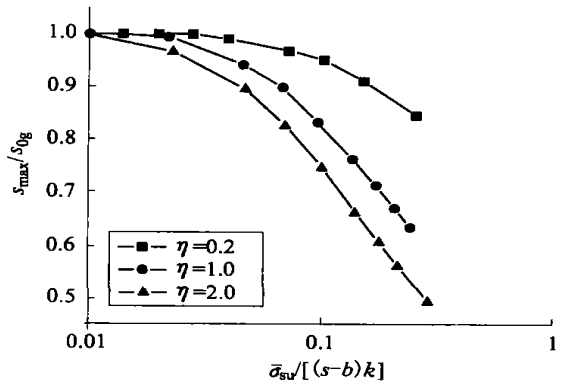


图 5 η 对桩间土最大沉降的影响

3 实例分析

3.1 模型试验

Chew 等对桩承式加筋路堤进行了足尺模型试验[7]。模型槽长 5.0 m、宽 3.0 m、高 3.0 m。桩位按菱形布置, 桩位中心对角线长分别为 2.08 m 和 1.20 m。桩帽直径 0.21 m。格栅加筋向抗拉强度和未加筋向抗拉强度分别为 75 kN/m 和 14 kN/m , 最大拉伸应变为 13%。格栅在桩顶铺两层。

试验分两次进行, 填土高度分别为 0.5 m 和 1.0 m。填土为粉质砂土, 内摩擦角为 37° 。填土填到设计厚度后, 将桩间土挖去, 以观测格栅的变形。对于 1.0 m 填土高度的试验, 挖去桩间土后, 又在原填土上部增加了 0.5 m 厚的填土。

本节计算时, 将菱形布桩按面积等效, 转化为正方形布桩后, 桩间距为 1.12 m。桩帽转化为正方形后, 边长为 0.186 m。格栅平均刚度为 684 kN/m 。第二次试验后加的 0.5 m 填土按外加荷重考虑。桩间格栅最大沉降实测值与计算值对比见表 1。从计算结果看, 计算值小于实测值 16.3%~31.7%。

表 1 实测最大沉降与计算结果对比

填土高度/m	最大沉降/mm	
	实测值	计算值
0.5	148	101
1.0	150	125
1.0+0.5	153	128

3.2 工程实例

杭甬高速公路建于软土地基之上, 大部分为强度很低, 压缩性很高的淤泥质粘土和淤泥质粉质粘土。预应力混凝土管桩处理路段拓宽示意图见图 6。

为保证施工顺利进行, 在 K48+332.5~K48+

505.5 和 K55+764+K55+949 布置了 8 个试验段,其中 1、2、5 和 6 为预应力混凝土管桩处理路段。在 1、2 和 6 试验段埋设了土压力盒,三断面桩帽大小均为 100 cm×100 cm,桩间距分别为 2.2 m、2.0 m 和 2.5 m,桩长均为 32 m,正方形布置。路堤填料为岩渣或砂砾,填料厚度均为 3.0 m。格栅抗拉强度为 120 kN/m,最大应变为 10%。

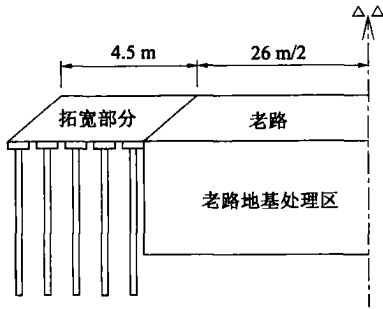


图 6 杭甬高速公路拓宽工程管桩处理路段示意图

桩体荷载分担比实测值与计算值见表 2。结果显示计算值大于实测值。

表 2 桩体荷载分担比实测值与计算值

桩间距 /m	实测值	计算值
2.0	0.61	0.70
2.2	0.50	0.62
2.5	0.39	0.50

4 结论

考虑路堤填料的土拱效应,假定格栅在上覆土压力作用下的下沉面为二次抛物面,给出了桩承式路堤中加筋格栅的受力及变形分析方法。分析了桩间距、路堤高度和格栅刚度等对桩体荷载分担比及桩间土沉降的影响。与模型试验和工程实测结果进行了对比,吻合较好。

1) 当土拱进入塑性状态后,格栅可以明显地提高桩体荷载分担比,减小桩间土压力,从而减小桩间土的沉降。

2) 格栅与地基的相对刚度 η ($\eta = E_g / [(s - b)^2 k]$) 大于 1 时,格栅对减小桩间土沉降有明显的作用;反之,不明显。

3) 本文桩体荷载分担比计算值大于实测值,沉降小于实测值。

参考文献

- [1] Jones C J F P, Lawson C R, Ayres D J. Geotextile reinforced piled embankments[C]. Proc. 4th Int. Conf. on Geotextiles; Geomembranes and related products, Den Hoedt(c), 1990, Rotterdam: Balkema, 155-160.
- [2] Hewlett W J, Randolph M F. Analysis of Piled embankments[J]. Ground Engineering, 1998, 21(3): 12-18.
- [3] Low B K, Tang S K, Choa V. Arching in piled embankments[J]. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE. 1994, 120(11): 1917-1938.
- [4] 饶为国, 赵成刚. 复合地基工后沉降的薄板变形模拟[J]. 应用力学学报, 2002, 19(2): 133-136.
- [5] 沈伟, 池跃君, 宋二祥. 考虑桩、土、垫层协同作用的刚性桩复合地基沉降计算方法[J]. 工程力学, 2003, 20(3): 36-42.
- [6] 陈云敏, 贾宁, 陈仁朋. 桩承式路堤土拱效应分析[J]. 中国公路学报, 2004, 17(4): 1-6.
- [7] Chew S H, Phoon H L, Loke K H, et. Geotextile Reinforced Pile Embankment-full scale model tests[R]. GeoAsia2004 Proceeding of the 3rd Asian regional conference on Geosynthetics- Now and Future of Geosynthetics in Civil Engineering. Hotel Seoul Education & Culture Center Seoul, Korea, 2004, 661-668.

收稿日期: 2005-12-20