

文章编号: 1000-7598-(2007) 01-0197-04

加筋及灌浆联合处理软土地基 在路基加宽中的应用和分析

付海峰¹, 闫澍旺¹, 舒晓武²

(1. 天津大学 建筑工程学院, 天津 300072; 2. 天津港岛建设开发有限公司, 天津)

摘 要: 提出了采用“土工合成材料加筋+路基注浆+桩支撑”系统的复合地基, 并运用于软土地基上路基加宽。采用弹塑性有限元程序分析比较了路堤在加桩和不加桩情况下的沉降大小、不均匀沉降以及土体中的应力水平; 特别是桩-土相互作用的计算分析与实测资料的分析比较。得出了一些相关结论, 从而为工程实践提供了一定的理论依据。

关 键 词: 土工合成材料; 桩; 加宽; 不均匀沉降; 桩-土相互作用

中图分类号: TU 472.3⁺4

文献标识码: A

Application and analysis of reinforcement and grouting combined treating soft foundation widening project

FU Hai-feng¹, YAN Shu-wang¹, SHU Xiao-wu²

(1. College of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Tianjin Port Island Construction & Development Co., Ltd.)

Abstract: Geosynthetic-reinforced, subgrade-grouting and pile-supported system is proposed to use in widening subgrade. By using an elastoplastic finite element program, the magnitude of settlement, uneven settlement and stress level in the soil mass are compared between two different cases; especially, the pile-soil interaction is analyzed and compared with practice. Base on the analysis results, some conclusions are draw so as to provide the theoretical evidence for practical constructions.

Key words: geosynthetic; pile; widening; uneven settlement; pile-soil interaction

1 前 言

由于软土的抗剪强度较低, 压缩性较大, 在软土地基上加宽路基, 如不采取加固措施, 将会产生过大的沉降和不均匀沉降, 甚至会导致新、旧路的脱节, 对公路的正常使用带来不可低估的危害。为了提高道路的整体性, 降低路面沉降和不均匀沉降, 需要对软土地基进行加固处理, 以解决路基加宽出现的新旧路基间产生较大的不均匀沉降和新老路基整体结合不强的问题。

采用“土工合成材料加筋+路基注浆+桩支撑”这种复合地基型式处理软基是一种行之有效的方法。其作用机理为土拱、膜/板效应、应力集中提高软土地基的承载力, 减小软土地基的沉降, 尤其是不均匀沉降。同时在新、旧路结合部适度注浆, 加

强路堤结构的整体性。这种方法具有施工快捷、方便, 不影响旧路交通、费用低等优点。

这种复合地基型式, 国外曾有过成功应用的工程实例, 效果较好, 但由于其作用机理很复杂, 主要依靠经验进行设计, 理论研究成果仍落后于工程实践, 因此, 对这种地基型式的应用研究显得日益迫切。本文利用有限元法, 依托实际工程, 对“土工合成材料加筋+路基注浆+桩支撑”系统的作用效果和机理做了理论性分析, 得出了一些结论, 从而为其工程应用提供了一定的理论依据。

2 工程概况

某高速公路原路面宽 26 m, 路堤高 4 m 左右, 长 200 m。该段地质条件复杂, 软土层较厚, 属于软土地基。原路基采用的是土工格栅+塑料排水板

的地基处理方式,路面经过了 5 年多的营运,固结已基本完成。现对路堤两边各加宽 3.5 m,坡率为 1:1.75,需要进行地基处理。

该段路基采用悬喷桩的处理形式,两排高压旋喷桩直径为 600 mm,桩长分别为 7 m 和 9 m,桩间距 3 m,三角形布置,桩顶和基底分别铺设一层土工格栅加筋垫层 500 mm,形成复合地基。桩未进入持力层。另外,在新旧路之间适当注浆。工程现已投入使用,经现场观测,未发现大的差异沉降和路面纵向裂缝,路面使用正常。

3 有限元计算模型分析

3.1 本构模型

土体的本构模型采用莫尔-库仑模型,对于土体是否破坏失稳采用莫尔-库仑破坏准则来进行判断。一旦土体内任一平面上的剪应力达到了土的抗剪强度,土就发生破坏,而任一平面上的抗剪强度 τ_f 只是该面上法向应力 σ 的函数,即

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi \quad (1)$$

式中: c 为黏聚力; φ 为内摩擦角。

土工格栅单元的本构关系简化为线弹性,看成只能受拉、不能受压、不具有抗弯刚度、只能沿轴向变形的一维单元。灌浆材料单元采用弹性,具弯曲刚度和轴向刚度的单元。

3.2 接触面单元

为了模拟土工格栅与土、注浆与土以及桩与土之间的相互作用,分析中采用了接触面单元,均为二维 Goodman 单元。它是一种无厚度四结点单元。两种材料接触面的相互作用用无数切向和法向的微小弹簧来模拟。接触面上的应力为

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \tau \\ \sigma_n \end{Bmatrix} \quad (2)$$

位移为

$$\{\omega\} = \begin{Bmatrix} \omega_s \\ \omega_n \end{Bmatrix} \quad (3)$$

式中: τ 为接触面上的剪应力; σ_n 为接触面上的正应力; ω_s 为接触面上的相对切向位移; ω_n 为接触面上的相对法向位移。

接触面上的应力-位移关系为

$$\{\sigma\} = [K_0] \{\omega\} \quad (4)$$

式中: $K_0 = \begin{bmatrix} K_s & 0 \\ 0 & K_n \end{bmatrix}$; 其中 K_s 为切向弹性系数;

K_n 为法向弹性系数。

4 工程实例分析

4.1 计算模型

采用 PLAXIS 有限元程序模拟计算,软基计算宽度取 40 m,计算厚度取 18 m。利用对称性,其有限元网格如图 1 所示。

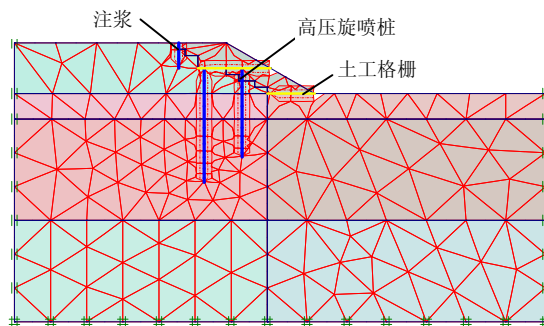


图 1 有限元网格示意图

Fig. 1 Sketch map of finite element grids

原路基和加宽部分路基选取不同计算参数,计算参数见表 1。

表 1 材料计算参数表

Table 1 Calculation parameters of materials

土体 / m	重度 / $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	弹性模量/ kPa		泊松比	黏聚力/ kPa		内摩擦/(°)	
		原基	加宽		原基	加宽	原基	加宽
填土	19.5	5 700	6 000	0.30	25	20	15	25
土层 0~2	18.5	4 500	4 200	0.32	20	18	10	7.1
土层 2~10	18.6	4 200	4 000	0.35	15	12	8	6
土层 10~18	19.5	9 500	8 000	0.32	13	10	25	20

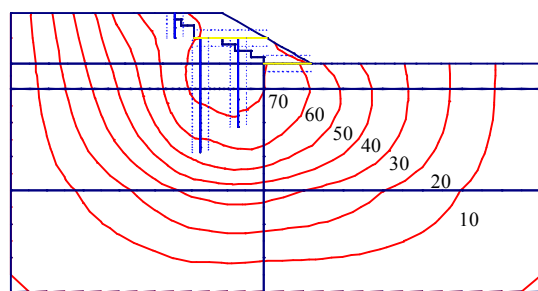
筋材弹性模量取 1.0×10^4 kN/m,桩材料弹性模量取 1.2×10^6 kPa。

4.2 计算结果分析

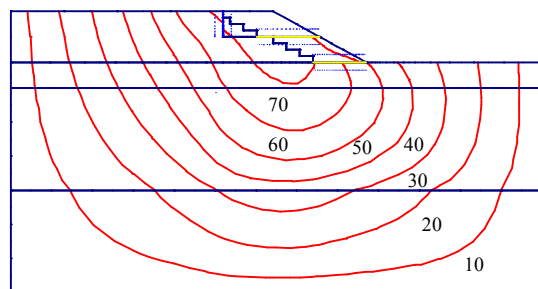
如图 2 为对加桩和不加桩的情况对比,可以看出,加桩以后,软土地基的竖向沉降和侧向位移都有一定幅度的减小,安全性有所提高。特别是加桩后明显减小了竖向沉降。

未加桩的水平位移最大值为 75.38×10^{-3} m,加桩的为 68.68×10^{-3} m,说明加桩对路堤的水平位移的抑制效果很小,主要依靠土工材料加筋的作用。

图 3 为加桩与未加桩情况的竖向位移等值线图,未加桩和加桩的竖向位移最大值分别为 67.74×10^{-3} m 和 54.42×10^{-3} m,沉降减小了 19.7%,说明桩对地基的竖向位移影响较大。从整体看,地基沉降曲线呈反“盆”型。



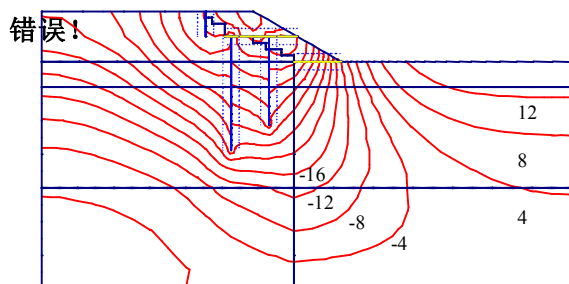
(a) 加桩情况



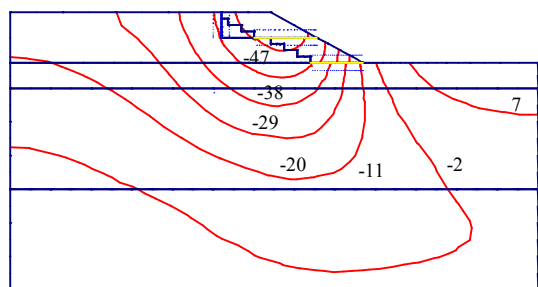
(b) 未加桩情况

图 2 土体水平位移等值线

Fig. 2 Horizontal displacement isolines in soil mass



(a) 加桩情况



(b) 未加桩情况

图 3 土体竖向位移等值线

Fig. 3 Vertical displacement isolines in soil mass

从路面依次取点分析地面的不均匀沉降,如图 4 所示,由于新旧路基的固结程度不同,必然在结合部位形成沉降差,高速公路加宽设计主要是受路面差异沉降控制,注浆、加桩能有效减小结合部位的沉降差以及新旧路面的不均匀沉降。

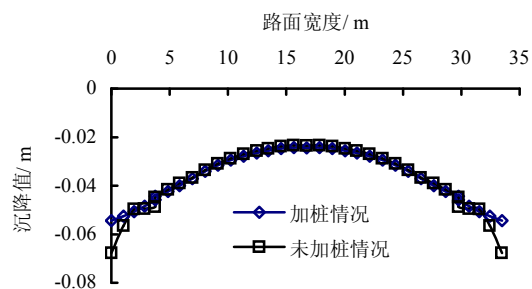
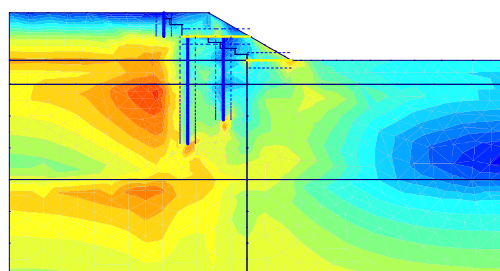


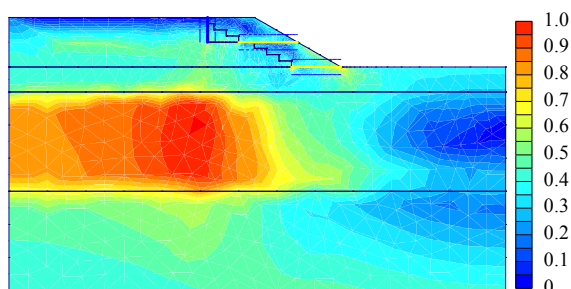
图 4 两种情况下的路面不均匀沉降

Fig.4 Uneven settlement of road surface with two different cases

应力水平是指土体中一点剪应力的最大值与抗剪强度之比,其值越大,则土体越接近破坏,因此,它体现了土体的抗剪强度发挥的程度。从图 5 应力水平等值线图可以看出,桩体附近的应力水平较大的区域有所减少,土体稳定性增加。这是由于桩-土的相互作用,使得土体内部部分应力得到扩散和转移,从而使土体一定范围的附加应力有所减小,分布更均匀。



(a) 加桩情况



(b) 未加桩情况

图 5 土体应力水平等值线图

Fig. 5 Stress level isolines in soil mass

前人在用 PLAXIS 程序模拟桩-土间的相互作用过程中,发现模拟所得的桩身轴力的分布出现“大肚子”现象,说明桩身产生了较大的负摩擦,这与实际情况不符。因为地基土体固结完成后,土体与桩之间的变形已经结束,桩侧只会出现的正摩阻力,而不会有负摩擦出现。所以正确模拟桩-土之间的作

用, 显得十分重要。

桩和土间的应力传递取决于桩-土之间的界面单元的摩擦系数。为了正确模拟桩身轴力的分布, 摩擦系数的取值非常重要。不同取值情况下的桩身轴力分布如图 6 所示。

可以看出, 随着桩-土界面的摩擦系数越大, 负摩阻力越大; 当摩擦系数变小时, 桩-土间的相互作用变小, 导致土体的变形变大, 桩起不到作用。所以桩-土界面的摩擦系数必须合理取值。土体固结过程当中, 土与桩之间的单元界面发生不同程度的破坏, 根据土层深度, 改变摩擦系数 (依次取 0.5, 0.2, 0.1, 1.0), 得到图中的“土层摩擦系数不同”的桩身轴力分布, 减小了“大肚子”现象, 大致符合“上头大, 底部小”的桩轴力分布特点。

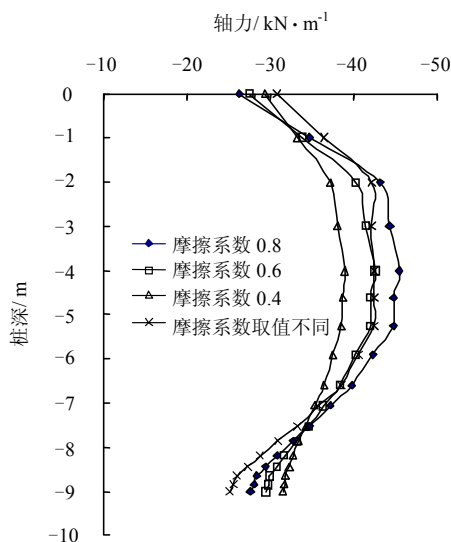


图 6 桩身轴力分布图

Fig. 6 Pile axial force distribution

在荷载作用下, 复合地基中桩体承担的荷载与桩间土承担的荷载比称之为荷载分担比。表 2 是理论计算值与实测资料的比较。

表 2 旋喷桩荷载分担情况
Table 2 Load sharing of jet grouting pile

填土高度 / m	桩顶承受压力 / kPa		桩间土承受压力 / kPa		分担比	
	实测值	计算值	实测值	计算值	实际	理论
0.5	18.78	6.38	13.72	5.48	1.37	1.16
1.0	15.11	12.78	13.09	9.23	1.16	1.38
1.5	16.43	21.15	12.24	11.42	1.34	1.84
2.0	31.32	30.76	10.52	13.17	2.98	2.34

由以上分析可见, 桩土荷载分担比随路堤填土高度的增加而明显增大, 说明上部荷载增大后, 桩

将承担更大的比例。两种情况的理论计算值与实测值比较吻合, 说明实际工程的处理方法在理论上是可靠的, 程序很好地模拟了工程实际情况。

可以看出, 由于土工合成材料的加筋作用, 通过界面摩擦与土形成“张力膜”效应, 将其上部荷载通过加筋垫层传递给下部的桩土复合地基。加筋垫层起到协调桩、土荷载分担的作用。桩土之间的合理的荷载分担比, 能降低工程中桩的数量, 充分发挥桩间土的作用。

5 结 论

(1) 提出的新的软土地基处理方法——“土工合成材料加筋+路基注浆+桩支撑”系统在理论上是可行的。

(2) 加桩很好地减小了路堤的垂直沉降, 特别是路面的不均匀沉降。

(3) 由于桩的应力集中, 桩承担了大部分的上覆荷载, 从而能提高软土地基的承载能力。但加桩对路堤的侧向位移的减小不明显, 主要是由于桩-土界面摩擦系数的减小, 抑制了桩-土间的作用。

(4) 桩-土界面的摩擦系数的取值会影响到桩的应力集中情况, 合理地取值可以消除计算得出的过大的、不合理的负摩阻力。

(5) 应用 PLAXIS 程序能较好地模拟加筋和加桩的效果, 计算模型是可行的, 这为“土工合成材料加筋+路基注浆+桩支撑”系统在路基加宽工程中的实际应用提供了理论依据。

参 考 文 献

- [1] 龚晓南. 复合地基理论及工程应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [2] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算(第二版)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.
- [3] 龚晓南. 复合地基设计和施工指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [4] Jie Han, Ken Akins. Use of geogrid-reinforced and pile-supported earth structures[J]. *American Society of Civil Engineers*, 2002.
- [5] Han J, Gabr. M A. Numerical analysis of geosynthetic-reinforced and pile-supported earth platforms over soft soil[J]. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 2002. 205—212.