

基于均衡沉降的 CFG 桩处治公路软基控制标准

王欢¹, 王选仓¹, 高志伟²

1. 长安大学公路学院, 西安 710064
2. 西藏民族学院信息工程学院, 咸阳 712082

摘要 采用有限元软件建立 CFG 桩处治公路软土路基模型, 分析桩间距、桩长和桩身模量与公路软基顶面最大沉降量的关系, 提出公路软基均衡沉降控制标准。结果表明, 路基顶面最大沉降量随着 CFG 桩桩间距的增加而逐渐增大, 随着桩长和桩身模量的增加而逐渐减小; 对公路软基顶面最大沉降量影响最大的是 CFG 桩的桩间距, 将桩间距作为 CFG 桩处治公路软基沉降控制标准; 提出了不同 CFG 桩桩间距组合的公路软基均衡沉降控制标准。

关键词 CFG 桩; 软土路基; 沉降量; 有限元

中图分类号 U416.02

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.22.005

Control Standard of CFG Pile Treatment of Highway Soft Ground Based on Isostatic Settlement

WANG Huan¹, WANG Xuancang¹, GAO Zhiwei²

1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China
2. School of Information Engineering Tibet University for Nationalities, Xianyang 712082, China

Abstract To propose a control standard of highway soft ground isostatic settlement, the relationships of the pile spacing, length, modulus and the maximum settlement on the top soft ground are analyzed using the established CFG pile treatment model of highway soft ground by ANSYS finite element. The results show that with the increase of CFG pile spacing the maximum settlement on the top soft ground increases correspondingly, while the maximum settlement on the top soft ground reduces correspondingly with the increase of length and modulus. The greatest impact on the maximum settlement on the top soft ground is the CFG pile spacing, therefore the pile spacing is taken as the control standard of CFG Pile treatment of highway soft ground settlement. Different control standards of highway soft ground isostatic settlement of combinations of CFG pile spacings are proposed.

Keywords CFG pile; soft ground; settlement; finite element

新建及改扩建高速公路修筑后, 较普通路基路段, 其软土路基路段会产生较大沉降, 当处治措施不当时, 往往会产生较大的路基差异沉降, 进而造成路面开裂, 影响道路的使用寿命^[1-4]。采用水泥粉煤灰碎石 (CFG, cement fly-ash gravel) 桩的复合地基能较好地解决路基不均匀沉降的问题。CFG 桩较其他类型桩体在成桩质量、处理深度和承载能力等方面有较大提高, 目前广泛应用于高速公路软土地基加固、桥头深厚软基处理、路基加宽扩建等处治措施, 工程效应和社

会效应明显^[5-7]。但是在目前的 CFG 桩处治公路软基的研究中, 较多地集中在对沉降量和承载力的计算方法等方面^[8-10], 未见可供参考的公路软基处治差异沉降量标准, 对公路软基处治方案的制定多依靠以往的工程经验。本文利用 ANSYS 有限元分析软件, 分析桩间距、桩长和桩身模量与 CFG 桩处治公路软基沉降量的关系, 制定 CFG 桩处治公路软基布置方案评价标准。

收稿日期: 2014-03-26; 修回日期: 2014-06-26

基金项目: 河北省交通运输厅科技计划项目 (Y-2010049)

作者简介: 王欢, 博士研究生, 研究方向为道路与铁道工程, 电子信箱: happy_king0924@sina.com; 王选仓 (通信作者), 教授, 研究方向为道路工程, 电子信箱: wxc2005@163.com

引用格式: 王欢, 王选仓. 基于均衡沉降的 CFG 桩处治公路软基控制标准[J]. 科技导报, 2014, 32(22): 38-41.

1 建立模型

利用 ANSYS 有限元分析软件,建立采用 CFG 桩处治公路软土路基的有限元模型,针对桩间距、桩长和桩身模量,对有限元模型进行分析,分析各影响因素与路基顶面最大沉降量的关系。该模型假定路基土为弹塑性体,CFG 桩桩体为线弹性体,模型材料均满足均匀性和各项同性的假设,路基底面与地基表面之间、CFG 桩桩体与桩间土之间为完全连续,路基横断面方向设置为自由端,纵断面方向对水平位移进行约束,地基底面部分对所有位移进行约束。路基土体承受荷载为其自重。

采用 3 种工况对 CFG 桩处治公路软基沉降进行分析,各工况地基模型尺寸:工况 1 为 60 m×30 m×15 m,路基填高为 6 m;工况 2 为 60 m×30 m×30 m,路基填高为 15 m;工况 3 为 60 m×30 m×40 m,路基填高为 6 m。CFG 桩处治路基有限元模型如图 1 所示,路基各层厚度及材料参数如表 1 所示。

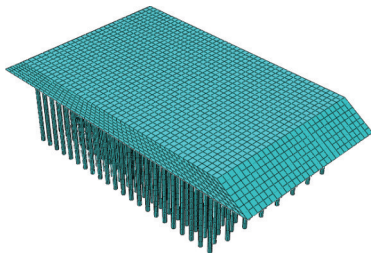


图 1 CFG 桩处治路基模型

Fig. 1 Finite element model of CFG pile treatment

表 1 路基土结构参数

Table 1 Foundation structural parameters

工况	路基土层	厚度/m	变形模量/MPa	泊松比	粘聚力/kPa	摩擦角/(°)	重度/(kN·m ³)
1	黄土状土	2.8	13	0.35	0.5	20	17
	粉质粘土	5.6	16	0.30	2.0	24	18
	细砂	3.1	14	0.35	1.5	20	17
	粉质粘土	2.5	16	0.30	2.0	24	18
2	黄土状土	3.8	13	0.35	0.5	20	17
	粉质粘土	4.1	16	0.30	2.0	24	18
	粉质粘土	8.1	16	0.30	2.0	24	18
3	黄土状土	3.8	13	0.35	0.5	20	17
	淤泥质粘土	1.3	3	0.35	0.5	20	17
	粉质粘土	6.3	16	0.30	2.0	24	18
	粘土	1.7	16	0.30	2.0	24	18
	粉质粘土	1.9	16	0.30	2.0	24	18

2 CFG 桩对公路软基沉降的影响分析

分别考虑不同桩间距、桩长和桩身模量等因素,分析各因素对公路软基顶面最大沉降量的影响规律。

2.1 CFG 桩桩间距对公路软基沉降的影响

CFG 桩桩间距取值分别为 1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 m,桩径取值为 0.5 m,桩长取值为 15 m。通过对 3 种不同工况进行计算,路基顶面最大沉降量随桩间距变化曲线如图 2 所示。

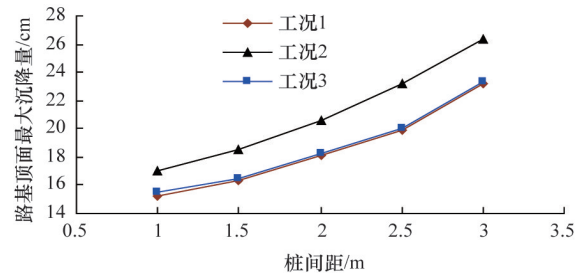


图 2 沉降量与桩间距的关系

Fig. 2 Relationships between settlement and pile spacing

由图 2 可知:

1) 桩间距对 CFG 桩处治公路软基沉降量控制效果明显。路基顶面最大沉降量随着桩间距的增加而增加,且沉降量与桩间距的关系曲线随着桩间距的增大,其斜率逐渐增大,说明路基顶面的最大沉降量随着桩间距的增加增速加快。

2) 当桩间距较小时,沉降量增加相对较小,在桩间距 < 2 m 时,桩间距每增加 0.5 m,沉降量增加 ≤ 2 cm,当桩间距 > 2 m 时,沉降量增加均 > 2 cm,说明随着桩间距的增加,沉降量增加较快,不能满足路基沉降变形的要求,调整桩间距的大小对控制路基顶面最大沉降量的效果变差。

3) 由于桩间距是影响 CFG 桩复合地基沉降控制效果的主要因素,因此控制 CFG 桩的桩间距即可有效的控制公路软基沉降量。

2.2 CFG 桩桩长对公路软基沉降的影响

针对 3 种不同工况,由于各土层厚度及参数不同,CFG 桩桩长取值分别为工况 1: 10、12、13、15 m,工况 2: 14、15、16、17 m,工况 3: 13、14、15、16 m,桩径取值为 0.5 m,桩间距取值分别为 1.5、2.0、2.5 m。通过对 3 种不同工况进行计算,路基顶面最大沉降量随桩长变化曲线如图 3 所示。

由图 3 可知:

1) CFG 桩桩长对路基顶面最大沉降量的影响较大。随着桩长的增加,路基顶面最大沉降量呈现逐渐减小的趋势,且减小的速率逐渐减小。当桩长小于一定长度时,即工况 1 < 12 m,工况 2 < 15 m,工况 3 < 14 m 时,沉降量变化幅度相对较大;当桩长大于此长度时,沉降量变化幅度相对较小。

2) 从路基土层厚度及路基土参数可以看出,当 CFG 桩桩长穿透软土层后,路基顶面最大沉降量的减小速度变慢,因此,确定 CFG 桩桩长时,只需桩下端穿透软弱土层,到达持力层即可。

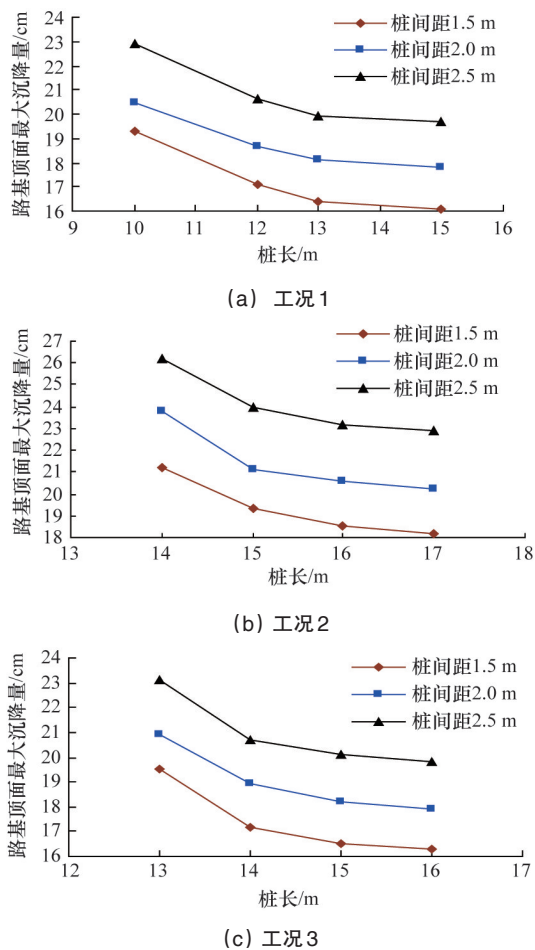


图3 沉降量与桩长关系

Fig. 3 Relationships between settlement and length under different working condition

2.3 CFG桩桩身模量对公路软基沉降的影响

CFG桩桩身模量取值分别为25、50、75、100、125、150 MPa, 桩径取值为0.5 m, 桩间距取值为1.5 m, 桩长取值为15 m。通过对3种工况进行计算, 路基顶面最大沉降量随桩身模量变化曲线如图4所示。

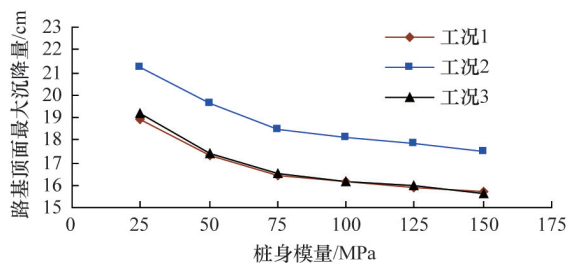


图4 沉降量与桩身模量的关系

Fig. 4 Relationships between settlement and modulus

由图4可知:

1) CFG桩桩身模量对路基顶面最大沉降量产生一定的影响。路基顶面最大沉降量随着桩身模量的增加逐渐减小, 且减小的趋势由快变慢, 这一变化规律随着桩身模量的增加愈加明显。

2) 当桩身模量 < 50 MPa时, 在3种工况下路基顶面的最大沉降量均较大, 当桩身模量增加后, 路基顶面最大沉降量减小, 且减小幅度较大, 说明在桩身模量 < 50 MPa时, 控制桩身模量的大小对路基顶面最大沉降量影响较大; 而当桩身模量 > 100 MPa时, 桩身模量的变化对路基顶面最大沉降量的影响很小。

3) 当桩身模量 > 100 MPa时, 改变桩身模量对路基顶面最大沉降量的控制效果很小, 同时还会造成施工成本和施工难度的增加, 因此, 可根据施工现场的情况选择桩身模量为50~100 MPa的桩体。

3 CFG桩处治公路软基沉降控制标准

根据以上计算结果分析, 影响CFG桩处治公路软基沉降控制效果最显著的因素是CFG桩平面布置的桩间距。为制定公路软基CFG桩处治方案, 确定合理的CFG桩桩间距是十分重要的。利用CFG桩处治公路软基有限元模型对3种工况下不同桩间距的CFG桩路基沉降量进行计算。CFG桩桩间距取值分别为: 1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 m, 桩径取值为0.5 m, 桩长取值为15 m。不同桩间距条件下CFG桩处治公路软基沉降的路基顶面最大沉降量计算结果如表2所示。

表2 CFG桩不同桩间距路基顶面沉降量

Table 2 Surface settlements for CFG pile spacing

工况	不同桩间距沉降量/cm				
	1.0 m	1.5 m	2.0 m	2.5 m	3.0 m
工况1	15.2	16.4	18.1	19.9	23.2
工况2	17.0	18.5	20.6	23.2	26.3
工况3	15.5	16.5	18.2	20.1	23.4

由上述计算结果可知: 在3种工况下, 当桩间距 < 1.5 m时, 路基顶面最大沉降量均 < 20 cm; 桩间距 < 2.5 m时, 路基顶面最大沉降量均 < 25 cm, 且3种工况下不同桩间距的路基顶面最大沉降量增加趋势基本相同。在实际工程应用中, 通常在公路软土路基段设置处治段和过渡段对公路软基进行处治, 减小公路软基段沉降量及各路段之间的差异沉降量。为制定合理的CFG桩平面布置方案, 根据表2的计算结果, 分别对3种工况的各个桩间距进行两两组合, 并计算出各桩间距组合间的差异沉降值, 计算结果如表3所示。

对表3中不同CFG桩桩间距的差异沉降值进行计算分析, 得出3种工况下CFG桩桩间距组合间的差异沉降值, 如表4所示。

由表4可知, 3种工况下相同桩间距组合时的差异沉降值差别不大, 因此取平均值作为控制公路软基均衡沉降的标准, 如表5所示。

实际工程中, 根据工程设计和施工对CFG桩处治公路软基差异沉降的要求, 可以参考表5中的桩间距组合差异沉降值, 确定CFG桩处治公路软基的具体桩间距布置形式, 使得软基处治段、软基过渡段和普通路基段实现。

表3 不同工况不同桩间距组合差异沉降值

Table 3 Differential settlements between different spaces of piles and working condition

工况	桩间距/m	不同桩间距组合差异沉降值/cm				
		1 m	1.5 m	2 m	2.5 m	3 m
1	1.0	-	1.2	2.9	4.7	8.0
	1.5	-	-	1.7	3.5	6.8
	2.0	-	-	-	1.8	5.1
	2.5	-	-	-	-	3.3
	3.0	-	-	-	-	-
2	1.0	-	1.5	2.9	4.7	8.0
	1.5	-	-	2.1	4.7	7.8
	2.0	-	-	-	2.6	5.7
	2.5	-	-	-	-	3.1
	3.0	-	-	-	-	-
3	1.0	-	1	2.7	4.6	7.9
	1.5	-	-	1.7	3.6	6.9
	2.0	-	-	-	1.9	5.2
	2.5	-	-	-	-	3.3
	3.0	-	-	-	-	-

表4 3种工况桩间距组合差异沉降值

Table 4 Differential settlements of three working conditions of pile spacing

工况	不同桩间距组合差异沉降值/cm			
	1.0 m与 1.5 m	1.5 m与 2.0 m	2.0 m与2.5 m	2.5 m与 3.0 m
1	1.2	1.7	1.8	3.3
2	1.5	2.1	2.6	3.1
3	1.0	1.7	1.9	3.3

表5 桩间距组合差异沉降值

Table 5 Differential settlements of different pile spacings

桩间距组合/m	差异沉降值/cm
1.0与1.5	1.2
1.5与2.0	1.8
2.0与2.5	2.1
2.5与3.0	3.2

4 结论

1) 路基顶面最大沉降量随着CFG桩桩间距的增加而逐渐增大,且增加速率逐渐增大。当桩间距 >2 m时,CFG桩处治公路软基效果减弱。桩间距相对其他因素对路基沉降影响最大,因此将对桩间距的控制作为CFG桩处治公路软基沉降标准。

2) 路基顶面最大沉降量随着CFG桩桩长和桩身模量的增加而逐渐减小,且减小速率逐渐变小。当CFG桩穿过软弱土层后,增加桩长对减小路基顶面最大沉降量的作用很小;

当桩身模量 <50 MPa时,桩身模量对路基顶面最大沉降量影响较大;而当桩身模量 >100 MPa时,桩身模量对路基顶面最大沉降量的影响很小。因此,最佳的CFG桩桩身模量范围为50~100 MPa。

3) 根据工程中对公路软基沉降差的要求,可采用不同桩间距组合,依据公路软基沉降控制标准,使得公路软基处治实现均衡沉降,提高行车舒适性和安全性。

参考文献(References)

- [1] 黎杉. 高速公路CFG桩复合地基设计与工程应用研究[J]. 路基工程, 2013, 168(3): 21-24.
Li Shan. Study on highway CFG pile composite foundation design and its engineering application[J]. Subgrade Engineering, 2013, 168(3): 21-24.
- [2] 曹勇, 熊燕文. CFG复合地基在高路堤软基处理工程中的应用[J]. 广东公路交通, 2012, 122(3): 91-93.
Cao Yong, Xiong Yanwen. Research on application of CFG composite foundation on high embankment with soft soil treatment[J]. Guangdong Highway Communications, 2012, 122(3): 91-93.
- [3] 盛云华. CFG桩复合地基在高速公路软土地基加固中的应用[J]. 科技信息, 2012(22): 336-337.
Sheng Yunhua. Research on application of CFG composite foundation on highway soft soil reinforce[J]. Science & Technology Information, 2012(22): 336-337.
- [4] 彭波. CFG桩在高速公路桥头深厚软土处理中的应用[J]. 湖南交通科技, 2013, 6(2): 42-45.
Peng Bo. Research on application of CFG composite foundation on highway bridgehead with soft soil treatment[J]. Hunan Communication Science and Technology, 2013, 6(2): 42-45.
- [5] 邓学钧. 路基路面工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
Deng Xuejun. Road subgrade and pavement engineering[M]. Beijing: China Communications Press, 2008.
- [6] 傅珍, 王选仓, 李宏志, 等. 高速公路拓宽路基差异沉降[J]. 交通运输工程学报, 2010, 10(6): 25-31.
Fu Zhen, Wang Xuancang, Li Hongzhi, et al. Differential settlement of widening subgrade for expressway[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2010, 10(6): 25-31.
- [7] 韩立志, 黄世奇, 高志伟, 等. 基于均衡沉降控制的公路软基CFG桩方案优化[J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2011(12): 183-187.
Han Lizhi, Huang Shiqi, Gao Zhiwei, et al. Based on equilibrium CFG pile settlement control of highway soft foundation scheme optimization [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development: Application Version, 2011(12): 183-187.
- [8] 赵幸, 赵德富, 赵其华, 等. CFG桩复合地基沉降量计算及沉降影响因素探析[J]. 工业建筑, 2013, 43(增刊): 476-479.
Zhao Xing, Zhao Defu, Zhao Qihua, et al. Studies on settlement calculation and factors influencing settlement of CFG piles composite foundation[J]. Industrial Construction, 2013, 43(Suppl): 476-479.
- [9] 周院芳, 徐继欣, 张鸿, 等. 高速公路CFG桩复合地基承载特性现场试验与数值分析[J]. 中外公路, 2012, 8(4): 20-23.
Zhou Yuanfang, Xu Jixin, Zhang Hong, et al. Field test and numerical analysis of load-bearing characteristics for highway of CFG pile composite foundation[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2012, 8(4): 20-23.
- [10] 王子清, 李鹏, 陈栋. 某高速公路拓宽段CFG桩复合地基处理效果的数值分析[J]. 公路工程, 2013, 8(4): 246-249.
Wang Ziqing, Li Peng, Chen Dong. Numerical analysis for CFG pile composite foundation in express widening engineering[J]. Highway Engineering, 2013, 8(4): 246-249.

(编辑 陈华姣)