

高速公路加宽工程中土工材料力学性能研究

李芬, 唐韬

(武汉理工大学 交通学院, 湖北 武汉 430063)

摘要:以京港澳(北京—香港—澳门)高速公路某试验断面为背景,通过 ABAQUS 有限元软件建立数值模型,分析路基加宽工程中土工格栅不同材料参数、不同铺设位置、宽度及嵌入老路堤深度对加宽性状的影响。结果表明,格栅模量增加能提高对路基位移的限制作用,且在侧向位移上表现更明显;土工格栅嵌入老路堤的长度增加与铺设宽度增加均能提高对路基侧向位移的限制,但这种变化并非始终为线性;铺设 2 层土工格栅且铺于底部与中部对侧向位移的限制作用最佳,若只铺设 1 层格栅则铺于路基地底部效果最佳。

关键词:公路;高速公路;路基加宽;土工格栅;有限元分析;软基变形

中图分类号:U418.8

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2019)05-0079-04

20 世纪以来中国修建的高速公路大多以四车道为主,随着经济的快速发展,车流量不断提高,许多高速公路面临加宽改造。在高速公路改扩建中,由于新老路基的固结时间不同,极易在新老路基结合处产生差异沉降而导致裂缝,这种现象在软土路基中更明显。土工格栅作为土工材料中使用最频繁的材料,由于其具有较高的强度及较低的延伸率,能很好地提高新老路基的整体性,降低新老路基的差异沉降,同时限制新路堤的侧向发展。该文以京港澳(北京—香港—澳门)高速公路河北涿州至石家庄段改扩建工程某软土路基试验断面为例,通过 ABAQUS 有限元软件建立数值模型,分析土工格栅嵌入老路堤的长度、铺设宽度、筋材模量等因素对路基变形的影响及土工格栅不同铺设位置对加宽性状的影响,研究土工格栅的最佳铺设位置,为实际加宽工程中土工材料的使用提供借鉴。

1 工程概况

该试验段软土路基断面参数见表 1。为防止新

表 1 路基断面参数

土层	弹性模量/ kPa	泊松比	粘聚力/ kPa	内摩擦角/ (°)	容重/ (kN·m ⁻³)	渗透系数/(m·d ⁻¹)
老路堤	13 000	0.30	30	28	20	—
新路堤	20 000	0.30	30	28	20	—
淤泥质土	2 800	0.30	22	10	20	0.008
粉土	2 000	0.34	22	16	17	0.005
粉质黏土	3 000	0.30	12	18	19	0.005

老路堤产生较大差异沉降,采用土工格栅对新老路堤结合部进行处理。

2 数值模型的建立

老路堤、新路堤填土与软土路基均采用 Mohr—Coulomb 弹塑性模型。由于土工格栅的强度较高,在实际受力条件下其应变十分小,远未达到屈服条件,故土工格栅采用线弹性模型。在 ABAQUS 计算中,假设土工格栅为二维杆单元,通过创建约束,将路基作为嵌入区域把土工格栅嵌入土体中模拟土体与土工格栅的接触。

计算假定:1) 老路基在多年交通荷载作用下已完成固结过程,附加沉降主要由新路堤的铺设产生。2) 由于公路的纵向长度远大于水平截面宽度,且为对称结构,选取一半结构建立平面二维有限元模型进行分析。3) 忽略地下水位的影响。

模型建立过程:1) 路基部分土地不考虑排水,选取缩减积分平面应变四边形单元;地基土体部分考虑排水,选取 Biot 固结理论,单元类型设为孔压单元。2) 单元模型左右侧边界固定水平方向位移,不排水;模型底部固定水平与竖直方向位移,不排水;地基土表面设置孔隙水压力为零作为排水边界。3) 新路堤的填筑过程通过 ABAQUS 生死单元法通过移除与激活相应部分的单元进行模拟,交通荷载等效为 20 kPa。

建立的有限元模型见图 1,路基高度为 5 m,共设 5 级台阶。老路基宽度为 18.5 m,两侧各加宽 8 m。地基部分从上至下依次为淤泥质土 5 m、粉土 8

m、粉质黏土 11 m。

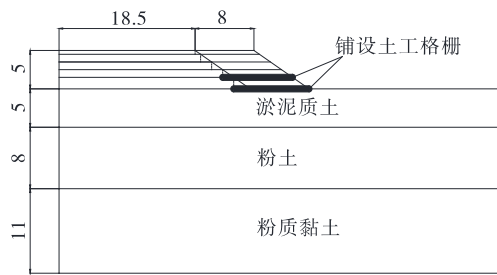


图1 路基几何模型示意图(单位:m)

3 结果分析

该工程实际采用土工格栅、土工格室与 CFG 桩网联合处置方式,该文主要对土工格栅的力学性能进行分析。针对土工格栅模量对变形的影响,分别进行不加土工格栅和铺设 4 层土工格栅共计 5 种工况的数值模拟,筋材模量分别为 $E_1=1\ 490\text{ MPa}$ 、 $E_2=5\ 950\text{ MPa}$ 、 $E_3=23\ 900\text{ MPa}$ 、 $E_4=59\ 500\text{ MPa}$ 。针对铺设层位,分别考察土工格栅铺设不同层数及不同位置对侧向位移的影响。针对铺设宽度,着重考察坡脚处位移与不同铺设宽度的关系。

3.1 土工格栅模量的影响

不同土工格栅模量下路堤顶面沉降及新路堤坡脚处侧向位移分别见图 2、图 3。

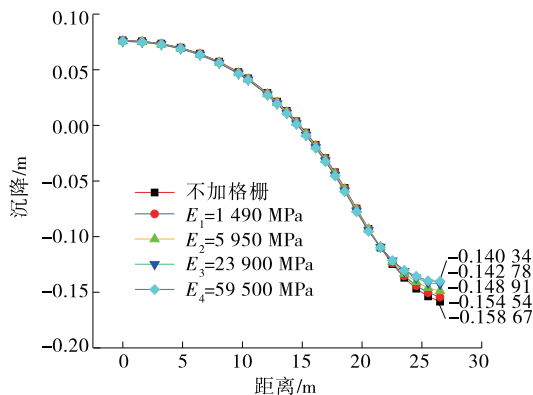


图2 不同格栅模量下路堤表面沉降

由图 2 可看出:土工格栅的铺设起到了减小路基顶面竖直沉降的作用,但对沉降的改变整体并不明显,由不加格栅时的最大沉降 15.867 cm 减小到 $E_4=59\ 500\text{ MPa}$ 时的 14.034 cm,减小 11.6%;随着格栅模量的增加,顶面沉降减小,当格栅模量达到一定时,其对沉降的限制作用变得不明显,实际工程中可选取适当模量的土工格栅以减小成本。

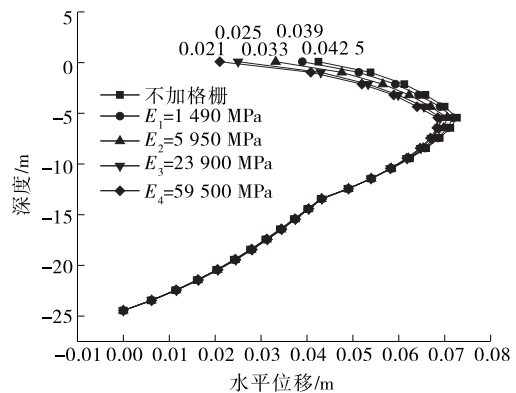


图3 不同格栅模量下新路堤坡脚沿深度方向的水平位移

由图 3 可看出:土工格栅对新路堤填筑引起的侧向位移有着明显的改善作用,其中在新路堤坡脚处作用最明显,由未铺设土工格栅时的 4.25 cm 减小到 $E_4=59\ 500\text{ MPa}$ 时的 2.1 cm,减小 50.6%;格栅的铺设对 10 m 以上地基的侧向位移抑制作用较明显,而对 10 m 以下地基起不到很好的限制作用,说明土工格栅仅适合处理浅层地基。

3.2 土工格栅铺设层位的影响

各层全铺模量为 5 950 MPa 的土工格栅时各层位土工格栅的应变及新路堤坡脚处侧向位移分别见图 4、图 5。

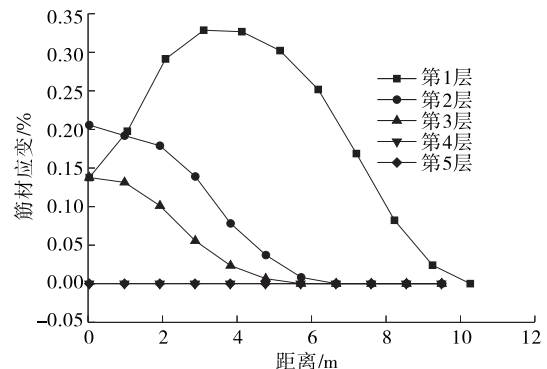


图4 各层全铺土工格栅时不同层位格栅应变

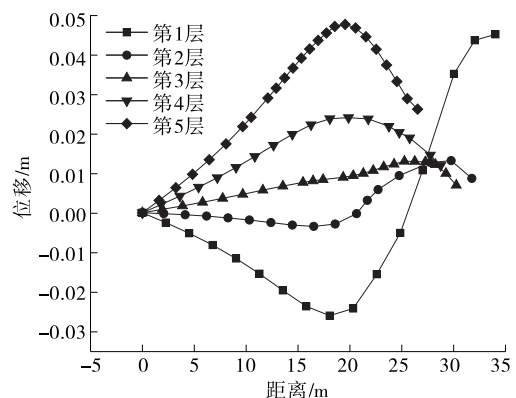


图5 各层全铺土工格栅时路堤不同位置的侧向位移

由图 4 可看出:位于底层的格栅应变最大,且最大应变出现在新老路堤结合处附近,这是由于位于底层的格栅不仅受到路堤上部附加应力的作用,同时下覆路基的差异沉降作用也对其造成很大影响;随着土工格栅铺设层位的上移,格栅的应变逐渐减小,从第 4 层开始,格栅已起不到加筋的作用,这是由路堤内部的位移决定的。

由图 5 可看出:路堤底部位移均指向同侧,但左边小、右边大,使钢筋处于拉伸状态,有利于其作用的发挥;而路堤上部左右两侧位移指向同侧且左侧大、右侧小,不利于土工格栅作用的发挥。因此,下文仅对中下部土工格栅的铺设层位进行分析。同时,由于格栅的铺设对竖向沉降的影响不大,仅从对侧向位移的限制方面考察不同层位格栅的影响。

铺设 1 层格栅时不同铺设层位下坡脚处侧向位移见图 6、表 2。由图 6、表 2 可知:铺设 1 层格栅时,铺设在底部对路堤的侧向位移限制作用最明显。

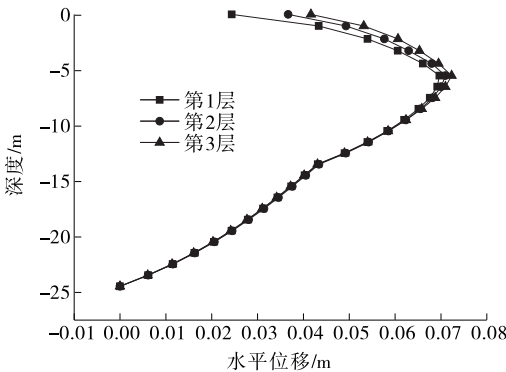


图 6 铺设 1 层格栅时不同铺设层位下坡脚处水平位移

表 2 铺设 1 层格栅时不同层位格栅对水平位移的影响

铺设层位	坡脚处位移/cm	最大水平位移/cm
第 1 层	2.44	6.97
第 2 层	3.67	7.10
第 3 层	4.17	7.23

铺设 2、3 层土工格栅时坡脚处水平位移与最大水平位移见表 3。由表 3 可看出:铺设 2 层土工格栅时,铺设在第 1、2 层与第 1、3 层时对位移的限制作用好于铺设在第 2、3 层时,铺设 3 层格栅对位移的限制作用最好,但与铺于 1、2 层与第 1、3 层时十分接近。根据文献[1]的研究,铺设在中部的土工格栅对位移的限制作用虽然不大,但有助于提高新老路堤的整体性。综合考虑对位移的影响与施工成本,建议铺设 2 层土工格栅且铺于底部与中部。

表 3 铺设 2、3 层土工格栅时不同层位格栅对水平位移的影响

铺设层位	坡脚处位移/cm	最大水平位移/cm
第 1、2 层	2.20	6.89
第 1、3 层	2.29	6.91
第 2、3 层	3.63	7.08
第 1、2、3 层	2.10	6.85

3.3 土工格栅铺设宽度的影响

土工格栅在新路堤中的铺设宽度分别取 2、4、6、7、8 m(全铺),分析土工格栅铺设宽度对路堤侧向位移的影响。不同铺设宽度下坡脚处水平位移见图 7、图 8。

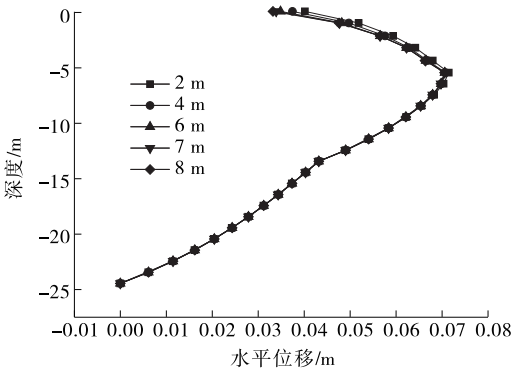


图 7 不同铺设宽度下坡脚处水平位移

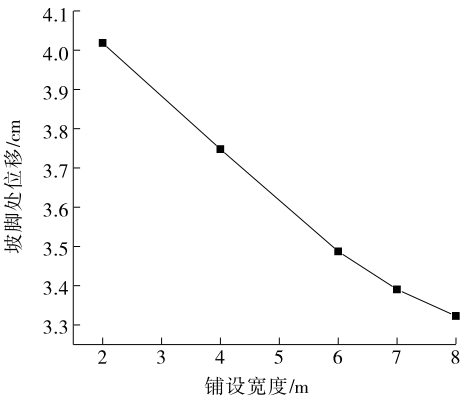


图 8 坡脚处水平位移随铺设宽度的变化

由图 7、图 8 可看出:坡脚处水平位移随土工格栅铺设宽度的增加而减小,说明格栅铺设越宽,对路堤侧向位移的限制作用越好。但这种变化在初期近似为线性,当铺设宽度达到 6 m 时,对侧向位移的限制作用开始放缓,变化趋势不再为线性。

3.4 土工格栅嵌入老路堤深度的影响

根据前面的分析,土工格栅全铺时仅中下部的格栅对变形起到限制作用,故只对中下部第 1、2、3

层格栅嵌入老路堤的深度进行分析,结果见图9。

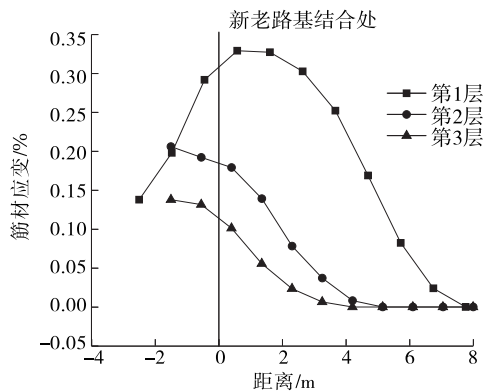


图9 中下部第1、2、3层土工格栅的应变

由图9可看出:距离结合部处2 m时,随着离结合部距离的增加,筋材的应变迅速下降,实际工程中应将土工格栅嵌入老路堤中以更好地发挥筋材的性能;嵌入老路堤的长度越大,筋材的性能越能得到发挥。该工程中路基台阶宽度并不大,选择全部嵌入老路堤中效果最好。但当台阶宽度较大时,选择全部嵌入则可能造成浪费,应进行具体分析。

4 结论

(1) 土工格栅对路堤竖向沉降和侧向位移均能起到限制作用,随着格栅模量的增加,相较于未铺设格栅时,对竖向沉降的限制最多为11.6%,对侧向位移的限制作用则可达50.6%。

(2) 综合考虑施工成本与对位移的影响,建议在新路堤铺设2层土工格栅且铺于底部与中部;若铺设1层土工格栅,则铺于底部时效果最佳。

(3) 土工格栅对侧向位移的限制作用随着铺设宽度的增加而提升,最多可达17.3%。但并非线性变化,可根据实际需要与成本选择是否全铺。

(4) 土工格栅嵌入老路堤中更有利于发挥其性能,路基台阶宽度较小时,选择全部嵌入老路堤中效果最好。

参考文献:

- [1] 刘汉龙,吴维军,高玉峰.土工织物加固堤防非线性有限元分析[J].岩土力学,2003,24(1).
- [2] 沈国印,李修忠.高速公路拓宽工程新老路基差异沉降的数值模拟[J].公路,2012(9).
- [3] 汪益敏,李庆臻,高水琴.差异沉降对土工格栅加筋路堤工作性能影响的试验研究[J].华南理工大学学报:自然科学版,2011,39(9).
- [4] 梁小勇,靳静.土工格栅二灰改良土在地基加宽中的应用分析[J].河北工业科技,2016(4).
- [5] 张军辉,黄晓明,彭娟.软土地基上高速公路双侧加宽工程的数值分析[J].公路交通科技,2007,24(3).
- [6] 王成祥.土工格栅在处治软土路基变形中的应用研究[J].交通科技,2015(6).
- [7] 郭忠印,刘奉侨,辛伟,等.土工材料在加宽路基中的应用研究[J].辽宁交通科技,2005(增刊).
- [8] 观祖保.新老道路拼接中土工格栅加筋土的协同作用研究[D].南京:南京林业大学,2016.
- [9] 汪迎红.高速公路软土路基沉降影响因素及变形规律研究[J].价值工程,2016(34).
- [10] 尉红彬.高速公路改扩建地基加宽锚固加筋技术研究[J].公路交通科技:应用技术版,2013(2).
- [11] 史芳,薛晓辉,秋全,等.土工格栅二灰土加宽路基的力学特性[J].公路交通科技,2014,31(9).
- [12] 汪浩.新老路结合部处治技术研究[D].南京:东南大学,2004.
- [13] 章定文.软土地基上高速公路扩建工程变形特性研究[D].南京:东南大学,2004.

收稿日期:2018-12-09

(上接第78页)

- [2] 肖常青.水泥稳定钢渣基层施工技术及其应用研究[J].中外公路,2004,24(5).
- [3] 卢发亮,李晋,张起.水泥稳定钢渣转炉钢渣性能试验研究[J].中外公路,2013,33(5).
- [4] 刘大超,陈云,马世洪,等.水泥稳定钢渣在路面基层中的应用技术研究[J].重庆建筑,2009,65(3).
- [5] YB/T 4184-2009,钢渣混合料路面基层施工技术规范[S].
- [6] GB/T 24175-2009,钢渣稳定性试验方法[S].
- [7] JTG/T F20-2015,公路路面基层施工技术细则[S].

- [8] JTG E51-2009,公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].
- [9] 阮文,胡圣魁,陈泽宏,等.基于膨胀机理的钢渣基层材料体积安定性研究[J].公路,2013(4).
- [10] 张宗保,张和远,刘志强,等.水泥粉煤灰综合稳定钢渣碎石基层性能研究[J].公路,2008(10).
- [11] JTG D50-2017,公路沥青路面设计规范[S].
- [12] 李飞,陈勇鸿,高伏良,等.掺钢渣无机结合料稳定路面基层材料干缩温缩试验研究[J].公路,2012(12).

收稿日期:2019-04-10