

Experimental Study of Geogrid Reinforced under Different Foundation Settlement Modes

Qingtao Zhang¹, Jintao Yu², Kai Zhang¹, Runsheng Sun², Xiuguang Song²

¹Shandong Hi-Speed Company Limited, Jinan Shandong

²School of Qilu Transportation, Shandong University, Jinan Shandong

Email: 853894449@qq.com

Received: June 26th, 2019; accepted: July 11th, 2019; published: July 18th, 2019

Abstract

In the construction of highway reconstruction and expansion projects, geogrid (grid room) has been widely used as a measure to control roadbed stability, but there still have been many controversies regarding its use in controlling the differential settlement between old and new roadbeds. In order to solve this problem, the model test was conducted to investigate the stresses and deformations in subgrade. The various locations of geogrid, subgrade with or without geogrid were compared to evaluate the reinforcement effect of geogrids, and the optimal location was recommended.

Keywords

Highway Extension Construction, Geogrid, Reinforced Roadbed, Model Test, Application Effect

不同沉降模式下土工格栅加筋路基模型试验研究

章清涛¹, 于锦涛², 张 凯¹, 孙润生², 宋修广²

¹山东高速股份有限公司, 山东 济南

²山东大学齐鲁交通学院, 山东 济南

Email: 853894449@qq.com

收稿日期: 2019年6月26日; 录用日期: 2019年7月11日; 发布日期: 2019年7月18日

摘要

在公路改扩建工程的建设中,土工格栅(格室)加筋路堤已被广泛用作控制路基稳定性的措施,然而,它被用于控制新老路基的差异沉降时,存在加固机理不清、计算方法不合理等问题。为了解决这些存在的问题,本文通过室内模型试验,对比有无格栅和不同层位格栅时不同地基差异沉降模式下路基内部的应力及变形规律,分析路基差异沉降受土工格栅的作用效果,得出土工格栅铺设在路基中的最优层位。

关键词

公路改扩建, 土工格栅, 加筋路基, 模型试验, 应用效果

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

早期的高速公路由于设计理念的限制,其通行能力已不能满足日益增长的交通量需求,因此大量的高速公路亟待改建和扩建[1]。由于公路拓宽工程一般在原有路基使用多年以后进行,因此其内部固结沉降已经基本完成,而对于新建路基,在路基自重及车辆荷载的共同作用下必然会产生固结沉降及侧向变形。随着时间推移,新建路基固结沉降逐步增大,在新老路基之间就会产生较大的差异沉降。因此在新旧路面的交界处产生较大的弯拉应力和剪应力,从而造成路面沿纵向开裂。严重时还会引起路基拉裂、下沉过快等安全病害,严重影响道路的行车安全和使用寿命[2]。

为解决公路改扩建中涉及新旧路基的有效搭接问题,目前常用的路基差异沉降控制方法有预应力管桩、粉喷桩、加铺土工格栅(格室)等技术[3],针对软弱地基,还可以采用塑料排水板和堆载预压等技术手段[4]。但是对于预应力管桩及粉喷桩技术,由于造价昂贵,一般只应用于桥头、管涵等对需要严格控制沉降的路段。而对于堆载预压技术,由于其较长的建设周期,通常应用于较软弱的地基路段[5]。因此,相比之下土工格栅由于其较为全面的适用性,近年来在道路改扩建工程实践中被广泛运用[6] [7] [8]。同时在差异沉降控制机理[9]、作用机制[10]、控制标准[11]等方面开展了大量的研究,这也为加筋技术在路基差异沉降控制中的应用奠定了基础。

在实际工程中,即要实现对新旧路基差异沉降的有效控制,也要兼顾工程的经济性和资源的有效利用。虽然已有的研究成果对加筋土结构的变形控制提供了理论基础,但是加筋土在应用过程中仍存在亟待解决的技术问题[12],如层位的铺设依赖于以往工程实践的经验,而对于不同层位土工格栅在改扩建过程中的工程理论及实际效果缺少全面认识,有些实体工程甚至将格栅铺设在不必要层位或是在同一层位铺设多层,不但造成额外的施工成本,也无法起到显著的改善效果。此外土工格栅加筋改扩建工程的结构模型的力学性质较为复杂,在实地研究不仅工作量大、成本高昂、周期漫长且具有很大的局限性。

为解决上述问题,本文通过缩尺模型试验,研究不同路基差异沉降模式下内部加筋路堤应力分布和地表变形特性,揭示新旧路基间差异沉降发生及演化机理,推荐土工格栅最优布设层位和数量。本文的研究成果可为相关工程设计计算提供参考。

2. 试验方案

2.1. 模型槽设计

模型试验装置由模型箱和底座组成,其中模型箱由底板和侧壁组成,其尺寸为 $1.05\text{ m} \times 0.5\text{ m} \times 0.8\text{ m}$ (长 \times 宽 \times 高)。其中底板是由长度为 0.35 m 固定钢板和 0.7 m 转动钢板拼接而成。为便于观察土体内部变形特性和沉降规律,侧壁一侧为厚度 0.02 mm 的有机玻璃,其余三侧由厚度 0.06 mm 的钢板焊接而成。有机玻璃板通过螺栓固定在钢板上。转动钢板的一端通过轴承固定在固定板上,另一侧连接加载千斤顶,用于模拟新路基非等沉沉降;将轴承去掉后,活动钢板的两侧均通过千斤顶支撑在底座上,用于模拟新路基发生等沉沉降模式,模型槽底座不同沉降模式见图1所示。

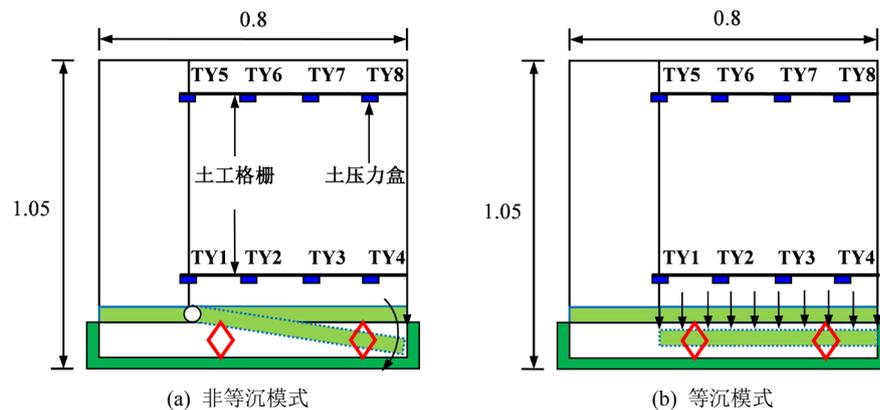


Figure 1. Schematic diagram of different connection forms of the base
图1. 底座不同连接形式示意图

2.2. 试验工况

本文模型试验分别对不同地基沉降模式(等沉模式和等沉模式)以及格栅铺设层数(不铺设格栅、底部一层、底部加上部共两层)进行研究,共设计6组试验工况,各个工况每级沉降量均为 2 cm ,沉降等级共8级,总沉降为 16 cm 。试验工况汇总见表1,模型试验方案及个实验工况尺寸见图2。

Table 1. Design of laboratory model test conditions
表1. 室内模型试验工况设计

| 试验工况 | 格栅层数 | 格栅位置 | 沉降模式 |
|------|------|---------------------------------------|-------|
| A1 | 无格栅 | 无 | 底部等沉 |
| A2 | 1层格栅 | 距底部 10 cm | 底部等沉 |
| A3 | 2层格栅 | 距底部 10 cm 、顶部 12 cm | 底部等沉 |
| A4 | 无格栅 | 无 | 底部非等沉 |
| A5 | 1层格栅 | 距底部 10 cm | 底部非等沉 |
| A6 | 2层格栅 | 距底部 10 cm 、顶部 12 cm | 底部非等沉 |

2.3. 监测方案设计

本试验主要监测内容包括路基地表沉降、格栅应变和路基内部土压力三部分内容。地表沉降采用量程为 50 mm 的千分表观测;格栅的应变数据通过应变片采集。路基内部土压力采用电阻式土压力盒观测,为提高测量的精确度,土压力盒量程为 30 kPa ,各观测仪器布置位置见图3所示[13][14]。

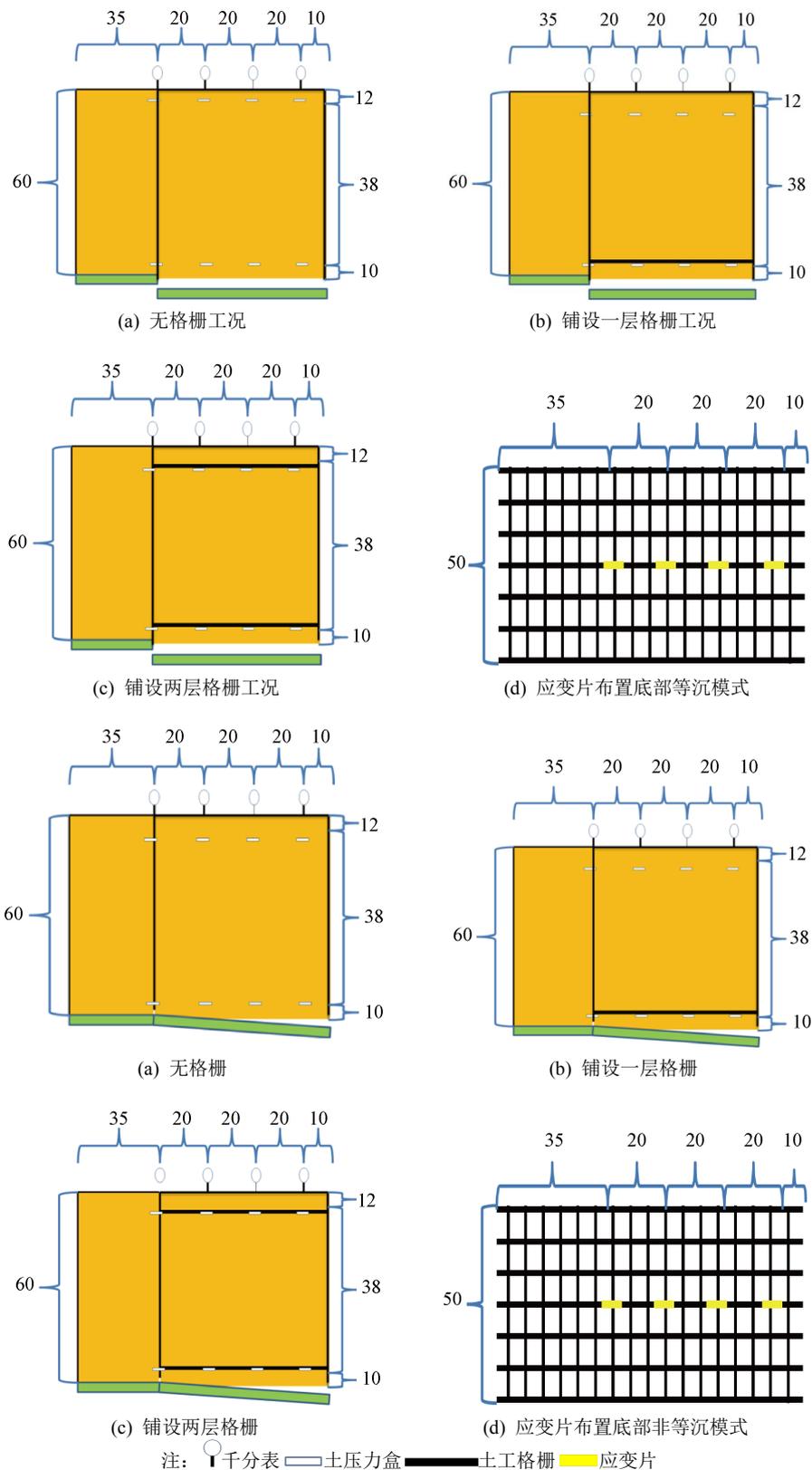


Figure 2. Schematic diagram of the model test scheme and monitoring instrument arrangement
 图 2. 模型试验方案及监测仪器布置图

3. 试验结果分析

3.1. 等沉模式下试验数据分析

图 3 为等沉模式下路基表面沉降变形随地基沉降量的变化规律。从图 3 可以看出, 无土工格栅路基变形规律与铺设土工格栅后变形规律一致, 即路基沉降沿老路基至新路基呈线性递增关系; 土工格栅可显著减小路基土沉降位移, 且不同地基沉降量下土工格栅控制路基沉降的效果不同: 差异沉降量为 4 cm 时, 单层土工格栅加固时各断面路表沉降量减小约为 0.665%、0.9075%、2.36%、3.27%, 而双层土工格栅加固时各断面路表沉降量减小约为 0.27%、1.11%、2.54%、3.53%。差异沉降量为 12 cm 时, 铺设单层土工格栅后各断面路表沉降量减小约为 4.97%、7.51%、19.81%、26.66%; 双层土工格栅加固后路表沉降减小约 5.25%、13.58%、25.07%、32.08%。由以上分析可知, 土工格栅控制路基沉降效果与地基沉降量有关, 沉降量越大其控制效果越显著, 其主要原因是由于土工格栅强度的发挥与自身的变形特性相关, 沉降变形越大, 其提供的约束反力越大, 控制沉降变形效果越显著。此外, 土工格栅层数对控制路基表面沉降影响较小, 双层土工格栅较单层土工格栅最大减小量仅为 2%, 可见增加土工格栅的层数并不能显著提升路基沉降的减小量。

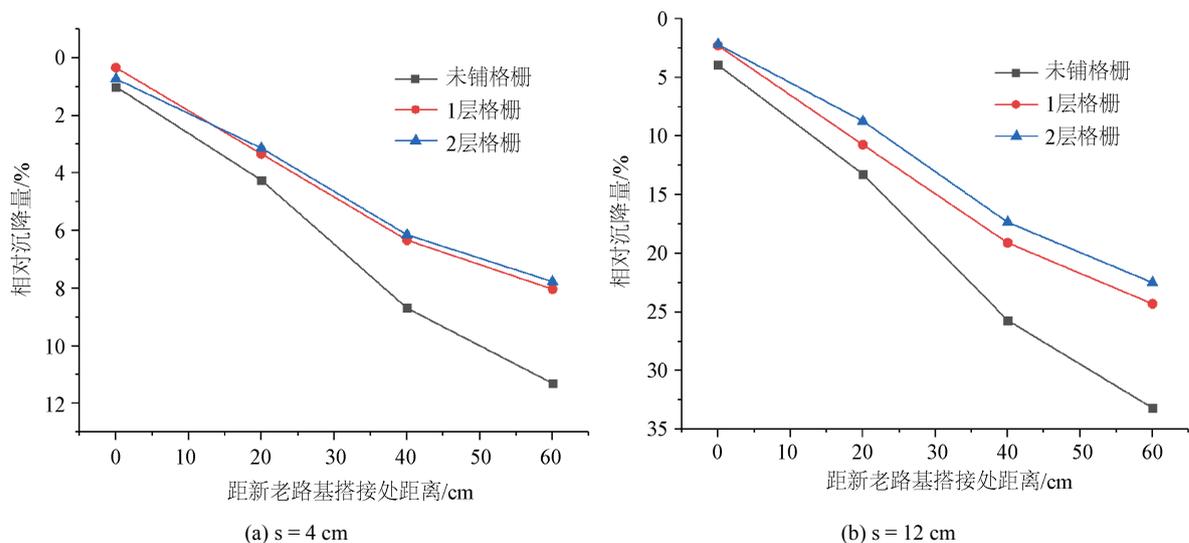


Figure 3. Variation law of road surface settlement under equal subsidence mode

图 3. 等沉模式下路表沉降变化规律

图 4 和图 5 分别为路基底层和顶层土压力随地基沉降量的变化规律。分析可知, 路基未铺设土工格栅时, 底层路基土压力随着沉降量增加呈现先增大后趋于平缓, 而顶层路基土压力先减小后缓慢增加。下图还可以得出, 底层土压力拐点对应沉降量(8 cm)大于顶层土压力拐点对应沉降量(4 cm), 表明路基发生整体沉降时, 路基上部土体先发生塑性破坏, 而后随着沉降量的增加塑性区逐渐向路基深度方向延伸, 直至达到极限状态。增设土工格栅后, 格栅底部路基土压力随地基沉降量与未设置土工格栅时变化规律相似, 但量值较后者明显偏低。分析原因可知, 设置土工格栅后, 当发生路基沉降变形时, 由于土工格栅与填料之间的相对运动, 在筋-土界面产生剪切荷载阻止筋-土相对运动, 从而起到分担土体内部应力作用, 减小格栅下部土压力。通过分析格栅层数对路基土压力的影响可知, 土工格栅由一层增至两层时, 路基底部土压略有减小, 但量值变化不大。

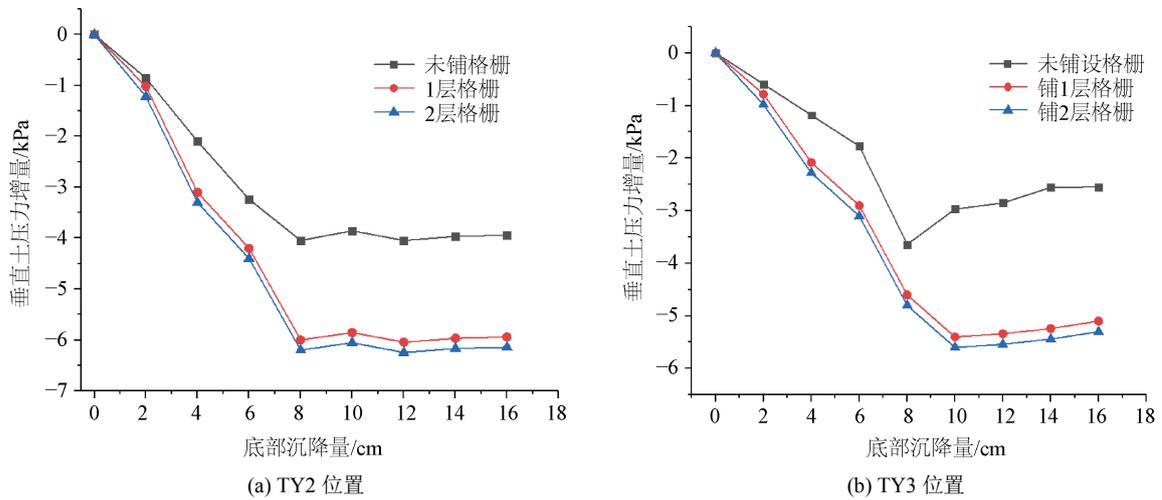


Figure 4. The variation law of soil pressure at the bottom of the roadbed with settlement
图 4. 路基底层土压力随沉降量变化规律

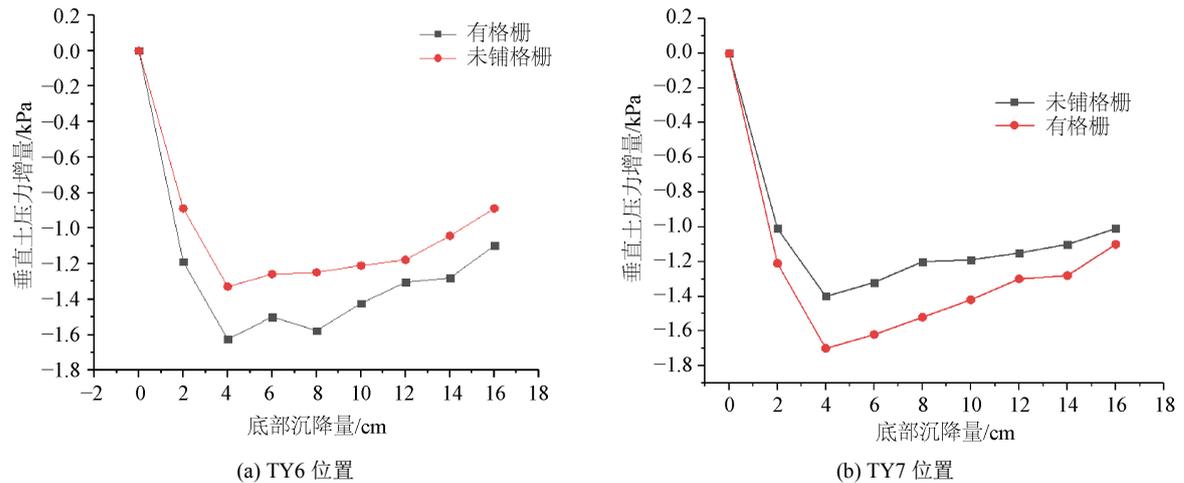


Figure 5. The variation law of soil pressure on the top layer of the roadbed with settlement
图 5. 路基顶层土压力随沉降量变化规律

因此在土工格栅用于缓解工程上的差异沉降作用时，建议铺设在靠下位置，层数不宜过多；而根据格栅内部的应变分析，在此沉降模式下的土工格栅内部应力分布不均匀，新路基临近位置处的应变较大，老路基临近位置处的应变较小，可见在此位移模式下土工格栅应力只能在一定范围内发挥作用，超过此范围后的土工格栅加固效果并不明显。

格栅应变随地基沉降量的变化规律如图 6 所示。对于路基底部应变，单层格栅和双层格栅应变随地基沉降量变化规律一致，即沿路基横断面方向，随着距离新旧路基结合处距离的增加，格栅应变量近似呈线性递减，表明路基发生等沉模式时，新旧路基结合处格栅受力最大，且沿路基横断面方向逐渐递减。对比图 6(a)和图 6(b)可知，相同位移沉降量下，设置双层格栅应变量较单层格栅应变量大，上层格栅起到一定的加筋作用，但加筋贡献度较小，如图 6(c)所示。

3.2. 非等沉模式下试验数据分析

从图 7 可以看出，在路基中加入土工格栅后，路基在不均匀沉降下的变化规律与路基整体沉降时的

规律相一致,即各断面位置处路基沉降随着地基差异沉降量增加有所减小,差异沉降为4 cm时,各断面路表沉降量受单层格栅影响的减小度为0.08%、0.6125%、1.32%、1.87%,各断面路表沉降量受双层格栅影响的减小度为0.1%、0.7175%、1.435%、1.99%;差异沉降为12 cm时,各断面路表沉降量受单层格栅影响的减小度为0.31%、1.99%、2.93%、4.20%,各断面路表沉降量受双层格栅影响的减小度为0.835%、1.775%、2.428%、4.61%。可以看出,随着不均匀沉降量逐渐增加,土工格栅的调节作用越发明显。土工格栅在不均匀沉降模式下的调节效果与均匀沉降模式类似,即当路基底部铺设一层土工格栅时,地基沉降造成的路基沉降效果会在一定程度上得到缓解,但当格栅同时铺设于路基顶部与底部时,这种缓解效果并不明显,因此,土工格栅铺设在靠近地基位置能显著改善不均匀沉降变形。

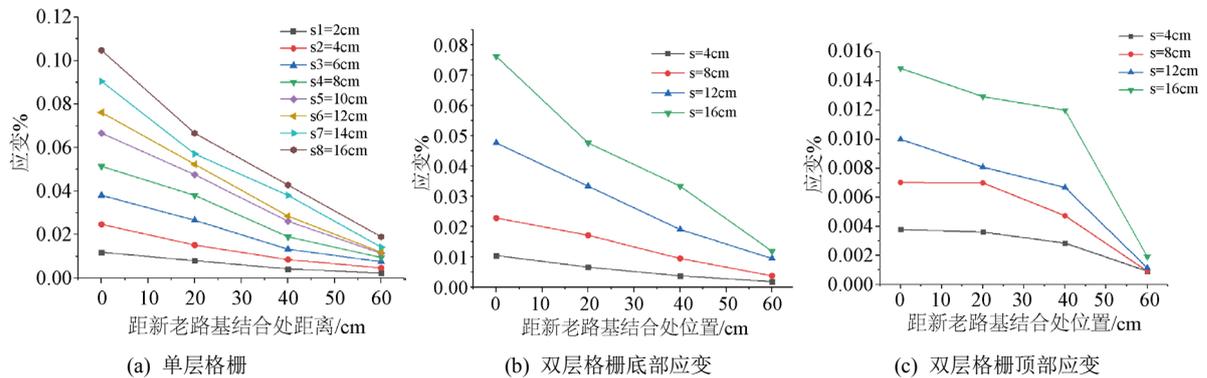


Figure 6. The variation law of internal strain of geogrid with settlement

图 6. 格栅内部应变随沉降量变化规律

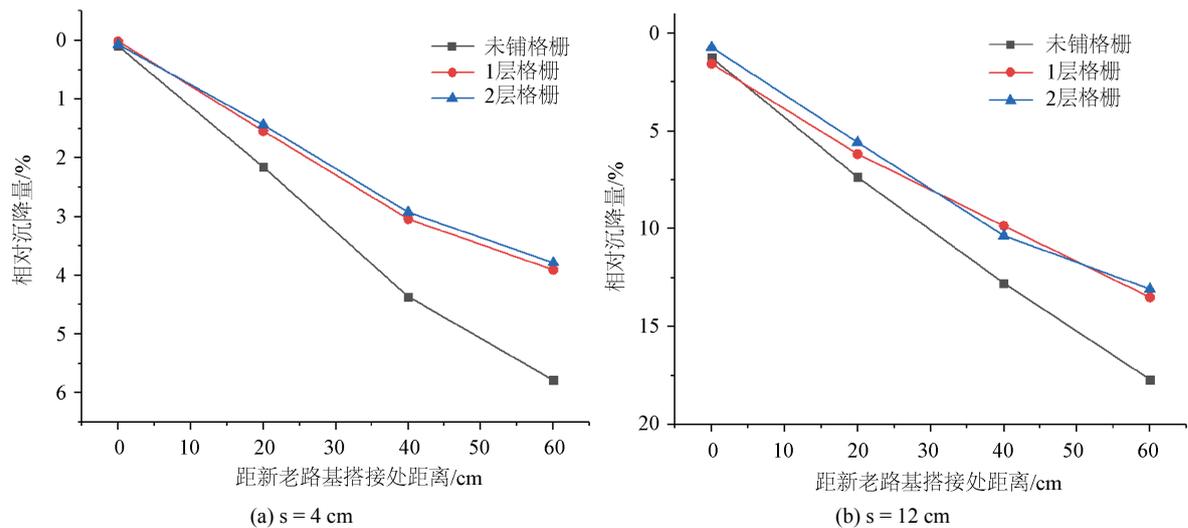


Figure 7. Variation law of road surface settlement under non-uniform subsidence mode

图 7. 非等沉模式下路表沉降变化规律

图 8 和图 9 分别为非等沉模式下路基层和顶层土压力随地基沉降量的变化规律。分析可知,增设格栅后,地基发生不均匀沉降时的各层位土压力数值变化规律与未加格栅时相同,但前者土压力数值减小的幅度更为明显。就此可见在地基不均匀沉降时,土工格栅仍然能够通过和填料之间的相对运动,在筋-土界面产生剪切荷载阻止筋-土相对运动,从而减小土体内部应力来缓解差异沉降。总体说来,相对于未加筋路基土体,不管地基发生何种形式变形,加筋后松散土体都能在土工格栅的作用下形成板结复合

体，土体内部铺设土工材料能够增强新老路基的整体稳定性，土体填料更容易形成自拱效应，能一定程度上缓解地基差异沉降。

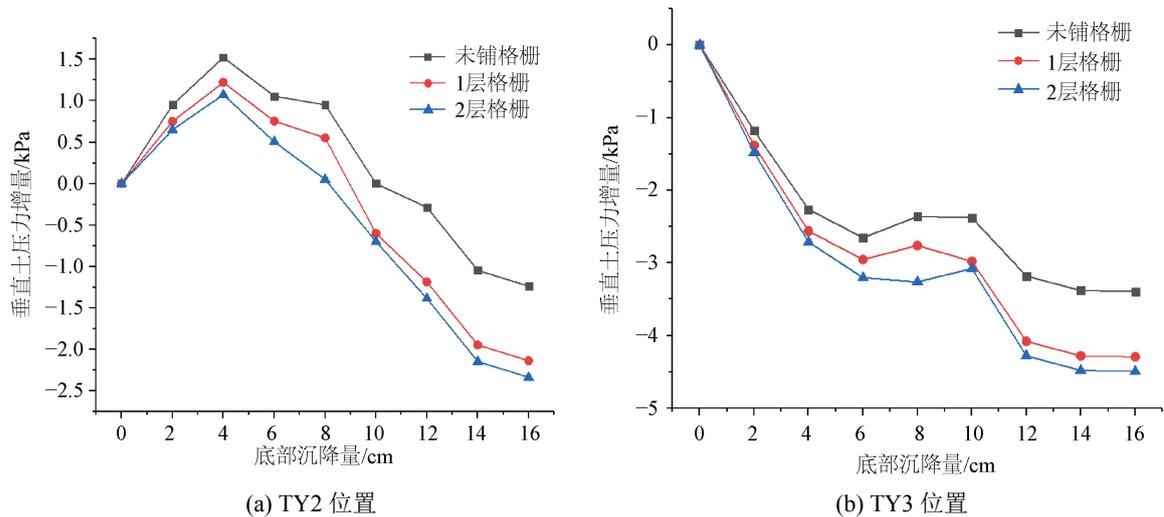


Figure 8. The variation law of soil pressure at the bottom of the roadbed with settlement
图 8. 路基底层土压力随沉降量变化规律

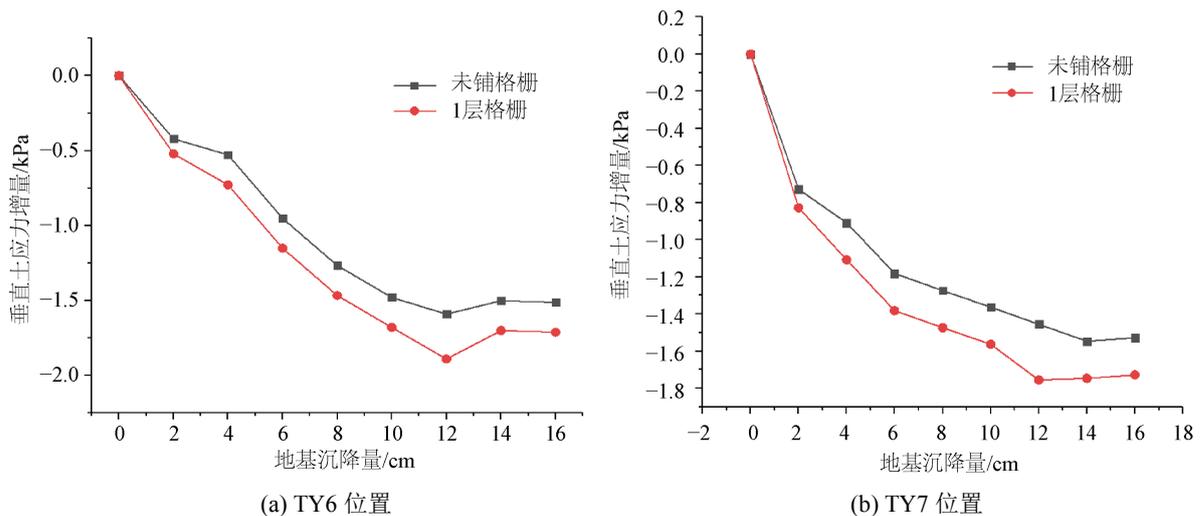


Figure 9. The variation law of soil pressure on the top layer of the roadbed with settlement
图 9. 路基顶层土压力随沉降量变化规律

图 10 为非等沉模式下格栅应变随地基沉降量的变化规律，对于路基底部应变，单层格栅和双层格栅应变随地基沉降量变化规律一致，最大受力位置仍是新老路基交界处，越远土工格栅受力越小。但相对于等沉模式而言，非等沉模式下的应变减小率较小，且土工格栅的最大应变($s = 16 \text{ cm}$)约为 0.08%，表明在非等沉模式下，土工格栅变形量更小，且强度利用率远远小于土工格栅自身强度。与等沉模式下相同的是，与单层格栅相比，双层格栅在缓解差异沉降时的效率较低，上层格栅的加筋贡献度较小。特别是当差异沉降为 4 cm 时，距新旧路基结合处的应变基本为 0.015%因此当地基不均匀沉降时，为了提升筋材的利用率，可在路基底部设置单层格栅。

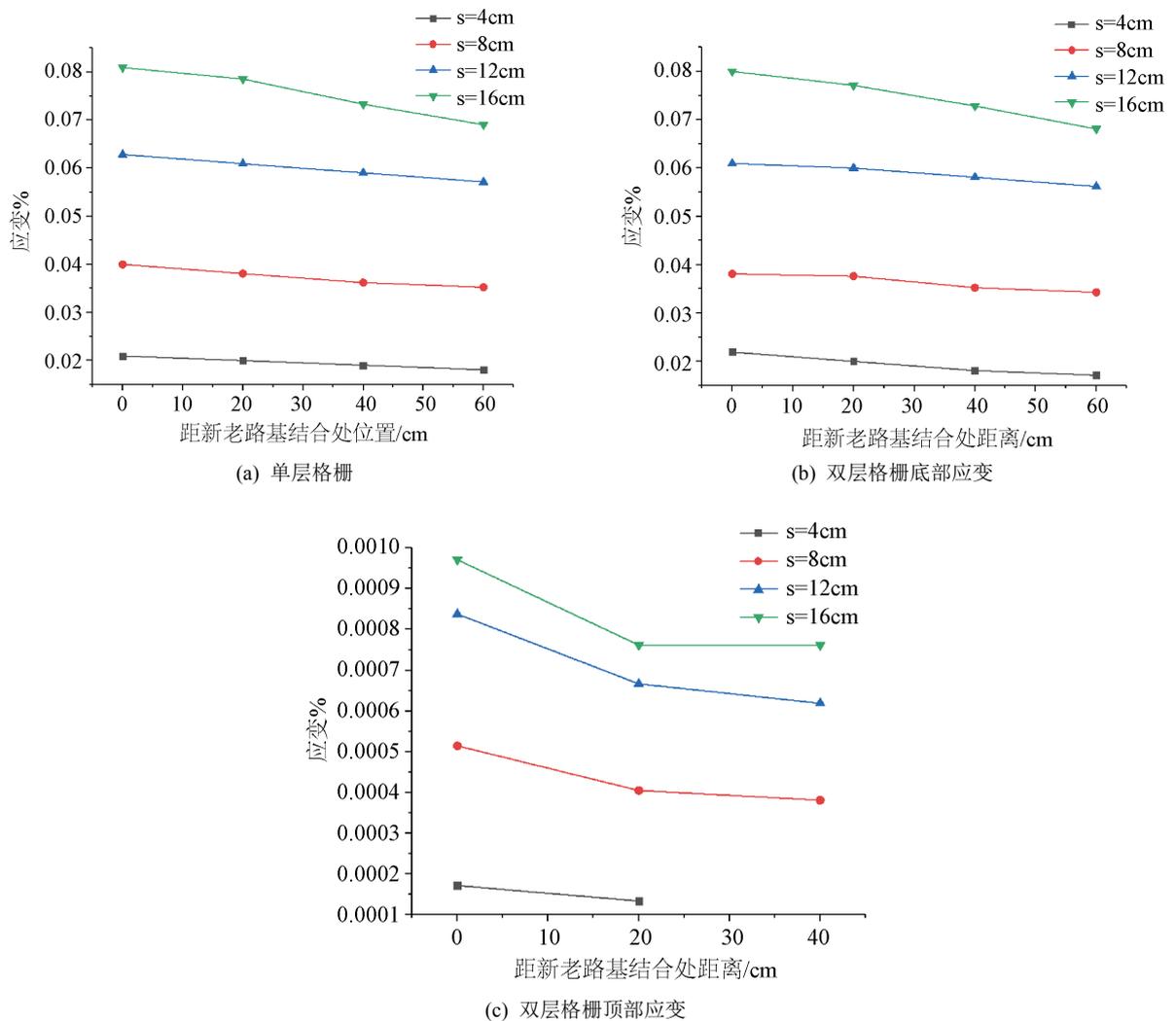


Figure 10. The variation law of internal strain of geogrid with settlement

图 10. 格栅内部应变随沉降量变化规律

4. 结论

1) 为揭示土工格栅加筋处置路基沉降的效果、适用层位和布设层数, 本文根据道路拓宽中常见的等沉与非均匀两种主要沉降模式, 设计制作了土工格栅加筋路堤模型试验装置, 开展了土工格栅加筋路堤在不同差异沉降量下的力学与变形特性研究, 揭示了土工格栅减小路基差异沉降的机理。

2) 路基表面变形曲线受地基差异沉降形式影响, 当均匀沉降发生在地基底部时, 路基表面相对沉降量较大, 路基表面沉降线类似于反 s 型, 当不均匀沉降发生在地基底部时, 路基表面相对沉降量较小, 路基表面沉降线近似直线。路基加入土工格栅后, 其内部的土工格栅会在土体内部形成自拱效应, 从而改变土体中位移及应力状态, 使得格栅下方应力及路基表面沉降量减小, 差异沉降得以缓和。

3) 不同差异沉降模式下, 土工格栅在路基中受到的应力并非均匀分布, 土工格栅最大应变发生在新老路基结合部位。

4) 根据路基表面的沉降量, 土应力及格栅内部拉应力综合分析, 应优先考虑单层铺设在路基底部。当差异沉降过大时可铺设 2 层。

参考文献

- [1] 杨广庆, 高民欢, 陈君朝, 等. 高速公路改扩建路基加宽锚固加筋技术研究[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(S2): 10-15.
- [2] Forsman, J. and Uotinen, V.-M. (1999) Synthetic Reinforcement in the Widening of a Road Embankment on Soft Ground. Balkma, Rotterdam, 1489-1496.
- [3] 刘靖. 土工格栅在路基加宽工程中的应用[J]. 现代公路, 2010(2): 180-181.
- [4] 宋海超. 高速公路改扩建工程软土地基变形性状研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 河北工业大学, 2011.
- [5] 胡彬华. 济青高速公路路基加宽工程关键技术研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2017.
- [6] 赵海宝. 土工格栅在改扩建工程中的应用效果[J]. 交通世界(建养机械), 2013(11): 133-134.
- [7] 李辉. 土工格栅在西藏地区公路改扩建工程中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.
- [8] 沈立森, 杨广庆, 程和堂. 高速公路路基加宽土工格栅加筋优化技术研究[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(4): 789-793.
- [9] 卢军源. 拓宽路基差异沉降下路面结构受力变形特性及机理研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2015.
- [10] 晏莉, 阳君生, 高燕希, 等. 土工合成材料处治老路路基拓宽的数值分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(8): 1670-1675.
- [11] 贾宁, 陈仁朋, 陈云敏, 等. 杭甬高速公路拓宽工程理论分析及监测[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(6): 755-760.
- [12] 马书文. 在不均匀沉降条件下基于索理论的加筋土结构设计方法的研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2018.
- [13] 芮瑞, 吴端正, 胡港. 模型试验中膜式土压力盒标定及其应用[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(5): 837-845.
- [14] 任连伟, 肖扬, 顾红伟. 砂土介质中多类型土压力盒标定试验[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2016, 44(2): 155-159.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org