

文章编号: 1000-7598 (2009) 03-0703-05

加筋路基处治不均匀沉降模型试验研究

羊 晔, 刘松玉, 邓永锋

(东南大学 岩土工程研究所, 南京 210096)

摘 要: 通过室内小比例模型试验, 模拟高速公路过渡段施工中经常采用的土工格栅加筋路基, 研究土工格栅加筋结构能否有效控制高速公路过渡段的不均匀沉降。试验共设计了不铺设土工格栅、铺设 1 层土工格栅在路基上、中、下位置、铺设 2 层土工格栅在路基上中、中下、上下位置铺设, 以及铺设 3 层土工格栅上中下位置, 共 8 种工况, 分析各种土工格栅加筋方案中路基的不均匀沉降和土工格栅的受力特性。试验结果表明, 土工格栅加筋路基可明显调节过渡段的不均匀沉降, 在路基的中部和上部铺设 2 层土工格栅的加筋效果最佳。

关 键 词: 土工格栅; 加筋路基; 不均匀沉降; 模型试验

中图分类号: TU 413

文献标识码: A

Effect of reinforced subgrade on differential settlement by model test research

YANG Ye, LIU Song-yu, DENG Yong-feng

(Institute of Geotechnical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The small scale model tests are designed to simulate the geogrid-reinforced subgrade adopted by highway construction to mitigate the differential settlements of differently treated foundations. Eight geogrid-reinforced subgrade models are studied, which include not putting geogrids, putting one layer of geogrids respectively in the bottom, the middle and the top of the subgrade, putting two layers of geogrids in the bottom and the middle, the bottom and the top, the middle and the top, and putting three layers of geogrids in the bottom, the middle and the top. The differential settlement of the model subgrade and the mechanical characteristics of geogrids are modeled to evaluate the effect of the geogrids reinforcement. The results of the tests prove that the geogrids reinforcement decreases the differential settlement of subgrade effectively; and putting two layers of geogrids in the middle and the top of the subgrade is the best reinforcement design.

Key words: geogrid; reinforced subgrade; differential settlement; model test

1 前 言

公路为长线形构造物, 因地质条件和地形的差异, 其沿线的地基需采用不同的地基处理方式。在不同地基处理路段的结合处和桥头路段, 地基刚度差异较大, 经常产生差异沉降。地基的这种差异沉降将加剧路面结构的破坏, 宏观表现为路面产生裂缝、跳车现象。

工程中经常在这类路段设置过渡段, 以减小差异沉降。在软土地基过渡段, 通常采用搅拌桩变桩间距过渡方式或者土工格栅加筋路基方式来处理不均匀沉降。采用土工格栅加筋路基处理桥头过渡段, 减缓或消除不均匀沉降已经得到了公路与铁路部门

的普遍认可, 工程应用日益增多, 但加筋结构的设计往往都是经验性的, 相应的研究远滞后于工程应用。

刘春虹^[1]通过比较路基加筋和未加筋两种情况, 提出土工格栅对于提高路堤填筑高度、减少路堤侧向位移、均化路堤沉降效果显著。朱湘^[2], 钱劲松^[3]通过计算, 提出土工格栅加筋可以减少路堤的均匀和不均匀沉降, 并能增加路堤的稳定性, 以及减少加筋效果的主要影响因素。陈永福^[4]对土工格栅处理桥头过渡段路基跳车进行了现场观测分析, 但由于现场施工以及各方面原因的制约, 很难对某一因素展开深入全面地研究, 多数情况下很难得到完整的数据, 而且涉及到工程应用效果的研究

也无法在现场展开。

为进一步研究土工格栅加筋路基减缓或消除不均匀沉降这一特性，系统地研究加筋结构的效果、筋材的选择以及加筋的方案设计，本文设计了室内小比例模型试验，模拟软土地基过渡段经常采用的路堤加筋方式，研究土工格栅加筋路基控制不均匀沉降的效果，为同类工程的设计、施工提供科学依据。

2 模型试验

目前基于土工格栅加筋路堤的模型试验并不多。朱湘^[5]通过对比试验，量测加筋与未加筋路堤的应力应变响应的差别。杨庆^[6]通过试验研究了土工格栅加筋路堤边坡的结构性能。本次试验模拟高速公路软土地基过渡段采用土工格栅加筋路基控制差异沉降的效果。

2.1 模型试验设计

模型试验在室内混凝土模型槽中进行。根据实际工程的情况，将模型槽内地基沿路基纵向分为软地基和硬地基两部分。用注满水的橡胶水袋模拟软地基，用混凝土砌体的硬地基部分模拟搅拌桩处理的地基。

地基高 40 cm，砌体部分宽 0.6 m，水袋宽 1.0 m。试验时，打开橡胶水袋阀门放水，模拟软土地基的下沉，硬地基部分保持不下沉，用这两部分的沉降差，模拟过渡段产生的不均匀沉降。在地基上部构建土工格栅加筋路基，土工格栅水平铺设。模型路堤高 60 cm，长 160 cm，路基顶面宽 40 cm，坡比 1:1.3（图 1）。

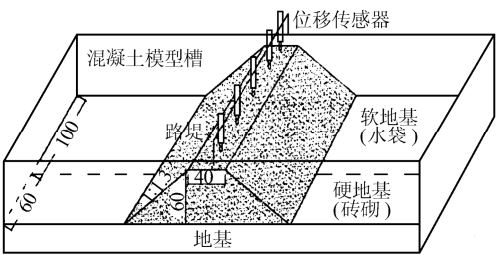


图 1 模型试验示意图 (单位: cm)
Fig.1 Schematic diagram of model (unit: cm)

路堤铺设实际工程中采用的 TGDG50 型单向塑料土工格栅，分别对不铺设土工格栅、铺设 1 层土工格栅、2 层土工格栅、3 层土工格栅共 8 种工况（表 1）进行试验。

试验中，为保证路堤的击实效果，底部铺设土工格栅时，距路堤底部 5 cm；上部铺设土工格栅时，

距路堤顶面 10 cm。

表 1 试验工况一览

Table 1 Tests		
加筋层数	加筋位置	编号
0		a
	底部	b
1	中部	c
	上部	d
	底部+中部	e
2	底部+上部	f
	中部+上部	g
3	底部+中部+上部	h

2.2 试验材料

（1）路基填土：限于模型的尺寸，试验用土的最大粒径为 20 mm，称量取 5 000 g，其颗粒级配结果见表 2，含水率为 5.0 %。通过直剪试验测得其黏聚力为 8.0 kPa，内摩擦角为 29.8°。每次试验，模型中的路基土经击实填筑，密实度达到 80 %以上。

表 2 颗粒级配结果

Table 2 Results of grain gradation		
粒组 / mm	重量 / g	含量 / %
20~10	219.9	4.4
10~5	793.4	15.9
5~2	1 360.9	27.2
2~1	1 200.5	24.0
1~0.5	664.6	13.3
0.5~0.1	503.0	10.1
<0.1	257.7	5.2

（2）土工格栅：试验选取实际工程中采用的 TGDG50 型单向塑料土工格栅，其技术指标如下：卷幅为 50 m×2.2 m，重量为 0.213 kg/m²，纵向抗拉强度为 62.3 kN/m；当纵向 2 %拉伸率时的拉伸力为 26.5 kN/m；当纵向 5 %拉伸率时的拉伸力为 46.8 kN/m，峰值应变 8.8 %。

2.3 待测参数

模型试验需测定的参数有：路基顶面的沉降 d ，土工格栅的应变 ε ，橡胶水袋的放水量 Q ，软地基中心点的沉降量 S ，路基顶面出现裂缝的时间 t 及其对应的 d ， ε ， Q ， S 。路基顶面的位移传感器的设置见图 2，土工格栅应变片的布设见图 3。

为保证试验数据的实时准确采集，此次试验采用澳大利亚生产的 DATATAKER515 型高精度数据采集仪采集路基顶面的位移传感器和土工格栅应变片数据。

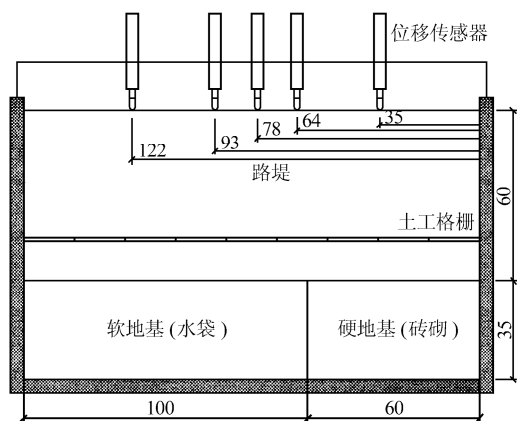


图2 位移传感器布置图(单位/cm)

Fig.2 Arrangement diagram of displacement sensor

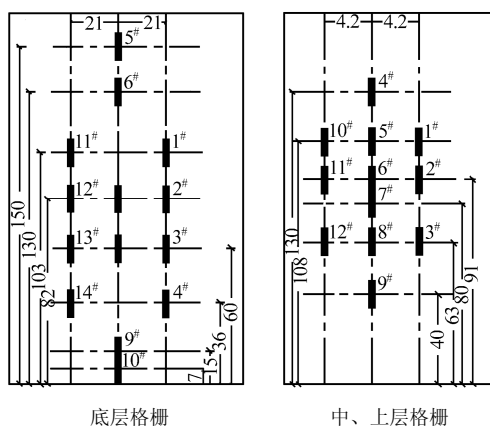


图3 土工格栅应变片布置图(单位/cm)

Fig.3 Arrangement diagram of strain gauges in geogrids

3 试验结果

通过以上8种工况的模型试验,采集到大量试验数据,并绘制了相应的模型路基沉降变形图表。从试验结果可看出,路基中铺设土工格栅可以减缓过渡段的不均匀沉降,不同铺设位置及铺设层数调节路基不均匀沉降的效果不同。

3.1 路基顶面的沉降

各工况路基顶面出现开裂时,路基顶面的位移曲线见图4、5。

路基中不铺设土工格栅时,路基迅速破坏,软硬地基分界处路基顶面纵坡较大,沉降不均匀。路基中铺设土工格栅,可明显延缓路基裂缝的发生,虽然对路基的整体沉降调节不大,但可明显减缓软硬地基分界处的不均匀沉降,减小路基顶面纵坡。

(1) 不铺设土工格栅时,路基迅速产生裂缝,路基破坏时水袋排水量 Q 为 13.79 kg,裂缝位置在 60 cm 处,恰为软硬地基分界处。软硬地基分界处路基顶面的纵坡 i 为 0.53 %。

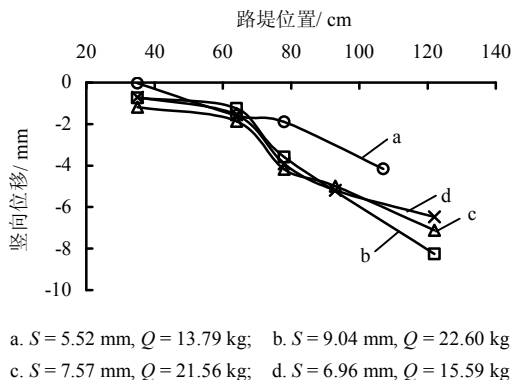


图4 1层土工格栅加筋模型路基沉降曲线

Fig.4 Settlement curves of model a-d

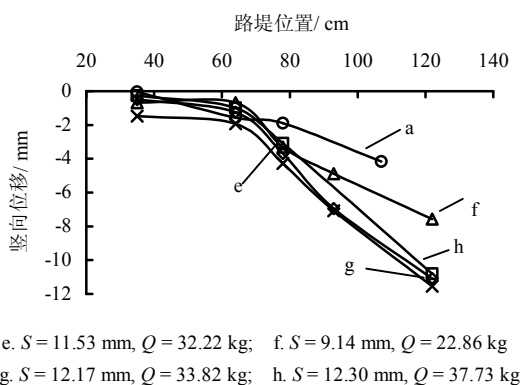


图5 2、3层土工格栅加筋模型路基沉降曲线

Fig.5 Settlement curves of model a, e-g

(2) 铺设1层土工格栅时, b 工况即土工格栅铺设在路基底部时效果最好。路基破坏时水袋排水量 Q 为 22.60 kg,裂缝位置在 56 cm 处,为模拟硬土地基内 4 cm 处,软硬地基分界处路基顶面的纵坡 i 为 0.18 %。

(3) 铺设2层土工格栅时, g 工况效果最好。路基破坏时水袋排水量 Q 为 33.82 kg,裂缝位置在 66 cm 处,为模拟软土地基内 6 cm 处,软硬地基分界处路基顶面的纵坡 i 为 0.16 %。

(4) 铺设3层格栅时,路基破坏时水袋排水量 Q 为 37.73 kg,裂缝位置在 72 cm 处,为模拟软土地基内 12 cm 处,软硬地基分界处路基顶面的纵坡 i 为 0.25 %。

各工况的试验结果详见表3。

从图4及表3结果可看出,土工格栅加筋路基可有效减缓软硬地基分界处的不均匀沉降,使路基顶面的沉降趋向均匀,分界处路基顶面的纵坡变缓,这与文献[1-3]的计算结果以及文献[5]的试验结果是一致的。

土工格栅加筋路基的方案中,铺设1层土工格

栅时, b 工况即土工格栅铺设底部的效果较好; 铺设 2 层土工格栅时, g 工况即底部+上部铺设方式的效果较好; 铺设 3 层土工格栅的加筋效果与 g 工况相当, 改善效果不很明显。

表 3 各工况试验结果
Table 3 The results of model tests

工况	软基中心点沉降 S / mm	排水量 Q / kg	纵坡 i' / (%)
a	5.52	13.79	0.53
b	9.04	22.60	0.18
c	7.57	21.56	0.23
d	6.96	15.59	0.29
e	11.53	32.22	0.26
f	9.14	22.86	0.17
g	12.17	33.82	0.16
h	12.30	37.73	0.25

3.2 土工格栅的应变

以上各工况加筋路基破坏时, 土工格栅的应变实测值见图 5。试验结果表明, 土工格栅的受力并非均匀分布, 最大应变基本都在软硬地基分界处, 但直至加筋路堤发生破坏时, 各种工况中土工格栅的应变均较小, 最大的也只有 0.28 %, 因此, 筋材的效用发挥很低, 其加筋效用在加筋路堤破坏后发挥更大, 表现为限制裂缝的开展, 即限制路堤土的侧向变形。

根据室内试验, 试验采用的土工格栅的容许应变值达到 2 %~5 %, 峰值应变达到 8.8 %, 某些种类的土工格栅最大应变可达 11.2 %^[7], 土工格栅加筋效用还远没发挥出来。徐少曼等^[8]根据室内土工织物加筋软基模型试验, 提出了预应变加筋方案。笔者认为, 预应变加筋法也适用于土工格栅加筋路基的施工, 其减缓不均匀沉降的效果会更好。

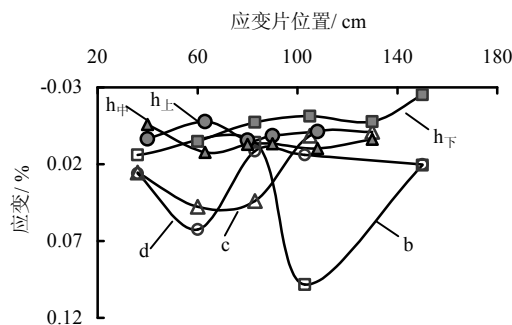


图 6 铺设 1 层、3 层土工格栅时筋材应变
Fig.6 Strain curves of geogrids in subgrade b-d, h

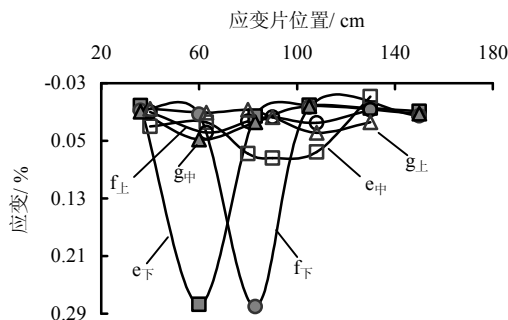


图 7 铺设 2 层土工格栅时筋材应变
Fig.7 Strain curves of geogrids in subgrade e-g

4 结 论

通过模型试验结果的分析, 可得出如下结论:

(1) 土工格栅加筋路基可以减缓软土地基过渡段的不均匀沉降和因此而引起的路堤破坏, 但加筋路基对过渡段的整体沉降改善不明显。

(2) 加筋路基的设计方案中, 铺设 1 层土工格栅时, 在路基底部铺设的效果好; 铺设 2 层土工格栅时, 在路基的中部和上部铺设的效果好; 铺设 3 层格栅的效果与铺设 2 层土工格栅在路基的中部和上部的效果相当。最优的加筋设计方案是在路基中部和上部铺设 2 层土工格栅。

(3) 加筋路基中的土工格栅受力是非均匀的, 软硬地基分界处的格栅受力最大。加筋路基破坏时, 筋材并没能充分发挥其效用, 其最大应变值为 0.28 %, 筋材的效用在加筋路堤破坏后发挥更大, 表现为限制路堤土的侧向变形。

(4) 土工格栅加筋路基的施工如采用预应变加筋法, 土工格栅的加筋功能可得到更大的发挥, 调节不均匀沉降的效果会更好。

参 考 文 献

- [1] 刘春虹, 肖朝昀, 王建华, 等. 土工织物加固软土路堤的有限元分析[J]. 岩土力学, 2004, 25(Supp.2): 325—328.
LIU Chun-hong, XIAO Zhao-yun, WANG Jian-hua. Finite element analysis of road embankment on soft soil reinforced with geotextiles[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2004, 25(Supp.2): 325—328.
- [2] 朱湘, 黄晓明. 有限元方法分析影响加筋路堤效果的几个因素[J]. 土木工程学报, 2002, (6): 86—92.
ZHU Xiang, HUANG Xiao-ming. Effects of reinforcements on embankment analyzed by finite element method[J]. **China Civil Engineering Journal**, 2002, 35(6): 86—95.

- [3] 钱劲松, 凌建明, 黄琴龙. 土工格栅加筋路堤的三维有限元分析[J]. 同济大学学报, 2003, 31(12): 1421—1425.
QIAN Jin-song, LING Jian-ming, HUANG Qin-long. 3D finite element analysis of embankment reinforced by geogrid[J]. **Journal of Tongji University**, 2003, 31(12): 1421—1425.
- [4] 陈永福, 高燕希, 张起森. Netlon 土工网在高等级公路桥台跳车处理中的试验研究[J]. 土木工程学报, 1996 29(1): 41—471.
CHEN Yong-fu, GAN Yan-xi, ZHANG Qi-sen. Experimental study on treatment of jump at bridge abutment using Netlon geotextile[J]. **China Civil Engineering Journal**, 1996, 29(1): 41—471.
- [5] 朱湘, 黄晓明. 加筋路堤的室内模拟试验和现场沉降观测[J]. 岩土工程学报, 2002, (5): 386—388.
ZHU Xiang, HUANG Xiao-ming. Laboratory simulating test and field settlement observation of reinforced embankment[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2002, (5): 386—388.
- [6] 杨庆, 季大雪, 栾茂田, 等. 土工格栅加筋路堤边坡结构性能模型试验研究[J]. 岩土力学, 2005, (8): 1243—1246.
YANG Qing, JI Da-xue, LUAN Mao-tian, et al. Studies on structural performance of embankment slopes reinforced by geogrids with model tests[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2005, (8): 1243—1246.
- [7] KOERNER R M. Designing with geosynthetics[M]. New Jersey: Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 1990.
- [8] 徐少曼, 林瑞良. 提高土工织物加筋效果的新途径[J]. 岩土工程学报, 1997, 19(2): 49—55.
XU Shao-man, LIN Rui-liang. Way to improve the effects of geotextile reinforcement[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 1997, 19(2): 49—55.