

土工格栅加筋软土路堤的数值分析

顾长存¹ 杨庆刚² 张 铮³

(1. 河海大学岩土工程研究所 江苏 南京 210098 ; 2. 东南大学交通学院 江苏 南京 210096 ;
3. 江苏省高速公路指挥部 江苏 南京 210004)

摘要 土工格栅作为一种新型的土工合成材料 , 由于具有高强度、低延伸率等特点而被选作主要的路堤加筋材料。采用通用非线性有限元 ABAQUS 程序分析了加筋前后路堤的竖向位移和侧向位移。分析结果表明 , 土工格栅加筋能有效地降低路堤的竖向位移和水平位移 , 研究成果对软土地基的加筋处理有借鉴意义。

关键词 土工格栅 软基 有限元 竖向位移 水平位移

中图分类号 :TU447 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2005)06-0677-05

加筋主要是利用具有抗拉能力的土工合成材料与土之间的锚固力、嵌锁力和界面摩擦阻力 , 将结构物与填土连成一体 , 它是国际土工界在近几十年发展起来的新结构。利用土工合成材料(Geosynthetics)作为土的加筋 , 在 20 世纪 70 年代还不普及 , 进入 80 年代后 , 随着土工合成材料工业的发展 , 得到了迅速推广^[1]。可用于加筋的土工合成材料的种类很多 , 主要有土工网(Geonet)、土工格栅(Geogrid)等。随着土工合成材料工业的发展 , 土工格栅作为一种新型的合成材料 , 具有高强度、低延伸率、高稳定性等优点 , 其加筋效果强于土工布等材料 , 在加筋工程中应用越来越广泛^[2]。将土工格栅埋至土体内 , 作为软土地基的加固补强材料 , 可增强地基的承载力。同时 , 通过对土体的侧向约束作用 , 可改善土体的整体受力条件 , 提高路基的整体强度。因此 , 土工格栅多用于软基处理、加筋挡土墙和海堤防护等方面的加固^[3]。本文分别对路堤底部铺设一层土工格栅、二层土工格栅及无土工格栅时路堤底部的竖向位移、堤趾点的水平位移和路基表面侧向位移等问题进行了分析。

1 有限元计算原理

1.1 土体本构关系

土体本构模型主要有弹性非线性模型、弹塑性模型和修正的剑桥模型。图 1 土工合成材料典型拉伸曲线。本文采用 Drucker-Prager(D-P)理想弹塑性本构模型模拟路堤填土和淤泥质黏土 , 用修正的剑桥模型(Clay Plasticity)模拟粉质黏土。

1.2 土工格栅本构关系

土工格栅是一种典型的韧性材料 , 只具有抗拉强度 , 不存在抗压和抗弯特性 , 其典型的 3 种应力-应变关系曲线^[4]如图 1 所示。

在一般情况下 , 土工格栅的应力应变处在弹性范围内 , 故在分析过程中可将其简化为线弹性材料 , 在本文中用一维杆单元模拟平面应变下的土工格栅筋材 , 具体土工格栅单元如图 2 所示。

1.3 土与土工格栅的接触模拟

土与土工格栅之间的接触 , 采用 ABAQUS 中的界面约束(Constraints)命

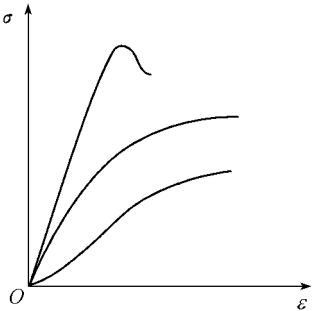


图 1 土工合成材料典型拉伸曲线
Fig.1 Typical tension curves of geosynthetics

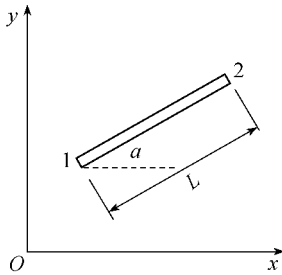


图 2 土工格栅单元
Fig.2 Geogrid element

令^[5],使用嵌入区域来处理(Embedded region),土工格栅作为嵌入区域(Embedded region)嵌入到路堤中去,路堤作为主区(host region).

2 简化计算模型的建立

所建立的模型是关于路堤横断面的平面应变分析模型,考虑到路基的实际受力情况,将模型作一些简化.对路面结构荷载来说,高速公路沥青混凝土路面结构层取 71 cm.对交通荷载而言,荷载等效为 11.5 kPa 的均布荷载^[6].由于路基的全横断面取 60 m 宽,地基两侧可假设为 x 向约束,地基竖向取 20 m,可假定为地基底部为 x,y 向约束.路面顶宽为 28 m,路堤填筑高度 4 m,路堤边坡为 1:1.5.地基底部及两侧为不透水边界,地表设为透水边界.地下水位在地表下 1 m 处,土工格栅铺设于路堤底部与砂垫层交界面上,另一层土工格栅铺设于砂垫层上方 0.5 m,砂垫层厚度 0.5 m.软基为两层土,上层为淤泥质黏土,层厚为 11.5 m,下卧层为粉质黏土.具体路堤与地基的情况如图 3 所示.

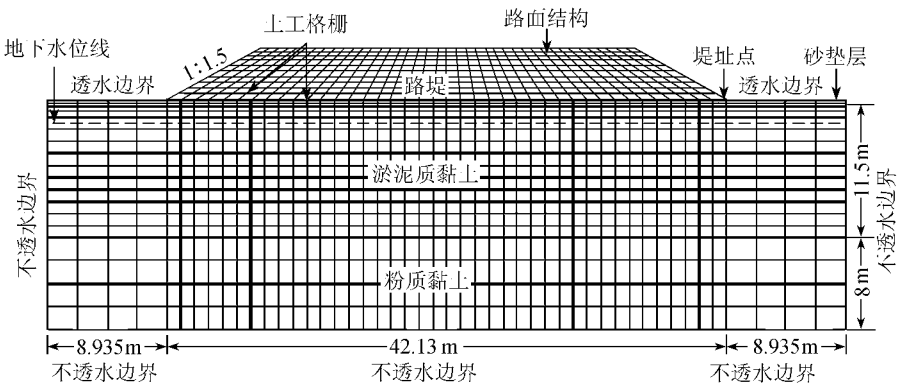


图 3 软土地基加筋建模及 FEM 网格剖分

Fig.3 Modeling for geogrid-reinforced soft clay foundation and FEM mesh

3 算列分析

3.1 计算参数及加载历时

3.1.1 加载历时

为了更好地模拟填筑与预压的施工过程,计算中考虑分级施加路堤、路面结构荷载,采用 ABAQUS 中的时间步(Time Step)命令来控制路堤和路面分级加载情况,将路堤分为 4 层进行增量分析,每层厚度为 1 m,填筑速率 1/30 d.每一层填筑后施工间歇期为一个月,路堤整个填筑期为 240 d,路堤填筑完预压期为 90 d,预压结束后铺设路面结构层,为简化加载步骤,底基层、基层和面层统一为路面结构层,施工期和间歇期共为 240 d. ABAQUS 中设置加载的方法是:设置每级荷载与时间步对应;在每个时间步,如有荷载施加,相应网格单元被激活,对应时间步模拟自重应力的施加;如无荷载施加,对应时间步模拟施工间歇期或填筑后的预压^[5].加载曲线如图 4 所示.

3.1.2 计算参数

在计算中针对不同材料采用了不同本构模型,以反映材料应力应变响应的差异性.其中,为简化计算,粉质黏土采用 Clay Plasticity 模型,模型参数见表 1^[7];路堤填土为硬黏土,软基的淤泥质黏土和硬黏土采用 Drucker-Prager(D-P)弹塑性模型,模型参数见表 2^[7].土工格栅弹性模量取 38.7 GPa^[3],单位横截面积取 $1.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$,砂垫层和路面结构层取为线弹性模型,模量分别为 50 MPa 和 1 500 MPa,泊松比分别为 0.32 和 0.25.

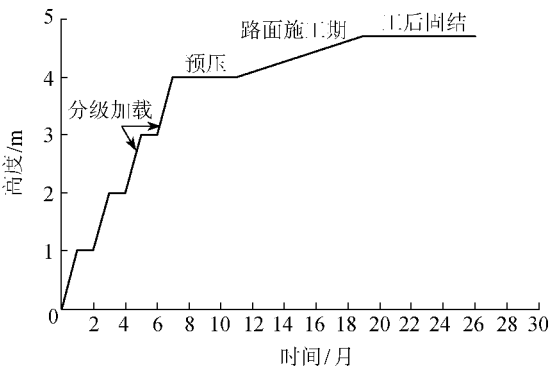


图 4 加载历时曲线

Fig.4 Loading history

表 1 Clay Plasticity 模型参数
Table 1 Parameters of Clay Plasticity Model

材料类型	密度 $\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 c/Pa	有效内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	对数弹性体积模量 κ	泊松比 ν	对数硬化模量 λ	临界状态比率 M	初始超固结系数 $\alpha_0/(\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1})$	湿帽参数 β	第三应力不变量 K	孔隙比 e_1	渗透系数 $k/(\text{m}\cdot\text{d}^{-1})$
粉质黏土	1780	22.4	31.6	0.02	0.31	0.07	1.27	0	1.00	1.00	1.02	2.31×10^{-4}

表 2 Drucker-Prager 模型参数
Table 2 Parameters of Drucker-Prager Model

材料类型	密度 $\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 c/Pa	有效内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	弹性模量 E/MPa	泊松比 ν	摩擦角 $\beta/(\text{°})$	材料参数 k	剪胀角 $\psi/(\text{°})$	渗透系数 $k/(\text{m}\cdot\text{d}^{-1})$
硬黏土	1830	29.3	36.5	28	0.24	28.7	1.00	28.7	3.63×10^{-4}
淤泥质黏土	1810	5.0	11.3	1	0.38	28.7	1.00	28.7	0.31×10^{-4}

3.2 土工格栅对软土地基的加筋效果分析

3.2.1 沉降变形分析

对于加筋能否减少地基沉降量,目前工程界尚有不同看法:一种观点认为加筋不但能提高地基承载力,而且能减少地基沉降量;另一种观点则认为加筋能显著提高地基承载力,但对减少路基沉降量是无效的^[8]。

图 5 为路堤底部铺设 1 层土工格栅和路堤底部及上方 0.5 m 处铺设 1 层土工格栅(即 2 层土工格栅)与无格栅加筋时竖向位移的有限元计算结果的比较,可以看出,铺设土工格栅后,路堤填筑结束和路面施工结束时距路基中心处的各点竖向位移较无格栅时有显著降低,这表明铺设土工格栅对降低路基沉降有明显作用,路面施工结束后,路基中心处的沉降量较无加筋时减少约 10% 左右,但与 1 层格栅加筋相比,2 层格栅加筋对减少路基的沉降量影响不大。

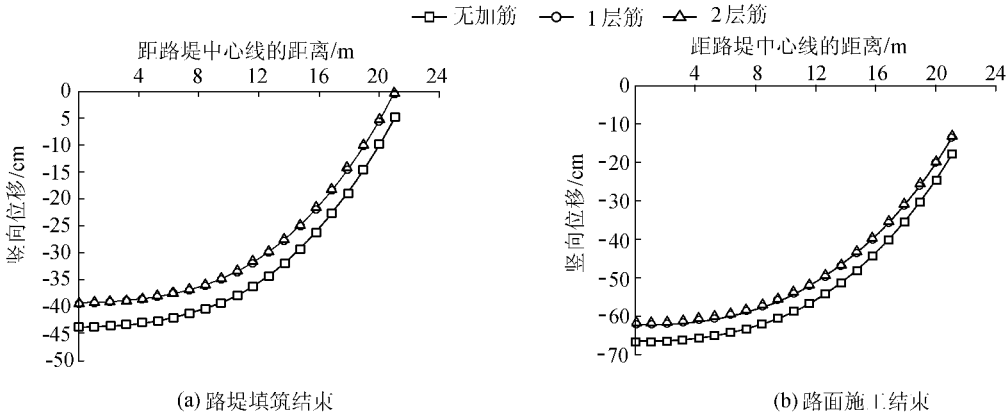


图 5 距路基中心线地表各点沉降曲线

Fig.5 Surface settlement versus distance from subgrade center

图 6 为 15 a 路表的不均匀沉降曲线,由此可以看出,格栅加筋对减少路表的不均匀沉降量的效果不明显,1 层加筋和 2 层加筋曲线几乎完全重合,这说明上层土工格栅并没有明显改善路堤下软土的受力和变形性状。

3.2.2 侧向位移分析

图 7 为距路堤堤趾点垂线下地基深度的侧向位移变化曲线,由此可以看出,土工格栅对浅层地基软土的水平位移约束作用明显,软土地基最大水平位移一般发生在地表下 6 ~ 8 m 处。由于加筋较未加筋时对土体的侧向位移约束作用明显,加筋路堤在填筑期间可以加大填筑速度,但 1 层格栅加筋和 2 层格栅加筋时对土体的侧向约束作用差别不大。

图 8 为距路基中心点的地表各点水平位移变化曲线,由此可以看出,水平位移在随着距离路基中心点越远而几乎呈线性增长,且增大的幅度比较明显。路面施工结束后和 15 a 后加筋和无加筋在距路基中轴线 10 m 差别不大,但距路基中轴线 10 m 到堤址处土工格栅对土体的侧向约束作用明显,土工格栅对距路基中心 18 m 处侧向约束作用最大,随后约束作用减弱,1 层格栅和 2 层格栅加筋对土体的侧向约束作用差别较明显。

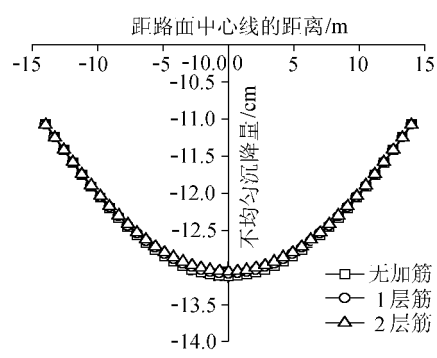


图 6 15a 路表不均匀沉降曲线

Fig.6 Differential settlement after 15 years

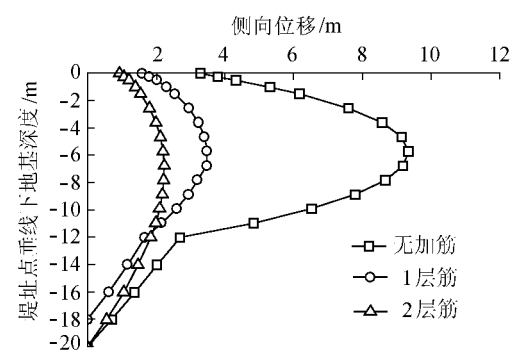


图 7 堤趾点地基深度侧向位移变化曲线

Fig.7 Lateral deformation versus depth of foundation at embankment toe

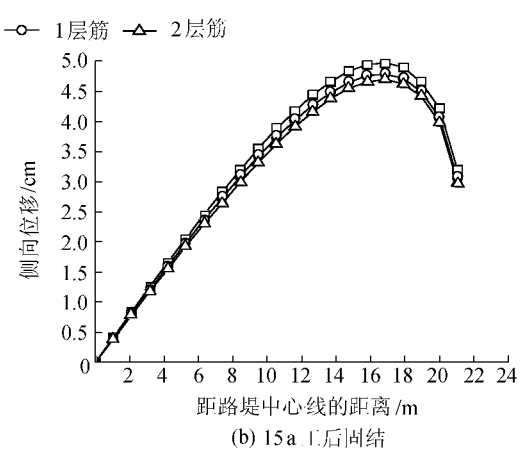
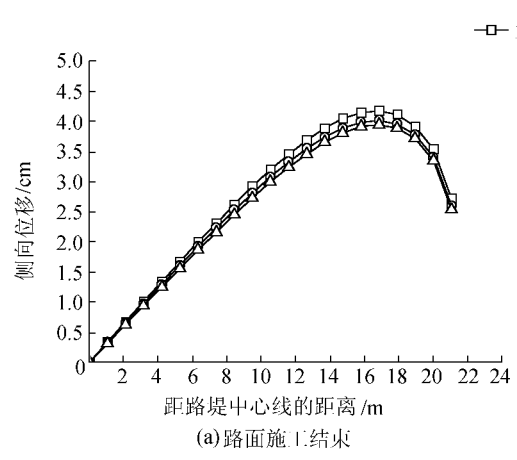


图 8 地表水平位移与路基中心点距离关系曲线

Fig.8 Surface lateral displacement versus distance from subgrade center

4 结 语

本文对土工格栅加筋软土路堤进行了有限元分析.分析结果表明,1 层或 2 层土工格栅加筋软土路堤较无格栅时有显著效果.

a. 加筋地基由于具有较高的应力扩散作用,土工格栅可明显减少软土地基的沉降变形,但与 1 层格栅加筋相比,2 层格栅加筋对路基的沉降影响不大.

b. 加筋和未加筋对 15a 后路面的不均匀沉降影响不大.

c. 在土体侧向位移较大的情况下,土工格栅发生拉应变,通过与加筋填料之间的摩阻力来限制地基土的侧向变形,土工格栅加筋相对无加筋时侧向约束作用明显.在地表下 6~8m 处作用最为显著.地表水平位移随着距路基中心线距离的增大而逐渐增大,在距堤趾点约 4m 处水平位移最大.

d. 用有限元研究软土地基加筋是一个有效的方法,但如何将有限元计算结果与实践有机地结合起来是一个值得研究的问题.

参考文献:

[1] 施建勇,孙钧,李永盛.土工织物加筋机理的研究[J].河海大学学报(自然科学版),1996,24(4):30—35.
[2] 朱湘.软土地基格栅加筋路堤结构性能研究[D].南京:东南大学,2001.
[3] 刘春,赵洪波,白世伟.土工格栅在治理软土路基沉降问题中的研究[J].岩土力学,2003(12):1070—1073.
[4] 韩明.高速公路软土地基土工格栅加筋路堤的研究[D].南京:东南大学,2004.

- [5] KIM J S, BARKER R M. Effect of live load surcharge on retaining walls and abutments[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2002, 128(10): 803—813.
- [6] ABAQUS/Standard User's Manual, Version 6.3[S]. Hibbit J.L. Karlsson & Sorensen Inc, 2003. 50—120.
- [7] 刘萌成, 黄晓明. 软土地基上桥台后填土工后沉降的数值分析[J]. 公路交通科技, 2004(12): 22—26.
- [8] 徐少曼, 洪昌华. 土工织物加筋堤坝软基的非线性分析[J]. 岩土工程学报, 1999(7): 438—442.

Numerical analysis of embankment on soft clay foundation reinforced by geogrids

GU Chang-cun¹, YANG Qing-gang², ZHANG Zheng³

- (1. Geotechnical Research Institute of Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. School of Communication and Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China;
3. Expressway Construction Headquarters of Jiangsu Province, Nanjing 210004, China)

Abstract Geogrid, a new kind of geosynthetics, is chosen as the main material for embankment reinforcement due to its high strength and low prolongation ratio. The analysis of vertical settlement and lateral deformation of the embankment with the conventional nonlinear finite element program ABAQUS before and after reinforcement by geogrid shows that the adoption of geogrid can effectively reduce the vertical settlement and lateral deformation of the embankment. The research result is of certain reference value to reinforcement of soft clay foundation.

Key words geogrid; soft clay foundation; finite element; vertical settlement; horizontal displacement

**水信息网**
WWW.HWCC.COM.CN

快捷、准确、全方位报道与水相关的重大新闻事件、学者重要论著、全球水利资讯、水利法律法规以及水文化等各方面内容。

招生招聘频道全新改版推出

打造水利行业
专业人才交流平台

水利单位发布招聘信息,
吸纳专业人才。

水利院校发布招生信息,
扩大生源。

水利人才提交简历,
寻找理想岗位。

举办水利人才网络招聘会,
企业人才直接对话。

迅速报道国家水利行业
人事动态、政策法规。



地址:天津市河东区昆山路23号 邮政编码:300120
联系电话:022-24102110 联系人:史女士 电子邮箱: www@hwcc.com.cn