



土工格栅加固港区道路基层效果分析

袁 谱, 周睿博

(中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 我国华南港区, 高温多雨, 因荷载轮压很大造成路面不同程度的破坏。港区道路基层强度承载能力决定港区道路使用性能。考虑港区深软土地基, 基于塑性理论, 运用有限元软件模拟分析土工格栅加固港区道路基层效果。分析研究表明, 采用有限元方法模拟土工格栅加固港区基层的结果与试验段结果相对应; 弯沉与极限荷载成反比关系, 弯沉值小, 极限荷载大, 表明土工格栅能提高港区基层结构承载能力, 并且, 土工格栅放置位置越接近面层, 加固效果越好。

关键词: 港口; 道路; 稳定性; 极限承载力; 基层; 土工格栅; 有限元

中图分类号: U 419.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)03-0066-05

Effect on pavement base reinforced with geogrid

YUAN Pu, ZHOU Rui-bo

(CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: Due to high temperature, rainfall and large wheel pressure load, damages occur in port roads of south China area. The bearing capacity of pavement base determines the performance of pavement in port. Considering the deep soft properties of soil, the pavement base reinforced with geogrid is simulated with finite element method. The result shows that the results of the pavement base reinforced with geogrid simulated by finite element method correspond with the results of field section; There is an inverse relationship between the deflection and the ultimate load. The smaller the deflection, the larger the ultimate load. It indicates that geogrid is capable of improving the bearing capacity of pavement base, and the effect is better when the grogrid is placed near the surface layer.

Keywords: port; road; stability; the ultimate bearing capacity; base; geo-grid; FEM

当前, 港口工程流动机械荷载轮压已经极大超出现行的荷载范围, 造成港口道路、堆场出现沉陷、变形、开裂等多种路面结构病害^[1]。这些病害使得港口道路和堆场未能达到设计服务年限, 造成国家重大损失。

港区铺面结构从荷载方式、使用性能要求和结构损坏类型等方面与公路均有较大的差异, 因此港区铺面结构设计和施工需要考虑这一点^[2]。国内港口道路、堆场路面结构病害的成因, 有轴重力过大、路面材料设计不合理^[3]、基层和地基

的沉降^[4]、雨水冲刷、温度等, 国内研究者对港口道路、堆场出现的路面结构病害的成因主要归结于地基工作区填料(基层)的强度和压实度不足产生的变形^[5]。

对于港口道路和堆场结构设计过程中所涉及到的机构损坏类型^[6]、相对应的力学模型等问题, 目前 ANSYS、ABAQUS 等通用大型有限元软件都可以解决。文献[7]利用 ANSYS 有限元程序, 选取半刚性基层沥青混凝土路面典型结构建立三维有限元模型, 通过分析在不同车速、不同坡度、不

收稿日期: 2014-12-18

作者简介: 袁谱 (1981—), 博士, 高级工程师, 从事道路工程及复合材料在土木工程中应用的研究。

同半径条件下的陡坡路面和弯道路段以及二者的组合路段的路面受力特点, 采用有限元模型计算陡坡路面、弯道路面及陡坡与弯道组合路面的力学响应 (包括最大弯沉、各结构层最大剪应力、最大拉应力、最大压应变等)。文献[8] 提供了采用蠕变和塑性指标的 ABAQUS 一般用途程序的标准柔性路面每层永久变形形成过程的 3D 仿真实例。李铁洪^[9] 利用通用有限元软件对水泥路面按层状弹性体系理论进行分析, 从力学角度揭示了这些因素对路面的作用机理。

通过调研广东省现役港口道路发现, 由于工程位于我国华南沿海地区, 高温多雨, 年降雨量大, 软土区域大, 港区道路中行走的流动荷载轮压很大, 容易出现基层的强度和压实度不足导致路面结构损害, 所以港区道路基层强度承载力能力决定港区道路的使用性能和长期稳定性。在国内, 采用一种或者两种混合方法处理道路软基, 有换填土层法、排水固结法、强夯法、挤密法、化学加固法、复合地基法等^[10], 还有由 2 种或 2 种以上处理方法复合而成的处理方案, 如粉喷桩联合土工^[11]。上述处理软土地基方法可以间接地提高道路基层的强度, 现尝试用一种便宜的材料——土工格栅直接提高港口基层强度。

针对广东珠海港口某试验段, 考虑港区深软土地基性质, 基于塑性理论, 运用有限元软件模拟分析土工格栅加固港区道路基层效果。

1 基本理论

1.1 摩尔库伦原理

在塑性理论中, 屈服极限定义为弹性变形限制和材料屈服。常采用 Mohr-Coulomb 模型和 Drucker-Prager 模型描述混凝土、粒料材料和其他摩擦材料的本构屈服方程。运用摩尔库伦破坏准则可以描述土体和粒料材料的抗剪切强度破坏, 也可以描述沥青面层由剪切应力引起塑性变性 (车辙)。摩尔库伦理论如图 1 所示, 摩尔库伦破坏准则为:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

(1)

式中: τ_f 为剪切力; c 为内聚力; ϕ 为摩擦角。

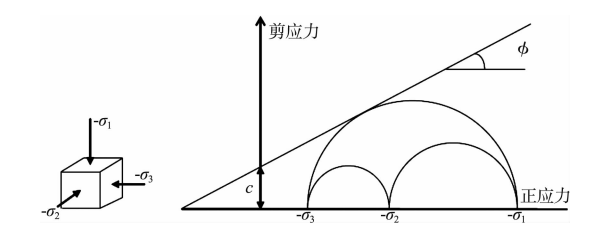


图 1 摩尔库伦应力圆

1.2 极限承载力

港区道路中行走的流动荷载轮压很大, 轮速比较慢, 基层承受着荷载的反复作用, 标准荷载反复叠加直至发生破坏。港区道路基层强度承载力能力决定港区道路的使用性能和长期稳定性, 可以用极限承载力计算反复荷载作用下土工格栅加固基层的长期效果, 极限承载力按式 (2) 计算:

$$q_{ult} = \frac{S_F}{S} \cdot P$$

(2)

式中: q_{ult} 为极限承载力; S 为逐步施加荷载的总次数; S_F 为失效发生时的步数; P 为施加荷载。

2 模型建立

2.1 结构参数

依托珠海高栏港区神华煤炭储运中心一期工程。道路铺面结构自上而下为沥青混凝土铺面 (面层)、水泥稳定碎石层 (基层)、级配碎石 (底基层)。道路铺面结构参数见表 1。土基为压实山皮土土基, 深度为 4 m。

表 1 道路铺面结构参数

道路铺面结构	材料组成	厚度/mm
沥青混凝土铺面	细粒式沥青混凝土 AC-13C	40
	中粒式沥青混凝土 AC-20C	60
	粗粒式沥青混凝土 AC-25C	80
基层	水泥稳定碎石	360
底基层	级配碎石	200

2.2 材料参数

港区道路与城市道路不同之处, 除了荷载不同之外, 还需考虑地基沉降不同。考虑到港区地基的特性, 采用摩尔-库伦理论, 开展对沥青混凝

土、级配碎石和土基的固结排水三轴试验，获得相关参数。

级配碎石采用固结排水试验（图 2），并且按最大干密度控制，干密度为 2.24 g/cm³，按照图 3~4 计算三轴试验结果（凝聚力 and 摩擦角），同时按照规范^[1,12]得到级配碎石的材料抗压模量和泊松比，最终获得级配碎石材料参数（表 2）。港区土基是 4 m 的压实山皮土，通过承载板试验测定土基回弹模量，再根据密度和天然含水量查得土的摩尔-库伦参数^[13]；考虑港区软土地基，采用深度 10 m 的粉质黏土土样，利用固结不排水三轴试验，计算试验结果，再根据密度、天然含水量、孔隙比、塑限查得土的回弹模量^[13]和泊松比^[1]，最后获得港区土基材料参数（表 3）。由于水泥稳定碎石层的水泥掺量为 6%，可近似认为基层为弹性，按照规范^[1,12]得到水泥稳定碎石层的抗压模量和泊松比（表 4）。沥青面层材料性质见表 5，加固港区道路基层的土工格栅采用玻璃纤维格栅（表 6）。



图 2 级配碎石的三轴试验

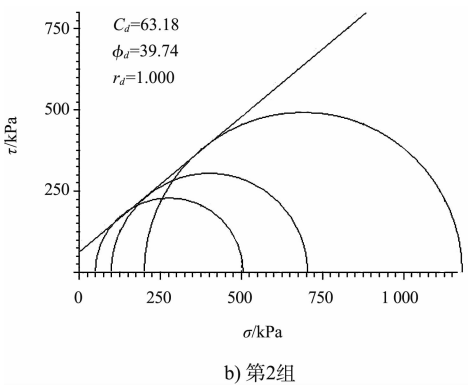
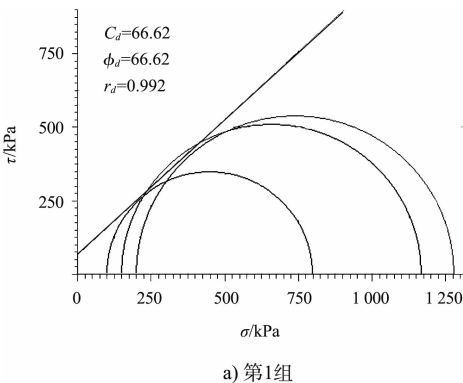


图 3 级配碎石固结排水三轴试验

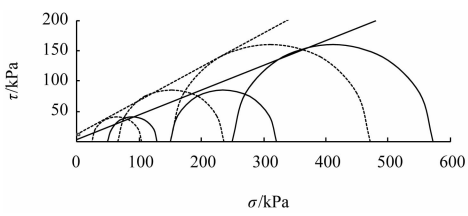


图 4 港区土的固结不排水三轴试验

表 2 级配碎石材料参数

凝聚力/kPa	摩擦角/(°)	抗压模量/MPa	泊松比
64.9	41.15	150	0.35

表 3 土材料参数

深度/m	凝聚力/kPa	摩擦角/(°)	回弹模量/MPa	泊松比
1~4(压实山皮土土基)	15.0	21.0	120.7	0.35
4~10(软土)	10.6	29.3	32.0	0.35

表 4 水泥稳定碎石材料参数

抗压模量/MPa	泊松比
392.2	0.2

表 5 沥青混凝土材料参数

粘聚力/kPa	摩擦角/(°)	弹性模量/MPa	泊松比
209	36	1 200	0.35

表 6 土工格栅材料参数

类型	拉伸强度/kN	长度/mm	宽度/mm	面积/mm ²	EA/(N·mm ⁻¹)
玻璃纤维格栅	29.3	3.8	5.6	21.28	12.7

2.3 荷载和边界条件

设计标准荷载采用 P₁ 级，根据港区荷载分级

特点, 将 P_1 级荷载作形式上的变化, 其代表轮载为 50 kN, 接地面积为 715 cm², 单轮轮迹当量直径为 21.3 cm^[1], 计算获得单轮荷载为 0.7 MPa。

有限元模拟采用平面应变, 几何结构模型为轴对称, 轴对称边界条件是模型右边为固定支撑 (x 和 y 方向约束)、左边为对称边界 (y 方向约束)。根据模型尺寸、材料参数和边界条件, 建立数值模型 (图 5)。沥青层和集料基层单位类型采用 15 节点面单位, 玻璃纤维格栅单元类型采用 5 节点线单位, 进行网格划分, 并在荷载施加的区域加密, 划分收敛。土工格栅加强港区道路基层竖向变形见图 6、剪切应力云图见图 7。

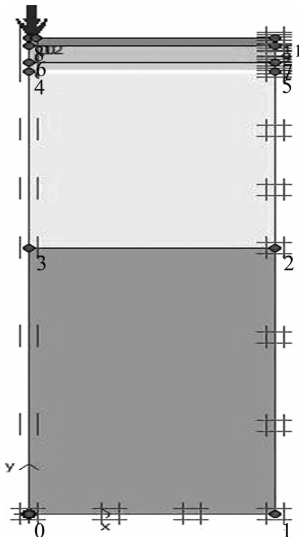


图 5 土工格栅加强港区道路基层模型建立

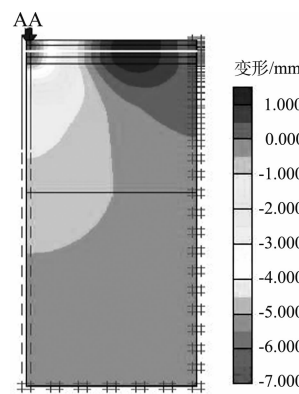


图 6 土工格栅加强港区道路基层竖向变形

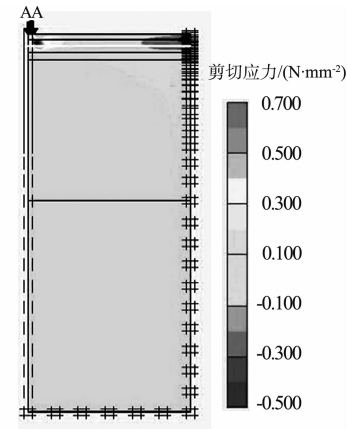


图 7 土工格栅加强港区道路基层剪切应力云图

3 有限元结果与试验段模拟对比

分 3 种状况进行土工格栅加固港区基层结构试验段试验 (图 8): 1) 未放置土工格栅; 2) 土工格栅放置在土基与级配碎石层之间; 3) 土工格栅放置在级配碎石与水泥稳定碎石层之间。为了评估土工格栅加固道路结构的效果, 选取承载能力为评估标准, 弯沉值或 CBR (加州承载比) 是常用的指标。通过现场试验, 采用贝克曼梁测试弯沉值 (表 7), 放置土工格栅比未放置土工格栅基层的弯沉值小, 土工格栅对港区基层起到了加固效果; 放置的位置不同, 加固效果也相应不同, 土工格栅放置位置越往上, 弯沉值越小, 加固效果越明显。

考虑软土地基的沉降对土工格栅的加固效果, 从强度理论角度, 基于摩尔-库伦理论, 建立土工格栅加固港区基层结构的数值模型。为了验证数值模型的可靠性, 对依托工程 3 种工况进行了模拟, 模拟荷载反复作用下结构发生破坏的最终状态 (图 9)。并用极限荷载表明土工格栅加固港区基层结构的承载能力, 获取极限荷载 (表 7)。放置土工格栅比未放置土工格栅基层的极限荷载大, 土工格栅对港区基层起到了加固效果; 放置的位置不同, 加固效果也相应不同, 土工格栅放置位置越往上, 极限荷载越大, 加固效果越明显。

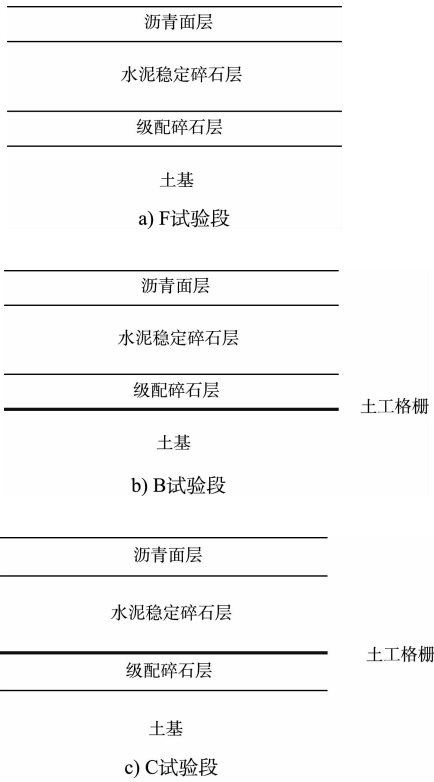


图 8 各试验段道路结构

表 7 土工格栅加固港区基层弯沉值及极限破坏

现场工况	弯沉值/0.01 mm	极限荷载/MPa
未放置土工格栅	25	2.0
土工格栅放置土基	16	2.2
土工格栅放置级配碎石层	10	2.3

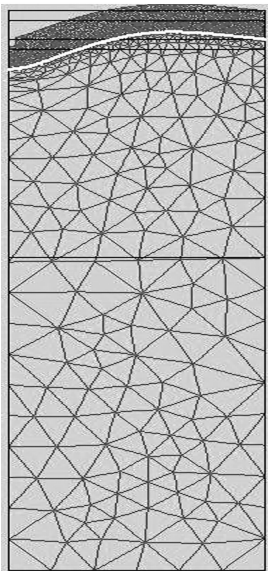


图 9 土工格栅加固港区基层发生极限破坏

推理可知，弯沉与极限荷载成反比关系。弯沉值小，极限荷载大，表明土工格栅加固港区基

层结构承载能力高。分析表 7，可以看出采用有限元方法模拟土工格栅加固港区基层结果与试验段结果相对应，可以表明建立土工格栅加固港区基层的数值模型的可靠性。

4 结论

- 1) 采用有限元方法模拟土工格栅加固港区基层结果与试验段结果相对应。
- 2) 弯沉与极限荷载成反比关系，弯沉值小，极限荷载大，表明土工格栅能提高港区基层结构承能力。土工格栅放置位置接近面层，加固效果越好。

参考文献：

[1] JTJ 296—1996 港口道路、堆场设计与施工规范[S].

[2] 谈至明, 赵燕. 港区道路堆场水泥混凝土铺面结构设计方法[J]. 土木工程学报, 1998(8): 65-73.

[3] 陈依伟, 王应德, 杨聘. 港口道路堆场基层水泥稳定砂的设计与施工[J]. 建筑施工, 2005(6): 2-28.

[4] 蒋文力, 林春伟, 黄文中, 等. 含水量对路堤工后沉降影响分析[J]. 重庆交通学院报, 2006(3): 74-80.

[5] 汪日灯, 袁静波. 重型荷载下港口道路和堆场的地基工作区及压实深度研究[J]. 水运工程, 2009(7): 165-168.

[6] 张建新. 港口堆场设计与研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2003.

[7] 曹阳. 陡坡急弯路段沥青路面力学相应及其设计方法的研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2010.

[8] 王海君, 李静. 道路车辙的有限元分析[J]. 中外公路, 2003(6): 59-62.

[9] 李铁洪. 水泥路面使用寿命的影响因素及有限元分析[J]. 公路工程, 2009(5): 91-97.

[10] 潘瑞春, 黄瑞章, 周新年, 等. 道路工程软土地基处理方案选择研究进展[J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2012(12): 23-25.

[11] 杨庆刚, 黄晓明. 分级加载条件下粉喷桩联合土工格栅加固软基的数值模拟[J]. 公路交通科技, 2008(5): 34-39.

[12] JTJ 059—1995 公路路基路面现场测试规程[S].

[13] 常士骝, 张书民. 工程地质手册[M]. 北京: 中国建筑工程出版社, 2010: 160.

(本文编辑 武亚庆)