

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2008.05.028

台阶式土工格栅加筋土挡墙结构优化设计

周春儿^{1,2},何光春³,龙丽吉³

(1.河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098;2.广东省航运工程设计院,广东 广州 510567;
3.重庆交通大学西南水运工程科学研究所,重庆 400074)

摘要:为了研究不同条件下土工格栅加筋土挡墙的性能,通过模型试验和现场试验,主要考虑了 2 种土工格栅类型和 3 种土工格栅间距,根据实际工程不同的计算工况,建立三维模型,运用有限元理论和方法进行数值模拟计算分析.比较数值计算和模型试验,分析了土工格栅网孔和间距对加筋土挡墙的变形、地基应力分布情况的影响,提出在实际工程中,台阶式土工格栅加筋土挡墙结构优化设计要综合考虑各种因素,合理选择土工格栅和加筋层间距,以获得较高的加筋效果和工程经济效益.

关键词:台阶式土工格栅加筋土挡墙 三维数值分析 优化设计

中图分类号: TU476⁺.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2008)05-0713-05

在山区修建公路和铁路,尤其是在水文地质条件较差的崇山峻岭中修建高速公路,常常会碰到深切高填形成路基的情况.为了保护沿线生态环境、节约工程造价、减少施工难度,需要进行细致的方案比选,最常采用的是高路堤方案.然而,采用传统的高填方路堤,不仅占地较多、需要大量的填方,而且对工程处的生态环境带来很大影响.采用加筋陡坡技术来建造高路堤,可以克服传统高路堤占地多、填方大、造价高、工期长、对生态环境破坏严重等问题,同时能满足各种荷载要求,可就地利用高切坡的弃方,大大节省工程施工时间并降低工程造价^[1-3].

土工格栅加筋挡土墙依靠格栅特有的网孔构造对土的咬合与约束作用使加筋体的稳定性大大提高.该技术施工简单、经济效益明显,在岩土工程中得到了广泛的应用^[4-5].多级直立式(即台阶式)加筋土挡墙形成的加筋陡坡由于具有墙体应力分布均匀、变形容易控制、便于绿化和对生态环境影响小等优点,近年来得到工程界的广泛青睐,但文献^[6]规定仅限于单级或两阶直立式加筋土挡墙.台阶式土工格栅加筋土挡墙结构的设计计算,目前仍沿用文献^[6]的计算方法,一是偏于保守,二是与工程实际情况及实测数据相差很大,三是对土工格栅网孔尺寸的影响等根本未涉及^[7-8].因此,考虑不同的土工格栅网孔尺寸构造,开展台阶式土工格栅加筋土挡墙力学机理和结构特性的分析和研究,以使得加筋土挡墙设计更加经济、合理并符合实际,具有重要的工程实用价值.

本文结合广东河龙高速公路加筋陡坡技术的应用和环境保护研究课题,根据现场试验和一组室内大比尺模型试验结果^[1-2],建立有限元三维模型,对 3 级台阶式土工格栅加筋土挡墙的结构特性进行了分析,研究不同条件下土工格栅加筋土挡墙的性能,以优化台阶式土工格栅加筋土挡墙的结构设计.

1 试验方案

1.1 模型槽

由于加筋土挡墙加筋材料和填料模型试验相当复杂,本次研究采用大比尺模型试验.设计建造的半地下式模型槽长 8.0 m,宽 3.0 m,高 4.5 m,钢筋混凝土结构,地下深度 1.5 m.

1.2 土工格栅材料和加筋填料

采用防老化高强塑料土工格栅,格栅纵向极限强度 $T_u = 120 \text{ kN/m}$,破断伸长率 $\delta \leq 8\%$,横向强度不低于 40 kN/m .模型试验采用土工格栅的肋条宽度 20 mm,其中 A 型土工格栅网孔尺寸 $300 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$,幅宽 2.99 m.

收稿日期:2008-05-18
基金项目:广东省交通厅科技项目(2003-18)
作者简介:周春儿(1962—),男,江西进贤人,教授级高级工程师,博士研究生,主要从事路桥、港航工程基础处理和研究.

型土工格栅网孔尺寸 300 mm×200 mm,幅宽 2.88 m,见图 1^[1-2].

1.3 模型试验方案

模型试验在前述半地下室模型槽中进行,为室内足尺试验,见图 2.模型与现场原型试验匹配,按照实施过程修建模型,每填筑 1 层测试 1 次加筋体内各测点的数据.在模型修筑完毕稳定 1~5 d 后,在墙顶用麻袋装土分 2 次加载,第 1 次堆载 6 kPa,稳定 24 h 以上后再堆载 6 kPa.模型试验根据土工格栅孔径大小分为方案 A(A 型土工格栅)和方案 B(B 型土工格栅).2 个方案有相同的测点布置方式,2 组试验测试断面分为 L 和 R 2 个,分别距模型槽左右侧壁 1.02 m.

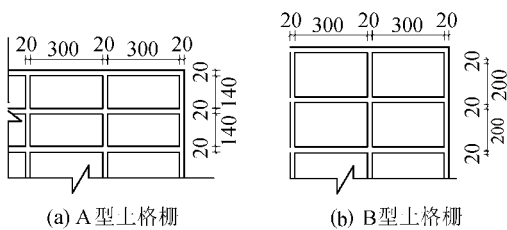


图 1 土工格栅网孔方案(单位:mm)
Fig.1 Geogrid mesh types(unit:mm)

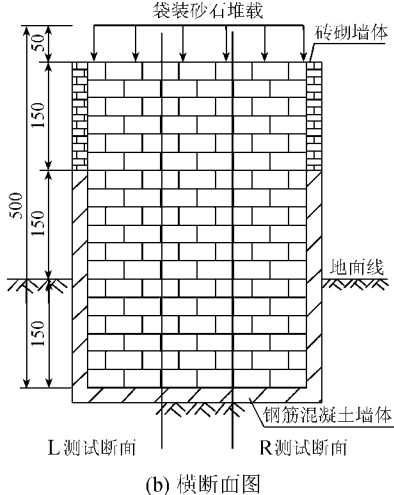
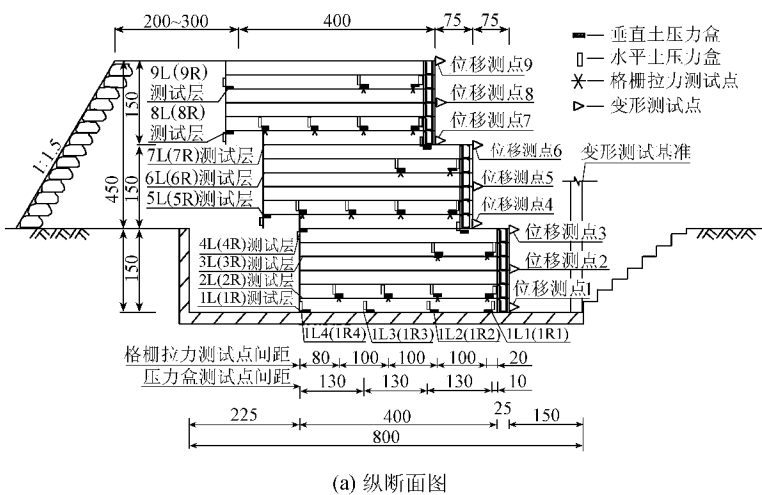


图 2 模型设计及测点布置(单位:mm)
Fig.2 Model design and measuring point layout(unit:mm)

2 有限元模型的建立

混凝土面板采用传统的分析方法,将面板看成中间实心的固体单元,上下层面板可看作两者之间是黏结.采用壳单元模拟土工格栅加筋体.土体的本构模型采用 Mohr-Coulomb 模型.台阶式土工格栅加筋土挡墙三维实体有限元模型见图 3,加筋土挡墙有关计算参数见表 1.

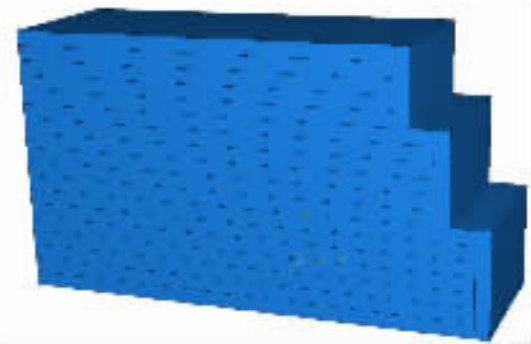


图 3 三维有限元模型

Fig.3 3-D finite element model

3 数值计算与试验分析

确定布筋方式和选择适当加筋材料,即确定土工格栅层间距和土工格栅网孔是加筋土挡墙设计方案中的重要内容^[3,9-10].为了研究加筋层间距对加筋土挡墙的变形和地基应力的影响,分别对土工格栅层间距为 15 cm,25 cm,50 cm 和 2 种土工格栅网孔的加筋土挡墙进行了模拟计算和分析.三维计算模型见图 3.在计算分析中考虑了加筋层间距、格栅网孔的影响因素.通过对比分析,找到各个影响因素对加筋土挡墙的影响规

表 1 加筋土挡墙有关计算参数

Table 1 Computational parameters for reinforced earth-retaining wall

项 目	密度 $\rho/$ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	弹性模量 E_e/MPa	泊松比 μ	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$
土工格栅	1 800	620	0.20		
加筋体填料	2 100	22	0.23	15	28.0
钢筋混凝土面板	2 400	8 150	0.22		
加筋体后填料	1 900	22	0.25	10.0	28.0
地基土	2 100	22	0.25	14.5	28.0

为了研究不同条件下土工格栅加筋土挡墙的性能,主要考虑 2 种网孔土工格栅(A 型、B 型),以及 3 种土工格栅层间距(15 cm,25 cm,50 cm).根据不同的组合计算工况,综合分析加筋土挡墙的变形、地基应力分布情况.

律,以使材料充分利用,使工程设计更加合理.

3.1 变形分析

图 4 和图 5 分别为加筋土挡墙在自重与加载 12 kPa 作用下计算获得的水平位移和竖向位移,图 6(a)和图 6(b)分别为模型试验墙的实测变形和数模计算得到的变形.从图 6 可以看出,两者变形特征类似,与现场试验测得的墙面变形基本相同.比较模型试验和有限元计算结果发现,计算得到的墙面变形趋势基本与模型

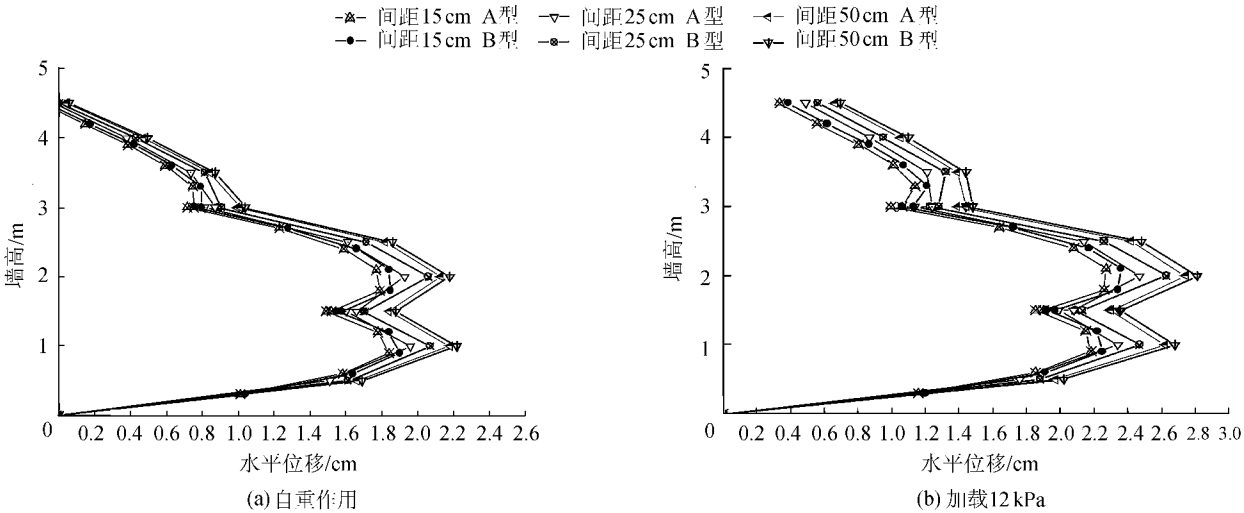


图 4 加筋土挡墙水平位移

Fig.4 Horizontal displacement of reinforced earth-retaining wall

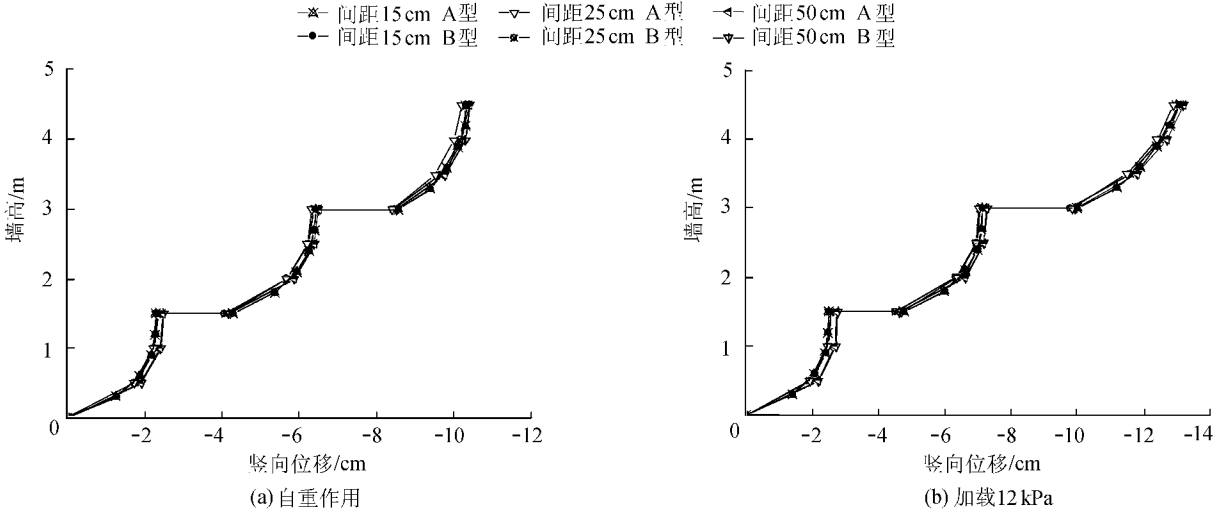


图 5 加筋土挡墙竖向位移

Fig.5 Vertical displacement of reinforced earth-retaining wall

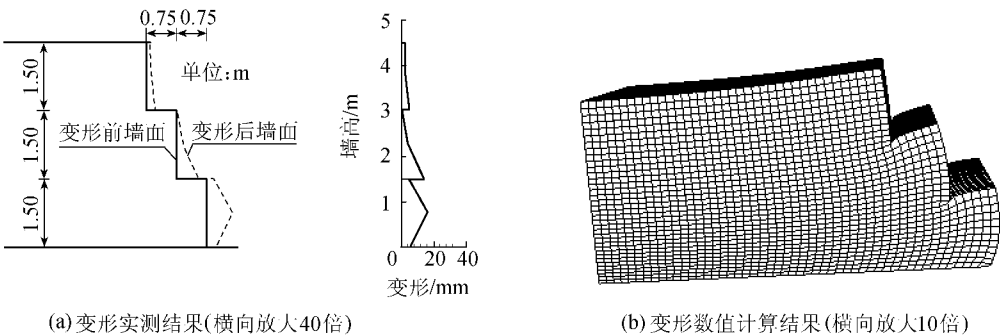


图 6 模型加筋试验墙变形

Fig.6 Deformation of reinforced earth-retaining model wall

试验实测数据一致.

可以看出,数模计算的第 1 阶加筋土挡墙呈现外倾变形,第 2 阶和第 3 阶则为内倾变形,第 2 阶墙顶处水平位移最大,总体上呈现‘鼓肚’的变形特征.竖向沉降分布不均匀,最大竖向位移出现在顶部.与模型墙变形图相比,加筋土挡墙的变形趋势完全相同,墙面位移数模计算值比模型试验实测值有些偏大.

从图中还可看出,随着土工格栅层间距的增大,加筋土挡墙的水平位移随之增大,沉降量也越大.这是由于土工格栅层间距的增大,加筋对填土的锚固作用减弱,使得对土体的侧向约束作用减小.加筋层间距从 15 cm 到 50 cm,面板的‘鼓肚’现象渐趋明显,最大水平位移增大了 1.5 倍,在相同位置的沉降量也有所增大.但是土工格栅层间距从 15 cm 到 25 cm,位移只是略有增大.通过以上分析可知,土工格栅层间距不是越小越好,间距太小,易造成‘超筋土’,浪费材料,增加费用,且加大了施工难度.在模型试验中采用的 25 cm 土工格栅层间距是比较经济、合理的,与工程实际中采用的层间距一致.

土工格栅具有很高的刚度和协调变形能力,可以很好地限制土体的侧向变形,同时绷紧的筋带也能降低土体的沉降量,从而使得路堤有较好的稳定性.

从图 4 和图 5 可以看出,A 型和 B 型土工格栅加筋土挡墙的位移趋势一致,但不同的土工格栅网孔对位移有一定的影响.B 型的位移比 A 型大,据此可以推断 相同层间距的土工格栅,其网孔尺寸对加筋土挡墙变形有一定影响,随着土工格栅网孔的增大,加筋土挡墙的变形也有一定的增大.

3.2 地基应力分析

图 7 和图 8 分别为加筋土挡墙在自重与加载 12 kPa 作用下的侧向和竖向地基应力分布.表 2 给出了 2 种土工格栅在不同加筋层间距情况下的侧向和竖向地基应力计算结果.

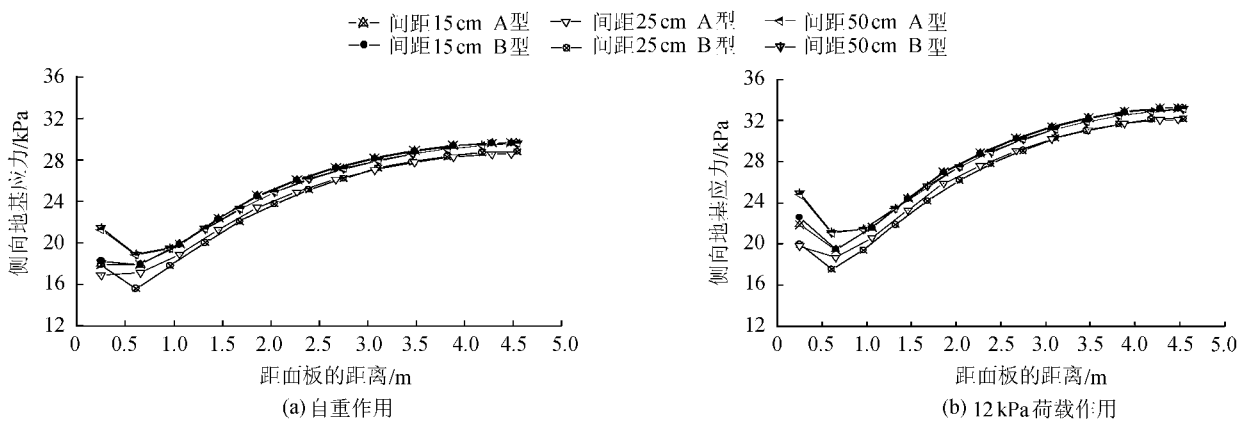


图 7 侧向地基应力分布

Fig.7 Horizontal subgrade stress of reinforced earth-retaining wall

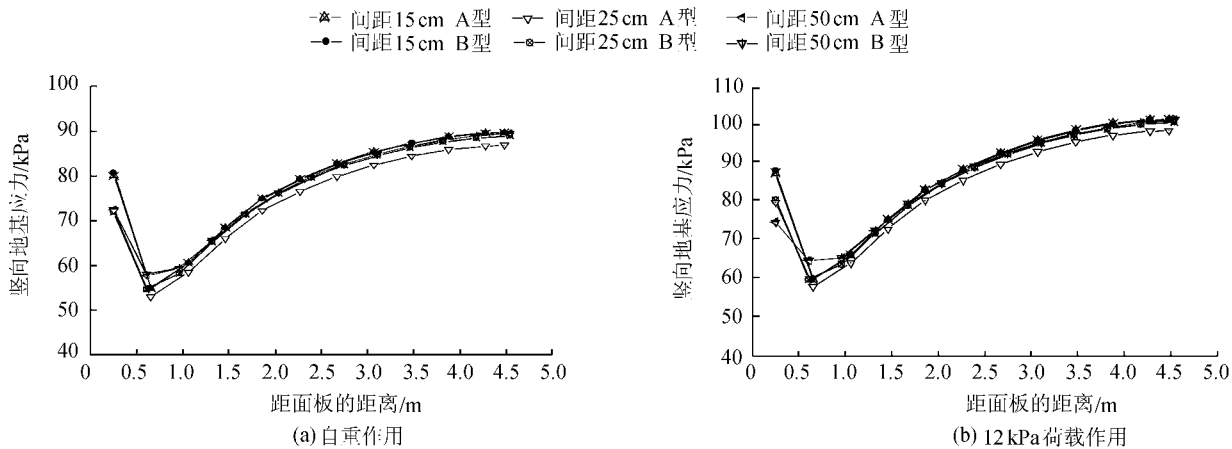


图 8 竖向地基应力分布

Fig.8 Vertical subgrade stress of reinforced earth-retaining wall

从图 7 可以看出,侧向地基应力沿筋带纵向呈‘V’形分布,在面板后侧比较大,随着向加筋体内部延伸,侧向地基应力首先减小到最小值,然后变大.

比较不同的土工格栅层间距加筋挡墙的地基应力可知,土工格栅层间距对加筋土挡墙的地基应力有明显的影响.土工格栅层间距从 15 cm 到 50 cm 时,侧向地基应力先减小到最小值,然后变大.竖向地基应力的变化趋势与侧向地基应力大致相同.在模型试验中采用的 25 cm 土工格栅层间距是比较经济、合理的.

从图 7,8 和表 2 还可以发现,土工格栅网孔尺寸对加筋土挡墙地基应力影响不大,A 型和 B 型土工格栅加筋土挡墙的地基应力在趋势和数值上都比较接近.上述分析与现场原型试验结果分析基本一致^[1-2].

4 结 论

- a. 有限元模拟计算得到的加筋土挡墙变形与模型试验值相吻合,验证了有限元分析的合理性和有效性.运用数值模拟的方法分析加筋土挡墙变形以及应力应变分布的方法是比较可行和有效的手段.
- b. 对不同土工格栅层间距的台阶式加筋土挡墙进行的有限元分析表明:随着土工格栅层间距的增大,加筋土挡墙的水平位移随之增大,沉降量也越大.地基应力先减小到最小值,然后变大.
- c. 对不同网孔尺寸土工格栅的台阶式加筋土挡墙进行的有限元分析表明:土工格栅网孔对加筋土挡墙变形有一定的影响,土工格栅网孔越大,加筋土挡墙的变形也越大;但土工格栅网孔对加筋土挡墙地基应力的影响不大.
- d. 土工格栅加筋层间距不是越小越好,加筋层间距太小,易造成“超筋土”.在实际工程中,要综合各种因素考虑,合理选择土工格栅和加筋层间距,以获得较高的加筋效果和工程经济效益.

参考文献:

[1] 广东省路桥建设有限公司,重庆交通学院.山区公路高填方加筋陡坡应用技术研究[R].重庆:重庆交通学院,2006.
[2] 莫介臻,何光春,汪承志,等.台阶式格栅加筋挡墙现场试验及数值分析[J].土木工程学报,2008,41(5):52-58.
[3] 汪承志.加筋陡坡有限元分析及试验研究[D].重庆:重庆交通学院,2005.
[4] 何光春.加筋土结构与施工[M].北京:人民交通出版社,2000.
[5] 《土工合成材料工程应用手册》编写委员会.土工合成材料工程应用手册[K].北京:中国建筑工业出版社,2000.
[6] JTJ015—91,公路加筋土工程设计规程[S].
[7] 莫介臻,周世良,何光春,等.加筋土挡墙潜在破裂面模型试验研究[J].铁道学报,2007,29(6):69-73.
[8] 孙钧,迟景魁,曹正康,等.新型土工材料与工程整治[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.
[9] HE Guang-chun,WANG Cheng-zhi,HUANG Yi-qiong.Elastic-plasticity FEM analysis of soil-reinforcement composite material through model test on stepped reinforced soil retaining wall[C]//4th Asian Joint Symposium on Geotechnical and Geo-Environmental Engineering. Dalian:Dalian University, 2006.
[10] 肖文,赖思静,杨建国,等.土工格栅加筋陡坡路堤的有限元分析[J].公路交通技术,2006,10(5):29-34.

Optimization design of stepped geogrid-reinforced soil retaining wall

ZHOU Chun-er^{1,2}, HE Guang-chun³, LONG Li-jia³

- (1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;
- 2. Guangdong Navigation Engineering Plan Institute, Guangzhou 510567, China ;
- 3. South-west Water Transport Engineering Institute, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract : In order to investigate the behavior of a geogrid-reinforced soil retaining wall in different conditions, a model test and field test considering two types of geogrid and three geogrid spacings were conducted. At the same time, according to different calculated conditions, three-dimensional finite element models were established. The numerical results were compared with the test data, and the influences of geogrid mesh and spacing on the deformation and foundation stress distribution were analyzed. The results show that the optimal design of a stepped geogrid-reinforced soil retaining wall should comprehensively consider various factors and reasonably select geogrid mesh and spacing for better reinforcement effect and economic benefits.

Key words : stepped geogrid-reinforced soil retaining wall ; three-dimensional numerical analysis ; optimal design