

基于 FLAC^{3D}的土工格栅加筋土挡墙数值分析

杨 波¹, 凌天清¹, 张 强², 段 平¹

(1. 重庆交通大学土木工程学院, 重庆 400074; 2. 河海大学土木与交通学院, 江苏 南京 210098)

摘要 运用有限差分软件 FLAC^{3D}对一段土工格栅加筋土挡墙进行了分层加载过程的数值模拟和分析, 得到了该加筋土挡墙面板的水平位移、土工格栅的轴向拉应力、墙背填土土压力的分布规律以及模型挡土墙的安全系数, 并对计算结果进行了讨论和分析。分析结果表明: 该挡墙模型在自重作用下的工作性态分布规律符合实际理论, 该挡墙模型具有足够的安全储备, 但其潜在的破裂面和规范里采用的“0.3H 简化法”有一定的差别。

关键词 土工格栅; 加筋土挡墙; 数值分析; FLAC^{3D}

中图分类号: TU476+.4 文献标志码: A 文章编号: 1006-7647(2012)S1-0011-04

加筋土挡墙的破坏模式分为稳定性破坏、倾覆破坏及筋材破坏等 3 种常见的形式。传统的分析方法建立在加筋土体极限平衡理论的基础之上, 假设破裂面、筋材从土中拔出或拔断来分析破坏时的承载力, 但是这种理论无法描述加筋土挡墙的变形机理^[1]。本文通过 FLAC^{3D}模拟了加筋土挡墙分层加载的施工过程, 分析了分层加载过程中填土和筋材的应力应变规律, 并用该软件求解了加筋土挡墙模型的安全系数。

1 FLAC^{3D}模型建立

1.1 几何模型的建立

选取一段沉降缝内的土工格栅加筋土挡墙来进行分析, 挡墙长度 15 m, 高度 6 m, 埋深 1 m, 断面长度 27 m, 如图 1 所示。通过 zone 单元建立地基、面板和墙后填土的网格模型, 挡墙面板为整体浇注的混凝土板, 土工格栅则采用 FLAC^{3D}自有的土工格栅结构单元^[2], 其与面板采用固结的形式, 在面板与土体接触的地方设置了接触面单元, 断面的 FLAC^{3D}三维模型见图 2。土工格栅每层长度为 6 m, 层间距 0.5 m, 共铺设 12 层土工格栅, 最下一层土工格栅 ID 号为 1, 自下而上, 依次编号。地基分两层, group1 为 2 m 厚的砂岩岩石层, group2 为经过处理的 3 m 厚黏土, 挡墙背后填土采用砂砾石, 编组为 group3。在模拟时先让 group1、group2 在自重作用下达到稳定, 施加

初始应力, 然后将位移和速度清零, 再分层填土和铺土工格栅。坐标系如图 2 所示, 模型底部固定其沿 x 、 y 和 z 轴方向的速度, $x = 0$ 和 $x = 27$ 前后两个面固定其 x 轴方向的速度, $y = 0$ 和 $y = 15$ 两个侧面固定其 y 方向的速度。

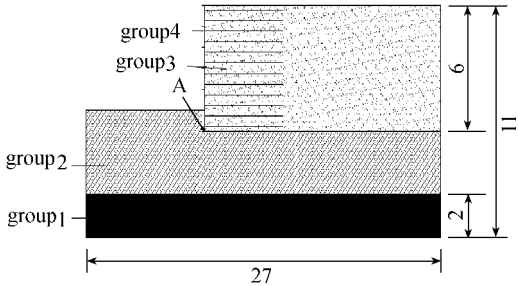


图 1 几何模型立面示意图(单位: m)

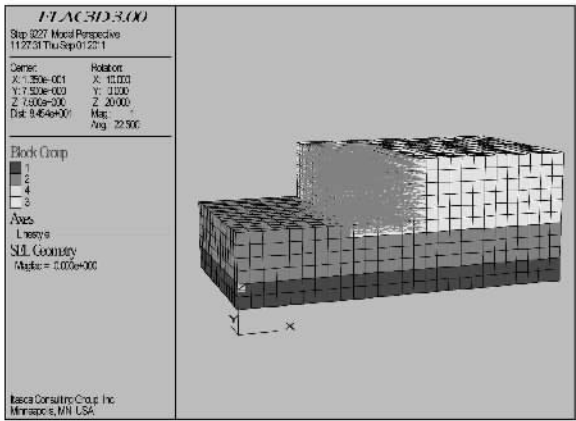


图 2 FLAC^{3D}三维模型

作者简介: 杨波(1985—),男,四川达州人,硕士研究生,主要从事加筋土挡墙抗震性能数值分析研究。E-mail: yb850827168@126.com

1.2 材料的本构模型及参数选取

group 1 ,group 2 和 group 3 均采用 Mohr-Coulomb 模型 ,混凝土面板 group 4 采用弹性模型 ,根据有关文献资料^[1,3-4]列出的岩土体参数的取值范围 ,进行了模型的参数取值。土体和面板要求的计算参数见表 1。软件自有的土工格栅结构单元 geogrid 只能抗拉 ,不能抗弯和抗压 ,能与 FLAC^{3D} 网格发生直接剪切摩擦作用 ,其本构模型和原理特点可参考有关文献^[2,5] ,土工格栅结构单元共有 9 个物理参数 ,取值见表 2。接触面内摩擦角 10° ,法向和切向刚度均取为 10 MPa。

表 1 土体和面板参数

组别	密度/ (kg·m ⁻³)	体积模量/ MPa	剪切模量/ MPa	黏聚力/ kPa	抗拉强度/ MPa	内摩擦 角/(°)
group 1	2 300	3 000.0	2 000.0	7 000	1	40
group 2	2 000	30.0	10.0	5	0	30
group 3	1 900	6.5	3.0	5	0	35
group 4	2 100	15 200.0	12 800.0	20 000	1	35

表 2 土工格栅结构单元参数

参数	取值	参数含义
density	1 000 kg/m ³	可选项 ,用于动力分析
isotropic	26 GPa 0.33	弹性模量 泊松比
thexp		可选项 ,用于热力学分析
thickness	5 mm	土工格栅厚度
cs_scoh	2 kPa	耦合弹簧内聚力
cs_sfic	30°	耦合弹簧的摩擦角
cs_sk	2.5 MPa	耦合弹簧单位面积上刚度
slide		大变形滑动标志
slide_tol		大变形滑动容差

2 数值计算结果分析

在进行数值分析之前 ,先按照 JTJ 015—91《公路加筋土工程设计规范》^[6]对该模型进行了稳定性计算和内力分析 ,其抗拔稳定性和外部稳定性都满足规范要求。

2.1 分层填筑过程的影响

分层填筑施工对加筋土挡墙面板的变形以及土体和土工格栅的应力、应变会产生很大的影响 ,所以本文模拟了填土的分层加载过程 ,填土在自重作用下达到稳定。

表 3 显示的是在分层加载工程中 ,面板底部点 A(x = 9 ,y = 0 ,z = 8)的竖向土压力和侧向土压力同理论值的对比变化情况 ,计算结果还是比较符合朗肯静止土压力的经验公式 $p_z = \gamma z$ 和 $p_o = K_o \gamma z$ ($K_o = 1 - \sin \varphi$)。表 4 分别显示的是在分层加载过程中模型单元最大水平位移和最大竖向位移以及最大矢量位移的变化值。由表 4 数据可知 ,填土主要是发生

竖向沉降 ,水平位移相对而言要小很多。表 5 显示的是在分层加载工程中 ID 为 1 的土工格栅单元轴向拉应力以及筋土截面剪切应力的变化情况。但必须注意的是上述讨论的这些最值位移、最值应力的位置是随分层加载过程而发生变化的。

表 3 分层加载过程中点 A 土压力变化情况

填土 高度/m	实测值/kPa		理论值/kPa	
	竖向土压力	侧向土压力	竖向土压力	侧向土压力
1	21	10	19	9.5
2	42	20	38	19.0
3	63	32	57	28.5
4	85	39	76	38.0
5	114	51	95	47.5
6	132	64	114	57.0

表 4 分层加载过程中模型各向最大位移变化情况

填土 高度/m	最大水平 位移/mm	最大竖向 位移/mm	最大矢量 位移/mm
1	0.50	0.23	2.33
2	1.07	5.56	5.58
3	1.71	9.25	9.27
4	2.69	14.40	14.40
5	4.28	20.00	20.00
6	6.12	26.90	27.00

表 5 土工格栅轴向拉应力和筋土截面
剪切应力变化情况(ID 为 1)

填土 高度/m	土工格栅轴向拉应力/kPa		筋土截面剪切应力/kPa	
	最小值	最大值	最小值	最大值
1	0.07	52.7	10.6	0.195
2	6.94	203.0	67.3	0.613
3	10.60	385.0	96.3	1.210
4	14.00	553.0	60.3	1.820
5	15.70	701.0	10.8	2.450
6	21.00	842.0	77.3	3.090

2.2 面板和填土的变形特征

图 3 是分层加载过程完成后模型的水平位移场 ,模型中土体单元在自重作用下发生的最大水平位移为 - 6.13 mm。面板的水平位移在墙高 2 ~ 4 m 的范围内有“ 鼓肚 ”现象。墙后填土的水平位移在 1 ~ 6 mm 的范围内 ,相对竖向沉降而言比较小 ,这主要是受到了面板和土工格栅的约束作用 ,整个面板最大的水平位移约为墙高的 0.1% ,远小于美国 AASHTO 1.67% 的规定限制^[4]。图 4 是分层加载过程完成后模型的竖直位移场 ,其最大竖向位移为 - 2.70 cm。墙后土体单元竖向位移场呈层状分布 ,面板后部 2 m 的范围内由于土工格栅的约束 ,竖向位移相对较小。

2.3 土体的应力特征

图 5 和图 6 分别为分层加载过程完成后模型水

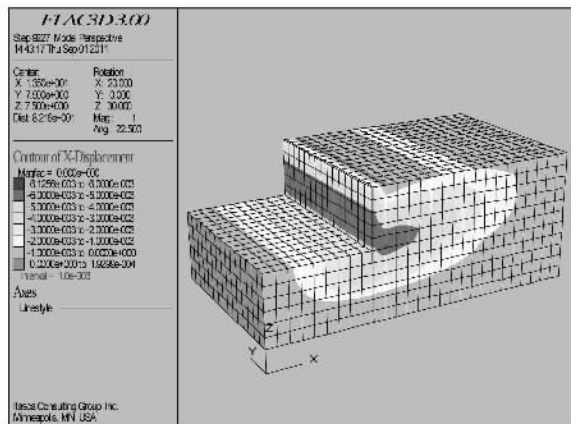


图3 水平位移云图

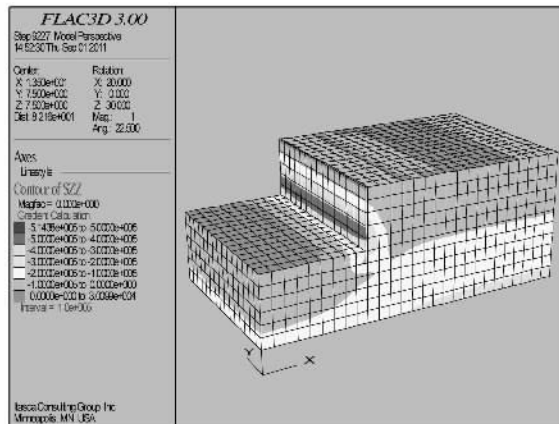


图6 竖向应力云图

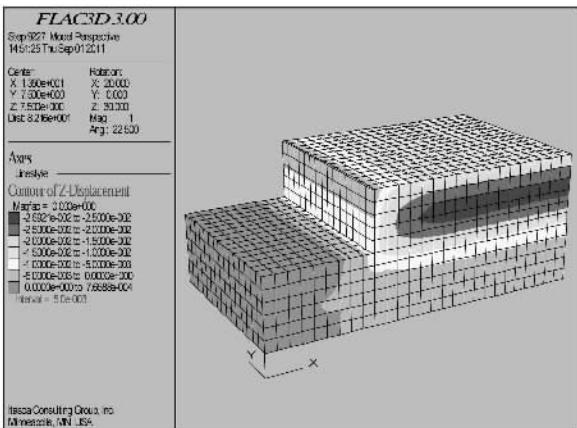


图4 竖向位移云图

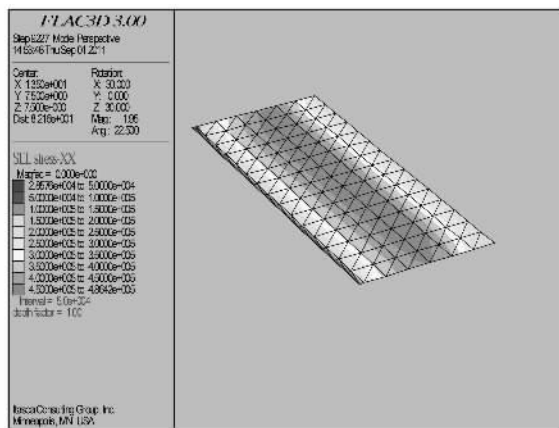


图7 土工格栅水平拉应力云图(ID为6)

平应力场和竖向应力场,计算结果表明 FLAC^{3D}计算出来的结果还是比较符合理论值的,见表3。

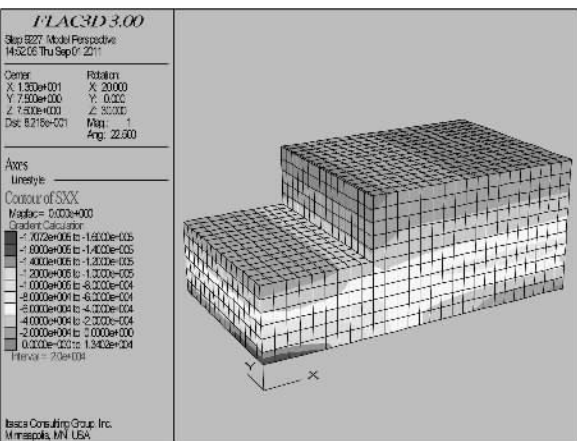


图5 水平应力云图

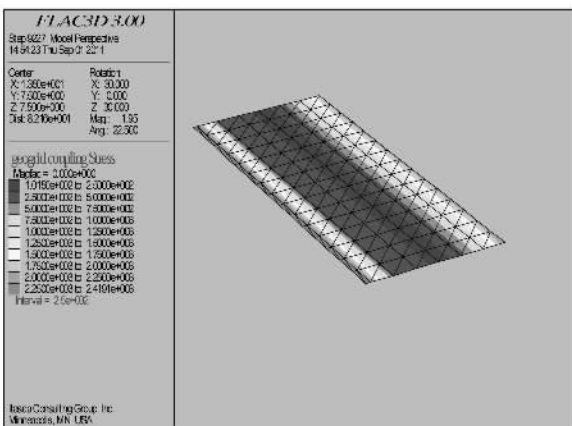


图8 筋土界面剪切应力云图(ID为6)

2.4 土工格栅的受力特征

图7和图8分别是分层加载过程完成后, ID为6的土工格栅的水平拉应力云图和筋土界面剪切应力云图。由图7和图8可知,土工格栅水平轴向拉应力分布呈现出“中间大,两头小”的特点,最大值经换算为2.43 kN/m,最小值为0.143 kN/m,而筋土界面剪切应力则为“中间小,两头大”最大值经换算为2.42 kPa,最小值为102 Pa。

2.5 模型的潜在破裂面

图9是用强度折减法求解的安全系数、剪切应变增量以及位移矢量场云图。一般的边坡稳定系数要求1.0~1.3^[7],由于土工格栅的加筋作用,由FLAC^{3D}计算出来的安全系数为5.87,说明该挡墙模型具有足够的安全储备。

在图9中的剪切应变增量云图里,看到加筋土挡墙墙后填土由于土工格栅的加筋作用,改变了塑性贯通区形成的路径,最后潜在的贯通区为图中圆弧区域,但是必须强调的是塑性贯通区的形成路径

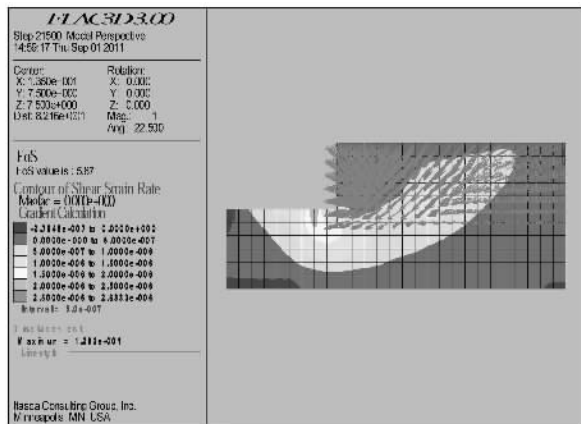


图9 安全系数、剪切应变增量及位移矢量场云图与填土和筋材的力学性能参数以及筋材的布置形式有关。其潜在破裂面和规范中的“0.3H 简化法”存在明显出入,这可能是因为“0.3H 简化法”和强度折减理论中塑性贯通区不是建立在同一个理论基础。前者是假设破裂面为筋材的最大拉应力连线,而后者是由剪应变率或剪应变增量来确定的,因此模型的潜在破裂面还有待商榷。

3 结 论

本文运用限差分软件 FLAC^{3D}模拟了加筋土挡墙分层施工的过程,得到了加筋土挡墙的面板位移、土工格栅每延米宽的拉力和墙背填土应力的分布规律以及安全系数,并对结果进行了讨论和分析。初步结论如下:

- a. FLAC^{3D}自带的土工格栅结构单元能够很好地模拟实际工程中土工格栅的受力和变形以及筋土界面之间的应力应变。
- b. 土工格栅的轴向拉应力呈现出“中间大、两端小”的现象,而筋土界面的剪切应力表现出“中间小、两端大”特点。
- c. 整个模型的安全系数为 5.87,具有足够的安

全储备,加筋土挡墙的塑性贯通区沿着筋材末端逐渐形成圆弧滑动面,和规范中“0.3H 简化法”有一定差别。

d. 计算结果表明加筋土挡墙面板水平位移有“鼓肚”现象存在,加筋土挡土墙墙体的水平位移形式与墙面板的结构形式、力学性能以及筋材的布置形式有待进一步的深入研究。

参考文献:

- [1] 杨果林,彭立,黄向京.加筋土结构分析理论与工程应用新技术[M].北京:中国铁道出版社,2007.
- [2] Itasca Consulting Group, Inc.. Fast language analysis of continua in 3 dimensions, version 3.0, user's manual[M]. [S.l.]: Itasca Consulting Group, Inc., 2005.
- [3] 彭文斌.FLAC^{3D}实用教程[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [4] 杨广庆.土工格栅加筋土结构理论及工程应用[M].北京:科学出版社,2010.
- [5] 陈育民,徐鼎平.FLAC/FLAC^{3D}基础与工程实例[M].北京:中国水利水电出版社,2008.
- [6] JTJ015—91 公路加筋土工程设计规范[S].
- [7] SL386—2007 水利水电工程边坡设计规范[S].
- [8] 刘波,韩彦辉.FLAC 原理实例与应用指南[M].北京:人民交通出版社,2005.
- [9] 栾茂田,李敬峰,肖成志.土工格栅加筋挡土墙工作性能的非线性有限元数值分析[J].岩石力学与工程学报,2005,24(14):30-35.
- [10] 刘华北, JING H. 土工格栅加筋土挡土墙设计参数的弹塑性有限元研究[J].岩土工程学报,2004,26(5):668-673.
- [11] 王祥,周顺华,顾湘生,等.路堤式加筋土挡墙的实验研究[J].土木工程学报,2005,38(10):119-124.
- [12] 闫澍旺, BARR B. 土工格栅与土相互作用的有限元分析[J].岩土工程学报,1997,19(6):56-60.
- [13] 何光春.加筋土工程设计与施工[M].北京:人民交通出版社,2000.

(收稿日期 2011-10-10 编辑 熊水斌)

· 简讯 ·

第 8 届全国泥沙基本理论研究学术讨论会在河海大学举行

由中国水利学会泥沙专业委员会主办,水文水资源与水利工程科学国家重点实验室、河海大学、南京水利科学研究院承办的第 8 届全国泥沙基本理论研究学术讨论会于 2011 年 11 月 24—26 日在河海大学召开。会议主题为“河口海岸与河流演变”,来自全国水利、水电、水土保持、港口航道、海洋等行业的 40 余家单位 300 多名泥沙科技工作者参加了本届大会。在大会主题报告会上,中国工程院韩其为院士作了“论挟沙能力多值性”的报告,中国科学院王光谦院士阐述了自然科学基金委员会“水资源利用的重大科学问题”立项依据及泥沙运动的动力学理论最新进展,胡春宏教授、李义天教授、潘存鸿教授、吴华林教授、陆永军教授、郑金海教授分别作了主题报告。会议还就河口海岸泥沙、泥沙输移规律、工程泥沙、模拟理论与试验技术、环境泥沙、资源泥沙、泥沙灾害与防护 5 个议题进行了 125 场学术报告交流。

(本刊编辑部供稿)