

柔性挡墙设计参数对土压力影响的数值分析

屈战辉^{1,2}, 谢永利¹, 杨晓华¹

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 西安公路研究院, 陕西 西安 710054)

摘 要:为了研究土工格室柔性挡墙设计参数对土压力的影响,应用有限元方法,根据工程实际建立了有限元模型。在考虑墙体与土体的力学、变形和接触等情况下,通过改变墙体的厚度、坡比、弹性模量、重度、粘聚力和内摩擦角等设计参数,对挡墙的土压力进行弹塑性分析。结果表明:不同的墙体参数变化对土压力及其分布的影响存在明显差异;墙体厚度、坡比和弹性模量等参数的变化对墙背土压力及分布的影响比较显著;粘聚力和内摩擦角在一定范围内变化时,对墙背土压力及分布有影响,超出范围不对土压力产生影响;墙体重度的变化对土压力影响很小。

关键词:道路工程;土工格室;柔性挡墙;参数变化;土压力;数值分析

中图分类号:U417.11

文献标志码:A

Influence of design parameters of flexible wall on earth pressure by numerical analysis

QU Zhan-hui^{1,2}, XIE Yong-li¹, YANG Xiao-hua¹

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. Xi'an Institute of Highway, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: In order to study the influence of design parameters of geocell flexible wall on earth pressure, the finite element model is developed by taking the case of wall with soil mechanics, deformation and contact information in consideration. The elastic-plastic analysis of earth pressure for the retaining wall is carried out by changing the wall design parameters of thickness, slope ratio, elastic modulus, severe, cohesion and internal friction angle, etc. The results show that: the different parameters of the wall have different influences on the earth pressure and its distribution; the change of the thickness, slope ratio and elastic modulus can significantly affect the earth pressure and its distribution; the cohesion and the internal friction angle can affect earth pressure and the distribution in a certain range, and the soil pressure do not change if the cohesion and the internal friction angle is out of the range; the change of wall volume weight has little influence on earth pressure. 1 tab, 9 figs, 9 refs.

Key words: road engineering; geocell; flexible wall; parameter change; earth pressure; numerical analysis

0 引 言

土工格室柔性挡墙是近几年发展的一种新型挡墙,它是由土工格室及其格室内填料组成复合体堆砌而成。作为柔性挡墙,由于耦合了墙体、加筋层、墙后填土和地基共 4 部分影响因素的相互作用,故其受力与变形性状复杂。目前,对柔性挡墙后土压力分布及工程性状的研究还很少,设计与施工工艺也不完善,制约了该种新型支挡构造物的工程应用。土压力是作用于挡墙上的主要荷载,是挡墙设计与稳定性分析的重要依据,而挡墙设计参数又影响着土压力的大小及分布。自从有限单元法被引入到土压力的分析中以来,许多学者采用有限单元法或解析法对土压力问题进行了研究^[1-7]。这些研究主要围绕挡墙土压力的大小及分布等问题展开,而挡墙设计参数对土压力影响的相关研究还比较少。为此,本文借助有限元法,同时考虑墙体与土体的力学、变形和接触特性等情况,通过改变设计参数,对柔性挡墙的土压力进行弹塑性分析,可得出设计参数对土压力的影响规律。

1 有限元分析模型

土工格室柔性挡墙计算模型如图 1 所示,包括柔性挡墙、基础和原状土共 3 部分。计算模型的建立直接关系到数值模拟的效果,挡墙变形的土压力与模型尺寸、单元划分和边界条件等关系密切。经参考相关资料^[8]及试算,确定模型尺寸为:墙高取一级挡墙高度 10 m,墙宽为 3 m,墙面和墙背坡比均为 1:0.5,基础厚度 2 m,宽度 4 m,地基厚度 18 m,如墙后土体宽度取 20 m。网格划分及边界条件如图 2 所示,I-I 边界水平位移与竖向位移均为 0,II-II 边界与 III-III 边界均是水平位移,其值均为 0。

有限元模型各组成部分的参数选取见表 1。

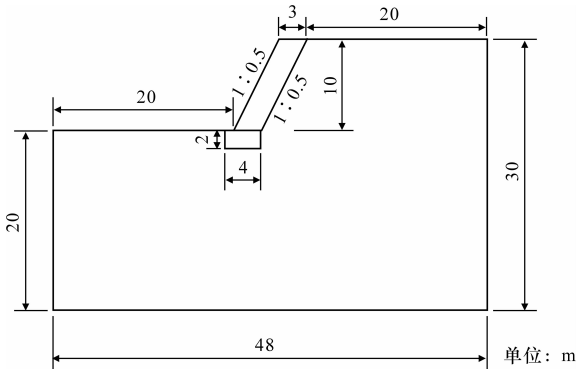


图 1 几何计算模型

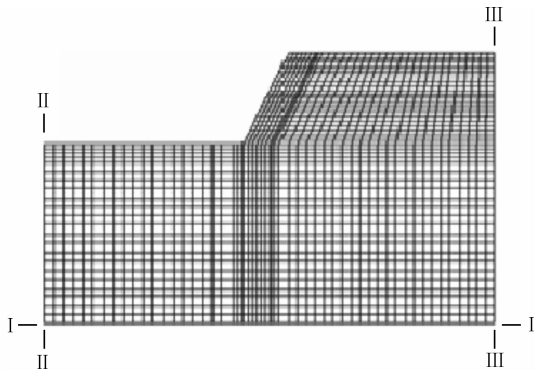


图 2 模型网格划分

表 1 柔性挡墙模拟计算参数

种类	弹性模量 <i>E</i> /MPa	泊松比 μ	重度 γ / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	粘聚力 <i>c</i> / kPa	内摩擦角 φ /($^{\circ}$)
墙身	30	0.30	17	22	20
基础	35	0.30	18	22	20
土体	40	0.30	18	30	25

2 本构关系

在土力学中,常用 Mohr-Coulomb 屈服准则。该准则简单实用,材料参数 c 、 φ 可以通过各种不同常规试验测定,因此在岩土力学和塑性理论中得到广泛应用。但 Mohr-Coulomb 屈服面存在尖顶和棱角这些奇异点,使数值计算变繁和收敛缓慢,不便于塑性应变增量的计算。为使前者屈服面的不规则六边形光滑化,以利于数值计算,学者们提出了多种修正方式,如下页图 3 的外角点外接圆、内角点外接圆、内切圆和等面积圆等^[9]。广义 Mohr-Coulomb 行为由 Drucker 和 Prager 提出,其屈服准则实际是 Drucker-Prager 屈服准则,是 Mohr-Coulomb 准则的修正形式;从几何意义上说,它是 Mohr-Coulomb 等面积圆屈服准则代替传统的 Mohr-Coulomb 屈服准则,消除了屈服面为不规则六边形截面存在的尖顶和棱角给数值计算带来的困难,而且计算平均误差小、离散度小^[8]。线性 Drucker-Prager 的屈服函数为

$$f = \alpha I_1 + \sqrt{J_2} - k = 0 \tag{1}$$

式中: I_1 为应力张量的第 1 不变量; J_2 为偏应力张量第 2 不变量; α 、 k 均为与 c 、 φ 有关的常数,不同的 α 、 k 在 π 平面上代表不同的圆,通过变换其表达式,就可在有限元中实现不同的屈服准则,如下页图 3 所示。

图 3 中: σ_1 、 σ_2 、 σ_3 分别为第 1、第 2、第 3 主应力; r_1 、 r_2 、 r_3 分别为 Mohr-Coulomb 六边形屈服面的外角点外接圆、内接点外接圆、内切圆半径。本文采用 Drucker-Prager 模型对柔性挡墙进行模拟。

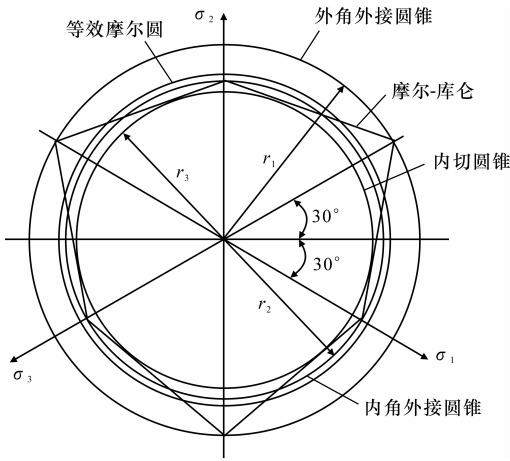


图3 各屈服准则在 π 平面上的曲线

3 参数的影响

3.1 几何参数的影响

图4中墙高为10 m,坡比为1:0.5,墙身厚度为1~6 m。从图4可看出,随着墙身厚度的增加,墙背应力逐渐增大,且增大幅度较大,但增大趋势逐渐减小。墙面高度约1/3以上部分,墙厚1~3 m时,墙背应力大致呈线性分布;墙厚3 m以上时,顶部2 m范围应力增大,3~8 m范围内大致呈线性分布。

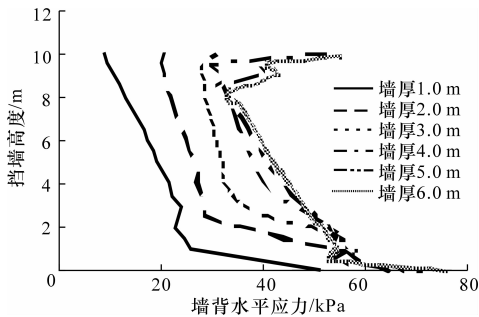


图4 挡墙厚度变化的影响

图5中墙高为10 m,墙身厚度为3 m,坡比为1:0.5、1:0.75、1:1、1:1.25和1:1.5。从图5可看出,随着挡墙坡比的改变,墙背应力的变化在挡墙各高度上有所不同。挡墙由陡至缓的变化过程中,墙背的应力分布以8 m为界,应力在8 m以上减小,8 m以下增大,上部变化的幅度较下部小。

3.2 物理参数的影响

图6中挡墙弹性模量 E 取值为0.3~30 000 MPa。从图6可看出,随着挡墙墙身弹性模量的逐渐增大,墙背水平应力也在逐渐增大,同时,随着墙身模量的增大,墙背应力分布曲线也出现了明显的变化。墙身弹性模量分别在0.3~3 MPa、30~3 000 MPa和大于30 000 MPa的3个区域内表现出不同的应力分布,在每个区域内应力分布曲线比

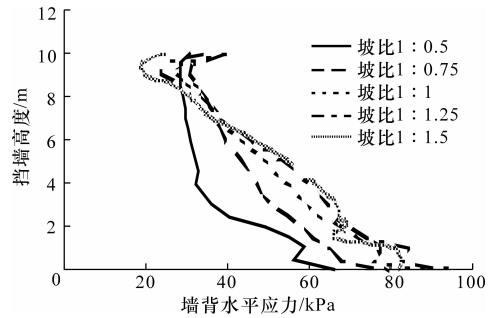


图5 挡墙坡比变化的影响

较接近。当墙身模量为30 000 MPa时,墙体接近刚性挡墙,其应力分布表现出明显的非线性。

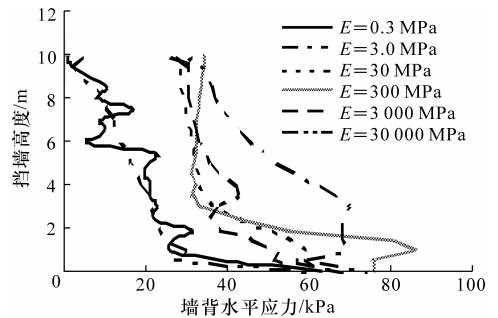


图6 挡墙弹性模量变化的影响

从图7可以看出,挡墙墙身重度 γ 在15~23 kN/m³范围变化时,墙背应力大小及分布变化均比较小,可认为墙身重度变化对墙背应力影响较小。

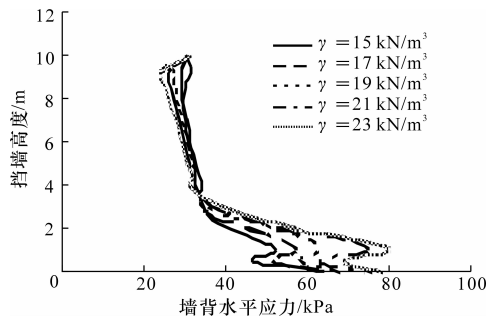


图7 挡墙墙身重度变化的影响

从下页图8可看出,粘聚力 c 为10~30 kPa时,对墙背应力影响较大,随着粘聚力的增大,墙背应力在3 m以上部分逐渐增大,3 m以下部分逐渐减小;当粘聚力大于30 kPa时,对挡墙墙背应力及分布不产生影响。

下页图9中墙身内摩擦角 φ 取值为10°~45°。从图9可看出,墙身内摩擦角为10°~30°时,墙背应力随着内摩擦角的增大而增大;当内摩擦角大于30°时,墙背应力曲线保持不变。

4 结 语

(1)不同的墙体参数变化对土压力及其分布的

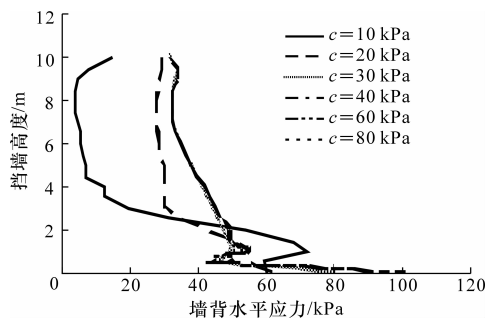


图8 墙身粘聚力变化的影响

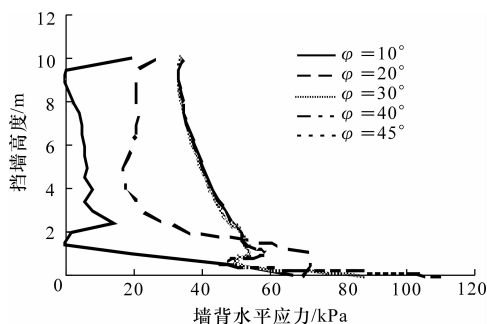


图9 墙身内摩擦角变化的影响

影响存在明显差异。

(2)墙体厚度、坡比和弹性模量等参数的变化对墙背土压力及分布的影响比较显著。随着墙身厚度增加,墙背应力逐渐增大,且增大幅度较大,但增大趋势逐渐减小;挡墙坡比减小时,墙背的应力分布以8 m为界,应力在8 m以上减小,8 m以下增大,上部变化的幅度较下部小;随着墙身弹性模量的逐渐增大,墙背水平应力也在逐渐增大,同时,墙背应力分布曲线也出现了明显的变化。

(3)粘聚力和内摩擦角的变化对土压力及其分布的影响程度有范围限制。粘聚力为10~30 kPa时,对墙背应力影响较大,当粘聚力大于30 kPa时,对土压力不产生影响;内摩擦角也表现出相似的规律,以30°为界,在10°~30°时,墙背应力随着内摩擦角的增大而增大,当内摩擦角大于30°时,对墙背应力不产生影响。

(4)墙体重度的变化对土压力影响很小。

参考文献:

References:

- [1] 谢康和,周健.岩土工程有限元分析理论与应用[M].北京:科学出版社,2002.
- [2] Clough G W, Duncan J M. Finite element analysis of retaining wall behavior[J]. Journal of the Soil Mechanics and Foundation, 1971, 97(S): 1657-1673.

- [3] 陈页开,汪益敏,徐日庆,等.刚性挡墙被动土压力数值分析[J].岩石力学与工程学报,2004,23(6):980-988.
CHEN Ye-kai, WANG Yi-min, XU Ri-qing, et al. Numerical analyses of passive earth pressure on rigid retaining wall[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(6): 980-988.
- [4] 杨晓华,王陆平,俞永华.土工格室生态挡墙工程性状分析[J].公路交通科技,2004,21(11):23-26.
YANG Xiao-hua, WANG Lu-ping, YU Yong-hua. Engineering performance analysis of geo-grid ecological retaining wall[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21(11): 23-26.
- [5] 蒋波,应宏伟,谢康和,等.平动模式下挡土墙非极限状态主动土压力计算[J].中国公路学报,2005,18(2):24-27.
JIANG Bo, YING Hong-wei, XIE Kang-he, et al. Computation of active earth pressure under non-limit state for retaining wall with mode of translation[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(2): 24-27.
- [6] 高江平,石兆旭,俞茂宏.网状与条带式加筋土挡墙墙面位移的测试[J].长安大学学报:自然科学版,2005,25(2):42-45.
GAO Jiang-ping, SHI Zhao-xu, YU Mao-hong. Testing of surface's displacement about netted and striped reinforced wall[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(2): 42-45.
- [7] 雷胜友,惠会清.加筋土挡墙土压力计算方法[J].交通运输工程学报,2005,5(2):47-50.
LEI Sheng-you, HUI Hui-qing. Earth pressure computation method of reinforced earth retaining wall[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(2): 47-50.
- [8] 邓楚键,何国杰,郑颖人.基于M-C准则的D-P系列准则在岩土工程中的应用研究[J].岩土工程学报,2006,28(6):735-739.
DENG Chu-jian, HE Guo-jie, ZHENG Ying-ren. Studies on Drucker-Prager yield criterions based on M-C yield criterion and application in geotechnical engineering[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(6): 735-739.
- [9] 陈祖煜.土质边坡稳定分析[M].北京:中国水利水电出版社,2003.