

基于遗传算法的重力式挡土墙优化设计

胡孝平 袁健余 萍

(武汉理工大学土木工程与建筑学院, 湖北武汉 430070)

【摘要】 将遗传算法应用于重力式挡土墙截面优化设计问题的求解, 并在此基础上建立了重力式挡土墙截面优化的数学模型。采用二进制编码, 通过执行遗传算法的选择、交叉和变异算子, 实现对重力式挡土墙截面的优化设计。算例结果表明, 该优化算法用于重力式挡土墙截面优化设计是有效可行的。

【关键词】 遗传算法; 重力式挡土墙; 优化设计

【中图分类号】 TU 476.4

Optimum Design for Cross-section of Gravity Retaining Wall Based on Genetic Algorithm

Hu Xiaoping Yuan jian Yu ping

(School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei 430070 China)

【Abstract】 The genetic algorithm method is applied to the optimum design for cross-section of gravity retaining wall. Then a cross-section mathematical model is established, and the selection, crossover, mutation algorithm of genetic algorithm and parameter coded in binary genes are set up. The result of the example shows that the method applied to the optimum design for cross-section of gravity retaining wall is effective and feasible.

【Key Words】 genetic algorithm; gravity retaining wall; optimum design

0 引言

近年来, 遗传算法的优化技术有了很大发展, 它是模拟自然选择和遗传机制的寻优程序, 由于在许多重要领域获得成功应用, 它受到普遍关注而成为当前十分热门的研究领域。

遗传算法与其它优化方法相比主要有以下特点: ①遗传算法只对决策变量的编码进行运算, 而传统优化算法往往直接对变量本身进行优化。遗传算法的编码处理方式更便于人们使用计算机操作遗传算子解决优化问题。②遗传算法仅需要使用由目标函数变换得出的适应度函数值, 就可以确定进一步搜索的方向和范围, 无需求目标函数的导数; 而传统优化算法则不然。该特性对很难求导或导数不存在的目标函数优化问题及组合优化问题开通了求解路径。③遗传算法同时使用多个搜索点的信息开始最优解的搜索, 避免了传统优化方法从单一初始点开始最优解的搜索过程, 使遗传算法有较高的搜索速度和效率。④遗传算法使用的是自适应概率搜索技术, 其选择、交叉、变异运算是以概率的方式进行的,

增加了搜索过程的灵活性, 并且随着进化, 新的群体中总会产生许多优良个体; 而传统的优化方法通常采用确定性的搜索方法, 这种确定性可能使搜索永远达不到最优点^[1]。

本文对常用的重力式垂直挡土墙, 将墙顶宽和底宽两个设计指标作为变量, 以截面积最小为目标, 在满足《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)^[2] (简称《规范》) 相关要求的基础上, 利用 Matlab 语言编写遗传算法程序^[3], 对重力式挡土墙进行优化设计。

1 基本公式及分析

取单位长度重力式挡土墙为研究对象 (见图 1), 假设墙高为 h , 墙背竖直光滑, 背后主动土压力大小为 E_a , 作用点位置为 $z = h/3$; 基底摩擦系数为 μ 。根据文献^[4-6]的研究, 可将截面分为三角形及矩形两部分, 截面顶部宽度为 x ; 底部宽度为 $b = x + y$ 。三角形部分的自重 $G_1 = \frac{1}{2} \gamma h y$, 重心到墙趾的距离为 $x_1 = \frac{2}{3} y$, 矩形部分的自重 $G_2 = \gamma h x$, 重心到墙

趾的距离为 $x_2 = \frac{1}{2}x + y$, 则挡土墙每延米自重 $G = G_1 + G_2$, 整个截面的重心至墙趾的距离为 $x_0 = (G_1 x_1 + G_2 x_2) / G$.

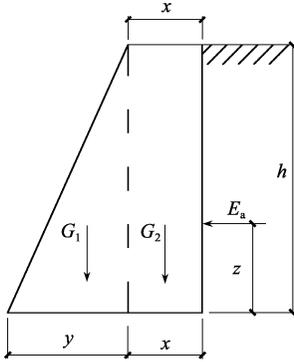


图1 挡土墙截面示意

根据《规范》定义可得挡土墙验算式。

1.1 抗滑移稳定性验算

$$K_s = \frac{G\mu}{E_a} \geq 1.3 \quad (1)$$

1.2 抗倾覆稳定性验算

$$K_1 = \frac{Gx_0}{E_{az}} \geq 1.6 \quad (2)$$

1.3 地基承载力验算

1) 当 $e \leq b/6$ 时

$$p_{\max} = \frac{G}{b} \left[1 + \frac{6e}{b} \right] \leq 1.2f_a \quad (3)$$

$$p_{\min} = \frac{G}{b} \left[1 - \frac{6e}{b} \right] \geq 0 \quad (4)$$

$$\frac{p_{\max} + p_{\min}}{2} = \frac{G}{b} \leq f_a \quad (5)$$

2) 当 $e > b/6$ 时

$$p_{\max} = \frac{2G}{3a} \leq 1.2f_a \quad (6)$$

式中: p_{\max} , p_{\min} 分别为基底最大、最小压应力; 基底合力到底面中心的距离 $e = [E_{az} + G(b/2 - x_0)] / G$; 基底总反力作用点至墙趾的距离 $a = b/2 - e$; f_a 为修正后的地基承载力特征值。

《规范》规定, 截面顶部宽度不宜小于 0.4 m, 墙身坡面不宜缓于 1:0.4, 同时基底合力的偏心距 e 不应大于 0.25 倍基础宽度。经分析, 在进行优化设计过程中, 地基承载力验算采用式(6)作为控制条件较为合理。

2 遗传算法步骤及优化数学模型^[7-8]

遗传算法是以物种进化为基础发展起来的一种启发式算法, 具体包括如下步骤:

1) 确定决策变量, 建立优化模型。

2) 选择表示可行解的染色体编码方法, 例如可将设计变量映射成二进制编码串; 根据已有知识选取一定数目的初始解, 并确定算法终止条件。

3) 构造适应度函数, 以适应度函数值的大小决定的概率分布来确定染色体的取舍; 生存下来的染色体组成可以繁衍下一代的种群, 放入繁殖池。

4) 从繁殖池中随机选择个体进行交叉、变异运算, 产生下一代, 实现群体更新。

5) 群体中的个体经适应度评估后, 若满足算法终止条件, 则停止计算并输出最优结果; 反之, 转入第 3 步进行循环计算。

2.1 编码

采用二进制编码方案对设计变量进行编码, 采用二进制编码的策略是将各设计分量分别进行编码然后合并成 1 个二进制位串, 这就代表了优化问题的 1 个可能解。

2.2 适应度函数

以挡土墙截面参数 x 、 y 为变量, 以截面积 S 最小为目标函数, 根据抗滑移稳定性、抗倾覆稳定性、地基承载力验算及《规范》其它相关规定建立约束条件, 可得出挡土墙优化设计的数学模型为

$$\min S = \left[x + \frac{y}{2} \right] h \quad (7)$$

$$g_1 = 1.3 - K_s \leq 0 \quad (8)$$

$$g_2 = 1.6 - K_1 \leq 0 \quad (9)$$

$$g_3 = b/6 - e < 0 \quad (10)$$

$$g_4 = e - b/4 \leq 0 \quad (11)$$

$$g_5 = p_{\max} - 1.2f_a \leq 0 \quad (12)$$

$$g_6 = 0.4 - x \leq 0 \quad (13)$$

$$g_7 = 2.5y - h \leq 0 \quad (14)$$

截面尺寸 x 、 y 的寻优取值范围分别为

$$x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \quad (15)$$

$$y_{\min} \leq y \leq y_{\max} \quad (16)$$

式中: x_{\min} 、 y_{\min} 为选定的寻优取值范围的下限; x_{\max} 、 y_{\max} 为选定的寻优取值范围的上限。

采用罚函数法将其转化为无约束最小化问题

$$\min S + \sum_{i=1}^7 g_i^2 = r(x) \quad (17)$$

则适应度函数为

$$f(x) = \begin{cases} S_{\max} - r(x) & \text{当 } r(x) < S_{\max} \\ 0 & \text{当 } r \geq S_{\max} \end{cases} \quad (18)$$

式中: S_{\max} 为进化到当前代的最大目标函数值。

3 算例

以文献[6]中的重力式挡土墙为例, 其截面形式

如图1,墙背竖直光滑,墙高 $h=5\text{ m}$,墙身材料重度 $\gamma=22\text{ kN/m}^3$,经计算后的墙背主动土压力 $E_a=49.95\text{ kN/m}$,作用点高度 $z=1.67\text{ m}$,基底摩擦系数 $\mu=0.6$,修正后的地基承载力特征值为 $f_a=140\text{ kPa}$,试设计该挡土墙。

解:本算例截面尺寸的寻优取值范围选定为 $x\in[0.4,1]$, $y\in[0,2]$ 。应用本文方法与文献[5]的方法对该重力式挡土墙进行优化的结果见表1。

表1 优化结果对比

方法	x	y
文献[5]方法	0.400	1.392
本文方法	0.402	1.406

通过本文方法与文献[5]方法的对比,表明其结果较优,误差很小,能达到对工程优化设计的目的。最后根据设计要求可取上部宽度为 $x=0.4\text{ m}$,底部宽度为 $x+y=1.8\text{ m}$ 。

按《规范》方法进行验证: $K_s=1.454>1.3$, $K_t=1.706>1.6$, $p_{\max}=165.856\text{ kPa}<1.2f_a=168\text{ kPa}$,显然能满足要求。

4 结论

1)采用遗传算法对重力式挡土墙截面进行优化设计,具有准确、方便、快捷等优点。

2)由于 Matlab 具有强大的矩阵运算功能,使我们能将更多的时间用在优化问题上而非程序的设计上。

参 考 文 献

- [1] 郑宏,俞茂宏.基于遗传算法的钢结构优化设计[J].长安大学学报,2002,22(5):67-69.
- [2] GB 50007-2002 建筑地基基础设计规范.
- [3] 苏晓生编著.掌握 MATLAB 6.0 及其工程应用[M].北京:科学出版社,2002.
- [4] 黄太华,袁健.关于重力式挡土墙截面尺寸确定方法的探讨[J].岩土工程技术,2004,18(5):28-29,33.
- [5] 袁健,黄太华.挡土墙截面设计直接计算方法[J].岩土工程技术,2007,21(2):33-35.
- [6] 纪桂民,林凌峰.基于 Matlab 语言的重力式挡土墙优化设计[J].工程建设与设计,2007(6):53-55.
- [7] 黄冀卓,王湛,龚明袖.遗传算法在钢结构截面优化设计中的应用[J].四川建筑科学研究,2005(3):31-36.
- [8] 张晶,翟鹏程,张本源.惩罚函数法在遗传算法处理约束问题中的应用[J].武汉理工大学学报,2002,24(2):56-59.

收稿日期:2007-09-17

(上接第23页)

数,与膨胀土的类型、土性和干密度有关,对于南宁中等膨胀土 $A=0.1233$, $B=-0.1515$; r 为膨胀能释放系数,它表征了不同类型膨胀土在不同干密度下的膨胀潜能。本次实验测得,对于南宁中等膨胀土,膨胀能释放系数最大值 $r_{\max}=0.082$,此时 ρ_d 取最大干密度 $\rho_{d\max}=1.89\text{ g/cm}^3$ 。

4 结论

1)基于“理想膨胀土”假定,可以将膨胀土吸水产生膨胀力的过程,看作是释放“存储”的膨胀能的过程,含水量的增加(吸水)只是触发这一过程的外因,实质是来自压缩应力历史。

2)静力压实功和对应的膨胀释放能均与初始含水率近似成线性反比关系,与干密度成线性正比关系。

3)干密度是影响静力压实功和膨胀释放能的主要因素。

4)膨胀能释放系数受初始含水率波动较小,受

干密度影响很大,且随干密度增大而线性增大。

参 考 文 献

- [1] 谢云,陈正汉,李刚,等.南阳膨胀土三向膨胀力规律研究[J].后勤工程学院学报,2006(1):11-15.
- [2] 肖宏彬,范臻辉,王永和,等.膨胀土单向浸水膨胀规律的试验研究[C]//第八届全国地基处理学术讨论会论文集.合肥:合肥工业大学出版社,2004:47-50.
- [3] 苗鹏,肖宏彬,张春顺.膨胀土上桩负摩擦阻力的时程性研究[J].株洲工学院学报,2006,20(6):98-100.
- [4] 苗鹏,肖宏彬.不同初始条件对膨胀土剪切特性的影响研究[J].湖南工业大学学报,2007,21(6):19-22.
- [5] 李凤起,姚建平,赵冬生,等.膨胀土地基原位膨胀力试验研究[J].沈阳建筑大学学报,2005,21(1):29-31.

收稿日期:2007-12-13