

文章编号: 1007-2993(2021)06-0361-04

# 基于快速判断土体剪切破坏状态的 MATLAB GUI 设计

李 倩 李娇娇 陈二忠  
(河北大学 建筑工程学院, 河北保定 071002)

**【摘要】** 土的剪切破坏是土体破坏的主要形式, 基于土体受力特性快速判断其是否发生剪切破坏具有很好的工程应用价值。从这一工程背景出发, 基于摩尔-库仑强度理论, 借助 MATLAB 的 GUI 图形用户界面设计方法, 开发了土体剪切计算及破坏判断的计算系统, 通过在系统中输入特定土体的直剪试验数据, 即可快速拟合得到黏聚力及内摩擦角, 同时基于最大、最小主应力及内摩擦角三种比较法, 快速判断土体是否发生剪切破坏。通过直剪试验证明了该计算系统的可靠性。结果表明: 该系统计算速度快, 精度高, 效果良好, 可用于工程实际中土体抗剪强度指标计算及破坏状态的快速判断。

**【关键词】** 土力学; 剪切破坏; 摩尔-库仑理论; 程序开发; MATLAB GUI 界面

**【中图分类号】** TU 432

**【文献标识码】** A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2021.06.003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## MATLAB GUI Design Based on Rapid Judgment of Shear Failure State of Soil

Li Qian Li Jiaojiao Chen Erzhong

(Department of Civil Engineering, Hebei University, Baoding 071002, Hebei, China)

**【Abstract】** The shear failure of soil is the main form of soil failure. It is of great engineering application value to judge the shear failure of soil quickly based on the mechanical characteristics of soil. Starting from the engineering background, based on the Mohr-Coulomb strength theory, MATLAB GUI graphical user interface design method was applied and the soil shear calculation and the damage judgment system were developed. If direct shear test data of specific soil are input in the system, cohesive force and internal friction angle could be obtained quickly by fitting. At the same time, based on comparative laws of the maximum and minimum principal stress and internal friction angle, whether the soil shear failure occurred or not could be determined quickly. The reliability of the calculation system is proved by direct shear experiment. The results show that the system is fast, accurate and effective, and can be used to calculate the shear strength of soil and judge the failure state quickly in engineering practice.

**【Key words】** soil mechanics; shear failure; Mohr-Coulomb theory; program development; MATLAB GUI

### 0 引言

建筑施工和土有着不可分割的关系, 工程实践和室内试验都表明, 土体破坏的主要表现形式为剪切破坏, 当土体中的剪应力达到其抵抗剪切破坏能力即土的抗剪强度时, 土体遭到破坏, 丧失稳定性。土体破坏通常对建(构)筑物危害巨大, 如水利工程建设中的不良地基、桥梁隧道建设中的软土地基、高层建筑的地基基础等, 一旦处理不当将会直接影响到建(构)筑物的稳定与安全, 因此土的抗剪强度在工程上具有重要研究意义<sup>[1-6]</sup>。

MATLAB 在土木工程、通讯工程、机械设备等各个领域均运用广泛, 在土木工程领域可用于数值计算等方面。现已有 MATLAB 应用包括三相指标换算、地基承载力计算、地基沉降计算三个模块的 MATLAB GUI 系统开发<sup>[7]</sup>; 土力学试验中利用 MATLAB 进行数据分析、试验曲线绘制等<sup>[8]</sup>。MATLAB 的应用极大地优化了计算处理过程, 因此, 基于 MATLAB 计算系统在土力学中的开发有着重要的意义。

本文结合土的抗剪强度问题, 应用 MATLAB 程

基金项目: 河北大学实验室开放项目(sy202023); 河北大学人才引进科研启动项目(801260201302); 河北大学校长基金项目(XZJJ201911)

作者简介: 李 倩, 女, 1988 年生, 陕西扶风人, 博士, 从事道路力学行为研究。E-mail: lixiaoqian215@hbu.edu.cn

序以及 GUI 设计了土体剪切破坏判断计算系统,能够根据直剪试验数据准确快速地计算出土的抗剪强度指标内摩擦角  $\varphi$  和黏聚力  $c$ , 依据三种极限平衡判定方法判断土体状态, 并将土体破坏情况以图形等形式直接呈现出来, 更为直观地展示实际土体情况, 有利于施工前对建设场地的土体检测, 提高工程建设基础的安全性、稳定性。

## 1 土体抗剪强度判断方法

### 1.1 岩土工程中的摩尔-库仑强度理论

土体抗剪强度是指土体抵抗剪切破坏的能力, 土的抗剪强度作为理论性、基础性的研究首当推选法国工程师库仑(Coulomb)在 17 世纪中期提出的著名的库仑公式<sup>[9]</sup>:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi \quad (1)$$

摩尔-库仑强度理论把当土体中某一点任一平面上的剪应力等于抗剪强度时, 该点即濒于破坏的临界状态称“极限平衡状态”。表征该状态下各种应力之间的关系称为“极限平衡条件”。“极限平衡状态”时摩尔圆与抗剪强度包线的关系见图 1。 $\sigma_{1f}$  为最大主应力,  $\sigma_{3f}$  为最小主应力,  $c$  为土的黏聚力,  $\varphi$  为土的内摩擦角。

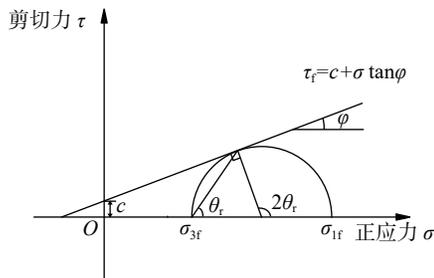


图 1 摩尔圆与抗剪强度包线关系图

图 1 经过三角函数关系转换后得出土体在“极限平衡状态”时大小主应力的关系为式(2)、式(3)。

$$\sigma_{1f} = \sigma_{3f} \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) + 2c \tan \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (2)$$

$$\sigma_{3f} = \sigma_{1f} \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) - 2c \tan \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3)$$

式中:  $\sigma_{1f}$ 、 $\sigma_{3f}$  分别为极限平衡状态时的大小主应力。

### 1.2 判断土体剪切破坏的计算方法

基于摩尔-库仑理论, 存在三种土体剪切破坏判断方法, 分别是最大主应力比较法、最小主应力比较法及内摩擦角比较法。本文在开发土体剪切破坏计算系统时, 为了增加计算结果的可靠性, 分别将这三种判断方法嵌入程序中, 依据三种方法判断土体是否发生剪切破坏。

#### 1.2.1 最大主应力比较法

该方法通过判断土体最大主应力是否在极限平衡状态下摩尔应力圆内来判断土体是否剪切破坏。当实际小主应力与极限平衡状态的最小主应力相等时, 即  $\sigma_3 = \sigma_{3f}$ , 由式(2)计算该点土体达到极限平衡状态时主应力  $\sigma_{1f}$ ; 如果  $\sigma_{1f} < \sigma_1$ , 土体实际最大主应力比达到极限平衡状态时的最大主应力大, 那么该点极限平衡状态摩尔应力圆在实际受力的应力圆内, 土体发生剪切破坏; 如果  $\sigma_{1f} > \sigma_1$ , 该点极限平衡状态摩尔应力圆在实际受力的应力圆内, 土体不会剪切破坏。摩尔圆与抗剪强度包线的关系见图 2。

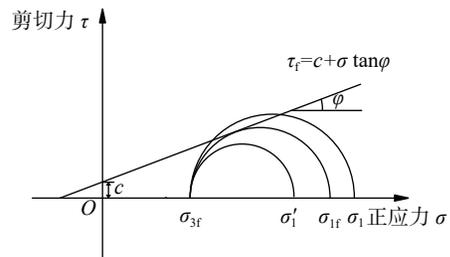


图 2 大主应力判别图

将上述计算过程通过 MATLAB 编制程序, 可实现基于最大主应力比较法的土体剪切强度破坏判断。

#### 1.2.2 最小主应力比较法

该方法通过判断最小主应力是否在极限平衡状态下摩尔应力圆内来判断土体是否剪切破坏。当实际大主应力与极限平衡状态的最大主应力相等时, 即  $\sigma_1 = \sigma_{1f}$ , 由式(3)计算该点土体达到极限平衡状态时的最小主应力  $\sigma_{3f}$ ; 如果  $\sigma_{3f} > \sigma_3$ , 土体实际最小主应力比极限平衡状态下的最小主应力小, 那么该点极限平衡状态摩尔应力圆在实际受力的应力圆内, 土体发生剪切破坏; 如果  $\sigma_{3f} < \sigma_3$ , 该点极限平衡状态摩尔应力圆在实际受力的应力圆内, 土体不会剪切破坏。摩尔圆与抗剪强度包线的关系见图 3。

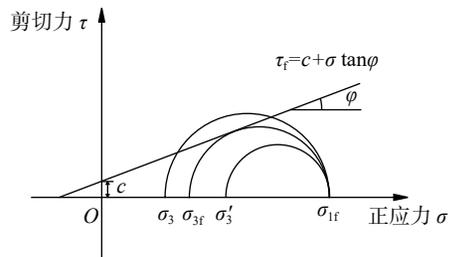


图 3 小主应力判别图

将上述计算过程通过 MATLAB 编制程序, 可实现基于最小主应力比较法的土体剪切强度破坏判断。

### 1.2.3 内摩擦角比较法

在已知实际大主应力  $\sigma_1$ 、实际小主应力  $\sigma_3$ 、黏聚力  $c$  的条件下, 根据式(4)可计算求得内摩擦角  $\varphi_m$ :

$$\varphi_m = \arcsin \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2c \cot \varphi} \quad (4)$$

如果所求内摩擦角  $\varphi_m$  等于极限平衡状态下内摩擦角  $\varphi$ , 即  $\varphi_m = \varphi$ , 该点土体达到极限平衡状态。如果  $\varphi_m < \varphi$ , 该点土体未发生剪切破坏。如果  $\varphi_m > \varphi$ , 该点土体发生剪切破坏。摩尔圆与抗剪强度包线的关系见图 4<sup>[10-11]</sup>。

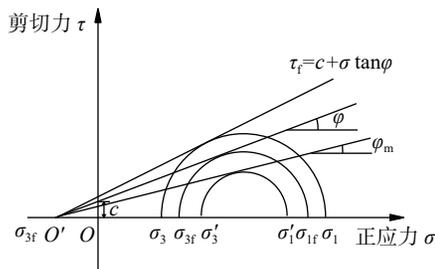


图 4 内摩擦角判别图

将上述计算过程通过 MATLAB 编制程序, 可实现基于内摩擦角比较法的土体剪切强度破坏判断。

## 2 基于土体抗剪强度理论的 MATLAB GUI 界面开发

### 2.1 程序开发原理

基于上节的摩尔-库仑强度及土体剪切破坏判断方法, 采用 MATLAB 语言编制直剪试验数据处理子程序及土体破坏判断子程序, 随后借助 GUI 用户界面设计原理设计一套土体剪切破坏判断计算系统。

目前我国工程上及一般试验室用于测定土体抗剪强度最广的试验方法为直剪试验, 基于直剪试验获得数据, 分别输入  $N$  组试验施加的垂直应力与水平剪力, 通过应用 MATLAB 中拟合函数 Polyfit 可将多组数值进行准确拟合, 得出土体的抗剪强度指标即黏聚力  $c$  和内摩擦角  $k$  并将其输出, 内摩擦角数值自动作为输入数据填入输入值的图框中, 输入实际土体大主应力  $a_1$ , 小主应力  $a_3$ , 再次计算, 便可得到实际土体情况, 并输出相应判断图形。

实际土体情况的判断采用大主应力判断、小主应力判断和内摩擦角判断, 可能结果有未破坏、破坏和临界三种情况。根据三种不同的土体判别方法, 设计相应的输出图形, 即按大主应力、小主应力和内摩擦角判断的应力圆与实际剪切变形直线的关系, 以图形方式表述试验结果, 简洁明了。

### 2.2 程序设计流程试验概况

MATLAB 程序设计中利用 Figure 命令编写创

建窗口界面, Uicontrol 命令编写用户界面控件以实现图形设计界面; 编写回调函数 Callback、Polyfit 函数、If 语句以及 Subplot 函数等, 使用户直接点击计算按钮, 便可迅速进行曲线拟合, 获得准确的计算结果以及判别结果, 并在指定区域显示判别图。程序设计应用流程见图 5。

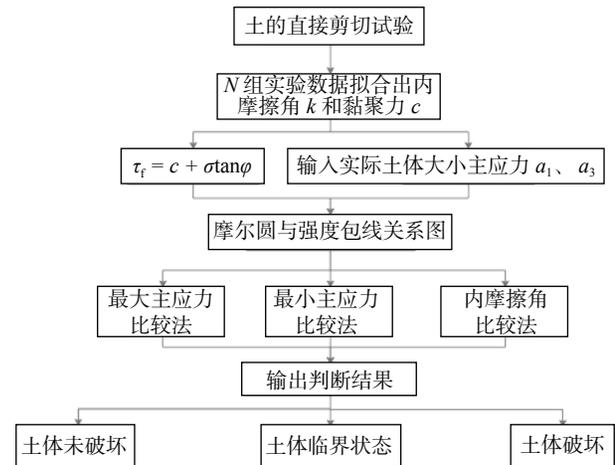


图 5 程序设计应用流程

### 2.3 程序调试

MATLAB 有着其他计算机高级语言无法比拟的优点, 在返回多个函数值方面具有独一无二的的能力。在该计算系统界面中返回了土体的黏聚力  $c$  和内摩擦角  $k$  (对应上文中的内摩擦角  $\varphi$ , 程序设计采用  $k$  表示) 两个计算值以及土体判别情况, 极大简化了数据处理过程, 并将判别结果以图形的方式直观展现出来, 为设计与施工提供可靠数据和有效依据。利用 MATLAB 自带编辑器将以上代码封装成 M 函数文件, 输入多组试验数据可立即得到分析结果。

### 2.4 程序界面

本文中图形用户界面总体采用灰色系界面, 整体以简约明确为主。界面共分为五个小界面, 分别是试验数据、输出值、输入值、土体判别情况以及图形输出部分。试验数据界面为正压力、切应力数值输入; 输出值界面为黏聚力  $c$ 、内摩擦角  $k$  输出; 输入值界面为内摩擦角  $k$ 、实际土体大主应力  $a_1$ 、小主应力  $a_3$  数值输入; 土体判别情况界面输出三种破坏判断方法的判别结果; 图形输出界面直观显示判别图(见图 6)。

## 3 计算系统可靠性验证

本文通过进行土体直接剪切试验, 将试验处理后的数据结果与 GUI 计算系统进行计算得到的结果进行比对, 以此验证 GUI 计算系统的可靠性。

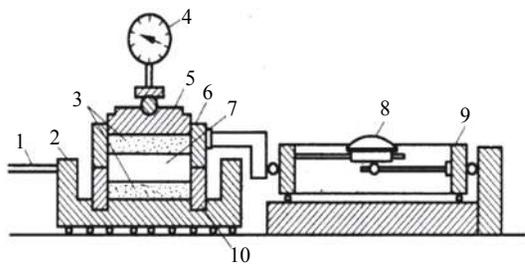


图6 程序界面

### 3.1 试验概况

#### 3.1.1 试验仪器

直剪切试验采用应变控制式直接剪切仪(见图7),辅助设备为百分表、天平、环刀、秒表、饱和器、透水石等。



1—轮轴;2—底座;3—透水石;4—测微表;5—活塞;6—上盒;7—土样;  
8—测微表;9—量环;10—下盒

图7 应变控制式直剪仪

#### 3.1.2 试验过程

在直剪切试验中选取黏性土试样,将试样表面削平,用环刀切取试件,准备四个试样。准备好试验所用仪器,将所准备的四个试样分别放置于将施加不同压力的剪切盒内,各级垂直荷载 100 kPa, 200 kPa, 300 kPa, 400 kPa 施加。完成相应试验准备后,以每分钟 6 转的均匀速度转动手轮,测记位移读数,直至测力计读数出现峰值,再继续剪切至剪切变形达到 4 mm(手轮转 20 转)为止。

#### 3.1.3 试验结果

试验数据记录与整理见表1,由试验数据可得土体破坏时各级垂直荷载对应抗剪强度及该土样的黏聚力、内摩擦角。当对该土体施加荷载使其受力状况近似为大主应力  $a_1=700$  kPa,小主应力  $a_3=100$  kPa

表1 直接剪切试验数据记录

试样面积 /cm <sup>2</sup>	垂直压力 $p$ /kPa	抗剪强度 $\tau$ /kPa	抗剪强度指标	
			黏聚力 $c$ /kPa	内摩擦角 $\varphi$ (°)
30	100	77.85	26.38	27.23
	200	129.01		
	300	180.54		
	400	232.25		

得到试验结果为土体破坏。

### 3.2 试验结果分析

在该计算系统 GUI 界面内将该工程土体试样施加的垂直应力及测得对应抗剪强度分别输入 GUI 界面内正应力与切应力输入框中,进行计算。同时输入实际土体大主应力  $a_1=700$  kPa、小主应力  $a_3=100$  kPa,进行破坏判别计算。最终程序计算结果见图8。

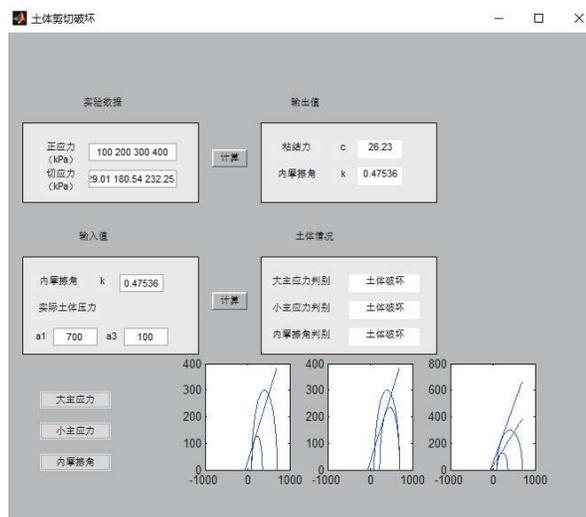


图8 程序验证结果

由该计算系统的计算结果为:黏聚力  $c=26.23$  kPa;内摩擦角  $\varphi=27.236^\circ$ (对应程序内角度  $k=0.47536$ ),与试验结果高度一致。通过三种土体判别方法分别判断土体剪切破坏状态得到的结果均为“土体破坏”,与土体试验结果保持一致,证明了该计算系统的可靠性。同时,计算结果以摩尔圆与包线图的关系给出,使结果更加直观、明确。

## 4 结论

本研究基于摩尔-库仑强度,结合土的抗剪强度问题及土体状态的三种极限平衡判定方法,借助 MATLAB 强大的数学运算能力以及 GUI 的可视化操作界面,设计开发出土体剪切破坏判断处理系统。通过验证实际工程土体试样数据,证明系统准确性。

(下转第 372 页)