

基于 Drucker-Prager 准则的某土三轴压缩模拟研究

李忠享 郭 淋 蔡 飞

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司,湖北武汉 430010)

【摘 要】 以 Drucker-Prager 屈服准则作为土样的塑性条件,根据某工程实例利用有限元分析软件进行土体三轴试验数值实验模拟,并得到以下结论:基于有限元分析能真实反映岩土工程中的弹塑性的变形情况,可广泛应用于岩土工程中的弹塑性变形问题。

【关键词】 三轴压缩;应力-应变;数值模拟

【中图分类号】 TU 411

【文献标识码】

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2018.03.004

Simulation Study of Soil Triaxial Compression Based on Drucker-Prager Yield Criterion

Li Zhongxiang Guo Lin Cai Fei

(Central and Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd, Wuhan 430010, Hubei, China)

【Abstract】 The Drucker-Prager yield criterion was used as plastic condition of soil, using finite element analysis software to soil triaxial compression numerical simulation experiment according to project example, and obtaining the following conclusion: it can truly reflect the elastic-plastic deformation in geotechnical engineering, it can be widely used in elastic-plastic deformation problems in geotechnical engineering.

【Key words】 triaxial compression; stress-strain; numerical simulation

0 引 言

作为一种复杂的工程材料,土的性质不仅取决于当前的应力状态,而且与土的类型、应力历史和应力路径有关^[1-2]。正确地了解土的变形特性对于实际工程分析、设计和施工十分重要。但是在土体内各结构面以及土体本身内在的力学特性难以统计,通过有限和小范围的室内及现场试验结果表征土体的变形特性非常困难。数值实验方法作为一种新兴的计算机辅助分析手段,可以用来辅助确定土体的宏观力学特性。其能较全面地反映岩石在变形损伤演化和宏观破坏过程中的应力场、变形场等重要信息,使传统的实验室试验得到补充和完善^[3]。因此,根据已有的试验参数进行数值实验模拟是非常有必要的,本文选取某加固坡土进行三轴压缩数值试验模拟。

1 Drucker-Prager 屈服准则

Mohr-Coulomb 准则不能反映中间主应力对屈

服和破坏的影响及单纯静水压力引起的屈服特性,并且其屈服面在主应力空间中是一个带尖顶的六棱锥面,如果应力点位于棱线或锥顶上,将引起数学处理上的困难。为了克服上述缺点,1952 年 Drucker 和 Prager 构造了一个内切于 M-C 准则的六棱锥的圆锥屈服面,屈服曲面光滑没有棱角,考虑了中间主应力和静水压力的影响,提出了 D-P 屈服准则^[4],其函数形式为

$$f(I_1, \sqrt{J_2}) = \sqrt{J_2} - \alpha I_1 - k = 0 \quad (1)$$

式中: I_1 、 J_2 分别为应力张量第 1 不变量和应力偏张量第 2 不变量,若设 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 分别为最大主应力、中间主应力(以压应力为正、拉应力为负),则

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad (2)$$

$$J_2 = [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2] / 6 \quad (3)$$

式中: α 和 k 为 D-P 准则材料参数^[5]。

作者简介:李忠享,男,1986 年生,汉族,湖北武汉人,2009 年毕业于中国地质大学(武汉)工程学院勘察与基础工程系,工程师,注册土木工程师(岩土),主要从事岩土工程勘察、设计、咨询等工作。

E-mail: bill_720@163.com

2 基于 D-P 准则的数值计算

2.1 计算模型建立

本文的数值模拟的模型尺寸采用标准圆柱体试样,即直径为 100 mm,高度为 200 mm,则高径比为 2。从试样上部设定一个位移挤压,其值设置为 15 mm,在试样与压力机承压板之间加上固定约束,允许径向发生改变,以围压 P_c 代替孔隙水压力,试样则采用轴对称单元进行模拟。则试样模型如图 1 所示。

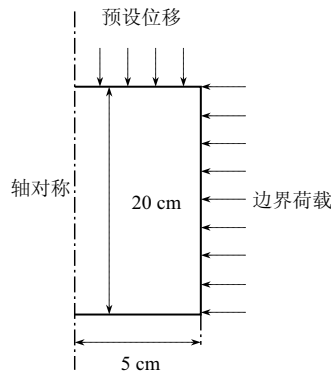


图 1 试样模型图

2.2 计算参数

模型的计算参数选自某工程区土,根据计算需要给出了一些主要材料特性,如弹性模量、泊松比、黏聚力和内摩擦角,其取值详见表 1:

表 1 试样物理力学参数表

弹性模量 E/MPa	泊松比 ν	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$
2.5	0.3	12	30

2.3 计算结果分析

1) 应力分布

根据有限元分析软件对试样进行三轴压缩试验后,可观察其应力-应变分布情况,其三维应力分布图分别如图 2 所示,对于不同边界约束下,边界约束应力越大,试样应力值域越大。

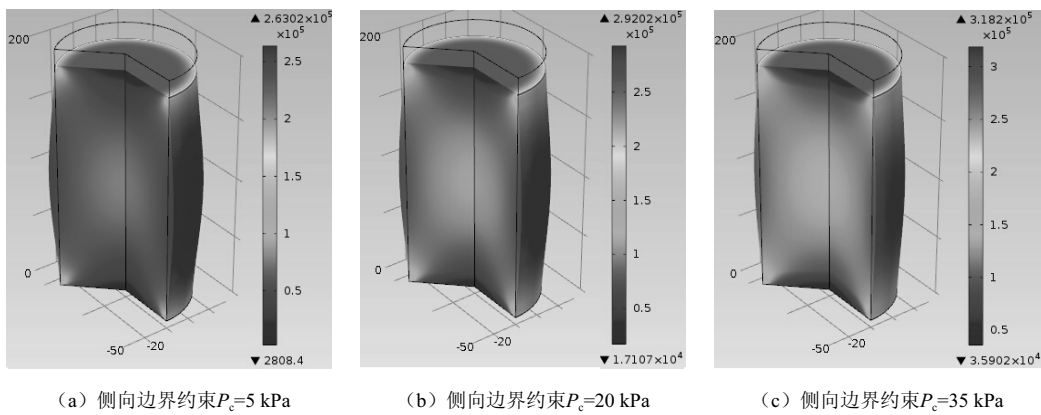


图 2 不同侧向边界约束下压缩后应力三维分布图

2) 弹塑性区域

根据图 3 可观察试样塑性应变分布规律,可知,试样大部分为塑性变形,只有小部分为弹性变形。

其中深色部分为塑性变形区域。这与土体的弹塑性性质有关,施加上覆荷载时,土体中间区域所受应力大,底部上所受应力较小。

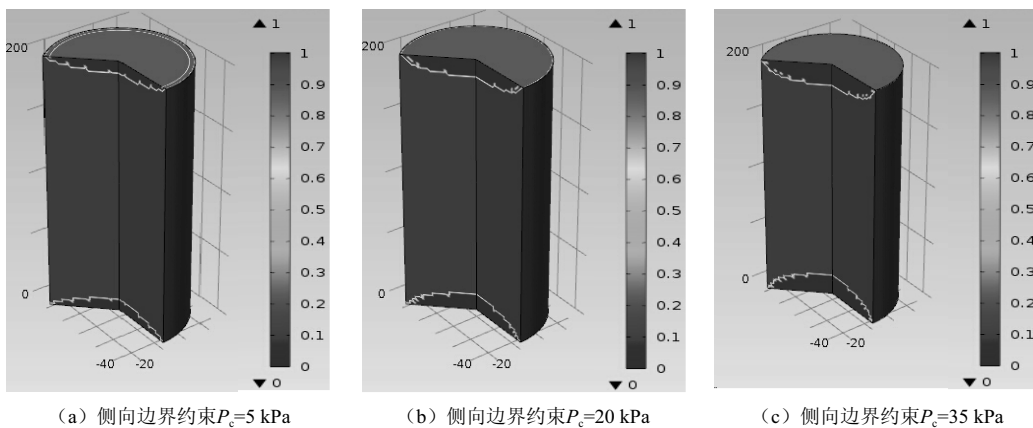


图 3 不同侧向边界约束下压缩后弹塑性应变区域

3) 额外荷载应力

额外荷载应力为产生的应力与径向约束之间的

差值,其计算式可记为

(下转 145 页)

- 151-156.
- [10] 周平,王志杰,杨跃,等.玄武岩纤维喷射混凝土在热害环境下的性能试验研究[J].土木建筑与环境工程,2016,38(1):69-76.
- [11] 张顶立.隧道及地下工程的基本问题及其研究进展[J].力学学报,2017,49(1):3-21.
- [12] 张健儒.山岭隧道软弱围岩工程地质特性及施工对策[J].隧道建设,2014,34(8):749-753.
- [13] 王梦恕,谭忠盛.中国隧道及地下工程修建技术[J].中国工程科学,2010,12(12):4-10.
- [14] 燕全会.莲花山1号隧道富水全强风化花岗岩地段施工技术探讨[J].公路交通技术,2016,32(1):105-108.
- [15] 袁敬强,陈卫忠,黄世武,等.全强风化花岗岩隧道突水灾害机制与协同治理技术研究[J].岩石力学与工程学报,2016,35(S2):4164-4171.
- [16] 张慧峰,吴建文,张恒.已揭露高压地下水隧道注浆参数与工艺[J].筑路机械与施工机械化,2017,34(8):47-52.
- [17] 鲁军良,宋新杰.全风化千枚岩围岩双连拱隧道变形控制技术[J].筑路机械与施工机械化,2012,29(1):67-71.

收稿日期:2018-04-02

(上接第126页)

$$\sigma_a = -\frac{F_{\text{res}}}{\pi R^2} - P_c \quad (4)$$

其中 F_{res} 表达式为

$$F_{\text{res}} = \int \sigma_z 2\pi r dr dz \quad (5)$$

图4给出了不同荷载条件下额外荷载应力与轴向应变之间的关系,对于同一边界约束下,额外荷载应力在一定轴向应变区间内呈递增的趋势;额外荷载应力达到一定值时,额外荷载应力不再随着轴向应变变化而变化;对于不同边界约束下,边界约束应力越大,其额外荷载应力稳定值越大。

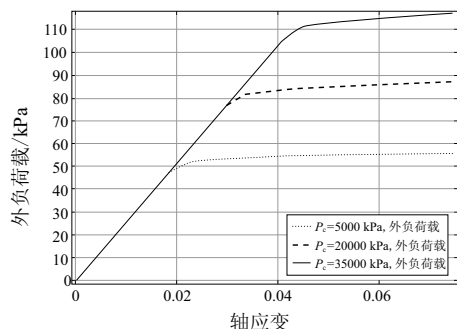


图4 不同围压下额外荷载应力-轴应力关系曲线图

3 结论

本文采用标准圆柱体试样,在轴对称压缩条件下,利用Drucker-Prager屈服准则作为土样的塑性条件,基于有限元软件模拟得到土体三轴压缩中应力-应变情况。同时,基于有限元软件的三轴压缩数

值模拟能真实反映土体的弹塑性变形情况^[6],因此可广泛应用于岩土工程中的其他弹塑性变形问题。如张晓波^[7]等人基于Drucker-Prager屈服准则利用有限元软件对圆形巷道围岩进行弹塑性分析,为判断巷道稳定性和进行巷道支护定量设计提供依据,使对巷道围岩的力学状态分析更加准确且接近实际是至关重要的。

参 考 文 献

- [1] 黄文熙.土的工程性质[M].北京:水利电力出版社,1983.
- [2] 郑颖人,沈珠江,龚晓南.广义塑性力学-岩土力学塑性大学原理[M].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [3] 王述红,唐春安,朱万成,等.数值试验在岩石力学实验教学中的应用[J].实验技术与管理,2003,20(6):140-143.
- [4] 张学言,闫澎旺.岩土塑性力学基础(第二版)[M].天津:天津大学出版社,2004.
- [5] 刘金龙,栾茂田,徐成顺.Drucker-Prager准则参数特性分析.岩石力学与工程学报,2006,25(2):4009-4015.
- [6] Potts D, Zdravkovic L. Finite element analysis in geotechnical engineering[M]. Thomas Telford Publishing 2001.
- [7] 张小波,赵光明,孟祥瑞.基于Drucker-Prager屈服准则的圆形巷道围岩弹塑性分析[J].煤炭学报,2013,38(S1):30-37.

收稿日期:2018-03-23