

基坑开挖引起围岩变形破坏过程的 数值模拟分析

杨天鸿 张 哲 唐春安
(东北大学, 沈阳 110004)

【摘 要】 应用自行开发的岩石破坏过程分析软件 F-RFPA^{2D}对澳门某基坑开挖引起围岩及地表变形破坏进行了数值模拟分析, 认清了围岩破坏模式及发展全过程, 得到了和实际情况基本一致的结果, 说明了 F-RFPA^{2D}程序做为一种新的数值模拟方法, 可以用来研究基坑、边坡开挖引起的围岩破坏过程。

【关键词】 基坑; 变形破坏; 数值模拟

【中图分类号】 TU 924

Numerical Simulation on the Progressive Processes of the Wall Rock's Distortion Failure Caused by the Excavating of Footing Groove

【Abstract】 The evolution processes of the distortion failure of wall rock caused by the footing groove excavating at MACAU is analyzed by numerical simulation code Wall Rock Fracture Process Analysis(F-RFPA^{2D}), which is developed by ourselves. The numerical simulation explains the evolution process and pattern of wall rock mass fracture, gains a accordant result with the actually, F-RFPA is a new numerical method to study the problem of Wall Rock Fracture caused by the slope and footing groove excavating.

【Key words】 groove excavating; distortion failure; numerical simulation

0 引言

澳门 LINGNAN SCHOOL(岭南学校)小学部教学楼位于 AMCM(澳门货币暨汇兑监埋署新址)西南方, 砖混二层四楼结构。在 AMCM 基础基坑开挖、地下室施工期间(1998-07~1998-12), 岭南学校教学楼课室、地台及教学楼台地西侧石砌挡土围墙出现了多处不规则裂缝, 地坪上亦出现了不规则顺向裂缝^[1]。岭南学校教学楼等变形破坏现象危及了学校正常教学, 同时该地区环境地质条件明显恶化。

深入研究基坑开挖过程引起的建筑基础

变形破坏机理, 是分析事故原因、制订合理的处理方案的关键。本文依据有关部门提供的资料, 采用东北大学研制开发的 F-RFPA^{2D}程序模拟分析基坑开挖过程中围岩的受力及变形情况, 重点考察建筑基础的变形和位移发展过程, 研究开挖过程中围岩的变形破坏机理, 为明确事故原因、制订合理的处理方案提供依据。

1 岩石破裂过程分析程序 F-RFPA^{2D} 概述

本文所用的 F-RFPA^{2D}系统, 是在先前 RFPA^{2D}的基础上^[2-4], 为进行岩石破坏过程渗流与应力耦合分析而开发的。与其它已有

的逐渐破坏模型 (Progressive Failure/Fracture/Damage Model) 一样^[5], 是一个能模拟岩石介质逐渐破坏过程的数值模拟工具, 分析过程包括: 渗流分析+应力分析+渐进破坏分析+耦合分析。渗流分析采用有限元法进行, 求渗流模型的解, 得到每一计算步水头分布和水荷载。应力分析求解器采用有限元法进行, 依据有效应力原理完成在外载荷或环境因素作用下(加载、开挖、水荷载和位移边界条件的改变等)的力学响应的每一计算步。渐进破坏分析是根据修正后的库仑 (Coulomb) 准则(包含拉伸截断 Tension cut-off^[6])来检查材料中是否有单元破坏, 对破坏单元采用刚度特性退化(处理分离)和刚度重建(处理接触)的办法进行处理。耦合分析指通过单元渗透特性与应力之间的耦合计算^[7]求解单元的渗透系数, 并对连通的破坏单元在满足应力-渗透系数关系方程的基础上进行突跳增大和水压力传递处理。所用的 F-RFPA^{2D} 系统即是重复执行上述渗流分析、应力分析、破坏分析各过程, 进行耦合迭代循环, 直到满足迭代误差, 进行下一步骤的计算。

上述分析过程可以处理裂纹萌生、扩展以及裂纹的非规则路径选择问题, 同时能够研究岩体破裂过程中渗透性能、水力梯度、渗透作用力分布的演化规律及其与岩体的相互影响。

2 计算模型

取基坑至学校方向的垂直剖面作为研究

对象, 按照平面应变问题考虑。计算取 20 m (长)×12 m (高)的分析区域, 上部取到地表, 左右两侧的水平位移取零, 垂直方向可自由滑动; 底部水平和垂直位移取零。岩土体除了承受自重外, 还考虑水压作用, 左边界定水位 10.5 m, 右边界上半段为溢出面边界, 下半段为定水位边界, 水位 7 m, 上下边界为隔水边界。不考虑楼房荷载。基坑开挖深度为 8 m, 每步开挖深度 2 m, 共开挖 4 步。由于基坑支护采用单排桩, 支护桩直径为 $\Phi 1$ m, 桩高 8 m, 桩的间距为 3 m。考虑到平面应变问题, 实际计算时把桩的截面积减小到原来的三分之一。

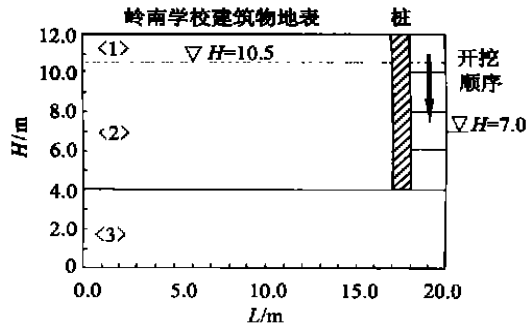


图1 基坑开挖示意图

基坑开挖揭露三部分岩土体, 由上至下分别为杂填土①、砂质粘土②和岩层③, 其厚度分别是: 杂填土①为 1.5 m、砂质粘土②为 6.5 m、基底为 3 m 的岩层③。各岩土体及支护体的物理力学指标见表 1。

表 1 岩体力学参数表

参数岩层	变形模量 E /MPa	泊松比 μ	凝聚力 c /kPa	摩擦角 φ /($^{\circ}$)	自重 γ /($N \cdot m^{-3}$)
杂填土①	15	0.3	10	20	20 000
砂质粘土②	25	0.3	25	24	20 000
岩层③	200	0.2	500	30	23 000
挖孔桩	20 000	0.15	5 206	34	25 000
桩梁	20 000	0.15	5 206	34	25 000

3 计算结果

3.1 开挖引起围岩应力分布及破坏机理

图 2a-d 为单桩支护条件下基坑分四步 (2 m 一步) 开挖时, 围岩剪应力分布和破裂演

化扩展过程。开挖前, 桩体承受自重和两侧对等的岩土压力。一侧开挖后, 在桩的开挖侧失去了岩土的支撑作用, 相当于卸载, 在桩的另一侧由于岩土推力和水压的作用而发生弯曲

变形。由于桩和土的弹模相差较大,造成靠近桩体的土层的开裂,同时桩身下部在开挖

侧压应力集中,而在另一侧承受较大的拉应力。

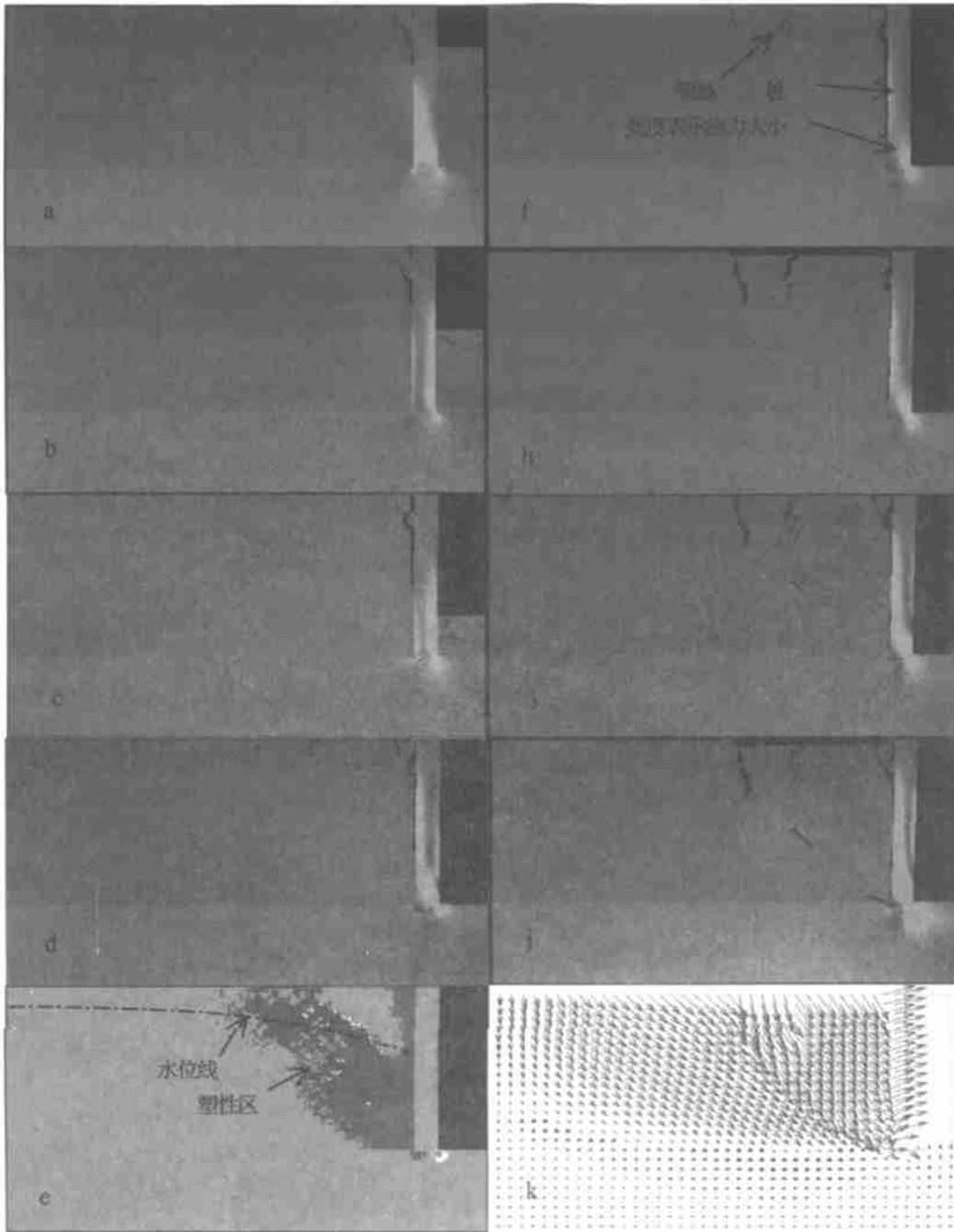


图2 基抗破裂过程数值模拟结果

在第一、二步(共4 m)时,破裂只是局限于沿桩体内侧附近和开挖侧下部的土体。当开挖到第三步时,在桩底内侧附近的塑性区范

围明显向上扩展。到第四步时,塑性区范围已经扩展到地表(图2e),同时在地面距坡肩6 m和10 m位置发生开裂。现场观测表明,这时

学校建筑物墙体出现裂缝,可见计算结果和实际较为吻合。

3.2 开挖引起围岩地表水平位移发展规律

考察距坡肩地表不同位置水平位移分布及其发展过程,尤其是分析距坡肩8m位置的地表变形情况,是查清建筑基础变形原因的关键。

由于开挖引起的岩体破裂发展,随着开挖过程的进行,距坡肩地表不同位置水平位移增长的倍率明显不同。计算表明(见图3),第一、二步开挖时,学校建筑基础(距坡肩8m位置),位移增长较小,第三、四步开挖时,位移增长显著增加,分别比第二步增加了2.53和4.08倍。正是由于该处位移的剧烈发展,导致了建筑物基础的变形破坏。各个步的水平位移量为8.9mm、10.8mm、16.1mm、25.4mm。由图2k可见,当开挖到第四步时,桩体内侧的岩体位移矢量场分布发生明显分化,主滑移区范围开始形成,桩体产生水平位移。

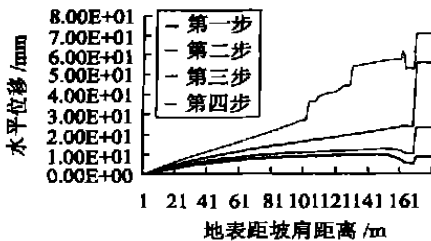


图3 基坑开挖引起地表水平位移曲线

3.3 基坑可能的失稳破坏模式

上述计算是考虑了水位有所下降时的结果,虽然塑性区从坡角向地表逐渐发展,地表出现了局部破裂,但还没有引起整体的滑坡失稳。当水位急剧上升时,考察可能的滑坡失稳模式。计算结果见图2f-2j,则可能发生的破坏模式为:地面6~10m位置的岩体首先拉张破裂,随着裂缝的不断向下扩展,在岩体中间形成剪切裂纹,随后沿桩脚剪断形成圆弧形滑动面,造成整体失稳。

4 结论

本文利用F-RFPA^{2D}系统模拟了水压作用下基坑开挖引起围岩变形、破裂直至形成滑动,开裂面的动态发展全过程,确定了破坏模式和破坏范围,其结果与现场勘察及观测资料基本一致。研究认为:由于基坑开挖深度大,而且护坡桩的间距较大,引起围岩破坏及地表变形。指出三、四步开挖对围岩扰动最大,水压的上升导致围岩滑裂面的最终贯通。可见从第三步开始对围岩进行锚固及疏干地下水是确保围岩稳定的有效措施。

本文的研究表明,F-RFPA^{2D}系统能够有助于人们认识基坑(边坡)开挖引起的围岩滑动机理和移动规律。

参考文献

- 1 Ho & Partners. TY Report on the Visual Inspection of Building Damages at Lingnan Middle Scholl - MACAU(Hong Kong). Consulting Engineers 1999. 5.
- 2 Tang C A. Numerical simulation of rock failure and associated seismicity. Rock Mech. 1997, 34; 249 ~ 262
- 3 Tang C A, Xu X H, Song S Z. Numerical Simulation of AE in Unstable Failure of Concrete. Proceedings of the 2nd International Conference on Nondestructive Testing of Concrete in the Infrastructure. 1996, June 12 ~ 14
- 4 唐春安, 费鸿禄, 徐小荷. 现代系统科学在岩石破裂失稳研究中的应用. 东北大学学报, 1994, 15(1); 24 ~ 29
- 5 Brady B H G, Brown E T. Rock Mechanics for Underground Mining. Second Edition. Chapman & Hall, 1993. 106 ~ 108
- 6 崔维成. 复合材料结构破坏过程的计算机模拟. 复合材料学报, 1996, 13(4); 102 ~ 111
- 7 Louis C. Rock Hydraulics. In: Rock Mechanics Ed by L Muller, 1974

收稿日期: 2002-05-27