

建筑技术

斜坡地基附加应力扩散规律的研究

谭瑞山¹ 李剑^{2*} 王星运¹ 黄河¹ 王禹¹

(湖北省电力勘测设计院¹, 武汉 430040; 中国科学院武汉岩土力学研究所², 武汉 430071)

摘要 目前对地基中附加应力扩散规律的研究局限于平面地基情况,对斜坡条件下附加应力扩散规律的研究甚少。随着基础设计建设的发展,众多工程在山区丘陵地区实施,有必要研究斜坡条件基底附加应力的扩散规律,以便为工程设计提供参考。通过数值仿真技术,研究斜坡坡比、基础埋深和基础临坡距等3种考察因素,对地基中的附加应力扩散规律的影响。计算运用有限差分软件FLAC^{3D},分别对不同工况条件下地基中的附加应力进行计算。结果表明:斜坡条件下,附加应力扩散的不对称性主要是由于斜坡临空,缺少约束造成。随着基础上覆建筑物荷载的增加,附加应力不对称角增加。附加应力不对称角与坡比、埋深成正比关系,与临坡距成反比关系。

关键词 斜坡地基 附加应力扩散 FLAC^{3D}

中图分类号 TU435; 文献标志码 A

根据布辛斯克推导的附加应力计算公式^[1]可知,平面地基条件下,地基中的附加应力是呈对称扩散的;即扩散角相同,垂直方向上的附加应力逐渐减小,水平方向上的附加应力是关于力对称的,并向远处逐渐减小。然而,由于斜坡的存在,临坡方向上的约束消失,地基中的附加应力扩散也与平面地基不同,主要表现在不对称上。

土力学中常用的计算基础沉降的分层总和法^[2],即将地基中土体分层并计算分层土体的平均附加应力,而后再根据压缩模量和孔隙比等参数计算每层沉降,最后将各分层沉降叠加求得最终沉降量。因此,基础沉降与地基中的附加应力水平密切相关。

目前对于地基中附加应力的扩散规律仅停留在平面地基条件下,斜坡地基条件下的附加应力扩散规律研究甚少,鉴于附加应力与地基沉降密切相关,有必要研究斜坡地基中附加应力的扩散规律,

从而为斜坡地基条件下附加应力和基础沉降的计算提供参考。

本文通过数值模拟的方法,采用有限差分计算软件FLAC^{3D}计算不同工况条件下地基中附加应力的扩散规律,并进行对比分析。

1 数值模拟方案

1.1 计算方法

为方便计算的进行,可对复杂的真实岩土体条件进行适当简化,主要研究对附加应力扩散起主导作用的因素。因此,本次数值模拟做以下简化:

- 1) 斜坡坡面按直线处理;
- 2) 采用平面应变问题模拟研究地基实际工况;
- 3) 基础仅建一立方体线弹性模型。

附加应力的获取方法:首先计算斜坡地基内的自重应力,并利用FLAC^{3D}程序内置的编程语言编制程序,保存自重应力数据;然后施加外荷载,并计算地基内的应力及变形,将每一级外荷载作用下的应力剪掉自重应力,即为附加应力,编制程序保存附加应力数据。

1.2 计算模型

本次数值模拟的模型按如下原则建立:取实际斜坡体中垂直于地面方向上0.5 m厚度的平面进行

2012年7月11日收到 8月10日修改

第一作者简介:谭瑞山(1963—),男,高级工程师,研究方向:工程地质。

*通信作者简介:李剑,男,博士研究生,研究方向:土体本构关系及地基稳定性研究。E-mail:lijianwelcome@163.com。

模拟计算。输电塔基础仅建出自基底向上0.5 m厚度的模型。基础靠近斜坡内侧方向上取基础宽度的8倍的岩土体进行建模。基础埋设高度为15 m。具体计算模型如图1所示。

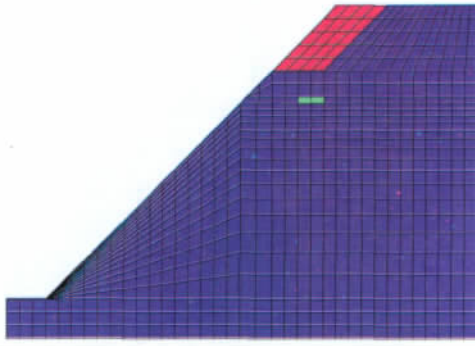


图1 分析计算模型网格图

模型网格划分:根据差分法的特点可知,网格疏密对计算结果有一定影响,网格越疏计算结果离真实结果的偏差越大,网格越密越接近真实结果。但是,一味地加密网格只会增加计算的负担,而其计算结果的精度却没有显著提高。因此,在精度允许范围内,适当增加网格间距是合理可行的,通常选取1 m为网格间距。此外,由于较为关心基础以下一定范围内的土体应力及变形,本次计算将基础以下的模型垂直方向的网格,按照距离进行由密到疏的划分。

模型边界条件为:水平方向上固定模型左右侧边界以限制其 x 方向上的水平位移,限制整个模型 y 方向上的水平位移。模型地面固定三个方向上的位移,其他边界不设边界条件。

1.3 计算参数

计算参数的选取是数值模拟能否反映实际工程状况与形态最为关键的因素之一。为正确获取计算结果,本次计算参数通过如下方式来保证选取的正确性:

- 1) 参考《工程地质手册》中各种土体及岩石的物理力学参数^[3];
- 2) 参考实际数据^[4,5];
- 3) 根据经验综合选取计算参数。

数值模拟的参数选取不能简单地从实际实验选取或参照具体参考书中给出的参数,而是应该参

考这些量值,根据经验及计算结果不断调整,以达到正确模拟实际工况的目的。这主要是因为,FLAC^{3D}中所使用的摩尔库伦模型将岩土体视为理想的弹塑性体,计算过程中弹性模量不发生变化,即岩土体弹性应力应变关系为直线,塑性阶段的变形为刚塑性材料的变形特征,而实际岩土体的应力应变关系很可能是非线性的,并且在塑性发展过程中会产生硬化(软化)特性^[6]。因此,计算参数的选取必然要根据计算结果和经验做适当调整。

斜坡塔基的地基承载力问题从本质上讲是斜坡稳定性问题,首先要保证斜坡在自然状态下的稳定性才能考虑在斜坡上修筑输电塔,因此,计算参数要保证斜坡的安全系数达到一定值。本次计算要求最危险的斜坡安全系数达到1.38以上。

通过试算,选定计算参数,具体见表1。

表1 斜坡地基数值模拟参数

弹性模量/MPa	泊松比	黏聚力/kPa	内摩擦角/°
60	0.35	35	25

1.4 计算工况

为研究斜坡地基在不同工况条件下地基承载力的大小及地基中应力和变形情况,根据坡比、临坡距、埋深等3种影响因素,分别设计了不同的工况条件进行对比分析。具体工况条件见表2。

表2 斜坡地基数值模拟工况

方案	考察因素	地基条件	基础宽度 B/m	埋深 $/m$	临坡距 $/m$	坡比
1	坡比	中硬	2	B	B	1:1、1:2、1:3
2	埋深	中硬	2	$0.5B$ 、 $2B$ 、 $3B$	B	1:1
3	临坡距	中硬	2	B	$0.5B$ 、 $2B$ 、 $4B$	1:1

2 外荷作用下斜坡地基附加应力扩散规律分析

外荷作用下,斜坡地基内的附加应力扩散不再向平面地基条件呈对称的椭圆形等值线向深部发展,而是呈不对称性。本节即分析,外荷作用下,通过数值计算方法和模型试验的方法,得出结果,并分析斜坡地基内的附加应力扩散的规律性。

2.1 斜坡地基附加应力扩散规律

斜坡地基条件下,由于临坡侧缺少了约束,其承载能力必然降低,而使得附加应力的传递偏向坡内倾斜,这意味着坡内岩土体将承受较大的附加应力。

现将斜坡条件下,附加应力的对称轴与垂直线的夹角定义为不对称角。由前述分析可知,斜坡条件下地基中的附加应力与平面条件下的不同之处就在于斜坡条件下,附加应力存在不对称角。

图2~图6为不同外荷作用下的附加应力云图。

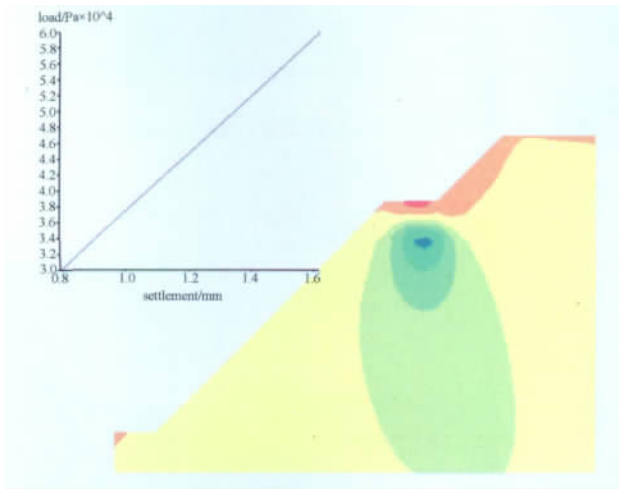


图2 加载 60 kPa 时附加应力云图

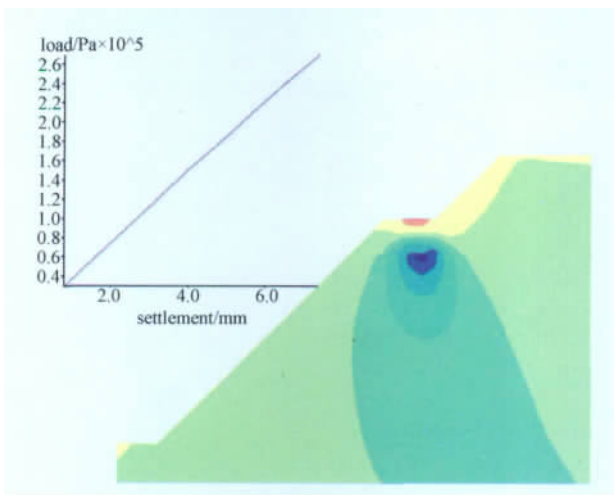


图3 加载 270 kPa 时附加应力云图

从图2至图6可以看出,斜坡地基在受外荷载作用下的应力扩散发展过程大致可分为如下三

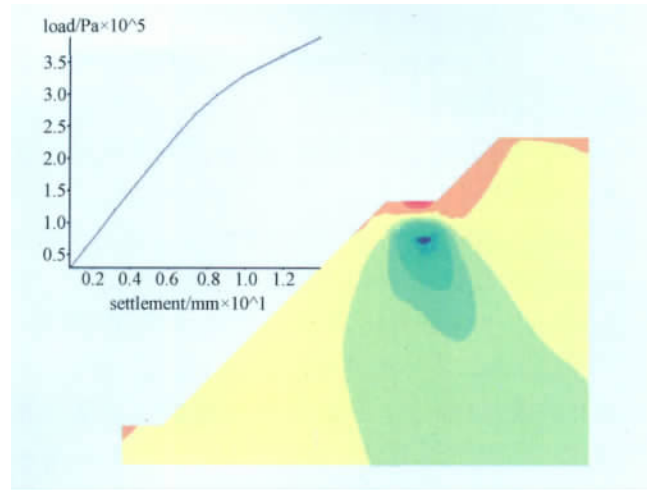


图4 加载 390 kPa 时附加应力云图

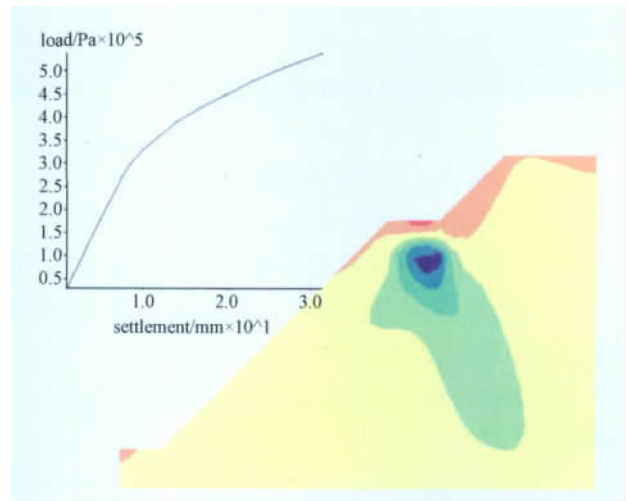


图5 加载 540 kPa 时附加应力云图

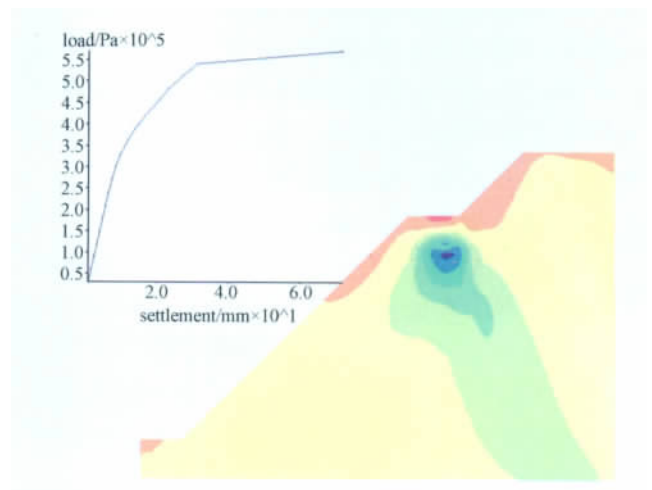


图6 加载 570 kPa 时附加应力云图

阶段:

2.1.1 $P-S$ 曲线的直线阶段(即比例界限以内的比例阶段)

$P-S$ 曲线的直线阶段应力扩散如图 2 和图 3 所示。从图中可以看出:

(1) 基础受外荷载作用时附加应力首先在基础底部发展,荷载较小时,范围较小;随着外荷载的增加,附加应力逐步发展,扩散角增大,扩散深度增加;

(2) 基础受外荷载作用初期,附加应力均匀向深部扩散,附加应力的椭圆形云图对称轴是垂直的,即不对称角是 0 度。但随着外荷载的增加,附加应力向深部扩散后,其云图的对称轴便向逐步边坡内部倾斜。

(3) 基础受外荷载作用下,开挖表面及开挖边坡上出现拉应力,随着载荷的增加,拉应力不断地增加。

2.1.2 比例界限至临塑荷载阶段

本阶段如图 3 至 5 所示。从图中可以看出:

(1) 在比例界限荷载到临塑荷载阶段,外荷载作用初期,附加应力仍可均匀向深部扩散,扩散规律与第一阶段相同;

(2) 在外荷载增加的过程中,附加应力的不对称角不断增加;

(3) 当外荷载接近临塑荷载后,附加应力云图出现紊乱,图中附加应力云图出现分叉,深部附加应力云图表现出无规律性。且附加应力的不对称性明显,不对称角度达到最大。

(4) 这说明,附加应力没有出现紊乱时,地基仍可以承受更大的外荷载,一旦附加应力云图出现紊乱,地基所受的载荷便接近极限荷载。

2.1.3 超过临塑荷载阶段

外荷载超过临塑荷载后,附加应力云图更紊乱,并在边坡上形成大面积的拉应力区。

2.2 斜坡地基附加应力扩散的影响因素

斜坡地基条件下,对附加应力扩散的影响主要表现在附加应力的不对称性上,因此,本节主要分析不同影响因素对不对称性的影响。

2.2.1 坡比对斜坡地基附加应力扩散的影响

本小节主要分析坡比对不对称性的影响。图

7—图 9 分别给出了三种不同坡比条件下,加载至 270 kPa 时,斜坡地基中的附加应力扩散云图。

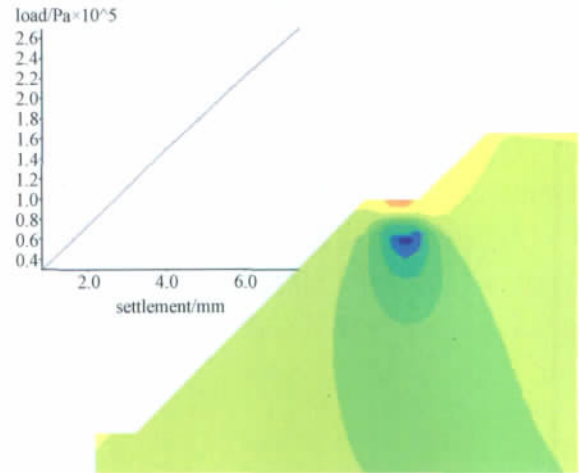


图 7 工况 1(坡比 1:1) 加载 270 kPa 时附加应力云图

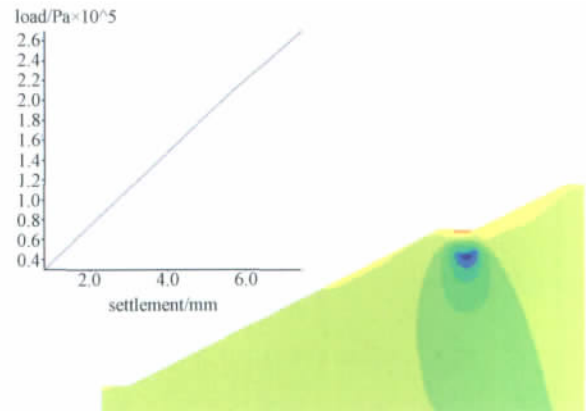


图 8 工况 2(坡比 1:2) 加载 270 kPa 时附加应力云图

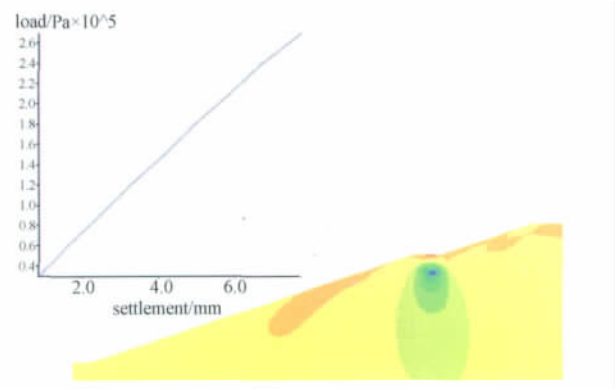


图 9 工况 3(坡比 1:3) 加载 270 kPa 时附加应力云图

从图 7—图 9 可知,当外荷载相同时,三个工况的附加应力不对称角是不同的。随着坡比的减小,

附加应力不对称角减小。这主要是因为: 斜坡条件下, 附加应力的不对称性受基础周边岩土体的不对称性影响, 当坡比减小, 基础左侧的岩土体范围增加, 其不对称性就减小, 因此, 附加应力的不对称角就减小。

2. 2. 2 基础埋深对斜坡地基附加应力扩散的影响

本小节主要分析埋深对不对称性的影响。图 10—图 12 分别给出了三种不同埋深条件下, 加载至 360 kPa 时, 斜坡地基中的附加应力扩散云图。

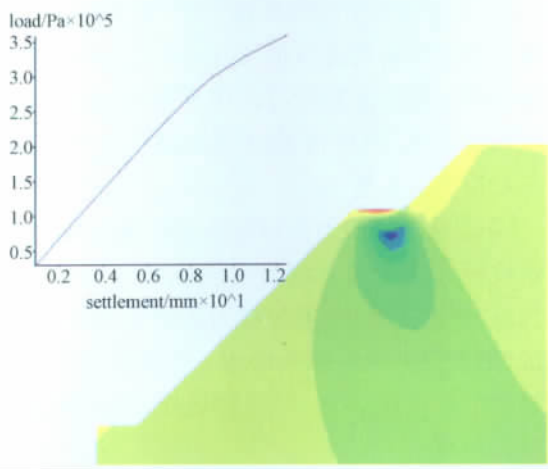


图 10 工况 1(埋深 0.5B) 加载 360 kPa 时附加应力云图

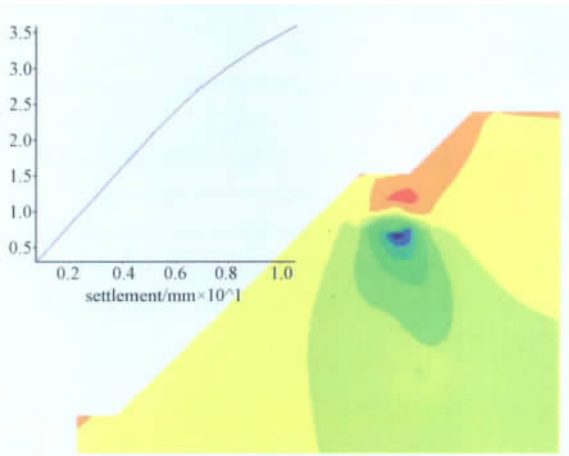


图 11 工况 2(埋深 2B) 加载 360 kPa 时附加应力云图

从图 10—图 12 可以看出, 当外荷载相同时, 附加应力的不对称角不同。从图中可知, 当埋深增加时, 附加应力不对称角增加。

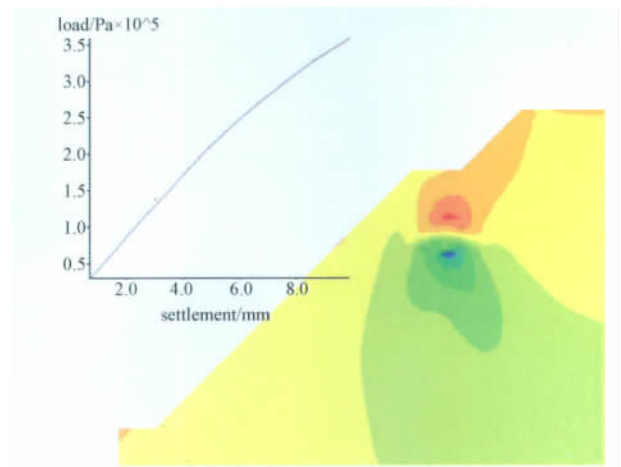


图 12 工况 3(埋深 3B) 加载 360 kPa 时附加应力云图

2. 2. 3 基础临坡距对斜坡地基附加应力扩散的影响

本小节主要分析临坡距对不对称性的影响。图 13—图 15 分别给出了三种不同临坡距条件下, 加载至 360 kPa 时, 斜坡地基中的附加应力扩散云图。

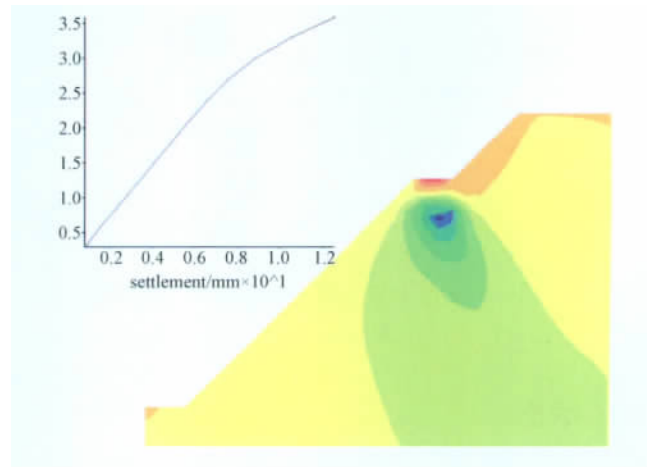


图 13 工况 1(临坡距 0.5B) 加载 360 kPa 时附加应力云图

从图 13—图 15 可知, 当外荷载相同时, 三个工况的附加应力不对称角是不同的。随着临坡距的增加, 附加应力不对称角减小。这主要是因为: 斜坡条件下, 附加应力的不对称性受基础周边岩土体的不对称性影响, 当临坡距增加, 基础左侧的岩土体范围增加, 其不对称性就减小, 因此, 附加应力的不对称角就减小。

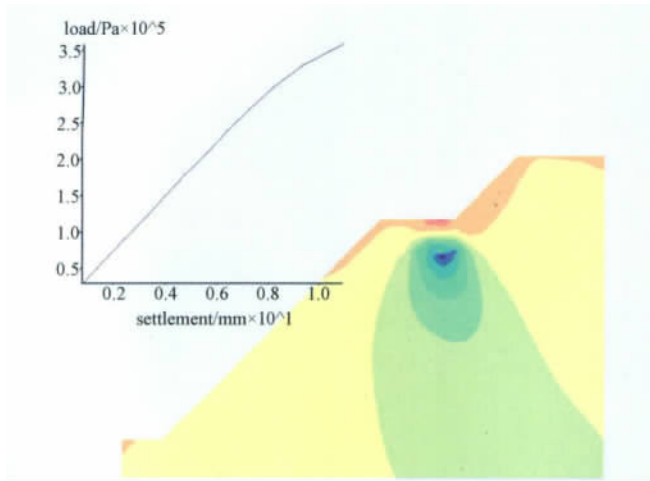


图 14 工况 2(临坡距 2B) 加载 360 kPa 时
附加应力云图

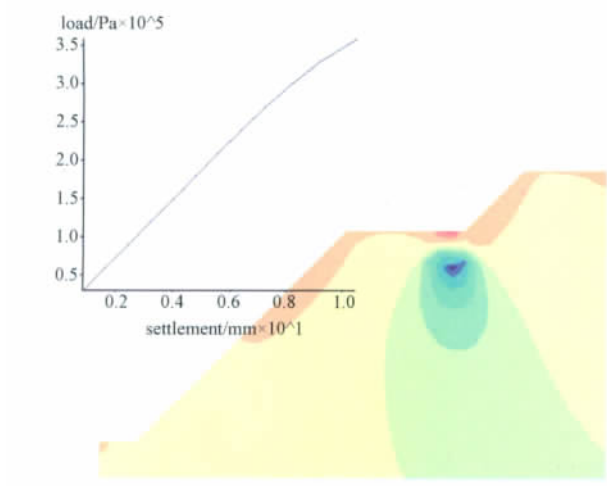


图 15 工况 3(临坡距 4B) 加载 360 kPa 时
附加应力云图

3 结论

本文通过数值模拟技术研究了斜坡地基条件下附加应力的扩散规律及影响因素,得到主要结论如下。

(1) 斜坡条件下,影响附加应力扩散呈不对称性,随着作用在地基上的外荷载的增加,附加应力不对称角逐渐增加,当外荷载达到地基极限承载力时,附加应力不对称角达到最大。

(2) 造成附加应力扩散不对称性的主要因素在于:斜坡的存在使得基础两边的岩土体不对称,靠近斜坡一侧岩土体临空,无法承受更大的荷载,使得斜坡内侧的岩土体将承受比斜坡更大的荷载,进而附加应力扩散发生不对称。

(3) 当地基所受外荷载较小时,附加应力呈对称扩散。随着外荷载逐渐增加,附加应力的不对称性逐渐发展。当外荷载超过比例界限后,附加应力等值线出现紊乱,当外荷载达到极限荷载时,附加应力不对称角达到最大。

(4) 影响附加应力不对称性的因素有坡比、埋深和临坡距。坡比和埋深与附加应力不对称角呈正比关系,即坡比减小,附加应力不对称角减小;埋深增加,附加应力不对称角增加。临坡距与附加应力不对称角呈反比关系,即当临坡距增加,附加应力不对称角减小。

参 考 文 献

- 1 周汉荣. 土力学地基与基础. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1993
- 2 顾晓鲁, 钱鸿缙, 刘惠珊, 等. 地基与基础. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995
- 3 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007
- 4 赵尚毅, 郑颖人, 时卫民, 等. 用有限元强度折减法求边坡稳定安全系数. 岩土工程学报. 2002; 24(03): 343—346
- 5 孙冠华, 郑宏, 李春光. 基于等效塑性应变的三维边坡滑面搜索. 岩土力学. 2010; 31(02): 627—632
- 6 陈惠发, 萨里普 A F. 弹性与塑性力学. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004

Research on the Diffusion Law of the Additional Stress of the Slope Foundation

TAN Rui-shan¹, LI Jian^{2*}, WANG Xing-yun¹, HUANG He¹, WANG Yu¹
(Hubei Electric Power Survey&Design Institute¹, Wuhan 430040, P. R. China;
Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences², Wuhan 430071, P. R. China)

[Abstract] The diffusion of additional stress in the foundation law is limited to a flat foundation and little research on the law of slope conditions. With the development of basic design and construction, numerous projects implement in the mountainous. So it is necessary to study the diffusion of additional stress law under the slope conditions, in order to provide a reference for engineering design. Numerical simulation techniques is used to do research on the diffusion of additional stress law through the facts of the slope ratio, the foundation depth and the distance from the slope. Through using the finite difference software FLAC^{3D}, respectively to calculate the additional stress of the foundation under different conditions. It concludes that under the slope conditions the diffusion of additional stress asymmetry is mainly caused by the lack of constraints due to slope overhead. And the asymmetric angle of the additional stress increases with the increase of the building load covered. The additional stress is directly proportional to the slope ratio and depth of foundation, and has an inverse relationship with the distance from the slope.

[Key words] slope foundation diffusion of additional stress FLAC^{3D}

(上接第 9732 页)

Particle Swarm Optimization Algorithm and Support Vector Regression in Some Enterprise Using Water Forecasting Application Research

LIU Wei, ZHOU Jun-min
(Department of Physics and Electronic Engineering, Zhoukou Normal University, Zhoukou 466001, P. R. China)

[Abstract] Prediction of water demand of industrial enterprises in the planning and operation plays a very important role. Industrial water use time series recorded data as training samples in Henan province Zhoukou city food processing enterprises of recent 10 years is used, and put forward the method using particle swarm algorithm parameter optimization in support vector machine regression prediction. The result shows that this algorithm can significantly improve the precision of prediction in the analysis of examples.

[Key words] support vector machine particle swarm optimization algorithm forecast