

大型软件应用

有限单元法 (finite element method)

刘治军 青年研究员

土木工程系

liuzhijun@lzu.edu.cn

课程内容

第1讲-有限元概述

第2讲-杆系结构的直接法

第3讲-张量、变分以及弹性力学问题变分原理

第4讲-连续体问题的有限元

第5讲-典型单元分析

第6讲-等参元与数值积分

第7讲-几个基础问题

第8讲-梁问题的有限元

第9讲-板问题的有限元

第1讲 有限元概述

本讲内容

1 有限单元法

- 有限单元法提出的背景与历史
- 有限元单元法的应用

2 不同数值方法简介

有限元的背景和历史

为何需要有限元?

复杂的偏微分方程求解 (非线性、复杂几何形状等)。

初识有限元

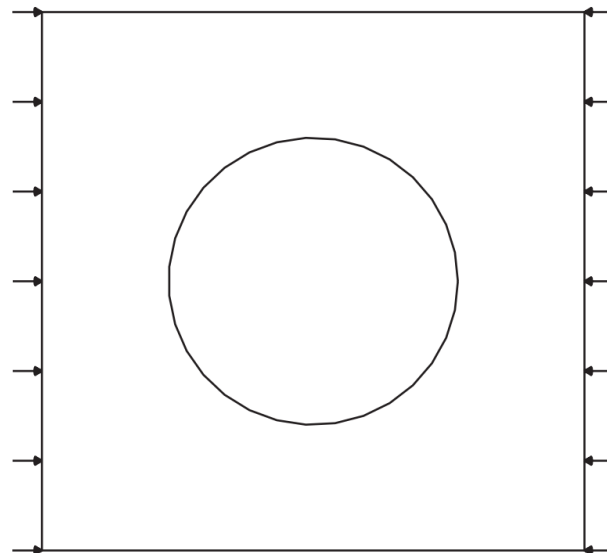
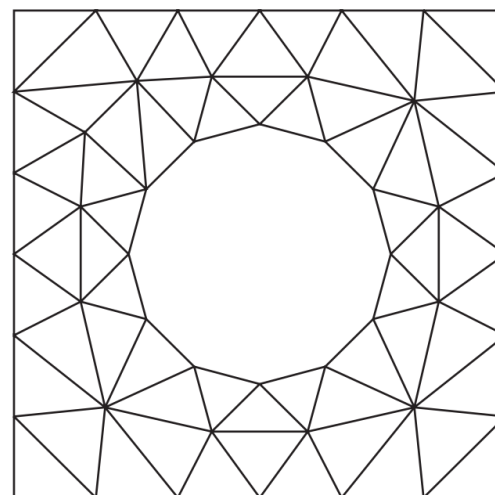


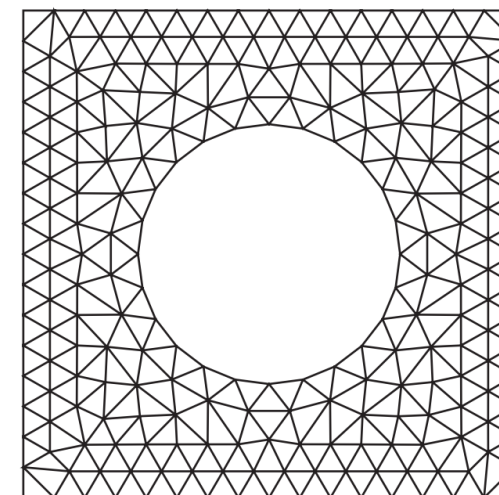
Plate with a Hole



Triangular Finite
Element



Finite Element Model



Refined Finite Element Model

有限元的历史

- M. J. Turner、 R. W. Clough、 H. C. Martin 和 L. J. Topp 1956年发表了第一篇有限元文献(1943年Courant的论文中使用了三角形单元和变分原理求解问题)。
- Clough首次使用“finite elements”这一名词。
- 伯克利(UC Berkeley)是有限元的发源地 (R. W. Clough、 E. Wilson、 R. L. Taylor 、 T. J. R. Hughes, C. Felippa 、 K. J. Bathe) 。
- 有限元发展史上做出杰出贡献的学者: O. C. Zienkiewicz (Swansea)、 J. H. Argyris 、 J. T. Oden (U. T. Austin) 。
- 我国的冯康先生独立建立了有限元的数学理论。

有限元的重要性

- 数值模拟是科学研究方法之一。
- 有限元是20世纪最伟大的科技发明之一。
- 美国每年在有限元软件和计算上花费10亿美元（J. Fish书）。
- 有限元分析计算结果已成为大量工程设计标准（航空、汽车、大坝...）。

有限元的应用范围

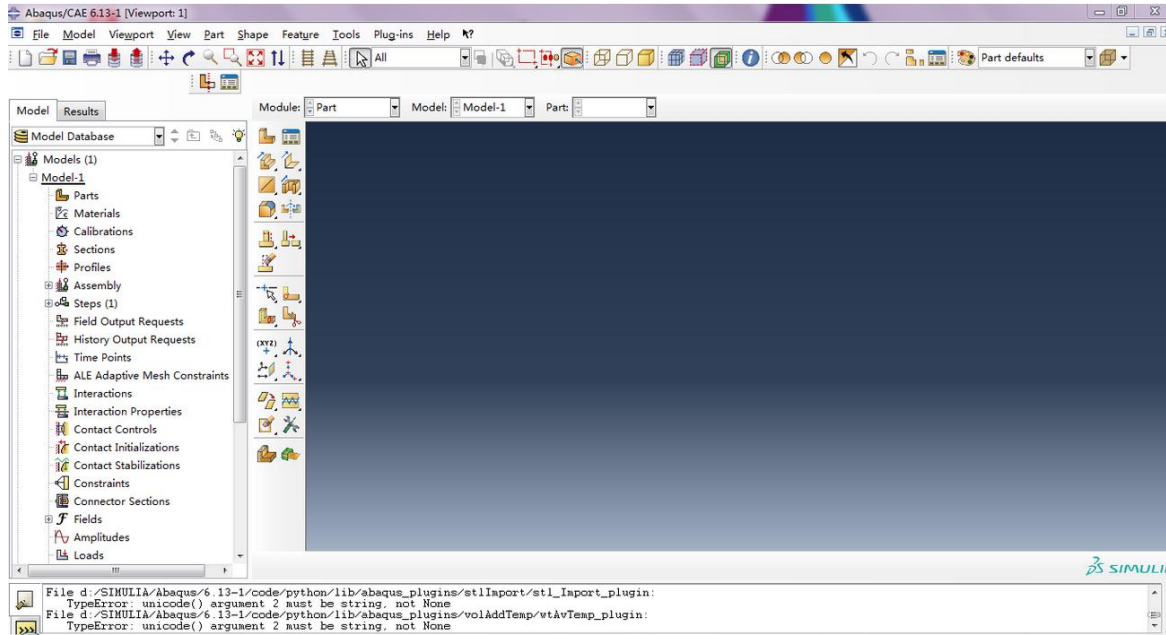
- 工业构件(电子管、压力管道、汽车、飞机)的应力和热分析。
- 大坝、电站、高层建筑等的动力分析。
- 汽车、火车和航空器的碰撞模拟。
- 通风设备内空气、污染物等的流动模拟。
- 晶体管等的电磁分析。
- 人造关节等手术过程的模拟。
-

有限元软件

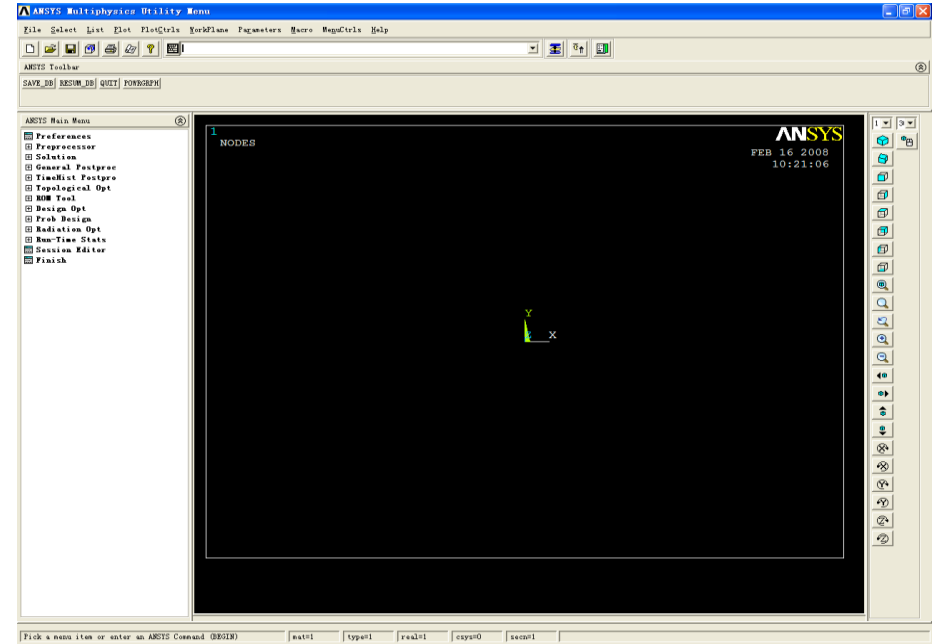
- Abaqus
- Ansys
- Adina
- NASTRAN
-

有限元软件

Abaqus



ANSYS



教材

1. Jacob Fish and Ted Belytschko, A First Course in Finite Elements, 2007.
2. **Klaus-Jürgen Bathe, Finite Element Procedures, 1996.**
3. J.N.Reddy, An Introduction to the Finite Element Method, Third Edition, McGraw-Hill, NY, 2006.
4. **T.J.R. Hughes, The Finite Element Method - Linear Static and Dynamic Analysis, 1987.**

非线性有限元

1. J.C. Simo, T.J.R. Hughes, Computational Inelasticity, Springer-Verlag, New York, 1998.
2. E.A. de Souza Neto, D. Peric, D. R. J Owen, Computational Methods for Plasticity, 2008.
3. Ted Belytschko, Wing Kam Liu, Brian Moran, Khalil Elkhodary, Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures, Second Edition, 2014.
4. M.A. Crisfield, Non-Linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, Vol I: Essentials.
5. M.A. Crisfield, Non-Linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, Vol II: Advanced Topics
6. Javier Bonet, Richard D. Wood, Nonlinear Continuum Mechanics for Finite Element Analysis, 2008.

数学理论

1. Gilbert Strang, George J. Fix, An Analysis of the Finite Element, Wellesley-Cambridge, 2008.
2. Susanne C. Brenner, L. Ridgway Scott, The Mathematical Theory of Finite Element Methods, 3rd edition.
3. Daniele Boffi, Franco Brezzi, Michel Fortin, Mixed Finite Element Methods and Applications, 2013

其他

1. Olek C Zienkiewicz, Robert L Taylor, J.Z. Zhu, The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals: Its Basis and Fundamentals, 7th edition.
2. Olek C Zienkiewicz, Robert L Taylor, J.Z. Zhu, The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics, 7th edition.
3. O.C.Zienkiewicz, R.L.Taylor, P.Nithiarasu, The Finite Element Method for Fluid Dynamics, 7th edition.
4. Ian M. Smith, D.V. Griffiths, Lee Margetts, Programming the Finite Element Method, Fifth Edition, 2015.
5. 朱伯芳,有限单元法原理与应用, 第四版

不同数值方法简介

常用的数值方法

有限元法(finite element method, FEM)

扩展有限元法(eXtended finite element method, XFEM)

广义有限元法(generalized finite element method, GFEM)

数值流形法(numerical manifold method, NMM)

间断有限元法(discontinuous Galerkin method, DG)

单位分解法(partition of unity method, PUM)

边界元法(boundary element method, BEM)

无网格法(meshfree/meshless method, MM)

等几何分析方法(isogeometric analysis, IGA)

离散元法(discrete element method, DEM)---UDEEC, 3DEC, PFC

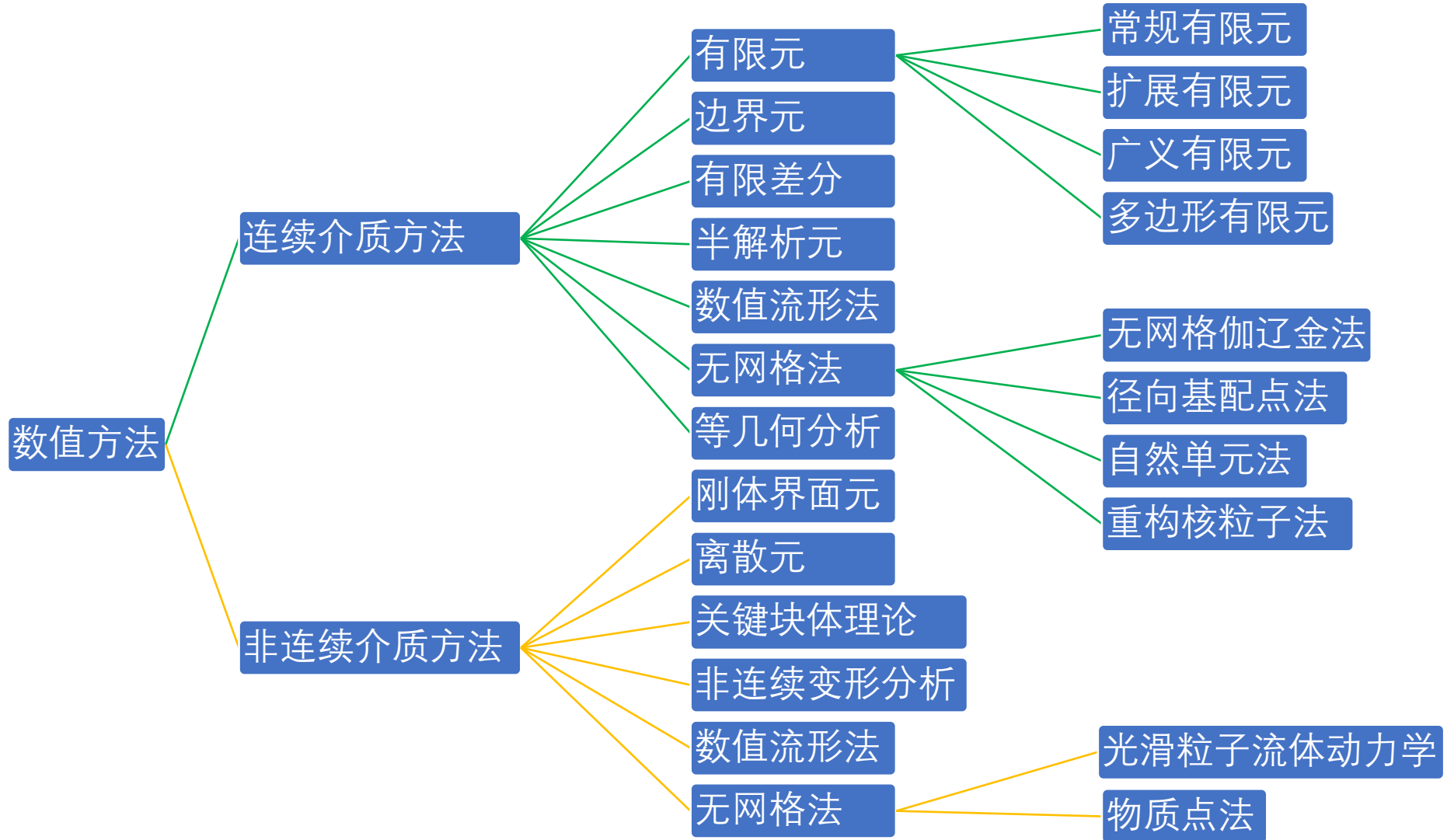
非连续变形分析(discontinuous deformation analysis, DDA)

有限差分法(finite difference method, FDM)

有限体积法(finite volume method, FVM)

Virtual element method, 拉格朗日元法, Lattice-Boltzman method(LBM), 近场动力学(peridynamics)

不同数值方法简介



不同数值方法简介

有限元法 (FEM)

应用最广

有限差分法 (FDM)

方法较早

快速拉格朗日差分法 (FLAC)

适用于大变形和非线性问题

边界元 (BEM)

不能适用复杂非线性问题

离散元 (DEM)

适合模拟散体和破碎问题

半解析元法

结合数值方法和解析解，适用范围不广

非连续变形分析法 (DDA)

隐式，可以采用大步长

数值流形法 (NMM)

统一处理连续-非连续

无网格伽辽金法 (EFG)

避免单元畸变、精度高、计算量大

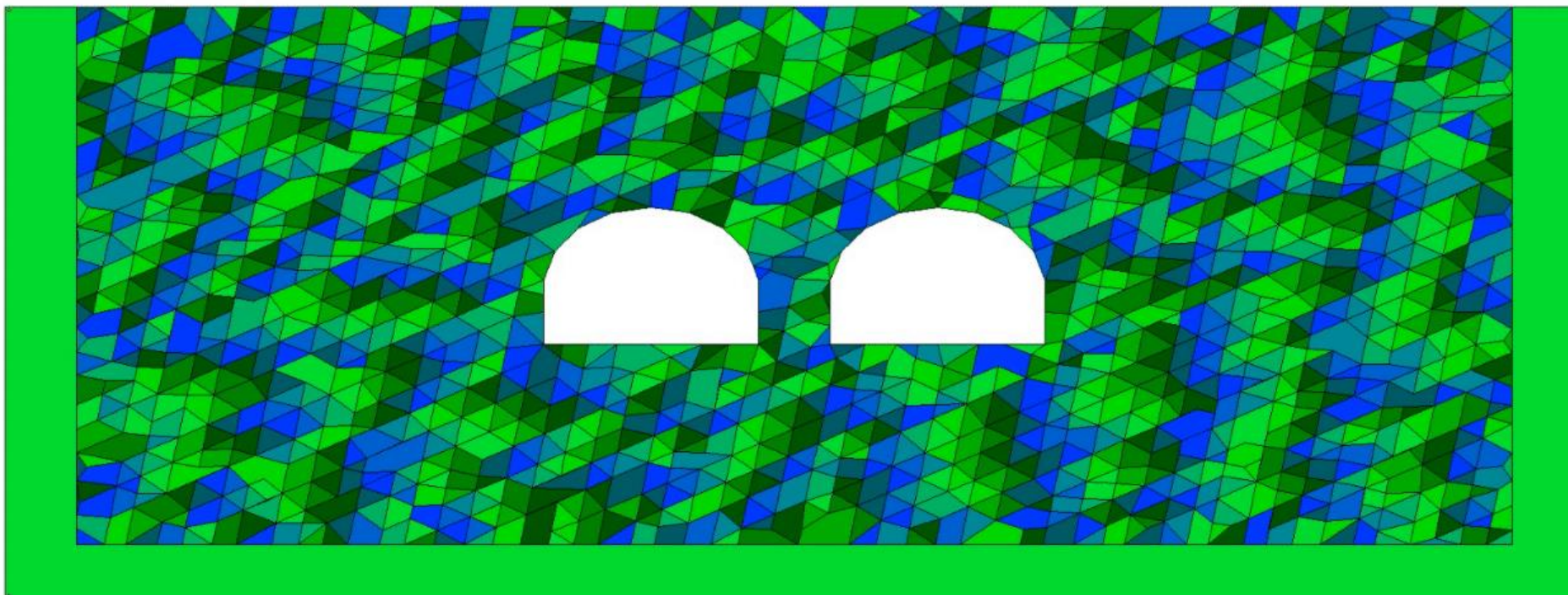
光滑粒子流体动力学 (SPH) 适用冲击破坏问题以及流体问题

非连续变形分析

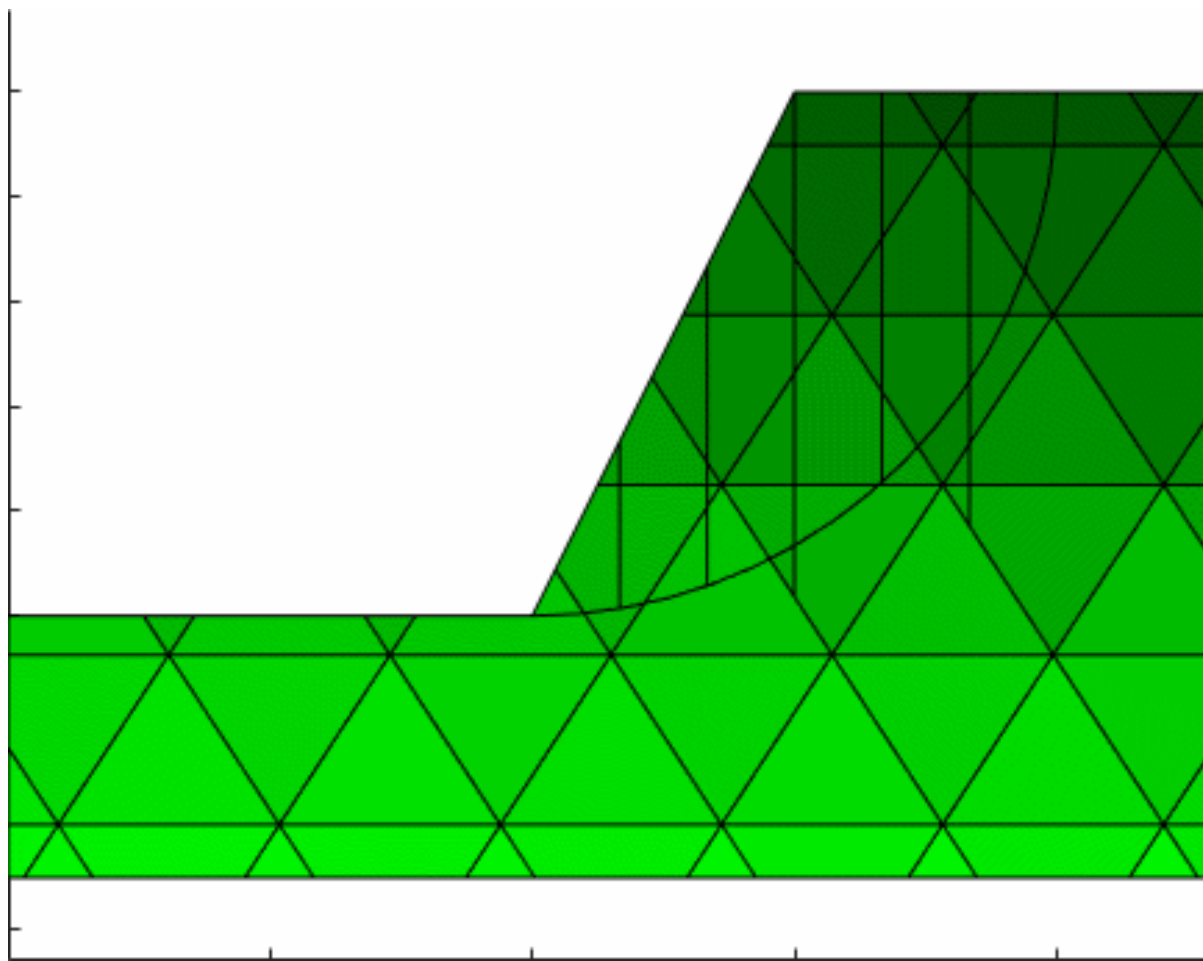
DDA Graphics

2006-01-01

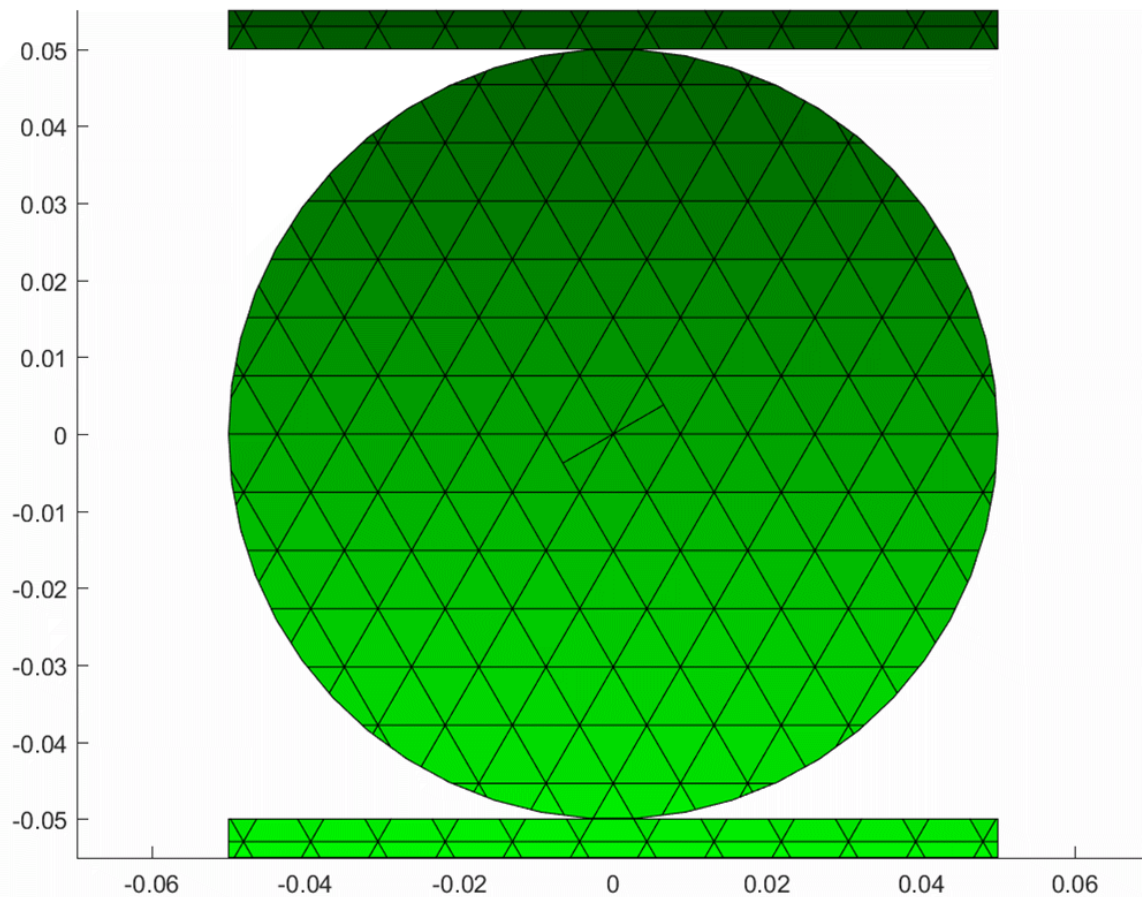
- □ ×



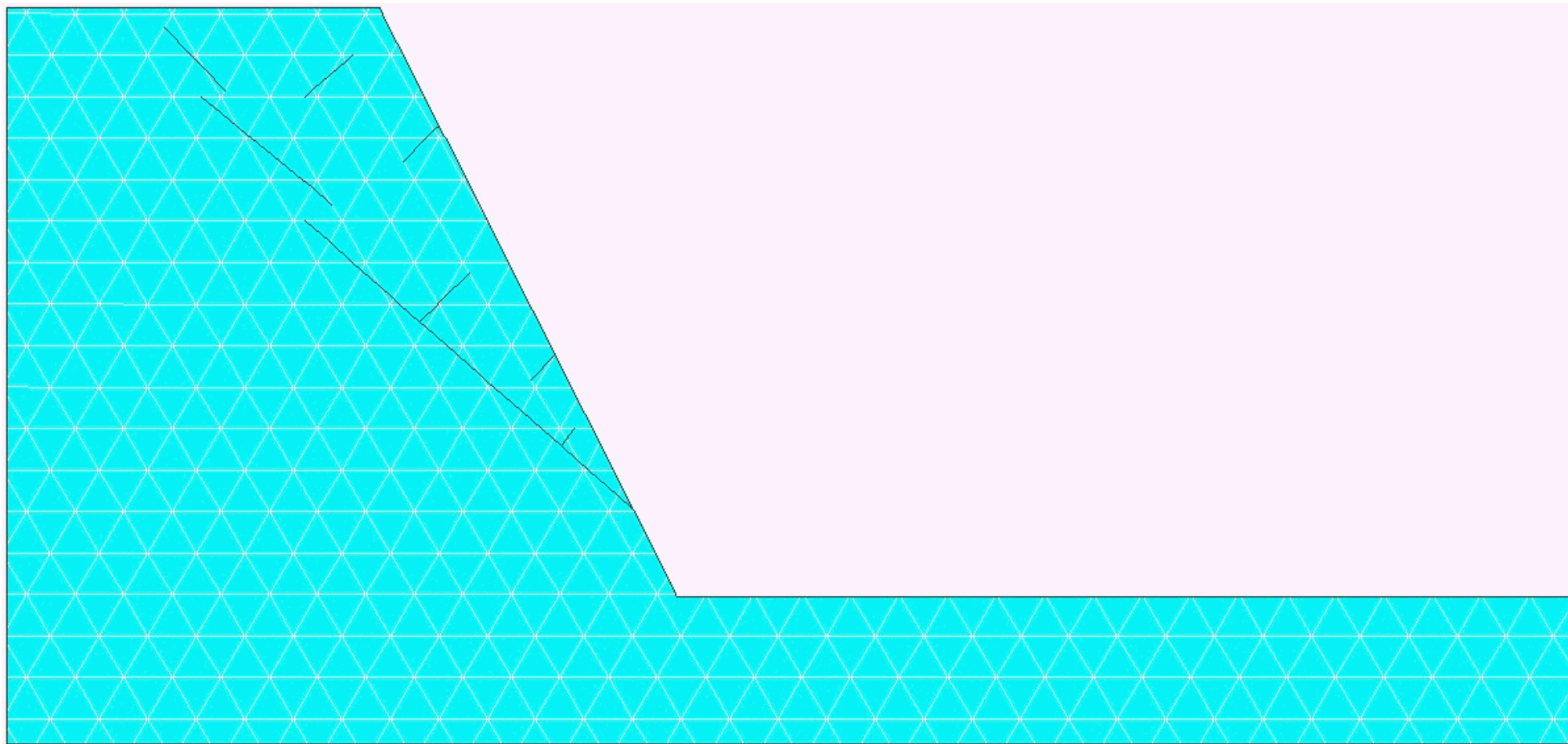
数值流形法



数值流形法

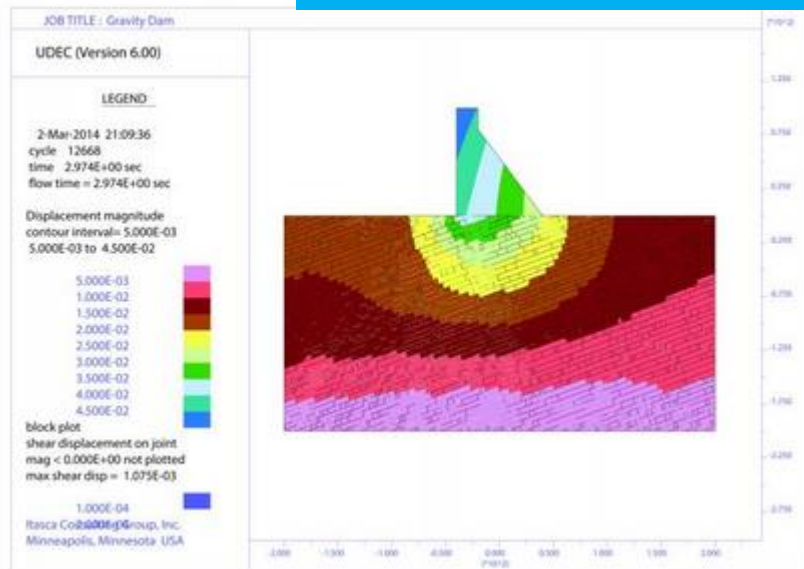


数值流形法

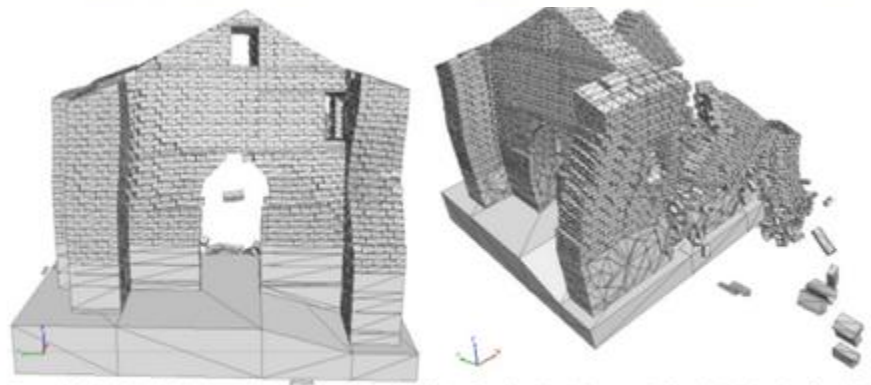
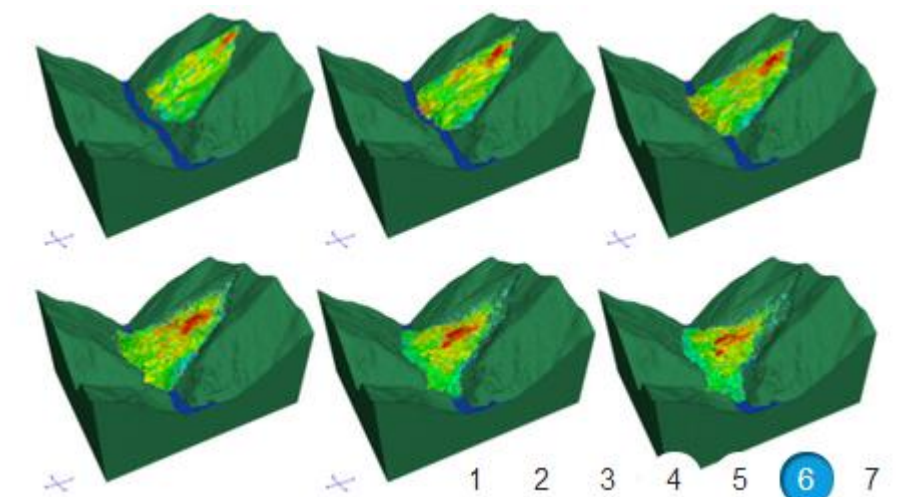


离散单元法

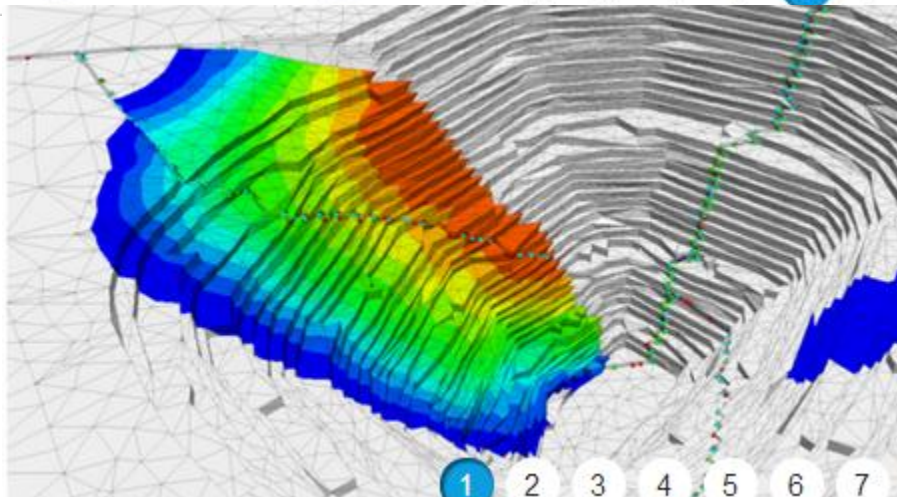
UDEC/3DEC



ITASCA



Zanotti, S. (2015). "Seismic Analysis of the Church of Kuño Tambo (Peru)" Master's Thesis, University of Minho.



PFC(2D,3D)

ITASCA

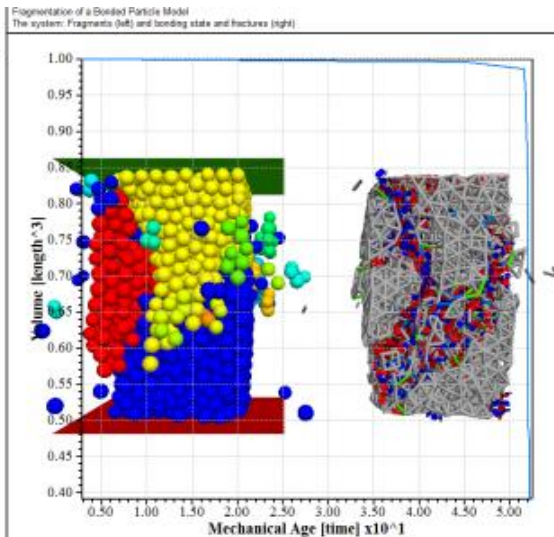
PFC3D 5.00
©2014 Itasca Consulting Group, Inc.

Ball fragment
Balls (1911)
6.9000E+01
6.5000E+01
6.0000E+01
5.5000E+01
5.0000E+01
4.5000E+01
4.0000E+01
3.5000E+01
3.0000E+01
2.5000E+01
2.0000E+01
1.5000E+01
1.0000E+01
5.0000E+00
0.0000E+00

Contact pb_state
Contacts (6885)
0
1
2
3

DFN name
Fractures (3130)
crack_shear
crack_tension

Table
1 voltag1

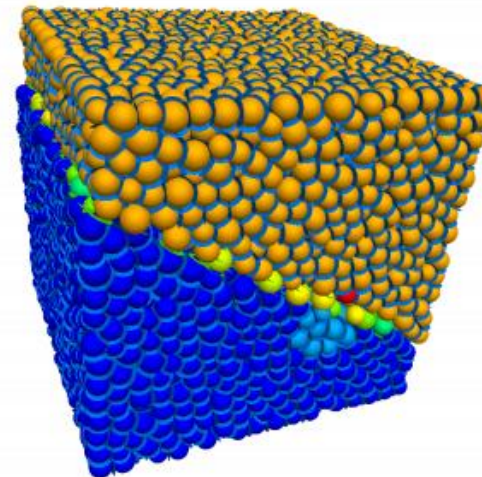


PFC3D 5.00

©2014 Itasca Consulting Group, Inc.
mechanical step : 19019
5/26/2014 6:57:30 PM

Ball displacement_mag
Balls (7509)
5.0000E-01
4.5000E-01
4.0000E-01
3.5000E-01
3.0000E-01
2.5000E-01
2.0000E-01
1.5000E-01
1.0000E-01
5.0000E-02
0.0000E+00

Contact model name
Contacts (32848)
linearbond Active
smoothjoint Active



Itasca Consulting Group, Inc.
Minneapolis, MN USA

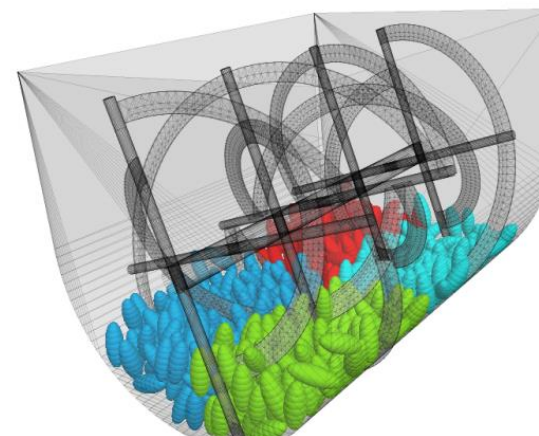
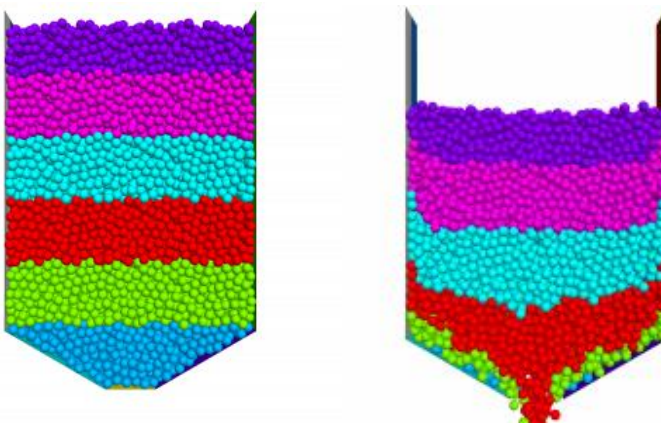
PFC3D 5.00

©2014 Itasca Consulting Group, Inc.

Clump group Any
Clumps (4428)
BackLeft
BackRight
FrontLeft
FrontRight

PFC3D 5.00
©2014 Itasca Consulting Group, Inc.

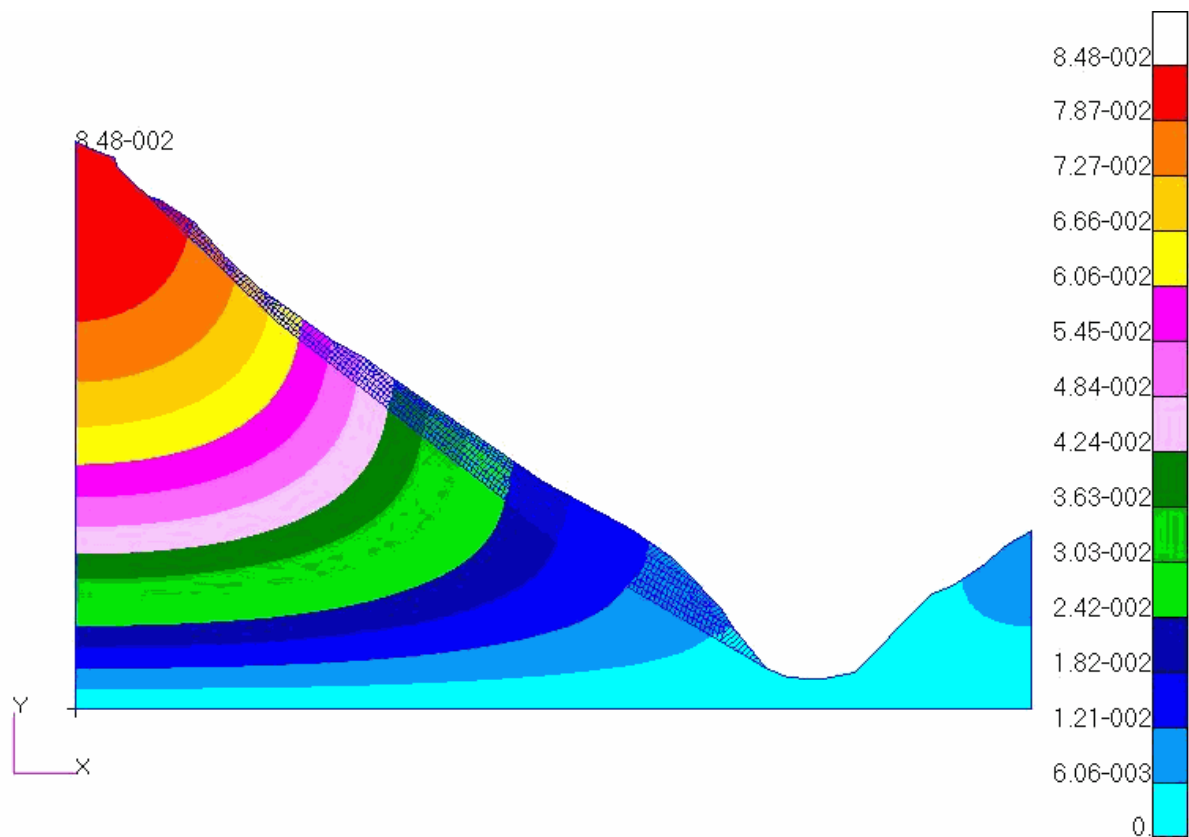
Ball group Any
Balls (5136)
LevelFive
LevelFour
LevelOne
LevelSix
LevelThree
LevelTwo



离散单元法

GDEM

北京极道成然科技有限公司



离散单元法

GDEM 北京极道成然科技有限公司

