การสอบวิทยานิพนธ์

อะแดฟทีฟไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับวิเคราะห์การทรุดตัวของเสาเข็ม

ADAPTIVE FINITE ELEMENT METHOD FOR

PILE SETTLEMENT ANALYSIS

นายสุริยันต์ แก่นภักดี

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร ฐิรวัตร บุญญะฐี

ขั้นตอนการนำเสนอ

- วัตถุประสงค์
- ขอบเขตวิทยานิพนธ์
- Adaptive Finite Element
- การพัฒนาโปรแกรม

ขั้นตอนการนำเสนอ (ต่อ)

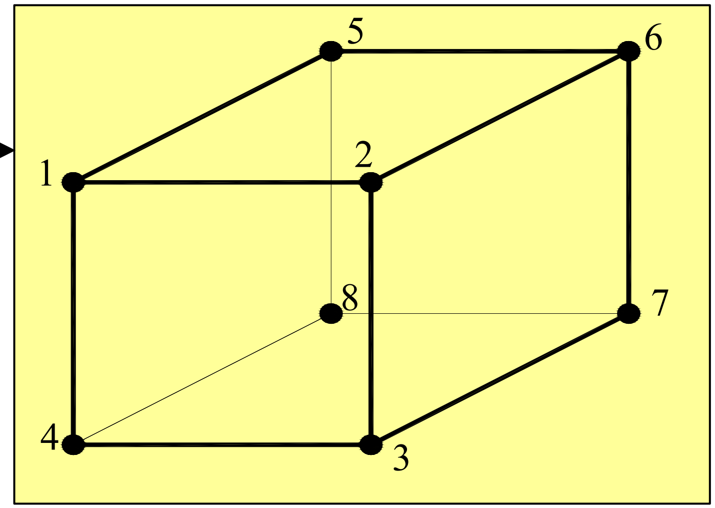
- การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม
- ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมและการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว
- สรุปผลวิทยานิพนธ์
- ประโยชน์ที่ได้รับ

วัตถุประสงค์

- พัฒนาโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับวิเคราะห์การทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว
- ศึกษาการประมาณค่าความคลาดเคลื่อน
- ศึกษาการปรับปรุงผลเฉลยไฟไนต์เอลิเมนต์
- พัฒนาโปรแกรมอะแดพทีฟไฟไนต์เอลิเมนต์

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- Hexahedron 8 node, 3D



- Static Analysis
- Vertical Loading and Vertical Piles
- Isotropic Material

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

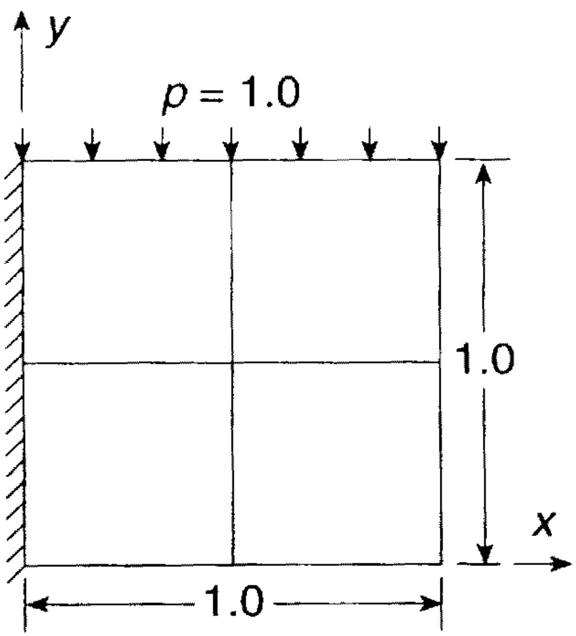
- Linear Elastic Material
- Pile Cap is Perfectly Flexible
- No Slip between Soil and Pile

Adaptive Finite Element Method

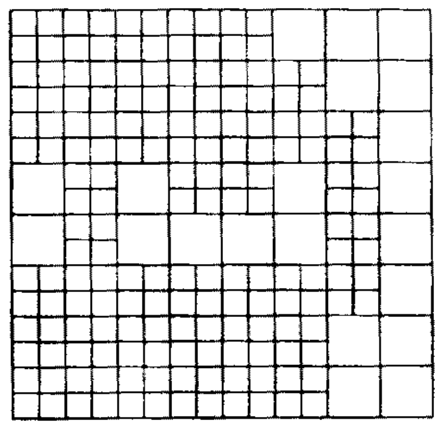
Refinement Procedure :

- h-Refinement
- p-Refinement
- hp-Refinement

h-Refinement



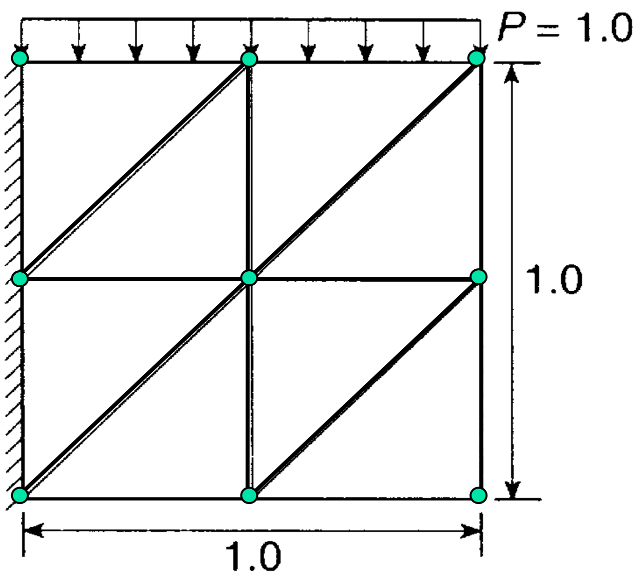
Original Mesh



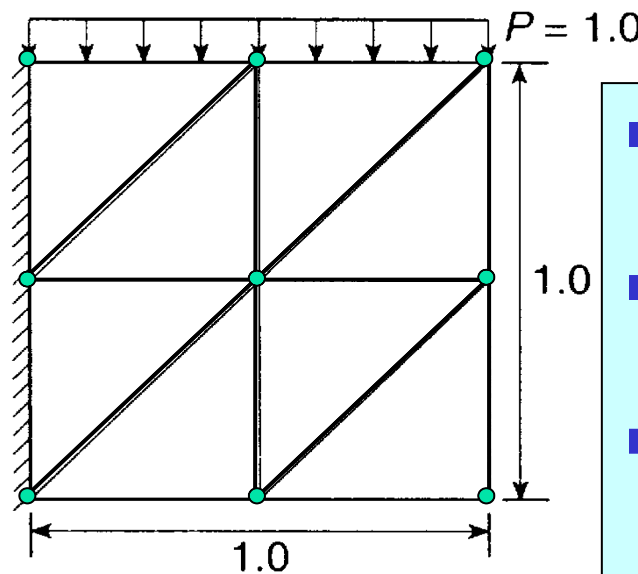
h-Refinement

- ใช้เวลาคำนวณน้อยกว่า h,hp
- Coarse Initial Mesh
- Low Complicated

p-Refinement



Original Mesh

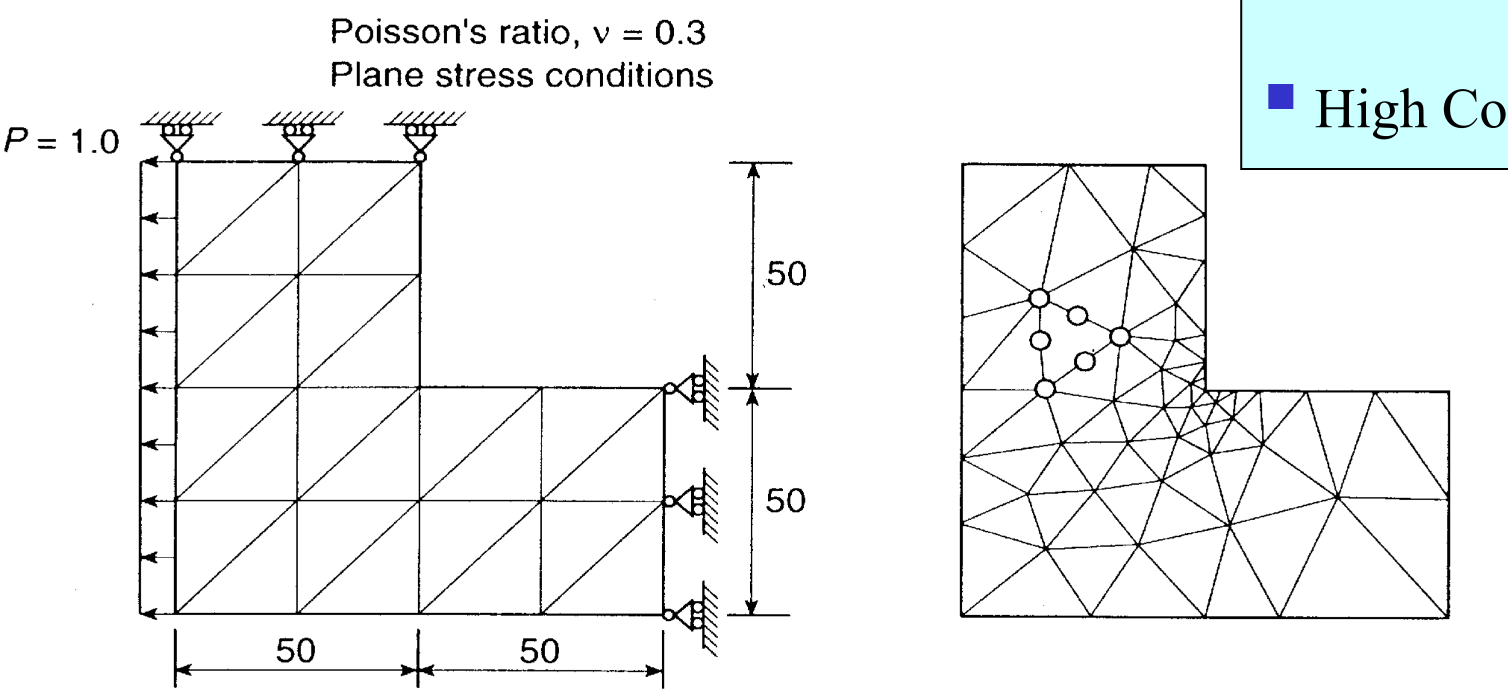


p-Refinement

- เพิ่ม Polynomial Degree
- ไม่เปลี่ยนขนาดเอลิเมนต์
- ไม่เปลี่ยนจำนวนเอลิเมนต์
- Initial Mesh are Suitable
- High Complicated

hp-Refinement

- h Adaptive + p Adaptive
- High Complicated



Mesh 1 (120 d.o.f.) $\eta = 15\%$ p = 2

(a) Original mesh

Mesh 2 (385 d.o.f.) $\eta = 4.67\%$ $p = 2$

(1322 d.o.f.) $\eta = 0.97\%$ $p = 4$

(b) Quadratic triangles for 5% error

เลือกขบวนการทำให้เอลิเมนต์ละเอียดขึ้น

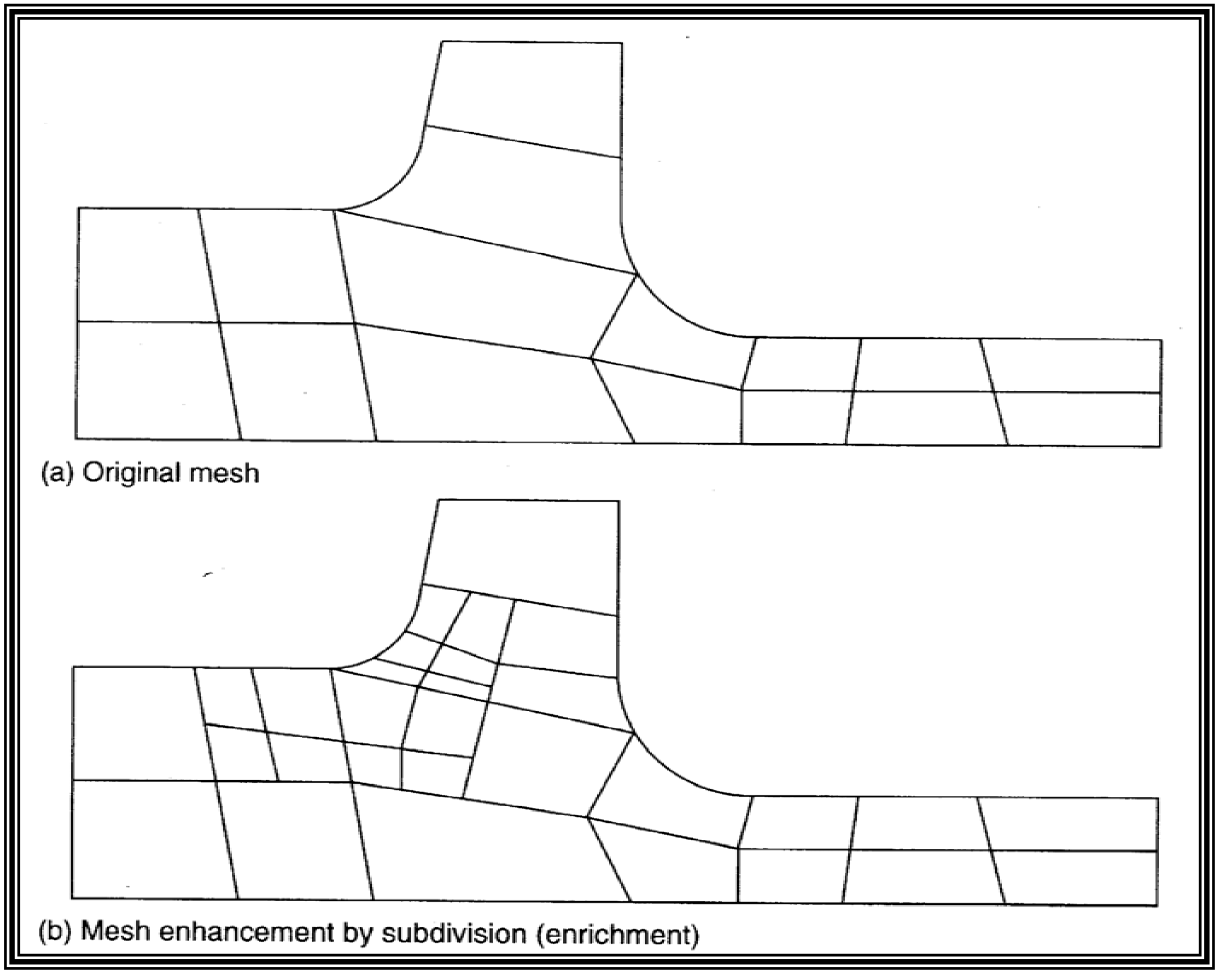
➢ h-Refinement

- ใช้เวลาคำนวณน้อยกว่า h,hp
- Coarse Initial Mesh
- Low Complicated

h-Refinement Procedure :

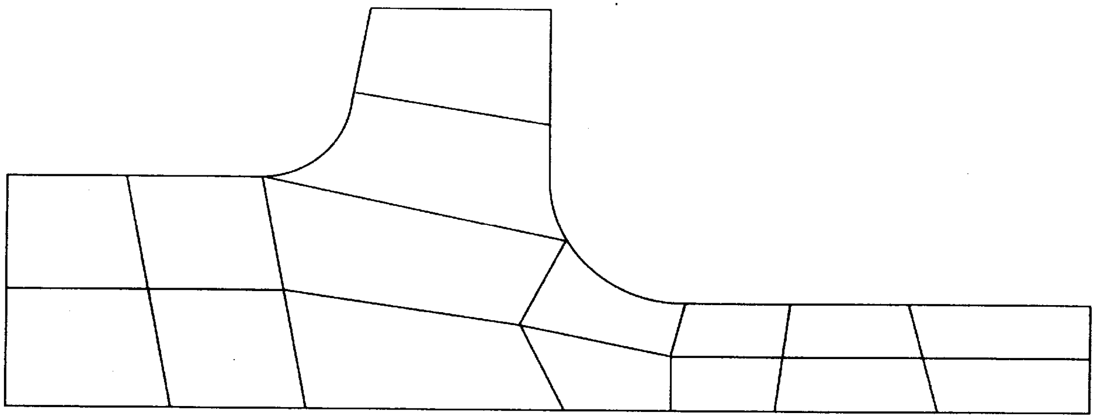
- Enrichment
- Remeshing
- r-Refinement

Enrichment

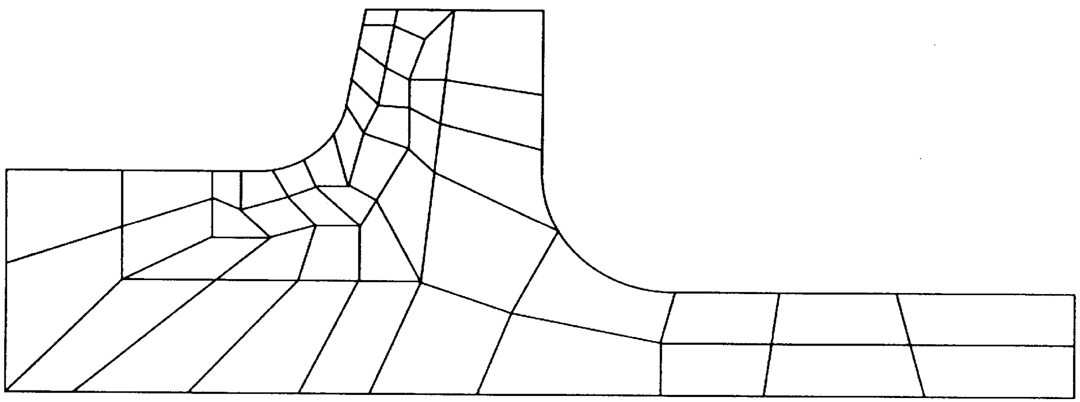


- Refinement Large Error Only

Remeshing



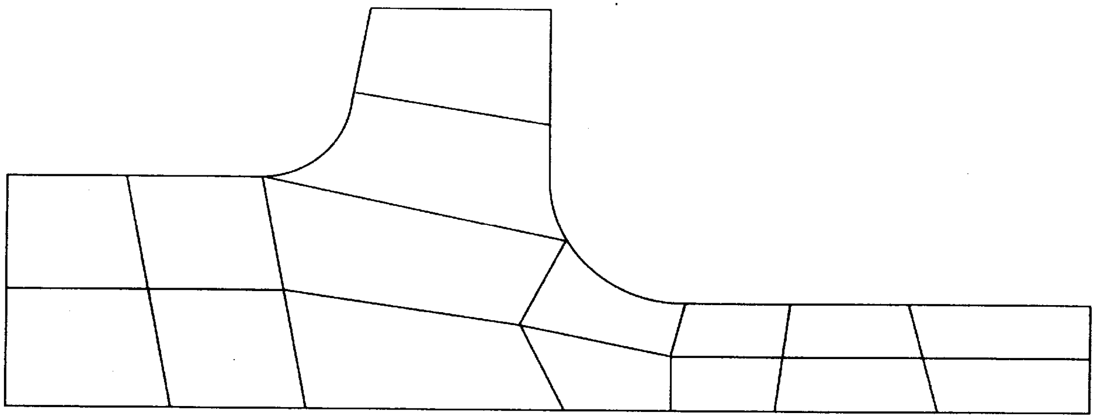
(a) Original mesh



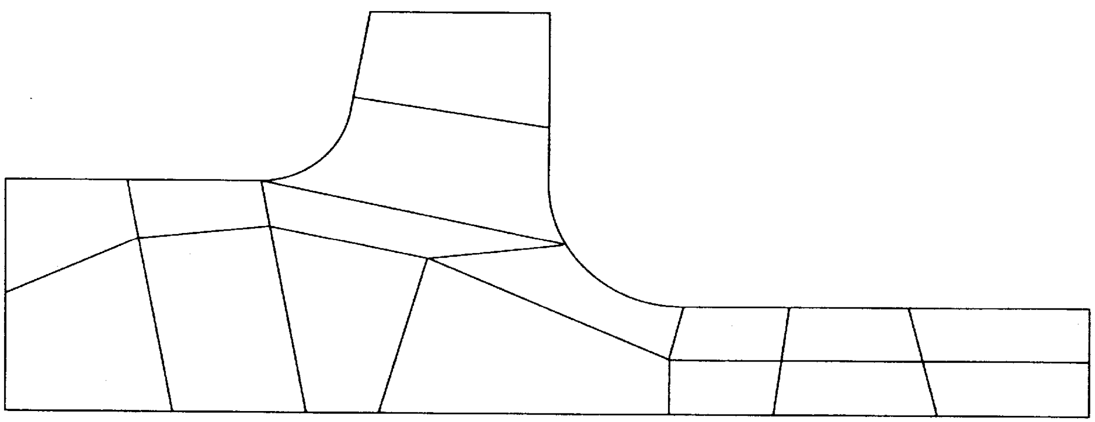
(c) Mesh enhancement by remeshing

- Mesh Generation is Difficult for type element
- Shape Element are Distorted during Analysis

r-Refinement



(a) Original mesh



(d) *r*-refinement of original mesh by reposition of nodes

- Adjust Position of Node
- Theoretically
- Difficult in Practice
- Cannot Prespecified Accuracy

การพัฒนาโปรแกรม

- Pre-Processing
- Finite Element Analysis
- Post-Processing
- Error Estimation
- Adaptive Finite Element Method

Pre-Processing

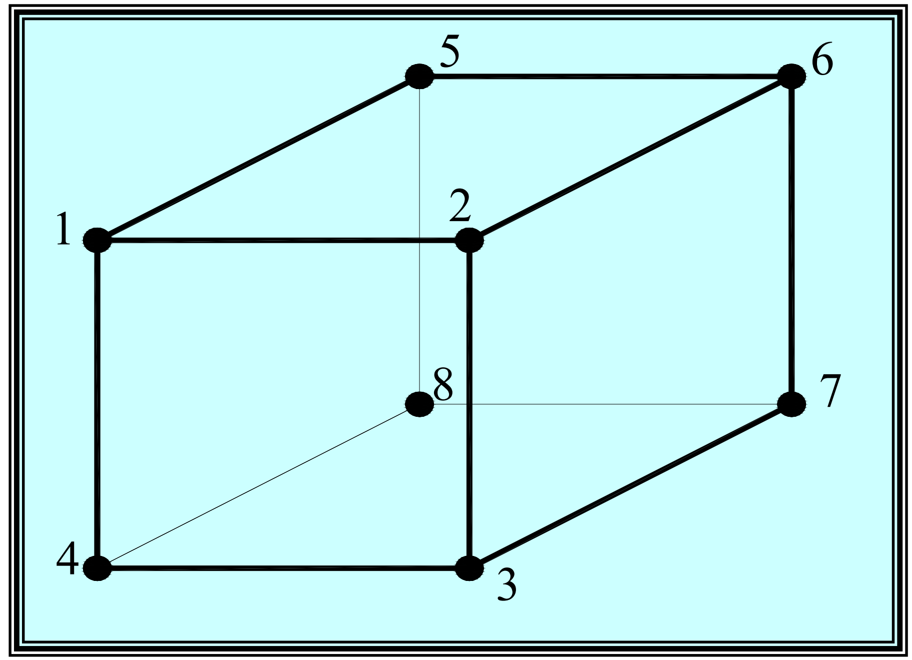
Input Data

- Node Number per Element
- Node Coordinate
- Element Material
- Degree of Freedom
- Total Initial Node
- External Load

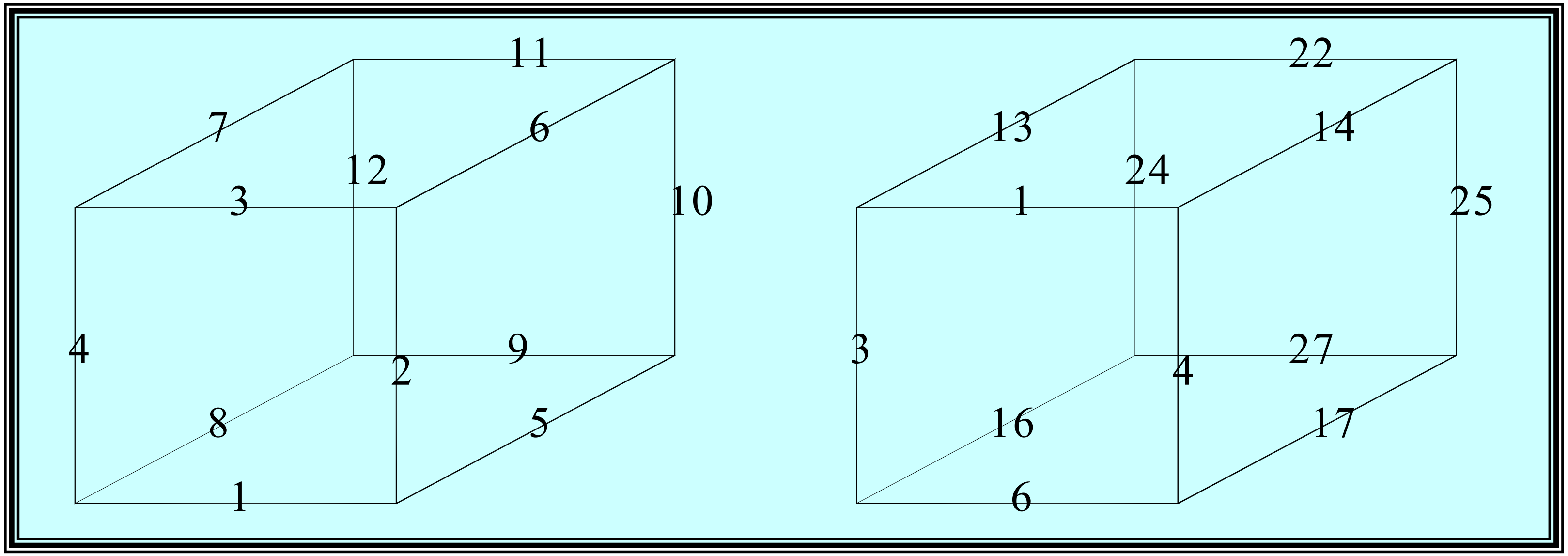
- Degree of Refinement
- Neighbors Element
- Edge Number per Element
- Node Number on Edge
- Node Number on Face
- Total Number Edge Global

Data for Element Adaptive

- Edge Numbers
- Face Numbers
- Degree of Refine
- Neighbors Element
- Node on Edge &Face



Lacal & Global Edge Number

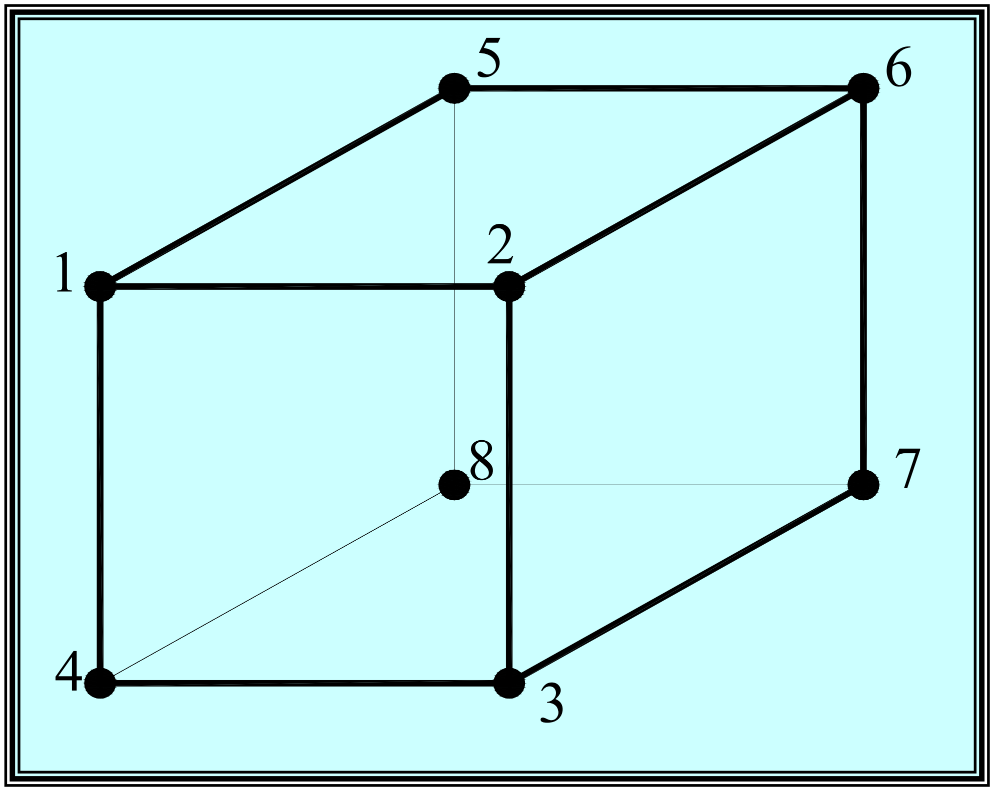


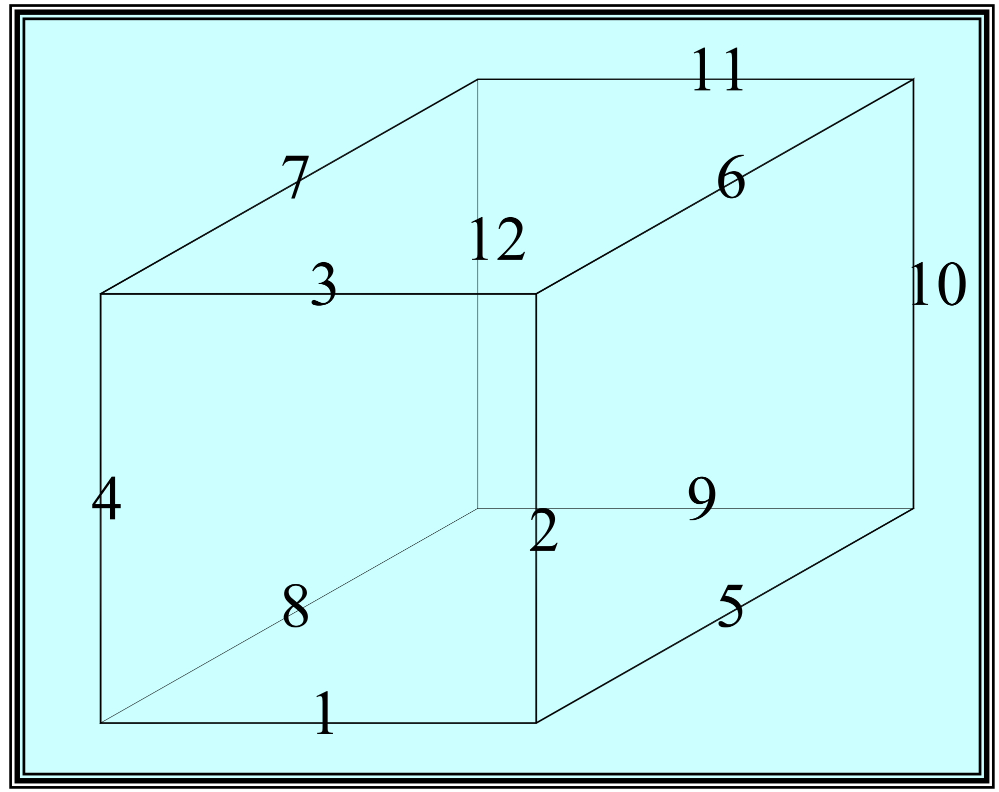
Lacal Edge Numbers

Global Edge Numbers

1 Element = 12 Edge

Node Number on Edge



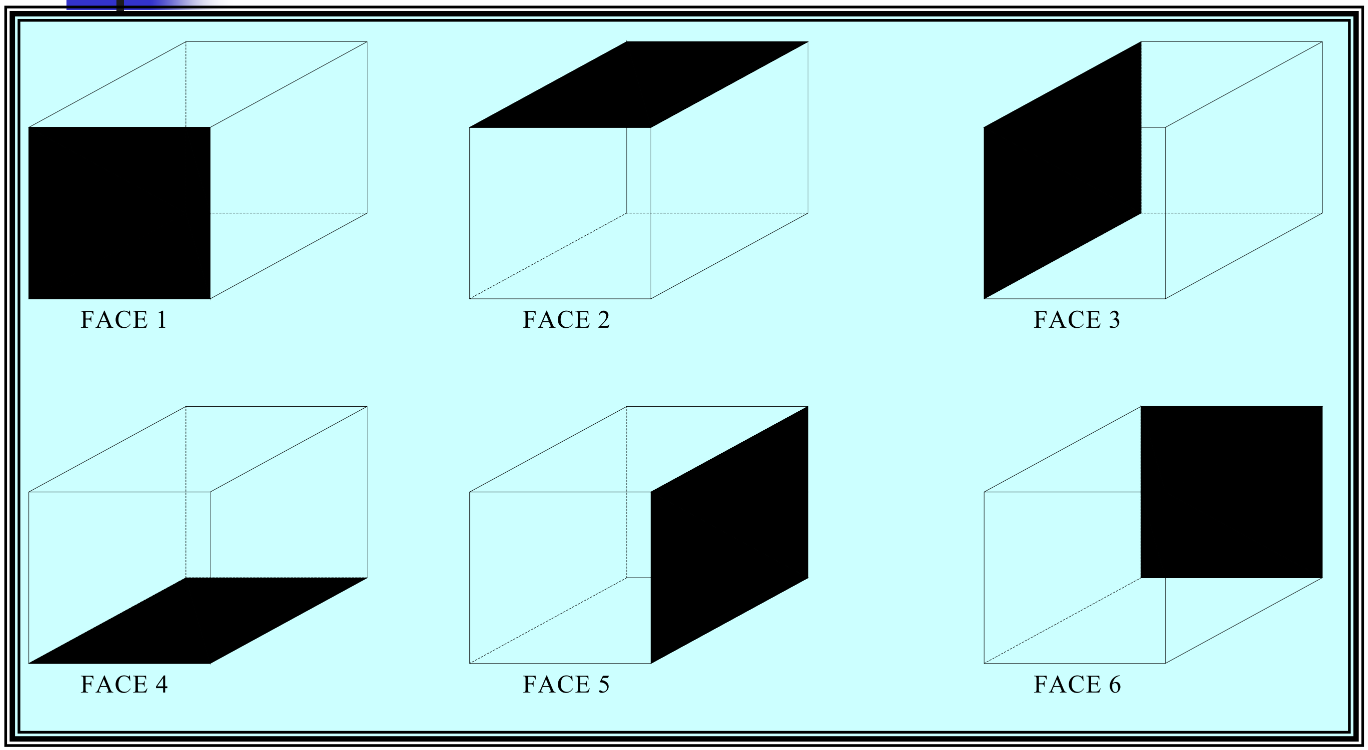


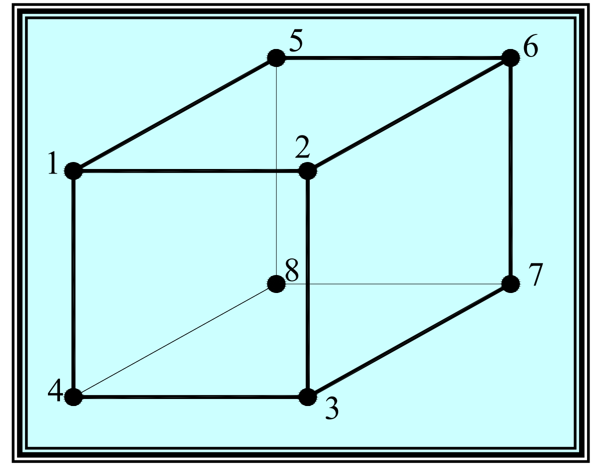
Node Numbers

Edge Numbers

Face Number & Neighbors Element

& Node Number on Face



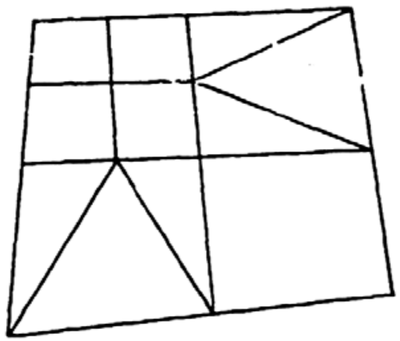


1 Element = 6 Face

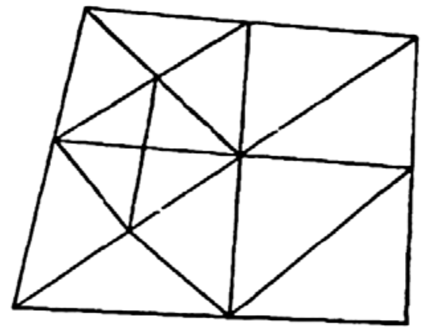
1 Element = 6 Neighbors

Regular and Irregular Meshes

Regular Meshes

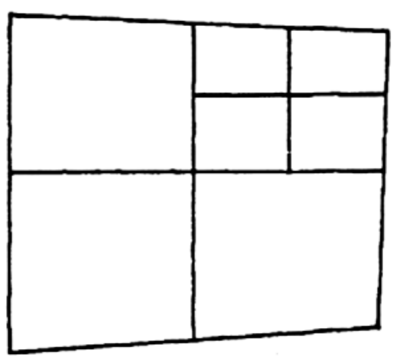


(a)



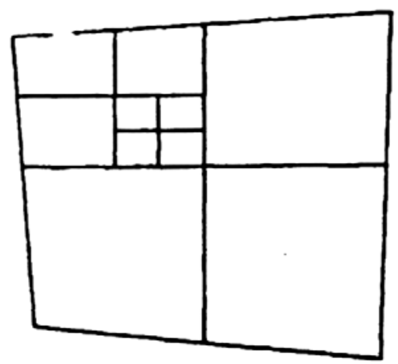
(b)

1-Irregular Meshes



(c)

2-Irregular Meshes



(d)

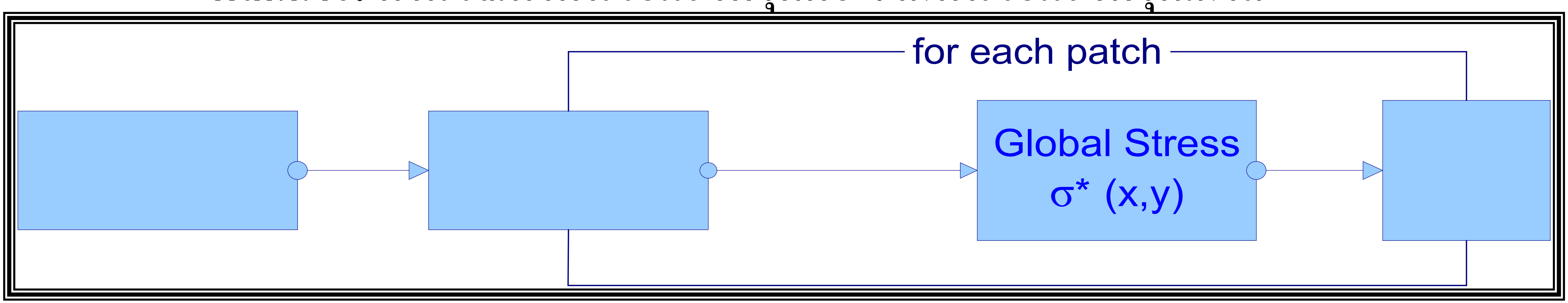
Finite Element Analysis

Post-Processing

Calculation Nodal Stress

Superconvergence Patch Recovery (SPR)

- **หลักการ:** คำนวณค่าหน่วยแรงที่จุดต่อ จากหน่วยแรงที่จุดเกาส์



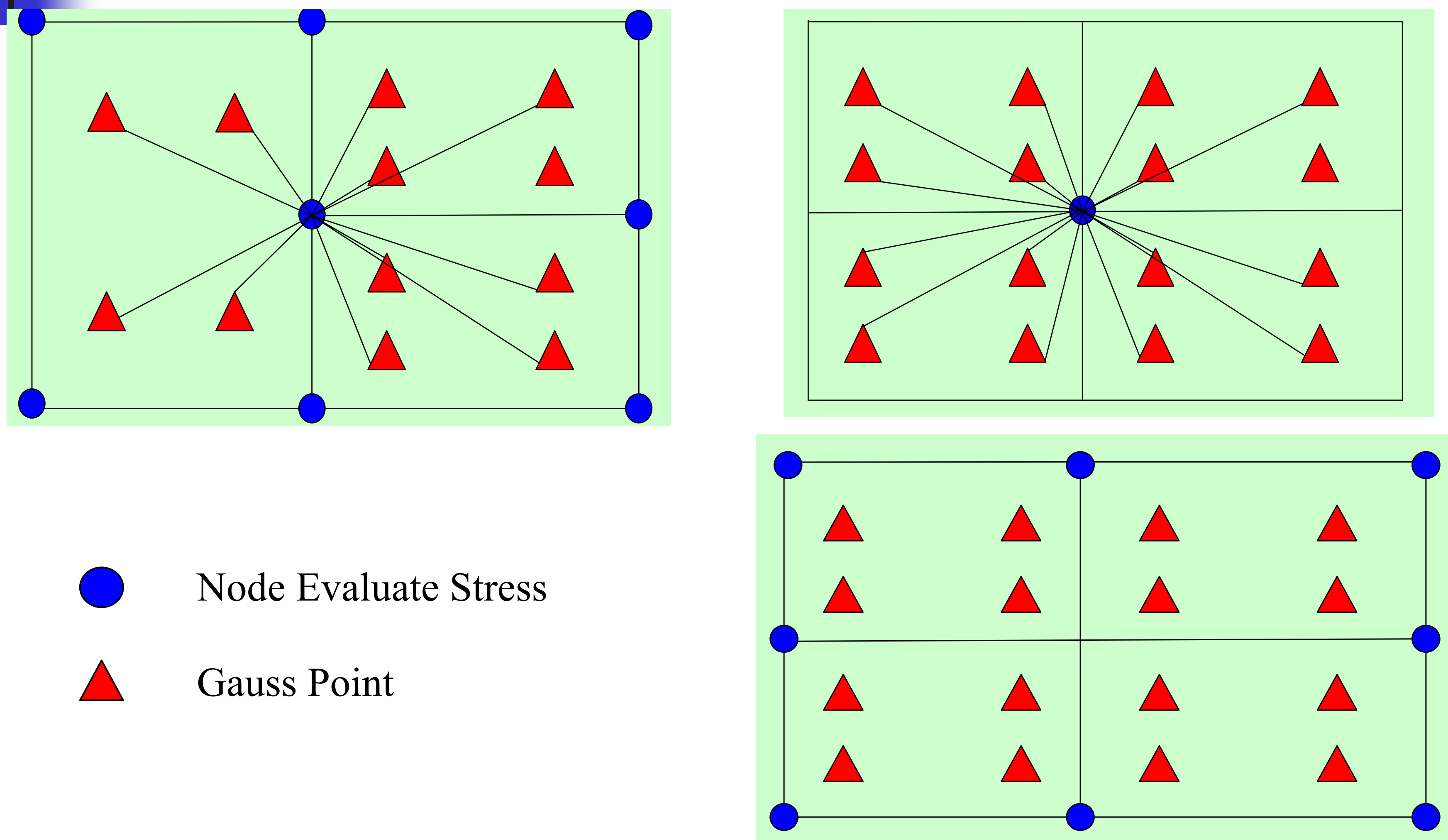
$$\sigma_i^{*} = pa = [1\ x\ y\ z\ xy\ xz\ zy\ xyz]a$$

$$a = [a_1, a_2, a_3, \ldots, a_m]^T = A^{-1}b$$

$$A = \sum_{k=1}^{n} p_k^T p_k$$

$$b = \sum_{k=1}^{n} p_k^T \hat{\sigma}_i (x_k, y_k)$$

การคำนวณหาค่าหน่วยแรงที่จุดต่อจากจุดเกาส์



Error Estimation

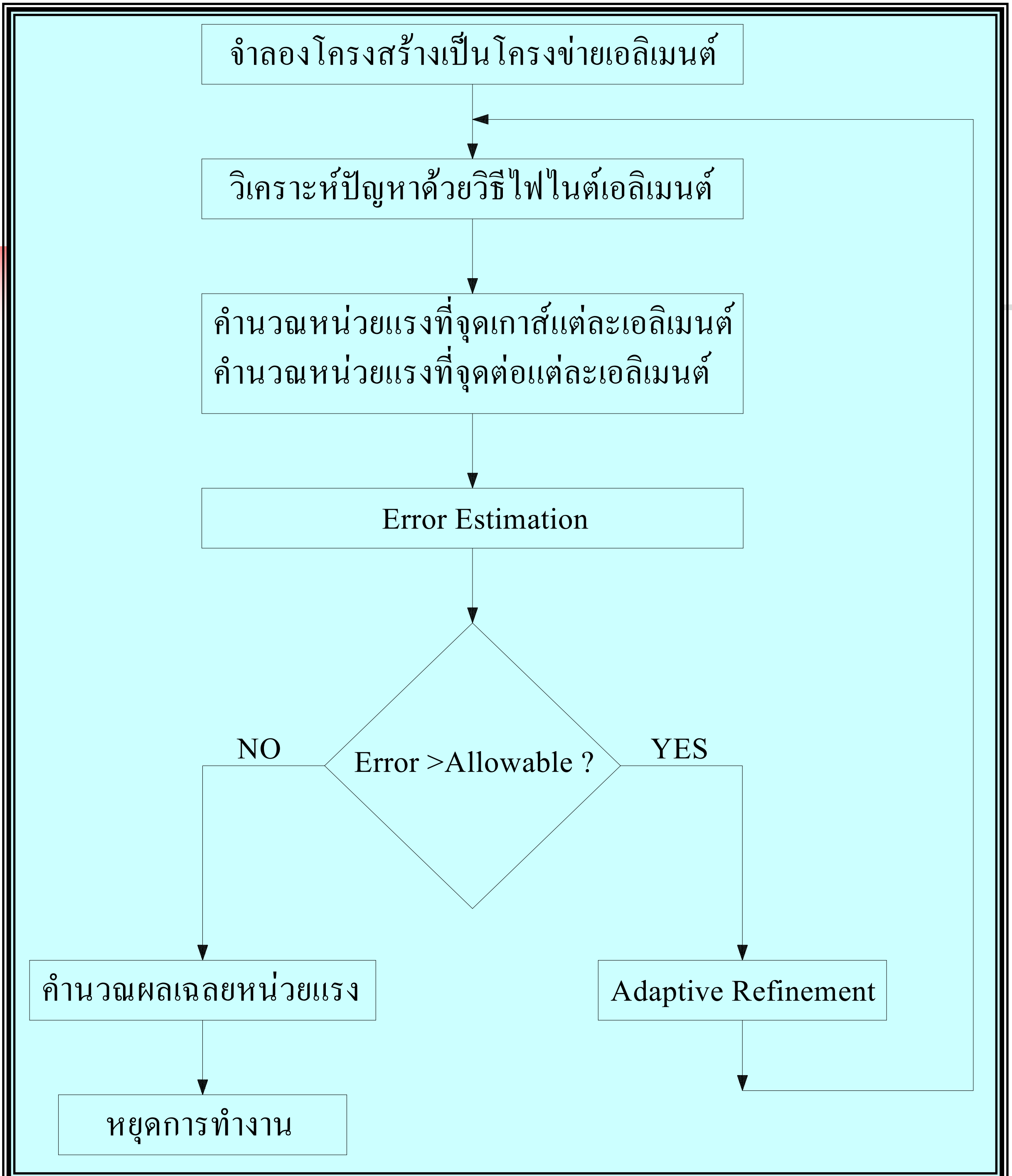
$$\left\| e^* \right\| = \left(\int_{\Omega} (\sigma^* - \sigma) D^{-1} (\sigma^* - \sigma) d\Omega \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\left\| e^* \right\| = \left(\int_{\Omega} e_{\sigma}^{*T} D^{-1} e^*{}_{\sigma} d\Omega \right)^{\frac{1}{2}}$$

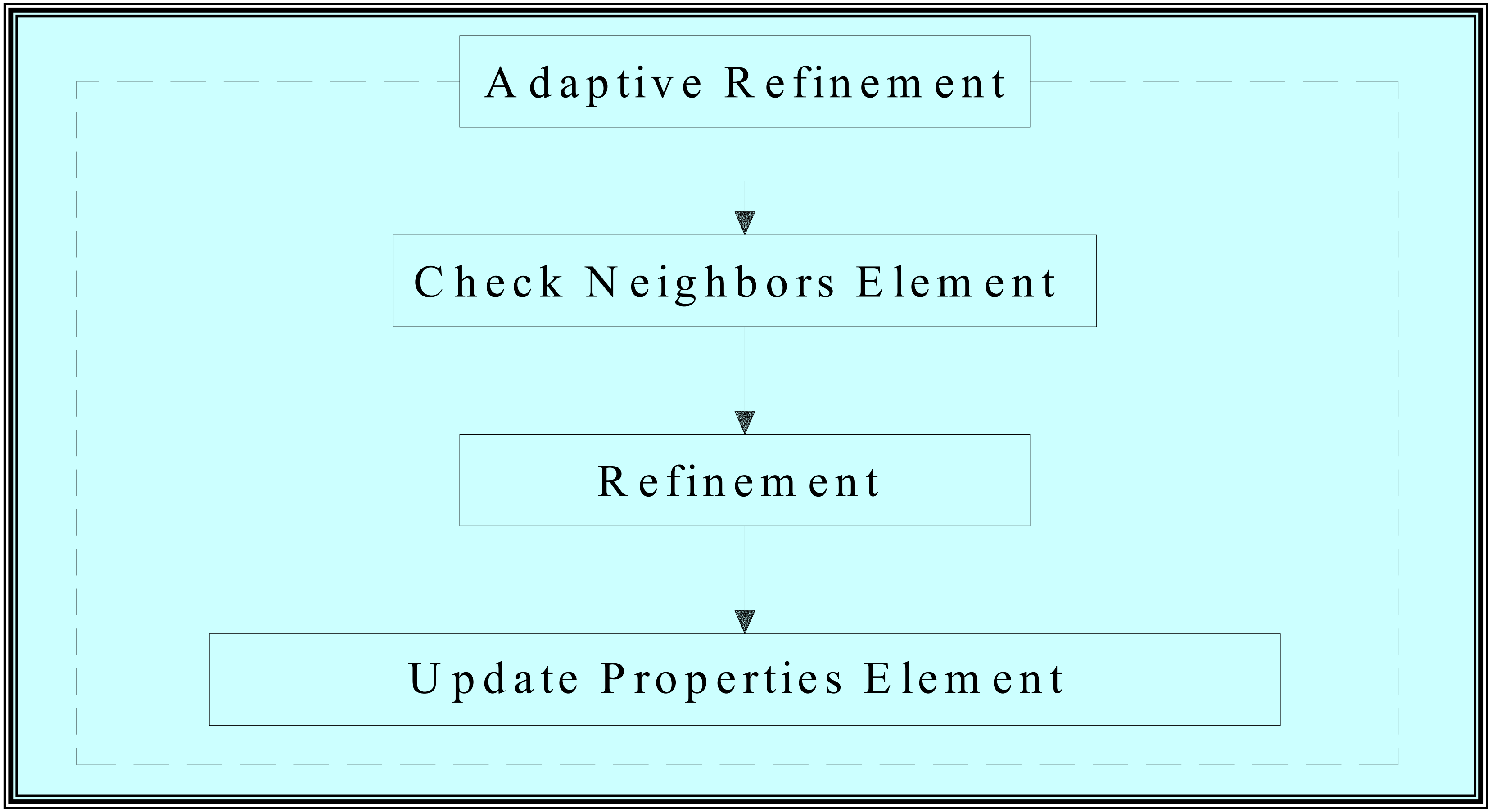
การพัฒนาโปรแกรม Adaptive FEM

Adaptive FEM

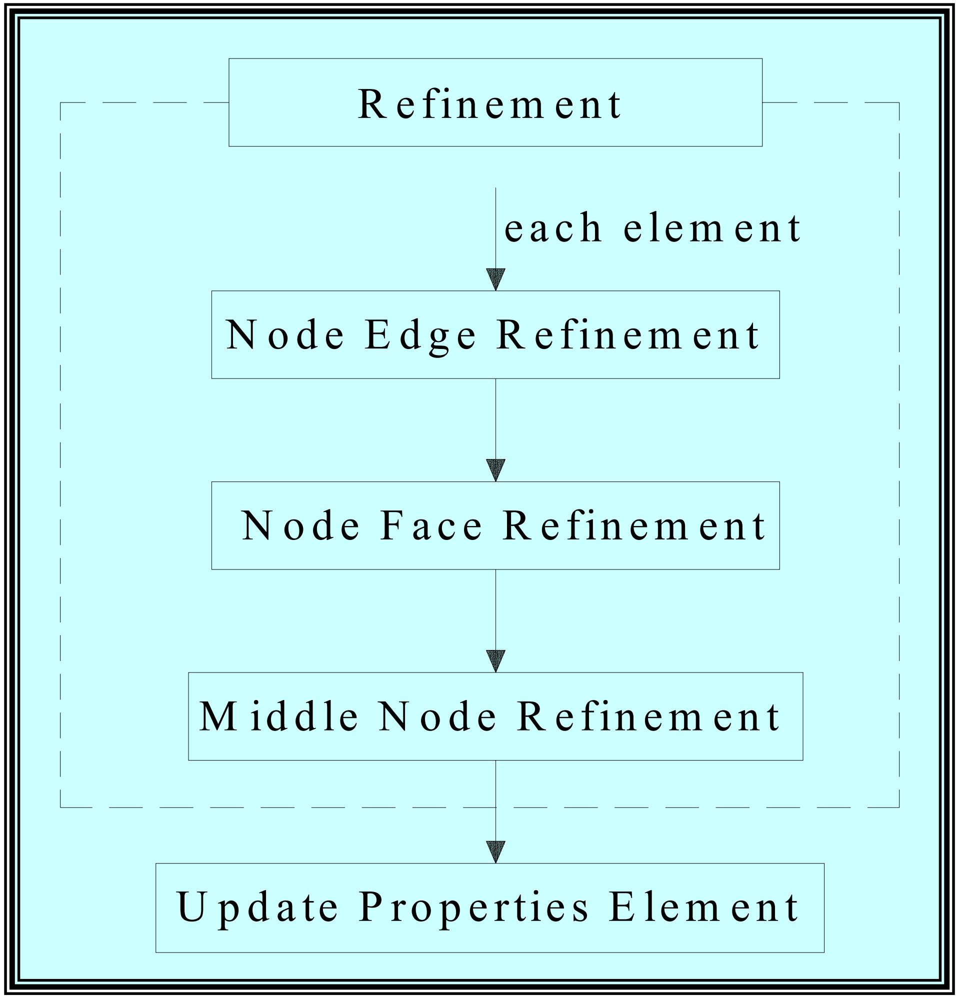
Flow Chart



Adaptive Refinement Flow Chart

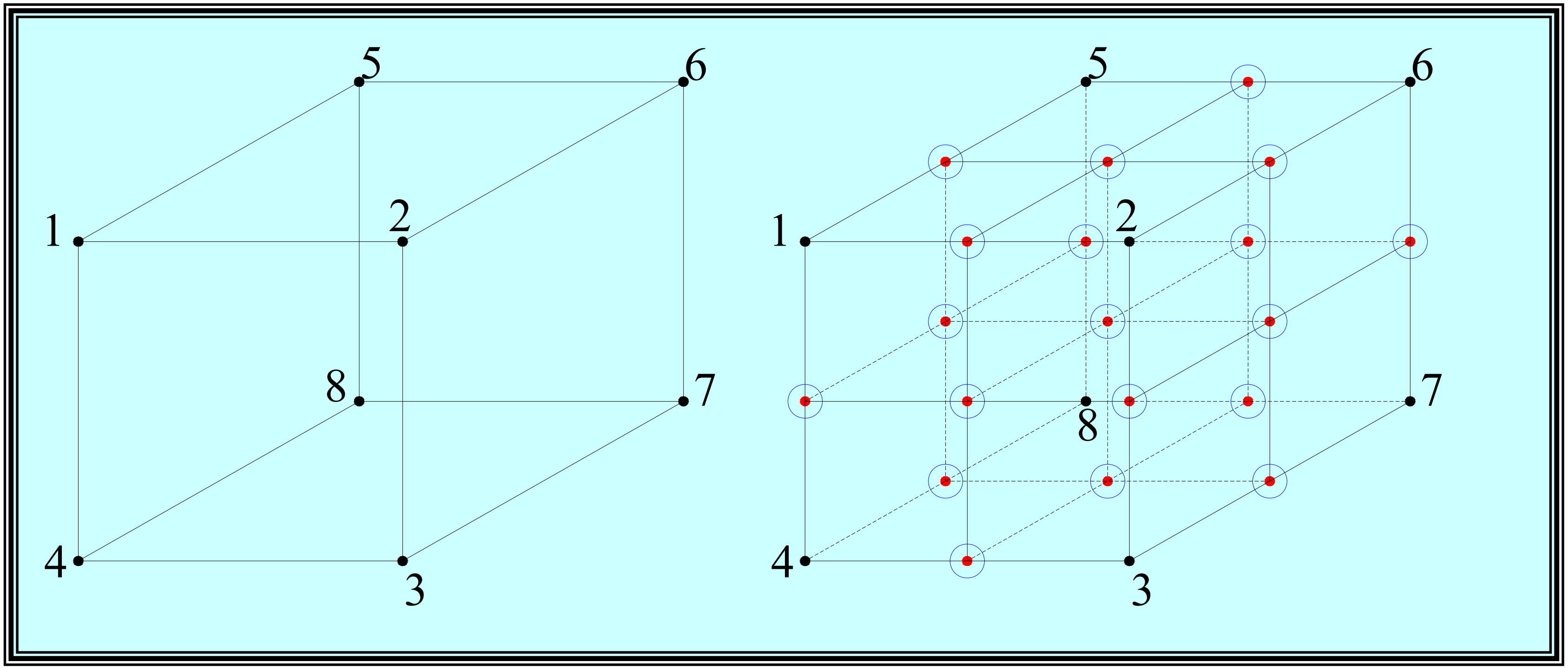


Refinement Flow Chart



Refinement Procedure

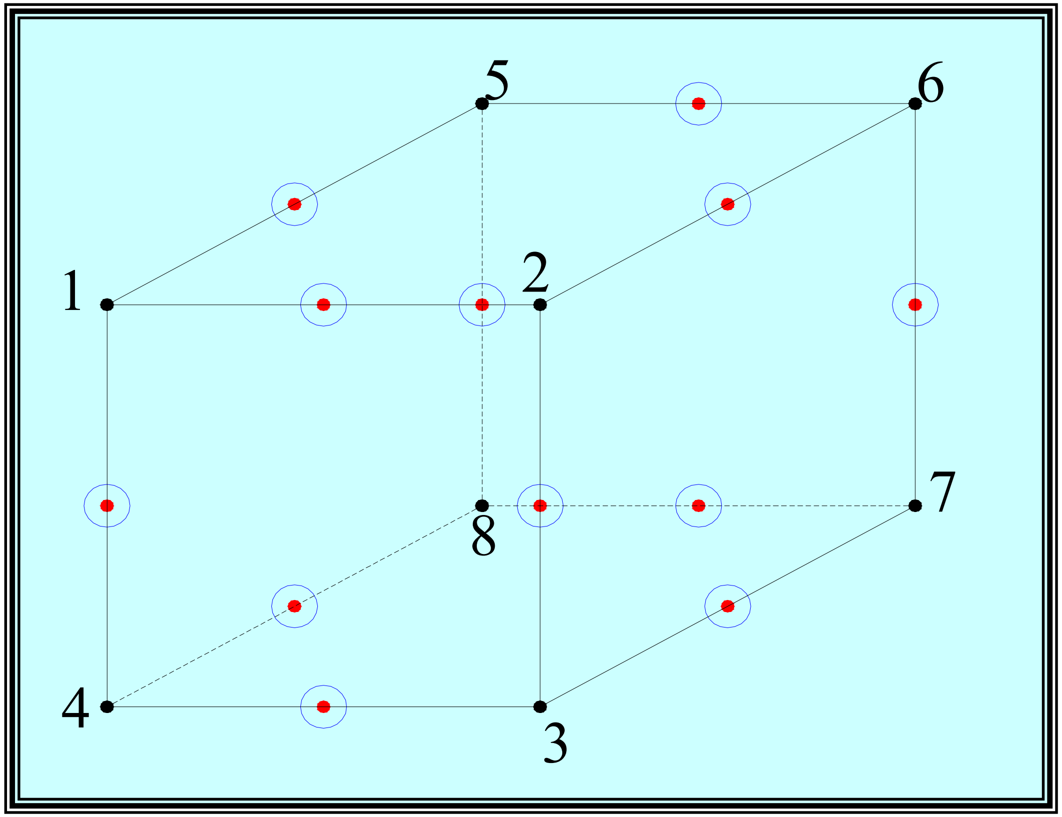
Element Node After Refinement



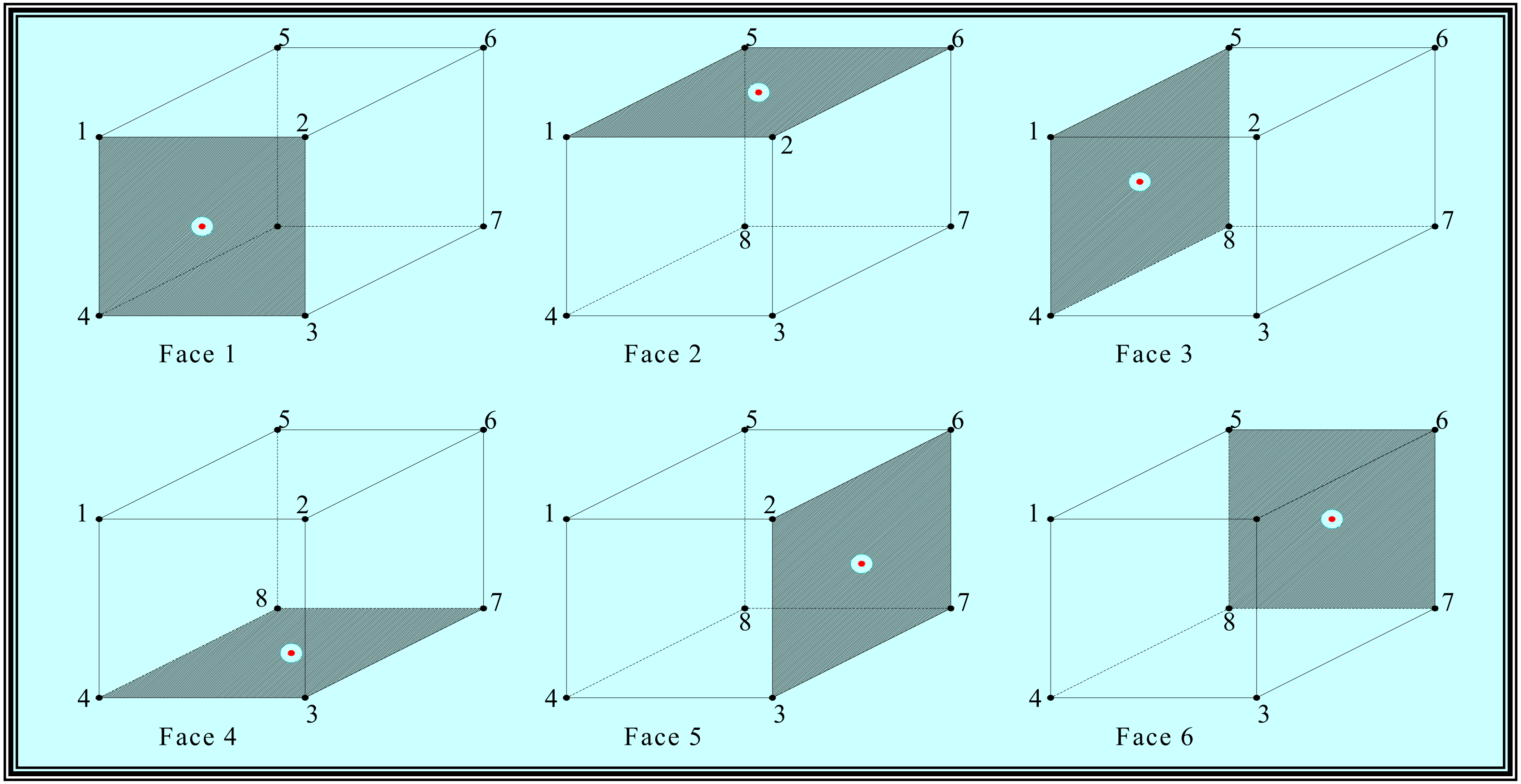
Before Refine

After Refine

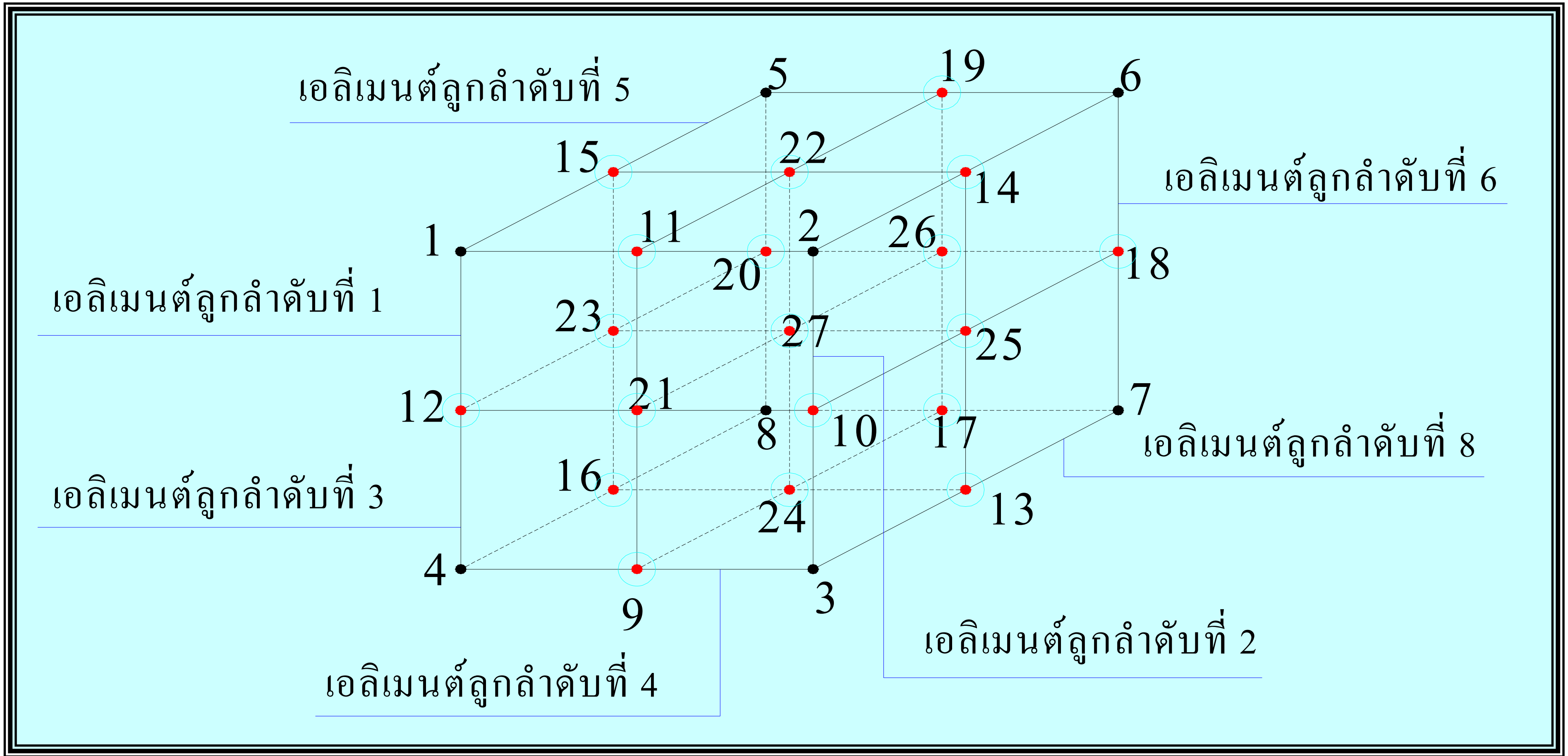
Node Refine on Edge



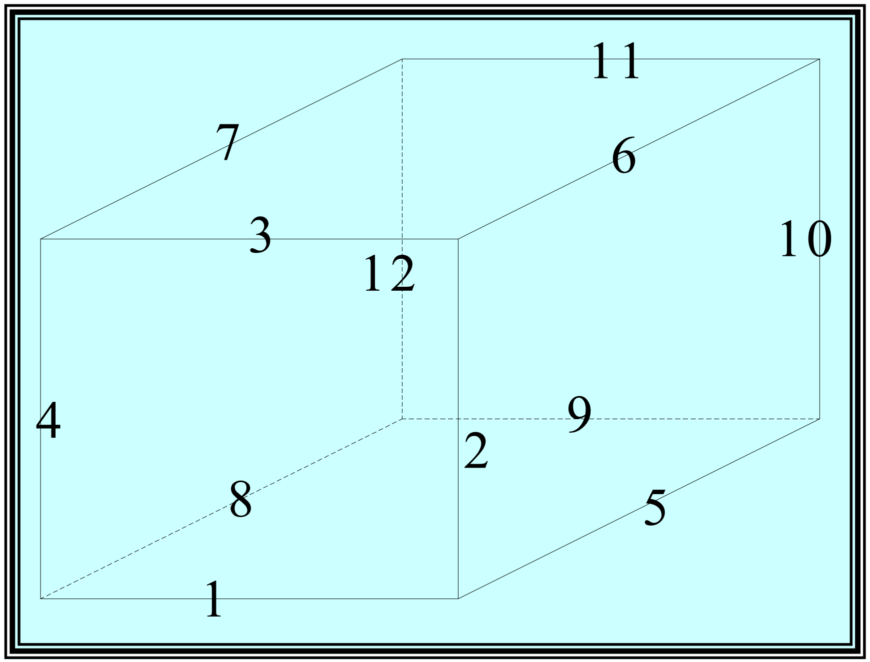
Node Refine on Face



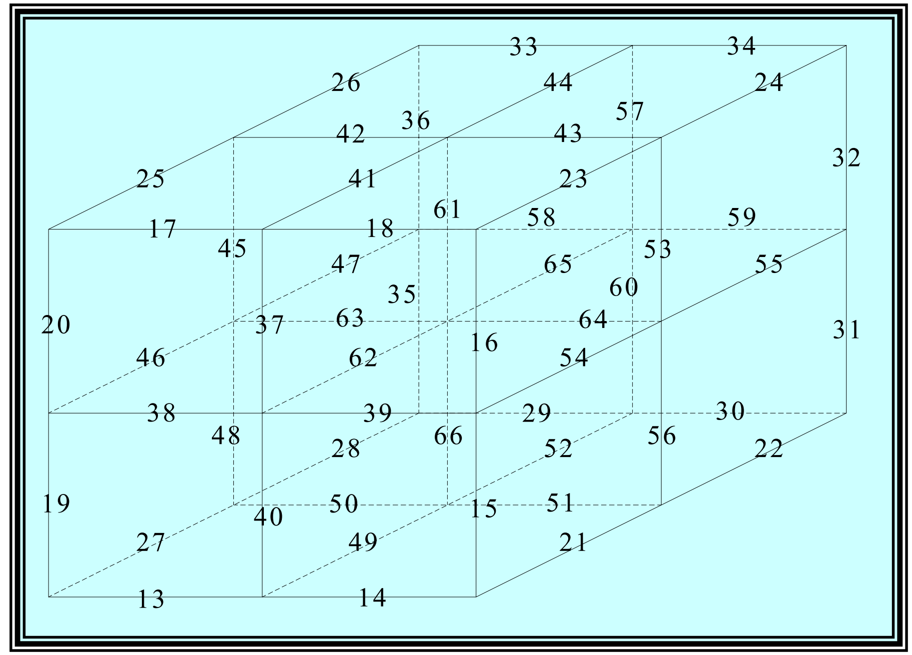
Node & Element After Refinement



Edge Numbers Before & After Refinement

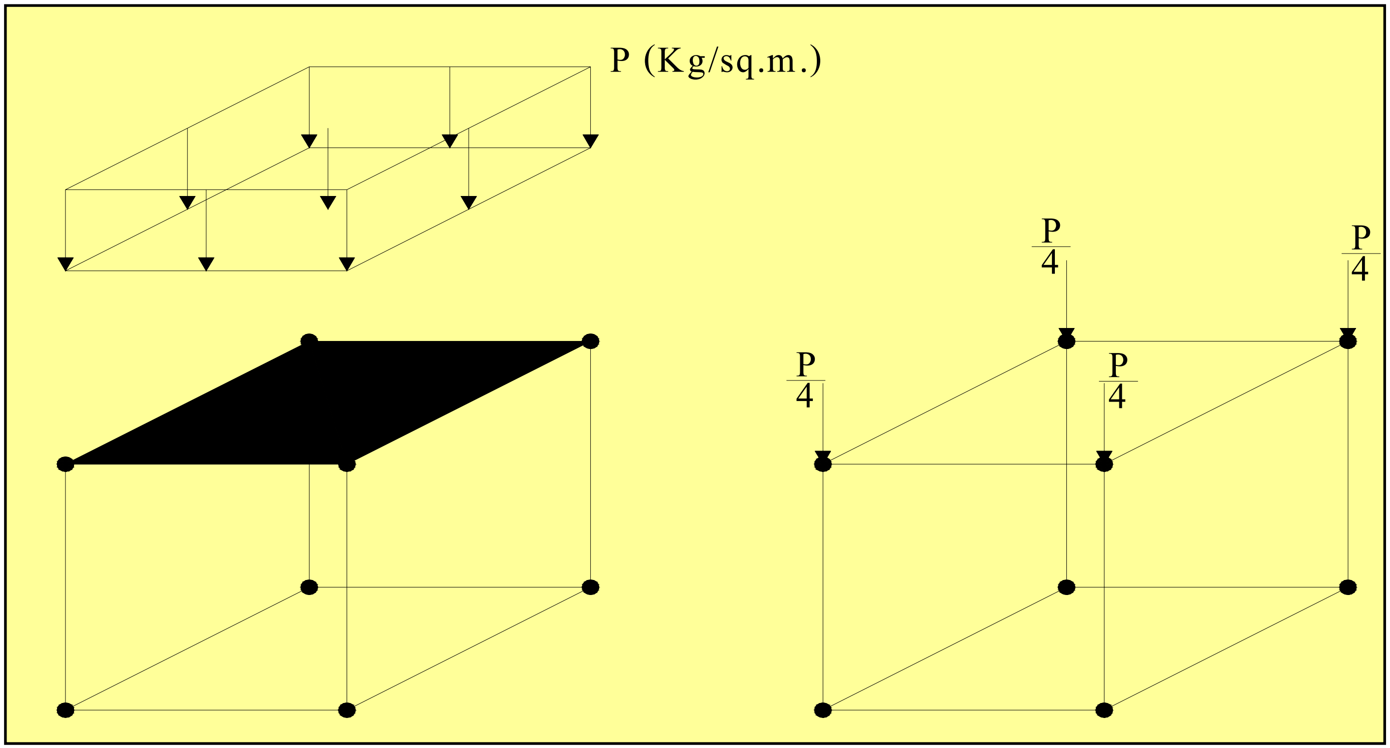


Before Refine

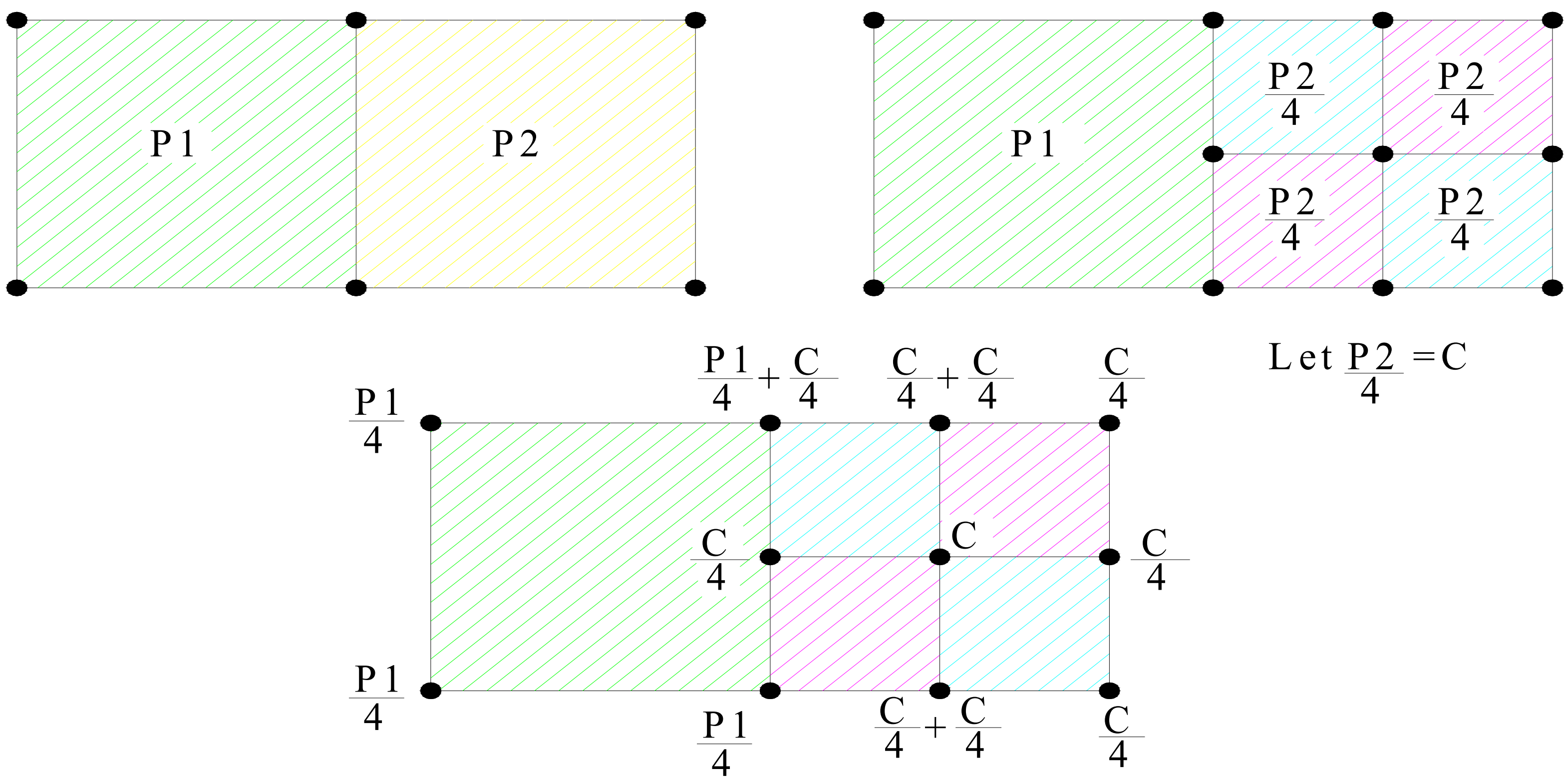


After Refine

External Load

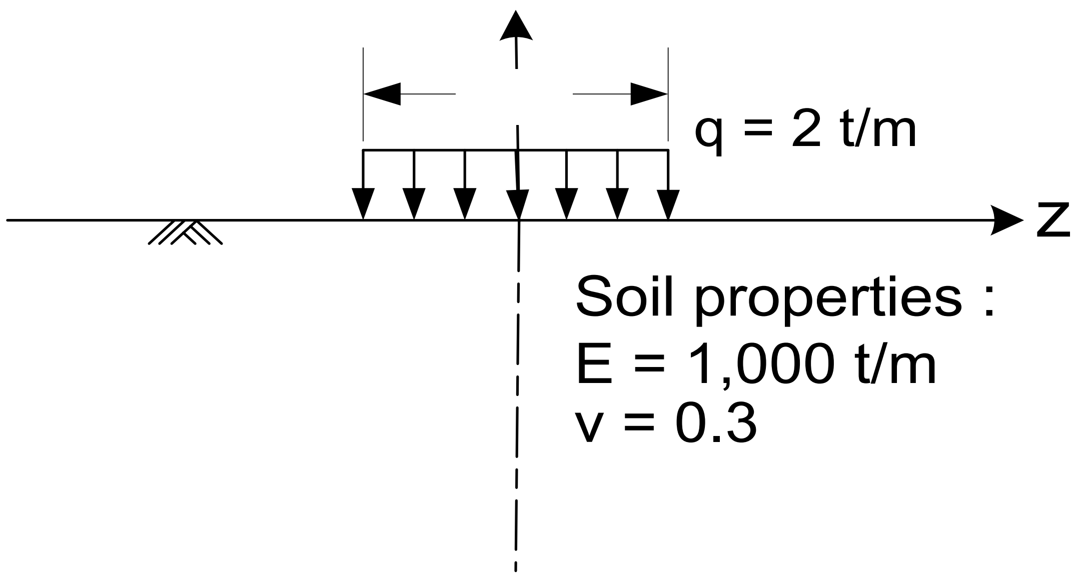


External Load



การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

Case Study 1 :Strip Footing

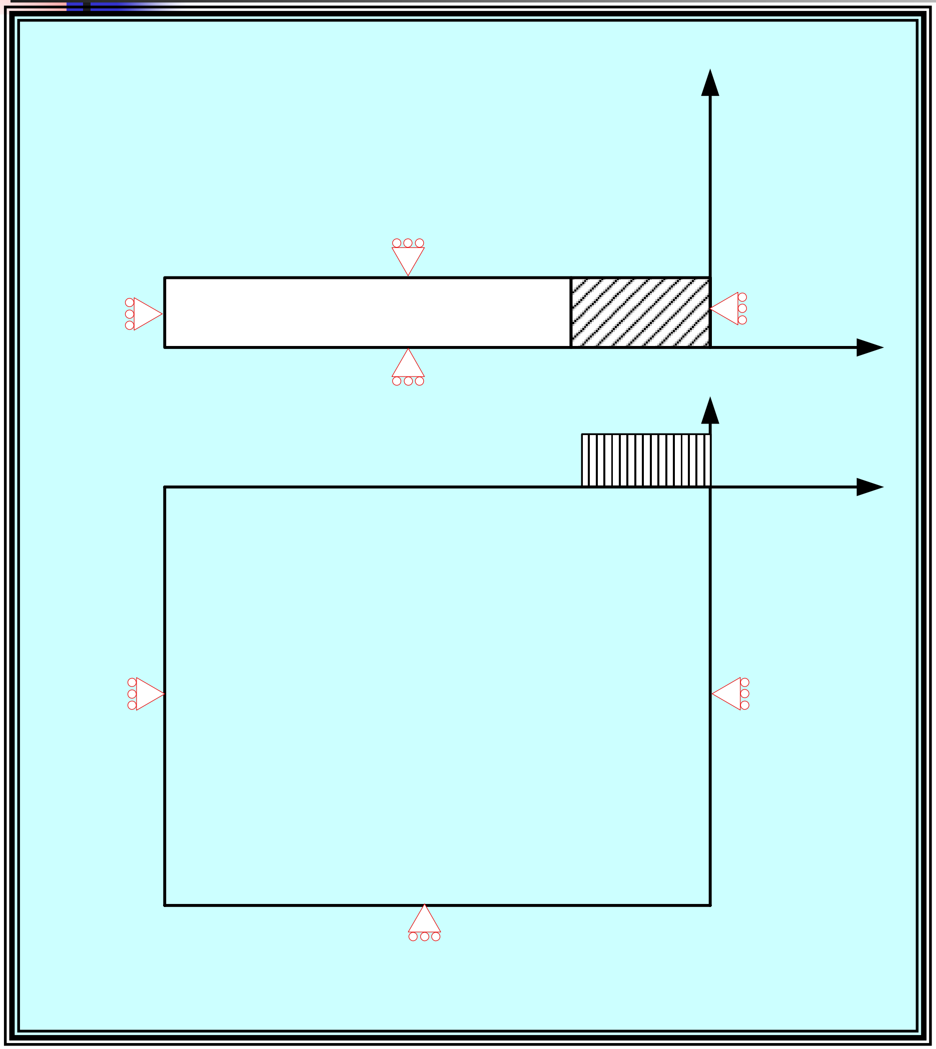


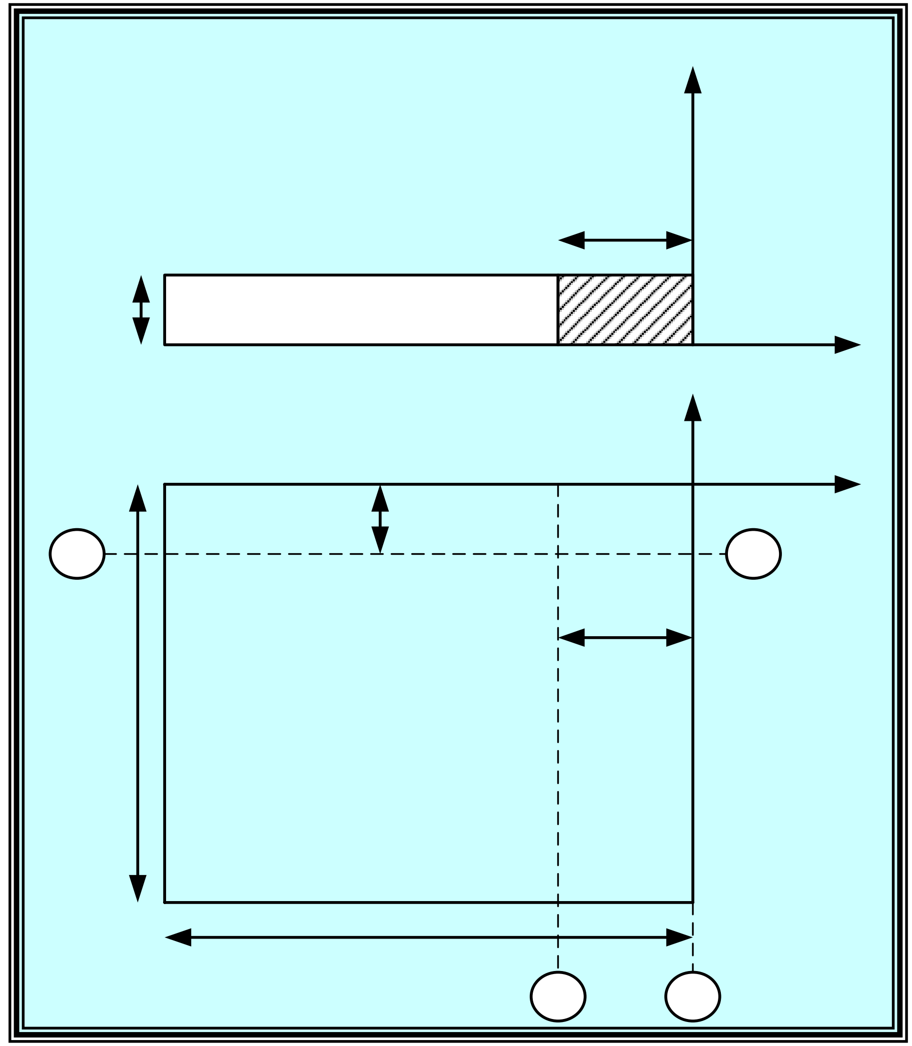
- Flexible footing
- Linear elastic property
- Isotropic
- Elastic haft-space

y

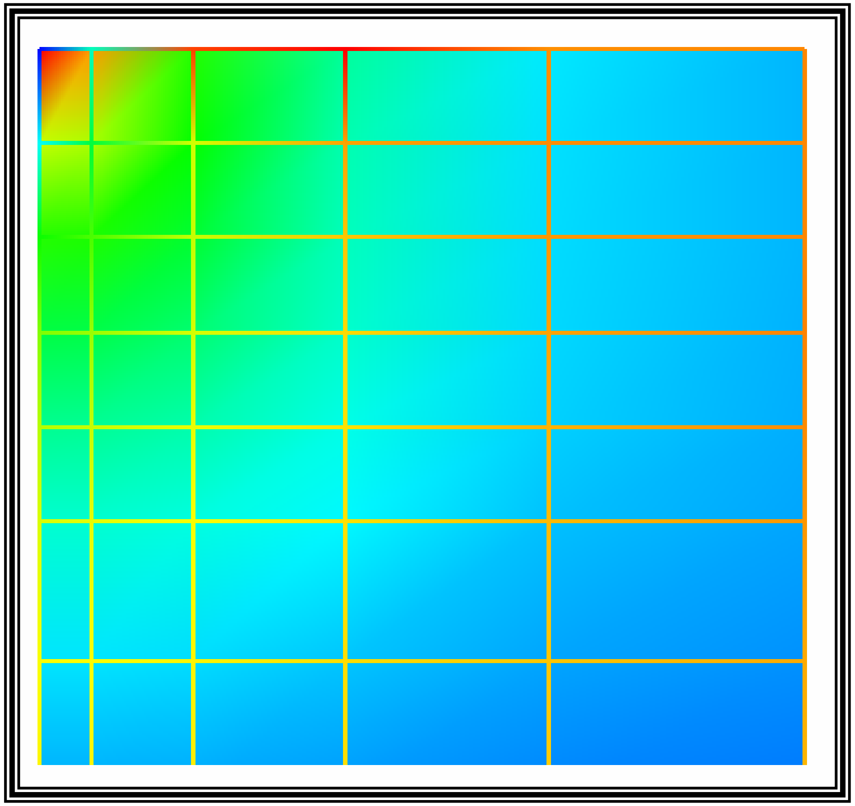
B = 2 m

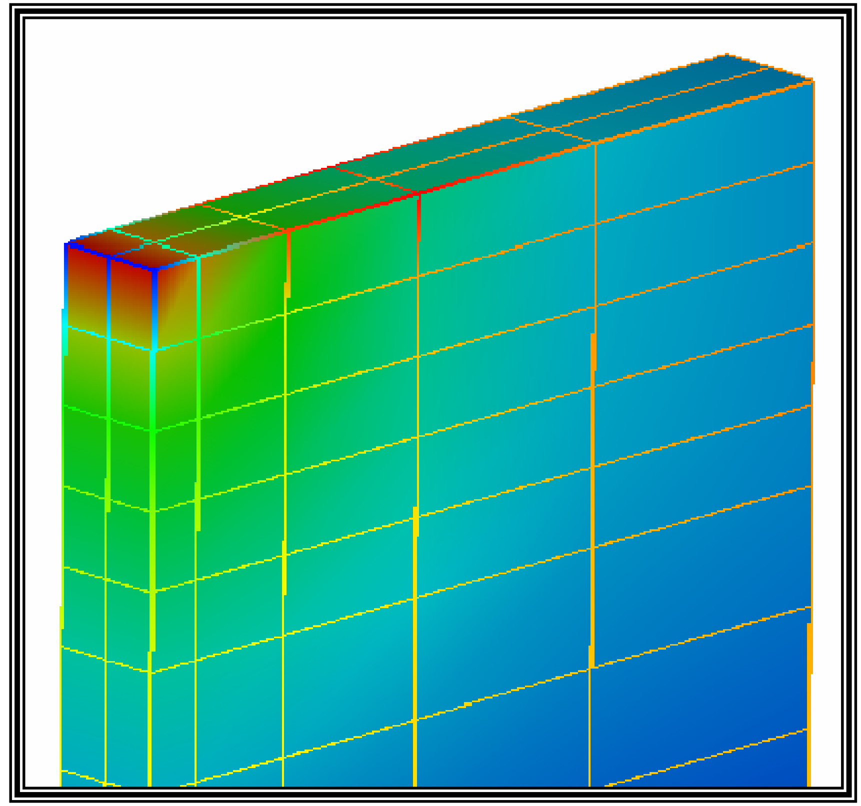
Boundary Problem



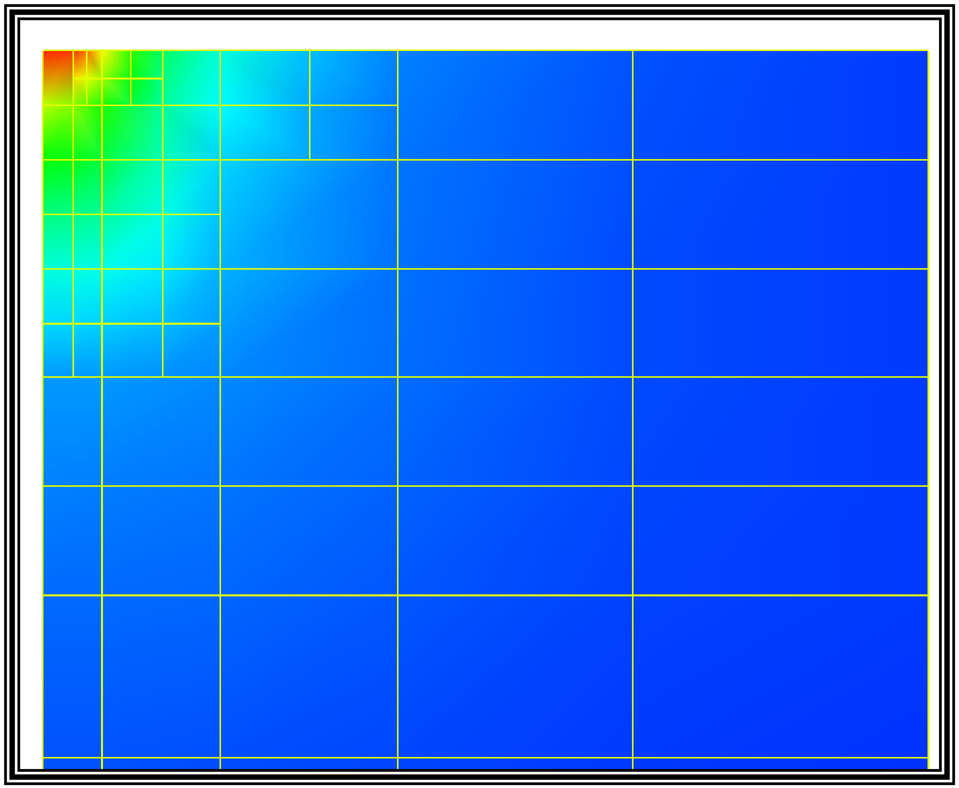


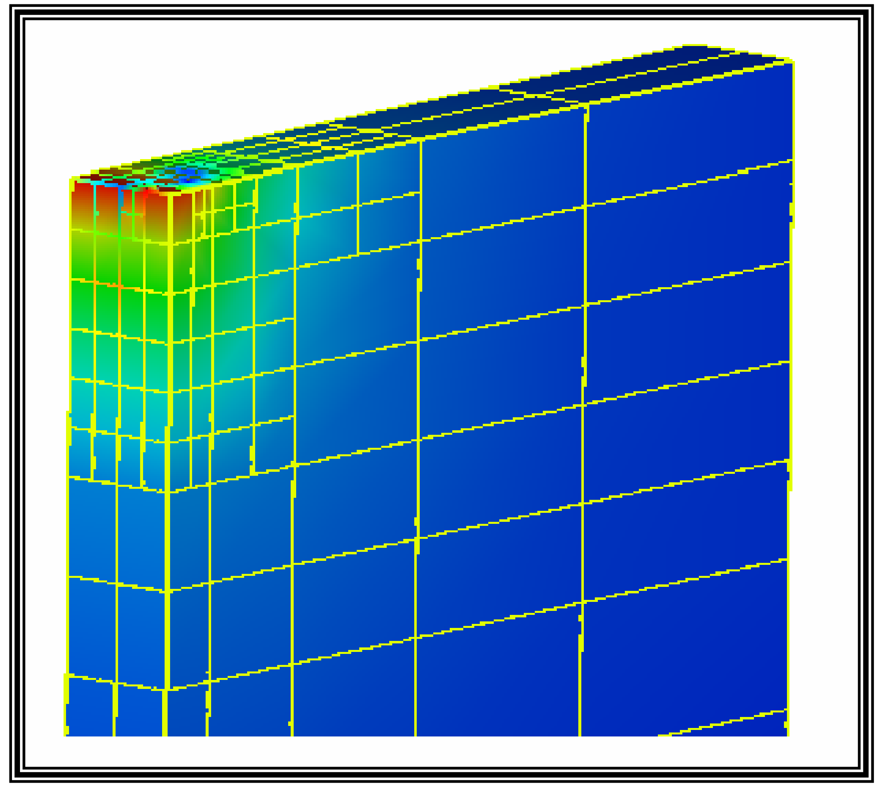
Initial Mesh



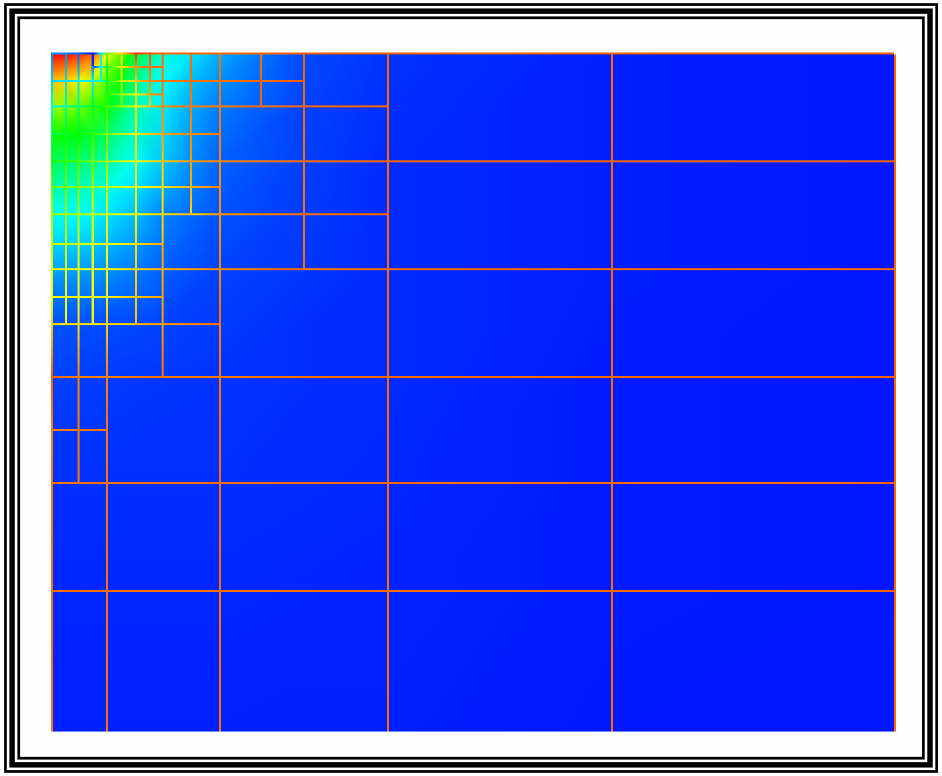


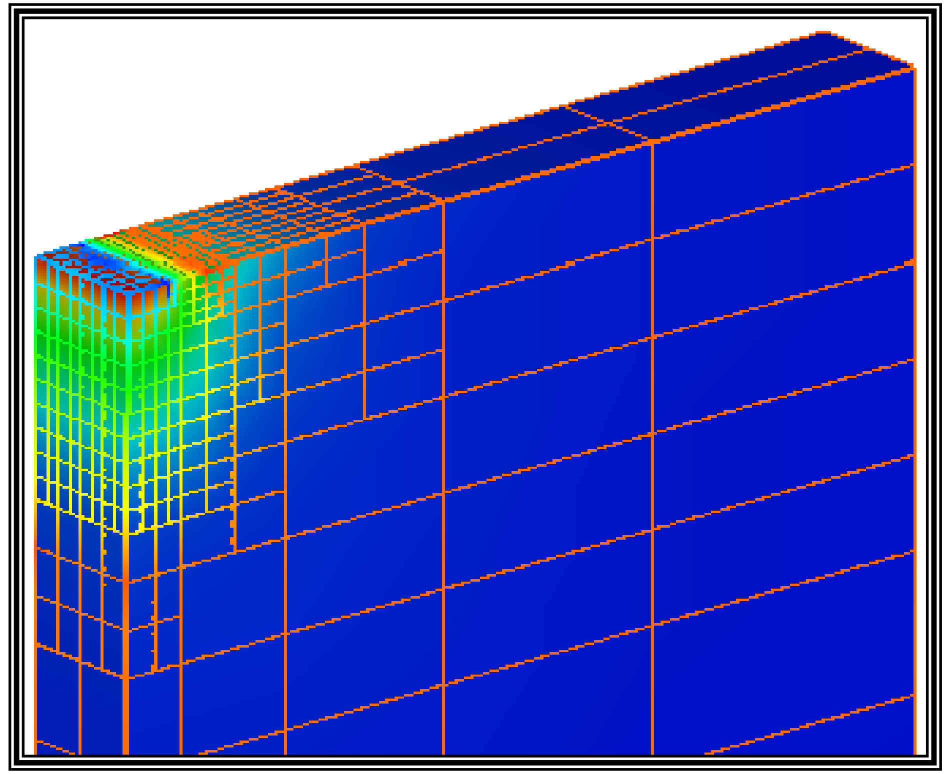
Mesh of Strip Load



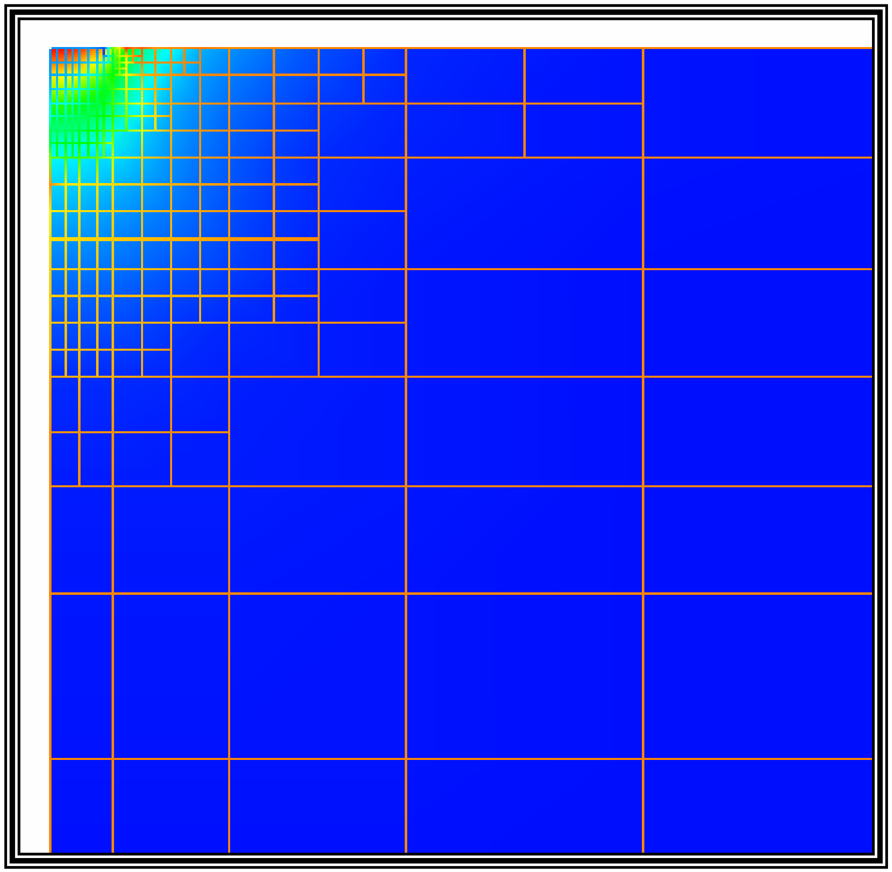


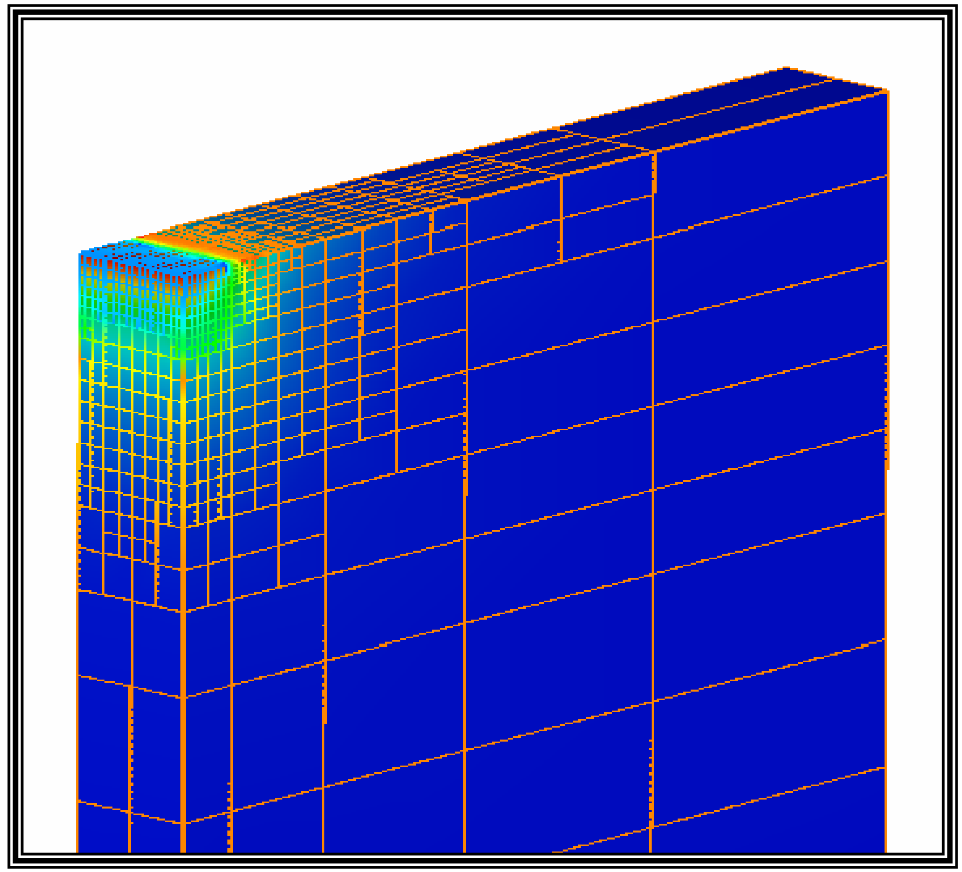
Mesh of Strip Load



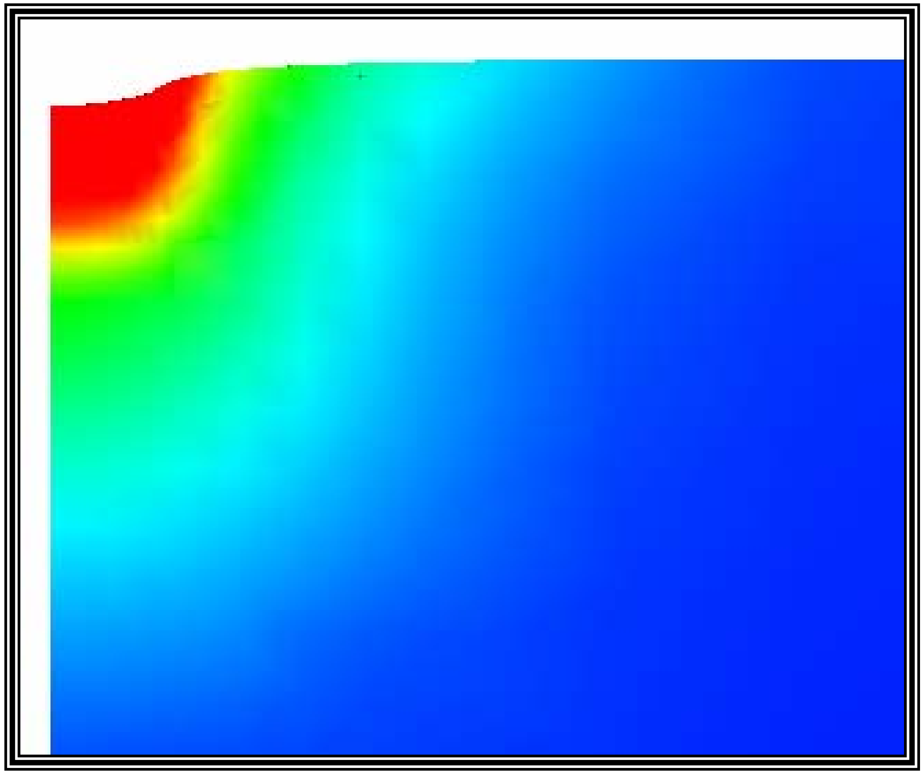


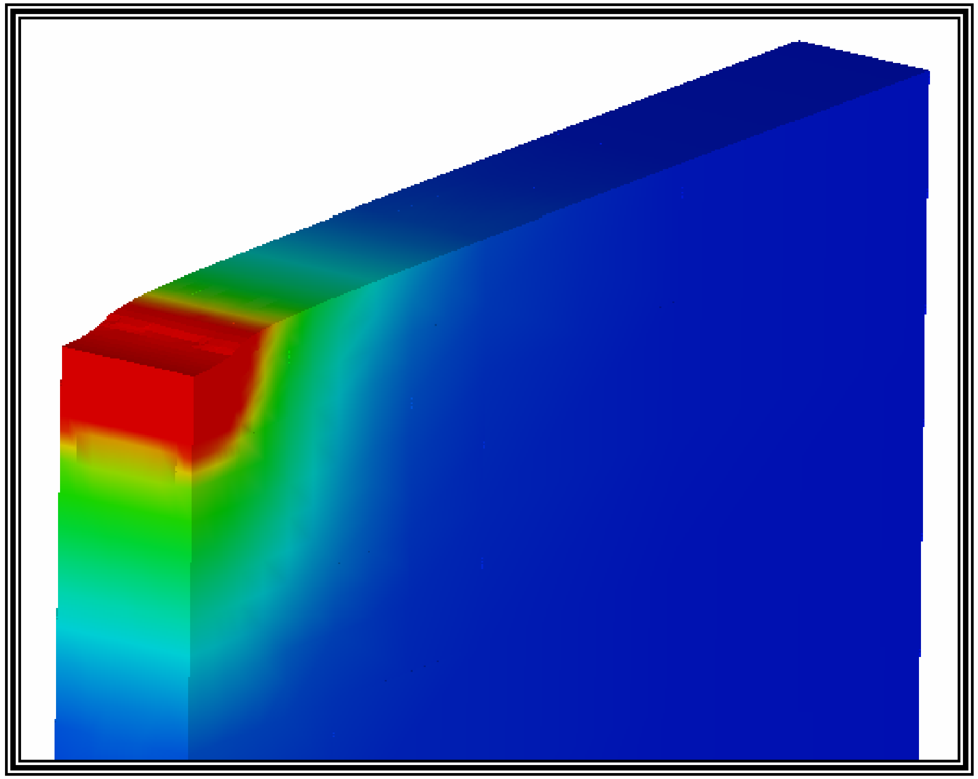
Final Mesh of Strip Load



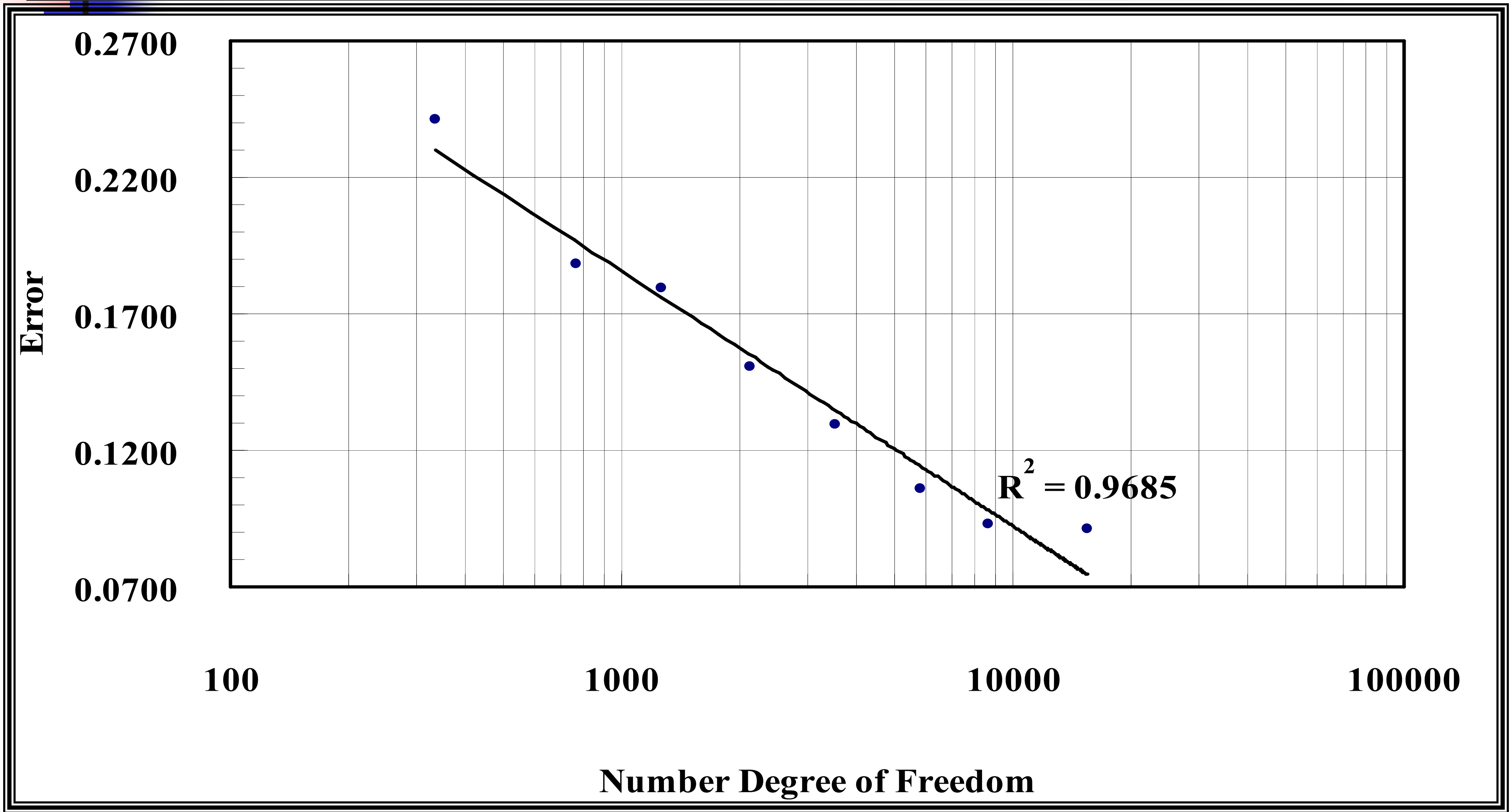


Displacement Mesh

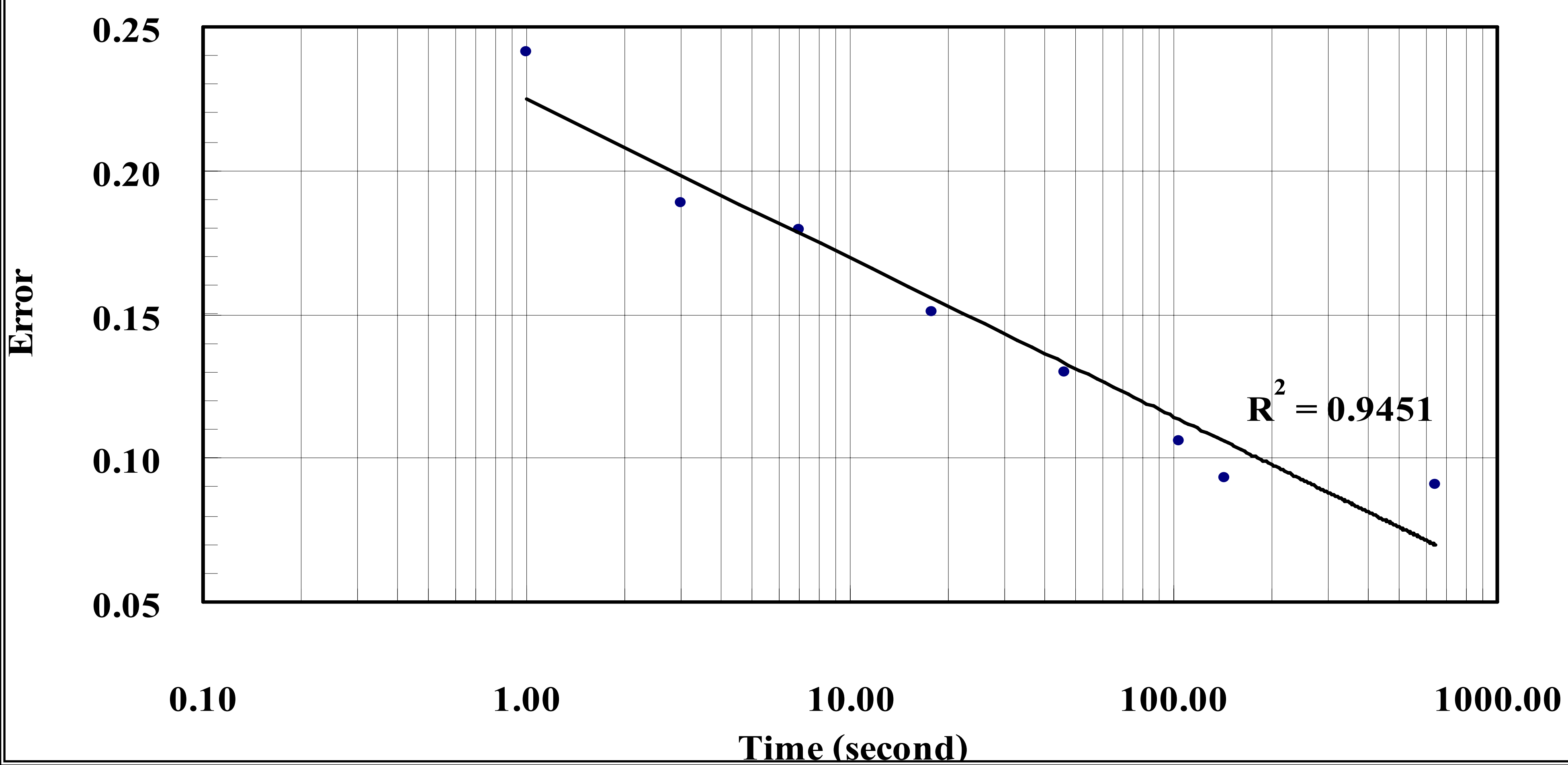




Error & Degree of Freedom

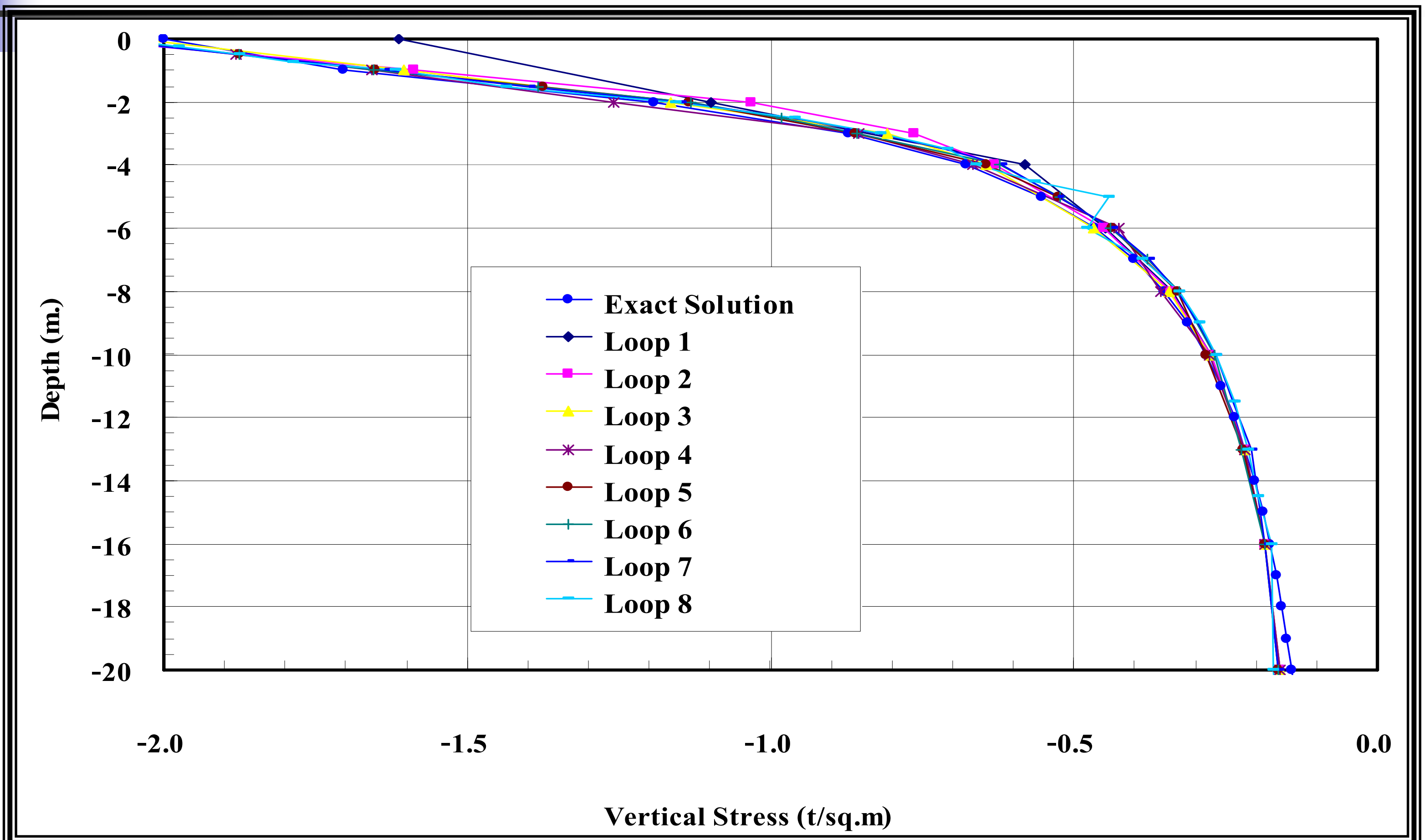


Error & Time



0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
Error
$R^2 = 0.9451$
0.10
1.00
10.00
100.00
1000.00
Time (second)

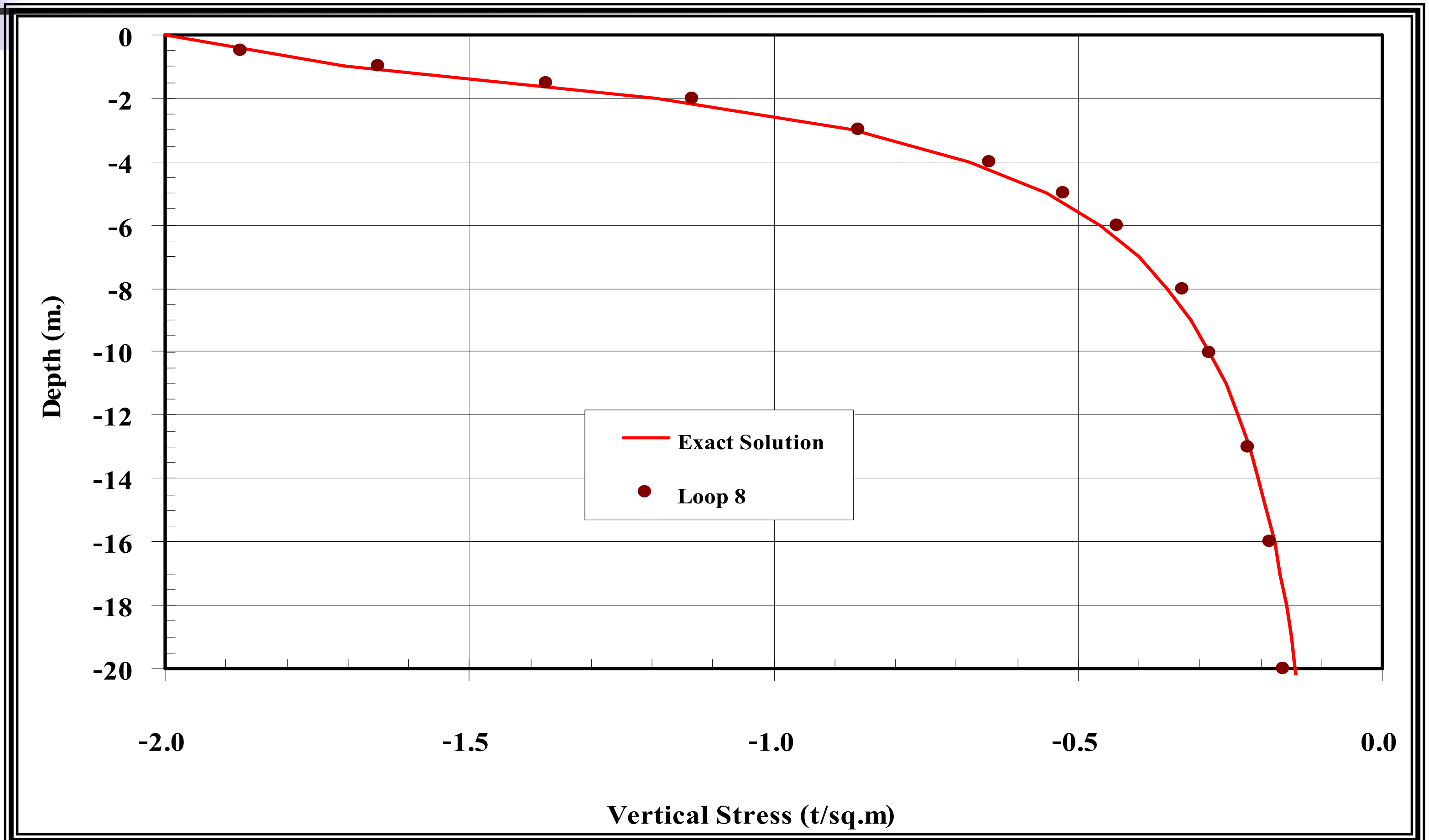
ผลการวิเคราะห์ :Strip Footing



(1) **Vertical Stress at หน้าตัด x = 0 (Each Loop)**

**** เปรียบเทียบกับ Elastic solution เสนอโดย Poulos & Davis (1974)**

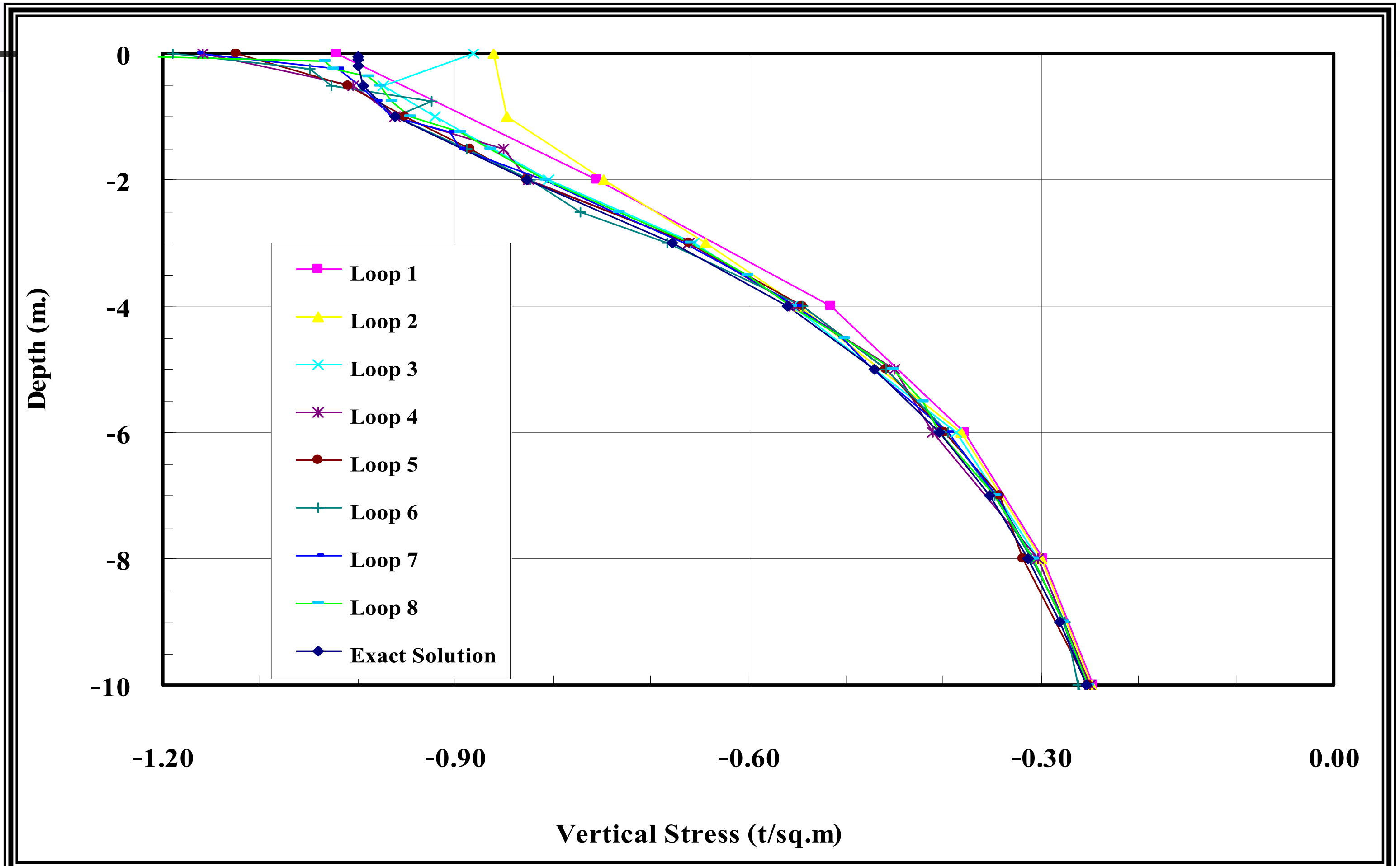
ผลการวิเคราะห์ :Strip Footing



(2) Vertical Stress at หน้าตัด x = 0 (Final Loop)

**** เปรียบเทียบกับ Elastic solution เสนอโดย Poulos & Davis (1974)**

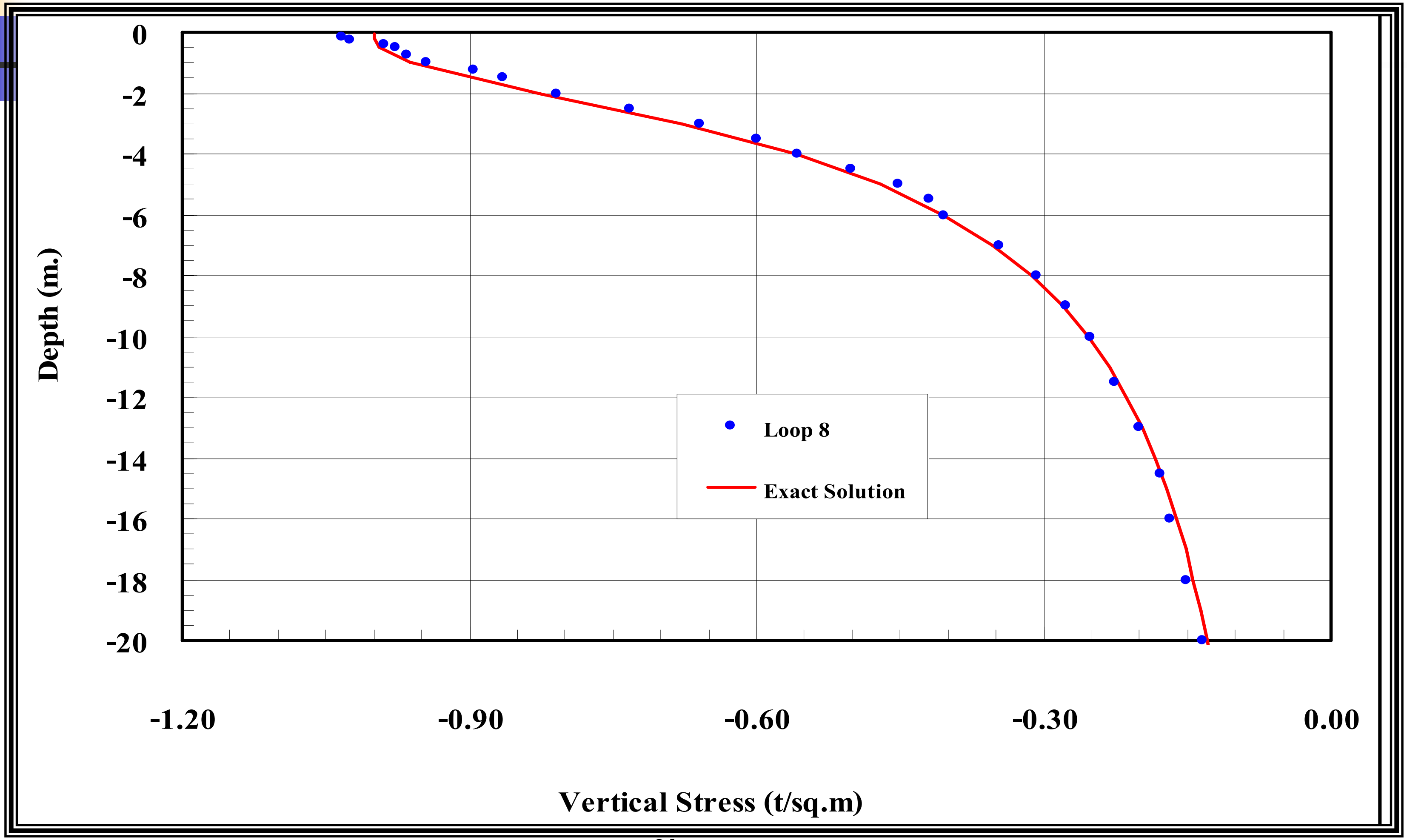
ผลการวิเคราะห์ :Strip Footing



(3) Vertical Stress at หน้าตัด Z = B/2 (Each Loop)

**** เปรียบเทียบกับ Elastic solution เสนอโดย Poulos & Davis (1974)**

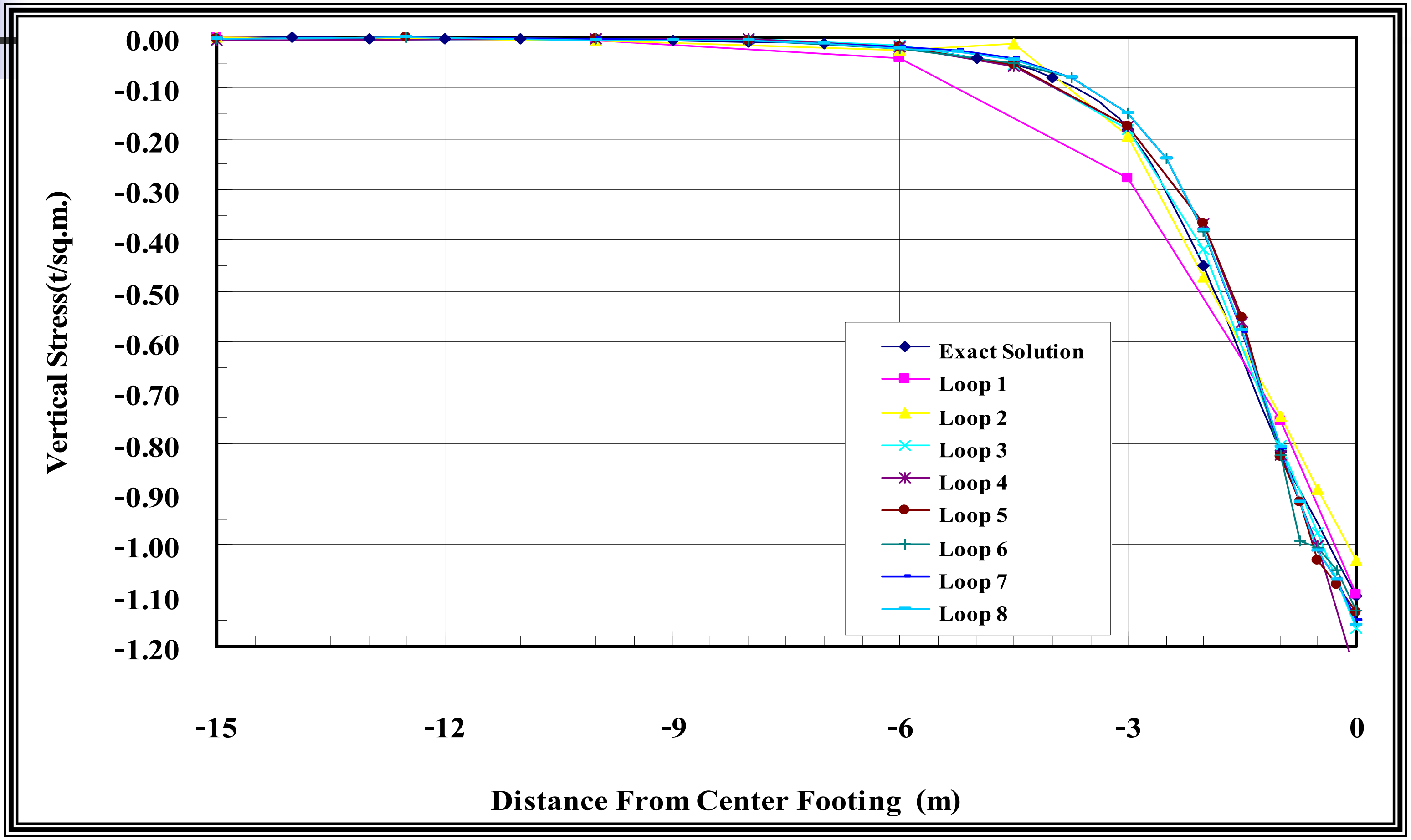
ผลการวิเคราะห์ :Strip Footing



(4) Vertical Stress at หน้าตัด x = B/2 (Final Loop)

**** เปรียบเทียบกับ Elastic solution เสนอโดย Poulos & Davis (1974)**

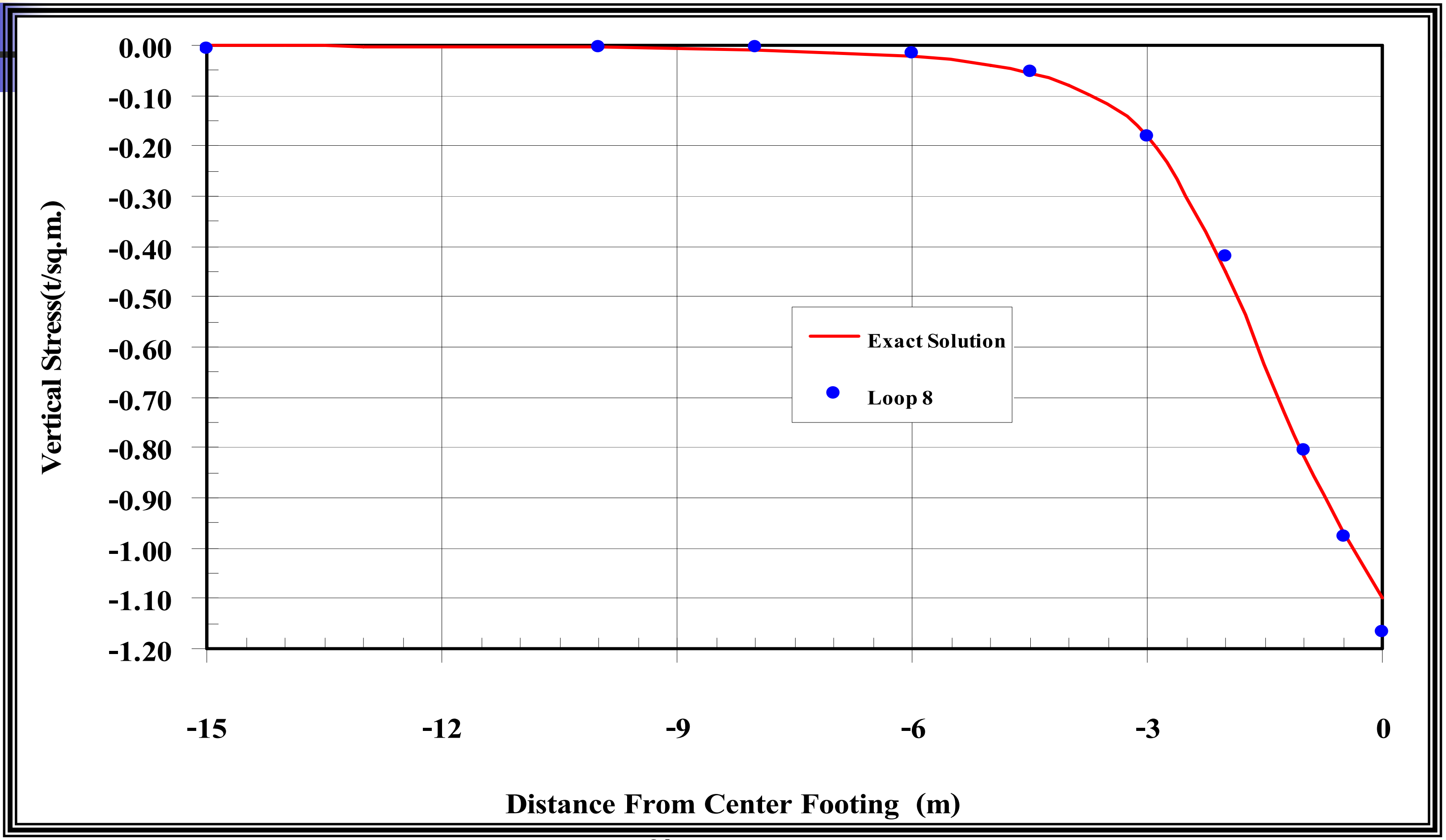
ผลการวิเคราะห์ :Strip Footing



(5) Vertical Stress at หน้าตัด Y = B (Each Loop)

**** เปรียบเทียบกับ Elastic solution เสนอโดย Poulos & Davis (1974)**

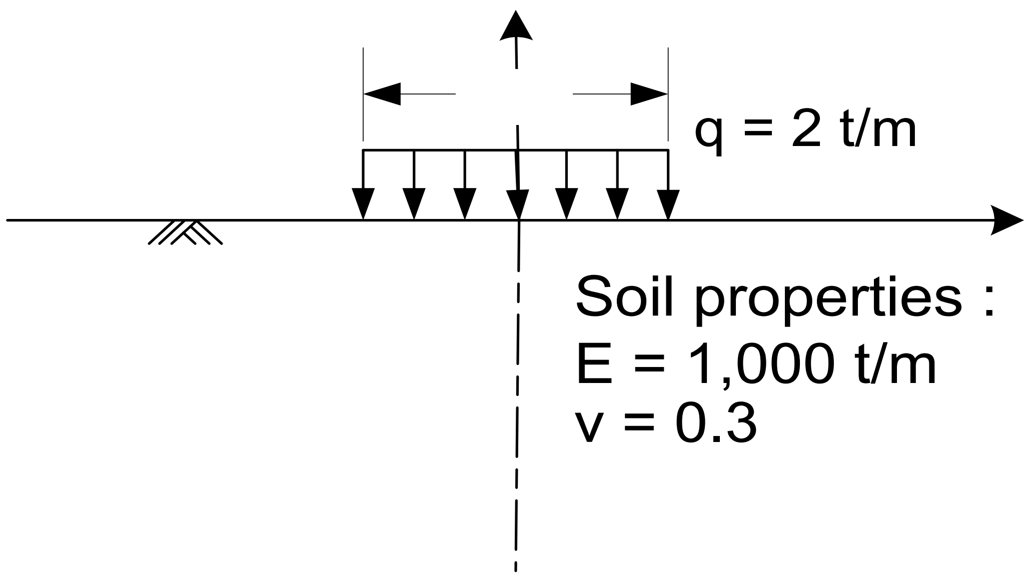
ผลการวิเคราะห์ :Strip Footing



(6) Vertical Stress at หน้าตัด Y = B (Final Loop)

** เปรียบเทียบกับ Elastic solution เสนอโดย Poulos & Davis (1974)

Case Study 2 : Rectangular Load

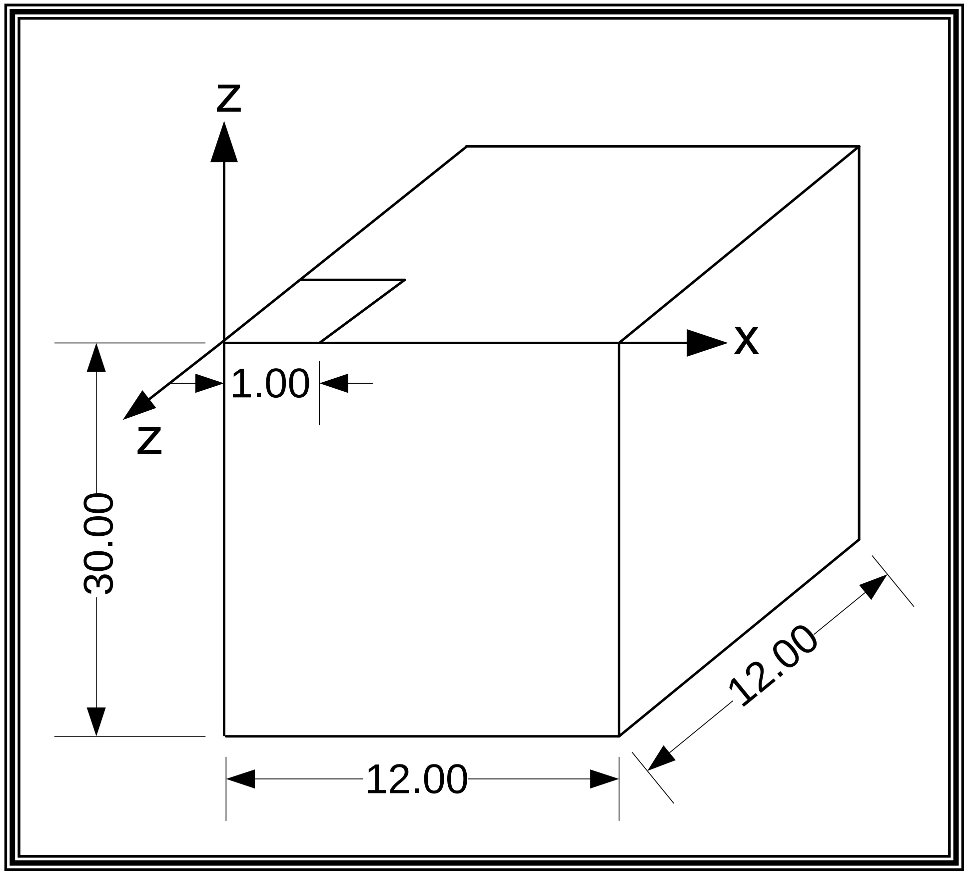


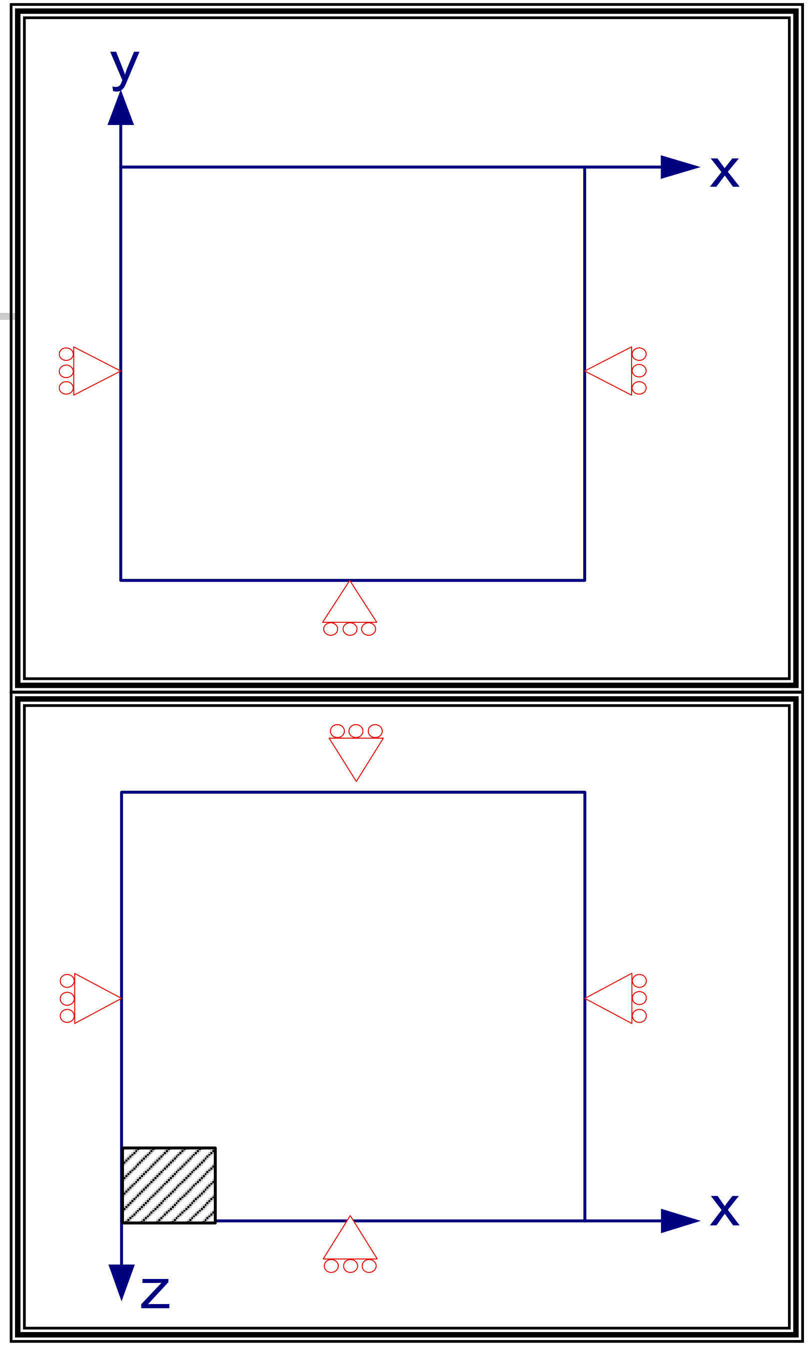
- Flexible footing
- Linear elastic property
- Isotropic
- Elastic haft-space

y

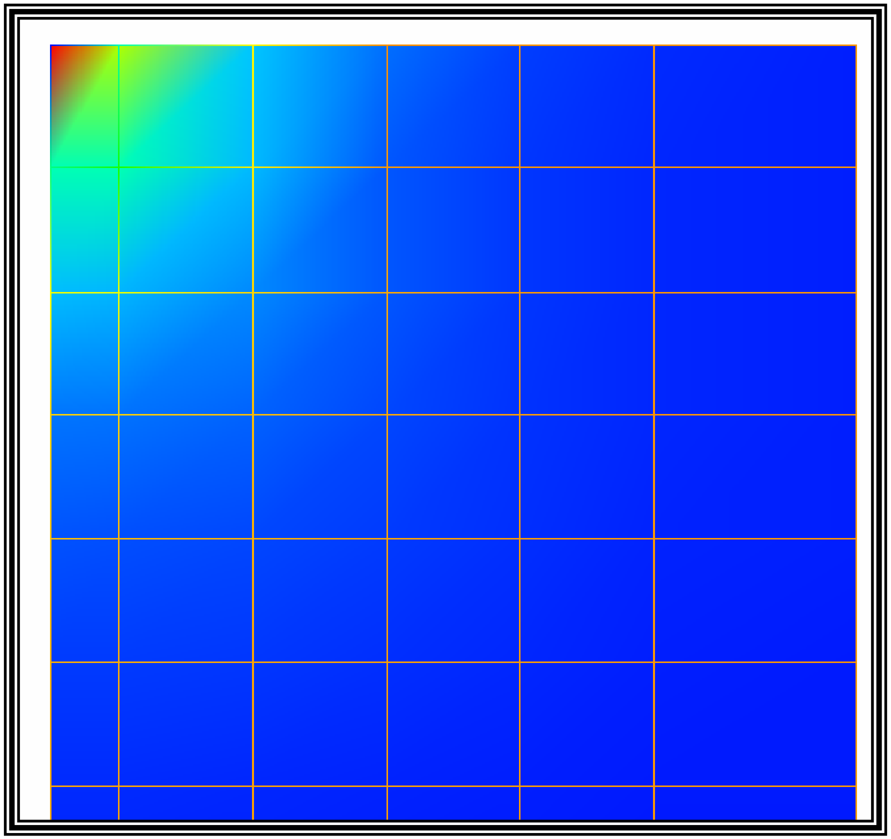
B = 2 m

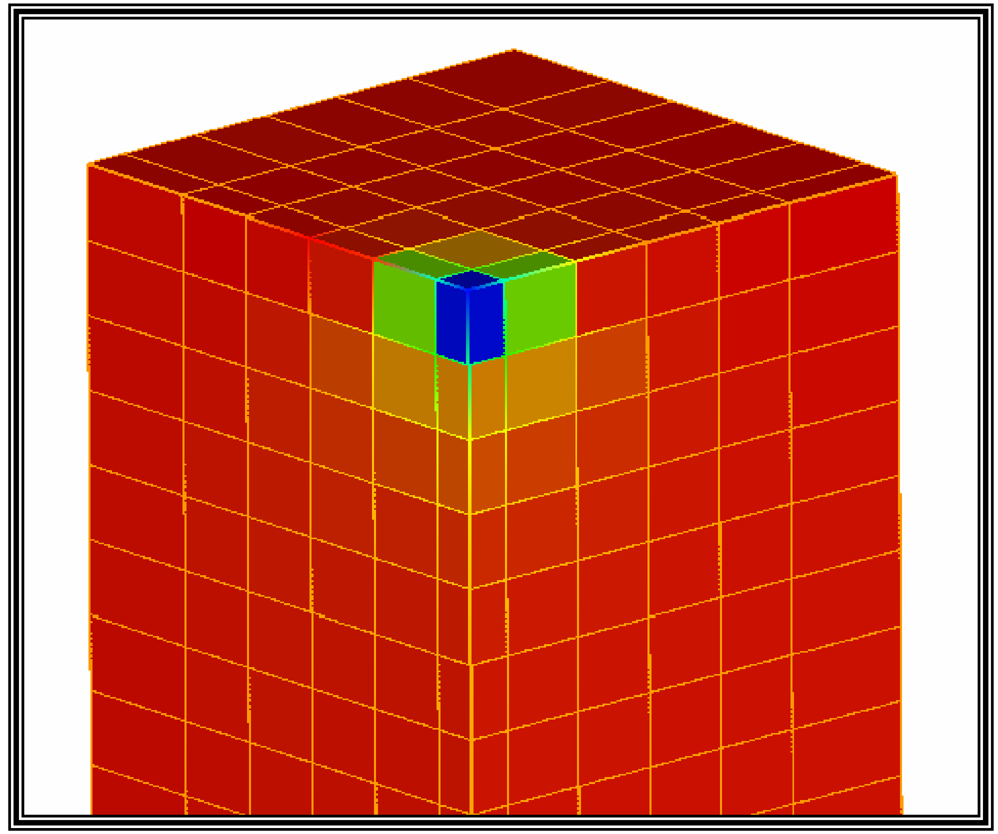
Boundary Condition



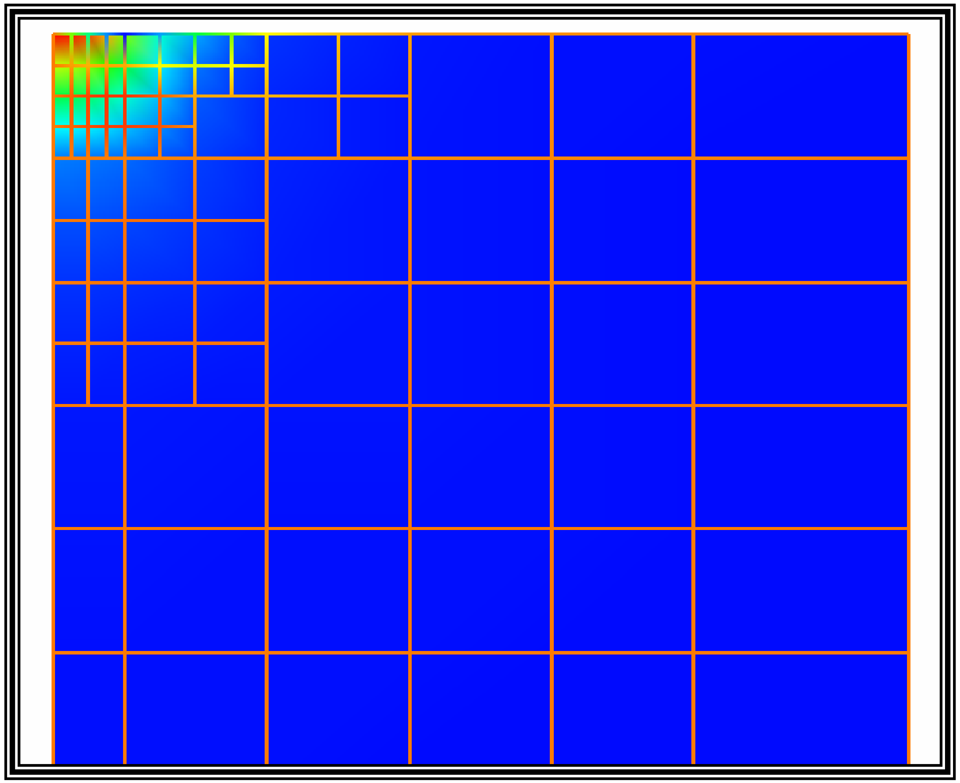


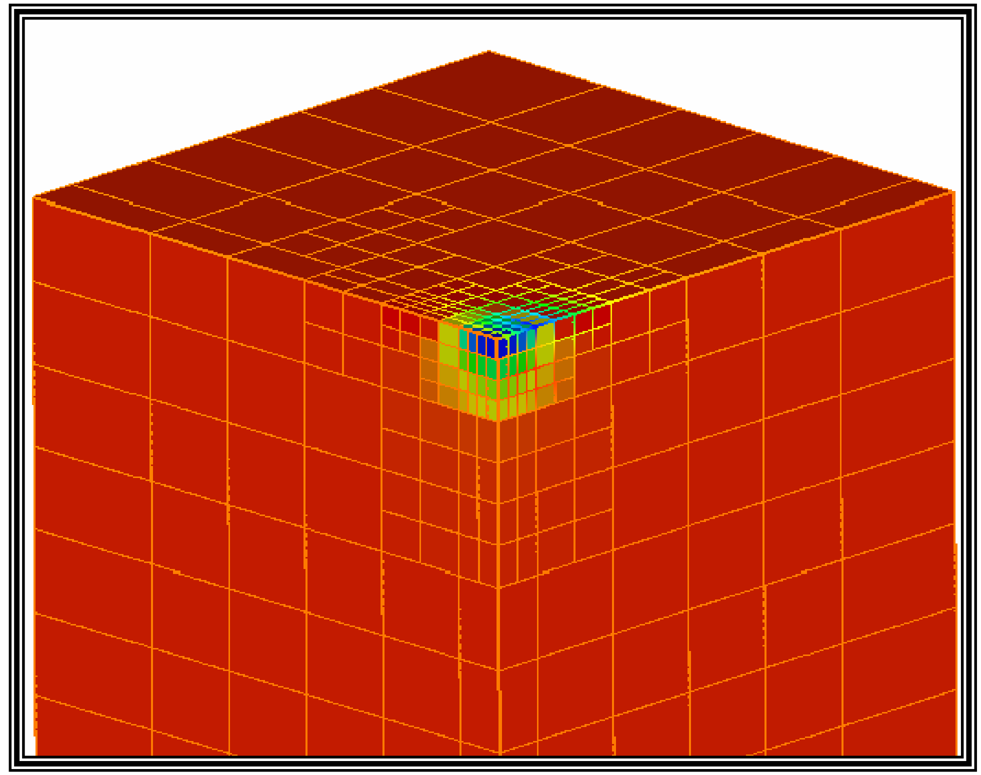
Initial Mesh Rectangular Load



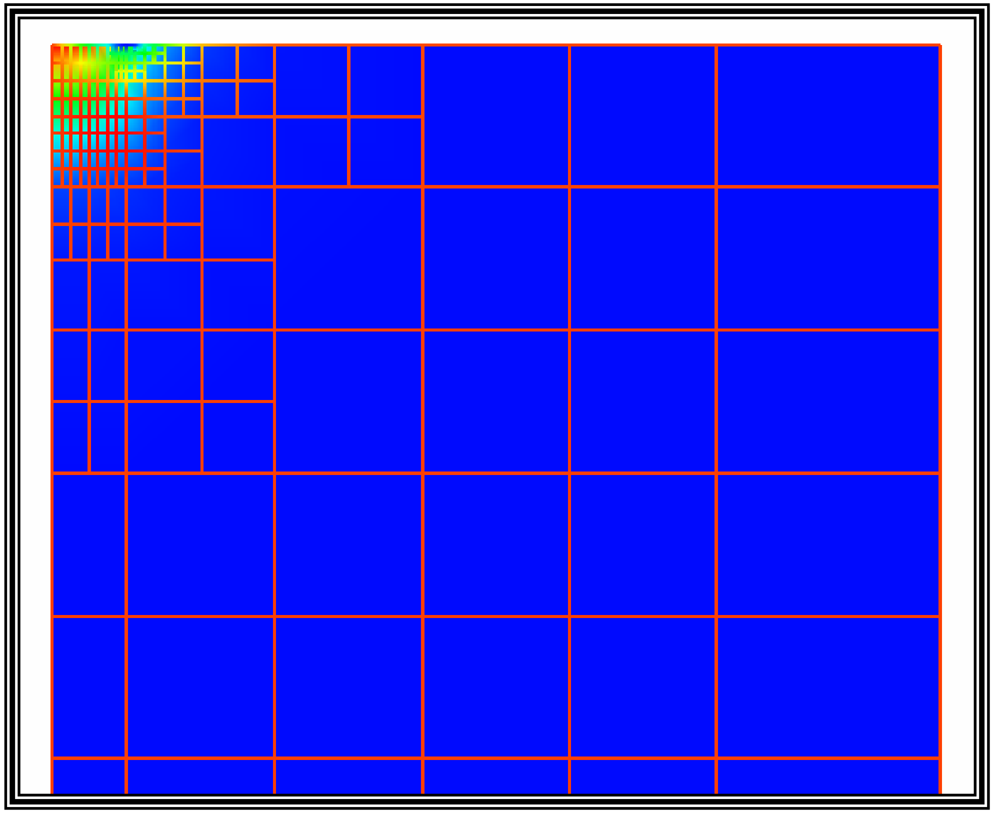


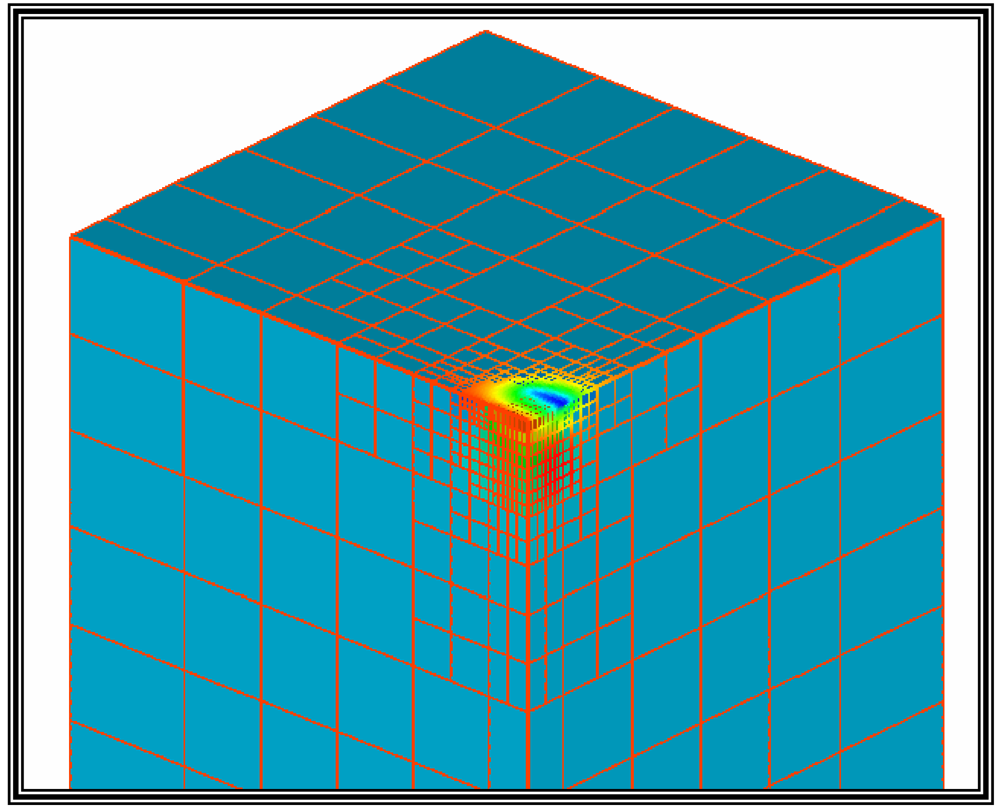
Mesh of Rectangular Load



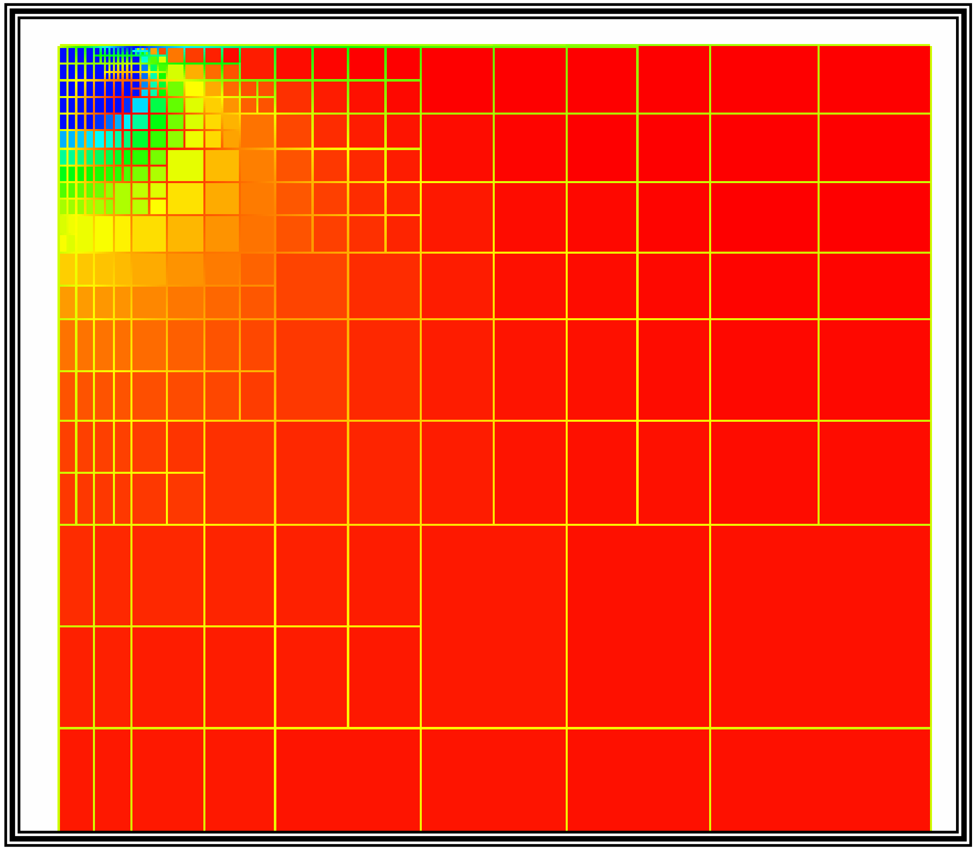


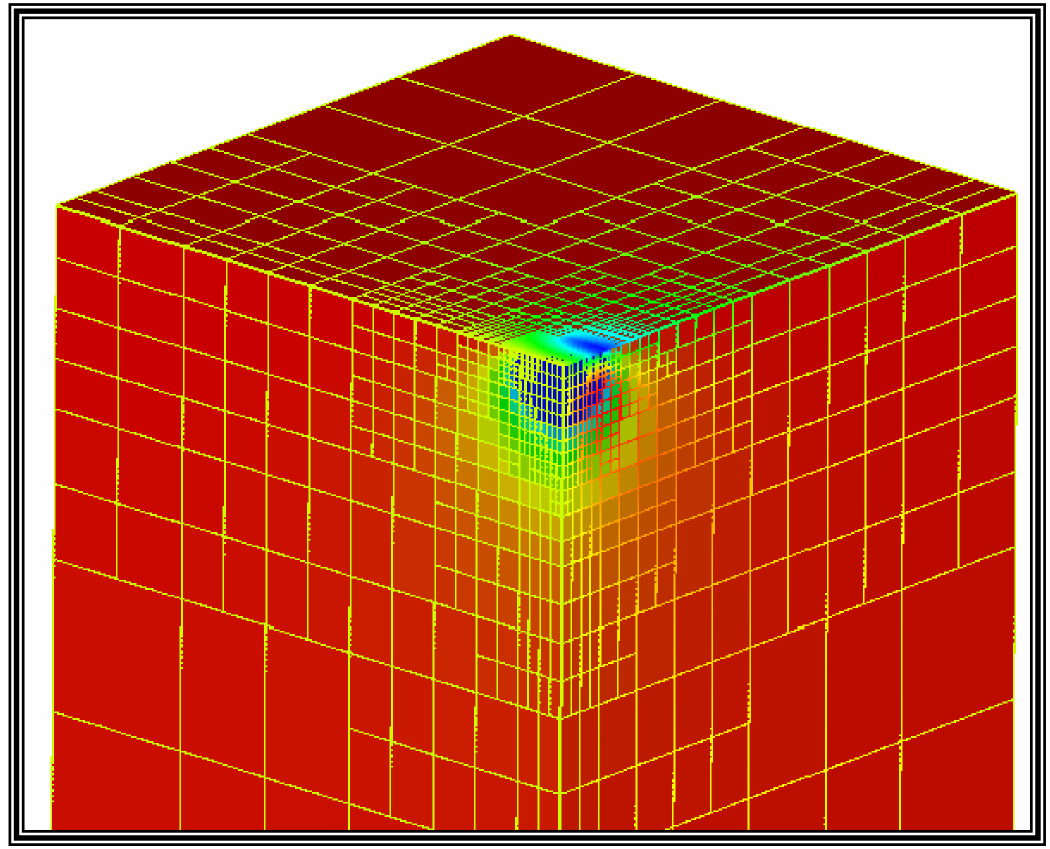
Mesh of Rectangular Load



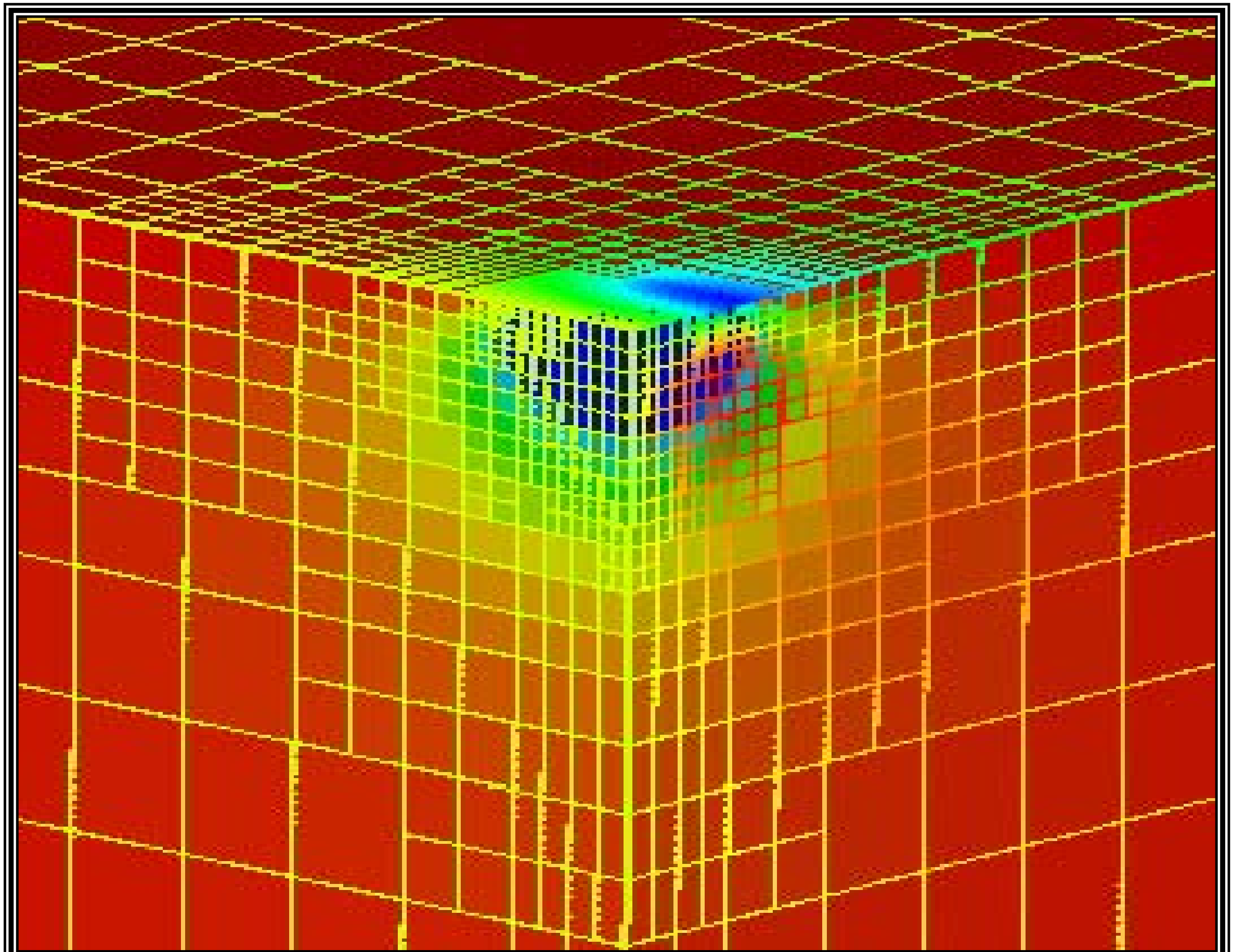


Final Mesh of Rectangular Load

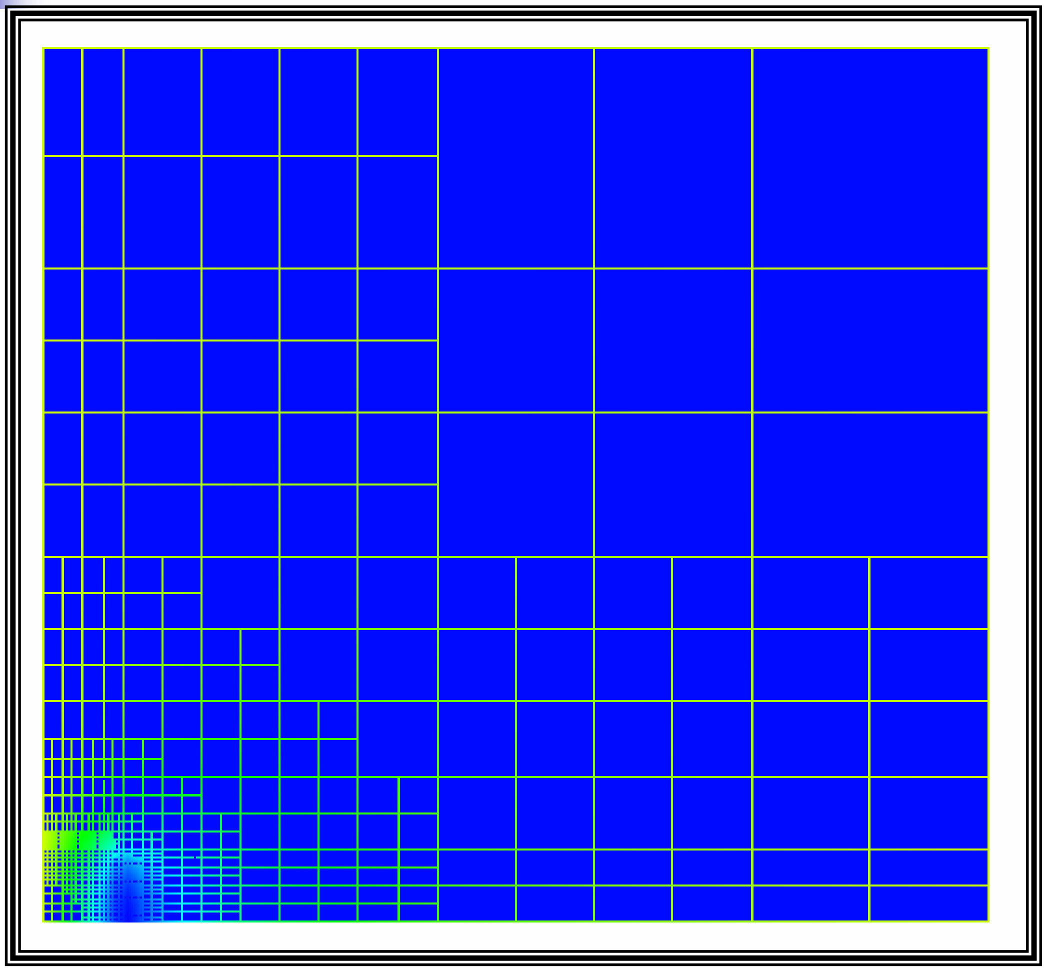




Final Mesh of Rectangular Load

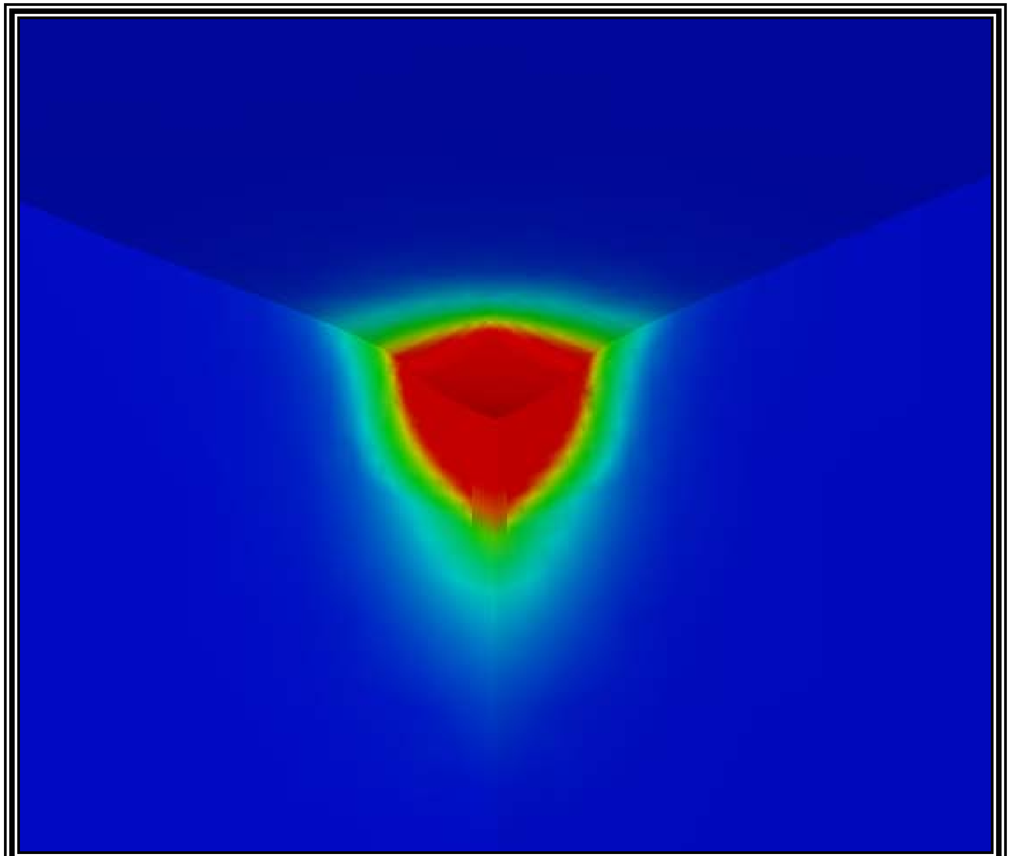


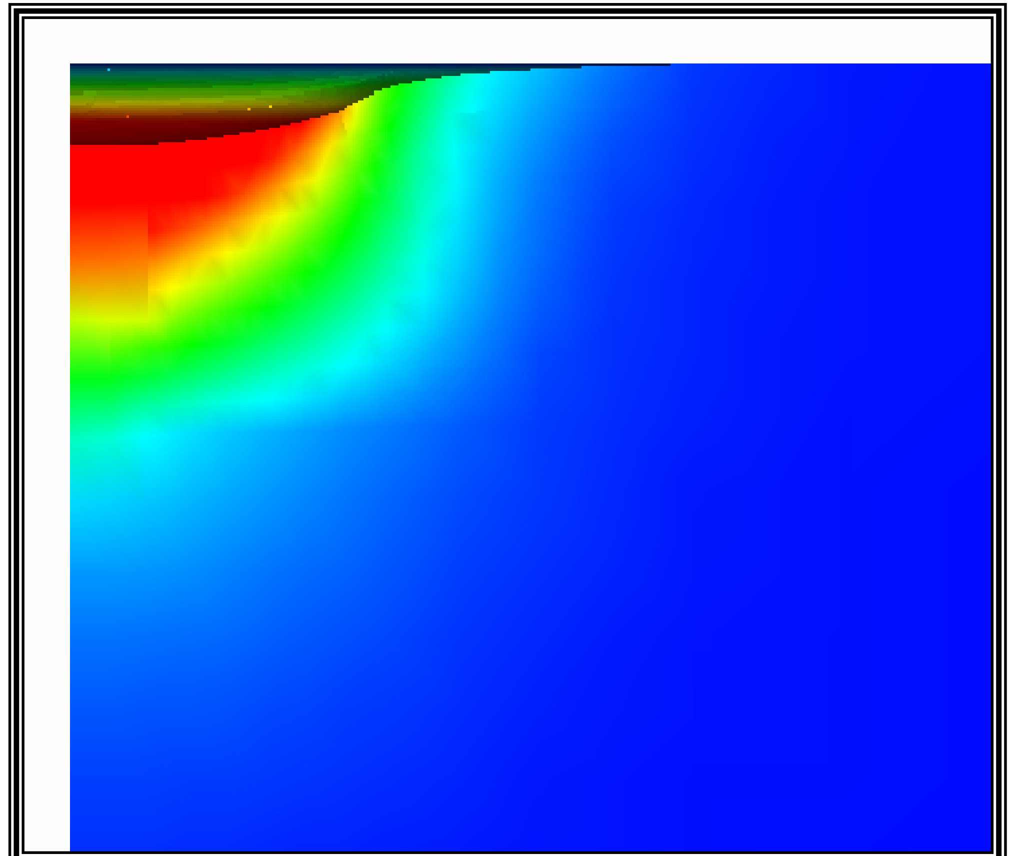
Final Mesh of Rectangular Load



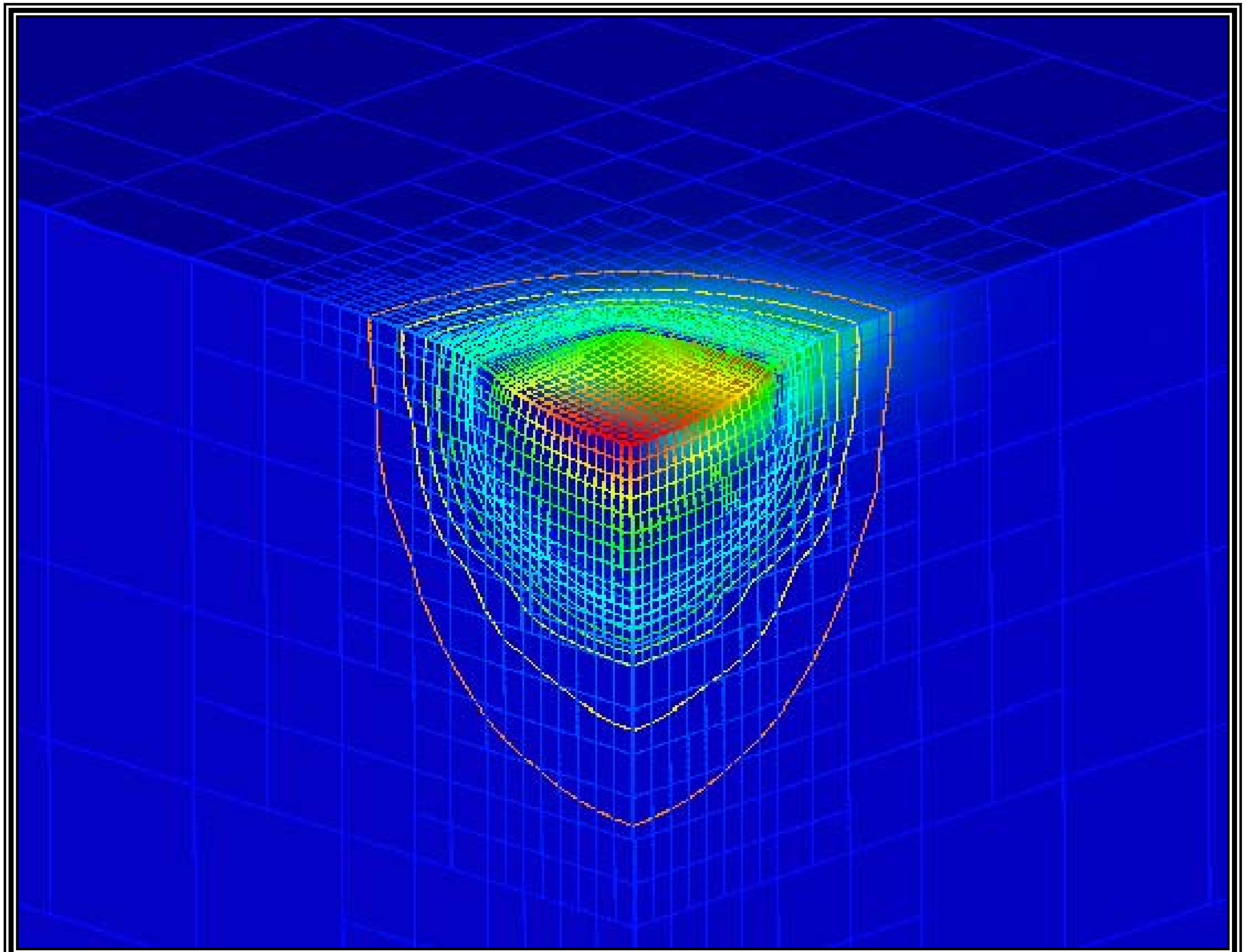
Top View

Displacement Mesh

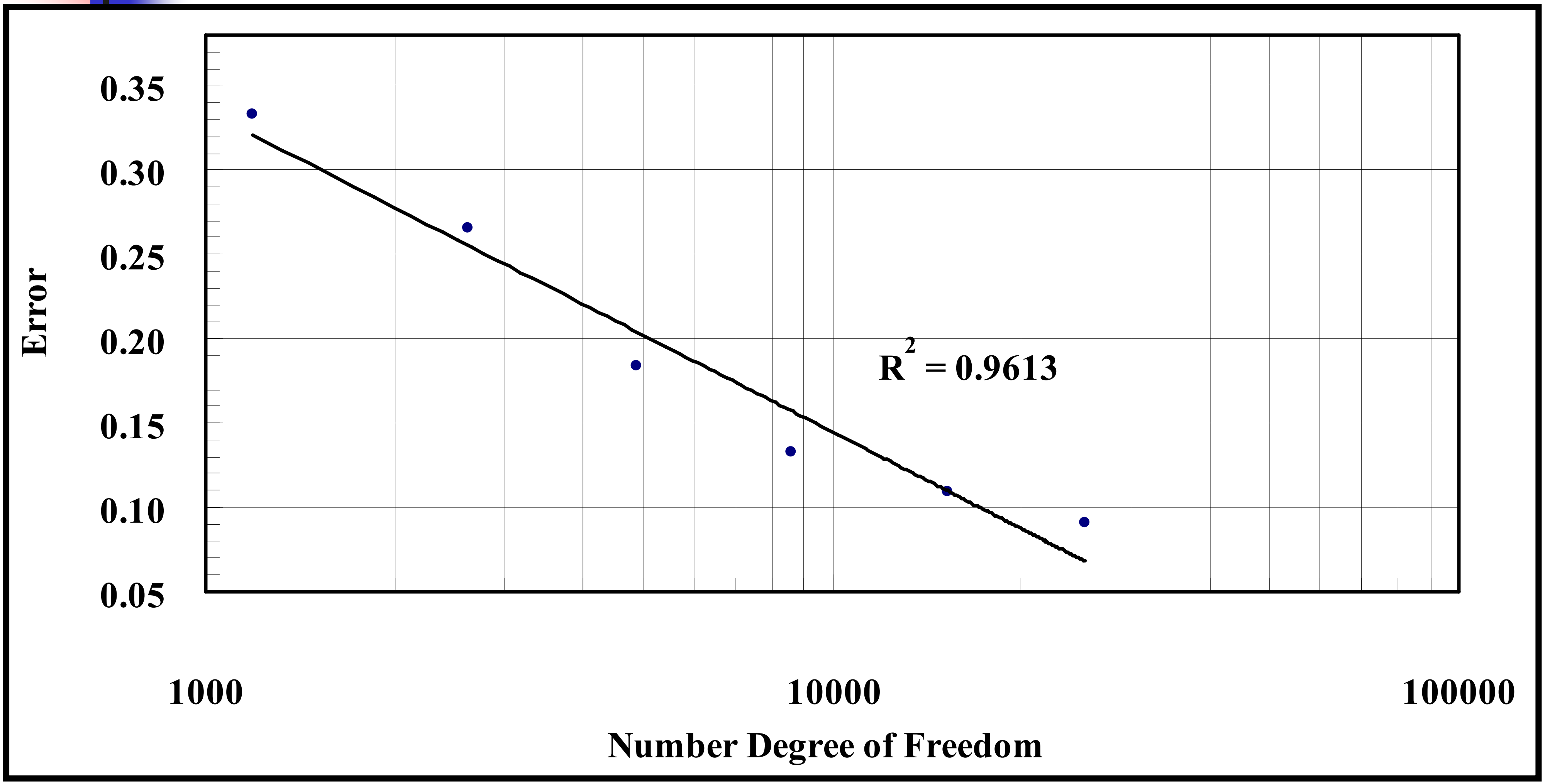




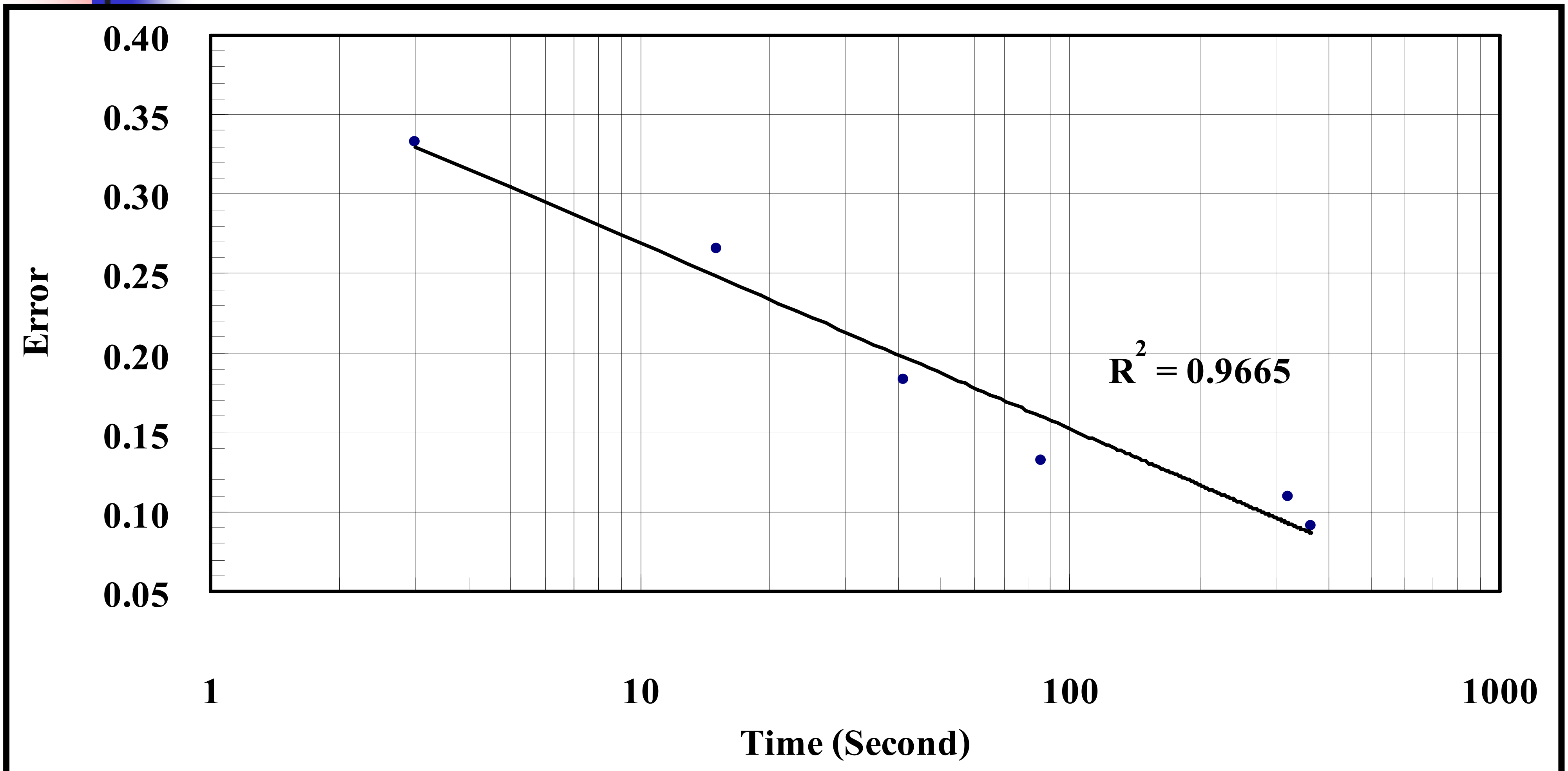
Contour Stress of Rectangular Load



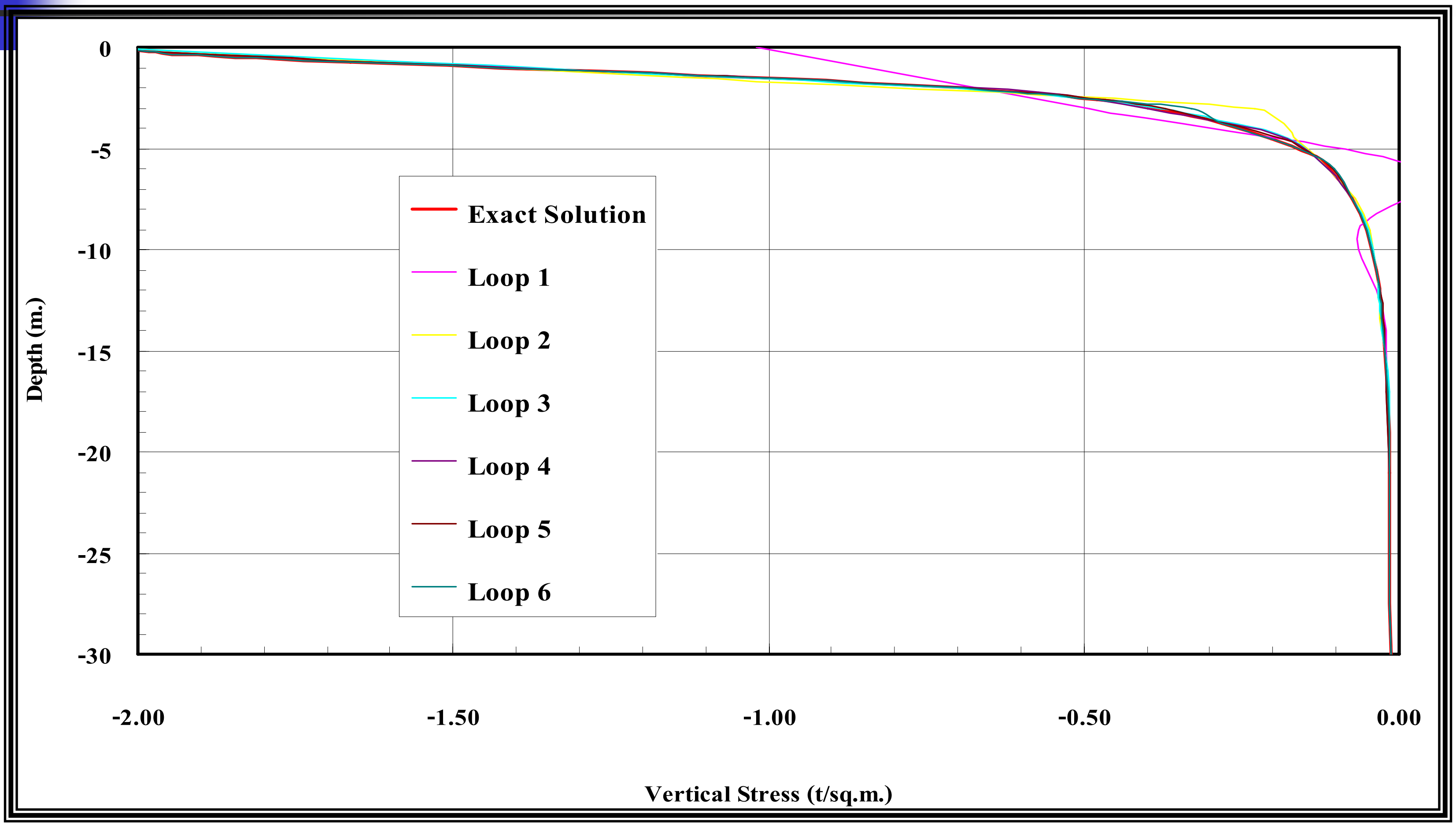
Error & Degree of Freedom



Error & Time


0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
Error
$R^2 = 0.9665$
1
10
100
1000
Time (Second)

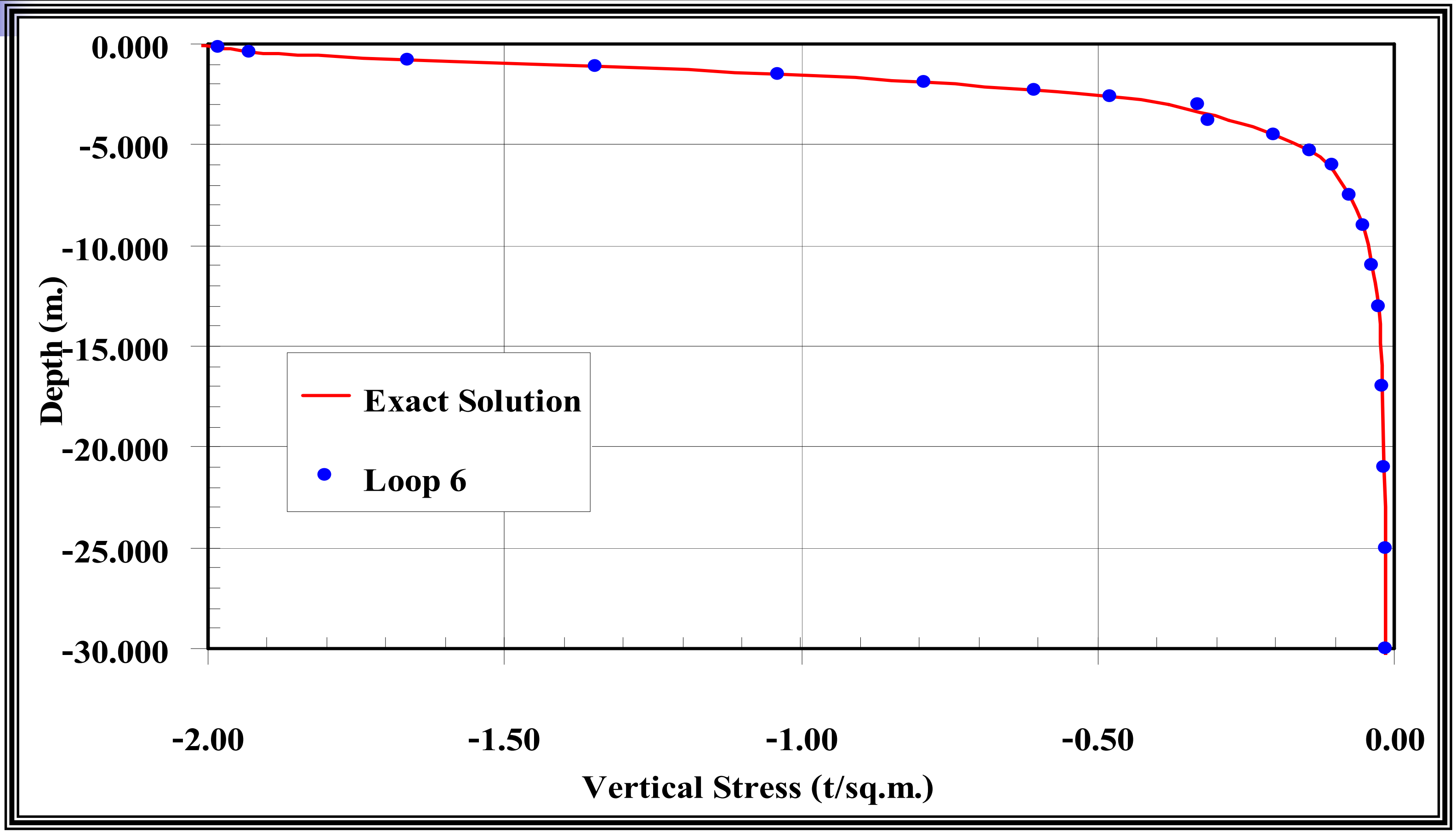
ผลการวิเคราะห์ : Rectangular Load



(1) Vertical Stress at Center Line (Each Loop)

** เปรียบเทียบกับ Elastic solution เสนอโดย Poulos & Davis (1974)

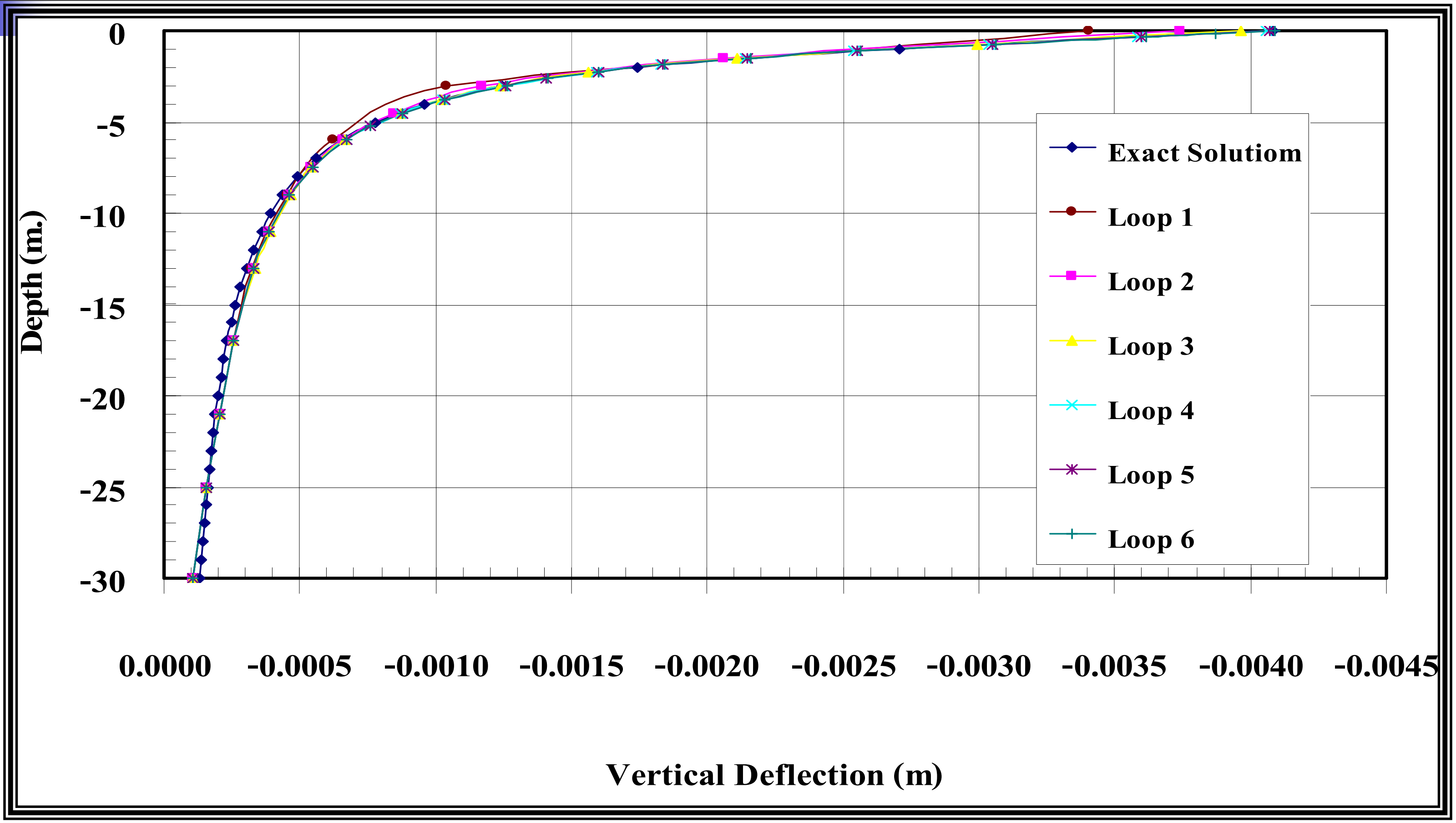
ผลการวิเคราะห์ : Rectangular Load



(2) Vertical Stress at Center Line (Final Loop)

** เปรียบเทียบกับ Elastic solution เสนอโดย Poulos & Davis (1974)

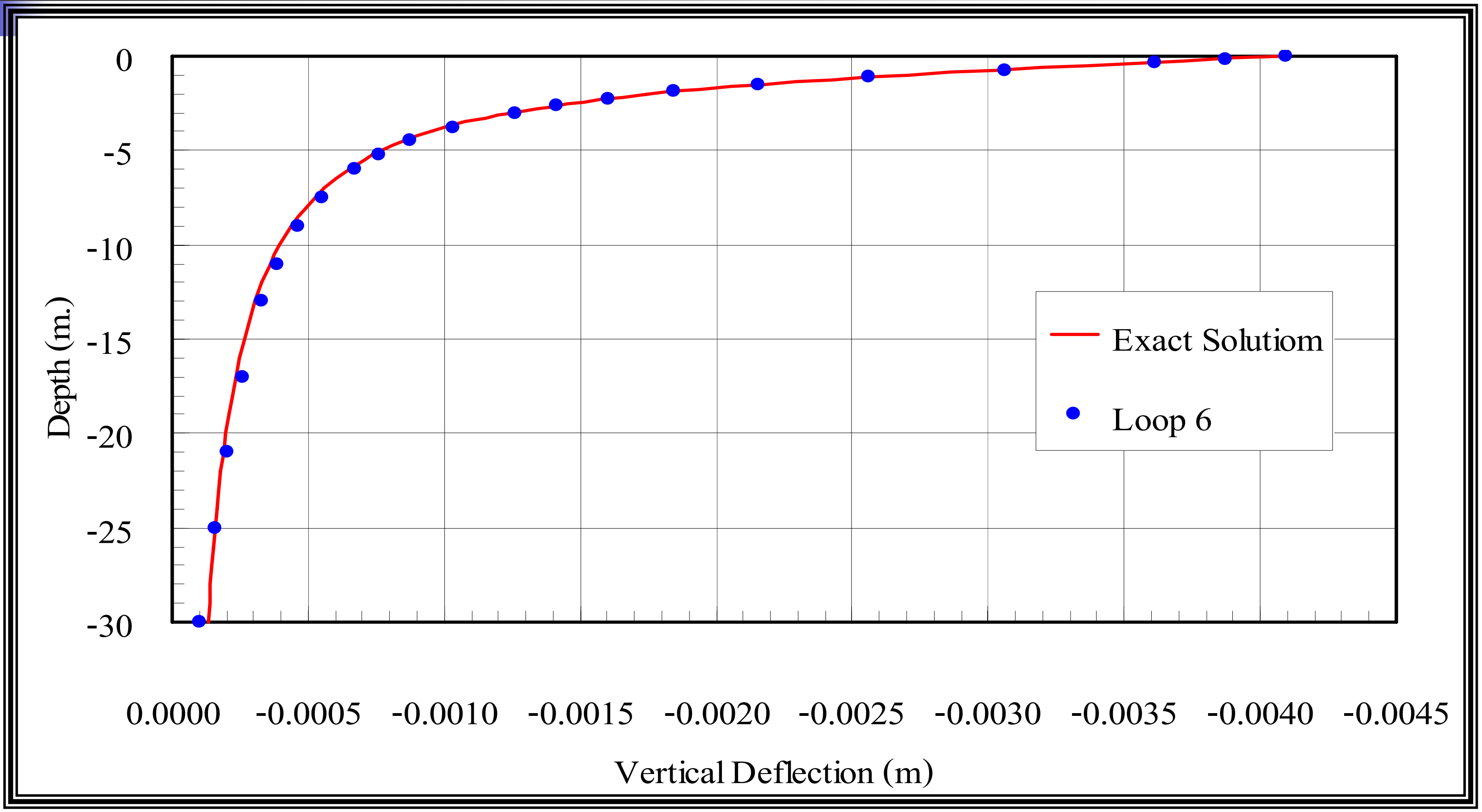
ผลการวิเคราะห์ : Rectangular Load



(3) Vertical Deflection at Center Line (each Loop)

** เปรียบเทียบกับ Elastic solution เสนอโดย Poulos & Davis (1974)

ผลการวิเคราะห์ : Rectangular Load

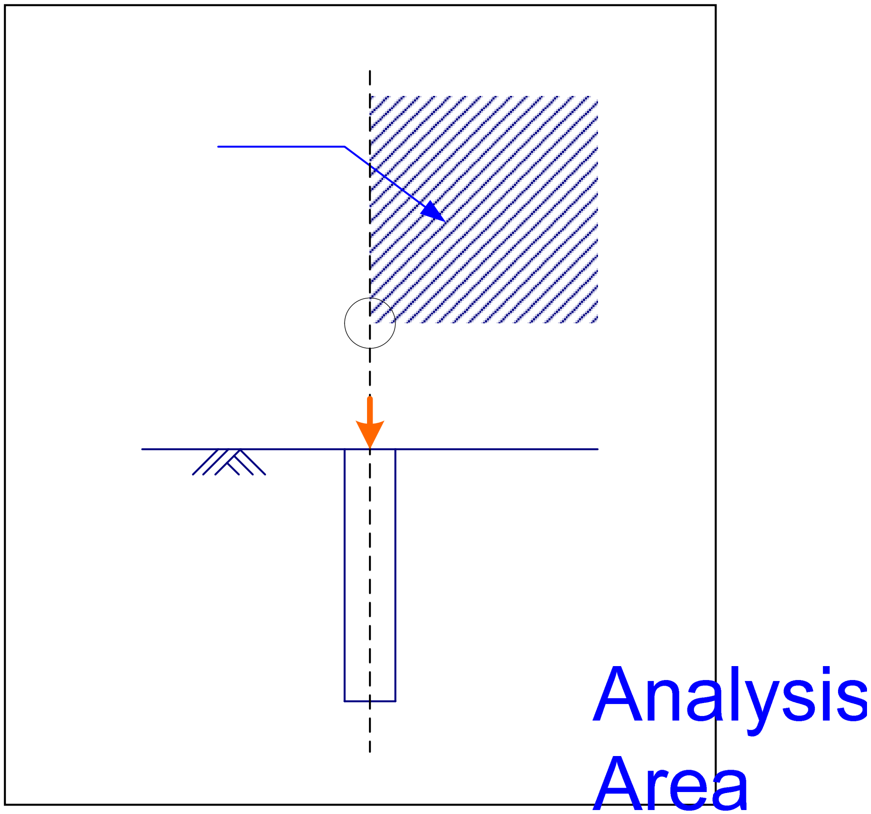


(4) Vertical Deflection at Center Line (Final Loop)

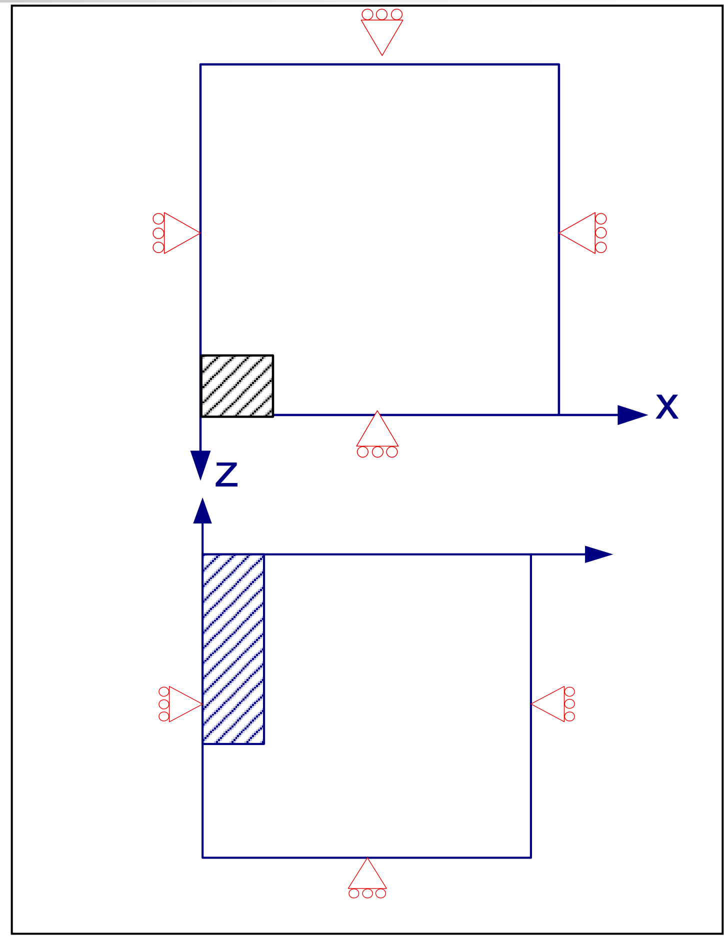
** เปรียบเทียบกับ Elastic solution เสนอโดย Poulos & Davis (1974)

การวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็ม

Boundary Condition

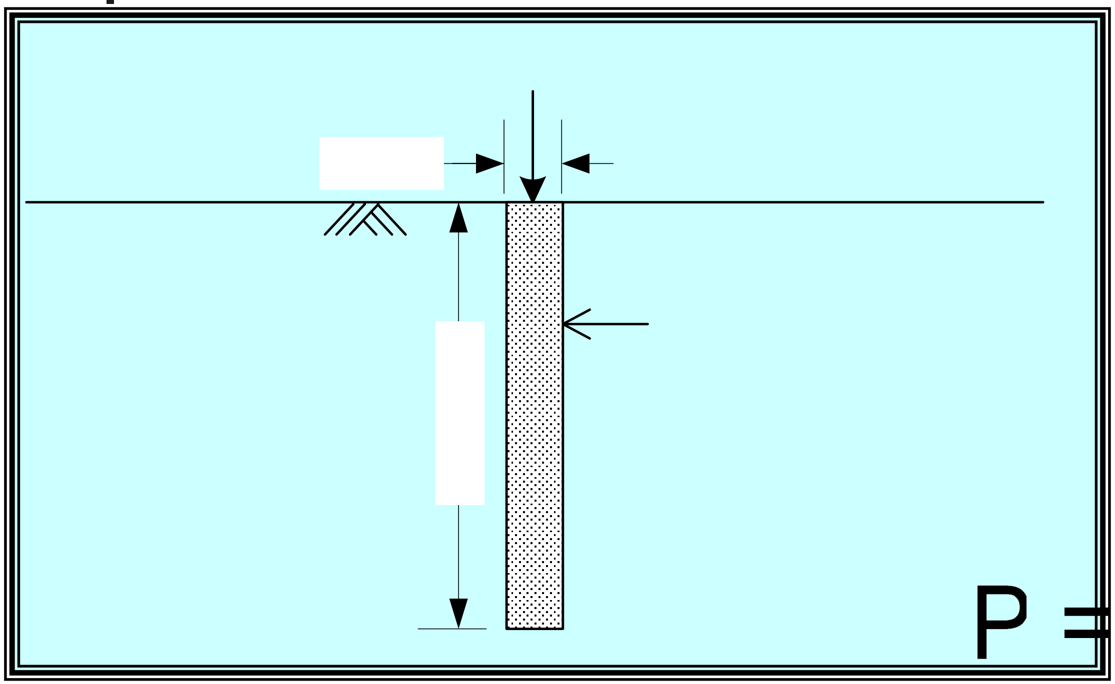


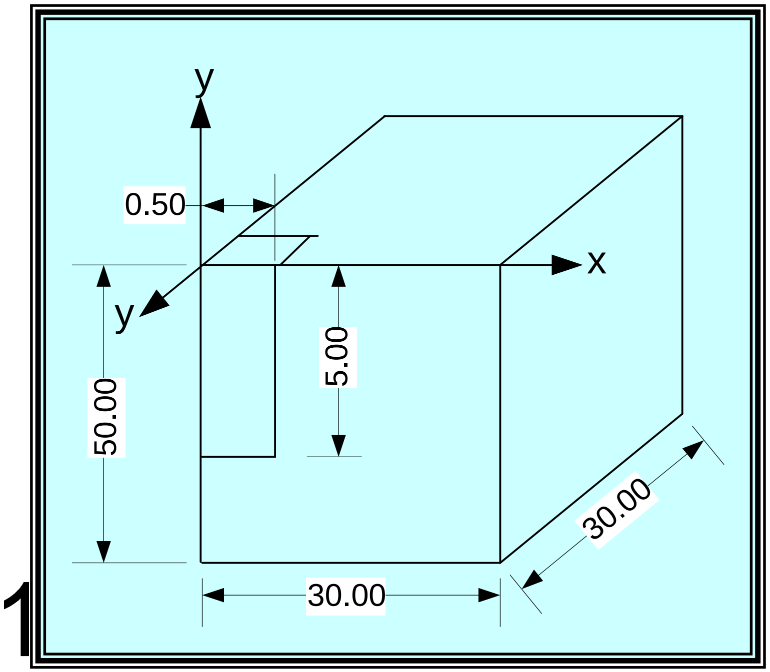
Analysis area



Boundary condition

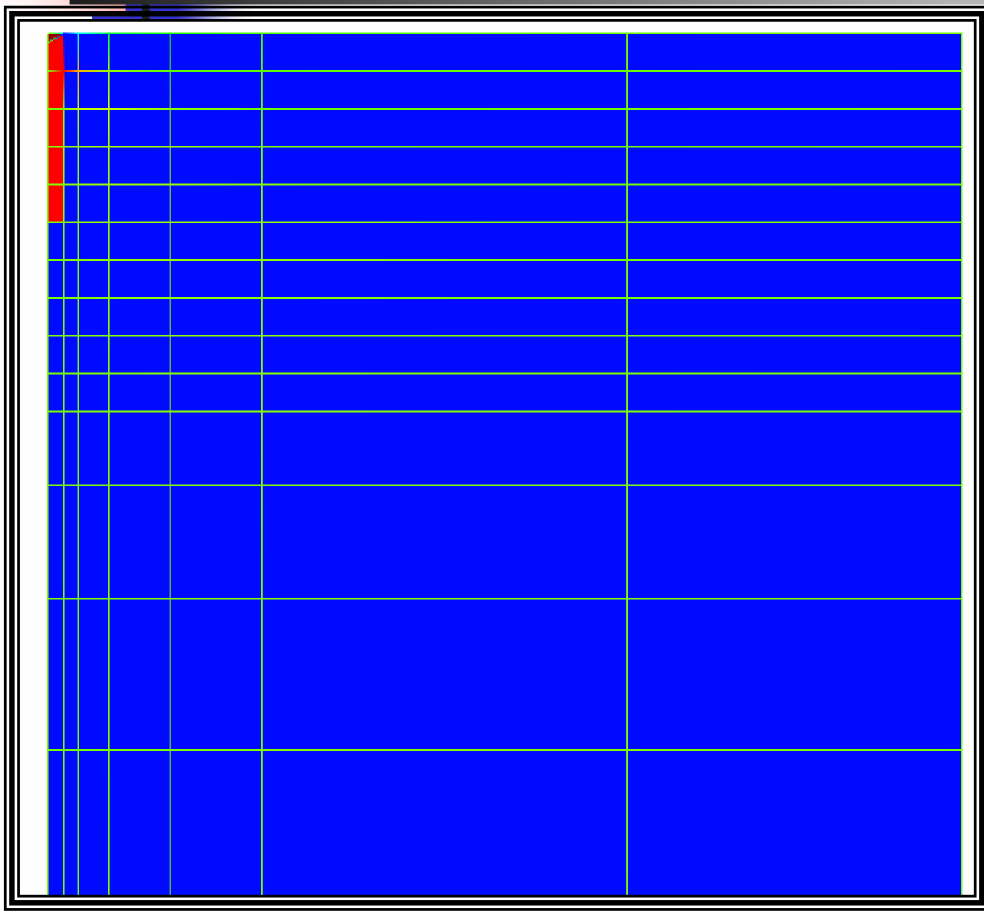
Case Study 1 :Friction Pile



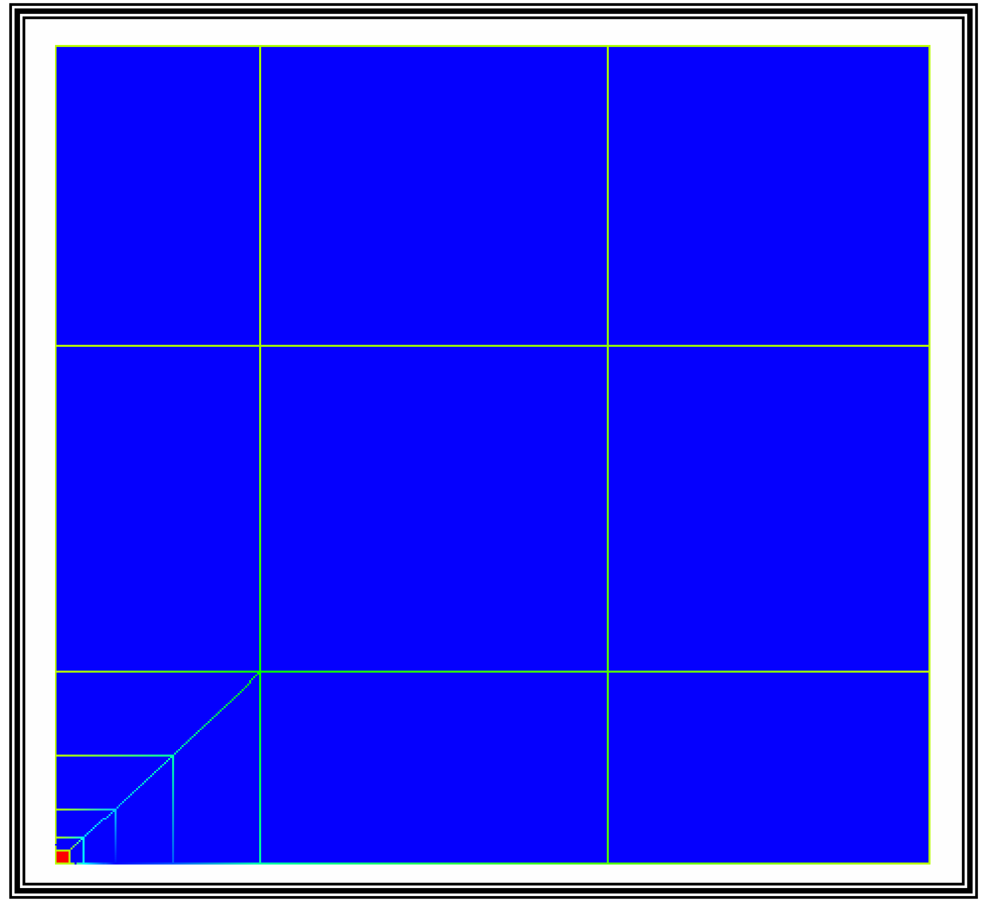


1.00 m

Initial Mesh Friction Pile

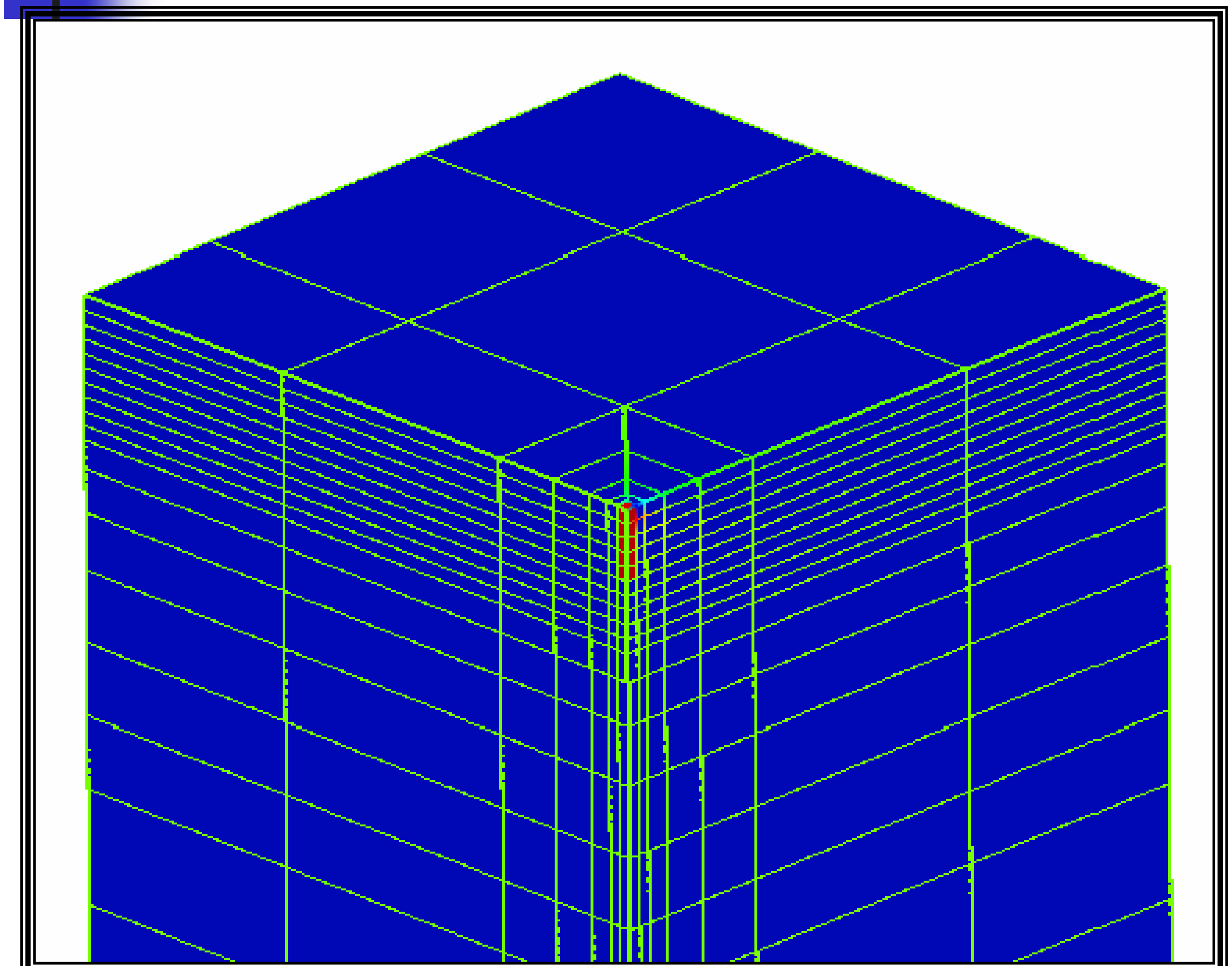


Side View



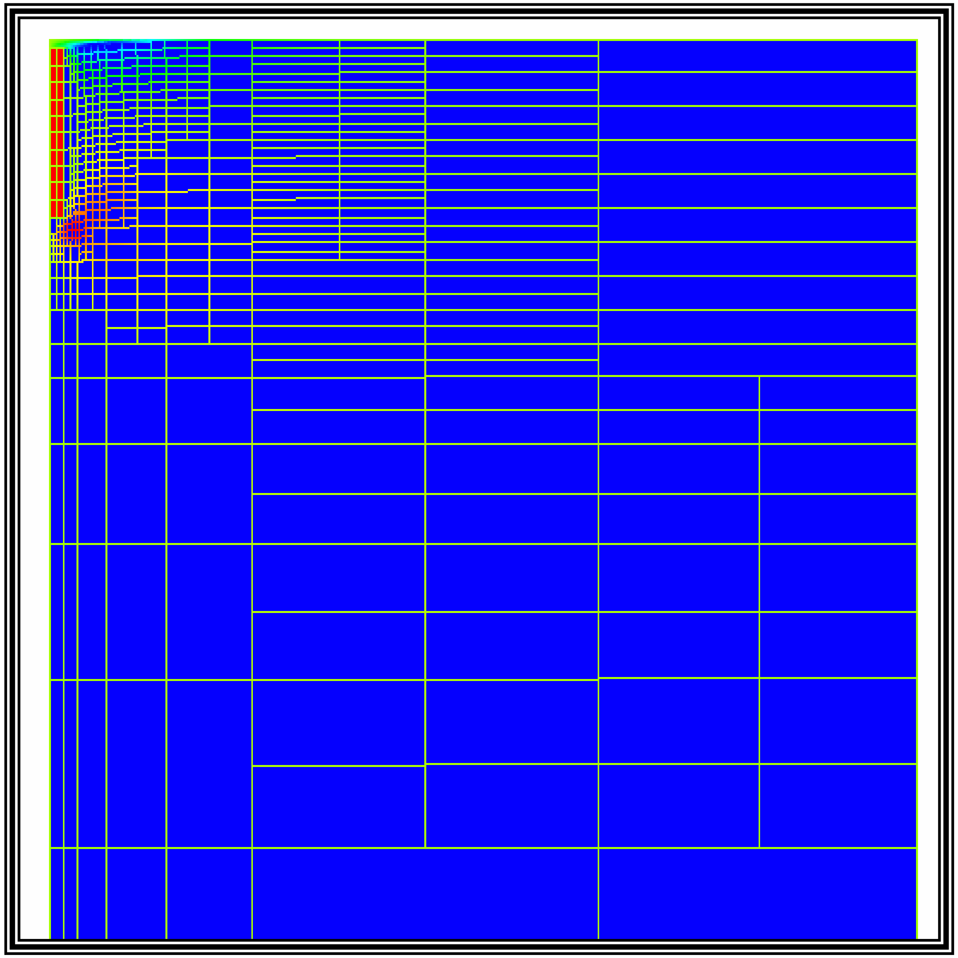
Top View

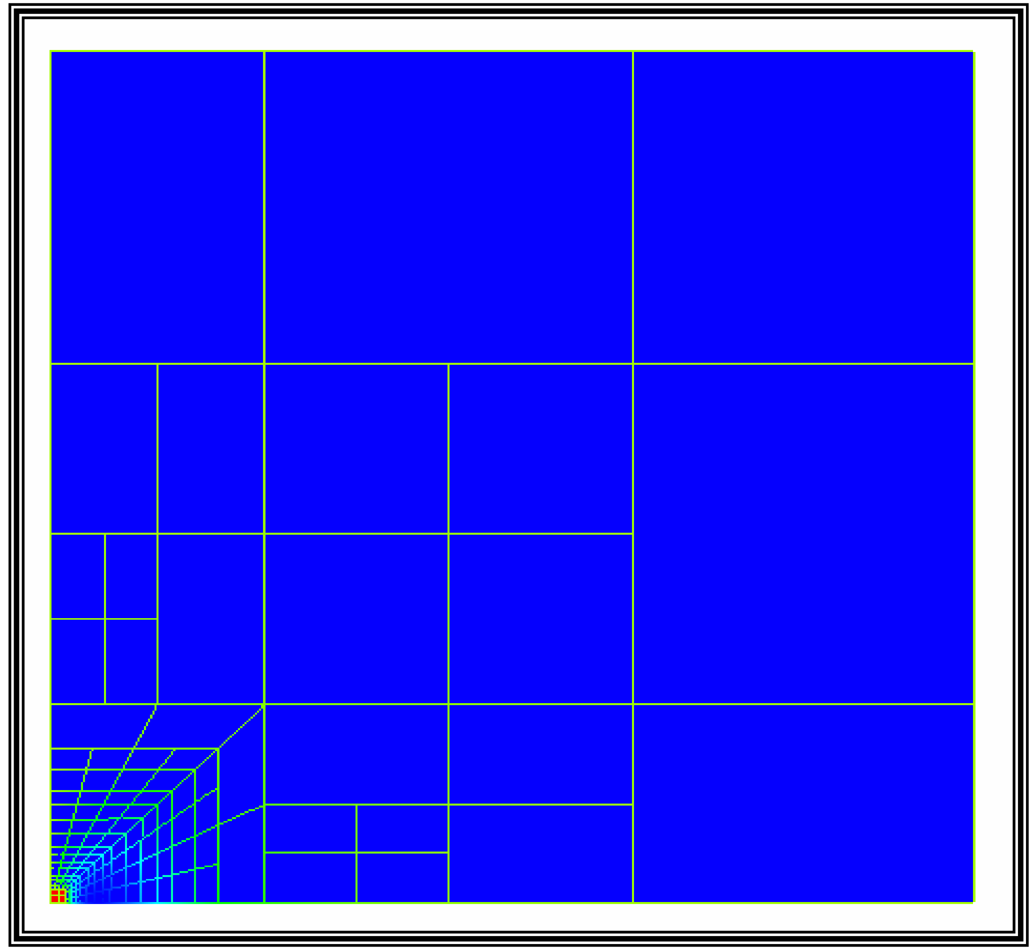
Initial Mesh Friction Pile



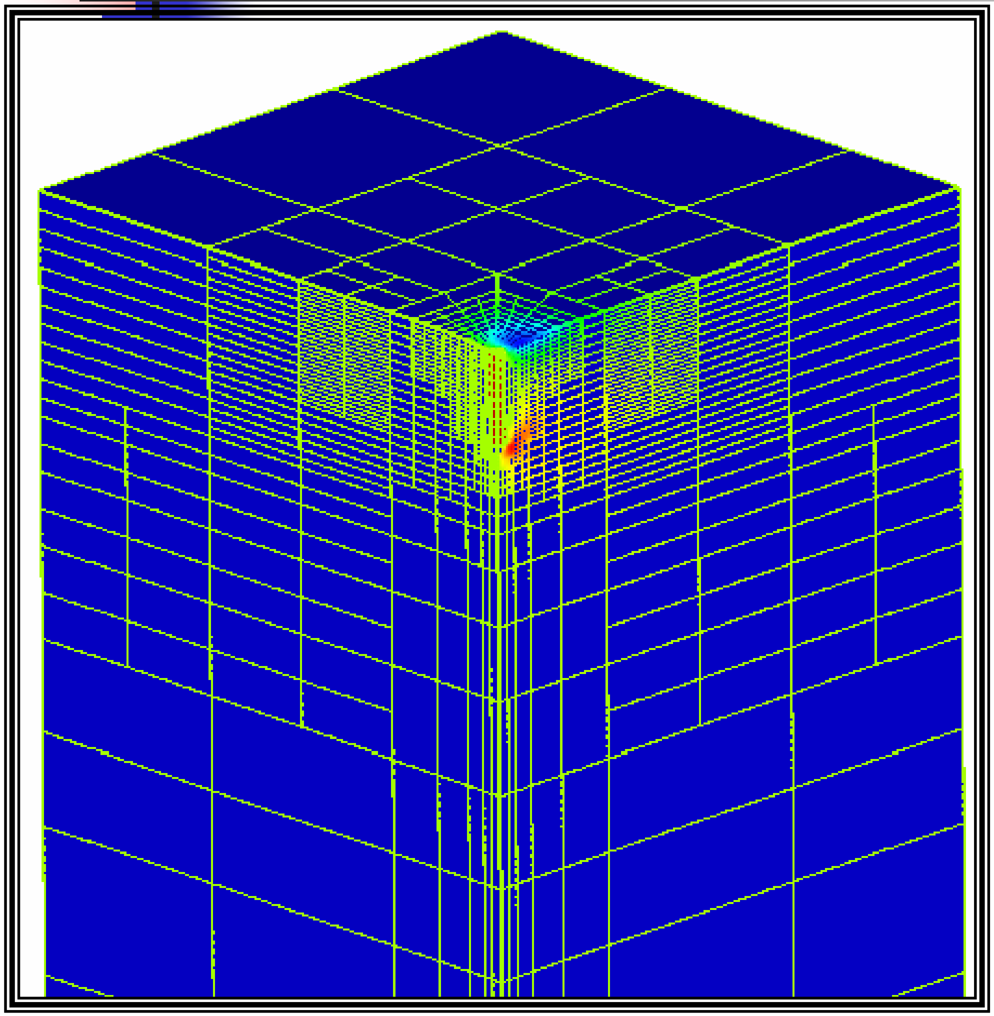
3D View

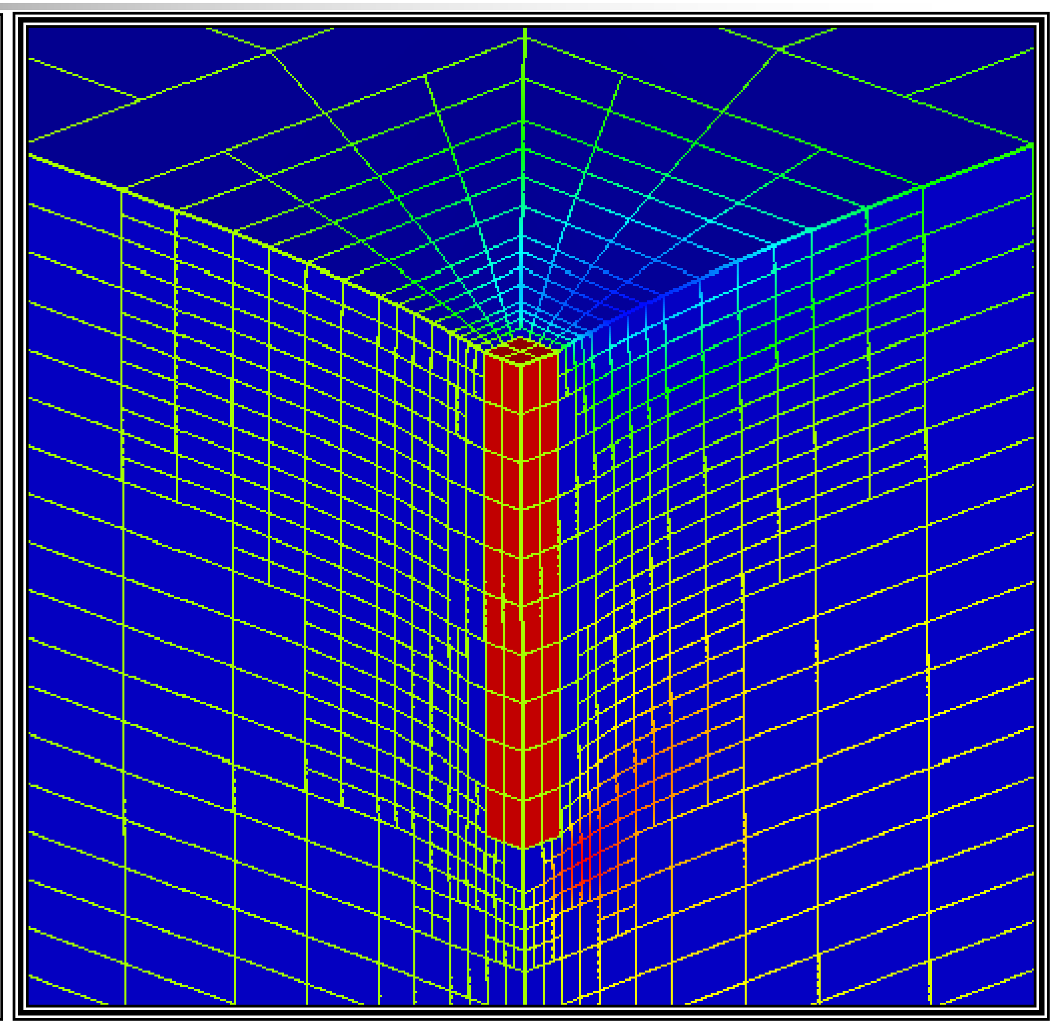
Top View & Side View Final Mesh





3D View Final Mesh





Settlement of Friction Pile

$_{s} = 0.4$

$L/d = 5$

$K = 1000$

$P = 200$ t

$E_p = 450{,}000$ t/sq.m

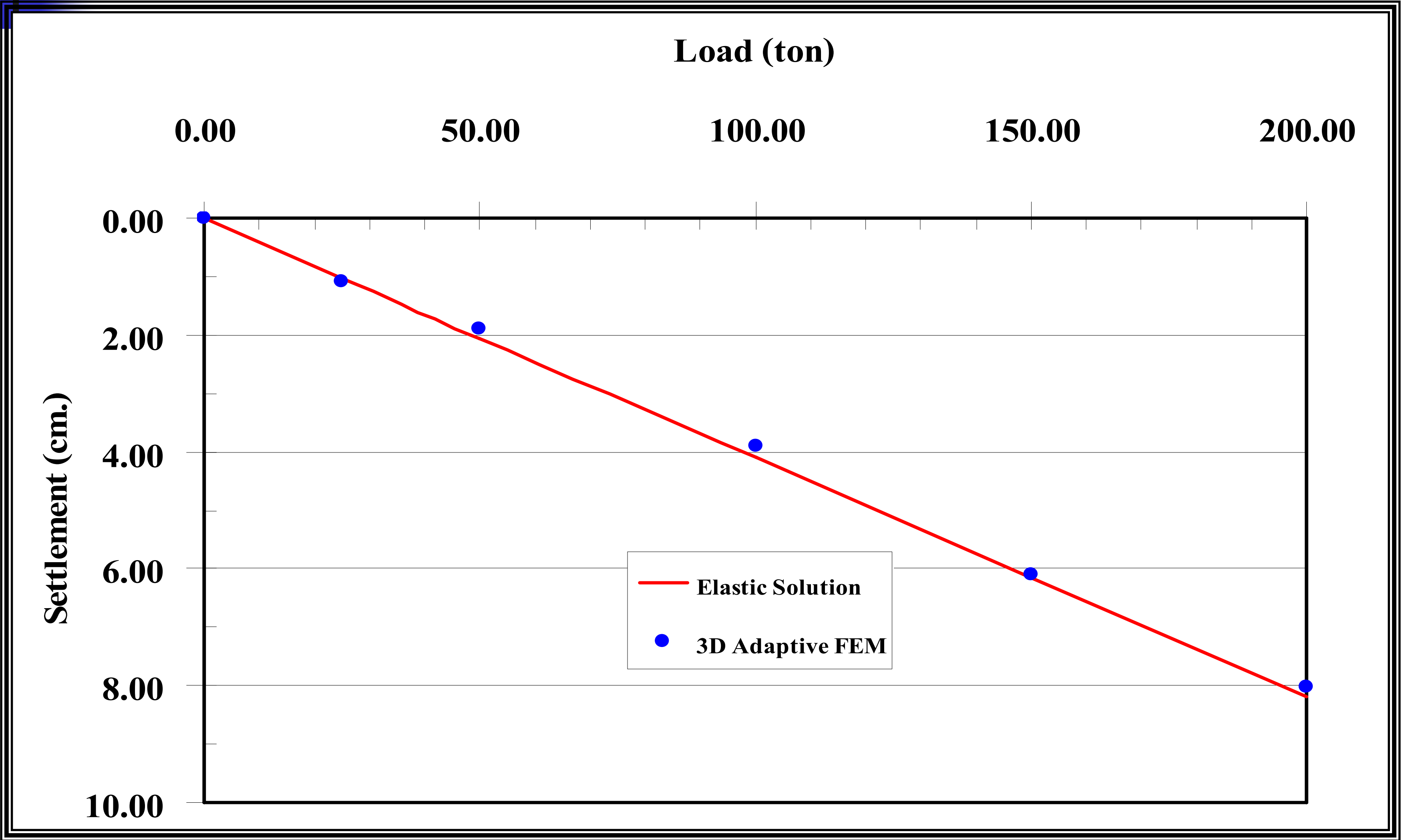
$E_s = 450$ t/sq.m

$_{Exact} = 8.191$ cm

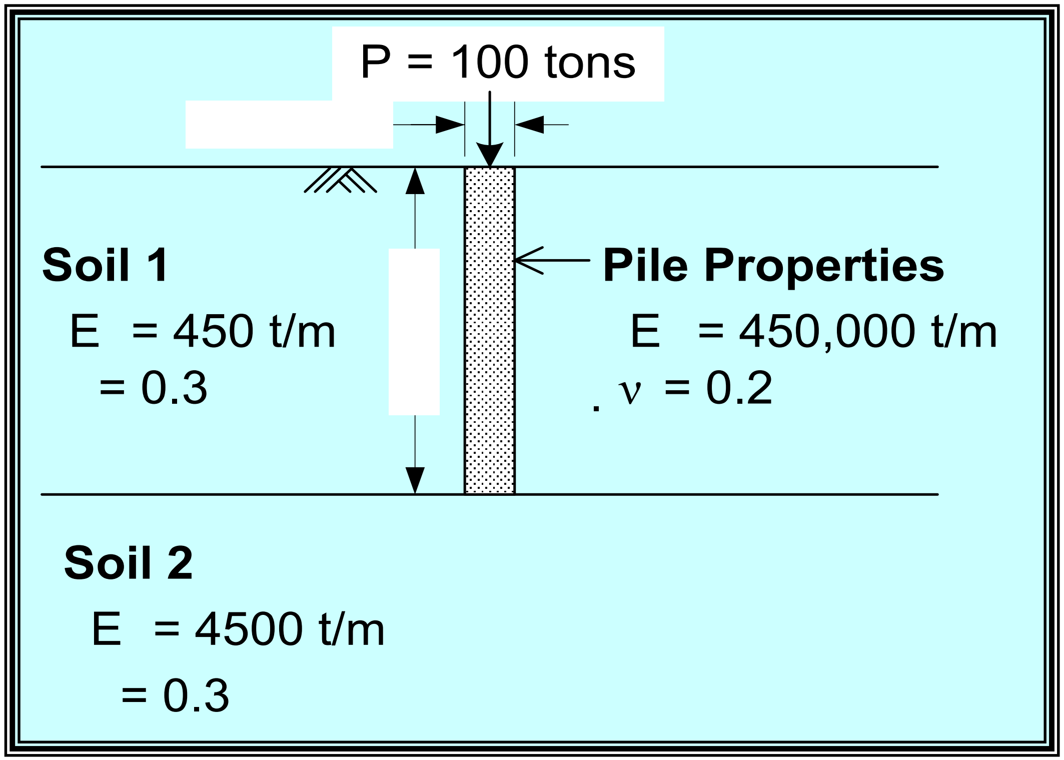
$_{3D\ FEM} = 8.024$ cm

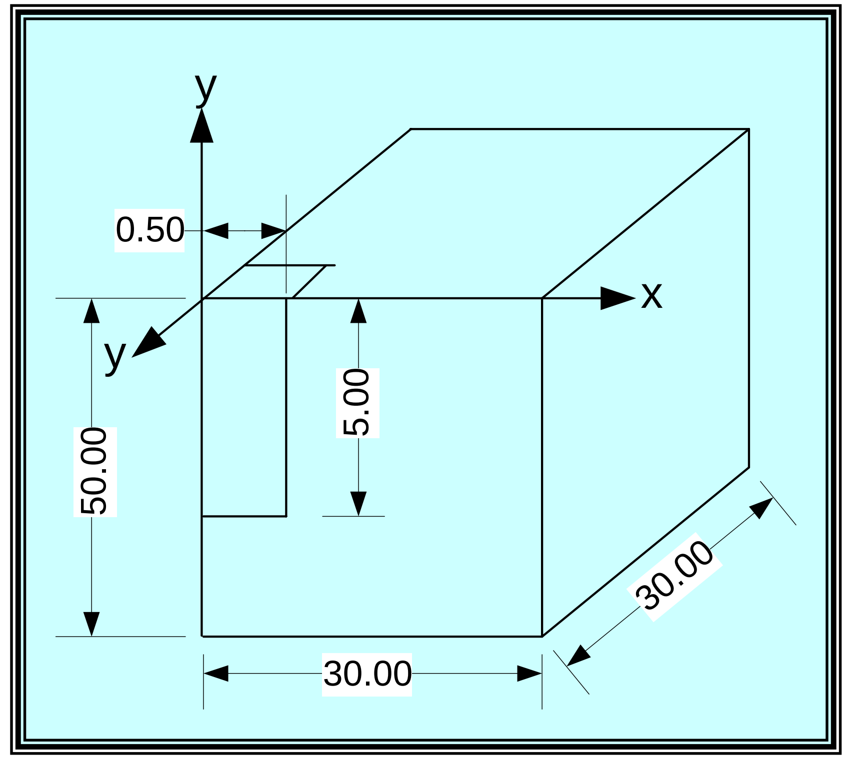
Error = 2.07 %

Load & Settlement of Friction Pile



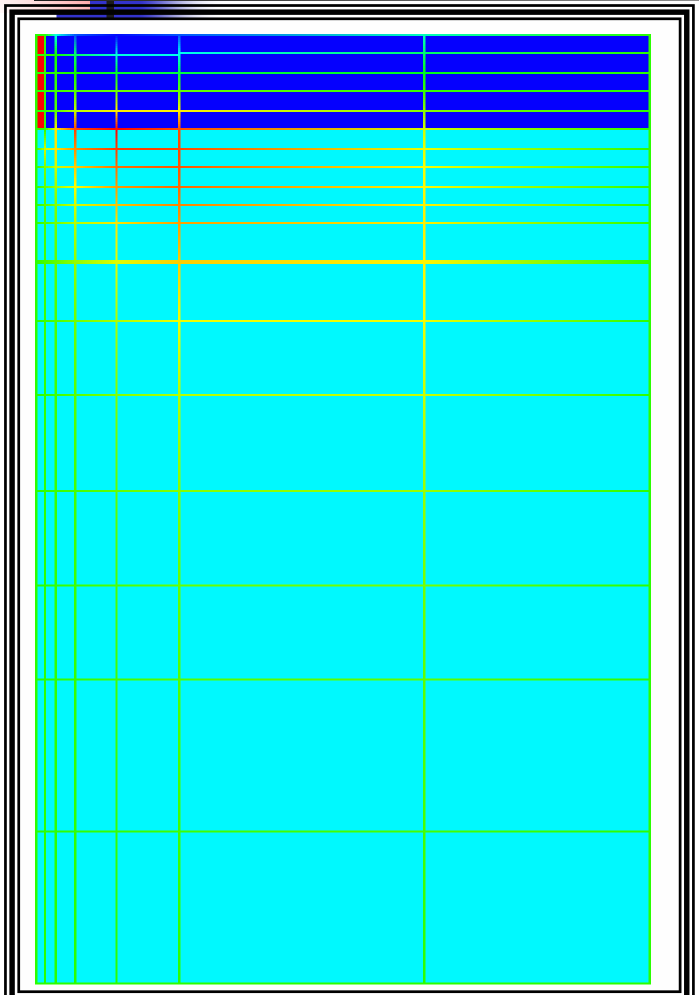
Case Study 2 :End Bearing Pile

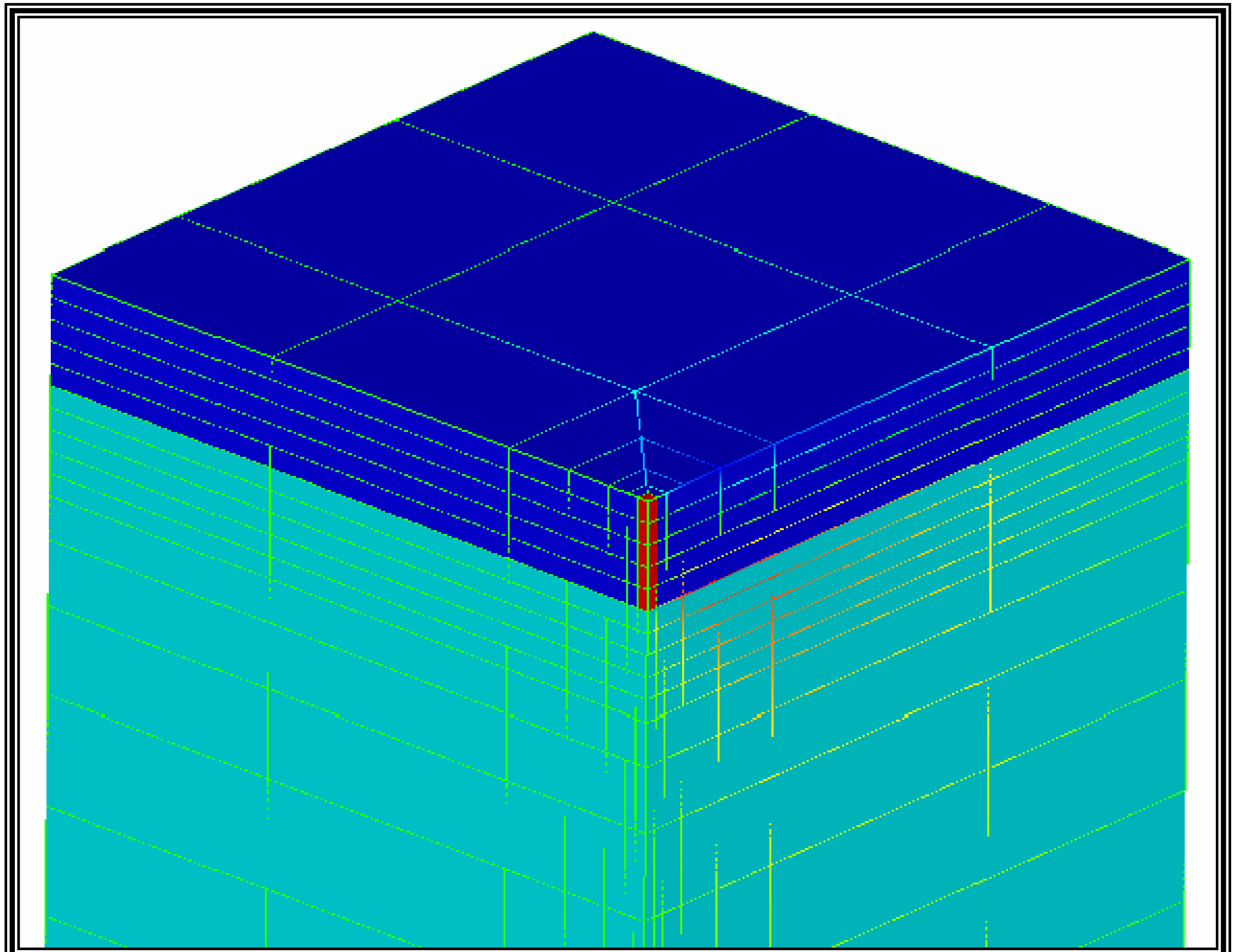




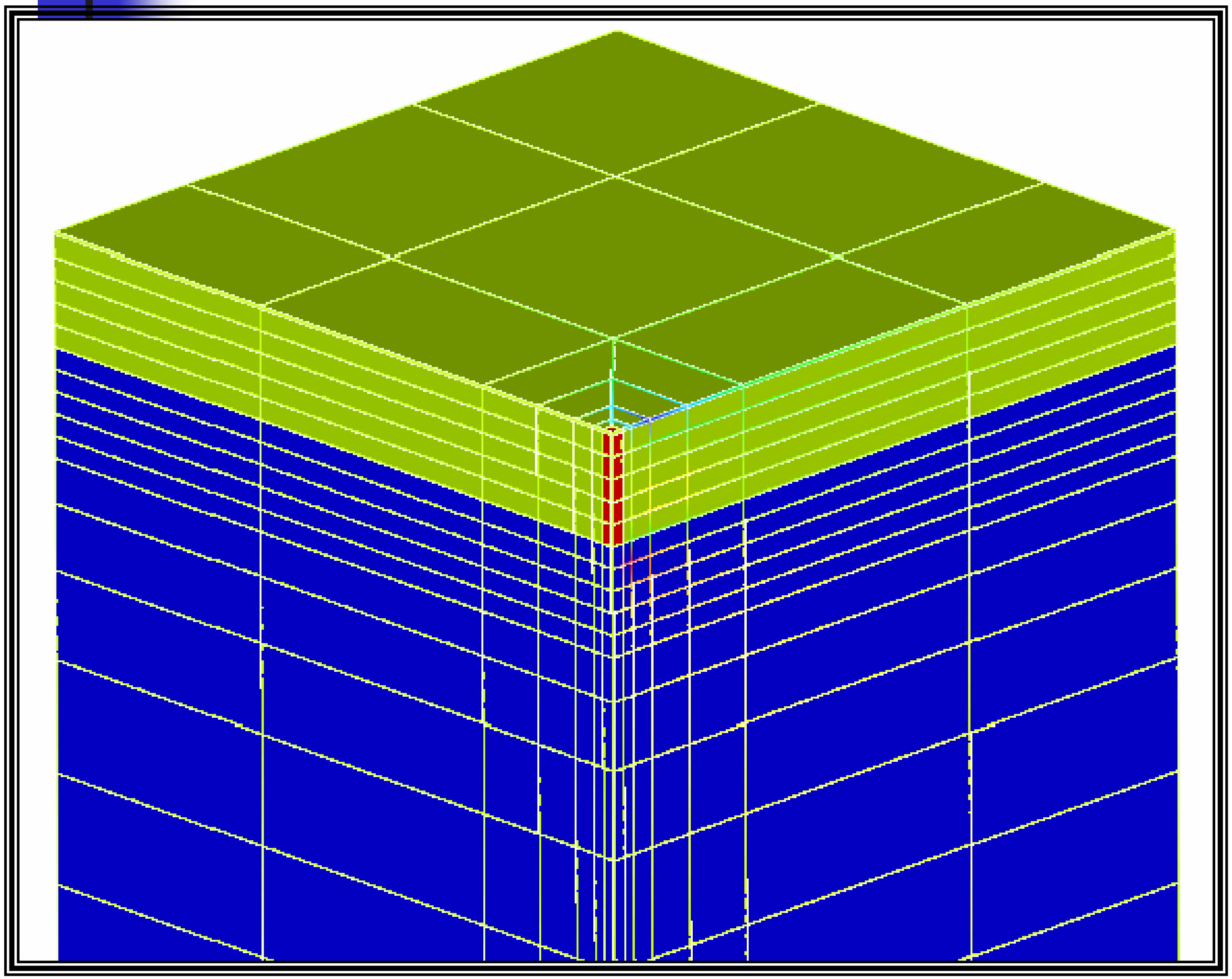
D = 1.00 m

Initial Mesh End Bearing Pile



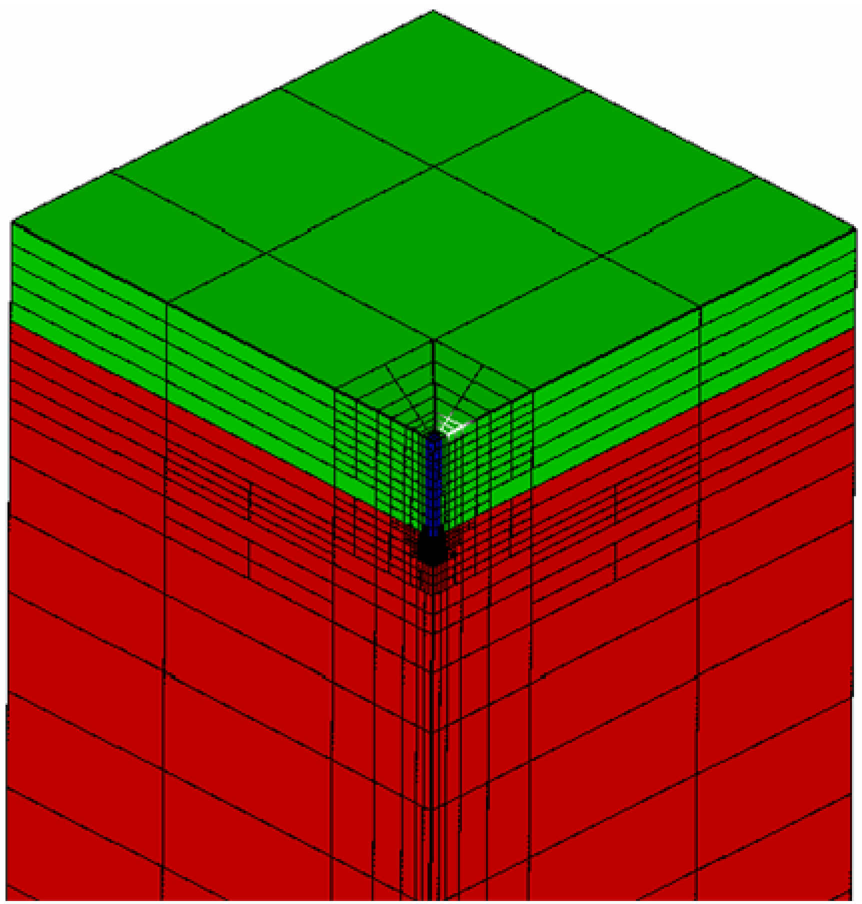


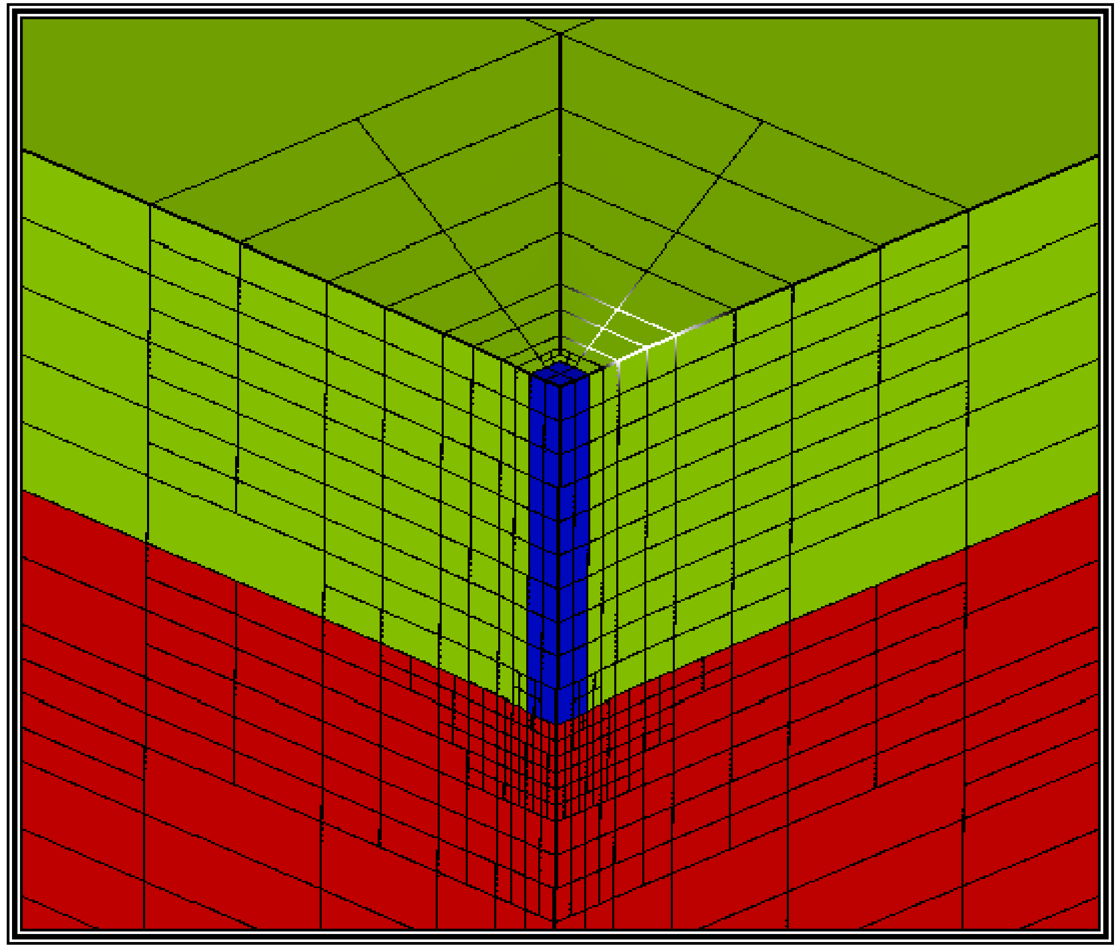
Initial Mesh End Bearing Pile



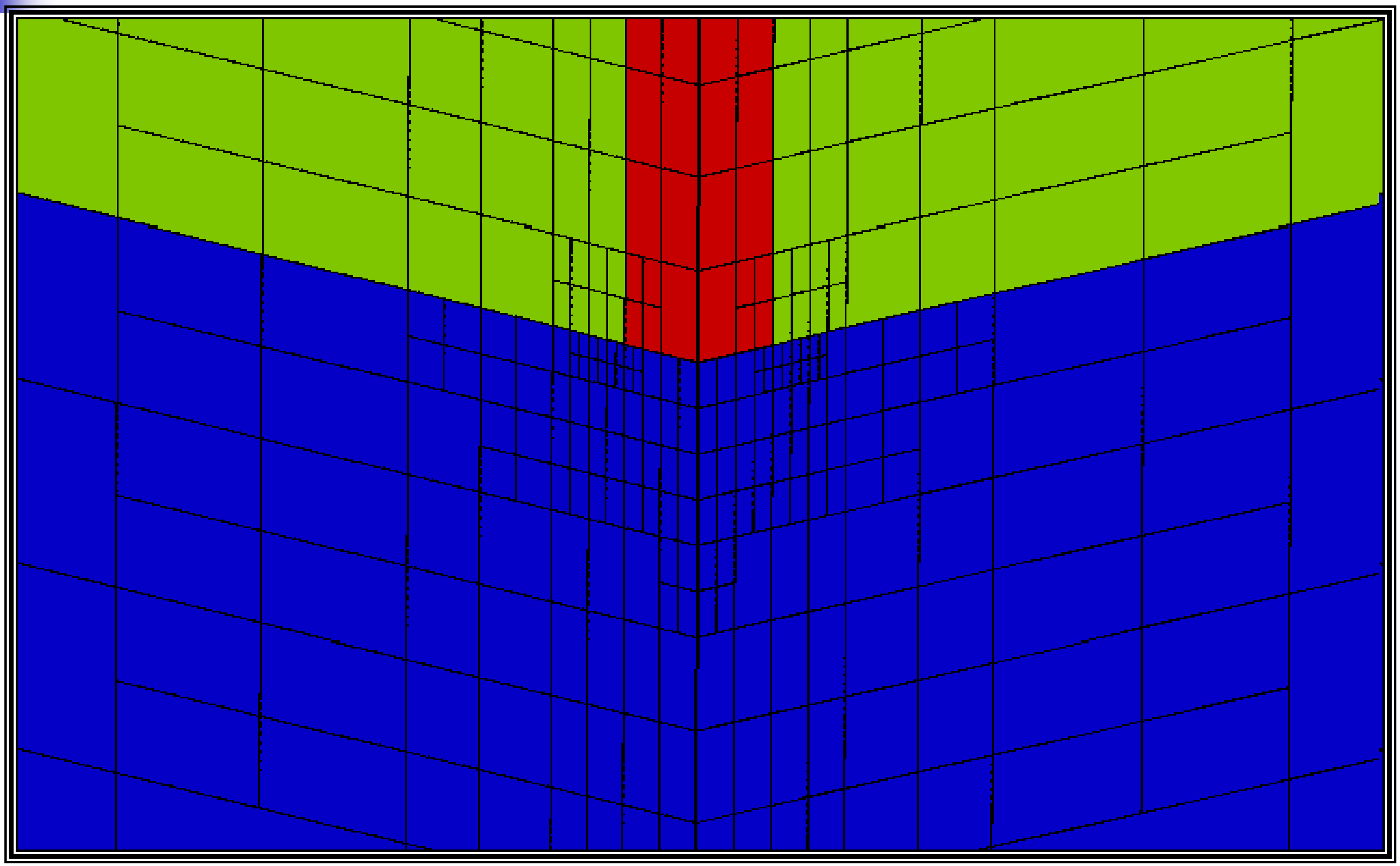
3D View

Final Mesh End Bearing Pile





Final Mesh End Bearing Pile



Settlement of End Bearing Pile

$_{s} = 0.4$

L/d = 5

K = 1000

P = 200 t

Ep = 450,000 t/sq.m

Eb = 4,500 t/sq.m

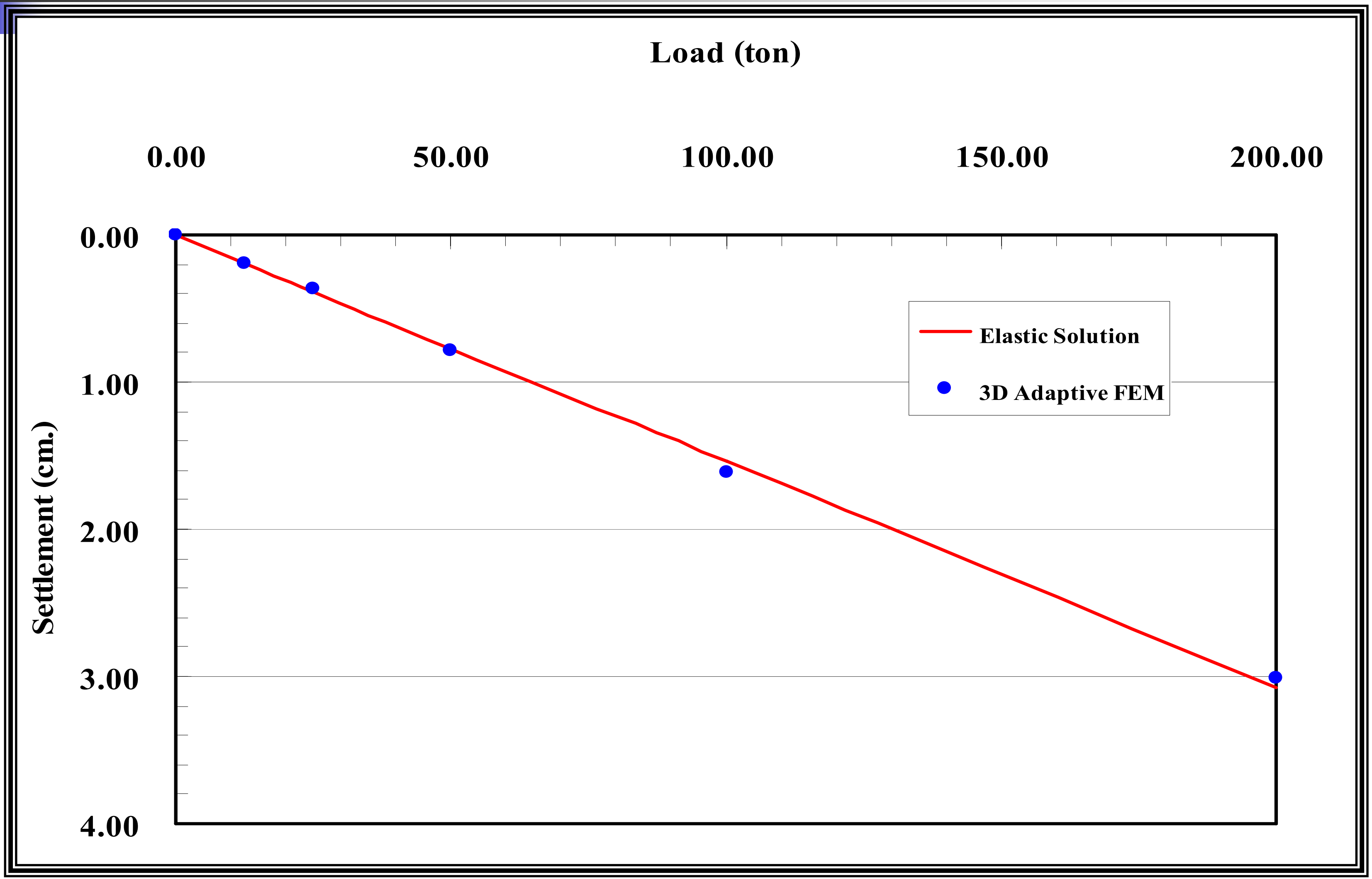
Es = 450 t/sq.m

$_{Exact}$ = 3.078 cm

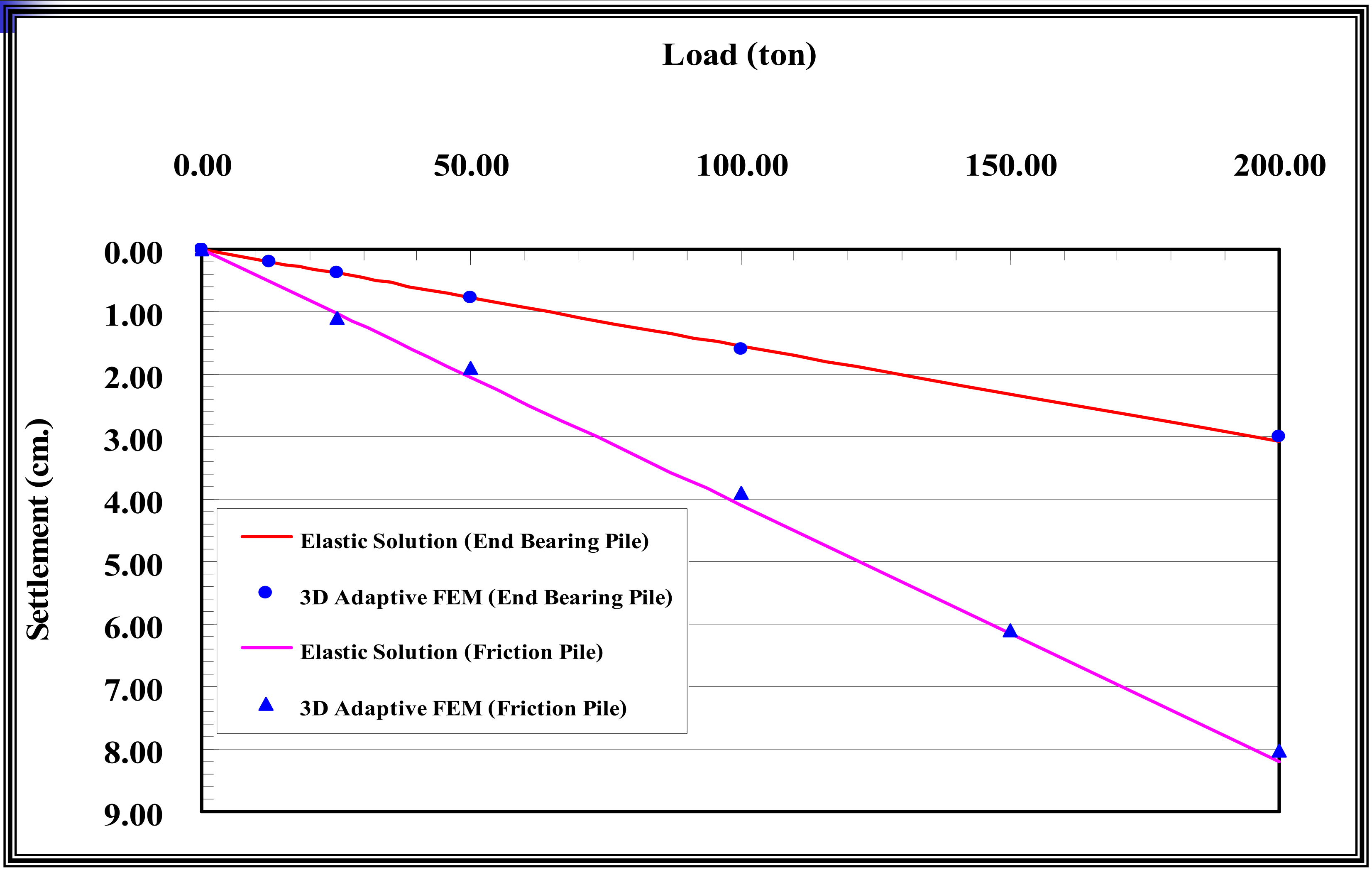
$_{3D\ FEM}$ = 3.010 cm

Error = 2.21 %

Load & Settlement of End Bearing Pile



End Bearing & Friction Pile Settlement Curve



สรุปผลวิทยานิพนธ์

- DOF α Error, Error α 1/time
- โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถปรับปรุงผลเฉลยได้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี
- การวิเคราะห์ปัญหา Strip Load & Rectangular Load ได้ผลใกล้เคียง Elastic Theory
- การวิเคราะห์ปัญหาเสาเข็มเดี่ยว มีความคลาดเคลื่อน 2-3%

ประโยชน์ที่ได้รับ

- มีความเข้าใจพฤติกรรมของเสาเข็มเดี่ยว
- มีความเข้าใจระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
- มีความเข้าใจในหลักการประมาณค่าความคลาดเคลื่อน
- มีความเข้าใจวิธีการเอชอะแดฟทีฟไฟไนต์เอลิเมนต์
- เป็นพื้นฐานในการศึกษาและพัฒนาต่อไปในอนาคต

END

PRESENTTATION