

CAE演習 : Easy-σ liteに よる応力解析

目標:

機械工学実験「はりの曲げと応力集中」
の有限要素法による応力解析を行う

用語

- CAD: Computer Aided Design
- CAE: Computer Aided Engineering
【コンピュータシミュレーション】
- CAM: Computer Aided Manufacturing

スケジュール

1. 有限要素法の基礎と応用例
2. Easy- σ の使い方の説明
3. 課題1: 応力集中の解析課題
4. 有限要素法による解析のノウハウ
5. 最終課題「はりの曲げと応力集中の解析」の説明
6. 課題2: はりの曲げの解析課題

二年冬～三年夏 材料力学第一・第二

三年夏 CAE演習 (Easy- σ 演習)

三年冬 有限要素法

三年冬 デジタルエンジニアリング演習

関連講義

材料力学

- 材料力学は、いくつかの単純な仮定を置くことにより、非常に簡単な式で、部材の変形や内部の応力・ひずみを近似的に表現することを可能にする力学
- 仮定が成立する範囲においては、容易に解析が可能である。たとえば、荷重 F が2倍になれば、たわみはどうなるか。梁の幅 b もしくは高さ h を変えればどうなるかが、即座に理解できるからである。たとえ、構造が複雑になっても、この式がもつ傾向は大きく変わることはない。

$$y = -\frac{Fl^3}{3EI}, \quad \left(I = \frac{bh^3}{12} \right)$$

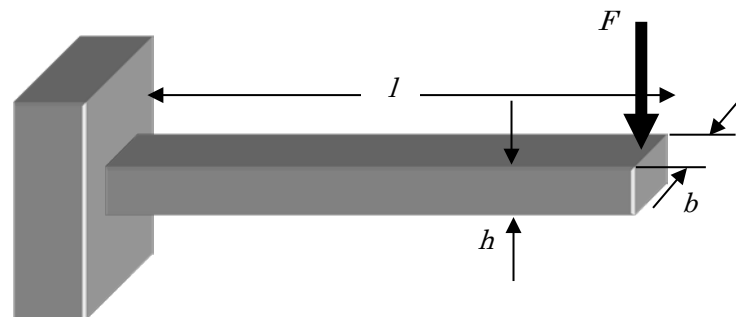


図1.1 材料力学で扱われる梁

有限要素法の原理と応用例

- 有限要素法では、同じ梁の問題を図(a)のように、解析対象領域を、節点で囲まれたメッシュ状の領域(要素)に分割し、変形を近似的に解く。
- 有限要素法では、ある要素内の変位分布は、節点の変位の値を使った形状関数によって、内挿された値で近似される。そして、代表点である“節点”の変位を数値計算で求める。

→解は近似解、メッシュに依存する

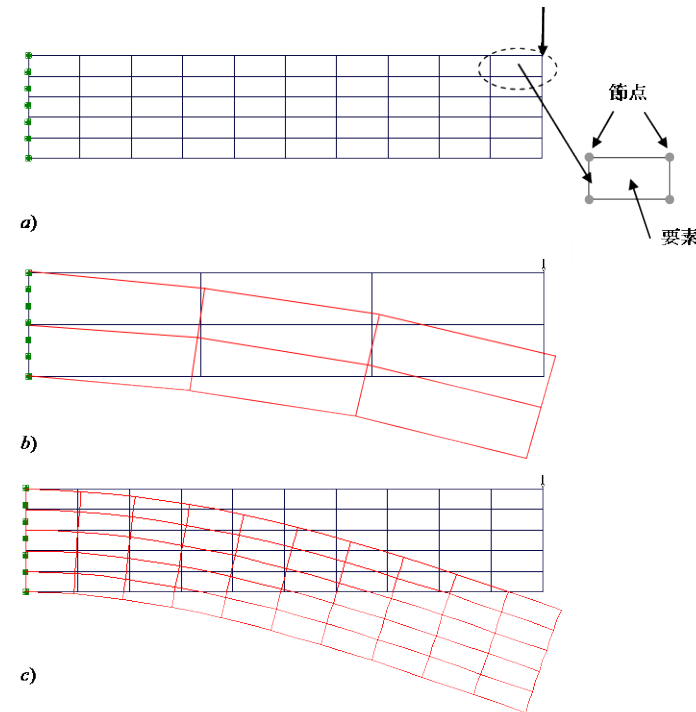
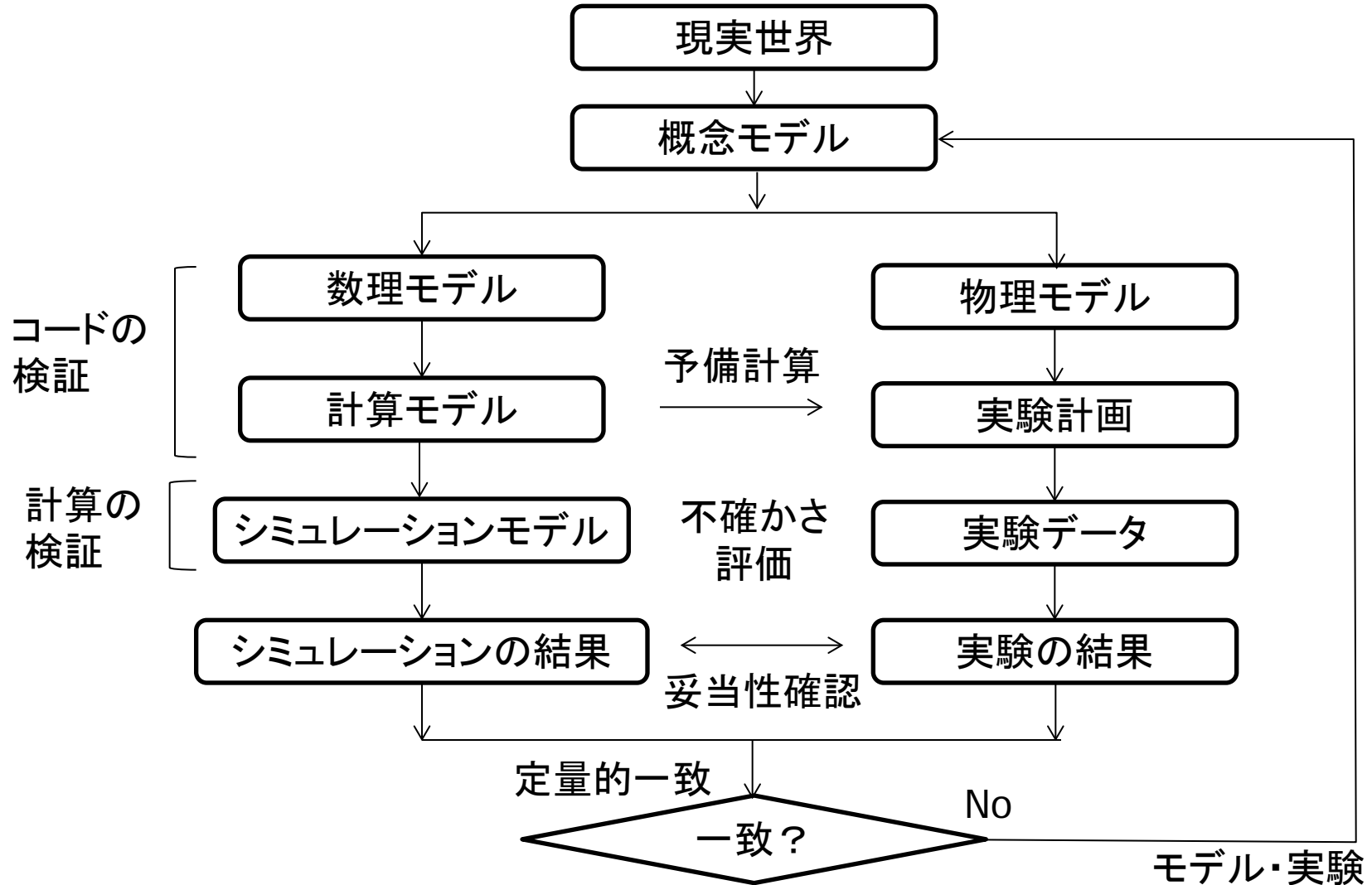


図 2a) 有限要素法で行われる近似 (解析領域を節点で囲まれた要素で分割) b) 要素の数が少なく、近似の精度が低い例 (一次要素を使用) c) 要素の数が十分で近似の精度が高い例 (二次要素を使用)

シミュレーションの検証と妥当性確認 (Verification & Validation)



有限要素法の応用例

応用例のPPT

easy-sigma.jp

- 操作方法マニュアル、動画、FAQなどあり
- 質問受付コーナーあり（わからないところは、ここに質問すると、ユーザーの誰かが答えてくれる）

easy-sigma.jp
—理論と実務がつながる 実務有限要素法シミュレーション—

戻る RSS 管理者用

分類一覧

[FEM \(6件\)](#)
[その他 \(0件\)](#)

ログ検索

検索する

お知らせ

— 講習会のお知らせ —
2011年2月28日(月)、3月1日(火)、7日(月)に、Easy-σ Liteを用いた[実務者向けの講習会](#)が企画されています。奮ってご参加ください。

— 2次元有限要素法解析ソフトウェア(弾性・弾塑性) Easy-Sigma 2D Lite(Easy-σ Lite)について —

○社会人の方々へ
Easy-Sigma 2D Liteは[Vector](#)よりシェアウェアとしてダウンロードすることが可能です。

○学生の方々へ
Easy-Sigma 2D Liteは[Vector](#)よりシェアウェアとしてダウンロードすることが可能です。

コンテンツ

Easy-Sigma 2D Lite

- [1. Easy-σ簡易マニュアル](#)
- [2. 演習問題の解析ファイル](#)
- [3. 文中の説明の解析ファイル](#)

FEM一般
[実践的CAE研究会のお知らせ\(PDFファイル\)](#)

その他

リンク集

FEM
[酒井・泉研究室](#)
[Easy-σ Lite ダウンロード](#)

無料バージョン：
Easy-σ Lite

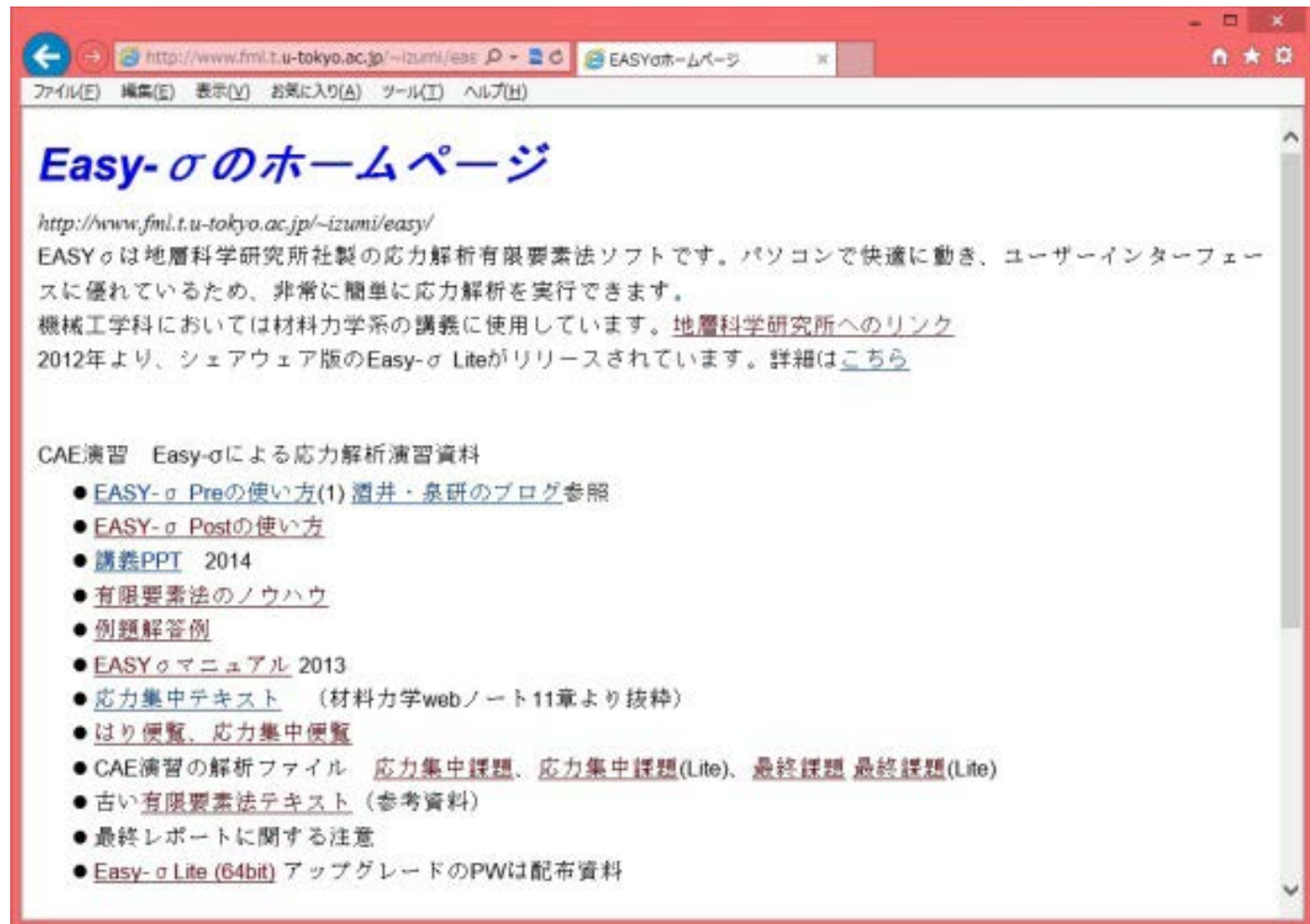
体験版にライセンスキーを入れると、製品版になる

ライセンスキー
Easy-Sigma 2D Lite@Geolab

※64bit版は
<http://www.fml.t.u-tokyo.ac.jp/~izumi/easy/>

CAE演習用Easy-σのページ

- すべての配布資料、64bit版Easy-σを配布



The screenshot shows a web browser window with the URL <http://www.fml.t.u-tokyo.ac.jp/~izumi/easy/>. The page title is "Easy-σのホームページ". The main content includes a description of Easy-σ as a stress analysis software, its use in mechanical engineering courses, and a list of resources for CAE exercises. The browser's address bar and menu bar are visible at the top.

Easy-σのホームページ

<http://www.fml.t.u-tokyo.ac.jp/~izumi/easy/>

EASYσは地層科学研究所社製の応力解析有限要素法ソフトです。パソコンで快速に動き、ユーザーインターフェースに優れているため、非常に簡単に応力解析を実行できます。

機械工学科においては材料力学系の講義に使用しています。[地層科学研究所へのリンク](#)

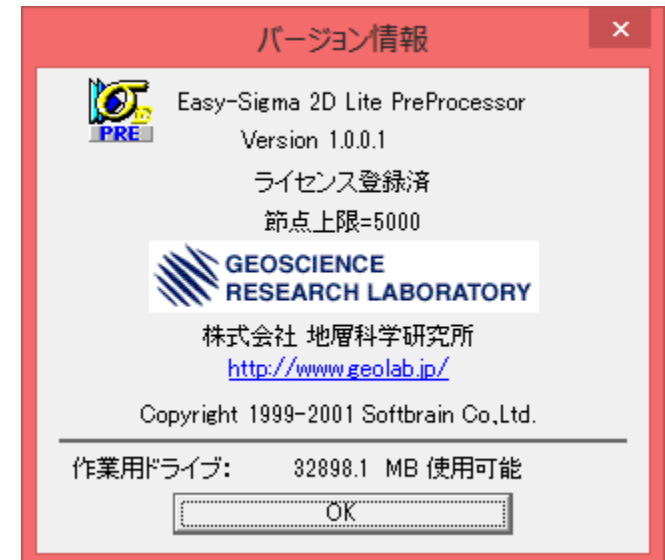
2012年より、シェアウェア版のEasy-σ Liteがリリースされています。詳細は[こちら](#)

CAE演習 Easy-σによる応力解析演習資料

- [EASY-σ Preの使い方\(1\)](#) [酒井・泉研のブログ](#)参照
- [EASY-σ Postの使い方](#)
- [講義PPT](#) 2014
- [有限要素法のノウハウ](#)
- [例題解答例](#)
- [EASYσマニュアル](#) 2013
- [応力集中テキスト](#) (材料力学webノート11章より抜粋)
- [はり便覧](#)、[応力集中便覧](#)
- CAE演習の解析ファイル [応力集中課題](#)、[応力集中課題\(Lite\)](#)、[最終課題](#) [最終課題\(Lite\)](#)
- 古い[有限要素法テキスト](#) (参考資料)
- [最終レポートに関する注意](#)
- [Easy-σ Lite \(64bit\)](#) アップグレードのPWは配布資料

Easy-σ Liteの立ち上げ方

- C:¥Program Files (x86)¥geolab¥Easy-Sigma 2D Lite¥Pre.exe
(プリプロセッサ)
- “ヘルプ”の“バージョン情報”で節点上限が5000になっているかを確認→なっていない人はライセンスキーを入れる
(Easy-Sigma 2D Lite@Geolab)



非常によくあるトラブル(自宅では起こらない)

- 計算が進まない！

- － 対策)

- 1. ファイルを自分のPドライブに保存して、一旦Easy-σを立ち下げる

- 2. 保存したファイルをダブルクリックして再度、Easy-σを立ち上げて計算する

- － 対策)

- ファイルが壊れてしまう場合

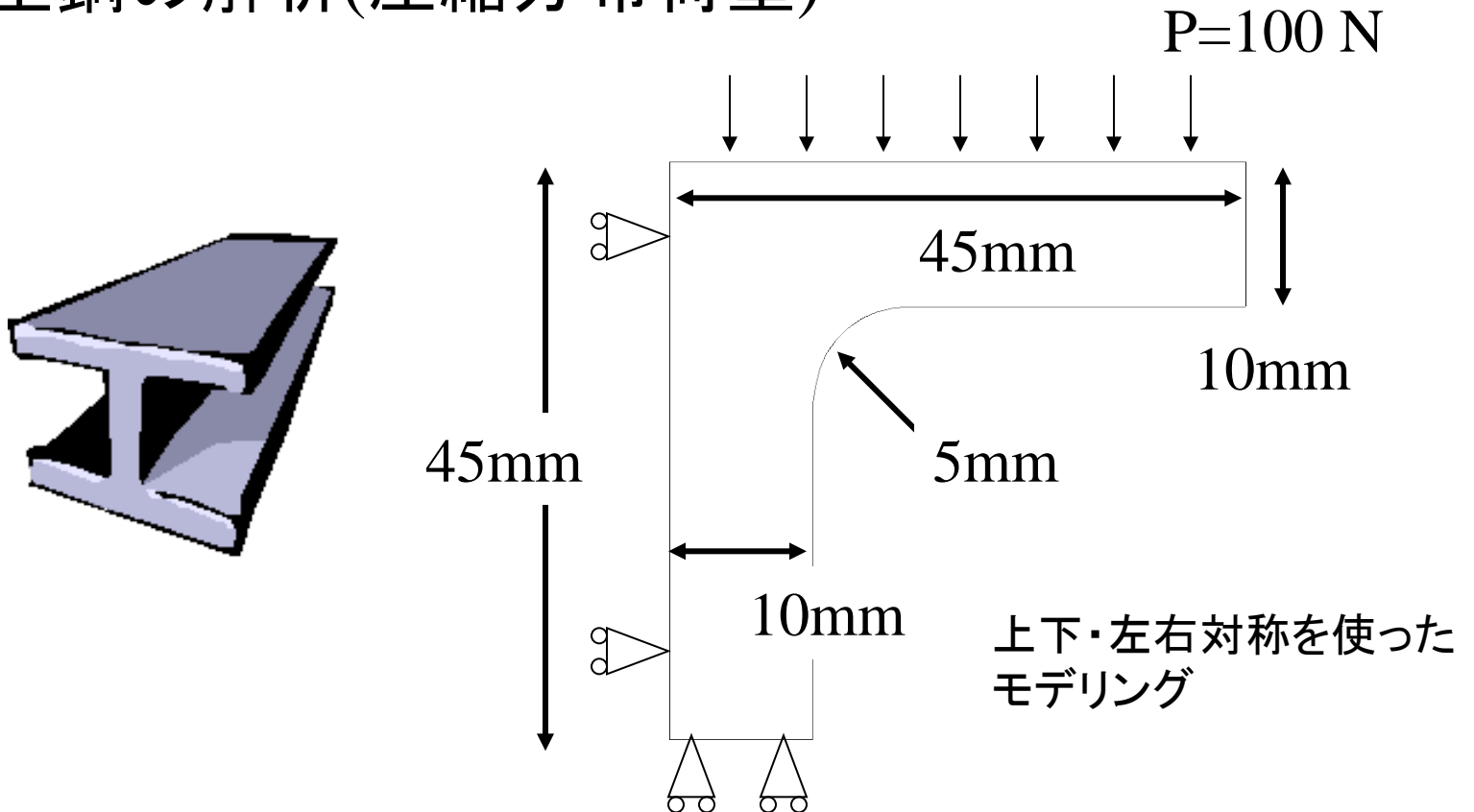
- ・ダウンロードは自分のフォルダ (P:¥) にして、再び作り直す

- － 対策)

- 泉まで相談

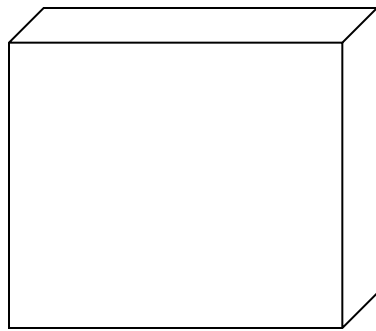
EASY-σの使用方法

H型鋼の解析(圧縮分布荷重)

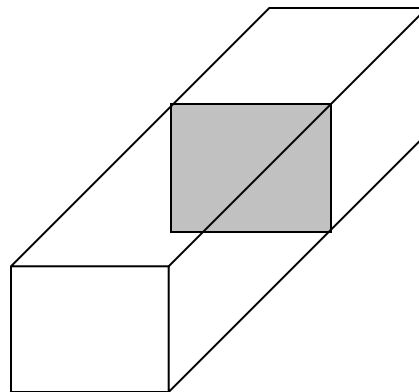


二次元応力解析

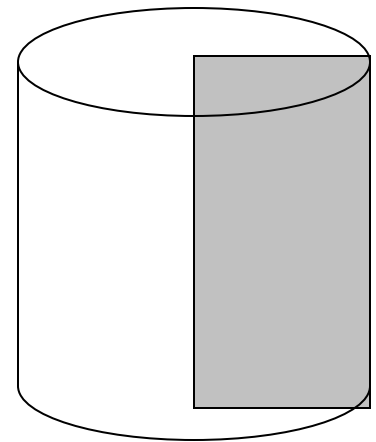
- 多くは二次元でモデル化可能(計算軽)
- どれかの近似を選択する必要がある
(“設定“の“物理モデルの設定”)



平面応力



平面ひずみ

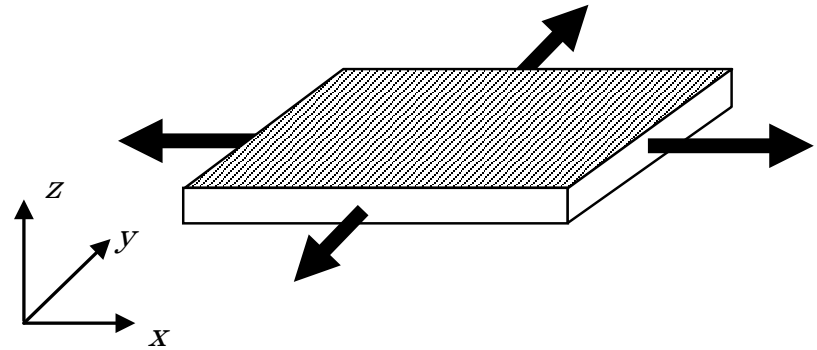


軸対称

二次元解析～平面応力場近似

- 奥行き方向に関する応力をすべてゼロと仮定する

$$(\sigma_z = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0)$$



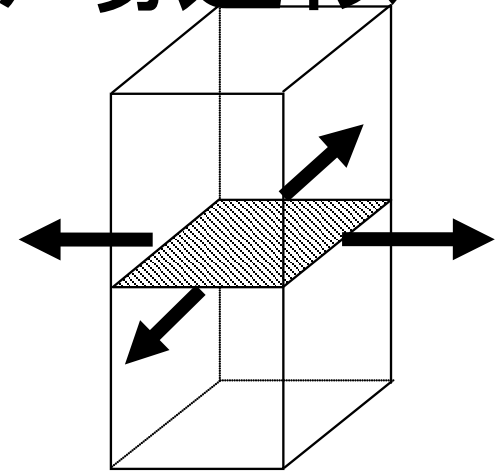
(a) 平面応力問題

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & 0 \\ -\nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}, \quad \varepsilon_z = -\frac{\nu}{E}(\sigma_x + \sigma_y)$$

二次元解析～平面ひずみ場近似

- 奥行き方向に厚く、解析面が奥行き方向には拘束されてしまう場合に用いる近似 ($\varepsilon_z = \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$)



(b) 平面ひずみ問題

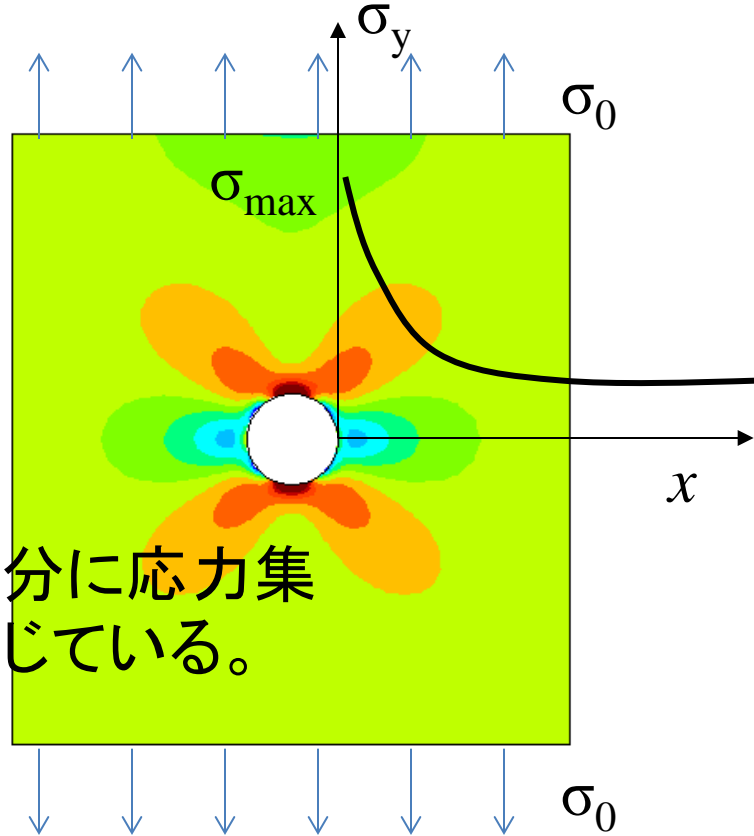
$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 \\ \frac{\nu}{1-\nu} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{E}{2(1+\nu)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{1-\nu^2}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{\nu}{1-\nu} & 0 \\ -\frac{\nu}{1-\nu} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{2}{1-\nu} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}, \quad \varepsilon_z \equiv 0$$

平面ひずみと平面応力は似て異なる近似！

応力集中と応力集中係数

構造部材の断面が一様な場合には、引張や曲げなどの荷重に対して、部材内の応力は一様となるが、部材に切欠きなどが存在して形状が急激に変化する部分があると、その**近傍の応力が局所的に極めて高くなる**。この現象を応力集中という。多くの破壊現象は、応力集中によって生じる。



円孔を有する無限板の引張

応力集中係数 α

$$\alpha = \sigma_{max} / \sigma_0 = 3$$

円孔部分に応力集中が生じている。

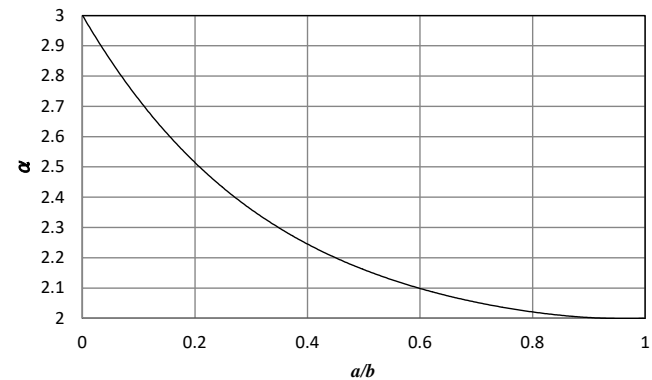
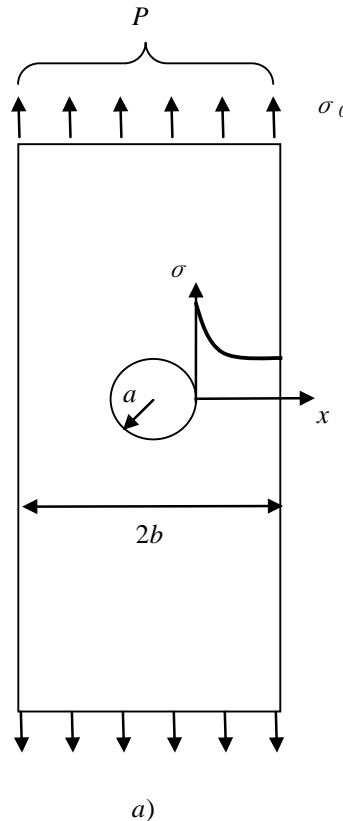
帯板の応力集中係数(配布資料図11-4参照)

$$\alpha = \sigma_{\max} / \sigma_0$$

基準応力 σ_0 : 荷重を円孔部の最小断面積で割った応力

$$\sigma_0 = \frac{P}{2(b-a)h}$$

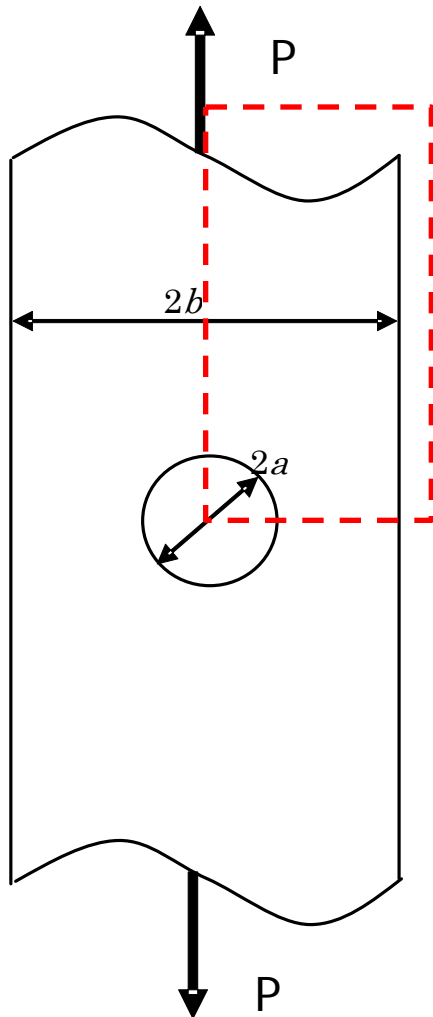
h : 板厚, p : 外荷重 a : 円孔の半径、 b : 円孔以外の部分



b)

理論解 (図11-4参照)
~ a/b に依存

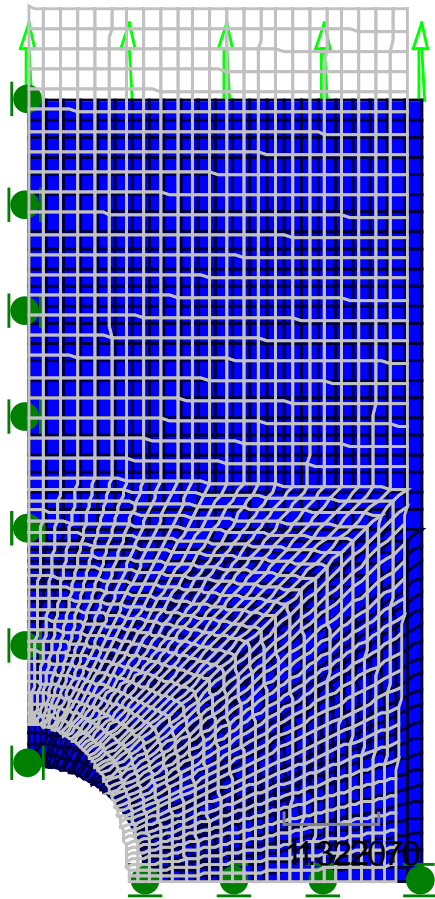
課題1 応力集中係数を求める



中央に円孔を有する無限長の有限幅帯板の応力集中係数を有限要素法で求め、有限帯板の応力集中係数の理論値と比較しなさい。ただし、モデルサイズは、 $a=30[\text{mm}]$ 、 $b=100[\text{mm}]$ 、 $P=2.0 \times 10^4[\text{N}]$ 、ヤング率は $205[\text{GPa}]$ 、ポアソン比は 0.3 とする。厚さは $h=1 \text{ mm}$ とする。

- ・モデルは1/4モデルにして、縦方向の長さは十分に大きくとること(200mm以上)。
- ・適正なメッシュサイズを検討せよ。
- ・荷重は分布荷重に変換すること(EASY σ では、分布荷重は面積あたりの荷重となることに注意)。
- ・作図の段階(メッシュ作成前)で、領域が四辺形で構成されるように工夫せよ。

単位系を考える



荷重 P は[N]系、モデルは[mm]系なので、
応力は[力/(長さ²)]なので、
 $[N/mm^2]=[10^6N/m^2]=[MPa]$ の単位になる。

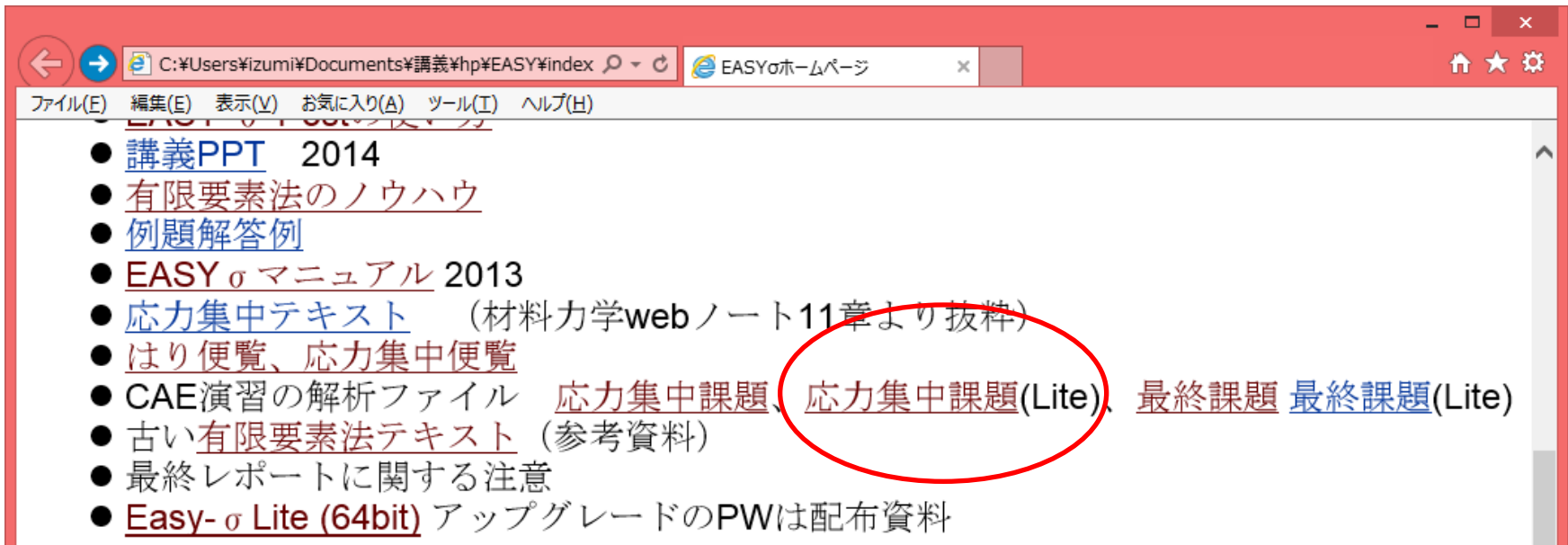
よって、ヤング率は[MPa]で入力しなければならない。

鉄のヤング率は205[GPa]だから、
205000と入力する。

これにより、出力は[mm][N][MPa]系となる。

解析ファイルのダウンロードについて

- Easy- σ のページより、必ず一旦、ダウンロードしてください。
- ダウンロードしたファイルをダブルクリックで立ち上げてください。

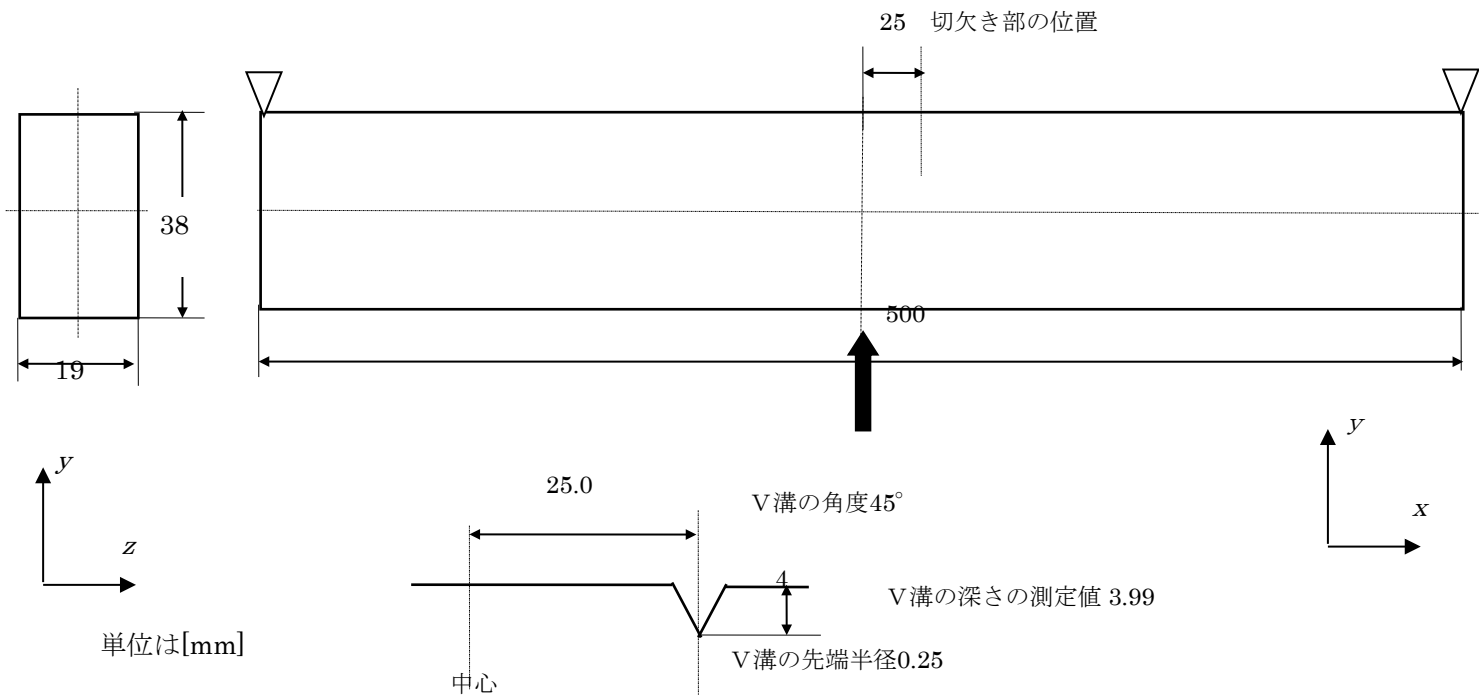


有限要素法解析のノウハウ (メッシュ作成)

- 有限要素法のノウハウ(メッシュ作成)

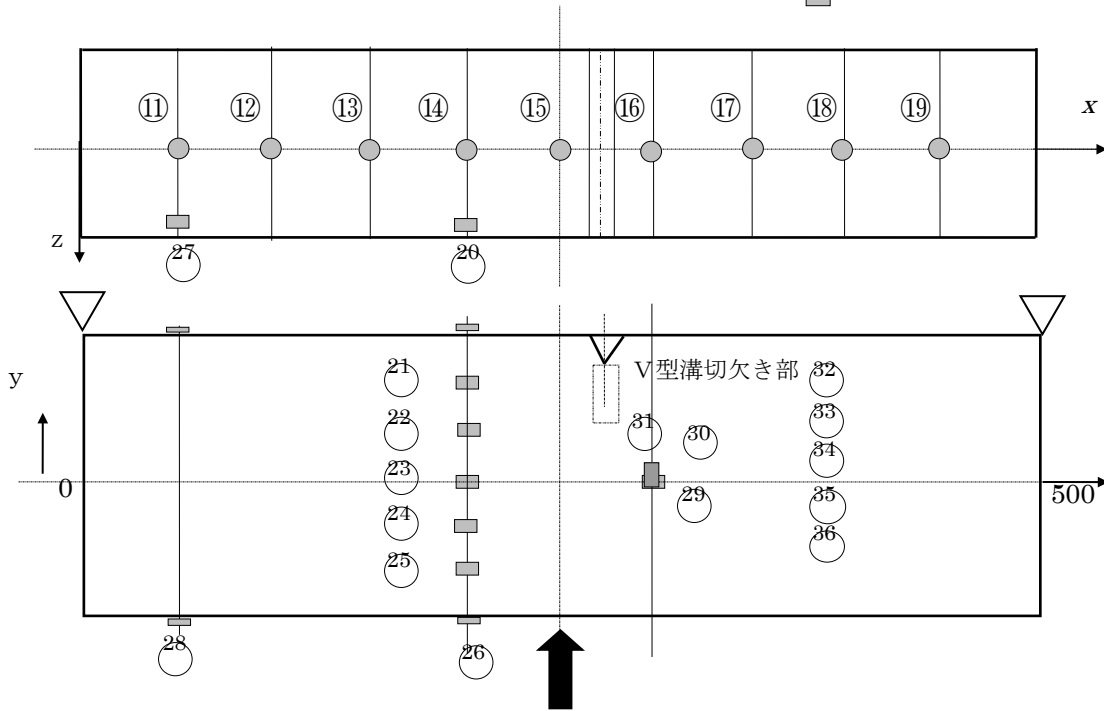
機械工学実験 はりの曲げと応力集中

- V溝を有するはりの曲げ
 - 両端単純支持
 - ボルトで固定した固定支持
- はりのたわみとV溝まわりのひずみ計測



変位計とひずみゲージの取り付け位置 (実験データを紛失した人はこれを使用すること)

● 変位計
■ ひずみゲージ



● 変位データ 単位は[mm]

チャンネル	x座標	単純支持	固定支持
CH11	50	-5.02E-01	-1.34E-01
CH12	100	-8.88E-01	-2.62E-01
CH13	150	-1.24E+00	-4.13E-01
CH14	200	-1.47E+00	-5.24E-01
CH15	250	-1.56E+00	-5.69E-01
CH16	300	-1.46E+00	-5.16E-01
CH17	350	-1.22E+00	-4.02E-01
CH18	400	-8.84E-01	-2.56E-01
CH19	450	-4.84E-01	-1.24E-01

● ひずみデータ

単純支持(実験)x	y	ひずみ ϵ_x	
CH32	275	33	1.73E-03
CH33	275	31	8.72E-04
CH34	275	29	6.37E-04
CH35	275	27	4.95E-04
CH36	275	25	3.51E-04

CH 番号	位置(x,y) [mm]	CH 番号	位置(x,y)[mm]	CH 番号	位置(x,y)[mm]
20	200, 19	26	200, -19	32	275, 14
21	200, 14	27	50, 19	33	275, 12
22	200, 7	28	50, -19	34	275, 10
23	200, 0	29	300,0(x 軸方向)	35	275, 8
24	200, -7	30	300,0(x 軸 45°)	36	275, 6
25	200, -14	31	300,0(y 軸方向)		

固定支持(実験)

CH32	275	33	6.96E-04
CH33	275	31	4.31E-04
CH34	275	29	3.55E-04
CH35	275	27	2.93E-04
CH36	275	25	2.21E-04

図1 実験に用いるはりの形状と寸法(上)、変位測定点とひずみ測定点(下)

課題2 はりの曲げのたわみ

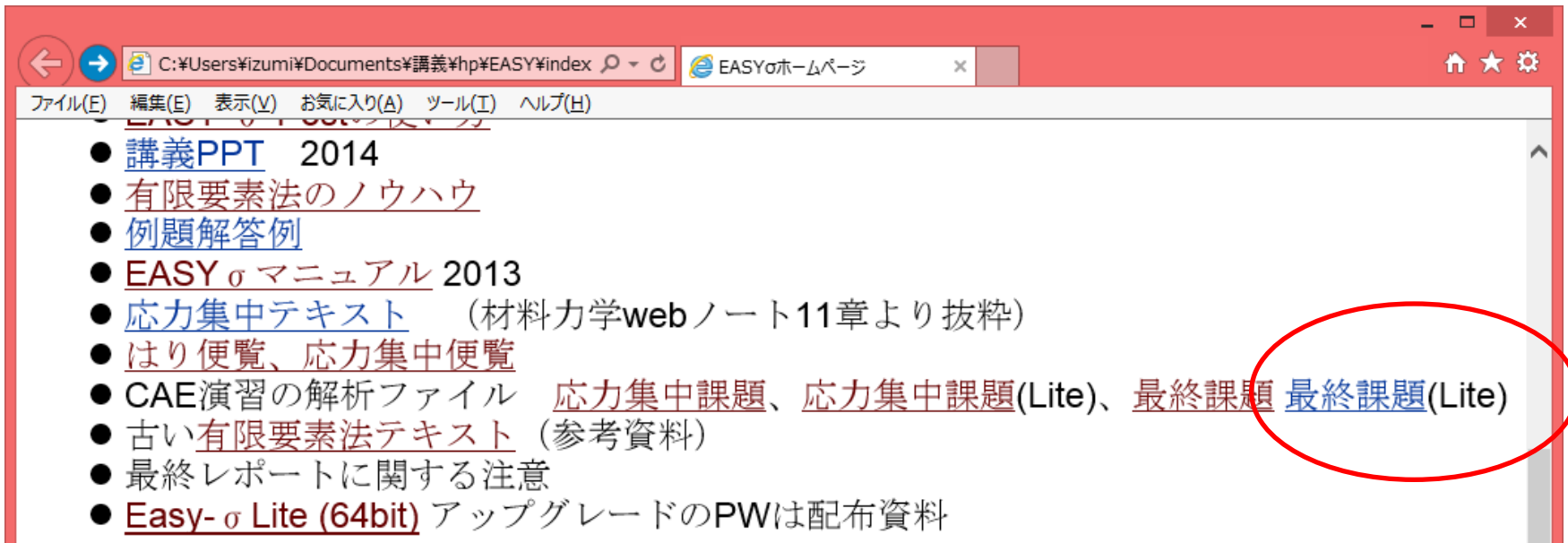
- 配布するモデル(web上)を使って、 $F=10000$ Nの荷重をはりの真ん中に負荷した三点曲げを行え。支持方法は、単純支持とする。物性値は課題1と同じ。

変位計で中央の最大たわみを計測したところ、 1.519 mmが得られた。解析と実験を比較せよ。また、同時に材料力学での見積もりも行え。

- メッシュの評価を行い、適当なメッシュを切る
- 解析結果(はりのたわみ量)を解析・実験・材力の3つで比較する

解析ファイルのダウンロードについて

- Easy- σ のページより、必ず一旦、ダウンロードしてください。
- ダウンロードしたファイルをダブルクリックで立ち上げてください。



最終課題（形状ファイルはEasy-σのページ配布）

- 機械工学実験「はりの曲げと応力集中」の実験結果とEasy-σによる解析結果を比較して、応力解析及び実験の精度について考察せよ。解析は、単純支持と両端固定支持の両方を行い、はりの曲げのたわみ量と、Vノッチによるひずみの集中の双方について比較せよ。
- 解析においては、以下の基本的な事項について検討せよ。
 - 1) メッシュサイズの評価
 - 2) オーダーエスティメーション(材力計算)※ヤング率、ポアソン比は205GPa, 0.3とせよ。
- 提出期限：4/14組：5月26日、4/21組：6月2日(再提出有！)
(レポートを出さないと、機械工学総合演習第二の単位がつけられないので忘れないように！)

レポートの書き方は[web参照](#)（例題解答例）