



総合演習第一(機械工学実験)

## 材料の変形と破壊

9:40~12:40 or 13:40~16:40

1. 本実験の目的と内容説明 (20分)
  2. 試験片形状による引張変形の相違 (40分)
  3. 脆性材料の引張挙動 (10分)
  4. 低温脆性実験 (15分)
- 休憩(11:10頃 or 15:10頃) (10分)
5. 簡易光弾性実験 (10分)
  6. はりの曲げ実験 (40分)
  7. データ解析 (40分)
  8. レポート説明 (5分)

## JISの材料試験を実施することが目的でない

1. 試験片形状の相違による引張変形挙動
2. 材料の相違による延性・脆性
3. 低温環境による強度低下のデモ

低温脆性：リバティ船の沈没 (未経験現象、BCC金属)



前半：引張実験と衝撃試験デモ

後半：はりの曲げ実験と応力集中デモ



長方形断面両端支持はりの曲げ実験 3条件

1. 簡易光弾性実験の観察
2. はりの曲げ実験と解析 (3グループ編成)

## 引張実験と衝撃試験

- 軟鋼の応力-ひずみ線図が描けるようになる
- 代表的な鉄系材料の引張強さの概略値を覚える
- 形状・材質の相違による変形挙動の相違がわかる
- 低温による強度低下を実感する

## はり曲げ実験と解析

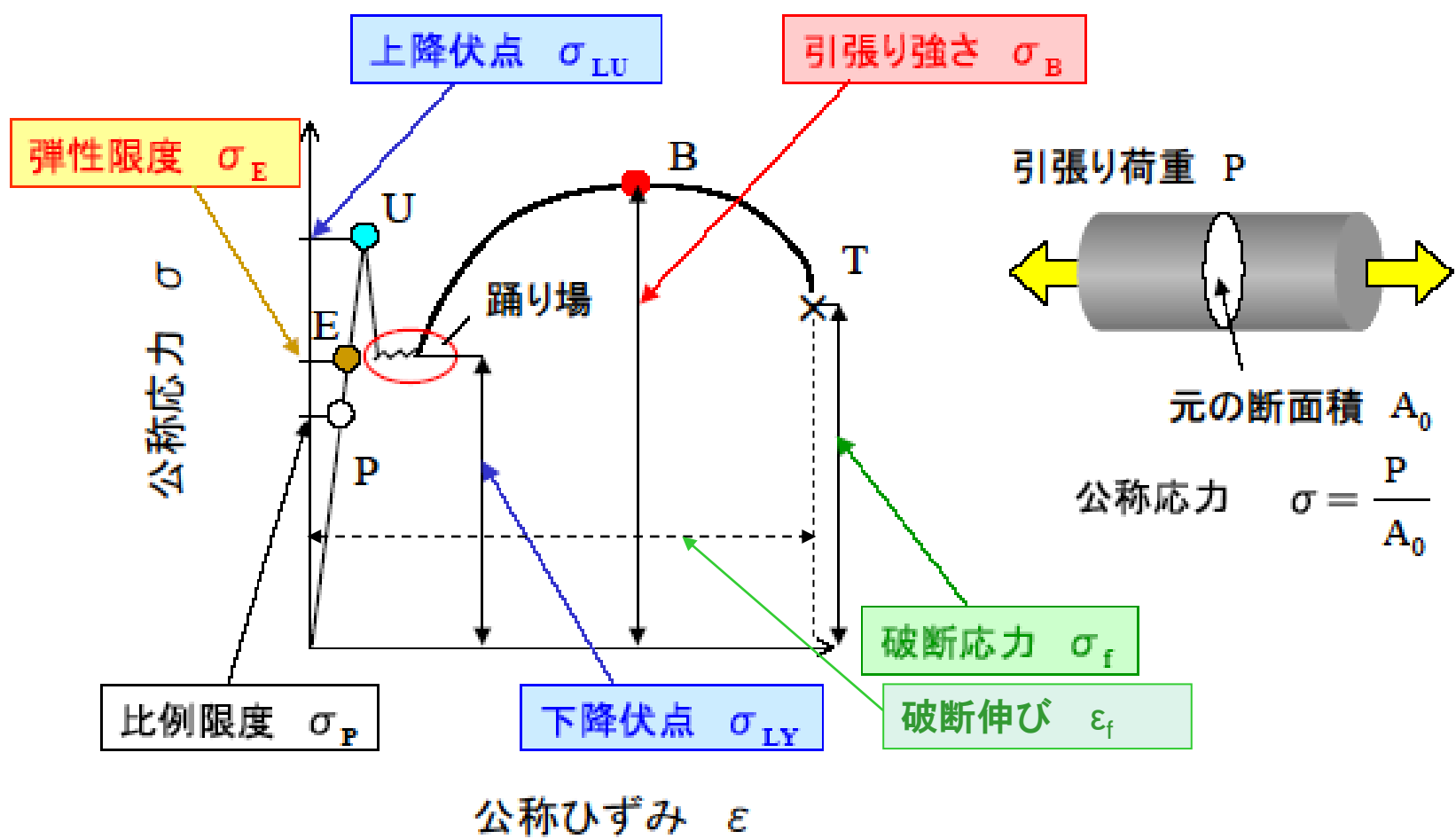
- 光弾性実験の概略と応力集中がわかる
- 材料力学の公式と実験データの相違がわかる
- レポートの書き方を覚える

# 2.1 応力ひずみ線図 (1)



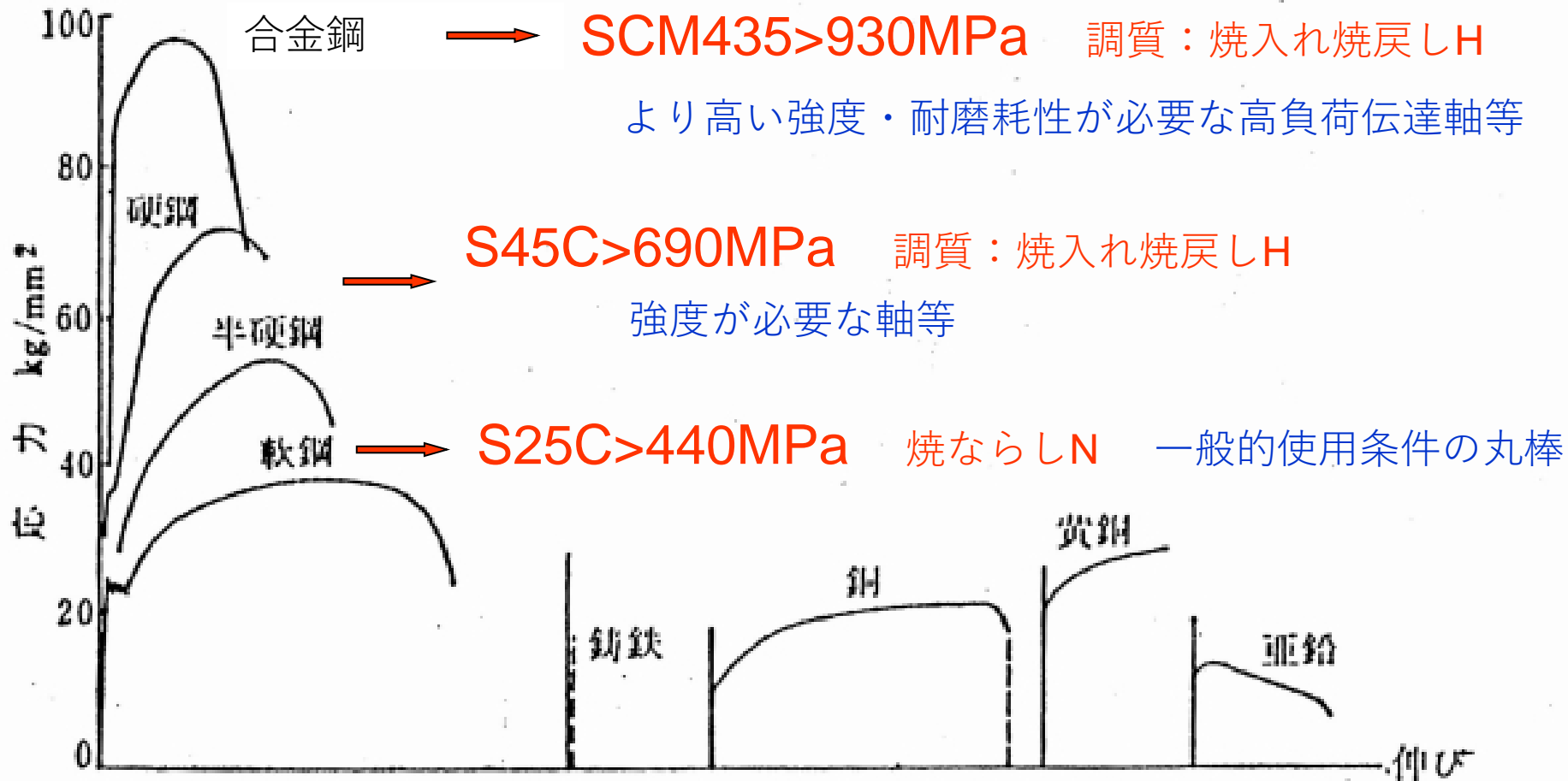
## 軟鋼の公称応力-ひずみ線図

弾性変形は誇張してあるので注意



# 2.1 応力ひずみ線図 (2)

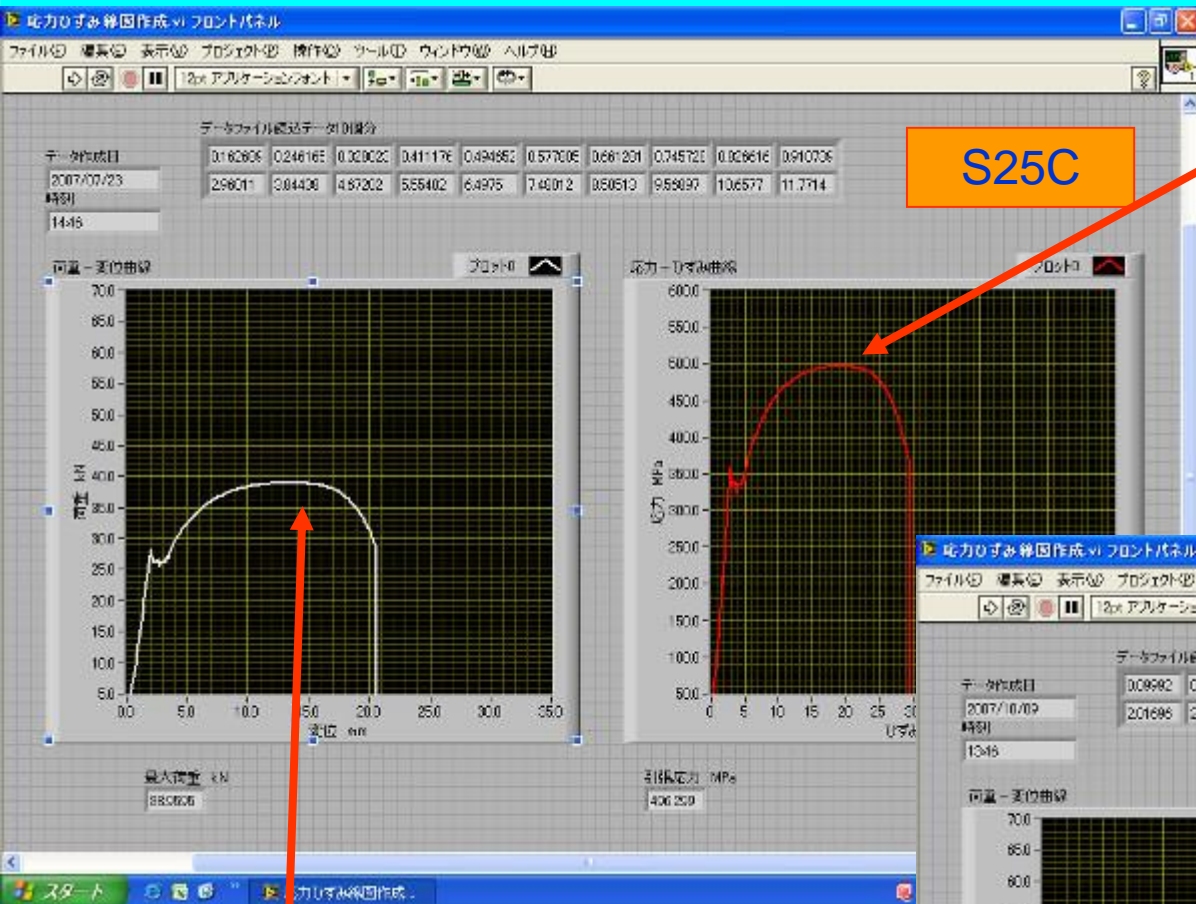
各種材料の応力-ひずみ線図と引張強さの概略値を示す



各種材料の応力-歪線図

※ 機械的性質は形状によらず、材質・熱処理で決まる

# 2.1 応力ひずみ線図 (3)



S25C

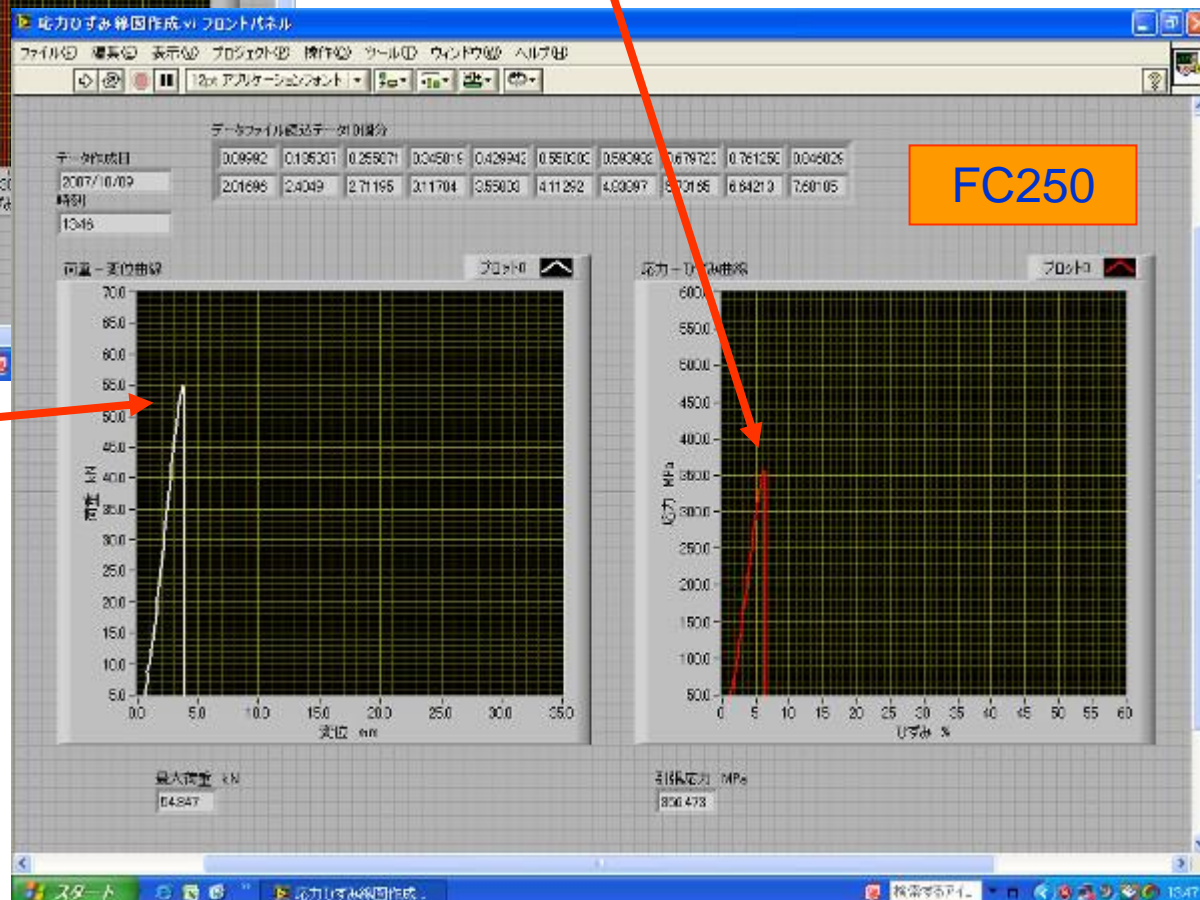
応力-ひずみ

引張強さはS25Cが大きい

設計には応力・ひずみを使う

荷重-変位

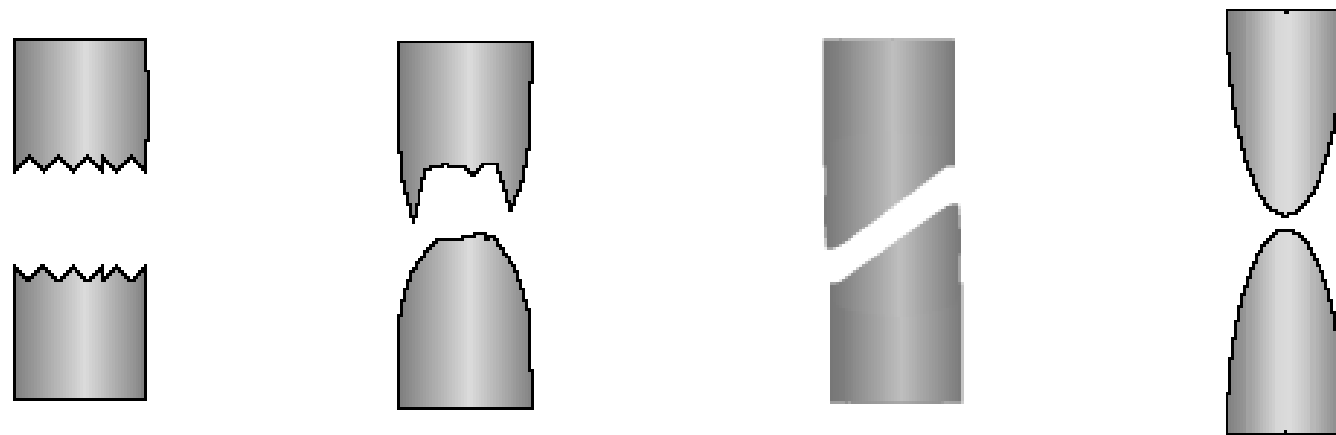
最大荷重はFC250が大きい



FC250

## 破壊の分類

塑性変形の大小による分類



垂直破壊

カップアンドコーン  
型破壊

せん断破壊  
(すべり面分離)

チゼルポイント  
型破壊

脆性破壊

塑性変形 小

延性破壊

塑性変形 大



巨視的に見た時の破面形態

# 2.3 引張試験機システム

## 島津オートグラフ AG-Xplus

アクチュエータ : ACサーボモータ+ボールネジ式

静的最大荷重 : 100kN (ロードセル)

最大ストローク : 600 mm (エンコーダ) ...

制御方式 : コンピュータ制御

標点間変位計 : リニアゲージ

試験片変位ではない

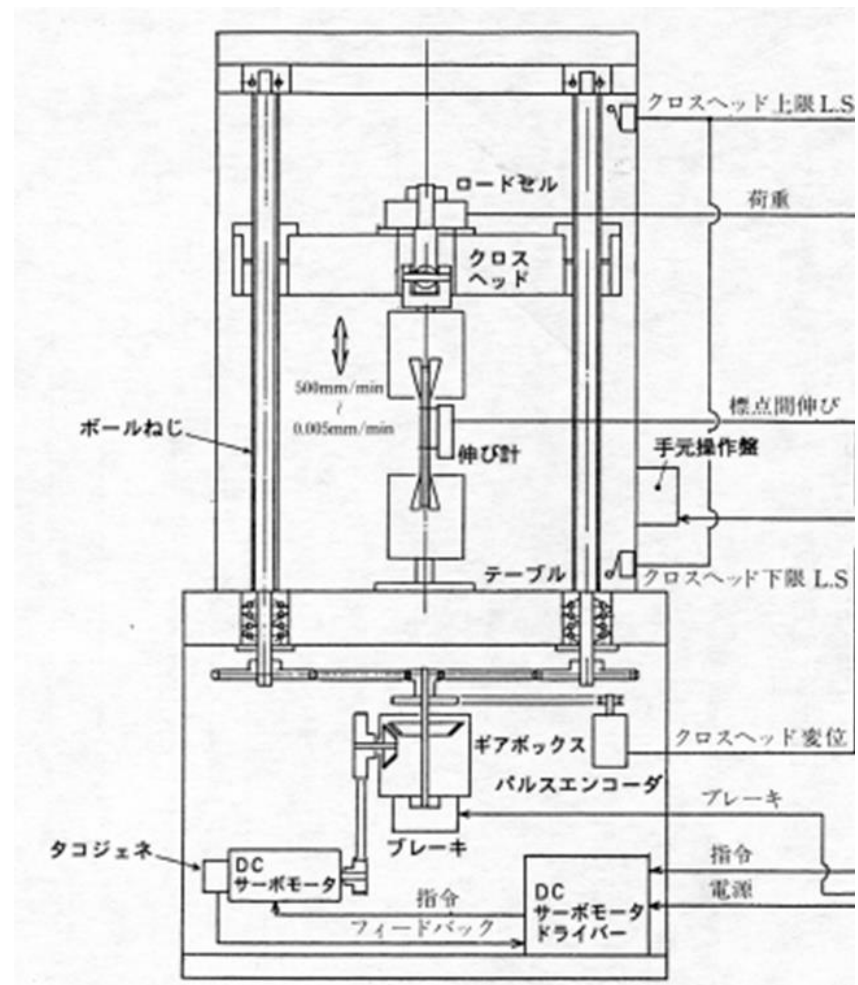
平行部に装着する伸び計は正確な変位を測定できるが、大変形を測定できない。

### データ処理

パソコン : 富士通製

OS : Windows 7

計測ソフト : TRAPEZIUM X  
(島津製作所)





段違い丸棒試験片：JISの試験片ではない

S25C

①  $D=10\text{mm}$ 、 $L=70\text{mm}$

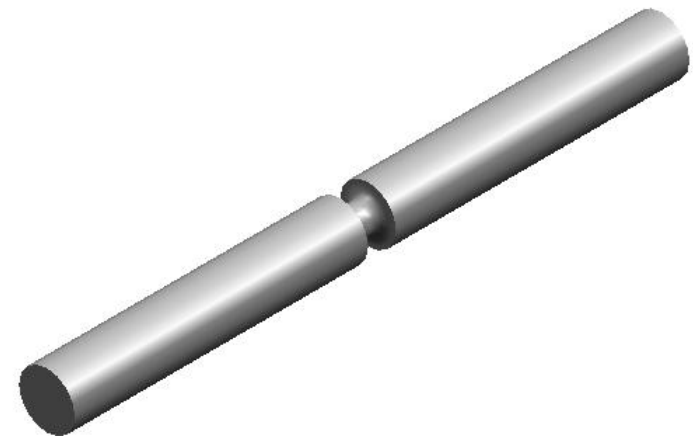
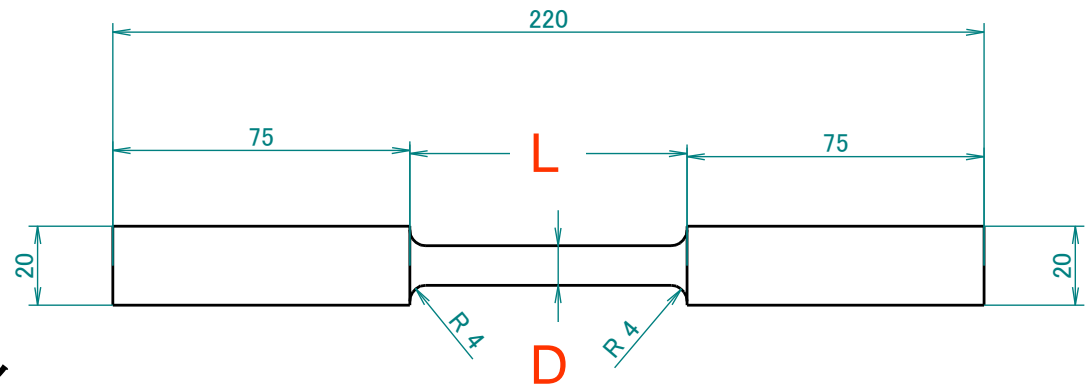
JIS標準試験片の隅部Rを  
小さくしたもの

②  $D=7\text{mm}$ 、 $L=70\text{mm}$

①の断面積を約1/2に小さく  
したもの

③  $D=10\text{mm}$ 、 $L=10\text{mm}$

①で極端にLを短くしたもの



FC250 (参考・後出)

④  $D=14\text{mm}$ 、 $L=70\text{mm}$

②の断面積を約2倍に大き  
くしたもの

# 2.5 φ10mm試験片の引張実験

## ● 基礎知識の確認

試験片材質 : S25C (機械構造用炭素鋼)

FC250 (ねずみ鋳鉄)

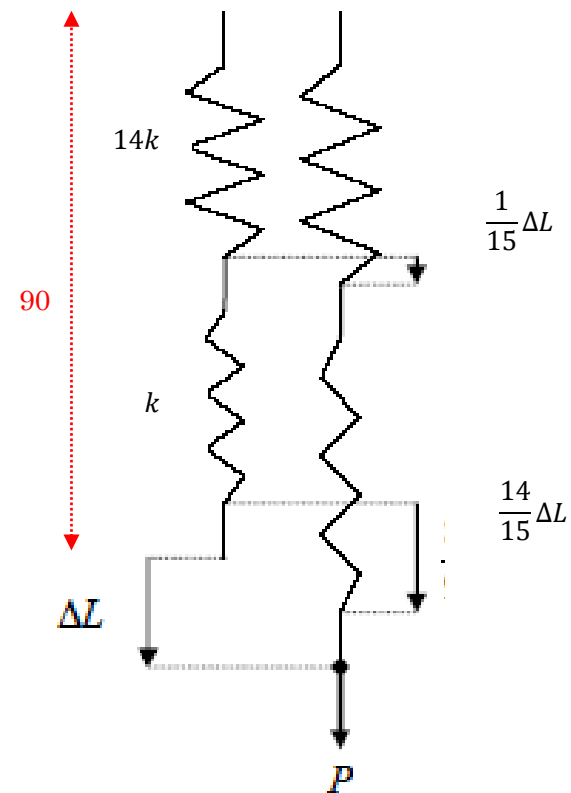
$$\text{応力とひずみ} : \sigma = \frac{P(kN)}{A(mm^2)} \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad \sigma = E\varepsilon$$

## ● 縦弾性係数の確認 チェックシート I

1. 標点間の剛性：等価バネ定数の計算
2. 実験データから等価バネ剛性を求める
3. 縦弾性係数の概略値を求める

$k$ は試験片φ10mm、L70mm、  
 $14k$ はφ20mm、L20mm部分の剛性

※ あくまでも概算であり、正しい変位は平行部に装着した変位計で計測しなければならない！！！！



# 2.6 試験片形状と引張変形の関係

10/30

説明 (20分)

引張実験において試験片形状の相違を考える

チェックシートⅡ

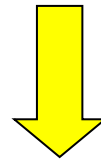
## 細い試験片

- 通常の試験片  
直径10mm、長さ70mm
- 細い試験片  
直径7mm、長さ70mm

## 予測してから実験

## 極端に短い試験片

- 通常の試験片  
直径10mm、長さ70mm
- 極端に短い試験片  
直径10mm、長さ10mm



## 知識から体験へ

- 荷重－変位曲線の考察  
最大荷重はどうか？  
最大変位はどうか？
- 応力－ひずみ曲線の考察  
引張応力はどうか？  
破断伸びはどうか？
- 強度設計では？  
最大許容荷重は必要か？  
覚えておくのは荷重か応力か？

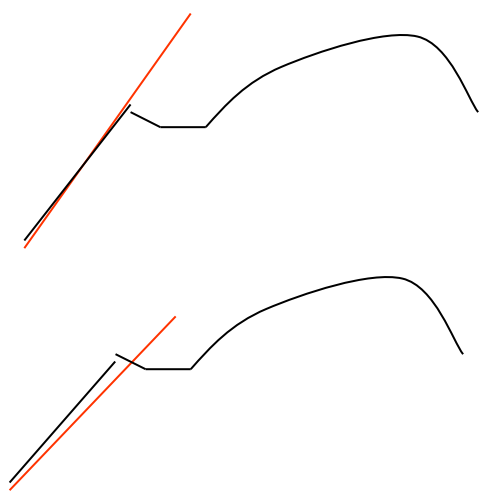
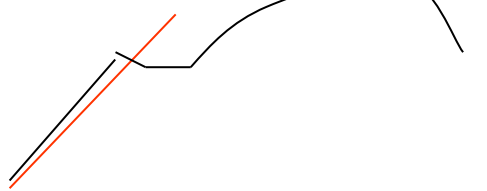
- 荷重－変位曲線の考察  
最大荷重はどうか？  
最大変位はどうか？
- 応力－ひずみ曲線の考察  
引張応力はどうか？  
破断伸びはどうか？
- すべり帯の影響は？  
変位拘束があったか？  
強度は変化したか？

# 3. 鋳鉄の引張実験

材質：FC250、D=14mm、L=70mm

チェックシートⅢ

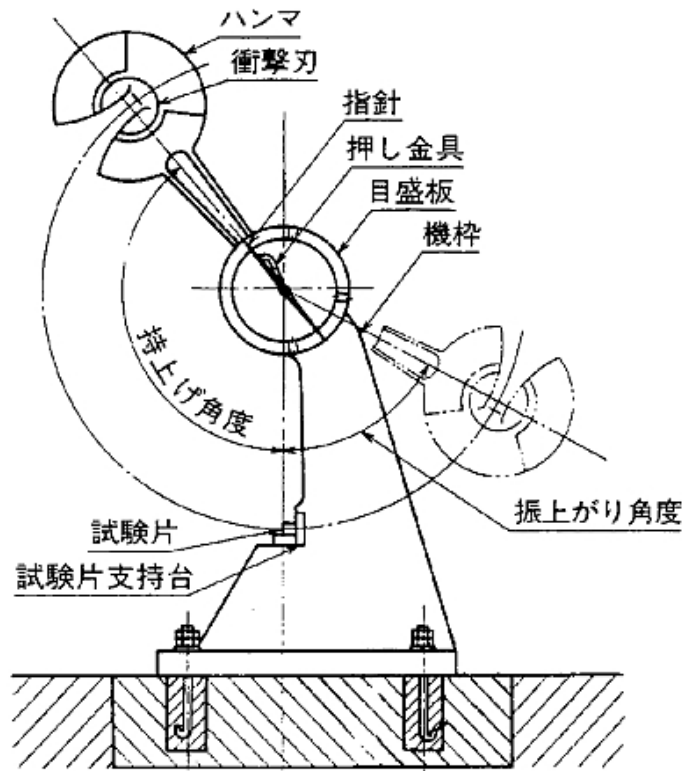
## S25C D10L70の結果と比較して

- 荷重の予測 → Aが大きい→荷重が大きい
- 応力の予測 → 強度が小さい→引張応力が小さい
- 変位の予測 → 破断伸びが小さい
- 荷重－変位曲線の考察  
最大荷重、最大変位はどうか？  
形状、曲線の比較？ → 
- 応力－ひずみ曲線の考察  
引張応力はどうか？  
破断伸びはどうか？ → 
- 上の考察から鋳鉄の特性は？ → 軟鋼より脆くて弱い→脆性

## オイルタンカーの脆性破壊事故



Fig. An oil barge that fractured in a brittle manner  
by crack propagation around its girth  
(The New York Times)



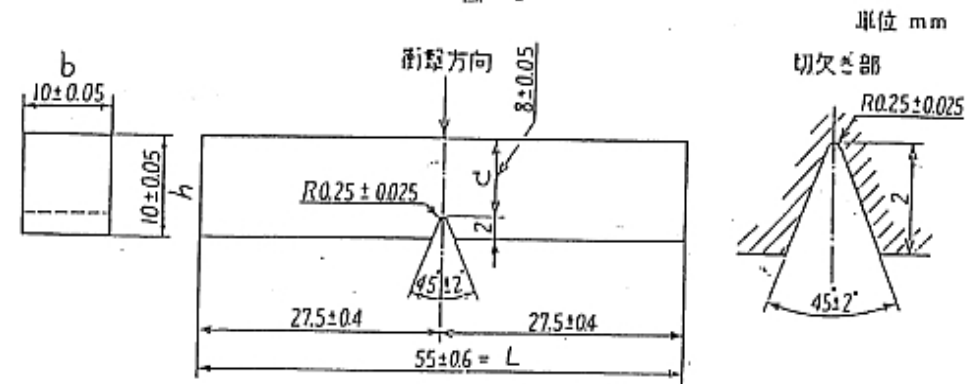
シャルピー衝撃試験機

- ハンマの重量:  $W=27.4\text{kg}$
- ハンマの持上げ角  $\alpha=139^\circ$
- ハンマの回転中心から重心までの距離:  $R=0.634$

Z 2202-1980

(4) 4号試験片 この試験片は、シャルピー衝撃試験に用いる。

図 4



2mmVノッチ

# 4.3 試験条件と安全確認

供試材：SM490A (JISG3106 溶接構造用圧延鋼材)

試験温度：室温、 $-70^{\circ}\text{C}$ の2条件

寒剤：ドライアイス(昇華温度 $-79^{\circ}\text{C}$ )とアルコール(融点 $-117^{\circ}\text{C}$ )

---

---

## 安全に対する注意事項：

- 実験中、ハンマー軌道に手足を入れない！
- ドライアイス粉砕時に目に入れない！
- 試験片、寒剤に素手で触らない！

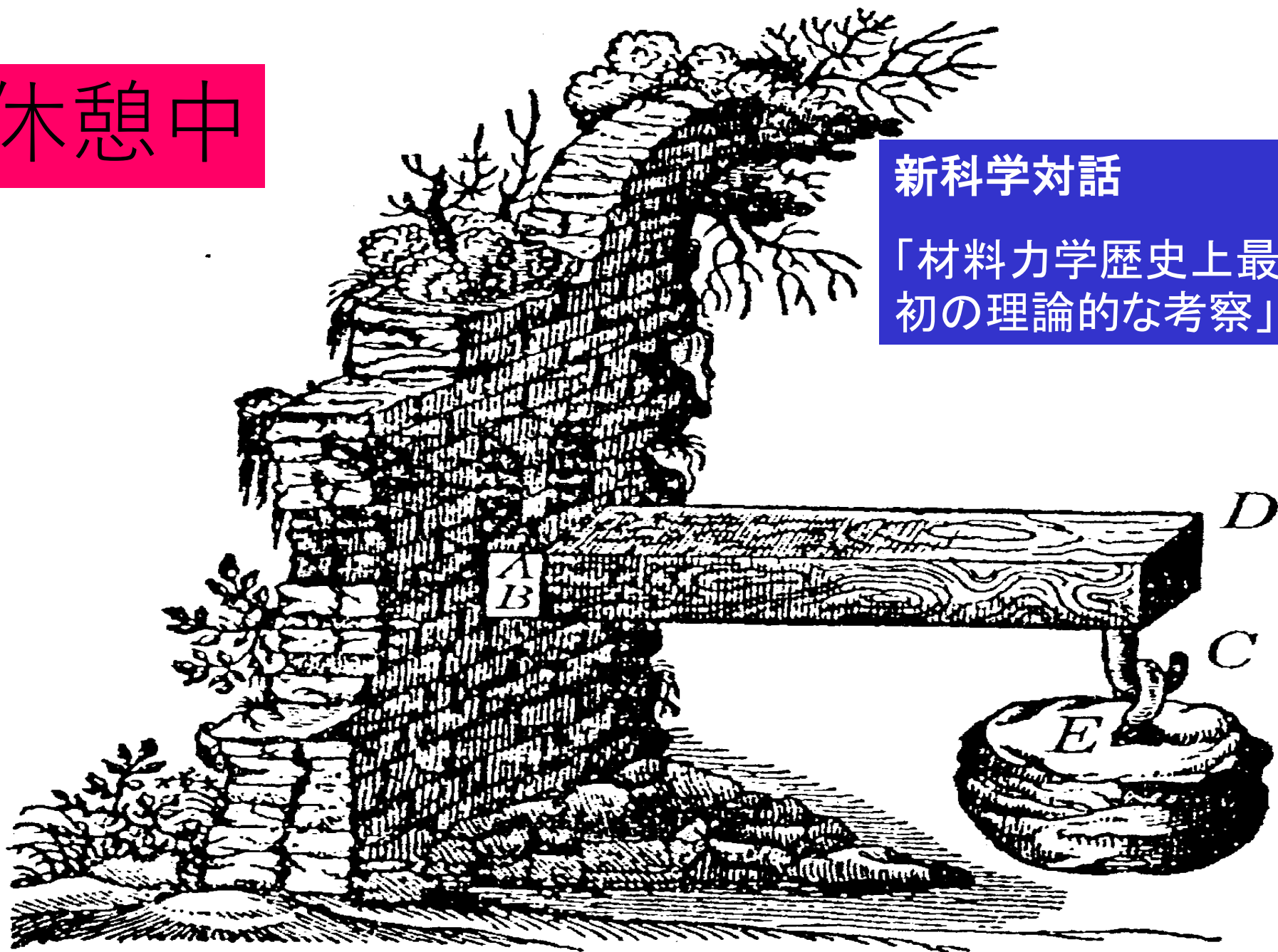
- **引張実験**を行い、形状変化と材料相違で挙動が変化することを学んだ
- 形状や材質に依存しない概念として、応力とひずみで材料の**変形**や**強度**について考察した
- **炭素鋼、低合金鋼、鋳鉄の引張強さ**の概略値を覚えた
- **低温脆性**の存在を**衝撃試験**で確認した



休憩中

新科学対話

「材料力学歴史上最初の理論的な考察」

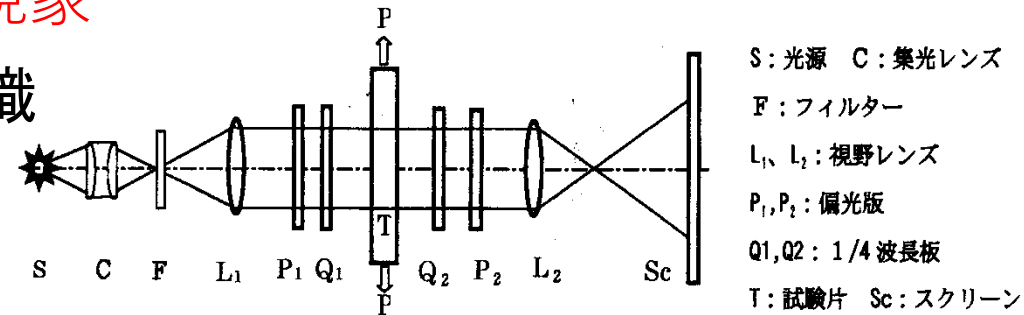


*Illustration used by Galileo.*

## ● 光弾性実験法

1815年 基礎原理 = 人工複屈折現象

高分子材料、平板、透明、均質組織  
→ エポキシ樹脂が使用される  
2次元平面応力、主応力差



最近は数値計算が主流に



- コンピュータ支援設計 CAE  
有限要素法 FEM

市販ソフト: Ansys、FINAS他

3次元問題、マルチスケール、連成問題解析可

CADソフト、プリ・ポストプロセッサ

SlidWorks(機械系で採用)

光弾性実験装置の光学系

# 5.2 簡易光弾性実験

はりの曲げと応力集中

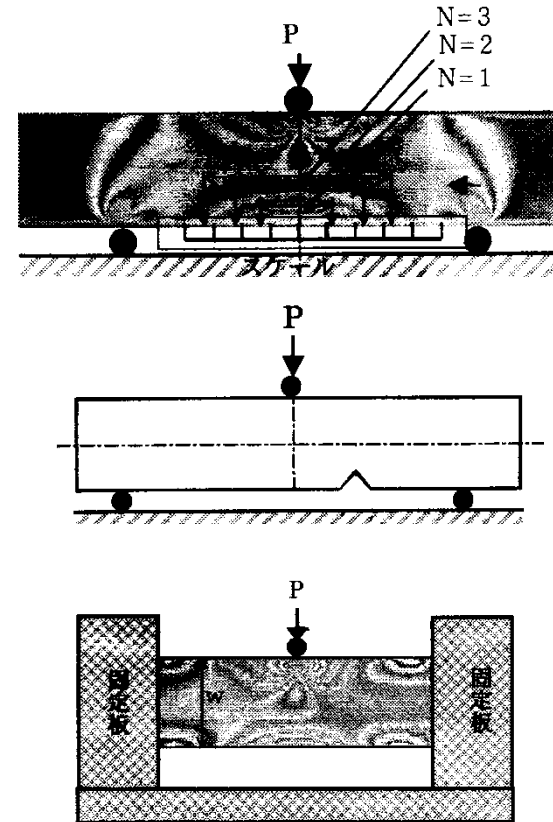
18/30

光弾性試験 (15分)

## 試験結果を観察する

1. 真直はり+3点曲げ  
単純支持  
中央集中荷重
2. 切り欠き+3点曲げ  
単純支持  
Vノッチ  
隅のR
3. 真直はり+固定支持  
単純支持との比較  
不静定

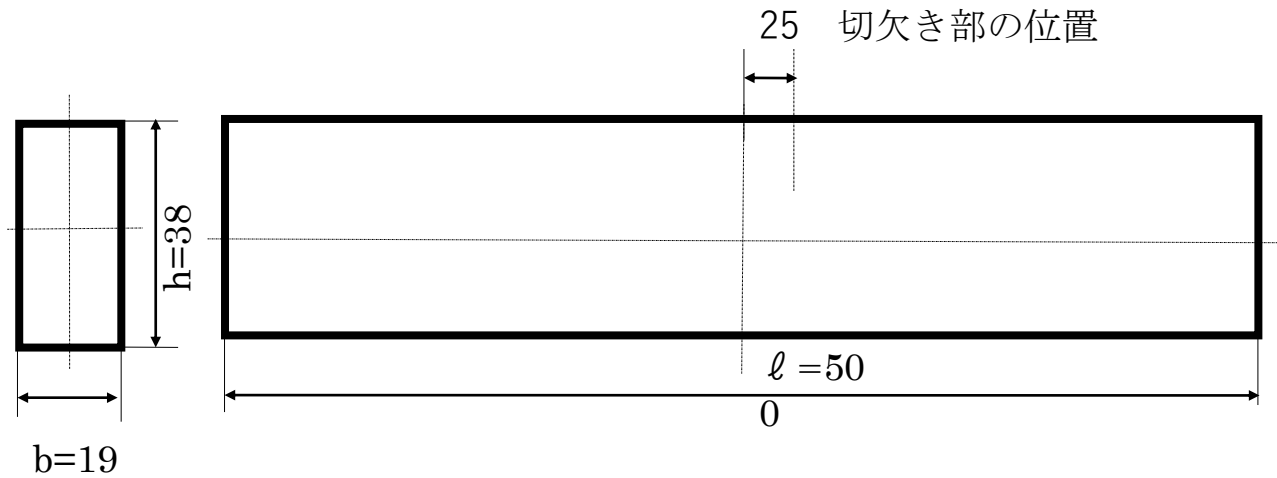
材質:エポキシ樹脂



## 次の3条件

- |        |        |           |
|--------|--------|-----------|
| ① 単純支持 | 真直はり   |           |
| ② //   | Vノッチはり |           |
| ③ 固定支持 | 真直はり   | 固定(200Nm) |

# 6.2 はりの形状・寸法・機械的性質



*S45C Steel*

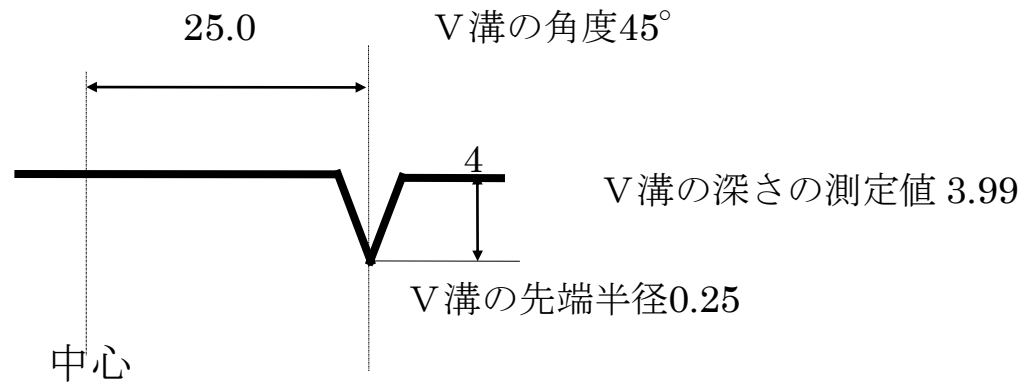
$$\sigma_B = 828 \text{MPa}$$

$$\sigma_y = 727 \text{MPa}$$

$$E = 205 \text{GPa}$$

$$\nu = 0.3$$

?



# 6.3 たわみとひずみの測定位置

- 変位計 (50mm 間隔)
- ひずみゲージ (7mm間隔)



# 6.4 ひずみゲージ貼り付け位置

はりの中心から  $x$ 、 $y$  軸方向のひずみ測定チャンネル番号とゲージ貼付位置

CH番号	位置( $x$ 、 $y$ )( $mm$ )	CH番号	位置( $x$ 、 $y$ )( $mm$ )
------	-------------------------	------	-------------------------

20	200、 14	32	275、 14
----	---------	----	---------

21	200、 7	33	275、 12
----	--------	----	---------

22	200、 0	34	275、 10
----	--------	----	---------

23	200、 -7	35	275、 8
----	---------	----	--------

24	200、 -14	36	275、 6
----	----------	----	--------

25	200、 14
----	---------

26	200、 7
----	--------

27	200、 0
----	--------

28	200、 -7
----	---------

29	200、 -14
----	----------

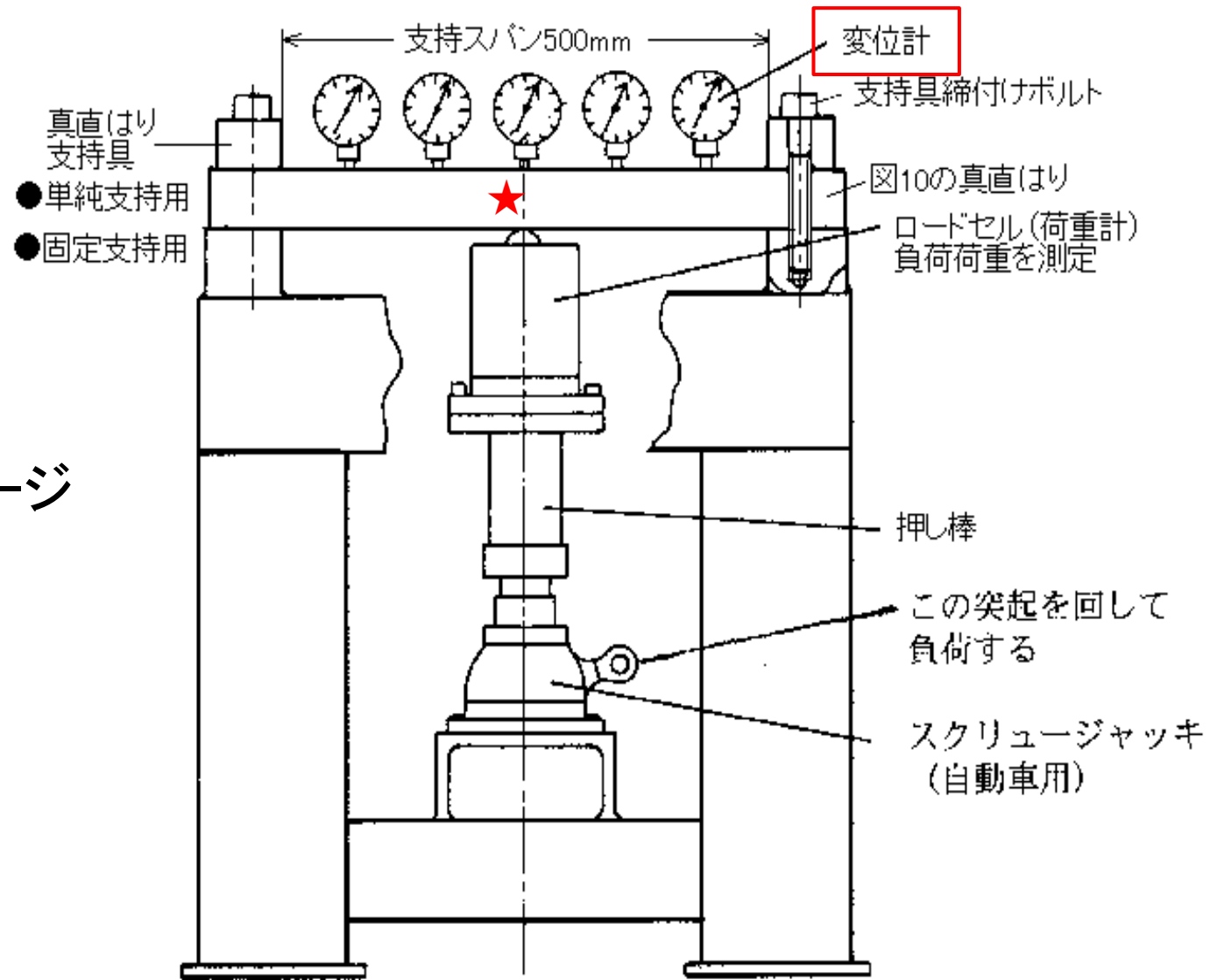
**注意**：20CH～24CHは、真直はり

25CH～29CHは、ノッチはり

32CH以降は不使用

# 6.5 実験装置

はりの曲げと応力集中

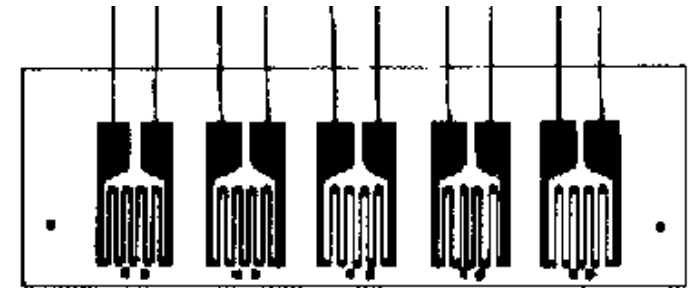
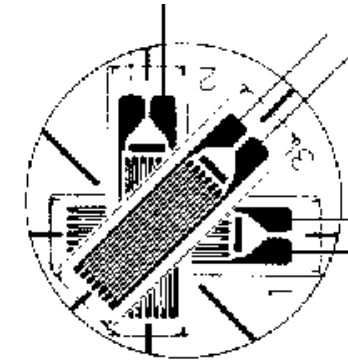
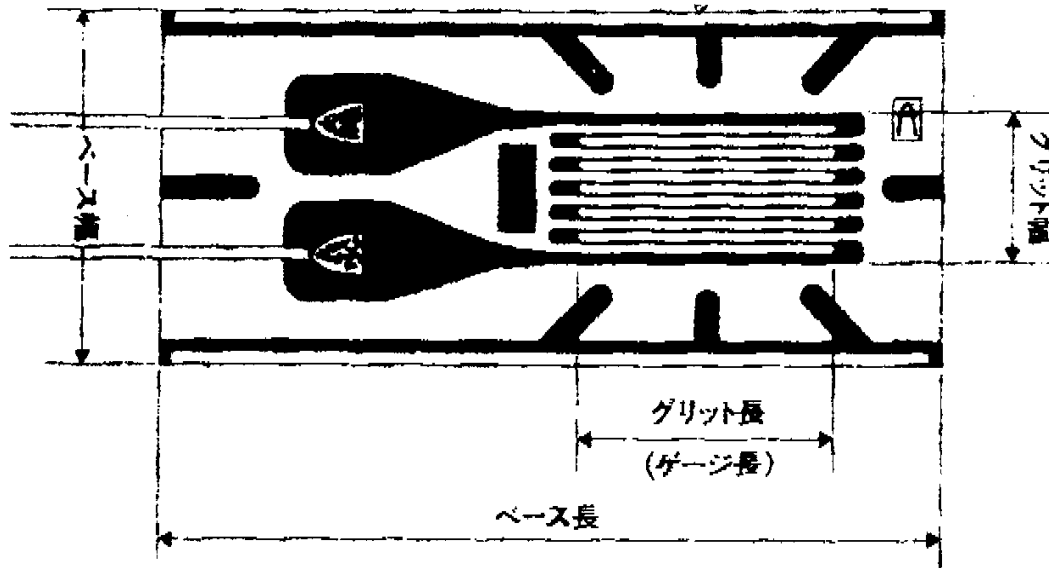


★センサー:ひずみゲージ

はりの曲げ実験装置概略図



# 6.6 ひずみ、変位測定器①ひずみゲージ



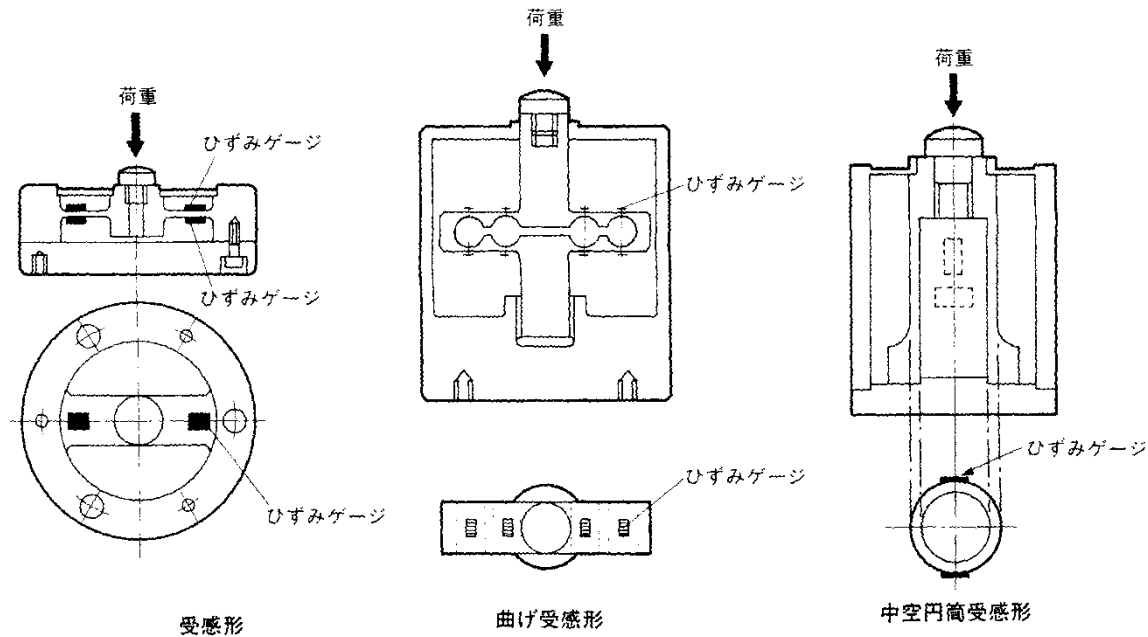
ゲージ率

アドバンス線の場合は約2.0

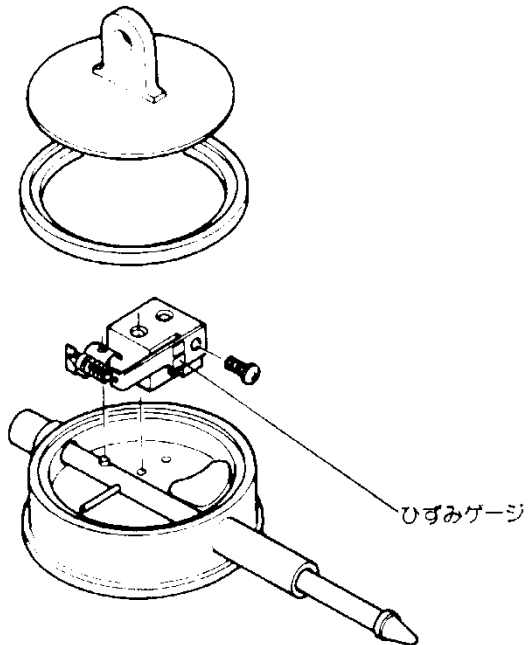
$$K = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l}$$

※ ひずみゲージ及びその測定原理はメカトロニクス第一

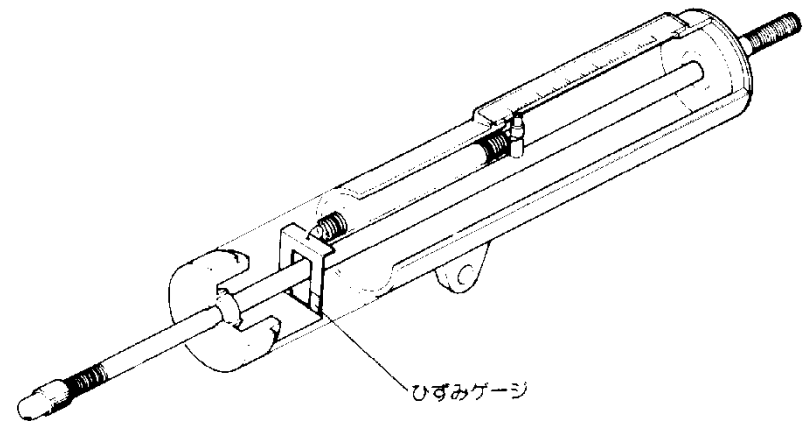
# 6.7 ひずみ、変位測定器②変換器



■変位変換器



■変位変換器

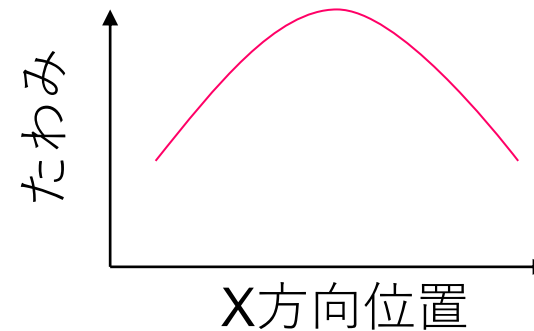


(配布資料参照)

## 10000N負荷時のデータで以下の解析を実施する

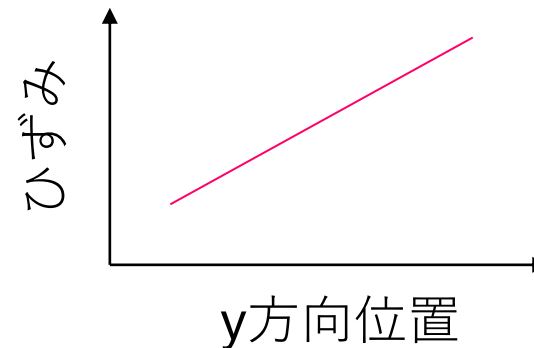
### ① 第一図：変位分布

課題①最大たわみの概算と  
変位分布図の作成



### ② 第二図：Y方向ひずみ分布

課題②ひずみの概算と  
分布図の作成



- 光弾性試験を行い、応力状態を光弾性縞模様として直接観察し、応力集中を視覚的に理解した
- 単純支持・固定支持の2条件ではり曲げ実験を行い、変位とひずみの計測を行った
- 材料力学の理論計算と比較しつつ、最大たわみとひずみの分布の確認を行い、理解を深めた