

課題名

# 材料の機械的性質

学籍番号

37024647

氏 名

島瑛都

メールアドレス hwh31532@kwansei.ac.jp

チェック項目		TAによる チェック	
実験	1. 引張試験	使用した実験機器（装置名、型番、メーカー名）を示し、実験概要を説明する	
		引張試験の結果を荷重－変位および、応力－ひずみのグラフで示す。	
		試験片ごとのばらつきなどを含めて、ヤング率を適切に評価し、文献値によるヤング率と比較する。	
		応力ひずみ曲線から弾性限界、引っ張り強さを求める。破断後の試験片の状況を写真で示し、塑性後の破断伸びや破断しづりについて考察する。	
	2. ブリネル硬さ試験	使用した実験機器（装置名、型番、メーカー名）を示し、実験概要を説明する	
		圧痕のサイズ測定の状況を写真などで示す。	
		圧痕のサイズ測定の結果を表で示し、試験ごとのばらつきなどを含めて、ブリネル硬さを適切に評価し、文献値によるブリネル硬さと比較する。	
		引張試験で得られたヤング率とブリネル硬さの関係について考察する。	
引張試験のデータを使った 数値シミュレーション		使用した引張試験のデータやモデル、解析条件など数値シミュレーションの設定を説明する	
		数値シミュレーションで得られた荷重－変位曲線を示し、実験で得られた荷重－変位曲線と比較する。	
まとめ・考察		材料の機械的性質を調べる試験を通して、強度設計をする際の安全性の基準等について考察せよ	
参考文献		考察する際に使用した参考文献が記述されている	

## 1. 課題の目的

本実験の目的は引張試験を通してアルミニウム、鉄、銅の引張強度等の性質を測定することで、それぞれの強度特性を明らかにすることである。

## 2. 実験

### 2.1 実験の目的

試験片を用いて引張試験を行う。得られたデータを基にそれぞれの金属の特性を理解することで強度特性について考察する。

### 2.2 実験器具

1. 20kN ユニバーサル試験機 (MT3017, 株式会社メガケム)
2. コンピュータ接続キット (MT3047, 株式会社メガケム)
3. 引張試験用治具
4. 3種の MT3018 引張試験片 (鋼 SGD3, アルミニウム A5056, 銅 C1100)
5. マイクロスコープ
6. 硬さ試験用治具
7. 3種のブリネル試験片 (鋼 SGD3, アルミニウム A5056, 銅 C1100)
8. 測定機器: ノギス, スケール



図 1 20kN ユニバーサル試験機 (MT3017, 株式会社メガケム)



図 2 コンピュータ接続キット (MT3047, 株式会社メガケム)



図3 引張試験用治具



図4.3種のMT3018引張試験片



図5マイクロスコープ



図 6 硬さ試験用治具



図 7 3種のブリネル試験片

### 2.3 実験手順(引張試験)

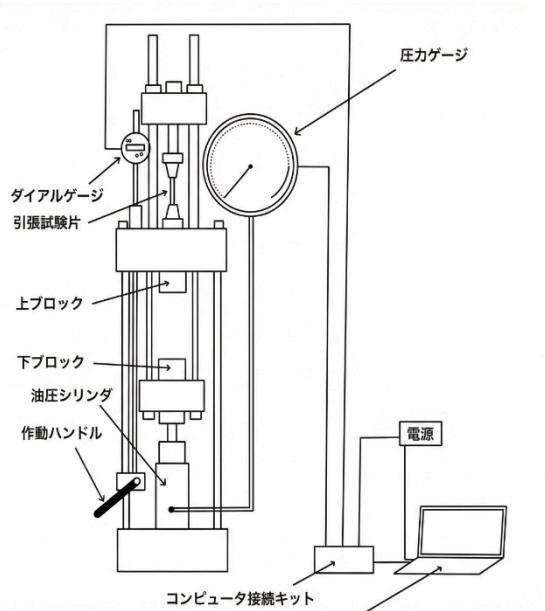


図 8 引張試験の簡易図

図 8 を参考に機材を組み立てていく。

## 1. ダイヤルゲージの取り付け

- ・油注入管のカバーを外し,圧力ゲージを取り付ける（済）
- ・デジタル式ダイヤルゲージを所定位置に取り付け,ストップ棒と接触させて固定する.

## 2. コンピュータ接続キットの接続

- ・ケーブル類を接続し,シリアルケーブルでキットと PC の COM1/COM2 を接続する.
- ・プログラム画面右下のアイコンで接続状態を確認する.

## 3. 試験片の取り付けと試験機の調整

- ・作動ハンドルを予想ストロークに合わせて反時計回りに十分戻す.
- ・試験片の直径と標点間距離を必ず測定する.
- ・試験片を上下チャックに固定する（締め過ぎに注意）.
- ・試験片サイズに応じて油圧シリンダの調整ねじで遊びを除去する（回し過ぎ禁止）.

## 4. ゼロセット

- ・圧力ゲージの最大表示針をゼロに合わせる.
- ・ハンドルを回して圧力を 1 kN まで上げ、ダイヤルゲージをゼロ点調整する.
- ・ダイヤルゲージが垂直に当たっているか確認する.

## 5. プログラム起動と試験開始

- ・PC で「Terco Material Testing DAQ Interface」を起動し,**MT3017 Tensile and Compression Test** を選択する.
- ・試験片の材料 (Aluminum / Copper / Steel) を選択する.
- ・作動ハンドルを半分以上出してから「Start test」をクリックし,同時にハンドルをゆっくり回して圧力を上げる.
- ・圧力が 2 kN になるまでにグラフが表示されていることを確認する.
- ・Auto scale をオンにしておくと自動でグラフが更新される.
- ・破断後はダイヤルゲージを下げ、破損を防止する.
- ・※注意：計測画面では **ダイヤルゲージの 0.01 mm が 1 mm として表示される (100 倍)** .

## 6. 試験後の測定

- ・試験片の変形後の直径と破断後の長さを測定する（破断伸び・しづりに必要）.

## 7. データの保存

- ・保存するデータをグラフ右の凡例から選択し、「Save as csv」で保存する.
- ・入力必須項目：
  - Name of user
  - Type of material
  - Test description
- ・データ保存後,CSV の中身を必ず確認する（空データ保存に注意）.
- ・実験ごとに保存を行い,データ消失に備える.

### 2.3 実験手順(ブリネル硬さ試験)

- ・ 1. 試験治具および試験片のセット
  - ・ ユニバーサル試験機 (MT3017, TERCO) にブリネル圧子 (直径 10 mm の鋼球) と受け台を取り付ける.
  - ・ その上に試験片を置き, 圧子の中央に正しく位置合わせする.
  - 油圧シリンダのねじ部をほぼ最大まで上げ, 試験片が圧子に接触する直前まで近づける.
- ・ 2. 硬さ試験の実施
  - ・ ハンドルを時計回りに回し、油圧シリンダを上昇させて試験片を圧子に押し付ける.
  - ・ 圧子が接触した後、圧力ゲージが 10 kN に達するまでゆっくり荷重を加える.
  - ・ 10 kN に到達後は 15 秒間保持し、その間荷重が下がらないよう微調整する.
  - ・ 15 秒経過したら除荷する.
  - ・ この操作を、圧痕が重ならないように試験片中央の 3 か所以上で行う.
- ・ 3. 圧痕の観察と撮影
  - ・ 試験後, 圧痕をデジタルマイクロスコープで観察し, スケールを写し込みながら撮影.
  - ・ 撮影には Smart Camera ソフトを使用し, 画像は PDF 化・メール転送または Word へ貼り付けて保存する.
- ・ 4. 圧痕直径の測定 (ImageJ 使用)
  - ・ 画像読み込み: 撮影画像を ImageJ の「File → Open」から開く.
  - ・ スケール設定: 直線ツールでスケール部分に線を引き, 「Analyze → Set Scale」で基準長さ (例: 5 mm) を設定する.
  - ・ 直径測定: 圧痕の縦方向・横方向の直径を測定し, 「Analyze → Measure」で長さを読み取る.

### 2.4 実験結果(引張試験)

結果から得られた荷重-変位曲線, ひずみ-応力曲線のグラフを示す.

鋼の荷重-変位曲線, ひずみ-応力曲線のグラフを示す. 上から順に 1 回目から 3 回目の計測をまとめたものである.

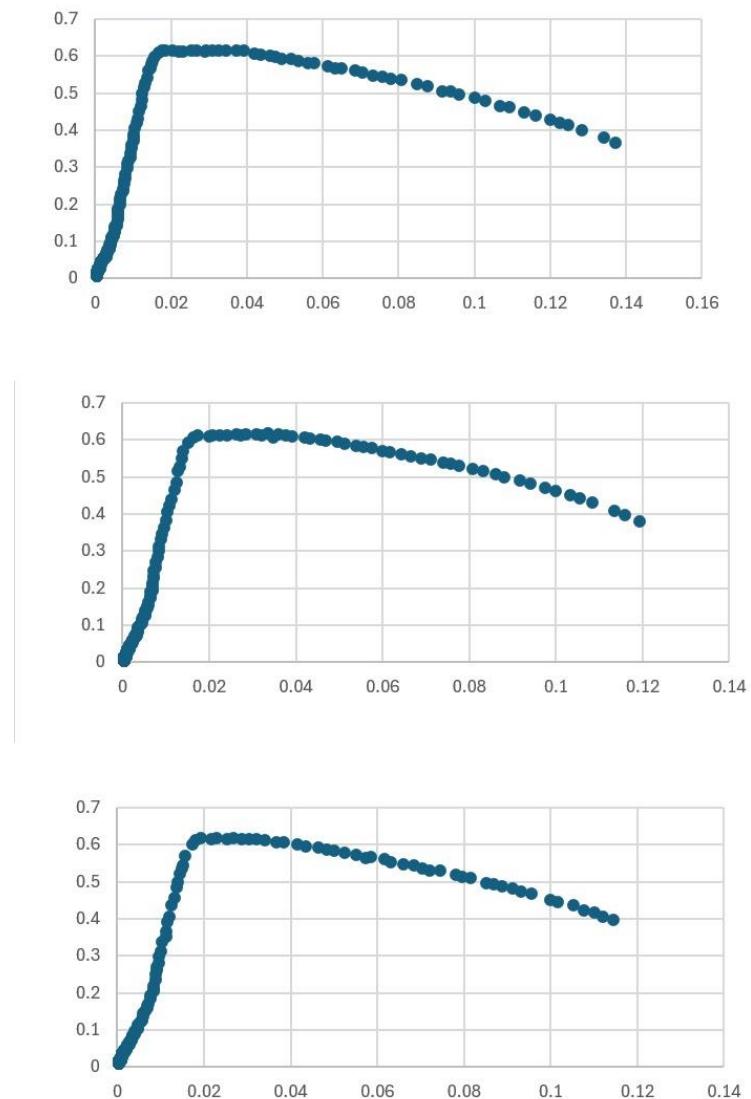


図 9 鋼の荷重-変位曲線

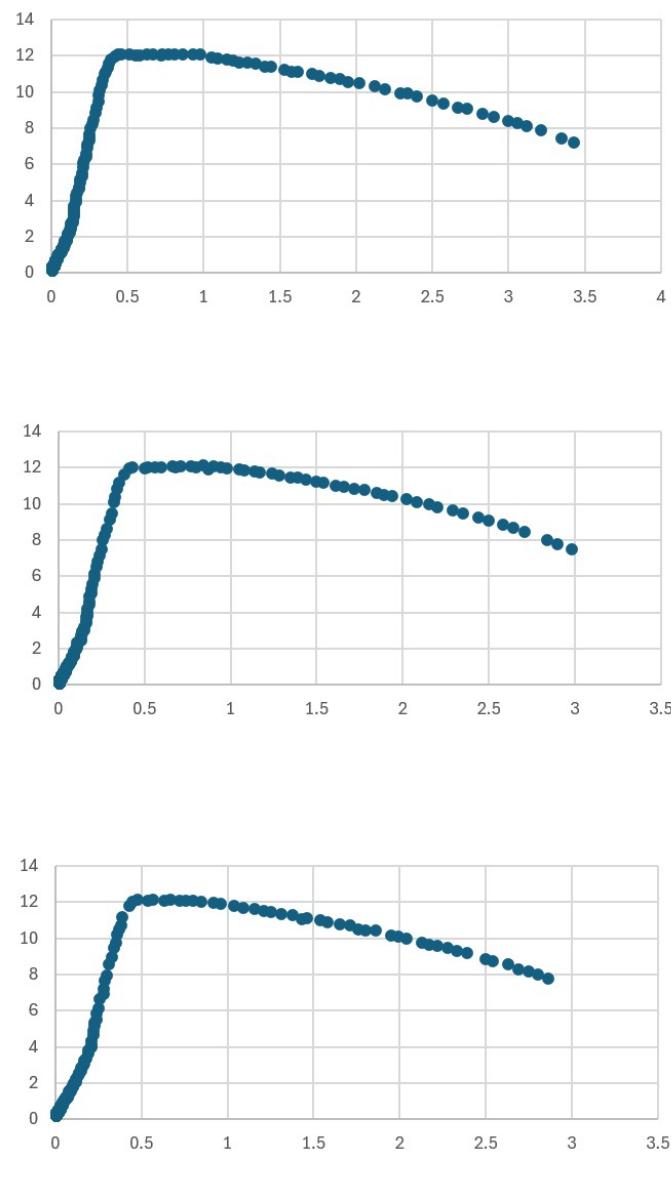


図 10 鋼のひずみ-応力曲線

次にアルミの荷重-変位曲線、ひずみ-応力曲線のグラフを示す。

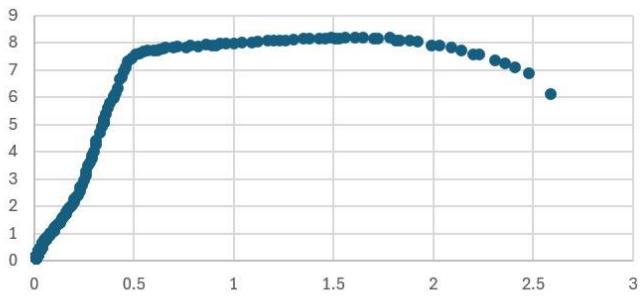
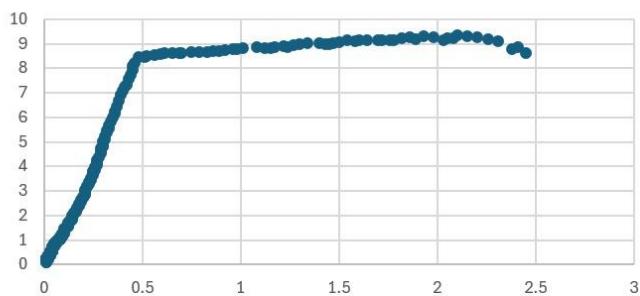
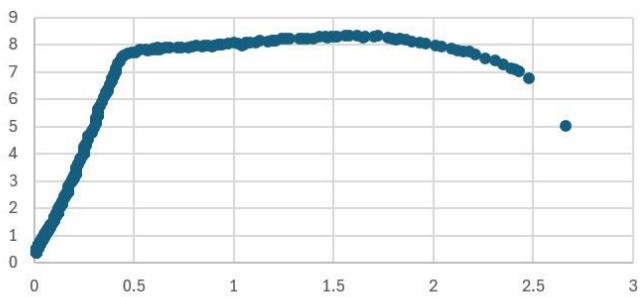


図 11 アルミの荷重-変位曲線

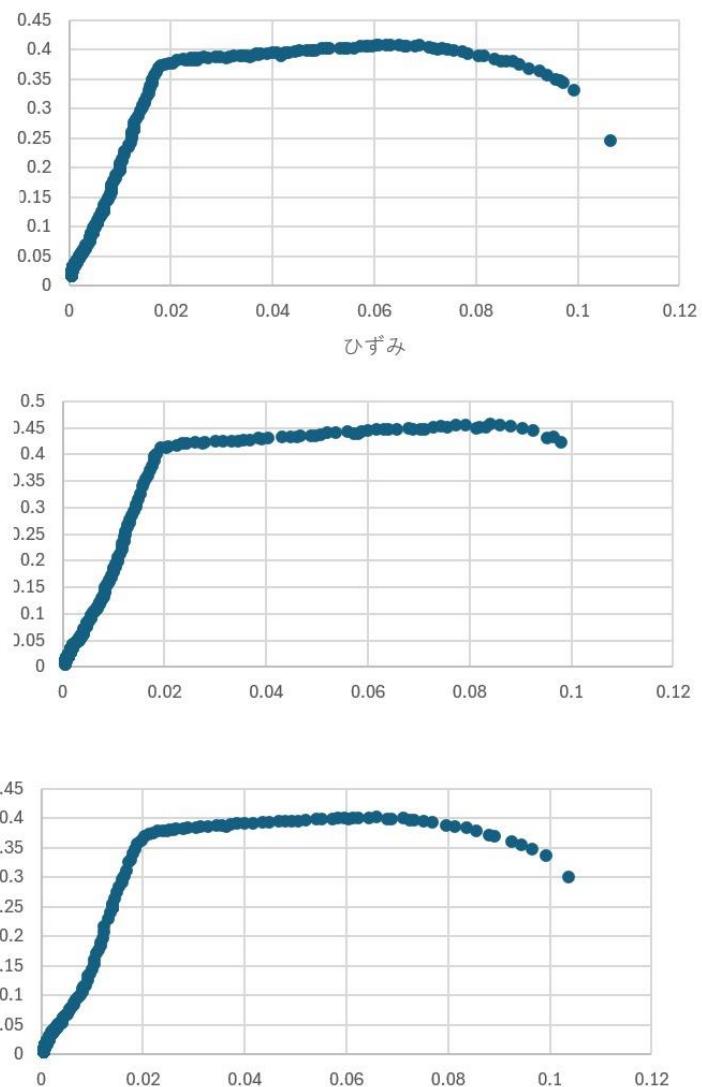


図 12 アルミのひずみ-応力曲線

最後に銅の荷重-変位曲線,ひずみ-応力曲線のグラフを示す.

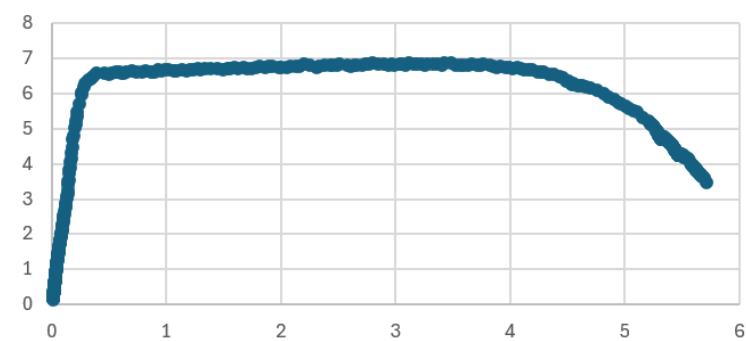
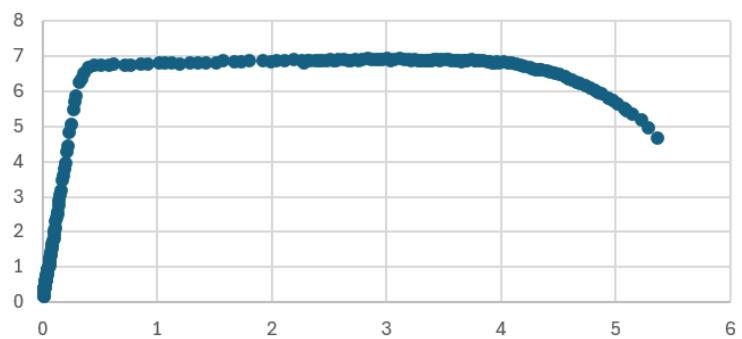
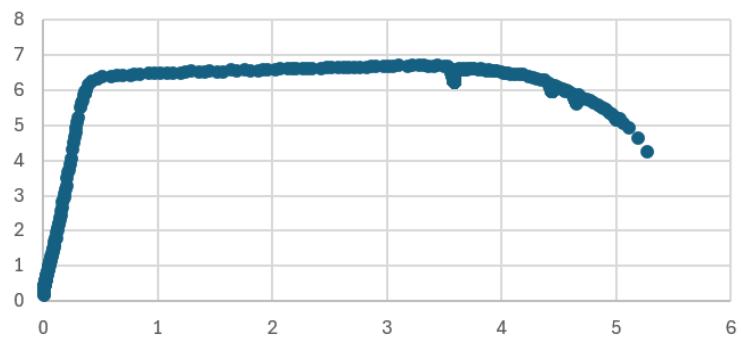


図 13 銅の荷重-変位曲線

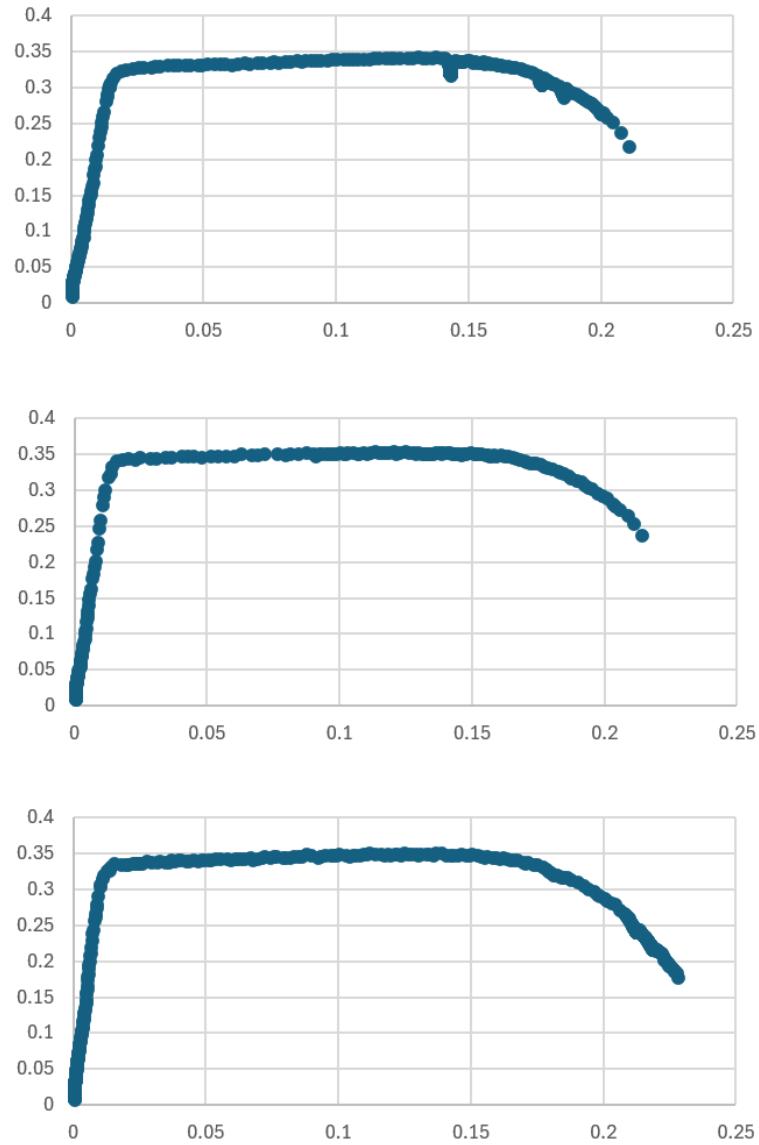


図 14 銅のひずみ-応力曲線

次に下記の公式を利用しヤング率を求める.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

引張強さを以下の表にまとめると.

表 1 引張強さ

引張強さ	鋼	アルミ	銅
1回目	615.739[MPa]	408.749[MPa]	341.228[MPa]
2回目	616.757[MPa]	357.211[MPa]	352.433[MPa]
3回目	617.776[MPa]	401.895[MPa]	349.377[MPa]

表 2 ヤング率

ヤング率	鋼	アルミ	銅
1回目	28.4[GPa]	43.7[GPa]	10.8[GPa]
2回目	26.9[GPa]	15.7[GPa]	15.7[GPa]
3回目	20.2[GPa]	14.8[GPa]	16.2[GPa]

表 3 限界弾性

限界弾性	鋼	アルミ	銅
1回目	513.1[MPa]	367.8[MPa]	307.1[MPa]
2回目	514.0[MPa]	321.5[MPa]	317.2[MPa]
3回目	514.8[MPa]	361.7[MPa]	314.5[MPa]

#### 2.4.1 ヤング率に関する考察

文献値は「日本産業規格の簡易閲覧」を用いることとする。

表 4 文献値

文献値	ヤング率
鋼	205~206[MPa]
アルミ	69~70[MPa]
銅	110~120[MPa]

今回の実験では表 2 からわかるように文献値との結果に大きな差が生じた。これは、ひずみの測定において、試験片標点間の純粋な伸びだけでなく、試験機のクロスヘッド変位（つかみ具の滑りや試験機全体のたわみ）を含んで計測したことが主たる原因と考えられる。

#### 2.4.2 破断伸びや破断しぶりについて考察

破断した実験片を図 15~図 17 に示す。

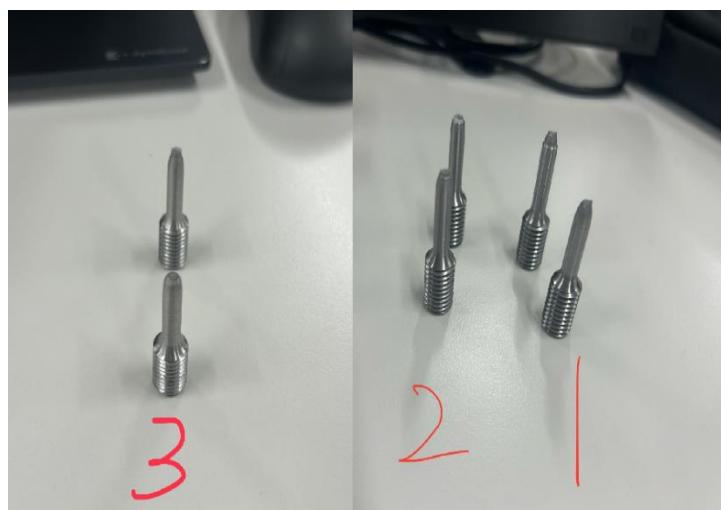


図 15 鋼の破断



図 16 アルミの破断



図 17 銅の破断

全ての材料で,破断強度の 80%~90%という高い応力まで弾性(直線関係)を保っていることが確認された.これは,各試料が純金属や焼きなまし材ではなく,合金化や冷間加工(加工硬化)によって転位運動が阻害され,弾性域が拡大した材料であることを示している.

## 2.5 実験結果(ブリネル硬さ試験)

実験で得られた圧痕のサイズ測定の状況を図 15~図 17 で示す.

鋼の圧痕を示す。



図 15(鋼の圧痕)

次にアルミの圧痕を示す。

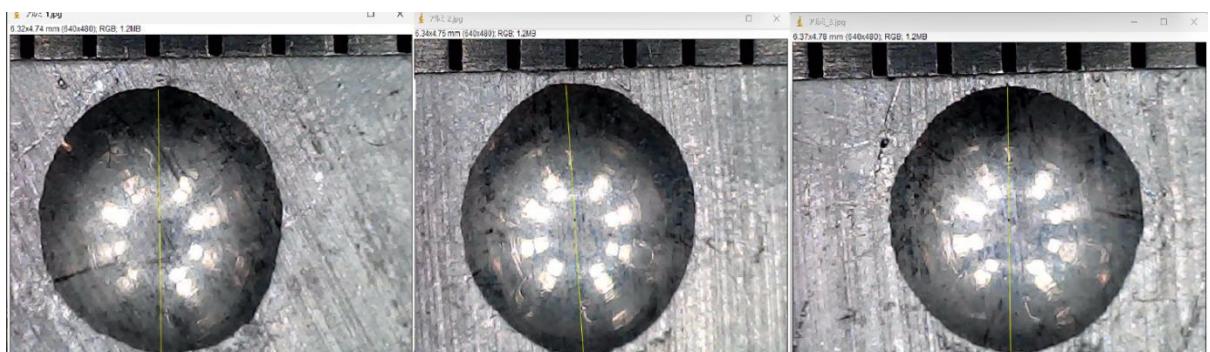


図 16(アルミの圧痕)

最後に銅の圧痕を示す。

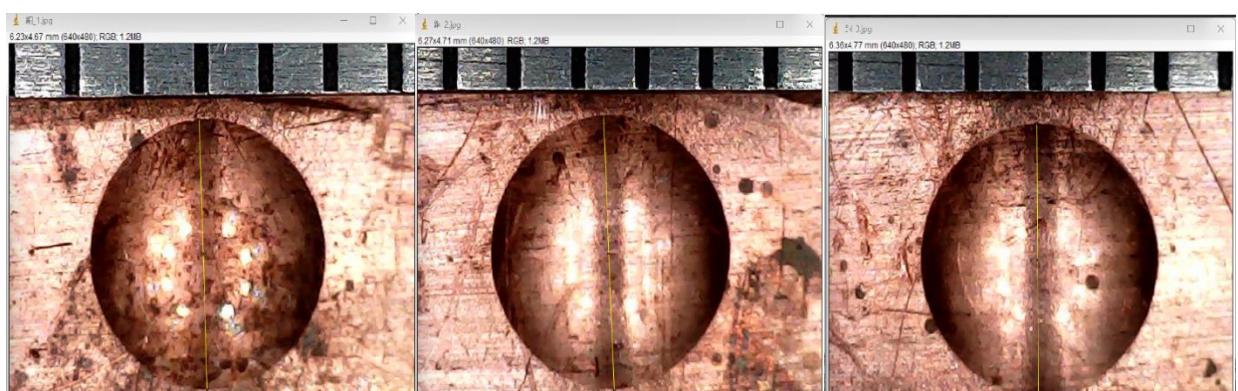


図 17(銅の圧痕)

次にブリネルの表 5～表 7 で測定値を示す。

表 5 鋼の測定値

材料	回数	圧痕直径 (mm)	平均直径 (mm)
鋼	1	2.515	2.600
	2	2.510	2.570
	3	2.554	2.594

表 6 アルミの測定値

材料	回数	圧痕直径 (mm)	平均直径 (mm)
アルミ	1	3.874	3.874
	2	4.050	4.050
	3	4.023	4.023

表 7 銅の測定値

材料	回数	圧痕直径 (mm)	平均直径 (mm)
銅	1	3.572	3.572
	2	3.699	3.694
	3	3.753	3.734

### 2.5.1 文献値と測定値の比較

文献値は「日本産業規格 (JIS) G 3101 (一般構造用圧延鋼材)」, 「日本産業規格 (JIS) H 4000 (アルミニウム及びアルミニウム合金の板及び条)」, 「日本産業規格 (JIS) H 3100 (銅及び銅合金の板及び条)」を使用する。

鋼 : 一般構造用圧延鋼材 (SS400) の文献値は 130~170 程度であるが, 本実験の鋼材はそれよりも高い値を示した。これは引張試験において引張強さが約 617MPa と高めに出た結果と整合しており, 加工硬化あるいは炭素量の多い鋼種であったと推測される。

アルミ: 純アルミニウムより遙かに高く, アルミ合金 (A5052 等で 60~80) の文献値と一致する。引張試験の結果同様, 合金材料であることは明らかである。

銅: 焼きなまし銅よりも高く, 加工硬化を受けた銅の文献値の範囲内にある。

### 2.5.2 ヤング率とブリネル硬さ試験の硬さの考察

ヤング率と硬さは, それぞれ「弾性変形抵抗 (原子結合)」と「塑性変形抵抗 (転位運動)」という異なる性質を表しているため, 必ずしも比例しない。本実験においても, ヤング率と硬さの順序は一致しなかった。一方で, 硬さは引張強さと強い相関を持ち, 本実験のデータもその理論的関係を裏付ける結果となった。

## 3. シミュレーション



図 18 解析モデル

### 3.1 数値シミュレーションの解析条件

本実験では、3次元CADソフトウェア「SOLIDWORKS」および解析アドイン「SOLIDWORKS Simulation」を用い、引張試験の数値シミュレーションを行った。解析には、実際の実験で取得した「応力-ひずみ曲線」のデータを適用し、実機試験片の挙動を再現することを目的とした。以下にその詳細な設定条件を示す。

### 3.2 解析スタディの種類

実験で得られた応力-ひずみ曲線は、弾性域を超えて塑性域を含む非線形挙動を示す。そのため、解析スタディには標準的な「静解析」ではなく、材料の非線形性を考慮できる「非線形解析（高度なシミュレーション）」を選択した。

### 3.3 解析モデルおよびメッシュ

解析モデルは、実験に使用した試験片の実測寸法に基づき、SOLIDWORKS上で3次元モデルとして作成した。解析領域の離散化（メッシュ作成

）には、標準メッシュ機能を用いた。応力集中が予想されるR部（フィレット）や、くびれが発生する平行部において計算精度を確保するため、適切なサイズのメッシュ分割を行った。

### 3.5 材料特性の設定（ユーザー定義材料）

本解析の最も重要な要素として、実験値を反映させた「ユーザー定義材料」を各試験片（鋼・アルミ・銅）ごとに作成し、適用した。具体的には、実験で計測されたひずみと応力のデータをテキストファイル(.dat形式)に変換し、SOLIDWORKSの材料プロパティに読み込ませた。材料モデルタイプは、実験データの曲線を忠実にトレースさせるため「非線形弾性」に設定した。また、解析に必要なポアソン比や質量密度( $\rho$ )については、一般的な文献値を適用した。

### 3.5 境界条件（拘束および荷重）

実際の引張試験の状態を模擬するため、以下の境界条件を設定した。まず拘束条件として、試験片の一方の端面（つかみ部）に対し、完全固定（変位ゼロ）の拘束を付与した。次に荷重条件として、もう一方の端面に対し、軸方向への引張荷重（または強制変位）を与えた。荷重の大きさは、実験で記録された最大荷重（引張強さ相当）を設定し、解析を実行した。

SolidWorks を用いてシミュレーションを行った。そして実験から得られたデータを使用する。また、実験と同じように 3 回計測する。シミュレーションで得られたグラフを次に示す。

得られたグラフでの「節点」はシミュレーションを行った際に最大応力が発生した部位である。はじめに鋼のシミュレーション結果を示す。

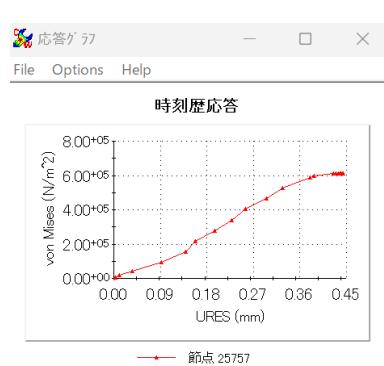


図 9(鋼 1 回目)

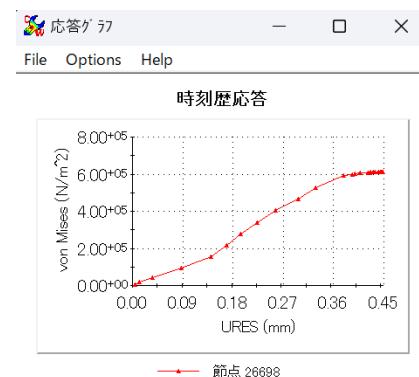


図 10(鋼 2 回目)

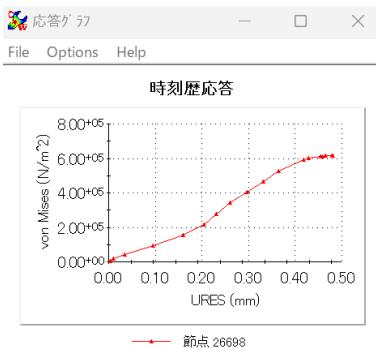


図 11(鋼 3 回目)

次にアルミのシミュレーション結果を示す。

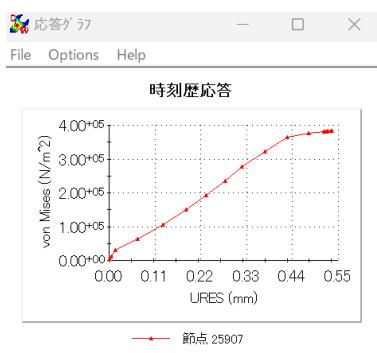


図 12(アルミ 1 回目)

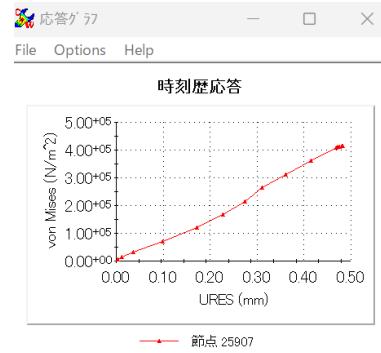


図 13(アルミ 2 回目)

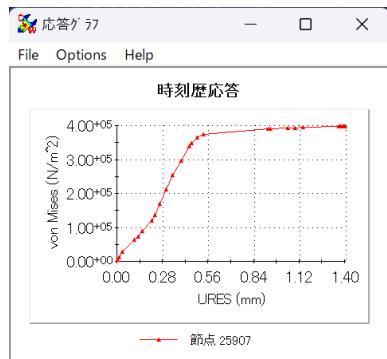


図 14(アルミ 3 回目)

最後に銅のシミュレーション結果を示す。

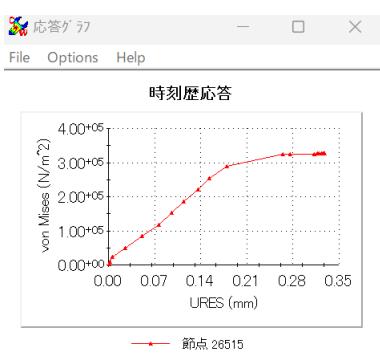


図 15(銅 1 回目)

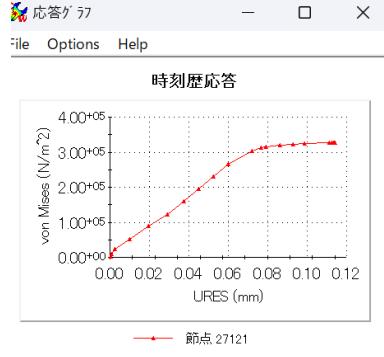


図 16(銅 2 回目)

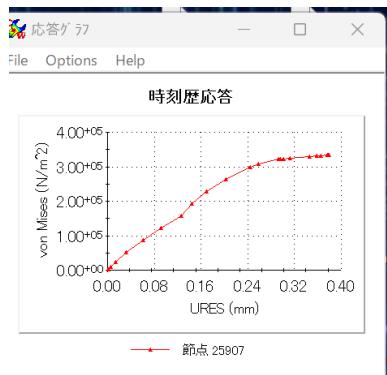


図 17(銅 3 回目)

#### 4.まとめと考察

材料の強度設計では、使用環境下で安全かつ信頼性の高い構造を実現するために、材料が外力に対してどのように変形・破壊するかを正確に把握する必要がある。その指標として最も基本的で重要な試験が引張試験と硬さ試験である。本考察では、この二つの試験で得られる値が、強度設計の安全基準にどのように結びつくかを整理し、その設計的意義を考察する。

##### 4.1 引張試験から得られる設計情報と安全性の考え方

引張試験では、応力-ひずみ曲線から以下の主要特性が得られる：

- ・弹性限界（比例限）：弹性変形の限界

- ・降伏点：永久変形が始まる点
- ・引張強さ（UTS）：最大荷重に対応する強度
- ・破断伸び・絞り：延性・靭性の評価指標

これらの値は、強度設計の基礎方程式である「許容応力」を決定する際の根拠となる。

#### 4.2 延性の把握による安全性確保

引張試験の後半で得られる破断伸び等は、材料が破壊に至るまでどれだけの塑性変形が可能かを示す。

- ・延性材料：大きく変形してから破断
- ・脆性材料：ほぼ変形せず突然破断

延性材料は安全性が高いことがわかる。対して脆性材料は脆性破壊なので延性値が低い材料は、設計時に高い安全率を採用する必要がある。

#### 4.3 応力-ひずみ曲線から構造の実挙動の推測

弾性域・降伏・加工硬化・くびれ・破断といった多段階の挙動を把握することで、

- ・異常荷重が加わった時の材料挙動
- ・設計形状における応力集中の許容範囲
- ・長期間の荷重下での変形の可能性

などを見積もることができ、安全設計に直結する。

#### 4.4 硬さ試験から得られる設計情報と安全性の考え方

硬さ試験（ビックカース・ロックウェル・ブリネル）などは、材料の表面に圧子を押し込み、そのへこみから硬さを評価する試験である。硬さ試験は非破壊に近く、迅速で、微小試料でも測定できる点から、材料の品質管理や現場評価に最も広く使われている。

##### 4.4.1 硬さは疲労強度や摩耗寿命の指標もある

- 硬さが高いと、一般に
- ・疲労強度が向上
  - ・摩耗しにくく表面損傷に強くなる
  - ・弾性変形が小さくなるため寸法精度が安定

といった利点があり、長期使用における安全性に寄与する。

##### 4.4.2 総合考察

引張試験は材料の基礎的な強度と延性を直接測定し、設計の許容応力を決定する最重要試験である。一方、硬さ試験は非破壊かつ迅速に材料の強度や疲労特性を推定でき、生産・運用段階での安全性確認に極めて有効である。このように、引張試験と硬さ試験は、材料の安全性を確保するための基本的かつ不可欠な手法として強度設計に密接に関わっている。

### 5. 参考文献

- ・日本産業規格 (JIS) G 3101 「一般構造用圧延鋼材」
- ・日本産業規格 (JIS) H 4000 「アルミニウム及びアルミニウム合金の板及び条」
- ・日本産業規格 (JIS) H 3100 「銅及び銅合金の板及び条」
- ・国立天文台 編『理科年表 2024』 丸善出版
- ・日本機械学会 編『機械工学便覧 基礎編 α3 材料力学』 丸善出版