

材料評価学 第3回

- 前回：
- 引張試験における
 - ・ 応力-ひずみ線図
 - ・ 公称応力と真応力
 - ・ 公称ひずみと真ひずみ



- 今回：
- 引張試験における
 - ・ 真ひずみの意義
 - ・ 降伏現象
 - ・ 耐力
 - ・ 材料の変形挙動

3. 引張試験 2

3.1 真ひずみの意義

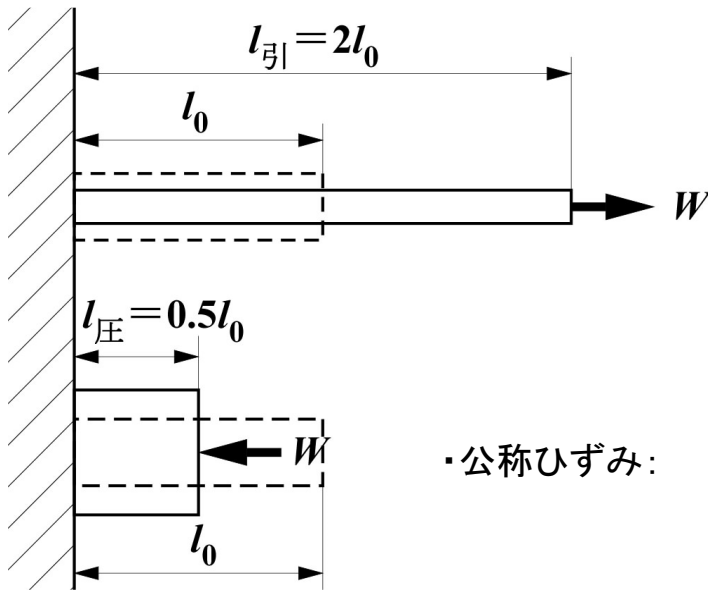


図 3.1 引張と圧縮

・2本の棒に対して、

(a) 引張で2倍の長さに変形: $l = 2l_0$

(b) 圧縮で1/2の長さに変形: $l = 0.5l_0$

・公称ひずみ: $\epsilon_n(a) = \frac{2l_0 - l_0}{l_0} = 1$

$\epsilon_n(b) = \frac{0.5l_0 - l_0}{l_0} = -0.5$



●材料に対する負荷としては等価→

引張と圧縮では公称ひずみが一致しない。

・真ひずみ: $\epsilon_t(a) = \ln \frac{2l_0}{l_0} = \ln 2 = \underline{0.693}$

$\epsilon_t(b) = \ln \frac{0.5l_0}{l_0} = \ln 0.5 = \underline{-0.693}$



●真ひずみで表わせば
等価可能

引張と圧縮も等価に

・注: ϵ が微小な範囲では $\epsilon_n \doteq \epsilon_t$

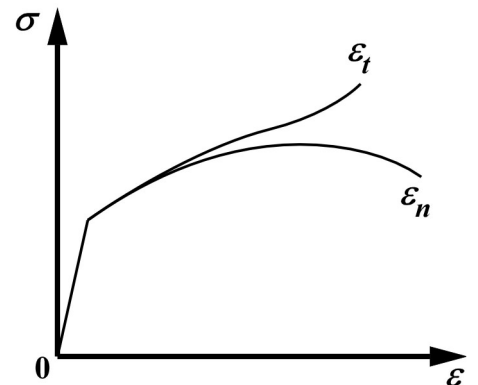


図 3.2 応力—ひずみ線図の
公称ひずみと真ひずみ

3.2 降伏現象

- ① 溶質原子による転位の固着 } から説明される。
 ② 転位の増殖と運動速度の関係 }

●転位の固着

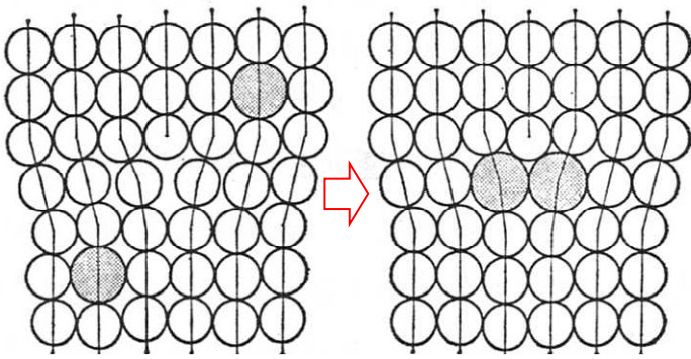


図 3.3 転位の固着

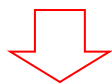
- ・ 転位の応力場に溶質原子が引き寄せられる
- ・ 転位の応力場を緩和し、転位の運動を阻害する。

●Johnston - Gilman の降伏理論

・ 結晶の塑性変形速度 $\dot{\epsilon}$ ($= \frac{d\epsilon}{dt}$) , $\dot{\epsilon} = \rho b v$

ρ : 転位密度
 b : バーガスベクトル
 v : 転位の運動速度

・ v とせん断応力 τ の関係: $v \propto \tau^m$ m : 結晶により異なる定数

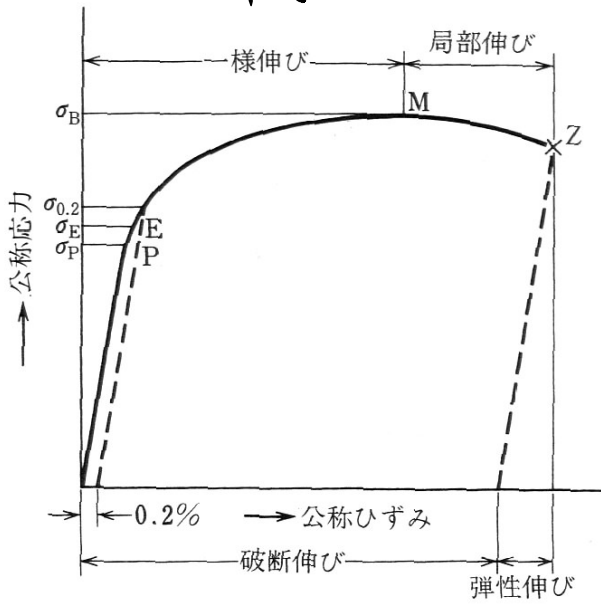


- (1): 転位が固着された結晶に一定変形速度 ($\dot{\epsilon}$ 一定) で応力をかけた
 - (2): 上昇伏点に達すると、転位源の活動による 急激な ρ の増加
 - (3): $\dot{\epsilon} = \rho b v$ より、 v の減少
 - (4): $v \propto \tau^m$ より、 τ の低下 \rightarrow 上昇伏点から下降伏点への低下に対応
 - (5): 下降伏点に達すると、転位間の相互作用による 実質的 ρ の低下
 - (6): $\dot{\epsilon} = \rho b v$ より v 増加 \rightarrow $v \propto \tau^m$ より τ 増加
- \hookrightarrow 下降伏点以降の挙動

目的

3.3 耐力

・0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$: ~~明確な降伏点~~を示さない下平の金属材料において、
の代りとなる指標、



前回 図 2.3

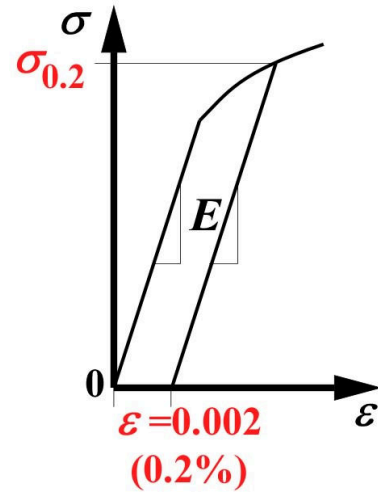


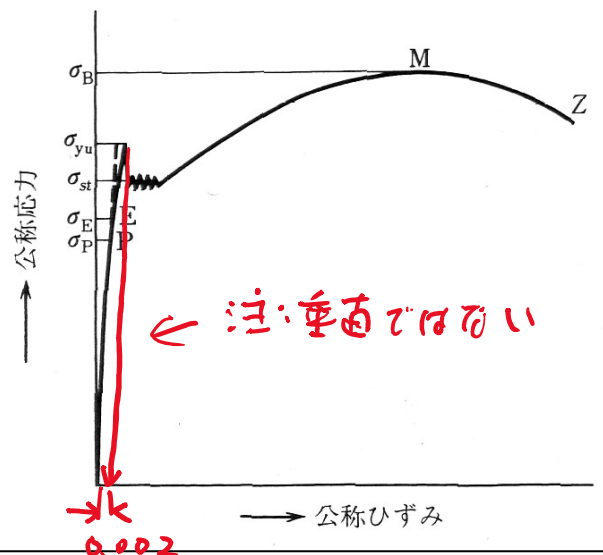
図 3.4 耐力の定義

・耐力の求め方

- ① 横軸(ひずみ軸)上に0.2%ひずみ ($\epsilon = 0.002$)の点を取る。
- ② ①の点から、弾性変形領域と平行な直線を応力-ひずみ曲線と交差するまで引く。
- ③ ②の交点における応力を「0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ 」と定義する。

・問い: 耐力を求める基準として「0.2%のひずみ ($\epsilon = 0.002$)」を用いる根拠は?

軟金属の降伏点に対応するひずみがほぼ $\epsilon = 0.002$ であることから



3.4 材料の変形挙動

降伏 $\frac{\sigma}{\epsilon} < \frac{\sigma_n}{\epsilon_n}$ ← $A d\sigma + \sigma dA = 0 \rightarrow$ 試験片が
 壊れる $\frac{d\sigma_n}{d\epsilon_n} = 0$ 最大の荷重

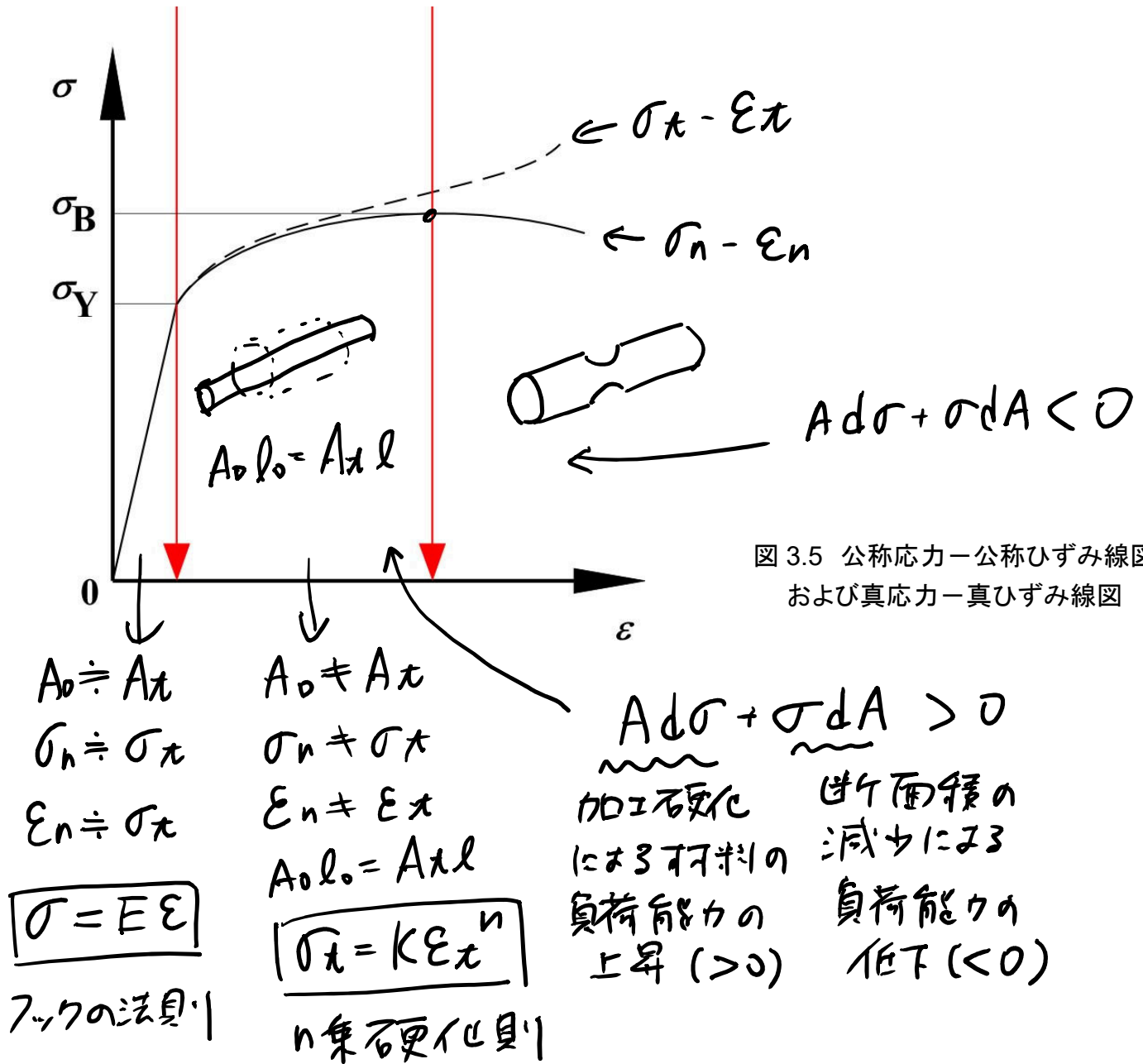


図 3.5 公称応力-公称ひずみ線図
 および真応力-真ひずみ線図

3.5 第3回講義に関する意見・感想・質問のまとめ

●意見・感想

- ・よく復習する, 詳しい内容を復習する, 復讐にもっと力を入れるべき, 引き続き勉強したい, 降伏現象をしっかりと理解したい, 定義式を確実に覚えていきたい, グラフからどんなことが読み取れるのか復習する, ヤング率を久しぶりに見てわからなかったので復習する, 転位や加工硬化を復習する:24
 - ・今回の講義で真ひずみの重要さと意義を理解できた, グラフから試料にどのような変化が起こっているか分かった, 領域毎の特徴などが分かりやすく説明された, 降伏理論についてよく理解できた, 図があったことで今日出てきた式が分かりやすかった, 応力-ひずみ線図への奥深さを感じた, 耐力の 0.2%の意味を理解できてすっきりした:10
 - ・小テストで思っていたより時間がかかった, 小テストできた気がする, 自然対数と常用対数を間違えた, 真ひずみの式を覚えていなかった, 頑張っただけで勉強して公式を理解できていたので多分解けた, 解答に苦戦した, 1 問目に時間をかけすぎて 2 問目が解けなかった:9←今回の小テストは平均 7.1 点, 満点 21 名でした. コメントにもあるように自然対数と常用対数の間違いが多く見られましたので, (授業でも言ったと思いますが)自分の関数電卓においてどのボタンが自然対数でどのボタンが常用対数なのか今一度確認しておいてください.
 - ・真ひずみの理解度が不足していた, 転位やバーガースベクトルについて忘れていた, 前回内容の復習が足りなかった, σ と ε をたまに見間違える, 去年やった転位の内容をほぼ完全に忘れていた:8
 - ・資料はそのまま見られるようにしてほしい:2←このコメントについてよく意図が理解できなかったのですが, スクリーン上で前に戻ったことを指しているのでしょうか?だとすると同じ図を異なる箇所で説明する場合は 2 回も 3 回も載せとけ, ということ?そうする場合もありますけど, 普通は無駄でしょう. ましてや, スクリーンだから行ったり来たりすることになりますが, 皆さんのプリントなら前の場所も見返せるわけですし.
 - ・明瞭の「瞭」が誤っていた←ご指摘感謝します.
 - ・ $\Delta\sigma + \sigma dA$ という式の形が熱力学などでよく見る形だったので面白い
 - ・出入り口の開閉について:閉めたほうがいい 5 開けたままがいい 5
- ←きしくも同数となってしまいましたので, 試しに次回は閉めたままやってみましょう.

●質問

- ・転位の固着は物理的な構造によって起こるのか, それとも化学的な結合が影響するのか?←化学的な結合ではなく, 転位による原子配列の乱れ, 結晶原子と溶質原子の寸法差, 等に起因する物理的要因です.
- ・塑性変形の際に溶質がまとまって析出することは起こり得るか?←析出等は, 温度変化による状態変化に伴って生じることが普通かと思います. 単なる塑性変形で析出が生じるというのは, 私は聞いたことがないですね.
- ・降伏現象の ρ の増加について, 転位が動き始めて原子がぎゅうぎゅうになって増加する感じか?←原子が増えるわけではないですが, 転位運動に伴って原子配列の乱れも増えていくということです.
- ・0.2%ひずみを用いる根拠がよくわからなかった←降伏点のひずみが 0.002 程度, ということです.
- ・塑性変形速度の式の両辺は次元が揃っていないのでは?←左辺は単位時間あたりのせん断ひずみですので次元は $[1/T]$, 右辺は「単位体積あたりの長さ」×「長さ」×「単位時間あたりの長さ」なので $[L/L^3 \cdot L \cdot L/T] = [1/T]$ ですので合っています.

3.6 第2回小テスト解答

Q.1 ヤング率 $E = 200.0$ GPa, 元の長さ $l_0 = 100.0$ mm, 元の直径 $d_0 = 10.0$ mm の丸棒を垂直荷重 $W = 200.0$ N をかけた結果, 公称ひずみ $\varepsilon_n = 2.00 \times 10^{-2}$ であった. 材料は塑性変形を生じており, かつ均一伸びの状態だった.

Q.1 この時点の伸び λ [mm]を求めよ. [6点]

A.1 $\varepsilon_n = \frac{\lambda}{l_0} \rightarrow \lambda = \varepsilon_n \cdot l_0 = 2.00 \times 10^{-2} \cdot 100.0 = 2.00$ mm

Q.2 この時点の真ひずみ ε_t [-]を求めよ. [4点]

A.2 真ひずみと公称ひずみとの関係式 $\varepsilon = \ln(\varepsilon_n + 1) = 0.01980\dots = 1.98 \times 10^{-2}$