

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

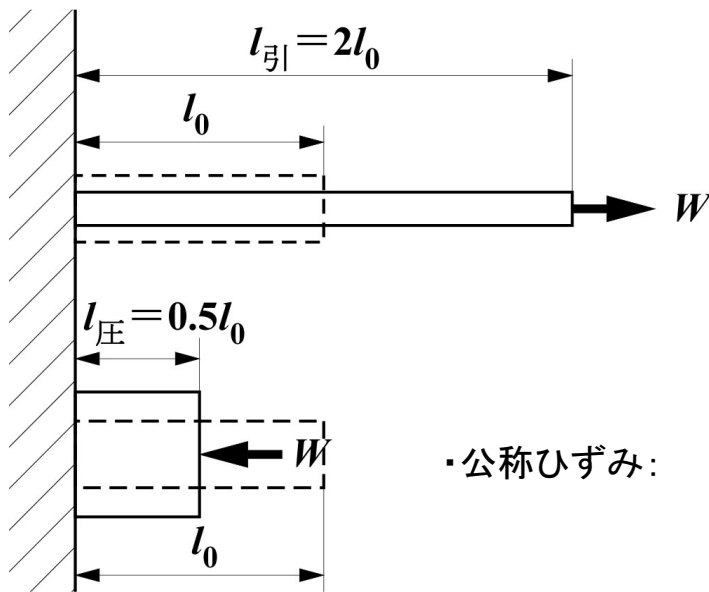


図 3.1 引張と圧縮

・2本の棒に対して、

(a) 引張で2倍の長さに変形:

(b) 圧縮で1/2の長さに変形:

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

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



●材料に対する負荷としては等価→

引張長と圧縮では公称ひずみが一致しない。

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

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



●真ひずみで評価することで、等価な引張長と圧縮では値が一致する。

・注: ひずみが微小な領域では $\varepsilon_n \doteq \varepsilon_t$

↓
塑性変形の進行に伴い ε_n と ε_t の差が拡大する。

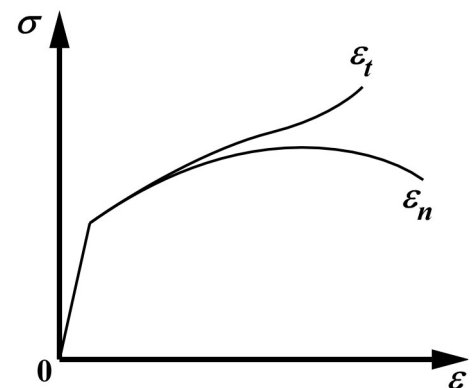


図 3.2 応力—ひずみ線図の公称ひずみと真ひずみ

3.2 降伏現象

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

●転位の固着

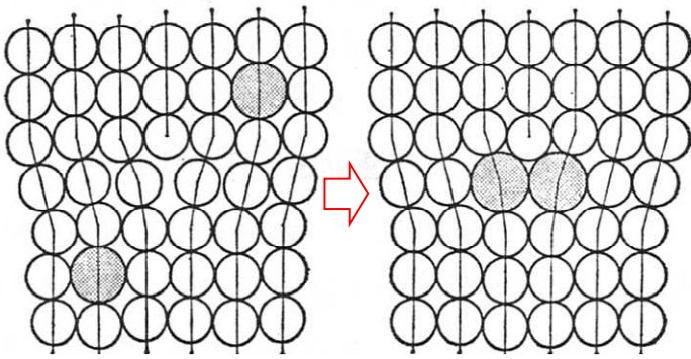


図 3.3 転位の固着

- ・ 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。
 (コントロール需要)

●Johnston - Gilman の降伏理論

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

ρ : 転位密度, b : バーガーズベクトル,
 v : 転位の運動速度

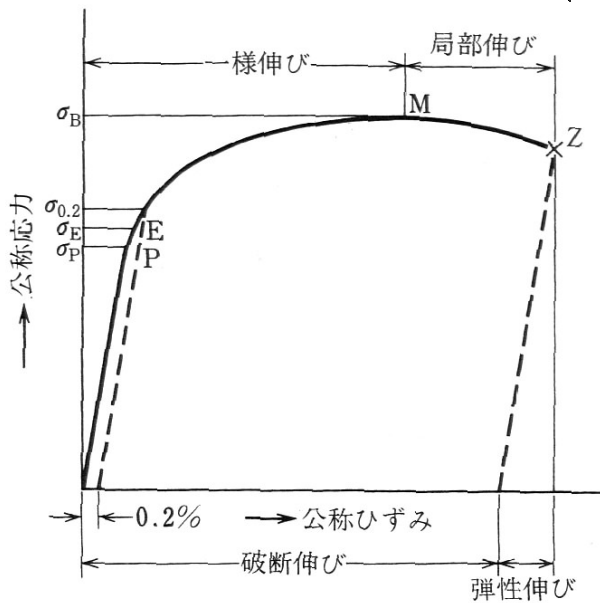
・ v とせん断応力 τ の関係: $v \propto \tau^m$, m : 結晶により決まる定数



- ↓
- (1): 転位が固着された結晶に一定速度 ($\dot{\gamma}$ 一定) で応力を加える
 - (2): 上降伏点に一致する応力で、転位源の活動力による急激な ρ 増加
 - (3): $\dot{\gamma} = \rho b v$ より v の減少
 - (4): $v \propto \tau^m$ より τ の低下 $\rightarrow$ 下降伏点に対応
 - (5): ρ の増加による転位間の相互作用により、可動可能な転位の減少
 - (6): $\dot{\gamma} = \rho b v$ より v 上昇 $\rightarrow v \propto \tau^m$ より τ 上昇

3.3 耐力

・0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$: 明確な降伏点を示さない大半の金属材料において、降伏点の代りとなる指標



前回 図 2.3

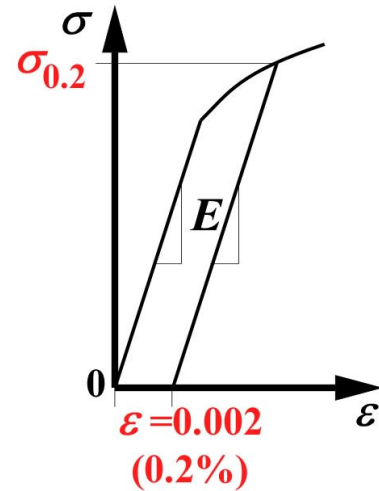


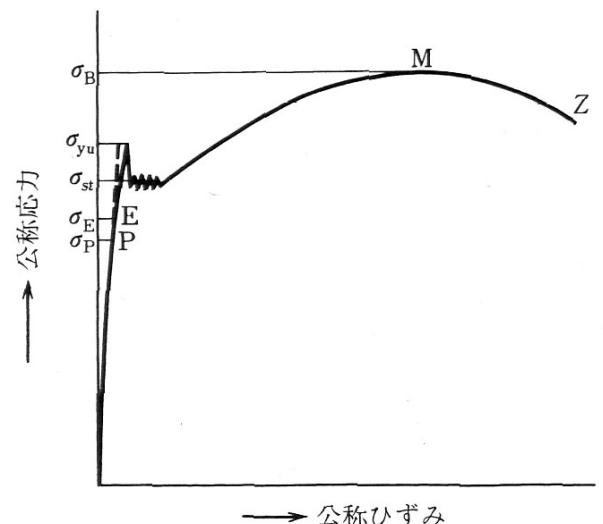
図 3.4 耐力の定義

・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、弾性変形領域の直線と平行な直線を描き、応力-ひずみ曲線と交差するまで引く。
- ③ 応力-ひずみ曲線との交点の応力を「0.2%耐力」と定める。

・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?

・軟金属の降伏点に合わせて。



3.4 材料の変形挙動

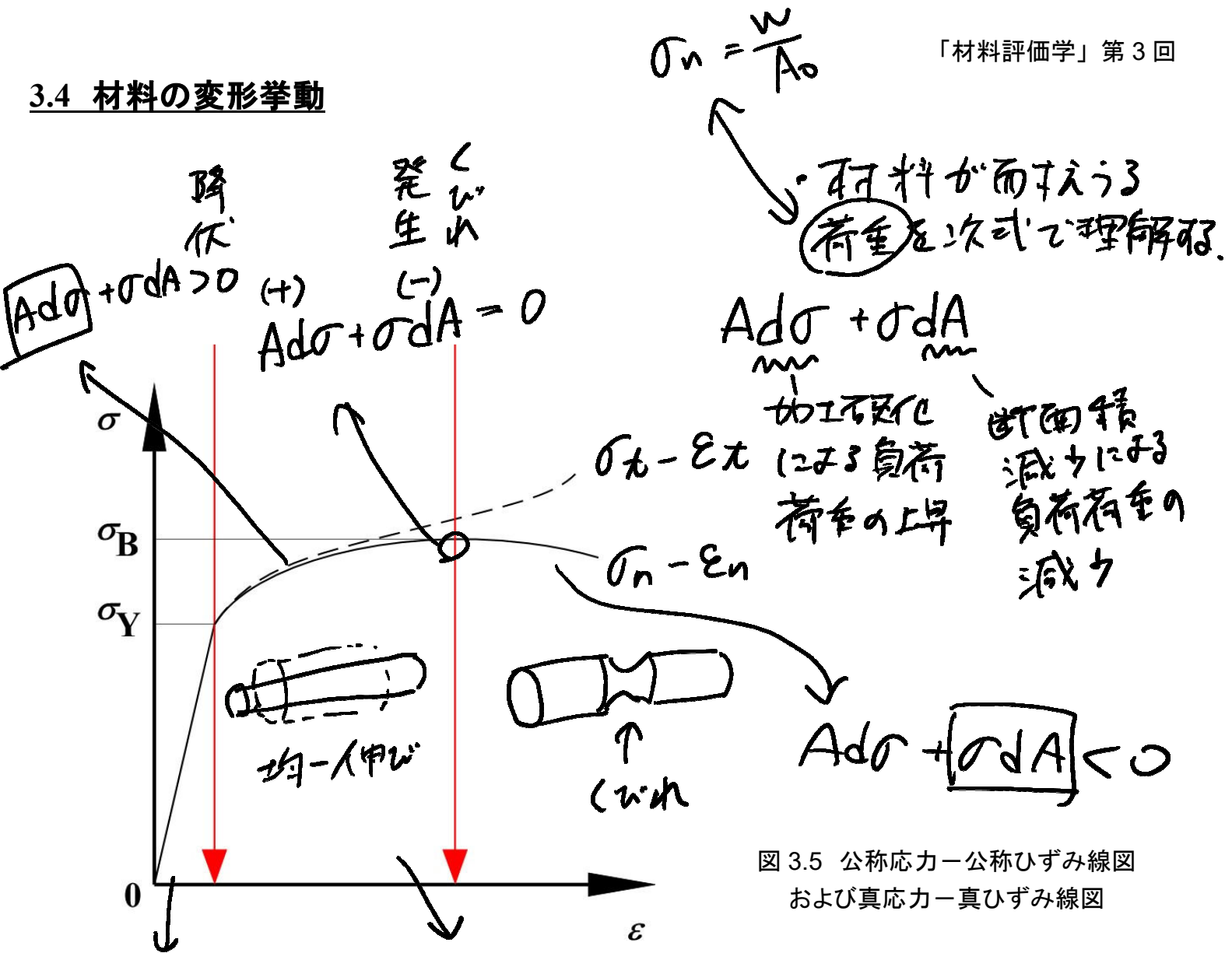


図 3.5 公称応力-公称ひずみ線図
および真応力-真ひずみ線図

$$A_0 \doteq A_n$$

$$\sigma_n \doteq \sigma_e$$

$$\varepsilon_n \doteq \varepsilon_e$$

$$A_0 \neq A_n$$

$$\sigma_n \neq \sigma_e$$

$$\varepsilon_n \neq \varepsilon_e$$

$$\sigma = E \varepsilon$$

フックの法則

$$\sigma_e = K \varepsilon_e^n$$

バネ系硬化則

K: 塑性係数

n: 加工硬化指数

3.5 第3回講義に関する意見・感想・質問のまとめ

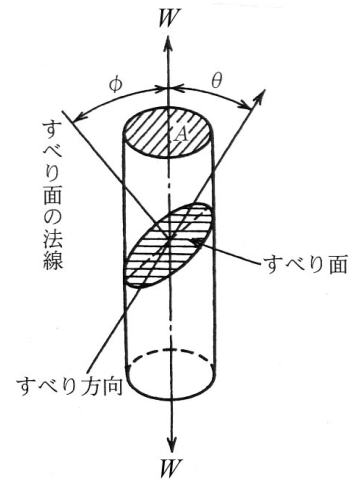
●意見

- ・復習する, 転位について忘れていたので去年の復習をする, バーガースベクトルなど忘れていたので復習する, 全体の流れを復習する, 覚えることが増えてきたので総復習する, 小テストで点が取れるように復習する, 分からない単語が出たので復習する, 次の小テストの勉強は満遍なくやる, グラフの読み取りは苦手なのでしっかり理解する, 難しくなってきたので復習する, 応力ひずみ線図の復習を頑張る:22
- ・応力ひずみ線図を使った変形挙動の理解でまだ少し混乱している, 最後がややこしく感じた, 最後の荷重の式が理解できなかった, :11 ← $\Delta\sigma + \sigma dA$ の式に関しては少し難しかったかもしれませんが, 材料が耐える荷重 W の上昇(くびれ発生前まで)は加工硬化の影響が, W の減少(くびれ発生以降)は断面積減少の影響がそれぞれ大きい, と理解してもらえればいいです.
- ・小テストで自然対数を常用対数で計算してしまった, 解答に自信がなかったので確認する, 今日の小テストも何かとイマイチだった, 前回しっかり授業を受けて問題に取り組んだので容易く解けた, 小テストの勉強をしっかりとしたので授業内容がよく入った, 問題文に E が入ってくるとフックの法則を用いてしまいそうになる, 小テストができて安心した:8 ← 今回の小テストは平均 7.5 点, 満点 30 名でした. コメントにもありましたが 2 問目で常用対数を使ってしまった人が数人いました(2 点減点にしました).
- ・耐力の基準がよく考えられているなと思った, 真ひずみを定義する意義が分かった, 耐力の意味と求め方を理解できた:7
- ・降伏理論を自分で説明できるようにしたい, 降伏現象について理解が難しかった, 降伏現象の辺りから理解が追いつかなくなってしまったので次の小テストが不安, (5)→(6)のつながりがよくわからなかった:6 ← 降伏理論については以下の質問のところで補足します. なお, 次の大事なところとして「耐力の求め方」を挙げたんですが, 聞いてなかったんでしょうか?
- ・ $\Delta\sigma + \sigma dA$ の式の意味を理解した, この式で材料の変形を追うことで理解しやすかった, くびれが発生し公称応力が減少する理由がある程度理解できた:3
- ・図表があるので内容が理解しやすかった, 理解に困る場所はなかった:2
- ・転位の内容を忘れていて再確認することができてよかった
- ・小テストの日付欄に誤った日付を書いてしまった ← 前回コメントにも書いたように, 日付は間違っても問題ありません.
- ・降伏現象に対する理解を去年よりも深められた ← 去年は降伏現象の説明はしていませんが...
- ・公称ひずみと真ひずみの差に驚いた
- ・耐力の由来がガバガバすぎておかしかったので自分で調べてみる ← 工学ですからそんなもんです. 設計に際しては, 降伏応力にさらに安全率をかけた「許容応力」が基準になりますので, 降伏応力が数~十数 MPa 変わったとて実質的に問題ありません.
- ・授業のペースに慣れてきた
- ・大木研究室の HP にある授業ファイルをスマホで閲覧すると途中で「繰り返し問題が起きました」と表示されて見れなくなってしまう ← 私のスマホでも試してみましたが, 特に問題なく表示されました.

●質問

- ・小テストの返却や解説は行わないのか? ← 返却は行いません(成績評価における根拠データとして 5 年間保管する必要があるため). 自分の解答は覚えていますよね? 解説が必要なほど複雑な問題を出題していませんので, 毎回解答のみを示しています(必要な補足は書き足しています).

- ・単位変換は計算が終わった後にしたほうがいいのか？←私は、計算前に必要な単位変換を終わらせてから計算するやり方で計算します。
- ・降伏理論において可動可能な転位が減少すると v がなぜ上昇するのか？←(2)→(3)の流れの逆と考えてください。 $\dot{\gamma}$ が一定値なので、 ρ が減少すれば v が上昇しないと釣り合いません。
- ・材料が耐えうる荷重と $\sigma_n=W/A_0$ に違いがあるのか？←説明が誤解を招いたかもしれませんが、「材料が耐えうる荷重」とは、引張試験中に試験片に負荷されている試験荷重 W のことです。ですので、くびれ発生後は試験荷重 W が急激に減少して破壊に至ります。
- ・ $\dot{\gamma}$ 一定で応力を加えているのに v や τ が上下することが想像できない←去年勉強した「分解せん断応力(右図)」のことを思い出してください。試験片に作用する試験荷重 W と、実際に転位の駆動力となるすべり面・すべり方向に作用するせん断応力 τ は別物ですし、転位の運動速度と試験片全体の変形速度も別物です。
- ・(転位の固着について)溶質原子の含有量によって上降伏点と下降伏点の応力差が変化するのか？←これは良い着眼点ですね、私もその点についてはよく考えたことはありませんでした。ネットで調べた限り、軟鋼(低炭素鋼)でも高炭素鋼でも上降伏点と下降伏点は現れるが、上降伏点と下降伏点の差については高炭素鋼ではむしろ小さくなる(不明瞭になる)、とのことでした。ですので、まず低炭素鋼レベルの炭素含有量でも転位の固着を生じるには十分な炭素量である、ということですね。上降伏点と下降伏点の差が小さくなるのは、高炭素鋼になると降伏点自体が上昇していることと関係がありそうですが、私自身もまだ理解しきれていません。
- ・公称ひずみは縦ひずみという認識でいいのか？←いいです。
- ・なぜ真応力-真ひずみ線図は上昇するのか？←真応力の式の定義から考えてみてください。
- ・耐力の基準としてなぜ軟鋼に合わせたのか？←軟鋼においてのみ明瞭な降伏現象が生じるからです。
- ・公称ひずみを用いるほうが良い場面とは？←場面としては特にはないと思います。メリットは計算がしやすいことで、また変形方向が揃っていれば相対的比較として問題は生じません。
- ・溶質原子が転位の応力場に引き寄せられる時元々溶質原子があったところはどうなるのか？←溶質原子がなければ、各原子はその結晶として最も安定する位置をとります。
- ・可動可能な転位が減少することは転位密度が減少することなのか？←ここがややこしいところで、転位が消滅するわけではなく相互作用によって可動できる転位が減るだけなので、組織内の転位数や転位密度は減りません。ただ、実際可動できる転位数やそれに基づく「実質的な転位密度」は減少する、ということです。
- ・合金では転位の固着は起きるのか？←起きません。同じ鉄系の材料でも、ステンレス鋼は一般的な応力-ひずみ挙動(明瞭な降伏点がない)を示します。



3.6 第2回小テスト解答

Q.1 ヤング率 $E = 200.0 \text{ GPa}$, 元の長さ $l_0 = 100.0 \text{ mm}$, 元の直径 $d_0 = 10.0 \text{ mm}$ の丸棒を垂直荷重 $W = 200.0 \text{ N}$ 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 $\varepsilon_n = \frac{\lambda}{l_0} \rightarrow \lambda = \varepsilon_n \cdot l_0 = 2.00 \times 10^{-2} \cdot 100.0 = 2.00 \text{ mm}$

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 $\varepsilon_t = \ln(\varepsilon_n + 1) = 0.01980... = 1.98 \times 10^{-2}$

注:ここで常用対数と自然対数の取り違えが数名→自身の関数電卓の機能を把握すること