

材料評価学 第4回

前回： 引張試験における

- ・ 降伏現象
- ・ 耐力
- ・ 加工硬化指数



今回： 引張試験における

- ・ くびれ発生時の応力とひずみ
- ・ 材料の変形挙動のまとめ
- ・ 材料の破壊

4. 引張試験 3

4.1 くびれ発生後の応力とひずみ

●くびれ発生後の応力

1): くびれ断面上の応力は
一様ではない

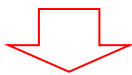
2): 応力状態も異なる

• くびれ断面の表面部
→ 単軸応力状態

• “ の中央部
→ 多軸応力状態

・ ~~最小断面の表面部~~

・ ~~最小断面の中央部~~



平均的応力としての公称応力 σ_n よりも真応力 σ_t が意味をなさなくなる。

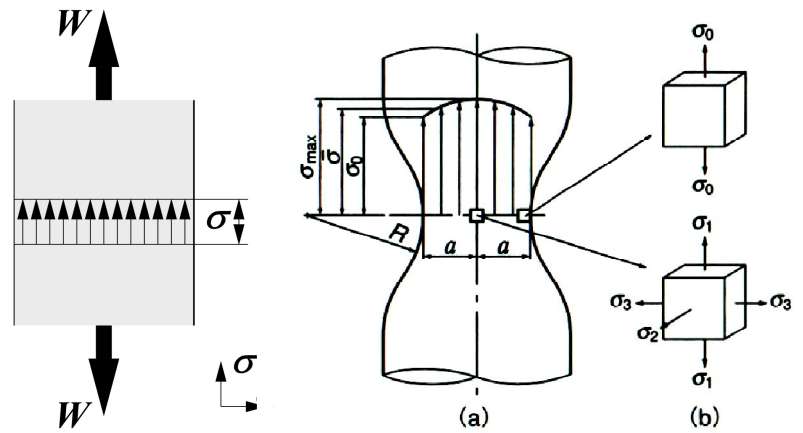


図 4.1 くびれ発生前後での応力状態の変化

・ 問い: 降伏応力 σ_Y は単軸応力状態と多軸応力状態で変化するか?

→ A. 変化する. (上昇する)

・ くびれ部の表面応力 σ_0 :

$$\sigma_0 = \frac{W / A_t}{1 + (a / 4R)}$$

・ くびれ部半径、くびれ部曲率が
大きく影響する。

● くびれ発生後のひずみ: 均一なひずみではなく、くびれ部において
局所的に高いひずみを生じる。

4.2 材料の変形挙動のまとめ

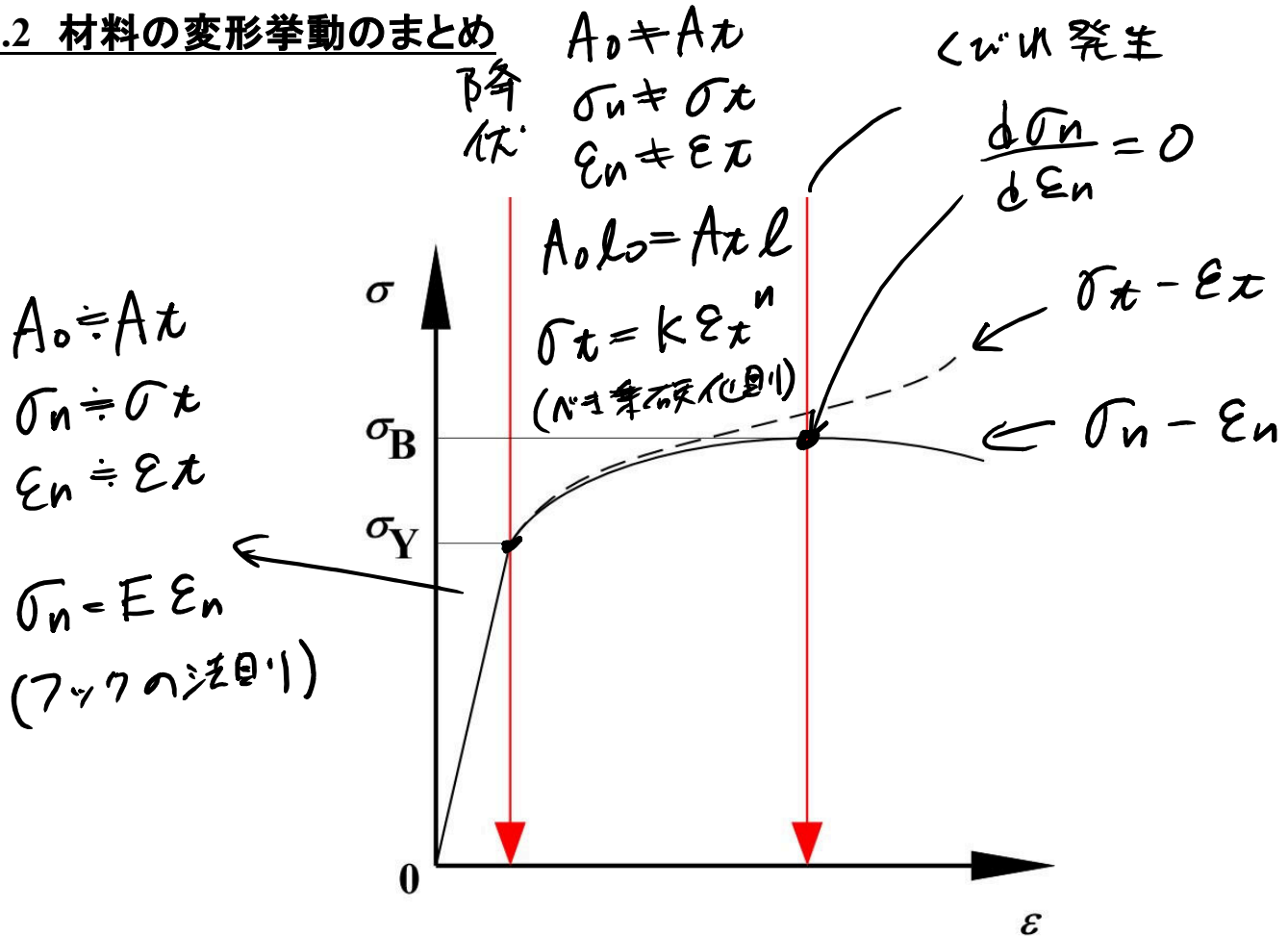


図 4.2 公称応力-公称ひずみ線図および真応力-真ひずみ線図

●なぜ公称応力-公称ひずみ線図は σ_B 以降に低下するのか？

→ その時点で材料が負担可能な (= 耐えられる) 荷重が、くびれ発生以降低下していくため。

・「加工硬化による影響」と「くびれ発生による影響」に分けて考える

①加工^{硬化}効果による影響: 塑性変形がしにくくなる = 密度上昇 $d\sigma > 0$

②くびれ発生による影響: 断面積の(急激な)減少, $dA < 0$

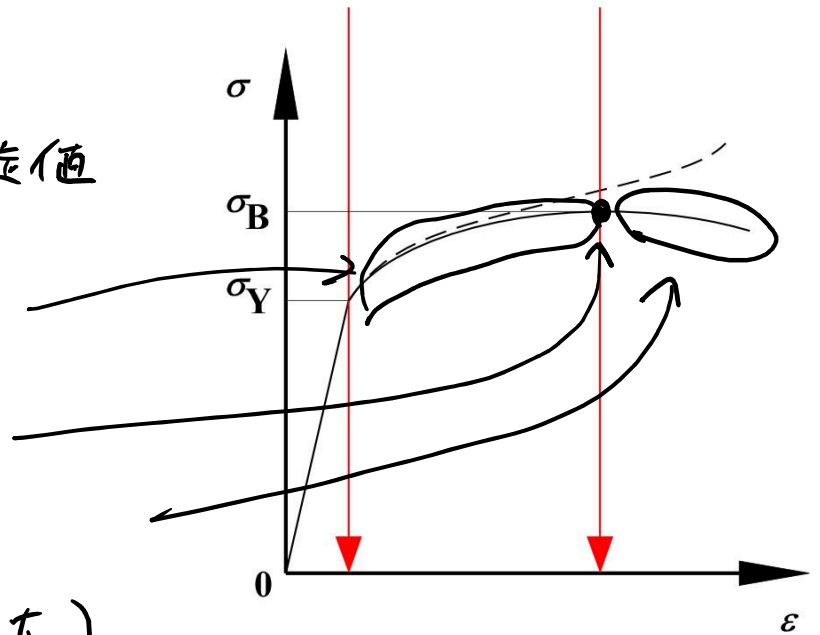
→ ①と②の影響を荷重の次元として表わし、その和を「その時点で耐えられる荷重」として定義する。

$$\begin{array}{l}
 \text{① 加工硬化による耐えられる荷重の増加} \\
 A d\sigma
 \end{array}
 +
 \begin{array}{l}
 \text{② 断面積減少による耐えられる荷重の減少} \\
 \sigma dA
 \end{array}
 \begin{cases}
 > 0 & (\text{均一伸領域}) \\
 = 0 & (\text{くびれ発生}) \\
 < 0 & (\text{くびれ以降})
 \end{cases}$$

→ 荷重 w - (伸び) λ 線図は、 $\sigma_n - \epsilon_n$ 線図
と同一の挙動を示す。

$$\therefore \sigma_n = \frac{w}{A_0} \leftarrow \text{一定値}$$

- $A d\sigma + \sigma dA > 0$
($d\sigma$ 大、 dA 小)
- $A d\sigma + \sigma dA = 0$
- $A d\sigma + \sigma dA < 0$
($d\sigma$ 小、 dA 極大)



4.3 材料の破壊

- 材料が示す強度：「変形に対する抵抗」と「破壊に対する抵抗」
- 破壊とは：一つの物が破壊面を形成して \Rightarrow 以上に分離する現象。

● 破壊形態の分類

- ・ 巨視的形態による分類
 - 延性破壊：明確な塑性変形を伴う破壊。 \rightarrow 金属、高分子
 - ぜい性破壊：塑性変形を伴わない破壊。
 \rightarrow ガラス、セラミックス
 \rightarrow 金属でも条件が揃えば生きていることがある。

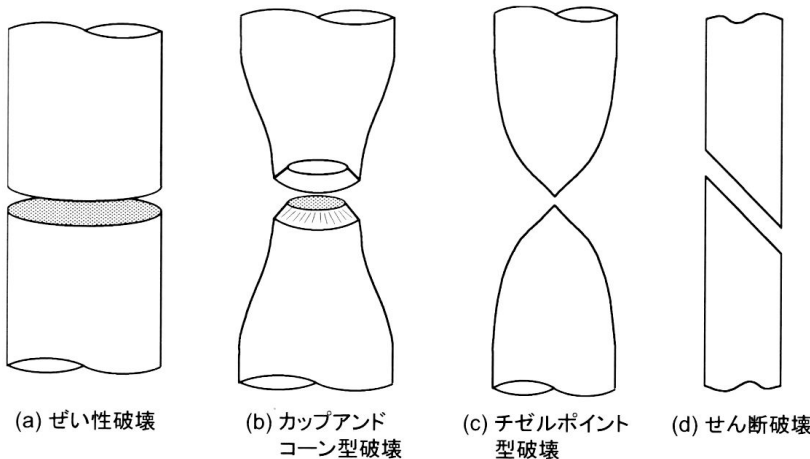


図 4.3 巨視的破壊形態

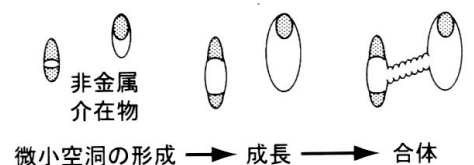
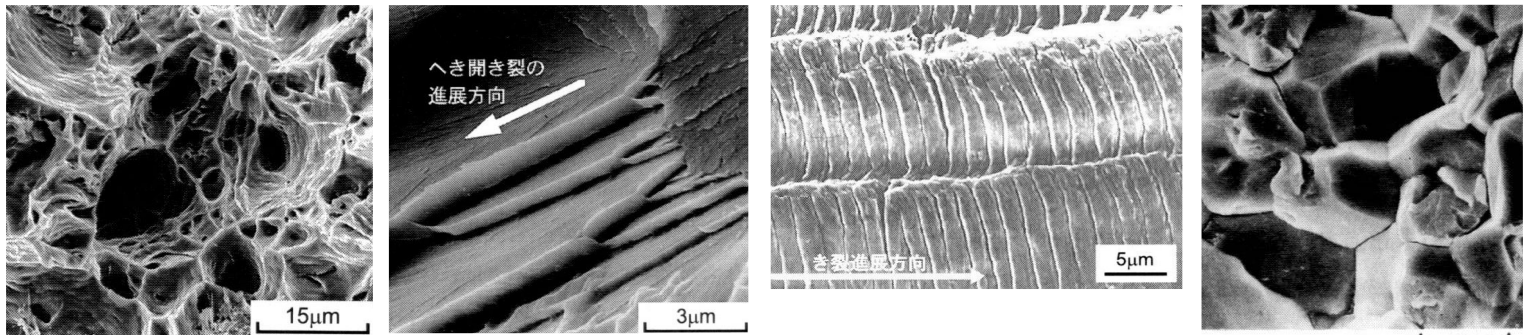
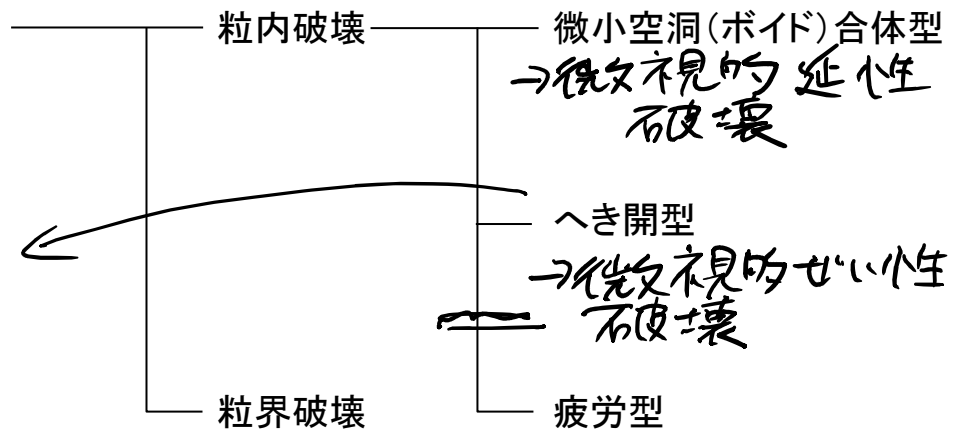


図 4.4 ポイド成長・合体

・微視的形態による分類

○へき開面



(a)ポイド型(ディンプル) (b)へき開型(リバーパターン) (c)疲労型(ストライエーション) (d)粒界破壊

図 4.5 微視的破壊形態

・問い:へき開破壊は,材料において特定の微細組織的特徴を有する「へき開面」においてのみ発生する.その「特定の組織的特徴」とは?

A. 面間距離が大きい, $bcc: \{100\}$ 面
 $hcp: \{1000\}$ 面

fcc : 一般的にへき開破壊は行わないが、
 水素脆化は $\{111\}$ 面や $\{100\}$ 面が脆弱。

●材料の破壊形態に関する動画映写

4.4 第4回講義に関する意見・感想・質問のまとめ

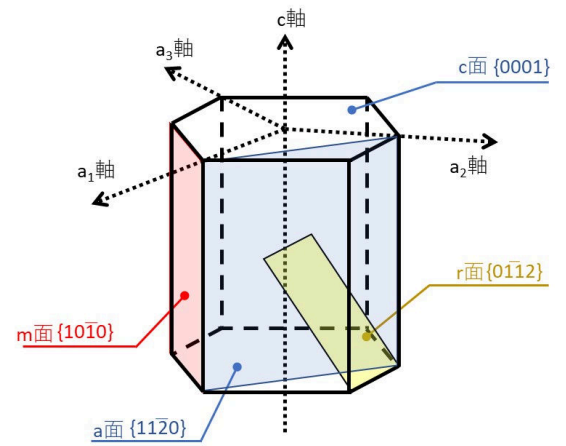
●意見・感想

- ・復習したつもりではあったが小テストが今ひとつ解けなかった、小テストが応用みたいで難しい、小テストも問題なく解けた、難しかったが授業内で似た内容が出てきて解けたかもしれないと思った、プリントの図と式をセットにして覚えるようにすると理解が進むと思った、例題を解いて勉強していく、あまり上手く解けなかった、解くための式を思いついた時にちょうど時間が来てしまった、小テストで単位の換算ができなかったので復習する、前回の内容をよく復習したため今回の小テストはよくできた、振り返りが疎かになり小テストの学習ができてなかった:16←今回の小テストは平均5.1人、満点13名でした。
- ・破壊にも様々な種類があり実験で観測したい、材料の破壊について理解が深まった、興味の強い内容だった、材料の変形挙動を理解することが出来た、弾性変形の際は $A_0 \cdot A$ はほぼ変化しないからほぼ同じということがイメージできた、イラストや図があってイメージがしやすかった、加工硬化による影響とくびれ発生による影響をよく理解できた:16←破壊の話聞く機会はほぼないと思うので、興味を持ってもらえてよかったです。
- ・前回の復習ができていなかった、復習が足りていなかった、心を入れ替えて予習復習に取り組む、変形や破壊についてよく復習する、復習をして次回の小テストに備えたい、言葉からしっかり理解していく、今まで勉強したことがごっちゃになって混乱している、過去に学んだことが小テストに出たので過去の資料を見直す、前回までの内容をかなり忘れていた:14
- ・有効数字を思い出してきた←それは良かった！
- ・降伏応力が何を示しているのか今回の小テストでようやく理解した←降伏応力を基準として設計されることがよくわかったと思います。
- ・小テストの問題を配布してほしい(練習用に)←それじゃ昨年の「参考問題」と同じになっちゃいます。専門応用科目でその対応はしません。
- ・破断面を見ていると金属って思っているより軟らかいのではという気がする←実際はとんでもない力がかかった結果なんですけどね。
- ・気温変動が大きいので体調管理に気をつける←大事です。
- ・今後の授業スケジュールを忘れない←これも大事です。
- ・小テストの問題が「～以上であればよいか」だったが" \geq "ではなく" $>$ "ではないか←確かに、その通りですね。
- ・「破壊について」というセリフが新鮮で面白かった←専門用語的には全然違和感ないですが、確かに日常会話として聞いたら奇妙ですね。
- ・(原文まま)道具が与えられていても時間がかかる問題を10分で試行錯誤するのは不可能。小テストで得点できない回は欠席しているのとほとんど同じ気がする←不貞腐れるのは勝手ですが、普通に時間内に解いている人がたくさんいることをまず知ってください。あと、授業を聞くことは意味がないですか？

●質問

- ・くびれ断面の中央部ではどうして多軸応力状態になるのか？←
- ・多軸応力状態だとなぜ降伏応力が上昇するのか？←これら2つの質問は関連するのでまとめて答えます。まずくびれの発生により、そこまでの均一伸び(直径方向(横方向)の変形は拘束されないため、横方向の応力は発生しない)から、くびれ部での急激な断面積の縮小により横方向の変形が拘束されるため、横方向にも応力が発生します。これが「多軸応力状態」です。この「横変形の拘束」により塑性変形の進行が抑制されるため、塑性変形開始の応力=降伏応力が上昇します。

- ・hcp のミラー指数はどうして4つ数字があるのか？ ←結晶構造が六方晶のため、軸が4本あるためです(右図参照).
- ・小テストが毎回解けないのでどういことを意識して勉強すればいいのか教えてほしい ←毎回、「重要なポイント」は授業の最後にお知らせしているはずですが・・・



4.5 第3回小テスト解答

Q.1 降伏応力 $\sigma_Y = 500.0 \text{ MPa}$, ヤング率 $E = 70.0 \text{ GPa}$, 元の長さ $l_0 = 100.0 \text{ mm}$ の丸棒を引張荷重 $W = 100.0 \text{ kgf}$ で引張るとき, 塑性変形しないためには元の直径 d_0 がいくつ以上であれば良いか求めよ. [10点, 部分点あり]

A.1

$$\sigma_n = \frac{W}{A_0} < \sigma_Y, \quad A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} \Rightarrow \frac{W}{\frac{\pi d_0^2}{4}} < \sigma_Y$$

$$\therefore d_0 > \pm \sqrt{\frac{4W}{\pi\sigma_Y}}$$

$$\sigma_Y = 500.0 \text{ MPa} = 500.0 \text{ N/mm}^2$$

$$W = 100.0 \text{ kgf} = 980.7 \text{ N}$$

$$\rightarrow d_0 > 1.5802... \approx 1.580 \text{ mm}$$

注: 有効数字4桁で解答していない場合は減点とした.