

材料評価学 第10回

前回： 硬さ試験における
・ 計装化押し込み試験



今回： 衝撃試験における
・ 「衝撃試験」とは
・ 衝撃吸収エネルギーと破壊形態
・ 延性-ぜい性遷移

10. 衝撃試験

10.1 「衝撃試験」とは？： 材料のじん性（せいせい破壊に対する抵抗、ねばり強さ）を評価するための試験方法。

一般的： 切欠を付与した試験片に対するの衝撃曲げ試験

高変形速度

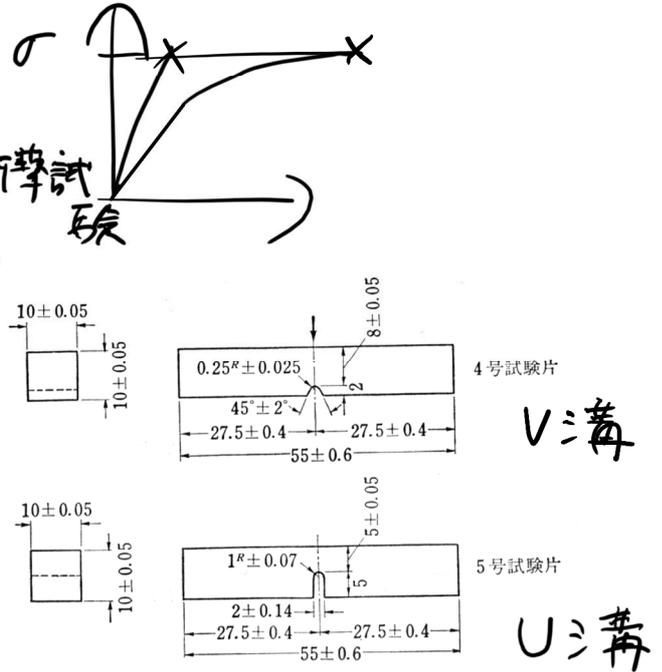
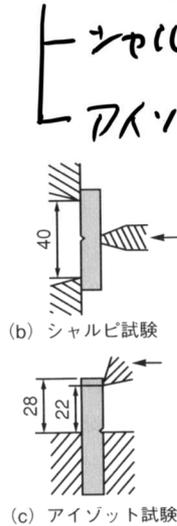
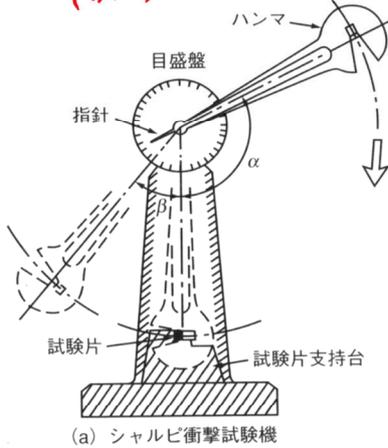


図 10.1 切欠き付き試験片の衝撃曲げ試験

図 10.2 シャルピー衝撃試験片

10.2 シャルピー衝撃試験

●試験方法： ハンマを所定の持ち上げ角 α から回転させて落下させ、支持台に設置した試験片を破断した後の振り上がり角 β を測り定する。

●定義式

●衝撃吸収エネルギー：

破断に要したエネルギー

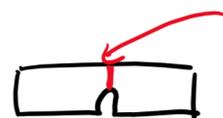
$$E = WR (\cos \beta - \cos \alpha) \quad [\text{J}]$$

W: ハンマ重量 [N], R: ハンマ重心までの距離 [m]
 α : 持ち上げ角 [°]
 β : 振り上がり角 [°]

●シャルピー衝撃値：

単位面積あたりの E

$$C = E / A \quad A: \text{切欠き部の断面積} \quad (\text{m}^2)$$



・ 例題: 焼入れした構造用炭素鋼 S45C 試験片にシャルピー衝撃試験を行ったところ, $\beta = 138.1^\circ$ であった. $W = 38.84 \text{ kgf}$, $R = 0.725 \text{ m}$, $\alpha = 141.0^\circ$ のときの材料の衝撃吸収エネルギー E を求めよ.

$$E = 38.84 \times 9.807 \times 0.725 \times (\cos 138.1 - \cos 141.0)$$

9.07 J

10.3 衝撃吸収エネルギーと破壊形態

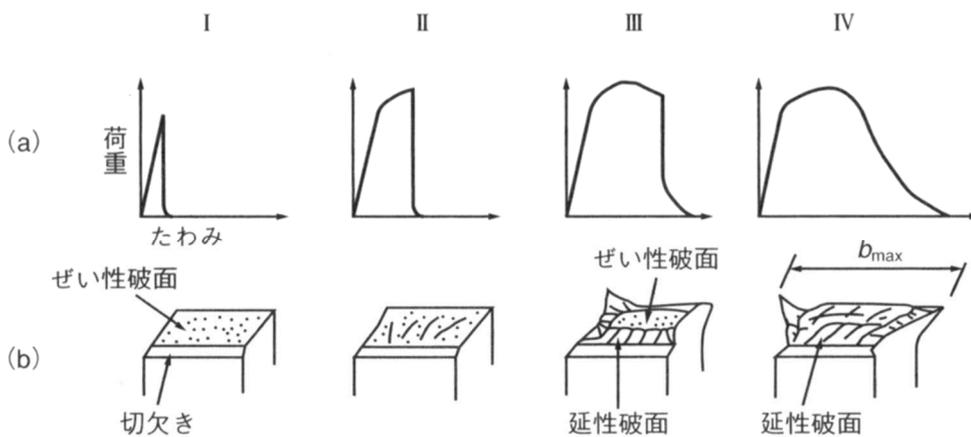


図 10.3 荷重-たわみ曲線と破面

- シャルピー衝撃試験の荷重-たわみ曲線: 試験片の破壊様式に対応
- 荷重-たわみ曲線下の面積: 衝撃吸収エネルギーに相当

	曲線の形態	破面
形式 I	弾性変形後だけ破壊する、 ぜい性破壊	・全面 or ほぼ全面 ぜい性破面
形式 II	一部塑性変形を開始しつつ ぜい性破壊	
形式 III	塑性変形が十分進んだ後、 最後はぜい性破壊	・周辺部: 塑性破面 ・中央部: ぜい性破面
形式 IV	ぜい性破壊せず、最終的に 塑性破壊	・全面塑性破面 ・光沢のない破面

10.4 延性-ぜい性遷移

●鋼においてぜい性破壊が生じやすい条件:

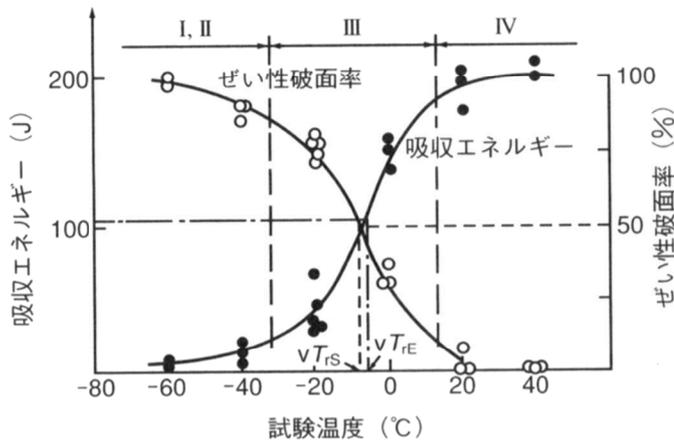
- (1) 切れ目の存在 (多軸応力状態) : 「切れ目ぜい性」
- (2) 低温 : 「低温ぜい性」
- (3) 衝撃的な荷重 (変形速度が高い)



・シャルピー衝撃試験には(1), (3)の要素が含まれている



・温度をパラメータとしてシャルピー衝撃試験結果を整理する。



・衝撃吸収エネルギーの大小:

→ 破壊形態の違いに反映

・ある温度を境にして、衝撃吸収エネルギーや

ぜい性破面率の遷移が生じる:

図 10.4 衝撃吸収エネルギー、
ぜい性破面率と温度の関係

●延性-ぜい性遷移温度の定義:

- (1) 破面遷移温度 : ぜい性破面率が 50% となる温度。
- (2) エネルギー遷移温度 : ぜい性破面率が 0% となる温度における吸収エネルギーを 100% としたときの、50% の温度。

・問い: fcc 金属(例: アルミ合金, ステンレス鋼)における, 試験温度と衝撃吸収エネルギーの関係はどのようになるか?

遷移現象は体じない.

●鋼の延性-ぜい性遷移温度へ影響を及ぼす因子:

- (1) 切れさ先端半径: 小さい(鋭い)程 高温側に移る.
- (2) 試験片寸法: 大きい程 ..
- (3) 変形速度: 大きい程 ..
- (4) 結晶粒寸法: 大きい程 ..
- (5) C含有量: 高い程 ..
- (6) 不純物含有量: 高い程 ..

10.5 本講義に関する意見・感想・質問のまとめ

●意見

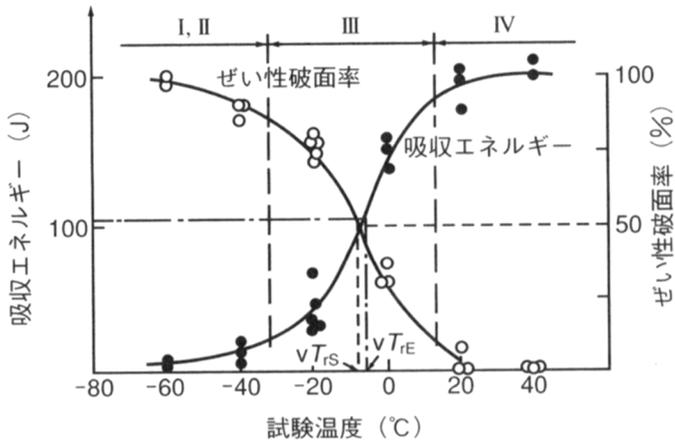
- ・式が何を意味しているかを理解して復習する, 1 回目内容をあまり覚えていなかったので復習する, 新しく学ぶものが増えているので混乱しないようにする, 単語の復習に時間を割く, 計算は慣れてきたが語句が不十分, 例題をしっかりと復習する, 単位に気をつけて計算できるようにしたい, 破壊形式ごとの特徴を区別する:17
- ・今回の内容はスムーズに理解できた, 衝撃試験について理解できた, わかりやすかった, 実際の映像を見られてわかりやすかった, 遷移があることがわかった, 衝撃エネルギーが位置エネルギーの変化に基づいて求めていることがわかった, 破壊形態がまとめられていてわかりやすかった:14
- ・今回の小テストで語句が書けなかった, 読み取りを間違えて $0.5\mu\text{m}$ 単位で読んでしまった, 小テストがダメだった, 計算ミスをしてしまった, 算出途中を理解していなかった, もっと語句を覚えなさいといけない, 単位のところで間違えてしまった, 計算ミスをした気がする, 基礎を理解していくことで小テストも解けるようになってきた:13 ← 今回の小テストは, 平均 6.6 点, 満点 6 名でした. 式が何を求めようとしているのかが分かっていない人が多かったです. また読み取りに関しては, 補助メモリも含めて「最小目盛の 1/10 を目分量で読む」ですので, $0.05\mu\text{m}$ 単位で読むのが正しいです. ただ, ほとんどの人ができていませんでしたのでこのポイントは減点対象から外しました. また「HV に単位をつけた」「HV の値を小数以下まで記載した」「hr を単に除荷終了点として読み取っていた」といった誤りもかなりありました.
- ・学生実験にも関連するので授業内容をよく理解する, 実験前に習えて良かった, 実験内容と考察が整理されてわかりやすかった, ほぼ実験の復習だったが理解が深まった, この授業を受けてからの方がレポートの考察や課題を書きやすい, レポートに活かしたい:13 ← 実験と講義を関連づけて理解するようにしてくれるといいですね.
- ・装置が想像以上に大きくて驚いた, 衝撃試験が意外と静かなことに驚いた:2
- ・いつも例題の解答に時間がかかっていたが今回は解説より前に解けた, 例題の計算が合わなかったの
で確認する:2
- ・複雑な現象も細かくみていくことで説明がつくのが面白い, 遷移現象が起こることや温度な変化することが面白い:2
- ・衝撃エネルギーの式の導出がわからなかった ← 式の導出については, レポートの課題にしているのでここでは教えません. 実験で TA の人が式の立て方を教えてくれるはずですので, 自分で導出してみてください.
- ・気がつけば期末テストまで 1 ヶ月を切っていて驚いた ← そうですね, あと 3 週間ですね.

●質問

- ・ぜい性破壊を生じやすい条件の 3 つのうち 1 つでも当てはまれば起きやすくなるという認識であっているか? ← その通りです(そもそも「ぜい性破壊を生じやすくなる条件」です).
- ・なぜ fcc だと遷移現象が起きないのか?(2 名)
- ・低温でぜい性破壊が起こりやすいのは原子の運動が小さくなりへき開が起こりやすくなるからか
← 上記 2 つの質問にまとめて答えると, fcc と bcc ではまず転位運動に対する抵抗(すべり面におけるポテンシャル障壁)がそれら自身の結晶構造に由来して異なり, fcc ではポテンシャル障壁が低い(=転位運動がしやすい)のに対して bcc は高い(=転位運動しにくい)ことが知られています. このポテンシャル障壁の差は, 絶対零度のレベルでは顕著ですが常温まで温度が上がることによって, 熱活性化過程の影響で緩和されます. よって bcc では低温ぜい性(延性-ぜい性遷移)が生じ, fcc では生じないことになり

ます。低温になると原子の運動が小さくなる(熱活性化しなくなる)ため、素のポテンシャル障壁の高さの影響が顕在化し、転位運動がしにくい→塑性変形しにくい→ぜい性破壊しやすくなる、となります。

- ・ハンマを付け替えることは可能か？異なる材質のハンマで試験は行えるか？←通常はハンマの付け替えはしません(厳密に衝撃吸収エネルギーを計測するためには、ハンマと本体の回転軸部の摩擦抵抗等も考慮する必要があり、ハンマを付け替えるとその辺も全て補正し直す必要が生じます)。
- ・エネルギー遷移温度がよくわからなかった←衝撃吸収エネルギーのどこが上限なのかは、得られた数値だけを見てもわかりませんよね？なので、ぜい性破面率との関連から衝撃吸収エネルギーの上限値を推定し、それを基準として求めます。



10.6 第 9 回小テスト解答

Q.1 計装化押し込み試験について述べた次の文章中の空欄に当てはまる語句を記入せよ。
[各 1 点, 計 4 点]

計装化押し込み試験の特徴は, 圧子にかかる試験力と圧子の [①] を連続的に計測し, それらを用いて材料の機械的特性値を評価する点である. 押し込み硬さ H_{IT} の算出及びビッカース硬さ HV への換算は以下の手順で行う.

- ・圧子の [②] $h_c = h_{max} - 0.75(h_{max} - h_r)$
- ・圧子の [③] $A_p = 24.50 \cdot h_c^2$
- ・押し込み硬さ $H_{IT} = [④]$
- ・ HV への換算 $HV = 0.0945 \cdot H_{IT}$

A.1

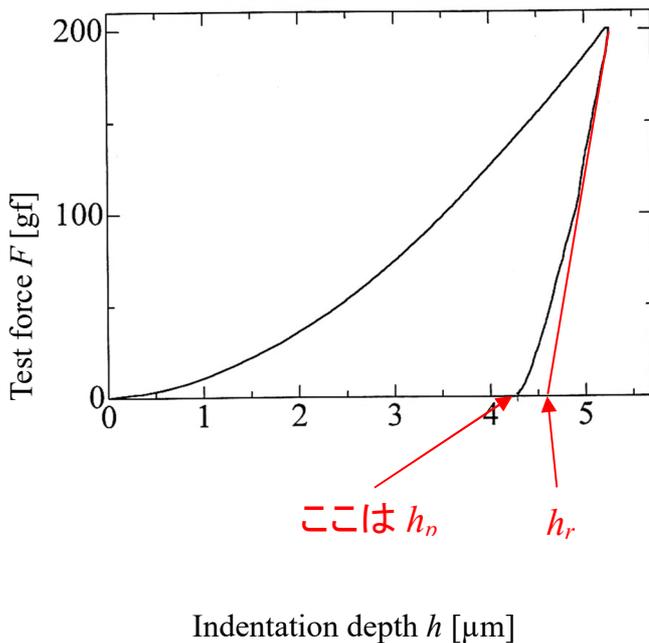
① [押し込み深さ]

② [接触深さ]

③ [接触投影面積]

④ [F_{max}/A_p]

Q.2 以下の押し込み線図より H_{IT} を算出し, HV へと換算せよ. [4 点]



A.2(解答例, 実測値は多少の誤差も OK とする)

最小目盛り $0.5\mu\text{m}$ なので $0.05\mu\text{m}$ 単位で目測例: $h_r = 4.50\mu\text{m}$ $h_{max} = 5.25\mu\text{m}$ $F = 200 \text{ gf} = 0.200 \text{ kgf} = 1.96 \text{ N}$

$$h_c = h_{max} - \varepsilon(h_{max} - h_r) = 5.25 - 3/4(5.25 - 4.50)$$

$$= 5.25 - 0.75 \times 0.75 = 5.25 - 0.56 = 4.69 \mu\text{m}$$

$$= 4.69 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$H_{IT} = \frac{F_{max}}{A_p} = \frac{F_{max}}{24.50h_c^2} = \frac{1.96}{24.50 \times (4.69 \times 10^{-3})^2}$$

$$= 3.637... \times 10^3 \text{ N/mm}^2 = 3.64 \times 10^3 \text{ MPa}$$

$$HV = 0.0945 \cdot H_{IT} = 344$$

注: 値を 2 桁で読んだ場合は, $H_{IT} \cdot HV$ とも 2 桁になります(今回はそれでも可とします).