

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（破壊に対する抵抗、ねじり強さ）を評価する試験

一般的: 切れき付き試験片に対する衝撃曲げ試験
 ┌ シャルピー衝撃試験
 └ アイゾット

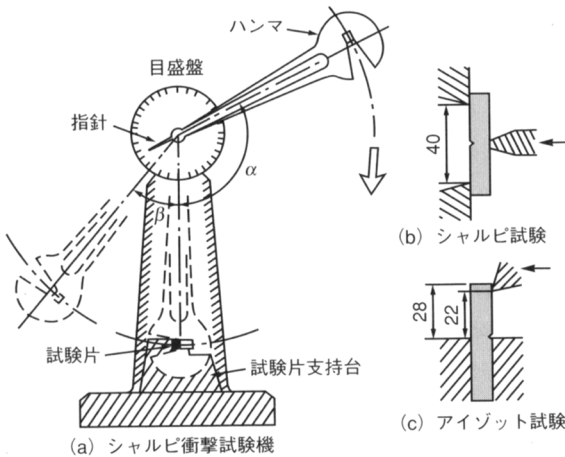


図 10.1 切れき付き試験片の衝撃曲げ試験

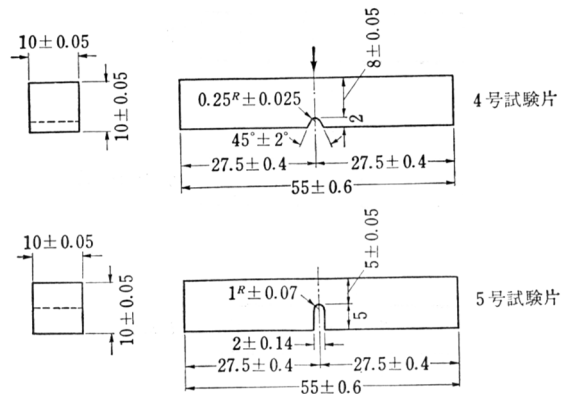


図 10.2 シャルピー衝撃試験片

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 から落下させ、支持台に固定している試験片を破断させる。破断後のハンマの振り上がり角 β を測定する。

●定義式

●衝撃吸収エネルギー: $E = WR (\cos \beta - \cos \alpha)$ [J]

W : ハンマ重量 [N]

R : ハンマ重心までの距離 [m]

(破断までに要したエネルギー)

●シャルピー衝撃値: $C = E/A$ A : 切れき部分の断面積 [m²]
 (単位面積あたりの衝撃吸収エネルギー) [J/m²]

・ 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.

$$W = 38.84 \times 9.807 \text{ N}$$

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

$$= 9.067 \dots \text{ J}$$

$$= \underline{9.07} \text{ J}$$

10.3 衝撃吸収エネルギーと破壊形態

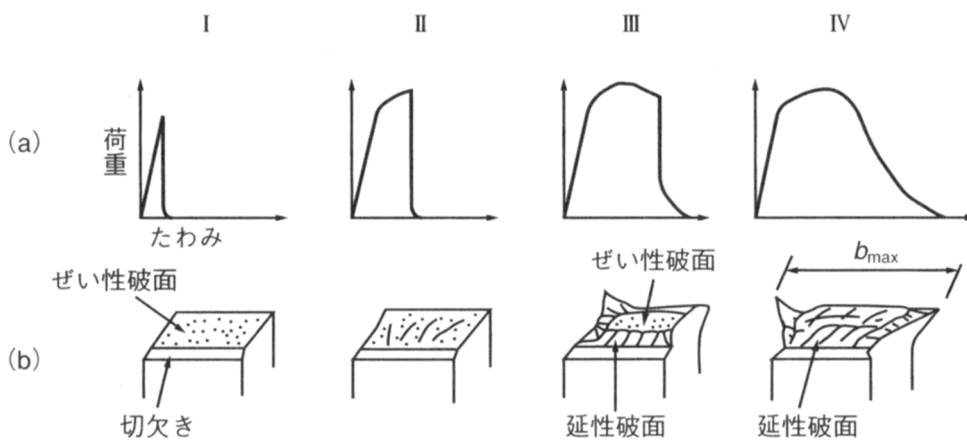


図 10.3 荷重-たわみ曲線と破面

- シャルピー衝撃試験の荷重-たわみ曲線: 破壊形態と対応
- 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	塑性変形はほとんど生じていない	<ul style="list-style-type: none"> - 100%、もしくはほぼ全面的にぜい性破面 (ハキ割) - 光沢のある (光が反射する) 破面
形式 II	ごくわずかに塑性変形が生じている	
形式 III	塑性変形が十分進行してから最終破断はぜい性的	<ul style="list-style-type: none"> - 周辺部: 延性破面 - 中央部: ぜい性
形式 IV	最終破断まで延性的 (塑性変形が進行)	<ul style="list-style-type: none"> - 全面的に延性破面

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) 切欠きが存在すること (切欠きせい性)
- (2) 温度が低いこと (低温せい性)
- (3) 衝撃的荷重により材料の変形速度が高いこと



・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。

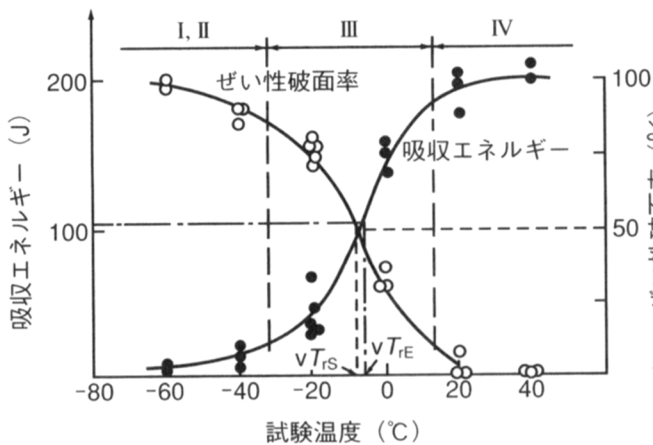


図 10.4 衝撃吸収エネルギー、ぜい性破面率と温度の関係

・衝撃吸収エネルギーの大小：

→ 破壊形態に対応 (前述)

・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：

→ 延性-ぜい性遷移温度

●延性-ぜい性遷移温度の定義：

- (1) エネルギー遷移温度：ぜい性破面率が0% (=全面的延性破面)となる温度でのエネルギーを100%としたとき、エネルギーが50%となる温度
- (2) 破面遷移温度：ぜい性破面率が50%となる温度。

・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?

fcc は遷移が生かない
(衝撃吸収エネルギーは一定)

●鋼の延性-ぜい性遷移温度へ影響を及ぼす因子:

- (1) 切欠き先端半径: 小さい(鋭い)程 高温側になる
- (2) 試験片寸法: 大きい程 〃
- (3) 変形速度: 高い程 〃
- (4) 結晶寸法: 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・感想

- ・小テストの時一番後ろでスマホ見ながらやってる人がいた←私も机にスマホが出ているのに気づいて注意しましたが、最初から確信的にカンニングしていたんですね。ちょっと動揺してしまって注意しかなかったのですが、厳罰に処すべきだったと後悔しています。

警告！今後、小テスト時にスマホを使ったカンニングが発覚した場合、当該学生について記録を残した上で当人は定期試験時の資料持ち込みを禁止することとする。なお、「小テスト中にスマホを机の上に置いておいた時点」でカンニングと判断する。遅刻した人間が慌てて気づかず置きっぱなしにした場合も例外とはみなさない。

- ・小テストの時間が足りなかった、計算過程が多いと不安な部分が多い、早起きして復習してから小テストに臨む、小テストの計算結果に自信が持てなかった、倍くらい勉強したらかなり良い出来だった、単位がおかしくて悩んだ、後から $gf \rightarrow N$ の変換を間違ったと気づいた、用語の試験は理解につながるので助かる、時間をもう少し余裕を持たせてほしい、電卓を持っておらず焦った、電卓を忘れて解けなかった、見直しができなかった、やることが多くて大変だった、面積の変換を間違えた:24←今回の小テストは平均 6.9 点、満点 7 名でした。相変わらず過去問を参考にした解答(解答としてまったく合わない語句を平気で書いている、等)が見られて呆れました。それと、時間に関してはもう少し延ばせばよかったですね・・・解答を終わっている人がほとんどのように見受けられたので 1 分延長に留めたのですが、例年でしたら 2-3 分延長が普通だったと思いますので。
- ・去年行った実験を思い出しながら講義を受けたのでよく理解できた、温度によって破壊形態が変わるのが面白い、いろいろな計測方法があるんだなと思った、衝撃試験についての理解が深まった、意外とアナログでシンプルなことに驚いた、試験の方法が面白かった、思ったより静かだった、他の実験に比べ迫力があり見応えがある:14
- ・遷移温度に影響を及ぼす因子についてしっかり復習する、単位換算がわからなくなりそうだからしっかり覚える、要点を抑えて学習する、来週も 3 回あるのでしっかり勉強する、いつもより難しい内容だったので多く復習する、実験でやっているのだから次回の小テストは満点を取る、遷移温度が材料物性とどう関わっているかを把握する:7
- ・実験が楽しみになった、実験をする前にこの授業を受けていたらレポートをより良くできたかもしれないと残念になった、実験でもやったがより詳しく学べてよかった、今日の実験では授業で学んだことを意識する、ハンマに当たったら死ぬと聞いていたので実験中は死ぬのが怖かった:5←当らなければ死ぬことはありませんので(^^;
- ・頻繁に復習しているからか最近の内容はよく頭に残っている、今日はよく理解できた:2←良かったです！
- ・衝撃の遷移過程や定義が複雑だった

●質問

- ・引張試験と衝撃試験で破断時に音の大きさに違いがあったのはなぜか？←引張試験の破断直前はそれだけ多くの弾性ひずみエネルギーが蓄えられている、ということです。
- ・例題の計算がいくらやっても 500 いくつくらいになった？←多分ですが、三角関数の角度の設定が"rad"(ラジアン単位)になってるのだと思います。

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[①]と圧子の押し込み深さを連続的に計測し、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。

・圧子の接触深さ $h_c = h_{\max} - [\text{②}]$

・圧子の接触投影面積 $A_p = 24.50 \cdot h_c^2$

・押し込み硬さ $H_{IT} = [\text{③}]$

・ビッカース硬さ HV への換算 $HV = 0.0945 \cdot H_{IT}$ (ビッカース圧子の場合)

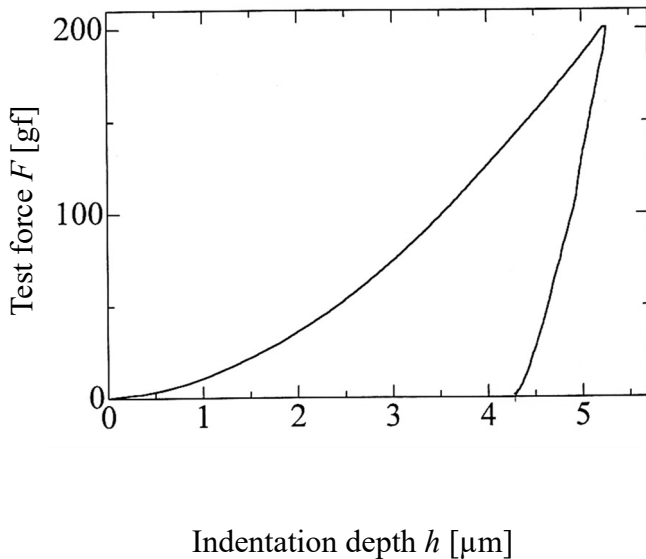
A.1

① [試験力, 荷重, 力, 等]
(圧力や応力は誤り)

② [$\varepsilon(h_{\max} - h_r)$]

③ [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: $h_r = 4.50\mu\text{m}$

$h_{\max} = 5.25\mu\text{m}$

$F = 200\text{ gf} = 0.200\text{ kgf} = 1.96\text{ N}$

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

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

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

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

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

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

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(減点します)。