

材料評価学 第6回

- 前回： 引張試験における
- ・ 理想破壊強度
 - ・ 破壊強度と表面エネルギー
 - ・ 強度を低下させる因子



- 今回： 引張試験における
- ・ 応力集中
 - ・ Griffith の破壊モデル
 - ・ 弾性ひずみエネルギー

6. 引張試験 5

6.1 応力集中

● 「応力集中」とは？

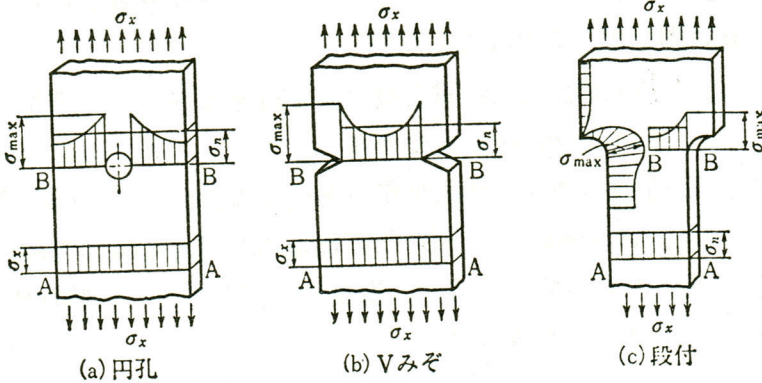


図 6.1 切欠き

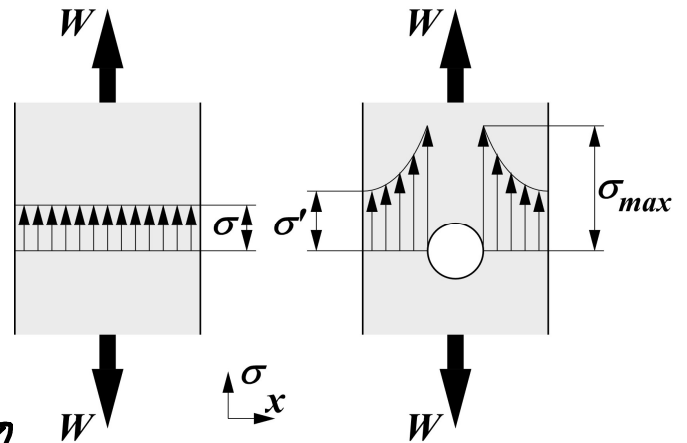


図 6.2 応力集中の概念

・ 形状が一様な材料中の応力分布：均一

・ .. ではない部分 (例：穴、段付、溝 ...
 総称して「切欠き」

→ 断面積の減少 = 切欠き部の平均的応力の上昇

→ 切欠き部近傍では特に応力が上昇する

● 応力集中係数： $\alpha = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n}$ ↳ 「応力集中」
切欠き部近傍の最大応力
公称応力 (切欠き部の断面積に対する)

例題： $D=15.0 \text{ mm}$, $d=10.0 \text{ mm}$ で引張負荷 $W=100.0 \text{ kgf}$

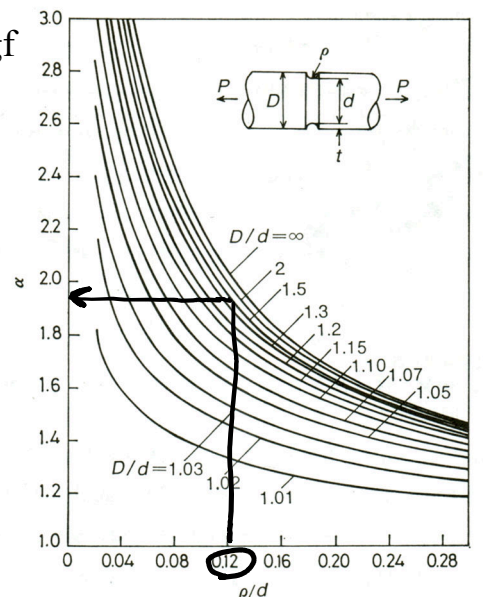
を受ける段付き丸棒に $\rho = 1.20 \text{ mm}$ の切欠きがある場合、

切欠き近傍での最大応力 σ_{max} を求めよ。

$$D/d = 1.50, \quad \rho/d = 0.120$$

$$\rightarrow \alpha \approx 1.95$$

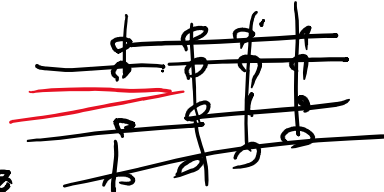
$$\sigma_{max} = \alpha \cdot \sigma_n = 1.95 \times \frac{4 \times 100.0 \times 9.807}{\pi \cdot 10.0^2}$$



(続き)

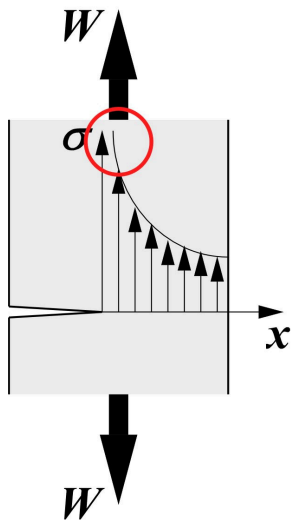
$$= 24.348 \dots \text{ N/mm}^2$$

$$= 24.3 \text{ MPa}$$



6.2 Griffith の破壊モデル

● 「き裂」とは? : 切れ目の先端半径が 0 とみなせるもの。

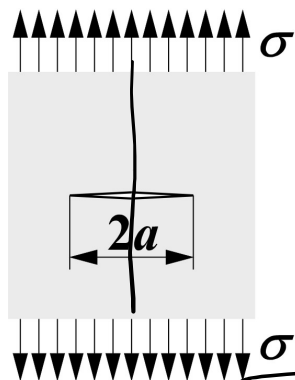


き裂先端の応力は無限大と見られるため、応力基準では取り扱えない。

・ き裂を有する材料の破壊強度をどう取り扱うか? → Griffith の破壊モデル

図 6.4 き裂

● Griffith の破壊モデル



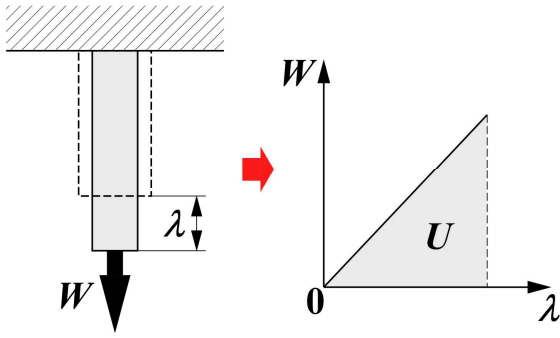
仮定: ● 長さ $2a$ のき裂を有する無限平板

き裂と材料の寸法差が十分に大きい

- 材料は完全せいこう体 (塑性変形なし)
- き裂に垂直に一樣引張応力 σ を受ける
- 若くは厚さは単位厚さ ($=1$) を受ける

図 6.5 Griffith の破壊モデル

●弾性ひずみエネルギー： 単体変形 (= 外力による可逆的仕事) により材料内に蓄えられたエネルギー



・外力による仕事 $U = \int W d\lambda, W = k\lambda$
 $U = \int k\lambda d\lambda = \frac{k\lambda^2}{2}$

・外力による仕事を応力とひずみで表す
 $U = Al \cdot u, u = \int \sigma d\epsilon = \frac{\sigma\epsilon}{2} = \frac{\sigma^2}{2E}$

図 6.6 弾性ひずみエネルギー

u: 単位体積あたりの弾性ひずみエネルギー

●き裂を有する部材における弾性ひずみエネルギー:

き裂長に依存する。
 (き裂長が長い方が変形しやすいため蓄えられたエネルギーが少ない)

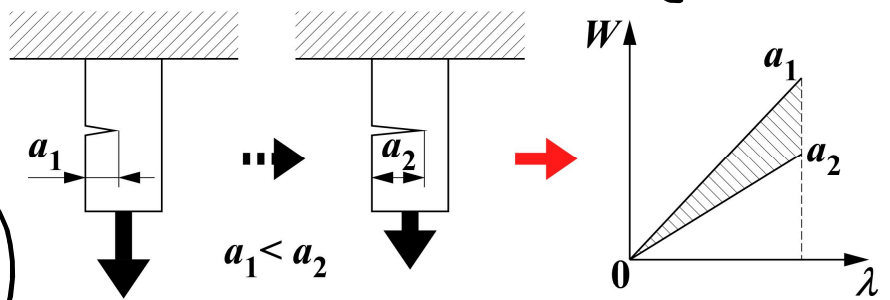


図 6.7 き裂材における弾性ひずみエネルギー

き裂が進展して a_1 から a_2 に伸びると、その分の弾性ひずみエネルギー (図中斜線部) が解放される。

● 「解放される弾性ひずみエネルギー」 ≧ 「き裂進展に必要な表面エネルギー」
 ならば、き裂が進展可能 (= 破壊に至る)

$$\frac{dU}{da} \geq \frac{dT}{da}$$

●解放される弾性ひずみエネルギーの増分: $\frac{dU}{da} = \frac{2\pi a \sigma^2}{E}$

U: 角半径を a とする弓単個性ひずみエネルギー

$U = \frac{\sigma^2}{2E}$, $U = u \cdot 2\pi a^2 = \frac{\pi a^2 \sigma^2}{E}$

↑ 解析的に求めた、エネルギー
厚さ 2 単位厚さ 1 と仮定... 単位面積あたりの U

●き裂進展に必要な表面エネルギーの増分: $\frac{dT}{da} = 4\gamma$

T: 表面エネルギー

γ : 単位面積あたりの T, $T = 2a \times \gamma \times 2 = 4a\gamma$

厚さ 2 単位長さ 1 と仮定... 単位長さあたりの $\gamma = 4a\gamma$

∴ $\frac{2\pi a \sigma^2}{E} \geq 4\gamma$

∴ $\sigma \geq \sqrt{\frac{2\gamma E}{\pi a}}$

∴ $\sigma \sqrt{\pi a} \geq \sqrt{2\gamma E}$

材料固有の値

∴ $\frac{dT}{da} = 4\gamma$

$(a \geq \frac{2\gamma E}{\pi \sigma^2})$

$2a \geq \frac{4\gamma E}{\pi \sigma^2}$

• 脆性破壊する限界き裂寸法

例題: ぜい性体である熔融石英 ($\gamma = 4.30 \text{ J/m}^2$, $E = 70.0 \text{ GPa}$) で $2a = 0.100 \text{ mm}$ のき裂が含まれている場合、ぜい性破壊する応力を求めると? また組織を改善することでき裂寸法を $2a = 0.0100 \text{ mm}$ まで小さくした場合、破壊応力はどの程度上昇するか求めよ。

$2a = 0.100 \text{ mm} \rightarrow a = 5.00 \times 10^{-5} \text{ m}$, $\gamma = 4.30 \text{ J/m}^2 = 4.30 \text{ N/m}$

$E = 70.0 \text{ GPa} = 70.0 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

∴ $\sigma \geq \sqrt{\frac{2 \cdot 4.30 \cdot 70.0 \times 10^9}{\pi \cdot 5.00 \times 10^{-5}}} = 6.1906 \dots \times 10^7 \text{ N/m}^2$

$= 61.9 \text{ MPa}$

61.9 MPa 以上で破壊

後半: 196 MPa 以上で破壊

6.3 第6回講義に関する意見・感想・質問のまとめ

●意見・感想

- ・授業はついていけるがテストになると解けない, 単語による理解があまりできていなかった, 理解が足りなかったから答えが合ってたのに変えてしまった, 問題なく解けた, 満点取れた気がする, 前回講義内容の整理ができた, しっかり学習して点数を取れた気がする, よくできて嬉しい, 用語問題は解きやすい, そろそろテストで満点を取りたい, 語句の穴埋めだったが難しかった, :18←今回の小テストは平均 7.1 点・満点 14 名でした. 平均で 7 点を超えたのは初めてですね, しっかり復習をした人にはボーナス問題だったと思います. 逆に, 今回もできなかったという人はそもそも復習をしていないか, 復習するポイントを間違えている(授業最後の説明を聞いていない)のだと思います.
- ・明日から GW なのでしっかり予習復習する, 期末直前になる前に苦手を克服する, 計算問題についてさらに学習する, 専門用語が増えてきたのもう一度確認する, 単位の管理をしっかりする, 複雑になってきたのでよく復習する, GW 中にレポートや復習や他の科目の中間テスト勉強をする, 応力集中係数の意味や応力分布の変化の理解が不十分だったので復習する, エネルギー的な破壊条件が捉えづらかった, 実験に臨む前に復習しておく:16
- ・さまざまな破壊のモデルを学習した, 弾性ひずみエネルギーについて理解した, 応力についての理解が増えた, 力学らしさを強く感じた, 応力集中係数やき裂について理解できた, 段付きの部分のフィレットの意味がわかった, 破壊条件の式を覚える, 導出を理解する, 数式として考えるとややこしかったが原子面とかより理解しやすかった, 前回内容をしっかり復習したので今日の内容もよくわかった:15←次回は問1として破壊条件の式の導出から問題にしますので, 暗記しなくても大丈夫です.
- ・いまだに単位を揃えるのが苦手, 例題を解いていたら有効数字を間違えた, 例題をスムーズに解くことができた:6←次回はまた計算問題が出ますので, よく復習しておいてください.
- ・き裂という言葉は知っていたが材料の面から詳しく学ぶと面白い, き裂はよく見かけるがこんなにも計算していたのかと感銘を受けた:4
- ・実験で試料に切れ込みがあった訳がわかった, 実験ですぐ使える知識として学べてよかった:3←実験と講義を関連づけて理解するのは良いことですね.
- ・今日から 5 月であることに驚愕, GW 明けでも切り替えてちゃんと出席する, GW はしっかりリフレッシュする:3←存分に楽しんでください!
- ・電車が遅延したがなんとか間に合った:2←良かったです!

●質問

- ・おすすめの演習書はあるか? ←「これだけやっておけばいい」というような参考書・演習書はありません.

6.4 第5回小テスト解答

Q.1 次の文章の空欄に当てはまる語句を記入せよ。〔②～④各2点, その他各1点〕

へき開型破壊とは, 面間距離が大きい特定の面(=へき開面)に沿って, 垂直に原子が分離するような破壊形態であり, 微視的〔①〕破壊である。

一方, 〔②〕型破壊とは, 〔③〕面に沿った原子の移動(=〔④〕変形)の進行の結果, 破壊に至る形態であり, 微視的延性破壊である。

理想へき開破壊強度 σ_{th} , および理想せん断破壊強度 τ_{th} の比〔⑤〕から, Cu・Ag・Au等の〔⑥〕結晶構造を有する金属ではへき開破壊が〔⑦〕事が分かる。

A.1

- ①〔 ぜい性 〕 ②〔 せん断 〕
 ③〔 すべり 〕 ④〔 塑性 〕
 ⑤〔 σ_{th} / τ_{th} 〕 ⑥〔 fcc or 面心立方 〕
 ⑦〔 生じない, ほぼ生じない 〕