



疲労に関する重要知識 講演資料集

「実機で疲労破壊起点となる鋭い切欠き や微小欠陥の取扱いについて」

この資料は、(一社)日本溶接協会 原子力研究委員会 FQA2小委員会 における講演資料を掲載したものです。この資料を引用するにあたっては、下記を明記してください。

(一社)日本溶接協会原子力研究委員会FQA2小委員会ナレッジプラットフォーム公開資料(2017年):「実機で疲労破壊起点となる鋭い切欠きや微小欠陥の取扱いについて」(株)日立製作所 日立事業所 宇佐美三郎

実機で疲労破壊起点となる 鋭い切欠きや微小欠陥の 取扱いについて

2016. 7. 15.

(株) 日立製作所 日立事業所

宇佐美 三郎

saburo.usami.ak@hitachi.com

1

企業における強度研究者の立場

幹部：（無知を武器に）「なんで
そうなるのか、俺を納得させろ！」

- 再現実験の実施



- 簡易モデルによる傾向説明

2

標準試験片と実機破壊起点の違い

標準試験片

応力集中係数の明確な円滑切欠き

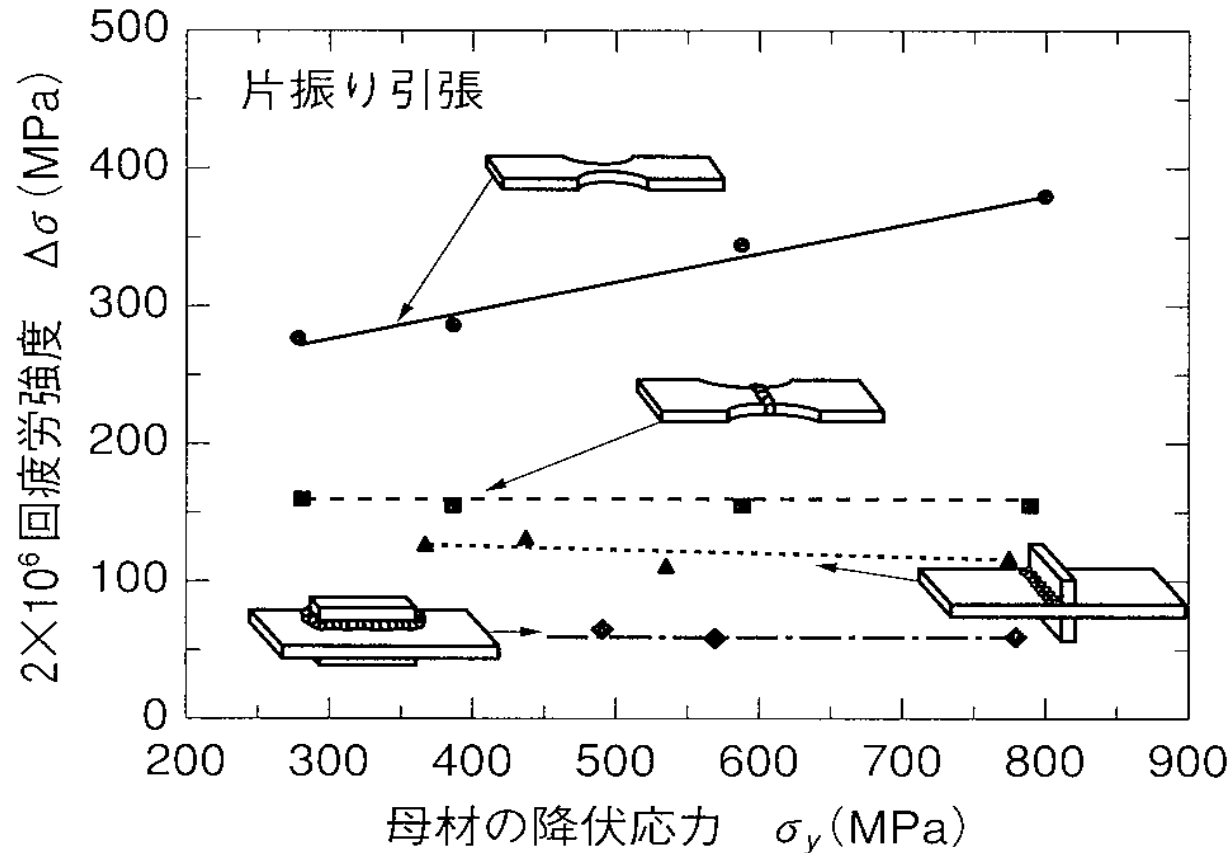
大きなき裂を有する破壊力学試験片

実機破壊起点

特異点に近い鋭い切欠き
(溶接止端等)

微小な材料欠陥や加工傷

母材強度を上げてても継手疲労限度は改善しない

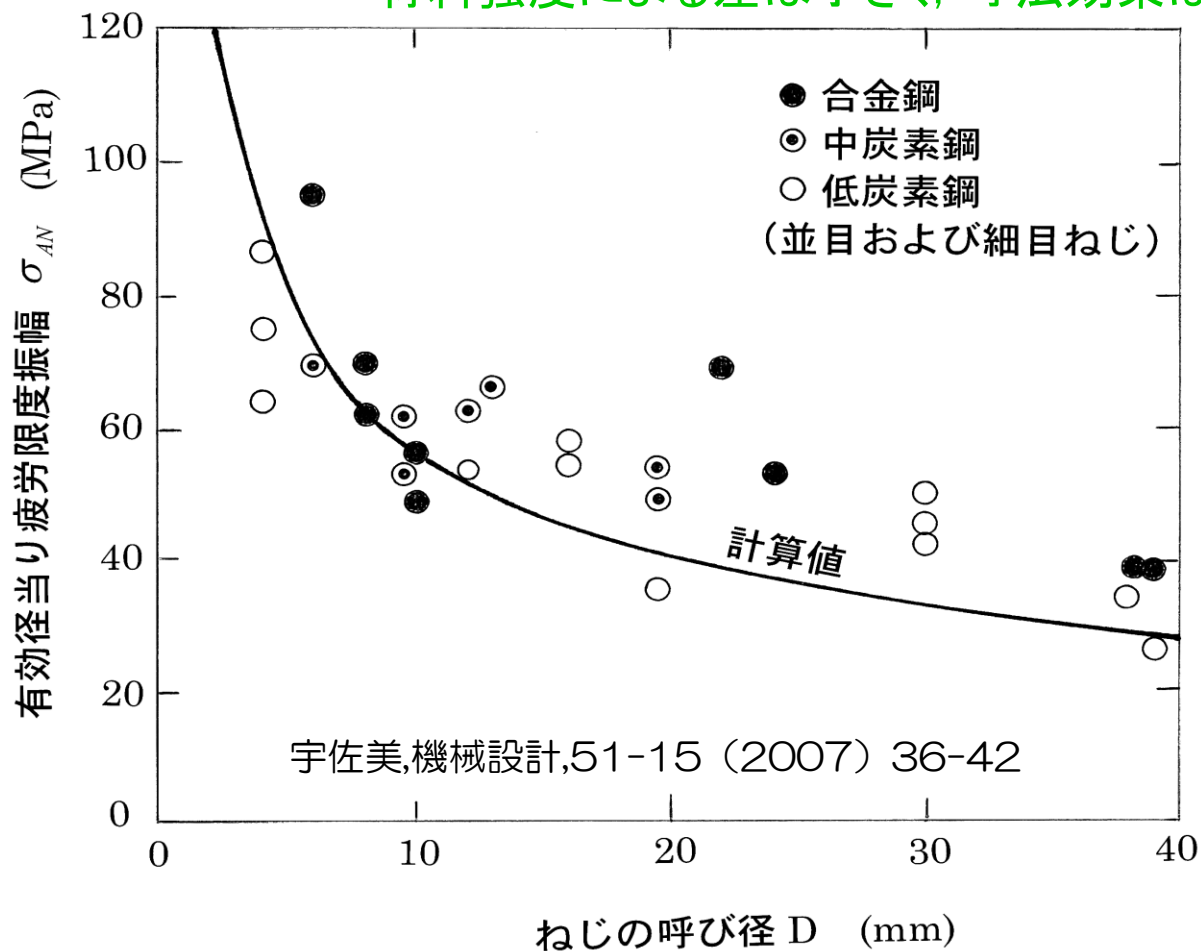


4

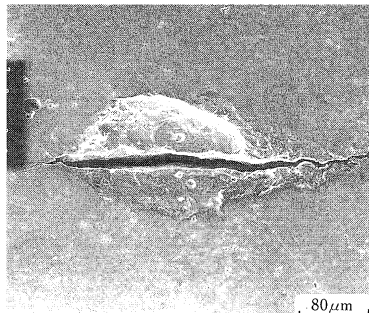
渡辺,松本,中野,斎藤：溶接学会論文集,13 (1995) 438-443

ボルト締結部の疲労限度

材料強度による差は小さく, 寸法効果は大

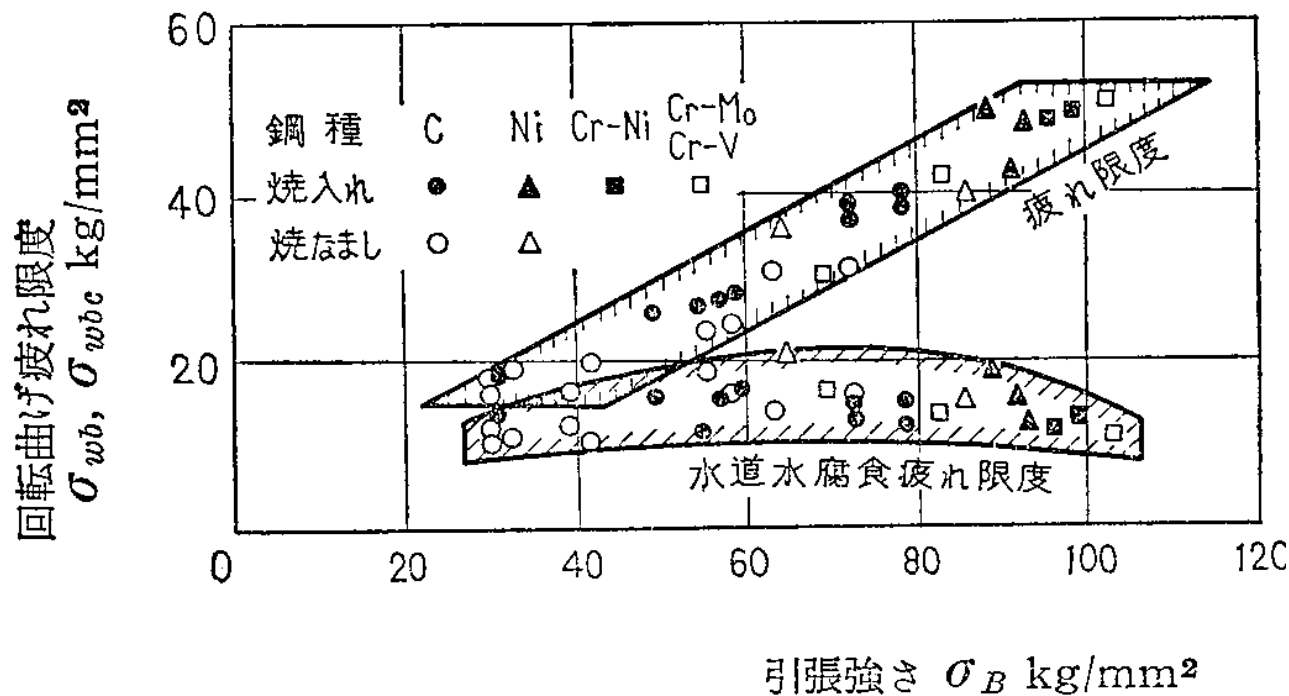


炭素鋼，低合金鋼における腐食疲労強度

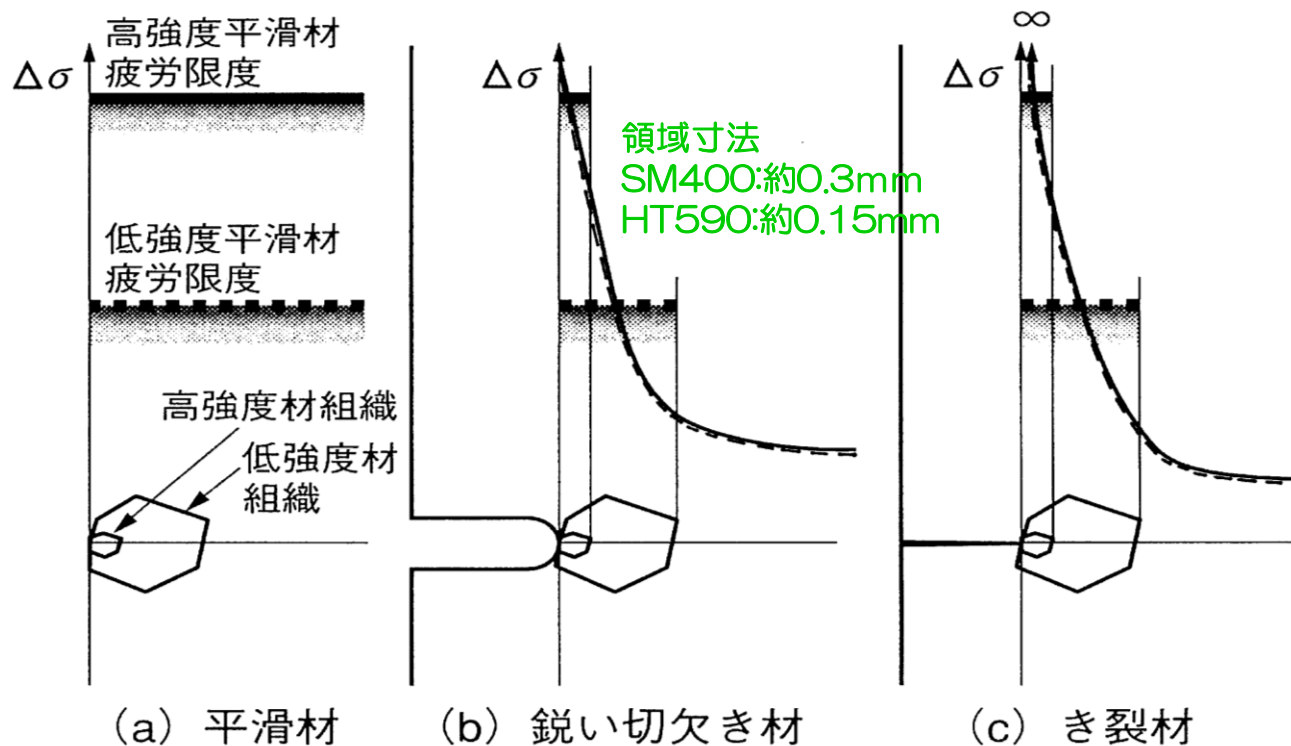


腐食ピット起点のため引張り強さの影響は小さい

日本機械学会：金属材料疲れ強さの設計資料II, (1965) 41-73

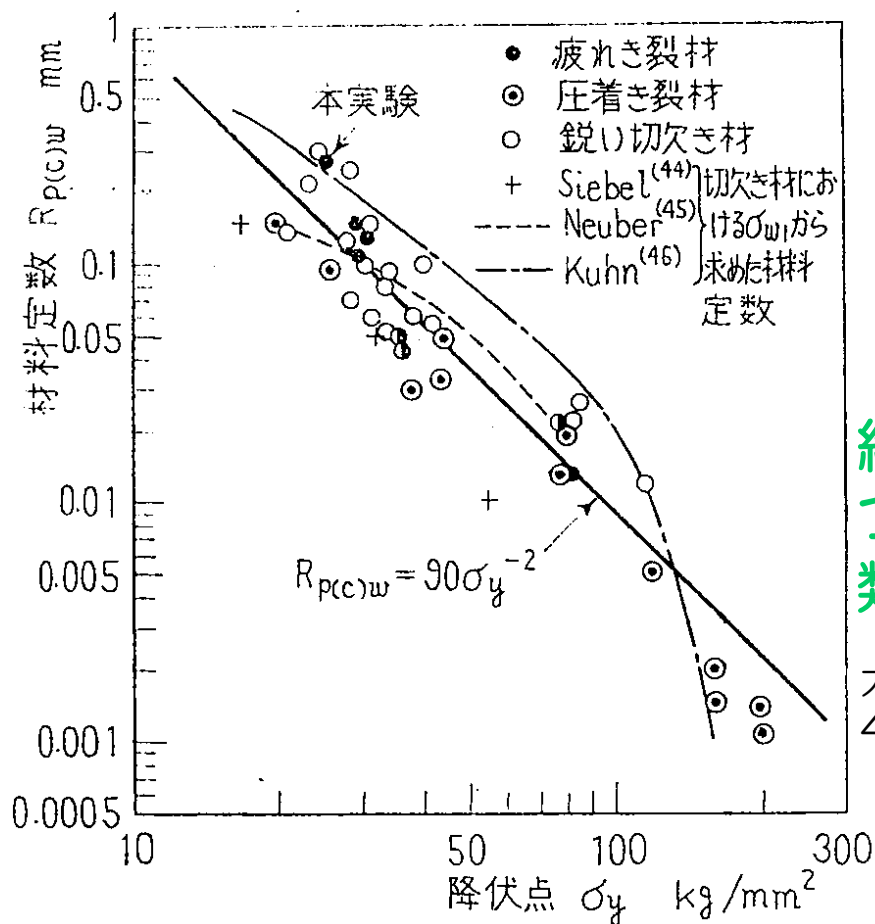


高強度鋼は組織敏感性が高い



切欠きが鋭いと、高強度鋼も低強度鋼と同程度の疲労強度公称応力となることが多い。例：溶接継手, ボルト, 腐食疲労

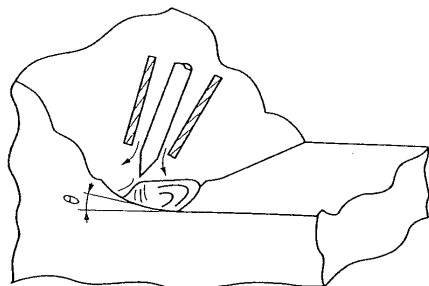
切欠き係数算出に用いられた材料組織定数



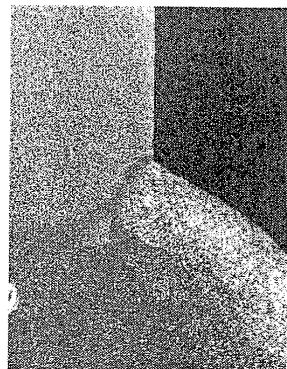
結晶粒径と降伏点の関係に
 ついてのHall-Petch式に
 類似

大内田, 宇佐美, 西岡, 日本機械学会論文集,
 41-343, 703-712 (1975. 3)

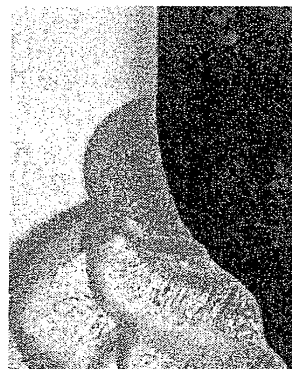
溶接継手余盛止端部の応力集中



TIG処理



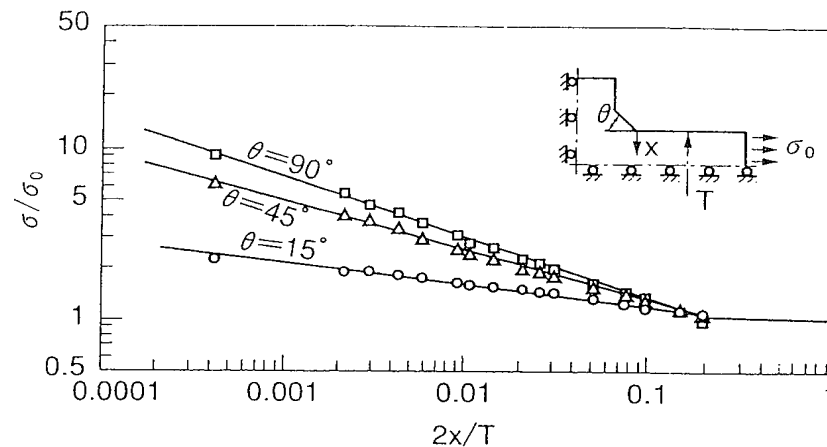
(a) 溶接のまま



(b) TIG処理後

厚板溶接継手止端部の形状 (HT780, 板厚 50mm, 十字継手)

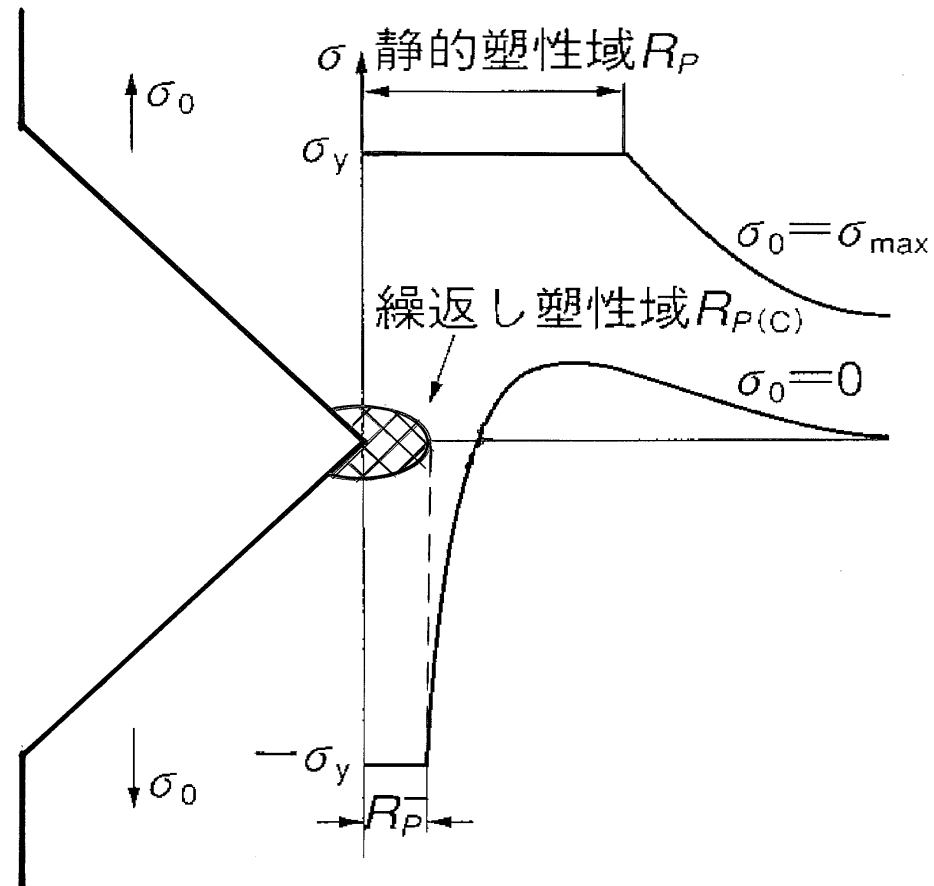
楔形止端の応力は無限大



十字継手止端部の応力分布

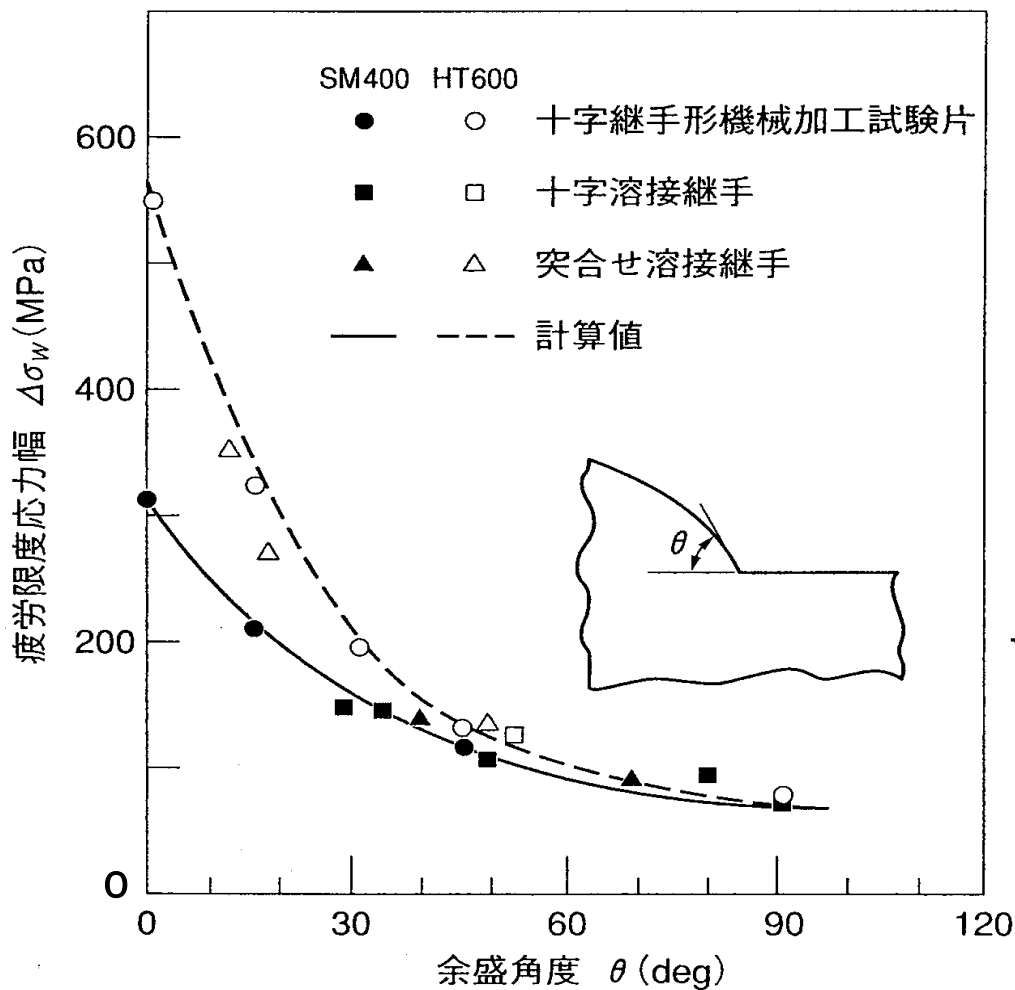
宇佐美,志田,圧力技術,20-2 (1982) 42-50

くさび形切欠きの疲労限度模型



10

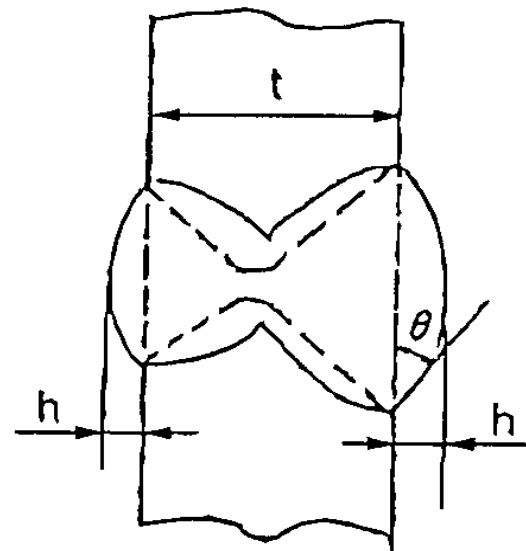
余盛角度の疲労限度への影響



昔: 補強盛り

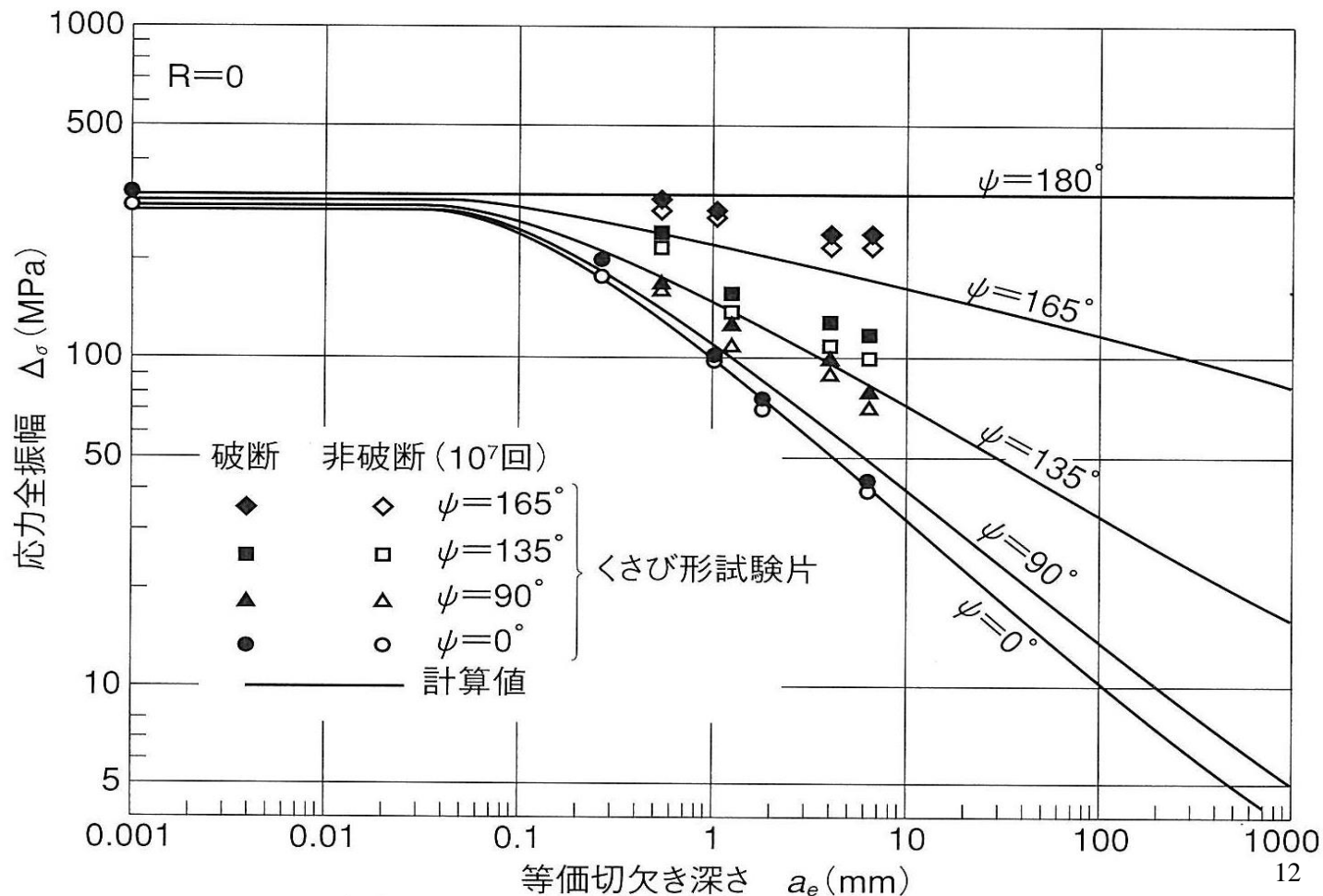


今: 余計な盛り



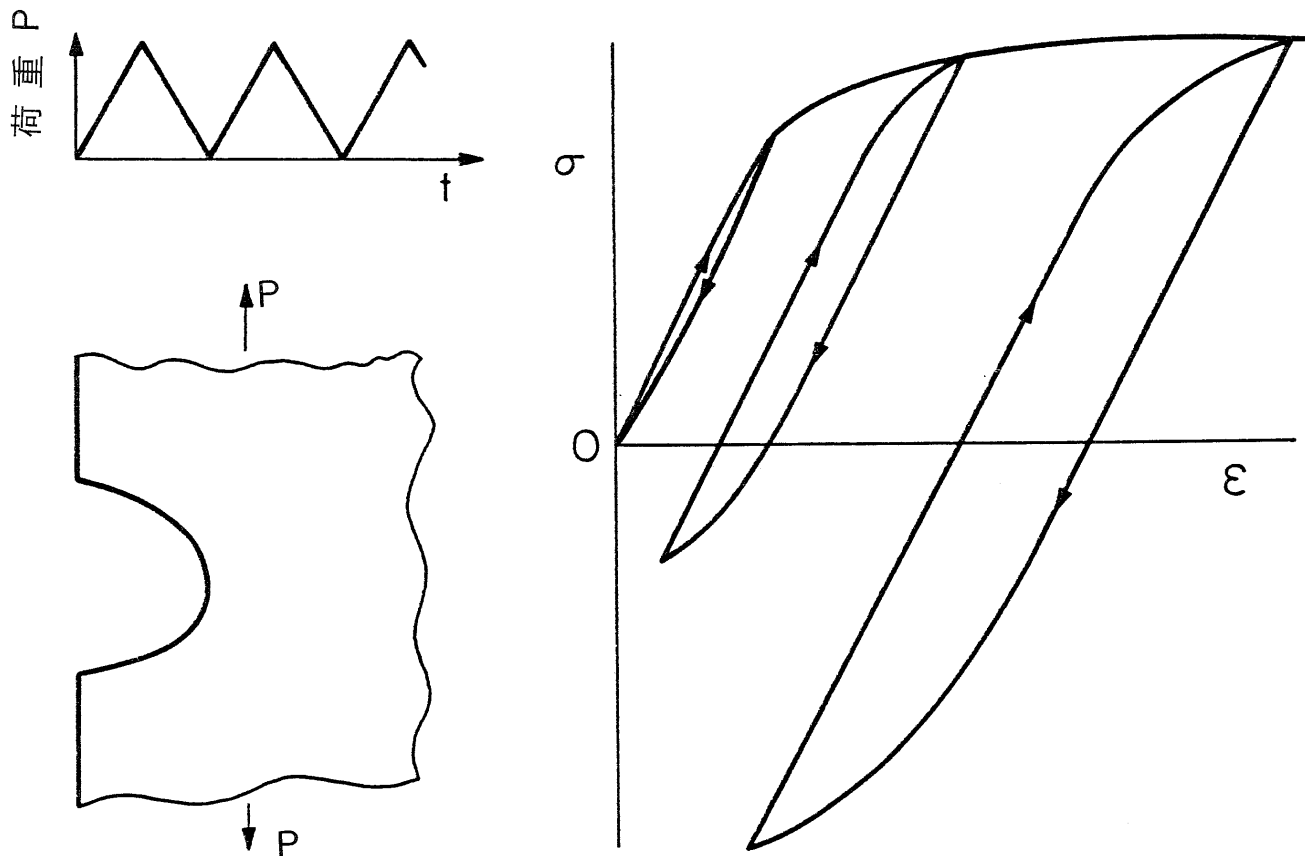
余盛り高さ制限による
止端形状の円滑化

切欠き深さ（余盛り高さ）と疲労限度の関係

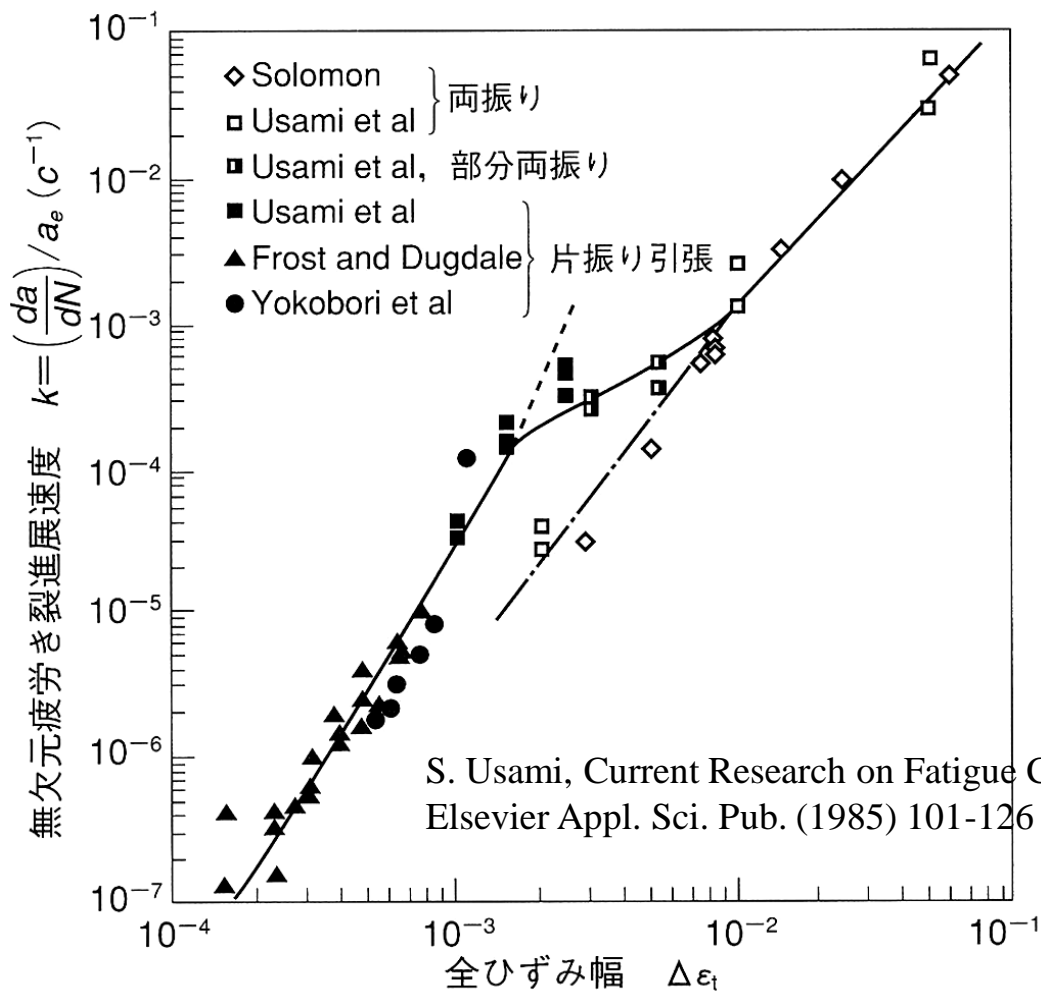


(b) SM400機械加工試験片の疲労試験結果

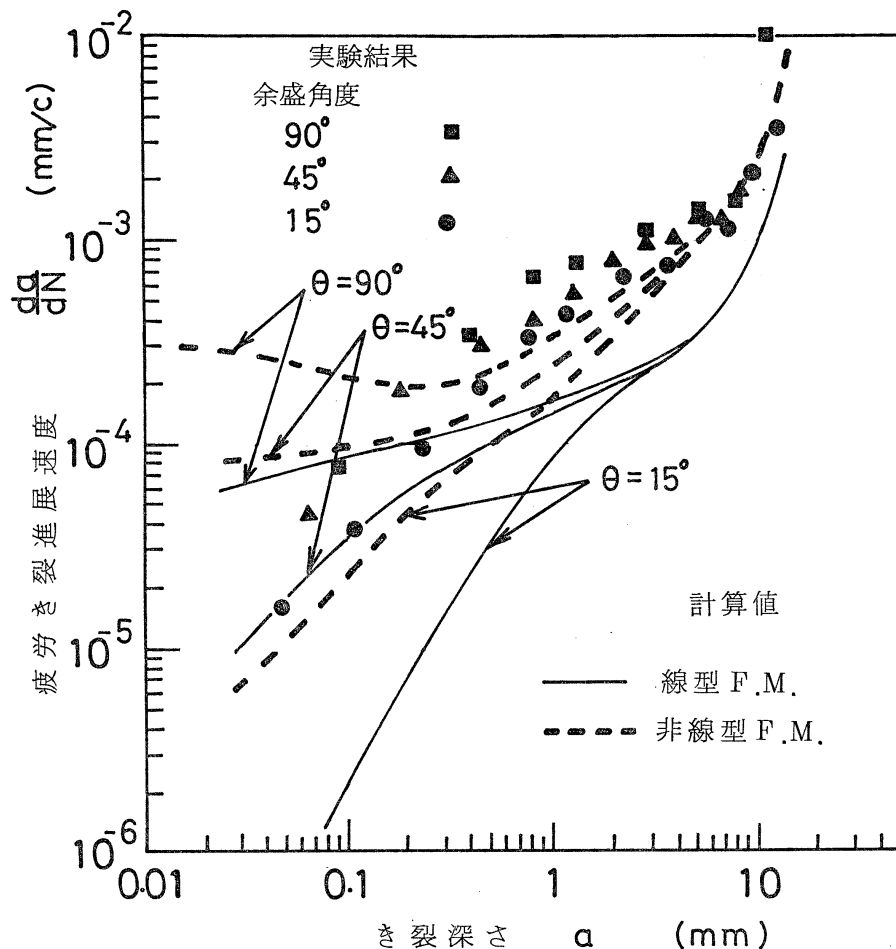
片振引張り負荷における切欠き部の状態



切欠部寿命評価のための進展速度データ



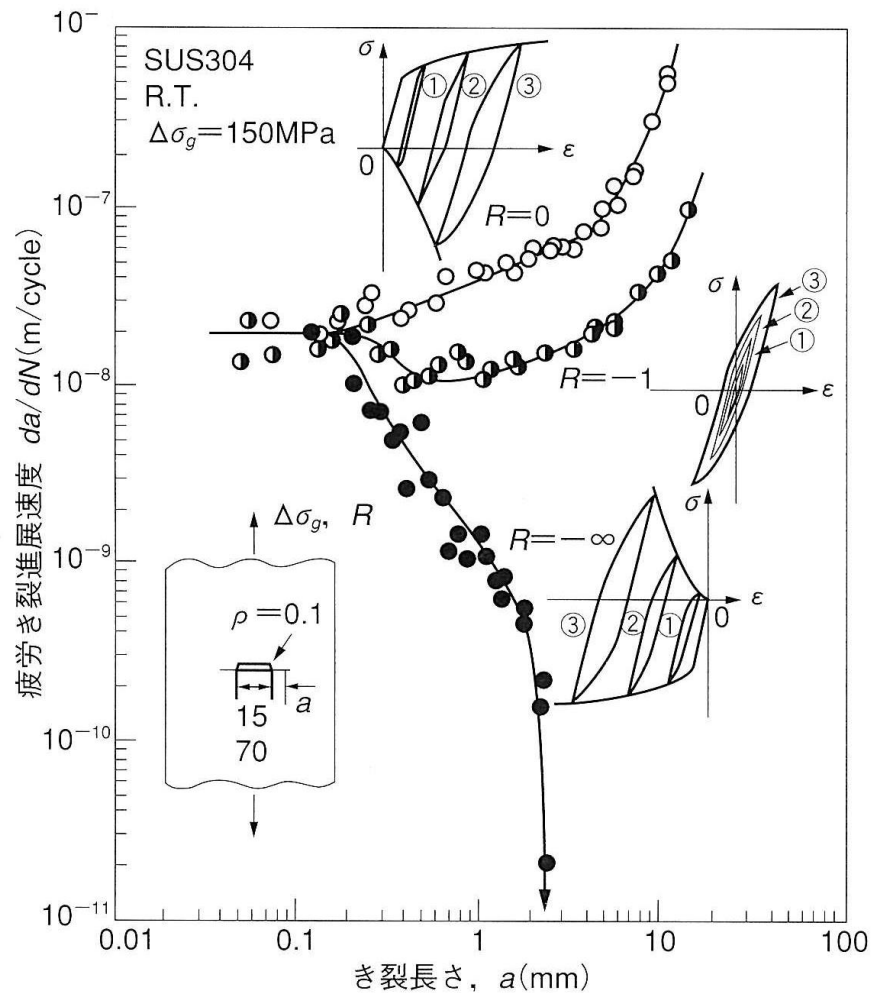
高応力弾性疲労における止端部のき裂進展速度



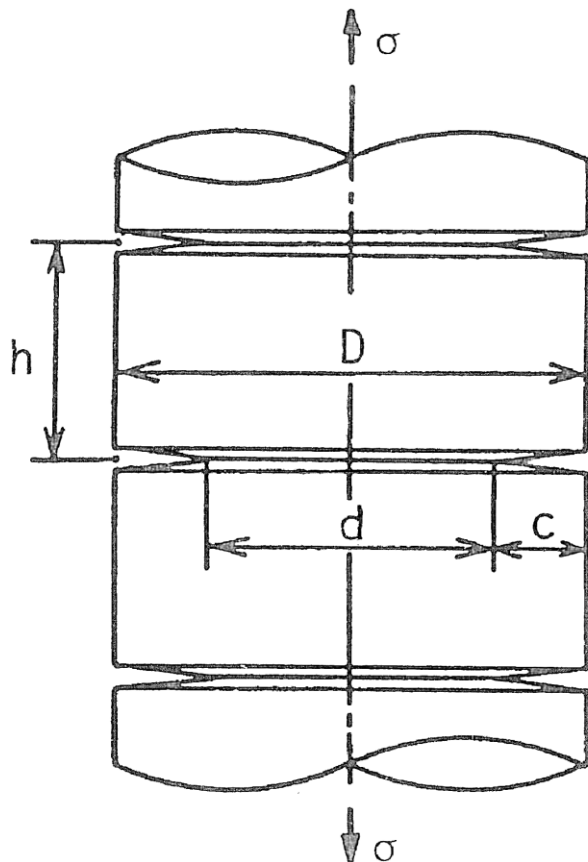
SM400, $\Delta \sigma = 300 \text{ MPa}$

S.Usami, H.Kimoto and
S.Kusumoto, Trans.JWS,9,2
(1978) 118-127

切欠き底近傍における疲労き裂進展速度



破壊力学によるボルト疲労限度算出の試み



計算条件

$$c = 0.08d$$

$$h = 0.15d$$

$$\therefore K_I = 0.26\sigma_N D^{1/2}$$

$$\Delta K_{th} = 3.0 \text{MPa}\sqrt{\text{m}}$$

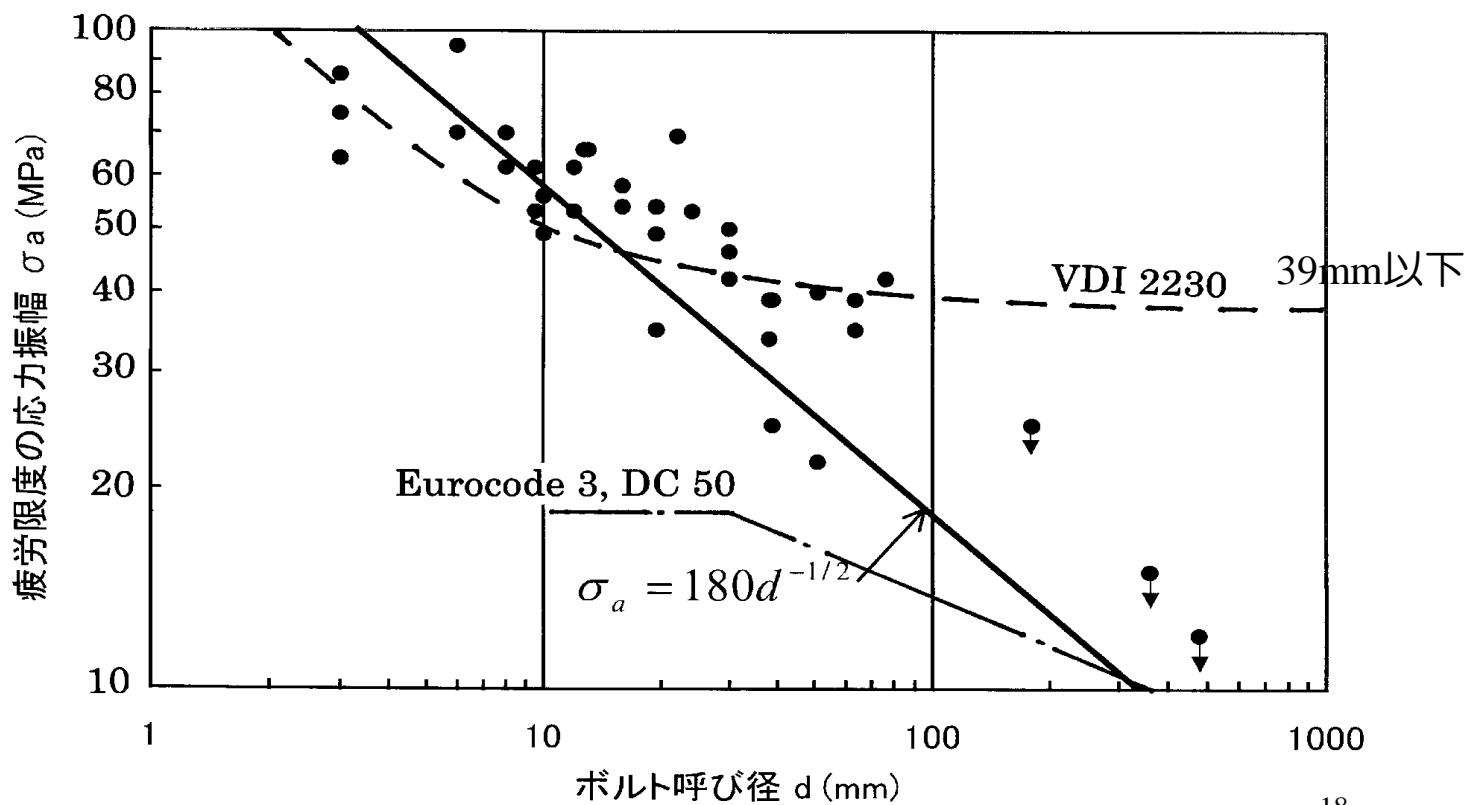
$$\therefore \sigma_{AN} = 5.8D^{-1/2}$$

外径 d : mm では,

$$\sigma_a = 180d^{-1/2}$$

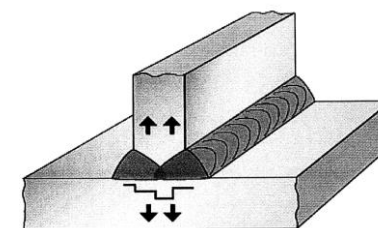
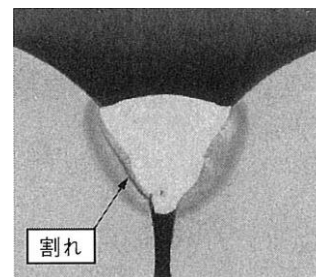
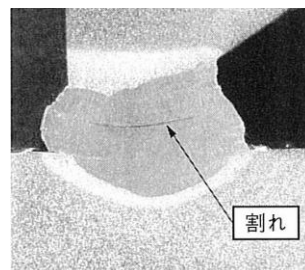
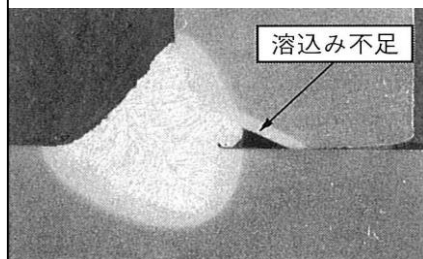
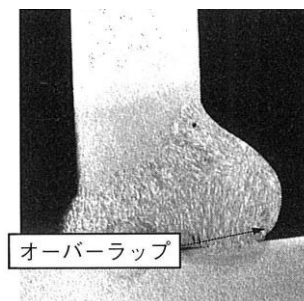
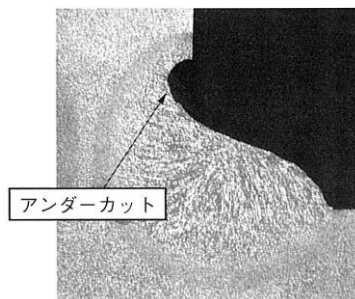
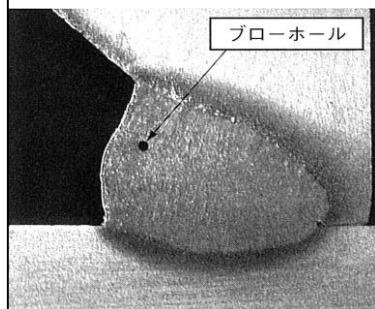
実験値と計算値の比較

理想状態での応力集中係数よりも低下が大きいのは不均一接触のため？



18

溶接欠陥の例



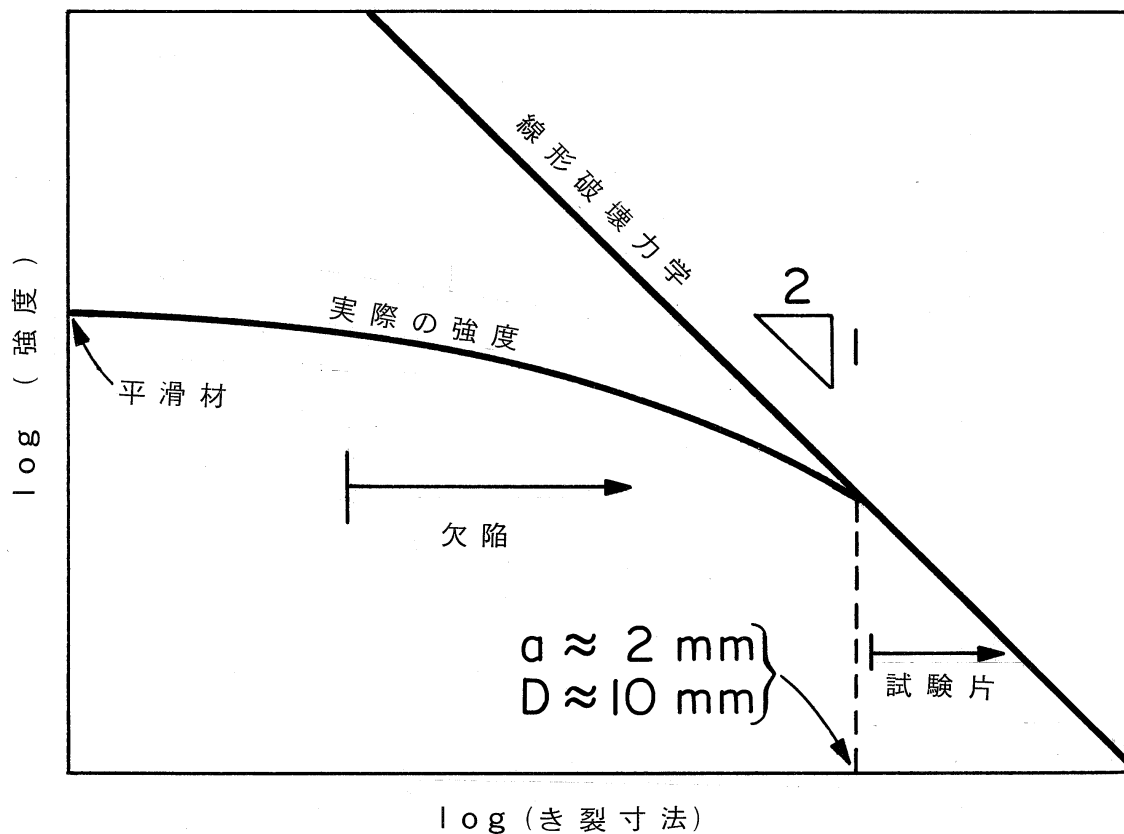
高温割れ

低温割れ

ラメラテア

NDIで多数検出される欠陥のどれが有害で,寿命は?

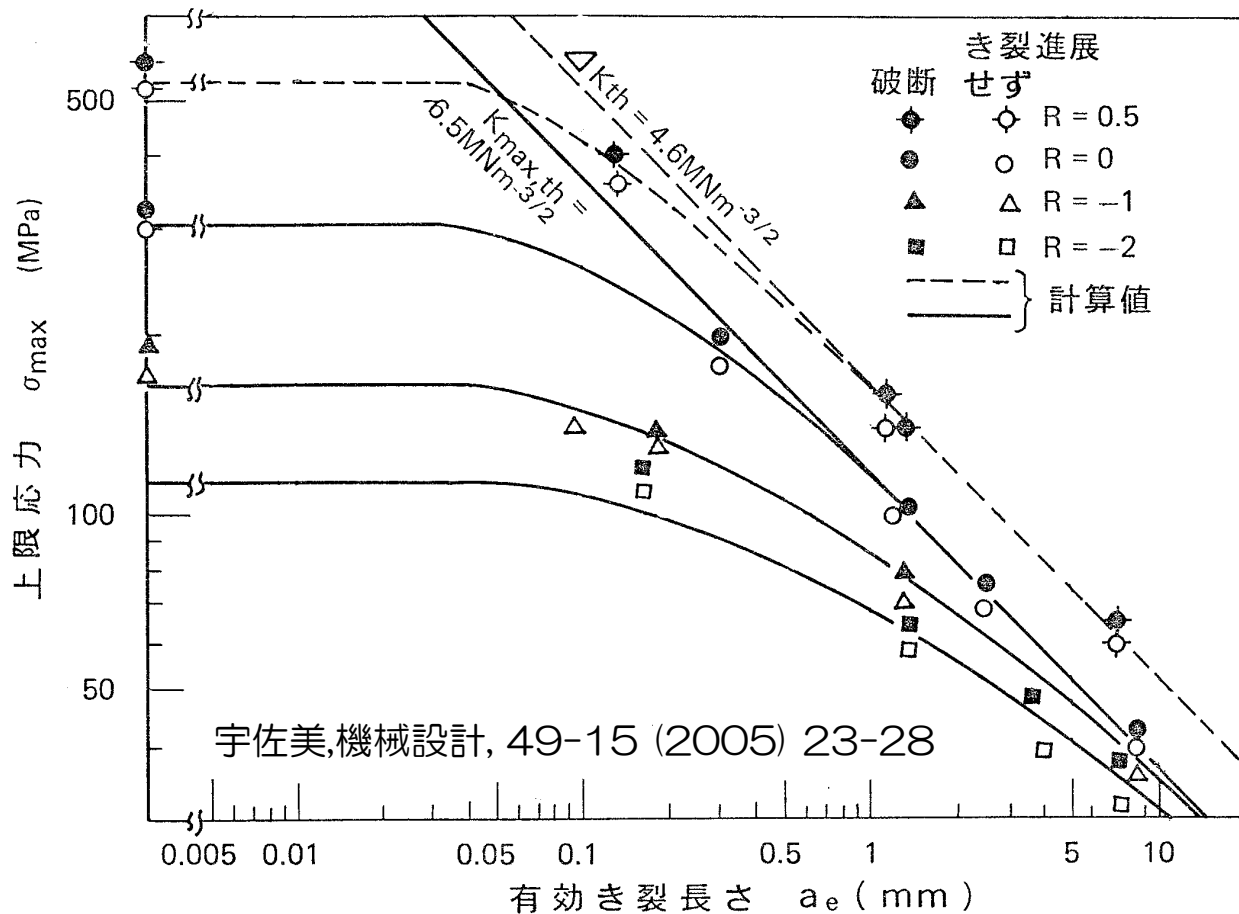
微小欠陥に対して線形破壊力学は 非保守側を与える



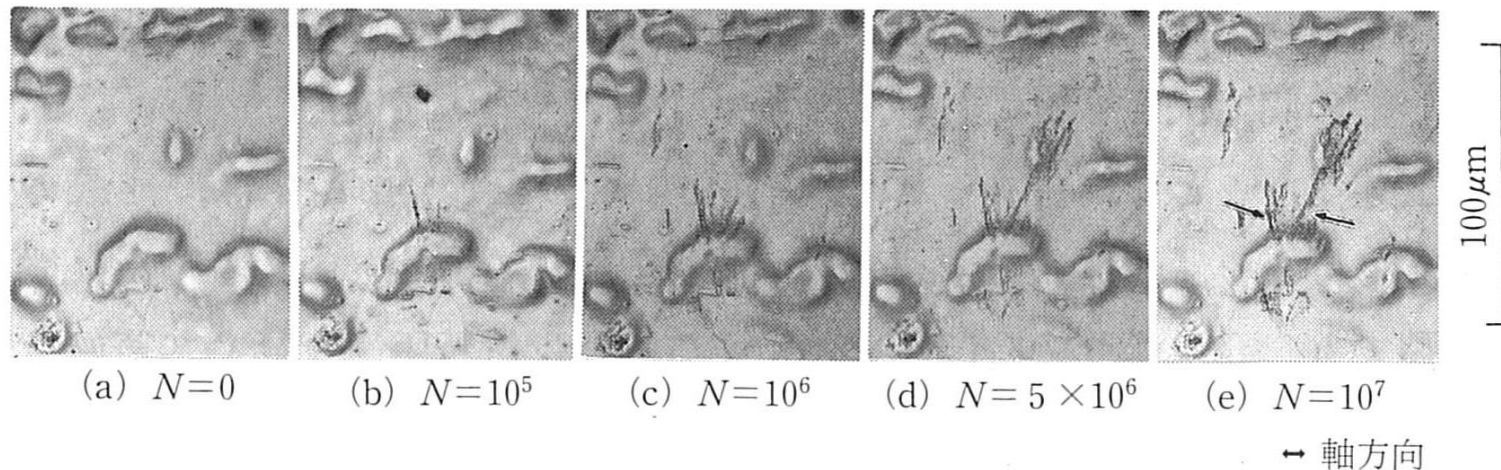
20

SM400におけるき裂長さと疲労限度の関係

き裂長さと応力を分離して評価すべき



炭素鋼平滑材における結晶組織単位の停留き裂



疲労限度：損傷発生限界ではなく、損傷が1結晶粒内に制限されるか否かで決定。粒界ではすべり面方向変化による損傷進展阻止抵抗が大きい。

村上, 金属疲労 微小欠陥と介在物の影響, 養賢堂(1993) 3

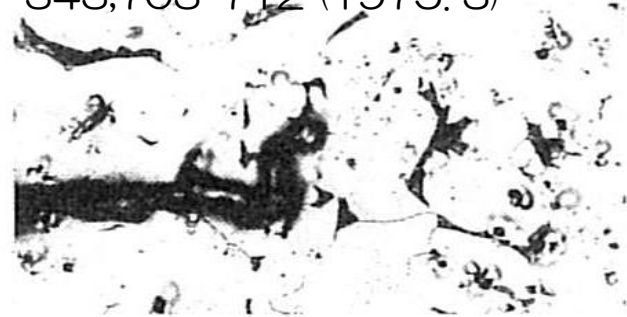
22

疲労限度の上下におけるき裂先端の損傷

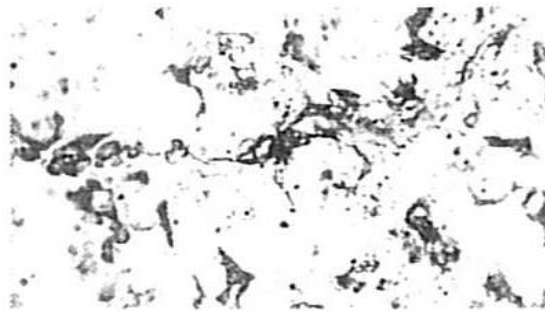
損傷が結晶粒内で拘束されればき裂は進展しない

大内田, 宇佐美, 西岡, 日本機械学会論文集, 41-343, 703-712 (1975. 3)

試験前



試験後



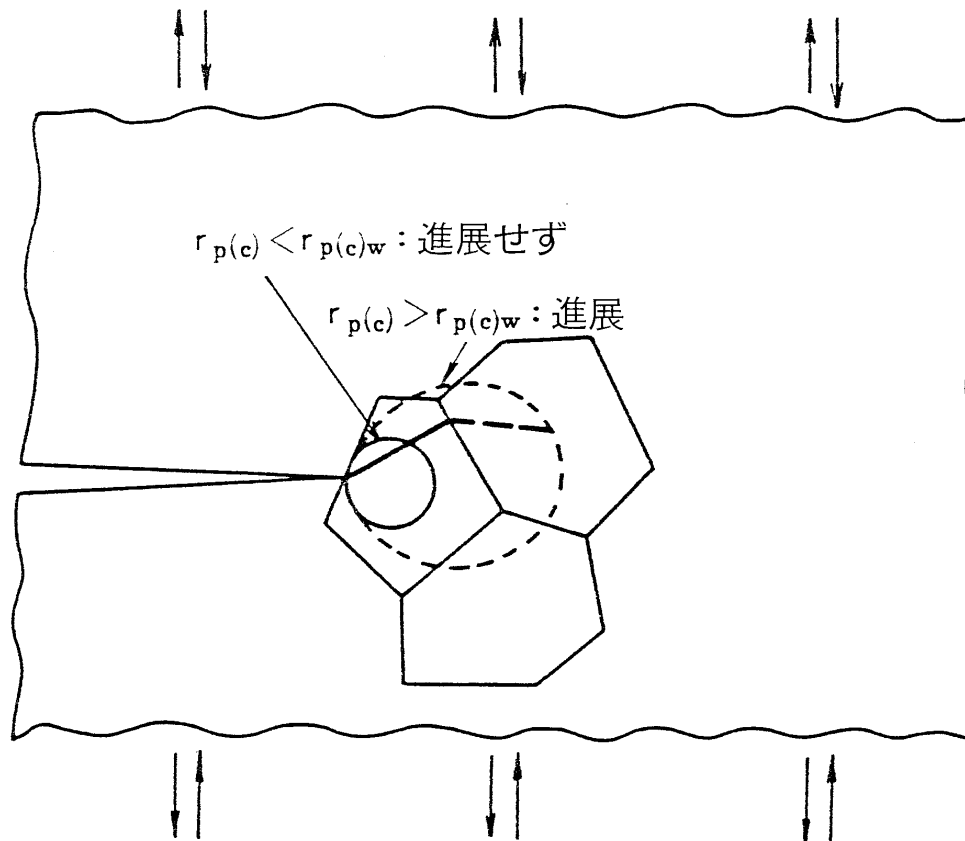
0.05mm

(a) 非進展き裂

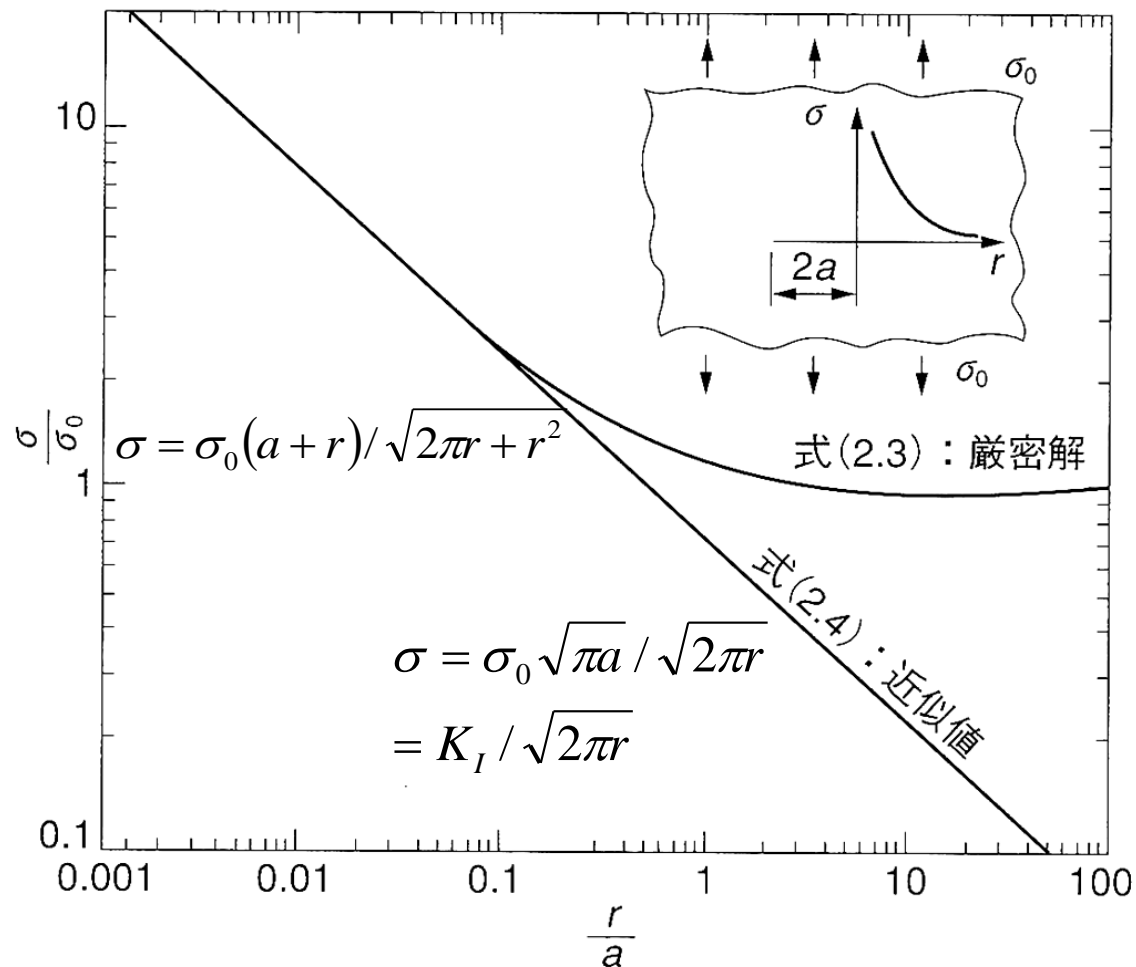
(b) 進展性き裂

($\sigma = \pm 137\text{MPa}$, $N = 10^7$) ($\sigma = \pm 157\text{MPa}$, $N = 1.4 \times 10^5$)

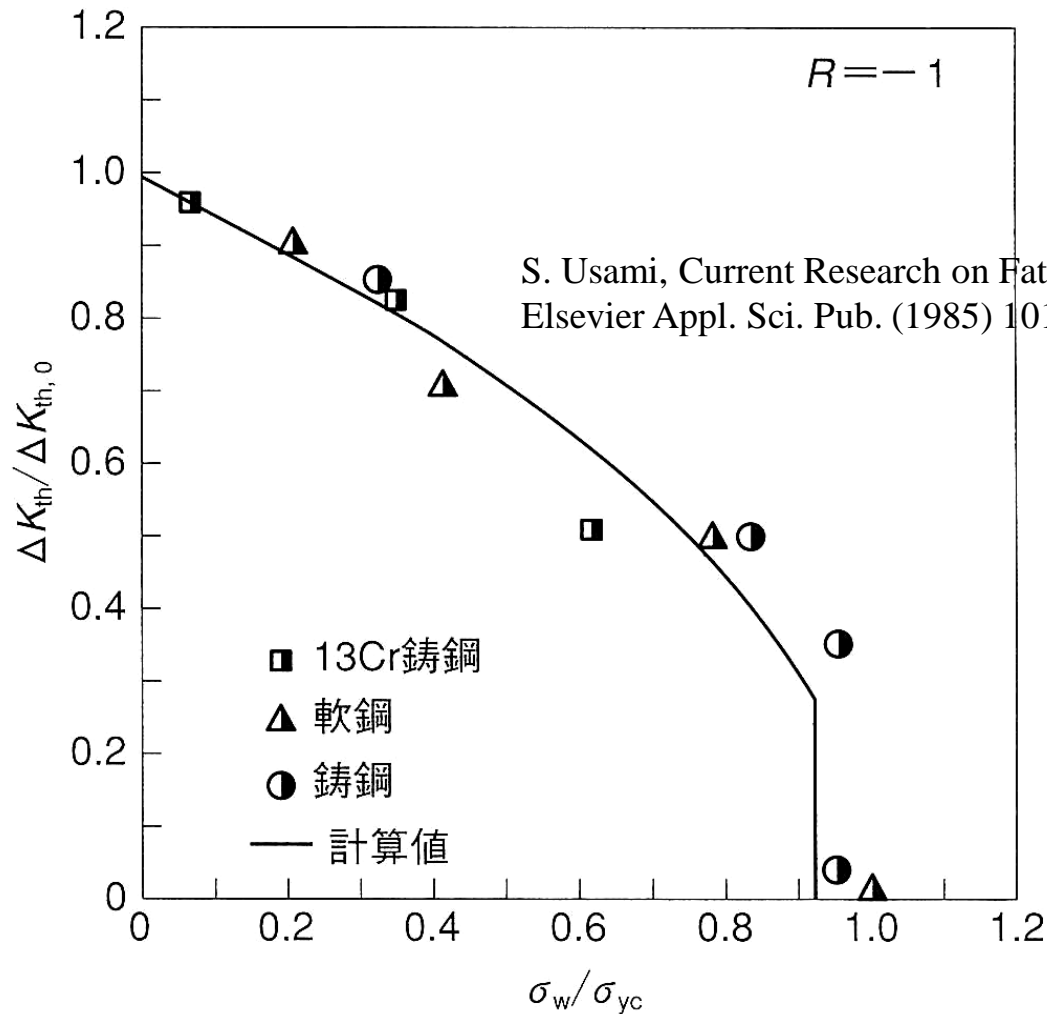
き裂疲労限度の簡易モデル



応力拡大係数は $r/a < 0.1$ でのみ有効

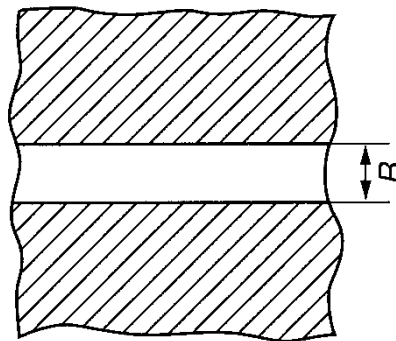


き裂疲労限度の2パラメータ整理

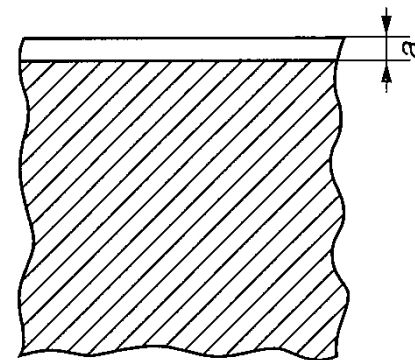


代表的欠陥形状の等価き裂寸法 a_e

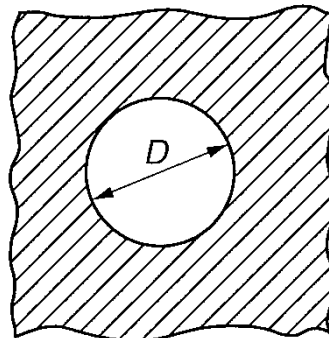
$$a_e = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_I}{\sigma} \right)^2$$



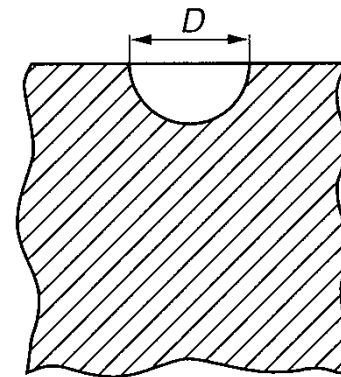
$a_e = 0.50B$
 (a) 内部の帯状欠陥



$a_e = 1.258a$
 (b) 表面の長い欠陥

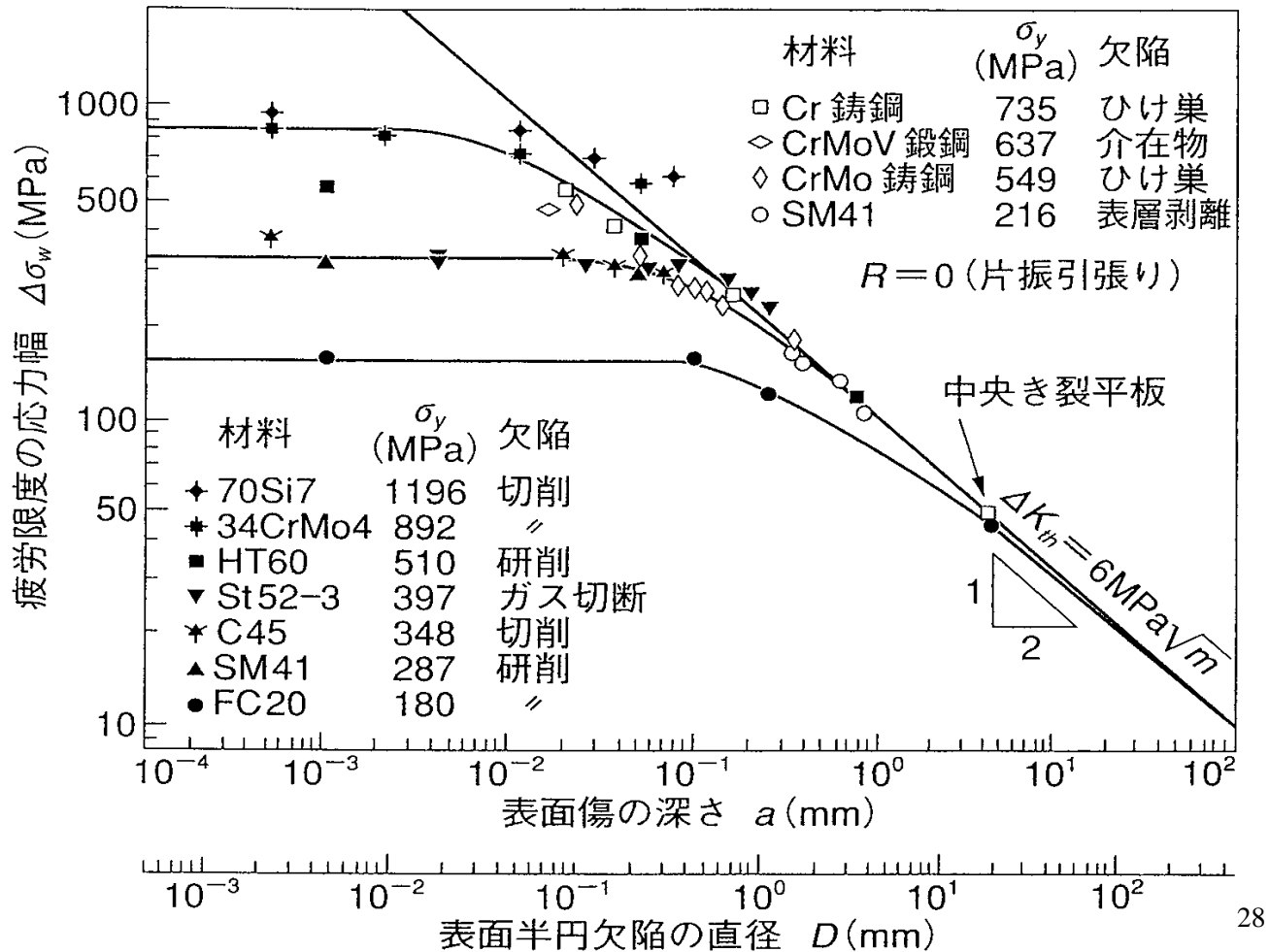


$a_e = 0.20D$
 (c) 内部の円形欠陥

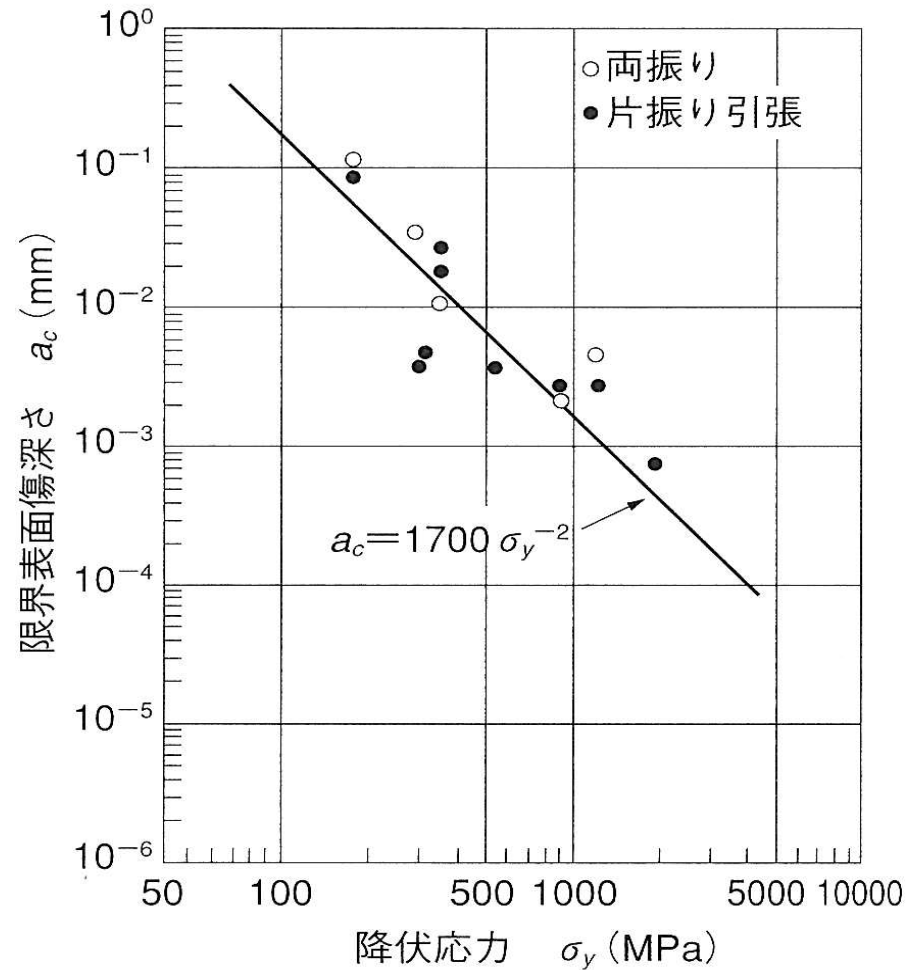


$a_e = 0.25D$
 (d) 表面の半円欠陥

材料欠陥・加工傷の寸法と疲労限度の関係



疲労限度に影響しない限界の表面傷深さ



おわりに

- 強度に関して何一つ確定したものはない。
- 工学は近似で成り立つが,その精度向上は永遠の課題である。
- 製品の開発,製造,保守すべての分野で解決すべき課題が山積している。
- 実機,現場に立脚したみなさんのご活躍を祈念致します。