

## 504 応力分布を用いた統一的強度評価基準の検討

## Standardization of strength evaluation methods using stress distributions

○正 服部敏雄(岐阜大工) 西村尚哉、山下 実

Toshio HATTORI, Gifu University, 1-1 Yanagito, Gifu city, Gifu Pref.,

Naoya NISHIMURA and Minoru YAMASHITA

## 1 緒 言

これまでに、各種部材の疲労強度評価パラメータ、 $\sigma_0$

(平滑材疲労限)、 $\sigma_{0n}$  (応力集中部材疲労強度)、 $\Delta K_{th}$  (き裂材のき裂進展限界応力拡大係数範囲)などの関連を実験、解析両面から検討し、これら全てを結びつける統一評価パラメータ、例えば材料特有の特定位置の応力値 (Point method)、特定範囲の平均応力 (Area method) の提案がなされた。また、一般コーナー角 (溶接止端)、接触端 (フレットイング)、接着端などの応力特異場の強度評価には、応力特異場パラメータ、等価応力拡大係数を用いた強度評価の研究が進められてきた。しかしこれらを全て結びつけた強度評価の検討はあまりなされていない。そこで、本報告ではまず上記一般部材の疲労限予測法のうち最も単純な特定位置応力を用いた予測法 (Point method) を、HT60鋼材の応力集中 (丸穴無限板)、き裂材に適用し、それぞれの寸法効果をうまく予測できることを確認すると同時に、同鋼材の一般コーナー角部材の応力特異場にも適用し、実験結果との比較を行い、この単純な評価方法が幅広い範囲に適用できる見通しを示した。

## 2 疲労限予測法の概要と、特定位置応力を用いた疲労限予測法

各種部材の疲労限  $\sigma_w$ 、疲労き裂進展下限応力拡大係数範囲  $\Delta K_{th}$  等の予測のためにこれまで多くの材料科学的モデル、力学的モデルが提案されてきた。例えば、鋭い切欠き材の強度の低下は最大応力 (hot-spot stress) が発生する切欠き先端よりある特定距離での応力が破壊を規定する、あるいは特定距離範囲内での応力の平均値が破壊を規定するなどのモデルである。著者らはこのような応力集中の著しい構造の一つである接触端、接着端などの応力特異場領域での強度評価に、この領域の応力分布を表す2つの応力特異場パラメータ (H; 応力特異場の強さ、 $\lambda$ ; 特異性の指数) を使う方法を提案してきた。しかしこのような2つのパラメータで強度評価する場合データベースの構築に多大の労力がかかり実用上の大きな障害であった。本報告では、この中で最も単純な特定位置応力を用いた予測法を HT60 鋼材を対象に、次章より示す具体的な構造に適用し、実験結果との比較検討を行った。

まず最初に、HT60 鋼材の特定位置  $r_c$  を求める。このためには応力分布の両極端である、平滑材の疲労限  $\sigma_{w0}$  と、き裂材のき裂進展限界応力拡大係数範囲  $\Delta K_{th}$  を用い、この両者の条件での応力分布の交点から HT30 鋼材の特定位置  $r_c$  が求まる。無限板中のき裂が十分長い場合のき裂先端部の応力分布は

$$\sigma(r) = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \quad \dots (1)$$

で求まる。ここで、 $K$  は、応力拡大係数、 $r$  はき裂先端からの距離である (図3参照)。そうすると HT60 鋼材の疲労限  $\Delta\sigma_0 = 547 \text{ MPa}$ 、き裂進展限界応力拡大係数範囲  $\Delta K_{th} = 7.5 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$  を (1) 式の  $\sigma(r)$  及び  $K$  に代入して、特定位置  $r_c = 0.03 \text{ mm}$  が求まる。

## 3 特定位置応力を用いた疲労限予測法の適用

## 3.1 円孔を有する無限板への適用

図1に示すような一軸引張り状態での円孔を有する無限板の応力集中率 (形状係数) は 3.0 であるが、その最大応力点からの距離  $r$  と、応力の関係は次式で示される。

$$\sigma(r) = \frac{\sigma_{nom}}{2} \left[ 2 + \left( \frac{R}{R+r} \right)^2 + 3 \left( \frac{R}{R+r} \right)^4 \right] \quad \dots (2)$$

ここで、 $\Delta\sigma_0 = 547 \text{ MPa}$ 、特定位置  $r_c = 0.03 \text{ mm}$  を (2) 式の  $\sigma(r)$  及び  $r$  に代入して、円孔の半径  $R$  と、その時の疲労限  $\sigma_{0n} = \Delta\sigma_{0n}/2$  の関係は、図2の如くなり、多くの実験結果の傾向とよく合っている。

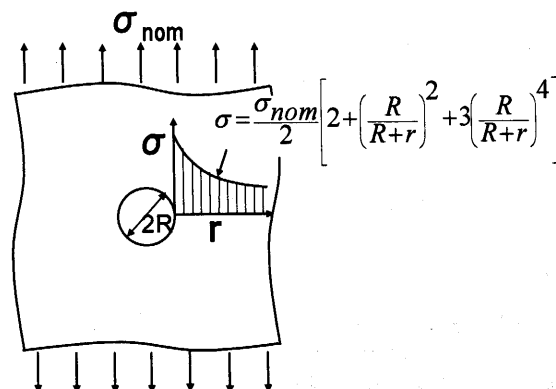


Fig. 1. Stress distribution near circular hole

## 3.2 き裂を有する無限板への適用

図3のようなき裂材の疲労限  $\sigma_{oc}$  は、このき裂が十分長い場合は、き裂先端の応力拡大係数

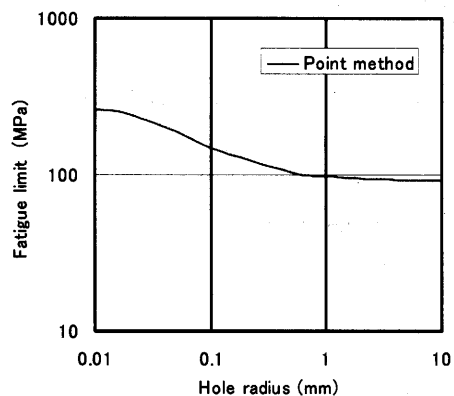


Fig. 2. Fatigue limit of central hole plates with each radius

$K = \sigma_{nom} \sqrt{\pi a}$  がき裂進展限界応力拡大係数範囲  
 $\Delta K_{th} = 7.5 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$  に達する条件として、  
 $\sigma_{oc} = \Delta \sigma_{oc} / 2 = \Delta K_{th} / 2 \sqrt{\pi a}$  と求まる、しかしこの  
予測は図 4 の破線に示す如く微小き裂領域で  
 $\Delta \sigma_0 = 547 \text{ MPa}$  以上になるなど矛盾がある。この原因  
は、き裂先端の応力分布を  $\sigma(r) = \sigma_{nom} \sqrt{a/2r}$  と近似し  
ていたが、き裂が小さい場合にはより精度のいい  
 $\sigma(r) = \sigma_{nom} / \sqrt{1 - [a/(a+r)]^2}$  を用いると、この式に、  
 $\Delta \sigma_0 = 547 \text{ MPa}$ 、特定位置  $r_c = 0.03 \text{ mm}$  を挿入すると  
き裂長さ  $a$  と、その時の疲労限  $\sigma_{oc} = \Delta \sigma_{oc} / 2$   
の関係は図 4 実線の如く多くの実験結果をうまく予測し  
ている。

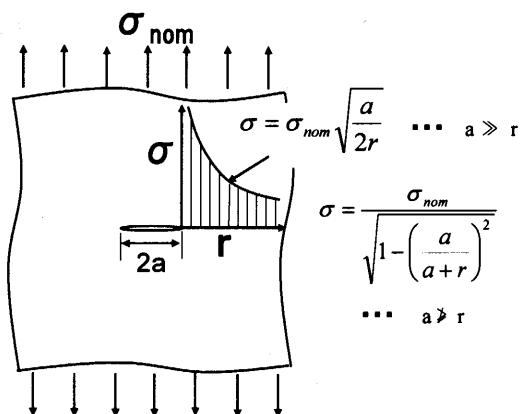


Fig. 3 Stress distribution near through crack

### 3.3 一般コーナー角を有する版無限板への適用

図 5 に示す一般コーナー角を有する鋭い切欠き先端  
部の応力分布は応力特異場状態となっており、図中にも  
示す如く、2つの応力特異場パラメータ  $H$  と  $\lambda$  のよ  
って表される。先に著者らはこのような部材の疲労強度を  
この2つのパラメータを用いて予測する方法を提案し  
たが強度のデータベース構築の上で大きな障害であ  
った。そこでここでも特異点からの特定距離の応力を用  
いて疲労限  $\Delta H_{th}$  を予測すると、特異性の指数（コー  
ナ角に依存） $\lambda$  との関係は図 6 の実線の如くなり、木原ら

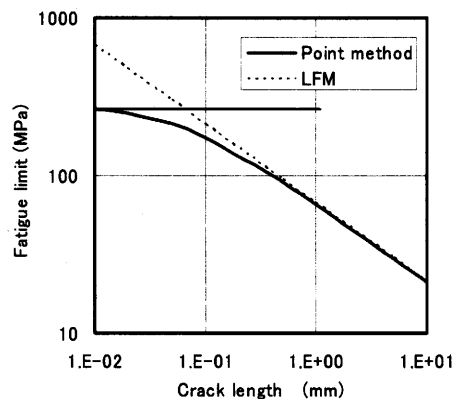


Fig. 4 Fatigue limit of through crack plates with each crack length

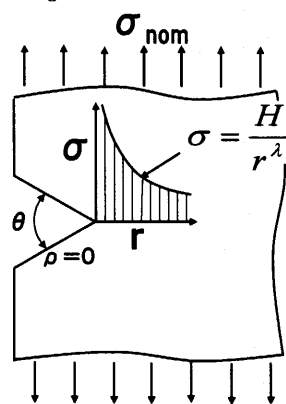


Fig. 5 Stress distribution near stress singular point

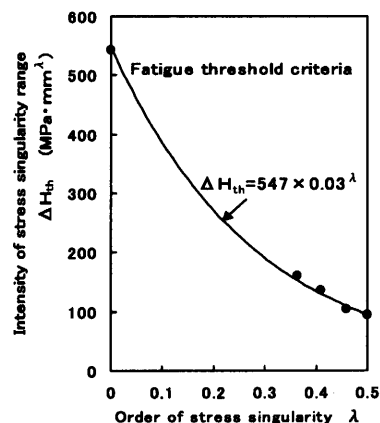


Fig. 6 Fatigue limit of sharp notch with each angle

実験結果●をうまく予測している。

### 参考文献

- (1) D. Taylor, Int. J. Fatigue, 21 (1999) 413
- (2) K. Tanaka, et al, Eng. Fract. Mech., 18-5 (1983) 101
- (2) K. Tanaka and Y. Nakai, J. Eng. Mat. and Tech., 106(1984) 192
- (3) 服部、渡辺、機論 (A), 67-661 (2001) 1486
- (4) 木原、吉井、機論 (A), 56-524 (1990) 903