

両側半円切欠きの応力集中に及ぼす面取りの影響

鶴 秀登*・村上 智洋**・岡田 訓明**・小丸 維斗***

Influence of Trimming Edges on Stress Concentration of a Plate with Semicircular Notches.

Hideto Tsuru*, Tomohiro Murakami**, Noriaki Okada**
and Yuito Komaru***

Abstract

The finite element method (FEM) is applied to calculate stress concentration factors of a plate with semicircular notches under tension in case that edges of notch are trimmed. Numerical calculations are done for various combinations of the size of notch and trimmed size by using the commercial FEM software MD.Nastran and MSC.Patran. The results are summarized in tables and figures for problems of practical importance.

1. 緒 言

構造物や部材の疲労等による破壊は避けられない問題である。そこで、破壊の原因の一つである応力集中現象を知り、破壊の起点となる情報を求めることは重要である。また、単に力学特性の知識だけでなく、材料特性および破壊のメカニズムを知ることも重要である^{[1][2]}。

本研究では、数値解析法のひとつである有限要素法 (Finite Element Method: FEM) を用いた市販のソフト (プリポストプロセッサ: MSC.Patran, ソルバー: MD.Nastran) を使用し、両側半円切り欠きをもつ有限板の一樣引張り問題について数値解析を行う。多種多様な問題を精度良く解析することができるFEMソフトは、汎用性をもたせているため解析を行うまでに多くの手順と専門知識を必要とし、データの取り方や結果のまとめ方などに経験を要する。そこで、FEMソフトの使用に慣れ、材料強度の力学的問題の検討を行う専門知識を学ぶことも含めて、基本的な問題である両側半円切欠きにおける切欠き縁の面取り効果について、破壊の一次因子となる切欠き底の最大応力を求めて検討し、応力集中係数 K_t としてまとめる。

2. 解 析 条 件

両側半円切欠き (半径 a) を有する有限板 (板幅

$2W$, 長さ $2L$) の一樣引張り問題において、Fig.1(a), (b) に示すように半円切欠き縁を丸め加工, または面取りをすることによる切欠き底の最大応力への影響について検討した。なお、数値解析は対称性を考慮し、Fig.2 (a), (b) に示す1/4の形状で解析した。具体的にはFig.2 (a) に示すように切欠きと板幅の比 a/W と丸め加工の半径 r と切欠きの比 r/a , または Fig.2 (b) に示すように切欠き形状の接線の位置が切欠き底からなす角度 θ を種々変化させて応力集中係数 K_t への影響を検討した。数値計算で用いた形状寸法は、 $W=100$ [mm], $L=200$ [mm], 材料定数は縦弾性係数 $E=206 \times 10^3$ [MPa], ポアソン比 $\nu=0.3$ とした。また、弾性応力問題として、切欠き底の最大応力 $(\sigma_y)_{\max}$ を最小断面の公称応力 σ_n で除した応力集中係数 K_t を求めた。

$$\sigma_n = \frac{W}{W-a} \sigma_0 \quad \dots(1)$$

$$K_t = \frac{(\sigma_y)_{\max}}{\sigma_n}$$

* 弓削商船高等専門学校電子機械工学科
** 弓削商船高等専門学校電子機械工学科 5 年生
*** 弓削商船高等専門学校専攻科生産システム工学専攻

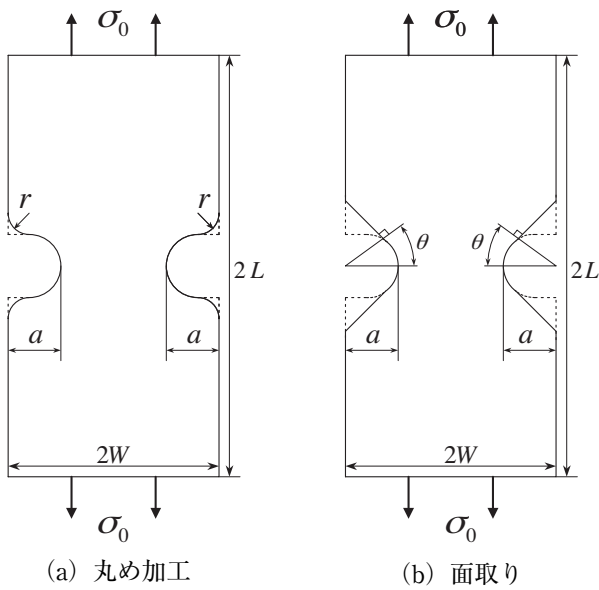


Fig.1 半円切欠き縁の加工による応力の変化

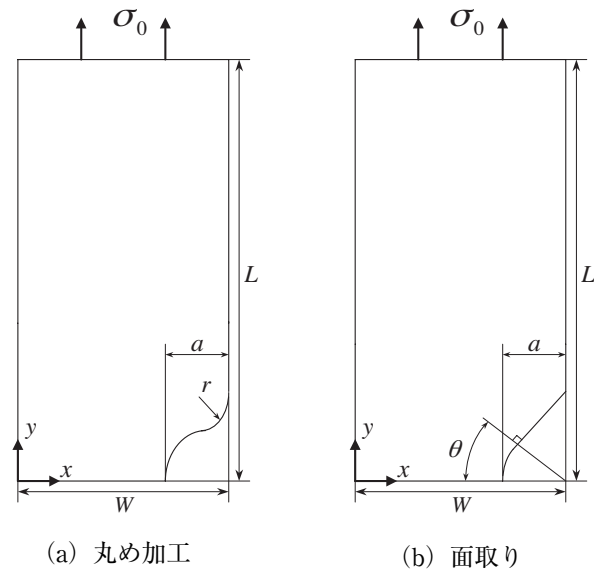


Fig.2 問題の1/4の解析領域

3. 数値計算と結果の検討

3. 1 要素分割と解の安定性

有限要素法では、要素分割数が多いほど解は安定してくる。しかし、要素分割数を多く取れば計算時間がかかるので、解の安定性から分割数を決定する必要がある。そこで、要素分割と解の安定性を確かめるためにFig.2 (a), (b) の $r=0$ と $\theta=90^\circ$ の場合、すなわち丸め加工と面取りをほどこしていない形状について、切欠き縁と切欠き底断面の分割数を種々変化させて検討した。

まず、Table 1に切欠き底の断面（リガメント）の分割数と K_t の関係を示す。このとき、1/4切り欠き縁の分割数は等分割の30分割一定として解析を行った。切欠き底断面の分割数30程度から安定していることが分かる。

次に、1/4切欠き縁の分割数と K_t の関係をTable 2に示す。ここで、切欠き底の断面（リガメント）の分割数は、メッシュサイズを不等分割の20分割一定として行った。解が安定していることがわかる。

これらの結果から、今後の計算は切欠き底の断面（リガメント）の分割数30分割、1/4切欠き縁の分割数60分割を基準とした。なお、Fig.3 (a), (b)に要素分割例を示す。

Table 1 切欠き底断面の分割数と K_t の関係

(1/4切欠き縁の分割数：30, $a/W=0.4$, (a): $r/a=0$, (b): $\theta=90^\circ$)

| | | | | |
|------------|------|------|------|------|
| 切欠き底断面の分割数 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| K_t | 1.85 | 1.86 | 1.87 | 1.87 |

Table 2 1/4切欠き縁の分割数と K_t の関係

(切欠き底断面の分割数：20, $a/W=0.4$, (a): $r/a=0$, (b): $\theta=90^\circ$)

| | | | |
|-------------|------|------|------|
| 1/4切欠き縁の分割数 | 30 | 60 | 90 |
| K_t | 1.86 | 1.87 | 1.87 |

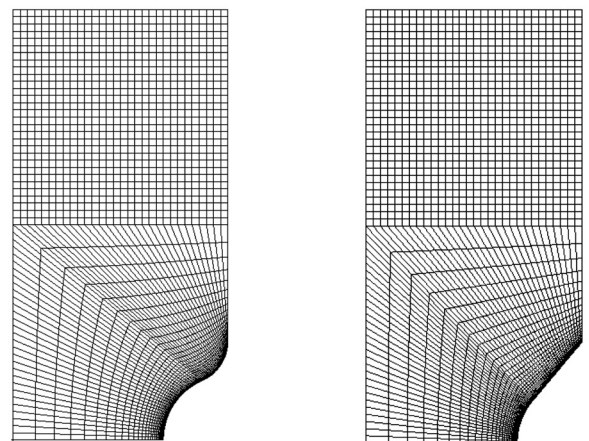


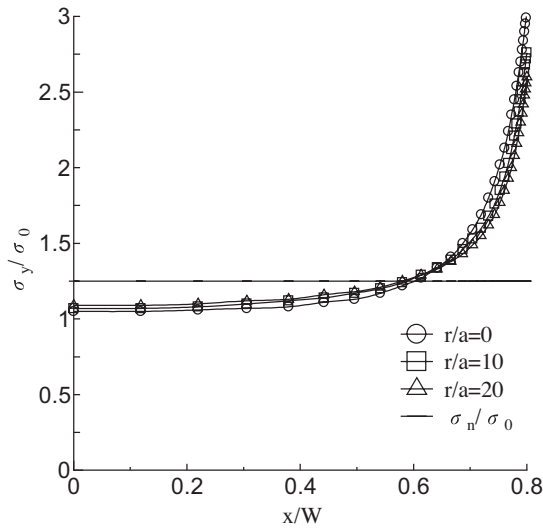
Fig.3 要素分割例 ($a/W=0.3$)

3. 2 切欠き底の応力分布

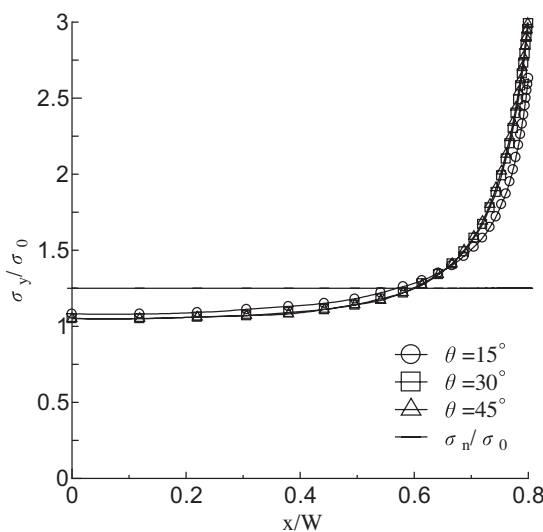
Fig.4 (a), (b)に切欠きと板幅の比 $a/W=0.2$ の場合の切欠き底の応力分布を示す。横軸にFig.2の座標を用いた位置の比 x/W 、縦軸は荷重方向応力 σ_y を一樣引張り応力 σ_0 で無次元化した σ_y/σ_0 である。

これらの結果より、最大応力には丸め加工と面取りの影響はあるが、応力分布には大差がない。そし

て切欠き縁近傍において応力が急激に上昇するが、切欠き深さと同じ程度離れると公称応力程度となり、一定の値に近づく。また当然ながらその値は公称応力 σ_n よりも小さくなる。



(a) 丸め加工



(b) 面取り

Fig.4 切欠き底断面の応力分布 ($a/W=0.2$)

3. 3 応力集中係数

Fig.5 (a), (b)に切欠き底に生じる最大応力 ($\sigma_y)_{max}$ を公称応力 σ_n で無次元化した式 (1) で定義する応力集中係数 K_t を示す。

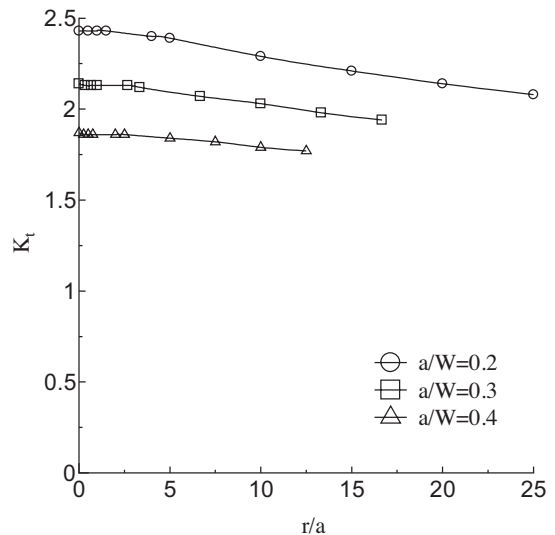
Fig.5 (a) は、横軸に丸め加工の半径と切欠きの比 r/a を取り、切欠きと板幅の比 a/W をパラメータとして示す。これらの結果から K_t は r/a とほぼ直線関係をもつようである。応力集中に及ぼす丸め加工の影響は切欠きが小さいほど大きいですが、計算した範囲では

最大約15%低下することがわかった。

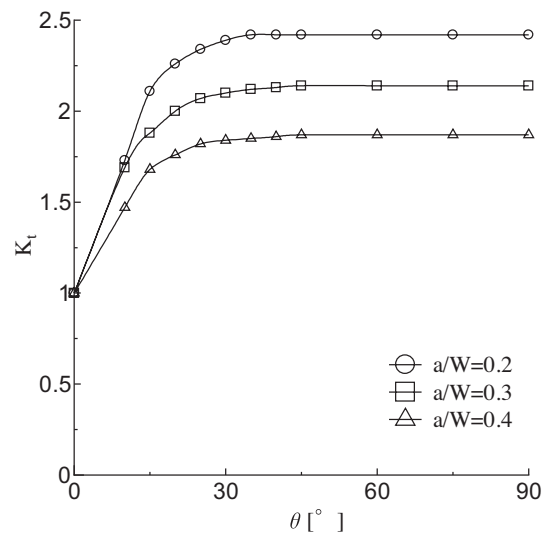
Fig.5 (b) は、横軸にFig.2 (b) で定義する角度 θ を取り、切欠きと板幅の比 a/W をパラメータとして示す。図からもわかるように $\theta = 45^\circ$ 以上になるとほぼ一定の値となり、面取り効果が無くなることがわかる。なお、Table 3 (a), (b) にそれぞれの数値結果を示す。

4. 結 言

両側半円切欠きをもつ有限板の一様引張り問題において、切欠き縁の面取り効果について、市販のFEMソフトを用いて解析し、切欠き底の応力集中係



(a) 丸め加工



(b) 面取り

Fig.4 両側半円切欠きの応力集中係数 K_t

数と切欠き底の応力分布について検討した。得られた結果を以下に示す。

- ・切欠き底の応力分布は、切欠き半径と同じ程度切欠き底に近づくと応力が急激に上昇し、板中央では切欠き半径と同じ程度切欠き底から離れると公称応力程度になる、その後一定の値に近づく。そして、その値は当然、公称応力 σ_n よりも小さい。
- ・両側半円切欠きの応力集中に及ぼす丸め加工の影響は切欠きが小さいほど大きいですが、計算した範囲では最大約15%低下することがわかった。
- ・面取りが応力集中係数へ及ぼす影響は、切欠きを大きく切り落とすような θ が小さい時のみ効果があり、 45° の面取りでは効果がないことがわかる。

参 考 文 献

- [1] 西谷弘信：日本機械学会論文集（A編），48巻，447号 PP. 1353～1359，（昭58-11）。
- [2] 村上敬宜：応力集中の考え方（養賢堂）2005-7。

Table 3 (a) 丸め加工の応力集中係数 K_t への影響

| $a/W=0.2$ | | $a/W=0.3$ | | $a/W=0.4$ | |
|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| r/a | K_t | r/a | K_t | r/a | K_t |
| 0.00 | 2.43 | 0.00 | 2.14 | 0.00 | 1.87 |
| 0.50 | 2.43 | 0.33 | 2.13 | 0.25 | 1.86 |
| 1.00 | 2.43 | 0.67 | 2.13 | 0.50 | 1.86 |
| 1.50 | 2.43 | 1.00 | 2.13 | 0.75 | 1.86 |
| 4.00 | 2.40 | 2.67 | 2.13 | 2.00 | 1.86 |
| 5.00 | 2.39 | 3.33 | 2.12 | 2.50 | 1.86 |
| 10.00 | 2.29 | 6.67 | 2.07 | 5.00 | 1.84 |
| 15.00 | 2.21 | 10.00 | 2.03 | 7.50 | 1.82 |
| 20.00 | 2.14 | 13.33 | 1.98 | 10.00 | 1.79 |
| 25.00 | 2.08 | 16.67 | 1.94 | 12.50 | 1.77 |

Table 3 (b) 面取りの応力集中係数 K_t への影響

| θ [°] | K_t | | |
|--------------|-----------|-----------|-----------|
| | $a/W=0.2$ | $a/W=0.3$ | $a/W=0.4$ |
| 0 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 10 | 1.73 | 1.69 | 1.47 |
| 15 | 2.11 | 1.88 | 1.68 |
| 20 | 2.26 | 2.00 | 1.76 |
| 25 | 2.34 | 2.07 | 1.82 |
| 30 | 2.39 | 2.10 | 1.84 |
| 35 | 2.42 | 2.12 | 1.85 |
| 40 | 2.42 | 2.13 | 1.86 |
| 45 | 2.42 | 2.14 | 1.87 |
| 60 | 2.42 | 2.14 | 1.87 |
| 75 | 2.42 | 2.14 | 1.87 |
| 90 | 2.42 | 2.14 | 1.87 |