

だ円孔を有する有限板の一樣引張り

鶴 秀登*・濱中 敬司**・秦 昂平**

On the Tension of a Finite Plate Having a Central Elliptic Hole

Hideto Tsuru*, Keiji Hamanaka**, Kohei Hata**

Abstract

The finite element method (FEM) is applied to calculate stress concentration factors of a finite plate having a central elliptic hole under tension. Numerical calculations are done for various combinations of the size of elliptic hole and for three types of applied load by using the commercial FEM software MSC.Nastran and MSC.Patran. Moreover, the elastic-plastic problems are analyzed by FEM using MSC.Marc-Mentat. The obtained results of stress concentration factors and plastic zone near the notch root are shown in the figures so they can be used in design.

1. 緒言

機械や構造物における応力集中現象を知ることは、破壊の起点を求める上で重要である^[1]。また多くの金属材料では、弾性変形後に降伏現象が現れ破壊へといたるため、応力集中現象のみならず降伏領域での塑性挙動を知ることも重要となる。弾塑性解析を行うことでより精度の高い破壊原因のシミュレーションができ、部材の破壊、破損による事故を防止するのに役立つ。

本研究では、有限要素法を用いた市販のソフトを使用し、だ円孔を有する有限板の一樣引張り問題の解析を行った。使用するFEMソフトはコンピュータの発達とともに幅広い問題に精度良い結果をもたらすようになってきている。しかし、汎用性をもたせているため、前処理、後処理ともに多くの手順を必要としている。また、複雑な形状などの解析を行うには多くの経験と専門知識が必要となる。そこで、だ円孔を有する有限板の引張り問題を弾塑性問題として取り扱う中で、利用技術の習得と専門知識を学ぶことを目的とした。数値計算はだ円孔の大きさを変化させ、孔縁に生じる最大引張応力に着目し、破損の一次因子となる応力集中係数についてまとめ、さらに切欠き底の降伏域についても検討した。その際、負荷様式による応力集中係数や降伏域への影響についても調べた。

2. 解析条件

Fig.1に示す中央にだ円孔(長径 $2a$, 短径 $2b$)を有する有限板(板幅 $2w$, 長さ $2L$)の引張り問題を取り扱った。負荷様式は(a)一樣応力型, (b)せん断のない一樣変位型(ローラー型), (c)クランプによる一樣変位型の3種を用いた。だ円孔形状 b/a とだ円孔の大きさと板幅の比 a/w と形状比 b/a の影響について検討した。なお数値解析はその対称性から1/4の領域で解析でき(Fig.2), 弾性問題における応力集中については汎用解析ソフトであるプリ・ポストプロセッサMSC.Patran, ソルバーMSC.Nastranを用い, 応力集中部に生じる降伏域については汎用解析ソフトMSC.Marc-Mentatで弾塑性解析を行った。本計算で用いた材料特性は, Fig.3に示す弾硬化塑性体(加工硬化率 $H'/E=0.1$)で, ポアソン比 $\nu=0.3$, 初期降伏応力 $\sigma_s=196\text{MPa}$, 初期降伏ひずみ $\varepsilon_s=0.001$ (縦弾性係数 $E=196000\text{MPa}$)とし, 平面応力問題として取扱った^[2]。

また結果の整理には次式で示される2つの応力集中係数を用いた。ここで σ_0 は応力型の端面一樣応力である。

$$K_t = \frac{(\sigma_y)_{\max}}{\sigma_0} \dots(1)$$

$$K'_t = \frac{(\sigma_y)_{\max}}{\sigma'_0} \left(\sigma'_0 = \frac{W}{W-a} \sigma_0 \right) \dots(2)$$

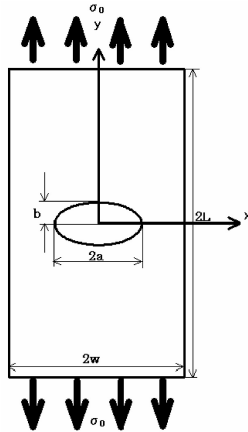
* 電子機械工学科

** 専攻科生産システム工学専攻1年

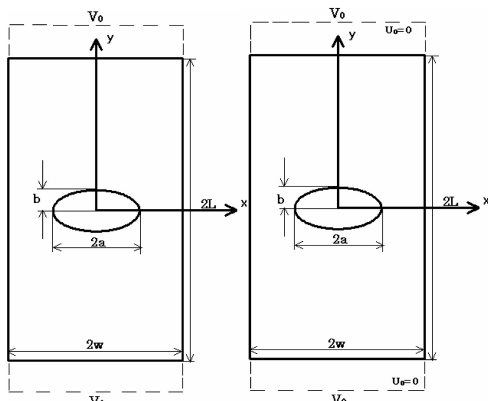
なおローラー型負荷およびクランプ型負荷における変位 V_0 は次式で換算した。

$$V_0 = \frac{\sigma_0}{E} L \quad (\text{ローラー型})$$

$$V_0 = \frac{(1-\nu^2)\sigma_0}{E} L \quad (\text{クランプ型}) \quad \dots(3)$$



(a) 応力型



(b) ローラー型

(c) クランプ型

Fig.1 有限板の引張り

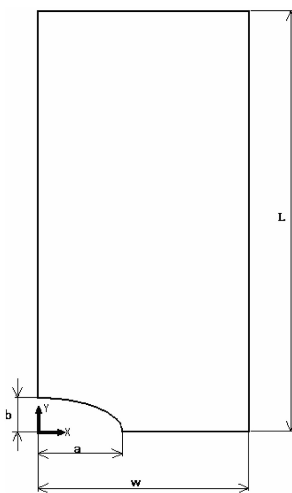


Fig.2 解析領域

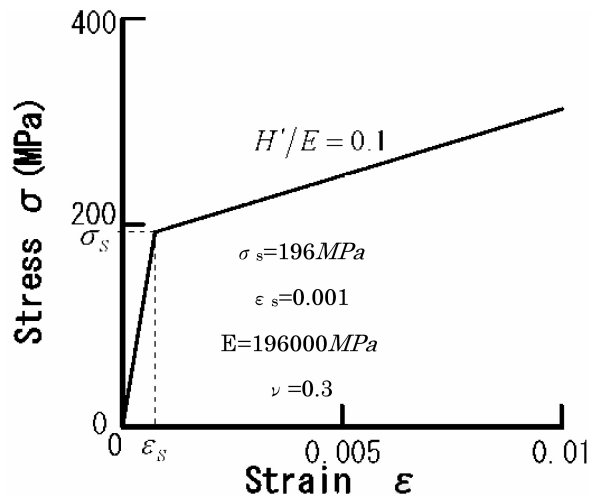


Fig.3 材料特性

3. 数値解析結果と検討

3. 1 要素分割と解の精度

まず、要素分割と解の精度について検討した。Table 1 に示す形状寸法と負荷応力を用い、端面の応力一様型でだ円孔と板幅の比 $a/w=0.4$ 、だ円孔の形状比 $b/a=0.6$ の場合について計算を行い、1/4切欠き縁の分割数と K_t の関係を求めTable 2 示す。分割数40程度で安定した結果が得られることがわかる。この結果から、以後の計算は孔の大きさに関わらず切欠き縁の分割数を40分割として解析した。なお、Fig. 4 にこの計算で用いた切欠き縁分割数40の場合の要素分割を示す。

Table 1 解析に用いた形状寸法と負荷応力

板幅W	長さL	負荷応力
50mm	100mm	100MPa

Table 2 分割数による K_t の安定性
応力型引張り ($a/w=0.4$, $b/a=0.6$)

切欠き縁分割数	20	40	80	160	[Ref. 3]
K_t	5.05	5.12	5.14	5.14	5.12

3. 2 従来の結果との比較

Fig. 5 にFig. 1 (a) の場合のだ円孔を有する有限板の一様引張応力問題の解析結果を示す。だ円孔の形状比 b/a を横軸にとり、だ円孔の大きさを示す a/w をパラメータとして式 (2) の応力集中係数 K_t を用い従来結果 [3] [4] [5] と比較して示す。この結果から本研究におけるFEM計算結果の精度が高いことがわかる。なおTable 3 にFEMによる数値結果を示す。

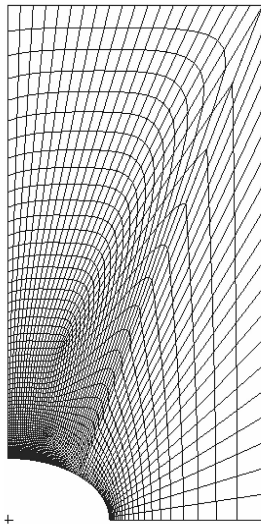


Fig.4 要素分割例 (a/w=0.4, b/a=0.6)

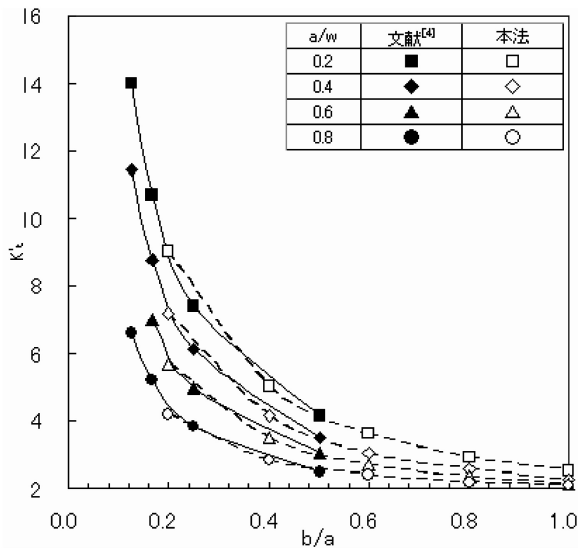


Fig.5 だ円孔をもつ有限板の一様引張り

Table 3 数値結果

a/w \ b/a	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
0.2	9.04	5.03	3.62	2.94	2.53
0.4	7.20	4.20	3.07	2.55	2.25
0.6	5.68	3.48	2.70	2.30	2.14
0.8	4.18	2.84	2.38	2.18	2.00

3. 3 応力集中係数への負荷様式の影響

Fig. 6 に応力 (stress) 型 (Fig. 1 (a)) と変位 (clamp) 型 (Fig. 1 (c)) 引張りによる応力集中係数の結果を横軸にだ円孔形状比 b/a , パラメータにだ円孔の大きさを示す a/w をとり比較して示す。だ円孔形状が扁平になると負荷様式による差が大きくなるが、小さい形状の切欠きで円孔に近くなると負荷様式に無関係となるようである。

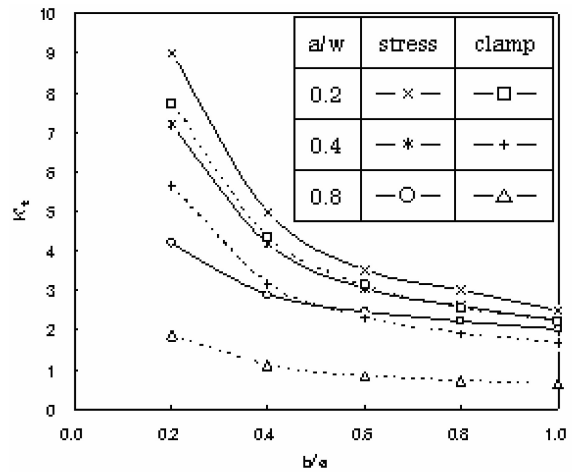


Fig.6 応力型と変位型引張りによる K_t の比較

次に一様応力型とローラー型負荷の比較を行った。ローラー型は対称の条件となるので、周期的なだ円孔問題に相当する。そのため L を長くしていくと干渉効果がなくなり応力型に近づいていくことになる。そこで板の長さ L を種々変化させたローラー型の計算を行い Table 4 に示す。Fig. 7 は Table 4 の結果を横軸に $1/(L/W)$ をとり、示したものである。ローラー型では板の長さをはかり長くしてもだ円形状によってはその干渉効果が残るようである。本計算でも応力型に近づけるために板の長さを長くしても 4% 程度の違いが生じている。

Table 4 一様応力型とローラー型負荷における K_t の比較 (a/w=0.4, b/a=0.6)

L/W	2	4	6	8
ローラー型 (b)	2.45	2.78	2.85	2.93
応力型 (a)	3.05			

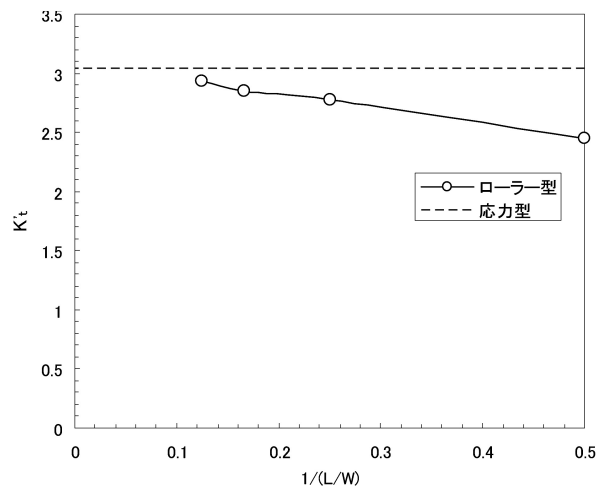


Fig.7 一様応力型とローラー型負荷の比較 (a/w=0.4, b/a=0.6)

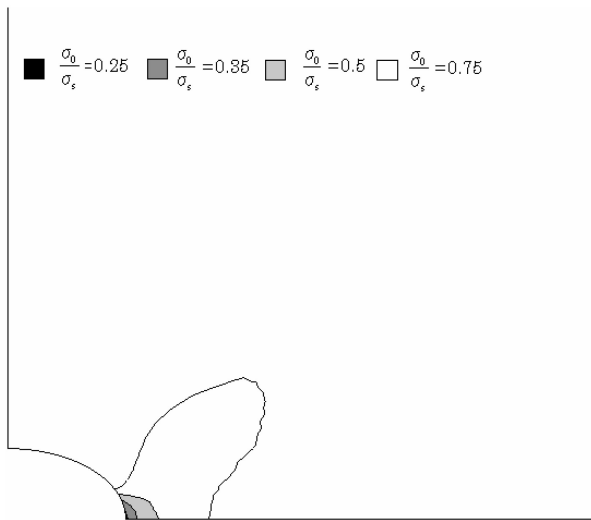
3. 4 塑性降伏域の広がり

Fig. 8～10にFig. 1 (a), (b), (c) の負荷様式におけるだ円孔切欠き底に生じる塑性降伏域を示す。だ円孔の形状比 $b/a=0.6$ に固定しだ円孔の大きさを示す a/w を種々変えて解析を行った。使用解析ソフトはMSC.Marc-Mentatである。なお、応力型については $L/W=8$ の場合の結果で近似した。また、降伏の条件としては、Von-Misesの降伏条件を適用し^[6]、 $\sigma_0/\sigma_s=0.25, 0.35, 0.5, 0.75$ における降伏域を示す。

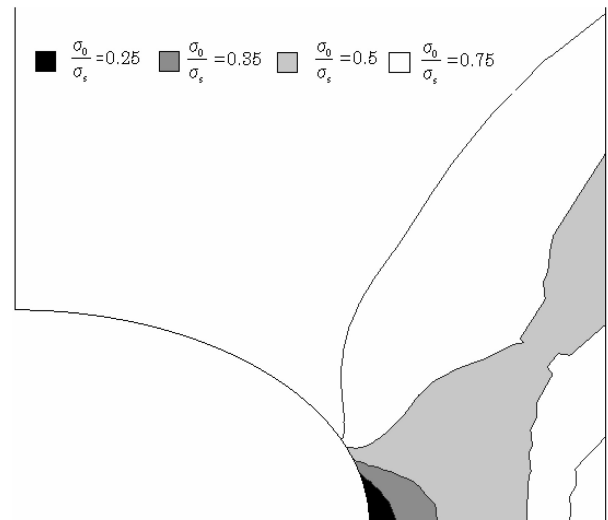
4. 結 言

有限板にだ円孔切欠きをもつ弾性問題と弾塑性問題を取り扱い、切欠き底の応力集中係数と塑性降伏域を負荷様式ごとに求めた。

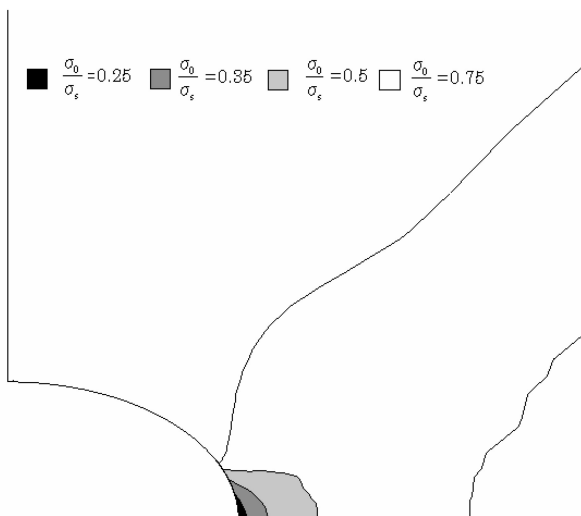
応力集中係数と塑性降伏域が負荷様式で異なることが定量的に得られた。



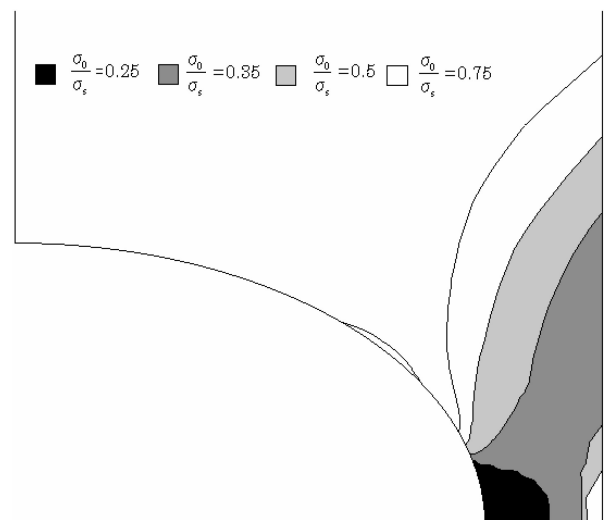
(a) $a/w=0.2, b/a=0.6$



(c) $a/w=0.6, b/a=0.6$

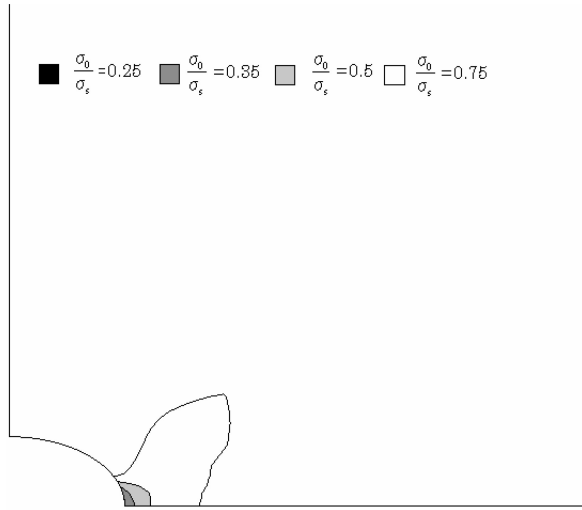


(b) $a/w=0.4, b/a=0.6$

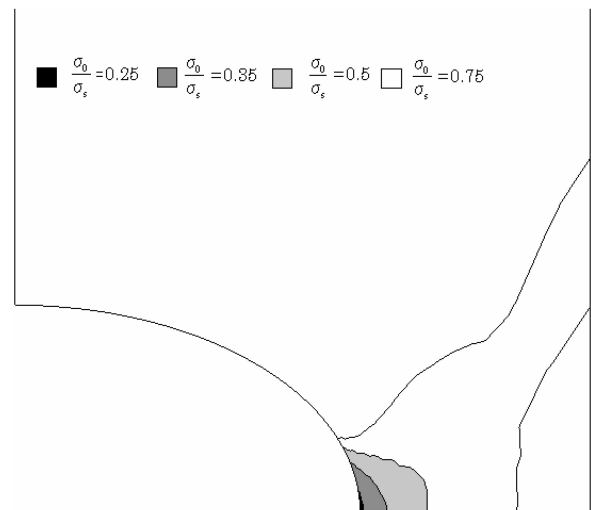


(d) $a/w=0.8, b/a=0.6$

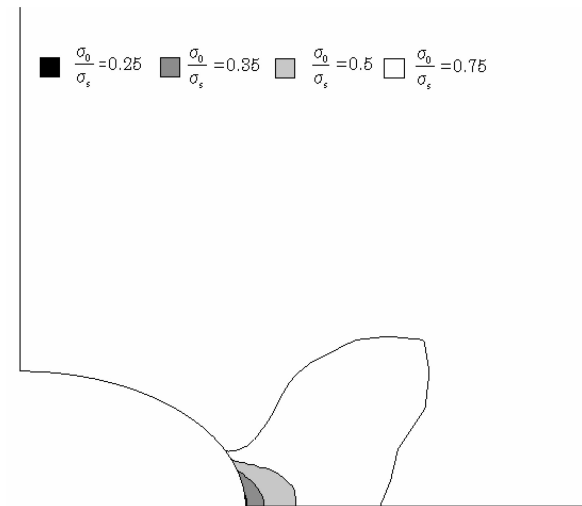
Fig.8 塑性降伏域 (応力型)



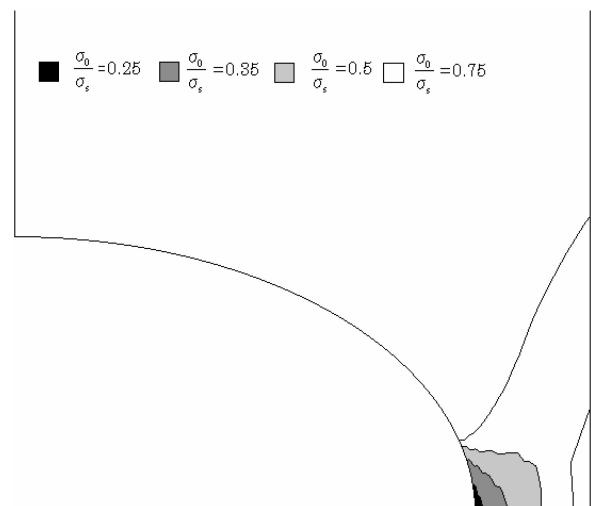
(a) $a/w=0.2$, $b/a=0.6$



(c) $a/w=0.6$, $b/a=0.6$



(b) $a/w=0.4$, $b/a=0.6$



(d) $a/w=0.8$, $b/a=0.6$

Fig.9 塑性降伏域（ローラー型）
($L/W=2$)

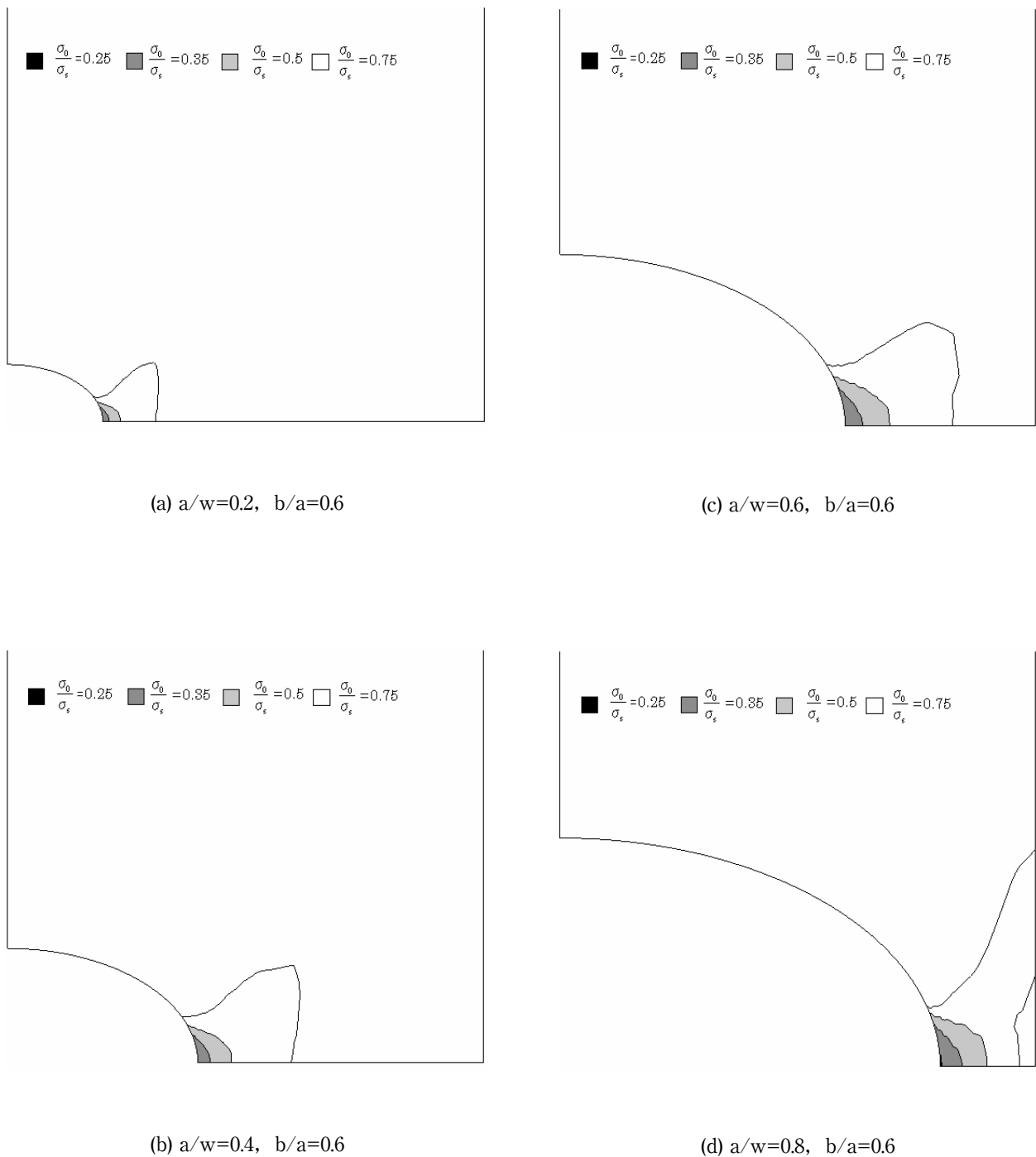


Fig.10 塑性降伏域 (クランプ型)
($L/W=2$)

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] 西谷 弘信, 野口 博司：日本機械学会論文集 (A編), 51巻, 467号, PP.1717~1725, (昭60-7)
- [3] 石田 誠：日本機械学会論文集, 第21巻, 第107号, PP.507~513, (昭30)
- [4] 石田 誠：日本機械学会論文集, 第21巻, 第107号, PP.514~518, (昭30)
- [5] 村上 敬宜：応力集中の考え方 (2005.7)
- [6] 西谷 弘信, 陳 玳珩：日本機械学会論文集 (A編), 51巻, 465号, PP.1471~1476, (昭60-5)