

【論文】

内圧を受ける楕円孔問題のソースの分布と位置の

工夫による精度向上の検討

Improvement of Accuracy on Elliptical Hole problem by Using Independent Elliptical Ratio and Lineally Dispersed Point Load

飯干 英樹* 崎永 幸太* 玉江 智* 藤崎 渉**

Hideki IIBOSI, Kouta SAKINAGA, Satoshi TAMAE and Wataru FUJISAKI

Abstract: One of the authors has reported the elemental MFS (Method of Fundamental Solutions) program to calculate a stress concentration factor. In previous paper, the more a elliptical hole becomes sharp, the more the calculation error increases because of a point load souce. In this study, in order to obtain more good accuracy, we improve the program using a lineally dispersed point load source and an independent elliptical ratio of source. It is found that the new technigue gives the stable wide range of good accuracy

Key words: Method of Fundamental Solutions, Model Point, Source Point, Meshless Method

1. 緒言

現在、工学の幅広い分野での応力解析の手法として、有限要素法が多く利用されている。多様の問題に適用でき、解析精度が良いなど多くの利点があるが要素生成が非常に手間がかかるという欠点がある。そこで、要素生成の困難さを根本的に回避する方法としてメッシュレス法と言う新しい応力解析の手法が注目されている。本研究では、メッシュレス法の精度の改善に取り組んでおり、既報(1)の円孔を四分分割モデルにより、ソース荷重と線形化と独自の楕円比を新たに設定して、その精度改善効果について検討を行った。

2. MFS の理論

ここでは基本解を利用する手法(MFS : method of fundamental solutions)のうち、もっとも素朴な近似解法として、無限板中の基本解を用いる選点法を利用する。これはモデル境界上に有限個のポイントを選び、これらの点で境界条件が満たされるように、近くに配置されたソース上の重み荷重を定める手法である。また、得られたソース荷重を利用して、モデル内の任意の点の応力を計算できる。

3. 内圧を受ける円孔・楕円孔モデル

Fig.1 は、無限板中に円孔(半径 $r_m=1.0$)があるモデルである。ソースポイント S は円孔の領域におく。

MFS では、計算精度は一般にモデルポイントとソースポイントの相対的配置に依存する。そこで、ソース半径 r_s を変えながら、内圧を受ける円孔・楕円孔の応力集中係数の計算精度を検討する。

Fig.2 は、無限板中の楕円孔モデルである。軸長比 b/a で楕円偏平度を表わし、この値が小さいほど楕円は鋭くなる。 n は独立した荷重ポイント数を表し、64、128、256 ポイントで解析を行う。

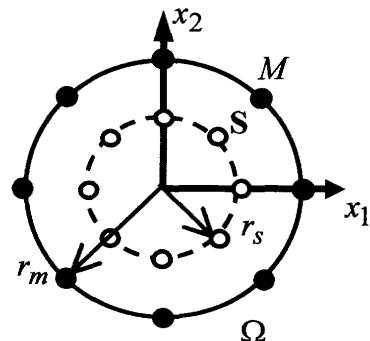
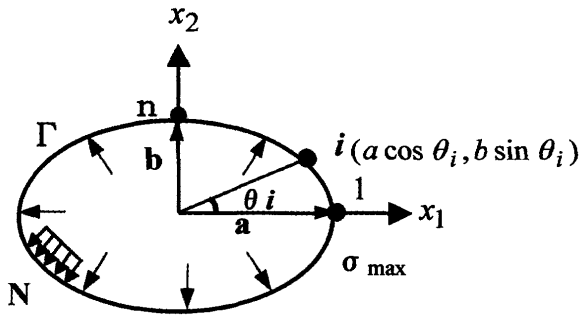


Fig.1 Domain, boundary and source

* 九州産業大学 機械工学部 4 年生

** 九州産業大学 機械工学科



N = 1 point load
 N > 1 equally distributed point load

Fig.2 Model of elliptical hole problem

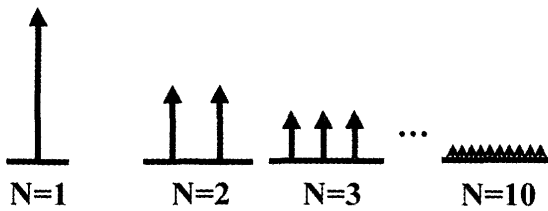
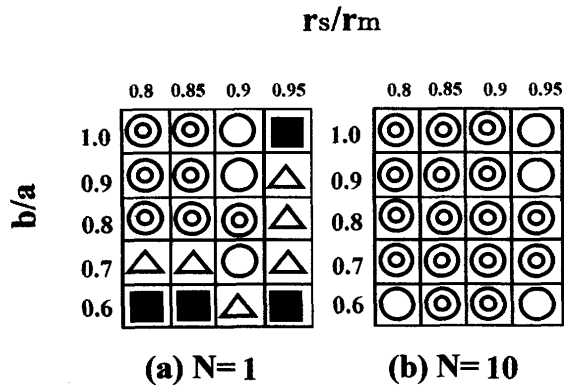


Fig.3 Equally dispersed point loads



Error of σ_{max}
 ⊙ < 0.1% ○ < 1.0% △ < 10%
 ● < 100% ■ > 100%

Fig.4 Stable range of accuracy by equally dispersed point loads (n=64)

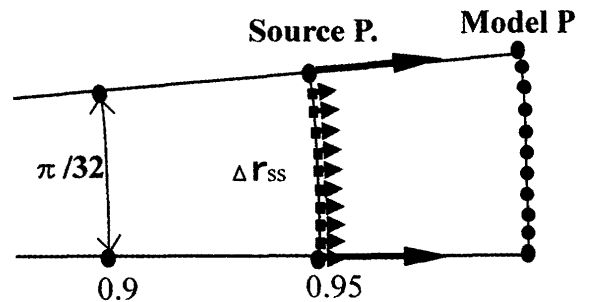
4. EDPL の特徴

集中荷重を等分布化する場合の分割例を Fig.3 に示す。ここでNは集中荷重の分割数であり、ソースがモデルより離れているとNを大きくすることで、近似的に等分布が実現しているとみなせる。このことにより計算精度を向上させる。

Fig.4はポイント数n=64での(a)集中荷重N=1と、(b)等分布化荷重 N=10 の時の計算結果である。(a)の場合にソース半径 r_s/r_m が 0.90 以下で軸長比 b/a が 0.8 以上のときに計算精度が安定している。一方、等分布化荷重(b)では、集中荷重(N=1)の場合に比べて、安定範囲が広がっていることがわかる。

5. サンヴナンの定理

Fig.5 はモデルの円孔を 64 分割した部分を拡大した図である。長い矢印は集中荷重 N=1 を表し、短い矢印は等分布化荷重 N=10 を表している。サンヴナンの定理により $\Delta r_{ss}/\Delta r_{sm}$ がある値を越えるとき、良い精度が得られにくくなると推測される。また計算精度はモデルとソース間の距離 r_s/r_m で変動すると考えられるので、これを調べた結果を Fig.6 に示す。



Δr_{ss} : distance between source and source
 Δr_{sm} : distance between source and model

Fig.5 Saint Venant's principle

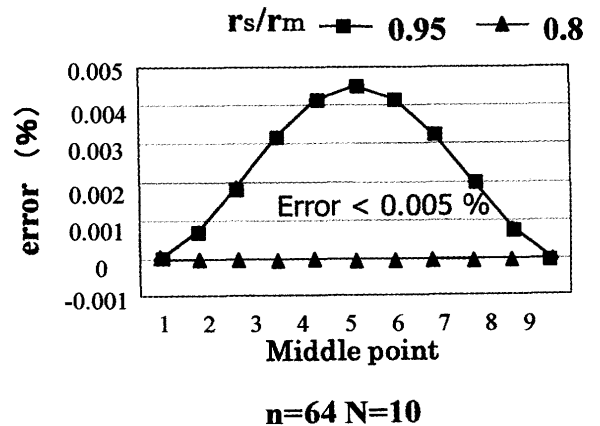


Fig.6 Effect of r_s/r_m with EDPL

これは等分化した等分布化荷重 $N=10$ 、ポイント数 $n=64$ 、軸長比 $b/a=0.6$ の条件で相対ソース半径 $rs/rm=0.8$ と 0.95 の時のモデル境界条件の満足度を比較したものである。 $rs/rm=0.95$ はソースの位置がモデルに近くなりすぎて、 $rs/rm=0.8$ と比べ安定した結果が得られにくくなっている。

6. ソースの位置の効果

Fig.7 に示すように、ソース独自の楕円比 $sfac$ を用いてソースの楕円偏平度を鋭くすることにより、モデルとソースの距離を均等に分配することが可能となる。そこで、 $sfac$ が応力集中の精度に与える効果を検討した。

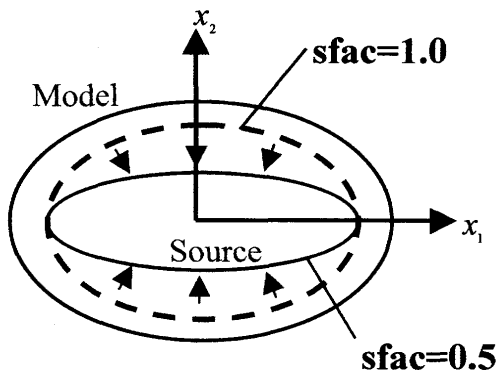
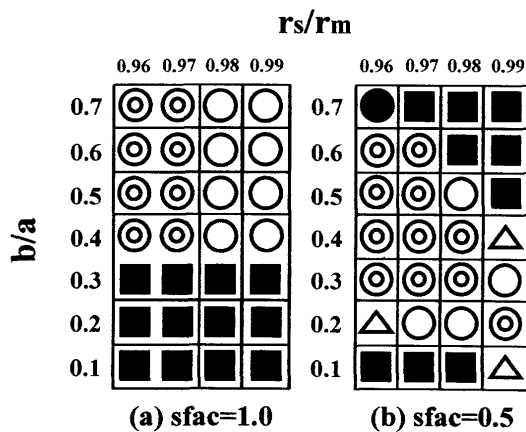


Fig.7 Model of independence elliptical ratio



$n=128$ $N=10$

Fig.8 Stable range of accuracy by independent elliptical ratio

Fig.8 はポイント数 $n=128$ 、等分布荷重 $N=10$ の場合でソース独自の楕円比 $sfac=0.5$ と 1 (相似形)を比べたものである。従来の(a)相似形ソースの場合、軸長比 $b/a=0.3$ 以下のときに良い精度が得られないが、(b) $sfac=0.5$ とした場合では、軸長比 $b/a=0.3$ 以下で良い精度範囲が広がる。

7. ソースの線形化の効果

Fig.10 の結果は Fig.9 の (a) 等分布化集中荷重を用いたものである。本研究では新たに線形化荷重を試みた。より現実に近い滑らかな曲線のように荷重をかけることにより、大きな荷重の変化がある場合でも計算精度が安定することが期待できる。

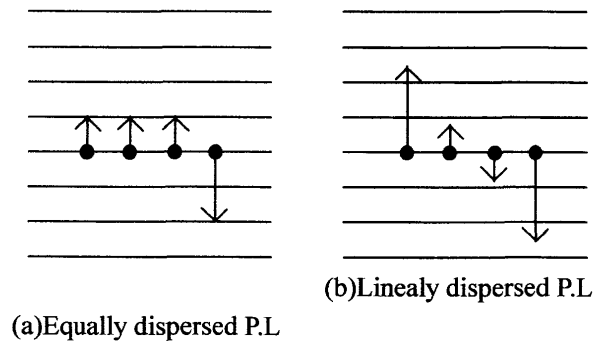


Fig.9 Model of lineally dispersed point load

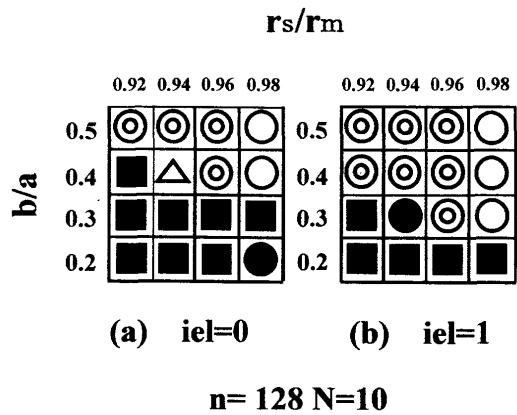


Fig.10 Stable range of accuracy by lineally dispersed point load

Fig.10 はポイント数 $n=128$ 、分布荷重数 $N=10$ の場合で線形化($iel=1$)と、等分布化($iel=0$)で比較したものである。荷重を線形化することにより、軸長 $b/a=0.3$ と 0.4 の場合で精度の改善がみられた。

8. ソース独自の楕円比と線形化分布を同時に適用した効果

ソース独自の楕円比 $sfac$ と線形化を同時に適用した場合、計算精度にどのような効果が生じるかを検証した。

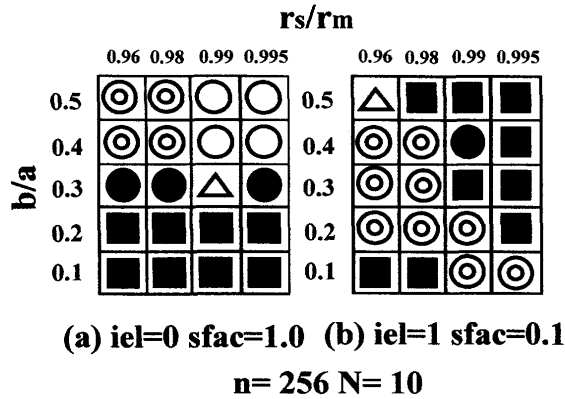


Fig.11 Stable range of accuracy by independent elliptical ratio and linealy dispersed point load

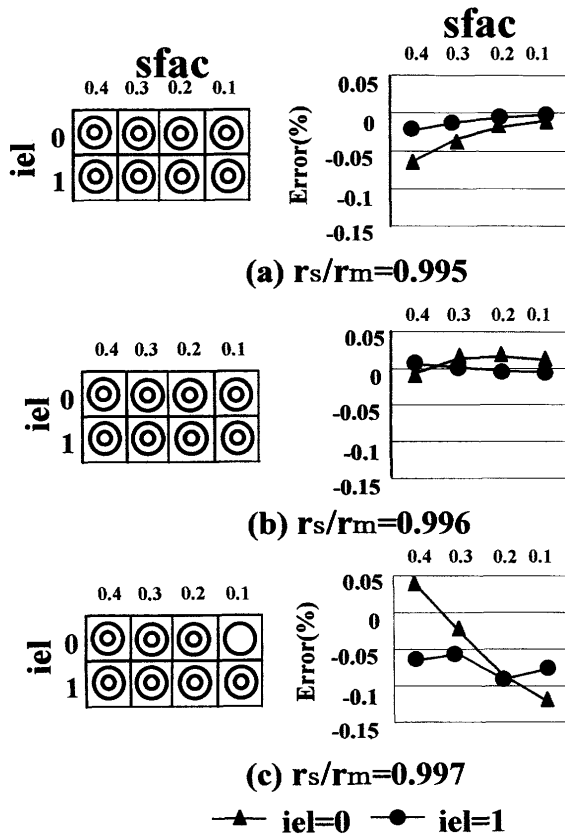


Fig.12 Stable range of accuracy by independent elliptical ratio of the source and linealy dispersed point load ($N= 10$ $b/a=0.1$ $n=256$)

Fig. 11 はポイント数 $n=256$ 、(a)相似形ソース、等分布化荷重 $N=10$ の場合と(b)独自楕円比 $sfac=0.1$ 、線形化分布ソースを比較したものである。(a)では軸長比 b/a が 0.3 以下で良い精度が得られない。一方、改良された本手法(b)では $rs/rm=1.0$ に近い所で、0.1%未満の高精度が得られている。

Fig.12 は最も応力集中係数が 19.000 と高い楕円比 $b/a=0.1$ の円孔で、ソース独自の楕円比 $sfac$ と線形化分布ソースの効果を調べたものである。ここで分布荷重数 $N=10$ 、ポイント数 $n=256$ である。(a)はソース半径比 $rs/rm=0.995$ の時の計算結果である。全ての条件において計算誤差が 0.1%未満に収まっている。また、ソース独自の楕円比 $sfac$ が 0.1 に近づくほど計算精度が良くなり、線形化を適用した場合に、さらに良い精度が出ることが分かる。(b)は $rs/rm=0.996$ の結果であり、両手法とも 0.03%未満に収まっている。(c)は $rs/rm=0.997$ の結果であり、ソース線形化分布($iel=1$)がより効果があることを示している。しかし、ソースがモデルに近づいているため、サンヴナンの定理により (a)と(b)よりも計算誤差が拡大している。

9. 結言

メッシュレス法の計算精度を向上させるために、2種類の工夫をほどこした。(1)集中荷重を従来の単独から等分布化、さらに線形化した。(2)ソースを従来のモデルと相似形状から独自の楕円比で位置決めした。上記 2 種類の工夫が応力集中係数の精度改善に効果があることを数値実験により確認した。

文献

(1) 中川竜一、坂井善樹、藤崎渉、日本機械学会 [No.05-9]M&M2005 材料力学カンファレンス講演論文集、pp.553~554、2005