

Boundary-Fit法における格子誘引の安定化

4 G - 4

FEM解析支援システム WING (11)

榎本博康*

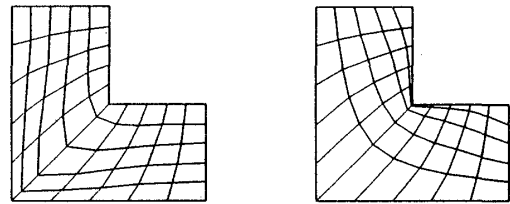
島津昌浩**

*バブcock日立(株) 横浜研究所 **バブ日立東ソフト(株)

1. 緒言

有限要素解析では、一般に応力集中部の解析格子を細かくすることにより、解析精度を向上させるが、Boundary-Fit法¹⁾は格子密度を誘引により制御できる優れた特徴がある。しかし一般の技術者が利用できるためには、①誘引計算の安定化、②誘引精度の向上、③パラメータの自動設定、及び④対話操作のための高速化が課題であった。そこで各々について技術を開発し、実用化した。この内、誘引計算の安定化について報告する。

メッシュ密度は(1)式のP,Qにより制御できる。図2は誘引関数を用いて、図1の格子を外側、及び内側に誘引した例である。



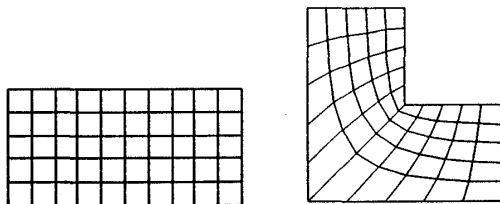
(a) 外側誘引

(b) 内側誘引

図2 格子の誘引例

2. Boundary-Fit法の概要

Boundary-Fit法とは、図1に示すように、実空間の解析領域を正方格子よりなる写像空間に座標変換し、偏微分方程式を解く方法であり、下記の楕円型偏微分方程式を適用する。



(a) 写像空間

(b) 実空間

図1 写像空間と実空間の対応

$$\begin{aligned} \alpha x_{\xi\xi} - 2\beta x_{\xi\eta} + \gamma x_{\eta\eta} &= -J^2 [x_{\xi} P(\xi, \eta) + x_{\eta} Q(\xi, \eta)] \\ \alpha y_{\xi\xi} - 2\beta y_{\xi\eta} + \gamma y_{\eta\eta} &= -J^2 [y_{\xi} P(\xi, \eta) + y_{\eta} Q(\xi, \eta)] \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(1)$$

但し、

$$\begin{aligned} \alpha &= x_{\eta}^2 + y_{\eta}^2 & \beta &= x_{\xi} x_{\eta} + y_{\xi} y_{\eta} \\ \gamma &= x_{\xi}^2 + y_{\xi}^2 & J &= x_{\xi} y_{\eta} - x_{\eta} y_{\xi} \end{aligned}$$

P, Q: メッシュ密度制御関数

3. 誘引計算の安定化

3.1 振動・発散の防止方法

各格子点の座標は、(1)式を離散化して中心差分法で解くことにより得られる。この処理は繰り返し収束計算であり、前回の座標値との差が許容誤差以内となった時に完了する。

格子が非常に小さくなるように誘引するには、P, Qの値を大きくとるが、すると座標位置が繰り返し計算の過程で振動し、また発散してオーバーフローを起こす。

この時の格子座標を調べると、格子が凸4辺形を維持できなくなり、凹4辺形や捻じれた4辺形となると振動や発散に結び付くことが分かった。従って、収束計算の過程で常に格子を凸形状に維持できれば、計算の安定性を向上できる。また有限要素解析のためにも、凸4辺形とすることが必要である。

3.2 ダイヤモンド・リミッタ

格子の凸形状を維持するために、図3に示すダイヤモンド型のリミッタを考案した。

Stabilization of Grid Attraction for Boundary-Fitting Method :

FEM Analysis Supporting System WING(11)

Hiroyasu ENOMOTO*, Masahiro SHIMAZU**,

*Yokohama Research Laboratory, Babcock-Hitachi K.K., **Bab Hitachi East Software Co.,Ltd.

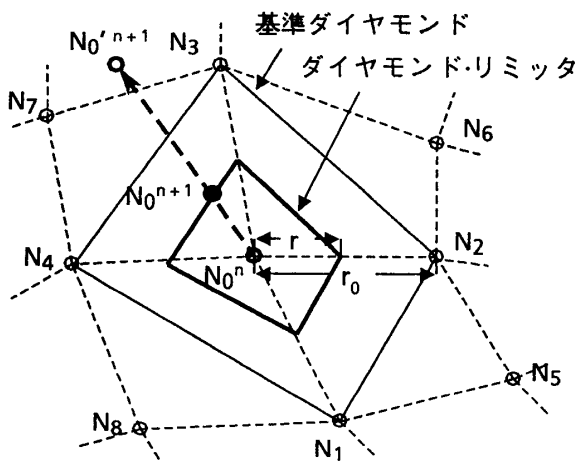


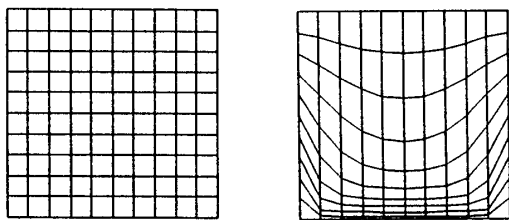
図3 ダイヤモンド・リミッタ

図3において、 n 回めの繰り返し計算の結果として節点 N_0^n が得られたとする。次の繰り返し計算により、 N_0^n の新しい座標 N_0^{n+1} が求まるが、これが $N_1 \sim N_4$ の4点が囲む基準ダイヤモンドの内側に設けた相似形状のダイヤモンド・リミッタ領域から飛びだした時、 N_0^n から N_0^{n+1} へ向かうベクトルとダイヤモンド・リミッタとの交点を、次の座標点 N_0^{n+1} として採用する。

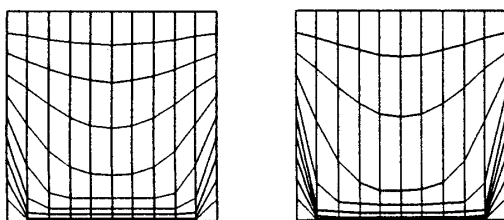
このように、ダイヤモンド・リミッタにより、 N_0^n 点が N_0^{n+1} 点に移動した後も、 N_0^{n+1} 点を共有する4つの格子は凸形状を維持できる。

4. ダイヤモンド・リミッタの評価

図4に示す基盤目状の規則格子を用いて評価した。



(a) 規則格子($d = 1.0$) (b) 誘引距離 $d = 0.15$

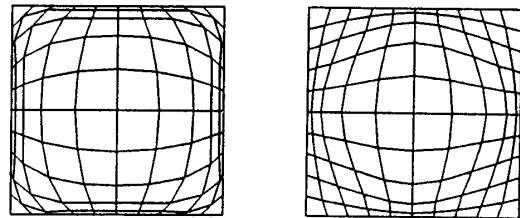


(c) 誘引距離 $d = 0.05$ (d) 誘引距離 $d = 0.005$

図4 誘引距離テスト結果

格子間隔 $d=1.0$ とした場合、リミッタなしでは0.15が限界であったが、本リミッタ付きでは0.005まで誘引できた。

また、図5に示すように、多方向からの誘引に対し、良好に対称性を維持できる。



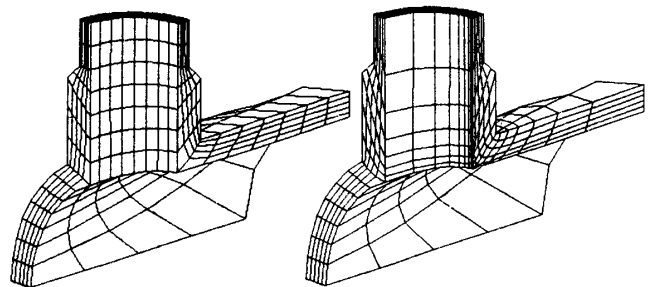
(a) 4辺誘引 (b) 4点誘引

図5 多方向誘引テスト結果

5. 実用問題による評価

図6に内圧によるノズル応力用の解析格子を示す。この場合は無誘引を基準として0.2の距離に角部の格子を誘引し、約2割の精度向上を得た。このように実用問題で簡単に格子を誘引できる。

なお、この例では境界線上の格子点の分布も操作し、表面の格子を内挿して3次元化した。



(a) 無誘引 ($d = 1.0$) (b) 誘引 ($d = 0.2$)

図6 内圧を受けるノズル

6. 結 言

ダイヤモンド・リミッタにより、Boundary-Fit法の格子誘引処理が安定化でき、解析精度の向上に有効なことを確認した。本機能は構造・流動解析支援システムWINGに組み込んでいる。

参考文献

1) J. F. Thompson, et al., Numerical Grid Generation, North-Holland(1985)