

3次元CADを用いた不定形構造要素の境界要素法モデルの作成に関する基礎的研究

福井大学大学院
帝国コンサルタント
福井大学大学院

学生会員
正会員
正会員

○ 今度 薫
上田 哲也
福井 卓雄

1 はじめに

工業製品は複合曲面を含む形状が増え、設計におけるCAEの利用は急速に進んでいる。本研究は、3次元的で複雑な応力伝達要素の形状設計を行うための基本的な手法の開発を目的としている。手法の骨子は、CADを利用した形状定義、CADデータからの解析モデル(境界要素)の生成、境界要素法による応力解析である。これらを組み合わせることにより、マン-マシン・システムとしての構造要素形状決定システムを構築することを目的としている。例として、無限体中の空洞の解析を行った。

2 CADデータ

CADには、様々な保存形式がある。このためCAD間のデータ受け渡しの方法として、中間ファイルと呼ばれる形式を使用することが一般的である。その中の1つに、DXFデータ形式がある。DXFとは、Autodesk社がAutoCAD間のデータ交換変換を目的に作られた。DXFデータは図面データの記述を目的としているため、必ずしも形状データを正確に記述するものではない。また、2次元の図面データを中心に記述するために、3次元形状の表現力はやや弱い。

DXFのファイル構造は、7つのセクションに分れ、図形描写に最も重要なセクションは、ENTITYセクションになる。3次元形状モデルとして、ソリッドモデルとサーフェスモデルが利用できる。表-1に、モデルとそこで利用できるプリミティブ、操作についてまとめた。

表-1 3DCADデータ

モデル	プリミティブ	操作	特徴
ソリッド	直方体 円錐 円柱 球 円環体 くさび	押し出し 回転 合成	合成可能
サーフェス	3Dオブジェクト (ソリッド、角錐) 矩形メッシュ ポリメッシュ	ルールド タブュレート 回転 エッジ定義 3Dメッシュ	合成不可
	線形図形 2次元図形 リージョン		

3 要素生成

ソリッドモデルは立体をいくつかのプリミティブの組み合わせとして表現するもので、閉じた空間と体積を属性として持つため、形状を合成することが可能である。しかし、ACISによるsatデータを用いて形状を記述するため、追加の情報と操作が必要となる。また、サーフェスモデルは、物体の表面を表現するモデルであり、体積などの属性を持たず、合成演算などはできない。しかし、現在のところは、サーフェスモデルの方が境界要素生成には適しており、また、2次元用の形状要素もデータとして含めることができる。

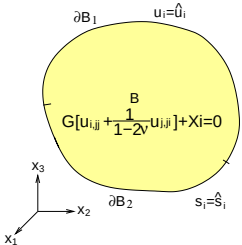
それぞれの形状についての要素生成方法を次に示す。

表-2 要素生成方針

項目	形状	要素生成方法
ポリライン	線形図形	長方形均等要素
	3次元図形	・確率的サンプリング法 ・バブル法 ・Delaunay 三角形分割 ・8分木 ・部分曲面の接合
タブュレートサーフェス ルールドサーフェス 回転サーフェス エッジ定義サーフェス	描画操作により得られる曲面	ポリラインと同様
スプライン	スプライン曲線	ポリラインと同様

4 3次元静弾性問題の高速多重極境界要素法

自動的に生成された境界要素データを用いて、3次元静弾性問題を扱う。その解析手法として用いる3次元静弾性問題の高速多重極境界要素法を用いる。



物体力が作用しない場合に調和関数となる Neuber-Papkovich 関数 ϕ, χ を用いる。基本特異解と第二基本特異解に対応する ϕ, χ は次のようになる。基本特異解に対応する Neuber-Papkovich 関数

$$\begin{aligned}\phi_i^G(x; y) &= \frac{P_i}{8\pi(1-\nu)|x-y|} \\ \chi_i^G(x; y) &= -\frac{y_i P_i}{8\pi(1-\nu)|x-y|}\end{aligned}$$

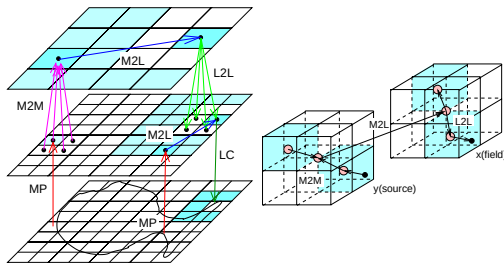
(1)

第二基本特異解に対応する Neuber-Papkovich 関数

$$\begin{aligned} \phi_i^S(x; y) &= \frac{G}{8\pi(1-\nu)} \left[\frac{2\nu}{1-2\nu} n_j U_j \frac{\partial}{\partial y_j} \left(\frac{1}{r} \right) \right. \\ &\quad \left. + (n_i U_j + n_j U_i) \frac{\partial}{\partial y_j} \left(\frac{1}{r} \right) \right] \quad (2) \\ \chi^S(x; y) &= -\frac{(1+\nu)G}{4\pi(1-\nu)(1-2\nu)} n_j U_j \frac{1}{r} - y_i \phi_i^S(x, y) \end{aligned}$$

高速多重極法は8分木によるセルの中の遠方のセルに含まれる点の影響をまとめて評価することで計算時間を短縮する方法である。

- MP: 多重極展開
- M2M: 多重極点の移動
- M2L: 多重極から局所展開への変換
- L2L: 局所展開間の変換



5 解析例

解析手順は以下の通りである。

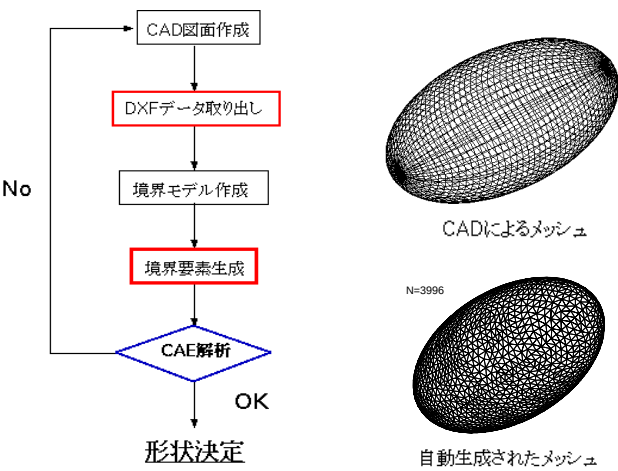


図-1 手順

抽出した DXF データより境界モデルを作成し、境界要素を生成していく。上記は CAD により描写された楕円体をもとに、境界要素を生成した例である。

次に、自動生成された境界要素を用いた、無限体中の空洞の表面の主応力の解析例である。形状条件は以下の通りである。

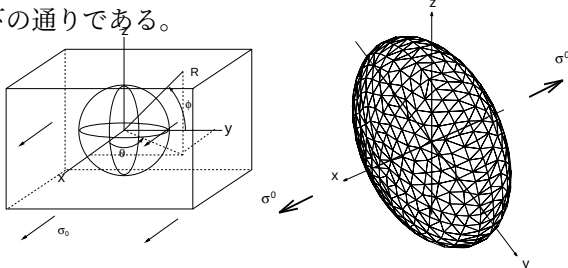
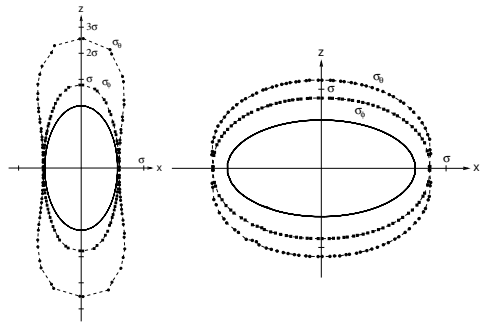


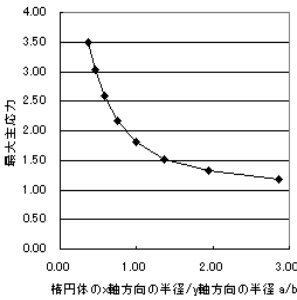
表-3 形状の条件

節点数 500	要素数 996
体積 V	: 一定
Poisson 比 ν	: $\nu = 0.3$
Young 係数 E	: $E = 1$
初期応力 σ^0	: $\sigma_{xx} = 1, \sigma_{yy} = \sigma_{zz} = 0.429\sigma$ $\sigma_{xy} = \sigma_{yz} = \sigma_{xz} = 0$

解析結果



楕円体面の境界上の応力 (x - z 面)



扁平比による主応力の変化

x 軸方向の半径と、最大主応力はほぼ反比例の関係にあり、応力値の変化が滑らかに求められていることがわかる。自動生成された境界要素の質が高いと考えられる。

6 おわりに

境界要素法データを作成するための形状モデルは、サーフェスモデルを今回は選択した。DXF データから ENTITY データを読み込みそのデータを使用し、自動的に境界要素を生成する方法について述べた。形状設計の一例として、楕円体の形状を体積が一定という条件のもとで、形状を変化させ、境界の応力を計算した。

参考文献

[1] 福井卓雄：確率的サンプリング法を利用した任意曲面の境界要素モデル作成手法, 計算数理工学コンファレンス論文集, **3**, 2003.

[2] 上田哲也、浦勝一、福井卓雄：大規模境界要素解析のための境界要素自動生成手法, 計算工学講演会論文集, **9**, pp.801-804, 2004.