博士課程（前期）論文要旨，2006 年 1 月 31 日

流れ場と構造の連成問題における形状最適化に関する研究

350404372 浜崎純也

(指導教員 畔上秀幸教授)

はじめに

流れ場と構造の連成問題の数値解析は生体や流れ場に置かれた柔軟構造のシミュレーションの必要性から注目されてきた．近年では数値解析の結果を利用したパラメトリックな形状最適化問題も解かれるようになってきた．

本研究では，流れ場と構造の連成問題の形状最適化問題を関数空間で定義されたノンパラメトリック形状最適化問題として定式化し，その解法を開発した．

理論と方法

流れ場に置かれた弾性体を想定して，図 1 のような有界な $d = 2, 3$ 次元領域 $\Omega^{\mathrm{f}} \subset \mathbb{R}^d$ ($\mathbb{R}$ は実数の集合)，その境界 Γ^{f}，で定義された粘性流体の定常流れ場に囲まれた弾性体の領域 Ω^{s}，その境界 Γ^{s}，のモデルを考える．弾性体は，部分境界 Γ_0^{s} で変位が拘束され，粘性流体の流れ場は，外側境界 $\Gamma^{\mathrm{f}} \setminus \Gamma^{\mathrm{s}}$ の部分境界 Γ_0^{f} では規定流速 $\dot{\boldsymbol{u}}_\Gamma^{\mathrm{f}}$ が与えられ，流速が規定されていない外側部分境界 $\Gamma^{\mathrm{f}} \setminus (\Gamma^{\mathrm{s}} \cup \Gamma_0^{\mathrm{f}})$ では流れ場の応力が零と仮定する．弾性体の境界 Γ^{s} では流れ場の変位と弾性体の変位は一致すると仮定する．

本研究では，流体・構造連成系の形状最適化問題の例として，流れ場に置かれた弾性体の形状を変化させて，流れ場の散逸エネルギーを最小化する問題を定式化した．ただし，弾性体の体積制約を加えた．

この形状最適化問題の形状勾配を評価するための理論式は，体積制約に対しては Lagrange 乗数法，状態方程式の制約に対しては随伴変数法により導出した．流体・構造連成問題と随伴問題は弱形式に基づく有限要素法により解析可能であることを理論的に確認した．形状勾配の不正則性を正則化するために力法を用いた．

流体・構造連成問題および随伴問題の解析プログラムは畔上研究室のライブラリを用いて強連成法に基づいて開発した．形状最適化プログラムは既開発のプログラムを基にして開発した．

解析例

理論の妥当性を確認するために，非圧縮性粘性流体の 2 次元定常流れ場の中に 2 次元弾性体が置かれたモデルに対する解析を行った．問題設定と要素分割を図 2 に示す．流れ場の左端を流速規定部分境界 Γ_0^{f} とし，規定流速 $\dot{\boldsymbol{u}}_\Gamma^{\mathrm{f}}$ は x_1 方向の一様流速を仮定した．弾性体の Young 率 22 [GPa]， Poisson 比 0.3 , Γ_0^{f} の長さ 1 [m] を特性長さ，流れ場の動粘性係数を 1 [m^2/s] としたときの Reynolds 数が 20 となるように設定した．

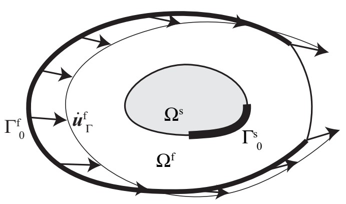

Fig.1　流体・構造連成問題

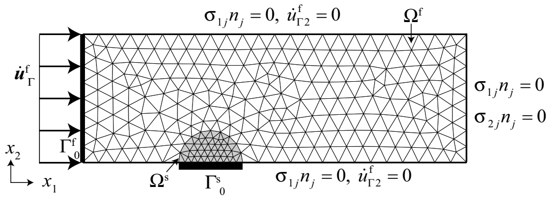

Fig.2　非圧縮性流体の流れ場に置かれた弾性体

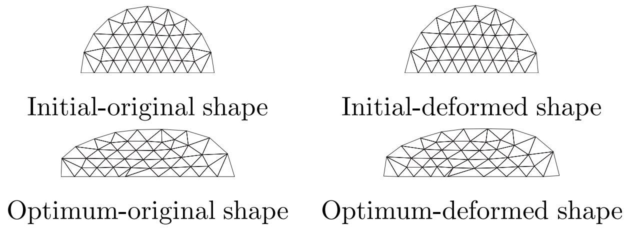

Fig.3　弾性体の初期形状と最適形状

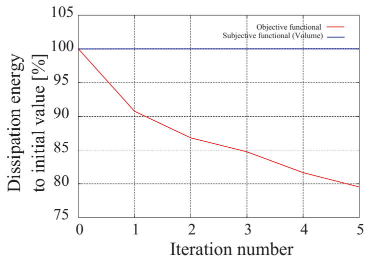

Fig.4　収束履歴

初期モデルおよび最適化された弾性体の原形状と流れ場で変形したときの形状を図 3 に示す．目的汎関数の収束履歴を図 4 に示す．目的汎関数は 79%まで減少した．

まとめ

流れ場と構造の連成系における散逸エネルギーを最小化する形状最適化問題をノンパラメトリック形状最適化問題として定式化し，形状勾配を用いた解法を開発した．一様流れ場に置かれた非圧縮性粘性流体の 2 次元定常流れ場の中に 2 次元弾性体が置かれたモデルに対する解析例により解法の妥当性を確認した．