

流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red を用いた連成解析事例

主任研究員 大西 陽一

アドバンスソフトの連成解析セミナー
2015年5月15日（金）開催
アドバンスソフト株式会社

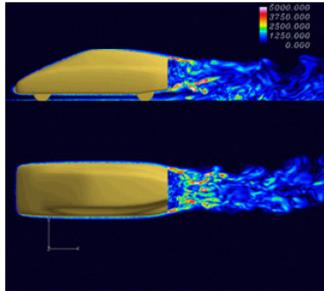
ご紹介内容

- Advance/FrontFlow/redの概要説明
- 1方向連成の解析事例
 - ・構造ソルバーとの応力連成解析
- 双方向連成の解析事例
 - ・格子変形機能
 - ・振動モード連成解析

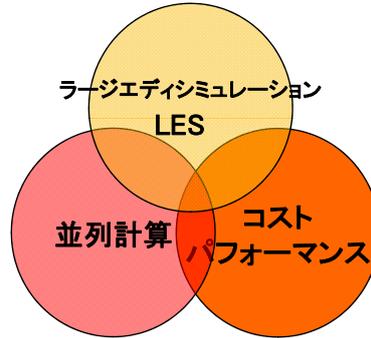
Advance/FrontFlow/redとは？

速度、圧力、温度、燃焼、物質拡散、騒音、キャビテーション、微粒子などの変動や平均分布を予測・解析するソフトウェア

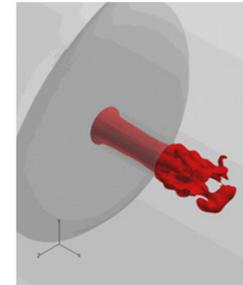
空力



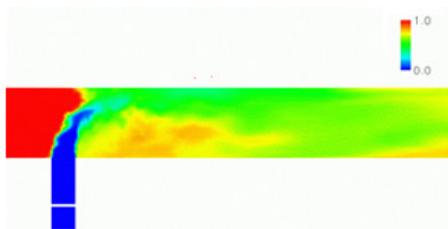
ラージエディシミュレーション
LES



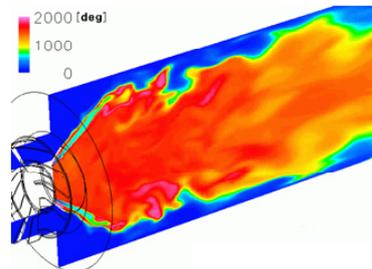
キャビテーション



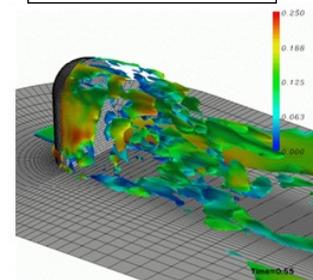
温度



燃焼



騒音



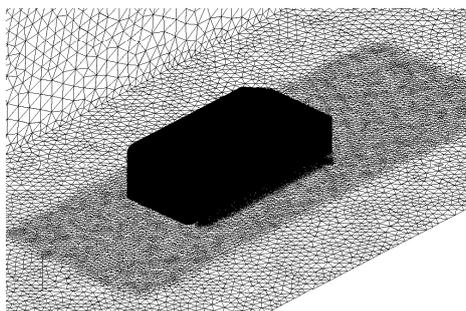
Copyright ©2015 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

3

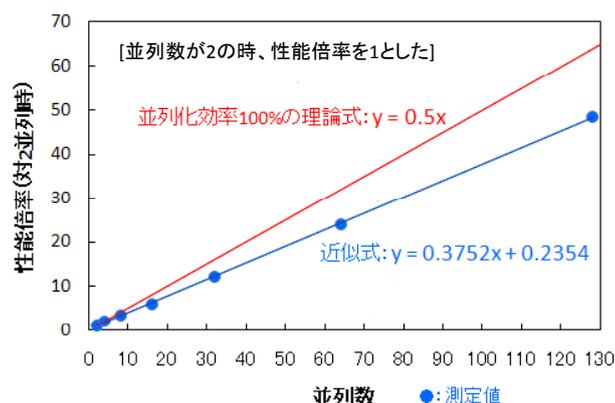
ソフトウェアの特長

- ① 文部科学省のプロジェクトで開発したFrontFlow/redをアドバンスソフトが改良・実用化したソフトウェア → 国産のソフトウェア
- ② ラージ・エディ・シミュレーション (LES) による流体解析
- ③ 並列化による大規模解析 → 並列計算のパフォーマンスを最大限に引き出すアルゴリズムを適用し、高い並列化効率を達成
- ④ 開発技術者によるお客様のサポート
- ⑤ 柔軟なカスタマイズ対応 → お客様が必要とする機能の追加

Advance/FrontFlow/redの並列性能



評価モデルの計算格子



2並列に対する性能倍率

計算機: 富士通製BX922S6 1ノードあたり12コア

(財団法人計算科学振興財団FOCUSのスーパーコンピューターを使用)

評価モデル: 車体周り流れ解析の標準モデル(Ahmed車体モデル)

計算格子: テトラ、プリズムの混合要素

節点数: 1, 505, 423

要素数: 7, 638, 219

使用した並列数: 2、4、8、16、32、64、128

AFFrの流体構造連成解析

- ・流体解析中の構造変形は無視できる時

→ 1方向連成解析

流体解析で得られた固体表面上の圧力分布・温度分布を構造解析の境界条件として利用する。

- ・流体構造相互の影響を考慮しないといけない時

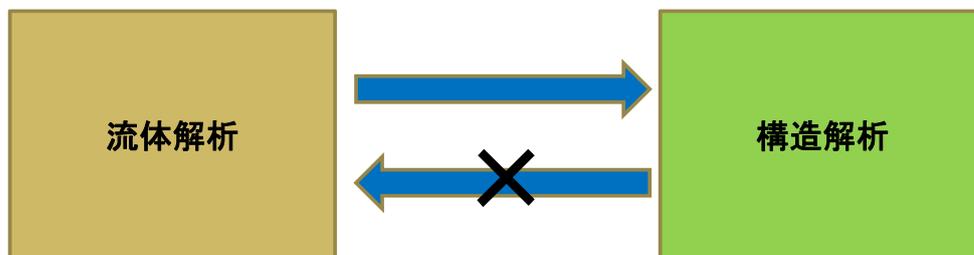
→ 双方向連成解析

構造変形量を流体解析の計算格子にフィードバック

1方向連成解析

- ・流体解析中の構造変形は無視できる時

物体表面上の圧力、温度を受け渡す。



構造物変形はフィードバックしない

- ・圧力、温度時系列データをファイルに出力し、構造ソルバー側で読み込む。
- ・物理量定義点が異なるため、ユーザーサブルーチン等で補間プログラムを作成。

1方向連成解析

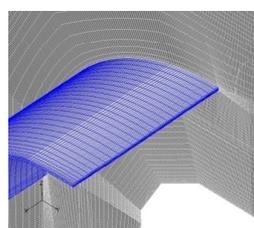
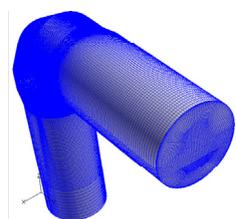
案内板溶接部の流体圧力による応力解析

[目的]

ご協力：株式会社電業社機械製作所 技術研究所様

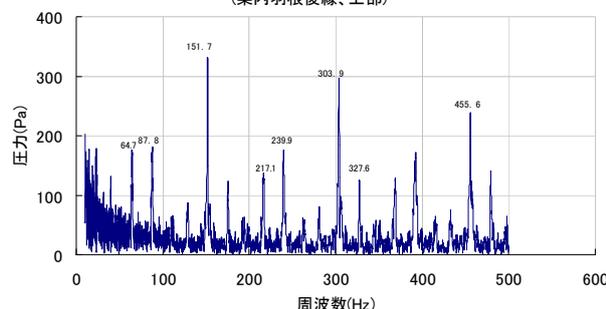
流体・構造連成解析により、案内板溶接部の応力解析を行う。

[解析対象]

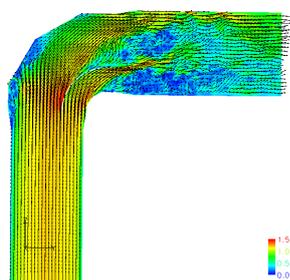


[解析結果]

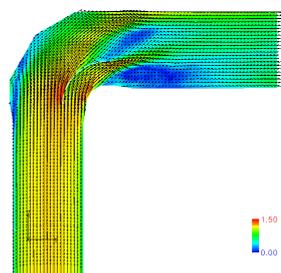
LES非定常流れ圧力変動の周波数分析
(案内板羽根後縁、上部)



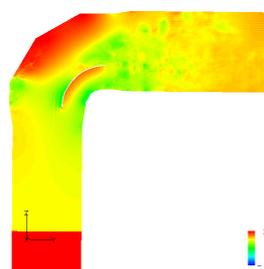
[解析結果]



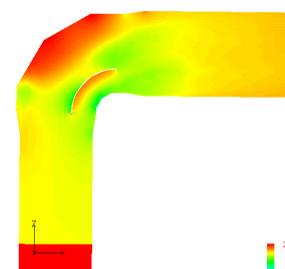
瞬時速度



平均速度



瞬時圧力



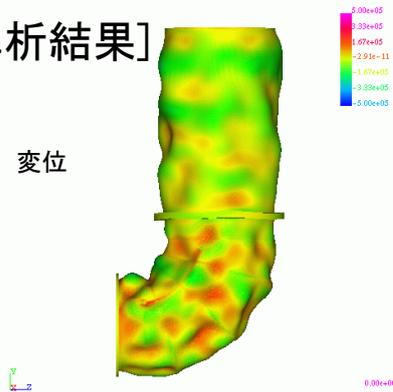
平均圧力

1 方向連成解析

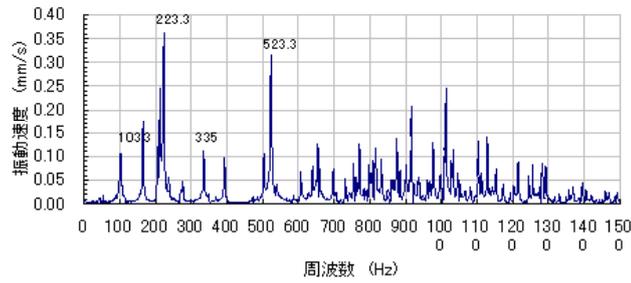
案内板溶接部の流体圧力による応力解析

[解析結果]

変位



連成解析周波数分布 (粘性係数50、観測点2)



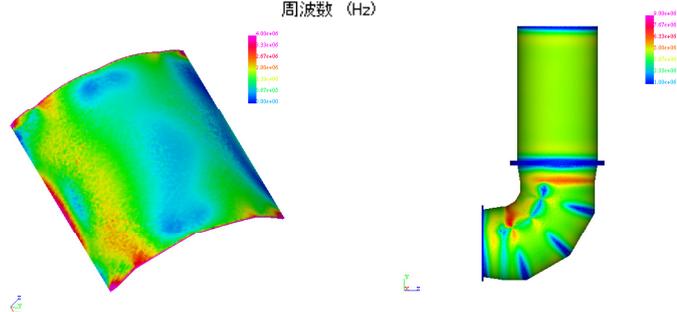
解析時間設定:

流体解析側で圧力の出力

時間刻みは 5.0×10^{-7} [s]

1.0秒間の時系列を出力

汎用構造解析ソフトウェア
Advance/FrontSTRによる解析



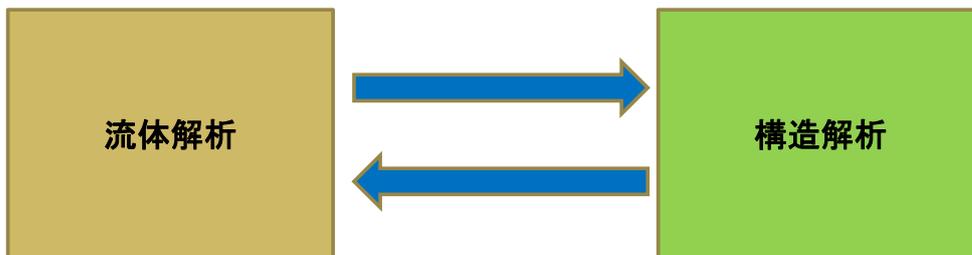
連成解析結果— 平均応力の分布

ご協力: 株式会社電業社機械製作所 技術研究所様

双方向連成解析

・構造変形量を流体解析格子にフィードバックしながら時々刻々解析する。

物体表面上の圧力、温度を受け渡す。



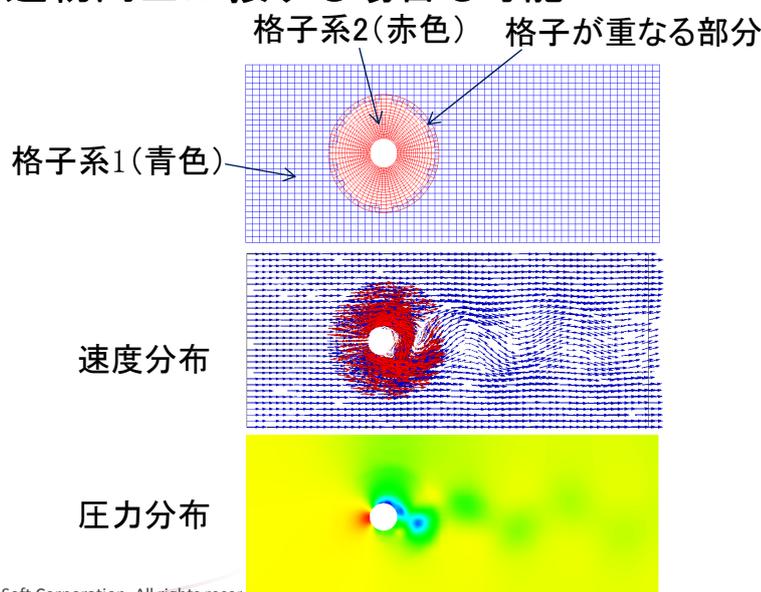
構造物変形はフィードバック

- ・圧力、温度時系列データをファイルに出力し、構造ソルバー側で読み込む。
- ・構造解析結果をフィードバックするために、流体解析では**格子変形解析機能**が必要。

AFFrの格子変形解析機能

- 重合格子

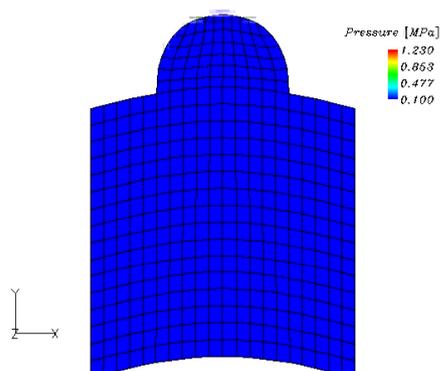
- 2つの格子系を移動させながら解析する。
- 構造物同士が接する場合も可能



AFFrの格子変形解析機能

- ALE

- 構造物の変位に応じて時々刻々格子変形を行う。
- 大変形には不向きであるが、物理量の保存性がよい。



双方向連成解析

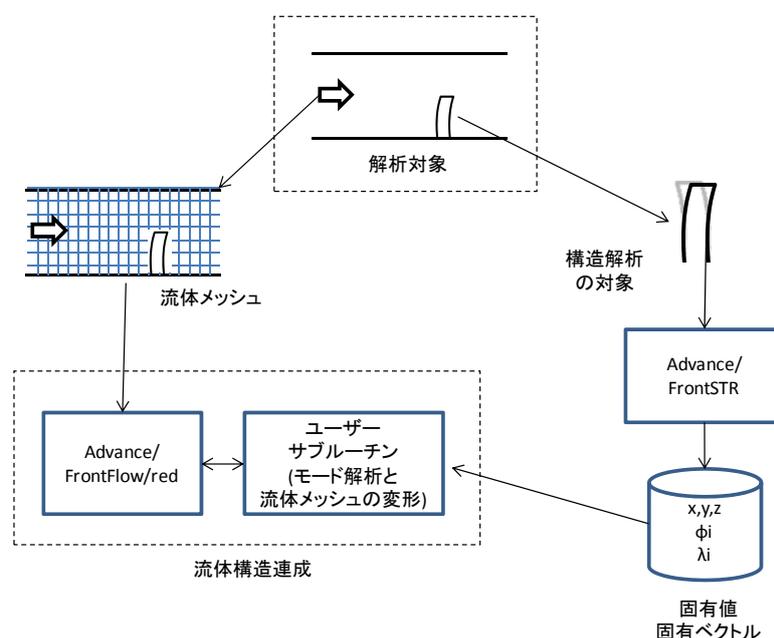
構造のモード解析+ALEを用いた連成解析

概要

- 構造解析部分のみで固有値解析を行い、固有値・固有ベクトルをあらかじめ算出しておく。これを流体ソルバに入力する。
- モード解析部分をモジュールとして分離し、流体ソルバに組込む
- 流体解析を行い、構造表面の圧力データから、構造解析用の荷重を算出する。
- 組込まれたモジュールでモード解析を行い変形量を得る
- **ALE手法を用いてメッシュを更新する**
- 適用範囲は線形弾性の範囲に限られるが、手軽に実行できる。

双方向連成解析

モード解析を用いた連成解析の流れ



双方向連成解析 構造のモード解析

弾性体の運動方程式

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{f(t)\} \quad f(t): \text{外力 (流体解析の表面力データ)}$$

固有方程式

$$([K] - \lambda [M])\{\phi\} = 0$$

変位ベクトル

$$\{x(t)\} = \sum_i \alpha_i(t) \{\phi_i\}$$

各モードの振幅 α_j の微分方程式

$$\ddot{\alpha}_j(t) + \lambda_j \alpha_j(t) = \{\phi_j\}^T \{f(t)\}$$

この微分方程式を解いて節点ごとの各モードの振幅を求め、変位を算出する
→変位を基にAFFrのALE法によりメッシュ変形処理を行い、流体解析を行う

双方向連成解析 構造解析で得られた固有モード図

非公開

双方向連成解析 構造解析で得られた固有モード図



双方向連成解析 構造解析で得られた固有モード図



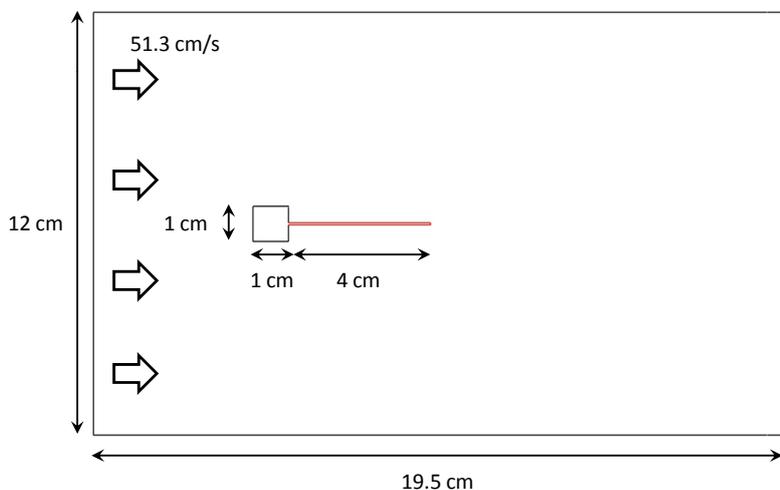
双方向連成解析 構造解析で得られた固有モード図



双方向連成解析 構造解析で得られた固有モード図



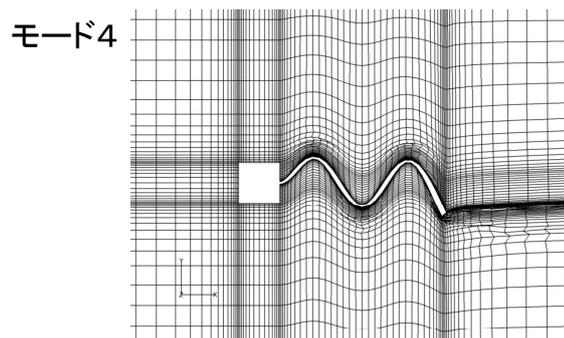
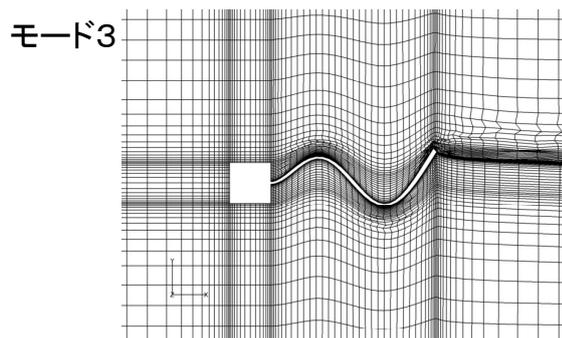
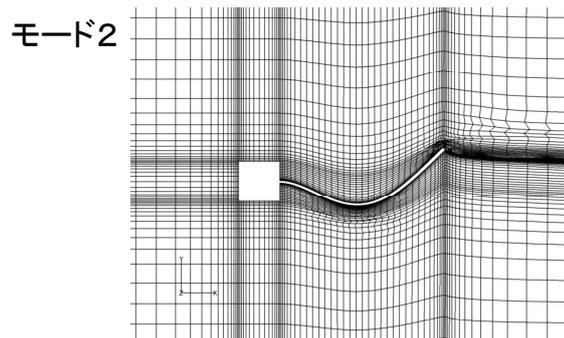
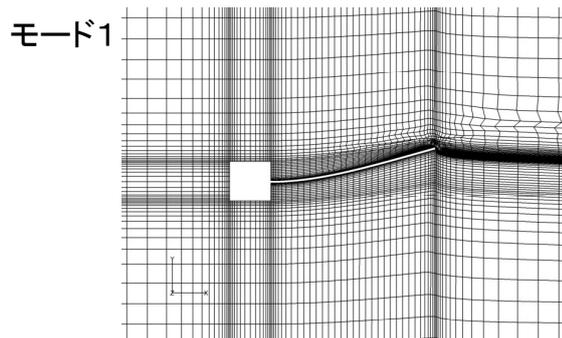
双方向連成解析 構造のモード解析



流体物性
密度 1.18[kg/m³]
粘性係数 1.82[Pa·s]

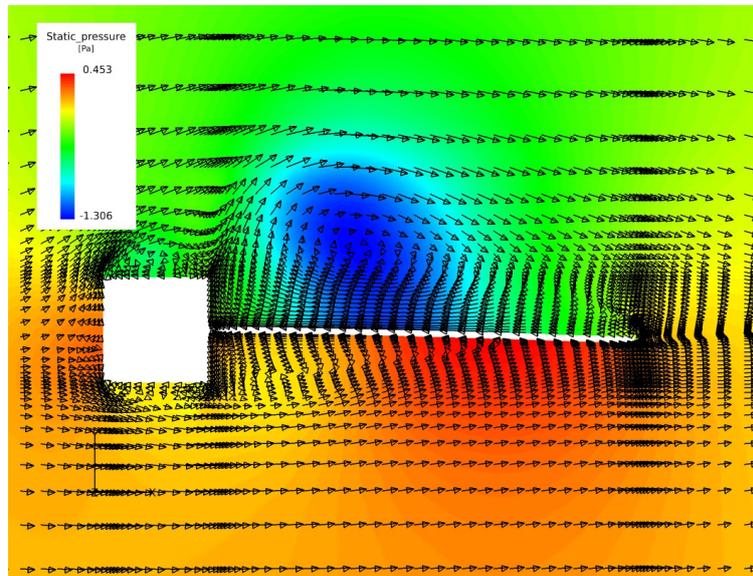
構造物物性
密度 100[kg/m³]
ヤング率 0.25[MPa]
ポアソン比 0.35

双方向連成解析 モード解析結果



双方向連成解析

流体-構造連成解析結果



まとめ

- ・当社の流体解析ソフトウェアAdvance/FrontFlow/redでは、格子変形機能を用いることで、よりダイナミックな構造連成解析が可能である。
- ・モード解析機能を使うことで、より手軽に構造連成解析が可能である。
- ・当社音響ソフトAdvance/FrontNoiseとの連成も可能(この後の発表で紹介)
- ・今後とも、流体/固体/音響ソフトのソースコードレベルでの開発が可能な利点を生かして、様々な連成解析を実施していく予定である。