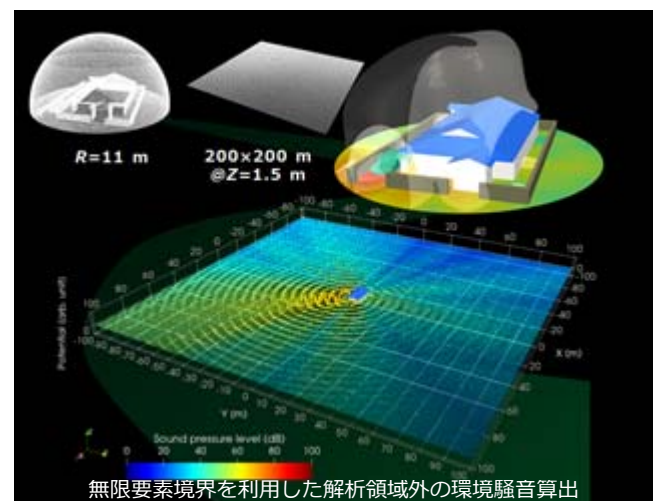


音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise最新動向セミナー

2018年7月27日(金)開催

プログラム

13:30~13:40 (10分)	主催者あいさつ アドバンスソフト株式会社のご紹介 1 代表取締役社長 松原 聖
13:40~14:10 (30分)	音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise の機能のご紹介 5 主管研究員 徳永 健一
14:10~14:40 (30分)	音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise の基本検証解析結果のご紹介 25 主事研究員 田之上 文彦
14:40~15:00 (20分)	休憩
15:00~15:40 (40分)	ユーザー様ご活用事例 「打音調査を対象とした音響解析-トンネル維持管理への活用-」 35 公益財団法人 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 トンネル研究室 嶋本 敬介様
15:40~16:10 (30分)	音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise の流体音響解析事例のご紹介 69 主事研究員 田之上 文彦
16:10~16:30 (20分)	汎用プリポストプロセッサ Advance/REVOCAP のご紹介 93 主管研究員 徳永 健一
16:30~16:40 (10分)	価格および関連サービスのご紹介、質疑応答 103 営業部 東田 想太 ※一部非公開です



アドバンスソフト株式会社のご紹介

音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise最新動向セミナー
2018年7月27日（金）
アドバンスソフト株式会社



Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

1

会社概要

名称 アドバンスソフト株式会社
(英文社名 AdvanceSoft Corporation)

本社 〒101-0062
東京都千代田区神田駿河台4-3
新お茶の水ビル17階
TEL: 03-6826-3970
FAX:03-5283-6580

設立 2002年(平成14年)4月24日

資本金 3,724万円

社員数 108名(2018年7月1日時点)

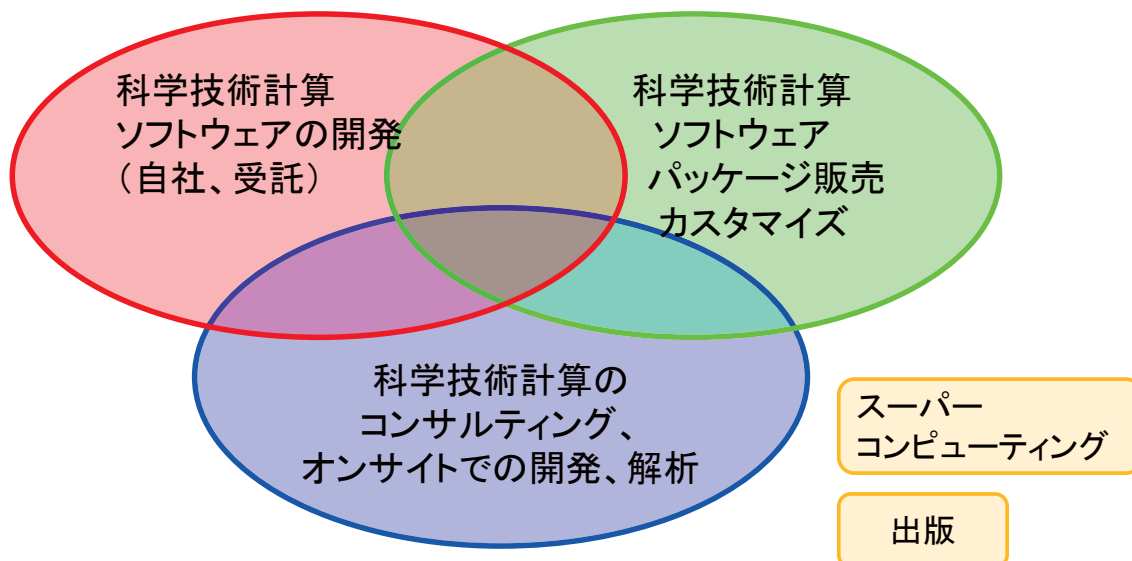
事業部	部	業務概要
第1事業部	技術第1部	・ナノ材料の第一原理計算、量子化学計算やメソ領域の開発など
	技術第2部	・プリポスト・可視化システム・連成システム開発、構造解析エンジニアリングなど
	技術第6部	・次世代TCADシステムの開発 ・環境関連の開発、解析業務
第2事業部	技術第4部	・混相流に係わる次世代流体システム開発など
第3事業部	技術第3部	・乱流、燃焼、化学反応等に係わる次世代流体システム開発など
	技術第7部	・J-PARCに係わるプロジェクトの実施等
第4事業部	技術第5部	・原子力・エネルギー利用に係る安全性解析など ・管路系流体解析エンジニアリング業務
—	総合企画部	・スーパーコンピューティングサービス ・防災シミュレーション ・コンサルティングサービスの提供 ・解析サービスの提供
営業本部	営業部	・お客様窓口



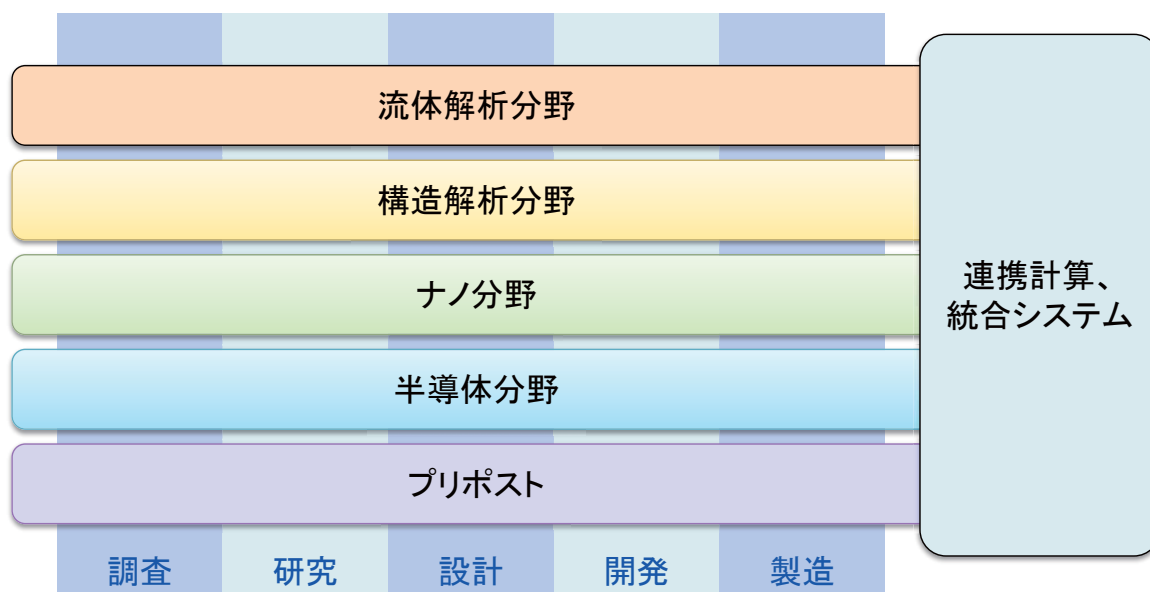
Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

2

アドバンスソフトがご提供するサービス

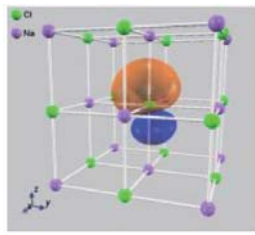
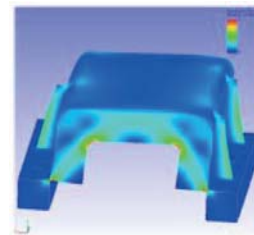
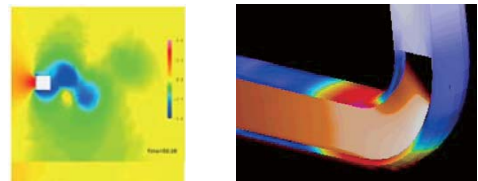

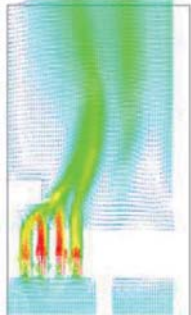
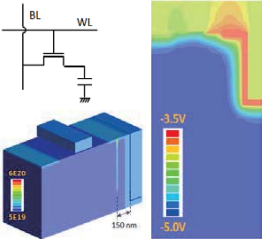
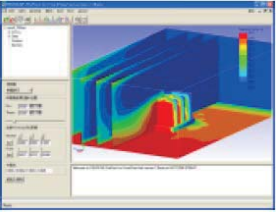


科学技術計算ソフトウェアの開発を基礎とした、
科学技術計算に関する様々なソリューションをご提供します。



産業の主要な分野のあらゆるフェーズで直面する課題に対し、
科学技術計算によるソリューションをご提供します。

アドバンスソフトのパッケージソフトウェア

<p>ナノ</p> <p>Advance/PHASE</p> 	<p>構造</p> <p>Advance/FrontSTR</p> 	<p>流体</p> <p>Advance/FrontFlow/red Advance/FrontFlow/FOCUS</p>  <p>Advance/FrontNetシリーズ</p>  <p>Advance/FrontFlow/MP</p> 	
<p>半導体</p> <p>Advance/TCAD</p> 	<p>プリポスト</p> <p>Advance/REVOCAP</p> 		

※上記は主要パッケージを掲載しています。詳細は弊社HP(www.advancesoft.jp)をご参照ください。

facebook、YouTubeでも関連記事を掲載中

<http://www.facebook.com/advancesoft.jp>

<http://www.youtube.com/user/advancesoft>



音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoiseの 機能のご紹介

技術第2部 徳永 健一

音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise最新動向セミナー
2018年07月27日（金）
アドバンスソフト株式会社

本日の内容

- 概要
- 商品構成
- 開発経緯・ロードマップ
- 定式化
 - 基礎方程式
 - 境界条件
 - 音源
 - 媒体
 - 数値解法
 - 時間積分
 - 無限要素
- 新機能の紹介
 - 無限要素＋一定流れ場
- 連成解析
 - 構造音響連成解析
 - 流体音響連成解析
- 使い方
 - 入出力ファイル
 - 周辺ツール
- その他

概要

- 有限要素法の音響解析ソフトウェアです
- 波動方程式を解きます
- 周波数領域と時間領域の2種類のソルバーがあります

- 入力
 - 有限要素メッシュ
 - 境界条件
 - 音源
 - 媒体
- 出力
 - 周波数ごとの音響速度ポテンシャル(周波数領域ソルバー)
 - 時間ごとの音圧と粒子速度(時間領域ソルバー)

商品構成

- ソルバー本体(周波数領域、時間領域)
- 前処理ツール(主にデータ変換)
- 後処理ツール(結果抽出する等)
- 連成解析用のマッピングツール

Advance/FrontNoise のパッケージは上記をすべて含んでいます。

別途プリポストプロセッサもご用意しています。

開発経緯

Advance/FrontNoiseは、国のプロジェクトで実施したソフトウェアを実用化したものではなく、当社が独自に開発したものです。

国のプロジェクトで開発した流体解析ソフトから得られる音源の伝播を解析することを目的として開発がスタートしました。

日付	Version	内容	節点数	テーマ
2006/04	Ver.1.0	境界要素法	10 ³	消音器の実証解析
2007/04	Ver.2.0	有限要素法	10 ⁵	構造音響連成解析
2008/04	Ver.2.4	行列反復法	10 ⁶	音響構造連成解析
2008/10	Ver.3.0	温度・速度		
2009/10	Ver.3.1	透過損失		並列化

ロードマップ

当初は境界要素法を採用していましたが、大規模計算に対応するためにVer.2.0から有限要素法を採用しています。

Ver.4.Xでは大規模並列、連成解析、時間領域版の対応などの取り組みを進めてきました。

日付	Version	内容	節点数	テーマ
2011/10	Ver.4.0	領域分割並列化	10 ⁷	内部流れの流体音響連成解析
2012/04	Ver.4.1	大規模並列時間領域		
2014/06	Ver.4.2	流体連成・構造連成		
2015/03	Ver.4.3	周波数応答解析との連成解析スパコン対応		精度検証
2016/03	Ver.5.0			時間領域、周波数領域の比較

次のバージョンの予定

Ver.5.1で外部領域の解析のための無限要素の導入を実施しました。

次のバージョン Ver.6.0では構造音響強連成解析の対応を行います。

日付	Version	内容	節点数	テーマ
2017/06	Ver.5.1	無限要素		外部領域
2018/02	Ver.5.2	無限要素+一定流れ場		
2019/06	Ver.6.0	構造音響強連成		

また、入力データ形式を見直し、ソルバー本体とツール類全体に対する構造化された入力にします。

基礎方程式(1)

$P(x, t)$: 音圧 $V(x, t)$: 粒子速度

ρ : 密度 c : 音速

連続の式

$$\frac{dP}{dt} + K \cdot \text{div}(V) = 0 \quad K = \rho c^2 : \text{体積弾性率}$$

運動方程式

$$\rho \frac{dV}{dt} + \text{grad}(P) = 0$$

基礎方程式(2)

音響速度ポテンシャルを導入する 音響速度ポテンシャル $\Psi(x,t)$

$$\begin{aligned} \text{粒子速度 } V(x,t) &= \text{grad}(\Psi(x,t)) & \nabla^2 V(x,t) &= \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 V(x,t)}{\partial t^2} \\ \text{音圧 } P(x,t) &= -\rho \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} & \nabla^2 P(x,t) &= \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P(x,t)}{\partial t^2} \end{aligned}$$

波動方程式が得られる

$$\nabla^2 \Psi(x,t) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial t^2}$$

評価したい値

$$\text{音圧レベル } SPL = 10 \cdot \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \quad P_0 = 2 \times 10^{-5} [Pa]$$

基礎方程式(周波数領域)

$$\nabla^2 \Psi(x,t) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial t^2}$$

定常的な波を仮定する。右式を代入する。 $\Psi(x,t) = \sum_{\nu=1,\infty} \varphi_{\nu}(x) e^{-i\omega t} \quad \omega = 2\pi\nu$

波動方程式を
フーリエ変換

$$\begin{aligned} \sum_{\nu=1,\infty} \nabla^2 \varphi_{\nu}(x) e^{-i\omega t} &= \frac{1}{c^2} \sum_{\nu=1,\infty} \varphi_{\nu}(x) \frac{\partial^2}{\partial t^2} e^{-i\omega t} \\ &= - \sum_{\nu=1,\infty} \frac{\omega^2}{c^2} \varphi_{\nu}(x) e^{-i\omega t} \end{aligned}$$

各周波数を比較して

$$\nabla^2 \varphi(x) + k^2 \varphi(x) = 0 \quad k = \frac{2\pi\nu}{c} \quad \text{※ } \varphi \text{ の添え字の } \nu \text{ を省略した}$$

基礎方程式(周波数領域、場の速度あり)

$$\begin{aligned} & \left(1-M_x^2\right) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \left(1-M_y^2\right) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \left(1-M_z^2\right) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \\ & - \left(2M_x M_y \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} + 2M_y M_z \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y \partial z} + 2M_z M_x \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z \partial x}\right) \quad \text{in } \Omega \\ & - 2ik \left(M_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} + M_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} + M_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) + k^2 \varphi = 0 \quad \text{周波数毎に音響速度ポテンシャルを解く} \\ & k = \frac{2\pi\nu}{c} \quad M_x = \frac{u}{c} \quad M_y = \frac{v}{c} \quad M_z = \frac{w}{c} \\ & P(x) = -\rho(-i\omega\varphi(x) + v_0 \cdot \nabla\varphi(x)) \quad \text{音響速度ポテンシャルから音圧を求める} \\ & V(x) = \text{grad}(\varphi(x)) \quad \text{音響速度ポテンシャルから粒子速度を求める} \end{aligned}$$

※ 温度が分布を持つ場合には音速cが場所毎に変化する。

基礎方程式(まとめ)

- 時間領域
 - 連続の式と運動方程式を直接連立させて解く
- 周波数領域
 - 音響速度ポテンシャルについての波動方程式をフーリエ変換して、周波数についての方程式にして解く
 - 場の速度がある場合は修正項がある

※Advance/FrontNoiseの計算理論については当社の雑誌「アドバンスシミュレーション」で詳細に説明しています。

境界条件

周波数領域での境界条件(数学的には混合境界条件を与える)

$$\alpha(x)\varphi(x) + \beta(x)\frac{\partial\varphi(x)}{\partial n} = f(x) \quad \text{on } \partial\Omega$$

境界条件	$\alpha(x)$	$\beta(x)$	$f(x)$	備考
時系列圧力	$i\omega\rho$	0	$-p_k(x)$	流体音響連成
時系列速度	$i\omega\rho$	1	$v_k(x)$	構造音響連成
時系列変位	$i\omega\rho$	1	$-i\omega u_k(x)$	構造音響連成
時系列加速度	$i\omega\rho$	1	$-\frac{1}{i\omega}a_k(x)$	構造音響連成
インピーダンス	$i\omega\rho$	$-Z$	0	壁面の境界
完全反射	$i\omega\rho$	1	0	デフォルト
無反射	$i\omega\rho$	ρc	0	ρc 境界

音源

- 点音源
 - 音源の大きさが波長に比べて十分に小さい音源
 - 点音源から放射された音波は球面状に伝播
 - 各点の音の強さは、音源からの距離の2乗に反比例する
- 面音源
 - 平面的な広がりをもった音源
 - 無限に広い均一な面音源から放射された音波は平面状に伝播
 - 各点の音の強さは、減衰しない
- 二重極音源
 - 流体音響連成解析で用いる
 - 壁の圧力変動の音源を設定する
- 四重極音源
 - 流体音響連成解析で用いる
 - Lighthillテンソルの2階微分の音源を設定する

物性値

- 周波数領域解析の場合
 - 媒体の速度、温度を与えることができます。
 - 多孔質体を模擬した材質を与えることができます。
- 時間領域解析の場合
 - 速度、温度は場で一定の値を与えることができます。

有限要素法

- 四面体要素を利用します。
 - 形状適合性が高い。
 - 容易にメッシュを作成することが可能である。
 - 問題規模は(要素数ではなく)節点数に依存するため、四面体が不利になることはない(四面体を利用したからといって、問題規模が大きくなることはない)
- 四面体1次要素を利用します。
 - ポテンシャルを解くだけなので、四面体2次要素を利用するメリットがない。
- 定式化にはGalerkin法を利用します。
- 境界条件は混合境界条件に対応します。

数値解法

- 方程式の解法
 - 有限要素法を適用して離散化しています。
 - 離散化した基礎方程式は、複素係数の大規模連立一次方程式となります。
 - 複素数の変数の数は、節点数と等しい。
 - その連立方程式には、大規模解析にも実績のある疎行列用反復解法を適用しています。
 - 周波数領域解析の場合、ひとつの周波数に対して、1回の線形方程式を解きます。
- 線形ソルバー
 - 直接法と反復法が利用できます。
 - 反復法のデフォルトはSchwarz前処理とGMRESの組み合わせです。
 - BiCG法や、ILU前処理、MG前処理も利用できます。

時間積分(時間領域解析)

- 時間方向の離散化はFDTD法(時間領域差分法)を拡張して利用しています。
 - 前の時間の音圧と速度の微分から現在の音圧を求めます。
 - 前の時間の速度と音圧の微分から現在の速度を求めます。
 - この2つを交互に繰り返します。

$$\frac{dP}{dt} + \kappa \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad \longrightarrow \quad \frac{P^n - P^{n-1}}{\Delta t} + \kappa \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0$$

$$\rho \frac{du}{dt} + \frac{\partial P}{\partial x} = 0 \quad \longrightarrow \quad \rho \frac{u^n - u^{n-1}}{\Delta t} + \frac{\partial P}{\partial x} = 0$$

$$\rho \frac{dv}{dt} + \frac{\partial P}{\partial y} = 0 \quad \longrightarrow \quad \rho \frac{v^n - v^{n-1}}{\Delta t} + \frac{\partial P}{\partial y} = 0$$

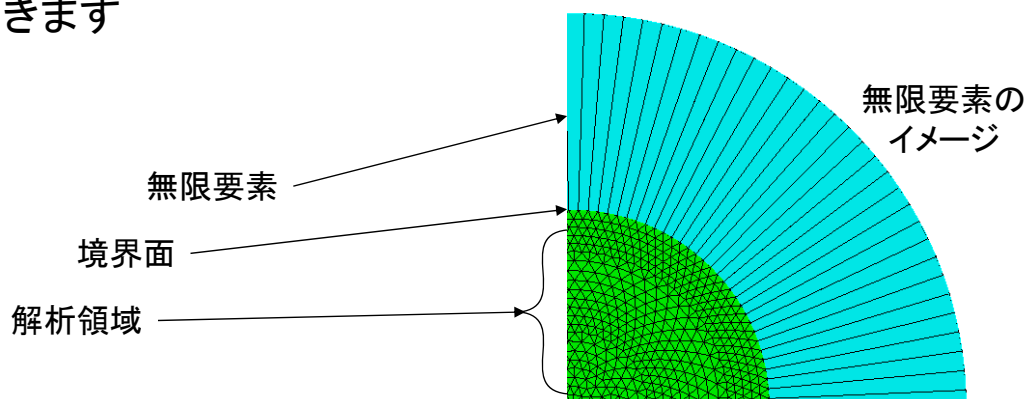
$$\rho \frac{dw}{dt} + \frac{\partial P}{\partial z} = 0 \quad \longrightarrow \quad \rho \frac{w^n - w^{n-1}}{\Delta t} + \frac{\partial P}{\partial z} = 0$$

大規模計算

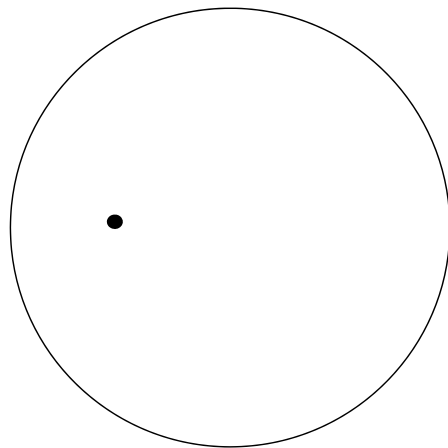
- MPIによる並列化(周波数領域)
 - 疎行列用反復解法の処理を中心に並列化しています。
 - 大規模問題に適用できるデータ構造としています。
- MPIによる並列化(時間領域解析)
 - メッシュを内部で自動的に分割しています。
 - FDTD法を並列で処理しています。
- ユーザは領域分割を意識する必要なし
 - 実行時に「mpirun -np 並列数」を付けるかどうかだけの違いです
- 各種スーパーコンピュータにも対応しています
 - SGI UV2000、FUJITSU PRIMEHPC FX10、Cray H2312
 - 8億要素のモデルで動作検証

無限要素

- 解析領域の外部領域の解を求めることができます
- より精度の高い無反射境界のモデル化です
- 観測点及び観測面は解析の後で設定することができます
- 解析領域を小さくことができ、処理速度、メモリが節約できます



基礎検証; 解析条件

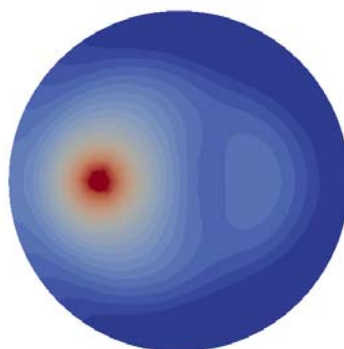


【偏心位置に音源】
音源は空間の1点、境界は透過境界
解析領域の偏心した位置に音源

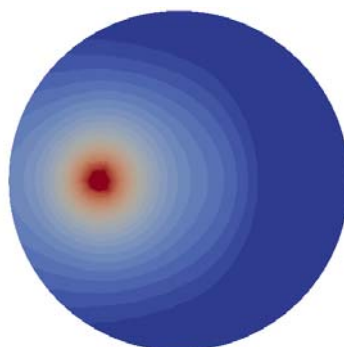
項目	内容
形状	半径0.3mの球
座標	球中心を原点(0,0,0)とする
音源	体積速度1.0[m ³ /sec]の点音源
音源位置	(0.16, 0, 0)
音速	344 [m/sec]
密度	1.19 [kg/m ³]
周波数	1kHzの1周波数のみ
外側境界	無限要素を貼り付ける。
メッシュ幅	0.02 [m]
要素数	114,666要素
節点数	20,796節点
境界面の数	6,800面

基礎検証; 無限要素とpc境界比較

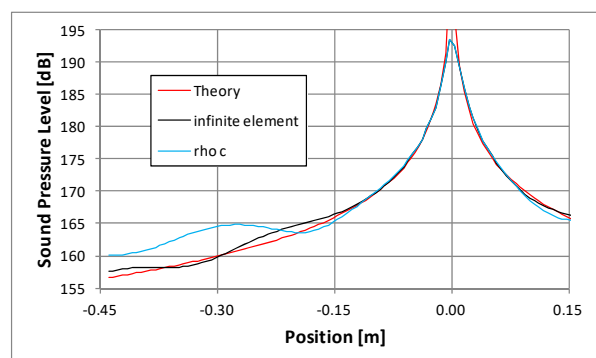
△
pc境界利用
(音圧レベル)



○
無限要素利用
(音圧レベル)

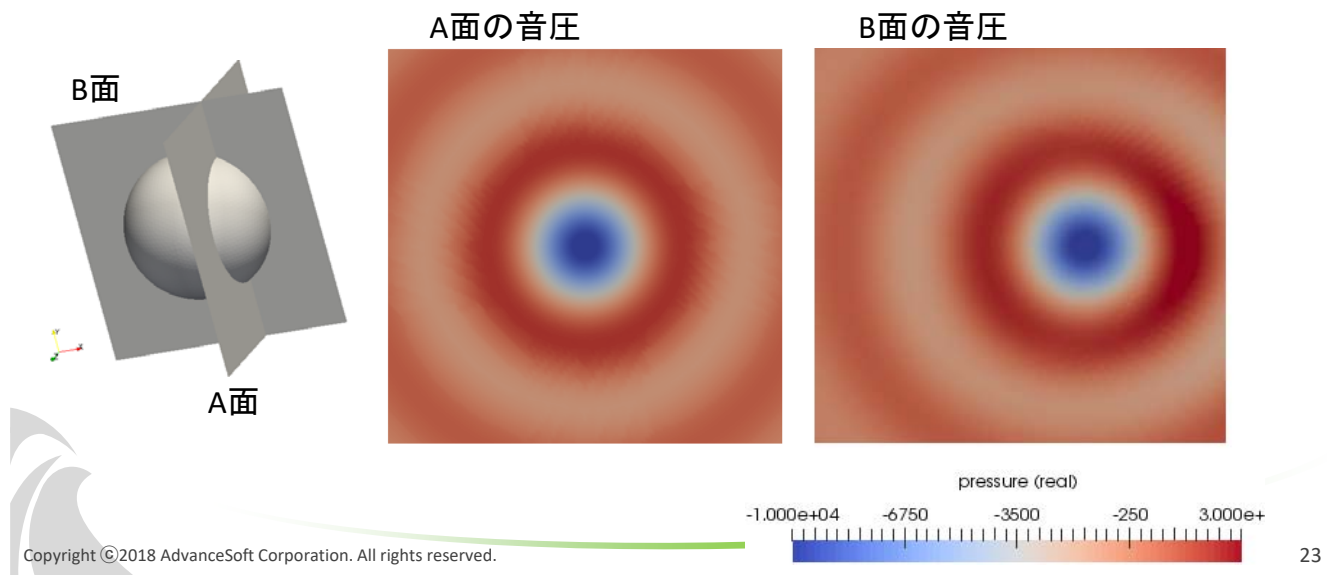


- 無限要素は精度の高い吸収境界として機能する。
- pc境界よりも無限要素を利用した解析の方が、解析解とよく一致する。



基礎検証；観測面での解析結果

- 点音源の解析解と一致(解析領域内の有限要素内)
- 観測面の値も解析解と一致(解析領域外の無限要素内)



無限要素＋一定流れ場

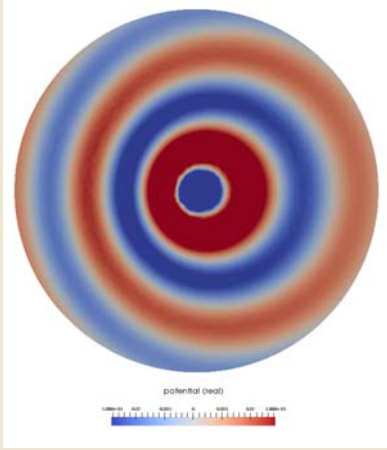
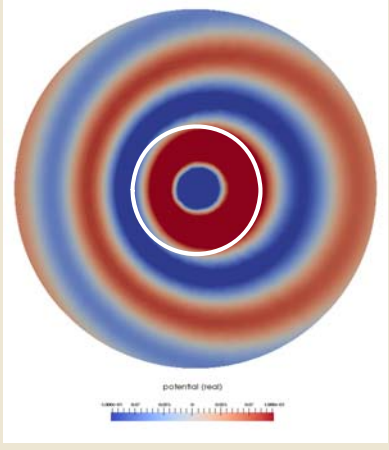
Ver.5.2 で新たに追加された機能です。

無限要素を使う場合に、無限要素において、一定流れ場を与える場合に対応しました。

※解析領域内は従来通り要素ブロックごとの速度を与えることができます。

解析例

共通条件: 原点に点音源、X軸方向にM(マッハ数)=0.2の流れ

pc境界	無限要素
半径1.5mの球	半径0.5mの球(白枠)
X軸を含む断面	観測点は半径1.5mの円板
音響速度ポテンシャル(実部)	音響速度ポテンシャル(実部)
	

Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

25

構造音響連成解析

構造解析の振動結果を音源として音響の伝播を計算します

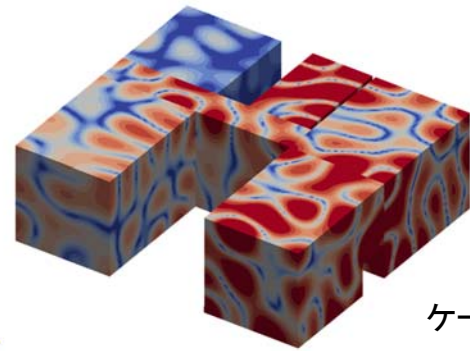
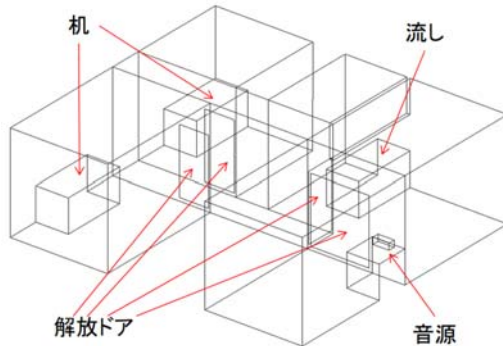
- 構造解析からのデータ(コンバーター)
 - 構造解析の変位の時刻歴解析結果
 - 構造解析の周波数応答解析結果
- 周波数の情報に変換(連成ツール)
 - 時刻歴解析結果の場合、境界面上の周波数の情報に変換(Fourier変換)
- マッピング(連成ツール)
 - 構造解析の境界面の情報を音響解析の境界面に写す
- 境界条件(前処理ツール)
 - 変位境界条件に変換する
- 音響解析の実行

Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

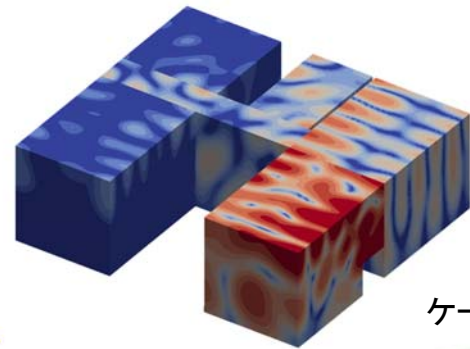
26

構造解析結果を音源とした音響解析例

● 室内の音圧レベルの解析



ケース1



ケース2

ケース名	音源	床	壁
ケース1	構造解析	完全反射	完全反射
ケース2	構造解析	完全吸収	完全反射

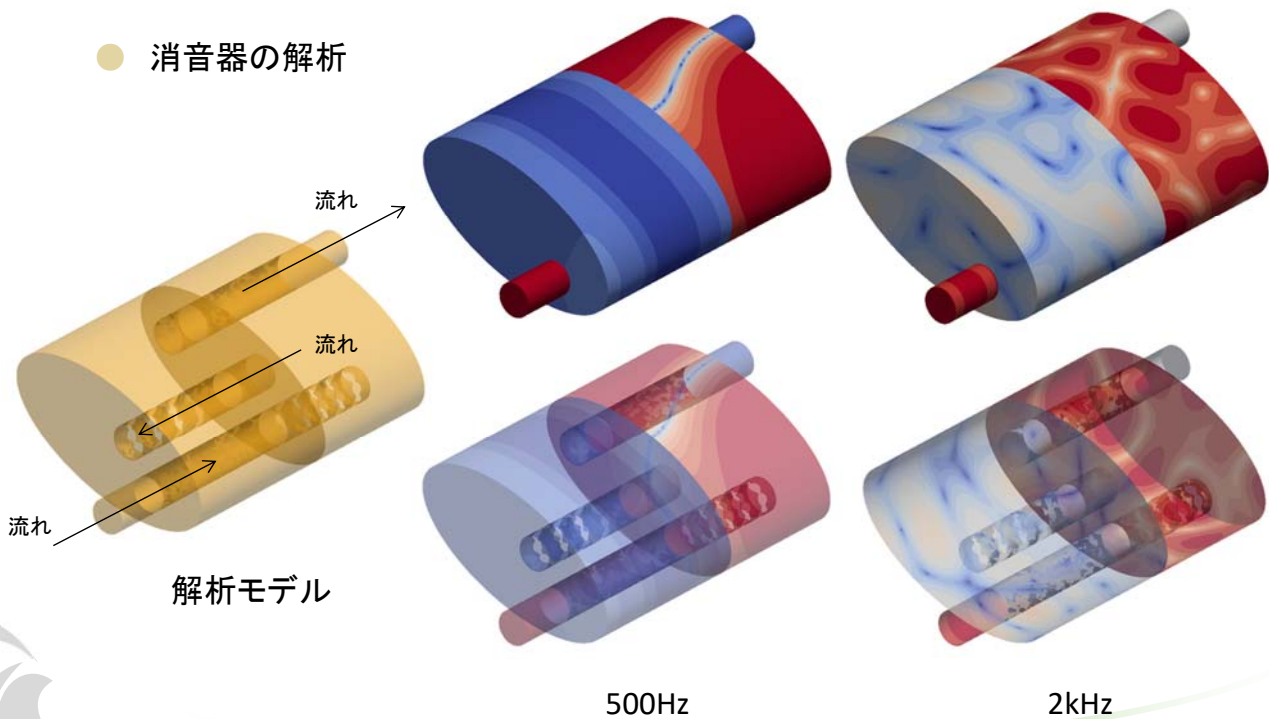
流体音響連成解析

流体解析で計算された音源の伝播を計算するものです。

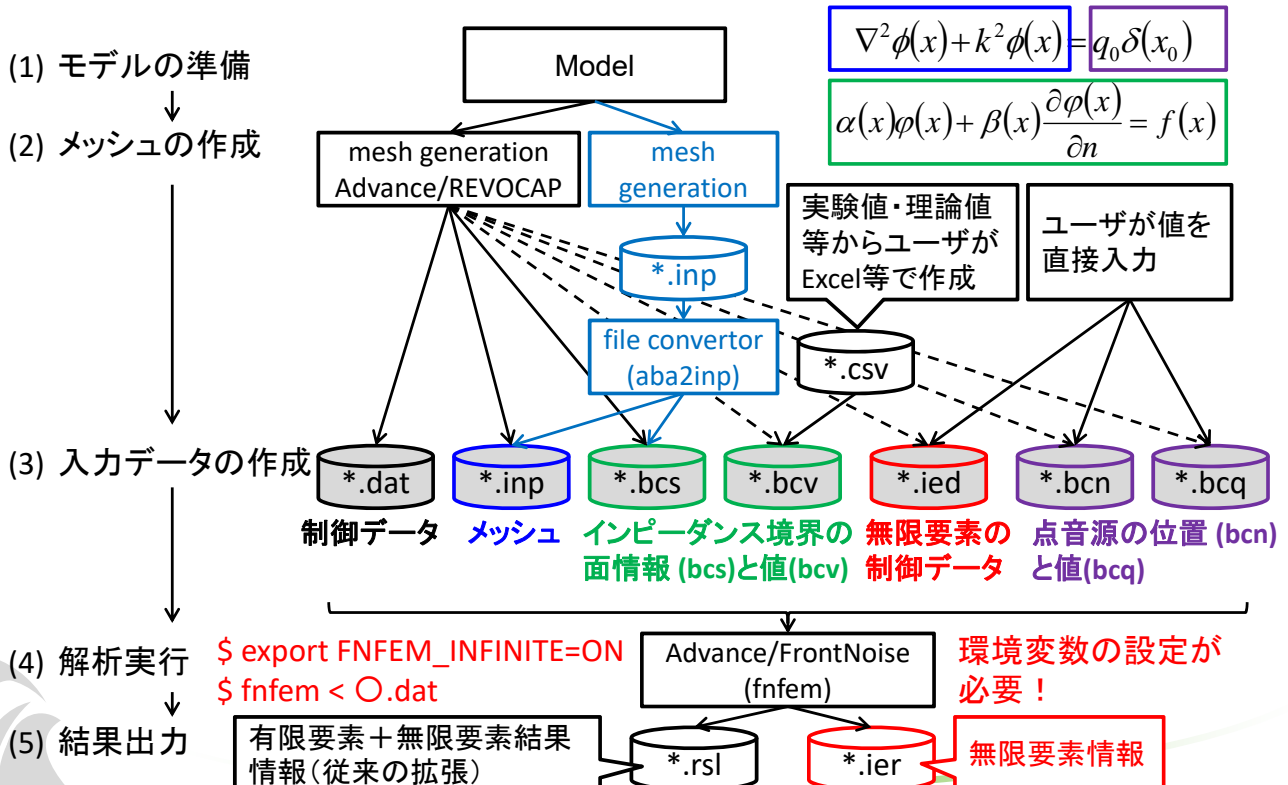
- 乱流応力が音源の時
 - 流体解析からのデータ(コンバーター)
 - ・ 計算領域全体での速度場の時刻歴データ
 - ・ 速度からLighthill乱流応力テンソルを求める
 - 周波数の情報に変換(連成ツール)
 - ・ 乱流応力テンソルの2階微分の Fourier 変換
 - 音源へマッピング(連成ツール)
 - ・ 四重極音源
- 壁面の圧力変動が音源の時
 - 流体解析からのデータ(コンバーター)
 - ・ 壁面での圧力値の時刻歴データ
 - 周波数の情報に変換(連成ツール)
 - ・ 壁面の圧力値を Fourier 変換
 - 音源へマッピング(連成ツール)
 - ・ 二重極音源

流体解析結果を音源とした音響解析例

● 消音器の解析



音響解析の流れと必要なデータ (周波数領域で無限要素を使う場合)



入力データの説明

項目	ファイル名	代表的なファイル作成方法
メッシュ	*.inp	メッシュ作成ソフト(Advance/REVOCAP)で作成する。または、メッシュ作成ソフトで作成したファイルをコンバートして作成する。
境界条件(面音源を含む)を面に与える場合	*.bcs	メッシュ作成ソフト(Advance/REVOCAP)で作成する。または、メッシュ作成ソフトで作成したファイルをコンバートして作成する。
	.bcv	実験値・理論値・文献値からexcel等で条件を作成して、csvでexportしたファイルを.bcvファイルとする。
無限要素を面に張り付ける場合	*.ied	メッシュ作成ソフト(Advance/REVOCAP)で作成する。または、手入力等で無限要素の入力データを作成して*.iedファイルとする。
点音源を節点に与える場合	*.bcn	メッシュ作成ソフト(Advance/REVOCAP)で作成する。または、メッシュ作成ソフトで作成したファイルをコンバートして作成する。または、節点探索ツールnfindを利用する。
	.bcq	手入力等で音源ファイルを作成して.bcqファイルとする。

$$\nabla^2 \phi(x) + k^2 \phi(x) = q_0 \delta(x_0)$$

$$\alpha(x)\phi(x) + \beta(x)\frac{\partial\phi(x)}{\partial n} = f(x)$$

Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

データ作成(前処理)周辺ツール

ツール名	プログラム名	概要
メッシュ細分化	refine	要素の1辺を1/2にして細分化する
点音源作成	psgen	二重局音源、四重極音源を境界条件に変換する
ABAQUS形式変換	aba2inp	メッシュフォーマット変換
fv形式変換	fv2inp	メッシュフォーマット変換
OpenFOAM形式変換	foam2inp	メッシュフォーマット変換
境界条件可視化	bcs2inp	境界条件ファイルを可視化ファイルに変換
境界条件フォーマット変換	bcvconv	古い境界条件のフォーマットを新しいフォーマットに変換
節点検索	nfind	座標から節点番号を検索
入力データチェック	inpchk	整合性のチェック
境界条件データの面方向をそろえる	modbcs	面の向きを修正する

Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

解析結果(後処理)周辺ツール

ツール名	プログラム名	概要
計算結果粗視化	coarse	細分化した結果を戻す
UCD形式変換	rsl2inp	可視化フォーマット変換
結果編集	getnval	結果ファイルから特定の節点の値を取り出す
バイナリ結果編集	getnvalbin	結果ファイルから特定の節点の値を取り出す
固体表面データの可視化	bcsrsl2inp	計算結果の表面データを可視化ファイルに変換
リスタートファイル作成	rsl2res	リスタートファイルへ変換
結果の比較	difrs1	解析結果の比較

実行方法

- 周波数領域解析

```
いくつかの環境変数などの設定  
$ mpirun -np 並列数 fnfem < 解析条件名.dat
```

- 時間領域解析

```
いくつかの環境変数などの設定  
$ meshpart -n 分割数 -ascii 解析条件名  
$ mpirun -np 並列数 fntime < 解析条件名.dat
```

- 後処理(例)

```
# 指定座標の値を取り出してCSVファイルに出力  
$ ls *.rsl | getnvalbin 座標 メッシュファイル.inp > 結果.csv  
# 結果ファイルを可視化用ファイルに変換  
$ rsl2inp メッシュファイル.inp 結果ファイル.rsl 可視化用ファイル.inp
```

アカデミック対応

- 卒業論文のテーマで、音響解析をAdvance/FrontNoiseで行う場合は、特別価格で提供いたします。詳しくはお問い合わせください。
- 音響をテーマに研究されている学生の方のインターンシップを受け入れます。

周波数領域での解析機能

項目	内容	
基礎方程式	(1) 音響速度ポテンシャルに関する波の方程式を周波数空間に変換した方程式 (2) 空間的に分布する場の流れおよび空間的に分布する温度を考慮可能 (3) 空間的に分布する多孔質音響伝播媒体を考慮可能 (4) 構造物の固有値解析結果を利用した構造音響連成透過音解析が可能	
解析領域	内部領域、および、外部領域(外部領域での外部境界は ρc 境界で与える)	
物性値等	速度	場の速度を指定可能(デフォルト;速度0) 無限要素の領域に一定速度を指定可能
	温度	場の温度(音の伝播媒体)を要素毎に指定することが可能(デフォルトは均一媒体)
	多孔質	多孔質を模擬した場の材質を指定することが可能
境界条件	面での音源	面(壁境界)に対して、周波数毎に音圧または粒子速度を設定可能
	点音源	節点に対して、単極子、二重極、または、四重極のパラメータを設定可能
	音響インピーダンス	面(壁境界)に対して、周波数毎に音響インピーダンスを設定可能
	外部境界	面(外部境界)に対して、 ρc 境界を設定可能(音響インピーダンスを与える機能の一部)
	無限要素	面(外部境界)に対して、無限要素を設定可能
数値解法	離散化手法	有限要素法
	利用可能な要素	四面体一次要素
	並列計算	自動領域分割によりMPIで並列化
	行列解法	GMRES系列の反復法をデフォルトとし、各種反復手法および前処理手法が利用可能
	大規模計算実績	4億要素・8000万節点(四面体一次要素)
解析結果	周波数毎の音響ポテンシャル、音圧、音圧レベルを、バイナリ形式でファイル出力	
プリポスト	Advance/REVOCAP for FrontNoise	

時間領域での解析機能

項目	内容	
基礎方程式	音圧と粒子速度の波の方程式を時系列で解く	
解析領域	内部領域、および、外部領域(外部領域での外部境界は ρc 境界で与える)	
物性値等	場で一定とする	
境界条件	点音源	節点に対して、単極子、双極子、または、四重極子のパラメータを設定可能
	音響インピーダンス	面(壁境界)に対して、周波数毎に音響インピーダンスを設定可能
	外部境界	面(外部境界)に対して、 ρc 境界を設定可能(音響インピーダンスを与える機能の一部)
数値解法	離散化手法	有限要素法
	利用可能な要素	四面体一次要素
	並列計算	自動領域分割によりMPIで並列化
	時間積分	陽解法、FDTD方式をFEMに適用した手法
	大規模計算実績	4億要素・8000万節点(四面体一次要素)
解析結果	音圧等を指定された出力間隔でファイル出力、定点の音圧等の時系列データをファイル出力、音圧等のある区間で平均化して出力	
プリポスト	Advance/REVOCAP for FrontNoise	

音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoiseの 基本検証解析結果のご紹介

技術第2部 田之上 文彦

音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise最新動向セミナー
2018年07月27日（金）
アドバンスソフト株式会社

概要

- Advance/FrontNoiseの入力データ、解析の流れをご説明します。
- 気柱の共鳴問題を題材として、具体的な解析の設定方法をご説明します。
- 気柱の共鳴問題検証を行い、理論と比較します。



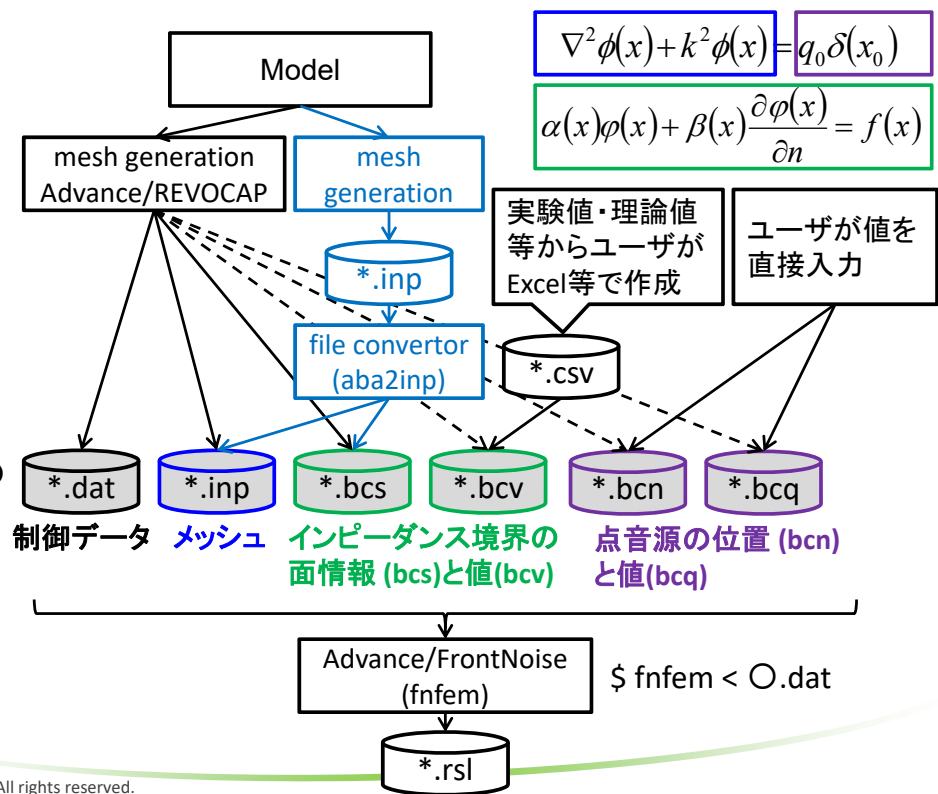
1. 解析の流れとデータ

- (1) モデルの準備
- (2) メッシュの作成

- (3) 入力データの作成

- (4) 解析実行

- (5) 結果出力



1.1 入力データ

項目	ファイル名	代表的なファイル作成方法
メッシュ	*.inp	メッシュ作成ソフト(Advance/REVOCAP)で作成する。または、メッシュ作成ソフトで作成したファイルをコンバートして作成する。
境界条件(面音源を含む)を面に与える場合	*.bcs	メッシュ作成ソフト(Advance/REVOCAP)で作成する。または、メッシュ作成ソフトで作成したファイルをコンバートして作成する。
	.bcv	実験値・理論値・文献値からexcel等で条件を作成して、csvでexportしたファイルを.bcvファイルとする。
点音源を節点に与える場合	*.bcn	メッシュ作成ソフト(Advance/REVOCAP)で作成する。または、メッシュ作成ソフトで作成したファイルをコンバートして作成する。または、節点探索ツールnfindを利用する。
	.bcq	手入力等で音源ファイルを作成して.bcqファイルとする。

$$\nabla^2 \phi(x) + k^2 \phi(x) = q_0 \delta(x_0)$$

$$\alpha(x)\phi(x) + \beta(x)\frac{\partial \phi(x)}{\partial n} = f(x)$$

1.2 参考:ファイル名の由来

*.inp	AVS-UCD形式の拡張子(.inp)に従った
*.bcs	境界条件BCを面音源等の面Surfaceに与える
*.bcv	境界条件BCの値Valueを与える
*.bcn	境界条件BCと類似の形式で点音源を節点Nodeに与える
*.bcq	境界条件BCと類似の形式で点音源の値Qを与える

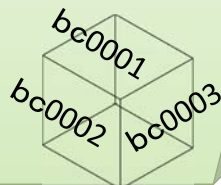
$$\nabla^2 \phi(x) + k^2 \phi(x) = q_0 \delta(x_0)$$

$$\alpha(x)\phi(x) + \beta(x)\frac{\partial\phi(x)}{\partial n} = f(x)$$

1.3 境界条件(面音源を含む)を面 与える場合(*.bcs, *.bcv)~書式~

*.bcs

bc0001 ←「bc」で始まり、それ以降は任意
Element No. Node1 Node2 Node3
Element No. Node1 Node2 Node3
... (境界面に含まれる要素番号と節点
の定義)
Element No. Node1 Node2 Node3
bc0002 ←次の境界面
Element No. Node1 Node2 Node3
Element No. Node1 Node2 Node3
...
Element No. Node1 Node2 Node3
bc0003
...
bcxxxx
...



*.bcv

$$\alpha(x)\phi(x) + \beta(x)\frac{\partial\phi(x)}{\partial n} = f(x)$$

周波数1 α_{Re} α_{Im} β_{Re} β_{Im} f_{Re} f_{Im} ←bc0001
周波数1 α_{Re} α_{Im} β_{Re} β_{Im} f_{Re} f_{Im} ←bc0002
... (境界条件の順番と対応)
周波数1 α_{Re} α_{Im} β_{Re} β_{Im} f_{Re} f_{Im} ←bcxxxx
周波数2 α_{Re} α_{Im} β_{Re} β_{Im} f_{Re} f_{Im} ←bc0001
...
周波数2 α_{Re} α_{Im} β_{Re} β_{Im} f_{Re} f_{Im} ←bcxxxx
周波数3 α_{Re} α_{Im} β_{Re} β_{Im} f_{Re} f_{Im} ←bc0001
...
周波数3 α_{Re} α_{Im} β_{Re} β_{Im} f_{Re} f_{Im} ←bcxxxx
...
(解析する周波数の数だけ、繰り返す)

1.3 境界条件(面音源を含む)を面に与える場合 (*.bcs, *.bcv)~条件~

*.bcv

$$\alpha(x)\phi(x) + \beta(x)\frac{\partial\phi(x)}{\partial n} = f(x)$$

境界の種類	$\alpha(x)$	$\beta(x)$	$f(x)$	備考
音圧	$i\omega\rho$	0	$-p(x)$	流体音響連生
速度	0	1	$v(x)$	
変位	0	1	$-i\omega u(x)$	構造音響連生
加速度	0	1	$(-i\omega)^{-1} a(x)$	
インピーダンス	$i\omega\rho$	$-Z$	0	壁面の境界
完全反射	0	1	0	デフォルトの値
完全吸収	$i\omega\rho$	ρc	0	ρc 境界

※ $\omega = 2\pi f$, ρ : 密度, c : 音速

1.4 点音源を節点に与える場合

*.bcn

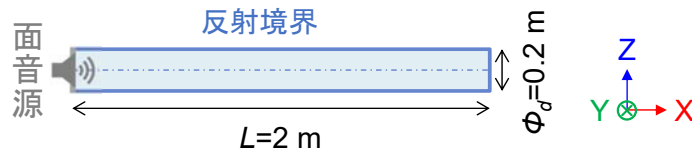
Node No. (ノード1)
Node No. (ノード2)
Node No. (ノード3)
...
Node No. (ノードn)

*.bcq

$$\nabla^2\phi(x) + k^2\phi(x) = q_0\delta(x_0)$$

周波数 $q_{0\text{ Re}}$ $q_{0\text{ Im}}$ (ノード1)
周波数 $q_{0\text{ Re}}$ $q_{0\text{ Im}}$ (ノード2)
周波数 $q_{0\text{ Re}}$ $q_{0\text{ Im}}$ (ノード3)
...
周波数 $q_{0\text{ Re}}$ $q_{0\text{ Im}}$ (ノードn)

2. 検証モデルと理論解



No.	項目	値	単位
1	音速	347.826	m/s
2	空気密度	1.175	kg/m ³
3	解析開始周波数	5.0	Hz
4	解析終了周波数	500	Hz
5	周波数増分	5	Hz
6	メッシュサイズ	8.6	mm
7	音源(圧力)	0.010024	Pa

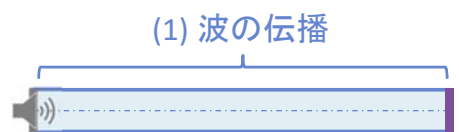
2. 検証モデルと理論解

- 解くべき式... 音響速度ポテンシャルに関する波動方程式(1次元に近似)

$$\begin{cases} \nabla^2 \varphi(x) + k^2 \varphi(x) = 0 & \dots (1) \\ \varphi(0) = i\omega\rho P_b & \dots (2) \\ \nabla\varphi(L) = 0 & \dots (3) \end{cases}$$

参考:

例えば、城戸健一(1990), 『基礎音響工学』, コロナ社



(2) 面音源

(3) 完全反射
→粒子速度 0

- 圧力

$$P(x) = \frac{\varphi(x)}{i\omega\rho} = P_b (\tan kL \sin kx + \cos kx) \dots (4)$$

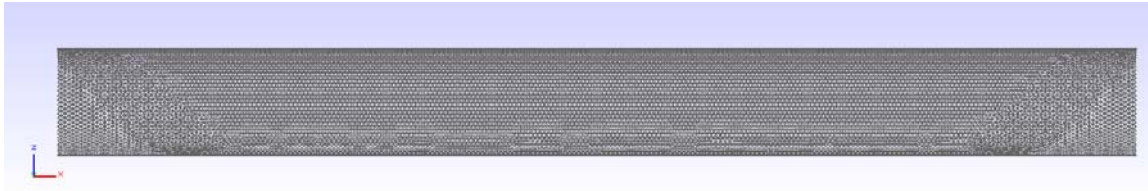
$$SPL(x, f) = 20 \log_{10} \frac{|P|}{P_0} \quad P_0 = 2.0 \times 10^{-5} \text{ Pa} \quad \dots (5)$$

- 共鳴する条件

$$L = \frac{(2m-1)}{4} \lambda \quad (m: \text{自然数})$$

3. 解析手順のご説明

- 解析モデル
節点数 : 173,385
要素数 : 978,128



3.1 条件の設定～制御ファイル～

制御ファイル (*.dat)

項目	値	単位
音速	347.826	m/s
空気密度	1.175	kg/m ³
開始周波数	5	Hz
終了周波数	500	Hz
周波数増分	5	Hz

```

Model Name    = s1c1c
Sound Velocity = 3.478260e+02
Density       = 1.175420e+00
Start Frequency = 5.0000
Final Frequency = 500.00
Frequency Step = 5
Max Iteration  = 25000
Output Level   = 1
END
    
```

音速を決定し、以下の式から空気密度を算出

$$c \text{ (m/s)} = \frac{331.5 + 0.6T \text{ (}^\circ\text{C)}}{1} \quad [1]$$

$$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{P \text{ (Pa)}}{287 \text{ (J/kg} \cdot \text{K)} \times \{T \text{ (}^\circ\text{C)} + 273.15\}} \quad [2]$$

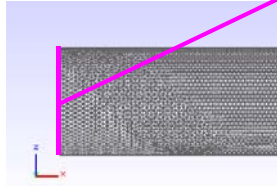


[1] 例えば W. Benenson, et al., (2002) *Handbook of Physics*, Springer. のp.312.

[2] 空気の理想気体の状態方程式を適用した。

3.2 条件の設定～面音源～

面音源の面情報 (*.bcs)



```
bc00001
809 3 1 4
811 3 1 4
812 3 1 4
... ..
593228 1 2 4
593230 1 2 4
```

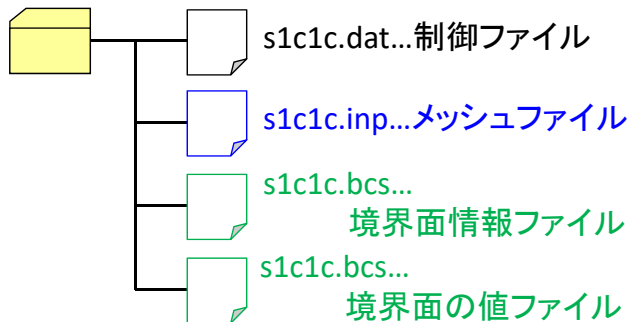
インピーダンス境界の面の値 (*.bcv)

項目	値
α_{Re}	0
α_{Im}	$2\pi f\rho$
β_{Re}	0
β_{Im}	0
f	-0.010024 ← $-P_b$

```
5.00 0.0 36.914 0.0 0.0 -0.010024 0.0
10.0 0.0 73.827 0.0 0.0 -0.010024 0.0
15.0 0.0 110.74 0.0 0.0 -0.010024 0.0
... ..
495 0.0 3654.5 0.0 0.0 -0.010024 0.0
500 0.0 3691.4 0.0 0.0 -0.010024 0.0
```

3.3 解析の実行

ファイル構成 (ModelName: s1c1c)



実行コマンド

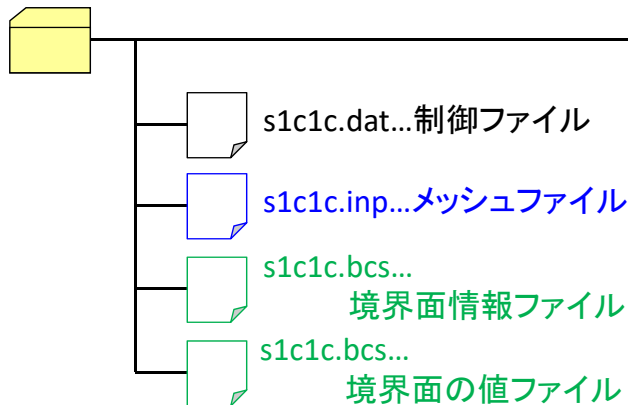
```
$ fnfem < s1c1c.dat
```

$$\nabla^2 \phi(x) + k^2 \phi(x) = q_0 \delta(x_0)$$

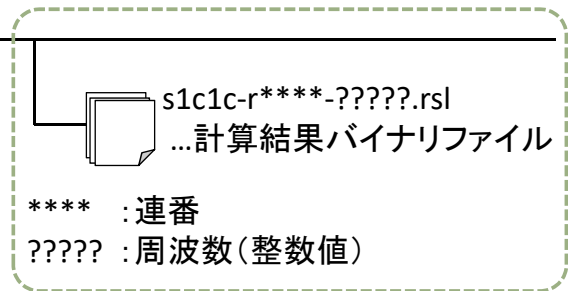
$$\alpha(x)\phi(x) + \beta(x)\frac{\partial \phi(x)}{\partial n} = f(x)$$

3.4 解析の実行結果

ファイル構成 (ModelName: s1c1c)

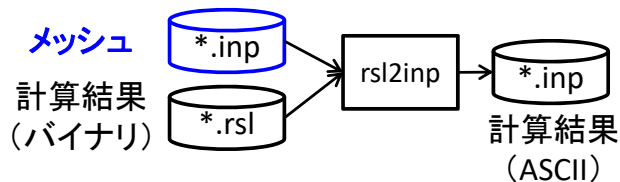


出力されたファイル



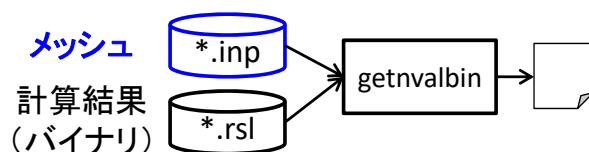
3.5 ポスト処理

- 可視化ファイル(UCD)



rsl2inp メッシュファイル 計算結果バイナリファイル UCD出力ファイル名

- 節点の値の抽出

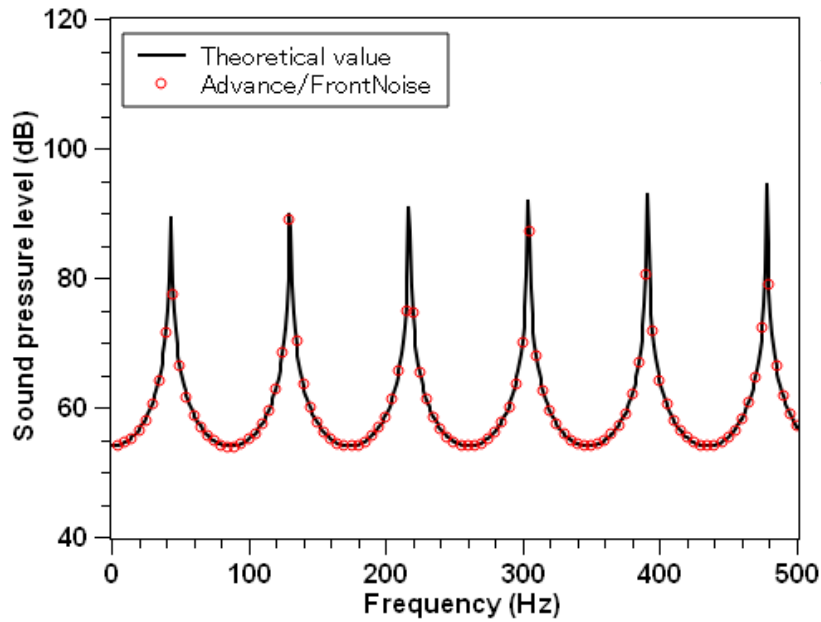


コマンド例
\$ ls *-r*.rsl > tmp.dat
\$ cat tmp.dat | getnvalbin <X> <Y>
<Z> メッシュファイル > out.csv

計算結果バイナリファイル | getnvalbin X座標 Y座標 Z座標 メッシュファイル

4. 解析結果

- 周波数特性



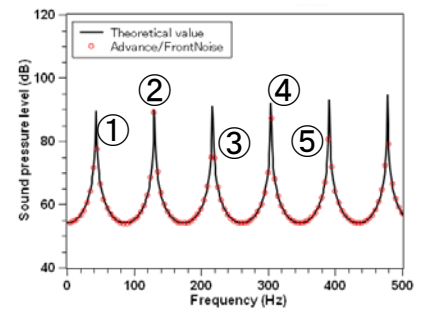
理論値と一致
 することを確認

4. 解析結果

- 圧力コンター(周波数ごと規格化)



Low High



①
45Hz



②
130Hz



③
215Hz



④
305Hz



⑤
390Hz



5. まとめ

- Advance/FrontNoiseの解析に必要なデータと解析の流れをご説明しました。
- 検証問題を使い、Advance/FrontNoiseの使用方法をご説明しました。
- 気柱の共鳴問題について、理論値と一致することを確認しました。



打音調査を対象とした音響解析 —トンネル維持管理への活用—



2018年7月27日
(公財)鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部 トンネル研究室
嶋本 敬介

1

目次

1. トンネルの基本
2. トンネル覆工コンクリートの剥落
3. トンネルの検査と健全度評価
4. 打音に関する研究紹介

2

1. トンネルの基本

3

現役最古の鉄道トンネル

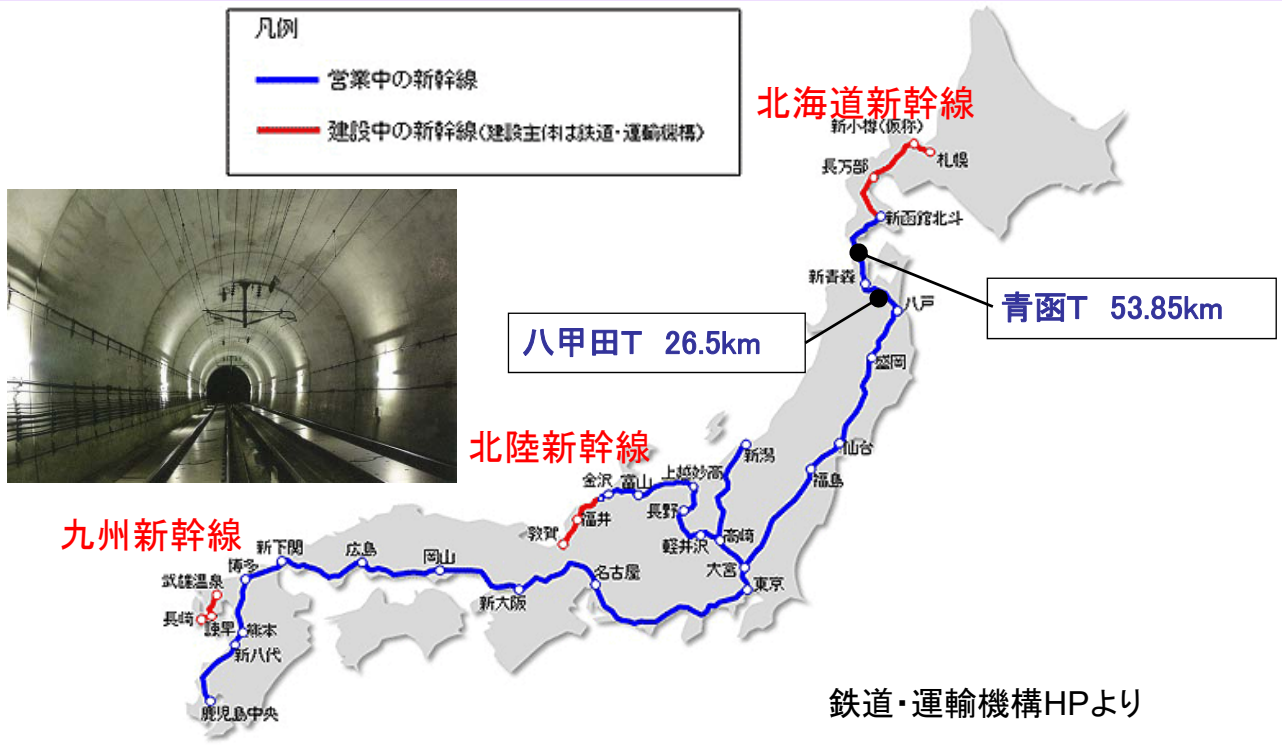
経年131年 清水谷戸トンネル
(東海道線保土ヶ谷－東戸塚間)



⇒経年131年でも,適切な維持管理のもとで,安全に供用できる。

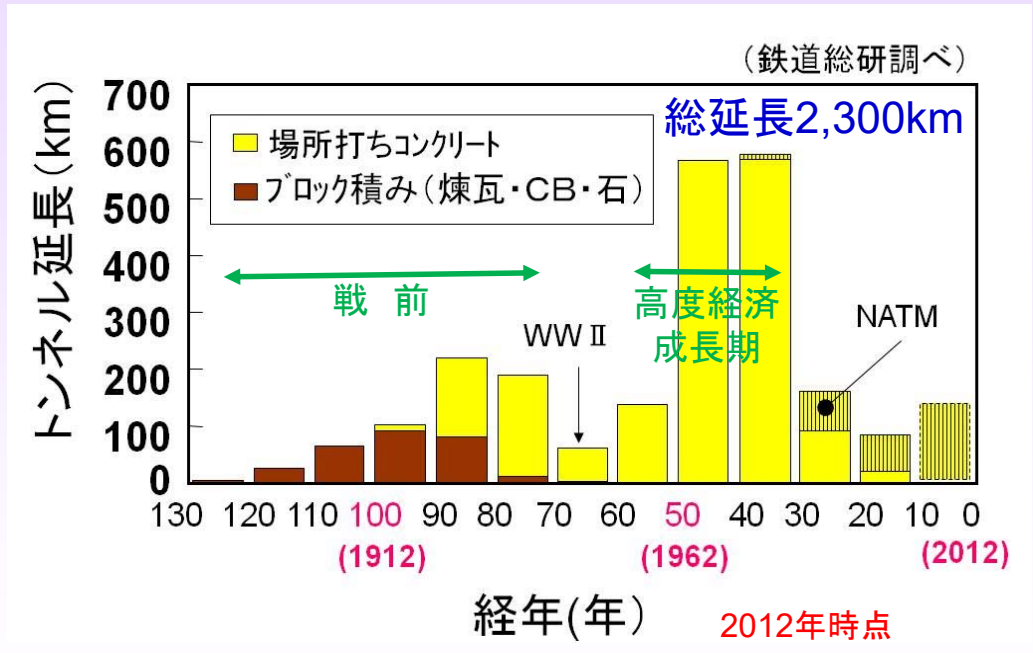
4

最近の新幹線建設とトンネル



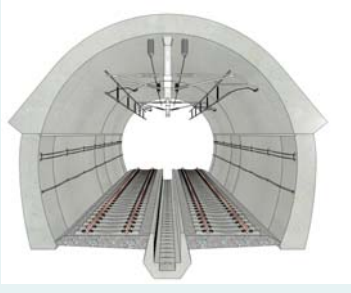
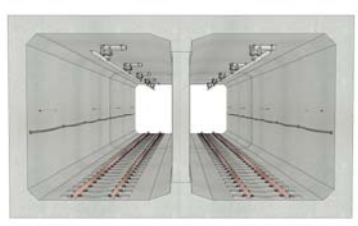
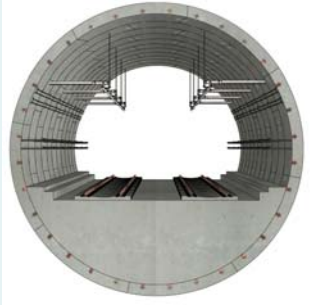

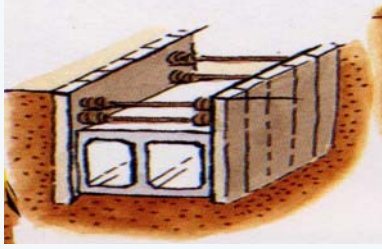
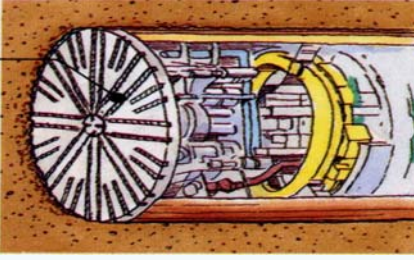
トンネル延長, トンネル比率が増加傾向
 (トンネル比率: 北海道新幹線76%, 中央新幹線86%..)

鉄道トンネル(JR)の経年分布



戦前(主にブロック積み) 1/3、高度経済成長期 1/2 NATM 1/8

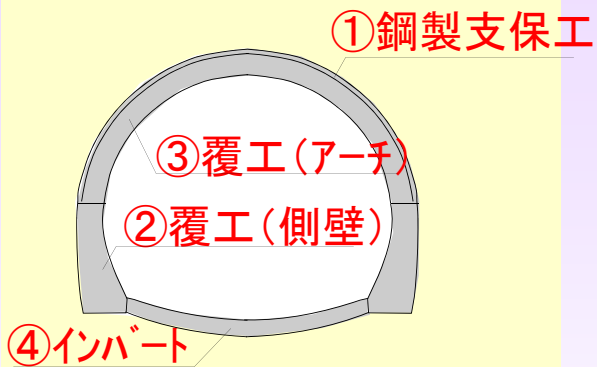
トンネルの種類

山岳トンネル	開削トンネル	シールドトンネル
		
		
発破/機械 割合 84%	土留+掘削 4%	シールド掘削機 11%

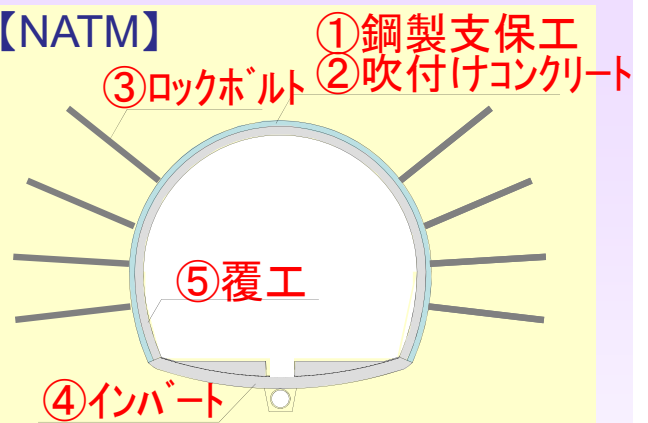
7

山岳トンネル

【矢板工法】



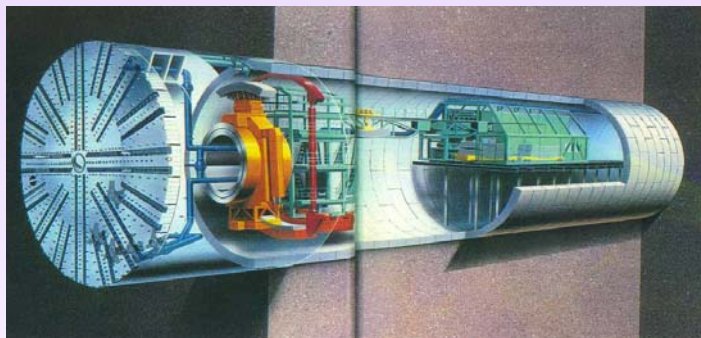
【NATM】



◆ 覆工は、坑口部等を除き、無筋コンクリート

8

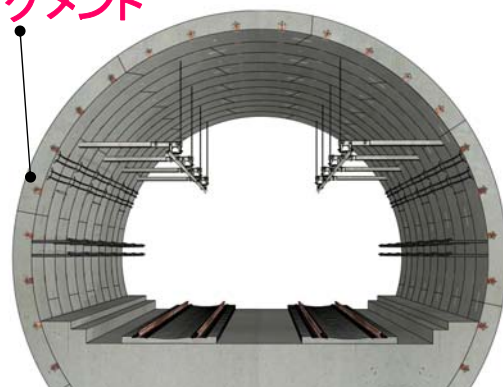
シールドトンネル



①シールドによる掘削



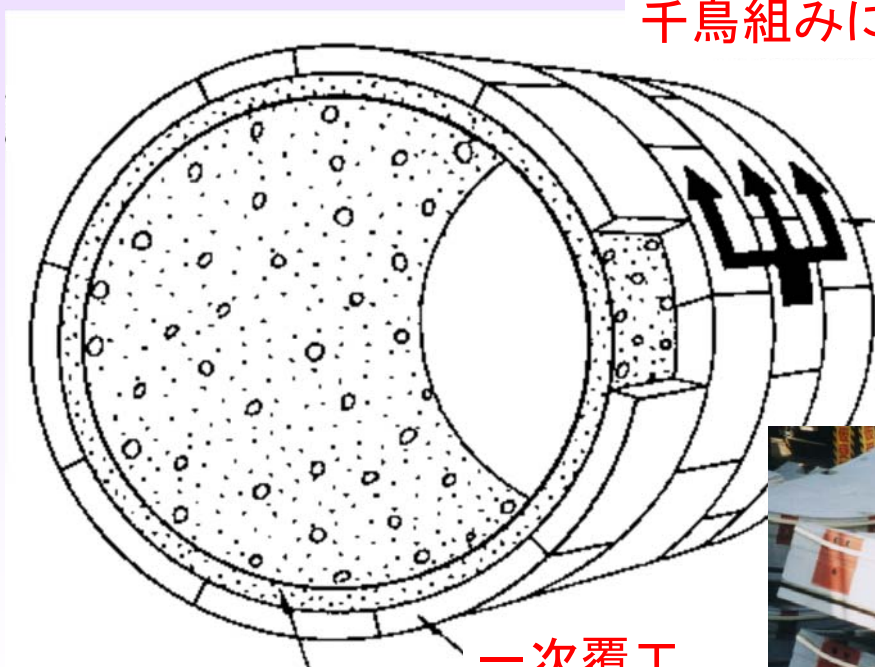
②セグメント



9

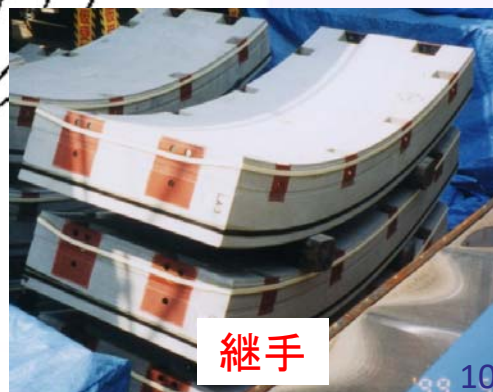
シールドトンネルの構造

千鳥組みによる添接効果



二次覆工

一次覆工
(セグメント)

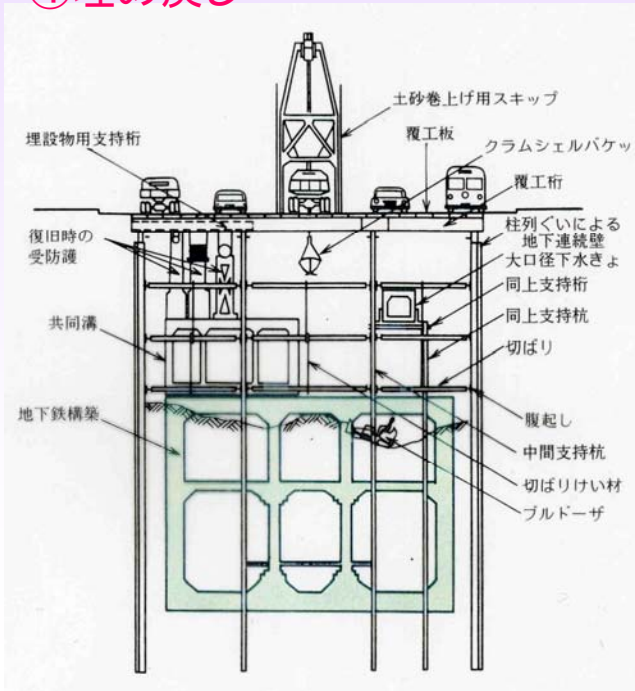


継手

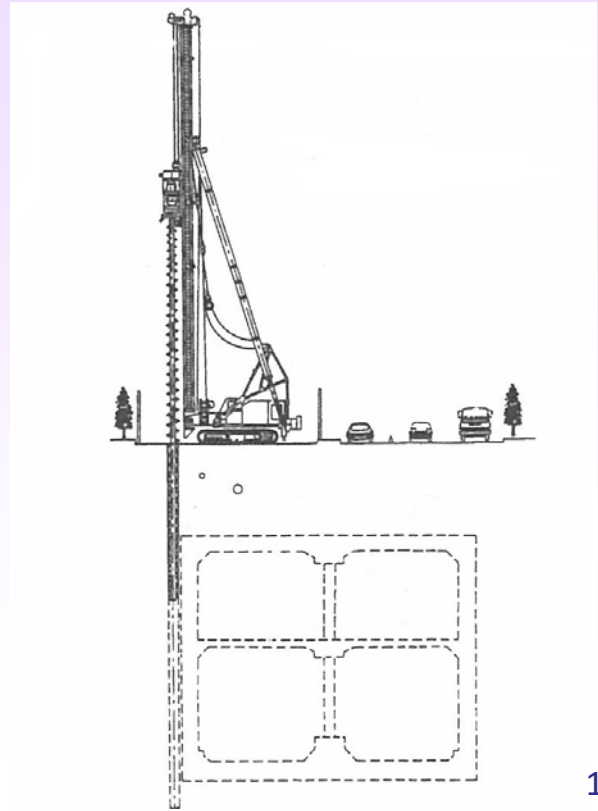
10

開削トンネル

- ①土留
- ②掘削・支保工
- ③く体構築
- ④埋め戻し



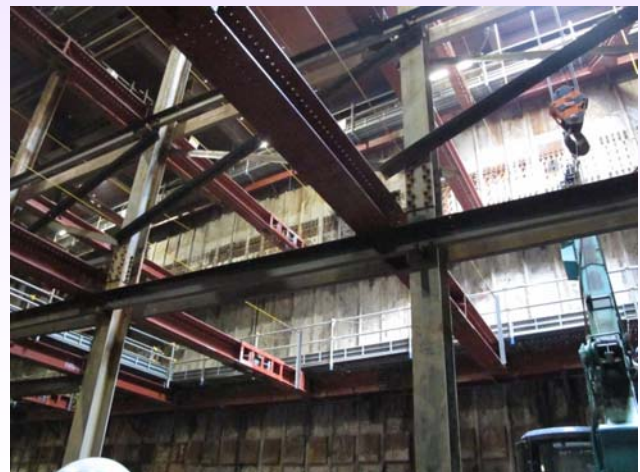
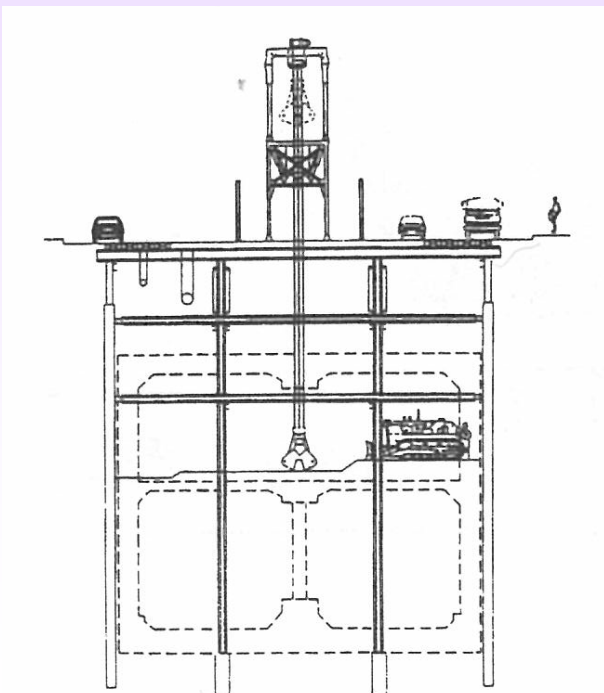
①土留



11

開削トンネル

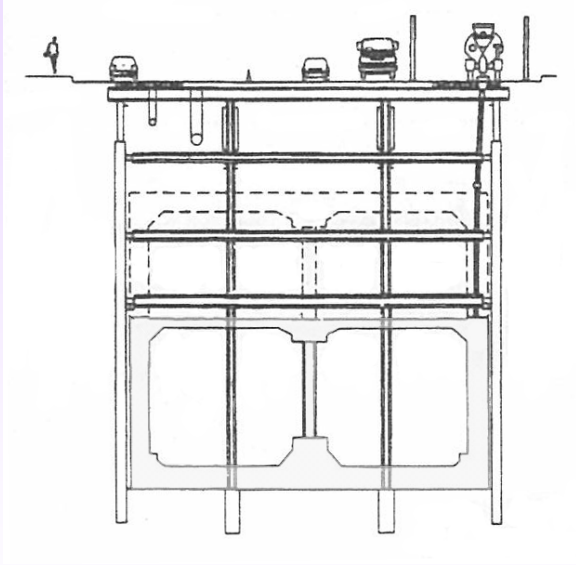
②掘削・支保工



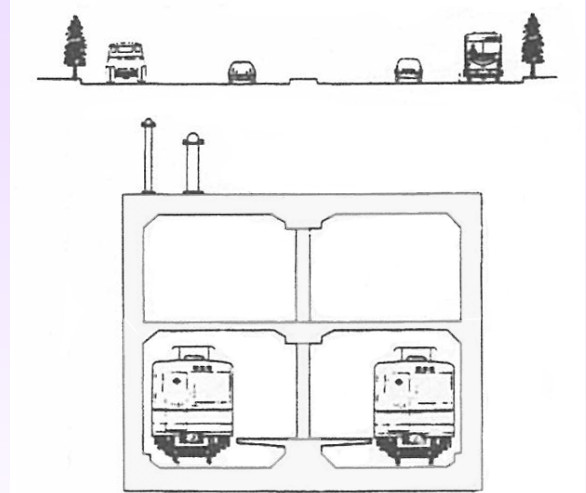
12

開削トンネル

③く体構築



④埋め戻し



13

掘削



◆ 掘削: 掘削機, 火薬による発破

14

鋼製支保工・吹付けコンクリート



- ◆ 掘削後直ちに支保（鋼製支保工・吹付けコンクリート）
- ◆ 吹付けコンクリート：急結材を使用し，短時間でも高強度

15

ロックボルト

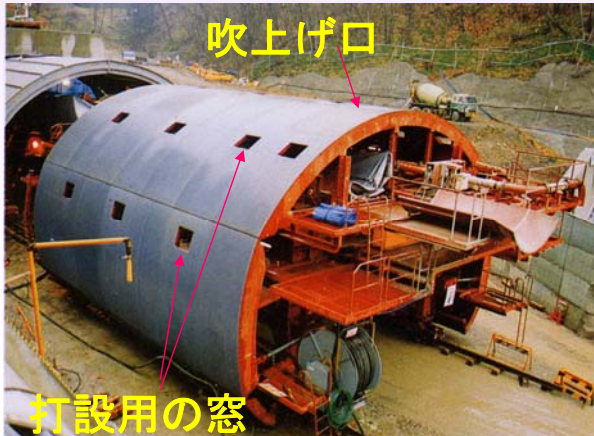
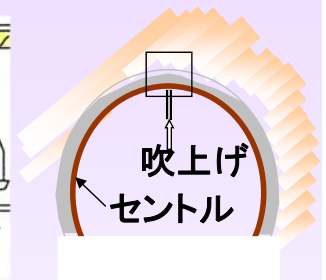
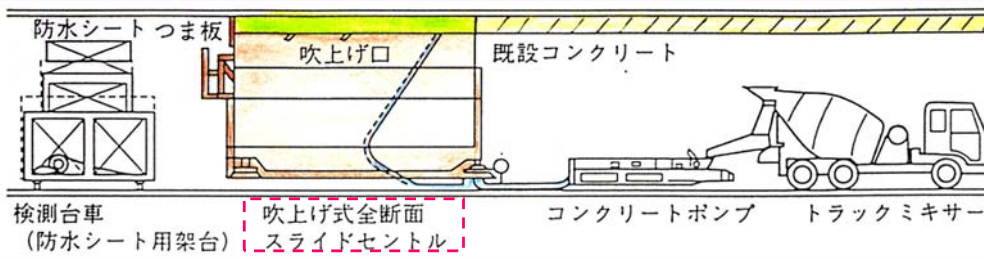


- ◆ このサイクルを1日に3～6回程度繰り返す

16

NATMにおける覆工コンクリートの打設

吹上げ方式



全断面スライドセントル

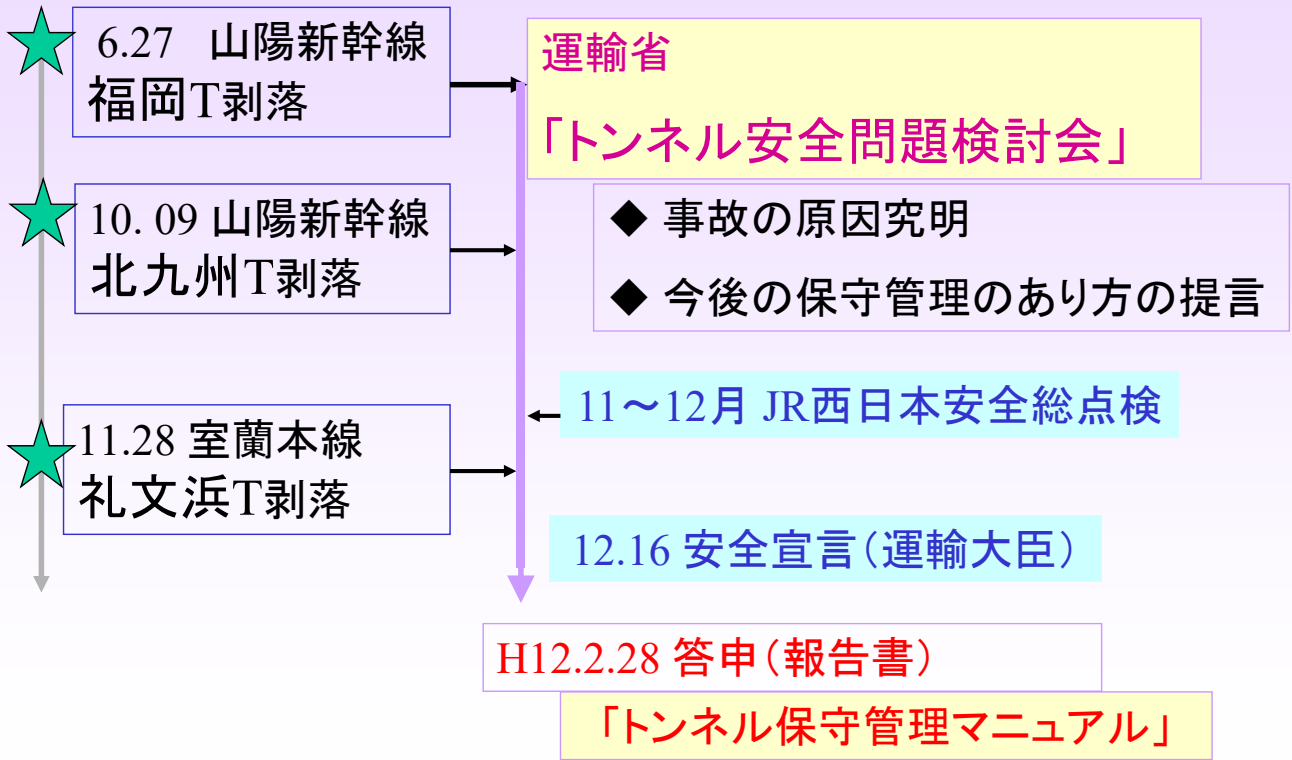


吹上げ口からの打設の状況

17

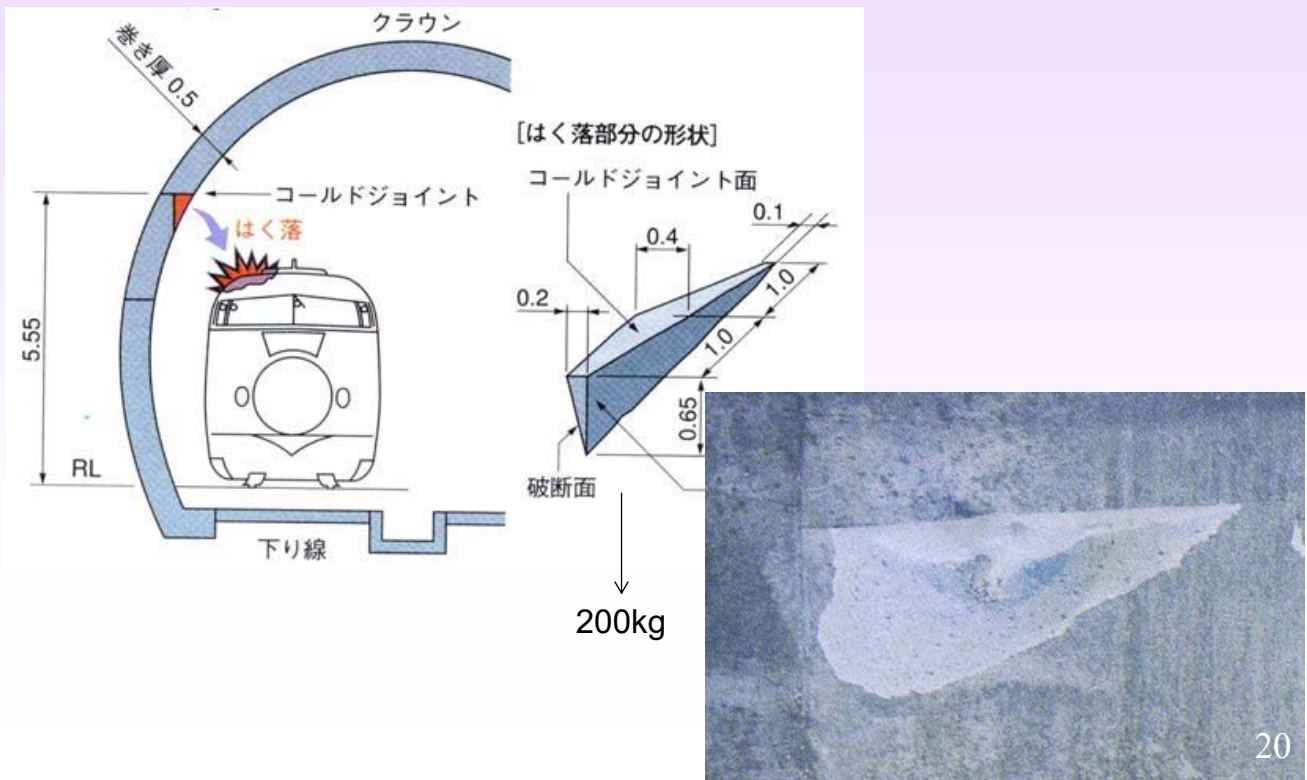
2. トンネル覆工コンクリートの剥落

平成11年度の剥落事故と対応の経緯



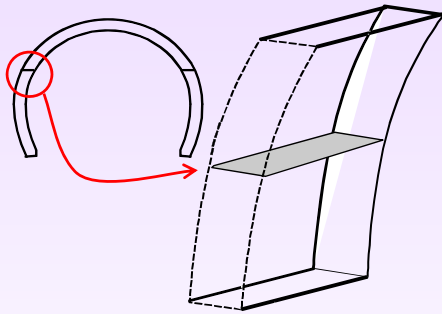
①福岡トンネル

覆工コンクリート片が新幹線通過時に落下し、車両の一部(パンタグラフ等)が損傷。



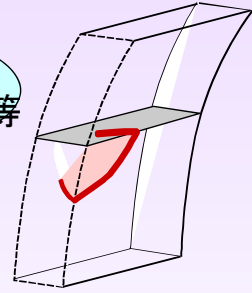
原因推定(福岡トンネル)

① コールドジョイントの形成



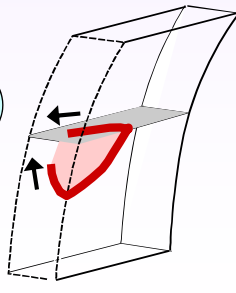
② ひび割れの形成

支保工の振動
型枠脱型時の影響等



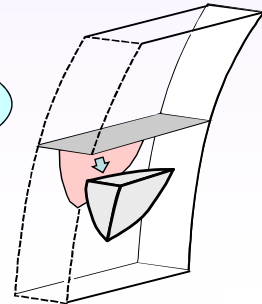
③ ひび割れの進展

漏水、温度変化、
空気圧変動、
列車振動 等



④ 落下

空気圧変動、
列車振動 等



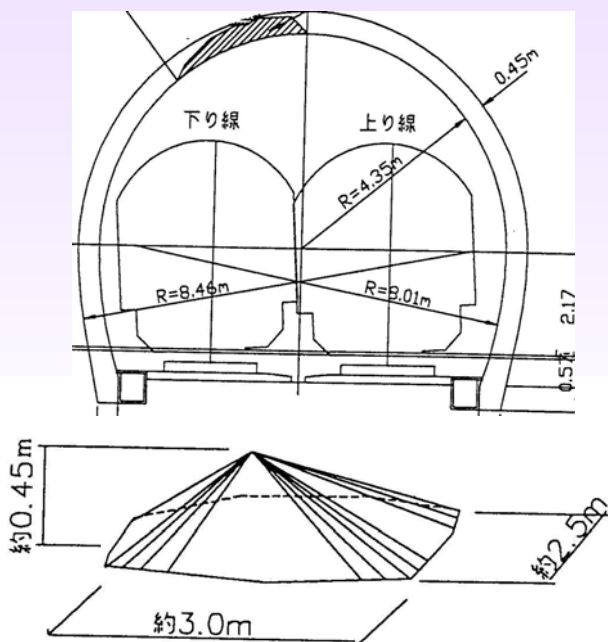
21

②礼文浜トンネル

1999年11月28日

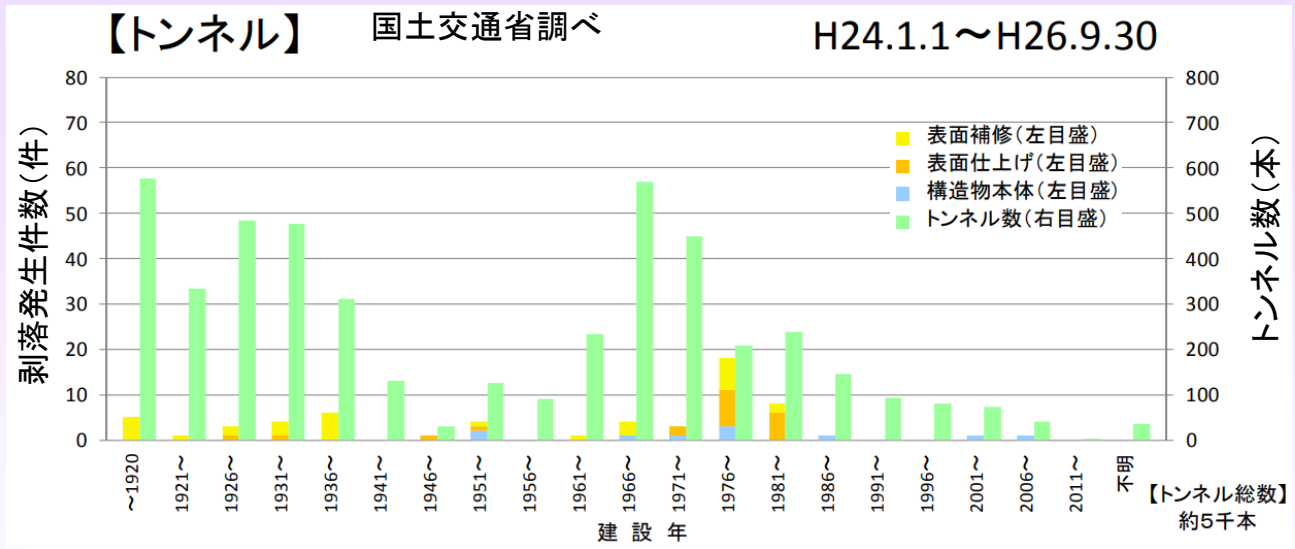
剥落した覆工コンクリート塊(2ton)に貨物列車が乗上げて脱線。

⇒24時間体制で復旧工事
⇒7日後に無事開通間



22

鉄道トンネルの剥落発生件数と建設年代の関係



← レンガ CB 場所打ちコンクリート(矢板工法) 場所打ちコンクリート(NATM) →

- ◆補修材の剥落が多数.
- ◆NATMは見た目がきれいであり補修しなくて良いため, 補修材の剥落はない.
- ◆NATMでも構造物本体の剥落は同程度の割合で発生.

23

トンネル覆工の崩落(地震被害)

2004年・新潟県中越地震において甚大な被害



上越新幹線 魚沼トンネルの被災状況

⇒トンネルの復旧に2ヶ月
…運転再開のボトルネックに

- ◆トンネルは地震被害を受けにくいとされてきたが, 大きな被害が発生

⇒新幹線地震対策(JR各社)

24

3. トンネルの検査と健全度評価

25

性能項目と健全度の判定

性能項目	具体的な内容	健全度
①トンネル構造の安定性	トンネルが 崩壊しない こと	A～Sで判定
②建築限界と覆工との離隔	建築限界を 支障しない こと	A～Sで判定
③路盤部の安定性	列車の安全な運行に支障するような 路盤の隆起・沈下・移動 が生じないこと	A～Sで判定
④剥落に対する安全性	列車の安全な運行に支障するような コンクリート片, 補修材等の剥落 が生じないこと	$\alpha \sim \gamma$ で判定
⑤漏水・凍結に対する安全性	列車の安全な運行に支障するよう な漏水, 凍結 が生じないこと	A～Sで判定

26

標準的な健全度の判定区分

健全度	構造物の状態
A	運転保安, 旅客および公衆などの安全ならびに 列車の正常運行の確保を脅かす , または そのおそれのある変状等 があるもの
	AA 運転保安, 旅客および公衆などの安全ならびに列車の正常運行の確保を脅かす変状等があり, 緊急に措置を必要とするもの
	A1 進行している変状等があり, 構造物の性能が低下しつつあるもの, または, 大雨, 出水, 地震等により, 構造物の性能を失うおそれのあるもの
	A2 変状等があり, 将来それが構造物の性能を低下させるおそれのあるもの
B	将来, 健全度A1になるおそれのある変状等 があるもの
C	軽微な変状等 があるもの
S	健全なもの

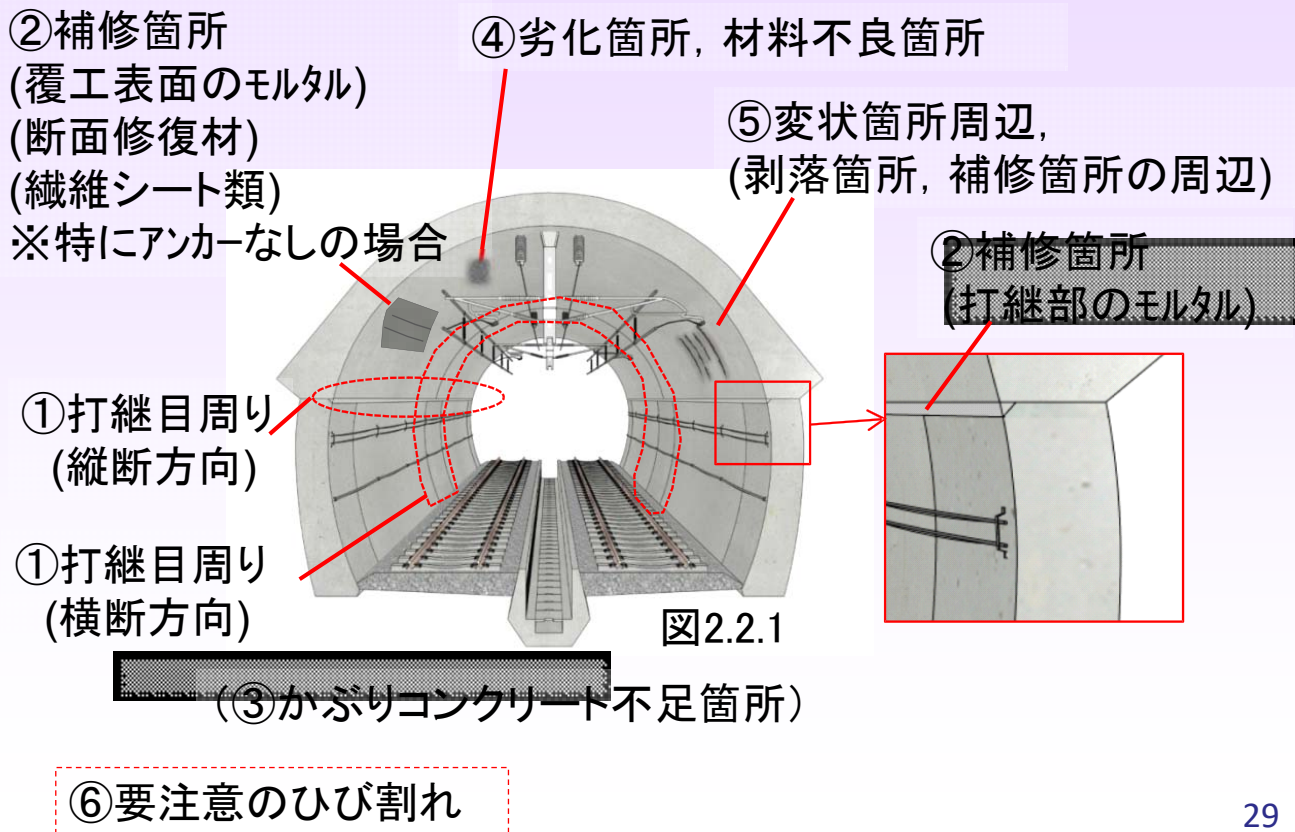
27

剥落判定の区分と措置等

健全度	変状の状態	措置等(参考)
α 要対策	近い将来, 安全を脅かすはく落が生じる おそれがあるもの	措置 が必要
β 要注意	当面, 安全を脅かすはく落が生じるおそれはない が, 将来健全度 α になるおそれがあるもの	当面措置 は不要 〔次回通常全般検査時: ・ 注意して目視 し, 必要に応じて打音調査 次回特別全般検査時: ・ 打音調査 〕
γ 問題無	安全を脅かすはく落が生じるおそれがない もの	措置 は不要 〔次回特別全般検査時: ・ 打音調査 〕

28

剥落が発生しやすい箇所



打音調査の要点

- 打音調査により覆工内部の状態(はく離、空隙等)を評価
- ➡ 剥落に対する健全度判定

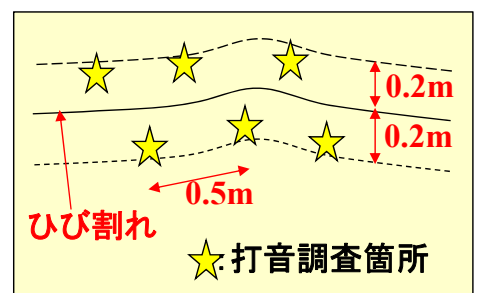
【濁音】: 低音の濁った音 (ゴンゴン)
 高音の軽い音 (パンパン)
 ⇒ 変状・欠陥がある可能性

【清音】: 高音のすんだ音
 (カンカン, キンキン) ⇒ 健全



打音調査方法(例)

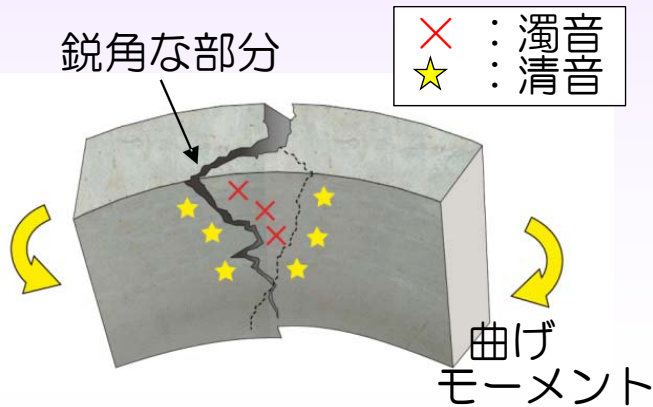
- ① 重めのハンマー一箇所当り3回以上叩く。
- ② ひび割れから0.2m範囲を0.5m間隔で叩く。
- ④ 濁音が生じたら更に密に行うとともに、清音が発する位置との境界を特定。
- ⑤ 濁音の位置・範囲を変状展開図等に記録。



剥落しやすい変状: 圧ざ

- ◆ 覆工面に対して鋭角に生じているひび割れ
 - ← 外力により生じたものと考えられる
 - ← 剥落を生じやすい状態になっていることが多い
 - ⇒ 十分な注意が必要である。

【曲げによる圧縮縁の損傷(圧ざ)】

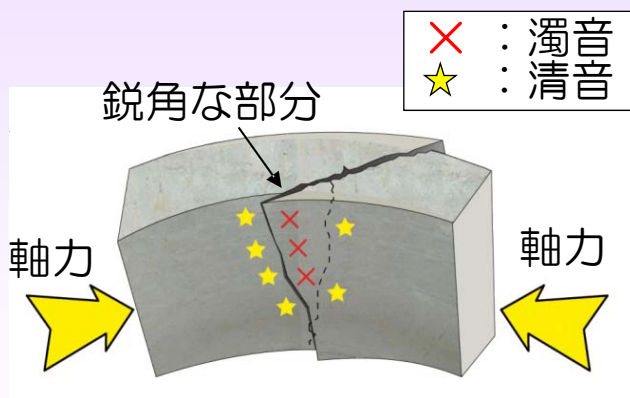


(※ はつり後の状況)

31

剥落しやすい変状: せん断ひび割れ

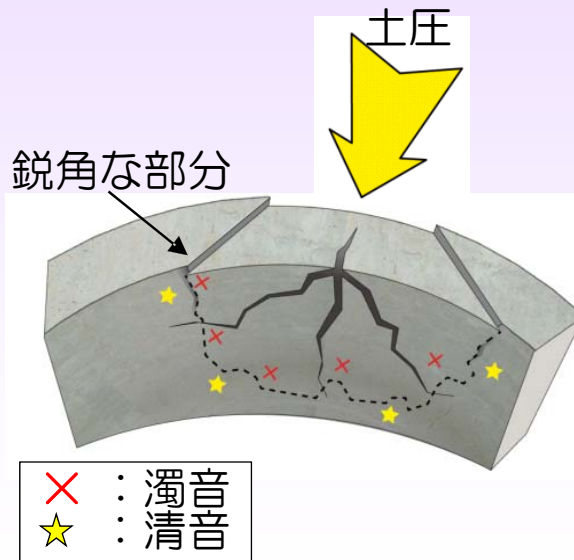
【軸圧縮力による損傷(せん断ひび割れ)】



32

剥落しやすい変状：押抜きせん断ひび割れ

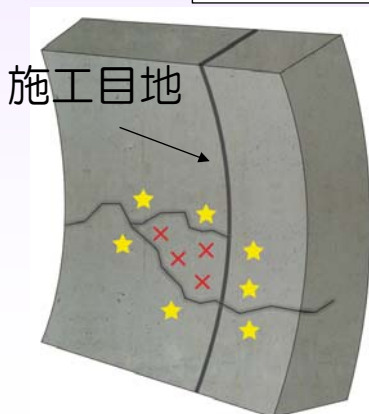
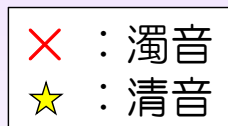
【押抜きせん断力による損傷】



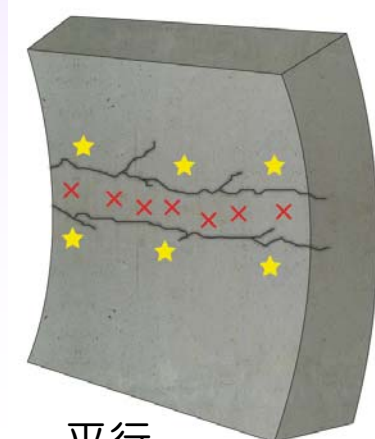
33

剥落しやすい変状：閉合・平行・交差ひび割れ

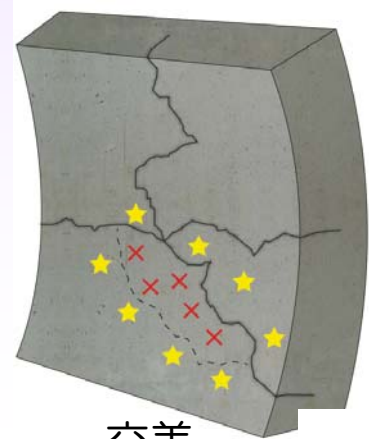
- ◆ 剥落はひび割れが閉合することにより生じる
⇒ 既にひび割れにより閉合している箇所は注意
- ◆ 打音で濁音 ⇒ ひび割れにより奥が囲まれつつある
⇒ さらに注意が必要
- ◆ 打継目：剥落可能性の観点からはひび割れと同じ扱いをする



閉合



平行

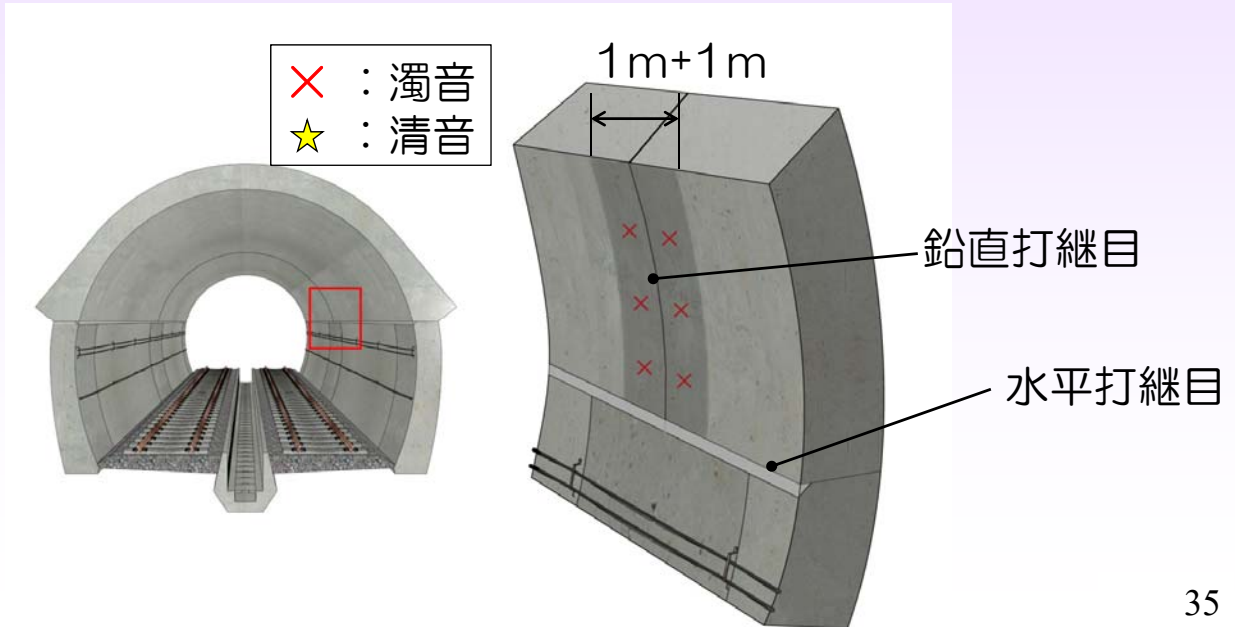


交差

34

剥落しやすい箇所: 打ち継ぎ目

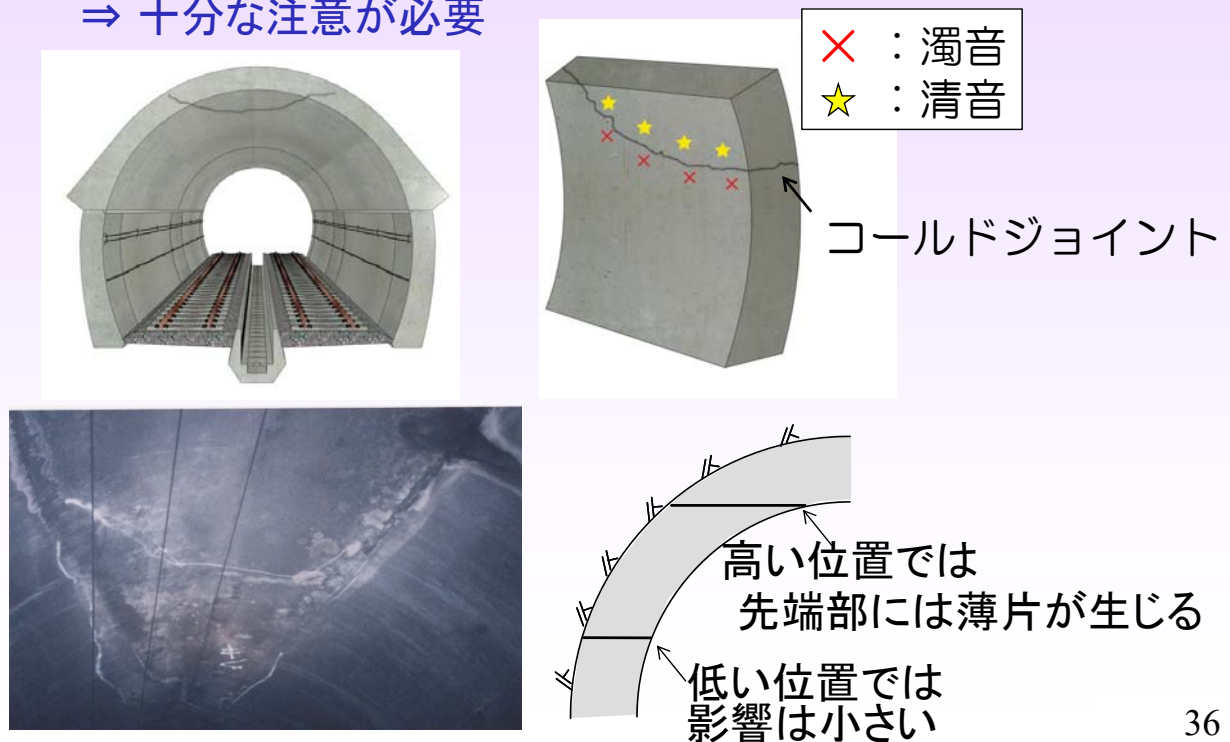
- ◆ 場所打ちコンクリートの場合、打ち継ぎ目付近はコンクリートの材質が良くないことが多い。
- ◆ 特に、鉛直打ち継ぎ目の前後1mの範囲内は十分な注意が必要



35

剥落しやすい箇所: コールドジョイント

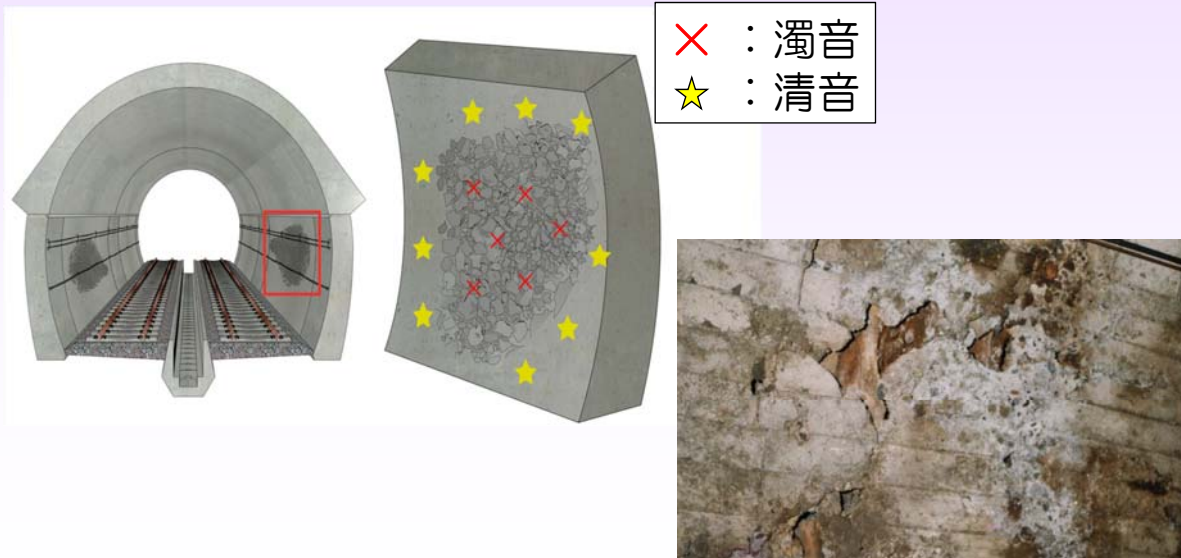
- ◆ コールドジョイントは覆工面に対し垂直でない場合がある
- ◆ コールドジョイントを界面として剥落が生じる場合もある
⇒ 十分な注意が必要



36

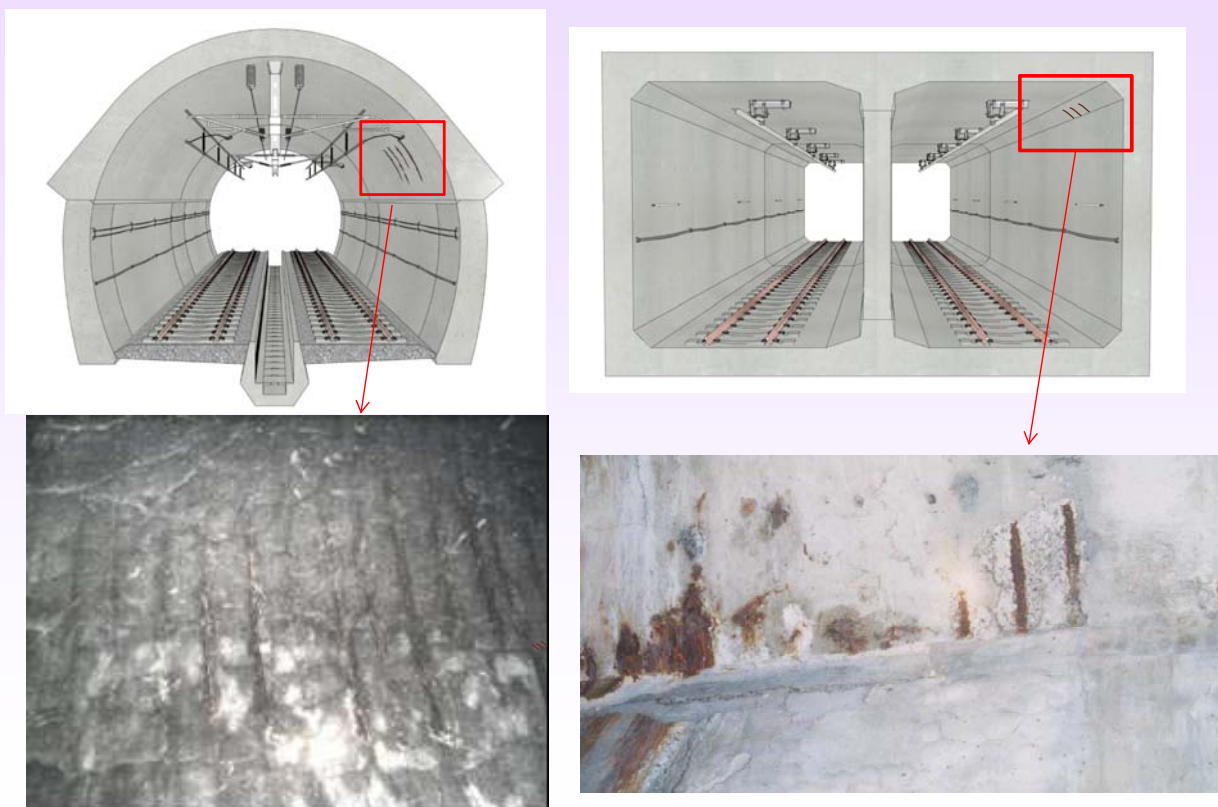
剥落しやすい変状: 豆板(ジャンカ)

- ◆ 場所打ちコンクリートでは、覆工にジャンカが見られることがある
- ◆ 材料不良, 施工時の締め固め不足, セメントと骨材の分離, セメントペースト分の流出等が原因と考えられる
- ◆ 一般的には剥落を生じやすい



37

剥落しやすい箇所: 鉄筋腐食箇所



鉄筋の露出

鉄筋の露出

38

打音調査結果をふまえた剥落判定の目安

条件(目視によって抽出)	濁音	清音
圧ぎ ② せん断ひび割れ ② 閉合ひび割れ ③b	α	β
交差・平行ひび割れ 鉛直打ち継ぎ目両側1m範囲 コールドジョイント ジャンカ	α (漏水がない場合 太いひび割れが ない場合は β)	γ

39

4. 打音に関する研究紹介

40

打音に関する研究の背景と目的

打音調査

- 音でコンクリート内部の浮きを把握
健全度判定に個人差がある



打音試験とその数値解析

- ①インパクトハンマーの加振力
 - ②覆エコンクリート表面の振動加速度
 - ③空気中に伝搬する音圧
- 打音試験(①②③を測定)
・振動解析(①を入力, ②を出力)
・音響解析(②を入力, ③を出力)



打音調査



打音試験

➡ 打音調査を数値的に表現. 健全度評価指標の作成に活かす.

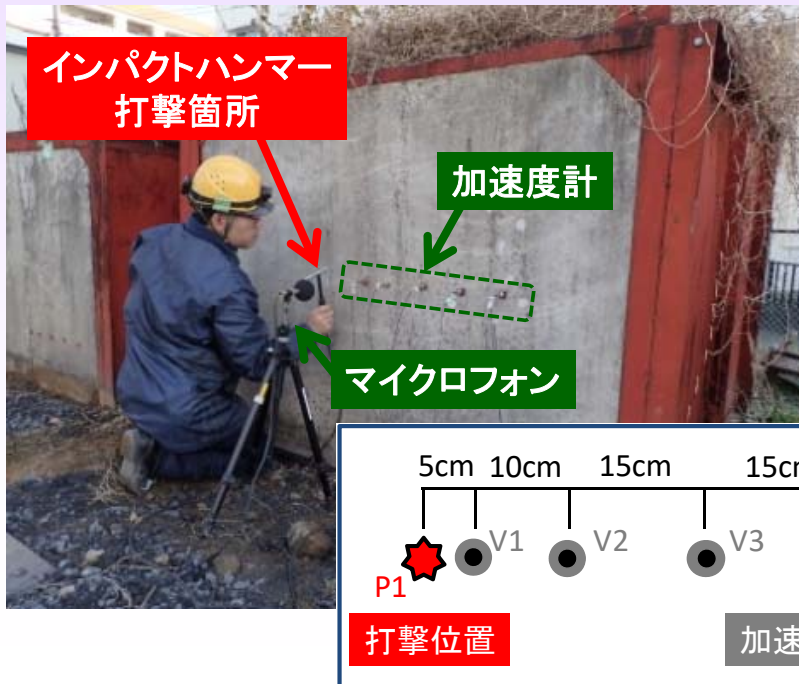
41

4.1 打音試験

42

打音試験概要

- 試験体(幅2.0m・高さ1.5m)の中央部をインパクトハンマーで打撃
- 試験体コンクリート表面の振動加速度を計測



43

打音試験ケース

- 試験体 : A, B, Cの3 ケース

試験体A

巻き厚500mm
内部空洞なし

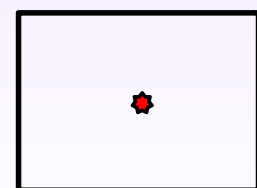
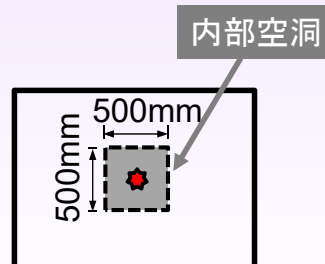
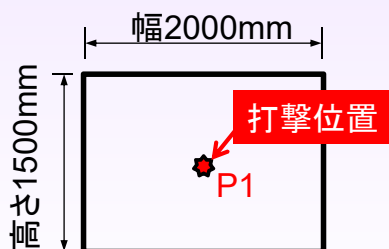
試験体B

巻き厚500mm
内部空洞あり

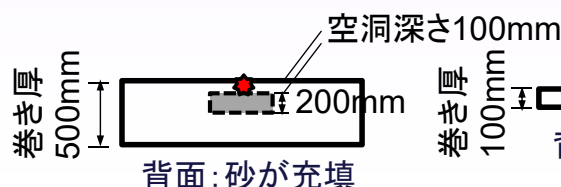
試験体C

巻き厚100mm
内部空洞なし

【横から】



【上から】



44

打音試験状況

試験体A

巻き厚500mm 内部空洞なし

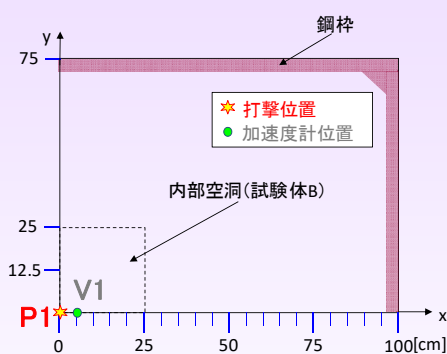


45

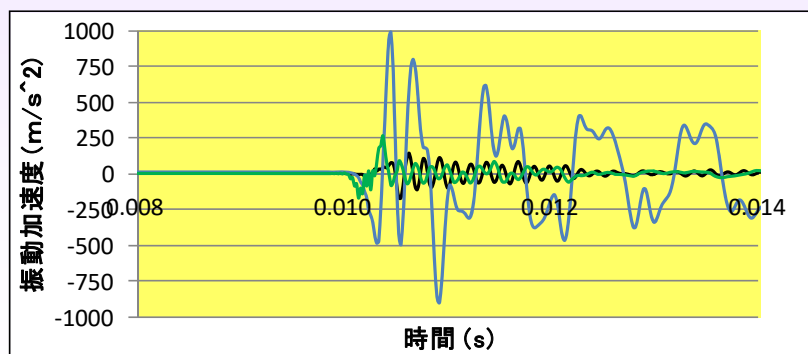
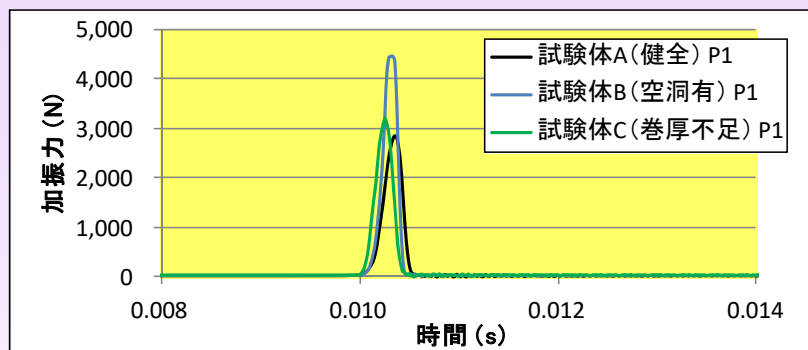
打音試験結果：入力加振力と表面の振動加速度

V1測点

打撃位置から
5cm離れ



試験体	A	B	C
巻き厚	500mm	500mm	100mm
空洞	なし	あり	なし

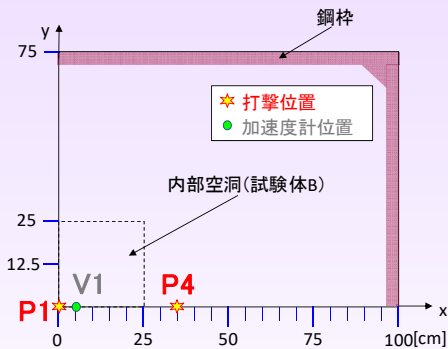


■ インパクトハンマーの加振力は各試験体で同程度だが、**内部空洞がある試験体Bでは大きな振動加速度が確認できる。**

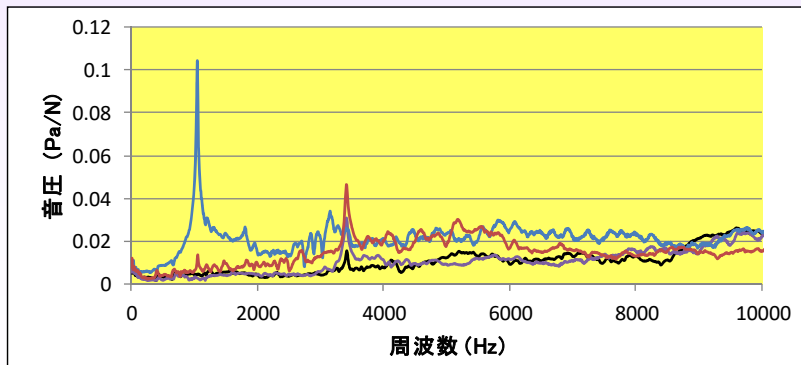
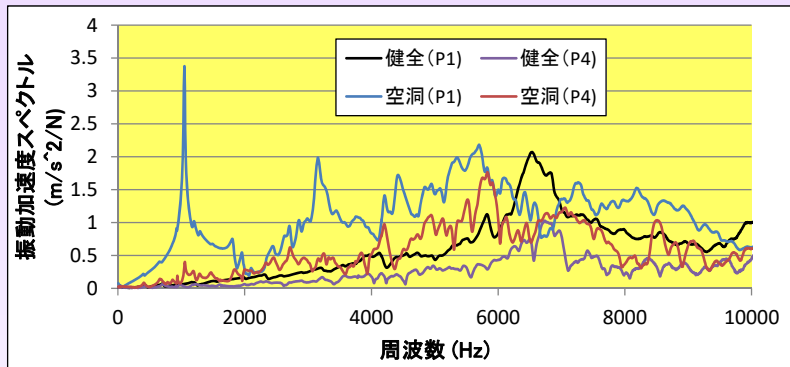
46

打音試験結果: 振動加速度, 音圧スペクトル

V1測点 打撃位置から5cm離れ



試験体	A	B	C
巻き厚	500mm	500mm	100mm
空洞	なし	あり	なし

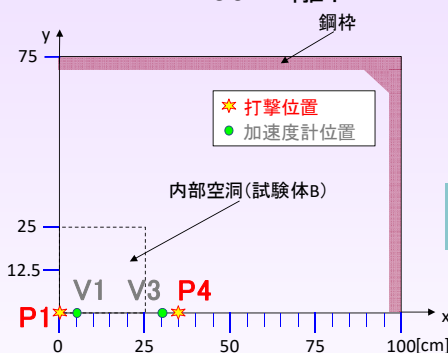


■ 内部空洞がある試験体Bでは振動および音圧ともに, 1,000Hz 付近に卓越周波数が確認できる。

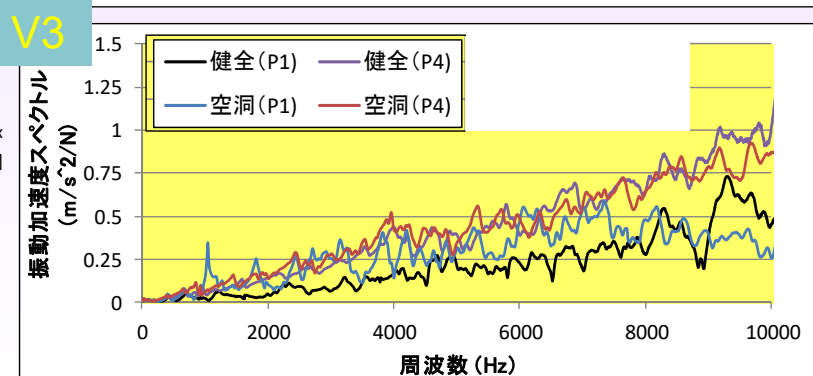
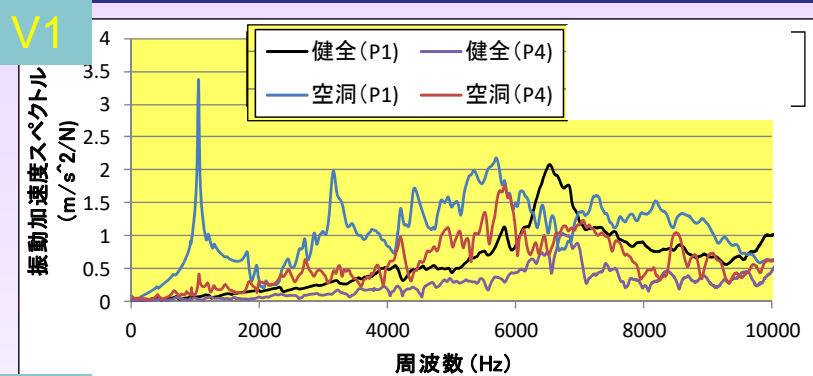
打音位置, 振動計測位置の影響

V1測点 打撃位置から5cm離れ

V3測点 打撃位置から30cm離れ



試験体	A	B	C
巻き厚	500mm	500mm	100mm
空洞	なし	あり	なし

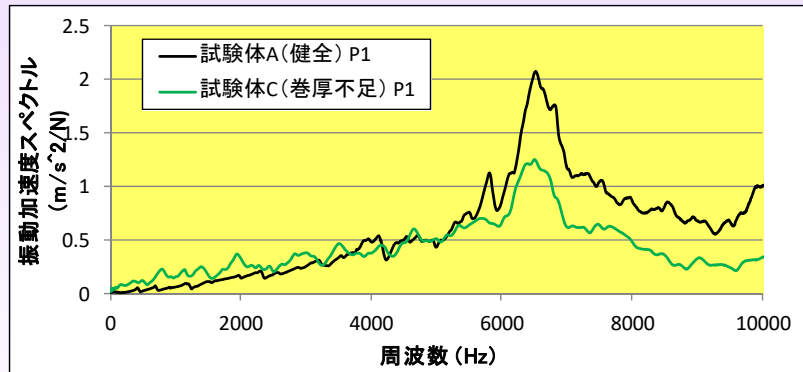
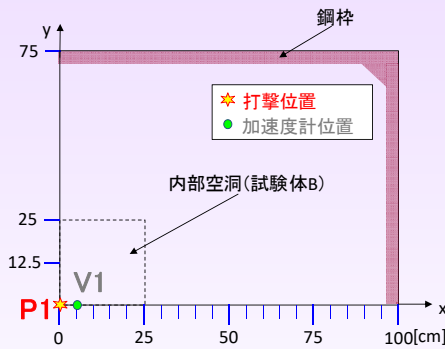


■ 打撃位置または加速度計のどちらかが内部空洞の範囲外では, 卓越周波数は確認できない

➡ 振動で欠陥を捉える場合, 打撃部直近の振動を測定する必要がある。
(音であればどこで聞いてもおそらくあまり変わらない。)

覆エコンクリート厚さの影響

V1測点 打撃位置から
5cm離れ



試験体	A	B	C
巻き厚	500mm	500mm	100mm
空洞	なし	あり	なし

- 巻厚不足の方が低周波が大きい傾向はあるが、100mmより薄い巻厚不足でない限り、巻厚不足の判断は難しいと考えられる。

49

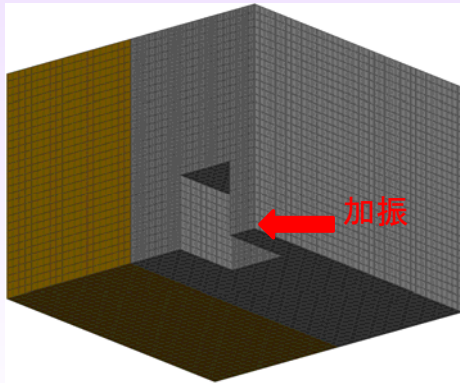
4.2 動的解析による振動シミュレーション

50

解析概要

- 三次元動的解析(有限差分法プログラムFLAC3D)
- 時刻歴の加振力波形(インパクトハンマー)を打撃位置に入力

入力データ: 1.0×10^{-6} 秒間隔, 0.1秒間



- ・1/4モデル(←上下左右対称)
- ・要素: 1辺25mmの直方体

入力物性値

コンクリート	弾性係数E	40,000N/mm ² ※
	ポアソン比	0.2
	密度	2.3g/cm ³
	減衰定数	0.3%
	弾性係数E	40N/mm ² ※
	ポアソン比	0.35
	密度	1.5g/cm ³

※ケースBについては18,000N/mm²

51

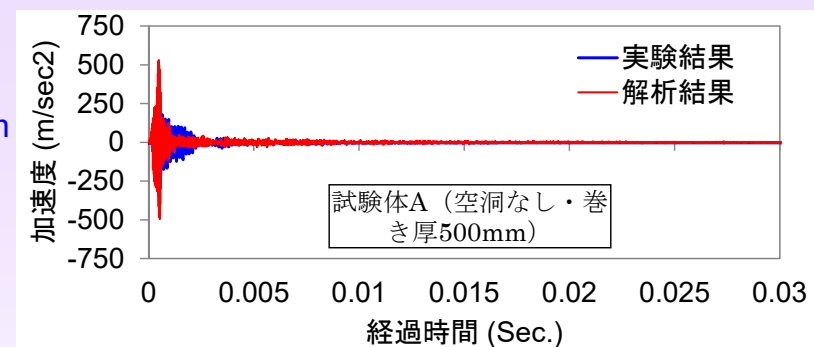
時刻歴加速度

V1測点

打撃位置から
5cm離れ

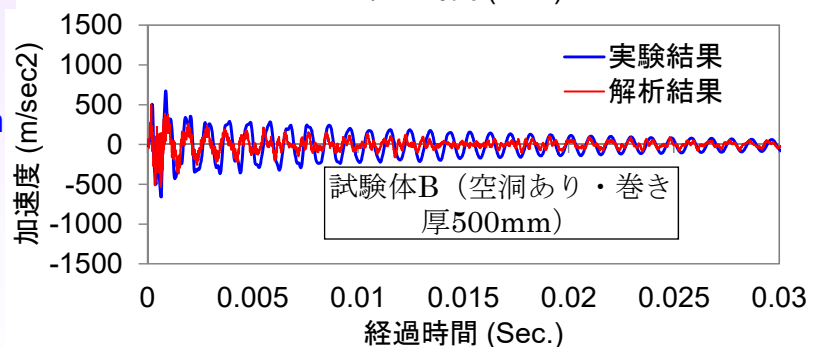
試験体A

巻き厚500mm
内部空洞なし



試験体B

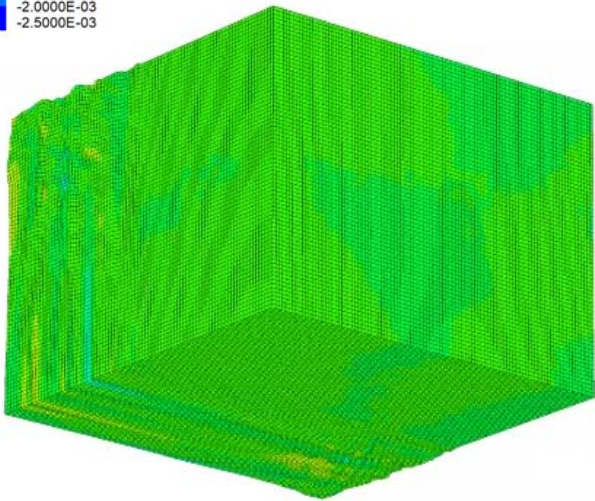
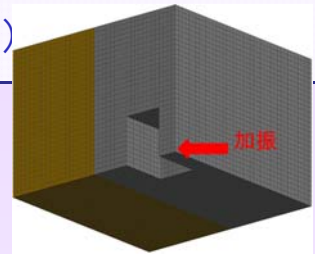
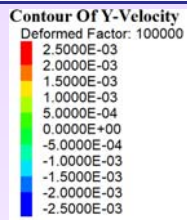
巻き厚500mm
内部空洞あり



- 打音試験では, 内部空洞がある場合に減衰時間が長くなっているが, 解析でもこの傾向が表現できている。

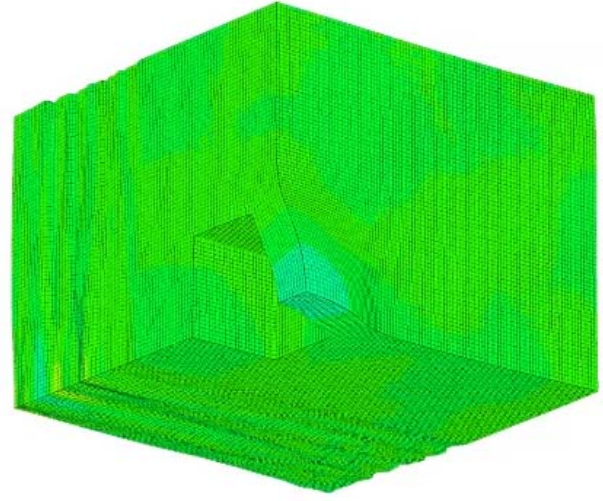
52

時刻歴速度コンター図(0~0.0048sec間, 変形倍率10万倍)



試験体A

巻き厚500mm
内部空洞なし



試験体B

巻き厚500mm
内部空洞あり

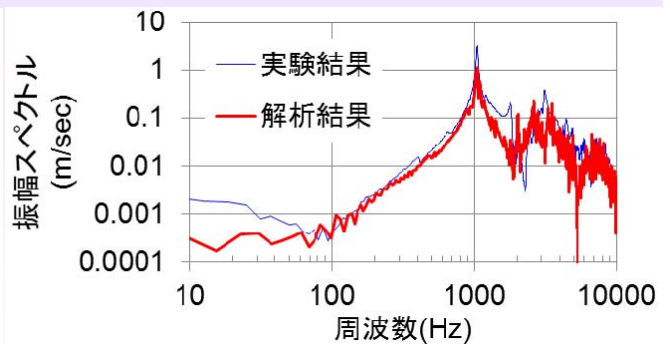
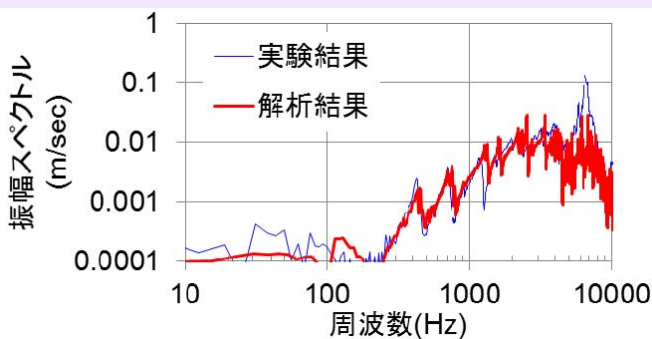
53

振動加速度スペクトル

V1測点 打撃位置から5cm離れ

試験体A 巻き厚500mm
内部空洞なし

試験体B 巻き厚500mm
内部空洞あり



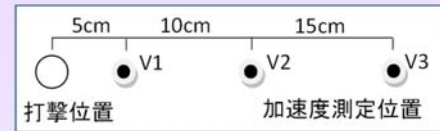
■ 打音試験では, 内部空洞がある試験体Bにおいて1000Hz付近のピークが確認されたが, 解析でも同様の傾向が確認できる。

54

振動加速度スペクトル

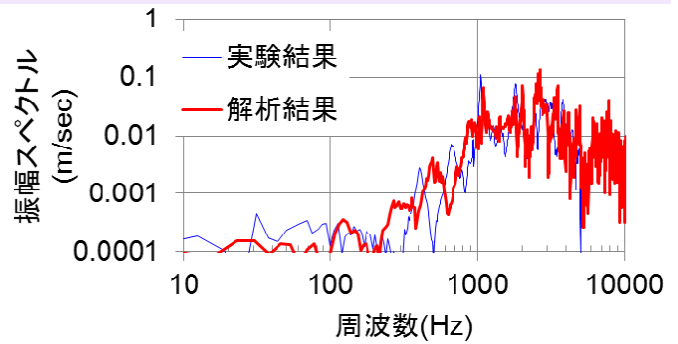
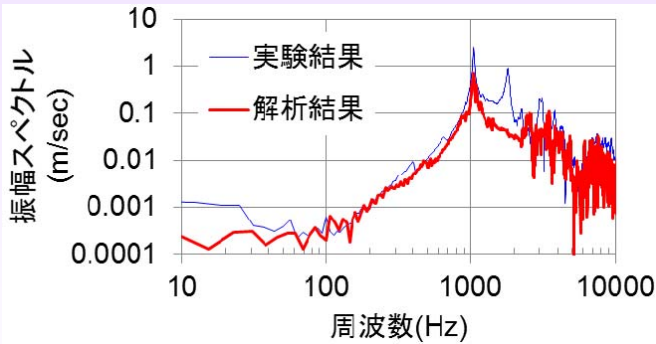
試験体B

巻き厚500mm
内部空洞あり



V2測点 打撃位置から15cm離れ

V3測点 打撃位置から30cm離れ



- 空洞範囲外のV3測点では1000Hz付近のピークが明瞭でないなど、解析と試験結果は概ね対応している。

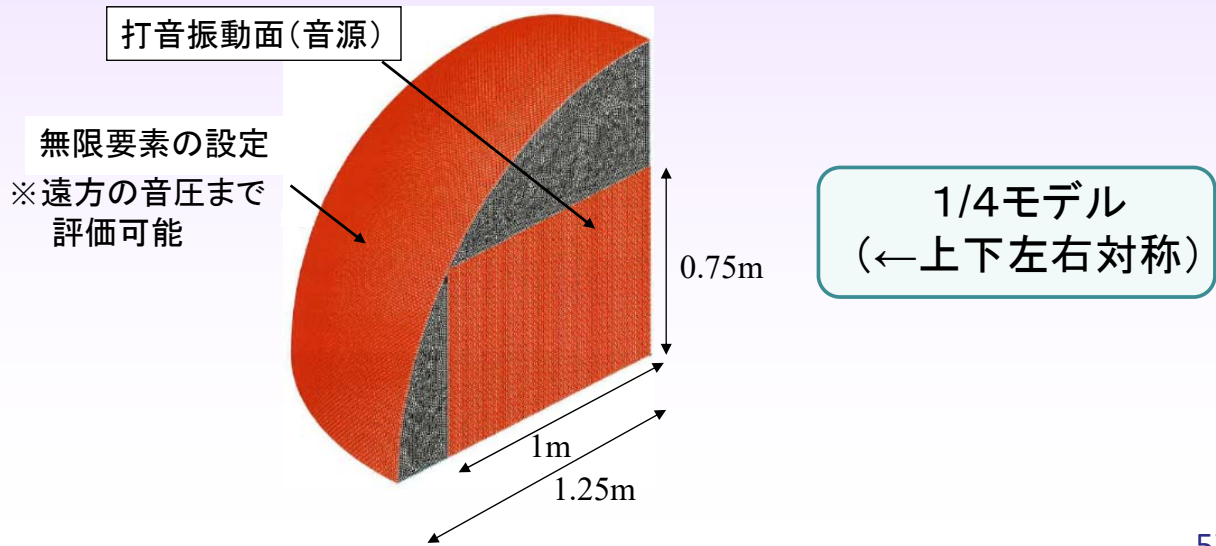
55

4.3 音響解析

56

解析概要

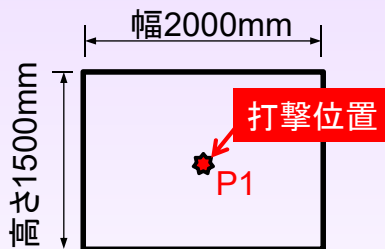
- メッシュサイズ.....10mm (四面体一次元要素)
- 節点数:1,529,759, 要素数:9,013,901
- 空気の材料物性値.....質量密度1.2kg/m³, 音速343m/s
- 音響解析ソフトウェア.....Advance/FrontNoise



57

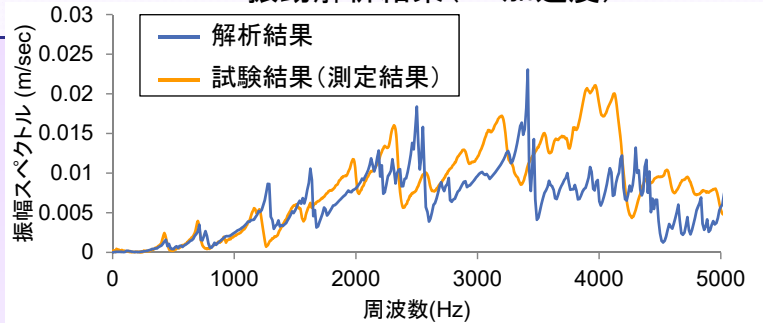
音圧(試験体A)

巻き厚500mm
内部空洞なし

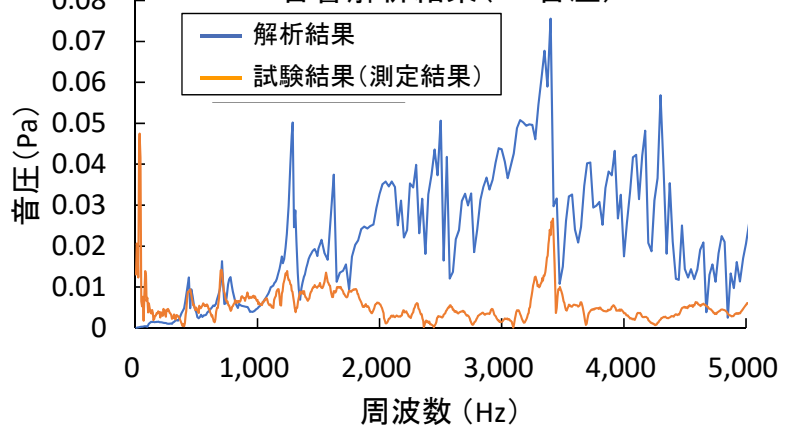


- 解析結果
- 試験結果(測定結果)

振動解析結果(V1加速度)



音響解析結果(S1音圧)

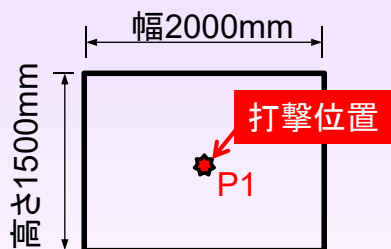


- 振動解析で再現できている周波数1,000Hzまでは比較的一致.

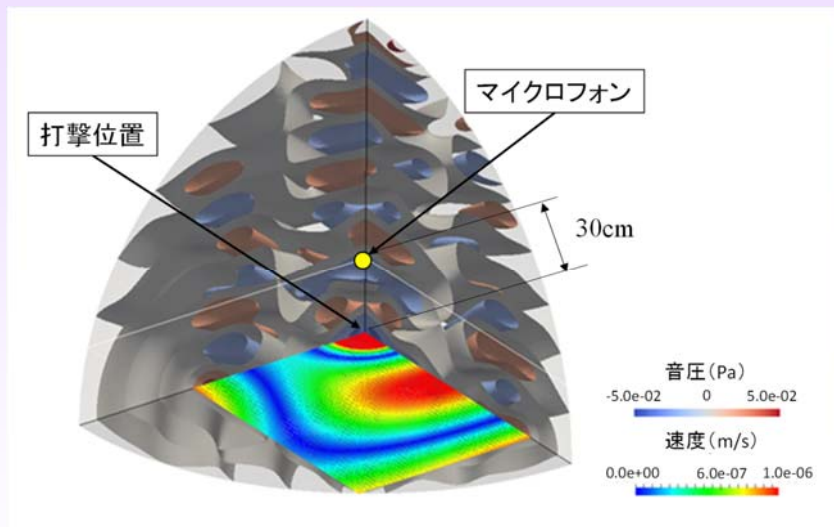
58

振動と音圧のコンター(試験体A)

巻き厚500mm
内部空洞なし



周波数1,260Hz

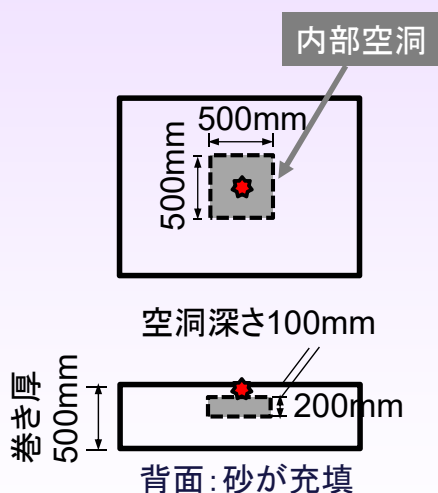


- 振動速度は、打撃位置付近のレベルが最も高く、音の空間分布も打撃位置付近を中心に複数の箇所へ放射されている。

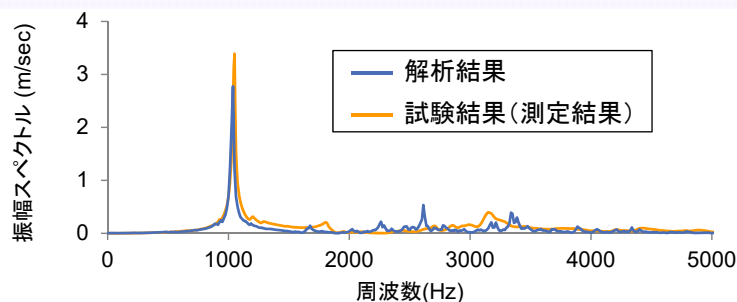
59

音圧(試験体B)

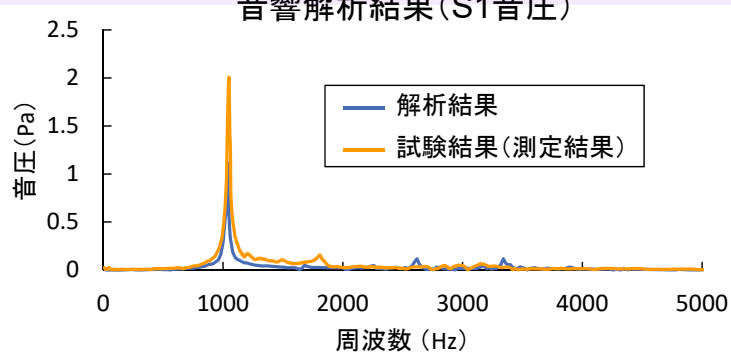
巻き厚500mm
内部空洞あり



振動解析結果(V1加速度)



音響解析結果(S1音圧)



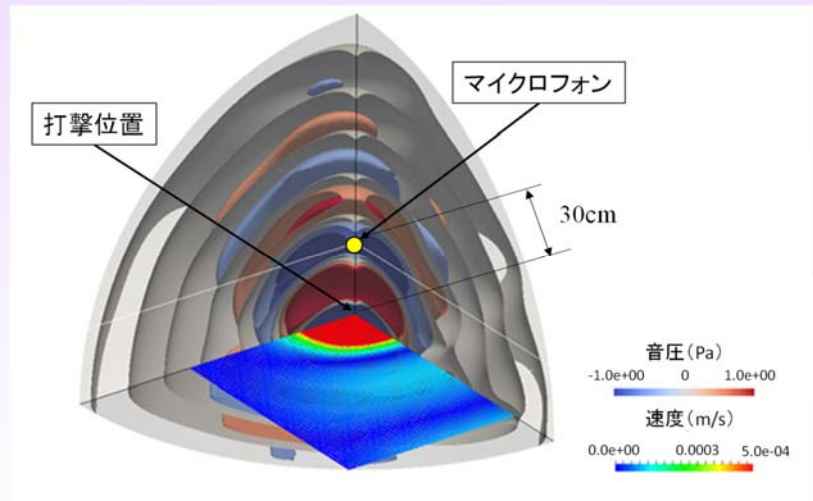
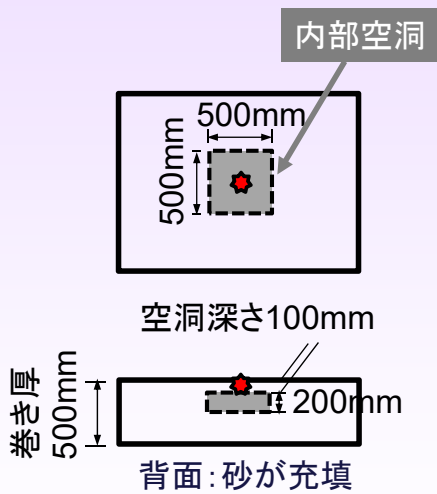
- 音圧の最大値とそのピーク時の周波数は明確に表れたが、値としては解析値の方が小さかった。

60

振動と音圧のコンター(試験体B)

巻き厚500mm
内部空洞あり

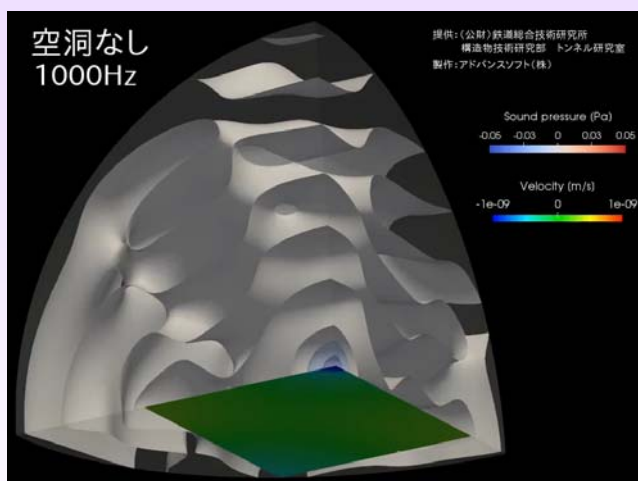
周波数1,040Hz



- 振動速度は、試験体Aと同様で打撃位置のレベルが高くなっているが、音の空間分布は打撃位置を中心としてきれいに放射している。

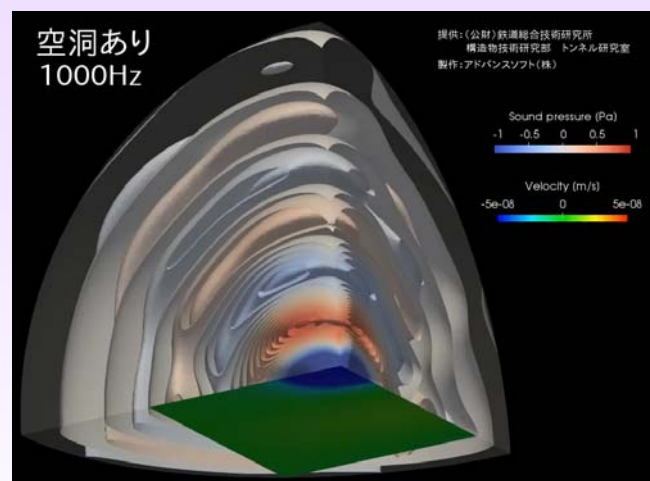
61

1000Hzの音圧の伝搬状況



試験体A

巻き厚500mm
内部空洞なし

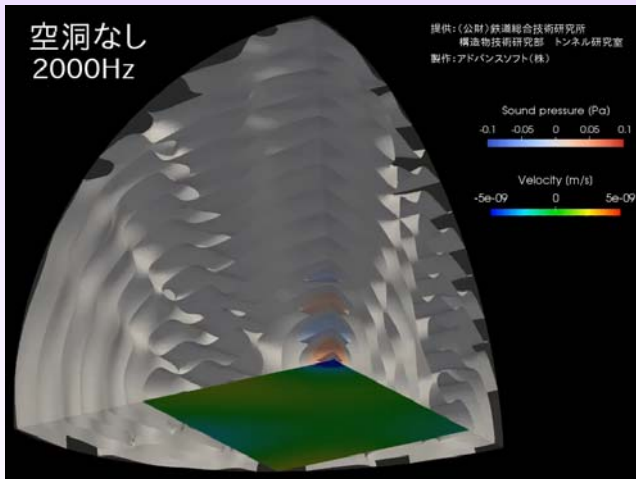


試験体B

巻き厚500mm
内部空洞あり

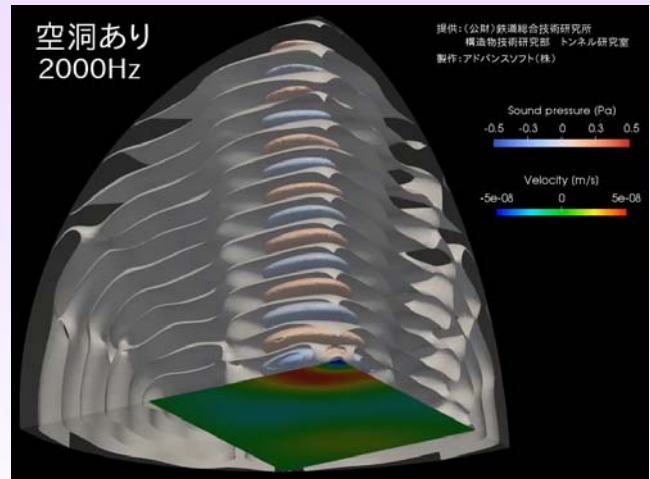
62

2000Hzの音圧の伝搬状況



試験体A

巻き厚500mm
内部空洞なし



試験体B

巻き厚500mm
内部空洞あり

63

打音に関する研究 まとめ

◆背景

- ➡ 打音調査による健全度評価では個人差があるため、指標を作成し、打音結果を数値的に評価したい。

◆打音試験

- ➡ 覆工表面振動で欠陥を把握しようと思うと、欠陥部を打音し、欠陥部で振動測定しなければ、欠陥を把握できない。
- ➡ 音の方が簡易に測定可能。

◆打音試験の振動解析, 音響解析

- ➡ 打音試験を再現可能。

◆今後の課題

- ➡ 打音結果を点数化する場合、測定位置や有限空間での反響の影響が大。
- ➡ 今後、音響解析結果を参考に、音の測定位置、手法、指標等について検討。

64

ご清聴ありがとうございました.

音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoiseの 流体音響解析事例のご紹介

技術第2部 田之上 文彦

音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise最新動向セミナー
2018年07月27日（金）
アドバンスソフト株式会社

概要

- Advance/FrontNoiseにおける流体音の定式化
- Advance/FrontNoiseにおける流体音響解析の流れ
- 解析事例（Advance/FrontFlow/redのチュートリアルを使用）
- まとめ

1. 主な流体音源の種類

No.	項目	二重極音源	四重極音源		
1	音源	物体壁面に作用する圧力変動	流体運動の乱れ(渦など)		
2	種類	並進振動	垂直応力の作用	剪断応力の作用	二つの渦対の干渉 サドル(鞍部点)の流れ
3	音源イメージ				
4	記号	⊕⊖	⊖⊕⊕⊖	⊕⊖ ⊖⊕	
5	流れ				
6	音の強さ	$\sim \frac{\rho}{r^2 c^3} L^2 U^6$	$\sim \frac{\rho}{r^2 c^5} L^2 U^8$		
ρ: 空気密度、r: 音源からの距離、c: 音速、					

望月修、丸田芳幸、流体音工学入門 —ゆたかな音環境を求めて—、朝倉書店、1996、p75 図3.1
Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

3

2. Advance/FrontNoiseにおける流体音の定式化

- 二重極音源
圧力の時系列変動

$$P_0(x, t) = -\rho \frac{\partial \Psi(x, t)}{\partial t}$$

右辺のフーリエ変換

$$-\rho \frac{\partial \Psi(x, t)}{\partial t} = -\sum_{v=1}^{\infty} i\omega \rho \varphi(x) e^{-i\omega t}$$

左辺のフーリエ展開は

$$P_0(x, t) = \sum_{v=1}^{\infty} P_i(x) e^{-i\omega t}$$

以上より、

$$i\omega \rho \varphi(x) = -P_i(x)$$

$$\alpha(x)\varphi(x) + \beta(x)\frac{\partial \varphi(x)}{\partial n} = f(x)$$

$$\alpha(x) = i\omega \rho$$

$$\beta(x) = 0$$

$$f(x) = -P_i(x)$$

詳細は下記をご覧ください。

松原 聖, 桑原 匠史, 戸田 則雄, 大西 陽一, 大家 史, 音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoiseを利用した
連成解析, アドバンスシミュレーション Vol.15(2013)

http://www.advancesoft.jp/support/download/50simlib_magazine_586.html

2. Advance/FrontNoiseにおける 流体音の定式化

- 四重極音源

Lighthillの方程式

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} \rho - c^2 \nabla^2 \rho = \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$$
$$T_{ij} = \rho v_i v_j + \delta_{ij} [(P - P_0) - (\rho - \rho_0)]$$
$$- \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \delta_{ij} \frac{2}{3} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right)$$

(T_{ij} : Lighthill の応力テンソル)

$$\nabla^2 \phi(x) + k^2 \phi(x) = q_0 \delta(x_0) - i \frac{1}{\rho c k} \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$$

最終的に解くべき式は

$$\nabla^2 \phi + k^2 \phi = -i \frac{1}{\rho c k} \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$$

詳細は下記をご覧ください。

松原 聖, 桑原 匠史, 戸田 則雄, 大西 陽一, 大家 史, 音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoiseを利用した
連成解析, アドバンスシミュレーション Vol.15(2013)

http://www.advancesoft.jp/support/download/50simlib_magazine_586.html

3. Advance/FrontNoiseにおける 流体音響解析の流れ

1. 音響の最大周波数と周波数分解能の決定
2. 流体解析結果出力間隔の決定
3. 流体解析
4. 音響モデルの作成(メッシュ、境界条件)
5. 二重極音源の作成とマッピング
6. 四重極音源の作成とマッピング
7. 音響解析

3.1 音響の最大周波数と周波数分解能の決定

- **最大周波数: f_{max}**
...二重極音源、四重極音源を作成するとき、解析で使用する最大周波数を決定します。
[流体解析](#)において、[結果出力間隔の設定](#)に関係します。
- **周波数分解能: Δf**
...二重極音源(*bcv)、四重極音源(*bcq)の周波数テーブル間隔を決定します。テーブルが存在しない周波数は線形補間されます。
[流体解析](#)において、[計算時間の設定](#)に関係します。

3.2 流体解析結果出力間隔の決定

- **最大周波数とサンプリング時間(結果出力間隔)**
...サンプリング間隔が短いほど、最大周波数が大きくとれる
$$\Delta t = \frac{1}{2f_{max}} \quad \left(= \frac{1}{f_s} \right)$$
- **周波数分解能と解析時間**
...解析時間が長い(データ数 N が多い)ほど分解能がよくなる
$$T = N\Delta t = \left(\frac{f_s}{\Delta f} \right) \Delta t = \frac{1}{\Delta f}$$

3.3 音響モデルの作成

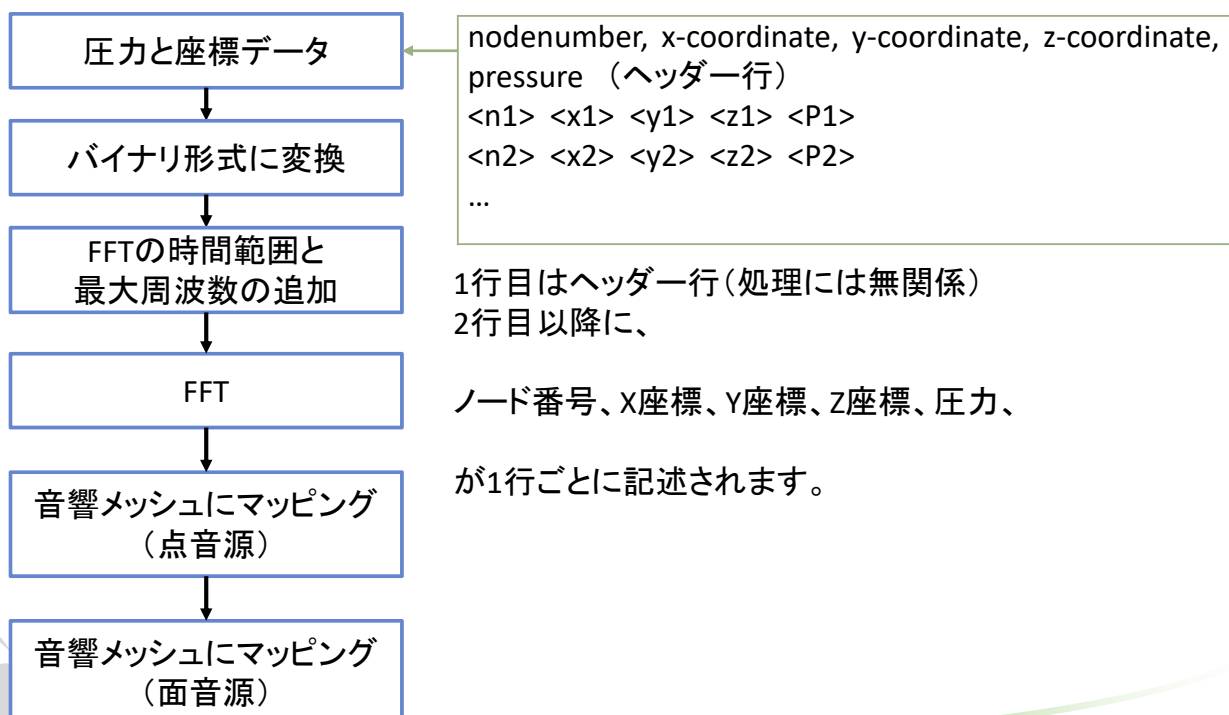
- メッシュ(*inp)と二重極音源をマッピングする面情報(*bcs)を準備します。
- *bcsは現在2つの境界条件入力にのみ対応しています。
- 1つ目の境界面は吸収境界または無限要素境界、2つ目の境界に二重極音源をマッピングする面を定義します。

*bcsファイル

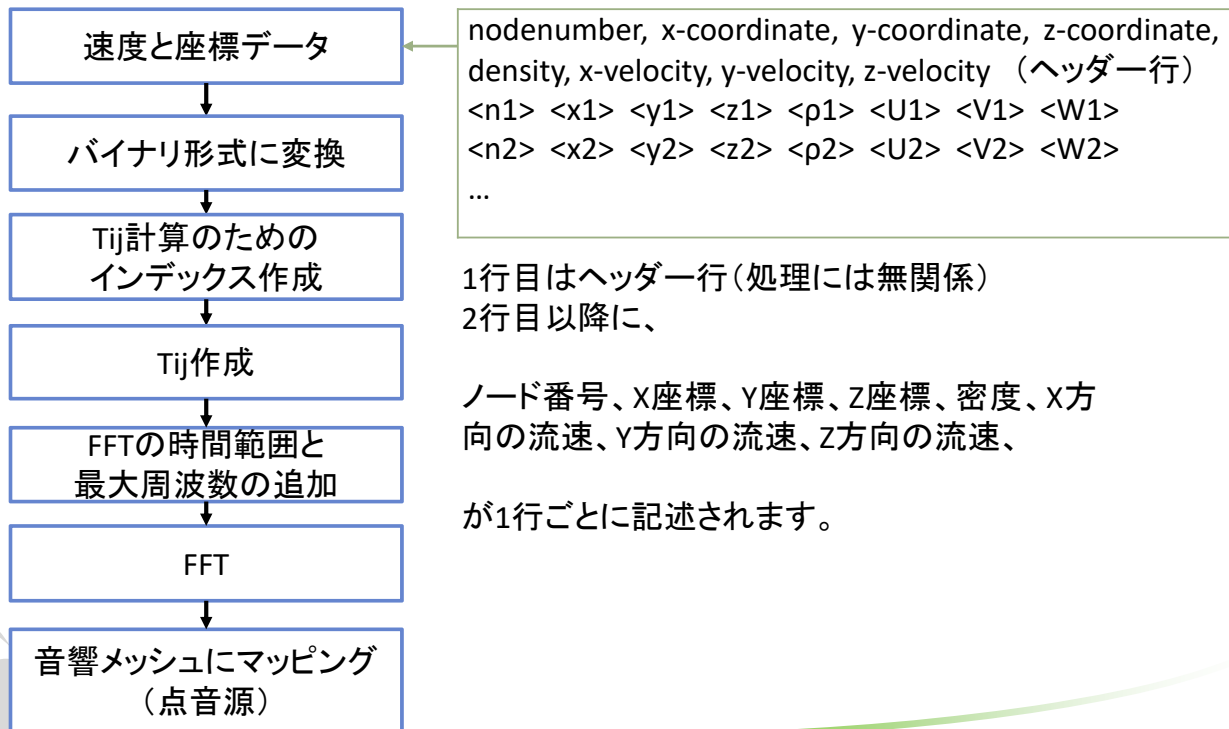
```
bc00001
  吸収境界か無限要素境界を
  与える面グループ

bc00002
  二重極音源をマッピングする
  面グループ
```

3.4 二重極音源の作成とマッピング

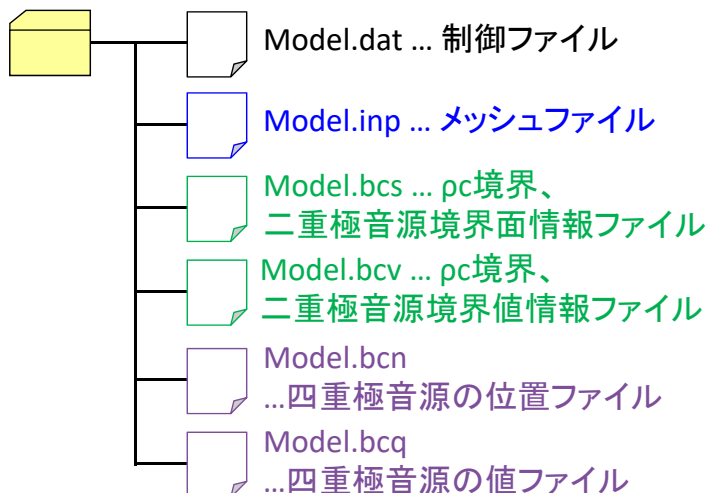


3.5 四重極音源の作成とマッピング



3.6 音響解析

ファイル構成



実行コマンド

```
$ fnfem < Model.dat
```

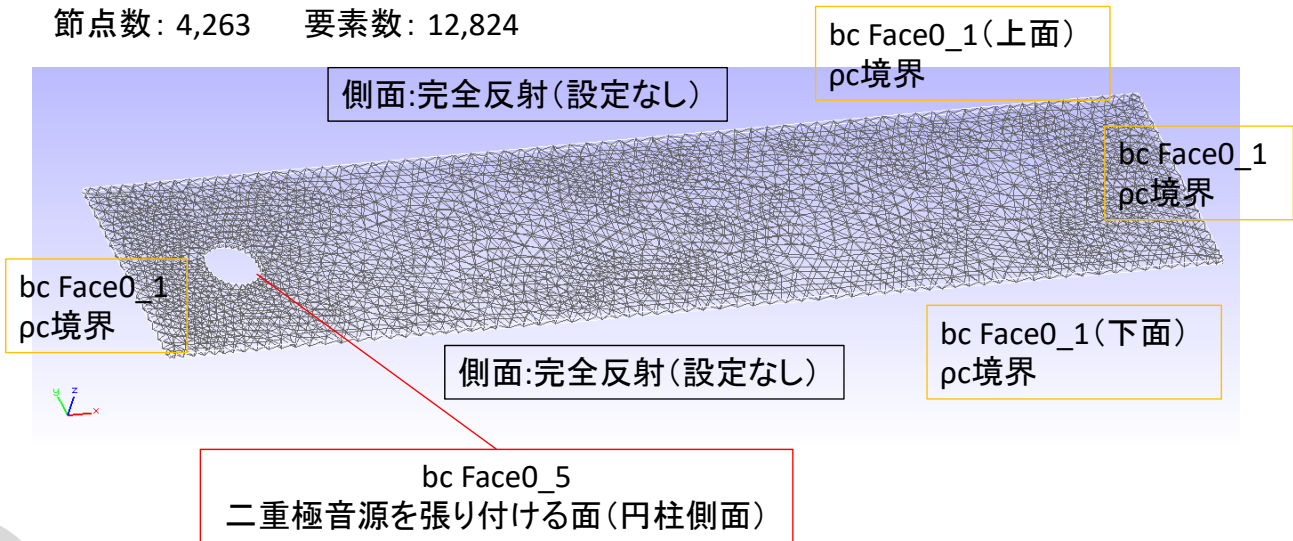
$$\nabla^2 \phi(x) + k^2 \phi(x) = q_0 \delta(x_0)$$

$$\alpha(x) \phi(x) + \beta(x) \frac{\partial \phi(x)}{\partial n} = f(x)$$

4. 解析事例

- 音響モデル (Advance/FrontFlow/red チュートリアル: 円柱非定常流れを使用)

節点数: 4,263 要素数: 12,824



注意:音源を張り付ける境界が最後に定義されるように境界面情報を作成します。

4. 解析事例

- 音響解析パラメータ

制御ファイル(*.dat)

項目	値	単位
音速	346.5	m/s
空気密度	1.184131	kg/m ³
開始周波数	1	Hz
終了周波数	50	Hz

```

Model Name = CASE8_Column_ac
Sound Velocity = 346.5
Density = 1.184131
Start Frequency = 1
Final Frequency = 50
Frequency Step = 2
Max Iteration = 25000
Output Level = 1
END
    
```

流体解析の条件より、温度を15°Cとして算出

$$c \text{ (m/s)} = 331.5 + 0.6T \text{ (}^\circ\text{C)} \quad [1]$$

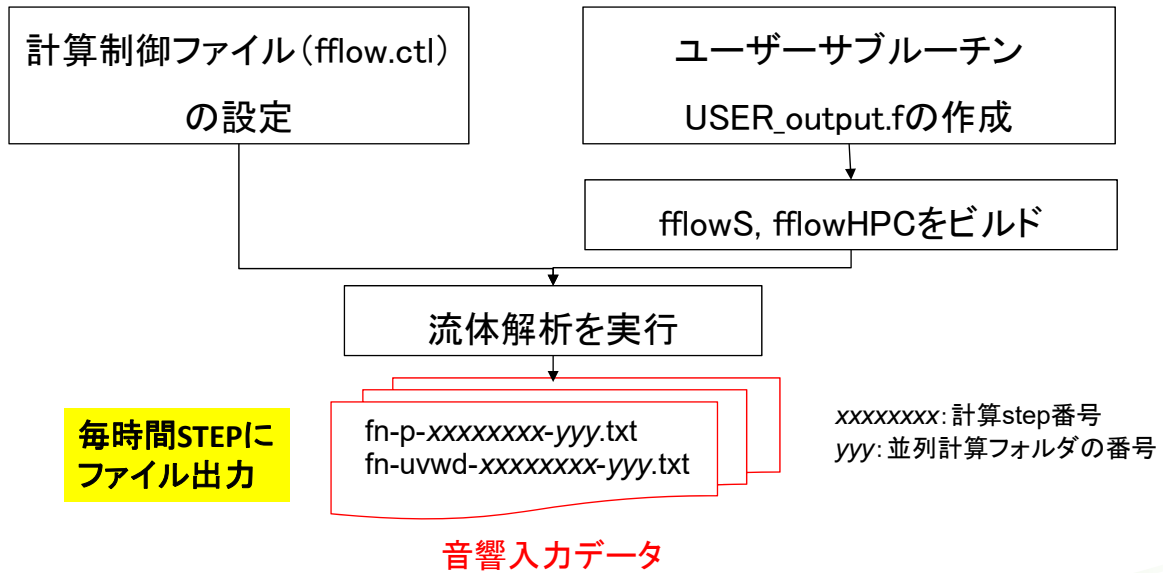
$$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{P \text{ (Pa)}}{287 \text{ (J/kg} \cdot \text{K)} \times \{T \text{ (}^\circ\text{C)} + 273.15\}} \quad [2]$$

[1] 例えば W. Benenson, et al., (2002) *Handbook of Physics*, Springer. のp.312.

[2] 空気の理想気体の状態方程式を適用した。

4.1 流体解析

- Advance/FrontFlow/redから音響入力データ出力の流れ



4.1 流体解析

- 音響入力データの説明

音響解析	流体解析結果	ファイル名
二重極音源	壁面の時系列圧力	fn-p-xxxxxxx-yyy.txt
四重極音源	流体領域の時系列流速	fn-uvw-d-xxxxxxx-yyy.txt
流れ場	流体領域の時間平均流速	結果ファイルに含まれるベクトル変数 Average velocity

- xxxxxxx: 計算step番号
- yyy: 並列計算フォルダの番号
- 流れ場は $1 - (\text{マッハ数})^2$ で作用します。マッハ数が十分に小さい場合は、流れ場を使用しなくても構いません。

4.1 流体解析

- Advance/FrontFlow/redの計算制御ファイル(fflow.ctl)の設定
必須設定

&deltat dt = 0.01 option = 'constant'	時間刻みを一定とする
&usrsub output = 'yes'	ユーザーサブルーチンの使用を指定
&output file = 'result' BC_result = 1	壁面の結果出力をONにする

時間平均の結果を出力する際の必須設定

&model trbmdl = 'DNS'	乱流モデルを指定する。乱流モデルなしで計算したい場合でもDNSを選択する。
&les nstart = 1000 uvw_ave_rms_re = 1	時間平均の計算を始めるSTEP番号と平均流速の出力を指定する。

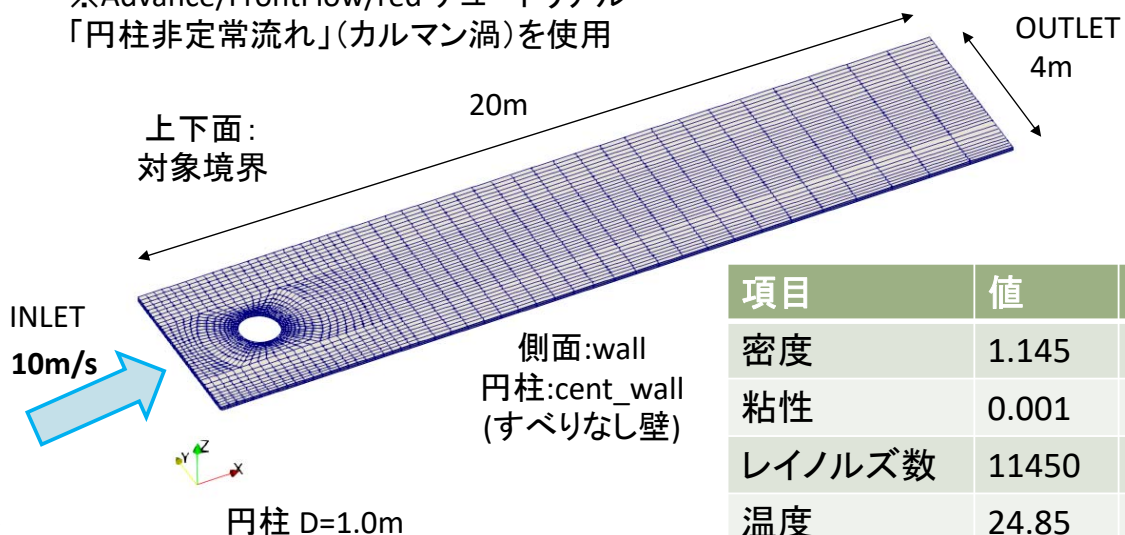
Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

17

4.1 流体解析

- 流体解析条件(非圧縮性流体、2次元計算)

※Advance/FrontFlow/red チュートリアル
「円柱非定常流れ」(カルマン渦)を使用



項目	値	単位
密度	1.145	kg/m ³
粘性	0.001	Pa·s
レイノルズ数	11450	-
温度	24.85	°C
乱流モデル	なし	-

Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

18

4.1 流体解析

音響解析条件

円柱周りの流れ: $St \approx 0.2$

$$f_{peak} = \frac{U \times St}{D} = \frac{10 \text{ m/s} \times 0.2}{1.0 \text{ m}} = 2.0 \text{ Hz}$$

→チュートリアルでの時間設定 ($\Delta t=0.01\text{s} \rightarrow f_{max}=50 \text{ Hz}$ 、 $T=10 \text{ s}$
→ $\Delta f=0.1\text{Hz}$) で問題ないが、準定常状態で評価したいので、データは10~20秒までの10秒間を使用する。

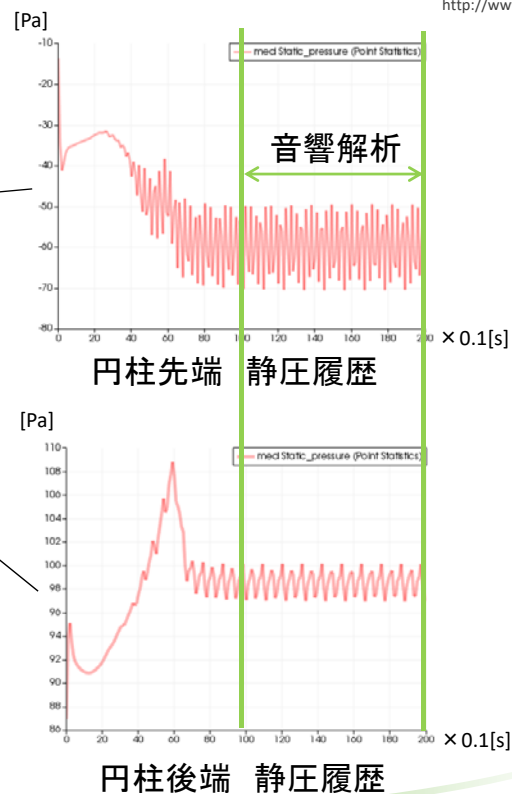
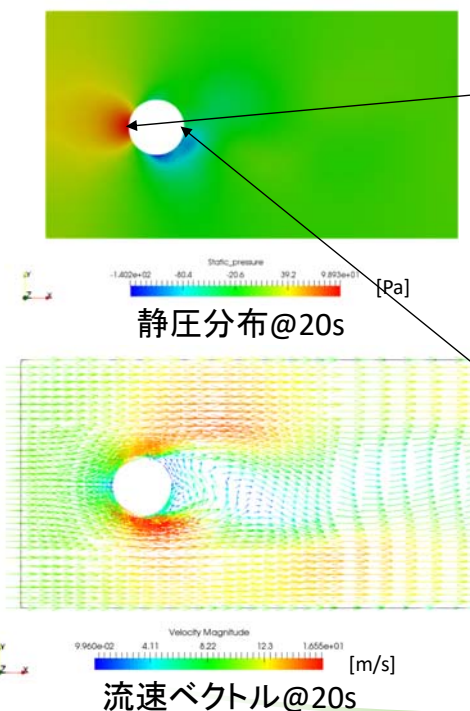
- 非圧縮性流体
- 時間刻み: 0.01s
- 解析対象時刻: 20秒
- 計算STEP数: 2000
- 流体: 空気
($\mu:0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, $\rho:1.145 \text{ kg/m}^3$)
- 温度: 24.85 °C
- 乱流モデル: なし

流体の項目	値(s)	単位	$\Delta t = \frac{1}{2f_{max}}$	音響の項目	値	単位
時間刻み	0.01	s			最大周波数	50
計算時間	10	s		分解能	0.1	Hz

$T = \frac{1}{\Delta f}$

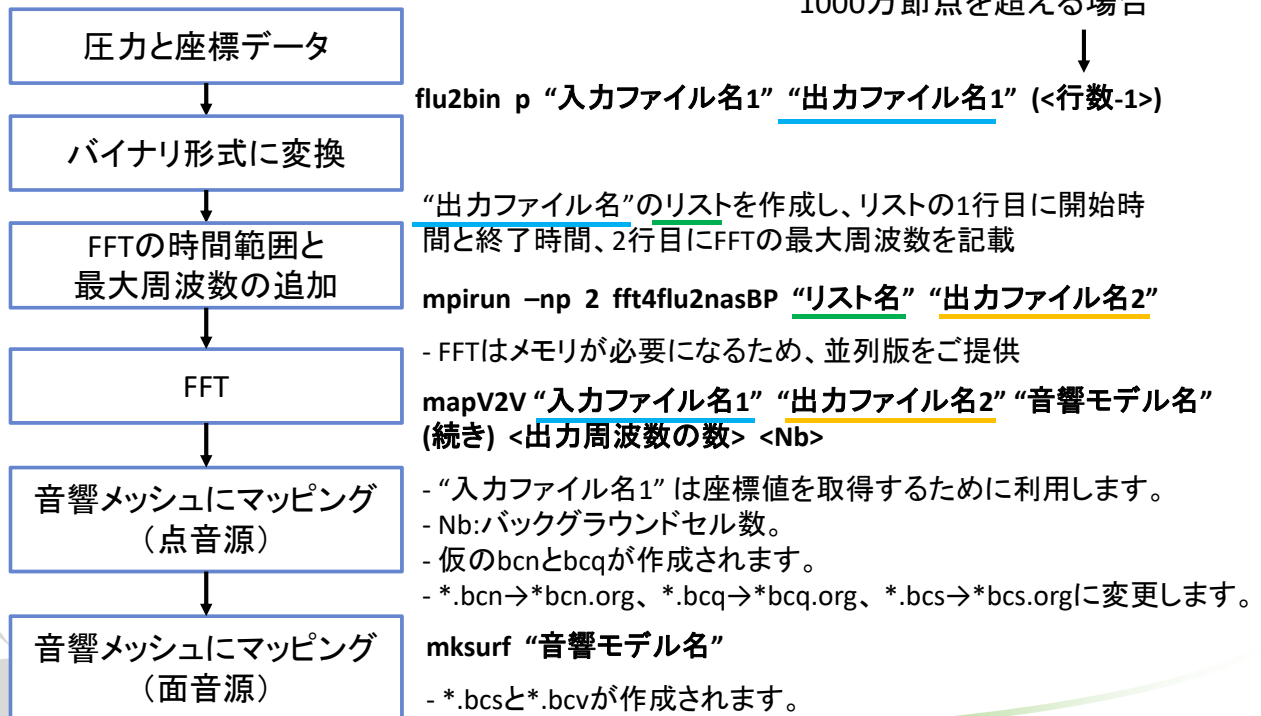
4.1 流体解析

解析結果



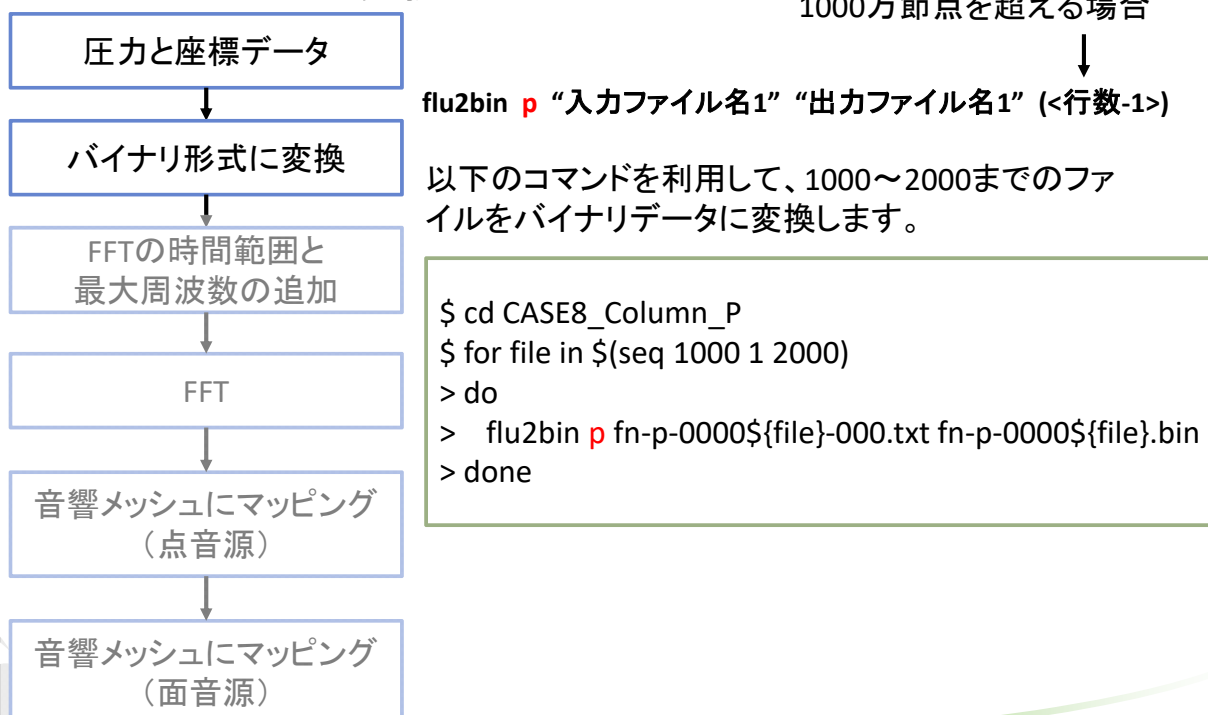
4.2 二重極音源

・ 作成の流れ



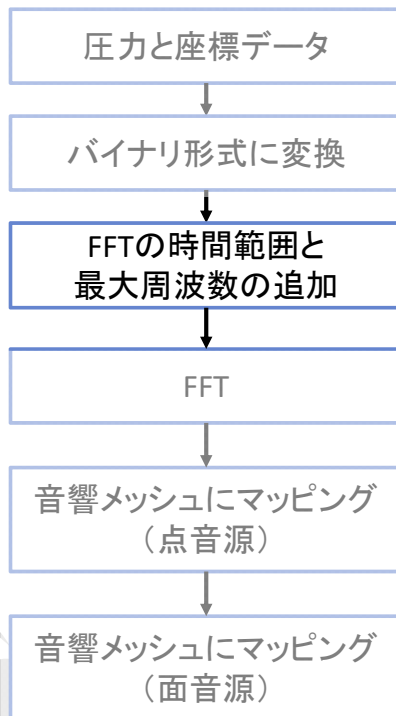
4.2 二重極音源

・ バイナリ形式に変換



4.2 二重極音源

• FFTの時間範囲と最大周波数の追加



例えば、以下のコマンドを利用して、リストファイルを作成し、先頭に開始時間、終了時間、最大周波数を書き込みます

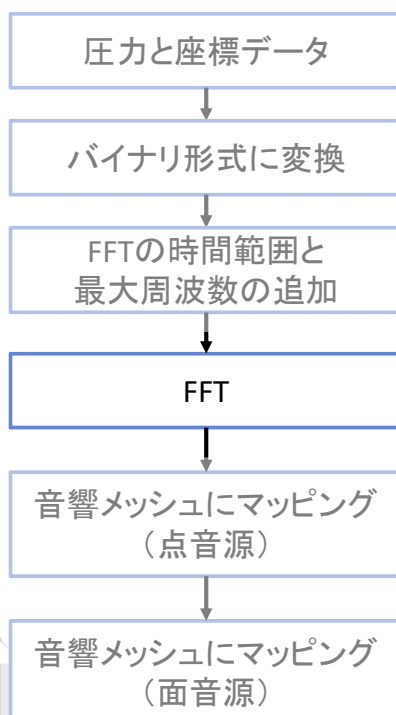
```

$ ls *.bin > p.list
$ nano p.list

10 20 1行目に追加
50    2行目に追加
fn-p-00001000.bin
...
  
```

4.2 二重極音源

• FFT



```

$.fft4flu2nasBP p.list p.nas
* データ量が多く、メモリが不足する場合は並列で実行します。
$ mpirun -np 2 fft4flu2nasBP p.list p.nas
  
```

データ量が多い場合は、メモリを確保するために、ノード数が増えるように、並列数を変更してください。

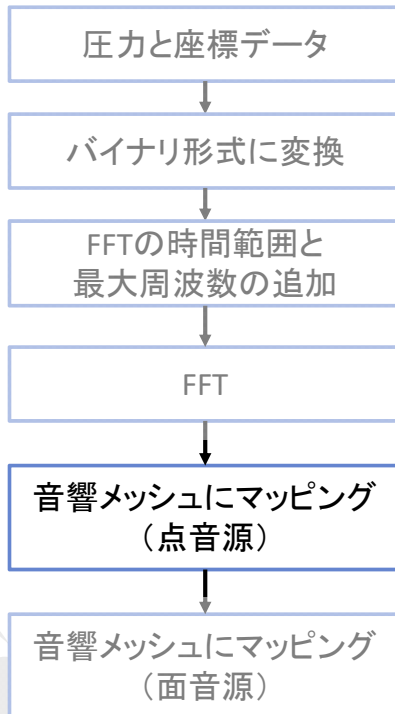
p.nas

```

$FREQUENCY = 1.000000E-01
  1 G 4.975166E-02 -2.518653E-03
  2 G 4.207236E-02 -2.237022E-03
...
 461 G -2.903620E-01 6.452804E-03
 462 G -2.923707E-01 5.042234E-03
$FREQUENCY = 2.000000E-01
...
  
```

4.2 二重極音源

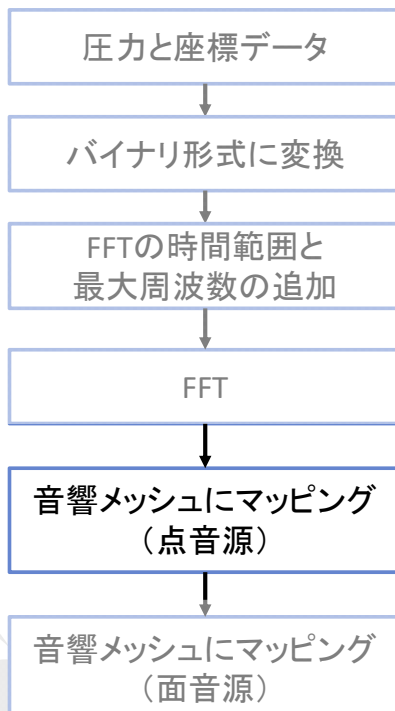
• 音響メッシュにマッピング(点音源)



```
$ mapV2V fn-p-00001000-000.txt p.nas (続きます)
CASE8_Column_ac 500 10
```

4.2 二重極音源

• 音響メッシュにマッピング(点音源)



バックグラウンドセル数(Nb)について

近傍の節点を高速検索するための長手方向の領域分割数。分割した領域にあらかじめ近傍の候補となる節点を与えておくことで、節点の検索時間を短縮します。

節点数の3乗根の数分の1程度が適当であることが多いです。

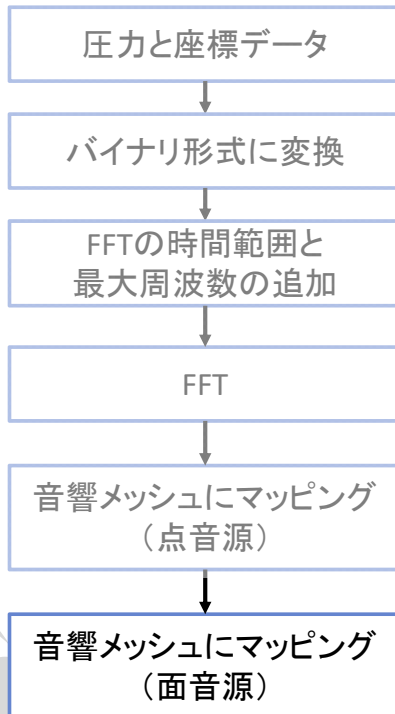
```
mapV2V "入力ファイル名1" "出力ファイル名2" "音響モデル名"
(続き) <出力周波数の数> <Nb>
```

バックグラウンドセルの特徴

項目	<Nb>が少ない	<Nb>が多い
処理時間	長い	短い
精度	見つけやすい	見つけられないことがある

4.2 二重極音源

• 音響メッシュにマッピング(面音源)



点音源、面情報(*.bcn、*.bcq、*.bcs)のファイル名を変更し、境界面にマッピングして、新たな境界面情報(*bcsと*.bcv)を生成します。

```
$ mv CASE8_Column_ac.bcs CASE8_Column_ac.bcs.org
$ mv CASE8_Column_ac.bcn CASE8_Column_ac.bcn.org
$ mv CASE8_Column_ac.bcq CASE8_Column_ac.bcq.org
$ mksurf CASE8_Column_ac
```

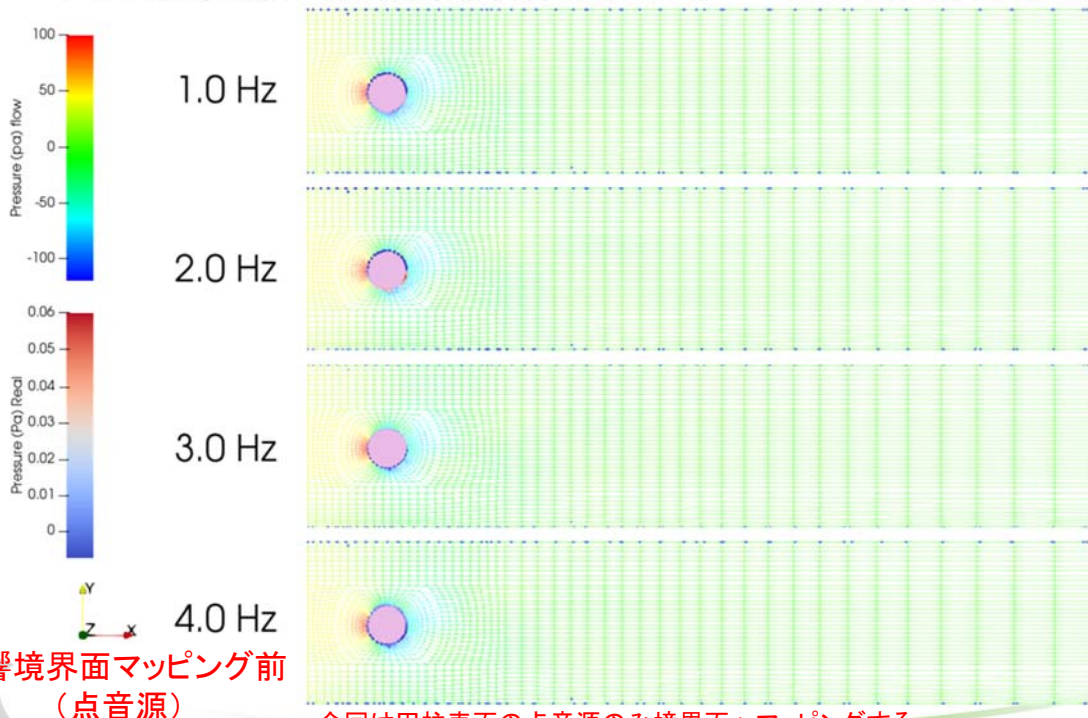
正常に終了すると、

CASE8_Column_ac.bcs
CASE8_Column_ac.bcv

が出力されます。

4.2 二重極音源

• 二重極音源生成結果例(圧力コンターは10 sの時のもの)



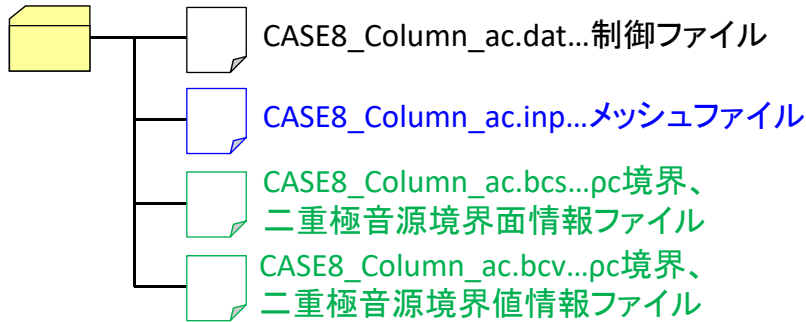
音響境界面マッピング前
(点音源)

今回は円柱表面の点音源のみ境界面へマッピングする。

4.2 二重極音源

• 解析の実行

ファイル構成 (ModelName: CASE8_Column_ac)



実行コマンド

```
$ fnfem < CASE8_Column_ac.dat
```

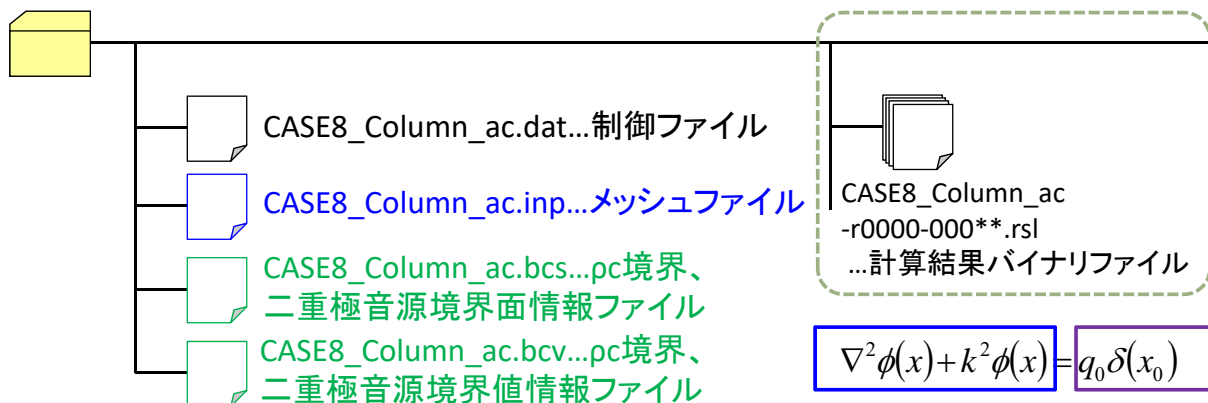
$$\nabla^2 \phi(x) + k^2 \phi(x) = q_0 \delta(x_0)$$

$$\alpha(x)\phi(x) + \beta(x)\frac{\partial\phi(x)}{\partial n} = f(x)$$

4.2 二重極音源

• 解析の実行結果

ファイル構成 (ModelName: CASE8_Column_ac)

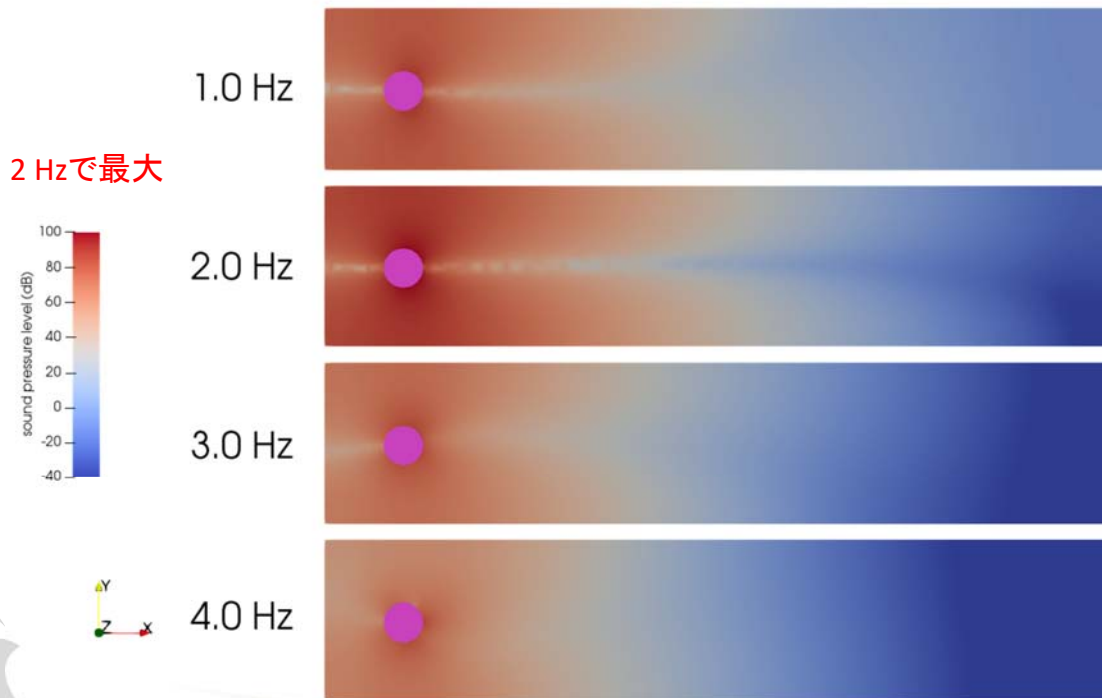


$$\nabla^2 \phi(x) + k^2 \phi(x) = q_0 \delta(x_0)$$

$$\alpha(x)\phi(x) + \beta(x)\frac{\partial\phi(x)}{\partial n} = f(x)$$

4.2 二重極音源

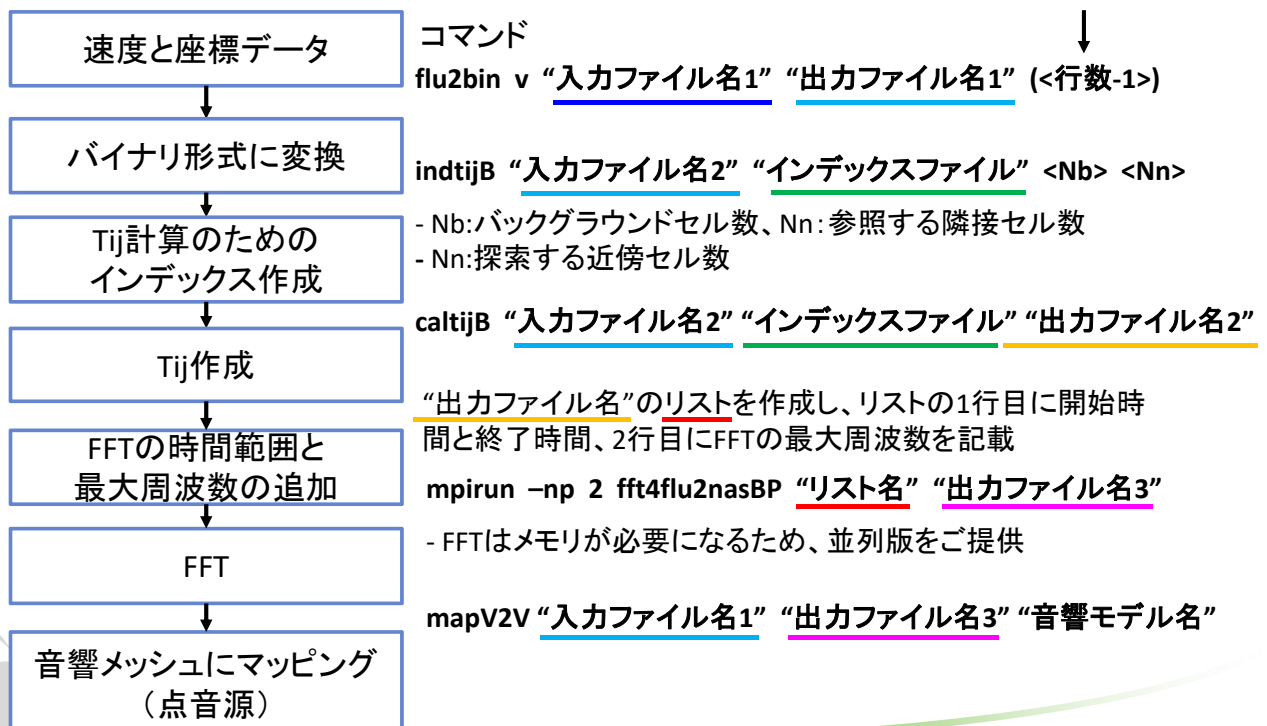
• 計算結果例



31

4.3 四重極音源

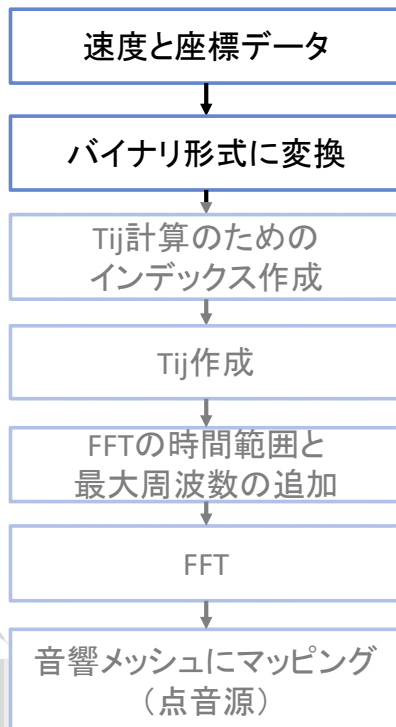
• 四重極音源作成の流れ



32

4.3 四重極音源

・ バイナリ形式に変換



1000万節点を超える場合



`flu2bin v` “入力ファイル名1” “出力ファイル名1” (<行数-1>)

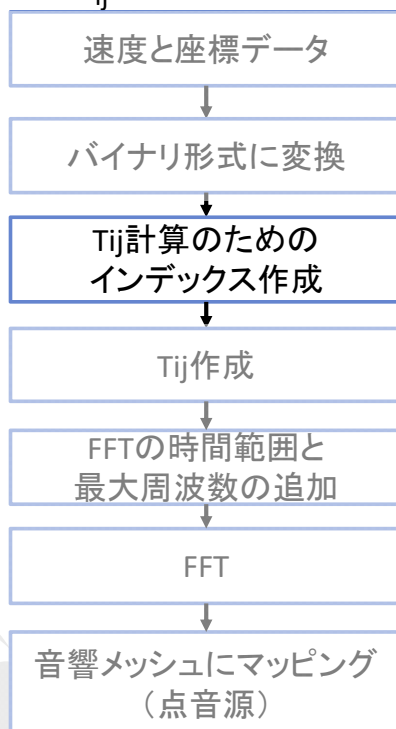
以下のコマンドを利用して、1000～2000までのファイルをバイナリデータに変換します。

```

$ cd CASE8_Column_V
$ for file in $(seq 1000 1 2000)
> do
>   flu2bin v fn-uvwd-0000${file}-000.txt (続きます)
   fn-uvwd-0000${file}.bin
> done
  
```

4.3 四重極音源

・ T_{ij} 計算のためのインデックス作成



`indtijB` “入力ファイル名2” “インデックスファイル” <Nb> <Nn>

```
$ indtijB fn-uvwd-00001000.bin index.dat 10 40
```

1つのファイルから T_{ij} 計算のためのインデックスファイルを作成します。

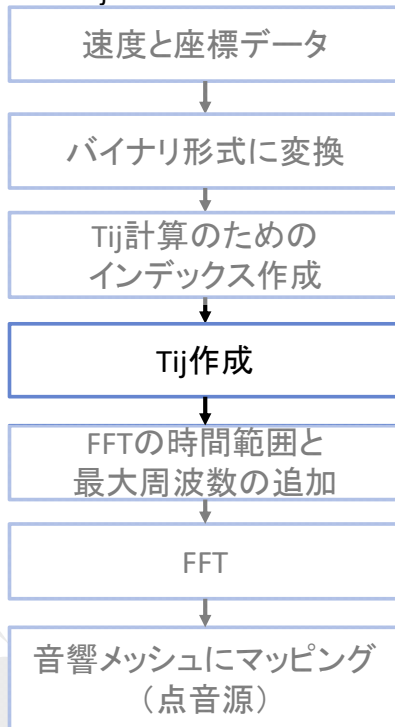
<Nb>: バックグラウンドセル数。

* `index.dat` の行に0が存在する場合は、<Nb>を小さくしてください。

<Nn>: 2階微分を求めるために参照する近傍の節点数。標準は30~40を入力します。

4.3 四重極音源

• T_{ij} の作成



以下のコマンドを利用して、流速ファイルから音源項の右辺を計算します。

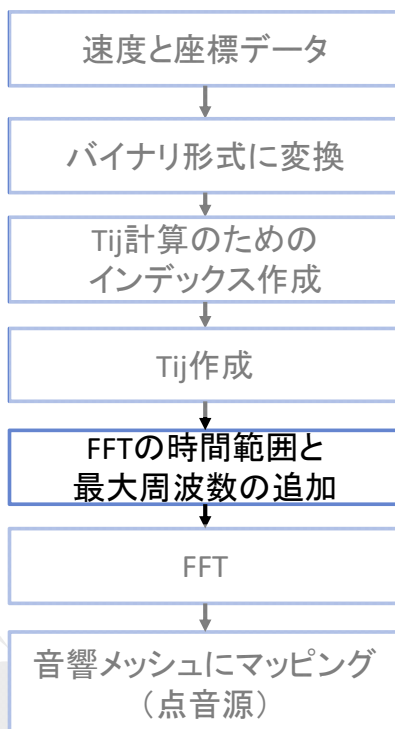
$$\text{右辺項: } \frac{\partial^2 T_{ij}}{\partial x_i \partial x_j}$$

```

$ cd CASE8_Column_V
$ for file in `ls *.bin`
> do
> caltijB ${file} index.dat ${file}.tij
> done
  
```

4.3 四重極音源

• FFTの時間範囲と最大周波数の追加



例えば、以下のコマンドを利用して、リストファイルを作成し、先頭に開始時間、終了時間、最大周波数を書き込みます。

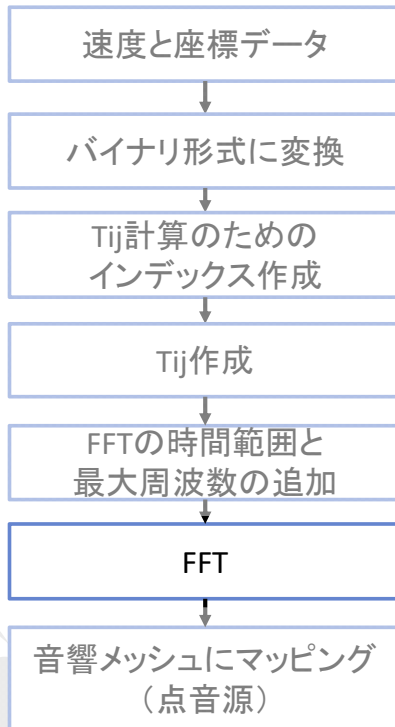
```

$ ls *.tij > v.list
$ nano v.list

10 20 1行目に追加
50.0 2行目に追加
fn-uvwd-00001000.bin.tij
...
  
```

4.3 四重極音源

- FFT



```

$ .fft4flu2nasBP v.list v.nas
* データ量が多く、メモリが不足する場合は並列で実行し
ます。
$ mpirun -np 2 fft4flu2nasBP v.list v.nas
  
```

データ量が多い場合は、メモリを確保するために、ノード数が増えるように、並列数を変更してください。

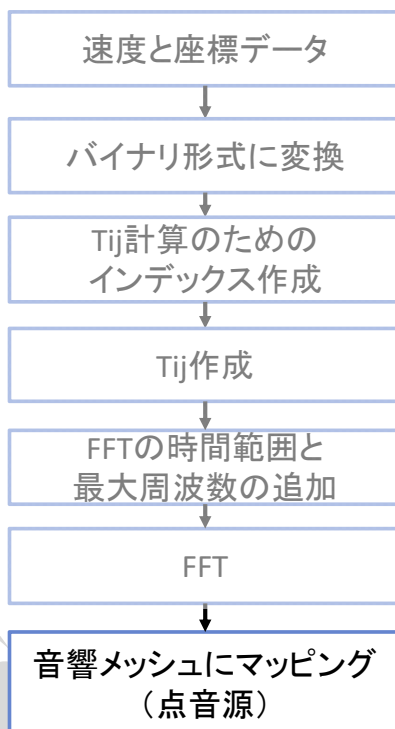
v.nas

```

$FREQUENCY = 1.000000E-01
  1  G  4.975166E-02 -2.518653E-03
  2  G  4.207236E-02 -2.237022E-03
...
 461 G -2.903620E-01  6.452804E-03
 462 G -2.923707E-01  5.042234E-03
$FREQUENCY = 2.000000E-01
...
  
```

4.3 四重極音源

- 音響メッシュにマッピング(点音源)



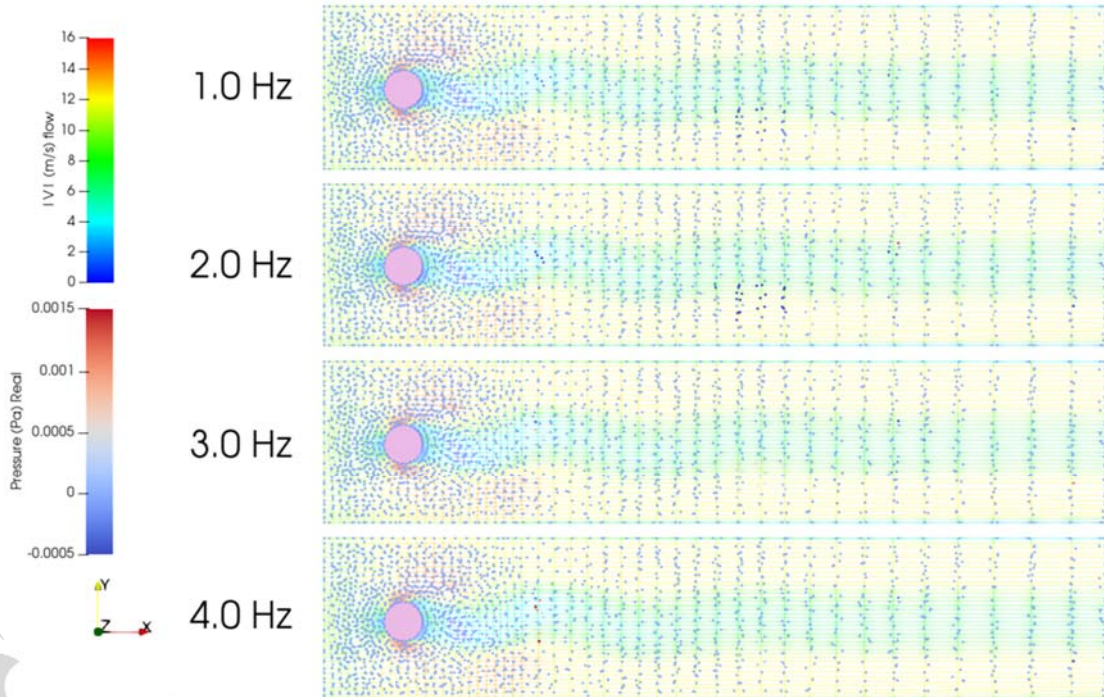
```

$ mapV2V fn-uvwd-00001000-000.txt v.nas (続きます)
CASE8_Column_ac 500 10
  
```

正常に終了すると、
CASE8_Column_ac.bcn
CASE8_Column_ac.bcq
が出力されます。

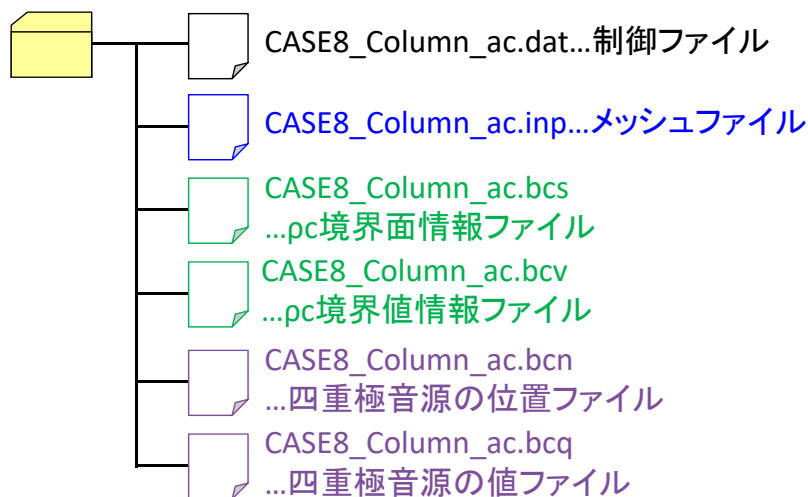
4.3 四重極音源

- 四重極音源生成結果例(流速コンターは10 sの時のもの)



4.3 四重極音源

ファイル構成 (ModelName: CASE8_Column_ac)



実行コマンド

```
$ fnfem < CASE8_Column_ac.dat
```

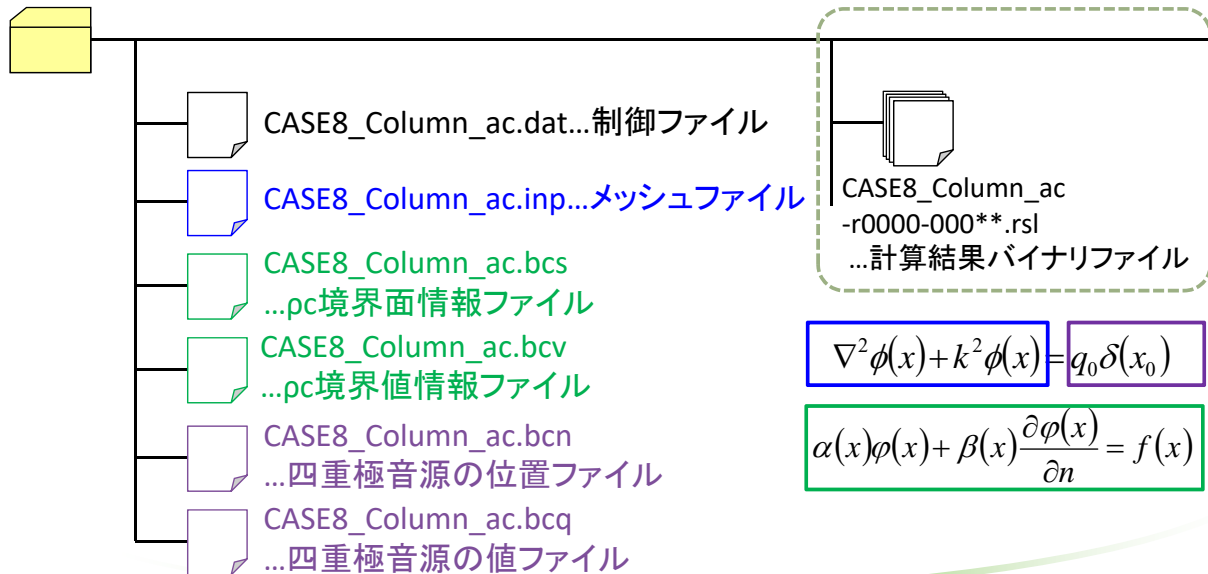
$$\nabla^2 \phi(x) + k^2 \phi(x) = q_0 \delta(x_0)$$

$$\alpha(x) \phi(x) + \beta(x) \frac{\partial \phi(x)}{\partial n} = f(x)$$

4.3 四重極音源

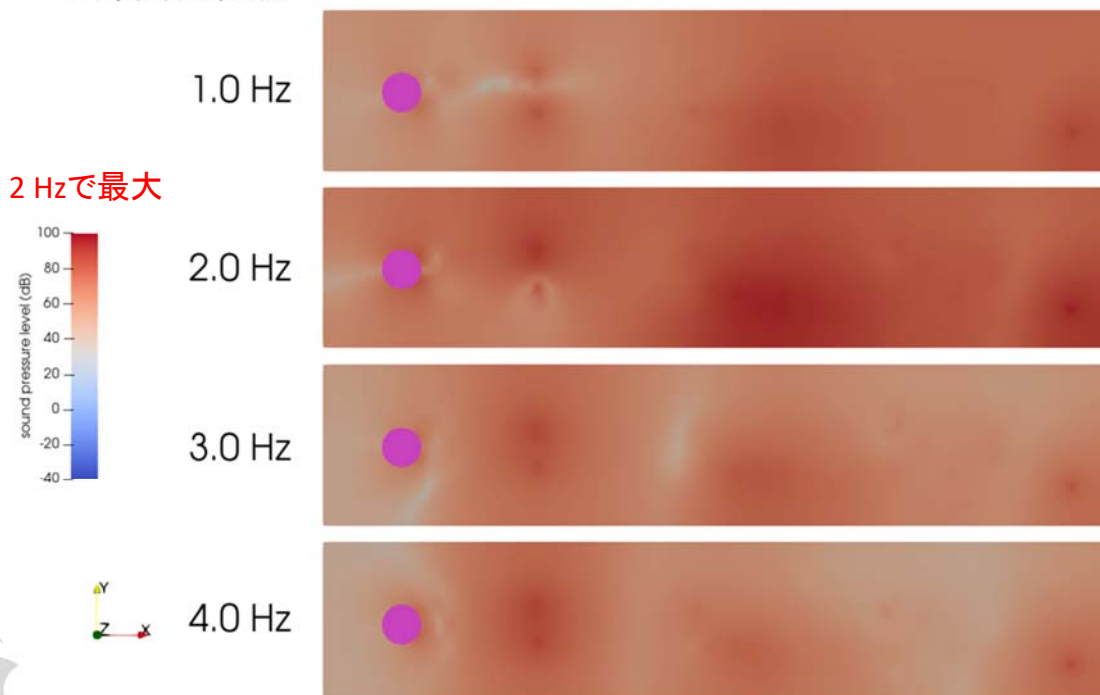
- 解析実行結果

ファイル構成 (ModelName: CASE8_Column_ac)



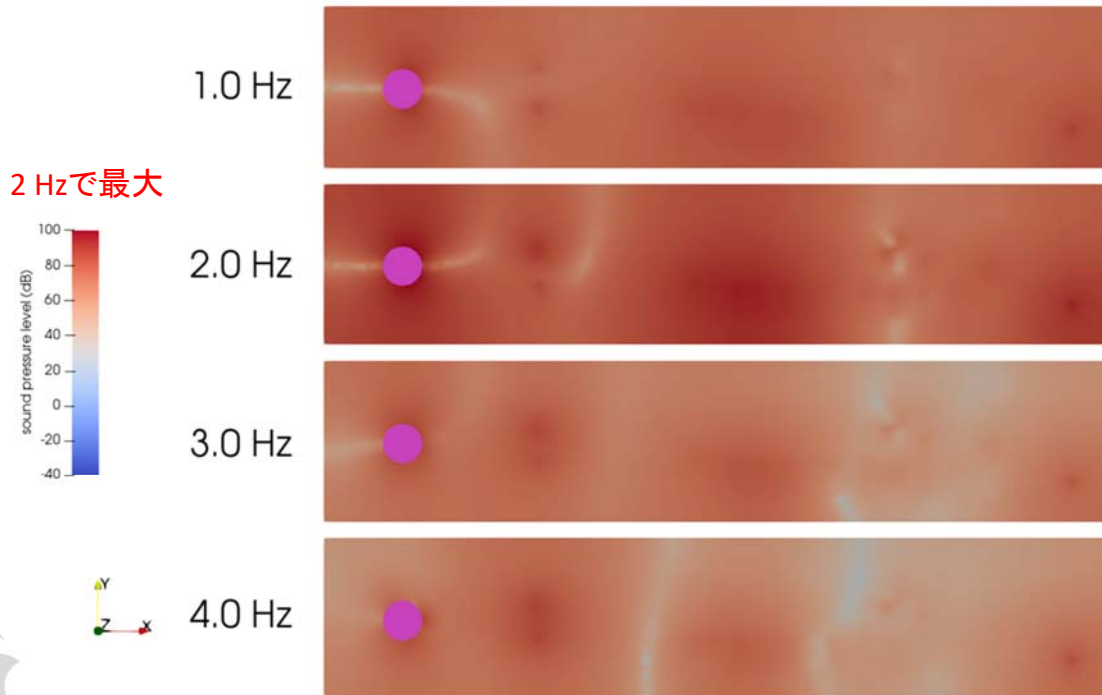
4.3 四重極音源

- 計算結果例



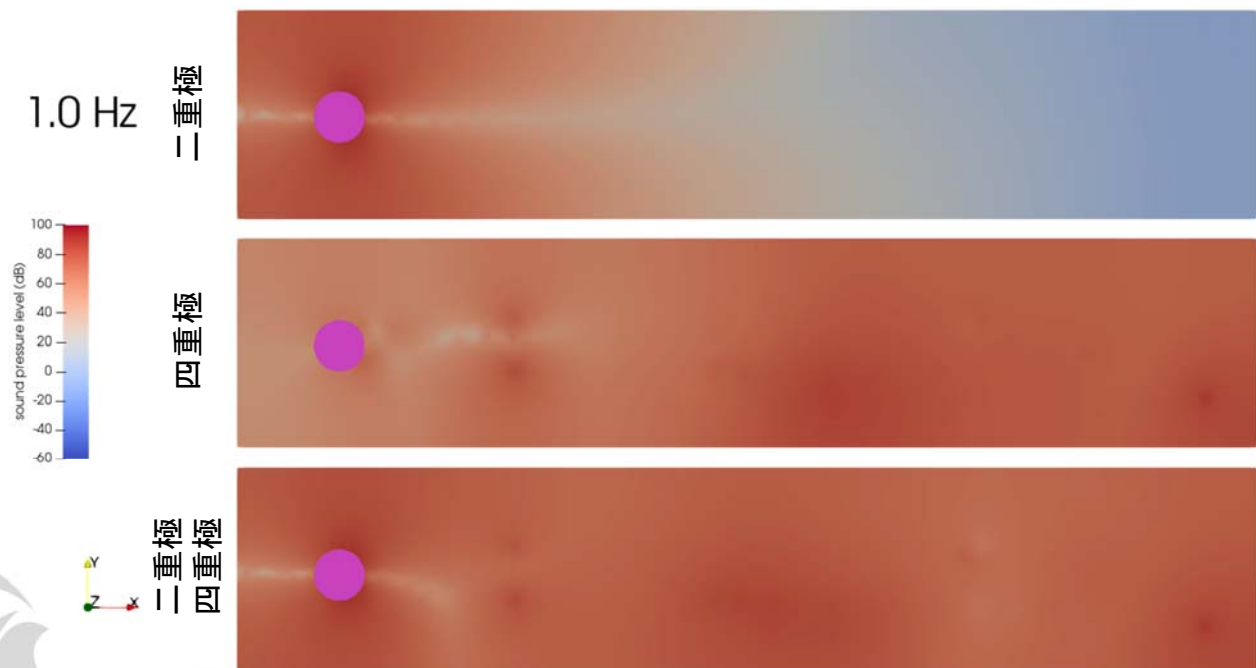
4.4 二重極音源と四重極音源

- 計算結果例



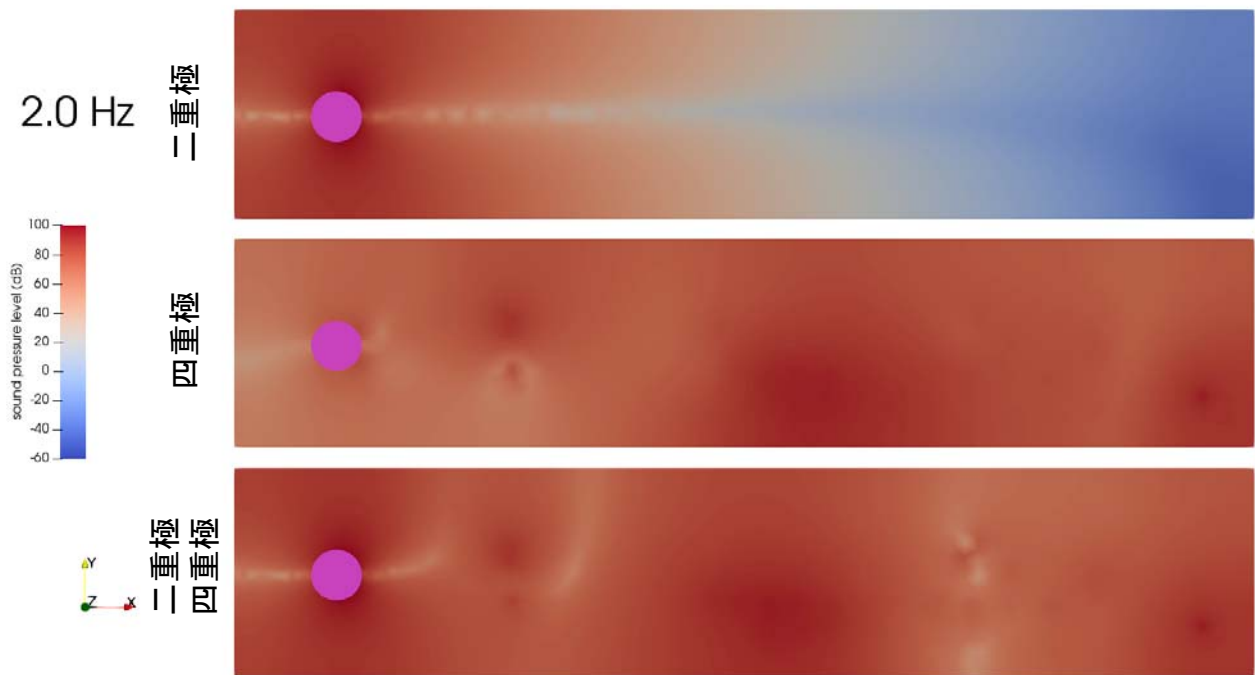
4.4 二重極音源と四重極音源

- 周波数ごとの比較 (1.0 Hz)



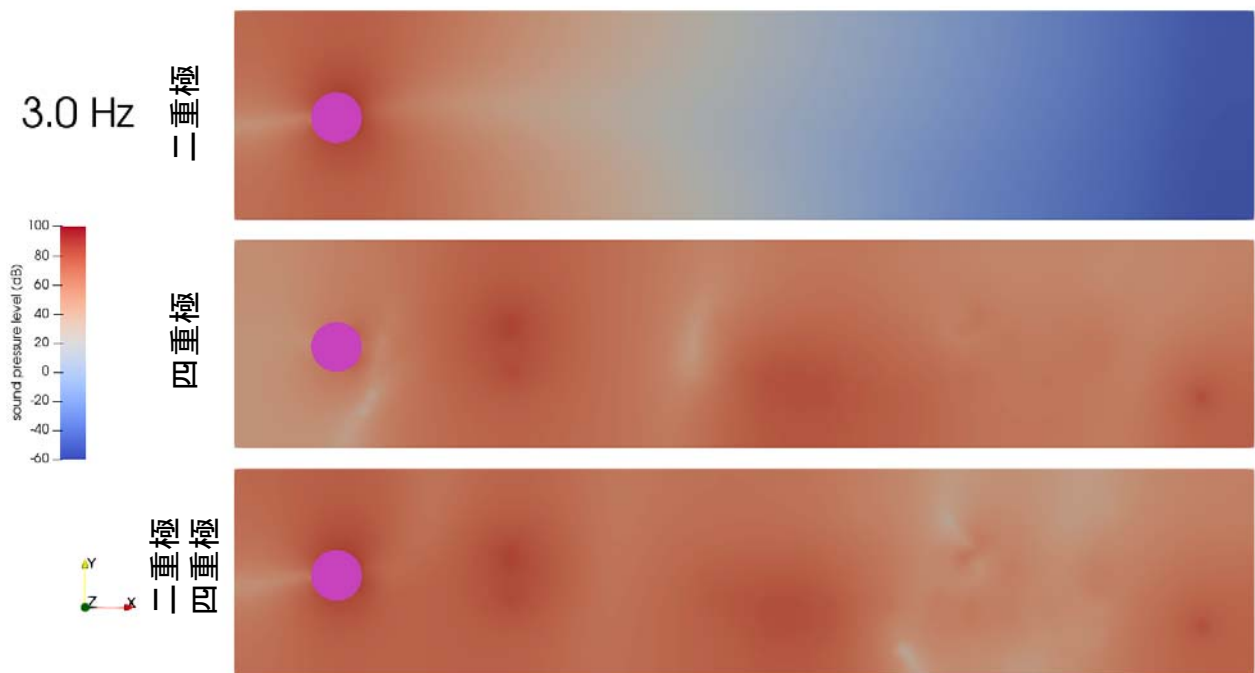
4.4 二重極音源と四重極音源

- 周波数ごとの比較 (2.0 Hz)



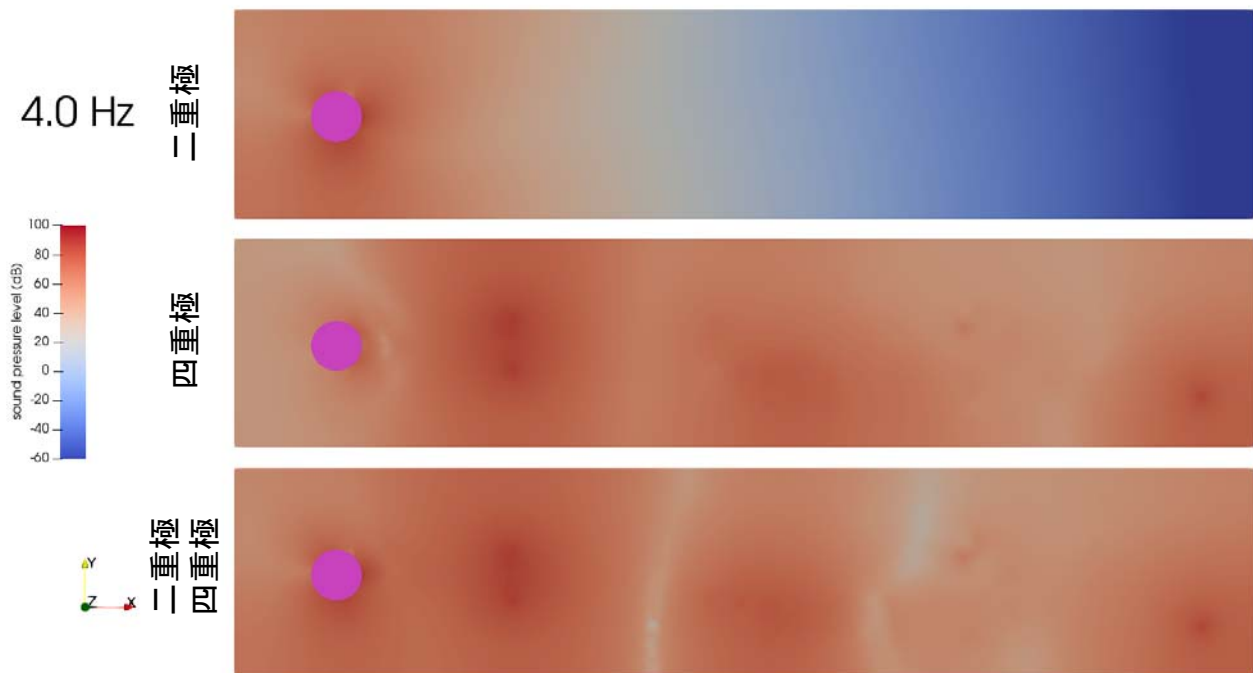
4.4 二重極音源と四重極音源

- 周波数ごとの比較 (3.0 Hz)



4.4 二重極音源と四重極音源

- 周波数ごとの比較 (4.0 Hz)



Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

47

5 まとめ

- Advance/FrontFlow/redのチュートリアルを題材として流体音響解析の事例を紹介しました。
- Advance/FrontNoiseでは二重極音源を面音源、四重極音源を点音源として、マッピングすることができます。
- 二重極音源のみ、四重極音源のみ、二重極音源と四重極音源を与えた音響解析を実施することができます。
- 流体解析を始める前に、音響の最大周波数・周波数分解能を決定して、流体の計算時間、結果出力間隔を決定します。

Copyright ©2018 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

48

汎用プリポストプロセッサ Advance/REVOCAPのご紹介

技術第2部 徳永 健一

音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise最新動向セミナー
2018年07月27日（金）
アドバンスソフト株式会社

本日の内容

- 開発経緯
- ロードマップ
- メッシュ生成機能
- 境界条件編集機能
- 音源設定機能
- 媒体設定機能
- 解析制御機能
- 後処理支援機能
- 解析実行方法
- 結果可視化機能
- 出力ファイル

開発経緯

- 文部科学省プロジェクトで開発されプリポストプロセッサをアドバンスソフトが機能を拡張して商品化したものです。
 - 「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」
 - 「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」
- アドバンスソフトの解析ソフトウェア各種に対応しています
 - Advance/FrontFlow/red
 - Advance/FrontSTR
 - Advance/FrontFlow/MP
 - Advance/FrontFlow/FOCUS
 - Advance/FrontNoise

日付	Version	ソルバー	内容
2005~2008	革新PJ		連成解析
2008~2012	イノベーションPJ		大規模アセンブリ
2009/07	Ver.2.0	FFr	
2010/07	Ver.2.2	FSTR	シェル
2012/07	Ver.3.0	FFr FSTR	
2012/12	Ver.3.1	FSTR	
2014/02	Ver.3.2	FFr Noise FOCUS	
2015/09	Ver.4.0	FFr MP FSTR	

Version.5.0 の予定

- 計画から遅れていましたが、Version.5.0 のリリースは FrontSTR 版および FrontNoise 版を 2018年10月に予定しています。
- GUIの基本構成から見直し、処理の高速化などを行います。

日付	Version	ソルバー	内容
2016/10	Ver.4.1	FFr FSTR Noise	
2018/10	Ver.5.0	FSTR Noise	GUI見直し

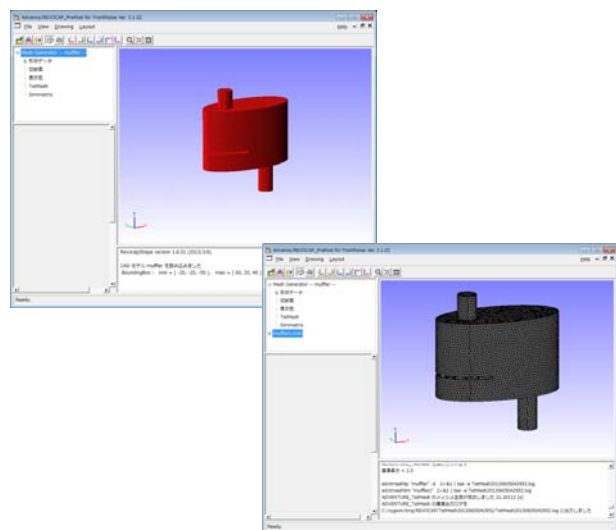
※本日の説明資料はGUIの画面はVer.4.1のものとVer.5.0のもの両方が含まれています。

Ver.5.0 Advance/FrontNoise版の予定

- Ver.4.1まででは、周波数領域のソルバーの設定に対応していません。
- Ver.5.0では以下の設定もできるようになります。
 - 時間領域ソルバーの入力データ作成
 - 前処理ツール、後処理ツールの入力支援
 - 連成解析の入力支援
- いままではAdvance/FrontNoiseのツールを組み合わせる必要が不可欠でした
- これからはAdvance/REVOCAPがAdvance/FrontNoiseのツールを組み合わせる必要がなくなります

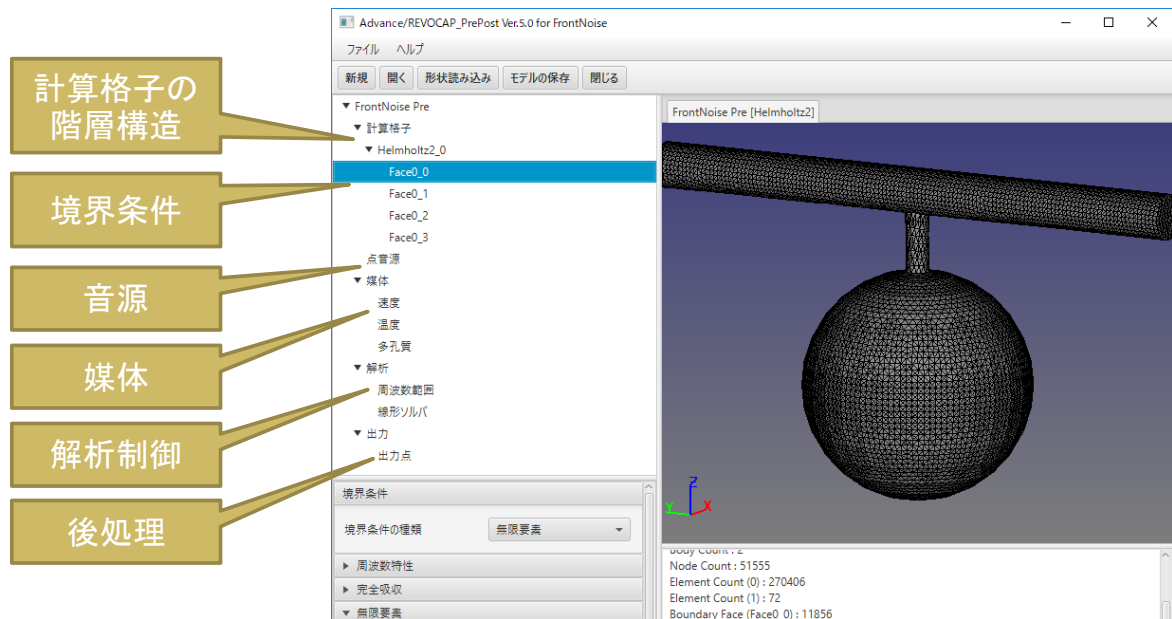
Advance/REVOCAPのメッシュ作成機能

- 汎用形状ファイルからの四面体要素のメッシュを自動生成します
- メッシュ生成エンジン
 - ADVENTURE_TetMesh
 - Simmetrix
- 大規模メッシュ生成
 - 200万要素:約2分
 - 2000万要素:約20分
 - 64GBメモリの環境で1億要素のメッシュも作成可能



Ver.5.0 画面構成

基本的なデザインは Ver.4.1 から変わりません。



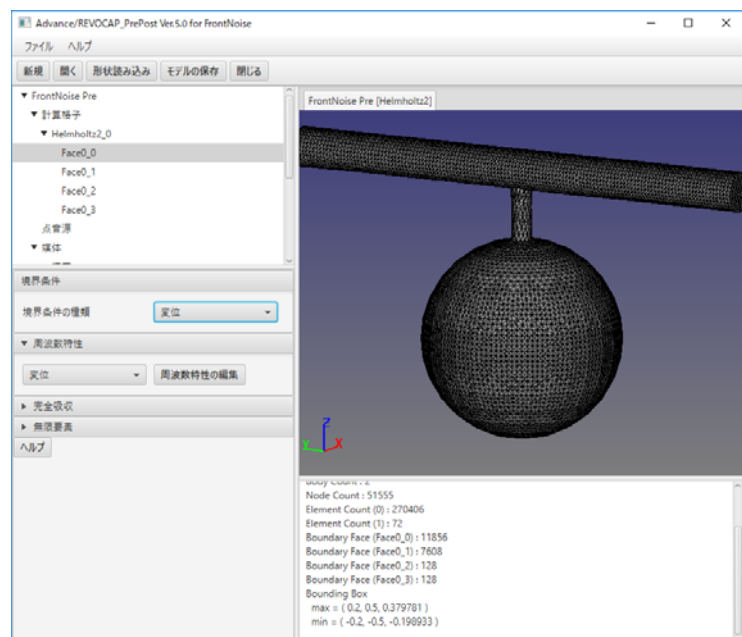
境界条件の設定

- ① 境界面を選択
- ② 境界条件の種類を選択
- ③ パラメータの入力

周波数特性は

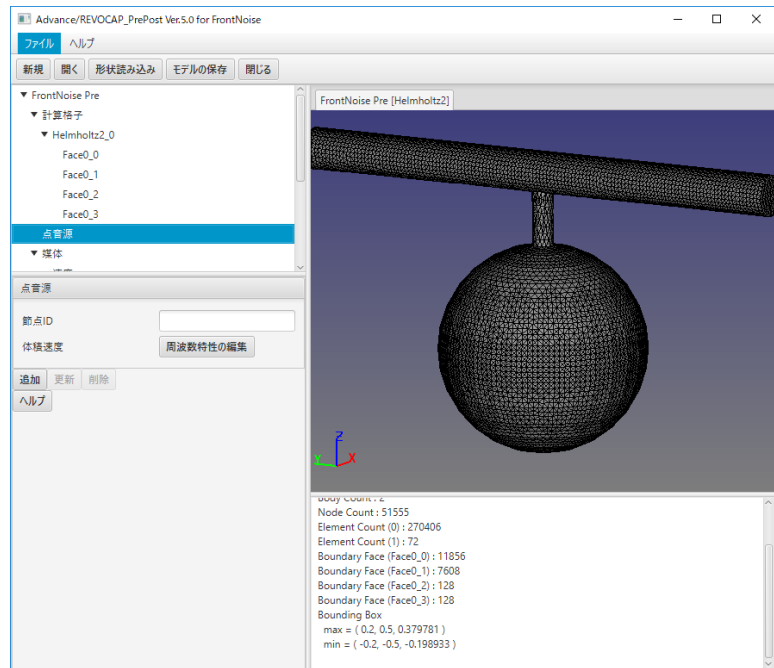
- CSVの読み込み
- テーブル編集
- グラフ表示

に対応します



音源の設定

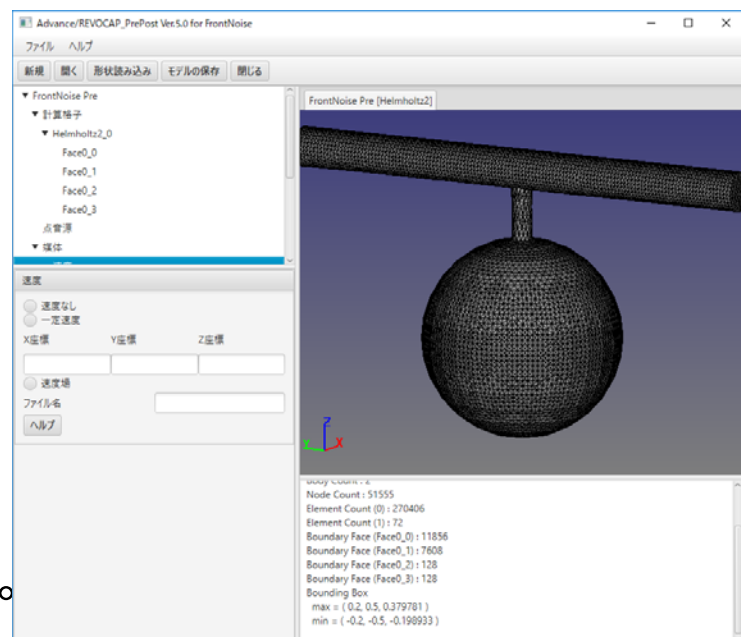
- 点音源の設定
 - 節点番号の検索
 - 周波数特性の編集
- 面音源
 - 境界条件で与えます
- 四重極音源、二重極音源
 - 連成解析連携機能で与えます



媒体の設定

- 温度
- 密度
- 多孔質(実効密度と複素音速)

それぞれについて、一定値または分布をあたえることができ、分布は可視化して確認することができます。



解析周波数範囲

開始周波数、終了周波数
 を与えます

▼ 解析
 周波数範囲
 線形ソルバ
 ▼ 出力
 出力点

周波数範囲

開始周波数[Hz]

終了周波数[Hz]

周波数間隔[Hz]

ヘルプ

線形ソルバー

解法と前処理を設定でき
 ます。

反復法を選択したときは、
 最大反復回数、収束判定
 値を与えます。

線形ソルバ

▼ 出力
 出力点

線形ソルバ

解法

前処理

▼ 反復法

最大反復回数

相対収束判定値

絶対収束判定値

▼ GMRES法

GMRESリスタート数

ヘルプ

出力点

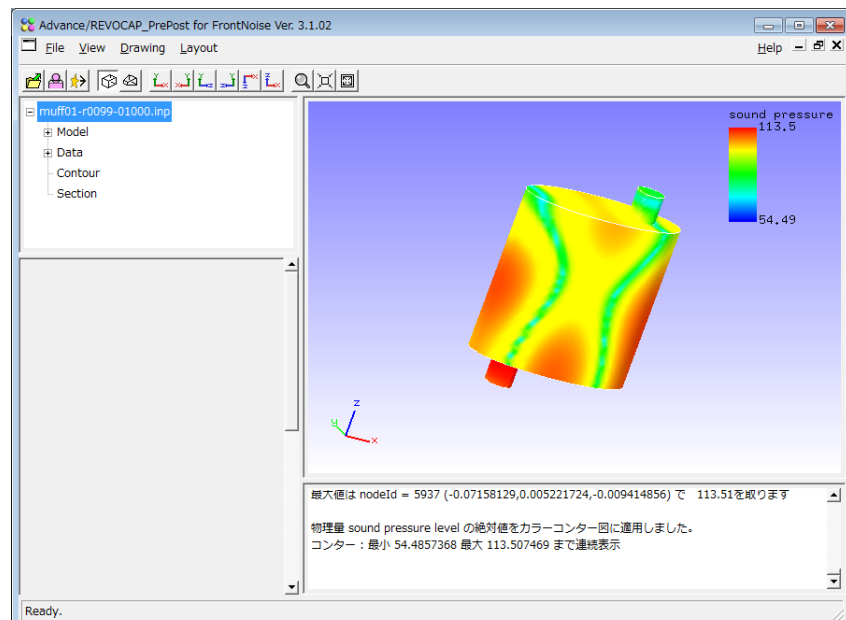
解析結果から周波数特性を求めめるための、後処理で抽出する点の座標を与えます。



結果の可視化 (Ver.4.1の画面)

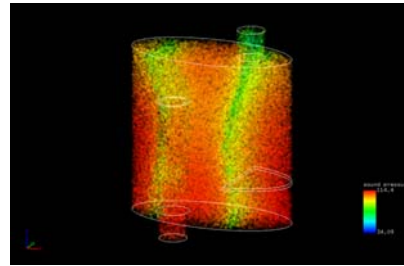
計算機サーバでの計算結果をPCにコピーして可視化します。

コンター表示
 断面表示
 等値面表示
 などの可視化機能を利用することができます

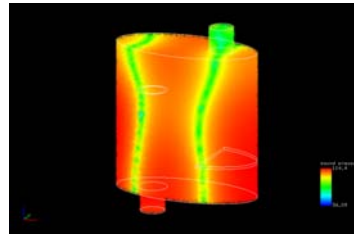


特殊な可視化手法: ボリュームレンダリング

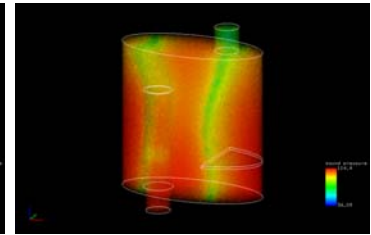
- 連続体を不透明で自己発光する粒子群で表現します (PBVR)。
 - ポリゴンではなくて、点を描画します。
 - 描画点の個数は制御可能であるため、大規模なモデルの可視化手法として有効です。
- 従来多くの可視化ソフトでなされてきた空間の物理量の分布を不透明度で表すものとは別の方法です。



粒子数を少なくして描画すれば、大規模モデルに対しても軽量の可視化が可能



粒子数を増やすと表面コンター表示に近い可視化が可能



粒子数を変えずにレポートレベルを増やすといわゆるボリュームレンダリング的な可視化が可能

Advance/REVOCAPが生成するファイル

コンバーターなしでFrontNoiseで利用できるファイルを出力します。

- メッシュファイル (inp)
- 境界条件ファイル (bcs, bcv)
- 無限要素ファイル (ied)
- 音源ファイル (bcn, bcq)
- 解析制御ファイル (dat)

Ver.5.0からは、さらにFrontNoiseとツール類を実行するスクリプトを作ります

作成するスクリプトの例

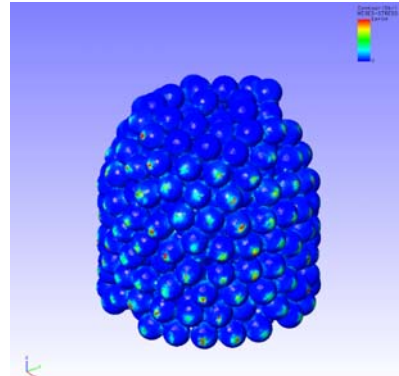
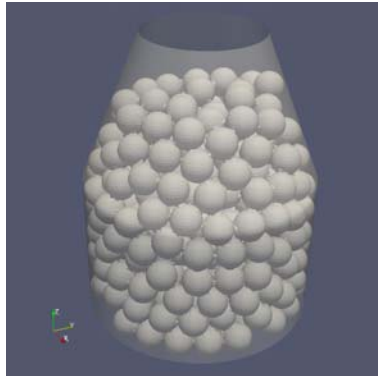
```
export FNFEM_INFINITE=ON
fnfem < case01.dat
rsl2inp case01.inp case01.rsl case01_vis.inp
getnvalbin 0.0 0.0 0.3 case01.inp < case01.rsl > case01.csv
```

ご参考 : Advance/REVOCAPの派生ツール

• 微細構造モデリングツール

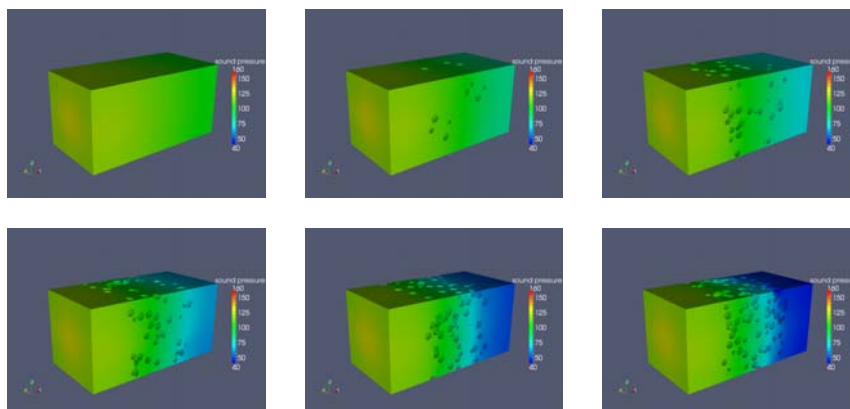
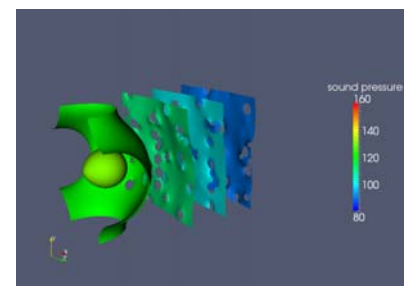
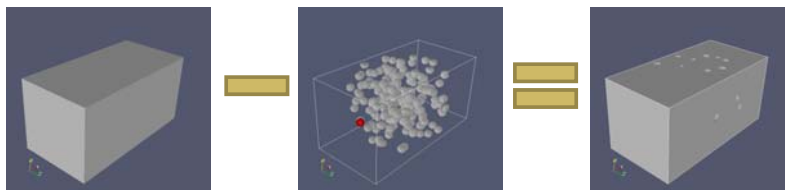
Advance/REVOCAP_PorousModeler

- 多孔質体、繊維、粉体などの構造をマクロな物性で近似せずに、そのままの構造でFEMなどで解析するためのメッシュを作成します。
- 複雑形状の内部への粉体充填構造のメッシュ作成も可能です。



PorousModelerを用いた音響解析の例

空間領域から微小球体を除いた領域での音響解析
微小球体の手前(赤い点の位置)に点音源を置いた



価格および関連サービスのご紹介

営業部 東田 想太

音響解析ソフトウェアAdvance/FrontNoise最新動向セミナー
2018年07月27日（金）
アドバンスソフト株式会社

ライセンスに含まれるサービス

- ・並列数無制限（Advance/REVOCAP は除く）
- ・同時稼動可能数1
- ・最新バージョンの使用権
- ・教育機関向け（アカデミック版）はライセンス料金半額
- ・E-mailでのサポートセンターへのご質問

コースA パッケージソフトウェア説明会

- ・対象 新規導入を検討中のお客様
- ・プログラム 概要説明(基本機能・ロードマップ・価格)
適用事例紹介、質疑応答
- ・費用 無料
- ・日程 2時間×1日
- ・会場 アドバンスソフト株式会社
- ・募集要項 定員5名
(10営業日前までにお申し込みください)

コースB ユーザートレーニング

- ・対象 導入後、使い方が分からないと
お悩みのお客様
- ・プログラム コンピューターを使用した実習を含みます。
1日目:一般的な使い方
(GUI、サンプルを中心に)
2日目:個別相談によりお客様の課題
(データ作成を中心に)
- ・費用 お問い合わせください
- ・日程 4時間×2日
- ・会場 アドバンスソフト株式会社
- ・募集要項 定員1社2名(10営業日前までにお申し込みください)

コースC コンサルティング

- ・対象 導入後、より深く使いこなしたいとお考えのお客様
- ・費用 お問い合わせください
(事前打ち合わせの内容によって金額が変わります)
※ただし、100km以上の訪問の場合は、実費で交通費を頂きます
- ・会場 御社、またはアドバンスソフト株式会社
- ・募集要項 日程・人数等、別途ご相談ください
4時間以上の場合は訪問も承っております

動作環境

ご自身の計算機環境で利用される場合

Advance/FrontNoise

OS: RedHat Enterprise Linux 6 (64bit) 以上

Advance/REVOCAP

OS: Windows7、Windows10 (32bit、64bit)

Cube-it CFD、Cube-it FEA、Cube-it Pro

OS: Windows7、Windows10 (32bit、64bit)
RedHat Enterprise Linux(64bit)

ParaView

OS: Windows7、Windows10 (32bit、64bit)

* 上記以外の環境で御検討の場合はご相談ください。

動作環境

外部スパコンでご利用される場合

- ・FOCUSスパコン
 - * 計算科学振興財団様所有及び利用申請先
- ・地球シミュレータ(大規模共有メモリシステム UV2000)
 - * 海洋研究開発機構様所有及び利用申請先
- ・スーパーコンピュータ「京」
 - * 理化学研究所様所有、高度情報科学技術研究機構様利用申請先)

アドバンスソフトの開発・解析サービス

お客さまのご要望に応じて科学技術計算ソフトウェアの
新規開発、機能追加、受託解析等のサービスを行ないます。

例えば解析業務の場合



1. 流体・構造・ナノ関連など幅広い分野のソフトウェアを開発し、解析経験豊富な技術者がお客様のご要望をお伺い致します。

2. 最適な解析方法をご提案し、見積仕様書を作成致します。

3. 解析内容、納期、料金等、お客様のご了承が得られましたら、作業を実施致します。

4. 解析結果の可視化をはじめ、評価や考察を行ない、報告書を作成致します。



終わりに

ご清聴ありがとうございました。

アドバンスソフトは、高度な技術力、開発力、人材を武器に、最先端理論を応用した解析シミュレーションソフトウェアを開発・販売しています。受託解析、受託開発、パッケージソフトウェア、コンサルティング等多様なソリューションを通じて、お客様の問題解決に即戦力として貢献します。

お問い合わせ先:ご担当営業まで
TEL:03-6826-3971 FAX:03-5283-6580
E-mail:office@advancesoft.jp



* Advance/FrontFlow/red、Advance/FrontSTR は、東京大学生産技術研究所計算科学技術連携研究センターが実施した文部科学省 IT プログラム「戦略的基盤ソフトウェアの開発」プロジェクト、および、文部科学省次世代 IT 基盤構築のための研究開発「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」プロジェクトの成果（ソフトウェア）をアドバンスソフト株式会社が商品化したものです。アドバンスソフトはこれらのプロジェクトに参加し、ソフトウェアの開発を担当しましたが、その成果を独自に改良して商用パッケージソフトウェアとし、販売保守を行っております。

警告

このレポートに収録されている文章および内容については、ご自身のために役立てる用途に限定して無料配布しています。このレポートを、販売、オークション、その他の目的で利用するには、著作権者の許諾が必要になります。このレポートに含まれている内容を、その一部でも著作権者の許諾なしに、複製、改変、配布を行うことおよびインターネット上で提供する等により、一般へ送ることは法律によって固く禁止されています。