

ANSYSによるピアノ響板シミュレーション

PIANO SOUNDBOARD SIMULATION USING ANSYS

柘植敦司¹⁾, 梅谷征雄²⁾

Atsushi TSUGE and Yukio UMETANI

1)静岡大学 情報学研究科情報学専攻 (〒432-8011 浜松市城北3-5-1, cs8057@cs.inf.shizuoka.ac.jp)

2)工博 静岡大学教授 情報学部情報科学科 (〒432-8011 浜松市城北3-5-1, umetani@cs.inf.shizuoka.ac.jp)

We carried out a piano soundboard simulation by using general-purpose structural analysis solver ANSYS. We analyzed the isotropy soundboard model and the aeolotropy soundboard model. Because the precision of the shape of the aeolotropy soundboard model was low, the result of the isotropy soundboard model was nearer to the actual soundboard than the result of the aeolotropy soundboard model. In this paper, we also describe the problems encountered while using ANSYS.

Key Words : Piano soundboard, ANSYS

1. はじめに

楽器の発音機構解明のため、または音合成の1つの手段として、計算機を用いての楽器の物理シミュレーションは行われてきた。楽器の振動特性を、物理法則を基に微分方程式などでモデル化を行い数値解析することは、設計における個々のパラメータの影響を評価するのに役立つものとなる。また、合成音の生成においても、数値解析において計算された値を直接手に入れて波形化することができ、物理モデルの質によることにはなるが、高い音質を再現することも可能となる。

本研究では、汎用構造解析ソルバANSYSを使用しピアノ響板の解析を行う。また、ピアノ響板の解析の過程で気づいたANSYSの利点や問題点についても、のべる。

2. 等方性響板の解析

ピアノの響板はトウヒという木の板で作られている。木の板は、振動が木目方向に伝わりやすく、木目直交方向には伝わりにくいという異方性を持つ。このため、実際は音を良く響かせるため、木目と直交する向きに響棒と呼ばれる補助棒を取り付け、等方性に近い板になるようにする。このことから、響板を1枚の等方性の板として近似して見る事ができるので、まず等方性響板の解析を行う。

(1) 解析モデルの作成と解析

ANSYSで次に示す解析モデルを作成し、解析を行う。解析モデルの形状は、KAWAIグランドピアノの響板を計測し作成した。解析では、モデルの外周を完全固定し、モーダル解析とモード重ね合わせ法による周波数応答解析を行う。周波数応答解析では、0.1778kgfの力で、C4の駒位置を面に対して垂直方向に加振する。また、減衰係

数として0.003の一定減衰を指定した。

形状	7×1420×1180 (mm)
要素タイプ	SHELL63 (4節点シェル)
要素数	1358
節点数	1439
材料特性[1]	等方性材料
	ヤング率= 9.1×10^6 (kg/mm $\cdot$ S ²)
	ポアソン比=0.35
	密度= 4.19×10^{-7} (kg/mm ³)

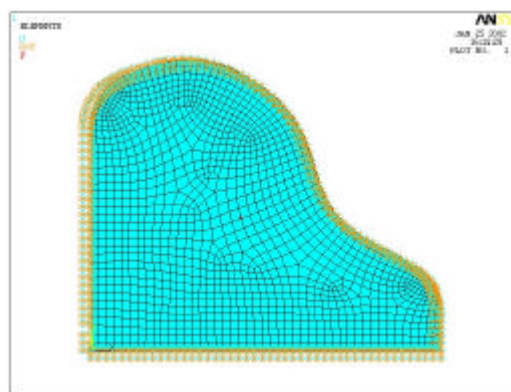
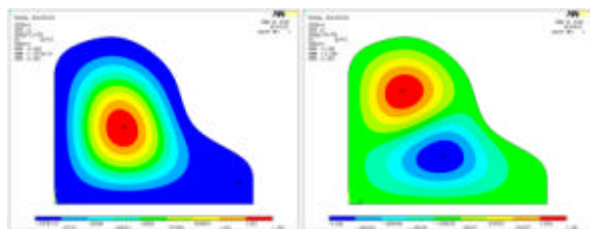


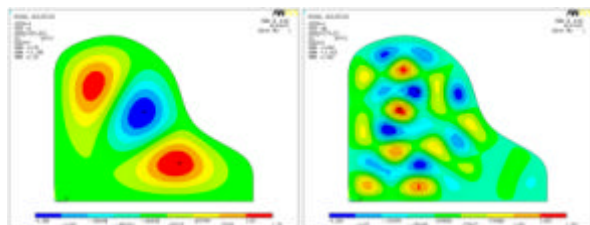
図1 等方性響板解析モデル

(2) 解析結果

モーダル解析の結果、図2に示すような、実際の響板[1]とほぼ同様のモードパターンが得られた。また、周波数応答解析の結果より、図3に示すC4駒位置でのイナータンスを求めたところ、減衰係数が小さすぎたことから実際の響板[1]より高周波数域での変化が大きくなった。



第1モード (53.916Hz) 第2モード (94.766Hz)



第4モード (148.454Hz) 第40モード (878.123Hz)

図2 等方性響板モデル解析結果

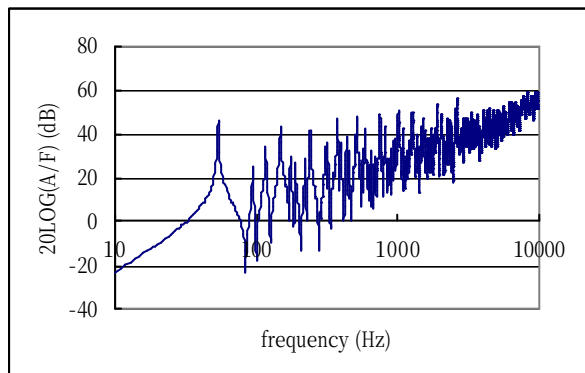


図3 等方性響板のC4駒位置でのインナータンス

3. 異方性響板の解析

響板は、トウヒの細い板を響棒でつなぎ大きな1枚の板になるようにして作られる。そこで、9枚の板で構成される異方性響棒なし響板モデルと、等方性響板より精度の高いモデルとして、9枚の板と12本の響棒で構成される異方性響棒あり響板モデルの解析を行う。

(1) 解析モデルの作成と解析

ANSYSで次に示す解析モデルを作成し、解析を行う。解析は、等方性響板と同様の方法で行った。ただし、異方性響棒なし響板モデルの解析はモーダル解析のみ行う。

異方性響棒なし響板モデル

形状 7×1420×1180 (mm)
 要素タイプ 板 SHELL93 (8節点シェル)
 要素数 SHELL93 2991
 節点数 9208
 材料特性[1] 板 直交異方性材料
 ヤング率 $X=9.1 \times 10^6$ (kg/mm・S²)
 ヤング率 $Y=1.35 \times 10^5$ (kg/mm・S²)
 ポアソン比=0.35
 密度 $=4.19 \times 10^{-7}$ (kg/mm³)

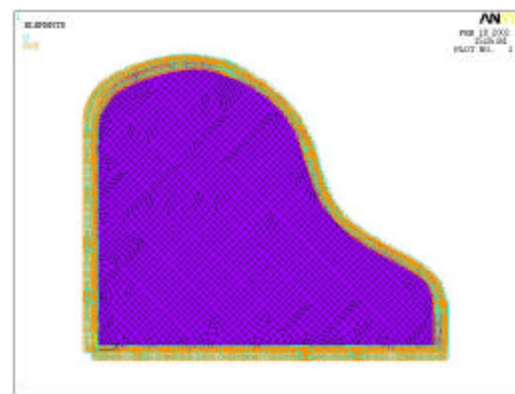


図4 異方性響棒なし響板解析モデル

異方性響棒あり響板モデル

形状 7×1420×1180 (mm)
 要素タイプ 板 SHELL93 (8節点シェル)
 響棒 SOLID95 (20節点ソリッド)
 要素数 SHELL93 2993
 SOLID95 2396
 節点数 24366
 材料特性[1] 板 直交異方性材料
 ヤング率 $X=9.1 \times 10^6$ (kg/mm・S²)
 ヤング率 $Y=1.35 \times 10^5$ (kg/mm・S²)
 ポアソン比=0.35
 密度 $=4.19 \times 10^{-7}$ (kg/mm³)
 響棒 等方性材料
 ヤング率 $=9.1 \times 10^6$ (kg/mm・S²)
 ポアソン比=0.35
 密度 $=4.19 \times 10^{-7}$ (kg/mm³)

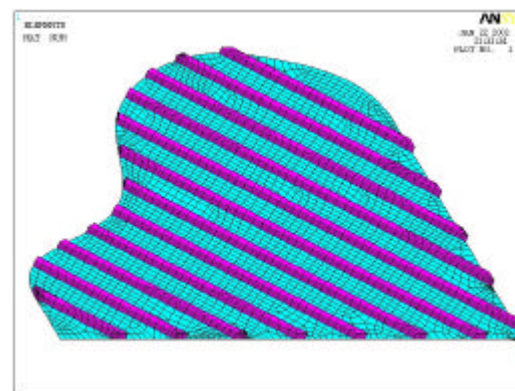


図5 異方性響棒あり響板解析モデル

(2) 解析結果

異方性響棒なし響板のモーダル解析の結果、図6に示すモードパターンが得られた。このモードパターンより木目方向に振動が伝わりやすいという影響がよく出ていることがわかる。また、固有周波数が等方性響板に比べ低くなっていることがわかる。

異方性響棒あり響板のモーダル解析の結果、図7に示すモードパターンが得られた。等方性響板に比べ、より実際の響板に近い形状になっているものの、そのモード

パターンは実際のもの[1]と少し異なる結果になった。モードパターンを見ると、響棒を加えることで、等方性響板に近い響板になっていることがわかり、高周波数域では、響棒を付けたことで響棒の向きに振動が伝わりやすくなるという影響が出ていることがわかる。また、固有周波数が異方性響棒なし響板、等方性響板に比べ高くなっている。

異方性響棒あり響板のC4駒位置でのイナータンスを、図8に示す。響棒により等方性に近づけていることから、等方性響板とくらべても大きな差はなく、減衰定数が小さいことから高周波数域でも激しく変化している。

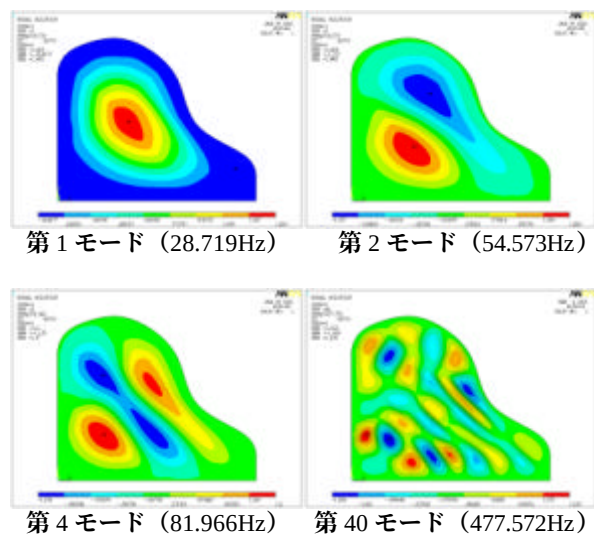


図6 異方性響棒なし響板モーダル解析結果

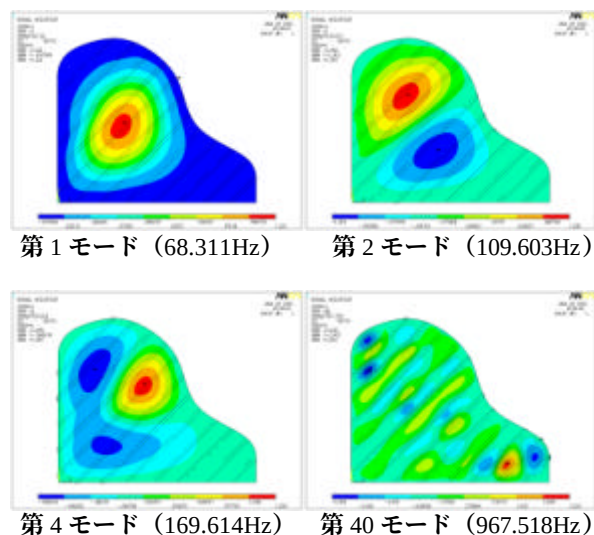


図7 異方性響棒あり響板モーダル解析結果

4. 等方性響板と音響空間の解析

ANSYSの音響解析の機能を使い、等方性の響板と音響空間の解析を行い、板振動が空気中にどのように伝わるか調べる。

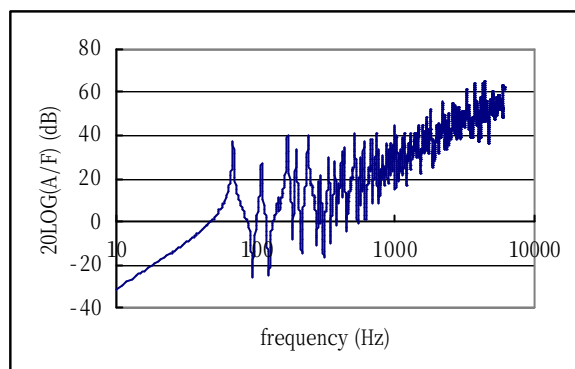


図8 異方性響棒あり響板のC4駒位置でのイナータンス

(1) 解析モデルの作成と解析

ANSYSで次に示す解析モデルを作成し、解析を行う。解析では、モデルの外周を完全固定し、フル法による周波数応答解析を行う。周波数応答解析では、0.1778kgfの力で、C4の駒位置を面に対して垂直方向に加振する。また、減衰係数として0.003の一定減衰を指定した。

形状	響板	7×1420×1180 (mm)
	空間	半径600mmの円
要素タイプ	響板	SHELL63 (4節点シェル)
	空間	FLUID29 (4節点2次元音響流体要素) FLUID129 (2次元無限境界音響要素)
要素数	SHELL63	504
	FLUID29	486
	FLUID129	204
節点数		1193
材料特性[1]	響板	等方性材料 ヤング率=9.1×10 ⁶ (kg/mm・S ²) ポアソン比=0.35 密度=4.19×10 ⁻⁷ (kg/mm ³)
	空間	密度=1.2×10 ⁻⁹ (kg/mm ³) 音速=340000 (mm/S)

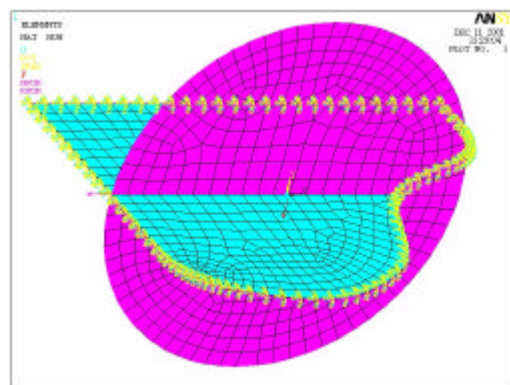


図9 等方性響板と音響空間解析モデル

(2) 解析結果

C4駒位置から455mm上の空間でのイナータンスを図10に示す。等方性響板のC4駒位置とくらべ、値が非常に小さくなった。また、細かな変化が見られるようになった。

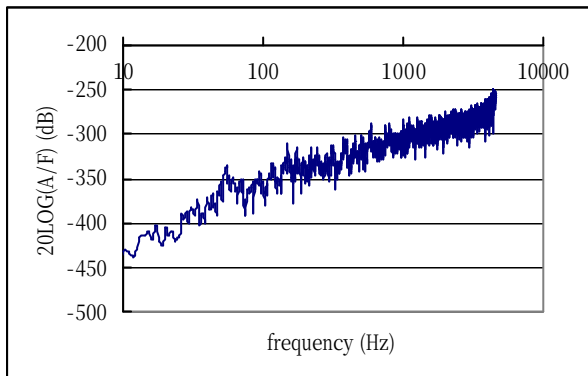


図 10 C4 駒位置から 455mm 上の空間でのイナータンス

5. 考察と今後の課題

等方性響板及び異方性響板の解析を行った結果、より実際の響板の形状に近い異方性響棒あり響板にくらべ、等方性響板が実際の響板に近い性質を示した。この原因としては、異方性響棒あり響板モデル形状の作成において、その困難さから実際より大きく形状も異なる響棒を付けたために、響棒の影響が大きく出すぎたためと考えられる。また、異方性響棒あり響板の基本周波数が高くなったことも、大きな響棒を付けたために、響板全体としては硬い板になったためであると考えられる。異方性響棒あり響板のモードパターンが実際の響板と異なる結果になった原因としては、モデル形状の複雑さから要素分割が複雑なものになった結果、材料特性等のパラメータが正しく適応されていない部分が存在する可能性も考えられる。音響空間との連成解析では、イナータンス値が非常に小さくなる結果になった。これは、2次元の音響空間を使用しており、響板と音響空間の接点が線になることから、響板全体の振動ではなく一部の振動しか音響空間に伝わっていないからだと考えられる。

今回、ピアノ響板の解析をANSYSのみで行った。ANSYS[2]は、モデルの作成を行うプリプロセッサ、解析を行うソルバ、結果を検証するためのポストプロセッサ

が1つのソフトウェアで提供されているため、モデルの作成から結果の検証までを共通の操作性の環境で行うことができるという利点がある。しかし、ANSYSの主要部分でないプリプロセッサやポストプロセッサでは不便さを感じることもある。特にプリプロセッサでは、モデル形状作成においてコピー&ペーストやオブジェクトの回転等、GUIにおける直感的な操作ができないことに不便さを感じた。また、要素分割では、複雑な形状を持つモデルでは、自動分割ができない場合があり、この場合細かい指定をして要素分割を行うことができるが、解析が正常に行えないことがあることから、難しい操作が要求されることがある。この点は、ANSYSが他のCADツールやCAEツールとの連携が可能となっていることから、他のCADツールやCAEツールを使用することで改善されるが、同じ操作環境で解析を行うことができなくなることや連携時の手間を考えると、ANSYSのプリプロセッサで行えることが望まれる。

また、ANSYSは、さまざまなソルバを備え、あらゆる解析に対応でき、高速に解析を行えるようになっているが、連成解析など複雑な解析になると、使用できるソルバの機能に制限をうけることがあり、大量のリソースを必要とすることや、解析に大きな時間がかかることもある。GUIを使わずに、制御言語を使い解析を行うことで、リソースの消費を抑さえ高速に解析を行うことも可能であるが、経験の浅い者でも複雑な解析を行えるよう、GUIによる簡単な操作環境での改善が望まれる。

一方、ピアノ響板解析の今後の課題としては、より実際の響板に近いモデル形状を作成するなど、モデルの精度を上げて解析を行うことが挙げられる。

参考文献

- 1) Harold A. Conklin, Jr. : Design and tone in the mechanoacoustic piano. Part II. Piano structure, J. Acoust. Soc. Am., 100(2), pp695-708, 1992
- 2) CAD/CAE研究会編：ANSYS工学解析入門，理工学社，2001