

Title	多軸自在継手を用いた可変構造の形態解析および一般逆行列に基づく流体解析
Author(s)	横須賀, 洋平
Citation	
Issue Date	2013-06
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/11444
Rights	
Description	Supervisor:松澤 照男, 情報科学研究科, 博士

氏名	横須賀 洋平		
学位の種類	博士(情報科学)		
学位記番号	博情第277号		
学位授与年月日	平成25年6月24日		
論文題目	多軸自在継手を用いた可変構造の形態解析および一般逆行列に基づく流体解析		
論文審査委員	主査	松澤 照男	北陸先端科学技術大学院大学 教授
		浅野 哲夫	同 教授
		井口 寧	同 教授
		前園 涼	同 准教授
		本間 俊雄	鹿児島大学 教授

論文の内容の要旨

工学問題に対し、連立一次方程式を解くことは基本といえる。このような連立一次方程式を解く場面において、未知数と方程式の数が一致し、逆行列を定義できることが正確な解を求める為のひとつの必要条件となっている。これを平衡決定問題と呼ぶ。

一方で、物理現象における偏微分方程式を離散化する手法によっては、必ずしも平衡決定問題とはならず、未知数に対し方程式の数が不足している劣決定問題、あるいは未知数に対し方程式が上回る優決定問題といった工学問題も存在する。これらの問題に対して有用といえる、一意性をもつ一般逆行列であるムーア・ペンローズ一般逆行列を用いて解く手法が存在する。

ムーア・ペンローズ一般逆行列は方程式の形によらず、最適解、時には唯一解を提供できる汎用性の高い逆行列の性質を持っている。これらの性質は、精度や計算負荷が許容される限り、物理現象に限定されず連立一次方程式を解く工学問題において、広く受け入れられる可能性を持つ。方程式の形に縛られない利点は、構造一流体連成問題において、活用できる可能性は十分にある。

本研究では、対象とする物理現象を構造と流体の場合、それぞれにおいてムーア・ペンローズ一般逆行列を用いた数値解析手法の有用性を示す。

ひとつは可変構造を対象とし、変位を未知数とする変位法を主体とした境界条件が不足する劣決定問題として可変構造を解析モデル化し、形態解析手法を提案していく。まずは、可変構造の形態解析において、従来技術では解決できない節点オフセット問題を解消した多軸自在継手を考案し、その挙動を示すことで、解析モデルが、節点オフセットを考慮しない理想的なトラスモデルで作成される根拠を示す。次に、既往の研究によると不安定構造の安定化移行解析に用いられた手法を基に、多軸自在継手を有する可変構造の形態解析手法を提案する。ここでは、一次元要素に用いられた無歪や伸びなしの剛体変位を求める解析に対し、本論文では、物質定義を明らかとし拡張することで、二次元要素を用いた面積一定の条件や全長一定の条件を与えた多彩な可変構造の挙動を数値解析により示す。提案手法の妥当性は、解析解が得られている懸垂曲線を基に検証を行う。

もうひとつは流体を対象とし、非圧縮性流体の非定常粘性流れの流体解析にムーア・ペンローズ一般逆行列を用いた手法を提案する。流体解析では、従来は分離解法を用いて、適当な境界条件を課し、圧力を変数とした平衡決定問題となる連立一次方程式に帰着させ、計算負荷の大きな逆行列演算をせず、反復法等を用いて解を得る手法が一般的である。ただし、扱う問題によっては、無限遠といった境

界条件を与えたくない問題も存在する。このような問題において、一般逆行列理論が有用である可能性は十分ある。本論文では、非圧縮性流体の連続の式に着目し、流体要素の体積変化率がゼロといった条件から連続の式を満たす速度モード行列を求めて、Navier–Stokes 方程式を満たす手順を定式化する。SMAC 法による分離解法を参考として、定式化を行い、流体問題のベンチマーク問題として扱われる Cavity 流れの数値解析を実行し、提案手法を検証する。本来、Cavity 流れは平衡決定問題として解を得ることが可能であるが、本論文では、ムーア・ペンローズ一般逆行列の流体問題への適用可能性を検討するために連続の式を劣決定問題として離散化している。解の信頼性が高いといわれている Ghia らの結果と比較し、数値解の精度を検証する。

上記 2 つの問題を扱い、ムーア・ペンローズ一般逆行列を用いた構造と流体の連成問題を解く可能性を示唆したうえで、最後に準静的な連成問題として、膜構造と流体によるポンディング現象を想定した問題を定式化し、数値解析を行う。

これらの問題では、いずれも数値解析の結果から妥当性が判断できる。したがって、ムーア・ペンローズ一般逆行列を用いた数値解析手法は、これまで適用されてきた構造の問題に限らず、流体の問題でも有用であることが示された。ただし、非圧縮性流体の非定常粘性流れでは、一般逆行列を演算するための計算負荷の大きさから従来手法に代替できる手法と述べることは困難であるが、今後、可変構造と風の連成問題といった連成問題で活用できる可能性があることは十分示された。

論文審査の結果の要旨

可変構造は、機械、宇宙、建築、ロボットなどの分野で注目され、展開構造、適応構造物、知的構造物などと言われ、さらには収納・展開可能な構造や宇宙空間での構造制御も含まれ応用範囲が拡大しつつある。可変構造を構成するための自在継手には加わる力によりいくつかの回転軸が存在し、従来の自在継手は回転中心が一致しない節点オフセットの問題が生じる。そこで、多軸自在継手の提案を行い、挙動を示すことにより節点オフセットが生じることなく形態解析が可能であることを示した。提案された多軸自在継手は、このような優れた特徴をもつ自在継手であり、建築や機械の構造だけではなく、宇宙やロボットなどへの応用が期待される。

続いて、方程式と未知数の数が一致しない連立方程式の解法の一つであるムーア・ペンローズ一般逆行列を、多軸自在継手で構成される可変構造の形態解析に適用した。特に、不安定構造の安定化移行解析に用いられる手法をもとに、一次元要素で無歪や伸びなしの剛体変位を求める解析を二次元要素の面積一定や全長一定の条件に拡張を行い、可変構造の多彩な挙動を明らかにした。特に、懸垂曲線に基づき提案手法が妥当であることを示した。さらに膜構造を用いて曲面構造の最適構造も得られた。以上より、構造物に適用されていたムーア・ペンローズ一般逆行列を可変構造へ拡張し、また応用が可能であることを示した本手法は、今後、構造解析の様々な分野で応用されることが期待される。

さらに、非圧縮流体の粘性流れにムーア・ペンローズ一般逆行列の拡張を行った。非圧縮粘性流れで多用されている SMAC 法(分離解法)を参考に、連続の式で流体要素の体積変化率がゼロの条件から速度モード行列を求め、これらを Navier–Stokes 方程式に適用している。提案手法を Cavity 流れに適用し、分割を多くすれば精度が良くなり、またレイノルズ数を大きくすると誤差が大きくなるなど、

従来から提案されている手法と比べても遜色がないことを示した。さらに、境界条件の1つを未定として、方程式の数が未知数よりも少ない劣決定問題として、Cavity 流れと求めると、誤差は多少大きくなるものの、

工学的な問題では実用上十分応用が可能であることを示した。

最後に、可変構造および流体解析に開発したムーア・ペンローズ一般逆行列を用いて、構造と流体の連成解析へ適応可能性を示すために、膜構造と流体によるポンディング現象を想定した解析を行い、準静的ではあるが、連成解析が可能であることを示した。

以上より、本論文は可変構造を構成する自在継手の提案を行い、自在継手による可変構造および非圧縮粘性流れへのムーア・ペンローズ一般逆行列の拡張を行い、さらに構造と流体の連成解析への拡張の可能性を示したことは、学術的に貢献することが大きい。よって博士(情報科学)の学位論文として十分価値あるものと認めた。