

## CFD 入門(5)－風上差分－

## Introduction to CFD(5)－Upwind Differencing－

児玉良明

平成8年11月

日本造船学会誌第809号（平成8年11月号）

CFD(Computational Fluid Dynamics、計算流体力学)は、流体運動の支配方程式であるナビエ・ストークス（略称、NS）方程式を数値的に解くことによって、流体運動を計算機上でシミュレーションする手法である。CFDは数10万～数100万の連立方程式を解く大規模計算であり、近年の計算機の発達により初めて工学的実用性をもつに至った。

本文は、船まわりの流れを主な計算対象としたCFDについて初歩から説明した連載の第5回目であり、流体運動の支配方程式であるNS方程式の中で、流れを表す移流項の離散化式として最もよく用いられている風上差分について説明した。移流項の離散化は、高精度であると同時に数値安定性に優れた使いやすいものでなければならないという、相反する2つの要請を満たす必要があるが、高次精度の風上差分式はそれらの条件を満たすことを示した。

移流項の係数が外に出ている非保存形で、従属変数がただ1つのスカラー量の場合には、係数の正負に応じて差分式を使い分けることによって風上差分式を構成できる。そして、内挿または外挿の精度を上げることによって1次精度から3次精度までの風上差分式を容易に作ることができる。同じく非保存形で従属変数が複数あるベクトル量の場合には、移流項の係数行列の固有値の正負に応じて式を使い分けることによって風上差分式を構成することができる。

CFD計算に用いられるNS方程式は、移流項に係数がない保存形をしていることが殆どである。この場合には、微分の内側でフラックスの差をとり、その係数の正負を用いて風上差分を構成する。保存形で且つベクトル量の場合には、微分の内側でフラックスの差を基にヤコビアン行列を作り、その固有値の正負に応じて風上差分を使い分ければよい。

## Nonlinear Roll Motion of a Ship with Water-on-Deck in Regular Waves

甲板上に滞留水がある場合の非線形横揺れ運動

村重 淳、合原一幸、山田泰司

平成8年11月

## Proceedings of Second Workshop on Stability and Operational Safety of Ships

波浪中で船内に自由水がある場合の船体運動は、非常に複雑で未解決の問題である。本研究では、Ro-Ro客船の車両甲板上に滞留水がある場合の波浪中の横揺れ運動を、実験とモデル方程式により検討した。車両甲板上は区画されていないので、そこに溜まった水は広いスペースを自由に動き回ることができる。したがって、その動的影響は無視できないと考えられる。

実験では、Ro-Ro客船模型の車両甲板上に水を入れ、横波（規則波）中の船体運動を計測した。その結果、同じ条件の波浪中でも、複数の横揺れ運動のモードが存在すること、すなわち、非線形横揺れ運動がみられることがわかった。その際、わずかな外乱を与えることにより、横揺れ角が4～5倍になる場合があった。したがって、この非線形運動は転覆等につながる可能性のある重要な現象である。

次に、船体の横揺れと甲板上の水の連成運動に注目したモデル方程式を導いた。モデル方程式を数値計算することにより、実験結果と同様な非線形解が得られた。したがって、この非線形横揺れ現象の原因は、甲板上の自由水の動的影響である。特に、船体と自由水の非線形連成と、大振幅に伴う復原力の非線形性が重要な役割を果たしている。

今後は、上記のような非線形横揺れが起きた場合、その複数の横揺れ運動の中で最も安全で安定なモードに制御する方法を開発したいと考えている。