

重錘の慣性力を考慮した膜・流体連成モデルの開発にむけて

日本大学大学院工学研究科土木工学専攻 学生会員 ○吉永 拳
日本大学工学部土木工学科 正会員 金山 進

1. はじめに

海上工事などにおいては、濁りや油の拡散を防ぐ目的で汚濁防止膜やオイルフェンスなどの膜体が用いられ、上端をフローターで固定し、下端に重錘をとりつけて懸垂させる形で用いられることが多い。したがって、膜体は流れや波によって変形・揺動するため、剛な鉛直壁として扱うことは正確さを欠き、汚濁防止効果を過大評価してしまうことがある。

しかしながら、施工機械の動作や波によって生じる非定常な条件に対する実用的な評価式は存在せず、これらの現象を取り扱うには膜体と水の動きを両者の干渉を考慮しつつ取り扱える手法が必要となる。このような手法の一つとして膜・流体連成モデルが挙げられる。ただし、この手法にはいくつかの課題が残されており、その中でも重要なものとして重錘の慣性力を考慮していない点が挙げられる。膜体自身については重量そのものが無視できるため、これに作用する慣性力を考慮しないことは問題とはならないが、下端部の重錘はその重量によって膜を緊張させる役割を担っているため、重錘の慣性力を考慮していないことは非定常な流動場の下では精度を損なうことが懸念される。

こういった背景の下、本研究は重錘の慣性力を考慮した流体・膜体連成モデルを提案することを目的とする。重錘の運動履歴から算定される加速度に重錘の重量を乗じて得られる慣性力をモデル中の力の釣り合いに組み込むことによって重錘の慣性力を考慮した膜・流体連成モデルが構築されるが、今回はその第一段階として重力以外の質量力を重錘に作用させた場合の試行計算を行う。

2. 膜・流体連成モデルの概要と今回の改良点

鉛直 2 次元の流体・膜体連成モデルの概要とともに今回の改良点を示す。鉛直 2 次元モデルでは紙面直角方向に一樣な現象を仮定しているため膜は線で表され、以下において現れる力や速度などは全て膜の単位幅あたりの値である。

図-1 のように膜体を複数のトレーサーの等間隔の連鎖体によって膜体を表現し、一つのトレーサーの両側にトレーサー間隔の半分の長さの線分を有する”く”の字型を一つの要素とする。流体と膜の間のせん断応力と膜体自身の重量を無視しているため膜に作用する力張力 T は膜全体で同一の値となる。膜が鉛直一直線の懸垂状態から変形すると膜から流体に対して図-2 のような力が発生する。この力を流体運動の計算に反映させることによって膜・流体の連成における膜から流体への作用を評価することができる。

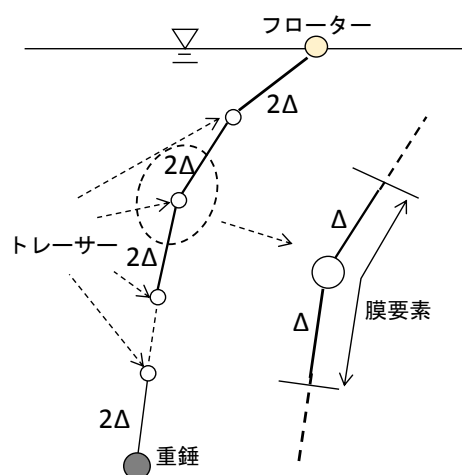


図-1 トレーサー連鎖体による膜のモデル化

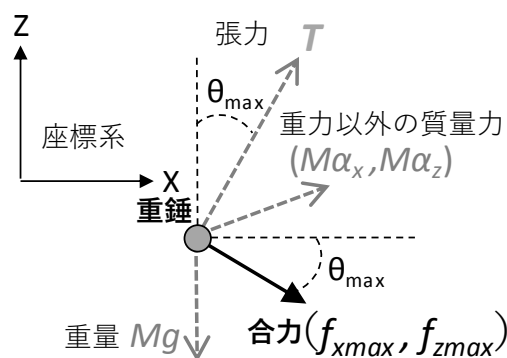


図-2 膜から流体への作用力

キーワード：海上工事、汚濁防止膜、膜体・流体連成モデル

連絡先：〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1, kanayama.susumu@nihon-u.ac.jp

ここで、 θ_i および θ_{i+1} は、それぞれ i 番目の要素と $i+1$ 番目の要素の上半分の線分の傾きを鉛直に対して右回りにとった角度である。モデル中ではこの力を分布荷重として膜要素内に一様に配分し、流体計算の格子内での存在率に応じて流体計算に反映させる。

張力 T は図-3 に示す膜先端部における力の釣り合いによって、重錘を含む $\max$ 番目、すなわち最先端の要素に働く膜直角方向応力とともに決定される。現行のモデルにおいては図-3 の重力以外の質量力は考慮されておらず、これを反映させることが本検討の目的である。ここで、 M は重錘の単位幅あたり質量、 g は重力

加速度、 α_x および α_z は、それぞれ水平方向、鉛直方向の加速度である。これらの力を反映させた流速場の下で流体計算を行うことによって膜から流体への干渉を反映させた流速場が得られる。

トレーサーは流体計算の 1 ステップの間、元の位置での流速によって移流される。ここで、連鎖体の線上でトレーサーを等間隔に再配置するとともに連鎖体の全長を維持するために先端部の調整を行う。このようにして新ステップにおける連鎖体の形状が決定する。膜から流体への干渉を反映させた流速場によってトレーサーを移動させて新たなステップにおける膜体の形状を形成することによって流体から膜体への干渉が反映される。以上の操作を繰り返すことによって膜・流体の連成モデルが成立する。

3. 重錘に質量力を作用させた試計算

本研究の目的である錘の慣性力を考慮した膜・流体連成モデルが構築されるが、本検討ではその予備段階として①定常的な加速度を重錘に作用させる試計算と②一定周期で時間変動する加速度を作用させる試計算を行った。定常的な加速度を重錘に作用させる例として、水平方向に重力加速度 g の 20% の大きさの加速度を作用させる試計算を行った。重錘の重量は kg/m 、膜長 9.6m（トレーサー間隔 $0.2\text{m} \times 48$ 要素）、水深 15m の条件を設定した。計算結果を図-4 に示す。直線状となった膜の傾きは 1 : 5 となっているが、作用させた水平方向加速度と重力加速度の比に一致しており、今回のアルゴリズム改訂が妥当に行われていることを裏付けるものといえる。

4. おわりに

海上工事における汚濁防止膜などの膜体の挙動を流体運動とともに解析することができる流体・膜体連成モデルを対象に、その課題の一つである重錘の慣性力の考慮に取り組むことを目的とした研究の予備段階として重力以外の質量力を重錘に作用させた場合の試行計算を行い矛盾のない結果を得た。この質量力として重錘の加速度を用いれば、本研究の目的である錘の慣性力を考慮した膜・流体連成モデルが構築される。

参考文献

金山 進・安野 浩一郎・琴浦 毅：流れとの干渉を考慮した膜体の挙動の簡易計算法，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 67，No. 2，pp.I-82～I-87，2011

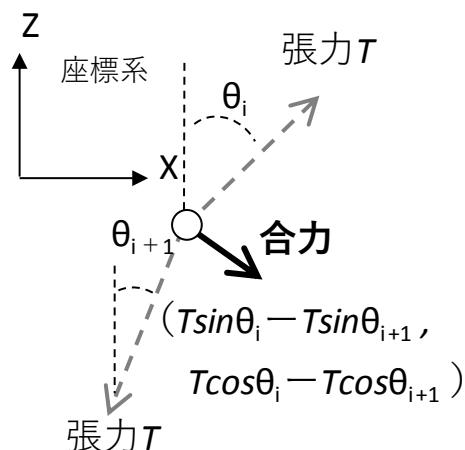


図-3 膜下端部での力の釣り合い

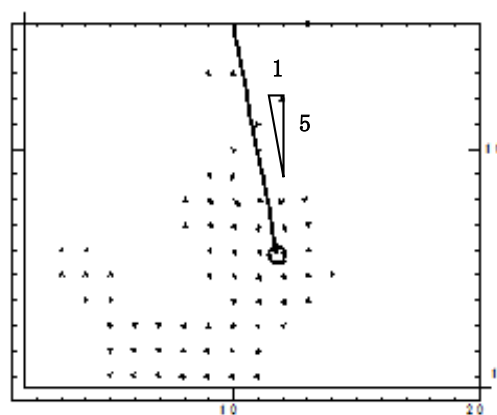


図-4 定常加速度による試計算結果