

I - B17

風による吊膜の静的大変形の2次元数値解析

東京大学大学院工学系研究科	学生員	中藤 誠二
東京大学大学院工学系研究科	正会員	木村 吉郎
日本大学理工学部	正会員	野村 卓史
東京大学大学院工学系研究科	フェロー	藤野 陽三

1. はじめに

大スパンの吊膜屋根は、極めてフレキシブルな構造であり、風圧によって膜が大きく変形するとともに作用する風圧も変化する複雑な現象を示す。そこで、現象の詳細を数値解析を用いて明らかにすることを旨とし、本研究ではその第一段階として、膜の大変形挙動の解析、および空気力が作用した場合の静的対風挙動の解析を行った。なお、問題を単純化するため、主流方向面内における2次元解析を行うこととした。

2. 2次元膜の解析

膜は、既往の風洞実験¹⁾に用いられた厚さ0.027cm、密度0.9259g/cm³、ヤング率 2.0×10^{10} (g cm/s²/cm)のナイロン地で主流方向スパン65cmのものを、ピン結合されたトラス要素(要素数30)で離散化して定式化した。幾何学的非線形の影響が大きいので、構成則には回転による膜軸方向変位の2次項まで考慮したものを用いた。なおトラス要素を用いたのは、数値流体解析と連成させたときに境界条件の設定が容易になるためである。

まず空気力が作用しないものとし、膜の大変形挙動が再現できるかどうか検討した。先端に重りをつけた2次元膜の一端固定自由落下について、動的解析を行った結果、張力抜けが生じるような場合においても動的挙動を再現できることが確認された(図1)。時間刻みは 1.0×10^{-5} sec、時間積分法には α 法($\alpha=0.05$)を用いている。

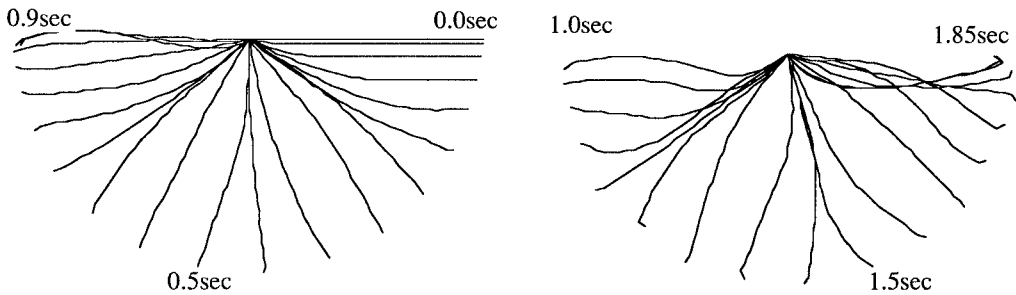


図1 2次元膜の一端固定自由落下

3. 静的連成解析 流体は非圧縮性、粘性流体とし、乱流モデルにはSmagorinskyモデルを用いて有限要素解析を行った。Smagorinsky定数は0.1を用いた。図2の境界条件と図3のメッシュ(圧力一定流速双線形四辺形要素、要素数4864)を用いた^{2) 3)}。静的連成解析の方法は次の通りである。まず、膜は変形しないとして流体解析を行い膜に作用する空気力を得る。次に、空気力を外力として膜に作用させて膜のみの静的解析(荷重増分法)を行い膜の変形形状を得る。膜の変形に合わせて流体のメッシュを更新して、次のステップの流体解析を行う。この反復計算には不足緩和法を用いた(緩和係数 $\alpha=0.5$)。流体解析は目的とする風速に風速0m/sから徐々に近付けることとし、時間積分法としてPredictor-Corrector法を用いた。

2次元膜の静的対風挙動の解析結果を示す。膜は両端固定とし初期形状はサグ比0.0838の懸垂状態とし、風速は6m/sとした。解析の結果、圧力にチェッカーボードモードが見られたが、それが時間とともに振動して計算が発散するようなことはなかった。2次元懸垂膜の周りの圧力分布は、風上側は凸側が正圧、凹側は負圧となり、風下側は凸側が負圧、凹側は正圧となった(図4;ただし圧力は作図時に平滑化している)。膜に作用する空気力は、圧

キーワード：吊膜屋根, 大変形挙動, 数値流体解析, 静的対風応答
連絡先 〒113 東京都文京区本郷7-3-1 03-3812-2111 (内線6099)

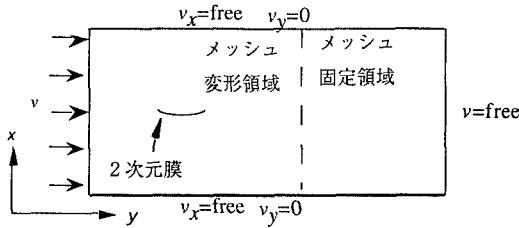


図2 境界条件

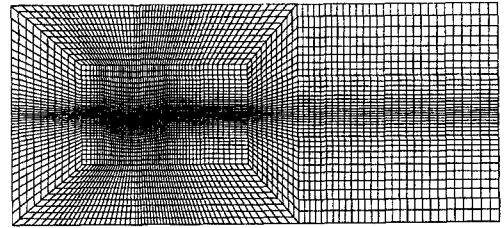


図3 使用メッシュ

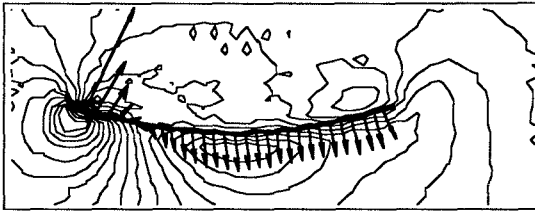


図4 圧力分布・空気力分布（風速6m/s）1ステップ

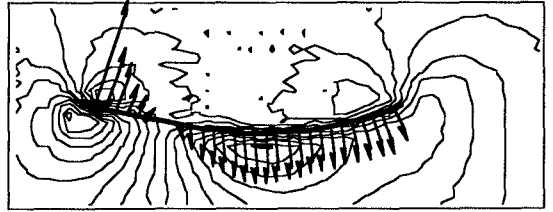


図5 圧力分布・空気力分布（風速6m/s）10ステップ

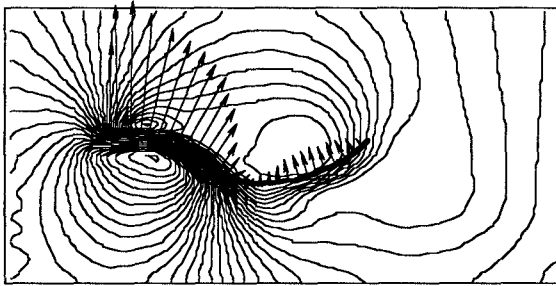


図6 圧力分布・空気力分布（風速5m/s）2ステップ

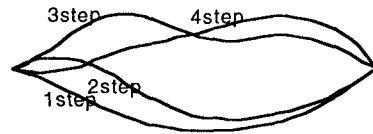


図7 2次元膜の変形（風速5m/s）

*風上は全て図の左側

力項，対流項，粘性項，時間微分項からなるが，支配的である圧力項に生じるチェッカーボードモードの影響を除くため移動平均を取ることとした．その結果得られた空気力は図4のようになった．懸垂状態の膜が，空気力を受けて変形することで，作用する空気力も多少変化するが，10ステップ目ではほぼ収束した．10ステップ目の圧力分布，空気力分布を示す（図5）．2本の並列ケーブルで吊るされた膜を対象とした既往の風洞実験では，風速4m/s前後で膜が反転したが，本解析では風速6m/sでも反転しなかった．理由としては，本解析では2次元膜の両端を固定したために，実験でみられた膜が反転する前に膜全体が頭上げ方向に回転する現象が再現されていないこと，3次元性が考慮されていないことがあげられる．

次に，サグを大きくして（サグ比0.164）同様の解析を行った．膜の単位長さあたりの質量は0.014g/cmとした．風速5 m/sにおける解析の結果，上に凸に反転した膜の状態が得られた（図6，7）．これは，奥田ら⁴⁾の実験で確認された，上に凸の膜の状態が安定して存在する風速域に対応している．

4. おわりに 膜の変形と膜に作用する空気力が連成した静的対風応答を解析を行い，膜の対風大変形挙動を再現することができた．今後は，膜の両端をバネ支持にした解析などを試みていく予定である．

参考文献 1) 木村吉郎他：ダム施工時の防雨用吊膜屋根の対風挙動，構造工学論文集Vol.42A(1996) 2) 太田匡司，木村吉郎，野村卓史，藤野陽三：膜屋根の対風挙動の数値流体解析，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集第1部(A)，（平成8年9月），pp328-329 3) 野村卓史：ALE有限要素法による流れ・構造連成解析への予測子・修正子法の適用と計算過程に関する技法，土木学会論文集，第455号(1992)，pp55-63 4) 奥田泰雄，南宏和，川村純夫，中井重行：風洞気流中に懸垂した膜の挙動，日本風工学会誌，第63号(1995)，pp189-190