

数値流体解析による突風風洞内の流況に関する検討

徳島大学大学院 学生会員 末廣 聖志 徳島大学 正会員 野田 稔
徳島大学 フェロー 長尾 文明

1. はじめに

近年、突風による建造物の被害が頻繁に起こっており、時には人命や建造物に甚大な被害を及ぼすこともある。被害の原因として、現在の耐風設計が突風による効果を十分に考慮していないと考えられる。従って、耐風設計において突風の効果を把握しなければならず、その検討には、現実に近い突風を再現できる風洞が必要である。本研究では、徳島大学に導入された突風風洞内の流況を数値流体解析を用いて再現することを試みた。

2. 解析概要

(1) 突風風洞：ここでは全長 19.58m で、測定胴の途中が 0.5m, 1.0m, 0.5m の幅に分割された風路を再現する。突風は中央で分割された幅 1.0m の風路内で再現するようになっており、その方法は、初めに図-1 に示すように幅 0.5m の側方風路の出口は開き、幅 1.0m の中央風路の出口を閉じた状態で、風を流入させ、次に図-2 に示すように側方風路の出口を閉じ、中央風路の出口を瞬間的に開放することにより、突風を再現する。また中央風路の入り口付近で流れが剥離し後流が乱れることを抑えるために半径 0.125m のベルマウスを付加している。さらに図-3 に示すように、解析では拡散胴、整流胴内の整流ネットの存在を考慮した。

(2) 解析メッシュ：解析には OpenFOAM を使い、風路切替型突風風洞の解析メッシュの作成は blockMesh というユーティリティを用いた。図-3 に示すように風上方向から見て、突風風洞は左右対称のため、斜線部の半断面を解析対象とし、整流ネット等を再現するために、 x 方向に 10 分割、 y 方向に 2 分割する。その作成した 20 個のブロックのメッシュは図-4 のようになる。また壁となる部分には境界条件 wall を与え、突風風洞対称軸となる風洞中心線を symmetryPlane を与え、透過部分となる部分には上流側と下流側で対応する面同士を境界条件 cyclic で接続した。ベルマウスは OpenFOAM の標準ユーティリティの snappyHexMesh と extrudeMesh 用いて再現した。また風が整流ネット、風路切替シャッター部分を通る状態を再現するために、ネット境界 (PourousBafflePressure) を用い、通過する風速で決定される圧力損失を与えることで再現した¹⁾。そして、メッシュ間隔は整流ネットがある 4.38m までは分割数を各ブロックで xy 方向に 120×55 、それ以降では、各ブロックで xy 方向に 100×55 となるように設定している。



図-1 風路切替前

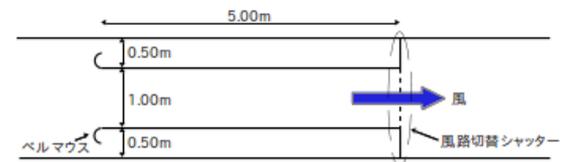


図-2 風路切替後

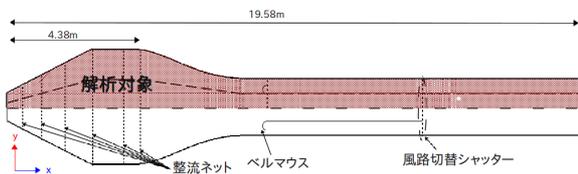


図-3 解析メッシュ

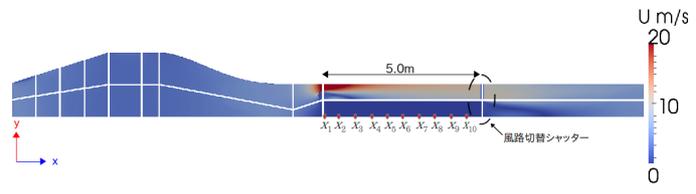


図-4 シャッター切替直前の風速分布 (圧縮性流体)

3. 解析結果

前述のメッシュを用い、非圧縮性流体、圧縮性流体での解析結果の比較を行った。流入風速は共に 5m/s とし、圧縮性流体では大気圧を 10^5 Pa とした。ソルバーは非圧縮性流体では pimpleFoam、圧縮性流体では rhoPimpleFoam を用いた。図-4 に、風路切替前の圧縮性流体での風速 U の分布を示すが、中央風路内では無風状態、側方風路内では有風状態になっ

キーワード 突風 数値流体解析 圧縮性
〒 770-8506 徳島県徳島市南常三島 2-1 徳島大学 TEL/FAX:088-656-7323

ている．図-4の状態から図-2のように中央風路の出口を開放し，側方風路の出口を閉鎖するため，境界条件を変更する．境界条件を変更後の非圧縮性流体，圧縮性流体の風速・圧力分布を図-5，図-6に示す．非圧縮性流体では中央風路内で一瞬で中央風路内全体の風速が上昇しているのに対して，圧縮性流体では中央風路内の風速はシャッター付近から上昇していることが分かる．次に中央風路内の流況を明確にするため，図-4に示す中央風路の入口の x_1 から0.5m間隔に配した10点においてそれぞれ求めた風速および圧力の時刻歴応答変化を図-7，図-8に示す．時刻はシャッターを開放した時刻を $t=0$ として，風速は流入風速 U_0 で除することで無次元化した値，圧力は $x_6=2.5\text{m}$ での圧力を基準圧0として $U^2/2$ (空気の密度 $\rho=1.2\text{kg/m}^3$)で無次元化した値である．図7，図-8に示す結果から非圧縮性流体では風速はシャッター開放した直後に風速が上昇し定常状態になっている．圧縮性流体は風速，圧力ともに過渡的な変化が確認できる．この変動は主に流出口からの反射波によるものと考えられる．また非圧縮性流体では x_1 から x_{10} の全ての点で，同時に風速が上昇しているのに対して，圧縮性流体では風速，圧力はシャッター付近の x_{10} から上流の x_1 に向かって，徐々に変動しており，その伝播速度はほぼ音速であることがわかる．これらのことから非圧縮性流体より空気の圧縮性を考慮した圧縮性流体の方が，現実に近い突風を再現できると考えられる．

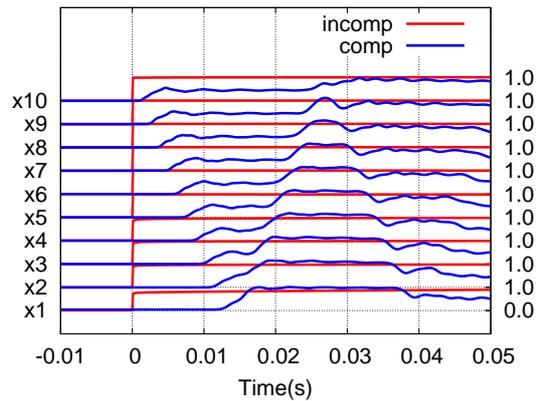
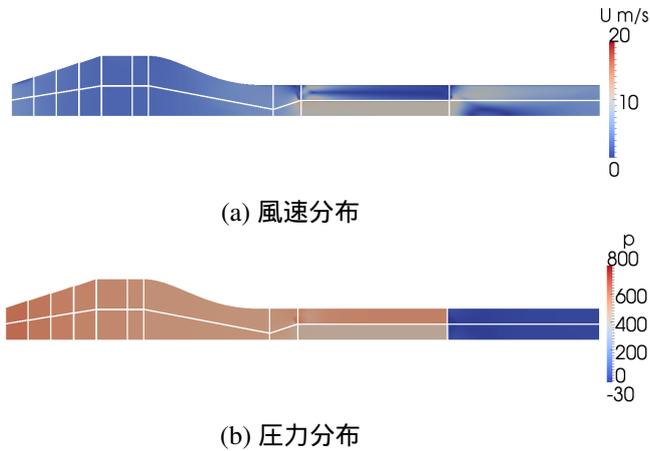


図-7 風路中心の各点における風速の時刻歴変化

図-5 非圧縮時のシャッター開放 0.05 後の瞬間流れ場

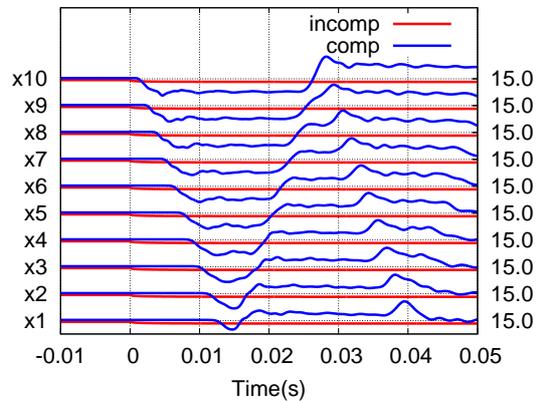
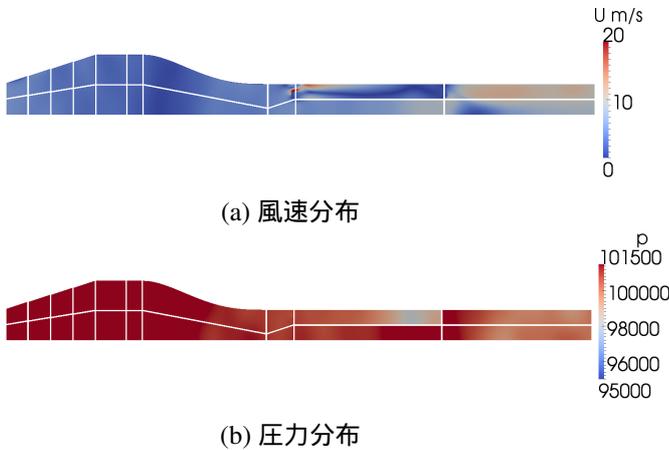


図-8 風路中心の各点における圧力の時刻歴変化

図-6 圧縮時のシャッター開放 0.05 後の瞬間流れ場

4. おわりに

今回の検討において，非圧縮性流体では風路切替シャッターを開放した瞬間に中央風路内の風速が一様に一瞬で風速は上昇し，定常状態になっているのに対して，圧縮性流体ではシャッター開放した瞬間に風速が一瞬では定常状態にならず，またシャッター付近から，上流に向かって順番に風速，圧力が変動している結果が得られた．数値流体解析を用いて突風風洞内の流況を再現する時に，空気の圧縮性を考慮することで，現実に近い流れ場の再現ができると考えられる．今後の展望として，圧縮性流体で生じる反射波の解決，実際の突風発生装置を用いた立ち上がり時間などの突風の基本特性の検討など，さらなる考察を深めていきたい．

参考文献

1) 野田ら「CFDにおける防風ネットの圧力損失係数決定法に関する研究」，第23回風工学シンポジウム論文集，pp445～450，2014.