

数値流体解析による突風発生装置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

突風とは、竜巻、ダウンバースト、ガストフロントといった突然吹き出す激しい風のことである。突風による被害はどこで起こるか予測できない上に、重大な被害をもたらすことがある。こういった突風被害の原因として構造物の老朽化などによる構造物の耐久力が低下していたことが原因の一つとして挙げられる。しかし比較的新しく設計された構造物でも被害が生じることがあり、突風に対して十分な設計がなされているか検討するべきである。そのため突風の特性を知り、突風によって生じる力が構造物にどのような影響を及ぼすかを検討する必要がある。突風を検討するには、より現実的に近い突風を再現する風洞が必要である。今回は徳島大学に導入された突風発生装置の風路内の流況を数値流体解析を用いて検討することを目的としている。

2. 解析概要: (1) 突風風洞: 初めに図-1 に示すように幅 0.5 m の風路の出口は開放し、幅 1m の風路の出口を塞いだ状態で風を風路内に流入させ、幅 1m の風路内に高圧の静止部分を作る。次に図-2 に示すように風を流入したまま、幅 0.5m の出口を塞ぎ、幅 1m の風路の出口を瞬間的に開放する。この方法により、幅 1m の風路内の静止していた気流が開放されることによって突風を再現している。本研究では長さ 5.0m の測定胴があり、幅を 0.5m, 1m, 0.5m に分割された風路を再現する。またベルマウスは幅 1.0m の風路の入り口付近での流れを剥離による後流の乱れを抑えるための半径 0.125m の突起物である。

(2) 解析メッシュ: 解析には OpenFOAM を用いた。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、測定胴は左右対称のため、斜線部の半断面を解析対象とする。そして、さらに x 方向に 3 分割、 y 方向に 2 分割する。その作成した 6 個のブロックのメッシュは図-4 のようになる。壁となる部分には境界条件 wall を与え、測定胴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 用いて作成した。また風が風路切替シャッター部分に通過する状態を再現するため、ネット境界 (PorousBafflePressure) 用い、通過した風に圧力損失を与え、再現した。¹⁾ またメッシュ間隔は xy 方向に 100×55 となるように設定している。

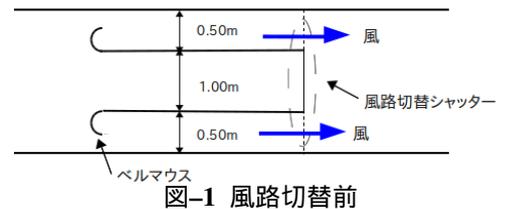


図-1 風路切替前

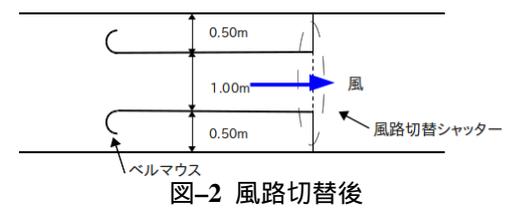


図-2 風路切替後

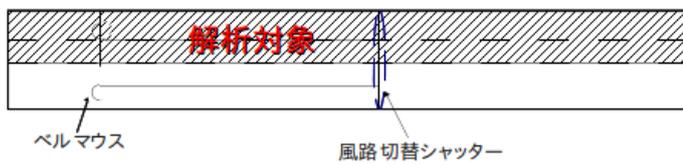


図-3 解析メッシュ

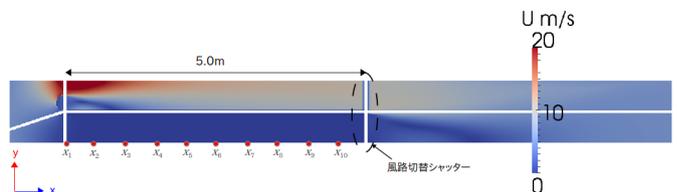


図-4 シャッター切替直前の風速分布

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を行う。非圧縮性流体ではソルバーは pimpleFoam、圧縮性流体では rhoPimpleFoam を用いた。流入風速 5m/s、圧縮性流体では解析空間全体に初期値として 100000Pa を与えた。結果を ParaView を用いて表示する。風路切替前の非圧縮時の風速 U の分布を図-4 に示すが、この時、突風発生風路内では無風状態、その他の風路内では、有風状態になっていることが分かる。図-4 に示す状態から風路切替シャッター部分の境界条件を変更することで、突風を発生させる。境界条件変更

後, シャッターを開放して 0.05 s の時刻の非圧縮性流体, 圧縮性流体の風速・圧力分布を図-5 ~ 図 8 に示す. 非圧縮性流体では 0.05 s で風速, 圧力は定常状態になっているのが分かる. また圧縮性流体では 0.05s の時点では風速, 圧力はまだ定常状態になっていない. 次に突風発生風路内の流況を明確にするため, 図-4 に示す測定胴入口の 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-9, 図-10 に示す. なお縦軸の風速・圧力は風速は流入風速 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 $=1.2\text{kg/m}^3$) で無次元化した値であり, また時刻はシャッターを開放した時刻を $t=0$ としている. 図 9, 図-10 に示す解析結果から非圧縮の風速は風路切替シャッターを開放した直後に一瞬で上昇している. 圧縮性流体では, 風速, 圧力が波動的になっており時間が経つと定常になる. 波動的に変化しているのは, 主に流出口からの反射波が風速, 圧力ともに解析結果に現れていると考えられる. また図-9, 図-10 に示す解析結果から, 風路切替シャッター開放時, 風速, 圧力はシャッター付近の点から変化している. これは, 突風風路内に集められた気流が風路切替シャッターを開放することにより, 圧縮性が考慮されているために風路切替シャッター付近から順に風速, 圧力が変動しているからだと考えられる. これらから, 空気の圧縮性を考慮した方が, より現実的な突風を風洞内の流況で再現できると考えられる.



図-5 非圧縮時のシャッター開放 0.05s 後の風速分布

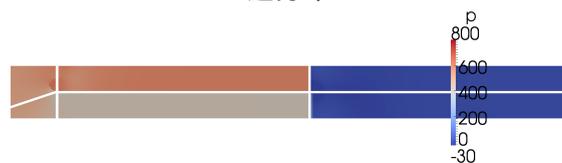


図-6 非圧縮時のシャッター開放 0.05s 後の圧力分布

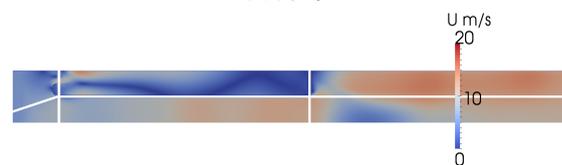


図-7 圧縮時のシャッター開放 0.05s 後の風速分布



図-8 圧縮時のシャッター開放 0.05s 後の圧力分布

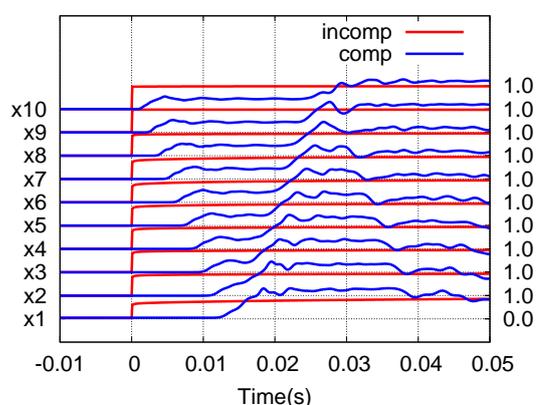


図-9 風速の時刻歴変化

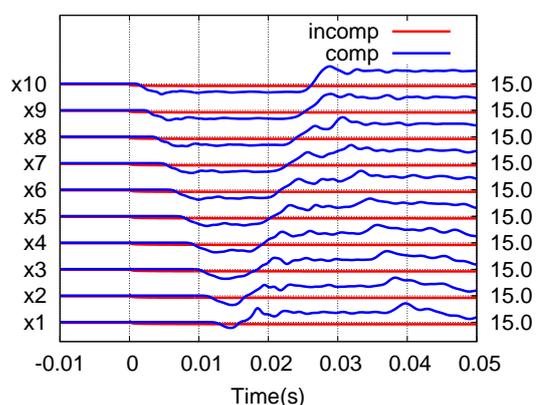


図-10 圧力の時刻歴変化

4. おわりに: 今回の研究より, 非圧縮性流体では風路切替シャッター開放直後に一瞬で風速が上昇するという結果が得られ, それに対し圧縮性流体では非圧縮性流体とは異なり, 一瞬で風速が上昇するという挙動はなく, 波動的になっており時間が経つと定常になるという結果が得られた. 数値流体解析を用いる上で突風風路内の流況は空気の圧縮性を考慮することにより, 実際に近い突風を風洞内の流況で再現, 検討することができる. 今後の展望として, 突風発生装置を用いて, 立ち上がり時間などの生成される突風の基本特性の検討を行い, 今回の結果を利用し比較を行うことで, さらなる考察を深める予定である.

参考文献

- 1) 野田稔, 「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, 2014.