

数値流体解析によるネットの防風効果に関する研究

徳島大学大学院 学生会員 赤木 高明 徳島大学 正会員 野田 稔
 徳島大学大学院 渡邊 吉元 徳島大学 フェロー 長尾 文明

1. はじめに

日本は風による被害が多く、年平均 11 個の台風が日本に接近、そのうち年平均 3 個の台風が上陸し、各地で猛威を振るっている。このような強風災害に対して、防風林や防風ネットなどの防風施設を設置し対策を図っている。中でも防風ネットは、設置の簡便さ、設置場所の自由度の高さなどの理由で利用地域が広がりつつある。そこで防風ネットの適切かつ低コストの耐風設計には、短期間での精度のよいネット周辺の風況の把握が重要である。

具体的な防風計画に必要な情報を得る手段として、現地観測・風洞実験・数値流体解析が考えられるが本研究では数値流体解析を用いる。精度よく防風ネット周辺の風況を再現することができれば、防風ネットの耐風設計に役立つと同時に、計量的議論を進めていく上で、意義があるといえる。

2. 解析概要

本研究で使用している数値流体解析プログラムは、複雑な物理モデルに対応し、複数の偏微分方程式で記述された工学的問題を解くことができる OpenFOAM である。

(1) 解析対象

平田¹⁾は高さ 15cm の模型を用い、風上側の基準風速を 7.4m/s として、1mm 目、2mm 目、3mm 目、4mm 目、6mm 目の各網目のネットで行った。本研究でも同様の条件を、OpenFOAM で再現し解析を行う。

解析領域としては、ネットの上流側はネット高の 20 倍の範囲とし、後流側では、ネット高の 100 倍の範囲とした。また高さはネット高さの 12 倍とした。

(2) パラメータの決定

ネットによる圧力損失を再現するために本論では、OpenFOAM の機能の一つである porousBafflePressure を用いる。これは流体が多孔質媒体を通過する際に発生する圧力損失を再現するもので、損失圧力を、流体粘度 μ 、流体速度 U 、流体密度 ρ 、多孔質媒体の流れ方向長さ L 、流体の粘性抵抗に対する係数 I 、摩擦損失係数 C_f で表したものである。本来奥行きのある多孔質媒体における圧力損失式であるため L が存在するが、本論では、防風ネットを厚み 0 として取り扱うので L は用いず圧力損失係数 C_p として $C_p = C_f$ とする。本論では、式 (1) を用いて、 I 、 C_p にネットの形状から得られたパラメータを代入し計算を行う。

$$\Delta p = -(I \cdot \mu \cdot U + 0.5 C_p \rho U^2) \quad (1)$$

内海ら²⁾は、電成ふるいを通過する圧力損失を、平面観察によって得られた網の特性に関わるパラメータにより再現した実験式である式 (2) を考案している。

$$\Delta p = \alpha \mu \frac{U}{D\varepsilon} + \beta \rho \left(\frac{U}{\varepsilon}\right)^2 \quad (2)$$

ε はネットの空隙率であり、式 (3) で表される。ここで D はネット純間隔 (m)、 d はネットを構成する糸の直径 (m)、 M はメッシュサイズ (m) である。

$$\varepsilon = \frac{D^2}{(D+d)^2} = \frac{D^2}{M^2} \quad (3)$$

内海らは実験から、 $\alpha = 24.5$ 、 $\beta = 0.70$ という値

を算出した。本論でもこの値を用いる。式 (2) を、式 (1) に対応した形に変形すると I 、 C_p は、それぞれ式 (4) となる。パラメータ I 、 C_p は、ネットの平面観察による情報のみで求めることが可能で、風洞実験や現地観測の結果を経ずに得ることができる。

$$I = \frac{\alpha}{D\varepsilon} = \frac{24.5}{D\varepsilon} = \frac{24.5}{M\varepsilon^{3/2}} \quad C_p = \frac{2\beta}{\varepsilon^2} = \frac{1.4}{\varepsilon^2} \quad (4)$$

またこれらのパラメータによる CFD の結果と、その他の防風ネットの CFD の結果を比較するため、牛山ら³⁾の、抗力係数 C_D と受風面積より求めた圧力損失係数 C_p を使った場合の CFD の結果との比較もおこなう。表 1 と表 2 は、平田のデータと牛山のデータより、それぞれ各網目毎に求めた C_p をまとめたものである。

表-1 平田による風洞実験の各種ネットのパラメータ

ネット網目	1mm	2mm	3mm	4mm	6mm
密閉率	64%	48%	37%	31%	25%
空隙率 ε	36%	52%	63%	69%	75%
I	113425.9	32668.6	16331.8	10686.4	6286.7
C_p	10.8025	5.1775	3.5273	2.9406	2.4889

表-2 牛山による風洞実験の各種ネットのパラメータ

ネット網目	1mm	2mm	4mm
空隙率	70.1%	57.1%	24.3%
充実率	29.9%	42.9%	75.7%
C_p	1.02	0.57	0.41

3. 解析結果

(1) 平田の実験データと解析結果の比較

図-1は、測定高 1/3H における水平風速比分布である。これを見ると CFD での結果は、どの網目でも風洞実験に比べて、大きく外れている。図-2は、各ネット毎に最小の風速比を読み取り、密閉率毎にプロットした図である。密閉率 (100% - ε) である。風洞実験と CFD のどちらにおいても密閉率が上がるに伴い、最低風速比が減少する傾向がある。また CFD の結果においては風速比が 0 を下回り逆流が発生している。これらの図から、本解析で使用した係数には問題があることがみてとれる。これらは、ネットの圧力損失係数 C_p が大きすぎることが原因と考えられる。特に、1mm 目 (密閉率 64%) における逆流は、 C_p が実物のネットのそれと比べ、大きかったため防風ネットが固体壁に近い挙動を示したものと思われる。

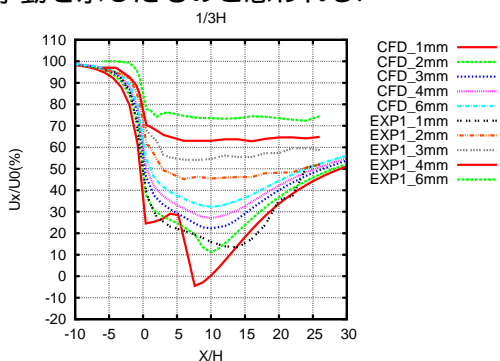


図-1 測定高 1/3H における水平風速比分布

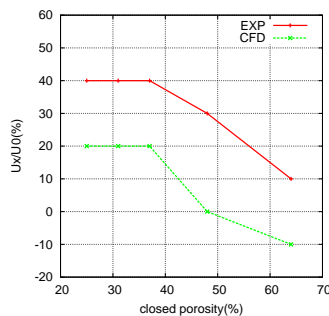
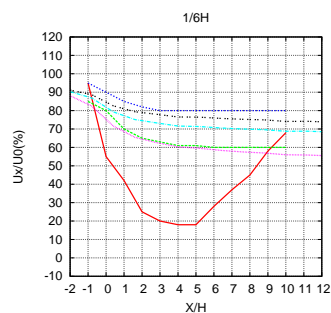


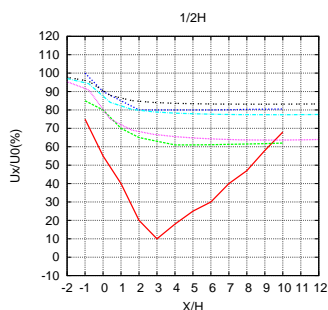
図-2 密閉率毎の最低風速比

(2) 牛山の実験データと解析結果の比較

図-3は、新たに CFD により求めた各測定高での風速比の水平分布と、牛山が風洞実験により求めた各測定高での水平風速分布を示した図である。これらを見ると、2mm 目と 4mm 目では、かなり再現性の向上が見られた。一方で、1mm 目に関しては、いずれの観測高においても、風速比、水平風速比分布の挙動が一致せず、再現性の向上はみられなかった。図-4では、全体を通して解析結果が風洞実験の結果よりも防風効果が過小評価されている。



(a) 測定高 1/6H



(b) 測定高 1/2H

図-3 各測定高における水平風速分布

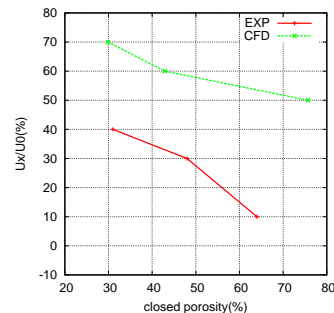


図-4 密閉率毎の最低風速比

4. おわりに

本研究では、ネットによる防風効果を CFD で再現する上で必要とされるネットの特性パラメータを、平面観察のみから得ることのできる形にし、簡便に防風ネットの数値流体解析を行えるようにし、既存の風洞実験の結果とその精度を比較することを目的としてきた。

しかし、解析の結果より、内海らの実験式より導出したパラメータでは、 C_p が大きくなり、ネットの防風効果が過大に評価されてしまった。また牛山の風洞実験より求めたパラメータとの比較では、低密閉率ネットではかなりの精度があるが、高密閉率ネットでは挙動が不安定で、十分な精度が得られたとはいえない。今後はより現実の現象に近いパラメータを模索するとともに、高密閉率ネット後流域での流れの挙動を検討する必要があると思われる。

参考文献

- 1) 平田功, 山野井克己, 河合英二: 風洞実験による防風ネットの減風効果について, 沖縄県林業試験場研究報告 38, 1-11, 1995.
- 2) 内海良治, 山本博, 市川正美, 電成ふるいを通過する流体の圧力損失, 化学工学論文集 17(2), 341-346, 1991.
- 3) 牛山朋来, 井上聡, 芝池博幸: 数値シミュレーションへの適用を目的とした風洞実験と数値実験による防風ネットの防風特性調査, 農業気象 65(3), 273-281, 2009.