

CFD における防風ネットの圧力損失係数決定法と風速分布再現に関する研究

徳島大学大学院 学生会員 ○寺本 真太郎 徳島大学 正会員 野田 稔
岡山県庁 赤木 高明 徳島大学 フェロー 長尾 文明

1. はじめに

風災害において強風を地表付近で軽減するための防風設備として防風ネットと防風林がある．防風ネットは防風林に比べ設置の自由度が高い点や防風効果が早く現れることから広く利用されてきたが，設計に経験的な部分が含まれているため防風効果を十分に発揮することは困難であった．本研究ではネットの圧力損失を数値流体解析で再現するためにネットの空隙率と圧力損失係数 I および C_p との間にある関係を検討する．また，PIV を用いてネット周りの風速分布を二次元的に測定し，同条件で再現した解析結果と比較する．

2. 風洞実験による圧力損失係数の計測

本研究では 12 種類の試料ネットを用いて風洞実験を行い，圧力損失を再現する上で必要な圧力損失係数 C_p ， I を求める．図-1 のような全長 1.2m，0.2m 角の矩形断面を有する風洞を作成し，途中にネットを挟んだ状態で風速を 1,2,3,4,5,6m/s と変化させ，風洞壁に取り付けられた複数の圧力孔から圧力分布を測定した．そして，全 12 種類のネットについて圧力損失と風速の関係を求め，近似式として圧力損失式 (式 (1)) を取り入れることで圧力損失係数を求めた．

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

表-1 の空隙率 ε はネットの画像を輝度で表し輝度値を二値化したのちにネット部分と空隙部分を識別することで求めた．また，図-2 から空隙率が大きいほど圧力損失の傾斜が小さくなることもわかる．

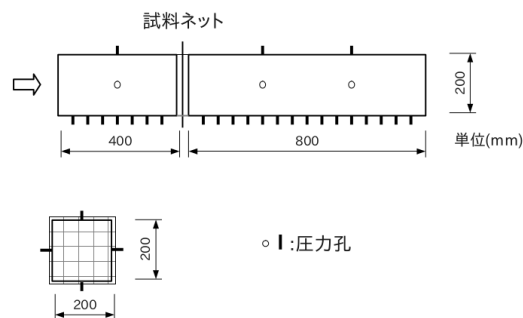


図-1 風洞実験概要図

表-1 圧力損失係数実測表

	cp	I
net1 $\varepsilon=55.7\%$	0.8055	96321.00
net2 $\varepsilon=58.8\%$	0.5601	70944.80
net3 $\varepsilon=51.8\%$	0.5224	189863.00
net4 $\varepsilon=35.2\%$	1.8610	162420.00
net5 $\varepsilon=82.5\%$	0.1767	4118.04
net6 $\varepsilon=76.8\%$	0.2940	52361.80
net7 $\varepsilon=50.1\%$	1.4400	89025.00
net8 $\varepsilon=64.0\%$	0.7560	12941.70
net9 $\varepsilon=76.7\%$	0.3649	4894.02
net10 $\varepsilon=71.3\%$	0.4265	29490.40
net11 $\varepsilon=88.6\%$	0.0878	2511.84
net12 $\varepsilon=88.0\%$	0.1676	4686.91

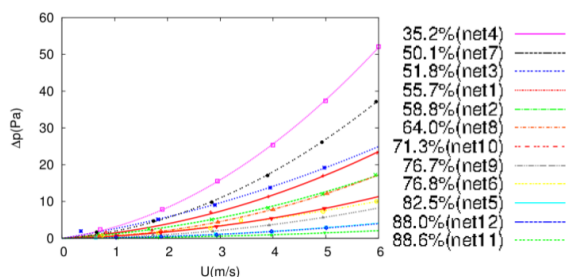


図-2 風速と圧力損失の関係グラフ

3. 画像による防風メッシュ特性の定量評価

本研究ではネットの形状を表す代表長および線径の求め方についても検討した．代表長 M とはネットの繊維中心間の距離，線径 d はネット繊維の径である． M ， d を客観的に求めるために画像データのフーリエ変換を用いることで導出した．フーリエ変換を行うと図-3 のようないくつかの卓越する波長を含んだ振幅分布となり，採寸に一番近い卓越した波長から M と d を求めている．以上のような方法で 12 枚のネットの代表長 M ，線径 d を求めた結果，空隙率の大きいネットにおいては代表長 M および線径 d を正確に表すことができた．しかし水平垂直の形状が異なるネットの代表長 M はフーリエ変換の分解能が足りず同じ値として評価する傾向があった．

4. 空隙率と圧力損失係数の関係に関する検討

本研究では実測した圧力損失係数 C_p ， I と空隙率 ε の関係を示したグラフに近似式を用いることで近似値と実測値がどの程度合致するのか考察していく．まず内海らの研究¹⁾に基づいて変形した式から空隙率と圧力損失係数の関係式を導出した．(式中の D はネットの繊維間の距離 $M-d$ ， α ， β は係数)

$$I = \frac{\alpha}{D\varepsilon} = \frac{\alpha}{M\varepsilon^{3/2}} \quad (2)$$

$$C_p = \frac{2 \cdot \beta}{\varepsilon^2} \quad (3)$$

キーワード ネットの空隙率, 圧力損失係数, 圧力損失式

〒770-8506 徳島県徳島市南常三島2-1 徳島大学 TEL/FAX:088-656-7323

以上を踏まえて近似式を適用した結果を図-4、図-5に示す。いずれのグラフとも実測値が近似値に近い結果を得られたが、より詳しく図-4を見ると空隙率が大きいもののほど近似線から外れていることがわかる。また、空隙率50%近辺において空隙率がほぼ等しいネット同士でも C_p の値が大きく異なっており、近似値とも大きく外れているため空隙率についてはさらに詳しい検討が必要と思われる。図-5においては空隙率と圧力損失係数 I との関係に代表長 M が関与しており、近似線から外れる理由について空隙率のみならず代表長についても考察する必要がある。それを踏まえた上で図-5を見ると、net1, net6, net7 が近似線から特に外れていることが確認できる。この三つのネットに共通している点はネットの水平垂直で代表長 M や線径 d が異なっていた点である。式(2)中の M は水平垂直が同じであるとした上で定義されており、水平垂直が異なっている場合を想定した式ではなかった。このため3つのネットでは図-5の縦軸 MI に誤差が生じていると考えられる。

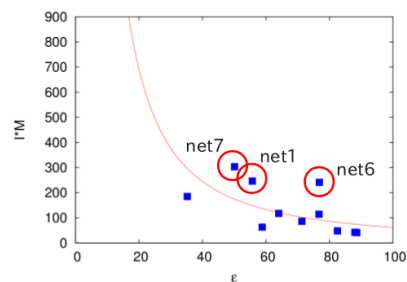
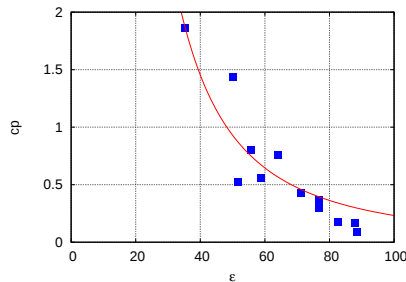
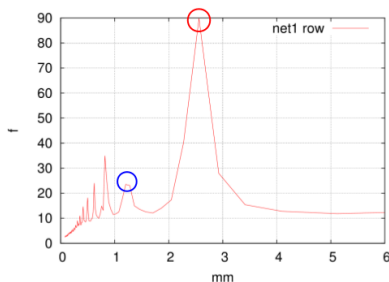


図-3 フーリエ変換後のグラフ (赤い丸が代表長を表す卓越波長 青い丸が線径を表す卓越波長) 図-4 $\epsilon - C_p$ 関係への近似式の適用グラフ $\beta = 1162.375$ 図-5 $\epsilon - MI$ 関係への近似式の適用グラフ $\alpha = 61877.8$

5. PIVによるネット周りの風速測定およびCFDとの比較

PIV(粒子画像流速測定法)とは、流体を粒子によって可視化し速度と方向を同時に解析する計測法のことである。本実験は図-6のような風洞内に煙と風速3m/sの風を流す。図中の赤い線は供試ネットを示している。今回はPIVの二次元計測であり糸径や空隙率の異なる8種類のネットを対象とし、評価時間20sで60フレームを撮影した。

PIVによる流速分布測定実験の結果と前述の風洞実験により得た圧力損失係数 I , C_p を使った解析結果を比較し、その再現性について検討した。図-7、図-8はそれぞれ空隙率0%と55.7%の水平方向の風速分布図である。 U_0 とは $z/h=8$ における平均風速のことである。図-7ではネット下流で逆流が発生していることが確認できた。これはネット端部で剥離が生じた結果であると考えられる。また流れ方向において風速比の変化の様子が実験結果と解析結果で類似していた。そのため精度よくネットを含んだ流れの再現が行えたと考えられる。特に空隙率の大きいネットでは実験値と解析値が近い値を示した。しかし、ネット形状によっては良好な再現結果が得られなかった。

6. おわりに

本研究ではネットの空隙率と圧力損失係数 I および C_p の間にある関係の解明とネット周りにおける風の風速分布を数値流体解析で再現することに取り組んできた。風洞実験を模した数値流体解析では摩擦損失やネットの圧力損失が正確に再現できた。空隙率と圧力損失係数との関係については今回行った空隙率およびネットの各寸法を求める上でいくつかの問題があったこと、利用した関係式の仮定が今回のものと一部異なっていたことから、近似精度が劣るデータも含まれる結果となった。このことから空隙率導出内容の検証、空隙率およびネット各寸法の新たな導出方法の考慮、利用した関係式の見なおしなどが今後の課題として挙げられる。また今回新たに行ったPIVによるネット周りの風速分布の測定結果と解析結果との比較については一部の特殊な形状のネットを除き、再現度の高い結果を得ることができたと言える。

参考文献

- 1) 内海良治, 山本博, 市川正美, 電成ふるいを通して流体の圧力損失, 化学工学論文集 17(2), 341-346, 1991.

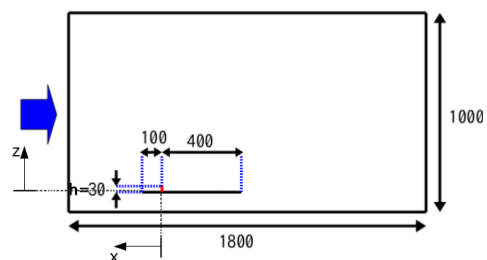


図-6 PIV実験概要図

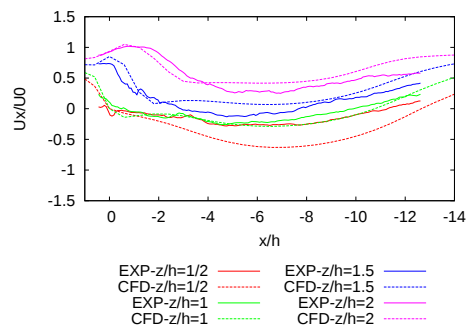


図-7 水平風速分布比較- $\epsilon=0\%$

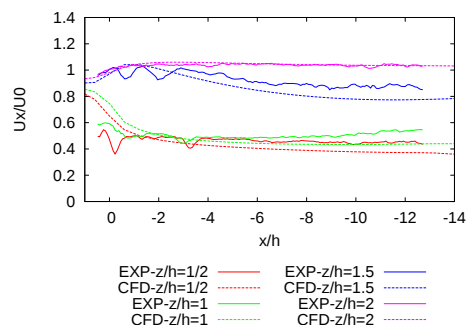


図-8 水平風速分布比較- $\epsilon=55.7\%$