

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

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
 徳島大学大学院 非会員 赤木 高明 徳島大学 フェロー 長尾 文明

1. はじめに

古くから人間は台風，竜巻，局所風を始めとした風災害に悩まされてきた．例えば 2013 年にフィリピンを襲った台風 30 号は最大瞬間風速が 100m/s 近くとなり約 8 万戸の家屋に被害を与えた．このような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．

2. 風洞実験による圧力損失係数の計測

本研究では 12 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．

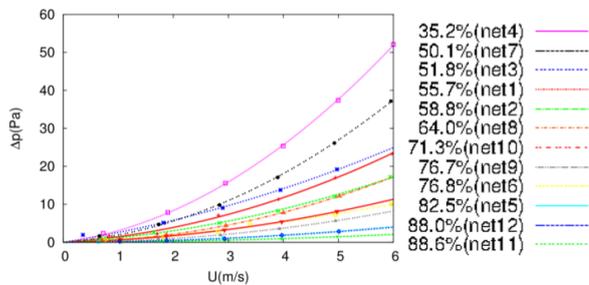


図-2 風速と圧力損失の関係グラフ

3. 画像による防風メッシュ特性の定量評価

メットの形状を表す代表長および線径も本研究で求めた．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．フーリエ変換した結果，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 を求めた．それらをまとめた表-2 から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．

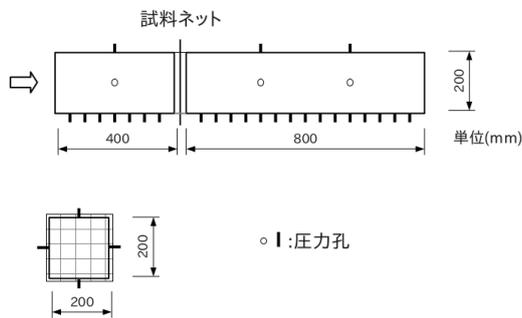


図-1 風洞実験概要図

表-1 圧力損失係数実測表

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

表-2 ネット寸法比較表

単位(mm)	採寸 M	解析 M	採寸 d	解析 d	
net1	行	2.5	2.56	1.0	1.20
	列	3.0	2.56	0.3	0.31
net2	行	1.0	0.93	0.2	0.21
	列	1.0	0.85	0.2	0.21
net4	行	1.1	1.14	0.2	0.20
	列	1.1	1.14	0.2	0.20
net5	行	11.5		1.0	
	列	11.5	11.70	1.0	0.99
net6	行	4.0	4.10	0.7	0.66
	列	5.0	5.12	0.3	0.33
net7	行	3.7	3.41	0.5	0.53
	列	4.0	3.41	0.9	0.89
net8	行	10.0		2.0	
	列	9.5	9.10	1.5	1.52
net9	行	24.5		2.2	
	列	25.5	23.38	2.9	2.98
net10	行	3.1	2.93	0.4	0.39
	列	3.1	2.93	0.4	0.40
net11	行		16.38	0.7	0.69
	列		16.38	0.7	0.71
net12	行	10.1		0.8	
	列	9.1	9.10	0.8	0.80

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。

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

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

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、より詳しく見た結果図-4 では空隙率が大きいも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% 付近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 IM に誤差が生じていると考えられる。

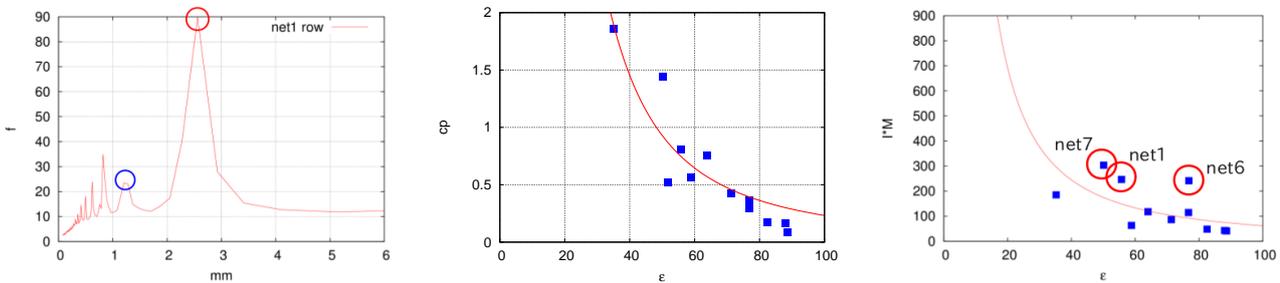


図-3 フーリエ変換後のグラフ (赤丸が代表長を表す卓越波長 青丸が線径を表す卓越波長) 図-4 $\varepsilon-C_p$ 関係への近似式の適用グラフ $\beta = 1162.375$ 図-5 $\varepsilon-IM$ 関係への近似式の適用グラフ $\alpha = 61877.8$

5. 数値流体解析による風洞流れ場の再現

数値解析を行う上で数値流体解析ソフトウェア OpenFOAM を用いた。このソフトは偏微分方程式を有限体積法によって離散化し、解を得るオープンソースである。図-6 の解析モデルに実測した圧力損失係数を代入し、解析の結果が実測した風洞の圧力分布を再現できているか検証を行った。解析を行った結果、12 種類のネットはすべての試験風速において圧力分布や摩擦損失が実験結果とほぼ一致した。図-7 は実験と解析の圧力分布の一例である。

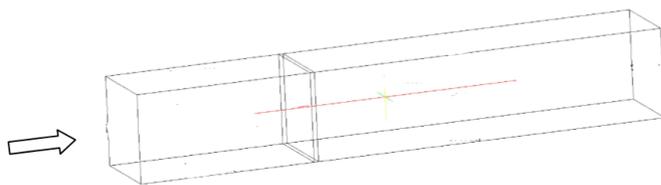


図-6 解析モデル概要図

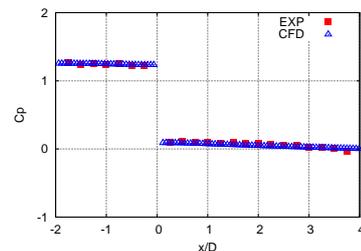


図-7 net1 $\varepsilon=55.7\%$ 風速 6m/s の圧力分布図

6. おわりに

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 の間にある関係を解明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。以上を踏まえて空隙率と圧力損失係数の関係をより明確にするために、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直しなどが今後の課題として挙げられる。

参考文献

- 1) 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.