

令和元年6月20日現在

機関番号：33108

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12858

研究課題名(和文) 減風性能・透視性・飛散物堆積をコントロールする風害対策ガイドラインの提案

研究課題名(英文) Proposal of guidelines for wind damage mitigation methods controlling shelter performance, visibility, and deposition

研究代表者

富永 禎秀 (Tominaga, Yoshihide)

新潟工科大学・工学部・教授

研究者番号：00278079

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：有孔の防風フェンス周辺の風速・乱れ性状に関する風洞実験によって、開口率とその後方で形成される風速及び風速変動の乱れ性状分布の関係を明らかにした。またメッシュ形状の違いの影響についても検討した。次に、上記の風洞実験を対象として、開口率を様々に変化させた防風フェンス周辺の風速・乱れ性状に関するCFD解析を行った。予測された風速及び乱流変動成分を詳細に比較することで、CFDモデルを有孔フェンス周りの流れ場予測に適用する上での留意点を整理できた。さらに、また物体周りの砂の侵食や堆積のCFDによる予測手法についても、風洞実験結果との比較に基づいて新たな知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地域環境における風害対策として、よく用いられる有孔フェンスやネットの合理的な設計・設置方法に関する新たな知見を得た。CFD(Computational Fluid Dynamics; 数値流体力学)を用いた解析を活用して、防風性能・透視性・飛散物堆積を総合的にコントロールする風害対策を行うための基礎となる知見を得た。

研究成果の概要(英文)：By wind tunnel experiments for mean and turbulent velocity fields around porous windbreak fence, the relationship between the porosity and the flow property were clarified. The influence of the hole shape of the fences was also investigated. The validation database for CFD simulations was provided by the systematic wind tunnel experiment which changed the various parameter such as porosity, opening size, and fence thickness. Next, CFD simulations using porous jump condition were conducted by changing various parameters related to the fence property. By examining the predicted mean and turbulent velocity fields, tentative best practice guidelines of CFD simulation applied to such flow can be provided. Furthermore, some insights of prediction method of sand accumulation and erosion around obstacles using CFD were obtained based on the results of the wind tunnel experiment.

研究分野：建築・都市環境工学

キーワード：減風性能 透視性 飛散物堆積 風害対策 ガイドライン

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

強風による被害を低減するために、孔あき金属板のフェンスやビニール製ネットが設置される場合が多い。これらは、飛砂防止や冬季の地吹雪、雪の吹き溜まり対策などにも用いられる。有孔フェンスの防風効果に関しては、1970～80年代に風洞実験による検討が数多く行われており（1,2等）、充実率（外郭面積に対する素材で塞がれる部分の面積の割合）と風速分布の関係が明らかにされてきた。その結果として、充実率 50%のときに広範囲に減風効果が得られることが確認され、有孔フェンスの標準的な充実率となった。それ以降、有孔フェンスやネットの減風効果に関する研究は殆ど行われておらず、新たな製品も市場に現れていないのが現状である。さらに、飛砂防止や冬季の地吹雪対策を想定した場合、風速を低減しすぎると吹き溜まりの形成を促進することになり、トレードオフの関係が発生する。しかしながら従来の有孔フェンスに関する研究は、充実率だけがパラメータとなっており、このような相反する性能評価を可能とする設計手法に関する研究は全く行われていない。

一方、最近では各種の災害対策工法において環境との親和性が要求されるようになっており、例えば海岸部の景観ガイドラインなどでは、防風フェンスに対して「透視性」が要求されている。しかしながら、どの程度の透視性が必要なのか、トレードオフに成りかねない「減風効果」とのバランスはどう取るのか等の点は全く設計の指針がない状態である。

2. 研究の目的

地域環境における風害対策として、有孔フェンスやネットが用いられる場合が多い。これらの対策には、設計条件によって、いわゆる減風性能だけでなく、景観配慮のための透視性や雪や砂などの飛散物の堆積性状もコントロールすることが求められる場合も多いが、これらを総合的に考慮して対処することは現状では極めて難しい。本研究では、CFD（Computational Fluid Dynamics；数値流体力学）解析によって、有孔フェンスやネットの防風効果を簡易にかつ正確に表現する多孔質モデルを構築するとともに、それを活用して、防風性能・透視性・飛散物堆積を総合的にコントロールする風害対策のガイドラインを提案することを目的とする。

上記の目的に対して、以下の3つの検討を行った。

- 1) 基本的な形状を有する防風フェンス周辺の風速分布に関する風洞実験を行い、開口特性と風速低減効果の関係を明らかにするとともに、将来的な数値シミュレーションの検証用データを整備する。
- 2) 1)で得られた検証用データベースに基づき、有孔防風フェンス周辺の風速・乱れ性状に関するCFD解析の予測精度を検討する。特に、既往の研究であまり取り上げられていない乱れ性状の予測について、詳しく検討する。
- 3) 次に、風洞実験によって、防風フェンス周りで発生する砂粒子の飛散・堆積状況を明らかにすることで、フェンス周りの砂粒子がどのように飛散・堆積するか、どのような条件で飛散・堆積が起こるかを定量的に把握する。また将来的な数値シミュレーションの検証用データを整備する。

3. 研究の方法

3-1 防風フェンス周辺の風速・乱れ性状に関する風洞実験

1) 実験概要

- ①実験風洞：新潟工科大学の大型境界層風洞（回流式）を使用。
- ②実験気流：フェンス上端で（床面から 200 mm）で風速約 4.0m/s、ラフネスは設置しない。
- ③実験模型：縦 100 mm (D) × 幅 600 mm の板状フェンスを床面から 100 mm 空けて設置した。中心部分での 2次元性を確保するために両端にガイドを設けた。
- ④計測機器：逆流を検出可能なスプリットファイバースローブを使用した。

2) 実験方法

- ①計測項目：風洞内に設置したフェンス風下側の中心鉛直断面の 3次元の平均風速及び乱れの標準偏差を計測する。
- ②実験ケース：開口率、開口部を変化させた全 10 ケースの実験を行う。使用するフェンスの仕様を表 1 に示す。代表的なフェンスの開口部の形状を図 1 に示す。

表 1 実験した防風フェンスの仕様

名称	材質	開口率(%)	開口部の形状
A0	アクリル	0	なし
S25M	ステンレス	25	メッシュ
S40M	ステンレス	40	メッシュ
S60M	ステンレス	60	メッシュ
S71M	ステンレス	71	メッシュ
A20G	アクリル	20	グリッド
W20S	木材	20	スリット
W40S	木材	40	スリット
W60G	木材	60	グリッド
W70G	木材	70	グリッド

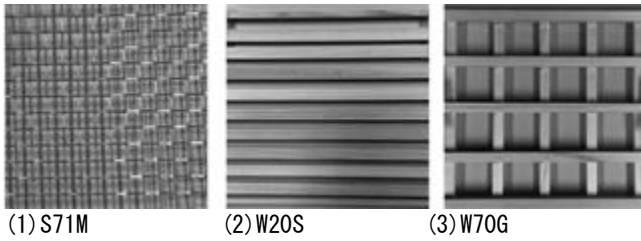


図1 フェンスの開口部の形状

3-2 防風フェンス周辺の風速・乱れ性状に関するCFD解析

1) 解析条件：実験と同じ高さ0.1mの防風フェンスを対象とし、解析領域は2m(x)×1.8m(y)の2次元計算とした。解析はANSYS Fluent14.5を使用した。流入境界条件は、実験の分布を与えた。乱流モデルは、Realizable, RNG, Standardの3種類のk-εモデルを比較した。SIMPLE法に基づく定常解析を行った。

2) 有孔フェンスのモデル化：フェンスは多孔質媒体として次式のようにモデル化する。この項が圧力損失として運動方程式に加わる。

$$S_i = -C_2 \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (1)$$

ここで、 C_2 は慣性抵抗 (m⁻¹)、 v は多孔質フェンスに垂直な速度である。 C_2 は有孔フェンスの圧力損失係数 Kr と関係付けて次式で表現できる。

$$C_2 = \frac{Kr}{W} \quad (2)$$

ここで Kr は有孔フェンスの開口率 ϕ を用いた次式で求めた。 W はフェンスの厚みである。

$$Kr = \frac{1.04(1 - \phi^2)}{\phi^2} \quad (3)$$

3) 予測精度の Validation Metrics : HIT rate は、計算値と実験値の相対的な差異の程度が制限値以内の測定点の数の全測定点数に対する割合である。FAC2 は、計算値が実験値の倍半分以内に入っている測定点の数の全測定点数に対する割合である。FB は、実測平均値と計算平均値を用いて和と差を求めそれらの比を求めたもので、偏りがなければ0になる。NMSE は、規格化した平均2乗誤差であり、誤差がなければ0、誤差が大きくなれば増大する。

3-3 防風フェンス周りで発生する砂粒子の飛散・堆積に関する風洞実験

- 1) 実験風洞：新潟工科大学の大型境界層風洞(1.8m×1.8m×13.0m)を使用する。
- 2) 実験装置：概要を図2に示す。風洞の床にシートを敷き、砂を敷き詰めるための木の枠を設置する。砂面と風洞床面で生じる高低差は木の板とテーパーで補う。実験装置の風上側にはラフネスブロックを設置することによって境界層を発達させ、より自然に近い風を再現する。
- 3) 実験風速：図3に実験時の流入風速分布を示す。風速は、高さ0.6mの風速で基準化したものである。実験風速は、予備実験を行い連続的な砂の移動が確認できた高さ100mmで風速8.5m/sに決めた。
- 4) 使用する砂：柏崎市鯨波海岸で採取した砂を使用する。ふるい分け試験を行った結果の砂の粒径分布を図4に示す。粒径0.106mm~0.425mmが90%を占めている。
- 5) フェンス：高さ(H)100mm、幅1800mm(600mmのものを三つ並べる)厚さ5mmとする。有孔フェンス(開口率40%)と無孔フェンス(開口率0%)の二種類とする。

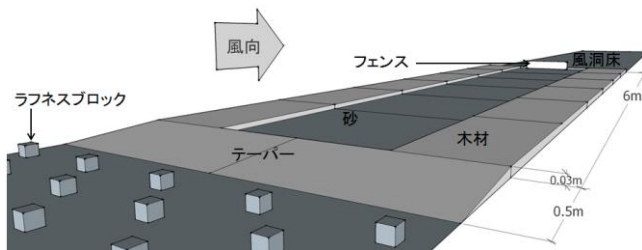


図2 風洞内における砂面形成方法

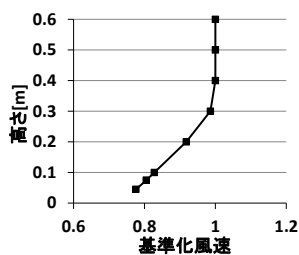


図3 流入風速分布

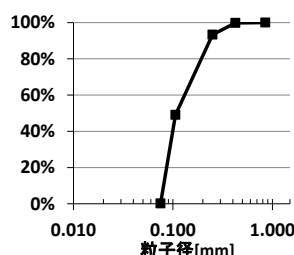


図4 砂の粒径分布

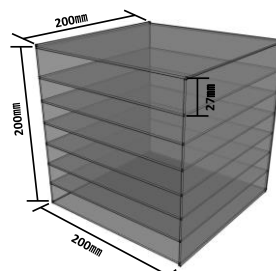


図5 飛砂箱

6) 飛砂量測定

飛砂量を測定するために、図5のような飛砂箱を作成した。飛砂箱は200mm×200mm×200mmで、砂の飛ぶ高さを知るために中に仕切りを作る。後ろには金網を付けて砂が通り抜けないようにする。作成した箱を砂面に設置し、風を吹かせる。その後、1段ずつ砂を取り出し、重さを量り飛砂量を求める。

7) 堆積量測定

実験装置に砂を30mmになるように均し、レーザー距離計で初期堆積深を測定する。レーザー距離計はトラバース装置に取り付けて、移動させて各点の堆積深を測定する。測定点はフェンスから風上側に500mm、風下側に1000mmを50mmごとに測定する。その後、風を吹かせてから砂の堆積状態をレーザー距離計で測定し、初期堆積深との差を取る。再び砂を平らになるように均す。これらを繰り返し、実験を進める。風を吹かせる時間は、5分、10分、20分、30分の4ケースの測定を行う。

4. 研究成果

4-1 防風フェンス周辺の風速・乱れ性状に関する風洞実験

1) メッシュタイプ

図6(1)のA0は、開口のない無孔フェンスとなっており、フェンスの上端部では風速が急激に速くなっている。これは、フェンスの端部では、剥離流が発生しているためだと考えられる。フェンスの後方では、強い逆流が発生している。図6(2)のS71Mは、フェンスによる影響を受けにくく、風速があまり変化しない結果となった。

2) グリッド・スリットタイプ

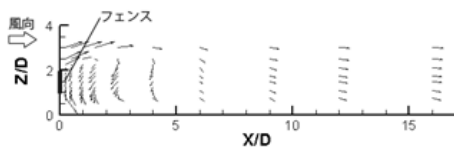
図7(1)は、A20Gの結果を示しており、 $X/D=0\sim 5.0$ までは、強い逆流が発生している。また、フェンスの上端部では、剥離流によって風速が急激に速くなっている。フェンスから離れても広範囲に影響を受けている。図7(2)のW70Gのフェンスは、フェンスによる影響を受けにくく、どの地点でも風速があまり変化しない結果となった。ほぼ同一の開口率のS71MとW70Gを比較してみると、フェンス後方では、メッシュタイプに比べ、グリッド・スリットタイプは風速がやや変化している。しかし、開口率70%程度では、風速低減効果は小さいと考える。

3) まとめ

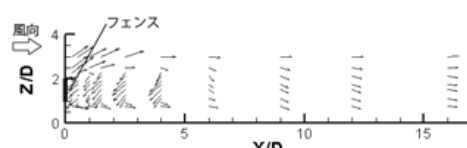
①無孔フェンスは、フェンス直近での風速低減効果は大きいですが、フェンスの影響による風速の回復が早い。

②開口率の小さいフェンスほど、場所による風速の差が大きくなる。特に、フェンスの周辺、直近部の後方では、剥離流や逆流の流れが発生しやすい。開口率が大きいと、フェンスを通過する前後での風速の変化は小さい。

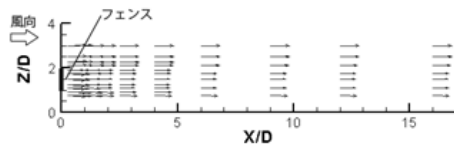
③メッシュタイプのフェンスは、風下側の広範囲の領域でフェンスの影響を受ける。グリッド・スリットタイプはフェンス直近部での風速低減効果は大きいですが、メッシュタイプに比べ、風速の回復がやや早い。



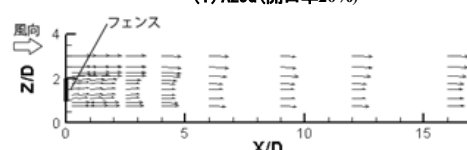
(1) A0(開口部なし)



(1) A25G(開口率20%)



(2) S71M(開口率71%)



(2) W70G(開口率70%)

図6 風速分布ベクトル(メッシュタイプ)

図7 風速分布ベクトル(グリッド・スリットタイプ)

4-2 防風フェンス周辺の風速・乱れ性状に関するCFD解析

1) 開口率が異なるフェンスの解析

表2は、予測精度評価のためのValidation Metricsを全てのフェンスで比較したものである。S71M(開口率71%)が最も実験の対応がよく、W20S(開口率20%)が実験との対応が最も悪い。開口率が大きくなるほど実験の対応が良くなる傾向がある。図8に主流方向風速の比較の一例を示す。CFD解析は全体的によく実験結果を再現している。図9は乱流エネルギーの比較である。CFD解析は、実験の分布の傾向は再現している。

2) まとめ

①乱流モデルはRealizable, RNG, Standardの中ではRealizableが最も実験結果の再現性が良かった。

②予測精度の評価指標で比較すると、開口率が大きくなるほど実験との対応が良くなる傾向がある。

表 2 予測精度の Validation Metrics の比較

ケース名	開口率	U		TKE			
		Hit rate	FAC2	Hit rate	FAC2	FB	NMSE
A0	0%	0.36	0.82	0.10	0.57	0.61	1.22
A20G	20%	0.05	0.57	0.10	0.52	0.80	1.11
W20S	20%	0.10	0.61	0.06	0.21	1.16	3.03
S25M	25%	0.38	0.60	0.29	0.91	-0.40	0.83
S40G	40%	0.82	0.94	0.49	0.85	0.56	1.77
W40GL	40%	0.63	0.95	0.32	0.76	0.93	2.56
W40GS	40%	0.06	0.53	0.40	0.86	0.67	1.18
W40S	40%	0.59	0.89	0.07	0.13	1.58	8.74
S60M	60%	0.61	0.98	0.52	0.93	0.56	3.57
W60G	60%	0.87	0.95	0.17	0.97	1.16	3.59
W70G	70%	0.88	0.98	0.71	0.96	1.03	12.75
S71M	71%	0.73	1.00	0.86	1.00	-1.08	4.17

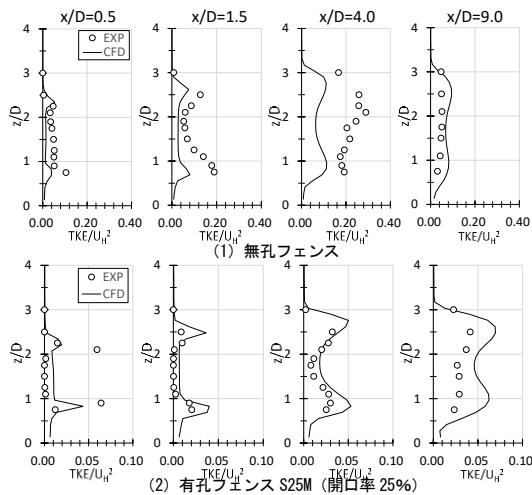


図 8 主流方向風速の CFD と実験の比較

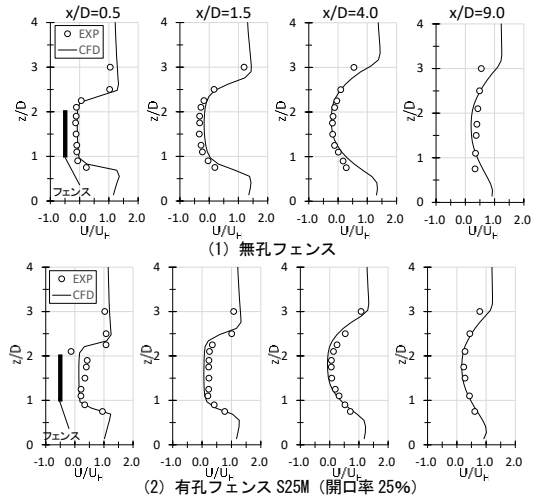


図 9 乱流エネルギーの CFD と実験の比較

4-3 防風フェンス周りで発生する砂粒子の飛散・堆積に関する風洞実験

1) 飛砂量測定の結果

図 10 に飛砂量の測定結果を示す。3 回の測定を行ったが、どの結果も対数上で直線に近く砂面に近いほど飛砂量が多くなる。過去の研究結果とも近い値になった。

2) 堆積量測定の結果

図 11 に実験時の写真を示す。この写真は 30 分風を吹かせた後のフェンス風上側の写真である。有孔フェンスと比べて無孔フェンスの堆積が多く、特にフェンス近くに堆積が見られた。図 12 に有孔フェンスの堆積深 d の時間変化を示す。堆積深はフェンス高さで基準化して示す。30 分後風上側のフェンス位置 ($x/H=0$) で 0.2H、風下側 $x/H=-1$ 地点で 0.5H 程度の堆積が見られた。図 13 に無孔フェンスの堆積深 d の時間変化を示す。風上側にほとんどの砂が堆積した。30 分後風上側のフェンス位置 ($x/H=0$) で 0.8H 程度の堆積が見られた。また、風下側では風を吹かせる前より堆積がやや少なくなっている場所が見られた。

3) まとめ

- ①有孔フェンスでは、フェンスを砂が通過して風下側に堆積が起り、無孔フェンスではフェンスに衝突した砂が多く堆積し、風下側はほとんど変化しなかった。
- ②30 分後、有孔フェンスでは風上側のフェンス位置 ($x/H=0$) に 0.2H、風下側 $x/H=-1$ 地点に 0.5H 程度の堆積が見られた。無孔フェンスでは風上側のフェンス位置 ($x/H=0$) で 0.8H 程度の堆積が見られた。

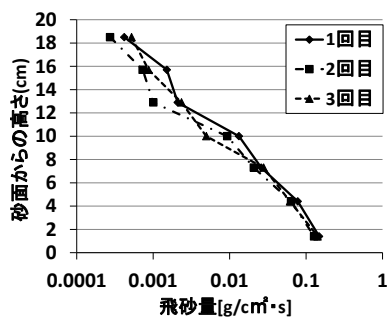


図 10 飛砂量分布



(1)有孔フェンス (2)無孔フェンス

図 11 30 分後の堆積状況の比較

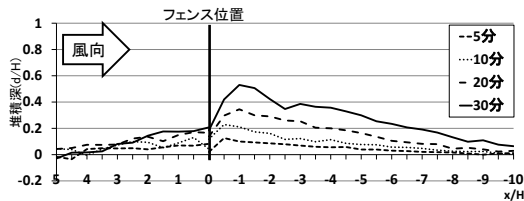


図 12 堆積深の時間変化(有孔フェンス)

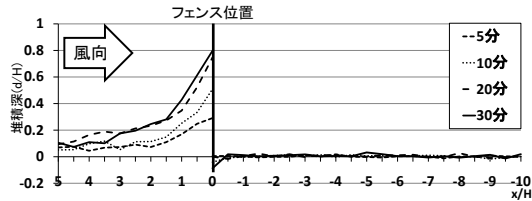


図 13 堆積深の時間変化(無孔フェンス)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Tominaga, Y., Okaze, T., Mochida, A., 2018. Wind tunnel experiment and CFD analysis of sand erosion/deposition due to wind around an obstacle, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 182, 262-271
- ② Tominaga, Y., 2018. Computational fluid dynamics simulation of snowdrift around buildings: Past achievements and future perspectives, Cold Regions Science and Technology, vol. 150, 2-14

[学会発表] (計 4 件)

- ① Tominaga, Y., CFD simulations of flow around windbreak fences with various porosities: A validation study, The 7th International Symposium on Computational Wind Engineering 2018 (CWE 2018), Seoul, Republic of Korea, June 18-22, 2018.
- ② Murayama, Y., Igarashi, K., Tominaga, Y., Numerical simulation of unbalanced snow load caused by snowdrift on a two-level flat-roof building, International Workshop on Wind-Related Disasters and Mitigation (WRDM), Sendai, Japan, March 11-14, 2018.
- ③ Tominaga, Y., Okaze, T., Mochida, A., Wind tunnel experiment and CFD analysis of sand erosion/deposition due to wind around an obstacle, International Workshop on Wind-Related Disasters and Mitigation (WRDM), Sendai, Japan, March 11-14, 2018.
- ④ Tominaga, Y., Okaze, T., Mochida, A., CFD simulation of drift snow loads for an isolated gable-roof building, 8th International Conference on Snow Engineering, 208-214, Nantes, France, June 14-17, 2016.

[その他]

ホームページ等

<http://www.ytomi.net/tomilab/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者 なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：持田 灯

ローマ字氏名：Mochida AkAshi

研究協力者氏名：大風 翼

ローマ字氏名：Okaze Tsubasa

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。