

一般財団法人新潟県建設技術センター研究助成事業

報告書

沿岸部における砂粒子の飛散・堆積の
数値シミュレーションによる予測と対策

2020年3月

新潟工科大学 富永禎秀

1. 研究の背景と目的

新潟県の海岸線は総延長 635.6km（離島も含む）と長く、特に冬季の強い季節風によって様々な風による被害を受けている。中でも風により海岸の砂が飛散する「飛砂」は、地域における水域及び周辺環境の保全と再生の観点から深刻な問題である。しかしながら、これまでの飛砂防止対策は、その効果の物理的メカニズムや周辺環境への影響が確認された上で設計されたものとは必ずしも言えず、経験的に用いられているものが多いことから、その効果には限界がある。特に地方自治体においては、将来的な財政・人手の縮小が避けられない中で、より効率的な飛砂対策の実現が求められている。

本研究では、数値流体力学（Computational Fluid Dynamics; CFD）シミュレーションによって、砂粒子の飛散・堆積性状を精度よく予測する方法を開発する。これによって、任意の地形上での気象条件を与えることで、飛砂の発生場所や程度を予測することが可能となる。数値シミュレーションの精度は、実際の砂粒子を用いた大型風洞実験装置を用いた実験との比較により検証する。

2. フェンス周辺の砂の堆積性状に関する風洞実験

2-1 実験概要

実験に使用した風洞は、新潟工科大学工学部建築学科所有の大型境界層流型風洞である。今回の風洞実験を行うため、図 1 に示すような実験装置を作成した。実験装置は砂面部分が、幅 1m、長さ 6m、厚さ 0.03m になるように木の枠を設置した。砂面部分の両端には、砂面と同じ高さになるように木の板を設置する。風上側にはテーパーを設置し、実験領域の砂面と風洞の床面とで生じる高低差を補った。



図 1 実験時の風洞内の様子

2-2 実験方法

実験装置に砂をなるべく均等に 0.03m に敷き詰めて、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。その後、風を吹かせた後の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。

2-3 対象フェンス

開口率の違う二種類のフェンスを使用する。

1) 有孔フェンス(開口率 40%)

使用した有孔フェンスを図 2 に示す。フェンスの寸法は、幅 600 mm、高さ 100 mm、厚さ 5 mm で開口率は 40% である。

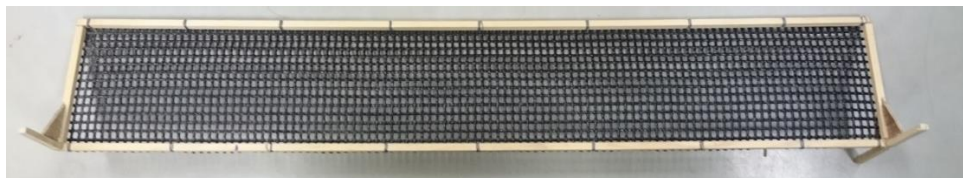


図 2 有孔フェンス

2) 無孔フェンス(開口率 0%)

使用した無孔フェンスを図 3 に示す。フェンスの寸法は有孔フェンスと同じく、幅 600 mm、高さ 100 mm、厚さ 5 mm で開口率は 0% である。



図 3 無孔フェンス

2-4 実験結果

1) 無孔フェンスの測定結果

図 4 に堆積深の時間変化を示す。フェンスの風上側では、フェンスに近くなるほど多く堆積し、フェンス位置の風上側($x/H=0$)では $0.8H$ 程度堆積した。フェンス風下側はほとんど砂の移動が起こらなかったが、フェンス位置($x/H=0$)の風下側では、 $-0.1H$ 程度となり風を吹かせる前より堆積量が少なくなった。実験後の堆積状況(30 分後)を図 5 に示す。

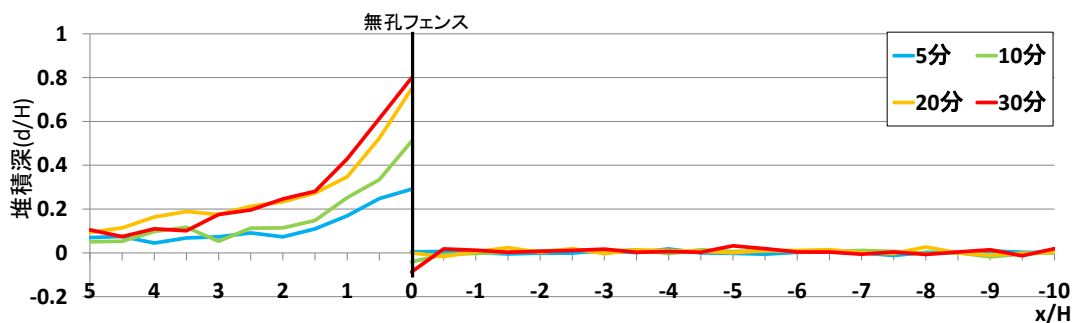


図 4 堆積深の時間変化



図5 実験後の堆積状況 (30分後)

2) 有孔フェンス測定結果

図6に堆積深の時間変化を示す。フェンス風上側では、フェンスに近づくほど堆積も増えて、フェンス位置($x/H=0$)の風上側では $0.2H$ 程度堆積した。フェンス風下側では、 $x/H=-1$ 地点に一番多く $0.5H$ 程度堆積した。実験後の堆積状況(30分後)を図7に示す。

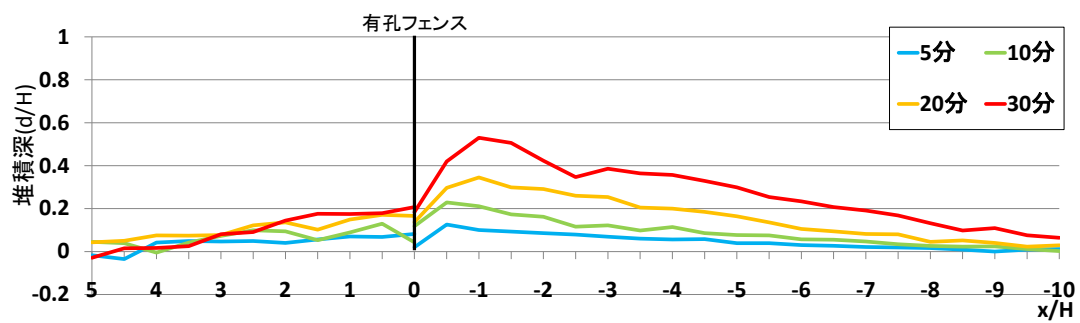


図6 堆積深の時間変化

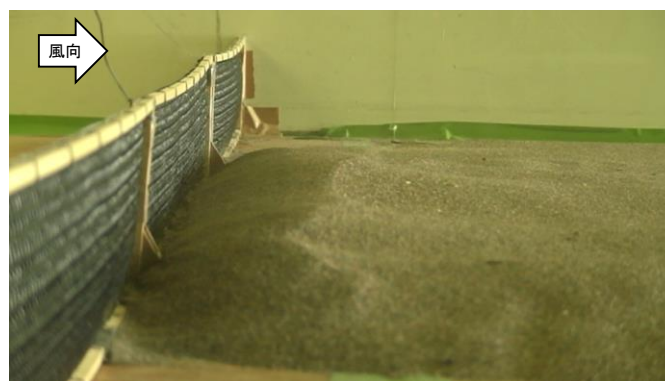


図7 実験後の堆積状況 (30分後)

3 フェンス周りの砂の堆積性状に関する CFD シミュレーション

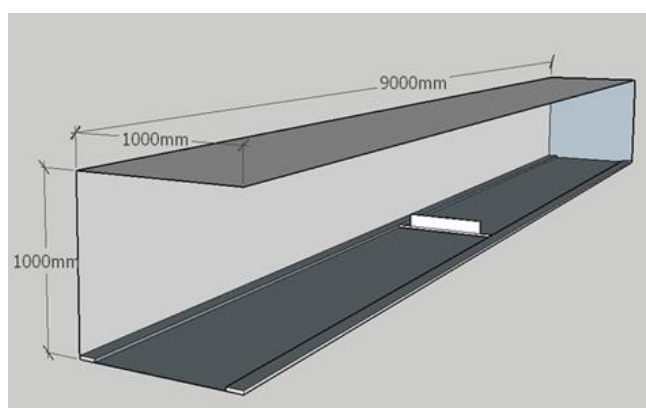
3-1 使用するシミュレーションモデル

Euler 型の混相流モデルを用いた。これは粒子一個一個の挙動を解析するのではなく、粒子群として扱う解析方法である。砂や雪のような膨大な量の粒子を解析する場合、Euler 型モデルが適している。本研究では、粒子の衝突や摩擦を考慮できる Euler-Granular モデルを用いた。

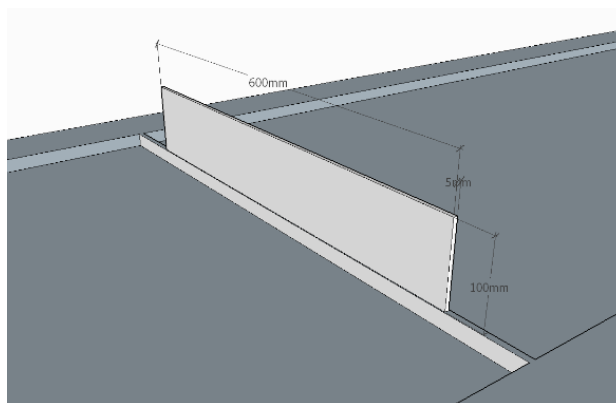
3-2 解析領域及びメッシュ

1) 解析領域

CFD 解析に使用する解析領域を図 8 に示す。



(1) 解析領域

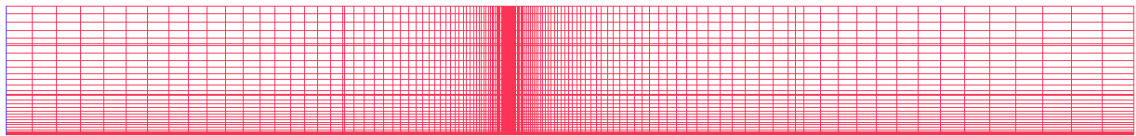


(2) フェンス周辺の拡大図

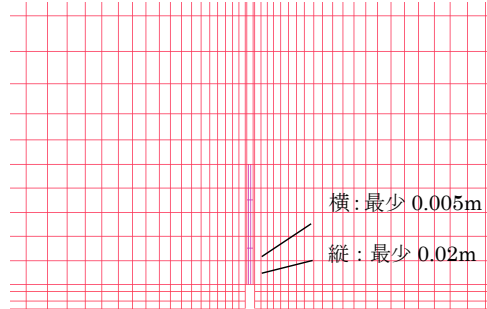
図 8 CFD 解析に使用する解析領域

2) メッシュ

使用したメッシュを図 9 に示す。メッシュ分割は、フェンス周辺は細かく、フェンスから離れるにつれて粗くした。



(1) 解析領域



(2) フェンス周辺の拡大図

図9 使用するメッシュ

3-3 境界条件

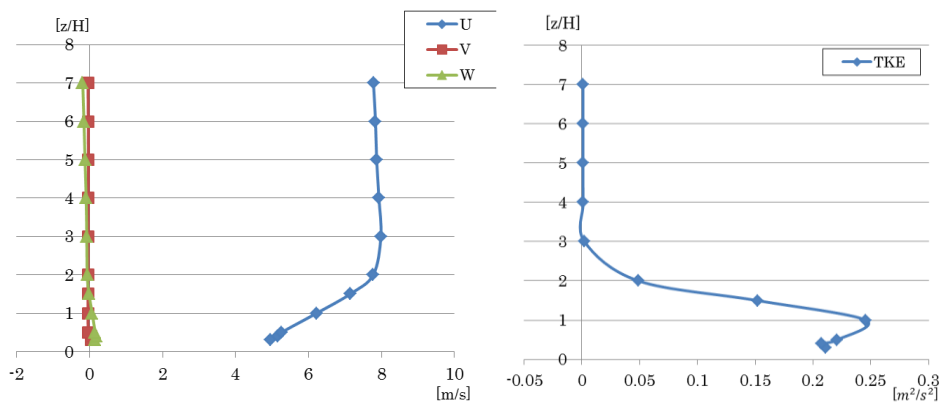
境界条件を表1に示す。

表1 境界条件

	TYPE
流入面(inlet)	velocity-inlet
流出面(outlet)	pressure-outlet
右壁面(right)	wall
左壁面(left)	wall
天井面(top)	wall
地表面(bottom)	bottom
フェンス	wall

3-4 流入条件

流入風の分布を図10に示す。



(1) 風速分布

(2) 乱流エネルギー

図10 流入風の分布

3-5 解析ケース

解析ケースを表 2 に示す。解析は 300s まで行い、30s ごとに Volume fraction の分布を記録した。3D 解析は時間がかかるため、TimeStepSize を 1s とし時間を短縮した。また、メッシュの関係で粒径 0.00003m では計算が発散するため、粒径を 0.00001m とした。

表 2 解析ケース

	Time StepSize	反復数	粒径(m)	Sand-Viscosity (kg/ms)	体積分率	Drag	Restitution Coefficient	Drag modification	Drag factor
B ケース 1	1	20	0.00001	1000	QUICK	Wen-yu	0.2	○	0.05
B ケース 2	1	20	0.00001	1000	QUICK	Wen-yu	0.9	○	0.05
C ケース 1	1	20	0.00001	1000	QUICK	Wen-yu	0.9	○	0.05

3-6 解析結果の比較

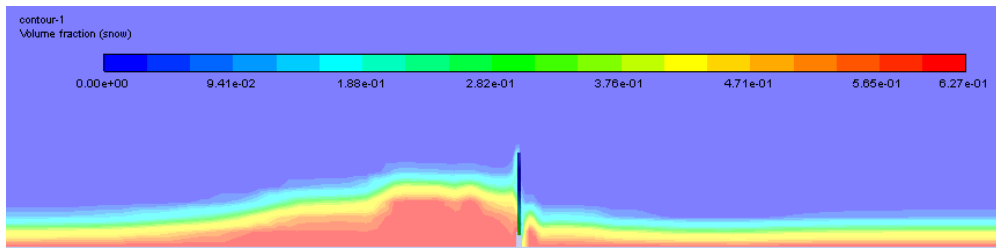
1) 無孔フェンスと有孔フェンスの比較

B ケース 2(無孔フェンス)と C ケース 1(有孔フェンス)で、より違いの分かりやすい 30s 時点の解析結果を比較する。図 11 に B ケース 2 と C ケース 1 の 30s 時点の Volume fraction、図 12 に Volume fraction が 0.12 の等値面、図 13 にベクトル分布を示す。無孔フェンスでは風が妨げられるため、フェンス風上側に砂が堆積し、風下側の堆積は少ない。これに対して有孔フェンスでは風が妨げられず、風と共に砂がフェンスを通過するため風上側の堆積が少なく、風下側に砂が堆積していた。

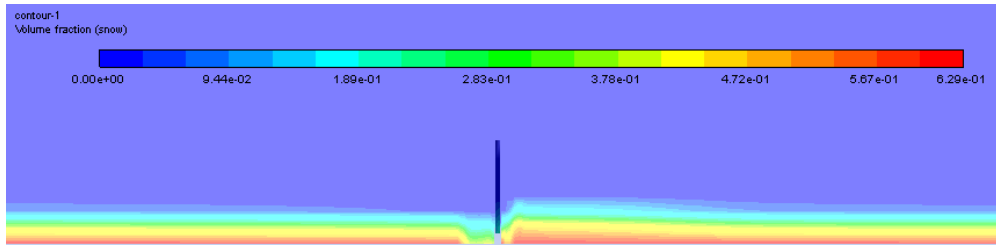
2) 風洞実験の結果との比較

CFD 解析の結果と風洞実験の結果を比較する。図 14 は風洞実験による砂の堆積分布の比較、図 15 は CFD 解析による砂の堆積分布の比較である。

無孔フェンスの場合の砂の堆積分布を見ると、いずれもフェンス風上側の堆積深のピークは風下側の 2 倍程度となっており、同様の堆積性状であることが分かる。有孔フェンスの場合の砂の堆積分布は、CFD の解析結果(図 15)の方がフェンス前後の堆積量の差は小さいが、風上側に比べて風下側の堆積が多いという傾向は再現されている。

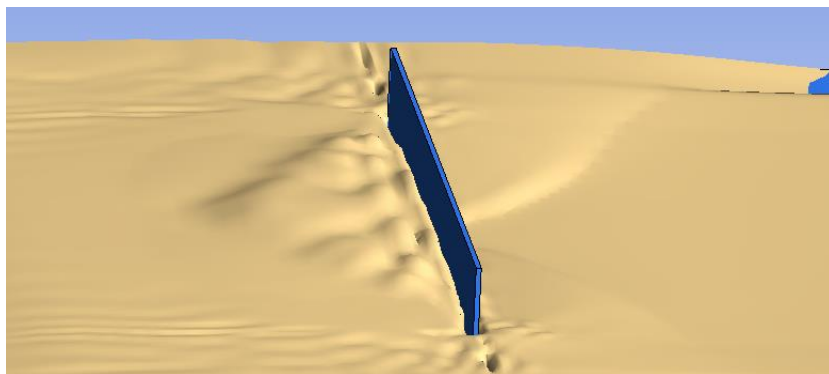


(1) 無孔フェンスの Volume fraction (30s)

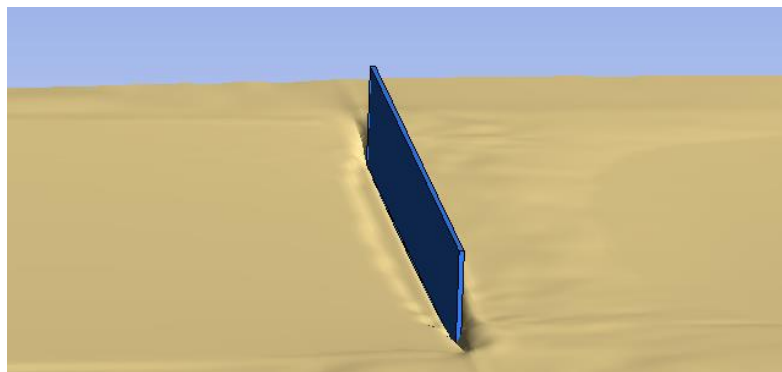


(2) 有孔フェンスの Volume fraction (30s)

図 11 30s の Volume fraction の比較

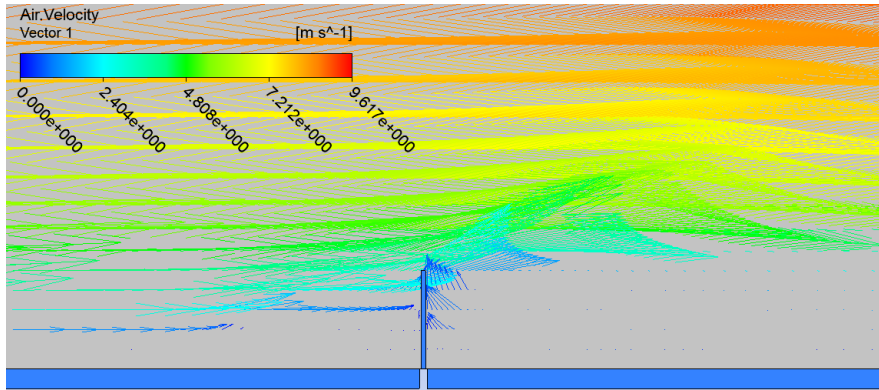


(1) 無孔フェンスの等値面 (Volume fraction 0.12)

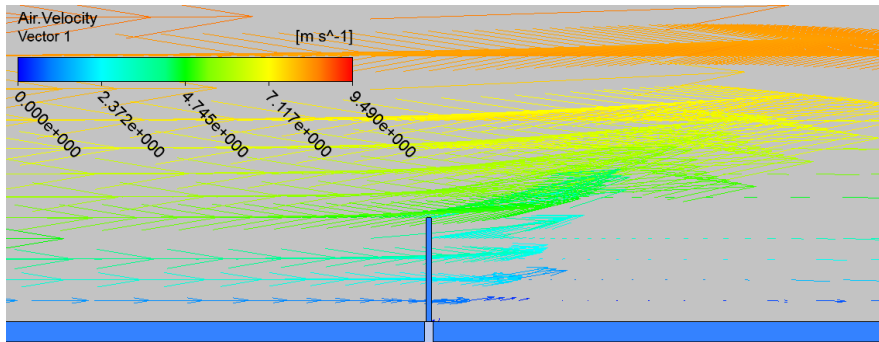


(2) 有孔フェンスの等値面 (Volume fraction 0.12)

図 12 Volume fraction が 0.12 の等値面



(1) 無孔フェンスのベクトル分布



(2) 有孔フェンスのベクトル分布

図 13 30s のベクトル分布の比較

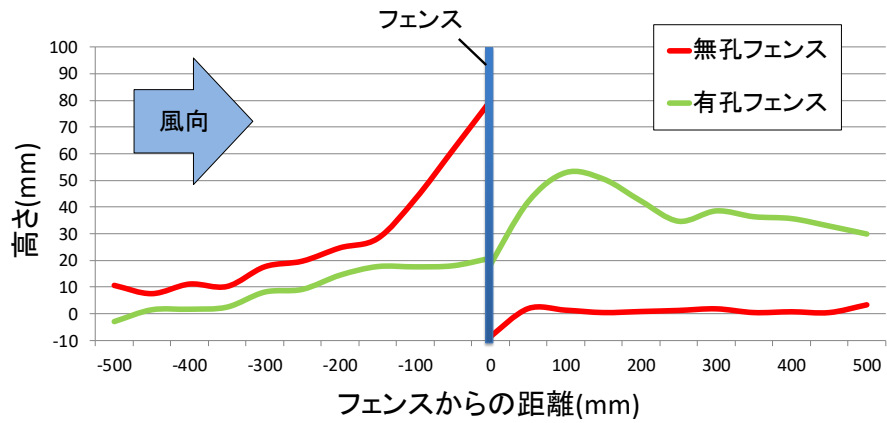


図 14 風洞実験による砂の堆積分布の比較

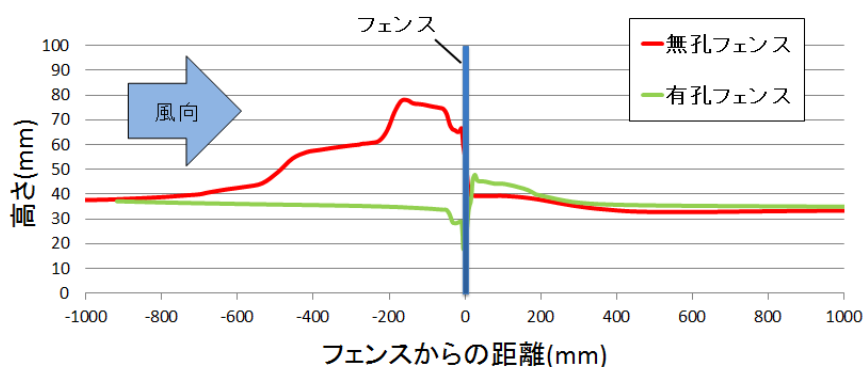


図 15 CFD 解析による砂の堆積分布の比較

4. まとめ

- 1) 混相流モデルを用いた数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics; CFD) シミュレーションによって、砂粒子の飛散・堆積性状を精度よく予測する方法を開発した。これによって、任意の地形上での気象条件を与えることで、飛砂の発生場所や程度を予測することが可能となると期待される。
- 2) 数値シミュレーションの精度を、実際の砂粒子を用いた大型風洞実験装置を用いた実験との比較により検証した。
- 3) 無孔フェンスの場合フェンス風上側に砂が堆積し、有孔フェンスの場合砂がフェンスを通過して風下側に堆積という風洞実験で得られた堆積の特性を、CFD 解析で再現することが出来た。
- 4) さらなる複雑な流れ場における精度の検証やモデルパラメータの普遍性の検討が今後必要である。