

CS-57

透過性フェンスを有する堤防近傍の風の流れの有限要素解析

日本大学短期大学部 正会員 畑中 勝守

1. はじめに

近年、飛砂災害が発生する海浜において頂部にフェンスを有する堤防を設置する飛砂防止対策がとられるようになってきている。この堤防頂部に設置されたフェンスは透過性であり、フェンスと堤防が海側から吹く風の速度を減速させ、砂浜から風に乗って運ばれてくる砂を堤防前面で落下させる効果をねらって設置されたものである。しかしながら、この工法に用いられる透過性フェンスの減風効果は施工時にはいっさい不明のまま設置される場合がほとんどであり、飛砂防止効果は期待できるがその効果のほどは不明であるといったケースが多い。また、フェンスの飛砂防止効果を検討するための実験は幾つか行われているが(例えば堀田[1])、多ケースに及ぶフェンス近傍の非定常な風の流れの変化を実験で把握することは困難である。

そこで本研究では、実験では捉えにくかった非定常なフェンス近傍の流れの変化を数値解析を用いて解析し、透過性フェンスを有する堤防の減風効果をフェンスの無い場合の堤防と比較検討することを試みた。計算においては、フェンスの透過性はフェンスによる圧力損失を考慮した外力項を非定常・非圧縮 Navier-Stokes 方程式(運動方程式)に付加することでモデル化した。またフェンスによる圧力損失は、クリーンルーム等の解析に用いられているフェンスの開口率をパラメータとするモデル化を用いて行った[2]。数値解析の計算手法としては、筆者らが提案した3段階 Taylor-Galerkin 法[3]を用いた。なお、本報告では透過性フェンスの数値解析が可能であるかどうかの基礎検討を行った結果を報告するのみに止め、実問題におけるフェンスの透過性と減風効果の関係についての十分な検討は行っていないことを付記する。

2. 数値解析方法

基礎方程式は、流れを非定常・非圧縮粘性流体流れと仮定し、次の2次元 Navier-Stokes 方程式と非圧縮連続式を用いた。

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + F_i \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

ここに、 u_i は速度ベクトル、 p は圧力、 ρ は密度、 μ は粘性係数である。また、 F_i はフェンスによる流路抵抗の項であり、フェンスによる圧力損失 Δp を用いて次のように表される。

$$F_i = \frac{\partial \Delta p}{\partial x_i} \quad (3)$$

また、圧力損失 Δp は

$$\Delta p = \frac{K}{2} |u_k| |u_k| \quad (4)$$

とモデル化され、抵抗係数 K は次のように表される。

$$K = C_s \frac{1-\alpha}{\alpha^2} \quad (5)$$

ここに、 C_s は抵抗体の形状係数、 α はフェンスの開口率である。開口率 α は節点ごとのパラメータとして予め有限要素メッシュの全節点に与えられるパラメータであるものとし、フェンスの設置されている節点に計算対象となる開口率の値を与え、フェンス以外の部分では開口率 1.0 (すなわちフェンス無しの条件) を与えた。なお本報告における解析では、フェンスの形状は不確定としたため C_s の値を 1.3 に固定した。

なお、実際の計算においては基礎方程式は Reynolds 数を無次元パラメータとする無次元化を行った式を用いて計算を行った。また基礎方程式は3段階 Taylor-Galerkin 法[3]を用いて離散化されているが、離散化の詳細と有限要素方程式等については紙面の都合上、割愛する。

3. 数値解析結果と考察

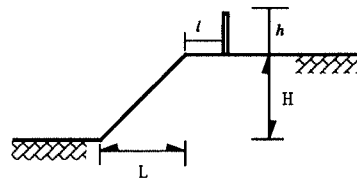


図1: 透過性フェンスを有する堤防の概念図

図1のように堤防をモデル化し、図の左(海側)から右(陸側)へ吹き流れる風を考える。このとき、図1の L/H は 1.0 に固定し、フェンスの設置位置 l と開口率 α を変化させ、フェンスが設置されていない場合の計算と比較した。計算を行った l と α の値はそれぞれ 0.0, 0.2 と 0.75, 0.5 であり、フェンスが無い場合も含めて5ケースの計算を行った。計算に用いた境界条件を図2に示す。境界条件の詳細は、まず流入境界において $u = y^1/4, v = 0$ を与え、底面境界では $u = v = 0.0$ 、上部境界では法線方向の流速をゼロとした。さらに流出境界において圧力の基準値として $p = 0$ を与えた。流れのレイノルズ数は $Re = 5000$ とし、微小時間増分は $\Delta t = 0.01$ とした。計

算は無次元時間 $T = 0 \sim 200$ で行い、結果の比較は無次元時間 $T = 100 \sim 200$ で平均されたものを用いて行った。この際、フェンスの無い場合の解析により得られた流速ベクトル u_0 を用い、フェンスによる減風効果 φ を次式により計算した。

$$\varphi = \frac{|u|}{|u_0|} \quad (6)$$

ここに、 u はフェンスが設置された場合の計算により得られた流速ベクトルである。上式により計算された各ケースにおける減風率 φ の分布図を図3～6に示す。フェンスの開口率を小さくした方がフェンス近傍での減風効果が高いことがわかる。また、フェンス位置を堤防の風上側に設置した場合の方が減風効果が高くなるがわかる。なお、全てのケースにおいて、フェンス後方に減風率が高い領域が見られるが、これはフェンスを設置したためにフェンス後方にできる渦の大きさが変化したためであり、当然の結果であると思われる。

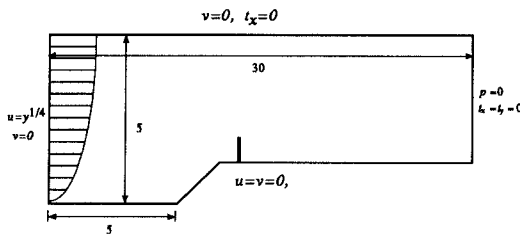


図 2: 境界条件

4. おわりに

透過性フェンスを有する堤防まわりの流れの数値解析を行った。本結果からフェンスを通過する風の流れの解析が可能であることは確かめられたが、本計算が実現象を再現しているかどうかは不明であり、フェンスの減風効果の詳細については依然不明である。今後はフェンスの開口率と減風効果に関する実験 [1] と比較し、より実用的な数値解析モデルの構築を行うことが課題であると考えている。

謝辞

本報告で示した計算結果は、日本大学理工学部土木工学科・小倉信樹君の協力により得られたものでありますことをここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 堀田新太郎, 堀川清司, 堆砂垣の機能についての実験的研究, 海岸工学論文集, 第 37 巻 pp.444-448 (1990)
- [2] 田代, 金山ら, 自動搬送車まわりの気流解析 (第二報), 第 6 回計算力学シンポジウム報文集, pp.185-190 (1992)
- [3] 畑中勝守, 江春波, 川原陸人, 3 段階テイラーガラーキン法を用いた非定常流体解析, 土木学会第 47 回年次講演会, pp.618-619 (1992)

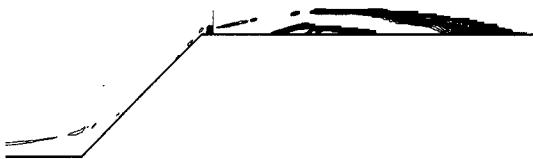


図 3: 減風率 φ の分布 ($l = 0.2, \alpha = 0.75$)

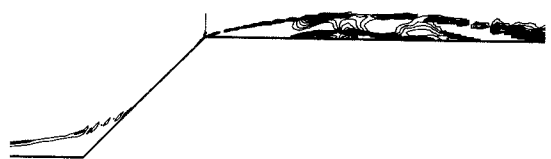


図 5: 減風率 φ の分布 ($l = 0.0, \alpha = 0.75$)



図 4: 減風率 φ の分布 ($l = 0.2, \alpha = 0.5$)

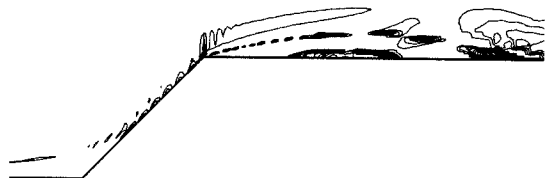


図 6: 減風率 φ の分布 ($l = 0.0, \alpha = 0.5$)