

フェンス型構造物に対する 3 次元風況シミュレーション

八戸高専 正員 丸岡 晃 三井造船 正員 渡邊 茂
中央大学 正員 平野 廣和

1. はじめに

近年の急速な計算機性能の向上に伴い数値流体力学 (CFD) が大きな進歩を遂げ、風況の把握に対して数値シミュレーションを積極的に活用しようとする気運が高まってきている。将来的にその有効性が認められれば、風況の把握を効率的に行うことができる。また、数値シミュレーションは従来の風洞実験が持たない幾つかの特徴を有している。その最も大きな利点の一つに条件設定の任意性が非常に高いことが挙げられる。他にも風洞実験では検証不可能であった可視化等の現象の把握も可能となる。本研究では数値流体解析によるフェンス型構造物に対する減風効果の評価手法の信頼性についての検証を目的とする。そこで、フェンス型構造物に対する風洞実験および Smagorinsky モデルにおける LES を用いた 3 次元数値流体解析を行った。これに基づき数値流体解析の適用性を検証した結果について報告する。

2. 風洞実験概要

防波堤上にフェンスを設置したフェンス型構造物モデルを取り上げ、数値解析と比較するために風洞実験を行った。風洞実験には三井造船 (株) 昭島研究所所有の構造物用低速風洞を用いた。実験模型は 図-1 に示す 2 ケースである。総フェンス高は、Case-1:100[mm]、Case-2:130[mm] であり、フェンス軸方向の長さは、1800[mm] である。また、フェンスの設置角度は、風の主流方向と直角である。

本実験では I 型熱線プローブによる風速の測定およびタフトによる可視化を行った。座標軸 x_i は、1:主流方向、2:主流直角方向、3:フェンス軸方向と定義し、図中の O 点を原点とする。I 型熱線プローブにより得られる風速は 1-2 成分の大きさ $U = (u_1^2 + u_2^2)^{\frac{1}{2}}$ である。この風速により平均風速 $\langle U \rangle$ および変動風速 $\langle U'^2 \rangle^{\frac{1}{2}}$ の鉛直分布を得た。流入風速は 10[m/s] であり、総フェンス高 D による Reynolds 数は Case-1: 6.7×10^4 、Case-2: 8.7×10^4 である。

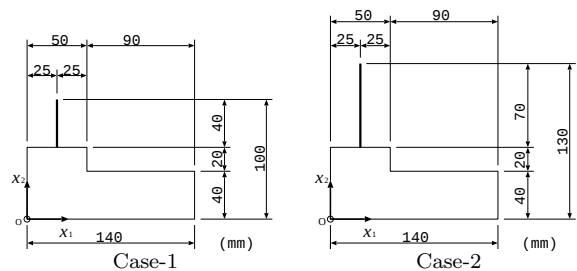


図-1 フェンス型構造物断面のモデル

3. 解析条件

本研究では、流れを非圧縮性粘性流れとし、乱流モデルに Smagorinsky モデルによる LES により 3 次元数値流体解析を行う。Smagorinsky 定数 C_s は 0.1 とする。また、壁面付近では Smagorinsky 定数に Van Driest の壁面減衰関数を乗じる。解析手法には、IBTD 法と FS 法を組み合わせた有限要素法による解析手法¹⁾を適用する。

図-2 に 2 次元平面の解析領域を示す。2 次元平面の節点数は約 2 万点である。3 次元解析における軸方向長は 320[mm] であり、16 層に分割した。流入条件は風洞実験の $x_1 = -800$ [mm] のラインで測定した平均風速のみを用い、乱れによる変動風速は考慮していない。その他の境界条件は、上面でスリップ、壁面で Werner, Wengle による wall function、流出で移流型流速境界条件、軸方向で周期境界条件を用いた。

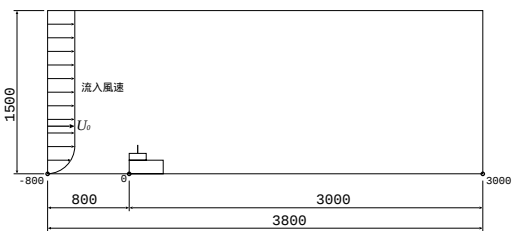


図-2 2 次元平面の解析領域

4. 解析結果

図-3 に平均風速および乱れ強さの数値解析と風洞実験の比較を示す。数値解析結果は、どちらのケースも平均風速の $x_1 > 600$ で若干大きめな値となっているが、全体的に平均風速および乱れ強さともほぼ一致した結果を得ている。フェンス後方の乱れ強さは、約 60%であった。図-4 に平均流速ベクトル (Case-2)、表-1 にフェンスが影響を及ぼす範囲 (循環領域) の指標となる再付着点距離を示す。再付着距離の定義は、本解析ではフェンス上縁に接し剥離した流線が再び床面に付着するまでの距離とした。風洞実験ではタフトによる可視化と同時に床面に 400[mm] ピッチに小型の旗を設置し、その向きをビデオ撮影した動画で確認することにより再付着点距離を判断した。そのため、両ケースとも時間的な変化によって広い範囲での旗の前後の振れがみられ再付着点距離を特定するのは困難であった。本解析で得られた再付着点距離

Key Words: フェンス型構造物, 風洞実験, CFD, LES

〒 039-1192 八戸市田面木字上野平 16-1, TEL:0178-27-7304, FAX:0178-27-7316

は，風洞実験で推定される範囲内であった．また，流速ベクトルもタフトによる可視化と定性的に一致した．再付着距離 x_1 を総フェンス高 D により基準化すると Case-1:11.0, Case-2:12.3 であった．通常この値は正方形角柱²⁾では 5.8 であることから，この形状のフェンス型構造物は比較的性能が高いことが挙げられる．図-5,6 に平均風速および変動風速 (Case-2) の空間分布を示す．平均風速 3.0[m/s] 以下 (減風効果:30% 以下) を期待できる領域は， $x_1 \approx 600$ 付近までであった．変動風速は， $600 < x_1 < 1500$ ， $x_2 \approx 250$ 付近で，3.0[m/s] 以上の強い変動が見られ，床面付近では $x_1 > 400$ で 1.0[m/s] 以上の変動が見られる．循環領域内であっても平均風速や変動風速の大きい領域が見られることから，減風効果を評価するには，平均風速や変動風速を考慮することが重要であるといえる．

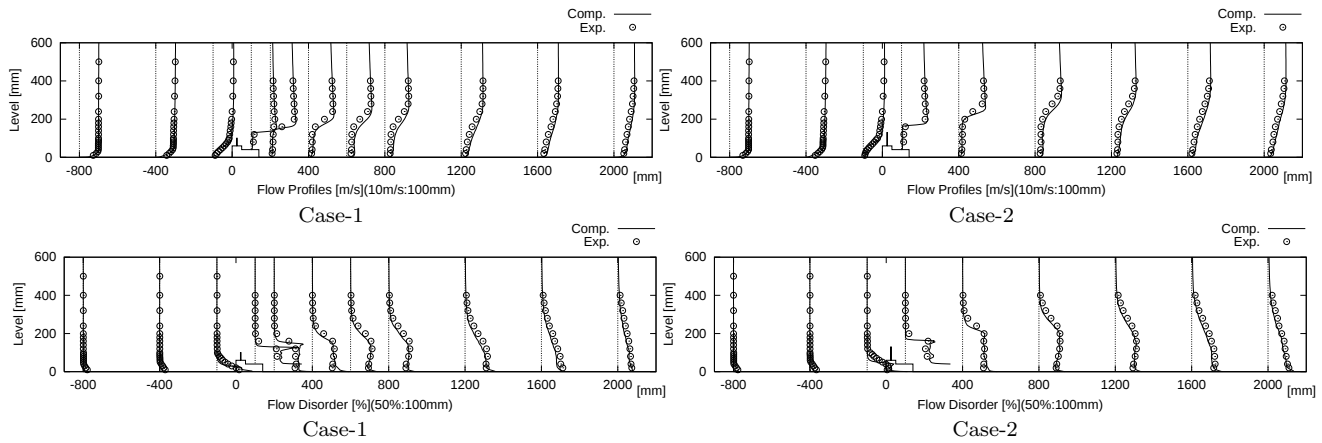


図-3 平均風速 $\langle U \rangle$ (上) および乱れ強さ $\langle U'^2 \rangle^{\frac{1}{2}} / \langle U \rangle \times 100[\%]$ (下) による数値解析と風洞実験の比較

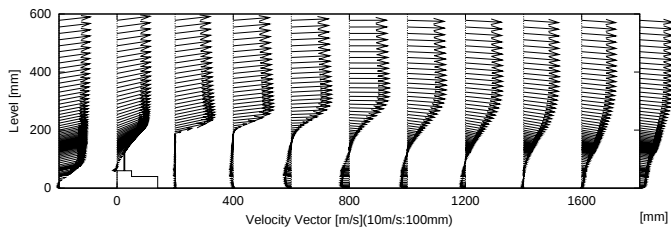


図-4 平均風速ベクトル (Case-2) ($\langle u_1 \rangle, \langle u_2 \rangle$)

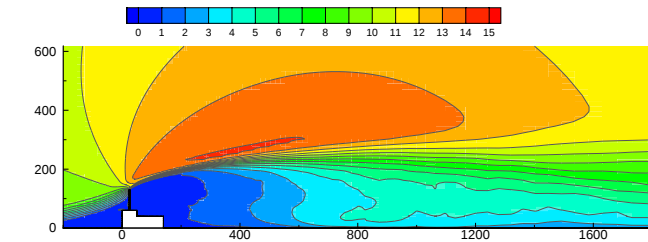


図-5 平均風速の空間分布 (Case-2) ($\langle U \rangle$)

表-1 再付着点距離 [mm]		
	数値解析	風洞実験
Case-1	1104	1200・1400・1600 の地点の旗が前後に激しく振れる
Case-2	1597	1400・1600・1830 の地点の旗が前後に激しく振れる

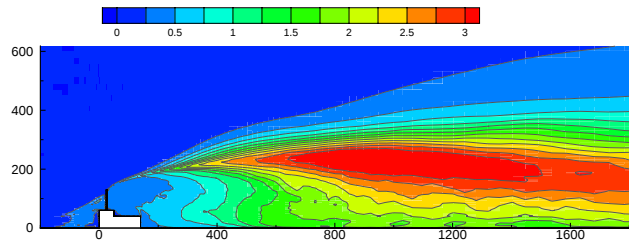


図-6 変動風速の空間分布 (Case-2) ($\langle U'^2 \rangle^{\frac{1}{2}}$)

5. おわりに

本研究では，フェンス型構造物に対する数値流体解析を行い，風洞実験との比較により以下の結論を得た．

1. 平均風速および乱れ強さによる実験結果との比較により数値解析結果が非常に良く一致したため，本解析の適用性が確かめられた．
2. 風洞実験の可視化では，なかなか特定できない再付着点距離を数値解析では容易に特定できた．なお，可視化と数値解析では，流れ場も定性的に一致していることもわかった．
3. 風洞実験では得られない平均風速や変動風速等の流体諸量の空間分布を得ることができた．

謝辞: 本研究を遂行するにあたり，八戸高専・建設環境工学科・姉帯信幸氏 (研究当時) に御協力を頂いた．

ここに記して謝意を表します．

参考文献

- 1) 丸岡, 太田, 平野, 川原: 同次補間を用いた陰的有限要素法による非圧縮粘性流れの解析, 構造工学論文集, Vol.43A, pp383-394, 1997.
- 2) 村上, 持田, 近藤, 田中: 代数応力モデルによる次元角柱周辺の乱流場の数値解析, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 419 号, 1991.