

○中央大学 学員 太田 真二 中央大学 正員 平野 廣和
構造技研 高橋 豊 新潟県 吉田 茂

1 はじめに

強風地帯に新たに構造物を構築する場合、対象となる地点での風環境を推定することはきわめて重要な項目の一つである。従来は地形模型を用いた風洞試験^[1]によりこの推定がなされのが一般的であった。一方、近年の数値流体解析技術の進歩により、数値解析^{[2]-[4]}の面からもこの推定を行う試みがなされている。以上の背景から、本研究では複雑な地形や構造物にも対応可能な有限要素法を用いて、複雑形状の構造物周りの流れの解析を行っている。また乱流モデルの導入を行う際、この様な解析に最もよく用いられている $k-\varepsilon$ モデル採用している。数値解析例として、実存する橋梁ならびそれに接続する盛土周りの風環境の推定を行い、そこを通過する歩行者、自転車に対しての安全性ならびに耐風対策を検討している。

2 基礎方程式

乱流場における非圧縮流れの基礎方程式は、以下に示す平均流 Navier-Stokes 方程式で表される。

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\bar{P} + \frac{2}{3}k \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\nu + \nu_t) \left(\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} \right) \right\} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

ここで $\bar{U}_i$, $\bar{P}$, k は、平均流速、平均圧力、乱流エネルギーを示す。また、 ν , ν_t は分子粘性係数、渦動粘性係数を示す。渦動粘性係数は、以下の式で表される。

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3)$$

ここで ε は、乱流エネルギーの散逸率を示す。

k と、 ε は、以下に示す輸送方程式によって表される。

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{U}_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right\} + P_k - \varepsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar{U}_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right\} + (C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \varepsilon) \frac{\varepsilon}{k} \quad (5)$$

ここで P_k は、 k の生成項を示し、モデルによって以下の式で表される。

(標準 $k-\varepsilon$ モデル)

$$P_k = C_\mu \varepsilon S^2$$

(改良 $k-\varepsilon$ モデル)

$$P_k = C_\mu \varepsilon S \Omega \quad (6)$$

$$S = \frac{k}{\varepsilon} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)^2} \quad \Omega = \frac{k}{\varepsilon} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)^2} \quad (7)$$

各定数値は、以下の標準値を用いた。

$$C_\mu = 0.09, C_{\varepsilon 1} = 1.44, C_{\varepsilon 2} = 1.92, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3$$

3 数値解析例

数値解析モデルとして、白根安田線、新潟県北蒲原郡安田長新保地内の阿賀野川に架設された安田橋ならびにこれに接続する取付け道路の盛土区間周りの流れの解析を行った。架設箇所は、通称「安田だし」と呼ばれる局所強風が吹く場所に位置し、年間の 2/3 程度の日数において風速 10 m/s 以上の強風が恒常的に発生している。また、その卓越風向も道路中心にほぼ直角に吹く場合が多い。そのため、本橋ならびに取付け道路の盛土部分を通過する歩行者・自転車通行者に対して安全性を検討する必要がある。

解析地形は、盛土周辺でのおおの形状の異なった物を 4 ケース行い、橋梁断面周りでは防風壁の有無の 2 ケースを計算した。解析条件は、盛土周辺では標準 $k-\varepsilon$ モデル、橋梁断面では改良 $k-\varepsilon$ モデルを適用している。風向ならびに風速条件は、道路中心軸から直角方向に吹くものとし、盛土周辺でべき法則 (1/4 乗則)、橋梁周辺では一様な風が吹くものとした。壁面境界条件としては、Log-law による壁法則を適用している。

4 結果と考察

図 1 に盛土まわりにおける増速率の分布を示す。これを見ると、どのケースも歩道先端で風速が増加する傾向にあるが、その領域は (B) 以外は狭い範囲に限られている。従って (B) 以外のケースに関しては、さほど問題ではないと言えよう。しかし (B) の場合、盛土の高さが最も低いことやのり面の勾配が緩やかであることが原因して、歩道部全体がほぼ増加の領域に入っていることが分かる。そのためこのケースに関しては、ここを通過する歩行者、自転車に対して危険性があると考えられ、防風壁などの安全対策が必要であると考えられる。

次に、図2は橋梁断面まわりの増速率の分布を示している。これを見ると、防風壁が無い場合に歩道付近で吹上げのかなり強い風が吹くことが分かる。これに対して防風壁を設置すると、風速がかなりの割合で抑えられ、歩行者への影響が少なくなったと考えられる。壁の内側で若干の渦が巻くが確認できるが、その風速は小さいためさほど問題とはならないと考えられる。しかし強風時通行するには、注意を要する必要があると思われる。

5 おわりに

今回、実存する複雑形状の構造物まわりにおける流れ場を解析した。その結果、これらの地点での風環境を推定することができ、そこを通過する歩行者、自転車に対しての安全性ならびに耐風対策を検討することができた。また、同時に本 $k-\varepsilon$ モデルの妥当性と有効性も確かめることができた。

参考文献

- [1] Bowen, A.J., Lindley, D. : "A Wind-tunnel Investigation of the wind speed and turbulence characteristics close to the ground over various escarpment shapes"
- [2] 串岡清則, 齊藤通, 本田明弘 : "複雑地形まわり流れへの流動解析の適用", 第13回風工学シンポジウム論文集, 1994. , Boundary-Layer Meteorology, Vol.12, pp.259-271, 1977.
- [3] 太田, 丸岡, 平野, 川原 : $k-\varepsilon$ モデルによる乱流の解析 第22回関東支部技術研究発表回講演概要集, 1995
- [4] 太田, 丸岡, 平野, 川原 : $k-\varepsilon$ モデルによる複雑地形周り流れ解析 第50回年次学術講演会講演概要集, 1995

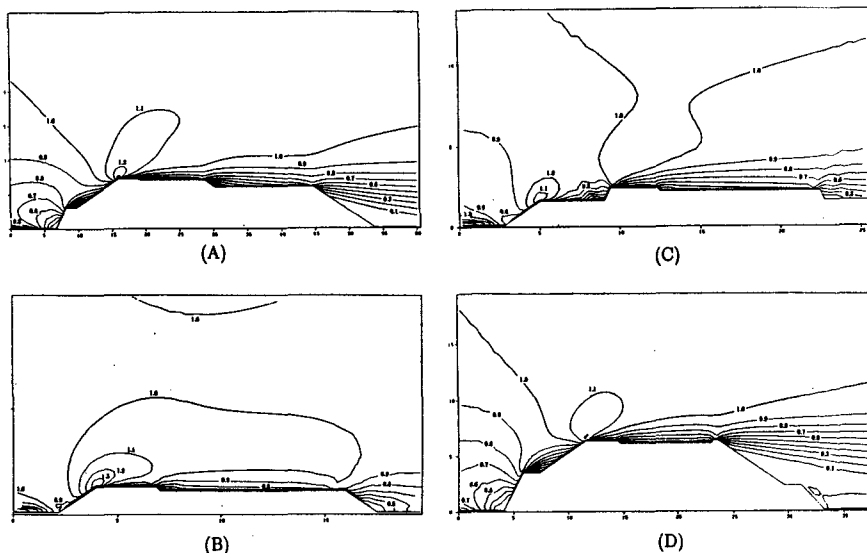


図1 盛土まわりの増速率の分布

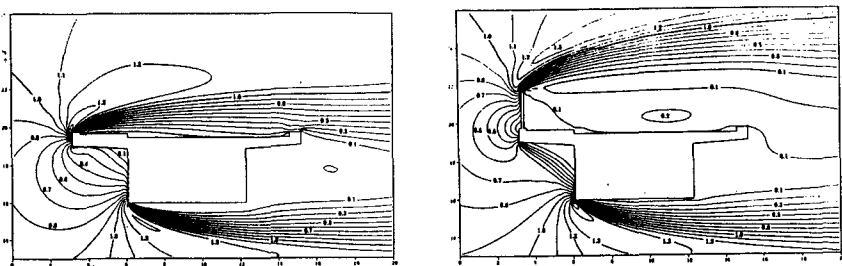


図2 橋梁断面まわりの増速率の分布