

## コンクリート製遮音壁の風速緩和効果 に関する風洞実験と数値解析

富永 禎秀\* 地濃 貞雄\*\* 地濃 茂雄\*\*\*

(平成13年10月31日受理)

### Wind tunnel Test and CFD analysis on Velocity Distributions around Sound-interrupt fence on the road

Yoshihide TOMINAGA\*, Sadao CHINO\*\*, Shigeo CHINO\*\*\*

In the previous study, the velocity distribution around Sound interrupt fences made with concrete is analyzed in detail by CFD technique for examine the effect of the fence which buffers wind velocity. Consequently, it was confirmed that the fence is very effective for controlling the velocity and direction of wind on the road. In this study, the effect of porous ratio of fences is analyzed by wind tunnel test and CFD methods. It was confirmed that 50% is most effective for controlling velocity and direction of wind on the road.

Key words : Concrete fence, Velocity distribution, Wind tunnel test, CFD

#### 1. はじめに

高速道路などでは、近隣住民への騒音対策を目的として、コンクリート版を組み合わせた遮音壁<sup>注)</sup>が部分的に設置されているが、強風時には、この遮音壁の端部周辺で風向や風速が大きく変化するため、走行車輛がハンドルを取られるなどの危険性が生じる。

既報<sup>1)2)</sup>では、こうした風速・風向の急激な変化を抑制するための方策として、既設遮音壁の隣に開口を有する「緩衝壁」を設置する方法の有効性を乱流数値シミュレーションに基づく数値解析により明らかにした。すなわち緩衝壁の開口率については、50%の場合を例に解析を試みたが、開口率が変化した場合の風速・風向変化の緩和効果や風洞実験結果との比較による数値解析手法の予測精度の検証も課題として残されていた。

そこで本報では、より効果的な緩衝壁を開発するために、緩衝壁の開口率と風速減衰効果との関係について風洞実験と数値解析により詳細に検討を行った。

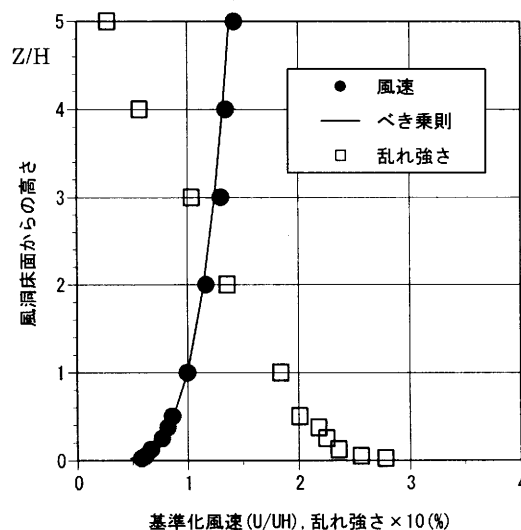


Fig.1 Velocity profile at inflow

\* 建築学科 助教授

\*\* (株)アドヴァンス技研 常務取締役・研究開発部長

\*\*\* 建築学科 教授

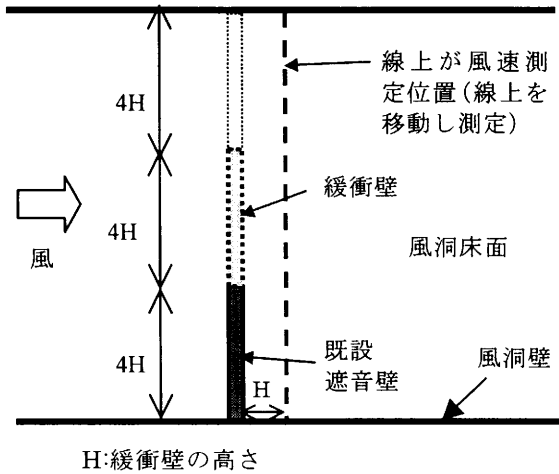


Fig.2 Horizontal plan of wind tunnel (indicating position of fence)

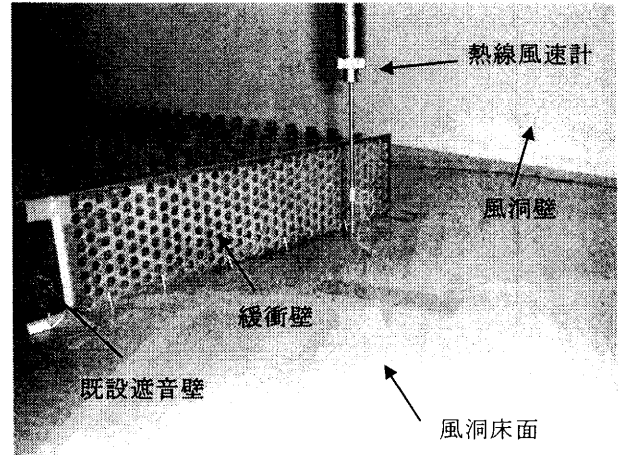


Photo 1 Setup of wind tunnel test

## 2. 開口率と風速緩和効果に関する風洞実験

### 2.1 風洞実験装置

新潟工科大学に設置している大型境界層型風洞を使用した<sup>3)</sup>。

### 2.2 風洞内気流

地表面付近を吹く風は、建物や樹木、地形の起伏などの影響を受け、一般に上空よりも風速は小さい。しかし、ある程度の強風時では平均風速と高さの関係は次式に示す指数法則で表される。

$$U_z = U_{z_0} (z/z_0)^\alpha \quad \dots (1)$$

$U_z$  : 高さ  $z$  での風速,  $U_{z_0}$  : 高さ  $z_0$  での風速

ここに  $\alpha$  はべき指数で、本実験では 0.20 (日本建築学会の建築物荷重指針・同解説<sup>4)</sup>における地表面粗度区分Ⅲ) とした。実験時の接近流の鉛直分布を Fig.1 に示す。

ただし、風洞内の風速については次式に示すレイノルズ数  $Re$  が実物と一致することが前提となる。

$$\text{レイノルズ数 } Re = \frac{U_0 L}{\nu} \quad \dots (2)$$

$U_0$  : 代表風速 (m/sec),  $L$  : 代表長さ (m)

$\nu$  : 動粘性係数 (15°C, 標準気圧で  $1.46 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$ )

すなわち模型縮尺が仮に 1/20 の場合、風速を実物の 20 倍にしなくてはならないことになるが、これは通常困難である。一方、本実験で対象とするような角張った形状では、流れの剥離点が角部に固定されるため、ある程度以上の  $Re$  数においては、流れ場の  $Re$  数依存性がほとんどないことが知られている。代表風速を 10m/s, 代表長さを 15cm とした場合の  $Re$  数は約  $1.0 \times 10^5$  となり、十分大きい。以上のことから本実験では、風速センサーの測定レンジや分解能、風洞内気流の安定性などを考慮して、緩衝壁高さでの平均風速を 10m/sec とした。

### 2.3 実験模型

本実験では、使用する風洞の大きさや気流特性および前述の  $Re$  数の相似条件から、模型縮尺を 1/20 (既設遮音壁および緩衝壁の高さ  $H=15\text{cm}$ ) とした。風洞内における模型の既設遮音壁および緩衝壁の設置位置を Fig. 2 に示す。そして緩衝壁の開口率を 5%, 10%, 20%, 30%, 50%, 60% 及び

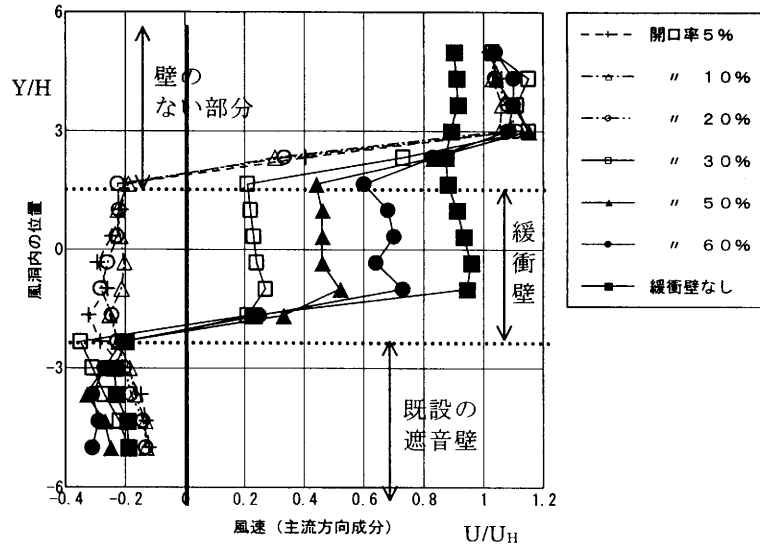


Fig.3 Velocity distribution behind fence (Wind tunnel test)

100% (緩衝壁を設置しない場合) の 7 通りに変化させ、それぞれの緩衝壁後方の風速分布を計測した。

### 2.4 測定装置

I 型の熱線風速計を風洞内のトラバース装置に取り付け移動させながら、緩衝壁後方の風速の主流方向成分を測定した。模型及び風速の測定状況を Photo 1 に示す。

### 2.5 実験結果

既設遮音壁及び緩衝壁の風下側における風速分布を Fig. 3 に示す (測定位置は Fig. 2 参照)。全てのケースにおいて、既設遮音壁の後方で負値となっており、主風向とは逆向きの流れが生じていることがわかる。緩衝壁の開口率が 10% と 20% のケースでは、後方部分でも逆流が生じており、遮音壁の場合と気流分布に殆ど違いがない。そのため緩衝壁端部周辺では大きな風速の差が生じている。すなわち開口率が 20% 以下では風速急変の緩衝効果は期待できないことがわかる。

これに対して開口率が 30% 以上の場合、緩衝壁後方で逆流が発生しなくなり、また端部周辺の風速の大きな差は緩和されている。そして開口率が大きくなるに従い、風速が大きくなる傾向にある。なかでも開口率 50% の場合が、遮音壁部分と壁のない部分とのほぼ中間程度の風速となっており、緩衝用として最適であるといえよう。

## 3. 緩衝壁の開口率と風速低減効果の関係に関する数値解析

### 3.1 検討目的

風洞実験は、現在のところ、構造物等周辺の気流を調べる場合に最も一般的に用いられる手法であり、精度も高いと考えられる。しかしながら、壁面の圧力分布などに比べて、空間の風速分布を成分ごとに詳細に測定することは非常に困難であり、流れの空間的な構造を理解する方法としては適さない。それに対して、既報<sup>1)2)</sup>で示したような数値解析手法は、空間的な流れ場の構造を把握することには適しているが、その予測精度については、

風洞実験などの実現象との比較により検証する必要がある。よって本報では、今回行った風洞実験結果と数値解析結果を比較し、その精度の検証を行うとともに、開口率の違いが緩衝壁の風速低減効果に及ぼす影響について、数値解析により得られた流れの空間分布から考察を加えることとした。

### 3.2 数値解析手法の概要

既報<sup>1)2)</sup>と同様、乱流モデルは一般的な標準型のk-ε 2方程式モデルを用い、HSMAC法のアルゴリズムにより数値解を得た。基礎方程式は以下の通りである<sup>5,6)</sup>。

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_j} = 0 \quad \dots (3)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial U_i U_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \nu_t \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad \dots (4)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial k U_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{\nu_t}{\sigma_1} \left( \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) \right] + \nu_t S - \varepsilon \quad \dots (5)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \varepsilon U_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{\nu_t}{\sigma_2} \left( \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) \right] + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \nu_t S - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \quad \dots (6)$$

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad \dots (7)$$

$$S = \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad \dots (8)$$

$$C_\mu = 0.09, C_1 = 1.44, C_2 = 1.92, \sigma_1 = 1.3, \sigma_2 = 1.3$$

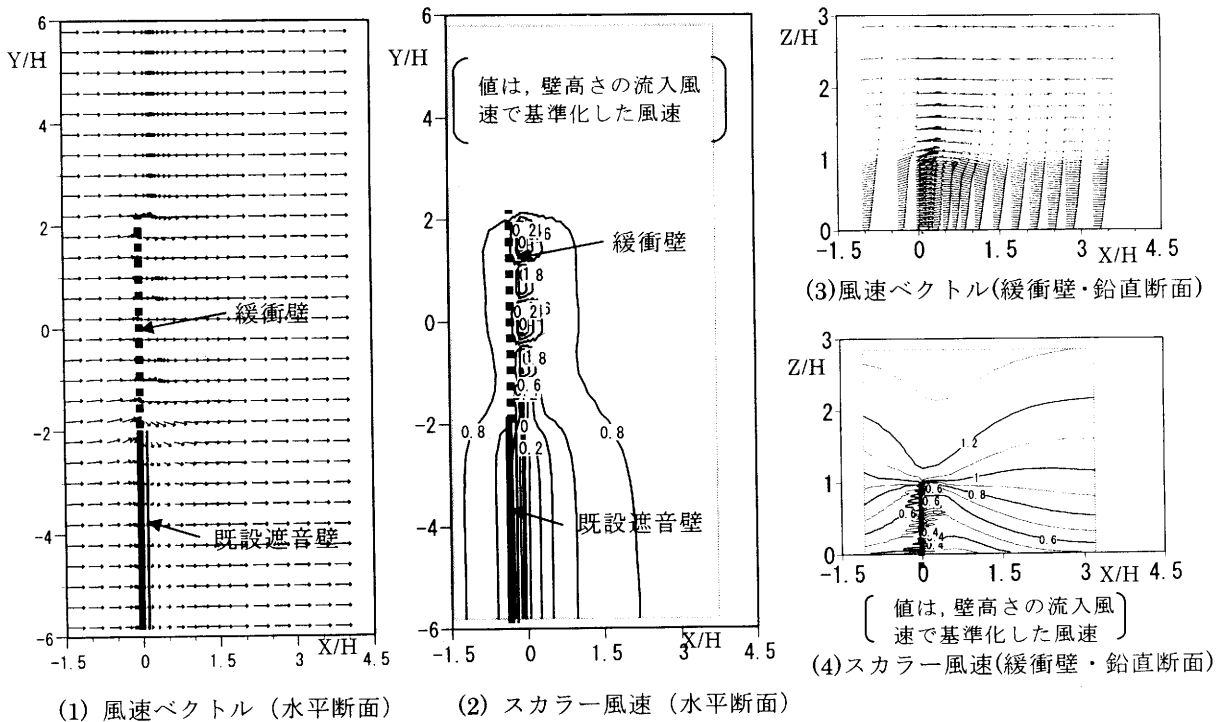


Fig.4 Velocity distribution at porous ratio 50% (CFD)

### 3.3 計算条件

- ①解析領域：Fig. 2 の風洞実験の条件を再現する．流れ方向(x)は，風上側緩衝壁より前方に 2.5H，後方に 7.5H とした．風に直交方向は 15H，鉛直方向は 17.5H とした．
- ②メッシュ分割は，上記の解析領域を 60(x)×30(y)×40(z) に分割した．
- ③流入境界条件：風洞実験と同様に  $\alpha=2.0$  の指数分布を仮定して与えた．乱流エネルギー  $k$  については，文献 4 の乱れの強さから推定して与えた． $\epsilon$  は流入面で  $k$  の生産項  $P_k$  と局所平衡が成立するとして与えた．
- ④側面・上空・流出境界：諸量に関して勾配ゼロを課した．
- ⑤地表面・壁面境界条件：今回のような形状の場合，壁面粗度の影響は極めて小さいので滑面を想定し，風速の境界条件は，generalized log law を用いた．壁面第 1 セルの  $k$  は，壁面上の  $k$  が法線方向に勾配がないとの条件の下に  $k$  の輸送方程式を解いて求めた．一方壁面第 1 セルの  $\epsilon$  は，輸送方程式を解かず Launder-Spalding の壁関数より与えた．
- ⑥離散化スキーム：空間については，全ての輸送方程式の移流項に QUICK スキームを使用した．時間については，1 次精度の Full Implicit スキームを使用した．

### 3.4 検討ケース

緩衝壁を設置しない場合と開口率 10%, 30%, 50% 及び 70% の場合の計 5 ケースを行った．

### 3.5 数値解析結果と風洞実験結果の比較

まず代表的なケースとして，開口率 50% の場合の数値解析結果の風速ベクトル及びスカラー風速の水平分布(高さ 0.33H)と緩衝壁中心の鉛直分布を Fig.4 に示す．風速ベクトルでは，既設遮音壁周辺部での強い剥離流や緩衝壁部分で風速が徐々に拡散する様子が観察される．またスカラー風速を見ると，既設遮音壁の部分では，風速の変化が大きく，緩衝壁部分では変化がゆるやかであることが分かる．

次に緩衝壁を設置しない場合と開口率 50% の場合について，風洞実験結果との比較を行った結果を Fig.5 に示す．数値解析結果は，風洞実験結果とよく一致しており，本解析で用いた数値解析手法は十分信頼できる手法であることが裏付けられる．なお開口率 50% の場合の周辺部分で，風洞実験の方が風速を大きめに評価しているのは，緩衝壁の外周部分の数値解析上のモデル化が実験模型と厳密に整合していなかったためと考えられる．

### 3.6 開口率の違いによる風速低減効果の違い

各ケースの緩衝壁部分における風速分布の

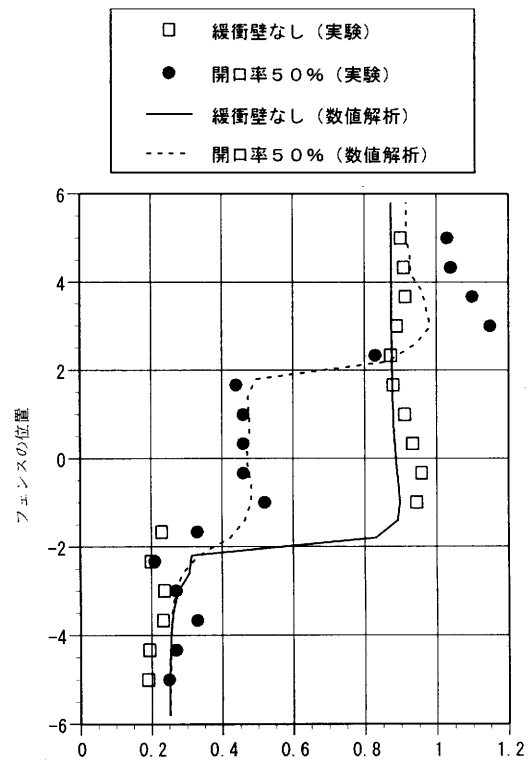


Fig.5 Comparison between the results of CFD and wind tunnel test

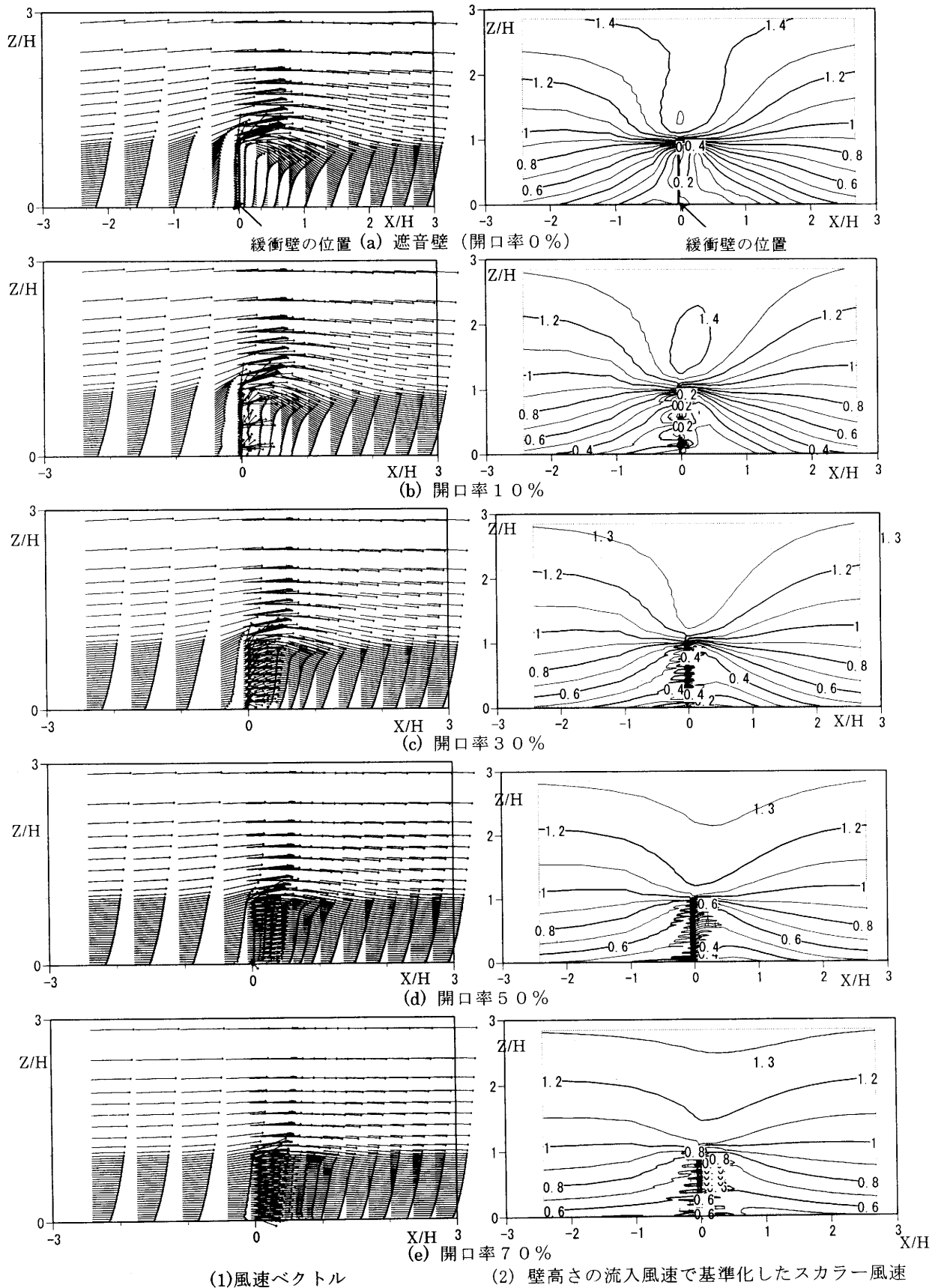


Fig.6 Velocity distribution of various porous ratio

鉛直断面を Fig. 6 に示す。緩衝壁風上側の風速分布に着目すると、開口率 0% の場合、急激に風向が上向きとなり、風速値も減衰するのに対して、開口率が大きくなるにつれて、このような上向きの気流は観察されなくなる。緩衝壁の風下側においては、開口率 0% と 10% では、逆流が観察されるが、30% 以上の開口率では逆流は現れておらず、風洞実験結果と対応している。開口率 70% の場合、緩衝壁前後での風速の変化は全体小さく、地表面付近では加速している部分も見られる。

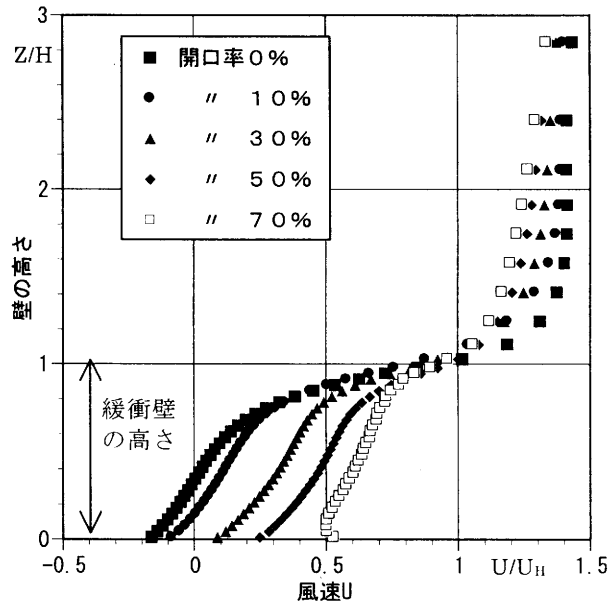


Fig.7 Velocity distribution behind fence (CFD)

Fig. 7 は、緩衝壁後方における風速の主流方向成分を比較したものである。開口率 0%、10% では地表面付近で逆流が生じているが、開口率が大きくなると、緩衝壁後方における逆流がなくなり主流方向の風速が大きくなるが、より上方では、むしろ風速は弱くなる傾向にある。

#### 4. まとめ

コンクリート製遮音壁に付設する風速緩衝壁を開発することを目的として、風洞実験及び乱流数値シミュレーションによって風速低減効果について検討した。得られた結論は以下のようなものである。

- ①緩衝壁の開口率を変化させた風洞実験を行った結果、開口率 50% の場合が、緩衝壁として最適であった。
- ②開口率が 50% より小さい場合には、無開口の場合と同様に逆流が生じた。一方、それより大きい場合には、緩衝効果は小さくなる。
- ③本研究で用いた乱流数値解析手法は、風洞実験結果と十分な精度で一致し、その有効性が確かめられた。

注) 500mm×4,000mm (厚さ 90mm) の鉄筋コンクリート版を縦に 6 枚積み上げることにより構成されており、隙間等は存在しない。なお本研究で検討している緩衝壁の風速低減効果は、コンクリート製に限ったものではない。

主な記号

X, Y, Z : 空間の 3 成分 (X ; 主流方向, Y ; 主流横方向, Z ; 鉛直方向)

U, V, W : X, Y, Z 方向の風速成分

P: 圧力, k : 乱流エネルギー

$\varepsilon$  :  $k$  の散逸率,  $\nu_t$ :渦動粘性係数

$H$ : 壁の高さ,  $U_H$ : 高さ  $H$  における流入風の  $U$  成分

原則として諸量は  $H$ ,  $U_H$  を使って無次元化して示している.

#### 参考文献

- 1) 富永禎秀, 地濃貞雄, 地濃茂雄: コンクリート製遮音壁の風速緩和効果に関する風洞実験と数値解析, コンクリート工学年次論文集, vol.23, No.1, pp.85-90, 2001.7
- 2) 富永禎秀, 地濃貞雄, 地濃茂雄: コンクリート製遮音壁が走行路上の風速分布に及ぼす影響, 新潟工科大学紀要, 第5号, pp.43-50, 2000.12
- 3) 赤林伸一, 持田灯, 富永禎秀他: 新潟工科大学境界層型風洞の基本特性, 日本風工学会誌, 第68号, pp.95-106, 1996
- 4) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, 1993
- 5) Tominaga, Y., Y. Mochida: CFD prediction of flowfield and anowdrift around a building complex in a snowy region, J.Wind.Eng. Ind. Aerodyn. Vol.81, pp.273-282, 1999
- 6) 富永禎秀, 持田灯, 村上周三他: 各種改良  $k-\varepsilon$  モデルによる高層建物周辺気流の CFD 解析, 第16回風工学シンポジウム論文集, pp.155-160, 2000