

論文 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*1・地濃 貞雄*2・地濃 茂雄*3

要旨：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¹⁾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、開口率50%の場合を例として、その数値解析により明らかにした。本報はこれに続くもので、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検討した結果を述べたものである。

キーワード：コンクリート製遮音壁、緩衝壁、風速分布、風洞実験、数値解析

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¹⁾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¹⁾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。

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²⁾。

2.2 風洞内気流

図—1に示されるように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が低くなっている。ある程度

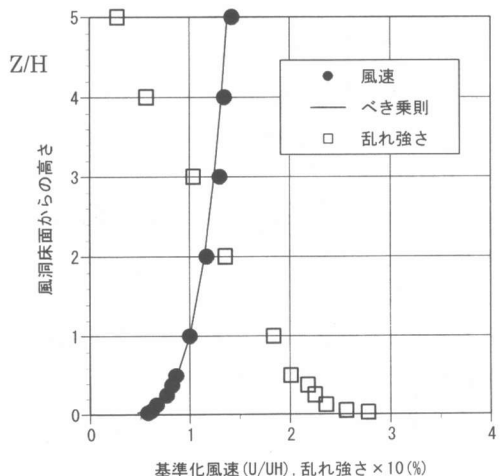


図1 接近流の鉛直分布

*1 新潟工科大学大学院助教授 工学研究科 博(工) (正会員)

*2 (株) アドヴァンス技研 常務取締役・研究開発部長 (正会員)

*3 新潟工科大学大学院教授 工学研究科 工博 (正会員)

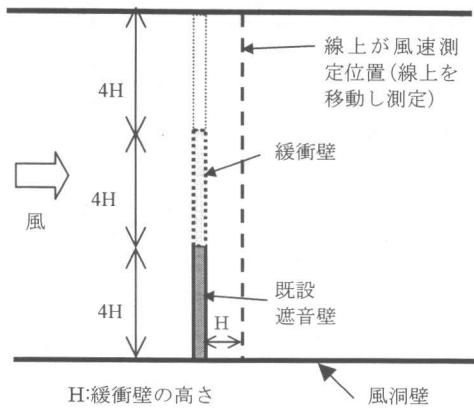


図2 風洞実験の概要
(遮音壁・緩衝壁の設置位置, 平面図)

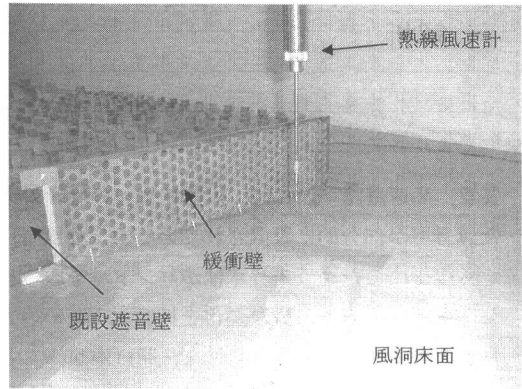


写真1 風速測定状況

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。

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

U_z : 高さ z での風速, U_{z_0} : 高さ z_0 での風速
 α 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・解説³⁾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図—1に示す。

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。

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

U_0 : 代表風速 (m/sec), L : 代表長さ (m)
 ν : 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。一般に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 1.0×10^5 となり、十分大きい。よって本実験では、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。風洞内における既設遮音壁および緩衝壁の設置位置を図—2に示す。風洞中央部に設置する緩衝壁の開口率を 5%, 10%, 20%, 30%, 50%, 60% 及び 100% (フェンスを設置しない場合) 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写真 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図—3に示す(測定位置は図—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¹⁾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。

3.2 数値解析手法の概要

既報¹⁾と同様、乱流モデルは一般的な標準型の $k-\varepsilon$ 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^{4,5)}。

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad \dots(1)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial U_i U_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\nu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad \dots(2)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial k U_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\nu_t \left(\frac{\partial k}{\partial x_j} \right) \right] + \nu_t S - \varepsilon \quad \dots(3)$$

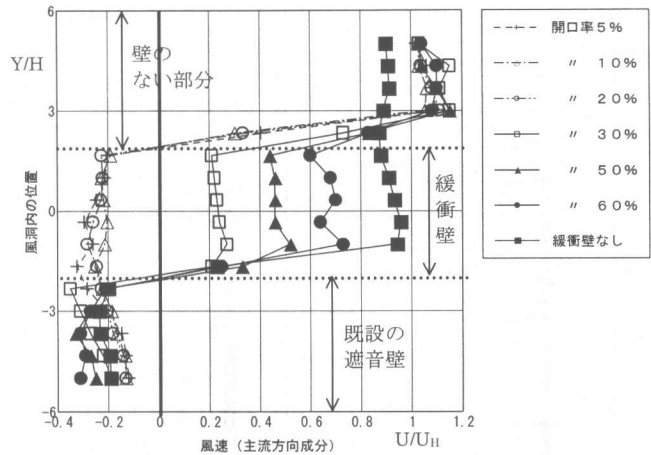


図3 遮音壁・緩衝壁後方の風速分布（風洞実験結果）

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \varepsilon U_j}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\nu_t}{\sigma_2} \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) \right] + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \nu_t S - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \quad \dots(4)$$

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad \dots(5)$$

$$S = \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad \dots(6)$$

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

3.3 計算条件

- ①解析領域：図—2の風洞実験の状況を再現する。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3の乱れの強さから推定して与えた。 ε 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

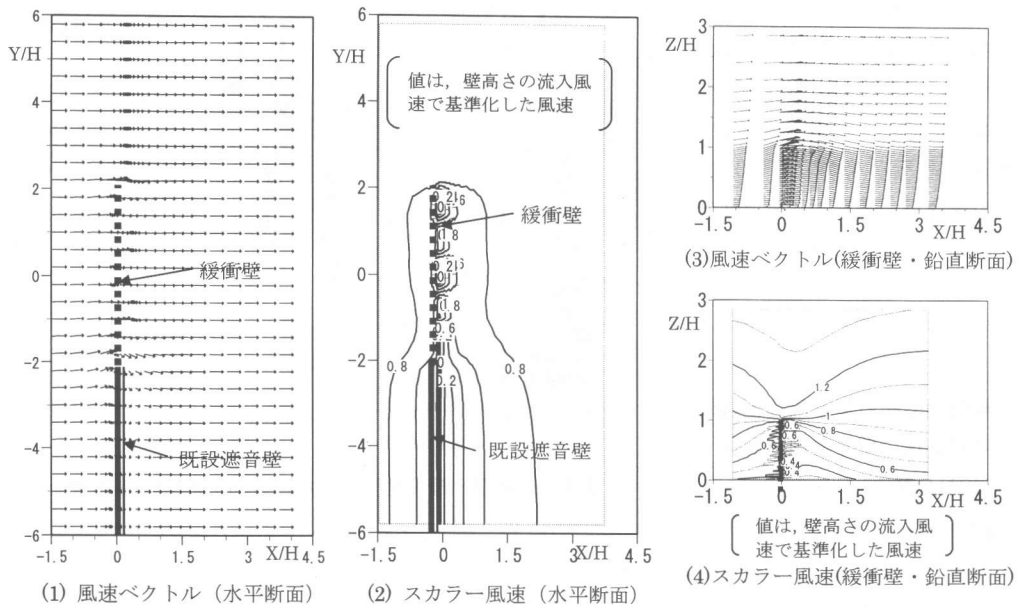


図4 開口率50%の場合の風速分布 (数値解析結果)

式を解いて求めた。一方壁面第1セルの ϵ は、輸送方程式を解かずに 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図-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図-5 に示す。数値解析結果は、風洞実験結

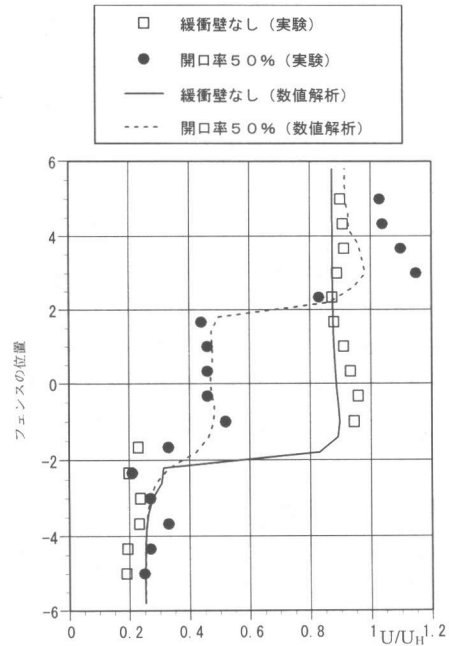
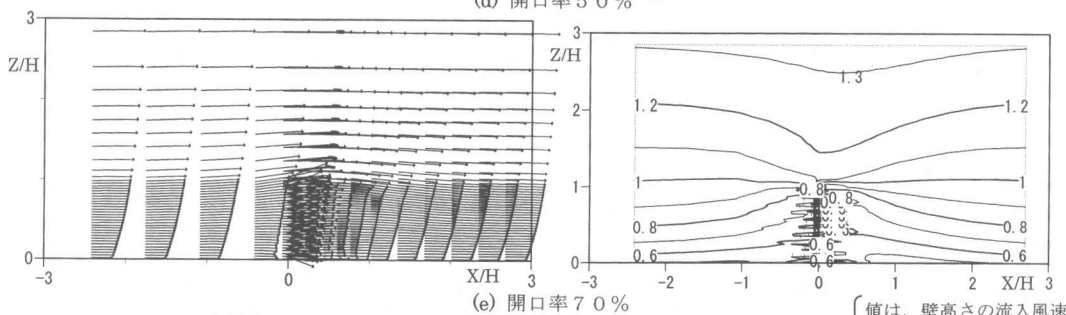
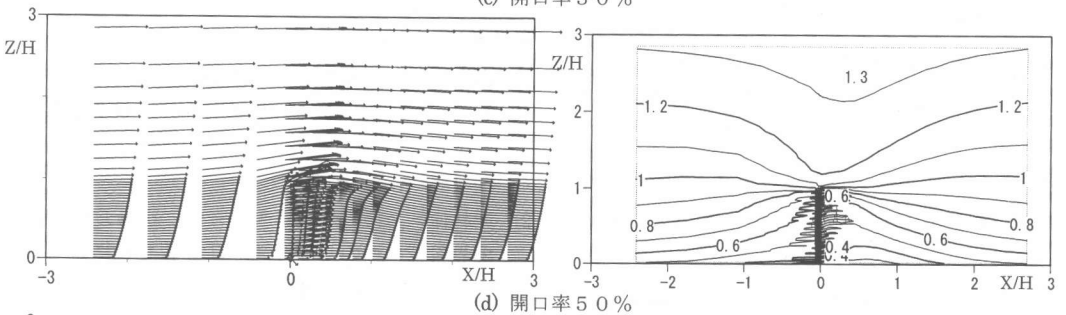
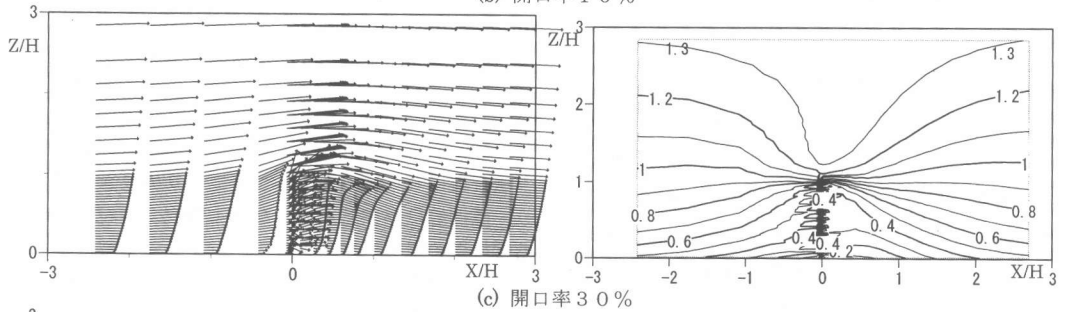
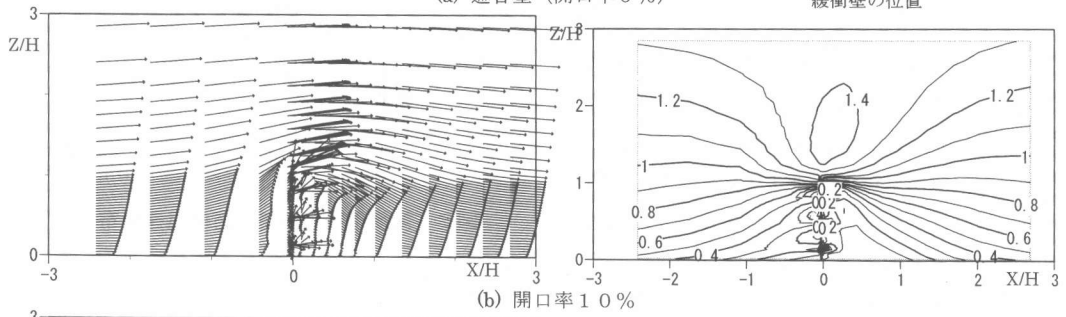
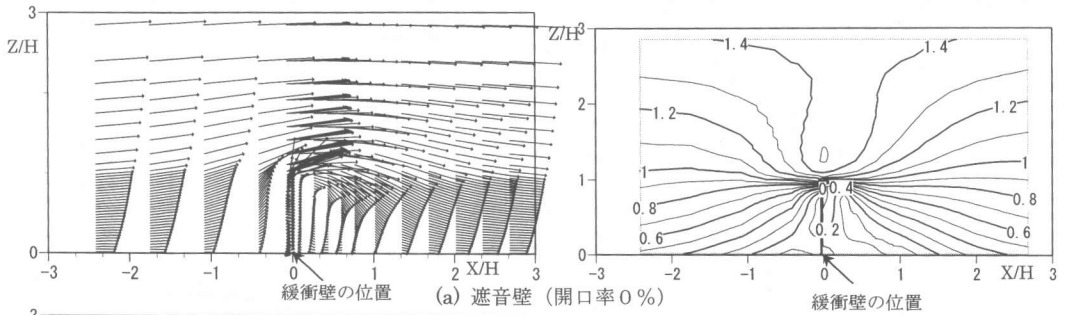


図5 数値解析結果と風洞実験結果の比較

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確認された。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であると考えられる。



(1) 風速ベクトル

(2) スカラー風速分布 (値は、壁高さの流入風速で基準化した風速)

図6 異なる開口率における風速分布の違い (緩衝壁中心鉛直断面)

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鉛直断面を図—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。

図—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、50%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。

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

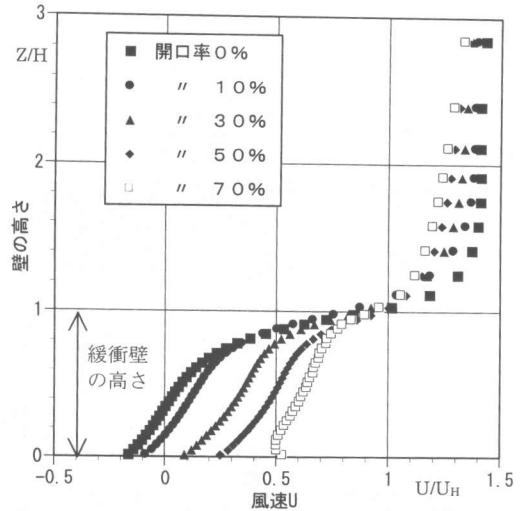


図7 緩衝壁後方の主流方向風速分布

ε : k の散逸率, ν_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いる。

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。

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が走行路上の風速分布に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, vol. 22, No. 2, pp. 1285 -1290, 2000
- 2) 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
- 3) 日本建築学会 : 建築物荷重指針・同解説, 1993
- 4) 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
- 5) 富永禎秀, 持田灯, 村上周三他 : 各種改良 k- ε 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