

# 建物による低減効果を考慮した沿線の風速評価手法

高見 和弥\* 荒木 啓司\* 福原 隆彰\*

Evaluation Method of Wind Speed along Railway Lines Considering Decrease by Buildings

Kazuya TAKAMI Keiji ARAKI Takaaki FUKUHARA

In this study, we develop a method to evaluate the wind speed ratio along railway lines based on an anemometer. In conventional method using airflow analyzed model, not buildings effects but terrain effects to wind speed are taken into account. Therefore, we first compared the wind observation data at AMeDAS with the calculation results of the airflow analysis model to extract building effects that decrease wind speed. We next compared the extracted building effects with buildings information. As a result, we found that it is possible to evaluate building effects using the geometric roughness made from buildings floor and area information.

キーワード：強風対策，数値解析，建物情報

## 1. はじめに

強風時の運転規制は、規制区間に配置された風速計の観測値に基づいて実施されている。規制用風速計は規制区間を代表する強風箇所を設置されているのが通例であるが、一方で規制区間内の地形や建物の分布といった沿線環境は多様であり、必ずしも規制用風速計で観測する風が規制区間全域で同じであるとは限らない。したがって例えば、防風柵の設置範囲や規制用風速計の新設・移設箇所を検討するような場面では、沿線環境を考慮した風速の空間分布が細かく評価できることが望ましい。この評価には一般的に以下の2つの手法が考えられる。

- ・規制区間に風速計を多点展開し観測を行う
- ・数値解析モデルにより面的に風の流れ場を解く

前者は、沿線環境が異なるとされる地点ごとに風速計を設置し、数年間観測を実施する必要がある、必要な費用や時間を考慮すると線区ごとにこれを実施することは容易ではない。一方で後者は、標高データを取り入れた数値解析モデルにより地形の影響を考慮して簡易に風速を評価することが可能となる。しかし、数値解析モデルで建物環境まで考慮するためには、数mの水平分解能で建物を解像した計算が必要となり、必要となる計算機的能力や計算時間の問題からこれもまた容易ではない。

そこで本研究では沿線環境に応じて風速を評価する手法として、後者の方法により地形による風速の増減効果は100mの水平分解能での数値解析モデルの計算結果を用いて推定し、数値解析モデルでは再現が難しい建物環境による風速の低減効果については沿線の建物の階数・建築面積情報より簡易的に推定する手法を検討した。

## 2. 風速の評価手法の指針

本研究では、評価地点を含む規制区間の上流側遠方から吹き込んでくる風はおおよそ一様であり、地点ごとの平均風速の差異は①地形による増減効果、②建物環境による低減効果の2つからもたらされると仮定する(図1)。上流側から一様に吹き込んでくる平均風速を $V_{in}$ 、地形による風速の増減を表す係数を $A_{ind}$ (以下、地形係数)、建物環境による風速の低減を表す係数を $B_{bid}$ (以下、建物環境係数)と置き、任意の地点での平均風速 $V_{obs}$ を式(1)で表す。

$$V_{obs} = V_{in} \times A_{ind} \times B_{bid} \quad (1)$$



図1 風速がうける影響のイメージ

ここで、数値解析モデルが地形による増減効果を十分に考慮できているとすると、式(1)の $V_{in} \times A_{ind}$ がその計算結果と対応すると考えることができる。式(1)の各要素について、基準とする風速計での平均風速を $V_0$ 、同地点での地形係数を $A_0$ 、建物環境係数を $B_0$ として $V_0 = V_{in} \times A_0 \times B_0$ と表し、式(1)との比を取ると式(2)のように整理できる。

$$\frac{V_{obs}}{V_0} = \frac{A_{ind}}{A_0} \times \frac{B_{bid}}{B_0} \quad (2)$$

\* 防災技術研究部 気象防災研究室

式(2)の  $V_{obs}/V_0$  は2地点で観測した平均風速の比に、 $A_{ind}/A_0$  は数値解析モデルで計算された風速の比に相当する。観測値および数値解析モデルの計算結果から求めた  $V_{obs}/V_0$ 、 $A_{ind}/A_0$  を式(2)に適用することで、建物環境係数の比（数値解析モデルで考慮できていない建物環境による低減効果の比） $B_{bid}/B_0$  を評価することができる。本研究では風観測をしていない地点でも、建物環境係数の比の評価を可能とする方法を検討した。

本報告では、まず3章で対象とするエリアと気象庁のアメダス観測点について述べる。4章では数値解析モデルによる計算結果から  $A_{ind}/A_0$  を求める。5章では4章で述べる数値解析モデルで考慮できていない建物の情報について整理する。6章では、アメダスの観測値から  $V_{obs}/V_0$  を計算し、4章で求めた  $A_{ind}/A_0$  と比較することで、 $B_{bid}/B_0$  を評価する。また5章で述べる建物情報から与える指標と比較し、任意の地点で  $B_{bid}/B_0$  を簡易的に評価する方法を検討する。

### 3. 対象エリア

本研究では新潟エリアと千葉エリアを解析の対象エリアとした。2つの対象エリアそれぞれについて解析に使用するアメダスの位置を図2に、緯度経度及び風速計の設置高さを表1に示す。

解析の対象期間は2013/1/1～2019/12/31の7年間とした。対象期間における各観測点にて、10分間最大瞬間風速15m/s以上、20m/s以上、25m/s以上の風速を観測した頻度を表2に示す。本研究では、隣り合う2観

表1 アメダスの位置及び風速計設置高さ

	緯度	経度	風速計設置高さ
新潟	37°53.3'	139°2.9'	15.1m
松浜	37°57.3'	139°6.3'	8.4m
新津	37°47.5'	139°5.2'	10.0m
巻	37°46.1'	138°54.1'	10.0m
千葉	35°36.1'	140°6.2'	47.9m
船橋	35°42.7'	140°2.6'	7.9m

表2 10分間最大瞬間風速15m/s以上、20m/s以上、25m/s以上の観測頻度[%]

	15m/s以上	20m/s以上	25m/s以上
新潟	1.81	$1.75 \times 10^{-1}$	$9.54 \times 10^{-3}$
松浜	4.39	$7.22 \times 10^{-1}$	$5.58 \times 10^{-2}$
新津	1.44	$1.61 \times 10^{-1}$	$1.60 \times 10^{-2}$
巻	3.07	$5.71 \times 10^{-1}$	$7.04 \times 10^{-2}$
千葉	3.42	$5.71 \times 10^{-1}$	$8.65 \times 10^{-2}$
船橋	$1.48 \times 10^{-1}$	$9.21 \times 10^{-3}$	$5.58 \times 10^{-4}$

測点（新潟・松浜アメダス、巻・新津アメダス、千葉・船橋アメダス）のうち強風の発生頻度が高い方（新潟アメダス、巻アメダス、千葉アメダス）を基準点とし（ $V_0$ ）、発生頻度が低い方（松浜アメダス、新津アメダス、船橋アメダス）の風速（ $V_{obs}$ ）を比較点として解析を行う。なお、新潟・新津アメダスは強風の発生頻度に明確な差が見られなかったため、対象としない。なお、本章では鉄道の強風に対する運転規制が瞬間風速を用いているため最大瞬間風速による整理を行ったが、数値解析モデルとの比較には平均風速を用いる必要があるため、以下、本報告では10分間平均風速を対象として取り扱う。

### 4. 数値解析モデルによる地形係数の評価

#### 4.1 数値解析モデルの概要と計算条件

数値解析モデルによる風の流れのシミュレーションでは、対象領域を3次元の格子点に区切り、各格子点における風向・風速と圧力を流体力学の方程式に基づいて計算することができる。本課題では、乱流モデルにLarge-Eddy Simulationを用いて複雑地形の気流への影響を詳細に解くことができる気流モデル<sup>1)</sup>を用いた。標高データに国土地理院の50mメッシュ標高データを用い、100mの水平解像度で計算を行った。入力境界では地上10mで風速25m/sとなるように鉛直プロファイルをべき乗則<sup>2)</sup>で与えた。べき乗則は建築物の設計に用いる平均風速に対応する設計風速の算出に利用され、経験的に風速 $\propto$ 高度の $1/n$ 乗となる風速の鉛直分布が与えるものである。本研究では $n=7$ とした。計算条件を表3にまとめる。



(a) 新潟エリア



(b) 千葉エリア

図2 対象エリアのアメダスの位置  
(国土地理院地図に加筆)

表3 数値解析モデルの計算条件

入力風速	25m/s (地上 10m) ベキ乗則 ( $n=7$ ) による平均風速の鉛直プロファイル
入力風向	16 方位
解像度	水平：100m, 鉛直：最小 0.25m
計算領域	千葉エリア：50km×50km×2km 新潟エリア：40km×40km×3.5km
計算ステップ	50,000 (25,000～50,000 を平均)

#### 4.2 地形係数 ( $A_{ind}/A_0$ ) の計算結果

入力風向の方位を変えて、16 方位で計算を行い、地上 10m での風速の計算結果を用いて地形係数の比 ( $A_{ind}/A_0$ ) を計算した結果を図3に示す。新潟エリアに比べ千葉エリアでは2地点間の風速の差が小さいが、表2に示した強風頻度には差があることから数値解析モデルだけでは風速の違いを十分に表現できていないことが分かる。

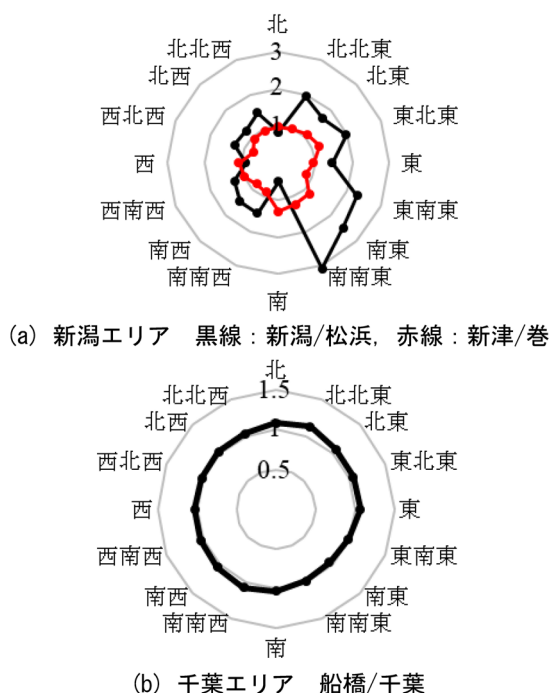


図3 数値解析モデルの計算結果から評価した地形係数の比 ( $A_{ind}/A_0$ )

#### 5. 建物情報の整理

数値解析モデルの計算には建物に関する情報が入っていないため、これを取り入れた評価方法を提案することが本研究の目的である。本研究では建物の代表点における階数、建築面積から求める幾何学的粗度<sup>3)</sup>(対象地点の上流側の単位面積当たりの平均建物高さに相当する

値)を計算し、基準点と比較点での差を建物環境係数の比 ( $B_{bld}/B_0$ ) の説明変数として用いることを検討する。本研究では計算の対象範囲を、風速計の設置高度  $h[m]$  に対しその 100 倍の距離以内でかつ、方位角に対し  $\pm 45^\circ$  の範囲内にある建物として、式(3)で幾何学的粗度  $H_i$  を求めた。なお、建物高さは1階あたり 3.0m とした。

$$H_i = \frac{\sum 3.0[m] \times \text{階数} \times \text{建築面積}[m^2]}{(100h[m])^2 \times \pi / 4} \quad (3)$$

図4に対象の各アメダス観測点の位置で、数値解析で得られた各観測点での平均風向を基準とした幾何学的粗度を示す。図の方位は数値解析の入力風向である。また、図5に幾何学的粗度の計算に用いた各アメダス周辺の建物階数分布を示す。図5では階数分布を低層(～3F)、中層(4～6F)、高層(7F～)としてプロットしている。

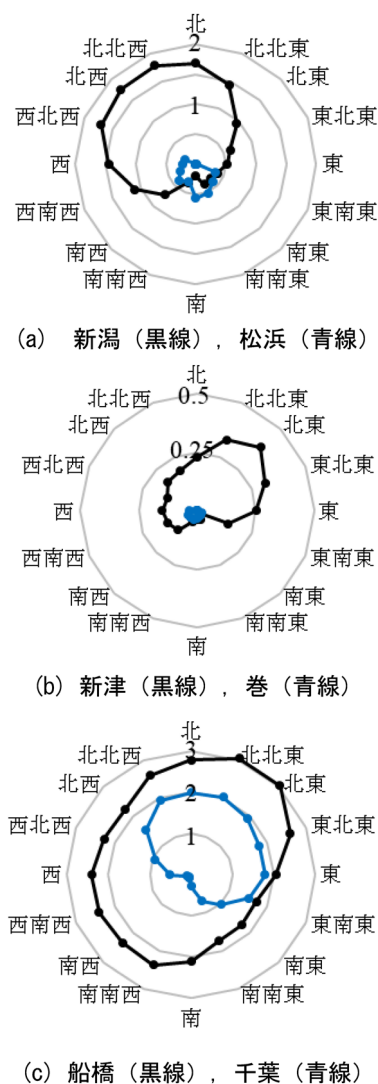


図4 対象のアメダス設置地点における数値解析モデルの入力風向ごとの幾何学的粗度 [m]

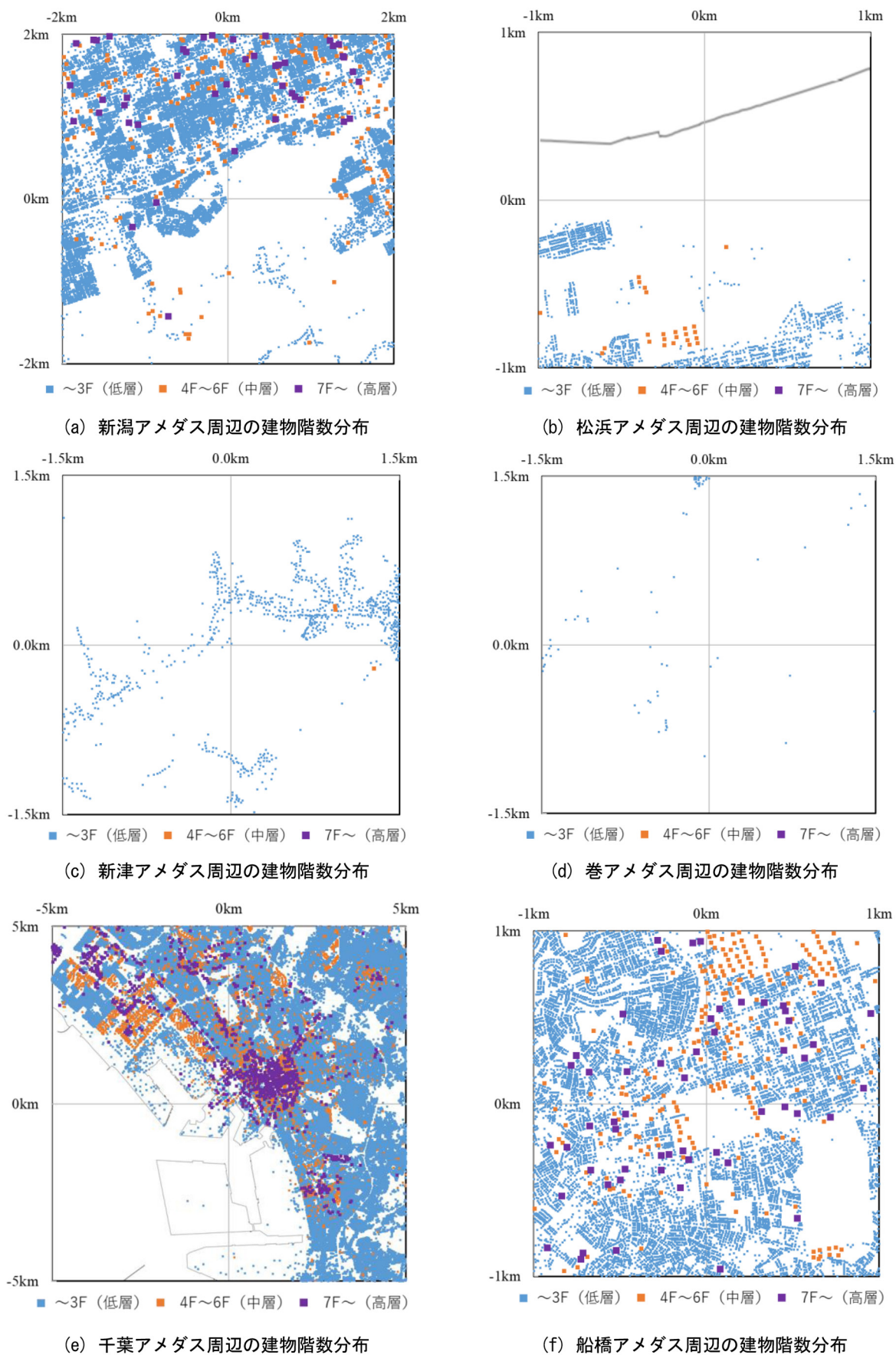


図5 対象のアメダス周辺の建物階数分布，建物階数は～3F，4～6F，7F～で分類，縦・横軸はアメダスからの距離表示範囲が異なるのは風速計の設置高さ  $h$ [m] によって幾何学的粗度の計算対象範囲が異なるため

## 6. 建物環境係数の比の評価

### 6.1 風速比 ( $V_{obs}/V_0$ ) の評価

3.1 節に示したアメダスで観測された 10 分間平均風速を用いて方位ごとに風速比 ( $V_{obs}/V_0$ ) を求める。ただし、4 章で求めた地形係数の比 ( $A_{ind}/A_0$ ) は数値解析モデルの入力風向ごとに整理しているため、これと比較するためには観測点での風向ではなく上流での風向を用いて整理する必要がある。そこで、数値解析モデルの計算結果から、当該アメダスに該当するグリッドでの風向をモデルの入力風向ごとに求め、各時刻のアメダスの 10 分間平均風向と最も近いものを当該時刻の上流での風向として整理した。また、アメダスの風速計高さは表 1 に示したようにばらつきがあるため、べき乗則を用いて地上 10m 相当の風速に補正を行った。なお、べき乗則は地表面の影響が大きい高度では成り立たないため、建築荷重指針<sup>2)</sup>ではある高さ  $Z_b$  以下では安全側の値として高度  $Z_b$  の風速が一定値として与えられる。この風速を一定とする高さ  $Z_b$  とべき乗数  $1/n$  は周辺の粗度区分によって決まる値であり、海上や田畑のような建物がほとんどない地点では  $n=7$ ,  $Z_b=5[m]$ 、都市部では  $n=4$ ,  $Z_b=10[m]$  とされる。本研究では 5 章で求めた幾何学的粗度が 1m

以上のとき  $n=4$ ,  $Z_b=10[m]$ 、1m 未満の時  $n=7$ ,  $Z_b=5[m]$  を用いて補正を行った。ただし、船橋アメダスでは風速計高さ 8.4m に対し、 $Z_b$  が 10m であるため、補正を行わずそのまま観測値を使用した。地上 10m 相当に補正した 10 分間平均風速が 10m/s 以上の時刻を対象として解析を行った。ただし、本研究では 2 地点の上流側遠方から吹き込んでくる風はおよそ一様であると仮定を行っているため、当該日の 2 地点の 10 分間平均風速の相関が 0.8 以上のものを対象とすることで、局所的な強風事例を除外した。また、観測数の少ない風向を除外するため、当該風向の観測数が全観測数の 1% に満たないものは除外した。図 6 に計算した  $V_{obs}/V_0$  を示す。図 6 に示した  $V_{obs}/V_0$  と、図 3 に示した  $A_{ind}/A_0$  の差をもたらすのが建物による風速の低減効果であると考えられる。

### 6.2 建物環境係数の比 ( $B_{bid}/B_0$ ) の評価

4 章で求めた  $A_{ind}/A_0$  (図 3) と、6.1 節で求めた  $V_{obs}/V_0$  (図 6) を式 (2) に代入して、上流での風向 (数値解析モデルの入力風向) ごとに  $B_{bid}/B_0$  を評価した結果を図 7 に示す。また、図 8 に図 4 に示した幾何学的粗度の比較点 ( $H_i$ ) と基準点 ( $H_0$ ) の差 ( $H_i-H_0$ ) と、図 7 に示した建物環境係数の比 ( $B_{bid}/B_0$ ) を比較した結果を示す。

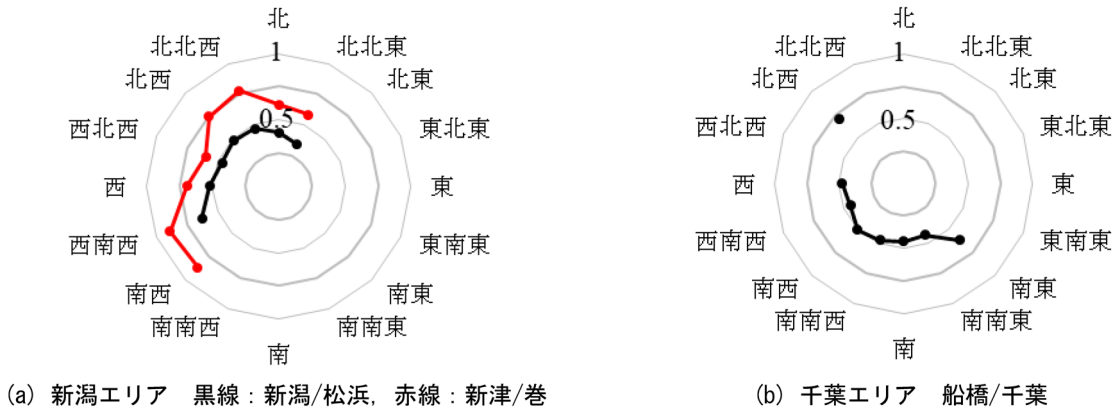


図 6 風観測データから評価した風速比 ( $V_{obs}/V_0$ )

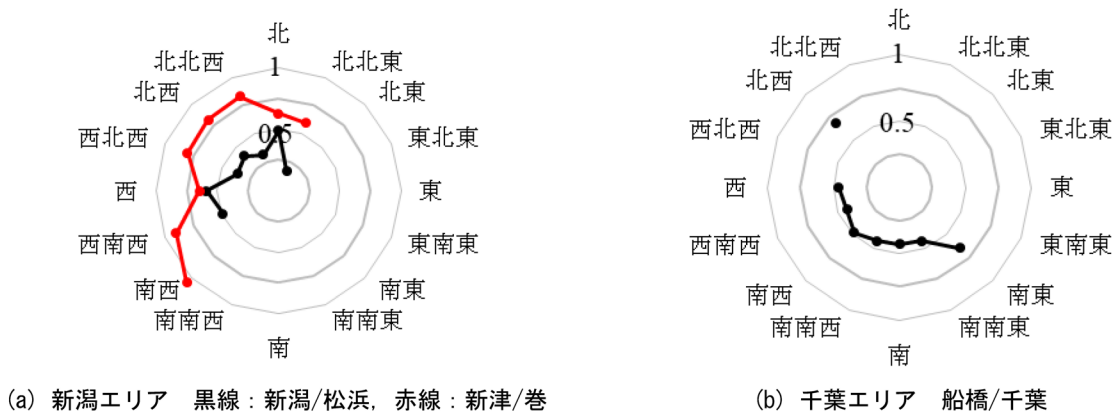


図 7 風観測データと数値解析モデルの結果の比較から評価した建物環境係数の比 ( $B_{bid}/B_0$ )

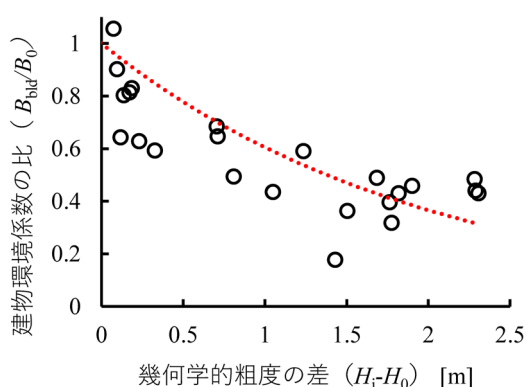


図8 幾何学的粗度の差と建物環境係数の比の比較

建物環境係数  $B_{\text{bld}}$  は、周辺に全く建物が無い地点では  $B_{\text{bld}}=1.0$  となり、建物が密集する地点では  $B_{\text{bld}}$  は 0 に近づくため、負の指数をもつ指数関数で表すこととする。図8の赤点線が指数関数による近似線であり、式(4)で表すことができることが分かった。

$$\frac{B_{\text{bld}}}{B_0} = e^{-0.503(H_i-H_0)} \quad (4)$$

以上の結果を用いて、数値解析モデルの計算結果から  $A_{\text{ind}}/A_0$  を、建物の階数、建築面積情報から  $H_i-H_0$  を求めると式(5)から任意地点と基準点の平均風速比  $V_{\text{obs}}/V_0$  を評価することができる。すなわち、新たに風観測を行うことなく、数値解析モデルと建物の階数・建築面積情報を用いた風速の面的評価が可能となる。

$$\frac{V_{\text{obs}}}{V_0} = \frac{A_{\text{ind}}}{A_0} \times e^{-0.503(H_i-H_0)} \quad (5)$$

## 7. まとめ

本研究では、風速計の配置箇所や防風柵の整備区間の決定の根拠とする、沿線環境の影響を考慮した風速評価

を目的として、規制用風速計を基準として沿線内の風速を評価する手法を検討した。従来の数値解析モデルによる気流解析を利用した風速の評価では、地形による風速の増減については考慮されているが建物による風速の低減については、モデルで建物の形状を解像することが計算資源の観点から難しいため考慮されていなかった。そこで本研究では、アメダスの風観測データを用い、強風の発生頻度の高いアメダス地点を規制用風速計、低い地点を沿線内の任意地点と見立てて解析を行った。風観測データの解析結果と数値解析モデルの計算結果の比較により、数値解析モデルで表現されていない建物による風速の低減効果を抽出した。これと建物代表点における階数・建築面積情報から作成した方位ごとの幾何学的粗度を比較することで、建物代表点での階数・建築面積情報を利用して、建物による風速の低減効果を評価する方法を提案した。

本研究では基準点と比較点の平均風速を用いて風速比の評価を行った。しかし、鉄道の強風に対する運転規制では瞬間風速を用いているため、今後は周辺の建物や地形に応じた突風率を適用する方法などを検討する必要がある。また、本研究では建物による風速の低減効果を簡易な手法で評価したが、今後は数値解析モデルで建物まで解像した詳細な計算を行うことで知見を収集し、精度の向上を目指す。

本研究では気流解析に㈱リアムコンパクトの「RIAM-COMPACT」<sup>1)</sup> を、建物代表点での階数・建築面積情報に㈱ゼンリンの「建物ポイントデータ」を使用した。

## 文献

- 1) 内田孝紀, 大屋祐二: 風況シミュレータ RIAM-COMPACT の開発-風況精査とリアルタイムシミュレーション-, ながれ, Vol.22, No.5, pp.417-428, 2003
- 2) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説 (2015), 2015
- 3) 近藤純正: 地表面に近い大気の科学-理解と応用-, 東京大学出版会, 2000