

RANS 数値流体解析による風環境評価の妥当性について

Validity of the Wind Environment Evaluation by RANS

鈴木 雅 靖 伊 藤 嘉 晃 中 山 かほる

要 約

風環境を評価するにあたり、従来の風洞実験に代わって数値流体解析を適用しつつあるが、実験評価値と解析評価値に差異を生じることが多々あり、解析評価値を環境アセスメントに適用して良いか慎重になっている。また、どの程度の差異がどのような地点で、どのように生じるかについての資料が少なく判断を難しくしている。

本報告では、住宅地のような低層棟が多い街区に高層棟が建設された場合の風環境評価を風洞実験と RANS 数値流体解析により行い、差異が生じる要因と既存の提示されている方法によりどのように補正されるのかを検討した。

その結果、補正方法として建築学会の補正式¹⁾(学会方式と称す)は安全側評価(環境評価尺度として悪いランク)になること、丸田他の補正式²⁾(丸田方式と称す)は数値流体解析評価差によるランク評価差異がランク境界付近で生じるが、大部分で安全側評価になることを確認した。また、本報告の検討範囲では丸田提案式を修正した補正方法により、風洞実験による評価値との一致を図ることができた。

目 次

- I. はじめに
- II. 風洞実験概要と風環境評価
- III. RANS 数値流体解析による風環境評価
- IV. 評価方法別の平均風速評価差要因と評価差
- V. 数値流体解析結果の補正方法と補正結果
- VI. まとめ
- VII. あとがき

I. はじめに

高層建物の周りでビル風の問題が騒がれだし、7920号台風時の新宿副都心地域での強風被害(ビル風の影響)が顕在化したのは1979年頃である。その後、風環境評価の必要性和評価方法が提言され、総合設計などで義務化されてから数十年が経過した。この間、風環境評価手法も平均風速に基づく評価方法(風工学手法)に続き、人の感覚に密接な関係を持つ、瞬間風速に基づく評価方法(建築学会、村上式)などが提示され、適用されてきている。ただし、いずれの方法も風洞実験結果に基づいて評価してきており、紛争時の裁判などでも事前評価方法として採用されている。

こうした中、昨今の計算機の高度化に伴い、RANS 数値流体解析(以降、RANS と称す)による風環境評価が台頭し、風環境アセスメントに適用している場合も散見される。しかし、諸論文などで指摘されているように、RANS の結果は解析時の理論的な性質から

平均風速が低く、乱れが大きい領域、例えば建物の後流域などでは実験値に比べて平均風速を低めに評価する傾向がある。そのため、建築学会では乱流強度に基づく補正方法¹⁾を、丸田らは乱流強度と合わせて経験的な補正方法²⁾を提示している。一方で、風環境に対する注目度は高まり、環境アセスメントを重視している地域では、本来は“ランク B:住宅地・市街地としての風環境”の地域にもかかわらず、建設前に風環境が良好な“ランク A:住宅地・市街地としての風環境”として評価された地点があると、建設後にランク B に悪化した場合に対策を求められる場合がある。このため、風環境評価において、どのような地域でも風環境評価のランクを適切に評価することが重要となる。

そこで、本報告では、こうした“住宅地域としての風環境”の維持が望ましい地域に高層建物が建設された場合の、RANS と風洞実験結果による環境評価値の差異や、その差異が発生する要因を考察するとともに、提示されている補正式による補正後の風環境評価値での差異・補正式を適用する上での注意点について報告する。

II. 風洞実験概要と風環境評価

RANS やその補正による風環境評価が風洞実験に基づく評価と比べ、どのような差が生じているかを示すにあたり、まず本章では、対象とする仮想市街地と風洞実験の概要、風環境評価のための気象統計値を示す。

キーワード: 風環境評価, RANS, 流体数値解析, 風洞実験, 市街地, 高層建物

Keywords: evaluation of wind environment, RANS, fluid numerical analysis, urban district, wind tunnel test, high-rise building

1. 検討対象市街地と建物

対象とする市街地は、Photo 1 に示すような東京地方の地表面粗度区分Ⅲ相当の地域に仮定の超高層建物 1 棟と 60m 離れて隣接する仮想の高層棟が建設される直径 600m の範囲の市街地とし、多少の地形の起伏がある状態とした。超高層建物は幅・奥行き 30m、高さ 90m の辺長比 1:1、アスペクト比 3 の建物と、幅・奥行き 30m、高さ 60m の建物である。

2. 実験概要

風洞は鹿島技術研究所所有の大型風洞(測定部幅 4.5m、高さ 2.5m)を使用した。市街地は 1/300 の縮尺模型で再現し、外縁部はテープを付けて気流を市街地に導入している。

使用した風洞気流特性を Fig.1 に示す。実験風向は 16 方位とした。測定には無指向性のサーミスター風速計を使用し、地上高さ 5m 相当(実験では 17mm)での風速と、模型の影響を受けない風洞床から 1.0m の位置を基準高さとして基準風速を測定して平均風速比(地上 5m 相当風速/基準風速)を求めた。サンプリング周波数は 10Hz、サンプリング個数 600 個である。風速比を求めた後、気象統計データを用いて風工学研究所の方法で風環境評価を行った。東京地方での風向の発生頻度を Fig.2 に、使用したワイブル係数を Table 1 に示す。測定点は Fig.3 に示す 192 点である。



Photo 1 風洞実験模型 (Model of Wind Tunnel Test)

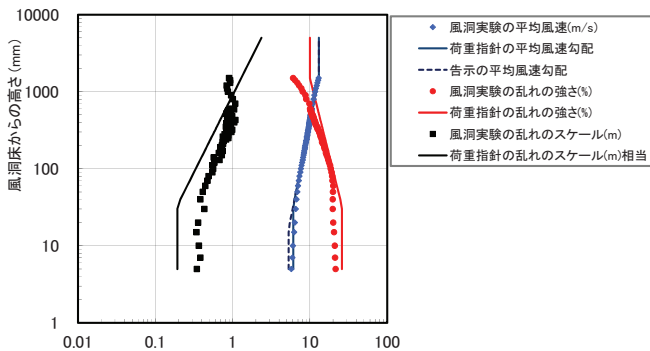


Fig.1 風洞気流特性 (Characteristics of Wind Flow)

3. 風洞実験に基づく風環境評価

Fig.3 に実験に基づいた超高層 2 棟設置後の風環境評価結果を示す。(なお、超高層建物 2 棟が無い状況では赤線で囲んだ 3 地点以外は“住宅地、A ランク ●”の風環境であった。)

設置した超高層建物(高さ 90m)の北西角の 1 か所で“事務所の風環境、C ランク ●”となり、超高層建物 2 棟の南北周辺付近と建物間で“住宅地・市街地の風環境、B ランク ●”と 1 ランク風環境が悪化する地点が生じている。以下、RANS と比較するにあたり、超高層建物の影響を受けている領域として図中の黒点線で示す領域内の評価結果について注目していく。

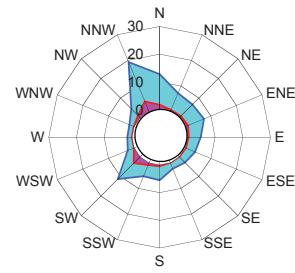


Fig.2 風配図 (Wind Rose)

Table 1 ワイブル係数 (Weibull Coefficient)

風向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
A(a)	0.1285	0.0726	0.0677	0.0743	0.0479	0.0378	0.0284	0.0227
C(a)	3.7	3.44	3.61	3.76	3.41	3.09	2.57	2.45
K(a)	2.42	2.5	2.44	2.49	2.4	2.28	2.58	2.84
風向	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
A(a)	0.056	0.0532	0.1167	0.0229	0.0141	0.016	0.0433	0.1979
C(a)	3.56	3.88	4.44	2.41	1.95	2.47	3.89	4.07
K(a)	2.82	2.42	2.28	2.04	1.66	1.45	1.68	2.39

注)ワイブル係数を適用することで、風向 a での風速 v の超過確率は下式で算定される。³⁾

$$P(V \geq v, a) = A(a) \times e^{-\left(\frac{v}{C(a)}\right)^{K(a)}}$$

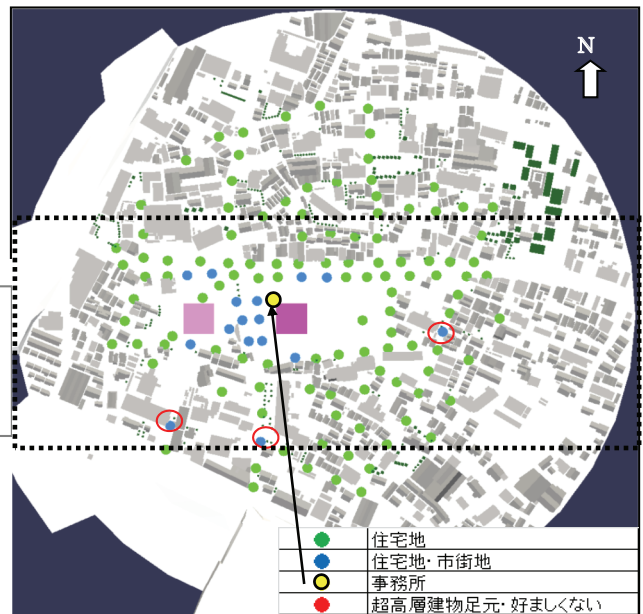


Fig.3 風環境評価 (実験) (Experimental Evaluation of Wind Environment)

Ⅲ. RANS 数値流体解析による風環境評価

1. 数値流体解析手法

RANS 数値流体解析手法として、公開コードの OpenFOAM 2.2.2 を用いた。このコードの解析手法の概要は Table 2 に示すように、数値流体解析非圧縮性流体の基礎方程式である Navier-Stokes 方程式と連続の式をコンピュータ上で数値解析する気流数値計算法を用いている。また、境界条件を Table 3 に示す。

解析モデルは Fig.4 に示すように、風洞実験と同等の範囲と周辺建物を地図データを元に再現している。そのため、高さは階数に基準高さを掛けた値、屋根形状は全て陸屋根とし、1 階部分の詳細な凹凸を再現していない点が実験模型と異なる。

解析用メッシュは Fig.5~7 に示すように、一般住宅が多い周辺街区の比較的低い高さ範囲は 0.5m メッシュとし、高層建物周辺は高層建物からの気流が精度よく評価できるように 1m メッシュとした。そのほかは解析領域に応じて 2 種類のメッシュを適用し、計 4 種のメッシュ間隔を適宜配置して総計 2700 万メッシュの計算格子を使用した。解析は、実験と同様に 16 方位に対して行い、同一の気象統計データを適用して風環境評価を行った。

Table 2 解析手法
(Computational Method)

解析手法	利用した手法
解析アルゴリズム	SIMPLE法 (定常計算)
移流項の離散化	van Leer limiterを入れたTVDスキーム (2次精度)
その他の項の離散化	2次精度中心スキーム
乱流モデル	標準k-εモデル

Table3 境界条件
(Boundary Condition)

境界条件	与えた条件
流入面	ディリクレ条件
流出面	勾配0
側面・天井面	フリースリップ条件
地表・建物表面	滑面用の一般化対数則

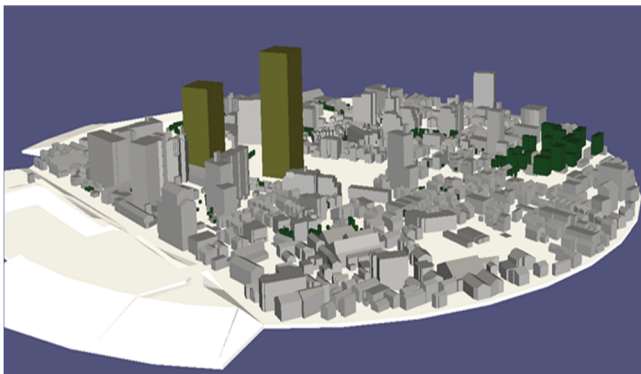


Fig. 4 解析モデル
(Computational Model)

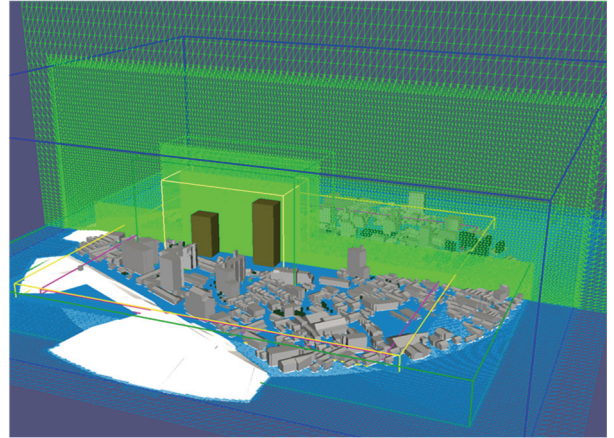


Fig.5 解析用メッシュ概念図
(Outline of Mesh for RANS)

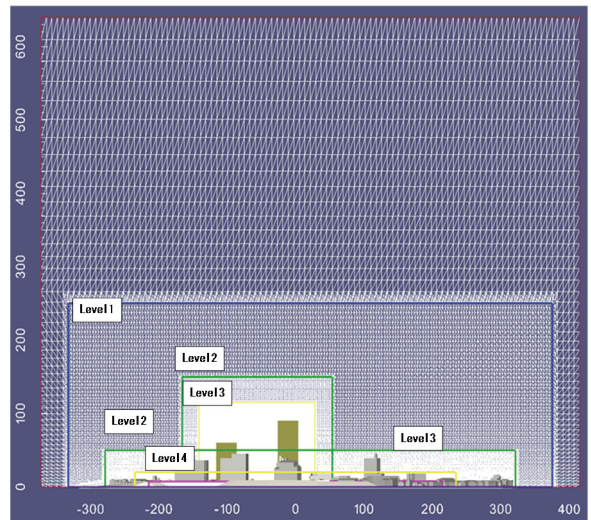


Fig.6 解析用メッシュ中央立断面図
(Cross Section of Mesh at Centerline for RANS)

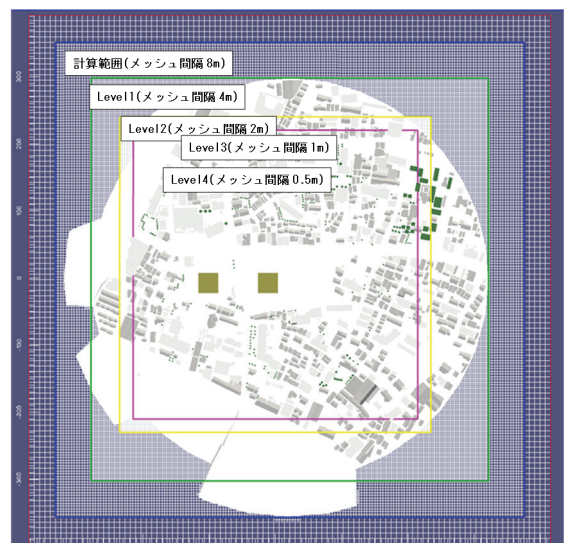


Fig.7 解析用メッシュ平断面図(高さ 5m)
(Cross Section of Mesh at 5m Height for RANS)

2. RANS 解析結果と風洞実験結果との比較

RANS と風洞実験結果による風環境評価ランクの相違を Fig.8 に示す。Fig.8 以外の領域では、風環境評価ランクは一致している。

Fig.8 中の ● ● の 11 地点で評価ランクに差が生じている。● は環境評価ランクが RANS の方が実験よりも低い(環境評価として過小評価の) 場合で、● (測定点 24, 110, 125) は逆に RANS の方が大きい場合である。55%風速での RANS による全測定点での風環境評価値と風洞実験による風環境評価値の関係を Fig.9 に示す。対角黒線は実験値と解析値の一致を示す。赤線で囲んだ部分が上記●地点であり、緑線で囲んだ部分が●である。対角線より上は実験値の方が大きい事を示す。風環境評価ランクが同一でも、評価値として見ると全体的に対角線の上方にあり、既往の研究例¹²⁾のように RANS では風が比較的弱い領域での風環境を良く評価してしまう傾向がある。ただし、一部では RANS の方が大きくなる場合もある。



Fig.8 風環境評価ランク差異

(Difference in Ranking of Wind Environment Evaluation between Experiment and RANS)

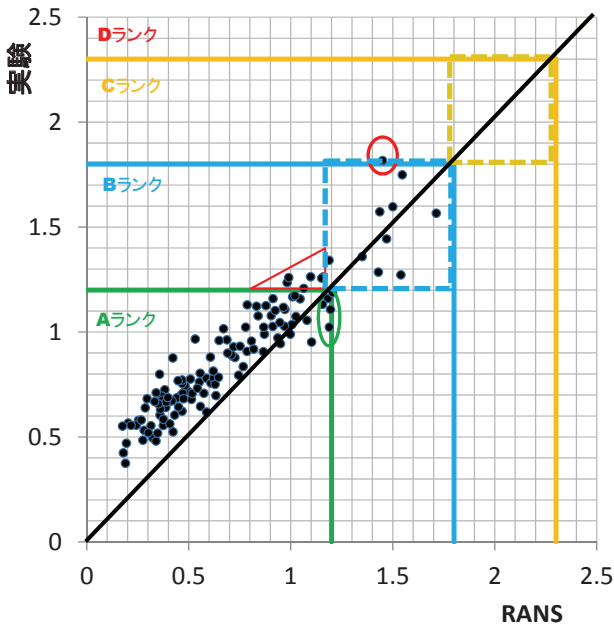


Fig.9 風環境評価値の実験値と RANS の関係 (Relation between the Wind Environment Value by Experiment and RANS)

IV. 評価方法別の平均風速評価差要因と評価差

前項で示した風環境評価値の差異やばらつきが生じる要因を、風環境評価ランクを設定するために実施された、アンケート調査時の風速の実測評価方法を基準として、風洞実験や RANS での風速評価方法との差異に着目して考察する。

1. 実測による風速

風環境評価作成のための感覚アンケート調査時の平均風速は、プロペラ型あるいは三杯風速計で計測しているため、(1) 式で示すように、水平方向スカラー風速 (S_{ave}^f) が主で、鉛直方向成分は計測機器の誤差程度にしか含まれていない。

$$S_{ave}^f = \frac{1}{T} \int_0^T \sqrt{(|\bar{u}| + u'(t)|)^2 + (|\bar{v}| + v'(t)|)^2} dt \quad (1)$$

S_{ave}^f : 実測で得られる水平方向スカラー風速
 $|\bar{u}|, |\bar{v}|$: 水平方向 2 成分のスカラー平均風速, t : 時間
 T : 平均化時間, $u'(t), v'(t)$: 各成分の変動成分

実測での水平方向スカラー風速値 (S_{ave}^f) が予測目標値であるから、実験あるいは RANS による評価結果とは以下のような差異が生じている。また、実験と RANS での評価値でも評価方法が異なるため差が生じる。

2. 実験による風速の差異要因

本風洞実験では無指向性のサーミスター風速計を使用している。この風速計は水平方向成分に対しては、ほぼ無指向性が維持されているが、鉛直方向の風速に対しては感度が低く、仰角が大きくなるほど風速値は低くなり水平方向に対して 15 度程度でも 1 割、真上から風が当たると 5 割程度風速値は低くなる。そのため、鉛直成分が小さい場合はスカラー風速値をほぼ正確に評価可能であるが、高層建物近くの吹降し風などがある場合はスカラー風速値として小さく評価してしまう。したがって、サーミスター風速計で計測される平均風速 S_{ave}^t は、スカラー平均風速としているが、(2) 式で示すように鉛直方向成分に対しては低下係数が掛かった状態になる。

$$S_{ave}^t = \frac{1}{T} \int_0^T \{(\bar{u} + u'(t))^2 + (\bar{v} + v'(t))^2 + (k_w(|\bar{w}| + w'(t)))^2\}^{1/2} dt \quad (2)$$

$\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$: 水平 2 方向, 鉛直方向成分平均風速
 u', v', w' : 各成分の変動成分
 k_w : 計測機器特性による低下係数で仰角依存である。

ただし、風環境を評価する際、吹降しなどの成分が大きい個所は特異であることや、たとえその成分を有していても、実測は水平方向ベクトル風速値であるため、実験値の方がより風速を速く評価(風環境としては悪い方向)するため、実験値を許容して適用している。

3. RANS 系数値流体解析による風速の差異要因

RANS により求めた平均風速が風洞実験と異なる要因は 2 点ある。平均風速の意味合いの差と数値解析上の誤差である。

(1) 平均風速の意味合いの差

RANS で得られるベクトル平均風速 U_{ave}^R は (3) 式のように求めたベクトル風速値である。

$$U_{ave}^R = \sqrt{(\bar{u})^2 + (\bar{v})^2 + (\bar{w})^2} \quad (3)$$

U_{ave}^R : RANS で得られるベクトル平均風速

$\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$: 各成分のベクトル平均風速

このため各方向成分で、瞬間的な風速成分と平均成分が常に同一符号のベクトル値を有する場合は、スカラー風速と同一となるが、一時的でも逆符号になるとベクトル風速の方がスカラー風速値よりも小さくなる。これは実測の風速評価値に対しても同様である。

(2) 数値解析上の誤差^{1) 4) 5)}

適用している RANS では、一般的に建物の剥離領域において速度分布の差異や乱流エネルギーの過大評価が認められ、剥離せん断層が建物に近くなると共に、後流域を広く評価してしまうために生じる誤差が生じる^{4) 5)}。その他にも、建物のモデル化精度の差異、計算格子幅や解析手法などに起因する場合もあるが、これに対しては、建築学会ガイドブック¹⁾の推奨値を満足するように設定して解析を実施して誤差は小さくなるようにしている。

以上のことを踏まえて、解析結果の補正については学会方式と丸田方式のみ適用した。

なお、実験でも模型精度誤差はあるが、風洞実験ガイドブック⁶⁾で規定されている範囲では誤差は小さいとされている。

4. RANS 結果の評価差

実験値の式 (2) と RANS の式 (3) から明らかなように、鉛直成分の比率が無視できる場合は、乱流モデルの問題がなければ、理論的には実験値の方が大きくなる。Fig.9 での対角線より上の測定点はこの要因を含み、Fig.8 での赤点は評価ランクで 1 ランク差が生じた点である。例えば高層棟から離れている地点である測定点 30

での風向別の風速比の比較を Fig.10a に示す。全体的に RANS の方が小さい。しかし、Fig.10b に示す測定点 22 のように主風向の北、北北西では実験値の方が大きい、西風では逆に RANS の方が大きい場合もある。このような地点では、主風向が西となる地域では、RANS の方が評価値が大きく (安全側評価に) なる可能性がある。西風で RANS が大きくなるのは、前述したように、近接する超高層建物の風上角から生じる剥離せん断層が建物に近く寄る傾向があるため、評価地点が本来は剥離せん断層の内部に入っていたものが外に出てしまうような評価になった結果生じる差異や、風洞実験では評価が不十分な吹降し風の評価の差によるものと考えられる。

一方、Fig.8 に示した測定点 24、110、125 のように、RANS の方が評価ランク自体が大きくなる場合がある。風向別に見ると、Fig.10c に示す測定点 24 では、北寄りや南風の場合に実験値よりも大きく、Fig.10d に示す測定点 110 ではほぼ一致しているがわずかに北から北北西で RANS の方が大きい (ここでは示さないが、測定点 125 も北北西の風では RANS の方がやや大きい、差異は測定点 110 の場合と同程度である)。測定点 110(測定点 125)でのわずかな差は、後述する数値解析時の評価差によるものと考えられるが、測定点 24 での差は大きく、高層棟の間を通過する剥離した風の流れの評価差や、高層棟からの吹降し風の影響等が要因と考えられる。

測定点 30 は、RANS による平均風速評価形態の差が影響しており、測定点 24、110 は、揺らぎながら剥離する流れ (剥離せん断層の内側に入るか、外側に入るか) を RANS で平均的な位置として評価した際の差に起因する評価差の要因が大きい。特に、提示した測定点は、環境評価値はランク閾値の境界付近に位置するため、評価値が 1 ランク異なってしまう。こうした剥離せん断層の位置の評価差が要因となるケースは、Fig.9 に示した同一ランクでも対角線よりも下に位置する地点で、同様に発生していると考えられる。

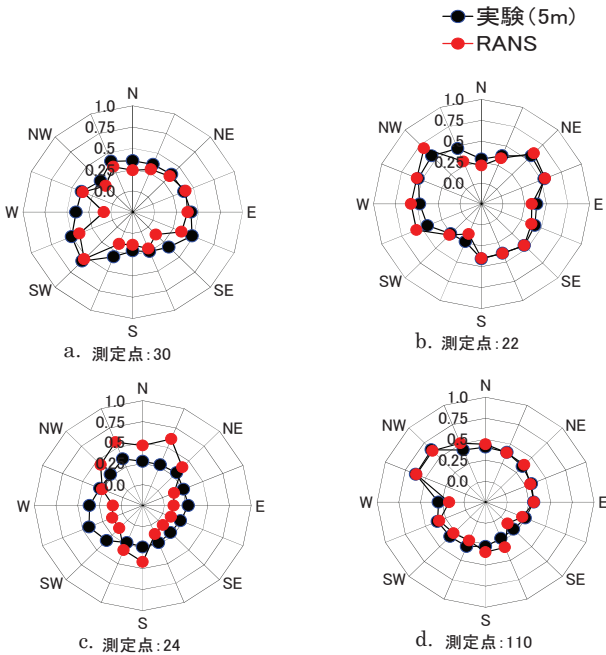


Fig.10 風向別の風速比 (地上高さ 5m)
(Wind Speed Ratio at Each Azimuth)

V. 数値流体解析結果の補正方法と補正結果

上記評価値の差異要因に基づき、RANS の補正について検討する。

1. 平均風速の意味合いの差に対する補正方法

変動成分の評価差から生じる差異を補正するため、乱流強度から変動成分 (u', v', w') を推定して補正する方法が 2 種提案されている。日本建築学会方式と丸田方式である。

(1) 日本建築学会方式¹⁾

スカラー平均風速比 S_{ave} は、(4) 式で表される。

$$\begin{aligned} S_{ave} &= \frac{1}{T} \int_0^T \sqrt{(\bar{u} + u'(t))^2 + (\bar{v} + v'(t))^2 + (\bar{w} + w'(t))^2} dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T \{ (\bar{u})^2 + (\bar{v})^2 + (\bar{w})^2 + 2((\bar{u}u'(t) + \bar{v}v'(t) + \bar{w}w'(t)) \\ &\quad + (u'(t))^2 + (v'(t))^2 + (w'(t))^2)^{1/2} dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T \{ U_{ave}^2 + 2((\bar{u}u'(t) + \bar{v}v'(t) + \bar{w}w'(t)) \\ &\quad + (u'(t))^2 + (v'(t))^2 + (w'(t))^2)^{1/2} dt \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、各変動成分平均値 $\overline{u'(t)} = \overline{v'(t)} = \overline{w'(t)} = 0$ と、式(5)の仮定に基づいて式(6)を提示している。

$$S_{ave} = \overline{S(t)} = \sqrt{\overline{S(t)^2}} \cong \sqrt{S(t)^2} \quad (5)$$

$$\cong \sqrt{U_{ave}^2 + \frac{1}{T} \int_0^T (u'(t)^2 + v'(t)^2 + w'(t)^2) dt}$$

$$= \sqrt{U_{ave}^2 + 2k} \tag{6}$$

$\overline{S(t)}$: スカラー風速平均値, k : 乱流エネルギー

$$k = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{T} \int_0^T (u'(t)^2 + v'(t)^2 + w'(t)^2) dt \tag{7}$$

RANSにより得られる U_{ave}^R と乱流エネルギー k を用いて、(6)式より学会方式により補正した平均風速 (S_{ave}^R)を次式で算定する。

$$S_{ave}^R = \sqrt{U_{ave}^R{}^2 + 2k} \tag{8}$$

(2) 丸田方式²⁾

丸田らによって、変動風速 (u', v', w') において等方的な乱れを仮定し、 $u' = v' = w' = \sqrt{2/3k}$ と仮定した次式の補正方法が提案されている。

$$U_{ave}^R{}^2 \geq 2/3k \text{ の場合に, } S_{ave}^R = \sqrt{(U_{ave}^R{}^2 + 4/3k)} \tag{9-1}$$

$$U_{ave}^R{}^2 < 2/3k \text{ の場合に, } S_{ave}^R = \sqrt{2k} \tag{9-2}$$

S_{ave}^R : 補正後の平均風速

ここで、丸田方式の式(9-1)での4/3の係数は、乱流エネルギーにおける各方向成分が同じ大きさである等方性乱流と仮定して、風速が大きい場合は風方向はベクトル風速の平均値で十分評価できるため、風向方向成分相当の乱流エネルギーを除いたものと考えられる。そのため、平均風速成分が小さい場合は式(9-2)のように、風向方向成分も考慮した乱流エネルギーで補正している。

これらの補正方法は、風環境評価で適用している風速評価 (スカラー風速) に合わせるための方法であり、RANSの評価値が十分評価しきれていない成分を乱流エネルギーを加えて補正する手法なので、RANSの結果よりも大きくなる。したがって、前述したように剥離せん断層を小さく評価してしまい、評価点が剥離せん断層の外に位置することなどで、RANSの評価値が実験値より大きくなってしまっている場合は、実験評価値との差異は更に大きくなる。

(3) 数値流体解析での差異の補正方法 (丸田方式)

上記補正を行っても、実験値とRANSに差が生じるため、本報告に似た市街地に超高層建物が単体で建っているような特定街区の結果を元に式(9-1)(9-2)で補正した後、更に経験的な式(10)で再補正する方法が合わせて示されている。本報でも合わせて適用した結果について示す。

$$S_{ave}^R \leq 0.6 \text{ の場合に, } S_{ave}^{R'} = 5/6 S_{ave}^R + 0.1 \tag{10}$$

S_{ave}^R : 再補正後のスカラー平均風速

以上、本章で示した補正式一覧を Table 4 に示す。

2. 補正結果の比較

(1) 学会方式による結果

超高層建物周辺部における学会方式による補正後の評価値と実験値との比較を Fig.11 に示す。補正評価値が実験評価値を下回る●は

なくなり、同一ランク評価○になったが、反面、今まで同一ランク評価であった位置の多くが●のように補正評価値の方が一ランク大きな評価になってしまっている。

全測定点 (55%風速) での RANS 学会補正値と実験値の比較を Fig.12 に示す。同一ランクであっても、多くが対角線以下になり補正評価値の方が大きく、環境評価としては安全側にはなるが、過大

Table 4 補正式一覧
(Outline of Modified Formulation)

名称	補正式 (補正スカラー風速: $S_{ave}^R, S_{ave}^{R'}$ とする)
建築学会補正式	$S_{ave}^R = (U_{ave}^2 + 2k)^{0.5}$
丸田補正式	$U_{ave}^2 \geq 2/3k$ のとき, $S_{ave}^R = (U_{ave}^2 + 4/3k)^{0.5}$ $U_{ave}^2 < 2/3k$ のとき, $S_{ave}^R = (2k)^{0.5}$
丸田解析差異補正式	$0.6 \geq S_{ave}^R$ のとき, $S_{ave}^{R'} = 5/6 S_{ave}^R + 0.1$

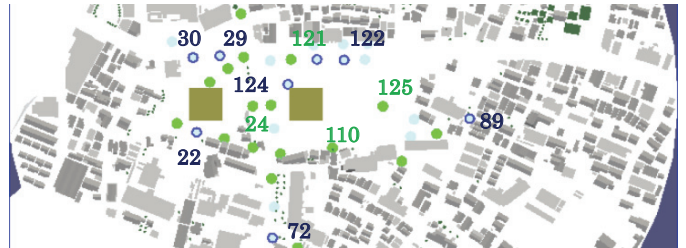


Fig.11 風環境評価ランク差異(実験値と学会補正 RANS 値)

(Difference between the Rank of Wind Environment Evaluation by Experiment and Modified RANS by AIJ Method)

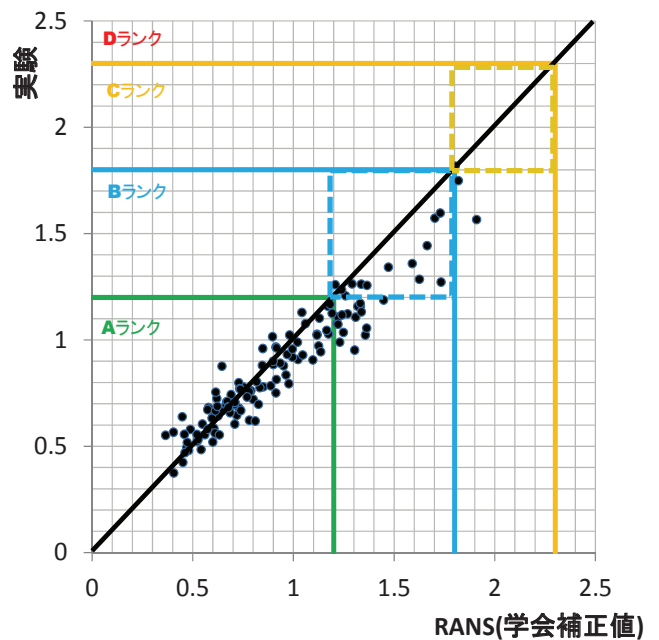


Fig.12 環境評価値の実験値と RANS 学会補正値の関係
(Relation between the Wind Environment Value by Experiment and Modified RANS by AIJ Method)

評価とも考えられる。また、風速が速くなるにつれ補正值の方が大きくなる傾向が認められる。

(2) 丸田方式による結果

前項式 (9) と (10) を合わせた丸田方式に基づいた補正結果と実験結果との評価ランクの比較を Fig.13 に示す。測定点 30 ほかでも ● (RANS の方が過小評価する位置) が残るが、Fig.14 に示すように風向別の風速比を比較すると、Fig.10a と比べ良く一致しており西風や南東風の主風向とは異なる風向での風速比がやや小さいために評価ランクに差が生じている。

丸田補正值と実験値との比較を Fig.15 に示す。学会補正值と同様に対角線より下に分布するが、やや対角線に近く相関性も良い。

なお、丸田補正值からさらに 0.1 を差し引くと、点線が対角線になるため、対角上にはほぼ均等にばらつく状況になる。

以上、両補正方法による環境評価値は実験値と比べて安全側評価になることから、高層建物が林立しない街区では環境アセスメントに適用しても問題ないと考えられる。また、実験値とほぼ適合していることから、実測に合わせて鉛直成分を排除して評価することも可能であると考えられる。

VI. まとめ

RANS 数値流体解析に基づく風環境評価値は風速が低い領域で実験値と差が生じやすいことは周知であり、補正方法として学会方式や丸田方式が提案されているため、モデル街区を対象に差異が生じる要因と補正結果について検討した。その結果を以下に示す。

- a. 単純な街区での風環境評価の補正方法として、学会方式、丸田方式は、共に実験評価値と比べてほぼ安全側（評価ランクが悪くなる）に評価される傾向があるが、丸田方式の方が実験値により近い。
- b. 丸田補正值から 0.1 を差し引いた評価値は、実験値とほぼ対応した。
- c. 風環境評価の実測における風速に対して、実験方式や RANS 解析、さらにその補正值とも、平均風速の意味合いに差異を有しているとともに、建物からの剥離流の流況のごくわずかな評価差でもランクに差異が生じる場合があることを示した。
- d. 以上の結果を踏まえ、本報告で提示したような高層建物が林立しない街区では、安全側評価を行うのであれば、学会方式や丸田方式を適用しても問題ないと考えられる。また、その際、実測状況に合わせて鉛直成分の影響は排除しても良いと考えられる。

VII. あとがき

本報告で示した、平均風速としての意味合いの違いにより生じる評価値の差は、実測値の推定における誤差の意味合いと異なる。そのため、異なる評価方法の評価値(評価ランク)に差が生じることは許容する必要がある。環境評価を行う場合、各評価方法・補正方法

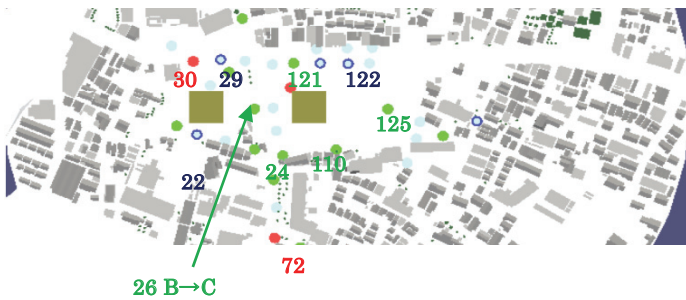


Fig.13 風環境評価ランク差異
(実験値とRANS丸田補正值)

(Difference between the Rank of Wind Environment Evaluation by Experiment and Modified RANS by Maruta Method)

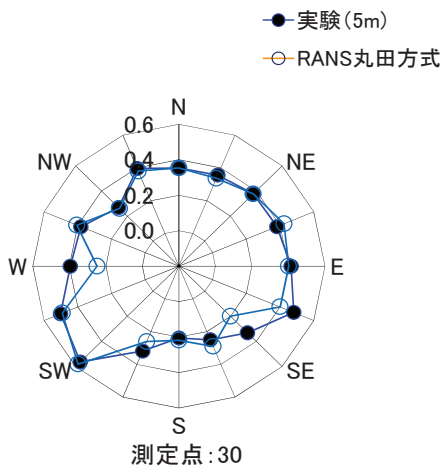


Fig.14 風向別風速比
(Wind Speed Ratio at Each Azimuth)

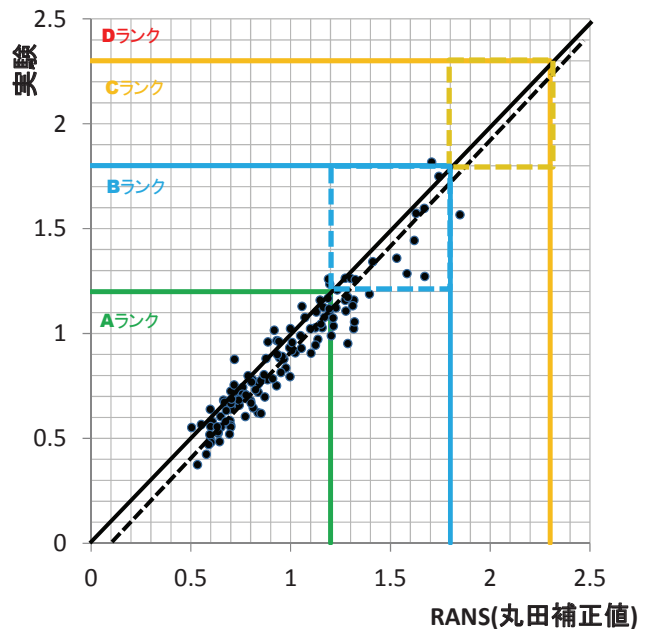


Fig.15 環境評価値の実験値と丸田補正值との関係
(Relation between the Wind Environment Value by Experiment and Modified RANS by Maruta Method Method)

での差異要因の差を考慮した上で評価結果を捉え、各評価方法での環境評価結果に対する対策などを講じることが重要である。

なお、都市部のように複数の高層建物が風況に影響するような街区での風環境評価に対する RANS 系数値流体解析の適用性については、今後検討していく予定である。

参考文献

- 1) 市街地風環境評価のための数値流体解析ガイドブック, 日本建築学会, 2007.
- 2) 松山哲雄, 吉田幸彦, 丸田栄蔵; ビル風シミュレーションに関する研究, 日本大学生産工学部第 39 回学術講演会, 2006.
- 3) 新・ビル風の知識, 風工学研究所編, 1992.
- 4) 乱流解析, 東京大学出版会, 1998.
- 5) 持田灯, 村上周三, 林吉彦; 立方体モデル周辺の非等方乱流場に関する $k-\epsilon$ モデルと LES 比較, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 423 号, 1991.5, pp.23-31.
- 6) 建築物風洞実験ガイドブック, 日本建築センター, 2008.

Validity of the Wind Environment Evaluation by RANS

Masayasu Suzuki, Yoshiaki Itoh and Kahoru Nakayama

In applying numerical simulation as RANS in place of a conventional wind tunnel experiment for evaluating wind environment, there is a little difference between an experiment evaluation value and an analysis evaluation rank. Therefore, sufficient considerations must be needed in applying an analysis result by evaluations for the environmental assessment. In addition, since there are few references, a judgment how much difference occurs depending on locations targeted shall be complicated.

The authors performed wind environment evaluation by wind tunnel test and RANS when a high-rise building was built in the block with many low-rise buildings such as urban area, and examined how it was revised by a factor and the existing suggested revision that a difference produced. As a result, the revised method of AIJ and the revised method of Maruta showed the safe side evaluation (the rank of environment evaluation was lowered), otherwise they produced the difference of the environment evaluation rank around the high-rise building. In addition, it was confirmed that the evaluation values by the revision method of the revised method of Maruta were in good agreement with the experimental values within the examination range of this study.