4.3 風環境評価の“ばらつき”に関する考察 “Dispersion” in Wind Environment Assessment

野田 博*¹ 丸川比佐夫*²
Hiroshi NODA, Hisao MARUKAWA

1. はじめに

風環境評価とは、現在のある地域の風の状況把握あるいはこれから新たに建物が建設された後の風の状況を予測し、これらを評価基準と比較してその場所の風環境を客観的に評価することである。このとき風洞実験技術や数値流体計算技術の利用、ならびに付近の長期気象観測データが用いられる。すなわち種々の測定結果を用いて風環境評価が行われる。

ここで、どんな測定においても“もの”の量を測定し結果を数値化した場合、その値には“ばらつき”*を含む。すなわち風洞実験結果や数値流体計算結果は種々の要因により“ばらつき”を有している。また長期気象観測データについても建設地点と観測地点の周辺状況の差異や気象変動等の原因による“ばらつき”を有する。このような“ばらつき”を有した計測値を用いて風環境評価を行えば、当然のことながら、その評価値にも“ばらつき”を有することとなる。この風環境評価結果の“ばらつき”はどの程度なのか、あるいは風環境評価の正確さに大きく影響を及ぼすのはどのような要因なのか等を把握することは、風環境評価を実施するときや風環境評価結果を判断するときには大変重要である。

本稿では、風環境評価の“ばらつき”，言い換えれば風

環境評価の信頼性を検証するため、風環境評価を行う過程においてどのような“ばらつき”の要因があるか、そしてその“ばらつき”が最終的な風環境評価にどの程度影響するのかについて考察した。

2. 風環境評価におけるばらつき因子

ここでは、風洞実験結果を利用して風環境評価する場合にどのようなばらつきの因子が存在するかを述べる。

通常、風洞実験結果を用いて風環境評価する場合には以下のような過程に従って行われる。

- ①風洞実験により評価地点の風速と上空の風速の比を求める。
- ②上空風の長期気象観測データの分析
- ③①、②を用いて評価地点の風速発生頻度(累積頻度)の推定
- ④評価地点の風環境評価

これら4つに段階分けした風環境評価の手順を図-1に示す。以下に各段階において考えられるばらつきの因子を列挙する。

* 1 三井住友建設株式会社 技術研究所

Dr. Eng., Technical Research Institute, Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd.

* 2 清泉創建エンジニアリング 都市環境技術研究所 所長

Dr. Eng., Director, Urban Environment Research Center, Izumi Sohken Engineering Co., Ltd.

図-1 風環境評価のフロー

【風洞実験のばらつき因子】

測定機器の器差, 実験気流の差異, 風速計の設置位置や設置高さ, 模型化範囲の差異, 樹木の再現方法や設置位置, 等

【上空風気象データのばらつき因子】

観測地点周辺の建物・地形の影響, 地表面粗度区分評価, 気象変動, 等

【評価地点の風速発生頻度のばらつき因子】

気象観測点と建設地点との風向・風速の差異, ガスト

ファクター(G.F.)の設定, 極値分布の近似, 等

【風環境評価方法のばらつき因子】

個人や地域 別による強風の感じ方の違い, 評価基準の違いによる評価の差, 等

このように, 風環境評価のばらつきとなる要因は数多く存在する。しかし, これらすべてが同じようにばらつきの大きさをもっているわけではなく, また風環境評価への伝播量(率)も同一ではない。ばらつきの大きさによって

*計測用語に従えば, 用語として“ばらつき”ではなく, “不確かさ”を用いるほうが適当なところもあるが, 本文では, 説明の明確さを優先し, ばらつきの程度, 量ともに“ばらつき”と記述する。

はほとんど風環境評価に影響しないものもある。

3. ばらつきの伝播

測定の結果 x という値を得たときのこの測定値のばらつきを α とする。このとき、この測定値 x を用いて評価すべき量を関数 $g(x)$ で表すとすると g のばらつき δg は以下の式で伝播する²⁾。

$$\delta g = \sqrt{\left(\frac{dg}{dx} \alpha\right)^2} \quad (1)$$

また複数の測定因子を $x_1, x_2, \dots, x_m$ とし、これらのばらつきを $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ とする。これらの測定因子を用いて関数 $g(x_1, x_2, \dots, x_m)$ の値を計算した場合、 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ が互いに独立かつランダムであるとすれば、 g のばらつき δg は以下の通りとなる。

$$\delta g = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial g}{\partial x_i} \alpha_i\right)^2} \quad (2)$$

(2)式が種々の計測値を用いてある値を求めた場合のばらつきとなる。種々のばらつきは二乗和により足し合わされて伝播される。このことから、各要因によるばらつきのなかで、ばらつきの幅が小さいものはほとんど影響しないことがわかる。

(2)式を用いて各ばらつきの風環境評価への伝播を考察するには、風環境評価指標(平均風速の累積頻度、日最大平均風速の発生頻度)の算出式の各変数とばらつき因子を関連付ける必要がある。

通常、風環境評価の方法としては日最大瞬間風速による評価³⁾と平均風速による評価⁴⁾の2通りの方法が用いられる。日最大瞬間風速による評価は評価地点における瞬間最大風速 10m/s, 15m/s, 20m/s の超過確率(発生日数)により、平均風速による評価は評価地点の平均風速の累積頻度 55%, 95%の風速値により、それぞれ風環境が評価される。このとき超過確率や累積頻度は通常下式のワイブル近似式で算出される。

$$p(v) = \sum_{a=1}^{16} A(a) \times \exp \left\{ - \left(\frac{v - \gamma(a) \times R(a)}{R(a) \times c(a)} \right)^{k(a)} \right\} \quad (3)$$

$$f(v) = 1 - p(v) \quad (4)$$

ここで、 $p(v)$: 年間の風速 v の超過確率、 $f(v)$: 年間の風速 v の累積頻度、 $A(a)$: 風向 a の発生頻度、 $R(a)$: 風向 a での風速

比、 $c(a), k(a), \gamma(a)$: 風向 a でのワイブル係数

評価地点での風速の超過確率や累積頻度を求める場合には(3)式に示すとおり 16 方位について計算するが、ここでは各変数の風環境評価に与える影響を考察するため、1 風向について考察する。

$$p(v) = A \cdot \exp \left\{ - \left(\frac{v - \gamma \times R}{R \times c} \right)^k \right\} \quad (5)$$

1 風向に限定すれば、日最大瞬間風速による評価は(5)式により風速 10m/s, 15m/s, 20m/s の超過確率を、平均風速による評価では(4)式を風速 $v(f)$ について解いた下式により累積頻度 55%, 95%の風速を算出することとなる。ただし、平均風速による評価の場合、 $\gamma=0$ となる。

$$v(f) = R \cdot c \cdot \left\{ - \ln \left(\frac{1-f}{A} \right) \right\}^{1/k} \quad (6)$$

風洞実験におけるばらつきは風速比 R のばらつきに置換される。また、上空風気象データは統計分析後にワイブル分布で近似されるため、上空気象データのばらつきは風向頻度とワイブル係数のばらつきで表される。従って風洞実験のばらつきの風環境評価への影響は、風速比 R のばらつきの伝播を計算すれば把握でき、上空風気象データのばらつきは、風向頻度 A 、ワイブル係数 c, k, γ のばらつきの伝播を検討すればその影響が確認できる。

ここで、風速比 R と各ワイブル係数が独立であることは自明である。ワイブル係数 c, k, γ はそれぞれ、発生風速の最頻値を表す値、発生頻度の状況(形状)を表す値、出現風速最低値を表す値である。これらの現象は互いに明確な相関関係は見出せない。しかし、ワイブル分布で風速の発生頻度を近似する段階では発生風速の最頻値 c と出現風速の最低値 γ は負の相関を持つ。例えば、同じ風速の発生頻度を近似するとき、 γ が大きめに見積もられると c は小さくなり、逆に γ が小さめに見積もられると c は大きくなる。これは c と γ を足し合わせたものが実際の発生風速の最頻値を表すためである。ただし、本稿では負相関であることと考察の簡素化という 2 つの理由により、各ワイブル係数もそれぞれ独立と仮定する。従って各ばらつき因子による風環境評価のばらつきは(2)式により算定することが出来る。

風向頻度 A に関しては隣接する風向同士で負の相関を

有していることが推測され、そのばらつき δA も風向間で独立であるとは言いきれない。隣接する風向の相関を考察するには慎重な分析・調査を要する。従ってここでは δA の伝播を割愛する。ただし、風向頻度のばらつき δA を割愛しても他の要因のばらつきが風環境評価に与える影響は十分考察できるものと思われる。風向頻度 A のばらつき δA の伝播を含めた風環境評価のばらつきは別の機会に行うこととする。

日最大瞬間風速による評価における風速比 R 、ワイブル係数 c, k, γ のばらつきの風環境評価への伝播、すなわち超過確率への伝播は下式により表される。

$$\frac{\partial p}{\partial R} \delta R = \frac{A \cdot k \cdot v}{(v - R \cdot \gamma) \cdot R} \cdot \left\{ \frac{v - R \cdot \gamma}{R \cdot c} \right\}^k \cdot \exp \left\{ - \left(\frac{v - R \cdot \gamma}{R \cdot c} \right)^k \right\} \cdot \delta R \quad (7)$$

$$\frac{\partial p}{\partial c} \delta c = \frac{A \cdot k}{c} \cdot \left\{ \frac{v - R \cdot \gamma}{R \cdot c} \right\}^k \cdot \exp \left\{ - \left(\frac{v - R \cdot \gamma}{R \cdot c} \right)^k \right\} \cdot \delta c \quad (8)$$

$$\frac{\partial p}{\partial k} \delta k = -A \cdot \ln \left(\frac{v - R \cdot \gamma}{R \cdot c} \right) \cdot \left\{ \frac{v - R \cdot \gamma}{R \cdot c} \right\}^k \cdot \exp \left\{ - \left(\frac{v - R \cdot \gamma}{R \cdot c} \right)^k \right\} \cdot \delta k \quad (9)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \gamma} \delta \gamma = \frac{A \cdot k \cdot R}{(v - R \cdot \gamma)} \cdot \left\{ \frac{v - R \cdot \gamma}{R \cdot c} \right\}^k \cdot \exp \left\{ - \left(\frac{v - R \cdot \gamma}{R \cdot c} \right)^k \right\} \cdot \delta \gamma \quad (10)$$

同様に平均風速による評価の場合、風速比 R 、ワイブル係数 c, k のばらつきの風環境評価への伝播、すなわち累積頻度への伝播は下式のとおりである。

$$\frac{\partial v}{\partial R} \cdot \delta R = c \left\{ - \ln \left(\frac{1-f}{A} \right) \right\}^{1/k} \cdot \delta R \quad (11)$$

$$\frac{\partial v}{\partial c} \cdot \delta c = R \left\{ - \ln \left(\frac{1-f}{A} \right) \right\}^{1/k} \cdot \delta c \quad (12)$$

$$\frac{\partial v}{\partial k} \cdot \delta k = - \frac{c \cdot R}{k^2} \ln \left\{ - \ln \left(\frac{1-f}{A} \right) \right\} \cdot \left\{ - \ln \left(\frac{1-f}{A} \right) \right\}^{1/k} \cdot \delta k \quad (13)$$

4. 風洞実験に関わるばらつき

風洞実験における風速比のばらつきに関しては、昭和55年度から昭和58年度にかけて日本建築センターで実施された「建築物周辺気流の風洞実験法に関する研究」⁹⁾で詳細に検討されている。この既往の研究は24機関、31名の研究者が参加して行われた。ここでは風洞実験に関する各パラメータが実験結果にどの程度影響を及ぼすかについて調査している。風洞実験に関するパラメータとして下記の項目を検討している。

①模型の制作方法

模型縮尺、模型細部の表現、樹木の模型化

②市街地の再現方法

模型化範囲、市街地の簡略化、上流側の大規模建物の影響

③気流の再現方法

実験風速、平均風速の鉛直分布、境界層高さ

④測定方法

平均化時間、風向設定、実験期間、繰り返し

すべての項目において統一された評価方法が用いられてはいないが、この既往の研究結果⁹⁾から風洞実験に含まれる各種項目によるばらつき、あるいは風洞実験全般に亘るばらつきを把握することができる。

この既往の研究⁹⁾によれば同一機関で同一実験を繰り返した場合の風速比の変動係数は0.03、複数機関が同一模型を用いて同一実験を繰り返した場合の風速比の変動係数は0.06となっている。ここで、変動係数の定義は以下の通りである。

$$C.V. = \frac{\sigma}{M} \quad (14)$$

$C.V.$: 変動係数, σ : 標準偏差, M : 平均値

既往の研究⁹⁾で示された風洞実験に含まれる各項目のばらつきを付表-1に示す。

5. 上空気象データに関わるばらつき

5. 1 観測期間によるばらつき

東京管区気象台で観測された1991年3月1日～2001年2月28日の10年間の平均風速、日最大平均風速を用いて観測期間によるばらつきを検討した。検討は、全風向の平均風速ならびに日最大平均風速の発生頻度のワイブル係数を1年間、5年間、10年間と観測期間を変えて求め、そのばらつきを調べた。各観測期間における平均風速、日最大平均風速のワイブル係数を表-1に、各ワイブル係数の平均値、標準偏差、ならびに変動係数を表-2に示す。

平均風速のワイブル係数 c, k のばらつきは1年間の観測データから求めた場合でも小さい。しかし、1年間では特異な気象現象の年の観測データを用いたときには、ばらつきが大きくなることが考えられるので、このようなことを避けるために複数年の観測データを用いることが望ましい。5年間の観測データを用いると概ね10年間の観測データから求めたワイブル係数とほぼ等しくなる。

日最大平均風速のワイブル係数 c, k, γ は平均風速のワイブル係数よりもばらつきが大きい。最もばらつきの大きいのはワイブル係数 k である。日最大平均風速のワイブル係数のばらつきが平均風速のそれよりも大きくなる原因としてデータ数が少ないことが考えられる。平均風速は1日24個のデータがあるのに対し、日最大平均風速は1日1個のデータしかない。このことから、日最大平均風速をワイブル分布で近似する場合には平均風速を近似する場合よりも長い観測期間のデータを用いることが望ましい。

c と γ については前章でも述べたとおり、負の相関を有しており、 c と γ を単純に足し合わせた値のばらつきは変動係数で0.02と小さい値となる。

5. 2 観測局によるばらつき

上空気象データの観測局の選定に関わるばらつきを以下の手順で調査した。まず気象的に同一地域と仮定される地域内の風向風速観測局をいくつか選び、それらの観測局で観測された平均風速の発生頻度をそれぞれワイブル分布で近似する。そして求めたワイブル係数のばらつきを調べる。調査を行った地域は東京都心部と千葉市内の2地域とした。東京都心部の風向風速データは気象庁東京管区気象台と東京都環境局の観測データを、千葉市内の風向風速データは気象庁千葉測候所と千葉県環境生

活部大気保全課の観測データを用いた(付表-2 参照)。観測期間はいずれの測定局においても1998年4月1日から2003年3月31日の5年間である。また、観測データを分析するには高さ100m、地表面粗度区分IV^①に換算した値を用いた。高さと地表面粗度区分の補正は文献^②に準じて行った。この手順により得られた各観測局における発

表-1 各観測期間での東京管区気象台
観測データのワイブル係数

(a) 平均風速

観測期間	c	k	個数
10年間 ('91.3~'01.2)	4.16	2.03	87637
5年間 ('91.3~'96.2)	4.11	2.08	43833
('96.3~'01.2)	4.20	2.04	43804
1年間 ('91.3~'92.2)	4.10	2.15	8784
('92.3~'93.2)	4.14	2.20	8760
('93.3~'94.2)	4.20	2.02	8753
('94.3~'95.2)	3.92	2.31	8755
('95.3~'96.2)	4.01	2.02	8781
('96.3~'97.2)	4.32	1.97	8757
('97.3~'98.2)	4.11	2.28	8758
('98.3~'99.2)	3.99	2.16	8745
('99.3~'00.2)	4.18	2.27	8784
('00.3~'01.2)	4.02	2.22	8760

(b) 日最大平均風速

観測期間	c	k	γ	個数
10年間 ('91.3~'01.2)	3.29	1.62	3.50	3650
5年間 ('91.3~'96.2)	4.44	2.31	2.81	1826
('96.3~'01.2)	3.55	1.75	3.29	1824
1年間 ('91.3~'92.2)	3.58	1.78	3.22	366
('92.3~'93.2)	4.52	2.37	2.66	365
('93.3~'94.2)	3.31	1.57	3.50	365
('94.3~'95.2)	3.78	2.31	3.04	364
('95.3~'96.2)	3.98	2.13	3.05	366
('96.3~'97.2)	3.50	1.58	3.38	364
('97.3~'98.2)	3.44	1.71	3.40	365
('98.3~'99.2)	3.52	1.79	3.16	364
('99.3~'00.2)	3.54	1.78	3.28	366
('00.3~'01.2)	3.34	1.70	3.40	365

表-2 各観測期間でのワイブル係数の統計値

(a) 平均風速

期間	統計値	c	k
5年間	平均値	4.16	2.06
	標準偏差	----	----
	C.V	----	----
1年間	平均値	4.10	2.16
	標準偏差	0.12	0.12
	C.V	0.03	0.06

(b) 日最大平均風速

期間	統計値	c	k	γ
5年間	平均値	4.00	2.03	3.05
	標準偏差	----	----	----
	C.V	----	----	----
1年間	平均値	3.65	1.87	3.21
	標準偏差	0.36	0.29	0.25
	C.V	0.10	0.16	0.08

生頻度のワイブル係数を表-3 に示す。

表-3 より、同一地域と見なされる数箇所の観測局の観測データから求められたワイブル係数のばらつきは(14)式で定義する変動係数でワイブル係数 c においては 0.07 程度、ワイブル係数 k については 0.06 程度となっている。

このばらつきの原因は観測局付近の建物・地形の影響や地表面粗度評価等が考えられる。各観測局の観測高さは十数 m から数十 m である。このような状況では局所的な周辺建物の影響を全く受けていないとはいえない。また、周辺の地表面粗度に風速は大きく影響されるが、観測局周辺の粗度の状況により同じ地表面粗度区分と判断されたとしても全く同一のべき指数分布ではない。これらの理由により上空風の観測データにばらつきが生じるものと思われる。

表-3 各観測局における累積頻度のワイブル係数

観測局	c	k	観測局	c	k
東京管区	4.28	1.75	千葉測	3.59	1.46
港区	4.21	1.42	末広	3.33	1.44
文京	3.81	1.53	松ヶ丘	3.17	1.43
江東	4.44	1.51	白旗	3.19	1.38
荒川	3.81	1.53	今井	3.42	1.54
			浜野	3.72	1.46
			蘇我	3.65	1.49
平均値	4.11	1.55	平均値	3.44	1.46
標準偏差	0.32	0.13	標準偏差	0.24	0.05
C.V.	0.08	0.09	C.V.	0.07	0.04

6. 風環境評価へのばらつきの伝播

日最大瞬間風速による評価における各ばらつきの伝播を(7)式～(10)式により、平均風速による評価の場合を(11)～(13)式により検討する。ここで、各因子のばらつきを下式に示すように変動係数で表す。

$$\delta R = C_R \times R, \quad \delta k = C_k \times k, \quad \delta c = C_c \times c, \quad \delta \gamma = C_\gamma \times \gamma \quad (15)$$

ここで、 C_R, C_c, C_k, C_γ :それぞれ風速比 R 、ワイブル係数 c, k, γ の変動係数

(15)式を日最大瞬間風速による評価のばらつきの伝播の式(7)式～(10)式に代入すると下式が得られる。

$$\frac{\partial P}{\partial R} \delta R = \frac{k \cdot v}{(v - R \cdot \gamma)} \cdot \left\{ \frac{v - R \cdot \gamma}{R \cdot c} \right\}^k \cdot C_R \cdot p(v) \quad (16)$$

$$\frac{\partial P}{\partial c} \delta c = \frac{k}{c} \cdot \left\{ \frac{v - R \cdot \gamma}{R \cdot c} \right\}^k \cdot C_c \cdot p(v) \quad (17)$$

$$\frac{\partial P}{\partial k} \delta k = -k \cdot \ln \left(\frac{v - R \cdot \gamma}{R \cdot c} \right) \cdot \left\{ \frac{v - R \cdot \gamma}{R \cdot c} \right\}^k \cdot C_k \cdot p(v) \quad (18)$$

$$\frac{\partial P}{\partial \gamma} \delta \gamma = \gamma \cdot \frac{k \cdot R}{(v - R \cdot \gamma)} \cdot \left\{ \frac{v - R \cdot \gamma}{R \cdot c} \right\}^k \cdot C_\gamma \cdot p(v) \quad (19)$$

また(15)式を平均風速による評価のばらつきの伝播の式(11)～(13)式に代入すると以下の通りとなる。

$$\frac{\partial v}{\partial R} \cdot \delta R = C_R \cdot v(f) \quad (20)$$

$$\frac{\partial v}{\partial c} \cdot \delta c = C_c \cdot v(f) \quad (21)$$

$$\frac{\partial v}{\partial k} \cdot \delta k = -\frac{1}{k} \ln \left\{ -\ln \left(\frac{1-f}{A} \right) \right\} \cdot C_k \cdot v(f) \quad (22)$$

(16)式～(22)式よりばらつきを変動係数で表した場合以下のことが言える。

日最大瞬間風速による評価((16)式～(19)式)では、各パラメータの影響度の違いは 2 重下線部の違いのみとなる。各ばらつきの伝播式に他の変数(要因)を含んでいるため、また各ばらつきの伝播量が自身の値と線形関係でないため、風速比 R 、ワイブル係数 c, k, γ のそれぞれの値により風環境評価への影響度が異なる。ここで、日最大瞬間風速による評価ではワイブル近似を $\gamma=0$ とする 2 変数で近似した場合、風速比 R によるばらつきとワイブル係数 c によるばらつきの風環境評価への影響は同じとなる。

平均風速による評価((20)式～(22)式)では風速比 R のばらつきとワイブル係数 c のばらつきの風環境評価への影響度は同じである。また平均風速による評価の場合、風速比 R とワイブル係数 c のばらつきがそのまま評価値に表れる。例えば、変動係数 10% のばらつきを有する風速比 R を用いて風環境評価を行った場合、風環境評価値(累積頻度 55%, 95% の風速値)は変動係数 10% のばらつきを有することとなる。また、風速比 R 、ワイブル係数 c のばらつきを変動係数で表した場合、その伝播量は風速比 R 、ワイブル係数 c, k の値に依存しない。

平均風速をワイブル近似した場合、ワイブル係数 k の値は概ね 0.8～2.2 程度の値となる。これを(22)式に代入すると

$f=55\%$ の場合

$$\frac{\partial v}{\partial k} \delta k = 0.28 \times C_k v(p) \sim 0.1 \times C_k v(f)$$

$f=95\%$ の場合

$$\frac{\partial v}{\partial k} \delta k = 1.37 \times C_k v(p) \sim 0.50 \times C_k v(f)$$

となる。すなわち累積頻度 55% 風速値についてはワイブル係数 k のばらつきの影響は風速比 R 、ワイブル係数 c に比べて小さい。一方、累積頻度 95% 風速値については k の値により影響度は異なるが、 $k > 1.1$ では風速比 R 、ワイブル係数 c よりも影響度は小さくなる。

次にある値を実際に風速比とワイブル係数に代入して風環境評価におけるばらつきの試算を行う。日最大瞬間風速による評価のばらつきを試算するときの風速比、ワイブル係数ならびにガストファクターは下記の値を用いた。ワイブル係数は前章の東京管区気象台における観測期間 10 年の値である。

$R=0.6$, $c=3.29$, $k=1.62$, $\gamma=3.50$, ガストファクター:2.3

平均風速による評価のばらつきの試算時には以下に示す値を用いた。ワイブル係数は前章で用いた東京都都市部の 5 つの観測局でのワイブル係数の平均値である。

$R=0.6$, $c=4.11$, $k=1.55$

また、変動係数は全て 0.06 とした。変動係数を全て同じ値としたのは、どのばらつきの因子が風環境評価への影響度が大きいかを調べるためである。

$$C_R = C_c = C_k = C_\gamma = 0.06$$

日最大瞬間風速による評価の試算結果を表 4 に示す。また風速とばらつきの伝播量の関係を図-2 に、風速とばらつきの変動係数の関係を図-3 にそれぞれ示す。ここで、伝播されたばらつきの変動係数を以下に定義する。

$$CV_{pR} = \frac{(\partial p / \partial R) \cdot \delta R}{p}, \quad CV_{pc} = \frac{(\partial p / \partial c) \cdot \delta c}{p}$$

$$CV_{pk} = \frac{(\partial p / \partial k) \cdot \delta k}{p}, \quad CV_{p\gamma} = \frac{(\partial p / \partial \gamma) \cdot \delta \gamma}{p}$$

$$CV_p = \frac{\delta p}{p}$$

日最大瞬間風速による評価では、風速比 R によるばらつきが評価風速 10m/s, 15m/s, 20m/s のいずれの場合にも他の因子によるばらつきに比べ最も影響度が大きい。

次に影響度が大きいのは瞬間風速 10m/s, 15m/s ではワイブル係数 c であるが、評価風速 20m/s では、評価風速 10m/s で最も小さいワイブル係数 k によるばらつきの方が大きい。ワイブル係数 c と k によるばらつきは風速 15m/s 付近から風速 20m/s までは概ね同じ値となっている。

図-3 より、風速比 R 、ワイブル係数 c , k によるばらつきの変動係数は評価風速が高くなるに従い急激に大きくなる。ワイブル係数 γ も評価風速が高くなるに従いその伝播量が大きくなるが、その他の因子に比べてその変化量は小さい。このようにいずれの因子のばらつきも評価風速の増加に伴い大きくなるため、ある限定された条件の試算からの判断ではあるが、高い評価風速では大きなばらつきを有しているものと推測される。

表-4 日最大瞬間風速による評価のばらつき試算例

(a) ばらつきの伝播量			
瞬間風速	10m/s	15m/s	20m/s
p [%]	29.11	2.49	0.086
$(\partial p / \partial R) \cdot \delta R$ [%]	6.75	1.32	0.078
$(\partial p / \partial c) \cdot \delta c$ [%]	3.49	0.89	0.059
$(\partial p / \partial k) \cdot \delta k$ [%]	0.45	0.72	0.071
$(\partial p / \partial \gamma) \cdot \delta \gamma$ [%]	3.26	0.42	0.019
δp [%]	8.28	1.80	0.122

(b) ばらつきの変動係数			
瞬間風速	10m/s	15m/s	20m/s
p [%]	29.11	2.49	0.086
CV_{pR}	0.23	0.53	0.91
CV_{pc}	0.12	0.36	0.69
CV_{pk}	0.02	0.29	0.83
$CV_{p\gamma}$	0.11	0.17	0.22
CV_p	0.28	0.72	1.42

図-2 風速とばらつきの伝播量の関係
(日最大瞬間風速による評価)

図-3 風速とばらつきの変動係数の関係
(日最大瞬間風速による評価)

次に平均風速による評価の試算結果を表-5 に示す。また累積頻度とばらつきの伝播量の関係を図-4 に、累積頻度とばらつきの変動係数の関係を図-5 にそれぞれ示す。ここで、各因子のばらつきの変動係数は以下に定義する通りである。

$$CV_{vR} = \frac{|\partial v / \partial R| \cdot \delta R}{v}, \quad CV_{vc} = \frac{|\partial v / \partial c| \cdot \delta c}{v}$$

$$CV_{vk} = \frac{|\partial v / \partial k| \cdot \delta k}{v}, \quad CV_v = \frac{\delta v}{v}$$

平均風速による評価では、風速比 R によるばらつきとワイブル係数 c のばらつきは等しい。またワイブル係数 k によるばらつきは他の因子に比べて小さい。

平均風速による評価では、(22)式(23)式からも分かるとおり、変動係数でばらつきの伝播量を表すと、評価風速による変化はない(図-5)。

平均風速による評価においても累積頻度が大きくなるに従い評価のばらつきが大きくなる。特に累積頻度 90% 付近以上になると急激にばらつきが大きくなる傾向がみられる。ただし、量そのものとしては日最大瞬間風速による評価に比べてかなり小さい。平均風速による評価では、累積頻度 55%の風速値、95%の風速値のいずれかがが極端に大きなばらつきを有している、ということはない。

表-5 平均風速による評価のばらつき試算例

(a) ばらつきの伝播量		
累積頻度	55%	95%
$v[m/s]$	2.13	5.00
$(\partial v / \partial R) \cdot \delta R$	0.13	0.30
$(\partial v / \partial c) \cdot \delta c$	0.13	0.30
$(\partial v / \partial k) \cdot \delta k$	0.02	0.21
δv	0.18	0.47

(b) ばらつきの変動係数		
累積頻度	55%	95%
$v[m/s]$	2.13	5.00
CV_{vR}	0.06	0.06
CV_{vc}	0.06	0.06
CV_{vk}	0.01	0.04
CV_v	0.09	0.09

図-4 累積頻度とばらつきの伝播量の関係
(平均風速による評価)

図-5 累積頻度とばらつきの変動係数の関係
(平均風速による評価)

7. おわりに

本報告は、1 風向の考察でありまた各段階におけるばらつき因子全てを検討していないため、概略的な考察ではあるものの、風洞実験によるばらつきと上空風気象データのばらつきが風環境評価にどのように影響するか把握することが出来た。

日最大瞬間風速による評価では、風速比 R によるばらつきが最も影響が大きいことが分かった。ただし、ワイブル近似を c, k のみの 2 変数とした場合、風速比 R とワイブル係数 c のばらつきの風環境評価への影響は同じとなる。また、評価風速(10m/s, 15m/s, 20m/s)が高くなるに従い評価された値に対して相対的にばらつきが大きくなり評価値の信頼性が小さくなる。

平均風速による評価では、風速比 R とワイブル係数 c によるばらつきの影響は同じであることが明らかとなった。またばらつきを変動係数で表した場合、これらのばらつきの風環境評価に与える影響度は同じ変動係数として現れる。ワイブル係数 k によるばらつきは風速比 R 、ワイブル係数 c に比べて小さい。累積頻度が大きくなるに従い風環境評価のばらつきはおおきくなる傾向があるが、累積頻度 95%で極端に大きなばらつきを有しているものではない。

参考文献

- 1) 佐々木亮治: 風環境評価の地域性、温熱感との関係等, 風環境フォーラム「風環境(ビル風)評価の現状と課題」資料, 2005.3
- 2) John R. Taylor (林茂雄, 馬場涼訳): 測定における誤差解析入門, 東京化学同人
- 3) 村上, 岩佐, 森川: 居住者の日誌による風環境調査と評価尺度に関する研究, 日本建築学会論文報告集 第 325 号, pp.74-84, 1983.3
- 4) 中村, 吉田, 横谷, 片桐: 市街地の風の性状, 第 9 回風工学シンポジウム, pp.73-78, 1986
- 5) 日本建築センター: 建築物周辺気流の風洞実験法に関する研究報告書, 昭和 59 年 3 月
- 6) 日本建築学会編: 建築物荷重指針・同解説, 2004

付表-1 風洞実験結果に含まれる各項目の誤差⁵⁾

		誤差要因	風速比の誤差	誤差の絶対値
各種要因による誤差	測定方法による誤差	平均化時間	$\sigma=0.01$	約0.1m/s
		サンプリング個数	$\sigma=0.03$	約0.2m/s
		風向設定誤差	$\sigma=0.01$	約0.1m/s
		測定点位置設定誤差	$\sigma=0.02$	約0.15m/s
	風速計の精度	風速計の指向性	7.5%	約0.25m/s
		風速計の直線性	フルスケールに対し5%	約0.15m/s
		温度補償の不完全さ	フルスケールに対し2%	約0.05m/s
風洞実験の再現性	複合された場合の誤差	同一機関が同一実験を繰り返した場合	$\sigma=0.02 \text{ or } 0.04^*$	約0.25m/s or 約0.15m/s
		複数機関が同一実験を繰り返した場合	$\sigma=0.05 \text{ or } 0.07^*$	約0.35m/s or 約0.35m/s

* 2つの検討ケースあり

付表-2 検討に用いた風向風速データの観測局

(a)東京都心部

観測局名	所在地	観測高さ	地表面粗度区分
東京管区气象台(東京管区)	千代田区大手町1-3-4	74.6m	V
港区白金(港区)	港区白金2-4-4	45m	IV
文京区本駒込(文京)	文京区本駒込5-41-7	37m	III
江東区大島(江東)	江東区大島3-1-3	29m	IV
荒川区南千住(荒川)	荒川区南千住1-4-11	20.5m	IV

(b)千葉市内

観測局名	所在地	観測高さ	地表面粗度区分
千葉測候所(千葉測)	中央区中央港1-12-2	47.9m	I(ssw-w),III(other)
末広	中央区末広2-10-1	18m	III
松ヶ丘	中央区松ヶ丘町580	18m	III
白旗	中央区白旗1-5	18m	III
今井	中央区今井1-13	18m	III
浜野	中央区浜野町1025	18m	III
蘇我	中央区蘇我町1-485	18m	III