論文

確率論手法による台風の活発な時期に対応する台風による強風の基準風速図

Basic Design Wind Speed Map for Typhoon Winds Based on an Active Period of Typhoons by a Probabilistic Procedure

牧野 稔^{*1}

Minoru MAKINO

SUMMARY

Strong winds due to typhoons are dominant for building design in the Japanese Isles. Basic design wind speeds for typhoon winds are given as a map over the Japanese Isles in friction free gradient wind. The map is prepared by indirect probabilistic procedure based on statistical properties of typhoons which struck the Japanese Isles for 20 years from 1950. This period was the most active in recent years.

Estimated wind speeds from observed annual maximum typhoon wind speeds at 10m above the ground are compared to those of this analysis at 140 weather stations for the same period.

The conversion factors from the friction free winds to the surface ones are seemed to be natural than the factors depending on the surface roughness around the weather stations.

1. はじめに

寿命の長い長大構造物などの耐風設計に当たっては長期にわたる風の情報が必要である。いわゆる Well Behaved Wind Climate¹⁾である地域においては、短い観測記録から外捜しても、標準誤差が小さく信頼性の高い値を得ることが出来るが、台風など熱帯低気圧の影響の強い、わが国のような地域においては標準誤差が大きくなり、信頼性が損なわれる恐れが強い。強い熱帯低気圧は、稀な現象であるためである。このためより安定な台風の統計量に基づいて間接的に風速などを推定することが行われてきた^{1), 2), 3), 4)}。

このような間接手法の長所は、測定点の近傍の風環境

の変化に直接影響されない点にある。気象庁の観測点も都市化の波に曝されているところが多い。風速値の均質性を長年月保つことは、至難と言える。これを避けて合理的に建設地点の設計風速を設定するためには、近傍の風環境に影響されない、その地点の大気境界層より上の上空風を基準にして、風洞実験を行うなど風環境を調べて設計風速を導くのが良いということになる¹⁾。

この視点で筆者も、確率論手法による上空風での基準風速図を1984年に提案した⁵⁾。その後、資料を追加し、シミュレーション手法との対応⁶⁾や新たに測器の変更の影響を考慮して均質化した観測値に基づく地上風との対応⁷⁾などを調べてきた。わが国では多くの地点で、設

*1 東和大学, 教授
Tohwa Univ., Prof.
(原稿受理: 平成9年3月10日)

計には台風に起因する強風を対象にするのが良く^{8),9)}, 間接手法による上空風と観測値分布に基づく地上風との対応も一応成立することが判った⁷⁾。当然, 改訂した上空風での基準風速図を提案するべきであろう。

ところで, かつて高橋が指摘している¹⁰⁾ように, 暴風雨災害には著しい長期変動があり, 近年は台風の静穏な時代になっている^{7),11)}。台風について情報が整備されるのは, 1950年代からで, 気象要覧によれば, 50年代から60年代は, 伊勢湾台風や第二室戸台風など, いわゆるA級の台風が来襲し, 情報の整備された近代における台風の活発な時期と言えそうで, 70年代から現在までは明らかに強い台風が少ない。

本論では, 50-60年代が長期変化の一つの頂点を示している^{7),9),11)}, この期間を台風の活発な時期として, 北海道など一部の地域を除き, この期間の台風の襲来数に基づいて基準風速図を作り直したので報告したい。またこの図を描くのに用いた緯度・経度1度ごとの台風の統計量より補間して気象庁140の気象観測点についての台風の統計量を求め, これによる台風のときの強風の年最大値分布の計算値と地上10mに均質化した台風の時の観測値のそれを, 文献7)で用いた確率0.8で対応させて, 地上風への変換係数を観測点ごとにそれぞれ定めた。この変換係数には地勢の影響が認められる。したがって任意の地点で, 地勢に対応した変換係数が定められれば, 基準風速図より任意の再現期間の地上10mに対応する設計風速値を求めることが出来よう。

2. 台風モデル化

台風に基づく強風の年最大値分布を求める手法は, 文献5)に従っている。このとき次の仮定を用いている。

- 1) 台風の襲来は, 稀な現象として, 年々の襲来数は, ポアソン分布が当てはまるものとする。本論では, 襲来数がある程度確保する必要上, 年襲来率を半径200kmの領域を通過した台風の中心気圧低下量の頻度分布より求め, 半径に比例する量となるので, $\lambda/200\text{km}$ で表した。また台風の中心気圧低下量の確率分布に関係する強い台風と弱い台風の混合の割合を示す量となる規模別分布係数 β を定めた。
- 2) 台風は, 同心円状の気圧配置を維持して移動するものとし, その最大風速は, 中心気圧低下量, Δp , と台風の移動速度で評価できるとする。本論では, 静止する台風の最大風速は, Schloemerの気圧分布の実験式¹²⁾にバランスする風速とし, 台風の移動速度の効果は, ベクトル場として, Yoshizumiの解析結

果を利用している¹³⁾。

- 3) 中心気圧低下量の確率分布は, 打ち切られた指数分布形を用いた。すなわち,

$$F_{\Delta P}(\Delta P) = \frac{1 - \exp(-\beta(\Delta P - \Delta P_0))}{1 - \exp(-\beta(\Delta P_1 - \Delta P_0))} \quad (1)$$

ここに β = 規模別分布係数
 Δp = 中心気圧低下量
 Δp_0 = 1015 - 900 (hPa)
 Δp_1 = 1015 - 980 (hPa)

- 4) 中心気圧低下量と台風の移動速度は無相関とする。
- 5) 台風の最大風速半径, r_m , は稀な現象に対応させて強い台風を対象に50kmと固定した。

なお, 文献5)では台風の移動方向をすべて最頻値の北北東と仮定していた。しかし確率計算には観測点から台風の進路までの最短距離の確率分布を一樣とすれば, 同じ計算手法が使えるので, この仮定を外した。

3. 台風の統計量

本論で用いた台風の統計量は, 文献7)で述べたものと同じである。すなわち気象要覧所載の台風の位置表より主として6時間おきの台風の中心気圧, 中心の緯度, 経度を抽出して, 参照点を中心とする半径200kmの円内を通過するものを選択して, 参照点に最接近したときの中心気圧, 中心の移動速度および方向を求めて統計量としている。統計期間は, 台風の中心気圧低下量の確率分布と襲来率は北緯40度以北を除いて1950年からの20年間を採用し, それ以外は, 1950年から40年間としている。なお位置表は衰弱したものを含むので, 統計も衰弱したものを含む。北緯40度以北で, 異なった取扱いとしたのは, 20年の統計期間では統計に使える台風の個数が少なくなり, 台風の中心気圧低下量の確率分布関数の係数を決めかねたためである。台風の移動速度は, 偏西風の場合に強く支配され, 時代を区分しても差異があまり無かったので, 統計の安定性を求め, 統計期間を1950年からの40年間とした。

緯度, 経度1度ごとの格子点を参照点として, 半径200kmの領域を通過した台風の年襲来率 λ と台風の頻度分布より求める規模別分布係数 β をまとめると, 西日本についてはFig. 1のようになる。同じ地域について, 980hPa以下の台風の移動速度の平均値 v_0 (km/h)と変動係数を示すと, Fig. 2のようになる。

Fig. 1 西日本の格子点における台風の年襲来率 λ (/200km) (上欄) と規模別分布係数 β (下欄)
Annual occurrence rates of typhoons λ (/200km) (upper case) and coefficients of central pressure difference of typhoons β (lower case) at nodal points of western Japan

Fig. 2 西日本の格子点における台風の移動速度の平均値 V_0 (上欄) と変動係数 (下欄)
Average travelling speed of typhoons V_0 (upper case) and coefficients of variation (lower case) at nodal points of western Japan

4. 台風による上空風の基準風速図

台風の統計量においては, Fig. 1およびFig. 2に見られるように, 隣接の格子点間に幾分ばらつきがでる。そこで, Fig. 3のように重みをつけて移動平均を求め, 各緯度, 経度1度毎の格子点について, 台風を対象とする年最大風速値分布を計算し, 逆補間で再現期間50年, 確率0.98の風速値を算出し, 等風速線と共に地図上に示すとFig. 4 のようになる。

地形が直接風速に影響しないので, 分布図は滑らかで, 近畿地方から東海地方の西部に60m/sに近い最も風速

Fig. 3 格子点, 境界点および隅角点における移動平均の重み
Weights of moving average at nodal, boundary and corner points

Fig. 4 上空風での基準風速図 (再現期間50年)
Basic design wind speed map in friction free wind (return period of 50 years)

の大きい範囲があり、北海道北東部で50m/sに達しないものの、多くの地点で50m/s~60m/sの上空風が得られた。台風の移動速度を全域で一定とした既報⁵⁾の粗い分布図との対応では、九州南部で風速が低く、逆に北陸から東北日本海沿岸で、風速が大きく評価された。最も風速の大きいところの紀淡海峡では、Fig. 2に示すように台風の移動速度の平均値は、44km/h程度であるのに緯度で僅か3度南の九州南端付近では、30km/h前後を示し、3度北の能登半島付近で66km/hを示すという統計が反映していると考えられる。

5. 地上風への変換係数

観測記録がある地点においては、観測記録より地上風の台風によるときの年最大風速値分布を求め、確率論手法による上空風のそれと対比すれば、平均的な地上風への変換係数が得られる。

台風による年最大風速値は、1950年からの20年間の統計期間のうち、統計の切断などで期間が短くなる場合でも、最低12年の統計期間がある気象庁の140箇所の気象官署（山岳官署を除く）について、気象要覧に記載の台風についての暴風観測表より風速値と風向を収集し、観測点ごとに年最大値を抽出した。なお暴風観測表に記載がない地点で、気象庁年報で、容易に観測値がその台風によると同定できる風速値がある場合は、観測表に追加した。また前報の文献⁷⁾では、統計期間を充足するために、気象庁所管の観測月原簿に遡って同定した場合があるが、本論では、風速値が得られない場合は欠測年とした。

上空風は、上記140地点について、基準風速図との対応を考えて、図を構成したときの緯度、経度1度ごとの移動平均した台風の統計量より内挿（稚内のみ外挿）して、計算した。

上空風から地上風への変換係数 Φ は、一率に上空風の確率分布に係数を掛けた値が、観測値の歪度より求めたWeibull分布の値と確率0.8で一致するようにして求めた⁷⁾。

140地点について、一覧表にして示すとTable 1の左欄ようになる。表には、日本建築学会風荷重小委員会の活動の一環として行われた報告¹⁴⁾で与えられている観測点の1970年における地表面粗度区分（表では略して区分で示す）と、それに対応させた地上風（ V_{10} ）と上空風（ V_{FFW} ）の比を併せ示す。なお風速の鉛直分布が与えられてない場合は補間して求めた。

平均像として見ると、別々の統計量から得た結果にし

ては、比較的良好な対応と言えよう。

際立つ点は、観測地周辺の狭い範囲で定められている粗度区分に対して、上空風からの変換係数 Φ には、大きい地形の影響が反映していると認められることであろう。盆地地形の観測点では、値が小さく、岬、海岸、丘陵上で大きく、都市部では中間を示す。ただし海岸にあっても港湾に位置する長崎、佐世保、呉の値が小さいのは、周辺が小高い山に囲まれて風を遮る盆地地形となっているためと考えられる。尾鷲もそのような地形である。

変換係数 Φ の大きい寿都、洲本、および室戸岬については、次のような特殊性がある。

寿都は、強風をよく観測する地点として知られている。同じ日本海沿いの気候区に属すると思われる留萌、小樽、江差と共に、冬季・春季の強風と台風によるものと年最大値が得られたときの風向を一種の風配図として組にして示すと、Fig. 5 のようになる。寿都は、寿都だし風と言われる局地風が卓越するという際立つ特性を示し、地形の影響が顕著である。

洲本測候所は、露場が標高109.3mを示すように、東西に伸びる三熊山の稜線上にあり、稜線越えの南北方向に強風が卓越する傾向が認められる。和歌山、潮岬および室戸岬と共に年最大風速時の風配図を示すと、Fig. 6 のようになる。和歌山も南北性をしめし、紀淡海峡の地形が影響している可能性がある。

室戸岬の露場の標高は、185.0mを示す。風配図が示すように、やはり稜線越えの東西方向に強風が卓越し易いことが伺われる。地上風への変換係数 Φ は、文献⁷⁾では0.90が求められている。本論では、0.75が得られた。この差は、統計を1961年に切断したためである。室戸岬では、1950年代、測器の高さは、13.7mであった。1960年8月19日30.6mとなり、翌1961年8月1日41.7mとさらに引き上げられた。聞くところでは、岬の渦流を避けるため、測定位置を高くしたが、渦流を避けられず再度引き上げたとのことである。なお当時は統計の切断を考慮していない模様で、気象庁観測技術資料第34号、日本各地の年最大風速（昭和46年1月）での取扱いは、接続である。その後、気象庁の日本気候表、その1（平成3年3月）では、風速の統計を1968年8月1日切断したとしている。測器高さの変更と連動していないので、問い合わせたところ、1961年の誤記との回答を得た。測器の高さが高くなってからの室戸岬は、稜線越えの特別な風を計っている測定点になっていると言えそうである。

この他 Φ の大きい地点に枕崎がある。枕崎測候所は、

Table 1 地上風への変換係数および (3) 式による計算と観測による風速値の比較
Conversion factors to the surface wind and comparison of calculated wind speed by Eq. (3) and observed ones

観測点	Φ	V ₁₀ /V _{FFW}	区 分	統計 年数	計算値(m/s)			推定値(m/s)			
					au	50年	100年	50年	SE	100年	SE
401 稚内	0.51	0.55	Ⅱ+	14	6.23	26.8	29.0	21.6	2.5	23.1	2.9
402 北見	0.55	0.55	Ⅱ+	16	4.01	29.0	31.5	25.3	3.4	27.5	4.0
404 羽幌	0.52	0.51	Ⅲ-	13	3.12	27.8	30.2	26.8	4.6	29.4	5.3
405 雄武	0.61	0.51	Ⅲ-	15	3.70	32.3	35.0	29.9	4.4	32.6	5.1
406 留萌	0.56	0.59	Ⅱ	15	3.06	30.2	32.7	30.7	4.9	33.7	5.7
407 旭川	0.35	0.42	Ⅲ+	13	3.30	18.9	20.5	18.6	3.1	20.4	3.6
409 網走	0.47	0.55	Ⅱ+	16	5.85	24.3	26.3	20.6	2.3	22.0	2.7
411 小樽	0.41	0.47	Ⅲ	15	2.26	22.6	24.5	25.6	4.6	28.5	5.4
412 小幌	0.35	0.42	Ⅲ+	15	2.75	19.4	21.0	20.5	3.4	22.7	4.0
413 岩見沢	0.49	0.47	Ⅲ	14	1.91	27.1	29.4	31.4	6.2	35.2	7.3
417 常呂	0.33	0.42	Ⅲ+	14	3.56	17.6	19.1	17.1	2.6	18.7	3.1
418 釧路	0.42	0.47	Ⅲ	16	5.73	22.3	24.2	20.3	2.3	21.8	2.7
420 根室	0.51	0.51	Ⅲ-	18	4.85	27.2	29.5	25.2	2.9	27.3	3.4
421 寿都	0.66	0.55	Ⅱ+	16	3.21	36.7	39.8	38.4	5.8	42.2	6.8
423 室蘭	0.55	0.47	Ⅲ	17	1.68	31.3	33.9	38.2	7.2	43.0	8.4
424 苫小牧	0.51	0.55	Ⅱ+	19	2.79	28.6	31.0	31.0	4.6	34.2	5.3
426 浦江	0.60	0.55	Ⅱ+	15	3.97	32.8	35.6	32.9	4.7	35.8	5.4
428 江差	0.68	0.59	Ⅱ	15	3.13	38.8	42.1	40.1	6.4	44.1	7.4
429 森岡	0.38	0.47	Ⅲ	20	2.92	21.7	23.5	23.8	3.4	26.3	3.9
430 函館	0.44	0.51	Ⅲ-	18	3.71	25.3	27.5	26.1	3.5	28.5	4.1
433 倶知安	0.43	0.47	Ⅲ	15	1.88	23.9	25.9	28.6	5.5	32.1	6.4
435 紋別	0.56	0.47	Ⅲ	11	3.32	29.4	31.9	28.0	5.1	30.7	5.9
440 広尾	0.44	0.51	Ⅲ-	9	2.96	23.7	25.8	25.3	5.3	27.9	6.2
520 新庄	0.32	0.59	Ⅱ	13	4.24	19.6	21.3	20.3	3.5	22.4	4.1
570 新松	0.33	0.51	Ⅲ-	16	4.47	20.2	21.9	19.8	2.6	21.5	3.0
574 深浦	0.49	0.51	Ⅲ-	19	3.23	28.9	31.4	28.8	3.5	31.2	4.1
575 青森	0.42	0.47	Ⅲ	18	4.05	24.5	26.6	24.3	3.0	26.3	3.4
576 むつ	0.48	0.51	Ⅲ-	18	3.89	27.7	30.1	29.4	4.2	32.3	4.9
581 八戸	0.50	0.47	Ⅲ	18	4.85	28.7	31.2	28.8	3.7	31.3	4.3
582 秋田	0.50	0.47	Ⅲ	16	2.94	30.1	32.7	30.9	4.3	33.6	5.0
584 盛岡	0.37	0.47	Ⅲ	20	3.02	21.6	23.4	20.6	2.3	22.3	2.7
585 宮古	0.36	0.42	Ⅲ+	18	4.26	20.7	22.5	23.0	3.4	25.3	4.0
587 酒田	0.53	0.51	Ⅲ-	20	3.09	33.0	35.8	35.1	4.8	38.6	5.6
588 山形	0.28	0.47	Ⅲ	20	3.15	17.1	18.6	18.2	2.5	20.1	2.9
590 仙台	0.31	0.47	Ⅲ	19	3.62	18.7	20.3	19.1	2.5	20.8	2.9
592 石巻	0.46	0.47	Ⅲ	20	4.65	27.5	29.8	26.2	3.0	28.4	3.4
595 福島	0.33	0.47	Ⅲ	18	4.48	20.0	21.7	19.3	2.3	20.9	2.7
597 白河	0.38	0.51	Ⅲ-	19	4.45	22.9	24.9	22.4	2.7	24.3	3.1
598 小名浜	0.44	0.55	Ⅱ+	20	4.22	26.0	28.3	26.3	3.1	28.5	3.6
600 輪島	0.42	0.47	Ⅲ	20	3.64	27.0	29.3	27.1	3.5	29.6	4.0
602 相川	0.50	0.59	Ⅱ	20	2.92	31.9	34.7	33.5	4.7	36.9	5.5
604 新潟	0.45	0.51	Ⅲ-	20	3.92	28.4	30.8	28.8	3.6	31.4	4.1
605 金沢	0.38	0.51	Ⅲ-	20	2.37	24.6	26.7	27.3	4.2	30.4	4.9
606 富山	0.41	0.47	Ⅲ	20	3.09	26.5	28.8	27.4	3.8	30.1	4.4
607 富山	0.44	0.51	Ⅲ-	20	3.77	28.4	30.8	27.3	3.4	29.8	4.0
610 長野	0.31	0.47	Ⅲ	20	3.75	19.6	21.3	19.4	2.4	21.1	2.8
612 高田	0.29	0.51	Ⅲ-	20	2.90	18.4	20.0	18.8	2.7	20.8	3.1
615 宇都宮	0.39	0.51	Ⅲ-	20	3.94	23.4	25.4	24.2	3.0	26.4	3.5
616 福井	0.41	0.42	Ⅲ+	20	3.22	26.8	29.0	27.7	3.8	30.4	4.4
617 高山	0.31	0.51	Ⅲ-	19	3.91	20.0	21.7	19.6	2.5	21.4	2.9
618 松本	0.36	0.47	Ⅲ	20	3.44	22.9	24.8	23.4	3.1	25.6	3.6
620 諏訪	0.35	0.63	Ⅱ-	20	4.41	22.1	24.0	21.3	2.5	23.1	2.9
622 軽井沢	0.36	0.47	Ⅲ	13	2.43	22.5	24.4	25.1	4.8	27.9	5.5
624 横橋	0.38	0.47	Ⅲ	20	2.81	23.3	25.3	24.7	3.6	27.3	4.1
626 熊谷	0.34	0.47	Ⅲ	20	2.98	20.5	22.3	22.4	3.1	24.7	3.7
629 戸賀	0.43	0.55	Ⅱ+	20	5.50	25.4	27.6	25.0	2.6	26.8	3.0
631 敦賀	0.45	0.47	Ⅲ	20	4.07	29.2	31.7	29.5	3.6	32.1	4.2
632 岐阜	0.46	0.47	Ⅲ	20	3.18	29.9	32.5	31.6	4.3	34.7	5.0
636 名古屋	0.47	0.42	Ⅲ+	20	3.53	30.6	33.2	32.0	4.2	35.0	4.8
637 飯田	0.31	0.47	Ⅲ	20	3.60	19.7	21.4	20.2	2.6	22.1	3.0
638 甲府	0.38	0.47	Ⅲ	18	2.08	23.5	25.6	28.4	4.8	31.7	5.6
640 河口湖	0.49	0.51	Ⅲ-	20	2.92	30.1	32.6	32.8	4.6	36.1	5.4
641 秩父	0.26	0.51	Ⅲ-	20	1.83	15.8	17.1	18.9	3.2	21.3	3.7
648 銚子	0.56	0.59	Ⅱ	20	7.20	32.6	35.4	30.0	2.6	31.8	3.0
649 上野	0.39	0.51	Ⅲ-	20	3.93	25.5	27.7	25.0	3.1	27.2	3.6
650 亀山	0.49	0.49	Ⅲ	17	4.57	31.9	34.6	30.1	3.7	32.6	4.3
651 津	0.53	0.47	Ⅲ	20	3.89	34.6	37.5	34.6	4.3	37.7	5.0
653 伊良湖	0.62	0.59	Ⅱ	20	3.75	40.3	43.8	41.2	5.2	45.0	6.1
654 浜松	0.41	0.47	Ⅲ	20	4.46	26.0	28.3	25.5	2.9	27.7	3.4
655 御前崎	0.61	0.55	Ⅱ+	20	4.51	38.1	41.4	38.0	4.4	41.2	5.1

観測点	Φ	V ₁₀ /V _{FFW}	区 分	統計 年数	計算値 (m/s)			推定値 (m/s)			
					au	50年	100年	50年	SE	100年	SE
656 静岡	0.41	0.47	III	20	5.40	25.4	27.5	24.1	2.5	25.9	2.9
657 三島	0.44	0.47	III	20	3.64	26.7	29.0	28.0	3.6	30.6	4.2
662 東京	0.39	0.30	IV+	15	4.34	23.1	25.1	23.5	3.2	25.5	3.7
663 尾鷲	0.38	0.51	III-	20	4.49	25.0	27.1	24.3	2.8	26.3	3.3
666 石廊崎	0.72	0.59	II	20	3.62	44.0	47.7	46.6	6.0	50.9	7.0
668 網代	0.48	0.55	II+	17	6.19	29.0	31.5	27.7	2.9	29.6	3.3
670 横浜	0.49	0.42	III+	20	6.75	29.2	31.7	26.8	2.4	28.6	2.8
673 富崎	0.66	0.66	III	18	5.26	39.1	42.4	37.1	4.1	40.0	4.8
674 勝浦	0.58	0.51	III-	20	3.86	34.1	37.1	35.1	4.4	38.2	5.1
675 大島	0.60	0.47	III	20	9.28	36.0	39.1	31.1	2.3	32.8	2.7
676 新三宅	0.58	0.58	III	16	4.62	35.0	38.0	34.5	4.4	37.3	5.1
677 八丈	0.68	0.63	II-	20	5.51	40.9	44.3	37.9	3.9	40.7	4.5
678 三宅	0.58	0.55	II+	20	7.05	34.5	37.4	31.1	2.7	33.1	3.2
690 日光	0.32	0.55	II+	17	3.63	19.5	21.2	20.0	2.8	21.9	3.2
740 西郷	0.51	0.51	III-	19	4.68	29.7	32.2	28.5	3.3	30.8	3.8
741 松江	0.42	0.47	III	20	3.39	24.8	26.9	25.4	3.4	27.8	3.9
742 境	0.36	0.51	III-	19	5.18	21.3	23.1	20.0	2.2	21.5	2.5
744 米子	0.40	0.47	III	20	4.24	24.0	26.0	23.0	2.7	25.0	3.2
746 鳥取	0.41	0.51	III-	20	2.63	25.8	28.0	27.4	4.0	30.3	4.7
747 豊岡	0.50	0.47	III	12	2.83	32.6	35.4	33.5	6.2	37.0	7.2
750 舞鶴	0.48	0.59	II	20	2.71	31.5	34.2	33.4	4.9	37.0	5.7
754 萩	0.52	0.59	II	20	3.51	30.6	33.2	30.5	4.0	33.4	4.6
755 田山	0.49	0.55	II+	20	3.94	28.8	31.3	28.2	3.5	30.7	4.0
756 津和野	0.49	0.47	III	20	3.28	31.3	33.9	31.2	4.2	34.2	4.9
759 京都	0.37	0.47	III	20	3.81	24.2	26.2	24.0	3.0	26.2	3.5
761 彦根	0.42	0.51	III-	20	3.28	27.4	29.8	27.6	3.7	30.3	4.3
762 下関	0.54	0.47	III	20	3.53	31.5	34.1	31.8	4.1	34.8	4.8
763 防府	0.59	0.59	III	16	2.44	34.9	37.9	38.2	6.5	42.4	7.6
765 広島	0.54	0.47	III	20	2.96	32.6	35.4	33.9	4.8	37.3	5.6
766 呉	0.32	0.59	II	13	5.08	19.5	21.1	17.9	2.4	19.3	2.8
767 福山	0.33	0.47	III	20	4.13	20.5	22.2	19.5	2.4	21.2	2.7
768 岡山	0.35	0.51	III-	20	3.68	22.4	24.3	21.9	2.8	23.9	3.2
769 姫路	0.40	0.51	III-	20	4.62	26.2	28.4	24.5	2.8	26.5	3.2
770 神戸	0.49	0.42	III+	20	3.89	32.2	35.0	31.2	3.9	34.0	4.5
772 大阪	0.42	0.34	IV	17	2.97	27.6	29.9	29.4	4.5	32.4	5.2
776 大洲	0.73	0.55	II+	20	3.50	48.0	52.1	47.2	6.2	51.6	7.2
777 和歌山	0.57	0.47	III	20	3.64	37.5	40.7	37.8	4.8	41.2	5.6
778 潮岬	0.62	0.63	II-	20	5.72	40.8	44.2	36.3	3.6	39.0	4.2
780 奈良	0.41	0.47	III	17	3.45	26.8	29.1	27.0	3.8	29.6	4.5
800 厳原	0.49	0.47	III	19	3.11	28.2	30.6	28.2	4.0	31.0	4.6
805 平岡	0.60	0.51	III-	20	3.08	35.2	38.2	35.4	4.9	38.9	5.7
807 福岡	0.52	0.59	II	20	3.03	30.4	33.0	32.0	4.5	35.2	5.2
809 飯塚	0.39	0.47	III	20	3.50	22.8	24.8	23.6	3.1	25.8	3.6
812 佐世保	0.43	0.59	II	18	3.51	25.4	27.5	25.5	3.5	27.9	4.1
813 日田	0.36	0.47	III	20	2.94	21.2	23.0	23.1	3.3	25.4	3.8
814 富田	0.34	0.51	III-	20	2.58	19.9	21.6	21.9	3.3	24.2	3.8
815 大分	0.44	0.47	III	20	4.16	26.4	28.7	25.0	3.0	27.2	3.5
816 富山	0.60	0.60	III	12	3.79	35.7	38.8	34.5	5.6	37.7	6.5
817 長崎	0.39	0.59	II	17	3.48	23.2	25.2	23.7	3.4	25.9	3.9
819 熊本	0.39	0.47	III	20	3.55	23.0	25.0	23.6	3.1	25.8	3.6
823 阿久根	0.54	0.55	II+	20	3.97	33.0	35.8	32.7	4.0	35.6	4.7
824 人吉	0.50	0.47	III	20	2.25	30.3	32.9	34.5	5.4	38.4	6.3
827 鹿兒島	0.56	0.42	III+	20	3.52	34.5	37.5	34.4	4.5	37.6	5.2
829 都城	0.54	0.47	III	20	3.52	33.3	36.2	33.8	4.4	36.9	5.1
830 宮崎	0.55	0.47	III	16	2.84	33.9	36.8	35.7	5.7	39.3	6.7
831 枕崎	0.82	0.47	III	20	3.60	50.8	55.1	50.1	6.4	54.8	7.5
835 油津	0.52	0.63	II-	17	3.86	32.3	35.0	31.9	4.3	34.7	5.0
836 屋久島	0.77	0.59	II	20	3.36	48.1	52.3	50.1	6.7	54.9	7.8
837 種子島	0.73	0.59	II	20	3.80	45.7	49.6	45.9	5.8	50.0	6.7
838 牛深	0.56	0.55	II+	20	4.95	34.0	36.9	31.4	3.4	33.9	4.0
887 松山	0.36	0.42	III+	20	2.64	22.3	24.2	24.3	3.6	26.9	4.2
890 多度津	0.50	0.59	II	20	3.48	31.9	34.6	31.4	4.1	34.4	4.8
891 高松	0.44	0.47	III	20	4.04	28.5	30.9	26.6	3.2	28.9	3.8
892 宇和島	0.50	0.59	II	20	3.01	30.8	33.5	32.7	4.6	36.0	5.3
893 高知	0.45	0.47	III	20	4.35	28.6	31.1	26.9	3.1	29.1	3.7
895 徳島	0.58	0.51	III-	20	4.38	37.9	41.2	35.4	4.1	38.4	4.8
897 宿毛	0.59	0.59	II	20	3.96	36.6	39.8	36.1	4.4	39.3	5.2
898 足摺	0.55	0.55	II+	20	4.21	34.4	37.4	33.6	4.0	36.5	4.7
899 室戸岬	0.75	0.59	II	11	4.24	48.5	52.7	46.8	7.5	50.9	8.7
909 名瀬	0.56	0.51	III-	19	3.96	36.3	39.4	35.4	4.5	38.5	5.2

Fig. 5 年最大風速値での留萌, 小樽, 寿都, 江差における風配図
Wind rose at Rumoi, Otaru, Suttsu and Esashi by annual maximum wind speed

Fig. 6 年最大風速値での洲本, 和歌山, 潮岬, 室戸岬における風配図
Wind rose at Sumoto, Wakayama, Shionomisaki and Murotomisaki by annual maximum wind speed

Fig. 7 年最大風速値での鹿児島, 枕崎, 屋久島, 種子島における風配図
Wind rose at Kagoshima, Makurazaki, Yakushima and Tanegashima by annual maximum wind speed

平坦な街並の北部の独立した小高い丘の上にあり、市街地を越えてはるかに太平洋を望み見晴らしが良いところにある。それ以外にあまり特徴はない。

鹿児島, 枕崎, 屋久島, 種子島について年最大風速値での風配図を比較するとFig. 7のようになり、枕崎では、

特定の方向に片寄らない傾向が目立つ。また上空風の確率分布に変換係数 Φ を掛けたものと観測値に当てはめた Weibull分布を比較すると、Fig. 8に示す実線と破線のように、分布の形状はかなり良く一致し、 Φ が大きいのは、強風を観測し易いとしても、上空風が過小評

Fig. 8 枕崎における変換係数 Φ を掛けた上空風と観測による地上風の年最大分布での対比
Comparison of friction free wind speed distribution reduced by a conversion factor Φ and observed surface wind speed distribution at Makurazaki

価されている印象がある。しかし強い台風の少なくなる1970～1989年について調べた結果では、 $\Phi = 0.65$ と常識的な値が得られている⁷⁾。したがって強い台風が多かった1950～1969年の記録には、次節で述べるSuper-Gradient Windの効果が、強く反映している可能性がある。

6. Super-Gradient Wind の考慮

台風時には、気圧分布にバランスする傾度風以上の風速を与える Super-Gradient Wind の現象を考慮する必要がある。もっとも Super-Gradient Wind については、気圧の中心に吹き込む流れ以外に、台風の微細な構造が関わっているかも知れず、本質はそれほど明かでない。

この現象を地上風に取り入れるとき、Georgiou 等は、フロリダでのハリケーン観測で得られた上空風との比率を、推論に適用した¹⁾。光田他は、幾つかの台風の解析より、初め中心示度に関係しない式を、その後、関係する式を提案している^{3,4)}。前者は観測値分布との比較

より、このような現れ方は考えなくて良さそうである⁶⁾。後者は、強い台風に影響が大きく、現象をよく説明しているように見える⁷⁾。

本質的に観測値には、この影響が反映しているわけであるので、本論では観測値との関連で、影響を取り入れよう。

確率論手法による上空風の確率分布は、上限値のあるWeibull分布で近似できる。光田他³⁾の中心気圧低下量の関係する式で、図であたえられた係数を近似したシミュレーションによれば⁷⁾、この現象は確率の大きいところに現れ、その結果として、分布が Weibull 分布を離れ Gumbel 分布に乗るような傾向になる。観測結果にも、シミュレーションに似た傾向を示す例が多く見られる⁷⁾。たまたま稀な強風が生じて同じ傾向を示すことになるが、数が多いので、これを Super-Gradient Wind の発現と見なすことにしよう。

Gumbel 分布を

$$F(x) = \exp(-\exp(-a(x-u))) \quad (2)$$

で表すとき、係数の積 $au = a \times u$ は、一つの特性値となる。この積の値は無次元量で、上空風と地上風とに比例関係が保たれると測定高さに関係しない利点がある¹¹⁾。日本列島の40の気象官署において、測器変更の補正を行った1950年からの20年間の台風による高さ10mに均質化した年最大風速値分布に Gumbel 分布を当てはめると、その係数の積は、平均4.16、標準偏差1.30であった¹¹⁾。

文献7)におけるシミュレーションでは、Super-Gradient Wind の影響は、確率0.8付近より高いところで顕著になる。これを近似するために、確率論手法で求まる分布曲線において、確率0.7と0.5の2点を通る割線を求めて、これを地上風の Gumbel 分布と見なせば、その係数の積は、40の気象官署について、平均して4.22となり、これらの観測官署での観測値分布の平均値と対応する値が得られた。従ってこのように処理すれば、平均的に Super-Gradient Wind の効果を含む観測値分布に対応したものになろう。なお再現期間50年の推定値を Table 1 の140点で求め、基準風速値との比を求めると、平均値±標準偏差は、 1.09 ± 0.02 と、あまりばらつかず、およそ1.1倍を示した。

ところで、気象庁の観測官署における台風による年最大風速値分布において、Gumbel 係数の積の値には、地形の影響のためか、かなりばらつきが生じる。先に確率0.8(再現期間5年)で地上風への変換係数 Φ を定めた

ので、再現期間の異なる風速値に対しては、再現期間50年の値を基準にして、Gumbel係数の積 au を用い、次のような係数を掛ければ、分布の勾配が観測点毎に異なっても、上空風を基準とする地上10mでの設計風速を地上観測に対応する値として求めることが出来よう。

$$V_{10} = 1.1 \cdot \Phi \cdot V_{FFW} \cdot R(r) \quad (3)$$

ここに

$$R(r) = \frac{(\ln(5) + 4.2)(\ln(r) + au)}{(\ln(50) + 4.2)(\ln(5) + au)}$$

$R(r)$: 再現期間 r 年への補正係数

V_{FFW} : 再現期間50年の上空風

Φ : 上空風から地上風への風速変換係数

au : 観測分布の Gumbel 係数の積の値

前記140の観測点について、上式を用いた上空風からの計算値と、地上10mの値に均質化した順序統計量にGumbel分布を当てはめたときの係数の積 au の値とこの分布に基づく推定値を再現期間50年と100年で対比すると、Table 1の中欄と右欄のようになる。右欄に示すSEは標準誤差でGringortenの手法¹⁵⁾によったものである。

再現期間50年および100年の計算値は、稚内など二三の地点を除き、観測値分布の標準誤差の範囲に収まることが分かる。

なお、光田ほかの第2の提案式を基礎に置くとき、さらに再現期間の長い推定値を求める場合には、非常に強い中心気圧低下量の極めて大きい台風の確率が増加するので、Super-Gradient Windの影響が顕著になり、(3)式の補正では不足することになる。しかし、どこまで適応できるのかは、影響の機構が不明のため予測が難しい。解明が進むことを期待したい。

7. むすび

本論では、台風をモデル化し、確率論手法により原則として1950年から20年間の台風の来襲率を統計の基礎として、最初に日本列島における上空風での構造物設計用基準風速図を提案した。次にこの風速図に対応して、同じ統計期間で、台風によって記録された年最大風速値の順序統計量を、気象庁の140の気象官署について求め、文献⁷⁾に従い均質化し、これら観測地点の地上風への変換係数を定めた。求められた変換係数は、大きい地形を反映するもののように見える。最後に台風のモ

デル化において、理論的に未解明である Super-Gradient Windの効果を、観測分布を参考に補整する方法を提案し、上空風から地上風を導く式を与えた。

この基準風速図の特徴は、

- 1) 台風の活発な時期に対応せしめたものになっている。
- 2) 地形地物の影響のない上空風で構成されている。

これによる利点は、

- 1) 気象庁の測器の変更や観測官署の移転など、統計量に切断が生じて、その影響を回避できる。
- 2) 市街地の高層化に伴う地表面粗度の変化に伴う観測記録の変質も回避できる。

ことなどを挙げることができよう。

もとより、間接手法は近似であり、台風のモデル化が異なれば結果が違ってくる。ただし、この点は観測値と整合性を計ることで解決できるので、設計用基準風速値は、観測値のみに依存しないで、間接手法に基礎を置いて求めることを推奨したい。

謝 辞

統計資料の整理にあたり、福岡管区気象台の調査課の方々に大変お世話になった。ここに感謝致します。

参考文献

- 1) Georgiou, P.N., Davenport, A.G. and Vickery, B.J. : Design Wind Speeds in Regions Dominated by Tropical Cyclones, J. of Wind Engr. and Indus. Aerodynamics, 13 (1983), pp.139-152.
- 2) Triggvason, B.V., Surry, D., and Davenport, A.G. : Predicting Wind-Induced Response in Hurricane Zones, J. of St. Div., ASCE, Vol.102, No.St12. Dec., 1976, pp.2333-2350.
- 3) 藤井 健, 光田 寧 : 台風の確率モデルによる強風のシミュレーション, 日本風工学会誌, 第28号, 昭和61年6月, (1986), pp.1-13.
- 4) Mitsuta, Y. and Fujii, T. : Analysis and Synthesis of Typhoon Wind Pattern over Japan, Bull.Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 37, Part 4, No.329, Dec., 1987, pp.169-185.
- 5) 牧野 稔, 渡壁守正 : 台風による強風の確率モデルに基づく基準風速図, 日本風工学会誌, 第19号, 昭和59年4月, (1984), pp.11-20.
- 6) 牧野 稔 : 明石海峡における年最大風速値の極値