

## Super-gradient Wind と地形効果について

正会員 ○ 孟 岩\*  
松井正宏†  
日比一喜‡

台風 地形効果 Super-gradient wind

1. はじめに 台風に伴う強風場を予測することは超高層ビルや超長大橋のような構造物の台風設計に欠かせないもので、近年、構造物の巨大化に伴いその重要性が益々大きくなった。台風に伴う強風場についてのモデルは、いままで幾つか<sup>1),2),3)</sup>提案されてきたが、その中、藤井、光田のモデル式は比較的簡単で、また、統計データにより決定すべきパラメータも少ないため、現在よく用いられている。しかし、藤井・光田のモデルの中に、Super-gradient wind についての解釈は不明確なところがあり、このモデルを用いた計算結果は観測データを充分説明できるとは言えない。そこで、本研究では藤井・光田のモデルと著者ら<sup>4)</sup>最近新しく提案した物理モデルとを比較し、更に、風 T9119 の観測データ（風速、風向）をシミュレーションすることにより、Super-gradient wind や地形効果と観測から得られた風速、風向の関係を明らかにする。

2. 台風モデルの比較 移動する台風に伴う低気圧の等圧線が台風の中心に対して同心円状に分布していることが観測からよく知られており、この気圧分布を近似するための式としては *R.W.Schloemer* の実験式 ( $p = p_c + \Delta p \times \exp(-\frac{r}{r_m})$ ) がよく用いられており、本研究も、Schloemer の式を採用した。ここで、 $p_c$  は台風の中心気圧、 $\Delta p$  は台風の周囲の気圧と台風中心気圧との差を表している。 $r_m$  は旋衡風速が最大となる半径である。

台風に伴う強風については、藤井、光田は南西諸島を襲った台風 T7705 と T7709 号の島々の観測資料の解析から、最大風速半径の少し内側で  $v_s$  は  $v_g$  を越えていることを着目し、以下のモデル (model-1) を提案した。そこで、風速比  $v_s/v_g$  の値は  $x = r/r_m$  とともに変化するとして、次の関数形  $G(x)$  で表すことにした。

$$G(x) = G(\infty) + (G(xp) - G(\infty)) \left( \frac{x}{xp} \right)^{k-1} \exp\left[ \left(1 - \frac{1}{k}\right) \left(1 - \frac{x}{xp}\right) \right] \quad (1)$$

ここで、 $G(\infty) = 0.5$ ,  $xp = 2.5$ ,  $k = 2.5$  とし、 $G(xp)$  は 0.9-1.1 の間の値を取る。このモデルについての詳しい説明は文献 1 に参照されたい。一方、著者らは最近、台風に伴う強風場についての理論解析を行い、その近似解を求めた。最終的な解は次のようになる。

$$v_\theta = v_{\theta g} + e^{-\lambda z'} [F_1 \cos(\lambda z') + F_2 \sin(\lambda z')] \quad (2)$$

$$v_r = v_{rg} - \xi e^{-\lambda z'} [F_2 \cos(\lambda z') - F_1 \sin(\lambda z')] \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{ここで、} \quad \xi &= \frac{k}{s} \quad \lambda = \left( \frac{sk}{2k_z} \right)^{1/2} \quad s = \left( \frac{\partial v_{\theta g}}{\partial r} + \frac{v_{\theta g}}{r} + f \right)^{1/2} \\ k &= \left( 2 \frac{v_{\theta g}}{r} + f \right)^{1/2} \quad \chi = \frac{C_d}{k_z} | \vec{v}_0 | = \frac{C_d}{k_z} \sqrt{v_{\theta 0}^2 + v_{r0}^2} \\ F_1 &= - \frac{\chi(\chi + \lambda)v_{\theta g} - \chi\lambda v_{rg}/\xi}{[\lambda^2 + (\chi + \lambda)^2]} \quad F_2 = \frac{\chi\lambda v_{\theta g} + \chi(\chi + \lambda)v_{rg}/\xi}{[\lambda^2 + (\chi + \lambda)^2]} \end{aligned}$$

ここで、 $k_z$  は鉛直拡散係数 (=  $100m^2/s$ )、 $C_d$  は抵抗係数で、粗度長  $z_0$  との関係式から求める。モデルについての詳しい説明は文献 4 に参照されたい。

図 1 は二つのモデルによる計算結果を示しており、計算に用いたパラメータは表 1 に示す。図 1 を見て分かるように、台風の移動速度によらず、台風の中心から離れた所には両モデルの計算結果がよく一致している。一方、台風の中心付近では model-1 はかなり大きく値を示し、移動速度 40m/s のケースについては両モデルから得られる最大風速の差は 20m/s となる。その原因は Super-gradient wind にあると考えられる。それについては次の節で説明する。

## 3. Super Gradient Wind と地形効果について

Super-gradient wind を明らかにするために、両モデルを用いて、1991 年 Huis Ten Bosch での台風観測データをシミュレーションすることにした。台風 T9119 に関するパラメータは文献 4 のデータを用いた。図 2 は model-1 の計算結果を示しており、観測データに会うように  $G(xp)$  は 0.9 を取る。図 3 は台風 T9119 の観測記録を近似解と比較したもので、図中の点線と破線は値の異なる粗度長  $z_0$  を用いて計算した結果である。風向については  $z_0$  への依存性が小さいのに対して、風速はかなり大きい。台風 T9119 の場合、 $z_0 = 4m$  を用いた計算値はほとんどの時間において観測値と一致したにもかかわらず、15:40 から 16:20 の間の観測データは  $z_0 = 0.3m$  の計算結果によく一致する。また、図 3 の風向図から分かるように、風速の急変はすべて風向 90 度から 180 度の間に起きている。図 4 は観測点周辺の地形を示しており、観測点は南東を大村湾に面し、その他三方は丘陵に囲まれている。すなわち、観測地点の南東側の粗度が小さく、その他の三方は大きい。また、北東側と北西側の丘の高さはそれぞれ 100m、200m となっており、この

## On Super-gradient wind and effect of topography

2529

Yan MENG et al.

二つ方向における粗度長は比較的大きい値 ( $z_0 = 4m$ )

とすることも説明される。本研究では地形効果を地表粗度に見なし、二つの効果の一つのパラメタ  $z_0$  で表した。粗度長の従来の定義を拡大した意味で、ここでの  $z_0$  を目当粗度長と呼ぶことにした。そして、すべての風向における  $z_0$  を同定すれば、地形効果を考慮した台風シミュレーションが可能になる。図5は観測データから同定した  $z_0$  の風向別分布を示し、その大きさは周囲の地形と深く関係していることがわかる。図6は、同定した  $z_0$  を用いて、台風 T9119 を再度計算したもので、観測データとよく一致している。図6の中の点線は model-1 を用いた計算結果で、16時に以後の風については model-1 が過大評価したことになる。

**まとめ** 移動する台風に伴う強風場に関する従来のモデルと著者が提案したモデルの比較を行い、この二つの台風モデルの特徴を明らかにした。また、近年、島を含む沿岸地域での台風観測データから言われた Super-radiant wind のような現象は地形効果によるものと考えられ、風向別粗度長  $z_0$  の変化を考慮すれば、風速の急変を説明される。

参考文献

- 1) 藤井、光田：台風の確率モデルの作成とそれによる強風のシミュレーション、京大防災研年報、1986.
- 2) 光田、藤井、塚本：台風域内における地表風のシミュレーション、京大防災研年報、1982.
- 3) S.Yoshizumi: On the asymmetry of wind distribution in the lower layer in typhoon, J. Meteor. Soc. Japan. Vol 46, No.3,1968,pp.153-159.
- 4) 孟、松井、日比：台風に伴う強風場についての理論解析、風工学年次講演会、1993.
- 5) Y.TAMURA, K.SHIMADA, K.HIBI: Wind Response of a tower (Typhoon observation at the Nagasaki Huis Ten Bosch) Proc. of 2nd. Bluff Body Aerodynamics and its Applications Australia, Dec. 1992.
- 6) S.L.Rosenthal: A theoretical analysis of the field of motion in the hurricane boundary layer, National Hurricane Research Project Report, No.56,1962.

Table 1 Model Parameters for the simulation

	dp (mb)	rm(km)	c(m/s)
Run-1	60	100	10
Run-2	60	100	40

\*清水建設(株)技術研究所 研究員 工博  
 †清水建設(株)技術研究所 研究員  
 ‡清水建設(株)技術研究所 主任研究員 工博

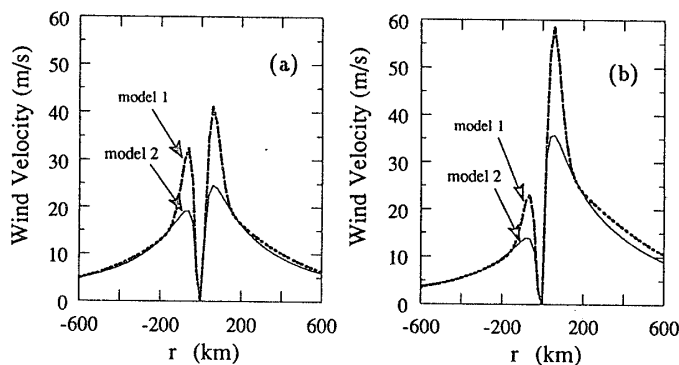


Fig. 1 Comparison of wind velocities computed by using model-1 and model-2. (a) Run-1; (b) Run-2.

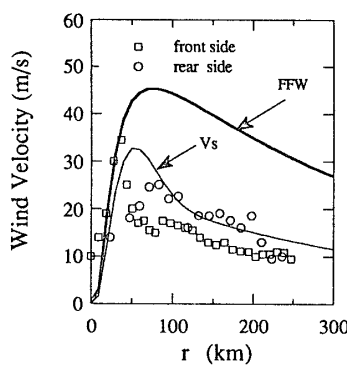


Fig. 2 Comparison of observed and simulated wind velocity at  $z=100m$ .

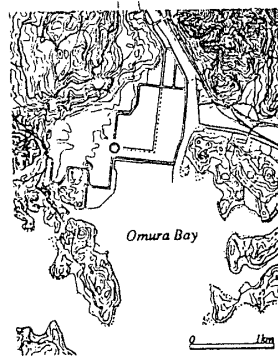


Fig. 4 Topograph in the Nagasaki Huis Ten Bosch area.

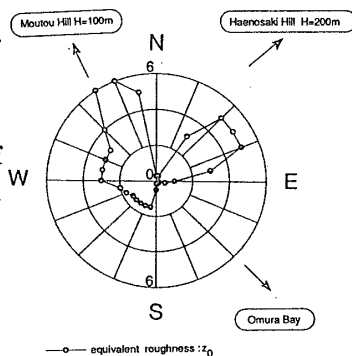


Fig. 5 Polar diagram of equivalent roughness  $z_0$  at the Huis Ten Bosch

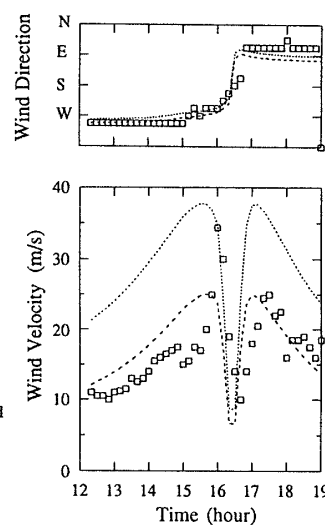


Fig. 3 Hourly variation of the computed and observed wind velocity and wind direction for T9119; short dashed line ( $z_0 = 4m$ ); dotted line ( $z_0 = 0.3m$ ); open square, observed data.

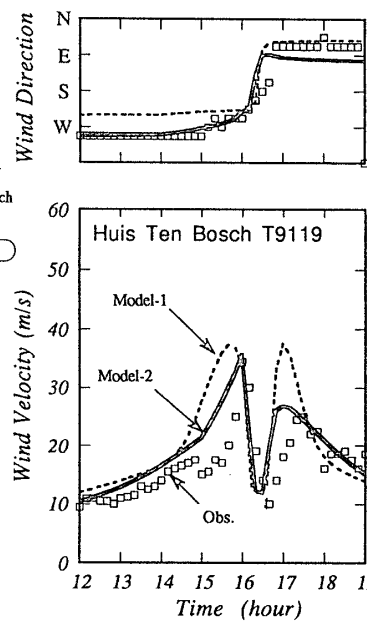


Fig. 6 Hourly variation of the computed by using calibrated equivalent roughness  $z_0$  and observed wind velocity. Wind velocity computed by model-1 are also plotted for comparison.