

確率台風モデルに基づくハザード適合最尤台風の決定方法
Method for Selecting Hazard-Consistent Most-Likely Typhoon
Based on Probabilistic Typhoon Model

○団栗直希・西嶋一欽

○Naoki DANGURI, Kazuyoshi NISHIJIMA

For the design of structures against wind-induced fatigue not only maximum wind speed but also the time series of wind speed and direction are required. This study proposes a concept and methodology for identifying hazard-consistent most-likely typhoon (ML typhoon), taking its basis in the concept of “design point” in the structural reliability theory. Using the ML typhoon, the time series of wind speed are simulated. The procedure for identifying ML typhoon is illustrated with an example; also demonstrating a potential to apply for other hazards.

1. 背景と目的

免震建物の超高層化に伴い、免震建物の風による疲労損傷の影響が無視できなくなっている。疲労は繰り返し作用する荷重によって累積していくものであるから、疲労損傷を評価するには荷重の時刻歴に関する情報が必要となる。しかし、現状の耐風設計では最大風速のみを考えており、疲労損傷に対する設計において想定する風速風向時刻歴を合理的に決定する方法は確立されていない。

本研究の目的は、所与の再現期間に対応する最大風速をもたらす台風（ハザード適合台風）群の中から、最も起きる可能性が高い台風（最尤台風）を決定する手法を提案することで、疲労損傷設計の際に想定する台風によってもたらされる強風の風速風向時刻歴を明確にし、免震建物の風疲労損傷設計に資することである。

また、本研究では、強風に着目して手法を提示するが、「強風」に関するモデルを他のハザードに置き換えることで、それらのハザードに関しても適合最尤台風を決定することが可能である。

2. ハザード適合最尤台風の決定方法

本研究で提案するハザード適合最尤台風を決定する手法を強風ハザードを例にとって述べる。

- ① モデルパラメータを \underline{X} とする確率台風モデルを構築する。本研究では、領域限定直線台風モデルを用いる。
- ② 台風モデルを用いてモンテカルロシミュレーションを行い、年最大風速分布を推定する。
- ③ 求めたい再現期間に対応する風速を算出する。再現期間 T 年に対応する風速を u_T とする。

- ④ 限界状態関数 $M = u_T - U(\underline{X})$ を定義する。ここで、 $U(\underline{X})$ はパラメータ値が与えられたときの台風モデルによって計算される最大風速を表す。 $M = 0$ となるパラメータ \underline{X} の値の組み合わせのうち、尤度が最大になる組み合わせ \underline{x}^* が構造信頼性理論でいうところの「設計点」に対応することを利用して \underline{x}^* を求める。
- ⑤ \underline{x}^* で記述される台風をハザード適合最尤台風とする。

\underline{x}^* を入力パラメータとして台風モデルを用いてシミュレーションすれば風速風向時刻歴が得られる。以下に具体的な手順を示す。

3. 確率台風モデル

本研究では、対象地点を中心とする半径 500 km 以内の領域で台風シミュレーションを行う。領域内では台風は直線移動し、モデルパラメータの値は時間的に変化しないモデル（領域限定直線台風モデル）を考える。

気象庁のベストトラックデータに記録されている 1991 年から 2015 年までの過去 25 年分の台風データおよび日本各地の気象官署における海面校正気圧を用いて、確率台風モデルで用いるモデルパラメータ \underline{X} の確率分布を推定する。確率台風モデルにおける確率変数 \underline{X} は、最大風速半径(R_m)、中心気圧(P_c)、移動方向(θ)、移動速度(V)、エントリーポイント(α)の 5 つである。台風のエントリーポイントは台風が対象地点を中心とする半径 500 km の円の領域内に入った時の北から見た角度のことを指す。また、台風エントリー数はポアソン分布に従うと仮定し、年平均発生数(λ)を推定す

る。図1にこれらのパラメータの概要を示す。

続いて、前述の確率変数の確率分布を推定する方法を述べる。対象地点を中心とする半径500kmの円領域を想定し、台風がその領域内に入った時の最大風速半径、中心気圧、移動方向、移動速度、エントリーポイントに関するデータを作成した。なお、最大風速半径はベストトラックデータには記録されていないため、Schloemer^[1]の式を用いて最小二乗法により推定したものをを用いた。これらのデータを用いて最尤法で各変数の確率分布を指定した。図2に、対象地点を東京とした場合の、推定された各確率変数の確率分布を示す。角度は北が0度、反時計回りが正として定義した。移動速度は $-180^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 、エントリーポイントは $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ で定義する。また、表1にパラメータ間の相関を示す。なお、相関係数を計算する際には、Rosenblatt変換^[2]により X を無相関の標準正規分布に従う変数に変換したのについて計算した。

4. 強風ハザード適合最尤台風

構造信頼性理論に基づいてハザード適合最尤台風のパラメータ値の組み合わせを求める手法について述べる。限界状態関数 M

$$M = u_T - U(X)$$

に対して、 $M = 0$ という制約条件を満たしながら確率変数 $X = (R_m, P_c, \theta, V, \alpha)$ の結合同時確率密度関数が最大になるような組み合わせ $x^* = (R_m^*, P_c^*, \theta^*, V^*, \alpha^*)$ を求める。このため、Rosenblatt変換により X を無相関の標準正規分布に従う変数 Z に変形した後、 $M = 0$ という制約条件を満たしながら原点からのノルム $\|Z\|$ を最小にするような $z = z^*$ (設計点)をMATLABのfmincon関数を用いて求める。

3章で述べた台風モデルを用いて再現期間 $T = 100$ 年に相当する風速 u_{100} に対して東京において求めたハザード適合最尤台風を図3に示す。また、同台風に対応する風速風向時刻歴を図4に示す。

5. まとめ

構造信頼性理論における設計点の考え方をを用いて、所与の再現期間に対応する風速をもたらし最尤な台風を決定する手法を提案した。領域限定直線台風モデルを用いて、具体的にハザード適合最尤台風およびそれに対応する風速風向時刻歴を求めた。

強風に関するモデルを他のハザードに置き換えることで、他のハザードにも応用可能である。

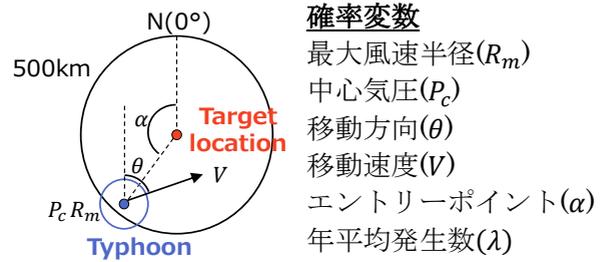


図1 台風モデルの確率変数

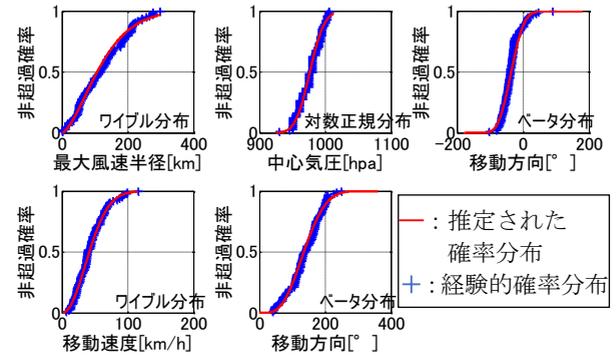


図2 東京での確率変数の確率分布

表1 パラメータ間の相関係数

	R_m	P_c	θ	V	α
R_m	1.00	0.27	-0.36	0.10	-0.24
P_c		1.00	-0.30	0.00	-0.31
θ			1.00	-0.24	0.28
V				1.00	-0.28
α					1.00

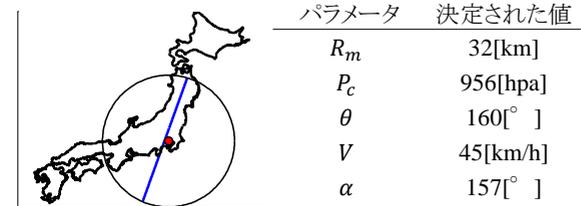


図3 ハザード適合最尤台風のトラック

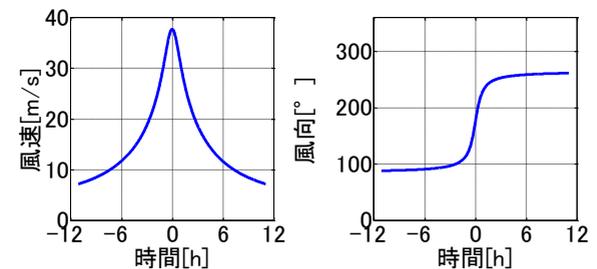


図4 ハザード適合最尤台風の時刻歴風速・風向

参考文献

- [1] R. W. Schloemer, (1954), "Analysis and Synthesis of Hurricane Wind Patterns Over Lake Okeechobee, Florida", Hydrometeorological Report, USWB, No.31
 [2] R. E. Melchers, (1999), "Structural Reliability Analysis and Prediction", John Wiley & Sons Ltd., Second edition, P374