



2019年12月 株式会社 水域ネットワーク

目 次

1	'ンストール前に必ずお読みください	.1
	I. ソフトウェア使用許諾書	2
	II ソフトウェア製品使用許諾契約書	2
		4
	IV サポート	
	1. 7	, . 4

第1章 Getting Started (概説)	1-1
1-1. はじめに	1-2
1-2. マニュアルの表記について	1-3
1-3. MASCOT Typhoon (Light) におけるプロジェクトとは	1-6
1-4. 動作環境	1-8
1-5. インストールとアンインストール	1-9
1-6. アプリケーションの起動と終了	1-25
1-7. 表編集の基本操作	1-26

第2章 Quick Start Tutorial	(解析手順)	2-1
2-1. 例題の解説		2-2
2-2. MASCOT Typhoon (Lig	ht)による割増係数の算定手順	2-3

第3章 User Interface(ユーザー・インターフェース)	
3-1. メニュー一覧	
3-2. ツールバー一覧	
3-3. ダイアログ・ビュー一覧(メニュー別)	

第4	章 Modelling (理論)	4-1
4 - 1.	台風シミュレーション手法の流れ	4-2
4-2.	台風データベースの概要	4-3
4 - 3.	台風パラメータの確率分布の推定	4-4
4-4.	台風の発生	4-6
4-5.	上空風の推定	4-8
4-6.	一様粗度上の風向・風速の算定	4-9
4-7.	実地形上の風向・風速の算定	4-10
4-8.	台風シミュレーションによる平均風速の地形による割増係数の評価	4-12

第5章 Data Format (ラ	データフォーマット)	5-1
5-1. MASCOT Typhoon	(Light) ファイルフォーマット	5-2

第6章	Reference	(参考文献)		·1
-----	-----------	--------	--	----

インストール前に必ずお読みください

当製品をインストールする前に、下記のソフトウェア使用許諾書を必ずお読みください。

I. 2	ソフトウェア使用許諾書	2
II.	ソフトウェア製品使用許諾契約書	2
1.	使用許諾	2
2.	「許諾プログラム」の複製	2
3.	保証	3
4.	保証の否認・免責	3
5.	輸出	3
6.	契約期間	3
7.	一般条項	4
III.	ご注意	4
IV.	サポート	4

I. ソフトウェア使用許諾書

このたびは、弊社商品をご購入いただき、誠にありがとうございます。

本風況予測ソフトウェアは、『MASCOT (注 1)』、『MASCOT SYSTEM』および『数値地図 50m メッシュ (標 高) (注 2)』のライセンスを取得し、株式会社水域ネットワークが商品化しました。

弊社では、当ソフトウェア商品につきまして、下記のソフトウェア製品使用許諾契約書を設けさせていただ いており、お客様が下記契約書にご同意いただいた場合のみソフトウェア製品をご使用いただいております。 お手数ではございますが、本ソフトウェア製品のインストール前に下記契約書を十分にお読みください。下 記契約にご同意いただけない場合には、本ソフトウェア製品を速やかに弊社までご返送ください。なお、本 ソフトウェア製品をインストールした場合には、お客様が下記契約にご同意いただいたものとさせていただ きます。

- (注1) 『MASCOT (高度な風況予測プログラムおよび関連データベース)』は、東京大学橋梁研究室の研究 成果によるものです。
- (注 2) <u>この地図の作成に当たっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の数値地図 50m メッシュ(標高)</u> を使用したものです。(承認番号 平15総使、第438号)

II. ソフトウェア製品使用許諾契約書

株式会社水域ネットワーク(以下、AQUANET といいます。)は、お客様に対し、本契約書とともにご提供する ソフトウェア製品(当該商品のマニュアルを含みます。以下、「許諾プログラム」といいます。)の日本国内 における譲渡不能の非独占的使用権を下記条項に基づき許諾し、お客様は下記条項にご同意いただくものと します。「許諾プログラム」およびその複製物に関する権利は AQUANET に帰属します。

1. 使用許諾

お客様は、「許諾プログラム」を一時に一台のコンピュータにおいてのみ使用することができます。お客様が、同時に複数台のコンピュータで「許諾プログラム」を使用したり、また「許諾プログラム」をコン ピュータネットワーク上の複数のコンピュータで使用する場合には、別途 AQUANET よりその使用権を取 得することが必要です。

お客様は、「許諾プログラム」の全部または一部を再使用許諾、譲渡、頒布、貸与、その他の方法により 第三者に使用もしくは利用させることは出来ません。

お客様は、「許諾プログラム」の全部または一部を修正、改変、リバース・エンジニアリング、逆コンパ イルまたは逆アセンブル等することは出来ません。また第三者にこのような行為をさせてはなりません。

2. 「許諾プログラム」の複製

お客様は、バックアップのために必要な場合に限り、「許諾プログラム」中のソフトウェア・プログラム を1コピーだけ複製することができます。あるいは、オリジナルをバックアップの目的で保持し、「許諾 プログラム」中のソフトウェア・プログラムをお客様がご使用のコンピュータのハードディスク等の記憶 装置1台のみにコピーすることができます。しかし、これら以外の場合にはいかなる方法によっても「許 諾プログラム」を複製できません。お客様には、「許諾プログラム」の複製物上に「許諾プログラム」に 表示されているものと同一の著作権表示を行っていただきます。

3. 保証

- ① AQUANET は、お客様が「許諾プログラム」を購入した日から 90 日の間、「許諾プログラム」が格納 されているディスク(以下単に「ディスク」といいます。)に物理的な欠陥が無いことを保証します。 当該保証期間中に「ディスク」に物理的な欠陥が発見された場合には、AQUANET は、「ディスク」を 交換いたします。但し、お客様が「許諾プログラム」を AQUANET に返還すること、並びに前項によ る「許諾プログラム」の複製物を AQUANET に引き渡すかもしくは消去したうえ消去したことを証す る書面を AQUANET に送付することを条件とします。
- ② AQUANET は「許諾プログラム」の仕様について事前の通告なしに変更することがあるものとします。 また、AQUANET はユーザーサポート、バージョンアップおよび新製品の案内など「許諾プログラム」 に関するサービスを無償、又は有償でお客様に提供いたします。

4. 保証の否認・免責

- ① 前項に定める場合を除き、AQUANET は「許諾プログラム」がお客様の特定の目的のために適当であること、もしくは有用であること、その他「許諾プログラム」に関していかなる保証もいたしません。
- ② AQUANET は「許諾プログラム」の使用に付随または関連して生ずる直接的または間接的な損失、損害等について、いかなる場合においても一切の責任を負わず、また「許諾プログラム」の使用に起因または関連してお客様と第三者との間に生じたいかなる紛争についても一切の責任を負いません。

③ <u>プロテクトユニット付「許諾プログラム」のプロテクトユニットを破損および紛失等により、納入</u> させていただいたプロテクトユニットと認識できない場合、プロテクトユニットの交換・再発行は 行いません。

5. 輸出

お客様は、日本政府または該当国の政府より必要な認可等を得ることなしに、一部または全部を問わず 「許諾プログラム」を、直接または間接に輸出してはなりません。

6. 契約期間

- ① 本契約は、お客様が「許諾プログラム」をインストールした時点で発効します。
- ② お客様は、AQUANET に対して 30 日前の書面による通知をなすことにより本契約を終了させることが できます。
- ③ AQUANET は、お客様が本契約のいずれかの条項に違反した場合、直ちに本契約を終了させることができます。
- ④ 本契約は、上記②または③により終了するまで有効に存続します。上記②または③により本契約が 終了した場合、AQUANETは「許諾プログラム」の代金をお返しいたしません。お客様は「許諾プログ ラム」の代金を AQUANET に請求できません。
- ⑤ お客様には、本契約の終了後2週間以内に、「許諾プログラム」およびその複製物を破棄または消去したうえ、破棄または消去したことを証する書面を AQUANET に送付していただきます。

7. 一般条項

- 本契約のいずれかの条項またはその一部が法律により無効となっても、本契約の他の部分に影響を 与えません。
- ② 本契約に関わる紛争は、東京地方裁判所を管轄裁判所として解決するものとします。

以上

III. ご注意

本書は、株式会社水域ネットワークによる、MASCOT ソフトウェア契約ユーザー様に対する情報提供を唯一の目的とし、明示あるいは暗示であるに問わず、内容に関して一切の保証をするものではありません。

Windows7/8/10 は、米 Microsoft Corporation の米国およびその他の国における登録商標です。

Adobe、Adobe ロゴ、Acrobat、Photoshop および PostScript は、Adobe Systems Incorporated(アドビシ ステムズ社)の商標です。

※ その他すべてのブランド名および製品名は個々の所有者の登録商標もしくは商標です。

本書の内容は、バージョンアップ等に伴い、予告なく変更することがございますので予めご了承ください。

IV. サポート

本製品の技術的な内容に関するお問い合わせは、下記へお願い致します。

株式会社 水域ネットワーク

URL	:	http://www.aquanet21.co.jp/mascot/
E-Mail	:	mascot_support@aquanet21.co.jp
FAX	:	03-5667-6889
電話でのお	問い合れ	っせは受け付けておりません。

※ MASCOT をご使用になる上で、以下の注意事項が御座います。

- 1. MASCOT は、気流解析や風力発電など、風況解析における基本的な知識が必要になります。 風況解析に関する情報の提供や教育に関しては一切行っておりません。
- MASCOT はサポート料を含んでおりません。
 不具合に関するお問い合わせに関しましては受け付けておりますが、
 業務に関わる技術的なご質問に関しては有償となります(別途見積り)。

第1章 Getting Started (概説)

本章では、MASCOT Typhoon(Light)についての概説、MASCOT Typhoon(Light)を使用するに 当たっての準備等を説明します。

第1章 Getting Started (概説)	1-1
1-1. はじめに	
1-1-1. MASCOT について	
1-1-2. MASCOT Typhoon(Light)の主要な機能について	
1-1-3. MASCOT の使用について	
1-2. マニュアルの表記について	
1-2-1. メニュー・コマンド・ツールボタン等の表記	
1-2-2. キーの表記	
1-2-3. マウス操作の表記	
1-2-4. その他の表記	1-3
1-2-5. ウィンドウの表記	1-4
1-3. MASCOT Typhoon (Light) におけるプロジェクトとは	1-6
1-4. 動作環境	
1-5. インストールとアンインストール	
1-5-1. インストールの前に	
1-5-2. インストールの概要	1-10
1-5-3. ライセンス・キー・ドライバのインストール	1-12
1-5-4. ライセンス・キーをインストール前に接続した場合	1-16
1-5-5. ライセンス・キーが認識されない場合	1-17
1-5-6. アプリケーションのインストール	1-19
1-5-7. アンインストール	
1-6. アプリケーションの起動と終了	
1-6-1. 起動	
1-6-2. 終了	
1-7. 表編集の基本操作	1-26

2019. 12. 09

1-1. はじめに

1-1-1. MASCOT について

MASCOT は、風況予測からウインドファームの発電量の予測、設計風速の評価までの風力開発を支援するソフト ウェア群であります。

<MASCOT の構成>

MASCOTは、**MASCOT Basic、MASCOT Energy、MASCOT Engineering**および **MASCOT Typhoon(Light)** の4つのモジュールから構成されます。

MASCOT Basic は、三次元気流予測を行うモジュールです。付属の標高と土地利用データベースを用いる場合に は、緯度・経度および簡単な解析条件を入力するだけで、境界条件が自動的に設定され、三次元気流予測を行うこと ができます。

MASCOT Energy は、対象地点近傍の1年間の風観測データおよび Basic による気流予測結果を基に、パワーカ ーブおよびスラスト係数から、風車の発電量および風車の後流の影響を予測します。また気象シミュレーションや NEDO^{**)}データベースにより得られた地域風況データおよび Basic による気流予測結果を基に、局所風況に変換し、 対象地域の風力エネルギー賦蔵量を予測し、風観測によらない発電量の予測を実現しています。

MASCOT Engineering は、Basic による気流予測結果を基に、風車設置地点における設計風速(建築基準法等)、 吹上角度、乱れ強度などを予測します。また風観測データや NEDO データベース等より得られた地域風況データお よび Basic による気流予測結果を基に、対象地域の詳細風況を予測できます。

MASCOT Typhoon (Light) は、台風モンテカルロシミュレーションおよび Engineering による平均風速の地形 による割増係数を基に、指針に準拠した風向特性を考慮した平均風速の地形による割増係数を算定します。

- ※) NEDO: 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
- ※) 指針:社団法人土木学会、風力発電設備支持物構造設計指針・同解説 [2010 年版]

1-1-2. MASCOT Typhoon (Light) の主要な機能について

MASCOT Typhoon (Light)の主要な機能を以下に示します。

- データベースによる全国任意地点の台風最接近パラメータの抽出
- ・ グラフィック・ユーザー・インターフェースによる解析条件の設定
- 解析地点、風向別風速比・風向偏角などの入力表示
- ・ 台風最接近パラメータの確率分布推定結果などの表示
- モンテカルロ法による台風最接近パラメータの人工的に擬似台風を発生結果等の表示
- 指針に準拠した風向特性を考慮した平均風速の地形による割増係数および照査対象風向の算定

1-1-3. MASCOT の使用について

本製品を使用するには、付属のライセンス・キー(ハードウェア・プロテクト・キー)が必要です。

1-2. マニュアルの表記について

1-2-1. メニュー・コマンド・ツールボタン等の表記

メニュー名、コマンド名、ツールバーのボタン名、ウィンドウ名、ダイアログボックス名、ダイアログボックス 内の項目名は、[]で囲って表記しています。

ダイアログボックス内のボタン名は<>で囲って表記しています。

例)メニューの[Edit]-[Casefile]を選択し、[Edit Casefile]ダイアログを表示します。
 [Edit Casefile]ダイアログの、[Wind Direction]を変更し、<OK>を押します。

1-2-2. キーの表記

キーは「」で囲って表記しています。複数のキーを組み合わせる場合は、プラス記号(+)で結んでいます。 例)「Ctrl」キーを押しながら「C」を押す → 「Ctrl+C」

1-2-3. マウス操作の表記

・クリック

マウスのボタンを押して離す動作です。本マニュアルでは、左ボタンを押す動作を指します。

・ダブルクリック(Wクリック)

マウスのボタンを押して離す動作を連続2回行います。本マニュアルでは、左ボタンを押す動作を指します。 ・右クリック

マウスの右ボタンをクリックする動作です。

・ドラッグ

マウスの左ボタンをクリックしたままマウスを動かして、アイコンなどを移動させたり、選択範囲を広げたり する動作です。

1-2-4. その他の表記

・ライセンス・キー

付属のハードウェア・プロテクト・キー(USB コネクタ接続)を指します。

本マニュアルでの解説画面は、Windows 8 のスクリーンショットを使用しています。

その他のバージョンの Windows OS で本製品をお使いになる場合、デザイン、スタートメニュー等に違いがあ る場合があります。

本マニュアルでは、特に配慮が必要な場合を除き、これらの差異についての記述はしていません。

1-2-5. ウィンドウの表記

・ウィンドウ

本製品では、MDI (Multiple Document Interface)形式を採用しており、アプリケーションウィンドウ (メインウィンドウ)内の複数のドキュメントウィンドウを子ウィンドウ、またはビューと表記しています。



・ダイアログ

本マニュアルでは、項目の設定など、何かの操作を行うときに、確認や動作の設定を求めてくるウィンドウ(ダ イアログボックス)を**ダイアログ**と表記しています。

lder list	Project name
אלענדא 👔	Create folder of the project name Description
Aduatio Constitution Constituti	
oject file	

1-3. MASCOT Typhoon (Light) におけるプロジェクトとは

・1つのプロジェクトは1つのフォルダ(プロジェクトフォルダ)から構成されています。

・プロジェクト関係のファイルは全て、プロジェクトフォルダ内に作成・保存されます。

・プロジェクトフォルダは、エクスプローラー等で任意のフォルダ(ネットワークフォルダを除く)に移動やコピーを行うことが可能です。

[スタート] - [すべてのプログラム] - [MASCOT]-[Typhoon]-[MASCOT Typhoon (Light)] を起動し、
 [File]-[Create New Project...] メニューを選択すると、新たなプロジェクト用のフォルダが作成されます。

(MASCOT Typhoon(Light) -	×
File View Help		
🗋 🗋 🚰 🔚 🖄 🏟 🄇		
Project View	A 🗵	
Project View None[Project] Fo	Create New Project Older list Project name Create folder of the project name Description Torrent file	
	C:¥Users¥ ¥Documents¥Untitled.mty	
	<u>Create</u> <u>Cancel</u>	
	Output	д 🗵
	The project was opened.	
Ready		M SCRL "i

・既存のプロジェクトを開くには、[すべてのプログラム]-[MASCOT]-[Typhoon]-[MASCOT Typhoon (Light)]
 を起動し、[File]-[Open Project] メニューを選択し、次画面を表示してプロジェクトファイルを選択して

0			MASC	OT Typhoon(Light)
	File	View Help		
		Create New Project	Ctrl+N	
P	2	Open Project	Ctrl+O	
		Print Setup		
		Exit		
1				

0	Open Project		×
🐑 🏵 🕆 🕇 📕 🕨	PC → F≠±メント → MASCOT_Samples → Tutorial_Typhoon →	✓ C Tutorial_Typhoonの検索	Q
整理 ▼ 新しいフォル	ダー	III 🕶 🕅	0
🚖 お気に入り 🔞 ホームグループ	名前 Library Project () tutorial_typhoon.mty		
1 ¹ ■ PC ⁽)↓ ネットワーク			
זל	ァイル名(N): tutorial_typhoon.mty	 MASCOT Typhoon Projects 開く(<u>Q</u>) キャンセ 	s (💙 UL

1-4. 動作環境

動作環境

OS	Windows7 以降(32bit/64bit)	
	(上記以前の OS は動作保証外です)	
CPU	1GHz 以上	
メモリ	2GB 以上	
	(解析メッシュ数により異なります)	
ハードディスク	2GB 以上の空き容量	
	(インストールに必要な容量です。データ用に別途必要です)	
ディスプレイ	解像度 1024×768 以上	
その他	CD-ROM ドライブ	
	USB コネクタ(タイプA)×1 (プロテクトキー接続に必須)	

推奨環境

CPU	3GHz以上
メモリ	8GB 以上(4GB の空き)
ハードディスク	100GB 以上の空き容量

1-5. インストールとアンインストール

1-5-1. インストールの前に

<インストールに関するご注意>

- ・ MASCOT インストールは、必ず「Administrator」または「管理者」権限で行って下さい。
- ・ <u>MASCOT Typhoon (Light)</u>は出荷時期により2種類のライセンス・キーが有り、それぞれインストール方法が 異なります。

種類	キーイメージ	裏面	インストール方法
緑のキー	Samera	「Sentinel MAX DL」	CDをドライブに挿入しますと、アプリケーションのインストー ルが開始します。 1-5-6. アプリケーションのインストール (p.1-19) に進む。 ※ライセンス・キー・ドライバのインストールは不要です。
グレーのキー	Sentinel	「SafeNet Sentinel」	セットアップのタイトル画面が表示されます。 1-5-2. インストールの概要 (p.1-10) に進む。

1-5-2. インストールの概要

- 1. パソコンの電源を入れ、Windows を起動します。
- CD-ROM ドライブに、「MASCOT Disk1」の CD を入れます。
 自動的にセットアップのタイトル画面が表示されます。

-	MASCOT setup luncher	×
	Microelimate Analysis System for Complex Terrain.	
	Install license key	
	Install MASCOT	
	MASCOT License Publishing Tool	
N. C. Samer	Exit	
Сору	right(C)2003 Aquatic Zone Network Co., I	Ltd.

※CDを入れてもセットアップ画面が表示されない

CD-ROM ドライブの自動起動が OFF になっていると、CD を入れてもセットアップが開始されません。その場合は、以下の2通りのうち、どちらかを行って下さい。

(A) CD-ROM ドライブを右クリックにより、表示されるメニューを選択

1.デスクトップ上の[マイコンピュータ]をダブルクリックします。

2. CD-ROM ドライブを右クリックします。

「MASCOT」の CD を入れると、CD-ROM ドライブは「MASCOT」と表示されます。 3.ポップアップメニューから、[Install(<u>I</u>)...]を選択します。

(B) セットアップランチャー(EXE)をダブルクリック
1. デスクトップ上の[マイコンピュータ]をダブルクリックします。
2. CD-ROM ドライブをダブルクリックします。
3. セットアップランチャー (MASCOTSetup.exe) をダブルクリックする。

3. タイトルメニューより、<Install license key>を選択し、プロテクト・キー・ドライバをインストール します。

※インストール手順は、1-5-3. ライセンス・キー・ドライバのインストールを参照

4. タイトルメニューより、<Install MASCOT>を選択し、「MASCOT」アプリケーション本体をインスト ールします。

※インストール手順は、1-5-6. アプリケーションのインストールを参照

- 必要に応じ、<MASCOT License Publishing Tool>を選択し、追加で導入していただいたモジュールを 所有されているライセンス・キー(USB キー)でお使いいただけるようにライセンス内容を書き換えま す。
- 6. 以上で、インストールは完了です。

1-5-3. ライセンス・キー・ドライバのインストール

2.

1. セットアップランチャーのタイトルメニューより、<Install license key>を押すと、ドライバのインストールウィザードが起動します。

InstallShield Wizard Sentinel System Driver Setup is preparing the InstallShield Wizard which will guide you through the program setup process. Please wait.	
🖶 Sentinel System Driver - InstallShield Wizard	1
Welcome to the InstallShield Wizard for Sentinel System Driver The InstallShield(R) Wizard will install Sentinel System Driver on your computer. To continue, click Next.	
<back next=""> Cancel</back>	・クリックします。
🛃 Sentinel System Driver – InstallShield Wizard	1
License Agreement Please read the following license agreement carefully.	
All Products (including developer's kits, Sentinel hardware keys, diskettes or other magnetic media, software, documentation and all future orders) are subject to the terms stated below. If you disagree with these terms, please return the Product and the documentation to Rainbow, postage prepaid, within three days of your receipt, and Rainbow will provide you with a refund, less freight and normal handling	
charges.	① [I accept the terms in the license
1. You may not copy or reproduce all or any part of the Product, except as authorized in item 2 below. Removal, emulation or reverse-engineering of all or any part of the Product constitutes an unauthorized modification to the Product and is	agreement]を選択します。
I accept the terms in the license agreement	
C I do not accept the terms in the license agreement	■ <next>をクリックします。</next>
Instalishield < <u>Back</u> Cancel	

Setup Type Choose the setup ty	pe that best suits your needs.		and a second	
Please select a setu	i type.			
Complete All p spa	rogram features will be installed. (Rec e.)	quires the most disk	① [Complete]を選択します
C Custom	ose which program features you want be installed. Recommended for advance	t installed and where they ced users,		
schollschield			② <next>を</next>	クリックします
Ta sharitan Tinetha	< <u>B</u> ack	Next > Ca	ncel	

3.

Ready to Install the Program	Astro a.
The wizard is ready to begin installation.	
Click Install to begin the installation.	
If you want to review or change any of your installation settin exit the wizard.	gs, click Back. Click Cancel to
IMPORTANT:	
Please remove all USB SuperPro keys before continu	ling!
ıstallShield	
ıstaliShield	Install Cancel
nstallShield	Install Cancel
nstallShield	Install Cancel
nstellShield	Install Cancel

Installing Sentinel System Driver The program features you selected are being installed. Image: Please wait while the InstallShield Wizard installs Sentinel System Driver. This may take several minutes. Status: Generating script operations for action:	24
The program features you selected are being installed.	
Please wait while the InstallShield Wizard installs Sentinel System Driver. This may take several minutes. Status: Generating script operations for action:	
Generating script operations for action:	
istallShield	
< Back Next >	Cancel
Sentinel System Driver – InstallShield Wizard	×
InstallShield Wizard Completed	
The InstallShield Wizard has successfully installed Se	ntinel
System Driver. Click Finish to exit the wizard.	
Seck	Cancel
CONTRACTOR OF THE STATE OF THE	Cancel
SECTOR STATES AND	Cancel

※ <Finish>を押した後、Windows の再起動を促すメッセージが表示された場合は、メッセージに従 い再起動を行って下さい。 6. ライセンス・キーを USB コネクタに接続します。



以上でライセンス・キー・ドライバのインストールは完了です。

1-5-4. ライセンス・キーをインストール前に接続した場合

Windows がライセンス・キーの接続を認識して、ドライバのインストール画面が表示されます。



1-5-5. ライセンス・キーが認識されない場合

一般的に、ライセンス・キーのドライバが誤認識している場合が考えられます。 この場合は、次の手順で誤認識したドライバを削除し、再起動することによって解消できます。

ライセンス・キーを PC に接続します。

- 1. [デバイスマネージャ]を起動します。
- [その他のデバイス]項目に、アイコンに黄色い"!"記号の付いた[USB Token]が表示されていますので、
 そのアイコンを右クリックし、"削除"します(下図を参照)。



- 3. ライセンス・キーを PC から取り外し、PC を再起動します。
- 4. PC が起動しましたら、[Administrator] 権限を持つユーザー名で、ログインします。
- 5. ライセンス・キーを PC に接続します。正しいドライバのインストールを開始しますので、ウィンドウの 指示に従い、進めて下さい。
- 6. 終りましたら、再度[デバイスマネージャ]を起動し、ドライバが正しく認識されたかを確認します。次図 のようにドライバが組み込まれていましたら、正常です。



1-5-6. アプリケーションのインストール

1. セットアップランチャーのタイトルメニューより、<Install MASCOT>を押すと、「MASCOT」アプリ ケーション本体のインストールウィザードが起動します。

MASCOT Typhoon - InstallShield Wizard		
	インストールの準備をしています。	
	MASCOT Typhoon セットアップは、 プログラムセットアップの手順を ご案内する InstallShield Wizard を準備しています。 しばらくお待 ちください。	
EXPLOSION	Windows Installerを設定しています	
	キャンセル	

3.

2.

B	MASCOT	Typhoon - InstallShield Wizard
	<u>ع</u>	MASCOT Typhoon用のInstallShield ウィザードへようこそ InstallShield(R) ウィザードは、ご使用のコンピュータへ MASCOT Typhoon をインストールします。「次へ」をクリックして、続行してく ださい。
2		警告: このプログラムは、著作権法および国際協定によって保護 されています。
		< 戻る(B) 法へ(N) > キャンセル
		<次へ>をクリックしま







8.	1	MASCOT 1	Typhoon - InstallShield Wizard	×	
		2	InstallShield ウィザードを完了しました		
		0	InstallShield ウィザードは、MASCOT Typhoon を正常に行 トールしました。「完了」をクリックして、ウィザードを終了してくださ い。	<u>حر</u>	
			<完	37>を	<u>そ</u> クリックします。
			< 戻る(B) 完了(E) キャンセル		

9. インストールが正常終了しますと、Windowsの[スタート]メニューの[プログラム] に [MASCOT]という名前のメニューが作成されます。

※本インストーラは.NET 2.0 Framework を利用しています。

インストールを行う PC に.NET Framework がインストールされていない場合、インストールを促すメッセージが 表示さます。

本メッセージが表示されましたら、インストーラの指示に従いインストールを行って下さい。



以上でアプリケーションのインストールは完了です。

1-5-7. アンインストール

<アプリケーションのアンインストール>

- 1. Windows の[スタート]メニューの[設定]から、[コントロールパネル]を開きます。
- 2. [プログラムの追加と削除]を選択します。
- 3. 表示されたダイアログのリストから、[MASCOT Typhoon]を選択し、<アンインストール>を押します。



4. 削除の確認を問い合わせてきますので、<はい>を押します。



- 5. アンインストールが開始されます。
- アンインストールが終了すると、終了したことを告げるメッセージが表示されますので、<OK>を選択して、アンインストールを完了します。

<ライセンス・キー・ドライバのアンインストール>

- 1. Windows の[スタート]メニューの[設定]から、[コントロールパネル]を開きます。
- 2. [アプリケーションの追加と削除]を選択します。
- 3. 表示されたダイアログのリストから、[Sentinel System Driver]を選択し、<削除>を押します。
- 4. 削除の確認を問い合わせてきますので、<削除>を押します。
- 5. アンインストールが開始されます。
- 6. アンインストールが終了すると、終了したことを告げるメッセージが表示されますので、<OK>を選択して、アンインストールを完了します。

1-6. アプリケーションの起動と終了

1-6-1. 起動

- 1. USB・ライセンス・キーを、USB コネクタに接続します。
- Windows の[スタート]メニューより、[すべてのプログラム]-[MASCOT]-[Typhoon]-[MASCOT Typhoon]
 のメニュー画面より、MASCOT Typhoon(Light)を起動します(下記の流れ図を参照)。





0	MASCOT Typhoon(Light)	- • <mark>×</mark>
<u>F</u> ile <u>V</u> iew <u>H</u> elp		
🗋 🐸 🖬 🖣 🖗 🖉		
Project View 4	X	
None[Project]		
	Output	д 🔀
Ready		CAP NUM SCRL "1

1-6-2. 終了

MASCOT Typhoon(Light)の[File]-[Exit]メニューを選択、もしくはウィンドウの × ボタンをクリックすることにより、MASCOT Typhoon(Light)を終了します。

1-7. 表編集の基本操作

<キーと動作の対応>

+	動作
「Ctrl+Insert」	行挿入
$\lceil Ctrl + Delete floor$	行削除
$\lceil Ctrl + C \rfloor$	選択部分をコピー
$\lceil \mathrm{Ctrl} + \mathrm{V} floor$	コピーした内容を挿入
$\lceil \operatorname{Ctrl} + \operatorname{E} \rfloor$	コピーした内容を貼り付け

<操作例:行コピー>

1. コピーしたい行をマウスでドラッグして選択

選択された行が反転表示される

「Ctrl+C」を押します

		Edit Wind Farm			
General Reference site settings		Prediction site settings			
Predict	ion site				
	Label	Power Curve	Latitude		~
Use			Deg	Mir	
	Site1	Sample_Power_Curve_CTpow	37	2	
	Site2	Sample_Power_Curve_CTpow	37	3	
	Site3	Sample_Power_Curve_CTpow	37	4	
					-

2. 挿入したい行をマウスで選択

ieneral	Reference site settings	Prediction site settings			
Predict	ion site				
Use	a satar	P	Latitude		~
	LaDel	Fower Curve	Deg	Mir	
	Site1	Sample_Power_Curve_CTpow	37	2	
	Site2	Sample_Power_Curve_CTpow	37	3	
] Site3	Sample_Power_Curve_CTpow	37	4	

3. 行追加の場合:「Ctrl+V」を押します

General	Reference site settings	Prediction site settings			
Predicti	on site	1			
Use	Label	Power Curve	Latitud	je	^
	Clast	Sample Brown Come OTanon	Deg	Mir	
	Site i	Sample_rower_Curve_C1 pow	37	2	
	Site2	Sample_Power_Curve_CTpow	37	3	
	Site1	Sample_Power_Curve_CTpow	37	2	
	Site2	Sample_Power_Curve_CTpow	37	3	

4. 行上書きの場合:「Ctrl+E」を押します

ieneral	Reference site settings	Prediction site settings			
Predict	ion site				
11525	1 abot	Power Curve	Latitude		~
Use	Label		Deg	Mir	
~	Site1	Sample_Power_Curve_CTpow	37	2	
	Site2	Sample_Power_Curve_CTpow	37	3	
	Site1	Sample_Power_Curve_CTpow	37	2	
 ✓ 					
第2章 Quick Start Tutorial (解析手順)

本章では、MASCOT Typhoon(Light)の基本的な使い方を理解するために、簡単な例を用いて説明します。

第2章 Quick Start Tutorial(解析手順)	2-1
2-1. 例題の解説	2-2
2-2. MASCOT Typhoon(Light)による割増係数の算定手順	2-3
2-2-1. MASCOT Typhoon(Light)の起動	2-4
2-2-2 . プロジェクトの作成	2-5
2-2-3. 台風データベース情報の登録	2-7
2-2-4. 解析地点毎の風速比等の登録	2-8
2-2-5. 計算条件の設定	2-11
2-2-6. 解析の実行	2-13
2-2-7. 解析結果の表示	2-14

2-1. 例題の解説

MASCOT Typhoon (Light) による風向特性を考慮した平均風速の地形による割増係数の算定を下図に示す千葉県銚子 半島にハブ高さ 100.0m の風車を建設することを想定しています。

例題におけるプロジェクト名は、"tutorial_typhoon"とし、プロジェクトの作成場所は"C:¥ tutorial"とします。



図 2-1 割増係数算定の例題地点

2-2. MASCOT Typhoon (Light) による割増係数の算定手順

風向特性を考慮した平均風速の地形による割増係数を算定するためには、MASCOT Engineering により得られた風車設置地点における平均風速の地形による割増係数(平坦地形上と実地形上との風速比)および風向変化を用いて、MASCOT Typhoon (Light)を使用して求めます。

手順:

- Windowsの[スタート]メニューより、[すべてのプログラム]-[MASCOT]-[Typhoon]-[MASCOT Typhoon]を選択し、MASCOT Typhoon (Light) を起動します。
- MASCOT Typhoon (Light) の[File]-[Create New Project]メニューから作業を行うプロジェクトを作成します。
- MASCOT Typhoon (Light) の[Tool]-[Typhoon database...]メニューの入力画面を使って、台 風データベース情報の登録を行います。
- MASCOT Typhoon (Light) の[Tool]-[Design site & Speed up ratio]メニューの入力画面を使って、解析地点毎の位置情報や風向別風速比情報の登録を行います。
- 5. [Edit]-[Create New Case]メニューの入力画面から台風パラメータの分布関数、解析期間、再現 期間などの解析条件を設定・保存します。
- 6. [Run] メニューから解析の実行を行います。
- 7. [View] メニューから、解析条件および解析結果の確認を行います。

2-2-1. MASCOT Typhoon (Light) の起動

Windows の[スタート]メニューより、[すべてのプログラム]-[MASCOT]-[Typhoon]-[MASCOT Typhoon]
 を選択し、MASCOT Typhoon (Light) を起動します。





0	MASCOT Typhoon(Light)	<u>144</u> 7		×
<u>F</u> ile <u>V</u> iew <u>H</u> elp				
D 😂 🗐 🖕 🔿 🥥				
Project View 📮 🗵				
None[Project]				
	Output		1	7 🔀
Ready		CAP N	UM SC	RL

2-2-2. プロジェクトの作成

1. [File]メニューから[Create New Project... Ctrl+N]を選択します。

0	MASCO	T Typhoon(Light))
File	View Help		
D	Create New Project	Ctrl+N	
Р 🞽	Open Project	Ctrl+O	
	Print Setup		
	Exit		

2. 表示されたダイアログ(A 画面)で、[New project file]のフォルダアイコン 💕 をクリックし、[ファイルを

開く]ダイアログ(B画面)を表示します。プロジェクトを保存するフォルダを選択し、ファイル名にプロジェ クト名を入力して<開く>をクリックします。さらに、A画面の[Description]にプロジェクト名を入力します。 (A画面)

	Cr	reate N	ew Project	×
Folder list			Project name	
Project file	MASCOT_Samples	~	tutorial_typhoon	
C:¥Users¥ ¥Docume	nts¥MASCOT_Samples¥tutorial	l_typhoon¥	tutorial_typhoon.mty	
			Create	Cancel



٥		Open Project		×
\odot	↑ ASCOT_Sample	s¥Tutorial_Typhoon ♀ ♂	Tutorial_Typhoon	の検索 👂
整理 ▼	新しいフォルダー		8==	• 🔲 📀
^	名前 Library Project () tutorial_typhoon.mty			
~				
	ファイル名(N): tui	torial_typhoon.mty	MASCOT Typhoo 開<(0)	n Projects (マ キャンセル

3. 次に、<Create>を押し、プロジェクトを作成します。

作成されたフォルダ : C:¥tutorial_typhoon プロジェクトファイル : tutorial_typhoon.mty

 次回、プロジェクトを開く際には MASCOT Typhoon を起動し、[File]-[Open Project... Ctrl+O]を選択し、 次画面を表示してプロジェクトファイルを選択して<開く>をクリックします。

	i i i phoon(Eig	pine
View Help		
Create New Project	Ctrl+N	
Open Project	Ctrl+0	
Print Setup		
Exit		
	View Help Create New Project Open Project Print Setup Exit	View Help Create New Project Ctrl+N Open Project Ctrl+O Print Setup Exit

•	Open Project		×
\odot	🕆 🗍 ASCOT_Samples¥Tutorial_Typhoon 🗸 🖒	Tutorial_Typhoonの検索	٩
整理 ▼	新しいフォルダー	E •	0
^ v	名前 Library Project So tutorial_typhoon.mty		
	ファイル名(N): tutorial_typhoon.mty v	MASCOT Typhoon Projects 開く(0) キャンセル	(~) /

2-2-3. 台風データベース情報の登録

1. [Tool]-[Typhoon database...]メニューを選択します。



2. 表示された[Typhoon Database]ダイアログの各項目を設定します。

	Typhoon Database	×
Database directory	C:¥Program Files (x86)¥MASCOT¥Typhoon¥TDB¥	
Period of extracted data	C All periods of data Beginning : 1951 End : 2007	
	Arbitrary period Beginning : 1961 End : 2007	
DB information file name	C:¥Users¥ ¥Documents¥MASCOT_Samples¥Tuto¥tutorial_1961-2007.mtdb	
	Save	Cancel

Database directory : 台風データベースの保存されているフォルダを指定します。

PCのシステムがCドライブの場合、通常は以下のフォルダ[TDB]を指定します。

 $C: {\tt \ Program \ Files \ \ MASCOT \ \ \ Typhoon \ \ \ TDB}$

Period of extracted data:解析に用いる台風データベースの期間を指定します。

通常は、[Arbitrary periods]の1961年から2007年を選択します。

DB information file name:解析に用いる台風データベース情報を保存するファイル名を指定します。

台風データベース情報ファイルのデフォルトの保存先はプロジェクトフォルダ内の

[Library]-[Typhoon_DB]です。

<Save>:設定値の保存を行います。

<Cancel>:設定値を破棄して前画面に戻ります。

2-2-4. 解析地点毎の風速比等の登録

1. [Tool]-[Design site & Speed up ratio]メニューを選択します。



2. 表示された[Design site & Speed up ratio] ダイアログの各項目を設定します。

ASCOT project file				
roject tree	Site ir	formation		Delete
···· None	No.	Site name	Latitude	Longitud
	>>			
to list file	۲			
te list file				

設定例:

	Design si	ite & Speed up rati	0	×
MASCOT project file C:¥Users¥ ¥E	Oocuments¥MASCO.	¥Engineering_for_Typhoon	.meg	
Project tree	Site	nformation		Delete
Project	No.	Site name	Latitude	Longitude
⊡- Tutorial Site	>>> 	Jite	33.44 0.20	110 31 3
Site list file	ments¥MASCOT Sa	moles¥Tutori ¥tutorial siteli	ist min	
	ments+MASCOT_Sa	npies+rutorit+tutoriai_sitei	schin	
		View	Save	Cancel

MASCOT Project file : MASCOT Engineering のプロジェクトファイルを指定します。

事前に MASCOT Engineering で平均風速の地形による割増係数を算定しておく必要があります。

Project tree: [MASCOT Project file]で指定した project tree が表示されます。

>>> : [Project tree]で選択したプロジェクト情報を MASCOT Typhoon のプロジェクトにインポートします。

インポートされるプロジェクト情報は以下の5つです。

- Site name
- $\boldsymbol{\cdot} \text{ Latitude}$
- $\cdot \ {\rm Longitude}$
- $\boldsymbol{\cdot} \operatorname{Height}$
- ・風向別の平均風速の地形による割増係数[ETV]
- ・風向別の風向偏角[Yew]
- ・風向別の変動風速の地形による補正係数[Ers]
- ・上記以外の風向別の情報についても保存されていますが、画面上では確認することはできません。確認が必要な場合は、MASCOT Engineering から確認してください。

Site information

:インポートした解析地点情報のリストが表示されます。

Site list file

: 解析地点毎の風速比等の情報を保存するファイル名を指定します。 解析地点毎の風速比情報ファイルのデフォルトの保存先はプロジェクトフォルダ内の [Library]-[WS_Ratio]です。 <View>:[Site information]で選択した解析地点の位置情報、風向別情報が表示されます(A画面 参照)。

<Save>:設定値の保存を行います。

<Cancel>:設定値を破棄して前画面に戻ります。

(A画面)



2-2-5. 計算条件の設定

1. [Edit]-[Create New Case]メニューを選択します。



2. 表示された[Create New Case]ダイアログの各項目を設定します。

	[creat								
Lase name	Casel								
Description	case 1								
Basic setting	5		14		0.85		Generation of virtual tropical cyclones	10	
Latitude	35	•	44		6.26	"	Simulation length	10000	years
Longitude	140	•	51		35.98	"	Consider the correlation between parameters	Yes	-
Typhoon dat	abase informat	tion file					Modify the parameters to fit the original probability distribution	Yes	-
C:¥User	.¥tutorial_196	1-2007	.mtdb		Refer	ence			
							Prediction of wind speed	-	Dave
Evaluation o	^r tropical cyclor	ne para	meters				Prediction of wind speed Vertical wind profile model	Engineerir	ng 💌
· Evaluation or Analytical	^r tropical cyclor functions	ne para	meters				Prediction of wind speed Vertical wind profile model Consider the effect of local topography	Engineerir Yes	ng 💌
· Evaluation o Analytical Central pr	^F tropical cyclor functions essure differen	ne para	meters Δp	MPDF			Prediction of wind speed Vertical wind profile model Consider the effect of local topography Correction of averaging time	Engineerir Yes Yes	ng <u>-</u>
Evaluation or Analytical Central pr Radius of	^c tropical cyclor functions essure differen naximum winds	ne para nce s	meters Δp Rm	MPDF	F	•	Prediction of wind speed Vertical wind profile model Consider the effect of local topography Correction of averaging time Consider the uncertainty	Engineerir Yes Yes Yes	ng <u>*</u> *
Evaluation o Analytical Central pr Radius of Translatio	f tropical cyclor functions essure differen naximum winds 1 velocity	ne para nce s	ameters Δp Rm C	MPDF MPDF MPDF	F	•	Prediction of wind speed Vertical wind profile model Consider the effect of local topography Correction of averaging time Consider the uncertainty Site list file	Engineerir Yes Yes Yes	ng -
Analytical Central pr Radius of Translation	f tropical cyclor functions — essure differen naximum winds 1 velocity direction	ne para nce s	meters — Δp Rm C θ	MPDF MPDF MPDF	F F	•	Prediction of wind speed Vertical wind profile model Consider the effect of local topography Correction of averaging time Consider the uncertainty Site list file C:#Users¥¥tutorial_sitelist.min	Engineerir Yes Yes Yes	ng • • • • •
Evaluation or Analytical Central pr Radius of Translation Approach Minimum a	f tropical cyclor functions assure differen naximum winds n velocity direction pproach distan	ne para nce s	ameters Δp Rm C θ dmin	MPDF MPDF MPDF norm quad	F F F Ial	•	Prediction of wind speed Vertical wind profile model Consider the effect of local topography Correction of averaging time Consider the uncertainty Site list file C:¥Users¥¥tutorial_sitelist.min	Engineerir Yes Yes Yes	ng v v v Select
Analytical Central pr Radius of Translation Approach Minimum a Annual oc	f tropical cyclor functions essure differen naximum winds n velocity direction oproach distan urrence rate	ne para nce s	ameters Δp Rm C θ dmin λ	MPDF MPDF norm quad Poiss	F F Tal Iratic	•	Prediction of wind speed Vertical wind profile model Consider the effect of local topography Correction of averaging time Consider the uncertainty Site list file C:¥Users¥¥tutorial_sitelist.min	Engineerir Yes Yes Yes	ng •

[Case name] :計算ケース名を設定

[Description] : プロジェクト内容を記述する

[Basic settings] :解析条件の基本情報を設定

Latitude :最接近パラメータの抽出点の緯度(度、分、秒)※北緯+、南緯-、日本測地系

Longitude:最接近パラメータの抽出点の経度(度、分、秒)※東経+、西経-、日本測地系

[Typhoon data base information file] : [Tool]-[Typhoon database]で設定した、台風データベース情報

ファイルを指定

<Reference $>$	台風データベース情報ファイルを選択→指定
[Evaluation of tropical cyclone parameters]	: 台風パラメータの確率分布算定の条件を設定
[Analytical functions]	:確率分布関数を指定
[Central pressure difference ΔP]	:中心気圧低下量

• MPDF	:混合確率分布
• Lognormal	: 対数正規分布※
• Weibull	: ワイブル分布**
[Radius of maximum winds R_m]	:最大旋衡風速半径
• MPDF	:混合確率分布
• Lognormal	: 対数正規分布※
• Weibull	: ワイブル分布**
[Translation velocity C]	:進行速度
• MPDF	:混合確率分布
• Lognormal	: 対数正規分布※
• Weibull	: ワイブル分布**
[Approach direction θ]	:進行方向
• normal	:正規分布
[Minimum approach distance $d_{ m min}$]	:最接近距離
• quadratic	:二次関数
$[\ { m Annual occurrence rate } \ \lambda \]$: 台風年間発生数択
• Poisson	: ポアソン分布
[Correlations between parameters]	: 台風パラメータ間の相関係数の算定を行うか否か*の選択
[Generation of virtual tropical cyclones]	: 仮想台風発生の条件を設定
[Simulation length]	: 仮想台風を発生する年数を設定(10 万年未満としてください)
[Consider the correlation between param	neters]
	: 台風パラメータ間の相関係数を考慮した発生を行うか否かの選択
[Modify the parameters to fit the origina	al probability distribution]
	:目標とした確率分布に沿うように、発生したパラメータの微小修正
	を行うか否かの選択
[Prediction of wind speed]	:風速、風向時系列算定条件を設定
[Vertical wind profile model]	: 鉛直モデルの選択
• Engineering model	:工学的モデル
• Meteorological model	:気象学的モデル**
[Consider the effect of local topography	·]:局所地形による風速の増速と風向偏角を考慮するか否かの設定
[Correction of averaging time]	:風速の平均化時間の補正を行うか否かの設定
[Consider the uncertainty]**	: 誤差を考慮するか否かの設定
[Site list file]	:風車設計地点ファイルの指定
<Reference $>$	風車設計地点ファイルを選択→指定
<View $>$	風車設計地点の位置情報、風向別情報が表示されます
[Speed up ratio] :風向特性を考慮した地形	ジによる平均風速の割り増し係数算定の条件を設定
[Recurrence period]	:割り増し係数を算定する再現期間を設定
<Save $>$:設定値を保存
<cancel></cancel>	:新規入力、変更した設定値を破棄し画面を閉じる
※は選択不可能な項目を表しています	

第2章

2-2-6. 解析の実行

計算実行、再計算実行、計算中止を行います。



または



(1) Start

選択中の計算ケースについて、最接近パラメータ抽出、台風パラメータの確率分布算定、仮想台風の発生、平均風速の割り増し係数の算定を行います。

(2) Restart

選択中の計算ケースについて、平均風速の割り増し係数のみを計算し直します。

(3) All - Start

全ての計算ケースについて、最接近パラメータ抽出、台風パラメータの確率分布算定、仮想台風の発生、平均風速の 割り増し係数の算定を行います。

(4) All - Restart

全ての計算ケースについて、平均風速の割り増し係数のみを計算し直します。

(5) Stop

計算を中止する。中止した場合は途中の計算結果は破棄されます。

2-2-7. 解析結果の表示

台風経路図、台風パラメータの確率分布図、計算結果等を表示します。



(1) JMA Best track data

最接近パラメータ抽出対象となった台風の実台風パスを描画します。



(2) Prediction sites

最接近パラメータ抽出位置と風車建設位置の平面図を描画します。



(3) Estimated probability distribution of tropical cyclone parameters

台風パラメータの確率分布算定結果を描画します。



- ・Comparison between the measured probability distribution of tropical cyclone parameters and the model function (観測値と分布関数による台風パラメータの確率分布)
- **Comparison between the measured probability distribution of tropical cyclone parameters and the model function**(観測 値、仮想台風および分布関数による台風パラメータの確率分布)



観測値:●(赤丸)(ただし、台風年間発生数は棒グラフ)
 モデル:-(黒線)
 仮想台風:×(青バツ)(ただし、台風年間発生数は非表示)

Typhoon parameter name		Analytical function nam	ne &	parameter	Value
		Lamarmal distribution	μ	Mean	1.5815
			σ	Standard deviation	0.1145
Central pressure difference	Δр	Weibull distribution -		Shape parameter	4.1471
				Scale parameter	43.5089
		Mixed distribution	а	Mixing coefficient	1.0000
		Lorpormal distribution	μ	Mean	2.1022
		Lognormat distribution	σ	Standard deviation	0.2473
Radius of maximum winds	Rm	Weibull distribution		Shape parameter	1.9107
				Scale parameter	165.0483
		Mixed distribution	а	Mixing coefficient	0.5180
		Lognormal distribution	μ	Mean	1.6566
		LUghorinal distribution		Standard deviation	0.2231
Translation velocity	С	Weibull distribution		Shape parameter	2.4758
				Scale parameter	57.2998
		Mixed distribution	а	Mixing coefficient	0.0000
Approach direction	A	Normal distribution	μ	Mean	143.4634
			σ	Standard deviation	25.6469
Minimum approach distance	dmin	Polypomial	z	Model coefficient	-376.6546
			r	Critical distance	500.0000
Annual occurrence rate	λ	Poisson distribution	λm	Mean	2.7447

The model functions (台風パラメータの確率分布関数および特性)

[Typhoon parameter name] : 台風パラメータ名 :確率分布関数名と関数パラメータ名 [Analytical function name & parameter] [Value] : 関数パラメータ設定値 [Central pressure difference ΔP] :中心気圧低下量 [Lognormal distribution] : 対数正規分布 $[\mu \text{ Mean}]$: 平均值 $\begin{bmatrix} \sigma & \text{Standard deviation} \end{bmatrix}$:標準偏差 [Weibull distribution] : ワイブル分布 [K Shape parameter] :形状係数 [C Scale parameter] :尺度係数 [Mixed distribution] :混合分布 [a Mixing coefficient] :混合係数 [Radius to maximum winds R_m] :最大旋衡風速半径 [Lognormal distribution] : 対数正規分布 $[\mu \text{ Mean}]$: 平均值 $[\sigma \text{ Standard deviation }]$:標準偏差 [Weibull distribution] : ワイブル分布 :形状係数 [K Shape parameter] :尺度係数 [C Scale parameter] [Mixed distribution] :混合分布 [a Mixing coefficient] :混合係数 [Translation velocity C] :進行速度 [Lognormal distribution] : 対数正規分布

2-17

第2章

$[\mu \text{ Mean}]$: 平均値
$[\sigma$ Standard deviation $]$:標準偏差
[Weibull distribution]	: ワイブル分布
[K Shape parameter]	:形状係数
[C Scale parameter]	:尺度係数
[Mixed distribution]	: 混合分布
[a Mixing coefficient]	:混合係数
[Approach direction $ heta$]	:進行方向
[Normal distribution]	:正規分布
[µ Mean]	: 平均値
$\begin{bmatrix} \sigma \end{bmatrix}$ Standard deviation	:標準偏差
[Minimum approach distance d_{\min}]	:最接近距離
[Polynomial]	:二次関数
[z Model coefficient]	: 近似係数
$\begin{bmatrix} r & Critical distance \end{bmatrix}$:限界距離
[Annual occurrence rate λ]	: 台風の年間発生数
[Poisson distribution]	: ポアソン分布
[λ_m Mean]	: 平均年間発生数

・Correlation coefficient between the tropical cyclone parameters based on measurement (観測値による台風パラメ 一夕の相関係数)

	Corr	elation coe	efficient ba	ased on mea:	surement	mo	Correlati dified orth	on coeffici nogonal dec	ent based c omposition (n method
	In(∆P)	ln(Rm)	ln(C)	θ	dmin	In(∆P)	ln(Rm)	ln(C)	θ	dmin
In(∆P)	1.000					1.000				
ln(Rm)	-0.378	1.000				-0.359	1.000			
ln(C)	-0.016	0.415	1.000			0.015	0.376	1.000		
θ	-0.013	-0.062	-0.300	1.000		-0.016	-0.056	-0.266	1.000	×.
dmin	0.253	-0.291	-0.284	-0.357	1.000	0.240	-0.282	-0.268	-0.354	1.000

[Correlation coefficient based on measurement] : 観測値による台風パラメータ間の相関

[Correlation coefficient based on modified orthogonal decomposition method]

	: 修正直交変換法による仮想台風の台風パラメータ間の相関
$[\ln(\Delta P)]$: 中心気圧低下量の対数値
$[\ln(R_m)]$:最大旋衡風速半径の対数値
$[\ln(C)]$:進行速度の対数値
[0]	:進行方向
[d _{min}]	:最接近距離

・Frequency distribution of annual maximum gradient wind speed based on measurement and simulation (観測値と 仮想台風による上空風の年最大風速)



上記の解析結果表示画面「(2)、(3)」は、グラフおよび表をマウス左ボタンでダブルクリックすると、選択位置の グラフおよび表が別ウィンドウで表示されます。

例:(3)の[Central pressure difference ΔP]のグラフをマウス左ボタンでダブルクリックすると、下図が表示されます。



さらに、ツールバー 🎦 🚰 🛃 📦 🐵 🗸 💼 ボタンをクリックすると、選択されているビューの内容をクリック

ボードヘコピーできます。

(4) Estimated topographic multiplier

風向特性を考慮した地形による平均風速の割り増し係数の算定結果を表示します。

Estimated top	ographic mul	tiplier - [ca	ase1]		- • •
	EtV	EtV(∂d)	EtS(∂d)	EtI(0d)	θd
	1.053	1.062	0.960	0.904	188.042
	Estimated top	Estimated topographic mul	Estimated topographic multiplier - [ca EtV EtV(0d) 1.053 1.062	Estimated topographic multiplier - [case1] ΕtV EtV(θd) EtS(θd) 1.053 1.062 0.960	Estimated topographic multiplier - [case1] EtV EtV(θ d) EtS(θ d) EtI(θ d) 1.053 1.062 0.960 0.904

[No] :風車建設地点 No

[Site] :風車建設地点名称

[E_{tv}] : 50 年再現期待値に対応する風速比(Typhoon 結果)

[Etv(θa)] :風向特性を考慮した地形による風速の割り増し係数(Engineering 結果 - 16 風向の風速比)

[Ets(θd)] : 地形による変動風速の補正係数

[E_tI(θ_d)] : 地形による乱流強度の補正係数

[θ_d] : 照査対象風向(度、北から時計回りの角度)

第3章 User Interface (ユーザー・インターフェース)

本章では、MASCOT Typhoon(Light)のユーザー・インターフェースについて説明します。

第3章 USER INTERFACE(ユーザー・インターフェース)	
3-1. メニュー一覧	3-2
3-2. ツールバー一覧	3-3
3-3. ダイアログ・ビュー一覧(メニュー別)	
3-3-1. [File]メニュー	
3-3-2. [Edit]メニュー	
3-3-3. [Run]メニュー	3-11
3-3-4. [View] $\neq = = = -$	
3-3-5. [Tool]メニュー	3-19
3-3-6. [Window]メニュー	3-25
3-3-7. [Help]メニュー	

3-1. メニュー一覧

MASCOT Typhoon (Light) のメインメニューは以下の7つから構成されます。

- [File] : プロジェクトの生成、読み込み、保存、プリンタの設定、プログラムの終了等
- [Edit] :解析ケースの設定、編集、コピー、削除、オプション設定等
- [Run] : 計算実行、再計算実行、計算中止
- [View] : 台風経路図、台風パラメータの確率分布図、計算結果等の表示
- [Tool] : 設計対象地点登録、風速比・風向偏角の登録
- [Window] : ウィンドウ、アイコン等の表示、整理等
- [Help] : バージョン情報、ユーザーマニュアルの表示



3-2. ツールバー一覧

0 🐸 🖬 🖻	
D	プロジェクトを新規作成します。
	([File]-[Create New Project] $\neq = = =$
<i>≧</i>	プロジェクトを読み込みします。
	([File]-[Open Project]メニュー
	作業中のプロジェクトを保存します。
	([File]-[Save Project]メニュー
B	選択されているビューの内容(図やログなど)をクリックボードへコピーします。
	([Edit]-[Copy]メニュー
۵	選択されているビューの内容(図やログなど)を印刷します。
	([File]-[Print]メニュー
0	MASCOT Typhoon のバージョン情報を表示します。
	([Help]-[About MASCOT Typhoon]メニュー)

3-3. ダイアログ・ビュー一覧(メニュー別)

3-3-1. [File]メニュー

このメニューはプロジェクトの生成、読み込み、保存、プリンタの設定、プログラムの終了等を行うメニューです。

0	MA	SCOT Typhoon(Ligh	t)
File	View Help		
P 🚰	Create New Project Open Project Print Setup	Ctrl+N Ctrl+O	
_	Exit		

[Create New Project...]

MASCOT Typhoon のプロジェクトを新規作成します (ツールバー 🗋)。

[Open Project...]

プロジェクトを読み込みます (ツールバー 💕)。

[Print Setup...]

用紙のサイズ、印刷の向きなどの設定を行います。

フリンター名(N):	✓ プロパティ(P)
状態: 準備完了	
種類:	
場所:	
אלאב:	
用紙	印刷の向き
サイズ(Z): A4	• (ē 縦(<u>O</u>)
給紙方法(<u>S</u>): 自動	A C 横(A)

[Exit]

MASCOT Typhoon を終了します。

3-3-2. [Edit]メニュー

計算条件の設定、最接近台風パラメータ抽出地点の登録など、解析条件を設定するメニューです。[Create New Case...]メニューはユーザーが必ず設定する必要のあるメニューで、台風データベースファイルの指定、解析対象 地点の緯度と経度の入力の設定を行います。一方、[Option]メニュー以下の設定項目にはデフォルトの値が設定さ れており、必要に応じて設定値の変更を行います。

۲		tutorial_typhoon.mty - MASCOT Typhoon(Light)
File Edi	it Run View Tool Wi Create New Case	ndow Help
Project ' ⊡- tutc ⊡- [Edit Case Copy Case Delete Case	
C	Option Copy Ctrl+C Export CSV	Condition for the estimation of tropical cyclone parameters Limiting value of the tropical cyclone parameters Reference roughness
		Correction of Averaging time Consideration of the uncertainty Design target direction of the wind

[Create New Case...]

計算ケースを新規作成します。[Basic Settings][Evaluation of tropical cyclone parameters][Generation of virtual tropical cyclones][Prediction of wind speed][Speed up ratio] の5つの部分から構成されます。

Case name	case 1								
escription	case 1								
lasic settings		at	12		1.00		Generation of virtual tropical cyclones	54.	
atitude	35	•	44	· ·	6.26	"	Simulation length	10000	years
ongitude	140	•	51	•	35.98	"	Consider the correlation between parameters	Yes	•
Typhoon data	abase informati	ion file					Modify the parameters to fit the original probability distribution	Yes	-
C:¥User	¥tutorial_1961	-2007	.mtdb		Referer	nce	Dradiation of wind around		
valuation of	tropical cyclone	e para	meters				Vertical wind profile model	Engineerin	ng 💌
Analytical f	unctions						Consider the effect of local topography	Yes	+
-Analytical f Central pre	unctions	ce	Δр	MPDf	ŧ.	.	Consider the effect of local topography Correction of averaging time	Yes	•
Analytical f Central pre Radius of m	unctions ssure difference naximum winds	ce	Δp Rm	MPD	F	•	Consider the effect of local topography Correction of averaging time Consider the uncertainty	Yes Yes Yes	• •
- Analytical f Central pre Radius of m Translation	unctions ssure difference naximum winds velocity	ce	Δp Rm C	MPDF MPDF	F F	•	Consider the effect of local topography Correction of averaging time Consider the uncertainty Site list file	Yes Yes Yes	• •
Analytical f Central pre Radius of m Translation Approach o	unctions essure difference naximum winds velocity direction	ce	Δp Rm C	MPDF MPDF MPDF	= = = al	•	Consider the effect of local topography Correction of averaging time Consider the uncertainty Site list file C:¥Users¥¥tutorial_sitelist.min	Yes Yes Yes	_ _ _ Select
Analytical f Central pre Radius of m Translation Approach o Minimum ap	unctions ssure difference naximum winds velocity direction oproach distance	ce ce	Δp Rm C θ dmin	MPDF MPDF MPDF norm quad	= = = Nal	• • •	Consider the effect of local topography Correction of averaging time Consider the uncertainty Site list file C:¥Users¥¥tutorial_sitelist.min	Yes Yes Yes	✓ ✓ ✓ Select
Analytical f Central pre Radius of m Translation Approach o Minimum ap Annual occi	unctions essure difference naximum winds velocity direction oproach distance urrence rate	ce	Δp Rm C θ dmin λ	MPDF MPDF MPDF norm quad	= = al Iratic	•••••	Consider the effect of local topography Correction of averaging time Consider the uncertainty Site list file C:¥Users¥¥tutorial_sitelist.min	Yes Yes Yes	v v Select

[Case name] :計算ケース名を設定 [Description] : プロジェクト内容を記述する [Basic settings]: 解析条件の基本情報を設定 Latitude :最接近パラメータの抽出点の緯度(度、分、秒)※北緯+、南緯-、日本測地系 Longitude:最接近パラメータの抽出点の経度(度、分、秒)※東経+、西経-、日本測地系 [Typhoon data base information file] : [Tool]-[Typhoon database]で設定した、台風データベース情報 ファイルを指定 <Reference>台風データベース情報ファイルを選択→指定 [Evaluation of tropical cyclone parameters] : 台風パラメータの確率分布算定の条件を設定 [Analytical functions] :確率分布関数を指定 [Central pressure difference ΔP] : 中心気圧低下量 • MPDF :混合確率分布 : 対数正規分布※ • Lognormal • Weibull : ワイブル分布* :最大旋衡風速半径 [Radius of maximum winds R_m] • MPDF :混合確率分布 • Lognormal : 対数正規分布※ • Weibull : ワイブル分布* [Translation velocity C] :進行速度 • MPDF :混合確率分布 • Lognormal : 対数正規分布※ : ワイブル分布* • Weibull :進行方向 [Approach direction θ] normal :正規分布 [Minimum approach distance d_{min}]:最接近距離 :二次関数 quadratic [Annual occurrence rate λ] : 台風年間発生数択 • Poisson :ポアソン分布 [Correlations between parameters] : 台風パラメータ間の相関係数の算定を行うか否か*の選択 [Generation of virtual tropical cyclones] :仮想台風発生の条件を設定 [Simulation length] :仮想台風を発生する年数を設定(10万年未満としてください) [Consider the correlation between parameters] : 台風パラメータ間の相関係数を考慮した発生を行うか否かの選択 [Modify the parameters to fit the original probability distribution] :目標とした確率分布に沿うように、発生したパラメータの微小修正 を行うか否かの選択 [Prediction of wind speed] :風速、風向時系列算定条件を設定 [Vertical wind profile model] : 鉛直モデルの選択 • Engineering model :工学的モデル :気象学的モデル※ \cdot Meteorological model [Consider the effect of local topography]:局所地形による風速の増速と風向偏角を考慮するか否かの設定

第3章

3-6

[Correction of average	ging time]	:風速の平均化時間の補正を行うか否かの設定				
[Consider the uncertainty] $*$: 誤差を考慮するか否かの設定				
[Site list file]		:風車設計地点ファイルの指定				
	$<\!\!\mathrm{Reference}\!>$	風車設計地点ファイルを選択→指定				
	<view></view>	風車設計地点の位置情報、風向別情報が表示されます				
[Speed up ratio]	:風向特	性を考慮した地形による平均風速の割り増し係数算定の条件を設定				
[Recurrence period]		:割り増し係数を算定する再現期間を設定				
<Save $>$: 設定値を保存				
<Cancel $>$: 新規入力、変更した設定値を破棄し画面を閉じる				

第3章

※は選択不可能な項目を表しています

[Edit Case...]

選択している計算ケースを編集します。

ase name	case 1								
escription	case 1								
asic settings							Generation of virtual tropical cyclones		
atitude	35	•	44		6.26	"	Simulation length	10000	years
ongitude	140	•	51		35.98	"	Consider the correlation between parameters	Yes	-
yphoon data	' base informati	ion file	2				Modify the parameters to fit the original probability distribution	Yes	•
		-	and alle		1000 Contractor (1)	0.000			
C:¥User	tutorial_1961	-2007	rimtab		Referen	ce	- Dradiction of wind speed		
C:¥User	¥tutorial_1961	-2007	.mtab		Referen	ce	Prediction of wind speed	Engineeri	na 🔻
C:¥User valuation of	¥tutorial_1961 tropical cyclone	-2007 e para	ameters		Referen	ce	Prediction of wind speed Vertical wind profile model Consider the effect of local topography	Engineerin	ng 💌
C:¥User valuation of Analytical fu Central pres	¥tutorial_1961 tropical cyclone unctions ssure differenc	-2007 e para	ameters Δp	MPDF	Referen	ce	Prediction of wind speed Vertical wind profile model Consider the effect of local topography Correction of averaging time	Engineerii Yes	ng 💌
C:¥User valuation of Analytical fi Central pres Radius of m	*tutorial_1961 tropical cyclone unctions ssure differenc aximum winds	e para	ameters Δp Rm	MPDF	Referen	œ] ▼ ▼	Prediction of wind speed Vertical wind profile model Consider the effect of local topography Correction of averaging time	Engineerin Yes Yes	ng 💌
C:¥User valuation of Analytical fu Central pres Radius of m Translation	¥tutorial_1961 tropical cyclone unctions ssure difference aximum winds velocity	e para	ameters — Δp Rm C	MPDF MPDF MPDF	F F	•	Prediction of wind speed Vertical wind profile model Consider the effect of local topography Correction of averaging time Consider the uncertainty Site list file	Engineeri Yes Yes Yes	ng 💌
C:¥User3 valuation of Analytical fi Central pres Radius of m Translation Approach d	<pre>#tutorial_1961- tropical cyclone unctions ssure difference waximum winds velocity irection</pre>	e para	ameters Δp Rm C θ	MPDF MPDF MPDF	F F F	• • •	Prediction of wind speed Vertical wind profile model Consider the effect of local topography Correction of averaging time Consider the uncertainty Site list file C:¥Users¥¥tutorial_sitelist.min	Engineeri Yes Yes Yes	ng 💌
C:¥User3 valuation of 1 Analytical fi Central pres Radius of m Translation Approach d Minimum ap	¥tutorial_1961 tropical cyclone unctions ssure differenc iaximum winds velocity irection proach distanc	e para	ameters — Δp Rm C θ dmin	MPDF MPDF MPDF norm quad	F F F F F F F F F F F F F F F F F F F	• • • •	Prediction of wind speed Vertical wind profile model Consider the effect of local topography Correction of averaging time Consider the uncertainty Site list file C:¥Users¥¥tutorial_sitelist.min	Engineeri Yes Yes Yes	ng 💌
C:¥User3 valuation of 1 Analytical fi Central pres Radius of m Translation Approach d Minimum ap Annual occu	¥tutorial_1961- tropical cyclone unctions ssure difference waximum winds velocity irection proach distance urrence rate	e para ce	ameters Δp Rm C θ dmin λ	MPDF MPDF MPDF norm quad	F F F F F F F F F F F F F F F F F F F	ce	Prediction of wind speed Vertical wind profile model Consider the effect of local topography Correction of averaging time Consider the uncertainty Site list file C:¥Users¥¥tutorial_sitelist.min	Engineeri Yes Yes Yes	ng • • • Select

※項目内容は、「Create New Case」と同一

3-7

[Copy Case...]

選択している計算ケースをコピーします。

Source case	case 1		
Destination case	case2		
Copy Option			
🔽 Casefile			
Calculation Re	esult		
			1
		OK	Cancel

Destination case	:コピー先のケース名
Copy Option	:計算結果のコピーの有無を選択します。

[Delete Case...]

選択している計算ケースを削除します。

[Option...]

計算に関するオプションを設定します。



(1) [Option]-[Condition for the estimation of tropical cyclone parameters...]

台風データベース (DB) より最接近台風パラメータの抽出を行う際に対象とする台風の条件を設定します。

Optio	n - Cond	ition for	the estir	nation o	f tropical cycl	one p 💌
rsim	500.0	- km	pc0	985.0	hPa	
					Save	Cancel

rsim:抽出地点からの半径を指定(デフォルト値 500 km)

pc0 : 台風期間中の最低中心気圧を指定(デフォルト値 985 hPa)

(2) [Option]-[Limiting value of the tropical cyclone parameters…]

仮想台風発生時に各台風パラメータの上限値および下限値を設定します。

Option - I	Limiting v	alue of the	tropical cyclor	ne pa 💌
ds_min	500.0	km		
dp_min	28.0	hPa		
rm_min	8.3	km		
cc_min	3.6	m/s		
			Save	Cancel

ds_min :最接近距離の上限値(設定不可:最接近台風パラメータの抽出を行う際に対象とする台風の条件)

dp_min : 中心気圧低下量の下限値(デフォルト値 28.0hPa)

rm_min :最大旋衡風半径の下限値(デフォルト値 8.3Km)

cc_min :進行速度の下限値(デフォルト値 3.6m/s)

(3) [Option]-[Reference roughness...]

平坦で一様な粗度上の風速を算定する際の粗度長を設定します。

粗度長	粗度区分	
0.0001	. I .	
0.01	I	
0.1	Ш	

Z0 : 平坦地形上粗度長(MASCOT Basic の解析時に設定した平坦地形上の粗度区分を設定します)

(4) [Option]-[Correction of Averaging time…]

平均化時間補正時のパラメータを設定します。

Option - Correction	of Avera	iging ti	×
Proportionality constant Sigma minimum	0.1 0.0 Save	m/s	
Gama : 補ī	E前風速に対	けする割合γ(デフォルト値γ =0 .1)
Sigma minimum :補ī	E風速の下阻	艮値σmin(デフ	'オルト値 σ min=0.00m/s)
※補正風速σαは次式によ	り与えられる	5	
$\sigma_{a}=\max(\gamma \times ut,$	σ_{\min})		

(5) [Option]-[Consideration of the uncertainty…]

ガンベル分布の理論による誤差評価のパラメータを設定します。

Option - Co	onsideratio	n of the u	incert 💌
🔽 ор Gamma E	0.5772157		
		Save	Cancel

σ p : 極値風速の不確実性における気圧の観測年数の影響を考慮する場合にチェックします.

Gamma E:オイラー定数(デフォルト値 Gamma E =0.5772)

(6) [Option]-[Design target direction of the wind…]

照査対象風向算定時の再現期待風速周りの風速範囲を指定します。

Option - Design t	arget o	directio	on of th	ne wind 些
Moving average range	Um	1.0	m/s	
		S	ave	Cancel

Moving average range : 風速範囲(デフォルト値 Um=1.00m/s = U_R±0.5m/s)

$$\theta_d = \frac{1}{N} \sum_{n=U_R-0.5U_m}^{U_R+0.5U_m} \theta(U_R)$$

[Copy... Ctrl+C]

View で表示される計算結果(グラフや表)をクリップボードへコピーします。

[Export CSV...]

解析結果の数表を CSV ファイル形式で保存します。

計算実行、再計算実行、計算中止を行うに関するメニューです。



(1) Start

選択中の計算ケースについて、最接近パラメータ抽出、台風パラメータの確率分布算定、仮想台風の発生、平 均風速の割り増し係数の算定を行います。

(2) Restart

選択中の計算ケースについて、平均風速の割り増し係数のみを計算し直します。

(3) All - Start

全ての計算ケースについて、最接近パラメータ抽出、台風パラメータの確率分布算定、仮想台風の発生、平 均風速の割り増し係数の算定を行います。

(4) All- Restart

全ての計算ケースについて、平均風速の割り増し係数のみを計算し直します。

(5) Stop

計算を中止します。中止した場合は途中の計算結果は破棄されます。

計算中は左側のダイアログが表示され、計算が正常終了しますと右側のメッセージが表示されます。

MASCOT Typhoon(Light)
ОК



台風経路図、台風パラメータの確率分布図、計算結果の表示に関するメニューです。

選択したビュー画面に対し 🗈 ボタンをクリックすることにより、クリックボードへのコピーができます。

(1) JMA Best track data

最接近パラメータ抽出対象となった台風の実台風パスを描画します



(2) Prediction sites

```
Prediction Sites - [case1]
```

最接近パラメータ抽出位置と風車建設位置の平面図を描画します。

(3) Estimated probability distribution of tropical cyclone parameters

台風パラメータの確率分布算定結果を描画します。



Comparison between the measured probability distribution of tropical cyclone parameters and the model function (観測値と分布関数による台風パラメータの確率分布)

Comparison between the measured probability distribution of tropical cyclone parameters and the model function (観測値、 仮想台風および分布関数による台風パラメータの確率分布)



観測値:●(赤丸)(ただし、台風年間発生数は棒グラフ) モデル:--(黒線) 仮想台風:×(青バツ)(ただし、台風年間発生数は非表示)
Typhoon parameter name	Analytical function nam	ne &	parameter	Value	
		Lormormol distribution	μ	Mean	1.5815
		Lognormat distribution-		Standard deviation	0.1145
Central pressure difference	Δр	Weiterit starsteiter	k	Shape parameter	4.1471
		weibull distribution	С	Scale parameter	43.5089
		Mixed distribution	а	Mixing coefficient	1.0000
			μ	Mean	2.1022
		Lognormal distribution	σ	Standard deviation	0.2473
Radius of maximum winds	Rm	Weibull distribution		Shape parameter	1.9107
				Scale parameter	165.0483
		Mixed distribution	а	Mixing coefficient	0.5180
		Lognormal distribution		Mean	1.6566
				Standard deviation	0.2231
Translation velocity	С	Weibull distribution		Shape parameter	2.4758
				Scale parameter	57.2998
		Mixed distribution	а	Mixing coefficient	0.0000
Annenak dinastian	Δ	Naumal diateihutian	μ	Mean	143.4634
Approach direction	σ	Normal distribution	σ	Standard deviation	25.6469
Minimum annraach distaat	dun i c	Delunemiel	z	Model coefficient	-376.6546
Minimum approach distance	amn		r	Critical distance	500.0000
Annual occurrence rate	λ	Poisson distribution	λm	Mean	2.7447

The model functions (台風パラメータの確率分布関数および特性)

[Typhoon parameter name] : 台風パラメータ名 :確率分布関数名と関数パラメータ名 [Analytical function name & parameter] [Value] : 関数パラメータ設定値 [Central pressure difference ΔP] :中心気圧低下量 [Lognormal distribution] : 対数正規分布 $[\mu \text{ Mean}]$: 平均值 $\begin{bmatrix} \sigma & \text{Standard deviation} \end{bmatrix}$:標準偏差 [Weibull distribution] : ワイブル分布 [K Shape parameter] :形状係数 [C Scale parameter] :尺度係数 [Mixed distribution] :混合分布 [a Mixing coefficient] :混合係数 [Radius to maximum winds R_m] :最大旋衡風速半径 [Lognormal distribution] : 対数正規分布 $[\mu \text{ Mean}]$: 平均值 $[\sigma \text{ Standard deviation }]$:標準偏差 [Weibull distribution] : ワイブル分布 [K Shape parameter] :形状係数 [C Scale parameter] :尺度係数 : 混合分布 [Mixed distribution] [a Mixing coefficient] :混合係数 [Translation velocity C] :進行速度 [Lognormal distribution] : 対数正規分布 $[\mu \text{ Mean}]$: 平均值

$\begin{bmatrix} \sigma \end{bmatrix}$ Standard deviation	:標準偏差
[Weibull distribution]	: ワイブル分布
[K Shape parameter]	:形状係数
[C Scale parameter]	:尺度係数
[Mixed distribution]	: 混合分布
[a Mixing coefficient]	: 混合係数
[Approach direction $ heta$]	:進行方向
[Normal distribution]	:正規分布
$[\mu Mean]$: 平均值
$[\sigma$ Standard deviation $]$:標準偏差
[Minimum approach distance d_{\min}]	:最接近距離
[Polynomial]	:二次関数
[z Model coefficient]	: 近似係数
$\begin{bmatrix} r & Critical distance \end{bmatrix}$: 限界距離
[Annual occurrence rate λ]	: 台風の年間発生数
[Poisson distribution]	: ポアソン分布
$[\lambda_m \text{ Mean }]$: 平均年間発生数

Correlation coefficient between the tropical cyclone parameters based on measurement (観測値による台風 パラメータの相関係数)

	Corr	elation coe	efficient b	ased on mea	surement	mo	Correlati dified orth	on coeffici nogonal dec	ent based o omposition i	n method
	$ln(\Delta P)$	ln(Rm)	ln(C)	θ	dmin	In(∆P)	ln(Rm)	In(C)	θ	dmin
In(∆P)	1.000					1.000				
ln(Rm)	-0.378	1.000				-0.359	1.000			
ln(C)	-0.016	0.415	1.000			0.015	0.376	1.000		
θ	-0.013	-0.062	-0.300	1.000	-	-0.016	-0.056	-0.266	1.000	
dmin	0.253	-0.291	-0.284	-0.357	1.000	0.240	-0.282	-0.268	-0.354	1.000

[Correlation coefficient based on measurement]

•

: 観測値による台風パラメータ間の相関

 $\left[{\ {\rm Correlation \ coefficient \ based \ on \ modified \ orthogonal \ decomposition \ method } \right]$

:修正直交変換法による仮想台風の台風パラメータ間の相関

- $\left[\log(\Delta P)\right]$:中心気圧低下量の対数値
- [log(*R_m*)] : 最大旋衡風速半径の対数値
- [log(C)] :進行速度の対数値
- [*θ*]:進行方向
- [d_{min}] :最接近距離

 Frequency distribution of annual maximum gradient wind speed based on measurement and simulation (観測 値と仮想台風による上空風の年最大風速)



上記の解析結果表示画面「(3)、(4)」は、グラフおよび表をマウス左ボタンでダブルクリックすると、選択位置の グラフおよび表が別ウィンドウで表示されます。

例:(4)の[Central pressure difference ΔP]のグラフをマウス左ボタンでダブルクリックすると、下図が表示されます。



さらに、ツールバー 🛄 隆 🛃 🖴 🖗 🕐 - の 눰 ボタンをクリックすると、選択されているビューの内容をクリ ックボードへコピーできます。

(4) Estimated topographic multiplier

風向特性を考慮した地形による平均風速の割り増し係数の算定結果を表示します。

9	Estimat	ase1]				
← -	→					
No.	Site	EtV	EtV(∂d)	EtS(∂d)	EtI(∂d)	θd

[No] :風車建設地点 No

[Site] :風車建設地点名称

[Etv(θa)] :風向特性を考慮した地形による風速の割り増し係数

[Ets(θd)] : 地形による変動風速の補正係数

[EtI(θd)] : 地形による乱流強度の補正係数

[θd] : 照査対象風向(度、北から時計回りの角度)

← → : 登録地点が1ページに表示されない時に前後ページの選択を行います。

3-3-5. [Tool]メニュー

台風データベース、風車建設地点および風速比の設定に関するメニューです。

0	tutorial_typhoon.mty - MASC	OT Typhoon(Ligh
File Edit Run View	Tool Window Help	
🗋 😂 🖬 🖓 🖗	Typhoon database	
Project View	Design site & Speed up ratio 🔸	Create
tutorial_typhoon[Pro	oject]	Edit

[Typhoon database...]

台風データベースに関する設定を行います。

Т	yphoon Da	itabase				×
C:¥Program Files (x86)¥M	MASCOT¥Typho	on¥TDB¥				
C All periods of data	Beginning :	1951	End :	2007		
• Arbitrary period	Beginning :	1961	End :	2007		
C:¥Users¥ ¥Documen*	ts¥MASCOT_Sar	mples¥Tuto	¥tutorial_196	51-2007.mtdb		
				Sav	/e Cance	el
	C:¥Program Files (x86)¥1 C All periods of data All All periods of data C:¥Users¥ ¥Documen	C:¥Program Files (x86)¥MASCOT¥Typho C: 4ll periods of data Beginning : All periods of data Beginning : Arbitrary period Beginning : C:¥Users¥ ¥Documents¥MASCOT_Sat	Typhoon Database C:#Program Files (x86)#MASCOT#Typhoon#TDB# C All periods of data Beginning : 1951 Image: All periods of data Beginning : 1951 Image: Arbitrary period Beginning : 1961 C:#Users# #Documents#MASCOT_Samples#Tuto	Typhoon Database C:#Program Files (x86)#MASCOT#Typhoon#TDB# C All periods of data Beginning : 1951 End : Arbitrary period Beginning : 1961 End : C:#Users# #Documents#MASCOT_Samples#Tuto#tutorial_196	Typhoon Database C:#Program Files (x86)#MASCOT#Typhoon#TDB# All periods of data Beginning : 1951 End : 2007 Arbitrary period Beginning : 1961 End : 2007 C:#Users¥ #Documents#MASCOT_Samples*Tuto¥tutorial_1961-2007.mtdb	Typhoon Database C:#Program Files (x86)#MASCOT#Typhoon#TDB# All periods of data Beginning : All periods of data Beginning : # Arbitrary period Beginning : Ig61 End : 2007 C:#Users* #Documents#MASCOT_Samples*Tuto#tutorial_1961-2007.mtdb Save Cancer

Database directory	: 台風データベースの保存されているフォルダを指定します。
	通常は、MASCOT Typhoon のインストールフォルダ内の[TDB]を指定します。
Period of extracted d	ata :解析に用いる台風データベースの期間を指定します。
	通常は、[Arbitrary periods]の 1961 年から 2007 年を選択します。
DB information file r	name :解析に用いる台風データベースの情報を保存するファイル名を指定します。
	台風データベース情報ファイルのデフォルトの保存先はプロジェクトフォルダ内の
	[Library]·[Typhoon_DB]です。
<save></save>	: 設定値の保存を行います。
<Cancel $>$: 設定値を破棄して前画面に戻ります。

(1) [Design site & Speed up ratio]-[Create...]

風車建設地点に関する設定を行います。



(A 画面)



MASCOT Project file : MASCOT Engineering のプロジェクトファイルを指定します。

事前に MASCOT Engineering で平均風速の地形による割増係数を算定しておく必要が あります。

Project tree : [MASCOT Project file]で指定した project tree が表示されます。

>> :[Project tree]で選択したプロジェクト情報を MASCOT Typhoon のプロジェクトにインポートします。

インポートされるプロジェクト情報は以下の5つです。

- Site
- $\boldsymbol{\cdot} \text{ Latitude}$
- $\cdot \text{ Longitude}$
- Height
- ・風向別の平均風速の地形による割増係数[ETv]
- ・風向別の風向偏角[Yew]
- ・風向別の変動風速の地形による補正係数[Ers]
- ・上記以外の風向別の情報についても保存されていますが、画面上では確認することはできません。確認が必要な場合は、MASCOT Engineering から確認してください。

Site information

Site list file

m :インポートした解析地点情報のリストが表示されます。

:解析地点毎の風速比等の情報を保存するファイル名を指定します。 解析地点毎の風速比情報ファイルのデフォルトの保存先はプロジェクトフォルダ内の [Library]-[WS_Ratio]です。

<View>:[Site information]で選択した解析地点の位置情報、風向別情報が表示されます(A画面 参照)。

<Save>:設定値の保存を行います。

<Cancel>:設定値を破棄して前画面に戻ります。

(2) [Design site & Speed up ratio]-[Edit...]

	Site list file	- Edit		×
Site list file tutorial_sitelist.min				-
Site information		Add	Edit	Delete
No. Site name	Latitude	Lo	ongitude	Height
1 Site	35° 40′ 4	1.87″ 14	40° 49′ 35.91″	100.0
<	View		Save	Cancel
(B画面)	sign site & Speed up	o ratio - Viev	N	
		F+V		
No. 1 Site Site Latitude 35° 40′ 41.87″ Longitude 140° 49′ 35.91″ Height 100.0	13 14 14 14 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16		・ ・ が が Nind Direction Deg.	t 2/0 8/0 340
	40. 4. 4. 2. 4. 2. 4. -4. -4. -4. -4. -4. -4. -4. -4. -4.	Ets	(唐) (南) Z Kind Direction (Dec)	t 25 26 26
-1000 - -15000 - -15000 -1000 -500 & 500	니. 니. 나. 요. 요. 		• • • • •	

<Add...>:解析地点の位置情報、風向別情報を登録します。

	Design site	& Speed	up ratio -	Add site	×
Site name					
Latitude	0	° 0		0.0	"
Longitude	0	• 0	,	0.0	"
Height	0.0	m		,	
Speed up r	atio			Edit	
No.	Direction	EtV	Yaw	EtS	_
1	0.000	1.000	0.000	1.000	
2	22.500	1.000	0.000	1.000	
3	45.000	1.000	0.000	1.000	
4	67.500 1.000 0.000		1.000		
5	90.000	1.000	0.000	1.000	
6	112.500	1.000	0.000	1.000	
7	135.000	1.000	0.000	1.000	
8	157.500	1.000	0.000	1.000	
9	180.000	1.000	0.000	1.000	
10	202.500	1.000	0.000	1.000	
11	225.000	1.000	0.000	1.000	
12	247.500	1.000	0.000	1.000	
13	270.000	1.000	0.000	1.000	
14	292.500	1.000	0.000	1.000	
15	315.000	1.000	0.000	1.000	
16	337.500	1.000	0.000	1.000	
			ОК	キャンセ	IL I

<Edit...>: 選択行の値を編集します。

Edit ratio
0.0
1.0
0.0
1.0
OK キャンセル

<Edit...>登録済みの解析地点の位置情報、風向別情報を編集します。

e name	Site						
titude	35		0	40	1	41.87	,
ngitude	140		0	49	_ ,	35.91	,
eight	100.0)	m				
eed up	ratio					Γ	<u>E</u> dit
No.	Direction	EtV	_	Yaw	EtS		<u> </u>
1	0.0	0.959		-0.352	1.0	59	
2	22.5	0.998		0.478	1.0	38	
3	45.0	0.998		1.071	1.0	38	
4	67.5	1.07		1.17	0.9	69	
5	90.0	1.06		0.939	0.9	59	
6	112.5	1.052		0.268	0.9	53	
7	135.0	1.049		-0.414	0.9	51	
8	157.5	1.05		-0.858	0.9	53	
9	180.0	1.062		-1.09	0.9	6	
10	202.5	1.057		-0.831	0.9	55	
11	225.0	1.061		-0.218	0.9	59	
12	247.5	1.034		-0.327	0.9	62	
13	270.0	1.013		-0.168	0.9	86	
14	292.5	0.908		-0.045	1.0	16	
15	315.0	0.866		-0.128	1.0	38	
16	337.5	0.898		-0.807	1.0	53	

< Edit...>: 選択行の値を編集します。

	Edit ratio
Direction	0.0
EtV	0.959
Yaw	-0.352
EtS	1.059
	OK キャンセル

<Delete>:設定値を破棄して前画面に戻ります。

<Save>:設定値の保存を行います。

<View>:[Site information]で選択した解析地点の位置情報、風向別情報が表示されます(B画面 参照)。

<Cancel>:設定値を破棄して前画面に戻ります。

3-3-6. [Window]メニュー

ビュー(子ウィンドウ)の表示/非表示、メインウィンドウへの配置に関するメニューです。

💿 tutorial_t	yphoon.mty - MASCOT Typhoon(Light)
File Edit Run View Tool	Window Help
□ 🚔 🚽 🖶 🖨 🧔 Project View 🛛 🗜	Cascade Tile Horizontal
□- tutorial_typhoon[Project] □- [EtV] □- case1	Arrange Icons Hereine Cons Hereine Cons Hereine Cons Hereine Cons

[Cascade]

複数のウィンドウを少しずつずらしながら重ねて表示します。

[Tile Horizontal]

複数のウィンドウを各ウィンドウが重ならないようにタイル状に並べて表示します。

[Arrange Icons]

ビューを最小化しメインウィンドウの左下から並べます。

[Windows...]

表示されたビューを操作します。

3-3-7. [Help]メニュー

MASCOT Typhoon についての情報、ユーザーズ・マニュアルの表示などのメニューです。



[Users Manual...]

ユーザーズ・マニュアルを表示します (PDF 形式)。



[MASCOT Web Site...]

MASCOT のホームページを表示します。



[About MASCOT Typhoon...]

MASCOT Typhoon のバージョン情報を表示します。(ツールバー 🕜)



第4章 Modelling (理論)

本章では、MASCOT Typhoon(Light)の理論について説明します。

第4章]	Modelling (理論)	4-1
4-1. 7	台風シミュレーション手法の流れ	4-2
4-2. 7	台風データベースの概要	4-3
4-3. 7	台風パラメータの確率分布の推定	4-4
4-4. 7	台風の発生	4 - 6
4-5.	上空風の推定	4-8
4-6	ー様粗度上の風向・風速の算定	4-9
4-7. 🗧	実地形上の風向・風速の算定4	-10
4-8. 7	台風シミュレーションによる平均風速の地形による割増係数の評価4	-12

4-1. 台風シミュレーション手法の流れ

図 - 4.1 には台風シミュレーション手法の流れを示します。はじめに過去の台風観測データベースより、台風の気圧 場を表す5つのパラメータである中心気圧低下量 ΔP 、最大旋衡風速半径 R_m 、進行速度C、進行方向 θ 、最接近距離 d_{min} および台風の年発生数 λ に対してモデル化をして確率分布を求めます。次に、台風の気圧場パラメータおよび台風の年 発生数 λ の確率分布に従い、人工的に台風の気圧場を発生させます。そして、発生させた台風の気圧場から上空風を求 め、強風の鉛直分布特性を考慮して一様粗度上の風速を算定します。さらに、別途気流シミュレーションより求めた風向 別風速割増係数により地表面の粗度や地形の効果を考慮した地上風を算出します。最後に、台風シミュレーションにより 求めた 10 分平均風速および風向を算出し、年最大風速と風向を抽出すると共に、空間の風向特性を考慮した地形による 平均風速の割増係数を評価します。



図 - 4.1 台風シミュレーションのフロー

4-2. 台風データベースの概要

台風データベースは表 - 4.1 に示す観測資料を基に作成した。台風データベースに記述されている値は台風番号、最接近時の月日時、緯度、経度のほか、台風の気圧場を表すパラメータである中心気圧低下量 ΔP 、最大旋衡風速半径 R_m 、進行速度C、進行方向 θ 、最接近距離 d_{min} 等が記述されています。

	期間	時間間隔	気圧精度	шт	
	(year)	(hour)	(hPa)	山央	
ム風怒敗データ	1951-1990	6	5	与免亡	
	1991-2008	$3 \sim 6$	Ð	×(家)]	
海西気圧データ	1961-1990	3	0.1	与免亡	
一番曲メルエノーク	1991-2008	1	0.1	×(家/)	
王复网	1951-1995	12	5	与争户	
大気凶	1996-2008	6	5	风家门	

表 - 4.1 台風に関する観測資料

台風データベースから最接近パラメータ抽出対象となった台風の実台風パスの例を下図に示します。



4-3. 台風パラメータの確率分布の推定

本節では、モンテカルロ法により人工的に台風を発生させる際に基となる、台風の気圧場を表す台風パラメータおよび台風の年発生数の確率分布の推定方法について述べます。

まず、気象台における過去に観測された台風時の気圧場より、対象地点から半径 500km 以内の地点を通過し、 中心気圧が 985hPa 以下となった台風を台風の気圧場を表す 5 つの台風パラメータ、中心気圧低下量 ΔP 、最大旋 衡風速半径 R_m 、進行速度 C、進行方向 θ 、最接近距離 d_{\min} および台風の年発生数 λ により表す。台風の年発生数 λ はポアソン分布関数、最接近距離 d_{\min} は二次関数、進行方向 θ は正規分布関数でモデル化し、中心気圧低下量 ΔP 、最大旋衡風速半径 R_m 、進行速度 C は石原ら ¹によって提案された対数正規分布とワイブル分布に基づく混 合確率分布関数 MPDF (Mixed Probabilistic Distribution Function) によりモデル化します (表 - 4.2)。ここで、 混合確率分布関数の右辺第一項は対数正規分布関数、右辺第二項はワイブル分布関数を表す。それぞれの関数のパ ラメータは、 μ は平均値、 σ は標準偏差、k は形状係数、c は尺度係数、a は混合係数、z は近似係数、r は限界 距離、 λ_m は平均年発生回数、x は年間発生数である。図 - 4.2 には銚子気象台における各台風パラメータの確率 分布の推定結果を観測値とともに示します。なお、観測値は前出の表 - 4.1 に示した台風に関する観測資料を基 とした台風最接近時における値である。さらに、中心気圧低下量 ΔP 、最大旋衡風速半径 R_m については式(4.1)、 (4.2)により同定しました。

$$p(r) = p_{c} + \Delta p \exp\left(-\frac{R_{m}}{r}\right)$$

$$\Delta p = p_{\infty} - p_{c}$$

$$(4.1)$$

$$(4.2)$$

ここで、p(r)は半径rにおける気圧、 p_C は中心気圧、 Δp は中心気圧低下量、 R_m は最大旋衡風速半径、rは台風中心からの距離、 p_∞ は周辺気圧を示します。

表 -	4.2	台風ノ	ペラメー	−タの確率分布関数
-----	-----	-----	------	-----------

台風パラメータ		確率分布関数
中心気圧低下量ΔP		$E_{-}(x) = a \times \frac{1}{1 - e^{2} \exp \left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{2}\right)^{2}\right]}$
最大旋衡風速半径 R _m	混合確率分布 (MPDF)	$\begin{bmatrix} 1 & M(x) - u \\ \sqrt{2\pi\sigma} & \sigma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & \sigma \end{bmatrix}$ $+ (1 - a) \times \begin{bmatrix} k \\ x \end{bmatrix}^{k-1} \exp\left[-\begin{pmatrix} x \\ - \end{pmatrix}^{k}\right]$
進行速度 C		$+(1-u)\times\frac{-}{c}\left(\frac{-}{c}\right)$ exp $\left[-\left(\frac{-}{c}\right)\right]$
進行方向 <i>θ</i>	正規分布	$F_{S}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{2}\right]$
最接近距離 d_{\min}	二次関数	$d_{\min}(x) = zx^2 - (z - 2r)x - r$
台風の年発生数ん	ポアソン分布	$\lambda(x) = \frac{\lambda_m^{x} \exp(-\lambda_m)}{x!}$

本プログラム実行例

Typhoon parameter name		Analytical function nam	ne &	parameter	Value
		lognormal distribution	μ	Mean	1.5815
		Lognormal distribution		Standard deviation	0.1145
Central pressure difference	∆р	Waibull distribution	k	Shape parameter	4.1471
				Scale parameter	43.5089
		Mixed distribution	а	Mixing coefficient	1.0000
		Lamarmal distribution	CScale parameterdistributionaMixing coefficientmal distributionμMeanσStandard deviationI distributionkShape parameterdistributionaMixing coefficientmal distributionaMixing coefficientmal distributionaMixing coefficientμMeanσfistributionaMixing coefficientμMeanσfistributionβStandard deviationI distributionkShape parameterCScale parameter	2.1022	
Radius of maximum winds		Lognormal distribution -		Standard deviation	0.2473
	Rm	Weibull distribution -		Shape parameter	1.9107
				Scale parameter	165.0483
		Mixed distribution	а	Mixing coefficient	0.5180
		Lognormal distribution		Mean	1.6566
				Standard deviation	0.2231
Translation velocity	С			Shape parameter	2.4758
		merburn utstribution	С	Scale parameter	57.2998
		Mixed distribution	а	Mixing coefficient	0.0000
Approach direction	۵	Normal distribution	μ	Mean	143.4634
		NOTINAL UISTI IDULION	σ	Standard deviation	25.6469
Minimum approach distance	dmin	Polynomial	z	Model coefficient	-376.6546
	approach distance dmin Pol		r	Critical distance	500.0000
Annual occurrence rate	λ	Poisson distribution	λm	Mean	2.7447

4-4. 台風の発生

本節では前節の手法により推定した台風の気圧場を表す 5 つの台風パラメータおよび台風の年発生数の確率分布に基づきモンテカルロ法により人工的に擬似台風を発生させる方法について述べます。

台風パラメータの確率分布に基づきモンテカルロ法により人工的に擬似台風を発生させる際には、台風パラメータの 確率分布を正確に再現するだけでなく、パラメータ間の相関関係も忠実に再現する必要です。ここでは石原ら¹⁾によっ て提案された修正直交変換法 MOD(Modified Orthogonal Decomposition)を用います。この手法は以下の三つのステッ プからなります。

(1) 独立パラメータへの直交変換

まず相関をもつ台風パラメータを独立パラメータへの直交変換を行ないます。台風の気圧場を表すパラメータ、気圧低下量 ΔP 、最大旋衡風速半径 R_m 、進行速度 C、進行方向 θ 、最接近距離 d_{\min} から構成されるベクトルは次式により表します。

$$\left\{x_{i}\right\}^{T} = \left\{\ln\left(\Delta P\right), \quad \ln\left(R_{m}\right), \quad \ln\left(C\right), \quad \theta, \quad d_{\min}\right\}$$

$$(4.3)$$

台風パラメータ間の共分散行列を[S]とし、固有値 λ_k と固有ベクトル $\{\phi_k\}$ の関係は次式により表すことができます。

$$\left[S - \lambda_k E\right] \left\{\phi_k\right\} = 0 \tag{4.4}$$

独立パラメータ $\{z_i\}$ は相関をもつ台風パラメータ $\{x_i\}$ と固有ベクトルの行列 $[\phi]$ により次式から求めることができます。

$$\{z_i\} = [\phi]\{x_i\} \tag{4.5}$$

このように得られた独立パラメータ {z_i} は正規分布と一様分布に基づく混合確率分布関数により近似します。

(2) 相関の持つ台風パラメータへの逆変換

次に、独立パラメータ $\{z_i\}$ の確率分布に基づき、モンテカルロ法により発生した台風パラメータ $\{z_i\}$ に固有ベクトルの逆行列をかけて、相関の持つ台風パラメータ $\{x_i\}$ への逆変換を次式により行います。

 $\{x_i\} = [\phi]^{-1}\{z_i\}$ (4.6)

(3) 目標とした確率分布への修正

逆変換により求められた台風パラメータ $\{x_i\}$ を台風パラメータの目標確率分布と完全に一致させるために、台風パラ メータ $\{x_i\}$ と目標確率分布により発生した台風パラメータ $\{z_i\}$ をそれぞれ昇順に並べ、目標確率モデルにより発生した 台風パラメータ $\{z_i\}$ の値に合うように逆変換された台風パラメータ $\{x_i\}$ の値を修正します。このように修正された台風 パラメータ $\{x_i\}$ は台風パラメータの組みを変えないため、目標確率分布と一致するとともに、相関関係も満足していま す。

表 - 4.3 に示した修正直行変換法により求めた相関関係は、台風の観測データにより求めた相関関係を精度よく再現しており、図 - 4.2 に示したように目標とした確率分布とも一致しています。

	Corr	elation coe	efficient ba	ased on mea	surement	mo	Correlati dified orth	on coeffici nogonal dec	ent based o omposition (n method
	ln(∆P)	In(Rm)	ln(C)	θ	dmin	In(∆P)	ln(Rm)	ln(C)	θ	dmin
$n(\Delta P)$	1.000		0		3	1.000	3		3	
n(Rm)	-0.378	1.000				-0.359	1.000			
n(C)	-0.016	0.415	1.000		3	0.015	0.376	1.000	3	
θ	-0.013	-0.062	-0.300	1.000		-0.016	-0.056	-0.266	1.000	
Imin	0.253	-0.291	-0.284	-0.357	1.000	0.240	-0.282	-0.268	-0.354	1.000

表 - 4.3 台風パラメータの相関関係の例



a) 中心気圧低下量 ΔP



c)進行速度C





d)進行方向 θ



f) 年発生頻度λ

図 - 4.2 台風パラメータ、修正直行変換法による台風パラメータの確率分布の例

4-5. 上空風の推定

本節では、前節で人工的に発生させた5つの台風パラメータにより上空風を推定する手法について述べます。

上空風の推定は石原ら²⁾ によって提案された台風モデルを用いて算出します。この手法では上空風は台風時の気圧 分布を Schloemer の式(式(4.7))で表し、傾度風平衡に基づいて式(4.8)から算出します。上空風は周方向成分 $v_{\theta g}$ の みを持つと仮定し、式(4.9)に示すように半径方向成分 v_{rg} の風速は0としました。

$$p(r) = p_C + \Delta p \exp\left(-\frac{R_m}{r}\right)$$
(4.7)

$$v_{\theta g} = \frac{c_{\theta} - fr}{2} + \sqrt{\left(\frac{c_{\theta} - fr}{2}\right)^2 + \frac{r}{\rho}\frac{\partial p}{\partial r}}$$
(4.8)

$$v_{r_{0}} = 0$$

(4.9)

ここで、p(r)は半径rにおける気圧、 p_c は中心気圧、 Δp は中心気圧低下量、 R_m は最大旋衡風速半径、rは台 風中心からの距離を示す。 $v_{\theta g}$ は傾度風の円周方向成分、 v_{rg} は傾度風の半径方向成分、 c_{θ} は台風移動速度の周方向 成分、fはコリオリパラメータ、 ρ は密度です。

図 - 4.3 には台風モデルにより推定した 1 万年間の個々の台風の 10 分平均風速の時系列データより、1 年毎に 年最大風速を抽出して年最大風速の非超過確率分布を算定し、観測値とともにプロットしました。推定された年最大風 速は観測値と一致していることから、本手法により推定した台風パラメータが精度よく観測値を再現していることが 分かります。



図 - 4.3 上空風の年最大風速の例

4-6. 一様粗度上の風向・風速の算定

本節では、前節で推定した上空風から台風時の強風特性を考慮した平坦地形の一様粗度上の風向・風速を算定する手法について述べます。

ー様粗度上の風向・風速の算定は石原ら²⁰により提案された強風の鉛直分布特性により算定しました。台風時の 大気境界層内の風速分布 $u_{T,F}(z)$ と風向分布 $\theta_{T,F}(z)$ は次式により求めます。

$$u_{T,F}(H_h,t) = u_g \left(H_h/z_g\right)^{\alpha_u} , \quad u_g = \sqrt{v_{\theta g}^2 + v_{rg}^2}$$
(4.10)

$$\theta_{T,F}(H_h,t) = \theta_g + \theta_s \left(1.0 - 0.4 \left(H_h / z_g \right) \right)^{1.1} , \quad \theta_g = 0$$
(4.11)

ここで、 $u_g \ge \theta_g$ は傾度風速と風向を表し、台風の移動とともに変化している。 H_h はハブ高さ、 z_g は傾度風高さ、 α_u は風速の鉛直分布を表すべき指数、 θ_s は傾度風高さと地表面における風向偏角です。これらのパラメータは地 表面粗度長 z_0 、絶対渦度 f_λ 、渦度の非一様性を表すパラメータ ξ 修正地表ロスビー数 $R_{o\lambda}$ を用いて以下のように 求めることができます。

$$\alpha_{u} = 0.27 + 0.09 \log z_{0} + 0.018 (\log z_{0})^{2} + 0.0016 (\log z_{0})^{3}$$
(4.12)

$$z_{g} = 0.06 \frac{v_{\theta g}}{f_{\lambda}} \left(\log R_{O\lambda} \right)^{-1.45}$$
(4.13)

$$\theta_{S} = (69 + 100\xi) (\log R_{O\lambda})^{-1.13} \tag{4.14}$$

$$R_{O\lambda} = \frac{v_{\theta_g}}{f_\lambda z_0} \tag{4.15}$$

$$f_{\lambda} = \left(\frac{\partial v_{\theta g}}{\partial r} + \frac{v_{\theta g}}{r} + f\right)^{0.5} \left(2\frac{v_{\theta g}}{r} + f\right)^{0.5} \tag{4.16}$$

$$\xi = \left(2\frac{v_{\theta g}}{r} + f\right)^{0.5} \left/ \left(\frac{\partial v_{\theta g}}{\partial r} + \frac{v_{\theta g}}{r} + f\right)^{0.5}$$
(4.17)

(4.19)

4-7. 実地形上の風向・風速の算定

本節では、気流解析によって、台風シミュレーションより推定した平坦地形の一様粗度上の風向・風速を実地形上の風向・風速へと変換する手法について述べます。

風向・風速を変換するための風向偏角と風速比を求めるため、非線形風況予測モデル MASCOT を用いて実地形上の 気流と平坦地形上の気流を解析します。実地形上の気流解析(図 - 4.4 a))では、建設地周辺の地形および土地利用 を可能な限り詳細に再現し、風向別に 16 風向の解析を行います。この結果、流入風速・風向に対して、対象地点にお ける風速・風向が求まる。流入風向風速(それぞれ θ_I 、 u_I)と建設対象地点における風向風速(それぞれ θ_R 、 u_R) の差および比を、風向偏差 D_{IR} および風速比 C_{IR} として風向別に求める(式(4.18)(4.19))。ここで D_{IR} および C_{IR} は、流 入風向 θ_I の関数として示しています。

$$C_{IR}(\theta_I) = u_R / u_I \tag{4.18}$$

$$D_{IR}(\theta_I) = \theta_R - \theta_I$$



図 - 4.4 実地形上と平坦地形上における気流解析の模式図

平坦地形上の気流解析(図 - 4.4 b))ついても同様に気流解析を行い、風上側境界における流入風速 u_I と建設 対象地点における風速 u_F の比を風速比 C_{IF} として算出する。平坦地形上の気流解析の際、建設対象地点を解析中心 付近で十分に広い解析領域を設定した場合には対象地点における風速 u_F は流入風向に依存せず一定であるため、 C_{IF} は流入風向 θ_I の関数とはなりません(式(4.20))。

平坦地形上の気流解析では建設対象地点における風向 θ_F は、風上側境界における流入風向 θ_I と同じです(式 (4.21))。

$$C_{IF} = u_F / u_I \tag{4.20}$$

$$\theta_F = \theta_I \tag{4.21}$$

式(4.18)および式(4.20)から u, を消去し変形すると式(4.22)となります。

$$u_R = \frac{C_{IR}(\theta_I)}{C_{IF}} \times u_F \tag{4.22}$$

また、式(4.21)を式(4.19)(4.22)に代入すると式(4.23)(4.24)を得ます。

$$u_R = \frac{C_{IR}(\theta_F)}{C_{IF}} \times u_F \tag{4.23}$$

$$\theta_R = D_{IR}(\theta_F) + \theta_F \tag{4.24}$$

式(4.23)(4.24)は、2 ケースの気流解析により評価した風向偏差 (D_{IR})および風速比 (C_{IR}/C_{IF})を用いれば、 平坦地上における風向風速(それぞれ θ_F 、 u_F)を、実地形上の風向風速(それぞれ θ_R 、 u_R)に変換できること から、風向偏差 (D_{IR})と風速比 (C_{IR}/C_{IF})を式(4.25)(4.26)のように表すことができます。

$$C_{FR}(\theta_F) = \frac{C_{IR}(\theta_F)}{C_{IF}}$$
(4.25)

$$D_{FR}(\theta_F) = D_{IR}(\theta_F) \tag{4.26}$$

図 - 4.5 には本手法により求めた平坦地形上と実地形上における風速比および風向偏角の風向変化図を示します。



図 - 4.5 気流解析からより求めた風速比および風向偏角の風向変化

また、式(4.25)(4.26)を式(4.23)(4.24)に代入すると式(4.27)(4.28)を得る。

$$u_R = C_{FR}(\theta_F) \times u_F \tag{4.27}$$

$$\theta_R = D_{FR}(\theta_F) + \theta_F \tag{4.28}$$

風向偏差 (D_{FR}) および風速比 (C_{FR}) は、平坦地上における風向 θ_F (=流入風向 θ_I) に関して 16 個 (16 風 向) の離散的な変数として評価しました。また、台風モデルによって得られた平坦地上の風向風速を、実地形上の 風向風速に変換するには、台風モデルによって得られた風向を 16 風向に分類し、該当する風向の風向偏差 (D_{FR}) および風速比 (C_{FR}) を利用します。

式(4.27)(4.28)の全ての変数にハブ高さおよび時系列データの関数あることを示す H_h およびtと、台風を表す添え字Tを付加すると次式のように表すことができます。

$$u_{T,R}(H_{h},t) = C_{FR}(\theta_{T,F}(H_{h},t))u_{T,F}(H_{h},t)$$
(4.29)

$$\theta_{T,R}(H_h,t) = D_{FR}(\theta_{T,F}(H_h,t)) + \theta_{T,F}(H_h,t)$$
(4.30)

4-8. 台風シミュレーションによる平均風速の地形による割増係数の評価

建築基準法により定められた基準風速 V_0 が存在する建設対象地点では、設計風速を評価する場合に地形による 平均風速の割増係数を算定する必要があります。本節では台風シミュレーションを利用した地形による平均風速 の割増係数の算定方法ならびに設計風速評価方法について述べます。

(1) 台風の風向特性を考慮した地形による平均風速の割増係数の算定

建築基準法により定められた基準風速 V_0 を用いて設計風速を評価する場合には、地形による平均風速の割増係数を算定する必要があります。従来の気流解析による地形効果のみを考慮する方法は、風向別の地形による平均風速の割増係数の最大値を設計に用いる割増係数として用います。この方法は強風の風向特性との関係を考慮していないため、本項で述べる強風の風向特性を考慮する手法と比較して常に安全側の評価となり、時に過大評価となる問題があります。強風の出現頻度は風向によって異なるため、風向別の地形による平均風速の割増係数の最大値を設計に用いることは必ずしも合理的ではありません。

これらの問題を解決するため、菊池・石原³⁰によって提案された地形による平均風速の割増係数算定手法を用います。

図 - 4.6 には台風シミュレーションより求めた風車建設地点におけるハブ高さでの平坦地形上(点線)および 実地形上(実線)の年最大風速の非超過確率分布を示します。

地形による平均風速の割増係数 $E_{tv}(H_h)$ は実地形上における 50年再現期待値 $U_{50}(H_h)$ と平坦地形上における 50年再現期待値 $U_{50F}(H_h)$ の比として式(4.31)により求めることができます。なお、地形による平均風速の割増係数は1以下の場合に1とします。

$$E_{tV}(\theta_d) = \max\left[U_{50}(H_h)/U_{50F}(H_h), 1.0\right]$$
(4.31)

ここで、 θ_d は $U_{50}(H_h)$ に対応する風向である。また、地形による変動風速の補正係数は式(4.32)により求めます。

$$E_{ts}(\theta_d) = \sigma_{50}(H_h) / \sigma_{50F}(H_h)$$
(4.32)

 $\sigma_{50}(H_h)$ は照査対象風向 θ_d における実地形上の風車ハブ高さの風方向の変動風速の標準偏差、 $\sigma_{50F}(H_h)$ は平 坦地形上の風車ハブ高さにおける風方向の変動風速の標準偏差です。

さらに、地形による乱れ強度の補正係数 $E_{d}(\theta_{d})$ は地形による変動風速の補正係数 $E_{s}(\theta_{d})$ と地形による平均風 速の割増係数 $E_{tv}(\theta_{d})$ の比として式(4.33)により求めます。なお、地形による乱れ強度の補正係数 $E_{d}(\theta_{d})$ は1以 下の場合に1とします。

$$E_{tl}(\theta_d) = \max\left[E_{tS}(\theta_d)/E_{tV}(\theta_d), 1.0\right]$$
(4.33)

照査対象風向 θ_d は再現期待値 ± 0.5 m/sの風速範囲における平均風向を求め、照査対象風向とします 5 。



図 - 4.6 平坦地形と実地形上の台風による年最大風速の非超過確率分布の例

(2) 設計風速の評価

ハブ高さにおける地形による平均風速の割増係数 $E_{tv}(H_h)$ と平坦とみなせる地点における平均風速の高度補正係数 E_{pv} を基準風速 V_0 に乗じて、建設対象地点のハブ高さにおける設計風速 U_h を式(4.35)により求めます。

$$U_h = E_{tV}(\theta_d) \cdot E_{pV} \cdot V_0 \tag{4.35}$$

ここで、平坦とみなせる地点における平均風速の高度補正係数 E_{pv} は式(4.36)により求めます。

$$E_{pV} = \begin{cases} 1.7 \left(\frac{H_h}{Z_G}\right)^{\alpha} & Z_b < H_h \le Z_G \\ 1.7 \left(\frac{Z_b}{Z_G}\right)^{\alpha} & H_h \le Z_b \end{cases}$$

$$(4.36)$$

ここで、 H_h はハブ高さ(m)であり、 Z_b 、 Z_G 、 α は風速の鉛直分布を示すパラメータです。

(3) 乱れ強度の評価

ハブ高さにおける乱れ強度の風方向成分 I_{h1} の評価は、平坦とみなせる地点におけるハブ高さでの乱れ強度 I_p に地形による乱れ強度の補正係数 $E_{d}(\theta_d)$ を乗じたものとし、式(4.37)により求めます。

$$I_{h1} = E_{tI}(\theta_d) \cdot I_p \tag{4.37}$$

平坦とみなせる地点におけるハブ高さでの乱れ強度 I_pは式(4.38)により求めます。

$$I_{p} = \begin{cases} 0.1 \left(\frac{H_{h}}{Z_{G}}\right)^{-\alpha-0.05} & Z_{b} < H_{h} \leq Z_{G} \\ 0.1 \left(\frac{Z_{b}}{Z_{G}}\right)^{-\alpha-0.05} & H_{h} \leq Z_{b} \end{cases}$$

$$(4.38)$$

$$\Box \subset \mathcal{T}, \quad H_{h} \wr n \forall \exists t \in (\mathbf{m}) \forall b \in S_{h}, \quad Z_{G}, \quad \alpha \wr \exists \exists t \in S_{h} \land t \in S$$

第5章 Data Format (データフォーマット)

本章では、MASCOT Typhoon(Light)におけるデータフォーマットについて説明します。

第5章 Data Format(データフォーマット)	.5-1
5-1. MASCOT Typhoon(Light)ファイルフォーマット	.5-2
5-1-1. 台風データベース(y[<i>TYID</i>].txt)	5-2
5-1-2. 最接近台風パラメータファイル(y2out[<i>SID</i>])	.5-3
5-1-3. 分布関数および相関係数算定用の最接近台風パラメータファイル(correl[<i>SID</i>]*)	.5-4
5-1-4. 仮想台風における台風パラメータファイル(dprm[<i>SID</i>].txt)	5-5
5-1-5. 年別最大風速ファイル([<i>CaseName</i>]_result_ymxV.txt)	.5-6

5-1. MASCOT Typhoon (Light) ファイルフォーマット

本節では、Mascot Typhoon (Light) で扱うファイルのフォーマットについて解説します。

5-1-1. 台風データベース(y[*TYID*].txt)

台風データベースとして、台風毎の台風パラメータ時系列データを実装しています。

実装ファイルはバイナリ形式ですが、表・5.1に従ったフォーマットでテキスト形式ファイルを作成し、バイナリ形式と同階層に配置していただくことで、独自の台風パラメータを用いることができます。

▶ y7207.txt - メモ帳				
ファイル(E) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘ	ルプ(日)			
72,7,3169,7,5,21,7,27,217,5,21.0,9.00,150.00,1008.7,5,21.2,9.00,150.00,1008.7,5,21.3,9.00,150.00,1007.7,5,21.5,9.01,149.99,1007.7,5,21.7,9.01,149.99,1007.7,5,21.7,9.01,149.98,1007.7,5,22.0,9.02,149.98,1007.7,5,22.2,9.03,149.97,1007.7,5,22.2,9.03,149.97,1007.7,5,22.3,9.04,149.96,1007.7,5,22.5,9.05,149.95,1007.7,5,22.7,9.06,149.94,1007.7,5,23.0,9.08,149.91,1007.7,5,23.2,9.09,149.90,1007.7,5,23.3,9.10,149.88,1007.7,5,23.5,9.12,149.87,1007.7,5,23.7,9.13,149.85,1007.7,5,23.8,9.15,149.84,1007.7,5,23.8,9.15,149.84,1007.7,6,0.0,9.16,149.82,1007.	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	-1.00, -1.00,	0.00, 0.0 0.00, 0.0 3.12, 134.6 2.34, 134.6 3.19, 153.1 3.76, 134.6 4.56, 134.6 5.16, 134.6 5.63, 134.6 6.00, 134.6 6.00, 134.6 6.31, 134.6 7.01, 138.0 7.19, 137.6 7.73, 139.8 8.20, 136.9 8.61, 138.7 8.98, 136.5 9.30, 138.0	
 				>

図-5.1 y[TYID]の例

表-5.1 y[TYID]に記述される変数の一覧

行番号	列番号	変数名	説明	型
1	1	YY	台風発生年の西暦下2桁	整数
	2	ID	台風番号	整数
	3	Ν	データ数	整数
	4	SM	台風発生月	整数
	5	SD	台風発生日	整数
	6	SH	台風発生時間	整数
	7	EM	台風消滅月	整数
	8	ED	台風消滅日	整数
	9	EH	台風消滅時間	整数
2	1	MM	月	整数
	2	DD	日	整数
	3	НН	時間	実数
	4	CN	緯度(度、N:+、S:-)	実数
	5	CE	経度(度、E:+、W:-)	実数
	6	PC	中心気圧(hPs)	実数
	7	DP	気圧深度(hPs)	実数
	8	RM	最大旋衡風半径(Km)	実数
	9	С	最接近時進行速度(Km/h)	実数
	10	DIR	最接近時進行方向(度、3時から反時計回りの角度)	実数

5-1-2. 最接近台風パラメータファイル(y2out[SID])

台風データベースから抽出した最接近時における台風パラメータファイルです。図-5.2には最接近台風パラメータファイルの例 を示し、表-5.2には記述されている変数の一覧を示します。

▶ y2out[SID].txt - メモ帳			1 🔀
ファイル(E) 編集(E) 書式(Q) 表示(Y) ヘルプ(H)			
yyid,mm,dd,hh,cn,ce,pc,dp,rm,cc,dir,dx_min,ddp,drm,dcc, 43			
6 104, 5,27, 4.2, 23.46,121.38, 980.00, 52.78, 194.28, 25.57, 92.40,-422.76,-100.000,-100.000,	0.000,	42	=
6 108, 7,13, 9.0, 21.40,122.50, 985.00, -1.00, -1.00, 11.83, 142.90,-471.10,-100.000,-100.000,	0.000,	43	
6 113, 8, 7,14.7, 23.75,121.42, 979.63, -1.00, -1.00, 18.80, 102.60,-408.34,-100.000,-100.000,	0.000,	44	
6 116, 8,25, 2.2, 21.68,121.83, 950.00, 50.22, 69.71, 18.20, 132.10, -493.09, -100.000, -100.000,	0.000,	45	
6 118, 9,14,16.3, 24.85,128.80, 905.68, 108.49, 86.06, 28.04, 96.20, 355.99,-100.000,-100.000,	0.000,	46	
6 120, 9,11,16.8, 23.70,125.27, 912.77, 95.72, 41.84, 29.57, 179.80,-120.76,-100.000,-100.000,	0.000,	47	
6 122, 9,27,23.5, 21.66,125.46, 980.00, 33.28, 194.68, 34.29,-177.70,-347.14,-100.000, 0.000,	0.000,	48	
6 123,10, 3, 9.5, 26.51,125.61, 940.00, 74.46, 85.47, 16.77, 172.10, 193.37,-100.000, 0.000,	0.000,	49	
6203, 5,21, 1.8, 22.25,128.77, 980.89, -1.00, -1.00, 31.23, 55.10, 454.08,-100.000,-100.000,	0.000,	50	
6205, 7, 9,11.2, 25.49,126.48, 985.00, -1.00, -1.00, 24.87, 128.60, 143.78,-100.000,-100.000,	0.000,	51	
6206, 7,23, 5.2, 24.53,121.33, 977.17, 29.31, 133.75, 31.30, 93.10,-400.70,-100.000,-100.000,	0.000,	52	
6209, 7,31,21.8, 25.44,126.70, 969.88, 41.26, 176.42, 21.64, 126.10, 160.37,-100.000, 0.000,	0.000,	53	
6210, 8, 5,20.3, 23.46,122.38, 909.14, 100.75, 45.29, 25.81, 101.40,-329.41,-100.000,-100.000,	0.000,	54	
6213, 8,19, 3.7, 24.74,126.11, 975.30, -1.00, -1.00, 27.15, 86.40, 84.24,-100.000,-100.000,	0.000,	55	
6217, 9, 5, 4.7, 23.03,122.91, 940.00, 68.90, 77.71, 26.26, 128.70,-310.10,-100.000,-100.000,	0.000,	56	
6221,10, 2, 9.8, 20.69,125.60, 955.00, 57.29, 90.37, 24.26,-174.80,-455.22,-100.000, 0.000,	0.000,	57	
6228,11,15,14.8, 23.46,128.78, 934.56, 89.57, 101.26, 30.90, 76.60, 385.14,-100.000,-100.000,	0.000,	58	
6 304, 6,18, 8.7, 24.83,125.34, 960.00, 55.93, 85.35, 24.78, 113.30, 7.59,-100.000,-100.000,	0.000,	59	
6 307, 7,16, 5.0, 22.96,122.80, 936.71, 77.85, 57.58, 25.64, 127.00, -323.73, -100.000, 0.000,	0.000,	60	
6 314, 9,10,19.0, 24.19,124.83, 921.74, 90.19, 87.29, 16.54, 143.80, -80.56, 0.000, -100.000,	0.000,	61	~
			>
1行、1列			

図-5.2 y2out[SID]の例

行番号	列番号	変数名	説明	型
1	1~15		2 行目以降に記述される変数の説明	文字
	16	im	Rmとdrmの両方がエラーフラグではない台風数。両変数のエラーフラグはそれぞれ、[-1.0]と[-100.000]	整数
2	1	yyid	台風番号	整数
	2	mm	最接近月	整数
	3	dd	最接近日	実数
	4	hh	最接近時(hour)	実数
	5	cn	緯度(N:+、S:-)	実数
	6	ce	経度(E:+、W:-)	実数
	7	pc	最接近時中心気圧	実数
	8	dp	最接近時気圧深度	実数
	9	rm	最接近時最大旋衡風半径	実数
	10	сс	最接近時進行速度	実数
	11	dir	最接近時進行方向	実数
	12	dx_min	最接近距離	実数
	13	ddp	最接近時前後6時間のdp差チェック(1hPs以上はエラー[-100.0])	実数
	14	drm	最接近時前後6時間のrm差チェック(1km以上はエラー[-100.0])	実数
	15	dcc	最接近時前後6時間のcc差チェック(1m/s以上はエラー[-100.0])	実数
	16	Ν	台風数	整数

表-5.2 y2out[SID]に記述される変数の一覧

5-1-3. 分布関数および相関係数算定用の最接近台風パラメータファイル(correl[SID]*)

前出の最接近パラメータファイル (y2out[SID]) から台風パラメータを同定できた台風のみを抽出したファイルです。図-5.3には 分布関数および相関係数算定用の最接近台風パラメータファイルの例を示し、表-5.3には記述されている変数の一覧を示し ます。

👂 correl648.txt	- メモ帳			_ 🗆 🔀
ファイル(E) 編集(E)	書式(0) 表示(⊻) ヘル	プ(出)		
dp rm 1.809896231 1.627979994 1.728191376 1.566319585 1.547651649 1.430880904 1.638988137 1.669595718 1.669130802 1.591954589 1.587935328 1.649724126 1.586699843 1.658297658 1.465977311 1.509605765	cc dir 2.243236542 1.958802700 1.837525368 2.253895044 2.286927700 2.143451929 2.121986389 2.212533951 2.101781368 2.269839764 1.952598810 2.210826635 1.829946637 1.899601698 2.396687508 2.117470264	dk_min 1.985606074 1.769525051 1.243781924 1.661528707 1.946599603 1.954435468 1.887673497 1.914660454 2.023663998 1.800579667 1.112269759 1.629307628 1.393575191 1.166430116 1.784260631 1.941461682	$\begin{array}{rrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrrr$	
<				
				1行、1列

図-5.3 correl[SID].txtの例

行番号	列番号	変数名	説明	型
1	1~5		2 行目以降に記述される変数の説明	文字
2	1	dp	最接近パラメータ:log(dp)(hPs)	実数
	2	rm	最接近パラメータ:log(rm)(km)	実数
	3	сс	最接近パラメータ:log(cc)(m/s)	実数
	4	dir	最接近パラメータ:dir(度)	実数
	5	dmin	最接近パラメータ:dmin(km)	実数
3~	1~5	(dp,rm,cc,dir,dmin)	以降、台風判定された台風数分記述	実数

表-5.3 correl[SID].txt に記述される変数の一覧

5-1-4. 仮想台風における台風パラメータファイル(dprm[*SID*].txt)

最接近時の台風パラメータの確率分布に従い、モンテカルロシミュレーションにより人工的に発生させた台風パラメ ーラファイルです。図-5.4には仮想台風における台風パラメータファイルの例を示し、表-5.4には記述されている変数の一覧 を示します。

📕 dprma648.txt - メモ	帳				_ 🗆 🔀
ファイル(E) 編集(E) 書式	(O) 表示(Y) ヘルプ(H)			
1.447157979	2.452754259	1.685050011	1.481875300	-0.762599707	<u>^</u>
1.636887312	1.761244893	1.963505507	1.525303364	-1.019697309	
1.774634242	1.886928082	1.451792836	1.994878531	-0.415521562	
1.447157979	2.372326374	1.943839312	1.392047524	-0.280815959	
1.579796672	2.376841068	2.010619402	0.950777531	0.083365381	
1.657273769	2.352661133	1.913529515	1.663447022	-0.597893536	
1.479808807	2.248568535	1.686475396	1.305703878	0.514052629	
1.707171679	2.086342335	1.580178261	1.548241735	1.250000000	
1.519712329	2.156241655	1.430875897	1.407061696	-0.192691043	
1.644890785	1.865648985	2.242467403	1.587234974	-0.519675314	
1.539054036	2.103735447	1.108001471	1.679790854	0.285431862	
1.447157979	1.749854088	1.319089293	1.499390244	0.164460182	
1.773464799	2.184417486	1.897906899	1.767054796	-0.440407753	
1.675627112	2.434323788	1.807075739	1.432320595	0.474133551	
1.660994887	1.912610054	1.571809888	1.032834888	-0.272817552	
1 1 166752370	1 67/671222	1 6/7225219	1 222595529	-0 218206229	

図-5.4 dprma[SID].txtの例

表- 5.4	dprma[SID	.txt に記述さ	れる変数の一覧
--------	-----------	-----------	---------

行番号	列番号	変数名	説明	型
1	1	dp	最接近パラメータ:log(dp)(hPs)	実数
	2	rm	最接近パラメータ:log(rm)(km)	実数
	3	сс	最接近パラメータ:log(cc) (m/s)	実数
	4	dir	最接近パラメータ:dir/100(度)	実数
	5	dmin	最接近パラメータ:dmin/400(km)	実数
$2\sim$	1~5	(dp,rm,cc,dir,dmin)	以降、人工的に発生した擬似台風数分記述	実数

5-1-5. 年別最大風速ファイル([CaseName]_result_ymxV.txt)

台風モデルにより算定した風速の時系列より抽出した年最大の上空風および地上風データファイルです。図-5.5には年 最大風速ファイルの例を示し、表-5.5には記述されている変数の一覧を示します。

🔀 Е:¥	typhoon_n	¥part5¥calu	s¥020_666¥	090907_01_	666_Ш_12_	3m_P10¥us6	66_ Ⅲ_12 _	3m_r0140_P	10_ymxV.t	xt - WZ PR	ROGRAM ED	ITOR		
771N(E) 編集(E)	検索(<u>S</u>) 表示	示(⊻) 挿入(])	書式(0) ツ	トル(エ) ウィント	")(₩) ∿⊮ጋ"[Ð							
D 🖻	F 🖬 🎒	X 🖻 🛍 🗠) 🗠 🔍 📔		- ↓	1								
	1	10 : 20) : 30	+ 40	: 50	60	1 70	- 80	: \$0	100	110	120	⊢ 130D	1
1	y m x	g ymxgdir	ymxgAve ;	/mxgAve_d	УМХ	ymxdir	ymxAve	ymxAvedir	con_ymx	conymxdir	conymxAve (conymxA_d	Peak↓	~
2	18.8	2 211.16	23.68	213.46	8.76	184.52	10.83	186.96	11.29	194.82	14.33	206.77	20.24↓	-
3	40.5	8 142.45	55.81	154.72	20.67	112.57	28.42	125.85	27.83	96.46	35.88	125.85	50.68↓	
4	24.9	8 162.07	31.13	26.25	12.86	131.53	15.28	359.32	16.00	128.97	18.04	121.58	25.48↓	
5	36.0	7 193.01	48.74	200.94	16.55	165.23	22.19	173.75	20.03	178.28	27.05	173.75	38.21↓	
6	45.5	3 177.48	53.09	185.83	22.19	149.15	25.83	157.80	26.65	136.77	30.49	141.10	43.06↓	
7	23.5	6 42.14	31.96	5.49	11.28	15.71	14.60	339.12	12.58	67.19	14.97	67.27	21.15↓	
8	38.9	9 255.23	52.25	272.40	20.94	225.66	27.87	243.38	31.63	228.59	42.30	243.38	59.75↓	
9	21.6	2 33.85	26.55	12.48	10.70	4.88	12.97	16.32	9.65	68.00	11.60	77.25	16.39↓	
10	11.6	4 61.98	14.03	61.08	5.64	36.19	6.65	35.34	6.74	64.66	7.42	54.68	10.49↓	
11	14.2	8 78.83	17.24	75.74	7.03	49.87	8.41	47.21	9.60	67.94	10.48	70.96	14.80↓	
12	35.4	1 225.22	43.36	198.85	16.27	198.02	20.49	59.29	22.37	216.75	26.63	214.49	37.61↓	
13	25.4	7 176.35	35.51	185.75	12.24	146.01	17.06	156.97	14.85	134.85	19.48	156.97	27.51↓	
14	8.8	6 20.36	11.53	33.66	4.50	352.98	5.70	6.65	2.89	337.69	3.36	336.97	4.75↓	
15	1 19.9	7 30.99	25.25	29.19	9.27	4.36	11.53	2.71	7.53	50.21	7.84	44.13	11.08↓	
														>
1,131		挿入												11

図-5.5 年別最大風速ファイルの例

表-5.5 年別最大風速ファイルに記述される変数の一覧

行番号	列番号	変数名	説明	型
1	1~13		2 行目以降に記述される変数の説明	文字
2	1	ymxg	傾度風風速(m/s)	実数
	2	ymxgdir	傾度風風向(度)	実数
	3	ymxgAve	平均化時間補正後傾度風風速(m/s)[現在の版では ymxg と同値]	実数
	4	ymxgAve_d	平均化時間補正後傾度風風向(度)[現在の版では ymxg と同値]	実数
	5	ymx	平坦地形上風速(m/s)	実数
	6	ymxdir	平坦地形上風向(度)	実数
	7	ymxAve	平均化時間補正後平坦地形上風速(m/s)	実数
	8	ymxAvedir	平均化時間補正後平坦地形上風向(度)	実数
	9	con_ymx	実地形上風速(m/s)	実数
	10	conymxdir	実地形上風向(度)	実数
	11	conymxAve	平均化時間補正後実地形上風速(m/s)	実数
	12	conymxA_d	平均化時間補正後実地形上風向(度)	実数
	13	Peak	瞬間最大風速[conymxAve×sqrt (Gf)] (m/s)	実数
3	1~13		以降、2 行目と同様に各年の年最大風速に関する変数が記述	

- 1) 孟岩、松井正宏、日比一喜、中立時の大気境界層における強風の鉛直分布特性 その2 台風時の強風、日本風工学 会誌、第66号、 平成8年1月
- 2) 石原孟、ホタイホム、チョンチーリョン、藤野陽三、台風シミュレーションのための混合確立分布関数と修正直交変 換法の提案、 第18回 風工学シンポジウム (2004)
- 3) 菊地由佳、石原孟、台風時の風向特性と複雑地形の増速特性を考慮した風速割増係数の評価手法の提案、 第21回 風工学シンポジウム (2010)
- 4) 石原孟、榎木康太、高原景滋、荒川洋、気流解析と台風シミュレーションに基づく配電設備のリスクマネジメント、
 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol.67,No.2,360-373,2011.
- 5) 石原孟、山口敦:モンテカルロシミュレーションと MCP 法を用いた混合気候における極値風速の予測、日本風工学 論文集、2012.(投稿中)
J. of Wind Engineering No. 66 January 1996

望刻論 文 望刻

中立時の大気境界層における強風の鉛直分布特性

その2 台風時の強風

Characteristics of the vertical wind profile in neutrally atmospheric boundary layers

Part 2: Strong winds during typhoon climates

孟 岩^{*1} 松井正宏^{*2} 日比一喜^{*3} Yan MENG, Masahiro MATSUI, Kazuki HIBI

風工学会誌 平成8年1月

SUMMARY

The wind field in a typhoon boundary layer (TBL) has been investigated by a numerical model. The results show that vertical profiles of wind speed and turbulence intensity in the TEL can be satisfactorily expressed by conventional power law expressions. Basic parameters in the expressions, with the exception of the gradient height z_g , can also be predicted by formulas proposed in Part 1 of this paper. To describe characteristics of the TBL, two new parameters have been suggested : one is a dimensional parameter, f_{λ} , representing the absolute vorticity in the wind field, and the other is a non-dimensional parameter, ξ , characterizing heterogeneity of vorticity in the radial direction of typhoon. Substituting Coriolis parameter f with the parameter f_{λ} , the gradient height z_g during typhoons can be presented by the same formula as that during non-typhoon climates. The characteristics of the drag coefficient C_g (= u_*/U_g) and the surface stress angle γ_s in the TBL are also examined using the present numerical model. The results indicate that C_g and γ_s are a function of a modified surface Rossby numeber $R_{\alpha\lambda}(=U_g/(f_\lambda z_0))$ and the parameter ξ .

1. はじめに

台風時の平均風速とその乱れの強さの鉛直分布を精度 よく求めることは耐風設計上重要である。特に,日本は 台風の進路にあるため,多くの都市と地域の年最大風速 が台風(typhoon)によってもたらされている。しか し、現在風工学の分野で提案された平均風速及び乱れの 強さの鉛直分布を求めるためのモデルは、非台風時の強 風の観測データに基づいて作られたもので、台風時の強

*1 清水建設(株)技術研究所 研究員 工博

Researcher, DR. ENG., Institute of Technology, SHIMIZU CORPORATION. * 2 消水建設(株)技術研究所 研究員

- Researcher, Institute of Technology, SHIMIZU CORPORATION. * 3 清水建設(株)技術研究所 主席研究員 工博
- Chief, Researcher, DR. ENG., Institute of Technology, SHIMIZU CORPORATION. (原稿受理:平成7年9月6日)

-- 3 ---

風場の予測に適用できるかどうかは不明である。

台風に伴う強風場は、非台風時の強風場に比べ、その 水平スケール(300~500km)が小さく,また,発生頻 度も低い。そのために、台風時の境界層高さまでの平均 風速及びその乱れの強さの鉛直分布が観測された例は 極めて少ない。これまでのところ、 台風時の高高度での 平均風速に関しては、Choi (1983)¹⁾の研究論文がある のみである。この論文の中では、 ラジオ・ゾンデにより 得られた9つの台風の平均風速の鉛直分布が示された。 個々の台風をみると、傾度風高さ2aの値は大きく異なっ ており、300mとなっているケースもある。しかし、観 測時の上空風速U。が25m/sを超えていることを考え ると、 $z_a = 300m$ という傾度風高さの値はかなり低く、 非台風時の予測式2)により求めた値の数分の1となって いる。台風時の傾度風高さがMonsoon時の値より低く なることは、Choi¹¹により指摘されたが、その理由につ いては明らかにされていない。

高高度での台風観測に比べ、地表面付近での台風観測 は、比較的多く行われてきた^{3)~7)}。その中で、香港島の Cape D'Aguilar での観測においては、Monsoon時の 強風観測も行ったため、台風時と非台風時の強風の性質 についての比較が行われた。その結果, 台風時の平均風 速のべき指数と乱れの強さは、Monsoon時の値よりそ れぞれ50%と75%大きくなっていると報告された4。 Cape D'Aguilar での観測地点においては、南と東側が 太平洋に面しているが、その北西側1km離れたところ に300mを超える山 (D'Aguilar Peakの高さは326m である)が存在する。風速記録に基づき計算された台 風時の粗度長20の値は Monsoon 時の値よりはるかに 大きくなっている(2mを越えたケースもある)ことを 考えれば,そこでの台風時の強風記録には北西側の山の 影響が含まれている可能性が極めて大きい⁸⁾。一般に, 非台風時の強風には卓越風向が存在する (例えば,香港 では夏のMonsoonによる強風の風向は南よりである)。 一方, 台風による強風の風向は, 台風の通過に伴い大き く変化し、強風は全方位から吹いてくる可能性がある。 従って、非台風時の強風の卓越風向以外の方向に大きな 地形(山、丘陵等)があれば、非台風時の強風に見られ ない大きなべき指数と乱れの強さが台風時に観測され る可能性がある。Cape D'Aguilarでの強風観測結果は、 台風と非台風時の強風場の違いを反映しているという より、地形の影響を表していると解釈した方が妥当であ る。

台風中心付近での強風の性質についても、これまでに

不明な点が残されている。台風中心の通過時の強風の 性質を詳細に調べた例としては、潮岬を通過した台風 T7220⁵⁾, 筑波を通過した台風 T8115⁶⁾及び長崎のHuis Ten Boschを通過した台風 T9119⁷⁾などに関する研究 が上げられる。筑波⁵⁾での観測結果によると、台風時の 強風の乱れの強さはほとんど変化せず、その値は非台風 時の強風の観測値ともほぼ一致する。一方、長崎のHuis Ten Boschの台風 T9119の観測⁷⁾では、乱れの強さの 値が台風の通過時に大きく変化するという結果が得ら れた。しかし、Huis Ten Boschでの観測記録には周辺 地形の影響が含まれていることは著者ら⁸⁾の最近の研究 により明らかにされている。

このように、台風の来襲頻度の低さと観測地点の周辺 の地形の影響を考えると、 台風時の強風の一般的な性質 を観測から明かにするのはかなり困難である。従って、 台風時の強風の性質を明かにするため、数値解析的な研 究手法が最も有効であると考える。そこで、本論文(そ の2)では、まず、台風時の大気境界層を記述できる数 値モデルを構築し、 台風時の大気境界層の特性を表す外 部パラメータを抽出する。そして、台風 T9119 をシミ ュレートすることにより、台風時の平均風速と乱れの強 さの鉛直分布の特性を明らかにすると共に、これまでに 観測から見られた台風時の強風場の特有な現象を説明 する。更に、台風と非台風時の強風場の比較を行うこと により、台風と非台風時の風速場の螺旋構造及びその乱 流特性の相違を明らかにすると共に、 台風を含む中立時 の大気境界層の抵抗則(抵抗係数 $C_g = u_*/U_g$ と表面剪 断応力角度 7_s)を表す一般式を提案する。

2. 台風時の大気境界層の数値モデル 2.1 数値モデル

強風時の大気境界層が中立であると仮定すれば、台風 に伴う強風場を、ナビエー・ストークス(N-S)方程式 で記述することができ、この方程式を数値的に直接解く ことにより、台風時の強風場が求められる。しかし、N-S 方程式を数値的に直接解くことは、膨大な計算時間を要 する上、台風時の大気境界層の性質を表すパラメーター を抽出しにくいという点もある。そこで、本研究では、 台風時の大気境界層を記述できる近似方程式を用いる。

これまで、著者らは台風に伴う強風場を求めるための 台風モデルを提案してきた⁹⁾。この台風モデルでは、台 風場を巨視的に取り扱うこととし、また、台風に伴う平 均風速īvを、鉛直方向の剪断力を無視できる自由大気中 の傾度風速(Gradient Wind) v。と地表面の摩擦によ

- 4 --

る成分 \overline{v} との和で表すことにより、N-S方程式を、傾度 風速 \overline{v}_{g} の方程式と、地表面の摩擦による成分 \overline{v} に関する 方程式に分けた。そして、これらの方程式の中の非定常 項に対するモデル化を行うことにより、台風時の大気境 界層を記述できる近似方程式を導出した。更に、これら の方程式に対する摂動解析を行い、傾度風速 \overline{v}_{g} と地表面 の摩擦による成分 \overline{v} に関する近似式が得られた。Fig. 1 は台風モデルの概要を示す。最終的に、傾度風速 \overline{v}_{g} に関 する式は

$$v_{\theta g} = \frac{c_{\theta} - fr}{2} + \sqrt{\left(\frac{c_{\theta} - fr}{2}\right)^2 + \frac{\gamma}{\rho}\frac{\partial p}{\partial r}}$$
(1)

 $v_{rg} = 0 \tag{2}$

となり, また, 地表面の摩擦による成分 v は近似式 (3), (4) により表される。

$$-\left(\frac{2^{\upsilon}_{\theta g}}{r}+f\right)\upsilon_{\theta}=\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{m}\frac{\partial \upsilon_{r}}{\partial z}\right)$$
(3)
$$\left(\frac{\partial \upsilon_{\theta g}}{\partial r}+\frac{\upsilon_{\theta g}}{r}+f\right)\upsilon_{r}=\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{m}\frac{\partial \upsilon_{\theta}}{\partial z}\right)$$
(4)

方程式(3),(4)の中の乱流拡散係K_mの値は一定と仮 定すれば,方程式の解が解析的に求められる。解析解に よる地表風の予測結果は台風時の風向,風速の観測記録 をよく再現することが確認されている⁹。しかし,この 解析解は平均風速を近似的に求めるためものであり,こ の解により台風時の強風場の乱流特性を論じることが できない。そこで,本論文では,Mellor and Yamada (1974)¹⁰により提案された乱流 closure model を用い て,式(3),(4)を数値的に解くことにした。乱流モデ ルと数値解析の方法についての詳しい説明は,本論文そ の1を参照されたい。



Fig. 1 台風モデルの概要

(Summary of a model for describing the wind field during a typhoon)

- 5 --



Fig. 2 本論文に用いた座標 (Coordinate system in this study)

式 (3), (4) についての境界条件は, 上空では *v*[']|_{z→∞} = 0 (5)



$$U = \frac{u_*}{\kappa} l n \frac{z}{z_0}$$

とする。ここで、 $U\left(=\sqrt{v_{0}^{2}+v_{0}^{2}}\right)$ は主流風速, κ は Karman 定数, z_{0} は地表面粗度である。Fig. 2は本論 文に用いた座標系を示す。 β は移動方向と座標軸 $r(\theta=0)$ との間の反時計回りを正にとる角度である。また、(1) 式の中の c_{θ} は台風の移動速度の θ 方向の成分で, $c_{\theta} = -c \sin(\theta-\beta)$ である。cは台風の移動速度を表す。 台風時の大気境界層の性質を吟味するために、ここで

$$f_{\lambda} = \left(\frac{\partial v_{\theta g}}{\partial r} + \frac{v_{\theta g}}{r} + f\right)^{1/2} \left(2\frac{v_{\theta g}}{r} + f\right)^{1/2} \tag{7}$$

$$\xi = \left(2\frac{v_{\theta g}}{r} + f\right)^{1/2} / \left(\frac{\partial v_{\theta g}}{\partial r} + \frac{v_{\theta g}}{r} + f\right)^{1/2}$$
(8)

とおくと, 方程式 (3), (4) を次のように書き直すこと ができる。



Fig. 3 f_{λ} とその台風半径方向の変化 (Variation of the parameters f_{λ} and ξ with radial distance r)

$$\xi f_{\lambda} v'_{\theta} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial v'_r}{\partial z} \right)$$
(9)

$$\frac{1}{\xi}f_{\lambda}v'_{r} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K_{m}\frac{\partial v_{\theta}}{\partial z}\right) \tag{10}$$

ここで、f₁は褐度の次元をもつパラメータで、f は褐度 の次元を持つ物理量の比からなる無次元パラメータで ある。この二つのパラメータの空間分布及びその物理 的な意味については次の節で詳しく説明する。 2.2 台風時の大気境界層の外部パラメータ

既に本論文その1で示したように、非台風時の大気境 界層の外部パラメータは U_g , f, z_0 からなっている。一 方、台風時の大気境界層の外部パラメータは U_g , f_λ , z_0 , ξ から構成される。これらのパラメータの中では、 $f_\lambda と \delta$ が本論文で初めて定義されたもので、その性質について ここでまず明らかにする。解析対象は1991年に観測さ れた台風 T9119 とする。気圧データとしては、台風 T9119が長崎 Huis Ten Bosch に接近した時の値を用 いる。台風パラメータをTable 1にまとめており、 r_m 以

Data	Time	Latitude	Longitude	β	C	Pc	ΔP	Tm.
(J.S.T)	(J.S.T)	(deg)	(deg)	(deg)	(m/s)	(hP_a)	(hP_a)	(k_m)
91.09.27	16	32.8	129.7	50.09	17.13	940.0	73.0	85.43

(6)

Table 1 台風パラメータの一覧表

(Summary of the typhoon parameters used in this study) -6-6





外のものはすべて気象庁が発表したデータである。 r_m については Schloemer の式を用いて、最小自乗法で求 めた。問題を簡単化するため、ここで、解析の範囲内の Coriolis因子の緯度による変化を無視する。また、解析 は、合風進行方向のr軸上($\theta = \beta$ の軸)に限定した。

Fig. 3 (a) はパラメーター方の台風半径方向の変化 を示す。図中の破線は対象地点のCoriolis因子の値を 表している。台風の中心に近づくと,方の値は、Coriolis 因子fの値よりかなり大きくなるが、台風中心から離れ るにつれて、 f_{λ} の値は次第に小さくなる。Coriolis因子 fの値は、地球の持つ渦度(気象の分野ではそれを惑星 渦度と呼んでいる)の大きさを表している。一方、方を 記述する(7)式に台風に伴う強風場の持つ渦度 $(\partial v_{0g}/\partial r + v_{0g}/r)$ とCoriolis因子fとの和からなる項が 含まれているため、 f_{λ} は、台風時の大気境界層内の絶対 渦度を表している。台風の中心から離れるにつれ台風 に伴う強風場の持つ渦度は次第に小さくなり,最終的に $f_{\lambda} = f_{\lambda}$ なる。台風時の風速場の持つ渦度が台風中心に近づくにつれ急速に増大することは、台風観測結果にも見られた¹¹⁾。

Fig. 3 (b) はパラメーター ξ の台風半径方向の変化 を示す。 ξ の値は、台風の中心領域と台風中心からかな り離れた領域では1に近い値をとり、それ以外の域では 1より大きい値をとることが分かる。 ξ の値が1となる ところでは、 ξ を記述する(8) 式から分かるように、渦 度の軸方向の分布が一様になっている。すなわち、 ξ は 台風に伴う強風場の持つ渦度の軸r方向の非一様性を表 すパラメーターとなっている。 ξ の値が1より大きくな ると、(9) 式左辺の υ_{θ} にかかる係数は、(10) 式左辺の υ_{r} にかかる係数より大きくなり、速度成分 υ_{θ} と速度成 分 υ_{r} との比は ξ =1の場合の値と異なってくる。

以上の分析から、 台風時の大気境界層の外部パラメー

3. 台風に伴う強風場の性質

3.1 ケース・スタディ

台風時の平均風速と乱れの強さの鉛直分布の特性を明 かにするため、ここで、まず台風 T9119時の強風場を調 べることにする。解析の対象と解析条件は2.2節に示し た通りである。粗度長z₀の値は、海岸域を対象として、 0.001, 0.01, 0.1m と変化させた。

解析は、最大旋衡風速半径内外7つの場所を選んで行 った。その中の4つの場所での解析結果をFig.4に示 す。参考のために、気圧(中心気圧を引いた値)と傾度 風速の半径方向の分布をFig.4(a)に示した。図中の 縦の実線は解析対象場所を表している。これらの場所 での平均風速と乱れの強さの解析結果はFig.4(b), (c) に示す。見やすくするために、zo=0.01mのケース の解析結果のみを図に示した。図中の実線は解析結果 で、破線はべき法則モデルを用いて計算値をfittingし たものである。台風時の平均風速と乱れの強さの鉛直 分布は,非台風時の強風と同様にべき法則モデルで近似 することができる。平均風速のべき法則モデルの適用 範囲が台風中心に近づくにつれ低くなっていることが 分かる。このことは、台風中心に近づくにつれ、傾度風 高さ20が低くなっていることを表している。平均風速 のべき指数 α_uは最大旋衡風速半径までにほぼ一定の値 を示しているが、最大旋衡風速半径の中では、傾度風高 さzgの急速な減少に伴いべき指数の値が大きくなる傾 向がある。一方, 乱れの強さにおいては, 地表面付近で の値(I_u(30))が最大旋衡風速半径までにほぼ一定値を 示しているが,最大旋衛風速半径の中では、傾度風高さ の急速の減少に伴い乱れの強さの値が若干減少する。ま た,変動風速の標準偏差のべき指数 a_Rも,台風中心に近 づくにつれ若干小さくなっている。同様な傾向は他の ケースにも見られる。

3.2 べき法則モデルの基本パラメータの台風半径方向



19.5 べき法則モデルの基本パラメータの台風半径 方向の変化 (Variation of the basic parameters in the power law expressions with radial distance r)

の変化

次に,数値解析結果に基づいて、べき法則モデルの基本パラメータ($z_{g}, \alpha_{u}, I_{u}(30), \alpha_{R}$)の台風半径方向の変化を調べてみる。

Fig. 5 (a) は, 傾度風高さの台風半径方向の変化を示す。
 黒丸, 黒三角, 黒四角はそれぞれ
 20 = 0.001, 0.01, 0.1mの時の計算値を示している。一点
 鎖線は本論文その1で提案された非台風時の予測式により求めたもので, 見やすくするため, z₀ = 0.01mのケー

- 8 ---





スの結果のみを図中に示した。解析から得られた台風 時の傾度風高さは、台風中心付近で低く、最大旋衡風速 半径r_mの約4倍の位置にピークをとり、それより外側に 行くにつれ再び減少する。それに対して、非台風時の予 測式により求められた傾度風高さの値は傾度風速の増 大に伴い単調に増大し、最大旋衡風速半径r_mのところ で最大値をとる。この予測結果は、解析から得られた結 果と全く異なる傾向を示している。このことから、台風 時の大気境界層の性質は、非台風時の大気境界層の外部 パラメータにより表せないことが分かる。

既に本論文その1から分かるように、非台風時の傾度 風高さ z_g は大気境界層の持つ大きい長さスケール U_g/f と表面ロスビー数 R_o の関数となっている。非台風時と 同様に、台風時の傾度風高さ z_g は、台風時の大気境界層 のもつ大きな長さスケール U_g/f_λ と修正表面ロスビー数 $R_{o\lambda}$ の関数として次式により表せると考えられる。

 $z_g = 0.06 \, \frac{U_g}{f_\lambda} (log R_{o\lambda})^{-1.45} \tag{11}$

この式は,非台風時の式に比べ,fの代わりにf_λが用いられたところ以外,同じ形となっている。この考え方の

妥当性を示すため、(11)式により求めた傾度風高さの 値を実線で図中に示した。予測結果は数値解析の結果 によく一致し、(11)式の有効性が確かめられた。

以上の分析から分かるように,同一地点において,非 台風時の傾度風高さは,傾度風速の増大に伴い単調に増 大するが, 台風時の傾度風高さは, 傾度風速の増大に伴 い減少することもある。それは台風時に傾度風速 Uaが 大きくなると同時に,境界層内の渦度も大きくなってい る (Fig. 3 (a)) ことによるものである。台風時の大 気境界層のもつ渦度の増加率が、ある位置から傾度風速 の増加率を超えれば、そこから長さスケール U_g/f_λ が減 少し,傾度風高さも減少し始まる。Fig. 5(a)に見ら れるような傾度風高さzgの半径方向の変化は、台風時の 大気境界層のもつ長さスケール U_g/f_λ の半径方向の変化 を反映している。一般に、台風時の大気境界層のもつ渦 度が非台風時の値より大きくなっているため、上空風速 U_aの値が同じであっても、台風時の傾度風高さは非台 風時の値より低くなる。台風時の傾度風高さがMonsoon 時の値より低くなるというChoi¹⁾の指摘は、以上に述べ た理由によるものと説明される。

Fig. 5 (b) ~ (d) はそれぞれ平均風速のべき指数 au, 地表面付近の乱れの強さ I(30) 及び変動風速の標準 偏差のべき指数 a_Rの台風半径方向の変化を示す。図中 の実線は論文その1で提案した予測式(A-2~A-4)に より求めた値を示す。台風の最大旋衡風速半径以外の 領域においては、予測値が数値解析結果にほぼ一致する。 このことは、 α_u 、I(30)及び α_R に関する非台風時の予測 式が台風時の強風場の予測にそのまま使用できること を意味する。実際, 傾度風高さ 2gを除いて, べき法則モ デルに関する他の基本パラメータ (α_u , I(30), α_R)が大気 境界層の持つ小さな長さスケールスのによってほぼ決定 されていることを考えると、この結果は当然なことと言 える。台風の中心域 ($r \leq r_m$) においては、傾度風高さ z_a の急速な低下に伴い、予測式により求めた値と解析結果 との差は大きくなるが、 台風の中心域では台風中心に近 づくにつれ風速の値が急速に低下し、そこでの風速の近 似精度は最大風速の予測精度に影響を与えない。従っ て,予測式の簡潔さを保つことを考えると,付録にまと めた一連の式は、台風の中心域(r≤rm)における強風場 の予測にもそのまま適用する。

3.3 風速比G(r)とinflow角度 γ_s

台風時の風速比G(r)とinflow角度 γ_s については、これまでの台風観測結果 $^{11}^{-14}$ からいくつかの特徴的な現象が見られた。その一つは、台風中心に近づくにつれ風

- 9 -





速比が大きくなるという現象である。その理由についてはここで調べてみる。

Fig. 6 (a) は風速比 $G(r)(=U_s/U_g, U_s:$ 地上10mで の風速) の台風半径方向の変化を示す。黒丸、黒三角, 黒四角は計算値で,実線はべき法則モデルにより求めた 値である。求め方としては、べき指数 a_u を式 (A-2) に より計算し,傾度風高さ z_g を (11) 式により求めた。台 風中心に近づくにつれ風速比が大きくなるという傾向 は、数値解析がらも、また上述した簡単な計算からも捕 らえた。数値解析結果に比べ、最大旋衡風速半径 r_m 内 での予測値は,若干高くなっているものの、全体的に見 れば解析結果をよく表している。このように、台風中心 に近づくにつれ風速比が大きくなるという特徴的な現 象が傾度風高さの変化を考慮した方法により再現され たことを考えると、台風時の風速比の変化は台風時の傾 度風高さの変化によるものであると説明できる。

Fig. 6 (b) は表面剪断応力角度 r_s の台風半径方向の 変化を示す。この剪断応力角度 r_s は台風時にinflow角 とも呼ばれている。黒丸,黒三角,黒四角は計算値で, 実線は(16)式により求めた値である。台風表面剪断 応力角度 r_s の値は, 台風中心付近で小さく,最大旋衛風 速半径 r_m の約3倍の位置にビークをもち,その外側では 再び減少する。剪断応力角度 r_s の台風半径方向の変化 はsの半径方向の変化 (Fig. 3 (b))によく対応してい る。 4. 台風と非台風時の強風場との比較
 4.1 風速場

台風と非台風時の大気境界層における長さスケールが 等しければ、台風と非台風時の風速場の鉛直特性の相違 は、無次元パラメーターをのみによって説明される。こ こで、長さスケール $\frac{U_g}{f} \geq \frac{U_f}{f_1}$ は1.25 × 10°とし、非台 風時(Case1)と台風時(Case2)の風速場を調べた。 Case1は、地衡風近似で表せられる非台風時の風速場 ($U_g = 9.88m/s, f = 0.788 \times 10^{-4}$ 1/s, 緯度: 32.8度)を 代表し、Case2は、台風時の風速場($t/t_m = 2.2, U_g =$ 35.14m/s, $f_1 = 2.8 \times 10^{-4}$ 1/s, $\xi = 1.616$,)を代表す る。地表面粗度長 z_0 は0.01m(Case1, 2)とした。

Fig. 7 (a), (b) はそれぞれ傾度風速 Ug で無次元化 した平均風速と剪断応力角度アの鉛直分布を示す。太い 実線は台風時の値 (T.W.: Typhoon-induced Wind) で、細い実線は非台風時の値 (N.T.W.: Non-typhoon Wind)を示す。低層大気での平均風速については、台 風時の値が非台風時の値により若干大きく, べき指数の 値は若干小さくなっている。傾度風高さzgは、予測され たように台風時と非台風時の値はほぼ同じである。-方, 剪断応力角度については台風時の値が非台風時の値 より大きくなっている。tan(r)の値が軸方向の速度成分 (v_{t}) と切線方向の速度成分 (v_{θ}) との比を表していること 考えると、台風時の値が非台風時の値より大きくなって いることは、台風時の速度成分比 (v_r/v_{θ}) が非台風時の 速度成分比(v/u)より大きくなっていることを意味する。 すなわち, 台風時の平均風速場は, 非台風時のそれに比 べてよりねじれている螺旋構造となっている。角度7の

6-9

- 10 -





鉛直分布は,これまでの強風観測¹⁵⁾と本解析結果から 分かるように,高さとともにほぼ直線的に減少し,次式 のように近似される。

$$\gamma(z) = \gamma_s \ (1.0 - 0.4 \ \frac{z}{z_o})^{1.1}$$
 (12)

図中の破線は(12)式により求めたもので,解析結果を よく近似していることが分かる。

Fig. 8 (a), (b) はそれぞれ傾度風速 U_g で無次元化 した変動風速の標準偏差と乱れの強さの鉛直分布を示 す。太い実線は台風時の値で、細い実線は非台風時の値 を示す。無次元変動風速の標準偏差については台風時 の値が非台風時の値より大きくなっているが、 乱れの強 さは、低層大気において両者の間にほとんど差が見られ ない。それより上層部分においては、台風時の値が非台 風時の値より若干大きくなっている。低層大気での乱 れの強さに差が見られない理由は、 台風時の平均風速と 変動風速の標準偏差とも非台風時の値より大きくなっ たためで,変動風速標準偏差と平均風速との比からなる 乱れの強さがほぼ同じになったことによるものである。 台風時と非台風時の乱れの強さとの間にほとんど差が 見られなかった筑波での観測結果⁶⁾は台風時の強風の性 質を反映していると言える。このように、本数値解析は 台風時の強風観測結果に理論的な解釈を与えることが できた。

4.2 大気境界層の抵抗則

非台風時の大気境界層における抵抗則は,1961年に

Kazasky と Monin¹⁶⁾ により初めて導出され、その後ほ ば同じ時期にまた、Csanady (1967)¹⁷⁾、Gill(1968)¹⁸⁾、 Blackadar と Tennekes (1968)¹⁹⁾、Zilitinkevich と Chalikov (1968)²⁰⁾ によって研究された。この抵抗則 は、表面剪断応力と表面ロスビー数 R_o との関係を表す 法則で、表面剪断応力の大きさ(抵抗係数 $C_g = u_*/U_g$ と呼ばれる)とその角度は次のような2つの式によって 表わされる。

$$\ln (C_g R_o) - B_0 = \sqrt{\left(\frac{\kappa}{C_g}\right)^2 - A_0^2}$$
(13)
$$\sin \gamma_s = \frac{A_0}{\kappa} C_g$$
(14)

ここで, A₀, B₀ は無次元普遍常数である。最近, Zilitinkevich²¹⁾は過去に発表された抵抗則に関する論 文を整理し, A₀, B₀の平均的な値がそれぞれ4.5, 1.7で あることを報告した。しかし,(13) と(14) 式で表さ れる表面剪断応力と表面ロスビー数との関係は陰的な 形となっているため,使用上不便である。また,この式 は非台風時の大気境界層の抵抗則を表しているため,台 風時の大気境界層の予測に適用できない。そこで,本研 究では,数値解析結果を用いて台風を含む中立時の大気 境界層の表面剪断応力とその角度を表す陽的な式を作 成する。

ここで、長さスケール U_g/f_λ を一定(10⁵m)とし、地 表面粗度長 z_0 と無次元パラメータ ξ を系統的に変化さ せた。粗度長 z_0 の値が、平坦な海岸域から大都市の都心

- 11 ----



Fig. 9 抵抗係数 C_g と表面せん斯応力角度 τ_s の修正表 面ロスビー数 R_{ol} とパラメータ ξ による変化 (Variation of (a) the drag coefficient C_g and (b) surface shear stress angle τ_s with the modified surface Rossby number R_{ol} and parameter ξ)

部までの広い範囲をカバーできるように5つのカテゴリ (0.001, 0.01, 0.1, 1.0, 3.0m) に分け, また, 無次 元パラメータ5の値を1~1.6までに変化させた。Fig. 9 (a), (b) は抵抗係数 C_a と表面剪断応力角 $\tau_s o R_{ol}$ によ る変化を示す。白丸は文献¹⁷⁷に示された非台風時の観 測結果(傾度風速10m/s以上のデータのみ使用)を表 す。また, 図中の破線は (13), (14) 式により求めたも のを表し、A₀、B₀の値はそれぞれ4.0、1.0とした。黒丸、 黒四角,黒三角はそれぞれ5=1,1.3,1.6の場合の数値 解析結果を示す。 ミ=1の場合(非台風)に抵抗係数Cg と角度7,の数値解析結果は,非台風時の観測データ平均 的な傾向に一致しているが、 どの値が1より大きくなる 場合(台風時)、その増加とともに、抵抗係数C。と角度 y.とも大きくなっている。Eが大気境界層内の渦度の空 間分布の非一様性を表すパラメータとなっていること を考えると、この結果は渦度の空間分布の非一様性が大 気境界層の螺旋構造に与える影響を表している。図中 の実線は、(15)と(16)式により求めた結果で、解析 結果をよく近似していることが分かる。

 $C_g = (0.28 + 0.07 \ \xi) (\log R_{o\lambda})^{-1.25}$ (15)

 $\gamma_s = (69+100\xi)(\log R_{o\lambda})^{-1.13}$ (16)

このように、台風と非台風時の大気境界層の抵抗係数 C_g と角度 γ_s を修正表面ロスビー数 R_{ol} とパラメータ ξ によって統一的に表すことができた。

5. まとめ

本研究では、台風時の大気境界層を記述できる数値モ デルを構築し、台風時の大気境界層の性質を表す新しい パラメータf_λとぎを提案した。そして、台風 T9119を シミュレートすることにより、台風時の平均風速と乱れ の強さの鉛直分布の特性を調べた。更に、台風と非台風 時の強風場の比較を行うことにより、台風と非台風時の 風速場の螺旋構造及びその乱流特性の相違を検討した。 その結果、以下のようになる。

- 1) 合風時の平均風速及び乱れの強さの鉛直分布はべき 法則モデルによって近似的に表すことができ、また、 べき法則モデル中の基本パラメータも、傾度風高さ *zg* を除いて、本論文その1で提案された一連の式により 予測できることが分かった。また、台風時の傾度風高 さ*zg*は、非台風時と同様に、大気境界層のもつ大きな 長さスケール*Ug/f_λ*と修正表面ロスビー数*R_{al}*の関数 として表すことができた。
- 2) これまでの観測から見られた台風時の強風場のいく つかの特有な現象が本研究により明らかにされた。台 風中心に近づくにつれ風速比が大きくなるのは、台風 中心付近域における傾度風高さの減少によるものと説 明でき、また、台風時の傾度風高さが Monsoon時の値 より低くなるというのは、台風時の大気境界層のもつ 渦度が非台風時の値より大きくなっていることによる ものと説明できた。
- 3) 台風と非台風時の長さスケールUg/fxとUg/fが同じ であれば、台風と非台風時の無次元平均風速の鉛直分 布はほぼ同じで、風速そのものは台風時の値が若干大 きくなっている。一方、剪断応力角度については、非台 風時の値より台風時の値がかなり大きくなっている。 また、傾度風速で無次元した変動風速標準偏差は、非台 風時の値より台風時の値が若干大きくなるが、乱れの 強さについては、低層大気において台風時と非台風時 の値にほとんど差が見られない。これは、台風時の平 均風速と変動風速の標準偏差の値が同時に大きくなっ たためと説明できた。

- 12 -

本研究から得られた中立時の大気境界層の特性量とそ の鉛直分布に関する予測式は,以下のようにまとめた。 の町に、、 ・ 傾度風高さ z_g ; ~ = 0.06 $\frac{U_g}{f_s} (\log R_{ol})^{-1.45}$ (A-1) ・平均風速のべき指数 a_u; $a_{\mu} = 0.27 + 0.09 \log z_0 + 0.018 (\log z_0)^2$ $+0.0016(\log z_0)^3$ (A-2) 乱れの強さ I_u(30); $I_{tt}(30) = 0.253 + 0.15 \log z_0 + 0.0462 (\log z_0)^2$ $+0.005(\log z_0)^3$ (A-3) 変動風速標準偏差のべき指数 a_R; $a_R = -0.0025 - 0.73a_u + 4.8a_u^2 - 10.5a_u^3$ (A-4) •抵抗係数Cg(=u*/Ug); $C_q = (0.28 + 0.07\xi)(\log R_{ok})^{-1.25}$ (A-5) 表面剪断応力角度 7。; $\gamma_s = (69 + 100\xi) (\log R_{o\lambda})^{-1.13}$ (A-6) 剪断応力角度γの鉛直分布; $\gamma(z) = \gamma_s (1.0 - 0.4 \, z/z_g)^{1.1}$ (A-7) 変動風速の標準偏差σ_uの鉛直分布; $\sigma_u(z) = 2.1 u_* (1.0 - 0.7 z/Z_G)^{0.7}$ (A-8) 乱れの強さ I,,の鉛直分布; $I_u(z) = I_u(30)(z/30)^{\alpha_R - \alpha_u} (1.0 - 0.7z/z_g)^{0.25}$ (A-9) ここで、 $Z_{c} = 0.17u_{*}/f_{\lambda}$ である。また、台風時では
$$\begin{split} \zeta_{-} &\subset \mathbb{C}, \ \mathcal{L}_{0} = (\frac{\partial v_{\theta_{0}}}{\partial r} + \frac{v_{\theta_{0}}}{r} + f)^{1/2} (2\frac{v_{\theta_{0}}}{r} + f)^{1/2}, \ \xi = (2\frac{v_{\theta_{0}}}{r} + f)^{1/2} / \\ &(\frac{\partial v_{\theta_{0}}}{\partial r} + \frac{v_{\theta_{0}}}{r} + f)^{1/2} \mathcal{Csb}, \ \sharp + \Delta \\ & \text{Big transform} \\ \end{split}$$

参考文献

1)	E.C.C. Cho	1:0	irad	ient	heig	tht a	and	velo	ocity
	profile du	ring	Tyh	ioons	. J.	Win	d I	Eng.	Ind.
	Aerodyn.,	Vol.	13,	1983	, pr	.31	- 4	1.	

- 2) 孟岩,松井正宏,日比一喜:中立時の大気境界層に おける強風の鉛直分布特性,その1 非台風時の強 風,日本風工学会誌, No. 65, 1995, pp.1-15.
- 3) 光田・塚本・坂本:多良間島における台風観測研 究総合報告書, 台風研究委員会, 1980, 229pp.
- 4) E.C.C. Choi ; Characteristics of Typhoons over the South China sea, Journal of Industrial Aerodynamics, Vol. 3, 1978, pp. 353 - 365.
- 5) 光田・森: 潮岬において観測された台風眼通過時 の風の特性について, 京大防災研究所年報, 16-B, 1973, pp.285 - 291.
- 6) 甲斐: 台風 8115 号の乱流特性について, 第7回 風工学シンポジウム論文集, 1982, pp.23-30.
- 7) Y.Tamura, K.Shimada, K.Hibi: Wind Response of a tower (Typhoon observation at the Nagasaki Huis Ten Bosch Domtoren), J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., Vol. 50, 1993, pp.309 - 318.
- 8) 孟,松井,嶋田,日比:台風時の平均風速と乱れ強 度の鉛直分布,清水建設研究報告,1994, pp.57-64
- 9) Y.Meng, M.Matsui, K.Hibi : An analytical model for simulation of the wind field in a typhoon boundary layer, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., No.56, 1995, pp.291 - 310.
- 10) G. L. Mellor and T. Yamada : A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layer, J. Atmos. Sci., Vol. 31, 1974 pp.1791 - 1804.
- 11) 光田, 文字, 塚本, 浅井:八重山群島を襲った台 風5号(7705)の気象学的特性について,京都大 学防災研究所年報第21号, B-1, 1978, pp.405 - 415.
- 12) P.N. Georgiou, A.G. Davenport and B.J. Vickery : Design wind speeds in regions dominated by tropical cyclones, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., Vol. 13, 1983, pp.139 - 152.

13) 山元,光田,文字,塚本,末延:沖永良部島を襲っ

- 13 -

た台風9号 (7709)の気象学的特性について, 京都大学防災研究所年報,第21号,B-1,1978, pp.417 - 425.

- 14) 藤井, 光田: 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, No.28, 1986, pp.1-12.
- 15) G. M. B. Dobson : Pilot balloon ascents at the central flying school, Upavon during the year 1913. Quart. J. R. Meteorol. Soc., 1961, Vol. 40, pp.123 - 135.
- 16) A. B. Kazansky and A. S. Monin : On dynamic interaction between atmosphere and earth surface, Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geofiz, No. 5, 1961, pp.786 - 788.
- 17) G. T. Csanady : On the "Resistance Law" of a turbulent Ekman layer, J. Atmos. Sci., Vol. 24, 1967, pp.467 - 471.
- 18) A.E. Gill : Similarity theory and geostrophic

adjustment, Quart. J. R. Meteorol. Soc., Vol. 94, 1968, pp.586 - 588.

- 19) A. K. Blackadar and H. Tennekes : Asymptotic similarity in neutral Barotropic planetary boundary layer, J. Atmos. Sci. Vol. 25, 1968, pp.1015 - 1020
- 20) S.S. Zilitinkevich and D. V. Chalikov : On resistance law and heat and moisture transfer laws in interaction of atmosphere with underlying surface, Izv. Akad. Nauk SSSR, Fizika Atmosfery i Okeana, Vol. 4, 1968, pp.765 - 772.
- 21) S.S. Zilitinkevich : Velocity profiles, the resistance law and the dissipation rate of mean flow kinetic energy in a neutrally and stably stratified planetary boundary layer, Boundary - Layer Meteorol., Vol. 46, 1989, pp.367 - 387.

- 14 -

第18回 風工学シンポジウム (2004)

台風シミュレーションのための混合確率分布関数と修正直交変換法の提案

A Mixed Probability Distribution Function and Modified Orthogonal Decomposition for Typhoon Simulation 石原 孟¹⁾ ホタイホム²⁾ チョンチーリョン³⁾ 藤野陽三⁴⁾ Takeshi ISHIHARA¹⁾, Ho Thai HUNG²⁾, CHEONG Chee Leong³⁾ and Yozo FUJINO⁴⁾

ABSTRACT

A mixed probability distribution function (MPDF) was proposed for typhoon simulation, which is applicable to any locations by changing a weighted parameter. A modified orthogonal decomposition (MOD) was also proposed to simultaneously reproduce probability-distributions of typhoon parameters and their correlations. The annual maximum wind speeds at the five typical sites in Japan simulated with the proposed methods showed favorable agreements with the observations, while the conventional methods overestimated those for the long-term return period.

Key Words: Typhoon Simulation, Mixed Probability Distribution Function, Typhoon Parameters, Modified Orthogonal Decomposition

1. はじめに

近年構造物の大型化に伴い,構造物の耐風安全性の向上や耐風設計の合理化のために長い再現期間の設計風速が 必要となる.現在日本における風観測は最長 70 年間しかないため,長い再現期間(例えば,1000年)に対する年 最大風速の算定は外挿となってしまう問題がある.この問題を解決するために,台風シミュレーションによる設計 風速の評価手法が提案されてきた^{11~5}.

台風シミュレーションにより設計風速を評価する際には台風パラメータの確率分布を精度よく近似することが重要である.しかし,従来の研究に用いられた確率分布関数は国によって異なる.日本 ^{1),20}では台風の中心気圧低下量 ΔPを対数正規分布で近似しているのに対して,アメリカではワイブル分布が用いられている^{3),4)}.また本研究で示したようにある地点の台風パラメータをよく近似する確率分布を他の地点に適用すると,大きな誤差が生じてしまう.本来,台風パラメータの統計的な性質は場所によって異なる可能性があり,単一の確率分布ですべての地点の台風パラメータを近似することは困難である.

従来のシミュレーション手法では台風パラメータの間の相関を同時に再現できない問題もある.その結果,現在 使用されている台風シミュレーション手法より求められた年最大風速は台風パラメータの実測データから直接求め られた年最大風速に比べ,長い再現期間の風速値が過大に評価されてしまう.Vickery 6 4は2つの台風パラメー タ間の相関関係を再現する手法を提案したが、すべての台風パラメータ間の相関を同時に再現することができない. 一方,松井ら9は直交変換法に基づき,台風進行方向,進行速度,中心気圧低下量と最大旋衡風速半径間の 相関関係を同時に考慮する手法を提案したが、台風パラメータ間の相関とパラメータの確率分布を同時に精度良 く再現することができないという問題もある.

前期方卡曼卡曼哈丁曼조莱尔科 淡金莱尔撒楼 肋鞘核	(〒119-9656 立古区弥生)
来尔入子入子院工子示研九科 崧百研九機構 动教仪	(1113-0050 又示匹孙王)
3.3)東京大学大学院工学系研究科(社会基盤学専攻)大学院生	
η 東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 教授	(〒113-8656 文京区本郷)

そこで、本研究ではまずどの国と地域にも適用できる普遍的な確率分布関数を提案し、そして台風パラメータ 間の相関関係を正しく再現でき、かつ台風パラメータの確率分布の近似精度を損なわないシミュレーション手法 を提案する.本研究で提案された新しい手法の有効性を示すために、地表面の影響を受けない上空風の年最大風 速の確率分布と比較することとした.

2. 台風シミュレーションの概要

台風シミュレーションでは①まず過去の台風観測データにより,台風の年発生数 λ ,最接近距離 d_{min} 進行方向 θ ,進行速度 C,中心気圧低下量 ΔP ,最大旋衡風速半径 R_m の6つのパラメータの確率分布を求める.次に,② 各パラメータの確率分布に従い,人工的に台風を発生させる.そして,③発生された台風の気圧場から上空風を 求め,地表面の粗度や地形の効果を考慮して地上風に変換し,地上風の年最大風速を求める.最後に,④シミュ レートした数千年~数万年間の年最大風速を大きい順に並べ,年最大風速の確率分布を求め,任意再現期間の風 速を算出する.

台風時の上空風は、発生された台風の経路、進行速度、気圧場に依存するため、個々の台風パラメータの確率 分布を正確に再現するだけではなく、台風パラメータ間の相関関係の再現も重要である.そこで、本研究では台 風シミュレーション手法の再現精度を検証ために、最終的に台風パラメータにより算出される風速値を用いた比 較検討を行った.本研究では、台風時の上空風の算定には石原ら⁶⁾により提案された解析モデルを用いた.また台 風パラメータに関する観測データは文献 7 に示す台風データベースを用い、台風の発生は著者らが開発した台風 シミュレーションプログラム MOST (<u>MOnte-Carlo Simulation for Typhoon</u>)を使用した.





 標準化変数in(−in(i-Fv))

3. 混合確率分布関数の提案

1.4

1 -0.5 0 0.6 標準化変数in(-in(1-Fv))

従来日本で行われてきた台風シミュレーションでは年発生数λはポアソン分布,最接近距離 d_{sin}は一様分布,進行方向 θ は正規分布,進行速度 C,中心気圧低下量 ΔP,最大風速半径 R_aは対数正規分布が使用されてきた.中心気圧低下量の確率分布の近似式としては日本では対数正規分布が用いられているのに対して,アメリカではワイ

- 6 -

プル分布が推奨されている^{3),4)}. 中心気圧低下量の確率分布は風速の評価に最も大きな影響を与えることを考え ると、まず気圧低下量に対して対数正規分布とワイプル分布の近似精度及びその適用可能性を明らかにする.

図1に千葉および那覇における気圧低下量の観測データと既存の確率分布によるフィッティング曲線との比較 を示す. 縦軸は気圧低下量を対数で表示し, 横軸は基準化変数を表す. 基準化変数が大きいほど再現期間が長い ことに対応している. また図中の黒丸は観測データを示す. これらの図から分かるように, 対数正規分布 (実線) は千葉での観測データをよく近似できるが, 那覇での観測データを精度よく近似できない. 一方, ワイブル分布 (点線)は那覇の観測データをよく近似できるのに対して, 千葉での観測データをよく近似できないことが分か る. これは千葉と那覇における強い台風の襲来頻度の違いによるものである. 千葉では強い台風がまれにしか来 ないのに対して, 那覇では強い台風がよく襲来する. このように気候的に異なる地域に対して, 単一の確率分布 による精度のよい近似は困難であり, 普遍性的な確率分布の提案が必要である. 因みに Georgiou ら³⁾ がワイブル 分布の近似精度がよいとされた地点フロリダは緯度的に那覇に近い.

そこで、本研究では対数正規分布とワイブル分布との組み合わせによる混合確率分布関数 MPDF (Mixed Probability Distribution Function)を提案する.この確率密度関数は次式により表させる.

$$MPDF = a \times \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\ln x}}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_{\ln x}}{\sigma_{\ln x}}\right)^2\right] + (1-a) \times \frac{k}{C}\left(\frac{x}{C}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{C}\right)^k\right) \qquad a \in \{0, 1\}$$
(1)

ここで、aは混合パラメータであり、0はワイブル分布、1は対数正規分布を表す.このパラメータは最小二乗法 により求められる.この混合確率分布を千葉と那覇気象台に適用すると、千葉では a=1、すなわち、対数正規分 布となり、一方、那覇では a=0.2、ワイブル分布に近い分布となった.図2には混合確率分布を気圧低下量に適用 した結果を示し、観測データをよくフィッティングしていることがわかる.

図3には日本全国をカバーする5地点(那覇,宮崎,大阪,千葉,仙台)に混合確率分布関数を適用し得られ た混合パラメータの値を示す.南から北に行くにしたがって,混合パラメータaの値は約0.2から単調に増加し, 北緯34度を超えると1に漸近する。すなわち,気圧低下量*4P*の分布はワイブル分布から対数正規分布に移行し ていることが分かる.これは強い台風の襲来頻度が南から北へ行くに従って減少していくことに対応している. 混合確率分布は中心気圧低下量のみならず,最大旋衡風速半径と進行速度*C*にも適用でき,よい近似精度が得ら れている.特に進行速度における混合パラメータは中心気圧低下量と反対な傾向を示し,南から北へ行くに従っ て,混合パラメータが減少することがわかる.これは台風の進行速度が北へ行くにしたがって速くなっているこ とに対応している.



新しく提案した混合確率分布の効果を確認するために、台風パラメータの観測値より算定された上空風の年最 大風速と、観測値を近似した確率分布に従い発生した台風パラメータにより求められた上空風の年最大風速を比 較した.図4には千葉における上空風の年最大風速の比較結果を示す.従来の手法(対数正規分布)による長い

-7-

再現期間の年最大風速の過大評価は本研究で提案した混合確率分布により大きく改善された. なお,千葉においては進行速度の確率分布における混合確率分布の適用が年最大風速の再現期待値に最も大きな影響を与えた.

4. 修正直交変換法の提案

表1a)には千葉気象台を中心とし、半径 500km 以内に通過した台風のパラメータ間の相関係数を示す.パラメ ータによって 0.3 を超える相関係数が見られる.例えば、*ΔPと dmin* との間に正の相関が見られた.これは千葉 気象台に対して右側に通過する台風が強いことを示し、太平洋側に通過した台風と比べると、上陸側に通過した 台風の方が上陸に伴い減衰していることに対応している.このような相関を無視すると陸側を通過した台風の強 さが過大に評価され、年最大風速の過大評価につながる.従って、モンテカルロシミュレーションにより台風を 作り出す時、台風パラメータの確率分布を正しく再現するだけでなく、パラメータの間の相関関係も忠実に再現 する必要がある.

a)観測値					b)直交	変換法			c.	修正直す	を変換法	-		
千葉	in(<i>4 P</i>)	$\ln(R_{m})$	in(C)	θ.	d _{min}	ln(<i>AP</i>)	ln(<i>R</i> ,,)	ln(<i>C</i>)	θ	d _{min}	ln(⊿ <i>P</i>)	ln(R _m)	ln(<i>C</i>)	θ	d _{min}
ln(<i>∆P</i>)	1.00					1.00					1.00				
$\ln(R_m)$	-0.28	1.00				-0.28	1.00				-0.28	1.00			
ln(<i>C</i>)	0.01	0.37	1.00			0.02	0.35	1.00			0.02	0.35	1.00		
Ø	-0.03	-0.03	-0.27	1.00		-0.04	-0.02	-0.25	1.00		-0.04	-0.02	-0.25	1.00	
d _{min}	0.33	-0.25	-0.37	-0.28	1.00	0.33	-0.24	-0.37	-0.29	1.00	0.33	-0.24	0.37	-0.28	1.00

表1 千葉における台風パラメータの相関係数

表2 Vickeryの手法4)

パラメータ	分布	確率密度関数	相関関係
⊿ <i>F</i> (hPa)	Weibull	$\frac{k}{C} \left(\frac{x}{C}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{C}\right)^{k}\right)$	$C = a_1 - b_1 \varphi$ $k = c_1$
<i>R_m</i> (km)	LogNormal	$\frac{1}{R_{m}\sqrt{2\pi\sigma_{\ln(R_{m})}}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_{\ln(R_{m})}}{\sigma_{\ln(R_{m})}}\right)^{2}\right]$	$\mu_{\ln(R_m)} = a_2 - b_2 \Delta P$ $\sigma_{\ln(R_m)} = c_2$
C(m/s)	LogNormal	$\frac{1}{C\sqrt{2\pi}\sigma_{\rm in(c)}}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x-\mu_{\rm in(c)}}{\sigma_{\rm in(c)}}\right)^2\right]$	$\mu_{\ln(c)} = a_3 - b_3 \varphi$ $\sigma_{\ln(c)} = c_3$

従来から台風パラメータ間の相関を考慮する手法は提案されてきた.表2にはVickery 手法 η による各パラメータの確率分布と相関関係を示す.気圧低下量と進行速度は緯度 φ の関数,最大旋衡風速半径は気圧低下量の関数として表されている.例えば, $R_m \ge \Delta P$ の間の相関関係は式(2)のように表されている.ここで,f(R_m)は確率密度関数を表し、 $\mu_{\ln(Rm)} \ge \sigma_{\ln(Rm)}$ はそれぞれの ln(R_m)の平均値と標準偏差である.

$$f(R_m) = \frac{1}{R_m \sqrt{2\pi} \sigma_{\ln R_m}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(R_m) - \mu_{\ln(R_m)}}{\sigma_{\ln(R_m)}}\right)^2\right]$$
(2)

ここで、 $\mu_{\ln(R_w)}$ を ΔP の関数として式(3)で表す、この式により、 R_m と ΔP の相関関係を再現した.

 $\mu_{\ln(R_m)} = a\Delta P + b$

a, b は係数である.式(2)と式(3)により発生した $R_m \ge \Delta P$ の相関係数は $-0.26 \ge c$ なり、観測値とほぼ一致することが分かる.

(3)

しかし、Vickery らの手法には幾つかの問題がある.図5には目標とした R_mの確率分布とVickery 手法により 求められた最大旋衡風速半径 R_mの確率分布を示す.シミュレートされた R_mの確率分布は目標とした確率分布と 一致しないことが分かる.これは相関を考慮するために R_mの平均値を変化させたことによるものである.つまり、 Vickery 手法は台風パラメータの確率分布と相関が同時に再現していないことがわかる.またこの手法では、二つ の台風パラメータ間の相関しか再現できないという制約もある.

本研究では、台風パラメータ間の相関関係と確率分布を同時に満足するために、修正直交変換法 MOD(Modified Orthogonal Decomposition)を提案する. この手法は以下の三つのステップからなる.

1) 独立パラメータへの直交変換

台風を記述するパラメータとしては気圧低下量 ΔP ,最大旋衡風速半径 R_m ,進行速度 C,進行方向 θ ,最接近距離 d_{min} がある.これらの台風パラメータから構成されるベクトルは次式により表す.

 $\{\mathbf{x}_i\}^T = \{\ln(\Delta P), \ln(R_m), \ln(C), \theta, d_{\min}\}$

(4)

(5)

(7)

台風パラメータ間の相関行列をSとし、固有値 λ_k と固有ベクトル ϕ_k の関係は以下のようになる. [$S - \lambda_k E$] $\{\phi\}_k = 0$

相関をもつ台風パラメータの観測データ xi から無相関の独立パラメータ zi に式(6)のように変換することができる. $\{z_i\} = [\phi]\{x_i\}$ (6)

このように得られた独立パラメータ xは正規分布と一様分布からなる混合確率分布関数により近似する.

2) 相関の持つ台風パラメータへの逆変換

 $\{x_i\} = [\phi]^{-1}\{z_i\}$

次に,推定された確率分布に従って,所定年数分の台風に関する独立パラメータzi²を発生し,固有ベクトルの逆行列をかけて相関を持つ台風パラメータに逆変換する.

このように再現した台風パラメ-タから求められた相関係数(表 1b)は観測データから直接に求められた相関係数 (表1a)と良く一致していることがわかる.だたし,このように発生した台風パラメータの確率分布は図6のよ うに目標とした確率分布と完全に一致していない.



3) 目標とした確率分布への修正

この問題を解決するために、逆変換された台風パラメータに微小修正を加えることにした。逆変換された台風 パラメータと目標とした確率モデルにより発生した値を同時に昇順で並べ、逆変換された台風パラメータは目標 とする確率モデルにより発生した値に合うように修正する。この補正は相関関係を考慮して決定されたパラメー タに対して微小修正を加えるが、パラメータの組みを変えずに覚えておくことが鍵である。このように修正され たパラメータ間の相関係数(表 1c)にはほとんど影響を与えない。修正された ln(*R_m*)の確率分布は図 6 に示す、

- 9 -

最後に台風パラメータの観測値を用いて本手法の有効性を検証した.図7には千葉気象台における再現期間と 上空風の関係を示す.従来の手法に比べ,本研究に提案した手法により求められた年最大風速は観測データをよ く再現していることが分かる.また図8に示すように本手法による求めた那覇,宮崎,大阪,千葉,仙台の上空 風の年最大風速の50年再現期待値は北へ行くにつれ単調に減少する結果を得た.この結果は台風が北上するにつ れ,弱くなっていくことに対応している.それに対して,台風パラメータの確率分布並びにパラメータ間の相関 関係を同時に再現していない従来の手法により求められた年最大風速の50年再現期待値は,北緯34度を超える と,再び大きくなるような不自然の結果となった.



5. まとめ

本研究では任意地点における台風パラメータを近似できる混合確率分布関数(MPDF)並びに台風パラメータ間の相関関係と確率分布を同時に再現できる修正直交変換法(MOD)を提案し、以下の結論を得た.

- 対数正規分布とワイブル分布を組み合わせることにより、任意地点に適用できる混合確率分布関数を提案し、 台風パラメータの観測データにおけるフィッティング精度を向上させた。
- 2) 直交変換法により発生した台風パラメータを修正し、目標確率分布と完全に一致する修正直交変換法を提案 した.本変換法により発生した台風パラメータは、パラメータ間の相関関係と各個々のパラメータの確率分 布を同時に満たすことができた。
- 3) 本手法により計算された上空風の年最大風速の確率分布は、観測値とよく一致し、従来の手法により年最大 風速の過大評価を改善した。

謝辞:本研究は,平成13~14年度において文部科学省科学研究費補助金(課題番号1355125,研究代表者 石原

. 孟)を受けた.また本研究にあたり、ご助言、ご指導を頂いた東京工芸大学工学部建築学科の松井正宏先 生に感謝の意を表す.

参考文献

 光田寧,藤井健:日本南方洋上における台風の確率モデルの作成,京大防災研究年報,No.32B·1,pp.335·348, 1989. 2) 松井正宏,石原孟,日比一喜:実測と台風モデルの平均化時間の違いを考慮した台風シミュレーション による年最大風速の予測法,日本建築学会構造系論文集,No. 506,pp.67·74,1998. 3) P.N.Georgiou, A.G.Davenport, B.J.Vickery: Design wind speeds in regions dominated by tropical cyclones, J. Wind Eng. and Ind. Aerodyn., 13(1·3), pp.139·152, 1983. 4) J.Vickery, L.A.Twisdale: Prediction of hurricane wind speeds in the United States, J. Struct. Div. ASCE, 121(11), pp.1691·1699, 1995. 5) 松井正宏,田村幸雄,田中俊輔:風 向特性を考慮した矩形高層建物の風荷重評価,第17回風工学シンポジウム論文集,2002,pp.499·504. 6) 石原 孟,松井正宏,日比一喜:台風に伴う強風場を求めるための解析モデルの提案,日本風工学学会誌,No.57,pp.1·12, 1993. 7) ホタイホム:台風における新しい確率モデルの提案と実測による検証,東京大学修士論文,2004.

-10 -

第21回 風工学シンポジウム (2010)

台風時の風向特性と複雑地形の増速特性を考慮した風速割増係数の評価手法の提案

Prediction of Wind Speedup Ratio Considering Wind Direction of Typhoon and Speed-up of Complex Terrain

菊地 由佳 石原 孟 Yuka KIKUCHI¹⁾ Takeshi ISHIHARA²⁾

ABSTRACT

It is important to assess the design wind speed reasonably for wind resistant design. In the current design in Japan, the maximum of the topographical wind speed-up ratio over all the directions is used, which may overestimate the design wind speed. This paper proposed a method for evaluation of speedup ratio considering wind direction of typhoon and speed-up due to the complex terrain. Speedup ratio is defined as the ratio of 50-year-recurrence wind speed over a real terrain to that in a flat surface. The wind speed estimated by the proposed method shows a good agreement with the measurement data at meteorological stations of JMA. Finally, the reduction factor and coefficient of variation of topography are proposed and the relationship between speedup ratio and topography is investigated by using several three-dimensional steep hills.

Key Words: Speedup ratio, Typhoon simulation, Reduction factor, Coefficient of variation of topography

1. はじめに

風車は大量に生産される工業製品であるため、設置地点毎の環境条件に基づき設計風速を求め、風車の健全性を 評価することが重要である. 2005 年に発行された風車に関する国際基準 IEC61400-1 の第3版 "においては、風車 を建設する際には設置地点の風条件に基づき風車に作用する荷重を算出し、風車の健全性を評価することが求めら れている.欧州と異なり、日本における強風の主要因は台風であり、また局所的な地形による増速効果が設計風速に 大きな影響を与える. 建築基準法にも、「局所的な地形や地物の影響により平均風速が割り増されるおそれのある場 合においては、その影響を考慮しなければならない」との記述がある。ただし、その評価手法については規定して いない.一方,近年台風による風車の倒壊事故が発生したことを受け,2007年に土木学会により「風力発電支持物 構造設計指針・同解説」20が制定された.本指針では、地形による風速の割増効果を風向別の風速割増係数の最大値 で評価し、基準風速に乗じることにより設計風速を評価している.しかしながら、この手法では台風時の風向特性 を考慮しておらず,設計風速を過大に評価する可能性がある.

そこで、本研究では台風時の風向特性と複雑地形の増速特性を同時に考慮した風速割増係数の評価手法を提案し、 気象台における風観測データを用いて本提案手法の妥当性を検証する、そして、風速割増低減係数及び地形変動係 数を提案し、地形特性が風速割増係数に与える影響をモデル地形を用いて調べる.

2. 風速割増係数の評価手法の提案と検証

2.1. 風速割増係数の評価手法の提案

現在,局所的な地形の影響を受ける場合の設計風速を評価する際には,50年再現期待風速である基準風速Usoに 地形による風向別風速割増係数の最大値を乗じることにより以下のように評価される. 1.2東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 大学院生,教授 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7:3・1)

-31 -

 $U_d = U_{s_0}(x, y, z) \times \max(C_i)$ (1) ここで, U_d は設計風速, C_i はi 方向における地形による 風速割増係数であり,定義は式(8)に示す.この評価手法は 設計風速を過大評価する可能性がある.そこで,本研究で は,新たに風速割増係数 C_{s_0} を定義し,設計風速を次式より 評価することを提案する.

$$U_d = U_{50} \times C_{50}$$
 , $C_{50} = \frac{U_{150}}{U_{150}}$ (2)

ここで, U_{f30} は平坦地形上の 50 年再現期待風速, U_{f30} は 実地形上の 50 年再現期待風速を表す. 以下, U_{f50}, U_{f50}の 算定手順を詳細に示す.

まず,熱帯低気圧に伴う傾度風速場及び台風時の海面気 圧場は,次式のように算出できる.³⁾

$$v_{\rho g} = \frac{c_{\theta} - fr}{2} + \sqrt{\left(\frac{c_{\theta} - fr}{2}\right)^2 + \frac{r}{\rho}\frac{\partial p}{\partial r}}, \quad v_{rg} = 0$$
(3)

$$p(r) = p_c + \Delta p \exp\left(-\frac{R_m}{r}\right), \quad \Delta p = p_{\infty} - p_c$$
 (4)

ここで、 v_{og} は傾度風の円周方向成分、 v_{eg} は傾度風の 半径方向成分、 ρ は密度、 c_o は台風移動速度の円周方向成 分、 p_e は中心気圧低下量、rは台風中心からの距離、 R_m は 最大旋衡風速半径である.

次に, 台風時の大気境界層内の風速分布 $u_{r}(z)$ と風向分布 $\theta_{r}(z)$ は次のように求める.³³

$$u_{T}(z) = u_{G} \left(z / z_{G} \right)^{\alpha_{v}}$$
(5)
$$\theta_{T}(z) = \theta_{G} + \theta_{S} (1.0 - 0.4(z / z_{G}))^{1.1}$$
(6)

ここで、 $u_G \left(= \sqrt{v_{\theta G}^2 + v_{rG}^2}\right)$ は傾度風、 z_G は傾度風高さ、zは

地表面からの高さ, α_u は鉛直プロファイルを表すべき指数, θ_s は風向の偏角である.またこれらのパラメータは傾度風 u_G ,地表面粗度長 z_0 ,絶対渦度 f_λ ,渦度の非一様性を表す パラメータ ξ を用いて以下のように表すことができる.

 $\begin{aligned} \alpha_{\alpha} &= 0.27 + 0.09 \log z_0 + 0.018 \log^2 z_0 + 0.0016 \log^3 z_0 \qquad (7) \\ z_G &= 0.06 (u_G / f_{\lambda}) (\log R_{\alpha\lambda})^{-1.45} \end{aligned} \tag{8}$

$$\theta_s = (69 + 100\xi) (\log R_{o\lambda})^{-1.13}$$
(9)

ここで, $R_{ol}(=U_G/f_{l}z_o)$ は地表ロスビー数と呼ばれる無次 元数である.以上に示す式により,粗度が一様な平坦地形 上の台風時の任意高さでの風速と風向が求められる.

上の台風時の任意高さでの風速と風向が求められる. そして、局所地形の影響を考慮した実地形上の風速の求 め方を説明する.気流解析により、次式に示すように実地



図1 風速割増係数算定の手順



図2 対象地点の周辺地形(積丹半島)⁵⁾





形と粗度一様な平坦地形の風速比及び風向偏角を風向の関数として求める.

-32-

 $C_{i}\left(x, y, z, \theta_{f}\right) = \frac{u_{i}\left(x, y, z, \theta_{f}\right)}{u_{f}\left(x, y, z, \theta_{f}\right)}$ (10)

 $D_t(x, y, z, \theta_f) = \theta_t(x, y, z, \theta_f) - \theta_f$ (11)

ここで, $u_i(x, y, z, \theta_f)$, $u_f(x, y, z, \theta_f)$ は気流解析により求めた実地 形と平坦地形上の風速であり, $\theta_i(x, y, z, \theta_f)$, θ_f は実地形と平坦地形 上の風向を表す. 詳細については, 文献 4), 5)を参考されたい.

局所地形は総観場に影響を与えないと仮定すると、局所地形の影響 を考慮した台風時の風速と風向は、平坦地形上の風速と風向及び式 (10),(11)により求めた実地形と平坦地形の風速比と風向偏角を用い て、次式のように求めることができる。⁶⁾

·	$u_{L}(x, y, z, t) = u_{T}(t) \times C_{t}(x, y, z, \theta_{T}(t))$	(12)
	$\theta_{L}(x, y, z, t) = \theta_{T}(t) + D_{t}(x, y, z, \theta_{t})$	(13)

最後に台風モンテカルロシミュレーションにより平坦地形上の風 速の時系列と実地形上の風速の時系列を求める.

まず,過去観測された台風経路と気圧分布から対象地点における台 風パラメータの確率分布を求める。次に求められた確率分布に従い, 台風を人工的に発生させるとともに,それぞれの台風に対して,対象 地点における平坦地形上と実地形上の風速の時系列を求める.本研究 では石原らにより提案された台風モンテカルロシミュレーション手 法ⁿを用いて1万年分の台風モンテカルロシミュレーションを実施し た.台風モンテカルロシミュレーションにより求めた年最大風速を昇 順に並び替え,年最大風速の超過確率分布を求め,平坦地形上の 50 年再現期待風速 U_{fso} および実地形上の 50 年再現期待風速割増係数 U_{fso} を求めた.

図4には,積丹半島のある地点で提案手法により求めた年最大風速 の超過確率分布を示す.図2には対象地点周辺の地形を示し,図3 には対象地点における風向別風速割増係数を示す⁸⁾.図4から分かる ように,平坦地形上の50年再現期待風速U_{f50}は30.4m/s,実地形上 の50年再現期待風速U_{r50}は40.1m/sであり,式(2)により定義され る風速割増係数は1.32となった.風向別風速割増係数の最大値は 1.45であることを考えると,従来手法に比べ,本提案手法による風 速割増係数が9%低減していることが分かる.

2.2. 気象台の風観測データによる検証

提案した手法の有効性を示すために気象台の風観測データを用いた検証を行った.気象台は全国で157箇所あり, そのうちの約1割が複雑地形の影響を受けることが言われている.本研究では、地形により増速する室戸岬特別地 域気象観測所、減速する長崎海洋気象台、地形の影響を受けない宮古島地方気象台を選択した.気象台の風観測デ ータは風速と風向の10分間平均値が揃っている1995年以降から2006年までのデータを用いた.

まず気流解析により風向別風速割増係数を算出した.本研究では、気流解析に局所風況予測モデル MASCOT を 用いた.表1に気流解析の条件を示し、気流解析による風向別風速割増係数を図6に示した.風向別風速割増係数 の最大値は各々1.51, 1.00, 1.13 であることが分かる.





図5 対象地形と解析格子

表1 気流解析の諸条件

		値
位.	室戸岬	N33º15'06"E134º10'36"
置	長崎	N32º44'00"E129º52'00"
	宮古島	N24º47'36"E125º16'36"
領均	戎	$5 \mathrm{km} \times 5 \mathrm{km} \times 10 \mathrm{km}$
最/	卜格子	50m(水平)
		5m (垂直)
標酬	ŝ.	国土地理院 50m
土井	也利用	国土地理院 100m
流	室戸岬	粗度区分Ⅲに対応
入	長崎	粗度区分 I に対応
風	宮古島	粗度区分Ⅲに対応

次に、気象台における過去に観測された台風時の海面気圧場の統計分析を行い、台風気圧場の確率分布を求めた. ここでは、対象地点の半径 500km を通過し、中心気圧が 985hPa 以下となった台風に関する観測データから、台 風の中心気圧低下量 ΔP ,最大旋衡風速半径 R_{μ} ,進行速度 C,進行方向 θ ,最接近距離 d_{\min} 及び年発生頻度 λ を調 べた。表 2 には台風バラメータに関する確率モデル及びモデル係数の一覧を示す. μ は平均風速、 σ は風速の標準 偏差、k は形状係数、c は尺度係数、a は混合係数、z は二次関数の係数、 λ は年発生回数の平均値である.

表2 室戸岬特別地域気象観測所における各台風パラメータに関する統計モデルおよびモデル係数の例

台風パラメータ	確率分布関数		モデル係数
中心気圧低下量 ΔP	混合確率	$F_{ix}(x) = a \times \frac{1}{\left[1 - 1\left(\ln x - \mu_{ix}\right)^2\right]}$	μ =1.64, σ =0.12, k =4.01 c =49.7, a =0.99
最大旋衡風速半径 R _m	分布	$\frac{\sqrt{2\pi\sigma_{\ln x}}}{k(x)^{k-1}} \begin{bmatrix} 2 \\ -x \end{bmatrix}$	μ =1.98, σ =0.22, k =2.16 c =122.74, a =0.57
進行速度 C		$+(1-a)\times\frac{\pi}{C}\left[\frac{\pi}{C}\right] \exp\left[-\left(\frac{\pi}{C}\right)\right]$	μ =1.54, σ =0.21, k =2.43 c =43.07, a =0.40
進行方向 $ heta$	標準正規	$F(x) = \frac{1}{2} \exp\left[-1\left(\ln x - \mu\right)^2\right]$	$\mu = 161.02, \sigma = 36.29$
	分布	$\Gamma_{s}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\sigma}\right)\right]$	
再接近距離 d_{\min}	二次関数	$d_{\min} = z(x^2 - x) + 1000x - 500$	z = 166.11
台風の発生数λ	ポアソン	$\lambda^x \exp(-\lambda)$	$\lambda = 3.30$
	分布	<u>x!</u>	

これらの確率分布に基づき,前述の手法により年最大風速の超過確率分布を求め,台風による年最大風速の観測 値と一緒に図7に示す.本手法による年最大風速の超過確率分布と風観測データによる台風時の年最大風速の超過 確率分布がよく一致し,本手法の妥当性が示された.また風向別風速割増係数の最大値に対する本手法による風速 割増係数は,室戸岬では1.51に対し1.43,長崎では1.00に対し0.76,宮古島では1.13に対し1.00となり,風速 割増係数は各々5%,20%,11%低減した.



-34-

3. 風速割増低減係数と地形変動係数の提案

前節から台風時の風向特性を考慮することにより風速割 増係数を低減できることが明らかになった.しかしながら, 風向別風速割増係数が風向によらずすべて同じである場合 には,風向別風速割増係数の低減は見込めない.孤立峰は その一例である.一方,尾根のように風向別風速割増係数 が風向によって大きく異なる場合には,風速割増係数が低 減することが予想される.風速割増係数の低減の度合は, 実際に台風モンテカルロシミュレーションを行う前に予測 可能であれば,シミュレーションの必要性を判断できる. そこで,本研究では地形の形状を代表する長さのアスペク ト比を変化させることにより,地形の形状が風速割増係数 に与える影響を調べる.

まず風速割増低減係数rfを次式のように定義する.

 $r_f = C_{s_0} / \max(C_i)$ (14) ここで、 C_{s_0} は本提案手法により求めた風速割増係数、 C_i は

風向別の風速割増係数である.風速割増低減係数は風向別 風速割増係数の最大値に対する低減率を表す.

次に,地形の変動を表す指標として地形変動係数σ,を次 式により定義する.

$$\sigma_{i} = \sqrt{\left\{\sum_{i=1}^{n} \left(C_{i} / \max(C_{i}) - 1\right)^{2}\right\} / 16}$$
(15)

ここで, nは方位を表わす.この係数はすべての風向にお ける風速割増係数が同じ値であれば0となる.

最後に、モデル化した地形に対して気流解析することに より提案した地形変動係数と風速割増低減係数の関係を調 べた.モデル地形には、過去に行われた風洞実験 ®に基づ き作成された風洞実験おけるモデル地形の 5000 倍の地形 を用いた.モデル地形の式を以下に示す.

$$z = \cos^2\left(\frac{\pi}{2}\sqrt{\left(\frac{x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{y}{L_y}\right)^2}\right)$$
(16)

図8には風洞実験に用いられたモデル地形の断面図と座 標系及び正面図を示す. y軸方向を風向0°とし,時計回
 マンパン
 マンパン

 マンパン
 ア・パン

 マンパン
 ア・パン



風洞実験により得られた風速比の比較

表3 モデル地形の寸法とアスペクト比 $2L_{\gamma}(m)$ L_y/L_v $2L_{c}(m)$ H(m)θ (°) Case 1 21.81000 1000 200 1/1Case 2 11.31000 2000 200 1/2Case 3 5.71000 4000 200 1/4

表 4 モデル地形における気流解析の諸条件

1000

8000

200

1/8

2.9

	格·	子間隔(n	最小格子領域	
	水	¥	鉛直	$(\mathbf{m} \times \mathbf{m})$
	最小	最大	最小	
Case 1	20	200	5	3500×3500
Case 2	50	200	5	7000×7000
Case 3	50	200	5	8000×8000
Case 4	50	300	5	1600×1600

りを正とした.また本研究で設定したモデル地形のアスペクト比 $L_x: L_y$ は 1:2~1:8 に変化させた.表 3 はモデル地形の つう法を示す.

Case 4

気流解析に対しての妥当性と予測精度について確認するため、まず風洞実験におけるモデル山を 1000 倍にした ケース(Case 1)について気流解析を行った.そして、モデル地形の山頂における風速と平坦地形上との風速比を求 め、風洞実験の結果と比較した.気流解析は、解析領域を水平方向 3500m×3500m,鉛直方向 900m とし、水平 方向、鉛直方向最少格子をそれぞれ 10m、3m とした.粗度長は風洞実験にならい 0.3m とした、気流解析により

-35-

得られた頂上部における平坦地形と実地形上の風速比を図 9 に 示し,風洞実験より得られた風速比とよく一致していることがわ かる.

次に,各モデル地形に対して風向別風速割増係数の最大値によ って規準化した風向別風速割増係数を求めた.それぞれの地形に おける気流解析の諸条件を表4に,解析により求めたモデル地形 頂上部における規準化風速割増係数の結果を図10に示す.モデ ル地形のアスペクト比が大きくなるにつれ,規準化された風向別 風速割増係数は大きく変動する.本研究では,これらの地形が室 戸岬特別地域観測所にあると仮定し,風速割増係数を求めた.結 果を,図11および表5に示す.地形変動係数が大きくなるにつ れ、風速割増低減係数は小さくなることが分かる.

最後に、台風の風向特性と風速割増低減係数の関係について考 慮する必要がある.本研究では、室戸岬特別地域気象観測所にお いて Case 2~Case 4 の 4 つのモデル地形について地形の主軸を 0°,45°,90°,135°の4 方位に回転させ、12 ケースについて風 速割増係数を求めた.その結果を図 11 に示す.地形変動係数が 0 の場合は風向に影響されないため風速割増低減係数の値は変わ らないが、地形変動係数が大きくなると風向により値が変動する. よって、厳密に風速割増低減係数を求めるためには台風モンテカ ルロシミュレーションが必要であることがわかる.



図 10 各モデル地形における規準化風速割増係数

の風向による変化



4. まとめ

本研究では台風モンテカルロシミュレーションと気流解析を用いることにより,台風時の風向特性と複雑地形の 増速特性を考慮した風速割増係数の評価手法を提案し,以下の結論を得た.

- 従来の設計風速の評価手法に比べ、台風時の風向特性を考慮した本評価手法は、地形による風速割増係数を低減可能であることを示した。
- 2)本提案手法により求めた年最大風速の超過確率は3つの代表的な気象台で検証し、風観測データによる超過確率することを確認でき、本提案手法の有効性を示した。
- 3)地形の変動を表す地形変動係数を提案することにより、風速割増低減係数と地形の形状との関係を評価できる ことを示した.しかし、台風の風向特性を考慮するため厳密な風速割増低減係数の評価には台風モンテカルロ シミュレーションが必要である。

参考文献

1) IEC 61400-1:Wind turbines-Part1: Design requirements, Ed.3, 2005. 2) 土木学会:風力発電設備支持物構造設計指 針、同解説(2007年版),構造工学シリーズ 17,2007. 3) 石原盂,松井正宏,日比一喜:中立時の大気境界層におけ ろ強風の鉛直分布特性 その2 台風時の強風,日本風工学会誌,No.66, pp.3-14, 1996. 4)石原盂,日比一喜:急 岐な山を越える乱流場の数値予測,日本風工学会論文集,No.83, pp.175-188, 2000. 5)石原盂,山口敦,藤野陽三:複 雑地形における局所風況の数値予測と大型風洞実験による検証,土木学会論文集,No.731/1-63, pp.195-221, 2003. 6) Ishihara, T., Siang, K. K., Leong, C. C. and Fujino, Y. (2005), Wind field model and mixed probability distribution function for typhoon simulation, The Sixth Asta-Pacific Conference on Wind Engineering, pp. 412-426. 7) 石原盂, ホタイホム、チョンチーリョン,藤野陽三:台風シミュレーションのための混合確率分布関数と修正直交変換法の 提案,第18回風工学シンポジウム論文集, pp.5-10, 2004. 8)石原盂,日比一喜:急岐な山を越える乱流境界層に関 する実験的研究,第15回風工学シンポジウム論文集, pp.61-66, 1998.

-36-

土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

気流解析と台風シミュレーションに基づく 配電設備のリスクマネジメント

石原孟1・榎木康太2・高原景滋3・荒川洋4

 ¹正会員 東京大学教授 大学院工学系研究科社会基盤学専攻(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1) E-mail: ishihara@bridge.t.u-tokyo.ac.jp
 ²学生会員 東京大学大学院生 大学院工学系研究科社会基盤学専攻(同上) (現・(株)大林組研究員 技術研究所 環境技術研究部)
 ³非会員 沖縄電力株式会社グループリーダー IT推進本部(〒901-2602 沖縄県浦添市牧港5-2-1)
 ⁴正会員 株式会社水域ネットワーク部長 環境計画部(〒134-0088 東京都江戸川区西葛西6-8-10)
 E-mail: arakawa@aquanet21.co.jp

本研究では電柱損傷度曲線、台風ハザード曲線および期待総建設費最小化原則に基づく配電設備のリス クマネジメント手法を提案した。台風0314号による被害データ分析および数値流体解析に基づく宮古島全 域の瞬間風速の推定を行うことにより、1度の台風被害データから電柱の損傷度曲線の作成を可能とした。 また台風シミュレーションと気流解析を組み合わせることにより、宮古島に設置されたすべての電柱位置 における台風ハザード曲線を作成することを可能とした。最後に期待総建設費最小化原則に基づく最適設 計風速を電柱の損傷度曲線と台風ハザード曲線を用いて求めた。その結果、全ての電柱に各々の最適設計 風速を用いた場合では現状の設計風速を用いた場合の期待総建設費用に比べて、13%のコストを削減でき ることを明らかにした。

Key Words: risk management, power distributions, damage data, gust wind prediction, fragility curve, typhoon simulation, typhoon hazard curve, minimization of expected total cost

1. はじめに

沖縄、九州、四国地方では台風の襲来により、送配電 設備が大きな被害を受けることがある^{1,3}.2003年に発生 した台風0314号(以下、台風14号)は宮古島の全電柱約 20,000本のうち約1,000本に折損や傾斜などの被害をもた らした、電柱倒壊により電力の供給がストップしただけ でなく、車両の通行を遮断し、災害復旧にも大きな影響 を与えた(図-1).そのため、台風による配電柱の大量倒 壊を未然に防ぐために、電柱の強風リスクを定量的に評 価し、費用対効果の高い対策の実施が急務である.

電柱の強風リスクを定量的に評価するには、被害電柱 の位置情報と設置地点における風速情報から求められた 電柱の損傷度曲線(fragility curve)と電柱の設置地点にお ける風速の確率分布を表す台風ハザード曲線(typhoon hazard curve)が必要である.

強風災害に関するこれまでの研究の多く¹⁾⁻⁰は電柱や

建物の損傷度と台風時の最大瞬間風速との関係を調べて いるが、その際には、被害電柱や建物の設置地点におけ る最大瞬間風速ではなく、気象台で観測された最大瞬間 風速が用いられている.しかし、宮古島のように風速の 観測データが1箇所の気象台からしか得られない場合に は、電柱の損傷度曲線を得るには複数回の台風被害デー タが必要となる.このような方法では時間がかかる上、 気象台の風速を用いて島全体の風速を代表させるには精 度の面においても問題がある.

また九州地方を襲った台風9117号と9119号による配電 設備の被害状況を分析した前田^{1,2}の研究では、各県を2, 3の大きいエリアに分け、気象台から得られた最大瞬間 風速と配電設備の倒壊の関連性を分析した.その結果, 台風通過に伴う被害状況は連続的ではなく、特定の地域 に集中していることが明らかにされ、エリア内の地形や 地表面粗度がエリア内の最大瞬間風速に与える影響を考 慮する必要があることが示唆された. さらに神田ら^{3, 4}の建築物の強風危険度の評価法に関 する研究では、建物の一部損壊、半壊、全壊に対する被 害率を対数正規分布に当てはめることにより、それぞれ のケースに対応する対数正規分布の平均値と標準偏差を 求めた.いずれのケースにおいても標準偏差が0.3であ り、大きな変動係数を示している.このような大きな変 動係数は建物強度のばらつきの他、周辺建物、地形、地 表面粗度の影響も含まれている可能性がある.

以上のことを踏まえ、本研究では、まず台風14号によ る宮古島の倒壊電柱の位置同定を行い、宮古地方気象台 における台風14号時の風向・風速観測データを用いて気 流解析により宮古島全域の最大瞬間風速を求め、同定さ れた被害電柱の位置情報と合わせて電柱の損傷度曲線を 作成する.次に、台風シミュレーションを行い、気流解 析の結果と合わせて、宮古島における電柱毎の台風ハザ ード曲線を求める.最後に、宮古島における電柱毎の損 傷度曲線と強風ハザード曲線を用い、電柱毎のリスク評 価を行う.期待総建設費最小化原則に基づき、宮古島に おける配電用電柱毎の最適設計風速を求めると共に、島 全体の配電設備における設計風速階級別の期待総建設費 を算出し、最適な設計風速を提案する.

2. 台風14号の被害データと気流解析による電柱の損傷度曲線の作成

瞬間風速と電柱の被害率との関係を表わす損傷度曲線 を作成するためには、複数の地域における風速の情報と それらの地域における電柱の被害率の情報が必要である. しかし、宮古島のように1箇所の気象官署の風速データ しか得られない場合には1度の台風被害データから損傷 度曲線を作成することができない.

そこで、本研究では、宮古島に設置された電柱の被害 位置を正確に同定し、lkmメッシュ毎の被害率を算定す ると共に、気象台で観測された風速を基に気流解析によ り宮古島全域におけるlkmメッシュ毎の最大瞬間風速分 布を求め、現在使用されている電柱における損傷度曲線 を求めた.

(1) 台風14号の被害データによる電柱被害率の算定

台風14号における宮古島の被害電柱位置を同定するため、表-1に示す(1)~(6)のデータを使用した.同定手順は 図-2に示すように現地踏査を踏まえ、(4)国道・県道沿い (図-3)と(5)国道・県道以外の被害電柱図に基づき (1)1/25000地図上に倒壊位置をマーキングし、デジタイ ザにより座標変換を行った.このようにデジタル化され た第1次被害電柱位置マップに対して、(2)航空写真、(3) 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

被害写真(図-1)を用いて修正し,第2次被害電柱位置マップを作成した.最後に,(6)倒壊前の電柱位置と照合し, 被害電柱の正確な位置を同定した.図-4には島内の全電 柱と被害電柱の位置を示す.

電柱の被害率は、林⁹、林・光田⁹の定義に準じ、ある メッシュ内の電柱の総本数に対する被害電柱の割合で求 めた。被害率の算定に用いるメッシュ幅が大き過ぎると 風速の代表性が悪くなり、小さすぎると電柱が含まれな いメッシュ数が多くなり、風速と電柱の被害率との関係 を正確に評価することができなくなる。1km幅のメッシ ュを用いる場合には、ほぼ全てのメッシュ内に電柱が含 まれる。本研究では1kmメッシュ毎に被害率を算定し、 図-5に示した。図中には倒壊電柱の位置も併記した。 図-5から、宮古島の中央部と平良市の市街地では被害率 が小さく、海岸線に近い郊外での被害率が大きい、また 被害率の高いメッシュには電柱の連続倒壊が含まれてい ることが分かる。

(2) 気流解析から島全域における最大瞬間風速の算定

台風14号時の宮古島全域における最大瞬間風速の分布 を以下に示す手順により求めた.まず,宮古地方気象台 近傍の地形,地表面粗度および建物等の影響を考慮した 気流解析から風向別風速比(平坦地形に対するもの)を 求め,台風14号接近時の気象台で観測された10分平均風 向・風速の時系列データを平坦地形上の風向・風速の時 系列データに変換した.次に,宮古島全域を対象とする 気流解析から島内の任意地点における風向別風速比を算 出し,その地点における10分平均風向・風速の時系列デ ータを算出した.最後に,気流解析から得られた乱れ強 度を用いて,島全域における台風14号時の最大瞬間風速 を算出する.

a) 気流解析の概要と精度検証

本研究では非線形局所風況予測モデルMASCOT^{® 92 10,11)} を用いて、宮古地方気象台近傍の地形,地表面粗度およ び建物等が風観測データに与える影響を評価した. MASCOTはレイノルズ平均非圧縮ナビエストークス方 程式に基づく非線形モデルであり、風速,圧力,乱流統 計量を従属変数とする質量保存則,運動量保存則,乱流 統計量の保存則を数値的に解くことにより,風速の増減, 風向変化を求める.

質量保存則は次式により表される.

$$\frac{\partial \rho u_j}{\partial x_j} = 0 \tag{1}$$

ここで、u₁は3つの風速成分、ρは空気密度を示す. また3つの風速成分の運動量保存則は次のようになる.



図-1 被災した配電用電柱

表-1 被害電柱位置同定作業に用いた資料

資料番号	資料名	出典
(1)	1/25000 地形図(宮古島全土)	国土地理院
(2)	航空写真(宮古島全土)	国土地理院
(3)	被害写真(1000枚)	宮古支庁
(4)	国道・県道沿い被害電柱図	沖縄電力
(5)	国道・県道以外の被害電柱図	沖縄電力
(6)	倒壞前電柱位置情報	沖縄電力



$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u_i' u_j'} \right) + f_{u,i}$$
(2)

ここで、pは圧力、 μ は分子粘性係数である。 $f_{u,i}$ はキャノピーモデル^{II)}の流体力を表す。レイノルズ応力 $\rho u', u',$ は、渦粘性モデルを用いて近似される。

$$\rho \overline{u'_{i} u'_{j}} = \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} - 2C_{\mu} \rho \frac{k^{2}}{\varepsilon} \left(\frac{\partial \overline{u}_{i}}{\partial x_{j}} + \frac{\partial \overline{u}_{j}}{\partial x_{i}} \right)$$
(3)

ここで、kは乱流エネルギー、 ε は乱流散逸率を表す. $k \ge \varepsilon$ に関する輸送方程式は次式により表される.



土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

図-5 lkmメッシュ毎の電柱被害率の分布

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_i}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \rho \overline{u_j' u_j'} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + f_k$$
(4)

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_j \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_i}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] - C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \rho \overline{u_i' u_j'} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \frac{\rho \varepsilon^2}{k} + f_\varepsilon$$
(5)

362

ここで、 f_k 及び f_e はそれぞれキャノピー層内の乱流エネルギー及び乱流逸散の生成と消散を表した項^{II)}である. また式中のモデル定数は標準k-eモデルの値を採用した.

本研究では、宮古島地方気象台及び宮古島全域を対象 とした2つの気流解析を行った.宮古島地方気象台を対 象とした気流解析では、気象台周辺市街地が台風14号時 の風観測記録に与える影響を調べると共に、石原らの風 洞実験⁹の結果と比較することにより本研究で用いた気 流解析手法の精度検証を行う.また宮古島全域を対象と した気流解析では平坦地形及び実地形に関して16風向の 解析行い、風向別風速比を求め、風向風速の時系列デー タの変換に用いる.**表-2**には各対象領域の解析条件を示 す.また図-6には宮古島全域を対象とした気流解析に用 いた流人風の鉛直分布を示す.

宮古島地方気象台を対象とした気流解析では,実験に 用いられた市街地模型を参考に建物及び植生の電子地図 データを作成して用いた.また気流解析では風洞実験⁷ と同様に、市街地模型を設置した場合と設置していない 場合の風観測高さでの風速比及び乱れ強度を求めた. 図-7には風観測塔高さにおける風速比及び乱れ強度の風 向による変化を示す.実測値は石原ら⁷による風洞実験 の結果を,解析値は気流解析の結果を示す.図-7(a)から, 気流解析により求めた風速比は風洞実験から得られた風 速比とよく一致することが分かる.いずれの風向も風速 比は1より小さく、市街地の影響により平均風速が平坦 な地形上の風速より減少していることが分かる.特に, 測風塔の上流に市営団地及び気象台庁舎が存在する東風 向及び北北西から西北西にかけての風向では、これらの 建物の存在が気象台で観測された平均風速の減少が顕著 に見られた. 台風14号時に最大風速が記録された北風に おける風速比は0.73となっており、平坦地形上の風に比 ベ,平均風速が3割程小さいことが分かる. 図-7(b)には 風観測高さでの乱れ強度の風向による変化を示す.風速 比が大きく減少している風向では乱れ強度が大きくなっ ていることが分かる.

b) 平坦地形上の風向・風速の時系列データの算出

台風14号の時の島内任意地点における風向・風速の時 系列データを求めるため、まず、気象台での風観測記録 から周辺市街地の影響を取り除いて、平坦地形上の風 向・風速の時系列データを求める必要がある.

本研究では、時刻 $_{I}$ における平坦な地形上の風速 $\overline{U}_{F,A}(t)$ は気象台で観測された風速 $\overline{U}_{T,A}(t)$ と気流解析 から得られた風速比 C_{LA} ,平坦な地形上の風向 $\overline{\theta}_{F,A}(t)$ は気象台で観測された風向 $\overline{\theta}_{T,A}(t)$ と気流解析から得ら れた風向偏角 $\Delta \theta_{A}$ から次のように求めた.

土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

表-2 解析条件

(d) 百日局地力风寒口								
解析ケース	平坦地升	形	実地形					
流入風	実測値の							
標 高	一定値 (0m)		10m 数值地図 ¹²⁾					
地表面粗度長	一定值(0.02m)*		付表-1					
電子地図	-		市街地模型 ⁷ を参考に作成					
解析領域	10.0kmx3.2kmx1.5km							
最小格子	25m(水平), 5m(鉛直)		25m(水平), 3m(鉛直)					
			*風洞床面より決定					

(b) 宮古島全域							
解析ケース	平坦地形	実地形					
流入風	粗度区分Ⅱに対応する流入風						
標高	一定值 (0m)	50m 数值地図 ¹³⁾					
地表面粗度長	一定値 (0.01m)*	付表-1					
電子地図	-	電子住宅地図14)					
解析領域	44.0kmx44.0kmx1.5km						
最小格子	25m(水平), 5m(鉛直)	25m(水平), 3m(鉛直)					
		*相座区公Ⅱ					



図-7 風速比及び乱れ強度の風向による変化

363



図-8 気象台風観測記録と平坦地形上の平均風速と風向の 推定値との比較

$$\overline{U}_{F,A}(t) = \overline{U}_{T,A}(t) / C_{i,A}$$

$$C_{i,A} = \frac{U_{T,A}}{U_{F,A}}$$
(6)

$$\overline{\theta}_{F,A}(t) = \overline{\theta}_{T,A}(t) - \Delta \theta_{i,A}
\Delta \theta_{i,A} = \theta_{Ti,A} - \theta_{F,A}$$
(7)

ここで、 U_{π_A} , θ_{π_A} は実地形を対象とした気流解析から求めた風向iの時の気象台における風速計設置地点での風速と風向を表し、また $U_{F,A}$, $\theta_{F,A}$ は同地点とその周辺を平坦地と仮定し気流解析から求めた風速と風向を表す. 図-8には式(6)と式(7)により求められた平坦地形上の風速と風向の時系列データを示す.この図から、11日3時に気象台で記録された最大風速38.4m/sは気象台の周辺市街地の影響を取り除いた平坦地形上に変換した場合に52.5m/sとなることが分かる.

c) 島全域における風向・風速の時系列データの推定

次に,推定された平坦地形上の風向・風速に基づき島 内の任意地点での10分平均風向・風速を当該地点の風速 比及び風向偏角を用いて式(8)と式(9)により算出する.

$$\overline{U}_{Ti}(x, y, z, t) = \overline{U}_{F,A}(z, t) \times C_i(x, y, z)$$

$$C_i(x, y, z) = \frac{U_{Ti}(x, y, z)}{U_{Fi}(x, y, z)}$$
(8)

$$\overline{\theta}_{T_{I}}(x, y, z, t) = \overline{\theta}_{F,A}(z, t) - \Delta \theta_{i}(x, y, z)
\Delta \theta_{i}(x, y, z) = \theta_{T_{I}}(x, y, z) - \theta_{F}(x, y, z)$$
(9)

ここで、地上高さzでの実地形上の10分平均風速 \overline{U}_{π} は





図-10 乱れ強度 I, の分布(風向 N)

同じ高さの平坦地形上の10分平均風速 $\overline{U}_{F}(z,t)$ に風速比 $C_i を乗じて求められる. 風速比<math>C_i$ は、気流解析から得 られた実地形上の風速 U_n と気流解析から得られた平坦 地形上の風速 U_n との比である.また実地形上の10分平 均風向 $\overline{\theta}_n$ は、気流解析から求められた平坦地形上の10 分平均風向 $\overline{\theta}_r$ と風向偏角 $\Delta \theta_i$ との和により求められる. 風向偏角 $\Delta \theta_i$ は気流解析から得た実地形上の風向 θ_n と 平坦地形上の風向 θ_F との差である.なお、平坦地形上 の地上高さzにおける風速 $\overline{U}_F(z,t)$ は次式に示す測風 塔位置の平坦地形上の水平風速の鉛直分布から次式によ り求める.

$$\overline{U}_{F,A}(z,t) = \overline{U}_{F,A}(t) \times C_{F,A}(z), \quad C_{F,A}(z) = \frac{U_{F,A}(z)}{U_{F,A}}$$
(10)

ここで、 $C_{F,A}(z)$ は平坦地形上の測風塔位置における地 上高さzでの風速 $U_{F,A}(z)$ と風速計高さでの風速 $U_{F,A}$ と の比を表す.式(8)と式(10)をまとめると、任意地点・任 意高さにおける平均風速の時系列 $\overline{U}_{\pi}(x, y, z, t)$ は平坦地 形上の平均風速の時系列 $\overline{U}_{F,A}(t)$ から式(11)により求め ることができる.また平坦地形上の平均風向は地表面付 近では高さによって変化しないことを考えると、任意地 点・任意高さにおける平均風向の時系列 $\overline{\partial}_{\pi}(x, y, z, t)$ は



土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

 20.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0
 0.0



図-12には提案した手法による平均風速の予測結果を示 す.予測された平均風速は宮占支店での観測結果とよく 一致し,予測誤差の平均値は-0.14m/s,標準偏差は 1.98m/sである.本提案手法により,気象台風観測記録か ら島内の他の地点における風向・風速を精度よく推定で きることが示された.

d) 最大瞬間風速の推定

80 0

60.0 (s/ш)

最後に、島内の任意地点における平均風速の推定値と 気流解析により得られる乱れ強度により、台風接近時の 最大瞬間風速を推定する.瞬間風速は気象庁の定義に従 い、風速の3秒間の平均値を算出した.本研究では最大 瞬間風速 U_{ε} を100mメッシュ毎に求められた10分平均風 速の時系列データにガストファクター $G_{u,t}$ を乗じて次式 により求めた.

$$U_{E}(x, y, z) = \max\left(\overline{U}_{Ti}(x, y, z, t) \times G_{i}\right)$$
(13)

ここで、 $ガストファクターG_i$ は以下の式により表される.

ŀ

$$G_i = 1 + I_i P_f$$
, $I_i = \sqrt{I_{u,i}^2 + I_B^2}$ (14)

$$f_f = 0.5 \ln\left(\frac{T}{t}\right) \tag{15}$$

式(14)中の乱れ強度*I*_iは、ウインドシアーにより作られた乱れ強度で、気流解析により得られる乱れ強度*I*_{u,i}と、バックグランドの乱れ強度*I*_bから求める.なお*I*_bは観測に基づき10%と設定した.また、式(14)中のピークファクター*P*_iはIshizak¹⁵により提案された式(15)を用い、10分間(7=600秒)平均風速より最大瞬間風速(=3秒)を算出する.本研究では、最大瞬間風速の推定手法を検証するために、台風14号接近時の宮古島地方気象台における10分間の最大瞬間風速の観測記録と、10分間平均風速から求めた最大瞬間風速を**図-13**に示す.予測された最

平坦地形上の平均風向の時系列
$$\bar{\theta}_{F,A}(t)$$
から式(12)により
求めることができる.

$$U_{TI}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}, t) = C_{i,A}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) \times U_{F,A}(t)$$

$$C_{i,A}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) = C_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) \times C_{F,A}(\mathbf{z})$$
(11)

$$\overline{\theta}_{T_{i}}(x, y, z, t) = \overline{\theta}_{F,A}(t) - \Delta\theta_{i,A}(x, y, z)
\Delta\theta_{i,A}(x, y, z) = \theta_{T_{i}}(x, y, z) - \theta_{F}(x, y, z)$$
(12)

図-9と図-10には、風向Nにおける宮古島全域の電柱高 さ108mにおける風速比*C*_iと乱れ強度*I*_iの分布を示す. これらの図から、市街地における風速比が小さく、乱れ 強度が大きいことが分かる.一方、島の北側の海岸付近 では風速比が大きく、乱れ強度が小さくなっていること が分かる.

本研究で提案した予測手法を検証するために、台風14 号接近時の平均風速及び風向の観測値が得られている沖 縄電力宮古支店における地上高さ z = 22.0m での平均風 向・風速を予測した.沖縄電力宮古支店は、宮古島地方 気象台の北約4kmの地点に位置する.図-11には同地点 における風向別風速比を示す.沖縄電力宮古支店周辺は 地形の起伏が緩やかであり、建物も気象台周辺と比較し て少ないため、大きな減速は見られない.また西側は海 に面しているため、風速比は1より大きくなっている.



土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

図-14 最大瞬間風速U₂の分布 大瞬間風速は観測値とよく一致し,予測誤差の平均値 は-2.84m/s,標準偏差4.5m/sである.これにより本手法の 有効性が確認された.図-14(a)には100mメッシュ毎の最 大瞬間風速の分布を示し,図-14(b)に100mメッシュ毎の 最大瞬間風速を1kmメッシュ毎に平均した分布図を示す. 平良市街地で最大瞬間風速が低く,海岸付近で最大瞬間 風速が高いことが分かる.これらの結果は,市街地の粗

度が大きいことや海岸付近において海風の影響を強く受

(3) 電柱の損傷度曲線の作成

けることに対応している.

本研究では1kmメッシュ毎の電柱被害率と1kmメッシ ュ毎の最大瞬間風速を用いて電柱の損傷度曲線を求めた. 図-15には1km毎の電柱の被害率と最大瞬間風速との関 係を示す.また比較するために,宮古地方気象台で観測 された台風14号の平均風速から求めた最大瞬間風速と電 柱被害率との関係も図中に併記した.1箇所の気象台で 観測された風速を用いる場合には,風速と被害率の関係 は1直線になり,損傷度曲線を作成できないことがわか る.一方,本研究で提案した手法により1度の台風被害 データと1箇所気象台で観測された風速から電柱の損傷 率と最大瞬間風速の関係を求めることが可能となる.

図中の実線は式(16)に示す対数正規分布を最小二乗法





により同定した近似曲線である.

$$F_F(U_E) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\ln U_E}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_{\ln U_E}}{\sigma_{\ln U_E}}\right)^2\right] \quad (16)$$

ここで、 $F_{\mathbb{F}}(U_{\mathbb{F}})$ は対数正規累積分布、 $\mu_{\ln U_{\mathbb{F}}} \ge \sigma_{\ln U_{\mathbb{F}}}$ は それぞれ最大瞬間風速 $U_{\mathbb{F}}$ の対数の平均値と標準偏差を 表す.同定された対数正規分布の平均値 $\mu_{\ln U_{\mathbb{F}}}$ は4.243、 標準偏差 $\sigma_{\ln U_{\mathbb{F}}}$ は0.044である.それに対応する最大瞬間 風速 $U_{\mathbb{F}}$ の最頻値と標準偏差は式(17)、式(18)より求めら れ、それぞれ69.7m/s、3.07m/sであり、変動係数は約4% である.

$$\mu_{U_g} = \exp\left(\mu_{\ln U_g} + \frac{1}{2}\sigma_{\ln U_g}^2\right) \tag{17}$$

$$\sigma_{U_{E}}^{2} = \mu_{U_{E}}^{2} \left(e^{\sigma_{\ln U_{E}}^{2}} - 1 \right)$$
(18)

表4 宮古島における各台風パラメータに関する統計モデルおよびモデル係数					
台風パラメータ	確率密度関数		モデル係数		
中心気圧低下量ΔP			$\mu = 1.7537 \sigma = 0.1498 k = 3.3334 c = 66.9012 a = 0.907$		
最大旋衡風速半径R _m	混合確率分布	$F_{M}(x) = a \times \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\ln x}}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_{\ln x}}{\sigma_{\ln x}}\right)^{2}\right] + (1-a) \times \frac{k}{c} \left(\frac{x}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{c}\right)^{k}\right]$	$\mu = 1.8649 \sigma = 0.2052 k = 2.1155 c = 92.4527 a = 0.981$		
進行速度C			$\mu = 1.2554 \sigma = 0.1930 k = 2.7487 c = 22.0978 a = 0.0$		
進行方向	正規分布	$F_{S}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{2}\right]$	$\mu = 199.7945$ $\sigma = 50.9627$		
最接近距離d _{min}	二次関数	$d_{\min}(x) = zx^2 - (z - 2r)x - r$	z = -340.795 r = 500		
台風の年発生数ん	ポアソン分布	$\lambda(x) = \frac{\lambda_m^x \exp\left(-\lambda_m\right)}{x!}$	$\lambda_m = 4.925$		

土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

配電設備のリスクマネジメントを行うためには、設計 風速別の損傷度曲線が必要である.本研究では台風14号 の被害率と最大瞬間風速から求めた電柱の損傷度曲線を 現在採用されている設計風速40m%のものとして代表さ せ、それを基に設計風速別の損傷度曲線を作成した.そ の際には対数正規分布における標準偏差(最大瞬間風速 の変動係数)は電柱の設計風速によらず、一定と仮定し た.また最大瞬間風速の最頻値 U_M と電柱の設計風速 U との比率 R_M は設計風速によらず一定とし、対数正 規分布における平均 μ_{nU_g} は次式により求めた.

$$\mu_{\ln U_g} = \ln \left(U_M \right) \tag{19}$$

$$U_M = R_M \times U \tag{20}$$

図-16と表-3には設計風速別電柱の損傷度曲線とその パラメータを示す.最大瞬間風速の最頻値と設計風速と の比は図-15から同定した最大瞬間風速の最頻値と現在 採用されている電柱の設計風速40m/sとの比により求め た.

3. 台風シミュレーションによるハザード曲線の 作成

配電設備のリスクマネジメントを行う際には,配電用 電柱の損傷度曲線の他に,電柱毎の台風ハザード曲線が



図-17 台風ハザード曲線作成のフロー図

必要となる.現在日本における風観測は最長70年間程度 しかないため,超過確率の低い風速の算定は外挿となっ てしまう問題がある.この問題を解決するために,本研 究では台風シミュレーションにより年最人瞬間風速の超 過確率を評価する.

台風時における地表面付近の風速場は台風に伴う気圧 場により支配され、対象地点周辺の局所地形や地表面粗 度の影響も受ける.ただし、台風に伴う気圧場のスケー ルと局所地形や地表面粗度のスケールが大きく異なるこ とに着目し、二つの効果を分離し評価した.具体的には、

	$\ln(\Delta P)$	$\ln(R_m)$	$\ln(C)$	θ	d_{\min}		
$\ln(\Delta P)$	1.00	-0.383	-0.042	0.058	0.066		
$\ln(R_m)$	-0.383	1.00	0.072	0.128	-0.024		
$\ln(C)$	-0.042	0.072	1.00	-0.031	-0.219		
θ	0.058	0.128	-0.031	1.00	-0.130		
d	0.066	-0.024	-0.219	-0.130	1.00		

長-5 台風パラメータ間の相関係数

ー様相度の平坦地形上の風速場を解析的に求めることの できる石原ら¹⁰の半理論モデルと対象地点周辺の局所地 形や地表面相度の影響を評価できる気流解析より求めた 風速比・風向偏角を組み合わせることにより,台風時に おける地表面付近の風速場を推定し,宮古島における電 柱毎の台風ハザード曲線を作成する.図-17には台風ハ ザード曲線作成の手順を示す.

(1) 台風シミュレーション

台風シミュレーションではまず過去の台風観測データ により、台風の年発生数 λ 、最接近距離 d_{\min} ,進行方 向 θ ,進行速度C、中心気圧低下量 ΔP ,最大旋衡風速 半径 R_m の6つのパラメータの確率分布を求める.次に、 各パラメータの確率分布に従い、人工的に台風を発生さ せる.本研究では5000年間の台風を発生させた.そして、 発生させた台風の気圧場から上空風を求め、地表面粗度 や地形の効果を考慮して地上風に変換し、さらに台風シ ミュレーションにより求めた風速を瞬間風速に変換し、 年最大瞬間風速を求める.

本研究において台風パラメータの確率分布を近似する 際に、気象庁によりデジタル化された1951年から2005年 までの台風経路データ、1961年から2005年までの気圧の 地上観測データおよび天気図からデジタル化された中心 位置と等圧線情報により構築された台風データベース¹⁷ を用いた。

台風シミュレーションにより設計風速を評価する際に は台風パラメータの確率分布を精度よく近似することが 重要である。台風パラメータの統計的な性質は場所によ って異なるため、単一の確率分布ですべての地点の台風 パラメータを近似することは困難である。そこで、本研 究では、進行速度C,中心気圧低下量 ΔP ,最大旋衡風 速半径 R_m の3つのパラメータについて石原ら¹⁰の開発し た混合確率分布関数MPDF(Mixed Probability Distribution Function)を用いた。また、台風の年発生数 λ については ボアソン分布、最接近距離 d_{\min} は二次関数、進行方向 θ は正規分布により近似した。宮古島における台風パラ メータの近似に用いた確率分布関数と変数の一覧を**表4** に示す.ここで、 μ は対象とするパラメータの平均値、 σ は対象とするパラメータの標準偏差、kは形状係数、 cは尺度係数、aは混合係数、zは二次関数の係数、



十木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

図-18 上空における年最大風速の確率分布

 λ_m は平均年発生回数, $x \in (0,1)$ である. またr は半径 500kmを表す.

表-5には宮古島地方気象台を中心とし、半径500km以 内に通過した台風のパラメータ間の相関係数を示す、パ ラメータによって高い相関関係が見られる. 例えば、中 心気圧低下量ΔPと最大旋衡風速半径Rmとの間に負の 相関が見られるが、最大旋衡風速半径が大きい程中心気 圧低下量が小さい.また,進行速度Cと最接近距離 d_{min} との間にも負の相関が見られるが、西進する台風 が大陸の高気圧によって進路を北に変える場所が、宮古 島の東側(最接近距離の符号はプラス)に比べて西側(最接 近距離の符号はマイナス)を通過した場合に進行速度を 増すことに対応している.本研究では、モンテカルロシ ミュレーションにより台風を作り出す際に、台風パラメ ータの確率分布を正しく再現するだけでなく,パラメー タの間の相関関係も忠実に再現できる石原ら¹⁰の開発し た修正直交変換法MOD (Modified Orthogonal Decomposition) を用いた.

(2) 台風時の地上風の算定

強風時の大気境界層が中立であると仮定すれば、台風 に伴う強風場を、ナビエストークス(N-S)方程式で記述 することができ、この方程式を数値的に直接解くことに より、台風時の強風場が求められる.しかし、N-S方程 式を数値的に直接解くことは、膨大な計算時間を要する. そこで、本研究では、石原ら¹⁰の提案した台風モデルを 用いた.この台風モデルでは、台風場を巨視的に取り扱 うこととし、上空風の風速は台風の移動効果を考慮し、 気圧の勾配、コリオリカおよび遠心力のバランスから求 め、式(21)、式(22)により示される.

$$v_{\theta g} = \frac{C\sin\theta - fr}{2} + \sqrt{\left(\frac{C\sin\theta - fr}{2}\right)^2 + \frac{r}{\rho}\frac{\partial\rho}{\partial r}} \quad (22)$$

ここで、 $v_{r_g} \ge v_{\theta_g}$ はそれぞれ半径方向と接線方向の速度成分を示し、Cは台風移動速度、 θ は台風中心とサ

 $v_{rr} = 0$

イト位置のなす角度, f はコリオリパラメータ, ρ は 空気密度である. 図-18には宮古島地方気象台における 上空風の年最大風速の確率分布を示す. 図中の実線は 表4に示す台風パラメータに関する統計モデルにより発 生した台風の気圧場から求めた年最大風速, 黒丸は観測 された気圧分布からから求めた年最大風速を示し, 両者 はよく一致し,本台風シミュレーションから得られた気 圧場は実際に観測された気圧場を精度良く再現している ことが分かる.

台風時の上空風を地形,地表面粗度,市街地内の建物 の影響を考慮した電柱の高さでの風速へ変換するために, まず石原ら¹⁰により提案された台風時の大気境界層モデ ルを用い一様粗度の平坦地形上10.8m(電柱の高さ)での風 速・風向を求めた.このモデルでは、台風時の大気境界 層内の風速分布U(z)と風向分布 $\gamma(z)$ は次式のように 表される.

$$U(z) = U_g \left(\frac{z}{z_g}\right)^{\alpha_u}$$
(23)

$$\gamma(z) = \gamma_s \left(1.0 - 0.4 \frac{z}{z_s}\right)^{1.1} \tag{24}$$

ここで、 $U_{g} (= \sqrt{v_{\theta_{g}}^{2} + v_{g}^{2}})$ は傾度風, z_{g} は傾度風高さ、 zは地表面からの高さ、 α_{u} は鉛直プロファイルを表す べき指数、 γ_{s} は風向の偏角である。またこれらのパラ メータは傾度風 U_{g} 、地表面粗度長 z_{0} 、絶対渦度 f_{2} 、 渦度の非一様性を表すパラメータ ξ を用いて以下のよう に表すことができる。

$$\alpha_{u} = 0.27 + 0.09 \log(z_{0}) + 0.018 \log^{2}(z_{0}) + 0.0016 \log^{3}(z_{0})$$
(25)

$$z_{g} = 0.052 \frac{U_{g}}{f_{\lambda}} (\log Ro_{\lambda})^{-1.45}$$
(26)

$$\gamma_s = (69 + 100\xi) (\log Ro_{\lambda})^{-1.13}$$
(27)

$$f_{\lambda} = \left(\frac{\partial v_{\theta g}}{\partial r} + \frac{v_{\theta g}}{r} + f\right)^{1/2} \left(2\frac{v_{\theta g}}{r} + f\right)^{1/2}$$
(28)

$$\xi = \left(2\frac{v_{\theta g}}{r} + f\right)^{\frac{1}{2}} \left/ \left(\frac{\partial v_{\theta g}}{\partial r} + \frac{v_{\theta g}}{r} + f\right)^{\frac{1}{2}}$$
(29)

ここで、 $Ro_{\lambda}(=U_g/f_{\lambda}z_0)$ は修正地表ロスビー数と呼ばれる無次元数である.

この台風モデルの特徴は、従来風工学の分野で用いら れてきたべき法則モデルの扱い易さという長所を兼ね備 えつつ、風速の鉛直分布のべき指数、傾度風高さ、風向





図-19 台風 14号における平均風速の時間変化



の偏角と地表面粗度長との関係が半理論的に与えられた 点である.このように、対象地点における地表面粗度長 を定めると、一様粗度をもつ平坦地形上の台風時の風 向・風速が式(23)と式(24)により求められる.またこのモ デルにより算出した台風時の地上風の最大風速は傾度風 が最大となる位置より内側で生じていることが分かる. さらに台風時の地上風は台風中心に向かって吹き込む性 質も表現されている.本研究では電柱に位置する周辺地 形、建物、地表面粗度の違いを考慮するため、気流解析 により求めた宮古島全域の風速比と風向偏角を用いて、 一様粗度をもつ平坦地形上の台風時の風向・風速から電 柱位置における風速・風向を式算出した.

台風シミュレーションで用いられている気圧場のモデ ルは台風に伴う数100kmの渦運動のみを表しており,実 際の台風内に含まれる積乱雲に代表される小さな渦運動 を再現していない.このため、台風シミュレーションよ り得られた風速の平均化時間は観測値の10分平均風速と 異なる. Vickery and Twisdale¹⁸によると,台風シミュレーションの計算結果の平均化時間はおよそ1時間である. この問題を解決するために,本研究では松井¹⁹の提案した平均化時間の違いを補正する手法を用い,10分平均風 速の最大値を求めた.図-19には台風14号時に観測された10分平均風速,平均化時間の違いを考慮していない10 分平均風速の予測値および平均化時間の違いを考慮した 10分平均風速の最大値を示す.平均化時間の違いを考慮 することにより,観測期間中の10分平均風速の最大値を 精度良く再現できることが分かる.

(3) 台風ハザード曲線の作成

第2章に述べた瞬間風速を求める方法を用い、平均化時間の違いを考慮した10分平均風速から電柱位置における年最大瞬間風速を算出した。シミュレートした5000年間の年最大瞬間風速を行きい順に並べ、年最大瞬間風速 の超過確率分布、すなわち台風ハザード曲線を求め、 図-20に示す。図中には、Gunbel分布とWeibull分布により近似した年最大瞬間風速の超過確率分布も併記した。 Gunbel分布とWeibull分布はそれぞれ台風シミュレーションの値を過大または過少に評価していることが分かる。 本研究では最小二乗法により台風時の超過確率分布を以下に示す回帰式で近似した。

$$F_{\nu}(U_{E}) = \begin{cases} f(a_{i}U_{E} + b_{i}) & (U_{E} < U_{E,100}) \\ \exp(AU_{E} + B)(U_{E} \ge U_{E,100}) \end{cases}$$
(30)

ここで、 F_{ν} は超過確率分布関数、 U_{R} は年最大瞬間風 速, $U_{E,100}$ は年最大瞬間風速 U_E のうち高風速側から数 えて総データ数N (5000)の1%にあたる年最大瞬間風速で あり,再現期間100年の年最大瞬間風速にあたる. U_{F.100}より低い年最大瞬間風速はノンパラメトリック回 帰²⁰⁾,またU_{F100}より高い年最大瞬間風速は指数関数で 近似した. 係数 a, 及び b, は, 1m/sごとに設定した風速 ビンにおける中央値 $\hat{U}_{E,i}$ から±5m/sの範囲のデータに基 づき重み付き最小二乗法により決定した. なお, 重み付 けにはtricube型²¹⁾の重み関数を用いた.一方, $U_{E,100}$ より 高風速の範囲では、データ数が少ないため、全データ数 Nの上位1%の風速値を用いて指数係数にある係数A及 び Bを最小二乗法により推定した.図-20から本提案手 法により台風シミュレーションから得られた年最大瞬間 風速の超過確率分布を精度良く近似できることが分かる. 年最大瞬間風速の確率密度関数 fy は年最大瞬間風速

の超過確率分布関数から式(31)により求める.

$$f_{\nu}\left(U_{E}\right) = \frac{d}{dU_{E}}F_{\nu}\left(U_{E}\right)$$
(31)

図-21には**図-20**に示した台風ハザード曲線を基に求め た年最大瞬間風速の確率密度関数 *f_V* を示す. *U_{R,100}* よ 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

4. 配電設備のリスクマネジメント

本章では、電柱損傷度曲線と台風ハザード曲線を用い て配電用電柱のリスク評価を実施すると共に、期待総建 設費最小化原則に基づき宮古島における全ての電柱の最 適設計風速を求め、配電用電柱のリスクマネジメントを 行う.

(1) 期待総建設費最小化原則と費用の算定

期待総建設費最小化原則^{(2), 20}に基づく配電用電柱のリ スクマネジメントは,式(32)に示すような期待総建設費 が最小となる最適設計風速を導くことである.

$$C_T = C_I + P_F C_F, \qquad P_F = R \times T \tag{32}$$

ここで、 C_r は期待総建設費、 C_l は期待初期建設費、 P_p は耐用期間中の破壞確率、 C_p は期待再建費、Rは 年間台風リスクである.Tは耐用年数であり、本研究 では42年と設定した.電柱の年間台風リスクRは電柱 の損傷度曲線より求めた各風速階級の損傷発生確率(被 害率)と台風ハザード曲線より求めた各風速階級の年最 大瞬間風速の確率密度関数との積の累積値から次式によ り求めることができる.

$$R = \sum_{V=-1}^{100} F_F(U_E) f_V(U_E)$$
(33)

電柱の期待総建設費は、電柱の耐用年数が一定の場合 に電柱の期待初期建設費と期待再建費の他、電柱設置地 点での電柱の年間台風リスクRに依存することが分か る.電柱の期待初期建設費,期待再建費および年間台風 リスクは電柱の設計風速の関数であることから、電柱毎 の最適設計風速を決定するためには設計風速を変化させ, 期待総費用の最小値を求める必要がある.

配電設備の期待初期建設費には電柱費用の他,配電線, 柱上機器,電柱設置費も含まれる.現在一般に使用され る設計風速40m/sの配電設備の初期建設費の電柱費用と その他の費用をそれぞれ10万円と40万円と仮定した.ま た期待再建費は初期建設費に被害電柱の撤去費用などが 加算されるため初期建設費より高い.本研究では台風14 号における送配電用設備の復興費用約7.7億円より求め た1本当たりの復興費用77万円から電柱費用10万円を差 引いた67万円を電柱費用を含まない期待再建費と設定し た.設計風速の異なる電柱の期待再建費はこの費用にそ れぞれの設計風速の電柱費用を加えて求める.

設計風速別の期待初期建設費と期待再建費は電柱の設



土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

4776

50

109.9

□ 本数(本)

108

胡待初期総建設費

□ 期待総建設費

116.0

12636

ΔF

15 00 設計風速 (m/s)

最適設計風速別の電柱設置本数

2040

40

121.1

14000

12000

10000

₩ 8000 本数 6000

4000

2000

300

250

臣 聖 200

胡待総建設費 150

100

0 35

128

圛-24

237.5

設計風速別の島内期待総建設費 図-25

45 50 設計風速 (m/s)

106.6

ここで, C_p は電柱費用, C_{κ} は電柱費用を除いた配電 線,柱上機器,建設等の費用(40万円), C_{IP40}は設計風速 40m/sの電柱費用(10万円), U_Mはそれぞれの設計風速に 対応する最頻値, U_{M40} は設計風速40m/sに対応する最頻 値, C_{F40} は設計風速40m/sの電柱における期待再建費(77 万円)である.

(2) 期待総建設費最小化原則に基づいた最適設計風速 の評価

最適設計風速は設計風速を35m/sから60m/sまで1/ms刻 みで変化させ、各設計風速における期待総建設費が最小 となる風速を最適設計風速とした.

図-22には宮古島のある地点Aと地点Bに設置した電柱 の設計風速別期待総建設費を示す、この図から、初期建 設費は設計風速の増加につれ増大し, 期待再建費は反対 に減少することが分かる.地点Aでは設計風速40m/s,地 点Bでは55m/sにおいて期待総建設費が最小となり、建設 地点の違いにより期待総建設費に大きな差が生じること がわかる.

最適設計風速を求めた後、55~60m/sは設計風速60m/s の電柱を適用するというように5m/s刻みに正規化した場 合の島内における全ての電柱の最適設計風速の分布を 図-23に示し、平良市の市街地では最適設計風速が低く、

計風速が高くなるにつれ、電柱費用が高くなるように設 定した. 電柱にかかる荷重が風速の2乗に比例すること から、電柱費用は設計風速の2乗に比例して増大すると 仮定し、またその他の費用は設計風速によらず一定とし、 期待初期建設費C₁と期待再建費C_Fを次式により算出 する.

図-23 島内電柱毎の最適設計風速

$$C_{I}(U_{M}) = C_{IP}(U_{M}) + C_{IC} = C_{IP40}(U_{M}^{2}/U_{M40}^{2}) + C_{IC}$$
(34)

$$C_{F}(U_{M}) = C_{IP}(U_{M}) - C_{IP40} + C_{F40}$$

= $C_{IP40}(U_{M}^{2}/U_{M40}^{2} - 1) + C_{F40}$ (35)
郊外や海岸部では高くなっていることが分かる. 図-24 には5mk刻みの設置本数を示し,設計風速45mkの電柱 が全電柱の64%を占めていることがわかる.

図-25には電柱の設計風速を一律35msから60msまで 5ms刻みで変化させた場合の宮古島における全電柱の期 待総建設費を示す.この図から一律に設計風速を設置し た場合には,設計風速45msの電柱を採用した時に全電 柱の期待総建設費が最小となることが分かる.また,島 内における全ての電柱に最適設計風速を採用した場合の 期待総建設費は104.8億円であり,設計風速45msを一律 に設置した場合の期待総建設費106.6億円と大きな差は ないが,現状の設計風速40msを用いた場合の期待総建 設費用に比べ,コストを13%削減できることが分かる.

5. まとめ

本研究では台風14号による被害電柱位置の同定を行い, 宮古島全体における1km毎の電柱被害率を算出すると共 に,宮古地方気象台における台風14号時の風向・風速の 観測値と気流解析により求められた島全体の風向別風速 比から宮古島全体の風速分布を推定することにより宮古 島における配電用電柱の損傷度曲線を求めた.本研究で 提案した手法は、1度の台風被害データから配電用電柱 の損傷度曲線を求めることができ,これにより迅速な被 害対策の検討が可能になった.次に台風シミュレーショ ンにより島内電柱毎の台風ハザード曲線を作成し,設計 風速別の損傷度曲線とあわせて,期待総建設費最小化原 則に基づき電柱毎の最適設計風速を求めた.その結果, 以下の結論が得られた.

- 1) 台風14号により宮古島で倒壊した電柱の位置情報を デジタル化し、電柱被害率のマップを作成すると共に、 宮古島の中央部と市街地で被害が少なく、郊外では連 続倒壊を含む被害が顕著であることを明らかにした. また本研究で提案した気流解析から島全域における最 大瞬間風速の推定手法により、1度の台風被害データ と一地点における風観測記録から電柱の被害率と最大 瞬間風速の関係を表す損傷度曲線を求めることを可能 とした.
- 2) 台風シミュレーションと気流解析を組み合わせることにより、電柱周辺の地形、地表面粗度、建物の影響を考慮した宮古島全域の地上風を予測し、個々の電柱の台風ハザード曲線を作成することに成功した。
- 3) 設計風速40m/sの電柱の損傷度曲線から,設計風速を 変化させた場合の損傷度曲線を作成し,台風ハザード 曲線と組み合わせることにより,個々の電柱の最適設 計風速を明らかにした.

上木学会論文集A1	(構造	・地震工学),	Vol.	67, No.	2,	360-373,	2011
-----------	-----	---------	------	---------	----	----------	------

付表-1 土地利用区分データ^のと対応地表面粗度

土地利用区	分 地表面粗 度長(m)	土地利用区分	地表面粗 度長(m)
1.田	0.03	A.その他用地	0.03
2.その他農用:	地 0.03	B.河川・湖沼	0.0002
5.森林	0.1	E.海浜	0.01
6.荒地	0.03	F.海水域	0.0002
7.建物	0.03	G.ゴルフ場	0.03
9.幹線交通用	地 0.03		

4) 島全域の電柱に最適設計風速を用いる場合の期待総 建設費は,設計風速一律45msの電柱を用いる場合の 期待総建設費との差が小さいが,現状の設計風速を用 いる場合の期待総建設費用に比べ,コストを13%削減 できることを明らかにした.

謝辞: 本研究の実施にあたり,東京大学大学院工学系 研究科修士2年(研究当時)南邦毅氏,クー・カイ・シ アン氏にご協力を頂いた.ここに記して,謝意を表する.

参考文献

- 前田潤滋: 台風9119号による九州地区における強風分 布と送電用鉄塔および配電柱の被害状況,日本風工学 学会誌,第50号, pp.27-30, 1992.
- 2)前田潤滋: 台風9117号と9119号による九州地区における強風分布特性と建築物および送電用施設の配電柱の被害分布,日本風工学学会誌,第53号,pp.15-26,1992.
- 3) 神田順,高田毅士,崔恒,岩崎良二,諏訪仁,近藤宏二, 中村豊,坂本成弘,谷口元,神田誠一,越智沙香:建築物の標準的構造性能評価法の開発,平成13年度国土交通 省建設技術開発費補助金研究成果報告書,2001.
- 近藤宏二,神田順,崔恒:建築物の危険度の評価法に関 する研究,第17回風工学シンポジウム,pp191-196, 2002.
- 5) 林泰一: 1991年台風19号の強風による強風被害の研究, 平成3年度文部省科学研究費(総合研究(A)03306022)突 風災害研究成果報告書(自然災害総合研究班:代表研 究者 光田), 8.台風9119号による住宅の災害について, 1992.
- 6) 林泰一, 光田寧: 台風9119号による被害について, 第 12回風工学シンポジウム, 1992.
- 石原孟,山口敦,高原景滋,銘苅荘宏,新城文博:風洞実 験と気流解析に基づく台風0314号の最大風速の推定, 構造工学論文集, Vol.51A, pp.911-920, 2005.
- 石原孟: 非線形風況予測モデルMASCOTの開発とその 実用化, 日本流体力学会誌, 第22巻, 第2号, pp.387-396, 2003.

土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 67, No. 2, 360-373, 2011.

- 9) 石原孟、山口敦、藤野陽三:複雑地形における局所風況の数値予測と大型風洞実験による検証、土木学会論文集、No.731/I-63, pp.195-221, 2003.
- 石原孟,日比一喜: 急峻な山を越える乱流場の数値予 測,日本風工学会論文集, No.83, pp.175-188, 2000.
- 榎木康太,石原孟:一般化キャノピーモデルの提案と 都市域における風況予測への応用,土木学会論文集, (投稿中).
- 北海道地図株式会社:GISMAP(ジスマップ) Terrain Ver.2.00 標準仕様書,2006.
- 13) 国土交通省:国土数值情報, http://www.mlit.go.jp.
- 14)株式会社ゼンリン:住宅地図データベース製品説明
 書,2006.
- 15) Ishizaki, H.: Wind profiles, turbulence intensities and gust factors for design in typhoon prone regions, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol.13, pp.55-66, 1983.
- 16) 石原孟,松井正宏,日比一喜:中立時の大気境界層にお ける強風の鉛直分布特性 その2台風時の強風,日本 風工学会誌,第66号,pp.3-14,1996.
- 17) 石原孟,ホタイホム,チョンチーリョン,藤野陽三:台 風シミュレーションのための混合確率分布関数と修

正直交変換法の提案,第18回風工学シンポジウム論文 集, pp.5-10,2004.

- Vickery, P. J. and Twisdale, L. A.: Wind-field and filling models for hurricane wind speed prediction, *J. Struct. Eng.*, Vol. 121, No. 11, pp.1700-1709, 1995.
- 19) 松井正宏:構造物の耐風設計における台風モデルを用いた風速の評価とその応用に関する研究,京都大学, 博士論文,1999.
- 20) Nielsen, T. S.: Online Prediction and Control in Nonlinear Stochastic Systems, Department of Mathematical Modeling Technical University of Denmark Ph.D. Thesis No. 84, July 2002.
- William, S. C.: Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots, *Journal of the American Statistical Association*, Vol.74, No.368, 1979.
- 22) 星谷勝,中村孝明:構造物の地震リスクマネジメント, 山海堂,2002.
- 23) 長尚: 改定新版 基礎知識としての構造信頼性設計,山 海堂, 1995.

(2010.6.16 受付)

RISK MANAGEMENT FOR POWER DISTRIBUTIONS BASED ON LOCAL WIND PREDICTION AND TYPHOON SIMULATION

Takeshi ISHIHARA, Kota ENOKI, Keiji TAKAHARA and Hiroshi ARAKAWA

A framework for the risk management of power distributions was developed, which consists of the fragility curve of the electric pole, the typhoon hazard curve and the minimization method of expected total cost. The fragility curve of the electric pole was constructed by the damage data caused by Typhoon 0314 and the local gust wind speed in Miyakojima evaluated by a CFD model. The typhoon hazard curve at the individual location of electric pole was constructed based on the annual maximum gust wind speeds obtained from the typhoon simulation and the local wind prediction. The optimum design wind speed for each pole was decided by using the minimization method of expected total cost. The expected total cost in the design life of the poles by the proposed mitigation measure was reduced by 13% comparing that by the current design.

モンテカルロシミュレーションと MCP 法を用いた混合気候における 極値風速の予測

Prediction of the extreme wind speed in mixed climate regions by using Monte Carlo simulation and Measure-Correlate-Predict method

> 石原 孟** 山口 敦** 老川 進** Takeshi ISHIHARA Atsushi YAMAGUCHI Susumu OIKAWA

1. はじめに

風力発電設備の設計風速を評価するためには、年最 大風速の非超過確率分布を精度よく求める必要がある。 強風の成因が温帯低気圧である地域においては、国際基 準 IEC61400-1 Annex E¹に示されるように, MCP(Measure-Correlate-Predict)法を用いて,近隣の気象 官署での最低10年の長期観測記録から対象地点におけ る風速を推定し、ガンベル分布を仮定することにより年最 大風速の50年再現期待値を求めることができる。一方, 日本のように熱帯低気圧および温帯低気圧の両方が強 風の支配要因となる混合気候では,強風の成因を考慮し た年最大風速の確率分布を評価する必要がある²⁾。

熱帯低気圧に起因する強風の非超過確率を求めるた めに、モンテカルロシミュレーションによる手法³が提案さ れている。年最大風速の観測データからガンベル分布な どの分布関数を仮定して極値風速を求める従来手法に比 べ、統計的に安定し予測の不確実性が小さいと言われて いる。しかし、これまでの研究では予測の不確実性につい て定量的に評価した例はほとんどない。

そこで、本研究では、まず MCP 法により、気象官署で 観測された風速を対象地点に変換し、温帯低気圧に起因 する強風についてはガンベル分布を、熱帯低気圧に起因 する強風については、本研究で提案する修正ガンベル分 布により成因別の極値風速を評価する。次に、モンテカル ロシミュレーションにより年最大風速の確率分布を求め、 風観測データの年最大風速の確率分布および年最大風 返の観測値と比べ各推定手法の予測精度を評価する。ま た、ガンベル理論に基づき各推定手法による50年再現期 得値の不確実性を評価するとともに、これらの不確実性を 考慮した極値風速の評価手法を提案する。

2. 確率分布関数による成因別の極値風速の評価 2.1 MCP 法による観測データの変換

* 平成 23 年 11 月 30 日第 33 回風力エネルギー利用シンボジウムにて講演
 ** 会員 東京大学大学院二学系研究科 〒113-8656 東京都文

** 会員 東京大学大学院二学系研究科 〒113-8656 東京都文 京区本郷 7-3-1 本研究で対象とした地点は、千葉県銚子市沖の北緯 35度40分41.87秒, 束経140度49分35.91秒(日本測 地系), 海上高度100mの洋上地点である。観測データは 1995年~2007年までの13年間の銚子地方気象台にお ける観測データを用い、風速の時系列をMCP法により洋 上の対象地点に変換した⁴⁰。対象地点を中心に半径 500kmの円内を熱帯低気圧が通過した時間の風速デー タを熱帯低気圧による風速データとし、それ以外のデータ を温帯低気圧による風速データとした。

2.2 温帯低気圧による極値風速の評価

対象地点に変換された風速の時系列データから確率 分布を求める際には、1年ごとの年最大風速を抽出し、年 最大風速を昇順に並び替えた。この年最大風速の非超過 確率分布はガンベルの方法により次式で表される。 $F(u_i) = i/(N+1)$ (1) 観測データをプロットするために、縦軸に u_i 、横軸には $F(u_i)$ のかわりに次式に示す基準化変数 y,を用いる。

 $y_i = -\ln(-\ln(F(u_i)))$ (2) 温帯低気圧による年最大風速はガンベル分布に従うこ

とがよく知られている。 非超過確率 F がガンバル分布に従う時,温帯低気圧による年最大風速 u_{E} は,積率法により式(3)で表わせる⁵⁾。

$$u_{E} = V + \sigma_{P} (y - \gamma) / (\pi/\sqrt{6})$$
(3)

ここで, *V* とσ_{*p*}は, それぞれ観測から得られる年最大 風速の平均値と標準偏差を表し, γはオイラー定数 (0.57722)である。

図1には、ガンベル分布を仮定して求めた確率分布と 年最大風速の観測データを示す。図中の横軸の再現期 間 R と非超過確率 F(u)の関係は式(4)により表せる。ま た、50年再現期間に対応する基準化変数 y は 3.90 となり、 この時の風速が 50 年再現期間の年最大風速の推定値と なる。

$$F(u) = 1 - 1/R \tag{4}$$

-175-

図1より、13年間の観測値から求めたガンベル分布は、温 帯低気圧による年最大風速をよく表していることが分か ろ



2.3 熱帯低気圧による極値風速の評価

温帯低気圧による年最大風速と異なり、熱帯低気圧に 起因する年最大風速は Om/s となる年があるためガンベル 分布をそのまま用いることができない。そこで,本研究で は、熱帯低気圧に起因する年最大風速が0m/sとなる年の 確率分布を F_{zero} , それ以外の年の確率分布を F_{nonzero} とし, 式(5)に示す修正ガンベル分布を提案する。 (5) $F_{\rm mod} = F_{\rm zero} + F_{\rm nonzero}$ 観測年数をn,そのうち熱帯低気圧による年最大風速が

Om/s である年数をnoとすると、Free は次式により表すこと ができる。 (6)

 $F_{zero} = n_0 / n$ また, 年最大風速が 0m/s ではない年の年最大風速はガ ンベル分布 G(u) に従うとし、 $F_{nonzero}$ を次式により表した。 $F_{nonzero}(u) = (n - n_0)/n \times G(u)$ (7)熱帯低気圧に起因する年最大風速urは,式(8)により表し, 修正基準化変数 y は,式(9)により求める。

 $u_T = V + \sigma_P(y'-\gamma)/(\pi/\sqrt{6})$ (8)

 $y' = -\ln(-\ln((F_{noncero}) \times n/(n-n_0)))$ (9)

ここで、V, σ_p はそれぞれ年最大風速 0m/s を除いた年 最大風速の平均値と標準偏差である。この修正ガンベル 分布はn。=0の時にガンベル分布と一致する。

図2には、熱帯低気圧による年最大風速の確率分布を 示す。図中の白丸は、13年間の熱帯低気圧による年最大 風 返から求めた確率分布を表し, 破線は, 本研究で提案 した修正ガンベル分布により求めた確率分布を表す。 修正ガンベル分布による推定値は,5年より短い再現期 間で観測とよく一致し、それより長い再現期間は観測値を 過小評価している。これは熱帯低気圧による極値風速 を 13 年の観測データから求める場合に不確実性が高い

ことを示唆している。この極値風速の不確実性については 4節に示す。



3. 混合気候における極値風速の評価

3.1 モンテカルロシミュレーションによる極値風速の 評価

モンテカルロシミュレーションを用いて年最大風速の確 率分布を評価する場合、長期間のシミュレーションができ るため風観測に基づく評価に比べ、不確実性が低いと期 待される。本研究では, Ishihara ら(2005)⁶⁾の研究に基づき 1 万年を解析期間としたモンテカルロシミュレーションを行 った。

図2の実線は、モンテカルロシミュレーションによる年最 大風速の確率分布を示す。シミュレーションの結果は,2 年以上の再現期間において観測データ(自丸)と一致して いることが分かる。

3.2 混合気候帯における極値風速の評価

日本のような混合気候では,熱帯低気圧と温帯低気圧 による強風に分けて成因別の確率分布を評価した後,確 率分布を合成する必要がある。温帯低気圧に起因する年 最大風速u_nと熱帯低気圧に起因する年最大風速u_nは独 立の事象であると仮定すると, 温帯低気圧に起因する年 最大風速の非超過確率F_k(u_k)と熱帯低気圧に起因する 年最大風速の非超過確率F_r(u_r)とを合成した合成確率 分布 E_(u_) は次式より評価できる。 $F_{\varepsilon}(u_{\varepsilon}) = F_{\varepsilon}(u_{\varepsilon}) \times F_{\tau}(u_{\tau})$

(10)

図3には、温帯低気圧による年最大風速の非超過確率 と台風シミュレーションによる年最大風速の非超過確率を 合成した合成確率分布を実線で示す。合成確率分布は, 広い範囲の再現期間において観測値(白丸)をよく表して いる。 合成した 50 年再現期待値は, 48.1m/s であり, 合成 前(図 2)と同じ値であることから、温帯低気圧より熱帯低 気圧の方が極値風速への寄与が大きいことが分かる。図 中には,温帯低気圧によるガンベル分布と熱帯低気圧に

-176-

よる修正ガンベル分布から求めた合成確率分布の合成値 を破線で示す。この合成確率分布関数から求めた 50 年 市現期待値 45.8m/s は台風シミュレーションから求めた値 48.1m/s より小さい。このことから混合気候では、台風シミュ レーションの結果を用いた合成確率分布を求め、極値風 返を評価する必要があることが分かる。



図3 熱帯低気圧と温帯低気圧による年最大風速の非超 過確率の合成

4. 不確実性を考慮した極値風速の評価 4.1 不確実性の評価

有限の観測データから年最大風速の非超過確率を推 定する際の不確実性はガンベルの理論により推定するこ とが可能であり、ある再現期間に対応する年最大風速の 分散σ²は、次式により表される。

$$\sigma^{2} = \frac{\sigma_{p}^{2}}{l} \left[1 + 0.885(y - \gamma) + 0.6687(y - \gamma)^{2} \right]$$
(11)

ここで, *L* は推定に用いた母集団のデータ数を, σ_ρ は母 集団の標準偏差, y は求めたい再現期間に対応する基 準化変数である。

式(11)により求めた温帯低気正と熱帯低気圧に起因す る年最大風速の 50 年再現期待値の標準偏差をそれぞれ 図 4 の黒色の棒グラフで示す。両者とも 13 年の観測デー タからの値であるが、母集団の標準偏差 σ_p が異なるため、 推定値の標準偏差が大きく異なる。温帯低気圧の場合に は 50 年再現期待値の標準偏差は 1.9m/s(推定値の 5.7%) であるのに対し、熱帯低気圧の場合には 5.7m/s(推定値の 12.5%)に達する。このことから、温帯低気圧に起因する強 風の場合にはガンベルの理論に基づき 50 年再現期待値 を外挿することが妥当であるが、熱帯低気圧に起因する 強風に適用する場合には不確実性が大きいことがわか る。

ちなみに、10000年の熱帯低気圧のモンテカルロシミュ レーションによる 50年再現期待値の標準偏差を、斜線の 棒グラフで図4にあわせて示した。標準偏差の値は 0.29m/s(推定値の0.6%)であり、観測から推定される極値 風速の不確実性よりもかなり小さいことがわかる。



最後に、不確実性評価におけるガンベル理論の有効性 を、モンテカルロシミュレーションの結果を用いて検証した。 図5には、解析期間しを10~1万年の範囲で変化させ式 (11)により算定した 50年再現期待値の標準偏差を点線 で示した。図には、あわせてモンテカルロシミュレーション により求めた50年再現期待値の標準偏差を黒丸で示した。 シミュレーションによる標準偏差は、1万年のシミュレーショ ンによる年最大風速のデータから 100, 200, 500, 1000, 2000年の100個のデータセットを各々作り、50年再現期間 における平均値と標準偏差を求め、図中に標準偏差の値 を示した。



図5 カンヘル理論とモンテカルロシミュレーションにより 求めた50年再現期待値の標準偏差の比較

図5から,ガンベル理論により求めた標準偏差は,解析 年数Lが短い場合に大きく,解析年数が長くなるに従い小 さくなることが分かる。また、ガンベル理論の標準偏差(点 線)は、モンテカルロシミュレーションから求めた標準偏差 (黒丸)とよく一致している。ガンベル理論から算出された 標準偏差は、十分な精度をもつことが検証された。

4.2 不確実性を考慮した極値風速の評価

前節で説明したように観測値から推定された値には不

-177-

確実性が内在している。本研究では、この不確実性を評価し、式(12)に示すように、温帯低気圧と熱帯低気圧双方の不確実性を考慮した極値風速 \hat{u}_c の評価式を提案した。 $\hat{u}_c = u_c + \sigma_c$ (12)

ここで、標準偏差 σ_c は、(13)式により表す。 $\sigma_c = \alpha \sigma_{\kappa} + (1 - \alpha) \sigma_r$ (13)

ここで、 σ_{κ} , σ_{r} は各々式(11)により算定される温帯低気圧と熱帯低気圧による年最大風速の標準偏差である。また、 重み α は次式により求める。

$$\alpha = (u_{c} - u_{r}) / [(u_{c} - u_{r}) + (u_{c} - u_{r})]$$
(14)

熱帯低気圧に支配される時は $u_c = u_r$ となり式(14)の分子 は0となり重み α は0である。一方、温帯低気圧に支配さ れる時は、 $u_c = u_r$ となり重み α は1である。図6には、あ る再現期間 Rに対応する基準化変数 yにおける重み α の変化を示した。図に示されるように基準化変数 yが大き い場合は、熱帯低気圧が支配し重み α は 0に漸近し、y小さい場合は温帯低気圧が支配することになり、重み α は 1に漸近する。



表1に不確実性を考慮しない場合と考慮した場合の 50 年再現期待値の評価結果を示す。ここで台風シミュレーションにおける母集団のデータ数 L は 100 年と仮定した。これは、台風シミュレーションに用いられた気圧の観測年数 を考慮したためである。不確実性を考慮しない場合の台 風シミュレーションによる年最大風速の 50 年再現期待値 は 48. 1m/s であるのに対し、13 年間の観測データにより 推定された50年再現期待値は45. 8m/s であり、その差が 大きい。一方、13 年間の観測データによる極値風速は 51.5 m/s となり、台風シミュレーションからの推定値の 51.1 m/s と概ね同じ値となる。

哀1 50 年再現期待値の評価結果

不確実性	観測データ	モンテカルロシミュレーション			
考慮せず	45.8 m/s	48.1 m/s			
考慮あり	51.5 m/s	51.1 m/s			

5. まとめ

モンテカルロシミュレーションと MCP 法を用いて銚子 沖における極値風速の予測を行い、以下の結論を得た。

- 1) 熱帯低気圧に起因する強風の非超過確率を表す修正 ガンベル分布を提案し、観測データとの比較を行った。 熱帯低気圧の極値風速は温帯低気圧の極値風速に 比べ不確実性が高い。
- 2) ガンベル理論より求めた温帯低気圧の 50 年再現期待 値の標準偏差は 1.9m/s であり,熱帯低気圧の 50 年再 現期待値の標準偏差 5.7m/s に比べ不確実性が小さい。モンテカルコシミュレーションから求めた標準偏差 の値は 0.29m/s であり,さらに不確実性が小さい。
- 3) 不確実性を考慮した設計風速を推定する手法を提案 した。50 年再現期待値の標準偏差を考慮した極値風 速は、観測による極値風速と台風シミュレーションによ る推定値との差が小さくなり、観測データをほぼカバー できるようになる。

謝辞

本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合 開発機構(NEDO)の委託業務で得られた研究成果である。 ここに関係者の皆様に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) IEC 61400-1: Wind turbines-Part 1 Design requirements, Ed.3, 2005.
- Gomes, L. and Vickery, B. J.: Extreme wind speeds in mixed climates, J. Wind Eng. Indust. Aerodyn., 2, 331-334, 1978.
- Georgiou, P. N., Davenport, A. G and Vickery, B. J.: Design wind speeds in regions dominated by tropical cyclones, J. Wind Eng. Indust. Aerodyn., 13, 139-152, 1983.
- 4) 石原孟, 榎木康太, 高原景滋, 荒川洋:気流解析と台風シミ ユレーションに基づく配電設備のリスクマネジメント, 上木学会 論文集 A1(構造・地震工学), Vol.67, No.2, pp.360-373, 2011.
- 5) Guidelines for Design of Wind Turbines, 2nd Ed., DNV/Risø, 2002.
- 6) Ishihara, T., Siang, K. K., Leong, C. C. and Fujino, Y.: Wind field model and mixed probability distribution function for typhoon simulation, The Sixth Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, 412-426, 2005.

-178-



AQUATIC ZONE NETWORK co.,Itd.