

ドップラーライダー観測に基づく台風時の強風特性に関する研究

後 藤 暁 大 塚 清 敏

Strong Wind Characteristics during Typhoon by Doppler LiDAR

Satoru Goto Kiyotoshi Otsuka

Abstract

Wind characteristics during a typhoon, which is the major cause of disasters due to strong winds, are investigated. Data from the Japan Meteorological Agency suggest that the number of landfall from typhoons may increase as the central pressure is maintained low. Turbulence intensity during typhoon passages are typically obtained from Doppler LiDAR (Light Detection and Ranging) observations. Statistically, no significant difference in turbulence intensity and gust factor is observed between typhoon and non-typhoon, but cases exist where the turbulence intensity increased significantly during a typhoon. The results show the applicability of LiDAR observations for evaluating instantaneous wind speeds, in particular for designing the exterior of buildings.

概 要

近年強風を伴った台風が複数接近し、建物の被害が発生している。本論では強風災害の主要因となる台風時の強風特性について検討した。気象庁のデータから近年の台風について考察し、上陸時の中心気圧が低い台風が増えている傾向を示した。また、2地点のドップラーライダー観測結果から、これまで検討されていなかった乱れ強さやガストファクターについて比較検証を行い、ドップラーライダー観測の有効性を示した。また、台風時の観測記録に基づいて、強風時の乱れ特性について調べた。その結果、統計的には台風時と非台風時で乱れ強さやガストファクターの特性に顕著な差はそれほど見られなかったものの、台風時には短時間のうちの乱れ強さの急激な増加があることがわかった。外装材の被害につながる瞬間風速の評価にライダー観測が適用できる可能性が示された。

1. はじめに

ここ数年、非常に強い風(10分間平均風速が20m/s以上30m/s未満、気象庁による用語)、あるいは猛烈な風(同30m/s以上)を伴った台風が複数接近または上陸し、風による建物の大きな被害が発生している(例えば¹⁾)。風による建物被害は屋根や壁、窓ガラスなど外装材の破損が多くを占めるが、外装材が破損すると破損部から漏水、浸水が発生し、倒壊は免れても建物の使用性を著しく損なう。そのため、設計に際しては、外装材の破損を極力避けるように風荷重を設定して、耐風安全性や建物使用者の事業継続性を確保する必要がある。

外装材設計用の風荷重は、建築基準法に基づく場合には平成12年建設省告示第1458号を適用して、10分間平均値としての設計用速度圧にピーク風力係数を乗じる事により最大瞬間値として設定する。気象官署の風観測データに基づくと、これまで外装材の被害が発生したときの風速は、性能要求されている風速値(再現期間50年相当)よりも低い場合がほとんどである。しかしながら実際には10分間平均風速の上昇に対して、それ以上の割合で風荷重が増大することによって被害が発生している可能性があると考えられている²⁾。急激に風速が上昇した場合の瞬間的な風荷重の作用状態については十分解明されておらず、外装材の被害を検討する上で問題となっている。

また、住家被害においては、最大風速(10分間平均風速)より最大瞬間風速のほうが構造物被害により強い関連があることや、風速の変動特性が広範囲での被害拡大に関連する一つの重要な要素となることがあげられている³⁾。そこで強風災害の主要因である台風時に着目し、将来の耐風設計に役立てる事を目的に、ドップラーライダーの観測結果を用いて強風の変動特性について検討を行った。

本論では、まず、近年の台風の傾向について、気象庁のデータに基づき統計的に概観した。それから、ドップラーライダーによる風観測結果により台風通過時の強風特性について考察した。既往の研究⁴⁾では、ドップラーライダーの観測値は、10分間平均風速の妥当性は示されているものの、より強風被害に直結する風速変動に関しては、それを特徴付ける風の乱れ強さや最大瞬間風速は、ほとんど検証されていない。本研究では、筆者らが過去に行った洋上におけるドップラーライダーと三杯風速計の観測記録の比較を行って、乱れ強さと最大瞬間風速の適用性を検証した。その上で、郊外でのドップラーライダー観測の結果に対し、台風通過時の乱れ強さの特性について考察した。

2. 近年の台風の傾向

我が国において、台風はほとんど毎年接近・上陸する。

特にここ数年強い勢力の台風が続けて関西（2018年台風21号）や首都圏（2019年台風15号）に上陸し、大きな強風被害を与えた。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）では地球温暖化の影響で海面水温の上昇などにより台風の発生数はやや減じるものの最大風速は増加する可能性が高くなることが示されている⁶⁾。そこで、強風の特徴について論じるに先立って、まず近年の台風の統計的な傾向を概観する。ここでは気象庁で公開されている台風の統計資料⁷⁾に基づいて検討した。

2.1 台風の発生数・接近数・上陸数の変動

1980年から2019年の台風の年発生数をFig. 1に示す。年発生数は1990年頃に多く30個を超える年が見られる。その後一旦減少し、2010年頃から再び増加している傾向が見られる。この期間中の年発生数の平均値(m)は25.7個、標準偏差(σ)は4.2であった。図中に平均値を直線で、平均値±標準偏差の値を一点鎖線で示す。とりわけ大きな強風被害をもたらした台風の襲来があった2017から2019年の発生数は平均値+標準偏差の範囲内にある。発生数の頻度分布をFig. 2に示す。階級値は発生数10個から40個まで5個刻みとした。年発生数25～30個の割合が非常に多い。2017から2019年の発生数は、頻度分布を見ても最多値の階級であり、やはり特別多かった訳ではない。

本土への接近数とそのうちの上陸数についてFig. 3に示す。2004年における台風の接近数・上陸数がともに突出しているが、全体的な傾向は年発生数と同様に1990年頃をピークにその後の減少傾向が見られるが、ここ数年間においては増加傾向が見られる。平均値(標準偏差)は接近数が5.7個(2.1個)、上陸数が3.3個(1.8個)であった。2017から2019年の接近数、上陸数は、ともに平均値+標準偏差の範囲であった。発生数と同様に、接近数と上陸数に関して求めた頻度分布をFig. 4に示す。0～15個までを2.5個刻みで階級値を設定した。接近数、上陸数のそれぞれの最多値は5個であった。また、両者とも最多値付近の頻度が高い分布となっており、特に上陸数に関しては顕著であった。接近数に関しては2018年(10個)および2019年(8個)は比較的多いほうではあるが明確に増加しているといえるほどではない。また上陸数(5個)については最頻値の範囲内であった。

以上のことからここ数年被害が大きかった台風が続けて襲来したものの、台風の発生個数、日本への接近数、上陸数には、長期的な単調な増加や減少の傾向は明瞭には認められなかった。

2.2 上陸台風の中心気圧の特性

1980年から2019年の40年間に発生した台風について、日本本土に上陸した台風を抽出して上陸時の中心気圧の特性について検討した。気象庁が発表しているベストトラックデータ⁸⁾を用いて台風の位置(経路)と中心気圧を把握した。抽出した台風は、上陸した地点の経度によって九州(東経129.5° から132°)、中国・四国(同132° から

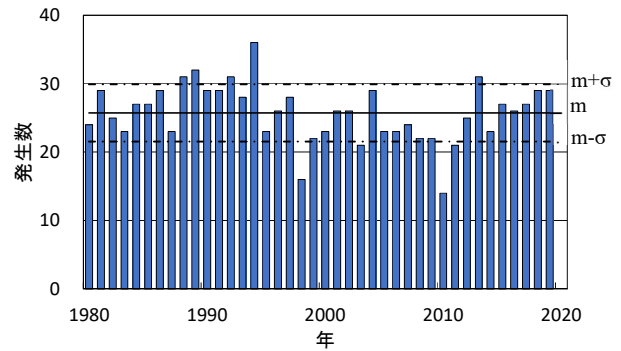


Fig. 1 台風の年発生数 (1980～2019)
Number of Annual Occurrences of Typhoons

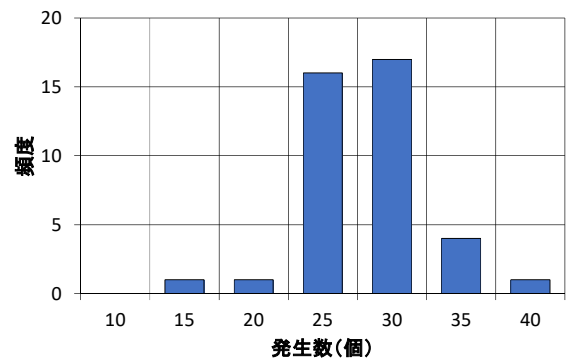


Fig. 2 台風の年発生数の頻度分布 (1980～2019)
Frequency of Annual Occurrences of Typhoons

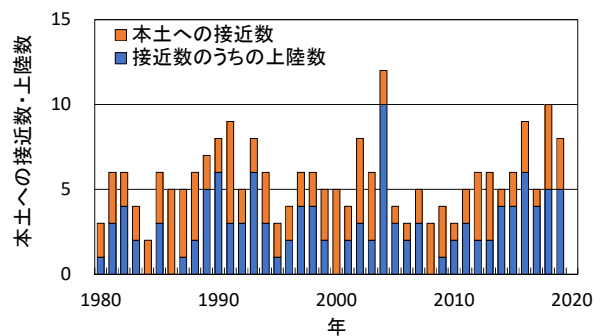


Fig. 3 本土への接近数と上陸数 (1980～2019)
Number of Mainland Approaches and Landings of Typhoons

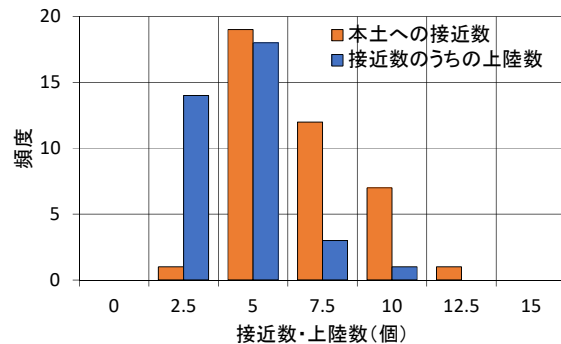


Fig. 4 本土への接近数と上陸数の頻度分布 (1980～2019)
Frequency of Mainland Approaches and Landings of Typhoons

135°),近畿(同135° から137°), 東海(同137° から139°), 関東(同139° 以東) の5つのエリアに分類した。

上陸時の中心気圧をFig. 5に示す。横軸は上陸した年である。概ね940hPaから980hPaの間で大きな偏りなく分布しており、上陸時中心気圧に明確な地域差は認められない。九州、近畿では、1990年代ではいくつかの台風において940hPaを下回る低い中心気圧が記録されているものの、全般的には960hPaより高い値での分布となっている。一方で2000年以降では960hPaより低い台風が増加している。中国・四国についても同様で、2000年以前では960hPaより低い台風は上陸していないものの、2001年以降960hPaより低い台風が上陸している。東海と関東も同様である。2000年以前と2001年以降の中心気圧の頻度分布をFig. 6に示す。中心気圧940から980hPaまでの間を10hPa毎に階級値として頻度を算出した。2000年以前では960hPa, 970hPaの発生頻度が多い山型の分布形であるのに対して、2001年以降では950hPaの台風の頻度が相対的に増え、全体的に扁平な分布形となっている。台風は一般的には、中心気圧が低くなると風が強くなりやすい。気象分野では海面水温の上昇が台風中心気圧の低下につながる可能性が指摘されている。これは、温暖化による海面水温の上昇により、台風時の風速の増加が将来的に起こる可能性のあることを意味している。

地球の気温の年々の上昇傾向化は世界的に認められているものの、日本付近の台風の統計にはまだ明瞭な変動傾向は見られないといえる。しかしながら建物の耐風安全性を考える上では、今後の推移を注視する必要がある。

3. ドップラーライダー観測による強風の特長

3.1 風観測の概要

2018年6月から2018年10月までの期間、千葉県西北部において耐環境型小型ドップラーライダー(以降ライダーと称す)による風観測を行った。ライダーの装置外形をPhoto 1に示す。ライダーは近赤外レーザー光を用いて上空の風速・風向を求めるリモートセンシングの風観測装置である。装置の仕様は文献4)と同様である。ライダーの計測原理をFig. 7に示す。ライダーは、天頂方向および天頂から30°傾いた4方向の計5方向に近赤外レーザー光を照射し、大気中のエアロゾルからの散乱光のドップラー偏移(f_d)から風速を求める。約2秒間隔の風向風速の瞬間値データおよび10分ごとの平均値、標準偏差、最大瞬間値、最小瞬間値を収録した。10分間平均風速および標準偏差は出力時刻の前10分間の統計値とした。観測高さは地上40m~420mまで20m刻み(20高度)に設定した。

3.2 台風通過時の平均風速

観測期間中に2018年の台風21号および24号の通過に伴う強風を観測することができた。各台風の経路をFig. 8に示す。経路に付した数字は時刻である。

ライダー観測による地上60m, 100m, 200mでの10分間

平均風速および風向の時刻歴をFig. 9に示す。風速が最大となったのは、台風21号については9月4日20時20分で、地上200mでは24.4m/s, 地上60mでは18.6m/sであった。ま

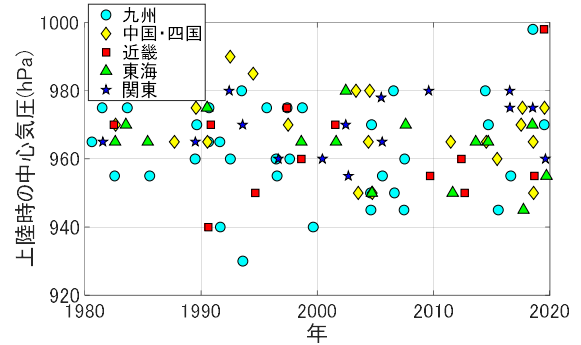


Fig. 5 台風上陸時の中心気圧 (1980~2019)
Central Pressure of Typhoon at the Time of Landfall

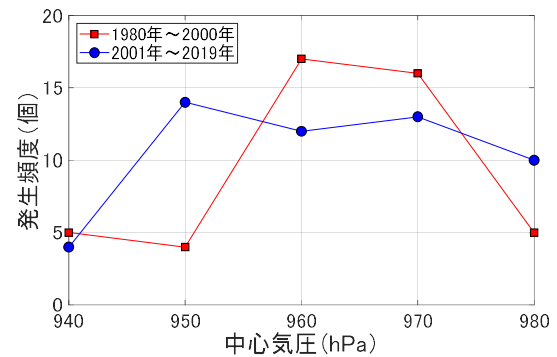


Fig. 6 台風上陸時の中心気圧の頻度分布
Frequency of Central Pressure of Typhoon at the Time of Landfall



Photo 1 ドップラーライダー
Doppler LiDAR

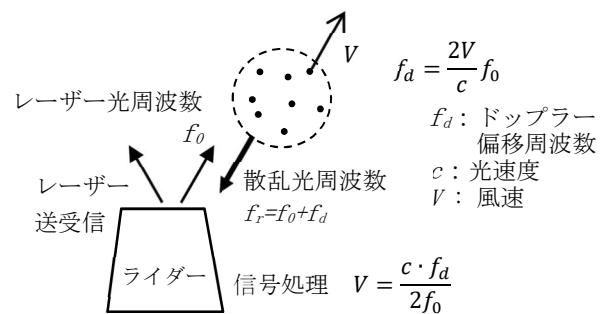


Fig. 7 ドップラーライダーの計測原理の模式図
Operating Principle of Doppler LiDAR

た、台風24号では降雨による欠測が度々あるものの、観測できたデータの中では、地上200mでは10月1日2時10分の36.9m/s、地上60mでは2時00分の26.2m/sが最大値であった。風向は、図示した時間帯においては両台風とも高さの違いによる差は少なく、風速が最大となる時間帯ではほぼ南風であった。平成12年建設省告示第1454号に基づくと現地の地上200mにおける設計風速は49.1m/sと算定できるが、台風24号における最大風速はその75%程度であった。

風速が最大であった時間帯の10分間平均風速の鉛直分布をFig. 10に示す。地上付近における平均風速の鉛直分布を式(1)に示すべき法則により近似した。

$$U_H = U_0 \left(\frac{H}{Z_0} \right)^\alpha \quad (1)$$

ここで、 U_H : 高さ H (m)における風速(m/s), U_0 : 基準高さ Z_0 (m)における風速(m/s), α : 指数である。

図中の■は観測値、赤線は観測値を式(1)で近似した曲線である。 Z_0 と α を未知パラメータとして最小2乗法により近似した。観測記録とべき法則による近似曲線は非常に良く一致している。 α は高さに対する風速勾配の程度を示し、値が大きい方が高度の高低による風速差が大きいことを表している。一般的には地表面の粗度が大きい都市部の方が α は大きくなる。近似された10分ごとの α の値は、台風21号については9月4日20時10分から20時40分までの40分間でそれぞれ0.24, 0.19, 0.31, 0.25, 台風24号については10月1日1時50分から2時20分の40分間でそれぞれ0.30, 0.27, 0.33, 0.31となった。観測地点周辺は郊外の中高層の建物が建ち並ぶ団地となっており、

日本建築学会「建築物荷重指針・同解説(2015)」⁹⁾(以降、建築学会指針と呼称する)における地表面粗度区分はⅢに相当すると考えられる。建築学会指針で示される地表面粗度区分Ⅲの α は0.2であるが、それらと比較すると大きい値であった。風速の鉛直分布形状は、地表面の粗度のほか、気温の高度分布による大気の上方向の混合や拡散のしやすさを示す大気安定度の影響を受ける。しかし耐風設計に用いる程度の強風時では大気安定度は中立に近くなるため、建築学会指針においては大気安定度が

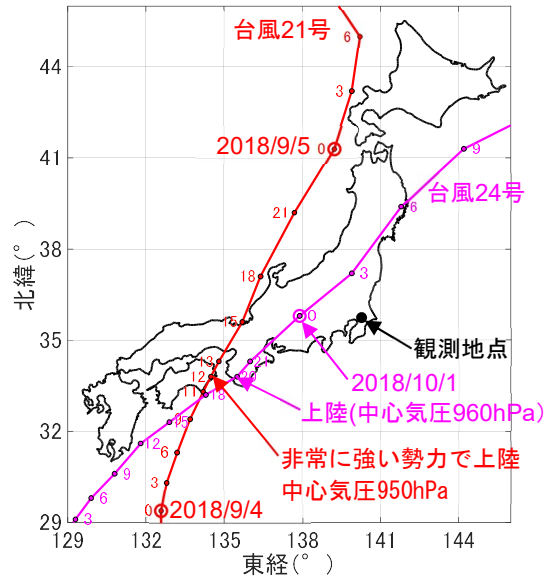
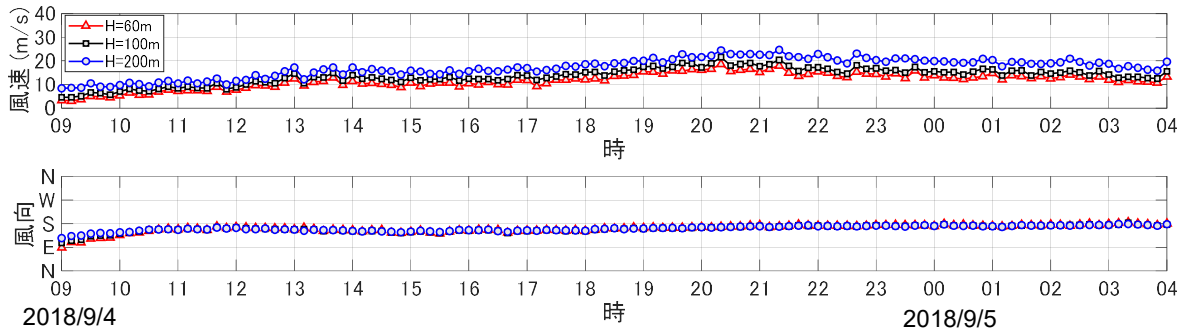
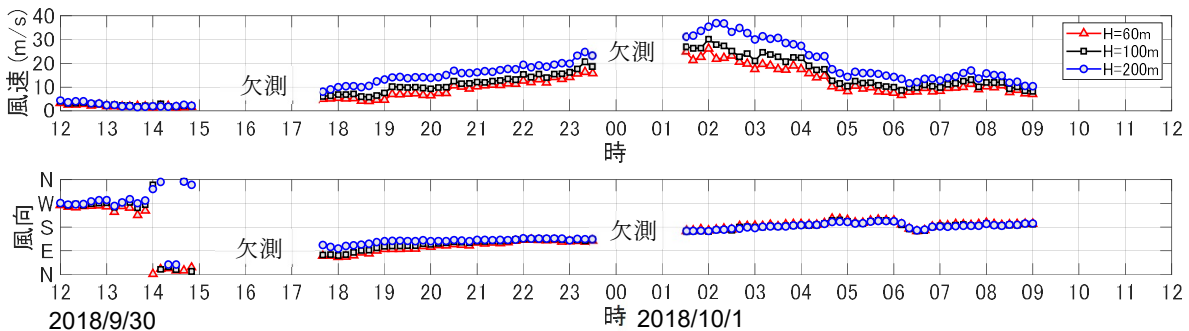


Fig. 8 台風の経路とライダー観測地点
Paths of Typhoons and Observation Point



(1) 台風2018年21号



(2) 台風2018年24号

Fig. 9 ライダー観測による台風通過に伴う風速・風向の時間変化
Time Histories of Winds Speed and Direction at Several Heights Observed by the Doppler LiDAR

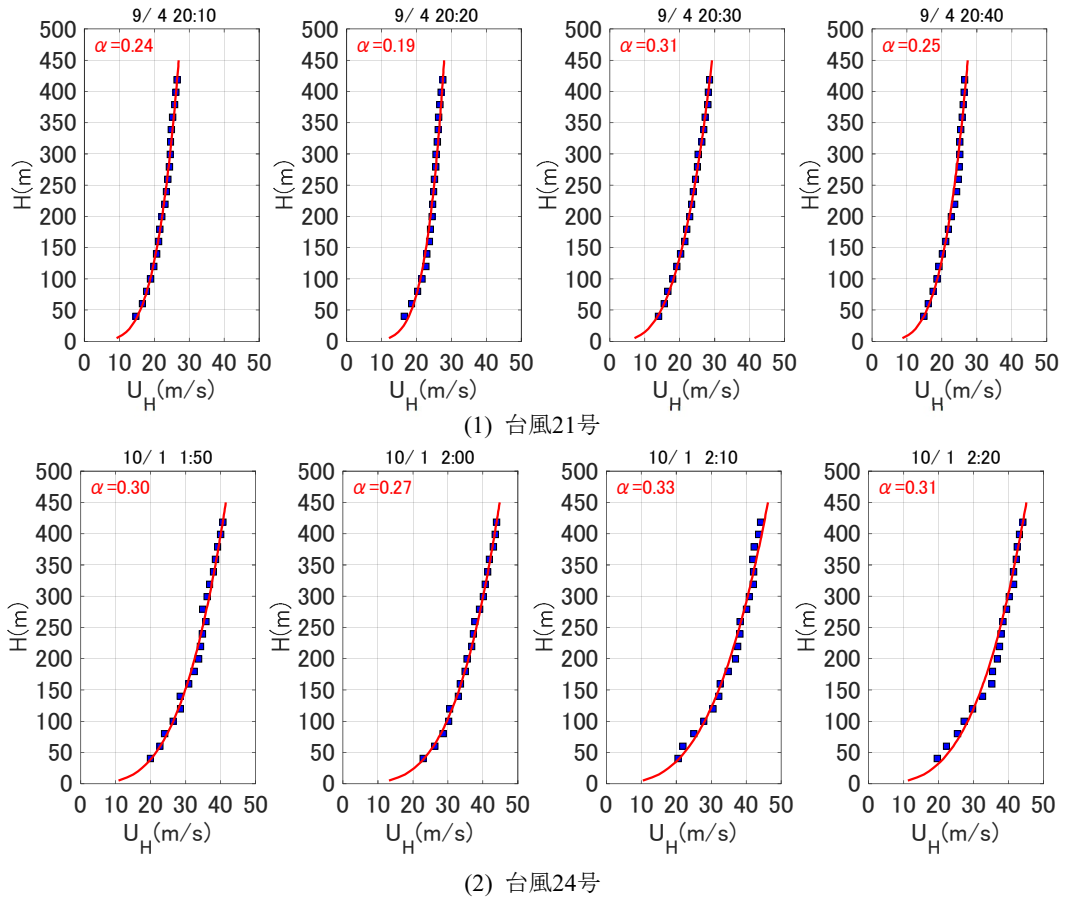


Fig. 10 10分間平均風速の鉛直分布
Vertical Profiles of 10minutes Mean Wind Speed

中立の条件下で地表粗度の度合いのみによって鉛直分布が定められている。一方で過去に行った都内における台風の観測では、 α の値が非常に小さく風速勾配がほぼ無くなるような場合も観測された。観測されたのが雲が切れて晴れ上がった午後であったため、日射の地面加熱による大気の上方向の混合が盛んになり、風速の上下差が小さくなった事が示されている¹⁰⁾。本件においては設計風速までは及ばないものの、ある程度の強風であった。さらに風速が最大となったのが夜間であり、日射の影響がないことを考慮すると、大気の状態は中立に近かったと考えられる。したがって耐風設計用の鉛直分布形を検討する上で有効なデータである。一方、ライダーで今回のような強風が観測された例はほとんど無く、鉛直分布の検討にあたっては風速が比較的低い場合を含めた統計量によらざるを得ない。その場合一般的には夜間には大気安定度が大きくなり、昼間に比べて風速勾配が大きくなる傾向がある。したがって風速の鉛直分布を評価する上で大気安定度の影響は避けられないので、観測記録を分類して分析することが必要となる。

3.3 変動風に対するライダー観測の適用性

変動風の評価にあたっては、建築学会指針には乱れ強さが示されている。乱れ強さは10分間における瞬間風速

の変動の程度を示す値であり、式(2)によって求められる。

$$I_H = \frac{\sigma_H}{U_H} \quad (2)$$

ここで、 I_H : 高さ $H(m)$ における乱れ強さ、 σ_H : 高さ $H(m)$ における10分間の風速変動の標準偏差(m/s)、 U_H : 高さ $H(m)$ における10分間平均風速(m/s)である。

これまで乱れ強さは、三杯型風速計や超音波風速計などの固定点における観測記録に基づいてその特性が検討されてきた。これらの風速計は地上から高い位置に設置するには困難が伴う。学会指針に示されている乱れ強さについては、地上200mを超える高さでの観測の数は少なく¹¹⁾、上空での乱れ強さの挙動はよく分かっていない。また、ライダー観測による乱れ強さの評価を行っている研究は数少ない¹²⁾。そこで、上述のライダー観測結果から、乱れ強さと最大瞬間風速について評価した。

ライダーでの乱れ強さの観測精度を確認するため、まず筆者らが過去に実施した秋田県能代港⁴⁾におけるライダー観測と、隣接する鉄塔での風観測(三杯風速計)の比較を行った。能代港での観測状況をPhoto 2 に示す。ライダー観測の基本的な観測状況は前項と同様であるが、観測高さは海上40m~135mまで5m刻みに設定した。また、三杯型風速計、矢羽根式風向計の設置高さは海上40m、45m、50mの3高度とした。本論では海上50m高さのデー

タを用いた。三杯型風速計のサンプリング間隔は1秒で、風速は10分間平均値、標準偏差、最大瞬間風速、最小瞬間風速を、風向は10分間平均値(瞬間値のベクトル平均)を収録した。

海上50mにおける10分間平均風速と乱れ強さの関係をFig. 11に示す。図中の赤点は鉄塔の観測値を、青点はライダーの観測値を示す。乱れ強さの観測によく見られるように、低風速でのばらつきは大きく、風が強くなるにしたがってばらつきは次第に小さくなる。ライダーの傾向は、広い風速範囲にわたって、鉄塔の傾向と類似している。同時刻における鉄塔とライダーの乱れ強さの関係をFig. 12に示す。風速による違いを概略的に見るため、10分間平均風速3m/s以上の場合(赤点)と5m/s以上の場合(青点)を抽出してプロットした。風速3m/sより低い風速については、三杯風速計の乱れ強さの観測値がずれる傾向が見られる¹³⁾ため、ここでは3m/s未満の低風速は検討から除外することとした。ライダーによる乱れ強さは、三杯風速計の乱れ強さに対してばらつきが大きいものの比較的良く対応している。10分間平均風速が大きく乱れ強さが小さい範囲ではばらつきの幅が小さくなり乱れ強さが大きい場合に比べて両者の対応が良くなり、ばらつきが小さくなる。

また、同時刻における鉄塔とライダーの10分間の最大瞬間風速の関係をFig. 13に示す。ライダーの瞬間値は概ね2秒であるのに対し鉄塔の観測値は1秒毎の出力となっており、同時刻の瞬間値は厳密には同一の現象を観測しているわけではない。分布はある程度幅が見られ、ばらつきはあるものの、ライダーと鉄塔の最大瞬間風速の値はむしろ良く対応しているといえる。10分間平均風速とガストファクター(10分間平均風速に対する最大瞬間風速の比)の関係をFig. 14に示す。ガストファクターは式(3)で求められる。

$$G_H = \frac{\hat{u}_H}{U_H} \quad (3)$$

ここで、 G_H : 高さ $H(m)$ におけるガストファクター、 \hat{u}_H : 高さ $H(m)$ における10分間の最大瞬間風速(m/s)、 U_H : 高さ $H(m)$ における10分間平均風速(m/s)である。

乱れ強さと同様に、風速が大きくなるにしたがってばらつきが小さくなり一定値に収束していく傾向が見られる。この傾向は鉄塔、ライダーとも類似しており、収束する値も両者とも同様に1.2程度である。

以上の検討より、ライダーの乱れ強さおよび瞬間値については、三杯風速計との計測原理の違いによると考えられる対応関係のばらつきは見られるものの、全体的には比較的良い対応が見られ、本論で検証した範囲においては、実現象を捉えていると考えられる。ライダー観測における乱れ強さのデータは有効である可能性が高いと考えるが、これまでほとんど既往研究例がないため、今後観測データの事例を積み重ねて検証していくことが必要である。

3.4 台風時の変動風の特性

千葉県北西部における2018年6月から2018年10月までの観測記録について、10分間平均風速と乱れ強さの関係をFig. 15に示す。地上200mでの値を青色で、地上60mの値を赤色で示す。また四角(□)は台風21号、24号時、点(●)は非台風時のものを表す。Fig. 11と同様、高風速側ではほぼ一定の値に収束する傾向が見られる。台風時の乱れ強さは非台風時の場合と比べて目立った差は見られず、風速の上昇とともに連続して変化している。また、図中の破線は、10分間平均風速と風速変動の標準偏差値の回帰係数である。回帰係数 R は以下の式(4)により算出した。

$$R = \frac{\sum_{n=1}^N (\sigma_{Hn} \cdot U_{Hn})}{\sum_{n=1}^N (U_{Hn})^2} \quad (4)$$

ここで、 σ_H : 高さ $H(m)$ における10分間の風速変動の標



Photo 2 観測状況 (能代港)
Situation of Observation

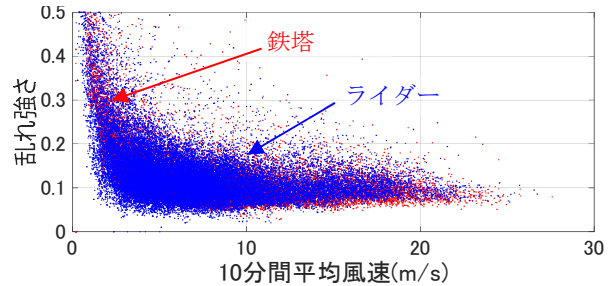


Fig. 11 10分間平均風速と乱れ強さの関係 (能代港, 2014年8月~2015年7月, 海上50m)
Relationship between 10minutes Mean Wind Speed and Turbulence Intensity

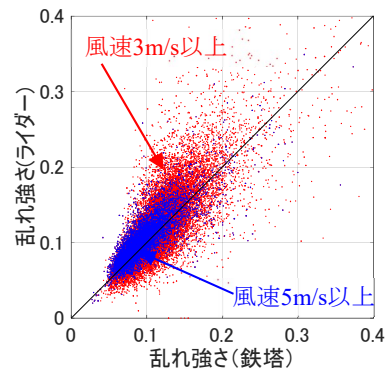


Fig. 12 鉄塔とライダーの乱れ強さの関係 (能代港, 2014年8月~2015年7月, 海上50m)
Relationship between Turbulence Intensity

標準偏差(m/s), U_H : 高さ H (m)における10分間平均風速(m/s), N : 標本全体の数, n : 各標本の番号である。

乱れ強さは式(2)で示されるように風速の平均値と標準偏差値の比で求められるため、式(4)の回帰係数は乱れ強さの平均的な値を示す。高風速側での収束値は回帰係数の値(地上200mで0.13, 地上60mで0.22)とほぼ同じ値と推定できる。建築学会指針で示される地表面粗度区分Ⅲでの乱れ強さの値は、地上200mで0.12, 地上60mで0.17であり、回帰係数の値のほうが大きい。Fig. 10に示す α の値も大きめの値となっていることから、通常想定するよりも地表面粗度の影響が大きい可能性がある。

10分間平均風速とガストファクターの関係をFig. 16に示す。図の凡例はFig. 15と同様である。風速に対するガストファクターの変化には連続性が見られ、乱れ強さと同様、台風時と非台風時の違いは明確には見られない。また、ここでの回帰係数は式(4)の標準偏差を最大瞬間風速に置き換えたものである。ガストファクターは式(3)で示されるように風速の平均値と標準偏差値の比で求められるため、回帰係数はガストファクターの平均的な値を示す。回帰係数の値は、地上200mで1.34, 地上60mで1.61であった。

約半年の観測期間でサンプル数が少ないという点はあるものの、今回の観測では台風時と非台風時で目立った差は見られなかった。

台風24号通過時の乱れ強さの鉛直分布をFig. 17に示す。図中の破線は建築学会指針の地表面粗度区分Ⅲで与えられる分布曲線である。両者は、全般的には比較的よく対応している。平均風速でも述べたように、設計風速には及ばないもののある程度の強風であり、また夜間のデータである事から、地表面粗度に起因する鉛直分布形であると考えられる。一方でFig. 15で述べたように統計的な評価をすると学会指針よりも乱れ強さが大きくなる傾向が見られる。乱れの強さの観測値は学会指針の値に対してばらつきが大きいことが示されており¹⁰⁾、強風時の乱れ強さの構造については今後精査する必要がある。

10分毎の鉛直分布の時刻変化を見ると、Fig. 10に示す10分間平均風速では分布形は安定して推移しているが、乱れ強さについては10月1日2:20のように、連続した10分間の間で急激に乱れ強さが大きくなる事例が確認できた。乱れ強さが0.3程度では、平均風速30m/sに対して9~10m/sにおよぶ風速変動となる。こうした風速の急激な変化の実態を捉えることは強風被害の軽減のための風速設定を考える上で重要である。得られた結果は、ライダーによる観測が外装材の強風被害につながる瞬間風速に対しても有効である可能性を示しており、被害軽減に向けた耐風設計時の風速評価に役立てられる。

4. まとめ

建物被害を及ぼす主要因となる台風に関して、気象記録とライダーを用いた風観測記録からその特性を検討し

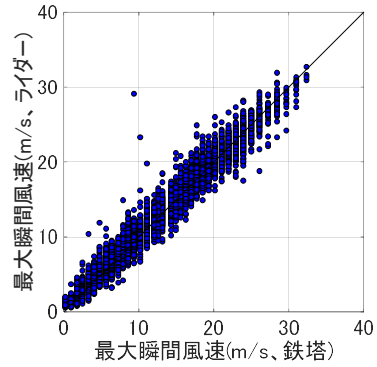


Fig. 13 鉄塔とライダーの最大瞬間風速の関係 (能代港, 2014年8月~2015年7月, 海上50m)
Relationship between Maximum Instantaneous Wind Speed of Tower and that of LiDAR of Tower and that of LiDAR

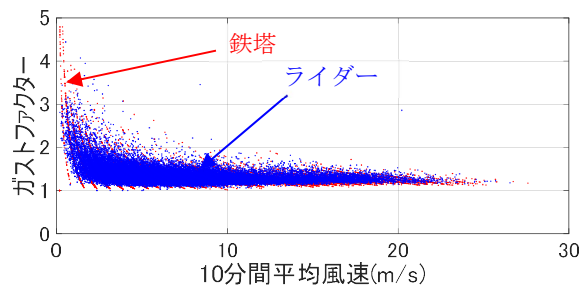


Fig. 14 10分間平均風速とガストファクターの関係 (能代港, 2014年8月~2015年7月, 海上50m)
Relationship between 10minutes Mean Wind Speed and Gust Factor

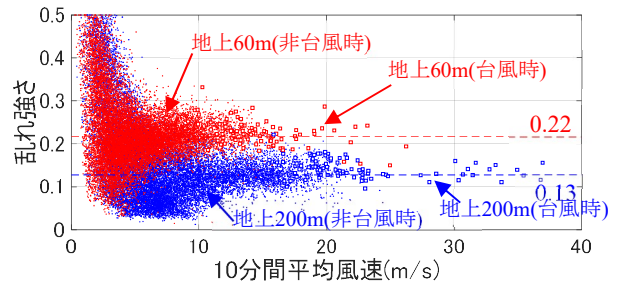


Fig. 15 10分間平均風速と乱れ強さの関係 (千葉, 2018年6月~2018年10月)
Relationship between 10minutes Mean Wind Speed and Turbulence Intensity by LiDAR

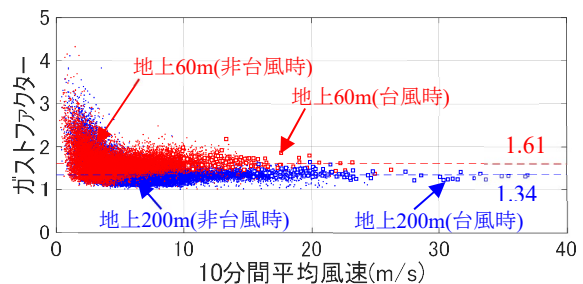


Fig. 16 10分間平均風速とガストファクターの関係 (千葉, 2018年6月~2018年10月)
Relationship between 10minutes Mean Wind Speed and Gust Factor by LiDAR

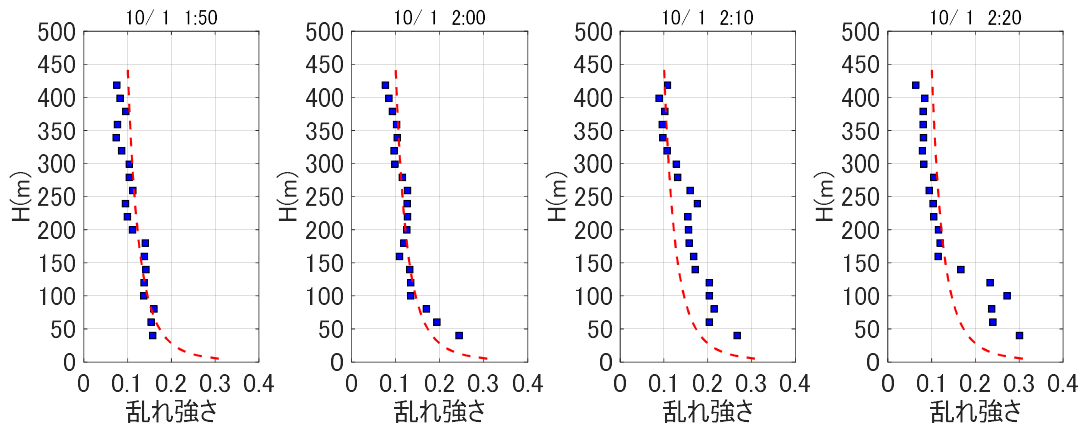


Fig. 17 乱れ強さの鉛直分布
Vertical Profiles of Turbulence Intensity

た。得られた結果を以下に示す。

- 1) 近年接近・上陸した台風について検討を行ったところ、上陸時の中心気圧が低い台風が増えている傾向が見られた。台風時の強風は中心気圧が大きく影響するため、今後注視する必要がある。
- 2) ライダーによる風観測を実施した。2018年の2つの台風について検討を行った。台風が最接近したときの平均風速の鉛直分布はべき法則と非常に良い対応を示した。その際の指数は規基準での値と比べて大きめの値であった。
- 3) ライダーの風観測記録から風の乱れ強さの検討を試みた。近傍の風観測鉄塔の記録と比較した結果、ある程度乱れを捉えられることが分かった。
- 4) 今回の観測の範囲内では、台風時と非台風時で乱れの特性に明確な違いは見られなかった。
- 5) 乱れ強さが急激に増加するケースが見られた。強風被害に対して重要な因子である。

ライダーの10分間平均風速の観測値については上空の風を捉えるために有効な観測手法であり、風力発電事業の風況精査に利用されている。本論においては乱れ強さ、瞬間風速についても有効である可能性を示した。耐風設計時の風速評価への適用が期待できる。

参考文献

- 1) 災害調査，“平成30年台風21号に伴う強風による建築物等被害現地調査報告（速報）”，国立研究開発法人 建築研究所，2018-11-20，<https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2018/typhoon21.pdf>，（参照 2020-05-11）
- 2) 染川大輔，他：瞬間風速に基づく外装材に作用する風荷重評価に関する一考察，日本建築学会学術講演梗概集，B-1，pp.121-122，2020.8

- 3) 喜多村美保，他：構造物被害に及ぼす風速変動特性の影響，第18回風工学シンポジウム論文集，pp.187-192，2004.12
- 4) 後藤暁，他：簡易浮体に搭載したドップラーライダーによる洋上風況観測とその検証，大林組技術研究所報 No.80，2016.12
- 5) 後藤暁，他：超高層建物を対象とした風揺れ居住性評価用風速に関する研究，大林組技術研究所報 No.83，2019.12
- 6) 気象庁，“IPCC 第5次評価報告書”，気象庁，2015-7-1，<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/index.html>，（参照 2020-05-11）
- 7) 気象庁，“台風の統計資料”，気象庁，<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/statistics/index.html>，（参照 2020-05-11）
- 8) 気象庁，“RSMC Best Track Data”，気象庁，<https://www.jma.go.jp/jma/eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/besttrack.html>，（参照 2020-05-13）
- 9) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説(2015)，2015.2
- 10) 後藤暁，他：小型ドップラーライダーによる東京都内上空の風観測（その2 台風0918号の観測事例）日本建築学会学術講演梗概集，（構造I），pp.81-82，2011.8
- 11) 佐々木亮治，他：風の観測結果に基づく乱れの強さと乱れのスケールの鉛直分布，日本建築学会技術報告集，第21巻，第48号，pp.477-480，2015.6
- 12) 岸田岳士，他：ドップラーライダーによる都市上空の平均・変動風速の観測，第24回風工学シンポジウム論文集，pp.19-24，2016.12
- 13) 早田大希，他：風況観測における風速測定方法の比較，駒井技報，Vol.24，pp.1-6，2005.4