

## 建物等構造要素毎の被害評価による竜巻等の突風風速推定指標の策定

### Formulation of Damage Indicators for Estimating Gust Wind Speed of Tornado etc. by Damage Evaluation of each Construction's Element

前田潤滋<sup>(1)</sup>・丸山 敬・奥田泰雄<sup>(2)</sup>・小林文明<sup>(3)</sup>・松井正宏<sup>(4)</sup>・林 泰一<sup>(5)</sup>  
・野田 稔<sup>(6)</sup>・西嶋一欽・友清衣利子<sup>(1)</sup>・竹内 崇<sup>(7)</sup>

Junji MAEDA<sup>(1)</sup>, Takashi MARUYAMA, Yasuo OKUDA<sup>(2)</sup>, Fumiaki KOBAYASHI<sup>(3)</sup>,  
Masahiro MATSUI<sup>(4)</sup>, Taiichi HAYASHI<sup>(5)</sup>, Minoru NODA<sup>(6)</sup>, Kazuyoshi NISHIJIMA,  
Eriko TOMOKIYO<sup>(1)</sup> and Takashi TAKEUCHI<sup>(7)</sup>

- (1) 九州大学大学院人間環境学研究院
- (2) 国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部
- (3) 防衛大学校地球海洋学科
- (4) 東京工芸大学工学部
- (5) 京都大学東南アジア研究所
- (6) 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部
- (7) 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻

- (1) Faculty of Human-Environment Studies, Kyushu University, Japan
- (2) Building Department, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
- (3) Department of Geoscience, National Defense Academy, Japan
- (4) Faculty of Engineering, Department of Architecture, Tokyo Polytechnic University, Japan
- (5) Center for South East Asian Studies, Kyoto University, Japan
- (6) Institute of Technology and Science, Tokushima University, Japan
- (7) Graduate school of Engineering, Kobe University, Japan

#### Synopsis

Damage indicators for the estimation of gust wind speed were examined in order to evaluate the intensity of tornado or downburst and so on. This aims to contribute the establishment of Japanese Enhanced Fujita Scale for the good estimation of the strong wind damage by tornado or downburst. Degrees of damage were proposed for some construction's elements and an example for a damage indicator, "standard Japanese roof with ceramic tiles", was presented.

**キーワード:** 構造要素, 竜巻, 被害, 突風, 風速推定指標

**Keywords:** construction's element, tornado, damage indicator, gust wind, wind speed estimation

## 1. はじめに

2012年の北関東地方で発生した一連の竜巻は、わが国最大級の突風被害をもたらし、全壊棟数の多さだけでなく、5階建RC造集合住宅の全層被害やコンクリート基礎とともに横転した木造住宅、さらには、構造工学に基づいて建設された工業団地オフィス建物の被害など、平成以降の竜巻の中でも特異な被害状況を残している。このとき、竜巻の強さはフジタスケールでF3と認定されたが、米国発祥のフジタスケールに割り当てられている風速が被害程度と必ずしも一致しないことが従来から指摘されている。これに対して、米国では詳細な竜巻被害調査の結果を反映させて、竜巻被害と風速がより実際に近くなるようにした「改良フジタスケール(Enhanced Fujita scale: EF スケール)」(WIND SCIENCE AND ENGINEERING CENTER 2006)が2007年より採用されており、わが国でも適用できる「改良フジタスケール」の必要性が「竜巻等突風対策局長級会議」(内閣府, 2013)でも報告されている。

本研究では、竜巻やダウンバースト等の強風場の規模や突風風速を推定する評価指標(日本版EFスケール)の策定に資する知見を提供するため、わが国の建物等の突風被害状況を調べ、建物等の構造要素ごとに、その被害程度と風速の関係を求める。

## 2. 対象被害写真

竜巻被害写真および台風被害写真を収集し、分類することにした。台風被害写真を含めた理由は、局所的な風速で見れば、被害と風速の関係は現象の区別に因らないと思われるためと、被害時の風速を竜巻と比べて比較的推定しやすいためである。集めた被害写真の概要をTable1に示す。

## 3. 被害写真の分類について

はじめに、過去の建物等の突風被害状況を調べ、竜巻等による突風被害を受ける可能性のある以下のような建物等の構造要素を選定した。

- ・標準的な和瓦の屋根をもつ木造家屋
- ・スレート、シングル、薄板鋼板の屋根
- ・骨組露出被害
- ・屋外設置設備被害
- ・工作物被害
- ・その他

集めた被害写真の分類の仕方として、アメリカのEFスケールにおけるDIや、日本の他の研究グループで検討されているDIを参考にすることも考えられた。しかしながら、これらの分類のように、建物の使用形態ごとに分類を行うとDIが多くなりすぎる。本研究では構造上の分類に着目することにし、

Table 1 Collected photos of damage by typhoon and tornado

現象区別	発生日時	発生場所	Fスケール	写真数
竜巻	1990/02/19 15:15 頃	鹿児島県 枕崎市	(F2~F3)	46
竜巻	2004/06/27 07:17	佐賀県 佐賀市	F2	71
竜巻	2006/09/17 15:05 頃	大分県 臼杵市	F2	12
竜巻	2006/09/17 14:03	宮崎県 延岡市	F2	44
竜巻	2008/03/27 19:00 頃	鹿児島県 垂水市	F1	18
竜巻	2008/03/27 17:20 頃	鹿児島県 いちき串木野市	F1	5
竜巻	2009/07/19 19:00 頃	岡山県 美作市	F2	3
竜巻	2012/05/06 12:40 頃	栃木県 真岡市	F1~F2	61
竜巻	2012/05/06 12:35	茨城県 常総市	F3	74
竜巻	2013/09/02 14:00 頃	埼玉県 さいたま市	F2	61
竜巻	2013/09/04 12:20 頃	栃木県 鹿沼市	F1	51
竜巻	2013/09/15 14:30 頃	和歌山県 東牟婁郡串本町	F1	10
竜巻	2013/09/15 17:10 頃	和歌山県 東牟婁郡串本町	F1	10
現象区別	上陸日時	上陸場所	写真数	
台風	1991年9月27日16時過ぎ	長崎県佐世保市の南	3	
台風	1993年9月3日16時前	薩摩半島南部	17	
台風	1999年9月24日6時頃	熊本県と福岡県の県境	34	
台風	2004年9月7日9時半頃	長崎市付近	5	
台風	2006年9月17日18時過ぎ	長崎県佐世保市付近	3	

Table 2 Categorized damage indicators

No.	DI	写真数
1	屋根	92
2	骨組露出	66
3	屋外設置設備	45
4	工作物	69
5	外壁	33
6	開口部	16
7	農業施設	19
8	乗り物	4
9	飛散物	28

Table2に示すように「屋根」, 「骨組露出」, 「屋外設置設備」, 「工作物」, 「外壁」, 「開口部」, 「農業施設」, 「乗り物」, 「飛散物」の9つに分類した。

#### 4. 風速推定作業

分類した各 DI を被害の大小で並び替え, 代表的な被害となる DOD 候補の写真を 10 枚程度ずつ選んだ。各 DI で抜粋した写真に関して, 破壊メカニズム, 部材強度, 加わる風圧力などの解析結果や風速記録などをもとに, 専門家による討議を行って被害の状況と対応する風速の関係を求めた。なお, 推定風速値は瞬間風速である。

##### 4.1 屋根

集まった写真は, Table 3 のように分類される。瓦葺の屋根を主として選別した。膜屋根, 軒天井の被害に関しては, 被害形態が大きく異なるため, 別分類として分けた。

##### 4.2 骨組露出

集まった写真は, Table 4 のように分類され, この中から10枚選出した。

##### 4.3 屋外設置設備

手すり (フェンス), カーポート, 雨どい, アンテナ, ソーラーパネル, 防球ネット, ガソリンスタンド, 門扉, マットなどの被害写真があり, その中から10枚を選出した。

##### 4.4 工作物

倉庫の被害, 倉庫の傾斜, 倉庫の倒壊, ブロック

Table 3 Selected photos of damaged roof

瓦屋根		39 枚
その他の屋根ふき材の被害	タイル張り	6 枚
	薄板鋼板	7 枚
	ルーフィング	2 枚
	藁葺	1 枚
	屋根裏からの写真	2 枚
	分類不能	6 枚

Table 4 Selected photos of damaged exteriors exposing skelton

野地板が剥がれる。	16 枚
外壁が剥がれる。	2 枚
小屋組み・骨組が損傷を受ける。 小屋組みが浮き上がる。	15 枚
小屋組みが飛散する。	11 枚
上部構造が壊れる。基礎から損傷。	19 枚
基礎ごと移動する。	3 枚

Table 5 Selected photos of cladding

板張り	8 枚
サイディング	10 枚
トタン	3 枚
スレート	4 枚
飛散物による被害	5 枚
その他	3 枚

塀, 鉄塔, 看板, 支柱 (照明, 電柱など), 鳥小屋などの被害写真があり, その中から10枚を選出した。

##### 4.5 外壁

外壁の種類に応じてTable 5のように分類した。しかしながら, 風速推定・被害の序列は難しく, 代表的な被害の選出は行わなかった。

##### 4.6 開口部

風速推定・被害の序列は難しく, シャッター, 特殊な窓の被害の分類に留め, 代表的な被害の選出は行わなかった。

##### 4.7 農業施設

集まった写真はいずれもパイプハウス被害であり, 被害程度に差が無かったため, 1枚だけ選出した。

#### 4.8 乗り物

被害写真が4枚しかなかったため、選出は行わなかった。

#### 4.9 飛散物

Table 6 のように分類したが、風速推定・被害の序列は難しく、代表的な被害の選出は行わなかった。

### 5. 推定結果について

#### 5.1 屋根被害

標準的な和瓦の屋根については Table 7 に示すように、“瓦が数枚飛散し被害が出始める”ような軽微なものから、“家屋の上部構造が完全に破壊され土台までもが破損する”ような大きなものまで、被害程度を8段階に分け、対応する風速を示した。(前田 2013, 高瀬ら 2014 を参考)

Table 6 Selected photos of damage by flying debris

主に壁面（壁）に飛散物の衝突痕	12 枚
ガラス窓の破壊を含む（風圧で破壊された可能性があるものを含む）	4 枚
雨戸への衝突痕	1 枚
薄板鋼板の飛散	2 枚
太陽光パネルの被害	1 枚
その他、各種飛散物	7 枚
不明	1 枚

和瓦以外のスレート、シングル、薄板鋼板屋根については、Table 8 のように、それぞれ屋根ふき材がめくれ始める風速を示した。鋼板のめくれに関してはビスの強度やピッチ等から風速を推定することが

Table 7 Damage of standard roof with ceramic tiles and estimated wind speed

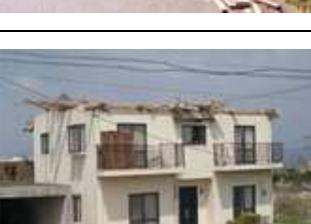
写真	被害の様子	風速 (m/s)	写真	被害の様子	風速 (m/s)
	被害が出始める 瓦が数枚飛散する	30		大部分の野地板が剥がれる 小屋組が露出する	50
	一部の瓦が飛散する (被害範囲 60%未満)	35		屋根の一部が飛散する 小屋組の一部・開口部が破損する	60
	大部分の瓦が飛散する (被害範囲 60%以上)	40		屋根が全て飛散する	70
	一部の野地板が剥がれる	45		家屋の上部および構造と土台が破損する	80

Table 8 Other damage of roof and estimated wind speed

写真	被害の様子	風速 (m/s)
	軒天井の被害	40
	木造倉庫の折板屋根の剥離	40~50
	トタン屋根がめくれる	30
	波板スレートの一部飛散	40
	固定されていないモルタルタイルの飛散	40

できるが、鋼板屋根は被害面積が大きくなりやすいので、被害発生の閾値は低いのではないかとの意見もあり、風速に範囲を持たせることにした。

その他、膜屋根(Photo1)、釣り天井、および飛散物について風速の推定を検討したが、現在のところ一般的な関係を示すことは困難であるとした。

## 5.2 骨組露出被害のDI

骨組が露出するような被害（壁や軒天井など、屋根部材以外の外壁材の割れ、剥離、脱落等を伴う被



Photo 1 Damaged to membrane roof

害)については7種類に分類し、周辺状況や個々の建物強度を考慮しないことを前提に Table 9 に示すようにそれぞれ風速との関係(前田 2013, 高瀬ら 2014 を参考)を示した。屋根骨組の被害は開口部からの吹込みで小屋組みが持ち上がる場合と、負圧で飛散する場合とが考えられるが、被害写真から判別することは難しい。また、非常に弱い木造倉庫等の倒壊は骨組露出の DI 判断基準には使わないほうが良いので、工作物で扱うことにした。

## 5.3 屋外設置設備被害のDI

屋外設置設備被害については、カーポート、フェンス、パラボラアンテナ、門扉、照明灯ポールなどの被害例が挙げたが、独自に風速を推定できる可能性がある被害例については別途検討することとし、一般的な風速との対応を示すことのできる自動販売機の被害と風速の関係を示した。(Table 10)

工業製品は規格化されているので風速の推定が可能であるとの意見が出た。ただし、カーポートは屋根と骨組の被害とで分類したほうが良いと判断した。

以下に各被害例の被害風速を推定に関連する文献等のデータを示す。

### カーポート

カーポート(Photo2)については、販売メーカーが、その「耐風圧強度」を各メーカーのHP上に掲載しており、その値を参照することで、被害風速を推定できる。耐風圧強度は、屋根の支持形態等により異なるが、34m/s~54m/s程度である。



Photo 2 Damage to carport

Table 9 Damage to frame and estimated wind speed

写真	被害の様子	風速 (m/s)
	大部分の野地板が剥がれる	45~50
	大部分の野地板が剥がれる 小屋組が露出する	50
	屋根小屋組の一部破損	60
	屋根小屋組と開口部の破損	60
	家屋の上部構造のみ破損し、土台は残る	70
	家屋の上部および構造と土台が破損する	80
	家屋全体が基礎ごと転倒	90

Table 10 Damage to vending machine and estimated wind speed

写真	被害の様子	風速 (m/s)
	自動販売機の転倒 (転倒モーメントからの計算値)	40

また、カーポートの耐風性能等に関する既往の文献として岡本・大塚(2007a)は、カーポートを平地、傾斜地に設置した場合の屋根形状による風力係数の変化、隣接した家屋による影響などを報告している。和泉(2007)は、カーポートの耐風圧性能の変遷を記している。

#### フェンス・門扉

住宅のエクステリアとしてのフェンス(Photo3)および門扉は、カーポート同様に、各メーカーのHPで、「耐風圧強度」が示されており、33.1m/s~42m/s程度である。フェンスの耐風性能等に関する既往の文献として、岡本・大塚(2007b)、岡本・大塚(2007c)は、フェンスおよび伸縮門扉の風力係数について調べている。



Photo 3 Damage to fence

#### 5.4 工作物被害

工作物被害については、看板や電柱等の被害は基礎から倒れている場合には解析が困難なので除外し、看板の折損に伴う傾斜、カーブミラー、標識の折損、配電柱、鉄骨倉庫の傾斜などについて風速との関係を Table 11 のように示した。なお、送電鉄塔の倒壊(高さ30m、アングル鉄塔)は、頂部(30m)で瞬間風速60m/s程度以上で生じると考えられるが、電線の

影響などで多様性が高く、即断はできない。設計基準が決まっている工作物については基準の風速値を用いることにした。軽量鉄骨倉庫、物置は老朽化の程度、内容物の重量が不明なため、判断材料からは外すことにした。

以下に各被害例の被害風速を推定に関連する文献等のデータを示す。

### 照明灯ポール・道路標識

吉田・田村(2007)は、道路交通標識の倒壊からの風速推定式を取りまとめている。亀井ら(1962, 1963)はランプポール(Photo4a)および道路標識の風力係数を報告している。城ら(1988, 1990)は、鋼球式衝撃減衰器を用いた耐風照明柱の耐風性能について報告している。

### 配電柱

配電柱(Photo4b)の設計風速は 40m/s である。石原ら(2007)、又吉ら(2007)は、台風で被害を受けた電柱の被害率の分布と風速分布から、配電柱の損傷度曲線を求め、宮古島での最適設計風速を示した。



a, Lamp pole



b, Electric distribution pole

Photo 4 Damage to poles

### ブロック塀

加村・松村(2004)、松村・加村(2004)は、コンクリートブロック塀および帳壁の設計基準式と建築基準法での風圧力との比較を行っている。廣井ら(2004a,b)および菊池ら(2004)は、0314号での宮古島でのコンクリートブロック塀の被害(Photo5)について、地震被害時との比較を通じて、設計用風圧力に関する考察を行っている。

### 5.5 外壁

外壁の被害(Photo6)については、飛散物による被害が多く、風速推定は困難であり、被害指標としない方が良いと判断した。

### 5.6 開口部

開口部の被害はシャッター被害(Photo7)を中心に検

Table 11 Damage to structures and estimated wind speed

写真	被害の様子	風速 (m/s)
	看板の傾斜 (折損の場合)	30
	カーブミラー、標識の折損	40
	配電柱 (異形鉄筋、電力会社管理)	40
	鉄骨倉庫の傾斜 (ブレースの破断から計算)	50



Photo 5 Damage to concrete-block wall

討した。飛散物による被害ではなく風圧力で破損した開口部ならば風速推定が可能ではないかとの意見があったが、収集した開口部の被害写真(Photo8)からはその判別は不可能であるとの結論になった。

## 5.7 農業施設

農業施設は既往の研究を参考にすることにした。田中・石氷(2008)は、園芸用パイプハウス(Photo9)の構造解析を行い、パイプ径や補強の有無などによるが、園芸用パイプハウスは 25m/s から 40m/s 程度の風に耐えられる強度を有することを報告している。豊田ら(1998)は、園芸用プラスチックハウス等の強風被害を整理すると共に、変形状態から被災時の風速を推定し、風速 33m/s 程度から変形が始まり倒壊に至る結果を示している。小川・津下(1999)は園芸用ガラスハウスについて、屋根面への等分布荷重耐力実験を行い、その耐風性能を検証している。篠・中崎(1989)は、一様流下での園芸用ビニルハウスのビニル膜の動的特性について調べている。

## 5.8 乗り物

続いて乗り物の被害を検討した。自動車の横転被害(Photo10)であれば、風速値の検討が可能との意見があったが、車両の重量や風向の違いを検討する必要があるため、現時点で風速値推定は行わなかった。

## 5.9 飛散物

飛散物による被害(Photo11)に関しては、飛散物の風速の推定を検討したが、現在のところ一般的な関係を示すことは困難であるとした。飛散物に関する既往の文献として、Maruyama(2011)、野田・正井ら(2013)、丸山ら(2014)は、数値流体計算により竜巻状流れ場を再現し、その中での飛散物の飛行性状を調べている。

## 5.10 その他

その他の被害風速と関連する文献を以下に挙げる。吉田ら(2009)はエア遊具の強風被害に関して、風洞実験を行い、被害風速を推定している。野村ら(2008)は、墓石の転倒に基づいて風速評価を行っている。本田・堀(1980)、堀(1986)は、コンテナの滑動風速に関する実験結果を報告している。野田・長尾(2008)は墓石や街頭柱のたわみの映像、飛散物の映像から風速推定を検討している。野田・長尾(2012,2013)、Noda et al. (2013)はアスファルトの被害(Photo12)から風速の推定を行っている。

## 6. おわりに

本研究では竜巻やダウンバースト等による突風被害発生時の被害風速の推定精度の向上を目指して、国内の建物等の構造要素ごとに竜巻の風速評価指標(日本版 EF スケール)の策定に資する知見をまとめた。



Photo 6 Damage to walls



Photo 7 Damage to shutter



Photo 8 Damage to glass windows



Photo 9 Damage to green house



Photo 10 Damage to vehicle



Photo 11 Damage by flying debris



Photo 12 Damage to road surface

## 謝 辞

本研究は平成 25-26 年度防災研究所一般共同研究（課題番号：25G-08）の補助を受けて行われたものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

石原孟・銘苅壮宏・高原景滋・又吉聖子・荒川洋 (2007)：台風0314号の被害データ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：その1 配電用電柱の損傷度曲線の作成，日本風会誌 (111)，pp.151-152.

和泉達夫(2007)：カーポート，日本風工学会誌，110，pp.13-18.

岡本史紀・大塚竹幸 (2007a)：エクステリア環境における風工学(第4回)カーポートの風力設計，機械設計，51(8)，pp.98-104.

岡本史紀・大塚竹幸 (2007b)：エクステリア環境における風工学(第5回)フェンスの風力設計，機械設計，51(10)，pp.96-100.

岡本史紀・大塚竹幸 (2007c)：エクステリア環境における風工学(最終回)伸縮門扉の風力設計，機械設計，51(12)，pp.97-102.

小川秀雄・津下一英 (1999)：園芸用ガラスハウスの耐力に関する研究 (第2報)屋根面と壁面の実物大耐力実験，農業施設，Vol. 30 No. 1，pp. 41-52.

加村隆志・松村晃 (2004)：コンクリートブロック塀に作用する風圧力の検討，学術講演梗概集 C-2，構造IV，pp.1017-1018.

亀井勇・千葉範夫・鈴谷二郎・船田輝雄 (1962)：ランプ・ポールの風圧力に関する研究，日本建築学会論文報告集 (76)，p.49，

亀井勇・千葉範夫・鈴谷二郎・船田輝雄 (1963)：道路標識の風圧力に関する研究，日本建築学会論文報告集 (89)，p.86.

菊池健児・黒木正幸・森下陽一・廣井孝信 (2004)：2003年台風14号による沖縄県宮古島のコンクリートブロック塀の被害，大分大学工学部研究報告 49，pp.7-14.

篠和夫・中崎昭人(1989)：施設園芸ハウスの耐風性に期する研究-2-一様流中のビニル膜の振動特性について，農業土木学会論文集No.139，pp.35-41.

城郁夫・他 (1988)：耐風照明柱の開発，川崎製鉄技報 20(4)，pp.308-314.

城郁夫・他 (1990)：照明柱の耐風設計手法，川崎製鉄技報 22(1)，pp.44-51.

高瀬賢佑・前田潤滋・大坪和広 (2014)：被害風速に及ぼす移動が速い竜巻通過時の急激な気圧降下の影響，第23回風工学シンポジウム論文集，pp.157-162.

田中誠司・石氷泰夫 (2008)：園芸用パイプハウスの耐風強度解析に基づく台風補強対策，熊本県農業研究センター研究報告，第15号，pp.42-49.

豊田裕道・森山英樹・瀬能誠之・前川孝昭 (1998)：園芸用プラスチックハウス等の風害発生事例とその特徴，農業施設29，pp.21-30.

内閣府 (2013)：「竜巻等突風対策局長級会議」報告，内閣府竜巻等突風対策局長級会議，p70.

野田稔・長尾文明 (2008)：2007年8月に徳島市で発生した竜巻における風速推定，第20回風工学シンポジウム論文集，pp.159-174.

野田稔・長尾文明 (2012)：竜巻によるアスファルト剥離・飛散事例からの風速推定，第22回風工学シンポジウム論文集，pp.85-90.

野田稔・長尾文明 (2013)：竜巻によるアスファルト被害からの風速推定，日本風工学会論文集，Vol.38，No.4，pp.101-108.

野田稔・正井一仁・二宮めぐみ・長尾文明 (2013)：竜巻状流れ場における飛散物の挙動，日本風工学会論文集，Vol.38，No.3，pp63-73.

野村卓史・西山圭太・木村智幸・斎藤圭太 (2008)：墓石の転倒に基づく風速評価に関する実験的検討，第20回風工学シンポジウム論文集，pp.187-192.

廣井孝信・菊池健児・森下陽一・黒木正幸 (2004)：2003年台風14号による沖縄県宮古島のコンクリー

- トブロック塀の被害, 日本建築学会研究報告九州支部, 構造系 (43), pp.549-552.
- 廣井孝信・菊池健児・森下陽一・黒木正幸 (2004) : 2003年台風14号による沖縄県宮古島のコンクリートブロック塀の被害, 学術講演梗概集. C-2, 構造IV, pp.1015-1016.
- 堀富士男 (1986) : コンテナの耐風に関する模型実験-II : 日本航海学会論文集 (74), pp.43-49.
- 本田啓之輔・堀富士男 (1980) : コンテナの耐風に関する模型実験, 日本航海学会論文集 (63), pp.29-34.
- 又吉聖子・石原孟・銘苺壮宏・高原景滋・荒川洋 (2007) : 台風0314号の被害データ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: その2 配電用電柱の最適設計風速の評価, 日本風会誌 (111), pp.153-154.
- 松村晃・加村隆志 (2004) : コンクリートブロック塀に作用する風圧力の検討, 学術講演梗概集 C-2, 構造IV, pp.1019-1020.
- 前田潤滋 (研究代表者) (2013) : 平成24年5月6日に北関東で発生した竜巻の発生メカニズムと被害実態の総合調査 研究成果報告集, 平成24年度文部科学省科学研究費補助金 (特別研究推進費, 課題番号 24900001) , 2013年2月28日発行
- 丸山 敬・河井宏允・奥田泰雄・中村 修 (2014) : 数値計算による竜巻中の飛散物の速度推定, 第23回風工学シンポジウム論文集, pp.487-492.
- 吉田昭仁・田村幸雄 (2007) : 倒壊した道路交通標識を基にした簡易風速推定, 日本風工学会誌 (111), pp.147-148.
- 吉田昭仁・栗橋寿・田村幸雄・佐々木信一 (2009) : 京都荒川区で発生したエア遊具の強風被害に関する風洞実験および風速推定, 学術講演梗概集 B-1, pp.101-102.
- Maruyama T. (2011): Simulation of flying debris using a numerically generated tornado-like vortex. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 99(4), pp.249-256.
- Minoru Noda and Fumiaki Nagao (2013) : Wind Speed of Tornado to Make a Road Damage, *Journal of Disaster Research*, Vol.8, No.6, pp.1090-1095.
- WIND SCIENCE AND ENGINEERING CENTER (2006): A Recommendation for an ENHANCED FUJITA SCALE, Texas Tech University, <http://www.depts.ttu.edu/nwi/Pubs/FScale/EFScale.pdf>, p111.

(論文受理日 : 2015年6月11日)