

（案）

日本版改良藤田スケールに 関するガイドライン

平成 年 月

気象庁

はじめに

竜巻等の激しい突風は、その発生が稀なうえに極めて小規模で発現時間も短い現象であるため、通常の気象観測網では捉えにくく、その発生機構には未解明な部分が多い。このため、竜巻等突風の発生機構等に関する調査研究を推進し、その予測精度向上を図る上で、竜巻等突風現象の実態把握は重要である。気象庁では、突風災害が発生したときは、気象庁機動調査班（JMA-MOT）を現地に派遣し、被害状況や現象の痕跡を調査して現象の特定や強さの評定を行っている。

竜巻等突風の強さの評定には、建築物等の被害状況から風速を推定する「藤田スケール」が用いられている。「藤田スケール」は、その簡便性から、米国のみならず日本を含め世界各国で広く利用されてきた。しかしながら、同スケールは米国における建築物等の被害を対象として作成されたものであることや、評定に用いるための被害指標が限られていることなど、日本の竜巻等突風の強さをよりの確に把握するための課題が指摘されている。

このため、気象庁では、2013年から2015年にかけて、風工学や気象学などの専門家で構成される「竜巻等突風の強さの評定に関する検討会」（会長：田村幸雄東京工芸大学名誉教授）を開催し、最新の風工学の知見を基に、現行の「藤田スケール」を日本の建築物等の被害に対応するよう改良した「日本版改良藤田スケール」を策定した。

「日本版改良藤田スケール」は、被害と風速の関係について実験やシミュレーション等の最新の研究成果を用いることにより、より精度の高い風速推定を可能としていることが大きな特徴である。

本ガイドラインは、「日本版改良藤田スケール」の特徴や、これを用いた評定手順等について解説しており、今後の日本国内における竜巻等突風の強さの評定を行うにあたっての技術的指針となるものである。本ガイドラインが、関係機関等における竜巻等突風の調査に利用され、よりの確な評定に資することを期待する。

なお、本ガイドラインは、今後の関連研究の進展に応じて、内容を見直すことがある。

目 次

第 1 章 日本版改良藤田スケール策定の経緯

- 1 藤田スケールによる評価 3
- 2 藤田スケールの課題と改良藤田スケール 4
- 3 日本版改良藤田スケールの策定に向けた取組 5

第 2 章 日本版改良藤田スケールとその特徴

- 1 日本の建築物等に対応した被害指標及び被害度の導入 7
- 2 被害指標及び被害度に対応した風速の設定 8
- 3 統計的な継続性を考慮した階級と風速の対応 9

第 3 章 日本版改良藤田スケールによる評価方法 12

参考文献 14

付録 15

用語集 114

第1章 日本版改良藤田スケール策定の経緯

1 藤田スケールによる評定

竜巻等突風は水平規模が小さい現象であるため、地上に設置された既存の風速計から風速の実測値を得ることは困難である。このため、Fujita(1971)により、竜巻やダウンバーストなどの風速を、建築物等の被害状況から推定する「藤田スケール」(以下「Fスケール」という。)が考案された。表1は、藤田(1973)がFスケールに対応する被害状況を日本向けに解説を加えたものである。

Fスケールによる評定では、竜巻等突風による被害状況(「何がどうなった」)を調査し、表1に示す「被害の状況」に当てはめることで、階級を求める。求められた階級から、Fujitaの提案した式に基づき、対応する風速として換算することができる。同スケールは利用の簡便性から、米国のみならず日本を含め世界で広く活用されてきた。

参考として、近年日本で発生が確認された竜巻等突風について、Fスケール別に見た発生確認数の統計を図1に示す。日本で確認された竜巻の最大のFスケールはF3である。

表1 藤田スケール(藤田 1973)

階級	風速	被害の状況
F0	17～32m/s (約15秒間の平均)	テレビのアンテナなどの弱い構造物が倒れる。小枝が折れ、根の浅い木が傾くことがある。非住家が壊れるかもしれない。
F1	33～49m/s (約10秒間の平均)	屋根瓦が飛び、ガラス窓が割れる。ビニールハウスの被害甚大。根の弱い木は倒れ、強い木は幹が折れたりする。走っている自動車が横風を受けると、道から吹き落とされる。
F2	50～69m/s (約7秒間の平均)	住家の屋根がはぎとられ、弱い非住家は倒壊する。大木が倒れたり、ねじ切られる。自動車が道から吹き飛ばされ、汽車が脱線することがある。
F3	70～92m/s (約5秒間の平均)	壁が押し倒され住家が倒壊する。非住家はバラバラになって飛散し、鉄骨づくりでもつぶれる。汽車は転覆し、自動車はもち上げられて飛ばされる。森林の大木でも、大半折れるか倒れるかし、引き抜かれることもある。
F4	93～116m/s (約4秒間の平均)	住家がバラバラになって辺りに飛散し、弱い非住家は跡形なく吹き飛ばされてしまう。鉄骨づくりでもペシャンコ。列車が吹き飛ばされ、自動車は何十メートルも空中飛行する。1トン以上ある物体が降ってきて、危険この上もない。
F5	117～142m/s (約3秒間の平均)	住家は跡形もなく吹き飛ばされるし、立木の皮がはぎとられてしまったりする。自動車、列車などがもち上げられて飛行し、とんでもないところまで飛ばされる。数トンもある物体がどこからともなく降ってくる。

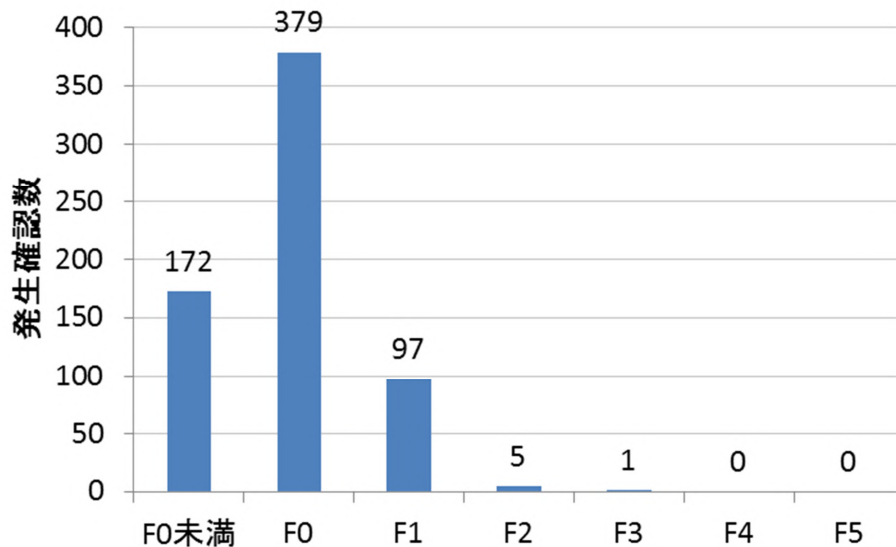


図1 日本国内における竜巻等突風の階級別確認数
(2007年～2014年。海上竜巻等Fスケールが特定できなかった現象は除く。)

2 藤田スケールの課題と改良藤田スケール

上述のとおり世界的に利用されているFスケールであるが、以下のような課題がある。

Fスケールから得られる風速は、Minor et al. (1977)とPhan and Simiu (2003)がF4とF5に対応する風速は過大であると評価しているように、被害状況と風速の対応が十分に検証されていない。

評定に用いることができる被害の対象が、住家、非住家、ビニールハウス、煙突、アンテナ、自動車、列車、数トンの物体、樹木に限られている(表1の「被害の状況」参照)ため、多様な被害に対応した評定が困難となっている。

こうした課題を踏まえ、米国では2006年に「改良藤田スケール(Enhanced Fujita scale、以下「EFスケール」という。)が策定され(McDonald and Mehta 2006)、2007年から米国気象局により運用されている。EFスケールでは、Fスケールにおける「被害の状況」を、被害指標(Damage Index、「何が」に相当。以下「DI」という。)と被害度(Degree of Damage、「どうなった」に相当。以下「DOD」という。)に分け、28種類のDIとこれに対応する複数のDODが設定された。(図2にDI・DODのイメージを示す。)さらに、既存の調査研究や経験をもとに、各DI・DODに対応する風速が設定された。これにより、従来のFスケールと比べより細かな評定が可能となり、得られる風速の精度も向上した。

また、カナダでは、EFスケールのDIをさらに充実させると同時に、階級に修正を加えたカナダ版改良藤田スケールを策定し、運用している(Sills 2013a)。

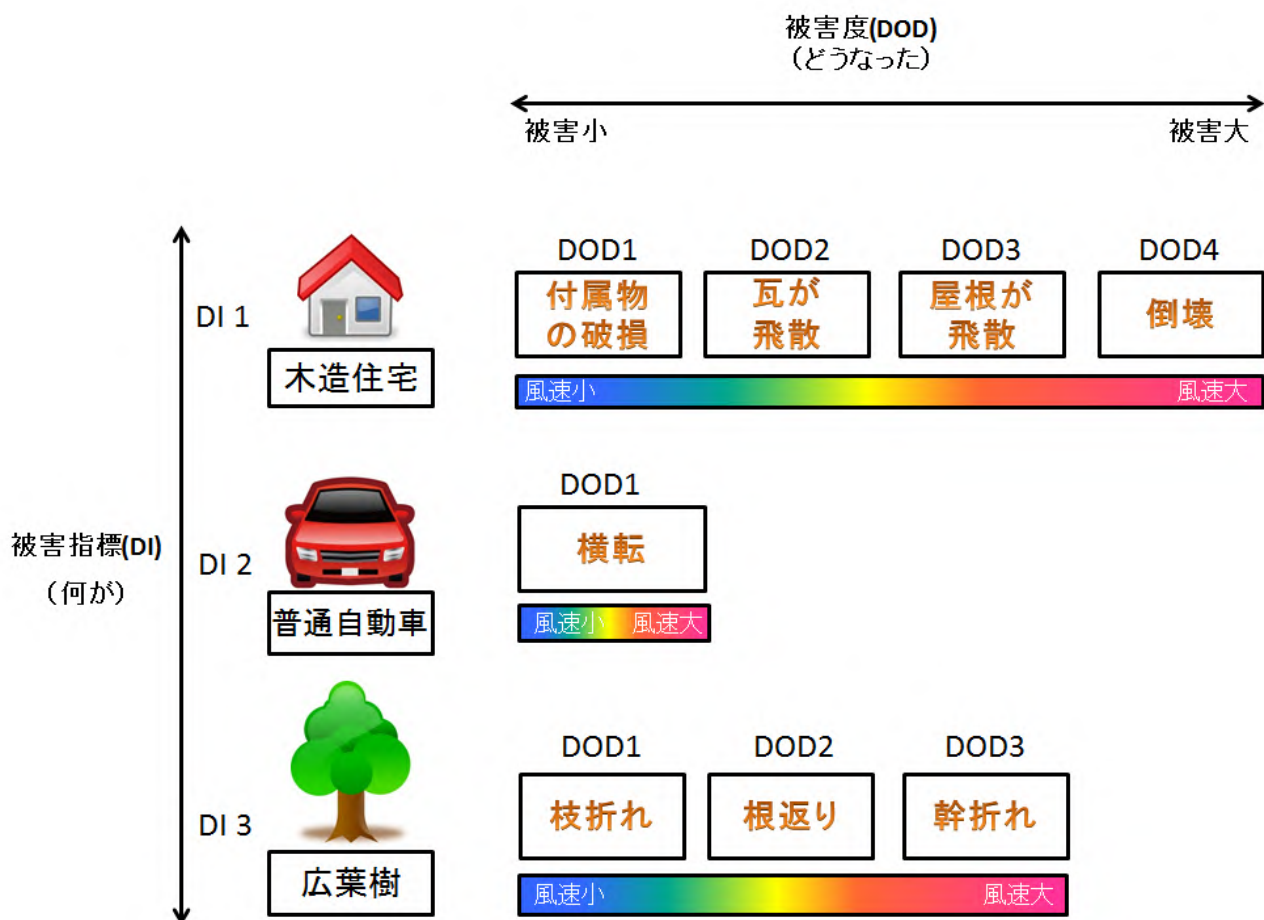


図2 被害指標 (DI) と被害度 (DOD) のイメージ

一方で、Fスケール及びEFスケールは、米国またはカナダの建築物等の被害を対象として作成されていることから、米国以外でより精度良く風速を求めるためには、その国の建築物等の種類や特性を踏まえ、その被害状況に対応する風速を設定する必要がある。日本の建築物等は米国のものとは種類も特性も大きく異なることから、日本国内でFスケールやEFスケールを用いて竜巻等突風の評定を行った場合、得られる風速の誤差が大きくなる可能性がある。

3 日本版改良藤田スケールの策定に向けた取組

2012年5月6日に茨城県、栃木県及び福島県において複数の竜巻が発生し、甚大な被害が生じた。このことを踏まえ、気象庁では、学識経験者・報道機関関係者等から構成される「竜巻等突風予測情報改善検討会」を開催し、同年7月に「竜巻等突風に関する情報の改善について(提言)」が取りまとめられた。さらに、竜巻等突風に対する対策を強化するため、同年に関係府省庁により構成される「竜巻等突風対策局長級会議」が設置され、観測・予測技術の高度化をはじめ、政府一体となって取り組むべき対策がまとめられた。

これらの提言や報告では、気象庁は現行の藤田スケールの課題を踏まえ、藤田スケール

を日本の建築物等に対応させるガイドライン等を作成することとされた。併せて、国際比較や過去の統計との比較が困難になることのないよう、従来の藤田スケールと統計的な継続性を持たせる必要性も指摘されている。

上述のとおり、米国の EF スケールは日本の建築物等に対応していないことから、これをそのまま日本国内で利用することは望ましくない。そこで、気象庁では、米国の EF スケールを参考に、日本の建築物等に対応するよう藤田スケールを改良した「日本版改良藤田スケール」を策定することとした。

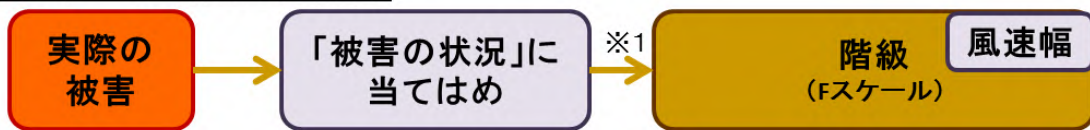
なお、同スケールの検討及び策定にあたっては、風工学や気象学をはじめとする専門家からなる「竜巻等突風の強さの評定に関する検討会」(会長：田村幸雄東京工芸大学名誉教授)を、2013年から2015年にかけて全6回開催した。(付録A)

第2章 日本版改良藤田スケールとその特徴

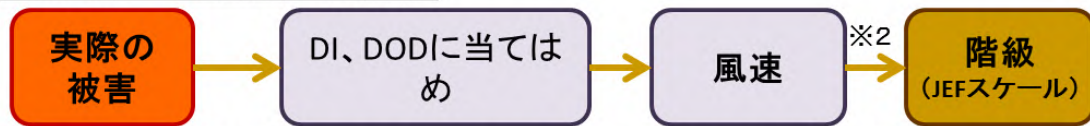
日本版改良藤田スケール（Japanese Enhanced Fujita scale、以下「JEF スケール」という。）は、日本国内で発生する竜巻等突風の強さをよりの確に把握できるようにするため、以下のとおり、米国の EF スケールを参考にしつつ、最新の風工学の知見を取り入れて策定した。同スケールの特徴を以下 1～3 に記す。

なお、これまでの F スケールを用いた評定では、F スケールの各階級に風速が対応づけられていたが、JEF スケールを用いた評定では、風速は被害指標 DI 及び被害度 DOD に対応づけられるため、両者の評定手順は異なってくる（図 3）。

■ Fスケールを用いた評定



■ JEFスケールを用いた評定



※1 個別被害から求められるFスケールのうち、最大のものを現象の階級とする。

※2 個別被害から求められる風速のうち、最大値を階級に当てはめる。

図 3 F スケールを用いた評定手順と JEF スケールを用いた評定手順の違い

1 日本の建築物等に対応した被害指標及び被害度の導入

JEF スケールでは、米国の EF スケールと同様に、評定に用いる被害状況（「何がどうなった」）を DI 及び DOD に分けて設定することとした。DI には、風工学の知見に基づき、30 種類の日本の建築物等を選定し（表 2）、それぞれの DI に複数の DOD を設定した（付録 B）。

表2 JEF スケールの被害指標 (DI)

番号	被害指標 (DI)	番号	被害指標 (DI)
1	木造の住宅又は店舗	16	鉄道車両
2	鉄骨系プレハブ住宅又は店舗	17	電柱
3	鉄筋コンクリート造の集合住宅	18	地上広告板
4	仮設建築物	19	道路交通標識
5	大規模な庇・独立上家の屋根	20	カーポート
6	鉄骨造倉庫	21	塀
7	木造の非住家建築物	22	木造・樹脂・アルミ製フェンス、メッシュフェンス
8	園芸施設	23	道路の防風・防雪フェンス
9	木造の畜産施設	24	ネット(野球場・ゴルフ場等)
10	物置	25	広葉樹
11	コンテナ	26	針葉樹
12	自動販売機	27	墓石(悼石)
13	軽自動車	28	路盤
14	普通自動車	29	仮設足場(壁つなぎ材)
15	大型自動車	30	ガントリークレーン

2 被害指標及び被害度に対応した風速の設定

各 DI・DOD について、大型風洞実験装置やシミュレーションを用いた研究成果や、突風による建築物の被害に関する研究成果等を活用し、対応する風速分布を設定した(付録 B)。この DI・DOD と風速の対応付けについては、文部科学省共同利用・共同研究拠点として認定された「風工学研究拠点」の特定課題研究「日本版竜巻スケールおよびその評価手法に関する研究」(2013～2015 年度)の成果を活用した。

なお、将来、建築物等の耐風性能が変化した場合、現在と将来で同じ風速の竜巻等突風がもたらす被害の程度は異なることが想定される。このため、建築物等の耐風性能が変化した際には、DOD と風速の対応付けを見直すこととする。これにより、表 3 に示す JEF スケールの階級と風速の関係を変更しなくても、同じ強さの竜巻であれば、現在でも将来でも同じ風速(階級)が得られることとなる(図 4)。

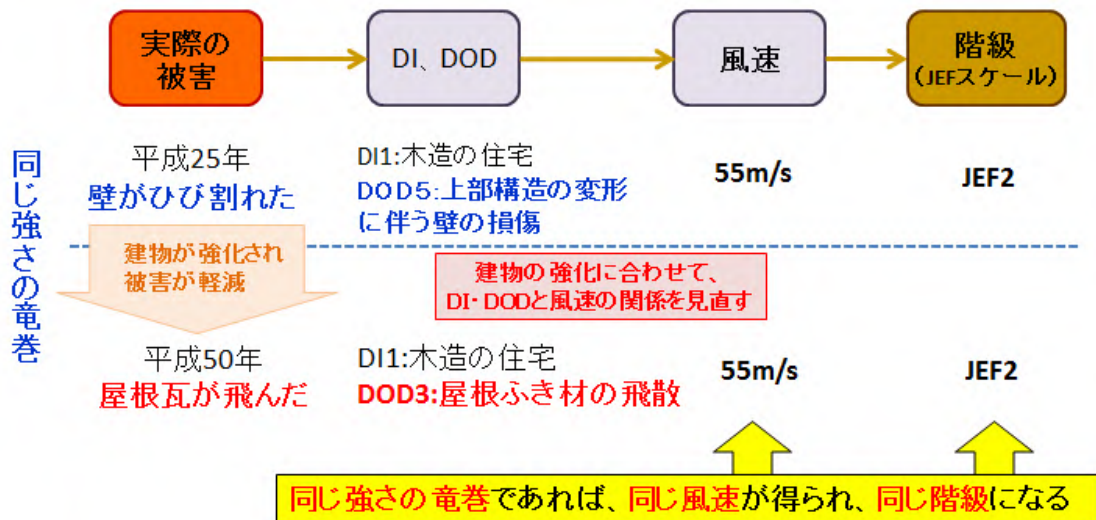


図4 建築物の耐風性能が変化した場合の対応（イメージ）

3 統計的な継続性を考慮した階級と風速の対応

JEF スケールの階級と風速の対応については、F スケールと JEF スケールの継続性を果たせるため、現象のスケールの評価結果が両スケールでできる限り同じ階級となる（例えば、F スケールで F2 と評価された現象は、基本的に JEF スケールでも JEF2 となる）ように決定した。この考え方は、米国の EF スケール策定にあたって用いられている。

具体的には、竜巻等突風による複数の被害事例について、F スケールから得られる風速と、DI・DOD から得られる風速の相関を求め、表3のとおり JEF スケールの階級と風速の対応を決定した（付録C）。その結果、JEF スケールの各階級における風速の下限は $14 \times \text{JEF} + 25(\text{m/s})$ 、上限は $14 \times \text{JEF} + 38(\text{m/s})$ で与えられることとなった。

表3 日本版改良藤田スケールにおける階級と風速の関係

階級	風速(m/s) の範囲 (3 秒平均)	主な被害の状況 (参考)
JEF0	25—38	<ul style="list-style-type: none"> ・木造の住宅において、目視でわかる程度の被害、飛散物による窓ガラスの損壊が発生する。比較的狭い範囲の屋根ふき材が浮き上がったり、はく離する。 ・園芸施設において、被覆材（ビニルなど）がはく離する。パイプハウスの鋼管が変形したり、倒壊する。 ・物置が移動したり、横転する。 ・自動販売機が横転する。 ・コンクリートブロック塀（鉄筋なし）の一部が損壊したり、大部分が倒壊する。 ・樹木の枝（直径 2cm～8cm）が折れたり、広葉樹（腐朽有り）の幹が折損する。
JEF1	39—52	<ul style="list-style-type: none"> ・木造の住宅において、比較的広い範囲の屋根ふき材が浮き上がったたり、はく離する。屋根の軒先又は野地板が破損したり、飛散する。 ・園芸施設において、多くの地域でプラスチックハウスの構造部材が変形したり、倒壊する。 ・軽自動車や普通自動車（コンパクトカー）が横転する。 ・通常走行中の鉄道車両が転覆する。 ・地上広告板の柱が傾斜したり、変形する。 ・道路交通標識の支柱が傾倒したり、倒壊する。 ・コンクリートブロック塀（鉄筋あり）が損壊したり、倒壊する。 ・樹木が根返りしたり、針葉樹の幹が折損する。
JEF2	53—66	<ul style="list-style-type: none"> ・木造の住宅において、上部構造の変形に伴い壁が損傷（ゆがみ、ひび割れ等）する。また、小屋組の構成部材が損壊したり、飛散する。 ・鉄骨造倉庫において、屋根ふき材が浮き上がったり、飛散する。 ・普通自動車（ワンボックス）や大型自動車が横転する。 ・鉄筋コンクリート製の電柱が折損する。 ・カーポートの骨組が傾斜したり、倒壊する。 ・コンクリートブロック塀（控壁のあるもの）の大部分が倒壊する。 ・広葉樹の幹が折損する。 ・墓石の棹石が転倒したり、ずれたりする。
JEF3	67—80	<ul style="list-style-type: none"> ・木造の住宅において、上部構造が著しく変形したり、倒壊する。 ・鉄骨系プレハブ住宅において、屋根の軒先又は野地板が破損したり飛散する、もしくは外壁材が変形したり、浮き上がる。 ・鉄筋コンクリート造の集合住宅において、風圧によってベランダ等の手すりが比較的広い範囲で変形する。 ・工場や倉庫の大規模な庇において、比較的狭い範囲で屋根ふき材がはく離したり、脱落する。 ・鉄骨造倉庫において、外壁材が浮き上がったり、飛散する。

		・アスファルトがはく離・飛散する。
JEF4	81—94	・工場や倉庫の大規模な庇において、比較的広い範囲で屋根ふき材がはく離したり、脱落する。
JEF5	95—	・鉄骨系プレハブ住宅や鉄骨造の倉庫において、上部構造が著しく変形したり、倒壊する。 ・鉄筋コンクリート造の集合住宅において、風圧によってベランダ等の手すりが著しく変形したり、脱落する。

第3章 日本版改良藤田スケールによる評価方法

JEF スケールを用いた竜巻等突風の強さの評価は、以下の手順で行う。(図5)

竜巻等突風によりもたらされた被害それぞれについて、付録Bを用いて DI 及び DOD を決定する。

で決定した DI・DOD に対応する風速を求める。

で得られた風速のうち、最大の値を、現象を代表する風速(ここでは「評価風速」と呼ぶ)とする。

評価風速を表3の風速に当てはめて JEF スケールの階級を求める。

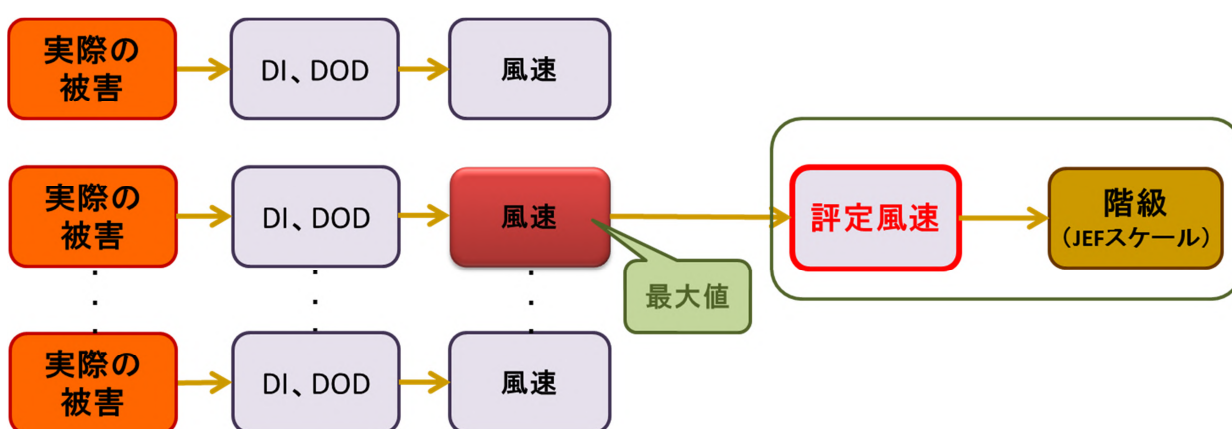
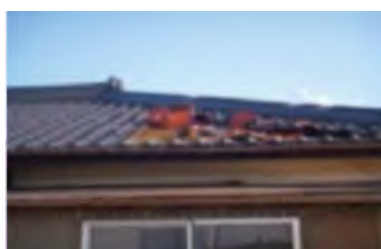


図5 日本版改良藤田スケールを用いた評価の流れ

【評価の具体例】



被害 a
屋根瓦が狭い範囲でめくれている



被害 b
屋根が飛散している



被害 c
屋根瓦が広い範囲でめくれている

各被害の DI 及び DOD の決定

ある一つの突風現象が写真のように三つの被害 a,b,c をもたらしたとする。被害 a,b,c はいずれも木造住家の被害であり、DI は「木造の住宅又は店舗」と決定する。付録 B の DI「木造の住宅又は店舗」を参照して、それぞれの DOD を決定する。

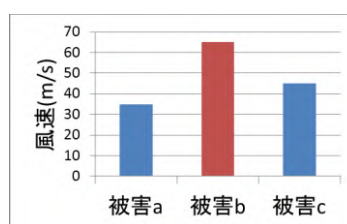
被害 a は、「比較的狭い範囲での屋根ふき材（粘土瓦ぶき）の浮き上がり又ははく離」に該当するので、DOD=2 である。被害 b は「小屋組の構成部材の損壊又は飛散」に該当するので、DOD=7 である。被害 c は「比較的広い範囲での屋根ふき材（粘土瓦ぶき）の浮き上がり又ははく離」に該当するので、DOD=3 である。

各被害に対応した風速の決定

付録 B の DI「木造の住宅又は店舗」の風速表を参照し、被害 a,b,c の DOD に対応する「代表値」をそれぞれの風速とする。（DI によっては「代表値」以外の値を風速とする場合がある。詳細は付録 B を参照。）

【選択された被害度と風速（代表値）】

	被害度（DOD）	風速（m/s）
被害 a	2	35
被害 b	7	65
被害 c	3	45



評価風速の決定

各風速のうち、最大値は被害 b の 65m/s であることから、この風速値を評価風速とする。

JEF スケールの階級の決定

評価風速 65m/s は表 3 から JEF2 に相当することから、この現象は JEF2 と評価される。

【参考文献】

- ANSI,1996: ASCE Standard, Minimum design loads for buildings and other structures, ASCE 7-95, American National Standards Institute, June.
- Dregger, P., 2005: The Wind Investigator: How to approximate Wind Velocities at Roof Level. Interface,October 2005,41-44.
- Fujita, T.T., 1971: Proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity. Satellite and Mesometeorology Research Project Report 91, the University of Chicago, 42 pp.
- 藤田哲也, 1973: たつまき - 渦の驚異 - 上, 科学ブックス20,共立出版,228pp.
- McDonald, J. and K. C. Mehta, 2006: A Recommendation for an Enhanced Fujita Scale (EF-Scale), Revision 2. Wind Science and Engineering Research Center, Texas Tech University, Lubbock, TX, 111 pp.
- Minor, J.E., J.R. McDonald, and K.C. Mehta, 1977: The tornado: An engineering oriented perspective. NOAA Technical Memorandum, ERL NSSL-82, National Severe Storms Laboratory, Norman, OK, 103 pp.
- Phan, L.T. and E. Simiu, 1998: The Fujita tornado intensity scale: a critique based on observations of the Jarrell tornado of May 27, 1997. NIST Tech. Note 1426, U.S. Department of Commerce, Gaithersburg, MD, 20 pp.
- Sills, D. M. L., 2013a: Enhance Fujita Scale Damage Indicator / Degree Of Damage Guide. Environment Canada, 19 pp.
- Sills, D. M. L., 2013b: The Enhanced Fujita scale for wind damage rating. Various EF-scale training presentations Apr/May 2013, Toronto, ON. 20 pp.
- WMO,2009: Guidelines for Converting Between Various Wind Averaging Periodsin Tropical Cyclone Conditions. 54pp.

付録

付録 A	竜巻等突風の強さの評定に関する検討会 委員名簿	16
付録 B	被害指標 (DI) と被害度 (DOD) 及び風速の関係	17
付録 C	日本版改良藤田スケールの階級と風速の対応の決定方法	111

付録 A 竜巻等突風の強さの評定に関する検討会 委員名簿

伊藤 優	株式会社日本設計構造設計群 常任技術顧問
奥田 泰雄	国土技術政策総合研究所建築研究部 建築新技術統括研究官
喜々津仁密	国立研究開発法人建築研究所構造研究グループ 主任研究員
坂田 弘安	東京工業大学大学院理工学研究科建築学専攻 教授
小司 禎教	気象研究所気象衛星観測システム研究部 第二研究室長
鈴木 覚	国立研究開発法人森林総合研究所気象環境研究領域 気象害・防災林研究室長
田村 幸雄	東京工芸大学 名誉教授
○ 新野 宏	東京大学大気海洋研究所海洋物理学部門海洋大気力学分野 教授
前田 潤滋	九州大学大学院人間環境学研究院 教授

(: 会長、○ : 会長代理)

(敬称略)

付録 B 被害指標 (DI) と被害度 (DOD) 及び風速の関係

次頁より、それぞれの DI について、DOD と対応する風速の関係、評価に用いるにあたっての解説 (運用上の解説) 及び風速算定方法 (5m/s 単位で算定) の概要を示す。これらは、文部科学省共同利用・共同研究拠点である「風工学研究拠点」の特定課題研究「日本版竜巻スケールおよびその評価手法に関する研究」の成果に基づき設定した。

この中で、DI、DOD に対応する風速として「代表値」「上限値」「下限値」を設定している。「代表値」は、各 DOD の被害を引き起こす風速の代表的な値を示し、通常はこの値を評価に利用する。また、「上限値」と「下限値」により、構造物の形状や材質等の違いから、被害を引き起こす風速が取り得る値の幅を示した。

<DI 一覧>

1	木造の住宅又は店舗	18
2	鉄骨系プレハブ住宅又は店舗	24
3	鉄筋コンクリート造の集合住宅	27
4	仮設建築物	31
5	大規模な庇・独立上家の屋根	34
6	鉄骨造倉庫	37
7	木造の非住家建築物	39
8	園芸施設	42
9	木造の畜産施設	45
10	物置	48
11	コンテナ	51
12	自動販売機	54
13	軽自動車	56
14	普通自動車	58
15	大型自動車	60
16	鉄道車両	62
17	電柱	65
18	地上広告板	68
19	道路交通標識	71
20	カーポート	74
21	塀	77
22	木造・樹脂・アルミ製フェンス、メッシュフェンス	80
23	道路の防風・防雪フェンス	82
24	ネット (野球場・ゴルフ場等)	84
25	広葉樹	88
26	針葉樹	95
27	墓石 (棹石)	101
28	路盤	104
29	仮設足場 (壁つなぎ材)	106
30	ガントリークレーン	109

【DI 番号】 1

【名称】

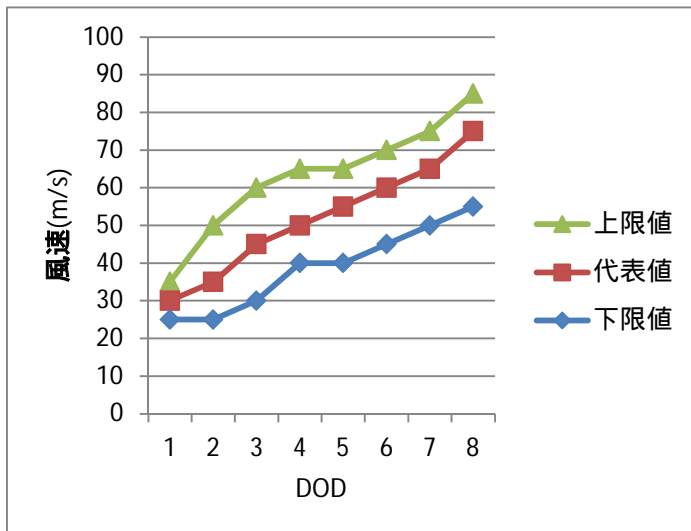
木造の住宅又は店舗

【対象】

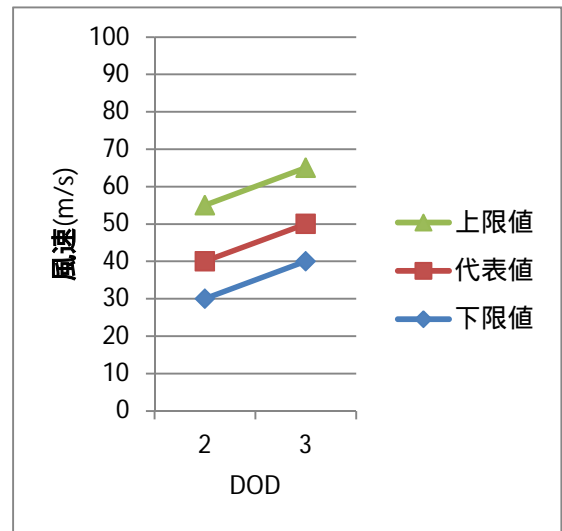
- ・ 1 ～ 2 階建て木造の戸建て住宅又は店舗（店舗併用住宅を含む）
- ・ 2 階建ての木造の集合住宅

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)			
		代表値	下限値	上限値	
1	目視でわかる程度の被害、窓ガラスの損壊	30	25	35	
2	比較的狭い範囲での屋根ふき材の浮き上がり又ははく離	粘土瓦ぶきの場合	35	25	50
		金属板ぶきの場合	40	30	55
3	比較的広い範囲での屋根ふき材の浮き上がり又ははく離	粘土瓦ぶきの場合	45	30	60
		金属板ぶきの場合	50	40	65
4	屋根の軒先又は野地板の破損又は飛散	50	40	65	
5	上部構造の変形に伴う壁の損傷（ゆがみ、ひび割れ等）	55	40	65	
6	金属系の外壁材のはく離	60	45	70	
7	小屋組の構成部材の損壊又は飛散	65	50	75	
8	上部構造の著しい変形又は倒壊	75	55	85	



粘土瓦ぶきの場合



金属板ぶきの場合(DOD=2,3 のみ表示)

【DOD の例】

	
<p>DOD=1 目視でわかる程度の被害、窓ガラスの損壊 写真提供：国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所</p>	<p>DOD=2 比較的狭い範囲での屋根ふき材（粘土瓦ぶき）の浮き上がり又ははく離 写真提供：国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所</p>
	
<p>DOD=3 比較的広い範囲での屋根ふき材（粘土瓦ぶき）の浮き上がり又ははく離 写真提供：国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所</p>	<p>DOD=4 屋根の軒先又は野地板の破損又は飛散 写真提供：国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所</p>



DOD=6 金属系の外壁材のはく離
 (接合部付近の部材に引き抜き力に対して抵抗した痕跡がみられないため下限値を採用する事例)

写真提供：国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所



DOD=7 小屋組の構成部材の損壊又は飛散
 写真提供：国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所



DOD=8 上部構造の著しい変形又は倒壊
 (1981年以前の建築であることが確認されていたため下限値を採用する事例)

写真提供：国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所

【運用上の解説】

- (1) DOD=2 の「比較的狭い範囲」は屋根の全面積のうち概ね 25%以下の範囲、DOD=3 の「比較的広い範囲」は概ね 25%を超える範囲をそれぞれ想定している。
- (2) DOD=2,3,4,6,7 については、以下の手順で風速を評定する。
以下の表の(イ)(ロ)欄に従って、(ハ)欄に掲げる数値を採用する。

(イ) 被害箇所の詳細調査	(ロ) 被害箇所の接合方法	(ハ) 風速
未実施		代表値
実施	比較的簡易な接合方法（接合部付近の部材に、引き抜き力に対して抵抗した痕跡がみられない）	下限値
	標準的な接合方法（接合部付近の部材に、割裂等の発生がみられることが多い）	代表値
	金物等を用いて構造耐力上有効に補強された接合方法（接合部付近の部材に、割裂等の発生がみられることが多い）	上限値

外観上明らかに当該被害箇所の劣化が著しい場合には、上記 で採用した数値を一段階小さい数値に置き換える。（上限値 代表値、代表値 下限値、下限値 一段下位の DOD の下限値（ただし、一段下位の DOD の下限値でも同じ場合は二段下位の DOD の下限値））

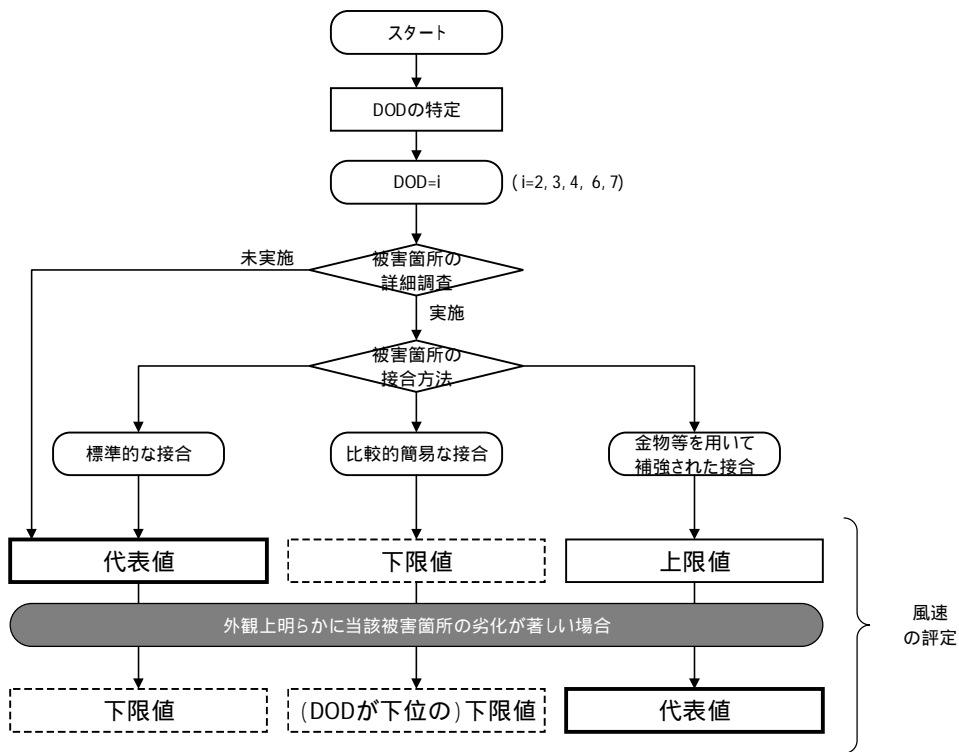


図 DOD=2,3,4,6,7 の風速の評定フロー

(3) DOD=5 及び 8 については、以下の手順で風速を評定する。

以下の表の(イ)(ロ)欄に従って、(ハ)欄に掲げる数値を採用する。

(イ) 居住者へのヒアリング調査	(ロ) 建築年	(ハ) 風速
未実施		代表値
実施	1959～1981年(昭和34～56年)	下限値
	1981～2000年(昭和56～平成12年)	代表値
	2000年以降(平成12年以降)	上限値

外観上明らかに当該建築物の劣化が著しい場合には、上記で採用した数値を一段階小さい数値に置き換える。(上限値 代表値、代表値 下限値、下限値 一段下位のDODの下限値(ただし、一段下位のDODの下限値でも同じ場合は二段下位のDODの下限値))

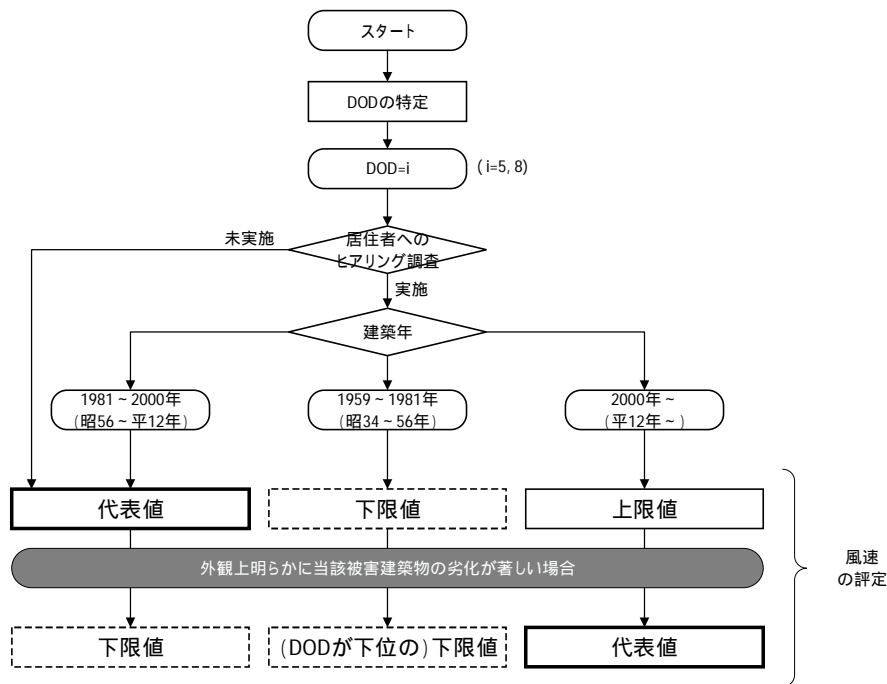


図 DOD=5 及び 8 の風速の評定フロー

【風速算定方法の概要】

以下 2 種類の建築物を想定して風速を算定した。

- ・ 木造の戸建て住宅又は店舗(店舗併用住宅を含む)
 - 1～2階建てで、総床面積は 70 m² 程度以上、屋根ふき材として粘土瓦又は金属板を採用した、木造在来軸組工法を想定する。
- ・ 木造の集合住宅

2階建てで、総床面積は 300m² 程度以下、屋根ふき材として粘土瓦又は金属板を採用した、木造在来軸組工法を想定する。

風速算定方法は次の 1)～4)の通りである。

- 1) DOD=2,3,4,6,7 における屋根構成材等の耐風強度の最大値は、既往の耐力試験データ(岡田・喜々津 2005;喜々津・河合 2009)や設計規準(日本金属屋根協会・日本鋼構造協会 2008)により得られる。また、屋根ふき材の被害範囲の違いは、瓦模型の風洞実験結果(岡田 1988)に基づいて仮定する。
- 2) DOD=5,8 における、上部構造の耐風強度の最大値は、建築基準の変遷(～1981年、1981～2000年、2000年～)を考慮した層せん断力係数モデル(坂田 2014)に基づいて設定する。
- 3) 一方、建築物が風によって受ける荷重は、瞬間風速と建築基準に関する法令に定める風力係数を用いた方法(喜々津ほか 2015;奥田ほか 2013)によって概算できる。
- 4) 上記 3)の風による荷重が 1)もしくは 2)の強度を超えたとき、各 DOD に相当する被害が発生するとみなし、その風の荷重を与える瞬間風速を各 DOD の風速とする。なお、屋根構成材の接合方法や上部構造の建築年代によって、耐風強度の最大値が変化する。この変化に伴い、各 DOD の風速にも幅が生じる。この幅を上限値・下限値として設定した。

【参考文献】

- 喜々津仁密,河合直人,2009:構成部材の引張載荷試験に基づく木造小屋組の耐風性能評価に関する研究. 日本建築学会構造系論文集,74(646),2181-2188.
- 喜々津仁密,中川貴文,奥田泰雄,坂田弘安,2015:日本版改良藤田スケールの開発～木造戸建て住宅の DOD と推定風速の概要～. 日本風工学会誌,40(2),119-120.
- (社)日本金属屋根協会・(社)日本鋼構造協会,2008:鋼板製屋根構法標準 SSR2007.
- 岡田恒,1988:強風による屋根瓦の飛散に関する風洞実験. 日本風工学会誌,(35),1-15.
- 岡田恒,喜々津仁密,2005:工法の実態調査及び引き上げ試験に基づく瓦屋根の耐風性能評価. 日本建築学会構造系論文集,(596),9-16.
- 奥田泰雄,壁谷澤寿一,槌本敬大,喜々津仁密,荒木康弘,石井儀光,中川貴文,2013:平成 24 年(2012 年)5 月 6 日に茨城県つくば市で発生した建築物等の竜巻被害調査報告. 国土技術政策総合研究所資料,(703)(建築研究資料,(141)).
- 坂田弘安,2014:木造建築物の耐力. 特定課題研究 日本版竜巻スケールおよびその評価手法に関する研究,48-55.

【DI 番号】 2

【名称】

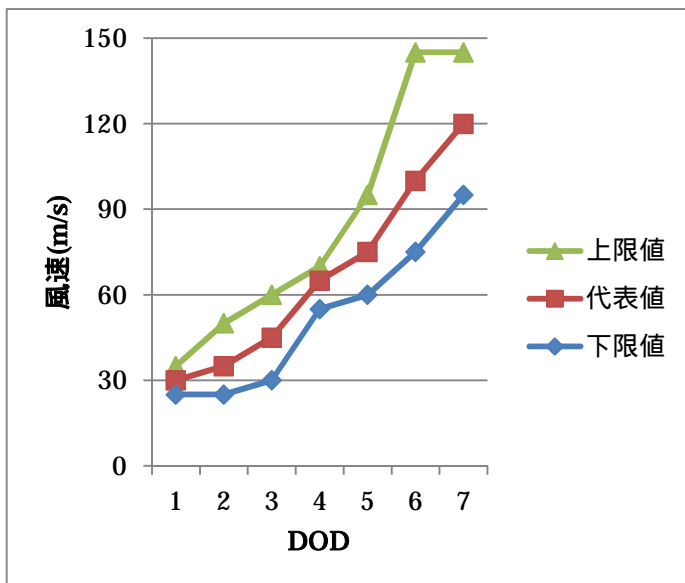
鉄骨系プレハブ住宅又は店舗

【対象】

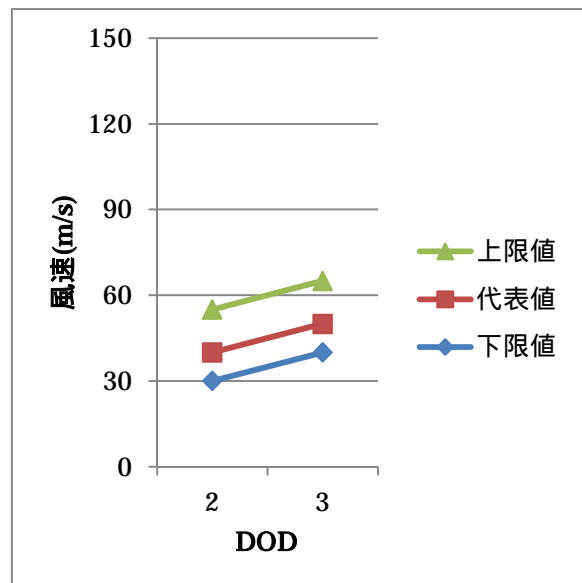
- ・ 2階建ての低層軽量鉄骨系プレハブ戸建住宅・集合住宅
- ・ コンビニエンスストア、ガソリンスタンド建屋、ファミリーレストランなどの店舗

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)			
		代表値	下限値	上限値	
1	目視でわかる程度の被害、窓ガラスの損壊	30	25	35	
2	比較的狭い範囲での屋根ふき材の浮き上がり又ははく離	粘土瓦ぶき	35	25	50
		金属板ぶき	40	30	55
3	比較的広い範囲での屋根ふき材の浮き上がり又ははく離	粘土瓦ぶき	45	30	60
		金属板ぶき	50	40	65
4	小屋組の変形・破壊	65	55	70	
5	屋根の軒先又は屋根の野地板の破損又は飛散 外壁材の変形・浮き上がり	75	60	95	
6	上部構造の著しい変形（層崩壊）	100	75	145	
7	上部構造の倒壊（アンカーボルト破壊）	120	95	145	



粘土瓦ぶきの場合



金属板ぶきの場合(DOD 2,3のみ)

【DOD の例】



DOD=5 屋根の軒先又は屋根の野地板の破損又は飛散、外壁材の変形・浮き上がり
 写真提供：国立研究開発法人建築研究所

【運用上の解説】

- (1) 外装材が剥がれて、構造躯体が顕わになり鉄骨の柱が確認できた場合には、この DI を適用する。分からない場合は木造と判断し DI=1「木造の住宅又は店舗」を適用する。なお、梁が鉄骨であることが確認できた場合でも、柱が木造で梁の鉄骨は補強の場合があるので、柱の材質で判断する必要がある。
- (2) DOD=2 の「比較的狭い範囲」は屋根の全面積のうち概ね 25%以下の範囲、DOD=3 の「比較的広い範囲」は概ね 25%を超える範囲をそれぞれ想定している。
- (3) DOD=2,3 については、以下の手順で風速を評定する。
 以下の表の(イ)(ロ)欄に従って、(ハ)欄に掲げる数値を採用する。

(イ) 被害箇所の詳細調査	(ロ) 被害箇所の接合方法	(ハ) 風速
未実施		代表値
実施	比較的簡易な接合方法（接合部付近の部材に、引き抜き力に対して抵抗した痕跡がみられない）	下限値
	標準的な接合方法（接合部付近の部材に、割裂等の発生がみられることが多い）	代表値
	金物等を用いて構造耐力上有効に補強された接合方法（接合部付近の部材に、割裂等の発生がみられることが多い）	上限値

外観上明らかに当該被害箇所の劣化が著しい場合には、上記 で採用した数値を一段階小さい数値に置き換える。(上限値 代表値、代表値 下限値、下限値 一段下位の DOD の下限値 (ただし、一段下位の DOD の下限値でも同じ場合は二段下位の DOD の下限値))

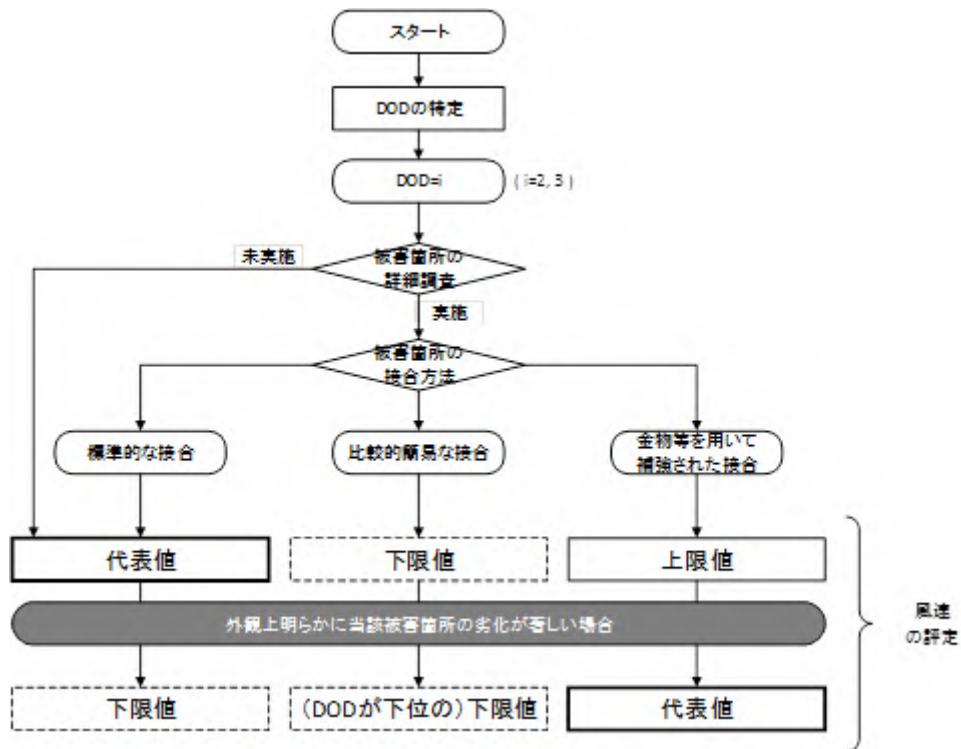


図 DOD=2,3 の風速の評定フロー

【風速算定方法の概要】

- ・ 屋根ふき材として粘土瓦と金属屋根を、外壁材としてALCを想定している。
- ・ DOD=1の軽微な被害、DOD=2,3の屋根ふき材の被害の範囲は、DI=1「木造の住宅又は店舗」を参照した。
- ・ DOD=4~7は、複数の住宅メーカーから提供された構造試験データの結果から最大耐力を算定し、風速を推定した。

【DI 番号】 3

【名称】

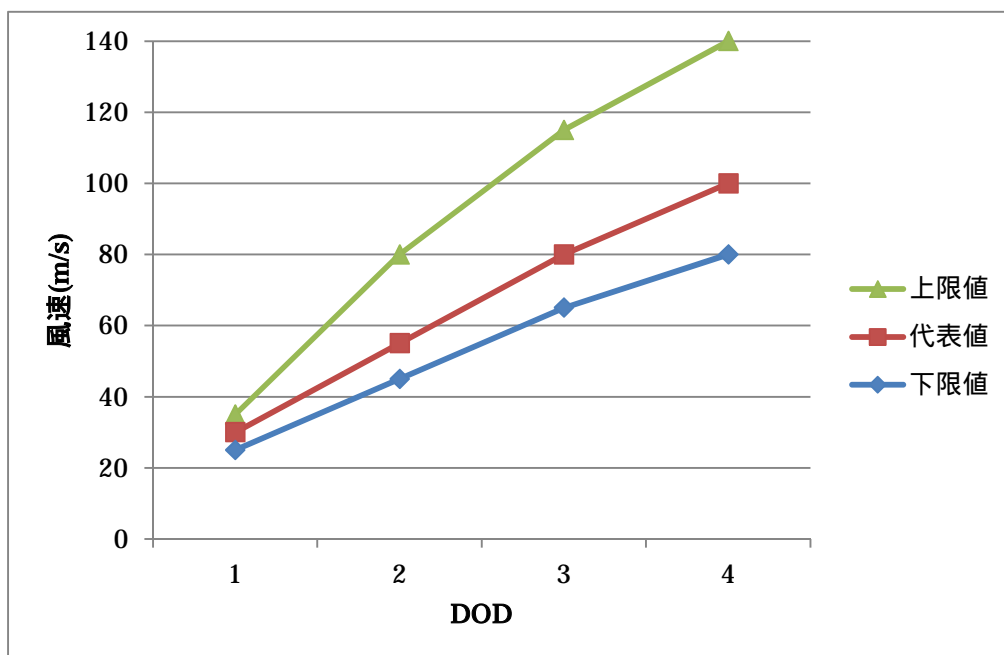
鉄筋コンクリート造の集合住宅

【対象】

1～5階建て程度までの鉄筋コンクリート造の集合住宅の、窓ガラス、共用廊下及びベランダ等のアルミ製手すり

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	目視でわかる程度の被害、窓ガラスの損壊	30	25	35
2	風圧による部分的な範囲での手すりの変形	55	45	80
3	風圧による比較的広い範囲での手すりの変形	80	65	115
4	風圧による手すりの著しい変形又は脱落、比較的広い範囲でのパネルの損壊	100	80	140



【DOD の例】

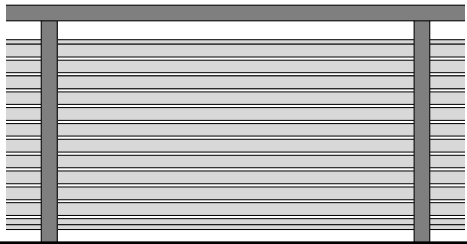
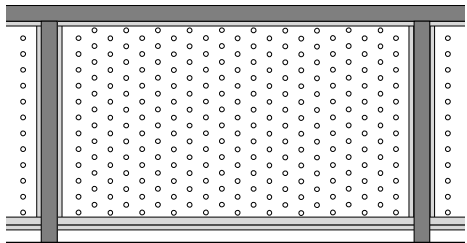


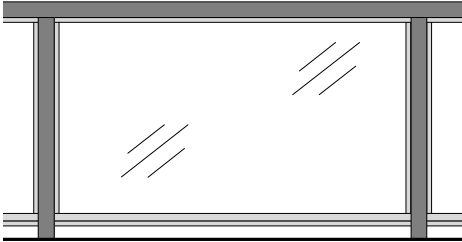
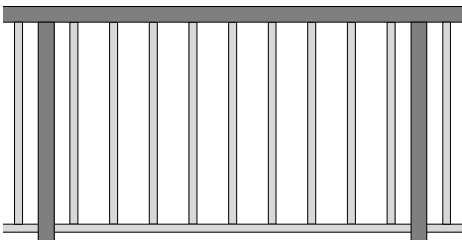
DOD=4 風圧による手すりの著しい変形又は脱落、比較的広い範囲でのパネルの損壊（受圧面に透き間のないパネルが設けられている（パネルが全面的に設けられている）ため下限値を採用する事例）

写真撮影：国立研究開発法人建築研究所・国土交通省国土技術政策総合研究所

【運用上の解説】

- (1) DOD=1 は、窓ガラスや手すりを構成する各部位に対して、飛散物の衝突による部分的な損傷を対象としたものである。
- (2) DOD=2～4 は、手すりの風圧による被害状態を想定したものである。手すりの受圧面の形式を下表に示す 3 通りに分類し、その形式に応じて風速の代表値、下限値、上限値を採用する。

受圧面の形式	手すりの例	適用する風速
受圧面に部分的な透き間があるもの	 <p data-bbox="667 1460 1053 1496">横格子 (ルーバー) タイプ</p>  <p data-bbox="730 1765 989 1800">パンチングタイプ</p>	代表値

受圧面に透き間のないパネル(ガラス等)が設けられているもの	 <p style="text-align: center;">パネルタイプ</p>	下限値
受圧面に手すり子が設けられているもの	 <p style="text-align: center;">手すり子タイプ</p>	上限値

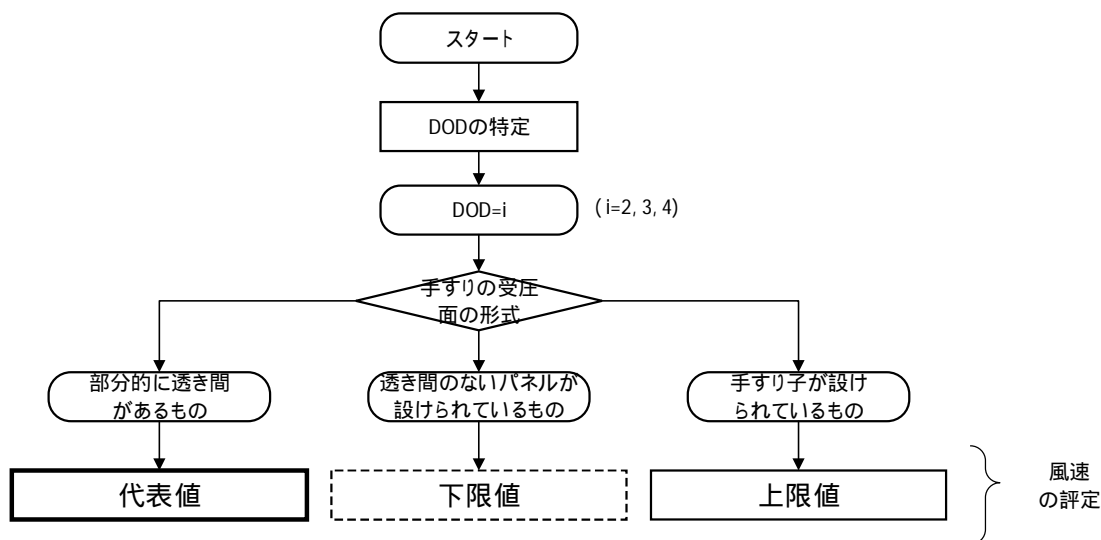


図 DOD=2～4の風速の評定フロー

【風速算定方法の概要】

- ・ DOD=1の風速は、DI=1「木造の住宅又は店舗」のDOD=1(窓ガラスの損壊)の風速を準用した。
- ・ DOD=2～4の風速算定では、手すりに作用するピーク風力係数、手すりの耐力及び受圧面積の充実率を仮定した。
- ・ ピーク風力係数には既往の風洞実験結果(大竹ほか2011)を引用し、アルミ製手すりの耐力には墜落防止手すりの100型と150型の試験集中荷重を参考にして設定した。このとき、ベランダの支柱間の距離、高さは1.2mを想定している。
- ・ 受圧面積の違いに応じた充実率をピーク風力係数に乗ずることによって、風速の上下限值を設定した。

【参考文献】

大竹和夫,中村修,奥田泰雄,2011 : ベランダ手摺のピーク風力係数. 日本風工学会誌,36(4),376-381.

【DI 番号】 4

【名称】

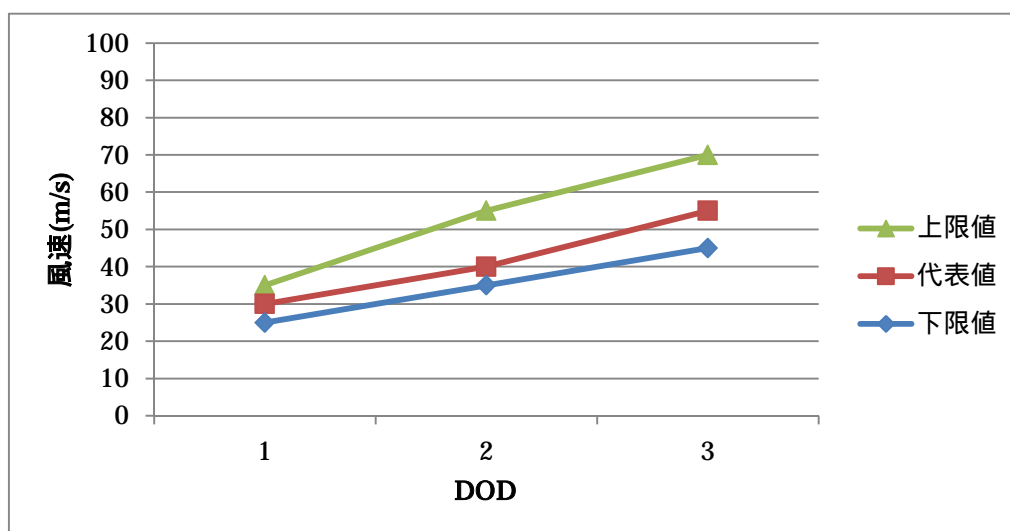
仮設建築物

【対象】

1～3階建て、軽量鉄骨造で、上部構造が基礎に留め具などで結合されていない仮設事務所、仮設店舗、プレハブ小屋など

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	目視でわかる程度の被害、窓ガラスの損壊	30	25	35
2	平屋仮設建築物の転倒	40	35	55
3	2階建て以上(2連以上)の転倒	55	45	70



【DOD の例】



DOD=2 平屋仮設建築物の転倒
(1ユニット単独なので下限値を採用する事例)
写真提供：沖縄県宮古土木事務所



DOD=3 2階建て以上(2連以上)の転倒
手前の飛ばされていない仮設事務所と同じものが2棟(赤点線)飛ばされた。右図は飛ばされた仮設事務所の杭基礎の状況で、杭が引き抜けに対して抵抗した痕跡はない。(2層以上の連棟で短辺長さが10m以上あるので代表値を採用する事例)
写真提供：(左)東京工芸大学風工学研究センター、(右)国立研究開発法人建築研究所

【運用上の解説】

- (1) 仮設建築物は、1～3階建て仮設店舗、仮設事務所、プレハブ小屋を対象とする。高さ約3m、幅5～7m、奥行約2mを1ユニットとして、鉛直方向および水平方向に複数ユニットを連結（連棟）して用いることもある。プレハブ小屋は1ユニットの平屋の仮設建築物とみなす。1ユニットより大幅に小さい物はDI=10「物置」を適用する。
- (2) 基礎と上部構造を緊結するアンカーは建築物の転倒に対して殆ど抵抗しない軽微なもの、あるいは、アンカーなどが無いものを想定する。アンカーボルトの破壊を伴う上部構造の転倒は、DI=6「鉄骨造倉庫」のDOD=7を適用する。
- (3) DOD=2で、1ユニット（プレハブ小屋）単独の場合は下限値を採用、1階の連棟で短辺長さが10m以上の場合は上限値を採用、それ以外は代表値を採用する。
- (4) DOD=3で、2階2ユニットの場合は下限値を採用、2層以上の連棟で短辺長さが10m以上の場合は上限値を採用、それ以外は代表値を採用する。

【風速算定方法の概要】

- ・ DOD=2、3の仮設建築物の転倒では、建築物の風下側面の基部を回転中心として、風荷重と仮設建築物の重量から算定される転倒モーメントの釣り合いから風速を推定した。
- ・ 仮設建築物の重量は、仮設建築物の自重に事務室の一般的な積載重量（人＋物）である700N/m²（約70kg重/m²）（日本建築学会2015）を加えている。抗力係数は1.2、屋根面の負圧は-1.0とした。

【参考文献】

日本建築学会,2015：建築物荷重指針・同解説（2015） 第4章 積載荷重 解説. 151.

【DI 番号】 5

【名称】

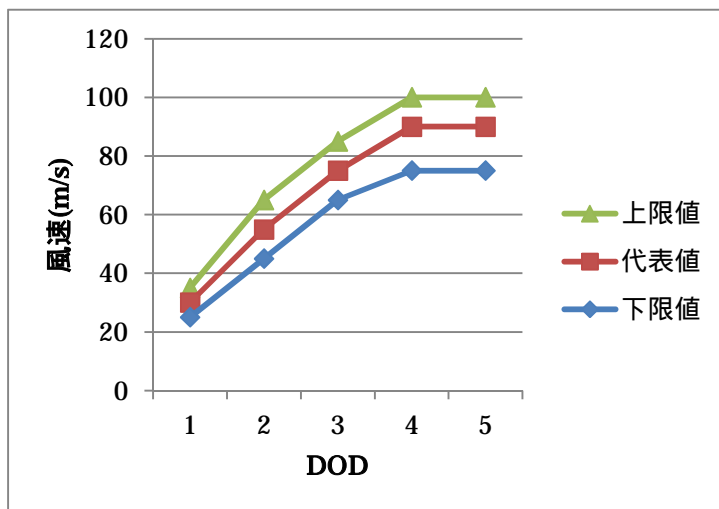
大規模な庇・独立上家の屋根

【対象】

非住家施設（倉庫、工場、ホームセンター等）の1階に付随する大規模な庇及び独立上家の屋根

【DOD と風速】

番号	DOD	推定風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	目視でわかる程度の被害	30	25	35
2	梁材の折損	55	45	65
3	比較的狭い範囲での屋根ふき材のはく離又は脱落	75	65	85
4	梁材の折損（庇を支持する吊り材の直径が比較的大きい場合）	90	75	100
5	比較的広い範囲での屋根ふき材のはく離又は脱落	90	75	100



【DOD の例】



DOD=5 比較的広い範囲での屋根ふき材のはく離又は脱落
 (折板の支持間隔が概ね 2.5m を超えること、また、外観上明らかに被害箇所
 の劣化が著しいと判断し、二段下位の DOD の下限値を採用する事例)
 写真提供：国立研究開発法人建築研究所・国土交通省国土技術政策総合研究所

【運用上の解説】

- (1) 屋根の全面積のうち、DOD=3 の「比較的狭い範囲」は概ね 25%以下の範囲、DOD=5 の「比較的広い範囲」は概ね 25%を超える範囲をそれぞれ想定している。
 (2) DOD=3,5 については、以下の手順で風速を推定する。
 以下の表の(イ)(ロ)欄に従って、(ハ)欄に掲げる数値を採用する。

(イ) 被害箇所の 実測調査	(ロ) 折板の支持間隔 (タイトフレーム間隔)	(ハ) 風速
未実施		代表値
実施	概ね 2.5m を超える場合	下限値
	概ね 2.5m	代表値
	概ね 2.5m 未満の場合	上限値

外観上明らかに当該被害箇所の劣化が著しい場合には、上記 で採用した数値を一段階小さい数値に置き換える。(上限値 代表値、代表値 下限値、下限値 一段下位の DOD の下限値 (ただし、一段下位の DOD の下限値でも同じ場合は二段下位の DOD の下限値))

- (3) DOD=2,4 は大規模な庇について適用するものであり、以下の手順で風速を推定する。
 なお、庇を支持する吊り材の直径が比較的大きく、座屈に対する耐力が大きいと判断される場合には DOD=4 とする。

以下の表の(イ)(ロ)欄に従って、(ハ)欄に掲げる数値を採用する。

(イ) 被害箇所の 実測調査	(ロ) 庇の長さ	(ハ) 風速
未実施		代表値
実施	概ね 7m を超える場合	下限値
	概ね 7m	代表値
	概ね 7m 未満の場合	上限値

外観上明らかに当該被害箇所の劣化が著しい場合には、上記 で採用した数値を一段階小さい数値に置き換える。(上限値 代表値、代表値 下限値、下限値 一段下位の DOD の下限値 (ただし、一段下位の DOD の下限値でも同じ場合は二段下位の DOD の下限値))

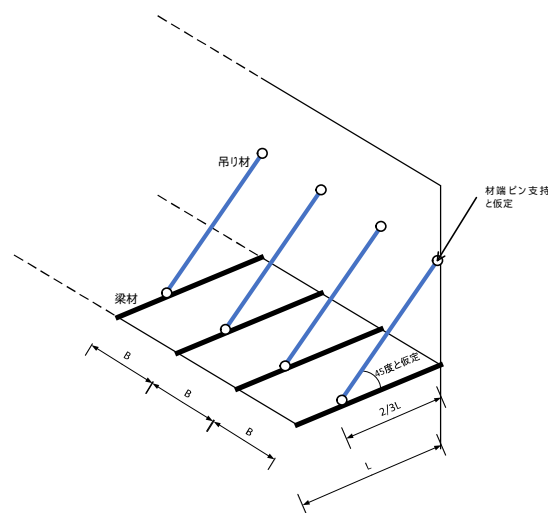
【風速算定方法の概要】

屋根ふき材として折板屋根、構造部材として鉄骨造を想定して計算した。

風速算定方法は次の 1) ~ 2) の通りである。

- 1) DOD=3,5 における屋根接合部の 1 箇所当たりの耐力は、既往の耐力試験データ(日本金属屋根協会・日本鋼構造協会 2008;日本金属屋根協会 2015)を参考にし、屋根ふき材の山ピッチは 0.4m に設定する。また、そのときのピーク風力係数は建築基準に関する法令に定める数値を採用する。屋根ふき材の支持間隔の大きさによって風速に幅が生じるので、この幅を DOD=3,5 の上限値・下限値として設定した。
- 2) DOD=2,4 における梁材が折損する状況に基づく風速は、風の作用によって庇の梁材端部に生ずるモーメント M と梁材が破損しない限界のモーメント M_r との関係から推定する。ここで、庇の長さ L を 7m、梁材同士の間隔を 5m と仮定した。

大規模な庇は通常の場合、その直上の壁との間に吊り材を介して支持される。モーメント M_r は、梁材の最大モーメントと吊り材の耐力から求まるモーメントとの和として設定する。ここで、吊り材の座屈に対する条件は、両端をピン接合、取付け位置を庇の固定端部から $2/3$ 材の長さ、取付け角度を 45 度と仮定して設定する。吊り材の直径を DOD=2 では 100mm 程度、DOD=4 では 150mm 程度とそれぞれ仮定して、風速の代表値を算出した。また、風速の上下限値は庇の長さ幅に幅を設けて算出した。



【参考文献】

- (社) 日本金属屋根協会・(社) 日本鋼構造協会, 2008: 鋼板製屋根構法標準 SSR2007.
(一社) 日本金属屋根協会, 2015: 重ね形折板における接合部耐力試験. 施工と管理, (1).

【DI 番号】 6

【名称】

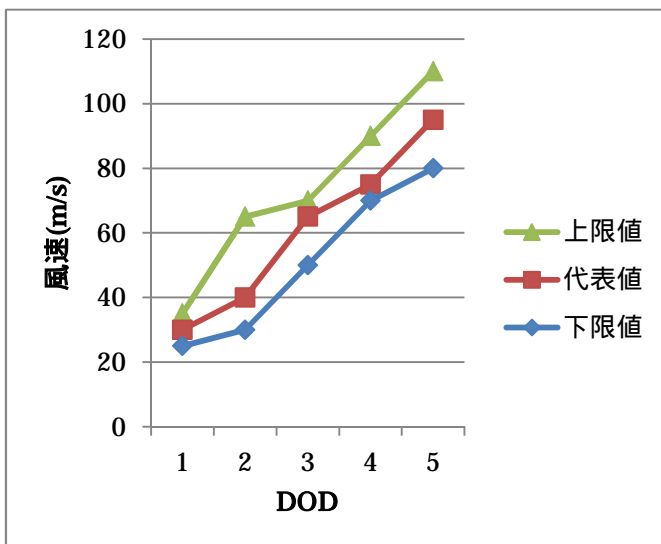
鉄骨造倉庫

【対象】

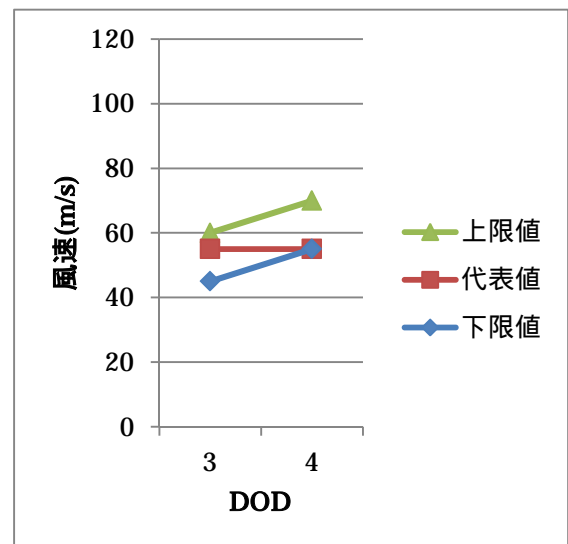
重量鉄骨造の倉庫

【DOD と風速】

番号	DOD		風速 (m/s)		
			代表値	下限値	上限値
1	目視でわかる程度の被害		30	25	35
2	軒天井の破損		40	30	65
3	屋根ふき材の浮き上がり又は飛散	風上側壁面に開口ができていない場合	65	50	70
		風上側壁面に開口ができていた場合	55	45	60
4	外壁材の浮き上がり又は飛散	風上側壁面に開口ができていない場合	75	70	90
		風上側壁面に開口ができていた場合	55	55	70
5	上部構造の著しい変形 (層崩壊) 又は倒壊		95	80	110



風上側壁面に開口ができていない場合



風上側壁面に開口ができていた場合
(DOD=3,4 のみ)

【運用上の解説】

(1) DOD=3 では、屋根ふき材がスレート屋根の場合は下限値、鋼板折板屋根の場合は上限値、種別が不明な場合は代表値を採用する。

- (2) DOD=4 では、外壁材として用いられる ALC パネル、ECP パネル、鋼板製外壁、スレート外壁を評定の対象とする。鋼板製波板（所謂トタン板）や樹脂製波板などは、劣化の程度により破壊時の風速推定値が大きく異なることから評定の対象外とする。
- (3) DOD=4 では、下限値はスレート外壁、上限値は鋼板製外壁で、その他は代表値とする。
- (4) DOD=5 では、倒壊方向の奥行きが長い（奥行き/高さ 3.0）場合は上限値、奥行きが短い（奥行き/高さ 1.5）場合は下限値を採用する。中間の場合は代表値を採用する。

【風速算定方法の概要】

- ・ DOD=1: DI=1「木造の住宅又は店舗」の DOD=1 を参照した。
- ・ DOD=2: 軒天井の吊りボルトの座屈とクリップの外れから風速を算定した。代表値は正圧により吊りボルトが座屈し天井板を突き抜けた場合、下限値が開口により天井裏が負圧になった場合、上限値が天井板が脱落した場合である。
- ・ DOD=3: 屋根ふき材として倉庫で一般的に用いられることが多い鋼板折板屋根とスレート屋根を対象とし、各屋根ふき材の緊結部の耐力と各部に作用する負の風圧力から風速を算定した。風圧力の作用や飛散物の衝突によって風上側壁面に開口ができていた場合は、開口が無い場合の風速値を 0.85 倍した値を設定した。
- ・ DOD=4: 外壁材として倉庫で ALC パネル、押し出し成形セメント板、鋼板製外壁、スレート外壁を対象とし、各屋外壁材の緊結部の耐力と各部に作用する負の風圧力から風速を算定した。風圧力の作用や飛散物の衝突によって風上側壁面に開口ができていた場合は、開口が無い場合の風速値を 0.75 倍した値を設定した。
- ・ DOD=5: 日本の一般的な建築物では、建築物の水平方向の耐力は主に地震動による荷重で決めている。そこで、設計上の地震の荷重から鉄骨造倉庫の耐力を算定した。鉄骨造倉庫の重量は、鉄骨造体育館の単位床面積あたりの重量を参照し 250kg 重/m² とし、ベースシア係数を 1.0 とした。一方、風圧力は抗力式（=速度圧×抗力係数×受圧面積）を用いて算定し、耐力と風圧力がつり合う関係から風速値を算定した。なお、風圧力は外装材が脱落しない条件で算定した。

【DI 番号】 7

【名称】

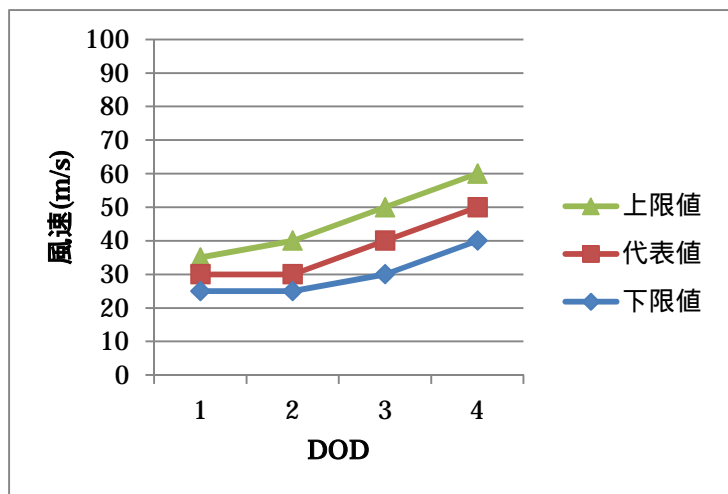
木造の非住家建築物

【対象】

1 階建ての木造の非住家建築物（簡易倉庫、作業小屋等）

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	目視でわかる程度の被害、窓ガラスの損壊	30	25	35
2	比較的狭い範囲での屋根ふき材の浮き上がり又ははく離	30	25	40
3	比較的広い範囲での屋根ふき材の浮き上がり又ははく離、上部構造の著しい変形又は倒壊	40	30	50
4	屋根の構成部材の破損又は飛散、上部構造の移動	50	40	60



【DOD の例】



DOD=4 屋根の構成部材の破損又は飛散、上部構造の移動
(上部構造の移動なので代表値を採用する事例)

写真提供：国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所

【運用上の解説】

- (1) 屋根の全面積のうち、DOD=2 の「比較的狭い範囲」は概ね 25%以下の範囲、DOD=3 の「比較的広い範囲」は概ね 25%を超える範囲をそれぞれ想定している。
- (2) DOD=3 の「上部構造の著しい変形又は倒壊」について、通常の場合には代表値を採用する。ただし、被害箇所の実測調査を行い、一構面のほぼ全面に開口部（シャッターなど）が設けられている場合には下限値、開口部の面積が比較的小さい場合には上限値をそれぞれ採用する。
- (3) DOD=4 の「屋根の構成部材の破損又は飛散」について、軒先の破損など比較的軽微な被害は下限値、広範囲の小屋組の飛散など著しい被害は上限値をそれぞれ採用するものとし、その被害の程度の判断が難しい場合は代表値とする。また、「上部構造の移動」の場合は代表値を採用する。
- (4) 外観上明らかに当該被害箇所の劣化が著しい場合には、上記で採用した数値を一段階小さい数値に置き換える。(上限値 代表値、代表値 下限値、下限値 一段下位の DOD の下限値)

【風速算定方法の概要】

簡易倉庫、作業小屋等に供する非住家建築物で、1階建て、床面積は 45 m²程度、屋根ふき材として金属板を採用した木造在来軸組工法を想定して風速を算定した。

風速算定方法は、次の 1)～4)の通りである。

- 1) DOD=2,3,4 における屋根ふき材と屋根の構成部材の耐風強度の最大値は、既往の耐力試験データ(喜々津・河合 2009)や設計規準(日本金属屋根協会・日本鋼構造協会 2008)を参考に得る。また、屋根ふき材の被害範囲の違いは、既往の風洞実験結果(岡田 1988)を参考にして仮定する。
- 2) DOD=3 における上部構造の耐風強度の最大値は、建築基準の変遷を考慮した層せん断力係数モデル(坂田 2014)に基づいて設定する。また、DOD=4 における上部構造の移動に対しては、0.4～0.5 の摩擦係数を仮定する。
- 3) 建築物が風によって受ける荷重は、瞬間風速と建築基準に関する法令に定める風力係数を用いた方法(喜々津ほか 2015)によって概算できる。

- 4) 上記 3)の風による荷重が 1)もしくは 2)の強度を超えたとき、各 DOD に相当する被害が発生するとみなし、その風の荷重を与える瞬間風速を各 DOD の風速とする。

【参考文献】

- 喜々津仁密,河合直人,2009：構成部材の引張載荷試験に基づく木造小屋組の耐風性能評価に関する研究. 日本建築学会構造系論文集,74(646),2181-2188.
- 喜々津仁密,中川貴文,奥田泰雄,坂田弘安,2015：日本版改良藤田スケールの開発～木造戸建て住宅の DOD と推定風速の概要～. 日本風工学会誌,40(2),119-120.
- (社)日本金属屋根協会・(社)日本鋼構造協会,2008：鋼板製屋根構法標準 SSR2007.
- 岡田恒,1988：強風による屋根瓦の飛散に関する風洞実験. 日本風工学会誌,(35),1-15.
- 坂田弘安,2014：木造建築物の耐力. 特定課題研究 日本版竜巻スケールおよびその評価手法に関する研究,48-55.

【DI 番号】 8

【名称】

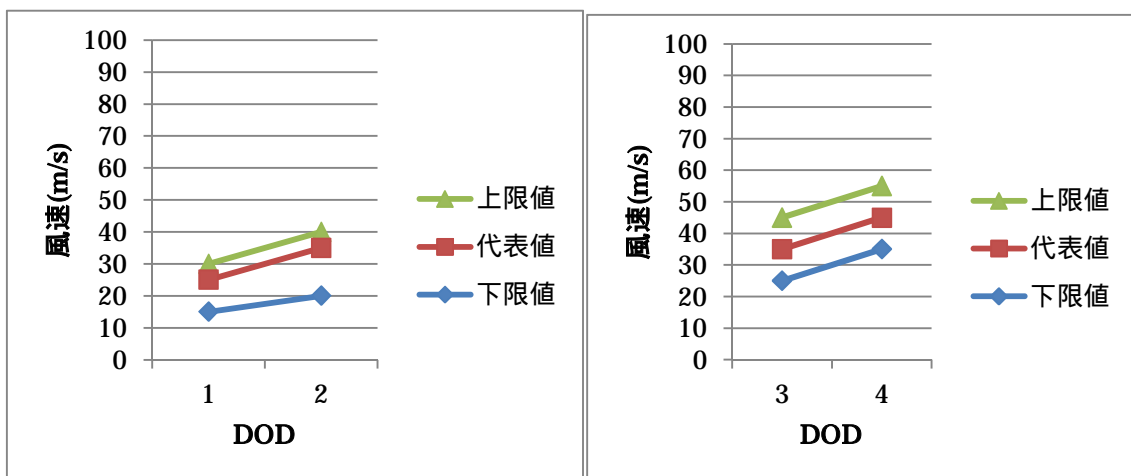
園芸施設

【対象】

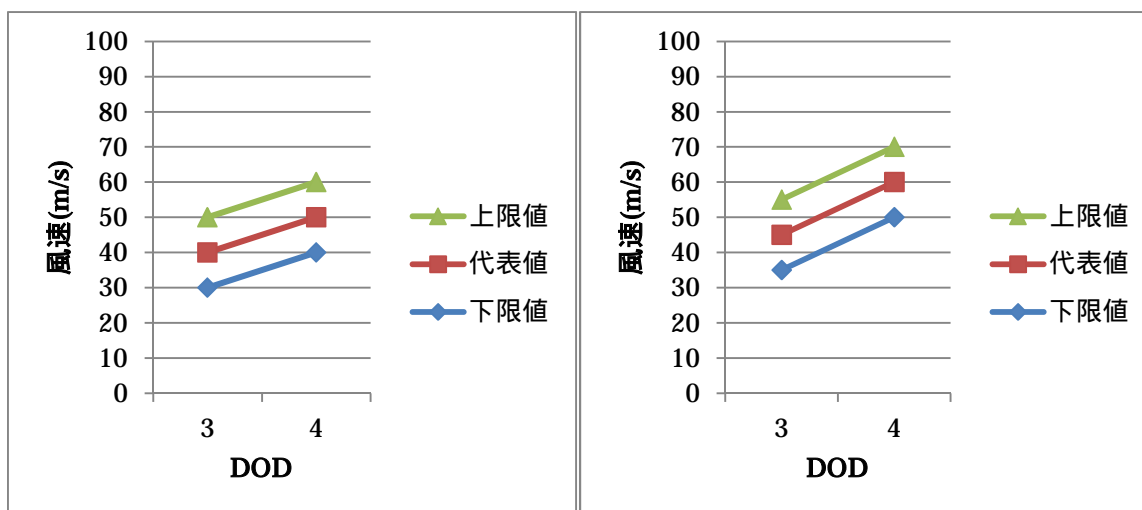
- ・パイプハウス（小径の鋼管を用いて半円状につくられた骨組をプラスチックフィルムで被覆したもの。鉄骨補強されたものを含む。）
- ・プラスチックハウス（木質、金属製の構造部材を用いて構成された骨組をプラスチックフィルム又は硬質プラスチック板で被覆したもの）

【DOD と風速】

番号	DOD		風速 (m/s)		
			代表値	下限値	上限値
1	被覆材（ビニルなど）のはく離		25	15	30
2	パイプハウスの鋼管の変形又は倒壊		35	20	40
3	プラスチックハウスの構造部材の変形その他の損傷	(1) 東北、甲信越及び北陸地方	35	25	45
		(2) (1),(3)以外の地域	40	30	50
		(3) 高知県、鹿児島県及び沖縄県	45	35	55
4	プラスチックハウスの倒壊	(1) 東北、甲信越及び北陸地方	45	35	55
		(2) (1),(3)以外の地域	50	40	60
		(3) 高知県、鹿児島県及び沖縄県	60	50	70



(1) 東北、甲信越及び北陸地方



(2) (1),(3)以外の地域

(3) 高知県、鹿児島県及び沖縄県

【運用上の解説】

- (1) DOD=1 の下限値ははく離面積が被覆材の全面積の概ね 25%以下の範囲、代表値は概ね 25%を超え 50%以下の範囲、上限値は概ね 50%を超える範囲の場合にそれぞれ採用する。また、外観上明らかに被覆材の劣化が著しい場合には下限値を採用する。
- (2) DOD=2 はパイプハウスを対象にしたもので、通常は代表値を採用する。ただし、被害箇所の実測調査を行い、簡易な構造（鋼管の直径が概ね 20mm 以下のもの）と判断される場合には下限値、堅牢な構造（鋼管の直径が概ね 30mm 以上で、骨組と基礎が適切に施工されているもの）と判断される場合には上限値をそれぞれ採用する。
- (3) DOD=3~4 はプラスチックハウスを対象にしたもので、風速値は3つの地域に分類される。通常は代表値を採用する。ただし、被害箇所の実測調査を行い、簡易な構造であると判断される場合には下限値、設計仕様書を参照して被災時までの供用期間が標準耐用年数を超えておらず、かつ、適切に設計施工されていることが確かめられた場合には上限値をそれぞれ採用する。
- (4) 外観上明らかに当該園芸施設の骨組の劣化が著しい場合には、上記(2)~(3)で採用した数値を一段階小さい数値に置き換える（上限値 代表値、代表値 下限値、下限値 一段下位の DOD の下限値）。なお、日本施設園芸協会(1997)ではプラスチックハウスの標準耐用年数が 10~15 年とされており、施設所有者にヒアリングする機会があれば維持管理の実態を聞くことも、劣化状況を考慮した評価に有用であると考えられる。
- (5) DOD=3~4 のプラスチックハウスについて、台風接近時に大量の雨水が地盤に浸透した場合は評価の対象外とする。プラスチックハウス全体が浮き上がり、比較的小さい風速であっても骨組の被害が生じる可能性があるためである。

【風速算定方法の概要】

- ・ DOD=1 の風速は、日本風工学会(2008)に定める風速に、既往の現地調査を行った経験上の数値を考慮して設定した。
- ・ DOD=2 の風速は、森山ほか(2003)でのパイプハウスの被災事例の検証結果のほか、日本風工学会(2008)を参考にした。

- ・ 日本施設園芸協会(1997)では、プラスチックハウスを設計用風速が高さ 10m での最大瞬間風速を用いて設計することとされており、地点ごとの風速値が掲げられている。DOD=3 の風速はこの数値を参考にし、地域の違いに応じて代表値を設定した。そのうえで、DOD=4 の風速は、DOD=3 の風速値の概ね 1.3 倍とした。

【参考文献】

- (一社)日本風工学会 風災害研究会,2008:瞬間風速と人や街の様子との関係.
森山英樹ほか,2003:台風 0221 による千葉県・茨城県下の園芸施設構造の被災状況と考察.
農業施設,34(3),199-212.
- (社)日本施設園芸協会,1997:園芸用施設安全構造基準(暫定基準) - 平成9年版 - .

【DI 番号】 9

【名称】

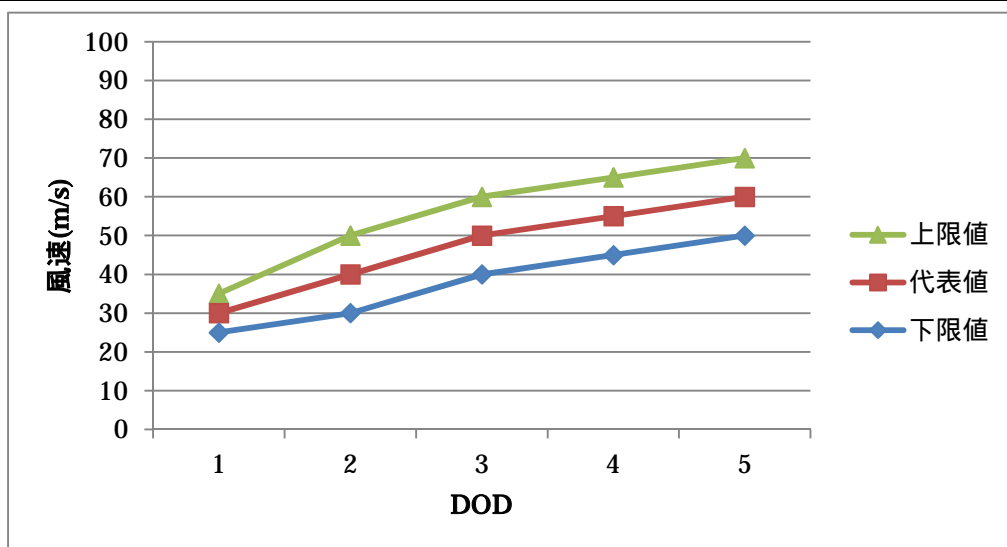
木造の畜産施設

【対象】

1階建ての木造の畜産施設（畜舎、堆肥舎）

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	目視でわかる程度の被害、窓ガラスの損壊	30	25	35
2	比較的狭い範囲での屋根ふき材の浮き上がり 又は飛散	40	30	50
3	比較的広い範囲での屋根ふき材の浮き上がり 又は飛散	50	40	60
4	屋根の構成部材の破損又は飛散	55	45	65
5	上部構造の著しい変形又は倒壊	60	50	70



【DOD の例】



DOD=5 上部構造の著しい変形又は倒壊

写真提供：国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所

【運用上の解説】

- (1) 屋根の全面積のうち、DOD=2 の「比較的狭い範囲」は概ね 25%以下の範囲、DOD=3 の「比較的広い範囲」は概ね 25%を超える範囲をそれぞれ想定している。
- (2) DOD=4 について、通常は代表値を採用する。ただし、被害箇所の実測調査を行い、軒先の破損など比較的軽微な被害であると判断される場合には下限値、広範囲の小屋組の飛散など著しい被害であると判断される場合には上限値をそれぞれ採用する。
- (3) DOD=5 について、通常は代表値を採用する。ただし、被害箇所の実測調査を行い、一構面のほぼ全面に開口部（シャッターなど）が設けられていたり、壁がほとんどない場合に下限値、壁が多い場合に上限値をそれぞれ採用する。
- (4) 外観上明らかに当該被害箇所の劣化が著しい場合には、上記で採用した数値を 1 段階小さい数値に置き換える。（上限値 代表値、代表値 下限値、下限値 一段下位の DOD の下限値）

【風速算定方法の概要】

畜舎・堆肥舎の用途に供する建築物で、1 階建て、床面積は 90 m² 程度、屋根ふき材として金属板を採用した木造建築物を想定して風速を算定した。

風速算定方法は、次の 1)～4)の通りである。

- 1) DOD=2,3,4 における屋根ふき材と屋根の構成部材の耐風強度の最大値は、既往の耐力試験データ(喜々津・河合 2009)や設計規準(日本金属屋根協会・日本鋼構造協会 2008)を参考とした。また、屋根ふき材の被害範囲の違いは、既往の風洞実験結果(岡田 1988)を参考とした。
- 2) DOD=5 における上部構造の耐風強度の最大値は、建築基準の変遷を考慮した層せん断力係数モデル(坂田 2014)に基づいて設定した。

- 3) 建築物が風によって受ける荷重は、瞬間風速と建築基準に関する法令に定める風力係数を用いた方法(喜々津ほか 2015;国土交通省 2002;中央畜産会ほか 2007)によって概算した。
- 4) 上記 3)の風による荷重が 1)もしくは 2)の強度を超えたとき、各 DOD に相当する被害が発生するとみなし、その風の荷重を与える瞬間風速を各 DOD の風速とした。

【参考文献】

- 喜々津仁密,河合直人,2009：構成部材の引張載荷試験に基づく木造小屋組の耐風性能評価に関する研究. 日本建築学会構造系論文集,74(646),2181-2188.
- 喜々津仁密,中川貴文,奥田泰雄,坂田弘安,2015：日本版改良藤田スケールの開発～木造戸建て住宅の DOD と推定風速の概要～. 日本風工学会誌,40(2),119-120.
- 国土交通省,2002：平成 14 年国土交通省告示第 474 号 特定畜舎等建築物の構造方法に関する安全上必要な技術的基準を定める等の件.
- (社)日本金属屋根協会・(社)日本鋼構造協会,2008：鋼板製屋根構法標準 SSR2007.
- 岡田恒,1988：強風による屋根瓦の飛散に関する風洞実験. 日本風工学会誌,(35),1-15.
- 坂田弘安,2014：木造建築物の耐力. 特定課題研究 日本版竜巻スケールおよびその評価手法に関する研究,48-55.
- (社)中央畜産会ほか,2007：畜舎・堆肥舎の建築設計に係る告示・解説(2007年版).

【DI 番号】 10

【名称】

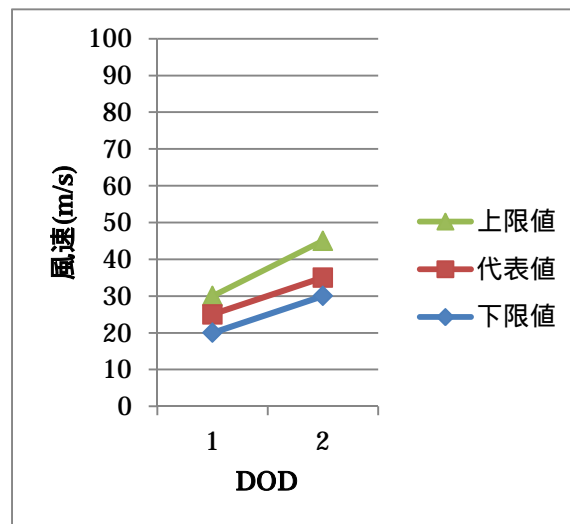
物置

【対象】

固定されていないプレハブ物置（4～8 畳程度）

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	内容物が軽量（0～300kg 程度） の物置の移動又は横転	25	20	30
2	内容物が中量（300kg 程度以上）の物置の移動 又は横転	35	30	45



【DOD の例】



DOD=1 内容物が軽量（0～300kg 程度）の物置の移動又は横転
（内容物がほとんど無いため下限値を採用する事例）

写真提供：東京工芸大学風工学研究センター

【運用上の解説】

- (1) アンカーや固定ケーブル等でプレハブ物置が地盤面へ固定されている場合は評価の対象外とする。
- (2) 内容物が無い場合もしくはそれに近い場合は DOD=1 の下限値、300kg 程度の内容量の場合は DOD=1 の上限値を採用する。それ以外は代表値を採用する。
- (3) 内容物が最大積載重量に近い重量の場合、DOD=2 の上限値を採用する。それ以外は代表値を採用する。

【風速算定方法の概要】

- ・ 内容物が軽量（0～300kg 程度）の物置
内容物が無い場合もしくは比較的軽量な物品が収納されている（合計 300kg 重以下）物置を想定して風速を算定した。
- ・ 内容物が中量以上（300kg 程度以上）の物置
内容物が 300kg 以上の物置を想定して風速を算定した。

風速の算定条件及び算定方法は以下のとおりである。

- ・ 吉田ほか(2015)を元に一般的なプレハブ物置の形状寸法の風力模型を用いた風洞実験により、風向毎の風力係数を調べ、横転限界風速の算定を行った。
- ・ 3 種類のプレハブ物置の形状寸法、重量を基に算定した横転風速、横滑り風速の中で最小、最大となった風速を下限値、上限値として設定した。代表値はこれらすべての平均値として設定した。

横滑り風速：水平方向風力 > プレハブ小屋重量に静止摩擦係数（0.6 と仮定）を乗じた摩擦力

横転風速：風によるプレハブ小屋風下側基部での転倒モーメント > 鉛直方向風力を差

し引いたプレハブ小屋重量による風下側基部での抵抗モーメントとなる風速

【参考文献】

吉田昭仁ほか,2015:日本版改良藤田スケールの開発～非建築物(車両,コンテナ,自動販売機)のDOD～. 日本風工学会誌,40(2),123-124.

【DI 番号】 11

【名称】

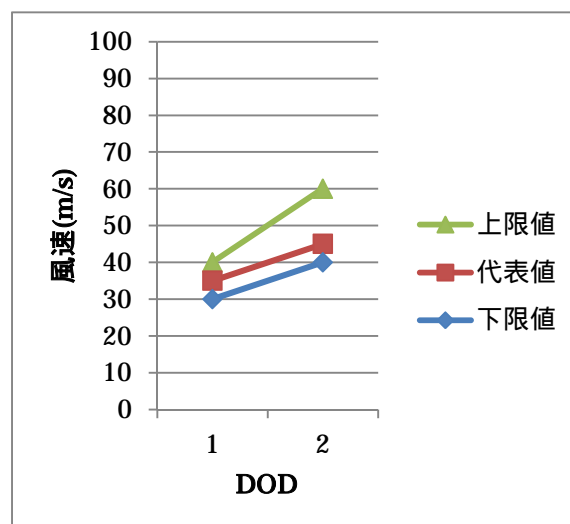
コンテナ

【対象】

- ・国内で使用されている、長さが 20 フィートのコンテナ
- ・貨物列車に用いられるコンテナ

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	内容量が軽量 (0 ~ 300kg 程度) のコンテナの横転、横ずれ	35	30	40
2	内容量が中量 (300kg 程度以上) のコンテナの横転、横ずれ	45	40	60



【DOD の例】



DOD=1 内容量が軽量（0～300kg 程度）のコンテナの横転、横ずれ
（左写真）横ずれ （右写真）横転

写真提供：東京工芸大学風工学研究センター

【運用上の解説】

- (1) アンカーや固定ケーブル等でコンテナが地盤面へ固定されている場合は評価の対象外とする。
- (2) 40 フィートコンテナの被害があった場合、それぞれの DOD の下限値を採用する。
- (3) 内容物が無い場合もしくはそれに近い場合は DOD=1 の下限値、300kg 程度の内容量の場合は DOD=1 の上限値を採用する。それ以外や不明の場合は代表値を採用する。
- (4) 内容物が重量物（例えば耕耘機などの農作業機械など）の場合、DOD=2 の上限値を採用する。中量を超える程度の場合は代表値を採用する。

【風速算定方法の概要】

- ・内容物が軽量（0～300kg 程度）のコンテナ
内容物が無い場合もしくは軽量な物品が収納されている（合計 300kg 以下）コンテナを想定して風速を算定している。
- ・内容物が中量（300kg 程度以上）のコンテナ
内容物が 300kg 程度以上のコンテナを想定して風速を算定した。想定している中量物は例えば耕耘機など農作業機械などである。

風速の算定条件及び算定方法は以下のとおりである。

- ・吉田ほか(2015)を元に一般的に流通しているコンテナ(20 フィートコンテナ及び貨物用コンテナ)の形状寸法の風力模型を用いた風洞実験により、風向毎の風力係数を調べ、横転限界風速の算定を行った。
- ・それぞれのコンテナの重量に積載重量を加えた総重量を基に算定した横転風速、横滑り風速の中で最小、最大となった風速を下限値、上限値として設定した。代表値はこれら

すべての平均値として設定した。

横滑り風速：水平方向風力 > コンテナ総重量に静止摩擦係数(0.6 と仮定)を乗じた摩擦力

横転風速：風によるコンテナ風下側基部での転倒モーメント > 鉛直方向風力を差し引いたコンテナ総重量による風下側基部での抵抗モーメントとなる風速

【参考文献】

吉田昭仁ほか,2015:日本版改良藤田スケールの開発～非建築物(車両,コンテナ,自動販売機)のDOD～. 日本風工学会誌,40(2),123-124.

【DI 番号】 12

【名称】

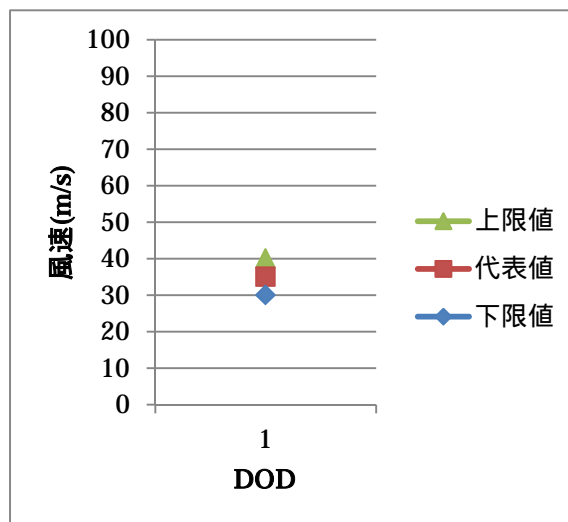
自動販売機

【対象】

地盤面に固定されていない自動販売機

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	横転	35	30	40



【DOD の例】



DOD=1 横転

写真提供：東京工芸大学風工学研究センター

【運用上の解説】

- (1) 地盤面に固定されていない自動販売機を対象とし、アンカーボルトで固定された自動販売機は評定の対象外とする。
- (2) 内容量の重量により被害発生風速は変化するが、内容量が不明な場合は代表値とする。内容量が空に近い場合は下限値、満載の場合は上限値の風速として評定する。

【風速算定方法の概要】

- ・ 吉田ほか(2015)を元に一般的な自動販売機の形状寸法の風力模型(3種類)を用いた風洞実験により、風向毎の風力係数を調べ、横転限界風速の算定を行った。
- ・ それぞれの自動販売機の重量に最大時の内容物重量を加えた総重量を基に算定した横転風速の中で最小、最大となった風速を下限値、上限値として設定した。代表値はこれらすべての平均値として設定した。

横転風速：風による自動販売機風下側基部(コンクリートブロックがある場合はその先端)での転倒モーメント>鉛直方向風力を差し引いた自動販売機総重量による風下側基部での抵抗モーメントとなる風速

【参考文献】

吉田昭仁ほか,2015:日本版改良藤田スケールの開発～非建築物(車両,コンテナ,自動販売機)のDOD～. 日本風工学会誌,40(2),123-124.

【DI 番号】 13

【名称】

軽自動車

【対象】

軽トラック又はワンボックスタイプの軽自動車

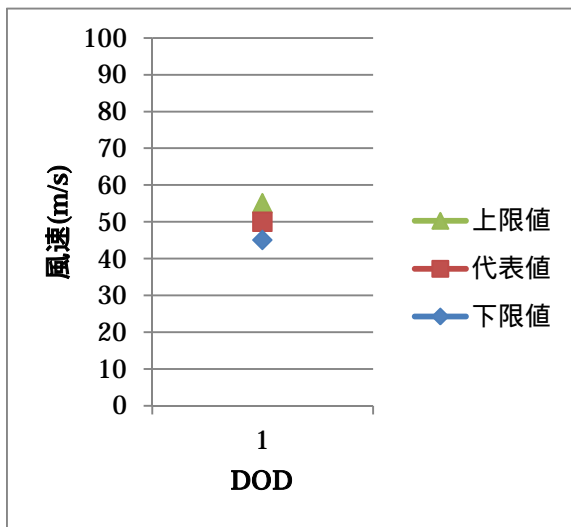
【DOD と風速】

幌なしの軽トラック

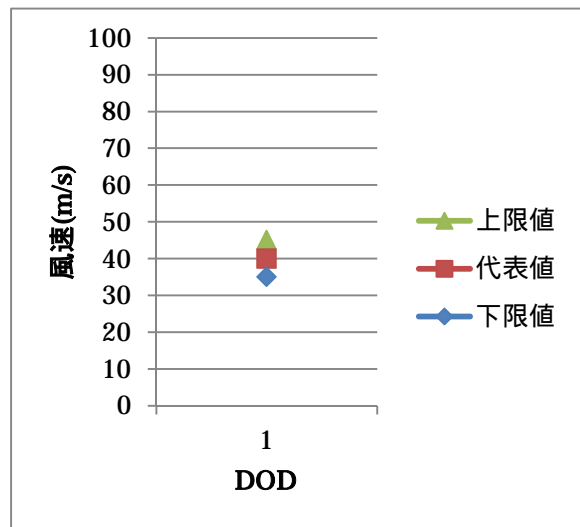
番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	横転	50	45	55

ワンボックス、幌つきの軽トラック

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	横転	40	35	45



幌なしの軽トラック



ワンボックス、幌つきの軽トラック

【運用上の解説】

- (1) 車体静止時で積載重量が無いもしくはそれに近い場合や、走行中に横転した場合は下限値を採用する。なお、積載重量は乗員を含んだ重量である。
- (2) 車体静止時で一般的な積載重量（60kg 程度）の場合は代表値を採用する。
- (3) 車体静止時で積載重量が 60kg 程度を超える場合は上限値を採用する。
- (4) 上記の条件を現場の状況から判断できない場合は代表値を採用する。

【風速算定方法の概要】

- ・ 吉田ほか(2015)を元に車両模型を用いた風洞実験により、静止した車両の風向毎の風力

係数を調べ、転倒モーメントと抵抗モーメントの釣り合いにより、横転限界風速を算定した。

- ・ 積載重量が無い場合及び乗車人数 1 名程度を想定（積載重量 60kg）した場合の車両総重量 2 ケースについて風速を算定した。
- ・ 軽トラックについては、8 車種の全長、全幅、全高、車両重量等の情報を基礎データとして、横転限界風速を算定した。8 車種の横転限界風速の内、一般的な重量として計算された横転限界風速を代表値、積載重量の重さ毎に下限値、上限値として設定した。
- ・ ワンボックスについては、8 車種の全長、全幅、全高、車両重量等の情報を基礎データとして、同様の方法で算定を行った。
- ・ 走行時の横転限界風速は静止時の横転限界風速よりも低くなることから、この場合の横転限界風速には下限値を採用することとした。

【参考文献】

吉田昭仁ほか,2015:「日本版改良藤田スケールの開発～非建築物(車両,コンテナ,自動販売機)の DOD～」. 日本風工学会論文誌,40(2),123-124.

【DI 番号】 14

【名称】

普通自動車

【対象】

- ・セダン、ステーションワゴン、SUVなどの普通自動車（コンパクトカー）
- ・ワンボックスタイプの普通自動車（ミニバン、28人乗り未満のバスを含む）

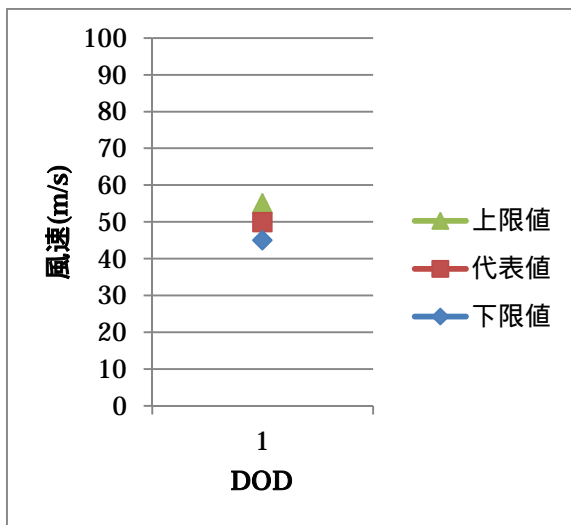
【DOD と風速】

コンパクトカー

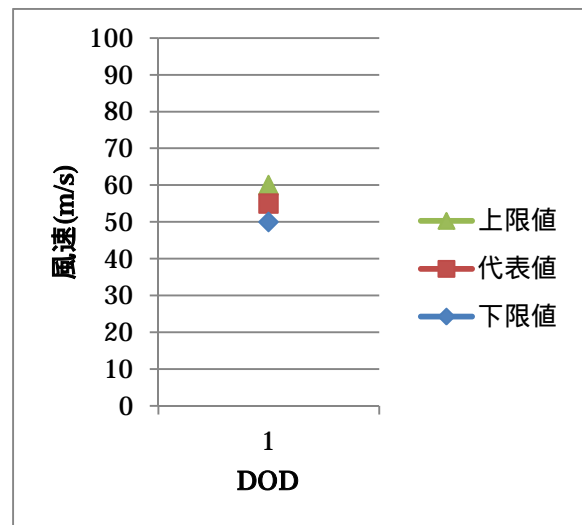
番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	横転	50	45	55

ワンボックス

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	横転	55	50	60



コンパクトカー



ワンボックス

【DOD の例】



DOD=1 横転（ワンボックス）

（車体静止時で積載物が軽量なため下限値を採用する事例）

写真提供：石垣市役所

【運用上の解説】

- (1) 車体静止時で積載重量が無いもしくは軽量の場合、走行中の普通自動車横転した場合は下限値を採用する。ただしセダンの場合は代表値を採用する。なお、積載重量は乗員を含んだ重量である。
- (2) 車体静止時で一般的な積載重量（60kg 程度）の場合は代表値を採用する。ただしセダンの場合は上限値を採用する。
- (3) 車体静止時で積載重量が 60kg 程度を超える場合は上限値を採用する。
- (4) 上記の条件を現場の状況から判断できない場合は代表値を採用する。

【風速算定方法の概要】

- ・ 吉田ほか(2015)を元に車両模型を用いた風洞実験により、静止した車両の風向毎の風力係数を調べ、転倒モーメントと抵抗モーメントの釣り合いにより、横転限界風速を算定した。
- ・ 積載重量が無い場合及び乗車人数 1 名程度を想定（積載重量 60kg）した場合の車両総重量 2 ケースについて風速を算定した。
- ・ コンパクトカーについては、8 車種の全長、全幅、全高、車両重量等の情報を基礎データとして、同横転限界風速を算定した。8 車種の横転限界風速の内、一般的な車両総重量として計算された横転限界風速を代表値、積載重量の重さ毎に下限値、上限値として設定した。
- ・ ワンボックスについては、3 車種の全長、全幅、全高、車両重量等の情報を基礎データとして、同様の方法で算定を行った。
- ・ 走行時の横転限界風速は静止時の横転限界風速よりも低くなることから、この場合の横転限界風速には下限値を採用することとした。

【参考文献】

吉田昭仁ほか,2015:「日本版改良藤田スケールの開発～非建築物(車両,コンテナ,自動販売機)の DOD～」. 日本風工学会誌,40(2), 123-124.

【DI 番号】 15

【名称】

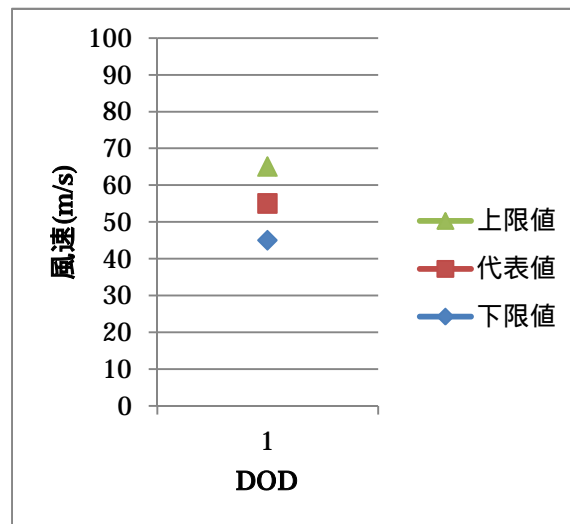
大型自動車

【対象】

- ・幌付き（荷室を有する）の大型、中型、2トントラック
- ・大型バス及びマイクロバス（28名乗り以上）

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	横転	55	45	65



【運用上の解説】

- (1) 積載物が無いもしくはそれに近い場合、もしくは走行中の大型自動車が横転した場合は下限値を採用する。
- (2) 風向と車体の位置関係が明確で、風向が車軸直交方向（横風の状態）から大きく外れる場合（45度程度以上の場合）は上限値を採用する。
- (3) 車体静止時で積載物が重量（1トン程度以上）の場合は上限値を採用する。
- (4) 上記以外もしくは現場の状況から判断できない場合は代表値を採用する。

【風速算定方法の概要】

- ・吉田ほか(2015)を元に車両模型を用いた風洞実験により、静止した車両の風向毎の風力係数を調べ、転倒モーメントと抵抗モーメントの釣り合いにより、横転限界風速を算定した。
- ・積載重量が無い場合及び積載重量を1トンとした場合の車両総重量2ケースについて風速を算定した。

- ・トラックについては、4車種の全長、全幅、全高、車両重量等の情報を基礎データとして、横転限界風速を算定した。4車種の横転限界風速の内、積載重量が無いものとして計算された横転限界風速を下限值、積載重量1トンとして算定された風速を上限值、一般的な状態を想定して、全ての平均値を代表値として設定した。
- ・バスについては、3車種の全長、全幅、全高、車両重量等の情報を基礎データとして、同様の方法で算定を行った。
- ・走行時の横転限界風速は静止時の横転限界風速よりも低くなることから、この場合の横転限界風速には下限值を採用することとした。

【参考文献】

吉田昭仁ほか,2015:「日本版改良藤田スケールの開発～非建築物(車両,コンテナ,自動販売機)のDOD～」. 日本風工学会誌,40(2),123-124.

【DI 番号】 16

【名称】

鉄道車両

【対象】

通常走行時と運転規制時の鉄道車両

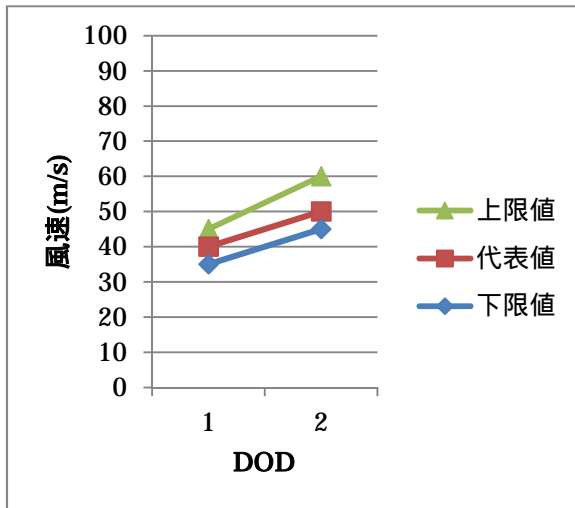
【DOD と風速】

通常走行時

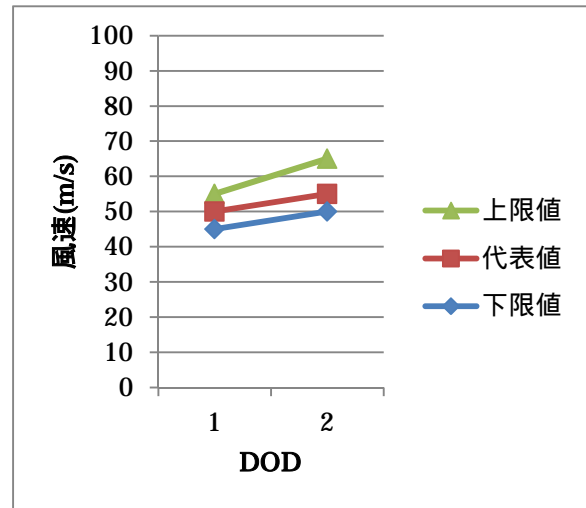
番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	先頭車両から転覆	40	35	45
2	中間車両から転覆	50	45	60

運転規制時 (25km/h 以下)

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	先頭車両から転覆	50	45	55
2	中間車両から転覆	55	50	65



通常走行時



運転規制時

【DOD の例】



DOD=1 先頭車両から転覆（運転規制時）

写真提供：東京工芸大学風工学研究センター

2006年9月17日延岡竜巻での特急にちりん9号の転覆被害（25km/hで走行中、前方に飛散物等を目視して急ブレーキを使用した、停止する直前に1両目、2両目が脱線、横転し、3両目前台車が脱線した。）で、上限値に近いと推定される。

【運用上の解説】

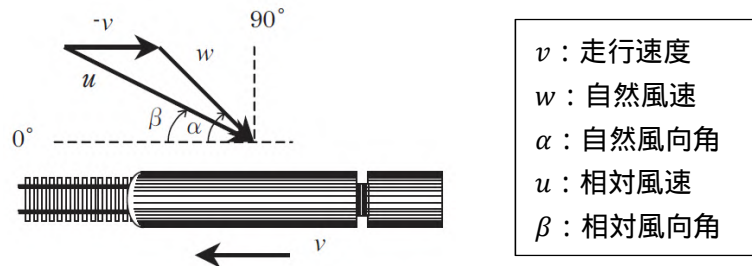
走行速度や風向、地形等により推定される風速が異なる。

- (1) 通常走行時において、築堤上を走行していたような場合や、走行速度が100km/hを大きく超えていたことが明らかな場合は下限値を採用する。走行速度が100km/hをかなり下回っていた場合（おおむね60km/h程度）は上限値を採用する。それ以外は代表値を採用する。
- (2) ほぼ静止していた状態では運行規制時の上限値を採用する。
- (3) DOD=2は、中間車両のみが転覆した場合、あるいは中間車両が先に転覆したことが明らかな場合にのみ適用する。

【風速算定方法の概要】

- ・ 風上側の鉄道車両の輪重が0となる時の風速を「転覆限界風速」と呼ぶ。この転覆限界風速の計算式として、車両転覆事故(航空・鉄道事故調査委員会 2008a;航空・鉄道事故調査委員会 2008b)や風洞実験に基づく近年の研究から得られた知見を反映して、所謂「総研詳細式」が提案されている(日比野・石田 2003;日比野ほか 2009;日比野ほか 2011;森山 2011;森山 2012;栗原ほか 2013)。

- ・ 転覆限界風速には、(1)車体形状、(2)車両重量、(3)車体重心高さ、(4)先頭車と中間車、(5)防風柵・築堤などの地上構造物形状、(6)走行速度、(7)風向などが影響し、これらを反映して見積もられる。
- ・ 上記 DOD の風速は、一般的な車体形状の鉄道車両が、平坦地を種々の速度で走行している状態で、転覆に最も大きく影響する角度（自然風と走行車両の相対風向角で、先頭車は走行方向に対して 70～90 度程度、中間車は 90 度程度）から風を受けた場合を想定して、総研詳細式に基づいて算定し、運転規制時の 25km/h 以下、及び通常走行時に分類して示したものである。



走行中の車両が受ける風(日比野・石田 2003)

【参考文献】

- 日比野有,石田弘明,2003:車両の転覆限界風速に関する静的解析法. 鉄道総研報告,17(4), 特集論文,39-44.
- 日比野有,下村隆行,谷藤克也,2009:鉄道車両の転覆限界風速に関する静的解析式の検証. 日本機械学会論文集,75(758),1-8(2605-2612).
- 日比野有,三須弥生,栗原智亮,森山淳,島村誠,2011:強風時の新しい運転規制方法の検討. JR East Technical Review,(35),Special Edition Paper,36-41.
- 航空・鉄道事故調査委員会,2008a:東日本旅客鉄道株式会社羽越線砂越駅～北余目駅間列車脱線事故. 鉄道事故調査報告書,RA2008-4,平成 20 年 4 月 2 日,(事故発生:平成 17 年 12 月 25 日,山形県庄内町).
- 航空・鉄道事故調査委員会,2008b:九州旅客鉄道株式会社日豊線南延岡駅構内列車脱線事故. 鉄道事故調査報告書,RA2008-6-1,平成 20 年 4 月 2 日(事故発生:平成 18 年 9 月 17 日,宮崎県延岡市).
- 栗原芳勝,大山安紀子,土井賢一,安田陽一,2013:強風時の新しい運転規制方法の導入. JR East Technical Review,(45),Special Edition Paper,17-22.
- 森山淳,2011:フィールドデータに基づく鉄道車両の転覆限界風速に関する検証(冬期日本海側路線での測定結果). 日本機械学会論文集(C編),77(778),221-231(2389-2399).
- 森山淳,2012:フィールドデータに基づく鉄道車両の転覆限界風速に関する検証(車体断面形状の影響). 日本機械学会論文集(C編),78(791),182-194(2536-2548).

【DI 番号】 17

【名称】

電柱

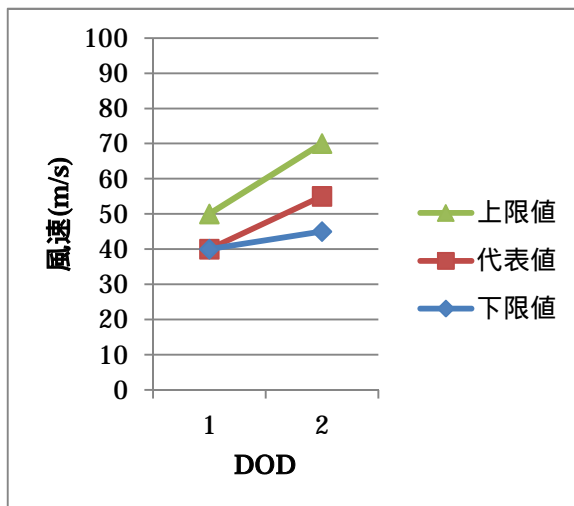
【対象】

鉄筋コンクリート製の電柱

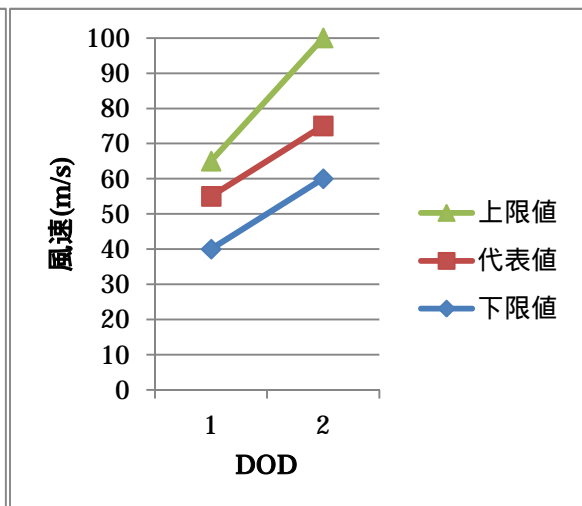
【DOD と風速】

番号	DOD		風速 (m/s)		
			代表値	下限値	上限値
1	基部でひび割れ	AA × CC 100 の場合	40	40	50
		AA × CC > 100 の場合	55	40	65
2	基部で折損	AA × CC 100 の場合	55	45	70
		AA × CC > 100 の場合	75	60	100

AA : 電柱長 (m)、CC : ひび割れ強度 (kN)



AA × CC 100 の電柱の場合



AA × CC > 100 の電柱の場合

【DOD の例】



DOD=2 基部で折損

写真提供：徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部

【運用上の解説】

- (1) 電柱には丸いタグで呼び名「AA-BB-CC」(= 電柱長(m) - 塔頂径(cm) - ひび割れ強度(kN)) が示されている。なお、呼び名の CC の値が 100 以上の値となっている場合は、単位が kgf なので、その数値を 98 で除した値を CC とする。
- (2) 基部以外における破損や飛散物で損壊した場合は評定の対象外とする。
- (3) 被災した電柱の呼び名を読みとり、AA と CC の積を求めると同時に、破損の状態が、「基部のひび割れ」なのか、「基部の折損」なのかを記録し、DOD に照らし合わせて風速を評定する。タグが読み取れない場合は、 $AA \times CC \div 100$ の場合を適用する。
- (4) 配電線については、3 本架渉線 1 段又は 2 段と通信線の設置を典型的な場合とし、代表値を採用する。架線数が少ない(柱頭付近に 1 段のみの) 場合には、上限値を採用し、架線数が多い場合(3 段以上) やトランス等の付属物が設置されているような場合には、下限値を採用する。

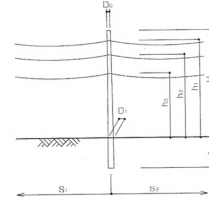
【風速算定方法の概要】

- 配電線の設置は 3 本架渉線 1 段と通信線 1 本、又は、3 本架渉線 2 段と通信線 1 本で、電線路に直角な方向から風を受けることを想定している。
- 代表値に算定はトランス等の架線以外の付属物は無いという条件のもとで行った。

- 電線路と直角方向の風圧荷重に対する強度計算(直線路の中間柱を想定)

$$\frac{(H-0.25)P}{f} \geq K_1 \frac{(2D_0 + D_1)H^2}{6} + K_2 S \left(\sum d_n h_n \right)$$

- P: ポールの破壊強さ(ひび割れ試験荷重×2) (kN)
- K₁: 支持物の垂直投影面積1m²当たりの風圧荷重(Pa)
- K₂: 架渉線の垂直投影面積1m²当たりの風圧荷重(Pa)
- D₀: 支持物の末口直径(m)
- D₁: 支持物の地際直径(m)
- H: 支持物の地上高(m)
- S: 両側の径間の和の1/2=(S₁+S₂)/2 (m) [40~50m]
- d_n: 架渉線の直径(m) [被覆込で20mm程度]
- h_n: 架渉線の地上高(m)
- f: 支持物の安全率(コンクリート柱については1.0)



甲種風圧荷重K			
風圧を受けるものの区分	K(Pa)	相当C _D	
RC柱	丸形 780	0.81	
電線その他の架多導体	880	0.92	
渉線	その他 980	1.02	

- 電柱の耐風設計手順から得られる電線路と直角方向の風圧荷重に対する強度計算の式(上図)に基づいて風速値を次式(3本架渉線1段(h=H-0.25)と通信線(30mm, h=5.5m))

$$U_{crack} > \sqrt{\frac{2M_{crack}}{\rho \left(C_{D,pipe} \frac{(2D_0 + D_1)H^2}{6} + 3C_{D,cable} d_1 S (H - 0.25) + C_{D,cable} d_2 S \times 5.5 \right)}}$$

又は次式(3本架渉線2段(h₁=H-0.25とh₂=0.5h₁+2.75)と通信線(30mm, h=5.5m))

$$U_{crack} > \sqrt{\frac{2M_{crack}}{\rho \left(C_{D,pipe} \frac{(2D_0 + D_1)H^2}{6} + 3C_{D,cable} d_1 S \{1.5(H - 0.25) + 2.75\} + C_{D,cable} d_2 S \times 5.5 \right)}}$$

を使ってひび割れ開始風速を求め、呼び名 AA×CC の値を 100 を閾値として分け、代表的な電力柱の規格の違いによるばらつきから標準偏差を求めた。破壊耐力(折損耐力)はひび割れ耐力の2倍で規定されているため、ひび割れ開始風速値を2倍したものが折損風速となっている。

【参考文献】

日本電気技術企画委員会, 2000:JEAC7001-1999 低圧及び高圧電気技術規程. 日本電気協会, .

通商産業省,2012: 平成 9 年通商産業省令第 52 号 電気設備に関する技術基準を定める省令.

【DI 番号】 18

【名称】

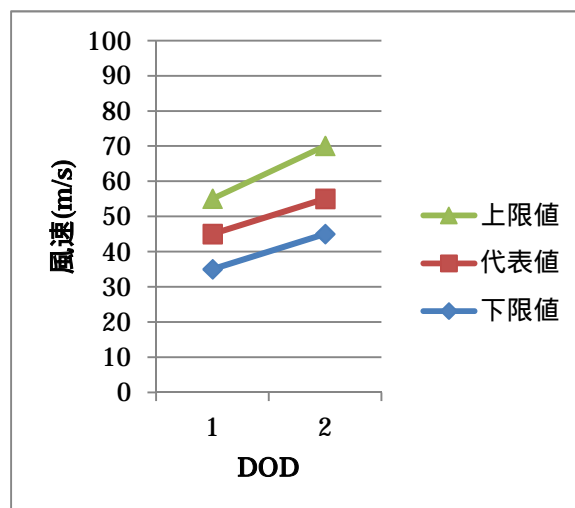
地上広告板

【対象】

地上に設置される幅 3m、高さ 2m 程度の 2 本支柱の広告板

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	広告板柱の傾斜、変形	45	35	55
2	広告板の倒壊	55	45	70



【DOD の例】



DOD=2 広告板の倒壊

写真提供：東京工芸大学風工学研究センター

【運用上の解説】

- (1) 地上に設置されている広告板で支柱が2本の鋼材製のものを対象とする。
- (2) 支柱の基礎が寝返りしている場合は風速を正確に評価することができないため評価の対象外とする。
- (3) 広告板の支柱が角形鋼管でない場合は、評価の対象外とする。
- (4) 支柱の根元の塗装が剥げて錆が発生している場合は、下限値を採用する。

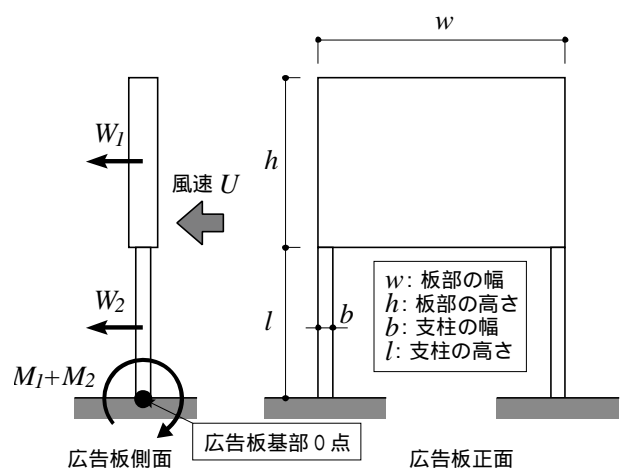
【風速算定方法の概要】

1 計算の前提条件

岡田ほか(2005)の「計算時の仮定」によるものとするが、広告板の形状については右図のとおりとする。実測した複数の広告版のサンプルを参考に、次に示すような標準的な広告板を想定し、広告板の傾斜する風速及び倒壊する風速を求めた。

- 広告板幅 $w=3\text{m}$
- 広告板高さ $h=2\text{m}$
- 支柱幅 $b=0.1\text{m}$
- 支柱長さ $l=2\text{m}$
- 支柱本数 2本

また、支柱の厚み t は角形鋼管の規格より 3.2mm とした。



2 広告板に作用する転倒モーメントと特定の鋼材強度に対応する風速の算定

風荷重と広告版基部 0 点に作用する転倒モーメントは、岡田ほか(2015)の風速算定手順の(1)～(4)に従い、鋼材の降伏強度が与えられると広告板が傾斜するときの瞬間風速 \hat{U}_{cr} が求められる。また、鋼材の引張強度が与えられると広告板が倒壊するときの瞬間風速 \hat{U}_{cr} が求められる。

3 DOD の風速の算定

風速の=1：広告板の傾斜

支柱鋼材の降伏強度のばらつきは 1 倍から 1.45 倍程度、平均値は 1.2 倍程度である。傾斜風速は降伏強度の平方根に比例するため、風速の代表値は \hat{U}_{cr} の 1.1 倍とした(青木・耕司 1984;青木・増田 1985;遠山ほか 2012;日本建築学会 2009)。

下限値は広告板の支柱基部が錆により耐力が低下した場合とする。錆による柱の断面欠損が鋼材の表面から 0.5mm 程度とし代表値を 15%程度低下させた値とする。

上限値は支柱の幅及び厚みの規格が 1 ランクアップした場合を想定し代表値を 10%～25%増加させた値とする。これより求められる風速を 5m/s 間隔で整理したものが DOD=1 の風速値である。

風速値=2：広告板の倒壊

支柱鋼材の引張強度のばらつきの平均値は基準強度の 1.1 倍、標準偏差は 5%～10%程度である。倒壊風速は引張強度の平方根に比例するが推定精度を考慮し、風速の代表値は \hat{U}_{cr} の 1.05 倍とした。

下限値と上限値は DOD=1 と同じ方法で算出した。

【参考文献】

- 青木博文,村田耕司,1984：構造用鋼材の降伏点，引張強さおよび降伏比に関する統計的調査. 日本建築学会論文報告集,(335),157-168.
- 青木博文,増田正之,1985：素材引張試験結果による構造用鋼材の力学的性質に関する統計的調査. 日本建築学会論文報告集,(358),94-105.
- 日本建築学会,2009：鋼構造座屈設計指針.
- 岡田玲ほか,2015：日本版改良藤田スケールの開発～非建築物（看板、墓石）の DOD～. 日本風工学会誌,40(2),125-126.
- 遠山広太郎,松田宗久,山田丈富,2012：鋼材の素材引張試験結果による機械的性質の統計調査. 日本建築学会大会学術梗概集,1087-1088.

【DI 番号】 19

【名称】

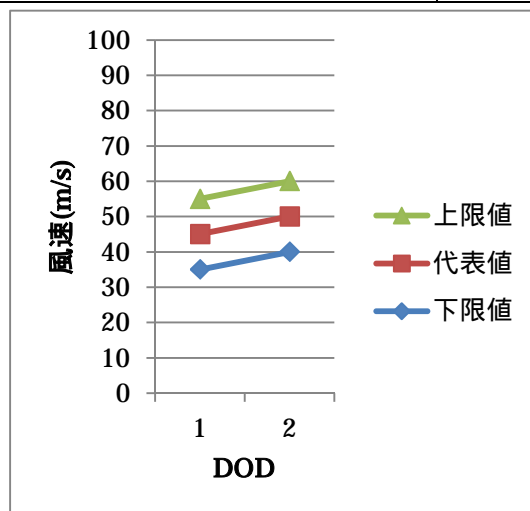
道路交通標識

【対象】



路側式道路標識

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	支柱の傾倒	45	35	55
2	支柱の倒壊	50	40	60



【DOD の例】

	
<p>DOD=1 支柱の傾倒 写真提供：東京工芸大学風工学研究センター</p>	<p>DOD=2 支柱の倒壊 (これより倒れ方が浅くても折損部が局部座屈していれば DOD=2 となる) 写真提供：東京工芸大学風工学研究センター</p>

【運用上の解説】

- (1) 飛散物の衝突による被害が顕著な場合は評価の対象外とする。
- (2) 路側式道路標識を対象としており、片持式、門型式（オーバーハング式）、道路情報提供装置等の設置形式は評価の対象外とする。
- (3) 支柱基部に錆が見られる場合は、断面の減少を考慮して、下限値を採用する。
- (4) 標識板と風向の位置関係が明確にわかっており、風向が標識板に正対する方向から概ね 45 度以上外れている場合には上限値を採用する。
- (5) (3)及び(4)に当てはまらない場合は代表値を採用する。

【風速算定方法の概要】

- ・ 風速算定に際しては高さ 1.8m～2.6m 程度の路側式道路標識を想定している。
- ・ 吉田ほか(2007)に示される計算時の仮定及び条件に基づいて倒壊風速を算定した。なお、本 DI で示されている風速値は一般的な路側式道路標識の高さ、標識形状、標識個数、支柱直径の寸法を 20 種類程度実測して算定した風速である。
- ・ DOD として、支柱に残留変形が見られる「支柱の傾倒」を DOD=1、支柱基部に局部座屈が発生し倒壊している「支柱の倒壊」を DOD=2 として分類した。なお、それぞれの DOD に対応する風速は、風による支柱基部の応力と支柱の降伏強度（DOD=1 の場合）もしくは引張強度（DOD=2 の場合）が釣り合う風速として算定した。その際、降伏強度、引張強度のばらつきも考慮して風速を算定した。

【参考文献】

青木博文,村田耕司,1984: 構造用鋼材の降伏点,引張強さおよび降伏比に関する統計的調査.

日本建築学会論文報告集,(335),157-168.

青木博文,増田正之,1985: 素材引張試験結果による構造用鋼材の力学的性質に関する統計的調査. 日本建築学会論文報告集,(358),94-105.

日本建築学会,2009: 鋼構造座屈設計指針.

遠山広太郎,松田宗久,山田丈富,2012: 鋼材の素材引張試験結果による機械的性質の統計調査.

日本建築学会大会学術梗概集,1087-1088.

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,32(2),147-148.

【DI 番号】 20

【名称】

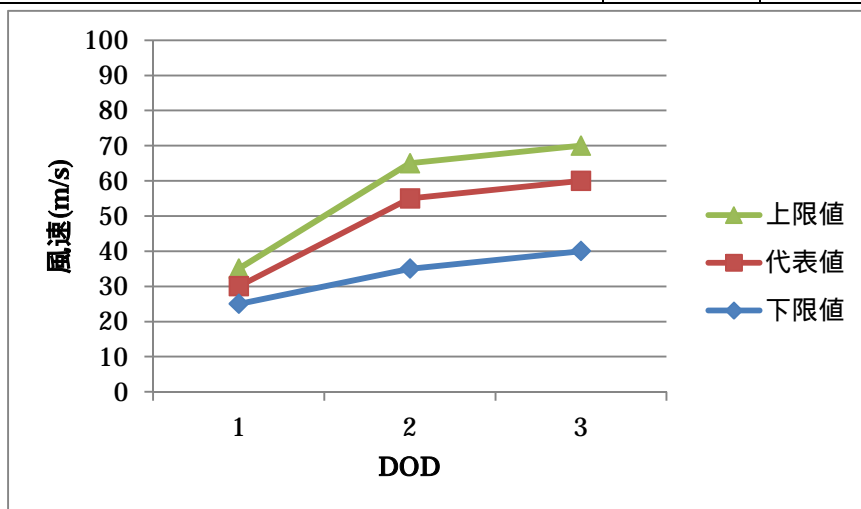
カーポート

【対象】

アルミ製片側支持型のカーポート

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	屋根パネルの破損 (飛散物による)	30	25	35
2	骨組の傾斜 (風圧による)	55	35	65
3	骨組の倒壊 (風圧による)	60	40	70



【DOD の例】



DOD=1 屋根パネルの破損
写真提供：東京工芸大学風工学研究センター



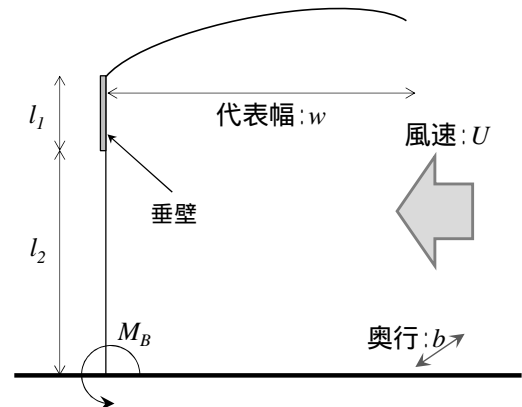
DOD=2 骨組の傾斜
(壁なし・3本柱の片側支持型カーポートのため上限値を採用する事例)
写真提供：徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部

【運用上の解説】

- (1) DOD=2,3 については、片側支持型のカーポートを評定の対象とし、両側支持型は対象外とする。更に以下の形状のどれであるかによってそれぞれの値を採用する。どの形状であるが分類できない場合は代表値を採用する。
- 下限値：壁つき・2本柱の片側支持型カーポート
 - 代表値：壁つき・3本柱の片側支持型カーポート又は壁なし・2本柱の片側支持型カーポート
 - 上限値：壁なし・3本柱の片側支持型カーポート
- (2) 被害の主たる原因が風圧によるものか飛散物の衝突によるものかが明確でない場合は、後者によるものとし、DOD=1 を適用する。

【風速算定方法の概要】

- ・ DOD=1「屋根パネルの破損」は DI=3「鉄筋コンクリート造の集合住宅」における DOD=1「目視でわかる程度の被害(屋外付属物の損傷) 窓ガラスの損壊」が発生する風速値に準じた。
- ・ カーポート骨組において通常最初に変形する部分である柱脚部における曲げ応力度が、DOD=2では「傾斜」に代表的な応力に達する風速、DOD=3では「倒壊」に代表的な応力に達する風速と定義した(後段のDOD=2,3の風速算定方法参照)。最初に「屋根のみ」、「屋根+垂壁(たれかべ)」、「屋根+全壁」の3種類を想定してそれぞれの風速を評価し、これらを総合的に判断して風速を算定した。



- ・ 風向は実験結果から、カーポートへの荷重が最大となることの多い、右図に示す風向を対象とした。
- ・ 全国エクステリア工業会において、JIS 準拠カーポートと関連法規との関係を整理すべく、2000年より検討作業が進められ、2006年春から「アルミ製カーポート技術規準」が運用されている。風力係数は同規準の基礎データに植松(2001)を適用することで求めた。

DOD=2,3の風速算定方法

以下1.~3.の手順で風速を計算した。なおカーポートの形状は標準的な値である幅(w): 3m、奥行(b): 5.7m、垂壁の高さ(l_1) 0.5m、全壁の高さ(l_1+l_2): 2.7mを用いた。

1. 風荷重によるモーメント

屋根形状によって風速に幅が出るため、実験結果から、屋根の等価風力係数(C_{fr})はそれぞれ $C_{fr} = -0.6 \sim -1.8$ の間でモーメント M_B を計算し、風速の幅(上限値・下限値)を与えた。なお垂壁の等価風力係数(C_{fw1})、全壁の等価風力係数(C_{fw2})については、 $C_{fw1} = C_{fw2} = -1.4$ とした。

2. 柱脚部の強度(断面係数)

「柱が傾斜し始める」、「倒壊し始める」に達する風速を算定するにあたって必要となる全塑性断面係数 Z_p を算定する。柱脚の断面はアルミ製の鋼管を想定している。

3. 限界風速の算定

1.で求めたモーメントと2.で求めた断面係数、及びアルミ製鋼管の0.2%耐力： $\sigma_{0.2}$ 及び引張強さ： σ_u の関係から「柱が傾斜し始める」及び「倒壊し始める」限界風速を求める。なお、柱に用いた材質は、高強度アルミ押出型材を想定している(日本工業規格2006)。

【参考文献】

日本工業規格,2006:アルミニウム及びアルミニウム合金の押出型材. JIS H 4100:2006.

植松康,2001:アルミ製カーポートの設計用風荷重に関する風洞実験報告書. 東北大学未来科学技術共同研究センター.

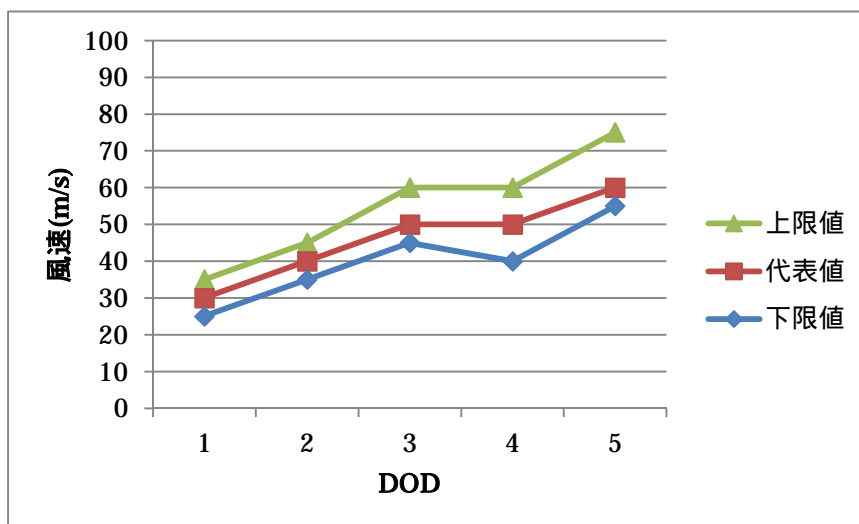
【DI 番号】 21

【名称】
塀

【対象】
コンクリートブロック塀

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	鉄筋なし、一部損壊又は大部分が倒壊	30	25	35
2	鉄筋あり、控壁なし又は控壁のない側へ転倒、一部損壊	40	35	45
3	鉄筋あり、控壁なし又は控壁のない側への転倒、大部分が倒壊	50	45	60
4	鉄筋あり、控壁あり、一部損壊	50	40	60
5	鉄筋あり、控壁あり、大部分が倒壊	60	55	75



【DOD の例】



DOD=1 鉄筋なし、一部損壊又は大部分が倒壊
(ブロックがC種、且つ、ブロックの厚さが150mm未満のため下限値を採用する事例)

写真提供：国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所

【運用上の解説】

- (1) 評価にあたっては、鉄筋の有無、控壁の有無、壁の転倒方向（控壁のある側に転倒、控壁のない側に転倒）を確認する。
- (2) 控壁について、高さ1.2mを超える場合は、控壁を3.4m以下の間隔で設置する必要があるが、規定を満たしていない場合は、控え壁が無いものに相当しDOD=2もしくは3を適用する。
- (3) コンクリートブロックの種類（A、B、C）*を確認する。確認できない場合は、C種に相当するものとする。
- (4) DOD=1において、
 - ブロックがA種、B種の場合は下限値を採用する。
 - ブロックがC種、且つ、ブロックの厚さが150mm未満の場合は、下限値を採用する。
 - ブロックがC種、且つ、ブロックの厚さが150mmの場合は代表値を採用する。
 - ブロックがC種、且つ、ブロックの厚さが150mmを超える場合は、上限値を採用する。
- (5) DOD=2～5において、
 - ブロックがA種、B種の場合、もしくはブロック、鉄筋に劣化（錆等）が認められる場合は、下限値を採用する。
 - ブロックがC種、且つ、ブロック、鉄筋に劣化（錆等）が無く、ブロックの厚さが150mm未満の場合は、下限値を採用する。
 - ブロックがC種、且つ、ブロック、鉄筋に劣化（錆等）が無く、ブロックの厚さが150mmの場合は代表値を採用する。
 - ブロックがC種、且つ、ブロック、鉄筋に劣化（錆等）が無く、ブロックの厚さが150mmを超える場合は、上限値を採用する。

- (6) 飛散物による衝撃で破損している場合は評定の対象外とする。
- (7) 基礎の被害は浅い位置での地盤の状況にばらつきが大きいため、評定の対象外とする。

(*)コンクリートブロックの種類

コンクリートブロックには A、B、C の種別の規格があり、使用される材料の違いにより、比重、吸水率、圧縮強さ等が異なる。耐風設計強度に影響のある圧縮強さについては、A 種では、 8N/mm^2 、B 種では、 12N/mm^2 、C 種では、 16N/mm^2 が用いられることが多い。コンクリートブロック塀には通常は C 種が用いられる。

【風速算定方法の概要】

- ・ 「風荷重 > 許容耐力」を満たす風速のうち最小のものから各 DOD の風速を設定する。
- ・ 許容耐力については、全塑性モーメントを評価する等して上下限值を見積もる。評価が困難な場合、実耐力は公称値の 110%程度であると仮定して上下限値の範囲を設定する。
- ・ 風向毎の風力係数を求め、取りうる風向範囲の中で最大のものを風速算定における風力係数とする。
- ・ 補強コンクリートブロック塀の耐力は、鉄筋コンクリート構造の板材の面外方向への荷重が作用した場合の許容曲げモーメント算定手順(日本建築学会 2009)に準じ、志賀・小村(1964)で計算される。計算で想定される補強内容は、800mm 以下の間隔で鉛直方向の鉄筋の配置とした。
- ・ 風荷重は、地上付近で等分布とし、建築基準法地表面粗度区分 III (都市化の著しさが 4 段階中で 2 番目に高い)相当とする。また、塀に発生する応力は、平板応力分布(控え壁と地盤面を固定端とする分布)になることを考慮している。風速の下限値には、塀の高さ 1.8m、ブロック C 種、厚さ 120mm、控え壁間隔 3.4m、上限には、塀の高さ 1.8m、ブロック C 種、厚さ 190mm、控え壁間隔 3.4m、代表値はブロック C 種、厚さ 150mm で設定した。
- ・ 無補強のブロック塀の耐力の算定には志賀(1964)を参考とした。

【参考文献】

日本建築学会,2009:各種メーソンリー構造設計ノート.

志賀敏男,小村俊一,1964:コンクリートブロック塀の耐震強度(その二).日本建築学会研究報告集(東北支部),3,21-24.

【DI 番号】 22

【名称】

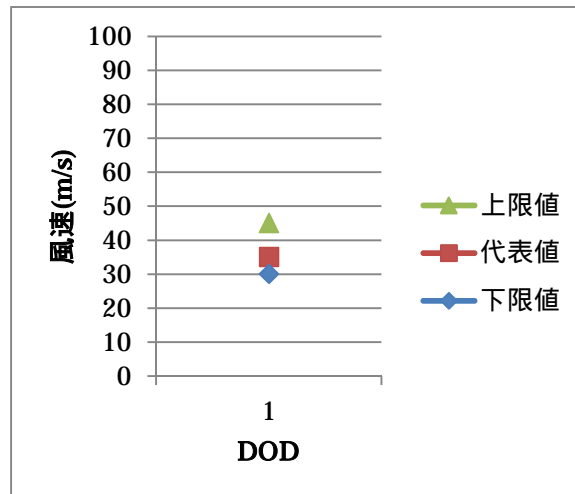
木造・樹脂・アルミ製フェンス、メッシュフェンス

【対象】

敷地境界等に設置される高さ 2m 以下程度の木造・樹脂・アルミ製フェンス、メッシュフェンス

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	一部損壊又は倒壊	35	30	45



【DOD の例】



DOD=1 一部損壊又は倒壊

(メッシュを塞ぐ付着物がほとんどないことから上限値を採用する事例)

写真提供：東京工芸大学風工学研究センター

【運用上の解説】

- (1) 木製のものは、目視などでは認識されにくい劣化も考えられるため、下限値を採用する。但し、目視で認識できるレベルの劣化がある場合は、評価の対象外とする。
- (2) 飛散物による破損がある場合は、評価の対象外とする。
- (3) メッシュフェンスは、メッシュを塞ぐ付着物がほとんどない場合は、上限値を採用する。おびただしい付着物がある場合は、代表値を採用する。
- (4) 基礎の被害は浅い位置での地盤の状況にばらつきが大きいため、評価の対象外とする。

【風速算定方法の概要】

- ・ 「風荷重 > 許容耐力」を満たす風速のうち最小のものから DOD の風速を設定する。
- ・ 許容耐力については、全塑性モーメントを評価する等して上下限值を見積もる。評価が困難な場合、実耐力は公称値の 110%程度であると仮定して上下限值の範囲を設定する。
- ・ 風向毎の風力係数を求め、取りうる風向範囲の中で最大のものを風速算定における風力係数とする。
- ・ エクステリアメーカーの提供する製品であることを前提としている。エクステリアメーカーでは、耐風強度を風速 33 ~ 42m/s と謳っていることが多い。材料の組み合わせや荷重変形関係が複雑であるので、強度が 100% ~ 120%程度の範囲に分布するものとして、風速に換算し、上下限值を設定している。木製フェンス等では目視では認識されにくい劣化があることも考慮して、下限値を 30m/s とした。
- ・ また、メッシュフェンスのメーカー仕様から計算される風速は、メッシュの充実率が 0.1 程度の場合は 45m/s 程度（上限値程度）と評価される。メッシュフェンスの場合付着物があるとメッシュのみかけの充実率が大きくなるために、おびただしい付着物のある場合は、充実率を 50%大きく評価すると 35m/s 程度（代表値程度）となる。

【DI 番号】 23

【名称】

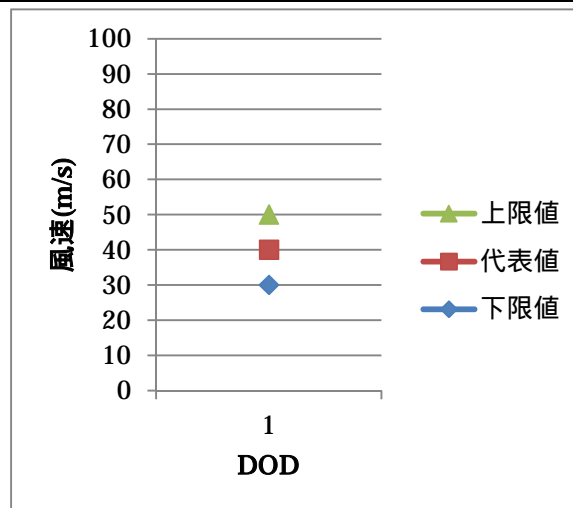
道路の防風・防雪フェンス

【対象】

道路の防風・防雪フェンス

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	板材の一部損壊又は倒壊	40	30	50



【DOD の例】



DOD=1 板材の一部損壊又は倒壊

写真提供：東京工芸大学風工学研究センター

【運用上の解説】

- (1) 錆等が目立ち接合部（ボルト）が腐食して欠損している場合には下限値を採用し、新しく健全な状態であれば上限値を採用する。多少錆は見られるが接合部が腐食で欠損するほどでない場合、もしくは接合部の状態を確認できない場合は代表値を採用する。
- (2) 飛散物等の衝撃力などの痕跡がある場合は、評価の対象外とする。
- (3) 基礎の被害は浅い位置での地盤の状況にばらつきが大きいいため、評価の対象外とする。
- (4) 支柱に折損などの被害が見られた場合は上限値を採用する。

【風速算定方法の概要】

- ・ 「風荷重 > 許容耐力」を満たす風速のうち最小のものから DOD の風速を設定する。
- ・ 許容耐力については、全塑性モーメントを評価する等して上下限值を見積もる。評価が困難な場合、実耐力は公称値の 110%程度であると仮定して上下限値の範囲を設定する。
- ・ 風向毎の風力係数を求め、取りうる風向範囲の中で最大のものを風速算定における風力係数とする。
- ・ 防風、防雪フェンスは、板材の飛散例が多い。板材の状況に応じて支柱に作用する風荷重は大きく変化するため、支柱の倒壊風速を板材の状況によらずに算定することは難しい。ここでは、板材が先に飛散するものとして風速を算定している(松井ほか 2007)。また、支柱は、板材によって全て塞がれている場合の荷重を支持するように設計されていると仮定している。なお、支柱に折損などの被害が見られた場合は、少なくとも上限値以上の風速が吹いていることとなる。

【参考文献】

松井正宏,田村幸雄,曹曙陽,2007:2005 年 11 月 18 日秋田県大瀧村,琴岡町に発生した突風被害. 日本風工学会誌,111,179-180.

【DI 番号】 24

【名称】

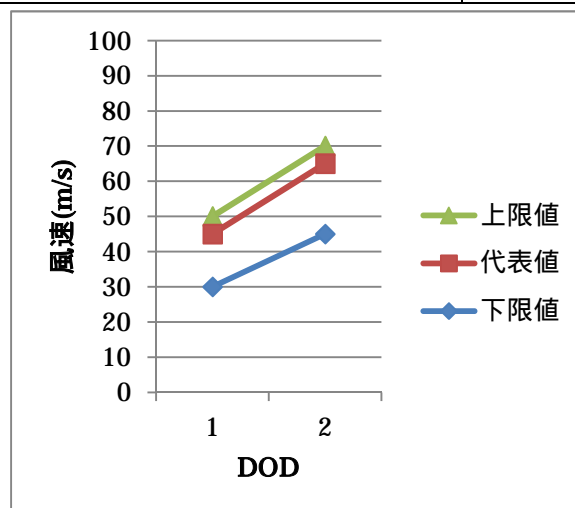
ネット（野球場・ゴルフ場等）

【対象】

野球場やゴルフ場等におけるネット

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	支柱の変形	45	30	50
2	支柱の倒壊	65	45	70



【DOD の例】



DOD=2 支柱の倒壊

(風がネット面正対する方向に作用していると考えられるため、代表値を採用する事例)

写真提供：東京工芸大学風工学研究センター

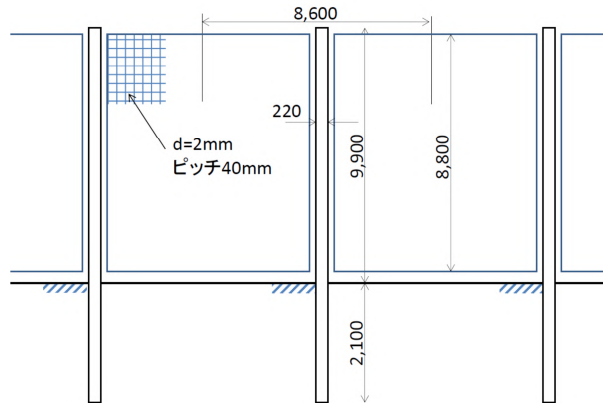
【運用上の解説】

- (1) ネット面上での付着物の有無を確認し、付着物がある場合には、写真撮影などにより記録し、付着物がネットのおおむね 10%以上を覆っている場合は、下限値を採用する。付着物は、枯れ葉等の軽量なものであっても、受風面積を増大させる場合には付着物として扱う。
- (2) 支柱に直接大きな衝撃力を与えるような飛散物の影響等がある場合は、評価の対象外とする。
- (3) 支柱の倒壊方向などから、風がネット面正対する方向に対して 45 度以上傾いて作用していると考えられる場合は、上限値を採用する。
- (4) ゴルフ場のネット等には、強風時に下すことを条件に小さい荷重で設計されている場合もある。そのような設計をしている施設は評価の対象外とする。

【風速算定方法の概要】

・ 想定するネットと支柱の形状

- 1) 一般的にネットに採用されるメッシュの太さ、間隔は、それぞれ 2mm、40mm 程度であり、充実率は 0.1 程度である。
- 2) 下限値を与える風速の評価として、おびただしい飛散物がネットに付着する場合は想定し、充実率を 1.5 倍から 2 倍の範囲で割り増して、対応する風速を評価した。



想定したネットと支柱

・ 弾性変形、倒壊限界風速

- 1) 「風による支柱の曲げモーメント > 支柱の弾性最大耐力 (支柱メーカー公称値、又は短期許容応力度と断面 2 次モーメントを用いる)」を満たす風速のうち最小のものを変形限界風速とする。
- 2) 「風による支柱の曲げモーメント > 支柱の塑性最大耐力 (支柱メーカー公称値、又は全塑性モーメントを用いる)」を満たす風速のうち最小のものを倒壊限界風速とする。
- 3) 風向毎の風力係数を求め、取りうる風向範囲の中で最大のものを風速算定における風力係数とする。

・ 支柱の耐力

電柱や運動場などで用いられているコンクリートポールは、JIS A5373 でその耐力が規定されている。また、破壊荷重は、許容耐力の 2 倍以上としている。DOD=1 に対しては、弾性限界応力度を許容応力度の 1.1 倍とし、断面は弾性状態を仮定する。DOD=2 に対しては、同上の許容応力度を用いるほか、断面は全塑性状態を仮定する。部材の耐力が局部座屈で決まる場合には、局部の幅厚比から全塑性モーメントの補正係数を考慮する(日本建築学会 2009)。

・ 風荷重・風速の評価

一般的にネットに採用されるメッシュの太さ、間隔は、それぞれ 2mm、40mm 程度であり、充実率 S は 0.1 程度(室田 1974;上田ら 1999)である。充実率から抗力係数 C_D を求めるには、過去の実験式を利用する。

その他の仮定は、支柱の抗力係数は円柱の抗力係数 1.2、鉛直方向の分布は一様、空気密度は 1.2kg/m^3 である。

基部における支柱の曲げモーメント M は、次式で与えられる。

$$M = \frac{1}{2} \rho U^2 \{ C_{DN} W_N H_N H_{EN} + C_{DP} D H_P H_{EP} \} < M_y, M_P \quad (1)$$

ここで、 M は支柱基部の曲げモーメント、 ρ は空気密度、 U は限界風速、 C_{DN} はネットの抗力係数、 W_N はネットの支配幅、 H_N はネットの高さ、 H_{EN} ネットの荷重作用高さ、 C_{DP} は支柱の抗力係数、 D は支柱の幅、 H_P は支柱の高さ、 H_{EP} は支柱の荷重作用高さ、 M_y はひび割れ限界モーメント (許容耐力)、 M_P は破壊モーメント (最大耐力) である。

$M_y=48.25\text{kNm}$ (メーカー公表値)、 $M_P=96.6\text{kNm}$ 、 $W_N=8,600\text{mm}$ 、

$H_N=8,800\text{mm}(=2H_{EN})$ 、 $D=220\text{mm}$ 、 $H_P=9,900\text{mm}(=2H_{EP})$ 、とし、抗力係数を $C_{DN}=0.092 \sim 0.14$ とした。また、おびただしい飛散物がネットに付着する場合には、充実率を 1.5 倍から 2 倍の範囲で割り増して、対応する限界風速を算定した。ただし、公称耐力に対し、耐力のばらつきを 10%と仮定し、実耐力は公称値の 1.1 倍と仮定している。相当する DOD の風速は、代表値で 1.05 倍、上限値で 1.1 倍とする。

【参考文献】

- 日本建築学会,2009:局部座屈が支配的な部材の挙動. 鋼構造座屈設計指針,6.6 節,214-226 .
室田達郎,1974:風洞実験法 建築用網類の抗力係数に関する実験的研究. 建築研究所年報,290-297.
上田宏,丸田栄蔵,本郷剛,1999:網状構造物の抗力係数に関する研究 2次元網状板の抗力係数. 日本建築学会構造系論文集,(524),51-56.

【DI 番号】 25

【名称】

広葉樹

【対象】

- ・ 通常：根に腐朽がなく、枝や幹に基準以上の腐朽がない広葉樹
- ・ 腐朽有り：幹や枝の折損部に基準以上の腐朽がみられる広葉樹
いずれも、街路樹を除く（ここで街路樹とは、植柵に植栽されているもの）

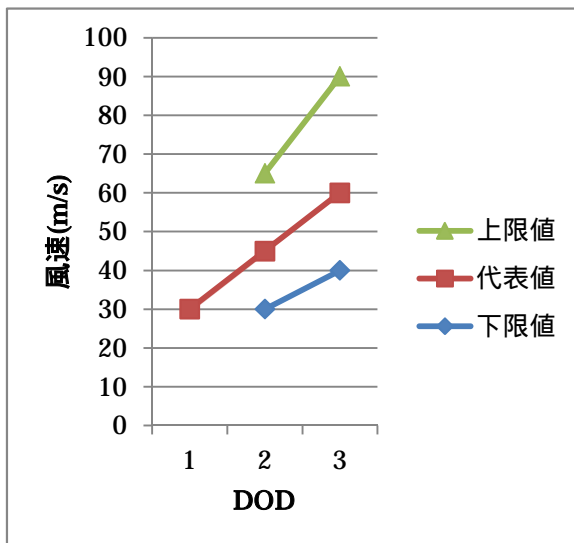
【DOD と風速】

通常

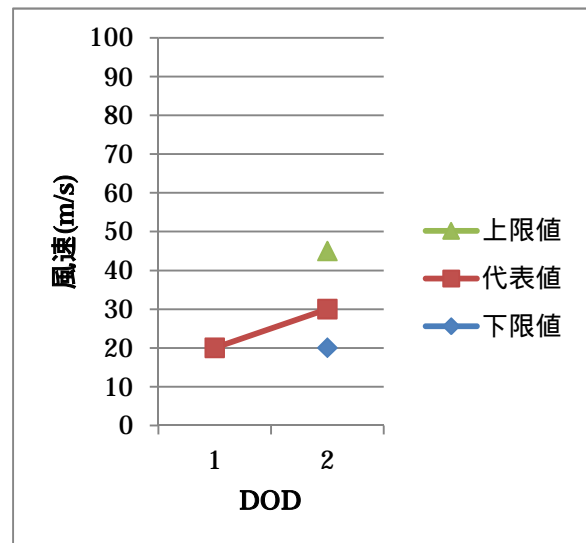
番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	直径 2cm ~ 8cm の枝折れ	30	-	-
2	根返り。幹に亀裂や折れがなく、根系が浮き上がって倒伏又は傾斜。	45	30	65
3	幹折れ。幹に亀裂又は折損。	60	40	90

腐朽有り

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	直径 2cm ~ 8cm の枝折れ。折損部に基準以上の腐朽。	20	-	-
2	幹折れ。幹に亀裂又は折損。折損部に基準以上の腐朽。	30	20	45



通常



腐朽有り

【DOD の例】

通常



DOD=1 直径 2cm ~ 8cm の枝折れ
写真提供：国立研究開発法人森林総合
研究所



DOD=2 根返り。幹に亀裂や折れがなく、根系が
浮き上がって倒伏又は傾斜。
写真提供：国立研究開発法人森林総合研究所



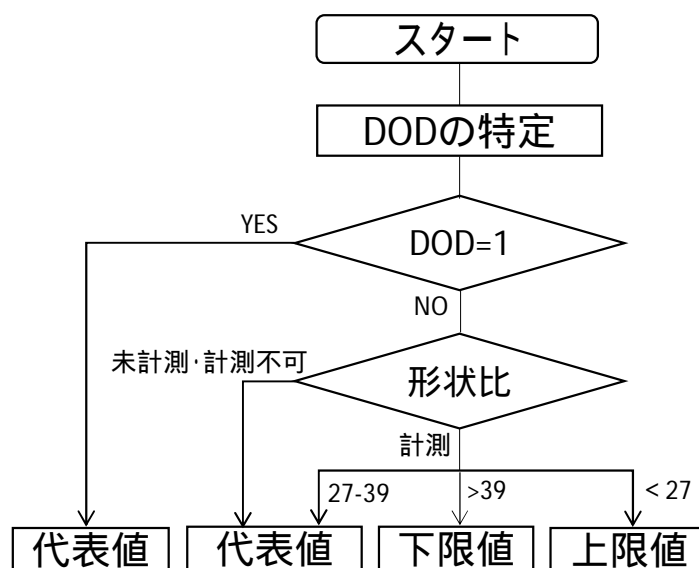
DOD=3 幹折れ。幹に亀裂又は折損。
写真提供：国立研究開発法人森林総合
研究所

腐朽有り

	
<p>DOD=1 直径 2cm ~ 8cm の枝折れ。折損部に基準以上の腐朽。 写真提供：国立研究開発法人森林総合研究所</p>	<p>DOD=2 幹折れ。幹に亀裂又は折損。折損部に基準以上の腐朽。 写真提供：国立研究開発法人森林総合研究所</p>

【運用上の解説】

- (1) 枝や幹に腐朽が見られた場合は後述する腐朽の程度を判断し、基準以上の腐朽の有無で対応する DOD を適用する。
- (2) DOD=2,3(腐朽有りの場合は DOD=2)では被害木の樹高と胸高直径(1.3m 高の直径)を計測し、形状比(樹高/胸高直径)を計算する。形状比により代表値、上限値、下限値の判定を行う。形状比が得られない場合は代表値を採用する。
- (3) 広葉樹は根元や幹の低い位置から枝分かれするものが多く見られるが、DOD=3 は根元から枝分かれの位置までの間で折損した場合を対象とする。



形状比による風速評定のフロー図

< 腐朽の基準 >

幹の場合、 t/R の最小値が 0.3 以下の場合（幹直径の 7 割以上に腐朽がある場合）に「腐朽あり」と判断する。枝の場合、断面のほぼすべてに腐朽が見られるもの。

幹や枝の腐朽は、黒色や暗褐色の変色、虫食い、空洞、材の脆弱化、スポンジ状の軟弱化、子実体（きのこ）の発生として観察される。

腐朽の基準（枝）	腐朽の基準（幹）
<p>腐朽度(雨宮 1963)</p> <p>0：健全</p> <p>1：部分的に軽度の虫害又は腐朽</p> <p>2：全面的に軽度の虫害又は腐朽</p> <p>3：2 の状態の上に部分的に激しい虫害又は腐朽</p> <p>4：全面的に激しい虫害又は腐朽</p> <p>5：虫害又は普及により形がくずれる</p> <p>2 以上を腐朽有りの基準とする</p>	

【風速算定方法の概要】

- ・ 樹木に作用する風荷重が、根返り、幹折れ、枝折れを生じる時の抵抗モーメントとつりあう時の風速を被害発生風速 U とし、樹種などの違いによる分布から DOD の風速（代表値、上限値、下限値）をめた。
- ・ 被害発生風速の計算式

根返り

$$U_{uproot} = \sqrt{\frac{2M_{max}}{\rho C_d AL}}$$

M_{max} ：最大抵抗モーメント(Nm)、 L ：風心高(m)、 ρ ：空気密度(kg/m³)

C_d ：風力係数、 A ：面積(m²)、 U ：風速(m/s)

幹折れ

$$U_{break} = \sqrt{\frac{MOR\pi D^3}{16\rho C_d AL}}$$

MOR ：曲げ強さ(Pa)、 L ：風心高(m)、 ρ ：空気密度(g/m³)

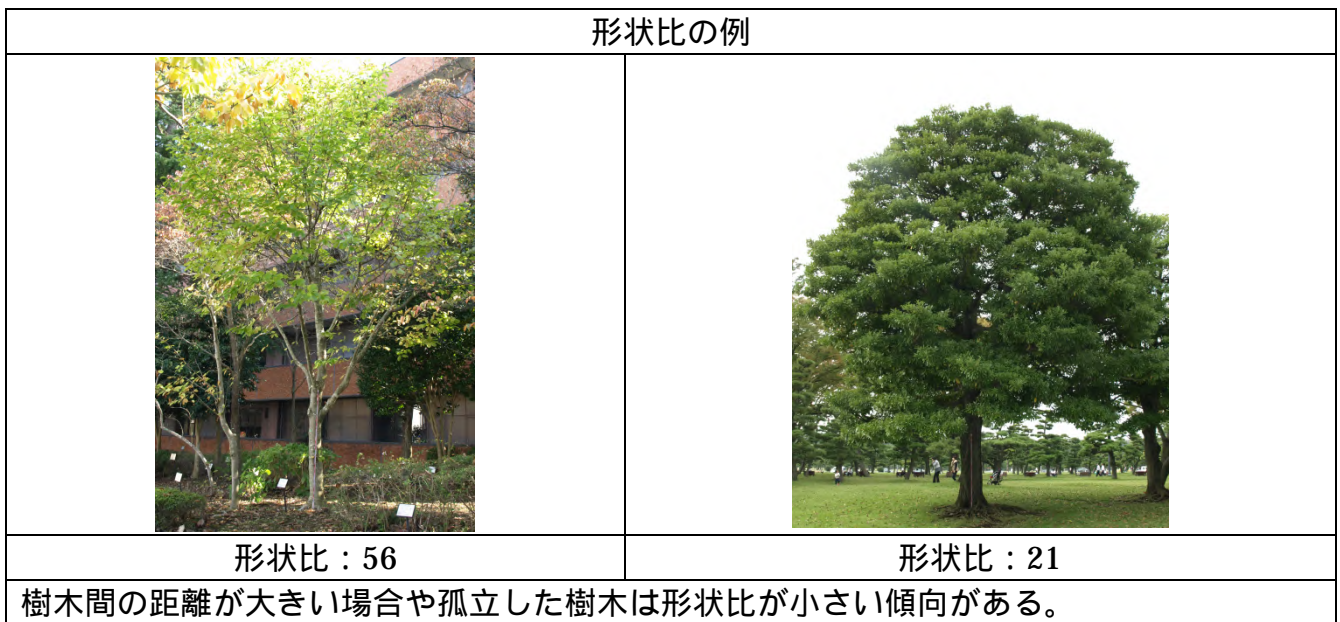
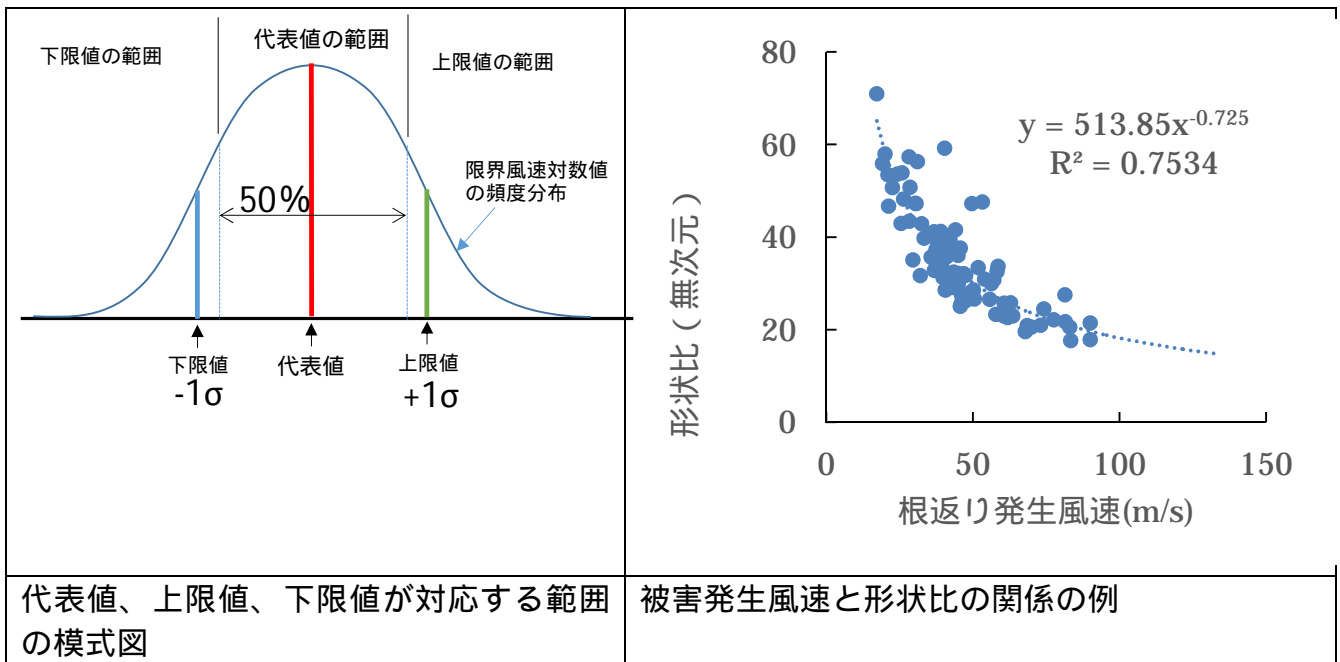
C_d ：風力係数、 A ：面積(m²)、 U ：風速(m/s)、 D ：幹の直径(m)

枝折れ

$$U_{break_branch} = \sqrt{\frac{MOR\pi D_0^3}{16\rho AL_w C_d}}$$

D_0 : 枝の元口直径(m)、 A :葉の面積(m²)、 L_w : 風心距離(m)、 C_d : 風力係数

- ・ 計算に使用したデータ
森林・公園・庭木から合計 118 本を測定した。(イチヨウは針葉樹であるが、実用性の面から広葉樹に加えた)
- ・ 各変数の計測
 - 1) 樹冠投影面積 (受風面積)
写真判読により鉛直面への投影面積を求めた。風心を樹冠長の 1/2 の位置とした。
 - 2) 幹直径・樹高
写真判読により高さ 0.2m ~ 1.5m の範囲の幹直径を 0.1m ごとに求め、各高度ごとに限界風速を計算した。限界風速の中で最小値を幹折れ発生風速とした。
 - 3) 風力係数
Kane(2006)による Red Maple の測定値から次の関係式を導いた。
$$C_d = 0.3379 + 0.2821 \exp\left(\frac{-(U - 11)}{7.2916}\right) \quad U: \text{風速 m/s}$$
 - 4) 生材の MOR
Maple5 種、oak9 種、elm3 種の平均である 57MPa を使用(USDA 2010)
 - 5) 最大抵抗モーメント
カンバ(中林ほか 2011)、コナラ(深見ほか 2011)、ミズメ(深見ほか 2011)による関係式を使った(鈴木 2012)。
 - 6) 枝折れにおける投影面積と風心距離
元口径、元口径 2 乗と投影面積、風心距離との関係式を導き、元口径から被害発生風速を計算。ユリノキ、ハナミズキ、コナラ合計 25 本で関係式を作った。
- ・ 代表値、上限値、下限値
根返りと幹折れの被害発生風速は対数変換後、平均、平均 + 1、平均 - 1 を代表値、上限値、下限値とした。代表値は平均を中心に区間確率 50%、上限値及び下限値は代表値の上側及び下側 25%の範囲とした。被害発生風速と形状比(樹高 / 胸高直径) (竹内ら 1997)の関係を用いて、代表値、上限値、下限値の範囲と形状比を対応させた。被害木の形状比から代表値、上限値、下限値のどれを採用するか判断する。
- ・ 腐朽の影響
枝折れ: 曲げ強度を 50%にした。(森 2002)
幹折れ: 応力度を 3.6 倍にした。(Mattheck *et al.*2006)



【参考文献】

雨宮昭二,1963:浅川実験林苗畑の杭試験(1).林業試験場研究報告,150,143-156.
 Kane B. and E.T.Smiley,2006:Drag coefficients and crown area estimation of red maple. Canadian Journal of Forest Research,36,1951-1958.
 森満範,2002:木製土木構造物の耐朽度を予測する. 林産試だより 5月号,1-3.
 Mattheck C., K.Bethge and I.Tesari,2006:Shear effects on failure of hollow trees. Trees,20,329-333.
 中林一,井上涼子,浅野克年,鳥田宏行,2011:土石流緩衝樹林帯計画に向けた樹木引き倒し試験. 砂防学会研究発表会概要集,59,354-355.
 鈴木覚,2012:風と樹木.樹木医学研究,16,15-22.

鈴木覚,渡井純,加藤徹,野口宏典,南光一樹,2015:「日本版改良藤田スケールの開発 - 樹木の DI と DOD の提案 - 」. 日本風工学会論文集,40(2),127-128.

竹内郁雄,川崎達郎,森茂太,1997:ヒノキ若齢人工林における形状比の変化. 日本林学会誌,79,137-142.

USDA,2010:Wood Handbook.508pp.

【DI 番号】 26

【名称】

針葉樹

【対象】

- ・ 通常：根に腐朽がなく、枝や幹に基準以上の腐朽がない針葉樹
- ・ 腐朽有り：幹や枝の折損部に基準以上の腐朽がみられる針葉樹
いずれも、街路樹を除く（ここで街路樹とは、植柵に植栽されているもの）

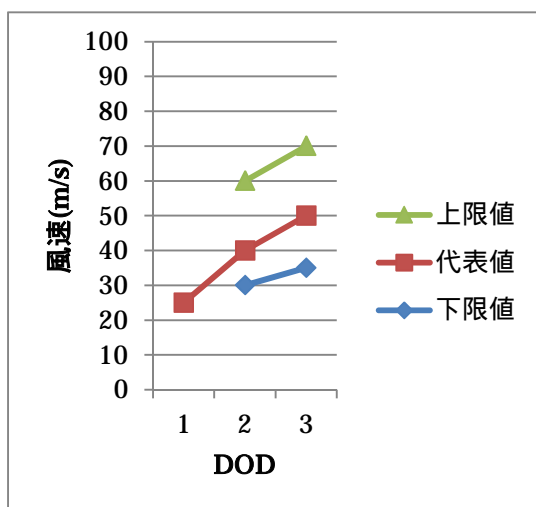
【DOD と風速】

通常

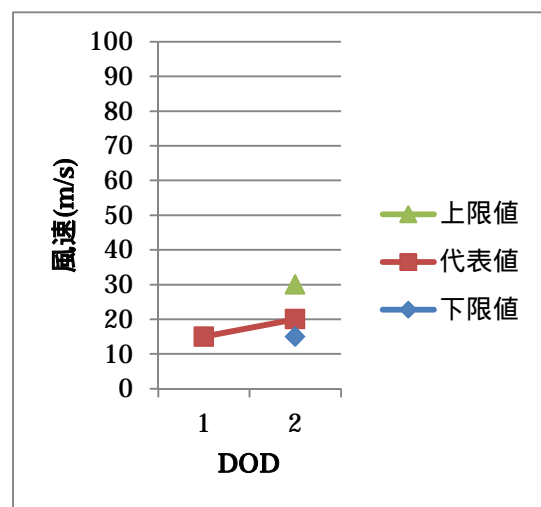
番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	直径 2cm ~ 8cm の枝折れ	25	-	-
2	根返り。幹に亀裂や折れがなく、根系が浮き上がって倒伏又は傾斜。	40	30	60
3	幹折れ。幹に亀裂又は折損。	50	35	70

腐朽有り

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	直径 2cm ~ 8cm の枝折れ。折損部に基準以上の腐朽。	15	-	-
2	幹折れ。幹に亀裂又は折損。折損部に基準以上の腐朽。	20	15	30



通常




腐朽有り

【DOD の例】

通常

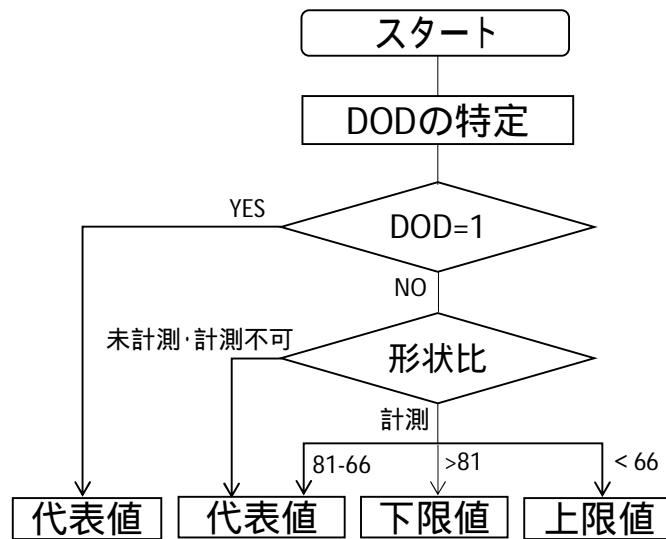
	
<p>DOD=2 根返り。幹に亀裂や折れがなく、根系が浮き上がって倒伏又は傾斜。 写真提供：国立研究開発法人森林総合研究所</p>	<p>DOD=3 幹折れ。幹に亀裂又は折損。 写真提供：国立研究開発法人森林総合研究所</p>

腐朽有り

	
<p>DOD=2 幹折れ。幹に亀裂又は折損。折損部に基準以上の腐朽。 写真提供：国立研究開発法人森林総合研究所</p>	

【運用上の解説】

- (1) 枝や幹に腐朽が見られた場合は腐朽の程度 (DI=25「広葉樹」参照) を判断し、基準以上の腐朽の有無で対応する DOD を適用する。
- (2) DOD=2,3 (腐朽有りの場合は DOD=2) では被害木の樹高と胸高直径 (1.3m 高の直径) を計測し、形状比 (樹高/胸高直径) を計算する。形状比により代表値、上限値、下限値、範囲外の判定を行う。形状比が得られない場合は代表値を採用する。
- (3) 幹に枝分かれがみられるとき、DOD=3 は根元から枝分かれの位置までの間で折損した場合を評定対象とする。



形状比による風速評定のフロー図

【風速算定方法の概要】

- ・ 樹木に作用する風荷重が、根返り、幹折れ、枝折れを生じる時の抵抗モーメントとつりあう時の風速を被害発生風速 U とし、樹種などの違いによる分布から DOD の風速（代表値、上限値、下限値）を求めた。
- ・ 被害発生風速の計算式

根返り

$$U_{uproot} = \sqrt{\frac{2M_{max}}{\rho C_d AL}}$$

M_{max} : 最大抵抗モーメント(Nm)、 L :風心高(m)、 ρ : 空気密度(kg/m³)

C_d : 風力係数、 A :面積(m²)、 U : 風速(m/s)

幹折れ

$$U_{break} = \sqrt{\frac{MOR\pi D^3}{16\rho C_d AL}}$$

MOR : 曲げ強さ(Pa)、 L :風心高(m)、 ρ : 空気密度(g/m³)

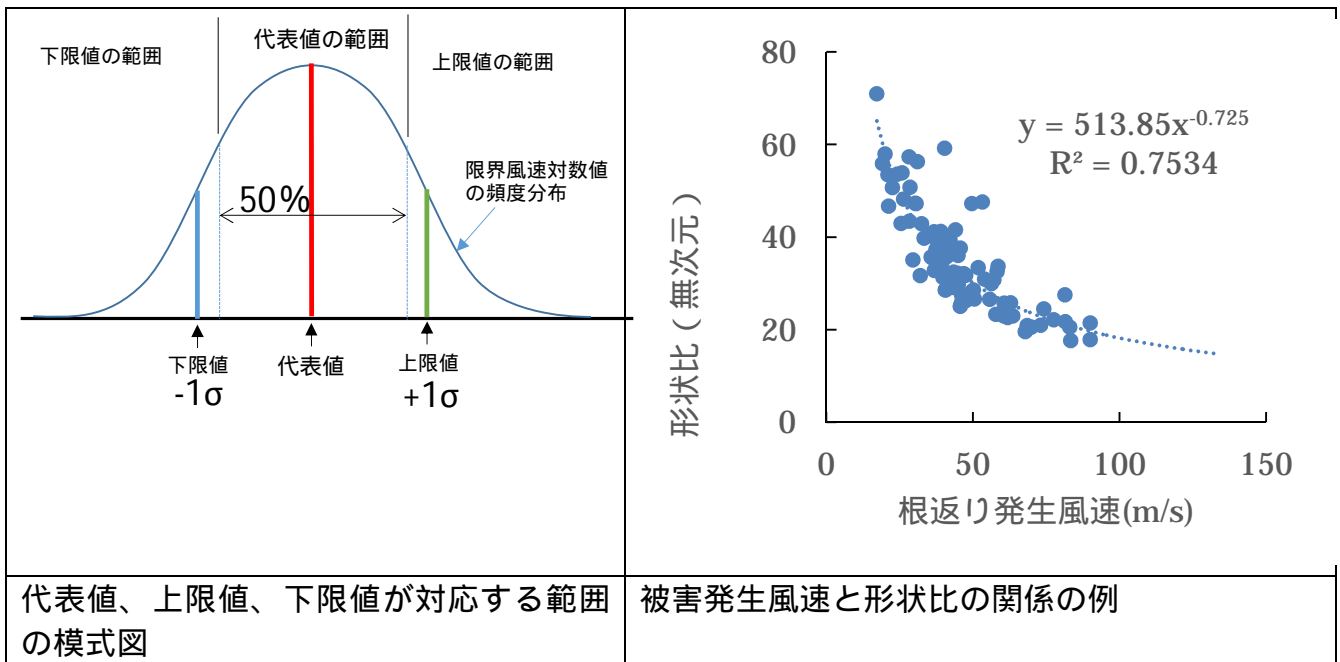
C_d : 風力係数、 A :面積(m²)、 U : 風速(m/s)、 D : 幹の直径(m)

枝折れ

$$U_{break_branch} = \sqrt{\frac{MOR\pi D_0^3}{16\rho AL_w C_d}}$$

D_0 : 枝の元口直径(m)、 A :葉の面積(m²)、 L_w : 風心距離(m)、 C_d : 風力係数

- ・ 計算に使用したデータ
 - 2004 年の台風第 23 号によりで発生した被害の調査データから未被害木データ(ヒノキ 309 本、スギ 82 本)を使用した(静岡県林業技術センター2006)。
- ・ 各変数の計測
 - 1) 樹冠投影面積(受風面積)
 - 竹下(1985)の方法で樹冠形状を推定した。風心を樹冠長の 1/3 の位置とした。
 - 2) 幹直径・樹高
 - 静岡県農林技術研究所森林・林業センターによるスギ、ヒノキの細り表(静岡県農林水産部 1999)で幹の直径を推定した。
 - 3) 風力係数
 - Mayhead(1973)による各種針葉樹の値を参考に次式を導いた。
$$C_d = 0.188 + 0.752 \exp(-0.068U) \quad U: \text{風速 m/s}$$
 - 4) 生材の MOR
 - スギ：40.6MPa、ヒノキ：49.1MPa(徳田ほか 1988)
 - 5) 最大抵抗モーメント
 - スギ(茅島・佐々木 2010;中林ほか 2011)、カラマツ(烏田 2009;烏田ほか 2010;深見ほか 2011)による関係式を使った(鈴木 2012)。
 - 6) 枝折れにおける投影面積と風心距離
 - 元口径、元口径 2 乗と投影面積、風心距離との関係式を導き、元口径から被害発生風速を計算。針葉樹としてスギ 17 本で関係式を作った。
- ・ 代表値、上限値、下限値
 - 根返りと幹折れの被害発生風速は対数変換後、平均、平均 + 1、平均 - 1 を代表値、上限値、下限値とした。代表値は平均を中心に区間確率 50%、上限値及び下限値は代表値の上側及び下側 25%の範囲とした。被害発生風速と形状比(樹高/胸高直径)(竹内ら 1997)の関係を用いて、代表値、上限値、下限値の範囲と形状比を対応させた。被害木の形状比から代表値、上限値、下限値のどれを採用するか判断する。
- ・ 腐朽の影響
 - 枝折れ：曲げ強度を 50%にした。(森 2002)
 - 幹折れ：応力度を 3.6 倍にした。(Mattheck *et al.*2006)



形状比の例	
<p>形状比：86</p>	<p>形状比：31</p>
<p>樹木間の距離が大きい場合や孤立した樹木は形状比が小さい傾向がある。</p>	

【参考文献】

雨宮昭二,1963:浅川実験林苗畑の杭試験(1).林業試験場研究報告,150,143-156.
 深見悠矢,北原曜,小野裕,2011:土壌水分等の条件が異なる場合の立木引き倒し試験. 日本森林学会誌,93,8-13.
 茅島信行,佐々木重行,2010,スギ試験林における引き倒し試験. 九州森林研究,63,25-29.
 森満範,2002:木製土木構造物の耐朽度を予測する. 林産試だより 5月号,1-3.
 Mattheck C., K.Bethge and I.Tesari,2006:Shear effects on failure of hollow trees. Trees,20,329-333.
 Mayhead,G.J.,1973:Some drag coefficients for british forest trees derived from wind tunnel studies. Agricultural Meteorology,12,123-130.

- 静岡県農林水産部,1999: 立木のままで丸太材積を予測する - 細り表 -. あたらしい林業技術,(348),18pp.
- 静岡県林業技術センター,2006:平成 16 年台風 22 号による静岡県伊豆半島における森林被害調査報告書.
- 鈴木覚,2012:風と樹木.樹木医学研究,16,15-22.
- 鈴木覚,渡井純,加藤徹,野口宏典,南光一樹,2015:「日本版改良藤田スケールの開発 - 樹木の DI と DOD の提案 - 」. 日本風工学会論文集,40(2),127-128.
- 竹内郁雄,川崎達郎,森茂太,1997:ヒノキ若齢人工林における形状比の変化. 日本林学会誌,79,137-142.
- 竹下敬司,1985:パラボラ樹冠形モデルによるスギ林の構造解析. 九州大学演習林報告,55,55-104.
- 徳田迪夫,田中勝也,鈴木直之,1988:三重県産スギ・ヒノキの曲げ性能. 三重大學農學部演習林報告,16,81-95.
- 鳥田宏行,2009:カラマツの風害に関する力学的評価. 日林誌,(91),120-124.
- 鳥田宏行,渋谷正人,小泉章夫,2010:カラマツ林の力学的解析による風害予測. 日本森林学会誌,92,127-133.

【DI 番号】 27

【名称】

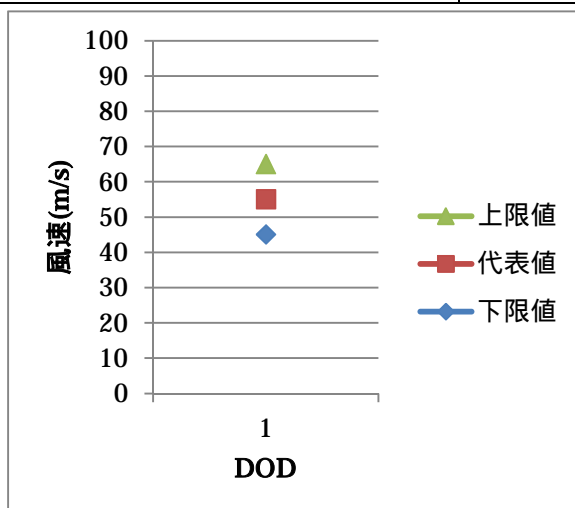
墓石（棹石）

【対象】

標準的なサイズ（幅、奥行きの大いほうが 20～40cm 程度）の和式墓の棹石

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	棹石の転倒及びずれ	55	45	65



【DOD の例】



DOD=1 棹石転倒及びずれ

（写真は矢印の方向に棹石が転倒している例）

写真撮影：国立研究開発法人建築研究所

【運用上の解説】

- (1) 棹石が上台に乗っているのみ（漆喰などで固定されていない）の状態を対象とする。
- (2) 飛散物の衝突による被害は評価の対象外とする。
- (3) 洋式墓石、及び扁平形状の墓石は評価の対象外とする。
- (4) 棹石の幅、奥行きの大いほうが 20cm 程度、30cm 程度、40cm 程度の場合、それぞれ下限値、代表値、上限値を採用する。

【風速算定方法の概要】

- ・ 和式墓石の標準的な大きさ（幅×奥行き×高さ = 25cm×25cm×68cm）を統計的に求めて風速を算定した(岩下ほか 1996;野畑・翠川 2000;北海道地下資源調査所 1994;松田 1968;垣石 1968)。
- ・ 風は一様な流れが墓石に対して水平にあたっているととして(Vickery1968;喜々津ほか 2002)、棹石の転倒又はずれが生じる最小風速を算定する。
- ・ 転倒風速は、棹石が風下側に倒れるとし、回転中心のモーメントの釣り合いから算定する(日本建築学会 1978)。右図において、棹石高さを H 、幅を B 、奥行きを D 、重量を w とすると、棹石にかかる風荷重 \hat{W} は式(1)から算定される。

$$\hat{W} = \frac{1}{2} \rho \hat{U}^2 H B C_f \quad (1)$$

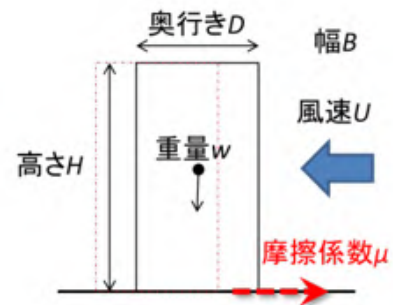
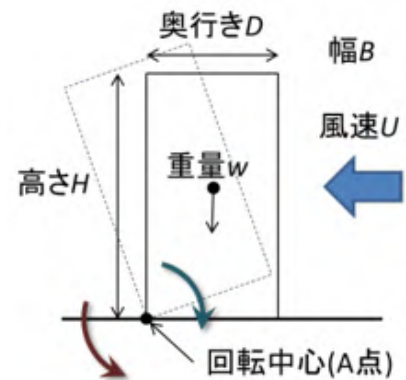
回転中心(A点)において転倒が開始する風速(U_{cr})は、風荷重によるモーメントが棹石の重量によるモーメントをA点において上回った時である。

$$\frac{1}{2} H \left(\frac{1}{2} \rho U_{cr}^2 H B C_f \right) > \frac{D}{2} w \quad (2)$$

- ・ ずれ発生風速は、棹石と上台の摩擦力と風による棹石を水平にずらそうとする力の釣り合いから算定する(日本建築学会 1978)。右図において、式(3)の関係を満たす風速(U_{cr})に達した時にずれが生じる。

$$\frac{1}{2} \rho U_{cr}^2 H B C_f > \mu w \quad (3)$$

- ・ なお、式(1)(2)(3)において、棹石に掛かる風力係数は $C_f=1.2$ (喜々津ほか 2002;野村ほか 2008)、空気密度は $=1.2\text{kg/m}^3$ 、棹石と上台の間の静摩擦係数は $\mu=0.3$ である。また、 w を求めるにあたっては棹石の密度を国産石のそれである 2.6g/cm^3 とした。



【参考文献】

北海道地下資源調査所,1994:1993 年釧路沖地震による地盤現象と災害. 16-23.
 岩下友也ほか,1996:兵庫県南部地震における墓石の転倒調査による断層近傍の地震特性. 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集,17-22.

- 垣石幸正,1968:1968 年十勝沖地震による東北・北海道地方の墓石の移動. 地震研究所彙報,46,1415-1424.
- 喜々津仁密,奥田泰雄,伊藤弘,2002:群馬県境町で発生した突風による建築物等の被害について. <http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/activities/other/disaster/kaze/2002gunma/index.pdf> (2015.12.4 閲覧).
- 松田時彦,1968:1968 年十勝沖地震による青森県東南部での墓石の被害. 地震研究所彙報,46,1425-1450.
- 日本建築学会,1978:1975 年台風 13 号による八丈島の建物被害の記録.
- 野畑有秀,翠川三郎,2000:被害資料から推定した 1948 年福井地震での地震動の強さ. 日本建築学会構造系論文集,(532),57-64.
- 野村卓史ほか,2008:墓石の転倒による風速評価に関する検討. 理論応用力学会講演論文集,57,116-117.
- Vickery,B.J.,1968:Load fluctuations in turbulent flow. J.Eng.Mech.Div., Proc. of ASCE,EM1,31-46.

【DI 番号】 28

【名称】

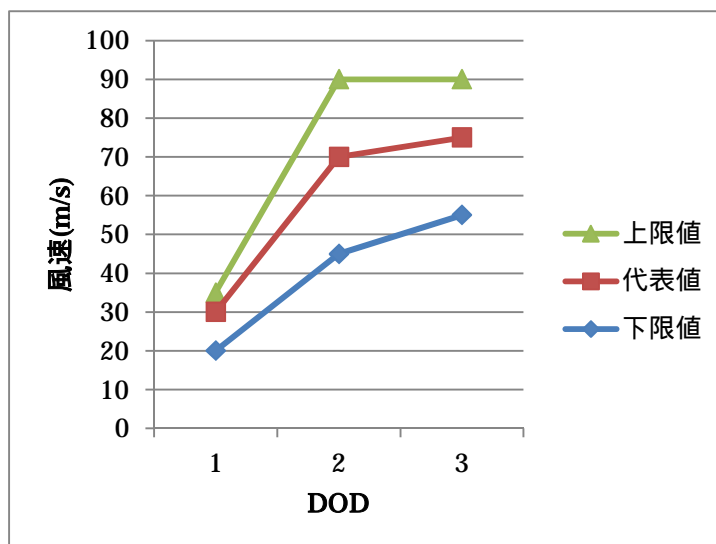
路盤

【対象】

アスファルト舗装された道路

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	路盤又は基層に付着していないアスファルトの飛散	30	20	35
2	アスファルト (地形有 : 盛土天端部分) のはく離・飛散	70	45	90
3	アスファルト (平坦・緩やかな盛土部分を含む) のはく離・飛散	75	55	90



【DODの被害例】



DOD=1 路盤又は基層に付着していないアスファルトの飛散
写真提供：徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部



DOD=2 アスファルト（地形有：盛土天端部分）のはく離・飛散
（道路法面が30度以上なので「地形有」とする）
写真提供：徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部

【運用上の解説】

- (1) アスファルト舗装がはく離・飛散するのは、竜巻独特の現象である。被災した箇所周囲のアスファルトに亀裂が認められ、路盤又は基層と付着していない場合にはDOD=1を適用する。
- (2) アスファルトが路盤又は基層に付着している場合で、道路の法面の傾斜が30度以上の場合には、DOD=2「地形有」と判断し、道路の法面の傾斜が30度以下の場合にはDOD=3「平坦」と判断する。

【風速算定方法の概要】

- ・ 以下2種類の状態を対象とする。
 1. 砕石やスラグを敷き詰めた路盤の上に、厚さ5cmのアスファルト混合物による表層で舗装された道路。
 2. 路盤の上に、厚さ5cmの基盤、さらにその上に厚さ5cmのアスファルト混合物による表層で舗装された道路。
- ・ DOD=1はアスファルトの自重のみを考慮した飛散開始風速、DOD=2及び3はアスファルトの基層への付着強度を考慮した飛散開始風速である。
- ・ DOD=2は路肩の地形による風速増加を考慮した飛散開始風速であり、DOD=3は路肩の地形による風速増加が軽微として求めた飛散開始風速である。
- ・ 飛散開始風速の求め方の詳細は、野田・長尾(2015)による。

【参考文献】

野田稔・長尾文明,2015:「日本版改良藤田スケールの開発～地形効果を考慮した竜巻によるアスファルトの剥離・飛散被害の発生風速について～」. 日本風工学会誌,40(2), 129-130.

【DI 番号】 29

【名称】

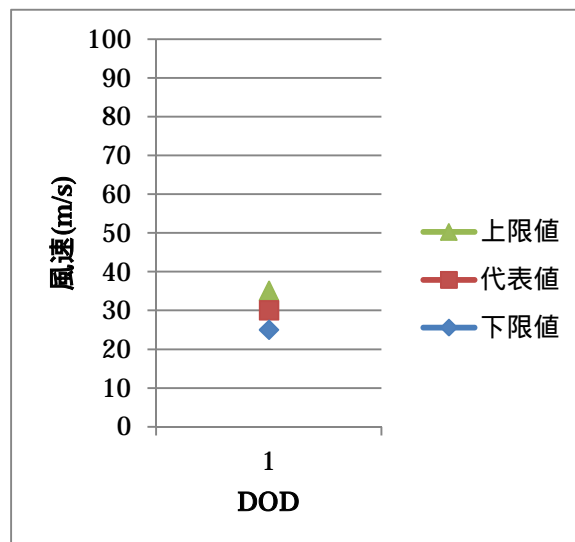
仮設足場（壁つなぎ材）

【対象】

ネットもしくはシートで覆われた仮設足場

【DOD と風速】

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	壁つなぎ材の破断	30	25	35



【DOD の被害例】



DOD=1 壁つなぎ材の破断

(1 構面 (I 型) に設置されシートに覆われた足場のため下限値を採用する事例)

写真提供：独立行政法人労働安全衛生総合研究所建設安全グループ

【運用上の解説】

- (1) 風速値は建物の 1 構面 (I 型)、2 構面 (L 型)、3 構面 (U 型) を足場が覆う場合を網羅している。
- (2) 足場を覆う素材は空隙の有るものをネット、無いものをシートとする。
- (3) シートで覆われている I 型の場合は下限値、シート又はネットで覆われている L 型、U 型の場合は代表値、ネットで覆われている I 型は上限値を採用する。

【風速算定方法の概要】

- ・ 風荷重が作用したとき、仮設足場と建築物を接続する壁つなぎ材の破断から被害が発生するとし、その強度から風速値を算出する。
- ・ 仮設足場の風荷重は以下の式から算出される (Wang *et al.*2013)。

$$\hat{W} = \hat{q}_H \cdot A \cdot C_f \cdot IF \cdot \phi$$

ここで、 \hat{W} は足場にかかる風荷重、 \hat{q}_H は建物代表高さにおける速度圧、 A は 1 本の壁つなぎ材の負担面積、 C_f は風力係数 (風力係数のベクトルは建物から離れる方向を負としている) で、既往の研究の値を用いる。 IF は相互作用係数で、隣棟が風荷重に与える影響を加味するものである。既往の研究によれば、周辺建物の配置状況によって値が 0.9 ~ 1.4 の範囲で変化する (Wang *et al.*2014) が、ここでは 1.0 に固定して考える。またネットの充実率から風力係数の低減率 ϕ (上田ほか 1999) を求める。

- ・ 壁つなぎ材の強度は、仮設工業会 (2004) によれば、風荷重に対する耐力が 5.7kN 以上であることが義務付けられており、この値を用いる。
- ・ 仮設足場の風荷重が壁つなぎ材の強度に等しくなる風速を、DOD に対応する風速として求めた。

【参考文献】

- (社)仮設工業会,2004:改訂 風荷重に対する足場の安全技術指針.
- 大幢勝利ほか,2005:仮設構造物の耐風性に関するアセスメント手法の開発. 産業安全研究所 特別研究報告,(31),1-78.
- 上田宏,丸田栄蔵,本郷剛,1999:網状構造物の抗力係数に関する研究 2次元網状板の抗力係数 . 日本建築学会構造系論文集,(524),51-56.
- Wang,F.,Y.Tamura, and A.Yoshida,2013:Wind loads on clad scaffolding with different geometries and building opening ratios. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*,(120),37-50.
- Wang,F,Y.Tamura, and A.Yoshida,2014:Interference effects of a neighboring building on wind loads on scaffolding. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*,(125),1-12.

【DI 番号】 30

【名称】

ガントリークレーン

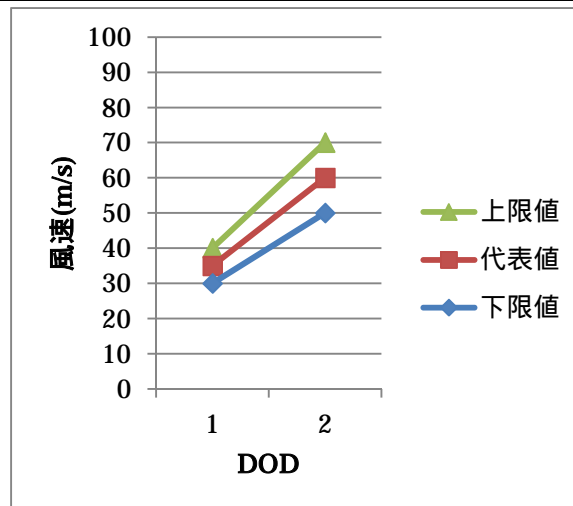
【対象】

休止時又は作業時のガントリークレーン

【DOD と風速】

停止時

番号	DOD	風速 (m/s)		
		代表値	下限値	上限値
1	作業時に停止している状態での逸走、倒壊	35	30	40
2	休止時に所定の停止処置をしている状態での逸走、倒壊	60	50	70



【DODの被害例】



DOD=1 作業時に停止している状態での逸走、倒壊
写真提供：東京工芸大学風工学研究センター

【運用上の解説】

- (1) 作業時かつ走行中であった場合は評価の対象外とする。
- (2) 作業時に停止している状態とは、クランプ処置が施された状態を言う。この場合には DOD=1 を適用する。
- (3) 休止時に所定の停止処置をしている状態とは、所定の位置でアンカーに係留した状態を言う。この場合には DOD=2 を適用する。

【風速算定方法の概要】

- ・ DOD=1: JIS 規格(日本工業規格 2013)にレールクランプ装置が 35m/s 以下の風速で機能するよう記述されている。
- ・ DOD=2: JIS 規格(日本工業規格 2013)にアンカーが 60m/s 以下の風速で機能するよう記述されている

【参考文献】

国土交通省港湾局,2012:コンテナクレーンの逸走防止のためのモデル運用規程および同参考資料.

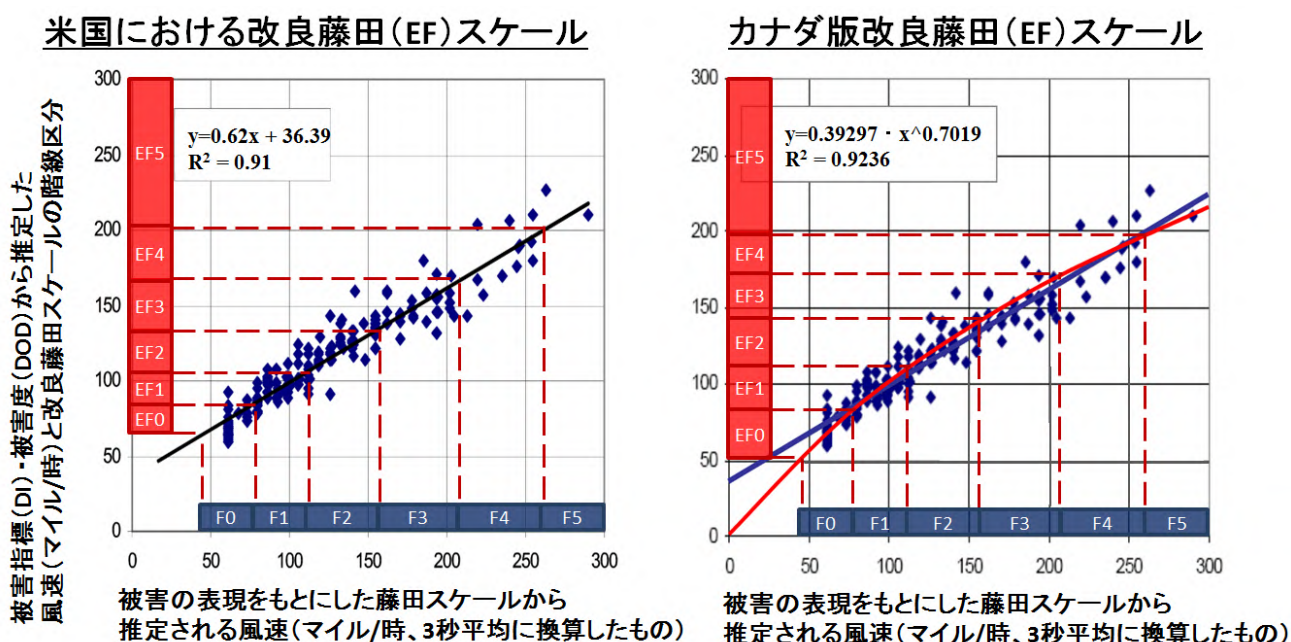
日本工業規格,2013:クレーン-逸走防止装置-. JIS B8828:2013.

付録C 日本版改良藤田スケールの階級と風速の対応の決定方法

米国では、EF スケールと F スケールの統計的な継続性を確保するため、
 複数の被害事例について、F スケールにより推定される風速と EF スケールにより
 推定される風速の相関を調査し、
 EF スケールの各階級での被害の程度が可能な限り F スケールと対応するよう、両
 者の相関をもとに EF スケールの階級を区分する風速値を決定

している。ここで、 の相関調査については、一次関数による回帰分析を採用している。(図
 C - 1 左図)

一方、カナダでは、米国の EF スケールの DI に 6 種類の DI を追加し(Sills 2013a)、米
 国と同様に上記 の作業を経てカナダ版 EF スケールを策定している。ここで、 の相
 関調査については、べき乗関数による回帰分析を採用している。(図 C - 1 右図)



図C - 1 F スケール及び EF スケールの DI・DOD から推定される風速の相関
 米国の EF スケール (左) とカナダ版 EF スケール (右)

JEF スケールについても同じ考え方で、以下の方法により階級と風速の対応を決定した。

(1) 相関調査のための被害事例の選別

- ・ 以下に示す突風事例における主な被害事例を相関調査の対象とした。
 - 2007 年から 2013 年に建物等に被害があった突風事例のうち、被害の数が多い (30 件以上) もの
 - 上記以外の F3 相当の事例である北海道佐呂間町(2006 年)、千葉県茂原市(1990 年)、愛知県豊橋市(1999 年)で発生した竜巻
- ・ これらの被害事例(計 207)について、F スケール及び JEF スケールにより推定される風速の相関を調査した。

(2) F スケールによる風速推定

- ・ F スケールによる評定作業に習熟した気象庁職員 5 名が、藤田スケール (F0 ~ F5) の各階級を更に 3 つ (弱・中・強) に区分した右表に基づき、各被害事例に対応する風速を求めた。
- ・ 各評定者が求めた風速の平均値を、F スケールから推定される風速とした。

藤田 スケール	風速 (m/s) (3 秒平均)	
	F0	弱
中		27
強		32
F1	弱	38
	中	44
	強	49
F2	弱	55
	中	62
	強	69
F3	弱	75
	中	83
	強	90
F4	弱	98
	中	106
	強	113
F5	弱	121
	中	130
	強	138

右表 F スケールと対応する風速

風速値の算出方法 : F スケールに対応する風速範囲を、任意の時間間隔の平均風速の比を表した Durst 曲線 (Dregger 2005; WMO 2009; ANSI 1996) を用いて、3 秒平均風速に変換し、各階級に対応する風速範囲の中央値を「中」に割り当てた。「弱」と「強」には、風速値を均等配分した値を割り当てた。

(3) JEF スケールの DI・DOD による風速推定

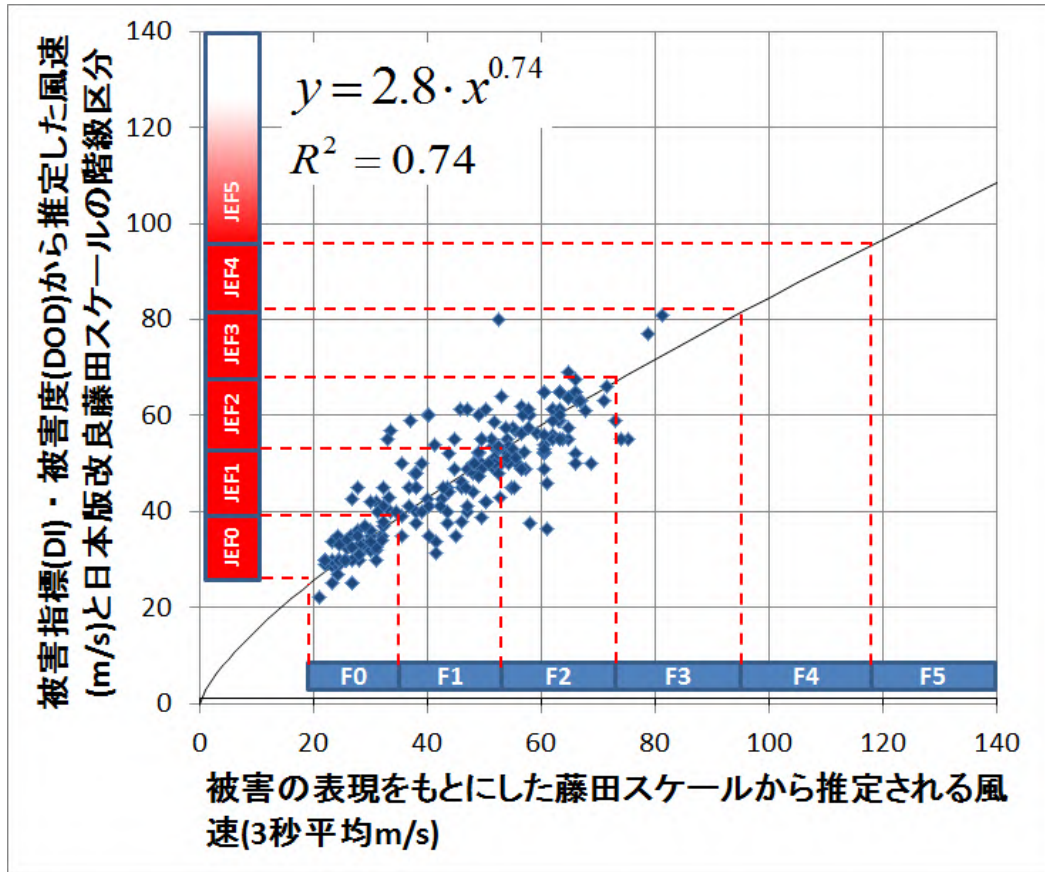
- ・ 風工学の専門家 5 名が、付録 B に基づき、各被害事例に相当する DI・DOD を決定し、これに対応する風速を求めた。
- ・ 各評定者が求めた風速の平均値を、DI・DOD から推定される風速とした。

(4) F スケール及び JEF スケールの DI・DOD により推定した風速の相関調査

- ・ (2) 及び (3) で得られた風速値から、図 C - 2 のとおり散布図を作成し、回帰分析により F スケール及び JEF スケールにより推定した風速の相関を求めた (R^2 (寄与率) = 0.74) 。なお、回帰分析の方法は、米国 EF スケールの一次関数で回帰する方法とカナダ版改良藤田スケールのべき乗関数で回帰する方法 (Sills 2013b) を検討した結果、相関がより良かったカナダ版の方法を採用した。

(5) JEF スケールの階級と風速の対応の決定

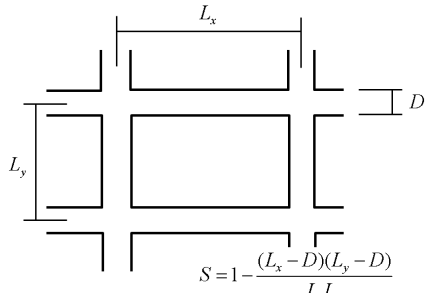
- ・ 得られた回帰曲線と F スケールの各階級の風速範囲から、図 C - 2 のとおり JEF スケールの階級と風速の対応を決定した (本編表 3 参照) 。



図C - 2 Fスケール及び JEF スケールの DI・DOD から推定される風速の相関

用語集

用語	説明
0.2%耐力	アルミのように降伏点が明確にならない材質の場合、除荷時の永久ひずみが0.2%になる応力を降伏応力として扱う。
ALC	オートクレーブ養生軽量気泡コンクリート。autoclaved light-weight concrete の略。石灰質原料とケイ酸質原料を主原料とし、発泡剤を加えて発泡させるか、あらかじめ作った気泡を混入して多孔質化させた後、オートクレーブ養生して得られる軽量の気泡コンクリート。必要に応じてポルトランドセメントを混合する。(出典：日本建築学会編「建築学用語辞典第2版」)
ECP	押出成形セメント板。Extruded cement panel の略。セメント、ケイ酸質原料及び繊維質原料を主原料として、中空を有する板状に押出成形しオートクレーブ養生したパネル。(出典：JIS A5441:2003)
I型仮設足場	建物の1面を覆う仮設足場。
U型仮設足場	建物の3面を覆う仮設足場。
L型仮設足場	建物の2面を覆う仮設足場。
アンカー(ガントリークレーン)	走行路の端の基礎部分に設置されている係留金具。アンカー位置にクレーンを移動させることで係留が可能となる。クランプ処置よりも強い風に耐えられる。
逸走	ガントリークレーンが予期せずレールを移動すること。
壁つなぎ材	仮設足場と建物を接続して固定する金具。
ガントリークレーン	レール上を移動可能な構造を持つ門型(橋脚型)の大型クレーン。
局部座屈	梁や柱の固定端部の曲げが終局強度に達し、部材端部の圧縮側が波をうつように面外変形(座屈)すること。生じた変形は元には戻らない。
クランプ	クレーンがレール上を逸走することのないよう、クレーンに取り付けられた安全装置。レール上の任意の場所で利用できるがアンカーほど強い風には耐えられない。
軽量鉄骨造プレハブ住宅	C型鋼など軽量の鋼材を工場ですべて製造し、現場で組み立てる住宅。鋼材は外装材で覆われているため、外観からは木造住宅と区別は難しい。
鋼板製外壁	長尺の鋼板を角波、大波その他これらに類する断面形状にロール成形した製品が張られた外壁をいう。(出典：鋼板製外壁構法標準委員会編「鋼板製外壁構法標準 SSW2001」)
降伏	応力がある一定値に達すると、応力はそのままの値でひずみだけが增加する現象。軟鋼のような金属材料の引張試験で観察される。(出典：日本建築学会編「建築学用語辞典第2版」)

抗力係数	物体に作用する風力で、風方向の力を抗力と呼ぶ。この抗力を速度圧と物体の見付け面積で無次元化したものが抗力係数である。抗力係数は物体の形状や流れのレイノルズ数によって変わることが知られている。
小屋組	屋根を支える骨組の総称。
サイディング	本来は下見板や羽目板など外壁に張る仕上げ板材の総称。一般には、製品化されたセメントや金属製の乾式外壁板をさす。(出典：日本建築学会編「建築学用語辞典第2版」)
棹石	和式の墓石で一番上に設置された縦長の石のことで、墓標となる文字(家の名前など)を彫り込んだ石。
上台	棹石の土台。
充実率	<p>ネットを構成する材質のネットに対する面積の比率。100%であればボードということになる。</p> <p>・充実率 S の評価例：一様な間隔でメッシュが構成されている場合。</p>  <p style="text-align: center;">$S = 1 - \frac{(L_x - D)(L_y - D)}{L_x L_y}$</p>
上部構造	建築構造物において、地上に出ている部分の総称。
折板(せっぱん)	平らな板を折り曲げたもの、あるいはそのような形状に作られた建築部の部分。(出典：日本建築学会編「建築学用語辞典第2版」)
全壁	カーポート柱部全体に渡って覆う壁。
全塑性断面係数	部材全体に塑性化が進んだときの部材の曲がりやすさ(剛性)を決めている係数。形状に依存する。
層崩壊	水平力(この場合は風力、一般的には地震力を想定)により、その層(階)全体が崩壊するような破壊パターンをいう。
速度圧	流体の動力的な圧力。
タイトフレーム	折板と屋根の梁との間に設けて、折板を固定支持するための鋼製部品。
垂壁(たれかべ)	カーポート柱上部のみを覆う壁。
低層	建物の高さが低いこと。一般には1~3階程度をいう。
独立上家	壁がなく、屋根のみ柱で支持されている工作物のこと。駅プラットフォームの屋根などが該当する。
軒天井	軒裏に張った天井。(出典：日本建築学会編「建築学用語辞典第2版」)
野地板	屋根葺きの下地として屋根面に張る板のこと。

パイプハウス	園芸用施設の一つで、小径の鋼管を用いて半円状に作られた骨組をプラスチックフィルムで被覆したもの。一般には、ビニールハウスとも呼ばれている。
はく離	屋根ふき材や外壁材などの一部分が強風によって剥がれた状況をいう。
引張強さ	材料が破断するときの応力
風力係数	建物方向にかかる圧力を正として、外面 - 内面の差圧を代表高さにおける速度圧で除した無次元量。
プラスチックハウス	園芸用施設の一つで、木質、金属質の構造部材を用いて構成された骨組をプラスチックフィルム又は硬質プラスチック板で被覆したもの。
ベースシア係数	建築物の1階の層せん断力を建築物の重量で除したもの。
木造在来軸組工法	土台、柱、桁、梁、すじかいなどの木構造の骨組によって構成される構工法である。木構造の住宅のうち、わが国で最も一般的である。
屋根ふき材	屋根の外表面に取り付く瓦、折板材、アスファルトシングルなどの総称。
窯業系サイディング	窯業系サイディングは、セメント質材料、繊維質原料、混和材に水を加えて作ったスラリーを板状に成形して養生・乾燥してできる基板を切断等してつくられる、外装に用いるサイディング。(出典：日本窯業外装材協会ウェブサイト)