

令和 2 年度産業保安等技術基準策定研究開発等事業

(送配電設備の事故再発防止・技術基準に係る調査)

報告書

令和 3 年 3 月



みずほ情報総研株式会社

(空白ページ)

＜目次＞

1	事業の目的・内容.....	1
1.1	事業目的.....	1
1.2	事業内容.....	1
1.2.1	送配電設備の事故再発防止に関する調査	1
1.2.2	送配電設備の技術基準の改正にあたり必要な調査.....	1
1.2.3	ワーキンググループに係る対応	2
2	送配電設備の事故再発防止に関する調査.....	3
2.1	概要	3
2.2	改修等工法	3
2.2.1	ヘリコプターによる鉄塔撤去工法	4
2.2.2	バルーンによる送電線撤去工法	5
2.3	動態監視.....	6
2.3.1	送電鉄塔に係る IoT システムを利用した遠隔監視の実証.....	8
2.3.2	傾斜センサーユニット.....	8
3	送配電設備の技術基準の改正にあたり必要な調査	9
3.1	技術基準の関連情報の調査.....	9
3.1.1	国内の他制度における風圧荷重の技術基準.....	9
3.1.2	国外の鉄塔及び電柱に係る風圧荷重の技術基準.....	21
3.2	地域風速の検討.....	28
3.2.1	地域ごとの設計風速の算定	28
3.2.2	設計風速マップについて	38
4	ワーキンググループに係る対応.....	40
4.1	ワーキンググループの概要.....	40
4.2	ワーキンググループに係る対応	41
4.3	支線設置の基準の調査.....	41
4.4	木柱の安全率の調査.....	43

＜表目次＞

表 2-1	鉄塔の改修工法の事例.....	3
表 2-2	風況・風向測定の実例.....	6
表 3-1	設計基準風速算出のための各係数 Z_b 、 Z_G 、 α	11
表 3-2	太陽電池アレイ用支持物の荷重条件と荷重との組み合わせ	12
表 3-3	太陽電池アレイ用支持物の設計用基準風速.....	14
表 3-4	ガスト影響係数.....	21
表 3-5	環境係数算出のための各係数 Z_b 、 Z_G 、 α	21
表 3-6	用途係数 I_w	21

表 3-7	増速率テーブル（勾配 ΦU が 15° の場合）	33
表 3-8	地表面粗度区分について	34
表 3-9	地表面粗度区分と上空風高さ、ベキ指数の関係	35
表 3-10	土地区分と地表面粗度区分の対応関係	37
表 3-11	設計風速マップの算出条件	38
表 3-12	設計風速マップ算出の3地点について	39
表 4-1	ワーキンググループの設置趣旨（2019年（令和元年）11月）	40
表 4-2	ワーキンググループ委員等構成	40
表 4-3	ワーキンググループの開催実績（本事業に関係するもののみ）	41
表 4-4	海外規格における支線の設置基準（電柱）	42
表 4-5	電気設備の技術基準（抄）	43
表 4-6	電気設備の技術基準の解釈（抄）	43
表 4-7	電気設備の技術基準の解釈における木柱の安全率（電気設備の技術基準の解釈 59-2表）	43
表 4-8	国内外の技術基準における木柱の安全率	44

＜図目次＞

図 2-1	バルーンによる送電線撤去工法	6
図 3-1	道路橋耐風設計便覧での基本風速 U_{10}	10
図 3-2	英国における地域風速マップ	23
図 3-3	特殊地形の考慮（英国を含む欧州）	24
図 3-4	インドにおける地域風速マップ	26
図 3-5	特殊地形の考慮（インド）	27
図 3-6	設計風速の算定フロー	30
図 3-7	小地形による増速率（割り増し係数）の算定フロー	31
図 3-8	崖形状モデル（単一斜面モデル）	32
図 3-9	崖形状モデルの増速率図（勾配 ΦU が 15° の場合）	33
図 3-10	地表面粗度区分別のイメージ	35
図 3-11	基本風速に乗じる係数と高さの関係	36

1 事業の目的・内容

1.1 事業目的

令和元年台風15号では、一般送配電事業者の送配電設備に多数の設備被害が及び、千葉県内の広域で2週間以上にわたり停電が続く事態となった。特に、鉄塔の倒壊や多数の電柱の折損・損壊の事故が発生したが、こうした設備被害の事故原因を究明し、今後の送配電設備の被害軽減を図ることが重要である。

本調査では、昨年度の台風15号による鉄塔の倒壊事故や多数の電柱の折損・損壊事故の原因調査や分析の結果を踏まえ、今後の送配電設備の事故再発の防止に関する調査を行うとともに、最近の自然災害の頻発化・激甚化を踏まえ、送配電設備に係る電気設備の設計に関わる技術基準の改正に向けた関連情報（他法令、民間規程・規格、運用における対策事例等）についても調査した。

1.2 事業内容

本事業では、昨年度の電力安全小委員会「令和元年台風15号における鉄塔及び電柱の損壊事故調査検討ワーキンググループ」（以下「ワーキンググループ」という。）による検討を踏まえ、今後の自然災害に備えた事故再発防止対策について調査するとともに技術基準改正に向けた関連情報（他法令、民間規程・規格、運用における対策事例等）について調査した。

本事業の実施に当たり、経済産業省電力安全課（以下「電安課」という。）が提供するデータに加えて、受託者の調査員により検討に必要な文献やデータ等を入手の上、分析・評価等の検討を行った。この際、関係者（関連分野の有識者、現場業務従事者、研究機関、メーカー、電気事業者、規制行政機関等）からのヒアリング調査等を活用して分析・評価を行った。

1.2.1 送配電設備の事故再発防止に関する調査

昨年度の台風15号による送配電設備の事故原因を踏まえ、今後の鉄塔倒壊事故の再発防止に資する新技術の導入事例（センサー設置等）の調査を行った。

1.2.2 送配電設備の技術基準の改正にあたり必要な調査

送配電設備の技術基準（電気設備に関する技術基準を定める省令第32条）に関して、昨年度のワーキンググループを踏まえ、近年の自然災害の頻発化・激甚化を踏まえた送配電設備（鉄塔及び電柱）の技術基準の関連情報（他法令、民間規程・規格、運用における対策事例等）について調査した。

特に地域風速の検討については民間規格の見直し状況を随時把握するとともに、電気規格調査会（以下、「JEC」という（JEC：Japanese Electrotechnical Committee）。）が作成している基本風速マップをもとに、地形による増速効果等を考慮した地域ごとの設計風速の算定を行った。また、海外の地域風速の類似事例についても調査した。

1.2.3 ワーキンググループに係る対応

本事業で調査・分析した内容については、電安課が本事業とは別に開催する学識経験者や研究者の委員 7 名程度から成るワーキンググループ（年間 2 回開催）において検討され、ワーキンググループでの議論に資するよう以下①～③を実施した。

- ① ワーキンググループでは、第 2 章及び第 3 章に示した調査内容に関して、ワーキンググループでの検討に活用できるよう、情報を整理し資料の案を作成した。
- ② ワーキンググループを傍聴し、委員からの意見等を収集し、ワーキンググループの開催当日を期限に速記録、開催翌日を期限に議事要旨を作成した。
- ③ ワーキンググループでの議論の成果をまとめた資料として、議事録の案を作成した。

2 送配電設備の事故再発防止に関する調査

2.1 概要

昨年度の台風 15 号による送配電設備の事故原因を踏まえ、今後の鉄塔倒壊事故の再発防止に資する新技術の導入事例（センサー設置等）の調査を行った。

2.2 改修等工法

改修が必要と判断され、強度を増強する必要がある鉄塔については、建て替えが想定されるが、鉄塔の建て替えは長期間の送電停止、高コストが課題である。

既報¹において、短期間かつ低コストで済む改修工法について、以下のような工法が報告されている。

表 2-1 鉄塔の改修工法の事例¹

No	事例	特徴等
1	隣地に建て替え	・ 既設鉄塔の隣地等に用地を確保し、新たな鉄塔を建設 ・ 既存の系統に影響なく施工が可能 ・ 新設工事と同様であり、新たな基準を踏まえた設計が可能（課題） ・ 新設工事と同様であり、コスト、工期の面で優位な面はない ・ 用地取得が必要 ・ 送電停止が必要
2	同じ位置に建て替え	・ 既設送電鉄塔を包み込むように、新たな鉄塔を建設 ・ 建て替えに係る十分な用地を確保できない場合に適用 ・ 用地取得が不要（課題） ・ 新設工事と同様であり、コスト、工期の面で優位な面はない ・ 用地取得が必要 ・ 送電停止が必要
3	主柱材の部分取り替え	・ 主柱材を部分的に取り替え ・ 1～2 日程度で 1 部分の取り替えが可能 ・ 裕度不足が懸念される部位の交換に効果的
4	主柱材の補強	・ 主柱材に沿って補強材を取り付けることで、主柱材の断面積を増やし、鉄塔全体の耐荷重を向上 ・ 国内電力会社で導入実績あり ・ 鉄塔の裕度を向上されるための補強に活用され、鉄塔の耐荷重が 45%向上した事例あり

¹令和元年度産業保安等技術基準策定研究開発等事業（令和元年台風 15 号による送配電設備の事故原因の調査・分析等に係る調査）報告書（2020 年（令和 2 年）2 月）

No	事例	特徴等
5	主柱材及び腹材の補強（IMB 工法）	・主柱材（アングル材）及び腹材に適用可能な補強工法 ・部材に対して、溶接やボルト取付け等の加工をせずに補強する工法であり、主柱材の断面積を増やすことで、鉄塔全体の耐力を向上 ・通信用鉄塔に導入実績あり ・鉄塔の耐荷重が 40%程度向上した事例あり
6	腹材の補強	・部材を追加し、主柱材や腹材の固定箇所を増やすことにより、主柱材や腹材をより曲がりにくくする効果が期待 ・施工実績が多く、工期・コスト面で優れている ・腹材のほか、ボルト交換も同時に実施し、鉄塔の耐荷重が 30%程度向上した事例あり ・主柱材の座屈に対する補強効果が大きいことが期待される
7	支線による補強	・鉄塔に支線を張り強度を分散させる工法 ・基礎の補強工事での活用事例が多く、コスト面で優れている
8	基礎部の補強	・基礎部の劣化や部材のたわみによる、鉄塔の沈下抑制対策として有効 ・既設の基礎部分を掘り出し増強する方法のほか、基礎部分に杭を打つ方法等が存在
9	地盤改良	・鉄塔基礎付近に軟弱な地盤が存在する場合、地盤改良により、基礎を安定させる工法が有効であり、変位抑制効果が期待される

本事業において新たに把握した改修等の工法の事例について、以下に示す。

2.2.1 ヘリコプターによる鉄塔撤去工法²

鉄塔によっては改修では補強が十分ではなく、撤去を伴う新設を行う場合が想定される。

特に、山間部の鉄塔撤去では、台棒³工法で鉄塔を解体し、人力やヘリコプターで搬出する工法が一般的であった。これに対し、ヘリコプターによる鉄塔撤去工法は、ヘリコプターで撤去する鉄塔を直接吊り上げ、ヘリポートまで運び解体する工法であり、作業の安全性向上やコスト低減が期待される。

ヘリコプターによる鉄塔撤去工法には以下のような特徴がある。

² <http://www.ctechcorp.co.jp/technology/overhead/overhead03/> （2021 年（令和 3 年）2 月閲覧）

³ クレーン状のアーム

- ・ 高所作業頻度の低減により、安全性が向上する
- ・ 工事敷地を縮小、樹木伐採量を低減でき、コスト低減となる

ヘリコプターによる鉄塔撤去工法の流れは以下のとおりである。

- ① ヘリコプターでヘリ側吊具を装着し、鉄塔頂部に飛来する。
- ② ヘリを降下させ、ヘリ側吊具と鉄塔側連結帽を結合する。
- ③ 安全な結合が確認された後、ヘリと鉄塔の間のワイヤに十分な張力がかかったことが確認された後、鉄塔を切り離し、ヘリポートまで輸送する。
- ④ ヘリポートまで輸送し地上に寝かせる。地上に降ろし終えた後、ワイヤを切り離し、必要に応じて、再度ヘリポートにて、ヘリ側吊具を装着し、次の鉄塔解体場へ向かう。

2.2.2 バルーンによる送電線撤去工法⁴

「2.2.1 ヘリコプターによる鉄塔撤去工法」と同様の撤去工法として、バルーンによる送電線の撤去工法がある。

この工法は、例えば、送電線の最終撤去を行いたい、路線の配下に高速道路あるいは大きな河川上空が横断している場合に、高速道路を停止したり規制したりすることなく、あるいは河川を占有することなく、送電線を撤去することを可能としている。

近年では、2020年（令和2年）10月に新潟県関川村高田橋上流で荒川上空を横断していた送電線の河川占用廃止に伴い、同工法を用いて送電線撤去を実施した実績がある。

バルーンによる送電線撤去工法の流れは以下のとおりである（図 2-1 参照）。

- ① 鉄塔間に仮設したケブラーロープ（ガイドロープ）に沿って送電線を1条ずつ巻き取る。
- ② 残ったロープを一方の岸側（図 2-1 では「左岸」）で徐々に巻き取る。
- ③ 巻き取り途中に対岸側（図 2-1 では「右岸」）で軽量ロープを接続する。
- ④ 巻き取りながらバルーンを1個ずつ取り付ける。
- ⑤ バルーンを全て取り付けたら対岸側で軽量ロープの端部を開放する。
- ⑥ 一方の岸側鉄塔で軽量ロープを巻き取り、軽量ロープとバルーンを回収する。

⁴ <http://densetsu.co.jp/publics/index/19/>（2021年（令和3年）2月閲覧）



図 2-1 バルーンによる送電線撤去工法⁵

2.3 動態監視

昨年度の台風15号による送配電設備の事故や事前災害の頻発化・激甚化を踏まえ、鉄塔周辺の風況や風向等の気象情報をより精緻に把握し、鉄塔の動態を監視することが重要と考えられる。

既報¹において、さまざまなインフラを対象に、気象観測所では測定しきれない箇所（山岳地等）の風速を測定し風況シミュレーションの制度を向上されることや、台風通過後の巡視点検の実施可否の判断等を目的として風速計を設置することといった、以下の事例が報告されている。

表 2-2 風況・風向測定の実例¹

No	対象	特徴等
1	鉄塔（山岳地）	- 山岳地において、尾根で増速する強風を測定するため、山梨県笹子峠の山頂にある送電鉄塔に風速計を設置し、風況・風速の測定を、平成3年（1991年）に東京電力とメーカーが共同実施 - 測定したデータについては、風況シミュレーションの精度向上に活用
2	鉄塔（海峡）	台風の観測を目的として、大戸ノ瀬戸の海峡横断鉄塔に風速

⁵ <https://www.hrr.mlit.go.jp/uetsu/contents/newinfo/dayori/2020/201118dayori356.pdf>（2021年（令和3年）2月閲覧）

No	対象	特徴等
		計を設置し、風況・風速の測定を平成 7 年（1995 年）に九州電力とメーカーが共同実施 ・測定したデータについては、風況シミュレーションの精度向上に活用
3	鉄塔（広域）	・平成 3 年（1991 年）台風 17 号、19 号による鉄塔倒壊を踏まえ、特殊地形における局地風推定の精度向上、原因究明データの蓄積等を目的とし、九州全体 122 箇所の送電鉄塔頂部に風向風速計を設置 ・測定したデータについては、台風通過後の巡視点検の実施可否の判断等に活用
4	鉄道	・平成 17 年（2005 年）12 月の JR 東日本羽越本線列車脱線事故を受け、強風対策のため、強風観測エリアを選定 ・選定されたエリアには風速計を設置し、風速監視（瞬間風速を計測）をリアルタイムで実施 ・規制値以上の風速を検知し、運転停止・再開の判断に活用
5	橋梁	・橋梁は台風や地震の影響を受けやすい構造物であることから、日常的な動態観測をリアルタイムで実施 ・具体的には、風向風速計 9 台のほか、加速度計、変位計地震計、GPS 観測機を設置 ・風速 25m/s（10 分間平均）が測定された場合には、通行止めを実施している
6	高層ビル	・東急建設技術研究所において、東京都世田谷にある高さ 124m の高層建物の屋上で風況測定を実施 ・市街地上空における通常時、台風時の風況について研究 ・当該地域の平均風速と最大瞬間風速の比が、約 2.5 であることを算出し、東京上空の風況の傾向を把握
7	風力発電所	・太鼓山風力発電所（京都府与謝郡）にて直角方向及び鉛直方向における乱流強度が IEC の基準を超えていたことから、当該発電所における詳細な風況観測を実施 ・観測にあたり、高さ 60m のトラス式タワーに超音波式風向風速計等を取り付けて計測

本事業において新たに把握した動態監視の事例について、以下に示す。

2.3.1 送電鉄塔に係る IoT システムを利用した遠隔監視の実証^{6,7}

2019 年（令和元年）6 月、日本ユニシスは、東京電力ホールディングス（以下、「東電 HD」という。）が送電用の鉄塔を監視するために、IoT システムの実証を進めていることを発表した。

具体的には、管轄内の送電鉄塔に 3 軸加速度センサーを設置し、鉄塔脚の傾きを計測するもので、センサーで得たデータはクラウド上で収集、蓄積、加工するものである。管理者は、モニタリング画面上で鉄塔の状況をリアルタイムに確認できる。

東電 HD が保有する鉄塔の多くは、人が訪れにくく、点検・保守作業が困難な場所にあることが多いため、それらを遠隔監視することで、点検等の作業効率を高め、設備の異常状態予測やライフサイクルコストの低減などにもつながることが期待されている。

鉄塔に設置する IoT システム自体の保守作業を軽減するために、データをクラウドに送信するゲートウェイを太陽光発電で稼働させ、電源供給を不要としている。

実証のためのシステムとしては、日本ユニシスが 2019 年（令和元年）6 月 4 日から提供を開始した、屋外設備や環境の遠隔監視サービス「MUDEN モニタリングサービス」⁸を使用している。

2.3.2 傾斜センサーユニット⁹

株式会社コーデックは、老朽化した鉄塔や電柱などの傾きを常時監視する傾斜センサーユニット並びに同ユニットを用いた電柱・鉄塔傾斜監視システムを開発、提供している。同社は、従前の傾斜角度と機器の加速度計測に要するコストを、独自のアルゴリズムを搭載することで大幅に低減したことを特長としている。

⁶ https://www.unisys.co.jp/news/nr_190604_iot_muden.pdf （2021 年（令和 3 年）2 月閲覧）

⁷ <https://dcross.impress.co.jp/docs/usecase/001026.html> （2021 年（令和 3 年）2 月閲覧）

⁸ <https://www.unisys.co.jp/solution/tec/iot/bp/muden.html> （2021 年（令和 3 年）2 月閲覧）

⁹ http://www.codec.co.jp/product/product_iot-4.html （2021 年（令和 3 年）2 月閲覧）

3 送配電設備の技術基準の改正にあたり必要な調査

3.1 技術基準の関連情報の調査

3.1.1 国内の他制度における風圧荷重の技術基準

(1) 橋梁における設計風速評価（道路橋示方書）

道路橋示方書は、日本国内の橋や高架の道路などに関する技術基準を示すもので、国土交通省が定めており、共通編、鋼橋・鋼部材編、コンクリート橋・コンクリート部材編、下部構造編及び耐震設計編の5つで構成されている。

道路橋示方書が対象としている橋梁は、支間長が200mまでの橋梁である。道路橋示方書では、鉸桁¹⁰の設計風荷重の基準風速は、耐用年数50年、非超過確率0.6に対応する地上10m、10分間平均風速40m/sを基本風速として、水平長補正係数に1.4をとって、 $40 \times 1.4 = 56\text{m/s}$ を設計の基準風速としている。この基準風速に相当した 300kg/m^2 の風圧荷重を前提として、鉸桁高さに比例して荷重を増加させるように風圧荷重を規定している。

(2) 橋梁における設計風速評価（道路橋耐風設計便覧）

道路橋耐風設計便覧は、支間長が200mを超える橋梁に対して、特に風の振動問題に対応する動的設計の手順を示したものである。

(a) 設計用基準風速

同便覧では、日本各地の気象官署での観測データから、50年の非超過確率が60%になる風速を、行政区分等を勘案して、30、35、40、45m/sの4つの基本風速地域に分類している（図3-1参照）。

¹⁰ 鋼板や型鋼を組み合わせで断面が「I形」なるように組み立てた桁で、プレートガーダーともいう

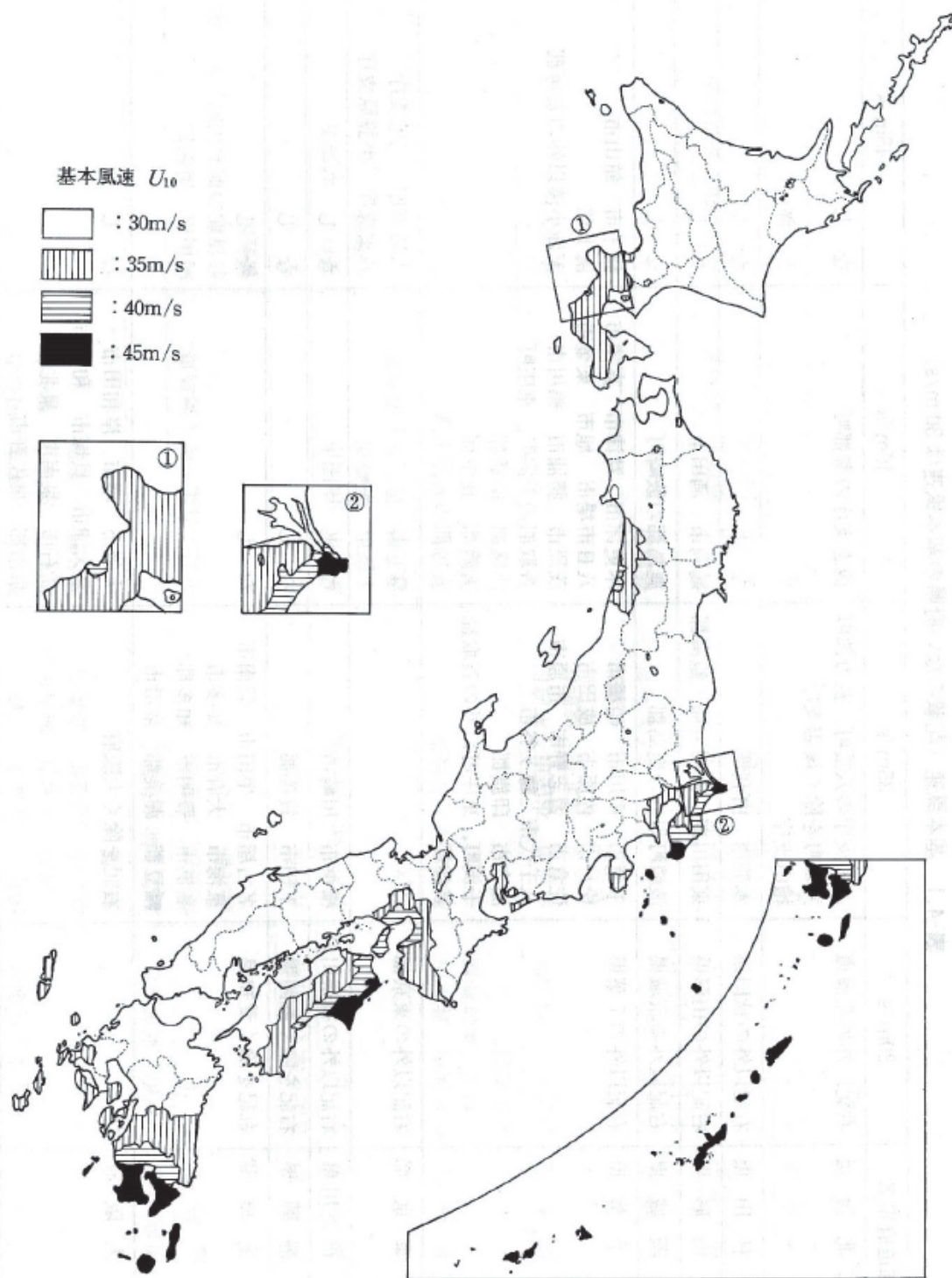


図 3-1 道路橋耐風設計便覧での基本風速 U_{10} ¹¹

さらに、この基本風速をもとに、5つの粗度区分ごとに風速、乱れ強さの鉛直分布モデルを以下のとおり提示し、構造物の高度 $Z[m]$ と地表粗度区分に応じた設計基準風速 $V_0[m/s]$ を規定している。

¹¹ 公益社団法人日本道路協会：道路橋耐風設計便覧 H19 年改訂版

$$V_0 = \begin{cases} U_{10} \times (Z_b/Z_{10})^\alpha & : Z \leq Z_b \\ U_{10} \times (Z/10)^\alpha & : Z_b < Z \leq Z_G \\ U_{10} \times (Z_G/10)^\alpha & : Z_G < Z \end{cases}$$

ここで、 U_{10} ：基本風速[m/s]、 Z_b 、 Z_G 、 α ：地表面粗度区分に応じて規定される表 3-1 に示す数値、である。

表 3-1 設計基準風速算出のための各係数 Z_b 、 Z_G 、 α

地表面粗度区分		Z_b [m]	Z_G [m]	α
0	海上（広大な海面上）	5	400	0.10
I	海岸、海上（上記以外）	5	500	0.12
II	農地、田園、開けた土地、樹木や低層建物が散在している地域	10	600	0.16
III	樹木や低層建物が密集している地域、中高層建築物が散在している地域、なだらかな丘陵地	15	700	0.22
IV	中高層建築物が密集している地域、起伏の大きい丘陵地	30	700	0.29

(b) 特殊地形の考慮

地形に応じて規定される算定式等の規定はないが、架橋地点において風速の計測が実施されている場合には、計測データを用いて基本風速を定めることを許容している。

(c) 風速から風圧荷重へ

設計用風圧荷重 q [N]は、以下の式により算定する。

$$q = 0.5 \times \rho \times V_0^2 \times A \times C_D \times G$$

ここで、 ρ ：空気密度[kg/m³]、 A ：投影面積[m²]、 C_D ：抗力係数、 G ：ガスト応答係数、である。

ガスト応答係数 G は、風速の時間変動（乱れ）を考えた場合の、最大瞬間風荷重と時間平均風荷重との比として定義される。

$$G = \text{最大応答値} / \text{平均抗力による応答値}$$

構造の規模が大きくなり、風の作用が大きくなるような構造物に対しては、個別に、変動風と構造とをモデル化し、変動風における構造の応答解析を実施し、着目する部位の断面力の最大瞬間値の期待値と時間平均値の比から G を求めることになる。

抗力係数 C_D の値は、代表的ないくつかの形状に対して規定されている。

(d) 応力評価の際の安全率について

応力評価は限界状態設計法が適用され、安全率は 1.0 としている。

(3) 太陽電池アレイ用支持物の設計用荷重算出方法 (JIS C 8955)

(a) 規格の概要

日本工業規格 JIS C 8955 (太陽電池アレイ用支持物の設計用荷重算出方法) は、地上または建築物等に設置する太陽電池アレイ¹² (以下、「アレイ」という。) を構築する支持物の許容応力度設計のための荷重の算出方法について規定したものである。

(b) 荷重の想定と組み合わせ

支持物に加わる荷重として以下の 4 種類を想定している。

- 固定荷重 (G)
- 風圧荷重 (W)
- 積雪荷重 (S)
- 地震荷重 (K)

荷重条件と荷重との組合せは、以下による。

表 3-2 太陽電池アレイ用支持物の荷重条件と荷重との組み合わせ

荷重条件		区分	
		一般の地方	多雪区域※
長期	常時	G	G
	積雪時		G+0.7S
短期	積雪時	G+S	G+S
	暴風時	G+W	G+W
			G+0.35S+W
	地震時	G+K	G+0.35S+K

※多雪地域は、別途規定された垂直積雪量が 1m 以上の区域、または、積雪の初終間日数の平年値が 30 日以上区域

¹² 太陽電池パネルを直列あるいは並列に複数枚並べて接続し架台に取り付け、まとまった電力を得られるように設置したもの

(c) 設計用基準風速

設計用基準風速は、建築基準法¹³を準用している。具体的には、アレイの建設地点の地方における過去の台風の記録に基づく風害の程度等の風の性状に応じて、表 3-3 に示す 30m/s～46m/s の範囲内において定めた基準風速を用いている。

¹³ 建設省告示第 1454 号（平成 12 年 5 月 31 日）

表 3-3 太陽電池アレイ用支持物の設計用基準風速¹³

No	適用地域	基準風速 (m/s)
(1)	(2)から(9)までに掲げる地方以外の地方	30
(2)	北海道のうち 札幌市 小樽市 網走市 留萌市 稚内市 江別市 紋別市 名寄市 千歳市 恵庭市 北広島市 石狩市 石狩郡 厚田郡 浜益郡 空知郡のうち南幌町 夕張郡のうち由仁町及び長沼町 上川郡のうち風連町及び下川町 中川郡のうち美深町、音威子府村及び中川町 増毛郡 留萌郡 苫前郡 天塩郡 宗谷郡 枝幸郡 礼文郡 利尻郡 網走郡のうち東藻琴村、女満別町及び美幌町 斜里郡のうち清里町及び小清水町 常呂郡のうち端野町、佐呂間町及び常呂町 紋別郡のうち上湧別町 湧別町、興部町、西興部村及び雄武町 勇払郡のうち追分町及び穂別町 沙流郡のうち平取町 新冠郡 静内郡 三石郡 浦河郡 様似郡 幌泉郡 厚岸郡のうち厚岸町 川上郡 岩手県のうち 久慈市 岩手郡のうち葛巻町 下閉伊郡のうち田野畑村及び普代村 九戸郡のうち野田村及び山形村 二戸郡 秋田県のうち 秋田市 大館市 本荘市 鹿角市 鹿角郡 北秋田郡のうち鷹巣町、比内町、合川町及び上小阿仁村 南秋田郡のうち五城目町、昭和町、八郎潟町、飯田川町、天王町及び井川町 由利郡のうち仁賀保町、金浦町、象潟町、岩城町及び西目町 山形県のうち 鶴岡市 酒田市 西田川郡 飽海郡のうち遊佐町 茨城県のうち 水戸市 下妻市 ひたちなか市 東茨城郡のうち内原町 西茨城郡のうち友部町及び岩間町 新治郡のうち八郷町 真壁郡のうち明野町及び真壁町 結城郡 猿島郡のうち五霞町、猿島町及び境町 埼玉県のうち 川越市 大宮市 所沢市 狭山市 上尾市 与野市 入間市 桶川市 久喜市 富士見市 上福岡市 蓮田市 幸手市 北足立郡のうち伊奈町 入間郡のうち大井町及び三芳町 南埼玉郡 北葛飾郡のうち栗橋町、鷺宮町及び杉戸町 東京都のうち 八王子市 立川市 昭島市 日野市 東村山市 福生市 東大和市 武蔵村山市 羽村市あきる野市 西多摩郡のうち瑞穂町 神奈川県のうち 足柄上郡のうち山北町 津久井郡のうち津久井町、相模湖町及び藤野町 新潟県のうち 両津市 佐渡郡 岩船郡のうち山北町及び粟島浦村 福井県のうち 敦賀市 小浜市 三方郡 遠敷郡 大飯郡 山梨県のうち 富士吉田市 南巨摩郡のうち南部町及び富沢町 南都留郡のうち秋山村、道志村、忍野村、山中湖村及び鳴沢村	32

No	適用地域	基準風速 (m/s)
	岐阜県のうち 多治見市 関市 美濃市 美濃加茂市 各務原市 可児市 揖斐郡のうち藤橋村及び坂内村本巣郡のうち根尾村 山県郡 武儀郡のうち洞戸村及び武芸川町 加茂郡のうち坂祝町及び富加町 静岡県のうち 静岡市 浜松市 清水市 富士宮市 島田市 磐田市 焼津市 掛川市 藤枝市 袋井市湖西市 富士郡 庵原郡 志太郡 榛原郡のうち御前崎町，相良町，榛原町，吉田町及び金谷町 小笠郡 磐田郡のうち浅羽町，福田町，竜洋町及び豊田町 浜名郡 引佐郡のうち細江町及び三ヶ日町 愛知県のうち 豊橋市 瀬戸市 春日井市 豊川市 豊田市 小牧市 犬山市 尾張旭市 日進市 愛知郡丹羽郡 額田郡のうち額田町 宝飯郡 西加茂郡のうち三好町 滋賀県のうち 大津市 草津市 守山市 滋賀郡 栗太郡 伊香郡 高島郡 京都府 大阪府のうち 高槻市 枚方市 八尾市 寝屋川市 大東市 柏原市 東大阪市 四条畷市 交野市 三島郡 南河内郡のうち太子町，河南町及び千早赤阪村 兵庫県のうち 姫路市 相生市 豊岡市 龍野市 赤穂市 西脇市 加西市 篠山市 多可郡 飾磨郡 神崎郡 揖保郡 赤穂郡 宍粟郡 城崎郡 出石郡 美方郡 養父郡 朝来郡 氷上郡 奈良県のうち 奈良市 大和高田市 大和郡山市 天理市 橿原市 桜井市 御所市 生駒市 香芝市 添上郡 山辺郡 生駒郡 磯城郡 宇陀郡のうち大宇陀町，菟田野町，榛原町及び室生村 高市郡 北葛城郡 鳥取県のうち 鳥取市 岩美郡 矢頭郡のうち郡家町，船岡町，八東町及び若桜町 島根県のうち 益田市 美濃郡のうち匹見町 鹿足郡のうち日原町 隠岐郡 岡山県のうち 岡山市 倉敷市 玉野市 笠岡市 備前市 和気郡のうち日生町 邑久郡 児島郡 都窪郡 浅口郡 広島県のうち 広島市 竹原市 三原市 尾道市 福山市 東広島市 安芸郡のうち府中町 佐伯郡のうち湯来町及び吉和村 山県郡のうち筒賀村 賀茂郡のうち河内町 豊田郡のうち本郷町 御調郡のうち向島町 沼隈郡 福岡県のうち 山田市 甘木市 八女市 豊前市 小郡市 嘉穂郡のうち桂川町，稲築町，碓井町及び嘉穂町朝倉郡 浮羽郡 三井郡 八女郡 田川郡のうち添田町，川崎町，大任町及び赤村 京都郡のうち犀川町 築上郡 熊本県のうち	

No	適用地域	基準風速 (m/s)
	山鹿市 菊池市 玉名郡のうち菊水町，三加和町及び南関町 鹿本郡 菊池郡 阿蘇郡のうち一の宮町，阿蘇町，産山村，波野村，蘇陽町，高森町，白水村，久木野村，長陽村及び西原村 大分県のうち 大分市 別府市 中津市 日田市 佐伯市 臼杵市 津久見市 竹田市 豊後高田市 杵築市 宇佐市 西国東郡 東国東郡 速見郡 大分郡のうち野津原町，挾間町及び庄内町 北海部郡 南海部郡 大野郡 直入郡 下毛郡 宇佐郡 宮崎県のうち 西臼杵郡のうち高千穂町及び日之影町 東臼杵郡のうち北川町	
(3)	北海道のうち 函館市 室蘭市 苫小牧市 根室市 登別市 伊達市 松前郡 上磯郡 亀田郡 茅部郡斜里郡のうち斜里町 虻田郡 岩内郡のうち共和町 積丹郡 古平郡 余市郡 有珠郡 白老郡 勇払郡のうち早来町，厚真町及び鶴川町 沙流郡のうち門別町 厚岸郡のうち浜中町野付郡 標津郡 目梨郡 青森県 岩手県のうち 二戸市 九戸郡のうち軽米町，種市町，大野村及び九戸村 秋田県のうち 能代市 男鹿市 北秋田郡のうち田代町 山本郡 南秋田郡のうち岩美町及び大潟村 茨城県のうち 土浦市 石岡市 龍ヶ崎市 水海道市 取手市 岩井市 牛久市 つくば市 東茨城郡のうち茨城町，小川町，美野里町及び大洗町 鹿島郡のうち旭村，鉾田町及び大洋村 行方郡のうち麻生町，北浦町及び玉造町 稲敷郡 新治郡のうち霞ヶ浦町，玉里村，千代田町及び新治村筑波郡 北相馬郡 埼玉県のうち 川口市 浦和市 岩槻市 春日部市 草加市 越谷市 蕨市 戸田市 鳩ヶ谷市 朝霞市志木市 和光市 新座市 八潮市 三郷市 吉川市 北葛飾郡のうち松伏町及び庄和町 千葉県のうち 市川市 船橋市 松戸市 野田市 柏市 流山市 八千代市 我孫子市 鎌ヶ谷市 浦安市印西市 東葛飾郡 印旛郡のうち白井町 東京都のうち 23 区 武蔵野市 三鷹市 府中市 調布市 町田市 小金井市 小平市 国分寺市 国立市西東京市 狛江市 清瀬市 東久留米市 多摩市 稲城市 神奈川県のうち 横浜市 川崎市 平塚市 鎌倉市 藤沢市 小田原市 茅ヶ崎市 相模原市 秦野市 厚木市 大和市 伊勢原市 海老名市 座間市 南足柄市 綾瀬市 高座郡 中郡 足柄上郡のうち中井町，大井町，松田町及び開成町 足柄下郡 愛甲郡 津久井郡のうち城山町 岐阜県のうち 岐阜市 大垣市 羽島市 羽島郡 海津郡 養老郡 不破郡 安八群 揖斐郡のうち揖斐川町，谷汲村，大野町，池田町，春日村及び久瀬村 本巣郡のうち北方町，本巣町，穂積町，巣南町，真正町及び糸貫町 静岡県のうち	34

No	適用地域	基準風速 (m/s)
	沼津市 熱海市 三島市 富士市 御殿場市 裾野市 賀茂郡のうち松崎町、西伊豆町及び賀茂村 田方郡 駿東郡 愛知県のうち 名古屋市 岡崎市 一宮市 半田市 津島市 碧南市 刈谷市 安城市 西尾市 蒲郡市常滑市 江南市 尾西市 稲沢市 東海市 大府市 知多市 知立市 高浜市 岩倉市 豊明市 西春日井郡 葉栗郡 中島郡 海部郡 知多郡 幡豆郡 額田郡のうち幸田町 渥美郡 三重県 滋賀県のうち 彦根市 長浜市 近江八幡市 八日市市 野洲郡 甲賀郡 蒲生郡 神埼郡 愛知郡 犬上郡 坂田郡 東浅井郡 大阪府のうち 大阪市 堺市 岸和田市 豊中市 池田市 吹田市 泉大津市 貝塚市 守口市 茨木市泉佐野市 富田林市 河内長野市 松原市 和泉市 箕面市 羽曳野市 門真市 摂津市高石市 藤井寺市 泉南市 大阪狭山市 阪南市 豊能郡 泉北郡 泉南郡 南河内郡のうち美原町 兵庫県のうち 神戸市 尼崎市 明石市 西宮市 洲本市 芦屋市 伊丹市 加古川市 宝塚市 三木市高砂市 川西市 小野市 三田市 川辺郡 美囊郡 加東郡 加古郡 津名郡 三原郡 奈良県のうち 五條市 吉野郡 宇陀郡のうち曽爾村及び御杖村 和歌山県 島根県のうち 鹿足郡のうち津和野町、柿木村及び六日市町 広島県のうち 呉市 因島市 大竹市 廿日市市 安芸郡のうち海田町、熊野町、坂町、江田島町、音戸町、倉橋町、下蒲刈町及び蒲刈町 佐伯郡のうち大野町、佐伯町、宮島町、能美町、沖美町及び大柿町 賀茂郡のうち黒瀬町 豊田郡のうち安芸津町、安浦町、川尻町、豊浜町、豊町、大崎町、東野町、木江町及び瀬戸田町 山口県 徳島県のうち 三好郡のうち三野町、三好町、池田町及び山城町 香川県 愛媛県 高知県のうち 土佐郡のうち大川村及び本川村 吾川郡のうち池川町 福岡県のうち	

No	適用地域	基準風速 (m/s)
	北九州市 福岡市 大牟田市 久留米市 直方市 飯塚市 田川市 柳川市 筑後市 大川市 行橋市 中間市 筑紫野市 春日市 大野城市 宗像市 太宰府市 前原市 古賀市筑紫郡 糟屋郡 宗像郡 遠賀郡 鞍手郡 嘉穂郡のうち筑穂町，穂波町，庄内町及び顚田町糸島郡 三潞郡 山門郡 三池郡 田川郡のうち香春町，金田町，糸田町，赤池町及び方城町 京都郡のうち荏田町，勝山町及び豊津町 佐賀県 長崎県のうち 長崎市 佐世保市 島原市 諫早市 大村市 平戸市 松浦市 西彼杵郡 東彼杵郡 北高来郡 南高来郡 北松浦郡 南松浦郡のうち若松町，上五島町，新魚目町，有川町及び奈良尾町 壱岐郡 下県郡 上県郡 熊本県のうち 熊本市 八代市 人吉市 荒尾市 水俣市 玉名市 本渡市 牛深市 宇土市 宇土郡 下益城郡 玉名郡のうち岱明町，横島町，天水町，玉東町及び長洲町 上益城郡 八代郡 葦北郡 球磨郡 天草郡 宮崎県のうち 延岡市 日向市 西都市 西諸県郡のうち須木村 児湯郡 東臼杵郡のうち門川町，東郷町，南郷村，西郷村，北郷村，北方町，北浦町，諸塚村及び椎葉村 西臼杵郡のうち五ヶ瀬町	
(4)	北海道のうち 山越郡 桧山郡 爾志郡 久遠郡 奥尻郡 瀬棚郡 島牧郡 寿都郡 岩内郡のうち岩内町磯谷郡 古宇郡 茨城県のうち 鹿嶋市 鹿島郡のうち神栖町及び波崎町 行方郡のうち牛堀町及び潮来町 千葉県のうち 千葉市 佐原市 成田市 佐倉市 習志野市 四街道市 八街市 印旛郡のうち酒々井町，富里町，印旛村，本埜村及び栄町 香取郡 山武郡のうち山武町及び芝山町 神奈川県のうち 横須賀市 逗子市 三浦市 三浦郡 静岡県のうち 伊東市 下田市 賀茂郡のうち東伊豆町，河津町及び南伊豆町 徳島県のうち 徳島市 鳴門市 小松島市 阿南市 勝浦市 名東郡 名西郡 那賀郡のうち那賀川町及び羽ノ浦町 板野郡 阿波郡 麻植郡 美馬郡 三好郡のうち井川町，三加茂町，東祖谷山村及び西祖谷山村 高知県のうち 宿毛市 長岡郡 土佐郡のうち鏡村，土佐山村及び土佐町 吾川郡のうち伊野町，吾川村及び吾北村，高岡郡のうち佐川町，越知町，梶原町，大野見村，東津野村，葉山村，仁淀村及び日高村 幡多郡のうち大正町，大月町，十和村，西土佐村及び三原村 長崎県のうち 福江市 南松浦郡のうち富江町，玉之浦町，三井楽町，岐宿町及び奈留町	36

No	適用地域	基準風速 (m/s)
	宮崎県のうち 宮崎市 都城市 日南市 小林市 串間市 えびの市 宮崎郡 南那珂郡 北諸県郡 西諸県郡のうち高原町及び野尻町 東諸県郡 鹿児島県のうち 川内市 阿久根市 出水市 大口市 国分市 鹿児島郡のうち吉田町 薩摩郡のうち樋脇町、入来町、東郷町、宮之城町、鶴田町、薩摩町及び祁答院町 出水郡 伊佐郡 始良郡 曾於郡	
(5)	千葉県のうち 銚子市 館山市 木更津市 茂原市 東金市 八日市場市 旭市 勝浦市 市原市 鴨川市君津市 富津市 袖ヶ浦市 海上郡 匝瑳郡 山武郡のうち大網白里町、九十九里町、成東町、蓮沼村、松尾町及び横芝町 長生郡 夷隅郡 安房郡 東京都のうち 大島町 利島町 新島村 神津島村 三宅村 御蔵島村 徳島県のうち 那賀郡のうち鷺敷町、相生町、上那賀町、木沢村及び木頭村 海部郡 高知県のうち 高知市 安芸市 南国市 土佐市 須崎市 中村市 土佐清水市 安芸郡のうち馬路村及び芸西村 香美郡 吾川郡のうち春野町 高岡郡のうち中土佐町及び窪川町 幡多郡のうち佐賀町及び大方町 鹿児島県のうち 鹿児島市 鹿屋市 串木野市 垂水市 鹿児島郡のうち桜島町 肝属郡のうち串良町、東串良町、高山町、吾平町、内之浦町及び大根占町 日置郡のうち市来町、東市来町、伊集院町、松元町、郡山町、日吉町及び吹上町	38
(6)	高知県のうち 室戸市 安芸郡のうち東洋町、奈半利町、田野町、安田町及び北川村 鹿児島県のうち 枕崎市 指宿市 加世田市 西之表市 揖宿郡 川辺郡 日置郡のうち金峰町 薩摩郡のうち里村、上甕村、下甕村及び鹿島村 肝属郡のうち根占町、田代町及び佐多町	40
(7)	東京都のうち 八丈町 青ヶ島村 小笠原村 鹿児島県のうち 熊毛郡のうち中種子町及び南種子町	42
(8)	鹿児島県のうち 鹿児島郡のうち三島村 熊毛郡のうち上屋久町及び屋久町	44
(9)	鹿児島県のうち 名瀬市 鹿児島郡のうち十島村 大島郡 沖縄県	46

(d) 特殊地形の考慮

特殊地形については特に考慮されていない。

(e) 風速から風圧荷重への換算式

アレイに作用する風圧荷重 $W[N]$ は、以下の式により算定する。

$$W=C \times q \times A$$

ここで、 C ：アレイ面の風力係数、 A ：アレイ面の受風面積、である。

アレイ面の風力係数 C は風洞実験、あるいは、規定された設置形態の場合は規定の算出式を用いることも可能である。

設計用風圧 $q[Pa]$ は、以下の式により算定する。

$$q=0.6 \times V_0^2 \times E \times I_w \quad [Pa]$$

ここで、 V_0 ：設計用基準風速[m/s]、 E ：環境係数、 I_w ：用途係数、である。

環境係数 E は、以下の式により算出する。

$$E=E_r^2 \times G_t$$

ここで、 E_r ：平均風速の高さ方向の分布を表す係数、 G_t ：ガスト影響係数（表 3-4 参照）、である。

E_r は、アレイ面の平均地上高 $H[m]$ が地表面粗度区分に応じて表 3-5 に示す数値 Z_b 以下の場合には以下の式、

$$E_r=1.7(Z_b/Z_G)^\alpha$$

H が Z_b を超える場合は以下の式

$$E_r=1.7(H/Z_G)^\alpha$$

によって算出する。ここで、 Z_b 、 Z_G 、 α ：地表面粗度区分に応じて規定される表 3-5 に示す数値、である。

表 3-4 ガスト影響係数

地表面粗度区分	(1) $H \leq 10$	(2) $10 < H < 40$	(3) $H \geq 40$
I	2.0	(1)及び(3)に掲げる数値を直線的に補間した数値	1.8
II	2.2		2.0
III	2.5		2.1
IV	3.1		2.3

表 3-5 環境係数算出のための各係数 Z_b 、 Z_G 、 α

地表面粗度区分		$Z_b[m]$	$Z_G[m]$	α
I	都市計画区域外にあって、極めて平坦で障害物がない区域	5	250	0.10
II	都市計画区域外にあって地表面粗度区分 I の区域以外の区域又は都市計画区域内にあって地表面粗度区分 IV の区域以外の区域のうち、海岸線又は湖岸線（対岸までの距離が 1 500 m 以上のものに限る。以下同じ。）までの距離が 500 m 以内の区域	5	350	0.15
III	地表面粗度区分 I、II 又は IV 以外の区域	5	450	0.20
IV	都市計画区域内にあって、都市化が極めて著しいものとして特定行政庁が規則で定める区域	10	550	0.27

用途係数 I_w は、以下による。

表 3-6 用途係数 I_w

太陽光発電システムの用途	用途係数
極めて重要な太陽光発電システム	1.32
通常の太陽光発電システム	1.0

ここで、「極めて重要な太陽光発電システム」とは、規格の中で「地震などの災害が起きた場合にも通常どおり運用が可能な設備などを想定しており，“避難拠点とされる場所に設置する場合”などが考えられる」と定義している。

(f) 応力評価の際の安全率について

応力評価は限界状態設計法が適用され、安全率は 1.0 としている。

3.1.2 国外の鉄塔及び電柱に係る風圧荷重の技術基準

諸外国においては、いくつかの国において、鉄塔については基準風速の設定に地域別の基

準風速や観測値、電柱については地域別の基準風圧を適用している。

本事業では昨年度に引き続き、地域別の基準風圧を適用している国を対象に鉄塔の設計風速の設定方法を調査した。具体的には、欧州の EN 規格に準拠した英国、及び強風の影響がある国であるインドを対象に調査を実施した。

昨年度調査の対象であった米国、オーストラリア、台湾、フィリピンと同様、地域別の風速が規定されており、一律 40m/s を設定している日本の技術基準とは異なる考え方を適用している。また、安全率も 1.0 を適用していることから、限界荷重を用いた設計手法となっており、日本の技術基準の許容応力度法を適用した手法とも異なる手法を用いていることが分かった。

(1) 英国における地域風速と荷重設定方法の概要

(a) 規定されている基準の概要

規格基準名：BS EN 50341-2-9:2018 Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV

発行機関：英国規格協会（BSI：British Standards Institution）

発行年：2018 年

規格基準名：BS EN 1991-1-4: 2010 Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions

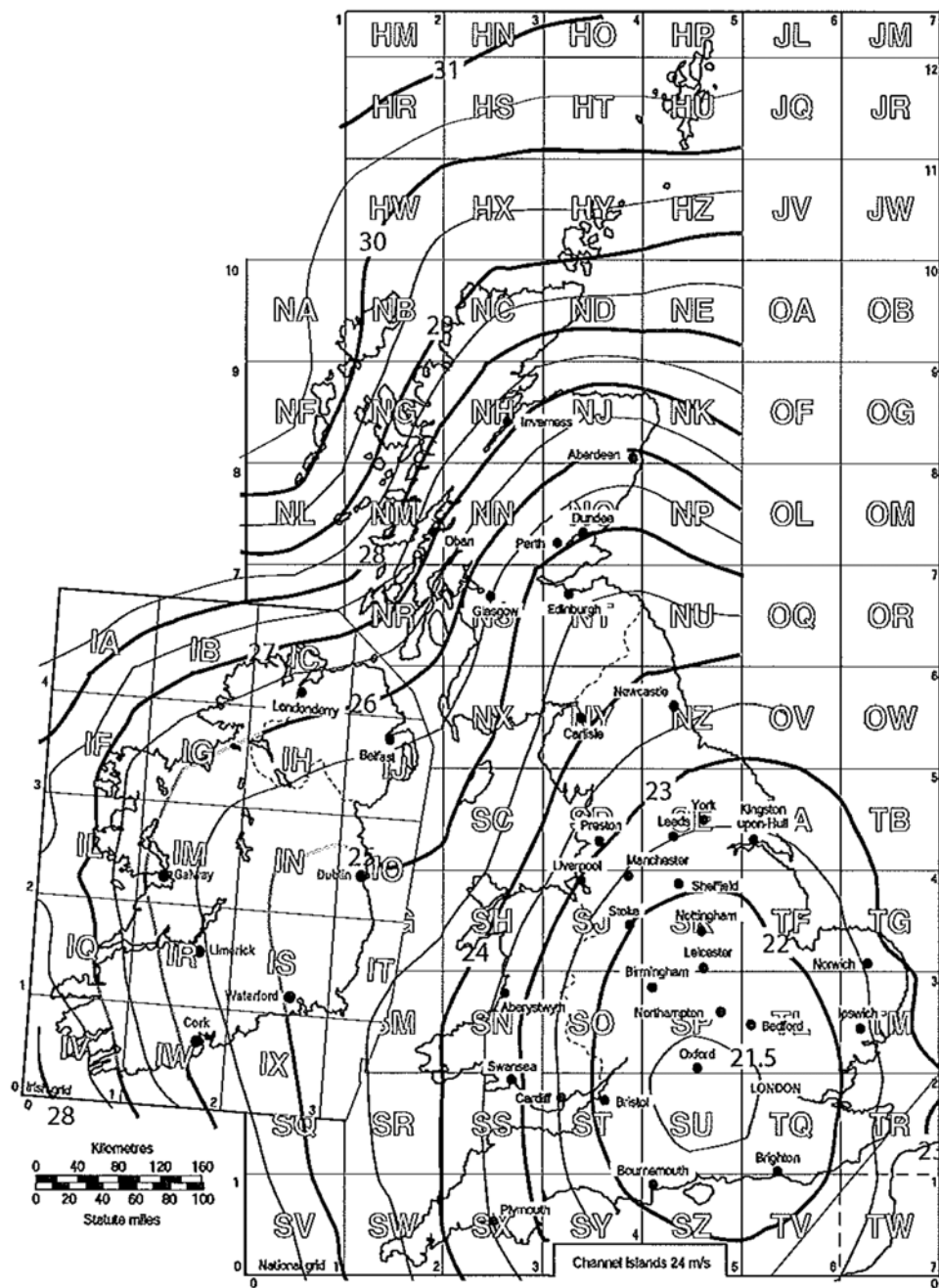
発行機関：英国規格協会（BSI：British Standards Institution）

発行年：2010 年

英国規格協会は、英国の国家規格協会で、BS EN 50341-2-9:2018 及び BS EN 1991-1-4: 2010 は、欧州電気標準化委員会（CENELEC：Comité Européen de Normalisation Electrotechnique）が発行した EN 規格を英国の国家規格として採用、発行したものである。

(b) 地域風速マップ

英国における地域風速マップを図 3-2 に示す。地域風速は、海面高さにおける 10 分平均風速、50 年再現値にて規定されている。おおむね北部が大きな値となっている。



NOTE 1 This map is intended for sites in the United Kingdom, Isle of Man and Channel Islands only.
 NOTE 2 The isopleths in the Irish Republic are shown for purposes of interpolation only. 

図 3-2 英国における地域風速マップ¹⁴

(c) 特殊地形の考慮

丘や崖を上る風の増速について規定している。図 3-3 に示すような、頂上から風上側の丘の中腹までの丘の高さや、ふもとから頂上までの水平距離等をパラメータとした算定式により、地形の補正係数（増速の倍率） C_0 を算出している。

¹⁴ BS EN 50341-2-9:2018 Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV

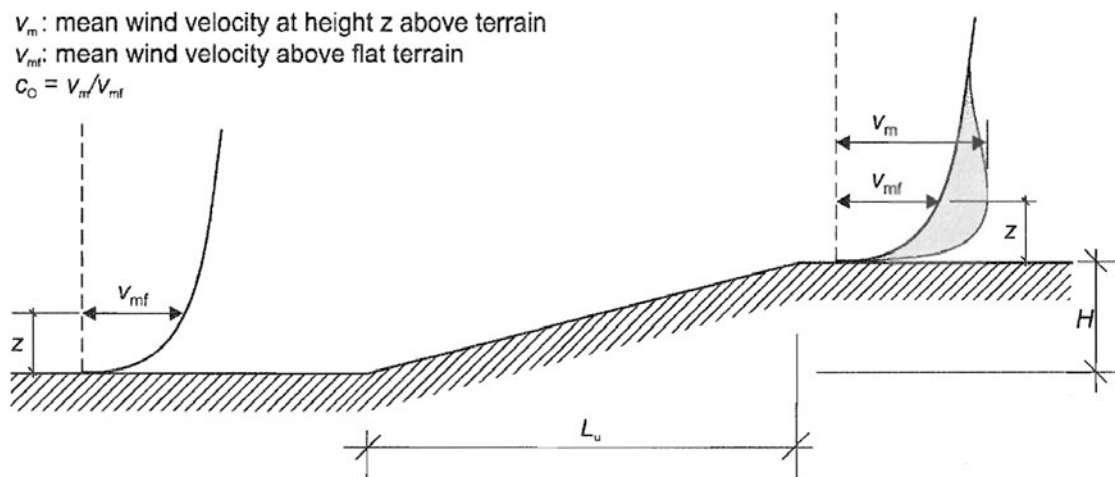


図 3-3 特殊地形の考慮（英国を含む欧州）¹⁵

(d) 風速から風圧荷重への換算式

風圧荷重 $F[N]$ は、以下の式により算定する。

$$F = C_s C_d \times \sum C_f \times q \times A$$

ここで、 $C_s C_d$ ：構造物の風力係数、 C_f ：構造物要素ごと風力係数、 q ：設計用風圧[Pa]、 A ：受風面積、である。

設計用風圧 $q[Pa]$ は、以下の式により算定する。

$$q = 0.5 \times \rho \times V_b^2 \quad [Pa]$$

ここで、 V_b ：設計用基準風速[m/s]、 ρ ：空気密度[kg/m³] (=1.25)、である。

設計用基準風速 V_b [m/s]は、図 3-2 に示した基準風速から季節や特殊地形等の考慮を行い算出する。

(e) 応力評価の際の安全率について

応力評価は限界状態設計法が適用され、安全率は 1.0 としている。

(2) インドにおける地域風速と荷重設定方法の概要

(a) 規定されている基準の概要

規格基準名：IS875 (Part3) :2015 Design Loads (Other than Earthquake) for Buildings

¹⁵ BS EN 1991-1-4: 2010 Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions

and Structures – Code of Practice

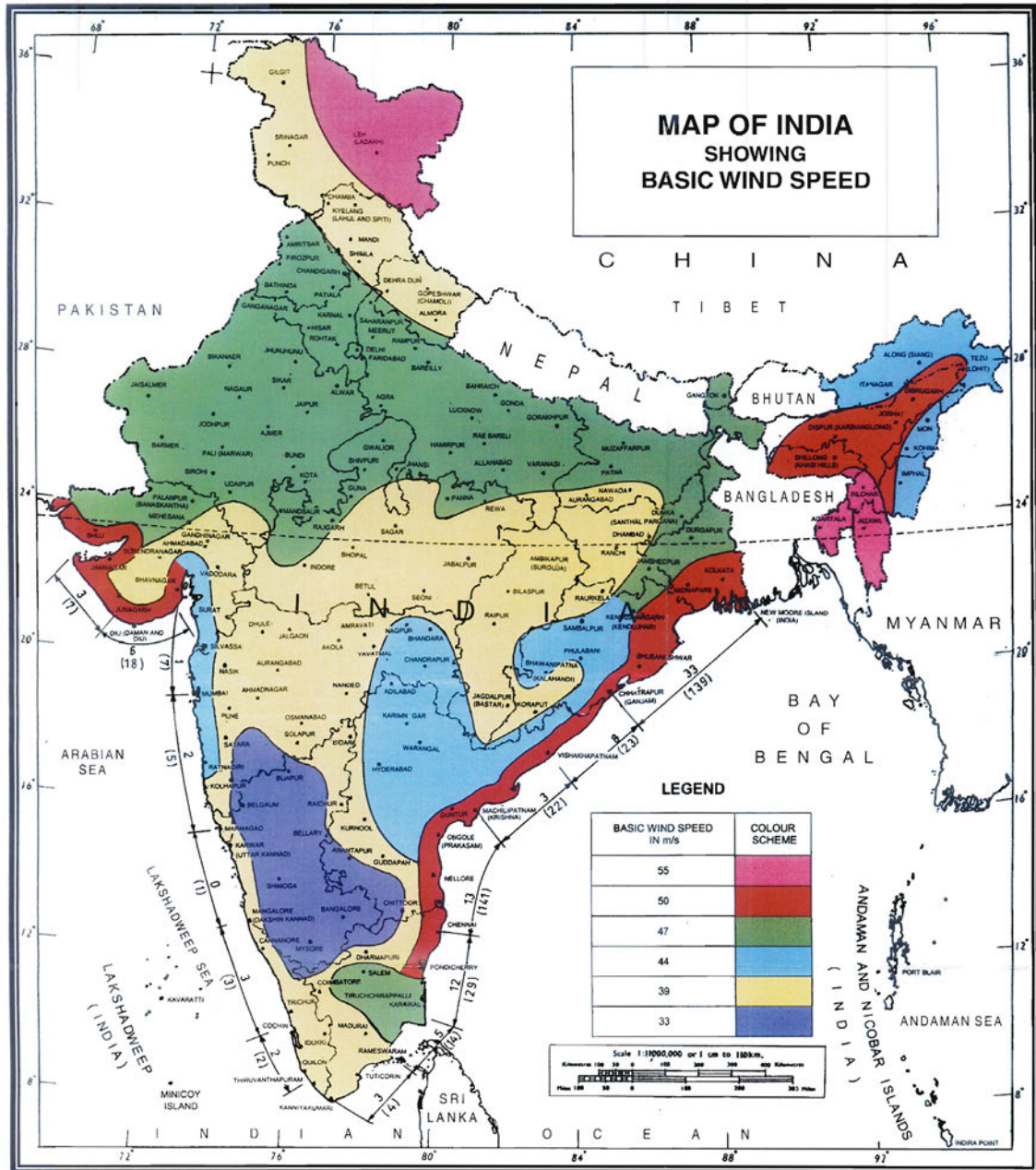
発行機関：インド規格局（BIS : Bureau of Indian Standards）

発行年：2015 年

インド規格局は、インド規格（IS : Indian Standard）の制定と承認及び推進を主な任務としている食品・公共物流省消費生活局の外局として設立された国家機関である。

(b) 地域風速マップ

インドにおける地域風速マップを図 3-4 に示す。地域風速は、高さ 10m における 3 秒瞬間最大風速、50 年再現値にて規定されている。おおむね北部と海岸付近が大きな値となっており、山岳部やサイクロンが襲来すると考えられる地域に最も大きな地域風速の値が規定されている。

図 3-4 インドにおける地域風速マップ¹⁶

(c) 特殊地形の考慮

丘や崖を上る風の増速について規定している。図 3-5 に示すような、頂上からふもとまでの丘の高さや水平距離等をパラメータとした算定式により、地形の補正係数を算定している。

¹⁶ IS875 (Part3) :2015 Design Loads (Other than Earthquake) for Buildings and Structures - Code of Practice

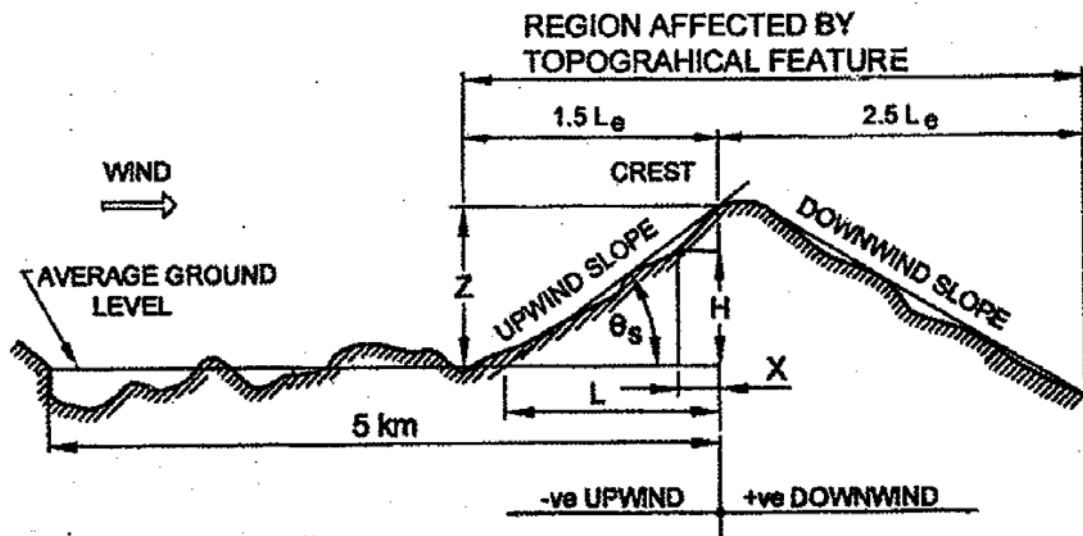


図 3-5 特殊地形の考慮（インド）¹⁶

(d) 風速から風圧荷重への換算式

風圧荷重 $F[N]$ は、以下の式により算定する。

$$F = (C_e - C_i) \times q \times A$$

ここで、 C_e : 外部圧力係数、 C_i : 内部圧力係数、 q : 設計風圧[Pa]、 A : 受風面積、である。

設計用風圧 $q[Pa]$ は、以下の式により算定する。

$$q = 0.6 \times V_b^2 \quad [Pa]$$

ここで、 V_b : 設計用基準風速[m/s]、である。

設計用基準風速 V_b [m/s] は、図 3-4 に示した基準風速から構造物用途や特殊地形等の考慮を行い算出する。

(e) 応力評価の際の安全率

応力評価は限界状態設計法が適用され、安全率は 1.0 としている。

3.2 地域風速の検討

3.2.1 地域ごとの設計風速の算定

(1) 概要

鉄塔設計における風荷重は、全国一律 40m/s の基準風速をもとに算出されていたが、JEC（電気規格調査会：Japanese Electrotechnical Committee）においては過去約 70 年間の台風の観測データ等を基に、最新の科学的な知見等を反映して、基本風速マップを作成している。この基本風速マップで定める基本風速をもとに、地形による増速効果等を含む増速率を掛け合わせるにより、地域ごとの設計風速の算定を行う。

(2) 設計風速の算定方法

基本風速をもとにして、設計風速は以下の式より算定する。

算定したい地点の基本風速に、地表面粗度区分、小地形による割り増し係数等を用いて設計風速を算定する。

$$U_R = k_1 k_2 E U_0 \gamma$$

ここで、各変数は以下の通りである。

U_R ：設計風速

k_1 ：小地形による割り増し係数

k_2 ：気象学的影響による風速の割り増し係数

E ：（鉄塔の基準高さ、地表面粗度区分より決定する）風速の鉛直分布係数

U_0 ：基本風速（m/s）（基本風速マップ）

γ ：再現期間換算係数（再現期間 50 年の場合は 1.0）

なお、気象学的影響による風速の割り増し係数は、気象学的影響により風速が強い地域（四国中央市のやまじ風、北海道日高山脈南西側の日高しも風等）の局所的に風速が大きい地域に適用する係数である。再現期間換算係数は、再現期間を 50 年と異なる場合に適用する換算係数である。

(3) 設計風速の算定フロー

設計風速の算定フローを以下に示す。

算定対象地点の緯度、経度を入力した後、8方位に対して、

- ・ 上り斜面を抽出して小地形による割り増し係数を求め、
- ・ 地表面粗度区分データから対象地点の地表面粗度区分を調べて、その地表面粗度区分に応じた風速の鉛直分布係数を設定して、

設計風速を算定する。

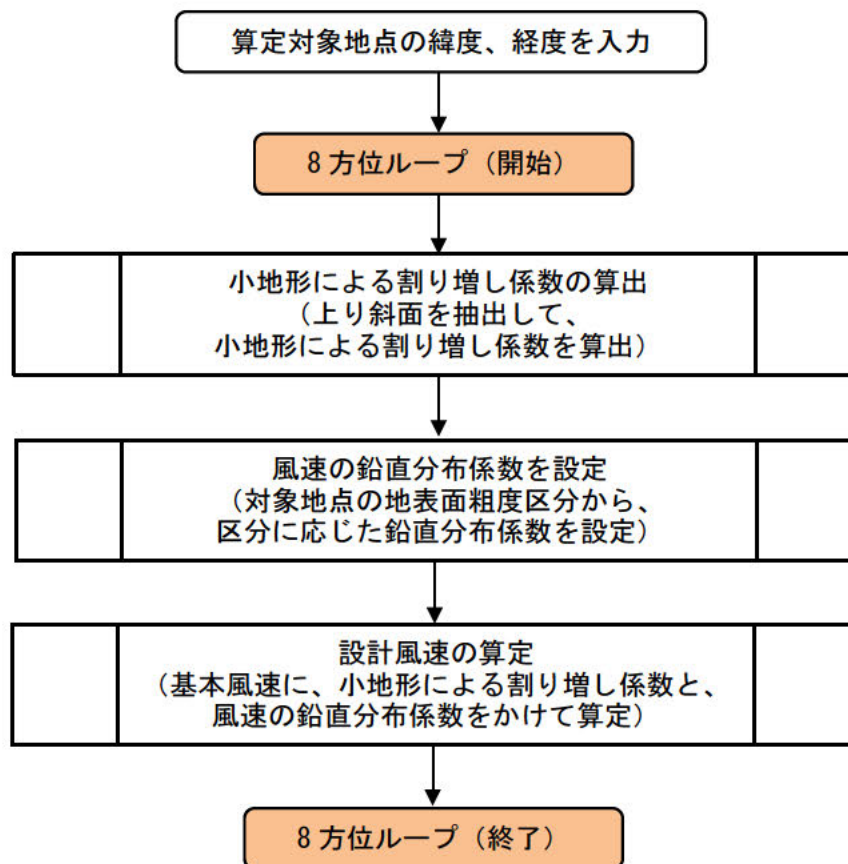


図 3-6 設計風速の算定フロー

(1) 小地形による割り増し係数の算出

小地形による割り増し係数の計算は以下の手順により行う。

8 方位ごとに断面図を作成した後に、上り斜面を抽出して、評価対象地点と斜面の位置関係を考慮して、崖形状モデルの増速率図より、小地形による増速率（割り増し係数）を算出する。

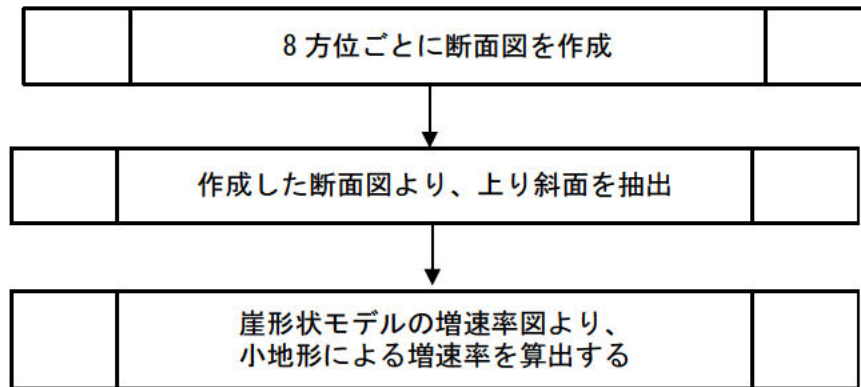


図 3-7 小地形による増速率（割り増し係数）の算定フロー

・断面図の作成と上り斜面の抽出

断面図の作成には、日本各地の標高データとして基盤地図情報数値標高モデル（国土地理院）5m メッシュデータを基本として、欠落している箇所は 10m メッシュデータを利用する。

断面図の始点と終点の設定は

- ・風上側の始点を、対象地点の手前 1km
- ・風下側の終点を、対象地点の後方 0.5km

とする。

作成した断面図から、小規模の高低差を除外しつつ上り斜面を抽出する。

・崖形状モデルと増速率の算出

評価対象地点と斜面の位置関係を考慮して、崖形状モデルの増速率図から増速率を算出する。

崖形状モデルは上り斜面が 1 つの単一斜面モデルを用いる。

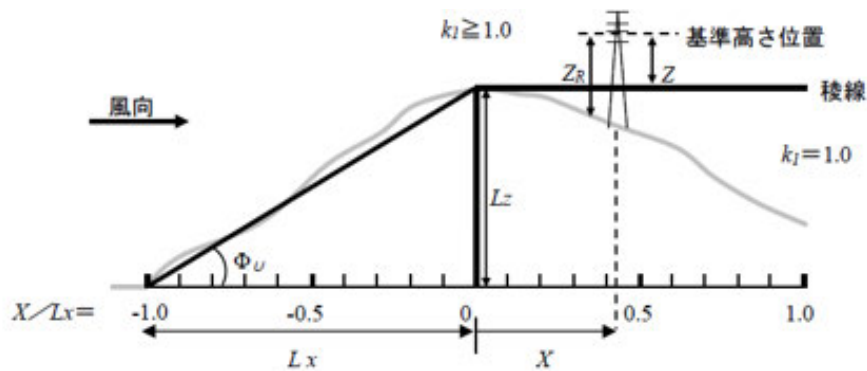


図 3-8 崖形状モデル（単一斜面モデル）¹⁷

ここで、崖形状を表わす変数は以下の通りである。

L_z : 斜面の高さ (m)

L_x : 斜面の水平距離 (m)

X : 斜面頂部から対象地点までの水平距離 (m)

(対象地点が斜面頂部より風上側にある場合はマイナスの値)

Z : $X < 0$ では、鉄塔の基準高さ Z_R (m)

$X > 0$ では、稜線から鉄塔の基準高さ Z_R までの高さ (m)

Φ_U : 斜面の上り勾配 (°)

増速率の算出には、斜面の上り勾配 Φ_U が 15° の増速率図を用いることとする。斜面の上り勾配の異なる増速率図については全体的な傾向は類似しているため、今回の評価では結果に大きな影響はないと想定される。

¹⁷ 電気学会：JEC-TR00007-2015「送電用鉄塔設計標準の解説」

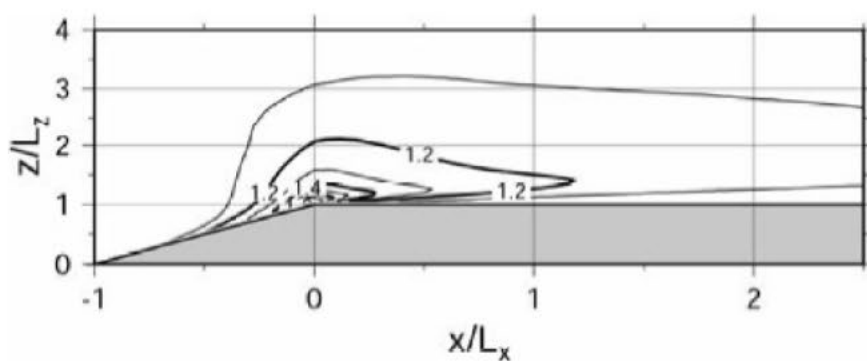


図 3-9 崖形状モデルの増速率図（勾配 Φ_U が 15° の場合）¹⁷

実際の増速率の算出にあたっては、斜面頂部から対象地点までの水平距離 X と稜線から鉄塔の基準高さ Z_R までの高さ Z に関するテーブルを利用する。

表 3-7 増速率テーブル（勾配 Φ_U が 15° の場合）

（斜面前方）

Z	X=-1.0	X=-0.5	X=-0.25	X>=0
4.0 以上	1.00	1.00	1.00	1.00
3.0	1.00	1.03	1.05	1.10
2.0	1.00	1.06	1.10	1.20
1.50	1.00	1.08	1.15	1.30
1.25	1.00	1.09	1.175	1.35
1.00	1.00	1.10	1.20	1.40
0.75	1.00	1.10	1.20	1.00
0.50	1.00	1.10	1.20	1.00

（斜面後方）

Z	X>=0	X=0.5	X=1.0	X=1.5	X=2.0
4.00 以上	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.00	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
2.00	1.20	1.20	1.15	1.10	1.10
1.50	1.30	1.25	1.20	1.15	1.10
1.25	1.35	1.30	1.20	1.10	1.10
1.00	1.40	1.20	1.10	1.00	1.00
0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

(2) 風速の鉛直分布係数の設定

風速の鉛直分布係数 E は、平均風速の鉛直方向の分布を表わすパラメータで、地表面粗度区分ごとに算出される。

$$E = 1.7(Z_R/Z_G)^\alpha$$

ここで、各変数は以下の通りである。

Z_R ：鉄塔の基準高さ (m)

Z_G ：地表面粗度区分より決定される上空風高さ (m)

α ：地表面粗度区分より決定されるべき指数

地表面粗度区分とは、風速を阻害する地表面の状況を示すものである。風速への阻害がなく平坦な海岸等では風速は大きくなり、建物等が多いと都心部や山岳地・丘陵地では風速は小さくなる。

表 3-8 地表面粗度区分について

地表面粗度区分	風上側の地表面の状況
I	・ほとんど障害物のない海上、海岸、河口周辺等の平坦地
II	・農作物程度の障害物のある田園地帯、草原等 ・樹木が散在している丘陵地 ・低層建築物が散在している平坦地
III	・山岳地と樹木が密集する丘陵地 ・低層建築物が密集する平坦地 ・中層建築物（4～9 階以上）が散在している平坦地
IV	・中層建築物（4～9 階以上）が散在している市街地
V	・高層建築物（10 階以上）が密集する市街地



粗度区分Ⅰのイメージ



粗度区分Ⅱのイメージ



粗度区分Ⅲのイメージ



粗度区分Ⅳのイメージ



粗度区分Ⅴのイメージ

図 3-10 地表面粗度区分別のイメージ¹⁷

地表面粗度区分と上空風高さ Z_G 、べき指数の関係 α を以下に示す。

表 3-9 地表面粗度区分と上空風高さ、べき指数の関係

地表面粗度区分	I	II	III	IV	V
上空風高さ Z_G (m)	250	350	450	550	650
べき指数 α	0.10	0.15	0.20	0.27	0.35

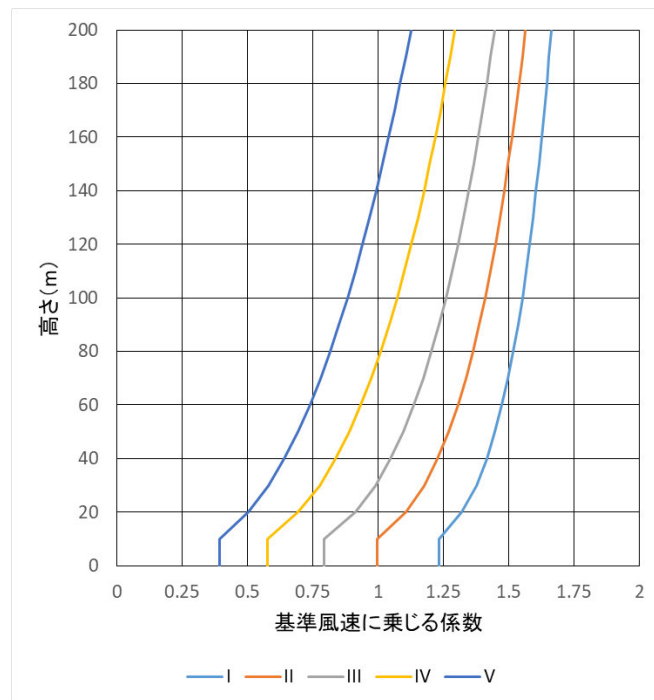


図 3-11 基本風速に乗じる係数と高さの関係

日本全国についての地表面粗度区分については、国土数値情報の土地利用区分(2014 年)から以下の対応関係にしたがって、土地区分を地表面粗度区分に変換する。

表 3-10 土地区分と地表面粗度区分の対応関係

土地区分	分類項目	風上側の地表面粗度区分
0100	田	II
0200	その他農用地	II
0500	森林	III
0600	荒地	II
0700	建物用地	III
0701	高層建物	IV
0702	工場	IV
0703	低層建物	III
0704	低層建物(密集地)	IV
0901	道路	III
0902	鉄道	III
1000	その他用地	II
1001	公共施設等用地	II
1002	空地	II
1003	公園・緑地	II
1100	河川及び湖沼	I
1400	海浜	II
1500	海水域	I
1600	ゴルフ場	II

3.2.2 設計風速マップについて

(1) 設計風速マップの算出条件

設計風速マップの算出条件を以下に示す。

表 3-11 設計風速マップの算出条件

項目	内容
標高データ	基盤地図情報数値標高モデル（国土地理院）5m メッシュデータを基本 （欠落している箇所は 10m メッシュデータを利用）
鉄塔の高さ	60m を仮定（基準高さは 40m）
地形効果	- 地形：単一斜面を仮定 - 範囲：風上 1km までの地形を考慮 - 方位：8 方位 - 断面：各方位 1 方向について、直線上の断面を作成
増速率テーブル	斜面角度が 15° の増速率図をもとに、斜面後方平坦部の領域を含めた、増速率テーブルを作成
地表面粗度区分	- 基準高さの 40 倍の範囲内において、風上側から鉄塔設置地点の方向へみたときに、粗度区分が小さい数値から大きい数値に（滑から粗に）変化する場合は、粗度区分として、風上側の粗度区分が小さい数値を設定 - その他の場合は、基準高さの 40 倍の範囲内の平均的な粗度を設定 この風向については、地表面粗度区分 I と選定される。
抽出する風速	全方位（8 方位）のうち、最大となる風速を抽出

(2) 3 地点の設計風速マップ

日本全国の設計風速マップを作成する前に、下記 3 地点での設計風速マップを作成して、先に説明した算出条件にしたがって、設計風速マップが作成されることを確認した。

表 3-12 設計風速マップ算出の 3 地点について

設計風速マップ算出地点	説明
関西国際空港付近	・平成 30 年の台風 21 号において、最大瞬間風速 58.1m/s を記録した地点の設計風速マップを作成
千葉県君津市かずさ小糸付近	・令和元年の台風 15 号において、送電線鉄塔 2 基が倒壊した地点の設計風速マップを作成
三宅島	・島しょ部における増速率の確認のための設計風速マップを作成

(3) 設計風速マップ

日本全国の設計風速マップと、9 つ（九州、四国、中国、近畿、中部、北陸、関東、東北、北海道）に分けた地域別の設計風速マップを作成した。

4 ワーキンググループに係る対応

4.1 ワーキンググループの概要

台風 15 号により発生した鉄塔及び電柱の事故と、事故により発生した大規模停電により国民生活や経済活動に甚大な影響を及ぼしたことを受け、産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会の下に、表 4-1 の趣旨、表 4-2 の委員等構成により、2019 年 11 月にワーキンググループが設置された。

表 4-1 ワーキンググループの設置趣旨（2019 年（令和元年）11 月）¹⁹

令和元年 9 月に関東地方に上陸した台風 15 号では、東京電力管内の鉄塔 2 基の倒壊事故や多数の電柱が倒壊・損傷する事故が多数生じた。

これらの事故により、千葉県を中心に最大停電戸数約 93.5 万軒の大規模停電が発生し、全面復旧まで長い時間を要するなど、長期にわたる大規模停電により国民生活や経済活動に甚大な影響を及ぼした。

こうした事態を踏まえ、電力の安定供給の確保の観点から、台風等の自然災害による送配電インフラの事故原因を究明し、強靱な送配電設備を構築していくことが強く求められる。

こうした中で、本年 10 月 31 日に行われた「総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会/産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 合同電力レジリエンスワーキンググループ」にて示された中間論点整理において、鉄塔・電柱の技術基準見直しを含めた検討を実施することとなった。

このため、今般の鉄塔や電柱の倒壊・損傷等の原因究明や現行の技術基準の適切性、再発防止策について、近年の自然災害を踏まえつつ専門的な観点から検討するため、「令和元年台風 15 号における鉄塔及び電柱の損壊事故調査検討ワーキンググループ（WG）」を設置し、今後検討を行うこととする。

表 4-2 ワーキンググループ委員等構成

区分	氏名（敬称略、五十音順）	所属・役職
座長	横山 明彦	東京大学大学院 工学系研究科 教授
委員	石川 智巳	電力中央研究所 地球工学研究所 上席研究員
	木本 昌秀	東京大学 大気海洋研究所 教授
	熊田 亜紀子	東京大学大学院 工学系研究科 教授
	友清 衣利子	熊本大学大学院 先端科学研究部 准教授
	中村 光	名古屋大学大学院 工学研究科 教授
	松井 正宏	東京工芸大学 工学部 教授
オブザーバー	石田 交広	一般社団法人日本鉄塔協会 技術委員会 委員長
	恩賀 一	総務省 電気通信技術システム課 安全・信頼性対策室長

¹⁹ 令和元年台風 15 号における鉄塔及び電柱の損壊事故調査検討ワーキンググループ（第 1 回）

区分	氏名（敬称略、五十音順）	所属・役職
	小寺 満	一般社団法人コンクリートパイル・ポール協会 ポール技術委員長
	佐藤 豊	気象庁 予報部業務課 気象防災情報調整室長
	渡邊 昌人	一般社団法人送電線建設技術研究会 専務理事
説明者	北嶋 知樹	送電用鉄塔設計標準特別委員会 副委員長
	菅 弘史郎	電気事業連合会 工務部長
	服部 康男	送電用鉄塔設計標準特別委員会 委員

本事業に係るワーキンググループの開催実績を表 4-3 に示す。

表 4-3 ワーキンググループの開催実績（本事業に係るもののみ）

回	主な議題
第 6 回	①鉄塔の総点検について ②電柱の二次被害対策について ③技術基準の見直し、地域風速の検討状況について
第 7 回	①鉄塔の総点検指示について ②中間報告を踏まえた対策の進捗状況について ③鉄塔設計に用いる地域別の風速について ④電柱の二次被害対策の進捗について

4.2 ワーキンググループに係る対応

ワーキンググループについて、以下の対応を行った。

- ① ワーキンググループでは、第 2 章及び第 3 章に示した調査内容に関して、ワーキンググループでの検討に活用できるよう、情報を整理し資料の案を作成した。
- ② ワーキンググループを傍聴し、委員からの意見等を収集し、ワーキンググループの開催当日を期限に速記録、開催翌日を期限に議事要旨を作成した。
- ③ ワーキンググループでの議論の成果をまとめた資料として、議事録の案を作成した。

4.3 支線設置の基準の調査

ワーキンググループでの検討に資するべく、主に強風の影響がある国を対象に電柱の支線設置基準を調査した。結果を表 4-4 に示す。

表 4-4 に示すように、米国、オーストラリア、台湾において、電柱単体で許容できる荷重を超過する場合に、支線を用いることにより強度を確保することを目的に支線の設置が指示あるいは推奨されているが、電柱への荷重として隣接する電柱の倒壊は想定されていない。なお、フィリピンにおいて、支線の設置に関する基準はなかった。

表 4-4 海外規格における支線の設置基準（電柱）

対象国	規格番号/発行	タイトル	支線の設置基準
米国	IEEE/2009/米国土木学会（連邦法で引用）	National Electrical Safety Code	・電柱単体で許容できる荷重を超過する場合に、支線等を用いることにより、強度を確保する（shall）。 ・支線等を取り付けるケースとして、以下が例示されている。 －角に位置する。 －電柱列が直線ではなく角度が付いている。 －電柱列の末端に位置する。 －支持する両脇の送電線の長さに大きな差がある。 －電柱の Grade の変更により補強が必要である。 （参照「264.Guying and bracing」）
オーストラリア	AS4676 / 2000 / オーストラリア標準	Structural design requirements for utility services poles	・以下のいずれかの場合に、支線等を取り付けることが可能とされている（may）。 －電柱列が直線から角度が付いている。 －電柱列の末端に位置する。 －電柱の強度や安定性が水平方向の荷重に対して不十分である。 （参照「3.7.5 Stay loads」）
台湾	電業法	電業供電線路装置規則	・電柱単体で許容できる荷重を超過する場合に、支線等を用いることにより、強度を確保する（命令形）。 ・支線等を取り付けるケースとして、以下が例示されている。 －角に位置する。 －電柱列の末端に位置する。 －支持する両脇の送電線の長さに大きな差がある。 －電柱の建設等級の変更により補強が必要である。 （参照「第四節 支線及斜撐」）
フィリピン	NSCP-2001/2001/ フィリピンの構造エンジニア協会（国家建築コードに相当）	National Structure Code Of The Philippines	・規定なし。 （参考：JICA、四国電力、（一財）日本経済研究所「Republic of the Philippines Data Collection Survey on the Incentive Mechanism for Improving Disaster Resiliency of Electric Power Distribution Network Final Report」（2015 年（平成 27 年）10 月））

※いずれの基準も、電柱への荷重として隣接する電柱の倒壊は想定されていない。

4.4 木柱の安全率の調査

ワーキンググループでの検討に資するべく、国内基準における木柱の安全率について調査した。

電気設備の技術基準は電気事業法第 39 条に基づき、鉄塔及び電柱(架空電線路の支持物)の材料及び構造は、以下のとおり、引張荷重や風圧荷重等を考慮し、倒壊のおそれがないよう安全なものであることが求められている。

表 4-5 電気設備の技術基準(抄)²⁰

【支持物の倒壊の防止】

第 32 条 架空電線路又は架空電車線路の支持物の材料及び構造(支線を施設する場合は、当該支線に係るものを含む。)は、その支持物が支持する電線等による引張荷重、風速四十メートル毎秒の風圧荷重及び当該設置場所において通常想定される気象の変化、振動、衝撃その他の外部環境の影響を考慮し、倒壊のおそれがないよう、安全なものでなければならない。ただし、人家が多く連なっている場所に施設する架空電線路にあつては、その施設場所を考慮して施設する場合は、風速四十メートル毎秒の風圧荷重の二分の一の風圧荷重を考慮して施設することができる。

2 特別高圧架空電線路の支持物は、構造上安全なものとする等により連鎖的に倒壊のおそれがないように施設しなければならない。

表 4-6 電気設備の技術基準の解釈²¹(抄)

【架空電線路の支持物の強度等】(省令第 32 条第 1 項)

第 59 条 架空電線路の支持物として使用する木柱は、次の各号に適合するものであること。

- 一 わん曲に対する破壊強度を 59-1 表に規定する値とし、電線路に直角な方向に作用する風圧荷重に、架空電線路の使用電圧に応じ 59-2 表に規定する安全率を乗じた荷重に耐える強度を有すること。

(以下略)

表 4-7 電気設備の技術基準の解釈における木柱の安全率(電気設備の技術基準の解釈 59-2 表)

使用電圧の区分	風圧荷重に対する安全率
低圧	1.2
高圧	1.3
特別高圧	1.5

²⁰ https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/viewContents?lawId=409M50000400052_20170401_999M50000400052 (2020 年(令和 2 年)5 月改正前、2020 年(令和 2 年)4 月に閲覧))

²¹ 20200220 保局第 1 号 令和 2 年 2 月 25 日付け

以上、木柱の安全率について、昨年度及び今年度実施した国外の木柱の安全率の調査結果と併せて表 4-8 に示す。諸外国では、最大瞬間風速から風圧を算定し、安全率約 1.0 で設計を行う限界状態設計法を適用する手法が一般的だが、米国や英国のように設置場所等によって安全率を用いてより高い強度を確保する国もある。また、台湾においては、安全率 1.33 あるいは 2.0 を適用し、日本と同様の許容応力度法を適用した手法を用いている。

表 4-8 国内外の技術基準における木柱の安全率

対象国	基準・規格番号/発行	タイトル	木柱の安全率※
米国	IEEE/2009/米国土木学会 (連邦法で引用)	National Electrical Safety Code	ハリケーンが想定される基準風速が高いメ キシコ湾～フロリダ州～東海岸沿い Extreme クラス：1.33 その他地域的高速道路へのアクセス：1.53 その他：1.17
英国	BS EN 50341-2-9:2018	Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV	2.5
オースト ラリア	AS4676/2000/オーストラ リア標準	Structural design requirements for utility services poles	1.0
台湾	電業法	電業供電線路装置規則	一級線路（道路へのアクセス等）：2.0 二級線路（その他）：1.33 ※一級より上位の特級（高速道路へのアク セス等の強度の高い設計が必要な場所） があるが、特級線路の支持物に木柱は使 用できない
フィリピン	NSCP-2001/2001/フィリピ ンの構造エンジニア協会 (国家建築コードに相当)	National Structure Code Of The Philippines	標準 1.0
インド	IS875 (Part3) :2015/インド 規格局	Design Loads (Other than Earthquake) for Buildings and Structures - Code of Practice	標準 1.0
日本	電気事業法	電気設備の技術基準を定 める省令／技術基準の解 釈	特別高圧：1.5 高圧：1.3 低圧：1.2

※諸外国では、最大瞬間風速から風圧を算定し、安全率約 1.0 で設計を行うことが一般的（基準風速が 10 分平均で求められている場合においても、最大瞬間風速に換算後、風圧に換算）。

二次利用未承諾リスト

報告書の題名 令和2年度産業保安等技術基準策定研究開発等事業（送配電設備の事故再発防止・技術基準に係る調査）報告書

委託事業名 令和2年度産業保安等技術基準策定研究開発等事業（送配電設備の事故再発防止・技術基準に係る調査）

受注事業者名 みずほ情報総研株式会社

頁	図表番号	タイトル
6	図2-1	バルーンによる送電線撤去工法
10	図3-1	道路橋耐風設計便覧での基本風速U10
23	図3-2	英国における地域風速マップ
24	図3-3	特殊地形の考慮（英国を含む欧州）
26	図3-4	インドにおける地域風速マップ
27	図3-5	特殊地形の考慮（インド）
32	図3-8	崖形状モデル（単一斜面モデル）
33	図3-9	崖形状モデルの増速率図（勾配 Φ_U が 15° の場合）
35	図3-10	地表面粗度区分別のイメージ
38	表3-11	設計風速マップの算定条件