

2. 気象海象の予測モデル

ここでは、石原ら（2011）¹⁸、石原ら（2013）¹⁹等を基に、浮体式洋上風力発電設備の気象・海象に係る設計条件設定のための予測モデルと具体的な検討結果を取りまとめた。

2.1 気象の予測モデル

風速の算定に関しては、年平均風速、設計風速、1年再現期間の風速、風速階級別作用時間、風速の鉛直分布および乱れ強度を取り上げる。

2.1.1 風速の算定

1) 年平均風速

年平均風速の予測方法として、「風況観測データに基づく方法」と「気象シミュレーションに基づく方法」の2つの方法があり、風況予測手法の分類と該当する主な風況シミュレーションモデルを表 2.1-1 に掲げる。

表 2.1-1 風況予測手法の分類²⁰

分類	細分類	入力データ	シミュレーションモデル
非線形	気象モデル 気象モデル (メソスケール)	GPV データ	LAWEPS(1-3 次)
			ANEMOS
			MM5、RAMS 等
		GPV データ + 風況観測データ	LOCALS
	工学モデル (マイクロスケール)	風況観測データ、 シミュレーション結果	MASCOT
			RIAM-COMPACT
			LAWEPS(4-5 次)
			LES
線形		風況観測データ	WAsP、AVENU 等

風況観測データを用いる場合には、最低でも1年間のデータが必要であるが、データがないと1年間の風況観測をしなければならない。気象シミュレーションに基づく方法は、風況観測データによらない予測手法であり、時間の短縮化につながる。この場合、メソスケール気象モデルとマイクロスケール工学モデルを用いて海上風を予測するもので、最初に全球モデルの客観解析値を初期・境界条件として、メソスケール気象モデルを用いて1年間の気象シミュレーションを行う。その結果から水平距離1km程度の解像度を有する1年分10分毎の平均風速の時系列データを得る。このデータを基に統計処理を行って、海上風の風速の風向別出現頻度、風速階級別出現頻度を求める。さらに、局所海上風を推定するためにマイクロスケール工学モデルにより水平解像度1km以下の微細地形等の影響を取り入れて予測することもある。

いずれにしても年平均風速の予測値は、実測データとの検証が必要であり、予め外洋の候補海域で海上風の観測を行って、最低1年間の風況データを取得しておくことが望ましい。

2) 設計風速

極値荷重の算出基礎となる最大風速の50年再現期待値（設計風速）の予測方法はGumbel（ガンベル）と台風シミュレーション（モンテカルロシミュレーション）による2つの方法がある。前者の方法は、強風の成因が温帯低気圧である地域においては、国際基準IEC 61400-1¹⁴ Annex E に示されるように、MCP（Measure-Correlate-Predict）法を用いて、近隣の気象官署での最低10年の長期観測記録から対象地点における風速を推定し、ガンベル分布を仮定することにより年最大風速の50年再現期待値を求めることができる（石原ら,2011）¹⁸。しかし、石原ら（2011）¹⁸は日本のように温帯低気圧（非台風時）と熱帯低気圧（台風時）による強風が存在する場合にはそれぞれの成因別の確率分布を評価し、確率分布を合成することで、精度良く極値風を予測できると報告した。

(1) 非台風時の年最大風速

非台風時による最大風速の非超過確率がガンベル分布に従うとし、積率法により最大風速を基準化変数に対応させて、年最大風速の確率分布を求める手法である。図 2.1-1 に長年の観測データのある気象官署における非台風時の年最大風速から候補海域における非台風時の50年再現風速を求めるフローを掲げる。

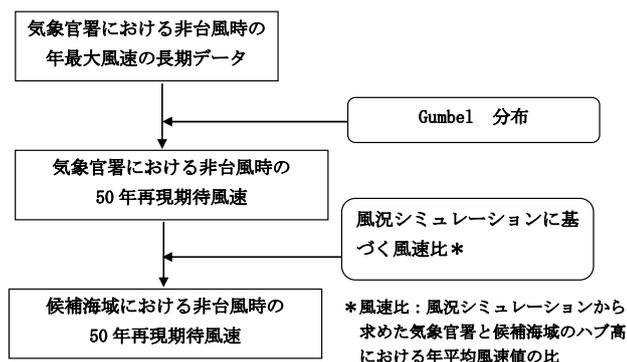


図 2.1-1 Gumbel による候補海域における 50 年再現風速（非台風時）の算出フロー

Gumbel 分布では非超過確率 F 、極値変数 z および再現期間 T は以下の関係にある。

$$F(z) = \exp(-\exp^{-z})$$
$$z = -\ln(-\ln(1 - 1/T))$$

式 2.1-1

ここで、

- F : 非超過確率
- z : 極値変数
- T : 再現期間（年）

図 2.1-2 に非台風時における年最大風速の確率分布を示す。

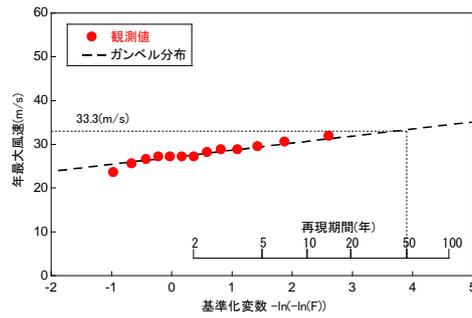


図 2.1-2 非台風時における年最大風速の確率分布の例¹⁸

本手法は、非台風時（温帯低気圧等による最大風速の出現時）のケースでは良好な評価がされ
ると言われている。しかし、候補海域近傍の陸上気象官署が存在しないこと、浮体式洋上風力発
電のような外洋と陸上の風況特性が異なっていることも考えられるため、使用に際して観測デー
タを十分に吟味する必要がある。

2、3 年程度の観測データしかない場合には、Gomes and Vickery (1977) による手法を用いて、
次式に示すように再現期待値別風速を求めることができる。

$$\begin{aligned}
 U_s &= U_1 + (1/a)\ln R \\
 U_1 &= c(\ln N)^{1/k} \left[1 + \left(\frac{k-1}{k^2} \right) \frac{\ln(\ln N)}{\ln N} \right] \\
 1/a &= \frac{c}{k} (\ln N)^{1/k-1} \left[1 + \frac{k-1}{k \ln N} \left(\frac{k-1}{k} \right)^2 \frac{\ln(\ln N)}{\ln N} \right] \\
 N &= 2\pi v_u \beta_u \left(k \sigma_u / c \right)
 \end{aligned}
 \tag{式 2.1-2}$$

ここで、

- U_s : 再現期待値別風速 (m/s)
- R : 再現期間
- c : ワイブル分布の尺度定数
- k : ワイブル分布の形状定数
- σ_u : 風速 u の標準偏差
- v_u : 上向き通過パラメータ (675)
- β_u : 上向き通過パラメータ (0.36)

なお、 v_u および β_u は、シドニーでの 5 年間 (1965-1969) のデータに基づくものであり、場所
が異なれば値も異なることに注意が必要である。さらに、この手法では風の成因が均質であるこ
とが必要であり、まれに発生する大型台風などを考慮することは難しい。

さらに、日本における強風の成因としては、台風、季節風、温帯低気圧などが考えられるが、
台風、季節風、低気圧・前線の 3 種類の成因別に強風の極値統計解析を行った研究によると、成

因に分けずに極値統計解析を行ったものよりも極値分布への適合度が改善され、精度の高い再現期待値が得られるとしている。

(2) 台風時の年最大風速

台風時による年最大風速の算定フローを図 2.1-3 に示す。解析手順は、以下の通りである。

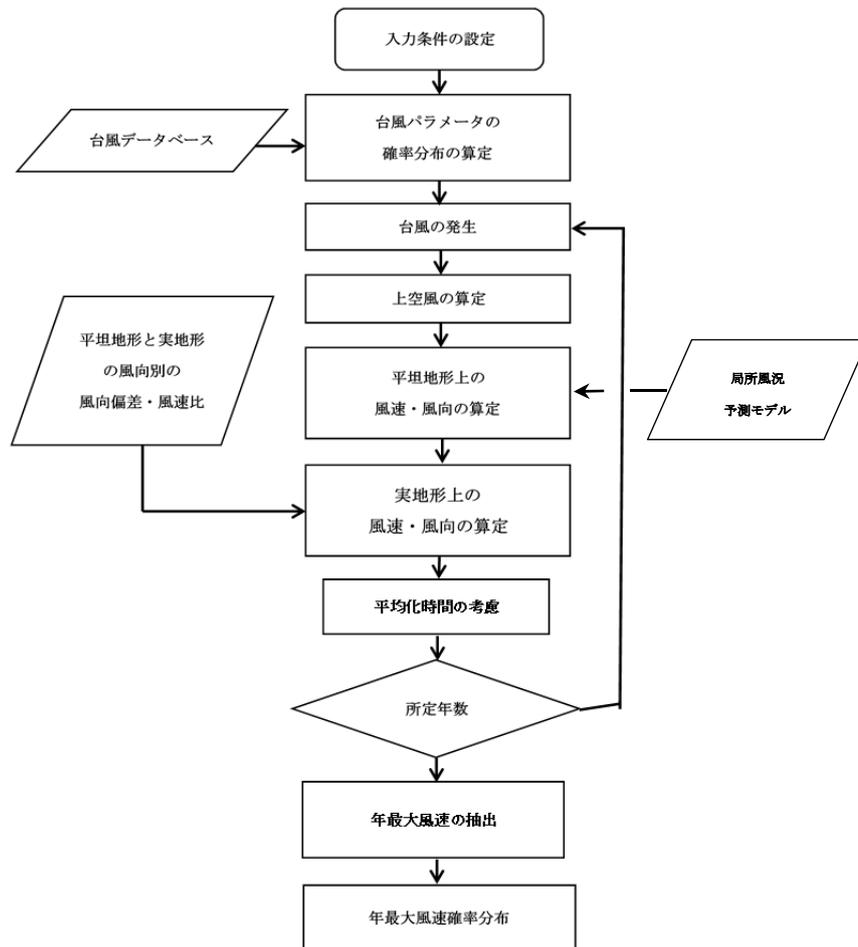


図 2.1-3 台風時における年最大風速の算定フロー

候補海域に対して過去の台風データ（候補海域を中心に半径 500km を通過した台風）から気圧場を表す変数（中心気圧低下量、最大地衡風速半径、進行速度、進行方向、最接近距離）および年発生頻度の確率分布をモデル化する（図 2.1-4）。

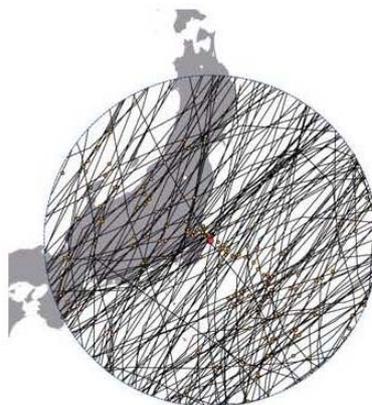


図 2.1-4 銚子気象台の半径 500km を通過した台風²¹

作成した確率分布に従って、モンテカルロシミュレーション手法により 100 年分の台風(985hPa 以下)を 100 回、通算 10,000 年分の台風を発生させ上空風を求め、べき法則より平坦地形の地上風速を求める。

これを基に局所風況予測モデルを用いて実地形風速、平坦地形風速を求め、これらの風速比から割増係数を算出する。地形による平均風速の割増係数 E_{tv} は、台風シミュレーションの結果に基づき、式 2.1-3 により求める。

$$E_{tv}(\theta_d) = \max\left(\frac{U(x, y, H_h)}{U^P(x, y, H_h)}, 1.0\right) \quad \text{式 2.1-3}$$

ここで、

- $U(x, y, H_h)$: 実地形上の風車建設地点のハブ高さ H_h での年最大風速 (m/s)
- $U^P(x, y, H_h)$: 地表面粗度区分 P の平坦地形上のハブ高さにおける年最大風速 (m/s)
- θ_d : $U(x, y, H_h)$ に対応する照査対象風向 ($^{\circ}$)

最後に、候補海域における年最大風速を昇順に並べて確率分布を求める。

図 2.1-5 に熱帯低気圧による年最大風速の確率分布を示す。図中の白丸は、13 年間の熱帯低気圧による年最大風速から求めた確率分布を表し、破線は、石原ら (2011)¹⁸ で提案された修正ガンベル分布により求めた確率分布を表す。修正ガンベル分布による推定値は、5 年より短い再現期間で観測値とよく一致し、それより長い再現期間は観測値を過小評価している。これは熱帯低気圧による極値風速を 13 年の観測データから求める場合に不確実性が高いことを示唆している。

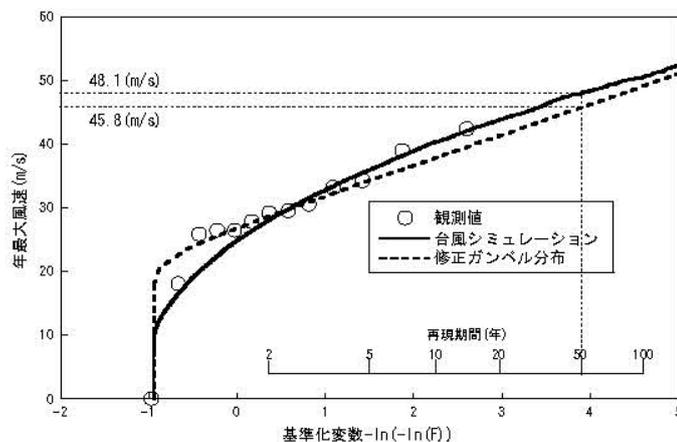


図 2.1-5 熱帯低気圧による年最大風速の確率分布の例¹⁸

(3) 混合気候における年最大風速

混合気候における年最大風速とは、非台風時と台風時による強風が存在する海域では、これまでに概要を紹介した成因別(非台風時と台風時)の確率分布を合成して予測する方法である。

非台風時の年最大風速 U_E と台風時の年最大風速 U_F が独立して起こる事象であると仮定すると、非台風時の年最大風速の非超過確率 $F_E(u_E)$ と台風時による年最大風速の非超過確率 $F_T(u_T)$ を合成した混合気候における合成確率分布 F_C は式 2.1-4 で表される。

$$F_C = F_E(u_E) \times F_T(u_T)$$

式 2.1-4

ここで、

- F_C : 混合気候における合成確率分布
- $F_E(u_E)$: 非台風時の年最大風速の非超過確率
- $F_T(u_T)$: 台風時による年最大風速の非超過確率

図 2.1-6 の例は、非台風時と台風時の年最大風速の確率分布関数の合成図から、48.3m/s の 50 年再現期待値が示されたものである。別の事例として、合成確率分布に観測値をプロットした図 2.1-7 から広い範囲の再現期間において観測値と良く合致していることが認められ、本手法の有効性が評価される。

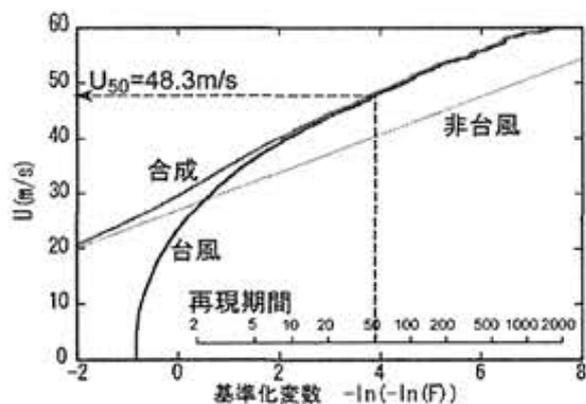


図 2.1-6 非台風時と台風時の年最大風速の合成確率分布図¹⁹

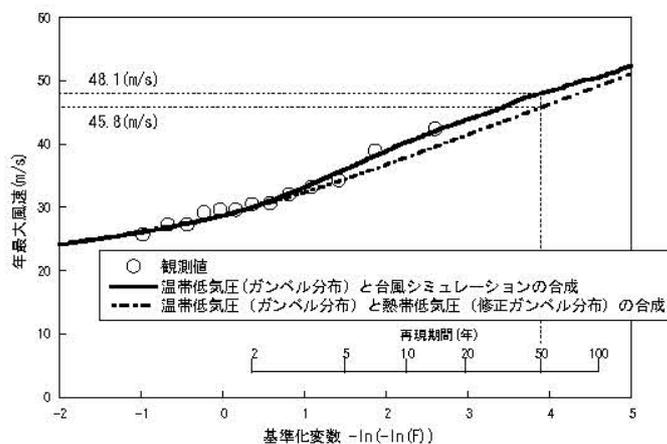


図 2.1-7 合成確率分布と観測値の比較¹⁸

上記の 50 年再現期待値 \hat{u}_C の不確実性は、下記に示す方法により求められる。

$$\hat{u}_C = u_C + \sigma_C$$

式 2.1-5

ここで、

- \hat{u}_C : 合成確率分布による年最大風速の 50 年再現期待値
- u_C : 非台風と台風を合成した年最大風速 (m/s)

σ_c : 標準偏差

$$\sigma_c = \alpha\sigma_E + (1 - \alpha)\sigma_T \quad \text{式 2.1-6}$$

ここで、

σ_c : 標準偏差

σ_E : 非台風時の年最大風速の標準偏差

σ_T : 台風時の年最大風速の標準偏差

σ_E 、 σ_T は次式により表せる。

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_p^2}{L} [1 + 0.885(y - \gamma) + 0.6687(y - \gamma)^2] \quad \text{式 2.1-7}$$

ここで、

L : 推定に用いた母集団のデータ数

σ_p : 母集団の標準偏差

y : 求めたい再現期間に対応する基準化変数

γ : オイラー定数 (0.57722)

非台風時の標準偏差 σ_E については観測年数から $L=13$ 、台風時の標準偏差 σ_T については台風シミュレーションに用いられた気圧の観測年数を考慮し、 $L=100$ とした。

また、重み α は次式により求める。

$$\alpha = \frac{(u_c - u_T)}{[(u_c - u_T) + (u_c - u_E)]} \quad \text{式 2.1-8}$$

ここで、

u_E : 非台風時における年最大風速 (m/s)

u_T : 台風時における年最大風速 (m/s)

u_c : 非台風と台風を合成した年最大風速 (m/s)

3) 風速の1年再現期待値

風速の1年再現期待値は、実測あるいは推定された10分平均風速データをMCP (Measure-Correlate-Predict) 法を用いて、対象地点におけるハブ高さの風速時系列に変換して求めた日最大風速により積率法から求める。図2.1-8は、積率法とGumbelプロットによる比較をしたもので、積率法の50%分位値は32.51m/sと求められている。

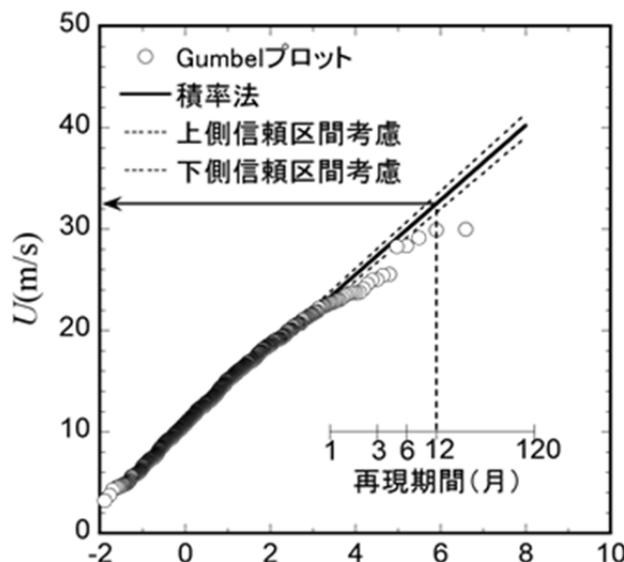


図 2.1-8 積率法と Gumbel プロットの比較¹⁹

2.1.2 風速階級別作用時間の算定

発電時および疲労荷重ケースにおける風速階級別作用時間を求めるには、風速の出現頻度を求める必要がある。ここでは、設計風速の算出と同様に非台風時と台風時の風速出現頻度をそれぞれ合成することにより、年間の風速出現頻度を求める。

非台風時の風速出現頻度は、代表地点における風向・風速の時系列がワイブル分布に従うと仮定し、ワイブルパラメータを求めることにより算出した。一方、台風時の風速出現頻度は、代表地点における台風シミュレーションによる1万年分の風向・風速の時系列がワイブル分布に従うと仮定し、非台風時と同様に算出した。

次に、台風シミュレーション統計期間に代表地点に接近した台風数から求めた非台風と台風の成因率を考慮することにより、非台風時および台風時の年間風速階級別作用時間をそれぞれ算出し、合成した非台風時と台風時の風速階級別作用時間を次式により算出する。

$$T_C(u_C) = T_E(u_E) + T_T(u_T) \quad \text{式 2.1-9}$$

ここで、

- $T_C(u_C)$: 風速階級別作用時間 (分/年)
- $T_E(u_E)$: 非台風時の風速階級別作用時間 (分/年)
- $T_T(u_T)$: 台風時の風速階級別作用時間 (分/年)

図 2.1-9 に合成したハブ高さにおける風速階級別作用時間の例を示す。なお、疲労荷重の乱流強度算出の風速の範囲は、IEC 61400-3²²の DLC6.4 に従い、年最大風速の 50 年再現期待値の 0.7 倍の風速階級までとする。

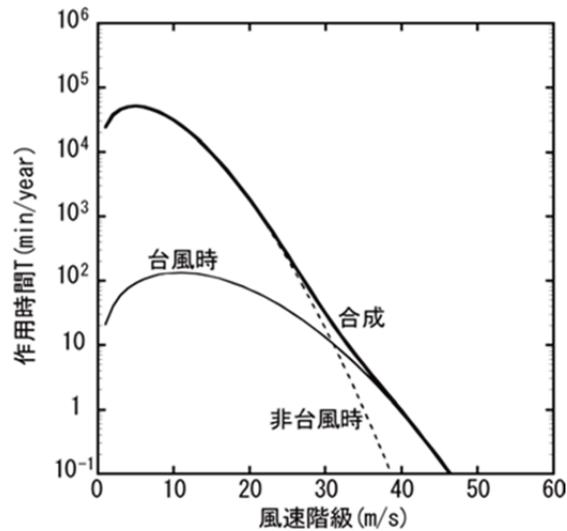


図 2.1-9 合成したハブ高さにおける風速階級別作用時間の例¹⁹⁾

2.1.3 風速の鉛直分布の算定

暴風波浪時における風速の鉛直分布は、3次元非線形気流予測モデルによる気流解析で求めた照査対象風向における風速の鉛直分布をべき法則でフィッティングすることにより求める。

2.1.4 乱流強度の算定

暴風波浪時における基準乱流強度は、IEC 61400-3²²⁾の推奨値である0.12を用いることが考えられる。発電時および疲労荷重の算定に必要な乱流強度 (I_{90}) は、土木学会風力発電支持物構造設計指針・同解説 2010年版 (2011) に従い、次の手順により求めた。まず、代表地点の設計風速から次式に示す風向別の乱流強度 $I_{ref}(\theta)$ を求める。

$$I_{ref}(\theta) = I_{h1}(\theta) \frac{U_h}{0.75U_h + 3.75} \quad \text{式 2.1-10}$$

ここで、

- $I_{ref}(\theta)$: 風向別の乱流強度
- $I_{h1}(\theta)$: 気流解析により求めた代表地点の風向別乱流強度
- U_h : 代表地点の設計風速 (m/s)

次に、1年間の風速と風向の時系列から式 2.1-11 を用いて各風速、風向に対応する乱流強度 I_{h1} を求めた後、式 2.1-12 から、その全風向における平均値 I_{h1u} を風速 1m/s ごとに求める。

$$I_{h1}(\theta) = I_{ref}(\theta) \frac{0.75U_h + 3.75}{U} \quad \text{式 2.1-11}$$

$$\overline{I_{h1u}} = \sum_i^n I_{h1i}/n_u \quad \text{式 2.1-12}$$

ここで、

- $I_{h1}(\theta)$: 気流解析により求めた代表地点の風向別乱流強度
- $I_{ref}(\theta)$: 風向別の乱流強度
- I_{h1u} : 各風速、風向に対応する乱流強度 I_{h1} の全風向における平均値
- U : 時系列 10 分毎の風速 (m/s)
- n_u : 風速 1m/s 毎のデータ数

最後に、式 2.1-13 により乱流強度の 90% タイル値 I_{90} を求める

$$I_{90} = I_{ref} \frac{0.75U + 5.6}{U} \quad \text{式 2.1-13}$$

ここで、

- I_{90} : 乱流強度の 90% タイル値
- I_{ref} : 風速 15m/s における乱流強度 I_{h1} の平均値
- U : 時系列 10 分毎の風速 (m/s)

2.2 海象の予測モデル

海象条件に関しては、潮位、設計波高と設計波周期、発電時・疲労検討のための波高と波周期の関係、海潮流および津波を取り上げる。

2.2.1 設計潮位の算定

設計高潮位 (H.H.W.L.) は、天文潮と気象潮を加えて算出する。天文潮は、IEC61400-3²² によれば、最高天文潮位 (H.A.T.) を用いることが規定されているが、わが国では「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に従って、天文潮位として朔望平均満潮位 (H.W.L.) とすることが多い。また、気象潮は台風潮位偏差の 50 年再現期待値 (ζ) とする。

1) 天文潮位

天文潮位は、気象庁刊行の潮位表から候補海域近傍に位置する港湾の調和定数表を用いて計算し、朔望平均満潮位は、朔 (新月) および望 (満月) の日から 5 日以内に現れる各月の最大満潮面の平均値とする。

2) 気象潮位

気象潮位は、台風潮位偏差の 50 年再現期待値 ζ (m) として、式 2.2-1 に示すモデル高潮の推定式から推定した。

$$\zeta = a\Delta p + bV_{10min}^2 b\cos\theta + c \quad \text{式 2.2-1}$$

ここで、

ζ : 台風潮位偏差の 50 年再現期待値 (m)

Δp : 中心気圧低下量の 50 年再現期待値 (hPa)

V_{10min} : 海面から 10m における 10 分間平均風速の 50 年再現期待値 (台風シミュレーションの算定結果) (m/s)

θ : 主風向と V_{10min} のなす角 ($^{\circ}$)

a, b, c : 「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に従って設定する各地点に決められる定数
 なお、上式には低気圧による海面の吸い上げおよび風による吹き寄せ分が考慮されている。

中心気圧低下量 Δp の 50 年再現期待値は、台風に関する観測資料を用い、式 2.2-2 に従って代表地点から半径 500km 以内を通過し、中心気圧が 985hPa 以下となった台風の海面気圧データから、それぞれの台風の中心気圧低下量 (Δp : 台風の周辺気圧 (P_{∞}) と代表点最接近時の中心気圧 (P_C) の差) を求め、その 50 年再現期待値は極値統計解析により算出する。 Δp の確率分布は、対数正規分布とワイブル分布に基づく混合確率分布でモデル化できる。対数正規分布の例を図 2.2-1 に示す。

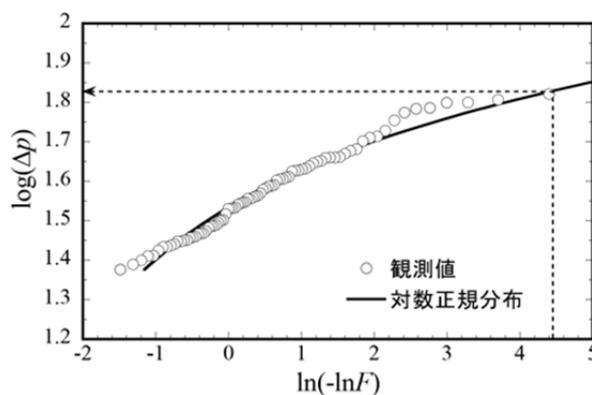


図 2.2-1 中心気圧低下量の確率分布¹⁹

再現期間が R 年の非超過確率は、式 2.2-2 を用いて求められる。

$$F = 1 - \left(\frac{1}{[\lambda \cdot R]} \right)$$

式 2.2-2

ここで、

F : 再現期間が R 年の非超過確率

λ : 年平均発生率 ($=N/K$)

N : 観測期間に通過する台風の個数

K : 観測期間 (年)

3) 設計高潮位

再現期間が R 年の非超過確率 (F) から中心気圧の確率分布 (Δp) を求めるとともに (図 2.2-1)、

海面から 10m における 10 分間平均風速の 50 年再現期待値 (V_{10min}) 等から式 2.2-1 を用いて、気象潮位 (台風潮位偏差) を算出し、先の天文潮位と足し合わせて設計高潮位を導く。

2.2.2 波浪の算定

暴風時の極値海況 (再現期間 50 年の有義波高と有義波周期) は、国や県の資料に基づき設定するとともに、疲労評価のための通常海況は風浪と“うねり”を考慮して設定する。

1) 極値海況

国や県では、沖波の波高と周期に関する極値有義波高の資料があり、ここでは基本的には候補海域近傍の地点の沖波データから最大の数値を採用する。

2) 通常海況

発電時および疲労評価に用いる通常海況の評価では、海上技術安全研究所の「日本近海の風と波のデータベース」から沖合の風速、波高、波周期を抽出し、式 2.2-3 に示す平均有義波高 $H_{0,me}$ 、等価有義波高 $H_{0,eqv}$ および調和平均有義波周期 $T_{0,me}$ を風速ビン毎に求める。

$$\begin{aligned}
 H_{0,me} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_{0,i} \\
 H_{0,eqv} &= \sqrt{\frac{m}{n} \sum_{i=1}^n H_{0,i}^m} \\
 T_{0,me} &= n / \sum_{i=1}^n \frac{1}{T_{0,i}}
 \end{aligned}
 \tag{式 2.2-3}$$

ここで、

- $H_{0,me}$: 平均有義波高 (m)
- $H_{0,eqv}$: 等価有義波高 (m)
- $T_{0,me}$: 調和平均有義波周期 (s)
- $H_{0,i}$: 時刻 i における波高 (m)
- $T_{0,i}$: 時刻 i における波周期 (s)
- N : 観測データ数

なお、等価有義波高 ($H_{0,eqv}$) では S-N 曲線 ($m=4$) が考慮されている。

通常、波浪は風波と“うねり”が混在しているが、SMB 法による波と風の関係式には、“うねり”の影響が考慮されない。図 2.2-2 には、式 2.2-4 に示す風波と“うねり”の混合モデルから求めた有義波高 $H_{1/3}$ および有義波周期 $T_{1/3}$ と風速の関係を示す。同図には波浪観測データから求めた平均有義波高、等価有義波高および有義波周期も併記されている。図示されているように、平均有義波高と等価有義波高との差は小さく、疲労荷重評価に用いる沖波と風の関係についても、発電時と同様に式 2.2-4 を用いることが可能と考えられる。

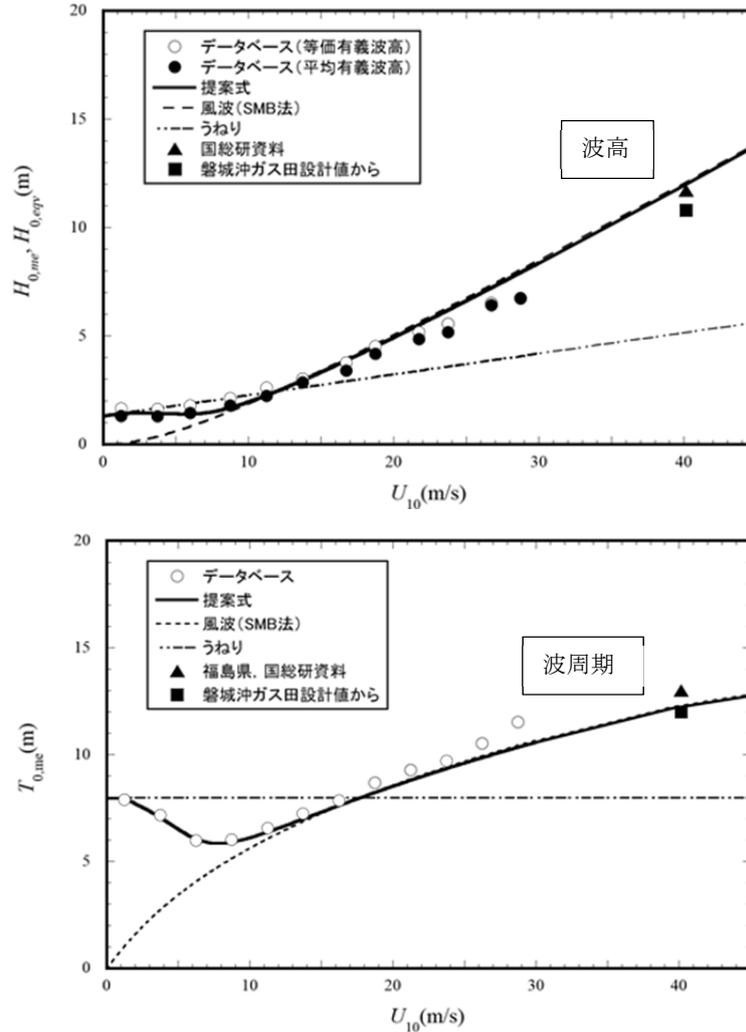


図 2.2-2 沖波の波高・波周期と風速との関係¹⁹

$$H_0 = \alpha H_{0,SMB} + (1 - \alpha) H_{0,swell}$$

$$T_0 = \alpha T_{0,SMB} + (1 - \alpha) T_{0,SWELL}$$

式 2.2-4

ここで、

- α : 重み係数
- $H_{0,SMB}$: 風波の波高の SMB 法による推算値 (m)
- $T_{0,SMB}$: 風波の周期の SMB 法による推算値 (m)
- $H_{0,swell}$: “うねり”の波高 (m)
- $T_{0,swell}$: “うねり”の周期 (s)
- U_{10} : 海面上 10m における 10 分間平均風速 (m/s)

風波の有義波高 $H_{0,SMB}$ と有義波周期 $T_{0,SMB}$ は、SMB 法により求められており、“うねり”の有義波高 $H_{0,swell}$ は線形、有義波周期 $T_{0,swell}$ は一定とされている。

$$\alpha = \max(0.4 \tan^{-1}(0.34U_{10} - 1.88) + 0.39, 0)$$

$$H_{0,SMB} = \frac{0.30U_{10}^2}{g} \left\{ 1 - \left[1 + 0.004 \left(\frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{1/2} \right]^{-2} \right\}$$

$$T_{0,SMB} = \frac{2.74U_{10}^2}{g} \left\{ 1 - \left[1 + 0.008 \left(\frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{1/3} \right]^{-5} \right\}$$

式 2.2-5

$$H_{0,SWELL} = 1.31 + \frac{(2.46 - 1.31)U_{10}}{12}$$

$$T_{0,SWELL} = 8.0$$

$$F = 235000$$

ここで、

α : 重み係数

$H_{0,SMB}$: 風波の波高の SMB 法による推算値 (m)

$T_{0,SMB}$: 風波の周期の SMB 法による推算値 (m)

$H_{0,swell}$: “うねり”の波高 (m)

$T_{0,swell}$: “うねり”の周期 (s)

U_{10} : 海面上 10m における 10 分間平均風速 (m/s)

F : 吹送距離 (m)

図 2.2-2 に示すように、“うねり”を考慮した提案の混合モデル式による算出結果は、低風速域における有義波高および有義波周期が大きくなることで観測結果とよく一致し、再現性が高くなっている。

2.2.3 海潮流の算定

設計流速 $U_c(z)$ は、海潮流速 $U_s(z)$ と吹送流速 $U_w(z)$ の和として求められている。

1) 統計手法に基づく方法

海面流速に関する統計資料は、日本海洋データセンター「経緯度 1 度メッシュの海流統計」に記載されている概略データがある。ここでは、海潮流データは観測に基づいたものであり、吹送流が含まれていると考えられることから、海潮流と吹送流の積算値として同資料から候補海域の最大流速を読み取る。

2) 極値統計解析に基づく方法

極値解析では、海洋研究開発機構の JCOPE（日本沿海予測可能性実験）の海流再解析データに基づき、海面流速の 50 年再現期待値および 1 年再現期待値について検討されている。解析に使用するデータを表 2.2-1 に示す。なお、本データも海潮流と吹送流が含まれているものとして解析が行われている。

海面流速の年最大流速の極値解析結果を図 2.2-3 に示す。標本数が 10 個と少ないため、不確かさが大きい。IEC では不確かさが 5%程度であれば許容範囲内であるとされ、安全係数として 1.1 をとればカバーできるとされている。

図示されているケースでは変動係数は $\sigma_u/x=0.19/14.2=13.5\%$ となって、IEC の許容範囲を超えている。ここでは、信頼性を高めるために標準偏差の半分程度を考慮して、海面流速の 50 年再現期待値は 1.5m/s としている。

表 2.2-1 海面流速の再現期待値算出に用いたデータ¹⁹

項目	50 年再現期待値	1 年再現期待値
出典	JCOPE 海潮流情報	JCOPE 海潮流情報
空間格子	1/12°	1/36°
開始	2002/03/01	2010/06/01/00:00
終了	2012/02/29	2012/02/29/23:00
期間	10 年 0 ヶ月	1 年 9 ヶ月
データ	日最大流速(10 年の日平均流速から換算)から求めた年最大流速	1 年 9 ヶ月の 1 時間毎データから求めた日最大流速

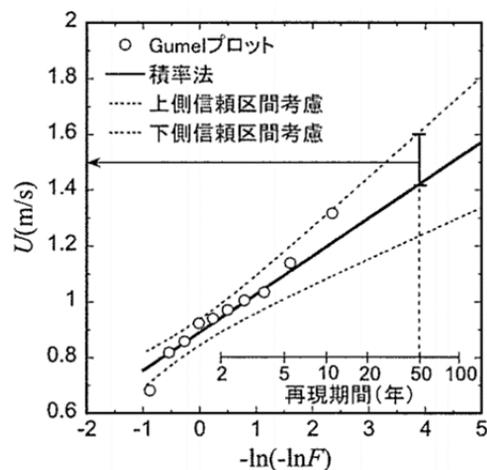


図 2.2-3 海面流速の年最大流速の極値解析結果 (50 年再現期待値)¹⁹

また、日最大流速の極値解析結果は、標本数が 639 個と多く、1 年再現期待値の 50%分位値は Gumbel 分布を最小二乗近似しても積率法でもほとんど差は認められない (図 2.2-4)。積率法による不確かさは約 3% となって、IEC の許容範囲内のため不確かさを考慮する必要はなく、海面流速の 1 年再現期待値は 1.0m/s とされている。

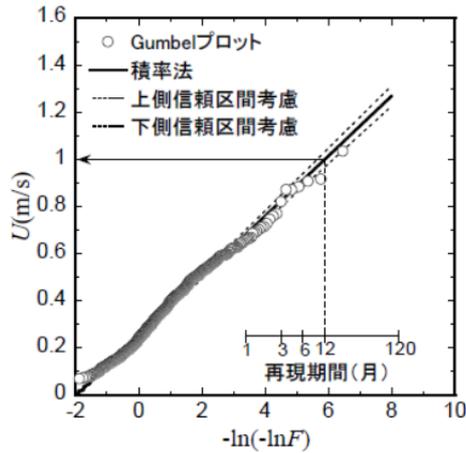


図 2.2-4 海面流速の日最大流速の極値解析結果 (1 年再現期待値) ¹⁹

2.2.4 津波の検討

津波が浮体に与える影響、特に係留張力を検討するために、非線形長波理論式に基づく数値解析を実施し、候補海域における潮位偏差と水流速度を算出する。

1) 解析方法

解析は、式 2.2-6～式 2.2-8 に示す深さ方向に積分した非線形長波理論式に基づいて行う。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \text{式 2.2-6}$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad \text{式 2.2-7}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad \text{式 2.2-8}$$

ここで、

η : 静水位からの水位変化量 (m)

D : ($=\eta+h$)、水底から水面までの全水深 (m)

h : 静水深 (m)

g : 重力加速度 (m/s^2)

n : マニングの粗度係数

$M \cdot N$: $x \cdot y$ 方向の全流量フラックスで水底から水面 η まで水平流速を積分したもの

このとき、水平流速は鉛直方向に一様分布していると仮定している。解析コードは東北大学で開発されたものを用いる。ちなみに、一般に、水深 50m 以上の深海では式 2.2-7 および式 2.2-8 の移流項および第 5 項を省略した線形長波理論が用いることができ、それ以下の浅海では非線形長波理論を用いることが示されている。

これまで解析に使用された断層モデルとして、「設計津波対象群に対するモデル」は、中央防災会議が明治三陸タイプ地震津波に対して設定した断層モデル、「最大クラスの津波に対するモデル（平成 23 年の東日本大震災の地震津波）」は、マンシンハ・スマイリーの断層モデル、断層パラメータには東北大学モデル（version1.2）が用いられている。

2) 解析結果

東日本大震災の地震津波に対する解析結果として、候補海域代表点と小名浜沖 GPS 波浪計の潮位偏差と水平流速の変化を図 2.2-5 に示す。候補海域代表点における最大潮位偏差は小名浜沖 GPS 観測点よりもやや大きく 3.2m である。また、水平流速の最大値は潮位偏差が最大となる第 2 波のピークにおいて生じ、0.77m/s となっている。設計値としては、海面流速の年平均値 (0.1m/s) を組み合わせて 0.87m/s となる。

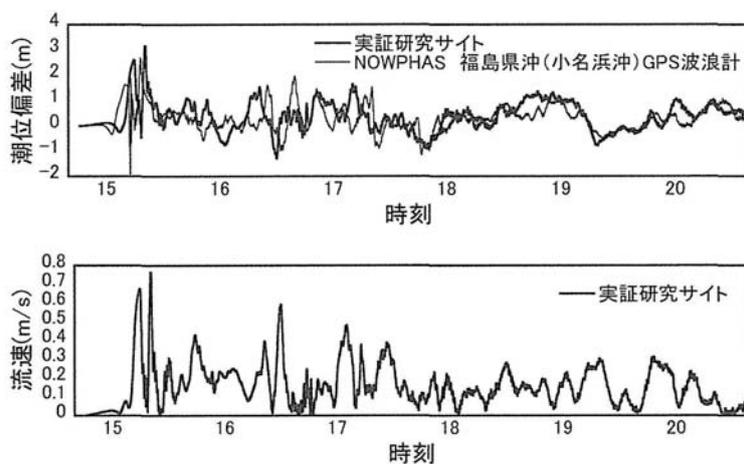


図 2.2-5 潮位偏差と流速の解析結果¹⁹

【留意事項】

津波計算を実施するためのデータとして、内閣府および国土交通省（太平洋側：中央防災会議専門調査会（内閣府）、関東から南：南海トラフの巨大地震モデル検討会・首都直下地震モデル検討会（内閣府）、日本海側：日本海における大規模地震に関する調査検討会（国土交通省））から、津波断層パラメータ、地形データ、粗度データ、初期水位データを入手することができる。また、海岸における津波の高さ、津波到達時間および平地フラグのデータも入手することができる（表-1）。

表-1 データ入手先

地域	所管官庁	URL
太平洋側（東北・北海道）	内閣府 （中央防災会議）	http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/tounankai_nankaijishin/datakoukai/index.html
太平洋側（関東から南）		http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/ http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutocho_kkajishinmodel/
日本海側	国土交通省	http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/daikibojishinchousa/