

# 風力発電設備支持物構造設計指針・同解説

## 目 次

### I 総則・設計方針

#### 第 1 章 総則

|                |    |
|----------------|----|
| 1.1 概説         | 1  |
| 1.2 適用範囲       | 1  |
| 1.3 風力発電機の基礎知識 | 2  |
| 1.3.1 風力発電機の概要 | 2  |
| 1.3.2 ブレード     | 4  |
| 1.3.3 増速機      | 4  |
| 1.3.4 発電機      | 5  |
| 1.3.5 系統連系     | 5  |
| 1.3.6 運転制御     | 5  |
| 1.3.7 運転特性     | 6  |
| 1.4 用語の定義・解説   | 7  |
| 1.5 記号の説明      | 13 |
| 1.6 座標系        | 21 |

#### 第 2 章 設計の流れ

|                    |    |
|--------------------|----|
| 2.1 構造設計の基本方針      | 23 |
| 2.2 荷重の種類および組み合わせ  | 30 |
| 2.3 荷重評価           | 32 |
| 2.3.1 基本的な考え方      | 32 |
| 2.3.2 設計風速の評価      | 33 |
| 2.3.3 風力係数の評価      | 34 |
| 2.3.4 風荷重の評価       | 36 |
| 2.3.5 地震とその他の荷重の評価 | 38 |
| 2.4 構造計算           | 39 |
| 2.4.1 基本的な考え方      | 39 |
| 2.4.2 タワーの構造計算     | 40 |
| 2.4.3 ペDESTALの構造計算 | 43 |
| 2.4.4 基礎の構造計算      | 45 |

### II 荷重評価

#### 第 3 章 設計風速の評価

|                |    |
|----------------|----|
| 3.1 設計風速の評価の基本 | 49 |
| 3.1.1 適用範囲     | 49 |

|       |                          |    |
|-------|--------------------------|----|
| 3.1.2 | 設計風速算定の考え方               | 49 |
| 3.2   | 設計基準風速                   | 50 |
| 3.3   | 設計風速の評価                  | 52 |
| 3.3.1 | 設計風速                     | 52 |
| 3.3.2 | 地表面粗度区分の設定               | 52 |
| 3.3.3 | ハブ高さでの平均風速の高度補正係数と乱れ強度   | 54 |
| 3.3.4 | 地形による平均風速の割増係数と乱れ強度の補正係数 | 56 |
| 3.3.5 | 任意高さにおける設計風速および乱れ強度      | 61 |
| 3.4   | 乱流統計量                    | 62 |
| 3.4.1 | 乱流のパワースペクトル密度と長さスケール     | 62 |
| 3.4.2 | 乱れの空間相関                  | 64 |
| 3.5   | 平均風速の年間出現頻度              | 64 |

#### 第4章 風力係数の評価

|       |                      |    |
|-------|----------------------|----|
| 4.1   | 風力係数の評価の基本           | 67 |
| 4.2   | ブレードの平均風力係数          | 67 |
| 4.3   | ナセルの平均風力係数           | 72 |
| 4.4   | タワーの平均風力係数           | 78 |
| 4.5   | ナセルのピーク風力係数          | 79 |
| 4.5.1 | ナセルのピーク風力係数          | 80 |
| 4.5.2 | ナセルのピーク外圧係数の推奨値      | 80 |
| 4.5.3 | ナセルの内圧変動の効果を表す係数の推奨値 | 82 |

#### 第5章 風荷重の評価

|       |                     |     |
|-------|---------------------|-----|
| 5.1   | 風荷重の評価の基本           | 85  |
| 5.1.1 | 基本的な考え方             | 85  |
| 5.1.2 | 暴風時の最大風荷重           | 86  |
| 5.1.3 | 発電時の年平均風荷重          | 88  |
| 5.2   | 暴風時の最大風荷重の評価        | 88  |
| 5.2.1 | タワーの風荷重算定の考え方       | 88  |
| 5.2.2 | 最大風荷重時の風車姿勢の定義      | 89  |
| 5.2.3 | 風車本体の寸法と質量          | 90  |
| 5.2.4 | 1次固有振動数と1次モード形の算定   | 93  |
| 5.2.5 | 風荷重の算定              | 97  |
| 5.2.6 | ガスト影響係数の算定          | 102 |
| 5.2.7 | 風方向と風直交方向の風荷重の組み合わせ | 109 |
| 5.2.8 | ロータ遊転時の風荷重の低減       | 111 |
| 5.3   | 発電時の年平均風荷重の評価       | 112 |

#### 第6章 地震とその他の荷重の評価

|     |                 |     |
|-----|-----------------|-----|
| 6.1 | 地震とその他の荷重の評価の基本 | 117 |
|-----|-----------------|-----|

|       |                    |     |
|-------|--------------------|-----|
| 6.2   | 地震時の荷重の評価          | 117 |
| 6.2.1 | 基本的な考え方            | 117 |
| 6.2.2 | 基本最大加速度と地震地域係数     | 119 |
| 6.2.3 | 加速度応答スペクトル         | 121 |
| 6.2.4 | 地震荷重の評価            | 126 |
| 6.2.5 | ペDESTALと基礎に関する地震荷重 | 141 |
| 6.3   | 積雪荷重の評価            | 142 |
| 6.3.1 | 基本的な考え方            | 142 |
| 6.3.2 | 設計垂直積雪量            | 142 |
| 6.3.3 | ナセル上面に作用する積雪荷重の評価  | 143 |
| 6.4   | 固定荷重と積載荷重の評価       | 144 |

### III 構造計算

#### 第7章 タワーの構造計算

|       |              |     |
|-------|--------------|-----|
| 7.1   | タワーの構造計算の基本  | 145 |
| 7.1.1 | 適用範囲         | 145 |
| 7.1.2 | タワーの形式       | 145 |
| 7.2   | タワーの設計条件     | 146 |
| 7.2.1 | 荷重           | 146 |
| 7.2.2 | 使用材料および材料定数  | 146 |
| 7.2.3 | 基準強度および許容応力度 | 149 |
| 7.3   | 鋼製タワーの構造計算   | 151 |
| 7.3.1 | 構造計算の考え方     | 151 |
| 7.3.2 | タワー筒身の構造計算   | 152 |
| 7.3.3 | 継手部の構造計算     | 157 |
| 7.3.4 | 開口部の構造計算     | 166 |
| 7.3.5 | タワー脚部の構造計算   | 170 |

#### 第8章 ペDESTALの構造計算

|       |                 |     |
|-------|-----------------|-----|
| 8.1   | ペDESTALの構造計算の基本 | 175 |
| 8.1.1 | 適用範囲            | 175 |
| 8.1.2 | ペDESTALの形式      | 175 |
| 8.2   | ペDESTALの設計条件    | 177 |
| 8.2.1 | 基本的な考え方         | 177 |
| 8.2.2 | 荷重              | 178 |
| 8.2.3 | 使用材料および材料定数     | 178 |
| 8.2.4 | 基準強度および許容応力度    | 179 |
| 8.3   | ペDESTALの構造計算    | 180 |
| 8.3.1 | 基本的な考え方         | 180 |
| 8.3.2 | 定着の種類と基本事項      | 180 |
| 8.3.3 | アンカーボルトの構造計算    | 181 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 8.3.4 | ベースプレートまたはアンカープレートの構造計算                | 182 |
| 8.3.5 | 定着部鉄筋コンクリートの構造計算                       | 185 |
| 8.3.6 | アンカーボルトまたはアンカーリングの抜け出しに対するペDESTALの構造計算 | 188 |

## 第9章 基礎の構造計算

|       |              |     |
|-------|--------------|-----|
| 9.1   | 基礎の構造計算の基本   | 199 |
| 9.1.1 | 適用範囲         | 199 |
| 9.1.2 | 基礎の形式        | 199 |
| 9.2   | 基礎の設計条件      | 200 |
| 9.2.1 | 基本的な考え方      | 200 |
| 9.2.2 | 調査           | 201 |
| 9.2.3 | 荷重           | 203 |
| 9.2.4 | 使用材料および材料定数  | 204 |
| 9.2.5 | 基準強度および許容応力度 | 206 |
| 9.3   | 直接基礎の構造計算    | 211 |
| 9.3.1 | 基本的な考え方      | 211 |
| 9.3.2 | 直接基礎の形状      | 211 |
| 9.3.3 | 安定計算         | 212 |
| 9.3.4 | 構造計算         | 219 |
| 9.4   | 杭基礎の構造計算     | 223 |
| 9.4.1 | 基本的な考え方      | 223 |
| 9.4.2 | 杭基礎の形状       | 225 |
| 9.4.3 | 安定計算         | 226 |
| 9.4.4 | 構造計算         | 235 |
| 9.5   | 基礎と杭の構造細目    | 245 |
| 9.5.1 | 基礎の構造細目      | 245 |
| 9.5.2 | 杭の構造細目       | 252 |

## IV 設計・解析例

### 第10章 指針による設計例

|        |                            |     |
|--------|----------------------------|-----|
| 10.1   | 平坦な陸上に建設される 400kW ストール制御風車 | 257 |
| 10.1.1 | 一般事項                       | 257 |
| 10.1.2 | 設計方針                       | 259 |
| 10.1.3 | 設計風速の評価                    | 260 |
| 10.1.4 | 風力係数の評価                    | 260 |
| 10.1.5 | 風荷重の評価                     | 263 |
| 10.1.6 | 地震とその他の荷重の評価               | 267 |
| 10.1.7 | タワーの構造計算                   | 275 |
| 10.1.8 | ペDESTALの構造計算               | 280 |
| 10.1.9 | 基礎の構造計算                    | 285 |
| 10.2   | 複雑地形中に建設される 500kW ピッチ制御風車  | 294 |

|        |              |     |
|--------|--------------|-----|
| 10.2.1 | 一般事項         | 294 |
| 10.2.2 | 設計方針         | 296 |
| 10.2.3 | 設計風速の評価      | 297 |
| 10.2.4 | 風力係数の評価      | 298 |
| 10.2.5 | 風荷重の評価       | 300 |
| 10.2.6 | 地震とその他の荷重の評価 | 305 |
| 10.2.7 | タワーの構造計算     | 313 |
| 10.2.8 | ペDESTALの構造計算 | 322 |
| 10.2.9 | 基礎の構造計算      | 326 |

## 第 11 章 数値計算による解析例

|        |                        |     |
|--------|------------------------|-----|
| 11.1   | 数値流体解析に基づく設計風速の評価      | 335 |
| 11.1.1 | 基本的な考え方                | 335 |
| 11.1.2 | 対象地点と地形および地表面粗度のモデル化   | 335 |
| 11.1.3 | 解析結果の評価                | 336 |
| 11.1.4 | 設計風速の算定                | 336 |
| 11.1.5 | 留意点                    | 338 |
| 11.2   | FEM 解析に基づく風荷重の評価       | 338 |
| 11.2.1 | 基本的な考え方                | 338 |
| 11.2.2 | 解析対象風車の諸元              | 339 |
| 11.2.3 | 解析手法                   | 339 |
| 11.2.4 | 構造系と空気力のモデル化手法         | 339 |
| 11.2.5 | 解析結果の評価                | 341 |
| 11.2.6 | 留意点                    | 342 |
| 11.3   | FEM 解析に基づくタワーの構造計算     | 343 |
| 11.3.1 | 基本的な考え方                | 343 |
| 11.3.2 | 解析対象タワーの諸元             | 343 |
| 11.3.3 | 解析手法                   | 343 |
| 11.3.4 | モデル化手法                 | 343 |
| 11.3.5 | 解析結果の評価                | 346 |
| 11.3.6 | 留意点                    | 349 |
| 11.4   | FEM 解析に基づくペDESTALの構造計算 | 350 |
| 11.4.1 | 基本的な考え方                | 350 |
| 11.4.2 | 解析対象ペDESTALの諸元         | 350 |
| 11.4.3 | 解析手法                   | 351 |
| 11.4.4 | モデル化手法                 | 352 |
| 11.4.5 | 解析結果の評価                | 354 |
| 11.4.6 | パラメータスタディに基づく検討        | 357 |
| 11.4.7 | 留意点                    | 361 |

## V 関連法規・参考資料

### 第12章 関連法規および基準

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 12.1    | 電気事業法                                  | 365 |
| 12.1.1  | 電気事業法における保安体制                          | 365 |
| 12.1.2  | 技術基準                                   | 366 |
| 12.1.3  | 発電用風力設備に関する技術基準を定める省令およびその解釈           | 366 |
| 12.2    | 建築基準法                                  | 366 |
| 12.2.1  | 建築基準法で規定される発電用風力設備                     | 367 |
| 12.3    | 国際規格                                   | 368 |
| 12.3.1  | IEC61400-1                             | 368 |
| 12.3.2  | GL Wind Guideline                      | 370 |
| 12.4    | 国内関連指針                                 | 371 |
| 12.4.1  | 土木学会：コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]             | 371 |
| 12.4.2  | 土木学会：鋼・合成構造標準示方書                       | 372 |
| 12.4.3  | 日本道路協会：道路橋示方書・同解説                      | 372 |
| 12.4.4  | 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説                     | 373 |
| 12.4.5  | 日本建築学会：鋼構造設計規準                         | 373 |
| 12.4.6  | 日本建築学会：建築基礎構造設計指針                      | 374 |
| 12.4.7  | 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針                      | 374 |
| 12.4.8  | 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説 - 許容応力度設計法 - | 375 |
| 12.4.9  | 日本建築学会：容器構造設計指針・同解説                    | 375 |
| 12.4.10 | 日本建築学会：鋼管構造設計施工指針・同解説                  | 375 |
| 12.4.11 | 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説                  | 376 |
| 12.4.12 | 日本建築学会：塔状鋼構造設計指針・同解説                   | 376 |
| 12.4.13 | 日本建築学会：鋼製煙突構造計算基準・同解説                  | 377 |
| 12.4.14 | 日本建築センター：煙突構造設計施工指針                    | 377 |
| 12.4.15 | 日本電気協会：風力発電規程                          | 377 |
| 12.4.16 | 新エネルギー・産業技術総合開発機構：風力発電システムの設計マニュアル     | 378 |
| 12.4.17 | 沿岸開発技術研究センター：洋上風力発電システムの技術マニュアル        | 378 |
| 12.4.18 | 本州四国連絡橋公団：本州四国連絡橋耐風設計基準（2001）・同解説      | 379 |

### 第13章 参考資料

|        |                              |     |
|--------|------------------------------|-----|
| 13.1   | 電気事業法の関連条文                   | 381 |
| 13.1.1 | 電気事業法および同法施行規則               | 381 |
| 13.1.2 | 電気設備に関する技術基準を定める省令           | 381 |
| 13.1.3 | 発電用風力設備に関する技術基準を定める省令およびその解釈 | 382 |
| 13.2   | 建築基準法の関連条文                   | 385 |
| 13.2.1 | 建築基準法施行令                     | 385 |
| 13.2.2 | 建設省告示                        | 393 |
| 13.3   | 許認可手続き                       | 408 |
| 13.3.1 | 電気事業法による工事計画届                | 408 |

|        |                |     |
|--------|----------------|-----|
| 13.3.2 | 建築基準法による建築確認申請 | 410 |
| 13.4   | 風力発電機の仕様       | 413 |
| 13.5   | 暴風による風車の事故例    | 419 |
| 13.5.1 | ペデスタルと基礎の事故例   | 419 |
| 13.5.2 | タワーの事故例        | 422 |