

風力発電設備支持物構造設計指針・同解説 [2010 年版]

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	2
1.3 風力発電機の基礎知識	3
1.3.1 風力発電機の概要	3
1.3.2 ブレード	5
1.3.3 増速機	5
1.3.4 発電機	6
1.3.5 系統連系	6
1.3.6 運転制御	6
1.3.7 運転特性	7
1.4 用語の定義・解説	8
1.5 記号の説明	18
1.6 座標系	31

第2章 設計の流れ

2.1 構造設計の基本方針	33
2.2 荷重の種類および組み合わせ	39
2.3 荷重評価	40
2.3.1 基本的な考え方	40
2.3.2 設計風速の評価	42
2.3.3 風荷重の評価	44
2.3.4 地震荷重の評価	47
2.3.5 その他の荷重の評価	49
2.4 構造計算	51
2.4.1 基本的な考え方	51
2.4.2 タワーの構造計算	51

2.4.3	定着部の構造計算	54
2.4.4	基礎の構造計算	56

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	59
3.1.1	適用範囲	59
3.1.2	風条件評価の基本	59
3.2	暴風時風荷重評価のための50年再現期待風速の評価	60
3.2.1	50年再現期待風速の評価	60
3.2.2	50年再現風速時の乱流強度の評価	68
3.3	疲労荷重評価のための平均風速出現頻度分布および風速別乱流強度の評価	71
3.3.1	平均風速出現頻度	71
3.3.2	風速別乱流強度	73
3.4	その他の乱流統計量	74
3.4.1	変動風速のパワースペクトル密度と長さスケール	74
3.4.2	乱流の空間相関	75

第4章 風荷重の評価

4.1	風荷重の評価の基本	77
4.1.1	基本的な考え方	77
4.1.2	暴風時の最大風荷重	78
4.1.3	発電時の最大風荷重	80
4.1.4	発電時の年平均風荷重	80
4.2	風力係数の評価	80
4.2.1	基本的な考え方	80
4.2.2	ブレードの平均風力係数	81
4.2.3	ナセルの平均風力係数	86
4.2.4	タワーの平均風力係数	90
4.2.5	ナセルのピーク風力係数	92
4.3	暴風時の最大風荷重の評価	96
4.3.1	暴風時の風荷重算定の考え方	96
4.3.2	最大風荷重時の風車姿勢の定義	97
4.3.3	風車本体の寸法と質量	98
4.3.4	1次固有振動数と1次モード形の算定	100
4.3.5	風荷重の算定	105
4.3.6	ガスト影響係数の算定	109
4.3.7	風方向と風直交方向の風荷重の組み合わせ	117
4.3.8	ロータ遊転時の風荷重の低減	118

4.3.9	最大ねじれモーメントの算定	119
4.3.10	P- Δ 効果の評価	120
4.4	発電時の風荷重の評価	121
4.4.1	発電時の風荷重算定の考え方	121
4.4.2	発電時の最大風荷重の評価	125
4.4.3	発電時の平均風荷重およびその年平均値の評価	131
4.5	発電時の疲労荷重の評価	133
4.5.1	疲労荷重評価の基本	133
4.5.2	風車の空力弾性モデル	135
4.5.3	風車の制御モデル	137
4.5.4	風モデル	145
第5章 地震荷重の評価		
5.1	地震荷重の評価の基本	151
5.1.1	基本的な考え方	151
5.1.2	時刻歴応答解析による地震荷重評価の手順	152
5.2	工学的基盤面における地震動と地震地域係数	154
5.2.1	工学的基盤面における水平地震動	154
5.2.2	工学的基盤面における上下地震動	154
5.2.3	地震地域係数	155
5.3	入力地震動の評価	156
5.3.1	基本的な考え方	156
5.3.2	スペクトル適合波	157
5.3.3	観測地震波	162
5.3.4	サイト波	163
5.3.5	表層地盤による増幅	163
5.4	時刻歴応答解析による地震荷重の評価	171
5.4.1	風車タワー・基礎・地盤のモデル化	171
5.4.2	直接基礎用の地盤ばねの評価	174
5.4.3	杭基礎用の地盤ばねと減衰係数の設定	178
5.4.4	固有値解析	187
5.4.5	応答解析	189
5.4.6	地下震度の算定	191
5.4.7	杭応答の評価	191
5.5	付加的な荷重効果	194
5.5.1	P- Δ 効果	194
5.5.2	ねじれの影響	195
5.5.3	上下動の影響	196
5.5.4	荷重の組み合わせ	197

第6章 その他の荷重

6.1	その他の荷重の評価の基本	199
6.2	固定荷重と積載荷重の評価	199
6.3	積雪荷重の評価	199
6.3.1	基本的な考え方	199
6.3.2	設計垂直積雪量	200
6.3.3	ナセル上面に作用する積雪荷重の評価	200
6.4	波荷重の評価	201
6.4.1	適用範囲および波荷重の評価の考え方	201
6.4.2	海象条件の設定	203
6.4.3	波の運動の評価	222
6.4.4	波力の評価	230
6.5	静水圧	250

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	253
7.1.1	適用範囲	253
7.1.2	タワーの形式	253
7.2	タワーの設計条件	254
7.2.1	荷重	254
7.2.2	使用材料および材料定数	254
7.2.3	基準強度	257
7.2.4	許容応力度	257
7.2.5	高力ボルト孔径	259
7.3	鋼製タワーの構造計算	260
7.3.1	構造計算の考え方	260
7.3.2	ボルトの許容耐力	261
7.3.3	継手部の耐力評価	266
7.3.4	タワー筒身の構造計算	274
7.3.5	開口部の構造計算	282
7.3.6	タワー脚部の構造計算	287
7.4	疲労損傷度評価	290
7.4.1	疲労損傷度評価の考え方	290
7.4.2	タワー筒身溶接部の疲労損傷度評価	292
7.4.3	ボルトの疲労損傷度評価	294

第8章 定着部の構造計算

8.1	定着部の構造計算の基本	303
8.1.1	適用範囲	303
8.1.2	定着部の形式	303
8.2	定着部の設計条件	305
8.2.1	基本的な考え方	305
8.2.2	荷重	306
8.2.3	使用材料および材料定数	306
8.2.4	基準強度および許容応力度	307
8.3	定着部の構造計算	308
8.3.1	基本的な考え方	308
8.3.2	定着の種類と基本事項	308
8.3.3	アンカーボルトの構造計算	309
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	312
8.3.5	ペDESTAL部の構造計算	315
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定着部の構造計算	318
8.3.7	せん断力およびねじれモーメントに対する定着部の構造計算	329
第9章 基礎の構造計算		
9.1	基礎の構造計算の基本	335
9.1.1	適用範囲	335
9.1.2	基礎の形式	335
9.2	基礎の設計条件	336
9.2.1	基本的な考え方	336
9.2.2	調査	336
9.2.3	荷重	338
9.2.4	使用材料および材料定数	339
9.2.5	基準強度および許容応力度	340
9.3	直接基礎の構造計算	344
9.3.1	基本的な考え方	344
9.3.2	直接基礎の形状	345
9.3.3	安定計算	345
9.3.4	構造計算	356
9.4	杭基礎の構造計算	360
9.4.1	基本的な考え方	360
9.4.2	杭基礎の形状	361
9.4.3	安定計算	362
9.4.4	構造計算	371
9.5	基礎と杭の構造細目	388
9.5.1	基礎の構造細目	388

9.5.2 杭の構造細目	395
--------------	-----

IV 設計・解析例

第10章 指針による設計例

10.1 設計概要	399
10.1.1 一般事項	399
10.1.2 設計方針	401
10.1.3 許容値	402
10.1.4 荷重の種類と組み合わせ	402
10.2 荷重の算定	402
10.2.1 固定荷重の算定	402
10.2.2 積載荷重の算定	402
10.2.3 積雪荷重の算定	402
10.2.4 風荷重の算定	402
10.2.5 地震荷重の算定	417
10.2.6 設計用荷重	417
10.3 構造計算	418
10.3.1 タワーの構造計算	418
10.3.2 定着部の構造計算	428
10.3.3 基礎の構造計算（直接基礎の場合）	435
10.3.4 基礎の構造計算（杭基礎の場合）	445

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	455
11.1.1 基本的な考え方	455
11.1.2 対象地点と地形および地表面粗度のモデル化	455
11.1.3 解析結果の評価	456
11.1.4 設計風速の算定	456
11.1.5 留意点	458
11.2 時刻歴応答解析に基づく風荷重の評価	459
11.2.1 基本的な考え方	459
11.2.2 解析対象風車の諸元	459
11.2.3 解析手法	459
11.2.4 構造系と空気力のモデル化手法	459
11.2.5 解析結果の評価	461
11.2.6 留意点	462
11.3 時刻歴応答解析に基づく地震荷重の評価	463

11.3.1	基本的な考え方	463
11.3.2	解析対象風車の諸元	463
11.3.3	地盤モデルと地盤の地震応答解析	464
11.3.4	解析手法および風車と基礎の解析モデル	466
11.3.5	固有値解析結果	468
11.3.6	直接基礎の設計に用いる地震荷重	470
11.3.7	杭基礎の設計に用いる地震荷重と地盤変形	473
11.3.8	ねじれの影響	474
11.3.9	留意点	475
11.4	FEM 解析に基づくタワーの構造計算	475
11.4.1	基本的な考え方	475
11.4.2	解析対象タワーの諸元	475
11.4.3	解析手法	476
11.4.4	モデル化手法	477
11.4.5	解析結果の評価	478
11.4.6	留意点	481
11.5	FEM 解析に基づく定着部の構造計算	481
11.5.1	基本的な考え方	481
11.5.2	解析対象定着部の諸元	481
11.5.3	解析手法	483
11.5.4	モデル化手法	483
11.5.5	解析結果の評価	486
11.5.6	パラメータスタディに基づく検討	489
11.5.7	留意点	492

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	497
12.1.1	電気事業法における保安体制	497
12.1.2	技術基準	498
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	498
12.2	建築基準法	498
12.2.1	建築基準法で規定される発電用風力設備	499
12.3	国際規格	499
12.3.1	IEC61400-1	500
12.3.2	GL Wind Guideline	502
12.4	国内関連指針	503
12.4.1	土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕	503
12.4.2	土木学会：鋼・合成構造標準示方書	504

12.4.3	日本道路協会：道路橋示方書・同解説	505
12.4.4	日本道路協会：杭基礎設計便覧	505
12.4.5	コンクリートパイル建設技術協会：既製コンクリート杭ー基礎構造設計マニュアル	506
12.4.6	日本建築学会：建築物荷重指針・同解説	507
12.4.7	日本建築学会：鋼構造設計規準ー許容応力度設計法ー	507
12.4.8	日本建築学会：高力ボルト接合設計施工ガイドブック	508
12.4.9	日本建築学会：鋼構造接合部設計指針	508
12.4.10	日本建築学会：建築基礎構造設計指針	509
12.4.11	日本建築学会：建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計	509
12.4.12	日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説	509
12.4.13	日本建築学会：容器構造設計指針・同解説	510
12.4.14	日本建築学会：鋼管構造設計施工指針・同解説	510
12.4.15	日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説	511
12.4.16	日本建築学会：塔状鋼構造設計指針・同解説	511
12.4.17	日本建築学会：煙突構造設計指針	511
12.4.18	日本鋼構造協会：橋梁用高力ボルト引張接合設計指針	512
12.4.19	国土交通省建築研究所：改正建築基準法の構造関係規定の技術的背景	512
12.4.20	日本電気協会：風力発電規程	513
12.4.21	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	513
12.4.22	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	513

第 13 章 参考資料

13.1	電気事業法の関連条文	515
13.1.1	電気事業法および同法施行規則	515
13.1.2	電気設備に関する技術基準を定める省令	515
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	516
13.2	建築基準法の関連条文	517
13.2.1	建築基準法と施行令	518
13.2.2	建設省告示	529
13.3	許認可手続き	567
13.3.1	電気事業法による工事計画届	567
13.3.2	建築基準法による建築確認申請	569
13.4	風力発電機の仕様	572
13.5	暴風による風車の事故例	577
13.5.1	定着部と基礎の事故例	577
13.5.2	タワーの事故例	580