

PC タワ - を有する風力発電設備の耐震安全性に関する研究

九州大学大学院 正会員 矢葺 亘 (株)富士ピー・エス 非会員 浜本哲嗣
九州大学大学 正会員 ハー・トゥアン・ゴク 九州大学大学院 フェロー 大塚久哲

1. 概要

近年、コンクリ - トの高強度化に伴ない、鋼材料が用いられてきた土木構造物へのコンクリ - ト材料の適用に関する研究が注目されている。コンクリ - ト構造は鋼構造に比べ建設費および維持管理の観点で有利な場合が多く、耐震性等の問題を解決することでその構築が可能となると考えられており、長大吊橋・風力発電設備等への適用が期待されている。本研究では、試設計されたコンクリ - トタワー - を有する風力発電設備を対象に、耐震安全性に関して検討を行った。

2. コンクリート製タワーの利点と課題

RC・PC製タワーを考えた場合、次の利点が考えられる

- ・セグメントによる高強度化と施工省力化
- ・現場打ちでも輸送コスト面でメリットあり
- ・メンテナンスの点で有利
- ・大規模タワーの製作可
- ・供用年数の長期化（耐用年数が延びれば発電量 / 建設コストの増大へ）
- ・鋼製タワーと同規模のタワーで、より発電量の大きいナセルを設置可能である

また、考えられる課題は以下のようである。

- ・耐震性の検討
- ・疲労(円周全方向の疲労, ねじり疲労)
- ・施工法の検討・開発
- ・経済性検討の必要性（現在試算中）

3. 検討対象

図 -1 に対象タワーの側断面と断面図を示す。PC 中空断面を有し、高さ 58.0m、基部での直径は 6.0m であり、全重量は 6900kN となる。タワーの頂部には 1640kN のナセルが設置される。用いた材料を表 -1 に示す。

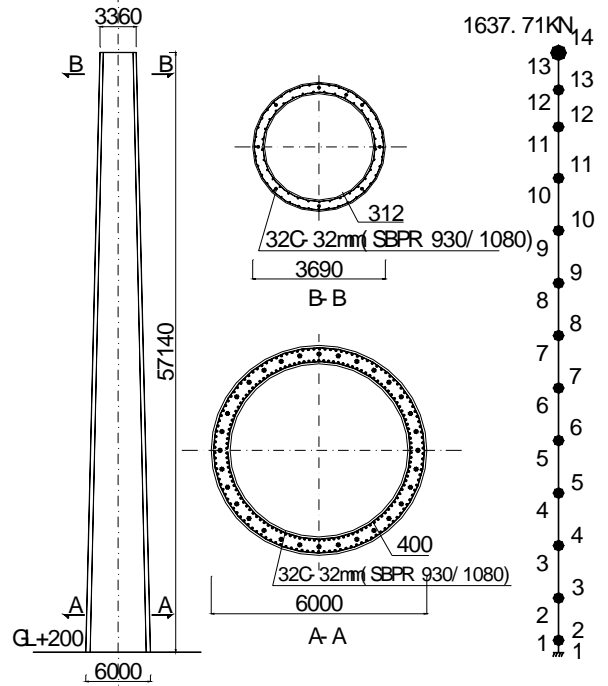


図 -1 検討対象 (単位 mm) 図 -2 解析モデル

表 -1 使用材料

コンクリート	ck = 30kN/mm ²
鉄筋	SD295A
PC鋼材	SBPR930/1080

4. 解析モデルと解析手法

ここでは道路橋示方書²⁾の考え方に準拠したタイプ 及びタイプ 地震動に対する動的解析を実施し、耐震安全性について検討した。解析モデルを図-2に示す。本研究では2次元の多質点系でモデル化した。高さ方向に13分割し頂部、節点14にはナセル部の集中質量を付加した。タワーの基部は固定とした。タワーの非線形特性にはひび割れ、PC降伏、終局を考えたM - 関係を用いた。図-3に基部におけるM - 関係を示す。部材の復元力特性は武田モデルとした。

動的解析での減衰はレイリー減衰(1次と2次)を用いた。数値解析は、Newmark (= 0.25)法、積分間隔は0.01秒とした。

入力地震動は、道路橋示方書 V 耐震設計編に規定される標準加速度応答スペクトルに近い特性を有するように振幅調整された 種地盤用のタイプ の3波(- - 1 ~ 3), タイプ の3波(- - 1 ~ 3)を用いた。

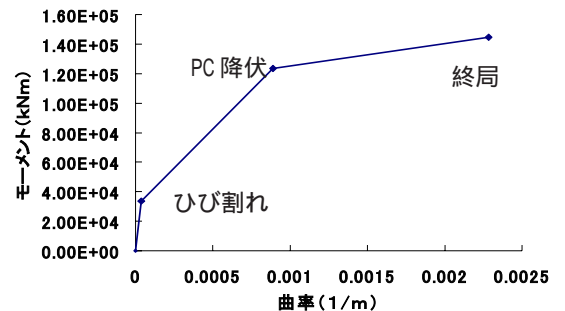


図 -3 基部における M - 関係

キーワード：風力発電設備, PCタワー, 耐震安全性

連絡先：福岡市東区箱崎6-10-1, TEL & FAX : 029-642-3268

5. 固有値解析結果

表-2に固有値解析結果を示す。表より地震波入力方向のX方向に対し、1次モードが支配的であることがわかる。図-4にモード図を示す。

表-2 固有値解析結果

モード	周期	有効質量		刺激係数	
		X	Z	X	Z
1	1.12E+00	2.29E+02	3.54E-51	-1.51E+01	5.95E-26
2	2.01E-01	8.48E+01	6.57E-55	-9.21E+00	8.11E-28
3	7.48E-02	1.34E-40	6.10E+02	1.16E-20	2.47E+01
4	7.13E-02	3.53E+01	4.86E-44	5.49E+00	2.20E-22
5	3.55E-02	1.83E+01	3.55E-26	-4.28E+00	-1.89E-13
6	2.80E-02	1.66E-24	1.20E+02	1.29E-12	1.10E+01

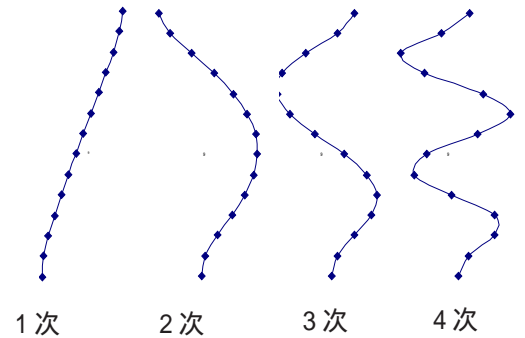


図-4 モード図

6. 動的解析結果

各種地震動に対する部材の最大曲率応答と許容曲率について表-3,表-4に示す。許容曲率の算出に際しても道路橋示方書²⁾に準拠した。解析の結果、タイプIの地震動に対する応答はタイプIIより大きいものの、ひび割れ程度の応答であり、許容値を大きく下回っている。

図-5に最大応答を示したタイプI地震動に対するタワー頂部の応答変位の時刻歴を、図-6に基部の履歴曲線を示す。

表-3 タイプI地震動に対する安全性照査

要素番号	最大曲率 (1/m)			許容曲率 (1/m)	結果
	I-I-1	I-I-2	I-I-3		
1(基部)	3.0150E-04	3.0780E-04	2.9030E-04	1.3524E-03	OK
2	3.4370E-04	3.7030E-04	3.4600E-04	1.4483E-03	OK
3	3.0550E-04	3.6520E-04	3.3460E-04	1.4753E-03	OK
4	2.9240E-04	3.5510E-04	3.1650E-04	1.5070E-03	OK
5	3.2510E-04	3.9730E-04	3.4210E-04	1.6125E-03	OK
6	3.0680E-04	3.6850E-04	3.1480E-04	1.6511E-03	OK
7	2.8160E-04	3.2690E-04	2.8550E-04	1.6917E-03	OK

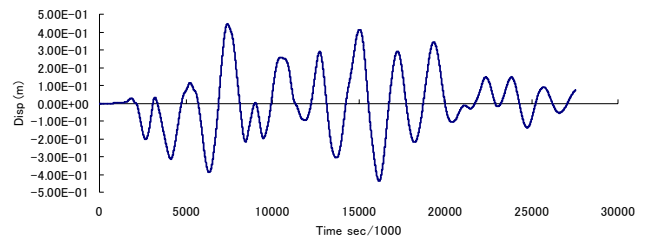


図-5 頂部の応答変位時刻歴

表-4 タイプII地震動に対する安全性照査

要素番号	最大曲率 (1/m)			許容曲率 (1/m)	結果
	II-I-1	II-I-2	II-I-3		
1(基部)	2.4800E-04	2.8220E-04	2.2610E-04	1.8185E-03	OK
2	2.8200E-04	2.8420E-04	2.4320E-04	2.0060E-03	OK
3	2.5880E-04	2.1440E-04	2.2000E-04	2.0247E-03	OK
4	2.3220E-04	1.5790E-04	2.1060E-04	2.0440E-03	OK
5	2.5020E-04	1.8320E-04	2.2690E-04	2.2204E-03	OK
6	2.5630E-04	2.2120E-04	2.2950E-04	2.2453E-03	OK
7	2.6260E-04	2.3720E-04	2.8460E-04	2.2675E-03	OK

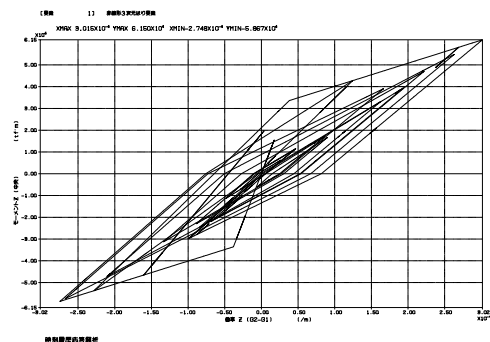


図-6 基部の履歴曲線

7. 結論

- ・本検討対象の固有周期は1.1秒程度であった。
- ・非線形動的解析において、レベル2地震動に対して、十分な耐震安全性を有していることが確認された。
- ・今後はナセル重量の影響（P-D効果）を考慮した解析を行う予定である。

参考文献

- 1)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO): 風力発電システムの設計マニュアル
- 2)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説: V耐震設計編, 1996年12月
- 3)大塚, 棚邊, 榎: 風力発電設備の動的特性と耐震設計に関する基礎的考察, 構造工学論文集 Vol. 48A, pp.515-522, 2002年12月