

# 日の岬ウインドパーク風力発電所の 倒壊事故について

2018年11月26日

アドエコロジー株式会社

# 目次

- I. 風力発電所の概要
- II. 事故の概要
- III. 近傍の風速・風向
- IV. 原因分析フロー
- V. 台風パラメータに基づく風速の推定
- VI. 倒壊風速の推定
- VII. ドローンによる座屈位置の確認
- VIII. 風車タワー製造に関する記録点検状況
- IX. 現在までの調査結果まとめ

# I . 風力発電所の概要 (1/2)

設置場所	和歌山県日高郡日高町大字阿尾字御野脇		
型式	エネルギー社 E-82 E1		
ローター直径	82m	ハブ取付位置	地上78m
定格風速	12 m/s	出力	1,990kW × 1基
ブレード	3枚	回転数	9~19.5 r/min
IEC Class	Class II	乱流強度	A
製造年	2010年	$V_{e50}$ (3秒間平均)	59.5 m/s
運転開始	2010年9月	$V_{ref}$ (10分間平均基準風速)	42.5 m/s

# I . 風力発電所の概要 (2/2)



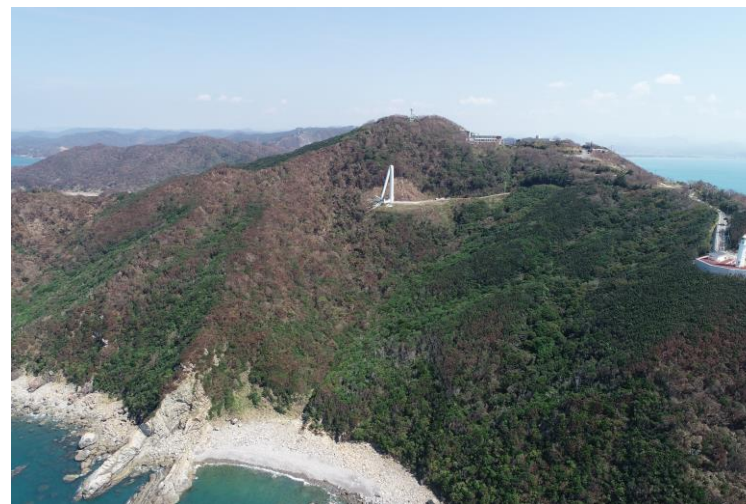
国土地理院ホームページ  
「電子国土ポータル」より作成



日の岬 WP の位置



事故前の風車



地形全体

## II. 事故の概要 (1/2)

2018年9月4日

7時20分頃

セクターマネジメント（風速18m/s以上）で発電停止

※過去の故障からベアリングへの負荷等を考慮して、上記セクターマネジメントを常時実施中であった。

10時00分頃

当該風車のSCADAデータで風速41.5m/sを記録する。

10時30分頃

**地域停電が発生**が発生し、SCADAデータ記録不能となる。

停電に際して、以下の動作を実施

①ヨー制御：停止直前の風向（東南東 102度）を向いて停止  
※SCADAデータによる

②ピッチ：バッテリー電源による独立ピッチ制御で、ピッチ角度92度を確保（フェザリング）

③ブレーキ：ピッチおよびヨーのブレーキは無励磁作動型の電磁ブレーキであり、コイルスプリングにてブレーキをロック。なお、その後のどの程度までの保持力があるかはメーカーに確認中。

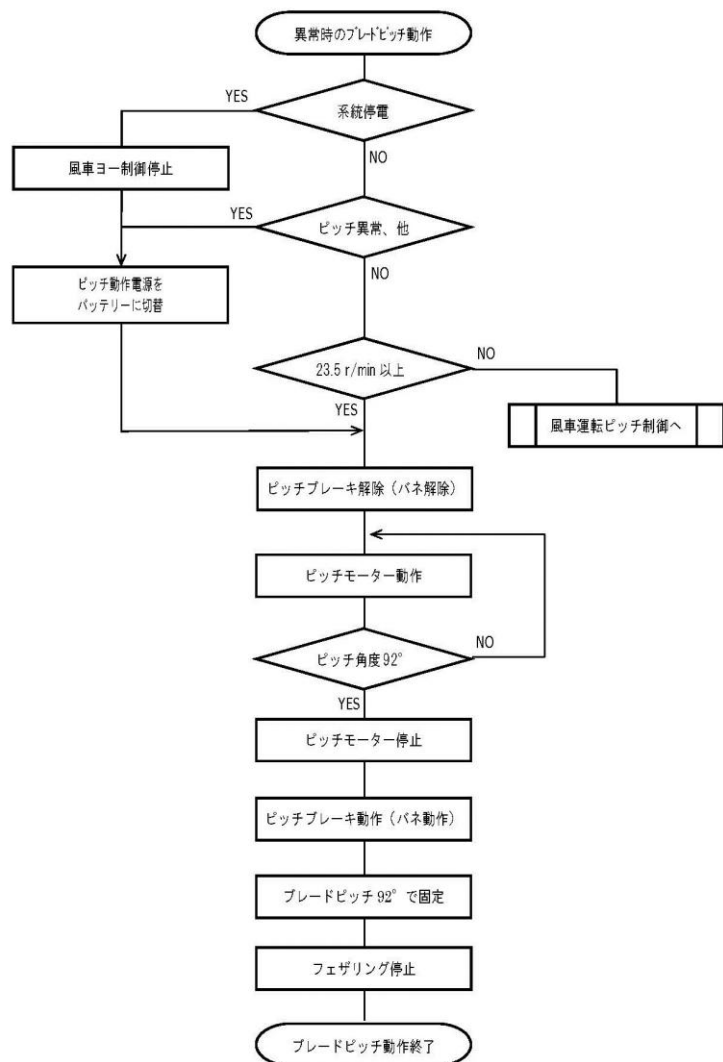
12時過ぎ

台風21号 徳島県上陸 この後に事故が発生したものと推測



## II. 事故の概要 (2/2)

停電時のブレードピッチ動作フロー図



タワー中間部（約37m付近）より北西側へ座屈。

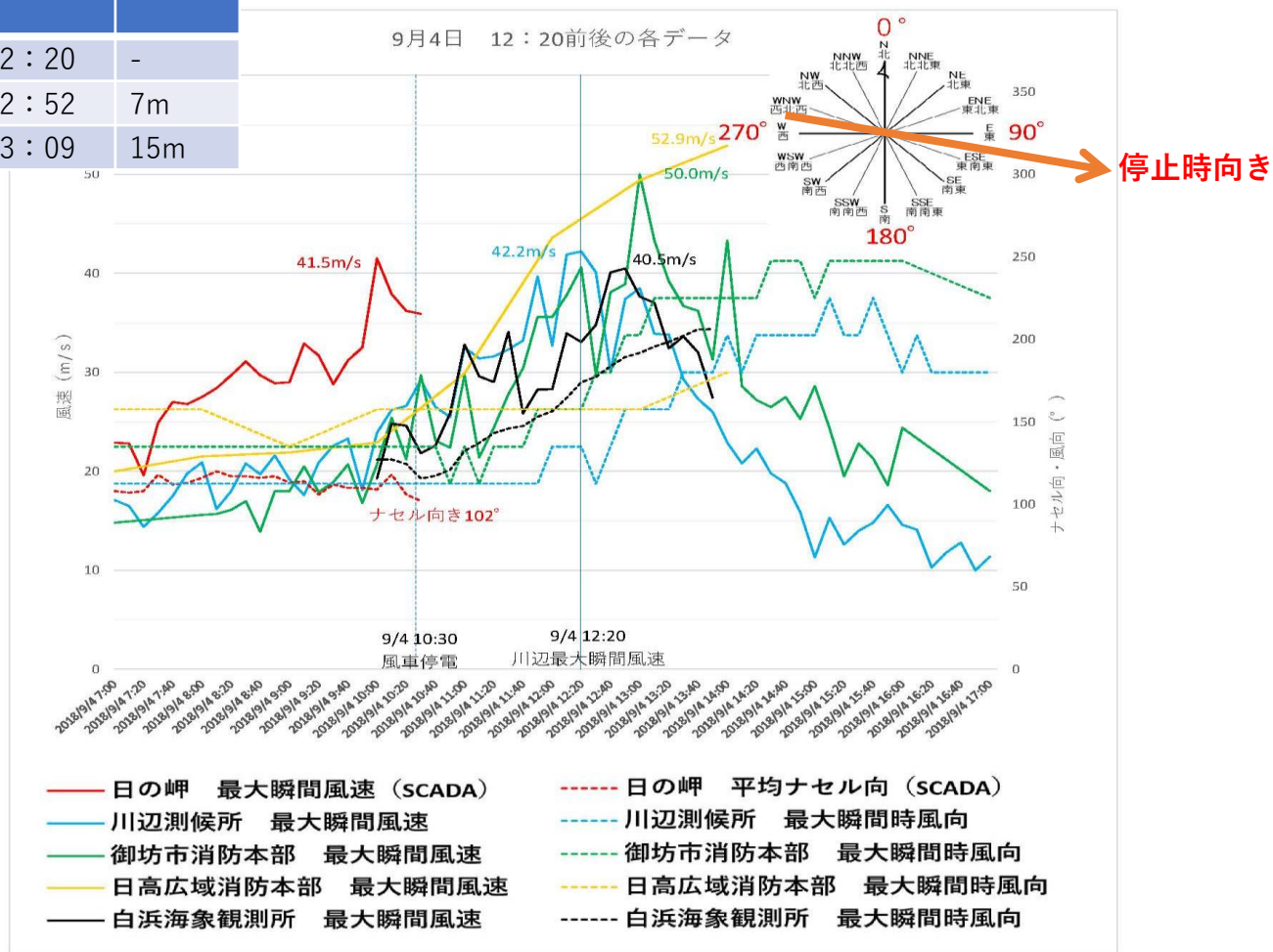
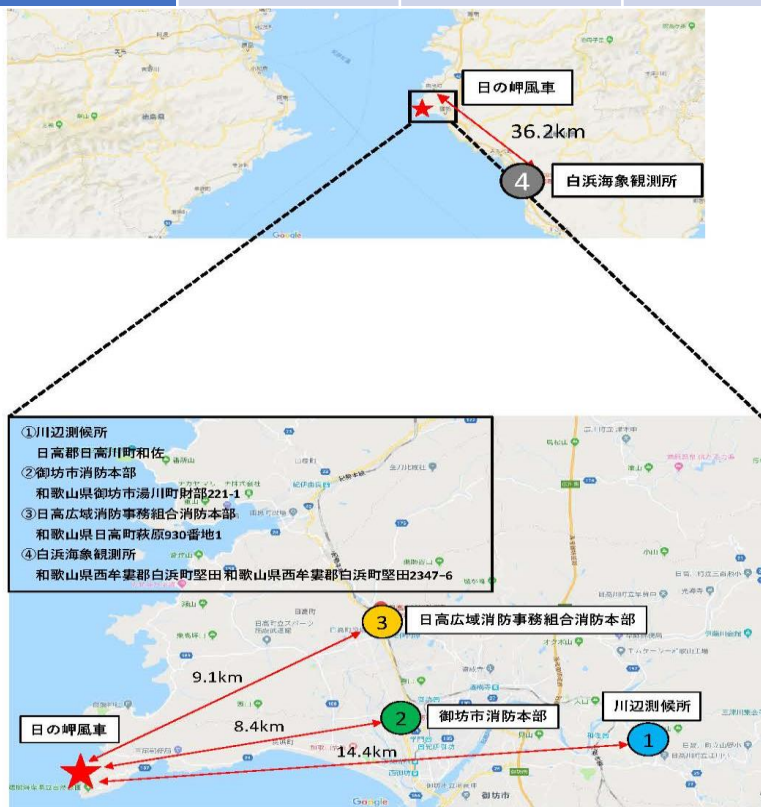
ブレードはナセル部に接続したまま、地上に落下。

地面のナセル向きがヨー制御停止時と異なる。

図 停電時のブレードピッチ動作フロー図

# Ⅲ. 近傍の風速・風向調査

県内計測箇所	風車との距離	最大瞬間風速 (10分)	風向	時刻	標高
川辺観測所	約14km	42.2m/s	南東	12:20	-
御坊消防本部	約8km	50.0m/s	南南西	12:52	7m
日高広域消防本部	約9km	52.9m/s	南	13:09	15m



※白浜海象観測所 データ出典：京都大学防災研究所 流域災害研究センター 流域圏観測研究領域【白浜海象観測所】 担当 馬場康之様



## IV. 原因分析フロー

- 台風通過 2 時間前からの停電にてSCADAデータが無いいため、検討にあたっては以下のフローにより進める。
- 本報告は、①と②を算出した段階であり、引き続き原因調査を継続する。

### ①事故発生時の台風21号モデルによる風速解析

台風 21 号による台風モデルを用いて、上空の風速と風向を求め、地形形状を考慮の上、ハブ高さでの時系列の風速、風向（10分間平均風速）を求める。

### ②タワー破損の構造解析

風向 4 ケースで、2007 年度版の土木学会の指針に基づき、座屈の風速を逆算にて求める。

### ③破損現物の調査による品質確認（溶接、ブレーキカ）

現地解体作業（12月着手予定）と並行して、回収した部材の破損状況等から風車実機の性能に問題が無かったかを確認する。

### ④メーカー（エネルギーコン社）による解析他

日立パワーソリューションズ・メーカーによる倒壊時の応答解析などによる検証する



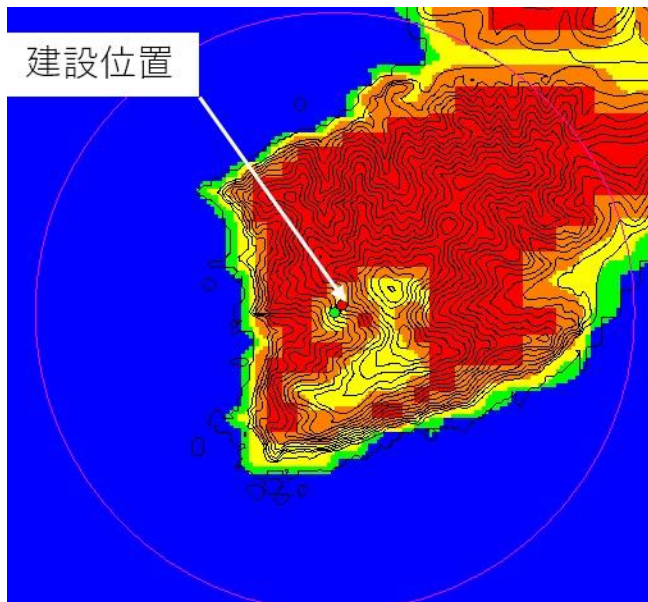


# V. 台風パラメータに基づく風速の推定 (2/4)

## <MASCOT解析結果>

### • 解析モデル

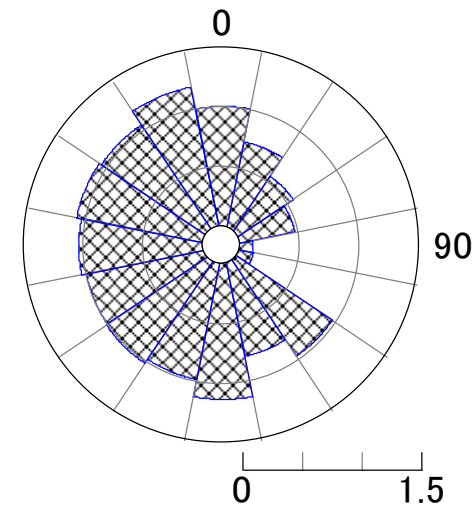
- 解析風向 16方位 (@22.5°)
- 解析領域 4400m × 4400m
- 水平方向最小メッシュサイズ 12.5m
- 建設地周辺は、地形データとして基盤地図情報数値標高モデル、地表面粗度データとしてGoogle Mapから読み取った粗度長を与えている



モデル化状況 (建設位置の詳細)

### • 平均風速の割増係数 $E_{tV}$

- 東よりの風向で風速が極端に小さい
  - 建設地点東側の尾根の影響
- 南～西～北  $E_{tV}=0.97\sim1.20$ 
  - 海側に開けた斜面の中腹



平均風速の割増係数 $E_{tV}$

# V. 台風パラメータに基づく風速の推定 (3/4)

## <近傍アメダス観測データに基づく推定>

- 近傍のアメダス観測値を風向別風速比を用いてハブ高さ風速を推定

(ここではMCP風速と呼ぶ)

- アメダス観測官署 アメダス川辺 (建設地点の東側約12km)
- 2017年9月から1年間について、SCADA風速とアメダス観測点の風向別風速比を求める

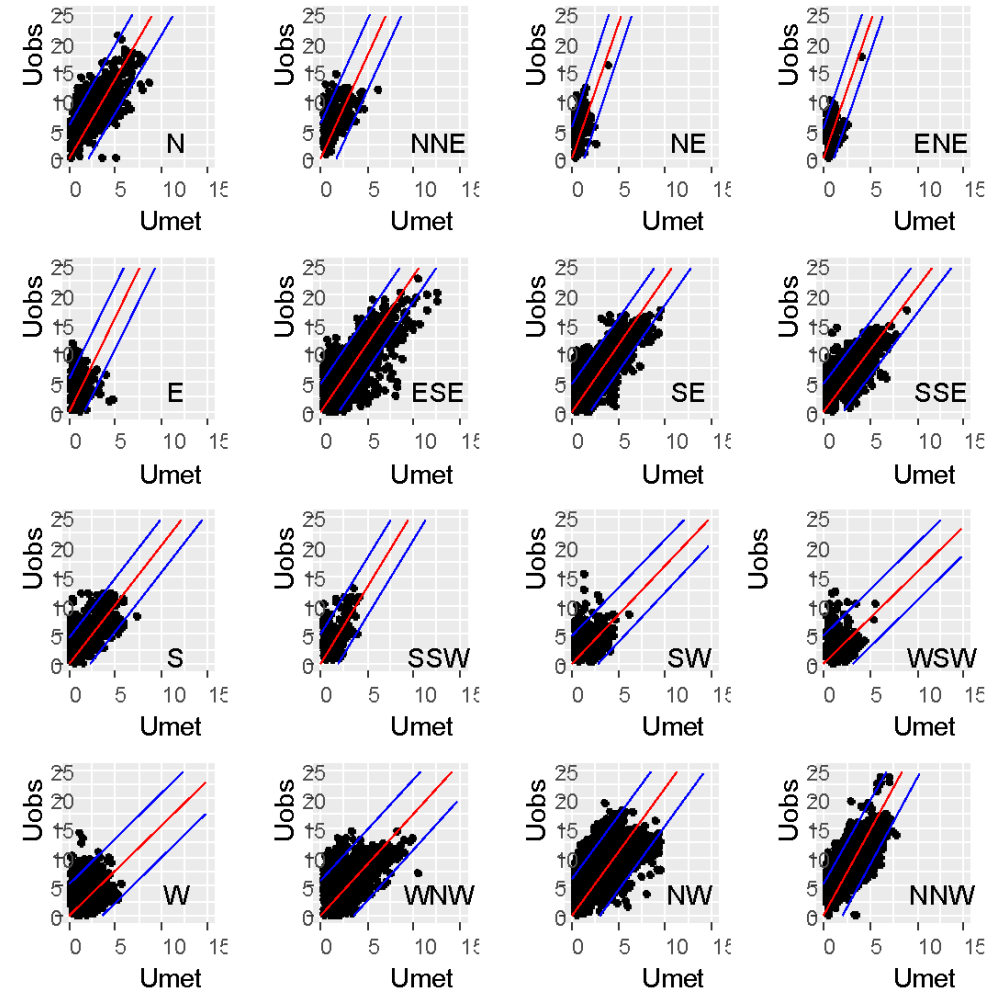
ここで

Umet: アメダス平均風速 (m/s)

Uobs : SCADA平均風速 (m/s)

赤線:  $U_{obs} = a \times U_{met}$  とした場合の推定値

青線:  $U_{obs} = a \times U_{met} \pm 2\sigma$  の推定値

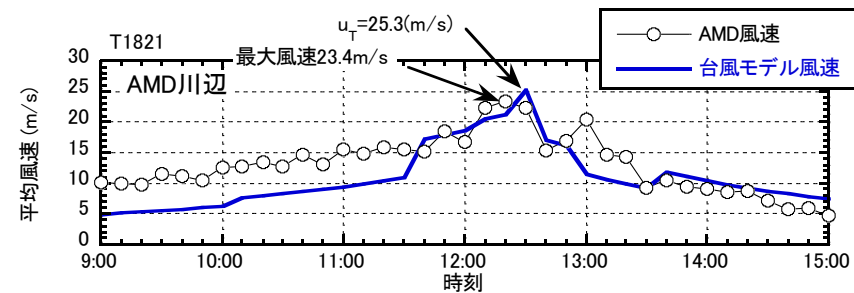
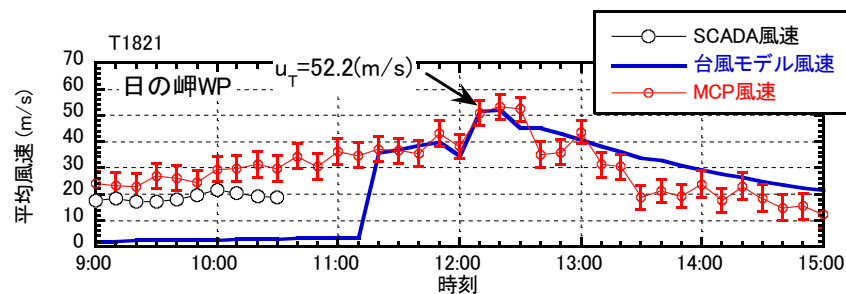


# V. 台風パラメータに基づく風速の推定 (4/4)

## <ハブ高さ平均風速の推定結果>

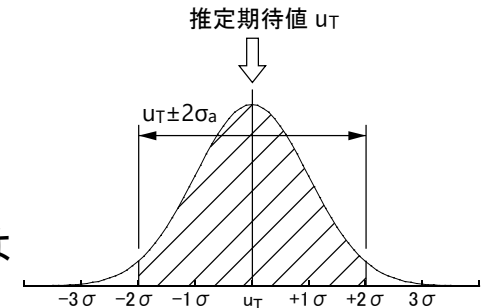
### • 平均風速時系列の推定結果（台風パラメータに基づく推定）

- 近傍のAMD川辺についても風速の推定を実施し、推定手法の妥当性を確認
- 日の岬WPの11:10までの推定風速が極端に低いのは、東寄りの風向で地形の影響を受け平均風速の割増係数が小さいため。
- 最大風速が生じる12時付近の風向は南寄りであり、東寄りの風向の推定精度が悪いことが最大風速の推定に及ぼす影響は小さいと考える。



### • ハブ高さ10分間平均風速の推定結果

- 台風モデルから推定したハブ高さの最大風速の期待値 $u_T$ は**52.2m/s**
- 10分間平均風速は推定した $u_T$ を中心に分布し、正規分布と仮定するとその標準偏差 $\sigma_a$ は $0.1u_T$ とされる（安井他）。  
→ 推定のバラつき範囲を $\pm 2\sigma_a$ （信頼区間幅：約95%）とすると、**41.8~62.6m/s**となる。
- アメダス川辺の観測値から推定した風速は53.2m/s  
（ $\pm 2\sigma$ を考慮すると、**48.5~57.9m/s**）





## VI. 倒壊風速の推定 (1/5)

### ・ 解析ケース

ブレードはピッチアウトしており、ローターはフリー、ヨー制御は外部電源の停電により制御不能状態とし固定された状態とする。タワーに生じる応力が短期許容応力度に達した時点をも倒壊と位置付けた。ナセルの向きは下記の4ケースとする。

- ・ 横風
- ・ 風向きより33度
- ・ 風向正面
- ・ 風向きより45度

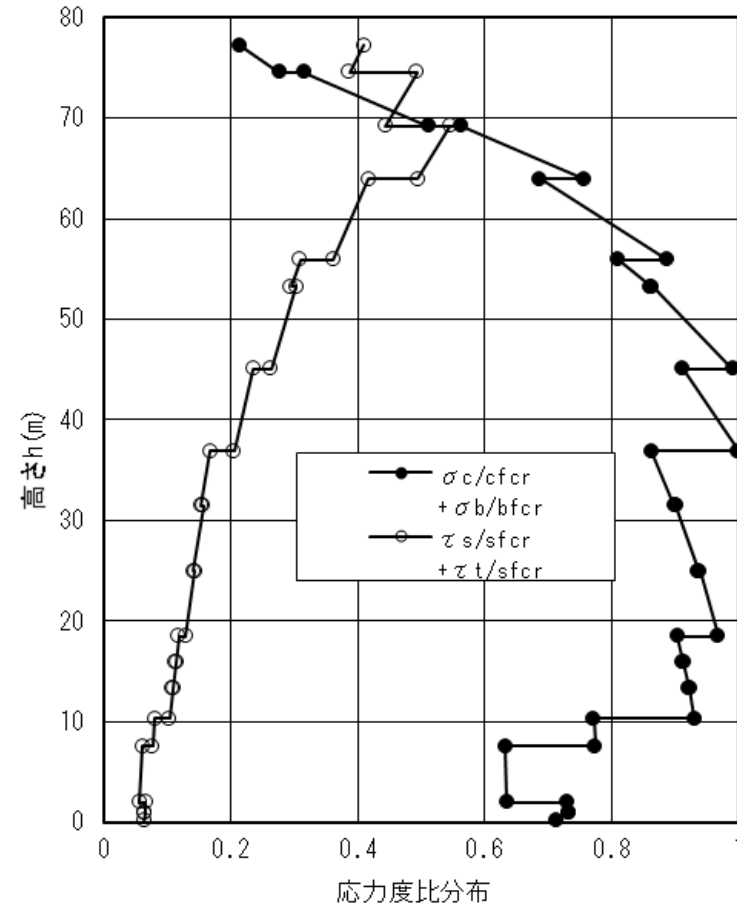
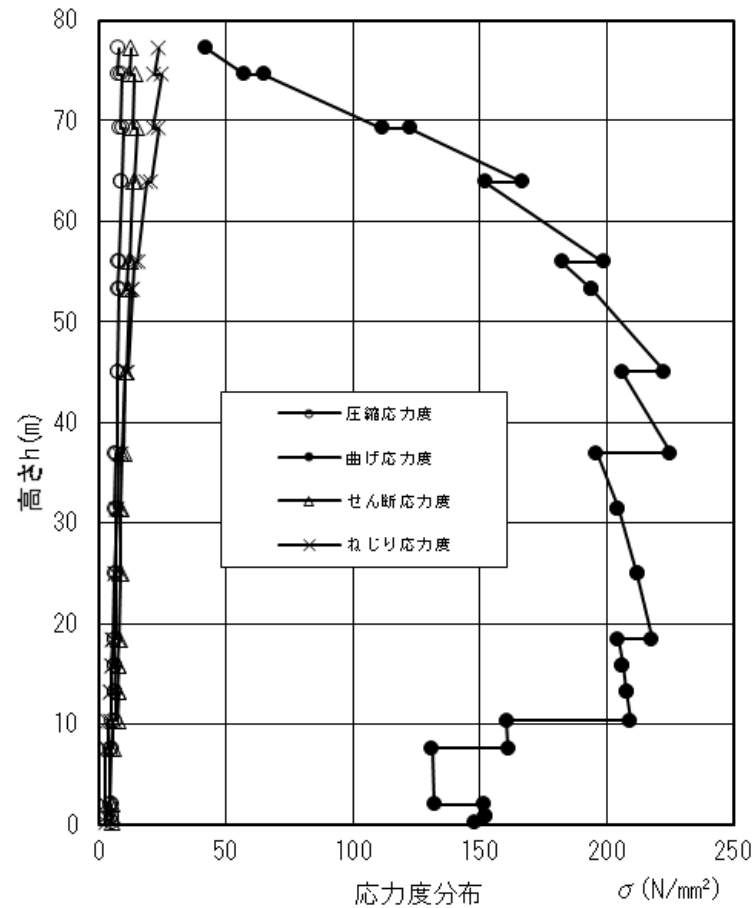
### ・ 算定結果

	横風	風向正面	風向 33 度	風向 45 度
設計風速 (m/sec)	63.09	178.74	82.94	74.26
座屈高さ (m)	36.9	36.9	36.9	36.9

※風速は発電機ハブ高さにおける 10 分間平均風速である。

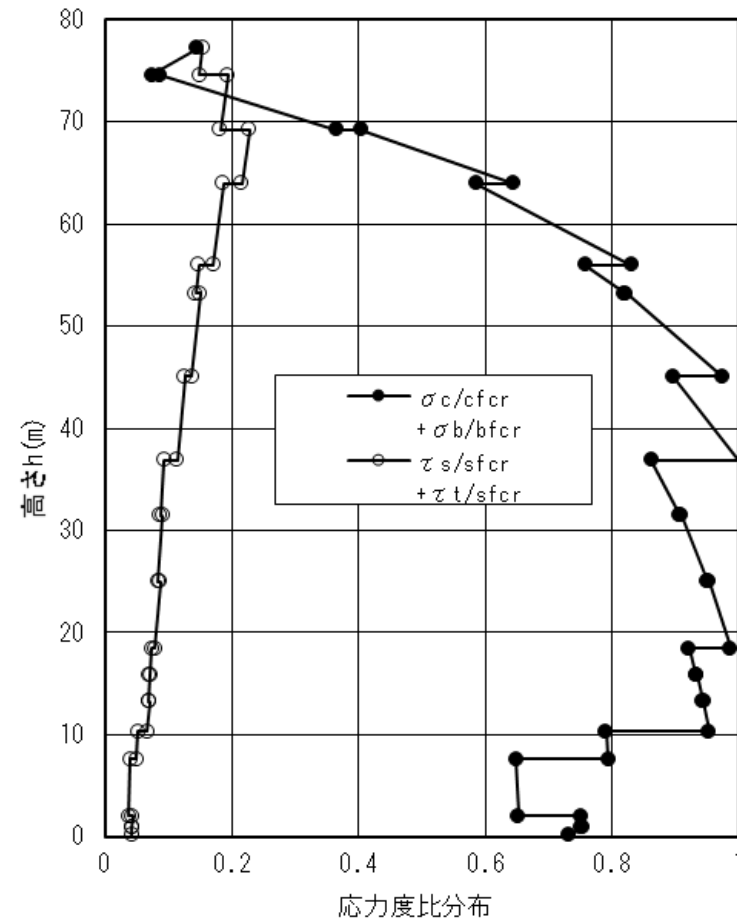
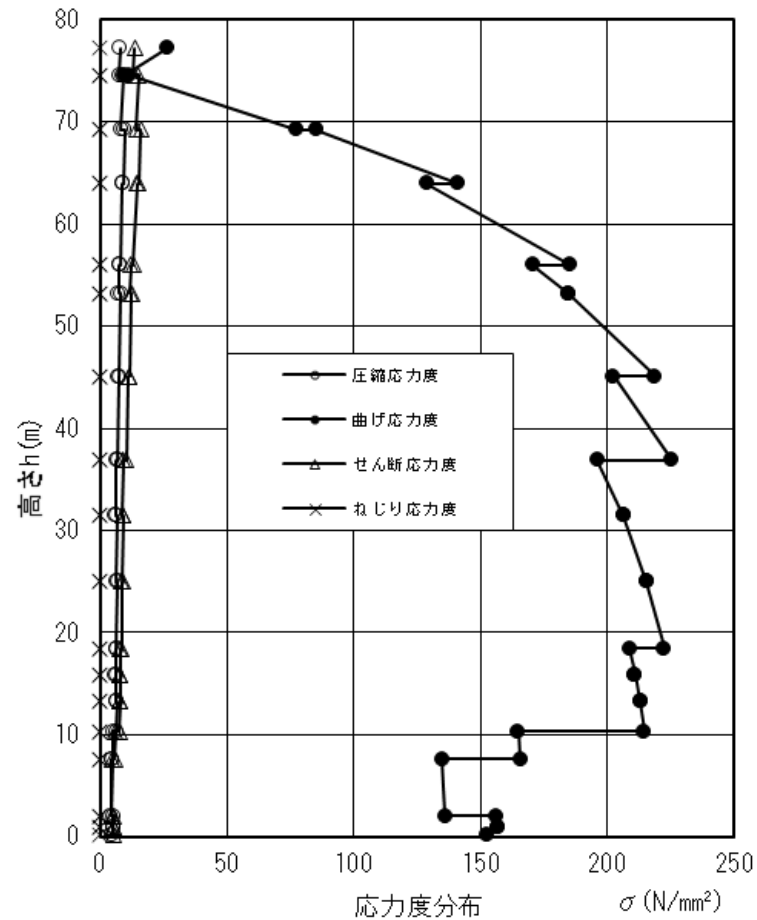
# VI. 倒壊風速の推定 (2/5)

## 各風向断面照査結果 CASE1\_横風



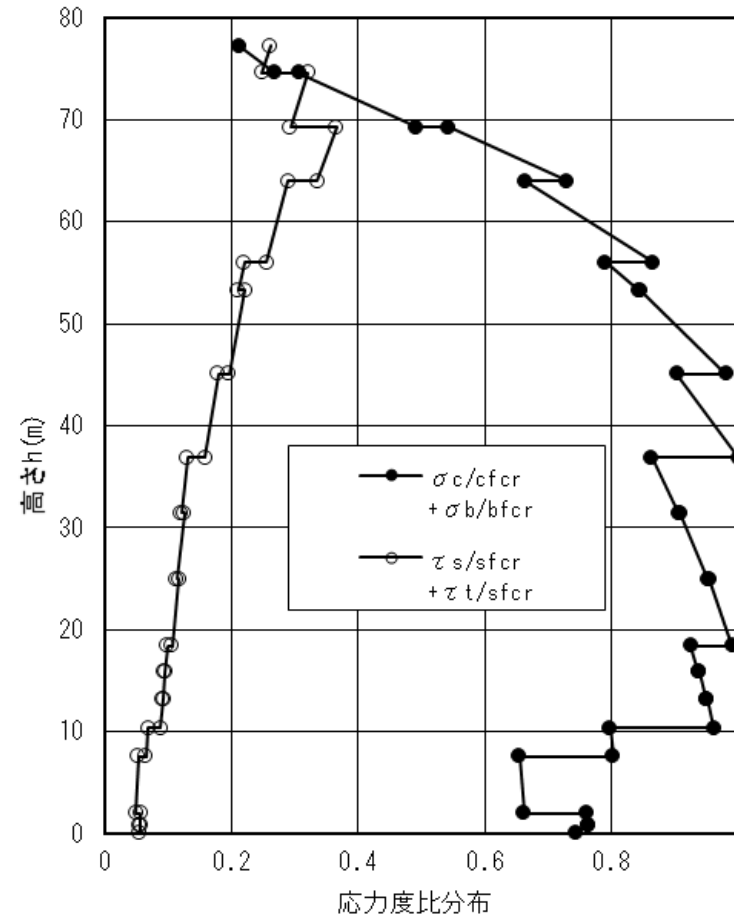
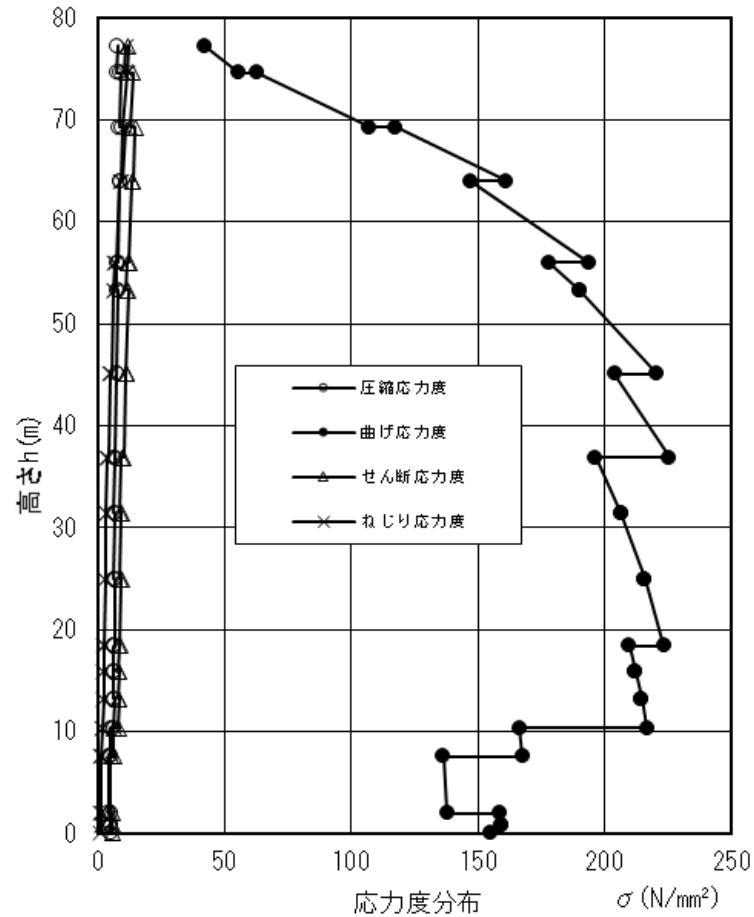
# VI. 倒壊風速の推定 (3/5)

## 各風向断面照査結果 CASE2\_正面



# VI. 倒壊風速の推定 (4/5)

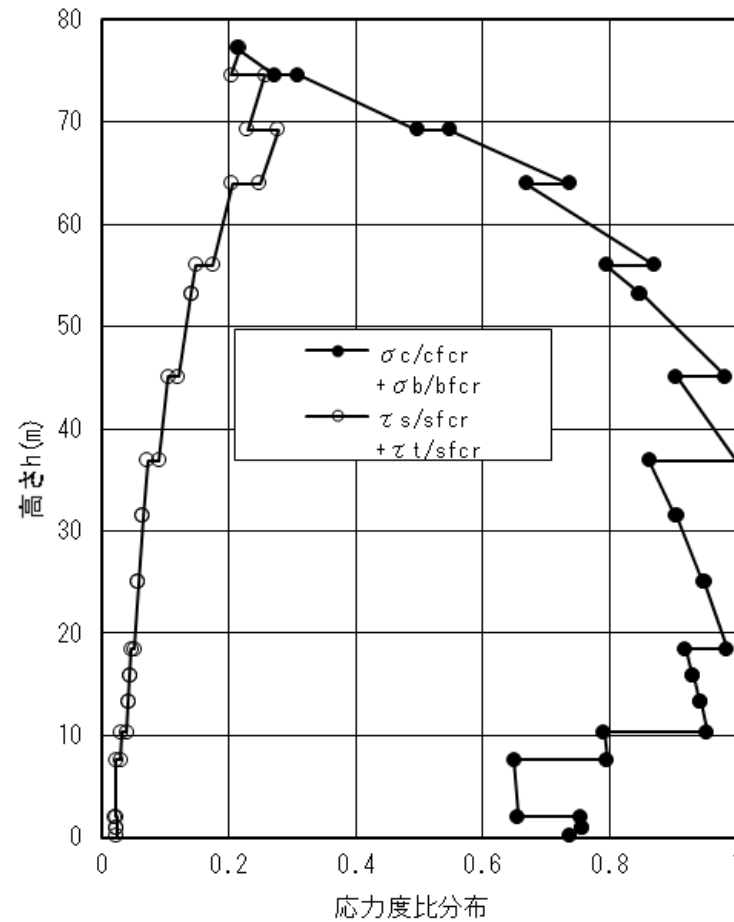
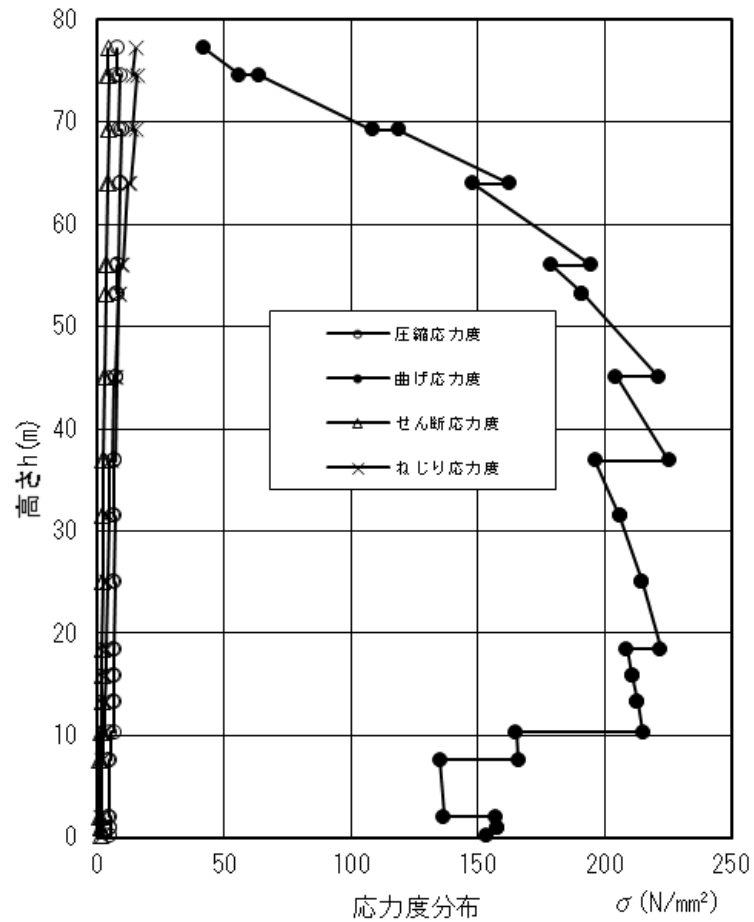
## 各風向断面照査結果 CASE3\_33度





# VI. 倒壊風速の推定 (5/5)

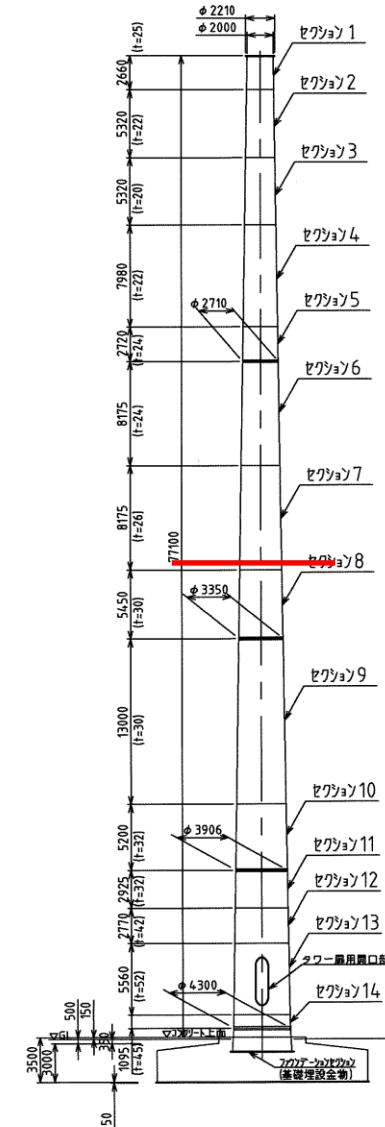
## 各風向断面照査結果 CASE4\_45度



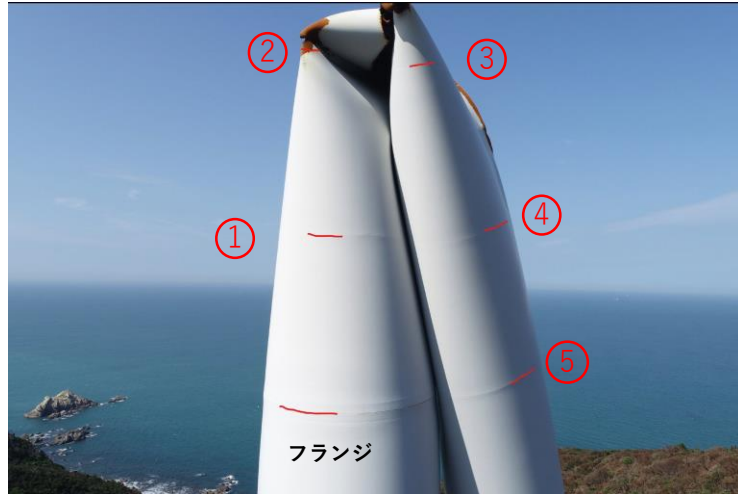
# VII. ドローンによる座屈状況の確認(1/2)



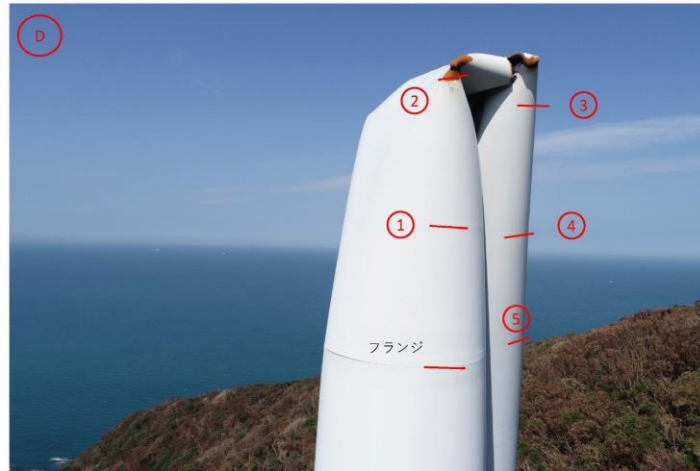
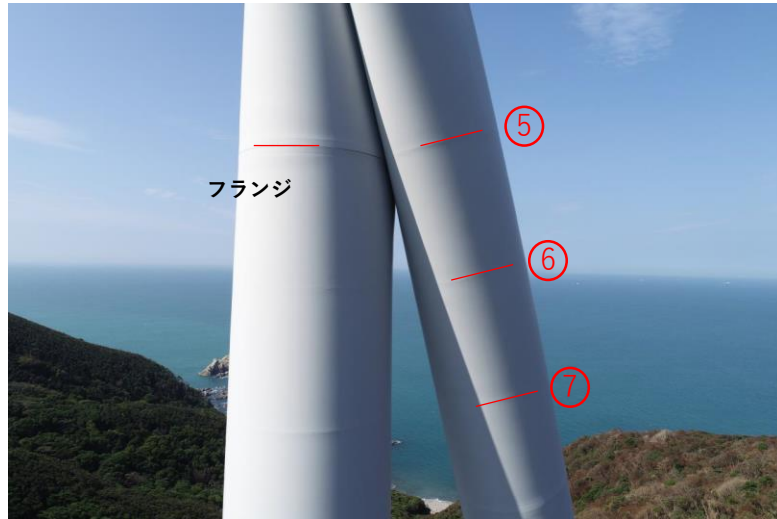
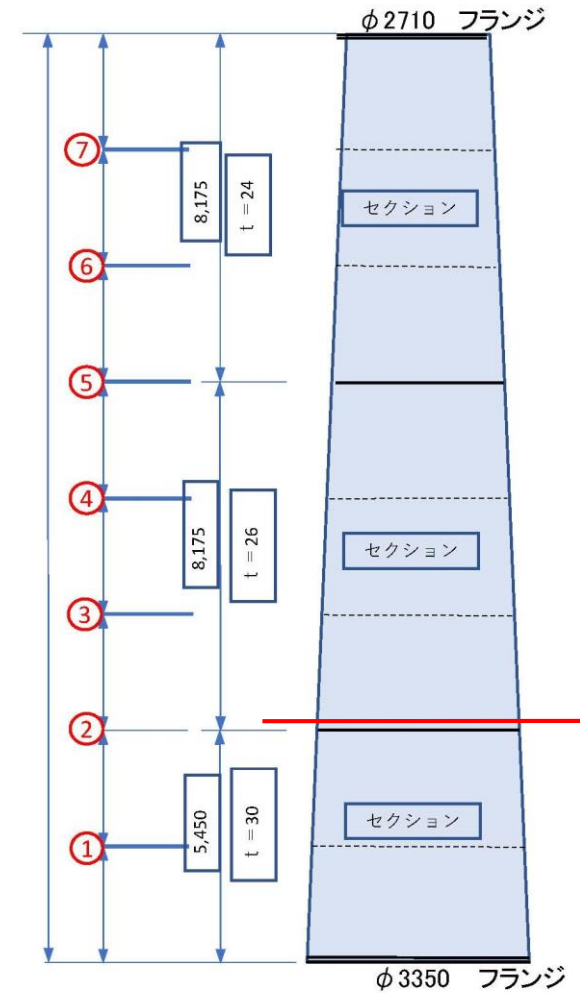
ドローン計測によるタワー折損部位置は、地上36.98m  
ここは板厚が30mmから26mmに下がる変位点



# VII. ドローンによる座屈状況の確認(2/2)



溶接線の位置



## VIII. 風車タワー製造に関する記録点検状況

点検項目	点検結果
風車タワー製造メーカー	株式会社 東国S&C (Dong-kuk S&C) 国土交通大臣認定書取得
製造したタワーの種類	日本国内向けEnercon社製タワー全数
鋼材の品質管理	ミルシート；合格
溶接の品質管理	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 溶接部非破壊検査 (UT) ；合格</li><li>・ 鋼材調達を含む製造体制…調査中</li><li>・ 鋼材調達を含む品質管理体制…調査中</li><li>・ 溶接員の資格および認証…調査中</li></ul>
製品の品質管理	製造メーカーの検査証明書 原材料、溶接部非破壊検査 (UT)、塗装検査結果；合格



未点検箇所への調査およびタワー折損部の実機点検を実施する



## VIII. 風車タワー製造に関する記録点検状況

### 実機の確認項目

- 1) 風車確認（現地最大3日）
  - ・ ヨーモータ、ピッチモータ健全性の確認  
ヨー、ピッチのすべりがないことの確認
  - ・ ナセル向きの確認  
タワーラダー位置を確認し、実機ナセル向きの特定
- 2) タワー折損部の確認（現地最大3日、返送調査最大21日）
  - ・ 外観目視確認  
錆、腐食、クラック、衝突痕、折損面観察等の全体状況把握
  - ・ 板厚（26mm、30mm）の確認  
図面通りの部材で製作されていることの確認
  - ・ 部材の引張試験（テストピース取り出し）  
折損部位近傍と離れた部位から部材を切り出し、比較
  - ・ 部材の元素分析  
ミルシートとの整合確認
  - ・ 走査型電子顕微鏡（SEM）による外観観察、元素分析  
（外観目視点検で微小なクラックが発見された場合）

## Ⅸ. 現在までの調査結果まとめ

■フロー①による推定風速は、**52.2m/S**（偏差  $2\sigma$  **41.8m/S~62.6m/s**）と算出されたが、フロー②による座屈耐力風速は、タワーに対して影響が大きいと考えられる横風の場合の計算値が**63.09m/s**（10分間平均風速）となり、推定風速は座屈耐力風速を下回る。

■タワー折損の位置は、実測未済であるが、ドローン計測（地上36.98m）とフロー②での算定結果（36.9m）は一致している。  
ここは板厚が30mmから26mmに下がる変位点でもあり、耐力的に一番弱い箇所である。なお、フランジでの折損は生じていない。

■タワー製造に関する記録点検を実施した結果、製品の製造・品質上に問題はなかった。



今後の解体作業（12月中旬着手）と並行して、フロー③の現物調査を実施することで、風車の製品面に問題がなかったことを確認するとともに、本風車データを保有しているエネルギーコン社の協力を得て、より詳細な解析等（スケジュールは調整中）を進め、本件原因の特定作業を進める。