

原題	Measurements of Wind Profile from a Buoy using Lidar		
邦題	LIDARで浮体ブイから風況観測	国籍	ノルウェー
発表者	CMR, University of Bergen, Statoil, Marintek and Fugro OCEANOR		
キーワード	LIDAR, buoy, wind profile		

1. 概要

現在の着底タワー式の洋上風況観測と同等の精度で、小型の浮体ブイからLidarで30-300mの風況観測が可能となれば、コストは10分の1、それ以上のスケールに減少する。

2. 現状把握

リモートセンシングの手段のうち、Lidarがサイズ、精度、消費電力の面からこの目的には最適と判断した。Lidarは大きく連続波CW型とパルス型に分けられ、双方について動揺する浮体からの観測について比較する。

1) 動揺テスト

Agder 大学から無償で提供された動揺プラットフォームを使い Grimstad キャンパスで実験を実施。NORCOREからの無償動揺センサーと超音波風速計を使用。

動揺プラットフォームは6自由度の振動と振幅が調整可能で、実際の波を再現した。次の主要軸＝ロール・ピッチ・ヨー・ヒープ(上下動)・サージ(前後動)、および複合動＝ヒープ＋サージ＋ピッチを使った。

CWのZephIR300とパルスのWindCubeを動揺プラットフォーム上に、参照用にそれぞれもう1台を地上での参照用に配備した。40mから197mまでの10高度を観測し、56通りの動揺の組み合わせを使った。

水平風速について動揺カテゴリ別に比較する(図2.2～2.4)。

- 補正がなくとも差異は0.2m/s(2%)程度に収まっており、いずれの方式も大差はない。ただし参照用WindCubeは鉛直風速を過大評価気味であることがわかってきた。
- ヨーの周期を増やすに従いWindCubeの観測値は低く出た。4点を4秒でスキャンするため、動揺が速くなるとスキャンのスピードが追従できなくなるため。速いヨー周期が出現したら補正が必要。
- チルト動揺も影響が大きい。標準偏差がチルト角の変動に伴い増大する。これはWindCubeに顕著であり、ピッチと、オフセット付鉛直円弧動揺に対して低風速帯での標準偏差に差異が大きい(図2.4)。乱流強度においても同じ傾向(資料なし)。

2) 動揺補正シミュレーション

ブイのピッチとロールを低減するに最適なバラスト仕様を決めるため、ZephIR300を乗せたWavescanブイ(図2.5)の動解析を実施した。非線形時系シミュレーターとWAMIT放射/回折モデルを用い、Lidarを乗せる/乗せない場合について、3ケースの波浪条件のもとに実施した。

- ヒープとロールとピッチはブイの構成によって大きな変化はなく、波の状態による変化も小さい→復元力は実際の応答に対して放射・回折力より重要である。Resonance域の外側では、条件による変化は見られない→ブイの構成は波による応答に影響はない。ブイの上下動は、その構成に関わらず波高に追従するため。
- ロールとピッチの応答について、時系列に沿って統計解析を実施した。①水平面内に回転自由度を持つブイでは質量の増加により明確なビジョンは得られない→ヨーによりロール・ピッチへの影響が大きい。②ヨーを封じピッチ動揺だけで解析③ロールとピッチ両方を含んだ回転角の解析、この2つを実施すると、シビアな波浪でバラストの動揺低減効果を得られるが、平穏な波だとバラストが逆効果となる。これは共振の影響期間が延びるため。荒れた波では風と波力の影響力が大きくなり、バラストがこの力への反動揺効果を出す。

3) 動揺補正

Bergen大学のアルゴリズムを使い、ブイのセンサーからの6自由度のデータから、Lidarデータを補正する。波浪センサーの1秒データを用い各高度の1秒データを補正する。

原理

Edson(1998)のアルゴリズムを用いる。観測装置のプラットフォームxyz座標上の速度ベクトル \mathbf{u}_0 を、参照xyz

座標上の真の速度ベクトルに次の式で変換する。

$$\mathbf{u} = \mathbf{T}(\mathbf{u}_0 + \boldsymbol{\Omega} + \mathbf{R}) + \mathbf{V}_{\text{mot}}$$

\mathbf{u} は真の風速、 \mathbf{u}_0 は観測風速、 $\boldsymbol{\Omega}$ と \mathbf{R} はプラットフォームのセンサーから得られるそれぞれ動揺の角速度ベクトルと位置ベクトル、 \mathbf{V}_{mot} は参照座標上のプラットフォームの動揺速度。 \mathbf{T} はプラットフォーム座標から参照座標への回転変換行列式。

テスト

アルゴリズムは各ビームの 1 秒データが得られる WindCube に適用した。360° 連続スキャンの ZephIR には当てはまらないので、代替アルゴリズムを開発する予定。

条件は 003(ヒープ 40cm)、006(N-S サージ 40cm)、010(N-S チルト 10° 2Hz)、014(鉛直円運動 30cm)、011(N-S チルト 15°)、047(嵐・チルト最大 17°) を適用。Titran テストのデータでテスト中。

時系列図 2.6 は 006(N-S サージ 40cm) で 80m 高の風速(m/s)を補正した例。横軸は秒。 $u\text{-obs}$ と $v\text{-obs}$ はプラットフォーム観測のそれぞれ南北、東西風速。 $u\text{-ref}$ は参照 Lidar の南北風速。 $u\text{-corr}$ と $v\text{-corr}$ はプラットフォーム観測を補正した南北、東西風速。プラットフォームの計測装置データから、0.75 秒の時間補正を施してある。 $u\text{-corr}$ マイナス $u\text{-ref}$ のグラフがほしいところ。

3. 浮体観測システム

Wavescan Lidar ブイは ZephIR 300 を搭載し、以下の構造となっている。

1) ブイ

Fuguro OCEANOR 最大のラフ波浪対応ブイで、直径 2.8m、係留設備を除く重量 925kg。浮力は 2800kg あるので、水深が大きくても十分な係留に耐えられる。輸送用に二分割可。キールには転倒防止の重量付き。

中央のシリンダ(直径 0.7m 高さ 1.46m 体積 0.56m³)はすべての電子モジュール、電源、波浪センサーとデータロガーを格納。マストには海拔 3.5m 観測の気象センサーとアンテナ。40W 太陽電池を 4 枚ほど付けている。

2) ZephIR 300

連続波 CW 型 Lidar で鉛直 30° を 50 点/秒で円錐スキャン。プローブ深さは 40m/100m/150m でそれぞれ ±1m/±6m/±15m。仕様は表の通り。

3) SEAWATCH Wind Lidar ブイ(図 3.3)

海流観測可。Lidar は海拔 2.5m に置かれ、最低観測高度は海拔 12.5m。Lidar 付属のセンサー、マストトップのセンサーで海拔それぞれ 2.5m、3.5m の風況を観測。電力消費は 10 分の観測でスタートアップの 5 分間を入れて 1.5Ah。1 回/時間×1 日当たり 36Ah。

4. フィールドテスト

ノルウェーは Frøya 島 Titran、外洋に面していて近くに風況タワー 3 基がある理想的なサイト(図 4.1)。参照用 Lidar を陸上に配備した(図 4.2)。ZephIR を搭載したブイ(図 4.3)は参照 Lidar から 3km。

- ・ 観測期間 2012 年 3 月 24 日～4 月 19 日
- ・ 12.5m～218m の 10 層の 10 分間の平均風況を 3 時間ごとに観測
- ・ 参照 Lidar は 53m 層を連続観測、ブイはマストトップのセンサーで波浪と風と湿度を 30 分ごとに観測
波高は観測期間最初に 3.5m を記録、4 月 9 日以降は 1m 以下(図 4.4)。

ブイと参照 Lidar の 53m 高の風速を比較(図 4.5)。波浪の傾向と同様、4 月 5 日以前に 20m/s、それ以降は 10m/s にもほとんど行かない。ブイマスト 3.5m の風向によると(図 4.6)4 月 8 日までは南西～北、それ以降は北～東のオフショアに転ずる。

ブイ Lidar の 3 高度では(図 4.7)では 4 月 1 日を境に風速勾配が急から緩に転ずる。最初は南西からの maritime polar 気団からの風が、後半では北寄りの polar arctic 気団からの風が変わる。北寄りの風は 3km 以上の陸上を渡る間に摩擦混合が加わり、安定度に影響を受けるためと推測される。

ブイと参照 Lidar の観測値散布図(図 4.8)では低風速域で分散が大きい。4 月 5 日以前に限定した散布図(図 4.9)を作ると、分散は減少した。4 月 5 日以降はオフショア風が吹くため、2 つの Lidar 間の乖離が大きくなるのであろう。(観測の前半は西～南のオンショア高波浪・強風・層流/後半は北のオフショア低波浪・弱風・混合流)

以上