

ドップラーライダーを利用した浮体式洋上風況観測システムの開発及び実測による検証

東京大学	正会員	○山口敦
東京大学(研究当時)	非会員	若林蘭
東京大学	正会員	石原孟

1. はじめに

洋上に風況観測タワーを建設することはコストがかかるため、浮体に搭載したドップラーライダーによる風況観測が着目されている¹⁾。しかし、浮体は波浪や潮海流により動揺するため、この動揺を計測すると共に動揺による影響を補正する必要がある。本研究では、RTK-GPSと慣性センサを併用した浮体動揺観測手法を提案するとともに、ドップラーライダーの風速補正手法を定式化する。



図1 福島沖洋上風力発電所サブステーション

2. 浮体動揺の同定手法の提案

本研究では、福島沖洋上風力発電所のサブステーション(図1)に搭載された3台のRTK-GPSと慣性センサによる観測データを用いて浮体運動の同定を行うとともに、検証を行った。

浮体上の3台のRTK-GPSにおいて、3台ともRTKモードでデータが取得できている10分間を選び、本研究の対象とした。この10分間では、3台のRTK-GPSデータから、浮体運動の6自由度成分を同定することが可能であり、このようにして求めた6自由度成分を真値とした。

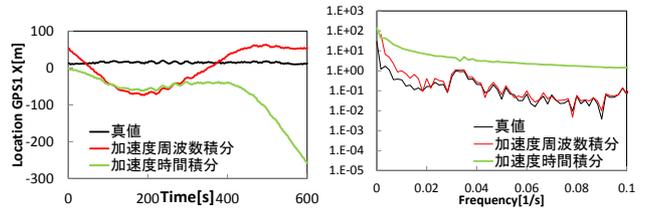


図2 加速度計の積分によって求めた変位とそのフーリエスペクトル

RTK-GPSの欠測時については、加速度計により補完することを考える。図2にはGPSにより計測した変位と加速度を積分して求めた変位を示すと同時に、各々のフーリエスペクトルを示す。加速度計を積分した変位は、周波数空間で積分したか、時間空間で積分したかに関わらず、ドリフトによって大きな誤差が生じている。このことをフーリエスペクトル見ると、低周波領域で誤差が大きいことがわかる。

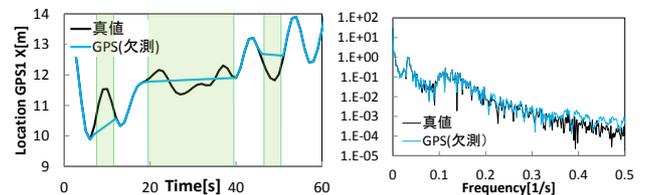


図3 欠測したGPS変位時刻歴とそのフーリエスペクトル

一方、一部が欠測したGPSデータ(図4(a))のフーリエスペクトルを見ると(図4(b)), 高周波領域で精度が低下していることがわかる。このことから、本研究では(1)式によりGPSから求めた変位のフーリエ成分 $S_{GPS}(f)$ と加速度計の積分より求めた変位のフーリエ成分 $S_{acc}(f)$ を組み合わせ、得られたフーリエ成分をフーリエ逆変換することによりGPS欠測時にも対応可能な変位データを作成した。

$$S(f) = g(f)S_{GPS}(f) + [1 - g(f)]S_{acc}(f) \quad (1)$$

$$g(f) = \begin{cases} 1 & (f \leq f_a) \\ \frac{1}{f_a - f_b} & (f_a < f \leq f_b) \\ 0 & (f_b < f) \end{cases} \quad (2)$$

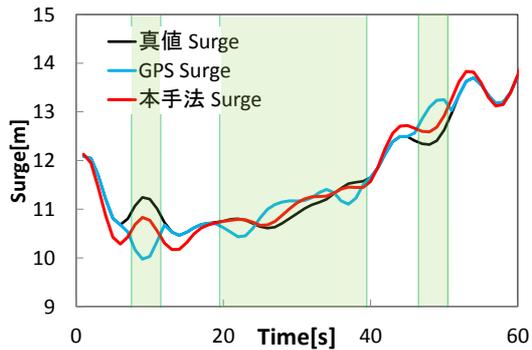


図4 浮体のサージ応答

図4に本研究で提案した手法により求めたサージ応答の時系列を示す。この例では 8[s]~11[s] (4 秒間), 20[s]~39[s] (20 秒間), 47[s]~50[s] (4 秒間)のGPS データが欠測したと仮定している。提案した手法は、真値の波形により近く、欠損部分のデータを補完できていることが分かる。

3. ドップラーライダー補正手法の定式化

ピッチ方向、ロール方向にライダーが傾斜すると図5(a)のようになる。この時、各ビームの計測高度が目標高度からずれることにより誤差が生じる。本研究では、目標高度を挟む2点の計測高度から、線形内挿により目標高度の視線風速を求めた。

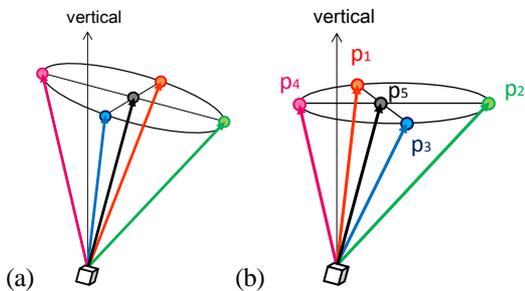


図5 傾斜したライダーと視線風速

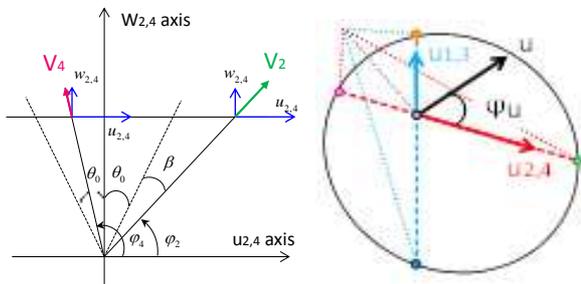


図6 ライダー断面図

次に図6(a)に示すように、視線風速ベクトルの張る平面内の風速の水平成分 $u_{1,3}$ および $u_{2,4}$ を求める。最後に、図6(b)に示すように、真の水平風速 u を求める。

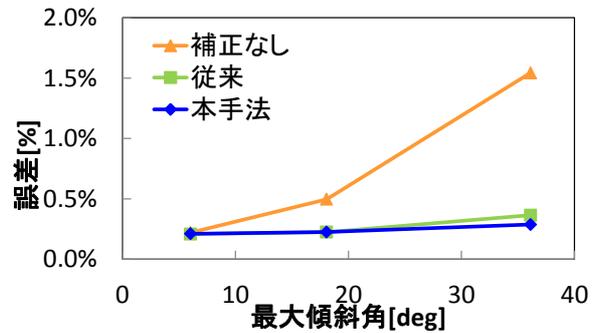


図7 補正結果の誤差

このようにして求めたライダーの風速の精度を検証するために、数値シミュレーションを実施した。シミュレーションでは、浮体の最大動揺角度を6度、18度、36度に変化させて水平風速の予測誤差を求めた。従来の補正手法²⁾では、傾斜角度が36度となると、誤差が大きくなったのに対し、本研究で提案した手法では誤差の大幅な増大は見られなかった。

5. 結論

本研究では浮体の動揺計測手法とライダーの動揺補正手法を提案しシミュレーションと実観測データから検証を行い、以下の結論を得た。

- 1) 提案した手法により、加速度データを用いてGPSが欠測した時の変位を高精度に求めることが可能となった。
- 2) 提案したライダーの補正手法は最大傾斜角に関わらず、高精度な補正が可能である。最大傾斜角が36度の場合、水平風速の誤差は1.5%になるが、補正により、誤差は0.3%まで低減する。

謝辞

本研究は、経済産業省の福島浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業の一環として実施された。ここに記して関係者の皆様に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Julia Gottschall, Hristo Lilov, Gerrit Wolken-Möhlmann, Bernhard Lange : Lidars on floating offshore platforms /About the correction of motion-induced lidar measurement errors (simulations and first experiments), EWEA, 2012.4
- 2) Fujitani,T.: Direct measurement of turbulent fluxes over thesea during AMTEX. Pap. Meteor. Geophys., 32, 119–134, 1981.