

山岳の尾根に対する風向と乱流の関係 Rapid distortion theory—野外観測データの解析

河野 仁 (兵庫県立大学環境人間学部)、太田 (旧姓: 亀島) 千夏 (㈱中央エンジニアリング)

1. はじめに

乱流は風力発電の発電効率や風車の耐久性に影響する。わが国においても既に、山頂や尾根上に多くの風車が建てられており、山頂や尾根上の乱流の特徴について調べることは実用上重要である。ここでは、2次元の山を対象にして、尾根の頂における乱流が尾根に対する風向によって、どのように変化するかということを研究課題とする。これは、風車を建設する場合、主風向に対して尾根の向きが平行あるいは垂直のいずれが有利かという実用的な問題である。風速に関しては、尾根に対して垂直の方向から風が吹く場合は斜面における集風効果によって、平行に吹く場合よりも風速が強くなることが知られている。乱流に関しては、尾根に対して垂直の方向から風が吹く場合に、尾根上の  $\sigma_{uv}$  の値は上流の麓の同じ高さで観測された値よりも小さくなるのが数値実験や風洞実験で示され、Rapid distortion theory として説明されている(Kaimal and Finnigan, 1994)。また、同様のことが Askervein Hill (Micle et al., 1988), Cooper's Ridge (Coppin et al., 1968), Black Mountain (Bradley, 1980)による野外観測データでも示されているが、いずれも、観測期間が短いものである。ここでは、尾根の向きと風向のなす角度によって、尾根の頂における乱流強度がどのように変化するかという点に関して、2つの山城の尾根において、それぞれ1年間の長期間観測されたデータを使って解析を行った。長期間の観測データを使って、このような視点で解析された例は今までにない。

2. 3杯型風速計による乱流観測と応答限界周波数

風速計は3杯型風速計 NRG#40 が使用されている。NRG#40 の風速変動に対する応答限界周波数は  $\lambda_c \sim 34m$  (平均値)である(河野ら, 2012)。大気安定度が中立状態では接地層において、地表面粗度に起因する乱流は、観測点高さ  $z$  の約2倍、 $\lambda_m \sim 2z$  の乱渦サイズが最大エネルギーを有する。それ故、 $z=20m, 30m$  ではそれぞれ  $\lambda_m \sim 40m, 60m > \lambda_c$  となるので、この高さでは地表面粗度に起因する乱渦のエネルギーのピーク値は観測できていると考える。

3. 観測結果

観測場所の一つは、兵庫県の氷ノ山東尾根の稜線である。東尾根は周辺を標高 500m~700m の山に囲まれている。東尾根の観測点を中心として、尾根に対して平行(AA')と垂直(BB')の断面を図1に示す。観測は NEDO と関宮町、明電社(2003)によって 2002年11月1日から2003年10月31日の1年間行われた。

観測点は、稜線上から NNW 方向に 40m(標高差で 10m)下降した標高 780m の場所である。観測点周辺は、10~12m 高さの樹林であるが、観測点を中心として周辺の半径 40m 以内の木は観測のために切り倒された。伐採地の中心にマストが立てられて、地上から高さ 20m と 30m において、風速が観測された。風速計は3杯形風速計 NRG#40、風向計は NRG#200P が使用された。風速のサンプリング間隔は 1~3s である。10分間の平均風速と風速変動の標準偏差、10分間の平均風向が記録されている。図1に解析結果を示す。解析に使うデータの気安定度は中立状態に限定するために平均風速が  $5ms^{-1}$  以上の強風時データを使用している。このように選定した乱流強度の観測データは地形と地表面粗度の両方の影響を受けているが、地表面粗度については一応均質と仮定している。尾根に対して風が直角に特に北西側から吹いているときには、平行に吹いているときよりも乱流強度が大きくなる。

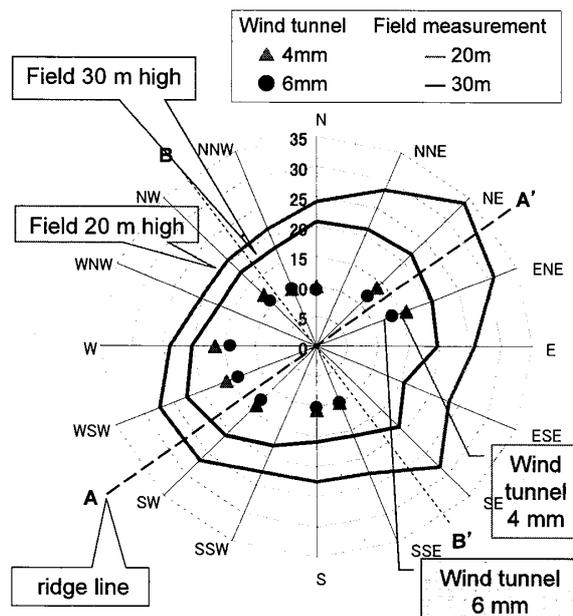


図1. 尾根に対する風向と乱流強度  $\sigma_{uv}/U$ ,  $U > 5ms^{-1}$  野外観測(兵庫県氷ノ山)と風洞実験

Reference:

Kameshima, C., Kono, H. et al., Relation between the turbulent intensity on the crest of a ridge and wind direction relative to the ridge line- part 1: field experiments, 9a.1, part 2: wind tunnel experiments, 12a.2, 13<sup>th</sup> International conference on mountain meteorology, Aug. 2008.