

建設省土木研究所 正会員 田村 敬一
 東京大学工学部 正会員 伊藤 学
 東京大学工学部 正会員 藤野 陽三

1. はじめに

細長い構造物や部材の渦励振、また自然風に起因する環境問題等に関連する現象は日最大風速程度の必ずしも高くない風速で発生し、しかも風向にきわめて敏感なことが多い。そこで本研究では、日最大風速並みにその風向の観測記録から、風速と風向の独立性について検証したうえで、風向別に風速の比較的確い再現期待値を推定し、その推定誤差の評価を行った。また、風速と風向の同時確率分布モデルについて考察を加えた。なお、本研究で用いたデータは1964年から1979年までの16年間に全国157地点の気象官署において観測された日最大10分間平均風速およびその平均風向である。

2. 風速と風向の独立性の検証

風速記録をその大きさにより5個程度のランクに分類し、風速ランクと風向によって行列の形に整理して χ^2 検定を行った。その結果、風向が16方位に細かく分類されているために自由度が大きく、検定の条件がきびしくなっているが、有意水準 $\alpha=1\%$ にとっても風速と風向が独立であるとみらせる地点はなかった。すなわち、風速と風向は独立であるとみなしがたく、風速統計においては風向を考慮する必要があることが認められた。

3. 風向別再現期待風速の推定

(1) 風向別再現期待風速 まず、風向別の風速分布に対して極値I型分布を仮定した。また確率分布への当てはめはHazenの方法に従って経験的超越確率をとり、最小二乗法により確率分布のパラメータを決定した。その結果、風向別の日最大風速の分布は極値I型によく適合することが示された。次に、風向別の再現期待風速の計算例を図-1に示す。図中、破線は風向を考慮しないで求めた再現期待風速であり、風向を考慮することにより、再現期待値がかなり低下する場合があることがわかる。

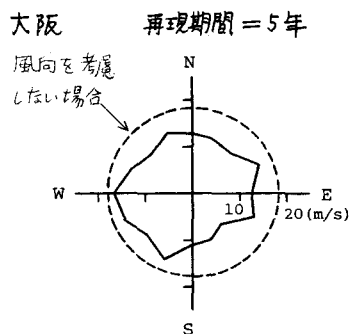


図-1 風向別再現期待風速

(2) 再現期待風速の推定誤差の評価 着目地点における観測期間が短い場合、推定された風速期待値の信頼性が問題となる。そこで、瀬戸内海周辺の12地点を例にとって、短い観測期間(1~3年)のデータから推定される再現期待風速の推定誤差の評価を試みた。まず、データを収集する期間を変化させた場合に再現期待風速がどの程度影響を受けるかを調べた。すなわち、風向別に全観測期間(16年)のデータから求めた再現期待風速 $\bar{v}_t$ に対する短い観測期間のデータから推定される再現期待風速 $\hat{v}_i$ ($i=1,2,\dots,k$)の比を P_i ($=\hat{v}_i/\bar{v}_t$)とし、観測期間による P_i の変化を求めた。図-2はその一例で、一般に1年間平均で10個程度以上の風速記録がある風向については P_i の値はおよそ0.8~1.2となり、推定される再現期待風速のばらつきは比較的小さい。一方、1年間平均で数個程度以下の風速記録しかない風向については、 P_i のばらつきはかなり大きい。そこで、更にデータ数と

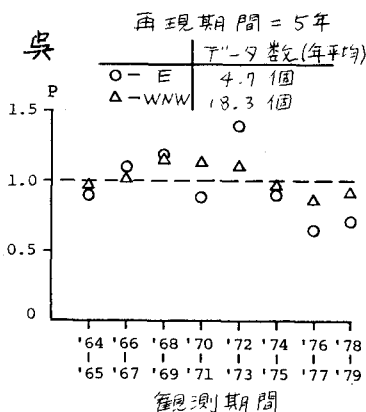


図-2 観測期間による再現期待風速の変化

再現期待風速のばらつきとの関係に詳細に検討した。

まず各風向について、短い観測期間のデータから推定される再現期待風速のばらつきを表わす指標として、次式に示す無次元化=乗誤差を定義する。

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{k}} \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (v_i - v_t)^2} \quad (1)$$

また、このようなばらつきの大きさはデータ数の平方根に逆比例することが予想されるので、 N_t を全観測記録数、 N を各風向の風速記録数として、

$$f = \sqrt{\frac{N_t}{N}} \quad (2)$$

なるパラメータを定義する。図-3より、 f の増加に

伴って、 ε が直線的に増加することがわかる。そこで、更に f に対する ε の回帰直線と条件付き標準偏差 σ を求め、合わせて図-3に示した。このような結果は、短い観測期間より得られた風向別風速値に実際に用いられるにあたって、推定誤差を考慮して補正するのに役立つ。たとえば、所要の信頼性に対応する k を定め、 $1+k\varepsilon$ を補正係数とするといった利用法が考えられる。

4. 風速と風向の同時確率分布

風速と風向の同時確率分布を簡単なモデルで表わしうるならば、工学的に有用な情報となるであろう。Mc Williams^{*}は2個のパラメータにより同時確率分布を表わす簡便な手法を提案し、次のような風速、風向の周辺密度関数を導いている。ここに、 μ, σ はパラメータであり、 $\sigma = \mu/\sigma$ である。

$$f_v(v) = \left\{ \frac{1}{\sigma^2} v \exp\left(-\frac{v^2}{2\sigma^2}\right) \right\} \exp\left(-\frac{\mu^2}{2\sigma^2}\right) \cdot I_0\left(\frac{\mu}{\sigma^2} v\right) \quad (3)$$

$$f_\theta(\theta) = \frac{1}{2\pi} \exp\left(-\frac{r^2}{2}\right) \left[1 + r\sqrt{2\pi} \sin\theta \cdot \Phi(-r\sin\theta) \exp\left\{\frac{1}{2}(r\sin\theta)^2\right\} \right] \quad (4)$$

ここに、 $I_0(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(x/2)^{2k}}{(k!)^2}$, $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$, $0 < v < \infty$, $0 \leq \theta < 2\pi$

図-4は観測データとの適合性を検討した計算例で、ヒストグラムは観測データから求めた分布、曲線は上記理論による周辺確率密度である。風速の周辺分布に関しては理論曲線と観測データは比較的よく一致しているが、風向については両者の適合はあまりよくない。

5. まとめ

本研究から得られた結論を要約すれば、

- i) 風速と風向とは独立であるとみなしがたく、風速統計においては風向を考慮する必要がある。
- ii) 観測期間が短い場合の再現期待風速の推定誤差の回帰式でデータ数の関数として導いた。
- iii) 風速と風向の同時確率分布については、特に地点ごとの風向分布の特殊性を表わし得るようなモデルを案出する必要がある。

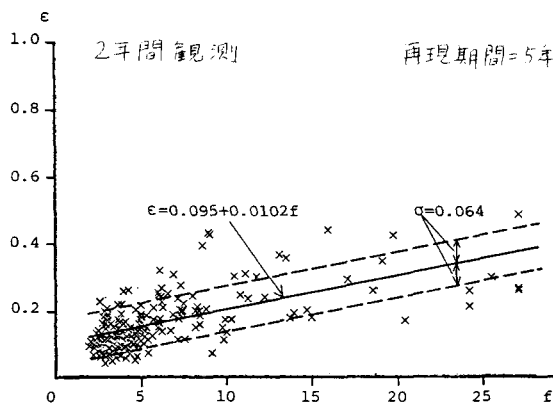


図-3 データ数と推定誤差の関係

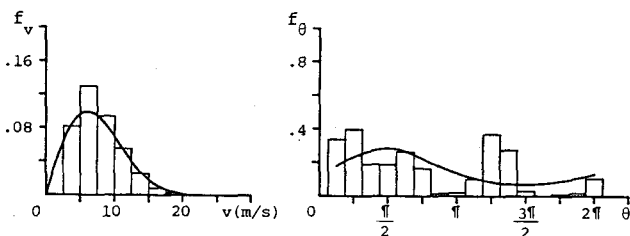


図-4 風速と風向の周辺分布(洲本の例)

* Mc Williams, B and Sprevak, D.: The Estimation of the Parameters of the Distribution of Wind Speed and Direction, Wind Engineering, Vol. 4, No. 4, 1980.